

文章编号: 1005-0523(2006)01-0008-04

监测技术在边坡稳定性评价中的应用

杜宇飞¹, 郑明新¹, 张柏根², 赵小平¹, 马国正¹

(1. 华东交通大学 道桥与岩土工程研究所, 江西 南昌 330013; 2. 江西省高速公路管理局, 江西 南昌 330000)

摘要: 监测手段作为信息化施工的主要内容, 在边坡的防护和稳定性评价中起着极其重要的作用. 本文通过对赣粤高速公路 k211 段防护后高边坡进行监测, 深孔位移监测及地下水位监测, 进而根据监测数据对边坡防护后动态进行分析. 从而采用地表位移监测, 对该边坡目前的稳定性状况做出了评价, 同时对边坡的防护和排水结构提出了合理的建议.

关键词: 监测手段; 信息化施工; 地表位移; 深孔位移; 稳定性评价

中图分类号: TU4

文献标识码: A

1 引言

边坡稳定性问题一直是岩土工程的一个重要研究内容. 它涉及水电工程, 铁道工程, 公路工程, 矿山工程等诸多工程领域, 能否正确评价其稳定性直接关系到建设的资金投入和人民的生命财产安全. 边坡稳定性分析方法很多, 不同的方法又各具特点, 有一定的适用条件. 信息化施工作为目前工程施工的主流, 其精髓是如何根据施工监测得到的量测信息来检验勘测和设计的准确性以及对后续施工进行指导.^[1]在边坡工程中, 监测手段作为信息化施工中的一部分, 具有直观、可靠的特点, 能让我们及时了解和掌握边坡的演变和发展过程, 为边坡稳定性评价和变形破坏趋势预测预报提供依据, 一直为广大科研、设计和施工单位采用.

表 1 目前边坡稳定性评价中应用的监测手段

	变形观测	应力观测	渗流观测
目的	监测坡体的位移、沉降和变形情况	监测坡体结构物、防护结构的安全性及防护效果	监测坡体的渗流及地下水变化
监测手段	位移计、测斜仪和沉降仪等	混凝土应力监测、土压力监测、孔隙水压力监测	渗压计等

就目前而言, 边坡工程常用的监测方法大致可分为变形观测、应力观测和渗流观测三大类. 具体方法如下表 1 所

示:

此外作为一种新兴的监测技术, GPS 具有简便、迅速、准确等特点, 在边坡监测中有着良好的表现.^[2]光纤测量系统作为目前应用比较先进的监测设备, 在国内外已有成功的先例. 基于 GIS 的边坡水文稳定性模型与大气环流模型(GCM)相结合预测气候变化对边坡影响等方法在欧洲等国也得到了广泛的应用. 中国地质大学还首次用“核磁共振”监测滑坡, 也取得了比较满意的结果. 这些方法都代表了目前监测边坡最新的技术, 随着科学技术的发展和人们对边坡认识的不断提高肯定会出现更多的监测方法.

2 工程实例

2.1 工程概况

赣粤高速公路 k211 高边坡位于江西省吉安市遂川县中石乡, 在吉泰盆地偏南西方向, 公路里程为 k211+650~k211+950, 高约 150 米. 当地为剥蚀低丘陵区, 间有峡谷盆地, 地形起伏较大. 该线路右侧开挖后形成了一处高达 120 m 的人工边坡. 路线沿花岗岩地区低山丘陵展线, 地形起伏大, 坡体表面为全~强风化花岗岩, 厚度达 20 m 以上, 下伏中~弱风化花岗岩. 地表植被茂盛, 边坡开挖后岩土风化严重, 呈破碎结构, 极易产生坍塌、错落和滑移等现象^[2]. 如图 1 所示, 高边坡按 10 级设计, 第一、二级各 10 m, 采用预应力锚索框架, 三、四级采用预应力锚索加固坡体, 以上台阶采用浆砌片

收稿日期: 2005-07-20

作者简介: 杜宇飞(1981-), 男, 河南南阳人, 华东交通大学研究生, 从事边坡防护和稳定性评价研究.

