

考虑不同水文年及 IHA 指标相关性的水文特征评估方法

周毅¹, 崔同², 高满², 郑鑫², 杨涛², 刘森¹

(1.江苏省水文水资源勘测局,江苏 南京 210029;

2.河海大学水文水资源学院,江苏 南京 210098)

摘要:变动范围法(RVA)是国内外评价河流水文特征变化的重要方法,但其存在忽略水文年变化特征及中低度改变指标的缺陷。针对此问题,采用 CRITIC 法结合欧氏距离对传统 RVA 进行改进,并将改进方法用于黄河源区(唐乃亥水文站),分析黄河源区径流量的水文指标变化趋势和整体水文变异程度。研究表明:唐乃亥水文站在 1990 年时水文情势发生突变,突变后流量呈减少趋势;受干扰后的唐乃亥水文站 2/3 月份平均流量、年最小 7/30/90d 流量、年最大 90d 流量、高流量平均延时、流量平均减少率/增加率共 9 个指标为中度改变,其余指标为低度改变;黄河源区水文特征年改变度为 41.36%,水文指标整体改变度为 27.33%,水文情势整体改变度为 57.39%,属于中度改变。

关键词:IHA;RVA;欧氏距离;CRITIC 法;黄河源区;水文特征

中图分类号:TV121

文献标识码:A

文章编号:1000-0852(2017)02-0020-06

1 引言

河流是生产、生活和生态等的主要来源,对经济社会发展具有重要意义,因此河流生态健康受到广泛关注。水文情势是河流健康的重要标志,它影响着河道生物多样性以及河流生态系统的完整性^[1]。有效评估河流水文情势变化,对维持和恢复河流健康具有重要意义。传统评价方法一般采用单变量,如 7Q10 法、Texas 法等,由于只能反映一种流量组分,在保护河流生态系统的完整性中缺乏实际意义^[2]。因此,Richter 等人在 1996 年提出一套能够代表河流流量与生态变化过程的水文变异性指标(IHA),该指标体系包含 33 个指标,并从流量、历时、发生时间、频率和变化率 5 个方面来表征生态信息^[3]。为了进一步确定管理河道时的恢复目标,Richter 等在 IHA 的基础上提出了变动范围法(RVA),从而判断河流水文情势的变化情况^[4]。随后,Shiau 等提出了河道水文情势整体水文改变度^[5]。由于其适用性强,IHA 和 RVA 方法便得到了广泛认可和应用^[6-7]。

然而,RVA 在评估河道水体的改变度时也存在一定不足。Yin 等人认为 RVA 只考虑指标频率的变化,

尚未考虑水文特征的年变化,从而低估了水文变化^[8],并提出了考虑水文特征年的 RVA。黎云云等人发现 RVA 忽略了中低度改变指标的影响导致评价结果与实际不符,并提出了利用层次分析法和熵权法赋予指标生态权重进行评价^[9]。但是,上述评价方法在确定指标权重时过程复杂,同时未考虑各个指标相关性的问题,而实际上 IHA 指标间存在严重的相关性^[10]。在此,本文探讨采用一种通过分析指标相关性来确定指标权重的方法,并结合水文特征年变化对河道水文情势进行综合评价。

受到气候变化及人类活动的影响,黄河源区的径流已经发生了一定的改变,该区域水文情势的变化,将会对黄河中下游产生重大影响。而以往的研究多集中在水文极值、月均流量等方面,对于黄河源区水文情势变化的研究相对较少^[11-12]。本文通过收集黄河源区逐日径流资料,基于 IHA 指标体系,考虑水文年变化特征,并利用 CRITIC (CRiteria Importance Through Intercriteria Correlation)方法改进 RVA,对黄河源区的水文情势变化进行全面、客观的评价,深入了解黄河源区水文情势的改变程度,为流域水资源和生态管理提供科学依据。

收稿日期:2016-07-21

作者简介:周毅(1975-),男,江苏淮安人,高级工程师,主要从事水文水资源分析计算与水文预报方面的工作。E-mail:zhouyi_nj@foxmail.com

