

DOI :10.3880/j.issn.1006-7647.2008.05.001

黄河流域洪水资源利用水平初步分析

邵学军,张 建,王忠静,廖四辉

(清华大学水沙科学与水利水电工程国家重点实验室,北京 100084)

摘要 依据 1956~2000 年黄河流域地表水资源评价结果和入海水量资料,对黄河流域洪水资源利用水平进行初步分析,指出基于全年地表水资源量与出境量的洪水资源利用水平较稳定地维持在 400 亿 m³ 左右 探讨了黄河流域历年来水利工程空间布局及运行方式变化与洪水资源利用过程的关系,并采用洪水资源利用程度的概念来显示不同流域之间洪水资源利用水平的相对差异,结果表明,黄河流域洪水资源利用程度在 20 世纪 90 年代呈上升趋势,至 2000 年已接近 90% 指出黄河上游低含沙洪水资源的利用对中游高含沙洪水资源利用具有影响。

关键词 黄河流域 洪水资源利用 水利工程运用方式

中图分类号 :TV213 **文献标识码** :A **文章编号** :1006-7647(2008)05-0001-05

Analysis of the current status of flood water resource utilization in the Yellow River Basin//SHAO Xue-jun, ZHANG Jian, WANG Zhong-jing, LIAO Si-hui (State Key Laboratory of Hydrosience and Engineering, Tsinghua University, Beijing 100084, China)

Abstract :Based on the evaluated Yellow River surface runoff and observed annual runoff at the Yellow River mouth from 1956 to 2000, the status of flood water resources utilization during different periods of time is analyzed using different calculation methods, and the relationships between the spatial layout and operation mode of hydropower projects and flood water resource utilization in the Yellow River Basin are discussed. A new method of calculating the relative efficiency of flood water resources utilization is proposed to facilitate comparison among river basins in different climate zones. It is demonstrated that from 1990 to 2000 the flood water utilization level and relative efficiency of flood water resources utilization exhibited different trends :the former stayed at around 40 billion m³ while the latter increased rapidly, rising to around 90% in 2000. The effects of water resources utilization of upstream low sediment floods on utilization of downstream high sediment floods are analyzed.

Key words :the Yellow River Basin ;utilization of flood water resources ;operation of hydropower projects

对流域洪水资源利用现状进行分析,有助于深入了解变化条件下的流域洪水资源特性、水利工程功能及运行特性。黄河是水沙异源的多沙河流,流域洪水资源的利用受到特定自然条件的约束,因此其水利工程的空间布局及运行方式有独特之处。

流域洪水资源利用是发挥洪水资源特性、缓解水资源短缺、减少水旱灾害损失、实现水资源可持续开发利用的重要措施。研究表明,近 50 年来中国六大江河的实测径流量均呈下降趋势^[1],进入 20 世纪 90 年代以后,水资源供需矛盾进一步突出,越来越多的学者开始关注洪水资源利用问题,向立云等^[2]对国内外洪水资源利用的历史进行了阐述,陶国芳等^[3]对我国洪水资源利用存在的问题进行了分析。

一些研究者对洪水资源利用的实施方法进行了深入探讨,如通过引洪冲湖水、蓄洪调水和直接引洪北调的方式来实现长江洪水资源化的利用^[4] 在滦河流域潘家口水库,采用常用的 6 种聚类分析方法进行定量汛期分期研究,为实现洪水资源化制定和调整分期汛限水位提供了重要的前提条件^[5]。

洪水资源化也是维系和保护湿地的重要依据和保障,利用蓄滞洪区主动分蓄水库弃掉的多余洪水来恢复湿地或回补地下水是其中的重要手段^[6]。在淮河流域,通过采取行蓄洪区洼地蓄水的方案,减少了蚌埠闸总弃水,增加调节库容多年平均利用率达 50%~60% 2003 年哈尔滨闸开闸引蓄嫩江洪水总共 4.17 亿 m³,并通过月亮泡向其连通的它拉红泡、

