

# 水文相似度的权值确定方法及其应用

黄 燕, 张静怡, 刘军涛, 李莉君

(河海大学 水文水资源学院, 江苏 南京 210098)

摘 要: 本文依据系统相似工程学的相似理论, 选用江西省 57 个控制站的流域特征值, 建立以流域面积、主河道长、河道平均比降、年平均雨量、最大一日降雨量、流域平均高程、植被覆盖率、地质特征为特征指标的水文相似性体系, 并分别采用改进层次分析法、非平权距离系数法和变异系数法确定水文相似权重系数。根据非平权距离系数法得出的权值, 进行流域水文相似度的计算, 利用计算得出的水文相似度将江西省分为两个水文相似性大类。

关键词: 改进层次分析法; 非平权距离系数法; 变异系数法; 水文相似度; 水文相似

中图分类号: P333

文献标识码: A

文章编号: 1006-7973 (2009) 09-0186-03

流域水文尺度化和相似性问题是当今水科学研究的热门话题, 李长兴<sup>[1]</sup>在研究小尺度要素的变化对降雨径流的影响时提出了代表性单元产流面积 (REA); 丁晶、王文圣等<sup>[2, 3]</sup>综合论述了水文现象中的统计相似性、自相似性、动态相似性。正是因为水文现象的复杂性, 所以水文学中相似性研究必须综合考虑各种因素的综合影响。张静怡等<sup>[4]</sup>利用人工神经网络方法进行水文分区研究, 戚晓明<sup>[5]</sup>等首次探索性地提出了水文相似性指标, 并指出了相似元、相似程度计算方法, 为量化水文相似性研究提供了有效的方法。本文采用三种不同的主、客观方法进行水文相似权重系数的确定, 并将计算得出的水文相似度应用于江西省水文相似性分类研究。

## 一、水文相似指标体系建立

本文选用江西省 57 个控制站的流域特征值, 建立以流域面积 ( $X_1$ )、主河道长 ( $X_2$ )、河道平均比降 ( $X_3$ )、年平均雨量 ( $X_4$ )、最大一日降雨量 ( $X_5$ )、流域平均高程 ( $X_6$ )、植被覆盖率 ( $X_7$ )、地质特征 ( $X_8$ ) 为特征指标的水文相似性体系, 见图 1。其中  $X_4$ 、 $X_5$  为水文气象指标, 其余六个为流域下垫面指标。

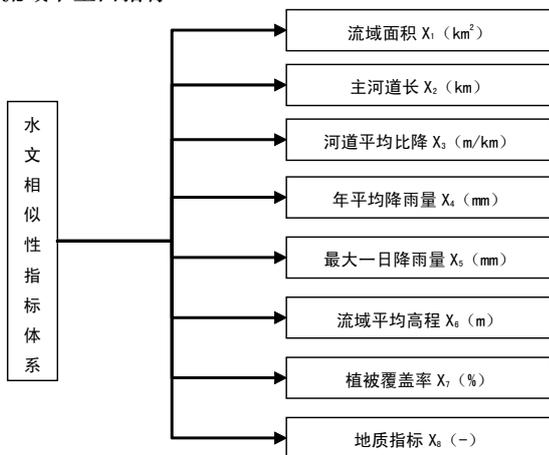


图 1 水文相似性指标体系

## 二、水文相似计算

### 1. 水文相似元数值计算

戚晓明<sup>[5]</sup>首次提出了水文相似元的数值化定义, 水文相似元是指水文系统间具有共同的属性和特征, 在数值上存在组成差异的要素构成的单元。

根据模糊相似元理论<sup>[6]</sup>, 对流域中的某一特征要素  $X_i$ , 把流域 A 中要素特征值描述为  $U_a(X_i)$ , 流域 B 中要素特征值描述为  $U_b(X_i)$ , 记  $U_i(a_i, b_i)$  为流域 A、B 关于第  $i$  个特征要素的相似元, 则水文相似元的值为:

$$U_i(a_i, b_i) = \frac{\min(U_a(X_i), U_b(X_i))}{\max(U_a(X_i), U_b(X_i))} \quad (1)$$

