

# 云南某水电站坝肩边坡的锚杆应力计应用与分析

董建辉, 汪家林, 杨亚静

(成都理工大学环境与土木工程学院, 成都 610059)

**摘 要:** 坝肩的受力对于一个大坝来说很重要, 通过掌握坝肩边坡在施工开挖过程中坡体的变形状况, 通过锚杆应力计的监测成果进行分析总结和反馈, 为边坡稳定性分析以及开挖支护提供数据信息和参考资料, 同时为安全施工提供信息。

**关键词:** 锚杆应力计; 坝肩边坡; 监测; 成果分析

中图分类号: P642.2

文献标识码: A

文章编号: 1005-3409(2007)02-0118-03

## Application and Analysis of Bolt Stress Meters in Abutment Construction Project in Yunnan Province

DONG Jian-hui, WANG Jia-lin, YANG Ya-jing

(College of Environment and Civil Engineering, Chengdu University of Technology, Chengdu 610059, China)

**Abstract:** Abutment's stress is very important for a dam. By mastering excavating slope's distortion in abutment, mastering bolt stress meters's result analysis to analyse and feedback, which can offer data information and reference for slope stability and excavating support, offering information for safe construction.

**Key words:** bolt stress meters; abutment; monitoring; result analysis

### 1 前 言

云南某水电站位于云南省思茅地区江城和红河州绿春县之间的界河李仙江上, 是李仙江流域开发七个梯级电站中的最末一级。它由拦河坝、河床式电站厂房和开关楼等组成。电站总装机容量为 165 MW, 安装 3 台单机容量为 55 MW 的轴流转桨式机组, 年发电量 7.066 亿 kW·h。大坝为混凝土重力坝, 坝顶高程 372 m, 最大坝高 59.2 m。水库正常蓄水位 368 m, 死水位 365 m, 天然总库容 0.78 亿 m<sup>3</sup>, 调节库容为 0.12 亿 m<sup>3</sup>, 为日调节水库。

### 2 工程概括

(1) 工程地质环境。该水电站坝肩边坡的自然坡度为 45°左右, 上游侧开挖界线为垂向冲沟右边坡与坝肩岸坡的地形交点, 主要为二叠系栖霞组砂质页岩、石英砂岩和石英粉细砂岩, 上覆 1~5 m 厚的碎石土。岩层走向 NE280~300°, 倾向 SW, 倾角 35~47°。岩体内夹泥层比较发育, 共揭露出 16 条, 厚度 1~3 cm, 多为碎屑夹泥型, 主要顺层延伸, 个别呈陡倾角或缓倾角状切层发育, 但未发现倾河床的夹泥层。根据洞探资料, 该处有 F4、F5 及 F6 断裂分布: F4 断层走向 NW312°, 倾向 SW, 倾角 82°, 破碎带厚 40~50 cm, 由岩块、岩屑组成; F5、F6 走向 NW280~293°, 倾向 SW, 倾角 51~86°, 破碎带厚 1~3 cm, 组成物为岩屑夹泥。边坡岩体强风化带的铅直厚度为 40~50 m, 弱风化带为 10 m。岩体内没有发现倾向河床的长大缓倾角软弱结构面, 但该类岩体抗

滑、抗变形能力差, 岩体质量类别属 C<sub>IV</sub>~C<sub>V</sub> 类。

(2) 水文地质环境。该水电站工程区属于亚热带季风气候, 气温较高, 降水充沛, 旱雨季分明。每年 12 月~次年 4 月为旱季, 降水少, 相对湿度小, 蒸发量较大; 每年的 5 月~11 月为雨季, 降水频繁且量多, 相对湿度大, 蒸发量相对较小。该区夏季受东南季风和来自印度洋的西南季风控制, 降雨较为集中, 5 月~9 月的降雨量占到全年的 78.0%; 冬季受来自西部大陆干暖气流影响, 干燥晴朗, 降水量少, 12 月至次年 3 月降水量仅占全年的 7.0%。1957~2000 年降水资料统计: 多年平均降水量为 2251 mm, 平均降水日数达 210 d, 最大一日降水为 250 mm。

### 3 监测目的及布置

(1) 监测目的。监测基本的和最重要的目的是提供用于为控制和显示各种不利情况下工程性能的评价。通过研究监测工程状况的累积记录有助于对工程设计进行修改。并通过观测数据与理论上和试验中预测的工程特性指标进行比较, 以便了解设计的合理程度。监测提供的资料及各种因素对工程运行性能影响进行评价。本实例则是通过掌握坝肩边坡在施工开挖过程中坡体的变形状况, 观测坡体锚杆的支护效果, 为边坡稳定性分析以及开挖支护提供数据信息和参考资料, 同时为安全施工提供信息。根据确定的监测项目选定监测仪器锚杆应力计, 掌握坝肩边坡的岩体内部受力和温度变化, 及时反馈信息。

