

奴尔水利枢纽坍岸淤积与泥沙调度研究

班懿根

新疆塔里木河流域奴尔水利枢纽建设管理局, 新疆 和田 848300

[摘要] 水库淤积将对泄流建筑物运行操作带来不便, 特别是汛期坍岸有可能淤堵泄洪排沙设施, 对水库防洪安全产生隐患。该文以奴尔水库为例, 对水库库容淤积与泥沙调度进行了研究, 结果表明: 下闸蓄水后由于坍岸影响, 水库死库容仅剩 28 万 m^3 , 调节库容基本上没有变化; 经过敞泄冲沙, 在预估 666 万 m^3 坍塌的情况下, 水库调节库容可满足初步设计阶段的“蓄洪运用”运行方式; 增加“门前清”冲沙措施的频次, 使部分淤积泥沙排出库区, 防止冲沙洞淤堵, 保证水库安全运行是非常有必要的; 冲沙后, 坝前 450m 的范围内泥沙淤积高程在 2460~2468m 之间, 泥沙仍会发生滑塌, 随着“门前清”冲沙次数的增加, 坝前淤积高程降低, 滑塌强度降低, 泥沙纵坡变缓。工程实践表明, 设计方案满足规范及运行要求, 可为类似工程泥沙调度提供参考。

[关键词] 坍岸淤积; 泄洪冲沙; 泥沙调度; 奴尔水库

DOI: 10.33142/hst.v6i7.9876

中图分类号: TV145

文献标识码: A

Research on Bank Collapse and Sediment Regulation of Nur Water Control Project

BAN Yigen

Xinjiang Tarim River Basin Nur Water Conservancy Hub Construction Management Bureau, Hotan, Xinjiang, 848300, China

Abstract: Reservoir sedimentation will bring inconvenience to the operation of discharge structures, especially during flood season when bank collapse may block flood discharge and sediment discharge facilities, posing a hidden danger to the flood control safety of the reservoir. This article takes the Nur reservoir as an example to study the sedimentation and sediment regulation of the reservoir's storage capacity. The results show that due to the impact of bank collapse after the lower gate impoundment, the dead storage capacity of the reservoir is only 280000 m^3 , and the regulated storage capacity remains basically unchanged; After open discharge and sand flushing, with an estimated collapse of 6.66 million cubic meters, the reservoir's regulated storage capacity can meet the "flood storage operation" operation mode in the preliminary design stage; It is necessary to increase the frequency of "cleaning in front of the gate" sand flushing measures to discharge some accumulated sediment from the reservoir area, prevent siltation and blockage of sand flushing holes, and ensure the safe operation of the reservoir; After flushing, the sediment deposition elevation within the range of 450m in front of the dam is between 2460-2468 meters, and the sediment will still slide. With the increase of the number of times of "gate cleaning" flushing, the sediment deposition elevation in front of the dam decreases, the sliding strength decreases, and the longitudinal slope of the sediment slows down. Engineering practice has shown that the design scheme meets the specifications and operational requirements, and can provide reference for sediment scheduling in similar projects.

Keywords: bank collapse and sedimentation; flood discharge and sand flushing; sediment regulation; Nur reservoir

1 工程概况

奴尔水利枢纽位于新疆策勒县, 是一座以灌溉、发电为主要功能的枢纽工程。水库总库容为 0.69 亿 m^3 , 正常蓄水位为 2497 m, 死水位 2465 m, 电站总装机容量为 6.2 MW, 多年平均年发电量为 0.217 亿 $\text{kW} \cdot \text{h}$ 。工程由拦河坝、导流兼泄洪冲砂洞、溢洪洞、发电引水系统及电站厂房等组成。大坝为碾压式沥青混凝土心墙坝, 最大坝高 80m。工程地震设防烈度为 VIII 度。

