

三峡水库综合利用调度关键技术研究与实践

刘丹雅, 纪国强, 安有贵

(长江水利委员会长江勘测规划设计研究院, 武汉 430010)

[摘要] 为全面提升三峡工程的综合利用效益,三峡水库蓄水以来对规划设计的水库调度方式进行了优化研究与实践。文章对其关键技术进行分析总结,主要有协调防洪、发电、航运、供水和生态等多目标需求的技术、调度风险控制技术、调度决策优化技术、编制调度规程以规范调度工作等。通过分析以寻求不断完善三峡水库综合利用调度方式的路径,力求实现三峡工程效益最优,成为环境友好且对社会公益性贡献突出的跨世纪宏伟工程。

[关键词] 三峡水库;综合利用;优化调度决策;风险控制

[中图分类号] TV697 [文献标识码] A [文章编号] 1009-1742(2011)07-0066-04

1 前言

三峡工程具有防洪、发电、航运和枯期向下游补水等巨大的综合利用效益,其水库调度运用是实现这些效益的重要手段。三峡水库正常蓄水位为175 m,有防洪库容221.5亿 m^3 ,兴利调节库容165亿 m^3 ,具有年调节能力。三峡水库蓄水运用以来,为提前、高效、全面发挥三峡工程的综合效益,实现蓄水175 m的目标,结合水库蓄水运用的实践,开展了一系列水库调度运用方案的深入研究和优化工作以及调度规程编制工作,为三峡工程的科学调度运用提供了技术支撑,对推进三峡工程全面发挥效益起了重要作用。

2 三峡—葛洲坝梯级调度规程编制

2003年6月三峡工程开始蓄水至135 m,实现围堰发电及通航,这标志着三峡工程从勘测设计、建设走向运用且逐步发挥效益的阶段。编制调度规程、规范调度运用工作是做好调度运用的重要一环。长江水利委员会长江勘测规划设计研究院负责了调度规程编制的起草工作。

1) 规程适用阶段的划分。按工程运用时段划分编制相应规程;根据三峡工程“一级开发,一次建成,分期蓄水,连续移民”的建设方针和工程总体施工安排,三峡工程运用要经历围堰发电期、初期运行期、正常运行期等时期。由于各时期工程具备的条件、综合利用任务、调度运用都有明显不同,调度规程也按上述3个时期分别编制。随着三峡工程的建设进程,已编制了围堰发电期规程、初期运行期(水位156 m、2007年修订版)规程。为了指导175 m试验蓄水期调度,2009年编制了《三峡水库优化调度方案》(以下简称《方案》)。按照上述规程与《方案》,三峡工程取得了巨大的效益。针对三峡工程建设的特点,按运用时段分别编制相应规程的方法不但较好地协调了综合利用各方面的要求,也较好地协调了工程建设与初步发挥效益的矛盾,为调度规程逐步完善和提高、形成正常运行期规程打下了坚实的基础。

2) 与葛洲坝水利枢纽的关系。在流域规划及葛洲坝、三峡工程的设计文件中,都明确指出:有了三峡工程以后,葛洲坝枢纽的主要任务是进行反调节,以适应航运需要,同时兼顾发电。规程编制把三

[收稿日期] 2011-05-12

[基金项目] “十一五”国家科技支撑计划项目(2008BAB29B08);水利部公益性行业专项经费项目(200801035)

[作者简介] 刘丹雅(1954—),女,湖南新田县人,教授级高级工程师,主要从事水利水电规划、水库调度等方面的研究;

E-mail: liudanya@ejwsjy.com.cn

峡—葛洲坝梯级作为一个整体,编制了梯级调度规程,规定了两枢纽联合调度的原则、方式等,也包含葛洲坝枢纽调度的主要控制条件。

3) 规程的内容。主要包含保障安全所需要的对枢纽运行控制指标的规定、对建筑物安全监测规定、水文气象保障方面的内容;发挥防洪、发电、航运效益的调度内容;规范调度工作所需进行各方面管理的内容和加强各方面运行管理的原则要求等。三峡工程调度运用涉及面广、影响范围大,规程在总则中明确了调度权限、协调机制、管理方式、执行程序等重大问题。

