

Application of Set Pair Analysis in Water Quality Evaluation of Water Source Area

Yingming Gao, Enyun Liao, Jumao Li

Pu'er of Yunnan and Water Resources Bureau, Pu'er Yunnan
Email: 654038223@qq.com

Received: Oct. 19th, 2017; accepted: Nov. 2nd, 2017; published: Nov. 9th, 2017

Abstract

Being based on set pair analysis (SPA), the relation between the annual mean value of water samples and the environmental quality standards of different levels of surface water is set up, to construct the SPA pattern. Based on the measured mean (2012-2016) of the centralized water supply reservoir of the main city of Pu'er, the index of biochemical oxygen demand, ammonia nitrogen and permanganate and the measured average index of dissolved oxygen and fecal coliform are chosen to be compared with different levels of standard critical value to come to a connection degree, being based on which to analyse and evaluate the raw water quality and judge the levels of quality of water environment. The application of the pattern suggests that the water quality of the centralized water supply reservoir of the main city of Pu'er is between level I and level II, and the water quality is generally fine. In terms of water quality analysis and evaluation, the SPA pattern is useful and practical and the evaluation result of which is intuitive and reliable.

Keywords

Water Quality Evaluation, Set Pair Analysis, Factor Analysis

集对分析法在水源地水质评价中的应用

高应明, 廖恩云, 李菊茂

云南省水文水资源局普洱分局, 云南 普洱
Email: 654038223@qq.com

收稿日期: 2017年10月19日; 录用日期: 2017年11月2日; 发布日期: 2017年11月9日

作者信息: 高应明, 男, 彝族, 云南姚安人, 水文工程师, 主要从事水文水资源工作。

摘要

以集对分析理论为基础,建立水质样本实测年均值与各级地表水环境质量标准之间的联系度表达式来构造集对分析模型。利用普洱市思茅主城区集中式供水水库2012年至2016年实测均值,选取五日生化需氧量、氨氮、高锰酸盐指数、溶解氧、粪大肠菌群实测指标均值与各级标准界值的大小关系进行计算得到联系度,据此对原水水质进行分析评价水环境质量等级的判定。模型应用表明:普洱市思茅主城区集中式供水水库水质在I级和II级之间,水质质量总体较佳;集对分析模型评价在集中式供水水库水质分析评价中具有实用性和可操作性,评价结果较为直观、可靠。

关键词

水质评价, 集对分析, 因子分析

Copyright © 2017 by authors and Hans Publishers Inc.

This work is licensed under the Creative Commons Attribution International License (CC BY).

<http://creativecommons.org/licenses/by/4.0/>



Open Access

1. 引言

水环境是一个多污染因子耦合的复杂动态系统,具有精确与模糊、确定与不确定的特性[1],水质评价为水环境的科学管理和污染防治提供科学的决策依据,对区域经济社会可持续发展具有重要意义[2]。

水质评价是一项系统工程,根据水质评价标准和各水样的水质指标值以定量的方式直观表征水环境的质量状况,由于影响水质评价的诸多物理化学生物因素具有很多不确定性,而且评价因子与水质等级间存在着复杂的非线性关系,同时水质状况还具有动态变化特征导致水质评价变得非常复杂。在近年来的相关研究中,建立多种水质综合评价模型[3],常用的评价方法可概括为单因子评价法和综合评价法两大类,每种模型有其自身优点和不足,许多学者针对各评价方法的不足进行相应修正并取得一些成果[4]。本文尝试运用集对分析理论,借助确定性和不确定性分析对样本进行定性分析,再通过计算联系度对水质做出定量评价,对水质做出全面、客观的评价,据此对某地水库原水水质进行分析评价水环境质量等级判定。

