城市供水安全评价指标体系初探

杨铭威[1],石亚东[2],盛 东[1],朱信华[1]

(1.河海大学水文水资源学院,江苏 南京 210098;2.太湖流域管理局水文水资源监测局,江苏 无锡 214024)

摘要:通过对影响城市供水安全的水源地水量、水源地水质、水源地工程、城市供输水以及管理等因素进行分析,建立了城市供水安全综合评价指标体系以及可操作性的评价模型,并以嘉兴市为例,对 2005 年嘉兴市的城市供水安全状况进行评价。评价结果表明,2005 年嘉兴市城市供水安全状况为不太安全。

关键词:城市供水;安全评价;评价指标体系;嘉兴市

中图分类号:X824 **文献标识码**:A **文章编号**:1003-9511(2009)06-0032-04

水是生命的源泉,也是一个城市的生命线,是城镇居民赖以生存及维持城市正常运转的基本保障。随着我国国民经济的发展,城市化的进程加速,城市人口膨胀、产业集中,社会经济活动强度增大,对水环境和水资源产生重大影响,造成城市供水能力不足。目前,我国 600 多个城市中缺水城市达 400 多个,其中严重缺水的城市有 130 多个[1]。

目前,国内外关于城市供水安全的概念比较模糊,一般认为,城市供水安全是指城市供水系统能够适应经济、社会发展的需要,充分保证城市居民有水量充足、水质合格的供水水源,同时必须满足用户对水量、水质和水压的要求[2]。城市供水安全应做到具备足够的取水、净水设施能力和合理的城市供水设施,具备科学合理的供水管理体系和运行机制,具备科学的城市供水安全应急预案,力求在运行过程中安全、可靠、经济合理。城市是一个地区的政治、经济、文化、物流和信息中心,确保城市的供水安全是城市公共安全的重要内容之一[3],是关系到人民健康、社会稳定、经济发展和构建社会主义和谐社会的大事。

我国城市缺水是一个毫无争议的事实,然而城市缺水不只是水源地水质不合格和水量不足问题,还存在其他方面的问题。据有关资料分析[4],我国城市供水中主要存在水源不足、水污染不断加剧、水源单一、供水设施老化失修、供水水质与新的自来水水质标准不相适应、缺乏应急供水能力等问题,因此有必要对影响城市供水安全的相关问题进行全面的分析评价,找出城市当前存在影响供水安全的主要问题,并提出合理的应对措施。

1 城市供水安全评价指标体系

1.1 城市供水系统

城市供水系统是一个庞大且复杂的系统,主要有以下几个环节:首先,水资源通过流域集水或跨流域调水到达饮用水水源地;其次,通过在饮用水水源地取水口建立取水建筑物,利用水泵将水引入城市的水处理厂;第三,水处理厂采用一系列的水处理工艺对原水进行处理,处理后的水将达到城市供水水质的要求;第四,将达到饮用水水质标准的水通过城市的供水管网输送到达水龙头,供用水户使用。

从城市供水的整个流程来看,饮用水水源地的总体状况以及水厂的处理工艺是整个城市供水安全保障过程的关键环节,水源地水量水质保障是安全供水的前提,可靠的水源是安全供水的保证[5]。

1.2 城市供水安全评价指标体系建立的原则

城市供水安全,需要全面、准确地做出评价,这就需要建立一个简单、全面的城市供水安全评价指标体系。选定城市供水安全评价指标体系的主要原则如下:

a. 科学性原则。立足于现有的基础和条件,科学、客观地反映不同地区、不同资源条件下的城市供水状况[6],用科学的理论定义指标的概念和计算方法。

b. 全局性原则。指标体系需要覆盖城市供水

作者简介:杨铭威(1983—),男,湖南益阳人,硕士,主要从事水文水资源及水环境研究。

过程中的每个环节，能综合反映城市供水的总体发展水平，而且指标是最必要的、具有代表性的、关键性的。

c. 可比性原则。指标尽可能采用通用的名称、概念和计算方法，同时考虑不同地区和发展等因素，做到指标在不同城市之间的可比性，避免指标的重叠。

d. 定量和定性相结合原则。指标体系尽可能选择可以量化的指标，难以量化的重要指标可以采用定性描述指标，以定量为主，定性为辅，两者相互结合。

e. 可操作性原则。设置指标体系时，要考虑资料的来源和现实可能性，尽量采用易于获取数据的指标，提高指标体系在实际工作中应用的可操作性。

1.3 城市供水安全评价指标体系的建立

城市供水安全评价指标体系由 3 个层次构成，分别为目标层、准则层和指标层。目标层为城市供水安全目标，准则层包括 6 个子目标，指标层共有 9 个具体指标，如图 1 所示。

