

投影寻踪技术在瓦房店市水资源安全评价中的应用

曹永强^{1,2,3}, 邢晓森¹, 伊吉美¹, 游海林¹

(1. 辽宁师范大学城市与环境学院, 辽宁 大连 116029; 2. 哈尔滨工业大学城市水资源与水环境国家重点实验室, 黑龙江 哈尔滨 150090; 3. 河海大学水文水资源与水利工程科学国家重点实验室, 江苏 南京 210098)

摘要 利用统计软件 DPS 中的投影寻踪综合评价法选取最优投影方向, 以最优投影方向所对应的投影特征量作为评价依据, 得出瓦房店市水资源分区各区的水资源安全状况。松树库上地区为安全性最高区域, 回头河为安全性最低区域。研究表明, 该方法对水资源安全评价有较好的评价能力。

关键词 投影寻踪技术; 水安全评价; 瓦房店市

中图分类号 TV213.4 **文献标识码** A **文章编号** 1004-693X(2010)03-0005-03

Application of projection pursuit technique in water security assessment of Wafangdian City

CAO Yong-qiang^{1,2,3}, XING Xiao-sen¹, YI Ji-mei¹, YOU Hai-lin¹

(1. College of Urban and Environmental Science, Liaoning Normal University, Dalian 116029, China; 2. State Key Lab of Urban Water Resources and Environment, Harbin Institute of Technology, Harbin 150090, China; 3. State Key Laboratory of Hydrology-Water Resources and Hydraulic Engineering, Hohai University, Nanjing 210098, China)

Abstract: The projection pursuit comprehensive evaluation method of DPS was used to select the optimal projection direction and the projection metric corresponding to the optimal projection direction was considered the basis for evaluation. The water resources security situation in Wafangdian City can be described as follows: the area above Songshuku was the highest security zone, and the Huitou River was the lowest security zone. This study showed that the method had a better evaluation capacity for security assessment of water resources.

Key words: projection pursuit technique; water security assessment; Wafangdian City

水资源综合评价方法主要有: 数理统计法、数据包络分析法、层次分析评价法、模糊数学分析评价法、集对分析评价法、灰色系统理论评价法等^[1]。目前利用层次分析法进行的研究比较多。水资源系统不是一个单一的系统, 而是包括社会、经济、环境等多个子系统的复合系统, 涉及的指标较多, 权重的确定较困难并容易产生误差。投影寻踪技术是一种处理多因素复杂评价问题的新途径。近年来, 投影寻踪技术被广泛应用于各种评价。而目前使用投影寻踪技术对水资源安全进行评价并不常用, 由于对水资源安全评价需要通过对指标数据的分析, 笔者尝试将 DPS 统计软件中的投影寻踪综合评价法应用

到瓦房店市水资源安全评价中, 该方法简单明了, 把投影特征量作为评价依据对水资源安全进行评价, 拓宽了常规水资源综合评价的方法。实践证明, 该方法对水资源安全评价有较好的评价能力。

1 投影寻踪综合评价法

投影寻踪(projection pursuit, 简称 PP)是一种处理多因素复杂问题的统计方法, 其基本思想是将高维数据投影到低维子空间上, 然后通过优化投影指标函数, 求出能反映原高维数据结构或特征的投影向量, 在低维空间上对数据结构进行分析, 以达到研究和分析高维数据的目的, 其中投影指标函数的构造及

基金项目: 城市水资源与水环境国家重点实验室开放基金 2008 年开放基金(HC200814); 水文水资源与水利工程科学国家重点实验室(河海大学)2008 年对外开放基金(2008491111); 水沙科学与水利水电工程国家重点实验室(清华大学)2007 年对外开放基金(Sklhse2007A01)

作者简介: 曹永强(1973—), 男, 内蒙古乌兰察布人, 副教授, 主要从事防洪减灾方面的研究。E-mail: caoyongqiang@tsinghua.org.cn

优化、数学模型的建立是应用投影寻踪解决实际问题的关键^[2-6]。建立投影寻踪模型的主要步骤如下。

1.1 评价指标正规化

为消除各评价指标量纲差异的影响和统一指标变化范围,对原始指标进行正规化处理:

