

# VB 和 MATLAB 混合编程实现层次分析法 在湘潭市供水安全评估中的快速应用

胡清<sup>1</sup> 林斯杰<sup>1</sup> 张鹤清<sup>1</sup> 蒋华<sup>2</sup>

(1 中节能大地环境修复有限公司, 北京 100082; 2 湘潭市中环水务有限公司, 湖南湘潭 411000)

**摘要:** 由于湘潭市城市供水系统的复杂性和不确定性, 如何对该系统进行快速评估并指导安全生产一直是当地水务公司关注的重点。通过采用层次分析法确定各个指标的权重, 在指标选取和赋权计算构造判断矩阵时采用专家咨询结合一线水厂生产经验进行调整, 并选取多级模糊综合评价法对子系统和整个系统的安全性进行评价。数据处理过程采用 VB 和 MATLAB 混合编程的方法, 开发出一套具有自主知识产权的评估软件, 并对湘潭市的供水水源, 净水处理设施、供水管网、水质监测技术手段和事故应急处理机制进行安全评估, 确保湘潭市的供水安全。

**关键词:** 层次分析法 供水安全评估 混合编程

## 1. 概述

近年来, 位处湘江下游的湘潭市频频发生水污染事件和面临缺水的危机。目前湘潭市当地水资源量相对缺乏, 供水能力不足, 遇到稍大旱情或上游紧急污染事故等情况, 易出现局部地区缺水。随着湘潭市社会经济的快速发展和人民生活水平的不断提高, 各方面的需水量将会不断增加, 供水安全的形势将更加严峻。如何能够准确而科学地对湘潭市的供水安全状况提供快速评估成为湘潭市供水企业面临的关键问题。

## 2. 供水安全评价等级和指标

湘潭市供水安全状况的指标体系由三个层次<sup>[1]</sup>构成, 分别为目标层、准则层和指标层。目标层为单一目标 (A)——评价湘潭市供水安全状况; 准则层 (B) 包括 5 个供水安全指数; 指标层 (C) 则将准则层 B 细化为 16 个指标。同时, 湘潭市供水安全被划分为四个等级, 根据其安全程度从高到低依次为: 非常安全、安全、基本安全、不安全、极不安全, 具体标准见表 1。

## 3. 数据处理及软件开发

### 3.1 数据来源

历年数据主要通过水厂生产记录、文献资料收集、专家咨询、水资源公报、统计年鉴等途径来进行数据的收集。以下以 2011 年数据 (表 2) 为例, 举例计算和讨论湘潭市城市供水安全状况。

### 3.2 评价指标权重的确定

通过采用层次分析法<sup>[4][5][6]</sup>给指标判断矩阵赋值,

从而替代人工打分的方法来保证指标权重值的准确度。应用层次分析法确定指标权重的具体步骤如下。

### 3.2.1 建立层次结构模型

该体系由三个层次构成, 分别为目标层、准则层和指标层。目标层为单一目标 (A)——城市供水安全水平; 准则层 (B) 包括 5 个城市供水安全指数: 区域水资源条件、水源地安全、管网安全、用水效率、管理安全; 指标层 (C) 包括人均水资源量、水资源开发利用等 16 个指标。

### 3.2.2 构造两两比较判断矩阵

建立层次结构模型后, 上下层次之间元素的隶属关系就被确定了。相对于上一层目标, 根据表 3 各准则及指标的相对重要性比较得到各个判断矩阵。

表 3 判断矩阵标度及含义

标度	含义
1	表示两个因素相比, 具有同样重要性
3	表示两个因素相比, 一个因素比另一个因素稍微重要
5	表示两个因素相比, 一个因素比另一个因素明显重要
7	表示两个因素相比, 一个因素比另一个因素强烈重要
9	表示两个因素相比, 一个因素比另一个因素极端重要
2, 4, 6, 8	上述两相邻判断的中间值
倒数	因素 i 与 j 比较得 $a_{ij}$ , 则因素 j 与 i 比较得判断 $a_{ji} = 1 / a_{ij}$



