

Assessment of Flood Resources Utilization in the Yangtze River Basin

Qiang Zou, Jun Lu, Shan Yu, Yi Ding

Changjiang Institute of Survey Planning Design and Research, Wuhan Hubei
Email: zouqianghust@163.com

Received: Sep. 24th, 2015; accepted: Oct. 7th, 2015; published: Oct. 21st, 2015

Copyright © 2015 by authors and Hans Publishers Inc.

This work is licensed under the Creative Commons Attribution International License (CC BY).

<http://creativecommons.org/licenses/by/4.0/>



Open Access

Abstract

The research of flood resources utilization in the Yangtze River basin, not only can alleviate the water shortage problem, take full advantages of the hydropower resources, improve the urgent demand of river basin ecological environment, but also can alleviate the water crisis in north China and have important strategic significance on ensure the water safety. The flood resources utilization evaluation system of Yangtze river was firstly presented in this paper, then the methods of flood resources utilization were summarized, and the related concept of flood resources utilization was comprehensively analyzed, and based on the current, planning, theoretical situation, the computational equations of the status, planning, theoretical availability and utilization potential were put forward stage by stage. Finally, the paper has the case study on flood resources utilization in Yangtze River basin as well as its secondary partitions, the computational results pointed out the threshold space and future mining direction, which could provide effective scientific basis for Yangtze River flood resources utilization management.

Keywords

Yangtze River Basin, Flood Resources Utilization, Flood Resources Utilization Availability, Flood Resources Utilization Potential, Planning

长江流域洪水资源利用评价研究

邹 强, 鲁 军, 喻 杉, 丁 毅

长江勘测规划设计研究有限责任公司, 湖北 武汉

作者简介: 邹强(1987-), 男, 工程师, 博士, 从事水资源综合规划与风险管理、水库群联合调度与风险决策研究。

摘要

在长江流域开展洪水资源利用研究,不仅是缓解水资源短缺问题,充分发挥长江流域水能资源优势,改善流域生态环境的迫切需求,而且对缓解我国北方水资源危机,保障我国水安全具有十分重要的战略意义。本文建立了长江流域洪水资源利用评价体系,总结了长江流域洪水资源利用方式,系统地辨析了洪水资源利用相关概念,从现状、理论和规划条件等不同层面出发,定量给出了长江流域洪水资源现状利用潜力、规划利用潜力、理论利用潜力以及现状可利用量、规划可利用量、理论可利用量等的计算公式,开展了长江流域及其二级分区洪水资源利用现状评价与潜力计算,指出了长江流域现状洪水资源利用的阈值空间和未来挖掘方向,可为长江流域洪水资源利用决策管理提供有效的科学依据。

关键词

长江流域, 洪水资源利用, 洪水资源可利用量, 洪水资源利用潜力, 规划

1. 研究背景

随着人口增长和社会经济发展,水资源利用量与污水排放量不断增加,水资源时空分布不均与沿江居民生活生产用水需求矛盾逐渐突出,水资源供需关系紧张,水资源短缺问题已成为社会经济可持续发展的主要制约因素之一[1][2]。对于集自然资源、环境要素与致灾因子三性一体的洪水而言,一方面洪水可能会带来危害,造成土地与人口淹没、河道冲刷、堤防溃决等灾害,另一方面洪水又是重要的淡水、生态、动力资源,洪水资源的利害两重性构成了对社会经济可持续发展与生态环境友好修复起着关键作用的矛盾体,洪水资源利用受到广泛关注[2][3]。

长江流域多年平均水资源总量约为 9960 亿 m^3 , 占我国水资源总量的 35%, 水资源总量虽然相对丰富,但流域内人均占有量并不多,略高于全国平均水平。长江流域大部分地区为典型的季风气候区,年内降雨季节分配极不均匀,大部分降水都集中在汛期的 5~10 月期间,且多以洪水的形式出现,而在其余月份降水则较少,长江干流汛期 5~10 月的径流量可占年径流总量的 70%,而枯水期仅占 30%左右,长江流域洪涝干旱问题突出,时常发生连旱连涝、旱涝交替、旱涝并发等灾害[4]。近年来长江上游径流量偏少,2003~2013 年宜昌站多年平均年径流量 3961 亿 m^3 ,较初步设计采用的多年平均年径流量减少 549 亿 m^3 ,占 12.2%;随着长江上游干支流控制性水库逐步兴建,受其汛末或汛后蓄水影响,9~10 月减少径流量占同期径流量的 20%以上。在长江流域开展洪水资源利用研究,不仅是缓解水资源短缺问题,充分发挥长江流域水能资源优势,改善流域生态环境的迫切需求,而且对缓解我国北方水资源危机,保障我国水安全具有十分重要的战略意义。

评价流域洪水资源利用现状和潜力是开展洪水资源利用的首要工作[5]-[7]。一些学者已经海河流域[5]、海河北系北三河流域[6]、南四湖流域[7]进行了洪水资源利用评价研究,也对洪水资源利用的概念和计算方法进行了研究,特别是从现状和理论层面对洪水资源利用潜力、可利用量进行了定量计算,取得了丰富的研究成果,发展了洪水资源利用评价的理论与方法体系。但以上对洪水资源利用的基本概念还有必要进行梳理和总结,且还需针对流域综合规划层面开展进一步分析,达到流域综合规划要求的各项要点。当然,一些学者也针对长江流域中鄱阳湖[8]和三峡水库[9]开展了洪水资源利用研究,但集中在区域局部性或水库单项性的洪水资源利用研究方面,未从流域层面对洪水资源利用状况开展综合评估,不易在流域规划和管理中进行应用。关于长江流域

