全过程安全评估体系建立及在浙江省水库型水源地的应用

俞建军[1], 郑金秀[2], 陈 晖[1], 沈 强[2], 陈 锋[2], 胡 俊[2]

(1. 浙江省水资源管理中心, 杭州 310009;
2. 水利部中国科学院水工程生态研究所, 水利部水工程生态效应与生态修复重点实验室, 武汉 430079)

摘要: 国内的水源地评价主要是采用水质指标的单因子评价, 缺乏考虑水源地环境质量、水生态系统状况的综合因子, 不能有效识别水源地的安全状况。为此, 本研究按照水源产生过程、蓄水过程分析的水污染环节和各种危害因素, 从环境特征、人类活动、水质状况和生态完整性4个方面构建水源地全过程评估指标体系。并选择浙江省4座水库型水源地, 开展全过程评估指标体系应用。评估结果表明: 全过程评估体系较好地反映水源地水在不同阶段的安全状况, 发现存在的问题, 并能针对性地提出污染控制和预防改进措施, 能够切实可行的运用于水库型水源地安全评估的实际工作, 为水资源管理提供技术支撑。

关键词: 全过程; 评估; 水库; 水源地

中图分类号: X142 **文献标志码:** A **文章编号:** 1674 - 3075(2013)03 - 0044 - 05

我国是一个水资源短缺的国家, 随着社会经济的发展, 公众的环境意识、生态意识、健康意识也在不断提高, 对优质饮用水的需要越来越迫切, 饮用水水源地的安全问题也成为公众关注的焦点。目前, 国家要求建立健全从水源地到供水末端全过程的饮用水安全监测体系, 制定和完善应急供水预案, 保障饮用水安全。但是, 饮用水安全的保障工作与上述目标还有较大差距。究其原因, 除了饮用水安全法律、法规尚不完善(周林岩, 2011), 执行力度不强(刘亚男, 2010)之外, 缺乏一套准确评估水源地的指标体系也是重要的原因。我国现行的水源地水质评价主要包括水质类别、富营养化、水质风险评价3个方面, 评价指标主要参照《地表水环境质量标准》(GB3838-2002), 普遍采用单因子评价方法进行评价, 一是评价方法主要依赖基本的水质指标, 没有考虑到水生态系统的状况; 二是缺乏水源地环境差别, 没有监测评估包括集雨区的水源地环境特征, 进而表现在现有的饮用水安全控制和治理的管理过程过多依赖于终端监测, 缺少全过程分析和多角度评价。为此, 有必要探索建立一种从源头至终端全过程控制的评价体系, 对水源地水安全进行评价, 促进水源地的生态保护、建设和修复全面开展。

收稿日期: 2013 - 02 - 19

基金项目: 浙江省科技厅项目(2010C33080), 浙江省水利厅科技计划重点项目(RB1005)。

通讯作者: 胡俊, E-mail: jhu@ mail. ihe. ac. cn

作者简介: 俞建军, 1963年生, 男, 汉族, 硕士, 高级工程师, 从事水资源管理与生态保护工作。E-mail: szszy_yjj@ zjwater. gov. cn

浙江省位于我国东部沿海, 其主要河流不同程度受到污染, 尤其是平原水系及河流的城镇段受到较为严重的污染, 导致浙江省供水形势不容乐观。为保障供水水质, 浙江省有条件的城市纷纷转向水库供水, 水库型水源地已占浙江省县以上城市集中式饮用水水源地数量的70%、占集中式饮用水水源地供水人口的62%(吕振平, 2010)。其他非水库供水城市也在积极创造条件转向水库供水, 水库型水源地已经成为浙江最重要的饮用水源地。本研究选取浙江省4座大型水库水源地为案例, 从全过程角度分析不同环节所涉及到的各类因子, 探讨相关评估指标体系的构建与实际应用, 以期为水库型水源地的安全评估提供技术支撑。

1 全过程安全评估体系建立

1.1 全过程安全评估模式确立及污染因素分析

全过程安全评估是针对原水的产汇流形成全过程进行评估, 并根据全过程质量控制中可能涉及到的水污染环节和各种危害因素, 建立起完善的水源地全过程评估指标体系, 确保原水在水源地的运行中全部过程都是安全可靠的。首先, 对水从集雨区至蓄水区的形成过程进行风险排查, 确保在水体形成过程中, 全部过程都是安全可靠的, 实现"过程安全"。其次, 对蓄水区的水体开展水质评价、生物评价, 确保蓄水区水体的评价结果符合可接受范围。

