

基于典型解集模型的非一致性年径流过程设计方法

张波, 谢平, 李彬彬, 李析男

(武汉大学水资源与水电工程科学国家重点实验室, 湖北 武汉 430072)

摘要: 由于受人类活动和气候变化的影响, 水文序列失去了一致性。为了适应变化环境对灌溉、供水工程设计的要求, 提出了基于典型解集模型的非一致性年径流过程设计方法: 首先, 采用水文变异诊断系统对径流序列进行年际和年内分配情势变异分析; 其次, 根据年际变异和年内分配情势变异的时间点, 将径流序列分段; 再次, 基于径流年际变异诊断结果, 采用变化环境下非一致性水文频率计算方法计算年径流变异前后过去、现状或未来水平年不同保证率下的设计年径流值; 最后, 基于径流年内分配变异诊断结果, 在径流年内分配变异前后利用典型解集模型进行年径流过程设计。以东江河源站为例, 进行了非一致性年径流过程设计, 并与未考虑“非一致性”影响的年径流过程设计结果进行比较, 发现河源站设计年径流过程受“非一致性”影响显著。

关键词: 非一致性; 年径流过程设计; 典型解集模型; 东江河源站

中图分类号: TV121 文献标识码: A 文章编号: 1000-0852(2015)02-0001-07

1 研究背景

河川年径流量及其分配过程不仅是流域水循环的重要环节, 而且是确定水库(水电站)工程规模和评价水资源时空分布的重要依据。在传统工程水文学中, 建立在“一致性”假设前提下的“同倍比放大法”是设计年径流量及其分配过程的主要方法^[1]。然而, 近几十年来, 由于全球气候变化以及高强度人类活动和流域下垫面变化等变化环境的影响, 流域水循环和径流形成的物理条件发生了较大的变化, 使得用于水资源评价和水电工程规划设计和运行的年径流量及其分配过程的特征值发生了变异, 并引发了年径流过程的“非一致性”问题。针对变化环境导致的径流变异及其非一致性问题, 国内外学者做了许多相关工作: (1) 在水文序列变异识别研究方面, 早在 1986 年高荣松等^[2]采用了统计方法并结合成因分析研究了枯水序列样本中的趋势或跳跃, 提出了将样本序列分段的方法以解决枯水水文计算中的非一致性问题; 1998 年 Richter 等^[3]对美国科罗拉多河下游筑坝导致的年径流序列变异及影响进

行了研究; 2009 年, Theresia 等^[4]采用 Mann-Kendall 秩次检验法研究了德国境内洪水的趋势性; 2010 年谢平等^[5]提出并构建了水文变异诊断系统, 采用赋权方式对多种方法的检验结果进行综合, 解决了单一方法检验结果不合理, 多种方法检验结果不一致的问题。(2) 在非一致性水文频率计算研究方面, 20 世纪 80 年代初, 全国第一次水资源评价时, 使用了后来被广泛应用的径流还原还原方法^[6-7]; 2001 年, Strupczewski 等^[8-10]提出了一个基于时变矩的非一致性频率计算模型; 2002 年, Alila 等^[11]采用混合分布模型对 Gila 流域进行了研究, 发现混合分布模型拟合效果较传统的单一分布模型更优; 2005 年, Singh 等^[12]提出了基于条件概率分布的非一致性水文频率分析方法; 2005 年, 基于时间序列的分解与合成原理, 谢平等^[13]提出了非一致性年径流序列的水文频率计算原理; 2008 年, 王国庆等^[14]采用流域水文模型模拟了黄河中游三川河流域 20 世纪 70 年代后的天然径流过程, 定量评估了气候变化和人类活动对径流的影响。然而目前研究较多地体现在不同时间尺度和空间尺度径流量的变异识别, 以及径流

收稿日期: 2014-02-25

基金项目: 国家自然科学基金项目(51179131; 51190094); 广东省水利科技创新项目成果(2011-01)

