

水质分区在供水系统水质管理中的应用

王旭冕¹, 黄廷林¹, 王峰², 邸尚志³, 刘勇⁴, 刘昆善⁴

(1. 西安建筑科技大学西北水资源与环境生态教育部重点实验室, 陕西 西安 710055;

2. 西安市水业运营有限公司南郊水厂, 陕西 西安 710054;

3. 西安市水务集团, 陕西 西安 710061; 4. 西安市水业运营有限公司, 陕西 西安 710000)

摘要: 由于用户用水量及管道基础数据不完善, 供水管网水力模拟在实际供水系统中的应用受到了限制. 供水系统水质分区充分利用水厂、管网中水质测点的监测数据, 先筛选出适合聚类分析的水质指标, 再利用聚类分析的方法确定各水厂的供水范围, 进而根据多年的水质资料确定各水厂供水区域交汇的漂移带及区域末梢监测点. 各区域末梢监测点的水质资料通过 SCADA 系统传至调度中心, 为供水企业全面掌握供水系统的水质状态、确定合理的水质、水量调度方案提供了可靠的依据, 便于从水质安全角度实现供水系统宏观调控, 指导各水厂科学、合理运行. 该方法水质资料可获得性强、对用户用水量及管网基础资料的依赖性弱、方法科学合理, 适用范围广, 可操作性强, 便于推广应用.

关键词: 供水系统; 水质分区; 水质指标; 三步筛选法; 区域末梢监测点

中图分类号: TU991.62

文献标志码: A

文章编号: 1006-7930(2012)04-0553-05

1 水质分区的必要性和可行性分析

进入 21 世纪以来, 城市规模的日益扩大和城市化进程的加快, 促使城市供水管网规模也日益扩大, 很多城市已发展成为多水源联合的供水系统. 合理划分各水厂的供水区域对全面掌握多水源供水系统的供水状态、合理调度、保障其水力、水质安全性有重要意义. 目前国内外对供水系统的分区主要是水力分区^[1-4], 即根据水力模拟结果, 通过对水流方向等水力要素综合分析确定各水厂的供水区域, 但绝大多数供水企业因缺乏用户用水量和管道基础信息方面的积累和整理而存在基础资料不完善的问题, 所以建立在大量准确的管网资料基础上的水力分区法在许多供水系统中难以实施和推广.

示踪剂本身化学性质稳定, 便于成分分析, 并确定水质来源, 因此示踪剂法可实现供水系统分区, 但为确保水质安全, 水中投加示踪剂方法不可行. 水质指标描述了出厂水的水质特征. 水源、处理工艺及其运行参数不同, 必然导致不同水厂出厂水水质不同、水质指标值各异; 而同一水厂水质和工艺运行效果较为稳定, 使得出厂水水质在一定时期内具有相对稳定性. 根据同一水厂出厂水自身的相对稳定性和不同水厂出厂水水质差异性, 可以将相对稳定的水质指标看成天然示踪剂. 因此, 基于示踪剂水质分区的思想、利用水质资料进行水质分区的方法在理论上是可行的. 国家现行的《城市供水水质标准》(CJ/T206—2005)中详细规定了各种检测项目及检测频率, 国内各供水企业积累了大量的水厂和管网测点的水质检测资料, 因此利用现有的水质检测资料、通过聚类分析进行供水系统水质分区的方法在实际管网中可操作性强, 便于普及应用. 该方法有助于供水企业全面掌握供水状态, 以便从水质安全角度实现对供水系统的宏观调控, 指导各水厂科学、合理地运行, 具有较强的理论意义和实际价值.

2 供水系统水质分区的方法

进行供水系统的水质分区, 首先根据水厂和管网水质测点的检测资料进行水质指标的初选; 然后对

收稿日期: 2011-11-09 修改稿日期: 2012-07-27

基金项目: 国家自然科学基金资助项目(50978213); 长江学者和创新团队发展计划(IRT0853)

作者简介: 王旭冕(1972-), 女, 河北定州人, 博士, 讲师, 从事城市供水管网水力、水质研究.