### 2. 水文相似度计算

#### (1) 特征数目相似度

参照文献<sup>[6]</sup>中的相似数值方法, 将其应用到流域水文相似性中, 记流域 A 中的要素为  $a_i$ , 流域 B 中的要素为  $b_j$ , ( $i=1, 2, \dots, k, j=1, 2, \dots, l$ )。则 A、B 相似特征的交集为  $u: u = a \cap b$ , 所有特征集合为并集  $S: S = a \cup b$ , 相似特征数目:  $num(a \cap b) = m$ , 所有特征数目:  $num(a \cup b) = k + l - m$ , 则: 相似元素特征数目相似度记为  $q(u_i)_n$ , 则有:

$$q(u_i)_n = \frac{m}{k + l - m} \quad (2)$$

#### (2) 特征数值相似度

考虑每一特征指标对元素相似的影响不等, 取特征权重分别为  $\beta_1, \beta_2, \dots, \beta_n$ , 则相似元素的特征数值相似度记为  $q(u_i)_s$ , 则有:

$$q(u_i)_s = \sum_{j=1}^m \beta_j U_j(a_i, b_i) \quad (3)$$

综合数目相似度和数值相似度得:

$$Q_{sim}(A, B) = q(u_i)_n \cdot q(u_i)_s = \frac{m}{k + l - m} \sum_{i=1}^n \beta_i U_i(a_i, b_i) \quad (4)$$

本文分析研究的流域均含有相同的特征指标值, 即

收稿日期: 2009-07-23

作者简介: 黄 燕 (1985-), 男, 湖北监利人, 河海大学水文水资源在读硕士研究生。

$k = l = m$ , 因此水文相似系统的相似度可由数量相似和数值相似简化成数值相似:

$$Q_{sim}(A, B) = \sum_{i=1}^n \beta_i U_i(a_i, b_i) \quad (5)$$

其中,  $n$  为水文相似系统特征相似要素个数,  $\beta_i$  反应每一特征要素对相似系统的相似程度的权重系数,  $\sum_{i=1}^n \beta_i = 1$ 。

### 三、水文相似权系数确定方法

多目标决策中权重系数的确定主要有主观赋权法、客观赋权法。主观赋权法主要是由专家根据经验主观判断而得到, 如专家咨询法、AHP 法、Delphi 法等, 这些方法人们研究较早, 也较为成熟, 但客观性较差。客观赋权法的原始数据是由各指标在评价中的实际数据组成, 它不依赖于人的主观判断, 因而此类方法客观性较强, 如变异系数法, 熵权法等。

#### 1. 非平权距离系数法

按照客观赋权法, 把各个特征指标根据一定的规则进行自动赋权, 采用如下方法<sup>[7, 8, 9]</sup>:

假设现有  $m$  个系统, 系统间有  $n$  个相关的特征属性,  $x_{ij}$  为第  $j$  个系统的第  $i$  项特征属性值, 对于任意确定的  $i$ , 令

$$X_{ij} = \frac{x_{ij}}{\max_{1 \leq j \leq m} \{x_{ij}\}}$$

$[1, n]$  间的所有值, 即可将所以特征属性值标准化, 且有

$0 \leq X_{ij} \leq 1$ 。将  $X_{ij} (1 \leq k \leq m)$  按从大到小降序排列, 令

$$\Delta X_i = \frac{\sum_{u=1}^{\lfloor \frac{m}{2} \rfloor} X_{iu} - \sum_{t=\lfloor \frac{m+3}{2} \rfloor}^m X_{it}}{\lfloor \frac{m}{2} \rfloor}$$

其中,  $\lfloor \cdot \rfloor$  为求整符号, 等式右边分子第一项表示  $\lfloor m/2 \rfloor$  个最大标准特征属性值的和, 第二项表示  $\lfloor m/2 \rfloor$  个最小标准特征属性值的和, 因此  $\Delta X_i$  表示  $m$  个系统在第  $i$  个特征属性上的平均差值, 它可以反映出这些系统在此特征属性上的一致性。

基于这种考虑, 可以令 (5) 式中的权重系数

$$\beta_i = \frac{\Delta X_i^2}{\sum_{k=1}^n \Delta X_k^2}, \text{ 显然 } \sum_{i=1}^n \beta_i = 1.$$

#### 2. 改进层次分析法

传统的层次分析法按照九标度法构造判断矩阵, 本文按照文献<sup>[10]</sup>的三标度法, 先构造比较矩阵, 计算重要性排序指数, 然后得到判断矩阵的元素。

$P$	$X_1$	$X_2$	$X_3$	$X_4$	$X_5$	$X_6$	$X_7$	$X_8$
$X_1$	1	7	9	13	15	3	5	11
$X_2$	1/7	1	3	7	9	1/5	1/3	5
$X_3$	1/9	1/3	1	5	7	1/7	1/5	3
$X_4$	1/13	1/7	1/5	1	3	1/11	1/9	1/3
$X_5$	1/15	1/9	1/7	1/3	1	1/13	1/11	1/5
$X_6$	1/3	5	7	11	13	1	3	9
$X_7$	1/5	3	5	9	11	1/3	1	7
$X_8$	1/11	1/5	1/3	3	5	1/9	1/7	1

