

海河流域大型水库饮用水水源地水环境安全评价及应用

王长普

(安阳水文水资源勘测局,河南 安阳 455000)

摘要:对水库型水源地水环境安全评价的理论和方法进行研究,构建了基于驱动力-压力-状态-影响-风险模型(DPSIR)的水库型水源地水环境安全评价指标体系,综合评价指标体系包括了降水、污染物入库量、水质状态指标、水质达标率以及水华爆发影响因子5个方案,11项指标。将该指标体系应用于岳城水库水环境安全评价,其结论主要有:(1)该模型的驱动力是降水带入面源污染,压力是流域输入水库的污染负荷,状态指标是TN、TP以及 COD_{Mn} 等水质参数,影响指标是水库水质达标率,风险指标则是氮磷比、水温等;(2)岳城水库4、5、6和9月处于较安全状态,但由于受地表径流污染负荷影响,在7、8月处于预警状态。将评价结果与实际水环境安全状况进行比较,吻合程度好,因此该模型可应用于海河流域大型水库饮用水水源地水环境安全评价。

关键词:水库型水源地;水环境安全;综合评价;岳城水库

中图分类号:P338.2

文献标识码:A

文章编号:1000-0852(2013)06-0063-05

1 引言

海河流域内人口密度大,人均水资源量远低于全国平均水平。近年来,随着城市化进程的加快,水资源的开发力度逐年增加,水资源供需矛盾日益突出,对社会经济可持续发展构成威胁。由于海河流域的水库大多是水源地,水库的水环境是否安全,直接影响到流域内的供水安全,尤其是饮用水安全的保障。本文旨在针对研究区内水库水环境问题,研究对水库水环境安全进行评价的方法及相应的多级评价指标体系,以反映水库综合水环境状态,为水库型饮用水水源地水环境管理提供决策依据和理论支持,保障城市饮用水安全。

2 水库型水源地水环境安全评价方法

水库水环境安全具有综合性和二元性,是自身属性水环境安全和人为型水环境安全的结合^[1]。基于水库水环境安全的概念,结合水库功能,参考集中式地表饮用水水源地安全的研究成果,提出水库水环境安全的内涵包括水量、水质和水生态安全^[2-3]。

2.1 评价指标筛选及指标体系构建

根据水环境安全评价概念模型,海河流域水库水环境安全综合评价指标体系包含降水、污染物入库量、水质状态指标、水质达标率以及水华爆发影响因子等5个方案层,11项指标(见图1)。

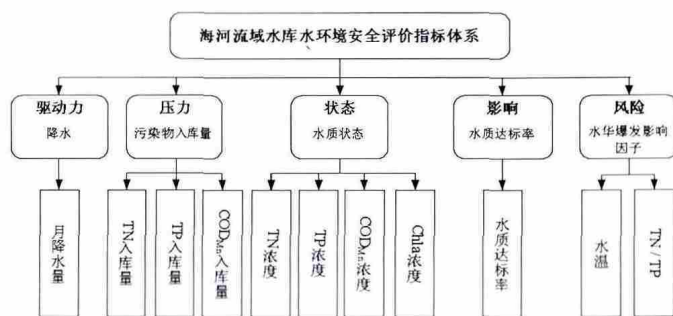


图1 海河流域水库型水源地水环境安全评价指标体系

Fig.1 The assessment indicator system of water environment safety for reservoir-type water source in the Haihe basin

2.2 水环境安全综合评价方法

由于水库水环境安全的影响因子相互作用,不能确定某单项指标的决定性作用,因此对综合评分分值宜采用加权求和得到。根据得到的权重 w_i 与 f_i 归一化数值,计算综合评分分值 P :

