

# 藻类生长对滇池不同区域沉积物磷释放的影响

崔红伟<sup>1</sup>, 汤利<sup>2</sup>

(1. 云南省环境科学研究院, 云南 昆明 650034; 2. 云南农业大学资源与环境学院, 云南 昆明 650201)

**摘要:** 选择滇池 5 个代表性研究位点, 分别采集沉积物和水样, 在藻类发生的重灾区采集藻类, 通过野外取样和实验室模拟试验, 研究分析了藻类生长对滇池不同区域沉积物磷释放的影响。结果表明, 加入藻类明显提高了沉积物速效磷和总磷的释放量; 去离子水处理的沉积物速效磷和总磷释放量明显高于滇池水处理; 各区域沉积物中以海埂的速效磷释放量最高, 昆阳的总磷释放量最高。

**关键词:** 不同区域; 藻类生长; 沉积物; 磷释放; 影响; 滇池

**中图分类号:** X52 **文献标识码:** A **文章编号:** 1673-9655 (2014) 04-0001-04

近年来, 富营养化已经成为一个全球性的环境问题<sup>[1-3]</sup>。随着我国工农业的迅速发展和人口的剧增, 大量的工农业废水和生活污水过度排放, 导致我国水体富营养化的程度日益加剧, 这已经成为我国水体污染的重要原因之一<sup>[4]</sup>。滇池是中国最为重要的高原淡水湖之一, 素有“高原明珠”之称, 其水体富营养化程度日趋严重, 湖内藻类不断繁殖, 水质严重下降。

已有研究表明, 氮、磷在水体富营养化中起着关键的作用, 而二者之中磷是主要限制性因子。磷作为一种营养盐, 是水生生物必须的大量营养元素<sup>[6]</sup>, 是影响藻类生长的一个重要因素<sup>[9]</sup>。所以控制水体富营养化的有效途径是限制磷的排入以限制藻类的暴发。但也有研究发现, 更多的磷输入并不一定引起相应的藻类增殖, 过高的磷浓度不仅不利于藻类的生长, 反而对其生长产生一定的抑制作用<sup>[4]</sup>。同时也有研究表明, 藻类的大规模培养对改善水质、去除污水以及富营养化水体中的营养物质有一定的作用<sup>[3]</sup>。藻类在氮、磷的利用上存在一定的相关性<sup>[9-10]</sup>。藻类对于湖泊的磷营养状态具有重要作用, 但是目前尚未清楚其作用机理<sup>[4-6]</sup>。

富营养化水体中磷的来源主要包括外部进入水体中的磷以及水体内部沉积物进入水体中的磷<sup>[13]</sup>, 在湖泊环境中, 沉积物是营养物质的重要蓄积库, 在湖泊养分循环和水体富营养化过程中起着重要的作用, 沉积物中的营养盐有可能成为上覆水体富营

养化主导因子, 加速水土富营养化。

国内外有关滇池沉积物磷的释放与环境影响因素的关系、滇池沉积物磷的形态、沉积物、水体氮磷营养物的不同区域分布特征及季节性变化和时空分布特征等已有较多研究, 但滇池藻类生长与沉积物磷释放的相互关系还少见报道, 因此本文通过藻类生长与沉积物的模拟试验, 探讨藻类生长对滇池沉积物磷释放的影响, 以期揭示滇池沉积物磷与蓝藻生长、暴发的相互作用, 从而进一步揭示内源污染对滇池富营养化的作用, 为有效控制滇池水华暴发和富营养化, 建立安全高效的控制技术提供科学依据和指导。

## 1 材料与方法

### 1.1 研究位点及样品采集

采用 GPS 定位, 在滇池选择 5 个代表性的研究位点进行沉积物、水和藻类的采样, 研究位点分别是新街 (N24°46'15", E102°41'86"), 斗南 (N24°52'662", E102°45'237"), 罗家村 (N24°48'799", E102°41'789"), 海埂 (N24°54'85", E102°39'83"), 昆阳 (N24°43'59", E102°37'36"), 其中海埂是藻类发生的重灾区、城市污水排放区, 斗南是花卉蔬菜主产区, 罗家村位于滇池中部, 新街是水稻主产区, 昆阳为磷矿生产区。

沉积物用重力采样器采取, 水样用有机玻璃采水器采取, 并在海埂处捞取新鲜藻以备培养试验用。

### 1.2 试验设计

选取新街、斗南、罗家村、海埂、昆阳 5 个研究位点的沉积物、水样及海埂的藻液, 进行如下培养试验:

收稿日期: 2014-04-02

基金项目: 国家高技术研究发展计划 (863) 项目 (2005AA601010-02-5-03); 教育部“春晖计划”; 中国科学院南京土壤所土壤与农业可持续发展国家重点实验室开放基金。

(1) 200g 沉积物 + 3000ml 过滤滇池水 + 100ml 藻液, 记为处理 A;

(2) 200g 沉积物 + 3000ml 去离子水 + 100ml 藻液, 记为处理 B;

(3) 200g 沉积物 + 3000ml 滇池水, 记为处理 C;

(4) 200g 沉积物 + 3000ml 去离子水, 记为处理 D。

上述试验在 5L 的聚乙烯塑料桶进行模拟培养, 滇池水经 0.45 $\mu$ m 的无磷微孔滤膜过滤后使用。试

验在室温下进行, 光照时间为: 12h/d, 培养 12d, 每天用去离子水补充蒸发所消耗的水分。

### 1.3 分析方法

沉积物总磷: 采用高氯酸-硫酸消煮钼蓝比色法测定<sup>[13]</sup>;

沉积物速效磷: 采用碳酸氢钠浸提钼蓝比色法测定<sup>[13]</sup>。

## 2 结果与分析

### 2.1 藻类生长对滇池不同区域沉积物速效磷释放的影响

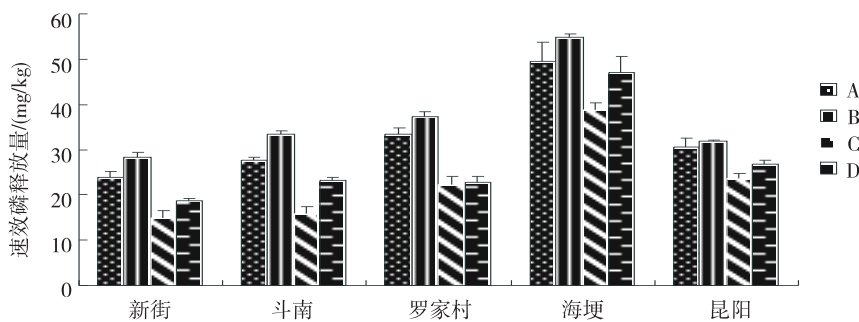


图1 滇池不同区域沉积物速效磷的释放

图 1 为滇池 5 个研究位点表层沉积物经过四种方法处理后测定的速效磷释放量的分布图, 从图中可以看出 5 个位点四种处理都是 A、B 两种处理的速效磷释放量明显高于 C、D 两种处理, 表明加入藻类的样品沉积物速效磷释放量高于没有加入藻类的样品。5 个位点四种处理中速效磷释放量都是 B 高于 A, D 高于 C, 可见, 去离子水处理的样品速效磷释放量高于滇池水处理的样品。从不同区域速效磷释放可以看出, 海埂速效磷释放量高于其他位点, 滇池不同区域沉积物速效磷释放从高到低依次是海埂 > 罗家村 > 斗南 > 昆阳 > 新街。沉积物磷释放与温度、pH、Eh、细菌、溶解氧、周边环境等

诸多因素有关。各区域中海埂沉积物速效磷释放量最高, 海埂沉积物中的磷主要来源于城市污水排放所沉积的磷, 随着城市的发展, 污水排放量大增导致沉积物中速效磷含量增多, 再加上水体中速效磷含量低, 这样沉积物中就要释放相对较多的磷以供应藻类正常生长。各区域中新街沉积物速效磷释放量最低, 这可能与本身沉积物中速效磷含量低, 并且受水体中速效磷含量、温度、溶解氧等因素的影响有关。

### 2.2 藻类生长对滇池不同区域沉积物总磷释放的影响

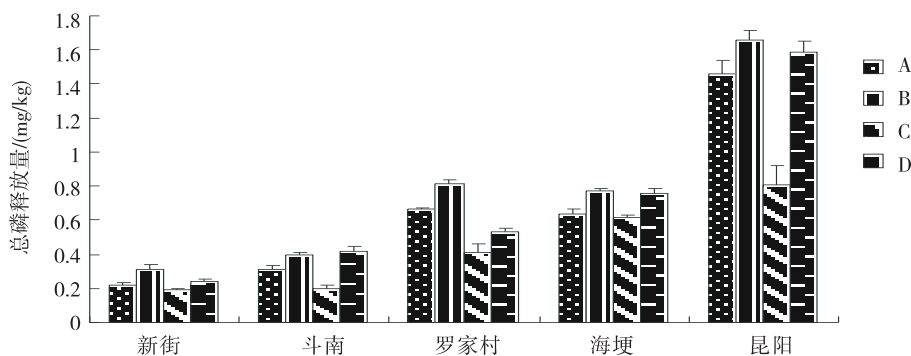


图2 滇池不同区域沉积物总磷的释放

图2为滇池5个研究位点表层沉积物经过四种方法处理后测定的总磷释放量的分布图,从图中可以看出5个位点四种处理都是A、B两种处理的总磷释放量明显高于C、D,表明加入藻类的样品沉积物总磷释放量高于没有加入藻类的样品。5个位点四种处理中总磷释放量都是B高于A, D高于C,可见,去离子水处理的样品总磷释放量高于滇池水处理的样品。滇池不同区域沉积物总磷释放从高到低依次是昆阳>罗家村>海埂>斗南>新街。各区域中昆阳沉积物总磷释放量相对最高,昆阳是磷矿生产区,其沉积物总磷含量很高,再加上受到温度、pH、Eh、细菌、溶解氧、周边环境等诸多因素的影响,其总磷释放量相对最高。

### 3 结论与讨论

本研究表明:藻类生长可促进沉积物中速效磷和总磷的释放;去离子水处理的沉积物速效磷和总磷释放量明显高于滇池水处理;滇池不同区域沉积物速效磷释放以藻类发生重灾区—海埂最高,总磷释放以磷矿主产区—昆阳最高,新街最低。

本研究对沉积物的处理中,没加藻类处理的样品,沉积物中速效磷和总磷含量最高,这也许是由于磷没有被藻类吸收,水体对沉积物中磷的需要量小,所以沉积物磷的释放量相对较小。相反加入藻类处理的样品,沉积物中磷含量最低,这也许是因为藻类生长吸收了水体中的磷,且水体中的磷不能满足藻类正常生长需要,这样沉积物中的磷就释放出来以满足藻类生长需要。

5个研究位点中海埂速效磷释放量最高,此地是藻类发生的重灾区。在藻类非生长期,随着城市的发展,大量污水的排入使沉积物中的磷得到大量积累,速效磷含量相对高,因此能在藻类生长期释放大量的磷供应藻类生长。昆阳的总磷释放量最高,因为昆阳是磷矿生产区,常年的磷输入会导致沉积物中蓄积的磷含量相对高,但其沉积物中总磷的释放还受到周边环境、水体中总磷含量、藻类数量、季节不同等因素的影响,因此,此地总磷释放量最高的原因尚不清楚。新街无论速效磷还是总磷释放量都最低,此地是水稻主产区,其沉积物中的磷大多数来自过量施用的磷肥,这个区域沉积物深度较浅,属于迎风区,其水体扰动较大,磷很难

被沉积,因而这里的沉积物和水体中磷含量相对都很低,且此地藻类暴发相对不严重,没有更多的磷需求量,所以磷释放量最低。罗家村和斗南释放情况无规律。

综上所述,藻类生长促进了沉积物磷的释放,且对于不同区域的沉积物磷释放的影响不同。但是藻类生长促进沉积物磷释放的机理到底是什么、沉积物磷释放对各区域水环境有何影响等问题还需进一步研究。

#### 参考文献:

- [1] 黄旭光,王大志,王明华,等. 氮、磷对两种微藻吸附于吸收镍的影响 [J]. 海洋与湖沼, 2006, 37 (2): 105-110.
- [2] 王圣瑞,金相灿,赵海超,等. 沉水植物黑藻对上覆水中各形态磷浓度的影响 [J]. 地球化学, 2006, 35 (2): 179-186.
- [3] 马沛明,况琪军,刘国祥,等. 底栖藻类对氮、磷去除效果研究 [J]. 武汉植物学研究, 2005, 25 (5): 4565-469.
- [4] 刘永梅,刘永定,李敦海,等. 氮磷对水华束丝藻生长及生理特征的影响 [J]. 水生生物学报, 2007, 31 (6): 774-779.
- [5] 赵海超,王圣瑞,金相灿,等. 不同形态磷对黑藻生长河生理特性的影响 [J]. 应用与环境生物学报, 2006, 12 (3): 342-347.
- [6] 周小宁,王圣瑞,金相灿. 沉水植物黑藻对沉积物有机、无机磷形态及潜在可交换性磷的影响 [J]. 环境科学, 2006, 27 (12): 2422-2425.
- [7] 卢少勇,金相灿,郭建宁,等. 沉积物-水系统中氮磷变化与上覆水对藻类生长的影响 [J]. 环境科学, 2007, 28 (10): 2169-2173.
- [8] 石岩峻,胡晗华,马润宇,等. 不同氮磷水平下微小原甲藻对营养盐的吸收及光合特性 [J]. 过程工程学, 2004, 4 (6): 554-560.
- [9] 江艳,甘旭华,陈晓琳,等. 氮磷营养因子对赤潮异弯藻生长的影响 [J]. 应用生态学报, 2006, 17 (3): 557-559.
- [10] Sharpley A N, Chapra S C, Wedepohl R, et al. Managing agriculture phosphorus for protection of surface water: issues and options [J]. J Environ Qual, 1994, (23): 437-451.
- [11] Smith V H. The nitrogen and phosphorus dependence of algal biomass [J]. J Limnol Oceanogr, 1982, (27): 1101-1111.
- [12] Smith V H, Tilman G D, Nekola J C. Eutrophication: impacts of excess nutrient inputs on freshwater, Marine and terrestrial ecosystems [J]. Environmental Pollution, 1999, (100): 169-179.
- [13] 陈永川,汤利,张德刚,等. 滇池沉积物总磷的时空分布特征研究 [J]. 农业环境学报, 2007, 26 (1): 51-57.

## Effects of Algal Growth on Phosphorus Release from Sediment in Different Sites of Dianchi Lake

CUI Hong - wei, TANG Li

(1. Yunnan Institute of Environmental Science, Kunming Yunnan 650034 China)

**Abstract:** Five representative sites in Dianchi Lake were selected. Sediment and water were sampled separately in these five sites. Algae were sampled in Haigeng area. A simulating experiment was done to examine the impacts of alga growth on sediment phosphorus release at different sites in Dianchi Lake. The results showed that the release of total phosphorus and available phosphorus in sediment samples with alga is apparently higher than that of the samples without alga. Further more, the release of total phosphorus and available phosphorus in sediment samples treated with deionized water is much higher than that of the samples treated with Dianchi lake water. Among all five sites, the sediment in Haigeng released the highest amount of available phosphorus. Meanwhile, the highest release of total phosphorus from sediments was found in Kunyang.

**Key words:** algae growth; sediment; phosphorus release; different sites; Dianchi Lake

---

## 《环境科学导刊》发行数字期刊的声明

《环境科学导刊》，投稿及联系邮箱：[ynhjkx@yies.org.cn](mailto:ynhjkx@yies.org.cn)；电话（传真）：0871 - 64142389；国内统一刊号：CN53 - 1205/X；国际标准刊号：ISSN1673 - 9655。

《环境科学导刊》的数字版本已全文入编《中国期刊网》、《中国知网》、《万方数据 - 数字化期刊群》、《中国核心期刊（遴选）数据库》、《中国学术期刊综合评价数据库》、《中文科技期刊数据库（全文版）》等。所有被本刊录用并发表的稿件文章，将一律由本刊编辑部统一制作成数字版本在以上各数据库发布，并参与光盘版汇编，同时在我刊网站 [Http://hjkxdk.yies.org.cn](http://hjkxdk.yies.org.cn) 发布。若作者不同意稿件参与数字版发行，请另投他刊。本刊所付稿酬包含刊物数字版发行的稿酬，不再另付。

《环境科学导刊》编辑部

# 贫营养湖水环境承载力及对策研究

## ——以抚仙湖为例

张晓旭, 孔德平, 张淑霞

(云南省环境科学研究院, 云南高原湖泊流域污染过程与管理重点实验室, 云南 昆明 650034)

**摘要:**以云南省九大高原湖泊中贫营养湖典型代表—抚仙湖为例,以广义的水环境承载力理论为指导,基于前人EFDC模型计算的抚仙湖水环境容量,通过构建抚仙湖水环境承载力评价指标体系,采用层次分析法与聚类分析法结合的复合模型进行水环境承载力定量评价,揭示目前抚仙湖水环境承载力状况,通过评价分析识别主要影响因子,提出优化抚仙湖水环境承载力的对策建议。

**关键词:** 贫营养湖; 水环境承载力; 研究; 对策; 抚仙湖

**中图分类号:** X52 **文献标识码:** A **文章编号:** 1673-9655 (2014) 04-0005-08

### 1 引言

随着人类经济社会的发展,水资源短缺和水环境破坏已成为制约区域可持续发展的瓶颈。研究水环境承载力,对优化水环境配置,协调好人口、社会、经济与水环境的关系意义重大。特别是对于贫营养湖泊,保护是首要任务,如何在水环境承载力范围内发展社会经济,使之与环境相协调,形成环境友好型社会发展模式值得进行探究。

贫营养湖泊是指氮、磷等营养盐的浓度较低,生物生产力水平低下,溶解氧较充足的湖泊。云南省九大高原湖泊中抚仙湖、泸沽湖和阳宗海均为贫营养湖。三个湖泊中,抚仙湖溶解氧含量最高,总氮、总磷浓度介于泸沽湖和阳宗海之间,水生植物种类最少。2012年抚仙湖综合营养状态指数为17.2,小于贫营养湖的标准。抚仙湖是云南九大高原湖泊中贫营养型的代表性湖泊<sup>[1-3]</sup>。

随着社会经济的发展,近年来抚仙湖流域开发与湖泊保护之间的矛盾日趋突显,如何协调人口、社会、环境和发展之间的关系已成为流域可持续发展的重要问题。本文以抚仙湖为研究对象开展水环境承载力的研究,就是从人口、社会、经济、水环境等众多因素之间的关系入手,从本质上反映环境与人类活动之间的关系,通过水环境承载力的评价揭示和衡量区域资源、环境或生态系统能承受的社会经济发展和人类活动的状况,以便提出优化抚仙湖水环境承载力的对策建议,为流域的保护规划提供科学依据。

### 2 研究方法

通过对国内外水环境承载力研究动态的了解,从广义水环境承载力的角度入手,以前人三维水质水动力模型(EFDC模型)水环境容量计算为基础,运用层次分析法构建抚仙湖水环境承载力评价指标体系,结合“模加和”方法对抚仙湖水环境承载力进行综合评价,通过评价分析识别出抚仙湖水环境承载力的主要影响因子,最终提出优化的对策建议。技术路线见图1。

### 3 抚仙湖水环境承载力评价研究

#### 3.1 抚仙湖流域概况

抚仙湖位于云南省玉溪市境内,居滇中盆地中心,距昆明市东南60km处,流域地跨澄江、江川和华宁三县,有隔河与星云湖相通。抚仙湖湖平面呈南北向的葫芦形,流域面积674.69km<sup>2</sup>。流域地处亚热带季风气候区,属中亚热带半湿润季风气候,年降雨量800~1100mm,全年约80%~90%的雨量集中在5—10月,蒸发量大于降雨量,为1200~1900mm,日照时数2000~2400h。区内主要的土壤类型为红壤、水稻土、黄棕壤、紫色土和棕壤等,植被以草地、灌丛、针叶林等次生植被为主,分布面积最大的是云南松和华山松。流域共有大小入湖河流103条(含农田排灌沟),多数为间歇性河流。

抚仙湖流域地跨三县,辖8个乡镇,总计351个自然村。2010年末总人口为178832人,国民生产总值达到507357万元。根据遥感解译,流域土地利用以水域、耕地为主,其次是有林地、灌木林地、草地,未利用地面积较小。

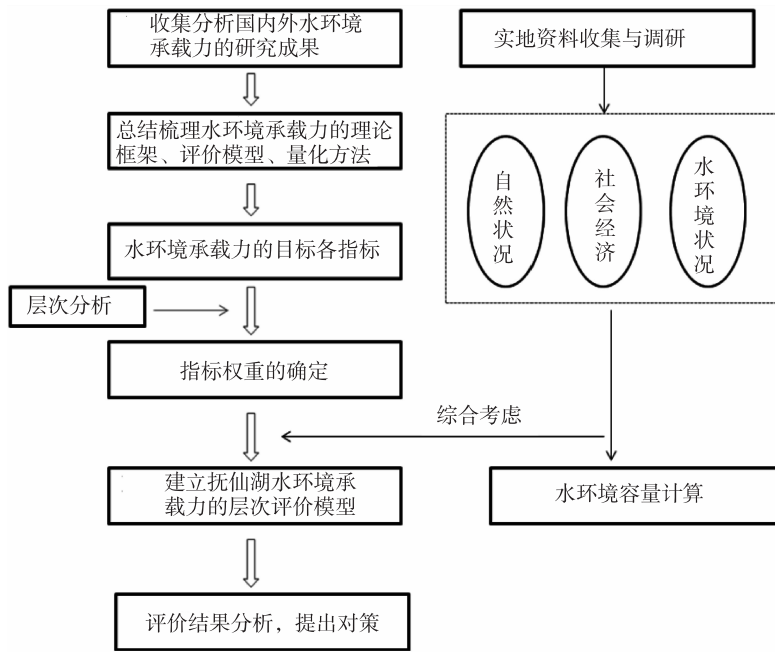


图1 抚仙湖水环境承载力研究技术路线图

抚仙湖作为我国第二大深水湖，湖面海拔1722.5m，湖面面积216.6km<sup>2</sup>，最大水深158.9m，平均水深95.2m，蓄水量206.2亿m<sup>3</sup>。由于流域集水面积小，湖泊补给系数不到5%，年均可利用的动态水资源量十分有限。2010—2013年6月，抚仙湖综合水质保持在Ⅰ类。TP含量波动较小，远低于Ⅰ类水质标准限值；TN含量也全在Ⅰ类标准限值以下，波动范围为0.15mg/L~0.19mg/L，已非常接近Ⅰ类水质标准限值；COD和BOD皆在Ⅰ类水质标准限值以下；高锰酸盐指数低于Ⅰ类水质标准限值，但2013年来逐步接近限值<sup>[4,5]</sup>。

### 3.2 水环境承载力评价概念模型

目前水环境承载力概念定义有几种：一是从“阈值”角度进行定义，主要指区域水环境对人类

活动支持能力的阈值；二是从“支持能力”角度进行定义，指区域水环境在自我维持、自我调节能力和水环境功能可持续正常发挥前提下，对区域人口、经济及社会的支撑能力；三是从“纳污能力”角度定义，指水体能够被继续使用并仍保持生态系统良好、水环境系统功能可以持续正常发挥时，所能够容纳污水及污染物的最大能力。

可以看出，水环境承载力的定义分为了两类，一种是狭义的水环境容量概念，另一种是广义的水环境对人口、经济及社会的承载关系，这种关系显现出水环境承载力兼具自然属性和社会属性的特点，因此水环境承载力将受到环境条件、资源禀赋、技术水平和制度安排等方面的影响<sup>[6-8]</sup>。

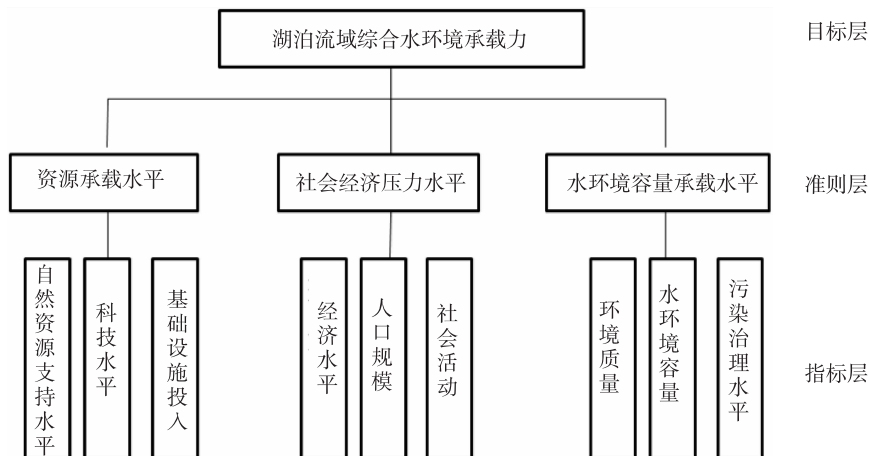


图2 抚仙湖水环境承载力指标体系层次结构模型

本文以广义的水环境承载力概念为主要理论依据，主要包括资源承载力、水质承载力两方面的内容。资源承载力主要取决于可利用的水资源数量、森林资源、土地资源等，水质承载力主要取决于湖泊水体可利用的水环境容量。围绕这两个核心内容，水环境承载力最终的支持层是社会活动强度和经济发展规模。因此水环境承载力在资源承载力和水环境容量的基础上，应耦合社会-经济-环境要素来构建综合水环境承载力评价模型。

### 3.3 抚仙湖水环境承载力评价指标体系构建

根据水环境承载力的概念模型，运用层次分析法的思路，将评价指标体系从上至下分成3个层次，即目标层、准则层、指标层。抚仙湖水环境承载力指标体系层次结构模型详见图2。

根据抚仙湖水环境承载力指标体系层次结构模型，根据指标选取可得性、科学性、实用性原则，采用德尔菲法进行指标筛选，最终选取了12项指标组成了抚仙湖水环境承载力的综合评价指标体系，见表1。

表1 抚仙湖水环境承载力的综合评价指标体系

目标层	准则层	指标层	指标极性
环境承载力	资源支持状态	人均水资源量/m <sup>3</sup>	正
		水资源利用率/%	负
		森林覆盖率/%	正
		环保投入占地方生产总值比例/%	正
	社会经济压力	流域人口密度/(人/km <sup>2</sup> )	负
		旅游经济收入/GDP/%	负
		农民人均纯收入/元	负
		水土流失率/%	负
	环境容量约束	污水截污率/%	正
		湖泊水质承载力/M	负
		TN 环境承压力	负
		TP 环境承压力	负

在12项指标中，湖泊水质承载力、TN环境承压力以及TP环境承压力是二次指标。其中，湖泊水质承载力主要是通过多指标的水质综合评价，揭示湖泊现状水质与水质标准限值的距离，水质承载力越大，表示与水质标准限值的距离越大，水质状况就越好。测算方法选择TN、TP、COD<sub>Mn</sub>、COD<sub>Cr</sub>、BOD<sub>5</sub>项指标与I类水质标准的海明距离来表示水质承载度；TN和TP环境承压力用流域TN和TP入湖负荷与I类水环境容量限值的比值来表示环境容量的承载状态。

### 3.4 抚仙湖水环境承载力评价指标权重确定

本研究采用AHP结合聚类分析的组赋权法

来进行指标权重的确定。AHP法是20世纪70年代由美国运筹学家A. L. Saaty提出的，该方法缺点在于容易受到打分专家偏好的影响。因此本研究对传统的基于专家咨询的层次分析法作出改进，利用聚类分析，对各专家打分结果进行加权平均，利用客观的统计方法，提高专家共识，得出一个更具客观性的综合判断。

本研究共咨询了10位环境规划学、生态学、湖沼学等领域专家，为水环境承载力系统评价指标体系的目标层与准则层、准则层与指标层进行判断打分。根据10位专家的打分，依据组合赋权法确定评价指标权重，见表2。

表2 抚仙湖水环境承载力评价指标体系权重系数表

目标层	准则层	权重	指标层	权重
环境承载力	资源支持状态	0.29	人均水资源量/m <sup>3</sup>	0.17
			水资源利用率/%	0.30
			森林覆盖率/%	0.17
			环保投入占地方生产总值比例/%	0.37
	社会经济压力	0.17	流域人口密度/(人/km <sup>2</sup> )	0.26
			旅游经济收入/GDP/%	0.18
			农民人均纯收入/元	0.19
			水土流失率/%	0.36
	环境容量约束	0.54	污水截污率/%	0.18
			湖泊水质承载力/M	0.33
			TN 环境承压力	0.23
			TP 环境承压力	0.26

### 3.5 抚仙湖水环境承载力评价数据标准化处理

#### 3.5.1 评价指标数据获取

本研究数据主要通过收集抚仙湖流域涉及行政区统计年鉴以及“十一五”、“十二五”水污染综合防治规划等资料获取，社会经济数据以2012年统计年鉴为依据。其中湖泊水质承载力计算主要运用模糊综合评价法计算水质实测值（2011—2013年6月平均值）与标准值的海明距离。经过计算抚仙湖水环境综合承载力为0.5M，与I类水质标准限值的距离为50%。

还需特别指出的是，对于抚仙湖这种大型深水湖泊来说，三维水质水动力模型（美国环保局开发的环境流体动力学模型EFDC）模拟水环境容量更适宜抚仙湖水环境特点，因此本文采用前人运用的EFDC模

型模拟结果来进行TN、TP环境承压度的计算<sup>[9]</sup>。

#### 3.5.2 评价指标数据标准化处理

本研究根据国际公认的一些指标值，以及我国发布的《全国人民生活小康水平的基本标准》、《全国生态城市建设标准》，同时参考近年来云南省湖泊流域社会经济发展状况，征求相关专家意见，确定核算标准<sup>[10]</sup>。

指标标准确定后，指标数据应进行标准化处理后方能带入评估模型进行计算，指标值经过处理，所有的指标都具有无量纲化、越大越好，以1为基准的特点。针对两类指标计算方法为：

①越大越好型指标：指标值 = 现状值 / 标准值。

②越小越好型指标：指标值 = 标准值 / 现状值。

据此本研究数据处理结果见表3。

表3 抚仙湖水环境承载力评价指标值

目标层	准则层	指标层	极性	指标值	标准值	处理值
环境承载力	资源支持状态	人均水资源量/m <sup>3</sup>	正	706	500~2000	0.35
		水资源利用率/%	负	68	15~65	0.2
		森林覆盖率/%	正	27.88	15~70	0.4
		环保投入占地方生产总值比例/%	正	2.2	0~3.5	0.63
	社会经济压力	流域人口密度/(人/km <sup>2</sup> )	负	265	350~500	0.8
		旅游经济收入/GDP/%	负	38.78	15~40	0.97
		农民人均纯收入/元	负	6690	1200~10000	0.7
		水土流失率/%	负	24.52	7.8~34	0.7
	环境容量约束	污水截污率/%	正	83	0~100	0.83
		湖泊水质承载力/M	负	0.3	0.3~0.9	0.8
TN环境承压度		负	1.42	0~1	0.1	
TP环境承压度		负	0.6	0~1	0.59	

### 3.6 抚仙湖水环境承载力评价结果

本研究的水环境承载力是一个耦合社会 - 经济 - 环境要素的综合水环境承载力综合函数，用V表示，计算公式如下：

$$V = \sum_{i=1}^{n_1} (X_i \times W_i)$$

式中：X<sub>i</sub>为第i种指标的标准化值；W<sub>i</sub>为第i种指标所占的权重；n<sub>1</sub>为指标数量。

根据相关研究，水环境承载力的取值范围为0~1，其大小反映了区域水环境可承载能力的强弱，值越大说明该区域的水环境承载力越好，具有较大的弹性，值越小说明该区域的水环境承载力越差，不能承受较大压力，水环境变得很脆弱甚至会处于

崩溃的边缘。

将整个系统的“可承载”状况进行分类，参考相关文献并结合研究区的实际情况，分类情况见表4<sup>[11]</sup>。

经过公式计算得出，抚仙湖现状水环境总承载力综合指数为0.57，其中资源环境承载度为0.122，社会经济承载度为0.126，环境容量承载度为0.32。根据表4，抚仙湖水环境承载力综合指数属于基本可承载状态的低限值，相对于I类水质保护目标而言，已失去了很好的弹性，生态环境的脆弱性已经显现。详见表5。

表4 水环境承载力可承载度分类表

取值范围	0~0.3	0.3~0.5	0.5~0.8	0.8~1.0
水环境承载力程度	不可承载	弱可承载	基本可承载	良好可承载
水环境状态	崩溃	脆弱	一般	弹性好



表 5 抚仙湖水环境承载力评价结果情况表

目标层	准则层	得分	指标层	得分
水环境承载力 0.57	资源支持状态	0.122	人均水资源量/m <sup>3</sup>	0.06
			水资源利用率/%	0.06
			森林覆盖率/%	0.07
			环保投入占地方生产总值比例/%	0.23
	社会经济压力	0.13	流域人口密度/(人/km <sup>2</sup> )	0.21
			旅游经济收入/GDP/%	0.17
			农民人均纯收入/元	0.13
			水土流失率/%	0.25
			污水截污率/%	0.15
	环境容量约束	0.32	湖泊水质承载力/M	0.26
			TN 入湖负荷环境承压度	0.02
			TP 入湖负荷环境承压度	0.15

4 抚仙湖水环境承载力评价结果分析及对策

4.1 评价结果分析

根据抚仙湖水环境承载力评价结果，结合层次

分析法，分别对评价指标体系中准则层、指标层相对应指标的及格、最优状态进行比较分析，见图 3 ~ 图 6。

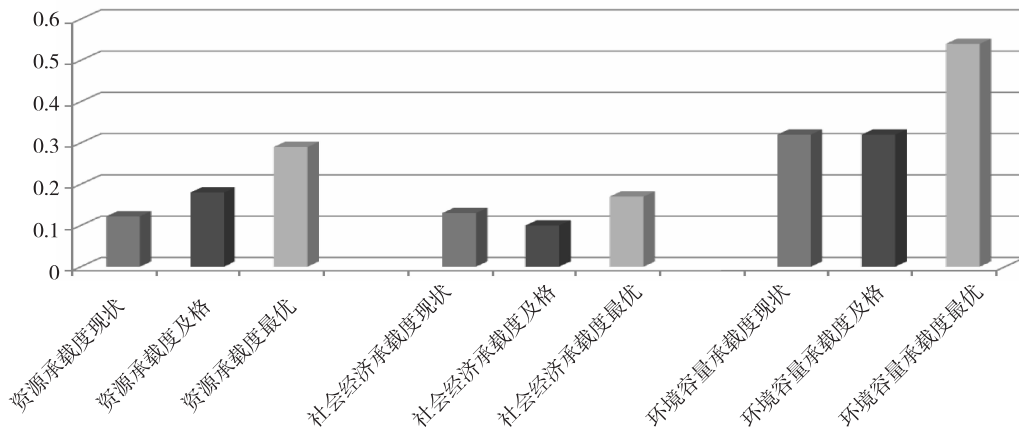


图3 抚仙湖水环境承载力评价准则层状态分析图

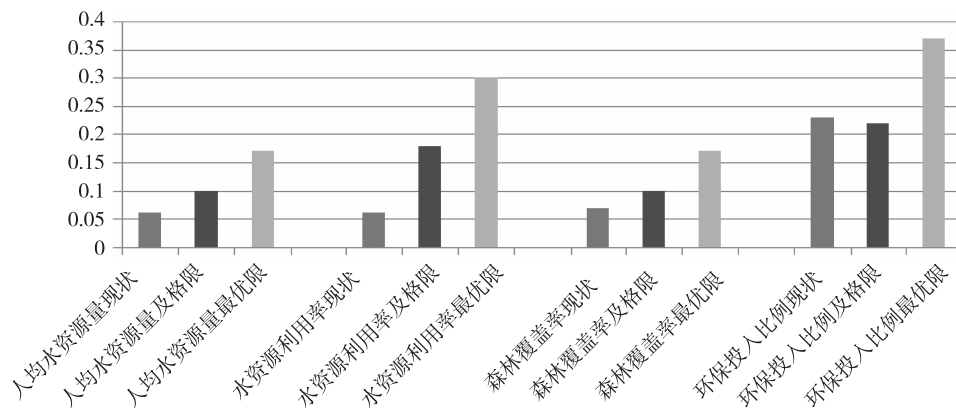


图4 抚仙湖水环境承载力评价资源支持指标层状态分析图

从图中可看出，对抚仙湖水环境承载力影响最大的是资源承载力和社会经济承载力，其次是水环境容量承载力。

从具体指标来看，抚仙湖流域水资源的贫乏成为导致流域资源承载能力低下的主要原因。森林覆

盖率低下，水源涵养能力不足加剧了流域水资源承载状态的脆弱。面对有限的水资源、连续的干旱气候环境变化的影响，如何加强水资源的保护与合理利用尤为重要；其次应进一步提高流域的森林覆盖率，加强流域山地的水源涵养。

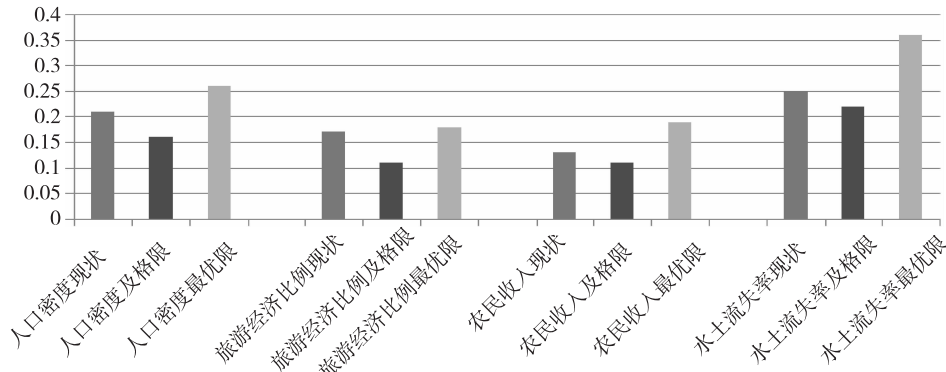


图5 抚仙湖水环境承载力评价社会经济指标层状态分析图

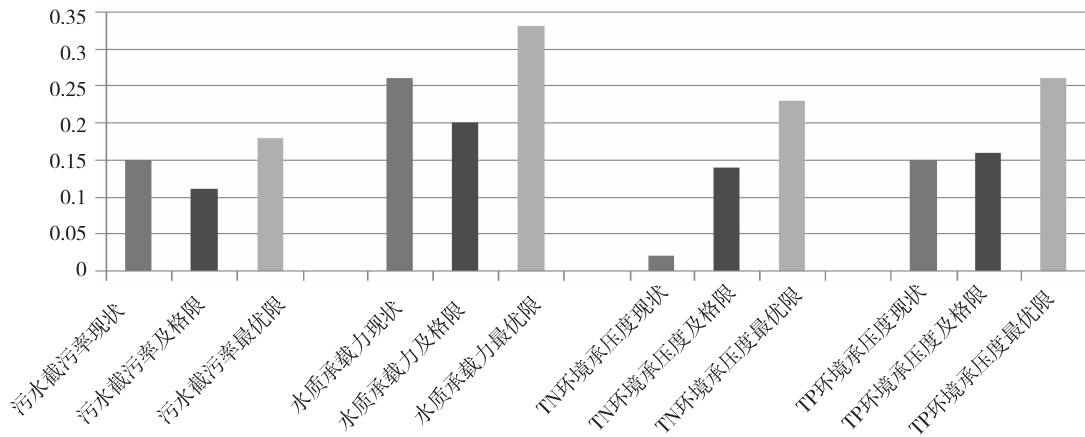


图6 抚仙湖水环境承载力评价环境容量约束指标层状态分析图

流域社会经济承载力不足主要是流域农业、旅游经济发展对环境承载力造成了巨大的压力，表现在流域低端经济发展模式、高污染农业种植结构、粗放的旅游开发以及不合理的产业布局与环境不协调，导致主要来源于农村农业面源的TN、COD污染负荷已经超过了I类水质目标的水环境容量限值要求。目前抚仙湖流域的水环境容量承载力处于崩溃状态，因此优化流域产业发展模式及布局，加强流域控源截污已刻不容缓。

#### 4.2 抚仙湖水环境承载力优化调整对策建议

根据抚仙湖水环境承载力评价分析，流域脆弱的资源承载力、低端的社会经济发展模式是导致抚仙湖水环境承载力较低的主要因素，其次是流域入湖污染负荷已使湖泊水环境容量承载处于崩溃状态。因此抚仙湖水环境承载力的优化应以提高流域资源承载力为前提，调整社会经济发展方式为根本，削减湖泊入湖污染负荷为重点，使流域的自然资源、社会经济和湖泊水环境能够协调发展，形成流域生态系统的优化运转。

##### 4.2.1 资源承载力优化调整对策

###### (1) 加强流域水资源核查工作

抚仙湖流域水资源量始终缺乏一个统一的数据

口径，这不利于水资源保护与利用方案的研究制定，因此应加强流域水资源的核查，摸清流域水资源及利用情况，特别是受到气候环境影响下，流域水资源可利用量、空间分布状况等。

###### (2) 加强水资源调配方案的研究

优化流域水资源调配、加强水资源循环利用是水资源保护与合理利用的重要举措。应加强流域中水循环利用方案研究，包括如何对雨水和污水厂排水进行收集，如何经过调配进行回用，循环利用于城市绿化或农田灌溉的方案与可行性分析；加强降低流域优质水资源消耗方案的研究，包括外流域调水的可行性研究等。

###### (3) 加强山地水源涵养区生态保护，提高流域森林覆盖率

在保护和抚育好现有林木的基础上，对流域25°以上陡坡耕地及生态脆弱区域实施退耕还林工程，同时加大造林绿化、林分改造力度；加强流域矿区的迹地生态修复，增强水土保持能力；做好流域的林业保护利用规划，强化规划的实施以及严格建设项目的审批制度。

###### (4) 加强用水管理

按照国家水资源产权及用途管制要求，加强水

资源规划、水资源论证、取水许可、水功能区、水资源有偿使用制度和行政执法等六个方面的严格管理,着力推进管理制度体系建设,加快节水防污型社会建设,推动经济社会发展与水资源水环境承载能力相协调,促进经济发展方式转变。

#### 4.2.2 社会经济承载力优化调整对策

##### (1) 坚持发展集约化高产值低污染农业

以发展绿色生态农产品为主体,大力发展现代农业、观光农业。把种植结构从蔬菜、烤烟等传统作物向各类经果林、苗木林调整,鼓励发展优质、高效、适宜的林果、苗木产业。发展绿色农业基地,培育有机农产品,大力开发优质品种,优化农产品品种结构。

##### (2) 加强旅游统一规划及布局,适度发展生态旅游

针对抚仙湖目前大规模连片旅游度假区过量的旅游接待与数量庞大且分散农家乐旅游缺乏管制并存的旅游粗放式发展格局现状,做好流域旅游统一规划及部署,以适度发展生态休闲旅游为突破,减少旅游人口污染负荷对湖泊造成的污染。

##### (3) 加强流域国土空间的管控,划定生态红线

按照抚仙湖流域自然地理特点和目前产业布局存在的问题,加强流域国土空间的管控方案及制度的研究,根据划定的生态红线,调整产业布局、规模及环保准入。

#### 4.2.3 水环境容量承载力优化调整对策

##### (1) 增强农村面源污染控制

以政府引导农业种植结构调整,以绿色农业代替传统种植业为根本,加强实施源头污染控制,在抚仙湖径流区实施测土配方施肥,鼓励施用复合肥、有机肥,引导农民使用生物农药或高效、低毒、低残留的农药,推广病虫害综合防治、生物防治和精准施药技术。

##### (2) 加大流域生活污染治理力度

加强重点村落垃圾、污水治理,特别加强主要入湖河流沿岸的村庄的污水治理,完善管网建设,加强垃圾收集与处理设施的建设,进一步推进农村生活垃圾降解与资源化技术的运用和推广,提高农业废弃物资源化利用率。

因地制宜推进雨污分流和现有合流管网系统改造,提高城镇污水收集能力和处理效率。污水处理厂新增能力向重点乡镇或重点旅游景区倾斜,同时还应加强已建污水处理设施的营运和管理。

##### (3) 加强旅游污染防治

实施旅游截污治理,提升分散、集中旅游区域的截污、治污水平。一是完善景区的截污工程建设;二是逐步推进各类分散旅游景区的截污工程和处理工程建设,杜绝旅游农家乐、小型宾馆饭店等污水直排;三是对旅游开发区或大型宾馆饭店,重点提高截污和污染治理要求,要求污水收集、处理和回用设施优先建设,禁止设立入湖排污口,加强旅游景点的环境管理。

#### 5 存在问题与展望

(1) 本研究中评价指标的选取采用了德尔菲法,虽然研究中选择了不同学科领域的专家进行咨询,同时在指标权重计算上在层次分析法基础上做了改进,但还是存在主观判断的偏差。在今后的研究中可以采用以相关性分析、主成分分析、灰色系统理论等数学统计方法为主,专家咨询为辅,以流域历史系列数据为样本,进行指标的筛选,进一步减少专家主观判断局限性的同时,也能避免数理方法与现实世界的偏差。

(2) 评价标准是评估水环境承载力的基准。本研究主要采取国际公认的一些环境标准,以及我国发布的一些标准来进行指标评估判断。针对每一个指标而言,标准划定是否符合客观世界的真实值,对水环境承载力的贡献以及约束是否具有科学性,需要在今后进一步研究甄别确定。

(3) 研究在水环境容量计算基础上,通过对评价指标的量化得出水环境承载力的综合评价结果,采用简单的比较分析得出影响抚仙湖水环境承载力主要影响因子,从而提出优化抚仙湖水环境承载力的整治思路,但对流域社会经济发展规模、活动强度等重要问题,不能提供量化研究结果的指导,方法学上可以用系统动力学再做深入的研究。

此外,本研究中水环境容量承压度未考虑营养盐-藻类的影响因素,事实上高浓度的营养物质将有可能导致藻类的局部或短期内大量繁殖,这个潜在威胁不容忽视,在今后的研究中应开展更深入的模拟工作,全面考虑水环境容量对水环境承载力的约束。

##### 参考文献:

- [1] 潘义宏. 阳宗海大型水生植物对磷的吸收/富集特征及机理 [D]. 昆明: 昆明理工大学, 2011.
- [2] 谭志卫, 董云仙. 泸沽湖水生植被现状 [J]. 环境科学导刊, 2011, 30 (6): 26-32.
- [3] 熊飞, 李文朝, 潘继征, 等. 云南抚仙湖沉水植物分布及群落结构特征 [J]. 云南植物研究, 2006, 28 (3): 277-282.
- [4] 中国环境科学学会. 抚仙湖流域水污染综合防治“十二五”

- 规划报告 [R]. 2010.
- [5] 云南省环境科学研究院. 抚仙湖流域水污染综合治理“十二五”规划中期执行情况评估报告 [R]. 2013.
- [6] 彭静, 李羽中. 广义水环境承载理论与评价方法 [M]. 北京: 中国水利水电出版社, 2006: 1-196.
- [7] 王玉敏, 周孝德, 冯成洪, 等. 湖泊水环境承载力研究 [J]. 水土保持学报, 2004, 18 (1): 179-184.
- [8] 赵青松, 周孝德, 龙平沅. 关于水环境承载力模糊评价的探讨 [J]. 水利科技与经济, 2006, 12 (1): 46-47.
- [9] 邹锐. 基于EFDC抚仙湖流域水环境容量模拟研究 [R]. 2011.
- [10] 王志芸. 泸沽湖流域水环境承载力研究 [J]. 环境科学导刊, 2010, 29 (2): 39-44.
- [11] 张祥娟. 流域水环境承载力研究—以京杭大运河苏州高新区段为例 [D]. 江苏: 苏州科技学院, 2011.

## Research on Water Environmental Carrying Capacity and Countermeasures of Oligotrophic Lake—A Case Study on Fuxian Lake

ZHANGXiao-xu KONGDe-ping ZHANGShu-xia

(Yunnan Institute of Environmental Science, Yunnan Key Laboratory of Pollution Process and Management of Plateau Lake – watershed, Kunming Yunnan 650034 China)

**Abstract:** Oligotrophic lake has low concentrations of nitrogen, phosphorus and other nutrients, a low biological productivity with adequate dissolved oxygen. In this study, Fuxian Lake, as a typical oligotrophic lake among the nine plateau lakes in Yunnan, was selected as a case to explore the water environmental carrying capacity based on the generalized theory of water environmental carrying capacity and previous water carrying capacity calculated by EFDC model. An evaluation indicator system was built up for the Fuxian Lake. AHP method and cluster analysis were employed to execute a quantitative evaluation in order to reveal the current state of the water environmental carrying capacity of the Fuxian Lake. Many optimum Countermeasures and suggestions were put forward based on the identification of the main factors.

