

Analysis of Sedimentation in the Dam Front Reservoir Area of Nansha Power Station and Corresponding Measures

Guoshan Cao¹ Xiaolin Zhang²

1. Honghe Guangyuan Hydropower Development Co., Ltd., Mengzi, Yunnan, 661100, China

2. Pearl River Hydrology and Water Resources Survey Center, Guangzhou, Guangdong, 510611, China

Abstract

The Nansha Power Station is currently the first level built hydropower station on the main stream of the Red River. The Red River is a sandy river, and the seasonal variation of sediment transport in the basin is particularly significant. The annual sediment transport is mainly concentrated in the flood season. The designed average sediment concentration at the Nansha Power Station dam site is 5.35kg/m^3 , and the average sediment transport over the years has reached 43.04 million tons. In recent years, the power station has been affected by insufficient upstream water, resulting in unsatisfactory sediment discharge and serious sediment accumulation in the reservoir area, especially in front of the dam where the sediment accumulation depth exceeds 20m, which affects normal power generation operation. This article conducts a statistical analysis of the terrain measurement results in the reservoir area since the operation of the power station, especially the analysis of sedimentation measurement in front of the dam in the past three years. It studies the effect of regularly opening the bottom hole for sediment discharge scheduling to reduce sedimentation in front of the dam when the incoming water during the flood season cannot meet the conditions for sediment discharge.

Keywords

sediment load; Sedimentation; desilting; density current; measure; Red River Basin

南沙电站坝前库区泥沙淤积分析及应对措施

曹国山¹ 张晓琳²

1. 红河广源水电开发有限公司, 中国·云南蒙自 661100

2. 珠江水文水资源勘测中心, 广东广州 510611

摘要

南沙电站目前为红河干流第一级已建水电站, 红河为多沙河流, 流域输沙量季节变化特别明显, 年输沙量主要集中在汛期, 南沙电站坝址设计的多年平均沙质含沙量为 5.35kg/m^3 , 而多年平均输沙量达到了4304万t。电站近年来受上游来水少影响, 排沙效果不理想, 导致库区泥沙淤积严重, 特别是坝前泥沙淤积深度超过20m, 影响正常的发电运行。本文通过对电站运行以来库区地形测量成果的统计分析, 特别是近三年坝前淤积测量分析, 研究在汛期来水达不到拉排沙条件情况下, 通过定期开启底孔排沙调度, 对坝前淤积情况起到减轻淤积作用。

关键词

输沙量; 泥沙淤积; 排沙; 异重流; 措施; 红河流域

1 引言

南沙电站投产运行后, 受近年来天气异常, 云南的持续干旱少雨和红河流域构造剥蚀~溶蚀中低山区地质条件影响下, 水库库区泥沙淤积相对严重, 致使水库的原有有效库容不断减小, 水库的正常发电、防洪等原有效益也随之降低。特别是受电站库区坝前淤积, 水轮发电机组的效率与之前相比有所降低, 水轮机的发生磨损现象, 相关设备的漏水量增大, 缩短大修周期, 增加检修时间和难度等, 影响到正常的发电运行。

本研究通过南沙电站近三年库区坝前淤积情况对比分析, 整体坝前淤积情况已超过进水口及部分泄洪建筑物高程, 已严重影响到正常的发电运行。为防止坝前淤积情况进一步加重, 根据之前拉排沙对底孔及坝前泥沙起到了一定的门前清作用, 研究在汛期上游来水不足以满足设计排沙方案情况下, 结合上游气象、来水等条件和汛期流量相对较好情况下, 不定期开启底孔排沙调度, 对坝前淤积进行逐步清理, 至少不影响次年枯水期正常发电运行, 尽可能延长电站设计使用寿命, 最大限度发挥水库作用和效益^[1]。

【作者简介】曹国山(1985-), 男, 中国吉林舒兰人, 本科, 工程师、中级政工师, 从事水文与水资源研究。

2 南沙电站概况

南沙水电站位于红河(元江)干流红河哈尼族彝族自治州元阳县和建水县境内,是《云南省红河(元江)干流梯级综合规划报告》推荐的12级开发方案中的第9个梯级,列为先期开发的建设工程之一,目前是红河干流第一级已建水电站。南沙水电站以发电为主,远期兼有防洪、供水、航运等综合利用效益。