对于越大越优的指标

$$x(i, j) = \frac{x^*(i, j) - x_{\min}(j)}{x_{\max}(j) - x_{\min}(j)}$$

对于越小越优的指标

$$x(i, j) = \frac{x_{\max}(j) - x^*(i, j)}{x_{\max}(j) - x_{\min}(j)}$$

式中: $x(i, j)$ 为指标特征值归一化的序列; $x_{\min}(j)$ 、 $x_{\max}(j)$ 分别为第 j 个指标值的最小值和最大值; $x^*(i, j)$ 为第 i 个样本的第 j 个指标。

1.2 构建投影指标函数

投影寻踪方法实质上就是寻找最能充分表现数据特征的最优投影方向。设 $a = (a_1, a_2, \dots, a_m)$ 为 m 维单位向量,也即为各指标的投影方向的一维投影值,则第 i 个样本在一维线性空间的投影特征值 $z(i)$ 的表达式为:

$$z(i) = \sum_{j=1}^m a_j x_{ij} \quad (1)$$

在综合投影指标值时,要求投影值 $z(i)$ 的散布特征为局部投影点尽可能密集,最好凝聚成若干个点团,而在整体上投影点团之间尽可能散开,基于此投影指标函数可以表达为:

$$Q(a) = S_z D_z \quad (2)$$

式中: S_z 为投影值 $z(i)$ 的标准差; D_z 为投影值 $z(i)$ 的局部密度。

$$S_z = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n (z(i) - \bar{z})^2}{n-1}} \quad (3)$$

$$D_z = \sum_{i=1}^n \sum_{k=1}^n (R - r_{ik}) \cdot K(R - r_{ik}) \quad (4)$$

式中: $\bar{z}$ 为序列 $\{z(i) | i=1, 2, \dots, n\}$ 的均值; R 为局部密度的窗口半径,与数据特性有关,研究表明其取值范围为 $r_{\max} + \frac{m}{2} \leq R \leq 2m$,通常可取 $R = m$; $r_{ik} = |z(i) - z(k)|$ ($k=1, 2, \dots, n$);符号函数 $K(R - r_{ik})$ 为单位阶跃函数,当 $R \geq r_{ik}$ 时,函数值取1,否则取0。

1.3 优化投影指标函数

当评价指标的样本值给定时,投影指标函数 $Q(a)$ 只随投影方向 a 的变化而变化。不同的投影方向反映不同的数据结构特征,最佳投影方向就是最大可能暴露高维数据某类特征结构的投影方向。因此,可通过求解投影指标函数最大化问题来估计最佳投影方向,即:

$$\text{目标函数: } \max(Q(a)) = S_z D_z \quad (5)$$

$$\text{约束条件: } \sum_{j=1}^m a^2(j) = 1 \quad (6)$$

1.4 综合评价

将步骤3得到的最佳投影向量 a^* 代入式(1)中,得到反映各评价指标综合信息的投影特征值,即评价指数 z_{pp}^* ,根据投影值的大小对样本进行综合评价分析。

2 实例应用

瓦房店市多年平均水资源量为6.18亿 m^3 ,其中复州河流域水资源量2.62亿 m^3 ,占全市水资源总量的42.3%。水资源总量地区分布由东向西递减。松树镇水资源总量深度最大(245.8mm),高于全省平均水平(234.9mm),是东岗镇(157.2mm)的1.56倍。全市人均占有水资源量602.7 m^3 ,低于全省平均水平(820 m^3),而且分布不均。泡崖乡最多,人均占有水资源量1259 m^3 ;人均占有水资源量最少的是瓦房店市市区,仅有119 m^3 ,是全市平均水平的1/5。

