

坝基扬压力超限对坝体抗滑稳定的影响

杨忠兴¹ 任小红¹ 李春辉^{2,3}

1 国电电力发展股份有限公司和禹水电开发公司

2 中水东北勘测设计研究有限责任公司

3 水利部寒区工程技术研究中心

DOI:10.12238/hwr.v8i9.5731

[摘要] 扬压力性态是反映大坝安全与否的重要指标,坝体扬压力超限会抵消部分坝体重量,恶化坝体应力。本文基于有限元计算方法,对坝基扬压力超限对坝体抗滑稳定进行分析,查明坝基扬压力超限对坝体抗滑稳定的影响,结果表明扬压力对坝体应力的影响更大,应制定切实可行的降低扬压力的处理方案,对确保大坝安全稳定运行具有重要意义。

[关键词] 扬压力超限; 溢流坝; 有限元; 抗滑稳定

中图分类号: TV698.1 **文献标识码:** A

Influence of uplift pressure of dam foundation exceeding the limit on anti-sliding stability of dam body

Zhongxing Yang¹ Xiaohong Ren¹ Chunhui Li^{2,3}

1 Guodian Electric Power Development Co., Ltd. and Yuhui Hydropower Development Co., Ltd

2 Zhongshui Northeast Survey, Design and Research Co., Ltd

3 Cold Region Engineering Technology Research Center of the Ministry of Water Resources

[Abstract] The uplift pressure is an important indicator to reflect the safety of the dam. Excessive uplift pressure of the dam will offset part of the dam weight and worsen the dam stress. Based on the finite element calculation method, this paper analyzes the influence of uplift pressure exceeding the dam foundation on the anti-sliding stability of the dam body, and finds out the influence of uplift pressure exceeding the dam foundation on the anti-sliding stability of the dam body. The results show that uplift pressure has a greater influence on the stress of the dam body, and a feasible treatment scheme to reduce uplift pressure should be formulated, which is of great significance to ensure the safe and stable operation of the dam.

[Key words] uplift pressure exceeds the limit; Overflow dam; Finite element method; Anti-sliding stability

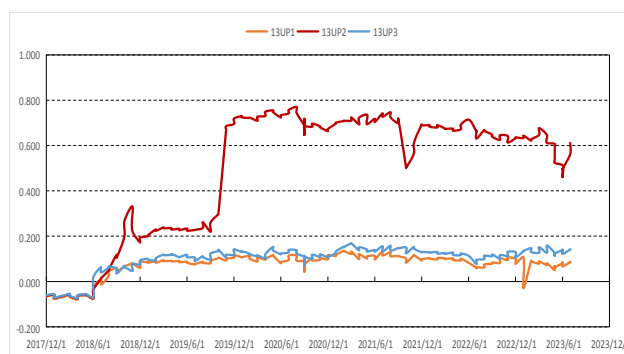
1 绪论

扬压力是作用在坝体内部的一种重要荷载,抵消了部分坝体重量,对坝体抗滑稳定造成不利影响,恶化坝体应力。桓仁水电站位于辽宁省桓仁县境内浑江中游,大坝为混凝土单支墩大头坝,是我国少有的坝型。根据桓仁大坝安全监测资料,对比坝基扬压实测水位与设计值,大多数测孔扬压水位低于设计值,但个别扬压力观测孔11UP3、12UP1及13UP2测点扬压水位和扬压力强度系数超限,24UP1观测孔扬压水位有增高趋势。因此进行坝基扬压力超限对坝体抗滑稳定影响的敏感性分析是十分必要的,同时应密切跟踪关注扬压力变化趋势。