收稿日期:2013-04-10

作者简介:王长普(1958-),男,河南洛阳人,高级工程师,长期从事水文水资源勘测与管理。E-mail:692981369@qq.com

$$P=\sum_{i=1}^nf_iw_i \tag{1}$$

式中： w_i 表示评价指标在综合评价指标体系中的权重值，其值的大小在0~1之间； f_i 为评价指标的归一化值，其值的大小在0~1之间。

由于 $\sum_{i=1}^nw_i=1$ ，而 $f_{\max}=1$ ， $f_{\min}=0$ ，因此总评分分值 P 的值大小也在0~1之间。

2.3 水环境安全评价等级确定

水环境安全度评价分值目前并没有一个统一的关于评价标准分级的方法^[2-3]。借鉴相关安全等领域的等级划分，结合具体操作需要，海河流域水库水环境安全等级也采用均分的方法划分为五级，并按照环境安全等级由劣到优（从Ⅴ到Ⅰ），对应的预警级别分别为重警状态、中警状态、预警状态、较安全状态和安全状态（见表1）。

3 案例研究—以岳城水库为例

安阳市地处半湿润温带大陆性季风气候区，多年平均降水量573.3mm，水面蒸发量1075mm，相对湿度66%，多年平均气温13.6℃，1月平均气温-1.8℃，极端最低气温-21℃，7月平均气温26.9℃，极端最高气温41.7℃。无霜期200d，日照2338h，全市水资源总量16.4×10⁸m³。安阳市境内河流分属海河流域和黄河流域，主要河流有：洹河、洪河、淇河、汤河、露水河等，过境河流有漳河和卫河。安阳市为城市提供饮用水的地表水饮用水水源地2处，为漳河岳城水库（安阳市五水厂水源地）和浙河弓上水库（林州市水源地）。岳城水库作为海河流域重要的大型水库，同时也是安阳市地表水饮用水水源地之一，其水环境安全有着显而易见的重要性。因此，以岳城水库为例，研究其水环境安全的

表1 海河流域水库水环境安全等级划分

Table1 The safety level of water environment for the reservoirs in the Haihe basin

环境安全等级	预警级别/安全状态	对应分值	颜色表征
	安全状态/理想状态	0.0~0.2	★绿色
	较安全状态/良好状态	0.2~0.4	★蓝色
	预警状态/一般状态	0.4~0.6	★黄色
	中警状态/较差状态	0.6~0.8	★橙色
	重警状态/恶劣状态	0.8~1.0	★红色

评价方法，能够为保障海河流域饮水安全提供有力的技术支持。

3.1 岳城水库水量及安全评价

饮用水水源地水量安全状况评价主要针对水源地的水资源状况，即来水状况进行评价。岳城水库枯水年来水量保证率都为95%，水量安全评价指数均为2（见表2）。

表2 饮用水水源地安全评价指标、指数及标准

Table2 The safety assessment indicator, index and standard for drinking water source

目标	评价指标	评价指数及标准				
		1	2	3	4	5
水量	工程供水能力/%	≥95	≥90	≥80	≥70	<70
	枯水年来水量保证率/%	≥97	≥95	≥90	≥85	<85
	最小生态需水保证率/%	≥75	≥60	≥45	≥30	<15

3.2 岳城水库水质安全评价

根据《城市饮用水水源地安全状况评价技术细则》及《城市饮用水水源地安全状况评价技术细则补充内容》，确定水质指标和相应的安全标准，来评判水源地水质的安全状况。参照《地表水环境质量标准》（GB3838-2002）和《地下水质量标准》（GB/T14848-93）制定安全指数，对水质单项安全指数进行评价^[4]。湖库型水源地需要进行富营养化评价，其评价方法和标准与全国水资源综合规划有关技术细则一致。还需注意有毒有机物（POPs）等新型污染物给水库水质带来的威胁。在进行水质状况评价的基础上评判水源地水质的安全状况。根据评价体系，具体评价结果见表3。

表3 岳城水库水质安全评价

Table3 The security assessment for the water quality in the Yuecheng reservoir

	一般 污染指数	有毒类 污染指数	富营养化 指数	水质 指数	综合 评价
安全评价等级	0.75	3	3	3	类

3.3 岳城水库富营养化评价

根据《海河流域水资源公报》，采用湖泊（水库）营养状态评价标准对2001~2010年10年间岳城水库的富营养状态进行评价。岳城水库的富营养化情况为中营养-富营养状态，水库内富营养化指标主要为总氮。以2001~2010年的数据为例进行营养状态评价，评价

