

DOI :10.3969/j.issn.1004-6933.2011.01.020

渔洞水库及其尾水瓜寨河水质调查与治理措施

代堂刚,刘林贵

(云南省水文水资源局昭通分局,云南 昭通 657000)

摘要 对渔洞水库及其尾水瓜寨河进行水质调查和评价,认为造成渔洞水库尾水 pH 值超标的主要原因是内外源总氮、总磷等污染物均未得到有效控制,营养盐长期随地表径流进入水库,在高温、光照、总氮、总磷等充足的条件下,藻类无节制的生长和 Ca^{2+} 的不足,导致 pH 值超标,指出渔洞水库尾水水质有进一步恶化的趋势,提出了控制外源和减少内源性污染的治理措施。

关键词 渔洞水库 瓜寨河 水质调查 治理措施 昭通市

中图分类号 X832 **文献标识码** A **文章编号** 1004-6933(2011)01-0085-04

Water quality investigation and control measures of Yudong reservoir and its effluent Guazhai River

DAI Tang-gang, LIU Lin-gui

(Zhaotong Branch of Yunnan Hydrology and Water Resources Bureau, Zhaotong 657000, China)

Abstract : By water quality investigation and evaluation of Yudong reservoir and its effluent Guazhai River, it was concluded that the main reason of pH value exceeding the standard was ineffective control of internal and external sources of total nitrogen and total phosphorus pollutant. The nutrient entered reservoir with runoff for long time. Uncontrolled growth of algae and lack of Ca^{2+} led to pH value exceeding the standard under the condition of high-temperature, light, total nitrogen, total phosphorus and other adequate conditions. The Yudong reservoir effluent had the trend of further deterioration of water quality. The control countermeasures of reduction of endogenous and exogenous pollution were proposed.

Key words : Yudong reservoir ; Guazhai River ; water quality investigation ; control countermeasures ; Zhaotong City

渔洞水库于 1998 年建成蓄水,总库容 3.64 亿 m^3 ,距昭通城 23 km,位于长江流域金沙江下段水系横江支流洒渔河上游的居乐河上(图 1)。居乐河发源于鲁甸县铁厂乡海拔 3 110 m 的臭水梁子,经流区地势自西北向东南倾斜,山岭陡峻,河谷深切,形成山间峡谷地形,流域平均宽度 8.8 km,平均高程 2 241 m,径流面积 709 km^2 。径流区包括鲁甸县铁厂、水磨、龙树、新街和昭阳区大山包、大寨子、苏甲、洒渔、乐居等 9 个乡镇 29 个村,总人口 12 万余人,耕地面积 3.24 万 hm^2 ,坡度大于 25° 的耕地有 0.216 万 hm^2 ,整个径流区属于高二半山区和高寒冷凉山区,地形复

杂,气候较差,基础设施薄弱,生产力低,农民耕作粗放,广种薄收。径流区内化肥施用主要施尿素、硝氨、普钙、复合肥和农家肥,每年的化肥使用量为 12 750 t,农药使用量为 10.2 t。径流区有大小河流 30 余条,水土流失严重,多年平均含沙量为 2.88 kg/m^3 ,最高时泥水比可达 2:8,属中沙河流。瓜寨河位于渔洞水库左岸,自东北向西南流入水库,流域内无乡镇工业污染,污染源主要为沿河居民产生的点源污染及大量土地耕种产生的面源污染。

