

# 全国七大流域设计径流变化分析及成果修订

杨丽英, 赵学民, 刘 伟

(水利部水利水电规划设计总院, 北京 100120)

**摘要:** 在全国第二次水资源调查评价基础上, 通过对比七大流域径流系列延长前后的变化情况, 分析 347 个水文站点径流系列均值及特枯值的变化幅度, 用以反映近 10 年各流域水文情势的变化情况。经分析, 近 10 年天然来水总体偏枯, 松辽、海河、黄河的设计径流呈现一定减小趋势, 长江、淮河、太湖、珠江的设计径流变化趋势不显著。本次延长后的径流系列代表性总体较好, 同时黄河流域还考虑近期下垫面对降雨径流关系影响, 因此本次大多推荐七大流域延长后的设计径流成果, 为开展全国第三次水资源调查评价提供一定的技术支撑。

**关键词:** 七大流域; 径流系列; 修订; 下垫面

中图分类号: TV121

文献标识码: A

文章编号: 1000-0852(2018)06-0084-05

## 1 概述

我国是典型季风气候国家, 气候复杂, 湿润区和半湿润区降水变率大。我国七大流域均属太平洋水系, 分别是松花江辽河水系、海河水系、黄河水系、淮河水系、长江水系、珠江水系和太湖水系。目前我国共开展过两次全国范围内的水资源调查评价工作, 第一次水资源调查评价系列为 1956~1980 年, 第二次水资源调查系列为 1956~2000 年。随着流域人口增长和经济社会快速发展, 土地利用和水资源开发等人类活动影响加剧, 流域下垫面显著变化, 流域降雨径流关系等径流特性也随之发生变化。为分析和掌握流域水文情势新的变化情况, 适应流域防洪减灾、水资源配置等建设和管理工作要求, 在水利部统一部署下, 全国七大流域开展了水文设计成果修订工作。

水文设计成果不仅是流域综合规划、专业规划及水工程规划、设计、建设、运行及管理的基础依据, 也是流域防洪、水资源调度及管理的决策依据, 成果质量不仅关系到工程自身的规模和效益, 还关系到人民生命和财产安全。本次径流成果修订工作是以全国七大流域第二次水资源调查评价中有关水文分析方法和成果为基础, 按照水文计算相关标准要求, 对流域主要控制站实测水文资料进行还原分析计算, 将径流系列从

1956~2000 年延长至 2010 年(2012 年), 通过分析水文资料的可靠性、一致性和代表性, 进行频率计算推求流域径流设计成果, 分析下垫面变化对水文成果影响, 评价设计成果的合理性。

## 2 修订范围、站点资料及方法

### 2.1 修订范围

松辽流域位于我国东北部, 泛指东北地区的松花江、辽河、沿黄渤海诸河及跨界河流(中国侧)流域, 包括黑龙江、吉林、辽宁三省和内蒙古自治区东部三市一盟及河北省承德市的一部分, 总面积约  $125 \times 10^4 \text{ km}^2$ 。本次修订范围为松花江和辽河流域, 总面积  $78.23 \times 10^4 \text{ km}^2$ , 其中松花江流域包括嫩江、第二松花江和松花江干流流域, 面积为  $56.12 \times 10^4 \text{ km}^2$ ; 辽河流域包括西辽河、东辽河、辽河干流、浑太河流域, 面积为  $22.11 \times 10^4 \text{ km}^2$ 。

海河流域东临渤海, 南界黄河, 西靠云中、太岳山, 北依蒙古高原, 流域总面积  $32 \times 10^4 \text{ km}^2$ , 其中山区面积  $18.9 \times 10^4 \text{ km}^2$ , 平原面积  $13.1 \times 10^4 \text{ km}^2$ 。流域包括滦河、海河和徒骇马颊河三个水系。本次修订范围涉及滦河及冀东沿海、北三河、永定河、大清河、子牙河和漳卫河。

黄河为中国第二大河, 流经青海、四川等九省(区), 干流河长 5 464 km, 流域总面积  $79.5 \times 10^4 \text{ km}^2$  (包

