

# 永定河上游人类活动对降雨径流关系的影响

程大珍 陈 民 史世平 马志尊

**摘要** 通过水资源开发利用及水土保持综合治理,永定河上游流域下垫面条件不断改变,从而影响了产汇流条件和官厅水库入库径流;利用新资料延长官厅水库径流系列,建立流域降雨径流关系,定性分析人类活动对官厅水库年降雨径流关系的影响,为流域水资源开发利用和综合治理研究提供依据。

**关键词** 径流系列 降雨径流关系 人类活动 永定河

**中图分类号** TV213.9 **文献标识码** A **文章编号** 1007-6980(2001)02-0019-03

永定河流域面积约4.7万km<sup>2</sup>,官厅水库是永定河流域的控制性工程,坝址以上面积4.34万km<sup>2</sup>,占永定河山区总面积的96%。

官厅水库以上有桑干河和洋河两大支流。桑干河发源于山西省宁武县管涔山北坡,流经大同盆地、册田山峡、阳原盆地、石匣里山峡于涿怀盆地朱官屯汇洋河后称永定河,东行注入官厅水库,沿途有源子河、黄水河、浑河、御河等主要支流汇入。洋河上游有东洋河、西洋河、南洋河三源,分别发源于内蒙古前旗、兴和和山西省阳高,于河北省万全县岸庄屯附近汇合后称洋河,洋河东行穿过张宣盆地并纳洪塘河、清水河两大支流出响水堡山峡,在涿怀盆地汇桑干河入官厅水库。

本流域位于欧亚大陆东部中纬度地带,属大陆性气候。冬季较长、干燥寒冷、盛行西北风,夏季较短,春秋多风沙,冷暖变化显著。流域多年平均降水量为406mm。降水量年内分配不均,年降水量的77%集中在汛期,降水量年际变化较大,最大年降水量与最小年降水量比值为2.6。

## 1 人类活动

### 1.1 水资源开发利用

官厅水库建成以后,上游兴建了大量水库工程。70年代以前,流域地表水开发利用以农村用水为主,1979年官厅以上地表水总用水量为8.49亿m<sup>3</sup>,其中农村用水为8.41亿m<sup>3</sup>,占99%;城镇地表水用水量为0.08亿m<sup>3</sup>,仅占1%。80年代以后,随着经济的发展,城镇化步伐的加快,城镇用水量所占比重有所上升。1997年官厅以上总用水量为9.17亿m<sup>3</sup>,其中农村用水为8.02亿m<sup>3</sup>,占87%;城镇用水量为1.15亿m<sup>3</sup>,占13%。地

表水的开发利用,不仅减少了官厅入库径流,而且对官厅水库入库径流的年内分配也有明显的影响。

60年代以前地下水的开发利用水平很低,流域内除少量园田外基本上没有开展井灌。1971年中央召开的北方农业会议上提出了北方17省市以开发地下水井灌为主攻方向的方针,特别是1972年全流域大旱以后,流域内大力发展井灌。1982年各类机井达2.6万眼,井灌面积增加到11.6万hm<sup>2</sup>(174万亩);至1998年地下水总灌溉面积约15.5万hm<sup>2</sup>(232万亩),其中浅层地下水灌溉面积约10万hm<sup>2</sup>(150万亩)。目前地下水是本区的主要供水水源,1988~1998年平均年地下水开采量11.57亿m<sup>3</sup>,占官厅水库以上总用水量的54%,有的年份比例高达58%。由于地下水和地表水联系密切,两者相互转化,地下水大量开采势必要影响官厅水库的来水量。同时,由于地下水的超量开采,在大同、张宣等盆地已出现了一系列的环境地质问题。

### 1.2 综合治理

永定河山区属海河流域水土流失严重区,区内水土流失面积26261km<sup>2</sup>,占山区总面积的58%,流失特点以黄土丘陵沟壑区和土石山区的水力侵蚀为主。建国50年来,特别是1983年永定河上游列为国家八片水土保持重点治理区之一以来,区内以小流域为单位,在全面调查规划的基础上,开展了综合治理,提高了治理质量,加快了治理速度,水土保持工作有了较大的发展。

永定河上游重点治理区涉及流域内河北、山西、北京、内蒙古4个省(区、市)的近20个县(旗、市、区),总面积约2.95万km<sup>2</sup>。一期(1983~1992年)治理:在176条重点支流内,累计治理面积1926.3km<sup>2</sup>。二期第一阶段(1993~1997年)治理:在283条小流域

内, 累计完成治理面积 3 663.37 km<sup>2</sup>。

## 2 降雨径流关系

### 2.1 系列延长

#### 2.1.1 降水系列

官厅水库以上不同年代雨量站个数相差较大, 选取能够控制面雨量的 27 个雨量站, 统计各站逐月、年降水量系列, 采用加权平均法计算面雨量。1956~1959 年平均雨量 503 mm, 1960~1969 年平均雨量 407 mm, 1970~1979 年平均雨量 415 mm, 1980~1989 年平均雨量 368 mm, 1990~1997 年平均雨量 392 mm。

