三峡工程防洪调度研究及作用分析

陈桂亚[1,2]，张 俊[2,3]，邹 强[2,4]

（1. 水利部长江水利委员会，430010，武汉；2. 长江水利委员会水旱灾害防御创新团队，430010，武汉；3. 长江水利委员会水文局，430010，武汉；4. 长江勘测规划设计研究有限责任公司，430010，武汉）

摘 要：长江洪涝灾害频发重发，严重影响流域经济社会高质量发展，一直是中华民族的心腹之患。三峡工程作为长江防洪关键工程，在长江中下游防洪中具有重要地位。自2003年三峡水库成库以来，水利部长江水利委员会持续深化三峡工程的防洪调度研究与实践，防洪调度方式不断清晰和优化，在近年来历次洪水防御中发挥了巨大作用。梳理了三峡工程防洪调度研究进程，包括《长江三峡水利枢纽初步设计报告（枢纽工程）》《三峡水库优化调度方案》《三峡（正常运行期）—葛洲坝水利枢纽梯级调度规程》《三峡（正常运行期）—葛洲坝水利枢纽梯级调度规程（2019年修订版）》等政策文件的调度体系及最新研究进展，并选择2016年、2017年、2020年、2024年等不同特点的典型洪水，分析了三峡水库在面临不同防洪形势和目标下的调度实践和防洪作用，并提出需要进一步开展三峡水库对城陵矶河段防洪实时预报调度方式深化研究，加强三峡和上游控制性水库防洪库容联合运用研究，以及加强基于中长期预报的水库群调度策略研究与应用，充分发挥以三峡工程为核心的长江水库群防洪作用。

关键词：三峡工程；防洪调度；洪水预报；防洪补偿；调洪水位

Studies on flood control operation of the Three Gorges Project and its functions//Chen Guiya, Zhang Jun, Zou Qiang

Abstract: Frequent occurrence and recurrence of flood and waterlogging disasters in the Yangtze River have seriously affected the high-quality economic and social development of the basin, and have always been a concern for the Chinese nation. The Three Gorges Project, as a backbone for flood control, plays an important role in the middle and lower reaches of the Yangtze River. Since its completion in 2003, the Changjiang Water Resources Commission of the Ministry of Water Resources has conducted in-depth research on flood control operation of the Three Gorges Project and methods of scheduling which have been optimized and played a key role in the prevention of major floods in recent years. By reviewing the research process including scheduling system and latest policy documents such as the “Preliminary Design Report of the Three Gorges Multi-purpose Dam Project (Dam Project)”, “Three Gorges Reservoir Optimization Scheduling Plan”, “Three Gorges (Normal Operation Period) - Gezhouba Dam Cascade Scheduling Regulations”, and“Three Gorges (Normal Operation Period) - Gezhouba Dam Cascade Scheduling Regulations (Revised in 2019)”, typical floods with different features in 2016, 2017, 2020, 2024 were selected to analyze function of the Three Gorges Reservoir by scheduling under different situations and purposes. Measures to strengthen flood control for the Chenglingji River section by the Three Gorges Reservoir were proposed. Suggestions are made to study on real time forecasting and scheduling methodologies, joint operation of flood control storage capacities of reservoirs, application of reservoir group scheduling based on medium and long-term forecasting, and leveraging role of the Yangtze River reservoir group for flood control.

收稿日期：2024-11-01
作者简介：陈桂亚，总工程师，正高级工程师，主要从事流域防洪调度与水文水资源分析计算研究。
基金项目：国家重点研发计划项目（2023YFC3206000）。

Keywords: the Three Gorges Project; flood control scheduling; flood forecast; flood control compensation; flood control water level

中图分类号:TV87 **文献标识码:**B **文章编号:**1000-1123(2024)22-0041-07

长江是中国第一大河流，干流全长超6300 km，流域面积占全国陆地总面积的18.8%，流域内人口占全国1/3，GDP占全国1/3，是我国经济社会发展的重要命脉。然而，长江流域气候差异大，下垫面条件复杂，降雨时空分布不均，汛期洪涝灾害频发重发。为了治理长江水患，长江流域已建成以堤防为基础，三峡水库为骨干，其他干支流水库、蓄滞洪区、河道整治工程、平垸行洪、退田还湖以及防洪非工程措施等相配合的综合防洪体系。