基金项目 :“十一五”国家科技支撑计划(2006BAB14B01)

作者简介 邵学军(1962—),山东滨州人,教授,博士,从事河流动力学研究。E-mail :shaoxj@tsinghua.edu.cn

新荒泡引水 5 000 万 m³,缓解了白城市的用水紧张局面,部分实现了嫩江洪水资源化^[7]。

黄河中游通过水库分期运用,小浪底水库选择 9 月 10 日作为前、后汛期的分期点,故县水库和陆浑水库选择 8 月 20 日作为前、后汛期的分期点,能充分发挥水库的防洪兴利效益,缓解黄河水资源紧张状况^[8]。利用小浪底—花园口区间的洪水资源,由 27.19 亿 m³ 水量输送了 1.207 亿 t 沙量,将小浪底水库排出的细泥沙输送入海,并且不增加下游河道淤积,提高了水流的输沙效率^[9]。流域洪水资源化利用是解决水安全保障问题的途径之一。流域洪水资源利用问题的研究能够为流域水资源可持续利用提供重要的科学依据和技术支撑^[10]。对流域洪水资源利用现状进行分析,需要综合了解流域下垫面的历史变迁,以及水库闸坝等水利工程建设和运行调度过程,进而分析流域水资源利用情势和水利工程运行功能的变化。

1 黄河流域洪水资源利用水平与干流大中型枢纽建设的关系

据统计,截至 2000 年,黄河流域已建成大、中、小型水库及塘堰坝等蓄水工程约 10 100 座,总库容约 720 亿 m³ (其中大型水库 22 座,总库容 617 亿 m³) ;引水工程约 9 860 处,提水工程约 23 600 处,机电井工程约 38 万眼。在黄河下游,还兴建了向两岸海河、淮河平原地区供水的引黄涵闸 90 座,提水站 31 座,为开发利用水资源提供了重要的基础设施^[11]。表 1 列出了黄河干流上 12 座总库容在 0.5 亿 m³ 以上的大中型水库的各项指标及其投入运行或初次蓄水年份。所列出的 12 座大中型水库中,有些水库(如三盛公、盐锅峡等)的库容与控制面积虽然相对较小,但在洪水资源利用过程中作用却很大,如三盛公水库平均年引水量为 56.4 亿 m³^[12],因此也将这些枢纽统计在内。

表 1 黄河干流上 12 座大中型水库的主要设计参数

工程名称	建设地址	控制面积/ 万 km ²	正常蓄水位/ m	总库容/ 亿 m ³	有效库容/ 亿 m ³	装机容量/ 万 kW	年发电量/ (亿 kW·h)	投入运行或 初次蓄水年份
三门峡水库	山西平陆、河南陕县	68.8	335	96.4	60.4	40	13.0	1960
三盛公水库	内蒙古磴口	31.4	1 055	0.8	0.2	4	1.78	1961
盐锅峡水库	甘肃永靖	18.3	1 619	2.2	0.1	39.6	21.7	1961
青铜峡水库	宁夏青铜峡	27.5	1 156	5.7	3.2	27.2	10.4	1967
刘家峡水库	甘肃永靖	18.2	1 735	57.0	41.5	116	55.8	1968
八盘峡水库	甘肃兰州	21.6	1 578	0.5	0.1	18	9.5	1975
天桥水库	山西保德、陕西府谷	40.4	834	0.7	0.4	12.8	6.1	1976
龙羊峡水库	青海共和	13.1	2 600	247.0	193.5	128	59.4	1986
大峡水库	甘肃兰州	22.8	1 480	0.9	0.6	30	14.7	1996
李家峡水库	青海化隆	13.7	2 180	16.5	0.6	200	59.0	1997
万家寨水库	山西偏关、内蒙古准格尔	39.5	980	9.0	4.5	108	27.5	1998
小浪底水库	河南孟津、河南济源	69.4	275	126.5	50.5	180	58.4	2001

