doi:10.11988/ckyyb.20180814 2020,37(1):7-12

三峡水库汛期“蓄清排浑”动态运用方式计算研究

黄仁勇[1],王 敏[1],张细兵[1],周 曼[2],任 实[2],刘 亮[2]
(1.长江科学院 河流研究所,武汉 430010; 2.中国长江三峡集团公司,湖北 宜昌 443133)

摘 要:在入库沙量大幅减少的背景下,三峡水库持续开展汛期中小洪水调度,增大了汛期库区泥沙淤积和防洪风险,减少了水库下泄大流量的机会。在三峡水库汛期,开展“蓄清排浑”泥沙调度方式动态运用研究有助于进一步优化三峡水库汛期调度方式。利用三峡水库干支流河道一维非恒定流数学模型,探索开展了三峡水库汛期“蓄清排浑”动态运用方式计算研究,并提出了汛期“蓄清排浑”动态运用方案。计算结果表明:三峡水库汛期“蓄清排浑”动态运用方式可以同时兼顾排沙、发电和防洪,“蓄清”水位150 m要优于155 m,“蓄清”运行期间库水位可选择在145~150 m之间浮动运行;建议将寸滩含沙量达到2.0 kg/m^{3}且当日寸滩站入库流量≥25 000 m^3/s的时间作为水库增泄“排浑”的起始时间,将出库含沙量降至约0.1 kg/m^{3}作为“排浑”调度结束重新进入“蓄清”调度的泥沙参考因素。研究成果可为三峡水库汛期优化调度提供参考。

关键词:三峡水库;蓄清排浑;动态运用;汛期;水位;含沙量
中图分类号:TV145 **文献标志码**:A
文章编号:1001-5485(2020)01-0007-06 **开放科学(资源服务)标识码(OSID)**:

Calculation and Study on Dynamic Operation Mode of “Storing Clear Water and Releasing Muddy Water” in the Three Gorges Reservoir in Flood Season

HUANG Ren-yong[1], WANG Min[1], ZHANG Xi-bing[1], ZHOU Man[2], REN Shi[2], LIU Liang[2]
(1. River Department, Yangtze River Scientific Research Institute, Wuhan 430010, China;
2. China Three Gorges Corporation, Yichang 443133, China)

Abstract: Under the background of a large reduction in the sediment into the Three Gorges Reservoir (TGR), dispatching of medium-and-small-scale flood in flood season has exacerbated the risks of sediment deposition and flood control in TGR and reduced the chances of large discharge of the reservoir. Studying the dynamic dispatching of “storing clear water and releasing muddy water” in flood season is conducive to further optimizing the dispatching mode. Using one-dimensional unsteady flow mathematical model of the mainstream and tributaries of TGR, we put forward the dynamic operation scheme of “storing clear water and releasing muddy water” in flood season of TGR through calculations. The calculation results illustrate that the dynamic operation mode of “storing clear water and releasing muddy water” in flood season takes into account both sediment discharge, power generation and flood control. A water level at 150 m when “storing clear water” is superior to 155 m; the water level can fluctuate between 145 m and 150 m in the period of “storing clear water”. We recommend to start the releasing of muddy water when the sediment concentration of Cuntan station reaches 2.0 kg/m^3 and meanwhile the incoming flow of Cuntan station on that day exceeds 25 000 m^3/s; on the contrary, when the sediment concentration of Cuntan station falls to about

收稿日期:2018-07-30;**修回日期**:2018-10-26
基金项目:国家重点研发计划项目(2016YFC0402309, 2016YFC0402304, 2017YFC0405304, 2017YFC0405306, 2016YFC0402305, 2016YFC0402306);国家自然科学基金项目(51779014);中央级公益性科研院所基本科研业务费项目(CKSF2015049, CKSF2019411HL, CKSF2019490HL);三峡水库科学调度关键技术第二阶段研究项目(SXSN/4107, SXSN/4277);三峡工程泥沙重大问题研究项目(12610100000018J129-02);三峡后续工作项目(ZZ2018059-016F);美丽中国生态文明建设科技工程专项(XDA23040502)
作者简介:黄仁勇(1979-),男,湖北襄阳人,教授级高级工程师,博士,主要从事河流数值模拟研究。E-mail:renyonghuang@163.com

0.1 kg/m^3, we suggest to end the releasing of muddy water and begin to store clear water. The research findings provide reference for the optimal operation of TGR in flood season.

