

文章编号: 05529350 (2004) 0520122207

## 基于水土保持的流域降水-径流统计模型及其应用

穆兴民<sup>1,2</sup>, 李靖<sup>2</sup>, 王飞<sup>1,2</sup>, 王炜<sup>1,2</sup>

(11 中国科学院水利部 水土保持研究所, 陕西 杨陵 712100; 21 西北农林科技大学, 陕西 杨陵 712100)

**摘要:** 本文在变量共线性分析基础上, 提出了流域降水量标度和水土保持标度及其计算方法, 建立了流域降水-水土保持-径流统计模型, 该模型不仅能分离水土保持措施对河川径流量影响程度, 而且还分析降水及水土保持对流域径流量变化的影响。研究表明, 在佳芦河和秃尾河流域, 水土保持使流域径流量平均减少 10%~22%。因降水量减少及水土保持措施面积增大, 20 世纪 70~90 年代比 60 年代径流量明显减少, 佳芦河降水变化及水土保持措施影响分别为 25% 和 75%, 而秃尾河分别为 35% 和 65%。

**关键词:** 水文模型; 统计模型; 共线性; 标度值; 水土保持措施; 径流

**中图分类号:** X824

**文献标识码:** A

区域水土保持措施对河川径流的影响是人类活动水文效应研究的重要内容<sup>[1,2]</sup>, 而建立科学实用的能够提高结果精度和可信度的评价方法是其研究核心<sup>[3]</sup>。根据资料性质的不同, 现有研究方法可分为两大类(对比分析和模拟分析) 5 种基本方法(集水区对比分析法、时间序列对比分析法、成因分析法或水保法、统计模型法和物理模型法等)<sup>[4]</sup>, 目前较为常用的方法是流域降水产流统计模型法, 该方法首先根据径流量年际变化过程划分时段, 一般分为水土保持措施很少或者没有的基期和水土保持措施作用明显的治理期; 然后根据基期的降水、径流资料建立统计模型, 利用该模型和治理期的降水资料计算 / 天然状态 0 下的径流量, 并通过与实测径流的比较来评价水土保持措施对河川径流的影响程度。该模型含义清楚, 计算简便, 但没有把水土保持措施直接引入模型, 不能分离不同措施的影响量, 而且主观规定 / 基期 0 水土保持措施影响为零或这一时期没有水土保持措施。因此, 本文以黄河支流佳芦河和秃尾河为例, 通过分析流域内水文站径流量与不同雨量站降水量及不同水土保持措施的共线性, 建立了流域降水-水土保持措施-径流统计模型, 并评价了不同时期水土保持措施和降水量对流域流量变化的影响。

## 1 研究流域资料与方法

**1.1 研究流域与资料** 研究流域为黄河的一级支流佳芦河和秃尾河<sup>[4]</sup>, 其基本状况见表 1。研究应用的主要资料包括河川径流、降水及水土保持主体措施(人工林、人工草、梯田及淤地坝)面积等。根据黄土高原的实际情况, 在流域内选择有相对完整的资料序列雨量站, 经过订正, 在流域上、中、下游地区分别选择一个雨量站。秃尾河流域为屹丑沟、高家堡和高家川站; 佳芦河流域为双山、王家砭和申家湾站。各站资料包括逐月和年降水与径流数据, 1990 年以前的水文气象资料主要来自于黄河流域水文泥沙观测年鉴和 1952~1990 年黄河流域主要水文站实测水沙特征值资料<sup>[6]</sup>等; 1990~1996 年间因没有正式刊印出版资料, 降水和径流等数据来自于个人交流及研究报告。水土保持措施面积和