石护坡.由于边坡特别高陡,且坡体岩层基本为全~强风化花岗岩,岩性条件差,故有必要通过稳定性计算来定量评价,并通过坡体表部位移监测和深部测斜等手段对其稳定性进行评估,以便及时采取相应措施保障线路运营安全.

2.2 监测目的

鉴于k211高边坡目前滑移情况不明显,加之已经采取了一定的加固措施,但其效果如何尚不明确.特别是该高边坡高陡、规模巨大、性质复杂,一旦发生滑坡对高速公路影响极为严重,故必须建立坡体变形监测网,采用全站仪进行监测,以便在空间上掌握各观测桩的变化,从而掌握坡体表面各部位的动态变化.

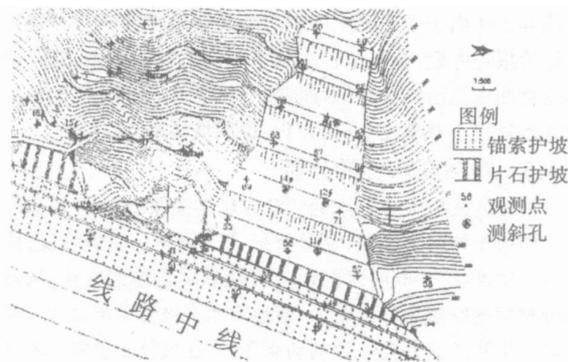


图1 K211高边坡平面图

2.3 观测桩及测斜孔的布置

以“突出重点、精简布置”为原则,如图1所示,对于k211高边坡,在下部抗滑桩及挡土墙顶布置了7个观测点,在第一、四级平台布置6个观测点(间距约50m),在第二、三级台阶各布置6个观测点(间距约40m),坡顶布置12个观测点(间距约30m),在本坡体山头和在周边山头分别设置4个不动点;在k211+760断面上打垂直孔3个,以判断其最有可能的滑段和潜在最深的滑动面,另外考虑到可能的滑动段,在坡体前缘布置了3个钻孔11#、12#、13#.

2.4 对位移监测成果的分析

2.4.1 对地表位移监测成果的分析

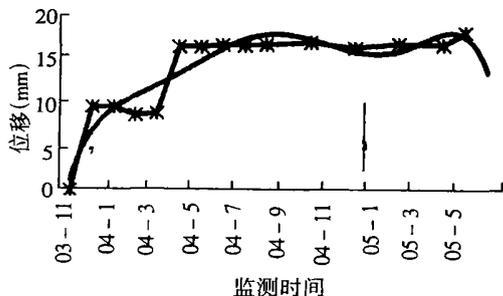


图2 2#关键点变化曲线

对地表位移数据的分析可以分为两个部分的内容:①对点位位移量的分析;②对点的空间位置的分析.通过对量的分析我们可以大致了解坡体的变形速度和程度,而对空间位置的分析则能让我们了解坡体的变形趋势.

2.4.1.1 对监测点地表位移量的分析

自2002年10月起,对k211高边坡进行了周期性地表位移监测;自2003年3月,我们对测斜孔也进行了周期性监测,监测周期为一个月.另外根据点在边坡上的位置选择了12个关键点,计算每一次和第一次的位移变化,并做出位移—时间曲线,通过对曲线的分析判断坡体的变形趋势.其中综合位移变化通过下式计算:

$$\Delta = \sqrt{(x-x_0)^2 + (y-y_0)^2 + (h-h_0)^2}$$

其中 x, y, h 分别为某一关键点在某个月的坐标, x_0, y_0, h_0 为该点在2003年10月测得的坐标.

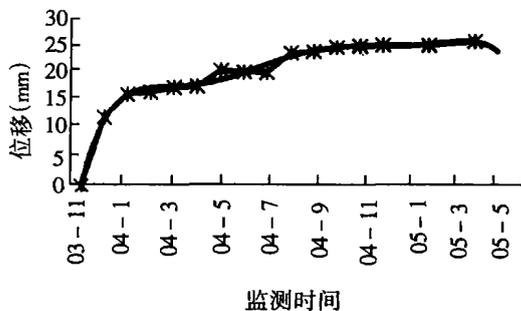


图3 32#关键点变化曲线

图2、3、4分别是根据2003年10月至2005年3月间16次监测数据所做的2#、32#、72#关键点变化曲线,并利用次多项式拟合其变形趋势并对2005年4月以后的变形做出预测(加*曲线为实测曲线,另一条为6次多项式拟合曲线).