由于我国水资源安全评价研究起步较晚,目前国内对水资源安全评价的基础指标主要是水资源条件、水的供应问题、水环境3个方面。根据瓦房店市的具体情况,考虑各指标对瓦房店市水资源影响的大小,建立水资源安全评价指标体系框架,其中包括当地人均水资源量(x_1 , m^3)、人均生活需水量(x_2 , m^3)、农业灌溉需水量(x_3 , 万 m^3)、工业用水量(x_4 , 万 m^3)、地下水开采模数(x_5 , 万 m^3/km^2)、工业产值模数(x_6 , 万元/ km^2)、人口密度(x_7 , 人/ km^2)、径流系数(x_8)等因子。根据《瓦房店市水资源综合规划》得出的2010年该地区水资源状况,建立水资源安全评价指标体系,如表1,其中 x_1 、 x_6 、 x_8 越大,当地水资源安全系数越高, x_2 、 x_3 、 x_4 、 x_5 、 x_7 恰好与其相反,其数值越小,当地水资源安全状况越好。根据指标正规化公式将上述指标标准化为 $x'_1 \sim x'_8$,如表2。

将表2的数据代入模型,并且结合统计软件DPS中的投影综合评价模型,得到最佳投影 $a_i = (0.7043, 0.2477, 0.4065, 0.2711, 0.2926, 0.007, 0.4580, 0.2125)$,将得到的最佳投影方向代入式(1),得到综合投影值: $z(i) = 2.519105, 1.784171, 1.286032, 1.745811, 0.720792, 1.940931, 1.59173, 1.713627, 1.811183, 1.650746, 1.795441, 1.586212, 1.664671, 1.621479, 1.294693, 1.306536, 1.918995, 1.804485, 1.672284$ 。

将投影值作为安全评价指标,得出瓦房店市各水资源分区水资源安全状况结果(由大到小),如表3。

表 1 瓦房店市水资源安全评价指标数据								
区域名称	x_1/m^3	x_2/m^3	$x_3/\text{万 m}^3$	$x_4/\text{万 m}^3$	$x_5/(\text{万 m}^3 \cdot \text{km}^{-2})$	$x_6/(\text{万 m}^3 \cdot \text{km}^{-2})$	$x_7/(\text{人} \cdot \text{km}^{-2})$	x_8
松树库上	2484.93	21.9	66.51	0	1.72	0	119.3	0.40
松树—东风	844.30	25.2	378.67	42.58	1.94	444.7	266.4	0.34
东风—河口	750.63	23.1	1458.94	294.10	2.70	1465.2	218.5	0.26
九道河	1116.55	21.9	857.79	30.83	2.00	401.6	180.1	0.32
回头河	50.12	39.6	131.07	989.23	4.54	12594.5	4535.3	0.34
九龙库上	1188.89	23.4	95.46	91.91	2.19	1204.2	170.8	0.32
九龙库下	863.48	22.6	546.43	268.47	3.05	2818.9	208.4	0.29
大河库上	706.74	22.0	157.11	9.08	2.31	1131.6	234.2	0.27
莲花库上	915.38	21.8	63.13	0	2.13	0	171.1	0.26
浮渡河	848.66	23.8	822.82	54.81	1.83	301.4	234.8	0.31
八一库上	802.84	22.0	347.97	4.49	1.80	360.7	231.1	0.31
八一库下	700.26	22.5	717.54	102.56	1.87	1323.7	231.0	0.27
苇套河	936.85	21.9	815.75	19.92	1.66	389.4	173.3	0.27
苇套河—红沿河	1086.80	23.1	919.22	154.63	2.08	403.1	145.0	0.27
南极河—岚崮河	694.74	25.4	1525.74	710.60	2.12	2689.5	249.2	0.29
长兴岛	330.78	29.5	81.05	4305.00	1.72	55157.0	496.9	0.27
交流岛	1328.10	21.9	113.32	22.31	2.29	1154.6	124.7	0.27
大沙河	673.85	28.0	95.47	98.62	1.50	432.7	312.5	0.33
鞍子河	769.88	17.3	59.06	110.20	4.65	7382.6	278.5	0.33