2. 集对分析基本理论

集对分析(set pair analysis)是中国理论学家赵克勤在1989年在包头召开的全国系统理论会上,首次提出的一种系统理论和方法,他运用对立统一的观点从整体和全局上研究系统内在的联系,用联系数处理事件系统中的模糊随机性、不确定性,基本思想是对客观存在的不确定性给予承认,把被研究的客观事物之确定性联系与不确定性联系在同一性、差异性和对立性等3方面进行辩证分析和数学处理[5],就集对分析而言主要是在模糊数学以及系统分析理论的基础上发展而来。

2.1. 联系度的基本理论

集对分析的基础是根据集合构造集对,其方法是将不确定性系统中的两个有关联的集合构造集对,对集对的某特性做同一性、差异性、对立性分析,建立集对的同、异、反联系度,计算其联系数,进而分析两个有关联的信息之间的不确定性关系。集对分析法具有全面性、定性定量相结合、分析方法的综合集成、将确定性不

确定性有机结合、应用广泛等特点,归纳起来,集对分析表达不确定性的思路可概括为:客观承认、系统描述、定量刻画、具体分析[6]。在集对分析中,集合是基础,联系度是核心内容,在一定的背景下,对组成集对的两个集合(X,Y)的特性做联系度分析,则X与Y构成集对问题H(X,Y),且将描述H(X,Y)程关系的联系度的基本表达式一般记为:

$$\mu_{X-Y} = \frac{S}{N} + \frac{F}{N}I + \frac{P}{N}J \quad (1)$$

式中: N为特性个数。S为同一性的个数, S/N为这X、Y两个集合在集对问题H下的同一度,简称同一度,记为a; F为差异性的个数, F/N为这X、Y两个集合在集对问题H下的差异度,简称差异度,记为b; P为对立性的个数, P/N为这X、Y两个集合在集对问题H下的对立度,简称对立度,记为c, μ_{X-Y} 称为集对H(X,Y)的联系度, I为差异度标记, J为对立度标记。为简便计算,那么式(1)可以表示为:

$$\mu_{X-Y} = a + bI + cJ \quad (2)$$

式中: a, b, c为联系度分量,且满足 $a + b + c = 1$ 。

2.2. 基于集对分析理论的水质评价模型

假设从n座水库中选取具有代表性的采样点,设第n个采样点评价指标样本值组成评价指标集 $An = [X_1, X_2, \dots, X_n]$ ($n = 1, 2, 3, \dots, n$),水质评价标准为5个等级,各等级的评价标准临界值组成标准集 $Bk (k = 1, 2, 3, 4, 5)$,则集合 An 、 Bk 可构成集对 $H = (An, Bk)$ 。在此不妨将这个含有集对分析理论的评价模型称为基于集对分析的水质评价模型。

3. 普洱市思茅城区水库原水水质综合评价的集对分析

3.1. 研究区概况

普洱市思茅主城区位于云南省西南部,地处北回归线以南,具有低纬、高温、多雨、静风的特点,背靠中国内陆、面向东南亚国际大通道前沿上重要的节点城市,地形为南北向展布的半封闭式坳坝区,地势呈东南高西北低,是滇西南重要的加工、贸易、物流中心及区域经济的中心城市,打造中国著名、世界闻名、世人瞩目的普洱国际品牌和“天赐普洱、世界茶源”的城市品牌,具有浓郁普洱茶文化、适宜居住的国家级生态园林城市,是中国著名茶城。据相关资料统计,思茅区多年平均降水量 1500.7 mm,降雨量年际变化小,夏季受印度洋西南季风和北部湾东南季风影响,湿润多雨;冬季受副热带北部西风急流的控制,天气晴朗,日照充足,干旱少雨,多年平均蒸发量为 1141.7 mm,多年平均气温 18.2℃,多年平均最大风速 13.3 m/s。

3.2. 评价标准和方法

《地表水环境质量标准》(GB3838-2002)

《地表水资源质量评价技术规程》(SL395-2007)

