

文章编号: 1007-6301 (2002) 06-0546-08

密云水库入库径流变化 趋势及动因分析

高迎春, 姚治君, 刘宝勤, 吕爱锋

(中国科学院地理科学与资源研究所, 北京 100101)

摘要: 运用回归分析和多种曲线拟合方法, 对密云水库近几十年来的入库径流时间系列进行了分析, 结果表明, 入库径流总体上呈指数减少趋势, 洪峰流量从绝对流量和所占比例两个方面都有大幅度的减少, 而且洪水减少程度高于一般径流减少程度。同时, 变化过程中表现出明显的阶段性。分析认为, 气候变化对入库径流减少的影响较小, 而流域内人口的增加和土地利用变化是入库径流减少的主要驱动因子。

关 键 词: 密云水库; 径流; 变化趋势; 动因分析

中图分类号: TV 213 **文献标识码:** A

1 引言

由于全球性的淡水资源短缺, 河川径流减少及主要驱动力分析研究越来越受到广泛的关注和重视。目前, 受联合国环境计划署 (UNEP) 的资助, 全球环境机构 (Global Environment Facility) 正在进行全球国际河流水资源评价 (Global International Water Assessment - GWA), 其中直接与“河流径流演变规律和变化趋势”有关的研究有“水文循环变化 (The Case of Changes in Hydrological Cycles)”和“河流径流减少 (The Case of Reduction in Stream Flow)”两个大的研究项目。

密云水库是北京市城市供水的主要水源, 而近几十年来在“自然-人工”二元因素共同作用与影响下, 水库的入库径流特征已经发生了一系列深刻的变化, 包括水量、水质以及河川径流结构组成等方面, 对实现该地区水资源的可持续利用产生着越来越深刻的影响; 同时, 入库径流减少亦带来了许多环境和社会经济问题, 如对下游水生生物的影响、湿地的减少、水体自净能力的减弱而造成的水质恶化、河流对地下水的补给量减少、海水入侵、上下游的矛盾和不同供水用户之间的矛盾激化、对工农业生产和人民生活的影响等。考虑自然条件变化和人类活动的共同影响, 从河川径流量出发, 探讨北京市主要地表水资源近几十年来的变化趋势, 并对其主要驱动因子进行分析, 对于该地区水资源的合理开发和高效、可持续利用具有重要的实践意义。

收稿日期: 2002-07; **修订日期:** 2002-09

基金项目: 中国科学院知识创新工程重要方向项目 (KXCX-SW-317) 和中国科学院地理科学与资源研究所知识创新工程项目领域前沿 (CXDG-A 00-07) 资助

作者简介: 高迎春 (1966-), 男, 博士, 副研究员, 主要从事水文水资源研究。

3 入库径流变化趋势

3.1 入库径流变化总体趋势

采用线性回归分析和多项式、对数、乘幂和指数等曲线拟合方法，对 1954~ 1990 年密云水库入库径流（潮河采用下会水文站实测径流资料，白河采用张家坟水文站实测资料）系列进行回归分析和趋势预测，可以看出密云水库入库径流下降趋势相当明显，它反映了径流变化的总体规律。不同分析方法的回归（线性）分析和趋势预测结果列于表 1， R^2 （ R 也被称为相关系数，尤其是在一元和多元相关分析中）被称为决定系数，其取值范围为 0 到 1，它说明了趋势线的估计值与对应的实际数据之间的拟合程度，当 R^2 值等于或接近 1 时，趋势线最可靠。通过比较决定系数 R^2 值可以认为，密云水库的入库径流变化总体上呈指数下降趋势，其决定系数达到 0.57，明显高于其它类型拟合函数的值，入库径流系列及其趋势拟合曲线如图 2 所示。

表 1 不同方法的趋势预测结果

Tab. 1 Change trend fitting results by different fomulas

趋势预测类型	函数方程	决定系数 R^2
线性	$Y = - 1.53X + 65.85$	0.43
多项式	$Y = 0.06X^2 - 4X + 82.29$	0.51
对数	$Y = - 21.83\ln(X) + 95.17$	0.53
乘幂	$Y = 121.9X^{-0.53}$	0.51
指数	$Y = 63.6e^{-0.04X}$	0.59