将判断矩阵归一化处理即可得到权值  $\beta_i$ :

$$\beta_i = [0.397, 0.093, 0.057, 0.02, 0.012, 0.239, 0.148, 0.034]^T$$

权数合理性检验:  $\lambda_{\max} = 8.8593$ ,  $CI = 0.122$ ,  $RI = 1.41$ ,  $CR = 0.087 < 0.10$ , 满足一致性。其中,  $\lambda_{\max}$  为判断矩阵的最大特征值,  $CI$  为一致性指标,  $RI$  为平均随机一致性指标,  $CR$  为一致性比率,  $CR = CI/RI$ 。

#### 3. 变异系数法

变异系数法的基本思想是, 某项特征指标观测值的变异程度较大, 则赋予该项特征指标较大的权重, 具体计算步骤如下:

(1) 计算第  $i$  项特征指标值变异系数:

$$CV_i = \frac{\delta_i}{EX_i}$$

(2) 计算第  $i$  项特征指标的权重系数:

$$\beta_i = \frac{\delta_i}{\sum_{i=1}^n \delta_i}$$

式中  $\delta_i$  为第  $i$  项特征指标的均方差,  $EX_i$  为第  $i$  项特征指标的均值,  $\beta_i$  为第  $i$  项特征指标的权重系数。

分别采用上述三种方法, 对江西省 57 个水文站点所控制的流域的 8 个特征指标值, 建立水文相似体系, 计算出各水文特征指标的权重系数见表 1。

表 1 不同权值确定方法的水文相似权值

权值确定方法	$X_1$	$X_2$	$X_3$	$X_4$	$X_5$	$X_6$	$X_7$	$X_8$
非平权距离系数法	0.280	0.181	0.112	0.018	0.026	0.094	0.178	0.111
改进层次分析法	0.397	0.093	0.057	0.020	0.012	0.239	0.148	0.034
变异系数法	0.251	0.154	0.181	0.019	0.025	0.133	0.072	0.166

### 四、水文相似度应用

利用公式 (5) 以及表 1 得到的水文相似权系数可以求出任何两个流域之间的水文相似度, 即可得到相似度矩阵  $Q$ :

$$Q = \begin{bmatrix} Q(1,1) & Q(1,2) & \cdots & Q(1,57) \\ Q(2,1) & Q(2,2) & \cdots & Q(2,57) \\ \vdots & \vdots & \vdots & \vdots \\ Q(57,1) & Q(57,2) & \cdots & Q(57,57) \end{bmatrix}$$

其中,  $Q(i, j) = Q(j, i)$ ,  $Q(i, i) = 1$

利用相似度矩阵, 对江西省 57 个代表水文站点进行水文相似性分析。本文利用非平权距离系数法计算的权重系数值, 计算出相似度矩阵, 按照相似度最大的原则, 将江西省 57 个水文站点分成两类, 结果见图 2, 各类的流域特征指标的平均值见表 2。

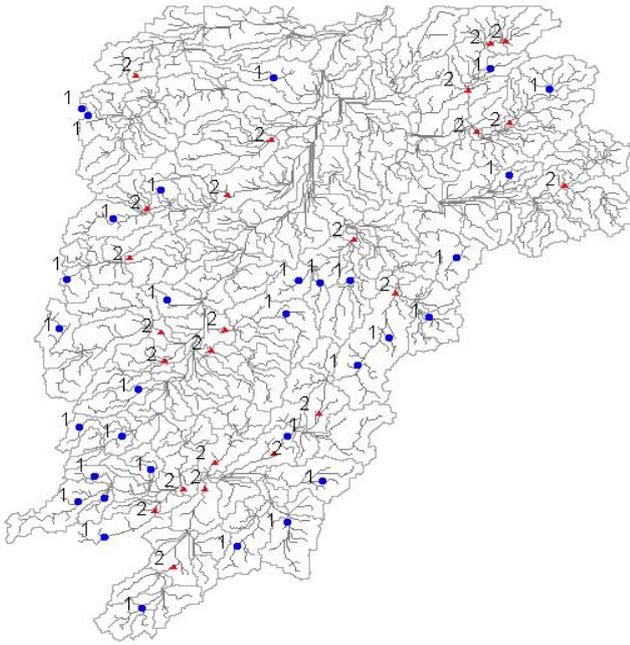


图 2 江西省水文相似站点分类图

表 2 流域特征指标平均值

类	$\bar{X}_1$	$\bar{X}_2$	$\bar{X}_3$	$\bar{X}_4$	$\bar{X}_5$	$\bar{X}_6$	$\bar{X}_7$	$\bar{X}_8$
1	633	55.8	4.57	1708	98.0	422	68	0.32
2	3856	150.3	2.00	1682	99.4	314	57	0.16