1.1 基于年径流量的洪水资源利用水平

“十五”国家科技攻关计划“海河流域洪水资源安全利用关键技术研究”的成果^[10]表明,地表水资源量与入海水量之差反映了包括洪水在内的水资源滞留在陆地上的数量。这些滞留在陆地上的地表水资源,或被人们直接引用,或被拦蓄在水库塘坝内通过调配后被人们利用,或通过各种方式渗入地下转化成地下水。滞留在陆地上的这部分地表水的状态无论如何,可以肯定它们都属于被资源化利用的水资源,符合洪水资源利用的内涵。因此,地表水资源量与出境(入海)水量之差可以代表一个区域(流域)的洪水资源利用水平。由此出发,洪水资源利用现状能力(水平)可以定义为:在现状水资源开发利用能力下,一个流域或区域能够利用和滞蓄在区域内的地表水资源总量,在数值上等于地表水资源量与出境水量之差。

洪水资源利用水平可以表示如下:

$$W_f = W_s - W_h \tag{1}$$

式中 W_f , W_s , W_h 分别为洪水资源利用能力、地表径流量和入海水量(或出境水量)。

式(1)中的各量与统计时段的取法有关。当采用全年的地表水资源量和入海水量时,可以理解为地表水利用水平;当采用汛期的地表水资源量和入海水量时,是严格的汛期洪水资源利用水平。由于存在大量的水库、蓄滞洪区及河网互济等,非汛期的调度会影响汛期的洪水控制,为简化起见,可采用年值进行相应的计算^[13]。

一般来说,洪水资源是水资源的一部分,决定了洪水资源利用必然是水资源利用的一个特殊的内容。要将洪水资源利用与水资源开发利用从本质上区别开来,是较为困难的。本文将黄河流域逐年地表水资源量与逐年入海水量之差作为其洪水资源利用的水平。1956~2000 年期间的观测资料表明,黄河流域入海水量下降幅度较大(见表 2)。

表 2 黄河流域不同年代降水量、地表水资源量与入海水量

时 间	降水量/ mm	地表水 资源量/ 亿 m ³	入海 水量/ 亿 m ³	地表水资源量 与入海水量之差/ 亿 m ³
1956 ~ 1960 年	463	624.276	366.498	257.787
1961 ~ 1970 年	470	705.673	525.357	180.316
1971 ~ 1980 年	440	589.954	292.525	297.429
1981 ~ 1990 年	449	661.226	291.423	369.803
1991 ~ 2000 年	414	498.256	115.188	383.068

注 地表水资源量和入海水量数据引自“全国水资源综合规划”(修编中),地表水资源量系计算所得。

将黄河流域洪水资源利用的水平与干流水库累计总库容逐年增加过程点绘在一起(图 1),可以看到黄河流域水资源开发和水利工程建设与洪水资源利用水平的提高有密切关系,但并不是完全同步,这反映出黄河流域水沙运行规律及其他社会政治、经济因素的约束作用。干流大中型枢纽的空间分布则从一个侧面反映了不同年代黄河开发治理方略的变化。

对于黄河流域来说,洪水资源利用可划分为 3 个阶段 第 1 阶段——波动阶段(20 世纪 50 年代中期至 70 年代初期)。此期间的流域洪水资源利用水平在 200 亿 m³ 上下波动,在三门峡水库开始运行时达到高峰,其后有较显著的下降,表明中游枢纽在洪水资源利用中所起的作用受水沙运行规律的限制,不能充分发挥。上游干流枢纽的建成运用,使得洪水资源利用水平开始回升。第 2 阶段——上升阶段(20 世纪 70 年代中期至 80 年代中期)。此期间上游干流枢纽不断增加,流域洪水资源利用水平稳步提高,流域洪水资源利用水平在这一期间平均达到 330 亿 m³ 左右。第 3 阶段——平稳阶段(20 世纪 80 年代后期至 90 年代后期)。此期间上中游干流枢纽的总库容已相

