

洮河干流径流量变化趋势分析

朱佳君¹, 张钰¹, 唐颖丰², 何彬¹

(1. 兰州大学 资源环境学院, 兰州 730000; 2. 甘肃省水利厅 水利工程建设造价与规费中心, 兰州 730030)

摘要: 河流径流量变化是对区域气候和下垫面变化的综合反映, 了解和认知其变化对流域水资源开发具有重要意义。根据洮河流域上、中、下游的下巴沟、岷县、李家村、红旗四个控制水文站点实测月、年径流量资料, 运用不同指标对洮河干流径流量的变化规律和趋势进行了分析, 并采用最新的经验模态分解法进行佐证。结果表明: 50年代至今, 洮河流域径流量年内分配不均匀性越来越低, 上游向下游逐渐由均匀向不均匀变化; 该流域径流量年际变化大, 总体表现为逐渐减小的趋势, 丰平枯水年交替出现; 洮河上游、下游径流量年际变化稳定, 中游有部分支流汇入, 径流量年际变化剧烈。洮河径流过程与降雨过程呈对应关系, 径流量随雨量的变化而变化, 径流量有滞后现象。

关键词: 洮河流域; 月(年)径流量; 年内分配; 年际变化; 经验模态分解(EMD)法

中图分类号: P332.3

文献标识码: A

文章编号: 1005-3409(2011)03-0110-06

Trend Analysis on Runoff of Taohe River Main Curren

ZHU Jia-jun¹, ZHANG Yu¹, TANG Ying-feng², HE Bin¹

(1. College of Earth and Environmental Science, Lanzhou University, Lanzhou 730000, China;

2. Water Project Construction Cost and Fees Center, Department of Water Resources of Gansu Province, Lanzhou 730030, China)

Abstract: The runoff variation is a comprehensive reflection of the changes of regional climate and the underlying surface of the earth. Understanding and awareness of its change are of great significance for the development of river resources. Based on the Taohe River basin, the upper, middle and lower reaches of the Xia-ba groove, Minxian, Lijiacun, Red flag control hydrological stations measured four months, the annual flow of information, the Taohe River runoff changes and trend were analyzed by using different indicators, and was tested by using the latest Empirical Mode Decomposition method. The results show that: From the 50s of 20th century until present, the Taohe River basin runoff is increasingly uneven distribution of low, gradually from upstream to downstream change from even to uneven. This river has large annual variation of runoff, the overall trend showed decreases, the abundant even waterless year appears alternately. Inter-annual changes in runoff of upstream and downstream of Taohe River are steady; middle reaches of some tributaries of import, inter-annual changes in runoff increased. Taohe of runoff process is corresponding with rainfall, changes in runoff varies with rainfall, and runoff always lags.

Key words: Tao River Basin; monthly (annual) runoff; annual distribution; annual change; empirical mode decomposition method

河川径流是水文循环的重要环节, 径流量的变化对整个水文系统的演化起主导作用, 同时对资源环境和区域经济产生重大影响。因此, 河川径流量一直是水文水资源科学研究的重点和热点。随着全球变暖和人类活动影响的加剧, 河川径流发生了显著的时空变化, 直接影响了流域水资源的合理配置、开发与利

用, 以及河流生态系统的物理、化学和生物过程^[1]。秦年秀等^[2]、时兴合等^[3]认为近 50 a 来长江径流量呈减少趋势, 而 20 世纪 90 年代径流量呈微弱的增加趋势。穆兴民等^[4-6]分析了黄河干流年天然径流量空间关系, 认为可用某个水文站的天然径流量反映某一特定区段径流量变化趋势, 采用黄河陕县站天然径流

量资料, 分析了 1919—1997 年黄河天然径流量年际变化的阶段性、周期性及其未来变化趋势。张建业等^[7]则认为近 50 a 来中国 6 大河流径流量均出现明显减少的趋势。刘晓黎等^[8]认为近半个世纪以来, 洮河流域的径流量呈现出明显的减少趋势。李计生等^[9]认为洮河径流量呈现年际变化大、年内分配不均匀、季节性突出和周期性明显的特点。根据水文统计学相关公式的推倒可知长系列径流实测资料更有利于准确地探寻随机水文现象统计规律, 但因资料所限, 我国水文工作者主要分析和研究近 50 a 以来河流实测径流量的时空变化。本文选取洮河干流上、中、下游四个水文站 1956—2006 年水文资料, 分析洮河干流径流量的变化及其趋势, 为区域水资源规划与开发利用提供参考。

