

全国七大流域水文设计成果修订中 若干关键技术问题探讨

翟媛, 刘伟, 赵学民

(水利部水利水电规划设计总院, 北京 100120)

摘要:为准确反映目前流域径流、洪水的实际情况,水利部组织完成了七大流域的水文设计成果修订工作。介绍了七大流域水文设计成果修订概况,总结分析了径流和洪水系列一致性处理、设计水文成果计算方法、成果合理性分析、修订成果应用等若干关键问题。重点阐述了洪水和径流系列的还原计算和考虑下垫面变化条件下的一致性修订问题,并对下一步修订成果的应用和研究重点提出了建议。

关键词:设计径流;设计洪水;一致性处理;合理性分析;频率法;修订成果应用

中图分类号:TV122

文献标识码:A

文章编号:1000-0852(2018)04-0092-05

水文设计成果不仅是流域综合规划、专业规划、水利工程规划设计的基础,也是水资源调度、流域防洪等管理的决策依据,其可靠性和合理性关系着流域水利工程布局和流域内防洪供水安全,对社会经济和生态环境意义重大。然而,随着全球气候变化,社会经济用水增加以及水利水保工程建设加快、土地利用和城镇化建设等人类活动导致的下垫面改变,各个流域的水循环及水文特性发生了不同程度的变化。加之,原有水文设计成果系列较短或长短不一,无法代表近期水文情势变化情况。在此背景下,为准确反映各大流域径流、洪水的现实情况,2011年在水利部统一部署下,长江、黄河、淮河、海河、珠江、松辽和太湖七大流域开始开展水文设计成果修订工作,近期已逐渐完成。对七大流域水文设计成果修订的结果将逐步发表,供水文设计成果使用时参考。

1 七大流域水文设计成果修订概况

按照要求,修订工作是以各流域防洪规划、水资源综合规划中有关水文分析方法和成果为基础,按照水文计算相关技术标准要求,将水文系列延长至2010年,分析水文系列资料的可靠性、一致性和代表性,并对流域主要控制站实测水文资料进行径流和洪水还原,通过频率计算推求流域径流、洪水设计成果。

七大流域根据各自特点,按照主要江河干流控制站、重要支流把口站、省界断面控制站、重点防洪河段控制站、重要防洪支流控制站、重要的大型拦河工程设计依据水文站的原则,共选择了219个设计洪水站点和217个设计径流站点(均不含太湖流域);将各水文站系列统一延长至2010年(其中海河延长至2012年),对设计径流和洪水系列采用收集资料和典型调查相结合的方法进行了还原,采用频率分析法等多种分析方法进行设计径流和设计洪水计算。

2 径流和洪水系列一致性处理

无论是洪水资料还是径流资料,使用前都要进行一致性检查,使得样本满足同分布要求。近年来,各流域水资源均进行了不同程度的开发,在修建水库塘堰、跨流域调水、分洪滞洪等人类工程建设活动的干扰下,流域径流、洪水系列的一致性发生改变,需要对受工程影响的部分进行还原。同时,气候条件的变化和人类活动对流域下垫面的影响加剧,当延长水文系列后,即使将实测系列涉及的还原项目还原后,仍然不具备较好的一致性。这时需充分考虑造成下垫面变化的各种水保、地下水开采、煤矿开采等因素,对洪水和径流系列进行一致性修正。

收稿日期:2018-01-15

作者简介:翟媛(1983-),女,河南郑州人,博士,高级工程师,主要从事水利水电规划设计工作。E-mail:zhaiyuan@gjwp.org.cn

2.1 径流和洪水系列的还原计算

2.1.1 径流还原

河流天然水文状况的定量描述,即将径流和洪水系列还原到修建工程前,是分析流域水文情势变化趋势的基础。国内外学者广泛开展了河流天然水文情势的评价工作^[1-4]。分项调查并逐项进行还原是七大流域径流还原计算时采用较多的方法,也是规范规定的方法。同时,淮河流域无水文站控制的断面区间产流量的计算主要根据该区间的降雨及降雨径流系数进行估算,太湖流域径流量及下垫面变化对流域径流量影响则采用了太湖流域产汇流模型和一维河网水动力模型。

在实测资料的基础上,根据收集到的各站点上游水利工程的蓄水、引水、工农业用水、城镇生活用水、回归水等资料,在水量平衡的基础上进行径流还原。在径流还原时,各个流域根据各自水文特点、资料情况和工作要求,选择了不同的还原项。在不同的河段,根据水资源开发利用程度的高低,也进行了不同处理,七大流域径流还原方法及还原项目详见表1。