2 扬压力安全监测资料分析

以溢流坝段为例(13#~24#坝段),对扬压力超限坝段(13#、

24)扬压力强度系数变化规律进行分析,坝基扬压力强度系数过程线见图2-1。



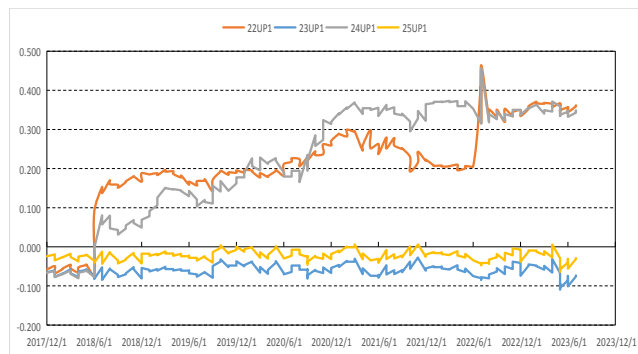


图2-1 桓仁大坝扬压力强度系数过程线 (2021-12-21~2023-7-10)

从以上桓仁大坝溢流段坝基扬压力强度系数过程线可以得出：

(1) 13UP2观测孔扬压力强度系数在2018年6月份开始上升，在0.23左右稳定一段时间，2019年9月发现压力表损坏后更换大量程压力表，系数上升至0.77，最终稳定在0.46~0.68，相邻两测点13UP1和13UP3扬压力强度系数未超过设计值。(2) 24UP1自2018年6月份扬压力强度系数开始上升，但未超过设计值0.2，自2020年4月开始超过设计值，目前稳定在0.36左右。

从目前桓仁坝基整体渗压观测成果看，除了观测孔13UP2和24UP1超限外，其它坝段测值都比较稳定，或扬压力强度系数为0，或很小，说明目前桓仁坝基帷幕和排水系统运行基本正常。但13UP2和24UP1测点扬压力强度系数已远超过设计值0.2，应进一步研究扬压力超限对坝体抗滑稳定的影响。

3 有限元分析模型

目前，关于大坝抗滑稳定影响因素的敏感性研究主要集中在单因素分析，单因素分析法能直观反映出单个因素对指标的影响趋势及大小，因此本文基于有限元计算方法，建立坝体抗滑稳定分析模型，以扬压力作为单独变化因素，研究坝基扬压力对桓仁大坝抗滑稳定的影响程度。

3.1有限元模型。基于实际地质条件，建立桓仁大坝有限元模型，对坝基面在不同荷载组合情况的抗滑面稳定及应力进行计算分析，复核坝体抗滑稳定。选择扬压力超限的#13(溢流坝段)坝段进行计算，坝体将按照全面反映大头、支墩、空腔等相互关系的实际三维体型进行建模。顺河向为X方向，指向下游为正，铅直方向为Y向，向上为正，坝轴线方向为Z向，满足右手螺旋法。建模范围选择上、下游地基为2倍坝底宽度，坝底地基为3倍坝高。

3.2边界条件。计算中岩石基础底边均视为固定边界，即岩石基础底边约束全部位移；岩石基础上下游边及基础两侧边均按平面应变问题边界处理：即岩石基础上下游边约束顺河向水平位移、岩石基础两侧边约束横河向水平位移。

混凝土大坝的边界条件为，上下游坝面和坝顶不约束，坝体侧面与其他坝段接触部位施加侧向约束、临空面(如空腔部位、闸墩临空面)不施加约束。

3.3计算荷载、工况、参数。

3.3.1计算荷载及工况。基于“最不利工况”计算原理，扬

压力强度系数选取历年最大值0.77(工况1)以及设计值0.2(工况2)，分析扬压力对坝体抗滑稳定的敏感性。依据现场调查及扬压力安全监测成果，采用非线性有限元方法，分析结构在自重、水压力、扬压力、浪压力等荷载作用下分析坝段的位移及应力状态，复核分析坝段抗滑稳定性。

3.3.2材料性质。坝体、坝基用理想弹塑性材料模拟，采用Drucker-Prager屈服准则(简称DP)。

DP材料考虑了由屈服而引起的体积膨胀，其等效应力表达式为：

$$\sigma_e = 3\beta\sigma_m + \left[\frac{1}{2} \{S\}^T [M] \{S\} \right]^{\frac{1}{2}}$$