收稿日期: 20030220

基金项目: 中科院知识创新工程方向(KZCX3-SW-421); 中澳合作 ACIAR(LWRIP2002P018) 及黄委会水保基金等项目资助

作者简介: 穆兴民(1961-), 男, 陕西华阴人, 博士, 研究员, 从事生态水文学方面的研究。

灌溉引水计算成果资料应用水利部二期水沙基金项目研究结果。本文以下出现的径流量均为通过灌溉引水还原的径流量。

表 1 佳芦河和秃尾河基本情况

项目	干流长P km	比降 (j)	流域面积P km <sup>2</sup>	水文站控制 面积Pkm <sup>2</sup>	多年平均实测水沙特征		
					降水量Pmm	径流量 @10 <sup>4</sup> Pm <sup>3</sup>	输沙量 @10 <sup>4</sup> t
秃尾河	1391.6	31.61	3294	3253	3921.5	36549	2098
佳芦河	921.5	61.25	1134	1121	3951.1	7064	1592

112 研究方法 建模方法可简述为通过建立流域降水量标度和水土保持措施面积的标度序列，采用回归分析的方法建立降雨- 水土保持- 径流统计模型。

11211 自变量的共线性问题及其处理 在多元回归分析时，虽然各自变量对因变量可能都有意义，但某些自变量之间线性相关显著，统计学家把这种自变量间的相关现象称为共线性或多重共线性<sup>[5-10]</sup>。建立多元回归方程时，各自变量间应相互独立，若自变量之间存在共线性，则会对回归模型自变量对因变量的贡献评价带来困难，并且会降低回归方程预测的稳定性、甚至出现明显的不合理预测或解释结果。若自变量之间为精确共线性即相关系数等于1时，回归模型的参数估计变成无法确定的值，普通最小二乘法估计失效。文献 [10] 认为，当自变量之间的相关系数在0.6以上时，自变量之间存在明显的共线性并需要处理。实践中发现，在降水产流统计模型中，流域内不同雨量站同时段降水量之间或不同水土保持措施之间相关系数普遍较高（例如表2或表3所示）。在模型中为消除自变量的共线性问题，可剔除相关显著的两个因子中的一个，但各项水保措施及各站降水因素对径流的作用是不同的，如不能用梯田面积代替林地面积等。为此，本文提出用因子分析方法<sup>[11]</sup>构建新变量，这个新变量我们称为 / 标度0 即对流域各站降水量或各项水土保持措施面积等原始变量的定量化综合标识，是一些虚拟变量。这里标度包括流域各月及降雨量标度和流域水土保持措施面积标度。因子分析可将具有错综复杂关系的多个变量，通过数学变换把原来的多个变量转化为一个或少数几个相互独立的综合指标，以综合再现原始变量的信息特征，并消除变量共线性引出的问题。一般地，多变量因子分析所得的综合指标往往是不能直接观测到的，但能反映研究事物的本质。因此，降水量和水土

表 2 佳芦河和秃尾河径流量与各雨量站 7、8 月及年降水量关系系数

站名	时间	径流量	王家砭			双山			申家湾		
			7月	8月	年	7月	8月	年	7月	8月	年
佳芦河	王家砭	7月	0.594	1							
		8月	0.639	0.281	1						
		年	0.748	0.544	0.760	1					
	双山	7月	0.450	0.803	0.144	0.370	1				
		8月	0.728	0.237	0.870	0.779	0.110	1			
		年	0.781	0.498	0.593	0.866	0.510	0.778	1		
	申家湾	7月	0.385	0.579	0.037	0.295	0.649	0.167	0.462		
		8月	0.523	0.245	0.803	0.588	0.232	0.694	0.511	0.073	1
		年	0.604	0.358	0.478	0.749	0.415	0.613	0.825	0.589	0.588
秃尾河	高家川	7月	0.413	1							
		8月	0.351	0.149	1						
		年	0.546	0.495	0.714	1					
	高家堡	7月	0.438	0.698	0.078	0.360	1				
		8月	0.606	0.199	0.689	0.675	0.044	1			
		年	0.686	0.453	0.405	0.783	0.549	0.718	1		
	圪丑沟	7月	0.191	0.422	0.146	0.206	0.630	0.091	0.320	1	
		8月	0.482	0.310	0.623	0.535	0.536	0.753	0.151	0.217	1
		年	0.554	0.131	0.382	0.658	0.311	0.724	0.830	0.385	0.791

