

# 国道 318 线二康路 K2794 滑坡监测

李 忠, 赵燕来

(中国地质科学院探矿工艺研究所, 四川 成都 611734)

**摘要:** 国道 318 线二康路 K2794 滑坡监测历时 2.5 年, 经历了滑坡治理施工前、治理施工中和治理施工后监测 3 个阶段, 为滑坡的治理设计和施工提供了较好的辅助数据, 保证了施工设计方案的科学和施工的安全。介绍了其监测设计、监测方法、监测仪器的选择以及监测布置方案等内容, 该项目的实施为其他类似滑坡监测积累了经验。

**关键词:** 滑坡; 钻孔深部位移监测; 地表大地变形监测; 应力监测

**中图分类号:** U418.5<sup>+</sup>5    **文献标识码:** B    **文章编号:** 1672-7428(2008)07-0022-06

**Monitoring on Landslide in K2794 of ER - Kang Road of No. 318 National Highway/LI Zhong, ZHAO Yan-lai** (The Institute of Exploration Technology, CAGS, Chengdu Sichuan 611734, China)

**Abstract:** The monitoring on landslide in K2794 of ER - Kang road of No. 318 national highway lasted for two and a half year, and experienced 3 stages — before, during and after the construction, provided the auxiliary data for the design and construction of landslide treatment. This paper describes the monitoring design, monitoring methods, selection of monitoring instruments and monitoring layout, experience was accumulated for other similar landslide monitoring.

**Key words:** landslide; monitoring on deep displacement of borehole; monitoring on land surface deformation; stress monitoring

## 1 滑坡概况

国道 318 线二康路(二郎山 - 康定) K2794 + 860 ~ K2795 + 000 段左侧滑坡(图 1)位于四川省泸定县新城南区南西翼。该滑坡变形始于 20 世纪 80 年代初, 以后每年变形不断, 局部开裂、垮塌严重, 逐渐形成一边界清晰、规模较大的滑坡。自 2003 年二康路改建以来, 由于边坡下部道路开挖施工, 滑坡稳定性进一步恶化, 施工过程中, 下部曾发生垮塌。2003 年 8 月中旬一场特大暴雨后, 坡体产生滑动, 滑坡后壁裂缝宽 10 ~ 20 cm, 下错 50 ~ 150 cm, 推毁了已修好的护面墙, 严重影响道路安全。

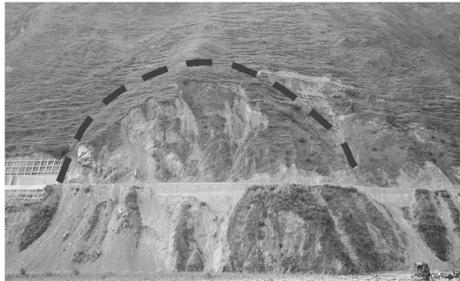


图 1 K2794 滑坡外貌

滑坡区域内自然坡度为 35° ~ 60°, 斜坡走向与岩层走向近 90° ~ 110° 夹角, 为切向坡。山坡位于大渡河右岸弯道冲刷处, 受水流冲刷影响, 历史上曾

多次发生崩滑, 以前的滑体大多进入大渡河中, 滑坡后壁形成一走向近南北的陡崖, 并形成高于路面 50 ~ 80 m (高于大渡河 100 ~ 130 m) 的陡坡, 即现在的滑坡高悬于路基之上。由于水流冲刷, 陡崖下形成 3 个沟槽。

该滑坡属于滑移 - 拉裂型岩土质混合滑坡, 滑坡前缘主要由高阶地冲洪积卵石、粉质粘土、粘土夹碎块石及碎石土组成, 后缘部分含有大的块石。滑坡平面形态呈横卧舌状, 后缘坡度稍缓, 有一小平台, 坡度 8° ~ 15°; 中部凸出, 坡度较陡, 平均坡度 20° ~ 35°; 前缘部分滑坡已解体, 坡度很陡, 平均约 35° ~ 50°。滑坡体北侧中部一带较厚, 深度达 28 m, 平均厚度 13 m。滑坡前缘宽 150 m, 后缘宽 110 m, 纵长 150 m, 分布面积  $1.95 \times 10^4 \text{ m}^2$ , 规模约  $2.5 \times 10^5 \text{ m}^3$ 。