南沙电站坝址以上集水面积为28875km²,水库校核洪水位272.90m,相应总库容2.65亿m³。正常蓄水位为267.00m,相应库容为2.08亿m³,属日调节水库。坝顶高程为274.00m,最大坝高为85.0m,坝顶长度240.22m。电站装机容量为150MW,采用3台单机容量为50MW的混流式机组,保证出力20.0MW,年利用小时4682h,多年平均发电量7.0228亿kwh。

3 电站坝前库区淤积分析

3.1 库区淤积深度

3.1.1 横向断面淤积分析

通过对比分析电站设计阶段地形(2007年)与近三年地形资料(测量时间分别为2021年1月、2022年12月、2023年8月)进行,坝前00、01断面(分别距坝轴线25.13m、274.90m)河床高程断面图详见图2、图3。

三次南沙电站坝前淤积测量数据对比,淤积高程变化如下:

(1)2023年8月,坝前00断面淤积高程为246.5m左右,比2022年12月测量时高程(235~243m)升高约3.5~11.5m左右(11.5m为底孔前)。

(2)2023年8月坝前测量时,坝前600米平均淤积高程为246.5m左右,2022年12月坝前600m平均淤积高程为243.5m左右,平均整体升高了3.0m左右。比2021年1月坝前600m平均淤积高程为241.2m左右,平均整体升高了5.3m左右。

3.1.2 纵向淤积分析

根据库区河床底纵断面图,纵向淤积形态与2013年比较数值较大,断面冲淤变化比较显著,且有越靠近坝前淤积深度越大的规律。库区河床底高程变化表变化特性见表2,水库淤积断面河床最低点淤积情况变化见表3。

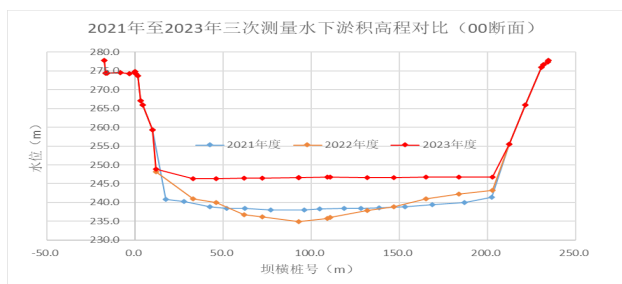


图2 坝前00断面水下淤积高程对比图

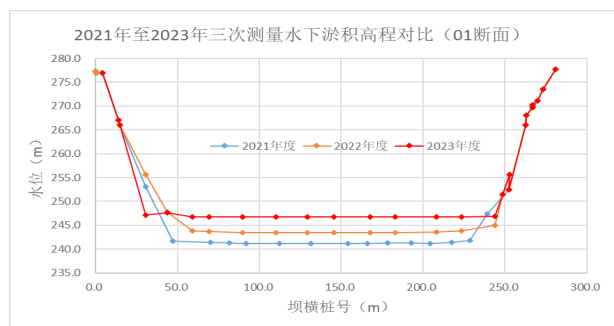


图3 坝前01断面水下淤积高程对比图

表2 库区河床底高程变化表变化特性表

断面里程 (km)	设计阶段河床底高程 (m)	2022年河床底高程 (m)	相较于设计阶段河床底高程变化 (m)	备注
k0+030	213.00	242.30	29.30	坝前
k2+000	214.00	245.34	31.34	
k5+000	221.00	250.84	29.84	
k8+000	224.60	257.21	32.61	航运中心上游段
k10+000	227.00	258.05	31.05	
k12+000	230.60	258.74	28.14	
k15+000	232.50	257.33	24.83	
k17+000	237.50	257.41	19.91	虾洞矿区中段
k19+000	239.10	259.20	20.10	乍拉村下游段
k21+000	242.40	259.74	17.34	
k23+000	243.40	260.04	16.64	
k25+000	248.80	261.13	12.33	曼发村下游砂场
k27+000	252.80	259.56	6.76	六蓬村砂场
k30+000	256.60	262.69	6.09	
k32+000	264.20	264.32	0.12	电站库尾

表3 库区淤积断面河床最低点冲淤变化统计表 (2013~2022年)