洪水资源利用研究,毛翠平等[10]集中在长江流域洪水资源管理对策及利用策略方面,尚需再进一步计算长江流域洪水资源利用的可利用量和潜力;许继军等[4]给出了长江流域洪水资源利用潜力的估算方法,通过干支流控制站点分析了长江流域及其分区的洪水资源利用,但未统筹考虑流域河道外洪水资源利用量及其规划层面的洪水资源利用潜力。

为此,本文针对长江流域开展洪水资源利用评价问题,在辨析已有洪水资源概念的基础上,总结了流域洪水资源利用评价方法,从长江流域整体及其二级分区的宏观角度出发,来统筹评价长江流域洪水资源利用的现状和潜力,可望为长江流域洪水资源利用决策管理提供有效的科学依据。

2. 长江流域洪水资源利用评价体系

目前学术界在洪水资源利用的基本概念方面还存在一定的争论和分歧。一般而言,洪水,是指河流湖泊在较短时间内发生流量急剧增加、水位明显上升的水流现象。洪水时常来势凶猛,具有很大的自然破坏力。为此,研究洪水特性,掌握其发生发展规律,积极采取有效的洪水资源利用及其风险防范措施,是研究洪水的主要目的。

洪水资源,是指一定区域由当地降水形成的天然河川洪水径流。

洪水资源利用,是指人们在水资源一般性开发利用的基础上对以往难以利用的洪水资源的进一步潜力挖掘,在不成灾的情况下尽量利用水库、拦河闸坝、自然洼地、人工湖泊、地下水库等蓄水工程拦蓄洪水,以及延长洪水在河道、蓄滞洪区的滞留时间,恢复河流及湖泊、洼地的生态环境,以及最大可能补充地下水[11]。其本质就是将目前超出人类和环境适应范围或者超出目前调控能力范围的水量,通过新的技术手段和管理方法进行利用,实现洪水由灾害水向资源水和环境水的转化。具体在水库实际运行中,结合先进的气象水文预报手段,通过调整水库汛限水位运行方式或调整水库调度方式,是更好地利用洪水资源的手段之一。

洪水资源利用评价体系主要包括洪水资源利用方式分析、利用水平分析、利用量评价和潜力分析等内容[5]-[7],洪水资源利用评价体系框架如图1。长江流域洪水资源利用方式,从综合角度来看分为工程措施和非工程措施两大类,如图2。工程措施,是指通过利用水利工程和水保工程,将尽可能多的拦蓄或截留洪水,以便被人类利用、生态环境利用或补充地下水,主要包括蓄滞工程、引泄工程和截留工程等。非工程措施,是指在现有工程措施的基础上,通过科学规划和合理调度,最大限度的拦蓄或截留洪水资源,及时满足经济社会及生态环境的需水要求,补充地下水,主要包括综合调度、综合规划和保障机制等[4]。相关研究已经进行了总体介绍,本文不做赘述。

洪水资源利用水平分析、洪水资源利用量评价、洪水资源潜力分析将结合洪水资源利用评价方法详细阐明。

3. 洪水资源利用评价方法

洪水资源利用的本质,是实现由“灾害水”向“资源水”的转化,其内涵是指在一定的区域经济发展状况及流域水文特征条件下,以水资源利用的可持续发展为前提,通过工程或非工程的手段,优化出境或入海水量和过程,以提高洪水的利用率。以下给出洪水资源利用评价方法[7]。

(1) 洪水资源量

洪水资源量,也即“洪水资源的数量”,是指一定区域由当地降水形成的天然河川洪水径流量。洪水资源总量根据年内洪水期天然河川径流过程来计算,计算公式为:

$$W_{\text{总量}}(i) = \int_{t_1}^{t_2} Q_i(t) dt \quad (1)$$

式中: $W_{\text{总量}}(i)$ 为时段 i 的洪水资源总量, $Q_i(t)$ 为时段 i 的流域河川天然洪水流量, t_1 、 t_2 分别为洪水期起止时刻。对于不同流域的年内洪水期,需根据河川径流季节性规律、水系特性等多因素综合确定。

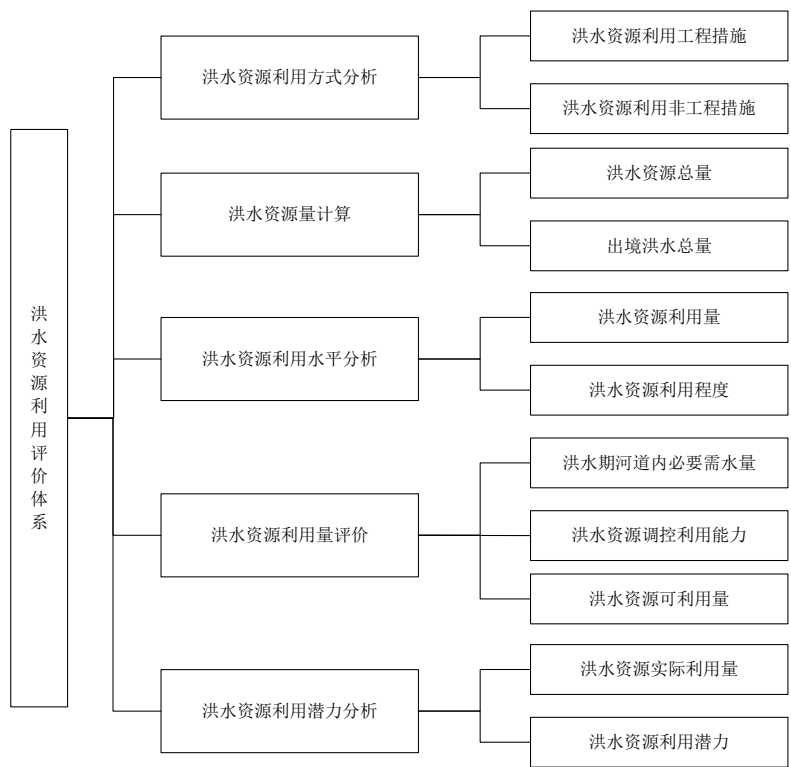


Figure 1. The framework of flood resources utilization evaluation system
图 1. 洪水资源利用评价体系框架