渔洞水库是昭通城区人民的生命之水,担负着昭阳区 18 万人口的城市生产生活用水,每年向昭通

城供水占总供水量的 75%,然而从 2001 年开始出现不同程度的 pH 值超标现象,2009 年 4 月 17 日对 pH 值、透明度进行复测时发现:pH 值从 2009 年 4 月 7 日的 9.4 上升到 10.1,透明度从 1.0m 下降到 0.4m,水体颜色也尤为异常,叶绿素 a 和藻类较 3 月份成倍增长。5 月 pH 值为 10.3,是建库以来 pH 值超标最为严重的一次,库尾 pH 值已达 9.3,叶绿素 a ($\rho = 0.0341\text{ mg/L}$) 高于 4 月库前($\rho = 0.0290\text{ mg/L}$),藻类繁殖从库前已蔓延到库尾,水库富营养化程度已由 3 月的中营养化过渡到 4 月的轻度富营养化,5 月水体富营养化程度正在向中度富营养化过渡,短短 3 个月时间渔洞水库富营养化程度急剧上升。pH 值的严重超标及富营养化程度急剧上升,严重威胁了城市供水安全。2009 年 5 月中旬当地渔业管理局向库内投入了几十万尾花、白鲢鱼,5 月 21 日水质监测时发现水质有所好转,6 月 3 日水质监测发现,透明度恢复到 1.80 m,叶绿素 a 质量浓度从 5 月的 0.0806 mg/L 下降到 0.003 6 mg/L,富营养化程度从 5 月的轻度富营养下降到中营养,水质呈明显好转现象。但瓜寨河渔洞水库尾水 pH 值仍然居高不下。

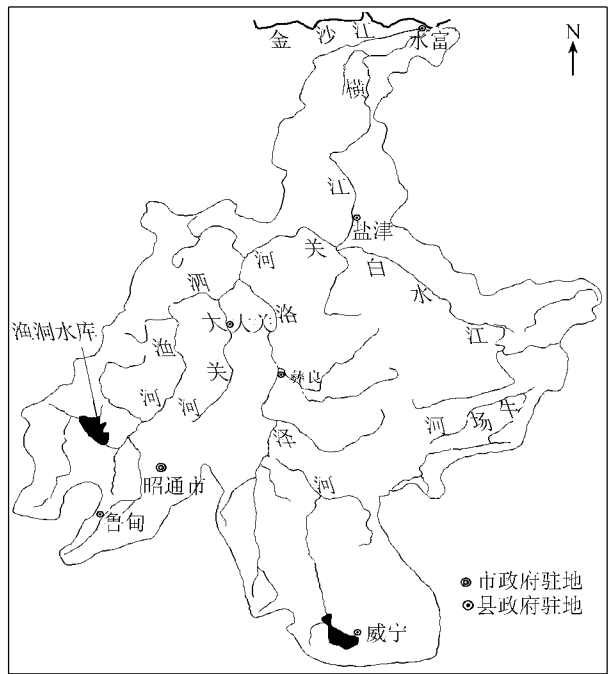


图 1 渔洞水库位置示意图

1 水质调查

7 月 8 日云南省水文水资源局、环保局、渔管局组成联合调查组,对渔洞水库及其尾水瓜寨河进行了水质调查。渔洞水库尾水水体颜色异常,透明度较低(0.40m),对 pH 值、DO、水温、透明度进行了现场测定(表 1)。从表 1 可看出 DO 超饱和,pH 值 9.4,比 6 月份的 9.1 大 0.3,透明度比 6 月的 0.6 m

降低 0.2 m,这些现象说明瓜寨河渔洞水库库尾藻类繁殖并未得到控制,并呈进一步恶化趋势。

表 1 瓜寨河渔洞水库尾水质指标现场测定值

采样时间	水位/m	气温/℃	水温/℃	pH 值	$\rho(\text{DO})/(\text{mg}\cdot\text{L}^{-1})$	SD/m
06-03T10 42	1967.09	23.0	21.0	9.1	6.9	0.6
07-08T10 30	1968.71	26.0	23.7	9.4	11.8	0.40