社会调查资料的可靠性和完整性是分项调查法进行径流还原的关键,用水量及耗水量资料一般来源于水资源管理年报、用水统计年报、水资源公报等,农业用水量没有计量的部分根据灌水次数及灌溉面积推算,资料精度不高。当流域总体水量较丰沛,还原水量占比较小时,还原水量的精度对河川天然径流量影响不大,如长江、珠江流域。但是,在引用水比例较高的华北平原地区,径流还原量比例逐年增大,例如黄河花园口站1998~2012年期间,还原水量 $205.57 \times 10^8 \text{m}^3$,占天

然径流量的45.5%;海河流域还原量大于实测径流量50%的站点较多,北方地区还原成果的精确度直接影响河川天然径流量。

2.1.2 洪水还原

洪水系列还原包括洪量还原和洪峰流量还原。主要是考虑上游已建大型水库,对洪水具有调节作用,根据建库后的实测资料经过反调节计算,求得在建库情况下的洪水;有些情况下,也可以把建库前的洪水资料经过水库调洪计算,向后还原为建库情况下的洪水(即还原),如淮河流域的息县、淮滨站,由于上游南湾大型水库为20世纪50年代建库,因此均还原至有水库情况的系列。同时,珠江、黄河、松辽等流域考虑堤防决口漫溢,沿江堤防建设和河道整治导致洪水归槽等因素将实测洪水还原成天然洪水,特别是较大洪水多存在漫溢等问题。洪峰还原中多采用马斯京根法进行洪水过程演进。

2.2 下垫面变化对一致性的影响

在水文成果修订过程中发现,随着系列的延长,在黄河、海河、松辽等流域同量级的降水,产流量明显减少。逐项调查并定量还原国民经济用水、大中型水库蓄变量、跨流域引调水、回归水等只是考虑了人类活动对河川径流的直接影响。但是,由于监测资料的缺乏和现有技术的限制,流域中小型水库、塘堰等水利工程,坡改梯、淤地坝、造林种草、等高垄作、覆盖耕作等水土保持措施,地下水开采,煤炭开采对流域下垫面变化的影响,也造成了径流系列的不一致,在进行系列一致性分析的时候需要充分考虑以上因素。

同时,流域下垫面的变化影响河道基流和下垫面

表1 七大流域径流还原方法和还原项目

Table1 The runoff reduction methods and reduction items for the 7 major river basins

流域名称	径流还原项目	还原方法
长江	大型水库的调蓄影响	逐项调查还原法
黄河	国民经济地表用水耗损量(农业灌溉、工业、生活和生态环境耗水量)、外流域引水量、水库蓄变量	逐项调查还原法
淮河	国民经济地表用水耗损量(农业灌溉、工业、生活和生态环境耗水量)、跨流域引水量、河道分洪水量、大中型水库蓄变量	逐项调查还原法、 年降雨径流经验相关法
海河	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	逐项调查还原法
珠江	农业灌溉、工业和生活用水的耗损量,跨流域引入、引出水量,河道分洪决口水量,水库蓄水变量(不考虑水库蒸发渗漏)	逐项调查还原法
松辽	农业灌溉耗损量、工业和城镇生活耗损量、外流域引水量、水库蓄变量	逐项调查还原法
太湖	/	太湖流域产汇流模型和一维河网水动力模型

产汇流条件,从而改变了洪水的量级和频次。煤矿开采、地下水超采,造成地下水水位下降,河道基流减少。以黄河、海河为代表的华北地区河流,过去可以产生小洪水的降雨,现在基本上不产流;过去可以产生中常洪水的降雨,现在仅产生小洪水。虽然大型水库调蓄对洪水的影响在洪水还原计算中予以修正,但是流域内中小型水库、水土保持治理措施等对洪水系列一致性的影响仍是不可忽视的。

河道汇流特性的变化对河道洪水演进规律也提出了新的要求,因为北方河流长期不来大水,河道边界条件变化大,洪水沿河演进的规律发生了较大变化,并缺少实测资料率定。河道边界条件的变化,使得洪水传播时间变长,尤其是出现圩堤决口漫滩后,洪峰传播异常延时^[5]。因此,在洪水一致性修正中,一定要考虑到水土保持治理工程、中小型水利工程以及河道演进规律变化等因素的影响。例如黄河流域考虑到水利水保工程对洪水一致性的影响,则根据各组成区间不同时期的具体情况对场次洪水数据进行还原、还现计算;河道冲淤变化对洪水一致性的影响处理采用的方法为相关法和洪水演进法。

