

DOI:10.3876/j.issn.1000-1980.2012.06.001

降雨-径流关系的区域规律

李致家,于莎莎,李巧玲,姚 成,余钟波,颜梅春,芮孝芳

(河海大学水文水资源学院,江苏 南京 210098)

摘要:以湿润、半湿润、半干旱以及干旱地区的 15 个典型流域为研究对象,分别建立其 $P+P_a \sim R_s$ 相关关系,然后对其中 3 个嵌套流域的 $P+P_a \sim R_s$ 相关关系进行分析与验证,比较各流域嵌套前后的 $P+P_a \sim R_s$ 相关关系变化。采用相对平均误差和 C_v 为评定指标,对不同自然地理条件下降雨径流相关关系的区域性规律进行探讨。研究发现,嵌套流域的 $P+P_a \sim R_s$ 相关关系线适用于该嵌套流域内的任何子流域。以蓄满产流为特点的降雨径流相关预报方法在湿润和半湿润地区的精度较高,在半干旱和干旱地区的精度较低。在半干旱流域,如果相对平均误差大于 20%, $C_v > 1.1$,流域的降雨-径流相关关系较差。

关键词: $P+P_a \sim R_s$ 相关关系;单点评定;综合评定;嵌套流域;蓄满产流

中图分类号: P333 **文献标志码:** A **文章编号:** 1000-1980(2012)06-0597-08

Regional pattern of rainfall-runoff relationship

LI Zhijia, YU Shasha, LI Qiaoling, YAO Cheng, YU Zhongbo, YAN Meichun, RUI Xiaofang

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

Abstract: This study was conducted in 15 typical watersheds in humid, semi-humid, semi-arid, and arid regions. The correlation between $P+P_a$ and R_s for each watershed was established. Then, the correlations between $P+P_a$ and R_s for three nested watersheds were analyzed and verified, and the correlations before and after the watersheds were nested were compared. The relative mean error and C_v were regarded as evaluation indicators to explore the regional pattern of the rainfall-runoff relationship under different natural and geographical conditions. It was found that the correlation between $P+P_a$ and R_s was applicable to all sub-watersheds within the nested watersheds. The forecasting method of the rainfall-runoff relationship, which was based on the concept of runoff formation on repletion of storage, had higher precision in humid and semi-humid regions than in semi-arid and arid regions. In semi-arid watersheds, if the relative mean error was greater than 20% and C_v was greater than 1.1, the rainfall-runoff relationship was insignificant.

Key words: correlation between $P+P_a$ and R_s ; single-aspect evaluation; comprehensive evaluation; nested watershed; runoff formation on repletion of storage

降雨-径流关系是工程水文学与水资源学领域中一个重要的应用问题^[1-3],而径流系统是一个受气象、地质、地貌等众多因素影响的复杂非线性系统^[4]。气候和下垫面条件的复杂性造成不同自然地理条件下降雨-径流情况的复杂性,湿润地区的降雨产流方式主要是蓄满产流,干旱地区的降雨产流方式主要是超渗产流^[5-7]。降雨-径流经验相关方法是研究降雨-径流问题的一种常规经验方法,它是在成因分析与统计相结合的基础上,用每次降雨的流域平均雨量和相应产生的径流量,以及影响它们的主要因素建立起来的一种定量相关图^[1-3]。经验方法是水文生产单位最常用、最易解决实际问题的方法^[8]。笔者选择湿润、半湿润、半干旱以及干旱地区的 15 个典型流域作为研究对象,分别建立其 $P+P_a \sim R_s$ 相关关系,然后对其中 3 个嵌套流域的 $P+P_a \sim R_s$ 相关关系进行分析与验证,并比较流域嵌套前后的变化。采用相对平均误差和 C_v 对不同自然

收稿日期:2012-06-12

基金项目:国家自然科学基金(41130639, 51179045, 41101017)

作者简介:李致家(1962—),男,山西运城人,教授,博士,主要从事水文预报与流域水文模型研究。E-mail: zhijia-li@vip.sina.com

地理条件下降雨-径流相关关系的区域性规律进行探讨。

1 降雨-径流相关因素的计算原理

1.1 流域平均降雨量

流域平均降雨量又称面雨量,是指一次降雨过程中整个流域面上的平均累计降雨量。最常用的推求方法有算术平均法、加权平均法和等雨量线法,笔者采用加权平均法。首先计算流域各站的平均降雨量(计算时段长取1h),然后采用加权法对流域各雨量站的平均降雨量进行叠加求流域平均降雨量 P :