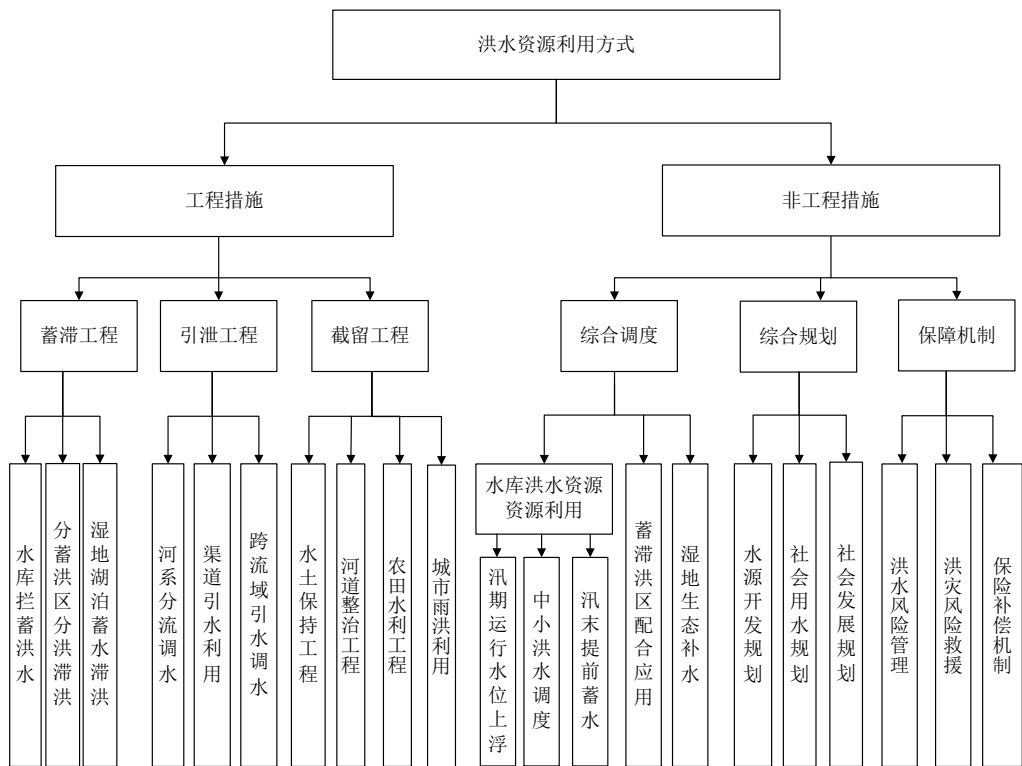


Figure 2. The methods of Yangtze River flood resource utilization
图 2. 长江流域洪水资源利用方式

(2) 洪水资源实际利用量

洪水资源实际利用量，也即洪水资源现状利用水平，是指在现状水资源开发利用过程及管理条件下，流域河道外利用的洪水资源量，即通过蓄、引、提、调等不同方式而利用的洪水，包括农业、工业、生活和生态环境用水以及输水损失在内的毛水量。

在现状洪水调控利用能力 x_0 下的洪水资源实际利用量记为 $W_{\text{实际利用量}}^{x_0}(i)$ ，可近似为洪水资源总量 $W_{\text{总量}}(i)$ 与洪水期流域出境洪水量 $W_{\text{出境洪水量}}^{x_0}(i)$ 的差值，计算公式为：

$$W_{\text{实际利用量}}^{x_0}(i) = W_{\text{总量}}(i) - W_{\text{出境洪水量}}^{x_0}(i) \quad (2)$$

当然，洪水资源实际利用量也可根据现状洪水调控利用能力 x_0 ，针对不同的利用措施进行分项统计求和；此时出境洪水量则为洪水资源总量减去洪水资源实际利用量。

(3) 洪水资源利用程度

洪水资源利用程度，是指洪水资源现状利用水平相对洪水资源总量的比值，反映流域洪水资源利用的相对水平。洪水资源利用程度 p 的计算公式为：

$$p = W_{\text{利用量}}(i) / W_{\text{总量}}(i) \times 100\% \quad (3)$$

当给定洪水资源利用程度和洪水资源总量时，可计算得到该利用程度水平下的洪水资源利用量。

(4) 洪水资源可利用量

洪水资源可利用量，是指可预见的时期内，在不增加防洪风险以及维持河流健康的前提下，统筹考虑洪水期河道内必要需水量，通过经济合理、技术可行的工程措施和非工程措施，能够调控开发的尚未被利用的洪水资源量。

洪水资源调控利用能力，是指在防洪安全和维持河流健康的前提下，在洪水期所能调蓄利用的最大洪水资源量。在一定的洪水资源调控利用能力下，流域洪水资源均可划分为“可利用量”和“不可利用量”两部分，其中“不可利用量”部分又包括限于调控利用水平所“不能够利用”与为满足流域基本的生产、生活和生态用水所“不允许利用”两部分。这里，洪水资源“不可利用量”中的“不允许利用”部分即为洪水期河道内必要需水量，是指相应于一定的河流生态环境和生产功能目标的洪水期河道内需水量。

