降水—水土保持—径流统计模型在潮河流域的应用

李 子 君
(山东师范大学 人口·资源与环境学院, 山东 济南 250014)

摘 要: 以密云水库以上的潮河流域作为研究区域,对流域 1961—2005 年的还原年径流量、年降水量、年水土保持措施(水平梯田和造林)面积数据进行了多元回归分析。建立基于降水—水土保持—径流之间关系的统计模型,定量评估了该区水土保持措施对流域年径流量的影响程度。模型评估结果表明, 1961—1970 年, 1971—1980 年, 1981—1990 年, 1991—2000 年, 2001—2005 年,流域水土保持措施的年均减水效应分别为 2.54%, 3.52%, 28.71%, 6.87% 和 48.02%; 1981—2005 年,流域水土保持措施的年均减水效应比较显著为 22.96%。2001—2005 年的年均减水效应最大, 1981—1990 年的年均减水效应次之, 1991—2000 年的年均减水效应最小。水土保持措施对枯水时段的减水效应更为突出。

关键词: 水土保持措施; 年径流量; 降水—水土保持—径流统计模型; 潮河流域
文献标识码: B 文章编号: 1000-288X(2011)03-0136-04 中图分类号: S157.2

Application of a Rainfall — Soil and Water Conservation — Runoff Statistical Model in Chaohe River Basin

LI Zi-jun
(College of Population, Resources and Environment, Shandong Normal University, Ji'nan, Shandong 250014, China)

Abstract: Taking the Chaohe River Basin above the Miyun Reservoir as a study area, the influence of soil and water conservation measures on annual runoff was assessed quantitatively by the rainfall—soil and water conservation—runoff statistical model established on the basis of multiple regression analysis using historical annual runoff, annual precipitation and areas of soil and water conservation measures in the drainage basin during 1961—2005. The results showed that during 1961—1970, 1971—1980, 1981—1990, 1991—2000 and 2001—2005, the average annual runoff-reduction effects were 2.54%, 3.52%, 28.71%, 6.87% and 48.02%, respectively, with an average of 22.96% during 1981—2005. The average annual runoff-reduction effect was the greatest during 2001—2005, intermediate during 1981—1990, and the smallest during 1991—2000. The runoff-reduction effects of soil and water conservation measures were more profound in the drier period.

Keywords: soil and water conservation measure; annual runoff; rainfall — soil and water conservation-runoff statistical model; Chaohe River basin

水土保持措施对河川径流量影响的研究是水土保持效益分析和土地利用/土地覆被变化的水文水资源效应等研究的重要内容[1-4],是水土保持规划和有关部门决策的依据。关于不同地区、不同时段流域水土保持措施对河川径流量的影响程度,学术界争议很大,是当前解决下游水资源供给与流域生态建设矛盾的重点和难点[5]。对该问题的深入研究有助于为建立流域综合治理与水资源变化相协调的机制和流域水资源高效利用与科学分配方法提供重要参考依据。如何将水土保持措施的影响准确地描述出来,是进行水土保持减水效应分析的关键,建立和选择科学合理的评价方法是正确评价水土保持措施的河川径流效应的核心。

国内有关流域尺度水土保持措施对年径流量影响的研究方法主要是"水文法"和"水保法"[6-11]。"水文法"是以水土保持措施明显生效前的降水、径流实测资料为依据,建立降水—径流经验关系统计模型,把水土保持措施明显生效后的降水资料代入模型,计

收稿日期: 2010-10-06 修回日期: 2010-11-30
资助项目:"十一五"国家科技支撑计划项目"华北土石山区防护林体系空间配置与结构优化技术研究"(2006BAD03A0201);"十一五"国家水体污染控制与治理科技重大专项"典型北方缺水城市湖泊水质水量保障与生境改善技术"(2008ZX07106-003-1)
作者简介: 李子君(1974—),女(汉族),山东省日照市人,博士,硕士生导师,副教授,主要从事土地利用变化方面的研究。E-mail: lizj@sdjzu.edu.cn。

算出如下垫面条件不变时应产生的水量, 计算水量和实测水量之差即为受水土保持措施影响的减水量[1-2]。该方法只考虑了降水条件因素, 而未将水土保持措施直接引入模型, 且用该方法所计算的减水量是以流域出口处实测资料计算的, 包括流域内所有能对水量起影响作用的下垫面因素, 即用该方法计算的水土保持措施的减水效应是偏大的。在该方法中, 如果考虑了下垫面的主要因子, 则无疑会提高计算结果的精度和可信度。"水保法"是根据水土保持试验站对各项水土保持措施蓄水作用的观测资料, 按各项措施分项计算后逐项相加, 计算水土保持蓄水作用的一种方法[1-2]。该方法虽然考虑了下垫面的影响, 但各项水土保持措施分项计算后逐项相加难以反映产流过程中的内在联系。