当于全流域多年平均地表水资源量,洪水资源利用水平的提高主要受到生态需水量约束及其他社会、政治因素的制约,不再快速增长,流域洪水资源利用水平基本稳定在 400 亿 m³ 左右。

1.2 基于汛期径流量计算洪水资源利用水平

采用全年的地表水资源量与入海(出境)水量之差代表洪水资源利用水平来反映实际的洪水资源利用水平存在一定的不足。较合理的方法是用汛期地表水资源量与未能得到控制和调蓄的入海(出境)洪水量的差代表洪水资源利用水平,但是目前尚有一定困难。如,目前的技术水平还难以区分“水资源”与“洪水资源”定量上的具体差异;洪水资源利用水平与水库调度方式有关,譬如水库某一调度方式将非汛期水资源用尽,自然就会使汛期水资源利用水平增大,而换一种调度方式产生的结果就可能与之相差很大。

为与基于年径流量的洪水资源利用水平对比,在此尝试以汛期地表径流量计算洪水资源利用水平。表 3 列出了以汛期地表径流量计算的不同年代的洪水资源利用水平,由于资料所限,1950 ~ 1989 年期间汛期地表水资源量占年地表水资源量的比例系采用文献[14]给出的 1950 ~ 1986 年期间的平均值。基于汛期径流量和出境水量的洪水资源利用水平与基于全年径流量和出境水量的洪水资源利用水平相比,数值相差较大。从表 3 中可以看出,汛期地表水资源量与汛期出境水量之差在 20 世纪 50 年代平均为 41 亿 m³/a,在 1990 ~ 1997 年期间增加为 121 亿 m³/a,增加近 2 倍。该数值在一定程度上反映了水利工程及其调度方式的运用对汛期洪水资源利用水平的影响

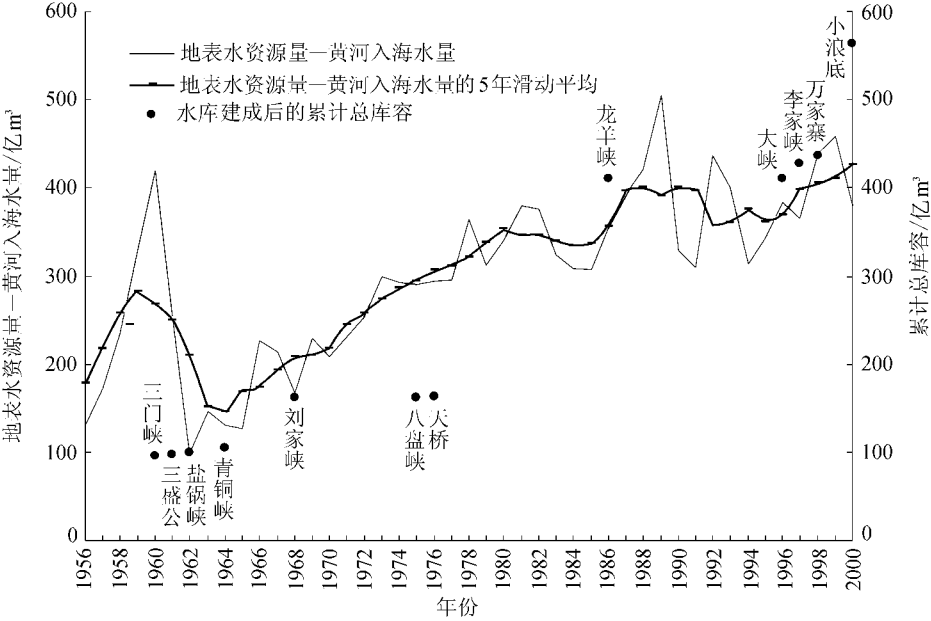


图 1 洪水资源利用水平与大中型水库累计总库容的关系

表 3 以汛期径流量计算的洪水资源利用水平(黄河花园口以上)