## 2 滑坡治理措施

国道 318 线二康路是进出西藏的东大门通道, 滑坡一旦下滑将会导致道路中断, 危及车辆的安全行驶, 根据当时滑坡所处的状态和道路的重要性, 交通管理部门于 2003 ~ 2005 年对该滑坡进行了工程治理, 以确保道路畅通及过往行人和车辆的安全, 其

收稿日期: 2008 - 05 - 31

作者简介: 李忠(1972 -), 男(汉族), 四川遂宁人, 中国地质科学院探矿工艺研究所高级工程师, 探矿工程专业, 硕士, 从事钻孔测斜仪及岩土工程监测仪器、仪表研究开发工作, 四川省成都市郫县成都现代工业港港华路 139 号, lizhong\_iet@126.com。

治理措施主要是:锚杆 + 锚索 + 框格梁 + 空心砖植草 + 地表排水。

因该滑坡高度较高,设计分为 7 级平台进行坡面治理工作,由下向上为 1~7 级,除第 1 级高度为 24 m 外,其余每级高度均为 12 m,如图 2 所示。在

各级坡面中进行锚杆 + 锚索 + 框格梁 + 空心砖植草的治理措施,同时每级坡面设置 1 个平台以利于草的养护及监测工作的开展与维护等;在滑坡的边界之外修建地表排水沟,以减少地表水浸入滑坡体,减轻地表水对滑坡稳定性的影响。