**Key words:** Oligotrophic Lake; Water Environmental Carrying Capacity; Countermeasure; Fuxian Lake

# 滇池、洱海、泸沽湖浮游植物研究综述

张石文, 董云仙

(云南省环境科学研究院, 云南省高原湖泊流域污染过程与管理重点实验室, 云南 昆明 650034)

**摘要:** 综述了近年来研究者们对云南滇池、洱海、泸沽湖三大高原湖泊的浮游植物调查研究成果, 揭示了湖泊水质类型、富营养化程度与浮游植物的种类、优势种、数量之间的关系。

**关键词:** 滇池; 洱海; 泸沽湖; 浮游植物; 水质类型; 富营养化; 综述

**中图分类号:** X512 **文献标识码:** A **文章编号:** 1673-9655 (2014) 04-0013-05

## 1 前言

浮游植物 (*Phytoplankton*) 即自养的浮游生物, 在淡水中主要是藻类, 它是一个生态学单位。浮游植物与水生高等植物共同构成水体的初级生产者, 给湖泊中的一些动物和微生物提供食物来源<sup>[1-2]</sup>, 在全球 C 循环中起到相当重要的作用<sup>[3]</sup>, 是水生生态系统的重要组成成分。浮游植物稳定存在保证了生态系统的健康发展, 是水生食物网的基础。作为初级生产者, 浮游植物种类组成、数量变化与水体的理化性质有着密切的关系, 敏感地反映了周围环境的改变, 可作为水体水质的指示生物<sup>[4]</sup>。水体富营养化问题具有缓慢、难以逆转等特点, 是当今世界面临的难题之一。若在富营养化过程中, 浮游植物大量增殖, 必然会威胁到生态系统的稳定与发展<sup>[5]</sup>。生物与环境相适应, 不同种类浮游植物对水环境变化的敏感性和适应能力不同<sup>[6-10]</sup>。浮游植物的变化可以用作环境变化的指示。生物监测是环境监测的重要组成成分, 浮游植物不仅是环境监测的直接对象, 还可作为监测水体环境污染的重要手段<sup>[11]</sup>。

滇池、洱海、泸沽湖是云南的三大高原湖泊, 均属亚热带高原季风气候, 其中滇池是最大湖泊。七彩云南环境保护网水质月报<sup>[12]</sup>显示, 滇池草海为重度富营养化, 滇池外海为中度富营养化, 滇池综合水质类别为劣 V 类<sup>[13]</sup>。洱海是第二大湖泊, 水质为 GB3838-2002《国家地表水环境质量标准》<sup>[14]</sup>中的 III 类标准<sup>[15]</sup>, 是沿湖人民生活的主要水源。泸沽湖是我国西南边陲的一颗璀璨明珠, 是

云南海拔最高的深水湖泊, 水质为 I 类标准, 生态系统基本处于良性循环状态<sup>[16]</sup>, 是云南九大高原湖泊中水质最好的湖泊<sup>[17]</sup>。

本文旨在从滇池、洱海、泸沽湖三湖水水质类别、富营养化程度的差距上, 总结归纳近年来研究者们对三湖浮游植物的调查研究情况, 并对其进行分析讨论, 浅析湖泊水质类型、富营养化程度与浮游植物的种类、优势种、数量之间的关系, 为高原湖泊的深入研究提供参考。

## 2 三湖浮游植物研究近况综述

### 2.1 滇池

自 20 世纪 80 年代以来, 入湖污染物不断增加, 滇池水质为劣 V 类, 富营养化日趋严重, 1992 年蓝藻水华首次大面积暴发并持续至今<sup>[18-21]</sup>。每年 5—10 月藻类异常增殖, 在风力作用下, 大量蓝藻聚集于滇池外海北部, 湖岸形成浮游藻类厚度高达 10~20cm 的蓝藻水华<sup>[22]</sup>。代龚圆等<sup>[23]</sup>在滇池北部湖区共鉴定出浮游植物 74 属 97 种, 其中绿藻 53 种, 蓝藻 20 种, 硅藻 17 种, 金藻 2 种, 隐藻 2 种, 裸藻 2 种, 甲藻 1 种。蓝藻生物量在 12 月、3—6 月占优势, 12 月、1 月、3—5 月、6 月的优势种分别为绿色微囊藻 (*Microcystis viridis*)、颗粒直链藻最窄变种 (*Melosira granulata var. angustissima*)、水华束丝藻 (*Aphanizomenon flos-aquae*)、惠氏微囊藻 (*Microcystis wesenbergii*)。郭艳英等<sup>[24]</sup>2007—2011 年连续 5 年对滇池北岸浮游藻类进行的调查研究与 2006—2010 年的监测结果<sup>[25]</sup>一致, 共发现浮游藻类 102 种 (含变种), 隶属 7 门 31 属, 以绿藻门、蓝藻门、硅藻门为主。其中, 绿藻 51 种, 蓝藻门 22 种, 硅藻 20 种, 隐藻 3 种; 甲藻 2 种; 黄藻 1 种; 裸藻 3 种。绿藻门占种类数的 49.5%, 二者均与张梅等<sup>[22]</sup>2001—2002 年对滇池全湖的调查结果相近。藻类仍

收稿日期: 2014-03-24

作者简介: 张石文 (1987-), 女, 硕士, 主要从事高原湖泊浮游植物的调查与研究。

通讯作者: 董云仙 (1964-), 女, 高级工程师, 主要从事高原湖泊生态与保护研究。

以耐污型种类为主,即蓝藻门的微囊藻属 (*Microcystis*) 为常年优势种,其中以铜绿微囊藻 (*Microcystis aeruginosa*) 占绝对优势,这与前人调查结果基本相同<sup>[22,26]</sup>;从2001—2011年研究者们对滇池浮游植物调查研究的成果来看,滇池浮游植物结构特点及变化趋势与黄俊<sup>[27]</sup>的分析相近。草海藻类密度5年均均为9547万 ind/L,外海藻类密度5年均均为9233万个/L。整个滇池湖体藻类密度年平均值有上升趋势,2009年达到最高。其中滇池草海藻类年均值范围为4029~16351万 ind/L,外海藻类年均值范围为8008~12059万 ind/L,5年中无明显变化,总体趋于平稳。与过去相比,滇池草海和外海的藻类数量分别增加了2.34倍、2.36倍。滇池草海和外海藻类优势种变化已趋于一致,但优势种种类多样性增加,近岸区域藻类的多样性水平略低于远岸区域。滇池浮游植物群落是蓝藻占绝对优势的“蓝藻-绿藻型”,即蓝藻数量始终占优势,种类上又以绿藻和蓝藻占优势。藻类种类趋于向小型化、耐污型方向发展,小型藻类的种类及数量越来越多。这与滇池水体的水质下降及富营养化程度的加重密切相关。

## 2.2 洱海

Li L C<sup>[28]</sup>、Jao C C<sup>[29]</sup>、黎尚豪<sup>[30]</sup>对洱海的藻类做过报道,此后许多学者也做了相应的研究。其中董云仙较为系统、全面地报道了洱海的浮游藻类,共计8门89属192种<sup>[31~32]</sup>。洱海发生蓝藻水华后,关于洱海水华蓝藻的研究也不断增加,主要集中在水华蓝藻的群落生态、藻类密度监测方面<sup>[33~36,31]</sup>。洱海生态研究所<sup>[37]</sup>2011—2012年对洱海浮游植物群落结构及季节演替进行了周年调查,结果显示,洱海常见浮游植物有7门、80属、115种;即蓝藻24种,绿藻65种,硅藻16种,甲藻和裸藻各3种,金藻和隐藻各2种。春季的优势种为尖尾蓝隐藻 (*Chroomonas acuta*)、直链藻 (*Melosira sp.*)、钝脆杆藻 (*Fragilaria capucina*);夏季为直链藻、小环藻 (*Cyclotella sp.*)、转板藻 (*Mougeotia sp.*)、乌龙藻 (*Woronichinia sp.*)、惠氏微囊藻 (*Microcystis wesenbergii*);秋季为乌龙藻、游丝藻 (*Planctonema lauterbornii*);冬季为游丝藻、水华束丝藻 (*Aphanizomenon flos-aquae*)。浮游植物生物量的季节变化表现为秋季最高、夏冬季次之、春季低,最高值达5899万 ind/L,最低值为339万 ind/L。1996年以螺旋鱼腥藻为主的蓝藻水华在洱海首次大面积暴发,1998年以卷曲鱼腥藻 (*Anabaena spiroides*) 为主的水华再次大面积

暴发,2003年以铜绿微囊藻 (*Microcystis aeruginosa*) 为主的水华在局部海域暴发,2006年螺旋鱼腥藻 (*Anabaena spiroides*) 在水域大量出现,且形成水华。近年来,洱海蓝藻水华优势种发生了很大的变化。1996—2006年洱海蓝藻水华优势种为鱼腥藻<sup>[35,38]</sup>,2008—2010年则由鱼腥藻演变为微囊藻<sup>[39]</sup>。蓝藻门 (*Cyanophyta*) 种类数量仅占总种类数的16.2%,但数量却占洱海藻类群落总量的62%,形成群落优势种的有:铜绿微囊藻 (*Microcystis aeruginosa*)、水华束丝藻 (*Aphanizomenon flos-aquae*)、卷曲鱼腥藻 (*Anabaena spiroides*)、螺旋鱼腥藻 (*Anabaena spiroides*) 等,且铜绿微囊藻、螺旋鱼腥藻是形成水华、影响水功能的原因种<sup>[40~41]</sup>。从以往的研究<sup>[30,42~46]</sup>来看藻细胞数量不断增加。洱海水质已由20多年前的Ⅱ类发展到现在的Ⅲ类,由贫营养型逐步过渡到中营养型,并正在向着富营养型发展。洱海全湖水生态系统已经发生了较大变化,藻类大量繁殖,细胞密度增加,水体富营养化破坏了水体原有的生态系统平衡。

## 2.3 泸沽湖

从藻类学特征看湖泊水质状况,泸沽湖浮游植物种群结构和数量结构可直接反映出湖泊水体条件和营养状态<sup>[47~49]</sup>。董云仙<sup>[16]</sup>于2010年对浮游植物进行了季节调查。泸沽湖有浮游植物6门146种(含变种),种类组成和数量结构均以硅藻和绿藻为主,蓝藻种类少,无突出的优势种群,显示出泸沽湖浮游植物组成多样,结构复杂,生态系统处于良性循环状态。泸沽湖藻细胞浓度为17.8万~104.0万 ind/L,平均为41.43万 ind/L,泸沽湖的种群数量低,指示水体营养物质含量低、水质优良;常见种华丽星杆藻 (*Asterionella formosa*)、粗状双菱藻 (*Surirella robusta*)、扁圆卵形藻 (*Cocconeis placentula*)、小空星藻 (*Coelastrum microporum*)、柯氏并联藻 (*Quadrigula chodatii*)、短棘盘星藻 (*Pediastrum boryanum*)、密集锥囊藻 (*Dinobryon sertularia*)、飞燕角甲藻 (*Ceratium hirundinella*) 等皆为寡营养型 (*os*) 至  $\beta$ -*ms* 中营养型指示种;对水质条件要求高的狭生性种类丽藻 (*Nitella spp.*)、轮藻 (*Chara spp.*) 在泸沽湖全湖均有分布,而且生物量大,形成了大型浮游植物在湖中分布的最下限,显示出泸沽湖水质良好,生态系统处于良性循环状态。

## 3 分析与讨论

### 3.1 三湖水质、富营养化现状

根据中国环境监测总站(2001)090号文/湖泊(水库)富营养化评价方法及分级技术规定<sup>[50]</sup>和GB3838-2002《国家地表水环境质量标准》水质类别标准,目前滇池为劣V类,洱海稳定在Ⅲ类标准,泸沽湖保持在I类标准。

从20世纪80年代开始,滇池富营养化日渐严重,1992年蓝藻水华首次大面积暴发,水质现已降至劣V类,从“九五”期间开始就一直是全国重点治理的“三河三湖”之一。近20年来水华暴发频繁,且规模大、持续时间长,常在草海南部、海埂、暉湾等中北部形成大面积水华<sup>[51-52]</sup>。洱海

是全国城市近郊保护得最好的湖泊之一,但近年来,也正处于中营养向富营养湖泊的过渡阶段<sup>[53-54]</sup>。泸沽湖为我国第三深水湖,位于青藏高原东部,川滇之间的宁蒗县与盐源县接壤区,人类污染极少。从图1、图2、图3可知近年来三湖的透明度、总磷、总氮的年度变化趋势。透明度:泸沽湖>洱海>滇池(外海>草海);TP:滇池(草海>外海)>洱海>泸沽湖;TN:滇池(草海>外海)>洱海>泸沽湖。N、P等营养盐大量输入水体,为浮游植物的生存繁殖提供营养盐来源,致使浮游植物异常增殖。

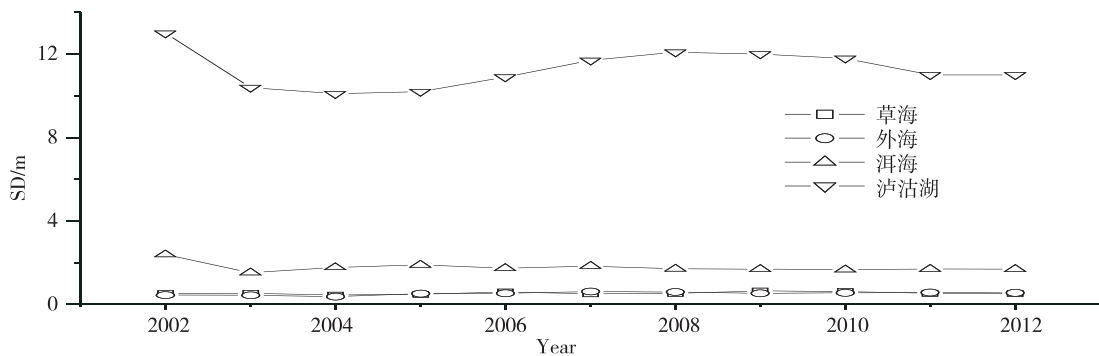


图1 滇池、洱海、泸沽湖透明度年度变化趋势图

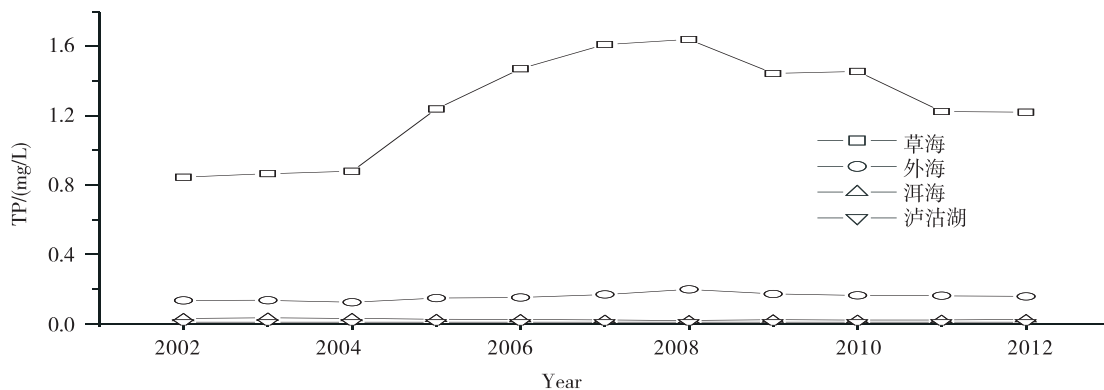


图2 滇池、洱海、泸沽湖总磷年度变化趋势图

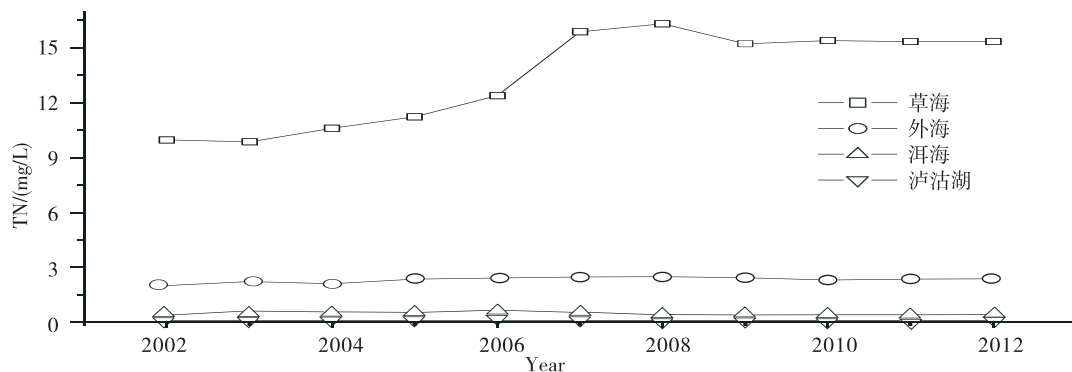


图3 滇池、洱海、泸沽湖总氮年度变化趋势图

### 3.2 种类组成结构与水质、富营养化的关系分析

滇池浮游植物种类组成为6门、30属、102种(含变种),绿藻门的种类所占比例最大,处于绝对优势。洱海浮游植物有7门、80属、115种(含变种);泸沽湖有浮游植物6门、72属、146种(变种)。湖泊是一个复杂的生态系统,浮游植物的组成结构相关的动态环境因子对其变化的影响错综复杂,不能单从单一的环境因子进行评价。从SD、TP、TN可知:水质类别:滇池劣V类>洱海II~III>泸沽湖I;富营养化程度:滇池>洱海>泸沽湖;浮游植物种类组成结构:滇池<洱海<泸沽湖。尤其引起关注的是洱海分布的布氏常丝藻(*Tychonema*),是在欧洲以外首次发现此种藻类,也是我国的新纪录种<sup>[57]</sup>。其被认为是出现在轻微富营养化湖泊中的浮游植物,其出现对洱海的水环境状况起到了指示作用。因此,湖泊水质的恶化及富营养化程度的加剧,在一定程度上影响了浮游植物的组成结构,致使其多样性下降,且逐渐朝着小型化、耐污型的蓝藻发展,同时富营养化越严重,蓝藻水华暴发的频率越高,持续时间越长,灾难越严重。

表1 3湖浮游植物种类组成结构 (种)

	滇池	洱海	泸沽湖
蓝藻门	22	24	11
金藻门	0	2	3
硅藻门	21	16	72
隐藻门	3	2	2
甲藻门	2	3	3
绿藻门	51	65	55
裸藻门	1	3	3
总计	102	115	146

### 3.3 浮游植物优势种与水质、富营养化的关系分析

滇池是主城区河道下游湖,也是整个昆明盆地的汇水中心,每年都有大量的污染物入湖,污染最为严重。滇池入湖河流共29条,其中进入草海的7条河均为劣V类水质,TN、TP超标严重,是草海最主要的污染源。另外22条河流进入滇池外海,滇管局2009年第4季度数据显示:2条河为II类,2条河为III类,4条河为IV类,3条河为V类,其余入湖河流水质均为劣V类<sup>[58-59]</sup>。滇池水体N、P的大量富集,为耐污性强的蓝藻提供了有利的繁殖条件。浮游藻类仍以耐污型种类为主,即蓝藻门的微囊藻属(*Microcystis*)为常年优势种,其中以铜绿微囊藻(*Microcystis aeruginosa*)占绝对

优势,这与前人调查结果基本相同;滇池水体形成蓝藻水华的物种多年来均未发生明显变化,依然为蓝藻门的微囊藻属。洱海流域内入湖河流大小共117条,湖库4个,均因地势以位于流域东南部的洱海为最终归宿,在营养盐的净输入量大体相同的情况下,加重了洱海的富营养化程度,致使蓝藻水华大面积暴发。洱海蓝藻水华优势种发生了很大的变化,1996—2006优势种为鱼腥藻,2008—2010年演替为微囊藻<sup>[40]</sup>。而处于贫营养化、水质良好的泸沽湖,入湖河流有18条,其中云南11条,四川7条。其水质符合国家地表水I类标准。无优势种<sup>[16]</sup>,均以喜好清洁水体的藻类为主,其常见种华丽星杆藻(*Asterionella formosa*)、粗状双菱藻(*Surirella. robusta*)、扁圆卵形藻(*Cocconeis placentula*)、小空星藻(*Coelastrum microporum*)、柯氏并联藻(*Quadrigula chodatii*)、短棘盘星藻(*Pediastrum boryanum*)、飞燕角甲藻(*Ceratium hirundinella*)、密集锥囊藻(*Dinobryon sertularia*)皆为寡营养型(os)至 $\beta$ -ms中营养型指示种;对水质条件要求高的狭生性种类丽藻(*Nitella spp.*)、轮藻(*Chara spp.*)在全湖均有分布,而且生物量大,显示出泸沽湖水质良好,生态系统处于良性循环状态。从上述分析可知,湖泊富营养化程度加剧,浮游植物种类趋于单一化、小型化演变,并且成为优势种,抑制了其它种类的生存,特别是滇池和洱海水华蓝藻均变为铜绿微囊藻,由于微囊藻的生理特性及耐污强的特点,使得湖泊蓝藻水华的控制与湖泊保护面临更大的挑战。

### 3.4 浮游植物的数量结构与水质、富营养化的关系分析

近年来滇池草海藻类年均值为4029万~16351万 ind/L,外海藻类年均值为8008万~12059万 ind/L,总体趋于平稳。洱海藻细胞浓度的季节变化表现为秋季最高、夏冬季次之、春季低,最高值5899.17万 ind/L,最低值为339.21万 ind/L。与以往相比,近年来洱海浮游植物生物量呈现上升趋势,多样性指数降低。泸沽湖浮游植物现存量17.8万~104.0万 ind/L,平均为41.43万 ind/L,泸沽湖的种群数量低,指示水体营养物质含量低、水质优良。相比之下,滇池浮游生物数量高出泸沽湖近3个数量级,与洱海相差1~2个数量级,在蓝藻水华暴发时,二者相近,洱海又比泸沽湖高1~2个数量级。因此,滇池、洱海、泸沽湖浮游生物数量结构呈现的梯度差与三湖的水质类别及富营



养化程度的梯度变化趋势相一致。

总而言之，湖泊水质类别的下降，富营养化程度的加重，使得浮游植物的种类组成结构、优势

种、数量结构均发生相应的变化（见表2），同时也表明浮游植物对湖泊水质类型、富营养化程度起指示作用。

表2 3湖浮游植物与水质、富营养化的关系

	指标			水质类别	营养状态	藻			
	SD/m	TP/ (mg/L)	TN/ (mg/L)			种类	优势种	数量/ (万 ind/L)	
滇池	草海	0.42	1.212	10.08	劣V类	中度富营养		9547	
	外海	0.46	0.172	2.24	劣V类	中度富营养	102	微囊藻	9293
洱海		1.86	0.028	0.55	II类	中营养	115	微囊藻、鱼腥藻	1760
泸沽湖		11.0	< 0.01	0.1	I类	贫营养	146		41.43

#### 4 小结与展望

浮游植物与水体质量的关系密切，不同类群对水环境变化的敏感性及其适应性各异<sup>[1~2,58]</sup>。其变化可作为环境变化的指示。本文通过对近年来研究者们对滇池、洱海、泸沽湖三个湖泊的浮游植物的研究结果的归纳总结，得出以下结论：

(1) 浮游植物种类组成结构：滇池 < 洱海 < 泸沽湖。浮游植物能很好地反映湖泊水质和富营养化状况，即浮游植物种类的减少，物种多样性的下降，表明湖泊水质恶化及富营养化加重。

(2) 滇池、洱海浮游植物趋于向单一化、小型化、耐污化发展，尤其是水华暴发时，微囊藻 (*Microcystis*) 成为优势种，而泸沽湖无优势种，均以喜好清洁水体的藻类为主。

(3) 滇池、洱海、泸沽湖的藻细胞浓度分别为：6715 万 ~ 47015 万 ind./L、1987.17 万 ind/L、41.43 万 ind/L。其数量结构呈现的梯度差与三湖的水质类别及富营养化程度的梯度变化趋势相一致。富营养化越高的湖泊，浮游植物的密度越大，这与龚志军<sup>[59]</sup>的研究结果相近。藻细胞浓度增大，水华暴发的风险和频率增大。

浮游植物作为水生生态系统的重要组成部分，其种类和数量的差异不仅反映水质生态情况，还影响着水环境的健康稳定发展，对整个水生生态系统的平衡稳定、富营养化的遏制起到不可或缺的作用。以往由于认识不足，对浮游植物种类组成结构、优势种、数量结构的研究相对滞后，因此，在今后的研究中应密切关注湖泊水质、富营养化程度与浮游生物种类组成结构、优势种、数量结构间的变化关系。只有理化监测与生物监测相结合，才能更加全面、系统和及时地评价水质的变化趋势。

#### 参考文献：

- [1] Reynolds C. Phytoplankton periodicity: the interactions of form and function with environmental variability [J]. *Freshwater Biology*, 1984, (14): 111-142.
- [2] Reynolds C. *The Ecology of Freshwater Phytoplankton* [D]. Cambridge University Press, Cambridge, 1984: 384.
- [3] Smith. For information on global Primary Productivity [J]. *Science*, 1992, (2): 255-259.
- [4] Andrzej S. W., Malgorzata G., Tadeusz P. The relationship between the spatial distribution of fish, zooplankton and other environmental parameters in the Solina reservoir, Poland [J]. *Aquatic Living Resources*, 2000, (13): 373-377.
- [5] 王雯. 城市富营养化水体浮游植物群落结构初步研究 [D]. 天津: 南开大学, 2004.
- [6] Nilssen J. P. Tropical lakes - functional ecology and future development: the need for a process-oriented approach [J]. *Hydrobiologia*, 1984, 11 (3): 231-242.
- [7] 章宗涉, 黄祥飞. 淡水浮游生物研究方法 [M]. 北京: 科学出版社, 1991.
- [8] 本书编委会. 水和废水监测分析方法 (第四版) [M]. 北京: 中国环境科学出版社, 2002: 649-657.
- [9] 蔡庆华. 武汉东湖浮游生物间相互关系的多元分析 [J]. *中国科学院研究生院学报*, 1995, 12 (1): 97-102.
- [10] 黄祥飞, 胡春英, 伍焯田. 武汉东湖的轮虫 [J]. *水生生物学报*, 1985, 9 (2): 129-143.
- [11] 张晓伊, 杨建设. 以浮游生物评价水体质量一试用浮游生物种群及数量评价张公山大唐水质 [J]. *安徽农业技术师范学院学报*, 1998, 12 (2): 30-33.
- [12] <http://www.ynepb.gov.cn/>.
- [13] 张杰. 洱海氮磷时空分布特征及其外源负荷研究 [D]. 大理: 大理学院, 2011.
- [14] GB3838-2002, 国家地表水环境质量标准 [S].
- [15] 赵萍萍, 卫志宏. 洱海浮游桡足类群落结构对季节性休渔的响应 [J]. *应用与环境生物学报*, 2012, 18 (3): 421-425.
- [16] 董云仙, 谭志卫, 郭艳英. 泸沽湖浮游植物的初步研究 [J]. *水生态学杂志*, 2012, 3 (33): 46-51.
- [17] 王志芸. 泸沽湖流域水环境承载力研究 [J]. *环境科学导*

- 刊, 2010, 29 (2): 39-44.
- [18] 文航, 蔡佳亮, 苏玉. 滇池流域入湖河流丰水期着生藻类群落特征及其与水环境因子的关系 [J]. 湖泊科学, 2011, 23 (1): 40-48.
- [19] Liu ZH, Liu XH, He B. Spatio-temporal change of water chemical elements in Lake Dianchi China [J]. Water and Environment Journal, 2009, 23 (3): 235-244.
- [20] Lu JJ, Yang H, Gao L. Spatial variation of P and N in water and sediments of Dian chi Lake [J]. Pedosphere, 2005, 15 (1): 78-83.
- [21] 高丽, 杨浩, 周健民. 滇池沉积物磷内负荷及其对水体贡献的研究 [J]. 环境科学学报, 2004, 24 (5): 776-781.
- [22] 张梅, 李原, 王若南. 滇池浮游植物的生物多样性调查研究 [J]. 云南大学学报 (自然科学版), 2005, 27 (2): 170-175.
- [23] 代龚圆, 李杰, 李林, 等. 滇池北部湖区浮游植物时空格局与相关环境因子 [J]. 水生生物学报, 2012, 36 (5): 946-956.
- [24] 郭艳英, 何锋, 李爱军. 滇池北岸蓝藻富集区浮游藻类多样性及主要污染因子时空变化研究 [J]. 安徽农业科学, 2012, 40 (36): 17781-17783.
- [25] 张晓伊, 杨建设. 以浮游生物评价水体质量-试用浮游生物种群及数量评价张公山大唐水质 [J]. 安徽农业技术师范学院学报, 1998, 12 (2): 30-33.
- [26] 刘丽萍. 滇池水华特征及成因分析 [J]. 环境科学研究, 1999, 12 (5): 36-37.
- [27] 黄俊. 滇池湖泊浮游植物变化趋势分析 [J]. 环境科学导刊, 2012, 31 (5): 35-37.
- [28] Li L C. Freshwater algae of the Yunnan expedition 1935-1937 [J]. Bul. 1 Fan. Inst. Bio, 1939, 9 (4): 32-38.
- [29] Jao C C. Prasiola yunnanica sp [J]. Nov. Bot. Bul. 1 Acad. Sin, 1947, 1 (2): 47-52.
- [30] 黎尚豪, 俞敏娟, 李光正. 云南高原湖泊调查 [J]. 海洋与湖沼, 1963, 5 (5): 12-18.
- [31] 董云仙. 洱海藻类的初步研究 [A]. 本书编委会. 云南洱海科学论文集 [C]. 昆明: 云南民族出版社, 1989.
- [32] 谢立鹤, 董云仙. 论洱海流域可持续发展 [J]. 云南环境科学, 2003, 22 (增刊): 27-29.
- [33] 杜宝汉. 洱海生态环境恶化及综合治理对策研究 [J]. 海洋与湖沼, 1994, 25 (3): 151-156.
- [34] 杜宝汉. 洱海富营养化研究 [J]. 云南环境科学, 1997, 16 (2): 142-146.
- [35] 董云仙. 洱海蓝藻水华研究 [J]. 云南环境科学, 1999, 18 (4): 28-31.
- [36] 白建坤, 苏文良. 从我省主要湖泊的保护状况看洱海的保护工作启示、思考与行动 [A]. 白建坤. 大理洱海科学研究 [C]. 昆明: 民族出版社, 2003.
- [37] 卫志宏, 张利仙, 杨四坤. 洱海浮游植物群落结构及季节演替 [J]. 水生态学杂志, 2012, 4 (33): 21-25.
- [38] 潘晓洁, 常锋毅, 康丽娟. 洱海鱼腥藻优势种的形态鉴定 16S-rDNA 基因序列分析 [J]. 武汉植物学研究, 2008, 2 (3): 32-28.
- [39] 况琪军, 马沛明, 胡征宇. 湖泊富营养化的藻类生物学评价和治理研究进展 [J]. 安全与环境学报, 2005, 5 (2): 87-91.
- [40] 文红星, 马根连. 2008-2010年洱海水质及藻类初步分布 [J]. 环境科学与管理, 2011, 36 (11): 44-48.
- [41] 董云仙. 洱海蓝藻水华研究 [M]. 昆明: 云南民族出版社, 2003: 389-392.
- [42] 孔繁翔, 胡维平, 谷孝鸿. 太湖梅梁湾2007年藻类水华大规模爆发原因分析及应急措施建议 [J]. 湖泊科学, 2007, 19 (4): 357-358.
- [43] 邓新宴, 许继宏, 王若南. 大理洱海藻类植物研究 [J]. 云南大学学报, 1988, 10 (1): 55-59.
- [44] 吴庆龙, 王云飞. 洱海生物群落的历史演变分析 [J]. 湖泊科学, 1999, 11 (3): 267-273.
- [45] 李泽红. 洱海流域水污染预测与对策研究 [D]. 昆明: 昆明理工大学, 2006.
- [46] 王芸. 洱海夏秋季蓝藻种群动态变化及水华成因分析 [J]. 大理学院学报, 2008, 12 (7): 39-42.
- [47] B. 福迪. 藻类学 [M]. 上海: 上海科学技术出版社, 1981.
- [48] 卢全章译. 环境和指示生物 (水域分册) [M]. 北京: 中国环境科学出版社, 1987.
- [49] 周春丽. 滇池浮游生物周年演替及其重污染湖湾生态修复前后浮游生物的变动规律 [D]. 武汉: 中国科学院水生生物研究所, 2009.
- [50] 中国环境监测总站 (2001) 090号文/湖泊 (水库) 富营养化评价方法及分级技术规定 [Z].
- [51] 金相灿, 辛玮光, 卢少勇. 入湖污染河流对受纳湖湾水质的影响 [J]. 环境科学, 2007, 20 (4): 52-56.
- [52] 陈永川, 汤利, 张德刚. 滇池叶绿素 a 的时空变化及水体磷对藻类生长的影响 [J]. 农业环境科学学报, 2008, 27 (4): 1555-1560.
- [53] 常锋毅, 潘晓洁, 康丽娟. 洱海螺旋鱼腥藻生长生理特性的初步研究 [J]. 水生生物学报, 2009: 385-390.
- [54] 李杰君. 洱海富营养化探析及防治建议 [J]. 湖泊科学, 2001, 13 (2): 187-192.
- [55] 卫志宏, 朱梦灵, 虞功亮. 洱海的浮游蓝藻布氏常丝藻及其分类学的讨论 [J]. 水生生物学报, 2012, 6 (36): 1071-1075.
- [56] 杨逢乐, 金竹静. 滇池北岸河流水环境污染现状及防治对策研究 [J]. 环境科学导刊, 2008, 27 (6): 43-46.
- [57] 谭夔, 陈求稳, 朱传保, 等. 滇池大清河河口二维水环境模型研究与应用 [J]. 环境科学学报, 2009, 29 (3): 634-640.
- [58] 孔繁翔, 曹焕生, 谭啸. 水华蓝藻复苏的研究进展与水华预测 [J]. 环境监控与预警, 2010, 2 (1): 1-4.
- [59] 龚志军, 谢平, 唐汇涓. 水体富营养化对大型底栖动物群落结构及多样性的影响 [J]. 水生生物学报, 2001, 25 (3): 210-216.

(下转第44页)

# 程海流域生态系统服务功能价值评估

赵 润, 董云仙, 谭志卫

(云南省环境科学研究院, 云南省高原湖泊流域污染过程与管理重点实验室, 云南 昆明 650034)

**摘 要:**以程海流域为研究对象, 依据已有研究经验利用市场价值法、替代花费法、碳税法 and 造林成本法、成果参照法对程海流域生态系统服务功能价值进行评估。结果表明, 程海流域总的生态系统服务功能价值为 39.26 亿元/a, 其中, 涵养水源价值最高, 占总服务价值的 32.0%, 第二位是净化水体价值 (占 28%), 第三位是调节气候价值 (占 16%), 第四位是社会文化功能价值 (占 13%), 其次分别是: 生物资源价值、科教旅游价值、生物栖息地价值和提供水资源价值。

**关键词:**流域; 生态系统; 服务功能; 价值评估; 程海

**中图分类号:** X52 **文献标识码:** A **文章编号:** 1673-9655 (2014) 04-0019-05

## 1 引言

程海湖盆地地处青藏高原与云贵高原的衔接部位, 云南省丽江市永胜县中部, 世界自然遗产“三江并流”金沙江中段, 地理坐标为东经  $100^{\circ}38' \sim 100^{\circ}41'$ , 北纬  $26^{\circ}27' \sim 26^{\circ}38'$ , 距丽江市古城区约 102km, 距永胜县城约 45km。程海大约形成于新生代第三纪中期 (距今 1200 万年以前), 是喜马拉雅期造山运动形成断裂地堑, 中陷低凹之处聚水成湖。原来曾经是一个外流湖, 湖水通过程河 (又名斯纳河) 向南余千米流入金沙江。大约 1690 年前后, 程海湖水位突然下降, 成为内陆湖泊。程海流域面积  $318.3\text{km}^2$ , 其中陆地面积  $242.2\text{km}^2$ , 水面积  $75.1\text{km}^2$ 。湖南北长 19.15km, 东西最大宽度 5.2km, 平均宽度 4.3km, 湖岸线长 45.1km, 蓄水量 19.8 亿  $\text{m}^3$ , 平均水深 25.7m, 最大水深 35.1m。程海是云南九大高原湖泊中第四大高原淡水湖泊, 是世界上三大螺旋藻养殖基地之一, 是云南省特色生物产业发展基地。程海流域蕴含丰富的淡水资源、生物资源、生物多样性资源, 为当地居民提供赖以生存的自然资源和经济来源, 也为当地的特有物种提供赖以生存的栖息地。

## 2 程海流域生态服务功能价值评估方法选择

### 2.1 市场价值法

市场价值法能够较为直观和准确地依据商品具有的经济价值来计算出生态系统服务功能中具有商品属性的或者能够转换为具有市场价格的潜在商品价值。

程海流域的水资源, 生物资源大多具有能够转换的商品属性或是能够获得直接的经济收入 (如渔业、畜牧业、养殖业等), 因此可以利用市场价值法进行价值评估。

### 2.2 替代花费法

替代花费法利用替代工程的建造费用来计算现有生态系统服务功能的某项价值, 用一种转换的角度替代和评估现有的抽象生态服务功能。程海的涵养水源能力可以借助这种方法, 利用假设建造的水库价格来估算程海的涵养水源价值。

### 2.3 碳税法 and 造林成本法

碳税法是国际上较为流行的生态系统服务功能价值评估方法之一, 根据光合作用方程, 利用程海流域干物质生产量来换算湿地植物固定  $\text{CO}_2$  和释放  $\text{O}_2$  的量。根据国际对  $\text{CO}_2$  排放收费标准以及我国造林成本价格, 得以将生态指标换算成经济指标, 得出固定  $\text{CO}_2$  的经济价值; 再利用我国现有工业氧气价格计算出释放氧气价值。

### 2.4 成果参照法

成果参照法是在数据庞大复杂难以获得, 或是需要巨大人力财力的情况下利用前人对某些区域或地区的研究成果, 利用间接的经济评价方法来计算生态系统的服务功能价值, 成本低且能够得到近似的结果。程海流域的文化研究价值, 生物的栖息地价值和社会文化功能价值可以通过全球和国内湿地湖泊的相关成果参照进行价值评估。

## 3 程海流域生态服务功能评估体系建立

国内对湖泊生态系统服务功能的价值研究还处于探索阶段, 因各地区经济发展水平的不同, 资源

收稿日期: 2014-03-03

作者简介: 赵润, 女, 硕士研究生, 主要从事环境经济及环境管理研究。

丰富程度和社会需求的不同,在服务功能的价值评估上会有较大出入。湖泊生态系统功能具有特殊的复杂性,其各要素之间又存在着相互制约、相互作用的特点。在价值评估的原则上应系统性代表整个湖泊生态系统,避免重复计算,选取指标应具有功

能代表性,并且选取可量化和操作的经济价值指标。

根据湖泊生态系统服务功能价值评估的特点,结合国内外的研究成果和发展方向,将程海湖生态服务功能价值评估方法概括为表1。

表1 程海湖生态服务功能价值评估方法

价值分类	生态功能价值	价值评价方法	评估标准
经济价值	水资源价值 生物资源价值	市场价值法	从直接受到影响的物品的相关市场信息中获得支付意愿或接受赔偿意愿估值的方法
	科研文化价值	成果参照法	全球湿地科考旅游的功能价值 861 美元/hm <sup>2</sup> , 中国湿地科研文化价值 382 元/hm <sup>2</sup>
环境价值	气候调节价值	碳税法和造林成本法	利用光合作用方程式,计算出单位干物质生产量所吸收的 CO <sub>2</sub> 和释放的 O <sub>2</sub> , 并根据国际对 CO <sub>2</sub> 排放收费标准将生态指标换算成经济指标,得出固定 CO <sub>2</sub> 的经济价值和释放 O <sub>2</sub> 的价值
	生物栖息地价值	成果参照法	采用 Costanza 等 <sup>[1]</sup> 的研究成果,全球湿地的单位面积避难所价值 304 美元/hm <sup>2</sup>
	水体净化价值	成果参照法	采用 Costanza 等 <sup>[1]</sup> 的研究成果,即全球湿地生态系统的降解污染功能的平均单位面积价值为 4177 美元/hm <sup>2</sup> ·a
社会文化价值	涵养水源价值	替代花费法	以人工建造一个工程来替代生态功能或原来被破坏的生态功能的费用
	文化价值, 历史价值, 美学价值, 遗产价值	成果参照法	采用 Costanza 等 <sup>[1]</sup> 的研究成果,湖泊平均社会文化价值 8495 美元/hm <sup>2</sup>

#### 4 指标优选与量化

##### 4.1 供水资源价值

程海属于大型湖泊,蕴藏丰富的水资源。水作为一种特殊的生态资源支撑着整个地球生命系统,不仅提供了维持人类生活生产活动的基础产品,同时也维持着自然生态系统结构。程海湖的淡水资源起到补充和调节合川径流和地下水量的作用,也为程海湖流域人类的生活提供基础保障。程海湖水资源丰富,肩负着当地生产、生活和农业灌溉的供水使命。水质的好坏直接影响到周边地区居民的生活稳定和经济发展。水资源价值的评估在市场经济里可以借助水资源的市场价格进行估算,此种估算方法虽然不能完全体现出水资源在整个生态系统中的完全价值,但一定程度上可以代表在市场经济中人类对水资源的直接需求产生的价值,即利用市场价值法来评估程海湖流域的供水资源价值。

即:程海湖水资源价值 = 水资源费 × 供水量

农田灌溉耗水量、农村生活耗水量、螺旋藻养殖及农产品加工耗水量、提水量共同构成了程海湖流域年度人类活动耗水量,为 2537.4 万 m<sup>3</sup>。根据云南省现行水资源价格标准 0.1 元/m<sup>3</sup> 计算出程海湖流域水资源供水价值为 0.0254 亿元。

##### 4.2 生物资源价值

##### 4.2.1 浮游生物资源

程海湖浮游植物的平均年生物量产量为 5220kg。

$$F = [m \times (P/B) \times a] / E \quad [3]$$

式中:  $m$  为生物调查平均生物量 (kg/km<sup>2</sup>);  $P/B$  为主要饵料生物现存量与生物量之比;  $a$  为饵料利用率;  $E$  为饵料系数。

程海湖蓄水量 19.8 亿 m<sup>3</sup>,程海湖面积 75.1km<sup>2</sup>。

$$m = 69.51\text{kg}/\text{km}^2, P/B = 50, a = 20\%, E = 30$$

$F = 23.17\text{kg}/\text{km}^2$ ,折合渔产潜力 1.74t/a。程海湖银鱼量占优,按市场鱼类价格估算结果的平均值 50 元/kg,扣除由于藻类过度繁殖所造成的水质环境和生态系统质量价值损耗,治理藻类污染所造成的环境保护投入,折半计算程海湖浮游植物资源价值,计算得到程海湖浮游植物资源价值为 4.35 万元/a。

##### 4.2.2 大型水生植物资源

湖泊生态系统中,水生植物具有净化水质、提供栖息地、提供饵料等多重功能。为避免重复计算,本节仅计算作为鱼类的饵料的生态价值,用折算的方式先折算成人工饲料,一般折算系数为 0.033。程海湖年平均大型水草类植物生产量为

306.01t (2010年《程海湖生态系统研究》调查结果),折合人工饲料10.10t/a。按照饲料的平均市场价格20元/kg计算,大型水草类植物资源价值为20.2万元/a。

然而程海湖流域2010年水生植被资源量与1992年同期相比相当于1992年的6.6%,1992年程海湖大型水草类植物生产量为4636.52t,资源价值可达到306.06万元/a。

#### 4.2.3 渔业资源价值

程海湖内鱼类组成较多且无物种辐射分化,鱼类资源丰富。由于该类产品已经参加了市场交换,可以按照市场价格予以评价。根据1988—2012年程海出售渔业产品收入得出渔业资源价值量及其变化趋势,见图1。

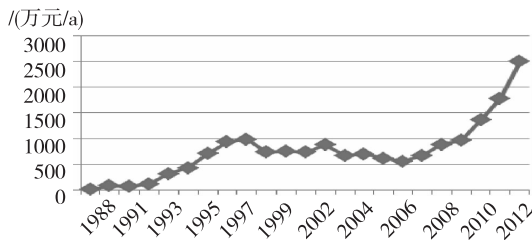


图1 程海渔业资源价值

由于人口增多和人们生活水平的提高,对程海渔业资源的需求更加强烈,同期,程海渔业资源价值也呈现出上升趋势,特别是进入21世纪以来,上升趋势更加明显,到2012年,已经达到0.25亿元/a。

#### 4.2.4 螺旋藻资源价值

作为以螺旋藻养殖业为支柱产业之一的程海流域,程海流域有多家螺旋藻养殖企业,年生产力达750t干藻粉,形成了世界上最大的螺旋藻养殖基地之一。据扣除劳动生产成本后的保守估计,按螺旋藻干藻粉的市场价格54元/kg计算,螺旋藻的资源价值为0.35亿元/a。

#### 4.2.5 种植业产品价值

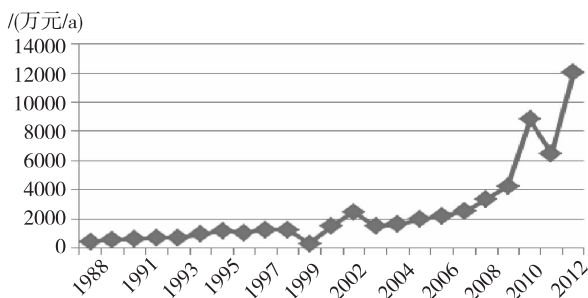


图2 程海种植业产品价值

程海流域第一产业以种植业为主,发展了甘蔗、生姜、大蒜等地方优势作物,还种植烤烟、柑

橘、龙眼等。根据1988—2012年程海流域出售种植业产品收入,得出程海流域种植业产品价值见图2。

#### 4.2.6 畜牧业产品价值

程海流域畜牧业的发展主要集中在兴义、河口、兴仁、海腰和季官等村委会,尤其以黑山羊的养殖较多。全湖区黑山羊存栏23280只,大牲畜24668头(匹、只),成为稳定农村经济收入的一项重要产业。1988—2012年出售畜牧业产品如图3所示,可估算出程海流域畜牧业产品价值呈增长趋势,在2012年达到0.32亿元/a。

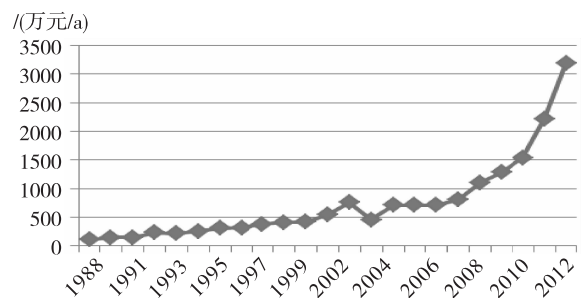


图3 程海畜牧业产品价值

#### 4.2.7 森林木材价值

程海流域森林木材价值可根据每年出售的林业产品收入进行估算,如图4所示。

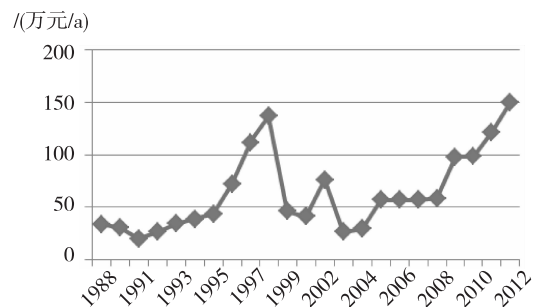


图4 程海流域森林木材价值

程海流域森林木材价值在1997年曾经达到0.011亿元/a,而后经历一个波动过程,2000年下降至最低谷,进入21世纪呈现上升趋势,到2012年增长到0.015亿元/a。

#### 4.3 科教旅游价值

程海湖湿地景色秀丽、空气清新、生物多样性丰富,是开展湿地科研和旅游休闲娱乐的好去处。程海是封闭型高原湖泊,水化学类型特殊,科学研究价值高;中国永胜边屯文化博览园—白云山文化景观区—金兰生态旅游示范村—洱葭疗养中心—小阳堡乡村俱乐部—海北休闲农庄—海东有机农产品示范基地—螺旋藻产业园区的程海休闲景观环线逐渐形成,流域文化资源丰富。全球单位面积湿地生态

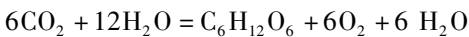
系统的文化研究价值和我国单位面积湿地生态系统的文化研究价值两者的平均值可以作为估算程海流域文化研究价值的近似值,通过成果参照法来评估程海湖流域的社会文化价值。

根据 Costanza 等 (1997) 对于湿地的研究成果,全球湿地生态系统科教旅游的功能价值为 861 美元/( $\text{hm}^2 \cdot \text{a}$ ), (汇率按照 1 美元 = 8.28 元计算,下同)折合人民币约为 7129.08 元/( $\text{hm}^2 \cdot \text{a}$ ),中国单位面积生态系统的平均科研价值的平均值为 382 元/( $\text{hm}^2 \cdot \text{a}$ )。以其二者的平均值作为程海湖科考旅游的单位价值,折合人民币约为 3755.54 元/( $\text{hm}^2 \cdot \text{a}$ )。程海湖流域总面积约为 31830 $\text{hm}^2$ ,计算出程海湖的科教旅游价值为 1.195 亿元/a。

#### 4.4 调节气候价值

程海这一大型湖泊生态系统,发挥着金沙江干热河谷地区的程海流域调节气候的功能。调节气候的价值主要是指湿地固定和释放  $\text{O}_2$ ,减少温室气体排放,降温增湿。湖泊生态系统可以通过光合作用与外界交换  $\text{CO}_2$  和  $\text{O}_2$ ,从而得以同化空气使大气中的  $\text{CO}_2$ 、 $\text{O}_2$  含量保持相对稳定。

光合作用的化学方程式为:



根据光合作用的化学方程式不难看出:植物每生产 1g 干物质需要吸收  $\text{CO}_2$  1.6296g,折合成纯碳 0.4447g,释放 1.1914g $\text{O}_2$ 。

程海湖流域位于亚热带北部常绿阔叶林,目前,现有林地面积 1571 $\text{hm}^2$ ,灌木林地 4410 $\text{hm}^2$ 。植被的平均净生产量取值 14.5t/( $\text{hm}^2 \cdot \text{a}$ )<sup>[2]</sup>,由此可估算出植被净生物量为 130.09 万 t/a。固定  $\text{CO}_2$  211.99 万 t,折合纯碳 31.78 万 t,释放  $\text{O}_2$  154.99 万 t。以国际碳税的平均值 583 元/t 作为碳税标准,计算出程海流域植被固定  $\text{CO}_2$  价值为 1.85 亿元/a。以我国目前工业氧的现价 400 元/t 作为单位价值,计算出程海流域植被释放  $\text{O}_2$  价值为 6.20 亿元/a。

#### 4.5 生物栖息地价值

生物栖息地为多种生物生存繁衍提供栖息地和天然避难所,对维持生物多样性十分重要。根据文献记录和野外调查,程海共记录有鱼类 24 种,隶属于 6 目 12 科 24 属。目前程海仍然生存有土著鱼类 10 种,分别为杞麓鲤 (*Cyprinus (C.) carpio chilia*)、鲫鱼 (*Carassius auratus*)、程海白鱼 (*Anabarelius liui chenghaiensis*)、程海红鲃 (*Erythroculter*

*mongolicus elongatus*)、中华倒刺鲃 (*Spinibarbus sinensis*)、宽鳍鱮 (*Zacco platypus*)、圆吻鲴 (*Distoichodon tumirostris*)、泥鳅 (*Misgurnus anguillicaudatus*)、南方大口鲶 (*Silurus soldatovi meridionalis*) 和黄鳝 (*Monopterus albus*)。其中程海白鱼和程海红鲃目前成为程海的珍贵经济鱼类,价格不菲。根据云南省环境科学研究院 2009—2010 年全湖普查结果,在程海湖边共观察记录到水鸟 35 种,分属 7 目 11 科,占云南省水鸟物种总数 (117 种) 的 29.9%。程海共有冬候鸟 26 种;旅鸟 4 种;留鸟 3 种;夏候鸟 2 种。优势种为骨顶鸡 (*Fulica atra*);常见的物种有 13 种:凤头鸊鷉 (*Podiceps cristatus*)、赤颈鸭 (*Anas penelope*)、赤膀鸭 (*Anas strepera*)、红嘴鸥 (*Larus ridibundus*)、小鸊鷉 (*Podiceps ruficollis*)、白鹭 (*Egretta garzetta*)、绿翅鸭 (*Anas crecca*)、绿头鸭 (*Anas platyrhynchos*)、赤嘴潜鸭 (*Netta rufina*)、红头潜鸭 (*Aythya ferina*)、白眼潜鸭 (*Aythya nyroca*)、凤头麦鸡 (*Vanellus vanellus*)、金眶鸻 (*Charadrius dubius*)。根据 Costanza 等对全球湿地的研究成果:全球湿地的生物避难所单位平均价值为 304 美元/ $\text{hm}^2$ ,折合人民币约为 2517.12 元/( $\text{hm}^2 \cdot \text{a}$ ),程海湖流域总面积约为 31830 $\text{hm}^2$ ,则程海湖生物多样性价值为 0.8 亿元。

#### 4.6 净化水体价值

湖泊有一定的自净能力,能够去除多种排入水体的污染物,目前尚没有较为完善和成熟的价值评估方法,此处程海流域降解污染功能采用 Costanza 等的研究成果,即全球湿地生态系统的降解污染功能的平均单位面积价值为 4177 美元/( $\text{hm}^2 \cdot \text{a}$ ),折合人民币 34585.56 元/( $\text{hm}^2 \cdot \text{a}$ ),程海湖流域面积 31830 $\text{hm}^2$ ,计算出程海湖流域净化水体价值为 11 亿元。

#### 4.7 涵养水源价值

程海湖历史蓄水量 19.8 亿  $\text{m}^3$ ,根据庄大昌等的研究,建造单位蓄水库容成本为 0.67 元/ $\text{m}^3$ ,用工程替代法计算程海涵养水源价值为 19.8 亿  $\text{m}^3 \times 0.67$  元/( $\text{m}^3 \cdot \text{a}$ ) = 13.3 亿元/a。由于无仙人河饮水补给,程海湖体储水量从 2004 年的 19.3574 亿  $\text{m}^3$  减少到 2009 年的 18.7457 亿  $\text{m}^3$ ,程海湖涵养水源的价值从 2004 年的 13 亿元减少到 12.59 亿元。

#### 4.8 社会文化功能价值

根据 Costanza 等对世界湿地生态系统平均社会

文化价值的评估, 湖泊价值 8495 美元/ ( $\text{hm}^2 \cdot \text{a}$ ), 折合人民币 70338.6 元/ ( $\text{hm}^2 \cdot \text{a}$ ), 程海湖面积  $7510\text{hm}^2$ , 估算出程海湖的社会文化价值 =  $70338.6 \times 7510 = 5.28$  亿元/a。

### 5 程海流域生态系统服务功能价值结果分析

由以上各项结果统计可以得到程海流域总的生态系统服务功能价值为 39.26 亿元/a。其中, 生态系统服务功能价值占第一位的是涵养水源价值 (占总服务价值的 32.0%), 第二位是净化水体价值 (占 28%), 第三位是调节气候价值 (占 16%), 第四位是社会文化功能价值 (占 13%), 以下分别是: 生物资源价值占 6%, 科教旅游价值 3%, 生物栖息地价值占 2%, 提供水资源价值占 0.06%。

以 2012 年为基准年计算程海流域生态系统服务价值, 年价值达到 39.26 亿元, 是同期流域内经济总收入的 14 倍。显示出程海流域生态系统以隐性价值占主要地位, 其潜在价值不可小觑, 这是大自然赋予人类的宝贵资源。如以单位面积折算, 程海流域单位面积生态系统服务功能为 1249.6 万元/ ( $\text{km}^2 \cdot \text{a}$ ), 高出已有研究的艾比湖、白洋淀、乌梁素海、洪泽湖等。

生态系统服务功能价值评估体现了生态系统在市场当中被低估的服务功能价值, 当市场在生态系统服务功能价值评估中失灵时, 能够给资源的管理者提供不能体现的生态系统经济价值。程海流域具有丰富的生态系统服务价值, 仅仅以市场价格来推动和进行经济决策不具有可持续发展的长远性, 生

态环境、生态系统具有的潜在经济价值往往远远超出其可见的市场价值。怎样去保护生态系统具有的巨大潜在价值引人深思。在市场经济为中心的中国经济体制下, 以牺牲生态环境为代价的经济发展模式渐渐式微, 怎样有效减缓其价值的降低进程需要当地民众、管理人员和主要决策者提高环境意识, 更需要前瞻性的保护理念。

程海流域具有个体的特殊性, 也具有十分明显的生态脆弱性。由于程海流域人口还将进行最后的扩张, 随着人们生活水平的提高, 对食物的需求是环境变化的主要驱动因子。农业还要大力发展, 生境破坏、水消耗和农业污染的速度还将增加, 这些会给生态系统带来越来越巨大的威胁。这些可能引起空前的生态系统简单化和功能退化, 这些变化在发展中国家将更加严重, 程海也面临同样的问题。对当地的环境管理需因地制宜, 在此基础上制定合理的法律法规来保障生态环境不遭受严重的破坏。民众及管理者的利益相关者之间需要充分沟通, 只有在大众的支持下才能制定出真正有利于减缓生态系统破坏以及促进生态系统修复的措施。

#### 参考文献:

- [1] Costanza R, D Arge R, DE Groot R, et al. The value of the world's ecosystem services and natural capital [J]. Nature, 1997, 387 (15): 253 - 260.
- [2] 方精云, 刘国华. 我国森林植被的生物量和净生产量 [J]. 生态学报, 1996, 16 (5): 497 - 508.
- [3] 张觉民. 黑龙江系渔业资源 [M]. 哈尔滨: 黑龙江人民出版社, 1986.

## Evaluation of the Value of the Ecological Services Function of the Chenghai Lake Basin

ZHAO Run, DONG Yun-xian, TAN Zhi-wei

(Yunnan Institute of Environmental Science, Yunnan Key Laboratory of Pollution Process and Management of Plateau Lake-watershed, Kunming Yunnan 650034 China)

**Abstract:** The value of the ecological services function of the Chenghai Lake basin was evaluated using market value method, replacement cost method, carbon tax method, reforestation cost method, and benefit transfer method. The results showed that the total value of the ecological services function of the Chenghai lake basin is 3.926 billion per year. The water conservation services value took the first place accounting for 32.0% of the total value. The second high is the value of the water purification (28%). The climate-regulation value (16%) took the third place. The social and cultural value is the fourth high with 13% of the total value, follow by the biological resources value, education and tourism value, habitat value, and water supply value.

