

# 公路深挖路堑边坡工程施工监测与动态设计

程 强<sup>1,2</sup>, 黄绍槟<sup>2</sup>, 周永江<sup>2</sup>

(1. 西南交通大学 土木工程学院, 四川 成都 610031; 2. 四川省交通厅 公路规划勘察设计研究院, 四川 成都 610041)

**摘要:**在某高速公路深挖路堑边坡工程建设(高度 81 m)过程中, 在施工前结合勘察深入研究了边坡的稳定性, 进行了开挖和加固工程设计, 在施工过程中进行了施工监测和动态设计, 施工完成后进行了系统的总结归纳, 提出了施工前勘察、稳定性分析和防护工程设计, 施工期施工监测与动态设计, 施工后分析与总结归纳的系统的公路深挖路堑边坡工程动态设计方法。

**关键词:** 岩石力学; 公路; 深挖路堑边坡; 施工监测; 动态设计

**中图分类号:** TU 457

**文献标识码:** A

**文章编号:** 1000-6915(2005)08-1335-06

## CONSTRUCTION MONITOR AND DYNAMIC DESIGN OF HIGHWAY DEEP ROAD CUT SLOPE

CHENG Qiang<sup>1,2</sup>, HUANG Shao-bin<sup>2</sup>, ZHOU Yong-jiang<sup>2</sup>

(1. Department of Civil Engineering, Southwest Jiaotong University, Chengdu 610031, China; 2. Sichuan Province Communications Department Highway Planning Survey, Design and Research Institute, Chengdu 610041, China)

**Abstract:** In the construction process of a highway deep road cut slope(81 m high), combined with survey the stability of the slope is studied and the excavation and reinforcement design is conducted before construction, the construction monitor and dynamic design is carried out in the construction process, and systematic summing-up is made after construction. A dynamic design method of high way deep road cut slope including the procedures is proposed.

**Key words:** rock mechanics; highway; highway deep excavation slope; construction monitor; dynamic design

## 1 引言

近十余年来, 西部地区高等级公路建设项目得到了快速的发展。由于西部地区地形地质条件复杂, 深挖路堑边坡工程问题比较突出。根据本文依托项目的研究, 主要存在两个方面的问题: 一方面很多深挖方边坡工程的防护不足、无防护或施工不当, 开挖后诱发坡体塌滑等各类灾害; 另一方面很多边坡工程的防护措施过于保守, 造价偏高、施

工难度大。这两方面问题的存在有其客观的原因, 即问题本身的复杂性。其复杂性主要在于两个方面: 一方面, 工程对象是有着复杂地质背景的地质体, 其性质极为复杂多变, 难于把握; 另一方面, 高边坡工程勘察进行有限的勘察和试验工作, 面对工程规模巨大的高边坡工程, 认识手段有很大的局限性。

正是由于深挖路堑边坡工程(高边坡工程)问题的复杂性, 众多学者和工程技术人员主张在高边坡工程施工阶段进行施工监测, 采用信息化施工方法进行施工, 并有了很多成功范例<sup>[1-5]</sup>。如文[1]结合

收稿日期: 2003-10-13; 修回日期: 2003-12-01

基金项目: 交通部西部交通建设科技项目(2002-318-000-26)

作者简介: 程 强(1972-), 男, 硕士, 2000年于西南交通大学岩土工程专业获硕士学位, 现为博士研究生, 主要从事岩土工程设计方面的研究工作。  
E-mail: chengqiangy@163.com.