为了进一步弄清瓜寨河渔洞水库尾水 pH 值超标是否与上游有直接关系,采样人员沿瓜寨河下游向上游逐级采样。在瓜寨河入库现场测得 pH 值为 8.4,瓜寨村下游岔河口测得 pH 值为 8.0,瓜寨村 15 社下游 1 km 处测得 pH 值为 9.3,水中生长着大量的青苔(绿藻类)。为了找出使 pH 值偏高的原因,采样人员沿河往上到达了瓜寨村 15 社,对 15 社上游村民饮用的自来水(地下水) pH 值进行现场测定为 7.6,从河道两侧流出的地下水 pH 值均为 6.6,15 社下游 1 km 以上为 7.0。由此可见 15 社下游 1 km 以上地表水、地下水 pH 值在 6.6~7.6 之间。所以,15 社下游 1 km 处的 pH 值超标与上游水质 pH 值不存在明显关系,有可能是中午监测时,水温高(23.0℃)、光照强(晴)藻类进行光合作用的结果。从表 2 可看出,水流从瓜寨村 15 社下游 1 km 流到瓜寨村下游岔河口 pH 值为 8.0,流至瓜寨河入库 pH 值为 8.3,而渔洞水库尾水 pH 值为 9.4,所以,渔洞水库尾水 pH 值超标与外源污染关系不大,主要是由内源污染引起的。

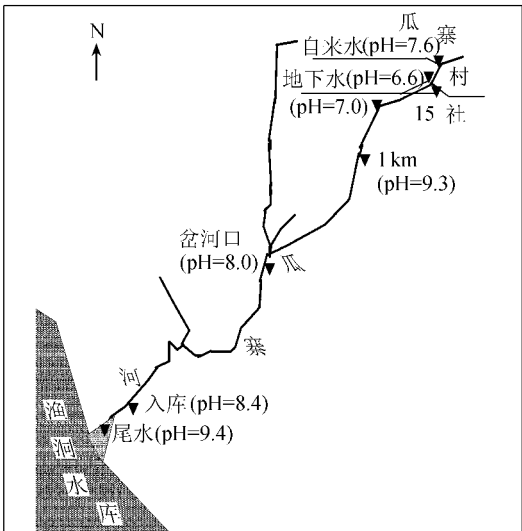


图 2 水质采样点位置图

调查发现,瓜寨河两侧均有农民居住,河道两侧种植玉米及洋芋,特别是在渔洞水库正常蓄水位 1985 m 以下的河滩地带,农民利用渔洞水库水位的涨落变化播种各种农作物,使得大量的农家肥及化肥残留在土壤中,当降雨或库水位较高时溶入水库水体。瓜寨村 15 社居住人口约 400 人,农民沿河两

表 2 渔洞水库及瓜寨河部分水质监测结果

站 名	水位/m	水温/℃	pH	总硬度/ (mg·L ⁻¹)	ρ(DO)/ (mg·L ⁻¹)	ρ(TN)/ (mg·L ⁻¹)	ρ(COD _{Mn})/ (mg·L ⁻¹)	ρ(Chl-a)/ (mg·L ⁻¹)	ρ(TP)/ (mg·L ⁻¹)	总碱度/ (mg·L ⁻¹)	ρ(Ca ²⁺)/ (mg·L ⁻¹)	水质 类别	超标 项目 (倍数)	富营养 化程度
入库	1970.00	23.6	8.3	141.0	7.8	0.816	2.1	0.0019	0.064	139.0	37.5	Ⅳ	TN(0.60)、 TP(1.60)	
瓜寨村 下游岔河口	1999.00	23.9	8.0	119.0	6.2	1.400	2.0		0.021	103.0	33.8	Ⅳ	TN(1.80)	
瓜寨村上游 15 社下游 1 km	2001.00	23.0	9.3	84.4	7.8	1.180	1.9		0.07	89.0	23.8	劣 Ⅴ类	pH(0.030)、 TN(1.36)、 TP(1.80)	
渔洞水库尾水	1968.71	23.7	9.4	61.6	11.8	0.796	3.3	0.0384	0.095	68.2	16.4	劣Ⅴ类	pH(0.04)、 TN(0.60)、 TP(2.80)	轻
渔洞水库 库中央	1968.71	24.0	8.1	29.7	6.1	0.494	1.4	0.0005	0.023	30.1	10.1	Ⅱ		中
渔洞水库 库前	1968.71	24.0	8.0	29.7	6.4	0.554	1.6	0.0025	0.019	30.1	8.2	Ⅲ	TN(0.10)	中
城市供水 取水口	1968.71	19.0	7.6		6.5	0.554	2.8		0.013	26.6		Ⅲ	TN(0.10)	