结果表明,其中仅 2010 年营养指数为中度营养,其余所有年份营养指数均为中营养-富营养,水库的富营养化情况不容忽视(见图 2)。

3.4 基于 DPSIR 模型的水环境安全综合评价

3.4.1 水环境安全评价样本矩阵构建

以 2008 年数据为例,对岳城水库水环境安全进行评价,没有监测或无法获得的数据,通过资料分析或采用相近年份监测数据得到。

降水量:岳城水库月降水量根据岳城雨量站实测数据统计得到。

污染物入库量:由于岳城水库污染物来源主要为入库河流携带进入的点源污染,占污染物总量的 79.8%~87.9%,因此在此次评价中,岳城水库污染物入库量采用河道入库量,利用漳河入库河流的流量及水质监测数据,计算每月的入库污染负荷。

浓度:岳城水库内共有库中心、水库入口、水库出口三个监测点,在构建样本矩阵时,取 3 个监测点的平均值;时间上,采用月平均值。

氮磷比:由总氮浓度除以总磷浓度求得。

水质达标率:根据地表水水质标准划分原则,得到岳城水库 2008 年以月为时间段的水质类别,与类水水质目标相比,确定其达标率。

对上述数据进行整理,形成以月份为序列、包括 11 项指标的 11 个样本的判断矩阵表见表 4。

3.4.2 评价指标筛选及指标归一化

根据 2001~2010 年的统计数据,岳城水库年均入库水量为 $18\times10^8\text{ m}^3$,正常蓄水水位时兴利库容为 $6.73\times10^8\text{ m}^3$,则停留时间是 0.374a,合 136.5d。根据关系式计算得到 COD_{Mn} 入库量、TN 入库量以及 TP 入库量的指标上限和下限值。 COD_{Mn} 、TN、TP 浓度根据《地表水环境质量标准》规定对应的Ⅲ类水和Ⅳ类水浓度为此三项指标的上限和下限值,最终形成的归一化指标上限值和下限值,利用极差标准化方法,形成归一化后的判断矩阵(见表 5)。

3.4.3 岳城水库水环境安全综合评价

根据本文介绍的评级指标权重确定方法,首先对第二方案层内指标利用熵权法计算各指标权重,然后再利用熵权法对第一方案层的各指标类别进行权重求解(见表 6)。

利用加权求和,得到岳城水库 2008 年各月的综合指数值,并根据安全等级划分标准,完成水环境安全评价(见表 7)。从评价结果中可以看出岳城水库整体水环境安全情况良好,4、5、6 和 9 月处于Ⅲ类较安

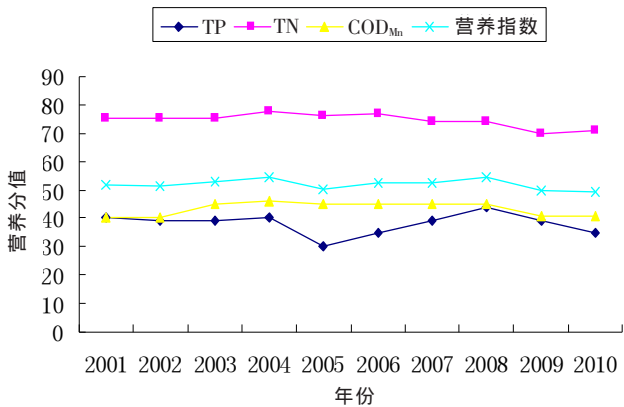


图 2 岳城水库 2001~2010 年营养状况
Fig.2 The nutritional status of the Yuecheng reservoir
from 2001 to 2010