表 1 城市供水安全评价指标及标准<sup>[2][3]</sup>

目标层	准则层	指标层	非常安全	安全	基本安全	不安全	极不安全
A 城市供水安全	B <sub>1</sub> 区域水资源条件	C <sub>1</sub> 人均水资源量 (m <sup>3</sup> /人)	≥ 3000	2000-3000	1000-2000	500-1000	<500
		C <sub>2</sub> 水资源开发利用率 (%)	≤ 20	20-40	40-60	60-80	>80
		C <sub>3</sub> 客水量占总水量的比例 (%)	≤ 20	20-40	40-60	60-80	>80
		C <sub>4</sub> 水功能区水质达标率 (%)	≥ 90	70-90	50-70	30-50	< 30
	B <sub>2</sub> 水源地安全	C <sub>5</sub> 水源地水质达标率 (%)	≥ 99	96-99	93-96	90-93	< 90
		C <sub>6</sub> 工业废水达标排放率 (%)	≥ 99	96-99	93-96	90-93	< 90
		C <sub>7</sub> 城市生活污水处理率 (%)	≥ 80	60-80	40-60	20-40	< 20
	B <sub>3</sub> 管网安全	C <sub>8</sub> 管网压力合格率 (%)	≥ 99	96-99	93-96	90-93	< 90
		C <sub>9</sub> 管网水质综合合格率 (%)	≥ 99	96-99	93-96	90-93	< 90
		C <sub>10</sub> 二次供水合格率 (%)	≥ 99	96-99	93-96	90-93	< 90
		C <sub>11</sub> 漏损率 (%)	≤ 10	10-12	12-14	14-16	> 16
	B <sub>4</sub> 用水效率	C <sub>12</sub> 人均生活用水量 (L/人·d)	≤ 180	180-210	210-240	240-270	> 270
		C <sub>13</sub> 万元工业产值取水量 (m <sup>3</sup> /万元)	≤ 20	20-40	40-60	40-80	> 80
		C <sub>14</sub> 污水处理回用率 (%)	≥ 20	15-20	10-15	5-10	< 5
	B <sub>5</sub> 管理安全	C <sub>15</sub> 用水普及率 (%)	≥ 95	85-95	75-85	65-75	< 65
		C <sub>16</sub> 地下水开采率	≤ 15	15-20	20-25	25-30	> 30

表 2 湘潭市 2011 年城市供水安全基本资料

序号	指标名称	数据来源	数据
1	人均水资源量 (m <sup>3</sup> /人)	中国统计年鉴 2011	1711.9
2	水资源开发利用率 (%)	2011 年湖南水资源公报	51.7
3	客水量占总水量的比例 (%)	湖南省“十二五”水资源综合利用研究	21
4	水功能区水质达标率 (%)	湖南水文关于中央 1 号文件、省委 1 号文件宣讲材料, 2011 年	75
5	水源地水质达标率 (%)	2011 年湖南省环境状况公报, 湘潭市中环水务公司	90
6	上游工业废水达标排放率 (%)	株洲市节水型社会建设试点工作报告, 2011 年	93.61
7	上游城市生活污水处理率 (%)	株洲市节水型社会建设试点工作报告, 2011 年	83.5
8	管网压力合格率 (%)	湘潭中环水务有限公司	100
9	管网水质综合合格率 (%)	湘潭市城区集中式供水与二次供水水质卫生状况分析	91.98 (2010)
10	二次供水合格率 (%)	湘潭市城区集中式供水与二次供水水质卫生状况分析	73.44 (2010)
11	漏损率 (%)	湘潭中环水务有限公司	34
12	人均生活用水量 (m <sup>3</sup> /人)	2011 中国统计年鉴	171.51
13	万元工业产值取水量 (m <sup>3</sup> /万元)	2011 年湖南水资源公报	133
14	污水处理回用率 (%)	湘江流域科学发展总体规划	84
15	用水普及率 (%)	湘潭市智能交通管理系统介绍	96.89 (2007)
16	地下水开采率 (%)	湖南省水资源及开发概况, 湘潭中环水务有限公司	14.82

• 输配水技术与设备 •

A-B 判断矩阵即目标层 ( 第一层 ) 与准则层 ( 第二层的判断矩阵 )。在城市供水安全评价中, 水源地安全对城市供水安全最重要, 是城市供水安全的基础, 其次是管网安全, 具体的结果见表 4。

表 4 A-B 判断矩阵

A-B	区域水资源条件	水源地安全	管网安全	用水效率	管理安全
区域水资源条件	1	1/3	1/2	3	2
水源地安全	3	1	2	5	4
管网安全	2	1/2	1	4	3
用水效率	1/3	1/5	1/4	1	1/2
管理安全	1/2	1/4	1/3	2	1