《长江流域防洪规划》中指出，三峡工程作为关键工程，在长江防洪中具有重要地位，体现在：对长江洪水主要来源——湖北宜昌地区以上长江上游洪水有巨大拦洪调蓄作用；可避免长江防洪形势最严峻的荆江地区发生毁灭性洪灾。三峡工程自2003年成库以来，通过研究与实践，防洪调度方案不断优化，发挥了巨大的防洪作用。

一、三峡工程防洪调度方式研究

长期以来，通过研究—实践—总结—再研究—再实践的科学研究应用体系，水利部长江水利委员会组织相关单位先后编制《长江三峡水利枢纽初步设计报告（枢纽工程）》（1993年7月经国务院批准）、《三峡水库优化调度方案》（2009年10月经国务院批准）、《三峡（正常运行期）—葛洲坝水利枢纽梯级调度规程》（2015年9月经水利部批复）和《三峡（正常运行期）—葛洲坝水利枢纽梯级调度规程（2019年修订版）》（2020年7月经水利部批复）等具有代表性的三峡水库调度规程指导文件，逐步优化完善并迭代更新了三峡水库防洪调度方式研究结果，在实际洪水调度中发挥了有效的防洪作用。

1.《长江三峡水利枢纽初步设计报告（枢纽工程）》

在三峡工程初步设计阶段，相关机构对防洪调度方式开展了大量研究，明确荆江河段为防洪重点，提出三峡水库对荆江河段补偿调度方式为设计调度方式，同时初步提出了对城陵矶河段补偿调度的设想，即将三峡水库防洪库容221.5亿m^3自下而上划分为三部分，第一部分库容100亿m^3既对荆江河段防洪补偿，也对城陵矶地区防洪补偿；第二部分库容85.5亿m^3仅用于对荆江河段防洪补偿；第三部分库容36亿m^3对荆江特大洪水进行调节。

2.《三峡水库优化调度方案》

在三峡工程初步设计基础上，《三峡水库优化调度方案》进一步对三峡水库防洪补偿调度方式进行了研究，以充分发挥三峡水库的防洪作用。通过对补偿流量、区间洪水、补偿库容分配、防洪减灾作用、水库淹没、水库泥沙淤积影响等方面的研究，拟定了三峡水库对荆江河段防洪补偿调度方式，并在不影响对荆江防洪补偿调度效益和不增加水库淹没范围的条件下，提出兼顾城陵矶地区防洪补偿调度方式，明确三峡水库对城陵矶防洪补偿控制水位为155 m，对荆江防洪补偿控制水位为171 m。

具体来说，提出将三峡水库防洪库容221.5亿m^3自下而上划分为三部分：第一部分145.0～155.0 m之间库容56.5亿m^3既用于对城陵矶进行防洪补偿也用于对荆江进行防洪补偿，控制三峡水库泄量使荆江河段和城陵矶地区均不超过相应允许泄量；第二部分155.0～171.0 m之间库容125.8亿m^3仅用于对荆江河段进行防洪补偿；第三部分171.0～175.0 m之间库容39.2亿m^3对荆江河段特大洪水进行调节。

3.《三峡（正常运行期）—葛洲坝水利枢纽梯级调度规程》

《三峡（正常运行期）—葛洲坝水利枢纽梯级调度规程》进一步明确三峡水库的防洪调度任务和原则，沿用了《三峡水库优化调度方案》中三峡水库防洪调度研究成果，提出三峡水库对荆江河段防洪补偿调度和兼顾对城陵矶地区防洪补偿调度两种方式。

其中，三峡水库对荆江河段防洪补偿调度方式主要适用于长江上游发生大洪水的情况；三峡水库兼顾对城陵矶地区防洪补偿调度方式则主要适用于长江上游洪水不大、三峡水库尚不需为荆江河段防洪大量蓄水的情况。当城陵矶（莲花塘）水位将超过长江干流堤防设计水位时，则需要三峡水库拦蓄洪水以减轻该地区分蓄洪压力，该阶段主要考虑三峡水库单库情况，三峡水库对城陵矶地区防洪补偿控制水位和对荆江河段防洪补偿控制水位分别为155 m和171 m，与《三峡

水库优化调度方案》一致。

4.《三峡(正常运行期)—葛洲坝水利枢纽梯级调度规程(2019年修订版)》

2019年,考虑国家机构职能调整、溪洛渡和向家坝等上游控制性水库群建成投产、水文气象预报水平提高等新变化,综合三峡水库科学调度系列研究成果与调度实践经验,对《三峡(正常运行期)—葛洲坝水利枢纽梯级调度规程》进行了修订,优化了汛期运行水位上浮机制,提高对城陵矶地区防洪补偿控制水位、中小洪水减压调度方式、汛末提前蓄水等调度指标。