(2) 监测仪器布置。选取坝肩的主轴线为观测断面, 锚

\* 收稿日期: 2006-09-01

作者简介: 董建辉(1984-), 男, 在读硕士研究生, 地质工程专业, 主要从事岩土工程信息化施工及设计的研究工作。

杆应力计布置在坝肩的轴线上不同的高程上, 详见图 1。通过对地质勘察报告、现场实际情况以及对剖面图的分析, 掌握坡体下滑力的状况, 选定仪器的型号。

仪器布置如图 1 所示:

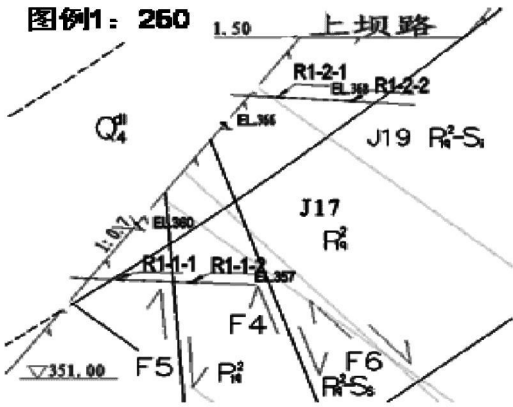


图 1 坝肩边坡锚杆应力计布置剖面图(1: 250)

4 仪器原理及安装

(1) 工作原理。将锚杆应力计与所要测量的锚杆焊接在一起, 当锚杆的应力发生变化而引起感应组件发生相对位移, 从而使得感应组件上的电阻比发生变化, 通过差动电阻数字仪测量其电阻比变化而得到锚杆应力的变化。

(2) 计算公式

应力计算

差动电阻式锚杆应力计采用 SQ-2 型数字比例电桥测读, 输出值为电阻、电阻比及温度。根据数字电桥测得的数据, 锚杆应力计的应力计算公式如下:

$$\sigma = f \cdot (Z_i - Z_0) + b \cdot (T_i - T_0)$$

式中:  $\sigma$ ——锚杆应力计的应力 (MPa);  $f$ ——锚杆应力计的最小读数 (MPa/0.01%)。采用厂家提供的数据;  $Z_i$ ——第  $i$  次测量时的电阻比测值;  $Z_0$ ——基准电阻比测值;  $T_i$ —— $i$  时该传感器的温度;  $T_0$ —— $Z_0$  时传感器的温度;  $b$ ——锚杆的温度修正系数 (MPa/°C)。采用厂家提供的数据。

计算结果为正表示拉应力, 反之为压应力。

埋设点的温度计算

$$T_i = a' \cdot (R_i - R_0')$$

当  $60^\circ\text{C} \geq T_i \geq 0^\circ\text{C}$  时

式中:  $T_i$ ——埋设点的温度 (°C);  $R_i$ —— $T_i$  时传感器的电阻值 ( $\Omega$ );  $R_0'$ ——仪器计算冰点电阻值 ( $\Omega$ );  $a'$ ——仪器零上温度系数 (°C/ $\Omega$ )。

(3) 锚杆应力计的安装埋设

用差动电阻式 PRM-1 读数仪读取锚杆应力计的空载读数、温度;

由测量人员量测出坝肩锚杆的埋设位置, 根据锚杆应力计长度裁截锚杆长度, 总长达到锚杆设计长度;

将锚杆应力计放在被裁截锚杆位置, 两端对接并焊接在锚杆上 (不能在接口位置焊接), 应保持在同一轴线, 不得偏心, 仪器的感应部分不得弯曲。焊接中在传感器两端用湿毛巾盖上, 同时用读数仪测读焊接过程仪器的温度变化情况, 保证仪器温度不超过  $60^\circ\text{C}$ ;

焊接完成待锚杆应力计冷却后, 测读锚杆应力计焊接后读数及温度值, 仪器是否损坏;

将焊接好的锚杆放入已经选好的埋设位置处, 尽量保持直线型放入;

然后实施机械灌浆, 选用水泥砂浆灌实。水: 水泥

: 细砂比例在 0.38~0.45: 1: 1~2 之间;

测读锚杆应力计安装好后的读数及温度值, 对照安装前的读数与温度值, 读数是否有变化, 仪器是否正常工作;