南昆铁路某软岩边坡工程施工,提出了软岩高边坡工程信息化施工法,在施工过程中获取钻孔施工等各类信息,根据获取的信息修改施工开挖方法等。文[3]根据工程地质力学与系统科学相结合的方法,在五强溪水电站左岸船闸边坡施工过程中进行了施工监控,保证了边坡工程施工的安全。

本文针对公路深挖路堑边坡工程的特点和存在的问题,结合某公路深挖路堑边坡工程设计施工,研究了公路深挖路堑边坡工程系统的动态设计方法。

## 2 动态设计原理与方法

从信息论的角度来讲,对于系统的信息掌握不是很清楚的称为灰色系统,而系统信息完全明确的为白色系统。对于重大的深挖方路堑边坡工程,在勘察和设计阶段对其认识是有限的,仅掌握其有限的信息,是一个灰色系统;而随着施工开挖的逐步进行,真实的工程地质条件逐步摆在面前,灰色系统逐步白化。显然,基于灰色系统的防护工程设计不可能十分精确合理,但如果在系统逐步白化过程中根据获取的信息适当修改设计,则能使设计更为合理化。在施工完成后,对勘察、设计、施工及监测获得的经验数据进行总结归纳,则可为相似工程提供可借鉴的经验,提高施工前的认识水平。因此,在深挖方路堑边坡工程设计施工过程中,应将勘察、设计、施工及施工监测、施工后分析作为一个整体,进行动态设计施工。

公路高边坡工程不同于水电、矿山等行业,具有勘察深度相对较低,设计、施工周期短的特点。对于公路工程来讲,由于工程重要性等方面的问题,其勘察的深度要低于水电行业的大型边坡工程,公路建设的周期也比较短。针对近年来公路建设中出现的问题,结合公路工程特点,对于公路深挖路堑边坡工程,提出如下系统的动态设计方法:

(1) 进行详细的施工前地质调查和勘察,力求正确把握边坡工程地质条件。结合公路工程的特点,根据文[6~8],本文提倡重视岩体结构特性的研究,在勘察中要查明边坡岩体结构特征,分析控制边坡稳定的主要结构面;

(2) 运用工程地质类比分析、地质力学综合分析等方法对边坡的稳定性做出定性的判断,尤其是要判明边坡的整体稳定性问题(山体稳定性),由于

公路工程勘察设计周期短,应重视工程地质类比法的应用;

(3) 运用数值计算分析、极限平衡分析等对边坡的稳定性做出定量的判断;

(4) 根据稳定性分析评判的结果,进行开挖和防护工程设计;

(5) 针对边坡地质结构、薄弱环节和防护措施特点,进行施工期间施工监测设计,确定重点监测部位、监测方法、手段等;

(6) 开展边坡工程开挖和防护工程施工,进行施工监测,获取开挖揭示的工程地质信息、变形信息、施工技术信息、防护结构应力信息等,并对获取的信息进行及时整理分析,据此以修改设计;

(7) 施工完毕后,对监测资料进行综合整理分析,对施工后的稳定性作进一步的判定,对边坡的变形破坏特征进行深入研究,分析不足,总结经验,为其他工程提供可借鉴的经验。

## 3 施工监测与动态设计实践

本文结合成都至南充高速公路 E4 合同段 K73+380~K73+631 段深挖路堑边坡工程建设,研究公路深挖路堑边坡工程施工监测与动态设计方法。

### 3.1 工前勘察与稳定性分析、开挖及防护设计

该边坡工程是成南高速公路上规模最大的边坡工程,路线中心开挖深度 40 m,右侧最大开挖深度 80 m,是较有代表性的深挖路堑边坡工程。在高边坡工程施工前,对边坡工程采用工程地质调查测绘、槽探、钻探等方法进行了详细的工程地质勘察,并取样进行了典型岩样的物理力学性质研究,边坡工程地质剖面图见图 1。

该边坡工程位于四川盆地中部的丘陵地区,为侏罗系上统蓬莱镇组上段地层,由下至上由 7 个层组成,分别为:第 1 层泥岩(路面以上厚 10 m)、第 2 层细砂岩(厚 6 m)、第 3 层粉砂质泥岩(厚 6 m)、第 4 层细砂岩(厚 24 m)、第 5 层泥质粉砂岩(厚 2 m)、第 6 层细砂岩(厚 20 m)、第 7 层粉砂质泥岩(厚 15 m)。该边坡中泥岩多形成较缓的坡度或平台,砂岩多形成较陡的坡度或陡壁。边坡场地岩层整体产状较为稳定,为  $296^{\circ} \ 4^{\circ}$ ,发育有 2 组近正交的陡倾节理,产状分别为  $272^{\circ} \sim 280^{\circ} \ 82^{\circ} \sim 84^{\circ}$ ,  $348^{\circ} \sim 357^{\circ} \ 80^{\circ} \sim 87^{\circ}$ 。