在防洪方面,为进一步加强对城陵矶地区防洪作用,在确保荆江河段防洪安全前提下,在溪洛渡、向家坝水库配合下,将三峡水库对城陵矶地区防洪补偿控制水位由单库155 m进一步提高至联合调度模式下的158 m。具体调度方式为:当三峡水库水位高于155 m时,一般情况下不再对城陵矶河段进行防洪补偿调度,转为对荆江河段进行防洪补偿调度;如城陵矶附近地区防汛形势依然严峻,视实时雨情水情工情和来水预报情况,可在保证荆江地区和库区防洪安全的前提下,加强溪洛渡、向家坝等上游水库群与三峡水库联合调度,进一步减轻城陵矶附近地区防洪压力,对城陵矶防洪补偿调度水位原则上不超过158 m。

《三峡(正常运行期)—葛洲坝水利枢纽梯级调度规程(2019年修订版)》(以下简称2019版调度规程)中,提出将三峡水库防洪库容221.5亿m^3自下而上划分为三部分,分别为:第一部分145~158 m之间库容76.9亿m^3既对城陵矶进行防洪补偿,也对荆江进行防洪补偿;第二部分158~171 m之间库容105.4亿m^3仅用于对荆江进行防洪补偿;第三部分171~175 m之间库容39.2亿m^3对荆江特大洪水进行调节。

5.最新研究进展

2019年版调度规程主要考虑长江上游溪洛渡、向家坝水库配合作用。近年来,随着乌东德、白鹤滩等长江上游控制性水库逐步建成投运并纳入联合调度,长江支流金沙江下游4座梯级水库(乌东德、白鹤滩、溪洛渡、向家坝)与三峡水库组成巨型水库群,总防洪库容376亿m^3,占长江上游总防洪库容的78%左右,防洪能力巨大,显著改变了流域防洪调度格局。此时,金沙江下游4座梯级水库共同拦蓄金沙江洪水,配合三峡水库进行拦洪、削峰、错峰,为进一步提高三峡水库对城陵矶防洪补偿控制水位创造了有利条件。相关研究表明,考虑金沙江下游4座梯级水库配合作用,在确保荆江防洪安全和库区防洪安全的前提下,三峡水库对城陵矶防洪调度控制水位可由目前的158 m进一步抬高至158~163 m。

二、三峡工程典型年防洪作用分析

1.2016年长江中下游区域性大洪水防洪调度

2016年发生超强厄尔尼诺事件,受其影响,长江流域梅雨期降雨强度大,暴雨洪水严重,发生了中下游区域性大洪水。7月初,2016年长江第1号洪水和第2号洪水先后在长江上游和中下游形成,洞庭湖、鄱阳湖两湖湖区和中下游监利以下干流河段全线超警,主要站水位列有历史记录以来第5、第6位,清江、资水、鄂东北诸支流、巢湖水系和梁子湖等发生特大洪水,修水、饶河、水阳江等发生大洪水。2016年长江洪水呈现中下游干流水位高、高水位持续时间长、多条支流发生特大洪水等主要特征,中下游干流主要站超警时间在8~29 d。

7月1日,2016年长江第1号洪水在上游形成,三峡水库出现年最大入库洪峰流量50 000 m^3/s,针对此次洪水,三峡水库在保障自身防洪安全的前提下进行了拦洪调度,最大下泄流量31 600 m^3/s,削峰率最大为36.8%;7月3日,2016年长江第2号洪水在中下游形成,监利站以下干流全线超警,城陵矶地区莲花塘站水位直逼保证水位,为缓解中下游防洪压力,将三峡水库出库流量从31 000 m^3/s削减至20 000 m^3/s,成功实现了2016年长江第1号与第2号洪水错峰;7月中下旬,为缓解长江中下游汛情,三峡水库再次拦洪,最高调洪水位158.5 m。2016年汛期,三峡水库为中下游拦洪削峰累计拦蓄洪量98亿m^3,长江上中游大型水库共拦洪227亿m^3。2016年汛期三峡水库防洪调度过程见图1。

在2016年中下游区域性大洪水防御中,首次科学调度长江上中游30多座大型水库,精细化实施拦洪、削峰、错峰联合调度,三峡水库首次成功实施了对城陵矶地区防洪补偿调度,分别降低荆江、城陵矶、武汉以下河段水位0.8~1.7 m、0.7~1.3 m、0.2~0.4 m,避免了250 km的堤段超警,缩短荆江—汉口河段水位超警时间2~8 d,避免了城陵矶地区蓄滞洪区的启用。