在区域水资源条件中, 客水量占总水量的比例对区域水资源条件的重要性较大, 结果见表 5。

表 5 B<sub>1</sub>-C<sub>1</sub> 判断矩阵

B <sub>1</sub> -C <sub>1</sub>	人均水资源量	水资源开发利用	客水量占总水量的比例	水功能区水质达标率
人均水资源量	1	1	1/2	1/3
水资源开发利用	1	1	1/2	1/3
客水量占总水量的比例	2	2	1	2
水功能区水质达标率	3	3	1/2	1

类似的, 分别将各准则层和指标层的相对关系用矩阵表示并输入到数据文件中保存。

3.2.3 层次单排序

根据判断矩阵, 求出最大特征根对应的特征向量, 该特征向量即为各评价因素重要性排序, 即权值。权值的计算和排序均由软件完成。软件的核心部分采用 MATLAB 编制成动态链接文件, 再由 VB 编写的前台程序调用。程序界面如下图。

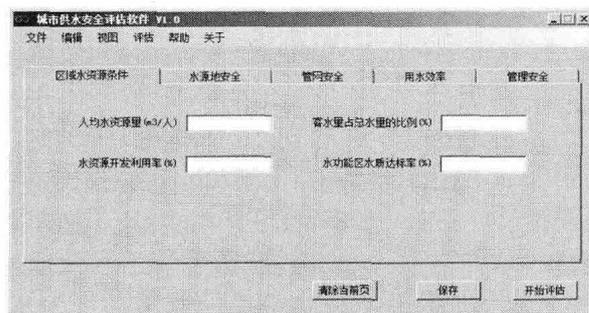


图 1 城市供水安全评估软件界面

3.3 隶属度函数编写

对于三区间的指标, 采用三角形隶属度函数来确定各指标的隶属度函数。为消除相邻等级跃变引起的不合理现象, 将每个等级区间的中点作为分界点, 当指标进入区间的中点时, 该指标对该等级的隶属度为 1, 进入相邻区间中点时, 对该等级的隶属度为 0。隶属度函数用 MATLAB 编写, 计算结果记录见表 6。

表 6 各指标的隶属度值

序号	准则	指标	隶属度值				
			u1	u2	u3	u4	u5
1	B <sub>1</sub> 区域水资源条件	C <sub>1</sub> 人均水资源量 (m <sup>3</sup> /人)	0	0.212	0.788	0	0
2		C <sub>2</sub> 水资源开发利用 (%)	0	0.915	0.085	0	0
3		C <sub>3</sub> 客水量占总水量的比例 (%)	0.45	0.55	0	0	0
4		C <sub>4</sub> 水功能区水质达标率 (%)	0	0.75	0.25	0	0
5	B <sub>2</sub> 水源地安全	C <sub>5</sub> 水源地水质达标率 (%)	0	0	0	0.968	0.032
6		C <sub>6</sub> 工业废水达标排放率 (%)	0	0	0.703	0.297	0
7		C <sub>7</sub> 城市生活污水处理率 (%)	0.675	0.325	0	0	0
8	B <sub>3</sub> 管网安全	C <sub>8</sub> 管网压力合格率 (%)	1	0	0	0	0
9		C <sub>9</sub> 管网水质综合合格率 (%)	0	0	0.16	0.84	0
10		C <sub>10</sub> 二次供水合格率 (%)	0	0	0	0	1
11		C <sub>11</sub> 漏损率 (%)	0	0	0	0	1
12	B <sub>4</sub> 用水效率	C <sub>12</sub> 人均生活用水量 (m <sup>3</sup> /人)	1	0	0	0	0
13		C <sub>13</sub> 万元工业产值取水量 (m <sup>3</sup> /万元)	0	0	0	0	1
14		C <sub>14</sub> 污水处理回用率 (%)	1	0	0	0	0
15	B <sub>5</sub> 管理安全	C <sub>15</sub> 用水普及率 (%)	1	0	0	0	0
16		C <sub>16</sub> 地下水开采率	1	0	0	0	0

## 5. 结果与讨论

根据软件计算结果可知,湘潭市 2011 年城市供水安全隶属于非常安全的程度最大,为 0.3636,则供水安全处于“非常安全”状态。另外五个准则层的安全状态为:

(1) 区域水资源条件隶属于安全的程度为 0.6064,处于“安全”状态。湘潭市当地人均水资源量相对较多,为  $1711.9\text{m}^3/\text{人}$ ,且过境水量丰富,占总水资源量的比例为 21%,然而由于水资源开发利用率高且水功能区水质达标率较低,因此综合来看区域水资源条件处于安全状态。