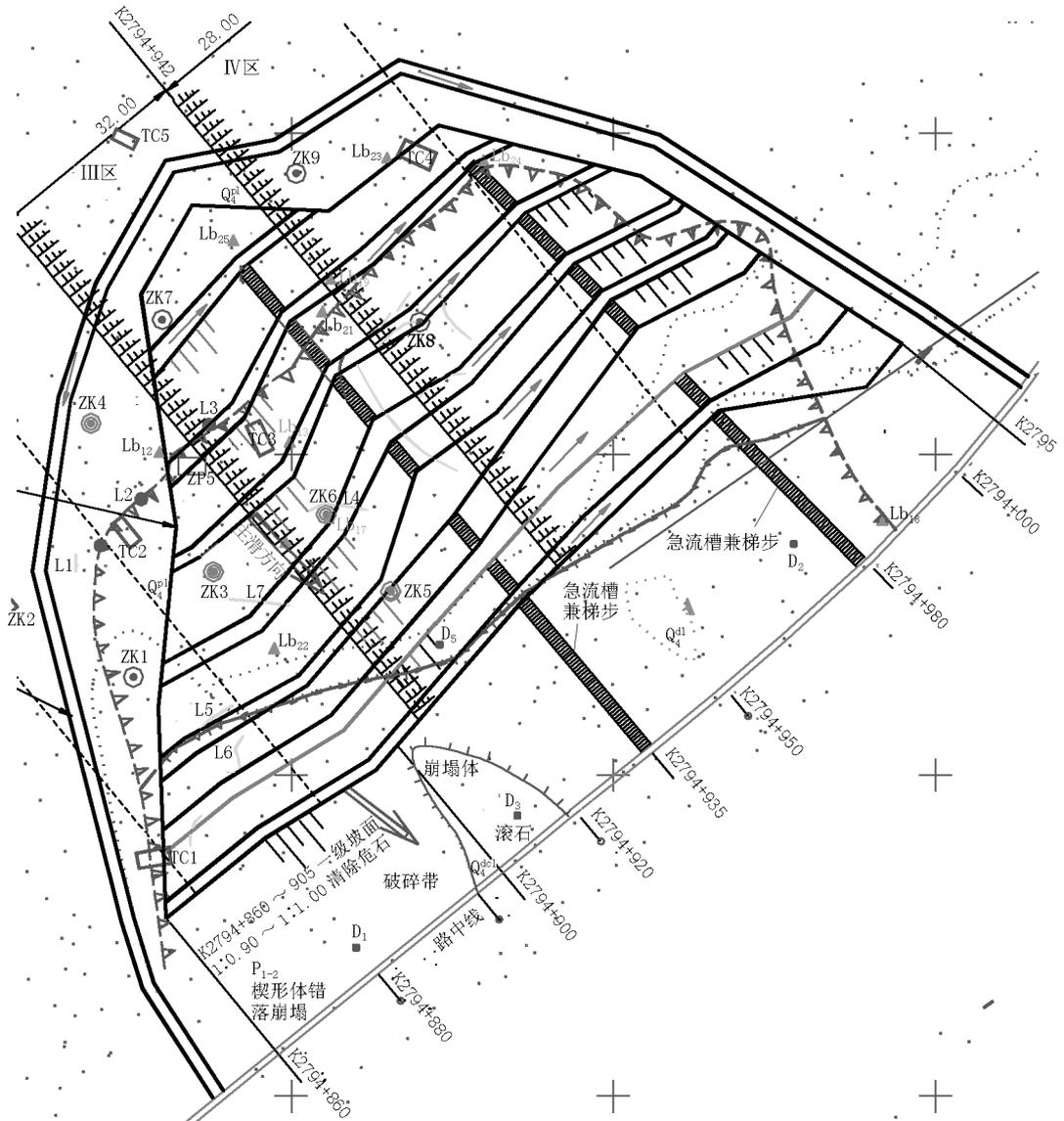


图 2 滑坡治理分级图

### 3 监测目的

(1) 该滑坡虽然进行了工程地质勘察,但由于该区域地质构造复杂,地形陡峭,岩体破碎,有限的勘察工作无法准确查明滑坡体各项具体参数。为了准确掌握滑坡的稳定性、变形速度、不稳定体厚度及范围,需要对该滑坡进行监测。

(2) 在滑坡治理施工时,根据锚索钻孔的钻进情况,发现部分钻孔地质情况与地勘资料有一定差异,为确保治理工程措施的可靠性和安全性,需要采用监测手段辅助查明滑坡内部情况以及治理过程中

滑坡的变形情况,在需要的情况下,根据监测资料,对工程治理的设计方案进行优化。

(3) 滑坡治理完成后,其工程措施是否有效,滑坡是否已经稳定,也必须通过一段时间的监测工作才能作出正确的分析与判断。

### 4 监测设计

#### 4.1 监测阶段划分

监测工作分为治理施工前监测、治理施工期监测和治理施工后监测 3 个阶段。

#### 4.1.1 工前监测

即施工前阶段的监测,这个阶段自工程勘察开始,至开始治理施工截止。施工前监测的主要目的是在进行施工设计前了解滑坡体的变形特征,尤其是结合勘察资料了解滑坡范围、规模、滑动面的位置、滑坡当时的稳定性,为施工设计提供参考资料。

#### 4.1.2 施工期监测

即在治理施工期间进行的监测,自正式施工开始,到施工结束为止。监测的主要目的是了解和掌握施工期间滑坡体的变形特征,根据监测结果,必要时适当修改设计,保证防护工程安全,力求防护工程经济合理。

#### 4.1.3 施工后监测

即在治理施工完成后进行适当的监测工作,以检验防护工程治理效果,并为其它类似工程提供可供借鉴的经验。

### 4.2 监测方法

#### 4.2.1 钻孔深部位移监测

钻孔深部位移监测是滑坡内部变形监测的重要方法,它能监测滑坡岩土体内部的蠕变,判断滑带位置以及不同深度位置的变形特征。具有精度高、效果好,易保护,受外界因素干扰少,资料可靠等优点,但测程有限,主要适应于滑坡体变形的初期。

钻孔深部位移监测的原理是通过在滑坡等变形体上施工钻孔,要求钻孔必须穿过滑带以下到达稳定地层,定向下入专用测斜管,该测斜管采用聚氯乙烯、ABS 塑料或铝合金等材料专门加工而成,管内有互成  $90^\circ$  的 4 个导向槽。测斜管和钻孔间环状间隙用水泥砂浆(适于岩体钻孔)或砂、土石(适于松散堆积体钻孔)回填固结。