侧居住,居住房屋地面与河底最低处不超过 1 m,而“一池三改”(沼气池、改厕、改厩、改厨房)未得到落实,农民喂养了大量的鸡、猪、牛、马,地面到处是猪屎马粪,人畜粪便沿沟渠进入河道。由于瓜寨河两侧杂草丛生,在枯水期污染物在运输过程中被河道两侧的植物吸收,当水流到渔洞水库时,水质相对较好(表 3),但汛期来临,降水充沛,河道径流量大,流速较快,人畜粪便大量被雨水淋溶后以地表径流和壤中流的形式进入河道,在植物来不及吸收的情况下进入渔洞水库,渔洞水库成了径流区的“垃圾场”。这应是引起瓜寨河渔洞水库尾水在高温、光照等条件下,叶绿素 a 大量生长,藻类繁殖速度加快导致 pH 值超标的主要原因之一。

2 水质状况

2.1 瓜寨河水质状况

为了较为全面地了解瓜寨河水质状况,对取回水样分别检测了 TN、TP 等 20 多个水质指标,瓜寨河入库还检测了 Chl-a(表 2)。以《云南省昭通渔洞水库保护条例》^[1]第六条规定的地表Ⅱ类水质标准为依据,根据《地表水环境质量标准》^[2]采用单因子指数法进行评价,瓜寨河瓜寨村 15 社下游 1 km 处

水质为劣Ⅴ类,瓜寨村下游岔河口水质为Ⅳ类,瓜寨河入库水质为Ⅳ类。虽然 TN、TP 沿河从上游到入库均出现超标现象,但由于河道两侧杂草丛生,加大了水体的自净能力,所以从上游 TN、TP 的到下游超标倍数有所降低。

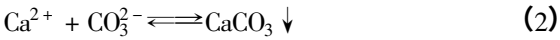
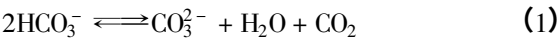
2.2 渔洞水库尾水水质状况

从表 2 可看出渔洞水库尾水水质为劣Ⅴ类,超标项目(超标倍数)为 pH 值(0.04)、TN(0.6)、TP(2.8)。ρ(Chl-a)为 0.038 4 mg/L,瓜寨河入库 ρ(Chl-a)为 0.0019 mg/L, pH 值为 8.3,而 6 月 ρ(Chl-a)为 0.0077 mg/L,ρ(Chl-a)较 6 月将近增长了 5 倍。所以,渔洞水库尾水 pH 值超标与入库河流 pH 值关系不大,主要原因在是持续高温、光照、营养盐充足的条件下,藻类无节制的生长繁殖引起^[3]。虽然渔洞水库投入了大量的花、白鲢鱼,但有可能这些鱼还未到瓜寨河渔洞水库尾水就被打捞了。所以,导致瓜寨河渔洞水库尾水水质并无好转现象。据有关资料表明^[4],天然水体中碱度的存在主要是由重碳酸盐、碳酸盐和氢氧化物而引起,其中重碳酸盐是水中碱度的主要形式,在某种情况下,天然水水体可以含一定数量的碳酸盐和氢氧化物,尤其是在藻类繁盛的地表水中,藻类吸收水中游离的和化合的二氧化碳,

