

气温变化对隔河岩水电站岩体边坡位移场的影响

李迪¹, 肖汉江², 崔建华², 陕亮²

(1. 长江科学院工程安全研究所, 湖北 武汉 430010; 2. 长江科学院材料结构研究所, 湖北 武汉 430010)

摘要 现场监测发现, 边坡位移随时间起伏变化, 怀疑其影响因素之一可能是气温变化. 为此, 通过对隔河岩水电站厂房岩体边坡温度位移场的计算分析, 发现气温对边坡位移有影响, 但影响较小, 影响的位移量为毫米级, 而实测位移的起伏变化为厘米级, 计算位移的起伏变化周期为年, 实测位移起伏变化的周期不明显. 因此, 气温变化不是边坡位移起伏的主要因素. 但计算发现了一些气温变化影响位移的有趣规律, 如位移变化滞后气温变化 35 ~ 75 d; 气温影响边坡岩体的深度约 10 m; 岩体深部的稳定温度约为 17 °C 等.

关键词 边坡岩体; 温度位移场; 有限单元法; 隔河岩水电站

中图分类号: TU45

文献标识码: A

文章编号: 1006-7647(2005)02-0014-03

Effect of air temperature variation on displacement field of rock slope at Geheyan Hydropower Station // LI Di¹, XIAO Han-jiang², CUI Jian-hua², SHAN Liang² (1. Engineering Safety Department, Changjiang Scientific Research Institute, Wuhan 430010, China; 2. Materials and Structural Engineering Department, Changjiang Scientific Research Institute, Wuhan 430010, China)

Abstract: According to in-situ monitoring data, the displacement of rock slope varies with time, and the variation of air temperature is doubted to be one of the influencing factors. Through the calculation of the temperature and displacement fields for the rock slope of the powerhouse of the Geheyan Hydropower Station, it is found that the influence of air temperature on the displacement of the slope is only in the range of several millimeters, while the fluctuation of measured displacement is in the range of several centimeters; besides, the fluctuation of calculated displacement is annually changed, while the variation of measured displacement shows no obvious periodicity. Therefore, the variation of air temperature is not the main factor affecting the displacement of the slope. Moreover, some regularities about the displacement varying with air temperature are also found through calculation: the variation of displacement lags behind that of air temperature for 35-75 days; the influence of air temperature on rock mass can reach a depth of 10 m; the steady temperature of rock mass is about 17 °C, etc.

Key words rock slope; temperature-displacement field; finite element method; Geheyan Hydropower Station

1 问题的提出

在人工边坡和天然滑坡(以下简称边(滑)坡)的稳定性安全监测中, 目前普遍采用钻孔测斜仪测量边(滑)坡岩体的深部位移变化^[1]. 该仪器有不仅能及时发现岩体滑动面的发生、发展和准确位置, 而且测量成果的规律性好、数据丰富和观测不受天气的影响这些突出的优点. 但是, 长期以来使人们困惑不解的问题是为什么在边(滑)坡开挖结束后, 用测斜仪实测的孔口位移-时间过程线随时间还会不断起伏(见图 1^[2]). 人们从混凝土重力坝的运行过程中认识到, 坝顶水平位移会随年气温而变化, 其规律是夏季坝顶向上游位移、冬季坝顶向下游位移. 根据这一规律, 人们自然会怀疑温度变化是实测的孔口位移-时间过程线随时间起伏变化的主要原因之一.