注：函数方程中 X 为系列长度（ $X = 1, 2, 3, \dots, 37$ ）， Y 为径流量。

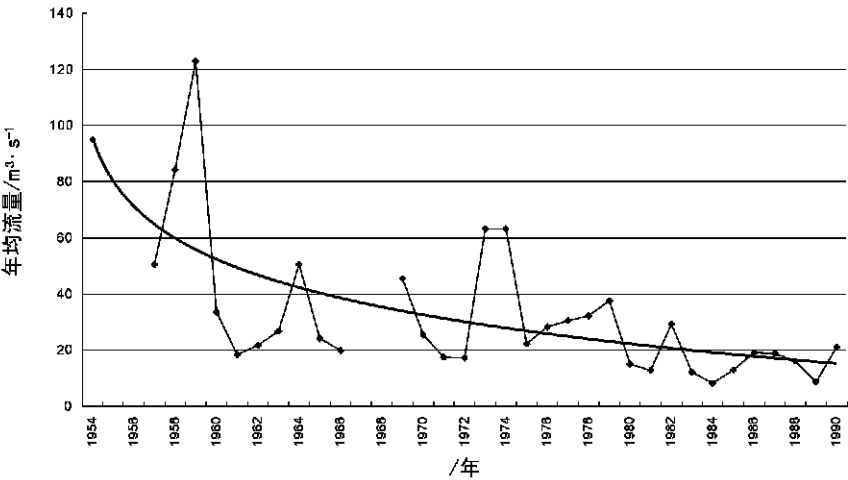


图 2 密云水库年均入库流量系列
Fig. 2 Inflow to Miyun Reservoir

3.2 入库径流变化阶段分析

用最小方差法对 1954~ 1990 入库径流系列实测资料做进一步分析，结果表明，1960 年入库径流发生了一次突变，再对 1960 年~ 1990 年的入库径流资料做同样的分析，1980 年入库径流在此期间又发生了一次突变，两个突变点的置信度分别达到 96.7% 和 94.9%。通过突变点分析可以认为，密云水库入库径流的变化过程可以分为 3 个阶段，即 1954~ 1959 年、1960~ 1979 年和 1980~ 1990 年，3 个阶段的多年平均入库径流分别为 88.15、

32.12 和 15.83 m³/s。

由于缺乏 1955 和 1956 年的实测资料以及受 1959 年的特大洪水影响, 造成 1954~1959 年期间的径流明显比其它几个阶段高; 1960~1979 年这个期间的径流波动比较正常, 反映了径流的年际变化规律, 但是径流减少却非常明显; 而 1980~1990 年期间的径流进一步明显减少, 相当于第一阶段的 18% 和不到第二阶段的 1/2, 表明径流过程受到比较大的自然和 (或者) 人类活动的影响。

3.3 入库径流年内分配变化分析

入库径流过程逐月所占的比例基本上没有大的变化, 不同阶段径流年内分配也基本上一致 (表 2、图 3), 3 个阶段丰水期 (7、8、9 三个月) 所占的比例分别为 70.3%、61.6% 和 58.5%, 丰水期径流所占的比例有减少的趋势, 而且 8 月份主要洪水径流所占的比例呈下降趋势。

丰水期径流的减少程度要高于全年平均流量的减少程度, 1954~1959 年 7 月的平均流量 237.8 m³/s, 1960~1979 年为 71.0 m³/s, 比第一阶段减少了 2/3 还多, 1980~1990 年为 30.1 m³/s, 只相当于第一阶段的近 1/8; 1954~1959 年 8 月平均流量为 328.0 m³/s, 1960~1979 年为 115.7 m³/s, 只相当于第一阶段的 35%, 1980~1990 年为 50.0 m³/s, 只相当于第一阶段的 15.2%。因此, 洪峰流量从绝对流量和所占比例两个方面都有大幅度的减少, 而且洪水减少程度高于非洪水径流减少程度 (图 4)。

表 2 不同阶段径流年内分配比例
Tab. 2 Proportion of runoff monthly for different periods

阶 段	年内分配比例/%											
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
1954~ 1959	2.1	2.3	2.9	2.3	1.3	2.8	22.9	31.6	15.8	7.5	5.6	3.0
1960~ 1979	3.5	3.4	4.4	3.5	2.5	4.3	18.8	30.6	12.3	7.6	5.4	3.9
1980~ 1990	3.6	4.1	5.6	3.6	2.5	5.0	16.2	26.8	15.6	8.8	5.8	3.9