$$P = \sum_{i=1}^n \omega_i P_i \tag{1}$$

式中: ω_i ——流域内第 i 个雨量站的权重,无量纲; P_i ——流域内第 i 个雨量站的时段降雨量,mm; n ——流域内雨量站的数目,个。

1.2 前期影响雨量 P_a

前期影响雨量 P_a 为衡量流域湿润程度的指标,反映流域蓄水量的大小。 P_a 越高,表示流域湿润程度越高, P_a 越小,表示流域干旱程度越高。 P_a 采用递推公式计算,并以流域土壤最大损失量 I_m 作控制, I_m 范围一般在80~120mm之间,本文取 I_m 为120mm。单站前期影响雨量 P_a 的计算式为

$$P_{a,t+1} = K_a (P_{a,t} + P_t) \tag{2}$$

式中: $P_{a,t}, P_{a,t+1}$ ——第 t 天和第 $t+1$ 天开始时刻的前期影响雨量(其中 $P_{a,t+1} \leq I_m$),mm; P_t ——第 t 天该站的日降雨量,mm; K_a ——流域土壤含水量消退系数,无量纲,取值范围一般在0.8~0.95之间。本次研究中,湿润地区取0.85,半湿润地区取0.9,半干旱、干旱地区取0.93。

对于湿润地区,单站 $P_{a,i}$ 每年一般从15d之前开始计算,并赋 $P_{a,i}$ 初值为 $(1/3)I_m$,由此向后逐日推算。对于半湿润、半干旱及干旱地区,单站 $P_{a,i}$ 每年自6月1日开始计算,并赋 $P_{a,i}$ 初值为 $(1/2)I_m$,由此向后逐日推算。基于流域内各站 $P_{a,i}$,采用加权法求得流域平均前期影响雨量 P_a 。

1.3 地面径流深 R_s 计算

首先,从整个流量过程线中分割出前、后期径流和深层基流,并获得本次降雨所形成的流量过程,然后进行地表、地下流量过程的分割,这就是所谓的基流分割^[9]。笔者采用斜线分割法对地面径流和地下径流进行划分。该法的基本思路是先寻找洪水过程的直接径流终止点,然后用斜线连接涨点与终止点,则斜线上部为地面径流,下部为地下径流^[3]。

对于半干旱、干旱地区,地面径流终止点可用目估法确定。对于湿润、半湿润地区,地面径流终止点可通过经验法确定。该方法是确定洪峰时间到地面径流终止点的时距 N ,并认为同一流域的 N 值是常数^[2]。 N 的经验公式为

$$N = 0.8F^{0.2} \tag{3}$$

在分割出一次降雨所形成的地面径流过程线后,即可根据起涨点、终止点及洪水过程线包围的面积计算地面径流深。计算公式为

$$R_s = 3.6 \sum_{j=1}^m Q_j \frac{\Delta t_j}{F} \tag{4}$$

式中: Q_j ——流域第 j 时段的流量, m^3/s ; Δt_j ——计算时段(取为1h),h; F ——流域面积, km^2 ; m ——时段数,个。

1.4 精度评定

首先根据 $P+P_a \sim R_s$ 相关关系图查得地面径流深 $R_{s计}$,与实测地面径流深 $R_{s实}$ 进行比较,并计算 ΔR_s , $\frac{\Delta R_s}{R_{s实}}, \bar{R}_{s实}, R_{s计}, \left| \overline{\Delta R_s} \right|$,其中 $\Delta R_s = R_{s计} - R_{s实}, \bar{R}_{s实} = \frac{1}{k} \sum R_{s实}, \bar{R}_{s计} = \frac{1}{k} \sum R_{s计}, \left| \overline{\Delta R} \right| = \frac{1}{n} \sum \left| \Delta R \right|$, k 为总点数据数。

精度评定分为单点评定和综合评定。根据SL250—2000《水文情报预报规范》^[10],单点评定采用2种精度评定方案。方案1,净雨深预报的许可误差采用实测值的20%,许可误差大于20mm时以20mm为上限,许可误差小于3mm时以3mm为下限;方案2,净雨深预报的许可误差采用实测值的20%。

综合评定是计算合格率 y 、相对偏差 D 、相对平均误差 E 以及 ΔR 的变异系数 C_v ,表达式分别为

$$\left\{\begin{aligned}y &= \frac{l}{k} \times 100\% \\ D &= \frac{\overline{R_{s\text{计}}} - \overline{R_{s\text{实}}}}{\overline{R_{s\text{实}}}} \times 100\% \\ E &= \frac{|\overline{\Delta R}|}{\overline{R_{s\text{实}}}} \times 100\% \\ C_v &= \frac{\sigma}{\overline{\Delta R}}\end{aligned}\right. \tag{5}$$