其中： σ_m ——平均应力或静水压力，值为 $\frac{1}{3}(\sigma_x + \sigma_y + \sigma_z)$

$\{S\}$ ——偏差应力

β ——材料常数

$[M]$ ——Mises屈服准则中的[M]

上述屈服准则是一种经过修正的Mises屈服准则，它考虑了静水应力分量的影响，静水应力(侧限压力)越高，则屈服强度越大。

3.3.3材料参数。坝体混凝土、基岩的物理力学参数按照现行规范线性插值，并参照相关工程选取，见表3.3-1。

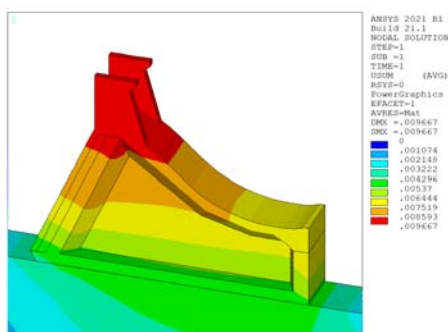
表3.3-1 物理力学参数

| 部位 | 混凝土标号 | 质量密度 (kg/m ³) | 弹模 (GPa) | 泊松比 | 凝聚力 (MPa) | 摩擦系数 |
|--------|------------------|---------------------------|----------|-------|-----------|------|
| 基岩 | | 2600 | 13.5 | 0.3 | 1.00 | 0.9 |
| 溢流面 | 200 [#] | 2400 | 24.1 | 0.167 | 1.39 | 1.22 |
| 一般部位 | 150 [#] | 2400 | 20.2 | 0.167 | 1.25 | 1.13 |
| 上游面防渗板 | 100 [#] | 2400 | 15.7 | 0.167 | 1.10 | 1.05 |

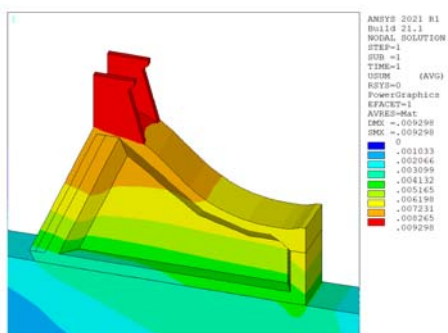
4 扬压力分析

4.1位移对比分析。在自重、静水压力、扬压力强度系数分别为0.77和设计值0.20、浪压力作用下，溢流坝段总位移最大值分别为9.66mm和9.30mm，位于坝段闸墩上游顶部，如图4.1-1。X方向的位移受上游水压力的影响较大，趋向下游，最大位移值为分别7.31mm和7.81mm，位于坝段上游中上部；Y向位移受自重影响，坝体向下位移，最大值分别为6.33mm和5.22mm，位于坝段上游顶部；Z方向为对称位移，最大值分别为0.11mm和0.10mm，位于回填基础部位。相比于最大扬压力强度系数，当恢复至设计值时，总位移、X向位移、Y向位移和Z向位移分别降低3.73%、-6.84%、17.54%和9.01%。

4.2应力对比分析。在自重、静水压力、扬压力强度系数分别为0.77和设计值0.20、浪压力作用下，溢流坝面及下游面出现拉应力情况较多，坝踵存在小范围的拉应力集中，最大值分别为1.44MPa和1.08MPa，超过混凝土的抗拉强度极限，如图4.2-1。X向最大拉应力分别为1.06MPa和0.71MPa，位于坝踵；Y向应力最大拉应力分别为1.11MPa和0.97MPa，位于坝趾；Z向最大拉应力分别为1.04MPa和0.39MPa，位于空腔接缝处。相比于最大扬压力强度系数，当恢复至设计值时，第一主应力、第三主应力、X向应力、Y向应力和Z向应力分别降低25%、80%、49.30%、12.61%和62.50%。

