

文章编号: 1004-4574(2008) 03- 0069- 06

# 失稳路堑边坡监测系统的设计及其应用

张卫中<sup>1,2</sup>, 尹光志<sup>1,2</sup>, 李东伟<sup>1,2</sup>, 康钦容<sup>1,2</sup>

(1. 重庆大学 资源及环境科学学院, 重庆 400030; 2 西南资源开发及环境灾害控制工程教育部重点实验室, 重庆 400030)

**摘要:**通过对边坡的监测, 不仅可以掌握滑坡体的变形特征和滑移规律, 同时在滑坡治理期间还可以实现信息反馈, 这对滑坡治理优化设计、信息化施工和保证工程质量具有重要的意义。结合向家坡路堑边坡的具体地形地貌以及滑坡等情况, 进行了综合研究, 设计出了以地表监测为主、辅以深部位移监测及地下水监测的多层次综合监测系统, 使监测结果能为滑坡预报预警和防灾决策提供依据; 经现场 1 年多的测试, 效果很好。

**关键词:**路堑边坡; 监测系统; 地质灾害

中图分类号: TU459 文献标识码: A

## Design and application of a monitoring system for unstable cut slope

ZHANG Wei-zhong<sup>1,2</sup>, YIN Guang-zhi<sup>1,2</sup>, LI Dong-wei<sup>1,2</sup>, KANG Qin-rong<sup>1,2</sup>

(1 College of Resource and Environmental Sciences, Chongqing University, Chongqing 400030, China; 2 Key Laboratory for the Exploitation of Southwest Resources and the Environmental Disaster Control Engineering of Ministry of Education, Chongqing University, Chongqing 400030, China)

**Abstract** By use of slope monitoring it is possible to grip on deformation characteristics of slope body and to realize information feedback during landslide control. This is of great importance for optimized design, informatized construction and engineering quality guarantee of the landslide control. Considering the situation of topography, land form and landslide in Xiangjiapo cut slope, the comprehensive research was conducted and a hierarchical integrated monitoring system was designed, which includes not only the main surface displacement monitoring but also the subsidiary deep displacement and water table monitoring. The field application shows that this monitoring system is practical and effective.

**Key words** cut slope; monitoring system; geologic disaster

滑坡监测已成为滑坡防治工程勘测、设计和施工过程中不可缺少的重要组成部分。通过监测, 能全面了解滑坡发生、演变的过程, 掌握滑坡变形特征和发展趋势, 为滑坡稳定性分析和预测预报提供基础数据, 实现滑坡灾害治理的信息反馈, 优化设计和动态施工。

随着科学技术的发展, 许多测量新技术和新方法也不断出现, 像 3S 集成技术已成为滑坡监测预报的一种非常有效的手段, 在滑坡监测中发挥着越来越大的作用<sup>[1-3]</sup>。然而, 常规的监测方法因其具有施测简单、测试精度高、费用低等诸多优点, 至今仍是国内外滑坡监测主要方法。因此, 作者针对向家坡路堑边坡失稳的具体情况, 结合现有的技术条件等, 设计出适合于该滑坡的监测系统, 包括: 地表变形监测、裂缝监测、深部位移监测以及地下水监测等系统。该系统于 2005 年 1 月在现场进行安装, 经 1 年多的监测, 效果

收稿日期: 2007- 09- 20 修订日期: 2007- 11- 13

基金项目: 国家自然科学基金资助项目 (50374084)

作者简介: 张卫中 (1977- ), 男, 博士研究生, 主要从事地质灾害预测与防治方面研究. E-mail: gzyin@cqu.edu.cn

很好。

### 1 向家坡路堑边坡滑坡及前期治理概况

向家坡路堑边坡滑坡位于渝黔高速公路 K13+ 500~ K13+ 960段。经勘测, 该区域属于古滑坡区。通过多方案综合比较, 渝黔高速公路在滑坡区中部 370 m 高程附近以路堑方式通过。1998年该路段开始施工, 公路中心最大挖深 28m。施工期间, 公路内侧边坡的古滑坡出现复活, 多次发生大面积滑坍, 坡体表面出现圆弧形拉裂缝。初步勘测认为是古滑坡复活所致的浅层牵引式土层滑坡, 滑体的体积为 8 910 m<sup>3</sup>。为此, 实施了采用 55根抗滑桩进行支挡, 但效果不好, 其中, 12#桩与 54#桩之间的坡体仍在滑动。通过重新勘察认为, 滑体范围大、深度大, 一般厚度 5~ 12m, 最大厚度 19 m, 滑体体积为, 认为该滑坡属于大型滑坡。