由于水土保持措施蓄水机理的复杂性和地域分异及措施配置的多样性, 使得建立合理的减水效应计算方法十分困难。目前人们广泛采用的"水保法"和"水文法"因其多属于统计相关的经验模型或比较简单的成因法模型, 影响了计算成果的准确性和可信度。本文以潮河流域为研究区域, 在考虑降水因素、水土保持措施(林地、水平梯田) 面积的基础上, 建立基于降水—水土保持—径流之间关系的统计模型, 利用该模型定量评估潮河流域水土保持措施对年径流量的影响程度, 拟为流域综合治理提供科学依据。

1　流域概况

1.1　自然地理概况

研究区域潮河流域, 指的是潮河流域密云水库以上的部分, 总面积 4 875.25 km^2, 占整个密云水库以上集水流域面积的 31%, 是北京市的重要水源地。流域涉及到河北省的丰宁满族自治县 11 个乡镇、滦平县 11 个乡镇以及北京市密云县的一部分。流域北接内蒙古高原, 南邻华北平原, 燕山山脉横贯流域南部, 山地面积占流域总面积的 80% 左右。流域气候类型属于中温带向暖温带过渡、半干旱向半湿润过渡的大陆性季风气候, 多年平均气温 7.3~ 10.3 ℃, 多年平均降水量为 494 mm。土壤类型主要是棕壤和褐土, 植被类型以针阔叶混交林为主。

1.2　水土保持概况

国家和地方政府为防治水土流失、保护密云水库的水质, 20 世纪 80 年代以来, 在潮河流域开展了大规模的水土保持综合治理。1989—2000 年期间, 潮河流域被水利部设立为国家级水土保持重点治理区, 流域内实施了大量的水土保持措施; 林业部退耕还林还草政策从 1998 年开始推行; 自 2001 年起, 国家正式启动了"21 世纪初期首都水资源可持续利用规划"项目, 对潮河流域水土流失进行系统监测和重点治理。流域水土保持措施以造林为主, 水平梯田较少。截至 2005 年底, 流域内累计保存下来的水土保持措施面积为 2 735.69 km^2, 其中, 造林 267 846.67 hm^2, 修筑水平梯田 5 726.67 hm^2。

2　数据来源与处理

2.1　数据来源

潮河流域 1961—2005 年的年降水量数据是根据流域内 14 个雨量站的年降水量观测资料采用泰森多边形方法求得的平均年降水量; 流域径流量资料来自流域出口控制站下会站 1961—2005 年年流量观测资料; 流域 1961—2005 年用水量(农业用水量、工业用水量、生活用水量之和) 数据和水土保持措施(林地、水平梯田) 保存面积数据, 主要来源于河北省丰宁满族自治县水务局和河北省滦平县水务局的《水利综合统计年报》等统计报表。

2.2　数据处理

为了确切评估潮河流域水土保持措施对年径流量的影响, 在此对流域出口控制站下会站 1961—2005 年的逐年实测径流量进行还原, 以消除农业、工业和生活用水量对径流量的影响, 得到还原径流量。

由于降水量、还原径流量、水土保持措施面积 3 个变量的量纲、数量级和数量变化幅度差异较大, 如用原始数据进行相关回归分析, 就会将不同性质、不同量纲、不同数量变化幅度的数值都统计在一起, 这样就可能突出某些数量级特别大的变量对模型的贡献率。为了便于分析, 需对原始数据进行标准化处理, 以消除量纲的不同。

首先对降水量、还原径流量、水土保持措施面积进行自然对数变换, 数据变幅减小且变均匀。为了消除量纲的不同, 应用极差标准化方法对数据进行标准化处理, 处理后数据分布特征更加明显。

所谓极差标准化, 就是自然对数变换后系列中的任一变量(x_{ij})与其第 j 列中的最小值 x_j 之差和第 x_j 列中的最大值与最小值之差的比值。其计算公式如下:

$$x_{ij}' = \frac{x_{ij} - x_j(\min)}{x_j(\max) - x_j(\min)} \quad (i = 1, 2, \cdots, n;\ j = 1, 2, \cdots, n) \qquad (1)$$

极差标准化后的各变量数据, 变化范围都在 0~1 之间, 消除了量纲的影响。

3　结果分析

3.1　降水—水土保持—径流统计模型建立及检验

利用数理统计方法, 以潮河流域 1961—2005 年

45 a 的还原年径流量、年降水量、逐年水土保持措施面积(水平梯田和造林面积之和)数据为基础,进行多元回归分析,以综合地表达还原径流量与其它 2 个变量之间的定量关系。相关分析表明,流域还原径流量(R)与降水量(P)、水土保持措施面积(A_{SWC})之间的相关系数分别为 0.822 和 -0.254,降水量与水土保持措施面积之间的相关系数为 -0.030。