作者简介: 张波 (1989-), 男, 山东梁山人, 硕士研究生, 主要从事变化环境下的水文水资源研究。E-mail: fmj1123@126.com

通讯作者: 谢平 (1963-), 男, 湖北松滋人, 教授, 博士生导师, 主要从事变化环境下的水文水资源研究。E-mail: pxie@whu.edu.cn

量的非一致性水文频率计算方法方面,而对径流年内分配特征值的变异研究较少,对非一致性年径流过程的设计方法研究得更少。Milly 等^[15]指出,在气候变化和人类活动的影响下,基于一致性假设的水文频率计算理论和方法已经无法帮助人们正确揭示变化环境下水资源演变的长期规律。采用传统的工程水文分析方法制定的流域水资源开发利用工程、防洪和抗旱工程的运行调度等,将面临由变化环境带来的风险^[16]。由于设计年径流量及其分配过程是确定水库工程规模和评价水资源时空分布的重要指标,而基于一致性条件的设计年径流同倍比放大法已不能满足变化环境对非一致性年径流量及其分配过程的设计要求,如果将这种借助于传统一致性频率计算方法得到的设计结果应用于实际工程,无疑将增加工程水文设计的风险。因此,在工程水文分析计算工作中,迫切需要从理论上,提出一套适应变化环境的非一致性年径流过程的设计方法,为水电工程规划设计和运行以及水资源合理配置与可持续利用提供科学依据。

在此背景下,提出了一种适用于变化环境的基于典型解集模型^[17]的非一致性年径流过程设计方法,以东江干流河源站为例,进行了非一致性年径流过程设计,并将设计结果与不考虑“非一致性”影响的年径流过程设计结果进行了比较,该方法可为变化环境下的灌溉、供水工程提供设计依据。

2 方法介绍

基于典型解集模型的非一致性年径流过程设计方法计算流程如图 1 所示,其步骤如下:(1)首先按照水利年起止时间对月径流重排序,并计算得到水利年年平均流量序列;(2)采用水文变异诊断系统^[5]对水利年径流序列进行径流年际变异分析和年内分配情势变异分析,分别得到年际变异和年内分配情势变异的跳跃点:A 和 B,一般情况下,这两个变异时间点不重复,不失一般性,假定跳跃点 A 和 B 不重复且径流年际变异跳跃点 A 在年内分配情势变异跳跃点 B 之前,将径流序列分为三个时间段,分别代表过去远期、过去近期和现状三个不同时期的环境条件,其示意图如图 2 所示;(3)采用基于跳跃分析的非一致性水文频率计算方法^[18]计算过去远期、过去近期和现状三个不同时期的年径流频率分布,并计算不同保证率下的设计年径流量;(4)利用典型解集模型^[17]进行过去远期、过去近期和现状三个不同时期的径流年内分配,并得到三个时期变

化环境条件下的设计年径流过程;(5)比较三个时期变化环境条件下的设计年径流过程,并作成因分析。

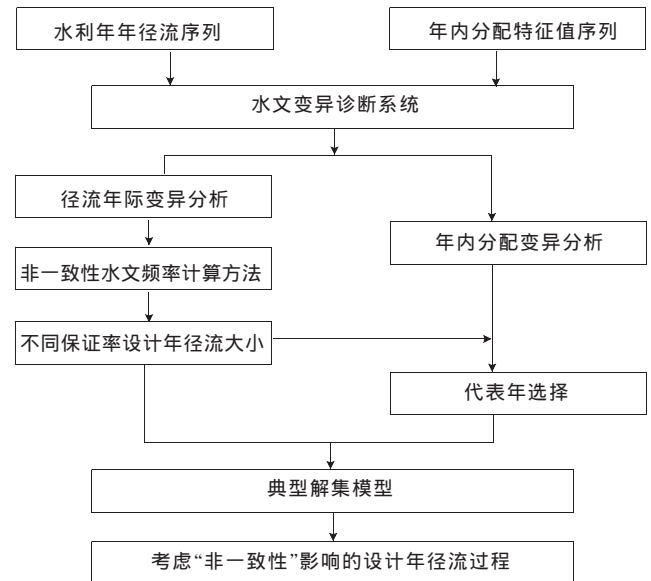


图 1 基于典型解集模型的非一致性年径流过程设计计算流程图
Fig.1 Calculation flow of the inconsistent annual runoff process design based on typical disaggregation method

