

三峡工程防洪与调度

蔡其华

(长江水利委员会,武汉 430010)

[摘要] 概述了三峡工程在长江流域防洪中的重要地位,简要介绍了《三峡水库优化调度方案》,结合 2010 年三峡工程实际防洪调度运行,分析了三峡工程的防洪调度效果,探讨了与水库防洪调度相关的几个问题,并对今后的工作提出建议。

[关键词] 三峡工程;防洪;调度

[中图分类号] TV697 [文献标识码] A [文章编号] 1009-1742(2011)07-0015-05

1 前言

三峡工程是长江治理开发的关键性工程,是长江综合防洪体系的骨干工程,在长江中下游防洪体系中占有重要地位。经过 17 年的建设,三峡工程已经建成,可以发挥规划的防洪、发电、航运等功能。2010 年汛期,三峡工程迎来了建成以来首次较大洪水的考验。通过精细调度、科学调控,三峡工程的防洪作用得到充分发挥,有效减轻了长江中下游的防汛压力,有力保障了长江中下游的防洪安全。

2 三峡工程在长江流域防洪中的地位

2.1 长江中下游的防洪形势

长江是一条雨洪河流,流域内雨量丰沛,多年平均年降水量约 1 100 mm,但地区分布差异较大,总的趋势是自东南向西北递减。降水量年内分配也不均匀,5—10 月的降水量约占全年降水量的 70%~90%。流域内洪水主要由暴雨形成,暴雨出现时间一般中下游早于上游,江南早于江北。由于暴雨发生季节的差异,一般年份干支流各河洪峰互相错开,中下游干流可顺序承泄中下游支流和上游洪水,不致造成大的洪灾。但如果气象异常,上下游、干支流洪水遭遇,就会形成大洪水或特大洪水;暴雨量大、历时长,则导致中下游干流洪水峰高量大,高水位持

续时间长。

中华人民共和国成立后,党和政府高度重视长江防洪问题,开展了大规模的防洪工程建设,并取得了巨大成就。特别是 1998 年长江大洪水后,国家投入大量资金又一次对长江干堤进行了全面加固,长江中下游的防洪能力有了较大提高。但是,仍然存在以下突出问题。

1) 长江的洪水来量远远超过中下游各河段的安全泄量。自 1153 年以来,宜昌流量超过 80 000 m³/s 的有 8 次。近代城陵矶以上干流和洞庭湖的汇合洪峰流量在 1931 年、1935 年和 1954 年均超过 100 000 m³/s,而目前的安全泄量,上荆江只有 60 000~68 000 m³/s,城陵矶附近约 60 000 m³/s,汉口约 70 000 m³/s,湖口约 80 000 m³/s。洪水来量大与河道泄洪能力不足的矛盾十分突出。

2) 在三峡工程兴建前,荆江河段遇特大洪水还没有可靠对策,可能发生毁灭性灾害。如果遇 1860 年或 1870 年型洪水,荆江河段运用现有荆江分洪工程分洪后,尚有 30 000~35 000 m³/s 的超额洪峰流量无法安全下泄。无论荆江南溃还是北溃,均将淹没大片农田和村镇,造成大量人口伤亡,特别是北溃还将严重威胁武汉市的安全。特大洪水的威胁仍然是心腹之患。

[收稿日期] 2011-05-20

[作者简介] 蔡其华(1955—),女,安徽蚌埠市人,教授级高级工程师,从事水利规划及流域管理工作;E-mail:caiqh@cjw.com.cn

3)长江中下游蓄滞洪区内人口多,安全建设滞后,实施分洪十分困难,一旦分洪损失很大。湖区及支流堤防工程仍存在薄弱环节和隐患,堤防缺乏必要的安全监测和抢险设备,技术手段落后,防洪形势依然严峻。