降水量(P)、水土保持措施面积(A_{SWC})两变量相互独立,且与还原径流量(R)之间的相关程度较高,可以建立回归方程。

通过回归分析,得到如下方程:

$$R = 0.215 + 0.724P - 0.145A_{SWC} \quad (r^2 = 0.728) \qquad (2)$$

式中:R ——流域还原年径流量;P ——流域年降水量;A_{SWC} ——流域年水土保持措施面积。

该方程的复相关系数达到 0.853,F 值为 56.232,显著性水平优于 0.001(表 1)。

表 **1** 回归方程特征值

方程(2)	平方和	自由度	平方和均值	F 值	显著性水平
回归平方和	1.572	2	0.786	56.232	0.000
残 差	0.587	42	0.014		
总 和	2.159	44			

方程(2)表明,潮河流域径流量随降水的减少而减少,随梯田、造林面积的增加而减少。令 $A_{SWC} = 0$,根据方程(2)计算的只受降水影响的径流量模拟值与还原值的比较结果见图 1;根据方程(2)计算的受降水和水土保持措施共同影响的径流量模拟值与还原值的比较结果见图 2。

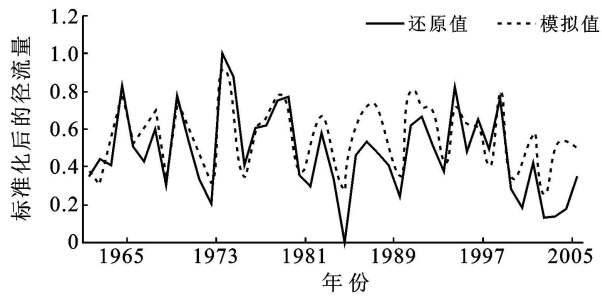


图 **1** 仅受降水影响的径流量的模拟值与还原值

由图 1 可以看出,1961—2005 年尤其是 1981—2005 年,模拟径流量的过程线基本上在还原径流量过程线之上,说明流域径流量的减少除与降水变化有关外,还受其它因素的影响。与图 1 相比较,图 2 显示了在加入水土保持措施的影响之后,模拟径流量过程线与还原径流量过程线之间的波动差距变小,说明水土保持措施确实对流域径流量的减少起到了一定作用。1961—1980 年,还原径流量与根据方程(2)计算的模拟径流量的过程线波动差距较小;1981—2005 年 2 条过程线波动差距较大,说明该时段还原径流量受降水和水土保持措施的影响幅度较大。

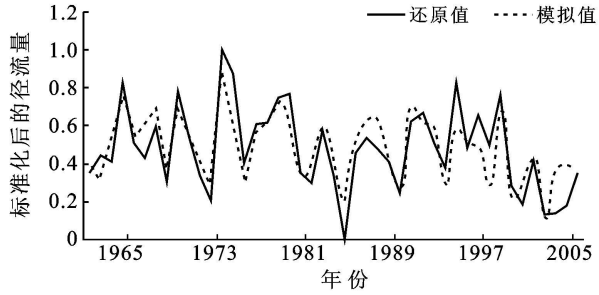


图 **2** 受降水和水土保持措施共同影响的年径流量的模拟值与还原值

3.2 水土保持措施的减水效应分析

令方程(2)右端的一个变量变化,另一个变量为常量,对变量依次取偏导数后得到如下方程:

$$\partial R / \partial P = 0.724 \qquad (3)$$

$$\partial R / \partial A_{SWC} = -0.145 \qquad (4)$$

式中:$\partial R / \partial P$ ——流域年径流量对年降水量的变化率;$\partial R / \partial A_{SWC}$ ——流域年径流量对年水土保持措施面积的变化率。

由方程(3)可知,在假定逐年的梯田、林地面积不变时,年降水量每减少 1 个单位,则流域年径流量就减少 0.724 个单位;由方程(4)可知,在假定年降水量不变时,逐年梯田、林地面积每增加 1 个单位,则流域年径流量就减少 0.145 个单位。这说明潮河流域年径流量的变化对降水量因素的变化更为敏感。

令方程(2)中的 $A_{SWC} = 0$,求得假定只受降水影响而未受水土保持措施影响的径流量,与还原径流量相比较,其差值即为水土保持措施的减水量,减水效应可根据下式计算:

$$E_{SWC} = \frac{R_P - R_O}{R_P} \times 100\% \qquad (5)$$

式中:E_{SWC} ——流域水土保持措施的减水效应(%);R_P ——利用降水—水土保持—径流统计模型计算出的只受降水影响的径流量(m^3);R_O ——流域还原径流量(m^3)。