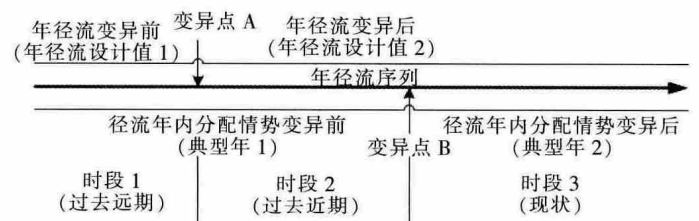


图 2 径流序列分段示意图
Fig.2 The runoff series segment

3 东江河源站“非一致性”年径流过程设计实例

东江流域位于珠江三角洲的东北端,东经 $113^{\circ}52' \sim 115^{\circ}52'$,北纬 $22^{\circ}38' \sim 25^{\circ}14'$,南临南海并毗邻香港,西南部紧靠华南最大的经济中心广州市,西北部与粤北山区韶关和清远两市相接,东部与粤东梅汕地区为邻,北部与赣南地区的安远市相接。东江流域降水较丰富,流域内多年平均雨量 $1\ 500 \sim 2\ 400\text{mm}$,平均值为 $1\ 750\text{mm}$,变差系数 0.22 左右,降雨的面上分布一般是中下游比上游多,西南多,东北少,年内分配不均,汛期(4~9月)占全年 80%以上,由南向北递减。东江流域水电工程较多,受人类活动影响显著,目前,东江流域已建成新丰江、枫树坝、白盆珠三大控制性水库以及天堂山、显岗共 5 座大型水库,总库容 $174.28 \times 10^8\text{m}^3$,新丰江水库于 1958 年动工兴建,1959 年 10 月下闸蓄水,

1960年10月第一台机组投入运行,其余三台分别于1961年、1964年、1966年投入运行,枫树坝水库建于1970年7月,1973年9月下闸蓄水,两台机组分别于1973年12月26日和1974年11月29日投产,白盆珠水库1985年8月电站正式投产,三大水库均位于东江一级支流上,三大水库综合平均库容系数为0.71,对流域控制程度很高,调节能力很强。河源站位于东江中游,集水面积15750 km²,资料为1954~2005年的实测日径流系列。采用模糊统计方法^[19]计算河源站水文分期,选定4月份为水利年的起始月份,4月至次年3月为一个完整的水利年周期,按照水利年的时间顺序重新排列月平均流量序列、计算水利年的年平均流量,水利年年平均流量序列、月平均流量序列的起止年份为1954~2004年。对现状年进行年径流过程设计。

3.1 变异诊断及分析

采用变异诊断系统对水利年年径流序列和年内分配特征值序列进行变异诊断,取第一信度水平 $\alpha=0.1$,第二信度水平 $\beta=0.02$,诊断结果见表1。综合诊断时,跳跃综合权重是对不同方法得到的检验结果和对每个结果获得的权重之和进行统计,以权重之和最大的点为最可能跳跃点;跳跃综合显著性与趋势综合显著性原理相同,若某种方法判断某点跳跃(趋势)显著,则其显著性为1,若跳跃(趋势)不显著,则为-1,若不能进行显著性检验,则为0,将各种方法检验该点的显著性进行求和,即得到该点的综合显著性,若综合显著性大于等于1,则跳跃(趋势)显著,反之,不显著;若跳跃和趋势都比较显著,则根据效率系数判断序列是更接近于趋势变异还是跳跃变异^[20]。

表1 河源站水利年年径流年际及年内分配变异诊断结果

Table1 Variation diagnosis results of the annual average flow series and their annual distribution features at the Heyuan station