3 计算方法

具有长期实测资料时,设计年径流量主要有两种途径:一种是成因分析途径,一种是从统计分析出发,研究变化的统计规律性^[6]。七大流域水文设计成果修订普遍采用的是统计途径中的水文频率计算方法,把实测的年径流量作为年径流量总体的随机样本,由此样本估计总体的频率曲线,并求得设计频率的年径流量。

推求设计洪水的途径和方法一直都是国内外学者研究的热点。国外设计洪水的研究经历了从频率格纸上点绘洪水经验频率曲线,统计途径(频率分析)估计设计洪水,到水文气象成因途径,即可能最大暴雨(PMP)和可能最大洪水(PMF)的研究^[7]。在欧洲,英国水文研究所1999年正式出版了洪水估算手册《Flood Estimation Handbook》,对原洪水研究报告丛书《Flood Study Report》进行了完善和修订^[8-9]。我国2006年修编颁布的《水利水电工程设计洪水计算规范》(SL 44-2006)中对我国设计洪水计算内容和方法进行了系统的规定^[10]。

综合来说,实测流量资料基础较好的地区,洪水系列采用年最大单样本法采样,采用频率算法根据洪水系列计算设计洪水;实测流量资料缺失较多的地区,

可采用暴雨资料间接推求设计洪水;如果计算流域内的洪水和暴雨资料基础都较差,可利用邻近地区实测或调查洪水和暴雨资料,进行地区综合分析或类比分析,计算设计洪水。七大流域水文设计系列平均具有50年以上的实测和插补延长的流量资料,大部分单站采用频率分析法计算设计洪水,太湖流域采用太湖流域产汇流模型和一维河网水动力模型计算设计径流和设计洪水,黄河流域和长江流域还进行了区域洪水频率分析和梯级水库设计洪水的研究。

4 成果合理性分析

4.1 成果合理性检查的内容和方法

根据工作要求,七大流域水文设计成果修订过程中主要对还原水量、径流成果和洪水成果进行合理性检查。

还原水量的精度直接由调查水量的精度决定,所以首先要进行分项水量的检查,例如检查回归系数、渠系水利用系数是否合理等。上下游、干支流及区间水量平衡检查,降雨~径流关系,产流模型法,水热平衡法都是常用的还原水量合理性检查方法。

水文设计成果修订的径流成果合理性分析,一般从分析系列周期性变化规律,对径流系列的均值、离势系数及偏态系数等统计参数进行合理性检查;或是统计流域上下游、干支流各站点的径流深,根据径流深的上下游规律,分析成果的合理性;同时,在还原水量和天然径流量的基础上,分析上下游水量平衡关系来判断成果合理性。

设计洪水一般通过对各项统计参数和洪水计算成果结合流域自然地理条件和气候条件进行地区综合分析和合理性检查,有单站合理性分析和地区组成合理性分析。通过计算水文站点的洪峰模数,对干支流、上下游的洪峰模数进行比较,检查计算的洪峰均值和设计值是否符合地区洪水特性和规模。还可以通过比较单站设计洪峰和不同时段洪量的频率曲线在使用范围内有无相交,差值是否合理等进行成果合理性检查。

4.2 七大流域水文修订成果的合理性分析

七大流域根据各自流域特点选用了不同的方法对本次提出的修订成果进行了合理性分析。对于水资源开发强度较大,人类活动影响较多的河流,同时又受到资料条件、研究手段的限制,径流和洪水的还原计算是工作的难点。对于下垫面条件变化影响下的径

流和洪水系列一致性的修订,宏观整体上是合理的,但主观因素会直接影响修订量的合理性。

整体而言,无论是设计径流还是设计洪水,计算分析设计站、上下游站、邻近流域、不同面积的流域系列的统计参数和相关水文参数,都是满足降雨周期、地理分布规律和水量平衡原理的。

5 水文修订成果的应用

5.1 径流成果的应用

摸清一个地区或流域的水资源数量及其变化趋势,是开展水资源规划和水资源调配的基础和前提。本次七大流域水文设计成果修订工作是在第二次水资源调查评价 1956~2000 年系列的基础上,将径流系列延长至 2010 或 2012 年,并考虑到近十几年流域下垫面状况对径流长系列进行了一致性修正,提出主要控制站的多年平均及不同频率的天然径流量。