收稿日期: 2018-02-01

作者简介: 杨丽英(1985-), 女, 山西太原人, 博士, 高级工程师, 主要从事水文水资源、水利工程规划与设计工作。E-mail: yangliying@giwp.org.cn

括内流区  $4.2 \times 10^4 \text{ km}^2$ ),其中内蒙古托克托县河口镇以上为上游,河口镇至河南郑州桃花峪为中游,桃花峪以下为下游。本次修订范围为黄河干流及主要支流洮河、湟水、大通河、无定河、窟野河、北洛河、汾河、渭河、泾河、沁河、伊洛河、汶河。

淮河流域以废黄河为界,分淮河和沂沭泗河两大水系,流域面积分别约为  $19 \times 10^4 \text{ km}^2$  和  $8 \times 10^4 \text{ km}^2$ ,京杭大运河、分淮入沂水道和徐洪河贯通其间,沟通两大水系。山东半岛面积  $6 \times 10^4 \text{ km}^2$ ,河流均独流入海。本次修订范围涉及到淮河干流、洪河、颍河、涡河、史河、淝河、沂河及沭河。

长江是中国第一大河,干流自西而东,横贯中国中部,流经青海、西藏等 11 个省(市、区),全长约 6300 km,流域总面积  $180 \times 10^4 \text{ km}^2$ ,自江源至湖北宜昌为上游,宜昌至江西湖口称中游,湖口至长江口称下游。本次修订范围涉及到长江干流、金沙江、雅砻江、岷江、沱江、嘉陵江、乌江、湘江、汉江、赣江、鄱阳湖。

珠江流域跨越滇、黔、桂、粤、湘、赣 6 省(区)和越南的东北部(左江的上游段),流域总面积  $45.4 \times 10^4 \text{ km}^2$ ,我国境内面积  $44.2 \times 10^4 \text{ km}^2$ 。珠江流域为一个复合流域,由西江、北江、东江及珠江三角洲诸河四个水系组成。本次修订范围涉及到西江干流及南盘江、北盘江、六硐河、红水河、黔江、浔江、柳江、郁江、贺江、桂江、北流江,北江、西北江三角洲、东江和西、北江三角洲连通处(思贤滘断面)。

太湖流域是长江水系最下游的一个支流水系,是我国著名的平原河网区,行政区划分属江苏、浙江、上海和安徽,流域总面积  $3.7 \times 10^4 \text{ km}^2$ ,流域水系以太湖为中心,分上游水系和下游水系。上游水系主要为西部山丘区独立水系,包括苕溪水系、南河水系及洮滬水系;下游主要为平原河网水系,包括东部黄浦江水系、北部沿长江水系和东南部沿长江口、杭州湾水系。本次修订范围为整个太湖流域,涉及湖西区、武澄锡虞区、阳澄淀泖区、太湖区、杭嘉湖区、浙西区、浦西浦东等七大水利分区。

## 2.2 站点资料

本次全国流域径流设计成果修订是以七大流域水资源综合规划、流域综合规划选用的水文站和工程点为基础,选择流域主要江河干流控制站、重要支流把口水文站、跨省河流省界断面以及重要的大型拦河工程坝址,重点分析单站径流,其中太湖流域着重分析面雨量。本次径流设计成果修订共选用站点 347 个(含太湖

106 个雨量站),其中松花江流域 32 个、辽河流域 31 个、长江流域 48 个、珠江流域 45 个(含思贤滘断面)、海河流域 32 个、淮河流域 26 个、黄河流域 27 个、太湖流域 106 个。本次径流系列延长,关于系列起点除长江流域采用测站建站以来测流数据以外,其余 6 个流域均采用 1956 年;系列终点除海河流域延长至 2012 年,其余 6 个流域均延长至 2010 年。