1 研究流域概况

洮河流域位于甘肃省东南部, 在东经 $101^{\circ}36' - 104^{\circ}20'$ 、北纬 $34^{\circ}06' - 36^{\circ}01'$, 是黄河在龙羊峡至兰州区间段的最大支流, 发源于青海境内的西倾山北麓, 干流向东流经碌曲县、卓尼县、岷县后北折经临洮县到永靖县茅龙峡汇入黄河, 入河口位于刘家峡水库大坝上游, 流域总面积 $25\,527\text{ km}^2$, 河流全长 673 km , 干流平均比降为 2.8 ‰ 。该流域河道曲折, 呈不规则河型, 水系发育, 支流众多, 从上到下分别是周可河、多拉河、贡去乎河、博拉河、车巴沟、卡车沟、大峪沟、迭藏河、羊沙河、冶木河、三岔河、广通河。流域内有水文站 8 处, 雨量站 88 处^[10]。

2 研究资料与方法

2.1 研究资料

本次研究以洮河流域为主要范围, 基础资料应用洮河干流上游下巴沟站、中游岷县站、李家村站、下游红旗站的实测径流资料。中游李家村站和下游红旗站有 1956—2006 年实测径流资料系列, 采用中游李家村水文站为参证站, 统一插补延长资料系列短的下巴沟和岷县测站资料, 使资料系列统一为 1956—2006 年系列, 并将中游李家村站和下游红旗站实测径流资料还原为天然状态下的径流量, 经“三性”分析后可用, 最终以洮河 4 个代表站 1956—2006 年实测月、年径流量资料为基础, 对各代表站径流量年内和年际变化特点进行分析, 研究其周期性、突变性、相关性等变化规律, 以揭示洮河流域径流系统的周期演化规律和趋势变化特点。

2.2 研究方法

采用年内不均匀系数^[11]、年内分配完全调节系

数^[11]、集中度和集中期^[12]、变化幅度^[13-14]等指标, 对径流量年内分配特征进行描述; 采用距平值^[15]、变差系数和年际极值比以及模比系数差积值等指标, 对径流量年际变化趋势进行描述。此外, 因为水文序列复杂多变, 径流量变化更表现出大量的不确定性和复杂性, 常规分析方法很难对径流量的变化规律和变化特征有清晰和准确的预测, 需要引入新理论、新方法——经验模态分解(EMD)法, 故采用经验模态分解法^[16-18]进行佐证, 掌握其变化规律。

2.2.1 年内分配相关指标研究方法

(1) 年内分配不均匀系数。径流量年内分配不均匀系数 $C_{v月}$ 的计算公式如下:

$$C_{v月} = \frac{\sigma}{R} \approx \frac{\sqrt{\frac{1}{12} \sum_{i=1}^{12} (R_i - R)^2}}{\frac{1}{12} \sum_{i=1}^{12} R_i} \quad (1)$$

式中: R_i ——年内各月径流量(亿 m^3); R ——年内月平均径流量(亿 m^3); σ ——均方差。

(2) 年内分配完全调节系数。径流量年内分配完全调节系数(C_r)是计算径流量年内分配不均匀性的另一种方法, 其计算公式如下:

$$C_r = \frac{\sum_{i=1}^{12} \Phi_i (R_i - R)}{\sum_{i=1}^{12} R_i} \quad \Phi_i = \begin{cases} 0 & R_i < R \\ 1 & R_i \geq R \end{cases} \quad (2)$$

(3) 年内集中度、集中期。集中度和集中期是利用实测的月径流资料反映年径流的集中程度和最大径流量出现的时段。计算公式为

$$R_x = \sum_{i=1}^{12} R_i \sin \theta_i \quad R_y = \sum_{i=1}^{12} R_i \cos \theta_i \\ R = \sqrt{R_x^2 + R_y^2} \quad (3)$$

定义集中度 RCD_{year} 和集中期 RCP_{year} 为:

$$\text{RCD}_{\text{year}} = \frac{R}{R_{\text{year}}} \quad \text{RCP}_{\text{year}} = \arctan\left(\frac{R_x}{R_y}\right) \quad (4)$$

式中: R_{year} ——年径流量, $R_{\text{year}} = \sum_{i=1}^{12} R_i$; R_i ——第 i 月的径流量; θ_i ——方位角, 即第 i 月经流的矢量角度, 将 1—12 月每月的方位角设定为 $0, 30^{\circ}, 60^{\circ}, \dots, 360^{\circ}$; i ——月序($i=1, 2, 3, \dots, 12$); 其他符号同前。

(4) 变化幅度。本次研究用两个指标来衡量河川径流量的变化幅度, 一个是相对变化幅度, 以河流最大月径流量 S_{max} 和最小月径流量 S_{min} 之比表示, 另一个是绝对变化幅度, 以最大与最小月径流量之差表示:

$$S_r = S_{\text{max}} / S_{\text{min}} \quad S_d = S_{\text{max}} - S_{\text{min}} \quad (5)$$

2.2.2 年际分配相关指标研究方法

(1) 距平法。距平是常用的表示径流量偏离平均值的统计量, 即 $R_i - R$ 。任何径流系列经过距平化处理, 都可以化为平均值为 0 的序列。

(2) 变差系数和年际极值比。径流量年际变化的总体特征常用变差系数或年极值比表示。变差系数是衡量系列相对离散程度的参数, 计算式为

$$C_v = \frac{\sigma}{R} \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n (K_i - 1)^2}{n}}$$

