

# 漳河流域近 60 年径流变化分析

高云明<sup>1</sup>, 魏琳<sup>1</sup>, 万思成<sup>2</sup>, 刘翠善<sup>3</sup>, 鲁冠华<sup>4</sup>, 任晓敏<sup>4</sup>

(1.水利部海河水利委员会水文局,天津 300170; 2.河海大学,江苏 南京 210098;  
3.南京水利科学研究所,江苏 南京 210029; 4.水利部海委漳河上游管理局,河北 邯郸 056006)

**摘要:**近年来,漳河流域径流量显著减少,严重影响流域内水资源的开发与利用。采用多种数理统计方法,分析了径流量的演变特征。结果表明:漳河流域年径流量呈显著性减少趋势,其中下游减少的趋势更加显著;20世纪80年代以前年径流量高于多年平均值,80年代以后低于多年平均值,且不同年代变幅较大;漳河流域实测径流量在20世纪70年代中后期出现变异点,变异点之后年径流量比变异点之前明显偏小。径流量系列存在6~7a的准周期。

**关键词:**漳河;年径流;周期性;突变性

中图分类号:TV121

文献标识码:A

文章编号:1000-0852(2016)03-0091-05

## 1 研究区概况

漳河位于海河流域西南部,是海河流域漳卫河水系的主要支流,上游分清漳河和浊漳河,在河北省涉县合漳村汇合后称漳河,全长460km,流域总面积19220km<sup>2</sup>,多年平均降水量564.8mm。漳河流域属我国水资源最短缺的地区之一,人口密集、经济尤其农业相对发达,流域水资源开发利用程度已远远超过了水资源的承载能力。漳河上游建设了大、中、小型水库100多座,总库容约14×10<sup>8</sup>m<sup>3</sup>。浊漳河以下的河南省红旗渠、跃进渠以及河北省大、小跃峰渠四大灌区的总引水能力达105m<sup>3</sup>/s,1996年以来,河道基流不足5m<sup>3</sup>/s。由于漳河流域水资源时空分布与用水分布不均现象突出,致使上下游、左右岸水事矛盾突出,是我国水事矛盾频发地区之一。

## 2 资料与分析方法

### 2.1 资料

选取漳河干流观台站、支流浊漳河石梁站、支流清漳河匡门口站及上游河源区的蔡家庄站、石栈道站为代表站,所选5个代表站位置分布在流域上、中、下游,且资料系列均超过55年,具有一定代表性。河流水系及代表站位置见图1,各代表站基本情况见表1。

### 2.2 分析方法

#### 2.2.1 趋势分析方法

滑动平均法:为消除不稳定的波动,显示出序列

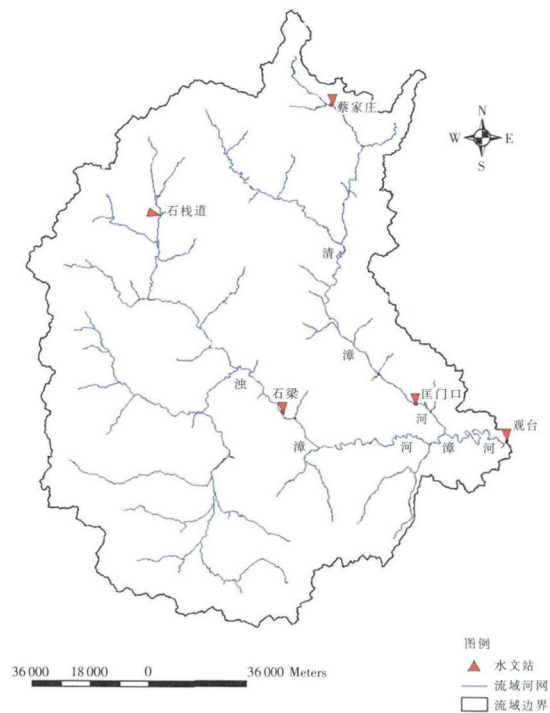


图1 漳河水系及水文站位置图

Fig.1 The hydrometry stations in the Zhanghe River basin

收稿日期:2015-07-10

基金项目:国家自然科学基金项目(41330854, 41371063);水利部公益性行业科研专项经费项目(201201091)