时 间	年地表水 资源量/ 亿 m ³	汛期地表水 资源量占 年地表水资源量 的比例/%	汛期地表水 资源量/ 亿 m ³	年出境 水量/ 亿 m ³	汛期出境水量 占年出境水量 比例/%	汛期出境 水量/亿 m ³	汛期地表水 资源量与 汛期出境水量 之差/亿 m ³	年地表水 资源量与 出境水量 之差/亿 m ³	汛期水平占 全年水平 比例/%
①	②	③	④ = ② × ③	⑤	⑥	⑦ = ⑤ × ⑥	⑧ = ④ - ⑦	⑨ = ② - ⑤	⑩ = ⑧/⑨
1950~1959 年	596.8	58.0	346.1	485.7	62.8	305.0	41.0	111.1	37
1960~1969 年	657.1	58.0	381.1	505.9	56.8	287.4	93.5	151.2	62
1970~1979 年	552.9	58.0	320.7	381.6	56.3	214.8	105.7	171.3	62
1980~1989 年	602.1	58.0	349.2	411.7	59.4	244.5	104.6	190.4	55
1990~1997 年	455.3	52.9	240.9	267.9	44.7	119.8	121.0	187.4	65

注 第②,③和⑤列数据引自文献[14] 第⑥列数据来源于黄河水利委员会,其中第 1 行数值‘62.8’是根据 1951~1959 年数据得到的统计结果。

响,但该种计算方法的合理性还有待于进一步探讨。

2 洪水资源利用程度的概念

目前还没有一种可信的方法来客观地区分黄河径流变化中气候变化因素和人类影响因素的贡献。多数学者认为除人类用水量的增加外,黄河流域内平均气温升高使蒸发量增加、流域地表干旱化是黄河径流减少的一个重要原因^[15-16]。茹玉英等^[17]分析认为,1986~2000 年与以前(1956~1985 年)相比,实测黄河入海水量减少 257.2 亿 m³,其中‘准自然因素影响(降水量减小及降水径流关系发生一定变化)’约占 55%,流域用水量约占 31.5%,两者合计占 86.5%,其余为水土保持措施、水面蒸发及水利工程调蓄等引起的水量减少,即 1986 年以后水量减少主要是自然因素和引水增加引起的,其次是水土保持措施的影响。据分析,在发生大暴雨的条件下,水土保持工程的拦洪作用很有限,其作用主要是对中小洪水进行利用。据此,本文分析中只以干流大中型水库的建设情况为参考依据。

以每年地表水资源量与入海水量之差值表示洪

水资源利用水平,若同一流域的不同年代降水差异较大,则不能确切表达洪水资源利用的相对程度 若用其对不同气候带的流域进行分析,也不能明确反映流域间洪水资源利用相对程度的不同。笔者采用洪水资源利用程度的概念,用当年地表水资源量与当年入海水量之差除以当年地表水资源量作为该流域当年的洪水资源利用程度(图 2)。

综合对比表 2、图 1 和图 2 可见 在 1956~1990 年期间黄河流域地表水资源量较为稳定,此期间洪水资源利用水平和洪水资源利用程度两者的变化趋势基本一致。在 1990~2000 年期间,自然因素和准自然因素导致了黄河流域地表水资源量显著减少,此期间的洪水资源利用水平和洪水资源利用程度两者表现出了不同趋势,其中洪水资源利用水平较稳定地维持在 400 亿 m³ 左右,但洪水资源利用程度快速上升,随着大峡、李家峡、万家寨、小浪底水库的陆续建成和投入运用,洪水资源利用程度已接近 90% 左右,标志着黄河流域上游河源区和中游地表水资源的综合利用进入了一个新的阶段,相应水文条件下的洪水资源利用程度即将达到极限水平。

