

南方某大型水库恢复正常蓄水位对主坝的安全影响评价

陈达 胡雨涵

国家电投集团江西电力有限公司江口水电厂

摘要: 本论文是关于南方某水库在恢复正常蓄水位后对大坝等水工建筑物结构安全的影响评价。研究采用了定量分析方法,通过收集实测的监测数据进行分析,得出了相关结论。结果表明,上游库水位为72.00m时,上、下游坝坡抗滑稳定安全系数满足规范要求;库水位由72.00m骤降时,上游坝坡抗滑稳定安全系数满足规范要求;实测坝体浸润线低于设计线,不同年份同一高水位情况下坝体浸润线无抬高趋势;除个别点外,实测最大渗透坡降均小于允许渗透坡降,现场检查坝后坡左岸与岸坡交接部位有1处渗水点,渗水小且清澈,无细颗粒带出;坝体渗流总体稳定。为了进一步提高大坝的安全性和稳定性,研究提出了相关的建议和措施,包括加强监测和维护等。

关键词: 大型水库; 主坝; 安全评价

【DOI】 10.12254/j.issn.2096-6539.2024.20.074

一、项目背景及任务来源

南方某水库由于建库初期,水工建筑物存在质量问题,库区移民只迁移了70m高程以下居民,原水利电力部在“关于南方某水库工程补编扩大初步设计”的审查意见中指出:为减少近期库区土地淹没及淹没影响,水库正常蓄水位近期应不超过70m,以后视用电要求增长及工程安全情况等再考虑抬高水库水位,因此水库从建成至今一直处于限制水位70m运行。

随着经济社会的快速发展和生态文明建设进程的持续推进^[1],对水电等清洁能源的需求日益增加,下游农田灌溉、航运发展对水源保障也提出了更高要求^[2]。考虑到恢复正常蓄水位对左岸溢洪道堰体作用力、抗力分别为28043kN、27016kN,抗滑稳定略低于规范要求。恢复正常蓄水位需要复查大坝等水工建筑物的安全性等。本论文针对上述问题进行分析研究,并提出评价意见。

二、工程概况

南方某水库工程以发电为主,兼有防洪、灌溉、供水、水产养殖等综合利用效益。水库多年平均径流量110.4亿m³。水库正常蓄水位为72.00m,汛限水位72.00m,死水位65.70m,总库容8.9亿m³,属不完全年调节水库。

主坝为碾压式均质土坝,坝顶高程78.36m,最大坝高33.36m。上游坝坡为3级坡,下游坝坡为2级坡,坡比均为1:3.0。河床段54.0m高程以下为排水棱体,其顶宽2.0m,坡比1:1.5。上、下游坝面均用干砌块

石护坡。

三、现场检查及主要监测成果

根据大坝现场检查情况,主坝上、下游坝面均为块石护坡,现场检查大坝外观完好,块石完整、无风化现象或风化不明显,坝面有零星杂草灌木,上、下游马道完好,纵横排水沟畅通,唯下坝公路排水沟内侧挡墙偏高,排水不畅。大坝未发现白蚁活动迹象,坝顶沥青路面平整完好。

1961年主坝主体工程基本建成。目前坝顶累计最大沉降50.77mm,近期年沉降量为2.19mm,已趋稳定;坝顶顺河向水平位移量值不大,近3年年平均变化速率在1mm以内,已趋稳定。实测坝体浸润线低于设计线,不同年份同一高水位情况下坝体浸润线无抬高趋势;除个别点外,实测最大渗透坡降均小于允许渗透坡降,坝后坡无渗水和细颗粒带出;坝体渗流总体稳定。坝顶混凝土路面完整,坝坡表面块石完好。

四、大坝结构安全影响评价

(一) 坝体渗流复核计算

(1) 计算方法

根据广义达西定律,二维稳定渗流场的控制方程为:

$$\frac{\partial}{\partial x_i} \left(k_{ij} \frac{\partial h}{\partial x_j} \right) - Q = 0$$

式中: x_i 、 x_j —为位置坐标, i 或 $j=1,2$;

h —水位;

k_{ij} —渗透系数张量, i 或 $j=1,2$;

Q —源汇项。

计算边界主要分为以三种:

$$\textcircled{1} \text{ 已知水头边界条件为: } h(x, y) \Big|_{\Gamma_1} = h_1(x, y)$$

$$\textcircled{2} \text{ 已知流量边界条件为: } -k_{ij} \frac{\partial h}{\partial x_j} n_i \Big|_{\Gamma_2} = q_n$$

$$\textcircled{3} \text{ 饱和逸出边界条件为: } -k_{ij} \frac{\partial h}{\partial x_j} n_i \Big|_{\Gamma_3} \geq 0$$

且 $h|_{\Gamma_3} = x_3$

式中： n_i —一界面外法线方向余弦；

q_n —一界面法向流量；

Γ_1 —已知结点水头边界；

Γ_2 —已知流量边界；

Γ_3 —饱和逸出面边界；

上述边界在模型中， $\Gamma_1 = BG \cup CD$ ， $\Gamma_2 = GA \cup AF \cup FE \cup BC \cup GE$ ， $\Gamma_3 = ED$ 。