当岩土体产生变形时,预埋在岩土体中的测斜管产生与岩土体位移相对应的弯曲变形,而测斜管的弯曲变形可由其各段的倾角变化反映出来,通过钻孔倾斜仪测量测斜管的轴线与铅垂线之间夹角的变化即可获得岩土体的深部变形。

#### 4.2.2 地表大地变形监测

地表大地变形监测是滑坡监测中常用的方法,其投入快、直观、安全,便于确定滑坡的位移方向及变形速率。地表大地变形监测是在滑坡区域外稳定的地段建立测量标准(基准点),在滑坡被测量的地段上设置若干个监测点,采用两方向(或三方向)前方交会法、双边距离交会法监测滑坡变形的二维( $X$ 、 $Y$ 方向)水平位移。

该方法具有 3 个突出的优点:(1)监测范围大,

能确定滑坡地表变形范围和状态;(2)量程不受限制,可以观测到滑坡变形演变的全过程;(3)测量精度高,能观测到滑坡体的绝对位移量,掌握整体变形状态,为评估滑坡的稳定性提供可靠依据。

#### 4.2.3 应力监测

在滑坡治理工程中的应力监测包括土压力监测、钢筋应力监测和锚索预应力监测。

##### 4.2.3.1 土应力监测

土压力监测是通过压力盒测量支挡结构(框格梁)受力变形来换算土压力,以了解滑坡体传递给支挡工程的压力以及支护结构的可靠性。目前采用较多的压力盒是振弦式压力盒,其优点是测量精度高,可远距离和长期观测。

##### 4.2.3.2 钢筋应力监测

采用钢筋计(又称钢筋应力计)来测量混凝土内的钢筋应力。将不同规格的钢筋计两端对接,焊在与其端头直径相同的欲测钢筋中,直接埋入混凝土内。无论钢筋混凝土内是否有裂缝,可以测得钢筋一段长度的平均应变,从而确定钢筋受到的应力。常用的钢筋计有差动电阻式和振弦式 2 种。

##### 4.2.3.3 锚索预应力监测

在滑坡治理工程应力监测中除了土压力、钢筋应力监测外,锚索预应力的监测也是一项重要的内容。对锚索预应力进行监测,可以获得锚索的受力状态、锚固效果以及预应力损失情况,因预应力的变化将受到坡体的变形和内在荷载的影响,所以通过监测锚固体系的预应力变化可以了解加固滑坡体的变化与稳定状况。通常一个滑坡治理工程长期监测的锚索数不少于总数的 5%。监测设备一般采用圆环形振弦式压力传感器。

### 4.3 监测周期与频率

监测周期为滑坡勘察至滑坡治理施工完工后 1 年。监测频率一般为 1 次/月,必要时再加密。

## 5 监测仪器选择

### 5.1 仪器技术性能要求

(1)因滑坡监测一般时间较长,必须要求各种仪器使用寿命长。

(2)仪器必须具备足够的可靠性。

(3)用于监测的仪器必须考虑其耐久性和坚固性,而且比较容易率定、修复或置换,以弥补和减少由于仪器故障给监测工作带来的损失,确保监测资料的质量和工作的连续性。

(4)仪器的精度应满足监测数据的要求。

(5)在仪器选型时,对仪器量程和分辨率应统一考虑。不能两全时,应首先满足量程要求。

(6)仪器选择时还应考虑经济性,在技术性能满足要求时,优先选用性价比高的产品和国产仪器,以便节省监测工作费用和加快工作进程。

### 5.2 监测仪器

#### 5.2.1 深部位移监测仪器

深部位移监测仪器采用我所研制的 QXY - II 型滑动式钻孔倾斜仪(如图 3 所示)。该仪器采用伺服石英加速度计传感器作为测量元件,具有高精度、操作简便等特点。广泛用于土石坝、混凝土坝的坝肩、坝基和坝体中侧向位移的监测;天然和人工开挖边坡滑动剪切面位置和位移方向的确定;码头、桥基、桥台、挡土墙和隔墙等的斜度观测;滑坡深部位移监测;基坑开挖、大型洞室边墙、竖井、隧道、坑道及地下工程周边地区稳定性监测等。