保持措施原始变量的标度值既能充分利用各站降雨量或各项水保措施的信息，又能克服不同站降雨量或水土保持措施的多重共线性给降水产流模型带来的不利影响<sup>[4]</sup>。

表3 水土保持措施面积及其与径流量的相关系数

流域	因素	径流量	梯田面积	林地面积	草地面积
佳芦河	梯田面积	- 0.1668	1		
	林地面积	- 0.1632	0.903	1	
	草地面积	- 0.1709	0.854	0.903	1
	淤地坝面积	- 0.1689	0.977	0.924	0.909
秃尾河	梯田面积	- 0.1593	1		
	林地面积	- 0.1601	0.893	1	
	草地面积	- 0.1721	0.801	0.891	1
	淤地坝面积	- 0.1653	0.839	0.801	0.891

11212 各种标度值的计算 标度是指标或因素的通称，各类标度值的计算方法为：

第一步，确定各种标度的原始变量。对降雨量标度则要求选择流域雨量站及其降雨量，原则上可以用流域内所有站的降雨量资料，但在黄土高原具有完整长序列降水径流对应资料的测站很少，因此，本研究在每条流域的上、中、下游分别选择一个雨量站，即每个流域选3个站。为便于资料的获得，各站降雨量时间尺度选择月及年。对水土保持措施，黄土高原一般只有梯田、淤地坝、造林及种草四项措施的面积资料。

第二步，信息权的计算。信息权即反映流域各雨量站降雨量或各项水土保持面积的对流域降水标度值或水土保持措施标度值的影响大小的因子。用因子分析法，计算每种标度所含各原始变量的因子负荷系数矩阵，然后求得各原始变量的因子得分系数，如对流域降雨量标度则要求计算不同时段每个雨量站的信息权（无量纲）。信息权的计算方法采用因子分析法，具体方法如下：在因子分析中，采用 Image Extracting 法提取因子；因子旋转采用 Quartmax 法（四分旋转法），它能使每个变量中需要解释的因子数最少。研究流域各月及年降雨量标度的信息权如表4，流域水土保持措施面积信息权如表5。分析表明：每个流域内，3个站的各月或年降水量可归结为一个降雨量标度，其方差贡献达90%~95%。

表4 流域各月和年降雨量标度值信息权

流域	降水站	1月	2月	3月	4月	5月	6月	7月	8月	9月	10月	11月	12月	年
佳芦河	王家砭	0.296	0.382	0.351	0.375	0.382	0.446	0.370	0.485	0.478	0.362	0.375	0.342	0.326
	双山	0.293	0.171	0.371	0.162	0.284	0.446	0.441	0.309	0.105	0.259	0.276	0.168	0.443
	申家湾	0.411	0.447	0.278	0.463	0.334	0.108	0.189	0.206	0.417	0.379	0.349	0.490	0.231
秃尾河	高家川	0.489	0.286	0.206	0.228	0.316	0.351	0.302	0.168	0.231	0.290	0.324	0.354	0.228
	高家堡	0.179	0.375	0.404	0.434	0.506	0.394	0.467	0.487	0.496	0.526	0.360	0.231	0.471
	圪圪沟	0.332	0.339	0.390	0.338	0.178	0.255	0.231	0.345	0.273	0.183	0.316	0.415	0.300

第三步，计算各因子的标度值。如对流域7月份降雨量标度，根据信息权及各站各年的降雨量，用类似加权平均的方法（即信息权值乘原始变量的值）可求得相应因子的标度值。对不同年份，重复第二步的过程，可求得7月份流域降雨量标度的年序列。同样，可建立其它时段或水土保持措施面积标度年际序列。

表5 水土保持措施面积综合指标信息权

流域	梯田	林地	草地	淤地坝
佳芦河	0.132	0.094	0.094	0.492
秃尾河	0.353	0.177	0.1042	0.428

对降水量，采用本方法计算的流域各月或年降雨量标度值和一般用泰森多边形、简单平均等/主观规定权重而求得的所谓/面平均雨量0有着质的区别<sup>[4]</sup>。信息权及标度都是通过数学变换而得到的/虚拟变量0。