1.3.1 目标层（A）

综合评价城市的供水安全状况，找出城市当前影响供水安全的主要问题，为决策者提供解决城市供水安全问题的决策依据。

1.3.2 准则层（B）

a. 水源地水量状况（B_1）。水源地水量状况反映水源地来水量的变化情况，用来判断是否有足够的水量满足工程的取水。

b. 水源地水质状况（B_2）。水源地水质状况反映水源地水质的情况，用来判断是否达到水源地取水水质的要求。

c. 水源地工程状况（B_3）。水源地工程状况是反映水源地工程取水能力的指标。

d. 城市供输水状况（B_4）。城市供输水状况包括城市供水的生产、输送和使用环节，笔者分别从城市供水的生产、输送、使用和效率等方面选取指标。

e. 城市用水状况（B_5）。城市用水状况反映城市居民的生活用水情况。

f. 城市供水管理状况（B_6）。城市供水管理状况反映城市供水管理方面的情况。

1.3.3 指标层（C）

a. 水源地水质指数（C_1）。水源地水质指数反映水源地的水质是否符合水源地取水水质的要求，地表水和地下水的水质类别分别按照国家标准 GB 3838—2002《地表水水环境质量标准》和 GB/T 14848—9《地下水质量标准》中规定的评价标准确定。

b. 枯水年来水量保证率（C_2）。地表水水源地采用枯水年来水量保证率作为水量指标。河道和枯水年来水量保证率为现状水平年枯水流量与设计枯水流量的比值 湖库的枯水年来水量保证率为现状水平年枯水年来水量与设计枯水年来水量的比值。

c. 水源地工程供水能力（C_3）。水源地工程供水能力是指现状综合生活供水量与设计综合生活供水量的比率。该指标用来反映取水工程的运行状况。

d. 供水水质综合合格率（C_4）。根据 CJ-T206—2005《城市供水水质标准》，供水水质综合合格率是指水样（包括出厂水和管网水）中 42 个检验项目的加权平均合格率。

e. 管网漏损率（C_5）。管网漏损率指管网漏水量与供水总量之比。城市供水的生产、输送和使用存在一个效率问题，选择管网漏损率作为体现城市供水效率的指标之一。

f. 自来水普及率（C_6）。自来水普及率指城市用水的非农业人口数（不包括临时人口和流动人口）与城市非农业人口总数之比，是反映城市供水输送能力的指标之一。

g. 人均日生活用水量（C_7）。生活用水量包括

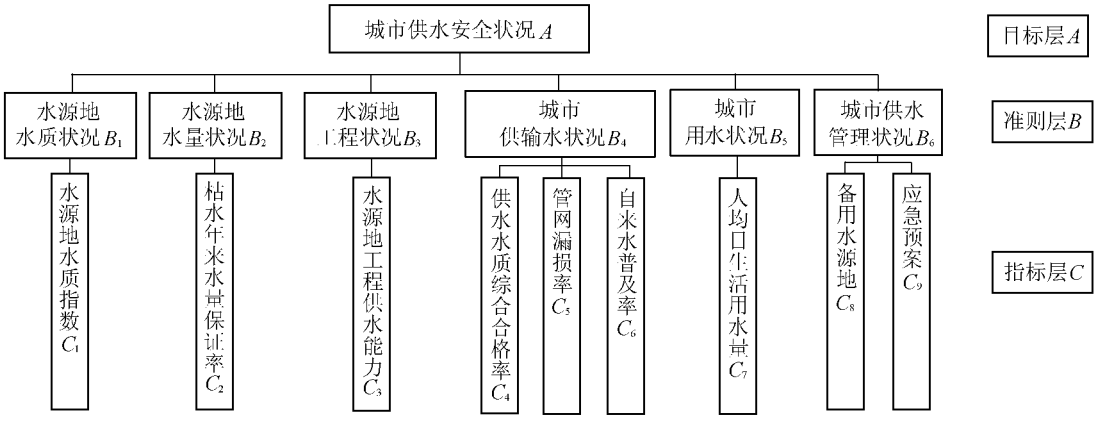

图 1 城市供水安全评价指标体系

公共服务用水量和居民家庭用水量,人均日生活用水量指每人每日平均生活用水量,反映城市用水状况。

h. 备用水源地(C_8)。备用水源地是各大中城市在遭遇特枯年或连续干旱年以及突发污染事故情况下,为保障供水安全建立的储备水源,采取定性描述。

i. 应急预案(C_9)。应急预案指面对突发性水污染事件或其他安全事故的应急管理、指挥、救援计划等,采取定性描述。

2 评价模型

城市供水安全评价以安全指数 1,2,3,4,5 五级表达,其中 1,2 级表示安全,3 级表示基本安全,4,5 级表示不安全。

考虑综合评价的可操作性,采用模糊评判法进行综合评价,计算公式为

$$P = \omega R = \omega \sum_{k=1}^{m} (\gamma_k E_k) \qquad (1)$$

式中:P 为城市供水安全模糊综合评价结果,反映城市供水安全状况;ω 为主体评价指标(准则层)的权重;R 为模糊矩阵;E_k 为评价指标(指标层)的隶属度函数;γ_k 为评价指标(指标层)的权重。