序列		1954~2004年						
水文要素		水利年年平均流量	集中度 C_d	集中期 D	不均匀系数 C_r	完全调节系数 C_r	均匀系数 GI	
初步诊断	Hurst 系数	0.8	0.806	0.646	0.843	0.807	0.819	
	整体变异程度	中变异	中变异	无变异	强变异	中变异	中变异	
详细诊断	滑动 F 检验	2001(-)	1956(+)	1965(-)	2000(+)	2000(-)	1956(-)	
	滑动 T 检验	1972(+)	1962(+)	1969(-)	1962(+)	1962(+)	1962(+)	
	Lee-Heghinan 法	1972(0)	1962(0)	1954(0)	1962(0)	1962(0)	1962(0)	
	有序聚类法	1972(0)	1962(0)	1969(0)	1962(0)	1962(0)	1962(0)	
	极差/标准差 RS	1962(0)	1956(0)	1968(0)	1957(0)	1978(0)	1978(0)	
	跳跃	Brown-Forsythe	2001(+)	1956(+)	1969(-)	1962(+)	1962(+)	1962(+)
	滑动游程检验法	2003(+)	1956(+)	1998(-)	1957(+)	1957(+)	1962(+)	
	滑动秩和检验	1972(+)	1962(+)	1969(-)	1962(+)	1962(+)	1962(+)	
	最优信息二分割法	1976(0)	1962(0)	1979(0)	1961(0)	1966(0)	1959(0)	
	Mann-kendall	1970(+)	1960(-)	1963(+)	1961(-)	1960(+)	1967(-)	
	BSYES 方法	1972(+)	1962(+)	1969(-)	1962(+)	1962(+)	1962(+)	
	趋势变异程度	无趋势变异	趋势中变异	无趋势变异	趋势强变异	趋势中变异	趋势中变异	
	趋势	相关系数法	-	+	-	+	+	+
Spearman		-	+	-	+	+	+	
Kendall		-	+	-	+	+	+	
综合诊断	跳跃点	1972	1962	1969	1962	1962	1962	
	跳跃	综合权重	0.57	0.58	0.61	0.69	0.69	0.89
	综合显著性	3(+)	3(+)	4(-)	4(+)	4(+)	5(+)	
	趋势	综合显著性	3(-)	3(+)	3(-)	3(+)	3(+)	3(+)
	选择	效率系数	12.28	43.13	5.88	48.78	49.01	53.23
	跳跃趋势	0.74	31.23	0.78	36.73	30.7	33.93	
诊断结论		1972(+) [↑]	1962(+) [↓]	-	1962(+) [↓]	1962(+) [↓]	1962(+) [↑]	

3.1.1 水利年年径流序列年际变异分析

由表1的诊断结果可以看出:河源站水利年年径流序列在1972年发生了跳跃向上的中变异。结合河源

站上游水电工程(枫树坝水库和新丰江水库)分析:枫树坝水库1970年动工,1973年发电,变异时间点与上游枫树坝水库投产运行时间吻合,说明河源站年径流

受到上游枫树坝水库的显著影响,且水库的投产运行增加了下游河源站的年平均流量。

3.1.2 水利年月径流序列年内分配变异分析

由表1的诊断结果可以看出:反映年内分配集中程度的指标(集中度、完全调节系数)均在1962年发生跳跃向下的变异,即径流年内分配1962年以后集中程度变小,各月径流更均匀。结合河源站上游的水电工程(枫树坝水库和新丰江水库)分析:新丰江水库1962年竣工,变异时间点与新丰江水库投入运行的时间点吻合,表明河源站上游新丰江水库的修建使得下游河源站径流年内分配更均匀,河源站水利年径流年内分配主要受新丰江水库的影响。反映年内最大径流量出现时间的指标(集中期)未发生变异,即上游水电工程的修建并未对下游河源站年内最大径流量出现时间产生影响。反映年内分配均匀程度的指标(不均匀系数和均

匀系数)分别在1962年发生跳跃向下的变异、1962年发生跳跃向上的变异,变异时间与河源站上游新丰江水库投入运行时间点吻合,也反映了新丰江水库的修建改变了径流的年内分配情势的状况,使得水利年径流的年内分配更加趋于均匀。综合以上分析,取1962年作为河源站水利年月径流序列年内分配的变异时间点。

3.2 频率计算

变异分析表明东江河源站水利年年平均流量序列发生了变异,序列失去了一致性。采用基于跳跃分析的非一致性水文频率计算方法^[18]对东江河源站年平均流量序列进行频率计算和分析,并比较序列变异前后均值和不同频率特征值之间的差异,计算结果见表2,变异前后理论频率曲线见图3,表格中所列变幅是指变异后相对于变异前的百分比。

表2 河源站水文频率计算参数及计算结果汇总(均值、设计值单位: m^3/s)
Table2 Hydrologic frequency calculation parameters and results at the Heyuan station

计算项	均值	C_v	C_s	$P=0.1\%$	$P=1\%$	$P=5\%$	$P=10\%$	$P=50\%$	$P=90\%$	$P=95\%$	$P=99\%$
变异前	396	0.312	0.624	889	739	619	561	384	248	217	166
变异后	488	0.256	0.599	982	832	712	654	475	338	306	253
未考虑“非一致性”	453	0.296	0.592	982	822	694	631	440	292	258	200
变异前后变幅/%	23.2	-17.9	-4.0	10.5	12.6	15.0	16.6	23.7	36.3	41.0	52.4