Key words: Three Gorges Reservoir; storing clear water and releasing muddy water; dynamic operation; flood season; water level; sediment concentration

1 研究背景

根据初步设计成果[1],三峡水库采用“蓄清排浑”的泥沙调度方式,水库汛期一般按汛限水位145 m运行,以有利于泄洪排沙。三峡水库蓄水运用以来入库沙量出现了大幅减少[2-5],2003—2015年三峡年均入库悬移质输沙量(以库尾干流朱沱站+支流嘉陵江北碚站+支流乌江武隆站统计)为1.72亿t,与1956—1990年均值4.89亿t和1991—2002年均值3.51亿t相比,分别减少了64.8%和51.0%。上游溪洛渡和向家坝水库建成运用后的2014年和2015年,三峡水库年入库悬移质输沙量进一步分别减少到了0.554亿t和0.320亿t。入库沙量的大幅减少大大减缓了三峡水库的泥沙淤积速度,也为三峡水库开展优化调度创造了有利条件。从2009年汛期开始,三峡水库每年汛期都开展了中小洪水调度,对入库洪水进行拦洪削峰,既减轻了长江中下游的防洪压力,又提高了水库的发电和航运效益。但汛期中小洪水调度会抬高库区洪水演进过程中的库水位,造成库区泥沙淤积增加,同时还增大了库区防洪风险。而且长期开展汛期中小洪水调度,还会造成水库大量下泄的机会严重减少,进而给长江中下游河道演变和堤防安全带来更加复杂的影响,如河道是否会萎缩退化、洲滩是否会被占用、堤防的抗洪能力是否会下降等[6-7]。

已有研究表明[8],目前三峡水库汛期不同时段呈现出了相对的“浑”和“清”,并以此为基础,研究提出了三峡水库汛期“蓄清排浑”动态运用的泥沙调度方式(汛期入库沙量较小时抬高库水位蓄清水,入库沙量较大时降低库水位排浑水),同时指出,该泥沙调度方式与汛期中小洪水调度相比,水库防洪风险更低,泥沙淤积更少。但已有研究主要侧重于提出三峡汛期“蓄清排浑”动态运用的调度方式思想并论证其可行性,并没有能够给出具体调度方案和关键调度参数。

本文利用自主研发并经过实测资料验证的三峡水库干支流河道一维非恒定流水沙数学模型[9-11],以已有研究为基础[12-13],针对典型水沙过程,通过开展三峡水库汛期“蓄清排浑”动态运用方式计算研究,初步提出了三峡水库汛期“蓄清排浑”动态运用方案,并确定了关键调度参数。研究成果可为三峡水库汛期优化调度提供参考。

2 计算条件

2.1 计算边界

数学模型计算范围、模型方程等见文献[6]、文献[7]及图1。模型进口边界采用干流朱沱站、嘉陵江北碚站、乌江武隆站3站计算时段内实测逐日平均流量和含沙量过程,模型出口边界采用计算时段内坝前实测日均水位过程。

2.2 典型水沙过程选择

根据2015年水利部批复的《三峡(正常运用期)-葛洲坝水利枢纽梯级调度规程》,三峡水库汛后兴利蓄水的时间不早于9月10日,且9月10日库水位一般不超过150 m。8月31日后,当预报长江上游不会发生较大洪水,且沙市、城陵矶站水位分别<40.3 m和<30.4 m时,在有充分把握确保防洪