3 实例应用

本文以嘉兴市为例,应用建立的城市供水安全评价指标体系和评价模型,评价 2005 年嘉兴市的城市供水安全状况。嘉兴市城市供水评价基本情况如下 水源地水质类别为 4.5(水源地水质基本处于Ⅳ~劣Ⅴ类),枯水年来水量保证率为 93%,水源地工程供水能力为 85%,供水水质综合合格率为 96%,管网漏损率为 14.7%,用水普及率为 99.9%,居民生活用水量为 135 L/(人·d),管理体制得分为 4.2 分(满分为 5 分),应急预案得分为 2.8 分(满分为 5 分)。

3.1 权重的确定

在综合评价计算中,权重的确定非常重要,它关系到评价结果能否真实反映城市供水安全评价状况。笔者采用层次分析法确定权重,根据层次分析法得出准则层和指标层的权重如表 1 所示。

表 1 准则层和指标层权重

层 次	指 标	权 重
准则层	水源地水质	0.3806
	水源地水量	0.2515
	水源地工程	0.1009
	城市供输水	0.0425
	城市用水	0.0643
	城市供水管理	0.1602
指标层	水源地水质类别	1
	枯水年来水保障率	1
	水源地工程供水能力	1
	供水水质综合合格率	0.5396
	管网漏损率	0.2970
	用水普及率	0.1634
	人均日生活用水量	1
	管理体制	0.8750
	应急预案	0.1250

3.2 评价标准

城市供水安全评价指标评价标准是将每个指标分为 5 个等级,从 1 级到 5 级依次递减,其中 1,2,3,4 和 5 分别代表最优、良好、中等、较差和最差,各指标分别有相应的特征值与对应的等级,由此组成各指标的评价标准。根据城市供水安全评价指标体系研究成果并参照国家标准值、国家相关部门的规划值以及专家学者的研究成果,最终形成嘉兴市供水安全评价指标体系评价标准,见表 2。

3.2 隶属度的确定

隶属度函数是综合评价的应用基础,正确构造隶属度函数对于综合评价结果具有重要的作用。根据确定的评价标准,采用三角形隶属函数法确定各评价指标的隶属度函数,如供水管网漏损率的 5 个隶属函数为

$$\mu_1 = \begin{cases} 1 & (x < 10) \\ -(x-12)/2 & (10 \leqslant x \leqslant 12) \\ 0 & (x > 12) \end{cases} \qquad (2)$$

$$\mu_2 = \begin{cases} 0 & (x < 10) \\ (x-10)/2 & (10 \leqslant x < 12) \\ -(x-14)/2 & (12 \leqslant x \leqslant 14) \\ 0 & (x > 14) \end{cases} \qquad (3)$$

表 2 嘉兴市供水安全评价指标体系评价标准

标准等级	水质类别	枯水年来水量保证率/%	工程供水能力/%	供水水质合格率/%	管网漏损率/%	用水普及率/%	居民生活用水量/(L·人$^{-1}$·d^{-1})	管理体制得分	应急预案得分
1 级	Ⅰ	≥97	≥95	100	≤10	≥95	≥200	1	1
2 级	Ⅱ	≥95	≥90	≥97	≤12	≥92	≥160	2	2
3 级	Ⅲ	≥90	≥80	≥95	≤14	≥90	≥120	3	3
4 级	Ⅳ	≥85	≥70	≥93	≤17	≥88	≥80	4	4
5 级	Ⅴ	≥80	≥65	≥90	≤20	≥85	≥60	5	5

注 水质类别指标根据 GB3838—2002《地表水环境质量标准》确定。

$$\mu_3 = \begin{cases} 0 & (x < 12) \\ (x-12)/2 & (12 \leqslant x < 14) \\ -(x-17)/3 & (14 \leqslant x \leqslant 17) \\ 0 & (x > 17) \end{cases} \quad (4)$$

$$\mu_4 = \begin{cases} 0 & (x < 14) \\ (x-14)/3 & (14 \leqslant x < 17) \\ -(x-20)/3 & (17 \leqslant x \leqslant 20) \\ 0 & (x > 20) \end{cases} \quad (5)$$

$$\mu_5 = \begin{cases} 0 & (x < 17) \\ (x-17)/3 & (17 \leqslant x \leqslant 20) \\ 1 & (x > 20) \end{cases} \quad (6)$$