## 2.3 计算方法

本次径流系列延长是以全国水资源第二次调查评价方法为基础,充分考虑水文站及工程点的径流特点和成因,对水文站实测资料进行还原、统计、插补,延长天然径流系列,对于还原后的天然年月径流量,进行干支流、上下游和地区间的综合平衡分析,并检查其合理性。太湖流域重点分析面雨量情况。影响天然径流因素主要有:水资源开发利用、水库调蓄、河道分洪决口以及下垫面影响等。还原分析是径流分析计算的重点,常用方法有逐项还原法、年降雨径流经验相关法等。分项还原主要包括: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,水库蓄水变量等。

本次流域径流成果修订中(除太湖流域),淮河流域对于洪河口、颍河口、涡河口、史河口、淝河口、沭河等 7 处无水文控制站的河口、省界控制断面采用按其上游控制站的还原径流量与上游控制站~该河口(省界控制断面)的区间产流量叠加处理,其中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。其余均采用逐项还原方法。

实测径流还原项根据各个流域水文特性和水资源开发利用特点等因素有所不同,其中长江流域本次径流设计成果修订的还原计算仅考虑 2010 年以前已建大型水库调蓄作用;其余开发利用程度相对较高的松花江、黄河、淮河、海河、珠江流域均对农业灌溉、工业和生活用水的耗损量,跨流域引入、引出水量和河道分洪决口水量做出还原。水库蓄变量及蒸散发量的还原程度存在差异性,其中松花江流域对大、中型水库及部分小型水库蓄变量及蒸散发量均进行了还原;海河流域对大、中型水库蓄变量进行还原,但仅对山西、北京部分水库的蒸散发进行还原;黄河流域对大、中型水库蓄变量进行了还原,未还原水库蒸散发;淮河流域对大、中型水库蓄变量进行还原,未还原水库蒸散发;珠江流域对部分大、中型水库蓄变量进行还原,未还原水库蒸散发。

为保证径流系列一致性,对于下垫面变化的影响,全国第一次水资源调查评价采用1956~1979年下垫面情景,第二次水资源调查评价采用1979~2000年下垫面情景。本次径流设计成果修订,仅辽河流域、黄河流域进行了一致性处理,其中辽河流域主要考虑了降雨径流关系一致性修正,黄河流域考虑了对流域面上的水利水保工程影响、地下水开采、煤炭开采等下垫面变化进行一致性处理,在实测加还原系列基础上进行径流系列一致性处理,其余流域通过降雨径流相关关系分析径流系列的一致性较好,未进行下垫面一致性修订。黄河流域的27个水文断面中,有6个断面未进行修订,5个断面考虑了水库运行和地下水超采影响,6个断面考虑了年降水径流关系影响,5个断面考虑了水库运行、地下水超采及年降水径流关系综合影响,1个断面考虑了地下水超采及年降水径流关系影响,3个断面仅考虑了水库运行影响,1个断面仅考虑了地下水开采影响。

### 3 七大流域径流成果变化分析

通过本次径流系列成果分析,北方松花江流域、辽河流域、海河流域、黄河流域径流成果减少较大,南方淮河、长江、太湖、珠江4个流域代表站径流量变化较小(其中太湖流域为面降水量变化)。全国七大流域径流变化情况统计见图1。

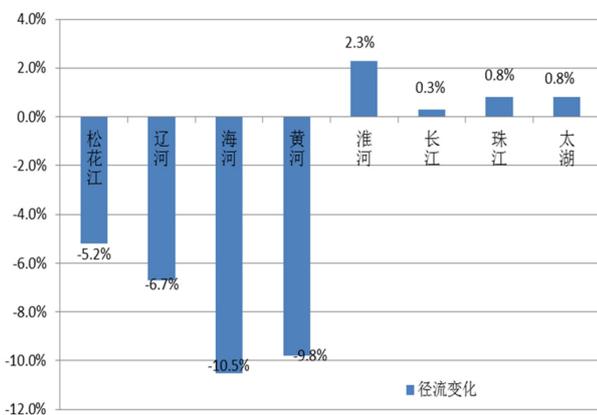


图1 全国主要流域径流变化情况统计图

Fig.1 The statistics of the runoff changes in the major river basins over China

通过对比径流系列延长前后流域各站点多年平均径流变化情况,北方松辽流域、海河流域、黄河流域径流成果变化较大,变化超过10%站点比例四分之一以上。其中松辽流域63个站点径流多年平均值变化