其中

$$\sigma = \sqrt{\frac{(\Delta R - \overline{\Delta R})^2}{n}}$$

式中: l ——合格点据; σ ——均方差。
 y 大于 85% 为甲级级别, 在 70% ~ 85% 之间为乙级级别。

2 研究区概况

选取湿润、半湿润、半干旱及干旱地区的典型流域作为研究对象,研究区概况见表 1。

表 1 研究区概况
Table 1 Scope and profile of study area

分区	流域	流域面积/km ²	流域概况
湿润地区	屯 溪	2 670	植被良好;多年平均降雨量为 1 600 mm,年内、年际分配极不均匀,70% 以上集中在汛期
	呈 村	290	
	月 潭	954	
	榆 村	96	
半湿润地区	东 湾	2 856	上游林地面积大,多年平均降雨量在 500 ~ 1 100 mm 之间,年降雨量随地形高度增加而递增,山地为多雨区,河谷及附近丘陵为少雨区,年内、年际分配极不均匀,50% 以上集中在汛期
	桀 川	346	
	潭 头	1 395	
	通关河	848	
半干旱地区	县北沟	34	为渭河一级支流,发源于甘肃省张家山回族自治县,干流河长 72. 2 km,流域河槽平均比降 1. 85%;上游区域为关山林区,植被良好;多年平均降雨量为 600 ~ 700 mm,主要集中在 7—9 月
	紫荆关	1 760	
	张 坊	4 810	
	大 阁	1 850	
干旱地区	戴 营	4 266	河道比降较大,流域内基本上属于土石山区,一般土层较薄,植被较好;多年平均降雨量为 525 mm,暴雨分布以密云水库为中心,分别沿潮白河向东北和西北方向渐减
	下 会	5 340	
	张家口	2 300	
	啁啁庙	706	

注:除榆村、通关河、县北沟外,其余均为嵌套流域。
笔者根据流域雨量站情况,采用美国国家海洋和大气管理局 (NOAA) 提供的 1 km×1 km DEM 数据进行分块。

3 降雨-径流相关关系的建立

采用各典型流域的实测水文资料系列,计算各个流域的降雨-径流相关水文要素 P, P_a 及 R_s ,建立 $P+P_a \sim R_s$ 相关关系,并对其进行精度评定。

3.1 水文资料选取

根据代表性原则和实际观测条件,在保证资料质量前提下尽可能选用较多场次雨洪(每年至少选择 1 次最大降雨过程,降雨丰沛年份可选多次降雨、洪水对应较好的场次),计算各典型流域的 P, P_a 及 R_s 。各子流域选用的资料如表 2 所示。

表2 各子流域选用资料概况

Table 2 Rainfall stations and floods in sub-watersheds

子流域	雨量站数	洪水场次	时段	子流域	雨量站数	洪水场次	时段
屯溪	11	21	1982—2002年	紫荆关	11	38	1967—2005年
呈村	10	14	1990—1999年	张坊	22	30	1970—2005年
月潭	5	19	1982—2003年	大阁	3	44	1964—2008年
东湾	8	35	1961—2000年	戴营	6	40	1964—2002年
栾川	2	24	1961—2000年	下会	6	26	1979—2006年
潭头	4	14	1961—2000年	张家口	15	20	1975—1985年
通关河	5	44	1971—2001年	啁咪庙	10	28	1960—2006年
县北沟	5	25	1983—2004年				

3.2 $P+P_a \sim R_s$ 相关关系的建立及精度评定

根据计算的各典型流域的 P, P_a 和 R_s , 以 $P+P_a$ 为纵坐标、 R_s 为横坐标, 点绘 $P+P_a \sim R_s$ 相关点据, 并根据点据分布趋势建立相应的 $P+P_a \sim R_s$ 相关关系, 然后采用2种精度评定方案对各个流域的降雨-径流相关关系进行精度评定。各嵌套流域的代表流域建立的 $P+P_a \sim R_s$ 相关关系见图1, 各流域的评定结果见表3。方案1各流域均达到乙级以上, 甚至对于张家口这样的干旱流域; 方案2只有屯溪、东湾、呈村、月潭、栾川、潭头流域达到乙级以上。