2 研究区概况及数据

黄河源区地处青藏高原的东北部 (95°50'E~103°30'E, 32°20'N~36°10'N), 流域面积 12.2×10⁴km²(唐乃亥站以上)。该区域是黄河流域最重要组成部分, 地势西高东低, 地貌复杂多样, 气候属于高原气候区, 多年平均降水量在 250~800mm 之间, 降水年际变化大, 且年内分配不均, 夏秋季节(6~9月)降水多, 冬干春旱。本研究选取唐乃亥水文站作为研究站点, 该站是黄河源区的重要控制站点, 流域面积仅占黄河流域面积的 18%, 多年平均径流量为 200.4×10⁸m³, 占黄河流域径流量的 38%, 其中 6~9 月的流量占全年流量的 71%。研究选择该站点 1960~2009 年的逐日径流数据作为基础数据, 进行统计分析。

3 研究方法

3.1 Mann-Kendall 法

目前, 有很多进行水文序列突变点检验的方法, 其中 Mann-Kendall 作为一种非参数统计检验, 由于其样本不需要遵从一定分布, 且不受少数异常值干扰, 同时具有计算简单等优点, 广泛应用在水文趋势分析中^[12]。本研究亦选用此法对黄河源区的水文径流序列进行趋势检验。

3.2 水文改变评估方法

3.2.1 单一水文指标改变度

为了能够评估河流水文情势特征, Richter 等^[3]1996 年提出了水文变异指标(IHA), 包括流量、频率、发生时间、历时和改变率等 5 个方面的 33 个指标, 这些指标因子被认为能够较全面地反映河流的水文情势。在此基础上, Richter 等^[4]提出了一种频率统计方法即变化范围法(RVA), 并将得到的 IHA 指标中的落入 25% 和 75% 频率间的范围作为满足生态需求的变动范围。同时他也给出了单一指标的水文改变度, 具体公式为:

$$D_m = \left| \frac{N_m - N_e}{N_e} \right| \times 100\% \quad (1)$$

式中: D_m 为 m 个 IHA 指标的改变度; N_m 为第 m 个指标在变化后实际落于 RVA 阈值内的观测年数; N_e 表示为第 m 个指标变化后预期落于 RVA 阈值内的年数。当 D_m 值介于 0~33% 时为无改变或低度改变; 介于 33%~67% 时为中度改变; 介于 67%~100% 时则为高度改变。

3.2.2 整体水文改变度

Shiau 等提出了河道水文情势整体水文改变度(D_0),

即对各水文改变度的指标采用加权平均法来计算河流水文情势综合改变度, 具体评估公式如下:

(1) 若各指标的改变值均小于 33%, 则整体改变度归类为整体低度改变, 其改变度 D_0 为:

$$D_0 = \frac{1}{N} \sum_{m=1}^N D_m \quad (2)$$

式中: N 为评价指标的个数; D_0 为整体改变度; D_m 为 m 个 IHA 指标的改变度。

(2) 若各指标的改变值中至少有 1 个指标的改变度大于或等于 33%, 则水文整体改变度属中度改变, 其改变度为:

$$D_0 = 33\% + \frac{1}{N_m} \sum_{m=1}^{N_m} (D_m - 33\%) \quad (3)$$

式中: N_m 为属于中度改变的 IHA 个数。

(3) 若各指标的改变值中至少有 1 个指标的改变度大于或等于 67%, 属高度水文改变, 则水文整体改变度为:

$$D_0 = 67\% + \frac{1}{N_h} \sum_{m=1}^{N_h} (D_m - 67\%) \quad (4)$$

式中: N_h 为属于高度改变的 IHA 个数。

3.3 考虑水文年特征及水文指标相关性的 RVA 法

3.3.1 水文特征年改变

Yin 等人认为水文年类型(丰、平、枯)的改变是水文情势变化的一个重要指标, 并提出了利用欧氏距离计算水文年改变度的方法。假设有 n 年的天然的径流数据系列(A_1, A_2, \dots, A_n)以及 m 年受干扰后的数据系列(B_1, B_2, \dots, B_m)。计算其改变度步骤如下:

(1) 欧氏距离 DF

$$\text{当 } n=m \text{ 时, } DF = \sqrt{\sum_{i=1}^m (A_i - B_i)^2} \quad (5)$$

$$\text{当 } n>m \text{ 时, } DF = \min \sqrt{\sum_{i=1}^m (A_{k+i} - B_i)^2}, k=0, 1, \dots, n-m \quad (6)$$

$$\text{当 } n<m \text{ 时, } DF = \min \sqrt{\sum_{i=1}^m (A_i - B_{i+k})^2}, k=0, 1, \dots, m-n \quad (7)$$

式中: A_i, B_i 同为丰水、平水或者枯水年时, $|A_i - B_i| = 0$; A_i, B_i 分别为丰水年和水平年, 水平年和枯水年时, $|A_i - B_i| = 1$, 反之一样; A_i, B_i 分别为丰水和枯水或枯水和丰水年时, $|A_i - B_i| = 2$ 。

(2) 标准化欧氏距离 S

$$S = DF / [T \times \min(n^{1/2}, m^{1/2})] \quad (8)$$

式中: T 为水文年变化最大距离, 当有三种水文特征年时 T 等于 2; S 为标准化欧式距离, 即水文改变度, 范围从 0 到 1, 值越大表明河流系统退化越严重。

3.3.2 基于 CRITIC 法确定水文权重

由于 IHA 指标体系间存在较强的相关性, CRITIC 能够考虑指标的相关性进而确定指标权重, 因此本研究选择此方法确定各指标权重。具体如下:

(1) 基于 CRITIC 法的指标权重确定

CRITIC 法是由 Diakoulaki 提出的一种通过分析各指标间的对比强度和指标间的冲突性来综合衡量指标的客观赋权方法^[13]。其中对比强度用标准差来衡量, 标准差越大则该指标所反映的信息量也越大。指标间的冲突性通过相关系数来表示, 如果两个指标间的负相关系数越大, 则表明它们的冲突性就越大, 说明这两个指标在评价结果中反映的信息有较大的不同, 指标所占的权重也相应越大。CRITIC 法被认为是一种能够较为全面反映指标客观权重的计算方法, 已经得到了较为广泛的应用。具体公式如下:

$$C_j = \sigma_j \sum_{i=1}^m (1 - \tau_{ij}) \quad (j=1, 2, \dots, m) \quad (9)$$

$$W_j = C_j / \sum_{j=1}^m (C_j) \quad (j=1, 2, \dots, m) \quad (10)$$

式中: C_j 为第 j 个指标所表示的全部信息量; σ_j 为 j 个指标的标准差; τ_{ij} 为第 i 和 j 个指标相关系数; W_j 为第 j 个指标权重。

(2) 确定水文情势的改变度

本文将 CRITIC 权重分析法与 IHA 法结合起来评估河道水文指标整体改变度, 具体计算公式为:

$$D'_0 = \sum_{i=1}^N W_{mi} D_i \quad (11)$$

式中: W_{mi} 为各指标的综合权重; D_i 为各指标的改变度。

(3) 考虑水文年特征及水文指标相关性的水文情势整体改变度:

$$OD = 1 - (1 - S) (1 - D'_0) \quad (12)$$

式中: OD 的取值范围从 0 到 1, 其值越大表明河流退化越严重。

4 结果及分析

4.1 径流趋势分析

利用 Mann-Kendall 方法对唐乃亥水文站近 50 年的径流数据进行突变点检验 (见图 1), 结果表明唐乃

亥站的年流量在 1990 年时水文情势变化发生了突变, 通过了显著性水平的检验, 该站在 1990 年以后流量较明显的减少, 受干扰之前的多年平均径流量为 $692.9 \text{ m}^3/\text{s}$, 干扰后为 $556.4 \text{ m}^3/\text{s}$ 。因此, 研究将 1960~1990 年作为影响前的水文系列, 1991~2009 为影响后的水文系列。