作者简介:高云明(1962-),男,河北迁安人,教授级高工,主要从事水文水资源工作。E-mail: gaoyunming@126.com

表1 漳河流域各代表站基本情况表

Table1 The information of the hydrometry stations in the Zhanghe River basin

河名	站名	所在县市	集水面积/km <sup>2</sup>	设立日期	资料系列
漳河	观台	河北磁县	17 800	1924.11	1951~2013
浊漳河	石梁	山西潞城市	9 652	1952.6	1953~2013
浊漳河	石栈道	山西榆社县	702	1957.6	1958~2013
清漳河	匡门口	河北涉县	5 060	1957.6	1958~2013
清漳河	蔡家庄	山西和顺县	460	1958.5	1959~2013

变化的平稳性,采用滑动平均法进行趋势性分析。具体步骤如下:年径流序列  $y_1, y_2, \dots, y_n$  的几个前期值和后期值取平均值,得到的新序列  $z_t$ 。

$$z_t = \frac{1}{2k+1} \sum_{i=-k}^k y_{t+i} \quad (1)$$

若  $y_t$  具有趋势成分,选择合适的  $k, z_t$  就能把  $y_t$  的趋势性特征清晰地显示出来。

Spearman 秩次相关检验法:分析序列  $x_t$  与  $t$  时序的相关关系,在运算时,  $x_t$  用其秩次  $R_t$  (把序列  $x_t$  从大到小排列时,  $x_t$  所对应的序号)代表相同数值秩取编号的最大值,  $t$  为时序 ( $t=1, 2, \dots, n$ )。

$$r = 1 - \frac{6 \sum_{t=1}^n d_t^2}{n^3 - n} \quad (2)$$

式中:  $n$  为序列长度,  $d_t = R_t - t$ 。显然,当秩次  $R_t$  与时序  $t$  相近时,  $d_t$  小,秩次相关系数  $r$  大,趋势显著。相关系数  $r$  是否异于零,可采用  $t$  检验法。

$$T = r \left( \frac{n-4}{1-r^2} \right)^{1/2} \quad (3)$$

统计量称为 Spearman 秩次相关系数,服从自由度为  $n-2$  的  $t$  分布。假设原序列为无趋势,当给定显著水平  $\alpha$  后,在  $t$  分布表中查出临界值  $t_{\alpha/2}$ ,当  $|T| < t_{\alpha/2}$  时,接受原假设,即趋势不显著;当  $|T| > t_{\alpha/2}$ ,拒绝原假设,即趋势显著。而且  $T < 0$ ,序列呈上升趋势,  $T > 0$ ,序列呈下降趋势。

### 2.2.2 变异点诊断方法

Mann-Kendall 突变检验法:

构造一个秩序列  $d_k$ :

$$d_k = \sum_{i=1}^k \sum_{j=1}^{i-1} m_{ij} \quad (k=2, 3, 4, \dots, n) \quad (4)$$

式中:

$$m_{ij} = \begin{cases} 1 & x_i > x_j \\ 0 & x_i \leq x_j \end{cases} \quad (j=1, 2, \dots, i) \quad (5)$$

在时间序列随机独立的假定下,  $d_k$  的均值和方差可由式(6)和式(7)计算:

$$E(d_k) = \frac{k(k-1)}{4} \quad (6)$$

$$Var(d_k) = \frac{k(k-1)(2k+5)}{72} \quad (7)$$

定义统计量:

$$UF_k = \frac{d_k - E(d_k)}{\sqrt{Var(d_k)}} \quad (8)$$

按时间序列逆序,再重复上述过程,同时使  $UB_{k'} = -UF_{k'} (k' = n+1-k)$ ,由  $UF_k$  绘出曲线  $C_1$ ,由  $UB_{k'}$  绘出曲线  $C_2$ 。若  $UF_k$  或  $UB_{k'}$  的值超过临界直线,表明序列上升或下降趋势显著。如果曲线  $C_1$  和  $C_2$  出现交点,且交点在临界线之内,那么交点对应的时刻便是突变开始的时间。