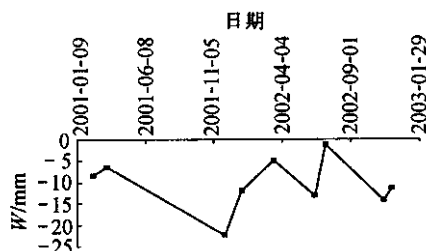


图 1 隔河岩水电站 CX240-1 断面 0.5m 深处累积位移-时间过程线

究竟气温是不是主要的影响因素? 影响有什么样的规律? 目前计算边坡岩体温度位移场的资料还不多见. 为此, 笔者根据热传导原理, 参考大坝温度位移场计算的方法设计了一套探寻上述有关实测深部位移变化原因的方法, 该方法包括以下几个方面:

a. 选择对隔河岩水电站引水隧洞出口及厂房岩体高边坡钻孔测斜仪 I-I 监测断面进行二维温

度-位移场计算,以便和实测资料对比(I - I 断面边坡及测斜仪孔实际布置见图 2)。在数值分析中,为使相关边界满足温度和位移条件,计算时边坡范围比图 2 给出的边坡范围有所增大,其中左右侧和底部均扩大 80 m(见图 3)。

b. 边界条件根据实际情况具体化。

c. 给出隔河岩水电站坝区 2002 年的气温(见图 4)和热力学参数(见表 1),然后计算边坡岩体的温度场。

d. 根据温度场计算边坡位移场。

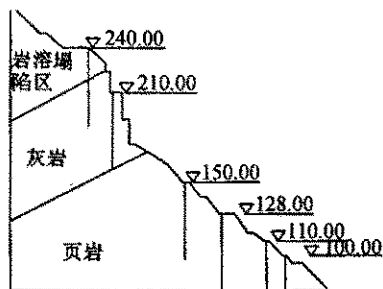


图 2 I - I 监测断面及测斜仪布置(单位:m)

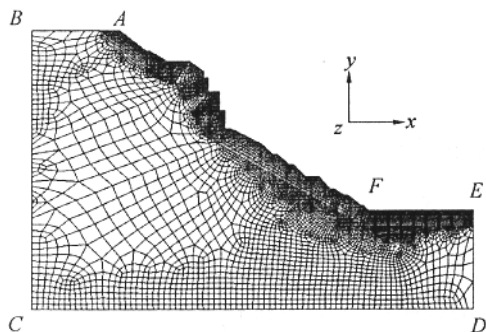


图 3 边坡位移-温度场计算网格

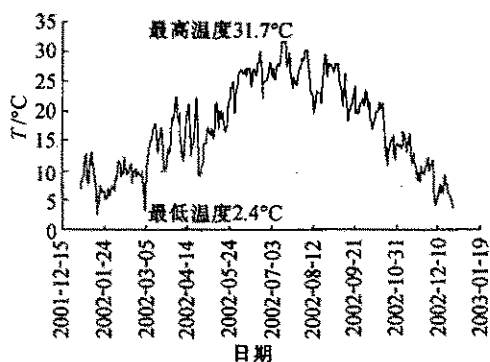


图 4 坝区气温过程线

e. 根据边坡温度位移场计算成果和试验规程整理出位移、温度与时间、深度的相关曲线,得出气温变化对边坡深部位移影响的规律。

f. 比较分析计算的和实测的孔口位移过程线,识别气温是否为影响位移的主要因素。

2 计算方法

2.1 计算原理

长期处于气温作用下的岩体边坡,在距气温边界约 15 m 范围内的岩体中任一点的温度以同一周期作简谐变化^[3],其变幅和相位随坐标(二维情况下即 x, y)而异。对于此类不稳定热传导问题,温度场需满足热传导方程、初始条件及边界条件。根据变分原理,将其化为泛函的极值问题,进行极小化后得到对时间向后差分的隐式差分方程来求解岩体任一时刻的温度场^[4]。根据求得的岩体温度场,视岩体为线弹性体,采用平面有限单元法,分时段求解任一时刻的岩体温度位移场。