2#点位于坡体南侧,坡度相对较缓.分析该点位移变化及变形趋势曲线发现其位移变化相对较小,最大只有20mm.图2显示该点自2003年10月施工完成以后变形逐渐增大,到2004年6月变形达到最大,此后逐步趋于稳定.用多项式拟合该点变形趋势显示,2005年3月以后该点位移有稳定并缩小的趋势.结合现场调研情况,在南侧坡体未发现任何开裂和下沉现象,说明南侧坡体基本稳定.

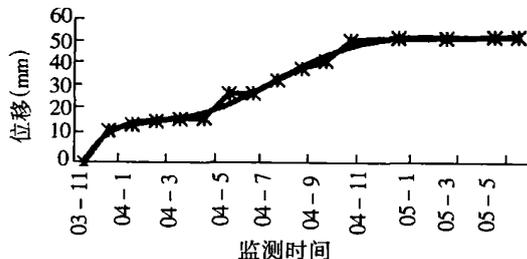


图4 72#关键点变化曲线

32#关键点位于坡体结构物第九台阶正上方,通过分析位移变化曲线可以大致了解坡体顶部的活动.通过图3可以看到该点自2003年10月施工完成以后变形逐渐增大,到2004年7月变形达到最大,此后逐步趋于稳定.变形趋势曲线也显示位移逐步稳定.结合现场调研情况,在坡体顶端未发现任何开裂及结构物破坏情况,说明坡体上部基本稳定,不会出现表层滑动.

72#关键点位于坡体北侧弃土体上,分析该点变化及变形趋势曲线发现其位移相对比较大,最大达到了55 mm.计算过程中发现,综合位移变化主要是由于高程变化引起的.2004年8月份现场调研也发现该点所处台阶结构物多处伴生沉降和裂缝,裂缝最宽处达5 cm,雨水沿裂缝不断下渗,加快了北侧坡体的滑动速度.由于雨水的冲刷致使北侧排水沟也完全被破坏,流水继续下切,产生了最深达1.5 m的冲沟.随即对坡体该部位做出了预警报告,施工单位重新修筑了排水沟,并采用了混凝土添抹了裂缝,从图4可以看到,从2004年10月份以后72#点附近坡体逐渐稳定.在2005年5月,新一轮雨季到来,为防止弃土体重新滑动,施工单位采用了砂袋码砌辅以植草的方法对北侧坡体进行大规模的覆盖加固,效果显著.

2.4.1.2 对监测点空间位置的分析

采用全站仪对地面桩点进行监测,通过对测量结果(水平角、竖直角、平距)的计算得到各桩点的大地坐标.利用测绘分析软件对每次测量得到的该桩点坐标进行分析,得到该桩点的位移变化迹线.通过分析迹线图,我们可以大致了解坡体的变形趋势,并对测量过程中出现的奇异点合理取舍.

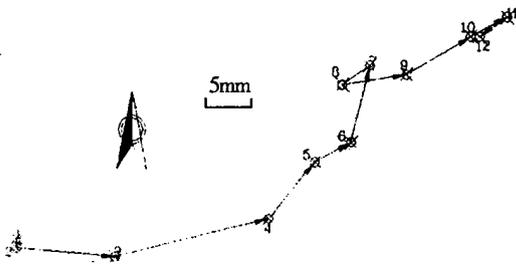


图5 58#点变化迹线

如图5所示为58#点的空间位移变化迹线,该点位于坡体北侧弃土体上(见图1),受自身沉降和降雨等因素的影响一直向东北方向移动,位移较大,约50 mm.到2004年10月以后由于降雨量减小,北侧坡体逐步稳定.到2005年5月,随雨季来临,在做出预警报告后,施工单位采用砂袋码砌辅以植草的方法对北侧坡体进行大规模的覆盖加固,效果显著.

2.4.2 对深孔位移监测成果的分析

深孔位移监测是边坡稳定性评价的一个重要手段,通过对深孔位移监测数据的分析,可以大致了解坡体内部的变化情况及发展趋势,并准确确定滑面位置以便及时采取有效措施防止边坡滑动以达到保证运营安全的目的.