4) 全面协调各方面关系。三峡工程调度运用要统筹考虑防洪、发电、航运、枯期向下游供水等综合利用任务和水库的长期利用;水库对水资源调配要兼顾生态和下游用水需求;库水位变动需考虑库区地质灾害防治的要求等多方面;建设期还需结合工程建设的条件,协调初步发挥效益与施工建设安全。三峡—葛洲坝梯级调度规程是全面协调各方面需求、规范调度管理的重要文件。规程对协调各方面需求的一些重大问题加以明确,制定了相应的条款,以便在处理调度中出现的矛盾时有所遵循。如施工期滞洪措峰的防洪调度方式、汛期日常运行水位问题、汛末蓄水调度方式、电站调峰与航运要求等。

在《方案》中,还根据工程运用兼顾了供水、生态等需求,明确了水资源调度也是三峡水库的调度任务之一,规定了提高三峡综合效益的防洪调度(明确对城陵矶补偿调度的安排)、汛期水位控制运用、兼顾下游用水的提前蓄水调度方式、考虑枯期供水和库岸稳定的水库消落方式等。

5) 调度专题研究是重要的技术支撑。规程的编制建立在大量专题研究基础上,每个阶段的调度规程都结合三峡工程当时的运用条件、各方面的要求,列出相应专题开展研究。正因为有大量研究成果的技术支撑,加上防洪、发电、航运和运行管理等部门参与了规程的编制工作,才使规程具有较强的可操作性。

3 提高三峡工程效益的专题研究

3.1 围堰发电期提前发挥补偿航运流量调度方案

长江是我国的“黄金水道”,航运事业发展非常迅速。尤其是三峡工程建成后,淹没滩险,加大枯期下泄流量,使三峡工程上下游航道条件大为改善。

三峡坝下游的葛洲坝枢纽受三峡水库下泄流量的补偿,可以较好地解决因坝下游河床冲刷下切而减小引航道内水深,从而影响过闸船舶通行的问题。

根据葛洲坝船闸运行的条件,在枯水期遇来水较少的年份,需要三峡水库进行下泄流量的补偿。但在围堰发电期,初步设计安排库水位维持 135 m 运行,水库无调蓄能力。如何应对围堰发电期遭遇枯水的情况,需针对三峡工程正处在施工阶段的建设条件,研究水库汛后适当抬高蓄水位的调度运行方式,发挥对航运流量的补偿作用,以改善葛洲坝下游枯水期通航条件。

围堰发电期利用三期围堰挡水发电,汛期 100 年一遇洪水保堰水位为 139.8 m,堰顶高程为 140.0 m,其上设有高 1.5 m 的防浪墙。根据围堰运用条件,利用汛期度汛库容,水库可在汛后蓄水至 139.0 m,库水位 135.0 ~ 139.0 m 有库容 18.4 亿 m^3 。枯水期可利用这部分库容来补偿航运流量,提前发挥三峡水库改善航运条件的作用。

2003 年,在确保工程施工安全和增加少量投资的情况下,研究提出了《三峡(围堰发电期)水库汛后蓄水至 139 m 补偿枯水期航运流量调度方案》。在蓄水前完成了相关工程加固措施和移民安置工作后,2003 年 11 月实施了汛后蓄水至 139 m 的方案,枯水期水库具备了宝贵的调蓄能力,使三峡工程在围堰发电期就开始向下游补水调度,有效应对枯水时可能出现下游航深不足的情况,提前发挥了三峡水库改善航运条件的作用。利用这部分调节库容,可增加枯期平均下泄流量约 230 m^3/s ,同时抬高了枯期运行水头,增加了围堰发电期电站的电量、容量效益,并有利于机组安全稳定运行,围堰发电期(2003 年汛后—2006 年汛前)累计增加发电效益约 40 亿 $kW \cdot h$ 。

3.2 汛期水位运行方式研究

根据长江中下游防洪的需要和水库“蓄清排浑”的要求,初步设计报告中安排三峡水库汛期(6月中旬—9月底)按汛期防洪限制水位 145 m(以下简称汛限水位)运行,以保证在发生洪水时,有足够的防洪库容进行防洪调度。当发生较大洪水时,水库拦蓄洪水,水位升高;洪水过后,库水位逐步降至汛限水位,腾空库容,以迎接下一场洪水,同时有利于排泄泥沙、控制水库淤积。

根据工程运行操作的需要(如闸门启闭时效、来水预报误差、日调节需要等),并为利用汛期水资

源提高工程发电效益和改善电站机组运行条件,须研究在确保防洪安全的前提下,在汛限水位之上设置一定的水位上浮运行范围。在尚未来洪水时,库水位可上浮运行,在预报来洪水时,采取预报预泄的调度方式,使库水位降至汛限水位。由于在预报来洪水前须预泄一定的水量,抬高了下游水位,故要研究不增加长江中下游防洪压力的控制条件。