2.2017年中游型大洪水防洪调度

2017年梅雨期长、雨带稳定、强度大,长江发生中游型大洪水,洞庭湖水系发生特大洪水,最大入湖合成流量75 500 m^3/s,最大出湖流量49 400 m^3/s,均排新中国成立以来第1位,鄱阳湖水系乐安河发生超历史纪录

洪水。洪水期间，长江流域共有183个站发生超警戒水位及以上洪水，其中超保证水位30个站，超历史纪录21个站；长江干流莲花塘站以下江段全线超警戒水位，其中莲花塘站和螺山站洪峰水位居历年最高水位第6位，洞庭湖七里山站发生超保证洪水，洪峰水位居第5位。

2017年长江第1号洪水期间，针对莲花塘站以下全线超警、莲花塘即将突破分洪水位的严峻形势，长江防汛抗旱总指挥部多次会商研判，启用以三峡水库为核心的上游水库群拦蓄水量，与洞庭湖水系水库一起实施对城陵矶地区的联合防洪补偿调度，长江上中游主要水库合计最大拦蓄水量150亿m^3，其中三峡水库拦蓄水量约69亿m^3，在34 h内分5次将下泄流量由27 300 m^3/s逐步压减至8000 m^3/s，拦蓄率超60%。2017年汛期三峡水库防洪调度过程见图2。

2017年的长江中游型大洪水上游来水不大，是洞庭湖来水异常突出的典型，以三峡为核心的上中游水库群实施对城陵矶地区的联合补偿调度，有效降低了洞庭湖湖区及中下游干流的洪峰水位，分别降低洞庭湖湖区及城陵矶河段、汉口河段、九江至大通江段洪峰水位1.0～1.5 m、0.6～1.0 m、0.3～0.5 m，缩短七里山站超保证水位时间6 d，缩短干流超警戒水位时间5～9 d，实现了城陵矶地区不超保证水位的调度目标，避免城陵矶地区分洪水量约42亿m^3。

3.2020年流域性大洪水防洪调度

2020年汛期，长江流域发生新中国成立以来仅次于1954年、1998年的流域性大洪水，干流出现5次编号洪水。其中，长江上游发生特大洪水，寸滩站洪峰水位超保证水位8.12 m，居实测记录第2位，三峡水库出现2003年建库以来最大入库洪峰流量78 000 m^3/s，中下游干流监利至大通江段主要站洪峰水位居有实测记录第2至第5位，马鞍山至镇江江段最高潮位超历史纪录，鄱阳湖发生超历史纪录水位的大洪水。

2020年长江洪水具有明显的阶段性，先是出现在中下游地区，而后上中游地区发生洪水，水库群的调度目标首先是对城陵矶附近地区实施防洪补偿调度，而后同时对荆江河段和城陵矶附近地区实施防洪补偿调度，最后兼顾三峡库区和中下游实施防洪调度。7—8月，长江流域控制性水库群总拦蓄洪水约267亿m^3，考