全过程安全评估的核心是强调饮用水源地水产生全过程的质量控制, 实现"过程安全, 结果达标", 保证水源具有更安全和更好的水质。其中, "结果

达标”是水源地的基本条件,而“过程安全”则是对水源地质量要求的进一步提升,达到这两方面要求的水源地才是满足了从源头到产品的全过程控制的绿色水源地。具体将从以下两方面建立评估体系。

1.1.1　过程安全　“过程安全”评估是指根据水源的形成过程,分析排查可能影响水质的关键因素,确保水质安全。具体而言,即从大气 - 降雨 - 集水 - 蓄水等水体形成的过程,全面分析水源地一定范围的大气、陆域以及水域环境对水体造成污染的可能性,筛选识别风险因子并进行排查,保证水源水体形成过程的安全。

1.1.2　结果达标　水库水是水源地形成的最终“产品”,直接检测水库水质是检验产品是否符合标准的最基本的手段。因此,长期以来,水库水质评价一直是水源地评估通用的基本方法。但是,随着科学技术的发展和人类认识的深入,现有水质检测指标有限、检测手段不足、检测方法不便等问题日益显现,单依靠水质评价已不能满足人们对水源水安全、优质的要求。因此,对水库水的评价不能不考虑其形成过程,以实现预防为主、全面控制的目标。其次,库区水体是库区水生态系统中的一部分,对水源水的水质进行评价,仅考虑水质是不够的,还应衡量水生态系统的完整性和抗干扰能力,从水生态健康方面评价其维持水源地水安全稳定的可靠性和有效性。基于以上分析,本项目不仅从水质理化指标方面开展评价,还进一步考虑水生生物的影响,建立起包括生物指标的水源地分类评价和综合评价的指标体系。

全过程安全评估模式的确立过程中,按全过程控制模式,其涉及的污染因素根据大气 - 降雨 - 集水 - 蓄水的水形成过程,考虑各个环节可能涉及到的污染情况,分别从大气降雨 - 集水过程和蓄水过程研究其评估指标。水源产生过程风险排查主要采用现状调查和资料收集的方法,确定调查范围内应关注的重点风险源,并筛选待评估的风险因子。

1.2　水源地安全评估指标体系构建

根据浙江省的环境特征及水库水源地的基本特征和主要影响因素,筛选出 14 个评估指标(表 1),并根据以下方法进行赋分:1)参照相关国家标准和地方标准,如水环境质量、重金属污染状况等;2)参考国内外有关文献,包括国内外学者进行水环境评价所用的评估指标(郝友亮,2011;张晓晶,2010;王晓鹏,2007),以及生物完整性指标等(Beck, 2009;Douglas,2009;Maulood,2011;朱迪等,2012;沈强等,2012);3)根据国内和浙江省的经济社会发展水平,以全国平均水平为参照,采用专家咨询法进行赋分,如农药、化肥施用量,工农业用水比例等指标。具体的水源地全过程安全评估结果分级见表 2。

表 1　水源地全过程安全评估赋分标准

Tab. 1　The rating criteria for the safety assessment in the water sources based on the whole process

目标层	系统层		指标层	赋分/分				
				100	80	60	40	20
水源地安全	大气降雨 - 集雨过程	环境特征	水土流失面积比例/% <	10	20	40	60	100
			森林覆盖率/% ≥	70	50	30	10	0
		人类活动	人口密度/人·km^{-2} <	25	50	100	150	>150
			农业人口比例/% <	25	40	60	70	80
			种植业化肥用量/ kg·hm^{-2} <	100	100	200	300	400
			旅游规模/万人次·$年^{-1}$ <	0.5	0.5	1	3	5
			耕地占集雨面积比/% <	1	5	13	15	20
			人均粮食产量/kg <	100	200	300	400	500
	蓄水过程	水质状况	富营养状态 <	贫	中	轻度	中度	重度
			综合营养状态指数值 <	30	40	50	60	70
			水质达标率/% <	100	95	90	85	75
			水质综合评分≤	20	40	60	80	100
		生态系统完整性	F-IBI≤	50	40	30	20	10
			P-IBI ≥	4.5	3.4	2.2	1.1	0