仪器电缆按设计图纸接长, 牵引至临时观测点。

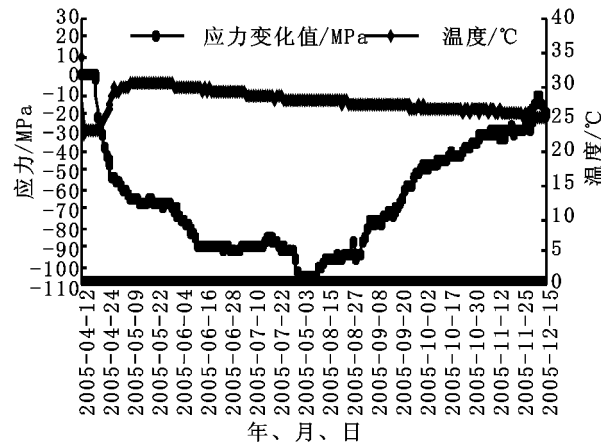


图 2 锚杆应力计 R1-1-1 时间-应力曲线

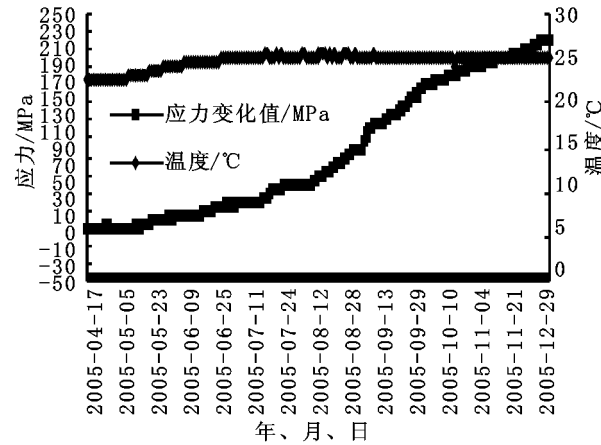


图 3 锚杆应力计 R1-1-2 时间-应力曲线

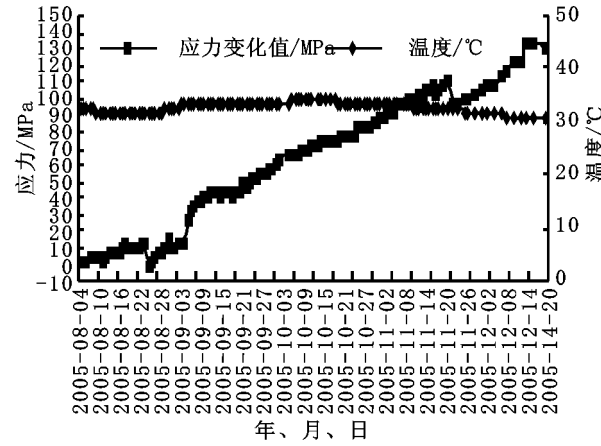


图 4 锚杆计 R1-2-1 时间-应力曲线

5 成果分析

锚杆应力计 R1-1-1 和 R1-2-1 安装在浅部, R1-1-2 和 R1-2-2 安装在相对较深的部位。R1-1-1 和 R1-1-2 安装以后不久, R1-1-1 受其安装部位附近的锚索张拉、雨水以及附近浇注混凝土的影响, 它的锚杆应力受拉急剧下降, 拉力从锚索张拉前的受拉一直降低到锚索张拉后的受压, 在 2005-04-20 浇注那天开始从受压 -1.97 Pa 到

21.78 Pa; 后来该点钢筋计一直处于增长的状态, 图 6 可以看到锚固力不够发生的小规模的垮塌。到 2005-05-14 到 2005-05-31 稳定在 -67 MPa 左右; 在 2005-06-02 晚上下大雨, 而在次之前的几天晚上都有降雨。到 2005-06-04 开始受压一直增大, 在 2005-06-04 突变为 -74.48 MPa, 最高增长速率达到 -5.22 MPa/d, 到 2005-06-12 已经高达 -83.38 MPa。而锚杆应力计 R1-1-2 相对来说受拉值要小的多, 而且增幅一直很平稳, 该点所处为软硬相间的岩层。这次 R1-1-1 受压值且增幅大, 主要原因是雨水影响, 下面开挖施工也影响该点。雨水冲刷该坡段的软弱岩层, 使得该坡段的软弱岩石变得软化, 从力学方面影响来说雨水使得该坡软弱岩层的摩擦系数、黏聚力减小。锚杆受到压力的增加一直持续到了 8 月中旬, 其后逐渐回升增大, 进入 10 月份以后速率有所下降。R1-1-2 在安装初期也受到了锚索张拉的影响, 锚杆应力在安装前期增速很慢, 8 月到 9 月变化速率有所增加, 进入 10 月以后变化速率又有所下降。本年度后期在锚索张拉对锚杆应力影响逐渐减小的情况下, 两支锚杆应力计都表现出锚杆应力增大速率降低的变化, 表明了其所在的边坡在自我受力调整中在逐渐稳定。R1-2-1 从安装到目前锚杆那应力都基本都以几乎相同的速率在上升, 只有在 9 月初的一次大雨过后锚杆应力急剧增加, 这次降雨使 R1-1-1 和 R1-1-2 测得的锚杆应力都有一次突增, 而 R1-2-1 的变化最大, 这些都说明其所在的表部岩体风化和软化相对较严重, 容易受到外部因素的影响。R1-2-2 自从安装以来, 锚杆应力一直在持续缓慢的增大, 增大速率基本保持不变。此部位受到外部因素的影响较小, 也反映了围岩的稳定性较好。综合考察本年度锚杆应力计的变化可以判断坝肩的边坡局部的稳定性不是很好, 但是目前总体上在向良好的状态发展。