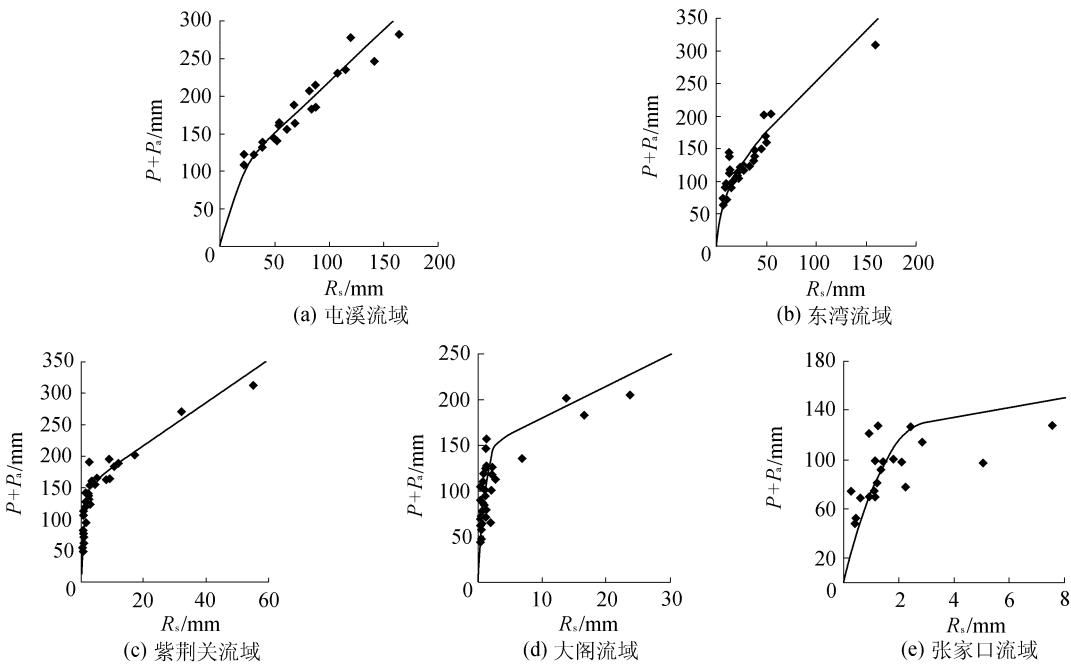


图1 各嵌套流域代表子流域的 $P+P_a \sim R_s$ 相关关系

Fig. 1 Correlation between $P+P_a$ and R_s for each typical sub-watershed of nested watersheds

表3 各子流域 $P+P_a \sim R_s$ 相关关系的精度评定结果

Table 3 Precision evaluation results of correlation between $P+P_a$ and R_s for each watershed

子流域	y/%		D/%	E/%	C_v	子流域	y/%		D/%	E/%	C_v
	方案1	方案2					方案1	方案2			
屯溪	86	86	-1	11	0.74	紫荆关	95	39	5	27	1.62
呈村	79	79	-3	11	0.67	张坊	87	23	14	26	1.51
月潭	79	79	3	9	0.95	大阁	93	34	-10	36	1.77
东湾	75	75	1	19	1.07	戴营	85	30	-11	38	1.69
栾川	86	86	2	16	1.08	下会	88	30	-19	42	1.4
潭头	86	86	-4	15	1.08	张家口	90	40	20	45	1.52
县北沟	92	43	3	23	0.86	啁咪庙	97	32	-14	29	1.71
通关河	80	32	4	24	0.84						

4 嵌套流域降雨-径流相关关系

不同水文下垫面具有不同的降雨产流机理^[11],且流域径流量主要依赖于降水量和下垫面条件,因此下垫面条件的不同对降雨-径流关系具有重要的影响^[12-17]。嵌套流域的下垫面条件基本相同,故对各分区中嵌套流域的降雨-径流相关关系进行分析探讨。

4.1 嵌套流域降雨-径流关系的分析

由表 1 可知,本次研究包含 5 个嵌套流域,分别为湿润地区的屯溪嵌套流域、半湿润地区的东湾嵌套流域、半干旱地区的张坊和下会 2 个嵌套流域以及干旱地区的张家口嵌套流域。经过分析发现,半干旱和干旱流域的降雨-径流相关关系可以嵌套为 1 个相关关系。分别将 3 个嵌套流域内各个子流域的 $P+P_a \sim R_s$ 相关点据点绘在 1 幅图上,根据点据分布趋势建立嵌套流域的 $P+P_a \sim R_s$ 相关关系(图 2)。

为分析嵌套前后各个子流域 $P+P_a \sim R_s$ 相关关系的变化,对各个子流域嵌套前后的 y, D, E 和 ΔR 的 C_v 值进行比较(表 4)。结果表明,嵌套前后的合格率没有改变, D, E 和 ΔR 的 C_v 值有略微变化,其中张家口和陶咪庙子流域的变化幅度较大。

