

人类活动影响剧烈背景下的海河流域水文修订成果研究

陈太文¹, 田水娥², 刘伟³

(1.海河水利委员会,天津 300170; 2.中水北方勘测设计研究有限责任公司,天津 300222;
3.水利部水利水电规划设计总院,北京 100120)

摘要:海河流域水资源开发利用率高,近几十年来未发生较大洪水,水资源开发利用、水土保持、城镇化建设等人类活动对海河流域产汇流特性持续产生明显影响,为七大流域中人类活动影响较大的流域之一。分析了海河流域下垫面变化趋势及对产汇流影响,研究了水文成果修订方法,提出了水文修订成果。在此基础上,总结了海河流域水文修订成果存在的问题,并提出下一步工作建议。

关键词:下垫面变化;水文成果修订方法;修订成果;人类活动影响;水文修订成果

中图分类号:TV122

文献标识码:A

文章编号:1000-0852(2019)01-0085-04

海河流域位于东经 112°~120°, 北纬 35°~43°之间,地跨北京、天津、河北、山西、山东、河南、内蒙古和辽宁 8 个省(自治区、直辖市),是我国政治文化中心和发达地区,包括海河、滦河、徒骇马颊河三大水系。一方面,流域内的河系较为分散,洪水呈现源短流急的特点,暴雨、洪水同期发生,一般发生在 7、8 两月,尤其集中在 7 月下旬至 8 月上旬。历史上发生的“63.8”和“75.8”等特大洪水均发生在 8 月上旬,部分暴雨中心区域的洪水达到或接近世界记录的同等流域面积洪水最高值。另一方面,海河流域人口密度大,人类生产、生活对水土资源的需求增长快,且水土保持治理面积也在不断扩大,流域下垫面条件已经发生较为明显的变化,对海河流域水文情势产生了较大影响。水文成果与流域下垫面条件密切相关,因此分析人类活动影响下海河流域水文特性,修订水文成果具有十分重要的现实意义。

1 下垫面变化对产汇流的影响

1.1 海河流域下垫面变化趋势

(1)土地利用变化。自 1980 年以来,海河流域的耕地、草地逐渐减少,而林地、园地、居民点及工矿用地和交通用地逐渐增加,其中居民点及工矿用地呈辐射状向周边扩张,特别是京津冀地区及京广铁路

沿线。

(2)植被覆盖变化。归一化植被指数(NDVI)是反映地表植被覆盖状态的一个指数。依据海河流域植被覆盖分析结果,1984~1990 年植被增加的地区多于减少的地区,1990~1999 年期间植被则呈现减少趋势。近些年来,流域植被覆盖明显转好,与水土保持工作密切相关。

(3)地下水开采量及埋深变化。20 世纪 50 年代中期,海河流域平原区地下水基本处于自然平衡状态,地下水埋深自西部山区边缘的 5~10m 到东部滨海的 1m 左右逐步减少。20 世纪 80 年代以来,地下水开采量不断增加,1980 年浅层地下水开采量增加至 $174 \times 10^8 \text{m}^3$ 左右,而 2010 年达到 $236 \times 10^8 \text{m}^3$,地下水全面超采,地下水埋深不断增大。至 2010 年流域山前平原区地下水埋深一般均超过 20m,部分区域已达到 30~55m (见图 1);中部平原区地下水埋深大部分超过 10m;东部及滨海平原地下水埋深降至 1~6m。

1.2 下垫面变化对产汇流的影响

人类长期的生产、生活等活动,导致了海河流域下垫面的较大变化,既对流域产流产生了明显的影响,也对坡地和河网的汇流产生了一定的影响。

(1)下垫面变化对产流的影响。流域产流影响因素包括降雨量、蒸散发量、最大蓄水容量及其初始蓄

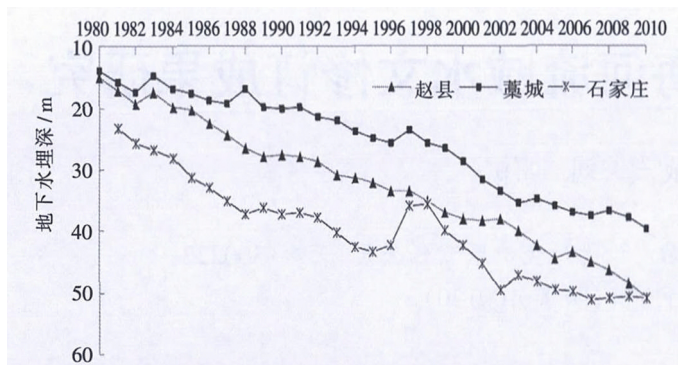


图1 河北省山前平原浅层地下水埋深变化情况

Fig.1 The variation of the groundwater depth in the shallow layer of the mountain front plain in Hebei Province