2000- 2001年再次对该路段边坡进行治理, 这次共布置了 59根抗滑桩, 分上下两排进行支挡, 主滑区采用锚拉桩, 局部使用挡土墙, 并采用格子梁进行护坡。2004年 6- 8月间坡顶裂隙, 滑坡体仍在缓慢移动, 前排桩向公路倾斜, 半坡桩出现倾斜、下沉, 整个坡体处于非稳定状态。如果发生滑坡将直接危及高速公路及坡体附近立交桥正常运营, 故掌握滑坡的动态情况已迫在眉睫。为此, 作者对向家坡滑坡监测系统进行了设计。

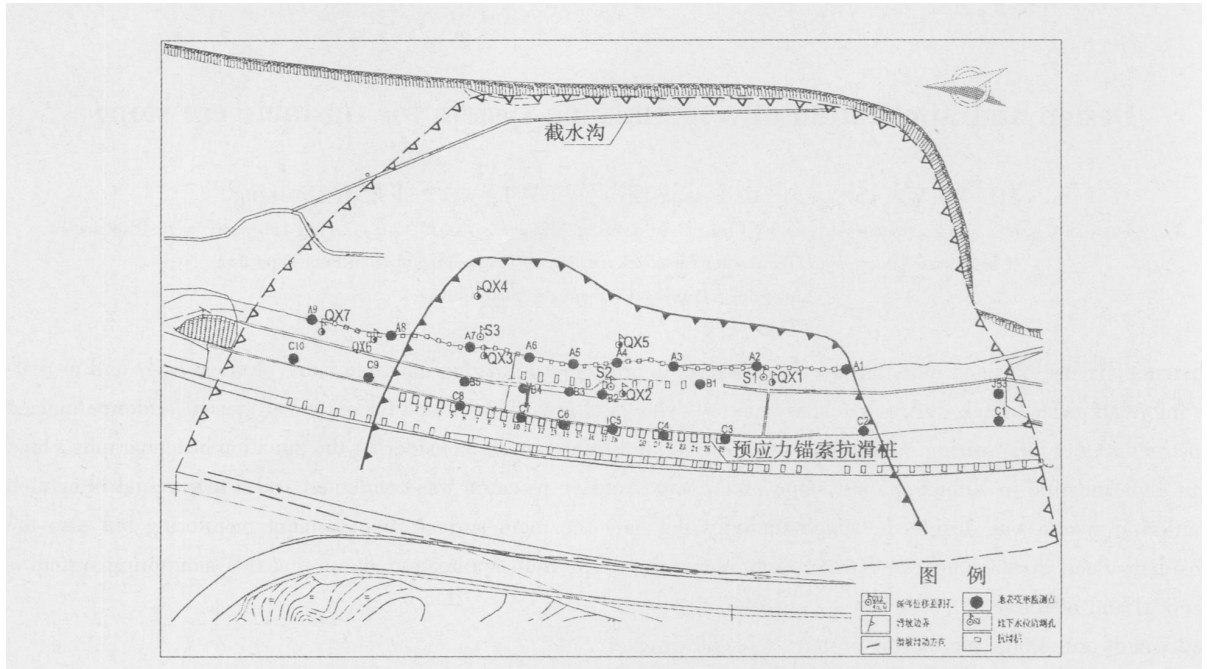


图 1 向家坡滑坡监测系统布置图

Fig 1 Distribution of landslide- monitoring system in Xiangjiapo cut slope

### 2 向家坡滑坡监测系统设计

#### 2.1 向家坡滑坡监测系统设计的基本原则

变形监测设计以整个向家坡滑坡体为监测对象, 对监测系统的布设要有所侧重, 重点对主滑断面、深层滑面和软弱结构面进行监测; 监测网点布设兼顾到整个变形体, 在能达到监测目的的前提下, 优化监测点的设置, 以节约人力、物力和费用; 同时, 在滑坡出口、周边位置及滑体附近相对稳定体上布设一定的监测点; 对滑体主滑段, 沿主滑动方向布设仪器, 通过由点→线→面、由浅部→深部的立体监测方法, 建立多层次、多手段、多仪器的监测体系。整个监测系统的布置图见图 1。

#### 2.2 向家坡滑坡监测系统设计

为进一步判断向家坡滑坡体的大小、滑动方向, 准确预测滑坡滑动时间及可能滑动的距离, 向家坡滑

坡采用多种监测手段,以相互验证和补充,从而提高监测的准确性。

### 2.2.1 地表监测系统设计

#### (1) 地表巡视及地表裂缝相对位移定量监测子系统

采用人工定期对滑坡体进行巡视,重点是滑坡体周界等不同部位裂缝的发生、扩展,地面的鼓胀、沉陷及局部岩、土体的坍塌、剪出;建(构)筑物开裂缝的发生与变化;地下水位的突变、泉水点增多或突然消失、泉水量增大或干枯、泉水变浑或水温增高、湿地扩大或消失;动物异常活动等。同时调查滑体治理期间抗滑桩挖掘、堆载、爆破、震动等情况对边坡变形的影响。