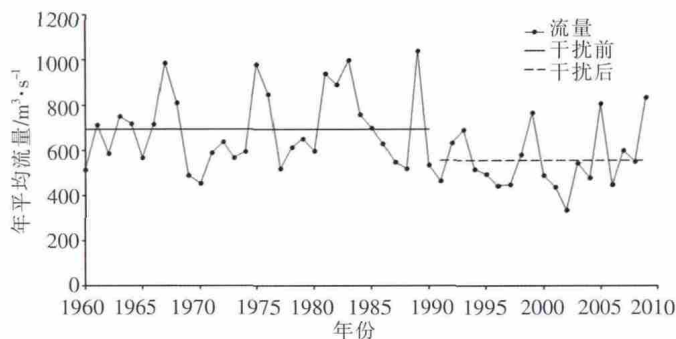


图1 唐乃亥水文站 1960~2009 年平均流量

Fig.1 The mean annual flow at the Tangnaihai station from 1960 to 2009

4.2 各水文指标变化分析

基于划分的水文序列变化节点, 利用 IHA 软件及公式(1)可以计算得到唐乃亥水文站各水文指标的改变度, 根据各个年份的 IHA 指标基于 CRITIC 法得到各指标的权重, 具体结果见表 1。

(1) 各月平均流量。由表 1 可以看出, 受到干扰后唐乃亥水文站的各个月份的流量中值均呈现减少的现象, 尤以 7 月份减少最为明显, 8 月份减少最为微弱, 表明唐乃亥的各月流量存在下降趋势。12 个月份中 2 月和 3 月水文改变度为中度改变, 而其他月份的月均流量改变程度均属于低度改变, 其中 2 月份平均流量改变程度最大, 达到了 63.74%, 其次为 3 月份, 12 月份的改变度最小, 仅为 0.29%; 各月份的水文平均改变度为 21.25%。

(2) 年极端流量。受干扰后年最小流量、年最大流量中值均呈现减少趋势, 而基流系数中值呈微弱的趋势; 此外, 年最大流量较年最小流量减少显著, 年最小流量减少率在 -15% 附近波动, 而年最大流量减少率在 -25% 附近波动。受干扰后的年极端流量平均改变度为 34.17%, 改变度较大; 其中年最小 7d、30d、90d 流量以及年最大 90d 流量为中度改变, 其余为低度改变。

(3) 年极端流量发生时间。由极端流量发生时间变化可知, 受干扰后极端流量均出现推后的趋势, 其中, 年最小 1d 流量发生时间推迟了 3d, 而年最大 1d 流量发生时间推迟了 19d。年极端流量发生时间平均

表1 唐乃亥水文站IHA指标的水文指标改变统计表及其权重
Table1 The statistics of IHA index alteration and its weights of the Tangnaihai station

水文分组	IHA 指标	干扰前	干扰后	中值变化率/%	水文改变度	改变度均值/%	权重
各月流量 平均值 $/\text{m}^3\cdot\text{s}^{-1}$	1 月	170	144	-15.29	23.22	L	0.025
	2 月	160.5	142	-11.53	63.74	M	0.025
	3 月	216	193	-10.65	36.55	M	0.026
	4 月	336.5	295	-12.33	23.22	L	0.028
	5 月	554	442	-20.22	13.62	L	0.031
	6 月	753	733.5	-2.59	5.54	L	0.03
	7 月	1460	854	-41.51	32.82	L	0.033
	8 月	967	951	-1.65	13.62	L	0.04
	9 月	1300	866.5	-33.35	4.02	L	0.029
	10 月	1070	723	-32.43	32.82	L	0.023
	11 月	504	391	-22.42	5.57	L	0.02
	12 月	240	200	-16.67	0.29	L	0.025
年极端流量 $/\text{m}^3\cdot\text{s}^{-1}$	最小 1d	146	125	-14.38	9.36	L	0.023
	最小 3d	152.7	128	-16.18	23.22	L	0.023
	最小 7d	155	128.9	-16.84	42.41	M	0.024
	最小 30d	159.3	137	-14.00	52.01	M	0.024
	最小 90d	182.2	154.6	-15.15	52.01	M	0.024
	最大 1d	2410	1770	-26.56	32.82	L	0.025
	最大 3d	2360	1710	-27.54	32.82	L	0.025
	最大 7d	2266	1539	-32.08	32.82	L	0.025
	最大 30d	1755	1376	-21.60	13.62	L	0.026
	最大 90d	1311	942.6	-28.10	52.01	M	0.031
	基流量	0.24	0.25	3.19	32.82	L	0.036
年极端流量	年最小 1d 发生时间	20	23	15.00	13.62	L	0.024
	年最大 1d 发生时间	211	230	9.00	23.22	L	0.060
高、低流量的 频率及延时	低流量次数	2	2	0	27.49	L	0.032
	低流量平均延时/d	36.5	51.5	41.10	8.22	L	0.070
	高流量次数	3	4	33.33	9.36	L	0.032
	高流量平均延时/d	19	7	-63.16	54.68	M	0.035
流量变化改变 率及频率	流量平均减少率/%	16	11	-31.25	45.61	M	0.026
	流量平均增加率/%	-18	-12	-33.33	52.01	M	0.061
	每年流量逆转次数	114	118	3.51	18.42	L	0.04