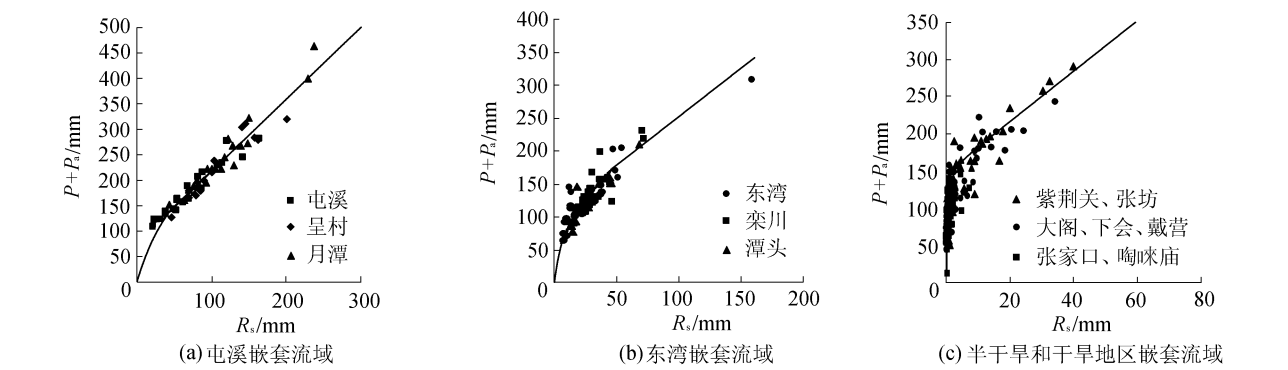


图 2 嵌套流域的 $P+P_a \sim R_s$ 相关关系

Fig. 2 Correlation between $P+P_a$ and R_s for each nested watershed

表 4 各流域嵌套前后 $P+P_a \sim R_s$ 相关关系比较

Table 4 Comparison of correlation between $P+P_a$ and R_s before and after each watershed is nested		$y/\%$		$D/\%$		$E/\%$		C_v	
嵌套流域	子流域	嵌套前	嵌套后	嵌套前	嵌套后	嵌套前	嵌套后	嵌套前	嵌套后
屯溪 嵌套流域	屯 溪	86	86	-1	-1	11	11	0.74	0.74
	呈 村	79	79	-3	-3	11	11	0.67	0.68
	月 潭	79	79	3	3	9	9	0.95	0.95
东湾 嵌套流域	东 湾	75	75	1	2	19	20	1.07	0.97
	栾 川	86	86	2	3	16	17	1.08	1.08
	潭 头	86	86	-4	-3	15	15	1.08	1.08
半干旱和 干旱地区 嵌套流域	紫荆关	95	95	5	5	27	23	1.62	1.62
	张 坊	87	87	14	14	26	26	1.51	1.51
	大 阁	93	93	-10	-10	36	37	1.77	1.77
	戴 营	85	85	-11	-7	38	39	1.69	1.60
	下 会	88	88	-19	-19	42	42	1.40	1.22
	张家口	90	90	20	38	45	50	1.52	1.53
	陶咪庙	97	97	-14	20	29	61	1.71	2.68

4.2 嵌套流域降雨-径流关系的验证

通过对嵌套流域的降雨-径流相关关系进行分析,确认嵌套流域的 $P+P_a \sim R_s$ 相关关系图是否适用于该嵌套流域内的任何子流域。笔者以屯溪嵌套流域周边的榆村子流域为例(屯溪嵌套流域和榆村流域具有大致相同的下垫面条件),验证屯溪嵌套流域的 $P+P_a \sim R_s$ 相关关系图是否适用于榆村子流域。

在榆村选取石门、柿树岭、岭脚、榆村 4 个站点,选择 1987—1999 年间的 28 场洪水计算其 $P+P_a$ 及 R_s 值,然后将榆村 $P+P_a \sim R_s$ 的相关点据点绘在屯溪嵌套流域的 $P+P_a \sim R_s$ 相关关系图上,见图 3。

采用方案1对榆村流域进行精度评定,结果表明榆村流域的28场洪水中合格的有20场次, y 为71%;榆村流域 D 为2%, E 为13%。因此,屯溪嵌套流域的 $P+P_a \sim R_s$ 相关关系图适用于榆村流域,即下垫面相同的地区可使用相同的 $P+P_a \sim R_s$ 相关关系进行降雨-径流相关分析。

5 不同自然地理条件下降雨-径流相关关系的区域性探讨

5.1 区域性的定性分析

为定性地对不同自然地理条件下降雨-径流相关关系的区域性特点进行探讨,建立的屯溪嵌套流域、东湾嵌套流域、县北沟、通关河和半干旱、干旱地区嵌套流域的 $P+P_a \sim R_s$ 相关关系线汇总在1幅图上,见图4。