2.2 三峡工程的防洪地位

长江中下游防洪保护区面积 11.85 km^2 ,区内约有人口 0.97 亿人,耕地 6 750 万亩,有多处重要的商品粮基地,沿江有宜昌、荆州、岳阳、武汉、黄石、九江、安庆、芜湖、南京、上海等大中城市和武汉钢铁集团、宝山钢铁集团、江汉油田及一批大型化工厂、大型电厂等重要的工业企业,京广、京沪、京九、焦枝等铁路从区内通过,是我国精华地区之一。

三峡工程的第一任务是防洪。三峡水库正常蓄水位以下库容为 393 亿 m^3 ,其中防洪库容为 221.5 亿 m^3 。三峡工程具有控制长江上游洪水、削减洪水来量的优越地理位置,水库防洪库容较大,在保证中下游防洪安全中扮演着重要角色,是长江防洪体系中不可替代的主要组成部分。长江上游干支流水库至三峡坝址未控区间是我国著名的川西暴雨区,该地区的洪水是支流水库所不能控制的,必须利用三峡工程控制,从而有效控制荆江河段流量,解决荆江河段行洪安全问题。因此,三峡工程的防洪作用是上游干支流水库所不能替代的。

三峡工程建成后通过水库调蓄,长江中下游的防洪能力将有较大的提高,特别是荆江地区的防洪形势将发生根本性的变化。

1)荆江地区,若遇百年一遇及以下洪水,通过水库拦蓄洪水,可使沙市水位不超过 44.5 m ,不需启用荆江分洪区;遇千年一遇或 1870 年型洪水,可控制枝城流量不超过 $80\,000 \text{ m}^3/\text{s}$,配合荆江地区蓄滞洪区的运用,可使沙市水位不超过 45 m ,从而保证荆江河段与江汉平原的防洪安全。此外,由于水库拦蓄、清水下泄,使分流入洞庭湖的水沙减少,可减轻洞庭湖的淤积、延长洞庭湖的调蓄寿命。

2)城陵矶附近地区,通过三峡水库调蓄上游洪水,一般年份基本上不分洪(各支流尾间除外),若遇 1931 年、1935 年、1954 年和 1998 年型大洪水,可减少本地区的分蓄洪量和土地淹没。

3)武汉地区,由于长江上游洪水得到有效控制,从而可以避免荆江大堤溃决后洪水直趋武汉的威胁。此外,三峡工程建成后,武汉以上控制洪水的力量除了原有的蓄滞洪区容量外,还增加了三峡水

库的防洪库容 221.5 亿 m^3 ,大大提高了武汉防洪调度的灵活性。

3 三峡水库防洪调度及实践

3.1 三峡水库优化调度方案

三峡工程初期运用以来,防洪、发电、航运、生态及中下游用水等各方面都对三峡水库调度提出了新的要求。根据三峡工程建设委员会第 16 次会议精神,水利部及时组织长江水利委员会研究提出了《三峡水库优化调度方案》(以下简称《方案》),并于 2009 年 10 月经国务院批准实施。

《方案》在防洪调度方面,考虑到三峡工程初步设计主要采用的是对荆江河段防洪补偿调度方式,重点是防御荆江特大洪水,难以适应中下游地区的现实要求。因此在初步设计阶段研究基础上,通过拟订荆江与城陵矶不同补偿方式以及分析其对水库泥沙淤积、水库淹没等方面的影响,提出了在保证枢纽大坝安全和降低荆江防洪标准的前提下,合理兼顾对城陵矶防洪补偿的调度方式。