注:L 表示低度改变,M 表示中度改变

改变度为 18.42%, 其中年最大、最小流量改变度分别为 13.62%, 23.22%, 均属于低度改变。

(4)高、低流量的频率及延时。干扰后,低流量的出现的次数没有发现变化,但是延时却呈现显著增加的趋势,达到了 41.10%。高流量的出现次数增加,而延时却显著减少,减少了-63.16%。高、低流量的频率及延时平均改变度为 24.94%, 4 个参数中低流量次数、低流量平均延时、高流量次数均为低度改变,仅年高流量平均延时为中度改变,改变度为 54.68%。

(5)流量变化改变率及频率。干扰后流量平均增加率和平均减少率均显著下降,年流量逆转次数则略有增加。流量平均减少率及增加率发生显著性变化,均属于中度改变,而反转数的水文变化程度较小,属于低度改变(18.42%)。

此外,CRITIC 的结果表明,低流量平均延时、流量平均增加率、年最大 1d 发生时间三个指标所占权重较大,分别为 0.070、0.061、0.060,即这 3 个指标所含信息量较大,其余各指标权重见表 1。

4.3 水文整体改变度分析

4.3.1 水文年改变特征

研究利用文献[8]的方法确定水文年及其变化特征,如表 2 所示。

表2 唐乃亥水文站的水文年变化特征分析
Table2 The change characteristics of hydrological years of the Tangnaihai station

时段		枯水年	平水年	丰水年	DF	S
1960~1990	年数	3	19	9	3.61	0.41
	百分比	10%	61%	29%		
1991~2009	年数	9	7	3		
	百分比	47%	37%	16%		

从表 2 可知,天然状态下,黄河源区径流以平水年和丰水年为主,过去的 31 年数据系列中出现了 19 次平水年和 9 次丰水年。而受到干扰后源区枯水年和平水年出现次数明显较多,19 年中枯水年和平水年分别出现了 9 次、7 次,这表明水文特征年发生了巨大改变。进一步利用欧氏距离计算得到改变度 DF 为 3.61,水文特征年改变度 S 为 0.41。

4.3.2 水文情势整体改变度

基于表 1 的计算结果,根据 Shiau 等人提出的整体水文改变度的评价公式,以及本文采用的基于欧式距离和 CRITIC 法的 RVA 计算得到的唐乃亥的水文改变度,结果见表 3。

表3 基于不同评价方法的水文情势整体改变度对比结果
Table3 The alteration degree of the hydrological regime at the Tangnaihai station based on the different evaluation methods

水文站点	RVA	改进 RVA		
		D_0	S	OD
唐乃亥	37.81% M	27.33%	41.36%	57.39% M

由表 3 可知,传统 RVA 方法计算得到唐乃亥水文站的整体改变度为 37.81%,属于中度改变,本文采用的改进 RVA 方法水文改变度为 57.39%,也属于中度改变。但是值得注意的是,传统的 RVA 法在计算改变度时以高度改变的指标为判断依据,而唐乃亥 32 个水文指标中有 9 个指标属于中度改变,因此计算结果为中度改变。黎云云等人认为这种方法过于重视变化程度较大的指标参数,而忽略了其他大多数属于中、低度改变的水文指标,这将一定程度上会给河流生态的恢复和管理带来一定的盲目性及误导性。而本文采用 CRITIC 法计算唐乃亥站的水文改度 D_0 属于低度改变,改变度