该边坡为典型的近水平红层砂泥岩互层边坡,相似工程地质条件边坡工程经验和本边坡的研究

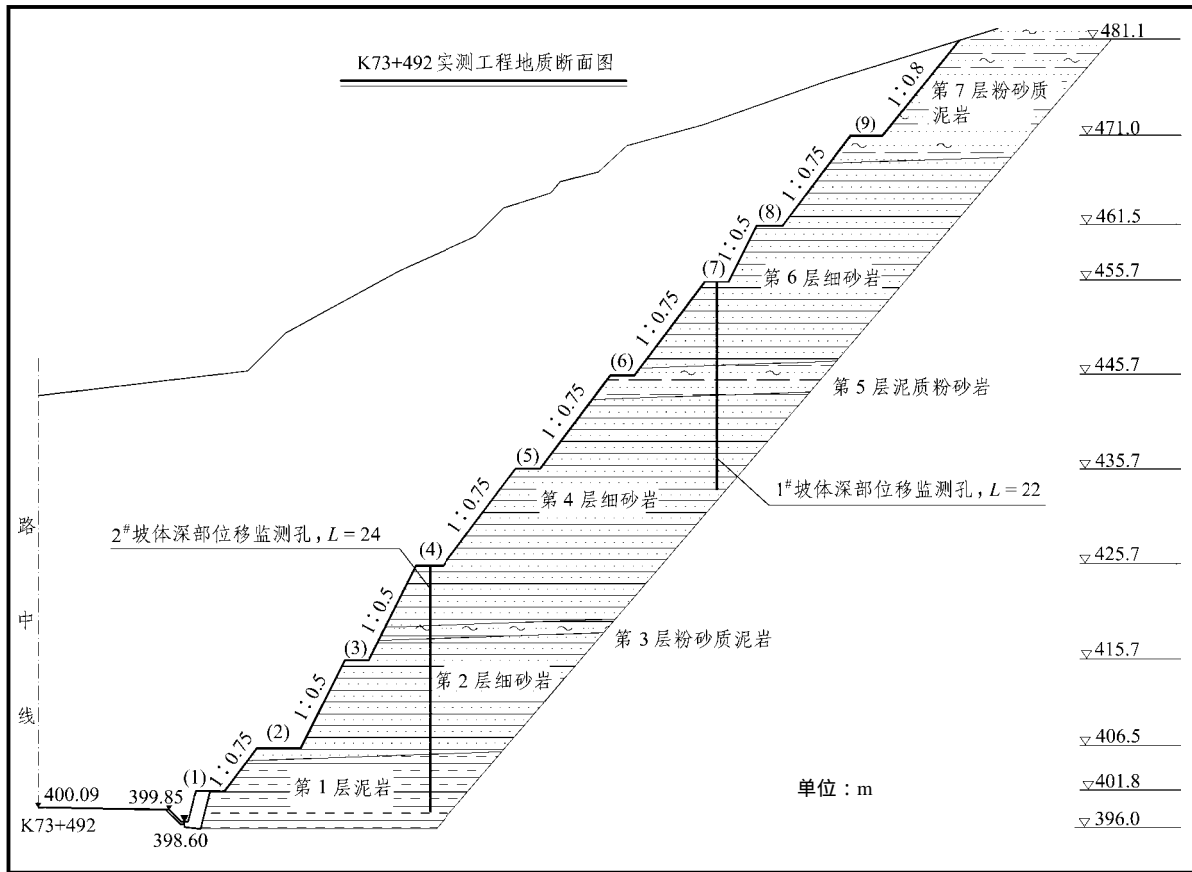


图 1 边坡工程地质剖面图

Fig.1 Engineering geology cross section of slope

分析表明，边坡中的软岩(泥岩)夹层和陡倾结构面是控制边坡稳定性的结构面。边坡中的第 1 层泥岩顶面和第 3, 5 层泥岩为边坡中的弱面，边坡岩体易于沿这几个弱面产生滑动破坏。陡倾结构面是滑动破坏的后边界，是地表水下渗，软化弱面的通道，同时雨季下渗的地表水在陡倾裂隙充水后产生孔隙水压力，也是推动岩体前滑的动因。

对该边坡进行了工程地质类比分析和模糊综合评判分析，分析表明边坡整体上是稳定的。

对边坡工程进行了数值计算和极限平衡分析，分析表明边坡岩体整体上是稳定的，但浅层存在局部块体塌滑的问题。

根据边坡稳定性分析结果，边坡工程综合开挖坡比为 1:1，边坡防护工程设计以浅层加固为原则，施工图设计采用钢筋混凝土框架梁、框架梁节点设普通长锚杆防护，锚杆长度为 20 m(中部)及 14 m(两侧)。

### 3.2 施工监测设计

根据对边坡的岩体结构特征和边坡稳定性的分析，第 1 层泥岩顶面和第 3, 5 层泥岩为边坡中的

弱面，是控制边坡稳定性的主控结构面，因此，施工监测的重点是掌握着几个弱面在施工期间有无相对滑动，同时由于工期紧张，通过施工监测进行动态设计，节约工期也是施工监测的主要任务。

施工监测设计如下：

#### (1) 地表变形监测

在边坡的坡顶和平台设置地表变形监测点，监测地表变形。

#### (2) 坡体深部位移监测

在边坡中设 2 个深部位移监测孔，穿过几个软弱面，监测坡体深部位移，重点监测边坡是否沿几个弱面滑动。1# 监测孔设于第 7 级平台上，孔深 22 m，穿过第 5 层泥岩；2# 监测孔设于第 4 级平台上，孔深 24 m，穿过第 3 层粉砂质泥岩和第 4 层细砂岩，进入泥岩层。

