

陆埠水库饮用水水源地水质评价及保护措施

胡劲松¹, 吴江², 赵翔³

(1. 余姚市丈陆水利管理处, 浙江 余姚 315400; 2. 余姚市水利局, 浙江 余姚 315400;
3. 余姚市市政监察大队, 浙江 余姚 315400)

摘要:为了更好地保护陆埠水库饮用水水源地水质, 利用主成分分析方法对陆埠水库水源地水质进行评价, 根据综合评价函数计算的综合得分获取各年度水质评价结果, 对典型年水质优劣的成因进行影响因素分析, 并提出陆埠水库饮用水水源地保护途径。

关键词:饮用水水源地; 水质评价; 主成分分析方法; 陆埠水库

中图分类号: X824 **文献标志码:** A **文章编号:** 1006-7647(2013)S1-0015-03

饮用水水源地保护事关人民群众的用水安全, 与人民群众的身体健康密切相关。历年来, 受到各级政府和有关部门的高度重视。本文介绍了陆埠水库饮用水水源地基本情况, 利用主成分分析方法对该水源地水质进行评价, 结果表明, 由于余姚市切实加大了水源地的保护力度, 水体水质总体状况较好。随着经济社会的进一步发展和人民群众对水质的更高要求, 还需要更多行之有效的保护措施来提高陆埠水库饮用水水源地水质。

1 陆埠水库饮用水水源地基本情况

陆埠水库位于姚江支流陆埠大溪的乌石山脚下, 距下游陆埠镇 3 km, 集雨面积为 55.5 km²。库区内植被良好, 阳光充沛, 雨量丰富, 温暖湿润, 四季分明, 属亚热带季节性气候。多年平均降水量为 134 mm, 平均径流量为 5 346 万 m³, 总库容为 2 599 万 m³, 兴利库容为 1 825 万 m³, 是一座以灌溉为主, 兼有防洪、城市供水、发电、养殖等综合效益的重要中型水库。水库上游有袁马大溪、翁岙溪、黄土岭溪与青龙山溪等 4 条主要支流。根据《浙江省水功能区水环境功能区划分方案》, 陆埠水库功能定位陆埠溪余姚饮用水源区, 属饮用水水源一级保护区。1986 年开始向余姚城区供水, 日供水 1.5 万 t, 1992 年起日供水量提高到 4 万 t, 自 2003 年 10 月 20 日, 通过一条长长的管道和穿山的水流隧道向梁辉水库年均调水 2 000 万 m³。

陆埠水库上游流域辖区内有 9 个行政村, 27 个

自然村, 户籍人口 17 465 人, 劳动力 12 727 人; 其中外出劳动力为 3 581 人, 从事纯农业劳动力总数为 3 153 人。上游村庄汽车配件制造加工业较为普遍, 呈现出量大、面广、小型和分散的特点。

2 陆埠水库饮用水水源地水质评价

2.1 评价方法

水体水质评价方法很多, 常用的有最差因子判别法、有机污染综合指数评价法、基于模糊理论的贴近度综合评价法、模糊综合评价方法、灰色关联分析评价法、神经网络法、主成分分析方法等^[1]。不同的评价对象, 所选择的评价方法也有所区别。根据陆埠水库饮用水水源地实际情况, 选择主成分分析方法进行水体水质评价。

2.1.1 主成分分析方法的基本原理

主成分分析方法是把多个变量简化为少数几个综合指标的一种统计分析方法, 从数学角度来看, 这是一种降维处理技术。假定有 n 个地理样本, 每个样本共有 p 个变量, 这样就构成了一个 $n \times p$ 阶的地理数据矩阵^[2]:

$$X = \begin{bmatrix} x_{11} & \cdots & x_{1p} \\ \vdots & & \vdots \\ x_{n1} & \cdots & x_{np} \end{bmatrix} \quad (1)$$