表 2　水源地全过程安全评估结果分级

Tab. 2　The assessment grading standards of drinking water sources

赋值标准化	≥80 ~ 100	≥60 ~ 80	≥40 ~ 60	≥20 ~ 40	≥0 ~ 20
评估结果	优秀	良好	一般	较差	极差

指标权重的合理与否在很大程度上影响水库型水源地环境评价的正确性和科学性。本研究采用综合赋权法计算权重。即邀请相关人员对各指标进行打分,利用熵权法计算各指标或因子的权重系数。在4个案例水库研究工作中,共邀请5位当地管理人员及10位各相关领域的专家进行打分,根据打分情况,应用熵权法计算各权重系数。相应权重系数分列于各具体赋分表中。

2 水源地安全全过程评估应用

选取浙江省不同自然地理区域的4座水库作为水源地全过程评估的应用案例。4座水库的基本情况见表3。

表3 4座水库的基本情况

Tab.3 The basic information on the 4 reservoirs

水库编号	类型	区域	总库容/亿 m^3
A	丘陵河谷型	东部丘陵区	3.0
B	峡谷深水型	滨海区	1.7
C	山区河道型	南部山区	0.3
D	丘陵河谷型	中部丘陵区	2.3

2.1 水源产生过程评估

对4座水库集雨区外围25km范围内的大气污染源进行调查。调查发现,距离A水库集雨区20 km处有一小型化工厂,对其危害程度进行评价,特征污染物HCl的最大地面浓度为0.0057 mg/m^3,D_{max}为900 m,$D_{10\%}$为1 300 m,未达到水源地边界,判断该小型化工厂对A水库水源不产生危害。另3座水库未见排放大气污染物的污染源。由此,4座水库降水过程的风险皆可排除,降水过程安全。

根据当地监测部门的数据,4座水库水源地区域内,近5年无重大污染事故发生,水源地集雨区影响范围内未见生活垃圾填埋场、工业固体废弃物和危险废弃物填埋场等,集雨区范围内居民的生活垃圾定点堆放、定时收集、专人清理。集水区范围内未见工矿企业,无矿产开发的历史报告。这些数据资料表明,4座案例水库的集水区范围内无潜在重大污染威胁源。

对4座水库集雨区范围内的生态环境和人类活动进行调查,其安全评估因子具体赋分及评估结果如表4。

表4 4座水库集水过程安全评估指标的具体赋分及评估结果

Tab.4 The safety evaluation indicators in the catchment process and the corresponding evaluation results of 4 reservoirs

指标	权重系数	赋分/分			
		A水库	B水库	C水库	D水库
人口密度	0.101	40	100	100	40
农业人口比例	0.130	40	40	45.6	40
种植业化肥用量	0.140	100	100	32.9	40.3
耕地占集雨面积比	0.125	66.8	100	100	76.2
旅游规模	0.089	100	60	100	100
水土流失面积比例	0.165	100	100	100	51.4
植被覆盖率	0.154	93.4	100	100	100
人均粮食产量	0.096	88.5	84.3	76.2	46.2
合计		79.87	87.13	81.25	61.62
评估结果		良好	优秀	优秀	良好

D水库评分最低,主要表现在该水库的水源地区域内人口密度大、土地利用强度高,是控制因子;C水库分值最高,表明该水库库区人类活动及社会经济发展给水源地造成的压力较小。

2.2 蓄水过程评估

对4座水库的水环境质量及水生态状况进行调查监测,蓄水过程评估结果见表5。

2.3 综合评估结果

经过大气-降雨-集水-蓄水过程的一系列评估,各水库综合分值及最后计算结果如表6。

表5 4座水库蓄水过程安全评估因子评估结果

Tab.5 The safety evaluation indicators in the store process and the corresponding evaluation results of 4 reservoirs

因子	指标	权重	赋分/分			
			A水库	B水库	C水库	D水库
水环境质量	营养状态指数	0.382	98	94	100	80
	水质达标率	0.327	38	92	33	60
	水质综合指数	0.291	99	99	99	91
	合计		78.67	94.80	77.80	76.66
	评估结果		良	优	良	良
生物完整性	鱼类生物完整性	0.52	53	83	67	77
	浮游生物生物完整性	0.48	40	100	60	80
	合计		46.76	91.16	63.64	78.44
评估结果			一般	优秀	良好	良好

表 6　4 座水库水源地安全(绿色)评估结果

Tab. 6　The safe assessment results of 4 reservoirs

系统层	指　　标	权重	赋分/分			
			A 水库	B 水库	C 水库	D 水库
大气降雨 - 集雨过程	环境特征及人类活动	0.3	79.87	87.13	81.25	61.62
蓄水过程	水环境质量	0.4	78.67	94.80	77.80	76.66
	水生态系统状态	0.3	46.76	91.16	63.64	78.44
最终得分			69.46	91.41	74.59	72.68
综合评估结果			良好	优秀	良好	良好