#### (3) 开挖揭示工程地质信息的调查测绘。

(4) 施工技术信息监测以及部分锚杆的应力测试。

监测设施平面布置图见图 2。

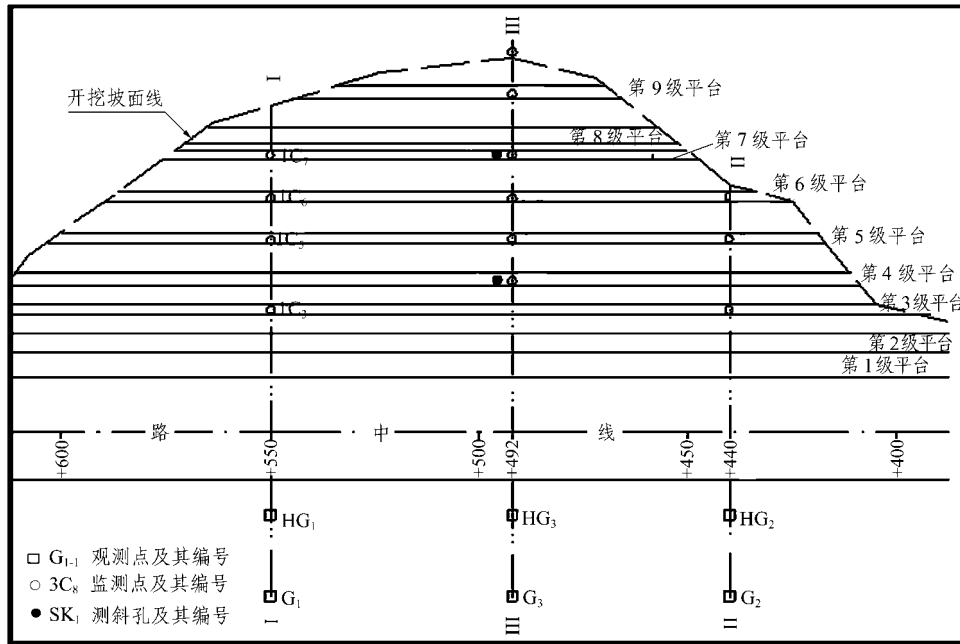


图 2 变形监测平面布置图

Fig.2 Plan dispose of distortion supervise

### 3.3 动态监测过程

成南路 K73 高边坡工程于 2000 年 1 月份正式开始施工，2002 年 10 月份全部完工。结合该边坡工程的特点，信息化施工共分 4 个阶段，施工过程详见表 1。

### 3.4 获取信息的汇总分析及施工后分析评价

#### 3.4.1 开挖揭示边坡工程主要工程地质信息

(1) 根据各阶段获取的开挖工程地质信息，坡体地质情况与原勘察资料基本相同。

(2) 边坡岩体有明显的均匀性，主要表现在成都侧和南充侧岩体质量的差异性。

成都侧和南充侧岩体质量有明显的差异，各层岩体在 K73+500 以后岩体质量明显降低，实际调查测绘表明 K73+500 后各岩层节理远较 K73+500 以前发育，并且南充侧发育有多条贯穿多层岩层的陡倾节理。分析原因，主要是南充侧坡体下部泥岩较厚，由于坡脚泥岩强度低，在坡体应力作用下变形大，促进砂岩陡倾节理的发展，为地表水下渗提

表 1 K73 高边坡工程施工监测与动态设计过程

Table 1 Process of engineering construction monitors and dynamic design of the K73 high slope

阶段	时间段	位置	主要监测手段及信息	设计修改
第 1 阶段	2001 年 1~4 月	第 9 级和第 10 级坡面 (坡面高程 461.5 ~ 481.1 m)	对开挖面进行了调查测绘，布置变形监测网点，解决施工单位提出的技术问题	完善坡面截排水设施
第 2 阶段	2001 年 4~10 月	第 5 级至第 8 级坡面 (坡面高程 425.7 ~ 461.5 m)	坡体位移量值较小(坡顶点位移为 9~15 mm，第 1 个测斜孔累计位移为 31.36 mm)，无明显滑移面，坡体稳定。第 6 层细砂岩岩石强度高，节理裂隙极为发育，边坡坡面开挖极不平整，框架梁施工困难	取消了第 7, 8 级坡面尚未实施和第 5, 6 级坡面原设计的框架梁，并在泥岩渗水部位增设深层仰斜排水孔
第 3 阶段	2001 年 10 月~ 2002 年 4 月	第 1 级至第 4 级坡面 (坡面高程 400.09 ~ 425.7 m)	坡变形已趋于稳定，岩体变形为卸荷变形，无明显滑移面，表明坡体稳定。第 3 阶段的施工技术信息表明边坡框架梁取消后，边坡防护工程施工速度明显加快	取消第 3, 4 级坡面原设计框架梁，取消成都侧部分长锚杆，将部分锚杆长度减短，加强南充侧坡脚，在渗水的第 3 层粉砂岩下部增设深层仰斜排水孔
第 4 阶段	2002 年 4~12 月	整个边坡	施工基本完成后继续监测	

供了良好的通道，同时泥岩具有浸水后强度大幅降低的特性，在雨水下渗软化坡体等各种因素作用下，相应上部岩体的节理也不断发展。而成都侧坡脚为坚硬的砂岩，坡脚变形较小，因而上部岩体节理基本处于闭合状态。正是基于此项工程地质信息和对它的认识，修改设计中取消了成都侧部分长锚杆，并将部分锚杆长度减短，南充侧则加强了坡脚，原设计二级坡面的浆砌片石护面墙改为钢筋混凝土护面墙。