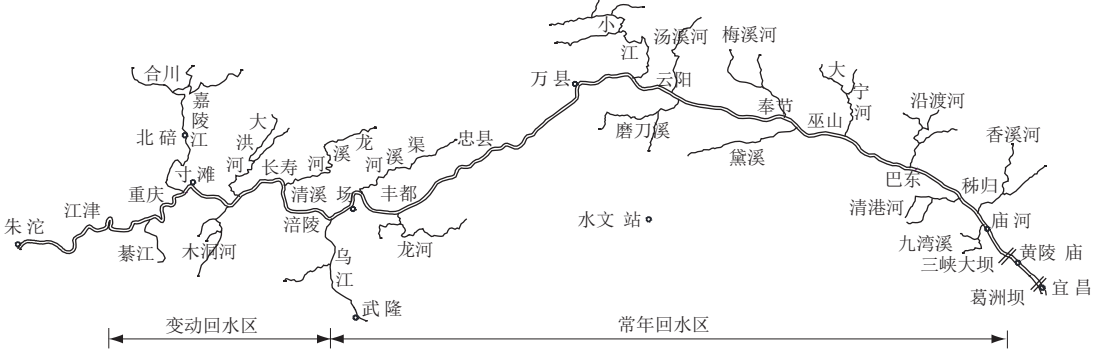


图1 三峡水库库区干支流河道及水文站位置

Fig. 1 Mainstream and its tributaries and locations of hydrological stations in the Three Gorges Reservoir

安全的前提下,经国家防总同意,9 月上旬浮动水位不超过 150 m。考虑到 2010 年以来三峡水库汛后蓄水时间均已提前至 9 月 10 日,且开始蓄水时,9 月 10 日库水位均>145 m,即 9 月上旬库水位已处于浮动运行状态,故本研究将汛期研究的结束时间选在 8 月 31 日;同时,根据调度规程,三峡水库 5 月 25 日库水位要≤155 m,6 月 10 日库水位需消落到防洪限制水位或者允许的变动范围内,故本研究将汛期研究的开始时间选在 6 月 1 日。因此,综合考虑后,最终将本研究的研究时段选定在 6 月 1 日—8 月 31 日。

选择以三峡水库 2013 年水沙过程为例,开展三峡水库汛期“蓄清排浑”泥沙调度方式动态运用问题计算研究。三峡水库 2013 年汛期 6 月 1 日—8 月 31 日入出库水沙过程和坝前水位过程见图 2。由图 2 可见,2013 年 6 月 22 日库水位下降至最低 145.06 m,7 月份开始,三峡水库进行中小洪水调度,7 月 8 日坝前水位小幅涨至 148.6 m,之后回落至 145.9 m(7 月 11 日)。7 月 13 日出现 40 500 m^3/s 的入库流量,三峡水库进行削峰调度,控制下泄流量 30 000 m^3/s,坝前水位迅速涨至 151.02 m(7 月 15 日),随后 7 月 20 日坝前水位又回落至 147.58 m,次日入库出现 2013 年最大的洪峰流量 49 000 m^3/s,三峡控制下泄流量 35 000 m^3/s,坝前水位涨至 155.78 m(7 月 27 日),之后开始回落至 147.50 m

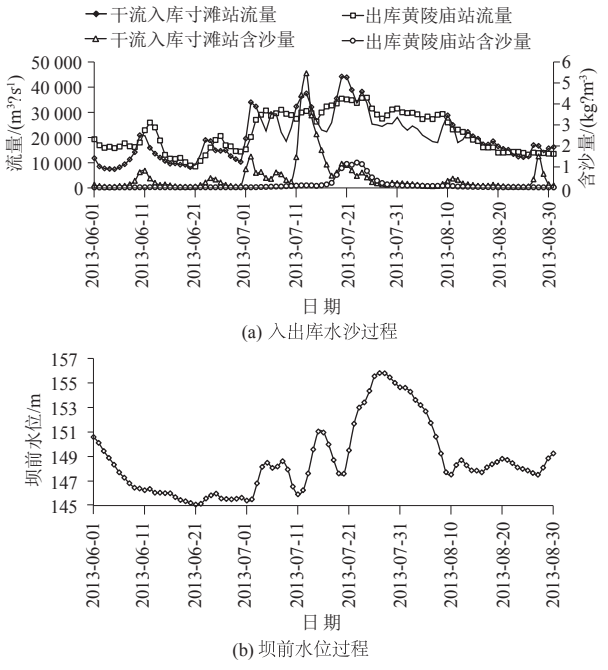


图 2　三峡水库入出库水沙过程和坝前水位过程曲线

Fig. 2　Curves of inflow and outflow water and sediment process and water level process in front of the Three Gorges Reservoir Dam