为此，对应调控利用能力 x ，在时段 i ，流域洪水资源可利用量 $W_{\text{可利用量}}^x(i)$ 为洪水资源总量与洪水资源不可利用量的差值，计算公式为：

$$W_{\text{可利用量}}^x(i) = W_{\text{总量}}(i) - \max(W_{\text{不允许利用}}(i), W_{\text{不能够利用}}^x(i)) \quad (4)$$

式中： $W_{\text{不允许利用}}(i)$ 为流域洪水期河道内必要需水量，即所“不允许利用”的部分； $W_{\text{不能够利用}}^x(i)$ 为受调控利用能力 x 限制所不能够利用的洪水资源量。

① 洪水资源现状可利用量

由式(4)，对应于现状调控利用能力 x_0 ，洪水资源现状可利用量 $W_{\text{可利用量}}^{x_0}(i)$ 为：

$$W_{\text{可利用量}}^{x_0}(i) = W_{\text{总量}}(i) - \max(W_{\text{不允许利用}}(i), W_{\text{不能够利用}}^{x_0}(i)) \quad (5)$$

$W_{\text{不能够利用}}^{x_0}(i)$ 为限于现状调控利用能力 x_0 所不能够利用的洪水资源量，一般按下式计算：

$$W_{\text{不能够利用}}^{x_0}(i) = \max(W(i) - W_0, 0) \quad (6)$$

式中： W_0 为现状洪水调控利用能力 x_0 所对应的洪水资源量，一般按照 $W_0 = \theta \cdot W_{\text{实际利用量}}^{x_0}(i)$ 来计算， θ 为计算时期 N 年内洪水资源实际利用量中的较大值函数。当然， W_0 也可根据实际调查分析，取对应于流域受灾临界状态的洪水资源实际利用量。

② 洪水资源理论可利用量

根据极限分析理论, 对式(4)对调控利用能力 x 趋于 ∞ 取极限, 即 $x \rightarrow \infty$, 有 $W_{\text{不能够利用}}^x(i) \rightarrow 0$, $\max(W_{\text{不允许利用}}(i), W_{\text{不能够利用}}^x(i)) \rightarrow W_{\text{不允许利用}}(i)$, 为此:

$$\lim_{x \rightarrow \infty} W_{\text{可利用量}}^x(i) = W_{\text{可利用量}}^\infty(i) = W_{\text{总量}}(i) - W_{\text{不允许利用}}(i) \quad (7)$$

其意义在于, 当通过无限兴建流域洪水资源工程措施和无限提高洪水调控利用水平时, 可以获得流域洪水资源理论利用潜力 $W_{\text{可利用量}}^\infty(i)$, 为洪水资源量与本流域 $W_{\text{不允许利用}}(i)$ 之差。

(5) 洪水资源利用潜力

洪水资源利用潜力, 是指扣除洪水资源实际利用量之后, 在经济合理、技术可行、不破坏河流基本功能的前提下, 流域洪水资源中还能够进一步增加利用的最大洪水资源量。

根据流域洪水资源利用的定义, 将相对于调控利用能力 x 的流域洪水资源利用潜力 $W_{\text{潜力}}^x(i)$, 定义为在现状调控利用能力 x_0 基础上可进一步挖掘的增量:

$$W_{\text{潜力}}^x(i) = W_{\text{可利用量}}^x(i) - W_{\text{实际利用量}}^{x_0}(i) \quad (8)$$

对式(2)、(6)和(8)进行计算整理, 有:

$$W_{\text{潜力}}^x(i) = W_{\text{出境洪水量}}^{x_0}(i) - \max(W_{\text{不允许利用}}(i), W_{\text{不能够利用}}^x(i)) \quad (9)$$

由上式可知, 相对于调控利用能力 x 的流域洪水资源利用潜力 $W_{\text{潜力}}^x(i)$, 为现状调控利用能力 x_0 下洪水期流域出境洪水量与不可利用量之差。

① 洪水资源现状利用潜力

对于流域现状调控利用能力 x_0 , 洪水资源现状利用潜力 $W_{\text{潜力}}^{x_0}(i)$ 为:

$$W_{\text{潜力}}^{x_0}(i) = W_{\text{出境洪水量}}^{x_0}(i) - \max(W_{\text{不允许利用}}(i), W_{\text{不能够利用}}^{x_0}(i)) \quad (10)$$

② 洪水资源理论利用潜力

根据极限分析理论, 对式(10)中调控利用能力 x 趋于 ∞ 取极限, 即 $x \rightarrow \infty$, 有 $W_{\text{不能够利用}}^x(i) \rightarrow 0$, $\max(W_{\text{不允许利用}}(i), W_{\text{不能够利用}}^x(i)) \rightarrow W_{\text{不允许利用}}(i)$, 为此:

$$\lim_{x \rightarrow \infty} W_{\text{潜力}}^x(i) = W_{\text{潜力}}^\infty(i) = W_{\text{出境洪水量}}^{x_0}(i) - W_{\text{不允许利用}}(i) \quad (11)$$

其意义在于, 当通过无限兴建流域洪水资源工程措施和无限提高洪水调控利用水平时, 可以获得流域洪水资源理论利用潜力 $W_{\text{潜力}}^\infty(i)$, 为现状水平下的出境水量与本流域 $W_{\text{不允许利用}}(i)$ 之差。