范围为-17.3%~8.9%,径流变化超过10%站点比例为25%。海河流域32个站点径流多年平均值变化范围为-16%~-2%,其中蓟运河于桥水库站径流延长后减小16%,漳卫河观台站径流延长后减少2%,变化超过10%站点比例为53%;黄河流域27个站点径流多年平均值变化范围为-40%~11%,其中北道站径流延长后减小40%,戴村坝站径流延长后增加11%,变化超过10%站点比例为37%;长江流域48个站点径流多年平均值变化范围为-9.5%~4.9%,其中金沙江干流直门达站径流延长后增加4.9%,沱江富顺站径流延长后减少了9.5%,没有变化超过10%站点;淮河流域26个站点径流多年平均值变化范围为-3.8%~9.1%,没有变化超过10%的站点;太湖流域7个水利分区径流多年平均值变化范围为-1.4%~3.1%,没有变化超过10%的站点;珠江流域45个站点径流多年平均值变化范围为-11.5%~1.9%,其中三水站径流延长后减小11.5%,南盘江江边街站径流延长后增加1.9%,变化超过10%站点比例为2%。

关于特枯期 $P=95\%$ 径流变化情况,松辽流域径流变化范围为-47.1%~11%,变化超过10%站点比例为43%;海河流域径流变化范围为-49%~94%,其中州河蓟运河于桥水库径流延长后减小49%,沙河大清河王快水库径流延长后增加94%,变化超过10%站点比例为69%;淮河径流变化范围为-3.7%~9.1%,变化超过10%站点比例为0;太湖流域面雨量变化范围为-6.9%~3.5%,没有变化超过10%的站点;珠江流域径流变化范围为-14%~6.8%,其中北盘江大渡口站径流延长后减小14%,东江河源站径流延长后增加26.8%,变化超过10%站点比例为9%。全国七大流域径流变化情况见表1。

### 4 七大流域设计径流修订成果

通过对七大流域延长后的径流成果分析,系列中丰、平、枯出现频率相当,基本包含完整的丰、平、枯周期,且包含最丰水年和最枯水年系列,延长后的系列代表性总体较好。七大流域均推荐了延长后径流系列作为本次径流设计成果。七大流域主要水文代表站设计径流复核修订情况见表2。

通过本次径流系列延长和径流设计成果修订,对各站点径流系列变差系数 $C_v$ 值与站点集水面积进行分析,年径流 $C_v$ 值范围分布在0.1~1之间,七大流域各站点径流 $C_v$ 值与站点集水面积线性关系均呈负相

表1 全国七大流域径流(降水量)变化情况

Table1 The variations of the runoff in the 7 major river basins over China

所在流域	站点	本次系列	变化幅度/%			变化超过 10% 站点比例/%		
			(55 年系列-45 年系列)/45 年系列			均值	75%	95%
			均值	75%	95%			
松辽	63	1956~2010	-17.3~8.9	-31.6~7.2	-47.1~11.1	25	32	43
长江	48	1878~2010	-9.5~4.9	-	-	0	-	-
珠江	45	1956~2010	-11.5~1.9	-9.0~2.8	-14.0~6.8	2	0	9
海河	32	1956~2012	-16~-2	-32~-12	-49~94	53	63	69
淮河	26	1956~2010	-3.8~9.1	-3.7~8.3	-3.7~9.1	0	0	0
黄河	27	1956~2010	-40~11	-	-	37	-	-
太湖	7	1956~2010	-1.4~3.1	-2.8~3.3	-6.9~3.5	0	0	0

注:“-”表示本次径流分析工作未包含此类成果;太湖流域为 7 个水利分区面降水量变化。

表2 全国七大流域主要站点径流设计成果复核(10<sup>8</sup>m<sup>3</sup>)

Table2 The re-check of the runoff design results for the 7 major river basin over China