为了避免 p 值较大时数学求解复杂, 需要对 p 进行降维处理。取原来变量的线性组合, 适当调整组合系数, 使新的变量之间相互独立且代表性最好。

如果记原来的变量指标为 x_1, x_2, \dots, x_p , 它们的

综合指标即新变量指标为 $z_1, z_2, \dots, z_m (m \leq p)$, 则

$$\begin{cases} z_1 = l_{11}x_1 + l_{12}x_2 + \dots + l_{1p}x_p \\ z_2 = l_{21}x_1 + l_{22}x_2 + \dots + l_{2p}x_p \\ \vdots \\ z_m = l_{m1}x_1 + l_{m2}x_2 + \dots + l_{mp}x_p \end{cases} \quad (2)$$

式中系数 l_{ij} 由下列原则来决定: ① z_i 与 $z_j (i \neq j; i, j = 1, 2, \dots, m)$ 相互无关; ② z_1 是 x_1, x_2, \dots, x_p 的一切线性组合中方差最大者, z_2 是与 z_1 不相关的 x_1, x_2, \dots, x_p 的所有线性组合中方差最大者; z_m 是与 z_1, z_2, \dots, z_{m-1} 都不相关的 x_1, x_2, \dots, x_p 的所有线性组合中方差最大者。

这样得到的新变量指标 z_1, z_2, \dots, z_m 分别称为原变量指标 x_1, x_2, \dots, x_p 的第 1、2、 \dots 、 m 个主成分。其中, z_1 在总方差中所占的比例最大, z_2, z_3, \dots, z_m 的方差依次递减。

找主成分就是确定原来变量 $x_j (j = 1, 2, \dots, p)$ 在诸多主成分 $z_i (i = 1, 2, \dots, m)$ 上的 $l_{ij} (i = 1, 2, \dots, m; j = 1, 2, \dots, p)$ 。从数学上分析得出, 它们分别是 x_1, x_2, \dots, x_p 的相关矩阵的 m 个较大的特征值所对应的特征向量。

2.1.2 主成分分析方法的计算步骤

步骤 1 建立原始变量矩阵 X , 该矩阵由 m 个样本的 n 个因子构成:

$$X = \begin{bmatrix} x_{11} & \dots & x_{1n} \\ \vdots & & \vdots \\ x_{m1} & \dots & x_{mn} \end{bmatrix} \quad (3)$$

步骤 2 对原始变量矩阵 X 进行标准化处理, 采用 Z-Score 变换进行标准化, 标准化公式为

$$\begin{cases} Z_{ij} = \frac{x_{ij} - \bar{x}_j}{S_j} \\ \bar{x}_j = \frac{1}{m} \sum_{i=1}^m x_{ij} \\ S_j^2 = \frac{1}{m-1} \sum_{i=1}^m (x_{ij} - \bar{x}_j)^2 \end{cases} \quad (4)$$

步骤 3 计算出标准化数据的相关系数矩阵, 并求出其特征根及相应的特征向量。

步骤 4 确定主成分个数, 根据累计方差贡献率 α 来确定:

$$\alpha = \frac{\sum_{i=1}^{\beta} \lambda_i}{\sum_{i=1}^n \lambda_i} \quad (5)$$

步骤 5 确定主成分 $F_i (i = 1, 2, \dots, p)$ 的表达式:

$$\begin{cases} F_1 = a_{11}Z_1 + a_{21}Z_2 + \dots + a_{n1}Z_n \\ F_{21} = a_{12}Z_1 + a_{22}Z_2 + \dots + a_{n2}Z_n \\ \vdots \\ F_p = a_{1m}Z_1 + a_{2m}Z_2 + \dots + a_{nm}Z_n \end{cases} \quad (6)$$

步骤 6 确定综合评价函数 F :

$$F = \frac{\lambda_1}{\lambda_1 + \lambda_2 + \dots + \lambda_p} F_1 + \frac{\lambda_2}{\lambda_1 + \lambda_2 + \dots + \lambda_p} F_2 + \dots + \frac{\lambda_p}{\lambda_1 + \lambda_2 + \dots + \lambda_p} F_p \quad (7)$$