相对位移监测是量测地质体重点变形部位点与点之间的相对位移变化,从而定量表示变形。在此主要采用简易监测法,即在裂缝或滑坡周界设标记的一种监测方法。根据两侧点之间的实际宽度,定期采用卷尺、钢尺或游标卡尺等直接测量其变形。为了及时掌握滑坡异常迹象,地表巡视及地表裂缝相对位移监测同时进行。监测频次根据具体情况而定,一般为每周一次,当雨季或施工期间,应根据实际变形情况适当增加监测次数。

#### (2) 大地变形测量子系统

根据变形测量的等级及精度要求,本工程等级划分为四等。坐标基准点的观测采用边角网进行观测,按三等精度要求<sup>[4]</sup>。坐标系统及高程系统采用独立坐标系,观测成果的计算用进行南方测绘公司专用软件处理。为了正确反映山体的变形量,在监测网建成后半年,必须进行一次复测,以确保基准网的稳定性和成果的可靠性。

表 1 变形测量等级及精度要求

Table 1 Grade and precision demand for deformation measurement

cm

变形测量等级	垂直位观测		水平位移测量
	变形点的高程中误差	相邻变形点高程中误差	变形点点位中误差
三等	±1.0	±0.5	±6.0
四等	±2.0	±1.0	±12.0

场地由于公路的修建和滑坡的前期治理,现状地形可明显分为 3 级台阶,相互之间通视条件较差,受地形条件的限制,需因地制宜,选择较为合理的布网形式,并同时满足监测精度要求,考虑路堑边坡的特殊性,本监测组通过优化设计及实地选点比较,在公路对面稳定基岩上建立 4 个基准点,同时在测区边缘稳定地带布设一个基准点,共同组成监测网。为了反映 3 级台阶不同层面的变形情况,测点网采用近似方格状网。在 3 个不同层面上分 3 排共埋设 24 个观测点。监测网布置示意图基准点见图 2 所示,5 个基准点保持良好的通视性。

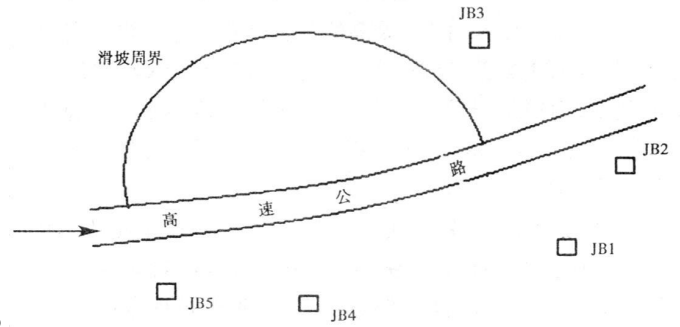


图 2 路堑边坡监测网布置示意图

Fig 2 Sketch of cut slope monitoring network arrangement

监测组采用日本尼康高精度的全站仪对监测点进行测量。待测点三维坐标的测量原理可由图 3 简单说明:

由几何知识可以得出:

$$NP = NO + D \cos \beta \cos \alpha \quad (1)$$

$$EP = EO + D \cos \beta \sin \alpha \quad (2)$$

$$ZP = ZO + D \sin \beta + h_I - h_R \quad (3)$$

其中:  $h_I$ : 仪器高;  $h_R$ : 棱镜高;  $(N_P, E_P, Z_P)$ 、 $(N_O, E_O, Z_O)$  分别为待测点  $P$  及测站点  $O$  在独立坐标系中的三维坐标值;  $\beta$  是直线  $OP$  的垂直角;  $\alpha$  是直线  $OP$  的方位角, 其中直线  $OP$  的方位角可由如图 4 简单表示:

$$\alpha = \alpha_0 + \alpha' \tag{4}$$

其中:  $\alpha_0$  是直线  $O1$  的方位角;  $\alpha'$  是由  $O1$  到  $OP$  之间的照准角。

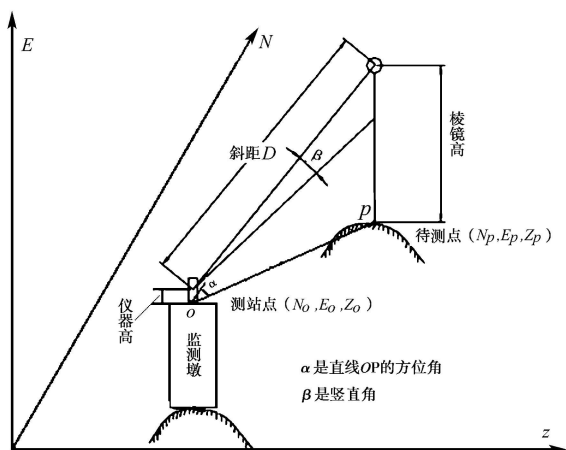


图 3 三维坐标测量

Fig 3 Measurement of three-dimensional coordinate

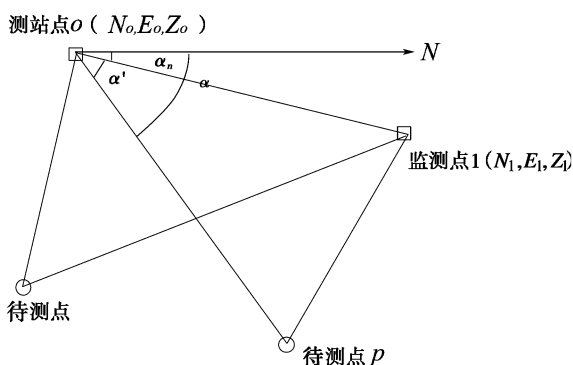


图 4 方位角的确定

Fig 4 Ascertainment of azimuth

滑坡监测精度与复测周期和位移速度之间存在一定相互制约的关系。文献 [ 5 ] 给出了滑坡监测精度、复测周期及位移速度三者之间的关系:

$$\Delta t_x \geq 1.65 \sigma_{\Delta x} / v_x \tag{5}$$

$$\Delta t_y \geq 1.65 \sigma_{\Delta y} / v_y \tag{6}$$

$$\Delta t_z \geq 1.65 \sigma_{\Delta z} / v_z \tag{7}$$

则复测周期  $\Delta t_{xyz} \geq \min \{ \Delta t_x, \Delta t_y, \Delta t_z \}$ 。

设计前期监测周期为半月, 随着位移速度的增大, 结合具体的施工影响, 可将复测周期进行适当缩短。

### 2.2.2 深部监测子系统

如图 1 所示, 在向家坡滑坡体主轴断面上及附近布设了  $Q_{x2}, Q_{x3}, Q_{x4}, Q_{x5}$  四个深部位移监测孔, 用以准确测定活动带(面)的深度、层数、主滑动方向以及滑体各部位的变形关系, 为更加准确地判断变形体的范围, 同时在滑坡体南部边缘布设  $Q_{x1}$  深部位移监测孔, 以便消除“噪声”, 使其它测孔值更准确。