**Key words:** the Chenghai lake basin; ecosystem; services; evaluation

# 福建沿海地区大气悬浮颗粒物 及颗粒态汞的时空分布研究

吴萍萍, 刘 燕, 罗津晶

(厦门大学环境与生态学院, 福建 厦门 361102)

**摘 要:** 2010年4月—2011年3月, 对福建省厦门至泉州沿海地区大气中悬浮颗粒物( $PM_{10}$ )和颗粒态汞(TPM)进行为期一年的观测, 结果表明其大气中 $PM_{10}$ 和TPM的浓度范围分别为 $6.4 \sim 426.5 \mu\text{g}/\text{m}^3$ 和 $18.2 \sim 3879.4 \text{ pg}/\text{m}^3$ ,  $PM_{10}$ 和TPM平均浓度分别为 $122.5 \mu\text{g}/\text{m}^3$ 和 $947.9 \text{ pg}/\text{m}^3$ 。不同采样点 $PM_{10}$ 和TPM浓度的季节变化趋势稍有不同, 但大致都呈冬高夏低的趋势。 $PM_{10}$ 和TPM浓度的季节变化趋势主要与气温、逆温层、降雨量等气象条件有关。同时研究分析了TPM的昼夜变化趋势, 结果表明TPM浓度在春冬季主要表现为夜间浓度高于日间浓度, 夏秋季则为日间浓度高于夜间浓度。

**关键词:**  $PM_{10}$ ; 颗粒态汞; 时空分布; 研究; 沿海地区; 福建

**中图分类号:** X16 **文献标识码:** A **文章编号:** 1673-9655 (2014) 04-0024-05

20世纪90年代以来, 北美和欧洲学者在远离汞污染源的地区检测到高浓度的汞<sup>[1]</sup>, 大气汞的全球输送及沉降渐渐引起人们的关注和重视。联合国环境规划署(UNEP)将大气汞污染列为继温室气体之后的第二个全球性污染议题。近代工业革命以来, 全球大气汞通量较工业革命前约增长1~3倍<sup>[2]</sup>。近年来, 欧洲和北美一些地区通过严格限制大气汞排放使其大气汞的沉降通量下降<sup>[3~4]</sup>。然而, 亚洲、非洲等地的大气汞含量却有增加的趋势<sup>[5]</sup>, 尤其是亚洲地区。亚洲地区汞排放量的增加主要是由煤炭、化石燃料等的燃烧引起的。高排放量引起高的沉降量, 进而对各种水体和土壤造成污染, 并通过食物链富集传递, 影响人类及其它生物的健康。

大气中汞主要可分为3种<sup>[6]</sup>: 气态元素汞(GEM, elemental gaseous mercury)、活性气态汞(RGM, reactive gaseous mercury)和颗粒态总汞(TPM, total particulate mercury)。TPM为吸附在大气颗粒物(如灰尘、煤灰、海盐气溶胶、冰晶等)上的汞, 其主要成分为吸附于微粒表面的单质汞或活性二价汞、甲基汞等, 具有一定的毒性和生物富集力<sup>[7]</sup>。TPM占大气气态总汞的比例 $<10\%$ <sup>[8]</sup>, 大气中的RGM可以较快的速率转化为TPM, GEM也可被大气中的强氧化物(例如 $\text{OCl}^-$ 、 $\text{HOCl}$ 、 $\text{OH}\cdot$ )<sup>[9~10]</sup>氧化成TPM。TPM在大气中可进行中等

距离的迁移, 溶解于雨水或云层中而从大气中去除, 还可通过重力沉降、湍流扩散等沉降至水生及陆生生态系统。尽管大气中的TPM含量低, 但TPM是大气汞干湿沉降的主要贡献者之一, 也是衡量大气汞对地面生态系统影响必不可少的重要因素。

近些年, 国外对大气汞的研究较多, 但国内研究相对较少, 尤其是沿海地区不同形态汞的时空分布。随着区域经济的快速发展, 厦门湾周边地区工业也随之兴旺, 能源的大量消耗及污染物的大量排放带来了严重的环境污染, 尤以空气污染最为明显。本研究在厦门至泉州沿海地区共设置5个采样点进行为期一年的监测, 以了解厦门湾沿海地区大气中悬浮颗粒物( $PM_{10}$ )及颗粒态汞(TPM)的时空分布特征及其区域差异, 为福建沿海地区大气污染防治和空气环境改善提供依据。

## 1 材料与方法

### 1.1 采样点分布

福建省厦门市和泉州市位于福建东南沿海, 属亚热带海洋性气候, 春、秋、冬季主导风向为东北风, 夏季主导风向为西南风。本研究沿着厦门湾在厦门至泉州的沿海地区设置5个采样点(图1)进行定点采样, 分析大气中 $PM_{10}$ 及TPM浓度的时空变化趋势及区域差异。其中, 厦门采样点位于厦门市岛内沿海地区, 周边主要为文教区及居住区, 附近有一燃煤电厂; 大嶝采样点位于厦门岛外郊区, 属近岸小岛, 无典型工业, 人为排放源较少; 安海采样点位于泉州市晋江, 周边工业较为发达; 金井采



样点位于泉州市晋江东南区, 近海养殖业较为发达; 祥芝采样点位于泉州湾口, 受海上气流影响较大。

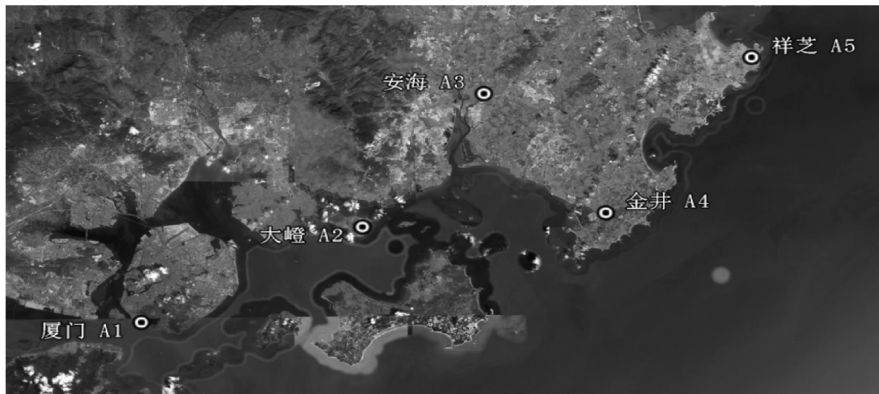


图1 5个采样点的分布位置

## 1.2 样品采集及分析方法

样品采集分例行性采样和密集性采样, 其中日间采样时间段为 08:30—17:00, 夜间采样时间段为 17:00—次日 08:00。因石英纤维滤膜具有耐压损、低背景及耐高温等特性, 故利用石英纤维滤膜对大气中的  $PM_{10}$  和 TPM 进行捕集。

滤膜使用前需先进行高温加热 (600 °C) 预净化, 净化后的滤膜密封于双层密封袋中, 室温保存待用。捕集于滤膜中的 TPM 利用高温热还原的方法进行热脱附, 利用金汞齐富集 - CVAFS 法进行检测。

## 2 结果与讨论

### 2.1 大气中 $PM_{10}$ 与 TPM 浓度的总体水平

2010 年 4 月—2011 年 3 月, 采样区域内大气中  $PM_{10}$  与 TPM 的浓度范围分别为 6.4 ~ 426.5  $\mu\text{g}/\text{m}^3$  和 18.2 ~ 3879.4  $\text{pg}/\text{m}^3$ , 平均浓度分别为 122.5  $\mu\text{g}/\text{m}^3$  和 947.9  $\text{pg}/\text{m}^3$ 。结果表明, 厦门和泉州沿海地区大气中 TPM 平均浓度水平较北半球背景值 (1 ~ 86  $\text{pg}/\text{m}^3$ ) 高得多<sup>[11]</sup>。与国内外其他地区比较, 本研究采样点较加拿大 Toronto<sup>[12]</sup>、美国 Reno<sup>[13]</sup>、韩国 Seoul<sup>[14]</sup>、吉林市<sup>[15]</sup>、四川省<sup>[16]</sup> 高, 较重庆市<sup>[17]</sup> 低, 与北京市<sup>[18]</sup>、上海市<sup>[19]</sup> 较相似。

为研究不同区域大气中  $PM_{10}$  与 TPM 浓度的差异, 对 5 个采样点大气中  $PM_{10}$  与 TPM 浓度进行比较。对于  $PM_{10}$  浓度, 5 个采样点的情况表现为: 安海 > 厦门 > 金井 > 大嶝 > 祥芝。而对于 TPM 浓度, 5 个采样点的情况则表现为: 安海 > 金井 > 祥芝 > 厦门 > 大嶝。安海采样点位于闹市区, 交通较为频繁, 且周边制鞋厂及服装厂居多, 工业污染较为明显, 故安海大气中  $PM_{10}$  与 TPM 浓度均为最高。而大嶝采样点位于近海小岛, 周边无大型工业, 人为污染源较少, 故其大气中  $PM_{10}$  与 TPM 浓度较低。

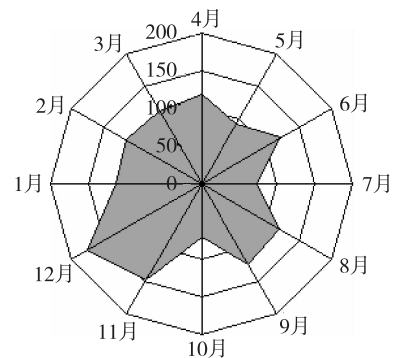


图2 大气中  $PM_{10}$  浓度月变化

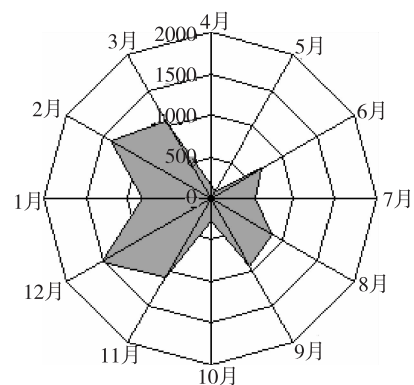


图3 大气中 TPM 浓度月变化

### 2.2 大气中 $PM_{10}$ 与 TPM 浓度的月变化及季节变化趋势

各个采样点大气中的  $PM_{10}$  与 TPM 浓度的月份统计结果如图 2 和图 3 所示。由图可知,  $PM_{10}$  与 TPM 在寒冷月份有较高值, 而在温暖月份则呈现较低浓度。这主要是因为温度较低时, 大气对流层活动较不活跃, 且降雨的冲刷作用少, 使得大气中悬浮颗粒物浓度较高, 且冷月份的低气温有利于气态汞向 TPM 转化<sup>[20]</sup>, 故在寒冷月份检测到较高浓度的  $PM_{10}$  和 TPM。而在温暖月份, 受雨季及台风的影响, 降雨较多, 大气中的颗粒物被部分冲刷而

得以去除,故  $PM_{10}$  和 TPM 浓度在温暖月份呈现较低的趋势。

对不同采样点大气中  $PM_{10}$  和 TPM 浓度的季节变化趋势分别进行比较,如图4和图5所示。各采样点大气中  $PM_{10}$  浓度和 TPM 浓度的季节变化趋势均表现为:冬季 > 秋季 > 春季 > 夏季。这与 Ying 等<sup>[21]</sup>在台湾南部及付学吾等<sup>[22]</sup>在贡嘎山的研究结果一致。在中国北方,寒冷季节由于燃煤供暖增多,人为排放的汞污染增多,大气中的汞含量明显升高。福建沿海地区冬季无供暖期与非供暖期的区别,但受东北风的影响,含较高汞含量的气团由北方迁移至南部沿海地区,且秋冬季降雨较少,大气

污染物受雨水冲刷作用小,因此福建沿海地区空气中  $PM_{10}$  和 TPM 浓度在秋冬季节相对较高。此外,冬季平均气温较其他季节低,较低的气温有助于附着在大气颗粒物上的挥发性物质或不稳定性物质凝结<sup>[23~24]</sup>,使得大气颗粒物上挥发性汞的含量增加,且环境温度降低促使气态汞向颗粒态汞转化,从而使得冬季的  $PM_{10}$  和 TPM 浓度高于其他季节。而在春夏两季,气温回升,虽然自然汞释放量增加,但大量的降雨冲刷大气中的  $PM_{10}$  和 TPM,使得春夏季的大气中  $PM_{10}$  和 TPM 被部分去除,两者在大气中的浓度相对较低。

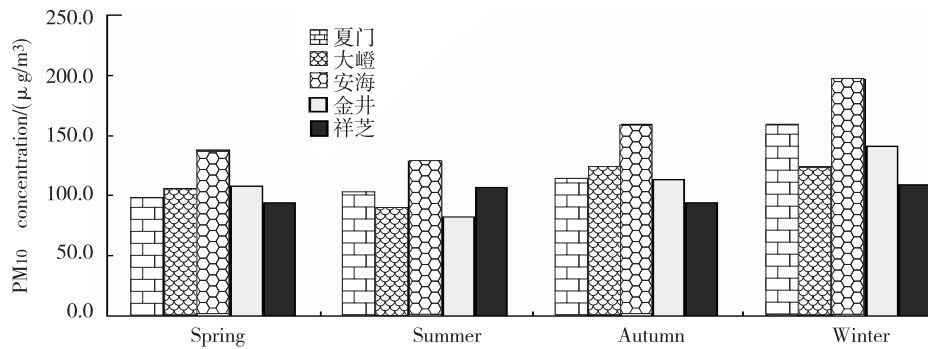


图4 各采样点 $PM_{10}$ 浓度的季节变化

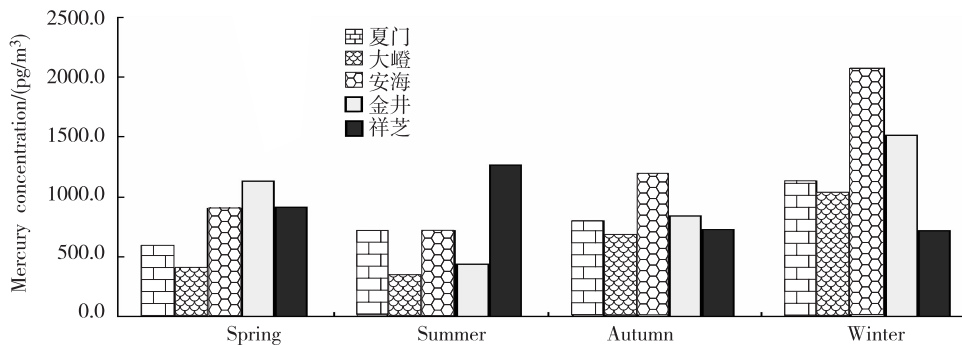


图5 各采样点TPM浓度的季节变化

### 2.3 各采样点大气中 TPM 浓度的昼夜变化趋势

各采样点大气中 TPM 浓度的昼夜变化趋势表现为图6:在春冬季节,TPM 的夜晚浓度总体表现为高于日间浓度,夜间浓度高于日间的样品数占总样品数的 55% ~ 64%;而在夏季和秋季,TPM 的日间浓度总体表现为高于夜间浓度,日间浓度大于夜间的样品数占总样品的 54% ~ 57%。换言之,采样区域内大气中 TPM 浓度在春季和冬季呈现夜间控制型,而在夏季和秋季则呈现日间控制型。TPM 浓度的昼夜变化主要是受日间边界层的上升运动与夜间对流层的下降运动影响<sup>[24]</sup>。对于春季和冬季,夜间边界层空气稳定度较大,逆温层出现频率较高,不利于空气的上升运动,污染物得以积

聚,难以扩散,故易导致春冬季节夜间 TPM 浓度高于日间 TPM 浓度。

### 3 结论

(1) 2010年4月—2011年3月,闽南沿海地区5个采样点的研究结果显示:该地区大气中  $PM_{10}$  与 TPM 的浓度范围分别为  $6.4 \sim 426.5 \mu\text{g}/\text{m}^3$  和  $18.2 \sim 3879.4 \text{pg}/\text{m}^3$ ,平均值分别为  $122.5 \mu\text{g}/\text{m}^3$  和  $947.9 \text{pg}/\text{m}^3$ 。

(2) 福建省厦门和泉州沿海地区大气中  $PM_{10}$  和 TPM 浓度在寒冷月份相对较高,温暖月份则相对较低。大气中  $PM_{10}$  和 TPM 浓度的季节变化趋势均表现为冬季 > 秋季 > 春季 > 夏季。 $PM_{10}$  与 TPM 浓度的月份及季节变化趋势主要受气温、降雨、大气边界层等气象因素的影响。

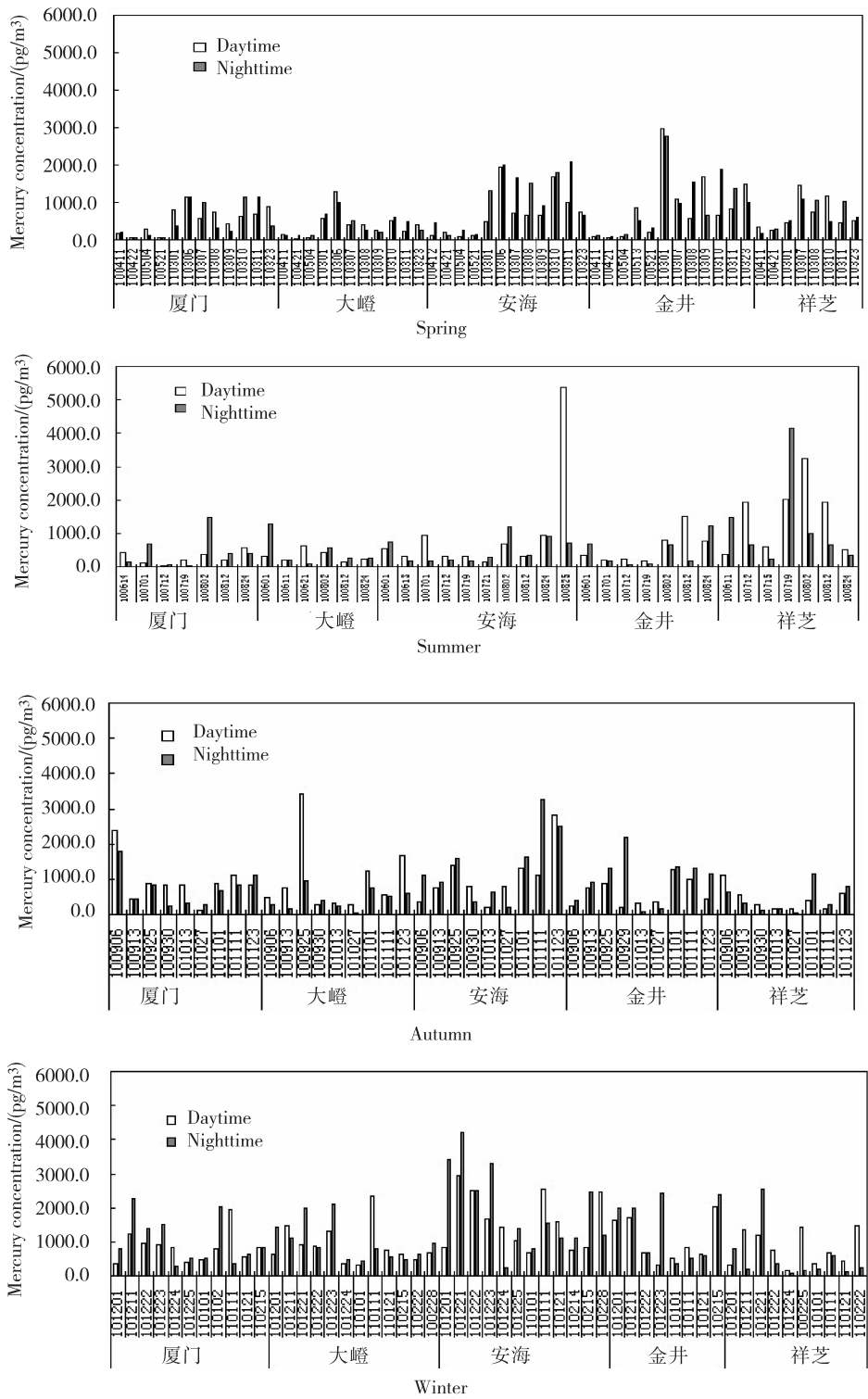


图6 各采样点大气TPM浓度的季节日夜变化

(3) 春季和冬季，大气中TPM浓度呈夜间控制型，夜间浓度高于日间浓度；而夏季和秋季则呈日间控制型，日间浓度高于夜间浓度。

致谢：

感谢台湾中山大学袁中新教授以及厦门大学吴水平老师课题组对本研究颗粒物样品的支持。

参考文献：

- [1] Schroeder WH, Munthe J. Atmospheric mercury—an overview [J]. Atmospheric Environment, 1998, 32 (5): 809–822.
- [2] Fitzgerald WF. Is mercury increasing in the atmosphere? The need for an atmospheric mercury network (AMNET) [J]. Water, Air, and Soil Pollution, 1995, 80 (1–4): 245–254.
- [3] Munthe J, Wängberg I, Pirrone N, et al. Intercomparison of methods for sampling and analysis of atmospheric mercury species [J].

- Atmospheric Environment, 2001, 35 (17): 3007–3017.
- [4] Prestbo EM, Gay DA. Wet deposition of mercury in the US and Canada, 1996 – 2005: Results and analysis of the NADP mercury deposition network (MDN) [J]. Atmospheric Environment, 2009, 43 (27): 4223–4233.
- [5] Pacyna EG, Pacyna JM, Steenhuisen F, et al. Global anthropogenic mercury emission inventory for 2000 [J]. Atmospheric environment, 2006, 40 (22): 4048–4063.
- [6] Pleijel K, Munthe J. Modeling the atmospheric chemistry of mercury [J]. Water, Air, & Soil Pollution, 1995, (80): 317–324.
- [7] 金晓丹, 王敦球, 朱义年, 等. 大气汞污染及其防治技术的研究进展 [J]. 广西轻工业, 2008, 24 (9): 109–110.
- [8] Slemr F, Schuster G, Seiler W. Distribution, speciation, and budget of atmospheric mercury [J]. Journal of Atmospheric Chemistry, 1985, 3 (4): 407–434.
- [9] Sommar J, Gårdfeldt K, Strömberg D, et al. A kinetic study of the gas-phase reaction between the hydroxyl radical and atomic mercury [J]. Atmospheric Environment, 2001, 35 (17): 3049–3054.
- [10] Pal B, Ariya PA. Gas-phase HO· initiated reactions of elemental mercury: Kinetics, product studies, and atmospheric implications [J]. Environmental science & technology, 2004, 38 (21): 5555–5566.
- [11] Keeler G, Glinsom G, Pirrone N. Particulate mercury in the atmosphere: its significance, transport, transformation and sources [J]. Water, Air, and Soil Pollution, 1995, 80 (1–4): 159–168.
- [12] Song X, Cheng I, Lu J. Annual atmospheric mercury species in downtown Toronto, Canada [J]. Journal of Environmental Monitoring, 2009, 11 (3): 660–669.
- [13] Peterson C, Gustin M, Lyman S. Atmospheric mercury concentrations and speciation measured from 2004 to 2007 in Reno, Nevada, USA [J]. Atmospheric Environment, 2009, 43 (30): 4646–4654.
- [14] Kim S-H, Han Y-J, Holsen TM, et al. Characteristics of atmospheric speciated mercury concentrations (TGM, Hg (II) and Hg (p)) in Seoul, Korea [J]. Atmospheric Environment, 2009, 43 (20): 3267–3274.
- [15] Wan Q, Feng X, Lu J, et al. Atmospheric mercury in Changbai Mountain area, northeastern China I. The seasonal distribution pattern of total gaseous mercury and its potential sources [J]. Environmental research, 2009, 109 (3): 201–206.
- [16] Fu X, Feng X, Zhu W, et al. Total gaseous mercury concentrations in ambient air in the eastern slope of Mt. Gongga, South-Eastern fringe of the Tibetan plateau, China [J]. Atmospheric Environment, 2008, 42 (5): 970–979.
- [17] 王定勇. 重庆大气汞初步调查 [J]. 重庆环境科学, 1996, 18 (4): 59–62.
- [18] Wang Z-W, CHEN Z-S, Duan N, et al. Gaseous elemental mercury concentration in atmosphere at urban and remote sites in China [J]. Journal of Environmental Sciences, 2007, 19 (2): 176–180.
- [19] Xiu G, Cai J, Zhang W, et al. Speciated mercury in size-fractionated particles in Shanghai ambient air [J]. Atmospheric Environment, 2009, 43 (19): 3145–3154.
- [20] Rutter AP, Schauer JJ. The effect of temperature on the gas-particle partitioning of reactive mercury in atmospheric aerosols [J]. Atmospheric Environment, 2007, 41 (38): 8647–8657.
- [21] Tsai YI, Kuo S-C, Lin Y-H. Temporal characteristics of inhalable mercury and arsenic aerosols in the urban atmosphere in southern Taiwan [J]. Atmospheric Environment, 2003, 37 (24): 3401–3411.
- [22] Fu X, Feng X, Zhu W, et al. Total particulate and reactive gaseous mercury in ambient air on the eastern slope of the Mt. Gongga area, China [J]. Applied Geochemistry, 2008, 23 (3): 408–418.
- [23] Liu B, Keeler GJ, Dvonch JT, et al. Temporal variability of mercury speciation in urban air [J]. Atmospheric Environment, 2007, 41 (9): 1911–1923.
- [24] Matsunaga S, Mochida M, Kawamura K. Growth of organic aerosols by biogenic semi-volatile carbonyls in the forestal atmosphere [J]. Atmospheric Environment, 2003, 37 (15): 2045–2050.

## Temporal and Spatial Distribution of Inhalable Particles and Atmospheric Particulate Mercury in Coastal Area

WU Ping-ping, LIU Yan, LUO Jin-jing

(College of the Environment & Ecology, Xiamen University, Xiamen Fujian 361102 China)

**Abstract:** Inhalable particles ( $PM_{10}$ ) and total particulate mercury (TPM) in the coastal area along Xiamen and Quanzhou of Fujian Province were monitored for one year. The results showed that in the time period of April 2010 to March 2011, the average concentration of  $PM_{10}$  was  $122.5 \mu\text{g}/\text{m}^3$  ( $6.4 \sim 426.5 \mu\text{g}/\text{m}^3$ ), while the average concentration of TPM was  $947.9 \text{ pg}/\text{m}^3$  ( $18.2 \sim 3879.4 \text{ pg}/\text{m}^3$ ). The seasonal variation showed that winter had the highest concentration of  $PM_{10}$  and TPM and summer had the lowest concentration of them. Different sampling sites had different trends. Seasonal variation was related to temperature, thermal inversion layer and precipitation. The diurnal variation showed that the concentration of TPM was higher at night than in the daytime in spring and winter, while the concentration of TPM was higher in the daytime than at night in summer and autumn.

**Key words:**  $PM_{10}$ ; TPM; temporal and spatial distribution; study; coastal area; Fujian

# 安宁草铺地区环境污染特征分析研究

罗延龄<sup>1</sup>, 李发荣<sup>1</sup>, 李晓铭<sup>1</sup>, 严谷芬<sup>2</sup>, 黄俊<sup>1</sup>, 陈松<sup>1</sup>, 余冬<sup>1</sup>, 耿国斌<sup>1</sup>

(1. 昆明市环境监测中心, 云南昆明 650228; 2. 云南省环境科学研究院, 云南昆明 650034)

**摘要:** 将安宁草铺辖区磷化工企业污染物对周边大气环境、土壤环境、植物、农作物以及食物链的污染影响进行深入的分析研究, 揭示其污染特征、水平、规律, 为以磷化工为主的区域污染防治提供参考。

**关键词:** 环境污染; 特征; 研究; 防治对策; 安宁; 草铺

**中图分类号:** X51 **文献标识码:** A **文章编号:** 1673-9655 (2014) 04-0029-03

安宁市是昆明市工业较集中、经济发展较快的远郊县级市。改革开放以来, 特别是在“九五”时期, 安宁市的国有及乡镇企业得到了较快的发展, 其中安宁草铺被列为安宁市的主要工业区及磷化工<sup>[1-2]</sup>工业基地。经过近 10 年的发展, 该地区有规模工业企业 18 家, 其中磷化工企业 10 余家。这些企业的发展带动了安宁草铺地区的经济发展, 与此同时, 这些企业的污染也对草铺的区域空气环境、水环境以及生态环境产生了不同程度的影响。本文就该辖区磷化工企业污染物对周边大气环境、土壤环境、植物、农作物以及食物链的污染影响进行深入的分析研究, 揭示其污染特征、水平、规律, 为以磷化工为主的区域污染防治提供借鉴。

## 1 研究材料与方法

该研究以安宁草铺区域的磷肥基地周围的自然村环境为研究对象。包括: 草铺区域所属吉地铺、下古屯、三家村、马明安、茅草房、上龙树、下龙

树、凤麒村、小石桥、草铺村、杨柳坝、龙凤箐、杨柳村、下权甫、碗窑、青龙哨、邵九村等 17 个自然村, 面积约为 40km<sup>2</sup> (图略)。监测要素包括大气环境、土壤环境、植物、农作物以及食物链, 监测指标为氟化物、pH、二氧化硫、颗粒物。调查方法为国家环境相关监测技术规范。

## 2 结果与讨论

### 2.1 污染源解析

经调查发现, 辖区内磷化工企业的生产时间一般为每年的 3~12 月份, 生产使用的主要原料有磷矿石、焦炭、原煤、粉状过磷酸钙等, 在生产过程中向外环境排放的废气污染因子为: 氟化物、烟(粉)尘和二氧化硫等。污染物年排放量 2675.90t, 其中: 烟(粉)尘 2334.28t, 二氧化硫 214.64t, 氟化物 126.98t。污染物按污染负荷比大小排序, 依次为: 氟化物、烟(粉)尘、二氧化硫。该行业废气主要污染物是氟化物和烟(粉)尘。

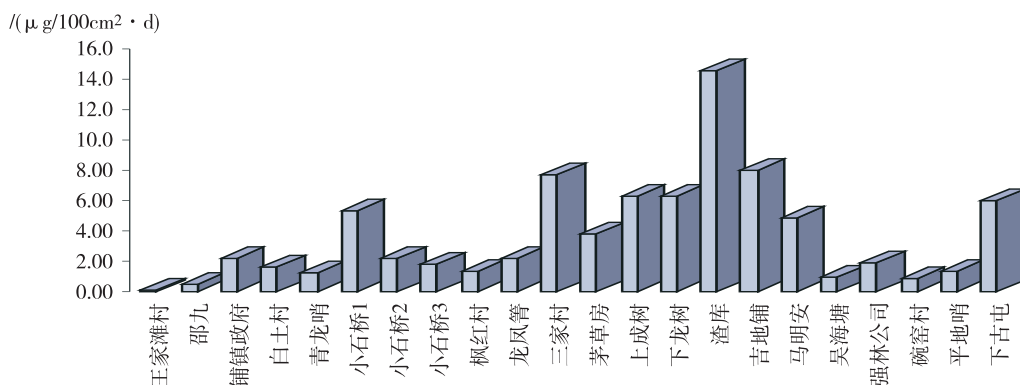


图1 调查区域空气氟浓度分布图

### 2.2 环境空气影响

采用氟挂片方法对草铺近 40km<sup>2</sup> 的区域空气氟进行采样分析 (图 1), 经监测, 调查区空气 10 月氟超

收稿日期: 2014-04-11

通讯作者: 李发荣 (1954-), 男, 高级工程师, 主要从事环境污染研究。

标率为47.6%，11月氟超标率40.9%，12月氟超标率为4.5%，三个月累计平均超标率为33.8%。该地区空气氟浓度分布较高的区域依次为：大黄磷渣库、吉地铺、小石桥、上龙树、下古屯、下龙树、马明安及三家村一带，监测值分别为13.14、5.46、5.5、4.25、3.74、3.63、3.64及3.18 $\mu\text{g}/100\text{cm}^2 \cdot \text{d}$ ，分别超过了国家标准3.5倍、0.8倍、0.8倍、0.4倍、0.2倍、0.2倍、0.2倍和0.1倍。这些高值测点地理坐标上处在草铺大黄磷的东北和西北偏西一带，位于大黄磷的下风方向；王家滩及邵九一带的上风向则为该地区氟浓度分布最低的区域。

### 2.3 土壤环境影响

土壤环境是污染物的受体之一，能表征环境污染的信息。本次主要监测土壤速效氟、pH；调查土壤种类为水田土壤、旱地土壤及荒山土壤。按公里网格并结合农作物、植物样点布设样品采集点位，同时在常年主导上风向的邵九村设置1个对照点位，总计63个测点。从表1可看出，耕作土壤氟含量总体均值比非耕层土的土壤氟含量高一倍，耕作土为

48.1 mg/kg，非耕作土为28.1 mg/kg，属人为活动所致。

表1 调查区耕地土壤F含量监测结果统计表 (mg/kg)

编号	村名	含量范围	均值
C12	王家滩	4.03~9.38	6.71
D7	邵九村	10.13~33.71	21.92
E5	大海子	10.79~40.96	25.88
H7	吴海塘	30.96~239.98	135.47
E8	碗窑	7.3~9.21	8.26
H8	下权甫	32.17~115.94	74.06
F4	小石桥	49.63~110.07	79.85
I5	草铺	11.52~63.47	37.50
H4	吉地铺	18.3~62.66	40.48
G3	下古屯	10.58~99.79	55.19
G3	上古屯	12.16~81.01	46.59
H2	三家村	2.79~11.00	6.90
I2	茅草房	11.17~14.04	12.61
I2	上龙树	6.93~35.18	21.06
K3	马明安	8.6~79.98	44.29
F3	凤麒	8.6~18.42	13.51
J5	杨柳坝	4.12~10.95	7.54
H1	龙凤管	10.74~28.50	19.62

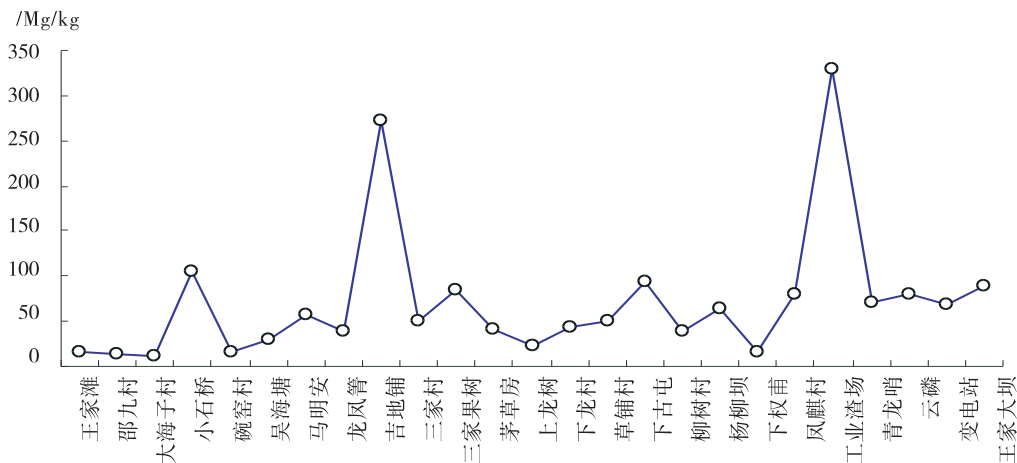


图2 调查区域牧草氟浓度分布图

### 2.4 植物与农作物

#### 2.4.1 牧草

植物和农作物对空气中的氟最为敏感<sup>[3]</sup>，主要通过植物叶片的呼吸孔进入到植物体内，造成植物生理细胞的损害。本次调查共采集牧草样本253个。经对这些样本检测分析，牧草<sup>[4]</sup>含氟量以大黄磷工业渣场最高，为1073.89mg/kg，邵九最低，为4.88mg/kg；测区牧草含氟均值也以工业渣场及吉地铺最高，分别为329.02mg/kg和273.15mg/kg；其次为小石桥104.64 mg/kg；其余以大海子测区最低为10.37mg/kg。253个牧草样本中<40mg/kg（正常参考值）的样本为125个，占49%。超

正常值的样本见图2，从测值结果分析，部分地区已不能作为放牧区。

#### 2.4.2 农作物

辖区主要农作物为玉米、蚕豆、水稻、小麦，对78个玉米样品氟含量监测结果的分析表明，草铺调查区内玉米果实氟含量以吉地铺最高为5.38mg/kg，其次为小石桥、下古屯，分别为3.88mg/kg和2.06mg/kg，超标1.6倍和0.37倍；王家滩测区最低，为0.65mg/kg。同时抽取下古屯的5个农作物<sup>[4]</sup>玉米植株样品分析氟含量，结果显示（图3），同一植株不同部位氟含量不尽相同，其中以叶部含氟量最高为362.19mg/kg，约占整个

植株的91.47%；其次茎秆部为33.62mg/kg，约占整个植株的9.2%；果实部含氟量最低为1.75mg/kg，仅占0.44%。因此，调查区内的农作物叶、茎不宜作为耕牛的青饲料。

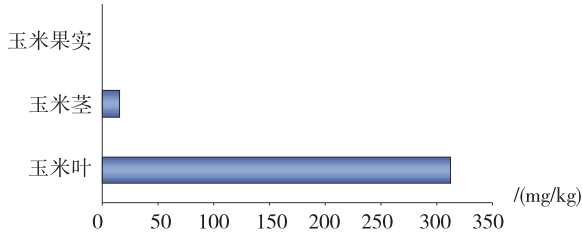


图3 调查区域玉米植株氟含量分布图

## 2.5 动物食物链影响

各种生物通过一系列吃与被吃的关系，把这种生物与那种生物紧密地联系起来，这种生物之间以食物营养关系彼此联系起来的序列，在生态学上被称为食物链<sup>[5-6]</sup>。在环境污染中是指污染物通过污染食物再进入到动物体内循环的表征。本次调查在每个村随机抽取10头耕牛进行监测（当地喂养一年以上的成牛）。

采集到的牛尿样品含氟量分析结果显示，小石桥、上古屯、上龙树三个地区牛尿含氟量最高，>70mg/L；其次是三家村、茅草房、水井湾、马明安村约为50mg/L；牛尿含氟量最低的地区为王家滩和大海子，平均值分别为8.41mg/L和14.54mg/L。采集到的样品分析结果表明，食物链牧草是导致牛尿氟含量升高的主要原因，建议要管理好辖区耕牛的管养。

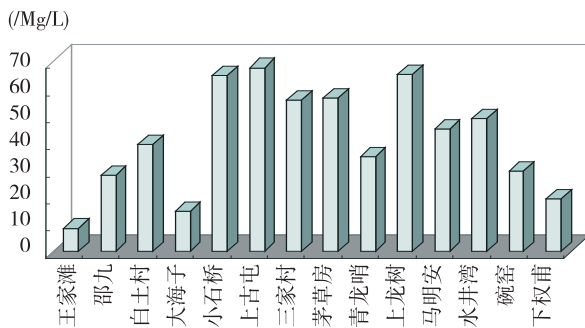


图4 草铺耕牛尿氟含量区域分布图

## 3 防治对策

该地区是昆明市主要磷化工基地，其主要污染排放物为氟化物，由于该地区主导风向为西南风，早晨多雾，静风频率高，易形成逆温层，而且持续时间较长，不利于空气的扩散。如果工业

企业超标排放，将给草铺镇的环境空气质量带来潜在的污染影响，应引起高度的重视。环保部门对有污染治理设施的企业针对污染治理设施的运行状况及治理效果进行定期和不定期的检查，确保治理设施的污染物处理效率能够长期稳定，持久达标排放。

鉴于目前草铺已规划作为安宁市工业基地，建议当地政府考虑适当调整该区域农业产业结构，并在氟污染严重的地区建立禁牧区，耕牛进行圈养，能有效防止耕牛继续发生氟中毒事件。此外，农作物叶、茎不宜作为青饲料喂牛。

## 4 结语

经对草铺区域内污染源污染物监测及区内污染企业排污的污染负荷比统计分析，辖区内首要污染物为氟化物，而氟对环境影响最大的是植物，包括农作物、牧草、果树，其次是食物链中的受体牲畜。本次调查发现，辖区内空气环境质量、农作物、牧草、果树以及食物链中的牲畜均不同程度受到区域内磷化工企业一定氟排放的影响。此外，通过对植株不同部位的监测研究，揭示出其受影响大小的部位。由于该地区主导风向为西南风，早晨多雾，静风频率高，易形成逆温层，而且持续时间较长，不利于空气的扩散，容易造成环境污染，建议当地政府考虑适当调整该区域农业产业结构，在氟污染严重的地区建立禁牧区，耕牛进行圈养，以有效防止耕牛继续发生氟中毒事件。此外，农作物叶、茎不宜作为青饲料喂牛。加强辖区企业污染排放管理和提高辖区企业清洁生产措施，做好环境保护工作，能促进辖区环境良性发展。

### 参考文献：

- [1] 梁日忠, 胡山鹰, 李有润. 基于元素代谢的磷肥生态工业园区规划 [J]. 环境科学研究, 2005, 18 (4): 116-119.
- [2] 史亚利, 蔡亚岐. 全氟和多氟化合物环境问题研究 [J]. 化学进展, 2014, 26 (4): 665-681.
- [3] 教婉如, 陈继榴, 赵淑华, 等. 大气氟污染与树木叶片含氟量的相关关系 [J]. 环境科学, 1989, 11 (1): 39-42.
- [4] 杨成, 杨文波, 贺华中, 等. 电解铝厂周边农作物氟污染评价 [J]. 中国农学通报, 2011, 27 (30): 116-119.
- [5] 杨成, 罗绪强, 王娅, 等. 大气污染影响下凯里植物、土壤氟含量特征 [J]. 中国农学报, 2012, 28 (19): 76-79.
- [6] 马立锋, 阮建云, 石元值, 等. 中国茶叶中的氟近十年来的研究进展 [J]. 生态环境, 2003, 12 (3): 342-345.

(下转第44页)

# 常州市霾天气特征及其影响因子分析

沈 琰<sup>1</sup>, 雷正翠<sup>2</sup>, 杨卫芬<sup>1</sup>, 宋大伟<sup>1</sup>

(1. 常州市环境监测中心, 江苏 常州 213001; 2. 常州市气象台, 江苏 常州 213022)

**摘 要:** 基于常州市气象观测站 2001—2013 年的气象资料和大气自动站 2009—2013 年的监测数据, 对常州市霾天气的变化特征、成因及其影响因子进行了初步分析。结果表明: 2001—2013 年, 霾日数在全年及四季都呈现逐渐增多的年际变化特征, 其中在 2001—2008 年, 霾日数的趋势平稳且窄幅波动, 但 2009—2013 年, 霾日数急剧增加。季节变化上表现出夏季少、冬季多的分布特征。霾天气多发生在午后, 11 时出现的次数最多。常州霾天气持续日数不断增加, 2013 年连续霾日最长是 16d。常州霾典型天气形势为受冷高压或变性冷高压控制之下和处于入海高压后部或底部。常州霾天气受气象因子的影响, 在静风、偏东风、50%~60% 的相对湿度、逆温、降水偏少和大气湍流不利气象扩散条件下都易形成霾。

**关键词:** 霾; 特征; 气象要素; 影响因子; 分析; 常州

**中图分类号:** X51 **文献标识码:** A **文章编号:** 1673-9655 (2014) 04-0032-06

霾是大量极细微的干尘粒等均匀地游浮在空中, 使水平能见度  $< 10.0\text{km}$  的空气普遍浑浊现象。霾使远处光亮物体微带黄、红色, 使黑暗物微带蓝色<sup>[1]</sup>。由于经济规模的迅速扩大和城市化进程的加快, 我国区域性霾日益严重的主要因素是人为排放的大量气溶胶, 霾已经不是一种完全的自然现象。霾不仅使能见度降低影响交通安全<sup>[2-3]</sup>, 加重城市空气污染<sup>[4-5]</sup>, 诱发与心肺功能障碍有关的疾病威胁人体健康<sup>[6]</sup>, 还会降低农作物的产量和品质<sup>[7-8]</sup>。

国际上对霾的广泛重视始于 1995—1999 年进行的 INDOEX 观测计划。Sisler James F<sup>[9]</sup> 曾对细粒子成分进行了研究, 提出高浓度的硫酸盐是影响霾的最大因素, 硝酸盐和有机物是第二大因素; 西欧和北美对燃煤产生的  $\text{SO}_2$  污染问题做了大量研究, 发现硫酸盐对霾的影响和对人体健康的危害是大气污染的后果之一; Appel 等<sup>[10]</sup> 则认为, 细粒子硝酸盐颗粒对光的散射效应比硫酸盐更强。我国学者也对霾天气特征、霾物质的组成进行了研究, 如高歌<sup>[11]</sup> 对 1961—2005 年中国霾的时空气候分布特征、变化趋势进行了详细分析并探索了霾变化的原因; 王京丽等<sup>[12]</sup> 研究了北京霾天气成因的主要气象因素; 童尧青等<sup>[13]</sup> 分析了 1961—2005 年南京地区霾天气的气候特征、气象要素特征及其成因; 刘

爱君等<sup>[14]</sup> 分析了广州霾天气的气候特征; 吴克等<sup>[15-16]</sup> 在广东霾天气研究等方面做了大量工作。

传统的煤烟型污染问题尚未解决, 新的污染问题又接踵出现。发达国家经历了近百年的环境污染问题在我国经济发达地区近二三十年内集中爆发, 呈现了煤烟型与机动车尾气污染共存的特殊大气复合污染格局。常州作为四大霾区域之一长三角的核心城市, 也受到了霾天气的困扰。

## 1 资料来源

研究所用气象资料有常州市地面气象观测站 2001—2013 年的气象资料, 包括霾天气日期、霾日地面观测记录 (北京时间 02:00、05:00、08:00、11:00、14:00、17:00、20:00)。常州市大气自动站 2009—2013 年部分自动监测数据。

## 2 雾和霾的区别

### 2.1 雾和霾的转变过程

由于城市经济规模的迅速扩大和城市化进程的加快, 大气气溶胶污染日趋严重, 雾霾频发, 一天时间内经常出现由霾向雾或由雾向霾以及雾霾混合的变换过程。大致过程: 夜间近地面温度显著下降, 近地面形成逆温, 大气中的污染物难以扩散, 此时多以霾为主; 随着温度的不断降低以及水汽的凝结, 雾逐渐形成, 但相对湿度  $< 90\%$ , 雾与霾混合存在; 随着相对湿度的不断加大, 霾粒子吸湿成为雾滴, 逐渐转换为雾; 日出以后, 阳光辐射加强使地面温度升高, 大气相对湿度降低, 雾逐渐消散, 但由于污染无法扩散, 雾滴脱水后霾粒子又再

收稿日期: 2014-03-20

基金项目: 常州市科技局应用基础研究基金项目 CJ20110017。

作者简介: 沈琰 (1977-), 男, 江苏省常州市人, 汉族, 本科, 工程师, 长期从事环境监测工作。



悬浮在大气中,能见度下降,雾又逐渐转换为霾。

## 2.2 雾的主要特征

雾是由大量悬浮在近地面空气中的微小水滴或冰晶组成的气溶胶系统,由于对可见光的散射作用,使能见度显著降低,是近地面层空气中水汽凝结(或凝华)的产物。雾是由水滴或冰晶组成的,因而相对湿度应该是饱和的<sup>[1]</sup>。雾形成的条件一是冷却,二是加湿,三是有凝结核增加水汽含量。

## 2.3 霾的主要特征

当空气中的灰尘、硫酸与硫酸盐、硝酸与硝酸盐、有机碳氢化合物等粒子使大气浑浊、视野模糊并导致能见度恶化,这种非水成物组成的气溶胶系统造成的视程障碍就称为霾。霾天气是指大气边界层乃至对流层低层整体的大气浑浊现象。

## 2.4 雾与霾的区别

雾与霾有六大区别。一是能见度范围不同:雾的水平能见度 $<1\text{km}$ ,霾的水平能见度 $<10\text{km}$ ;二是相对湿度不同:雾的相对湿度 $>90\%$ ,霾的相对湿度 $<80\%$ ,相对湿度介于 $80\% \sim 90\%$ 是霾和雾的混合物,但其主要成分是霾;三是厚度不同:雾的厚度只有几十 $\sim 200\text{m}$ 左右,霾的厚度可达 $1 \sim 3\text{km}$ 左右;四是边界特征不同:雾的边界很清晰,过了“雾区”可能就是晴空万里,但是霾与晴空区之间没有明显的边界;五是颜色不同:雾的颜色是乳白色、青白色,霾则是黄色、橙灰色;六是日变化不同:雾一般午夜至清晨最易出现,霾的日变化特征不明显,当气团没有大的变化,空气团较稳定时,持续出现时间较长。

## 3 常州霾天气变化特征

### 3.1 霾的年际变化

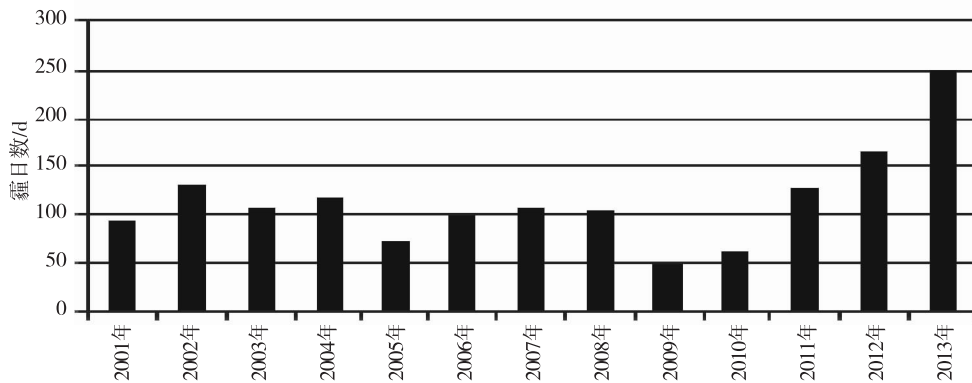


图1 2001—2013年常州霾日数年际变化

由图1可见,常州2001—2013年霾日数共出现1483d,平均霾日数114d/a,期间以2013年最多(252d),而以2009年最少(47d)。过去13年间,霾日数总体呈现出增多的变化特征,其中在2001—2008年,霾日数的趋势平稳且窄幅波动,而在2009—2013年,霾日数急剧增加。

大气颗粒物(尤其是细颗粒物)污染加剧是霾频发的主要原因之一。2011年常州市大气污染

物排放清单研究结果表明,细颗粒物( $\text{PM}_{2.5}$ )排放贡献率前三位分别为道路扬尘、机动车尾气和工业。工业格局稳定的情况下,与道路扬尘和尾气排放息息相关的机动车就变得尤为重要。2009年常州市机动车保有量36万辆,2013年常州市机动车保有量76万辆,5年间增加1.1倍,机动车快速增长可能是霾日数急剧增加的重要原因。

### 3.2 霾的月、季变化

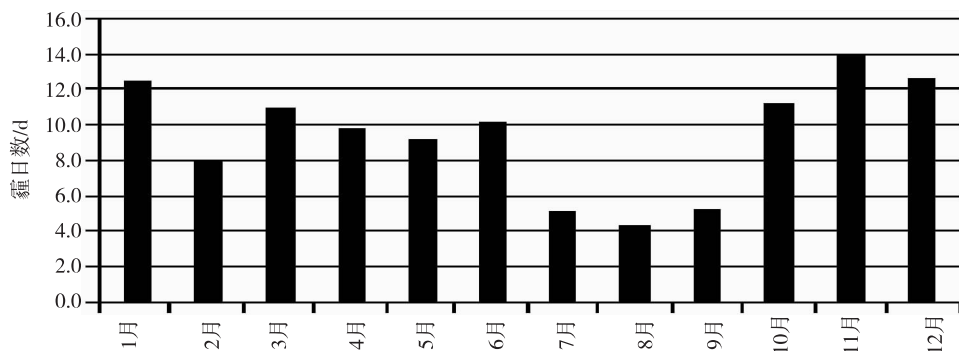


图2 2001—2013年常州霾日数月变化

图2给出了2001—2013年常州平均月霾日数变化情况。霾日数有明显的月季差异，一年当中，霾日数最多为11月份(14.2d)，其次为12月份(12.7d)，最少为8月份(4.4d)。由图3可见，冬季(12月—次年2月)出现霾日数最多(33.3d)，秋季(9—11月)和春季(3—5月)次之，分别为30.8d和30.2d，夏季(6—8月)最少(19.8d)。由图4可见，2010—2013年四季的霾日数都急剧增多，值得关注的是春季增幅最大，几乎每年成倍上升，2013年较2011年增加了53d。

夏季一般处于汛期，降水日数多且降水强度大，充沛的雨水对空气中悬浮的灰尘和粉尘等粗粒子起冲刷作用，不利于霾的形成。另外，夏季大气对流活动旺盛，使近地层污染物(尤其是细颗粒物)扩散稀释，霾较少发生。冬季，常州受冷高压控制，下沉气流使低层大气生成稳定层结，随气流上传的颗粒物累积在稳定层下层形成霾层，并可持续数日。因此，常州霾的季节变化表现出夏季少、冬季多的分布特征。

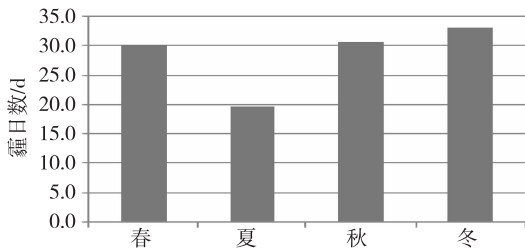


图3 冬季2001—2013年常州霾日数季节变化

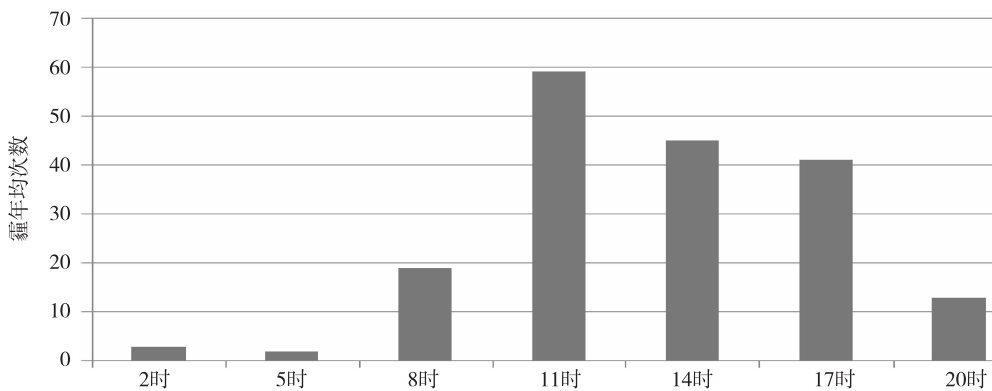


图5 2001—2013年常州霾日出现时次年均变化

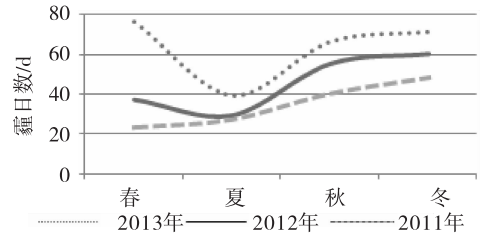


图4 2011—2013年常州霾日数季节变化

### 3.3 霾的日变化

由图5可见，在(北京时间02:00、05:00、08:00、11:00、14:00、17:00、20:00)7个时次中，11时出现霾的频次最高，年均59次，其次是14时，再次为17时，最少的是05时。究其原因可能是接近正午随着太阳辐射加强，近地层温度上升，即使有雾也逐渐转化为霾。

### 3.4 霾的持续日数

统计结果表明，一般情况下霾持续1~4d，很少超过10d。2011年起，常州每年均有若干次霾连续出现6d以上，持续10d的霾出现过5次，分别发生在2011年(1次)、2012年(1次)、2013年(3次)。2013年连续霾日最长是16d，出现在2013年11月30日—12月15日；还有一次连续12d，出现在2013年1月5日—1月16日。霾持续日期的增长、持续数日现象的频繁发生，是霾日数逐年增多的必然结果，更是空气污染形势严峻化的体现。

## 4 常州霾典型天气形势和类型

### 4.1 典型天气形势

霾的出现与天气形势关系密切，图6为常州霾典型天气形势图。通过分析重污染霾出现时的地面形势，得出当常州受冷高压或变性冷高压控制之下和处于入海高压后部或底部易形成霾。受

冷高压或变性冷高压控制之下这种形势主要分为两种：一种是高压主体控制江南，常州位于高压中心部，没有压力阶差导致风力极小，叠加上游污染输送易出现霾；第二种高压底前部或L型高压，秋冬季节弱冷空气南下影响，高压主体在河套或蒙古地区，冷峰过境后易出现霾。另外，当

冷高压主体在华东一带入海时，常州位于入海高压后部或底部，以均压场为主，也易出现霾。

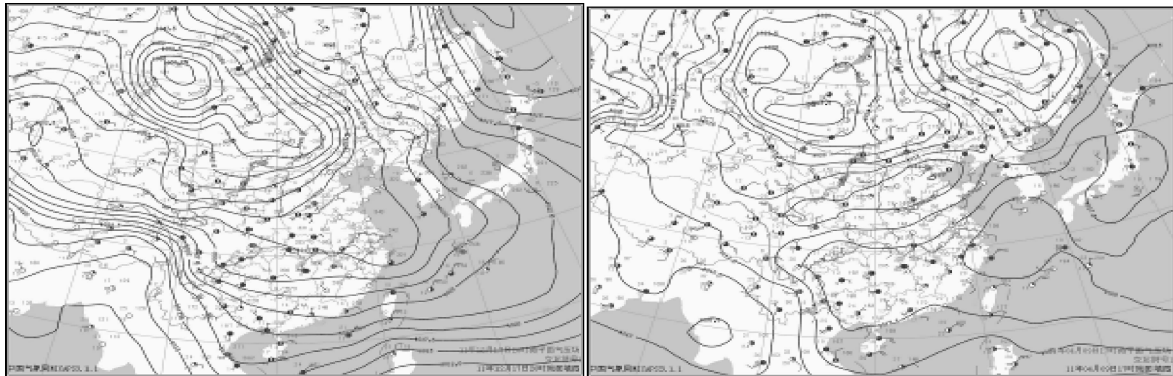


图6 常州霾典型天气形势图

#### 4.2 典型天气类型

通过对近年常州霾天气过程、特征、形成原因和污染来源等分析，对霾典型天气类型进行归纳，主要得到五类霾天气类型。

##### 4.2.1 冷峰前部型

冷峰前部型主要与冷空气活动有关，秋、冬、春三个季节均有可能出现。这种情况往往伴随着较强冷空气南下，锋面未到达常州，常处于山东半岛到江汉平原一带或以北的位置。由于大气扩散条件不利，造成大气污染物的堆积，出现霾。锋面过境时常伴有降水，空气受降水冲刷作用会明显好转。