(6) 规划条件下洪水资源利用评价

流域洪水资源现状可利用量和现状利用潜力, 是指在洪水资源利用现状调控水平能力下, 通过充分发挥洪水调节利用水平, 可合理利用的洪水资源上限和在现状基础上进一步挖掘的增量。流域洪水资源理论可利用量和理论利用潜力, 是指通过无限提高流域洪水调控利用能力, 可合理利用的洪水资源上限和在现有利用基础上可进一步挖掘的增量, 为可利用的最大量和可增加的最大量, 是理论上可以无限接近的上限值[7]。基于此, 理论层面不可能完全达到, 也还需遵循流域规划的开发利用原则。

为此, 在满足生态环境需求和社会发展条件下, 依据流域规划要求和安排, 还需要进行规划条件下的洪水资源利用评价。根据流域规划及相关政策法规, 在给定规划的洪水资源利用程度控制指标时, 可依次得到规划利用量、规划可利用量、规划利用潜力:

$$W_{\text{利用量}}^{\text{规划}}(i) = p_{\text{规划指标}} \times W_{\text{总量}}(i) \quad (12)$$

$$W_{\text{可利用量}}^{\text{规划}}(i) = W_{\text{总量}}(i) - \max(W_{\text{不允许利用}}(i), W_{\text{不能够利用}}^{\text{规划}}(i)) \quad (13)$$

$$W_{\text{潜力}}^{\text{规划}}(i) = W_{\text{出境洪水量}}^{x_0}(i) - \max\left(W_{\text{不允许利用}}(i), W_{\text{不能够利用}}^{\text{规划}}(i)\right)$$

(14)

4. 长江流域洪水资源利用评价实例研究与分析说明

由图 1 可知，长江流域洪水资源利用方式多种多样，洪水资源利用量的计算就显得繁琐而复杂。本文首先收集了历年来的长江流域及西南诸河水资源公报，因 2003 年水资源分区、面积及常年值做了新的调整，且考虑到近年来的数据更能反映流域现状水平，故摘录出 2004 年至 2013 年的长江流域水资源数据。同时考虑到长江干支流的汛期不尽相同，在洪水资源利用评价时将 5~10 月界定为“洪水期”。同时，计算出干支流主要控制断面洪水期径流量占年径流量的多年平均比例系数，然后将该比例系数与长江流域干支流分区地表水资源总量相乘近似代表洪水期“洪水资源总量”。

《长江流域综合规划(2012~2030 年)》[12]根据各控制节点生态环境状况和长系列水文资料确定了长江流域主要节点的生态环境需水。基于此，研究工作采用生态环境需水成果作为河道内必要需水量。同时，《长江流域综合规划(2012~2030 年)》[12]也指明了长江流域干支流控制断面水资源开发利用率，本文在洪水资源利用评价中将严格参照执行。

4.1. 长江流域洪水资源利用与潜力分析

根据洪水资源利用评价方法，由式(1)~(14)对长江流域总体的洪水资源利用现状和潜力进行了计算，得到了现状、理论和规划不同层面的洪水资源利用可利用量、洪水资源利用潜力等评价结果，详见表 1 和图 3。

长江流域洪水资源实际利用量。2004~2013 年长江流域洪水资源实际利用量均值为 1320 亿 m³，最大 1403 亿 m³ (2013 年)，最小 1225 亿 m³ (2004 年)，平均洪水资源利用程度为 20%，不可供的洪水资源量较多，高于生态环境需水量 1750 亿 m³。随着社会经济发展，河道外需要长江流域的供水量不断增加，提高长江流域洪水调控利用水平，在保证防洪安全和维持河流健康的前提下，进而提高洪水资源利用量是可行的。

长江流域洪水资源可利用量。在现状洪水资源条件和水利工程条件下，不可控洪水资源量都大于生态环境需水量，因此不可利用量都等于不可控洪水资源量，现状可利用量均为 2004~2013 年洪水资源利用量中的较大值，即 1368 亿 m³，也说明现状洪水资源利用都是充分保护流域生态环境的。长江流域现状可利用量受控于洪

Table 1. The assessment results of Yangtze River flood resources utilization

表 1. 长江流域洪水资源利用评价结果(水量单位: 亿 m³)

年份	洪水资源 总量	洪水资源 实际利用量	现状 可利用量	理论 可利用量	现状 利用潜力	理论 利用潜力	洪水资源 利用程度	规划利用 控制指标	规划 利用量	规划 可利用量	规划 利用潜力
2004	6147	1225	1368	4397	143	3172	19.93%	36%	2213	2827	1602
2005	6969	1249	1368	5219	119	3971	17.91%	36%	2509	2827	1578
2006	5667	1268	1368	3917	100	2650	22.37%	36%	2040	2827	1559
2007	6195	1310	1368	4445	58	3136	21.14%	36%	2230	2827	1517
2008	6653	1319	1368	4903	49	3584	19.83%	36%	2395	2827	1508
2009	6129	1349	1368	4379	19	3030	22.01%	36%	2206	2827	1478
2010	7937	1345	1368	6187	23	4842	16.95%	36%	2857	2827	1482
2011	5492	1368	1368	3742	0	2374	24.92%	36%	1977	2827	1459
2012	7605	1362	1368	5855	6	4493	17.91%	36%	2738	2827	1465
2013	6176	1403	1368	4426	0	3023	22.72%	36%	2223	2827	1424
多年平均	6497	1320	1368	4747	52	3427	20.31%	36%	2339	2827	1507