(8 月 10 日)。2013 年汛期最大沙峰于 7 月 13 日在寸滩站入库,沙峰含沙量为 5.45 kg/m^3,7 月 19—25 日开展了沙峰调度试验,沙峰调度期间出库流量在 35 000 m^3/s 左右。

2.3　计算方案

根据三峡水库 2013 年汛期入库水沙过程特性,拟定了 3 个计算方案,如表 1 所示。

表 1　计算方案

Table 1　Calculation schemes

方案	方案名称	说明
1	实际调度过程	2013 年 6 月 1 日—8 月 31 日,坝前水位按三峡水库实际调度过程控制运行
2	汛期“蓄清排浑”-150 m	2013 年 6 月 1 日—8 月 31 日,沙峰入出库期间按水位 145 m 运行,其他时间按水位 150 m 运行
3	汛期“蓄清排浑”-155 m	2013 年 6 月 1 日—8 月 31 日,沙峰入出库期间按水位 145 m 运行,其他时间按水位 155 m 运行

方案 1:实际调度过程方案,坝前水位按三峡水库实际调度过程控制。

方案 2:汛期“蓄清排浑”-150 m 方案,该方案为汛期“蓄清排浑”调度方式动态运用方案。6 月 1 日—7 月 12 日按库水位 150 m 运行,7 月 13—17 日库水位从 150 m 开始以 1 m/d 匀速下降至 145 m,7 月 18—31 日按库水位 145 m 运行,8 月 1—5 日库水位从 145 m 开始以 1 m/d 匀速上升至 150 m,8 月 6—31 日按库水位 150 m 运行。

方案 3:汛期“蓄清排浑”-155 m 方案,该方案为汛期“蓄清排浑”调度方式动态运用方案。6 月 1 日—7 月 12 日按库水位 155 m 运行,7 月 13—22 日库水位从 155 m 开始以 1 m/d 匀速下降至 145 m,7 月 13—31 日按库水位 145 m 运行,8 月 1—10 日库水位从 145 m 开始以 1 m/d 匀速上升至 155 m,8 月 11—31 日按库水位 155 m 运行。

在计算方案的设计原则方面,方案 1 是实际调度过程,以该方案作为三峡水库汛期“蓄清排浑”优化调度效果的比较基础。根据已有研究,不考虑上游水库调蓄作用,三峡水库对汛期中小洪水进行滞洪调度的最高蓄水位,一般按照不超库水位 155 m 进行控制[14]。因此,从安全稳妥的角度出发,本研究在进行汛期“蓄清排浑”优化调度研究时,将拟定的方案 2 和方案 3 的“蓄清”水位分别选定在 150 m 和 155 m 以比较调度效果,而“排浑”水位则继续选定为汛期防洪限制水位 145 m。

2013 年汛期只有 7 月 13 日入库沙峰这一个明显的大沙峰,其它沙峰较小且其它小沙峰入库时流

量也很小,沙峰将难以出库。7 月 13 日沙峰入库时寸滩站流量为 37 400 m^3/s,且其后的 7 月 20 日寸滩还有一个 44 100 m^3/s 的入库洪峰,水沙过程对输沙排沙有利。故 7 月 13 日入库沙峰是 2013 年汛期的主要调度排沙对象,2013 年汛期的入库水沙特点非常适合开展“蓄清排浑”调度方式的动态运用。故方案 2 在 7 月 13 日前在水库处于相对“清水”状态时按较高水位(如 150 m 或者 155 m)运行,以抬高电站水头多发电,7 月 13 日沙峰入库,水库进入相对“浑水”状态时库水位开始逐步下降至汛限水位 145 m,以有利于输沙排沙。8 月 1 日以后在沙峰出库,库区重新进入相对“清水”状态时逐步抬高库水位至较高水位(如 150 m 或者 155 m)运行。