从图4可以看出,从湿润、半湿润到半干旱、干旱地区, $P+P_a \sim R_s$ 相关关系线越来越陡,且越靠近纵轴。此外,屯溪和东湾2个嵌套流域的 $P+P_a \sim R_s$ 相关关系线的上部与45°直线(斜率为1的直线)大致平行;而县北沟、通关河和半干旱、干旱嵌套流域的 $P+P_a \sim R_s$ 相关关系线的上部则不与45°直线平行。

本研究中降雨-径流相关关系考虑的主要影响因素为前期影响雨量 P_a (或 W_0)。一般情况下,降雨前的初始土壤含水量 W_0 不为零, W_0 在流域上的分布直接影响降雨产流量值, W_0 与 R 之间的影响关系见图5^[18]。

蓄水容量曲线是部分面积随蓄水容量而变的累积频率曲线,表示了蓄水能力的面分布^[6]。在图5(a)中,横坐标 α 表示产汇流面积的相对值, a 是与 W_0 对应的纵坐标;降雨量 P 所产生的径流深 R 为左边阴影面积。对应不同的 P 值,有不同的 R 值。于是,取1组 W_0 值,便有1簇 $P+W_0 \sim R$ 线,如图5(b)所示。图5(b)中曲线簇与纵轴的交点为 W_0 ,最下面的交点代表 $W_0=0$,最上面的交点为 $W_0=W'_m$ 。 W'_m 为流域内最大点蓄水容量,当 $P+W_0 < W'_m$ 时,流域未蓄满,其斜率是变量,随 $P+W_0$ 增大而减小,即曲线下弯;当 $P+W_0 \geq W'_m$ 时,流域蓄满,土壤含水量达到田间持水量 W_m ,此时其斜率等于1,即曲线变成45°的直线。该直线的方程是 $P+W_0-R=W_m$,其纵截距为 W_m 。因此,若雨量满足流域各处缺水量,即 $P+W_0 \geq W'_m$,则 $P+W_0-R=W_m$ 。这就是蓄满产流的降雨-径流关系式。

由此可见,降雨-径流相关图法是基于蓄满产流机制的预报方法。屯溪和东湾2个嵌套流域以蓄满产流为主,因而其 $P+P_a \sim R_s$ 相关关系线的上部近似为45°直线,建立的 $P+P_a \sim R_s$ 相关关系较好;而县北沟和通关河具有半超渗半蓄满产流的特点,半干旱和干旱嵌套流域以超渗产流为主,故其 $P+P_a \sim R_s$ 相关关系线的上部不是45°直线,建立的 $P+P_a \sim R_s$ 相关关系曲线精度较低。

5.2 区域性的定量分析

为定量地对不同自然地理条件下降雨-径流相关关系的区域性特点进行探讨,本次分析主要采用4项指标:方案2的 y , D , E 和 ΔR 的变差系数 C_v 。 D 表示

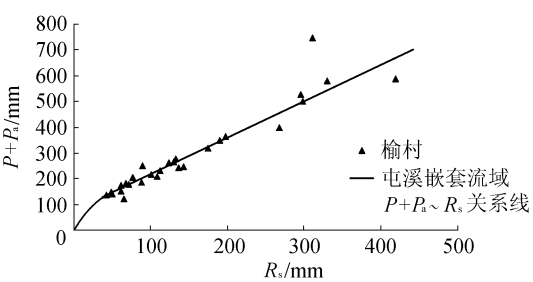


图3 在屯溪嵌套流域 $P+P_a \sim R_s$ 相关关系图上点绘榆村点据

Fig. 3 Plotting points of Yucun sub-watershed in diagram of correlation between $P+P_a$ and R_s of Tunxi nested watershed

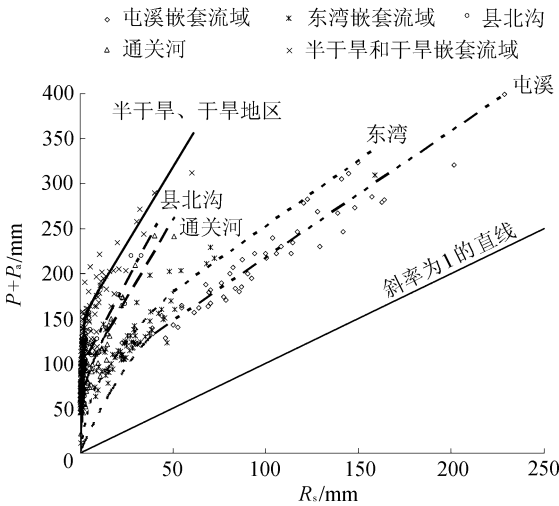


图4 不同自然地理条件下 $P+P_a \sim R_s$ 相关关系

Fig. 4 Correlation between $P+P_a$ and R_s under different natural and geographical conditions