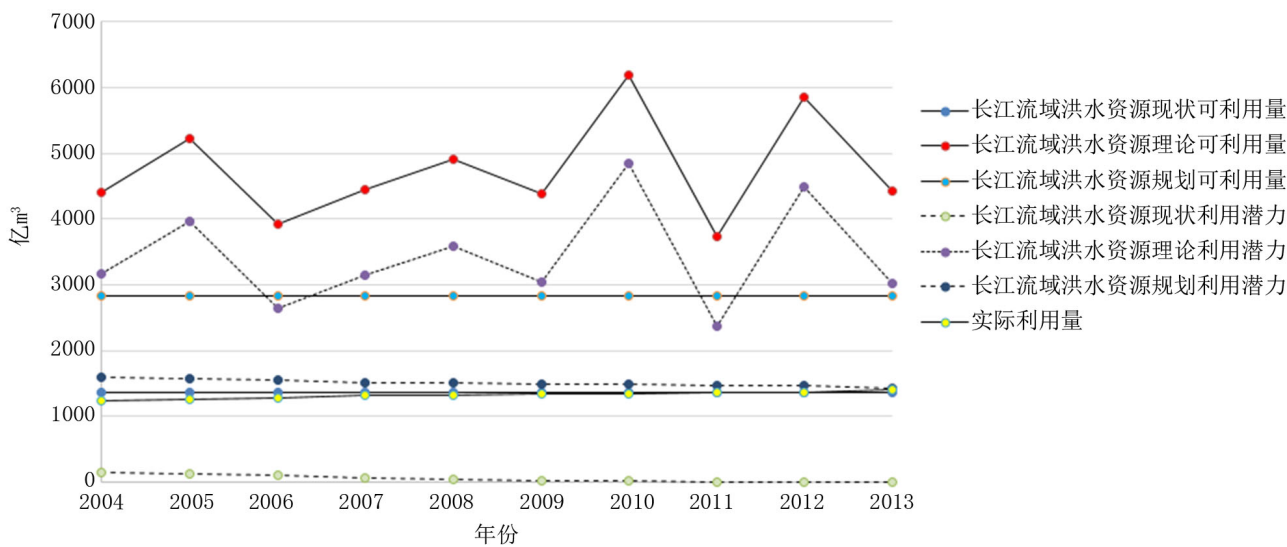


Figure 3. The assessment results of Yangtze River flood resources utilization from the year 2004 to 2013

图 3. 2004~2013 年长江流域洪水资源利用评价结果

水调控利用能力，但理论可利用量多年平均值为 4747 亿 m^3 ，洪水资源总量越大，理论可利用量也越大，理论可利用量与洪水资源总量呈直线上升关系。根据长江流域综合规划，长江流域规划可利用量为 2827 亿 m^3 ，这是在维持长江流域合理的水资源开发利用和良好的生态环境下现状洪水资源利用的阈值。

长江流域洪水资源利用潜力。在现状洪水资源利用条件和水利工程水平下，洪水资源现状利用程度为 20.31%，小于规划的控制指标 36%，现状利用潜力多年平均值为 52 亿 m^3 ，2011~2013 年基本达到了现状洪水资源调控利用能力的上边界，洪水资源现状利用能力集中在洪水利用量相对较小的 2004~2006 年。长江流域现状利用潜力受控于洪水调控利用能力，但理论利用潜力多年平均值为 3427 亿 m^3 ，洪水资源总量越大，理论利用潜力也越大，理论利用潜力与洪水资源总量也呈直线上升关系。根据长江流域综合规划给定的开发利用控制指标，相对于现状洪水资源利用水平，长江流域洪水资源规划利用潜力为 1507 亿 m^3 ，未来仍有较大的挖掘空间。

4.2. 长江流域二级区洪水资源利用与潜力分析

根据 2004~2013 年长江流域及西南诸河水资源公报，长江流域二级区分为金沙江石鼓以上、金沙江石鼓以下、岷沱江、嘉陵江、乌江、宜宾至宜昌、洞庭湖水系、汉江、鄱阳湖水系、宜昌至湖、湖口以下干流、太湖水系共 12 个。以下表 2 给出长江流域各二级区洪水资源多年平均评价结果，并进行简要说明。

金沙江石鼓以上，社会经济水平还不发达，人烟稀少，河道外需水量少，洪水资源利用程度不足 1%，现状调控利用能力小，现状可利用量为 2 亿 m^3 ，现状利用潜力为 0.2 亿 m^3 ；而该区域洪水资源总量为 361.9 亿 m^3 ，在满足生态环境需水量 97 亿 m^3 的前提下，洪水资源规划可利用量和规划利用潜力分别为 164 亿 m^3 和 162 亿 m^3 ，表明长江上游金沙江石鼓以上是今后长江流域洪水资源利用的重点开发区域，但前提是立足于水资源可持续利用和生态环境保护，这已在《长江流域综合规划(2012~2030 年)》中作出了整体规划布局[12]。

金沙江石鼓以下、岷沱江、嘉陵江、乌江、宜宾至宜昌的洪水资源总量都较大，在现状洪水调控利用能力条件下，现状利用潜力不大而规划利用潜力和理论利用潜力都较大，尚有部分富裕洪水量可供外调，规划利用潜力分别为 301 亿 m^3 、300 亿 m^3 、108 亿 m^3 、72 亿 m^3 、137 亿 m^3 ，理论利用潜力分别为 412 亿 m^3 、493 亿 m^3 、292 亿 m^3 、206 亿 m^3 和 227 亿 m^3 ，说明提高长江中上游洪水资源利用调控能力，特别是提高以三峡为核心的长江中上游控制性水库群体体系的综合调度水平，一直是今后洪水资源利用研究的努力方向。