水量,以及土层界面的入渗率等下垫面条件。海河流域现状的下垫面条件与20世纪80年代以前相比变化明显,对产流的影响主要表现在以下方面:一是水库、塘坝、谷坊坝等蓄水工程建设提升了区域蓄水条件,也改善了局部水汽循环条件;二是土地利用的变化,导致植被覆盖度和植被种类改变,尤其是建设用地的增加,导致硬化面积不断增加,进而影响到蒸散发和地表入渗能力;三是地下水的持续大量、超量开采,导致地下水位持续下降,包气带存储容积随之增加,直接加大了流域蓄水能力。因此,人类活动直接或间接地对蒸散发、流域蓄水量等产生影响,使得现状下垫面条件下相同降雨的产流量有所减少。

(3)下垫面变化对汇流的影响。汇流分为坡地汇流、河网汇流和河道汇流三部分。净雨在流域出口形成的流量过程均是对流域内地形地貌的综合反映结果。从流域层面来讲,人类活动对地形的影响是比较轻微的,人类活动的影响主要表现在土地利用变化、植被覆盖度变化等方面,进而影响汇流。例如,城镇化和建设用地的增加,使得汇流速度加快,流量过程变得尖瘦;当山丘区大量开采地下水之后,河谷地带和山间盆地的地下水埋深增加,在汛前河床出现干化,初次洪水的汇流损失会明显增加。

2 主要方法

2.1 径流成果修订方法

海河流域径流还原方法主要采用分项调查还原法,首先对可以量化的水量进行还原,以实测径流系列为基础,进行上游各项水量还原。还原的主要项目包括:农业、工业和生活用水的耗损量(含蒸发消耗和入

渗损失),跨流域引入、引出水量,河道分洪决口水量,水库蓄水变量等^[1]。本次将径流系列延长至2012年,建立不同时期降雨径流关系、各站降雨径流双累积曲线,提出下垫面发生明显改变的年份,找出转折点,进行系列一致性修订。

2.2 设计洪水修订方法

设计洪水一般包括设计洪峰流量、不同时段设计洪量和设计洪水过程线三大要素。

(1)常规设计洪水修订法。对于有实测流量资料的地区,采用频率计算法计算设计洪水;对无实测径流资料的地区,采用暴雨资料间接推求设计洪水^[2]。常规方法一般仅对可以量化的人类活动影响进行还原,如计算断面以上流域内较大水库或引调水工程的影响水量还原。本次将洪水系列延长至2012年,并采用频率计算法进行设计洪水复核。

(2)下垫面变化设计洪水修订法。主要涉及如下技术环节:确定设计条件下的下垫面水平,明确洪水系列修订期,建立洪峰洪量修订模型或模式,进行洪水系列修正和设计洪水成果修订,成果合理性分析。其中的关键点及难点在于下垫面条件变化影响因素识别和分期界定、选择合适的水文模型、相关分析法修订模式的应用等。

实现途径有两种:一是系列修订法,即先对设计洪水计算中采用的洪量和洪峰系列进行一致性修正,然后进行频率适线,得到下垫面变化后的设计洪水成果;对于特大历史洪水的洪峰、洪量值,一般情况下缺乏详细的降雨资料,只能近似修订。二是直接修订法,即依据实测暴雨径流资料,建立现状与下垫面变化前、变化后两种模型体系或相关关系,对典型场次洪水进行修订,然后参照不同等级洪水典型年修订成果,直接对设计洪水成果进行修正^[3-5]。

3 成果分析

3.1 长短径流系列成果

潘家口水库站、密云水库站、张坊站、观台站等32站1956~2012年径流系列较1956~2000年径流系列均呈现减小趋势,均值减少幅度为2.4%~14.8%(平均为9.1%)。减少幅度最小的河系是漳卫河,6站均小于8%,幅度最小的站是石梁站2.4%。减少幅度最大的河系是大清河,变幅均在11%以上;幅度最大的站是于桥水库站14.8%。

与1956~2000年径流系列比较,32站2001~2012

年径流系列明显偏枯,均值均有所减少,平均减少约43%。除了漳河流域外最枯年份多发生在2001~2012年期间。

2001~2012年与1980~2000年平均降水量比较,永定河、滹沱河、浊漳河等背风区及卫河区呈增长趋势,相差均在10%以内。其他地区最大年降雨量均减少,减少幅度4.8%~23%。从降雨径流关系来看,漳卫河流域、马颊河流域两段降雨径流关系基本一致;永定河流域、子牙河流域两段降雨径流关系变化明显,在同量级降雨下,后一时间段产流量减少;滦河及冀东沿海、北三河流域、大清河流域两段降雨径流关系有一些变化但还未脱离原点群。