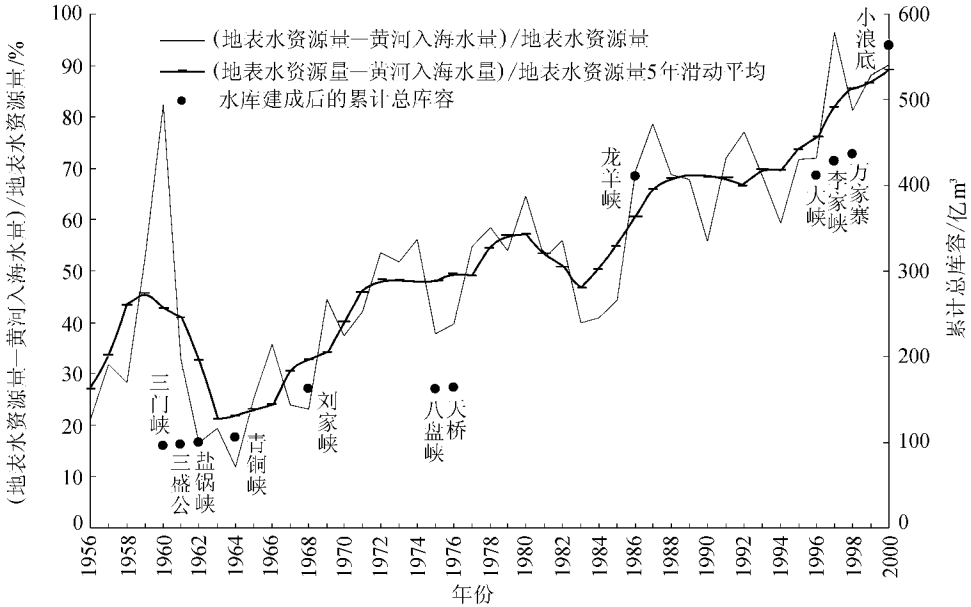


图 2 洪水资源利用程度与大中型水库累计总库容的关系

3 上游低含沙洪水资源利用对中游高含沙洪水资源利用的影响

黄河流域不同源区的洪水中,兰州以上的洪水含沙量较小,一般只对下游洪水起抬高基流、加大洪水总量的作用。黄河下游的较大洪水和大洪水主要有3个来源区:河口镇至龙门区间(河—龙区间)、龙门至三门峡区间(龙—三区间)、三门峡至花园口区间(三—花区间)。其中河—龙区间和龙—三区间洪水含沙量高,含沙量在历次大洪水或特大洪水中均占有重要比例,是下游河道泥沙的主要来源。据分析,上游地区洪水(河口镇以上)目前基本实现了资源化^[9]。其具体表现是:①上游建成的梯级水利枢纽群已具备多年调节能力,完全改变了天然状况下的地表径流年内分配规律,非汛期出境径流量大于汛期出境径流量;②出境水量持续减少,1990~1999年间平均年出境水量比多年平均值偏低12.4%,而2000~2002年间平均年出境水量比多年平均值偏低33.9%,如表4所示^[18]。

表4 黄河源区不同年代平均径流量(唐乃亥站)

时 间	年径流量/亿 m ³	与多年平均值比较/%
1950~1959 年	188.1	-6.4
1960~1969 年	216.5	+7.7
1970~1979 年	203.9	+1.4
1980~1989 年	241.1	+20.0
1990~1999 年	176.0	-12.4
2000 年	154.5	-23.1
2001 年	138.1	-31.3
2002 年	105.8	-47.4

上游地区低含沙洪水资源利用的结果,使得下游形成了极为不利的汛期水沙配置。维持下游河道不抬高的任务目前完全由中游水库通过对河—龙区间、龙—三区间的大量高含沙洪水与三—花区间的少量低含沙洪水进行水沙调度来完成,势必增加中游水库的负担,不利于中游洪水资源利用的长期稳定发展。因此,黄河流域中游地区洪水资源利用水平的提高仍将受制于高含沙洪水所带来的水库淤积问题。