3.3. 数据来源及预处理

本次选取云南省普洱市思茅主城区周边5个水库水质监测断面点作为评价对象,研究数据选取2012年1月到2016年12月五年内5座水库监测点的水样年平均值资料作为水质现状评价的研究资料,选取五日生化需氧量、氨氮、高锰酸盐指数、溶解氧、粪大肠菌群共5个监测项目作为评价指标,普洱市思茅主城区各地表水水库原水分布示意图(见图1),水环境质量分级上限浓度值见表1和水质评价指标实测数据见表2。

3.4. 评价步骤

(A) 根据集对分析的基本原理,初步对水样水质各项指标实测均值与水质指标进行分级,结果详见表3;

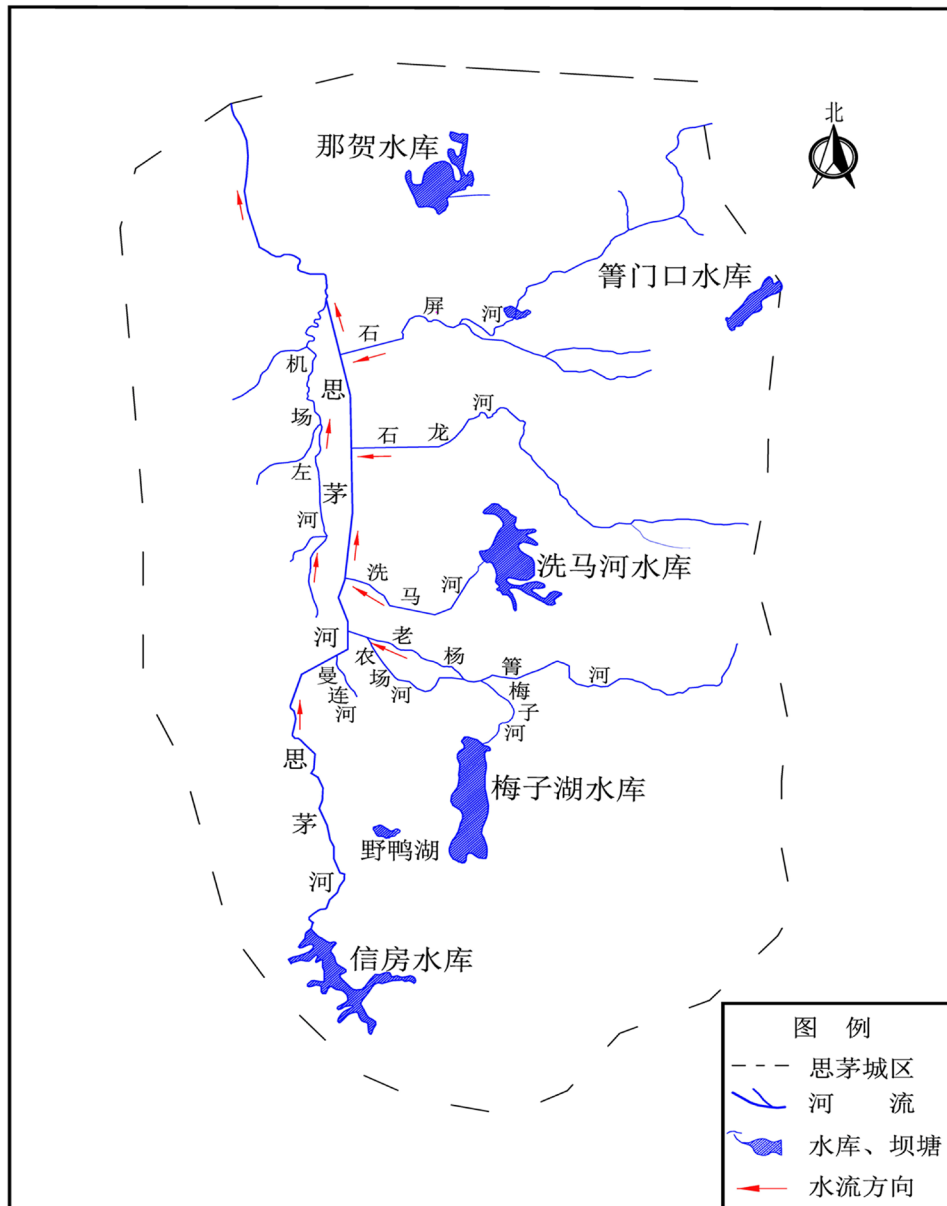


Figure 1. Sketch map of raw water distribution of surface water reservoir in main city area of Simao