(6)

式中: K_i ——第 i 年的年径流变率, $K_i = \frac{R_i}{R}$; n ——资料年数。

(3) 模比系数差积曲线。模比系数差积值为 $\sum(K_i - 1)$, 将其做成曲线即为模比系数差积曲线, 主要反映径流序列的丰水和枯水过程。曲线上升段表示丰水期, 下降段反映枯水期。

2.2.3 经验模态分解 (EMD) 法 经验模态分解 (EMD) 法本质是根据数据序列信号自身的特征时间尺度, 对信号进行平稳化处理, 把复杂的信号数据分解成若干本征模态函数 (Intrinsic Mode Function, IMF) 及一个余项的线性和。IMF 反映了信号的内部特征, 余项反映了信号的平均趋势。经过 EMD 分解得到信号的各 IMF 分量, 各 IMF 分量都是平稳的, 表征了数据中内在的振动模态, 基于这些 IMF 分量进行 Hilbert 变换后得到的结果能够反映数据序列的真实物理过程, 详细方法参见参考文献^[16-17]。

3 结果与分析

3.1 年内变化特征指标及分析

3.1.1 径流量不均匀性分析 径流量不均匀系数反映了径流量年内分配的丰枯变化幅度, 洮河干流各代表站 1956—2006 年径流量年内分配不均匀系数见表 1。

表 1 洮河径流量年内分配不均匀系数					
时段	年代	下巴沟(洮)	岷县	李家村	红旗
1956—1959	1950s	0.65	0.65	0.68	0.68
1960—1969	1960s	0.71	0.66	0.65	0.64
1970—1979	1970s	0.64	0.71	0.69	0.71
1980—1989	1980s	0.60	0.65	0.65	0.64
1990—1999	1990s	0.50	0.62	0.63	0.63
2000—2006	2000s	0.57	0.65	0.64	0.63
1956—2006	平均	0.61	0.66	0.66	0.66

从表 1 中可以得出: 20 世纪 50—70 年代 C_r 月值大于等于多年平均, 说明这段时期径流量年内分配较不均匀, 而 80 年代至 21 世纪初代 C_r 月值均小于多年平均值, 说明 80 年代以来, 径流量年内分配较为缓和, 洮河流域值呈现先增加后减小的变化趋势, 表明近年来径流量年内分配由不均匀向相对均匀转变。

从不同断面来看, 同一条河流的不同断面, 径流量的不均匀系数很接近, 变化规律相似, 年内分配比较集中和比较均匀的年份较为对应; 此外, 除 60 年代洮河干流径流量年内分配不均匀系数自上游向下游逐渐减小外, 其他各年代值呈现由上游向下游逐渐增加的变化趋势, 表明越向下游径流量年内分配越不均匀。

3.1.2 径流量年内分配完全调节系数分析 洮河径流量年内分配完全调节系数及趋势见图 1。

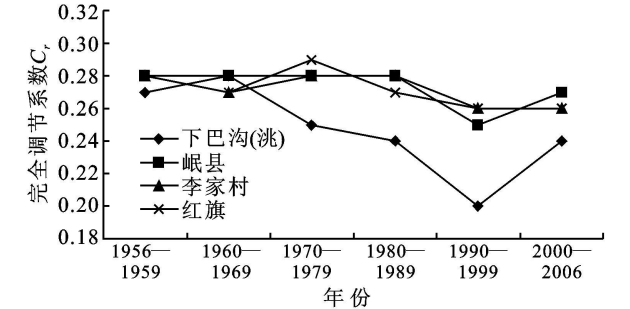


图 1 洮河径流量年内分配完全调节系数趋势图

从图 1 分析得出, 洮河径流量年内分配完全调节系数各年代相差不多, 各水文站变化规律基本相似。总体上, 20 世纪 50 年代到 90 年代, 径流量年内分配完全调节系数有减小的趋势, 表明这个时期月径流量序列的差异逐渐变小, 径流量年内分配不均匀性越来越低, 原因可能是近年来, 人类活动作用于下垫面, 改变了原有的产汇流条件, 在洮河上开发水电站, 增加了水库径流调节能力, 径流量更趋于均匀, C_r 呈现逐渐减小的趋势。21 世纪初上游和下游的 C_r 值又呈增大趋势, 但增幅较小, 表明 90 年代为洮河上游和下游径流量年内分配不均匀性的转折点。

从断面来看, 洮河上游水文站与中、下游水文站 C_r 值差别较大, 上游 C_r 值明显小于中下游 C_r 值, 上游向下游 C_r 值呈现逐渐增加的趋势, 从 C_r 值变化幅度来看, 洮河上游径流量年内分配逐年趋向均匀, 越向下游, 河道变宽, 坡度降低, 水资源开发利用程度大, 如灌溉渠道引水, 梯级小水电开发等, 使洮河调节能力下降, 径流量更加集中, 年内分配不均匀。

