

文章编号: 1671-8496-(2010)02-0033-03

## 某路堤滑坡的稳定性分析及治理设计

陈明晓

(广东省航运规划设计院, 广东广州 510050)

**摘 要:** 文中以广东省某高速公路路堤滑坡为研究对象, 通过其裂缝分布、工程地质条件及监测资料, 分析滑坡产生的原因, 确定其滑动面; 通过 Sarma 法分析其加固前、后的稳定性, 确定其加固治理措施。从加固后的效果来看, 说明利用 Sarma 法分析折线滑面的边坡是合适的, 采用室内饱和试验进行稳定性分析与实际情况较吻合。

**关键词:** 路堤; 滑坡; 稳定性分析; Sarma 法

**中图分类号:** U416.12

**文献标识码:** A

## The Stability Analysis on an Embankment Landslide and Its Design of Reinforcement

CHEN Ming-xiao

(Guangdong Shipping Planning and Design Institute, Guangzhou 510050, China)

**Abstract:** This paper studies a highway embankment landslide in Guangdong Province, through its cracks in the distribution, engineering geological conditions and monitoring data, analyzes the causes of landslides and determines the sliding surface. Through Sarma Method stability analysis before and after its reinforcement determined the reinforcement of governance measures. From view of the reinforcement effect, it is appropriate that a slope of the sliding surface of the broken line is analyzed form Sarma Method; it is in line with the actual situation if the data of indoor saturation experiments is used in regard of stability analysis of a slope.

**Key words:** embankment; landslide; stability analysis; Sarma Method

### 1 概况

广东省某高速公路 K17+580~K17+720 右幅高陡坡路堤, 填筑高度达 46 m, 半填半挖路段, 原自然边坡坡度为 20°~30°, 在 2006 年 8 月初强降雨作用后, 发现第三级下边坡出现了一条自上而下的裂缝, 随后在 K17+700 右幅路面发现不同程度的纵向裂缝, 并有持续发展扩大的趋势; 至 8 月中下旬, 路面缺陷已发展为断板、错台、圆弧裂缝、路沿石及中间分隔带开裂等路堤病害。

经现场调查, 路面主要的裂缝有: 在 K17+580~K17+680 段路面中央分隔带右侧出现宽 20~30 mm 的裂缝, 但下错不明显; 在 K17+680~K17+720 段路面中央分隔带左侧出现宽

30~50 mm 的裂缝, 裂缝呈直线型, 长而贯通, 应为深层滑动引起。在 K17+630~K17+687 段右幅路面中央的纵向伸缩缝处开裂, 裂缝宽 3~10 mm, 并下错 10 mm; 在 K17+630~K17+687 段右幅路肩开裂下错 10 mm, 裂缝宽 5~10 mm, 局部断断续续分布, 这两道裂缝均呈弧形, 外侧路面有明显下沉现象。下边坡主要的裂缝有: 一级平台小里程端的侧界裂缝主要出现在 K17+600 处, 大里程端侧界裂缝主要出现在 K17+710 处; 二级平台在 K17+655~K17+710 段有明显的滑坡剪出口, 与路面外侧纵向裂缝构成滑坡的浅层变形; 三级平台在 K17+717 处出现明显的侧向剪切裂缝, 该裂缝一直延伸至边坡的坡脚。坡脚处的裂缝有: 在 K17+580~K17+635 段坡脚挡墙的顶部有明显的鼓胀裂缝; 在 K17+655~K17+710 段突

收稿日期: 2009-12-03

作者简介: 陈明晓(1973-), 男, 高级工程师, 硕士  
研究方向: 岩土工程设计、咨询及检测等

出的小山包陡坎和水沟处产生明显的放射状裂缝,山包上部出现明显的反翘鼓胀裂缝。

## 2 工程地质条件<sup>[1]</sup>

### 2.1 地形地貌

滑坡所处地貌属剥蚀残丘地貌,微地貌为斜坡地貌,地势南东高、北西低;丘陵高程大于353.2 m,丘底高程约224.3 m,相对高差大于128.9 m,自然斜坡沟谷与山包相间,北侧K17+220附近分布沟谷,以涵洞形式穿越高速公路,直入山前水田沼泽地;南侧沟谷被高速公路截断,向两侧分流,终年可见水流。坡底北西侧主要分布山间旱地和水田沼泽地;线路则以208°的方向横截斜坡,上边坡长约208 m,坡高71.2 m;下边坡长约117 m,坡高46.0 m。