计算结果见表 2。

表 **2** 潮河流域水土保持措施的减水效应

时 段	1961—1970 年	1971—1980 年	1981—1990 年	1991—2000 年	2001—2005 年	1981—2005 年
E_{SWC}/%	2.54	3.52	28.71	6.87	48.02	22.96

由表 2 可见, 1961—1970 年, 1971—1980 年, 1981—1990 年, 1991—2000 年, 2001—2005 年, 潮河流域水土保持措施的年均减水效应分别为 2. 54%, 3. 52%, 28. 71%, 6. 87% 和 48. 02%。1961—1980 年, 流域水土保持措施的年均减水效应很小; 1981—2005 年, 流域水土保持措施的年均减水效应显著, 为 22. 96%。这与流域水土保持在 1980 年前后发生的阶段性变化有很大关系。20 世纪 80 年代以后流域以造林为主的大规模的水土保持综合治理, 除了对流域内的径流进行直接拦蓄外, 还改变了流域径流产生与汇集的下垫面条件, 林草植被蒸散发也会消耗部分水量, 这些必然在一定程度上影响了流域的产水量。

1981 年之后, 不同时段的减水效应的趋势是: 2001—2005 年的年均减水效应最大, 1981—1990 年的年均减水效应次之, 1991—2000 年的年均减水效应较小。根据一定保证率(P) 的年径流标准划分, 1981—1990 年为枯水期, 年代平均径流变率为 0. 76; 1991—2000 年为偏丰水期, 年代平均径流变率为 1. 13; 2001—2005 年为枯水期, 年代平均径流变率为 0. 65。由此可见, 水土保持措施对枯水时段的减水效应更为突出。

4　结 论

基于所建立的降水—水土保持—径流之间关系的统计模型, 评估了潮河流域水土保持措施对年径流量的影响程度, 得到如下结论。

(1) 1961—1970 年, 1971—1980 年, 1981—1990 年, 1991—2000 年, 2001—2005 年, 流域水土保持措施的年均减水效应分别为 2. 54%, 3. 52%, 28. 71%, 6. 87%和 48. 02%; 1981—2005 年流域水土保持措施的年均减水效应比较显著为 22. 96%。

(2) 不同时段水土保持措施的年均减水效应的趋势是: 2001—2005 年的年均减水效应最大, 1981—1990 年的年均减水效应次之, 1991—2000 年的年均减水效应最小。水土保持措施对枯水时段的减水效应更为突出。

(3) 降水—水土保持—径流统计模型, 比较直观、简单, 计算简便, 既考虑了降雨条件因素, 又考虑了下垫面中水土保持措施的影响, 可以有效地评估流域水土保持措施对年径流量的影响程度。

[参 考 文 献]

[1] 冉大川, 柳林旺, 赵力仪, 等. 黄河中游河口镇至龙门区间水土保持与水沙变化[M]. 河南 郑州: 黄河水利出版社, 2000: 130-134.

[2] 徐建华, 牛玉国. 水利水保工程对黄河中游多沙粗沙区径流泥沙影响研究[M]. 河南 郑州: 黄河水利出版社, 2000: 231-233.

[3] 陈江南, 王云璋, 徐建华, 等. 黄土高原水土保持对水资源和泥沙影响评价方法研究[M]. 河南 郑州: 黄河水利出版社, 2004: 211-284.

[4] 唐克丽, 史立人, 史德明, 等. 中国水土保持[M]. 北京: 科学出版社, 2004: 221-225.

[5] 李子君, 周培祥, 毛丽华. 我国水土保持措施对水资源影响研究综述[J]. 地理科学进展, 2006, 25(4): 49-57.

[6] 王宏, 张智忠. 渭河主要支流产流产沙规律及水保措施减水减沙效益[J]. 水土保持通报, 1995, 15(4): 55-59.

[7] 张明波, 郭海晋, 徐德龙, 等. 嘉陵江流域水保治理水沙模型研究与应用[J]. 水土保持学报, 2003, 17(5): 110-113.

[8] 冉大川. 黄河中游水土保持措施的减水减沙作用研究[J]. 资源科学, 2006, 28(1): 93-100.

[9] 金明, 于静洁. 生态保护和植树造林对黑河流域河川径流的影响[J]. 地理科学进展, 2008, 27(3): 47-54.

[10] 李子君, 李秀彬. 水利水保措施对潮河流域年径流量的影响: 基于经验统计模型的评估[J]. 地理学报, 2008, 63(9): 958-968.

[11] 白桦, 穆兴民, 王双银. 水土保持措施对秃尾河径流的影响[J]. 水土保持研究, 2010, 17(1): 40-44.