《方案》提出的对城陵矶防洪补偿调度方式,将三峡水库防洪库容 221.5 亿 m^3 自下而上分为三部分。第一部分库容约 56.5 亿 m^3 ,直接用于城陵矶地区防洪,相应库水位为 155 m ;第二部分库容约 125.8 亿 m^3 ,用于荆江地区防洪补偿,相应库水位为 171 m ;第三部分库容约 39.2 亿 m^3 ,用于防御荆江特大洪水,相应库水位为 175 m 。在遇到三峡上游来水不很大而城陵矶附近(主要是洞庭湖)来水较大,迫切需要三峡水库拦洪以减轻防洪压力的情况下,三峡水库运用预留的 56.5 亿 m^3 防洪库容(库水位 $145 \sim 155 \text{ m}$),按控制城陵矶(莲花塘)水位 34.4 m (保证水位)进行防洪补偿调度。在运用上,首先用第一部分防洪库容调蓄洪水,按控制城陵矶水位不超过 34.4 m 进行调度;蓄水至 155 m 后,即不再考虑城陵矶防洪补偿的要求,改按只考虑荆江地区的防洪补偿要求调度。蓄水至 171 m 后,则按遭遇特大洪水时荆江河段在分蓄洪措施配合下安全行洪进行调度。

3.2 2010 年三峡水库防洪调度实践

2010 年长江汛情具有降雨过程多、强度大,汛情来势猛、范围广,洪水涨幅大、超警戒水位多,洪灾类型多、损失重等特点。

2010 年汛期,在遵循《方案》的基础上,三峡水库调度运用增加了对中小洪水的调度实践。即“当

长江上游发生中小洪水时,根据适时雨水情和预测预报,在三峡水库尚不需实施对荆江或城陵矶河段进行补偿调度,且有充分把握保障防洪安全时,三峡水库可以相机进行调洪运用”。

为应对2010年长江主汛期5次洪水过程,三峡水库实施了5次拦洪调度,累计拦洪230多亿 m^3 。第一次在6月中下旬,两次集中强降雨先后导致两湖水系多条河流水位超警戒水位,三峡水库于6月20日开始拦蓄长江上游洪水,以减轻中下游防洪压力,库水位抬高约5 m,最高达到149.83 m,拦蓄洪水20多亿 m^3 。第二次在7月中旬,由于上旬长江中下游地区发生集中降雨,水位迅速上涨。7月11日,三峡水库最大入库流量达38 500 m^3/s ,控制下泄流量32 000 m^3/s ,削减洪峰流量6 500 m^3/s ,库水位抬高约4.5 m,最高达到149.6 m,拦蓄洪水20多亿 m^3 。第三次在7月20—22日,三峡水库入库洪峰流量达70 000 m^3/s ,通过控制下泄流量,为下游防洪削峰约30 000 m^3/s ,库水位迅速上涨,22日19时上升至158 m,拦蓄洪水约73亿 m^3 。第四次在7月24—30日,受长江上游嘉陵江等支流的强降雨影响,24日三峡入库流量开始转涨。为腾空库容迎接新的洪峰,三峡水库加大下泄,27日库水位降至156 m。28日高达56 000 m^3/s 的洪峰抵达三峡大坝,三峡水库控制下泄流量在40 000 m^3/s 左右,库水位连续攀升,30日凌晨3时达到160.23 m,创2010年汛期水位新高,拦蓄洪水约24亿 m^3 。第五次在8月21—27日,受上游强降雨影响,三峡入库流量出现转涨,入库超过出库,三峡水库按25 000 m^3/s 流量控泄,水库水位从147 m上升至160 m以上。综合考虑减轻库尾泥沙淤积以及未来可能出现的降雨过程,8月27日三峡水库下泄流量逐步加大至30 000 m^3/s ,之后按30 000 m^3/s 控泄。此次洪水,三峡水库拦蓄洪水80多亿 m^3 。

2010年汛期,通过科学调度三峡水库,有效避免了长江上游洪水与中下游洪水叠加给沿岸造成的安全威胁,缓解了中下游地区的防洪压力。比如,7月20日8时,三峡迎来建库以来最大的入库流量70 000 m^3/s ,长江防汛抗旱总指挥办公室通过滚动会商、精细调度,将三峡水库下泄流量控制在40 000 m^3/s ,削减洪峰流量30 000 m^3/s ,削峰40%以上,降低长江中游干流沿线水位0.45~2.55 m,使中下游河段特别是沙市和武汉河段未超警戒水位,中下游干流堤防无一处险情发生,长江中下游的