Table 2. The assessment results of secondary partitions of Yangtze River flood resources utilization
表 2. 长江流域二级区洪水资源利用现评价结果(水量单位: 亿 m³)

二级分区	洪水资源总量	实际利用量	现状可利用量	理论可利用量	现状利用潜力	理论利用潜力	洪水资源利用程度	规划利用控制指标	规划利用量	规划可利用量	规划利用潜力
金沙江石鼓以上	361.9	1.9	2.0	264.9	0.2	263.1	0.5%	40%左右	146.5	164	162
金沙江石鼓以下	771	49	51	461	3	412	6%	40%左右	308	350	301
岷沱江	816	90	93	583	3	493	11%	40%左右	326	390	300
嘉陵江	513	58	62	350	4	292	11%	29%	149	166	108
乌江	358	38	40	244	3	206	11%	27%	97	110	72
宜宾至宜昌	434	63	66	290	4	227	14%	40%左右	174	199	137
洞庭湖水系	1269	225	228	900	3	674	18%	39%	495	576	351
汉江	424	93	100	326	7	233	22%	40%左右	170	223	130
鄱阳湖水系	853	125	140	535	15	410	15%	37%	316	406	281
宜昌至湖口	342	122	30	43	1	13	/	40%左右	136	31	3.6
湖口以下干流	306	197	119	127	0	8	/	40%左右	122	107	0
太湖水系	77	169	51	51	0	0	/	40%左右	31	37	0

注：长江中下游宜昌至湖口、湖口以下干流和太湖水系由于洪水资源利用既包括分区本身的洪水资源利用，又包括从上游下泄供水的洪水资源利用，故分区洪水资源利用量大于洪水资源总量。

洞庭湖水系，承纳湘、资、沅、澧即“四水”水系来水和松滋、太平、藕池“三口”的长江来水，洪水资源总量比较大，但现状洪水资源利用程度为 17.76%，尚有较大的利用潜力，现状利用潜力和规划利用潜力分别为 3 亿 m³ 和 351 亿 m³。洞庭湖与长江干流交汇，湖区水位受本河流和长江水位的共同影响，松滋、太平、藕池等三口随长江水位的涨落分流分沙，由于三峡等上游水库的蓄水，长江干流的枯水期提前到来，湖区出湖流量增加，从而荆江四口部分河道的断流时间相应的提前和延长。为此，洪水资源利用风险对策措施研究显得尤为重要[1]。

鄱阳湖水系，包括鄱阳湖湖区和赣、抚、信、饶、修五河及其他直接入湖的中小河流，洪水资源总量也比较大，但现状洪水资源利用程度仅为 15%，尚有较大的利用潜力，现状利用潜力和规划利用潜力分别为 15 亿 m³ 和 281 亿 m³。鄱阳湖与长江干流交汇，湖区水位受五河及长江来水的共同影响，枯水出现了时间提前、水位偏低、持续时间延长等现象，也需要进一步开展洪水资源利用方式研究。

汉江，是长江中下游的最大支流，多年平均洪水资源总量为 424 亿 m³，现状洪水资源利用程度已达 24%，现状利用潜力和理论利用潜力分别为 7 亿 m³ 和 233 亿 m³。南水北调中线一期工程于 2014 年 12 月正式通水，多年平均调水量为 95 亿 m³，对缓解华北地区水资源短缺的紧张局面、促进中国北方地区经济社会可持续发展和生态环境的改善具有巨大作用。南水北调中线一期工程洪水期从水源地丹江口水库调水约 40 亿 m³，也可作为汉江洪水资源的利用量。但已有水资源公报数据统计到 2013 年，若考虑到今后的南水北调引水，洪水资源利用程度将进一步提高。

宜昌至湖口、湖口以下干流的长江下游河段，由于长江流域降水主要集中在上中游地区，长江下游自身洪水资源总量并不大，且长江下游为我国社会经济发展的高度密集地，城市化程度高、生产生活需水量大，现状洪水资源利用水平已较高。但随着社会经济的发展和受生态环境需水的制约，长江下游洪水资源利用应在充分利用本河段洪水资源的基础上，通过有效的引、调、蓄、提水工程等来利用上游下泄的洪水资源。

太湖水系，与长江下游河段类似，洪水资源总量并不大，而该区域城市集中、人口密集，经济发达，洪水

期洪水资源多年平均实际供水量为 169 亿 m^3 。为此, 国家已兴建了“引江济太”调水工程, 引调长江水进入太湖, 缓解了太湖周边地区用水紧张状况, 改善了太湖水体水质和河网地区水环境。

综上所述, 在现状洪水调控利用能力下, 长江上游及汉江、两湖地区洪水资源量大, 洪水资源利用程度还不高, 尚有洪水资源潜力可开发, 是今后洪水资源利用开发的重点区域, 但其开发原则、思路和方式需要下一步重点研究; 而长江中下游河段及两湖水系区域城市化程度高, 洪水资源利用程度已较高, 应在考虑满足生态环境需求的前提下, 主要围绕洪水资源利用方式手段以及长江上游来水合理配置开展。

5. 结论

本研究建立了长江流域洪水资源利用评价体系, 总结了长江流域洪水资源利用方式, 系统地辨析了洪水资源利用相关概念, 从现状、理论和规划条件等不同层面, 定量给出了长江流域洪水资源现状利用潜力、规划利用潜力、理论利用潜力以及现状可利用量、规划可利用量、理论可利用量等的计算公式, 对长江流域及其二级分区进行洪水资源利用现状评价与潜力计算, 其中长江流域洪水资源现状可利用量、规划可利用量和理论可利用量分别为 1368 亿 m^3 、2827 亿 m^3 和 4747 亿 m^3 , 现状利用潜力、规划利用潜力、理论利用潜力分别为 52 亿 m^3 、1507 亿 m^3 和 3427 亿 m^3 。并对长江流域及其二级分区洪水资源利用的途径和策略展开了探讨, 指出了长江流域现状洪水资源利用的阈值空间和未来挖掘方向。