式中: $a_{1m}, a_{2m}, \dots, a_{nm}$ 为原始变量矩阵 X 的协方差矩阵的特征值对应的特征向量; Z_1, Z_2, \dots, Z_n 为原始变量矩阵 X 经过标准化处理的值; $\lambda_1, \lambda_2, \dots, \lambda_n$ 为矩阵 X 的特征值; n 为因子个数; m 为样本个数; p 为主成分个数。采用 SPSS 软件进行数据处理。

2.2 评价结果与讨论

根据陆埠水库 2008—2011 年水质监测数据, 选取如下 10 个水质指标评价并进行标准化处理, 即 pH(X_1)、溶解氧(X_2)、高锰酸盐指数(X_3)、氨氮(X_4)、总磷(X_5)、总氮(X_6)、氟化物(X_7)、挥发酚(X_8)、总氰化物(X_9)、总砷(X_{10})。按照主成分分析方法的计算步骤进行评价, 得到 2008—2011 年陆埠水库饮用水水源地水质的主成分得分, 其排序情况见表 1。

表 1 主成分得分及排序

年份	得分					总排序
	F_1	F_2	F_3	F_4	F	
2008	-0.805	-1.520	2.053	0.332	0.103	1
2009	-1.026	-0.910	-0.986	0.112	-0.569	3
2010	1.235	-0.895	-0.897	-0.763	-0.106	2
2011	-2.115	2.002	-1.216	-0.863	-0.598	4

从表 1 可以看出, 2008 年综合得分 F 为 0.103, 远超其他年份, 主污染成分为总氮。主要原因^[3]有: ①由于地形限制, 上游洪山乡村庄、厂房皆临溪而建, 居住人口集中, 有部分村民、外来人员把各种垃圾随意丢弃在溪道中, 还有的村庄把垃圾箱设置在溪道旁, 下大雨时垃圾会顺着溪道进入水库, 污染水体。②陆埠水库上游农业种植物以水稻、茶树、毛竹、果树为主, 化肥施用水平较高。③水库流域村庄的畜禽养殖污染问题比较严重, 畜禽粪便中氮、磷含量很高, 粪便随着附近溪流排入水库。2011 年综合得分 F 最小, 水质较其他年份好。主要原因有: ①陆埠水库生态湿地建设项目于 2010 年 12 月开工, 2011 年已种植的黄菖蒲、梭鱼草、水葱、美人蕉等草本植物和池杉等木本植物减少了氮、磷等有机物的入库量。②余姚市采取库区企业搬迁、农业产业结构调整、生活垃圾清运出库等多项措施, 切实加强陆

埠水库周边的环境整治,有效削减了入库污染物总量。陆埠水库以 GB 3838—2002《地表水环境质量标准》Ⅱ类水质标准来衡量,各项指标基本能达到水质标准。

3 陆埠水库饮用水水源地保护途径

针对陆埠水库饮用水水源地现状及水质评价结果,可通过以下途径予以保护。

a. 建章立制,进一步提高饮用水源环境安全管理效益。建立长效管理运行机制,健全饮用水水源地保护管理体制,制订项目建设考核制度;加强项目水资源论证、取水许可监督管理和水功能区管理,制定防止水源污染的应急措施;建立健全并组织落实管理单位水源保护责任制度,进一步完善水库饮用水水源地巡查规章制度、执法机制、日常保洁制度;建立健全水源地保护督查评议机制,保障饮用水水源地保护工作顺利开展。理顺管理机制,加强水利、环保、农业、城管、卫生等多部门统筹协调及管理信息资源的共享,提升饮用水水源地安全保护管理水平和管理效益;进行水源地生态补偿政策探索,通过财政拨款、水费提取、社会募捐等渠道为弥补库区利益损失等提供财力保障,充分调动广大水源保护区村民保护生态环境、保护水源水质的积极性,协调处理水源保护与农村经济发展、库区旅游开发的矛盾。