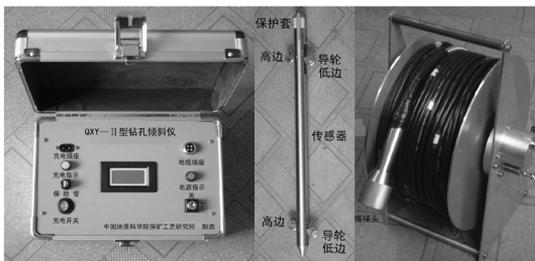


图 3 QXY - II 型钻孔倾斜仪

其主要技术指标为:外径 36 mm;标距 500 mm;测量位移方向为水平一向;测量精度  $\leq 5\% F \cdot S$ 。

#### 5.2.2 大地变形监测仪器

地表大地变形监测仪器采用瑞士徕卡公司生产的 TCA1800 型全自动全站仪(图 4)。该仪器极为坚固可靠,内置优秀的测距头、PC 卡存储数据、智能化的应用程序,使得该全站仪得以胜任各种复杂的测绘工作。在地籍、房产、建筑、装修、桥梁、隧道、电站、造船、大型油罐、大型机具、露天采矿、散装材料体积等测量中都有其大展身手的空间。



图 4 TCA1800 型全站仪

该仪器具有目标自动识别与马达驱动功能,能自动精瞄固定棱镜或自动跟踪移动目标,施测迅速便利,即使在弱光的环境下,仪器也能正常工作。配以机载程序可以实现自动测量而无需人工干预。大大方便日常测量作业。

其主要技术指标为:测角  $\pm 1''$ ;测距  $\pm 1 \text{ mm} + 2 \text{ ppm} \cdot D$ 。

#### 5.2.3 土压力监测仪器

土压力监测仪器采用金坛市土木工程仪器厂的 TYJ - 20 型振弦式土压力计(图 5),该仪器适用于长期测量土石坝、防波堤、护岸、码头岩壁、高层建筑、管道基础、桥墩、挡土墙、隧道、地铁、机场、公路、铁路和防渗墙结构等建筑基础所受土体的压应力,是了解土体对土中构筑物压应力变化量的有效监测设备。其主要技术规格为:测量范围 0 ~ 1.6 MPa,分辨率为 0.05% F · S。传感器测量采用配套的 ZXY - 2 型振弦频率读数仪。



图 5 TYJ - 200 型土压力计

#### 5.2.4 钢筋应力监测仪器

钢筋应力监测仪器采用金坛市土木工程仪器厂的 GJJ - 10 型振弦式钢筋计(图 6)。该仪器通常埋设于各类建筑基础、桩、地下连续墙、隧道衬砌、桥梁、边坡、码头、船坞、闸门等混凝土工程以及深基坑开挖安全监测中,测量混凝土内部的钢筋应力。其主要技术指标为:压应力测量范围为 100 MPa,分辨率为 0.14% F · S;拉应力测量范围 200 MPa,分辨率为 0.07% F · S。传感器测量采用配套的 ZXY - 2 型振弦频率读数仪。

#### 5.2.5 锚索预应力监测仪器

锚索预应力监测仪器采用我所研制的 BMS - 2 型锚索预应力测量系统(图 7),该系统是一种新型自动化锚索性能测量仪器,有效地解决了在锚索预应力检测中普遍存在的信号不能远距离传输、以人工测读为主、自动化程度低,以及防潮、防水、抗干扰性能差的问题。



图 6 GJJ-10 型钢筋计



图 7 BMS-2 型锚索预应力测量系统

该测量系统可以广泛用于建筑、水电、矿山、公路和铁路等边坡、地质灾害防治工程,以及城市深基坑锚索的预应力长期监测,同时还可用于锚索的基本试验、验收试验和蠕变试验,以及桩基、桥梁试验等应力值的测量场合。

BMS-2 型锚索预应力测量系统主要由锚索预应力传感器和读数仪组成,传感器采用 BHR-1500S 型,其最大测量范围为 1500 kN,分辨率为 1% F·S。