初选指标进行再筛选,依次剔除对聚类分析产生干扰的重复、多余或片面指标,以改善聚类分析效果;最后利用剩余指标通过聚类分析法进行供水系统的水质分区。

2.1 指标的初选

为了便于利用聚类分析法进行水质分区,首先根据供水系统水质检测现状,按下列原则初步选择适于聚类分析的水质指标:

(1)水质指标值是连续数字型,而不是文字型或等级型;(2)出厂水和管网水中的检测率及检出率高;(3)指标值在各出厂水中差别比较明显,便于分析;(4)管网水中物理、化学、生物稳定性相对较高,其变化幅度较水厂间的差别小;(5)水质指标的测定数据完善、准确。

初选后的指标中,有些指标相关性强,可能在某方面产生重复效应,导致事物在该方面性质受到不合理的强化,从而掩盖了其他方面的性质,这属于重复性指标;有些指标可能对分析产生很小影响,则属于多余指标。这些指标的存在易使得各水质分区不够清晰,供水区域不具体^[5]。所以,在初选指标的基础上需进行合理的指标再筛选,既要保证信息的全面性,又要避免指标间的相互干扰,这是利用水质指标进行合理聚类分区的基础。

2.2 三步筛选法进行指标再筛选

为了避免水质指标重复、多余或片面的干扰,利用统计学知识建立由方差分析、综合评价指标分析和极大不相关分析组成的三步筛选法^[5]进行指标再筛选,以剔除对聚类分析产生干扰的指标,具体步骤如下。

第一步,方差分析法筛选指标。参与聚类分析的指标首先要能综合反映各出厂水水质的不同,即指标值在不同出厂水中的差别越大越好。指标的变异系数和相对极差可以全面反映指标的变化情况^[6-7]。以水质指标为方差分析的指标, n 个水厂出厂水的所有指标取值构成 n 个样本,综合比较不同指标的变异系数和相对极差,剔除两者均小的指标,既可剔除不能反映水厂间个体差异的水质指标。

第二步,综合评价指标法筛选指标。该步筛选的目的是利用综合评价指标法^[8]剔除对测点分类影响较小的指标。先利用各指标的变异系数计算各指标的权,再用加权几何平均法构造综合评价指标,最后根据各指标对综合评价指标变异系数的影响程度判断其是否适宜参与聚类分析,从而剔除了对区分各测点间个体差异影响较小的多余水质指标。

第三步,极大不相关法筛选指标。为了避免参与聚类分析的指标过于强调某一方面的性质,各指标间的相关性应越弱越好。利用极大不相关法对指标进行复相关性检验^[9],先计算样本的复相关矩阵,再逐步剔除复相关系数大的指标。筛选结果可以确保各指标间相互独立,任一指标都无法用其它指标来代替,说明指标间不存在重复性,避免了重复性指标对聚类分析的干扰。

实例^[5]验证表明,该方法既能更好的体现“类内个体间相似程度高、类间个体差异大”的聚类特点,又能改善聚类状态和聚类效果。

2.3 聚类分析进行水质分区

在水质指标进行初选、再筛选的基础上,对剩余指标值进行标准化后,即可用 SPSS 等软件进行聚类分析^[10],并根据聚类结果进行各水厂供水区域的划分。

受用户用水量变化及各水厂水量调度的影响,各水厂的供水区域随时会发生变化。利用供水系统一年或多年的水厂、水质监测点的监测数据可研究分析时段内各水厂供水区域的变化规律,将逐年逐月的水质分区结果绘制在同一张供水系统拓扑图上,即可确定各水厂供水区域边界的漂移带。

3 确定各区域末梢水质监测点

目前,很多城市的供水系统都已发展成为多水源、多水厂联合供水系统。原则上,各供水区域边界上的管道相当于该供水区域的末梢管道,具有水流速度低、余氯浓度低、水中的悬浮物易沉淀、微生物絮团及生物膜易滋生的特点。由于气候、水质、季节性因素及部分用户用水随机性的存在,各水厂的供水区域易发生变化。当水厂的供水区域发生变化时,会出现两种情况,一种是供水区域变大,原区域的末梢管段成为输水管,管内流速增加;另一种是供水区域缩小,原区域的末梢管段内水流方向发生改变。

无论是流速增大还是水流改向,都有可能将底部及侧壁上的沉淀物、生物絮团及生物膜冲起,使之进入用户的用水点,导致水中微生物及浊度等指标升高,甚至有超标的可能. 此外,对于地下水源和地表水源相结合的供水系统,在地下水厂和地表水厂供水区域交界处的管道内还存在因营养互补而加剧腐蚀和微生物生长的可能,更增加了供水水质的安全隐患.