从统计资料可见: 50 年代(1956~1959 年)为丰水期, 降水量比多年平均值大 24%; 60、70、90 年代为平水期, 降水量与多年平均值基本持平; 80 年代为枯水期, 降水量较多年平均值小 9%。不同年代 6~9 月、7~8 月降水量占全年降水量的比例比较接近, 没有呈现明显的年代差异, 说明不同年代降水量的年内分布基本一致。

#### 2.1.2 径流系列

官厅水库 1918~1984 年径流系列采用“六五”国家科技攻关第 38 项成果, 这套系列作为重要的基础资料, 得到了广泛的应用。本次在此基础上延长了 1985~1997 年系列。

实测年径流: 根据实测资料采用水量平衡法推求, 即官厅水库入库实测径流量等于水库下泄水量与水库蓄水变量之和。

官厅水库以上直接还原水量包括农村用水量、城镇用水量、上游水库蓄水变量、水库附加蒸发损失量、跨流域引水量及水库渗漏水量等。

将官厅水库实测径流量与各项可直接还原的水量相加, 即为天然径流量。官厅水库 1956~1997 年多年平均天然径流量为 17.2 亿 m<sup>3</sup>。

## 2.2 降雨径流关系

点绘官厅水库 1956~1997 年降雨量一天然径流量相关图, 降雨径流相关点据在 1980 年前后呈明显带状分布。当降雨量相同时, 1980 年以后的径流量较 1979 年以前的径流量平均减小 15%~20%。

## 3 人类活动对降雨径流关系影响的成因分析

河川径流量是降水与下垫面共同作用的产物。1956 年以来, 官厅水库以上不同年代降水量的年内分布并没有明显的差异, 说明引起流域降雨径流关系变化的主要原因是下垫面条件的变化。

计算官厅水库天然径流量时, 已对城镇用水量、农村用水量、水库蓄变量、跨流域引水量等可直接还原的水量进行了还原, 在这种情况下, 同等降水量时 1980 年以后的径流量仍较 1979 年以前的径流量平均减小 15%~20%。本次分析初步认为, 主要是由于 80 年代以来, 随着社会经济的发展, 人类对官厅水库以上流域下垫面的影响日趋严重, 特别是地下水开发利用、水土保持综合治理、煤炭开采等人类活动对产汇流条件的改变间接地影响了河川径流量。

### 3.1 地下水开发利用的影响

70 年代以来, 流域内大量开采地下水, 据统计, 1980 年前后平均每年开采地下水约 7.9 亿 m<sup>3</sup>, 1988~1998 年平均每年开采 11.57 亿 m<sup>3</sup>。由于河川基流量与地下水开采量均来源于地下水, 是地下水资源的均衡要素, 开采量的增加必将影响到河川基流, 使其减少; 同时, 地下水的长期开采降低了地下水位, 改变了区域下垫面条件, 特别是增大了包气带缺水量, 从而使地表降雨产量也减少, 最终必然导致河川径流量的减少。

关于地下水开采对河川基流量的影响, 由流域内神头泉出水量的变化可略见一斑。神头泉位于山西省朔州市东北洪涛山前神头镇一带源子河洪积扇中上部, 为一局部承压的岩溶下降泉群。泉群沿源子河河道分布, 排泄区分布面积约 5 km<sup>2</sup>, 大小泉水 100 余处, 泉域面积为 4 500 km<sup>2</sup>。神头泉主要由泉域内大气降雨入渗补给, 以泉口自然溢出和泉域内人工开采为主要排泄途径。泉域内 70 年代以来, 年均地下水开采量约为 0.40 亿 m<sup>3</sup>, 相应地该泉年均出水量由五六十年代的 2.6 亿 m<sup>3</sup> 衰减到 80 年代的 1.8 亿 m<sup>3</sup>, 开采量与衰减量之比为 1:2, 两者关系较为密切。泉水补给是河川基流的重要组成部分, 泉水量的减少必然会引起河川基流的衰减。

### 3.2 水土保持综合治理的影响

水土保持对河川径流的影响是通过改变流域产汇流条件而实现的, 其影响程度主要取决于水保措施的规模和治理水平。

#### 3.2.1 林业措施的影响

林业对径流的影响主要体现在两个方面: 一是枝叶在降雨过程中可以截留一定的水分, 这部分水分大部分要蒸发掉。枝叶截留量的大小与降雨强度、历时、风力、树种及郁闭度等有关, 随降雨量的增加而增大, 当降雨量达到某个限度时, 达到最大值。二是有枯枝落叶层和发达根系的林地, 具有涵蓄一定水量的能力, 其入渗能力比荒地大, 从而