##### 4.2.2 静稳天气型

静稳天气型一般是秋冬季节受冷高压控制，常州处于高压中心部，有逆温导致不利大气扩散条件出现，本地排放的污染物堆积在近地面无法向高空扩散。这类霾天气最长会持续一周左右，且会有由轻慢慢加重的过程。

##### 4.2.3 雾霾天气型

雾霾天气型多发生在秋冬季多雾季节，天气通常晴好，风速较小，水汽湿度合适。大气扩散条件不利，且易形成逆温，造成污染物的堆积。颗粒物吸湿后膨胀，有利于化学反应生成二次污染粒子，促进雾与霾之间的相互转换。

##### 4.2.4 秸秆焚烧型

随着农村生活水平的普遍提高，秸秆已不再作为农村的生活燃料，作物秸秆逐渐成为粮食收获以后的多余副产品，在夏、秋粮食收获期间，秸秆焚烧频发，加重霾的污染。研究表明，秸秆焚烧时，

短时间内产生大量的污染物，加重了霾天气污染程度。另外，加强管理后杜绝了大面积焚烧，但零星分次焚烧也增加了霾发生的频次。

##### 4.2.5 外来影响型

外来影响型是指本地污染源排放稳定的情况下，由于受外源影响短时间内突然造成污染，形成霾。通常是北方沙尘或者污染物随冷空气南下输送影响，沙尘影响主要集中在每年春季，污染物影响主要集中在冬季北方供暖季节。

### 5 气象因子对霾的影响

#### 5.1 风对霾的影响

风是边界层内影响污染物扩散的重要动力因子。风向决定着大气中污染物的输送方向，风速则影响着大气中污染物的扩散稀释快慢，特别是低层风向、风速的变化直接影响空气污染物的聚散及各处的浓度分布。由表1可见，风速在0.1~3m/s时，霾的出现概率最高，占83.2%；风速为3.1~4m/s的出现概率次高，占10.1%；风速6m/s时仅有0.13%的概率。表明当风速较小时，霾的出现概率较大，特别是静风和微风有利于霾天气的发生；而当风速6m/s时，有利于大气污染物水平输送；同时风速大，湍流加强，也利于垂直风向的输送和扩散，不利于霾的形成，因而出现霾的机率很小。从风向上看，出现霾概率最多的风向是ESE，占12.7%；其次是E，占11.6%。霾多出现在偏东风时，ENE到SE的5个风向就占了总数的47.4%，这可能与大气污染物输送有关。

表1 2009—2013年常州霾日风速、风向概率统计

风速/(m/s)	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10						
比例	2.3	23.2	33.4	26.6	10.1	3.4	0.87	0.13	0	0	0						
风向	ENE	E	ESE	SE	SSE	S	SSW	SW	WSW	W	WNW	NW	NNW	N	NNE	NE	C
比例	7.8	11.6	12.7	11.5	3.8	6.9	4.7	5.1	6.5	5.7	4.1	0.97	1.23	6.7	1.3	7.1	2.3

5.2 相对湿度对霾的影响

统计2009—2013年，空气质量指数类别属于重度污染（即AQI>200）时的相对湿度分布情况，见表2，相对湿度在50%~60%的概率最大，占41.3%；其次是相对湿度在60%~70%，占

表2 2009—2013年常州重度污染（AQI>200）霾日相对湿度概率统计

相对湿度/%	rh < 20	20 ≤ rh < 30	30 ≤ rh < 40	40 ≤ rh < 50	50 ≤ rh < 60	60 ≤ rh < 70	rh ≥ 70
重度污染比例	0.23	5.68	8.79	19.8	41.3	23.6	0.60

5.3 降水对霾的影响

统计2009—2013年降水资料，常州降水主要集中在夏季（6—8月），降水量占年总量的48.1%；春季（3—5月）次之，占23.6%；冬季最少，仅占13.6%。逐月的降水量和霾日数呈现负相关（ $r = -0.417$ ）。夏季汛期带来充沛的降水对空气中悬浮的灰尘和粉尘起冲刷作用，不利于霾的形成。

5.4 大气湍流对霾的影响

大气湍流是大气中的一种重要运动形式，它的

存在使大气中的动量、热量、水气和污染物的垂直和水平交换作用明显增强，远大于分子运动的交换强度。分析2012—2013年常州地界面积逐月垂直运动时间-高度剖面图（图7a、b），表明1—4月、10—12月对流层均盛行下沉气流，不利于污染物的扩散。由2013年常州地界面积逐月垂直运动时间-高度剖面距平图（图7c）可见，2013年6—12月对流层异常下沉运动，降水减少和不利气象扩散条件极易形成霾天气，可能是2013年出现连续16d霾日的原因之一。

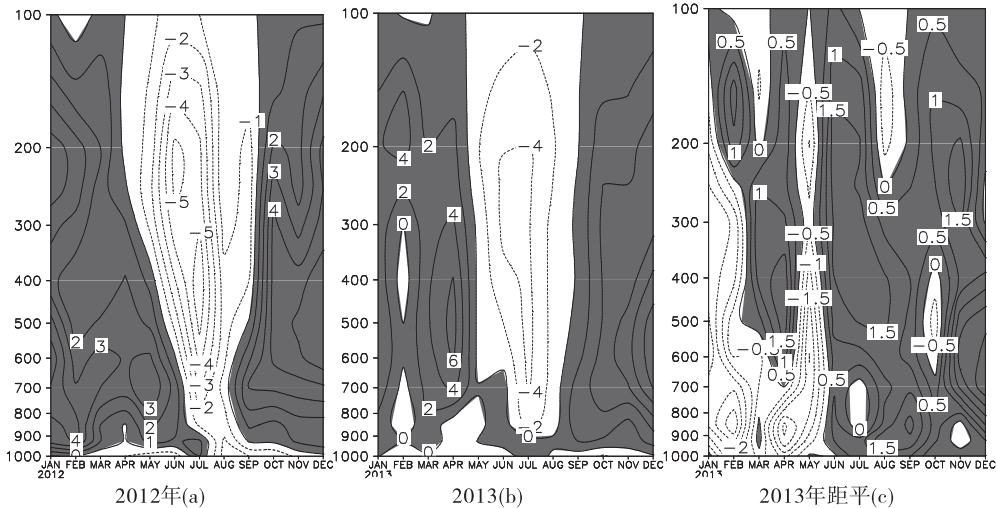


图7 常州大气环流垂直运动时间-高度剖面图（Pa/s\*100）  
（图中阴影部分正值代表下沉运动，负值为上升运动）

5.5 逆温对霾的影响

一般情况下，在低层大气中，通常气温是随高度的增加而降低的。但有时在某些层次可能出现相反的情况，气温随高度的增加而升高，这种现象称为逆温。逆温层好比一个锅盖盖在城市上空，导致污染物停留在近地层而排放不出去，易出现霾。根据近年统计，常州每年出现霾天气且同时出现逆温的比例均在85%以上，逆温层高度自600~1000hPa不等，有时几个高度段还会同时出现。

6 结论

(1) 2001—2013年，常州霾日数共出现

1483d，年平均霾日数114d。霾日数总体呈现出增多的变化特征，其中在2001—2008年，霾日数的趋势平稳且窄幅波动，而在2009—2013年，霾日数急剧增加。

(2) 常州霾的季节变化表现出夏季少、冬季多的分布特征，其中以11月份最多，8月最少，霾天气多发生在午后，11时出现的次数最多。

(3) 2010—2013年全年和四季的霾日数都急剧增多，值得关注的是春季增幅最大，几乎每年成倍上升，2013年较2011年增加了53d。

(4) 常州霾天气持续日数不断增加。自2011

年起,常州每年均有若干次霾连续出现 6d 以上,持续 10d 的霾出现过 5 次,2013 年连续霾日最长是 16d。

(5) 常州霾典型天气形势为受冷高压或变性冷高压控制之下和处于入海高压后部或底部。

(6) 对常州霾典型天气类型进行归纳,归纳为冷锋前部型、静稳天气型、雾霾天气型、秸秆焚烧型和外来影响型五类霾天气类型。

(7) 常州霾天气受气象因子的影响,风速在 0.1~3m/s、偏东风、相对湿度在 50%~60%、逆温、降水偏少和大气湍流不利气象扩散等条件下都易形成霾。

#### 参考文献:

- [1] 中央气象局. 地面气象观测规范 [M]. 北京: 气象出版社, 1979: 22-27.
- [2] 张飒, 冯建设. 济青高速公路大雾天气气候特征及其影响 [J]. 气象, 2003, 31 (2): 70-73.
- [3] 鄂德军, 詹嘉. 雾天不同能见度下高速公路安全车速研究 [J]. 公路与汽运, 2009, (2): 54-56.
- [4] Pandis S N, Pilinis C, Seinfeld J H. The smog-fog-smog cycle and acid deposition [J]. Journal of Geophysical Research, 1990, (95): 18489-18500.
- [5] 李清华, 何瀚原, 武捷. 太原市大雾天气气候特征与空气污染的关系 [J]. 太原科技, 2007, (5): 27-28.
- [6] 白志鹏, 蔡斌彬, 董海燕, 等. 灰霾的健康效应 [J]. 环境污染与防治, 2006, 28 (3): 198-201.
- [7] Stanhill G, Cohen S. Global dimming: A review of the evidence for a wide spread and significant reduction in global radiation with discussion of its probable causes and possible agricultural consequences [J]. Agric. For. Meteorol., 2001, (107): 255-278.
- [8] Auffhammer M, Ramanathan V, Vincent J R. Integrated model shows that atmospheric brown clouds and greenhouse gases have reduced rice harvests in India [J]. Proc. Natl. Acad. Sci. USA, 2006, (103): 19668-19672.
- [9] Sisler James F, Malm William C. The relative importance of soluble aerosols to spatial and seasonal trends of impaired visibility in the United States [J]. Atmos. Environ., 1994, 28 (5): 851-862.
- [10] Appel B R, Health Serv. Berkeley Visibility as related to atmospheric aerosol constituents. Atmos [J]. Environ., 1985, 19 (9): 1525-1534.
- [11] 高歌. 1961-2005 年中国霾日气候特征及变化分析 [J]. 地理学报, 2008, 63 (7): 761-768.
- [12] 王京丽, 谢庄, 张远航, 等. 北京市大气细粒子的质量浓度特征研究 [J]. 气象学报, 2004, 62 (1): 104-111.
- [13] 童尧青, 银燕, 钱凌, 等. 南京地区霾天气特征分析 [J]. 中国环境科学, 2007, 27 (5): 584-588.
- [14] 刘爱君, 杜尧东, 王惠英. 广州灰霾天气的气候特征分析 [J]. 气象与城市环境, 2004, 30 (12): 68-71.
- [15] 吴兑, 邓雪娇, 毕雪岩, 等. 细粒子污染形成灰霾天气导致广州地区能见度下降 [J]. 热带气象学报, 2007, 23 (1): 1-6.
- [16] 吴兑. 霾与雾的识别和资料分析处理 [J]. 环境化学, 2008, 27 (3): 327-330.

## Characteristics of Haze Weather and Factors Identification in Changzhou

SHEN Yan<sup>1</sup>, LEI Zheng-cui<sup>2</sup>, YANG Wei-fen<sup>1</sup>, SONG Da-wei<sup>1</sup>

(1. Changzhou Environmental Monitoring Center, Changzhou Jiangsu 213001 China)

**Abstract:** The variation trend of haze and factors causing haze in Changzhou were analyzed based on meteorological observations obtained from Changzhou Meteorological Station (2001-2013) and atmospheric monitoring stations (2009-2013). The frequency of occurrence of haze had the following trends that the number of haze days increased gradually from 2001 to 2013. The number of haze days showed a slight rise from 2001 to 2009. However, it increased sharply from 2009 to 2013. Meanwhile, winter had more haze days than summer. Haze often occurred at noon with the highest frequency of occurrence around 11 o'clock in the morning. The number of continuous haze days has increased in Changzhou in recent years. The longest continuous haze days were 16 days in 2013. The typical weather conditions causing haze were the cold high-pressure or degeneration of the cold high pressure under control and in the rear or bottom pressure in Changzhou. The meteorological factors result in the occurrence of haze. Normally, haze often occurs with no wind or east wind, the relative humidity between 50% and 60%, inversion, less precipitation, and bad meteorological conditions for dispersal of pollutants.

**Key words:** haze; characteristics; meteorological factor; Changzhou

# 乌鲁木齐市大气污染状况及治理成效研究

许 鹏, 谢海燕, 孙媛媛

(新疆农业大学草业与环境科学学院, 新疆 乌鲁木齐 830052)

**摘 要:**对乌鲁木齐市近 10 年的空气质量各级别天数、主要大气污染物年均浓度进行研究, 结果显示乌鲁木齐大气环境质量正向良好的趋势发展; PM<sub>10</sub>、NO<sub>2</sub> 年均浓度变化幅度不大, 仍高于国家二级标准; SO<sub>2</sub> 年均浓度在 2012 年首次达到国家二级标准。大气污染物浓度与气象因素的相关分析显示, 乌鲁木齐市大气污染物月均浓度和 AQI 与月均气温、日照时数、蒸发量呈显著的负相关关系, 与月均湿度呈显著的正相关关系。通过变异系数法进一步得出节能减排和能源结构调整是促进乌鲁木齐市大气环境质量改善的主要因素。

**关键词:** 空气质量; 大气污染; 状况; 治理; 成效; 研究; 乌鲁木齐

**中图分类号:** X51 **文献标识码:** A **文章编号:** 1673-9655 (2014) 04-0038-07

随着经济发展和城市化速度的加快, 乌鲁木齐市空气污染物的排放量不断增加, 污染范围不断扩大, 以颗粒物、二氧化硫、二氧化氮等为主要污染物的大气污染日趋严重。鉴于空气质量恶化对经济建设、城市化进程及城市居民身体健康造成的不利影响, 环境空气质量受到居民、政府和环保部门的密切关注。2009 年, 乌鲁木齐市启动了新一轮“蓝天工程”, 实施了以节能减排、能源结构调整、环境综合治理等为

重点的大气污染治理项目。本文研究了 2003—2012 年乌鲁木齐市大气质量状况, 并对 10 年来治理大气污染的不同环保措施成效进行了分析。

## 1 乌鲁木齐市环境空气质量状况

### 1.1 空气质量变化

根据新疆环境状况统计公报和乌鲁木齐年鉴, 乌鲁木齐空气质量达到各级别的天数如表 1 和图 1 所示。

表 1 2003—2012 年乌鲁木齐市空气质量各级别天数 (d)

年份	2003	2004	2005	2006	2007	2008	2009	2010	2011	2012
I 级	97	72	136	48	63	13	35	22	18	14
II 级	185	186	120	198	189	248	227	244	258	278
III 级	67	85	86	85	86	83	79	90	75	61
IV 级	5	13	7	9	13	6	14	5	9	6
V 级	11	10	16	25	14	16	10	4	5	7

注: 数据来自 2004—2012 年乌鲁木齐年鉴和新疆维吾尔自治区环境状况公报。

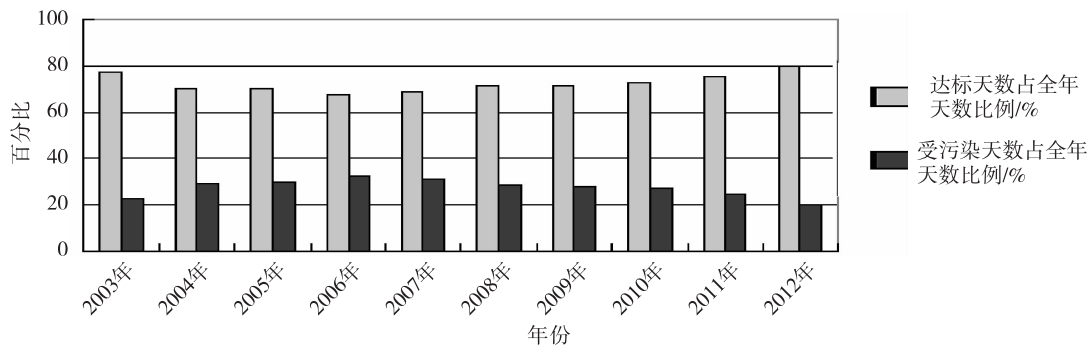


图 1 2003—2012 年乌鲁木齐空气质量达标与受污染情况

收稿日期: 2014-03-20

基金项目: 土壤学自治区重点学科资助, 新疆草地资源与生态实验室资助。

作者简介: 许鹏, 男, 硕士研究生, 主要从事环境影响评价研究。

通讯作者: 谢海燕, 女, 副教授, 硕士研究生导师, 主要从事环境科学研究及教学工作。

从表 1 和图 1 可以看出, 2006 年以来乌鲁木齐市空气质量达到二级标准及以上的天数呈上升趋势, 2012 年空气质量优良天数为 292d, 占全年天

数的80%，比“十一五”最好的年份2010年增加近7个百分点。

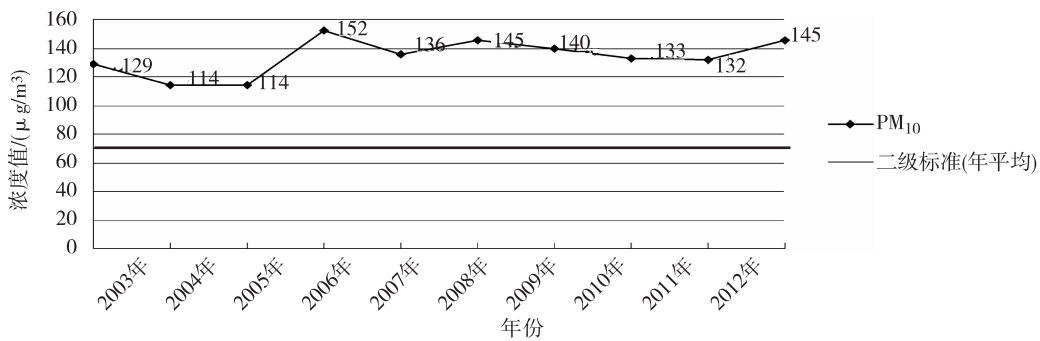
### 1.2 大气污染物浓度变化

大气污染物PM<sub>10</sub>的年均浓度在114~152μg/m<sup>3</sup>，2007年后增降幅度不大，但历年浓度均明显高于《环境空气质量标准》(GB3095-2012)中的二级标准70μg/m<sup>3</sup>。

2003—2012年，乌鲁木齐市大气污染物SO<sub>2</sub>

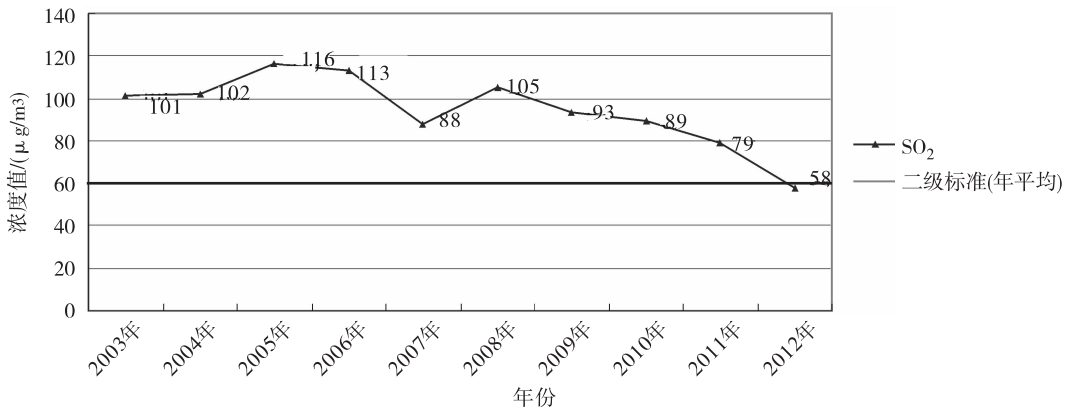
年均浓度变化值为1~25μg/m<sup>3</sup>，有增加也有降低。2008年以后，SO<sub>2</sub>年均浓度呈下降趋势，2012年SO<sub>2</sub>年均浓度为58μg/m<sup>3</sup>，首次低于国家二级标准。

大气污染物NO<sub>2</sub>历年浓度变化值不大，年均浓度值均高于《环境空气质量标准》(GB3095-2012)中的二级标准40μg/m<sub>3</sub>，超标率40%~70%。



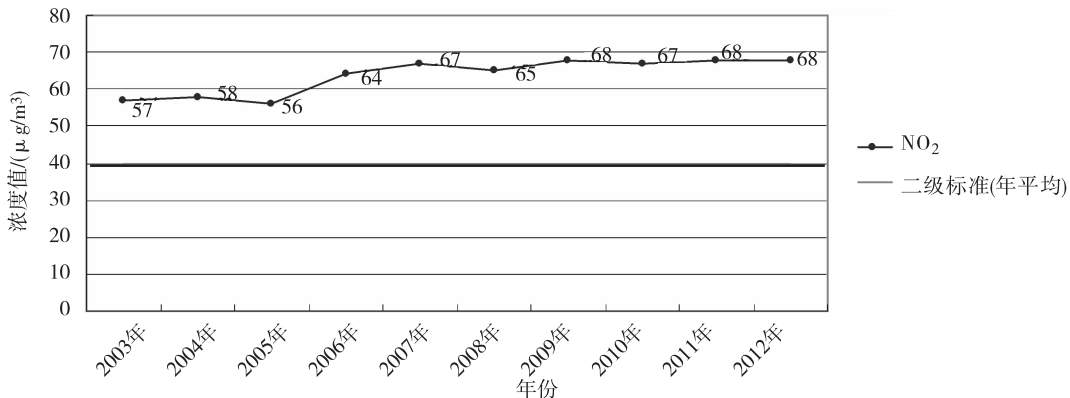
注：数据来自2004—2012年乌鲁木齐年鉴和政府工作报告。

图2 乌鲁木齐市大气污染物PM<sub>10</sub>历年年均浓度变化趋势图



注：数据来自2004—2012年乌鲁木齐年鉴和政府工作报告。

图3 乌鲁木齐市大气污染物SO<sub>2</sub>历年年均浓度变化趋势图



注：数据来自2004—2012年乌鲁木齐年鉴和政府工作报告。

图4 乌鲁木齐市大气污染物NO<sub>2</sub>历年年均浓度变化趋势图

## 2 成因分析

### 2.1 地形地貌

乌鲁木齐市位于天山北部、准葛尔盆地南缘，周边多为荒山戈壁，易形成扬尘天气。东南西三面被平均海拔 680~950m 的山脉包围，坡降落差较大，南高北低、中间低洼，地形条件非常不利于大气的流通和污染物的扩散。

### 2.2 气象因素

乌鲁木齐市地处亚欧大陆腹地，属于典型的温带大陆性气候，降水量较小，蒸发量较大，冬季静风频率高，中性和稳定类型天气居多<sup>[1]</sup>。

本文利用 SPSS 中的相关分析功能，对乌鲁木齐市 2003—2012 年主要大气污染物 SO<sub>2</sub>、PM<sub>10</sub>、NO<sub>2</sub> 和空气污染指数 AQI 与各气象要素之间做了相关性分析，分析结果见表 2。

表 2 2003—2010 年乌鲁木齐市主要大气污染物与各气象要素的相关性分析

	月平均气温	月平均降水量	月平均湿度	月平均日照时数	月平均蒸发量	月平均风速	
SO <sub>2</sub> 月均浓度	-0.97**	-0.54	0.95**	-0.95**	-0.93**	-0.46	Pearson 相关系数
PM <sub>10</sub> 月均浓度	-0.96**	-0.55	0.95**	-0.98**	-0.93**	-0.51	Pearson 相关系数
NO <sub>2</sub> 月均浓度	-0.99**	-0.58*	0.97**	-0.97**	-0.98**	-0.51	Pearson 相关系数
AQI	-0.96**	-0.55	0.95**	-0.98**	-0.93**	-0.52	Pearson 相关系数

注：\* 代表 0.05 水平显著相关；\*\* 代表 0.01 水平显著相关。

分析结果表明：SO<sub>2</sub> 月均浓度、PM<sub>10</sub> 月均浓度、NO<sub>2</sub> 月均浓度和月均 AQI 与月平均气温呈显著负相关，相关系数分别为 -0.97、-0.96、-0.99、-0.96；与月平均湿度呈显著正相关，相关系数分别为 0.95、0.95、0.97、0.95；与月平均日照时数呈显著负相关，相关系数分别为 -0.95、-0.98、0.97、-0.98；与月平均蒸发量呈显著负相关，相关系数分别为 -0.93、-0.93、-0.98、-0.93。原因是乌鲁木齐市冬季气温低、湿度大、蒸发量小、日照少，大气层结通常较稳定，形成低空逆温的概率较大，不利于污染物的扩散，易造成大气污染。与月平均降水量相关分析中，只有 NO<sub>2</sub> 与其在 0.05 水平呈显著负相关，相关系数为 -0.58；与月平均风速相关性不明显。其原因可能是乌鲁木齐市一年

之中月平均风度变化不明显。

### 2.3 人为因素

目前，煤炭是乌鲁木齐一次性能源消费的主要成份<sup>[2]</sup>，经济的高速增长主要建立在石油化工、煤炭、钢铁、电力等高能源消耗、高污染排放的工业基础上。由表 3 可以看到，近 10 年工业耗煤量呈上升趋势，工业 SO<sub>2</sub> 和烟尘的排放量较大。冬季分散的居民采用燃煤小锅炉取暖是 SO<sub>2</sub>、烟尘等污染物的排放源之一，其排放情况见表 4。另外，机动车源污染是乌鲁木齐市空气污染的又一主要因素，由此带来的机动车尾气污染正趋于严重。据统计，2010 年乌鲁木齐市机动车 NO<sub>x</sub> 和烟尘的排放量分别为 5.45 万 t 和 0.44 万 t，分别占全市 NO<sub>x</sub> 和烟尘总排放量的 35% 和 11%。

表 3 乌鲁木齐市重点调查企业污染物排放情况

年份	2003	2004	2005	2006	2007	2008	2009	2010	2011	2012
工业企业个数	70	105	105	112	103	130	177	214	227	244
煤炭消耗总量/(万 t)	637.04	738.42	827.6	1031.8	1084	1250.8	1135.2	1863.5	2358.1	2167.4
SO <sub>2</sub> 排放量/(万 t)	6.51	8.30	8.77	11.81	11.41	12.36	10.71	9.99	12.94	10.98
烟尘排放量/t	3.59	4.1	4.25	4.21	3.96	2.75	3.06	3.15	3.92	3.30

注：数据来自 2004—2012 年乌鲁木齐年鉴和 2013 年乌鲁木齐统计年鉴。

表 4 乌鲁木齐市生活耗煤量及污染物排放 (万 t)

年份	2003	2004	2005	2006	2007	2008	2009	2010	2011	2012
生活耗煤量	115	62	62	61.24	69.97	69.99	74.92	62.92	48.53	48.19
SO <sub>2</sub> 排放量	1.47	0.99	0.99	0.99	1.09	0.70	0.76	0.85	0.92	0.66
烟尘排放量	2.19	1.5	1.64	1.71	1.72	1.72	1.72	1.28	0.67	0.48

注：数据来自 2004—2012 年乌鲁木齐年鉴。



表5 2003—2012年乌鲁木齐市机动车保有量

年份	2003	2004	2005	2006	2007	2008	2009	2010	2011	2012
机动车保有量/(万辆)	14.30	14.84	16.27	19.21	21.03	22.60	26.43	32.13	42.05	53.00

注：数据来自2004—2013年新疆统计年鉴及政府工作报告。

### 3 大气污染主要治理措施及成效

#### 3.1 加大工业污染源和生活污染源治理力度

##### (1) 工业污染源治理

面对资源能源消耗持续增长、环境容量相对不足、以煤炭为主的能源结构和产业偏重化结构的趋势还将维持较长一段时期的客观事实，乌鲁木齐市从加快淘汰落后工业产能入手，转变经济发展方式、优化产业结构，推动节能减排，严格执行行业准入条件，严格限制高耗能、高污染行业发展，防止落后产能反弹，提高经济增长质量和效益。乌鲁木齐市还于2004年划定天山区、沙依巴克区、新

市区、水磨沟区四个行政区范围内为高污染燃料禁燃区，面积130.74km<sup>2</sup>；将中心城区内化工等重污染工业企业全部搬离城区，严格控制燃煤硫份不得高于0.5%，限令工业改造脱硫除尘设施，减少工业源污染物排放。根据2004—2012年乌鲁木齐年鉴和2013年乌鲁木齐统计年鉴，到2012年，乌鲁木齐市工业产值万元煤耗3.12t、单位万元工业产值SO<sub>2</sub>排放量16.0kg、单位万元工业产值烟尘排放量8.1kg，相比2003年分别减少48%、75%、77%，工业产值增长质量和环境效益有较大提高。

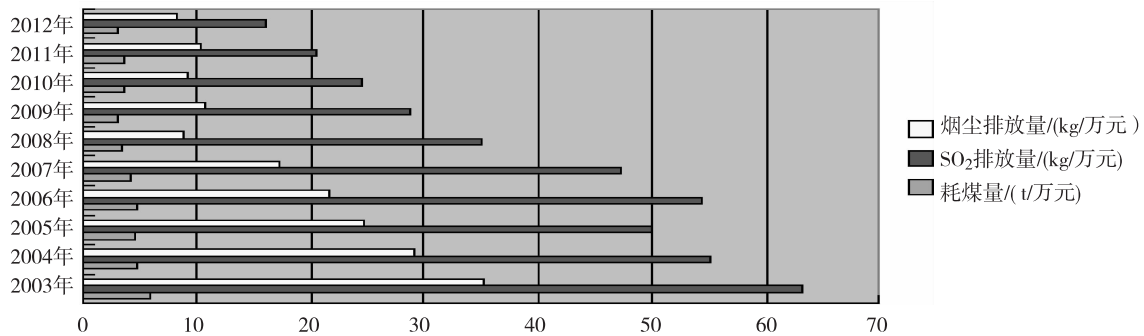


图5 乌鲁木齐市工业产值万元耗煤量及SO<sub>2</sub>、烟尘排放情况

##### (2) 生活污染源治理

乌鲁木齐市供暖期长达180d，分散的燃煤锅炉是造成乌鲁木齐市冬季大气污染的主要原因之一。自2000年起，乌鲁木齐市政府采取了燃煤锅炉清洁能源改造、燃煤小锅炉拆并、老旧管网改

造、新建大型热电联产热网等强硬措施。2012年乌鲁木齐筹资121亿元对中心城区所有供热设施进行煤改气，同步拆并改造燃煤分散锅炉11075台，新增热电联产面积360万m<sup>2</sup>，大气污染治理力度空前。

表6 乌鲁木齐市供热锅炉拆并改造成果

年份	2003	2004	2005	2006	2007	2008	2009	2010	2011	2012
拆并改造锅炉/台	1174	776	653	3025	3697	2212	2647	2476	7796	11705
集中供热面积/(万m <sup>2</sup> )	3871	3915	4609	5172	6172	6900	7420	8700	9215	10151

注：依据2004—2012年乌鲁木齐年鉴和政府工作报告。

#### 3.2 控制机动车污染源，发展绿色交通

随着经济的快速发展和人们生活水平的提高，汽车走进了千家万户，但在给人们生活带来方便的同时，其排放的尾气也加剧了城市大气环境污染。经相关调查，乌鲁木齐市大气环境污染已经由单一的煤烟型污染转变为机动车尾气和煤烟型混合型污染<sup>[3]</sup>。面对已不可忽视的机动车尾气污染，乌鲁木齐市严格控制油品质量，同时结合本地蕴含丰富天

然气和液化石油气这一自然条件，鼓励燃油车进行天然气、液化气改装。2010年，全市已改装燃气汽车4万多辆，其中全市4201辆公交运营车、7413辆出租车全部使用压缩天然气作燃料。到2012年，全市车用天然气已达6.22亿m<sup>3</sup>，比2003年增加5.73亿m<sup>3</sup>；车用液化气自2005年呈逐年下降趋势。此外，乌鲁木齐市对上路机动车发放“黄绿标”环保标志，对黄标车限制其行驶路段。

表7 乌鲁木齐市机动车年消耗天然气、液化气量

年份	2003	2004	2005	2006	2007	2008	2009	2010	2011	2012
车用天然气/(亿 m <sup>3</sup> )	0.49	0.67	0.82	1.23	1.76	2.03	2.35	3.06	4.63	6.22
车用液化气/(万 t)	2.13	2.59	3.33	2	1.18	0.37	0.14	0.1	0.07	-

注：数据来自2004—2012年乌鲁木齐年鉴和2013年乌鲁木齐统计年鉴。

### 3.3 推进建筑节能改造

建筑节能是在建筑中合理使用和有效利用能源，不断提高能源利用率，减少能源消耗<sup>[4]</sup>。推行建筑节能改造，对建筑采暖以煤炭为主的乌鲁木齐市来说意义重大，这不仅可以降低供暖耗能，而且还是改善大气环境的重要途径。从2003年4月开始，乌鲁木齐市新建建筑按50%节能标准、2009年按65%节能标准强制执行。据调查乌鲁

木齐未达节能标准的既有居住建筑超过4000多万m<sup>2</sup>，这些建筑多为1975—2002年期间建造的非节能建筑，保温性能差，能耗高。针对既有建筑改造主要包括对建筑外墙、屋顶等外围护结构和室内外供热系统进行保温隔热改造以及进行室温可控。由表8可知，2005—2012年既有建筑节能改造面积累计达1050.46万m<sup>2</sup>，其能源节约量、SO<sub>2</sub>和烟尘的减排量相当可观。

表8 2003—2012年既有建筑节能改造面积及节能减排情况

年份	2003	2004	2005	2006	2007	2008	2009	2010	2011	2012
改造面积/(万 m <sup>2</sup> )	-	-	2.86	12.5	25.6	32.5	177	250	223	326.5
新型墙体节约能源/(万 t 标煤)	-	5.5	8.8	45	9.21	10	10.54	12.6	-	-
新型墙体减少SO <sub>2</sub> 、烟尘排放量/(万 t)	-	5.5	0.15	1.08	1.45	1.57	2.66	3.18	-	-

注：数据来自2005—2012年乌鲁木齐年鉴和2011、2012年政府工作报告。

### 3.4 植树造林，增加绿化面积

绿化可以改善人类生活质素、保护城市生态环境，在城市大气环境的生态平衡中起着“除污吐新”的作用。城市绿化对大气环境的保护主要体现在对大气污染的净化作用和绿化防污效应两方面<sup>[5]</sup>。一方面是吸收CO<sub>2</sub>放出O<sub>2</sub>，保持CO<sub>2</sub>和O<sub>2</sub>间平衡；另一方面大片的林木绿地，不但可吸收大气中部分的有害气体，而且由于绿地与附近地区空气的温差，造成缓慢

对流，打破空气的静止状态，促进了有害气体的稀释、扩散，从而降低大气有害气体的浓度<sup>[6]</sup>。乌鲁木齐市一直坚持扎实开展城区绿化工作，加大周边生态环境建设，提高森林覆盖率，发挥城市绿化在改善大气污染方面的作用。到2012年，乌鲁木齐市人均公园绿地面积达9.2m<sup>2</sup>/人，比2011年增加1.4%，比2003年增长1.14倍；建成区绿地覆盖率达到37%，相比2003年增加55.2%。

表9 2003—2012年乌鲁木齐市绿化情况

年份	2003	2004	2005	2006	2007	2008	2009	2010	2011	2012
建成区绿地面积/(hm <sup>2</sup> )	3081	4141	4225	4342	5575	6446	10601	10907	12731	12470
建成区绿地覆盖率/%	23.84	25.13	25.31	21.47	24.22	24.22	34.25	34.8	36.16	37.00
人均公园绿地面积/(m <sup>2</sup> /人)	4.30	4.40	4.20	5.40	6.90	6.00	6.91	7.39	9.07	9.20

注：数据来自2013年乌鲁木齐统计年鉴。

### 3.5 大气治理成效分析

本文就节能减排、调整优化能源结构、增加城市绿化三个主要方面选取工业产值万元耗煤量、拆并改造锅炉、车用天然气供应量、既有建筑节能改造面积、建成区绿地覆盖率5个因子，运用变异系数法<sup>[7]</sup>具体量化了这5个因子在改善乌鲁木齐市大气环境质量方面的贡献率。

如表10所示，乌鲁木齐市采取能源结构调整战略，大力推广清洁能源，一方面不断降低工业的燃煤消耗量，加大天然气、电能等清洁能源的比例，使单位工业产值万元耗煤量不断降低，从而减

少污染物的排放，改善大气环境质量初见成效，贡献率达7%；另一方面推进机动车燃气改造，降低机动车对汽油、柴油的需耗，使天然气的需求比例不断上升，控制机动车尾气排放对大气环境的影响，对大气环境质量改善的作用也较为突出，其贡献率为25%。在节能减排方面，拆并改造分散燃煤锅炉，增加集中供热面积，坚定、全力地推行“煤改气”工程，加强对既有建筑节能改造的力度，大大减少了燃煤供暖污染物的排放，从根本上遏制了大气污染，两者对大气环境质量改善的贡献率分别达30%和31%。另外，大力开展的城

化工程对乌鲁木齐大气环境质量的改善也起到了一定的积极作用, 绿地覆盖率的增加, 对颗粒物、 $\text{SO}_2$  的滞留、吸附能力增强, 进而降低了因地表裸露造成大气二次污染的概率。

表 10 乌鲁木齐市大气污染治理效果分析

年份	工业产值万元 耗煤量/(t/万元)	拆并改造 锅炉/台	车用天然气 供应量/(亿 $\text{m}^3$ )	既有建筑节能 改造面积/(万 $\text{m}^2$ )	建成区绿地 覆盖率/%
2003	6.00	1174	0.49	-	23.84
2004	4.88	776	0.67	-	25.13
2005	4.69	653	0.87	2.86	25.31
2006	4.75	3025	1.23	12.5	21.47
2007	4.25	3697	1.76	25.6	24.22
2008	3.45	2212	2.03	32.5	24.22
2009	3.06	2647	2.35	177	34.25
2010	3.72	2467	3.06	250	34.80
2011	3.68	7796	4.63	223	36.16
2012	3.12	11705	6.22	326.5	37.00
贡献率	0.07	0.30	0.25	0.31	0.07

注: 数据来自 2004—2012 年乌鲁木齐年鉴、政府工作报告和 2013 年乌鲁木齐统计年鉴。

#### 4 结论

2003—2012 年乌鲁木齐市大气环境质量向好的方向发展,  $\text{SO}_2$  年均浓度值在 2012 年首次满足国家二级标准;  $\text{PM}_{10}$ 、 $\text{NO}_2$  年均浓度增降幅度不大, 仍高于国家二级标准。

月平均气温、月平均湿度、月平均日照时数、月平均蒸发量与  $\text{SO}_2$ 、 $\text{PM}_{10}$ 、 $\text{NO}_2$  和 AQI 的关系密切, 相关系数分别为  $-0.97$ 、 $-0.96$ 、 $-0.99$ 、 $-0.96$ ;  $0.95$ 、 $0.95$ 、 $0.97$ 、 $0.95$ ;  $-0.95$ 、 $-0.98$ 、 $-0.97$ 、 $0.98$ ;  $-0.93$ 、 $-0.93$ 、 $-0.98$ 、 $-0.93$ 。

2003—2012 年治理大气污染所采取的降低单位工业产值耗煤量、推进机动车燃气改装等调整能源结构措施对改善大气环境质量的贡献率为 32%; 拆并改造锅炉、推进建筑节能改造等节能减排措施贡献率最大, 占 61%; 增加建成区绿地覆盖率对空气质量的改善也起到了促进作用。由

此看来, 乌鲁木齐市改善大气环境质量的措施初见成效, 今后应该继续推进大气污染治理的各项措施。

#### 参考文献:

- [1] 李瑞, 余锦华, 李如绮. 乌鲁木齐市近 43 年风速气候特征分析 [J]. 干旱区资源与环境, 2009, (5): 106-109.
- [2] 王春华, 吕爱华. 乌鲁木齐大气污染现状及影响因素分析 [J]. 新疆农业大学学报, 2010, 33 (4): 349-353.
- [3] 赵晖, 邹林英. 乌鲁木齐市汽车尾气排污现状及防治对策探讨 [A]. 中国环境保护优秀论文集 [C]. 2005: 1425-1428.
- [4] 罗静. 寒冷地区既有建筑节能改造及能耗评估的研究 [D]. 西安: 西安科技大学, 2008.
- [5] 冯采芹. 城市环境研究 [M]. 北京: 中国环境出版社, 1992.
- [6] 卓秋芬. 大气污染与城市绿化植物 [J]. 环境科学, 2005, (10): 47-48.
- [7] 门宝辉, 梁川. 基于变异系数权重水质评价属性识别模型 [J]. 哈尔滨工业大学学报, 2005, 37 (10): 1373-1375.

## Current Status of Air Pollution and Effectiveness Analysis of Air Pollution Management in Urumqi City

XU Peng, XIE Hai-yan, SUN Yuan-yuan

(Academy of Pratacultural Environmental Science, Xinjiang Agricultural University, Urumqi Xinjiang 830052 China)

**Abstract:** The days of different air quality levels and the annual average concentration of the main air pollutants in Urumqi city in recent decade were examined. The results implied that the air quality of Urumqi city was getting better. The annual average concentrations of  $\text{PM}_{10}$  and  $\text{NO}_2$  have been steady reaching the second grade of the national standard in the last ten years.  $\text{SO}_2$  has achieved the second grade for the first time in 2012. The correlation analysis between atmospheric pollutants concentration and weather factors implied that the monthly average concentration of

atmospheric pollutants and air quality index had a significantly negative correlation with temperature, sunshine time, and evaporation, but a significantly positive correlation with monthly average humidity. According to the variation coefficient method, the major drivers of improving air quality in Urumqi city were implementation of energy conservation and emissions reduction and the adjustment of energy structure.

**Key words:** air quality; air pollution; status; treatment; effectiveness; research; Urumqi city

---

(上接第18页)

## A Review of Study on Phytoplankton in Dianchi lake, Erhai lake, and Lugu lake

ZHANG Shi - wen, Dong Yun - xian

(Yunnan Institute of Environmental Science, Yunnan Key Laboratory of Pollution Process and Management of Plateau Lake - watershed, Kunming Yunnan 650034 China)

**Abstract:** This paper reviewed the recent studies on phytoplankton in three lakes: Dianchi lake, Erhai lake, and Lugu lake in Yunnan province. The relationship between eutrophication and phytoplankton was revealed. Water quality types and eutrophication of lakes are correlated with types of phytoplankton, dominant species, and the biomass of phytoplankton.

**Key words:** phytoplankton; water quality type; eutrophication; review; Dianchi lake; Erhai lake; Lugu lake

---

(上接第31页)

## Analysis of Pollution Characteristics in Caopu Area in Anning

LUO Yan - ling<sup>1</sup>, LI Fa - rong<sup>1</sup>, LI Xiao - ming<sup>1</sup>, YAN Gu - fen<sup>2</sup>,  
HUANG Jun<sup>1</sup>, CHEN Song<sup>1</sup>, YU Dong<sup>1</sup>, GENG Guo - bin<sup>1</sup>

(1. Kunming Environmental Monitoring Center, Kunming Yunnan 650228 China)

**Abstract:** The pollution impacts of phosphorus industry in Caopu area on air environment, soil, plants, crops, and food chain were examined. The pollution characteristics and levels were revealed. The results provided a reference for regional pollution control for phosphorus industry in Anning.

**Key words:** environmental pollution; characteristic; research; pollution prevention; Caopu area in Anning

# 农田土壤生态系统功能修复研究

## —活性微生物肥料对改善农田土壤微生物区系的试验研究

戴 丽

(云南省环境科学研究院, 云南 昆明 650034)

**摘 要:** 土壤微生物种群是土壤生态系统的重要组成部分, 土壤微生物种群的生物量是土壤生态系统安全的重要指标之一。农田由于长期施用化肥、农药, 使土壤中的微生物特别是有益微生物大量减少, 影响了农田土壤生态系统的正常功能, 本试验研究选取三种富含活性微生物的有机肥作为试验对象, 研究活性微生物有机肥与常规施肥处理下, 农田土壤微生物区系的变化情况。

**关键词:** 活性微生物肥料; 农田; 改善; 土壤微生物区系; 试验研究

**中图分类号:** X171.1 **文献标识码:** A **文章编号:** 1673-9655 (2014) 04-0045-04

在生物圈内的物质循环中, 微生物在有机物的矿化过程中起着重要作用, 作物只能吸收矿化后的无机态元素。土壤中的真菌、细菌、放线菌是有机物的分解者和合成者, 能够提供作物需要的营养物质, 同时它们中的许多种群能对病原菌产生拮抗, 另一些种群能产生促进作物生长的分泌物, 所以土壤微生物种群是土壤生态系统的重要组成部分, 土壤微生物种群的生物量是土壤生态系统安全的重要指标之一。农田由于长期施用化肥、农药, 使土壤中的微生物特别是有益微生物大量减少, 影响了农田土壤生态系统的正常功能, 本试验研究选取三种富含活性微生物的有机肥作为试验对象, 研究活性微生物有机肥与常规施肥处理下, 农田土壤微生物区系的变化情况。

### 1 试验设计

#### 1.1 试验样品的选择

通过市场调研和农户访谈, 选择了市场上有稳定销售量, 且农户口碑不错的三种富含活性微生物的有机肥作为试验对象, 确定试验编号为微 1、微 2、微 3。

#### 1.2 处理设计

方案共设 4 种处理, 处理 A: 单施微 1; 处理 B: 单施微 2; 处理 C: 按当地习惯施肥 (以施用

化肥为主); 处理 D: 单施微 3。4 种处理均在未种植前采土样, 检测土中微生物含量; 按方案把试验地分为 4 种处理种植作物, 作物收成时取根际土检测微生物含量, 以测试 4 种处理对植物根际微生物区系的影响; 同田持续种植, 收成时取根际土检测微生物含量, 农田种植试验安排 5 组试验。其中大春作物 1 组、全年蔬菜 4 组。每组试验设 4 种处理, 3 次重复, 随机区组排列, 每组处理小区面积  $0.002 \sim 0.0033 \text{hm}^2$ 。连续种植 2a。

#### 1.3 试验地和种植品种

云南省昆明市滇池流域农业种植区, 种植品种为蔬菜和水稻。

#### 1.4 测试项目

作物根际土中微生物总量主要包括细菌数/g 土, 真菌数/g 土, 固氮菌数/g 土, 放线菌数/g 土。

### 2 试验结果

从表 1 至表 6 可以看出: 作物根际土壤中的细菌、放线菌、固氮菌的生物量在处理 A、处理 B 和处理 D 条件下, 与本底相比大幅增加, 并且以处理 A 的增幅最大; 在处理 C 下略微减少或增加, 与本底相比变化不大; 作物根际土壤中真菌的生物量处理 A、处理 B 和处理 D 条件下减少, 在处理 C 下略微增加或减少, 变化不大。

表1 2011年度蔬菜地第一季作物根际土壤菌种生物量  
(茼蒿 滇池流域呈贡县蔬菜田)

	种植前 (本底)	收获后							
		处理 A		处理 B		处理 C		处理 D	
		数量	增加/%	数量	增加/%	数量	增加/%	数量	增加/%
细菌	$1.3 \times 10^7$	$1.76 \times 10^7$	35.38	$1.43 \times 10^7$	10.00	$1.25 \times 10^7$	-3.80	$1.95 \times 10^6$	3.73
放线菌	$1.7 \times 10^5$	$2.53 \times 10^5$	48.82	$1.98 \times 10^5$	16.50	$1.71 \times 10^5$	0.58	$14.1 \times 10^4$	8.03
固氮菌	$9.2 \times 10^5$	$16.80 \times 10^5$	82.60	$12.30 \times 10^5$	33.69	$9.00 \times 10^5$	-2.10	$2.56 \times 10^4$	6.41
真菌	$4.5 \times 10^4$	$3.40 \times 10^4$	-24.40	$3.90 \times 10^4$	-13.30	$4.30 \times 10^4$	-4.40	$2.12 \times 10^3$	-5.67

表2 2011年度蔬菜地第二季作物根际土壤菌种生物量  
(茼蒿 滇池流域呈贡县蔬菜田)

	种植前 (本底)	收获后							
		处理 A		处理 B		处理 C		处理 D	
		数量	增加/%	数量	增加/%	数量	增加/%	数量	增加/%
细菌	$1.3 \times 10^7$	$1.92 \times 10^7$	47.70	$1.56 \times 10^7$	20.00	$1.34 \times 10^7$	3.08	$1.45 \times 10^7$	11.5
放线菌	$1.7 \times 10^5$	$2.84 \times 10^5$	67.10	$2.12 \times 10^5$	24.71	$1.64 \times 10^5$	-3.53	$2.06 \times 10^5$	21.2
固氮菌	$9.2 \times 10^5$	$17.20 \times 10^5$	86.96	$12.60 \times 10^5$	36.96	$9.32 \times 10^5$	1.30	$10.1 \times 10^5$	9.8
真菌	$4.5 \times 10^4$	$3.60 \times 10^4$	-20.00	$3.80 \times 10^4$	-15.56	$4.60 \times 10^4$	2.22	$4.12 \times 10^4$	-8.4

表3 2011年度水稻田根际土壤菌种生物量  
(滇池流域呈贡县水稻田)

	种植前 (本底)	收获后							
		处理 A		处理 B		处理 C		处理 D	
		数量	增加/%	数量	增加/%	数量	增加/%	数量	增加/%
细菌	$1.8 \times 10^7$	$2.54 \times 10^7$	41.10	$2.1 \times 10^7$	16.67	$1.87 \times 10^7$	3.89	$1.95 \times 10^7$	8.3
放线菌	$3.7 \times 10^5$	$5.36 \times 10^5$	44.90	$4.2 \times 10^5$	11.9	$3.6 \times 10^5$	-2.7	$4.42 \times 10^5$	19.5
固氮菌	$8.7 \times 10^5$	$16.0 \times 10^5$	83.90	$11.2 \times 10^5$	28.74	$8.4 \times 10^5$	-3.4	$11.1 \times 10^5$	27.6
真菌	$5.1 \times 10^4$	$4.60 \times 10^4$	-9.80	$4.9 \times 10^4$	-3.92	$5.2 \times 10^4$	1.96	$3.12 \times 10^4$	-38.8

表4 2012年度蔬菜地第一季作物根际土壤菌种生物量  
(茼蒿 滇池流域官渡区蔬菜田)

	种植前 (本底)	收获后							
		处理 A		处理 B		处理 C		处理 D	
		数量	增加/%	数量	增加/%	数量	增加/%	数量	增加/%
细菌	$1.42 \times 10^7$	$1.85 \times 10^7$	30.28	$1.52 \times 10^7$	7.00	$1.46 \times 10^7$	2.80	$1.84 \times 10^7$	29.6
放线菌	$1.56 \times 10^5$	$2.45 \times 10^5$	57.05	$2.12 \times 10^5$	35.90	$1.48 \times 10^5$	-5.10	$2.42 \times 10^5$	55.1
固氮菌	$7.80 \times 10^5$	$15.8 \times 10^5$	102.5	$11.6 \times 10^5$	48.72	$7.60 \times 10^5$	-2.56	$11.1 \times 10^5$	42.3
真菌	$4.90 \times 10^4$	$4.12 \times 10^4$	-15.90	$4.20 \times 10^4$	-14.20	$4.90 \times 10^4$	0	$3.12 \times 10^4$	-36.3

表5 2012年度蔬菜地第二季作物根际土壤菌种生物量  
(小莲花白 滇池流域官渡区蔬菜田)

	种植前 (本底)	收获后							
		处理 A		处理 B		处理 C		处理 D	
		数量	增加/%	数量	增加/%	数量	增加/%	数量	增加/%
细菌	$1.42 \times 10^7$	$1.96 \times 10^7$	38.01	$1.68 \times 10^7$	18.31	$1.40 \times 10^7$	-1.40	$2.04 \times 10^7$	43.66
放线菌	$1.56 \times 10^5$	$2.66 \times 10^5$	70.51	$2.32 \times 10^5$	48.72	$1.58 \times 10^5$	1.28	$2.62 \times 10^5$	67.95
固氮菌	$7.80 \times 10^5$	$16.4 \times 10^5$	110.30	$12.4 \times 10^5$	58.97	$7.72 \times 10^5$	-1.03	$14.9 \times 10^5$	91.28
真菌	$4.90 \times 10^4$	$4.02 \times 10^4$	-17.96	$4.06 \times 10^4$	-17.14	$4.88 \times 10^4$	-0.41	$1.85 \times 10^4$	-62.2

表6 2012年度水稻田根际土壤菌种生物量  
(滇池流域呈贡县水稻田)

	种植前 (本底) 数量	收获后							
		处理A		处理B		处理C		处理D	
		数量	增加/%	数量	增加/%	数量	增加/%	数量	增加/%
细菌	$1.78 \times 10^7$	$2.34 \times 10^7$	31.5	$2.1 \times 10^7$	18.0	$1.87 \times 10^7$	5.1	$1.98 \times 10^7$	11.2
放线菌	$3.5 \times 10^5$	$4.36 \times 10^5$	24.6	$4.21 \times 10^5$	20.3	$3.45 \times 10^5$	-1.4	$3.92 \times 10^5$	12.0
固氮菌	$9.2 \times 10^5$	$12.0 \times 10^5$	30.4	$10.9 \times 10^5$	18.5	$8.4 \times 10^5$	-8.7	$10.1 \times 10^5$	9.8
真菌	$4.6 \times 10^4$	$4.50 \times 10^4$	-2.2	$4.8 \times 10^4$	4.3	$4.92 \times 10^4$	7.0	$4.12 \times 10^4$	-10.4

3 结论分析

(1) 施用富含活性微生物的肥料可以明显增加耕作土壤中有益微生物的生物量, 如果连续施

用, 这种增加趋势更加明显。而按习惯施肥施用, 对耕作土壤中的微生物量影响不大, 见表7, 及图1。

表7 各试验地微生物区系变化情况表 (与本底相比变化值%)

(%)

	呈贡蔬菜地				呈贡水稻田				官渡区蔬菜地			
	处理A	处理B	处理C	处理D	处理A	处理B	处理C	处理D	处理A	处理B	处理C	处理D
细菌	35.38	10	-3.8	3.73	41.1	16.67	3.89	8.3	30.28	7	2.8	37.32
	47.7	20	3.08	11.5	31.5	18	5.1	11.2	38.01	18.3	-1.4	43.66
放线菌	48.82	16.5	0.58	8.03	44.9	11.9	-2.7	19.5	57.05	35.90	-5.1	64.10
	67.1	24.71	-3.35	21.2	24.6	20.3	-1.4	12	70.51	48.72	1.28	67.95
固氮菌	82.60	33.69	-2.1	6.41	83.9	28.74	-3.4	27.6	102.5	48.72	-2.56	80.26
	86.96	36.96	1.3	9.8	30.4	18.5	-8.7	9.8	110.3	58.97	-1.03	91.28
真菌	-24.4	-13.3	-4.4	-5.67	-9.8	-3.92	1.96	-38.8	-15.9	-14.2	0	-56.73
	-20	-15.6	2.22	-8.4	-2.2	4.3	7	-10.4	-17.96	-17.14	-0.41	-62.2

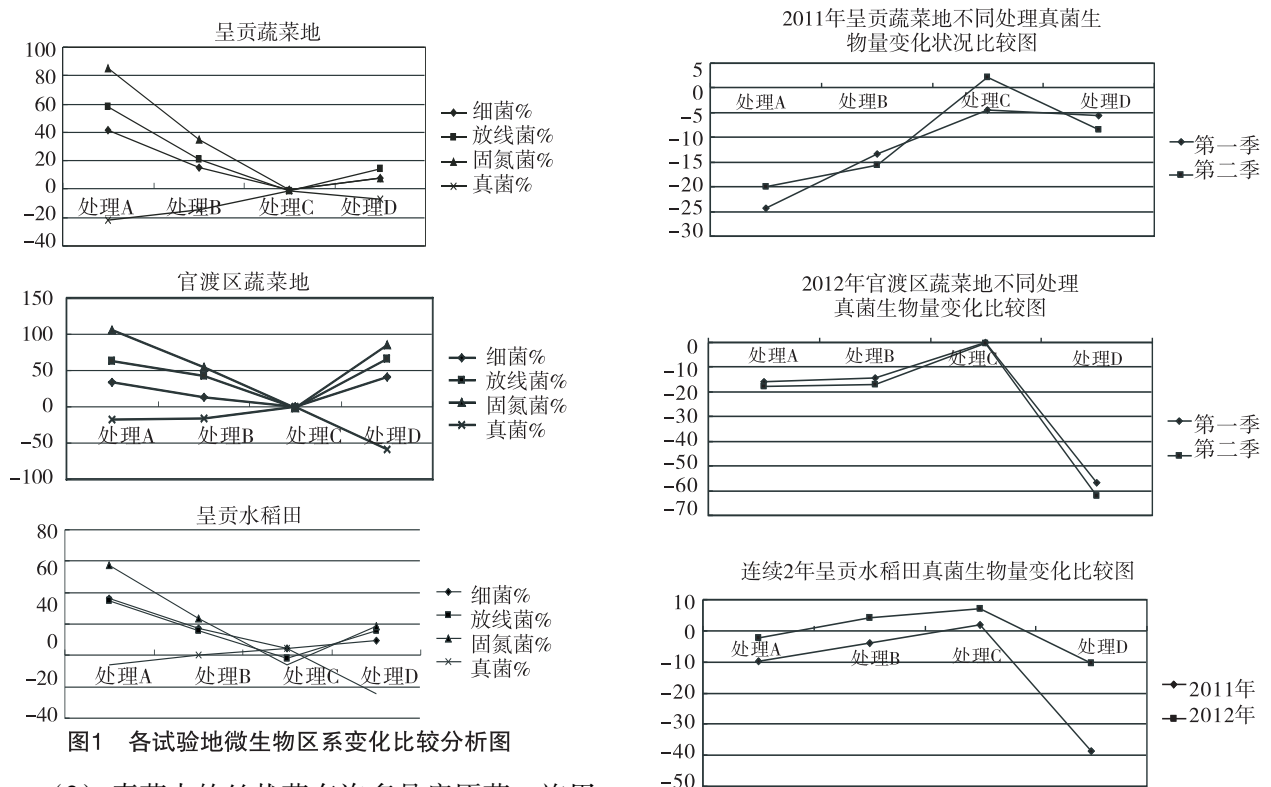


图1 各试验地微生物区系变化比较分析图

图2 真菌生物量变化比较分析图

(2) 真菌中的丝状菌有许多是病原菌, 施用活性微生物肥料, 可以促进土壤中有益微生物的大

量繁殖，从而抑制土壤中丝状真菌的繁殖，而长期施用习惯施肥（以施用化肥为主），一般情况会降低土壤的 pH 值，而真菌比较适宜于 pH 值 5.5 左右的土壤环境，因此，长期施用化肥后，真菌数量比施用活性微生物肥料多。详见图 2。

(3) 土壤中有益微生物大量增加，有利于改

善土壤的微生态环境，提高土壤供肥力，促进作物生长，使作物光合产物和根的分泌物增多，也为根际微生物的繁殖提供了良好的条件。对于改善农田土壤生态环境，保障农田生态系统安全具有明显的作用。

## Research on Improvement in Soil Microflora Using Active Microbial Manure

DAI Li

(Yunnan Institute of Environmental Science, Kunming Yunnan 650034 China)

**Abstract:** Microbial population is one vital component of soil ecosystem. Its biomass has become an essential indicator of soil ecosystem security. The amount of microbial population in soil has decreased significantly due to a long-term and intensive usage of chemical fertilizer and pesticide. It has impaired the functions of soil ecosystem. Three kinds of active microbial manure were selected to examine the changes of soil microflora comparing with chemical fertilizers.