2 水库淤积分析

2.1 库容分析

奴尔水利枢纽工程初步设计阶段的水位~面积~库容关系曲线采用实测 1:10000 地形图量绘得出, 高程采用黄海高程系。工程施工期间在水库库区进行了砂石料的开

挖和弃渣回填工作, 导致水库库容与初步设计阶段相比略有变化。在水库下闸蓄水前利用库区开挖和回填之后实测 1:10000 地形图对库容曲线进行复核量绘, 高程同样采用黄海高程系。与初步设计阶段相比, 水库死水位以下库容减小约 150 万 m^3 , 总库容增大 150 万 m^3 , 库容变幅约为 2.3%。

在奴尔水利枢纽工程水库库容曲线与初步设计阶段相比发生了变化的情况下, 水库下闸蓄水阶段及后续工作将重新复核库容。这意味着原初步设计阶段的库容将不再被采用, 而是采用重新复核后得出的库容作为水库的原始库容。重新复核库容的目的是根据实际情况对水库的蓄水能力进行评估和计算, 以确保水库的运行和管理符合现有的库容要求。这个过程可能需要考虑一些因素, 例如水库

的工程特点、地质条件、水文气象资料等,以确定水库的实际容量。

2.1.1 下闸蓄水后库容曲线

2019年10月底,对奴尔水库下闸蓄水后的库区地形图进行了重新测量(包括水下地形),在此1:2000地形图上对奴尔水库下闸蓄水后的水位~面积~库容关系曲线进行了重新量绘。与下闸蓄水前相比,水库死水位以下库容仅剩28万 m^3 ,正常蓄水位至死水位之间的调节库容基本上没有变化,库容曲线对比见图1。

2.1.2 库容曲线对比

从图1可以看出,下闸蓄水后由于坍岸影响,水库死库容仅剩28万 m^3 ,而调节库容基本上没有变化。但是,通过分析不同水位的调节库容可以看出,2496m以下的调节库容是减小的,到2497m调节库容才基本恢复下闸蓄水前状态,并略有增加。由此可知,水库的调节库容也受到了坍岸的影响,但是由于坍岸导致2496m以上水库库区面积扩大,蓄水后库容增加,在一定程度上抵消了坍岸对调节库容的影响。

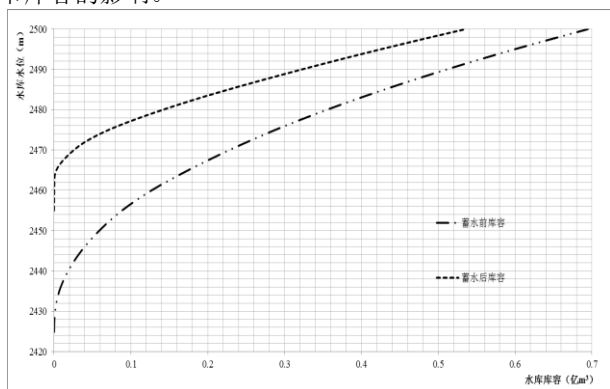


图1 奴尔水库下闸蓄水前及下闸蓄水后库容曲线对比

2.2 坍岸后库容与初步设计阶段库容对比分析

奴尔水库初步设计阶段与坍岸库容淤积对比见表1,初步分析结果如下:

表1 奴尔水库初步设计阶段与坍岸库容淤积对比

项目	初始库容	初步设计阶段(含塌方量)	坍岸库容淤积后	库容差值
死库容/(10^4 m^3)	1818	983	28	955
死库容淤积量/(10^4 m^3)	/	835	1790	-955
正常蓄水位相应库容/(10^4 m^3)	6198	4883	4687	196
调节库容/(10^4 m^3)	4380	3900	4659	-759
调节库容淤积量/(10^4 m^3)	/	480	-279	759
正常蓄水位以上淤积量/(10^4 m^3)	/	340	-348	688
总淤积量/(10^4 m^3)	/	1655	1411	244

(1)初步设计阶段考虑了水库坍岸的影响,正常蓄水位以下库容损失为1315万 m^3 ;正常蓄水位以下库容损失为1511万 m^3 ,正常蓄水位以下初步设计阶段比当前库容淤积多196万 m^3 。