表 3 2009 年 1—6 月渔洞水库库前部分水质参数监测

月份	气温/℃	pH	总硬度/ (mg·L ⁻¹)	ρ(Ca ²⁺)/ (mg·L ⁻¹)	ρ(Mg)/ (mg·L ⁻¹)	总碱度/ (mg·L ⁻¹)	ρ(重碳酸盐)/ (mg·L ⁻¹)	ρ(碳酸盐)/ (mg·L ⁻¹)	ρ(Chl-a)/ (mg·L ⁻¹)	藻类(优势种群)/ (个·L ⁻¹)
1	4.0	8.1	35.1	8.26	3.50	22.9	27.9	0.00	0.0008	1.33 × 10 ³ (隐藻)
2	12.0	8.1	28.9	7.84	2.25	22.9	27.9	0.00	0.0017	5.42 × 10 ⁴ (微囊藻)
3	14.5	8.0	26.8	6.61	2.50	25.6	31.2	0.00	0.0011	3.73 × 10 ⁴ (微囊藻)
4	17.0	9.4	35.1	10.7	2.00	26.9	16.4	8.07	0.0290	5.47 × 10 ⁵ (微囊藻)
5	17.0	10.3	25.3	6.17	2.41	26.9	0.00	15.3	0.0806	5.71 × 10 ⁵ (微囊藻)
6	19.0	8.3	26.4	8.38	1.34	30.1	36.6	0.00	0.0036	1.44 × 10 ⁵ (微囊藻)

致使水中的 pH 值有时可达到 9~10。即：



这 3 种形态的碳酸盐平衡受水中藻类光合作用和呼吸作用的影响^[5]：①当光合作用速率超过呼吸作用速率时 CO_2 不断被吸收利用，平衡式(1)向右移动，其移动结果是 CO_3^{2-} 浓度增加，使平衡式(2)也向右移动，有 CaCO_3 沉淀生成。两个平衡式右移的结果是水中的 CO_3^{2-} 被 Ca^{2+} 中和，水体总硬度含量上升，总碱度、pH 值下降；②当呼吸作用速率超过光合作用速率时，不断有 CO_2 产生，促使平衡式(1)、(2)均向左移动，其结果是总硬度下降、总碱度、pH 值上升。从表 2 可知，渔洞水库及其尾水 Ca^{2+} 不足，式(2)平衡尚未建立，仅有平衡式(1)存在。由于 Ca^{2+} 浓度不足，对水体无法形成缓冲作用，使 pH 值保持相对稳定。由于平衡式(2)不能建立，pH 值上升不会引起水中总硬度、总碱度的浓度发生变化，只会使总碱度的组成随 pH 值的改变而发生变化。从表 2 可看出，渔洞水库及其尾水 pH 值、总硬度、总碱度的变化是符合上述理论的。

瓜寨河渔洞水库尾水 6 月富营养化评分值为 51.6，7 月份为 58.9，虽然都是轻度富营养，但 7 月评分值更接近中度富营养评分值 60，水质呈进一步恶化的趋势。

2.3 近期渔洞水库水质状况

由于渔洞水库承包商在库内拦网打鱼，采样船无法到达龙树河入库处，所以只能对库中央、库前两个水质取样点采用单因子指数法进行评价，库中央水体为Ⅱ类，库前为Ⅲ类，此次调查富营养化评分值与 6 月相比，库中央从 45.3 降到 34.1，库前从 44.4 降到 38.4，水质有所好转。1—6 月渔洞水库库前部份水质监测参数结果详见表 3。

3 主要存在问题

主要存在问题有 2 点：①径流区农民卫生条件极差；②水库中鱼类被大规模集中打捞。如持续高温、少雨，渔洞水库将会再一次发生藻类的无节制生长(瓜寨河渔洞水库尾水就是很好的例子)。再则，如库内鱼类减少，降雨从上游携带进入水库的各种污染物缺乏鱼群的消耗，在秋季水体发生向下密度流时沉在库底^[6]，到明年春季水体发生向上密度流时又随水体的流动来到表层水体，在持续高温、少雨的气候条件下，将导致渔洞水库藻类无节制生长的高峰，水质再次恶化，影响城市供水安全。