3.2 常规设计洪水修订成果

由于近年没有发生罕见的大洪水,设计洪水系列的延长,使得同一场洪水考证期增长,重现期加大,多年平均洪峰和时段洪量减少,设计洪水成果普遍减少,历史洪水考证期很长的站点,其洪水减少幅度较小。对于没有历史调查洪水的站点,仅考虑实测洪峰、时段洪量,设计洪水减少幅度较大。

山区站设计洪水成果变化较小,平原站变化较大。常规方法复核的30座大型水库站校核洪水成果绝大部分减少幅度在10%以内,而东茨村、北河店、白沟站、白洋淀(十方院)、新镇站、淇门、楚旺等平原河道站高频设计洪水减少幅度均在10%以上。

3.3 下垫面变化对设计洪水的影响修订成果

经初步分析,漳卫河系、子牙河系、大清河系设计洪水下垫面修订成果与设计洪水常规方法修订结果相比,减小幅度在30%以内。大清河北支各站的设计洪水成果减小幅度较大,最大达到55.8%,可见下垫面变化对于洪水影响较大。密云水库设计洪水修订结果相比常规方法修订成果减小幅度在16%~35%之间;官厅三峡的设计洪水成果较常规方法修订成果减小幅度在20%~30%之间。由于下垫面对设计洪水的成果影响很大,影响下垫面的因素识别和定量分析困难,对未来趋势的判断还有难度,本次暂不考虑下垫面变化对设计洪水的影响。

4 主要认识

4.1 径流系列的一致性有待进一步研究

海河流域在“水资源二次评价”中,对下垫面变化明显的站点进行了一致性修正,提出了1980~2000年下垫面条件下的1956~2000年径流系列,本次延

长2001~2012年径流系列。由北向南点绘各河系代表站年径流量和年降水量双累积曲线,可以看出滦县站、密云水库站、张坊站、南庄站等在1996年前后有明显的转折点,说明1980~2012年径流系列存在不一致性。

4.2 地下水开采是导致径流减少的重要原因之一

径流系列延长至2012年得到的设计径流成果,与二次评价采用成果相比,普遍呈减少趋势,山丘区及山间盆地的地下水开采对径流的影响不容忽视。2000~2005年海河流域山丘区及山间盆地地下水年实际开采量在 $40 \times 10^8 \text{m}^3 \sim 43 \times 10^8 \text{m}^3$ 左右,约占流域地下水开采量的1/5。大同、忻定、蔚阳盆地的地下水埋深已达20~30m,张宣、涿怀、长治等盆地等地下水埋深一般也在10m左右,相比2000年之前增大明显^[6]。

山丘区及山间盆地的地下水开发利用对土层蓄水容量的影响十分明显,进而影响到流域的产流。如2015年北三河、永定河、大清河、子牙河、漳卫河5条河系的山区地下水开采深度分别为17.5mm、20.8mm、8.9mm、16.3mm、25.3mm,其中潜水开采部分占有相当比重,直接加大了流域蓄水能力,这部分蓄水空间需要在汛期降雨时给予回补,这就导致在同等降水量条件下产流明显减少。

4.3 洪水系列代表性相对较好

(1)大洪水量级及出现机率是决定设计洪水成果的主要因素。潮白河密云水库从1413年以来每120年发生一次洪峰超过 $10\,000 \text{m}^3/\text{s}$ 的大洪水,北三河含有1939年大洪水的洪水系列代表性较好,洪水系列始于1939年以后的代表性较差。永定河官厅水库站,1801~1900年100年内发生大于 $5\,000 \text{m}^3/\text{s}$ 的洪水3次,1901~2012年的后100多年仅发生1次;从有实测系列以来1925~1953年发生洪峰大于等于 $4\,000 \text{m}^3/\text{s}$ 的洪水有1次,1953~2012年没有发生过洪峰大于 $4\,000 \text{m}^3/\text{s}$ 的洪水。

(2)从实测洪水系列差积曲线分析系列的代表性,海河流域控制水文站、山区大型水库及有关区间共计60个设计断面的洪水系列均延长至2012年,洪水系列最长的三家店站达到100年,密云水库、苏庄站系列长95年,潘家口水库、大黑汀水库系列长84年;系列最短的也有53年。