3 计算结果分析及“蓄清排浑”动态运用方案拟定

3.1 不同方案计算结果分析

表 2 为 2013 年 6 月 1 日—8 月 31 日不同方案三峡水库出库沙量计算结果,图 3 为三峡水库 2013 年汛期 6 月 1 日—8 月 31 日不同计算方案坝前水位、出库含沙量、出库输沙量、出库流量过程曲线。

表 2 不同方案下三峡水库出库沙量计算结果

Table 2 Calculation results of sediment discharge in different schemes

方案	方案名称	出库沙量/(亿 t)
1	实际调度过程	0.327
2	汛期“蓄清排浑”-150 m	0.387
3	汛期“蓄清排浑”-155 m	0.365

2013 年 6 月 1 日—8 月 31 日,方案 1 库水位最低值、最高值、平均值分别为 145.06,155.78,148.66 m;方案 2 库水位最低值、最高值、平均值分别为 145.0,150.0,148.97 m;方案 3 库水位最低值、最高值、平均值分别为 145.0,155.0,152.93 m。与方案 1 相比,方案 2 和方案 3 的平均库水位分别偏高 0.31 m 和 4.27 m。从出库沙量计算结果看(表 2),2013 年 6 月 1 日—8 月 31 日方案 1、方案 2、方案 3 出库沙量计算值分别为 0.327 亿,0.387 亿,0.365 亿 t,与方案 1 相比,方案 2 和方案 3 出库沙量分别相对偏大 18.3%和 11.6%。可见,采用汛期“蓄清排浑”调度方案后,在平均库水位抬高的条件下,出库沙量反而有明显增加,该调度方式可以同时兼顾发电和排沙,同时,由于在较大洪水入库时提前降低了库水位,腾出了防洪库容,也相应地降低了防洪风险。

与方案 2 相比,方案 3 平均库水位偏高 3.96 m,出库沙量偏小 0.022 亿 t,相对偏小 5.7%。可见,在“排浑”水位固定为 145 m 不变条件下,汛期“蓄清”水位越高,出库沙量越少。同时,“蓄清”水位过高,会造成沙峰入库时库水位降至 145 m 所需的时间显著