**Key words:** active microbial manure; farm; improvement; soil microflora; experiment



# 桂林漓江湿地生态现状及保护对策

田华丽<sup>1</sup>, 覃盈盈<sup>1,2</sup>, 田 丰<sup>1</sup>, 吴华静<sup>1</sup>, 梁士楚<sup>1,2</sup>

(1. 广西师范大学生命科学学院, 广西 桂林 541004;

2. 珍稀濒危动植物生态与环境保护省部共建教育部重点实验室, 广西 桂林 541004)

**摘 要:** 介绍了漓江湿地生态现状及其主要干扰根源, 指出漓江湿地主要面临洪涝灾害频繁、枯季缺水、水体污染、河道破坏等生态环境问题。提出了水源林的营造和保护、水资源的保护和可持续利用、河道生态建设和管理三方面的建议与措施。

**关键词:** 湿地; 生态现状; 问题; 保护; 对策; 漓江

**中图分类号:** X52 **文献标识码:** A **文章编号:** 1673-9655 (2014) 04-0049-04

漓江为世界十大水奇迹之一, 以其奇特的岩溶山水自然景观闻名遐迩。漓江属珠江水系桂江上游河段, 发源于华南第一高峰猫儿山东北支老山界东南侧。以桂林兴安县溶江镇大溶江灵河汇入口(水街附近)为起点, 自北向南流经兴安、灵川、临桂、桂林市、阳朔、荔浦、恭城、平乐等地, 以平乐恭城河汇入口(平乐县中洲村附近)为终点, 干流全长约 164km, 是桂林市最大的河流。漓江河床由砂、卵石组成, 河床卵石深达 1~5m, 滩多水急弯曲大<sup>[1]</sup>。作为桂林的母亲河, 漓江在当地兼具旅游、灌溉、调蓄、饮水、航运、渔业等多种功能。近年来, 漓江干流大部分河段处于不健康状态<sup>[2]</sup>。漓江生物多样性下降趋势明显, 湿地生态系统退化。鉴于此, 本文从生态保护管理的角度, 就漓江生态问题及其干扰根源进行探讨, 并提出保护与管理相应对策建议。

## 1 漓江湿地生态资源现状

### 1.1 动植物资源

漓江动植物资源丰富, 有浮游动物 35 科 159 种(属); 大型底栖动物共计 6 纲 34 种<sup>[3]</sup>; 漓江鱼类 6 目 16 科 50 属 66 种, 近 30 年来其多样性水平呈明显下降的趋势, 许多珍稀名贵的经济鱼类如岩鲮、乌原鲤、鲮鱼、鲂、倒刺鲃、大眼鳊等以及两栖龟鳖类几近绝迹, 例如鼋已 30 年不见<sup>[4,5]</sup>。

植物资源方面, 漓江有浮游植物 7 门 80 属<sup>[6]</sup>, 野生维管束植物 808 种, 隶属于 156 科、483 属, 漓江植物区系为次生性质, 沿岸原生植被受破坏严重<sup>[7]</sup>。初步调查统计漓江现有湿地植物 180 多种, 隶属 64 科 132 属。优势种类有枫杨(*Pterocarya stenoptera*)、苦草(*Vallisneria natans*)、黑藻(*Hydrilla verticillata*)、竹叶眼子菜(*Potamogeton wrightii*)等。

### 1.2 生态旅游资源

桂林具有“三山两洞一条江”得天独厚的旅游资源。其中漓江是桂林山水的灵魂和精华, 1982 年桂林漓江被国务院列入第一批国家级重点风景名胜区。河流两岸地貌类型众多, 包揽中山山地、丘陵谷地、峰林平原、峰丛峡谷、低山丘陵地等地貌单元, 与水相伴形成多样的生态景观。沿江的喀斯特地貌段与漓江水体的组合, 形成山清水秀洞奇石美山水相依的独特经典景观。

## 2 主要环境问题

### 2.1 洪涝灾害频繁

漓江丰水期暴雨洪水频繁发生, 给漓江沿岸地区造成了生命和财产安全威胁。1998 年洪水, 最高水位 147.70m, 实测洪峰流 5890m<sup>3</sup>/s, 桂林市遭受直接经济损失达 21.63 亿元<sup>[8]</sup>。根据 1951—2010 年每一年最高水位数据, 漓江在 20 世纪 60—80 年代, 大部分年份最高水位保持在警戒水位(145~146m), 几乎没有出现严重淹没(>147m)水位, 而 1991—2010 年 20 年间最高水位严重淹没水位(>147m)出现了 6 次, 可见, 当前桂林漓江处于严重淹没水位发生概率较大时段<sup>[9,10]</sup>。漓江洪涝灾害的主要生态过程干扰根源在于气候变化异

收稿日期: 2014-03-09

基金项目: 国家科技支撑计划课题(2012BAC16B03), 广西硕士研究生科研创新项目(YCSZ2013040)。

作者简介: 田华丽(1987-), 女, 生态学在读硕士, 主要从事湿地生态学研究。

通讯作者: 梁士楚, 博士, 教授。

常形成的降水强度增大。漓江上游处在广西桂北暴雨区,属亚热带季风气候,雨量充沛,暴雨中心常出现在兴安县和灵川县一带。暴雨形成的主要天气系统是高空槽、切变线与地面静止锋等,暴雨频率强度大<sup>[11]</sup>。近年来由于全球气候异常以及降雨特性的改变出现热岛效应引起强对流暴雨,出现短历时极端雨强的点暴雨。加之暴雨区下移,上游大型水库青狮潭水库无水可蓄,漓江下游降雨下渗减少,地下水位下降,洪水暴涨暴落<sup>[12,13]</sup>。

## 2.2 枯季缺水

漓江属山溪性雨源型河流,上游山区海拔较高,河床坡度大,水流湍急。漓江流域面积小,河床切割深度浅,地下水来源范围小<sup>[14]</sup>。流域中下游地区喀斯特地貌发育遍布岩溶、裂隙、落水洞、地下河,蓄水能力差。降水量时空分布不均,丰水期和枯水期径流量相差悬殊。漓江长期面临水过多和水少的生态难题。近年来漓江水量日益枯竭,枯水期河道干涸砾石水草裸露,迫使漓江旅游景区段大型游船航程缩短。漓江枯水季节流量出现枯竭不仅影响旅游正常通航也危及工农业生产、居民生活用水等。王庆婵<sup>[15]</sup>对桂林水文站1969—2011年径流量数据进行统计分析,结果表明漓江桂林以上流域径流量、径流系数为减少趋势,其中径流量变化趋势每年以0.75的变率在减少,径流系数变化趋势每年以0.003的变率在减少。枯季低水位(小流量)保证天数急剧减少,低水位持续时间变长。漓江桂林水文站 $20\text{ m}^3/\text{s}$ 日平均流量保证天数在青狮潭大型水库建立以后的一段时间内保证率大幅上升,直到1995年每年有325d以上能够保持 $20\text{ m}^3/\text{s}$ 日平均流量。1996年之后保证率大幅度下降,出现枯水期更枯的现象<sup>[12]</sup>。自20世纪末以来,漓江源头水源林、面积逐年增加,森林覆盖率逐年上升,但森林疏密度、单位蓄积量和总蓄积量却在下降。由于没有规划地砍伐,造成成林变幼林、密林变稀林,其增加的林种多为经济林、速生林。这些林种对涵养水源作用不大,无助于漓江蓄水和补水。漓江流域人口不断增加,城镇居民生活用水、农业、工业、商业用水过度。

## 2.3 水体污染

漓江干流的水质状况基本保持Ⅲ类水质标准以内(《地表水环境质量标准》,GB3838-2002)。漓江支流的水质状况较差,基本为Ⅳ或Ⅴ类水质。水体重金属污染方面,呈现靠近市区沉积物重金属含量高,远离市区含量低的特征<sup>[16]</sup>。根据地表水

环境质量标准(GB3838—2002),仅汞而言,漓江水系均达到Ⅳ类水质标准。漓江干流城区段、桃花江和小东江的底泥为轻度污染,四湖的底泥为中度污染,南溪河和灵剑溪的底泥为中强度污染<sup>[17]</sup>。由于漓江洪涝灾害较多,河流两岸受洪水冲刷频繁造成土壤侵蚀水土流失增加,河流悬浮泥沙和河床混浊基质增加;另外随着桂林经济发展,人为干扰成为水质变差的主要原因。随着两岸农业的发展,化肥、农药等长期的不科学使用,残余化肥农药通过地表径流或渗滤进入水体造成污染;两岸蓬勃发展的餐饮业,为漓江制造不少固体垃圾和高有机成分的废水。不经处理的废水排入漓江水体后,容易导致水体富营养化。除此之外河流两岸石料加工、船舶残油(游轮)、含油污水、居民生活污水的排放和生活垃圾、固体废弃物堆积等都是造成漓江水体污染的干扰根源。桂林市区以及阳朔县是污水直接排放河流的主要城镇,年排放污水总量为 $13521 \times 10^4\text{ m}^3$ 。主要入河污染物有氨氮、 $\text{COD}_{\text{Cr}}$ 、 $\text{BOD}_5$ 、挥发酚、氰化物等5种污染物,年排放总量达12939.8t<sup>[18]</sup>。

## 2.4 河道破坏

河流两岸用地发生变化,自然河段减少,2009年漓江桂林市区段农林用地占河岸总长度的57.78%,建筑用地占35.95%,自然景观用地仅占6.27%<sup>[19]</sup>。漓江吸引越来越多的经济活动,开发强度加大。房地产开发沿江聚集,越来越多的河流湿地被开垦为耕地或用于居民区修建。河道和两岸的植被遭到人为频繁干扰;河道上无证无序挖沙现象屡见不鲜。漓江上游和下游河道依旧存在非法挖沙取石现象,非法采沙屡禁不止。挖沙之处原有植被资源几乎荡然无存,河床结构千疮百孔,卵石随处堆砌阻塞河道。浅滩上出现渠式河道,降低了水位,扩大了河床的裸露<sup>[20]</sup>。造成漓江沿河河床普遍淤高,河道变浅变宽。漓江中上游河床内出现大量的泥砂、卵石淤积现象;人为涉水工程的建设,河道型水库生态系统代替自然河流生态系统,改变了河流的生态环境。河流生态环境的变化影响河流生物多样性<sup>[21]</sup>。河道中虽然依旧保持水草丰茂,但是群落单一,在漓江湿地植被调查中马来眼子菜群系、苦草群系、黑藻群系等为漓江主要沉水植物群落,而原有金鱼藻群系几乎不见。由于水体的富营养化,为外来植物例如凤眼莲提供生长的优良环境,其蔓延速度极快,枯水期水流较缓慢的河湾河道浅水处常大面积带状漂浮。

### 3 保护管理建议与措施

#### 3.1 水源林营造和保护

上游山区采取植被和工程相结合的水土保持措施,减少泥沙输送。通过造林、封山育林、选择适宜树种、合理布局水源林结构,增加水源林蓄水能力,减少水土流失。开展以水土保持为中心的生态恢复工程。禁止在漓江源头自然保护区砍伐、捕捞、狩猎、放牧、烧炭、开矿、采石、挖砂、取土、烧山开垦、山体开采等。加强管理,严格执行生态保护区规范和生态区环保标准,提高水源林区农民环境保护意识。建立和完善漓江源区生态补偿机制,调节漓江生态利益相关者之间的关系,实现漓江的可持续发展<sup>[22]</sup>。

#### 3.2 水资源的保护和可持续利用

协调好陆地系统与水生系统的相互作用,管理好水资源,包括水量、水质和径流过程是流域生态系统管理的核心内容<sup>[23]</sup>。针对漓江枯水季节缺水难题建议采取的管理措施有:制定和实施多目标的用水规划;根据漓江的水资源承载能力控制人口数量;优化水库调蓄系统和漓江补水枢纽工程,调整径流量保证河道内生态需水;以节水为本,节约农业、工业、城市生活用水。采用节水技术,农业上推广喷灌、滴灌、管灌、薄膜覆盖等技术,工业上改进生产工艺流程,使用循环水提高用水重复利用率,居民用水上应当加快城市供水管网的建设,改进供用水设施并宣传节水知识提高公民节水意识<sup>[24]</sup>。在控制水体污染方面可采取水土保持措施和人工湿地建设,沉积泥沙净化水质;指导农民科学利用农药化肥,提倡使用农家肥减少化肥农药的使用;关闭和改造高污染排放企业,有规划建设污水处理厂在处理成本的允许下尽可能减少污水直接排放,并提高水的再利用率;统一规划和管理沿江餐饮业,提高环境卫生要求,禁止无序无证的沿江餐馆继续营业,禁止随意乱丢乱倒垃圾;遵循《桂林漓江旅游客船污染物监督管理规定(试行)》,禁止旅游客船将污染物排入江中,推动漓江船舶污染物“零排放”。保护水资源增加使用水量、改善水生态生境、提高人们生活质量,保证生态系统、社会和经济的可持续发展。

#### 3.3 河道生态建设和管理

调整土地利用结构,降低沿江建设用地的比例;采取植被恢复,陡坡退耕还林、还草。利用漓江本地物种,例如枫杨、樟树、水团花、结缕草等建设河岸林草缓冲带;利用河道生态浮床技术,筛

选去污能力强且美观的水生植物,例如芦苇、香蒲、美人蕉等。建立沿江绿化带,为漓江生态景观增添活力;重视漓江湿地外来入侵种的防治,避免外来物种入侵;完善河道整治与疏浚,填、整采挖砂后的坑、洼。坚决制止违法挖采河沙、违法山体开采;严禁在漓江两岸大量放牧和江内网箱养鱼;控制漓江旅游客流量;沿江选址,在专家的建议下,建立保护小区,填补漓江干流至今没有自然保护区的空白;协调各管理部门的职责,整体性管理。发挥《广西壮族自治区漓江流域生态环境保护条例》、《桂林市环境保护条例》、《桂林市漓江饮用水源保护区污染防治管理暂行规定》、《中华人民共和国水法》、《河道管理条例》等法律法规的作用,约束人们不法行为,共同保护漓江奇特河流湿地景观。

#### 参考文献:

- [1] 桂林漓江志编纂委员会. 桂林漓江志 [M]. 桂林: 广西人民出版社, 2004: 59.
- [2] 黄信望. 漓江流域生态健康评价系统设计与实现 [D]. 南宁: 广西师范学院, 2013: 43-44.
- [3] 杨青瑞, 陈求稳, 韩瑞. 漓江大型底栖动物群落组成特征分析 [J]. 淡水渔业, 2011, 41 (3): 91-95.
- [4] 蔡德所, 赵湘桂, 朱瑜. 漓江鱼类资源调查及物种多样性分析 [J]. 广西师范大学学报 (自然科学版), 2009, 27 (2): 130-136.
- [5] 周解, 韩耀全. 漓江水生态系统自然资源调查研究 [J]. 广西水产科技, 2007, (2): 84-89.
- [6] 赵湘桂, 何安尤, 蔡德所. 漓江流域浮游植物调查及其演替 [J]. 广西师范大学学报 (自然科学学报), 2009, 27 (2): 124-129.
- [7] 韦毅刚. 桂林漓江沿岸植物区系特点及其与景观的关系 [J]. 广西植物, 2004, 24 (6): 508-514.
- [8] 桂林市水利局, 桂林工学院. 桂林市全国生态节水型社会建设试点规划 [R]. 2004.
- [9] 吴毅杰. 桂林漓江洪涝特点及其气象服务要点 [J]. 广西气象, 2005, 26 (增刊II): 39-40.
- [10] 刘福洲, 白先达. 桂林漓江致洪暴雨分析安徽农业科学 [J]. 2011, 39 (15): 9090-9092, 9164.
- [11] 罗锦珠. 桂林漓江洪旱灾害成因分析及综合治理刍议 [J]. 人民珠江, 2006, (4): 77-79.
- [12] 黄坤安. 桂林漓江水资源演变分析 [J]. 中国水利, 2008, (7): 25-27.
- [13] 黄坤安. 漓江阳朔河段洪水特性分析 [J]. 人民珠江, 1999, (6): 17-18.
- [14] 罗锦珠. 广西江河洪涝灾害成因分析及防治对策 [J]. 人民珠江, 2004, (1): 31-34.
- [15] 王庆婵. 漓江桂林以上流域水资源变化趋势探讨 [J]. 人民珠江, 2013, (2): 13-16.
- [16] 伍婷婷, 李平阳, 莫创荣, 等. 漓江沉积柱重金属垂向分布特征及污染评价 [J]. 环境保护科学, 2012, 38 (6): 14-

- 16, 59.
- [17] 钱建平. 漓江水系汞的分布和污染研究 [J]. 地球化学, 2010, 9 (4): 314 - 325.
- [18] 黄宗万, 陈余道, 蒋亚萍, 等. 漓江流域水资源形势分析 [J]. 广西科学院学报, 2005, 21 (1): 56 - 60.
- [19] 秦润君, 吴虹, 郭琪, 等. 基于遥感和 GIS 技术的漓江自然地貌破坏现状调查 [J]. 国土资源遥感, 2013, 25 (1): 160 - 164.
- [20] 韩耀全, 周解, 吴祥庆. 漓江的自然地理与水质调查 [J]. 广西水产科技. 2007, (2): 8 - 16.
- [21] 朱瑜, 蔡德所, 周解, 等. 鱼类完整性指数评价漓江水生态环境健康状况 [J]. 广西师范大学学报: 自然科学版, 2012, 30 (4): 130 - 135.
- [22] 王月, 李晖, 李明顺, 等. 漓江源区居民生态保护调查与生态补偿机制研究 [J]. 安徽农业科学, 2010, 38 (30): 17043 - 17045, 17048.
- [23] 魏晓华, 孙阁. 流域生态系统过程与管理 [M]. 北京: 高等教育出版社, 2009.
- [24] 梁文寿. 关于漓江水资源的保护和可持续利用的分析 [J]. 广西轻工业, 2011, (5): 77 - 78.

## Ecological Status and Countermeasures of Lijiang River Wetland in Guilin

TIAN Hua - li<sup>1</sup>, QIN Ying - ying<sup>1,2</sup>, TIAN Feng<sup>1</sup>, WU Hua - jing<sup>1</sup>, LIANG Shi - chu<sup>1,2</sup>  
(1. College of Life Science, Guangxi Normal University, Guilin Guangxi 541004 China)

**Abstract:** The present ecological status of Lijiang river wetland was introduced. Lijiang river wetland are facing the following environmental problems including floods, water shortage in dry season, water pollution, and damages of river channel. Reforestation in water source area, protection and sustainable usage of water resources, and ecological construction and management of river channels were put forward to strengthen the wetland prevention.

**Key words:** wetland; ecological status; problems; protection; countermeasures; Lijiang river

# 以德钦县为例探讨高原牧区农村环境保护

朱秀英

(德钦县环境保护局, 云南 迪庆 674599)

**摘要:** 介绍了德钦县概况, 分析了德钦县存在的主要问题, 提出了保护对策及建议。

**关键词:** 高原; 牧区; 农村; 问题; 对策; 德钦

**中图分类号:** X3 **文献标识码:** A **文章编号:** 1673-9655 (2014) 04-0053-03

## 1 德钦县概况

德钦县位于云南省迪庆藏族自治州西北部, 横断山脉地段, 滇、川、藏 3 省(区) 结合部, 平均海拔 4270.2m, 落差大、坡度陡, 年均气温 4.7℃, 冬季较长。金沙江、澜沧江纵贯其间, 与怒江共同形成了“三江并流”世界遗产地, 区域生物多样性十分丰富, 自然景观独特, 景区景点众多, 成为“香格里拉”品牌重要组成部分。全县国土面积 7290km<sup>2</sup>, 2012 年末, 全县常住人口 67268 人, 其中农业人口 52296 人, 占比 77.74%。

属于以藏族为主的少数民族聚集区, 藏族约占 80%。

## 2 存在的主要问题

### 2.1 畜禽粪便污染大

德钦县草场资源丰富, 属于传统畜牧养殖区, 以放牧方式为主。主要养殖有牦牛、犏牛、羊、骡、驴、马, 以及半圈养猪、鸡等, 主要存出栏量见表 1。根据第一次全国污染源普查畜禽养殖业源产排污系数初步计算大牲畜及生猪年污染物产生量(见表 2), 其中 COD 量达到 6 万余 t, 污染严重。

表 1 2011、2012 年德钦县主要畜禽存出栏量

名称	单位	2011 年	2012 年
大牲畜年末出栏数	头、匹	5362	5842
大牲畜年末存栏数	头、匹	61864	61864
生猪出栏数	头	23976	27265
生猪年末存栏数	头	59134	58441
羊年末存栏数	只	49647	42878
羊年末出栏数	只	5039	10862

表 2 2012 年度主要牲畜污染物产生量(产排污系数法)<sup>[1]</sup>

名称	粪便量/t	尿量/L	COD/t	TN/t	TP/t
大牲畜(存出栏)	299023	205609580	55238	2572	251
生猪(出栏)	13335	30651313	4017	196	48
生猪(存栏)	10025	29010112	3029	234	41
合计	322383	265271005	62284	3002	340

注: 为便于计算, 大牲畜均以肉牛计算, 存栏生猪仅以“保育”标准计算。

### 2.2 农村生活垃圾无法处置

目前, 德钦仅有县城区建设有一座生活垃圾卫生填埋处理场, 其余乡镇和乡村收集的生活垃圾主要采用简易堆放、部分焚烧的方式进行处理。其余垃圾散失在自然环境中难以分解。垃圾类型主要有居民和游客产生的生活垃圾(塑料、玻璃、废金

属、废电池、废电器、纸张、橡胶、厨余等), 人和畜禽粪便, 农业生产垃圾(农膜、秸秆等), 建筑垃圾等。由于运输成本的原因, 玻璃瓶、易拉罐、金属、纸皮等可回收资源无人收购, 部分被丢弃。农业秸秆由于畜牧全被用于饲料。

### 2.3 地膜化肥农药施用量较大

根据农业部门统计, 德钦县 2012 年农用地膜

使用量为98t,复合肥料年使用量约在650t,农药年使用量杀菌剂约在1000件(每件100袋,一袋80~100g)、杀虫剂100件(一般每件20瓶,每瓶500ml)。

#### 2.4 水土流失严重

德钦县处于特殊的地理位置,金沙江、澜沧江沿岸岩石裸露,土质松散,生态环境极为脆弱。德钦水土流失面积2376.5km<sup>2</sup>,占全县总面积的32.68%,其中:轻度侵蚀面积1557.83km<sup>2</sup>,年侵蚀模数2100t/km<sup>2</sup>,侵蚀深0.4~2mm;中度侵蚀776.6km<sup>2</sup>,年侵蚀模数4600t/km<sup>2</sup>,侵蚀深2~4mm;强度侵蚀42.44km<sup>2</sup>,年侵蚀模数6200t/km<sup>2</sup>,侵蚀深4~6mm;全年土壤侵蚀量676.4万t。水土流失主要有面蚀、沟蚀和泥石流3类,其中以面蚀较为普遍。德钦县土壤侵蚀各级险型2379.47km<sup>2</sup>,占土地总面积的32.72%。其中:较险型721.45km<sup>2</sup>;危险型498.05km<sup>2</sup>;极险型32.71km<sup>2</sup>;毁坏型1127.26km<sup>2</sup>。德钦成为金沙江、澜沧江输沙量最主要的县。

#### 2.5 环保宣传工作薄弱<sup>[2]</sup>

德钦县地域偏远,社会经济发展相对滞后,居民受教育程度不高,加之农村环境宣传教育尚未深入,环保意识普遍偏低,自我约束意识、环境保护意识、法律意识淡薄。

### 3 保护对策及建议

#### 3.1 优化农业产业发展方式,提高产值

以特色生物产业为主,发展高原葡萄、核桃、中药材种植,发展高原牦牛养殖业,完善冰葡萄酒、核桃乳(粉)、藏药保健品、牦牛肉等高原特色产品生产。优化产业结构调整,鼓励进行深加工,发展生物产业链。大力推广绿色、有机生物技术,减少农药、化肥、地膜使用,提高农产品附加值。

#### 3.2 建立高原农村生活垃圾收运体系

统筹全县,因地制宜,做好农村生活垃圾处置规划,以乡镇为中心分批次建设生活垃圾卫生填埋处理场。同时建立高原农村生活垃圾收运体系,村民小组建设垃圾中转站,设计收运线路,研究制定村规民约,推行垃圾分类进行资源回收,做到定时清运。

#### 3.3 加大水土流失治理力度

遵循“以恢复植被,改造植被和调整土地利用率为中心,生物措施与工程措施相结合”的原则,以治理为主,治管结合,防治并重。加大政府

领导和管制力度,引导农民退耕还林,退牧还草,进一步巩固集体林权制度改革成果。

#### 3.4 生态移民易地扶贫减少对自然资源的依赖

利用好高原牧区国家特殊扶持资金,逐步开展生态移民异地扶贫工作。将陡坡地段、水土流失严重区、高寒极高海拔、交通不便等不利于生产生活发展区域居民逐步移民搬迁至低海拔坝区、河谷区,同时配套住房、饮水、耕地、交通等基础设施建设,开展好相关技能培训,提高居民生产生活水平,引导致富。通过生产生活方式的转变,减少陡坡耕作,减少对自然资源的依赖,拓宽就业门路,实现共同富裕。

#### 3.5 防止畜禽养殖污染扩大

一方面拓宽创业致富渠道,让牧民从传统放牧中解放出来,减少放牧量,杜绝草场过度放牧,从根本上解决畜禽养殖污染;另一方面加强宣传,引导牧民实行轮牧等科学放牧方式,同时在部分区域限牧(限量、限类),减少羊群养殖数量,防止啃食草根,破坏草场。只要草场保护好,游牧畜禽粪便基本能够被自然环境消纳,不至影响水源。

#### 3.6 多渠道增加环保资金投入

多渠道增加对农村环境综合治理资金的投入,落实好农村环境保护的资金渠道,充分运用经济手段保护农村生态环境。整合中央农村环境保护专项资金,实施连片农村环境综合整治示范项目。同时计划安排好年度长江中上游生态转移支付资金,分步有序实施农村环境保护项目,切实保护好长江上游这片脆弱的生态环境。

#### 3.7 强化环境宣传教育<sup>[3]</sup>

通过强化民族地区在校学习教育,不断提高农村人口文化素质,充分利用宣传教育手段,大力宣传农村环保重要性、必要性以及政策措施,同时依托藏传佛教原有的环保观念深入开展宣传教育,将环保理念融入居民日常生产生活,普遍提高环保意识,逐渐让群众广泛参与进来,感受做好农村环保工作的切实效果。

### 4 结论

农村环境问题只有通过发展循环经济,建设资源节约型、环境友好型社会,大力推行经济增长方式从粗放型向集约型转变,把循环经济工作与社会主义新农村建设结合起来,扎实开展新农村建设来解决;以《德钦县建设规划》为指导,创建生态村、生态乡镇、生态县等系列活动,是解决当前农村环境问题的重要途径,是农村环境保护参与建设

社会主义新农村的最佳切入点,是解决农村环境“脏、乱、差”问题的有效途径。应调整生产结构,发挥资源优势,发展生态经济,增加农民收入,加强对居民供排水、污水处理、生活垃圾处置等设施的建设和管理,严格保护饮用水及其水源地,搞好村容镇貌和环境卫生,改善农民的人居环境;科学施用农药和化肥,减少农村面源污染,将环境保护工作纳入新农村建设规划,并为建设

“美丽乡村”服务。

**参考文献:**

- [1] 中国农业科学院农业环境与可持续发展研究所,环境保护部南京环境科学研究所. 第一次全国污染源普查畜禽养殖业源产排污系数手册 [R]. 2009.
- [2] 杨文栋. 云南农村环境问题及其保护初探 [J]. 环境科学导刊, 2012, 31 (5): 17-21.
- [3] 陈津云. 云南农村生态环境建设与保护现状及对策研究 [J]. 思想战线, 2010, 36 (1): 245-246.

## **Rural Environmental Protection in Plateau Pasture by Taking Deqin as an Example**

ZHU Xiu - ying

(Deqin Environmental Protection Bureau, Diqing Yunnan 674599 China)

**Abstract:** The general information of Deqin county was presented. The main environmental problems were analyzed and summarized. Countermeasures and suggestions were pointed out based on the above analysis to prevent the environment.

**Key words:** plateau; pasture; rural area; problem; countermeasures; Deqin

# 绿色建材的研究与发展综述

刘邦禹, 蔡 晗

(大连理工大学建设工程学部, 辽宁 大连 116024)

**摘 要:**总结了绿色建材的基本概念与评价方法, 介绍了绿色混凝土、绿色墙体材料、绿色涂料、相变储能建筑材料, 认为绿色建材和绿色建筑技术将成为未来建筑行业的主要研究方向之一, 今后我国绿色建材发展的主要前提首先是提高政府、设计人员的环保意识, 其次要健全评价体系。

**关键词:**绿色建材; 研究; 发展; 综述; 环境保护

**中图分类号:** X38 **文献标识码:** A **文章编号:** 1673-9655 (2014) 04-0056-03

建筑材料无处不在、无处不有, 是建筑行业的根基。在建筑行业飞速发展的当今中国, 建筑材料在国民经济中占有举足轻重的地位, 而建筑材料是否经济、环保也直接决定了国家建筑行业的能源消耗。有资料显示, 一项建筑工程施工阶段的能耗约占 15%, 其中建筑材料的生产能耗占到 75% 左右, 在总能耗中占比最大。生产 1t 硅酸盐水泥需耗石灰石 1.3t、粘土 0.2t, 还有各种校正材料, 资源消耗与浪费对环境有重大影响; 在能源方面需要使用 170kg 标准煤与 120kWh 电能, 其碳排放量达到 0.936 (t<sub>-CO<sub>2</sub></sub>/t<sub>水泥</sub>)<sup>[1]</sup>。由此可见, 在可持续发展的要求下, 应用绿色建筑技术、采用绿色建筑材料是降低中国建筑业能耗与碳排放的必要方法。自 2000 年以来, 我国对绿色建筑行业的关注不断提高, 也开发了许多高效节能的绿色建筑材料与技术, 全国各地也开始出现了绿色样板建筑供人居住, 这些都对促进绿色建筑发展起到了积极作用。

## 1 绿色建材的基本概念与评价方法

### 1.1 绿色建材的基本概念

绿色建材也可称为环保建材或生态建材, 其主要功能在于保护人体健康与环境资源。相比于普通建筑材料, 绿色建材对原材料利用、生产过程、施工过程、使用过程、废弃物处理五个过程进行评价, 以确保满足功能要求<sup>[2]</sup>。

(1) 建筑材料生产过程能耗较低, 不产生新的污染源;

(2) 尽量使用废弃物回收利用加工而成的再

生资源, 少使用天然资源;

(3) 使用高效率能源与性能优异的材料以降低能耗;

(4) 材料多功能化, 如除菌、除臭、隔音、阻热等, 确保产品有益于人体健康, 改进生活环境。

### 1.2 绿色建材的评价指标与标准

绿色建材的评价系统分为绿色建材产品评价系统和建筑物建成后绿色建材评价的综合评价系统。其测试指标一般分为两类: 第一类为单项理化指标, 例如放射性强度、甲醛含量等; 第二类为复合测试指标, 包括挥发物总含量、人类感觉试验、耐燃等级以及氧指数等。绿色建材的评价指标也可以分为两类: 第一类为卫生类评价指标, 必须所有指标均符合要求才可以作为绿色建材; 第二类为复合类评价, 包括耐燃等级等, 其中若有指标优秀, 材料就可作为绿色建材<sup>[3]</sup>。国际上采用较广泛的评价标准是 ISO14000 标准中全生命周期理论, 这项理论通过研究能量与资源利用及由此造成的废弃物排放情况对产品进行合理的评价<sup>[4]</sup>。

## 2 绿色建材分类概述

### 2.1 绿色混凝土

绿色高性能混凝土 (GHPC) 这一概念于 1997 年的“高强与高性能混凝土”会议上被首次提出, 并被公认为混凝土这一建筑材料未来的发展道路, 也是混凝土能长期作为主要建材被使用的基本前提。相比传统混凝土, GHPC 可以实现非再生性资源的可循环使用和有害物质的最低排放, 既减少了对地球的负担, 又能与生态系统协调共生。其主要特点有:

收稿日期: 2014-02-12

作者简介: 刘邦禹 (1993-), 男, 本科生, 从事建筑工程研究。



- (1) 节约资源、能源;
- (2) 不破坏环境, 更有利于环境;
- (3) 可持续发展, 保证人类后代能健康、幸福地生存下去<sup>[5]</sup>。

GHPC 具有减轻环境负荷、环境友好的特性, 作为高性能混凝土, 还拥有很好的强度、工作性、耐久性。

有资料显示, 我国粉煤灰年产量已经达到 1.5 亿 t, 对环境产生了巨大的负荷, 但通过一定的技术措施, 可以将这种工业废渣大量掺入, 取代水泥熟料, 同时不会降低混凝土的性能。城市的生活垃圾也可以作为混凝土生产的原料, 通过添加催化剂, 垃圾加速降解形成干物质, 干物质中已经包含了塑料等固体, 形成了具有一定强度的建筑材料, 经消毒后对人体没有毒害作用<sup>[6]</sup>。再生骨料混凝土是利用旧建筑物解体后形成的垃圾, 破碎后制得粗骨料与细骨料, 代替部分砂石骨料而制得混凝土。这是一种节约资源的常用措施, 如全长 133.5km 的合宁高速公路, 每年路面的维修工程量 9~10 万 m<sup>2</sup>, 产生旧混凝土 3~4 万 m<sup>3</sup>, 路面维修中利用废弃混凝土再生骨料代替天然骨料配制再生混凝土用于道路, 利用率达到 80%, 节约骨料的运输费用 117~130 万元, 节省废混凝土占用土地费用 67~75 万元<sup>[7]</sup>。传统的水泥生产过程可以概括为两磨一烧, 其中生料煅烧的过程要消耗大量热能。新型的碱矿渣水泥利用碱金属化合物与工业矿渣化学反应产生而胶结的性质, 取代了胶凝材料, 从而取消了烧制过程。

## 2.2 绿色墙体材料

我国城市已经禁止了粘土砖的使用, 用以保护耕地。作为替代, 我国大力发展煤矸石砖、粉煤灰砖等砖制品, 同时发展了混凝土砌块、陶粒粉煤灰空心砌块等砌块材料, 这些新型墙材给环境造成的负担都较小。

绿色墙体材料的生产原料及途径主要有以下三个方面:

第一, 我国是世界上最大的粉煤灰生产国之一, 但目前利用率只有 40%, 这些废渣均可用以生产墙体材料。据估算, 若用工业废渣代替黏土制造相当于 1000 亿块实心黏土砖的新型墙体材料, 可消耗工业废渣 7000 万 t, 节约耕地 2000hm<sup>2</sup>, 节约生产能耗 100 万 t 标煤。例如, 四川省开发成功的页岩多孔砖不含黏土, 已在成都市“锦城苑”小康住宅示范工程大量使用, 与实心黏土砖相比, 可

节约生产与建筑使用能耗 20%<sup>[8]</sup>。

第二, 我国建筑垃圾年排放量接近 10 亿 t, 位居世界首位, 但回收利用率不足 10%。这些建筑垃圾大多可以用来制作砖、砌块、混凝土及其他建筑材料, 我国也已成功开发了一些产品, 如利用废砖和废混凝土块制成混凝土砌块砖、花格砖等轻质砌块<sup>[9]</sup>。

第三, 利用农业废弃物生产墙体材料是发展绿色墙体材料的重要方向之一, 并且这类墙体材料在质量较轻的前提下同样能保证强度。首先, 可以采用稻壳作为墙体材料。这是由于稻壳内含有 20% 的无定形硅石, 能够提高防水与耐久性。具体成果有稻壳砖、轻质水泥稻草板、绝热耐火砖等。其次, 稻草与秸秆加热挤压成型再粘贴棉纸形成的纸面草板也有保温、耐燃的优点, 同时节约了 30% 的造价与 80% 的能耗<sup>[10]</sup>。

## 2.3 绿色涂料

绿色涂料的主要特征是对生态环境不造成危害, 同时不会对人类健康造成负面影响。这种涂料不含有机溶剂与重金属盐, 也不产生有机挥发物。为减少 VOC 排放量, 绿色涂料的发展方向主要有涂料水性化、粉末化、高固体分化等<sup>[11]</sup>。

(1) 涂料水性化。水性涂料根据树脂的类型可分为稀释型、胶体分散型、水分散型或乳胶型三种, 主要品种有醋酸乙烯酯漆、水性环氧自干漆、水性醇酸氨基烘干漆和含氟丙烯酸酯等系列高级涂料。水性涂料用水取代了有机溶剂, 降低成本的同时不产生环境污染, 更消除了火灾的隐患。欧洲发达国家对水性涂料应用广泛, 如在德国水性涂料的应用已经达到 90% 以上, 在世界范围内水性涂料也有乐观的发展前景<sup>[12]</sup>。

(2) 涂料粉末化。粉末涂料是一种含 100% 固体分、以带电粉末粒子进行涂装、经加热熔融一流平—焦化—固化而成的新型涂料, 整个涂漆干燥过程中均无有机溶剂参与, 对环境保护十分有利, 火灾的危险性也很小<sup>[13]</sup>。

(3) 高固体分化涂料。一般固体分在 65%~85% 的涂料均可称为高固体分涂料, 主要用于汽车行业, 目前其主要品种为氨基丙烯酸氨基聚酯及自干型醇酸漆。这类涂料主要是通过合成低聚物大幅度地降低成膜物的相对分子质量, 降低树脂黏度, 而每个低分子本身尚须含有均匀的官能团, 使其在漆膜形成过程中靠交联作用获得优良的涂层, 从而达到和传统的涂层相同的性能<sup>[14]</sup>。

## 2.4 相变储能建筑材料

相变储能材料在发生相变的过程中会随着环境温度的变化吸收或放出热能,从而达到控制环境温度变化的效果。利用这种材料构筑建筑围护结构,能使建筑供暖或空调能耗降低、减小空气处理设备容量,同时可使空调或供暖系统利用夜间廉价电运行,降低其运行费用<sup>[15]</sup>。

相变储能材料的研究方向主要在于相变材料与基材的复合,目前相变材料植入建筑材料中的方式主要有三种:

一是将相变材料直接掺入建筑材料制得相变储能材料。这种方法成本低廉,但容易发生化学反应从而影响材料性能。

二是将建筑材料直接浸泡在相变材料中制得。这种方法同样工艺简单,例如 Chahroudi 曾用此法制备了相变储能混凝土<sup>[16]</sup>。

三是胶囊包裹方式制得,可分为微胶囊包裹和大体积包裹。其中微胶囊包裹指微小的球形或棒状相变材料颗粒被高分子材料薄膜包裹,如此形成的复合结构可以被掺入到其他的基体材料中去。大体积包裹指的是将相变材料颗粒封装在管子、袋子、面板或其他容器中,直接植入建筑材料或者其他建筑制品中。这类方法制备工艺相对比较复杂,成本过高<sup>[17]</sup>。

## 3 结语

国内目前对于绿色建材的研究还处于初步阶段,但可以预见绿色建材及绿色建筑技术将成为未来建筑行业的主要研究方向之一。今后我国绿色建材发展的主要前提首先是要提高政府、设计人员的环保意识,其次要健全评价体系,只有这样才能开发出更多生态友好、有益人体健康的新型建筑

材料。

### 参考文献:

- [1] 赵平, 同继锋, 马眷荣. 建筑材料环境负荷指标及评价体系的研究 [J]. 中国建材科技, 2004, 13 (6): 1-7.
- [2] 张仁瑜, 冷发光. 绿色建材发展现状及前景 [J]. 建筑科学, 2006, 22 (6): 5-9.
- [3] 陈从喜, 顾薇娜. 国内外绿色建材开发研究进展 [J]. 岩石矿物学杂志, 1999, (4): 10-14.
- [4] 罗梦醒, 刘艳涛, 刘军. 绿色建材现状及发展趋势 [J]. 中国建材科技, 2009, (4): 35-38.
- [5] 邱志强, 林光钗. 国内外绿色混凝土的发展动态及趋势 [J]. 福建建筑, 2009, (12): 49-51.
- [6] 史波, 李剑锋. 绿色混凝土及其工程应用 [J]. 建筑技术, 2004, 35 (1): 23-25.
- [7] 杜婷, 李惠强, 郭太平. 废弃混凝土再生骨料应用的经济性分析 [J]. 新型建筑材料, 2006, (6): 30-33.
- [8] 杜婷, 吴贤国, 方召欣, 等. 浅析我国绿色墙体材料的发展方向 and 途径 [J]. 混凝土与水泥制品, 2006, (2).
- [9] 李惠强, 杜婷, 吴贤国. 建筑垃圾资源化循环再生骨料混凝土研究 [J]. 华中科技大学报, 2001, 29 (6): 83-84.
- [10] 杜婷, 郭太平, 刘中心, 等. 利用农业废弃物生产绿色墙体材料 [J]. 建筑技术, 2006, 37 (9): 707-708.
- [11] 李文安, 孙敬轩. 绿色涂料的研究进展 [J]. 化学与黏合, 2007, 29 (5).
- [12] 庞来兴, 杨建文, 曾兆华, 等. 涂料工业的世纪进展——绿色涂料 [J]. 广州化工, 2001, 29 (4): 3-6.
- [13] 张子园. 从生产线的成功改造看粉末涂装的优越性 [J]. 中国涂料, 2006, 21 (12): 46-47.
- [14] 陈丽珠, 黄洪, 陈焕钦. 涂料工业的新进展——绿色环保型涂料 [J]. 涂料技术与文摘, 2008, (2): 10-16.
- [15] 周剑敏, 张东, 吴科如. 建筑节能新技术——相变储能建筑材料 [J]. 房材与应用, 2003, (4): 10-12.
- [16] G. A. Lane. Solar Heat Storage: Latent Heat Material [J]. Florida; Technology, CRC Press, 1986, (11).
- [17] 施韬, 孙伟. 相变储能建筑材料的应用技术进展 [J]. 硅酸盐学报, 2008, 36 (7): 1031-1036.

# Review of Research and Development of Green Building Materials

LIU Bang-yu, CAI Han

(Faculty of Infrastructure Engineering, Dalian University of Science and Technology,  
Dalian Liaoning 116024 China)

**Abstract:** The concepts and evaluation methods of green building materials were summarized. Green concretes, green wall materials, and green paints will become the main stream for future construction industry. Improving the environmental awareness of the government and the designers would be essential in China's development of green building materials in the near future. Additionally, the evaluation system of green building materials should be promoted as well.

**Key words:** green building material; research; development; review; environmental protection

# 稀脉萍对水中甲基橙的毒害响应及去除研究

陈秋平, 胥思勤

(贵州大学喀斯特环境与地质灾害防治教育部重点实验室, 贵州 贵阳 550003)

**摘要:** 用甲基橙作为胁迫因子, 研究了甲基橙对稀脉萍叶片过氧化物酶活性、可溶性蛋白含量和叶绿素含量的影响, 并采用稀脉萍去除甲基橙。结果表明: 随着甲基橙浓度的增加, 过氧化物酶活性呈先上升后下降的趋势, 当甲基橙浓度为 140mg/L 时, 过氧化物酶活性达到最高值。当甲基橙浓度 > 100mg/L, 可溶性蛋白含量急速下降。叶绿素含量和叶绿素 a/b 比值均随甲基橙浓度的升高而降低。当甲基橙浓度为 20mg/L 时, 稀脉萍对甲基橙的去除需经 10d 的延滞期, 24 d 后去除率达 89.6 %。

**关键词:** 甲基橙; 稀脉萍; 毒性; 去除; 研究

**中图分类号:** X131.2 **文献标识码:** A **文章编号:** 1673-9655 (2014) 04-0059-04

浮萍科植物(以下简称浮萍)作为小型的水生单子叶植物, 在植物毒性评价试验中具有很多优势<sup>[1]</sup>, 这不仅是由浮萍本身生物学特点所决定的, 也是由长久以来利用浮萍作为生态毒理学研究的模式材料, 积累了大量有关的生态毒理学信息所决定的<sup>[2]</sup>。浮萍能分解、吸收、转化氮和磷以及有机物等营养物质, 具有优越的生长性能和广泛的用途, 因此采用浮萍处理污水已成为环境领域的研究热点之一<sup>[3]</sup>。

稀脉萍, 又称稀脉浮萍, 叶状体自由漂浮在水表面, 2~8 个连在一起形成群体, 主要进行营养繁殖, 在实验室中培养时 1—4d 即可翻番, 是我国分布最广、最常见的浮萍属种类<sup>[2]</sup>。

甲基橙是一种互变异构体, 在酸性和碱性条件下的偶氮和醌式结构是染料化合物的主体结构, 因此以其作为染料模型化合物具有一定的代表性<sup>[4]</sup>。尹红霞等<sup>[5]</sup>采用电化学催化氧化法降解水中甲基橙, Wen 等<sup>[6]</sup>采用纳米二氧化钛光催化降解甲基橙, 王晓燕等<sup>[7]</sup>利用海绵铁还原耦合活性炭吸附-微波再生技术降解甲基橙。稀脉萍对水中甲基橙的毒害响应及去除研究尚未见报道。本文以过氧化物酶活性、可溶性蛋白质含量、叶绿素含量等为指标, 研究稀脉萍对甲基橙的毒理学响应, 探讨稀脉萍去除水中甲基橙废水的可能性。

## 1 材料与方法

### 1.1 仪器与试剂

仪器: UV-3200PCS 紫外可见分光光度计; Sartorius 电子天平; PYX-250s-B 生化培养箱; Sartorius PB-10 酸度计; SHA-B 恒温振荡器; TGL-16G 台式离心机; CS101-33EB 型电热鼓风烘干箱。

试剂: 甲基橙(上海试剂三厂生产),  $K_2HPO_4$ 、 $MgSO_4$ 、 $KNO_3$ 、 $Ca(NO_3)_2$ 、80% 丙酮、愈创木酚、30%  $H_2O_2$ 、 $Na_2CO_3$ 、NaOH、 $CuSO_4 \cdot 5H_2O$ 、酒石酸钾钠、钨酸钠、钼酸钠、磷酸、硫酸锂。以上药品均为分析纯。

### 1.2 稀脉萍的采集与培养

从九龙江附近鱼塘采集稀脉萍(*Lemna aequinoctialis*), 选择个体健壮、叶片完好的植株用自来水冲洗 3 遍, 置于加有 Hoagland 培养液的搪瓷盘中预培养 7d, 培养温度为 25 °C, 光强 4000lx, 光照时间 12h。隔天向盘内添加 Hoagland 培养液以保持液面高度。培养后的浮萍作为实验材料。

### 1.3 方法

#### 1.3.1 甲基橙对稀脉萍的损伤

##### (1) 实验设计

以 Hoagland 培养液为稀释液, 配制甲基橙浓度分别为 0、20、40、60、80、100、120、140、160、180mg/L 的溶液作为培养液。毒性实验在 150ml 烧杯中进行, 实验期间不更换培养液, 在生化培养箱中(培养温度 25 °C, 光强 4000lx, 光照时间 12h) 培养 72h, 每个浓度重复 3 次, 每个重复稀脉萍的初始植物体数为 60。

##### (2) 酶液的制备

实验结束时, 随机选择一定数量的稀脉萍叶

收稿日期: 2014-02-28

作者简介: 陈秋平(1986-), 男, 硕士研究生, 主要从事环境工程方面研究。

通讯作者: 胥思勤, 女, 副教授, 博士后, 硕士生导师。

片,洗净、吸干水分并称重,加入预冷的3ml 0.05 mol/L 磷酸盐缓冲液 (pH=7.5),在冰浴中匀浆,匀浆液移入10ml离心管中,用缓冲液清洗匀浆器,将清洗液并入离心管,定容至5ml,在4000r/min离心10min,取上清液于4℃下保存备用。

(3) 过氧化物酶活性 (POD) 测定

取光径1cm比色皿2个,于一个中加入2.4ml反应混合液<sup>[8]</sup>和0.6ml磷酸盐缓冲液作参比;另一个中加入2.4ml反应混合液和0.6ml上述酶液,立即开启秒表计时,于470nm处测量吸光度,每隔1min读一次吸光度,每份样品测3min,计算POD活性。

$$POD \text{ 活性计算: } N_0 = (A_{470-3} - A_{470-0}) / (G \times t)$$

式中:  $N_0$  - POD活性, U/g;  $A_{470-3}$  - 3 min时470 nm处吸光度;  $A_{470-0}$  - 470 nm处初始吸光度;  $t$  - 时间, min;  $G$  - 稀脉萍叶片鲜重, g。

(4) 可溶性蛋白含量的测定

采用Folin酚法<sup>[8]</sup>测定可溶性蛋白含量。以牛血清白蛋白为标准蛋白,在620nm处测定。

样品中蛋白含量 (mg/g) =  $C \times V_T / (V \times W \times 1000)$

式中:  $C$  - 查标准曲线值,  $\mu\text{g}$ ;  $V_T$  - 提取液总体积, ml;  $V$  - 测定时加样量, ml;  $W$  - 稀脉萍叶片鲜重, g。

(5) 叶绿素含量测定

将剩余的稀脉萍洗净、吸干水分并称重,加入少量的CaCO<sub>3</sub>粉末和80%丙酮进行研磨,充分匀浆。匀浆液移入10ml离心管,用80%丙酮洗涤匀浆器,清洗液并入离心管,定容至5ml,4℃放置24h后,4000r/min离心10min,以80%丙酮为参比,取上清液于645nm、663nm处测定吸光度。

按公式①、②、③<sup>[9]</sup>计算叶绿素a、b和总浓度:

$$C_a = 12.7A_{663} - 2.69A_{645} \quad \text{①}$$

$$C_b = 22.9A_{645} - 4.68A_{663} \quad \text{②}$$

$$C_{\text{总}} = C_a + C_b \quad \text{③}$$

式中:  $C_a$  - 叶绿素a的浓度, mg/L;  $C_b$  - 叶绿素b的浓度, mg/L;  $C_{\text{总}}$  - 叶绿素总浓度, mg/L。

按公式④计算叶绿素的含量:

$$\text{叶绿素含量 (mg/g)} = C_{\text{总}} \times V / (A \times 1000) \quad \text{④}$$

式中:  $C_{\text{总}}$  - 叶绿素浓度, mg/L;  $V$  - 提取液总体积, ml;  $A$  - 取样鲜重, g。

1.3.2 稀脉萍对甲基橙的去除

挑选生长健壮、叶片完好、长势相同的植物体,先用蒸馏水冲洗(不损伤根系)、风干(5~10min)、称重,放入直径25cm、高20cm的塑料盆中,每盆加入初始浓度为20 mg/L的甲基橙废水5L,同时设置对照组,用不透光的黑纸覆盖,覆盖面积与稀脉萍覆盖面积相同。对所有塑料盆的外侧也用黑纸遮盖,使之与天然水体光照情况接近。考虑到水的自然蒸发和浮萍的蒸腾作用,试验在每次测定培养液中甲基橙残留浓度时称水量,这样可以避免水的添加致使污染物被人为稀释,使植物的吸收行为可能发生变化。通过称水量,换算所观测指标的总量来计算去除率,使本试验的去除效果与自然状态更为符合。甲基橙的测定方法参照文献[5, 10]。去除率的计算公式为:

$$\text{去除率} = (C_0 \times V_0 - C_i \times V_i) / (C_0 \times V_0) \times 100\%$$