防汛压力得到有效缓解。如果没有三峡水库拦洪削峰,这次洪水过程将使沙市和城陵矶的洪水位接近保证水位,沿线将需要调配大量的人员巡堤查险,防洪的压力、消耗与风险将明显增大。

2010年三峡水库调度运用在遵循《方案》的基础上,通过对中小洪水的科学精细调度,较大地发挥了三峡工程的防洪、发电、航运、枯期补水等综合效益,为长江中下游地区的经济社会发展提供了安全的环境,其社会效益、经济效益无疑是巨大的。2010年三峡防洪调度合理兼顾了对城陵矶防洪补偿,这一有益尝试为进一步优化三峡水库防洪调度方式积累了宝贵经验。

4 三峡水库防洪调度相关问题探讨

4.1 关于三峡水库入库洪水与动库容调洪

水库调洪计算的方法一般可分为坝址洪水静库容法和入库洪水动库容法。三峡水库入库洪水与坝址洪水相比,具有洪峰峰值增大、出现时间提前、洪量集中等特点。动库容能较好地反映洪水进入水库后蓄水量的实际情况,但动库容除与库区河道地形有关外,还与入库洪水类型及组成、调度方式、坝前水位、水库特性等因素有关,影响因素复杂。

三峡水库动、静库容调洪均可满足设计阶段水库调度计算的要求,但水库建成后,楔形库容是客观存在的,在今后的水库调度中应积极完善三峡入库洪水动库容调洪计算模型。入库洪水过程线由回水末端的入库洪水与水库区间洪水两部分组成,应进一步增加对区间洪水的观测,以获得准确的水库洪水资料。

以往对动、静库容调洪的研究已经说明,遇百年一遇、千年一遇洪水时虽然三峡水库的动库容拦洪量小于静库容拦洪量,但枝城的最大流量在百年一遇洪水时均为56 700 m^3/s ,千年一遇洪水时均小于80 000 m^3/s ,且三峡最高水位控制在175 m,亦即三峡水库221.5亿 m^3 防洪库容是偏安全的。即使采用动库容调洪,也能够达到规划制定的防洪要求,从而满足长江中下游整体防洪体系的需要。

目前,长江水利委员会已建立三峡水库MIKE11水动力学预报调度模型,模型采用水动力学方法,模拟库区水面线的变化来实现动库容的调洪计算。在2010年三峡水库防洪运用的实践中,对动、静库容调洪进行了对比研究,计算成果与实测吻合较好。从实际应用效果来看,动、静库容调洪具有

较好的精度,均可满足水库调度的要求。如要进一步考虑水库调度后库区水面线的实际情况,则需要采取动库容调洪方法。因此今后还需在资料积累的基础上,不断完善动库容调洪模型,并考虑适当增加入库控制站,以获取相对准确的入库洪水资料。

4.2 关于水库蓄水对重庆河段泥沙冲淤及回水的影响

随着长江上游干支流水库的逐步建成,三峡入库泥沙的减少对减轻库尾特别是重庆市主城区段的泥沙淤积有较大作用。但水库蓄水也会相对增加重庆河段泥沙淤积,特别是对于大水大沙年或小水中沙年的水库蓄水方式需要进一步研究,并持续加强观测。

天然情况下,重庆主城区河段年内演变规律一般表现为“洪淤枯冲”。在三峡水库围堰发电期和初期运行期,重庆主城区河段尚未受三峡水库壅水影响,属自然条件下的演变。

试验性蓄水期重庆主城区河段受三峡库区蓄水影响较小。2008年9月—2010年6月,全河段淤积泥沙295万 m^3 ,淤积主要集中在长江朝天门以下河段;2010年6月11日—9月5日,全河段淤积泥沙244.6万 m^3 。从冲淤分布来看,长江干流朝天门以上、以下河段分别淤积泥沙127.9万 m^3 、131.7万 m^3 ,嘉陵江段则冲刷泥沙15万 m^3 。