自2003年10月起,对k211高边坡6个测斜孔进行了周期性监测,监测周期为一个月.监测采用北京航天万新科技有限公司生产的CX-03D型钻孔测斜仪,测斜仪水平位移测量精度为 $\pm 4 \text{ mm}/15 \text{ m}$.

k211高边坡坡向 80° ,基本和线路走向垂直.故把测斜孔东西方向作为坡体位移监测的重点.由于该区北侧为弃土体,受降雨及自身沉降等因素的影响可能发生滑动从而

诱发整个坡体滑动,故也有选择性地监测了该孔南北方向.13#钻孔位于k211+760断面第七级平台上,北侧为弃土体,通过对该钻孔信息的分析能够大致明确坡体中部以及北侧弃土体的稳定状况.

通过13#深度一位移曲线可以发现:①在14 m附近位移变化值随时间累加,东西方向产生了约13 mm,南北方向约25 mm的累计位移变形,表明该深度可能存在潜在滑面,结合工程地质勘查报告,14~16.6 m为强风化粗粒花岗岩,岩体破碎,浸水可捏成团,二者基本吻合.②在2005年4~5月期间,13#号测斜孔南北方向发生了明显的位移,最大达到了20 mm.尤其在距坡体表面20 m以上发生了明显的移动,结合现场调研也发现该区结构物多处出现沉降和裂缝,北侧弃土体由于受到雨水冲刷沟壑遍布.③在及时做出稳定性评价报告之后,施工单位采用了相应的防护措施,深孔位移变化曲线显示该区变形逐步趋于稳定.其他测斜孔的数据变化相对较小基本在5 mm以内,说明坡体基本稳定.

2.4.3 对钻孔水位的分析

滑坡的发生大多和水的活动有密切关系,地表水下渗增加了斜坡土体的含水量,显著降低了土石体的抗剪强度,使土达到塑性状态.同时水的渗入促使软弱面继续软化,从而降低材料的摩擦力和内聚力.当地下水在坡体中流动的时候还能产生和渗流方向一致的动水压力,在坡体水位降低的过程中尤为明显,其还能溶解土石体中易溶物质,使组成边坡土石体成份和结构发生变化,造成边坡失稳下滑.^[6]

在进行深度位移监测的同时可以获得地下水水位的相关资料,通过对钻孔位移和水位的综合分析,我们可以大致了解坡体变形和地下水位之间的关系,从而有的放矢,及时有效地对边坡的排水措施进行必要的修正和巩固.

如图8所示,在k211+700纵断面上布置了三个钻孔11#,12#,13#,孔深分别为59 m、64 m、54.5 m.并根据2005年1月~10月间的水位资料做出了断面水位图(图9).

2005年4~5月份,该区屡降大雨,通过图9可以看出,在5月份该断面水位有明显上升.现场调研也发现山体北侧由于受到雨水的冲刷产生了大面积的冲沟,局部还发生了坍塌.5月份的测斜数据(图6、7)显示坡体发生了一定程度的滑移.随即对北侧坡体做出了预警报告,2005年6月该区降雨减少,水位回落,施工单位也采取了相应的防护措施,6月份以后的监测数据显示该区域重新趋于稳定.

测斜孔水位也显示,11#孔水位和其他孔相比,变化相对不明显,尤其在其他两孔水位下降时该孔水位降幅偏小,说明坡体前段排水不畅,现场调研也发现结构物框架局部出现潮湿现象.鉴于这种情况建议施工单位在结构物框架内按照一定间距钻孔排水,降低坡体水位,从而达到稳定坡体的目的.