### 3.4.2 施工技术信息

在高边坡开挖过程中，由于近水平红层砂泥岩互层边坡层间性质具有差异性，且陡倾节理发育，边坡开挖后坡面多为岩体内的陡倾结构面，极不平整，原设计的钢筋混凝土框架梁不是合理的防护结构。一方面格子梁难于适应坡面形态，防护效果不理想；另一方面框架梁工程施工速度慢，在工期紧张的情况下不能满足工期的要求，不符合边坡工程“开挖后及时防护”的思想。基于此项信息，取消边坡工程框架梁，锚杆抑制作件改用垫墩。

### 3.4.3 开挖变形信息

边坡变形监测主要采用地表变形监测和深部测斜孔位移监测。地表变形监测表明坡体顶部变形在 9~15 mm，位移产生原因主要是持续降雨和坡体开挖。在开挖结束及防护工程施工完毕后位移停止。坡体深部变形监测采用钻孔测斜仪，测斜仪监测坡体位移方法见文[10]。

坡体深部变形监测布置 2 个测斜孔，见图 1。

1# 测斜孔监测时间为 2001 年 7 月 25 日至 2002 年 12 月份。图 3 为 1# 测斜孔的深度-位移曲线。图 4 为 1# 测斜孔的时间-位移曲线。2# 测斜孔监测时间为 2002 年 2~12 月。图 5 为 2# 测斜孔的深度-位移曲线，图 6 为 2# 测斜孔的时间-位移曲线。由边坡深部位移监测结果可以得出如下结论：

(1) 2 个测斜孔的深度-位移曲线都是连续的，表明在深度方向的变形是连续的。控制边坡稳定的 2 个软弱层都没有相对滑移，表明坡体内并未形成滑移面，坡体的变形为卸荷变形。

(2) 2 个测斜孔测得岩体变形的原因主要是坡体的开挖和集中降雨(防护施工尚未完成)。在开挖完成、防护工程施工完毕后，变形曲线逐渐趋于平缓。防护工程施工完毕后在 2002 年雨季也未发生较大