(2) 计算条件

1) 特征水位

根据工程实际，考虑水库运行中恢复正常蓄水位，选择不利工况，包括稳定渗流工况和水库水位骤降工况。计算工况的特征水位如表1所示。

表1 各工况特征水位

工况	工况说明	上游水位 (m)	下游水位 (m)
工况1	正常蓄水位稳定渗流	72.00	51.27
工况2	70m水位运行稳定渗流	70.00	51.27
工况3	水位骤降(正常蓄水位骤降至死水位)	72.00 降至 65.70	51.27

2) 计算模型

计算断面选取比较有代表性的坝体断面，断面尺寸以水库大坝除险加固后坝体断面为依据，并结合工程地质报告和原设计资料的坝体结构拟定。地层材料分别为：风化料，黏土，排水棱体，泥质千枚岩。

3) 计算边界

- a. 模型底面为不透水边界；
- b. 上下游水位以下的模型表面为已知水头边界；
- c. 下游水位以上的下游坝坡为可能逸出边界。

(3) 渗流计算成果

各计算工况的渗流计算结果见表2。

表2 渗流计算成果表

计算工况	工况说明	单宽渗流量 L/s/m
工况1	正常蓄水位稳定渗流	0.00266
工况2	70m水位运行稳定渗流	0.00203
工况3	水位骤降(正常蓄水位骤降至死水位)	/

水库多数坝段在70m高程以下，少数坝段在60m高程以下的施工断面内采用了黏土料，而在上述施工断面以外采用了千枚岩风化料填筑；坝基岩层由奥陶-志留纪的泥质千枚岩、砂质千枚岩夹变质砂岩、长石砂岩等组成。根据水库复查报告及除险加固设计报告等资料，结

合本次渗流计算结果，得到坝体各土层允许渗透比降及实际渗透比降，详见表3。

表3 各土层允许渗透比降计算表

计算工况	工况说明	黏土材料最大渗透坡降 J_r (允许渗透坡降 0.52)	风化料最大渗透坡降 J_r (允许渗透坡降 0.33)
工况1	正常蓄水位稳定渗流	0.552	0.276
工况2	70m水位运行稳定渗流	0.437	0.218

从上述计算成果可见，正常蓄水位72.00m运行工况下的坝体下游逸出面渗流量和坝体各材料渗透坡降均大于70m水位运行工况，但两种工况下各指标变化量有限。正常蓄水位72.00m运行工况下坝体黏土材料层最大渗透坡降略大于允许渗透坡降，风化料层最大渗透坡降小于允许渗透坡降。坝体有关土料的允许渗透坡降，为水库扩大初设和补强加固阶段，根据土工试验资料得出或依其他有关文献建议的经验数据确定的。其取值较低，而且经过大量试验，设计复查报告认为土料允许渗透坡降取值是偏安全的。结合大坝渗流监测成果分析，2017年以来，坝体实测浸润线与设计基本一致，仅0+310.00m断面第二排测压管(风2-2)水位相对较高，导致风2-2→风2-3(坝轴线下游25m~45m)实测最大渗透坡降为0.37，略超出风化料允许渗透坡降0.33(首次定检设计复查报告成果)，但风2-2→风2-3的渗透坡降无明显趋势性变化，坝后坡未发明显渗水及细颗粒带出，且坝后坡66.5m高程以下已增设贴坡反滤排水。坝体渗流总体较为稳定，未发生渗透破坏迹象。

(二) 坝坡抗滑稳定计算

采用毕肖普法计算平面问题的土坝坝坡圆弧抗滑稳定安全系数，并在指定的范围内寻找最危险的滑动圆弧。各种工况下的坝坡抗滑稳定最小安全系数见表4。抗滑稳定计算成果见图1~图3，结果表明，72.00m水位运行工况下，大坝上下游坝坡抗滑稳定安全系数略低于70.00m水位运行工况。土石坝上、下游坝坡在正常蓄水位及水位骤降工况下均满足抗滑稳定要求。

表4 大坝坝坡抗滑稳定计算成果表

设计条件	工况		安全系数值		最小允许安全系数	是否满足规范要求
			上游坡	下游坡		
正常运用条件	工况1	72.00m水位	2.22	1.98	1.35	满足
	工况2	70.00m水位	2.25	2.08	1.35	满足
非常运用条件I	工况3	水位骤降	1.97	—	1.25	满足

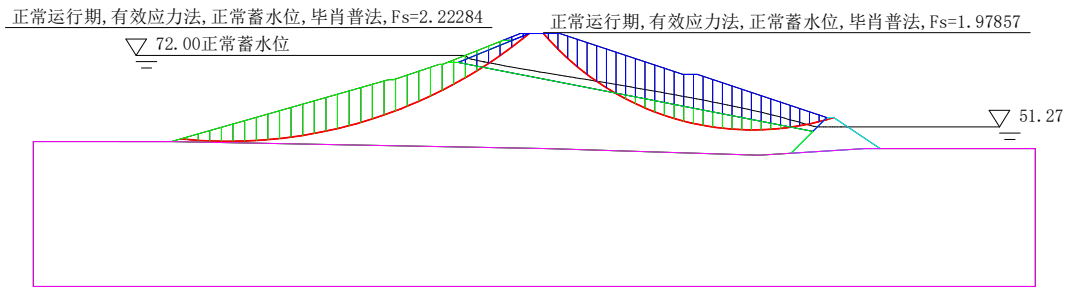


图1 正常蓄水位稳定计算成果图(工况1)