为 27.33%,实际上唐乃亥水文站 32 个 IHA 指标中,有 23 个水文指标属于低度改变,中度改变的指标仅为 9 个;同时低度改变指标所占权重为 0.69,大于中度改变指标所占权重 0.31,即 32 个指标中,低度改变指标对生态系统的响应程度高于中度改变指标。此外,传统的 RVA 未考虑水文特征年的变化,而从表 2 可知唐乃亥水文站的水文年发生了巨大改变。综上分析,本文提出的 RVA 方法在评价水文情势改变度时更加客观实际。

5 结论

(1) 黄河源区唐乃亥水文站的年径流量在 1990 年时水文情势发生了突变,突变后流量较突变前流量呈减少的趋势,多年平均流量减少了 $136.5\text{m}^3/\text{s}$;

(2) 受干扰后的唐乃亥水文站的 32 个水文指标中,2 月份/3 月份平均流量、年最小 7/30/90d 流量、年最大 90d 流量、流量平均延时、流量平均减少率/增加率等 9 个指标为中度改变,其余指标为低度改变;

(3) 受干扰后唐乃亥水文站水文特征年改变度 S 为 0.41,水文指标整体改变度为 D_0 为 0.27,水文情势的整体改变度为 0.57,属于中度改变。

与传统的 RVA 方法相比,本文提出的 RVA 不仅能通过指标相关性有效反应 32 个水文指标对河流整体改变度的影响,避免中度、低度改变指标被忽视的现象,而且考虑了水文特征年变化的影响,评价结果更加科学合理。

参考文献:

[1] Poff N.L., Allan J.D., Bain M.B., et al. The natural flow regime [J]. BioScience, 1997,47(11):769 - 784.

[2] 张洪波. 黄河干流生态水文效应与水库生态调度研究[D]. 西安: 西安理工大学, 2009. (ZHANG Hongbo. Study on Eco-hydrological Effect and Reservoir Ecological Regulation on the Main Yellow River [D]. Xi'an: Xi'an University of Technology, 2009. (in Chinese))

[3] Richter B.D., Baumgartner J.V., Powell J., et al. A method for assessing hydrologic alteration within ecosystems [J]. Conserv. Biol, 1996,10(4):1163 - 1174.

[4] Richter B., Baumgartner J., Wigington R., et al, How much water does a river need [J]. Freshwater Biology, 1997,37(1):231-249.

[5] Shiau J. T., Wu F. C. Assessment of hydrologic alterations caused by Chi -Chi diversion weir in Chou -Shui Creek, Taiwan: opportunities for restoring natural flow conditions [J]. River Research and Applications, 2004,20(4):401-412.

[6] 张洪波,辛琛,王义民,等. 宝鸡峡引水对渭河水文规律及生态系统的影响[J]. 西北农林科技大学学报(自然科学版), 2010,38(4):226-233. (ZHANG Hongbo, XIN Chen, WANG Yimin, et al. Influence of drawing water to Baojixia irrigation area on hydrologic regularity and ecosystem of Weihe River [J]. Journal of Northwest A&F