11213 模型建立与检验方法 依据已经建立的流域降水量标度和水土保持措施面积标度的年序列（佳芦河和秃尾河流域年序列分别为39年和40年）和控制站径流量序列，用上年各月及年降水量标度、当年各月及年降水量标度和水土保持措施面积标度等27个自变量与年径流量进行多元逐步回归

分析, 进而建立流域降水- 水土保持- 径流模型。

多元回归模型总体检验用 F 检验和确定系数 ( $R^2$ ) 检验; 对变量残差独立性检验采用 Durbin-Watson 检验 (DW), DW 为 210 时, 残差与自变量相互独立。对各自变量回归系数采用 t 检验和偏回归系数分析, 并用容许度 (Tolerance) 和方差膨胀因子 (VIF) 等共线性诊断指标检验自变量之间的独立性<sup>[5-10]</sup>。

## 2 流域降水- 水土保持措施- 径流模型建立与检验

**211 佳芦河降水- 水土保持- 径流模型** 回归分析表明, 影响佳芦河年径流量 ( $R_o$ , 亿  $m^3$ ) 的因子为 6~8 月各月降水量标度 ( $Y_6$ 、 $Y_7$ 、 $Y_8$ , mm) 和年降水量标度 ( $Y_a$ , mm), 以及水土保持措施面积标度 (SCA,  $hm^2$ ), 其回归模型为

$$R_o = 012962 + (1113 * Y_6 + 11654 * Y_7 + 21076 * Y_8 + 015244 * Y_a - 0105696 * SCA) * 10^{-3} \quad (1)$$

该模型的  $F(5, 34) = 3710$ , 决定性系数  $R^2 = 01845$ , 表明该模型达到 01001 以上信度的极显著性水平。DW= 119, 其值接近 210, 表明模型预测值的方差独立, 可用于径流量影响因素分析与预测。

各自变量与径流量的关系及其统计检验如表 6 所列。各自变量的多重共线性诊断指标 Tolerance 和 VIF 的值均在允许范围内, 可以拒绝自变量之间共线性存在的假设。各自变量回归系数 t 检验值均达到显著性水平。

根据标准回归系数 (见表 6), 降水量标度值对总径流量作用均为正, 即随降水量的增加, 河川径流量增大, 其中 8 月份的降水量作用最大。水土保持措施面积标度与径流量之间呈显著的负相关, 偏相关系数达 - 01719, 表明: 随水土保持措施面积的增大, 年径流量减小。在所有因子中, 水土保持措施面积和 8 月份降水量对径流量的作用最为显著。各因子对河川径流的影响大小排序为: 水土流失治理面积、8 月降水量、7 月降水量、年降水量、6 月降水量。

表 6 佳芦河和秃尾河流域回归模型的标准回归系数、相关系数和共线性诊断

流域	自变量	标准	回归系数	显著性	简单相	偏相关	Tolerance	VIF
		回归系数	检验 t 值	水平	关系数	系数		
佳芦河	$Y_6$	01096	11265	01185	- 01113	01212	0179	1127
	$Y_7$	01224	21536	01016	01538	01399	0159	1171
	$Y_8$	01414	31773	01001	01693	01543	0138	2165
	$Y_a$	01184	11402	01170	01770	01234	0126	3180
	SCA	- 01465	- 61030	01000	- 01660	- 01719	0177	1131
秃尾河	$LY_a$	01262	31481	01001	01300	01502	0190	1112
	$Y_7$	01142	11723	01093	01433	01276	0174	1135
	$Y_a$	01498	51842	01000	01665	01698	0170	1143
	SCA	- 01490	- 61351	01000	- 01706	- 01727	0185	1117