式中:  $C_0$  - 培养液中甲基橙的初始浓度;  $V_0$  - 培养液的初始体积;  $C_i$  - 第*i*天培养液中甲基橙的残留浓度;  $V_i$  - 第*i*天培养液的体积。

2 结果与讨论

2.1 甲基橙对稀脉萍的损伤

2.1.1 POD活性

三组平行实验,结果取平均值分析。甲基橙对稀脉萍POD活性的影响见图1。从图1可见,随甲基橙浓度的增加,POD活性总体上呈先上升后下降的趋势,且最高浓度组的POD活性仍高于对照组。当甲基橙浓度为140 mg/L,POD活性出现最高值。

POD是植物适应多种逆境胁迫的重要保护酶之一,在一定的污染浓度范围内,酶活性得以维持或提高,超过这个范围,活性下降<sup>[11]</sup>。由于甲基橙的存在,导致稀脉萍通过一系列生理生化反应产生了对自身有害的过氧化物,随着这种物质的增加,POD利用H<sub>2</sub>O<sub>2</sub>来催化这些对自身有害的过氧化物的氧化分解,因此,随植物体内这些POD底物浓度的增加,致使POD活性上升。而当处理浓度进一步增加,有毒有害物质超过POD正常的催化能力后,导致其活性下降。许多研究还表明,POD-H<sub>2</sub>O<sub>2</sub>分解系统参与了叶绿素的降解<sup>[12]</sup>,并且POD活性与叶绿素含量呈高度负相关<sup>[13]</sup>。本实验中,随着甲基橙浓度的增加,POD活性逐渐增加,叶绿素含量减少(图3),叶绿素a/b值减小,这也说明甲基橙通过POD活性增加直接或间接地

影响叶绿素的降解。

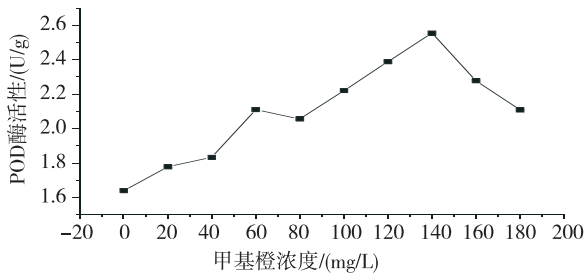


图1 甲基橙对稀脉萍叶片POD活性的影响

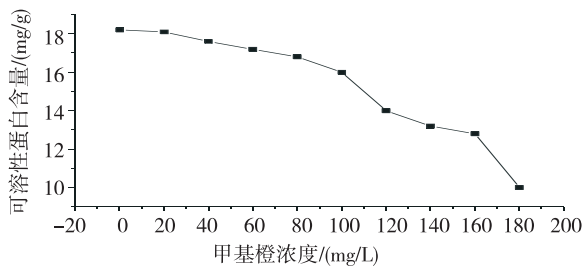


图2 甲基橙对稀脉萍叶片可溶性蛋白含量的影响

### 2.1.2 可溶性蛋白含量

随着甲基橙浓度的增大，可溶性蛋白含量呈下降趋势（见图2），特别是甲基橙浓度 > 100 mg/L 之后呈急速下降的趋势。当甲基橙浓度为 180mg/L，处理 3d 后稀脉萍可溶性蛋白含量降到最低，比对照组降低了 44.7 %。由此可见，甲基橙污染可引起可溶性蛋白持续下降，可能是甲基橙引起蛋白变性，也可能是酶蛋白失活或 DNA 翻译转录途径受阻，影响了蛋白质的合成。甲基橙污染在抑制新蛋白质合成的同时，也可能加强了原有蛋白质的分解。

### 2.1.3 叶绿素含量及叶绿素 a/b 值

稀脉萍叶片中叶绿素 a (Chl. a)、叶绿素 b (Chl. b) 和叶绿素总量 [Chl. (a + b)] 均随甲基橙浓度的升高而降低（见图3）。当甲基橙浓度为 180 mg/L，处理 3d 后 Chl. a、Chl. b 和 Chl. (a + b) 均降到最低，分别比对照组降低了 60.3 %、33.3 % 和 50.5 %。叶绿素 a/b 值总体上随甲基橙浓度的增加而逐渐减小（见图4）。

叶绿素是植物进行光合作用的色素，叶绿素含量和组分是影响光合作用的物质基础，叶绿素含量低，光合作用弱，会导致植物鲜重降低，使植物不能正常新陈代谢<sup>[11]</sup>。叶绿素含量减少是衡量叶片衰老重要的生理指标<sup>[14]</sup>。Woolhouse<sup>[15]</sup>认为随着叶片的衰老，叶绿素含量逐渐下降，叶绿素 a 比叶绿素 b 下降得更快，叶绿素 a/b 比值可作为叶片衰老的指标。在本研究中，叶绿素含量及叶绿素 a/b 比

值随着甲基橙浓度的增加而减少，这说明甲基橙能加速稀脉萍叶片老化。

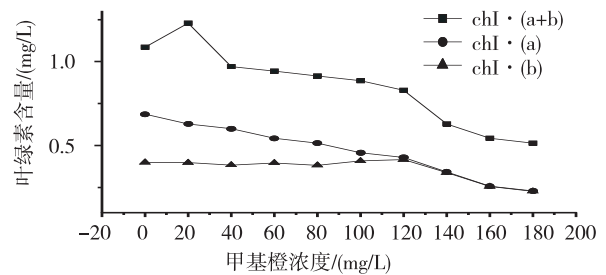


图3 甲基橙对稀脉萍叶片叶绿素含量的影响

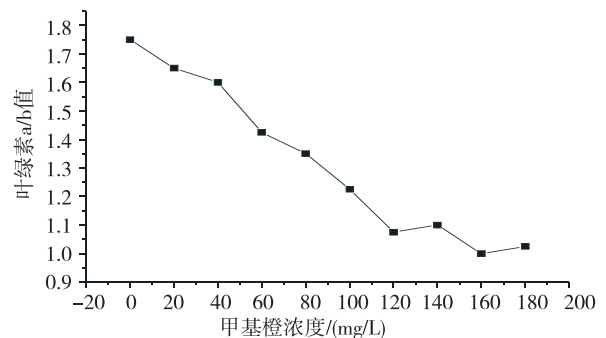


图4 甲基橙对稀脉萍叶片叶绿素a/b值的影响

## 2.2 稀脉萍对甲基橙的去除

利用浮萍治理受污染水体有很多其他治理方法无法比拟的优点，所以无论是在废水的处理上还是在水体的生态恢复上，利用浮萍来处理受污染水体已引起人们的关注<sup>[16,17]</sup>。在上述毒性试验的基础上，选取甲基橙初始浓度为 20 mg/L 来探讨稀脉萍对甲基橙的去除情况，实验结果见图5。由图5可见，稀脉萍对甲基橙的去除需要经过 10d 的延滞期，然后进入加速去除阶段，18d、20d 和 24d 的去除率分别达 40%、55.2 % 和 89.6 %。10d 的延滞期可能是稀脉萍对甲基橙水溶液的适应期，但显然，可以采用稀脉萍来去除甲基橙。关于温度、光照、pH 值等环境条件对稀脉萍去除甲基橙的影响以及稀脉萍去除甲基橙的机理，有待于进一步研究。

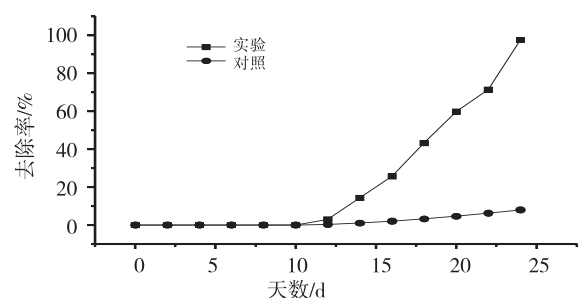


图5 稀脉萍对初始浓度为20 mg/L 甲基橙的去除率

### 3 结论

(1) 随着甲基橙浓度的增加, 稀脉萍叶片的POD活性总体上呈先上升后下降的趋势, 可溶性蛋白含量呈下降趋势, 叶绿素a、叶绿素b、叶绿素总量、a/b值均呈下降趋势。

(2) 稀脉萍对甲基橙的去除需要经过10 d的延滞期, 24 d后去除率达89.6%。

#### 参考文献:

- [1] 宋志慧, 黄国兰. 浮萍在水生态毒理学中的应用 [J]. 环境科学与技术, 2005, 28 (1): 94-96.
- [2] 李天煌. 稀脉萍 (*Lemna aequinoctialis*) 和紫萍 (*Spirodela Polyrhiza*) 的重金属生态毒理学研究 [D]. 武汉: 武汉大学, 2003.
- [3] Bergman B A, Cheng J, Classen J, et al. Nutrient removal from swine lagoon effluent by duckweed [J]. Transactions of the American Society of Agricultural Engineering, 2000, 42 (2): 263-269.
- [4] 王怡中. 甲基橙溶液多相光催化降解研究 [J]. 环境科学, 1998, 19 (1): 1-4.
- [5] 尹红霞, 康天放, 张雁, 等. 电化学催化氧化法降解水中甲基橙的研究 [J]. 环境科学与技术, 2008, 31 (2): 88-91.
- [6] Wenxi Guo, Fang Zhang, Changjian Li, et al. Direct Growth of TiO<sub>2</sub> Nanosheet Arrays on Carbon Fibers for Highly Efficient Photocatalytic Degradation of Methyl Orange [J]. Adv. Mater, 2012, (24): 4761-4764.
- [7] 王晓燕, 许振成, 刘芸, 等. 海绵铁还原耦合活性炭吸附-微波再生技术降解甲基橙 [J]. 环境工程学报, 2013, 7 (6): 2093-2098.
- [8] 袁晓华, 杨中汉. 植物生理生化实验 [M]. 北京: 高等教育出版社, 1983.
- [9] 葛滢, 王晓月, 常杰, 等. 不同程度富营养化水中植物净化能力比较研究 [J]. 环境科学学报, 1999, 19 (6): 690-692.
- [10] 季民, 张宏伟, 杨秀文. 染料废水混凝脱色与氧化脱色的最佳条件 [J]. 环境工程, 1994, 12 (1): 3-6.
- [11] 刘娥, 张建, 魏榕, 等. 有机污染胁迫对人工湿地中浮萍抗氧化系统的影响 [J]. 环境工程学报, 2013, 7 (9): 3296-3330.
- [12] 徐楠. 汞镉及其复合污染对浮萍的毒害影响及细胞凋亡机制的初探 [D]. 南京: 南京师范大学, 2003.
- [13] 尹永强, 胡建斌, 邓建军. 植物叶片抗氧化系统及其对逆境胁迫的响应研究进展 [J]. 中国农学通报, 2007, 23 (1): 105-110.
- [14] 任安芝, 高玉葆, 刘爽. 铬、镉、铅胁迫对青菜叶片几种生理生化指标的影响 [J]. 应用与环境生物学报, 2000, 6 (2): 112-116.
- [15] Woolhouse H W. Longevity and senescence in plant [J]. Sci Prog Oxford, 1974, (61): 23-24.
- [16] Caicedo J R, Van Der Steen N P, Arce O, et al. Effect of total ammonia nitrogen concentration and pH on growth rates of duckweed (*Spirodela polyrrhiza*) [J]. Water Res, 2000, 34 (5): 3829-3834.
- [17] 辛静, 张震, 钱晓晴, 等. 浮萍去除污水处理厂出水中氮磷的比较研究 [J]. 环境科学与技术, 2011, 34 (11): 100-103.
- [18] Ya Yang, Hulin Zhang, Sangmin Lee, et al. Hybrid Energy Cell for Degradation of Methyl Orange by Self-Powered Electrocatalytic Oxidation [J]. Nano letters, 2013, (13): 803-808.

## Study on Toxic Response of *Lemna Aequinoctialis* to Methyl Orange and Removal of Methyl Orange

CHEN Qiu-ping, XU Si-qin

(Key Laboratory of Karst Environment and Geohazard Prevention, Ministry of Education, Guizhou University, Guiyang Guizhou 550003 China)

**Abstract:** Methyl orange was used as an environmental stress factor to examine the effects on enzyme activity of peroxidase, content of soluble protein, and chlorophyll content of *Lemna aequinoctialis* leaves. *L. aequinoctialis* was applied to removal Methyl orange. The results showed that enzyme activity of peroxidase rised first and then fell with the increase of Methyl orange concentration. When Methyl orange concentration was 140 mg/L, enzyme activity of peroxidase came to the maximum. When Methyl orange concentration was more than 100 mg/L, soluble protein content dropped rapidly. The chlorophyll content and the ratio of chlorophyll a to chlorophyll b decreased with the increase of Methyl orange concentration. When Methyl orange concentration was 20 mg/L, there was a 10-day lag period. Then the degradation rate of Methyl orange could reach 89.6% after *L. aequinoctialis* was cultured 24 days.

**Key words:** Methyl orange; *Lemna aequinoctialis*; toxicity; removal; study

# 硫酸法钛白粉“三废”治理与利用的研究进展

李具康, 代 佼

(攀枝花市环境监测站, 攀枝花市环境保护科学研究所, 四川 攀枝花 617000)

**摘 要:** 介绍了硫酸法钛白粉生产工艺和污染物产生环节, 详细阐述了生产废气、废液和废渣的特性和种类, 从污染物综合治理的角度分析了“三废”治理的技术路线, 重点阐述了煅烧尾气、酸解尾气和酸性废水治理措施以及废酸和硫酸亚铁的综合利用情况。

**关键词:** 硫酸法; 钛白粉; 三废; 综合治理; 进展

**中图分类号:** X7 **文献标识码:** A **文章编号:** 1673-9655 (2014) 04-0063-04

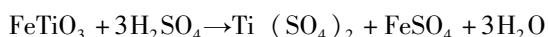
钛白粉 ( $\text{TiO}_2$ ) 是目前世界上性能最佳的白色颜料, 号称白色颜料之王。钛白粉与人民生活中的住宅、汽车产业密切相关, 已成为全球第三大无机化工产品, 被广泛应用于涂料、塑料、造纸、油墨、橡胶、化纤等工业, 其销售值位于无机化工产品的前三位。目前, 钛白粉的生产方法主要有硫酸法和氯化法<sup>[1]</sup>, 由于硫酸法能以廉价的钛铁矿与硫酸为原料、技术较成熟且设备简单、防腐蚀材料易解决, 国内绝大部分钛白粉厂都是采用此法。但是硫酸法工艺产生污染物及副产物多, 副产物硫酸亚铁及废酸回收利用难, 既浪费资源, 又污染环境; 同时, 近年来许多生产厂家因污染环境纷纷被责令限产或停产整顿, 损失惨重。因此, 要实现硫酸法钛白粉生产的长远发展, 必须解决“三废”治理问题, 走可持续发展清洁生产之路。

## 1 硫酸法钛白粉生产工艺简述

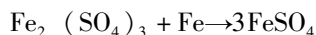
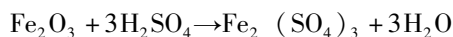
硫酸法钛白粉生产工艺, 以钛精矿为原料, 经酸解, 生成可溶性硫酸氧钛 ( $\text{TiOSO}_4$ ), 再经沉降, 真空结晶, 亚铁分离, 控制过滤去除不溶性杂质。再经真空浓缩, 常压水解制得偏钛酸 ( $\text{H}_2\text{TiO}_3$ ), 偏钛酸经水洗、漂洗去除残留杂质后, 经煅烧脱水后制得  $\text{TiO}_2$ 。再经中间成品粉碎、后处理 (包膜) 制得高档金红石型钛白粉。

其主要化学反应为:

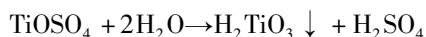
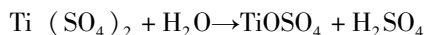
①将钛精矿 ( $\text{FeO} \cdot \text{TiO}_2$ ) 中的  $\text{TiO}_2$  用硫酸分解为可溶性硫酸氧钛 ( $\text{TiOSO}_4$ )



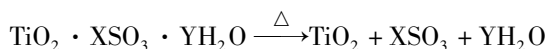
钛精矿中的高价铁 ( $\text{Fe}^{3+}$ ) 也与硫酸反应, 生成硫酸高铁, 为使高价铁还原为二价铁, 用铁屑进行还原



②硫酸氧钛水解生成水合二氧化钛 ( $\text{TiO}_2 \cdot \text{H}_2\text{O}$ ) (又称偏钛酸:  $\text{H}_2\text{TiO}_3$ )



③水合二氧化钛煅烧, 脱水脱硫变成二氧化钛 ( $\text{TiO}_2$ )



硫酸法金红石型钛白粉的生产有以下工序: 原矿粉碎、酸解沉降、亚铁结晶及分离、钛液浓缩、钛液水解、水洗及漂白、盐处理、偏钛酸煅烧, 前粉碎及后处理。其生产工艺流程见图 1。

## 2 生产废气种类及治理措施

### 2.1 酸解尾气

酸解反应产生的废气 (含  $\text{H}_2\text{O}$ 、 $\text{H}_2\text{SO}_4$  雾、 $\text{SO}_2$ ) 经一级水洗 + 两级碱洗喷淋 + 文丘里 + 电除雾器除去酸雾后, 废气经处理后大气污染物达到《大气污染综合排放标准》(GB16297-1996) 中二级标准, 由排气筒排放。

处理流程为: 钛渣及矿粉在酸解时产生酸解尾气, 主要污染物为硫酸雾、 $\text{SO}_2$ 、颗粒物。酸解尾气经一级水洗 + 两级碱洗喷淋 + 力喷射冷凝器两级喷淋洗涤、冷凝, 然后进入分离水池中进行气水分离, 不凝气体通过排气筒排入大气。喷淋后的水返回沉淀池后一部分循环使用, 一部分排入废水处理站。其流程图见图 2。

收稿日期: 2014-03-10

作者简介: 李具康 (1985-), 男, 汉族, 甘肃张家川人, 毕业于昆明理工大学有色金属冶金专业, 工学硕士学位, 助理工程师, 从事环境监察工作, 主要研究方向为环境现场监察与监测。

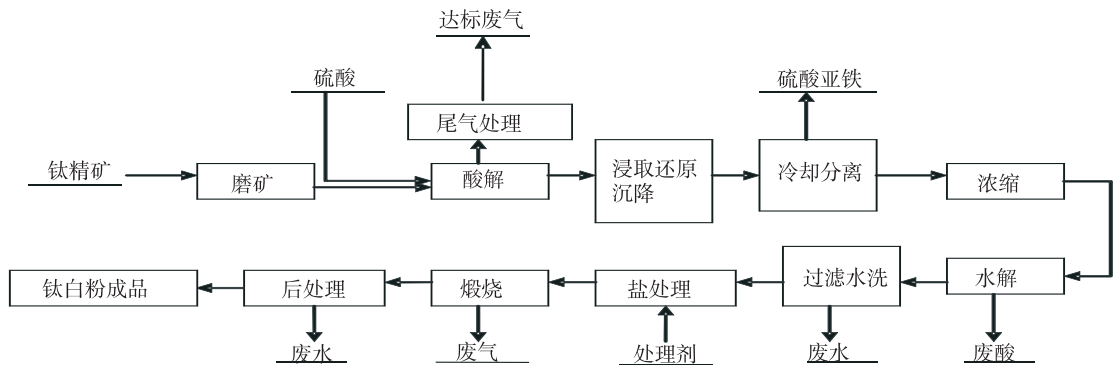


图1 硫酸法钛白粉生产工艺流程图

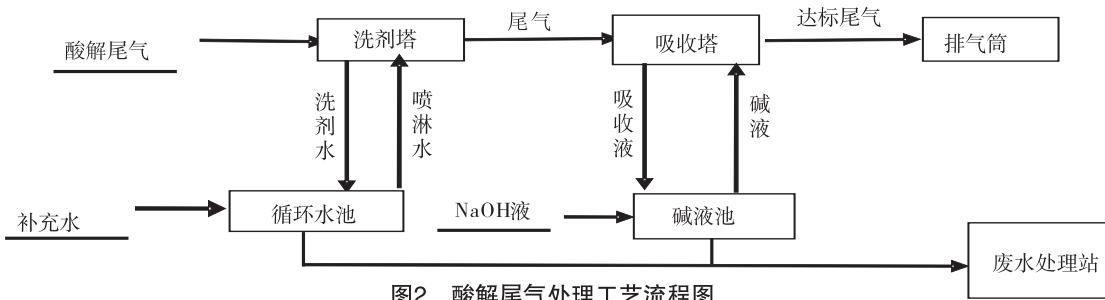


图2 酸解尾气处理工艺流程图

## 2.2 煅烧尾气

偏钛酸煅烧过程中产生的废气主要含有硫酸雾、SO<sub>2</sub>和粉尘等污染物。废气必须先经旋风除尘器处理后进入余热锅炉回收热量，再进入预浓缩塔采用约20%稀酸喷淋洗涤换热，然后采用脱硫除

雾塔（三级碱喷+2级（折板+填料）除雾）处理后，尾气中硫酸雾、粉尘、SO<sub>2</sub>均能够达到《大气污染物综合排放标准》（GB16297-1996）中的二级标准和《工业窑炉大气污染物排放标准 GB9078-1996》中的二级标准。

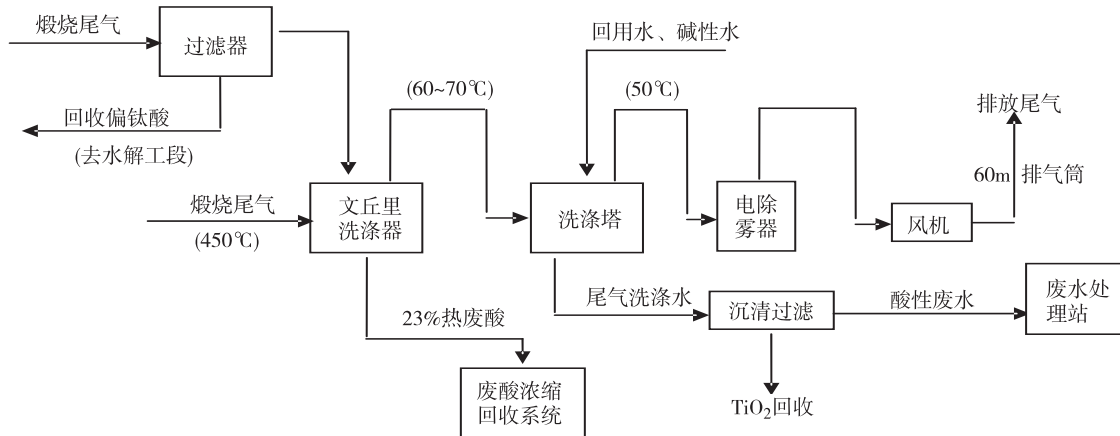


图3 煅烧尾气处理工艺流程图

其处理流程为：煅烧窑尾气经旋风收尘器收尘后进入预浓缩塔采用约20%稀酸喷淋换热，经复档除膜器除酸膜后进入第一级复喷洗涤器，采用添加碱液将一洗、二洗废水调节pH为9以上后进行复喷洗涤，第二级复喷使用晶种制备工序的碱性废水喷淋，喷淋后的废水通过CN过滤回收TiO<sub>2</sub>后，去污水站。二级复喷洗涤后的气体经电除雾器处理达标后，由排气筒排放。尾气处理

流程见图3。

## 3 生产废液种类及治理措施

### 3.1 酸性废水

硫酸法生产钛白粉1t产品排出废水60~100m<sup>3</sup>，酸度约2%，含H<sub>2</sub>SO<sub>4</sub>、FeSO<sub>4</sub>、TiO<sub>2</sub>，主要来自钛白粉生产线的板框过滤液、水洗酸性废水、尾气洗涤水、废酸浓缩冷凝液、亚铁车间干燥装置废水，主要污染物为酸水、悬浮物、硫酸盐、



化学需氧物质、钛、钒、铜、镍、铅、铬、铁。酸性废水目前主要采取碱中和法处理,废水经管道流入污水处理站,采用四级中和、二级沉淀酸性废水处理工艺,主要是在酸性废水中加入碱性物质中和 $\text{H}_2\text{SO}_4$ ,生成 $\text{CaSO}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$ 和少量 $\text{Fe}(\text{OH})_3$ 污泥,污泥脱水后形成石膏渣,处理后的废水达到国家排放标准后排放或循环使用。目前,环保部门要求硫酸法钛白粉生产企业在废水外排口安装流量计,COD、pH在线监测装置,以便于对外排废水实时监控,防止企业闲置废水处理设施,废水偷排、超标排放等环境违法行为。

### 3.2 废酸回收利用

硫酸法制取钛白粉,每生产1t成品产生质量分数为20%~25%的稀硫酸为3~5t,直接处理需要大量石灰石,不仅处理成本高,而且极浪费资源,增加生产成本。目前,针对废酸主要采取废酸浓缩或者综合化资源性利用。

#### 3.2.1 废酸浓缩

废酸浓缩已经成熟,工业上广泛使用的方法为真空浓缩技术<sup>[2]</sup>,其简单工艺为:22%浓度废酸利用煅烧工序尾气余热先浓缩到28%,经专用管式过滤器过滤回收 $\text{TiO}_2$ 后,经过合理匹配的两效强制循环蒸气浓缩,将稀硫酸浓缩至65%左右,然后进入熟化槽停留约36h,将酸温度降至60℃左右送压滤机分离一水亚铁,过滤分离一水硫酸亚铁,得到浓度约70%的浓硫酸,返回用于钛精矿酸解工序。真空废酸浓缩设施对材料耐腐蚀性和传热效率要求高,制约了该技术的广泛使用。

#### 3.2.2 综合利用

(1) 制备硫酸铵<sup>[3]</sup>。将浓、稀废酸混合后用氨水中和,当反应温度达到90℃、pH1.5时析出 $\text{TiO}_2 \cdot \text{H}_2\text{O}$ ,过滤分离 $\text{TiO}_2 \cdot \text{H}_2\text{O}$ 后的母液继续中和到pH8.3,通入 $\text{CO}_2$ 气体,使铁以 $\text{FeCO}_3$ 的形式沉淀分离,母液经多效蒸发器蒸发,结晶析出硫酸铵产品。采用钛白废酸液与废氨水生产硫酸铵,能够大大降低钛白废酸的处理成本,使钛白废酸能够综合利用,改变传统的钛白废酸处理方法,符合循环经济、节约型社会和环保政策的要求。既能够利用废酸,又能够综合利用变废为宝,不会给环境造成二次污染。这也是今后综合利用长期努力的方向,同时生产过程可以加入大量的硫酸亚铁,产生氧化铁黑,充分消化公司的硫酸亚铁副产品,实现副产品的高附加值。

(2) 制备硫酸锰<sup>[4]</sup>。在我国锰矿资源相对丰富的地区建设钛白粉厂,利用废酸中的 $\text{FeSO}_4$ 、 $\text{H}_2\text{SO}_4$ 还原氧化软锰矿中的 $\text{MnO}_2$ 、 $\text{Mn}_3\text{O}_4$ ,并且用 $\text{H}_2\text{SO}_4$ 溶解软锰矿中的低价锰,从而浸出生产

$\text{MnSO}_4$ ,既解决了废酸排放的问题,又降低了 $\text{MnSO}_4$ 生产成本,实现资源综合利用。

(3) 其他方面利用。全国各地钛白粉生产企业利用当地资源优势,利用废酸生产多种化工产品,实现废酸综合利用,降低环境污染同时实现资源综合利用,如:石膏和氧化铁颜料<sup>[5]</sup>、浸取低品位氧化铜矿<sup>[6]</sup>、聚合硫酸铁<sup>[7]</sup>、普通过磷酸钙<sup>[8]</sup>等。

## 4 废渣的综合利用

目前我国的硫酸法钛白粉工业基本采用钛铁矿为原料,硫酸亚铁是生产过程中重要的副产品,根据矿源不同,1t钛白粉要产生2~5t硫酸亚铁。硫酸亚铁可生产合成磷酸铁<sup>[9]</sup>、化肥(铁肥)土壤改良剂<sup>[10]</sup>、工业水处理剂<sup>[11]</sup>、氧化铁红等,实现资源综合利用。

### 4.1 硫铁矿制酸掺烧

国内大多数硫铁矿制酸装置有掺烧硫酸亚铁制酸的实践经验,其掺入量可为20%~50%,而且对控制炉温有利,可使炉温降低,还可降低炉气出口的含尘量。但因其混合物的吸湿性,输送时会在输送机、料斗和溜槽发生堵塞,因此,目前一般按照30%的比例进行掺烧。

### 4.2 制备氧化铁系颜料

我国每年需求30万t氧化铁颜料,氧化铁还广泛应用于油漆、油墨、橡胶等行业中。通过使用钛白副产硫酸亚铁制得氧化铁红<sup>[12]</sup>、氧化铁黄<sup>[13]</sup>、氧化铁黑<sup>[14]</sup>等,还可以做电子元件所需的高纯磁性铁氧体材料<sup>[15]</sup>。这些都能有效地提高钛白副产硫酸亚铁综合利用的经济效益。

### 4.3 还原解毒铬渣<sup>[16]</sup>

铬渣是铬铁矿生产铬酸钠的残渣,其中仍含铬化合物3.0%~4.5%(质量分数,以 $\text{Cr}_2\text{O}_3$ 计,下同),水溶性铬1%~2%,酸溶铬0.95%~1.8%,是一种有毒废渣。解毒此废渣必须要还原剂或者提供还原氛围。硫酸亚铁具有还原性亚铁离子,将其与铬渣按一定比例混合,在酸性条件下, $\text{Fe}^{2+}$ 可将铬渣中的 $\text{Cr}^{6+}$ 还原为 $\text{Cr}^{3+}$ ,使铬渣解毒。解毒后的铬渣可用作水泥添加物或制砖。

## 5 结束语

伴随我国经济的快速发展,市场对钛白粉的需求量逐年增加,其生产规模不断增加。但是,钛白粉企业必须按照可持续发展及循环经济的要求,实施清洁化生产:一是企业必须树立环保治理的新理念,变末端治理为全过程清洁生产;二是要以环保指标为尺度,淘汰一批落后企业;三是要从战略高度考虑,加大环保投资,完善环保设施。同时,生产企业的治理重点应放在对废副产物20%(质量分数)硫酸和硫酸亚铁的治理和综合利用上。有

效降低“三废”排放量、实现废弃资源综合利用，对企业发展和保护生态环境有重要意义。

参考文献:

- [1] 崔佳娜, 任慧莉. 我国钛白粉生产工艺技术的发展及比较 [J]. 稀有金属与硬质合金, 2013, 41 (4): 14-17.
- [2] 范兵, 李志广. 硫酸法钛白废酸的处理 [J]. 河南化工, 2013, 30 (Z2): 12-15.
- [3] 李俊峰. 酸法钛白粉生产废酸液的综合利用 [J]. 广州化工, 2010, 38 (1): 145-146.
- [4] 樊丁琿, 潘桂生, 陆志发. 对利用铁钒和废酸浸出硫酸锰的研究 [J]. 化工与材料, 2013, (2): 30-31.
- [5] 用废酸生产石膏和氧化铁颜料 [P]. 030304P.
- [6] 路瑞芳. 硫酸法钛白废酸浸取低品位硫酸铜矿的研究 [J]. 攀枝花科技与信息, 2013, 38 (3): 14-18.
- [7] 郭焦星. 用钛白废渣七水硫酸亚铁生产聚合硫酸铁 [J]. 化学工程师, 2012, (6): 56-59.
- [8] 李亮. 国内外钛白废酸综合治理及回收利用研究现状 [J]. 湿法冶金, 2010, 29 (3): 150-158.
- [9] 阮恒, 易均辉, 龚福忠. 用钛白副产硫酸亚铁制备纯硫酸铁及其表征 [J]. 化工技术与开发, 2012, 41 (6): 10-12.
- [10] 李晋, 谢顶衫, 朱开宪. 钛白粉副产品硫酸亚铁综合利用进展 [J]. 广东化工, 2011, 38 (4): 269-271.
- [11] 田伟军, 赖乃斌. 用硫铁矿烧渣和钛白废酸制备硫酸亚铁净水剂 [J]. 工业水处理, 2011, 31 (5): 53-55.
- [12] 夏新蕊, 邓昭平, 李思平. 钛白副产物硫酸亚铁制取氧化铁红颜料及其包膜的研究 [J]. 广东微量元素科学, 2006, 13 (7): 62-66.
- [13] 苏毅, 李国斌, 夏举佩. 由钛白生产副产物绿矾制备氧化铁红及硫酸铵的研究 [J]. 云南化工, 2003, 30 (6): 17-19.
- [14] 梅业玲. 用钛白副产物硫酸亚铁制氧化铁黑的研究 [J]. 甘肃化工, 1997, (3): 5-8.
- [15] 郑典模, 黄飞来, 陈喜蓉, 等. 硫酸亚铁液相法制纳米氧化铁的研究 [J]. 化学研究与应用, 2006, 18 (7): 840-843.
- [16] 杨明平, 傅勇坚, 李国斌. 用生产钛白的副产物绿矾处理含铬废水 [J]. 材料保护, 2005, 38 (6): 55-57.

## Research on Treatment and Utilization of “Three Wastes” of Titanium Dioxide Production by Sulfuric Acid Process

LI Ju - kang, DAI Jiao

(Panzhuhua Environmental Monitoring Station, Panzhuhua Research Institute of Environmental Protection, Panzhuhua Sichuan 617000 China)

**Abstract:** The sulfuric acid process producing titanium dioxide was presented as well as the knots discharging the pollutants. The properties and categories of waste gas, waste liquids, and solid wastes from the process were introduced. The technologies to treat the three wastes were analyzed based on the ideas of comprehensive treatment and utilization. Especially, the treatment of calcined exhaust, acid hydrolysis exhaust, and acid water and the comprehensive utilization of waste acid and ferrous sulfate were focused on in the paper.

**Key words:** sulfuric acid process; titanium dioxide; three wastes; comprehensive treatment; progress

# 浅析小城镇建筑项目中水回用系统 设置的必要性和制约因素

周世跃

(文山州环境保护监测站, 文山州环境科学研究所, 云南 文山 663000)

**摘要:** 通过例证分析了小城镇建筑项目中水回用系统设置的必要性和现存的制约因素, 提出了解决矛盾的建议。

**关键词:** 建筑项目; 小城镇; 中水回用; 系统; 必要性; 制约; 建议

**中图分类号:** X32    **文献标识码:** A    **文章编号:** 1673-9655 (2014) 04-0067-03

以城市污水或生活污水作为水源, 经过适当处理后作杂用水, 其水质指标间于上水(饮用水)和下水(污水)之间, 称为中水。中水回用工程不但在国家环境保护“十五”规划中成为了国家重点支持的9大工程之一, 而且在地方上也相应制定了相关的条例, 要求在城市规划区范围内新建、改建、扩建一定建筑面积的建筑工程设置中水回用系统。通常我们在房地产建设项目环评中提到的中水回用系统的主要功能为收集和處理建筑物、建筑小区运营期产生的生活污水并回用于非人体接触的一切生活用水, 如厕所冲洗、园林灌溉、道路保洁、城市喷泉等, 以实现治污和节水的双向效益。但在实施中, 尤其小城市建筑项目中水回用系统的建设因不健全的管理机制、建筑项目涉及部门之间的相互脱节以及技术力量和运行管理不足等因素, 降低了环评措施中提出的设置中水回用系统措施的可操作性。鉴于此, 本文以例证为基础, 对小城镇建筑中水回用系统设置的必要性和制约性进行简单的分析叙述。

## 1 例证

文山州某开发建设项目, 建筑占地面积约2.2万 $\text{m}^2$ , 项目总建筑面积约12万 $\text{m}^2$ , 项目绿化和道路各占地面积约1.2万 $\text{m}^2$ 。项目所在区域内还没有集中市政污水处理设施。根据《云南省地表水环境功能区划(复审)》<sup>[1]</sup>, 项目附近受影响地表水环境类别为Ⅲ类, 执行《地表水环境质量标准》(GB3838-2002)中Ⅲ类标准。

## 2 项目中水回用系统设置的必要性

### 2.1 地方性相关条例的要求

根据《云南省城市建筑管理条例》<sup>[2]</sup>(2006年修正本)中第十五条规定:“在城市规划区范围内新建、改建、扩建下列工程项目: 建筑面积在2万 $\text{m}^2$ 以上的宾馆、饭店、商场、综合性服务楼、高层住宅; 建筑面积在3万 $\text{m}^2$ 以上的机关、科研单位、大专院校和大型综合性文化体育设施; 建筑面积在5万 $\text{m}^2$ 以上的居住区和集中建筑区; 可回收水量在150 $\text{m}^3/\text{d}$ 以上的建设项目; 其他应当配套建设再生水利用设施的项目: 建设单位应当同期配套建设再生水利用设施, 再生水利用设施应当与主体工程同时设计、同时施工、同时交付使用, 所需基金应当纳入主体工程投资总概算, 未纳入同期建设的, 有关部门不得办理建设项目的相关审批手续”。根据其要求, 例证项目归于建筑面积5万 $\text{m}^2$ 以上的集中建筑区, 满足《云南省城市建筑管理条例》(2006年修正本)中的相关要求, 在建设项目进行环境影响评价的过程中, 提出中水回用系统的设置具有一定的必要性。

### 2.2 小城镇污水收集处理设施的不完善因素

小城镇污水收集处理设施存在较多的不完善因素。小城镇过去居住人口较少, 产生的生活污水量较少, 再加上经济制约、环保意识欠缺等, 小城镇中没有规划建设生活污水集中收集处理设施, 生活污水经过化粪池预处理后直接排入地表水体。这不但对地表水环境产生了一定的影响, 而且在枯水季节, 由于不能及时得到稀释, 污水散发出的恶臭气味对大气环境也产生了一定的影响。后来随着经济的发展、环保意识和要求的提高, 有些小城镇进行了生活污水集中收集和处理设施的完善, 但在建设过程中, 因缺乏对区域发展规划的考虑、存在城区发展未预见性等原因, 小城镇污水收集和处理设施

存在较多弊端,如小城镇污水处理厂的处理能力较小,不能容纳处理城区新增生活污水;小城镇污水收集干管管径较小,不能满足城区新增污水的收集等,导致小城镇内开发建设项目产生的生活污水无法得到集中收集和进一步处理。

例证项目建设区域目前还没有集中市政污水处理设施,而项目区域内受影响的地表水类别为Ⅲ类水体,项目产生的生活污水如仅经过化粪池预处理外排,达不到《污水综合排放标准》(GB8978-1996)中一级标准的要求。项目必须建设污水处理设施处理生活污水。再加上项目设置的绿化面积和道路面积较大,项目所在城镇的集镇供水工程尚不完善,在进行建设项目环境影响评价过程中,提出建设项目设置中水回用系统具有一定的必要性。

### 2.3 总量减排的环保要求

小城镇建筑项目运营期产生的废水主要是生活污水,废水中的总量控制指标是COD和氨氮。根据《国家环境保护“十二五”规划》,到2015年,化学需氧量总量要在2010年的基础上削减8%,氨氮排放总量削减10%。城镇污染源是影响化学需氧量总量和氨氮总量的主要因素之一。在污水收集处理设施不完善却快速开发建设的小城镇,项目方在项目区域内建立中水回用系统,就近收集污水、就近处理并回用,是达到总量减排环保要求目的的一个措施。

### 2.4 中水回用的效益体现

以例证项目的建筑基数作为参数进行分析。例证项目建筑面积约12万 $m^2$ ,项目运营期产生的污水量约360 $m^3/d$ ,项目建立一处理量为360 $m^3/d$ 的中水回用系统。在考虑雨季绿化浇灌回用水量较少的情况下,实际可用的中水水量按80%计,根据建筑预算,单位建筑面积的建安造价按1500元/ $m^2$ ,建筑中水回用系统的造价按总造价的1.0%考虑,根据有关资料<sup>[3]</sup>,中水回用系统的维护按其造价的10%计,中水回用系统的运行费用(含设备折旧及维护、人工、电费、药剂等)按0.7元/ $m^3$ 计,经计算,项目建立和维护中水回用系统总投入为 $(1500 \times 12 \times 1.0\% \times (1 + 10\%)) = 198$ 万元。目前项目区域内水价为2.0元/ $m^3$ ,则项目使用中水可节省 $(2.0 - 0.7) = 1.3$ 元/ $m^3$ ,每年节省的费用为 $(1.3 \times 360 \times (1 - 20\%) \times 365) = 13.67$ 万元,这是中水回用系统的直接效益体现。另外,中水回用系统的建立可节省项目区域城镇排水设施建设和运营费用,可节省项目区域城镇

远距离引水、净水工程的建设运营费用等。总之,中水回用系统作为一项系统工程,建筑项目建立中水回用系统,其效益不但体现在项目本身,而且体现在区域内供排水设施的建立和运行上。

## 3 中水回用系统设置的制约因素

### 3.1 管理机制不健全

我国20世纪70年代末才开始对中水回用进行相关研究<sup>[4]</sup>,虽然北京、上海以及大连等大城市的中水回用设施有成效,但总体上看,建筑中水回用在我国仍处于起步阶段。国家相关政策法规和技术规范不健全,未形成配套产业政策和法规体系,地方上也缺乏相关制约性的法律法规,缺乏相关的监督监管标准及要求,这使得环评中,小城镇建筑项目中水回用系统的设置仅以一条不可缺少的污水防治措施出现在文本中,但实际可操作性较差。

### 3.2 建筑项目涉及部门之间相互脱节

目前大多数建筑开发项目的初设说明中提及了中水回用系统的设置,而在建设项目具体的给排水设计中,设计部门只做了给水和排水管网设计,没有做中水回用系统部分的设计。环评单位在进行建设项目环境影响评价的过程中,虽然根据污水达标排放的环保要求、地方条例等,提出了建设项目设置中水回用系统的要求,但因设计部门、环评部门以及环保工程设计部门等的相互脱节,建设项目中水回用系统的管网得不到具体的排管设计,在实际建设过程中,建筑项目中水回用系统的建设得不到落实。

### 3.3 技术力量和运行管理不到位

因我国对建筑中水回用技术的研究起步较晚,使得这方面尚未形成市场机制,在实际实施过程中,因技术力量薄弱、设计经验不足,常常出现工程投入使用后不能正常运行、出水水质不达标或运行成本高等问题。另外,由于运行管理不到位,中水回用系统运作过程中产生的污泥、恶臭等二次污染物不能得到妥善的处理处置,以致有些已建成的中水回用系统处于半瘫痪状态,这给小城镇建筑中水回用系统的设置带来了一定的负面影响。

### 3.4 经济和其它方面的制约因素

中水回用系统一次性投资较大。如粗略估算,例证项目中水系统初期投资约198万元,这在小城镇建筑项目的开发建设过程中是一项数额较大的环保投资。投资方和建设方不愿意在工程总投资中考虑其部分环保投资,且中水回用系统运行初期中水成本明显高于自来水的价格,这使得经济因素成为

小城镇建筑中水回用系统设置的制约因素之一。另外，小城镇建筑开发建设过程中，因区域地形地貌的限制及为降低工程“三通一平”的施工费用，一般建设项目依据地形布设，造成建筑项目各区块间地形高差相对较高，这对中水回用系统的合理设置又是一个制约因素：如果项目范围内设置一个集中的中水回用系统，在运行过程中因使用污水提升泵或中水输送泵等会增加运行费用；如果分片区建设多个中水回用系统，不但初期建设投资较大，会增加污水处理运行单位成本，而且运营期间难以统一管理。

#### 4 建议

小城镇建筑开发建设过程中，中水回用系统的设置具有一定的必要性，也有较多方面的因素制约着中水回用系统的设置及实施，从而降低了环境影响评价工作中提出的设置中水回用系统的可操作性。为了解决以上矛盾，提出以下建议：

(1) 完善国家和地方相关的政策法规和技术规范，从上至下形成配套的产业政策和法规体系。

(2) 快速发展的小城镇首先应完善集中污水

收集和处理的市政工程，这样开发建设项目运营期产生的粪便污水可经过化粪池预处理后排至市政污水处理设施内进行处理，以达到相关的环保要求。而开发建设建筑中水回用系统可以以优质杂排水（洗浴、盥洗等）为原水，经处理后，满足开发建设项目自身用于冲厕、绿化、道路冲洗等用水要求，从而降低中水回用系统的投资。

(3) 环保管理部门、环保设计部门、工程设计部门等各部门间应加强协调，形成系统的市场运行机制，使得中水回用系统原水的来源、收集、处理和供水等工程设施组成一个有机结合体。

#### 参考文献：

- [1] 云南省环境保护局. 云南省地表水水环境功能区划（复审）[R]. 2001.
- [2] 云南省人民代表大会常务委员会. 云南省城市建设管理条例（2006年修正本）[Z].
- [3] 徐韩中. 住宅小区中水回用系统的经济效益[J]. 住宅科技, 2002, (4): 39-41.
- [4] 韩娜, 周晓龙. 探讨中水回用于生态住宅水环境的必要性[J]. 科技创新导报, 2010, (25): 46-48.

## Brief Analysis of Necessity and Constraints on Water Recycling System Installation in Small Towns

ZHOU Shi - yue

(Wenshan Environmental Monitoring Station, Wenshan Institute of Environmental Science, Wenshan Yunnan 663000 China)

**Abstract:** Case studies implied that it was necessary to install water recycling system in small towns. However, the constraints were analyzed as well. The suggestions to resolve the conflicts were put forward in the end.

**Key words:** small town; water recycling; system; necessity; constraint; suggestion

# 南盘江云南省出境断面 20 年 水质监测结果及回顾评价

夏宁宁

(曲靖市环境监测站, 云南 曲靖 655000)

**摘要:** 积累了南盘江云南省出境断面 23 年的水质监测数据, 分析评价了多年来南盘江水质的优劣状态及其主要污染物, 回顾评价总结了南盘江水质历年变化情况。

**关键词:** 出境断面; 水质动态; 回顾评价; 南盘江

**中图分类号:** X82    **文献标识码:** A    **文章编号:** 1673-9655 (2014) 04-0070-02

## 1 前言

珠江全长 2320km, 流域面积 446768km<sup>2</sup>, 年平均径流量 3360 亿 m<sup>3</sup>, 为中国第三大河, 流量为中国第二大河。南盘江是珠江上游主干流江段, 发源于云南省曲靖市沾益县炎方乡马雄山南麓, 由北流向西南再转向东北, 流经曲靖市、昆明市、玉溪市、红河州、文山州 5 个州市的麒麟区、陆良县、石林县、宜良县、澄江县、华宁县、弥勒县、开远市、砚山县和丘北县等 28 个县(市), 在曲靖市罗平县的三江口处进入贵州和广西境内。在云南省境内河长 677km, 径流面积 4.32 万 km<sup>2</sup>, 多年平均年径流量 172 亿 m<sup>3</sup>, 南盘江河谷盆地较多, 径流内山川秀丽, 土地肥沃, 资源和物产丰富, 自然景观和人文景观交相辉映, 是云南省人口最为密集、工农业生产最发达的地区, 人民生活与南盘江水世代相依, 社会经济波浪与南盘江水共同奔流。下游广东、广西人民也时刻关注着南盘江的水质情况, 珠江源头奔流不息的是上、下游人民的幸福源泉和深厚情谊!

自 20 世纪 70 年代国家重视环境保护以来, 云南省、市、县各级政府一直把南盘江流域的生态环境保护和污染防治工作作为重中之重。云南省环保厅从 20 世纪 80 年代起就在南盘江出境河段上布设了 1 个河流水质监测断面, 纳入了全国主要江河监测网, 由曲靖市环境监测站负责水样化验分析, 按时向云南省环境监测中心站和国家环境监测总站上报监测结果, 30 年来从未间断。

## 2 水质监测概况

从 20 世纪 80 年代中期开始, 曲靖市环境监测站就在南盘江云南出境河段上的罗平县八大河设置了 1 个水质监测断面, 每年的枯水期、平水期、丰水期定时采样化验分析。到了 20 世纪 90 年代末期, 贵州境内的天生桥水电站建成, 滇、黔、桂三省交界一带的河流形成了万峰湖, 八大河监测断面被淹没, 故移至上游的设里桥断面, 作为云南省的重点河流重点监测断面, 并纳入了全国的河流水质监测网, 每月采样, 分析化验方法按全国统一的标准方法进行。监测指标有水温、pH、电导率、溶解氧、COD、BOD<sub>5</sub>、总磷、氨氮、阴离子表面活性剂、挥发酚、氰化物、硫化物、氟化物、石油类、汞、镉、砷、铅、六价铬、锌、铜等二十多个项目, 完整地反映了南盘江从云南境内流出的水质状况, 形成了 30 年来的动态资料库。

## 3 水质评价方法

**评价依据:** 《云南省地表水环境功能区划分(复审)》, 南盘江云南出境断面定为 III 类水质功能区。

**评价标准:** 《地表水环境质量标准》(GB3838-2002) 中的对应标准。

**评价指标:** 除去水温、电导率、粪大肠菌群、高锰酸盐指数(不能直接反映水质污染)外的 20 项指标。

**评价方法:** 单因子水质对比评价法和河流断面水质评价法。单因子水质对比评价法: 将每一年度的水质监测各指标年均值与评价标准中的同一指标各类标准限值进行对比, 评定该指标的水质类别。河流断面水质评价法: 根据单因子水质对比评价结果, 由该年度各项指标中水质类别最高(即水质

收稿日期: 2014-03-10

作者简介: 夏宁宁(1974-), 女, 从事环境管理和环境监测工作 19 年, 中共党员, 现任曲靖市环境监测站副站长, 工程师。

最差)的一项来代表本河流断面水质类别。

#### 4 水质评价结果

从 1991—2013 年的 23 年中,水质全面达标的有 1991—1996 年、1998—2001 年、2009—2013 年,水质优于或达到Ⅲ类标准,其中尤以最近 4a 即 2009—2013 年水质最好,连续 4a 优于或达到Ⅱ类水质标准。

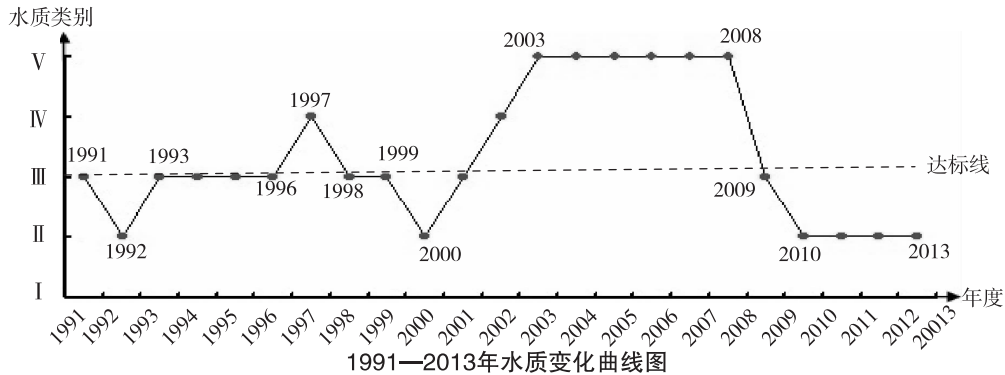


表 1 各年度水质类别评价汇总表

年度	水质类别	超标污染物	年度	水质类别	超标污染物
1991	Ⅲ	无	2003	V	总磷
1992	Ⅱ	无	2004	V	总磷
1993	Ⅲ	无	2005	V	总磷
1994	…	无	2006	V	总磷
1995	Ⅲ	无	2007	V	总磷
1996	Ⅲ	无	2008	V	总磷
1997	Ⅳ	氨氮	2009	Ⅲ	无
1998	Ⅲ	无	2010	Ⅱ	无
1999	Ⅲ	无	2011	Ⅱ	无
2000	Ⅱ	无	2012	Ⅱ	无
2001	Ⅲ	无	2013	Ⅱ	无
2002	Ⅳ	总磷			

各单因子指标水质评价:最近 23 年来(1991—2013 年),南盘江云南省出境断面水质一直稳定在 I 类的指标有 pH、COD、BOD<sub>5</sub>、挥发酚、氰化物、氟化物、硒、阴离子表面活性剂等 8 项;水质一直达到或优于 II 类的指标有溶解氧、

水质较差的是 2003—2008 年,连续 6a 达到 V 类标准,主要污染物只有总磷 1 项指标,其余各项指标都能达到或优于 II 类水质标准。

此外,1997 年和 2002 年水质为 IV 类,主要污染物分别是氨氮和总磷,其余各项指标都达到或优于 III 类水质标准。

砷、六价铬、镉、铜、六价铬、锌、硫化物等 8 项;一直稳定达到或优于 III 类的指标有汞、铅和石油类 3 项;超 III 类的只有总磷和氨氮两项指标,其中氨氮仅有 1 年出现过超标,总磷有 6 年出现过超标,超标倍数都不大。

监测评价表明,总磷是南盘江的主要污染物。总磷来源有三:一是城镇生活污水的排放;二是农业化肥的流失;三是涉磷企业(黄磷、磷肥等)生产过程的跑、冒、滴、漏、排。

#### 5 总结

20 多年来的水质监测评价结果表明,在云南省昆明市、曲靖市、玉溪市、红河州、文山州等社会经济发达地区工业、农业生产和城市化进程突飞猛进的时代背景下,南盘江水质基本稳定,除总磷和氨氮个别指标在少数年份偶有超标外,其余 20 多项指标长期稳定达到国家 III 类水质标准,特别是最近 4 年的水质达到或优于 II 类标准。南盘江云南出境水质优良。

## Two Decades' Water Quality Assessment of the Provincial Boundary Section of Nanpanjiang River in Yunnan

XIA Ning - ning

(Qujing Environmental Monitoring Station, Qujing Yunnan 655000 China)

**Abstract:** Twenty three years' monitoring data of the provincial boundary section of Nanpanjiang river in Yunnan were collected to evaluate its changes of water quality. The water quality changes and the main pollutants were analyzed.