流域	代表站	1956~2000 年系列	延长后径流	变化幅度/%
松辽	佳木斯	731	693	-5.2
	辽中	44.7	41.7	-6.7
	海日苏	10.7	9.65	-9.8
	邢家窝棚	25.6	25.9	1.2
长江	大通	8925	8956	0.3
	高场	2 730	2 750	0.7
	北碚	2 120	2 100	-0.9
	皇庄	1 610	1 600	-0.6
珠江	思贤滘	2 724	2 746	0.8
	滦县	42.1	37.7	-10.5
海河	密云水库	11.0	9.7	-11.8
	官厅水库	14.3	12.8	-10.5
	黄壁庄水库	20.0	18.1	-9.5
	元村集	16.3	15.0	-8.0
淮河	淮河区	609	595	-2.3
黄河	利津	534.8	482.4	-9.8
太湖		1 177	1 186	0.8

注:太湖为流域面降水量,单位 mm。

关,表明随着站点集水面积增加,年径流  $C_v$  值逐渐减小,年径流变化渐趋稳定,干流年径流变差系数呈现沿程递减的趋势。从七大流域各站点  $C_v$  值与集水面积线性相关斜率分析,长江、珠江、淮河流域较小,其次是黄河、松辽、太湖流域,最大为海河流域,说明气候差异,南方丰水地区的径流变化程度较小,北方缺水地区的径流变化程度较剧烈,其中海河和辽河流域部分站点径流变化较大,径流极值比较大。

## 5 径流设计成果变化原因分析

### 5.1 近 10 年北方流域降水变化总体呈现略微减少趋势

北方松辽、黄河、海河流域径流呈现明显减少趋势。通过对七大流域的近 10 年降水情况进行统计分析,其中松辽流域、海河流域、黄河流域年降水总体呈现略微减少趋势。例如,黄河流域 2001~2010 年均值与 1956~2000 年相比偏少 1.5%。海河流域 2001~2012 年与 1980~2000 年平均降水量比较,海河流域北部地区基本呈减少趋势,永定河、滹沱河、浊漳河等背风区及卫河区多数代表站呈增长趋势,相差均在 10% 以内。2001~2012 年与 1980~2000 年最大年降水量比较,除漳卫河水系代表站外,其他地区最大年雨量均减少,减少幅度 4.8%~23%。松辽流域的二松、嫩江及松干代表站降雨量呈减少趋势。

### 5.2 下垫面变化加剧了黄河流域径流减少的趋势

黄河流域各站点的径流系列一致性的主要因素有干支流大型水库调蓄、土地利用变化情况、地下水开采、水土保持措施、自然滞洪区堤防决口漫溢、水库蓄水河道淤积影响等,其影响程度大多小于 10%。其中黄河流域主要分析了下垫面对径流成果的影响,将下垫面划分为早期、近期和现状 3 种情景进行一致性处理。早期下垫面情景,为人类活动相对较弱时期;近期下垫面情景,主要考虑 1980~2010 年时段下垫面条件,以反映黄河流域水资源总体规划成果系列延长 10 年后变化情况;现状下垫面情景,主要考虑 2001~2010 年下垫面条件,以反映中游下垫面较大变化对径流成果的影响。本次黄河流域推荐了近期下垫面设计成果。

## 6 结语

在七大江河流域中,松辽河、黄河、海河和黄河径流减少趋势显著;长江、珠江、淮河及太湖流域径流变化趋势不明显,松辽河、海河、黄河在枯季极端枯水发生频率增加。对于我国北方流域,一方面天然来水减少,尤其是黄河、海河流域近10年由于地下水开采、水土保持建设、水利工程建设、流域下垫面变化等因素的综合作用,设计径流衰减趋势明显。下垫面对径流量的定量影响还有较多的不确定性,对径流还原、一致性修正等技术方法尚需进一步的探讨和研究。