**212 秃尾河降水- 水土保持- 径流模型** 秃尾河年径流量 ( $R_o$ , 亿  $m^3$ ) 的主要影响因子为流域上年的年降水量 ( $LY_a$ , mm)、当年 7 月 ( $Y_7$ , mm) 和当年年降水量 ( $Y_a$ , mm) 标度, 以及水土保持措施面积标度 (SCA,  $hm^2$ ), 其回归模型为

$$R_o = 119756 + (1159 * LY_a + 11960 * Y_7 + 31100 * Y_a - 01148 * SCA) * 10^{-3} \quad (2)$$

模型总体检验:  $F(4, 36) = 4013$ , 决定性系数  $R^2 = 01826$ , 表明该模型达到 01001 以上信度的极显著性水平。DW= 118, 表明该模型预测值的方差独立, 它可用于分析和预测。

各自变量与径流量的关系及其统计检验如表 6。各自变量的多重共线性诊断指标 Tolerance 和 VIF 的值均在允许范围内, 可以拒绝自变量之间共线性存在的假设。回归系数的 t 检验均达到 01001 显著性水平。对秃尾河径流量的作用, 按自变量作用相对大小排序为: 当年降水量、水土流失治理面积、上年降水量、7 月降水量。与黄土丘陵区的佳芦河不同, 沙区面积较大的秃尾河, 其径流量受上年降

水量影响较大。

### 3 水土保持措施及降水对河川径流量影响的评价

**311 水土保持对降水产流的影响** 对灌溉引水、水库及工业用水等还原后，某流域的河川径流量为  $R_c$ 。按照成因，径流量可分为降水产流量和水土保持措施引起的径流变化量，以及由其它因素引起径流的随机变化。用公式表示为

$$R_c = R_p + \$R_{sc} + X \quad (3)$$

式中： $R_c$  为经部分还原的河川径流量， $R_p$  为模拟的天然降水产流量， $\$R_{sc}$  为水土保持措施引起的降水产流量的变化量， $X$  为其随机变化量。设  $SCA$  为零，将降水量标度代入式 (1) 或式 (2) 所得值即  $R_p$ 。

若忽略径流量随机变化的影响，则  $\$R_{sc} = R_p - R_c$ ，其值的正负表示水土保持对流域降水产流的作用方向，正值表示使降水产流量增加，负值表示使降水产流量减少。

水土保持对降水产流的效应可用  $\$R_{sc}$  占降雨产流量  $R_p$  的百分比来表示，即

$$E_{sc} = \$R_{sc} / R_p * 100\% \quad (4)$$

该式反映了水土保持措施对流域降水产流量的影响大小。当水土保持措施使降水产流量增加时  $E_{sc}$  为正，反之为负。

各流域不同时期水土保持措施对降雨产流量的作用大小如表 7。与无水土保持措施即  $SCA = 0$  时计算的径流量  $R_p$  相比，随水土保持措施面积的提高流域径流量逐渐减少。流域水土保持使降雨产流量平均减少 10%~22%。

表 7 不同时段径流量及水土保持措施和降雨的影响

流域	时段 年	$R_c$ @10 <sup>8</sup> /m <sup>3</sup>	$R_p$	水土保持措施		相对于基期年径流减少			
				对年产流的影响		的影响量和程度			
				$\$R_{sc}$ @10 <sup>8</sup> Pm <sup>3</sup>	$E_{sc}$ (%)	$\$R_{pc}$ @10 <sup>8</sup> Pm <sup>3</sup>	$I_p$ (%)	$\$R_{sc}$ @10 <sup>8</sup> Pm <sup>3</sup>	$I_{sc}$ (%)
佳芦河	1960~1969	019740	110088	-010348	-3	)	)	)	)
	1970~1979	018155	019703	-011548	-16	-010385	24	-0112	76
	1980~1989	014979	018613	-013636	-42	-011473	31	-013288	69
	1990~1996	015082	019177	-014095	-45	-010911	20	-013747	80
	平均	017449	019574	-012125	-22	-010923	25	-012745	75
秃尾河	1960~1969	413449	412864	010585	-1	)	)	)	)
	1970~1979	318565	410875	-012310	-6	-011988	41	-012896	59
	1980~1989	310643	318257	-017614	-20	-014607	36	-018199	64
	1990~1996	310683	319070	-018387	-21	-013793	30	-018973	70
	平均	316253	410363	-01411	-10	-0125	35	-014696	65