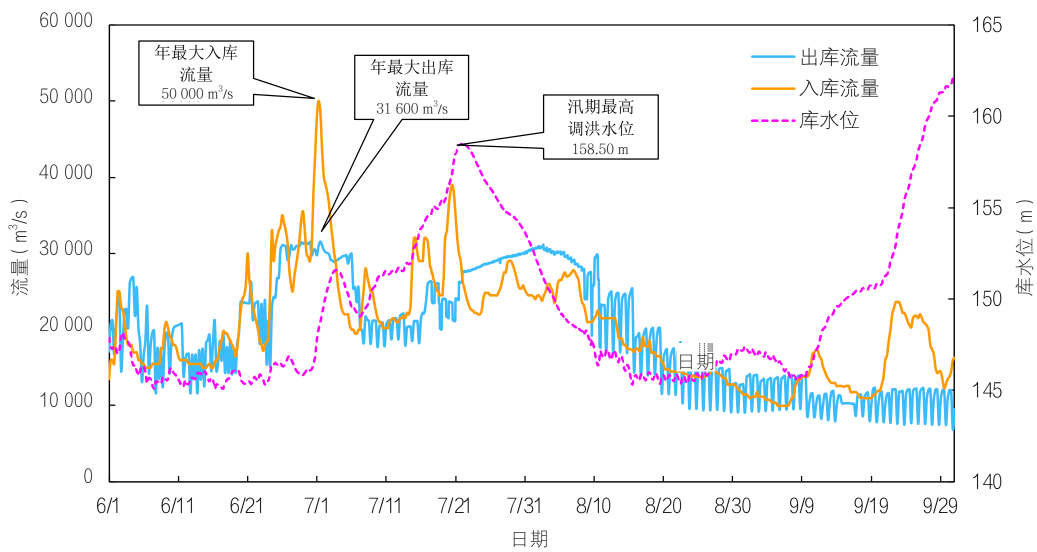

图1　2016年三峡水库汛期防洪调度过程

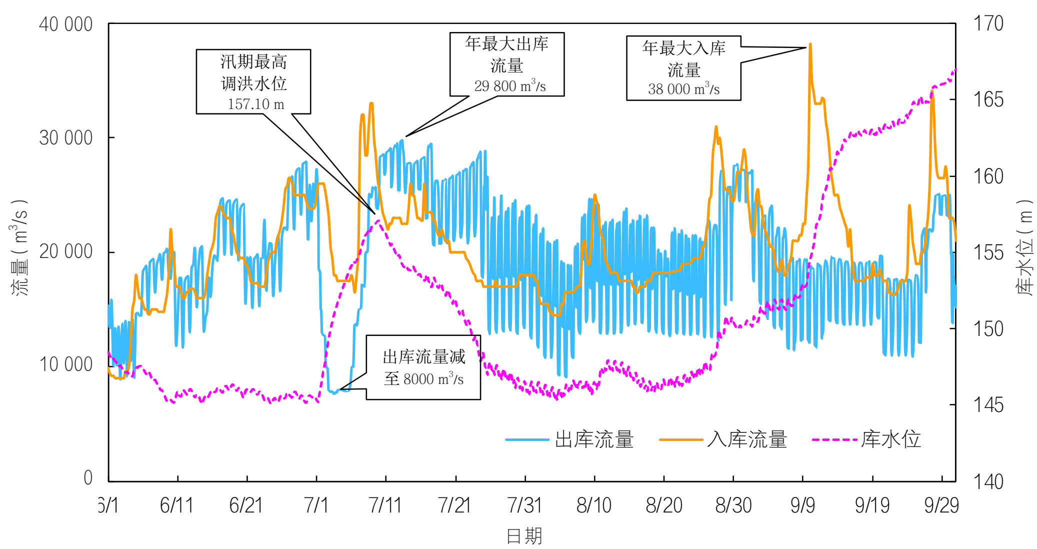

图2　2017年三峡水库汛期防洪调度过程

虑防洪库容的重复利用，累计拦蓄洪水约490亿m^3，其中三峡水库拦蓄洪水约250亿m^3。2020年汛期三峡水库防洪调度过程见图3。2020年长江第1号洪水期间，以控制干流莲花塘站水位不超保、降低鄱阳湖湖区水位为调度目标，利用三峡水库158 m以下库容对城陵矶附近地区进行防洪补偿调度，三峡以上水库群联合拦洪削峰，7月6日起将三峡出库流量自35 000 m^3/s逐步压减至19 000 m^3/s。整个调度过程中，上中游控制性水库拦蓄洪量约73亿m^3，其中三峡水库拦洪约25亿m^3，最大削峰率约34%。2020年长江第2号洪水期间，以尽量控制莲花塘站不超保证水位为目标，在保证荆江河段和三峡库区防洪安全的前提下，继续兼顾城陵矶附近地区防洪调度，长江上中游水库群拦蓄洪水约173亿m^3，其中三峡水库拦蓄洪水约88亿m^3。2020年长江第3号洪水期间，以三峡水库最高调洪水位不超过165 m、控制莲花塘站水位不超过34.9 m、避免启用蓄滞洪区为目标，科学调度三峡及其他干支流水库为洞庭湖洪水拦洪、错峰，长江上中游水库群共计拦蓄洪水约56亿m^3，其中三峡水库拦洪33亿m^3，最大削峰率达36%。在2020年长江第4号、第5号复式洪水期间，以减轻川渝河段及重庆市主城区防洪压力、降低三峡水库库尾淹没风险、保障中下游地区防洪安全为调度目标，调度长江上中游水库群全力拦洪，总拦蓄洪水约190亿m^3，其中三峡水库拦洪108亿m^3，实现将78 000 m^3/s入库洪峰削减至最大仅49 400 m^3/s下泄，最大削峰率达46%，最高调洪水位达167.65 m。