**Key words:** boundary section; water quality variation; assessment; Nanpanjiang river

# 实现地表水环境质量评价的一种方法

## ——使用 EXCEL 自定义函数的新思路

白爱民

(云南省环境监测中心站, 云南 昆明 650034)

**摘要:**介绍了在 EXCEL 环境下常用的评价地表水环境质量的方法, 通过比较, “带引用参数的 Excel 自定义函数”集合了多个功能基本相同的自定义函数于一身, 不仅能够实现复杂的数据处理与分析, 还能象 EXCEL 的内置函数一样使用方便, 能进一步提高工作效率。

**关键词:**地表水; 环境质量; 评价; 方法; EXCEL; 自定义函数; 引用参数

**中图分类号:** X82 **文献标识码:** A **文章编号:** 1673-9655 (2014) 04-0072-05

水环境质量指水环境对人群的生存和繁衍以及社会经济活动的适宜程度, 通常指水环境遭受污染的程度<sup>[1]</sup>。地表水环境质量评价是环境监测部门的常规任务之一。地表水环境质量评价是将各项监测指标的监测值与对应的国家标准做比较判别, 综合后获得评价结果, 再与该水体的水质功能区类别做比较, 从而判断环境质量的优劣、变化和达标与否。整个评价过程中, 将各指标的监测值与对应国家标准做判别是基础, 快速且准确地获得各项指标的评价结果十分重要。

Microsoft EXCEL 是使用最广泛的电子表格软件之一, 它在数据综合管理和分析方面具有功能强大、技术先进、使用方便等特点<sup>[2]</sup>。很多工作人员使用 EXCEL 仍停留在初级水平, 对完成监测指标多、分类判别麻烦的综合评价, 其工作量仍然很大, 且极易出现错误。找出一种简单、易用的地表

水环境质量评价方法是很有必要的。

### 1 地表水环境质量标准简介<sup>[3]</sup>

《地表水环境质量标准 (GB3838-2002)》(下称《标准》)是我国为加强地表水环境管理、防治水环境污染、保障人体健康实施的国家环境质量标准。《标准》按照地表水的使用功能将水质划分为五类。此外,《标准》规定了水质项目及标准值、水质评价、水质项目的分析方法以及标准的实施与监督。《标准》的适用范围包括中华人民共和国领域内江河、湖泊、运河、渠道、水库等具有使用功能的地表水水域。

《标准》共涉及项目(即描述水质状况的监测指标)共计 109 项, 其中地表水环境质量标准基本项目 24 项, 集中式生活饮用水地表水源地补充项目 5 项, 集中式生活饮用水地表水源地特定项目 80 项。

表 1 地表水环境质量标准基本项目标准限值 (mg/L)

序号		I类	II类	III类	IV类	V类
1	水温(℃)	人为造成的环境水温变化应限制在: 周平均最大温升≤1 周平均最大温降≤2				
2	pH 值(无量纲)	6~9				
3	溶解氧	≥ 饱和率 90% (或 7.5)	6	5	3	2
4	高锰酸盐指数	≤ 2	4	6	10	15
5	化学需氧量(COD)	≤ 15	15	20	30	40
6	五日生化需氧量(BOD <sub>5</sub> )	≤ 3	3	4	6	10
7	氨氮(NH <sub>3</sub> -N)	≤ 0.15	0.5	1.0	1.5	2.0
8	总磷(以 P 计)	≤ 0.02 (湖、库 0.01)	0.1 (湖、库 0.025)	0.2 (湖、库 0.05)	0.3 (湖、库 0.01)	0.4 (湖、库 0.02)
9	总氮(湖、库, 以 N 计)	≤ 0.2	0.5	1.0	1.5	2.0
10	铜	≤ 0.01	1.0	1.0	1.0	1.0
11	锌	≤ 0.05	1.0	1.0	2.0	2.0
.....						

收稿日期: 2014-03-17

作者简介: 白爱民(1955-), 男, 高级工程师, 主要从事环境信息、网络管理、自动监测站、数据库研究。



## 2 地表水环境质量评价方法

目前,常用的地表水(河流、湖库)环境质量评价采用单因子评价法,根据评价时段内该监测点参评的指标中类别最高的一项来确定。对单个监测点,直接评价;当河流、流域(水系)、湖库有多个监测点位时,先计算这些点位中各评价指标浓度的算术平均值,再行评价。评价项目的类别是根据评价指标的浓度值,对照《标准》的项目标准

限值来确定的(见表1)。

《标准》将地表水分为五大类,即每项监测值经判别后可能会在一类、二类、三类、四类、五类或超五类中的一种(分别用“Ⅰ”、“Ⅱ”、“Ⅲ”、“Ⅳ”、“Ⅴ”或“>Ⅴ”表示)。完成评价获得水体的水质类别后,可对该水体的水质做定性评价分级。水质类别与水质定性评价分级的对应关系见表2。

表2 断面水质定性评价

水质类别	水质状况	表征颜色	水质功能类别
I~II类水质	优	蓝色	饮用水源地一级保护区、珍稀水生生物栖息地、鱼虾类产卵场、仔稚幼鱼的索饵场等
III类水质	良好	绿色	饮用水源地二级保护区、鱼虾类越冬场、洄游通道、水产养殖区、游泳区
IV类水质	轻度污染	黄色	一般工业用水和人体非直接接触的娱乐用水
V类水质	中度污染	橙色	农业用水及一般景观用水
劣V类水质	重度污染	红色	除调节局部气候外,使用功能较差

## 3 自定义函数的概念与功能

Excel 提供了大量的内置函数,在数据处理和信息化工作中起到了巨大的作用。通过多个内置函数的组合,可完成更为复杂的计算和分析。但是,内置函数组合使得公式变得冗长,难理解,还易出错。使用自定义函数能弥补内置函数组合之不足。

EXCEL 的自定义函数功能是 Microsoft Office 先进性的具体体现之一。先通过 VBA 完成自定义函数的编写,再在 EXCEL 中导入或加载,就可象 EXCEL 的内置函数一样使用自定义函数了。自定义函数能够实现复杂的数据处理与分析,使用象内置函数一样简单。

## 4 自定义函数的编写与使用

下面以一个简单的求解三角形面积的例子来说明自定义函数的编写和使用。

### (1) 打开 VBA 窗口

启动 EXCEL 后,按 ALT + F11 键,调出 VBA 窗口,插入模块,就可开始编写自定义函数的代码了。

### (2) 编写代码

通常自定义函数是用 function 命令开始的,在这个命令后面给它指定一个名字和参数。编写完成的代码如下:

```
Function sjxmj (di, gao)
    sjxmj = di * gao / 2
End Function
```

说明:本例自定义函数的代码非常简单,只有三行。先看第一行,其中 sjxmj 是自己取的函数名字

(“三角形面积”汉语拼音的首字母组成),括号中有两个参数,也就是变量,di 表示“三角形的底边长”,gao 表示“三角形的高”,两个参数用逗号隔开。为增加可读性,也可使用中文来命名函数和参数。

计算过程只一行代码(第二行,通常实现复杂计算和分析的代码不止一行),将 di \* gao / 2 (底乘高除以 2) 这个公式赋值给 sjxmj (自定义函数名)。最后一行(第三行)与第一行成对出现的,表示自定义函数的结束。

### (3) 使用自定义函数

回到 EXCEL 窗口,假设 B3 和 C3 单元格中分别输入了三角形的底边长和高的值,则在 D3 单元格中输入公式 =sjxmj (B3, C3),就会得到这对应的三角形面积了(图1)。

D3		fx=sjxmj(B3,C3)		
	A	B	C	D
1				
2		底边长	高	三角形面积
3		8	5	20

图1 用自定义函数求三角形面积

## 5 内置函数组合与自定义函数的对比

### (1) 组合内置函数法

通过实例来说明如何使用组合内置函数判别河流类别。

使用组合内置函数判别时,在目标单元格中既要包含判别条件和各类别的限值,还要包括存放监测值的单元格。本例中,公式很复杂,存放监测值的单元格名就出现了 6 次,还没有考虑缺测和异常等特殊情况的处理(图2)。

C4		fx=A=IF(TYPE(C3)=2,"I",IF(C3<=0.05,"I",IF(C3<0.1,"II",IF(C3<=0.2,"III",IF(C3<=0.5,"IV",IF(C3<=1,"V",>"V")))))	
1	A		
2			
3		硫化物	
4		河流1	0.15
		河流1类别	III

图2 组合内置函数法判别硫化物类别

(2) 自定义函数

通过实例来说明如何用自定义函数来判别硫化物类别。

从图3的编辑栏中可看到，自定义函数名为RiverSCata，只包括一个参数，即存放于C3单元格中的监测值。自定义函数在编写时已经包括了判别条件和各个《标准》限值，还包括了特殊情况的处理。

C4		fx=RiverSCata(C3)	
	A	B	C
1			
2			硫化物
3		河流1	0.15
4		河流1类别	III

图3 自定义函数判别硫化物类别

6 带引用参数的自定义函数

在地表水水质评价时，监测指标多，《标准》共涉及项目共计109项，其中地表水环境质量标准基本项目就达24项之多。对多监测指标（项目）判别时，需要分别编写各项的自定义函数，如：RiverDoCata、RiverCodCata、RiverBodCata、River氨氮Cata、……。也就是说，通过逐一使用各项的自定义函数来实现地表水环境质量评价，工作量仍然很大，且自定义函数的编写、调用和管理等也较为困难，记住如此之多的函数名也不易。

经分析，判别每项指标类别的原理和方法基本

相同，只是对应的标准值不同。且除个别项目（如溶解氧）外，其它项目的判别条件基本相同。由此，引入了一种新的自定义函数：带引用参数的自定义函数。

仍然通过实例来说明如何用带引用参数的自定义函数来判别硫化物类别。

C4		fx=RvrCata(21,C3)	
	A	B	C
1			
2			硫化物
3		河流1	0.15
4		河流1类别	III

图4 自定义函数判别硫化物类别

从图4的编辑栏中可看到，自定义函数名为RvrCata，包括二个参数，除了存放于C3单元格中的监测值（第二个参数）外，还多了一个引用参数。带引用参数的自定义函数能根据引用参数值找到与监测值对应的标准限值以完成判别。因此，一个带引用参数的自定义函数，相当于数十个单项目判别的自定义函数，其调用、管理和使用都很方便。图4中，引用参数值为21，是硫化物在《标准》中的参与类别判别的项目顺序号。

7 带引用参数的自定义函数的使用

图5是常见的一张水质监测数据表，为方便说明，只选取了部分行和列的内容。且用另一张工作表来存放类别判别结果。

	A	B	G	H	I	J	K	L	M	N	O	P	Q	R	S	T
1	河流名称	断面名称	溶解氧 (mg/L)	溶解氧饱和度 (%)	高锰酸盐指数 (mg/L)	生化需氧量 (mg/L)	氨氮 (mg/L)	石油类 (mg/L)	挥发酚 (mg/L)	汞 (mg/L)	铅 (mg/L)	化学需氧量 (mg/L)	总磷 (mg/L)	铜 (mg/L)	锌 (mg/L)	氟化物 (mg/L)
2	河流1	断面1	8.31	98	1.78	2.18	0.3	0.021	0.001	0.000005	0.0005	10	0.042	0.0005	0.025	0.127
3	河流1	断面2	9.9	111	1.4	1	0.0125	0.013	0.001	0.000005	0.005	5	0.027	0.004	0.025	0.19
4	河流2	断面1	8.8	95	1.4	1	0.0125	0.013	0.001	0.000005	0.005	5	0.056	0.0005	0.025	0.108
5	河流3	断面1	5.93	69	9.8	14	3.264	0.848	0.0027	0.00016	0.022	35	0.92	0.005	0.025	1.41
6	河流4	断面1	3.24	43	4.1	5.8	1.904	0.005	0.0002	0.000005	0.0005	37	0.189	0.005	0.025	0.41
7	河流5	断面1	5.5	-1	3.8	3.8	0.463	0.048	0.001	0.000005	0.009	20	0.24	-1	-1	0.24
8	河流6	断面1	5.7	-1	2.7	3.8	0.434	0.042	0.001	0.00004	0.007	17	0.17	-1	-1	0.4
9	河流7	断面1	6.1	-1	1.8	2.6	0.235	0.037	0.002	0.000005	0.004	15	0.03	-1	-1	0.26
10	河流8	断面1	4	50	7.1	2.9	1.441	0.005	0.0002	0.000005	0.0005	15	0.286	0.005	0.025	1.26
100	引用代码		1	2	3	4	5	19	18	13	16	3	6	8	9	17
101																

图5 水质监测数据表

将“河流数据”表复制到同工作簿的另一新表“河流类判”表中，删除各项监测数据，保留

表头以及河流和断面名。在使用自定义函数前，先对照《标准》中各监测项目的序号，将项目代码

输入到“引用代码”行（本例中的第 100 行）的对应列中。在第一个判别单元格（G2）中输入带引用参数的自定义函数“=RvrCata(G\$100, 河流数据!G2)”，函数中的第一个参数是引用参数，在 G100 单元格中取值（输入格式为 G\$100 的含义是：当向右拖动填充柄，列标会随之变化；而向下拖动填充柄时行标保持不变），第二个参数为监

测值，在“河流数据”表的 G2 单元格中取值，随着填充柄拖动，取值单元格的列标和行标均随之变化。第一个公式输入完成后，就可看到判别结果。利用 EXCEL 的填充柄功能，先向右拖动填充柄，再向下拖动填充柄，直到所有需要判别的单元格中的公式都填充完毕，见图 6。类别判别结果同时显示于报表中，见图 7。

G2		=RvrCata(G\$100, 河流数据!G2)															
	A	B	G	H	I	J	K	L	M	N	O	P	Q	R	S	T	U
1	河流名称	断面名称	溶解氧 (mg/L)	溶解氧饱和度 (%)	高锰酸盐指数 (mg/L)	生化需氧量 (mg/L)	氨氮 (mg/L)	石油类 (mg/L)	挥发酚 (mg/L)	汞 (mg/L)	铅 (mg/L)	化学需氧量 (mg/L)	总磷 (mg/L)	铜 (mg/L)	锌 (mg/L)	氟化物 (mg/L)	硒 (mg/L)
2	河流1	断面1	I														
3	河流1	断面2															
4	河流2	断面1															
5	河流3	断面1															
6	河流4	断面1															
7	河流5	断面1															
8	河流6	断面1															
9	河流7	断面1															
10	河流8	断面1															
20																	
100	引用代码		1	2	3	4	5	19	18	13	16	3	6	8	9	17	11

图6 输入第一个公式，拖动填充柄，完成所有公式的输入

G2		=RvrCata(G\$100, 河流数据!G2)															
	A	B	G	H	I	J	K	L	M	N	O	P	Q	R	S	T	U
1	河流名称	断面名称	溶解氧 (mg/L)	溶解氧饱和度 (%)	高锰酸盐指数 (mg/L)	生化需氧量 (mg/L)	氨氮 (mg/L)	石油类 (mg/L)	挥发酚 (mg/L)	汞 (mg/L)	铅 (mg/L)	化学需氧量 (mg/L)	总磷 (mg/L)	铜 (mg/L)	锌 (mg/L)	氟化物 (mg/L)	硒 (mg/L)
2	河流1	断面1	I	I	I	I	I	I	I	I	I	IV	I	I	I	III	I
3	河流1	断面2	I	I	I	I	I	I	I	I	I	III	I	I	I	III	I
4	河流2	断面1	I	I	I	I	I	I	I	I	I	III	I	I	I	III	I
5	河流3	断面1	III		IV	I	III	V	III	IV	III	>V	III	I	I	>V	I
6	河流4	断面1	IV		III	I	I	I	I	I	I	>V	II	I	I	>V	I
7	河流5	断面1	III		II	I	I	I	I	I	I	>V	II			>V	
8	河流6	断面1	III		II	I	I	I	I	I	I	>V	II			>V	
9	河流7	断面1	II		I	I	I	I	I	I	I	V	I			>V	
10	河流8	断面1	IV		IV	I	I	I	I	I	I	V	II	I	I	>V	I
20																	
100	引用代码		1	2	3	4	5	19	18	13	16	3	6	8	9	17	11

图7 全部公式输入后，判别工作完成

### 8 结语

地表水环境质量评价涉及的项目多，工作繁杂，需考虑的因素较多。对没有建立数据库系统的监测部门，评价工作量是很大的。自定义函数能够实现复杂的数据处理与分析，象 EXCEL 的内置函数一样简单直观，使用方便，且易于推广<sup>[4]</sup>。带引用参数的 Excel 自定义函数相当于集合了多个功

能基本相同的自定义函数于一身，能进一步提高工作效率。在评价地表水环境质量时，仅用一个函数就实现了整张河流水质监测数据表的类别判别。利用 EXCEL 的引用功能，可方便快捷地完成整张表中大量公式的输入<sup>[5]</sup>。由于带引用参数的自定义函数对报表中各水质监测指标的列位置没有特殊要求，适合于各类地表水质量评价，使用灵活方便。

没有计算机编程基础的工作者，也能轻易地掌握自定义函数的使用方法。

参考文献：

- [1] 百度百科 [EB/OL]. <http://baike.baidu.com/>.  
[2] 单文坡. EXCEL 和 ORIGIN 在环境监测数据处理中的应用 [J]. 石家庄职业技术学院学报, 2008, 20 (2): 58 - 60.

- [3] GB 3838 - 2002, 地表水环境质量标准 [S].  
[4] 白爱民. EXCEL 与底泥数据的分析 [J]. 环境科学导刊, 2010, 29 (5): 109 - 112.  
[5] 白爱民. 湖库富营养化状态的快速评价 [J]. 环境科学导刊, 2014, 33 (1): 80 - 83.

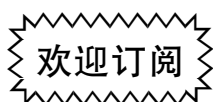
## One Method Employing EXCEL Software to Assess Surface Water Quality

BAI Ai - min

(Yunnan Environmental Monitoring Center, Kunming Yunnan 650034 China)

**Abstract:** In order to improve the efficiency of surface water quality assessment, the user - defined functions with parameters in EXCEL software were applied to complete complicated monitoring data treatment and analysis.

**Key words:** surface water; environmental quality; assess; method; EXCEL; user - defined function; parameter



## 《环境科学导刊》杂志

《环境科学导刊》，投稿及联系邮箱：[ynhjkx@yies.org.cn](mailto:ynhjkx@yies.org.cn)；电话（传真）：0871 - 64142389；国内统一刊号：CN53 - 1205/X；国际标准刊号：ISSN1673 - 9655。

《环境科学导刊》（原《云南环境科学》）创刊于1982年，是云南省环境保护厅主管，云南省环境科学研究院主办，全国公开发行的环保科技期刊。本刊主要刊登环境科学学术性论文、环境科研报告及介绍环境工程应用技术的文章。主要栏目有：科研专题研究、环境管理、水环境保护、高原湖泊研究、生态环境保护、污染防治、污染治理技术、大气污染防治、农业环境保护、环境与人体健康、环境监测、环境影响评价等。适合所有从事环境保护工作的人员和大专院校有关专业的师生阅读，也可供规划、农、林、水、土、卫生等部门的有关人员参阅。

《环境科学导刊》为双月刊，每双月25日出版，全年定价60元。读者可通过邮局汇款到本刊编辑部或通过银行转帐到云南省环境科学研究院订阅。

**邮局汇款**

邮政编码：650034

汇款地址：昆明市西山区气象路王家坝23号

收款人：《环境科学导刊》杂志社

电话：0871 - 64142389

**银行转帐**

开户名：云南省环境科学研究院

（中国昆明高原湖泊国际研究中心）

开户银行：建行昆明市西园南路支行

帐号：53001615637050309169

E - mail：[ynhjkx@yies.org.cn](mailto:ynhjkx@yies.org.cn)

# 昆明市建设项目环境影响评价 公众参与现状研究

王放, 支国强, 李田富, 耿超

(昆明市环境工程评估中心, 云南昆明 650021)

**摘要:**以昆明市为研究对象, 深入分析现阶段环境影响评价公众参与中存在的主要问题, 并提出改进的对策建议。

**关键词:**环境影响评价; 公众参与; 问题; 对策; 昆明市

**中图分类号:** X32 **文献标识码:** A **文章编号:** 1673-9655 (2014) 04-0077-04

环境影响评价公众参与(以下简称: 环评公参)是指社会公众有权通过一定的程序和途径参与与环境资源利益相关的决策活动与实施过程, 表达关切、施加影响, 从而维护自身环境权益。环评公参是环评中的重要内容, 在项目建设单位及环评机构与公众之间的交流当中, 能使环评机构在环评中的预测及分析更加完善, 提出的建议更趋合理, 从而提高项目的环境合理性、社会可接受性及环评的有效性, 使得环境影响与公众环保权益达到最佳平衡点。

近年来, 昆明市环境行政主管部门、环评机构及项目建设单位严格按照《环境影响评价法》和《环境影响评价公众参与暂行办法》的规定开展环评公参工作, 加之公众环保意识不断提高, 积极参与到环境环保当中的公众人数不断增多, 使得昆明市环评公参工作取得了长足的进步。但是, 目前昆明市环评公参工作中还存在很多问题和不足。本文从昆明市环评公参的现状情况进行分析论述, 并就存在的问题提出改进措施, 以便更好地发挥公众参与环评的积极作用。

## 1 昆明市环评公参工作现状

根据《环境影响评价公众参与暂行办法》规定, 环境影响评价阶段公众参与主要程序为: 环评机构接受委托、两次公开环境信息、公众意见调查、技术审核、审批前公示及审批。以下就昆明市在环评公参工作各个阶段执行情况进行总结分析。

### 1.1 环评公参执行情况

根据《环境影响评价公众参与暂行办法》对

适用范围的规定, 编制报告书的建设项目需要开展公众参与, 对编制报告表或者登记表的建设项目则未作规定。昆明市 2010—2013 年 4 年间累计共进行了 1073 个建设项目的环境影响评价, 其中编制环境影响报告书的 622 个建设项目均开展了公众参与工作, 执行率为 100%; 其余 451 个编制环评报告表的项目则未开展公众参与工作。

### 1.2 环境信息公开

对昆明市 100 份环评报告书进行的统计分析发现, 信息公开方式包括信息栏张贴及网络发布两种方式。两次信息发布均以文字描述, 内容包括: 项目名称、项目概况、项目建设单位及评价机构基本情况、项目环境影响报告书结论要点、公众对项目提出意见的接收方式等。在 100 份环评报告书中全部采用了张贴公告的方式, 其中 59 份报告书同时还采用网络发布公告的方式。张贴公告的地点主要为项目周围社区、村镇公告栏及项目建设区域周围。网络发布共计在 9 个不同的网站进行了 59 次信息发布, 其中环评机构网站 4 个发布 20 次、建设单位网站 2 个发布 2 次、环保专业网站 3 个发布 37 次。在信息发布后, 公众均未主动提出意见。

### 1.3 征求公众意见

根据《环境影响评价公众参与暂行办法》, 征求公众意见的方式有: 问卷调查、座谈会、论证会、听证会等。对昆明市 100 份环评报告书进行的统计分析发现 100 份报告书均采用了调查问卷的方式征求公众意见, 调查对象为公众个人及单位团体。从调查数量上看, 针对公众个人调查较多, 平均为 59 份; 单位团体较少, 平均为 9 份。

### 1.4 技术审查

目前, 昆明市是通过评估中心、专家及审批部

门对环评公参工作进行审查，主要以形式审查、工作程序及内容合理性审查为重点。首先，建设方或者环评机构将环评文件上报评估中心后，由中心技术人员对上报文件进行形式审查，主要关注环评公参开展情况。通过形式审查后，组织专家上会评审，主要关注公参工作的程序、内容的合理性，最后报审批部门进行公示及审批。

## 2 存在的问题

### 2.1 环评公参范围较窄

我国根据建设项目对环境的影响程度的不同，对建设项目的环评评价实行分类管理，建设项目环评应当分别编制环境影响报告书、环境影响报告表或者填报环境影响登记表。而我国公众参与环境影响评价的范围只是应当编制环境影响报告书的

建设项目。也就是说，对于编写报告表和登记表的建设项目公众根本没有参与的机会。这样的公众参与的范围是明显过窄的。因为目前许多规模小但污染影响大的项目往往只需要编制环境影响报告表或者是登记表，这就意味着这一批对群众生活最密切相关的项目反而钻了法律的空子，逃过了公众的监督。

根据昆明市 2010—2013 年环保信访投诉情况分析结果，4a 内累计共有 545 起投诉记录，属于编制环境影响报告表或者是登记表的项目有 178 项，占投诉比例的 32.66%，涉及 18 个不同的行业。其中餐饮业投诉最多，共计 60 起，占比 33%，其后依次为金属（木材）固件加工、汽修店、信号基站、商铺、KTV 及道路交通等。

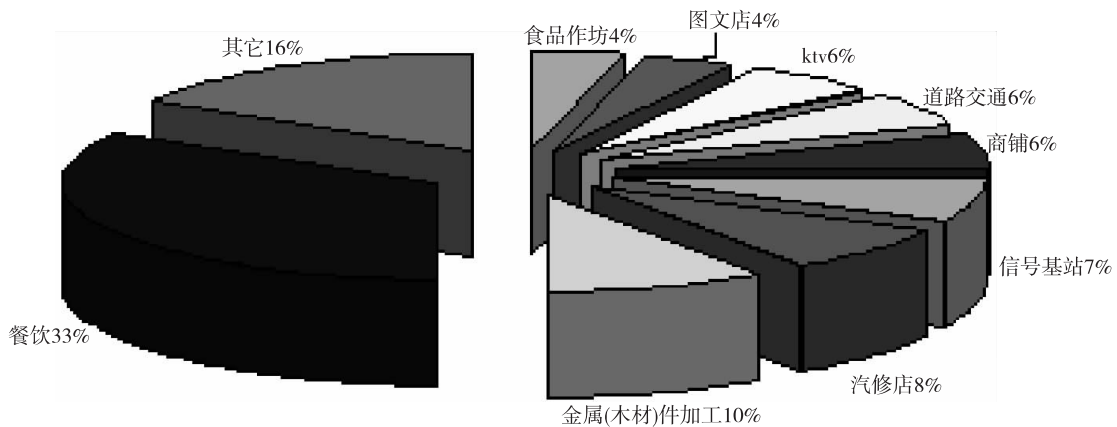


图1 昆明市环境投诉行业比例

### 2.2 信息公示效果较差

项目信息公开是公众参与的前提，没有环境信息、或者公开的环境信息不够充分，即使公众进行了参与，这种参与也不会达到预期的目标。从昆明市实践情况分析，进行环评公参的项目均按照规定的内容及方式进行了信息发布，完全符合国家相关法律法规要求，但是往往是合法而不合理导致效果很差。如前所述，昆明市 100 份报告书均采用了张贴公告的方式进行信息公示，59 份报告书还采用在网上发布公示的方法。但是，在这些建设项目中公众均未主动提出意见，且部分项目的被调查公众对项目的知晓情况往往不足 30%。由此可见公开的信息不能够有效传达给公众，主要存在如下一些问题：

(1) 信息公示时间较短。《环境影响评价公众参与暂行办法》中对信息公开时限规定较短，为 10d。由于信息发布时间较短，不少公众无法“筛

选”、“消化”相关信息，往往不得不顺着建设单位公布的信息和结论提出意见，并不能代表他们的真实想法。

(2) 信息发布渠道不合理。从网络发布的网址来看，多为公司网页及环保专业网站。这些网站仅仅针对单一的目标受众，专业性较强，社会关注度较低，普通公众根本不会进入网站，导致挂网公示形同虚设。

(3) 发布内容设计缺陷。建设项目的公示内容文字过多且专业性较强，在项目对环境的危害、污染情况及潜在的环境影响等方面含糊其词，避重就轻，使没有一定专业知识的公众难以理解。

### 2.3 征求公众意见方式单一

虽然《环境影响评价公众参与暂行办法》提出了问卷调查、书面咨询、座谈会、论证会、听证会等方式进行公众参与，但是在实践过程当中，出于经济利益的驱动和为保证该项目尽快实施，建设

单位或环评的编制单位都会采取时间和成本花费都较低且可操控性强的问卷调查方式。问卷调查方式存在诸多不足,如调查表的内容往往过于简单,被调查人员对拟建项目的内容、污染状况、治理措施等均不了解,很难发表有价值的意见;由于环评工作的时效性,在有限的时间、精力等条件下,往往调查范围窄,调查对象少,代表性差。

#### 2.4 技术审查工作不全面

现阶段由于人力、物力、时间和手段等因素的制约,昆明市环评公参技术审查工作并不到位。审查往往依据建设方或环评单位上报的环评文件进行,缺失了对公参工作的真实性和有效性情况的判断,从而影响到审批决策的科学性。

### 3 改进建议

#### 3.1 扩大环评公众参与适用范围

通过对昆明市4a来环保信访投诉情况的分析可见,编制环境影响报告表或者是登记表的项目由于项目建设前期未开展环评公众参与工作,导致此类项目在投入运营后往往受到公众投诉较多,占总投诉的比例达到了三成。因此,公众参与环境影响评价应不仅限于编制报告书的建设项目。

现阶段已有部分省市增加了环评表执行公参的适用范围,可见扩大环评公参的适用范围符合环保发展趋势。从不同省市的具体规定分析,部分省市对于报告表公参范围规定较为模糊或者交由环保部门来确定,部分省市则根据行业类别、建设地点,如是否在居民区附近等情况详细分类列出。前一种规定方式不但容易增加行政程序,而且由于划分依据不明确导致难以实施;而后一种方式采用分类分区管理,明确具体的环评公参适用范围,可操作性较强。无论采取何种方式,都应结合实际情况适当扩大环评公参的适用范围。

#### 3.2 信息公开改进

环境影响的信息公开是公众参与环境影响评价的前提条件。信息不公开或者公开效果较差,公众参与便无从谈起。只有在充分对建设项目情况知悉的基础上,公众才能更好地表达自己的意见和建议,从而提高公众参与环境影响评价的有效性。改善昆明市现行环境影响评价的公众信息公开情况势在必行,针对目前公示时间短、发布地点和方法不合理的情况提出以下改进措施:

(1) 合理确定公示时间期限。针对目前信息公示时间期限较短的情况,应适当延长公示时限。

(2) 合理确定信息发布方式。结合昆明市环

评信息发布的主要方式及受影响群体获取信息的主要渠道,根据项目所在区域、行业类别合理选择信息发布的方式和渠道,提高信息公开覆盖效果,达到公示成本最低、效果最好的目的。从区域特点考虑,如果建设项目位于城市建成区内,信息公开方式可采用政府网络、社区论坛、电视台、广播、报纸等新闻媒体公示为主,辅以周边影响区域张贴。如果建设项目位于较为偏远的农村地区则可采用大范围周边影响区域张贴,辅以电视台广播公告,因为农村地区上网人群少、订报人群少,网络公示、报纸公告等效果有限。同时,当建设项目所在地为少数民族地区时,还应同时采用汉语及少数民族语。从行业特点考虑,房地产类等影响范围小的项目,以周边影响区域张贴为主;化工、道路交通等污染总量大且环境影响范围广的项目,以周边影响区域张贴,报纸、网络、电视台广播公告等为主,以扩大信息传播范围。

(3) 信息发布内容设计优化。首先,信息发布中应增加公众环境影响评价的概念、工作的程序、公众在该项工作中的作用及重要性、下一步安排及时间计划等的说明,以便提高公众对于此项工作的认识,积极准备并配合下一步的意见征求工作。其次,我国公民的环保素质还不高,信息发布内容宜采用文字描述及图表说明相结合的形式以助于公众更好理解项目的具体情况。如地理位置图及周边关系图等常规图件,可以使得公众对项目的位置及与自身的关系一目了然。

#### 3.3 公众意见调查方式改进

通过昆明市公众意见调查方式现状分析,笔者认为在环评中采取问卷调查的方式是大势所趋,而座谈会、论证会、听证会则是更好地双向互动交流的形式,有着调查问卷不可替代的作用。如何选择公众意见的调查方式是亟待解决的问题。笔者认为如果能够合理、有效、真实地开展问卷调查不失为一种高效且经济的方式,调查结果也能够真实反映问题,应当作为环评公众意见调查的初步或初级方式。如果通过初步的公众调查问卷发现公众对项目环保问题普遍存在疑虑(如调查问卷显示有20%以上的公众不清楚或不支持项目建设),则应召开座谈会、论证会或听证会将项目的环保相关情况向公众进行解释说明和交流讨论,以期获得公众的理解和支持。通过这样的细化,不但保证了环评公参工作的效率,也可以在项目存在争议的情况下深入进行交流,确保公众意见调查的有效性。

### 3.4 加强技术审查

在2012年的全国环保系统政府信息公开工作会议上,环境保护部部长周生贤指出“环保部门在项目环评的受理和审批中,要将建设单位开展公众参与的合法性、有效性、代表性、真实性以及公众意见采纳情况作为审查重点。”

昆明市环境工程评估中心(以下简称“评估中心”)作为昆明市环保局的技术支持部门,在建设项目环评文件技术评估阶段,应负责对环境影响评价公众参与工作进行全面审查,具体可以通过以下方式进行:

(1) 形式审查。评估中心在建设单位或者环评机构报送环评文件时进行形式审查,内容可以包括:环评公参工作开展情况、提供公众参与材料的完整性等。凡是应当开展公参工作未开展的一律不予受理,建设单位或者环评机构材料不齐全的应当限期补齐,同时应将公众参与调查原始资料存档备查。

(2) 抽样复核。评估中心在建设单位或评价机构报送环评文件后,在上会审查前,可对公众参与调查对象进行抽样调查,如抽取10%的调查公众进行复核,对于重大、重点敏感、热点项目应适当提高抽样比例。为提高工作效率、减小工作量,抽样复核应优先采用电话联系的方式;需要进行现场踏勘的项目还可以结合实地回访。经电话抽查复合或者实地回访,与实际调查情况一致性较差的,必须重新开展公众参与工作,不得上会评审。

(3) 技术审查。加强环评公参工作的全过程审查,分析公参工作程序、信息发布、信息调查等方面的合理性。如:根据环评文件的内容,对历次信息公开时限是否达到要求、信息发布的地点或者网址是否合理、发布内容的准确性、客观性及有效性等进行审查。应重点关注公众意见的采纳情况及处理效果。有针对性的技术审查,有助于促进公众参与工作程序更规范、内容更准确,公众参与调查的结果更真实、可靠。

#### 参考文献:

- [1] 吕同舟, 黄伟, 钟婷. 农业规划环境影响评价中公众参与研究[J]. 农业环境与发展, 2012, (1): 62-66.
- [2] 付佳, 孙维兵, 袁笛, 等. 公众参与在建设项目环境影响评价中的重要性[J]. 环境保护科学, 2005, 31(127): 68-70.
- [3] 许铁力. 环境影响评价价值评估中的公众参与方法探讨[J]. 北方环境, 2004, 29(1): 66-69.
- [4] 蒋昕. 公众参与问卷调查方法探讨[J]. 广州环境科学, 2008, 23(2): 36-39.
- [5] 梁宁, 王敦球. 环境影响评价工作中存在的问题及对策探析[J]. 资源环境与发展, 2010, (1): 32-34.
- [6] 刘衍君. 环境影响评价中公众参与定量评价方法初探[J]. 云南地理环境研究, 2004, 16(2): 71-73.
- [7] 李丽珍, 马兰, 刘年丰. 环境影响评价中的公众参与现状及其改进建议[J]. 云南环境科学, 2005, 24(增刊): 166-168.
- [8] 陈润羊, 花明. 我国环境保护中的公众参与问题研究[J]. 广州环境科学, 2006, 21(3): 30-33.
- [9] 高玉娟, 张儒. 公众参与环境保护调查问卷剖析[J]. 商业经济, 2009, 324(4): 89-91.

## Research on Public Participation in Environmental Impact Assessment Process in Kunming

WANG Fang, ZHI Guo-qiang, LI Tian-fu, GENG Chao

(Kunming Appraisal Center for Environment and Engineering, Kunming Yunnan 650021 China)

**Abstract:** Public participation in environmental impact assessment process is a useful tool to increase public environmental awareness and to collect public opinions. Kunming was taken as a case to identify the problems of implementing public participation. Countermeasures were put forward to improve present status.

**Key words:** environmental impact assessment; public participation; problem; countermeasures; Kunming



# 原子荧光光谱法测定环境空气中锑

顾志勇

(大丰市环境监测站, 江苏 大丰 224100)

**摘要:** 采用过氯乙烯滤膜采集环境空气中锑, 盐酸-氢氟酸混酸体系微波消解滤膜, 原子荧光光谱法测定锑。方法前处理操作过程简单、省时、酸用量少、环境污染小, 方法的灵敏度和准确度都有很大的提高。采样体积为 300L 时, 空气中锑的最低检出质量浓度为  $0.002\text{mg}/\text{m}^3$ 。

**关键词:** 原子荧光光谱法; 环境空气; 微波消解; 锑; 测定

**中图分类号:** X83 **文献标识码:** A **文章编号:** 1673-9655 (2014) 04-0081-02

锑的空气污染主要来自冶炼、采矿, 生产阻燃剂和制造电池中的合金材料, 滑动轴承和焊接剂的生产。锑和它的许多化合物有毒, 因此对环境空气中锑的监测是有必要的。目前, 我国现有空气和废气中锑的测定方法为 5-Br-PADAP 分光光度法<sup>[1]</sup>, 该方法操作繁琐, 化学反应步骤多, 灵敏度低。微波消解具有完全、快速、低空白等优点, 已广泛应用于各类样品的处理。本文采用过氯乙烯滤膜采集样品后微波消解, 原子荧光光谱法测定环境空气中的锑。本方法用酸量少、消解液不易受玷污, 方法灵敏度高, 精密度和准确度良好。

## 1 实验部分

### 1.1 仪器和试剂

AFS-2300 型原子荧光分光光度计; 锑特种空

心阴极灯; MDS-8 型微波消解仪; 青岛崂山空气采样器; 过氯乙烯滤膜。

氢氟酸、盐酸、硼氢化钾、氢氧化钠、硫脲: 均为优级纯; 锑标准储备溶液 ( $100\text{mg}/\text{L}$ , 国家钢铁材料测试中心), 使用时用 5% 盐酸溶液稀释至浓度  $100\mu\text{g}/\text{L}$  锑标准应用液; 1.0% 硼氢化钾和 0.1% 氢氧化钠混合再生液; 5% 盐酸载流液; 10% 硫脲溶液。试验用水均为二次去离子水。

### 1.2 仪器工作条件

灯电流: 60mA; 负高压: 280V; 原子化器高度: 10mm; 载气流量: 400ml/min; 屏蔽气流量: 1000ml/min; 注入量: 0.5ml; 信号类型: 峰面积。微波消解程序见表 1。

表 1 微波消解程序

步骤	功率/W	温度/°C	升温时间/min	保持时间/min
1	1600	室温~110	5	3
2	1600	110~140	4	3
3	1600	140~180	4	15

### 1.3 采样和样品处理

空气中锑样品采集参照《空气和废气监测分析方法 (第四版)》总悬浮颗粒物采样方法。将过氯乙烯滤膜“毛”面朝上安装在采样夹内, 以 5L/min 流量采集 1h 空气样品。采样后, 用镊子取下滤膜, 尘面朝里, 对折两次, 叠成扇形, 夹在原衬纸中间, 放回原纸袋, 记录采样条件<sup>[1]</sup>。将采过样的滤膜剪碎放入微波消解管中, 用少量水润湿后

加入 6ml 盐酸和 2ml 氢氟酸在微波消解仪中进行消解后, 将消解管放在恒温加热器中加热赶酸, 酸雾去除后, 取下稍冷, 加入 5% 盐酸温热溶解可溶性残渣, 转移到 50ml 容量瓶中, 冷却后加入 5ml 10% 硫脲溶液再用 5% 盐酸溶液定容至标线, 摇匀, 供测定。取同批号两个过氯乙烯滤膜, 按以上条件同时制备空白溶液。

## 2 结果与讨论

### 2.1 标线曲线绘制和样品测定

吸取浓度为  $100\mu\text{g}/\text{L}$  的锑使用液 1.00、3.00、5.00、10.00、15.00ml 加入 100ml 容量瓶中, 再加入

收稿日期: 2014-03-10

作者简介: 顾志勇 (1967-), 男, 汉族, 江苏大丰人。大丰市环境监测站工程师。

5ml 10% 硫脲溶液，用 5% 盐酸稀释至刻度后混匀，溶液中铈浓度分别为 1.00、3.00、5.00、10.00、15.0  $\mu\text{g/L}$ 。按 1.2 仪器工作条件，输入有关参数及标准曲线浓度，仪器预热 30min 后测定，按仪器操作步骤进行分析。在此测量条件下，铈的质量浓度在 1.00 ~ 15.0  $\mu\text{g/L}$  范围内呈线性，线性回归方程  $Y = 328.147X - 5.917$ ，相关系数  $r = 0.9997$ 。

按标准系列相同操作条件测定样品和空白对照消解液，测定的样品的吸光值减去空白样品的吸光值后，由标准曲线查出样品铈的质量浓度。

## 2.2 检出限

对全程序空白样品连续测定 15 次，取后 11 次测定的荧光强度值统计空白测定的标准偏差  $SD$  为 1.129  $\mu\text{g/L}$ ，以公式  $L$  (检出限) =  $kS/K$  计算，式中  $k = 3$ 、 $K$  为方法灵敏度 (既标准曲线斜率)。计算出铈的检出限为 0.01  $\mu\text{g/L}$ 。在采样体积为 300L 的条件下，铈最低检出质量浓度为 0.002  $\text{mg/m}^3$ 。

## 2.3 微波消解条件优化

本实验考察了硝酸 - 氢氟酸、硝酸 - 氢氟酸 - 盐酸、盐酸 - 氢氟酸等消解体系对试验的影响，经试验，采用盐酸 - 氢氟酸体系消解样品效果较好，用酸量少。微波法消解需加入 6ml 盐酸和 2ml 氢氟酸，消解耗时约 25min，冷却后在恒温加热器上的赶酸耗时约 40min。而采用电热板消解，共需加入硝酸 20ml、硫酸 7ml、高氯酸 10ml、盐酸 12ml，消解耗时超过 6 h。由此可见，采用微波消解，比

传统的电热板消解节约了试剂和时间，避免了大量酸雾的产生。

在微波消解过程中，微波消解程序 3 的温度设置较为重要，过低的消解温度或保持时间过短都会使测定结果精密度和准确度较差。试验表明，当消解温度  $< 180^\circ\text{C}$ ，样品的测定值偏低；设置为  $180 \sim 190^\circ\text{C}$  时，盐酸 - 氢氟酸微波消解体系能使过氯乙烯滤膜及空气中的颗粒物完全溶解，不具有残留物质。

## 2.4 共存离子的影响

在原子荧光光谱法测定过程中，有文献报道多种共存元素会对原子荧光光谱法测定产生干扰<sup>[2]</sup>。在分析过程中，消解液中铜、铁、锡、铬等金属离子对铈的测定产生干扰。消解液中加入硫脲溶液使铈元素还原为三价铈离子，在酸性介质中加入硼氢化钾溶液，使溶液中三价铈与硼氢化钾进行反应，生成气态三氢化铈，而与铜、铁、锡、铬等金属离子分离。

## 2.5 精密度与加标回收试验

取 18 个空白过氯乙烯滤膜，按 6 个一组分成 3 组，每组分别加入 1.00ml、2.00ml、3.00ml 铈标准应用液后，放置过夜。次日消解后定容至 50ml 后，每组铈的浓度分别为 2.00、4.00、6.00  $\mu\text{g/L}$ ，进样分析测得的结果和加标回收率见表 2。3 组样品的相对标准偏差均  $< 7\%$ ，回收率在 94.2% ~ 104.0%。

表 2 铈精密度与回收率的测定结果

( $\mu\text{g/L}$ )

		平均值 RSD/%							
1	加标值	2.00	2.00	2.00	2.00	2.00	2.00	2.02	4.71
	测定值	2.08	2.03	1.97	2.05	1.96	2.04		
	回收率/%	104.0	101.5	98.5	102.5	98.0	102.0		
2	加标值	4.00	4.00	4.00	4.00	4.00	4.00	3.82	3.09
	测定值	3.84	3.77	3.81	3.79	3.85	3.83		
	回收率/%	96.0	94.2	95.2	94.8	96.2	95.8		
3	加标值	6.00	6.00	6.00	6.00	6.00	6.00	5.86	6.95
	测定值	5.88	5.77	5.95	5.82	5.91	5.80		
	回收率/%	98.0	96.2	99.2	97.0	98.5	96.7		

## 3 结语

本实验采用过氯乙烯滤膜采集环境空气中铈，硝酸 - 氢氟酸混合微波消解样品。实验表明用微波消解样品，原子荧光光谱法测定铈，方法操作简便，灵敏度高，分析速度快，线性相关系数好，精密度、回收率等各项技术参数均符合分析测试质量

控制要求，适合用于环境空气中微量铈的监测。

### 参考文献：

- [1] 本书编委会. 空气和废气监测分析方法指南 (第四版) [M]. 北京: 中国环境科学出版社, 2004.
- [2] 郭小伟, 李立. 氢化物 - 原子吸收和原子荧光法中的干扰及其消除 [J]. 分析化学, 1986, 14 (2): 151 - 158.

(下转第 85 页)

# 提高快速法测定 COD 准确度及精密度的方法

赵 红

(潍坊市环境监测中心站, 山东 潍坊 261041)

**摘 要:** 介绍了用快速法测定 COD 分析中提高准确度及精密度的方法。

**关键词:** COD; 测定; 快速法; 准确度; 精密度; 方法

**中图分类号:** X83 **文献标识码:** A **文章编号:** 1673-9655 (2014) 04-0083-03

COD 是天然水有机物污染和工业废水的重要评价指标之一, 在日益注重环保的今天, COD 已成为环境水质监测和废水监测的一项必测指标。因此快速准确地取得监测数据, 为环境决策提供科学依据非常重要。

COD 测定中最传统的方法是 GB11914-1989 重铬酸钾法。该方法具有测定 COD 值准确可靠的优点, 但存在试验设备复杂、测定过程耗时长、试剂用量大、对环境二次污染严重等问题。对 COD 测定方法的研究涉及多个方面, 相关的文献报导亦相当多。刘士俊等<sup>[1]</sup>对催化快速法和标准回流法测定废水中 COD 作了对比研究。金维平等<sup>[2]</sup>针对 COD 测定实验教学中存在的问题, 提出了以硫酸锰代替硫酸银作催化剂的 COD 快速测定实验教学方法, 探讨了消解温度、消解时间、催化剂用量等因素对测定结果的影响, 对分析方法进行了验证, 用以代替

国标方法进行实验教学。王淑英等<sup>[3]</sup>作了分光光度法与标准法测定水质中 COD 的对比实验。长期以来, 探讨一种快速、完善、可靠的方法一直是人们努力的目标。

环保部于 2007 年颁布了 HJ/T399-2007 快速消解分光光度法, 但由于该方法样品和试剂用量少, 存在准确度和精密度不高的问题。在这一前提下, 本人进行了提高快速消解分光光度法测定水质中 COD 准确度和精密度实验。

## 1 方法原理

试样中加入已知量的重铬酸钾溶液, 在强硫酸介质中, 以硫酸银作为催化剂, 经高温消解后, 用分光光度计测定 COD 的值。

## 2 实验部分

### 2.1 仪器

承德华通环保仪器厂 CTL-12 化学耗氧量速测仪。仪器参数见表 1。

表 1 CTL-12 化学耗氧量速测仪参数

仪器名称	仪器型号	中心波长	光程	测定范围	检出限
化学耗氧量速测仪	CTL-12	610nm	3.5cm	(10~1200) mg/L	5mg/L

### 2.2 试剂

氧化剂 (重铬酸钾), 采用承德华通环保仪器厂的专用氧化剂。

催化剂 (浓硫酸加硫酸银)。

邻苯二甲酸氢钾标准溶液: 称取 105~110℃干燥 2h 的邻苯二甲酸氢钾 0.5101g, 溶于水中稀释至 500ml, 摇匀备用。该溶液的理论 COD 值为

1200mg/L。

标准溶液: 采用中国环境监测总站标准样品研究所的 COD 标准样品。分取 3 种浓度的 COD 原标准样品 10.00ml 于 3 个 250ml 容量瓶中, 用蒸馏水定容, 浓度见表 3。

### 2.3 测定条件

由于快速消解分光光度法取样量少, 试剂用量少, 因此标准溶液和氧化剂要用单标吸管 (移液管) 吸取。蒸馏水和催化剂可用刻度吸管吸取, 但不宜用容量大的刻度吸管, 以 5.00ml 为宜, 消

收稿日期: 2014-03-16

作者简介: 赵红 (1963-), 女, 山东潍坊市人, 工程师, 从事环境监测工作。

解完后定容要用刻度吸管准确加入蒸馏水定容。

#### 2.4 实验步骤

取3.00ml 样品于干燥洁净的反应管中，加入1.0ml 氧化剂，再加入5.00ml 催化剂，置入仪器加热孔内，在  $165 \pm 0.5^\circ\text{C}$  下，消解样品 10min，取出反应管冷置于试管架上，冷却 1 ~ 2min，加入3.00ml 蒸馏水于反应管内，用自来水冷却，摇匀，再次冷却至室温；以空白样品为参比，测定吸光度或浓度。

$$\text{计算公式: COD 浓度 (mg/L)} = bx + a$$

式中： $x$  — 吸光度值；

$a$  — 标准曲线截距；

$b$  — 标准曲线斜率。

### 3 结果与讨论

#### 3.1 标准曲线

于一系列干燥洁净的反应管中分别加入邻苯二甲酸氢钾标准溶液 0.00、0.10、0.50、1.00、2.00、3.00ml，用蒸馏水将各反应管依次补足至 3.00ml，按 2.4 实验步骤操作，以空白样品为参比，用仪器自带光度计测定其吸光度。数据见表 2、图 1。

表 2 标准曲线数据值

邻苯二甲酸氢钾标准溶液/ml	0.00	0.10	0.50	1.00	2.00	3.00
COD 浓度/(mg/L)	0.00	40	200	400	800	1200
吸光度	0.00	0.0292	0.1357	0.2961	0.5636	0.8341
标准曲线	a = -1.57		b = 1434.6		r = 0.9997	

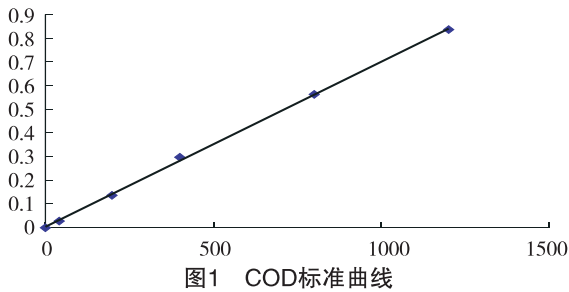


图1 COD标准曲线

从标准曲线上看，浓度在 0 ~ 1200mg/L 时，具有较好的线性关系，相关系数  $r$  为 0.9997，满足

《环境监测技术规范》的要求 ( $r \geq 0.999$ )，所以本方法测试范围为 10 ~ 1200mg/L，超过 1200mg/L 浓度时，水样需要稀释。

#### 3.2 标准样品的精密度和准确度试验

用 3 种浓度的标准溶液作平行样实验，测定快速法的精密度和准确度。分别取 3 种浓度的标准溶液加入 3 组干燥洁净的反应管中，按 2.4 实验步骤操作，以空白样品为参比，用仪器自带光度计测定其浓度。数据见表 3。

表 3 试验数据

标准样品编号	标准值与不确定度/(mg/L)	实测浓度/(mg/L)				相对标准偏差/%	准确度/%
		测定值	均值	相对标准偏差/%	准确度/%		
200160	20.4 ± 1.8	21.7	19.8	20.6	20.9	1.7	2.5
		22.0	21.3	20.1			
200159	73.5 ± 4.4	76.1	74.3	73.2	74.1	1.2	0.8
		75.6	74.7	73.5			
200172	284 ± 10	283	285	290	286	0.9	0.7
		285	286	288			

实验结果表明：用快速消解光度法测定 COD 有很好的准确度和精密度，3 种浓度的单次测定值都在标准溶液浓度范围内。

### 4 结论

(1) 重铬酸钾是一种强氧化剂，其氧化能力的大小与反应时溶液的酸度有关，适当增大反应溶液的酸度，可以增强重铬酸钾的氧化能力，加速氧化反应的进行。快速消解光度法中消解反应时溶液的酸度比标准法回流反应时溶液的酸度要高 6%，因

此，它能够在较短的时间内 (10min) 将溶液中的无机还原性物质和大部分的有机物质氧化，达到快速测定的目的。虽然快速消解光度法取样量少，试剂用量少，但只要在实验中严格控制测定条件，测定结果仍可具有较高的准确度和精密度。

(2) 快速消解光度法测定水中 COD 具有较好的可靠性和重复性，试验设备简单，省时，节约试剂，解决了传统法二次污染严重的问题，完全可以满足环境监测的要求。

参考文献:

- [1] 刘士俊. 催化法和回流法测定废水中 COD 的比较研究 [J]. 山西大学学报 (自然科学版), 2003, 26 (3): 265 - 268.
- [2] 金维平, 鲍锦磊, 范晓远, 等. COD 测定方法的实验教学改进 [J]. 实验室科学, 2013, 16 (5): 29 - 31.
- [3] 王淑英, 贡燕君. 分光光度法与标准法测定水质中 COD 的对比实验 [J]. 环境保护科学, 1997, 23 (2): 14 - 17.
- [4] 本书编委会. 水和废水监测分析方法 (第 4 版, 增补版) [M]. 北京: 中国环境科学出版社, 2002: 210 - 220.
- [5] HJ/T399 - 2007, 水质 化学耗氧量的测定 快速消解分光光度法 [S].

## Method to Improve the Accuracy and Precision of Rapid COD Determination

ZHAO Hong

(Weifang Environmental Monitoring Station, Weifang Shandong 261041 China)

**Abstract:** The analytical method to promote the accuracy and precision of rapid chemical oxygen demand (COD) test was introduced in order to obtain this indicator accurately and quickly since COD is one important indicator of water quality.

**Key words:** chemical oxygen demand (COD); monitor; rapid method; accuracy; precision; method



(上接第 82 页)

## Antimony Determination by Atomic Fluorescence Spectrometry

GU Zhi - yong

(Dafeng Environmental Monitoring Station, Dafeng Jiangsu 224100 China)

**Abstract:** Antimony in air was sampled using perchloroethylene filter. The filter was dipped into hydrochloric acid and hydrofluoric acid system and digested by microwave. Atomic fluorescence spectrometry was used to detect antimony after. This process is simple and time - saving with easy pretreatment, less amount of acid, and less negative impacts on environment. In addition, the accuracy and precision of the process is better than previous methods. The detection limit of antimony in air is  $0.002\text{mg}/\text{m}^3$  when the volume of air sample is 300 liters when this process was applied.