(2) 水源地安全隶属于不安全的程度为 0.3124,处于“不安全”状态。湘潭市工业废水达标排放率和城市生活污水处理率均较高,2011 年湘潭市上游工业废水达标排放率为 93.61%,城市生活污水处理率为 83.5%。然而水源地水质达标率非常低,仅为 90%,远低于湖南省其他市的平均水平,因此综合来看,水源地条件处于不安全状态。

(3) 管网安全隶属于不安全的程度为 0.3509,处于“不安全”状态。本研究用管网压力合格率、管网水质综合合格率、二次供水合格率及漏损率四个指标来衡量供水管网的安全程度。由于管网压力合格率为 100%,符合城市供水标准及要求;然而管网漏损率过高,达到 34%,是造成管网安全隶属度指标处于不安全状态的主要原因。同时湘潭市二次供水的合格率较低,仅为 73.44%。

(4) 用水效率隶属于极不安全的程度为 0.5396,处于“极不安全”状态。湘潭市作为老工业基地,工业发达,用水量大。工业用水突出的问题是生产工艺的节水措施落后,节水设施缺乏,节水意识淡薄,节水管理落后。国内先进城市中万元产值用水量天津为 25

立方米,青岛仅为 6.23 立方米,2011 年湘潭市为  $133\text{m}^3/\text{万元}$ ,数值较大,严重影响了供水安全。

2011 年湘潭市城区居民人均每日综合用水量为 171.51 升,相对而言,湘潭市民人均用水量较少。目前湘潭市污水处理回用率较高,这与湘潭市大力提倡污水回用有关。

(5) 管理安全隶属于安全的程度为 1,处于“非常安全”状态。湘潭市城市用水普及率已经达到了 96.89%;地下水开采率较低,综合来看管理水平较高。

以上五个准则层中,除管理处于“非常安全”状态,区域水资源条件处于“安全”状态外,两个处于不安全,一个处于“极不安全”状态。总体上说明湘潭市的供水安全处于一个不稳定的状态,城市供水系统存在较大的风险,因此应采取相应的措施来防范和应对城市供水安全可能出现的突发状况,以提高湘潭市城市供水安全水平,包括建立供水安全预警系统、完善应急机制以及减少管网漏损率等一系列对策措施。

## 参考文献

- [1] 陈守煜. 工程模糊集理论与应用 [M]. 北京: 国防工业出版社, 1998
- [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): 80
- [3] 贾绍凤, 张军岩, 张士锋. 区域水资源压力指数与水资源安全评价指标体系 [J]. 地理科学进展, 2002, 21(6): 538—544
- [4] 韩宇平, 阮本清. 区域水安全评价指标体系初步研究 [J]. 环境科学学报, 2003, 23(2): 267—272
- [5] 王远坤, 夏自强, 曹升乐. 水安全综合评价方法研究 [J]. 河海大学学报(自然科学版), 2007, 35(6): 618—621
- [6] 金菊良, 魏一鸣, 丁晶. 基于改进层次分析法的模糊综合评价模型 [J]. 水利学报, 2004, 3: 65—69

作者通联: 18210924818

(上接第 45 页)

此实验说明:未投加 PAM 的情况下,聚铝投加量在  $3\text{kg}/\text{dam}^3$  时浊度去除率已经相当理想。在此情况下投加 PAM 浊度去除率未见有明显提高。

## 4. 结论

4.1 目前桂林市自来水公司使用的 C-PAC 比较适合漓江水质,在各种情况下处理效果均处于中上水平,此次收集的其他混凝剂没有明显优于 C-PAC 的产品, A-PACV 及 A-PACS 使用效果与其接近,可考虑作为备用产品。

4.2 复合铝铁混凝剂溶解时有较多沉淀物,不适应漓江水质,使用效果较差,不建议桂林市自来水公司使用,或需收集其他品牌复合铝铁混凝剂再进行实验。

4.3 聚铝与硫酸铁组合后的混合溶液对漓江水表现出明显的不适应性,不宜用于漓江水处理。

4.4 投加助凝剂 PAM 尚未见到明显效果且 PAM 溶解后粘度较大,在 0.1% 溶液情况下像胶水一样粘稠,溶解需连续搅拌 20 分钟,使用投加不便,需摸索改进实验方法,不宜用于漓江水处理。

作者通联: 18777301958