的变形。表明防护工程施工完成后边坡是稳定的。

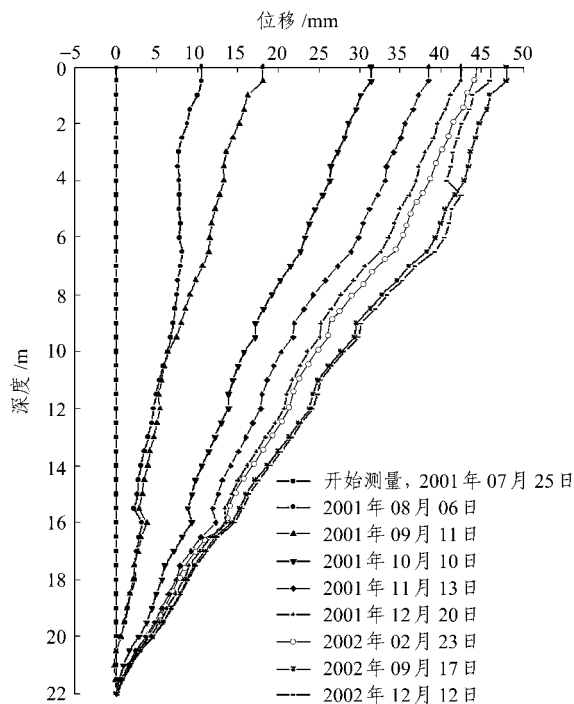


图3 1#测斜孔深度-位移曲线

Fig.3 Depth-displacement curves of monitoring borehole No.1 for inclinometer

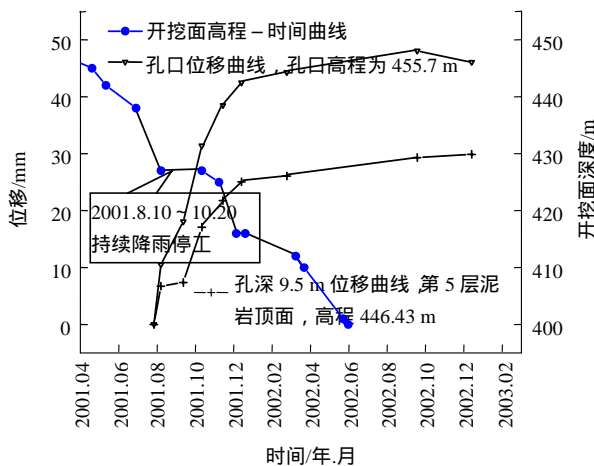


图4 1#测斜孔时间-位移曲线(孔深22 m)

Fig.4 Time-displacement curves of monitoring borehole No.1 for inclinometer

## 4 结 论

(1) 对于重大公路深挖路堑边坡工程应采用系统的动态设计方法。在工前进行详细的勘察，查明边坡岩体结构特征，分析控制边坡稳定的主要结构

面，对边坡稳定性进行正确的判断并进行合理的开挖和防护工程设计；在边坡施工前进行施工监测设