在监测过程中, 由于施工影响, 位于 1# 桩北面(原判定为非滑坡体)坡体出现变形, 地表及水沟出现多条近贯通的裂缝, 二、三级坡面及锚索框架出现不同程度的鼓胀迹象。为更加准确的判断变形体的范围、厚度、滑面位置等要素, 为设计、施工提供更加充分的依据, 监测项目组后来在 1# 桩北面坡体上另外布设  $Q_{x6}, Q_{x7}$  两个深部位移监测孔。

钻孔测斜管的埋设步骤及注意事项如下:

(1) 成孔。根据要求, 测斜孔应为铅直孔(孔倾斜量小于  $1^\circ$ )。钻孔终孔孔径为 110mm。

(2) 测斜管的连接。测斜管的连接采用现场两节逐渐加长的方法, 应特别注意导向槽要对正, 用自攻螺丝固紧, 外周用防水胶带缠封。用人力或钻机将接好的两节测斜管对正施测方向缓慢放下, 至孔内约 3.5m (两节长 4.0m) 深度后, 将其固定并连接已预接好的另外两节管。依此类推, 直到测斜管达到孔底。

(3) 量测导向槽方向。首先根据地堪资料和地表监测资料确定滑坡滑动的确切方向。用经纬仪或罗盘量测导向槽方向, 使其对准欲测的方向。

(4) 监测孔的回填。在测斜管与孔壁之间的孔隙最好用接近于孔壁岩性条件的介如用粗沙、水泥、砂浆进行回填, 振动捣实, 使之成为整体。

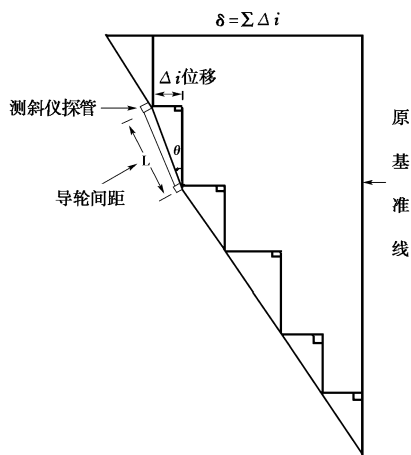


图 5 深部位移测量原理图

Fig 5 Principle of deep displacement measurement

(5)孔口保护。管口以下约 0.5~1.0m 范围内加设保护钢管,并浇混凝土墩固定管口。在管口上安装保护盖,以防人为损坏和杂物掉入。测斜原理如图 5所示,深部位移量由式(8)简单计算:

$$\sigma = \sum_{i=1}^n \Delta i = \sum_{i=1}^n l \sin\theta_i \tag{8}$$

式中,  $\sigma$  为至固定点的管底端以上  $i$  点处水平位移  $\Delta i$  为量测段内的水平位移量;  $n$  为测孔的分段数目;  $l$  为探头上下两组滑轮间的距离(一般为 0.5m);  $\theta_i$  为某处测斜管与铅垂方向的夹角。若计算点为地表,即得到地表的累计位移。

### 2.2.3 地下水监测子系统

水是影响边坡稳定的重要外因。地表降雨会引起地下水位变化,地下水位的抬升会影响到边坡的稳定。设计中把地表降雨情况和地下水位变化作为重要监测项目。水位孔布置见监测平面图,共布置了三个水位孔;#水位孔位于滑坡变形相对较弱的真武山隧道一侧的滑坡附近,采用标杆直接测量的方法监测水位,直观准确;#、#水位孔滑坡体变形较大的区域,采用孔隙水压力计监测。