由表2河源站频率计算结果可以看出:河源站水利年年平均流量均值变异后较变异前增加23.2%,有较大幅度的增加;枯水年水资源量增幅大于丰水年,对

于 $P=90\%$ 、 $P=95\%$ 、 $P=99\%$ 的年平均流量变异后较变异前的增幅分别为36.3%、41.0%、52.4%,枯水年水资源量有显著增加。

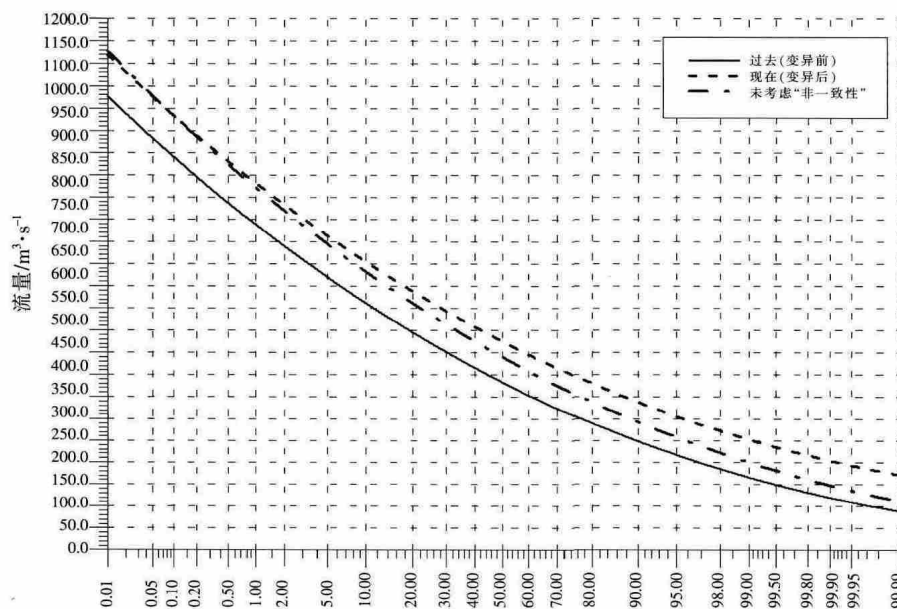


图3 河源站水利年年平均流量变异前后理论频率曲线

Fig.3 Theoretical frequency curves of the annual runoff before and after change-point at the Heyuan station

3.3 水利年年径流过程设计

假定供水工程的保证率为 95%,根据河源站水利年年平均流量序列频率计算成果,利用典型解集模型对现状年进行水利年年径流过程设计。根据河源站水利年年径流序列年际变异诊断结果的分析,河源站 1954~2004 年水利年年径流序列在 $\tau_0=1972$ 年前后可分成两个系列;根据河源站水利年径流序列年内分配变异诊断结果的分析,河源站 1954~2004 年水利年月径流序列在 $\tau_0=1962$ 年前后可分成两个序列。1962、1972 两个变异点将 1954~2004 序列分为三段,即 1954~1962 年为时段 1(年内分配和年平均流量均未发生变异)代表流域过去远期的径流特征,1963~1972 年为时段 2(年内分配变异、年平均流量未发生变异)代表流域过去近期的径流特征,1973~2004 年为时段 3(年内分配和年平均流量均发生变异)代表流域现状的径流特征,分别对这三个系列做水利年年径流过程设计,考虑到径流年际变异的方式为跳跃变异,所以时段 3 的水利年年径流过程设计结果即现状 2004 年的结果。

河源站 1954~1962 年系列,保证率为 95% 的设

计年径流结果为 $217\text{m}^3/\text{s}$ 。筛选出主要控制时段水量相近的年份,考虑水量接近和对工程偏于不利的选择原则,选定枯水期较长、径流又较枯的 1954 年作为代表年。对河源站 1963~1972 年系列和 1973~2004 年系列,保证率为 95% 的设计年径流结果分别为 $217\text{m}^3/\text{s}$ 和 $306\text{m}^3/\text{s}$ 。筛选出主要控制时段水量相近的年份,考虑水量接近和对工程偏于不利的选择原则,选定枯水期较长、径流又较枯的 1967 年作为代表年。

利用典型解集模型,按水利年年平均流量控制,推求河源站时段 1、时段 2 和时段 3 设计枯水年年内分配过程,径流年内分配柱状图如图 4 所示。

3.4 未考虑“非一致性”的年径流过程设计

首先对水利年年平均流量序列进行频率计算,计算结果见表 2,理论频率曲线见图 3。保证率为 95% 的设计年径流量为 $258\text{m}^3/\text{s}$,在年径流量接近设计年径流量的实测径流过程线中,选择枯水期较长、径流又较枯的 1991 年作为枯水代表年。采用同倍比法,按年水量控制,对整个代表年的月径流过程进行缩放,得到未考虑“非一致性”的年径流过程设计结果如图 4 所示。