6 结论及建议

- (1) 从整体上看, 该坝肩边坡的二叠系栖霞组砂质页岩、石英砂岩和石英粉细砂岩都是岩体抗滑、抗变形能力差, 发育较好, 遇水软化。而在云南此水电站是属于热带雨林, 每年的雨水较多且大而集中, 所以雨季施工时一定要注意这点, 要尽快浇混凝土, 快施工。
- (2) 从上述的仪器监测成果分析来看, 雨水是影响边坡稳定的主要因素之一, 在雨季时应加强监测; 同时, 在边坡加固设计时应采取加固与防水、排水相结合的办法。

参考文献:

[1] 黄秋香. 某水利枢纽工程泄洪排砂洞进口边坡稳定性分析[J]. 防灾减灾工程学报, 2005, 25(2): 401-405.  
[2] 二滩水电开发有限责任公司. 岩土工程安全监测手册[M]. 北京: 中国水利水电出版社, 1999.  
[3] 夏才初, 李永胜. 地下工程测试理论与监测技术[M]. 北京: 同济大学出版社, 1999.  
[4] 吴中如, 沈长松, 阮焕祥. 水工建筑物安全监测理论及其应用[M]. 南京: 河海大学出版社, 1990.

(上接第 117 页)

- (6) 过去传统固沙造林方法采用先固沙后造林的方法, 这次试验与传统方法的不同之处在于采取边固沙边造林的方式, 在
- 参考文献:

[1] 焦树仁. 章古台固沙林生态系统的结构与功能[M]. 沈阳: 辽宁科技出版社, 1989.  
[2] 郭云义, 等. 翁牛特旗流动沙地综合治理技术的初步研究[J]. 内蒙古林业科技, 2002, (2): 11-13.  
[3] 张瑛, 等. 辽宁省土地沙漠化现状成因及发展趋势[J]. 中国地质灾害与防治学报, 2000, 11(4): 73-77.  
[4] 张广才, 等. 毛乌素沙地不同治理措施植被恢复效果分析[J]. 林业科学研究, 2004 年 17(增刊): 53-57.  
[5] 朱振达, 等. 治沙工程学[M]. 北京: 中国环境科学出版社, 1998.

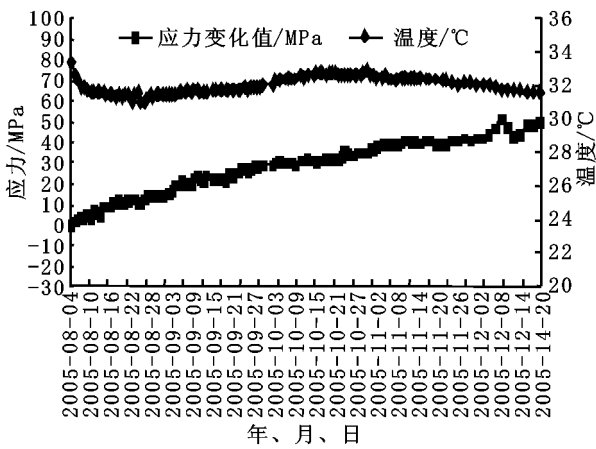


图 5 锚杆应力计 R1-2-2 时间-应力曲线



图 6 2005-05-09 发生的垮塌

- (3) 在分析坝肩锚杆应力计监测数据和图形及加强坝肩地质巡视后, 建议加强坝肩的锚固。在 2005 年 8 月份在坝肩部位增加了两排 600 kN 锚索。从 2005 年 8 月份以后的锚杆应力计受力与时间的关系曲线上看, 可以明显看出锚杆应力计受力逐渐趋于平缓, 总体上在向良好的状态发展。
- (4) 监测工作能直接地统揽全局, 及早发现问题; 可以反映施工中的动态变化并对工程和环境的安全进行评估、预测和预报, 并及时反馈给施工、设计和业主, 以供正确决策指导施工, 确保安全。达到一个动态良性循环, 使得水电站建设更加具有可靠性、安全性、稳定性。