增加了一次降雨过程的初损。以上两方面的最终结果是,与荒地相比,中小洪水时林地的地下径流有所增加,地表径流则有所减少,年径流总量减少。为分析林业措施拦蓄径流的效用,我国先后设立了一些径流实验站,进行森林与荒地,林区与非林区的平均对比观测。例如四川凯江径流实验站,森林拦蓄量分析成果表明:林地拦蓄量随降雨量的增加而增大,当一次暴雨量为200 mm时,林区可多拦蓄14 mm。据推算,遇特大暴雨(最大可能24 h雨量850 mm),林区可比荒坡多拦蓄径流20 mm。国内外在干旱、半干旱地区森林水文作用观测结果都说明森林覆盖率与流域产水水量呈负相关。

### 3.2.2 梯田的影响

梯田属坡地治理措施,中小洪水时其拦蓄径流的作用主要表现在以下两方面,一方面是坡地改为梯田后,地面坡度大大降低,这样就减缓了水流速度,延长了汇流历时,增加了降雨的入渗损失量;同时,坡地改为梯田后,土壤在结构及质地方面均会得到改善,土壤的下渗能力及蓄水能力会有所增强。根据黄土高原陕西米脂试验区的观测成果,对于一场降雨,水平梯田较坡地蓄水能力要增加2.52%,相当于多拦蓄7.83 mm的雨量。第二方面是带埂的梯田会起到小拦蓄坝的作用,拦蓄一定的地表径流。一般带地埂的梯田一次暴雨可拦蓄20~100 mm,不带地埂的,只能拦蓄10~20 mm。

### 3.2.3 其它水土保持措施的影响

按影响地表径流的效用的不同,这些水土保持治理措施可分为两类:第一类是就地入渗措施,包括种草、封育治理、坝地及保土耕作等,其作用是通过改变地形,增加地面植被,改良土壤性质等途径增加土壤入渗,减少地表径流;第二类是就近拦蓄措施,包括水窖、蓄水池、截水沟、沉沙地、沟头保护、谷坊、塘坝、淤地坝、小水库和引洪漫地等,其主要作用是拦蓄由暴雨产生的地表径流。

## 3.3 煤炭开采的影响

流域内大同市是我国重要的煤炭能源基地,随着经济的发展,由于煤炭开采而引起的水资源问题也不容忽视。

为了采煤的正常进行,必须把采煤工作面的矿井涌水排出,这首先疏干了浅层地下水,随着采煤工作面向纵深发展,矿井累计排水量越来越多,所形成的地下水降落漏斗逐渐扩大,这势必会引起河川基流量的减少,并最终导致河川径流量的衰减。同时,随着采空范围逐年扩大,采空区裂隙甚至地面塌落

范围也随之扩大,因而造成地表产流的大量渗漏,影响范围内的河川径流量也随之减少。流域内十里河观音堂以上流域受煤炭开采等影响使河川径流量不断减小,该流域面积为1185 km<sup>2</sup>,流域形状呈狭长形,属丘陵山区,上游左云县丘陵地区比重较大,黄土覆盖较多,下游大同市境内为砂岩土石山区。自1980年以来上游左云县地方小煤窑发展很快,几乎遍及各个乡镇,下游大同市境内有大同矿务局所属4个大矿和许多乡村小煤窑。从观音堂站还原后的年径流来看,自1972年以后呈现出明显的衰减趋势,如1956~1969年多年平均径流深为39.9 mm;1970~1979年多年平均降水量比1956~1969年增加了14 mm,平均径流深反而减少为32 mm;1980~1993年多年平均径流深降到16.4 mm,不及1956~1969年多年平均径流深的一半。山西省水文总站用降雨径流经验模型分析了人类活动对河川径流的影响,据统计,各阶段由于人类活动影响使河川径流减小量为:1970~1979年减少7.3 mm,占该阶段平均模拟径流的18.6%;1980~1993年减少16.8 mm,占该阶段平均模拟径流的50.6%。尽管1980年以后流域内的人类活动除煤炭开采外还包括水土保持等,但山西省水文总站经分析认为煤炭开采是观音堂流域河川径流衰减的主要因素。

## 4 结语

近几十年来,随着社会经济的发展,人类通过水资源开发利用及水土保持综合治理等活动,不断改变流域的产汇流条件。永定河上游不同年代降水量的年内分布没有明显的差异,引起流域降雨径流关系变化的主要原因不是降雨,而是人类活动的影响。由于人类活动对流域降雨径流关系的影响复杂,所以定量分析难度较大。只要加强流域水文监测,积累流域治理、煤炭开采等有关水资源方面的资料,对主要影响因素进行定量分析,为流域水资源开发利用和综合治理研究提供依据是完全可行的。

### 作者简介

程大珍 女 高工 水利部天津水利水电勘测设计研究院 天津 300222  
 陈 民 男 工程师 水利部天津水利水电勘测设计研究院 天津 300222  
 史世平 男 工程师 水利部天津水利水电勘测设计研究院 天津 300222  
 马志尊 男 高工 水利部海河水利委员会 天津 300170

(收稿日期 2001-01-02)