

基于库容补偿的龙羊峡水库汛期运行水位方案研究

沈廷青¹ 李阿龙^{*2,3} 黄海兵¹ 宋伟华^{2,3}

1. 青海黄河上游水电开发有限责任公司 青海 西宁 810000

2. 黄河勘测规划设计研究院有限公司 河南 郑州 450003

3. 水利部黄河流域水治理与水安全重点实验室(筹) 河南 郑州 450003

摘要: 龙羊峡水库可利用与上游玛尔挡电站间的库容补偿关系,开展汛期运行水位方案研究。龙羊峡水库的预泄模式宜采用多级固定预泄方式,洪水预报的有效预见期为7d,研究确定龙羊峡三级预泄判别流量、四级预泄流量,相应的汛期运行水位动态控制域为2594m~2594.6m,并随着玛尔挡水库水位的提升而逐步降低。当水库水位低于汛限水位2594m时,下泄流量以发电要求为主,当水库水位达到或超过2594m时,视上游来水预报和水库蓄水情况,判断进入动态运用或防洪运用。

关键词: 梯级水库;水位动态控制;库容补偿;龙羊峡水库

引言:龙羊峡水库是黄河唯一多年调节水库,利用较大的防洪库容和调节库容,与下游刘家峡水库及其他水库等黄河上游重要水库群联合调度运用,在黄河上游防洪运用和全河的水资源优化配置中发挥了重要作用^[1]。但是,由于龙羊峡水库承担着兰州市城市防洪任务,同时兼顾青海、甘肃、宁夏、内蒙古河段防洪任务,龙羊峡水库调度运用存在着防洪和兴利的矛盾。作为洪水资源化的重要实现方式,开展龙羊峡水库汛期运行水位动态控制是水库发挥“蓄丰补枯”作用、提升全河水量配置龙头水库调蓄能力、提高黄河上游水电开发基地发电效益的必要手段。

2024年6月,黄委批复的《黄河上游重要水库群联合防洪运用及方案》将玛尔挡等纳入黄河上游水库群统一调度。玛尔挡水库是黄河上游龙羊峡以上目前唯一有调节库容的水库,考虑梯级水库之间具有水力联系和库容补偿关系,龙羊峡水库可探索利用上游玛尔挡水库富裕的库容分担一定的防洪压力,适当抬升水库汛期运行水位,更好地发挥水库的防洪、发电、供水等多方面的综合效益。

1 工程概况

龙羊峡水库以发电为主,并与刘家峡水库联合运用,承担下游河段的灌溉、防洪和防凌等综合任务。总库容272.6亿m³,有效调节库容200.2亿m³,具有多年调节

基金项目: 青海黄河上游水电开发有限责任公司科技项目(KY-C-2023-SD9)

通讯作者: 李阿龙(1989-),男,河南平顶山人,工程师,研究方向为工程水文及水库调度。E-mail: lalyrec@126.com

性能。龙羊峡汛期(7月1日至9月30日)汛限水位调整至设计汛限水位2594m,9月16日起水库水位可视来水及水库蓄水运用情况向正常蓄水位过渡。

玛尔挡水电站位于龙羊峡水库上游的黄河干流上,工程主要任务是发电,促进地方经济发展。电站调节库容7.06亿m³,具有季调节性能。玛尔挡七月初库水位为3265m,按水库设计运行方式,一般情况下,7月开始蓄水,8月或9月份蓄水至正常蓄水位3275m。

2 汛期运行水位动态控制条件分析

(1) 龙羊峡水库的工程现状具备了动态控制汛期运行水位的基本条件。龙羊峡水库已经经过第二次水库安全检查,工程具备正常运用条件。并且,龙羊峡水库经过2018~2020年三年大水长时间的高水位检验,从工程安全方面来看,龙羊峡水库具备在汛期将水位维持在汛限水位2594m以上的蓄水条件。

(2) 龙羊峡水库水情自动测报系统和洪水预报水平为汛期运行水位动态控制提供了技术支撑。目前,龙羊峡水库具有较为完善的水雨情测报系统,有预报精度较高的洪水预报方案,日径流作业预报的可用预见期达7d左右,长期降雨、日径流预报的预见期达30d左右^[2]。水库汛期运行水位动态控制运用时,可以充分利用精度较高的洪水和径流预报预见期,提前安排预泄操作。

(3) 黄河上游河段梯级水电站和防洪工程的不断建设和完善,给龙羊峡水库汛期运行水位动态控制提供了有利的条件。截至2024年汛前,黄河上游的大部分梯级电站相继建成,并达到相应的设计防洪标准。黄河上游重要水库群的防洪调度可以不再考虑黄河上游的梯级电站的施工度汛。另外,龙羊峡以上玛尔挡、龙刘区间拉