4 结论与建议

通过对渔洞水库及其尾水瓜寨河进行水质调

查、监测、评价、分析，得出造成瓜寨河渔洞水库尾水 pH 值超标的主要原因是内外源 TN、TP 等污染物均未得到有效控制。营养盐长期随地表径流进入库内，在高温、光照、TN、TP 等充足的条件下，藻类无节制的生长， Ca^{2+} 的不足导致 pH 值超标。根据以上调查及水质监测结果提出以下治理措施。

4.1 控制外源污染

a. 有计划分步骤实施一级保护区农民异地安置，使其恢复径流区内的生态环境，促进径流区生态环境的良性循环。

b. 加大对二级保护区农户“一池三改”力度，加强新农村建设，将居住在小河两侧的居民搬离。

c. 加大对径流区所有农户卫生的监管工作，对农户生产、生活所产生的生活垃圾、污水、厩肥、人畜粪便等污染物进行集中处理，禁止在河道两岸各 50 m 和水库正常蓄水区(海拔 1 985 m)以上 200 m 范围内随意堆放厩肥，禁止向河道中直接排入人畜粪便、污水，丢弃生产、生活垃圾等污染物，禁止在森林用地内和水库正常蓄水区以上 200 m 范围内放牧。

d. 市、县、乡各级政府部门应明确责任，建立长效机制、建设精干有效的管理机构和权威高效的管理体系，严格执法，增强环境监管的整体性，按《渔洞水库保护条例》的相关要求，加大对水库综合治理，加大渔洞水库径流区退耕还林力度，杜绝在河道两侧开垦土地、种植庄稼。

e. 建议在渔洞水库各支流高程为 1 986 m 以上适当的地方修建人工湿地，瓜寨河高程 1 986 m 以上，河宽约 200 m，长度约 1.5 km，是上游各种污染物进入水库前处理的理想之地。

4.2 减少内源性污染

a. 禁止在库内进行商业养鱼，在库内应科学配置以浮游生物和水中垃圾为天然饵料的“净水鱼类生物链”结构，用生物净水方法来增强水体的自净能力，对库内的鱼类应进行科学的投放和捕捞。

b. 每年开启冲沙闸，这有利于把水体在异重流^[7]情况下带到坝前的泥沙或将污染物冲走，尽量减少污染物在底泥中的沉积和泥沙对水库的淤积，尽可能降低底泥中各种污染物随春季水体对流污染表层水体。

c. 因春季水体的对流将沉积在库底的污染物携带到表层水体，在水温、光照、pH 值等适宜的情况下使得表层水体各种水生生物大量繁殖，导致水质变差，故建议在春末夏初主要释放水库表层水体，改善水质。

d. 开展渔洞水库水质特性研究，根据其水质特性科学调度水资源，使水库水量达到(下转第 94 页)

表 8 镇江市应急供水分区及优化配置结果

需水区	用水人口/ 万人	日应急供水 需求量/ 万 m ³	规划战略水源地/万 m ³						
			北湖	西麓水库	凌塘水库	南山—凌家湾	大港	高资—征润州	大路—姚桥
主城核心区	30	11.5	10	0	0	0	0	1.5	0
南徐新城	20	7.5	0	0	2	0	0	5.5	0
丁卯新城	20	7.5	0	0	2	0	5.5	0	0
谷阳新城	15	6.0	0	5	1	0	0	0	0
东翼	12.5	4.5	0	0	0	0	4.5	0	0
西翼	7.5	3.0	0	0	0	0	0	3	0
合 计	105.0	40.0	10	5	5	0	10	10	0
各战略水源地日应急供水能力/万 m ³			10	5	5	5	10	10	10

评价结果表明：镇江市Ⅰ类应急水源地规划区有 7 个，其中地下水源地 4 个，分别是高资—征润州、大路—姚桥、南山—凌家湾及大港地下水源地；地表水源地 3 个，分别是北湖、凌塘水库和西麓水库。Ⅱ类应急水源地规划区 7 个，均为地下水源地，分别是世业洲、江心洲、四摆渡—劳动路、乔家门、十里长山南麓、小力山—古洞及孟家湾—丹徒—谏壁地下水源地。Ⅲ类应急水源地规划区为共青团农场和高桥洲地下水源地及其他地表水源地。