表 2 瓦房店市水资源安全评价指标标准化结果								
区域名称	x'_1	x'_2	x'_3	x'_4	x'_5	x'_6	x'_7	x'_8
松树库上	1.000	0.794	0.995	1.000	0.930	0.000	1.000	1.000
松树—东风	0.326	0.646	0.782	0.990	0.860	0.008	0.967	0.535
东风—河口	0.288	0.740	0.046	0.932	0.619	0.027	0.978	0.000
九道河	0.438	0.794	0.455	0.993	0.841	0.007	0.986	0.417
回头河	0.000	0.000	0.951	0.770	0.035	0.228	0.000	0.535
九龙库上	0.468	0.726	0.975	0.979	0.781	0.022	0.988	0.417
九龙库下	0.334	0.762	0.668	0.938	0.508	0.051	0.980	0.208
大河库上	0.270	0.789	0.933	0.998	0.743	0.021	0.974	0.069
莲花库上	0.355	0.798	0.997	1.000	0.800	0.000	0.988	0.000
浮渡河	0.328	0.709	0.479	0.987	0.895	0.005	0.974	0.347
八一库上	0.309	0.789	0.803	0.999	0.905	0.007	0.975	0.347
八一库下	0.267	0.767	0.551	0.976	0.883	0.024	0.975	0.069
苇套河	0.364	0.794	0.484	0.995	0.949	0.007	0.988	0.069
苇套河—红沿河	0.426	0.740	0.414	0.964	0.816	0.007	0.994	0.069
南极河—岚崮河	0.265	0.637	0.000	0.835	0.803	0.049	0.971	0.208
长兴岛	0.115	0.453	0.985	0.000	0.930	1.000	0.914	0.069
交流岛	0.525	0.794	0.963	0.995	0.749	0.021	0.999	0.069
大沙河	0.256	0.520	0.975	0.977	1.000	0.008	0.956	0.486
鞍子河	0.296	1.000	1.000	0.974	0.000	0.134	0.964	0.486

表 3 瓦房店市各水资源分区水资源安全评价结果					
序号	区域名称	综合投影值	序号	区域名称	综合投影值
1	松树库上	2.5191	11	苇套河	1.6647
2	九龙库上	1.9409	12	浮渡河	1.6507
3	交流岛	1.9190	13	苇套河—红沿河	1.6215
4	莲花库上	1.8112	14	九龙库下	1.5917
5	大沙河	1.8045	15	八一库下	1.5862
6	八一库上	1.7954	16	长兴岛	1.3065
7	松树—东风	1.7842	17	南极河—岚崮河	1.2947
8	九道河	1.7458	18	东风—河口	1.2860
9	大河库上	1.7136	19	回头河	0.7208
10	鞍子河	1.6723			

行评价,由评价结果可以直观地看出 松树库上地区为安全性最高区,回头河为安全性最低区域,19 个区域的水安全排序由高到低如图 1 所示。

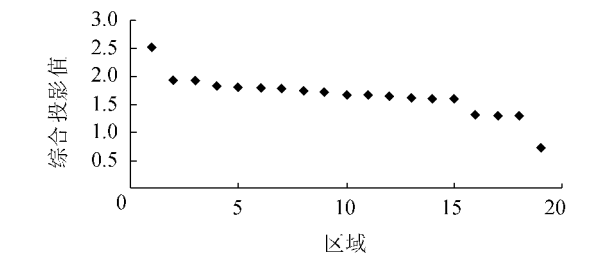


图 1 瓦房店市各水资源分区水资源安全评价结果
(下转第 22 页)

3 结果分析

运用投影寻踪技术对瓦房店市各水资源分区进

的水,其水温夏天比河水的水温低,冬天比河水的水温高,而从水库顶部附近出口放出的水,其水温全年都比河水的高。上游水库水温严重地影响到下游河道、水库的多年平均水温。水温的变化直接影响到水生生物的生长环境,如藻类、鱼类及其他生物的繁殖周期,间接地影响水体自净能力,使水质产生异常变化。