西瓦、李家峡、公伯峡和积石峡等电站可参与黄河上游重要水库群联合调度，为龙羊峡水库开展动态控制提供有力条件支撑。

3 预泄模式及动态控制域

龙羊峡水库汛期运行水位动态控制域采用考虑利用玛尔挡进行库容补偿的方法。总体思路是：按照玛尔挡运用方式，玛尔挡从7月初的3265m，汛期逐步蓄至汛限水位，因此当玛尔挡水位低于正常蓄水位，有库容拦蓄洪水，因此玛尔挡正常蓄水位以下库容可置换至龙羊峡，使玛尔挡、龙羊峡总防洪库容等于龙羊峡当前设计防洪库容。

3.1 预泄模式

预泄模式是根据水库暴雨洪水特性、水库水情自动测报系统、洪水预报、泄流能力等综合因素确定的预泄方式^[3]。为确保龙羊峡水库汛期防洪运用安全，若根据预报流量龙羊峡水库未来将转入防洪运用，龙羊峡水库水位需在转入防洪运用前预泄至汛限水位。龙羊峡水库采用考虑洪水预报的预泄模式，即根据水库的洪水预报结果，在可用的预见期内，提前根据预报流量将水库水位预泄至设计的汛限水位。

3.1.1 汛期运行水位动态控制运用方式

在涨水段，若龙羊峡水库水位 $H < H_{\text{下限}}$ ，水库按发电运用；若 $H_{\text{下限}} \leq H < H_{\text{上限}}$ ，水库进入动态调蓄运用。

当 $H \geq H_{\text{上限}}$ 或入库流量 $Q_{\text{入库}} \geq Q_{\text{限制}}$ （下游限制泄量）后，按常规防洪运用，其中如果水库水位 $H_{\text{上限}} \leq H < H_{\text{设计}}$ ，根据龙、刘水库蓄水比例情况灵活掌握控制下泄流量，原则上按照 $Q_{\text{限制}}$ 控泄；当 $H > H_{\text{设计}}$ ，按设计防洪运用。

在落水段，若 $H_{\text{下限}} \leq H < H_{\text{上限}}$ ，当入库流量 $Q_{\text{入}} \geq Q_{\text{限制}}$ 时，按 $Q_{\text{限制}}$ 控泄；当入库流量 $Q_{\text{入}} < Q_{\text{限制}}$ 时，发电流量回蓄运用，最高水位不超过 $H_{\text{上限}}$ 。

3.1.2 预泄期计算

根据未来7日洪水预报，判断龙刘水库转入防洪运用（龙羊峡入库大于 $2500\text{m}^3/\text{s}$ 或刘家峡天然入库大于 $3100\text{m}^3/\text{s}$ ）前预泄时间 $t_{\text{预泄}}$ ，确定为预泄期，若判断预见期内龙刘水库不会进入防洪运用，则预泄期按预见期，取7天。

3.1.3 预泄目标水位确定

当预报入库流量大于预泄判别流量，龙羊峡水库进入预泄模式后，需确定预泄目标水位。由于运行水位动态控制运用方式需要和水库防洪运用方式衔接，因此，预泄目标水位根据7日内是否会转入防洪运用来确定：

（1）若判断预见期内不会进入防洪运用，预泄目标水位

按预见期末（7日后）的防洪补偿水位。（2）若预见期内将进入防洪运用，预泄水位按汛限水位 2594m ，以保证在防洪运用时，水库到达汛限水位。

3.1.4 预泄方式

根据龙羊峡水库洪水涨落特性及下游河道安全过流能力，本次采用多级固定泄量预泄方式。每日根据实时水情和预报最大入库水情实时调整判别流量分为 $Q_{\text{判别1}}$ 、 $Q_{\text{判别2}} \cdots Q_{\text{判别i}}$ 。即预报入库流量大于第一级预泄判别流量 $Q_{\text{判别1}}$ ，按第一级预泄流量 $Q_{\text{预泄1}}$ 预泄；预报入库流量超过第二级预泄判别流量 $Q_{\text{判别2}}$ 时，按第二级预泄流量 $Q_{\text{预泄2}}$ 预泄，预报入库流量超过第 i 级预泄判别流量 $Q_{\text{判别i}}$ 时，尽快将水库水位预泄至目标水位，预泄过程中控制预泄流量与入库流量不至于相差过大，避免人造洪水。

3.1.5 预泄流量限制原则及运用条件

考虑到下游河道过流能力，淹没损失及水文预报精度等因素，水库在进行洪水资源化利用的同时不能增加下游河道和水库自身的防洪风险，因此，需对预泄流量进一步限制。本文研究确定预泄流量限制指标为：（1）当预报龙羊峡水库入库流量不超 $2500\text{m}^3/\text{s}$ 时，预泄流量不超 $2500\text{m}^3/\text{s}$ ；（2）当预报刘家峡水库天然入库流量不超 $3100\text{m}^3/\text{s}$ 时，预泄流量控制当日刘家峡入库流量不超 $3100\text{m}^3/\text{s}$ ；（3）当预报龙羊峡水库入库流量超 $2500\text{m}^3/\text{s}$ 、刘家峡水库天然入库流量超 $3100\text{m}^3/\text{s}$ 时，龙羊峡水库停止预泄，按进出库平衡运用，保证不增加下游河道防洪压力。