3.1.3 径流量年内集中度、集中期分析 分别计算 4 个水文站各年径流量集中度和集中期, 将数据点绘成图, 见图 2。

由图 2 分析得出, 洮河中下游集中度较大, 总体上随时间集中度减小。洮河干流上、中、下游集中度自 1980 年以后都较小, 表明 20 世纪 80, 90 年代, 随着洮河流域水资源的开发规划, 水利设施的建设调节了洮河原有的径流量分配, 使洮河水资源多年年内分配趋于均匀。从序列上、中、下游 (1956—2006 年)

RCD 的变化来看, 洮河上下游下巴沟水文站年际变化较大, 最大值为 0.93(1969 年), 最小值为 0.13(1974

年), 相差 7 倍多。洮河中、下游水文站 RCD 最大值与最小值比值在 2.5 左右。

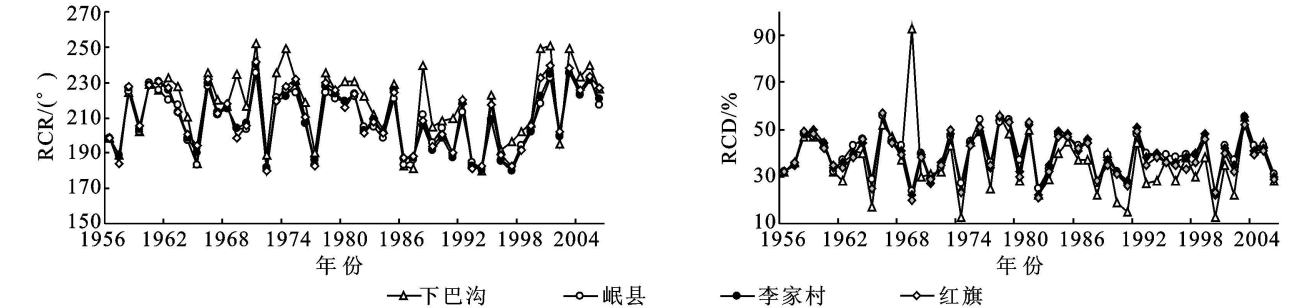


图 2 洮河流域代表站径流量集中度、集中期年际变化图

就径流量集中期而言, 从时间上分析, 径流量集中期随着时间有先增大后减小再增大的周期性趋势。80 年代以前相对于 80 年代以后径流量集中期年际变化较大。50 年代和 80 年代径流量集中期出现在 8 月上旬, 相对多年平均值, 径流量集中期提前 11 d 左右; 60 年代和 70 年代径流量主要集中在 8 月中下旬, 与多年平均值基本一致; 90 年代径流量主要集中在 7 月底 8 月初, 21 世纪初, 径流量主要集中于 8 月底 9 月初, 径流量集中期比多年平均值推迟 15 a 左右。从空间上分析, 洮河流域上游集中期主要在 8 月中下

旬, 中游、下游集中期主要在 8 月中上旬, 上游和中游集中期年际变化一致, 下游集中期年际变化较大, 呈周期波动趋势。上游集中期最大最小值出现的时间相差约 70 a, 中下游集中期最大最小值出现的时间相差约 60 d, 随时间变化上游和下游集中期相差 9 d 左右。

3.1.4 径流量变化幅度 径流量变化幅度对区域水资源的开发利用、生态系统的稳定等有很大影响。径流量年内变化幅度越大, 区域水资源开发利用的难度也越大。洮河流域月径流量特征值见表 2。

表 2 洮河流域月径流量特征值表

水文站	50 年代		60 年代		70 年代		80 年代		90 年代		21 世纪初		多年平均	
	S_r	S_a	S_r	S_a	S_r	S_a	S_r	S_a	S_r	S_a	S_r	S_a	S_r	S_a
下巴沟(洮)	5.2	1.6	6.8	3.6	5.7	2.4	4.5	2.0	4.1	1.3	4.3	1.7	5.2	2.1
岷县	7.3	5.4	7.0	6.2	7.6	5.5	6.1	4.7	5.7	3.2	5.9	3.8	6.5	4.4
李家村	7.6	6.6	6.6	7.3	7.2	6.8	6.1	5.7	5.8	4.0	5.8	4.5	5.8	5.3
红旗	7.6	7.8	6.4	8.4	7.8	8.0	5.8	6.3	5.8	4.6	5.7	5.2	6.1	6.1

从径流量的相对变化幅度 S_r 来看, 洮河中下游变化幅度较大, 随时间洮河月径流量相对变化幅度逐渐变小; 从径流量的绝对变化幅度 S_a 变化来看, 自洮河流域的上游向下游月径流量的绝对变化幅度逐渐增大, 在时间上月径流量绝对变化幅度表现出先增大后减小的趋势, 90 年代和 21 世纪初各月径流量明显减少, 其中 6—9 月减幅最大。