结果表明,类 2 的流域面积 ( $\bar{X}_1$ )、主河道长 ( $\bar{X}_2$ ) 明显大于类 1,河道平均比降 ( $\bar{X}_3$ )、流域平均高程 ( $\bar{X}_6$ )、植被覆盖率 ( $\bar{X}_7$ )、地质特征指标 ( $\bar{X}_8$ ) 均小于类 1,可以得出类 1 主要位于山区、类 2 主要位于地势平坦地区。

#### 五、小结

本文采用三种方法计算水文相似权系数,三种方法计算结果表明:特征指标流域面积所占权重均为最大,而反应下垫面特性的年平均雨量和最大一日降雨量均为最小。选用 8 个水文特征指标因子进行水文相似性研究,根据任意两个水文站点之间的水文相似度,得出了 57 个站点的相似度矩阵,在给定初始聚类中心的情况下,采用模糊聚类的原则进行分类,将江西省水文相似区分为两大类,应用效果较好。由于水文相似的复杂性,尽量多的选择能够反映流域特性的因子,将会使得计算结果更能反映实际情况。

(参考文献略)

(上接 183 页)必要时黎二过船闸也可考虑在内。

闸门的启闭、开闸时间的长短、闸门开启度的大小以及开闸先后顺序的不同,将导致调度方案的不同。在不同的调度方案下,塘河内各河流的流量甚至流向都不相同,因此对水质的改善程度也就不同。往往某一特定闸门对某些特定河段的水质有很显著的改善作用,而对其它河段的水质改善作用不大;有些河段靠引水冲污来改善水质有较大难度。因此必须针对不同的水质状况及上游来水量,通过整个河网调水的数值模拟计算,确定优化的闸门调度方案。

#### 3. 局部工程强化引水冲污效果方案规划

温瑞塘河引水后主要河道的水位抬高,可能造成支流的流向改变、流速减小、形成滞流,分配不到流量的支流可能会产生水流顶托,致使这些河道的流速减缓、污染物积聚,进而使河水黑臭。所以,应利用水利控制工程使治理区域的水系“活”起来。

温瑞塘河系发达、水网交织,各河道的状况差别很大,而现有引水工程只能通过河网末端入江口的闸门调控,缺乏调水过程中的有效控制,导致上游引水在进入城市水网后流向和流量分配没有得力的控制能力。由于这种末端调控措施本身的局限性,即使通过闸门调度优化也很难使上游引水置换河网内所有的污染河道,必然存在引水分配较少的特定河段,影响引水工程对整个温瑞塘河网的治理效果。对于重点整治河道及重污染河道有必要采取局部工程措施,强化对于这些河道的引水冲污效果。

##### (1) 橡胶坝方案规划。

橡胶坝是将胶布按照规定的尺寸,锚固在底板上成封闭状,用水(气)充胀形成的挡水坝。橡胶坝不挡水时,只需放空坝袋内水(气)就可恢复原有河渠、堤防断面形状。用

于河道上作为低水头、大跨度的滚水坝或溢流堰,可以不用常规闸的启闭机、工作桥等。

橡胶坝造价低、施工期短、能抵抗波浪等冲击、且止水效果好、跨度大、汛期不阻水、维修少、管理方便。但橡胶坝也要定期检查,橡胶坝袋容易受到尖利和有头角物体的损坏,故应划出橡胶坝工程的管理范围和安全区域。

在本引水工程中适宜设置于上庄河、上江河段等。

##### (2) 潜坝方案规划。

潜坝是坝顶低于潮位的整治构筑物,布置在河口段涨落潮河槽明显分离的河床,对其中某一河槽采用潜坝滞流,使涨落潮流路趋于一致。并拦阻上游的土壤和砂石,不使之随水流失。

潜坝为固定构筑物,在使用及后期管理维护方面比较困难。在本引水工程中适宜设置于十八湾河、仙门河段等。

##### (3) 导流堤方案规划。

导流堤能使河口或出海口水流夹沙能力满足维持航道水深的要求,以固定河口或出海口航道为目的,或将沿岸漂沙导向不危及航道的水域。

#### 四、结论

温瑞塘河的问题是我国现阶段经济社会发展的一个缩影,它充分说明了生态的破坏就是对人类自身生存物质基础的破坏,将严重制约当地经济社会可持续发展。而温瑞塘河调水及近期治理则是对固有发展模式的反思,是凭借智慧与决心做出的理性抉择,是追求人与自然和谐相处的创新实践,对这种实践效果的客观评估,具有全面性、反馈性和探索性,不但对后续项目实施有重要的借鉴意义,而且能够为实现河道流域生态与经济社会协调发展提供有益的经验 and 参照。