(2)坍岸的淤积部位存在着很大的差异,初步设计阶段既有死库容损失,也有调节库容损失;当前死库容已基本全部淤损,比初步设计阶段多淤了955万 m^3 。而调节库容尚未损失,当前调节库容比初步设计阶段坍岸后多759万 m^3 。

(3)在库岸尚未稳定的情况下,若水库继续坍岸将直接淤积在水库的调节库容部位。

2.3 坍岸及淤积部位分析

根据实测1:2000地形图,生成数字高程dem。为反映库区坍岸后地形变化情况,将初步设计阶段1:10000地形图生成的dem与现状dem相减,生成高程变化dem,结果表明:

(1)坝址至距坝左岸900m范围内,坍岸轻微。

(2)距坝左岸900m至2150m范围内,坍岸范围很大,坍岸宽度在290m左右,最大塌方高度约接近100m;左岸支沟坍岸长度600m左右,坍岸宽度在90m左右,最大塌方高度约15m左右。

(3)距坝左岸2200m至2950m的范围内,坍岸宽度在170m左右,塌方高度约在25m左右。

(4)距坝左岸2950m以上的范围内,坍岸轻微。

(5)坝址至距坝右岸760m范围内,坍岸宽度在240m左右,最大塌方高度约80m左右。

(6)右岸其他部位坍岸长度合计1100m左右,平均坍岸宽度在70m左右,最大塌方高度约20m左右。

(7)右岸支沟也发生坍岸,坍岸长度700m左右,平均坍岸宽度在110m左右,最大塌方高度约15m左右。

3 坍岸淤积库容冲沙的必要性

研究坍岸淤积库容对于水库的管理和运行至关重要。它能够评估水库的实际可用容量,指导水库的调度和泥沙调控,保护水库周边的生态环境。因此,进行坍岸淤积库容研究是必要的,可以提高水库的管理和运行效率,确保水资源的可持续利用。

(1)水库死库容绝大部分已经淤积,对泄流建筑物运行操作带来了不便,特别是汛期坍岸有可能淤堵泄洪排沙洞,对水库的防洪安全产生隐患,同时增加了水电站的过机含沙量,对水轮机的磨损程度增加,影响了水轮机的使用寿命,采取冲沙措施,恢复部分死库容,保证水库安全运行是非常有必要的^[1-2]。

(2)根据坍岸后与初步设计阶段库容曲线对比分析,坍岸后调节库容比初步设计水库淤积30年调节库容多1300万 m^3 ,坍岸后2491m高程以下的调节库容与初步设计阶段调节库容相近,表明近期水库在正常运用的情况下,

平水年和枯水年难以蓄至正常蓄水位,丰水年可蓄至正常蓄水位。根据地质分析,后期水库蓄水至高程 2497.00m (正常蓄水位)时,预测后期坍岸总方量尚有 666 万 m^3 。因此,采取冲沙措施,恢复部分库容,当后期水库蓄水至正常蓄水位 2497.00m 时,所恢复部分库容可作为坍岸的淤沙库容,对水库尽快转入正常运用是十分必要的。

(3) 根据前期勘察试验资料中坍岸岸坡土的颗粒级配情况,可确定 $>0.075\text{mm}$ 的细砂为推移质,这部分泥沙难以被排出库外;其余 96% 的泥沙为悬移质泥沙,这部分泥沙可以随水流排出库外。从现状淤积形态看,库区死库容基本被坍岸沙量填平。小于 0.005mm 的黏粒含量占 4.9%~5.8%,这部分泥沙在长时间静止的情况下会发生胶结,难以被水流冲走,并且对覆盖在胶结黏粒下的粉沙起到了抗冲保护作用^[3]。因此,为避免黏粒长时间胶结影响冲沙,尽快采取冲沙措施是十分必要的。

4 水库泥沙调度运行方案

水库泥沙调度方式采用“长短结合”的调度运行方式,长期采用“蓄洪运用”的调度运行方式,短期采用间歇式“门前清”的调整度运行方式^[4-6]。

4.1 水库排沙运行方式

水库冲沙后,正常蓄水位(2497 m)以下库容为 5426 万 m^3 ,在前期未坍塌的 666 万 m^3 库岸坍岸发生坍塌的情况下,正常蓄水位(2497m)以下库容为 4760 万 m^3 ,初步设计(含塌方量)正常蓄水位以下库容为 4883 万 m^3 相近,已经达到了冲沙预期目标,故采用初步设计阶段确定的蓄洪运用方式。