3.2 年际变化特征指标及分析

3.2.1 径流量的年际变化 洮河干流 4 个代表站 51 a 的径流量距平图见图 3。从图 3 中看出: 洮河流域径流量年际波动较大, 总体表现为先增大后减小的趋势, 丰平枯水年(根据水文预报规范, 径流量丰枯情况的划分标准为: $P < -20\%$ 为枯水; $-20\% \leq P < -10\%$ 为偏枯; $-10\% \leq P \leq 10\%$ 为平水; $10\% < P \leq 20\%$ 为偏丰; $P > 20\%$ 为丰水。)^[15] 交替出现, 各代表站平水年出现的次数最多, 枯水年次之, 丰水年最少。50, 70, 80 年代为洮河径流平水期, 60 年代为洮河丰水期, 90 年代至 21 世纪初为洮河连续枯水期。在 60

年代年径流量出现 1956 年以来的最大值, 90 年代到 21 世纪初为年径流量的最小阶段, 上、中、下游最大值和最小值同步出现, 分别出现在 1967 年和 2002 年。下游红旗站径流量变化表现最为剧烈, 红旗站 1967 年径流量为 1956 年以来的最大值, 60 年代为整个洮河丰水时期。2002 年红旗站径流量为洮河最小值, 为近 51 a 来径流量最小的年份, 近 20 a 来洮河处于相对枯水时期。

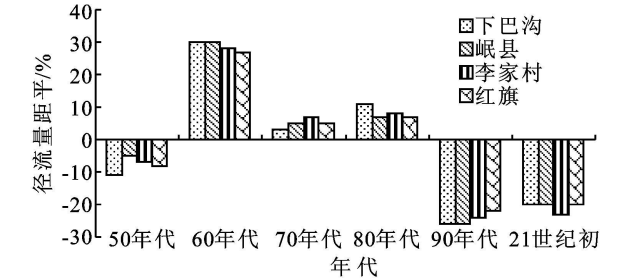


图 3 洮河干流径流量距平图

3.2.2 径流量变差系数和年极值比 对水文现象来说, 变差系数反映河川径流量在多年中的变化情况,

其值越大,表明年径流量变化大,丰枯水年的年径流量变化剧烈,容易引发干旱或洪涝灾害;反之则变化小、均匀、稳定。年际径流量极值比反映径流量年际

变化幅度。年际径流量极值比越大,反映径流量年际变化幅度越大,反之则越小。洮河流域年径流量特征值见表 3。

表 3 洮河流域年径流量特征值表

水文站	年径流量/ 亿 m ³	流域面积/ km ²	C _v	最大		最小		最大/ 最小
				年径流量/ 亿 m ³	年份	年径流量/ 亿 m ³	年份	
下巴沟(洮)	15.5	9006	0.32	32.92	1967	7.21	2002	4.57
岷县	33.1	14912	0.34	66.73	1967	16.23	2002	4.11
李家村	40.9	19693	0.35	80.83	1967	19.73	2002	4.10
红旗	47.2	24973	0.32	95.76	1967	24.91	2002	3.84

从表 3 中可以看出:随着流域面积的增加,洮河径流量自上游向下游逐渐增大。上游下巴沟站和下游红旗站 C_v 值相等,小于中游 C_v 值,表明洮河上游、下游径流量年际变化稳定;中游有部分支流汇入,径流量年际变化增大。自 1956 年以来,洮河流域水量最丰沛的一年为 1967 年,上、中、下游同时出现历史上最大径流量,2002 年是洮河流域历史上最枯的一年,上、中、下游同时出现历史上最小径流量。年际径流量极值比自上游向下游逐渐减小,表明随着流域面积的增大,流域调蓄能力增强,径流量年际变化幅度逐渐减小。

3.2.3 径流量模比系数差积曲线 模比系数差积曲线反映年径流量多年变化丰枯循环周期。从图 4 可以看出:洮河上、中、下游径流量丰枯变化表现出基本一致的特性。洮河中游岷县站、李家村站模比系数差积值明显大于上游下巴沟站和下游红旗站模比系数差积值,表明洮河中游径流量年际变化剧烈,丰枯水期过程明显。从整个过程看,1957–1968 年为差积曲线上升段,1986–2004 为差积曲线下降段。洮河年径流量自 1956–1968 年、2004–2006 年为丰水期,共 16 a,其间包括 1956–1957 年、1964–1965 年枯水年,1957–1958 年、1961–1962 年平水年,1958–1961 年、1962–1964 年、1965–1968 年、2004–2006 年为丰水段;1968–1986 为洮河径流的平水期,共 19 a,其间丰平枯水年交叉出现;1986–2003 为洮河径流的枯水期,共 17 a,年径流量表现为持续递减趋势。