### 2.2.3 周期性分析方法

功率谱分析:将时间序列的能量分解到不同频率上,根据不同频率分量的方差贡献可识别出原序列的周期成分。

周期  $T$  是否显著,必须进行检验。首先判断样本序列总体谱类型。当  $r(1) > \rho_{\alpha}$ ,则序列可能来自红噪声,则总体谱取红噪声谱;反之,取白噪声谱。

对于红噪声,其标准谱为:

$$S_{0k} = \bar{S} \left[ \frac{1-r^2(1)}{1+r^2(1)-2r(1)\cos\frac{\pi k}{m}} \right] \quad (k=0, 1, \dots, m) \quad (9)$$

式中:

$$\bar{S} = \frac{1}{m+1} \sum_{i=0}^m S_i \quad (10)$$

对于白噪声,其标准谱为

$$S_{0k} = \bar{S} \quad (k=0, 1, \dots, m) \quad (11)$$

式中:  $\bar{S}$  同上。

构造统计量:

$$S'_{0k} = S_{0k} \left[ \frac{\chi^2(\alpha)}{v} \right] \quad (12)$$

式中: $\alpha$ 为给定的显著性水平,文中 $\alpha$ 取值 0.05; $\chi^2(\alpha)$ 为遵从自由度为 $v$ 的 $\chi^2$ 分布,其中 $v=(2n-0.5m)/m$ 。当 $S_k > S'_{0k}$ 时,表明 $k$ 对应的周期是显著的;反之,周期不显著。

$\rho_{\alpha}$  计算如下:

$$\rho_{\alpha} = \frac{t_{\alpha}}{\sqrt{n-2+t_{\alpha}^2}} \quad (13)$$

式中: $t_{\alpha}$ 为显著性水平 $\alpha$ 的自由度为 $n-2$ 的 $t$ 分布临界值。

### 3 径流演变规律分析

#### 3.1 径流量年际变化趋势分析

图 2 给出了观台站年径流量变化过程,可以看出,实测年径流量呈明显的减少趋势,线性减少率约为 $0.328 \times 10^8 \text{m}^3/\text{a}$ 。统计结果表明,浊漳河石梁站和清漳河匡门口站线性递减率次之,分别为 $0.118 \times 10^8 \text{m}^3/\text{a}$ 和 $0.076 \times 10^8 \text{m}^3/\text{a}$ ,上游河源区石栈道站、蔡家庄站的线性递减率最小,分别为 $0.012 \times 10^8 \text{m}^3/\text{a}$ 和 $0.009 \times 10^8 \text{m}^3/\text{a}$ 。由此可以判断,受自然和人类活动影响,随时间变化,

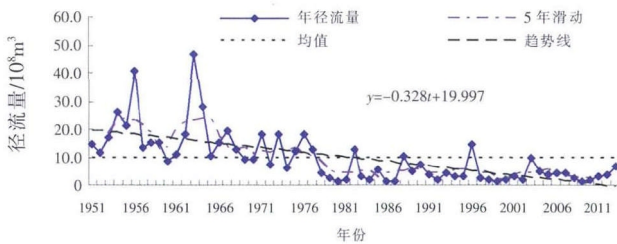


图 2 观台站年径流量及 5 年滑动平均过程

Fig.2 The annual runoff and 5-year moving-average of the Guantai station

表 2 各代表站年径流变化Spearman秩次相关检验成果表

Table2 The trend detection results of annual runoff in the Zhanghe River basin

河流	站名	统计量	临界值	趋势性	显著性
漳河	观台	7.815	1.999	减小	显著
浊漳河	石梁	4.962	2.001	减小	显著
浊漳河	石栈道	3.338	2.005	减小	显著
清漳河	匡门口	4.181	2.005	减小	显著
清漳河	蔡家庄	4.483	2.006	减小	显著

漳河干流年径流量减少趋势最明显,各支流次之,河源区较小。从 5 年滑动平均来看,20 世纪 70 年代末至今,漳河流域 5 个代表站年径流量滑动均值均低于多年平均值,但最近几年有增加的趋势,特别是上游河源区的石栈道和蔡家庄站,自 2000 年以来曲线变化比较平滑,呈连续增加趋势。分析认为,这主要是该时期流域降水结束了持续下降期进入上升期,且上游地区受人类活动影响较小所致。