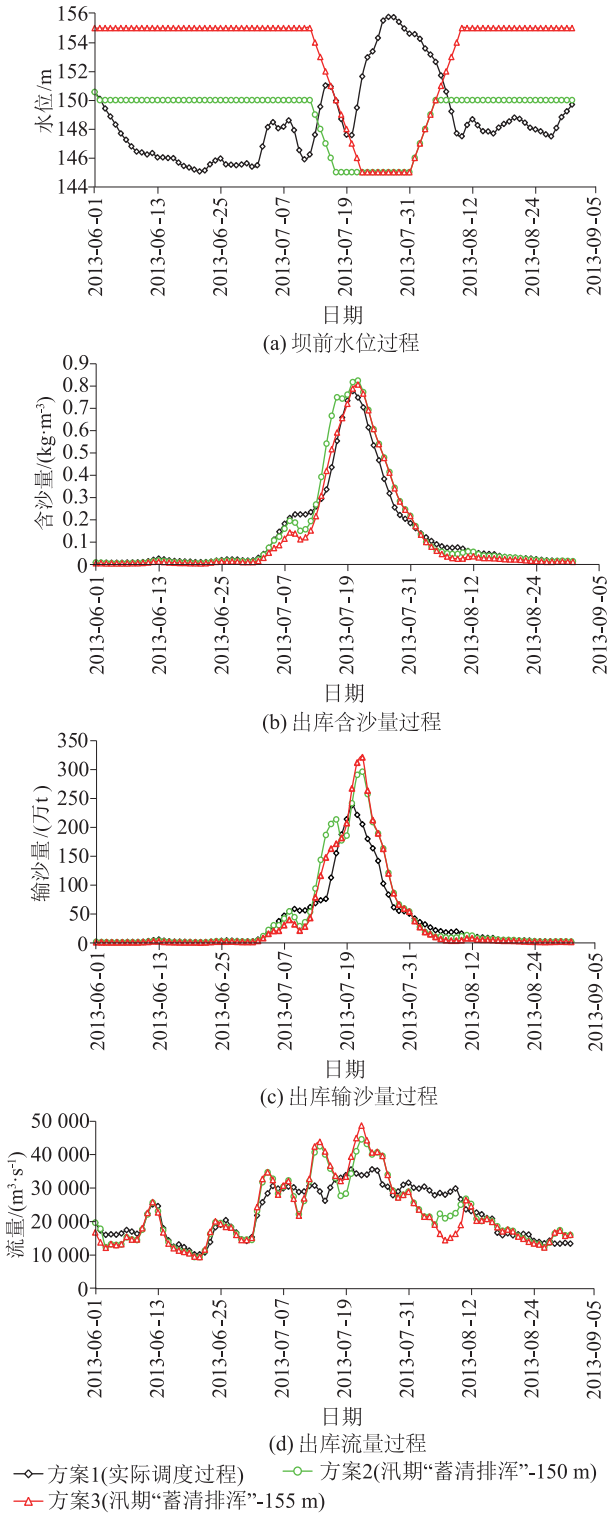


图 3 不同计算方案下坝前水位、出库含沙量、出库输沙量、出库流量的过程曲线

Fig. 3 Processes of water level in front of dam, outflow sediment concentration, outflow sediment discharge, and outflow rate in different calculation schemes

延长,不利于水库排沙,还可能会因为水库过量过快地增泄而造成下游防洪压力增大。因此,从控制防洪风险和减少泥沙淤积的角度看,“蓄清”水位 150 m 要优于 155 m。实时调度中,为便于汛期水库运行操作控制及减少弃水、充分利用洪水资源,“蓄清”运行期间库水位可选择在 145~150 m 之间浮动运行。

3.2　汛期“蓄清排浑”动态运用方案

从有利于排沙的角度,建议三峡水库汛期“排浑”水位选择汛限水位 145 m,“排浑”的起始时间至少应该不晚于沙峰入库时间,或者虽然沙峰未到但入库含沙量已达到某一特定值时,水库即开始增泄排沙。选取三峡水库蓄水后实测沙峰输移资料进行分析后发现[15]:寸滩站入库沙峰含沙量≥2.0 kg/m^3 时,黄陵庙站出库沙峰含沙量不一定>0.3 kg/m^3,但出库沙峰含沙量>0.3 kg/m^3 时,对应的沙峰入库含沙量一定≥2.0 kg/m^3;入库沙峰含沙量<2.0 kg/m^3 时,其沙峰出库含沙量一定<0.3 kg/m^3;因此,如果选择以沙峰出库可达到 0.3 kg/m^3 为沙峰调度的启动条件,则相应的可启动沙峰调度的入库沙峰大小应选为 2.0 kg/m^3。

根据已有研究成果,建议将寸滩含沙量达到 2.0 kg/m^3 且当日寸滩站入库流量≥25 000 m^3/s 的时间作为水库增泄“排浑”的起始时间。“排浑”启动时,如果坝前水位>145 m,则建议库水位尽快降至 145 m 排沙,下泄流量在保证坝下游流量不超过河道安全泄量的前提下,宜≥35 000 m^3/s 且大于入库流量。如果坝前水位=145 m,则库水位按 145 m 运行排沙。对于“排浑”结束时间,则应根据出库含沙量大小及其变化来确定。