**Key words:** atomic fluorescence spectrometry; ambient air; microwave digestion; antimony; detect

# 离子色谱法测定地表水中氟化物的方法探讨

许卫娟

(启东市环境监测站, 江苏 启东 226200)

**摘要:**探讨了离子色谱法测定地表水中氟化物的影响因素: 水质样品的采集保存; 水质样品所含成份; 实验用水、试剂纯度、实验器皿的影响; 使用离子色谱仪测定过程中对氟化物的影响。认为应切实采取的措施, 消除干扰。

**关键词:** 离子色谱法; 地表水; 测定; 氟化物; 影响因素

**中图分类号:** X83 **文献标识码:** A **文章编号:** 1673-9655 (2014) 04-0086-02

氟化物是指含负价氟的所有有机或无机化合物。与其它卤素相似, 氟生成单负阴离子。从极难溶的氟化钙到反应性极强的四氟化硫都属于氟化物的范畴。氟化物也是人体一种必需的微量元素, 缺氟易患龋齿病。饮用水中氟离子的适宜浓度为 0.5~1.0mg/L。当长期饮用含氟离子浓度高于 1~1.5mg/L 的水时, 易患斑齿病; 当饮用水中氟离子浓度 >4mg/L 时会得氟骨病。氟化物广泛存在于自然水体中, 有色冶炼、钢铁和铝加工、焦炭、玻璃、陶瓷、电子、电镀、化肥、农药生产的废水及含氟矿物的废水都存在氟化物<sup>[1]</sup>。测定水中氟化物的常用方法有离子选择性电极法、容量法、光度法和离子色谱法。离子色谱法与其它方法相比具有方便、快捷、灵敏度高、选择性好等特点, 被广泛使用, 而且一次进样, 可同时检测氟离子、氯离子、硫酸根离子、硝酸根离子等。在测定标准样品时, 离子色谱法与离子选择性电极法的测定值与真值无显著性差异, 而测定实际水样时, 离子色谱法测定值往往偏高。这主要源于离子色谱法测定过程中的各种干扰因素。本文就此作一些论述, 并提出改进方案。

## 1 水质样品的采集保存对氟化物测定的影响

含氟化物的水样采集时应使用聚乙烯塑料瓶采集和贮存。采集后应于 2~5℃ 冷藏, 可保存 28d。操作过程中不要用玻璃瓶装样品。这是因为玻璃瓶中含有硅, 氟与硅反应, 会使样品中的氟浓度降低。同时采集样品的塑料瓶必须经反复清洗, 否则样品瓶中的残留对低浓度氟的样品测定将产生较大

的影响。

## 2 水质样品所含成份对氟化物测定的影响

(1) 水质样品中含有颗粒物, 会玷污色谱柱子。所以样品采集后需经直径 25mm、0.45μm 微孔滤膜过滤, 滤液贮存于聚乙烯塑料瓶中, 冷藏于冰箱中。使用前将水样和淋洗液贮备液按 99+1 体积混合, 以去除水负峰的干扰。

(2) 样品中氯化物浓度过高时, 会使色谱分析时氯的峰面积过大, 影响氟化物的色谱峰, 干扰测定。消除方法可于样品预蒸馏前加入固体硫酸银 (每 1mg 氯化物可加入 5mg 硫酸银固体), 再进行样品预蒸馏。

(3) 水质中含有杂质成份较多时, 需对样品进行预蒸馏。可用水蒸气蒸馏法和直接蒸馏法。前者是水样中氟化物在含高氯酸 (有机物含量高时改用硫酸, 以防有机物与高氯酸发生作用产生爆炸) 的溶液中通入水蒸气, 以氢氟酸或氟硅酸形式被蒸出; 后者是水样中氟化物在沸点较高的酸溶液中, 以氢氟酸或氟硅酸形式被蒸出; 从而与水中干扰物分离。预蒸馏的过程须确保氟化物的全部释放和全部吸收, 因而蒸馏装置需严格密合。

## 3 实验用水、试剂纯度、实验器皿的影响

配制试剂用水电阻应 >2MΩ。配制淋洗液的碳酸钠和碳酸氢钠均需优级纯。以防带入其它离子干扰测定。

## 4 使用离子色谱仪测定过程对氟化物的影响

(1) 水负峰的影响。在使用离子色谱仪测定水中氟化物时, 常用碳酸钠-碳酸氢钠作为淋洗液, 可见有一个反方向的干扰峰, 为水负峰。若待测离子的保留时间与此峰接近, 就会受到干扰。消除负峰的方法是用淋洗液配制标准溶液和测定样

收稿日期: 2014-03-16

作者简介: 许卫娟 (1969-), 女, 江苏启东人, 工程师, 学士学位, 从事环境监测工作。

品,使标准溶液和样品具有相同的淋洗液浓度。往往将水样和淋洗液贮备液按 99+1 体积混合,以去除水负峰的干扰。

(2) 某些阴离子的影响。在离子色谱分析中,若保留阴离子或不被保留的阴离子如  $\text{CO}_3^-$ 、 $\text{HCO}_3^-$ 、 $\text{HCOO}^-$ 、 $\text{CH}_3\text{COO}^-$  测定时保留时间与氟离子的保留时间很接近,色谱峰难于分离,很容易产生干扰<sup>[2]</sup>。所以在测定以上离子样品后,一定要反复清洗,再测定氟离子。如同一样品中同时含有氟离子和这些离子,样品需进行预处理。而且水中  $\text{CO}_3^-$ 、 $\text{HCO}_3^-$ 、 $\text{HCOO}^-$ 、 $\text{CH}_3\text{COO}^-$  的浓度越高,对氟化物测定的干扰也越大。干扰程度与其浓度呈正相关。陈宁、于彦彬等提出使用标准加入法消除基体的干扰,取得了较好的效果<sup>[3]</sup>。

(3) 操作测定的影响。使用离子色谱仪分析样品时,先要检测淋洗液是否足量,并检查淋洗液

管路是否插到容器底部,淋洗液出口要有溶液流出,系统才正常。测定进样时,整个系统不要进泡,不能让气泡进入色谱柱和抑制器,否则会影响色谱分离效果。做校准曲线和测定样品应在同一灵敏度下进行,否则会产生误差。自动进样器进样瓶需彻底清洗干净。

## 5 小结

离子色谱法测定地表水中氟化物的影响因素是众多的,针对每一影响因素,要切实采取措施,消除干扰,才能保证监测数据的真实可靠。

### 参考文献:

- [1] 本书编委会. 水和废水监测分析方法(第4版) [M]. 北京: 中国环境科学出版社, 2002: 187-189.
- [2] 蒋曙新, 夏豪刚. 理化检验 - 化学分册, 1988, 24 (3): 173.
- [3] 陈宁, 于彦彬, 刘嵘. 离子色谱法测定氟化物的干扰及其消除 [J]. 理化检验 - 化学分册, 2000, 36 (2): 70-72.

# Discussion on Methods of Testing Fluoride in Surface Water by Ion Chromatography

XU Wei - juan

(Qidong Environmental Monitoring Station, Qidong Jiangsu 226200 China)

**Abstract:** The factors influencing the determination of fluoride in surface water by ion chromatography were discussed. Many factors were identified including water sampling and preservation, components in the water sample, water used during the test, purity of reagents, and cleanness of lab apparatus. Therefore, detail tips should be listed and implemented to avoid the influences of these factors to deter fluoride in the lab.

**Key words:** ion chromatography; surface water; determination; fluoride; factor

# 滤膜法测定悬浮物出现负误差原因研究

喻丽红, 刘楠

(贵阳市环境检测中心站, 贵州 贵阳 550002)

**摘要:** 为了对滤膜法测定水中悬浮物出现负误差的情况进行研究, 从滤膜的前处理到滤膜的选择进行了一系列实验, 发现主要原因是滤膜在实验的过程中产生失重。对几种微孔滤膜进行了空白实验, 得出有机滤膜的空白校正值为 0.0000 ~ 0.0004g, 低于或等于悬浮物的称量误差, 此类滤膜用于水中悬浮物的测定, 能减少恒重次数, 缩短实验时间, 提高测定结果的科学性和准确性。

**关键词:** 悬浮物; 测定; 误差; 滤膜; 失重; 研究

**中图分类号:** X83 **文献标识码:** A **文章编号:** 1673-9655 (2014) 04-0088-03

城市化对水生生态系统健康的影响是广泛的, 这种影响随着自然环境的改变而加剧, 不透水表面的延伸和工业用地的增加等有关城市化的改变使得悬浮物等污染物通过地表径流和地下水路的运输系统得以增加<sup>[1]</sup>。总悬浮物的量是一个重要的水质参数, 不仅与光渗透和生态生产率有关, 同时也与诸如磷光体的污染物的转移有关。水中的悬浮颗粒引起光散射导致水变浑浊<sup>[2]</sup>, 影响水生生物的呼吸和代谢, 甚至造成鱼类窒息死亡<sup>[3]</sup>。在环境监测分析方法中, 悬浮物的定义为: 水样通过孔径为 0.45 $\mu\text{m}$  的滤膜, 截留在滤膜上并于 103 ~ 105 $^{\circ}\text{C}$  烘干至恒重的固体物质<sup>[4]</sup>。在地表水中, 悬浮物与金属有很强的联系, 金属以可溶的形式和溶于悬浮物的形式而存在, 悬浮物作为水质指示器的重要性已经被几个学者证实<sup>[5]</sup>。因此, 在水和废水处理中, 测定悬浮物具有特定的意义。测定悬浮物的方法有分光光度法、重量法等, 重量法又有滤膜法和滤纸法。本文就滤膜法测定悬浮物展开研究, 其重点在于分析悬浮物测定结果为负误差的原因。

## 1 实验部分

### 1.1 实验装置及原理

实验在 HDG-6B 六联不锈钢过滤器 (华旦仪器科技发展有限公司生产) 中进行, 用直径 50mm 孔径为 0.45 $\mu\text{m}$  微孔滤膜过滤水样, 于 103 ~ 105 $^{\circ}\text{C}$  烘干至恒重。

### 1.2 实验方法

实验分 4 步进行, 首先用混合纤维素滤膜测定 10 个水样, 后对此滤膜进行前处理, 然后再对多种微孔滤膜进行实验、对比、筛选, 最后用有机系微孔滤膜对 10 个水样进行测定。

## 2 结果和讨论

### 2.1 混合纤维素滤膜测定悬浮物

《水和废水监测分析方法》(第四版) 和《水质 悬浮物的测定 重量法》(GB11901-89) 中明确提出滤膜用的是微孔混合纤维素滤膜<sup>[6]</sup>, 但是在实际样品的测定中, 经常会出现测定结果为负值。表 1 是 10 个水样的测定结果, 水样的取样量分别是 200ml。

表 1 混合纤维素滤膜测定地表水中悬浮物的恒重结果

(g)

序号	称量瓶 + 滤膜的恒重 (A)	称量瓶 + 抽滤水样后滤膜的恒重 (B)	B - A
1	27.1618	27.1509	-0.0109
2	27.2533	27.2533	-0.0100
3	27.5781	27.5795	0.0014
4	27.9492	27.9500	0.0008
5	28.4573	28.4472	-0.0101
6	28.3601	28.3498	-0.0103
7	28.6743	28.9394	0.0004
8	28.9490	28.9394	-0.0096
9	27.6524	27.6428	-0.0096
10	28.1678	28.1563	-0.0115

收稿日期: 2014-03-05

基金项目: 贵阳市科技计划项目: 筑科合同 [2011103] 59 号。

作者简介: 喻丽红 (1982-), 女, 侗族, 贵州铜仁人, 硕士, 助理工程师, 主要从事环境中水和气的监测分析。

通讯作者: 叶晓云。

表 1 中编号为 1、2、5、6、8、9、10 的样品测定结果出现负误差。要消除负误差, 只有加大水



样的取样体积。于是我们量取 500 ml 甚至 1000ml 地表水用来抽滤，但是有的样品的测定结果仍然会出现负值。这样既不能解决实际存在的问题，而且还延长了抽滤的时间，对于样品量大、检测任务繁重的实验室来说，不太实际。

## 2.2 滤膜的前处理

为了消除负误差，我们对滤膜进行了分析研究：①先将滤膜浸泡数分钟，然后烘干再用。正如叶培培等人在论文《重量法测定悬浮物应注意的几个问题》中提到的，将滤纸进行水洗，可以减小误差<sup>[7]</sup>。我们对此进行了 10 张滤膜的实验，每张滤膜浸泡 20min，得出滤膜失重 0.0004 ~

0.0012g，再用这样的滤膜测定地表水中悬浮物，结果还是会出现测定结果为负值，这是由于滤膜的密度比滤纸高，仅仅通过浸泡不能使滤膜中的可溶性盐等完全溶解，不能完全扣除因滤膜失重产出的空白。②滤膜用 5% 盐酸浸泡 15min，恒重后再做样，这样处理过的滤膜在抽滤过程中很容易破损，产生损失，所以此方法不可取。③将滤膜用蒸馏水浸泡 24h 后，再用抽虑的方法扣除空白，即先将滤膜浸泡 24h 后，于 103 ~ 105℃ 烘干至恒重，然后将滤膜用过滤器抽虑 100ml 蒸馏水后再烘干至恒重，两次恒重结果相减，结果如表 2。

表 2 滤膜用浸泡—抽虑蒸馏水方式处理前后的恒重结果对比 (g)

序号	称量瓶 + 浸泡后滤膜的恒重 (C)	称量瓶 + 浸泡 - 抽虑蒸馏水后滤膜的恒重 (D)	D - C
1	27.4816	27.4694	-0.0122
2	28.1675	28.1571	-0.0104
3	27.4385	27.4250	-0.0135
4	26.6101	26.5964	-0.0137
5	28.9971	28.9813	-0.0158
6	27.4415	27.4290	-0.0125
7	28.1543	28.1414	-0.0129
8	28.4391	28.4253	-0.0138
9	26.9312	26.9185	-0.0127
10	27.5279	27.5163	-0.0116
平均值			-0.0129

由表 2 可见，滤膜经浸泡后用蒸馏水抽虑，失重非常严重，范围为 0.0104 ~ 0.0158g，相当于我们做样时的空白值。而地表水中悬浮物含量非常低，尤其是饮用水中悬浮物含量更低，只有几毫克到十几毫克，减去滤膜的失重一百多毫克，结果显然为负值。因此在做样时我们要进行空白校正，即悬浮物的质量 = {称量瓶 + 抽滤水样后滤膜的恒重 (B)} - {称量瓶 + 滤膜的恒重 (A)} + 空白校正，而空白校正 = 浸泡失重 + {称量瓶 + 浸泡后滤膜的恒重 (C)} - {称量瓶 + 浸泡 - 抽虑蒸馏水后滤膜的恒重 (D)}，因此，悬浮物的实际质量 = {称量瓶 + 抽滤水样后滤膜的恒重 (B)} - {称量瓶 + 浸泡 - 抽虑蒸馏水后滤膜的恒重 (D)}。即在实验中，要将所有滤膜进行浸泡 24h 后烘干，再用 100ml 蒸馏水抽虑后烘干的前处理，

就能保证得出准确可靠的数据。

## 2.3 滤膜的性能及选择

上述实验得出了准确测定悬浮物的方法，但是由于此方法需要对滤膜进行前处理，而且每一张滤膜都要先蒸馏水抽虑后再恒重，此过程无疑给实验带来了很大麻烦，增加了实验步骤和实验时间。如果能寻找一种自身失重很小甚至失重几乎等于零的滤膜，那就可以省去滤膜前处理的步骤，节约做样的步骤和时间。

微孔滤膜是利用高分子化学材料、致孔添加剂经特殊处理后涂抹在支撑层上制作而成。主要由精致硝化棉加入适量醋酸纤维素、丙酮、正丁醇、乙醇等制成，是亲水、无毒的多孔性薄膜过滤材料，几种微孔滤膜的性能<sup>[8-9]</sup>见表 3。

表 3 几种微孔滤膜的性能

材质	性能
醋酸纤维素	耐油类、低级醇类，强度较好，热稳定性好，适用于除菌过滤，可热压灭菌
硝酸纤维素	耐烃类、耐热温度为 75℃，亲水性好，应用于水溶液、油类等，可热压灭菌
混合纤维素	耐稀酸、稀碱，不耐有机溶液、强酸、强碱，适用于水溶液、油类的过滤
聚乙烯	耐酸、碱、溶剂、不耐温
聚四氟乙烯	耐酸、碱、溶剂，不耐温，化学稳定性好
聚酰胺	耐碱，不耐酸，可过滤稀酸、碱类和一般的有机溶剂

除了表3中分类外,滤膜还可笼统地分为水系滤膜和有机系滤膜<sup>[10]</sup>。我们对几种滤膜展开了实验,结果发现,德国某公司生产的有机系滤膜用于测定水中悬浮物效果最好。由表4可见,此类滤膜自身失重很低,为0.0000~0.0004g, ≤0.0004g,

即小于等于抽虑样品后滤膜两次称量的重量差。由此可见,用有机系滤膜做样时滤膜的失重值即空白值在悬浮物允许的称量误差范围内。同时,我们用有机系滤膜对地表水进行了测定,结果发现,测定结果没有出现负误差。

表4 有机系滤膜测定地表水中悬浮物的恒重结果 (g)

序号	称量瓶 + 滤膜的恒重 (E)	称量瓶 + 抽滤蒸馏水后滤膜的恒重 (F)	F - E
1	0.1130	0.1131	0.0001
2	0.1135	0.1135	0.0000
3	0.1158	0.1158	0.0000
4	0.1162	0.1165	0.0003
5	0.1164	0.1165	0.0001
6	0.1145	0.1145	0.0000
7	0.1149	0.1153	0.0004
8	0.1150	0.1150	0.0000
9	0.1172	0.1174	0.0002
10	0.1163	0.1163	0.0000

### 3 结论

滤膜法测定地表水时,由于滤膜本身含有一部分可溶性物质,在过滤的情况下会溶解,加热时会分解、氧化,加上吸附水、结晶水的变化,气体的挥发以及滤膜本身材质构成的影响<sup>[11]</sup>,这些影响导致测定结果不正确,主要产生负误差,特别是测定地表水时,导致测定结果为负值。

滤膜用蒸馏水进行抽虑后再烘干的方法进行前处理,不仅能够扣除做样的过程中滤膜自身失重产生的空白值,而且能减少滤膜恒重的次数,提高准确度。但是每一张滤膜经过抽虑蒸馏水的方式进行前处理需要花费很多的时间,对于实际工作来说不太实际。

实验表明,有机滤膜在做样的过程中,自身失重很小,小于悬浮物的称量误差,因此,用此类滤膜测定水中悬浮物时既不用进行滤膜的前处理,也不用进行空白校正,直接恒重后就可以用来做样,并且此类滤膜成分非常稳定,恒重时能大大减少恒重次数,为实验节约了很多时间,带来了方便,提高了滤膜法测定水样中悬浮物的效率和准确率。

#### 参考文献:

[1] Beck H J, Birch G F. Metals, nutrients and total suspended solids discharged during different flow conditions in highly urbanised

catchments [J]. Environ Monit Assess, 2012, (184): 637 - 653.

[2] Hermann Ru'gner, Marc Schwientek, Barbara Beckingham, et al. Peter Grathwohl. Turbidity as a proxy for total suspended solids (TSS) and particle facilitated pollutant transport in catchments [J]. Environ Earth Sci, 2013, (69): 373 - 380.

[3] 本书编委会. 水和废水监测分析方法(第4版) [M]. 北京: 中国环境科学出版社, 2002: 107 - 108.

[4] 宫美乐, 袁国梁. 我国微孔滤膜研究现状与发展 [J]. 膜科学与技术, 2003, 23 (4), 186 - 189.

[5] L. Palleiro & M. L. Rodríguez - Blanco, M. M. Taboada - Castro & M. T. Taboada - Castro. The Influence of Discharge, pH, Dissolved Organic Carbon, and Suspended Solids on the Variability of Concentration and Partitioning of Metals in a Rural Catchment [J]. Water Air Soil Pollut, 2013, (224): 1651.

[6] GB11901 - 89, 水质悬浮物的测定重量法 [S].

[7] 叶培培, 付志军, 莽丽琴, 等. 重量法测定悬浮物应注意的几个问题 [J]. 江西冶金, 2011, 31 (1): 39 - 46.

[8] 陈武强. 测定水中悬浮物的影响因素及解决方法 [J]. 化学工程与装备, 2010, (7): 144 - 145.

[9] 陆志福. 微孔滤膜及其制备方法和应用范围 [R]. 上海医药工业研究院.

[10] 方韬, 赵玲. 水中悬浮物测定方法探讨 [J]. 能源环境保护, 2011, 25 (1): 52 - 55.

[11] 冯胜. 提高测定水中悬浮物准确率的方法 [J]. 化学工程与装备, 2011, (10): 204 - 205.

[12] 徐衍忠, 王均乐, 张乃香, 等. 影响悬浮物测定结果的因素分析 [J]. 中国环境监测, 2002, 18 (5): 36 - 38.

(下转第97页)

# 贵州省土壤环境质量监测存在问题及对策

王之明, 江 川, 黄文琥, 安宏锋  
(贵州省环境监测中心站, 贵州 贵阳 550081)

**摘 要:** 结合贵州省近年来土壤环境质量监测实践, 从土壤环境监测方案制定、评价标准、常规监测和应急监测能力建设等方面分析了贵州省土壤环境质量监测存在的问题, 指出加强土壤常规监测和土壤应急监测能力的相关举措, 提出科学制定土壤环境监测方案、提高监测报告可用性等方面的建议。

**关键词:** 土壤环境; 监测; 问题; 对策; 贵州

**中图分类号:** X83      **文献标识码:** A      **文章编号:** 1673-9655 (2014) 04-0091-04

土壤是人类赖以生存的主要资源和自然生态系统的重要组成部分, 更是农业生产的基础。贵州属中国西部高原山地, 境内地势西高东低, 自中部向北、东、南三面倾斜, 平均海拔 1100m 左右。全省范围内林地多, 耕地少, 是全国唯一一个没有平原的省份。喀斯特地貌占全省国土面积的 73%, 可用于农业生产的土壤资源极度匮乏、且质量不高<sup>[1-4]</sup>。传统的工业企业污染排放, 矿产资源的开发和农业化肥、农药等的使用, 加上近年来全省城镇化和工业化的加速发展, 都给贵州宝贵的土壤资源带来一定程度的环境压力。

贵州省土壤环境质量监测自“七五”开始, 当时由于人力、物力等因素限制, 调查点位较少, 只有 24 个背景值点位。最近一次大规模的土壤环境质量监测是 2007—2009 年, 由环保部组织的“全国土壤污染状况调查”工作, 共设置土壤环境质量调查点位 716 个, 覆盖全省 9 个市(州)。此后 2011—2013 年, 贵州省先后针对重点污染企业周边区、基本农田区和蔬菜种植区三种类型土壤环境质量进行了试点监测, 土壤环境质量监测工作已具备了一定的能力和经验。本文结合笔者实际工作经验提出了贵州省土壤环境质量监测存在的问题, 并提出相应的解决对策。

## 1 存在问题

### 1.1 监测方案不合理, 结果未能全面反映土壤环境质量

#### 1.1.1 布点

由于贵州特殊的喀斯特地貌特点, 耕地面积普遍较小, 且分布一般不连片, 坡耕地和梯田较多, 若按国家要求采用统一网格布点(网格尺度按 100m×100m 设定), 一是很难找到大面积连片的地块, 二是贵州的耕地很多在山上, 地势平坦的耕地也多半是在河滩旁和山谷, 网格布点法不能较客观地反映污染物浓度变化水平。

#### 1.1.2 监测指标

监测指标设置缺少针对性, 一些监测值很低或未检出的元素, 每年都在监测(如贵阳的银、六盘水的铜等), 占用了大量的人力物力, 而对于某些具有明显污染特征的区域土壤, 一些指标(如都柳江流域的镉)却没有进行跟踪监测, 反映不出污染物的动态变化。

#### 1.1.3 评价标准

目前采用的评价标准主要参照由原国家环境保护局和国家技术监督局 1995 年发布的《土壤环境质量标准》(GB15618-1995), 使用至今近二十年没进行过修订。随着土壤环境监测的日趋常态化和土壤污染越来越复杂, 该标准在使用过程中存在问题:

(1) 评价项目偏少<sup>[5]</sup>。仅有镉、汞、砷、铅、铬、铜、锌、镍 8 种元素和六六六、滴滴涕 2 种化学农药的标准值, 对于用来评价贵州省出现的锰污染、铊污染, 以及新型农药污染明显不足。

(2) 标准值缺少地区间差异性<sup>[6-7]</sup>。我国幅员辽阔, 地区间土壤背景值差异较大, 标准值设定没有考虑地区背景值的区别, 在使用过程中会出现背景值高的地区, 虽然没有被污染, 但被评价为超标现象。

(3) 部分指标标准值过高。如该标准中用于

收稿日期: 2014-02-28

基金项目: 环保公益性行业科研专项基金项目( [2012] 09038 )。

作者简介: 王之明(1983-), 男, 河南郸城县人, 工程师, 硕士, 主要从事环境监测与评价工作。

一般农田的二级标准规定铅含量为 250 ~ 350mg/kg。近年来,美国、英国等西方发达国家在研究铅在土壤中的允许含量时,以铅对儿童的毒害、剂量效应关系及血铅与土铅的关系作为制定土壤环境标准的基础。研究表明,当土壤铅的浓度 100mg/kg 时,儿童血铅 15 $\mu$ g/100ml,对儿童健康产生不良的影响<sup>[8]</sup>。

(4) 标准中重金属只有总量限制,缺少有效态指标。重金属在土壤中有不同的存在形态,其中有效态部分对植物的吸收影响最大。因此现有标准不能反映重金属对植物(特别是农产品)的富集效应问题。

### 1.2 评价标准不成体系

评价标准除了参考《土壤环境质量标准》(GB15618-1995),对于该标准没有的评价指标,实际工作中参考使用的标准还有《食用农产品产地环境质量评价标准》(HJ 332-2006)、《澳大利亚保护土壤及地下水调研值》、《加拿大土壤环境质量标准农用地标准值》、《美国土壤筛选导则(筛选值)》、《前苏联土壤最大允许浓度值》等,造成土壤环境标准繁多,没有形成一套完整的适应当前贵州土壤环境质量实际情况的标准体系,并且这些标准都有各自适用的范围和条件,因此存在不同标准的标准值互相冲突的问题。如《土壤环境质量标准》(GB15618-1995)中耕地铅元素限值为 250 ~ 350 mg/kg,而在《食用农产品产地环境质量评价标准》(HJ 332-2006)中耕地铅元素限值为 80mg/kg,两者差异达 4 倍多。

### 1.3 监测能力滞后

贵州省辖 9 个市(州),88 个县(市、区),目前全省共有各级环境监测(中心)站 43 个,其中一级站 1 个,二级站 9 个,三级站 33 个。

土壤环境质量监测相对水质、空气质量类别的监测开展频率较低,但对技术和硬件条件要求高,质控要求也较复杂,因此它对监测技术人员和实验室条件提出了更高的要求。根据对贵州各级环境监测网络的调查,目前能够独立完成国家制定的土壤环境监测方案中所有监测项目的只有省监测中心站一家;9 个二级站都能完成无机项目的分析测试工作,但大多数不具备或只具备部分有机项目的分析测试能力,对于不能独自完成的项目往往需要委托省站或其他具备分析资质的单位完成;全省三级站基本都不具备土壤分析能力,仅能完成土壤样品的采集、制备等简易工作。

### 1.4 应急监测能力欠缺

在国家层面上,土壤环境应急监测技术体系还不完善,针对突发污染事故,已有的土壤环境监测方法大多不适宜事故现场及时迅速、动态测定污染物,并且测试分析成本高<sup>[9]</sup>。目前贵州环境应急监测能力还相当薄弱,仅省站和个别二级站具备一定应急监测能力,加上贵州山区多、地形复杂、交通不便,在这些地区若是发生污染事故,现有的能力往往达不到环境管理的要求。

## 2 对策

### 2.1 科学制定土壤环境监测方案

在布点上,贵州山区土壤环境质量监测布点要因地制宜,调查地区的主要污染源类型、化肥和农药的使用情况,不宜统一采用网格布点法<sup>[10-11]</sup>。如固废堆积污染型和大气污染型土壤可以污染源为中心放射状布点,在低洼方向和主导风向适当增加采样点;灌溉水污染型土壤按水流方向带状布点,点位数量由纳污口起由密渐疏。

在监测指标上,根据各地环境污染状况,选取土壤中累计较多、对环境危害大、出现频率高、影响范围广、毒性较强的污染物作为监测对象,删除长期在标准值以下或未检出的项目,强化分析污染物形态,使监测数据更真实地反映土壤环境质量。

在监测频次上,根据各地的土地利用类型、污染类型的不同,(除污染事故外)监测周期建议为 3 ~ 5 年<sup>[12]</sup>。

### 2.2 提高监测报告的可用性

#### 2.2.1 完善评价标准

目前土壤环境监测工作使用的《土壤环境质量标准》主要是出于对农业用地的保护,不太适宜评价其它土地利用类型的土壤。结合我国土壤污染现状特点和国外趋势,建议在对土壤环境质量标准进行修订时除了农业用地外还应考虑饮用水源地、城镇居民区、工业商业用地等不同的利用方式。

在充分调查分析的基础上,通过设置评价因子的自然背景值、依据土壤风险评估制定的指导值和土壤受到污染危害的临界值,区分地区间土壤重金属的总量和有效态差异<sup>[13-15]</sup>,制定基于分级、分区管理的贵州地方土壤环境质量标准。

增加污染物因子数量,选择使用频率高、残留率高的农药等,研究其在农作物中的积累和在土壤中的残留规律,设定它们的标准值;对于使用污水灌溉的土壤,增加土壤中石油类、硫化物等污染物

的指标设置；对一些能造成贵州地方病（如地氟病）的非金属物质（如氟、硒等），通过研究土壤中这些元素的含量与人体健康的关系，制定出相应的标准限值。

### 2.2.2 加强对监测数据综合分析

准确可靠的监测数据是对土壤环境质量综合分析的前提，在获取大量监测数据的基础上，对污染物的分析结果不能只是简单地对照评价标准作出达标与否的判断，更要对监测数据进行深度综合分析，分析其各污染因子间的相关性，对照该地区的土壤背景值分析污染物超标是否与采样区周边污染源、农业生产、历史遗留问题有关。土壤环境质量分析要有点有面，有现状分析、趋势分析、规律分析，分析应具有整体性、综合性和预见性，既要有监测数据，又要有分析评价和对策建议等<sup>[9]</sup>。

## 2.3 多渠道加强土壤监测能力建设

### 2.3.1 资金投入

资金投入要顺应财政管理体制改革的改革，积极争取从国家和省级财政部门重金属污染防治专项、《贵州省土壤环境保护综合治理方案》和国家重点生态功能区转移支付等项目中申请资金，以重点项目带动为抓手，加大推进环境监测站标准化建设力度，使全省各二级环境监测站具备土壤环境质量常规监测能力。对于具备一定基础和粮油大县的三级环境监测站应重点支持，使其尽快达到标准化建设要求。

### 2.3.2 人员培训

针对全省土壤分析项目持证上岗人员少，部分分析单位未取得针对土壤分析项目的计量认证资质的情况，定期举办针对土壤环境监测分析技术培训班，培训内容力求全面、具体，应包括土壤样品的布点、采集、制备、样品前处理、测试分析方法、质量控制和报告编制等全过程，保证各地报出的监测数据和报告符合国家规范，具有规范性和可比性。

### 2.3.3 交流学习

贵州省各级监测站土壤环境质量监测基础各不相同，能力也参差不齐。为提高各级环境监测站的综合土壤环境质量监测能力和保证出具数据的准确有效，一是应积极加强各监测站之间的交流学习，取长补短；二是应加强各实验室之间的土壤样品分析比对测试，做好实验室间的质量控制。

## 2.4 加强应对突发污染事故快速反应能力

### 2.4.1 土壤环境应急能力建设

根据《全国环保部门环境应急能力建设标准》推动全省各级环境保护应急部门土壤环境事故应急能力建设，建立完善的土壤环境风险应急响应体系，编制《贵州省土壤环境突发事件应急预案》。通过土壤环境应急标准化建设推动各级环保部门在土壤环境应急机制、应急管理人员、能力建设及环境应急装备等方面逐步走向规范化、制度化、常态化。

### 2.4.2 分析事故特征，把握土壤应急监测重点

环境污染事故往往具有突发性，监测人员需要在事故发生初期迅速确定污染物的种类和来源<sup>[16]</sup>。在将污染物定性和确定污染物来源后应快速测试污染物浓度，跟踪事故的动态变化和判断相应处理处置效果。在事故平息后，为查明原因，常常采用多种手段取证，此时注意的是分析结果的精确性而不是时间，应加强质量保证与质量控制<sup>[17]</sup>。

### 2.4.3 土壤应急监测技术手段多样化

针对土壤环境质量监测相对复杂和土壤应急监测仪器设备缺乏的现实，贵州土壤应急监测宜采用多种技术手段相结合的方式应对土壤污染事故。监测技术人员应研究应急仪器设备使用与传统标准方法之间差异性，做好相关质量控制，以提高实际应急监测时数据的准确度和精确度。监测站应随时做好应急监测准备，配备便携式采样、制样工具，按时维护流动应急监测车中的各项仪器设备，使其随时能正常投入使用。在由于客观原因流动应急监测车不能及时达到的地区，由技术人员及时采样送至离事故现场最近的有关实验室迅速测定污染物，也能尽量满足应急监测的需要。

#### 参考文献：

- [1] 张莉,周康. 贵州省土壤重金属污染现状与对策 [J]. 贵州农业科学, 2005, 33 (5): 114-115.
- [2] 张建江,杨胜元,王林. 贵州土壤环境污染现状及防治建议 [J]. 贵州地质, 2008, 25 (4): 292-295.
- [3] 秦松,范成五,孙锐锋. 贵州土壤资源的特点、问题及利用对策 [J]. 贵州农业科学, 2009, 37 (5): 94-98.
- [4] 宋春然,何锦林,谭红,等. 贵州省农业土壤重金属污染的初步评价 [J]. 贵州农业科学, 2005, 33 (2): 13-16.
- [5] 王业耀,赵晓军,何立环. 我国土壤环境质量监测技术路线研究 [J]. 中国环境监测, 2012, (6): 116-120.
- [6] 李国刚. 中国土壤环境监测的现状、问题与对策 [J]. 环境监测管理与技术, 2005, (2): 8-10.
- [7] 李国刚. 中国土壤环境监测的现状、问题与对策 (续) [J]. 环境监测管理与技术, 2005, (4): 9-13.
- [8] 于国光,张志恒,叶雪珠,等. 关于我国土壤环境标准的思考 [J]. 现代农业科技, 2010, (9): 291-293.
- [9] 刘三长,李桂祥,黎元诚. 南方地区农村环境质量监测与评

- 价指标体系研究 [J]. 环境科技, 2011, (12): 46-48.
- [10] 张铁亮, 刘凤枝, 李玉浸, 等. 农村环境质量监测与评价指标体系研究 [J]. 环境监测管理与技术, 2009, (9): 1-4.
- [11] 陆泗进, 何立环. 浅谈我国土壤环境质量监测 [J]. 环境监测管理与技术, 2013, (6): 6-12.
- [12] 胡冠九. 我国环境监测技术存在的问题及对策 [J]. 环境监测管理与技术, 2007, (8): 1-3.
- [13] 夏家淇, 骆永明. 我国土壤环境质量研究值得探讨的几个问题 [J]. 生态与农村环境学报, 2007, 23 (1): 1-6.
- [14] 张红振, 骆永明, 夏家淇. 基于风险的土壤环境质量标准国际比较与启示 [J]. 环境科学, 2011, (3): 795-801.
- [15] 夏家淇, 骆永明. 关于土壤污染的概念及其三类评价指标的探讨 [J]. 生态与农村环境学报, 2006, 22 (1): 87-90.
- [16] 谭培功, 金丽莎, 于彦彬. 环境污染事故应急监测的对策 [J]. 环境监测管理与技术, 2005, 17 (5): 38-39.
- [17] 肖勇泉, 齐燕红. 突发环境事件应急处置中的监测支持 [J]. 环境监测管理与技术, 2005, 17 (2): 4-6.

## Problems and Solutions of Soil Quality Monitoring in Guizhou

WANG Zhi-ming, JIANG Chuan, HUANG Wen-hu, AN Hong-feng  
(Guizhou Environmental Monitoring Center, Guiyang Guizhou 550081 China)

**Abstract:** Through recent years' practices of soil quality monitoring, the problems of monitoring soil quality in Guizhou province were analyzed and summarized on aspects of designing the soil monitoring proposal, evaluation standard, capacity building of regular monitoring and emergency monitoring. Countermeasures on improving the capacity building of regular monitoring and emergency monitoring were put forward. Additionally, suggestions on designing monitoring proposals and increasing monitoring quality were presented as well.

**Key words:** soil environment; monitoring; problem; countermeasures; Guizhou

# 固定污染源废气监测工况核查重点

李 金

(大理白族自治州环境监测站, 云南 大理 671000)

**摘 要:** 在多年废气固定污染源监测工作经验的基础上, 对装置和设施的生产运行状态 (即工况) 影响固定污染源监测结果质量的因素进行了分析和总结, 提出了相关的工况核查重点及方法。

**关键词:** 监测; 固定污染源; 工况; 核查

**中图分类号:** X83 **文献标识码:** A **文章编号:** 1673-9655 (2014) 04-0095-03

环境监测工作人员在开展固定污染源废气监测前, 做好监测仪器与设备的检定和校准、规范设置采样点位置及采样点位、执行采样及实验室分析的质量控制等一系列固定污染源监测质量保证及质量控制措施, 可保证监测数据的代表性、准确性、精密性、可比性和完整性。以上程序和步骤均为监测人员可控的。但在长期进行固定污染源废气监测过程中, 发现部分企业在委托监测和监督性监测过程中为达到污染物排放达标、排放总量符合要求的目的, 在监测人员现场监测的过程中, 人为调整装置和设施的生产运行状态以及干扰监测人员对工况的核查, 特别是一些复杂的生产工艺及特殊的生产设施, 监测人员对工况的核查存在一定困难, 造成监测时的生产状况与平时的生产状况不一致, 监测数据不能客观反映污染源的真正排污状况, 无法保证监测数据的代表性、准确性、可比性。

本文针对人为调整装置和设施的生产运行状态

影响监测结果质量的因素进行总结, 并提出相应的核查、核算方法。

## 1 影响监测结果质量的工况因素

监测人员进入现场进行监测时, 应有专人负责装置和设施的生产状况进行核查, 发现有人为干扰和调整生产工况的情况, 应终止监测, 并及时纠正。调整装置和设施的生产运行状态可总结为几个主要方面。

### 1.1 降低生产负荷和生产能力

主要通过改变生产线或局部设施的生产能力, 减少原材料的投入, 导致采样期间的生产负荷明显低于设计生产能力或平时正常运行状态, 大大降低污染物的排放量。此种调整是人为干扰的主要形式。

### 1.2 改变固体燃料类型及燃料量

燃煤的来源、品种, 燃煤消耗量不同, 其排烟中污染物会有显著的变化。表 1、表 2 列出了辖区内常用燃煤煤种烟尘、二氧化硫的产污系数。

表 1 不同燃煤来源及种类烟尘产污系数 (kg/t 煤)

燃煤来源	煤种	Ar% 灰份	产污系数
祥云县米甸乡煤矿	无烟煤	33.83	48.38
祥云县前所煤矿	无烟煤	26.92	38.50
弥渡县密址煤矿	褐煤	19.16	27.40
华坪县河西乡煤矿	烟煤	15.57	22.27
洱源县太平煤矿	褐煤	10.92	15.62

表 2 不同燃煤来源及种类二氧化硫产污系数 (kg/t 煤)

燃煤来源	煤种	SrQ% 全硫份	产污系数
祥云县米甸乡煤矿	无烟煤	3.17	50.72
祥云县前所煤矿	无烟煤	3.78	60.48
弥渡县密址煤矿	褐煤	0.49	7.84
华坪县河西乡煤矿	烟煤	0.48	7.68
洱源县太平煤矿	褐煤	1.75	28.00

收稿日期: 2014-03-10

作者简介: 李金 (1975-), 男, 汉族, 云南大理人, 大学学历, 工程师, 从事固定污染源监测工作。

从表 1、表 2 可看出, 不同燃煤来源及种类烟尘及二氧化硫产物系数存在较大差异, 最大

值与最小值之差分别为 2.1 倍和 5.6 倍。企业可通过在委托监测期间选取低灰份、低硫值煤种,减少锅炉煤耗量等措施,降低主要污染物的排放浓度及排放速率,以满足污染物达标排放的环保管理要求。

### 1.3 调整环保设施运行状态

项目在建设时都按要求严格落实“三同时”

制度,配套有环保治理设施,并要求正常运行,达标排放。但在实际运行中,部份企业的环保意识不强,为降低环保设施的运行费用,不按工艺指标运行,缺乏对环保设施的管理和维护,造成环保设施不能正常运行。

以燃煤锅炉脱硫设施为例,不同脱硫率下的二氧化硫排污系数见表 3。

表 3 脱硫设施不同脱硫效率二氧化硫排污系数 (kg/t 煤)

燃煤来源	产污系数	$\eta_{SO_2}50\%$ 排污系数	$\eta_{SO_2}60\%$ 排污系数	$\eta_{SO_2}70\%$ 排污系数	$\eta_{SO_2}80\%$ 排污系数	$\eta_{SO_2}90\%$ 排污系数
祥云县米甸乡煤矿	50.72	25.36	20.29	15.22	10.14	5.07
祥云县前所煤矿	60.48	30.24	24.19	18.14	12.10	6.05
弥渡县密址煤矿	7.84	3.92	3.14	2.35	1.57	0.78
华坪县河西乡煤矿	7.68	3.84	3.07	2.30	1.54	0.77
洱源县太平煤矿	28.00	14.00	11.20	8.40	5.60	2.80

由表 3 可见,环保设施不同脱硫率下的二氧化硫排污系数明显不同。在监测期间,企业可以通过突击加入纯碱,提高脱硫剂的 pH 值,增加脱硫效率,降低二氧化硫的排放浓度及排放速率,达到二氧化硫达标排放的环保管理要求。

## 2 现场监测前工况核查及核算重点

### 2.1 生产负荷的核查及核算

核查及核算监测期间企业生产负荷是否与正常生产一致。可通过调阅项目《环境影响环评报告书(表)》中工程分析相关章节,对照项目生产日报表等证明支撑材料,核查项目主要产品产量、主要原材料消耗量、燃料的消耗量。在调阅、查找材料的同时,对项目控制室、监控台、流量计等显示的各类仪器设备参数进行综合分析,确定项目运行工况。

以燃煤蒸汽锅炉为例,运行负荷可依据《固定源监测质量保证及质量控制技术规范》附录 B 锅炉运行负荷核查方法进行核查,核查方法包括:蒸汽流量表法、水表法、量水箱法。若以上方法均不具备时,可采用间接控制法即可通过燃煤消耗量测算,首先确定额定负荷下的锅炉燃煤量,再根据锅炉的实际燃煤量,估算出锅炉的负荷率。

### 2.2 风机风量的核查

风机风量能直接反映装置和设施生产运行状态。废气排放量核查时,应在采样时记录引风机铭牌上的风量、风压等信息。核对废气排放量的实际监测值与风机铭牌风量的一致性和合理性,若存在不合适情况,应立即进行现场核实,查找原因。

### 2.3 燃煤的来源、品种、消耗量核查

现场监测前应了解燃煤的来源、品种,确定其灰份及全硫份,依据《燃煤锅炉烟尘和二氧化硫排放总量核定技术方法-物料衡算法》,初步核定烟尘和二氧化硫排放量及排放浓度,测算实测浓度与物料平衡测算浓度的符合度。

### 2.4 环保设施运行状态核查

现场监测前应先看环保设施运行情况,并调阅环保设施运行管理记录。如采用石灰法、钠钙双碱法脱硫工艺净化二氧化硫,重点要查阅吸收剂的 pH 值。

## 3 结语

(1) 针对装置和设施生产运行工况核查出的问题应进行客观地分析,判断是否人为干扰或机械设备运行故障因素导致,并与厂方积极沟通,查找问题原因,并及时纠正。

(2) 工况核查需要监测人员具有较好的业务素质,需不断钻研不同行业领域工业生产的生产工艺流程及环节,才能更好地完成工况核查。

(3) 通过现场监测前工况核查及核算,可最大限度地减少人为因素对监测结果质量的影响。

#### 参考文献:

- [1] HJ/T 373 - 2007, 固定污染源监测质量保证与质量控制技术规范 [S].
- [2] HJ/T 397 - 2007, 固定源废气监测技术规范 [S].
- [3] HJ/T 69 - 2001, 燃煤锅炉烟尘和二氧化硫排放总量核定技术方法-物料衡算法 [S].
- [4] 大理州矿冶开发研究所. 大理白族自治州煤质普查分析报告 [R]. 1993.



---

---

## Key Points on Air Stationary Source Monitoring as Devices under Operation

LI Jin

(Dali Environmental Monitoring Station, Dali Yunnan 671000 China)

**Abstract:** The factors influencing monitoring data of air stationary sources in operation were analyzed and summarized based on a long-term practical experience. The key points and methods of monitoring air stationary sources in operation were put forward.

**Key words:** monitoring; stationary pollution source; operation situation; investigation



(上接第 90 页)

## Research on Reasons for Occurrence of Error When Measuring Suspended Solids by Filter Membrane

YU Li-hong, LIU Nan

(Guiyang Environmental Monitoring Center, Guiyang Guizhou 550002 China)

**Abstract:** A series of tests were conducted from the pretreatment to the selection of filter membrane in order to find out the reasons causing the errors when filter membrane was used to measure suspended solids. The weight loss of filter membrane was discovered to be the major factor. Blank experiments of several filter membranes were done to compare the blank correction value of different types of filter membranes. The results showed that the value of one organic filter membrane is 0.0000g to 0.0004g, which is no more than the weighting error of suspended solids. This organic filter membrane can reduce the occurrence of constant weight and shorten the test duration and improve the accuracy of this process.

**Key words:** suspended solid; determination; error; filter membrane; weight loss; study

# 浅谈室内空气污染物的检测及其影响因素

林永强

(厦门威正检测技术有限公司, 福建 厦门 361000)

**摘要:** 结合自身工作经验, 介绍了室内空气污染物采样点的布设、采样点数的确定、采样分析方法及注意事项, 探讨了室内空气污染物检测过程中对检测结果的影响因素。

**关键词:** 空气污染物; 室内; 检测; 方法; 影响因素

**中图分类号:** X83 **文献标识码:** A **文章编号:** 1673-9655 (2014) 04-0098-03

为了预防和控制民用建筑工程中建筑材料和装饰材料产生的室内环境污染, 保障公众健康, 国家质量监督检验检疫总局与住房和城乡建设部联合发布《民用建筑工程室内环境污染控制规范(GB 50325-2010)》(以下简称《规范》)。室内空气污染物有氡、甲醛、氨、苯和总挥发性有机化合物(TVOC), 为了全面了解《规范》中五项指标的检测技术概况, 笔者结合自身工作经验, 探讨室内空气污染物的检测及检测结果的影响因素。

## 1 室内空气的检测方法依据

### 1.1 采样布点的选择

#### 1.1.1 布点原则

民用建筑工程验收进行采样布点时, 应遵循《规范》中关于检测抽样布点的规定。检测点位置应避开通风道和通风口, 且点位应距离内墙面不小于0.5m、距离地面高度在0.8~1.5m。在布设室内空气污染物(除氡外)检测点位同时还应布设室外上风向空气检测点作为本底值参照点, 以便室内空气污染物检测值扣除本底值后进行对照限值评价。

#### 1.1.2 点位数量

民用建筑工程验收时, 应考虑每个建筑单体有代表性的房间, 抽检数量不得少于房间总数的5%, 房间数少于3间时应全数检测<sup>[1]</sup>。还应考虑单体室内面积, 原则上面积<50m<sup>2</sup>的房间应设1个、50~100m<sup>2</sup>的房间应设2个、100~500m<sup>2</sup>的房间应设不少于3个、500~1000m<sup>2</sup>的房间应设不少于5个、1000~3000m<sup>2</sup>的房间应设不少于6个、

>3000m<sup>2</sup>的房间每1000m<sup>2</sup>应设不少于3个。点位布设可以采用对角线法、斜线法、梅花状法等均匀分布。

在日常的工作中应结合实际情况, 针对不同房间用途、室内家具选材、密集程度综合考虑布点。笔者曾为《某中学高中部宿舍食堂综合楼A栋加层工程项目》制定验收检测方案, 加盖楼层为9~12层共4层, 加盖部分均为格局一样的小单间学生宿舍, 每层16间共64间。当时抽样考虑到所抽取的房间应具有代表性、可比性, 而且还应满足规范不小于5%的规定, 就抽取了9~12层代表性房间各1间作为楼层间比对, 12层加测1间作为随机同一楼层不同房间比对, 同时布设上风向检测点位进行本底值检测。

### 1.2 采样分析方法

#### 1.2.1 氡的检测

室内空气中氡的检测在《规范》中无规定检测方法, 但要求所选择方法的测量结果不确定度不应大于25%, 方法的探测下限不应大于10 Bq/m<sup>3</sup>。笔者工作中较常用《空气中氡浓度的闪烁瓶测量方法(GB/T 16147-1995)》, 该方法所选用仪器轻便且直接报告结果。此外, 国家标准《环境空气中氡的标准测量方法(GB/T 14582-1993)》提出四种方法: 径迹蚀刻法、活性炭盘法、双滤膜法和气球法。上述方法各有优缺点, 考虑方便开展工作, 可以自行选择。氡的检测, 对采用集中空调的民用建筑工程, 应在空调正常运转的条件下进行; 对采用自然通风的民用建筑工程, 应在房间的对外门窗关闭24h以后进行。

#### 1.2.2 甲醛的检测

民用建筑工程室内空气中甲醛的检测方法, 应符合国家标准《公共场所空气中甲醛测定方法

收稿日期: 2014-02-28

作者简介: 林永强(1985-), 男, 厦门威正检测技术有限公司助理工程师, 研究方向: 环境检测和评价。

(GB/T 18204.26-2000)》酚试剂分光光度法的规定,也可采用简易取样仪器检测方法。酚试剂分光光度法采用酚试剂吸收液连接采样器定量采集室内空气,通过显色后分光比色测定甲醛含量,检测过程中应主意:

(1) 酚试剂在冰箱中能够稳定 3d,在检测前要看清配制的日期,过期要重新重配,以免影响检测精度;

(2) 在求甲醛的计算因子时,表格中所记录的甲醛含量必须乘以经实际标定后的甲醛标准贮备液浓度<sup>[2]</sup>;

(3) 甲醛简易取样仪器检测方法应定期进行校准,测量结果在 0.01~0.60mg/m<sup>3</sup> 测定范围内的不确定度应小于 20%。

### 1.2.3 氨的检测

氨的检测主要是运用分光光度法,常用方法如靛酚蓝分光光度法、次氯酸钠-水杨酸分光光度法、纳氏试剂分光光度法等。《规范》规定应符合国家标准《公共场所空气中氨测定方法(GB/T18204.25-2000)》靛酚蓝分光光度法,该方法的测氨原理是运用稀硫酸吸收空气中的氨后,存在亚硝基铁氰化钠和次氯酸钠,与水杨酸反应显色进行比色定量。检测过程中应注意吸收液稀硫酸应现用现配,水杨酸、亚硝基铁氰化钠等各项分析相关试剂应注意保存期限,以免影响检测结果准确性。

### 1.2.4 苯的检测

室内空气苯的测定在《规范》中规定应符合附录 F 的规定,主要是运用活性炭吸附-热解析气相色谱法,结果以保留时间定性,峰面积定量。在采样过程中应注意:

(1) 应在采样地点打开吸附管,与大气采样器入气口垂直连接定时定量采样,记录采样时的采样流量、温度、大气压;

(2) 样品采集完成应及时取下吸附管并密封好两端开口,做好标识,放入可密封金属或玻璃容器中,保存期限为 5d;

(3) 同时应布设室外上风向处空白样品采集;

(4) 分析过程中,当与挥发性有机化合物有相同或几乎相同的保留时间的组分干扰测定时,宜通过选择适当的色谱条件,将干扰减少到最低。

### 1.2.5 总挥发性有机化合物的检测

总挥发性有机化合物(TVOC)一般指沸点温

度范围在 50~160℃,室温下饱和蒸汽压超过 133.2pa 的挥发性有机化合物<sup>[3]</sup>。苯沸点为 80.1℃,所以 TVOC 也包括苯。《规范》中要求 TVOC 检测方法应符合本附录 G 的规定,该方法用 Tenax-TA 吸附管采集一定体积的空气样品,通过热解吸装置加热吸附管以得到挥发性有机化合物的解吸气体,然后将其注入气相色谱仪进行色谱分析,以保留时间定性,以峰面积定量。笔者在日常的分析工作中,依据经验选择最有可能出现的室内浓度普遍较高的污染物,包括甲醛,苯,甲苯,乙苯,间、对、邻二甲苯,苯乙烯,乙酸丁酯,十一烷作为应识别组分,其他未识别的组分以甲苯的响应系数来定量计算。

## 2 检测结果的影响因素

室内空气污染物检测主要通过现场采样、实验分析完成。这样的检测过程中有较多的干扰因素,从而影响检测结果的准确性。笔者结合自身工作经验浅谈室内空气污染物检测过程中对检测结果的影响因素,主要有以下几点:

(1) 实验人员的检测能力。实验人员对检测工作的熟练程度、细心程度直接关系检测结果准确性,应定期开展人员技能培训,提高技术水平。

(2) 检测设备的期间核查和定期检定。在开展工作之前应保证检测设备各项指标能够满足任务开展要求,定期做好维护保养工作。

(3) 标准溶液及标准样品的使用。标准溶液及标准样品是分析的基础,在质量控制工作中应充分发挥作用,同时应注重标准物质的保管,防止交叉污染。

(4) 检测方法的选择。在选择检测方法时应优先选择国家标准、行业标准、地方标准,对于非标方法的选用应做相应的方法确认。

(5) 环境条件的控制。实验室的检测环境条件应满足相关法律法规、技术规范或标准的要求。环境条件对结果的质量有影响时,实验室应监测、控制和记录环境条件。在非固定场所进行检测时应特别注意环境条件的影响。

总之,实验室应严格执行《质量手册》相关的管理体系文件,从“人、机、料、法、环”五大要素中寻找影响检测结果的根源,提高检测水平。

## 3 结束语

《规范》制定初衷在于预防和控制民用建筑工程中建筑材料和装修材料产生的室内环境污染,保

障公众健康。作为民用建筑工程及室内装修工程的室内环境质量验收的指导文件,室内空气污染物检测结果关系着建筑工程是否可以投入使用。可见室内空气检测结果的准确性、公正性必然是《规范》执行的有力保证。如何提高检测水平一直是检测工作的重中之重。

参考文献:

- [1] GB50325-2010, 民用建筑工程室内环境污染控制规范 [S].
- [2] 范睿. 室内空气中甲醛的检测及防治技术研究进展 [J]. 沧州师范专科学校学报, 2011, 27 (1).
- [3] 赵海波. 浅释室内空气采样及检测技术 [J]. 南方建筑, 2006, (11).

## Determination and Influencing Factors of Indoor Air Monitoring

LIN Yong - qiang

(Xiamen Weizheng Testing Service Co., Ltd, Fujian Xiamen 361000 China)

**Abstract:** Combining to previous practical experiences, the ways to layout the sample sites, determination of the numbers of sample sites, the methods of sampling and testing, and other tips were presented. The factors that might influence the monitoring results were examined.

**Key words:** air pollutants; indoor air; determination; method; factor

## 《环境科学导刊》 征稿简则

《环境科学导刊》, 投稿及联系邮箱: [ynhjkx@yies.org.cn](mailto:ynhjkx@yies.org.cn); 电话 (传真): 0871-64142389; 国内统一刊号: CN53-1205/X; 国际标准刊号: ISSN1673-9655。

《环境科学导刊》是云南省环境保护厅主管, 云南省环境科学研究院主办的学术类环境科技双月刊。刊物力求反映环境科学的研究成果、应用技术、新理论、新方法, 活跃学术气氛, 促进学术交流。《环境科学导刊》设置有科研专题研究、环境管理、水环境保护、高原湖泊研究、生态环境保护、污染防治、污染治理技术、大气污染防治、农业环境保护、环境与人体健康、环境监测、环境影响评价等栏目。欢迎广大作者惠赐文稿。为使杂志严谨、规范, 特对来稿作如下要求:

1. 文章论点明确, 数据准确、可靠, 文约字简, 以8000字以内为宜;
2. 来稿应附有200字以内的中英文摘要、关键词和英文题目;
3. 稿件需留足够行距以备修改用, 并附详细地址、邮编及联系电话或e-mail地址;
4. 文内标题序号、层次按国家统一标准用阿拉伯数字连续编号;
5. 严格按《中华人民共和国法定计量单位》标称, 表达量值时一律使用国际符号;
6. 附图及图内文字、字母、数字等均清晰、规范;
7. 参考文献标注齐全。

来稿文责自负, 本刊编辑可作必要删改, 一经选用即酌付稿酬, 并赠当期刊物两本。因人力有限, 来稿未录用恕不退还, 1个月内未收到录用通知, 作者可另行处理。

《环境科学导刊》的数字版本已全文入编《中国期刊网》、《中国知网》、《万方数据——数字化期刊群》、《中国核心期刊(遴选)数据库》、《中国学术期刊综合评价数据库》、《中文科技期刊数据库(全文版)》等。所有被本刊录用并发表的稿件文章, 将一律由本刊编辑部统一制作成数字版本在以上各数据库发布, 并参与光盘版汇编, 同时在我刊网站 [Http://hjkxdk.yies.org.cn](http://hjkxdk.yies.org.cn) 发布。若作者不同意稿件参与数字版发行, 请另投他刊。本刊所付稿酬包含刊物数字版发行的稿酬, 不再另付。

《环境科学导刊》编辑部