## 6 监测布置

监测设施的布置详见图 8。

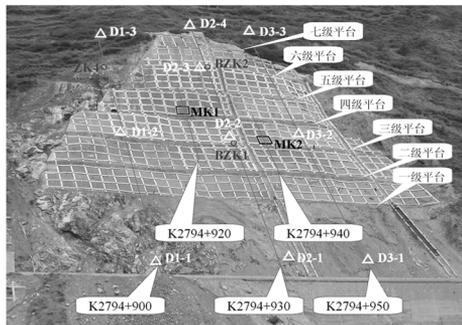


图 8 监测设施布置图

### 6.1 钻孔深部位移监测布置

该监测方法贯穿了工前监测、施工期监测和施工后监测 3 个阶段。

施工前监测时布置了 4 个深部位移监测钻孔,均是利用地质勘察施工完成的钻孔,下入测斜管并用水泥砂浆固结而成,其编号为 ZK3(孔深 24.5 m)、ZK4(孔深 23.5 m)、ZK5(孔深 40.0 m)和 ZK6(孔深 35.5 m),其中 ZK3 和 ZK4 钻孔位于 K2794+900 剖面的 1424.64 m 和 1444.52 m 高程处,ZK5 和 ZK6 钻孔位于 K2794+920 剖面的 1403.96 m 和 1424.08 m 高程处。但 4 个钻孔仅进行了 2 次测量便因滑坡治理施工而遭到破坏。

为了保证监测的效果,为此又重新施工了 2 个深部位移监测钻孔(见图 8),布置在 K2794+930 剖面第 3 级平台(高程约 1404 m)和第 6 级平台(高程约 1440 m)处,其编号为 BZK1(孔深 39.5 m)和 BZK2(孔深 38.5 m)。这 2 个钻孔一直监测到治理工程完工后,共计进行了 9 次和 11 次的测量,获得了大量的监测数据。

### 6.2 地表大地变形监测布置

地表大地变形监测采用常规大地测量法进行,该监测方法在治理工程施工后进行。测量仪器采用 TCA1800 型全站仪,监测点坐标按三方向前方交会法计算。

监测基准点设置在大渡河的对岸,共设置 3 个监测基准点 J1、J2 和 J3(见图 9)。

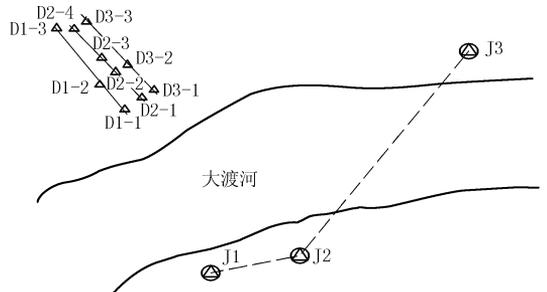


图 9 地表大地变形监测布置图

地表大地变形监测共布置 3 个监测剖面,即 K2794+900、K2794+930 和 K2794+950,3 个剖面上共计布置了 10 个监测点(图 8 和图 9 中 D1-1、D1-2、D1-3;D2-1、D2-2、D2-3、D2-4;D3-1、D3-2 和 D3-3)。

地表大地变形监测共计进行了 9 次测量。

### 6.3 应力监测布置

#### 6.3.1 土应力监测布置

土压力计埋设在 2 个框架格梁的下部,2 个框架格梁的编号为 MK1 和 MK2(见图 8),MK1 框架格梁位于 920 剖面 4 级平台上,MK2 框架格梁位于 940 剖面 3 级平台上。每个框架格梁各布置了 16