观测工程:211 观测日期:2005年10月16日
 导槽方向:东西 测孔位置:w
 起测井深:54.6m 终测井深:0.5m
 测试间隔:0.5m 初测文件:13(2004-9-16 9)

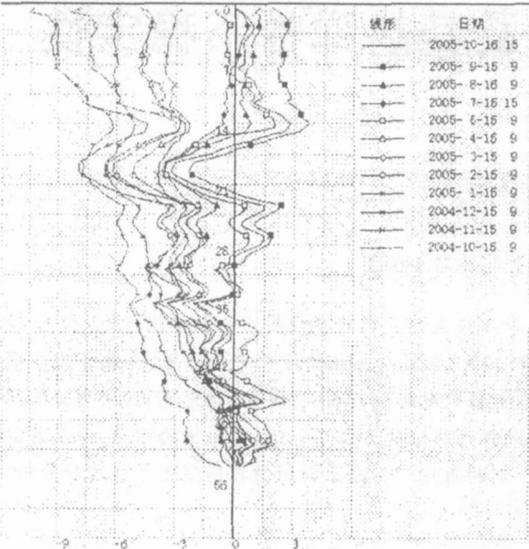


图6 13#测斜孔东-西深度-位移曲线(mm)

观测工程:211 观测日期:2005年8月15日
 导槽方向:南北 测孔位置:n
 起测井深:54.5m 终测井深:0.5m
 测试间隔:0.5m 初测文件:13(2004-9-16 9)

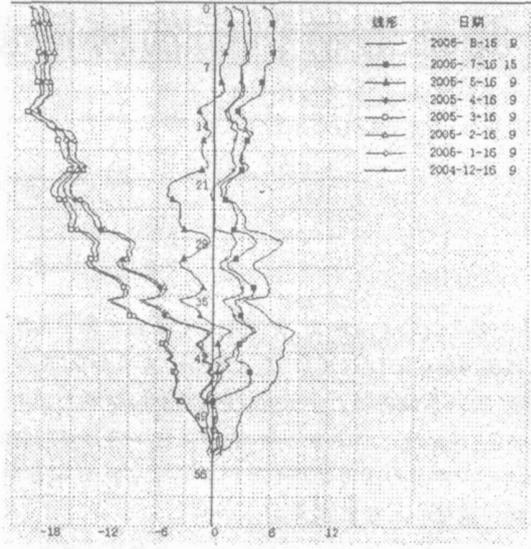


图7 13#测斜孔南-北深度-位移曲线(mm)

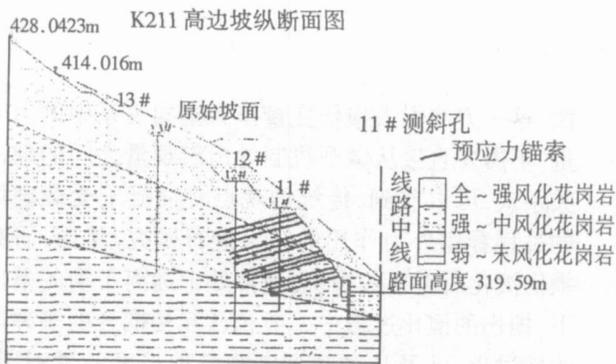


图8 k211+700纵断面图

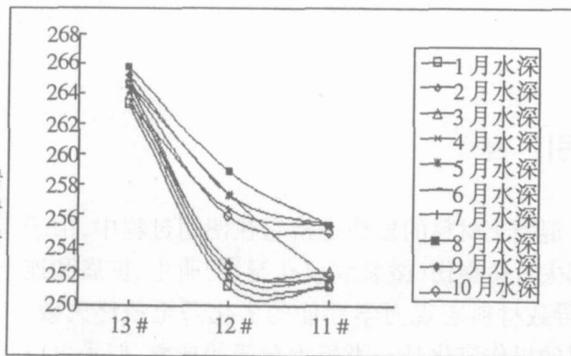


图9 k211+700纵断面水位图

3 结论

1) 在边坡稳定性及防护效果评价过程中,由于边坡变形破坏的复杂性及影响坡体稳定因素的多样性,只用一种方法往往不足以说明问题.在实际应用中我们需要综合应用各种方法,才能对边坡状况做出更准确的评价.边坡位移监测的实例表明,通过先进的仪器和监测手段对边坡防护效果和稳定性进行评价是可行、可靠的;2) 针对赣粤高速公路K211段防护后坡体的稳定性监测,采用地表位移监测,深孔位移监测及地下水监测,进而根据监测数据对以防护后动态进行分析,表明该边坡目前基本稳定.