表4 样本判断矩阵
Table4 The sample judgement matrix

时间	降水量 /mm	TN 入库 /t	TP 入库 /t	COD_{Mn} 入库 /t	TN 浓度 /mg.L ⁻¹	TP 浓度 /mg.L ⁻¹	COD 浓度 /mg.L ⁻¹	水质达标率	水温 /℃	氮磷比
2 月	11.00	26.76	0.07	15.19	3.7	0.01	2.10	达标	2.00	370.00
3 月	10.20	28.24	0.33	15.00	4.33	0.05	2.30	达标	3.00	86.60
4 月	9.20	167.53	0.97	106.22	3.47	0.02	2.20	达标	9.00	173.50
5 月	68.10	209.90	1.01	130.88	4.17	0.02	2.60	达标	18.00	208.50
6 月	72.00	235.83	1.02	148.03	4.62	0.02	2.90	达标	24.90	277.20
7 月	118.20	239.67	1.68	217.88	2.86	0.02	2.60	达标	26.70	171.60
8 月	115.20	240.93	2.45	204.18	2.95	0.03	2.50	达标	29.00	88.50
9 月	78.20	165.21	0.55	144.15	2.98	0.01	2.60	达标	25.70	223.50
10 月	2.00	2.78	0.04	3.40	1.96	0.03	2.40	达标	20.00	65.30
11 月	2.70	5.70	0.04	2.10	2.98	0.02	1.10	达标	16.00	149.00
12 月	0.00	0.00	0.00	0.00	2.21	0.01	1.90	达标	8.50	221.00

表5 归一化判断矩阵
Table5 The normalization judgement matrix

第一层指标	驱动力		压力			状态		影响	风险	
第二层指标	降水量 /mm	TN 入库 /t	TP 入库 /t	COD _{mn} 入库 /t	TN 浓度 /mg.L ⁻¹	TP 浓度 /mg.L ⁻¹	COD 浓度 /mg.L ⁻¹	水质达 标率	水温 /℃	氮磷比
2 月	0.09	0.11	0.00	0.00	1.00	0.00	0.01	0.00	0.15	0.02
3 月	0.08	0.11	0.00	0.00	1.00	0.20	0.02	0.00	0.22	0.08
4 月	0.58	1.00	0.02	0.00	1.00	0.05	0.01	0.00	0.53	0.04
5 月	0.60	1.00	0.03	0.00	1.00	0.05	0.04	0.00	0.94	0.03
6 月	0.61	1.00	0.03	0.02	1.00	0.03	0.06	0.00	1.00	0.03
7 月	1.00	1.00	0.08	0.09	1.00	0.03	0.04	0.00	1.00	0.04
8 月	0.97	1.00	0.14	0.08	1.00	0.12	0.03	0.00	1.00	0.08
9 月	0.66	1.00	0.00	0.02	1.00	0.02	0.04	0.00	1.00	0.03
10 月	0.02	0.00	0.00	0.00	0.98	0.10	0.03	0.00	0.91	0.11
11 月	0.02	0.00	0.00	0.00	1.00	0.05	0.00	0.00	0.78	0.05
12 月	0.00	0.00	0.00	0.00	1.00	0.00	0.00	0.00	0.42	0.03

表6 指标权重
Table6 The index weight for indicators

第一层指标	驱动力		压力			状态		影响	风险	
权重	0.1961		0.1986			0.2106		0.1860	0.2086	
第二层指标	降水量 /mm	TN 入库 /t	TP 入库 /t	COD _{mn} 入库 /t	TN 浓度 /mg.L ⁻¹	TP 浓度 /mg.L ⁻¹	COD 浓度 /mg.L ⁻¹	水质达 标率	水温 /℃	氮磷比
权重	1.0	0.3363	0.3362	0.3274	0.3648	0.3144	0.3208	1.0	0.4648	0.5352

表7 评价结果
Table7 The result of assessment

时间	2 月	3 月	4 月	5 月	6 月	7 月	8 月	9 月	10 月	11 月	12 月
综合指数 安全等级	0.12 I	0.14 I	0.32 II	0.36 II	0.37 II	0.46	0.46	0.38 II	0.19 I	0.17 I	0.12 I
颜色表征	★	★	★	★	★	★	★	★	★	★	★

全状态,表征水库水环境较少受到破坏,功能尚好,对人体健康与正常的生活影响较小。但在 7、8 月,由于受大量污染物排入影响,水质指标恶化,总磷浓度超过水质目标,由于营养盐充足,且自然条件适宜藻类生长,致使这两个月处于 Ⅱ类预警状态,表征水库水环境受到一定破坏,水环境质量出现恶化,对人体健康与正常生活产生一定的影响。在冬季,由于污染物