## 3 现场监测结果与分析

### 3.1 监测数据处理与技术要求

预测预报系统中地表监测点拟采用等间距相空间重构模型进行预测;监测报告的编写包括以下主要内容:

- (1)地表巡视监测情况及阶段滑坡变形情况的文字说明;
- (2)地表每个测点、测试孔的成果数据资料报表,每个测点的成果曲线:时间-降雨量-沉降曲线;时间-降雨量-位移曲线;水位孔的水位变化曲线;
- (3)深部位移监测到的正在活动滑面的确切位置、位移速率、滑坡带的数目及滑坡体随深度的位移变化;
- (4)滑坡的变形趋势分析及预测预报;
- (5)建议及拟采取措施。

### 3.2 监测结果与分析

(1)地表监测表明,在前期施工期间,位于滑坡中部的 B1~B5 监测点变形明显,其中 B5 点监测情况如图 5、图 6、7 所示。监测组根据监测结果分析,考虑到目前施工对滑坡位移速度的影响以及即将到来的雨季对滑坡的诱发作用,即大量降雨使坡体含水量增加,抗滑桩施工开挖过快、爆破作业震动过大破坏了边坡岩体临界平衡状态,中部浅层滑坡极为不稳定。本监测组根据预测结果提出了先对浅层滑坡采取临时支护措施及加快抗滑桩施工的建议;同时根据 C9~C10 监测结果分析及其上部区域的地表变形迹象,判定原不属于滑坡范围的 C9~C10 区域为不稳定区域,设计单位根据监测结果对该区域重新进行了设计,避免了滑坡灾害的发生。

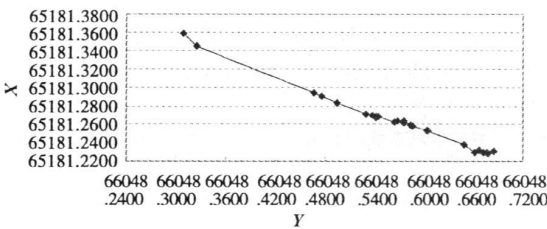


图 6 B5 点位变化图

Fig 6 Displacement chart of point B5

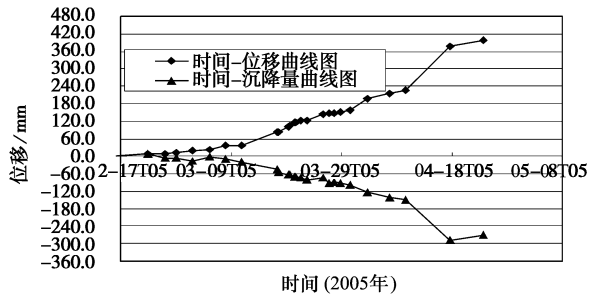


图 7 B5 点时间-水平位移与垂直位移变化图

Fig 7 Variation of horizontal/vertical displacements of point B5 with time

(2)位于滑坡中部深部位移监测结果表明,滑坡的变形主要以浅层滑动为主,说明初步设计中加固方案中“滑坡前缘开挖临空,边坡高陡,天然状态下,潜在变形体、中层滑坡稳定,浅层滑坡稳定或欠稳定;饱水状态下,潜在变形体稳定,中层滑坡欠稳定,浅层滑坡不稳定;饱水状态下+地震,潜在变形体稳定,中层、浅层欠稳定或不稳定”的判断是正确的;同时也为抗滑桩内钢筋连接接头避免在滑面深度附近提供了依据。

### (3) 水位监测结果及与地表、深部位移关系分析

各水位孔的地下水随天气的变化有一定的波动,具体变化结果见图 8。从图 7 可以看出,特别是 2005 年 6 月以来,除了 1#水位孔随降雨较大外,其余两个水位孔水位波动较小,说明地下水的补给比较丰富。根据前段监测结果可知,2005 年 3 月份前滑坡区降雨不集中,强度不大,坡体基本上处于缓慢蠕滑状态;此后随着降雨量的增多,滑坡位移速率明显增大,土体位移的速率和降雨情况非常密切。特别是在 2005 年 4 月初的连续降雨,位于滑坡中前部的 B5 监测点位移速率达到最大,并于 4 月底遭到了破坏,如图 6、7 所示。降雨与深部位移也同样存在正相关关系。到 2006 年初,随着向家坡滑坡抗滑桩主体工程的竣工,滑坡整体趋于稳定,滑体地表及深部位移不在随着降雨发生明显变化。