经复核,七大流域的长系列平均天然径流量和设计径流成果基本推荐采用本次计算成果。对于大部分流域,延长段北方多为枯水年,从用水安全角度考虑,采用新的设计径流代表段能够较真实反映近期的水文情势。修订后的径流成果有助于更好地摸清流域的现状水资源量,分析水资源承载能力,对科学制定水资源规划、加强水资源调度与管理、实施重大水利工程建设、优化经济结构和产业布局等方面将发挥指导作用。同时,径流修订成果应结合最严格水资源管理的用水总量控制,复核已有的水量分配方案,从调度管理出发,使已建水利工程调度上更具合理性、科学性和准确性。

5.2 洪水成果的应用

本次设计洪水成果修订主要在已有流域防洪规划的基础上,将选取的代表站洪水系列进行延长,延长后的系列进行还原和一致性修订后,将新的设计洪峰、洪量成果与历次成果进行比较,个别流域还做了流量水位关系复核的工作。

经复核,南方流域设计洪水修订成果与历次成果变化不大,相对稳定,但是北方黄河、海河、松辽流域部分站点或区间的设计洪水成果变化幅度较大。海河流域根据水库设计和校核洪水洪峰、洪量变幅大小,对其 31 座大型水库设计洪水采用进行了分类处理,25 座水库采用原有设计洪水成果,滦河及冀东沿海诸河的庙宫水库、陡河水库、永定河水系的友谊水库等 6 座水库变幅在 15% 以上,推荐采用新成果。松辽流域的第二松花

江白山水库设计洪水成果和丰满水库设计洪峰流量较原审批成果增大 10% 左右,从安全角度出发,白山设计洪水成果和丰满设计洪峰流量采用本次计算成果。

整体上,受系列延长、下垫面变化的影响,水库站点或区间常遇设计洪水减少幅度较大,部分流域发生较大洪水,应用新的设计洪水成果,可相应复核调整水库的汛限水位,提高水库的兴利效益。平原区设计洪水成果变小后,若采用新的设计洪水成果,将会改变下游现有防洪工程标准和体系,需要对现状河道治理、蓄滞洪区等进行分析论证。水库站设计洪水修订成果变大,对已建工程防洪调度产生不利影响的,需要引起重视,并开展复核与研究。

5.3 水文修订成果应用可能存在的问题

水文系列的一致性处理是水文修订工作的难点,部分站点径流系列未对水库蒸发项进行还原;有些流域仅对大型引水工程、大型水库及调蓄作用明显的中型水库进行了还原,而中小水库拦蓄量,地下水超采、水土保持等下垫面影响因素对系列一致性的影响没有考虑;部分站点是采用还原处理,特大洪水的重现期也有发生较大变化的站点。另外,受到资料条件、研究手段和水平等因素的影响,目前很难做到准确定量提出人类活动影响下下垫面改变对水文设计成果的影响。因此,水文修订成果应用时,一定要注意设计要求和边界条件的变化。例如,设计需要的是天然设计洪水或者受到水库影响的还原设计成果。本次设计洪水成果延长至 2010 年,在此之后,新建工程用到设计洪水成果,则需要根据流域内新建大型水利工程或发生极端水文事件的情况,经复核分析后,合理谨慎采用设计成果。

6 结论与建议

(1)还原方法虽然理论上较为完善,但实际还原精度受到基础资料条件影响较大。建议在以后的工作中,规范资料的统计口径,对人类活动影响较大的地区进一步加强水文测验和用水计量设施的安装。另外,水库径流还原资料,应着重复核用水情况、水库库容曲线的合理性。

(2)受气候变化和人类活动的影响,下垫面条件变化影响下的水文系列一致性修订是七大流域水文设计成果修订中的重点和难点,仍需进一步从流域层面研究人类活动对洪水影响量的计算方法。同时,应

加强水文系列的非一致性诊断、非一致性径流洪水频率分析计算方法等方面的研究工作。

(3) 频率计算法是我国目前常用设计洪水计算方法,且我国的洪水线型一般采用 P-III 型分布曲线。洪水频率计算以样本独立随机同分布为前提,然而,变化环境导致过去的实测资料无法反映未来水文变化规律,传统的水文频率计算方法具有一定的缺陷。国外已针对基于水文物理机制的洪水频率分析、区域频率分析等进行了广泛研究^[11-14],建议结合我国流域水文特点,结合新方法开展相关课题研究。