b. 开展广泛宣传,进一步营造人人保护水源地的良好氛围。加大宣传是加强饮用水水源地保护工作顺利推进的重要基础。制定完善的饮用水水源地保护宣传方案,充分利用电视、网络、报纸等媒体与介质,进行大力宣传;向广大群众发放告知书,宣传饮用水水源地保护的法律法规、规章制度及保护的重要意义等;发放宣传袋、宣传杯和宣传伞等,提高宣传效果;适时通过余姚市电视台或余姚日报全面报道饮用水水源地保护的重要性;在饮用水水源地保护区范围内定期或不定期播放露天电影,插播宣传内容。通过广泛深入的宣传,提高部门、乡镇和公众的环境和法制意识,提升民众生态环境保护知识水平,逐步形成人人保护饮用水水源地良好氛围。

c. 深入推进工程治理措施,进一步提高水体水质质量。工程治理措施是城乡工业污染、生活污染、集中式畜禽养殖和农业面源污染等治理的有效途径。针对陆埠水库饮用水水源地实际,工程治理措施主要有:①生活污染源治理工程。在库区和流域范围内修建污水收集系统和污水处理系统,实现污水达标排放。②畜禽养殖污染治理工程。关停或搬迁靠近水源地的畜禽养殖场,建立畜禽养殖场废弃

物综合利用设施、污染治理设施建设等。③农田径流污染控制工程。主要采取坑、塘、池等工程措施,减少径流冲刷和土壤流失,并通过生物系统拦截净化污染物。④工业污染源治理工程。有计划的关停或搬迁靠近饮用水水源地的工业企业,禁止新建、扩建与供水设施及保护水源无关的建设项目,发展循环经济,推行清洁生产,加快水库流域农村工业废水、废气、废渣等“三废”治理设施建设等。

d. 加强科学研究,进一步提升科学决策水平。陆埠水库流域生态环境总体较好,但仍然存在江河水质污染、水土流失、水库富营养化等问题。这就需要通过科技进步和创新,进一步加强水环境保护和水生态系统修复,促进人与自然和谐。积极开展诸如“微动力厌氧好氧+景观绿地”技术、“高度处理净化槽”技术、“垂直潜流人工湿地”处理技术、“厌氧生化池+生态小湿地”处理技术、“多层土壤法”处理技术等农村生活污水处理模式;开展“分散式”处理装置设计等农村生活垃圾处理技术、笼式分层集约化挂蚌生物净化技术、组合式生态浮床工程技术等生态保护工程技术;开展应用基础研究,完善流域水环境保护与生态建设规划,实施典型流域和地区的生态调水与补水,保护和修复水生态系统;开展饮用水水源地水质安全评价,为开展饮用水水源保护和管理提供技术支撑;开展饮用水水源地生态补偿标准定量研究,对生态补偿标准进行定量分析,实现饮用水水源地生态保护和经济发展的“双赢”,为库区生态环境治理和城市供水安全提供科学的决策依据。

4 结 语

在介绍陆埠水库饮用水水源地基本情况的基础上,利用主成分分析方法对该水库饮用水水源地水质进行评价,根据综合评价函数计算的综合得分获取各年度水质评价结果,对典型年水质优劣的成因进行影响因素分析,并提出了陆埠水库饮用水水源地保护途径。

参考文献:

- [1] 徐建华. 现代地理学中的数学方法[M]. 北京:高等教育出版社,2002.
- [2] 石建屏,李新,蒲洋. 基于主成分分析和综合指数法的饮用水水源地水质评价[J]. 供水技术,2012,6(1):1-5.
- [3] 吴劭辉,梁明昌. 浅议余姚陆埠水库的水环境保护和生态修复[J]. 河海大学学报:自然科学版,2010,38(增刊2):244-248.

(收稿日期:2012-09-21 编辑:骆超)