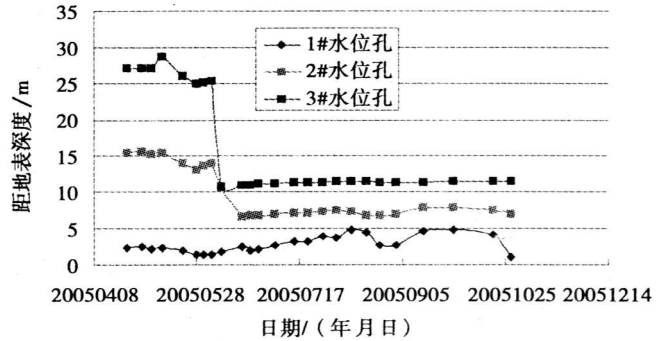


图 8 水位 - 时间曲线  
Fig. 8 Water level-time curves

根据项目组的监测结果,结合以前开挖的检查井的实际情况,证明地下水极其丰富,并且出水点基本为中层及深层滑面附近,设计单位在滑坡后部设计了一条渗水隧洞,以便形成一道立体的截水帷幕,截排滑体中的地下水,从而提高下部滑带土力学性质,保证抗滑工程的长期有效性。目前该工程正在进行。

## 4 结语

随着我国现代化建设的迅速发展,大量基础工程项目的建设过程中,由于地形、地貌等条件的约束,不可避免形成大量的边坡工程,甚至出现高陡人工边坡,以高等级公路的建设最为严重。在滑坡的动态综合性治理过程中,只有针对滑坡的具体特性,“对症下药”,才能设计出合理的滑坡监测系统。

结合高速公路失稳路堑边坡的实际情况,在滑坡区公路对面的稳定基岩设置基准点是方便可行的;在路堑滑坡治理期间,建立了以地表监测为主、辅以深部位移及地下水等监测的多层次、多方法、多仪器的监测系统,监测期间,重点监测了位于滑体地表变形情况,正确判断了滑坡边界,根据监测结果调整了工序,并简单分析了施工期间降雨与地表位移和深部位移的关系,同时根据地下水位监测结果并结合以前开挖的检查井的实际情况,证明地下水极其丰富,为向家坡边坡地表及地下排水设施设计提供了可靠依据,其监测结果非常有效,可为滑坡预报预警和防灾决策提供依据,实现了滑坡治理的动态化施工;同时结合新增加的监测项目,可进一步为检验治理效果提供重要依据。

## 参考文献:

[ 1 ] 兰恒星,伍法权,周成虎,等. 基于 GIS 的云南小江流域滑坡因子敏感性分析 [ J ]. 岩石力学与工程学报, 2002, 21( 10 ): 1500- 1506.  
 [ 2 ] 王志旺,李端有. 3s 技术在滑坡监测中的应用 [ J ]. 长江科学院院报, 2005, 22( 15 ): 33- 36  
 [ 3 ] 欧阳祖熙, 张宗润, 丁凯, 等. 基于 3s 技术和地面变形观测的三峡库区典型地段滑坡监测系统 [ J ]. 岩石力学与工程学报, 2005, 24( 18 ): 3203- 3210.  
 [ 4 ] GB50026- 93 工程测量规范 [ S ]. 北京: 中国计划出版社, 2001.  
 [ 5 ] 胡友健,梁新美,唐辉明. 关于滑坡监测精度及复测周期的合理确定 [ J ]. 地质科技情报, 2002, 21( 2 ): 91- 93.  
 [ 6 ] 靳晓光,李晓红,王兰生. 滑坡钻孔倾斜量测及数据处理 [ J ]. 成都理工学院学报, 2002, 29( 2 ): 217- 220.