**312 降水量和水土保持措施对河川径流的影响** 不同时期同一条河流的径流量是不同的，但我们更需要了解引起径流量变化的原因及大小。相对于某个对比时期（基期），经部分还原的径流变化量 ( $\$R_{sc}$ ) 可表示为降水和水土保持引起的产流变化量的代数和，即

$$\$R_{sc} = \$R_{cp} + \$R_{sc} \quad (5)$$

式中： $\$R_{sc}$  为相对于基期径流的变化量， $\$R_{cp}$  为相对于基期降水引起的产流变化量， $\$R_{sc}$  为相对于基期水土保持引起的降水产流变化量。对实测径流量序列，求得基准期径流量和治理期平均径流量，二者之差值即为  $\$R_{sc}$ 。如比较 70 年代径流量与 60 年代（基期）径流量变化，那么， $\$R_{sc} = 70s$  平均径流量 - 60s 平均径流量。对降水引起的径流变化量  $\$R_{cp}$ ，可通过水土保持措施作用下的降水产流模型即式 (1) 或式 (2) 来计算。设  $SCA$  为零，将降水量标度代入式 (1) 或式 (2)，计算流域的年降水产流量（其值接近或等于天然产流量） $R_p$ ，然后可求得相对于基期的实测径流变化量  $\$R_{cp}$ 。因此，

相对于基期, 降水变化对实测径流变化量的作用

$$I_p = \frac{\$ Rc_p}{\$ Rc_c} @100\% \quad (6)$$

相对于基期, 水土保持对实测径流变化量的作用

$$I_s = \frac{\$ Rc_{sc}}{\$ Rc_c} @100\% \quad (7)$$

以 20 世纪 60 年代为基期, 水土保持措施和降水量变化对各流域 70 年代、80 年代和 90 年代平均径流量作用的大小如表 7 所列。与上世纪 60 年代相比, 降水、水土保持综合作用使 70~90 年代河川径流量不断减少, 水土保持措施的蓄水作用大于降水减少的作用。不同流域, 降水和水土保持措施的作用大小也有差异, 平均而言, 佳芦河二者的作用强度分别约为 25% 和 75%, 而秃尾河分别为 35% 和 65%。

## 4 结语

流域降水产流统计模型是评价水土保持措施对河川径流影响的常用方法, 本文在分析现有统计模型的不足及其自变量共线性分析的基础上, 建立了基于水土保持的流域降水-径流统计模型, 是评价水土保持措施对河川径流影响的一种新方法。

经过部分因素作用的径流量还原后, 水土保持措施、降水是影响河川径流量的两个主要因子。分析各项水保措施、各站降水量之间的相关系数可以发现, 佳芦河或秃尾河流域上、中、下游不同站点月、年降水量和水土保持措施面积之间存在共线性, 只有通过原始变量转换才可以改变。本文提出了标度的概念, 以因子分析方法为基础, 通过计算变量影响的信息权, 提出并计算了流域降水量和水土保持措施面积标度值。

在此基础上, 采用回归分析方法, 分别建立了佳芦河和秃尾河流域水土保持作用下的降水产流模型, 该模型可分离出综合治理对河川径流量的作用大小, 并可按年度估算流域水土保持对降水产流量的影响程度。分析结果表明: 随水土保持措施面积的增大径流量逐渐减少, 与天然产流量相比, 水土保持使流域径流量平均减少 10%~22%。因降水量减少及水土保持措施面积增大, 20 世纪 70~90 年代比 60 年代径流量明显减少, 佳芦河因降水变化及水土保持措施作用分别约占径流量减少量的 25% 和 75%, 而秃尾河分别为 35% 和 65%。