其他评价指标的隶属函数同理可得。

3.3 综合评价结果

根据前面确定的评价指标权重、隶属度函数和嘉兴市 2005 年城市供水基本情况，可得到准则层的权重向量为

$$\boldsymbol{\omega} = [0.380\quad 6\ 0.251\ 5\quad 0.160\ 2\quad 0.042\ 5\quad 0.064\ 3\quad 0.100\ 9]$$

模糊矩阵为

$$\boldsymbol{R} = \begin{bmatrix} 0 & 0 & 0 & 0.5 & 0.5 \\ 0 & 0.6 & 0.4 & 0 & 0 \\ 0 & 0.5 & 0.5 & 0 & 0 \\ 0.163\ 4 & 0.269\ 8 & 0.4975 & 0.069\ 3 & 0 \\ 0 & 0.037\ 5 & 0.062\ 5 & 0 & 0 \\ 0 & 0.025 & 0.1 & 0.7 & 0.175 \end{bmatrix}$$

应用模糊综合评价模型，可得到嘉兴市 2005 年城市供水安全评价模糊评价结果为

$$\boldsymbol{P} = \boldsymbol{\omega R} = [0.006\ 94\quad 0.240\ 93\quad 0.228\ 40\quad 0.305\ 39\quad 0.218\ 34]$$

由评价结果可知，嘉兴市 2005 年城市供水隶属于总体安全的程度为 47.63%，隶属于总体不安全的程度为 52.37%，总的来说，2005 年嘉兴市城市供水安全状况为“不太安全”。

4 结 语

城市供水是城市生存与发展的基本物质条件之一，随着社会对城市饮水安全关注度的提高和国家饮用水质量标准日趋严格和完善[7]，单纯考虑水质、水量是否安全的评价体系已不能全面反映城市供水安全状况。做好城市供水安全工作需要全面把握住供水安全的各个环节，建立水源安全保障体系、城市供水水质保障体系、城市供水设施保障体系、供水安全预警保障体系和服务创新体系，加强对城市供水现代化水平、经营和管理水平的建设。同时，应将节约用水作为一项长期的全社会的工作，增强企业和居民的节水意识，努力建设节水型社会。

参考文献：

[1] 宋全香，左其亭，杨峰. 城市化建设带来的水问题及解决措施[J]. 水资源工程学报，2004，15(1)：56-58.

[2] 施春红，胡波. 城市供水安全综合评价探讨[J]. 资源科学，2007，29(3)：81-85.

[3] 秦秋莉，陈景艳. 我国城市供水安全状况分析及保障对策研究[J]. 水利经济，2001，19(5)：27-31.

[4] 王浩. 中国水资源与可持续发展[M]. 北京：科学出版社，2007：572-573.

[5] 衣强. 集中式地表饮用水水源地安全评价方法研究[D]. 北京：中国水利水电科学研究院，2007.

[6] 傅春，杨志峰，刘昌明. 水利现代化的内涵及评价指标体系的建立[J]. 水科学进展，2002，13(4)：502-506.

[7] 王丽红，王开章. 城市饮用水水源地安全评价体系研究[C]//中国可持续发展研究会. 2007 中国可持续发展论坛暨中国可持续发展学术年会论文集(3). 广州：中山大学，2007.

（收稿日期：2009-01-10　编辑：张志琴）

《水利水电科技进展》征订启事

（邮发代号：28-244，CN32-1439/TV，ISSN1006-7647，双月刊，A4 开本）

《水利水电科技进展》由河海大学主办，是全国中文核心期刊，中国科技核心期刊，全国水利系统优秀期刊，华东地区优秀期刊，江苏省优秀期刊。主要刊登水科学、水工程、水资源、水环境、水管理方面的科技论文，主要栏目有水问题论坛、研究探讨、工程技术、水管理、专题综述、国外动态等，适合与水利、水电、水科学、水工程、水资源、水环境有关的科研、工程、管理人员以及大专院校师生阅读。

本刊由邮局发行，邮发代号：28-244，2010 年每期定价 10 元，全年 6 期共计 60 元。可在全国各地邮局订阅，也可直接向编辑部订阅。

编辑部地址：南京市西康路 1 号　《水利水电科技进展》编辑部

邮政编码：210098　　电话/传真：025-83786335　　E-mail：jz@hhu.edu.cn，jz1981@vip.163.com

网址：http://kkb.hhu.edu.cn/jz/index_jz.htm