### 参考文献:

- [1] 张树磊,杨汉波,雷慧闽. 1960—2010年中国主要流域径流量减小原因探讨分析[J]. 水科学进展, 2015,26(5):605—613. (ZHANG Shulei, YANG Hanbo, LEI Huimin. Analysis of the dominant causes for runoff reduction in five major basins over China during 1960—2010 [J]. Advances in Water Science, 2015,26(5):605—613.(in Chinese))
- [2] 李二辉,穆兴民,赵广举. 1919—2010年黄河上中游区径流量变化分析[J]. 水科学进展, 2014,25(2):155—163. (LI Erhui, MU Xingmin, ZHAO Guangju. Temporal changes in annual runoff and influential factors in the upper and middle reaches of Yellow River from 1919—2010 [J]. Advances in Water Science, 2014,25(2):155—163. (in Chinese))
- [3] 张国宏,王晓丽,郭慕萍,等. 近60a黄河流域地表径流变化特征及其与气候变化的关系[J]. 干旱区资源与环境, 2013,27(7):91—95. (ZHANG Guohong, WANG Xiaoli, GUO Muping, et al. The spatial and temporal structure of runoff variation and the climate background in the Yellow River basin during the past 60 years [J]. Journal of Arid Land Resources and Environment, 2013,27(7):91—95. (in Chinese))
- [4] 张洪刚,杨文发,陈华. 气候变化条件下长江水资源演变趋势与对策[J]. 人民长江, 2014,45(7):1—6. (ZHANG Honggang, YANG Wenfa, CHEN Hua. Research on evolution of water resources in Yangtze River Basin under climate change and countermeasures [J]. Yangtze River, 2014,45(7):1—6. (in Chinese))
- [5] 张建云,章四龙,王金星,等. 近50年来中国六大流域年际径流变化趋势研究[J]. 水科学进展, 2007,18(2):230—234. (ZHANG Jianyun, ZHANG Silong, WANG Jinxing, et al. Study on runoff trends of the six large basins in China over the past 50 years [J]. Advances in Water Science, 2007,18(2):230—234. (in Chinese))

## Analysis and Revision of Design Runoff of Seven Major River Basins in China

YANG Liying, ZHAO Xuemin, LIU Wei

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

**Abstract:** On the basis of the second water resources survey and evaluation in China, this paper analyzed the changes in the runoff series of the 347 hydrology stations and the variation of the low value by comparing the changes of the runoff series of the seven major basins, reflecting the changes in the hydrological situation of the basins in the last 10 years. The natural runoff is generally partial, and the design runoff of the Songliao River, Haihe River and Yellow River have been reduced, and the change trend of the runoff in the Yangtze River, Huaihe River, Taihu Lake and Pearl River are not significant in the last 10 years. After the extension, the representative of the runoff series is better, and the impact of underlying surface on rainfall-runoff relationship has been considered for the Yellow River Basin.

**Key words:** seven major river basins; runoff series; reversion; underlying surface

(上接第58页)

## Impact of Precipitation and Human Activities on Runoff in Zishui River in Recent 55 Years

LI Tong<sup>1,2</sup>, HU Guohua<sup>1,2</sup>, GU Qingfu<sup>3</sup>, ZHOU Hui<sup>3</sup>

(1. School of Hydraulic Engineering, Changsha University of Science & Technology, Changsha 410114, China;

2. Key Laboratory of Water-Sediment Sciences and Water Disaster prevention of Hunan Province, Changsha 410114, China;

3. Hydrology and Water Resources Survey Bureau of Hunan Province, Changsha 410007, China)

**Abstract:** In order to estimate the relative impact of climate change and human activities on the change of runoff in the Zishui River Basin in Hunan Province, the cumulative anomaly curve and sliding t-test were used to analyze the trend and runoff test of precipitation and runoff series in the past 55 years. The comparative method of the slope changing ratio of cumulative quantity and the method of double mass curve were used to calculate the contribution rate of precipitation and human activities. The results show that there is an obvious impact of human activities at the Luojiamiao Station in the upper reaches of the Zishui River. In the variation period I (1987—2001), the effect of precipitation on runoff is larger than that of human activities. In the variation period II (2002—2014), the contribution rate of human activities increased significantly and gradually became the main driving factor of runoff change.

**Key words:** runoff change; mutation year; precipitation; human activity; Zishui River