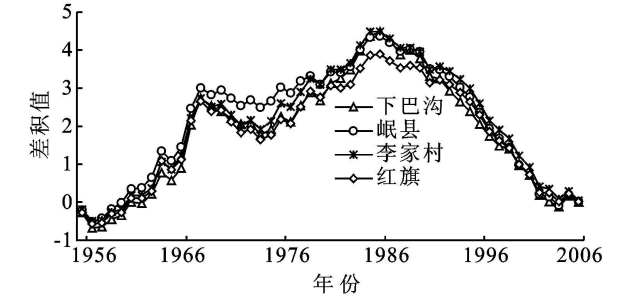


图 4 洮河年径流量、降水量模比系数差积曲线图

对比洮河流域降雨量模比系数差积曲线图,从图中可以看出,洮河流域降水总体上呈下降趋势,降水是洮河径流的主要补给来源。洮河径流量过程与降雨量过程呈现对应关系,径流量随雨量的变化而变化,径流量有滞后现象。

3.3 径流经验模态分解

采用所研究的 4 个水文站 1956–2006 年同步天然年径流量时序,应用 EMD 方法进行多时间尺度分解,限制标准差取 0.25,采用边界延拓法处理分解时的边界问题,得到一系列具有不同时间尺度的波动分量,结果见图 5–6。各站径流时序可以分解为 3 个具有不同波动周期的 IMF 分量和 1 个 RES 趋势分量,反映了该水文站以上流域面积产汇流系统变化的复杂的多时间尺度性。

从四组图可以看出:各站本征模态函数 IMF1 振幅最大,频率最高,波长最短,逐次筛分数据,IMF2、IMF3 分量波动幅度逐渐减小,频率逐渐减低,波长逐渐增大,RES 分量显示洮河上、中、下游各站径流量整体呈减小趋势。

IMF1 分量图反映出本征模态函数 IMF1 分量具有准 2~4 a 波动周期,年径流量丰枯交替出现。20 世纪 60 年代中期波动幅度变化较大,但总体上保持稳定。

IMF2 中本征模态函数图表现出准 4~7 a 周期,20 世纪 70 年代和 90 年代径流波动周期缩短,振幅变小,表明径流波动变化率增大,变化剧烈。

本征模态函数 IMF3 分量具有准 13~25 a 波动周期,在 20 世纪 50 年代到 70 年代中期具有 15 a 的准周期,70 年代后期至 21 世纪初具有 25 a 的准周期,其波动幅度随着波动周期的增加而呈减小趋势,表明 70 年代后期以来,洮河上游径流量变化率变小,变化相对平缓。1962–1968 年、1977–1988 年和 2003–2006 年时间段径流量偏多,1956–1961 年、1969–1976 年和 1989–2002 年时间段径流量偏少。