采用 Spearman 秩次相关检验法进一步对年径流变化趋势的显著性进行定量判断(见表 2)。由表 2 可以看出,各代表站 Spearman 统计量均超过信度 $\alpha=0.05$ 水平的临界值。由此可判断,无论是干流还是河源地区漳河流域各代表站年径流量序列均呈显著性减少趋势。

表 3 统计给出了各代表站不同年代实测径流量。可以看出,各代表站实测径流量总体下降,20 世纪 80、90 年代以来,漳河流域来水量呈现大幅下降态势,其中观台站减少最为显著,年径流量由 60 年代的 $17.82 \times 10^8 \text{m}^3$ 减少到 80 年代的 $4.402 \times 10^8 \text{m}^3$ ,约减少了 75.3%。90 年代至今,除干流观台站及清漳河匡门口站以外,其他各站呈微升趋势。

#### 3.2 径流序列变异点诊断及周期性特征

采用 Mann-Kendall 突变检验法分析漳河流域各代表站年径流量系列的变异特征。图 3 给出了漳河观台站年径流量的 M-K 统计量时程变化,可以看出,观台站年径流量在 1975 年发生突变,之后径流量显著减小。表 4 统计给出了漳河流域 5 个代表站径流量突变诊断结果,可以看出,漳河及各支流年径流量序列变异点主要发生在 20 世纪 70 年代中后期。各代表站变异点以后多年平均径流量较变异点以前多年平均径流量明显减少,幅度在 52%~76%之间,其中漳河观台站减少了 75.7%,清漳河匡门口站减少了 52.7%。径流突变与流域直接取用水的增长和部分中型水库的

表 3 各代表站年径流量年代特征值统计表( $10^8 \text{m}^3$ )

Table3 The statistical results of the decade changes in annual runoff ( $10^8 \text{m}^3$ )

	1960~1969	1970~1979	1980~1989	1990~1999	2000~2013
观台	17.82	10.88	4.402	4.188	3.664
石梁	7.269	6.489	1.764	1.496	2.849
石栈道	0.8587	1.007	0.4855	0.3325	0.3810
匡门口	6.879	4.487	2.753	2.770	2.373
蔡家庄	0.5754	0.3461	0.1583	0.1297	0.1650

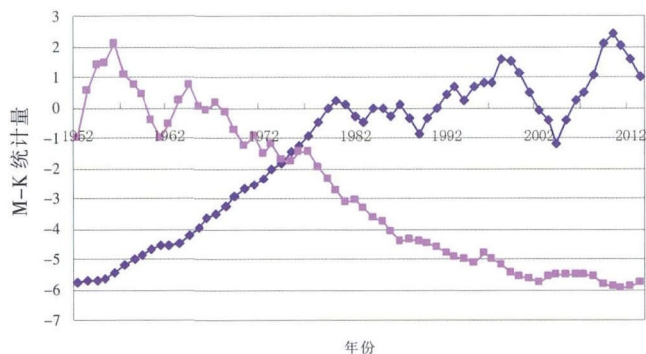


图3 观台站年径流量的 M-K 统计量时程变化图

Fig.3 M-K statistic changes of the annual runoff at the Guantai station

表4 各代表站年径流序列变异点诊断

Table4 The results of the analyzed sudden points of the annual runoff series at the representative stations

河流	站名	变异点发生年份
漳河	观台	1975
浊漳河	石梁	1976
浊漳河	石栈道	1979
清漳河	匡门口	1978
清漳河	蔡家庄	1975

建设导致拦截蓄水增加有密切关系。

根据各代表站径流资料序列,采用功率谱分析法,对各代表站年径流量的周期性进行分析(见表5)。图4给出了观台站年径流量时间序列的功率谱图,由图4可以看出,观台站年径流量系列存在6~7a和10~11a的准周期,但并没有达到显著性水平。表5统计给出了对5个代表站径流量系列周期性特征的诊断结果。可以看出,各代表站径流量序列变化均存在6~7a的准周期性特征,此外,观台站、石栈道站和匡门口站存在10~11a左右的准周期,除观台站之外的另外4个站存在3~4a的准周期。