施是合理的，边坡整体上一般是稳定的，边坡的变形为卸荷变形，在开挖及防护工程完成后基本趋于稳定。

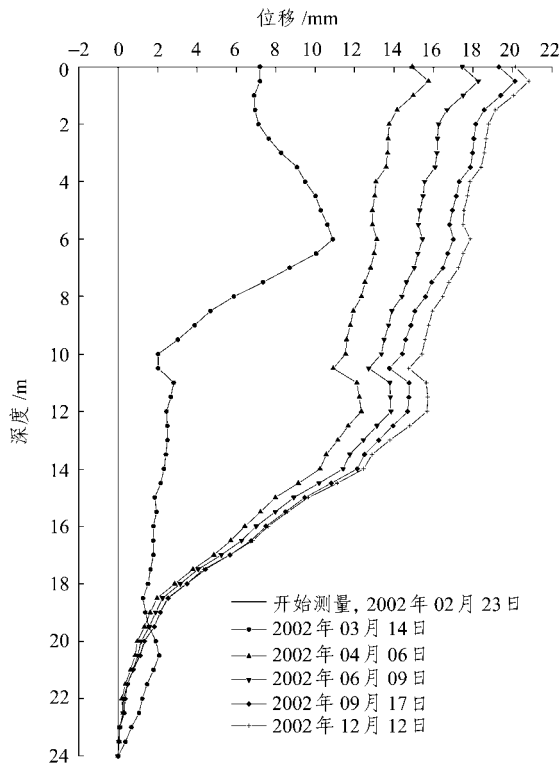


图5 2#测斜孔深度-位移曲线

Fig.5 Depth-displacement curve of monitoring borehole No.2 for inclinometer

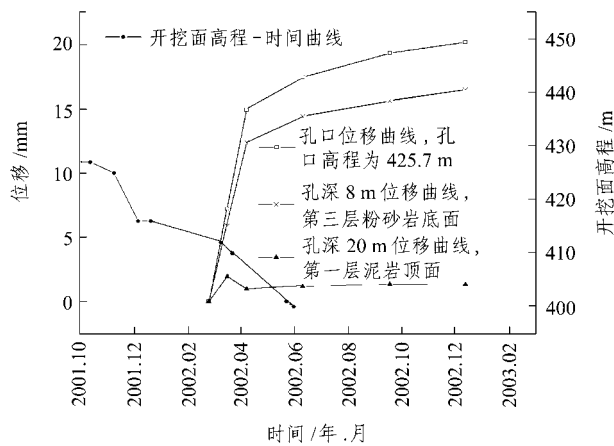


图6 2#测斜孔时间-位移曲线

Fig.6 Time-displacement curve of monitoring borehole No.2 for inclinometer

计并在施工过程中进行施工监测，根据监测信息及及时修改设计；在施工完成后进行系统总结归纳。

(2) 本文对某近水平红层边坡施工监测及动态设计实践表明近水平红层边坡中的软弱层和陡倾结构面是控制边坡稳定的关键结构面。对于近水平红层的深挖路堑边坡工程，采用的开挖坡比和防护措