2020年流域性大洪水防御，是三峡水库建成以后长江流域上中游水库群实施的形势最复杂严峻、决策难度最高、联合规模最大的防洪调度。通过水库群联合运用，降低上游川渝河段干流洪峰水位2.9～3.3 m，降低中下游干流宜昌至大通江段最高水位0.3～3.6 m，缩短沙市—湖口站超保证时间5～29 d，缩短中下游干流各站超警时间8～22 d，避免了宜昌至石首江段超保证水位，以及荆江和城陵矶附近分洪区的启用。

4.2024年复杂形势下多目标防洪调度

2024年汛期，长江发生中下游型区域性大洪水。长江中下游梅雨过程典型，降雨强度大，暴雨叠加效应突出，鄱阳湖、洞庭湖洪水并发且全过程遭遇，干流发生3次编号洪水，华容县团洲垸大堤洞庭湖一线堤防发生决口险情，中下游干流监利以下河段及两湖湖区全线超警，主要控制站洪峰水位居有实测记录以来第7～9位，其中汉口站最高水位为21世纪以来第3位（仅次于2020年、2016年），还原后，大通站总入流最大30 d洪量约为40年一遇。

2024年长江暴雨洪水防御面临中下游干流监利以下河段全线超警、莲花塘站超保证水位、团洲垸堤防决口抢险、三峡库尾超土地线等复杂形势和多重调度目标，水利部长江水利委员会科学研判，精细调度长江流域控制性水库群。2024年长江第1号洪水期间，以三峡水库为核心的水库群对城陵矶地区进行防洪补偿调度，联合拦洪165.3亿m^3，其中三峡水库拦蓄73.9亿m^3，出库流量减至最小仅14 000 m^3/s。团洲垸抢险及2024

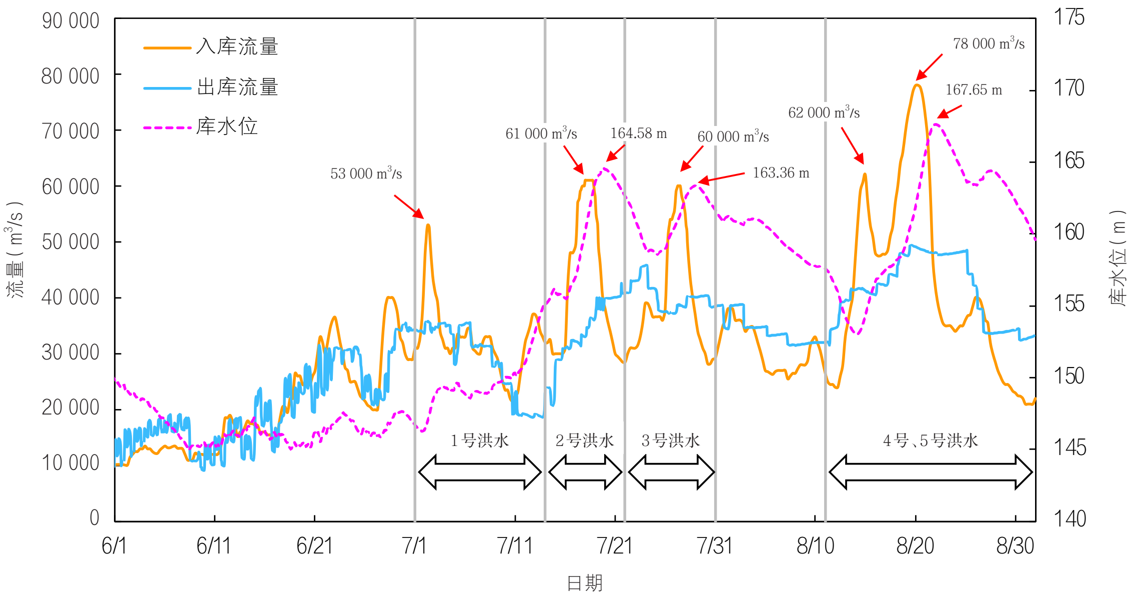

图3　2020年汛期三峡水库防洪调度过程

年长江第2号洪水期间，上游水库群累计拦洪68.5亿m^3，其中三峡水库拦洪52.8亿m^3，延迟增加出库流量，持续削峰拦洪，7月14日最高调洪水位166.55 m，居历史同期最高。2024年长江第3号洪水期间，为减轻城陵矶地区防洪压力，三峡水库出库流量压减至满发流量27 000 m^3/s。2024年汛期三峡水库防洪调度过程见图4。