3　讨论

与常规水质评估方法相比,采用全过程评估的方法能够更加全面地了解案例水库的水源地状况,识别污染风险,从而提出相应的对策措施。以案例水库为例, A 水库的问题主要在于水生态系统结构的不完整,影响系统的稳定性,因此,该水库应注意防止对水生态系统过度的干扰;而 C 水库由于人类活动干扰较小,集水过程中得分较高,但在蓄水过程中,由于水质达标率较低,生态系统完整性不够好,综合评价结果为良。这 2 个水库应密切关注日常监测,防止污染事故的发生,采取生态系统调控措施,增强水生态系统完整性和抗干扰能力。D 水库由于汇水区人类活动较频繁,水质达标率一般,生态系统也有潜在不稳定因素,最终评价结果为良,应针对性加大管理力度,减少人类活动干扰,努力提高水质达标率,并注重生态环境保护,改善水源地生态健康状况。

鉴于我国水库类型较多,本研究结果还有待于进一步在不同类型的水库型水源地评价中应用和完善,并从管理角度优化精简指标,以便更好地为水资源管理服务。

参考文献

郝友亮,马启敏,周华,等. 2011. 东昌湖水体富营养化研究[J]. 环境科学与技术, 34(10):63 - 66.

刘亚男. 2010. 我国饮用水安全的监管制度研究[D]. 北京:中国政法大学.

吕振平,董华,何锡君. 2010. 浙江省供水水库的水质评价及富营养化防治对策研究[J]. 水生态学杂志, 3(1):18 - 21.

沈强,俞建军,陈晖,等. 2012. 浮游生物生物完整性指数在浙江水源地水质评价中的应用[J]. 水生态学杂志,33(2):26 - 31.

王晓鹏,曹广超. 2007. 基于多元统计的水环境质量综合指数研究[J]. 统计与决策,239(11):4 - 6.

张晓晶,李畅游,张生,等. 2010. 内蒙古乌梁素海富营养化与环境因子的相关分析[J]. 环境科学与技术,33(7):125 - 129.

周林岩. 2011. 我国饮用水安全保障问题研究[D]. 长春:吉林大学.

朱迪,陈锋,杨志,等. 2012. 基于鱼类生物完整性指数的水源地评价[J]. 水生态学杂志, 33(2):1 - 5.

Beck, Marcus W, Hatch, Lorin K. 2009. A review of research on the development of lake indices of biotic integrity [J]. Environmental Reviews,17(1): 21 - 44.

B Maulood, A Alobaidy, A Alsaboonchi, et al. 2011. Phytoplankton Index of Biological Integrity (P-IBI) in Several Marshes, Southern IRAQ[J]. Environmental Protection, 2(4):387 - 394.

Douglas D Kane, Steven I, Gordon Mohiuddin Munawar, et al. 2009. The Planktonic Index of Biotic Integrity (P-IBI): An approach for assessing Lake Ecosystem health[J]. Ecological Indicators,1234 - 1247.

(责任编辑　张俊友)

The Establishment and Application of an Evaluation System Based on the Whole Process in Reservoir-type Drinking Water Sources in Zhejiang Province

YU Jian-jun[1], ZHENG Jin-xiu[2], CHEN Hui[1], SHEN Qiang[2], CHEN Feng[2], HU Jun[2]

(1. Water Resources Management Center of Zhejiang Province, Hangzhou 310009, P. R. China;
2. Key Laboratory of Ecological Impacts of Hydraulic-projects and Restoration of Aquatic Ecosystem, Ministry of Water Resources ; Institute of Hydroecology, Ministry of Water Resources and Chinese Academy of Science, Wuhan 430079, P. R. China)

Abstract: The domestic water evaluation research is limited to the single factor assessment based on the common water quality indicators and lacking of the integrated assessment. In this study, a whole process evaluation system was established based on the process of water circulation including environment characteristics, human activities, and water quality and hydro – ecosystem integrity. The evaluation system was applied in 4 reservoirs. The results indicated: the system can better reflect the safety situations of 4 reservoirs in the different stages and is helpful to promoting the pollution control and prevention measures. The system can be applied to the assessment of water sources and provide a technical support for the water resources management.

Key words: whole process; evaluation; reservoir; water sources