参考文献(References) :

[1] 周德培. 软岩高边坡工程的信息施工[J]. 岩石力学与工程学报, 1998, 17(4) : 373 - 377.(Zhou Depei. The information construction of high slope in weak rock mass[J]. Chinese Journal of Rock Mechanics and Engineering, 1998, 17(4) : 373 - 377.(in Chinese))

[2] 杨志法, 柯天河, 肖竹生等. 五强溪水电站左岸船闸边坡开挖监控设计的理论与实践[J]. 工程地质学报, 1995, (2) : 1 - 11.(Yang Zhifa, Ke Tianhe, Xiao Zhusheng, et al. Theory and practice on monitoring design for excavation of shiplock slope at left bank of Wuqiangxi hydroelectric power station[J]. Journal of Engineering Geology, 1995, (2) : 1 - 11.(in Chinese))

[3] 杨志法, 刘大安, 刘英等. 关于综合地质信息系统的设计及应用研究[J]. 岩石力学与工程学报, 1999, 18(8) : 1 226 - 1 229.(Yang Zhifa, Liu Daan, Liu Ying, et al. The design and application of the engineering geomechanics meta-synthetic theory(EGMS)[J]. Chinese Journal of Rock Mechanics and Engineering, 1999, 18(8) : 1 226 - 1 229.(in Chinese))

[4] 李燕东. 二滩水电站二号尾渠内侧边坡稳定监测[J]. 岩石力学与工程学报, 1998, 17(6) : 667 - 673.(Li Yandong. Stability monitoring of the inner slope of No.2 tail water channel in the Ertan hydroelectric station[J]. Chinese Journal of Rock Mechanics and Engineering, 1998, 17(6) : 667 - 673.(in Chinese))

[5] 王在泉. 边坡动态稳定预测预报及工程应用研究[J]. 岩石力学与工程学报, 1998, 17(2) : 117 - 122.(Wang Zaiquan. Predication of dynamic stability and its application in a slope project[J]. Chinese Journal of Rock Mechanics and Engineering, 1998, 17(2) : 117 - 122.(in Chinese))

[6] 孙广忠. 岩体力学基础[M]. 北京: 科学出版社, 1983.(Sun Guangzhong. Rockmass Mechanics Foundation[M]. Beijing: Science Press, 1983.(in Chinese))

[7] 孙广忠. 岩体力学的进展——岩体结构力学[J]. 岩石力学与工程学报, 1991, 10(2) : 112 - 116.(Sun Guangzhong. Advance in rockmass mechanics — rock mass structural mechanics[J]. Chinese Journal of Rock Mechanics and Engineering, 1991, 10(2) : 112 - 116.(in Chinese))

[8] 谷德振. 岩体工程地质力学基础[M]. 北京: 科学出版社, 1979.(Gu Dezhen. Rockmass Engineering Geologic Mechanics Foundation[M]. Beijing: Science Press, 1979.(in Chinese))

[9] 李光煜, 黄粤. 岩土工程应变监测中的线法原理及便携式仪器系列[J]. 岩石力学与工程学报, 2001, 20(1) : 99 - 109.(Li Guangyu, Huang Yue. Linewise observation and portable instruments on strain monitoring in geomechanics[J]. Chinese Journal of Rock Mechanics and Engineering, 2001, 20(1) : 99 - 109.(in Chinese))

[10] 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: 水利电力出版社, 1999.(Ertan Hydropower Development Company

Ltd.. Handbook of Geotechnical Engineering Safety Supervise[M].

Beijing :Water Resources and Electric Power Press ,1999.(in Chinese))