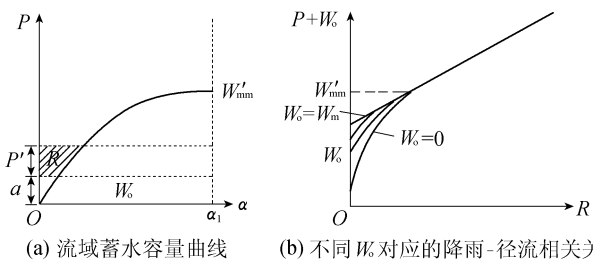


图5 蓄水容量曲线与降雨-径流关系之间的联系

Fig. 5 Connection between tension water capacity curve and rainfall-runoff relationship

是否存在系统误差, D 越小,表示预报结果越好。 E 反映随机和系统误差,是反映典型误差幅度的比较可靠的指标, E 越小,预报结果越好。 C_v 是表示标准差相对于平均数大小的相对量,反映总体系的离散程度。 C_v 值越大,变化幅度越大。各流域嵌套前计算的 4 项指标值见表 5。

表 5 各流域的 y, D, E 和 C_v 值
Table 5 Qualified rate, relative deviation, relative mean error, and C_v for each watershed

分区	嵌套流域	子流域	$y/\%$	$D/\%$	$E/\%$	C_v
湿润地区	屯溪嵌套流域	屯溪	86	-1	11	0.74
		呈村	79	-3	11	0.67
		月潭	79	3	9	0.95
半湿润地区	东湾嵌套流域	东湾	75	1	22	1.07
		栾川	86	2	16	1.08
		潭头	86	-4	15	1.08
	通关河县北沟	通关河	43	4	24	0.84
		县北沟	32	3	23	0.86
半干旱地区	张坊嵌套流域	紫荆关	39	5	27	1.62
		张坊	23	14	26	1.51
		大阁	34	-10	36	1.77
	下会嵌套流域	下会	30	-19	42	1.69
		戴营	30	-11	38	1.40
干旱地区	张家口嵌套流域	张家口	40	20	45	1.52
		喇嘛庙	32	-14	34	1.71

从表 5 可以看出,从湿润到干旱地区,方案 2 的 y 逐渐降低, D 的绝对值、 E 和 ΔR 的 C_v 值均在逐渐增大, $P+P_a \sim R_s$ 的相关关系越来越差,即降雨-径流相关图的预报越来越不理想。

方案 2 屯溪和东湾嵌套流域的 y 均大于 75%,相对平均误差的平均值均小于 20%, C_v 的平均值均小于 1.1,而其他流域的 y 都低于 70%, E 的平均值均大于 20%, C_v 的平均值均大于 1.1(县北沟和通关河除外)。因此,根据 E 和 C_v 值可以判定流域降雨-径流相关关系的好坏。一般地,若相对平均误差大于 20%, C_v 值大于 1.1,则认为该流域的 $P+P_a \sim R_s$ 的相关关系比较差。

6 结 语

通过对不同自然地理条件下降雨-径流相关关系的区域性规律进行分析,可知嵌套流域的 $P+P_a \sim R_s$ 相关关系线适用于该嵌套流域内的任何子流域,即下垫面大致相同的地区可使用同一条 $P+P_a \sim R_s$ 相关关系线进行降雨-径流相关分析。降雨-径流相关图的预报方法是基于蓄满产流的方法,湿润和半湿润地区以蓄满产流为主,因而建立的 $P+P_a \sim R_s$ 相关关系较好;而半干旱和干旱地区以超渗产流为主,建立的 $P+P_a \sim R_s$ 的相关关系精度较低。此外,可根据相对平均误差和 ΔR 的 C_v 值这 2 个评定指标来判定流域的降雨-径流相关关系的好坏。一般而言,相对平均误差大于 20%, ΔR 的 C_v 值大于 1.1,则流域的 $P+P_a \sim R_s$ 相关关系比较差。

参考文献:

[1] 中华人民共和国水利部水文局,长江水利委员会水文局. 水文情报预报技术手册[M]. 北京:中国水利水电出版社, 2010:313-320.

[2] RAY K, LINSLEY J, MAX A, et al. Hydrology for engineers[M]. 3rd ed. New York: McGraw-Hill, Inc,1982:120-140.

[3] 长江水利委员会. 水文预报方法[M]. 2 版. 北京:水利电力出版社,1993:116.