据三峡水库试验性蓄水的观测资料分析,当三峡坝前水位低于160m时,寸滩以上库段基本不受三峡水库蓄水影响,9月中旬—10月中旬重庆主城区河段仍然保持较强的走沙能力,泥沙主要淤积在清溪场以下库段。汛后当三峡坝前水位超过160m时,壅水逐渐影响到主城区河段,特别是当坝前水位超过162m时,朝天门以上河段受壅水影响明显。随着坝前水位的逐渐抬高,重庆主城区河段天然情况下汛后河床冲刷较为集中的规律则被水库充蓄、水位壅高、流速减缓的新情况所改变,河床也由天然情况下的冲刷转为以淤积为主。汛后的河道冲刷期相应后移至汛前库水位的消落期,随着坝前水位的逐渐消落,重庆主城区河段逐渐恢复天然状况,河床逐步转为以冲刷为主。

由于目前泥沙观测时间尚短,对于库尾局部淤积碍航规律还需进一步观测验证。从数学模型分析结果看,对于大水大沙年或小水中沙年还应注意水库蓄水方式,尽可能增加汛后走沙的时间。随着长江上游干支流水库的逐步建设,三峡入库泥沙将减

少更多,库尾段(特别是重庆市主城区段)的泥沙淤积情况得到很大改善,同时明显降低变动回水区洪水水位。

4.3 关于三峡水库对城陵矶防洪补偿调度

为充分发挥三峡水库的防洪作用,三峡水库对城陵矶补偿调度是必要的,也是现实可行的,且随着上游水库的建成,对城陵矶补偿预留的防洪库容还有条件进一步增加。

2010年汛期,根据长江中下游防洪形势和现实需求,三峡水库5次拦蓄洪水,充分发挥了防洪作用。虽然2010年汛期三峡水库尚未按控制城陵矶(莲花塘)水位34.4m进行防洪补偿调度,但从三峡水库的控制调度过程和效果看,兼顾对城陵矶的防洪补偿调度方式是现实可行的。

三峡水库兼顾对城陵矶防洪补偿调度,只要科学合理地设置好对不同地区补偿的库容,拟定合理的调度方案,在现阶段长江水文预报技术水平基础上,可以做到既不影响荆江地区设定的防洪标准,又进一步降低城陵矶的洪水水位。

实施城陵矶防洪补偿调度,汛期三峡水库蓄水几率将增加,在一定程度上可能增加库区泥沙淤积。自有实测资料以来,城陵矶水位超过34.4m的年份较多地出现在20世纪末及21世纪初(分别为1996、1998、1999、2002年等年份),经对20世纪以来的洪水年份进行还原后推算,按城陵矶(莲花塘)水位34.4m为控制补偿调度,三峡水库平均约10年运用1次。分析表明,三峡水库采用对荆江或对城陵矶补偿调度方式对库区泥沙的淤积总体上差别很小。

鉴于上游已建和在建许多水库拦沙和水土保持减沙的作用使得三峡入库泥沙减少,以及随着经济社会发展长江中下游分洪损失越来越大等情况,在既保证荆江河段防洪目标的实现,又不增加库区淹没的基础上,充分利用三峡水库的防洪潜力,在长江中下游遇到大洪水,中下游防洪形势较为严峻时,三峡水库对城陵矶进行补偿调节,减少中下游的分洪量,减轻中下游防汛压力,是十分必要的。汛期洪水调度过程中,根据水情预报,推算的长江中下游干流主要控制站2~3天的水位误差基本上在厘米级,并通过滚动预报和分析不断进行校验修正,为三峡水库高效发挥控泄作用、取得比较理想的防洪效果提供了保障,使三峡水库的防洪调度达到了比较精细的程度。从现阶段各控制站水文预报的技术水平的