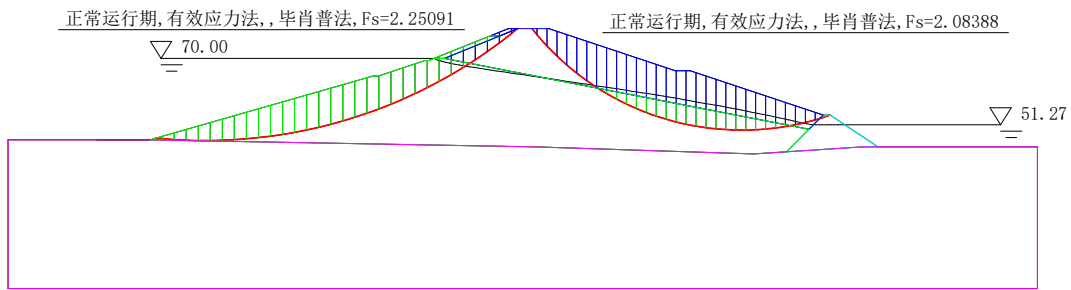


图2 70.00m水位稳定计算成果图(工况1)

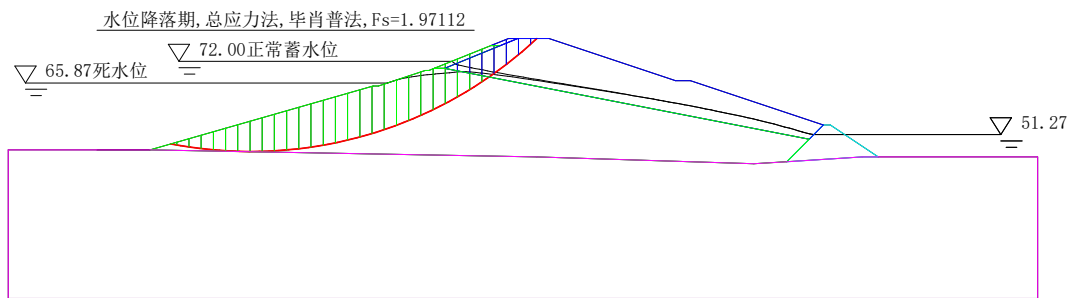


图3 水位骤降期上游坝坡计算成果图(工况2)

五、结论与建议

根据主坝现场检查情况、安全监测资料分析、渗流和坝坡稳定计算等,得出主要结论与建议如下:

(1) 主坝表面变形已趋稳定;实测坝体浸润线低于设计线,不同年份同一高水位情况下坝体浸润线无抬高趋势;除个别点外,实测最大渗透坡降均小于允许渗透坡降,坝后坡无渗水和细颗粒带出;坝体渗流总体稳定。坝顶混凝土路面完整,坝坡表面块石完好。

(2) 现状运行水位时,主坝上下游坝坡抗滑稳定安全系数满足规范要求;上游库水位为72.00m时,上下游坝坡抗滑稳定安全系数满足规范要求;库水位由72.00m骤降时,上游坝坡抗滑稳定安全系数满足规范要求。

(3) 渗流监测显示,现状条件下坝体和坝基内部部分测点间平均渗透坡降超过允许渗透坡降。计算结果显示,上游正常蓄水位由70.00m恢复至72.00m时,大坝黏性土填筑区最大渗透坡降由0.44提高至0.55,稍高于设计允许值(0.52)。实测坝体浸润线低于设计线,不同年份同一高水位情况下坝体浸润线无抬高趋势;除个

别点外,实测最大渗透坡降均小于允许渗透坡降,现场检查坝后坡左岸与岸坡交接部位有1处渗水点(桩号约0+086m、高程约67.4m),渗水小且清澈,无细颗粒带出,坝体渗流总体稳定。

(4) 为确保主坝等建筑物的运行安全,恢复正常蓄水位至72.00m,建议分级、逐步抬高库水位,加强各建筑物的巡视检查。

(5) 主坝左岸与岸坡交接部位下游约67.4m高程的渗水现象已出现多年,应进一步加强监测和巡视,分析渗水来源和渗水原因。

参考文献

[1] 王丹阳,王建慧,宗睿,等.官厅水库大坝高水位运行工况下安全状态评价[J].北京水务,2023,(03):14-20.

[2] 周少良.基于逐步回归分析模型的百色水利枢纽安全评价指标拟定[J].中国水能及电气化,2024,(01):49-55.

作者简介:陈达,1992.06,男,江西高安,汉,工程师,本科,研究方向:水利水电工程。