三峡水库的首要任务是防洪,汛期水位上浮运行方式研究的关键技术是控制防洪风险。为确保防洪安全,该方案上浮运行水位范围的选择原则为,预泄后:a. 保证不影响三峡工程防洪作用的发挥,即

要能保证在洪水到来前库水位降至汛限水位;b. 尽量不增加中下游防洪负担,即水库上浮运行及预泄至汛限水位期间,下游防洪控制站沙市、城陵矶站水位距堤防警戒水位(该水位是我国防汛部门规定的各江河堤防需要处于防守戒备状态的水位)有充足的余地,也就是下游河道要留有承接预泄水量的空间,以使水库预泄后,上述控制站水位仍可保持在安全状态。根据上述原则,对不同典型的洪水进行模拟计算,以预泄后下游控制站水位不超过允许的安全水位来反推三峡水库可上浮运行的水位。水库上浮运行调度方式如图1所示。

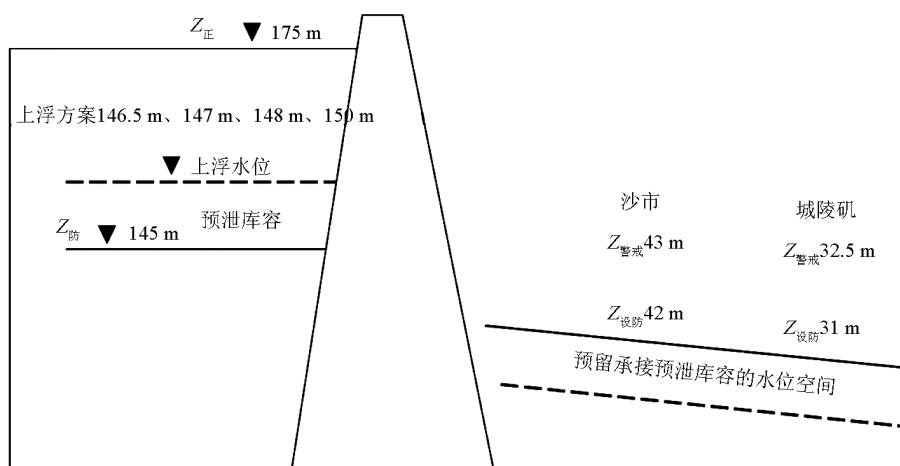


图1 三峡水库水位上浮运行调度方式示意图

Fig. 1 Regulation mode of up-floating water level of Three Gorges Reservoir

水库上浮运行调度方式以下游控制站水位和上游来水作判别条件,动态控制水位上浮的最高水位、预泄时机、流量,该调度关键技术确保了防洪安全,使防洪风险在可控范围内。这种以下游防洪控制站水位所处的状态来决策实时调度时水库上浮运行的水位,为洪水组成复杂、下游防洪目标重要的三峡水库找到了可操作的有效调度方式,同时也为大江大河上防洪任务重的水库如何利用汛期水资源提供了可借鉴的经验。

随着水文预报水平的逐步提高,留给水库预泄的时间可延长,预泄时平均增加的泄流量可相对减少,对下游水位的影响将减小,利用汛期水资源力度还可加大。以下游控制站水位和上游来水作判别条件,动态控制水位上浮的最高水位,采取预报预泄的运行方式较好地实践了洪水资源化的理念,合理可行,稳妥安全,基本不增加下游的防洪负担。按已实施的汛限水位上浮 1.5 m 的调度方案,可增加年均

发电量 1 亿 ~ 4 亿 $\text{kW} \cdot \text{h}$ 。

4 协调多目标蓄水调度方式研究

三峡水库汛后蓄水至正常蓄水位 175 m 是保障三峡工程综合利用效益发挥的控制性指标。初步设计阶段考虑防洪和泥沙,安排水库汛后(10月1日后)由汛限水位 145 m 开始蓄水,按发电和下游航运要求,蓄水期间下泄流量按不低于电站发出保证出力相应的发电流量控制。由于三峡水库汛后蓄水水库容达 221.5 亿 m^3 ,蓄水量大,蓄水期间下泄流量一般比来量减少较多,而三峡工程地处经济发达地区,加上汛后天然来水减少和中下游旱情多发,水库蓄水与下游各用水要求之间会出现较大的矛盾。近年来,航运流量补偿、下游取水与抗旱、两湖(鄱阳湖、洞庭湖)补水需求、防范长江口咸潮入侵等对三峡水库汛后蓄水期及枯水期下泄流量有了更高的要求。中下游各用水及航运、发电部门希望蓄水前后