4.2 坝前泥沙调度方式

泄洪冲沙洞冲沙属于正常的水库运行,长时间关闭会对坝前泄流建筑物安全造成不利影响;而长时间冲沙又会影响冲沙的效率,造成水量浪费,坝前泥沙采用“门前清”的泄调水调沙(泥沙)方式,保证泄洪冲沙洞的通畅^[7]。

4.2.1 作用和目的

(1) 泄洪冲沙洞的功能有两个:一是泄洪,二是冲沙。因此开启泄洪冲沙洞泄洪冲沙,属于水库正常的调度运行。

所有拦河水库都存在着泥沙淤积对坝前水工建筑物运行的不利影响,只是存在着时间长短的差异,奴尔水库由于库区库岸坍塌淤积量大且集中,并且淤积泥沙很不稳定,易于推进到坝前,致使坝前泥沙问题提前暴露,在水库运行初期,增加了水库冲沙的频次和时间,但并未增加冲沙的难度,随着水库运行年限的增加,库岸坍塌量减少,水库冲沙的频次和时间也会相应地减少^[8-9]。

(2) 保持引水口“门前清”,减少灌溉发电引水和人饮供水含沙量。

(3) 防止泥沙淤积堵塞泄洪冲沙洞,保持泥沙通道,使部分入库泥沙冲出库外,减轻水库泥沙淤积。

4.2.2 冲沙原则

(1) 确保泄洪冲沙洞不被淤堵,保证水库泄洪安全。

(2) 入库沙量大时(汛期)多冲,入库沙量少时(枯水期)少冲或不冲。

流量大时入库沙量大,流量大时水流挟沙力也大,坝前泥沙淤积速度较快。

(3) 水库供水期(库水位下降)多冲,蓄水期(库水位升高)少冲。

水库水位下降时,回水末端以上的淤积泥沙发生冲刷,坝前泥沙淤积速度变快,库水位升高时,回水末端以下发生淤积,坝前泥沙淤积速度变慢^[10]。

(4) 当库区两岸再次发生坍塌时,增加观测坝前泥沙淤积的次数,及时开启泄洪冲沙洞冲沙,防止泄洪冲沙洞发生淤堵。

4.3 “门前清”调度方式

冲沙后,坝前 450 m 的范围内泥沙淤积高程在 2460~2468m 之间,库区左侧尚未形成一条连通至上游 450m 处的河槽,这部分坍塌泥沙的物理性质不会发生改变,泥沙仍会发生滑塌,但不会发生集中滑塌,由于冲沙漏斗容积较小,滑塌泥沙很快推进到泄洪冲沙洞前,若不及时冲沙,会造成泄洪冲沙洞淤堵,实际观测和冲沙情况表明,每 1~2d 进行一次“门前清”冲沙,可保证泄洪冲沙洞不被淤堵。为保证泄水建筑物安全运行并兼顾下游灌溉供水,需采取不定期“门前清”的坝前泥沙冲沙,调度方式如下:

(1) 观测泄洪冲沙洞前的泥沙淤积高程,当冲沙洞前淤积高程达到 2452m 时,及时全部开启(避免局部开启发生闸门震动)泄洪冲沙洞冲沙,冲刷时间为 5~10min 左右,既能保证泄洪冲沙洞不被淤堵,又能利用水库至下游战斗渠首的 6km 河槽的坦化调蓄作用,减少冲沙弃水。

(2) 当水库水位异常升高时,特别是当水库蓄水位超过前期最高蓄水位 2488.04m 时发生水位异常升高,表明库岸发生集中坍塌侵占库容引起水位升高,应及时开启泄洪冲沙洞冲沙。