需要指出的是, 本文采用的方法经验性比较强, 具有一定的不确定性, 已有数据系列还不够长, 需要综合流域洪水特性、水利工程条件和河流生态环境功能的要求, 并结合社会经济、生态环境及法律等各部门的要求和规范, 建立原则性和可操作性较强的评价方法, 进一步完善洪水资源利用基本理论体系。还有, 长江流域干支流水库群体系是洪水资源利用的主要方式, 是实现长江流域水资源统一调度和管理的重要技术手段[13]。随着大中型水库的逐渐兴建和运行, 长江流域干支流水库群统一调度也将在下一步重点研究。

基金项目

中国工程院 2014 年度咨询研究项目——长江流域洪水资源利用及其减小风险的对策(2014-XY-24); 国家十二五科技支撑计划项目——三峡水库和下游河道泥沙模拟与调控技术(2012BAB04B05)。

参考文献 (References)

- [1] 王浩, 殷峻暹. 洪水资源利用风险管理研究综述[J]. 水利发展研究, 2004, 4(5): 1-5.
WANG Hao, YIN Junxian. The review of flood resources utilization risk management research. Water Resources Development Research, 2004, 4(5): 1-5.
- [2] 王忠静, 谢自银, 廖四辉, 等. 洪水资源化利用评价技术开发及应用[R]. 北京: 清华大学. 2010.
WANG Zhongjing, XIE Ziyin, LIAO Sihui, et al. Development and application of evaluation on flood resource utilization technology. Beijing: Tsinghua University, 2010.
- [3] 李继清, 张玉山, 王丽萍, 等. 洪水资源化及其风险管理浅析[J]. 人民长江, 2005, 36(1): 36-37.
LI Jiqing, ZHANG Yushan, WANG Liping, et al. Shallow of floodwater utilization and its risk management. Yangtze River, 2005, 36(1): 36-37.
- [4] 许继军, 吴道喜, 霍军军. 长江流域洪水资源利用途径与措施初步探讨[J]. 人民长江, 2008, 39(15): 1-4, 17.
XU Jijun, WU Daoxi, HUO Junjun. A preliminary discussion on the measures of Yangtze River flood resources utilization. Yangtze River, 2008, 39(15): 1-4, 17.
- [5] 胡庆芳, 王银堂. 海河流域洪水资源利用评价研究[J]. 水文, 2009, 29(5): 7-12.
HU Qingfang, WANG Yintang. Assessment of flood resources utilization in the Haihe river basin. Journal of China Hydrology, 2009, 29(5): 7-12.
- [6] 胡庆芳, 王银堂, 杨大文. 流域洪水资源可利用量和利用潜力的评估方法及实例研究[J]. 水力发电学报, 2010, 29(4): 20-27.
HU Qingfang, WANG Yintang, YANG Dawen. Assessment approach for flood resources availability and utilization potentiality and its application. Journal of hydroelectric engineering, 2010, 29(4): 20-27.

-
- [7] 王宗志, 程亮, 刘友春, 等. 流域洪水资源利用的现状与潜力评估方法[J]. 水利学报, 2014, 45(4): 474-481.
WANG Zongzhi, CHEN Liang, LIU Youchun, et al. Evaluation method for status and potential of flood resource utilization in a basin. Journal of Hydraulic Engineering, 2014, 45(4): 474-481.
- [8] 许继军, 陈进, 黄思平. 鄱阳湖洪水资源潜力与利用途径探讨[J]. 水利学报, 2009, 40(4): 474-480.
XU Jijun, CHEN Jin and HUANG Siping. Investigation on potentiality and utilization approaches of floodwater resources in Poyang Lake. Shuixuebao, 2009, 40(4): 474-480.
- [9] 郑守仁. 三峡工程利用洪水资源与发挥综合效益问题探讨[J]. 人民长江, 2013, 44(15): 1-6.
ZHENG Shouren. Discussion on utilization of flood resources and comprehensive benefits of Three Gorges Project. Yangtze river, 2013, 44(15): 1-6.
- [10] 王翠平, 胡维忠, 宁磊, 等. 长江流域洪水资源利用与策略研究[J]. 人民长江, 2011, 42(18): 85-87.
WANG Cuiping, HU Weizhong, NI Lei, et al. Research on utilization and strategy of flood resources of Yangtze River. Yangtze river, 2011, 42(18): 85-87.
- [11] 王忠静, 朱金峰, 尚文绣. 洪水资源利用风险适度性分析[J]. 水科学进展, 2015, 26(1): 27-33.
WANG Zhongjing, ZHU Jinfeng and SHANG Wenxiu. Determining the risk-moderate criterion for flood utilization. Advances in Water Science, 2015, 26(1): 27-33.
- [12] 水利部长江水利委员会. 长江流域综合规划(2012~2030 年) [Z]. 2012.
Yangtze River Water Resources Commission of Ministry of Water Resources. The Yangtze river basin comprehensive planning (2012-2030). 2012.
- [13] 黄艳, 陈炯宏. 强化长江流域水资源统一管理调度. 水资源研究, 2015, 4(3): 209-215.
HUANG Yan, CHEN Jionghong. Strengthen integrated management and regulation of water resources in the Changjiang River. Journal of Water Resources Research, 2015, 4(3): 209-215.