2.2 计算条件

a. 计算网格及边值条件。计算网格见图 3,图 3 边坡各段的边界条件给定如下:BC 为绝热面,自由边界;CD 为绝热面,固定边界;DE 为绝热面,沿 y 方向可以位移,但不能沿 x 方向位移;EF,FA 和 AB 为气温边界面,自由边界。其中 x 向为顺坡向;“+”为向坡外方向位移; y 向为铅直向;“+”为上抬。

b. 计算参数和初始温度。计算参数见表 1,各种参数根据相关岩石的试验测定值的统计平均值给出。初始温度条件:赋计算体多年平均气温,然后在年气温边界作用下,从 1980 年开始计算到 2001 年时的温度作为位移计算的初始温度条件。

c. 温度场计算中分区(灰岩区和页岩区)考虑了岩体的不同物理力学参数和热学性能,考虑了基岩表面的放热系数。

3 计算成果及分析

根据温度位移场计算,整理出位移和温度的变化过程线和温度沿深度分布的曲线见图 5~8。

3.1 测斜仪钻孔孔口位移随气温变化的规律

测斜仪钻孔孔口受气温的影响最大,由图 5 可见,水平位移随气温变化有如下规律:

a. 气温变化对水平位移有影响,但影响很小。对 I - I 监测断面边坡(灰岩和页岩)孔口位移量的影响为毫米级,但钻孔测斜仪实测的位移变化量为厘米级(图 1);从温度位移变化规律看出,与实测过

表 1 温度变形计算热力学参数

岩石种类	导热系数 $\lambda / (\text{m} \cdot \text{°C})$	导温系数 $a / (\text{m}^2 \cdot \text{h}^{-1})$	比热容 $c / (\text{J} \cdot (\text{kg} \cdot \text{K})^{-1})$	密度 $\rho / (\text{t} \cdot \text{m}^{-3})$	蓄热系数 $W / (\text{m}^2 \cdot \text{°C})$	线膨胀系数 $\alpha_t / 10^{-6} \text{°C}$	弹性模量 E / GPa
灰岩	2.92	0.00449	951.34	2.65	22.16	8.36	10
页岩	2.24	0.00320	930.00	2.55	20.17	7.00	3

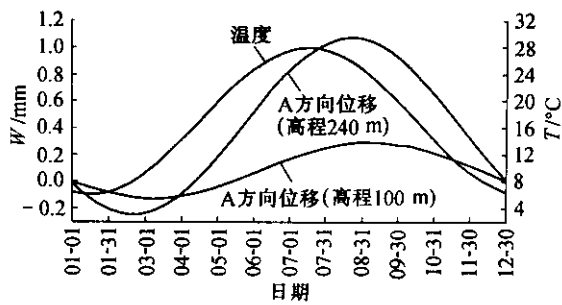


图5 孔口绝对位移、温度多年统计平均值过程线

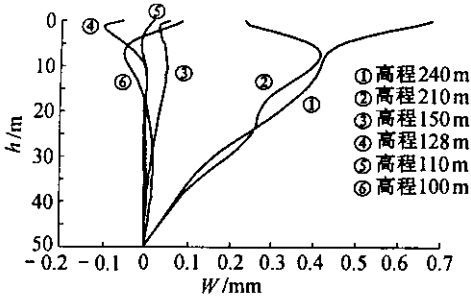


图6 孔深-位移曲线(2001-07-15)

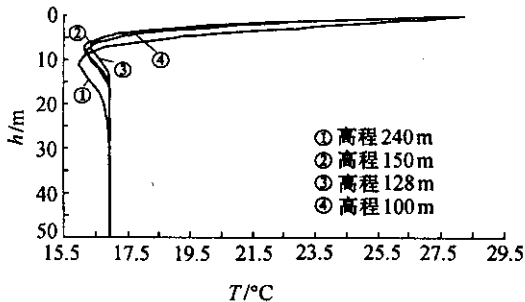


图7 高温下的孔深-温度分布曲线(2001-07-15)