由此可见,由于水力、水质条件不稳定,各水厂供水区域漂移带范围内的水质易发生恶化,是安全供水的薄弱环节. 在供水区域漂移带内选择适当的水质监测点作为供水区域末梢水质监测点,并在这些监测点上设置水质在线监测装置,通过 SCADA(supervisory control and data acquisition)系统及时将水质监测数据传至调度中心,便于供水企业及时监控各供水区域末梢的水质状态. 当供水区域水质监测点的水质指标超标时,调度中心可根据水质分区的结果并结合调度模型及管理经验建立新的水量和水质调度方案,从水质安全的角度实现供水系统宏观调控,指导各水厂的科学、合理运行,确保供水系统安全供水.

4 A 市供水系统水质分区

A 市为地表水厂、地下水厂联合供水的多水源供水系统,共 7 座水厂,其中 Q 水厂和 N 水厂为地表水厂,第一水厂为中途加压水厂,第二水厂为地表水、地下水混合水厂,第三、四、五水厂为地下水厂.

为了研究 A 市供水系统一年内的水质分区情况,本文以 2005 年的水质资料为基础进行了逐月的水质分区. 经过对 117 项水质指标的初步筛选,确定了 pH 值、温度、总硬度、溶解性固体等 16 项水质指标为初选指标;在此基础上,依次进行方差分析、综合评价指标分析和极大不相关分析三步筛选(表 1 为利用三步筛选法对各指标逐月筛选的过程);最后根据三步筛选后剩余的指标进行聚类分析,确定各水厂的供水区域. 图 1 为 A 市供水系统 2005 年各测点所属供水区域的示意图,表 2 为各测点的水源比例.

表 1 A 市供水系统 2005 年各季度指标的筛选过程
Tab. 1 Screening courses of water quality indexes in city A's water supply system in 2005

指 标	1 月	2 月	3 月	4 月	5 月	6 月	7 月	8 月	9 月	10 月	11 月	12 月
pH 值	Δ	Δ	Δ	Δ	Δ	Δ	Δ	Δ	Δ	Δ	Δ	Δ
温度	◆	◆	√	◆	Δ	Δ	Δ	Δ	Δ	Δ	Δ	◆
钾	Δ	◆	Δ	◆	◆	√	◆	◆	◆	◆	Δ	√
钙	◆	◆	◆	◆	√	◆	√	◆	√	◆	◆	◆
浊度	◆	◆	◆	√	◆	√	◆	◆	√	◆	◆	√
氟化物	√	√	√	√	√	◆	√	√	√	√	√	◆
总硬度	√	◆	√	√	√	√	√	√	◆	√	√	√
锶	◇	◇	◇	◇	◇	√	◇	◇	◇	◇	◇	◆
镁	√	√	◇	◇	√	◇	◇	◇	√	◇	◇	√
钠	◇	√	◇	◇	√	◇	√	◇	◇	√	√	◇
氯化物	◇	√	√	◇	◇	√	◇	√	√	√	√	◇
锂	√	◇	◇	√	√	√	√	√	√	√	√	√
硫酸盐	◇	√	√	√	√	√	√	√	◇	√	√	√
溶解性固体	√	√	√	√	◇	√	√	√	√	√	√	√
钡	√	√	√	√	√	√	√	√	√	◇	√	√
硼	√	√	√	√	√	√	√	√	√	√	√	√
剩余指标数	7	8	8	8	9	10	9	8	9	8	9	9

注:Δ为方差分析法剔除指标;◆为综合评价法剔除指标;◇为极大不相关法剔除指标;√为三步筛选后剩余指标.

从表 1 可以看出,几乎每一项指标都有可能在这三步筛选中被剔除掉,这符合水质因季节等因素而动态变化的特点. 所以,在利用水质资料通过聚类分析进行水质分区时,初次选取水质指标应在满足检出率高且水质稳定性高的条件下选取尽可能多的指标,然后再依次进行筛选,最终确定适于当月聚类分析的指标.

此外,从表 1 最终剩余指标的数目来看,6 月剩余的最多,说明 6 月份的水质指标相似性最差,且变化幅度也较大,水质稳定性相对较差,用于描述各水厂水质特征所需指标也就越多.