### 2.2 水文地质条件

区内地下水主要有大气降雨流经坡体的地表水、赋存于土层中的孔隙水以及赋存于基岩中的裂隙水,三者通过孔隙及各构造裂隙有着直接的水力联系,其中基岩裂隙水分布最广泛,各岩土层分界面尤其软弱结构面往往是富水部位及地下水径流的主要通道。

## 3 滑坡产生的原因分析

由于滑坡段位于高陡坡路堤段,属半填半挖路堤,填土高度达46.0 m,原自然斜坡坡度为20°~30°,路基填土厚度为8.0~11.0 m。第2-1层、3-1层为震旦系的变质页岩和燕山期花岗岩风化而成,岩性软弱,抗剪强度较低,厚度分布不均,总体向右侧倾斜,而下卧层为岩体强度较好的强-弱风化层,风化差异的界面更易形成滑

动带。根据该段路堤变形裂缝的分布情况及发生变形时的天气情况进行综合分析,一、二级坡范围的浅层变形主要是由于强降雨的作用,地表水入渗至路堤填土,增大了填土的容重,况且填土中含较多亲水矿物,并具弱膨胀性,饱水后易软化,抗剪强度锐减,从而造成路堤上部的填土产生变形滑移,同时,亦证明在强降雨作用下,路堤填土的含水量在增大,加大了路堤顶部的荷载。上述试验数据表明,填土的孔隙比较基岩的全风化带小,形成了一层较好的隔水带,

在强降雨作用下,山坡上汇集的雨水通过基岩裂隙不断向坡脚下渗流,在路堤填土的阻隔下,水位不断升高,在填土底部积聚,浸泡和软化了全风化层,加上裂隙水在下渗过程中产生较大的动、静水压力。致使路堤边坡在强降雨作用后数天产生了沿全风化带中最软弱的结构面滑移变形。

## 4 滑坡滑动面的确定

滑坡滑动面位置和形态的正确确定是滑坡分析评价和防治的关键,是滑坡稳定性评价和推力计算的基础。滑动面定得过浅可能造成防治工程失败,治不住滑坡;定得过深可能造成工程浪费。本滑坡经过地面裂缝的调查,确定其前缘剪出带以及后缘拉裂带。并于2004年11月开始,分别在二级下边坡平台、一级下边坡平台上各设置一个深部位移观测孔。在观测期间,二级下边坡平台1号观测孔在孔深17 m处存在较大变形,变形量达50 mm,最后观测孔在该处被剪断。一级下边坡平台2号观测孔在孔深17.91 m处存在较大变形,变形量达47 mm,最后观测孔亦被剪断。根据上述资料,确定了滑坡的滑动面,见图1。