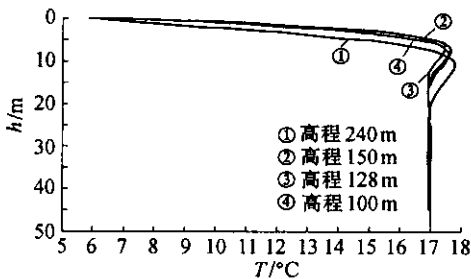


图8 低温下的孔深-温度分布曲线(2001-01-15)

程线不同,温度位移变化以年为周期成简谐曲线变化,但实测位移的变化周期和起伏形状与简谐曲线也相差甚远.可见,温度变化对深部位移的影响存在,但不是主要因素,一定存在其他比温度变化影响更主要的因素.

b. 水平位移随温度变化呈周期性地变化,且位移与温度呈正相关关系,变化周期与年气温变化周期一致.

c. 位移随温度升高而增大(即边坡向坡外位移)随温度降低而减小(即边坡向山里移动).

d. 位移变化滞后于温度的变化,滞后时间与岩性、高程和所在位置附近的边坡形状有关.灰岩区滞后时间约35~60d,页岩区滞后时间约50~75d.

3.2 位移随钻孔深度变化的规律

给出钻孔各点相对孔底的孔深-位移变化曲线于图6.由图6可见:距孔口深度大于10m时,随深度增加位移一般减小;距孔口深度10m以内,除240m高程钻孔外,其他钻孔都有一个位移增大过程,只有240m高程钻孔全孔随孔深增加,位移始终减小.出现这种位移特性的原因,是由于各钻孔所在的边坡平台上下(或左右)的边坡形状(或坡度)不同所导致的温差分布规律各异造成的,但深部位移受气温的影响量同样为毫米级.

3.3 气温沿钻孔深度变化的规律

各高程测斜孔内温度随深度的分布曲线见图7和图8.从图中可见:①高温下,从孔口(地表)到孔深7~11m范围内,孔温随孔深增加先急剧下降到16~16.5°C,然后随孔深增加,分别缓慢增加到稳定温度17°C.②低温下,从孔口(地表)到孔深7~11m范围内,孔温随孔深增加先急剧上升到17.3~17.8°C,然后随孔深增加,分别缓慢下降到稳定温度17°C,与实测边坡岩体的稳定温度16.1~18.8°C接近.③灰岩中的钻孔受气温影响比页岩中的钻孔深,靠近气温边界的钻孔受气温影响比远离气温边界的钻孔深.④对于隔河岩水电站厂房边坡I-I监测断面边坡岩体的影响深度为8~10m,大于此深度的变化不超过1°C.

4 结论

a. 气温变化对边坡岩体深部位移有影响,但对边坡位移的影响较小,影响位移量为毫米级,位移随气温呈周期性的变化,变化周期为年,且呈正相关关系.而实际位移随时间的起伏大小为厘米级,且周期性不明确.因此,气温不是影响位移起伏变化的主要原因.

b. 位移变化滞后于温度变化,对隔河岩水电站I-I监测断面边坡岩体滞后时间为35~75d不等.

c. 气温变化对边坡岩体中钻孔的影响与边坡开挖形状(或坡度)及岩性有关.灰岩和靠近气温边界的影响比页岩中和远离气温边界的钻孔深,影响深度约11m,大于11m深度的岩体温度最大变化为1°C左右.岩体深部的稳定温度为17°C,与实测的温度很接近.

参考文献:

[1] 李迪.岩石边(滑)坡安全监测实践[J].大坝观测与土工测试,1995,19(6):3-12.
 [2] 张保军,张漫.清江隔河岩水利枢纽大坝安全监测资料综合分析报告[R].长江水利委员会长江科学院,2003.
 [3] 朱伯芳.大体积混凝土温度应力与温度控制[M].北京:中国电力出版社,1999.
 [4] 朱伯芳.有限单元法原理与应用[M].北京:中国水利水电出版社,1998.

(收稿日期 2004-08-10 编辑 高建群)