入库量较小,营养盐浓度相对较低,自然条件不适宜藻类生长,因此评价结果显示水库处于安全状态,水库水环境良好。

4 结 论

在水库型饮用水水源地水环境安全评价方法与模型研究相结合的基础上,构建水库型饮用水水源地

水环境安全评价指标体系,计算水环境安全综合指数,丰富了水库型水环境安全评价的方法和内容。将所建立的方法应用于岳城水库水源地水环境安全评价,其结论为:

(1) 在对安阳市饮用水水源地水环境问题诊断的基础上,对流域内水库的水质及富营养化特征进行了统计分析,并从自然原因、人为原因等方面分析了水库富营养化程度较高的原因,水源地保护区人为干扰大、污染负荷高等原因是造成水库水环境安全问题的主要影响因子,主要污染物是氮磷等营养盐,主要污染源为化肥使用,确定了安阳市饮用水水库型水源地水环境安全评价的驱动力是降水带入面源污染,压力是流域输入水库的污染负荷,状态指标是TN、TP以及 COD_{Mn} 等水质参数,影响及风险指标则分别是对应水库水质达标率、富营养化风险确定的氮磷比、水温等指标。

(2) 应用水库水环境安全评价模型对岳城水库进行了实例研究,结果表明岳城水库目前4、5、6、9月处

于Ⅲ类环境安全等级(综合指数为0.32~0.38),即较安全状态;但由于岳城水库受地表径流的污染负荷影响,在7、8月其水环境安全的综合指数将会上升(0.46),安全等级下降进入预警状态。

参考文献:

- [1] 曾畅云,李贵宝,傅桦.水环境安全的研究进展[J].水利发展研究,2004,4(4):20-22.(ZENG Changyun, LI Guibao, FU Hua. Water environment safety [J]. Water Conservancy Development Research, 2004,4(4):20-22. (in Chinese))
- [2] 左伟,周慧珍,王桥.区域生态安全评价指标体系选取的概念框架研究[J].土壤,2003(1):2-7.(ZUO Wei, ZHOU Huizhen, WANG Qiao. Regional ecological security evaluation index system selected conceptual framework in soils [J]. Soil, 2003(1):2-7. (in Chinese))
- [3] 史德明,梁音.我国脆弱生态环境的评估与保护[J].水土保持学报,2002,16(1):6-10.(SHI Deming, LIANG Yin. China's fragile ecological environment evaluation and protection [J]. Journal of Soil and Water Conservation, 2002,16(1):6-10. (in Chinese))
- [4] 蔡慧慧,宋瑞鹏.河南省城市饮用水水源地安全状况评估[J].人民黄河,2012,34(10):59-65.(CAI Huihui, SONG Ruipeng. Henan province city water drinking water safety assessment [J]. People's Yellow River, 2012,34(10):59-65. (in Chinese))

Water Environment Security Assessment of Drinking Water Source Reservoirs in Haihe River Basin and Its Application

WANG Changpu

(Anyang Bureau of Hydrology and Water Resource Survey, Anyang 455000 China)

Abstract: In this paper, we studied the assessment method of water environment security for water source reservoir, constructed the indicator system of water environment safety evaluation for drinking water source reservoir based on the driving force-pressure-status-impact-risk model (DPSIR), and the indicator system of integrated assessment contained 5 program levels and 11 indicators. Then, we applied the model to assess the water environment security of the Yuecheng Reservoir. The results show that, (1) the driving force is the precipitation, the pressure is the pollution load of entering quantity, the status is the water quality parameters, such as TN, TP, and COD_{Mn} , the impact is the water qualification rate, and the risk is the N/P and water temperature which decided by eutrophic risk; (2) The Yuecheng Reservoir in April, May, June, and September is in security (the range of integrated index is 0.32-0.38); but due to the impact of pollution load caused by direct surface runoff, the integrated index is increased in July and August, the security level enter into early warning status. The assessment result is in accordance with the actual water environment security status, so the model can be applied in large drinking water source reservoirs on the Haihe River Basin.

Key words: water source reservoir; water environment security; integrated assessment; Yuecheng Reservoir