保障看,城陵矶防洪补偿调度是可行的。今后,应结合上游水库的不断建成,深入研究对城陵矶补偿的控制运用条件以及进一步扩大第一部分防洪库容的可能性,充分发挥三峡水库对一般洪水的防洪作用,同时深入研究对一般洪水调度水库蓄水几率增加后的水库泥沙淤积及下游的冲刷问题。

4.4 关于三峡蓄水对长江中下游水文情势的影响

三峡水库对径流的调节与拦沙后清水下泄对长江中下游及两湖水情会带来影响。清水下泄是一个长期不断发展的过程,对中下游蓄泄关系、江湖关系的影响需要进一步加强观测与研究。当前应特别关注水库蓄水对中下游特别是两湖的影响。

三峡工程建成后,长江年入海总水量没有改变。由于水库调蓄作用,中下游9—11月多年平均流量较建库前减小,12月—次年5月下泄流量有所增加,尤以最枯季节增幅较大。受此影响,长江中下游干流低水位出现时间提前,持续时间增长,年最低水位平均值有所抬高;因水库蓄水及荆江河道冲刷影响,致荆南三口洪道断流时间提前,断流天数增加;蓄水期间,洞庭湖、鄱阳湖区及汉江等支流下游水位不同程度地受到干流水位降低的影响。

由于三峡水库蓄水集中在9月和10月,拦蓄水量相对较大,中下游干流10月平均水位较天然情况降低。如遇来水偏少年份,与三峡蓄水影响相叠加,中下游水文情势改变将更加突出。同时,干流水位降低导致两湖出流加快,相应湖区水位下降,使得两湖枯水期有所提前,枯水时段延长。

三峡水库运用后,因水库拦截大部分泥沙,相当长时期内出库泥沙将有较大幅度的减少。清水下泄导致坝下游河道发生长期、长河段的冲刷,冲刷强度从上段向下段逐步发展。由于中下游河道各河段在各个时期冲淤程度不同,各河段泄流能力可能发生不同的变化,相应引起水位的变化。

5 建议

1) 加强三峡工程投运后对长江中下游的影响及对策研究。鉴于上游来水来沙、坝下游河道冲淤、江湖关系变化等的不确定性以及三峡工程蓄水运用后对长江中下游的影响有一个逐步发展的过程,加之三峡工程对防洪、河道、供水、灌溉、生态环境等方面的影响还需不断地深入认知,因此,需加强对长江中下游的专门监测和分析工作,不断深化三峡工程运用后对长江中下游河势变化、江湖关系的影响及对策研究。

2) 加强三峡水库综合利用及优化调度研究。三峡工程投入运行后,遇特殊干旱年份对中下游用水和长江口段压咸等方面的作用与影响,以往研究不够。今后随着长江流域内用水量以及跨流域调水量的增加,防洪、发电、供水、航运和生态等各方面矛盾可能进一步加剧。应加强研究,及时调整和优化调度运用方式,并研究缓解此类问题的对策措施,提高三峡水库综合利用效益。

3) 加强三峡与长江上游干支流水库统一调度研究。需优化和完善水库群统一调度方案,加强中长期径流预报和汛限水位动态控制技术研究,合理安排上游干支流水库群的蓄、泄水时机,充分发挥上游干支流水库群对长江中下游的防洪作用和整体综合效益。

4) 建立以三峡水库为骨干的水库群联合调度运行保障机制和政策。水库群的联合调度将增强流域水资源的优化配置能力,拓展流域综合效益,建议建立跨地区、跨部门的协调机制、应急机制和补偿机制,在国家层面制定促进长江上游水库群联合调度运行保障机制和政策,确保三峡工程及上游水库群能够充分发挥综合效益。

(下转 37 页)