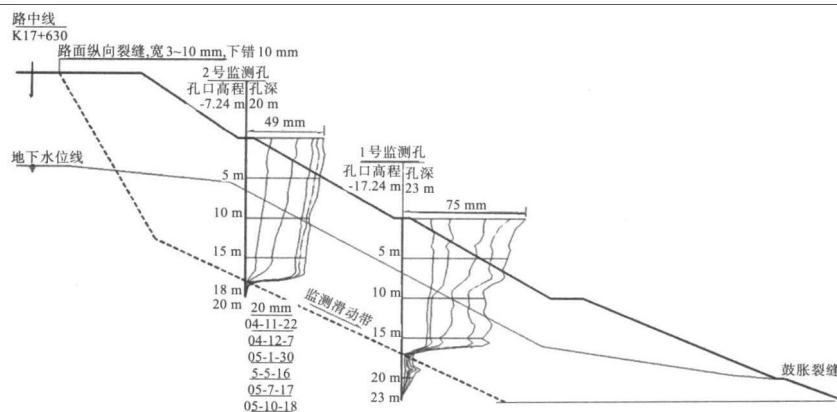


图1 K17+630代表性横断面监测结果

5 滑坡的稳定性分析计算

根据滑坡的工程地质条件、深部位移监测资料以及地面裂缝的分布特点，该滑坡发生了深层及浅层变形，深层滑移带沿软弱层呈折线分布，主控制断面K17+630处的深度约17 m；浅层滑动为地表水下渗引起的路堤填土的圆弧形滑动，深度约9 m。根据勘察资料，各岩土层的主要物理力学性质指标见表1，根据表1各参数验算滑坡的稳定性，其安全系数 $K=1.018$ ，见图2。

表1 岩土层在饱和状态下的物理力学性质指标(标准值)

岩土层	容重 $\rho$ /kN·m <sup>-3</sup>	凝聚力 C/kPa	摩擦角 $\varphi$ /°	孔隙 比 $e$
路堤填土	18.8	27.83	13.52	0.662
亚粘土	19.5	28.12	14.31	0.740
全风化变质页岩	18.7	26.58	14.32	0.748
全风化花岗岩	19.5	27.71	14.73	0.628

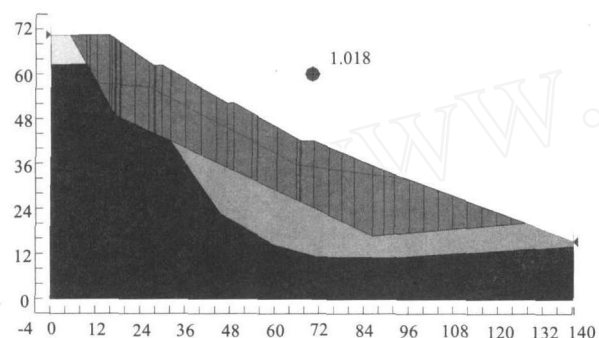


图2 K17+630代表性横断面加固前的稳定性分析结果

根据野外调查，由于该滑坡段路面出现了主拉裂缝贯通、加宽、外侧下错、并向两侧延长；坡脚地面局部隆起，出现垂直路线方向的放射状裂缝及平行路线方向的鼓胀裂缝，两侧剪切裂缝向抗滑段延伸，滑坡体中上部下沉并向前移动，下部受挤压、抬升，变松。根据滑坡体的上述特征及文献[2]，该滑坡处于挤压变形阶段，其稳定系数取 $F=1.01\sim 1.05$ 。本次设计选取 $F=1.01$ 反算整个滑动面抗剪强度的平均值，稳定性分析方法采用折线滑动面的Sarma法，反算的抗剪强度值采用敏感性分析后确定，见表2，计算时滑体的容重 $\rho=19.5\text{ kN/m}^3$ ，反算出滑面的凝聚力 $C=30\sim 35\text{ kPa}$ 、摩擦角 $\varphi=12^\circ\sim 13^\circ$ ，据此，取凝聚力 $C=32.5\text{ kPa}$ 、摩擦角 $\varphi=12.5^\circ$ 时，计算安全系数 $K=1.013$ ，结果见图3。

表2 抗剪强度指标敏感性分析

凝聚力 C/kPa	摩擦角 $\varphi$ /°						
	7	8	9	10	11	12	13
5	0.406	0.456	0.507	0.557	0.609	0.660	0.712
10	0.466	0.516	0.566	0.617	0.668	0.719	0.771
15	0.525	0.575	0.626	0.676	0.727	0.779	0.830
20	0.585	0.635	0.685	0.736	0.787	0.838	0.890
25	0.645	0.695	0.745	0.796	0.846	0.898	0.949
30	0.705	0.755	0.805	0.855	0.906	0.957	1.009
35	0.763	0.813	0.863	0.914	0.965	1.017	1.069