图 1. 思茅主城区地表水水库原水分布示意图

(B) 利用公式(2)初步计算出各水质样本的联系数 μ ;

(C) 根据联系度最大原则, 判断各水质样本的地表水水质类别, 详见表 4。

(D) 单因子评价, 对监测点的水质样本的实测均值与地表水环境质量标准进行对比, 按照单因子法判断水质类别, 结果详见表 4。

《地表水环境质量标准》(GB3838-2002)中规定“地表水环境质量评价应根据实现的水功能类别, 选取相应类别标准, 进行单因子评价”根据此项规定, 水环境监测评价单位一般采用最差因子法评价地表水源地水质[7], 根据前述方法, 以水质分类指标的限值作为集对分析联系度表达式中的同一度、差异度、对立度的取值依据, 分别确定出同一度、差异度和对立度的值, 则 5 座水库的水质评价的集对分析联系度如表 4 所示。

Table 1. Classification standards of surface water environment water quality indexes**表 1.** 地表水环境水质指标分级标准(单位: mg/L)

评价等级	五日生化需氧量	氨氮	高锰酸盐指数	溶解氧	粪大肠菌群
I类	≤3	≤0.15	≤2	≥7.5	≤200
II类	≤3	≤0.5	≤4	≥6.0	≤2000
III类	≤4	≤1.0	≤6	≥5.0	≤10,000

Table 2. Values of various indexes of water quality**表 2.** 水样水质各项指标实测均值

断面名称	监测因子(单位: mg/L)				
	五日生化需氧量	氨氮	高锰酸盐指数	溶解氧	粪大肠菌群
信房	0.58	0.09	1.96	8.0	383
梅子湖	0.80	0.16	2.48	8.2	608
洗马河	0.96	0.31	2.70	8.0	1228
簪门口	0.98	0.13	2.20	8.1	1147
纳贺	0.74	0.10	1.90	8.3	193

Table 3. Values of water quality indexes and water quality index classification**表 3.** 水样水质各项指标实测均值与水质指标分级情况

断面名称	监测因子				
	五日生化需氧量	氨氮	高锰酸盐指数	溶解氧	粪大肠菌群
信房	I	I	I	I	II
梅子湖	I	II	II	I	II
洗马河	I	II	II	I	II
簪门口	I	I	II	I	II
纳贺	I	I	I	I	I

Table 4. Degree of each monitoring section**表 4.** 各监测断面点联系度

断面名称	平均联系度			最终等级	
	I	II	III	集对分析法	单因子评价法
信房	4/5	1/5	0	I	II
梅子湖	2/5	3/5	0	II	II
洗马河	2/5	3/5	0	II	II
簪门口	3/5	2/5	0	I	II
纳贺	5/5	0/5	0	I	I

3.5. 评价结果

从评价结果对比(表 4)来看, 采用集对分析法 5 座水库的水质评价结果依次为 I 级、II 级、II 级、II 级、I 级, 采用单因子评价法时, 5 座水库的水质评价结果依次为 II 级、II 级、II 级、II 级、I 级。结果表明: 普洱市

思茅主城区 5 座集中式供水水库原水水质在 I 级和 II 级之间, 水质质量总体较佳; 单因子评价法有时会由于过于严格的要求把地表水使用功能评价偏低, 难以描述清楚水质变化程度, 并且各种评价因子之间互不联系, 不能全面反映地表水水质的综合状况, 集对分析法与单因子评价法相比, 普洱市思茅主城区各监测点的原水水环境质量评价结果一致或相差一级, 因此可以把集对分析法作为地表水水环境质量评价的方法, 也为河流健康复杂系统的综合评价提供了一种新方法。