断面号	冲淤变化最低点 (m)	断面号	冲淤变化最低点 (m)
k0+030	6.92	k17+000	4.48
k2+000	8.92	k19+000	1.60
k5+000	12.85	k21+000	-1.07
k8+000	17.66	k23+000	-0.76
k10+000	16.94	k25+000	-1.10
k12+000	15.08	k27+000	-1.62
k15+000	10.10	k30+000	-0.90

备注:正值表现为淤积形态,负值表现为冲刷形态。

3.2 泥沙来源分析

于林文^[2]在水库泥沙淤积问题研究中对水库泥沙来源、泥沙淤积形态以及淤积带来的危害进行了总结阐述,认为水库中泥沙产生的主要原因是集水面积内岩石的风化,另一部分则是来自水库上游河床的冲刷或河流两岸的崩塌。韩其为等^[3]对水库淤积基本理论、水库淤积数学模型等方面做了较全面的总结。

3.2.1 流域代表站泥沙分析

本次泥沙系列 1973 年 ~ 2003 年, 坝址上游的元江站多年平均输沙量 3006 万 t, 多年平均含沙量 $5.64\text{kg} / \text{m}^3$; 坝址下游蛮耗站多年平均输沙量 4667 万 t, 多年平均含沙量

$4.84\text{kg} / \text{m}^3$ 。流域输沙量季节变化特别明显, 年输沙量主要集中在汛期的 6 月 ~ 11 月, 占到全年总输沙量的 97%。输沙量的年际变化与径流的年际变化一致, 丰水年即多沙年, 枯水年即少沙年。

表 4 代表站悬移质输沙量成果年内分配统计表 单位: 万 t

月份	6	7	8	9	10	11	12	1	2	3	4	5	年值
元江	419	664	822	564	355	101	6.5	3.4	2.3	2.7	1.6	63.3	3006
蛮耗	652	986	1191	826	548	212	22.3	19	12.4	14.1	26.6	159	4667

3.2.2 坝址处泥沙分析

南沙电站坝址含沙量根据元江和蛮耗站按面积直线内插, 多年平均输沙量由坝址多年平均径流量乘以多年平均含沙量求得; 由于红河流域无推移质输沙量观测资料, 推移质输沙量根据武汉水利电力学院等单位推求的经验公式 ($W_b=0.16Q^{0.97}J^{0.97}Ms^{1.45}$) 和邻近流域相关工程推悬比系数法进行估算。由于两种方法计算结果相差较大 (经验公式估算推移质量 2057 万 t), 为了取值切合河流实际, 本次推移质输沙量主要参考金沙江流域的推悬比关系, 按悬移质输沙量的 1.5% 计。

3.3 泥沙淤积危害

2023 年 8 月 23 日坝前 00 断面淤积高程为 246.5m, 已高过南沙电站进水口底坎高程 243m 的 3.5m, 高过南沙电站底孔闸门底坎高程 228m 的 18.5m, 直接影响到电站的日常发电运行。

坝前淤积情况对发电设备的影响:

(1) 坝前淤积已高过进水口底坎高程, 导致进水口拦污栅压差变大, 发电机效率下降, 机组满负荷运行 (与 2022 年相比) 需要更高的水位才能满足。

(2) 进水口处泥沙大量进入进入压力钢管, 泥沙不规则冲击水轮机时机组摆摆增加, 对机组稳定性造成一定破坏^[2]。

4 泥沙淤积应对措施

当上游元江流量小于等于 $800\text{m}^3/\text{s}$, 坝址入库流量小于等于 $1040\text{m}^3/\text{s}$ 时, 不满足设计排沙调度条件。

根据上游来水情况, 择机开展汛期排沙调度: 加大汛期对排沙阀和底孔的开启频率; 在汛期库水位 260m 以下, 定期开启排沙底孔进行坝前清淤。由于坝前泥沙淤积高程已超过排沙底孔及排沙管进口, 为防止淤积一步加重对底孔闸门正常启闭的影响及进水口水体含沙量增大对机组的磨损等不利影响等, 汛期开启底孔降低坝前淤积高程。底孔开启后, 坝前淤积泥沙随水流排出库区, 可以有效降低坝前泥沙淤积情况。