(3)降雨产汇流下垫面条件是不断变化的,对大暴雨和特大暴雨,现状下垫面下发生洪水的情况没有

得到验证,如三家店站 1913 年至今大洪水出现频次和量级都呈减少趋势,特别是 1956 年以后总体处于枯水。近年洪水系列总体偏枯,是多因素造成的,除了降雨的影响,主要是人类活动影响的累积效应,对小洪水的影响明显。

总之,本次复核采用的洪水系列较长,含有丰平枯水段,具有一定代表性,有历史大洪水的系列代表性较好。

4.4 设计洪水成果具有安全性

从暴雨、洪水的变化规律来看,近年来洪峰、洪量的减小幅度要大于暴雨的减小幅度。从暴雨-洪水相关关系来看,近年来相同量级的暴雨产生的洪水较早时期产生的洪水有所减小。在最近一次的海河流域防洪规划工作中,不同年代的洪水系列一般均未进行下垫面修正,主要是考虑洪水的发生存在较大的不确定性。本次在此基础上延长系列,且将新老洪水系列直接用于频率分析得到的设计洪水对工程设计是偏安全的。

5 建议

5.1 径流成果使用建议

海河流域 1956~2000 年径流系列,是目前流域水资源配置、用水总量控制与用水定额管理和水量分配方案编制的基础,本次修订挑选了 32 站进行径流系列延长,并研究径流的历史变化趋势,没有覆盖全流域,采用新成果可能对目前和以往的工作造成影响,比如以“二次评价”地表水资源量作为控制的分水方案。

基于资料条件和研究深度限制,对成果进行分析后认为,在全国水资源二次评价基础上延长的 2001~2012 年径流系列,一半以上站点与原系列成果存在系列的不一致性,且拐点均发生在 1996~1998 年三年中的一年。在近 30 年系列中包含了总体系列中最枯水段 1997~2012 年,从用水安全的角度考虑,建议设计径流代表段选取后 30 年比较合适。本次修订成果可以作为今后工作的基础,建议在海河流域三次水资源评价中进一步研究。

5.2 设计洪水成果使用建议

设计洪水成果直接关系到海河流域的洪水管理和工程项目安排,本次主要控制站设计洪水修订成果,应结合流域洪水防御及工程管理慎重采用。经综合分析,对 31 座大型水库和 29 个河道站设计洪水

提出了如下建议:大部分水库站设计洪水成果维持原成果,滦河、潮白河、北运河、永定河、漳卫河、子牙河河道站维持原成果,大清河平原河道站采用新成果。本次设计洪水成果的变化,对工程的可能影响分析如下:

(1)大型水库站设计、校核洪水相对变化较小。特别是原成果设计时,有历史调查特大洪水的水库,设计、校核洪水变化更小,因此设计洪水的变化对水库工程本身安全影响轻微。

(2)海河流域的大型水库,特别是山前的大型控制性水库,承担着防洪任务。设计洪水的变化对水库工程本身安全影响轻微,水库站 20 年一遇、50 年一遇设计洪水的减小,需要的调洪库容相应减小,会对水库的兴利带来好处。

(3)平原站设计洪水成果主要用于平原区防洪工程体系设计,本次复核后 20 年一遇、50 年一遇设计洪水减小幅度相对较大。采用新的设计洪水成果,会改变现有的防洪工程标准或防洪措施。

参考文献:

- [1] SDJ278-2002, 水利水电工程水文计算规范 [S]. (SDJ278-2002, Regulation for Hydrologic Computation of Water Resources and Hydropower Projects [S]. (in Chinese))
- [2] SL44-2006, 水利水电工程设计洪水计算规范 [S]. (SL44-2006, Regulation for Calculating Design Flood of Water Resources and Hydropower Projects [S]. (in Chinese))
- [3] 张建中,毛慧慧.下垫面变化条件下设计洪水修订方法研究[J]. 水利水电技术, 2012,43 (12):1-4+8. (ZHANG Jianzhong, MAO Huihui. Study on method for modification of design flood under condition of change of underlying surface [J]. Water Resources and Hydropower Engineering, 2012,43(12):1-4+8. (in Chinese))
- [4] 丛娜,冯平.流域下垫面变化影响下入库设计洪水的修订[J]. 南水北调与水利科技, 2014,12(2):6-10. (CONG Na, FENG Ping. Revision on reservoir inflow design flood under variation impact of underlying surface [J]. South-to-North Water Transfers and Water Resources & Technology, 2014,12(2):6-10.(in Chinese))
- [5] 高诚,孙天青.设计洪水成果修订方法及成果分析[J]. 水利水电工程设计, 2017,36(4):26-28. (GAO Cheng, SUN Tianqing. The revision on method and analysis of design flood results [J]. Design of Water Resources & Hydroelectric Engineering, 2017,36(4):26-28. (in Chinese))
- [6] 魏兆珍.海河流域下垫面要素变化及其对洪水的影响研究 [D]. 天津:天津大学, 2013. (WEI Zhaozhen. Study on the Underlying Surface Change of Haihe River Basin and its Impacts on Flood [D]. Tianjin:Tianjin University, 2013. (in Chinese))