4. 结语

本文借助于集对分析理论, 提出了建立在该理论基础之上的地表水水质评价新方法, 从而为地表水环境质量评价提供新的途径。

(A) 针对水环境系统动态变化特征, 笔者巧妙运用集对分析法(SPA)处理原水水质评价的模糊性、不确定性, 建立了基于 SPA 的集中式供水水源地原水水质评价模型。

(B) 在运用该模型合成联系度时, 从一定程度避免或减少单因子评价法的严格性, 可以依据地表水水质评价标准来综合评定水源地的水质状况。

(C) 由于地表水质量状况实际上具有动态特征, 集对分析法将定性分析与定量分析相结合, 评价模型严谨, 计算方法简便, 评价过程直观, 评价分辨率率较高, 运算过程中不依赖主观判断因素, 不会导致中间数据信息遗失, 因此评价结果客观、合理、可信, 能够反映研究对象的真实状况, 是一种有效的水质综合评价方法。

(D) 水环境是一种由多介质组成的动态变化环境, 各变量分别从某一方面反映了水环境的质量, 针对地表水环境质量具有不确定性、随机性、多变性和模糊性的特点, 采用集对分析法计算水质样本与水质评价等级之间的联系度, 进而建立水质定量评价模型, 进一步分析出原水水质的健康状况。

参考文献 (References)

- [1] 卢文喜, 李迪, 张蕾, 等. 基于层次分析法的模糊综合评价在水质评价中的应用[J]. 节水灌溉, 2011(3): 43-46.
LU Wenxi, LI Di, ZHANG Lei, et al. Application of fuzzy comprehensive evaluation based on analytic hierarchy process (AHP) in water quality evaluation. Water-Saving Irrigation, 2011(3): 43-46.
- [2] 齐济, 李岩, 李德峰. 基于改进 AHP 法定权的模糊优选模型在地下水水质评价中的应用[J]. 华北水利水电学院学报, 2002, 23(2): 4-6.
QI Ji, LI Yan and LI Defeng. Application of fuzzy optimum selection model based on improved AHP legal power in evaluation of groundwater quality. Journal of North China Institute of Water Conservancy and Hydropower, 2002, 23(2): 4-6.
- [3] 邱林, 冯晓波, 冯丽云, 等. 集对分析法在湖泊水质富营养化评价中的应用[J]. 人民长江, 2008(5): 52-54.
QIU Lin, FENG Xiaobo, FENG Liyun, et al. Application of set pair analysis to lake eutrophication assessment. Yangtze River, 2008(5): 52-54.
- [4] 孟宪萌, 胡和平. 基于熵权的集对分析模型在水质综合评价中的应用[J]. 水利学报, 2009(3): 257.
MENG Xianmeng, HU Heping. The application of set pair analysis model based on entropy weight in comprehensive evaluation of water quality. Journal of Hydraulic Engineering, 2009(3): 257.
- [5] 赵克勤. 集对分析及其初步应用[M]. 杭州: 浙江科学技术出版社, 2000: 9-43.
ZHAO Keqin. Set pair analysis and its preliminary application. Hangzhou: Zhejiang and Technology Press, 2000: 9-43.
- [6] 赵克勤. 集对分析及其初步应用[M]. 杭州: 浙江科技出版社, 2000.
ZHAO Keqin. Set pair analysis and its preliminary application. Hangzhou: Zhejiang and Technology Press, 2000.
- [7] 余阿治. 集对分析法在福州市集中式生活饮用水地表水源地水质评价中的应用[J]. 化学工程与装备, 2012(6): 222-226.
YU Azhi. Set pair analysis method of centralized drinking water sources in the application of water quality evaluation in Fuzhou City. Chemical Engineering and Equipment, 2012(6): 222-226.