2024年长江防洪调度是城陵矶防洪补偿、应急抢险、兼顾中下游减压与三峡库区防洪的复杂多目标无间歇调度过程，以三峡水库为核心的水库群充分发挥拦洪、削峰、错峰作用，取得了显著的防洪效益，降低中下游干流主要站洪峰水位0.4~3.1 m，避免了荆江、城陵矶附近地区蓄滞洪区和洲滩民垸的分洪运用，缩短了超警河段长度和超警时间，支撑了团洲垸险情处置，增加洞庭湖七里山站水位下降幅度0.3 m，使七里山站水位提前1天退出警戒，降低了抢险防守压力和堵口施工难度。

三、思考与建议

三峡工程建成投运以来，在历次洪水防御中发挥了巨大作用。随着长江上中游控制性水库群逐步建成运行，以及经济社会发展对防洪提出更高要求，三峡工程及其与上中游水库群联合防洪优化调度方式亟待继续深入研究，充分发挥以三峡工程为核心的长江水库群防洪作用。

1.开展三峡水库对城陵矶地区防洪实时预报调度方式深化研究

随着大规模水库群建成投产，流域防洪能力显著提升，可用于调节洪水的库容已超过700亿m^3，荆江河段的防洪安全得到保障，而城陵矶地区防洪具有洪水组成多样、江湖关系复杂、保护对象重要等特点，在长江上游控制性水库群已基本建成的背景下，城陵矶地区因距上游防洪控制性水库较远，区间集水面积大，暴雨洪水多发重发，已成为长江防洪的重点和难点。现有规程中，仅明确了三峡水库对城陵矶地区实施减压调度和防洪补偿时可拦洪运用的最高水位，三峡水库拦洪启动时机、下泄流量的控制方式等实时操作方案没有细化。因此，亟须在保障流域防洪安全前提下，基于现有调度规程，针对三峡水库对城陵矶地区防洪（补偿、减压）实时预报调度方式进行深化研究。

2.加强三峡和上游控制性水库防洪库容联合运用研究

随着水文气象预报水平持续提升，实时预报调度技术研究不断深入，金沙江下游梯级水库、三峡水库等的调度方式也在不断优化调整。截至当前，三峡水库现有规程或方案仍以单一水库调度为主，并未充分考虑上游水库群的联合拦洪能力，制约了流域联合防洪效益的发挥。随着上游控制性水库群陆续建成投产，其对洪水的调节作用更加凸显，亟待研究不同来水情景下上游水库与三峡水库防洪库容的互用关系，细化上游水库群影响下的三峡水库汛期调洪水位控制指标和调度方式，提高水库群联合防洪和水资源利用效益。