趋势项 RES 分量图显示下巴沟站年径流量的整体变化呈现缓慢、均匀的减小趋势。

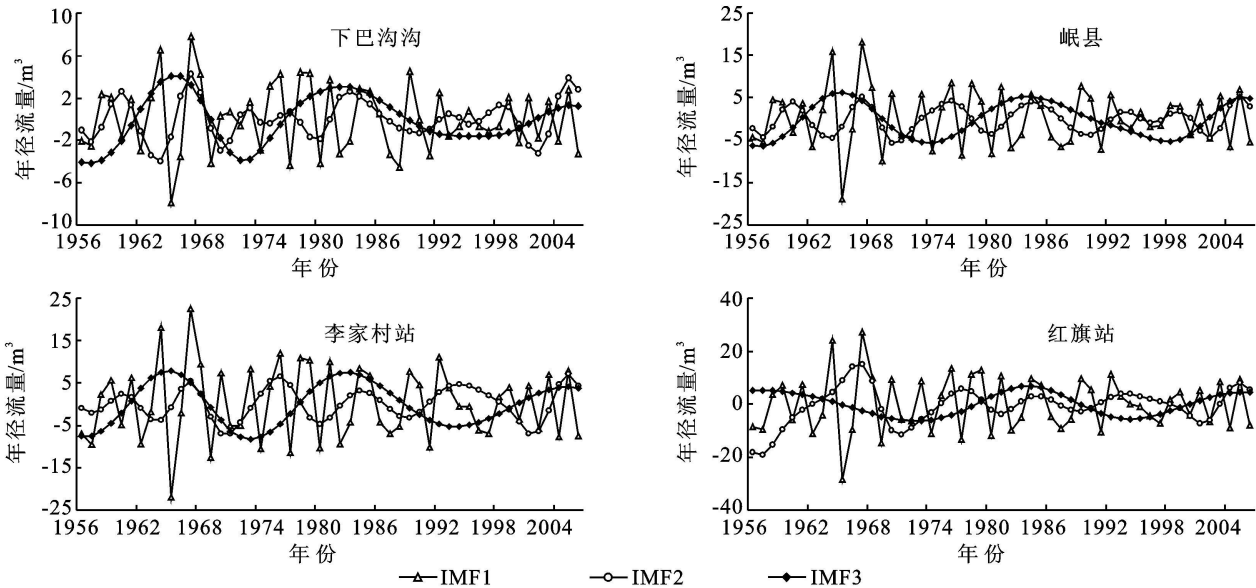


图 5 不同站点年径流量分量变化

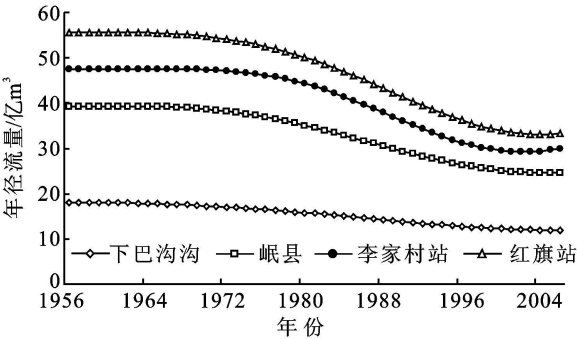


图 6 不同站点年径流量 RES 分量图

3.4 趋势分析

根据洮河下巴沟站、岷县站、李家村站、红旗站径流序列本征模态分析,洮河径流量变化有明显的突变特征,呈现枯、丰交替振荡。预测洮河径流下巴沟站、岷县站、李家村站、红旗站在 2006 年以后的 2~8 a、3~7 a、2~5 a、2~7 a,径流量还处于偏丰期,之后年径流量将由丰转为枯,呈逐渐下降趋势。

4 结论

本次分析研究从最基本的径流资料入手,通过对 1956~2006 年共 51 a 水文月、年资料的分析,对洮河径流量年内变化特点、年际变化情况及趋势进行系统的研究,表明洮河径流量年内变化呈现不均匀分配,但不均性越来越低;洮河径流量年内变化自上游向下游逐渐由均匀向不均匀变化;洮河径流量年际变化大,径流量呈逐年减少的趋势;中游有部分支流汇入,径流量年际变化增大;年降雨量的变化对径流量变化的影响是十分显著;周期性明显,洮河径流量变化表现出多个时间尺度的丰枯交替特征。

从本次研究结果来看,衡量径流量分配特征的指

标很多,各指标间有一定联系,但又不能相互替代,它们从不同的角度反映了径流量的分配特征。将这些理论研究成果和其他新的研究理论和方法应用于洮河径流特性分析方面,是今后研究的一个出发点。此外,随着“引洮工程”的逐步实施和水电梯级开发力度不断加大,将对径流量的年内分配产生一定的影响,影响程度有待进一步分析研究。

参考文献:

[1] 宋小燕,穆兴民,高鹏,等. 松花江哈尔滨站近 100 年来径流量变化趋势[J]. 自然资源学报, 2009, 24(10): 1803-1806.

[2] 秦新秀,姜彤,许崇育. 长江流域径流趋势变化及突变分析[J]. 长江流域资源与环境, 2005, 14(5): 589-594.

[3] 时兴合,秦宁生,许维俊,等. 1956~2004 年长江源区河川径流量的变化特征[J]. 山地学报, 2007, 25(5): 513-523.

[4] 穆兴民,徐学选,陈霖巍. 黄土高原生态水文研究[M]. 北京: 中国林业出版社, 2001.

[5] 穆兴民,李靖,王飞,等. 黄河天然径流量年际变化过程分析[J]. 干旱区资源与环境, 2003, 17(2): 1-5.

[6] 穆兴民,巴桑赤烈, ZHANG Lu, 等. 黄河河口镇至龙门区间来水来沙变化及其对水利水保措施的响应[J]. 泥沙研究, 2007, 4(2): 36-41.

[7] 张建云,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.

[8] 刘晓黎,黄强,吕玉洁,等. 洮河流域径流变化特征分析[J]. 干旱区资源与环境, 2008, 22(9): 97-101.

[9] 李计生,陈文,凡炳文. 洮河径流时空变化分析[J]. 地下水, 2009, 31(2): 67-70.

表 5 大庆市土地利用与生态环境协调度等级及协调发展度类型

评价等级	2000	2001	2002	2003	2004	2005	2006	2007	2008 协调
等级	良好协调 濒临失调	优质协调 勉强协调	优质协调 濒临失调	优质协调 濒临失调	优质协调 濒临失调	优质协调 濒临失调	优质协调 勉强协调	良好协调 勉强协调	良好协调 勉强协调
协调发展 类型	衰退类土 地利用损 益型	发展类土 地利用滞 后型	衰退类土 地利用损 益型	衰退类生 态环境损 益型	衰退类生 态环境损 益型	衰退类生 态环境损 益型	发展类生 态环境滞 后型	发展类生 态环境滞 后型	发展类生 态环境滞 后型