- University(Nature.Science), 2010,38(4):226–233. (in Chinese))
- [7] 陈启慧,夏自强,郝振纯,等. 计算生态需水的 RVA 法及其应用[J]. 水资源保护, 2005,(3):4–7.(CHEN Qihui, XIA Ziqiang, HAO Zhenchun, et al. RVA method for the computation of ecological water requirement and its application [J]. Water Resources Protection, 2005, (3):4–7. (in Chinese))
- [8] Yin X. A., Yang Z. F., Petts G. E. A new method to assess the flow regime alterations in riverine ecosystems [J]. River Research and Applications, 2015,31(4), 497–504.
- [9] 黎云云,畅建霞,涂欢,等. 黄河干流控制性梯级水库联合运行对下游水文情势的影响[J]. 资源科学, 2014,36(6):1183–1190. (LI Yunyun, CHANG Jianxia, TU Huan, et al. Impact of controlling cascade reservoir joint operation on hydrologic regimes in the lower Yellow River [J]. Resources Science, 2014,36(6):1183–1190. (in Chinese))
- [10] Olden J. D., Poff N. L. Redundancy and the choice of hydrologic indices for characterizing streamflow regimes [J]. River Research and Applications, 2003,19(2):101–121.
- [11] Xu Z. X., Zhao F. F., Li J. Y. Response of streamflow to climate change in the headwater catchment of the Yellow River basin [J]. Quaternary International, 2009,208(1):62–75.
- [12] 张建业,章四龙,王金星,等. 近 50 年来中国六大流域年际径流变化趋势研究[J]. 水科学进展, 2007,18(2):230–234.(ZHANG Jianyun, ZHANG Silong, WANG Jinxing, et al. Study on runoff trends of the six larger basins in China over the past 50 years [J]. Advances in Water Science, 2007,18(2):230–234.(in Chinese))
- [13] Diakoulaki D., Mavrotas G., Papayannakis L. Determining objective weights in multiple criteria problems: the CRITIC method [J]. Computers & Operations Research, 1995,22(7):763–770.

A New Method to Assess Hydrological Regime Alterations Considering Hydrological Year Types and Correlation Among IHA

ZHOU Yi¹, CUI Tong², GAO Man², ZHENG Xin², YANG Tao², LIU Miao¹

(1. Hydrology and Water Resources Survey Bureau of Jiangsu Province, Nanjing 210029, China;

2. College of Hydrology and Water Resources, Hohai University, Nanjing 210098, China)

Abstract: Range of Variability Approach (RVA) is an important method to evaluate the alteration of river streamflow. However, the traditional range of variability approach (RVA) has the drawback that variabilities of low and medium flow indicators are often ignored. To assess flow regime alterations more comprehensively, an improved RVA method was proposed based on the CRITIC method (Criteria Importance Through Intercriteria Correlation) combined with Euclidean distance. The observed streamflow data of the Tangnaihai station from 1960 to 2009 in the source region of the Yellow River were used to validate the rationality of the new method. Meanwhile, the change trend of hydrology index and the overall degree of hydrological variation in the region were analyzed. The results show that the annual streamflow indicate a decreasing trend after the mutation in 1990. After the disturbance, the overall changing degrees calculated by the improved method is 27.33%, belongs to medium change. Nine IHA indicators, including mean flow in February/March, annual minimum 7/30/90-day flow, annual maximum 90-day flow, mean duration of high flow, decreasing rate and increasing rate of flow, belong to moderate change, while the rest of the indicators belong to low change. Compared with the traditional RVA, the improved RVA method can effectively consider the impact of low and medium indices and make the evaluation results more objective.

Key words: IHA; RVA; Euclidean distance; CRITIC method; source region of Yellow River; hydrological characteristics

(上接第 13 页)

Research Progress and Prospects of Dispersion Scale Effect Test

DONG Guiming¹, CHANG Dahai¹, TIAN Juan², CAO Enwei³

(1. School of Resources and Earth Science, China University of Mining and Technology, Xuzhou 222116, China;

2. School of Geography, Geomatics and Planning, Jiangsu Normal University, Xuzhou 222116, China;

3. Environmental Monitor Central Station of Xuzhou, Xuzhou 222116, China)

Abstract: The problem of hydrodynamic scale-dependent dispersion is an important aspect of studying groundwater contaminant transport. Aiming at domestic and international study in scale-dependent dispersion, this paper summarized research progress of scale-dependent dispersion from lab and field. The proportion of causing scale-dependent dispersion was counted under various influence factors in laboratory test, and the reasons for causing scale-dependent dispersion were analyzed according to form data. Finally, study expectation of scale-dependent dispersion were proposed: (1) Testing the existence of scale-dependent dispersion; (2) Studying generation mechanism of scale-dependent dispersion; (3) Quantitative research on scale-dependent dispersion.

Key words: hydrodynamic dispersion; scale effect; dispersivity; laboratory experiment; field experiment.