4.2 合理性分析

按照镇江市城市发展规划，将镇江市供水区划分为主城核心区、南徐新城、丁卯新城、谷阳新城、及镇江市东翼和西翼 6 个区，远期（2020 年）总供水人口达到 105 万。按照每个供水区的远期规划人口总数计算各供水区的应急供水需求量。依据镇江市应急供水区划和规划应急水源地的分布位置及应急类型，对镇江市应急供水区的应急供水量进行优化配置设计，最后对配置结果进行分析，结果表明能够满足应急供水需求，达到应急供水的目的，能够为相关部门决策提供相关依据（表 8）。

5 结 语

城市应急水源地规划研究是一个复杂的大系统，它不仅与区域地下水和地表水水资源的水文地

（上接第 88 页）最大限度的置换，这有利于污染物的输移、稀释和扩散，能有效降低水体中污染物的浓度，有利于水体掺气、复氧及各种有机物的生化降解，使水域生态系统形成良性循环。

参考文献：

[1] 云南省第十届人民代表大会常季委员会公告(第 29 号). 云南省昭通渔洞水库保护条例[EB/OL]. [2005-09-26]. http://law.baidu.com/pages/chinalawinfo/1684/68/fbfd5db09d92bae0d8alc1da807d9906_0.html.
[2] GB 3838—2002 地表水环境质量标准[S]. 2002.

质条件和天然时空分布有关，而且受区域的人口、社会经济、生态环境以及水资源开发利用程度等诸多因素的制约。本次研究通过构建镇江市应急水源地规划评价指标体系，确定了镇江市应急水源地的应急类型，经合理性分析，结果证明能够满足应急供水需求，达到应急供水的目的。

参考文献：

[1] 袁记平. 突发事件与饮用水应急保障机制[J]. 水资源保护, 2009, 25(6): 90-93.
[2] 卜华, 王义生, 陈占成, 等. 应急供水水源地评价研究方法探讨[J]. 山东国土资源, 2007(8): 21-23.
[3] 陈守煜, 伏涛, 周惠成. 含水层脆弱性模糊分析评价模型与方法[J]. 水利学报, 2002(7): 23-30.
[4] 李希灿, 翟伟, 刘继光. 模糊模式识别理论在水源地水质评价中的应用[J]. 地下水, 1999, 21(3): 121-124.
[5] 马宏伟, 刘强. 模糊综合评判法在松嫩平原地下水质量评价中的应用[J]. 环境卫生工程, 2009(5): 41-43.
[6] 王莲芬. 层次分析法引论[M]. 北京: 中国人民大学出版社, 1990.
[7] 朱少荣, 刘佑荣, 吴益平. 层次分析法在滑坡区建筑适宜性评价中的应用[J]. 水文地质工程地质, 2003(3): 58-60.
[8] 镇江市勘察测绘研究院. 镇江市城市规划战略水源地评价报告(2009)[R]. 镇江: 镇江市勘察测绘研究院, 2009.

(收稿日期: 2009-12-07 编辑: 高渭文)

[3] 代堂刚. 渔洞水库 pH 值超标的成因分析及其处理措施[J]. 水资源研究, 2009, 30(3): 35.
[4] 李青山, 李怡庭. 水环境监测实用手册[M]. 北京: 中国水利水电出版社, 2003.
[5] 雷衍之. 养殖水环境化学[M]. 北京: 中国农业出版社, 2007.
[6] 周怀东, 彭文启. 水污染与水环境修复[M]. 北京: 化学工业出版社, 2005.
[7] 张书农, 陈国祥. 河流动力学[M]. 北京: 水利电力出版社, 1988.

(收稿日期: 2009-12-31 编辑: 高渭文)