根据前面研究,沙峰调度时以出库沙峰含沙量≥0.3 kg/m^3 为调度目标,以水库泄量 35 000 m^3/s 为例:当出库含沙量为 0.3 kg/m^3 时,日出库沙量可达 90.72 万 t;当出库含沙量减小为 0.1 kg/m^3 时,日出库沙量仍可达 30.24 万 t。2013 年 6 月 1 日—8 月 31 日 92 d 中有 20 d 的出库含沙量>0.1 kg/m^3,占比为 22%。统计结果表明:2003—2013 年三峡水库出库含沙量年均值为 0.116 kg/m^3;2012—2015 年三峡水库出库含沙量年均值分别为 0.098,0.089,0.024,0.011 kg/m^3。因此,综合考虑后,建议将出库含沙量降至约 0.1 kg/m^3 作为“排浑”调度结束重新进入“蓄清”调度的泥沙参考因素。

3.2.1　汛期“蓄清排浑”动态运用的泥沙调度原则与目标

汛期“蓄清排浑”动态运用的泥沙调度应在满足水资源优化利用需求的同时充分考虑水库排沙减淤。汛期“蓄清排浑”动态运用的泥沙调度目标是增大出库沙量,通过尽可能多地集中排沙出库,以减少水库总淤积量。对于沙峰集中入库的汛期水沙过程,在入库沙量较少时“蓄清”,提高水头发电,在入库沙量较高时及时“排浑”,可同时兼顾电站发电与水库排沙减淤。

3.2.2　汛期“蓄清排浑”动态运用方案

(1)汛期“蓄清排浑”动态运用的泥沙调度方式适用于三峡水库汛期 6 月 1 日—8 月 31 日,期间当水库需要开展防洪调度时,水库按防洪调度方式运行。

(2)当干流寸滩站含沙量<2.0 kg/m^3 时或者沙峰入库日寸滩站流量<25 000 m^3/s 时,水库按“蓄清”调度,库水位可选择在 145~150 m 之间动态运行。

(3)寸滩含沙量增大到 2.0 kg/m^3 且当日寸滩站入库流量≥25 000 m^3/s 时可启动水库“排浑”调度。

(4)“排浑”调度启动时,如果坝前水位>145 m,则建议库水位尽快降至 145 m 排沙,下泄流量在保证坝下游流量不超过河道安全泄量的前提下,宜≥35 000 m^3/s 且大于入库流量,如果坝前水位=145 m,则库水位按 145 m 运行排沙。

(5)将出库含沙量降至约 0.1 kg/m^3 作为“排浑”调度结束重新进入“蓄清”调度的泥沙参考因素,同时,在实时调度中,还应综合考虑水库来水预报、水资源利用、防洪、航运等因素以确定水库结束“排浑”调度的具体时机,“排浑”调度结束时的出库含沙量可在参考值 0.1 kg/m^3 上下一定范围适当浮动。

需要说明的是,受篇幅所限,虽然本文仅以三峡水库 2013 年 6 月 1 日—8 月 31 日典型水沙过程为例进行了计算研究,但本文研究提出的汛期“蓄清排浑”动态运用方案同样适用于其他典型水沙过程,方案中给出的库水位变化原则也同样是适用于其他典型水沙过程的。

4　结　论

选取三峡水库 2013 年 6 月 1 日—8 月 31 日典型水沙过程,采用三峡水库干支流河道一维非恒定流水沙模型,进行了三峡水库汛期“蓄清排浑”动态运用方式计算研究,初步提出了三峡水库汛期“蓄清排浑”动态运用方案。主要研究结论如下:

(1)采用汛期“蓄清排浑”调度方案后,在平均

库水位抬高的条件下,出库沙量反而有明显增加,该调度方式可以同时兼顾发电和排沙。

(2)从控制防洪风险和减少泥沙淤积的角度看,“蓄清”水位 150 m 要优于 155 m,实时调度中,为便于汛期水库运行操作控制及减少弃水充分利用洪水资源,“蓄清”运行期间库水位可选择在 145~150 m 之间浮动运行。

(3)建议将寸滩含沙量达到 2.0 kg/m^3 且当日寸滩站入库流量≥25 000 m^3/s 的时间作为水库增泄“排浑”的起始时间,建议将出库含沙量降至约 0.1 kg/m^3 作为“排浑”调度结束重新进入“蓄清”调度的泥沙参考因素。

参考文献:

[1] 水利部长江水利委员会. 长江三峡水利枢纽初步设计报告[R]. 武汉:水利部长江水利委员会,1992.