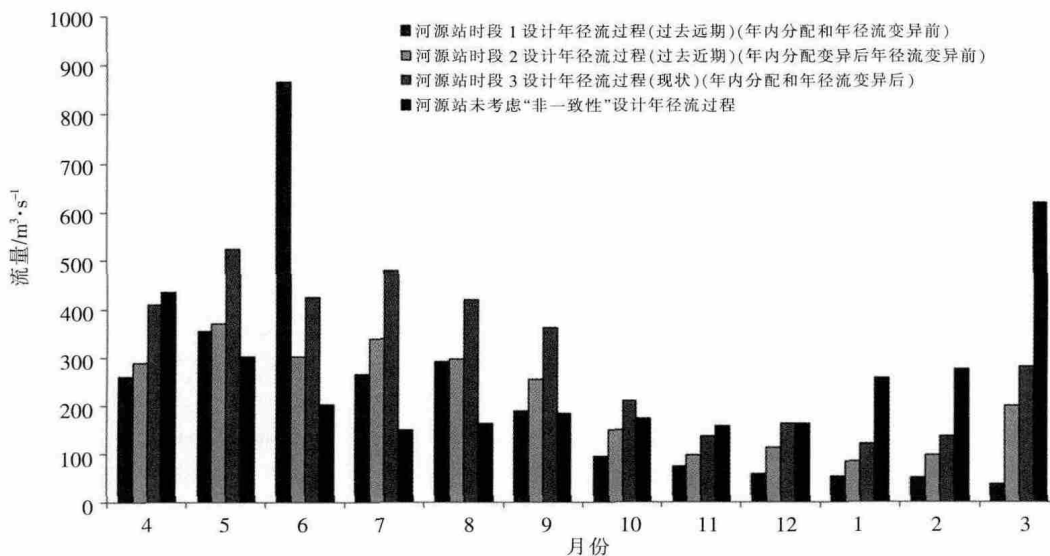


图 4 河源站设计年径流过程

Fig.4 The designed annual runoff process at the Heyuan station

3.5 结果比较与分析

由图 4 的设计年径流结果,可以得出如下结论:

(1)过去近期较过去远期(年内分配变异后较变异前),汛期流量占全年流量的比重均较大,但汛期流量分布更加均匀,削弱了洪峰流量,增加了枯水流量;径

流年内分配也更加均匀,且变异后各月流量同最大值的差值同变异前相比减小,年内流量极差减小。

(2)现状年较过去近期(年径流变异后较变异前),最大月流量均出现在 5 月,流量年内分配都较均匀,但各月流量值均大于变异前,流量增加显著。

(3)保证率为95%的设计年径流值,未考虑和考虑“非一致性”影响的现状年设计结果分别为 $258\text{m}^3/\text{s}$ 和 $306\text{m}^3/\text{s}$,增幅为18.6%，“非一致性”影响显著。

(4)考虑“非一致性”影响的现状年设计结果,枯水期集中在10月至次年2月,最大月流量出现在5月,未考虑“非一致性”影响的设计结果,枯水期集中在7~12月,最大月流量出现在3月,两者年内分配有较大差异。

(5)考虑径流年际和年内分配变异后的设计年径流过程,同未考虑变异问题的设计年径流过程相比,结果相差较大,对灌溉、供水工程设计规模及开发方式的确定有较大影响,应采用考虑径流年际和年内分配变异后的设计年径流过程结果进行工程设计。

4 结语

结合变异诊断系统和变化环境下非一致性序列的水文频率计算方法,提出了基于典型解集模型的非一致性年径流过程设计方法。选取受变化环境影响较大的珠江水系东江流域作为研究区域,研究了河源站非一致性设计年径流过程。结果表明,年径流和年内分配变异后较变异前的设计年径流过程呈现径流总量增大、年内分配均匀、流量极差减小的特点,基于典型解集模型的非一致性年径流过程设计方法能充分考虑变化环境的影响,设计年径流过程的结果更加真实、可靠,该结果对东江流域科学、合理地开发和配置水资源具有重要的参考意义。该方法为变化环境下农业灌溉和城市供水工程的设计提供了依据。