表 2 2005 年各测点水来源的比例

Tab. 2 The proportion of water source from different measuring points

测点名称	黑河指挥部	翠华路十字	大雁塔	化学试剂厂	西高新	建国路	柿园坊	白家口
供水比例/%	100Q 水厂	100Q 水厂	100Q 水厂	100Q 水厂	100Q 水厂	100N 水厂	100N 水厂	100 五水厂
测点名称	消防五中队	水司家属院	自强东路	市政府	未央路十字	日化公司	韩森寨	第一水厂
供水比例/%	100 四水厂	100 一水厂	8 一水厂 92 四水厂	33 一水厂 67 四水厂	25 一水厂 75 三水厂	33Q 水厂 67 三水厂	50N 水厂 50 二水厂	50Q 水厂 42N 水厂 8 四水厂

结合图 1 和表 2 可以得出如下结论:

- (1)黑河指挥部、翠华路十字、大雁塔、化学试剂厂和西高新属 Q 水厂的供水范围;
- (2)建国路、柿园坊属 N 水厂的供水范围;
- (3)白家口属第五水厂的供水范围;
- (4)消防五中队属第四水厂的供水范围;
- (5)水司家属院属第一水厂的供水范围;
- (6)2005 年第一水厂被加压的水约 50%来自 Q 水厂、42%来自 N 水厂、8%来自第四水厂;
- (7)自强东路、市政府测点位于第一水厂和第四水厂的供水边界飘移带上;
- (8)未央路十字测点位于第一水厂和第三水厂的供水边界飘移带上;
- (9)日化公司测点位于 Q 水厂和第三水厂的供水边界飘移带上;
- (10)韩森寨测点位于 N 水厂和第二水厂的供水边界飘移带上。

根据上述分析,为全面了解各水厂供水区域内的水质状况,首先增设第二、三水厂的水质检测点;其次,对于供水边界飘移带上的测点,应加强水质监测,在条件具备时,可配合 SCADA 系统实现在线监测。

5 小 结

充分利用水厂、管网中水质测点的监测数据,经过指标初选和三步筛选法再筛选,利用聚类分析的方法可以实现各水厂供水区域的划分,进而确定各水厂供水区域交汇处的漂移带及区域末梢监测点。末梢监测点在线仪表通过 SCADA 系统将水质资料传至调度中心,可为供水企业全面、及时地掌握供水系统的水质状态提供依据,并从水质安全的角度建立合理的水质、水量调度方案,指导各水厂的科学、合理运行,实现供水系统宏观调控。

理论上,利用水质资料通过聚类分析实现的供水系统水质分区与水力模拟基础上的水力分区是一致的,两者都受各水厂的供水量、水压及用户用水量的影响,反映了系统的配水状况。由于水质资料的实时性较差,且测点数量有限,所以水质分区较水力分区粗旷、受供水系统水力、水质稳定性影响较大。但水质资料的可获得性强、对管网基础资料的依赖性弱、方法科学合理,且由此确定的末梢监测点的在线监测实时性强,对水厂的运行管理有指导意义,所以水质分区较水力分区适用范围广、可操作性强,具有一定的社会效益和使用价值,便于推广应用。

参考文献 References

- [1] 于静洁,赵洪宾. 城市给水管网管理信息系统的建立[J]. 同济大学学报:自然科学版,2005,33(3):339-345.
YU Jing-jie, ZHAO Hong-bin. Establishment of management information system of urban water distribution network[J]. Journal of Tongji University: Natural Science Edition, 2005, 33(3): 339-345.
- [2] 陈 凌,刘遂庆,陈宇辉. 城市供水管网实时水力模拟节点流量的计算[J]. 给水排水,2006,32(10):106-110.
CHEN Ling, LIU Sui-ting, CHEN Yu-hui. Calculation of node water flow in real-time hydraulic model of urban

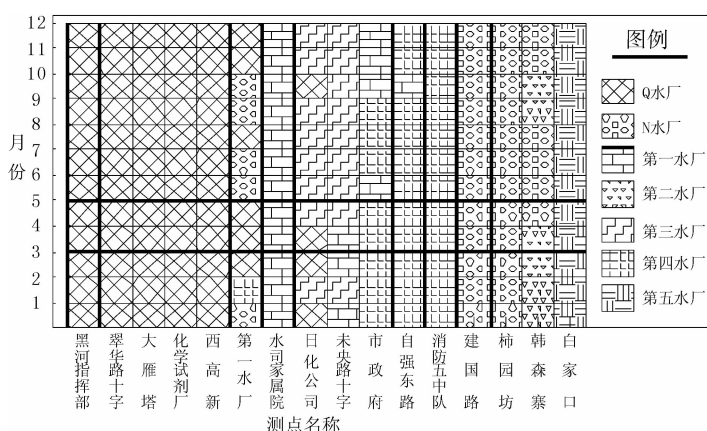


图 1 2005 年各测点所属供水区域示意图

Fig. 1 The Sketch map of water plants' supply area for the measuring points belonging to