(3) 水库泄洪时,首先由导流兼泄洪冲沙洞泄洪排沙,其次由溢洪洞泄洪。

(4) 冬季因水库结冰造成泥沙淤积高程观测困难时,需 1~2d 进行一次“门前清”冲沙。

5 结论与建议

5.1 结论

(1) 通过分析可知,由于坍岸的影响,目前水库死库容绝大部分已经淤积,未来随着水库运行水位的升降,水库依然存在坍岸的可能性,水库现状调节库容可能因为坍岸而减小;经过敞泄冲沙,在预估 666 万 m^3 坍塌的情况下,奴尔水库的库调节库容可满足初步设计阶段的“蓄洪运用”运行方式,能够完全满足水库的综合利用要求。

(2) 现状水库死库容绝大部分已经淤积,给泄流建

筑物运行操作带来了不便,特别是汛期坝岸有可能淤堵泄洪排沙洞,对水库的防洪安全产生隐患,同时增加了水电站的过机含沙量,对水轮机的磨损程度增加,影响了水轮机的使用寿命,增加“门前清”冲沙措施的频次,使部分淤积泥沙排出库区,防止冲沙洞淤堵,保证水库安全运行是非常有必要的。

(3) 冲沙后,坝前 450m 的范围内泥沙淤积高程在 2460~2468m 之间,这部分坍塌泥沙的物理性质不会发生改变,泥沙仍会发生滑塌,随着“门前清”冲沙次数的增加,坝前淤积高程降低,滑塌强度降低,冲沙洞前泥沙纵坡变缓,直至形成水下坡度 $6^{\circ} \sim 12^{\circ}$ 的稳定纵坡。

5.2 建议

(1) 加强水库淤积监测,采取必要措施减轻泥沙淤积程度,确保水库正常运行。

(2) 泥沙调度运行方式恢复到初步设计阶段的“蓄洪运用”方式。

(3) 在操作方式上,需根据坝前泥沙的淤积情况,增加或减少开启泄洪排沙洞的频次,避免长时间关闭泄洪排沙洞,有利于在联合进水口前形成冲刷漏斗,尽可能减少水轮机过机含沙量。

(4) 敞泄冲沙后,水库泥沙调度方式采用“长短结合”的调度运行方式,长期采用“蓄洪运用”的调度运行方式,短期采用间歇式“门前清”的调整度运行方式。

【参考文献】

[1] 刘江,李江.多泥沙河流中型水库调度运行原则研究

[J].水利科学与寒区工程,2020,3(6):27-31.

[2] 杨春瑞,邓金运.中小洪水调度对三峡水库泥沙淤积的长期影响[J].水电能源科学,2020,38(6):34-37.

[3] 黄涛.乌鲁瓦提水利枢纽工程泥沙调度方案研究[J].黑龙江水利科技,2020,48(2):68-72.

[4] Markus Reisenbüchler, Minh Duc Bui. Sediment Management at Run-of-River Reservoirs Using Numerical Modelling[J]. Water, 2020, 12(1):108-122.

[5] Hsiao-Wen Wang, Mathias Kondolf. Sediment Management in Taiwan's Reservoirs and Barriers to Implementation[J]. Water, 2018, 10(8):385-401.

[6] 金兴平,许全喜.长江上游水库群联合调度中的泥沙问题[J].人民长江,2018,49(3):1-8.

[7] 李巍.水库调度运行方式对水库泥沙淤积的影响[J].水利建设与管理,2017,37(9):65-67.

[8] 张雅琦.三峡水库泥沙调度探索[J].水电与新能源,2016(8):1-3.

[9] 金文.基于泥沙冲淤数值模拟的水库调度方案研究[J].水利水电技术,2016,47(4):83-87.

[10] 周曼,黄仁勇,徐涛.三峡水库库尾泥沙减淤调度研究与实践[J].水力发电学报,2015,34(4):98-104.

作者简介:班懿根(1975.12—),毕业院校:石河子大学工学院,所学专业:农田水利工程,当前就职单位:疆塔里木河流域巴音郭楞管理局,职务:党委委员、博斯腾湖管理处党总支副书记、处长,当前职称级别:副高级职称。