4 结论与建议

通过对大庆市土地利用与生态环境协调度评价的结果显示,从土地利用和生态环境两个子系统着手,建立各自的指标体系和函数模型,对于土地利用与生态环境两系统间协调度的定量评价具有针对性强、可操作性强的优点。为了更好地促进大庆市土地利用与生态环境协调发展,在今后的土地利用中应该注意以下几个方面的问题:(1)建立生态环境友好型土地利用模式,确保土地资源可持续利用。结合大庆市实际,可以构建以下几种生态环境友好型土地利用模式:环境保护型农用地模式、“三化草地”综合治理模式、“绿色采油”模式、城市土地生态利用模式和湿地保护型土地利用模式等。(2)加大土地利用的资金投入和土地生态环境治理投入,有效提高土地利用综合效益。2000–2008 年,大庆市地均固定资产投资额从 0.94 万元/hm² 提高到 2.84 万元/hm²,进而拉动土地产出水平不断提高,粮食单产从 2 364 kg/hm² 提高到 5 309.87 kg/hm²,第三产业地均产值从 0.41 万元/hm² 提高到 1.20 万元/hm²,而大庆市土地生态环境投资力度相对较低,生态环境治理水平也相对较低,因此,未来土地利用应注重综合效益水平的提高,在增加土地物质、资金投入量时,进一步加大对土地生态环境治理投入,通过政府引导,石油石化企业和民间资本联动模式,逐步建立起社会化与市场化的投入机制。(3)进一步提高森林覆盖率,加大对湿地保护力度,提升区域生态涵养能力。尽管大庆市森林覆盖率从 2000 年的 9.1% 提高到 2008 年的 10.5%,但是仍远远低于黑龙江省 41.6% 的平均水平,因此,应通过调

整完善造林规划,优化选择适宜大庆地区生长的数目品种,提高森林覆盖率;此外,大庆市湿地面积减少的状况没有得到改善,湿地面积比例从 2000 年的 0.20% 减少到了 2008 年的 0.18%,因此,应增加湿地保护区面积和提高现有保护区标准,加大对湿地保护力度,通过生态涵养能力的提高,有效改善大庆地区脆弱的生态环境质量现状。

参考文献:

[1] 李边疆. 土地利用与生态环境关系研究[D]. 南京: 南京农业大学, 2004: 68-69.

[2] 曹蕾. 协调土地利用与生态环境关系研究: 以上海市为例[D]. 上海: 华东师范大学, 2007: 1-2.

[3] 马富, 宗树森, 孙彦. 大庆市土地利用总体规划(1997–2010) [M]. 北京: 农业科技出版社, 2000: 72-75.

[4] 藏淑英, 冯仲科. 资源型城市土地利用/ 土地覆被变化与景观动态[M]. 北京: 科学出版社, 2008: 164-165.

[5] 宋戈, 高志昊, 马和. 石油城市转型期土地集约利用对策研究: 以黑龙江省大庆市为例[J]. 中国国土资源经济, 2008(12): 21-23.

[6] 袁磊, 雷国平, 张小虎. 资源型城市土地生态安全评价: 以大庆市为例[J]. 地域研究与开发, 2009(6): 80-85.

[7] 张富刚, 郝晋珉, 李旭霖, 等. 县域土地利用协调发展度评价: 以河北省曲周县为例[J]. 水土保持通报, 2005, 25(2): 63-68.

[8] 陈兴雷, 李淑杰, 郭忠杰. 吉林省延边朝鲜族自治州土地利用与生态环境协调度分析[J]. 中国土地科学, 2009, 7(7): 66-70.

[9] 杨士弘. 城市生态环境学[M]. 北京: 科学出版社, 1996: 114-119.

(上接第 115 页)

[10] 王文华. 洮河流域水文特性[J]. 水文, 2004, 24(5): 54-61.

[11] 李艳, 陈晓宏, 张鹏飞. 北江流域径流序列年内分配特征及其趋势分析[J]. 中山大学学报: 自然科学版, 2007, 46(5): 113-116.

[12] 刘贤赵, 李嘉竹, 宿庆, 等. 基于集中度与集中期的径流年内分配研究[J]. 地理科学, 2007, 27(6): 791-795.

[13] 黄德治, 谢平, 陈广才, 等. 北江下游三水站径流年内分配特征变化研究[J]. 水电能源科学, 2008, 26(4): 5-7.

[14] 徐东霞, 章光新. 嫩江径流年内变化特征分析[J]. 干旱区资源与环境, 2009, 23(7): 48-51.

[15] 任全志, 王金宽, 李晓凯. 大凌河流域径流变化特征及动因分析[J]. 水土保持应用技术, 2009(3): 25-27.

[16] 李卿. EMD 时频分析方法的研究与应用[D]. 上海: 华中师范大学, 2008.

[17] 于伟凯. EMD 时频分析方法的理论研究与应用[D]. 河北秦皇岛: 燕山大学, 2006.

[18] 谢国权, 丁志宏. 渭河年径流量多时间尺度分析的 EMD 方法[J]. 人民黄河, 2008, 30(8): 36-40.