参考文献:

- [1] 叶守泽,詹道江. 工程水文学(第三版) [M]. 北京:中国水利水电出版社,2000.(YE Shouze, ZHAN Daojiang. Hydrology Engineering(the Third Edition) [M]. Beijing: China WaterPower Press, 2000. (in Chinese))
- [2] 高荣松,胡昕,唐嗣政,等. 沱江枯水序列非一致性的统计分析[J]. 成都科技大学学报, 1986,(4):135-140.(GAO Rongsong, HU Xin, TANG Sizheng, et al. Inconsistent statistical analysis of Tuojiang river low water series [J]. Journal of Chengdu University of Science and Technology, 1986,(4):135-140. (in Chinese))
- [3] Richter B, Baumgartner J, Braun D. A spatial assessment of hydrologic alteration within a river network [J] Regulated Rivers, 1998,14:329-340.
- [4] Theresia P, Bruno M. Trends in flood magnitude, frequency and seasonality in Germany in the period 1951-2002 [J]. Journal of Hydrology, 2009,371:129-141.
- [5] 谢平,陈广才,雷红富,等. 水文变异诊断系统 [J]. 水力发电学报, 2010,29(1):85-91.(XIE Ping, CHEN Guangcai, LEI Hongfu, et al. Hydrological alteration diagnosis system [J]. Journal of Hydroelectric Engineering, 2010,29(1):85-91. (in Chinese))
- [6] 宋承新. 径流还原计算的综合修正法[J]. 水文, 1999,19(2):46-48. (SONG Chengxin. Comprehensive correction method of runoff restoration calculation [J]. Journal of China Hydrology, 1999,19(2):46-48. (in Chinese))
- [7] 陆中央. 关于年径流量系列的还原计算问题[J]. 水文, 2000,20(6):9-12. (LU Zhongyang. Restore estimation of annual runoff series [J]. Journal of China Hydrology, 2000,20(6):9-12. (in Chinese))
- [8] W.G. Strupczewski, V. P. Singh,W. Feluch. Non-stationary approach to at-site flood frequency modelling I. maximum likelihood estimation[J]. Journal of Hydrology,2001,248(1-4):123-142.
- [9] W.G. Strupczewski, V. P. Singh,W. Feluch. Non-stationary approach to at-site flood frequency modelling II. Weighted least squares estimation [J]. Journal of Hydrology,2001,248(1-4):143-151.
- [10] W.G. Strupczewski, V. P. Singh,W. Feluch. Non-stationary approach to at-site flood frequency modelling III. Flood analysis of Polish rivers [J]. Journal of Hydrology,2001,248(1-4):152-167.
- [11] Alila Y, Mtiraoui A. Implications of heterogeneous flood-frequency distributions on traditional stream-discharge prediction techniques [J]. Hydrological Processes, 2002,(16):1065-1084.
- [12] Singh V P, Wang S X, Zhang L. Frequency analysis of nonidentically distributed hydrologic flood data [J]. Journal of Hydrology, 2005,307:175-195.
- [13] 谢平,陈广才,夏军. 变化环境下非一致性年径流序列水文频率计算原理[J]. 武汉大学学报(工学版), 2005,28(6):6-9.(XIE Ping, CHEN Guangcai, XIA Jun. Hydrological frequency calculation principle of inconsistent annual runoff series under changing environments[J]. Engineering Journal of Wuhan University, 2005,28(6):6-9. (in Chinese))
- [14] 王国庆,张建云,刘九夫,等. 气候变化和人类活动对河川径流影响的定量分析 [J]. 中国水利, 2008,(2):55-58. (WANG Guoqing, ZHANG Jianyun, LIU Jiufu, et al. Quantitative assessment for climate change and human activities impact on river runoff [J]. China Water Resources, 2008,(2):55-58. (in Chinese))
- [15] Milly P C D, Betancourt J, Falkenmark M, et al. Stationarity is dead: whether water management [J]. Science, 2008,319:573-574.
- [16] 张建云,王国庆. 气候变化对水文水资源影响研究[M]. 北京:科学技术出版社, 2007. (ZHANG Jianyun, WANG Guoqing. Research about Climate Change Impact on Hydrology and Water Resources [M]. Beijing: Science Press, 2007. (in Chinese))
- [17] 张友权,张赛珍,徐文斌. 典型解集模型[J]. 云南水力发电, 1994,(1):59-61. (ZHANG Youquan, ZHANG Saizhen, XU Wenbin. Typical disaggregation model [J]. Yunnan Hydropower, 1994,(1):59-61. (in Chinese))
- [18] 谢平,陈广才,雷红富. 变化环境下基于跳跃分析的水资源评价方法[J]. 干旱区地理, 2008,31(4):588-593.(XIE Ping, CHEN Guangcai, LEI Hongfu. Assessment method of water resources based on jump analysis in changing environments [J]. Arid Land