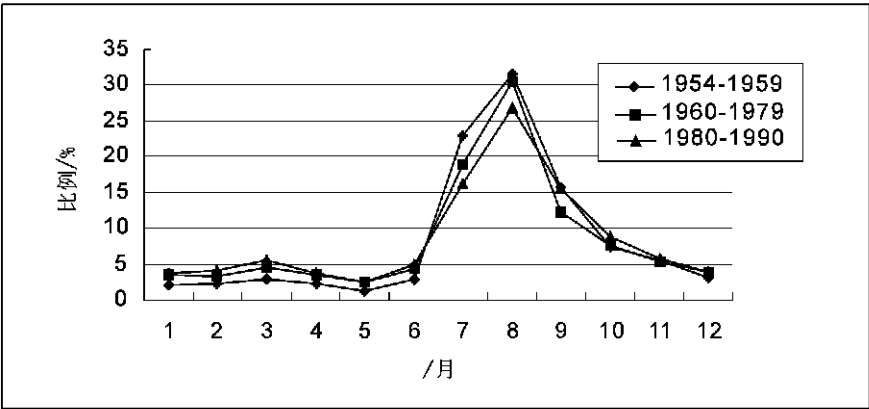


图 3 径流年内分配
Fig. 3 Proportion of runoff monthly

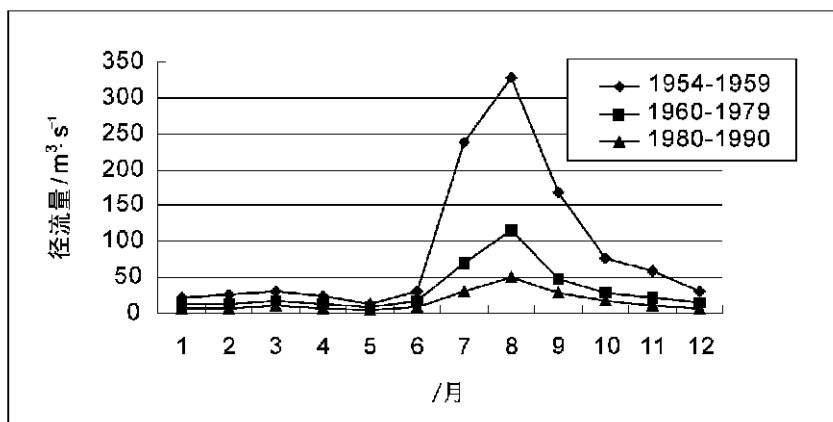


图 4 不同时段多年平均径流过程

Fig. 4 Curve of runoff for different periods

4 径流演变驱动力分析

河川径流的变化主要受自然条件和人类活动两方面的作用。在自然因素方面, 主要包括气候的影响。在以降水为主要补给来源的潮白河流域, 可以认为降水是天然径流最直接的影响因素。人类活动影响方面, 主要包括因土地利用和土地覆被变化而改变流域下垫面以及流域内的一些拦蓄工程而改变天然径流。

4.1 径流演变与降水的关系

密云水库控制流域内及周边地区共有 40 多个雨量站, 为了充分利用更多的雨量站资料和较长的时间系列, 选取其中 30 个雨量站 1954~1990 年实测资料进行流域降雨计算。密云水库控制流域内多年平均降水量为 654.2 mm, 与径流变化阶段相对应的降水量分别为 775.7、621.3 和 637.3 mm, 可以看出, 降水量没有一定的变化规律, 也没有比较明显减少或增加的趋势, 逐年降水量也在多年平均降水量上下波动, 反映了降水的随机性 (图 5)。

密云水库控制流域降水和入库径流的关系随着时间系列的延长而明显减弱。1959 年以前, 降水与径流有密切的正相关关系, 相关系数达 0.99; 1954~1979 年, 两者的相关程度降低, 相关系数为 0.75; 1954~1990 年, 两者的相关系数仅为 0.60。如果分析 1960~1990 年降水与径流的相关关系, 相关系数只有 0.26。

综上所述, 入库径流的变化规律和降水的变化并不完全一致, 控制流域内降水量没有明显的减少或增加, 而入库径流却大幅度的递减。特别是自 1960 年以后, 流域内降水和入库径流的相关关系明显减弱。可以初步认为, 入库径流减少的趋势不是由于降水造成的, 主要受人类活动的影响, 如土地利用/土地覆被变化、地貌条件变化, 不同水土保持措施及水利工程措施等。