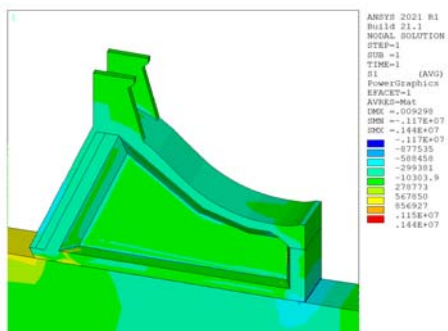


(a) 扬压力强度系数0.77

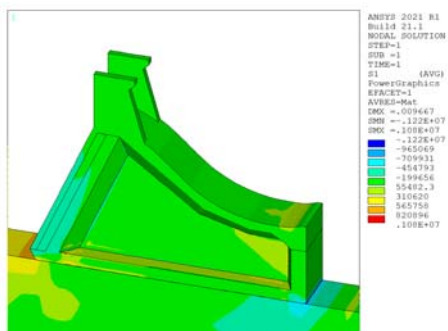


(b) 扬压力强度系数0.20

图4.1-1 校核洪水水位工况溢流坝段总位移



(a) 扬压力强度系数0.77



(b) 扬压力强度系数0.20

图4.2-1 校核洪水水位工况溢流坝段第一主应力

4.3 抗滑稳定系数分析

通过对建基面的应力状态进行积分,得到坝体安全系数,见表4.3-1。由表4.3-1可以看出,13号坝段抗滑稳定抗剪断安全系数在各工况下均满足《混凝土重力坝设计规范》(NB/T35026-2014)的要求。在自重、静水压力、扬压力强度系数分别为0.77和设计值0.20、浪压力作用下,13#坝段抗滑稳定系数分别为2.8122和3.1170,抗滑稳定系数增大10.84%。

表4.3-1 13号坝段抗滑稳定抗剪断计算成果表

| 计算工况 | 计算值 | 允许值 |
|--------------|--------|-----|
| 扬压力强度系数 0.77 | 2.8122 | 1.0 |
| 扬压力强度系数 0.20 | 3.1170 | 1.0 |

5 结论及建议

本文通过对桓仁大坝坝体抗滑稳定进行分析,建立三维有限元分析模型,并从坝体位移、坝体应力、抗滑稳定系数等多方面进行研究,分析扬压力强度系数对坝体状态的影响。分析表明:当扬压力强度系数超过设计值处于最高水平时,坝体抗滑稳定系数降低约10.84%,但仍满足规范要求,可见局部扬压力偏高不致影响其稳定安全,扬压力虽超过设计值,大坝安全水平处于可控范围内;坝体位移增大有限,坝体应力增大较明显,最不利工况下坝体第一主应力已超出混凝土抗拉强度极限,因此大坝运行管理人员必须高度重视扬压力偏大问题,建议进一步加强对超限坝段扬压水位及强度系数的监测,研究变化趋势。

【参考文献】

- [1]郭艳阳,李传才,万学军,等.清江高坝洲大坝的抗滑稳定分析[J].武汉大学学报(工学版),2001,34(5):21-24,50.
- [2]来志强,常晓林,程勇刚.基于分项系数有限元法的观音岩大坝深层抗滑稳定分析[J].水力发电,2017,43(01):30-34.
- [3]王雯,顾中明,杨杰.基于正交设计的大坝深层抗滑稳定敏感性分析[J].西安理工大学学报,2018,34(03):321-325.
- [4]涂承义,吴伟伟,刘西军.某水电站大坝河床坝段抗滑稳定分析[J].人民长江,2017,48(S2):172-174+220.
- [5]荆凯,王延廷,王千.太平湾大坝扬压力超限原因及抗滑稳定分析[J].水电能源科学,2014,32(11):84-88.

作者简介:

杨忠兴(1987--),男,满族,辽宁凤城人,工学学士,职称:工程师,从事的行业或研究:大坝安全监测、水库调度、水工金属结构、大坝加固维护。

李春辉(1992--),女,辽宁朝阳人,工程师,从事水利信息化及结构计算等方面研究。