致谢: 感谢本所李玉山、李锐、邵明安和王万中研究员及西安理工大学的沈冰教授等曾对本研究提出的修改建议。

## 参 考 文 献:

- [ 1 ] 穆兴民, 王文龙, 徐学选. 黄土高塬沟壑区水土保持对小流域地表径流的影响 [J]. 水利学报, 1999, (20): 71- 75.
- [ 2 ] 穆兴民, 徐学选, 陈霖巍, 等. 黄土高原生态水文研究 [M]. 北京: 中国林业出版社, 2001.
- [ 3 ] 张胜利, 于一鸣, 姚文艺. 水土保持减水减沙效益计算方法 [M]. 北京: 中国环境科学出版社, 1994.
- [ 4 ] 穆兴民. 黄土高原水土保持河川径流及土壤水文的影响 [D]. 杨凌: 西北农林科技大学, 2002.
- [ 5 ] Durbin J, G S Watson. Testing for serial correlation in least squares regression  $\hat{N}$  [J]. Biometrika, 1950, 37: 409 - 428.
- [ 6 ] Durbin J, G S Watson. Testing for serial correlation in least squares regression  $\hat{0}$  [J]. Biometrika, 1951, 38: 159 - 178.
- [ 7 ] Smith K, M Slattery, French T. Collinear nutrients and the risk of colon cancer [J]. J. Clinical Epidemiology, 1991, 44 (7): 715- 723.
- [ 8 ] Wax Y. Collinearity diagnosis for a relative risk regression analysis: an application to assessment of die2 cancer

- relationship in epidemiological studies [J]. *Statistics in Medicine*. 1992, 11: 1273- 1285.
- [ 9 ] Brian S, Yandell. *Practical data analysis for designed experiments* [M]. Chapman & Hall, London. 1996.
- [10] 孙德林. 农业经济模型中多重共线性的检验及解决方法 [EB/OL]. <http://www.chinawine.org.cn/webpage>.
- [11] 王学仁. 地质数据的多变量分析 [M]. 北京: 科学出版社, 1982.

## Rainfall runoff statistical hydrological model based on soil and water conservation practices

MU Xingmin<sup>1,2</sup>, LI Jing<sup>2</sup>, WANG Fei<sup>1,2</sup>, WANG Wei<sup>1,2</sup>

(11 Institute of Soil and Water Conservation, CAS and MWR, Shaanxi Yangling 712100, China,  
2. Northwest SciTech. University of Agriculture and Forestry, Shaanxi Yangling 712100, China)

**Abstract:** Based on the collinearity analysis of runoff and precipitation among different hydrological stations and various kinds of water and soil conservation measures, a statistical hydrological model of precipitation-soil and water conservation-runoff for the river basin is established by applying multiple regression method to analyze indicators and runoff data. The model can not only separate the effect of soil and water conservation measures on river runoff but also analyze the effect of precipitation and soil and water conservation measures on variation of river basin runoff amount. A case study is given in the present paper.

**Key words:** hydrological model; statistical model; collinearity; indicator; soil and water conservation; runoff

(上接第 121 页)

## Application of fuzzy comprehensive evaluation and data envelopment analysis in selection of engineering scheme

DUAN Shaowei, SHEN Puosheng  
(Hunan University, Changsha 410082, China)

**Abstract:** The fuzzy comprehensive evaluation and data envelopment analysis (DEA) are applied to select the engineering scheme. The evaluation indexes are divided into two kinds: quantitative and qualitative. The vectors of qualitative indexes are obtained from discrete value scale evaluation and the vectors of quantitative indexes are derived from discrete sample model based on the principle of statistics and fuzzy mathematics. By using the fuzzy comprehensive evaluation the best engineering scheme can be determined qualitatively and quantitatively. At the same time, the relative efficiency of project scheme is studied by DEA theory. The selection of the scheme for a retaining structure is given as an example for demonstration.

**Key words:** fuzzy comprehensive evaluation; data envelopment analysis; retaining structure; discrete sample model