4.2 入库径流变化与人口的关系

密云水库库区内四十多年来人口和牲畜总数成倍增加, 而且用水标准也大幅度提高, 因此, 库区内耗水量大幅度增加。1959 年, 人均日用水不到 30L, 而 1995 年已超过 100L, 这

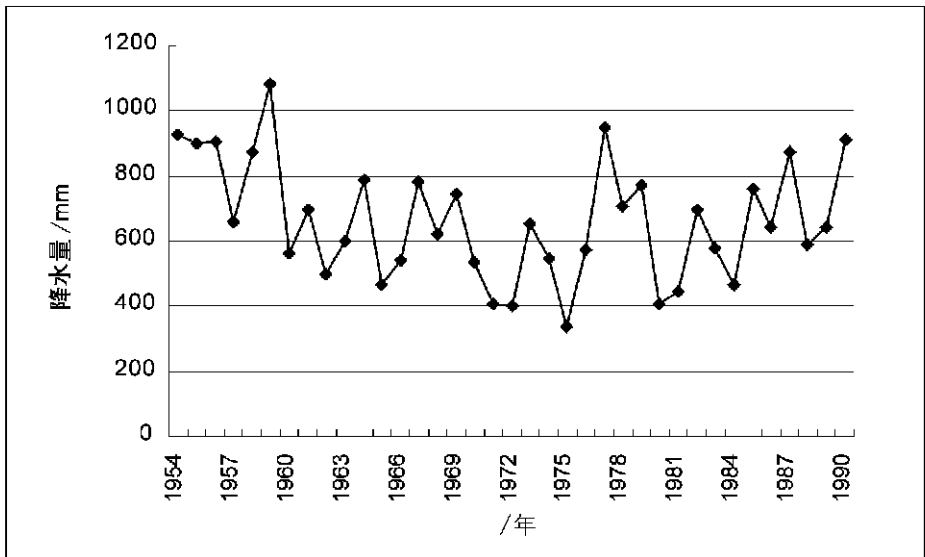


图 5 密云水库控制流域年降水量

Fig. 5 Annual precipitation of watershed controlled by Miyun reservoir

种快速增长与库区人民生活水平的提高有关, 如淋浴的家庭化、洗衣机的普及等; 也与库区经济发展有关, 如旅游度假村的建设和特种水产养殖的兴起; 但是也有用水浪费的成分, 如一天要洗几次澡, 反复地冲马桶, 一件衣服也用洗衣机等, 生活中还有各种“跑、冒、滴、漏”现象, 往往被人们视而不见。

生活用水量的年内分配比较均匀, 夏季略高, 冬季略低。相对于河川径流而言, 流量减少比较均匀。

4.3 入库径流与土地利用变化的关系

库区内土地利用现状与 50 年代相比, 发生了翻天覆地的变化。尤其是坡改梯和淤泥坑、淤泥坝的建设和库区小型水库的建设, 对入库流量的减少起到了决定性的作用。根据白河流域汤河口镇东台沟试验流域对比试验结果, 同一坡面上人工修建淤泥坑(种树)与自然条件下相比能减少径流达 2/3; 水平梯田只有在 3~4 场雨后土壤比较湿润, 而且降水强度达到 40 mm/h 时才产生径流, 而自然状态下降水强度达到 15~20 mm/h 时就产生径流; 自从 1986 年修建淤泥坝以来, 0.66 km² 的东台沟试验流域除 1997 年特大洪水而产流一次外, 其它年份均没有产流, 而同一坡向、自然条件基本一致的相邻的小东台沟对比流域, 流域面积 0.50 km², 基本没有人类活动的影响, 保持天然状况, 土地利用类型与 50 年代基本一致, 流域每年都有产流过程。密云水库修建以前, 潮白河的水问题主要集中在洪水灾害方面, 这期间修建的主要为小型的水利工程, 大多为防洪堤坝、引水渠道。由于这些工程规模小, 基本没有改变流域下垫面面貌, 未能对河流整体的水文特征及其系统功能产生根本性的影响。这一时期水资源开发利用处于初级阶段, 河道径流接近天然径流所具有的特征。密云水库的修建也是为了防洪和下游农业灌溉。由于密云水库坝址上游地区经济和社会的快速发展, 到目前为止, 流域内修建了大小 100 余座水库, 层层拦蓄径流和引水灌溉,