[4] 刘卫林. 漳河观台站降雨径流时间序列的混沌特性分析[J]. 河海大学学报:自然科学版,2011,39(4):384-390. (LIU Weilin. Analysis of chaotic characteristics of monthly rainfall-runoff time series from Guantai hydrological station in Zhang River [J]. Journal of Hohai University: Natural Sciences, 2011,39(4):384-390. (in Chinese))

[5] 芮孝芳. 水文学原理[M]. 北京:水利水电出版社,2004:249-264.

[6] 芮孝芳. 水文学研究进展[M]. 南京:河海大学出版社,2007:45-50.

[7] 赵人俊. 流域水文模拟[M]. 北京:水利电力出版社,1984:34.

[8] 苏静,董晓华,谭雪松. 地面径流计算误差对单位线推求的影响及对策[J]. 中国农村水利水电, 2008(5):5-7. (SU Jing, DONG Xiaohua, TAN Xuesong. Propagation and remedy of surface runoff error in deriving the t-hour unit hydrographs[J]. China Rural Water and Hydropower, 2008(5):5-7. (in Chinese))

[9] 倪雅茜,张文华,郭生练. 流量过程线分割方法的分析探讨[J]. 水文,2005,25(3):10-14. (NI Yaqian, ZHANG Wenhua, GUO Shenglian. Discussion on the discharge hydrograph separation methods[J]. Hydrology, 2005, 25(3):10-14. (in Chinese))

[10] 庄一翎,林三益. 水文预报[M]. 北京:水利水电出版社,1986:290-300.

[11] 杨丙寅. 忻州市不同水文下垫面降雨-径流关系特性分析[J]. 地下水,2009,31(2):74-116. (YANG Bingyan. Analysis for characteristic of relation of rainfall water quantity on different hydrological ground in Xinzhou City[J]. Ground Water, 2009,31(2):74-116. (in Chinese))

[12] 王静怡,王晓燕. 密云水库流域径流变化特征及影响因素分析[J]. 首都师范大学学报:自然科学版,2007,28(2):89-97. (WANG Jingyi, WANG Xiaoan. Analysis on variation and influencing factors of runoff in Miyun Reservoir Watershed[J]. Journal of Capital Normal University:Natural Science Edition, 2007,28(2):89-97. (in Chinese))

[13] 赵人俊. 水文预报文集[M]. 北京:水利电力出版社,1994:31-40.

[14] MAIDMENT D R. Handbook of hydrology[M]. New York: McGraw-Hill,1993:5. 1-5. 20.

[15] BEVEN K. Rainfall-runoff modeling the primer[M]. New York: John Wiley & Sons Led,2000:20-50.

[16] ANDERSON M G,BURT T P. Hydrological forecasting[M]. New York: John Wiley & Sons Ltd,1985:77-101.

[17] ANDERSON M G,MCDONNELL J J. Encyclopedia of hydrologic science[M]. New York: John Wiley & Sons Ltd,2005:1688-1831.

[18] 华东水利学院. 中国湿润地区洪水预报方法[M]. 北京:水利电力出版社,1978:21-25.

.....

河海大学承办的第十二次全国岩石力学与工程学术大会在南京召开

第十二次全国岩石力学与工程学术大会于2012年10月19日至21日在南京召开。江苏省科协副主席冯少东,中国科学院院士孙钧,中国工程院院士钱七虎、吴中如、周丰峻、顾金才、龚晓南,国际岩土数值方法进展协会前主席 Chandia Desai,国际著名岩石力学专家、美籍华人石根华,河海大学党委书记朱拓、副校长徐卫亚,解放军理工大学副校长张小宁,以及来自美国、澳大利亚、韩国和中国有关行业和部门的743名代表出席大会开幕式或相关活动。

开幕式由大会组委会主席、中国岩石力学与工程学会环境岩土工程分会理事长、河海大学教授刘汉龙主持,中国岩石力学与工程学会理事长钱七虎院士致开幕词。大会期间,15位中外专家作特邀报告和专题报告,介绍了岩石力学与工程领域的最新研究成果;设置了热点问题讨论环节,举行了6个专题的分会场学术研讨;对中国岩石力学与工程学会科学技术奖、中国岩石力学与工程学会青年科技奖和中国岩石力学与工程学会优秀博士论文奖获得者进行了表彰和颁奖;河海大学土木与交通学院学生菁华艺术团为与会代表献上了精彩的文艺节目,展现了河海岩土学子的风采。本次大会由中国岩石力学与工程学会主办,环境岩土工程分会、工程安全与防护分会、地下空间分会、江苏省岩土力学与工程学会、河海大学、解放军理工大学联合承办。大会共收到论文196篇,经大会学术委员会审核遴选,在《岩石力学与工程学报》、《岩土工程学报》、《地下空间与工程学报》、《防灾减灾工程学报》等刊物发表173篇。

(本刊编辑部供稿)