3) 对K211段高边坡的监测,自采用砂浆码砌辅以植草的方法对于弃土体后,效果良好,反映了生态防护对边坡加固的积极作用,故需重视和加强线路沿线的绿化和植被保护工作.

参考文献:

- [1] 曹国金,姜弘道. 信息化施工技术在地下工程中的应用[J]. 岩土力学, 2002(6)
- [2] 张航. GPS复测黄腊石滑坡大地形变网的精度分析[J]. 工程勘察, 2001, (2)
- [3] 郑明新,赵小平,等. 泰赣高速公路k211边坡监测和稳定性评价[C]. 华东交通大学研究报告, 2004.
- [4] 陈平. 公路边坡监测与信息化施工[J]. 华东公路, 2004, (4).
- [5] 谭文辉. 边坡稳定性分析方法的探讨[J]. 露天采煤技术, 1998, (2).
- [6] 李辉. 基于模糊多属性决策的岩质边坡稳定影响因子的筛选[J]. 西安建筑科技大学学报, 2004, (4).
- [7] 郑明新,杜宇飞,等. 山西高速公路滑坡研究[C]. 华东交通大学研究报告, 2004.

(下转第15页)

- [3] 于广明,董春胜,潘永战,刘福顺. 混凝土的分形性及其单轴应力下裂纹演化的混沌效应[J]. 青岛建筑工程学院学报. 2004, 25(1): 1~6.
- [4] [德]赫尔曼·哈肯,著. 凌复华译. 协同学大自然构成的奥秘[M]. 上海:上海译文出版社, 2001.
- [5] Haken H. Advanced Synergetics. Springer, Berlin Heidelberg, New York, 1983.
- [6] Bottani C. E. Thermoacoustic instabilities in strained solids: a synergetic, 1981.
- [7] 东南大学等七所工科院校编. 马文蔚改物理学(上册)[M]. 北京:高等教育出版社, 1999.
- [8] 匡震邦. 非线性连续介质力学[M]. 上海:上海交通大学出版社, 2002.
- [9] 李兆霞. 损伤力学及其应用[M]. 北京:科学出版社, 2002.
- [10] 吴大进,曹力,陈力华. 协同学原理和应用[M]. 武汉:华中理工大学出版社, 1990.
- [11] 戚承志,线七虎. 岩石等脆性材料动力强度依赖应变率的物理机制[J]. 岩石力学与工程学报, 2003, 22(2): 177-181.

Synergetics Effect and Thermo Elastic Instabilities of Evolution of Concrete Damage

YU Xue-wen, BAO Zhong-you

(School of Civil Eng. and Arc., East China Jiaotong Univ., Nanchang 330013, China)

Abstract: Destroy of concrete under loads was thought as a result of outside force in traditional views, while the author looked on it as a self-organization of components of concrete. This paper demonstrates the self-organized characteristic of the evolvement of concrete damage, then constructs the dynamic equations of the system think of the action of thermodynamic parameter such as temperature, freedom energy and entropy etc. in the evolvement of concrete damage, at last, looks on the damage course of concrete as imbalance changes in the view of synergetics, discusses the method of finding out the elastic terminal of concrete through analysis of stability, offers academic gist for improving concrete mechanic performance and the study of high performance concrete and have certain academic value and practice meaning.

Key words: concrete, damage, synergetics, thermo elastinstabilities, self-organization

(上接第 11 页)

The Application of Monitoring Ways in Slope Stability Evaluation

DU Yu-fei¹, ZHENG Ming-xin¹, ZHANG Bai-gen², ZHAO Xiao-ping¹, MA Guo-zheng¹

(1. Institute of Bridge & Road and Geotechnical Engineering, East China Jiaotong University, Nanchang 330013; 2. Express Administration Bureau of Jiangxi Province, Nanchang 330000, China)

Abstract: Monitoring methods are the important content in informational construction, which play an important part in reinforcement design and slope stability evaluation. Based on the monitoring information of the course of 211 km in Gan-Yue freeway, including surface movement, borehole inclination and water table, surface movement, borehole inclination the article analyses the trends of the reinforced slope then evaluates the slope current stability, and raises some reasonable suggestions about reinforcement and drainage structure.

Key words: monitoring ways, informational construction, slope stability evaluation