3.2 预泄判别指标

水库的预泄判别流量跟水库所在流域的降雨洪水特性、水库的泄流能力及下游防洪限制流量、水库洪水预报精度和预见期有关^[3]。根据龙羊峡水库洪水预报方案及精度分析，对于5年一遇以上的洪水，龙羊峡水库预报精度较高，能够达到甲级以上，洪水预报的误差一般能控制在20%以内，因此以预泄流量不小于预报流量的80%作为对预报误差的控制方法。龙羊峡水库汛限水位时的最大发电流量一般在 $1000\text{m}^3/\text{s}$ 左右，考虑预报误差，预泄开始的流量不能小于 $800\text{m}^3/\text{s}$ ，作为预泄判别流量的下限。

考虑到龙羊峡水电站的发电流量和下游限制泄量的变化情况，龙羊峡水库的预泄判别流量应在 $800\text{m}^3/\text{s} \sim 2500\text{m}^3/\text{s}$ 之间。以尽量减小水库弃水为原则，现状条件下拟定 $1000\text{m}^3/\text{s}$ 、 $1200\text{m}^3/\text{s}$ 、 $1500\text{m}^3/\text{s}$ 3个预泄判别流量。

3.3 汛期运行水位动态控制域

（1）汛期运行水位动态控制上限

经分析，当玛尔挡库水位为 3265m 时，调蓄库容为 $2.41\text{亿}\text{m}^3$ ，该库容置换至龙羊峡，可使运行水位由汛期运

行水位2594m抬升至防洪补偿水位2594.62m,随着玛尔挡水库汛期水位逐步蓄至正常蓄水位3275m,龙羊峡水库防洪补偿水位也将逐步由2594.62m降至2594m。

(2) 汛期运行水位动态控制下限

龙羊峡水库汛期运行水位动态控制下限采用水库设计汛限水位2594m。

4 汛期运行水位动态控制方案

本研究根据龙羊峡水库洪水预报条件,在保证防洪安全的基础上,通过提高汛期运用水位进行洪水资源化利用,增加水电站综合效益。

(1) 当水库水位低于汛限水位2594m时,下泄流量以发电要求为主,水位高于2592m时,在满足水量调度要求的前提下,按最大发电流量下泄,以推迟水库水位达到汛限水位的时间,尽量减少弃水。

(2) 当水库水位达到或超过2594m时,龙羊峡水库根据当日及预报水情,判断进入动态运用或防洪运用,具体如下:1)若预报上游来水小于 $1000\text{m}^3/\text{s}$ 时,水库按发电运用,向动态上限水位预蓄;2)若预报上游来水超过 $1000\text{m}^3/\text{s}$,水库按最大发电流量下泄,尽量降低库水位、减少弃水。3)当预报上游来水大于预泄判别流量 $1200\text{m}^3/\text{s}$ 时,水库在下游河道安全泄量内向目标水位2594m预泄,并随水情变化逐步增大预泄流量。4)当预报上游来水超过 $2500\text{m}^3/\text{s}$ 时,水库停止预泄进入过渡阶段,以进出库平衡为主。5)当上游来水超过 $2500\text{m}^3/\text{s}$ 时,水库按常规方案进入防洪运用。刘家峡仍按现状方案与龙羊峡水库进行联合防洪调度。

结语

(1) 采用多级固定预泄方式,每日根据实时水情和预报最大入库水情实时调整判别流量,当预报入库流量大于第*i*级预泄判别流量 $Q_{\text{判别}i}$,按第*i*级预泄流量 $Q_{\text{预泄}i}$ 预泄,预泄过程中控制预泄流量与入库流量不至于相差过大,避免人造洪水。

(2) 玛尔挡水库水位蓄至正常蓄水位前,龙羊峡水库可动态抬升水位运用,运行水位动态控制上限随玛尔挡水库蓄水,由2594.6m逐步降低至2594m。

(3) 龙羊峡水库汛限水位动态控制期间主要处于洪水起涨阶段和退水阶段,洪水起涨阶段通过加大下泄流量将水位从汛期运行水位上限(龙羊峡防洪补偿水位,最高为2594.62m)降低至下限(龙羊峡设计汛限水位2594m)。退水阶段,通过压减下泄流量将水位回蓄至汛期运行水位上限。

(4) 当水库水位低于汛限水位2594m时,下泄流量以发电要求为主。当水库水位达到或超过2594m时,龙羊峡水库根据当日及预报水情,判断进入动态运用或防洪运用。

参考文献

- [1] 宋伟华,贺顺德,徐晓英,等.龙羊峡水库汛限水位动态控制方案研究[J].人民黄河,2020,42(02):18-21.
- [2] 贺顺德,宋伟华,崔鹏,等.龙羊峡水库现状防洪运用条件及汛限水位论证[J].人民黄河,2020,42(06):22-26+36.
- [3] 宋伟华,沈延青,赵梦龙,等.黄河龙羊峡至刘家峡区间主要梯级水库洪水调度研究[J].人民黄河,2023,45(08):73-78.