4 结 语

依据1956~2000年黄河流域地表水资源评价结果和入海水量资料,以年径流量对黄河流域洪水资源利用水平及其程度进行了分析;尝试基于汛期径流量对洪水资源利用水平进行计算,与基于年径流量计算的洪水资源利用水平做了对比;分析了上游低含沙洪水资源的利用对中游高含沙洪水资源利用水平的影响。归结得到以下认识:

a. 以全年地表水资源量与入海水量之差值表示洪水资源利用水平,可以看到黄河流域水资源开发和水利工程建设与洪水资源利用水平的提高虽有密切关系,但并不是完全同步,反映出黄河流域水沙

运行规律及其他社会政治及经济因素对洪水资源利用水平的约束作用。

b. 基于汛期地表水资源量和入海水量得到的洪水资源利用水平表明,汛期地表水资源量与汛期出境水量之差在20世纪50年代平均为41亿m³/a,在1990~1997年期间增加为121亿m³/a,增加近2倍。该结果在一定程度上反映了不同年代水利工程建设及其调度方式的运用对汛期洪水资源利用水平的影响。

c. 在1990~2000年期间,黄河流域地表水资源量显著减少,洪水资源利用水平和洪水资源利用程度两者表现出不同的趋势,其中基于全年地表水资源量与出境水量的洪水资源利用水平较稳定地维持在400亿m³左右,洪水资源利用程度则呈现快速上升趋势。但黄河流域中游地区洪水资源利用水平的提高仍将受制于高含沙洪水所带来的水库淤积问题。

参考文献:

[1] 张建云,张四龙,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):231-234.
[2] 向立云,姜付仁.洪水资源与洪水资源化刍议[J].中国水利水电科学研究院学报,2000,试刊4(1):1-3.
[3] 陶国芳,邱红,秦丽杰.洪水及洪水资源化[J].农业与技术,2005,25(2):16-18.
[4] 李长安.长江洪水资源化思考[J].地球科学-中国地质大学学报,2003,28(4):461-465.
[5] 刘克林,王银堂,胡四一.水库汛期分期定量分析方法的应用比较研究[J].水利水电技术,2006,37(9):76-78.
[6] 赵飞,王忠静,刘权.洪水资源化与湿地恢复研究[J].水利水电科技进展,2006,26(1):7-9.
[7] 许士国,孔猛,马传才.利用月亮泡水库实现嫩江洪水资源化的可能性分析[J].水电能源科学,2006,24(6):1-4.
[8] 胡彩虹,吴泽宁,窦明,等.黄河中游洪水特性及洪水资源化分析[J].人民黄河,2006,28(12):35-36.
[9] 王道席,陈焰明,靳锋,等.黄河洪水资源化及其保障措施[J].水电能源科学,2004,22(1):26-28.
[10] 胡四一,程晓陶,卢作亮,等.海河流域洪水资源安全利用关键技术研究[J].中国水利,2004(22):49-51.
[11] 水利部黄河水利委员会.黄河近期重点治理开发规划[M].郑州:黄河水利出版社,2002:19.
[12] 云雪峰,张占厚,李永利,等.黄河三盛公水利枢纽工程总结和今后除险加固任务[J].内蒙古水利,2001(S1):11.
[13] 王忠静,邵东国,周魁一,等.海河流域洪水资源化潜力研究[R].北京:清华大学;天津:水利部海河水利委员会,2003.
[14] 朱晓原,张学成.黄河水资源变化研究[M].郑州:黄河水利出版社,1999:71-84.
[15] 张士峰,贾绍凤,刘昌明,等.黄河源区水循环变化规律及其影响[J].中国科学:E辑,2004,34(S1):117-125.
[16] 马柱国.黄河径流量的历史演变规律及成因[J].地球物理学报,2005,48(6):1270-1275.
[17] 茹玉英,王开荣,高际平,等.近期黄河入海水量减少成因分析[J].海洋科学,2006,30(3):30-34.
[18] 李国英.维持黄河健康生命[M].郑州:黄河水利出版社,2005:39.

(收稿日期:2007-12-14 编辑:高建群)