许多水库多年不下泄流量,即使是洪水也拦蓄在库中。

由于土地利用的变化,不仅用于灌溉的河道取水量急剧增加,而且庄稼冠层截留更多的降水和梯田土壤滞留更多的降水,流域内有效蒸发和无效蒸发都大幅度增加,在降水量基本不变的情况下,河川径流必然大幅度减少。试验和分析认为,土地利用变化是入库径流减少的主要驱动因子。

5 结语

通过对 1954~1990 年实测密云水库入库径流分析,入库径流总体上呈指数减少趋势,而且入库径流的演变过程表现出明显的阶段性。

密云水库入库径流减少趋势与降水关系不大,比较而言,人类活动特别是土地利用和土地覆被变化对入库径流的影响更为深刻,在相当程度上可以认为是入库径流减少的主要驱动因子,人口增加和经济发展也是重要的驱动因子之一。

密云水库入库径流减少的趋势随着气候的变化、降水的增加在一定程度上有可能得到缓和,但由于产生水文响应的主要因子-人类活动影响不可能很快逆转,因此近期内入库径流不可能出现增加的趋势,除非采取强烈的人工干预措施。

密云水库设计年入库径流量为 $15 \times 10^8 \text{ m}^3$,设计时水库主要功能为防洪、农业灌溉和发电,为华北地区第一大水库。目前密云水库的主要功能已经转变为城市供水,并供应了市区一半以上的日常用水。由于水库上游地区经济和社会发展,流域内修建了大小 100 余座水库,使水库多年平均来水由 50 年代以前的 $20 \times 10^8 \text{ m}^3$ 锐减到 80 年代以后的不到 $5 \times 10^8 \text{ m}^3$ 。同时水污染程度不断加剧,官厅水库因水质问题已经于 1997 年被迫退出了饮用水供水系统,密云水库成了北京唯一的“一盆清水”,但水质呈下降趋势,入库径流的减少直接影响着北京的水资源安全。

参考文献:

- [1] 张庆云 1880 年以来华北降水及水资源的变化[J]. 高原气象, 1999(4): 486-495
- [2] 丁晶,刘权授 随机水文学[M]. 北京: 中国水利水电出版社, 1997.
- [3] 万洪涛,周成虎,万庆 流域水文模型计算域离散方法[J]. 地理科学进展, , 2001, 20(4).
- [4] 吴险峰,刘昌明 流域水文模型研究的若干进展[J]. 地理科学进展, 2002, 21(4).
- [5] Onof C, Wheater. Modelling of the time-series of spatial coverages of British rainfall fields[J]. *Journey of Hydrology*, 1996, 176: 115-131.
- [6] George E. P. Box etc Time Series Analysis Forecasting and Control (Third Edition) [M]. Published by Prentice Hall, Inc., 1994
- [7] Marco J B, Harboe R, Salas J D. Stochastic Hydrology and its Use in Water Resources Simulation and Optimization [M]. Kluwer Academic Publishers, Netherlands, 1993

Evolution Trend of M iyun Reservoir Inflow and ItsM otivating Factors Analysis

GAO Ying-chun, YAO Zhi-jun, L IU Bao-qin, LU A i-feng

(Institute of Geographical Sciences and N atural Resources Research, CA S, Beijing 100101 China)

Abstract: Stochastic hydrology methods are used to analyze the characteristics of annual inflow evolution of M iyun reservoir. The result has shown that the amount of annual inflow of the M iyun reservoir tends to decrease exponentially from 1954 to 1990 in general. Moreover, flood peak decreases extremely in both quantity and proportion, and its decreasing extent is higher than that of common runoff. At the mean time, evolution trend shows apparent periods. In order to find out the motivating factors of annual inflow evolution, we analyzed the relationship between precipitation and runoff. Through correlation analyzing, it is quite clear that the change of annual inflow was partly dependent on precipitation. But the precipitation is not the major motivating force of the evolution, and climate changes have only little influence to inflow decreasing. The annual inflow of M iyun reservoir responds directly to human activities, especially after 1960. Experimental result shows that it is obvious that the annual inflow decreasing is mainly caused by human activities, such as extreme population increase and land use changes.

Key words: M iyun Reservoir; Inflow; Evolution Trend; M otivating Factors Analysis