三峡水库下泄流量变化尽量平稳,并要求提高三峡水库蓄水期间的最小下泄流量。

三峡水库汛末蓄水调度是多目标需求最为集中的调度时段,针对蓄水与下游用水矛盾,研究在确保防洪安全和对泥沙影响不大条件下,利用汛末洪水资源,水库开始兴利蓄水的时间比原初步设计适当提前。在来水较好的9月中下旬,先拦蓄部分库容,拉长蓄水过程,以提高蓄水期间水库的下泄流量,减小水库蓄水对各用水方面的不利影响,保证水库蓄满率及保障枯水期调蓄能力。水库提前在汛期开始蓄水,主要涉及水库的防洪和走沙等问题,同时由于改变了初步设计的调度方式,还需分析水库淹没等方面的约束条件。要解决的主要问题是控制防洪风险和减轻对库尾淤积的影响。研究的主要方面有:

1) 汛期洪水特性分析。针对三峡水库控制流域面积大、洪水组成复杂和洪水分期不明显的特点,采用根据历史统计资料和对上游支流分期洪水分析,研究提出三峡水库具有9月中旬后洪水量级明显小于主汛期的特性,并据此跨期选样,设计9月中旬后的洪水,为汛期分段采用不同调度方式提供了水文基础依据。为考查蓄水时的防洪安全,9月中旬前仍采用设计的全年洪水,9月中旬后采用设计的9月中旬后的洪水。

2) 分时段拟定调度控制参数。为减少9月开始蓄水对防洪、泥沙淤积的影响,研究分时段控制蓄水位上升进程,设定9月底水库最高控制蓄水位。该水位设定一方面要考虑控制防洪风险,即当库水位已上蓄到某一水位,且又遭遇上游发生洪水时,在此水位下,水库实施防洪调度要确保中下游防洪安全和大坝安全;另一方面为减轻对库尾泥沙淤积的影响,分析当水位蓄到某水位时,水库回水会影响到库尾,在此水位下,水库走沙影响有多大,是否会造成局部淤积等问题。分段控制下泄流量,根据下游用水需求的特性,分析水库蓄满率与下泄流量的关系,研究分时段控制水库蓄水期间的下泄流量,分别设定9月、10月、11月的水库下泄流量控制值。

3) 汛期水位上浮与汛末蓄水相结合。针对三峡水库蓄水期间可能遭遇的上下游来水均枯的情

况,水库采取9月上旬先按汛期水位上浮稍大的方式运行,水库预蓄一部分,接着汛末蓄水,该蓄水方式可较好应对各种来水情况,实现了在确保防洪安全的条件下有效地利用水资源的目标。

4) 控制风险的调度措施。包括以下游水位和来水预报为开始蓄水的判别条件等防范风险的调度措施,即上游来水少,下游水位低时,可进一步提前蓄水;反之,将在洪水过后开始蓄水调度。该判别条件可有效应对发生洪水或旱情等不同来水情况。

5) 协调多目标需求的汛末蓄水调度方案。分析水库蓄水任务,比较不同下泄流量要求下的水库蓄满率,研究利用汛末水资源提前蓄水对防洪和泥沙的影响,以及应对措施。综合分析拟定汛后提前蓄水的起始时间、下泄流量控制条件、水库水位逐步抬升的控制时段和9月底控制蓄水位,提出动态控制的蓄水方案。

优化蓄水调度方案与初步设计方案相比,10月蓄水期间的下泄流量可增加约 $2\ 000\ \text{m}^3/\text{s}$;在蓄水期间下泄流量提高的条件下,水库蓄满率仍可保持在90%左右;提高水资源利用率,可增加年发电量9亿~12亿 $\text{kW}\cdot\text{h}$ 。2010年三峡水库实施了优化蓄水调度方式,在较好地满足下游用水的条件下,水库成功实现了蓄水175 m的目标,开始全面发挥最终规模的综合利用效益。

5 结语

三峡工程投运以来,各用水部门结合运用环境变化,在提高综合利用效益、保障供水安全和维护河流生态方面,对水库调度提出了更新、更高的要求。围绕这些方面开展了大量的协调多目标需求的综合利用调度运用方式研究。除上述关键技术研究涉及的调度方面外,还对三峡水库防洪补偿调度方式、枯水期供水及生态调度方式等进行了研究与实践。这几年的运用实践表明,通过运用不断分析总结,逐步研究完善三峡水库综合利用调度方式,可使三峡工程实现科学调度,取得巨大的综合利用效益。

(下转 84 页)