3.加强基于中长期预报的水库群调度策略研究与应用

随着长江流域水库群规模逐步扩展，对汛期洪水调控能力不断提升，加之水文气象预报预测水平不断提高，水库群调度经验不断积累，以及关于水库群联合调

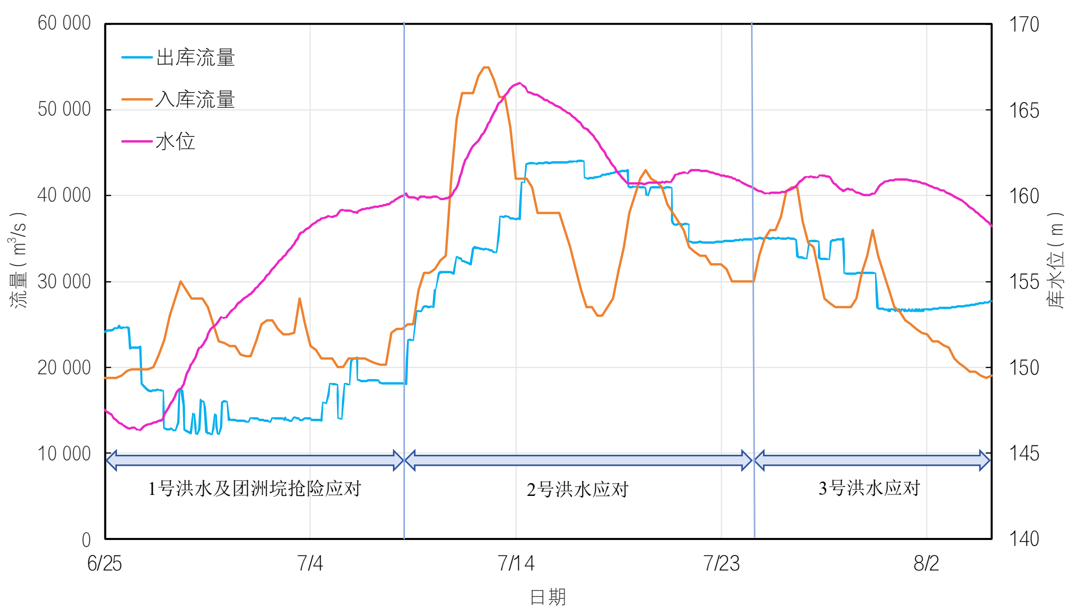

图4 2024年汛期三峡水库防洪调度过程

度方式的研究不断深入，对洪水的认识也从被动防御向洪水资源化利用转变。截至2024年，长江流域纳入联合调度的水库群已拓展至53座，总调节库容达1169亿m^3，流域水库群的综合调节能力进一步加强，如何在保障防洪安全的基础上充分发挥综合效益，中长期预报的作用越来越重要。因此，亟待充分挖潜中长期预测成果，加强基于中长期预报的水库群调度策略研究与应用，优化水库群梯级联合消落、主汛期动态控制、联合蓄水进程，更好地统筹防洪与水资源利用关系。

参考文献：

[1] 陈桂亚．三峡水库运行调度技术研究与实践[M]．北京：中国水利水电出版社，2013.
[2] 郑守仁．从2016年长江洪水看三峡工程防洪作用[J]．长江技术经济，2017，1(1)：38−42.
[3] 水利部长江水利委员会．长江流域防洪规划[R]．武汉：水利部长江水利委员会，2008.
[4] 水利部长江水利委员会．长江三峡水利枢纽初步设计报告(枢纽工程)[R]．武汉：水利部长江水利委员会，1992.
[5] 陈桂亚．长江上游控制性水库群联合调度初步研究[J]．人民长江，2013，44(23)：1−6.
[6] 魏山忠，王俊，郭生练，等．长江水库群防洪兴利综合调度关键技术研究及应用[M]．北京：中国水利水电出版社，2016.
[7] 水利部长江水利委员会．三峡水库优化调度方案[R]．武汉：水利部长江水利委员会，2009.
[8] 中国长江三峡集团有限公司．三峡(正常运行期)—葛洲坝水利枢纽梯级调度规程[R]．武汉：中国长江三峡集团有限公司，2015.
[9] 长江勘测规划设计研究有限责任公司．金沙江溪洛渡、向家坝水库与三峡水库联合调度研究[R]．武汉：长江勘测规划设计研究有限责任公司，2015.
[10] 中国长江三峡集团有限公司．三峡(正常运行期)—葛洲坝水利枢纽梯级调度规程(2019年修订版)[R]．武汉：中国长江三峡集团有限公司，2020.
[11] 水利部长江水利委员会.2024年长江流域水工程联合调度运用计划[R]．武汉：长江水利委员会，2024.
[12] 邹强，胡挺，肖扬帆，等．三峡水库对城陵矶防洪补偿控制水位研究Ⅰ——需求分析与优化条件[J]．人民长江，2024，55(1)：21−27.
[13] 邹强，胡挺，饶光辉，等．三峡水库对城陵矶防洪补偿控制水位研究Ⅱ——风险分析与运用方案[J]．人民长江，2024，55(2)：1−8+34.
[14] 金兴平．长江上游水库群2016年洪水联合防洪调度研究[J]．人民长江，2017，48(4)：22−27.
[15] 陈桂亚，廖鸿志.2016年三峡等干支流水库联合调度过程回顾与思考[J]．中国防汛抗旱，2016(5)：50−51.
[16] 龚文婷，邢龙，胡挺，等．新调度规程下三峡工程防洪综合效益分析[J]．水电能源科学，2021，39(10)：89−92.
[17] 李帅，高玉磊，杜涛，等．气候变化下三峡水库防洪调度方式优化与实践[J]．中国防汛抗旱，2018，28(11)：44−48.
[18] 马建华．2020年长江流域防洪减灾工作实践及思考[J]．人民长江，2020，51(12)：1−7.
[19] 金兴平．水工程联合调度在2020年长江洪水防御中的作用[J]．人民长江，2020，51(12)：8−14.

责任编辑　李博远