#### 4 结论

(1) 漳河流域实测年径流量序列均呈显著性减少趋势,但下游减少的趋势更加显著;20世纪80年代以前年径流量高于多年平均值,80年代以后低于多年平均值,且不同年代变幅较大。

(2) 漳河流域实测年径流量序列变异点出现在20世纪70年代后期,各代表站变异点后的实测年径流量

表5 各代表站年径流量变化周期分析成果表

Table5 The variation periodicity of the annual runoff at the representative stations

河流	站名	峰值对应的波数 $k$	可能周期/a
漳河	观台	6,9	6~7,10~11
浊漳河	石梁	9,14	6~7,4~5
浊漳河	石栈道	6,9,15	3~4,6~7,9~10
清漳河	匡门口	5,8,16	3~4,7,11~12
清漳河	蔡家庄	8,11,15	3~4,6~7

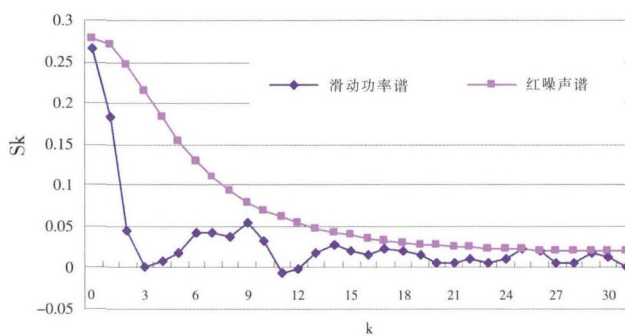


图4 观台站年径流量功率谱及  $\alpha=0.05$  的红噪声标准谱

Fig.4 Power Spectrum analysis and  $\alpha=0.05$  red noise standard spectra analysis of the annual runoff at the Guantai station

较前期径流量减少52%~76%。

(3) 漳河流域实测年径流量序列变化存在周期性,变化周期为6~7a左右。

参考文献:

- [1] 张建云,王国庆. 河川径流变化及归因定量识别[M]. 北京:科学出版社, 2014. (ZHANG Jianyun, WANG Guoqing. Quantitative Assessment for Attribution Impact on River Runoff [M]. Beijing: Science Press, 2014. (in Chinese))
- [2] Wang, G.Q., Yan, X.L., Zhang, et al. Detecting evolution trends in the recorded runoffs from the major rivers in China during 1950 - 2010. Journal of Water and Climate Change, 2013,4(3):252-264.
- [3] 王金星,张建云,李岩,等. 近50年来中国六大流域径流年内分配变化趋势[J]. 水科学进展, 2008,19(5):656-661. (WANG Jinxing, ZHANG Jianyun, Li Yan, et al. Variation trends of seasonal runoff distribution of the six larger basins in China over the past 50 years [J]. Advances in Water Science, 2008,19(5):656-661. (in Chinese))
- [4] 李东龙,王文圣,李跃清. 中国主要江河年径流变化特性分析[J]. 水电能源科学, 2011,29 (11):1-5. (LI Donglong, WANG wensheng, LI Yueqing. Analysis of annual runoff variation characteristics in main rivers of China [J]. Water Resources and Power, 2011,29(11):1-5. (in Chinese))



[5] 王文圣,李跃清,解苗苗,等. 长江上游主要河流年径流序列变化特性分析 [J]. 四川大学学报 (工程科学版), 2008,40 (3):70-75. (WANG Wensheng, LI Yueqing, XIE miaomiao, et al. Analysis of annual

runoff characteristics of main rivers in the upper reaches of Yangtze River [J]. Journal of Sichuan University (Engineering Science Edition), 2008,40(3):70-75. (in Chinese))

### Variation of Annual Runoff in Zhanghe River Basin in Recent 60 Years

GAO Yunming<sup>1</sup>, WEI Lin<sup>1</sup>, WAN Sicheng<sup>2</sup>, LIU Cuishan<sup>3</sup>, LU Guanhua<sup>4</sup>, REN Xiaomin<sup>4</sup>

(1. Bureau of Hydrology, Haihe River Water Conservancy Commission, Tianjin 300170, China; 2. Hohai University, Nanjing 210098, China; 3. Nanjing Hydraulic Research Institute, Nanjing 210029, China; 4. Administration Bureau of Upstream Zhanghe River, Haihe River Water Conservancy Commission, Handan 056006, China)