(下转第 92 页)

- [3] 戈礼宾,张泉荣,黄利亚. 太湖进出水量变化及水量平衡初步分析[J]. 江苏水利,2007,11:33-34.(GE Libing, ZHANG Quanrong, HUANG Liya. Analysis of inflow and outflow change and water balance in Taihu Lake [J]. Jiangsu Water Resources, 2007, 11:33-34. (in Chinese))
- [4] 刘文龙,寿祥,张文龙. 太湖进出水量平衡计算与分析[J]. 中国西部科技,2010,14:34-35. (LIU Wenlong, SHOU Xiang, ZHANG Wenlong. The calculation and analysis of inflow and outflow balance in Taihu Lake [J]. Science and Technology of West China,2010,14:34-35. (in Chinese))
- [5] 毛新伟,高怡,徐卫东. 水文巡测方法对太湖水量平衡计算的影响分析[J]. 水文, 2006, 05:58-60. (MAO Xinwei, GAO Yi, XU Weidong. Analysis of tour hydrometric gauging method on water balance calculation for Taihu Lake [J]. Journal of China Hydrology, 2006, 05:58-60. (in Chinese))
- [6] 欧炎伦, 吴浩云. 1999年太湖流域洪水 [M]. 中国水利水电出版社, 2001. (OU Yanlun, WU Haoyun.1999 Flood of Taihu Lake Basin [M].China Water Power Press, 2001. (in Chinese))
- [7] 吴畏,张寒. 开展水量平衡分析 提高水资源公报编制精度[J]. 治淮, 2014,12:27-28.(WU Wei, ZHANG Han. Analysis of water balance to improve precision in the official reports on water resources [J]. Harnessing the Huaihe River , 2014, 12:27-28. (in Chinese))

Analysis of the Water Balance in the Taihu Basin in Recent Years

GAN Yueyun¹, WANG Kaiyan², GAN Shengwei³

(1. Bureau of Hydrology (Information Center) of Taihu Basin Authority, Shanghai 200434, China;

2. Shanghai Lantai Information Consulting Co.Ltd., Shanghai 200434, China;

3. Taihu Basin Hydrology & Water Resources Monitoring Center, Wuxi 214024, China)

Abstract: By collecting the elements of the water balance in the Taihu basin during 2010-2015, this paper calculated and analyzed the absolute errors and relative errors of the water balance. The main reasons of the errors were mainly the calculation accuracy of the data that the variation on the water exchange, storage and consumption. Based on analysis of the factors in water balance, many measures were put forward to control errors, for instance, the construction of the monitoring abilities was strengthened and the estimation method of the water consumption was improved. These measures could reduce the errors of the water balance and provide more accurate data foundation for the water allocation plan in the Taihu basin.

Key words: Taihu basin; the water balance; the errors analysis

(上接第 88 页)

Study on Hydrologic Revision of Haihe Basin under the Background of Great Influence of Human Activities

CHEN Taiwen¹, TIAN Shuie², LIU Wei³

(1. Haihe Water Conservancy Commission, Tianjin 300170, China;

2. China Water Resources Beifang Investigation, Design and Research Co., Ltd., Tianjin 300222, China;

3. Water Resources and Hydropower Planning and Design Institute, Ministry of Water Resources, Beijing 100120, China)

Abstract: The utilization rate of water resources in the Haihe basin is high, and there are no large floods over last few decades. A few of human activities such as water resources exploitation, water and soil conservation, urbanization, have significant impacts on the hydrological characteristics in the Haihe basin, which is one of the most influential basins in the seven major basins. This paper analyzed the changing trend of the underlying surface in the Haihe basin and its influence on the production flow and confluence flow. In addition, the paper studied the revision method of hydrology results, and achieved the results of hydrology revision. On this basis, the paper summarized the existing problems on the hydrological revision results in the Haihe basin and provided the suggestions for the future work.

Key words: underlying surface changes; hydrological achievements revision methods; revision results; human activities impacts; hydrological revision results