合理调整水库运行方式异重流排沙^[5]。由于红河流域特殊地质条件, 首次洪水含沙量大, 首次洪水对库区淤积影响较大, 需注重首次洪水调度, 尽可能将首次洪水泥沙排出库区。8 月至 9 月主汛期, 洪水含沙量高, 在水库调度时,

适当控制库水位, 库水位过高不利于排沙效果, 采取低水位运行兼顾排沙调度, 合理利用水雨情预测情况, 动态控制库水位, 兼顾南沙水电站发电与排沙要求。

排沙运行实施具体方法:

汛前, 根据气候预测情况及考虑下游防洪安全, 汛前在合适的时间将库水位降至 255m 左右提前腾库, 增强突发洪水时防洪应变能力及库区排沙效果。

水位降低至 260m 以下后, 优先开启底孔, 通过动态调整底孔开度, 预报上游洪水为小洪水时, 逐步动态调整库水位至排沙水位, 预报上游洪水较大时, 可加大泄量利用水库水量先行排沙;

上游洪水回落时又预报无强降雨过程, 及时关闭底孔回蓄水位水库调度转为发电调度为主。

南沙坝前至 10 号断面, 通过水库调度, 不断扰动库区水流, 将库区未板结泥沙及高含沙量水流及时排出库区;

水位降排沙水位后, 元江流量增大, 组织人员进行库区巡视主要在断面 6-10 之间巡视, 第一时间发现洪水形成的异重流并及时通知水调人员, 开启排沙底孔进行异重流排沙调度。

排沙调度监测方案:

汛前首次排沙前, 对坝前断面进行测量, 作为后期排沙效果分析的基础数据, 也可与之前排沙情况进行对比分析;

排沙调度时, 加强对下游泥沙的监测, 每半小时采集一次下游水样, 之后每隔两小时采集一次, 分析含沙量变化; 闸门运行方式调整后半小时采集下游水样;

根据每年排沙调度实际运行情况, 有计划的在汛后进行预计测量, 对比分析汛期排沙效果;

监测排沙调度时水流的浑浊程度及流态变化情况, 将库区近岸, 下游边坡, 大坝主体建筑物等做重点观测。

5 结论及建议

南沙电站受上游来水影响, 库区淤积严重, 已经影响到电站的正常运行。科学合理的水库调度方式不仅能保证电站的正常运行, 而且还能减缓水库淤积程度, 最大可能延长水库使用年限。及时掌握水库淤积情况及变化规律, 定期开展库区淤积测量分析至关重要, 不断收集淤积基础资料, 分

析水库调度对库区淤积影响,调整排沙调度策略,科学合理控制水库淤积程度,发挥水库原有设计的作用和效益,建议如下:

合理利用已有的水雨情监测信息,提前预测预警,按照设计提供的排沙水位控制调度,严格控制排沙水位的上限,尽可能低水位排沙运行。

红河流域汛期时,水沙含量大。在上游有较大来水来沙过程时,应利用元江至坝址流量时间差,提前降低坝前水位排沙。在同级流量下,低水位高含沙水流具有较强的挟沙能力,动能相对较大,能够对淤积河床的河槽产生揭底冲刷。

多泥沙河流的水库均面临库区淤积的问题,定期开展库区淤积测量,收集基础数据,分析水库淤积变化规律,为后期研究排沙调度提供基础。

排沙调度期间,及时对水沙抽样分析,研究河床颗粒

级配大小及分布,掌握泥沙颗粒粒径变化规律。为后期研究收集基础资料。

参考文献

- [1] 陈光文.青铜峡水库泥沙淤积及排沙方案设计[J].机电信息,2019(35):142-143.
- [2] 于林文.水库泥沙淤积问题的研究[J].工程技术,2013,29:57.
- [3] 韩其为,杨小庆.我国水库泥沙淤积研究综述[J].中国水利水电科学研究院学报,2003,1(3):169-178.
- [4] 成淑贤.红河流域沟蚀空间分布及影响因素研究[D].昆明:云南大学,2022.
- [5] 刘思海,侍克斌,张宏科等.克孜尔水库异重流排沙分析及塑造技术研究[J].长江科学院院报,2018,35(10):10-14.
- [6] 魏向阳,杨会颖,孔纯胜等.小浪底水库汛期低水位排沙调度实践分析[J].人民黄河,2020,42(07):19-22+111.