**Abstract:** In recent years, annual runoff in the Zhanghe River Basin has been significantly decreased, which is effecting on the water resources management and sustainable utilization. The variation characteristics of the annual runoff in the Zhanghe River Basin were analyzed by using the various statistical methods. The results show that there presents a decrease trend of the annual runoff in the basin, and there is a more obvious decrease trend in the lower and middle reaches; The annual runoff before 1980s is higher than the mean annual runoff during 1960-2013 and that after 1980s is much lower. The abrupt change points of the annual runoff series have been detected occurring in the late 1970s. And there is a quasi-period of 6-7 years in the annual runoff series.

**Key words:** Zhanghe River; annual runoff; periodicity; abrupt change

## 水利部召开 2016 年全国水文工作会

2016 年 4 月初,水利部在山东省胶州市召开 2016 年全国水文工作会,这次会议是在“十三五”开局之年召开的一次重要会议,也是时隔三年首次召开的现场水文工作会议。此次水文工作会议深入贯彻落实党的十八大和十八届三中、四中、五中全会精神,以“五大发展理念”和新时期治水方针为指引,按照全国水利厅局长会议部署,全面总结交流 2015 年及“十二五”水文工作,分析当前面临的新形势新要求,科学谋划“十三五”水文改革发展,安排部署 2016 年重点任务。

山东省副省长赵润田出席会议,水利部副部长刘宁发表讲话。

刘宁副部长的讲话指出,总的来看,“十二五”是水文有史以来投资规模最大、能力提升最快、服务效益最好、社会认可最高的五年,在水文发展进程中具有重要意义;“大水文”发展战略大力推进;水文基本建设跨越发展;水文情报预报水平明显提升;水文服务领域进一步拓展;水文保障体系不断健全。“十二五”水文实现跨越式发展,为水利改革发展和国民经济建设提供了坚实支撑。

当前水文工作面临的新情况、新问题、新机遇、新挑战主要有:第一,经济社会发展对水文提出新要求。第二,深化水利改革对水文提出新任务。第三,全球气候变化对水文提出新挑战。第四,下垫面变化对水文提出新课题。第五,水文自身改革发展面临新问题。

在本次全国水文工作会上确立的“十三五”时期水文发展的总体目标是:紧密围绕全面建成小康社会要求和水利改革发展任务,持续推进“大水文”发展战略,基本建成满足水利工作和国家经济社会发展需求的水文业务管理体系,着力构建满足生态

安全需求的水文信息服务体系,水文站网布局优化完善,水文测报能力显著增强,水文服务水平明显提高,社会公共服务不断拓展,行业管理更加规范高效。

为实现“十三五”时期水文发展总体目标,就要着力提升三方面能力:着力提升水文站网功能和监测能力,全面提升水文服务能力,大力提升水文行业管理能力;突出抓好六项工作:一是优化完善水文站网布局,二是切实增强水文测报水平,三是大力加强水文信息服务,四是健全完善水文法规体系,五是深入推进体制机制改革创新,六是不创新人才队伍建设。

2016 年是“十三五”开局之年,是全面建成小康社会决胜阶段的开局之年,也是实施水利“十三五”改革发展的攻坚之年,开局之年努力做好今年的水文工作,意义重大。第一,要全力做好防汛抗旱预报测报工作;第二,强化项目建设管理工作;第三,进一步深化水文体制机制改革和业务创新;第四,进一步深化拓展水文服务领域;第五,进一步强化人才队伍建设;第六,进一步做好援疆援藏和行业宣传工作;第七,认真抓好水文安全生产工作;第八,切实加强行业党风廉政建设。

水利部有关司局负责人,各流域机构、各省(自治区、直辖市)水利(水务)厅(局),新疆生产建设兵团水利局相关负责人(部分)以及水文部门负责人参加会议。长江委、黄委、山东、湖北、广东、重庆、江苏、辽宁、河南、北京、陕西等水文部门负责人以及河海大学的专家作交流发言,大会交流发言各有侧重、各具特色,有很强的启发和借鉴意义;与会代表进行了分组讨论,大家畅所欲言、积极踊跃,并提出了很好的意见和建议。