- Geography,2008,31(4):588–593. (in Chinese))
- [19] 许士国,陈守煜. 水文分期描述的模糊统计方法[J]. 大连理工大学学报, 1990,30(5):585–598. (XU Shiguo, CHEN Shouyu. Fuzzy statistics method to describe hydrologic seasons [J]. Journal of Dalian University of Technology, 1990,30(5):585–598. (in Chinese))
- [20] 谢平,许斌,章树安,等. 变化环境下区域水资源变异问题研究[M]. 北京: 科学出版社, 2012:50–57. (XIE Ping, XU Bin, ZHANG Shuan, et al. Research on Regional Water Resources Variation under Changing Environment [M]. Beijing: Science Press, 2012:50–57. (in Chinese))

Inconsistent Annual Runoff Process Design Method Based on Typical Disaggregation Model

ZHANG Bo, XIE Ping, LI Binbin, LI Xinan

(State Key Laboratory of Water Resources and Hydropower Engineering Science, Wuhan University, Wuhan 430072, China)

Abstract: Owing to the effects of human activities and climate change, the natural hydrological series lost their consistency. In order to adapt to a changing environment demanding for irrigation and water supply engineering design, typical disaggregation method for inconsistent annual runoff process design was proposed. Firstly, the hydrological variation diagnosis system (HVDS) was used to analyze the variation of the annual average flow series and their annual distribution features. Secondly, according to the variation point, annual average flow series was divided into several time periods. Thirdly, the frequency distributions of annual average flow series before and after the change-point were conducted based on the hydrological frequency calculation theory for inconsistent series (HFCT) and the difference of means and various frequency characteristic values were analyzed. Finally, typical disaggregation model was used to calculate the annual runoff process in each time period. This study was applied at the Heyuan Station of Dongjiang River, and the inconsistent annual runoff process was designed. The difference of designed annual runoff process before and after the change-point at the Heyuan Station was analyzed.

Key words: inconsistency; annual runoff process design; typical disaggregation model; Heyuan Station of Dongjiang River

—————
(上接第 84 页)

Spatial-temporal Characteristics of Extreme Precipitation and Its Causes in Guangdong Province in Recent 50 Years

JIANG Peng^{1,2}, WANG Dagang^{1,2}, CHEN Xiaohong^{1,2}

(1. Department of Water Resources and Environment, Sun Yat-sun University, Guangzhou 510275, China;

2. Guangdong University Key Laboratory of Water Cycle and Security in South China, Sun Yat-sen University, Guangzhou 510275, China)

Abstract: Based on the daily precipitation dataset at the 25 stations in Guangdong Province for the period of 1961–2010, we studied the temporal-spatial characteristics and the periodicity of the extreme precipitation events in Guangdong, and explored the causes behind the characteristics from the view of moisture convergence. The results indicate that the total amount, frequency and intensity of extreme precipitation greatly vary with region across Guangdong Province. The total amount and the intensity increase from north to south, while the frequency decreases. The total amount and the intensity of extreme precipitation show an increasing trend in most areas and the increasing rates are different among different regions. The extreme precipitation in Guangdong Province may be affected by the large-scale weather systems, which is verified by the fact that the extreme precipitation shows more or less over the whole province. However, there are differences in extreme precipitation between eastern and western regions, between the center and the surrounding regions, and between the northern and southern regions. The abnormal area for extreme precipitation can be divided into four subregions (abnormal type): Northeastern area, western area, central area and eastern coastal area. The extreme precipitation in each sub-region has similar periodic fluctuations of 20 years, 10 years and 3–4 years, but the differences still exist. The extreme moisture convergence agrees well with extreme precipitation spatially and temporally, thus, moisture convergence could be used as a predictor of extreme precipitation in Guangdong Province.

Key words: Guangdong Province; extreme precipitation; spatial and temporal characteristics; changing trend; moisture convergence