- water supply network [J]. *Water & Wastewater Engineering*, 2006, 32(10): 106-110.
- [3] 信昆仑,刘遂庆. 城市给水管网水力模型准确度的影响因素[J]. *中国给水排水*, 2003, 19(4): 52-55.
XIN Kun-lun, LIU Sui-qing. The influencing factors of hydraulic models' accuracy in urban water supply network [J]. *China Water & Wastewater*, 2003, 19(4): 52-55.
- [4] 周玉文,何敏,方琦. 基于GIS的给水管网动态水力计算模型的建立与应用[J]. *给水排水*, 2006, 32(8): 96-100.
ZHOU Yu-wen, HE Min, FANG Qi. Establishment and implication of GIS based dynamic hydraulic calculation model for water supply network. *Water & Wastewater Engineering*, 2006, 32(8): 96-100.
- [5] 王旭冕,黄廷林,刘勇. 供水管网水质分区聚类分析中的指标三步筛选法[J]. *西安建筑科技大学学报:自然科学版*, 2009, 41(5): 708-714.
WANG Xu-mian, HUANG Ting-lin, LIU Yong. The three-step screening method of indexes for cluster analysis in water supply system's subregion [J]. *J. Xi'an Univ. of Arch. & Tech.: Natural Science Edition*, 2009, 41(5): 708-714.
- [6] 余锦华. 多元统计分析与应用[M]. 广州:中山大学出版社, 2005.
YU Jin-hua. *Multivariate statistic analysis and application* [M]. Guangzhou: Zhongshan University Press, 2005.
- [7] 吴有炜,高洁. 概率论与数理统计[M]. 苏州:苏州大学出版社, 2004.
WU You-wei, GAO Jie. *Probability Theory and Statistics*. Suzhou: Suzhou University Press, 2004.
- [8] 胡永宏,贺思辉. 综合评价方法[M]. 北京:科学技术出版社, 2000.
HU Yong-hong, HE Si-hui. *Comprehensive Evaluation Methods*. Beijing: Science and Technology Press, 2000.
- [9] 刘思峰. 灰色系统理论及其应用[M]. 第二版. 北京:科学出版社, 2000.
LIU Si-feng. *Gray systematic theory and application*. 2nd ed. Beijing: Science Press, 2000.
- [10] 薛薇. SPSS统计分析方法及应用[M]. 北京:电子工业出版社, 2006.
XUE Wei. *SPSS statistic analysis methods and application* [M]. Beijing: Electrical Industry Press, 2006.

Application of water quality area division in the management of water quality in water supply system

WANG Xu-mian¹, HUANG Ting-lin¹, WANG Feng², DI Shang-zhi³, LIU Yong⁴, LIU Kun-shan⁴

- (1. Key Laboratory of Northwest Water Resource, Environment and Ecology of Ministry of Education (XAUAT), Xi'an 710055, China; 2. Xi'an water operators Co. LTD, Nanjiao Waterworks, Xi'an 710054, China;
3. Xi'an Water Group Co. Ltd, Xi'an 710061, China; 4. Xian water operators Co. LTD, Xi'an 710000, China)

Abstract: Because of the incomplete datum of user's water consumption and pipeline's basic information, the application of the hydraulic simulation in actual water supply system is very limited. The suggested method of area division for water supply system made the best use of the water quality monitoring datum of water plants and the measuring points in the system. Firstly, the proper water quality indexes for cluster analysis were screened, and the cluster method is applied to determine the water supply areas of each plant, and the cluster results of each month are used to determine the drifting belts of the area junctions and the boundary monitoring points of each water plant. Through SCADA system, the water quality monitoring datum from the boundary monitoring points of each area could be fed back to the dispatching center, which could provide the reliable basis for the water company to comprehensively master the system's water quality condition. According to the water quality condition, from the standpoint of safe water supply, the company could make a reasonable plan of water quality and water volume to macroscopically regulate the water system, and guide each plant more scientifically for more reliable running. The water supply area division method has the advantages of better availability of the water quality data, and weaker dependency on the pipeline's basic data. Such a method, wide in use and scientific for operation, has the value of popularization and application.

Key words: *water supply system; water quality area division; water quality indexes; the three-step screening method; the boundary monitoring points of each area*