个土压力计,如图 10 中黑圆圈所示。

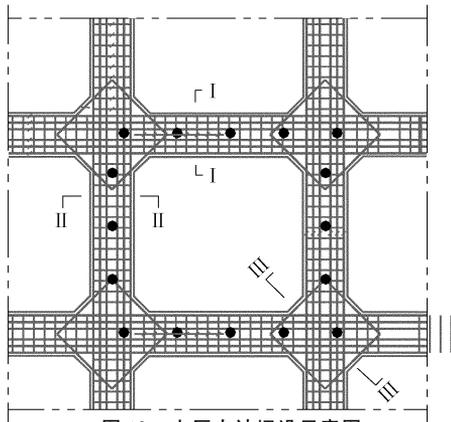


图 10 土压力计埋设示意图

土压力计埋设在框架格梁施工时同步进行,其测量一直延续到施工后, MK1 框架格梁土压力计测量 13 次, MK2 框架格梁土压力计测量 11 次。

### 6.3.2 钢筋应力监测布置

钢筋应力计埋设在 2 个框架格梁的上下两层钢筋中, 2 个框架格梁的编号为 MK1 和 MK2 (见图 8), MK1 框架格梁位于 920 剖面 4 级平台上, MK2 框架格梁位于 940 剖面 3 级平台上。每个框架格梁各布置了 32 个钢筋应力计, 如图 11 中黑长方形所示。

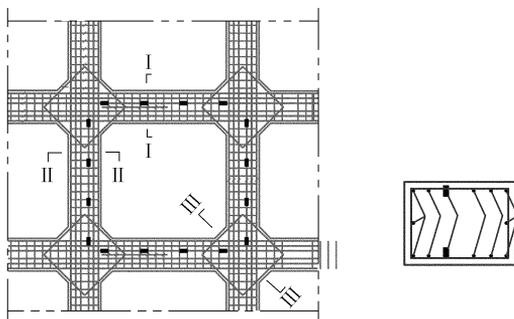


图 11 钢筋应力计埋设示意图

钢筋应力计埋设在框架格梁施工时同步进行,其测量一直延续到施工后, MK1 框架格梁钢筋应力计测量 13 次, MK2 框架格梁钢筋应力计测量 11 次。

### 6.3.3 锚索预应力监测布置

锚索预应力传感器安装在 2 个框架格梁的锚索上, 2 个框架格梁的编号为 MK1 和 MK2 (见图 8), MK1 框架格梁位于 920 剖面 4 级平台上, MK2 框架格梁位于 940 剖面 3 级平台上。每个框架格梁各布

置了 4 个锚索预应力传感器, 如图 12 中黑正方形所示。

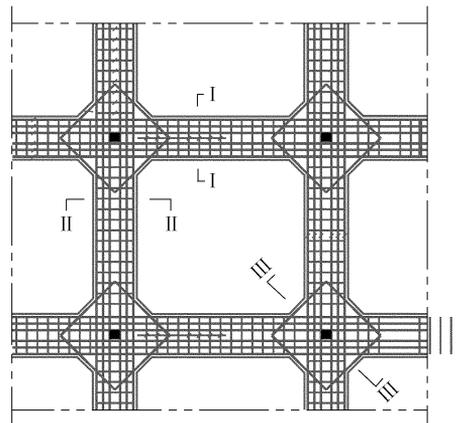


图 12 锚索预应力传感器安装示意图

锚索预应力传感器在锚索进行张拉前安装,其测量一直延续到施工后, MK1 框架格梁锚索预应力测量 10 次, MK2 框架格梁锚索预应力测量 9 次。

## 7 结语

该监测工程历经 2.5 年时间, 跨越滑坡治理施工前、治理施工期和治理施工后的整个时段, 通过大量的测量数据, 较为完整地表述了该滑坡的稳定性状态变化过程: 该滑坡在治理施工前存在滑动的可能; 在治理施工期间, 受施工干扰, 其稳定性出现过轻微变化; 在治理施工完成后, 目前滑坡已经处于基本稳定状态, 且已经受住了 2005 年夏天的一次连续强降雨的考验, 没有出现下滑的迹象。

在监测工作结束后, 还对滑坡进行了不定期的宏观调查, 也未见有明显的变形迹象, 表明该滑坡防治工程治理措施的设计是科学合理的, 达到了治理的效果。

同时监测工作的实施为治理方案设计、治理施工提供了很好的原始资料, 保证了施工的安全, 达到了监测的目的, 并为今后实施高陡滑坡(或边坡)的工程治理和监测积累了一定的经验。

### 参考文献:

[1] 周永江, 杨雪莲. 国道 318 线二康路 K2794 滑坡工程地质评价及处治方案选择[A]. 公路边坡及其环境工程技术交流会论文集[C]. 北京: 人民交通出版社, 2005.

[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.