随着水库冲沙系统的开启,水库沉积的泥沙会携带污染物进入下级水库,影响下级水库的供水功能。

7 结 论

a. 2001—2005 年,乌江流域水资源量变化很大,降雨量最大的年份是 2002 年,最小的是 2005 年,相应的,区域地表水资源量、河流泥沙含量等指标也随降雨量的变化而变化。

b. 随着经济的发展,乌江流域供水量和用水量都呈逐年增长的趋势,尤其是工农业用水量的增长趋势明显,废污水的排放量也逐年递增。

c. 2001—2007 年,乌江流域水质有逐渐恶化的趋势,主要污染的区域在乌江上、中游地区的支流河段,如六盘水市三岔河及贵阳市清水河等城市下游部分河段。但影响水质的因素很多,水质变化与水资源量等各项指标之间没有显著的相关关系。

d. 聚类分析结果表明:乌江流域中型水电站的建设增大了流域的供水能力;大型水电站建设与工业用水量表现出相同的变化趋势;各级水库的年末

蓄水量与降雨量有一定关系,与工农业用水量呈显著负相关。

梯级水电站建设对环境的影响主要表现为改变区域的水文特征和水环境质量,其影响有明显的累积效应和滞后效应。笔者的统计数据仅从 2001—2005 年,时间较短,还需要增加大量的水文水资源及环境生态指标,以便全面反映梯级电站建设对环境的影响效应。

参考文献:

- [1] MICHAEL B, KLAUS J, JOHN M B. Application of a hierarchical framework for assessing environmental impacts of dam operation: changes in streamflow, bed mobility and recruitment of riparian trees in a western North American river [J]. Journal of Environmental Management, 2009, 90: 224-226.
- [2] KLAUS J, MICHAEL B, NICHOLAS S, et al. 23 reservoir operations, physical processes, and ecosystem losses [J]. Developments in Earth Surface Processes, 2007, 11: 607-636.
- [3] 龙笛. 贵州乌江流域的水资源开发与可持续利用 [J]. 水资源与水工程学报, 2005, 16(3): 19-24.
- [4] 周智, 喻元秀, 熊际翎. 乌江流域水环境污染现状及容量与对策 [J]. 贵州师范大学学报: 自然科学版, 2004, 22(4): 42-45.
- [5] 胡宝柱, 高磊磊, 王娜. 水库建设对生态环境的影响分析 [J]. 浙江水利水电专科学校学报, 2008, 20(2): 41-43.

(收稿日期: 2009-01-17 编辑: 徐娟)

(上接第 7 页)

依据投影寻踪综合评价结果及当地水资源的实际情况,将瓦房店市各区县的水资源安全程度由高到低排列等级,松树库上为安全性最高区域,九龙库上、交流岛、莲花库上、大沙河、八一库上、松树—东风、九道河、大河库上、鞍子河、苇套河、浮渡河、苇套河—红沿河、九龙库下、八一库下、长兴岛、南极河—岚嵒河、东风—河口为中级区域,回头河为最差区域。这与当地的水源条件、工业发展程度及经济状况等因素有关。

虽然投影寻踪技术在水资源安全评价中还存在很多问题,计算中存在误差,但依据此技术对瓦房店市进行的水资源安全评价在瓦房店市未来的水资源发展规划中具有指导性意义。尽管只是运用投影寻踪技术对各区域安全性进行了比较,不能得出各区

域确切的评价数值,但随着研究的深入,该技术在水资源安全评价方面的应用将日臻完善。

参考文献:

- [1] 王瑞芳, 秦大庸, 张占庞. 层次分析法在山西省水资源安全评价中的应用 [J]. 人民黄河, 2008(9): 40-42.
- [2] 卞建民. 投影寻踪技术在松嫩平原西部水资源可持续利用中的应用 [J]. 水土保持通报, 2007, 27(3): 93-96.
- [3] 王顺久. 区域农业生态环境质量评价投影寻踪模型研究 [J]. 中国生态农业学报, 2006, 14(1): 173-175.
- [4] 方必和. 投影寻踪模型在国民经济综合评价中的应用 [J]. 运筹与管理, 2005, 14(5): 85-88.
- [5] 李祚泳. 投影寻踪的理论及应用进展 [J]. 大自然探索, 1998, 17(1): 47-50.
- [6] 孙才志, 迟克续. 大连市水资源安全评价模型的构建及其应用 [J]. 安全与环境学报, 2008, 8(1): 115-118.

(收稿日期: 2009-04-08 编辑: 徐娟)