[2] 长江水利委员会水文局. 2015 年度三峡水库进出库水沙特性、水库淤积及坝下游河道冲刷分析[R]. 武汉:长江水利委员会水文局,2016.

[3] 黄仁勇, 张细兵. 三峡水库运用前后进出库水沙变化分析[J]. 长江科学院院报,2011,28(9): 75-79.

[4] 胡春宏, 王延贵. 三峡工程运用后泥沙问题与江湖关系变化[J]. 长江科学院院报,2014,31(5): 107-116.

[5] 李志远. 基于来沙量减少的三峡水库运行水位的思考[J]. 长江科学院院报,2012,29(10): 11-15.

[6] 董耀华,惠晓晓,蔺秋生. 长江干流河道水沙特性与变化趋势初步分析[J]. 长江科学院院报,2008,25(2): 16-20.

[7] 蔺秋生,黄 莉,姚仕明. 长江上游干流近期水沙变化规律分析[J]. 人民长江,2010,41(10): 5-8.

[8] 郑守仁. 三峡水库实施中小洪水调度风险分析及对策探讨[J]. 人民长江,2015, 46(5): 7-12.

[9] 邹 强,胡向阳,周 曼. 三峡水库洪水资源利用Ⅱ:风险分析和对策措施[J]. 人民长江,2018, 49(4): 11-16,22.

[10] 黄仁勇,王 敏,张细兵,等. 三峡水库汛期“蓄清排浑”动态运用方式初探[J]. 长江科学院院报,2018, 35(7): 9-13.

[11] 黄仁勇,黄 悦. 三峡水库干支流河道一维非恒定水沙数学模型初步研究[J]. 长江科学院院报,2009, 26(2): 9-13.

[12] 黄仁勇,李 飞,张细兵. 三峡水库运用初期库区水沙输移数值模拟[J]. 长江科学院院报,2012, 29(1): 7-12.

[13] 黄仁勇, 王 敏, 张细兵,等. 三峡水库区间入流过程计算[J]. 长江科学院院报,2018,35(6): 67-69.

[14] 胡向阳,邹 强,周 曼. 三峡水库洪水资源利用Ⅰ:调度方式和效益分析[J]. 人民长江,2018, 49(3): 15-22.

[15] 黄仁勇. 长江上游梯级水库泥沙输移与泥沙调度研究[D]. 武汉: 武汉大学, 2016.

(编辑:姜小兰)

(上接第 6 页)

[7] 方春明,董耀华,陈松生,等. 三峡工程水库泥沙淤积及其影响与对策研究[M]. 武汉:长江出版社, 2011.

[8] 卢金友,董耀华,黄 悦. 三峡水库蓄水运用以来水库淤积和坝下游河道冲刷初步分析[C]//水电 2006 国际研讨会论文集. 昆明:中国水电顾问集团昆明勘测设计研究院,2006:1061-1065.

[9] 董耀华,卢金友,范北林,等. 三峡水库运用后荆江典型河段冲淤变化计算分析[J]. 长江科学院院报, 2005, 22(2):9-12.

[10] 董耀华,汪秀丽. 河流 5 区分段方法与长江干流分段实践[J]. 长江科学院院报,2017, 34(6):1-6.

[11] 墨 子. 墨子全鉴[M]. 东篱子,译. 北京:中国纺织出版社, 2016.

[12] 埃德尔斯顿·M. 国际化大坝风险评估方法述评[J]. 董耀华,译. 水利水电快报,2016, 37(4):1-7.

[13] 董耀华,金 琨,杨 凯,等. 长江干流江苏泰州岸线重点核查实践与认识[C]//中国水利学会. 中国水利学会 2018 学术年会论文集第二分册. 北京:中国水利水电出版社, 2018:512-515.

[14] 钱 宁,张 仁,周志德. 河床演变学[M]. 北京:科学出版社,1987.

[15] 钱 宁,万兆惠. 泥沙运动力学[M]. 北京:科学出版社,1983.

(编辑:姜小兰)