(4) 水文设计成果是流域水量调度、防洪调度、重大水利工程建设的重要基础技术支持。尤其是设计洪水成果的采用直接关系到防洪安全问题、洪水管理和防洪工程项目安排,使用时应经分析复核后谨慎采用。

(5) 建议结合现行的《水利水电工程水文计算规范》(SL278-2002)和《水利水电工程设计洪水计算规范》(SL44-2006)修编工作,参考和反映径流洪水还原方法、非一致性洪水频率分析问题、区域洪水频率分析、水文物理机制的洪水频率分析、梯级水库设计洪水等方面研究成果。

参考文献:

- [1] Richter Brian D, Baumgartner Jeffrey V, Braun David P, et al. A spatial assessment of hydrologic alteration within a river network [J]. *Regulated Rivers: Research & Management*, 1998,14:329-340.
- [2] Gippel Christopher J, Bond Nick R, James Cassandra, et al. An asset-based, holistic, environmental flows assessment approach [J]. *Water Resources Development*, 2009,25(2):301-330.
- [3] Galat David L, Lipkin Robin. Restoring ecological integrity of great rivers: historical hydrographs aid in defining reference conditions for the Missouri River [J]. *Hydrobiologia*, 2000,422/423:29-48.
- [4] Koel Todd M, Sparks Richard E. Historical patterns of river stage and fish communities as criteria for operations of dams on the Illinois River [J]. *River Research and Applications*, 2002,18:3-19.
- [5] 翟媛. 河道洪水传播时间影响因素分析 [J]. *人民黄河*, 2007,29(8):27-28. (ZHAI Yuan. The analysis on the factors of river flood transferring time [J]. *Yellow River*, 2007,29(8):27-28. (in Chinese))
- [6] 刘光文. 水文分析与计算 [M]. 北京: 水利电力出版社, 1989. (LIU Guangwen. *Hydrologic Analysis and Computation* [M]. Beijing: China WaterPower Press, 1989. (in Chinese))
- [7] 郭生练, 刘章君, 熊立华. 设计洪水计算方法研究进展与评价 [J]. *水利学报*, 2016,47(3):302-310. (GUO Shenglian, LIU Zhangjun, XIONG Lihua. Advances and assessment on design flood estimation method [J]. *Journal of Hydraulic Engineering*, 2016,47(3):302-310. (in Chinese))
- [8] NERC. Flood Studies Report [M]. London: Natural Environment Research Council, 1975.
- [9] IH. Flood Estimation Handbook [M]. Wallingford: Institute of Hydrology, 1999.
- [10] 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))
- [11] Eagleson PS. Dynamics of flood frequency [J]. *Water Resources Research*, 1972,8(4):878-898.
- [12] Goel N K, Kurothe R S, Mathur B S, et al. A derived flood frequency distribution for correlated rainfall intensity and duration [J]. *Journal of Hydrology*, 2000,228(1):56-67.
- [13] Sivapalan M, Blöschl G, Merz R, et al. Linking flood frequency to long-term water balance: Incorporating effects of seasonality [J]. *Water Resources Research*, 2005,41(6):W06012.
- [14] Gioia A, Iacobellis V, Manfreda S, et al. Influence of infiltration and soil storage capacity on the skewness of the annual maximum flood peaks in a theoretically derived distribution [J]. *Hydrology and Earth System Sciences*, 2012,16(3):937-951.

Key Technical Problems in Hydrological Design Revision Work for Seven Major River Basins

ZHAI Yuan, LIU Wei, ZHAO Xuemin

(*Institute of Water Resources & Hydropower Planning and Design of MWR, Beijing 100120, China*)

Abstract: In order to accurately reflect the current runoff and flood situation in the basins, Ministry of Water Resources organized and completed the hydrological design revision work of the seven major river basins. This paper introduced the general situation of the hydrological design revised achievements, and summarized the key problems such as the consistency processing of the runoff and flood series, the calculation method of the hydrological design achievements, the rationality analysis of the results, and the application of the revised results. This paper focused on the reduction calculation of the flood and runoff series, and the consistency processing by considering the change of the basin underlying surface. The application of the revised hydrological design achievements and the future research emphasis was proposed.

Key words: design runoff; design flood; consistency processing; rationality analysis; frequency method; application of revised results