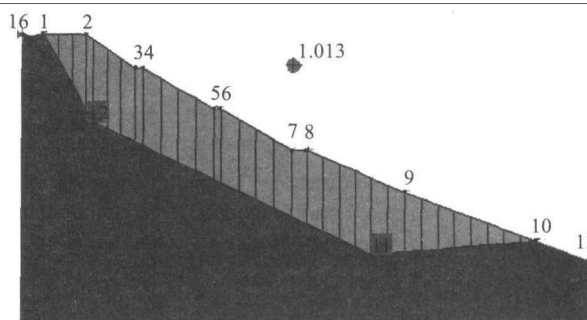


图3 滑坡(K17+630代表性横断面)的反分析结果

6 滑坡的治理设计

滑坡的治理设计选取反算的滑面抗剪强度指标值进行滑坡推力计算，取安全系数 $K=1.2$ 时，其剩余水平下滑力 $F=1\,500\text{ kN}$ 。

路堤滑坡的设计维持原有的坡形坡率，高46.0 m，五级坡。由于滑坡的变形，路基填土已发生松动，为了改良路基填土的质量和处治其浅层变形，路面设3排 $\varphi 89\times 4.5\text{ mm}$ 钢花管注浆，间距3.0 m，排距2.5 m，钢花管长13.0~22.0 m；一级坡平台设3排 $\varphi 89\times 4.5\text{ mm}$ 钢花管注浆，间距3.0 m，排距1.8 m，钢花管长18.0~22.0 m；一级坡采用 $\varphi 50\times 4.5\text{ mm}$ 注浆钢锚管框架加固，设3排钢锚管，间距为4.0 m，长度为16.0~22.0 m。

为了控制滑坡的整体滑动变形，二至四级坡采用4 $\varphi 15.24$ 预应力锚索框架加固，设9排锚索，间距为4.0 m，长度为28.0~37.0 m。锚固段在强~微风化岩层中时，其长度设计为10 m；在全风化岩层中时，其长度设计为12 m；在亚粘土层中时，其长度设计为15 m。其代表性横断面设计图见图4。

采取上述加固措施处理后，滑坡的稳定安全系数 $K=1.236$ ，满足规范的要求，其稳定性分析结果见图5。

7 结论

(下转第40页)

下,技术上均是合理的,但以经济性而言应以连续刚构桥为最优。同时连续刚构桥技术成熟可靠,符合我国当前大力倡导的“全生命周期设计”的理念。

其次,就景观而言,桥位处鱼塘密布,一派美丽的田园风光。桥梁造型首要考虑的是把建筑融入大环境中,而不应突出于背景之外,造成喧宾夺主的效果,破坏田园风光的宁静祥和。连续刚构符合这一要求。

再次,连续刚构具有施工难度小、速度快,养护成本低等优点。

最后,对于主跨80 m及160 m跨连续刚构而言,80 m跨比160 m更具经济优势,且80 m跨能与原油金桥完全对齐,新旧双桥犹如两条彩带,横卧于北江之上,更具视觉震撼。另外,新建160 m跨由于比原桥主墩个数少,容易给来往的船只造成错觉,误以为旧桥也是160 m跨,使

旧桥桥墩被船撞的可能增加。

综上所述,油金大桥扩建新桥主桥采用主跨80 m的连续刚构方案(即方案一)。

## 5 结语

大跨径桥梁的桥型方案拟定与比选是一项综合、系统性的工程。本文对跨度约为100 m左右的桥型进行了方案的技术经济比选,并得出了一些结论,可对类似的新建或扩建桥梁方案比选提供参考。

## 参考文献

- [1] 周念先. 桥梁方案比选[M]. 上海: 同济大学出版社, 1997.
- [2] 邱新林. 佛开扩建工程九江大桥方案比选[J]. 湖南交通科技, 2007.9
- [3] 范立础. 桥梁工程[M]. 北京: 人民交通出版社, 2001.

(上接第35页)

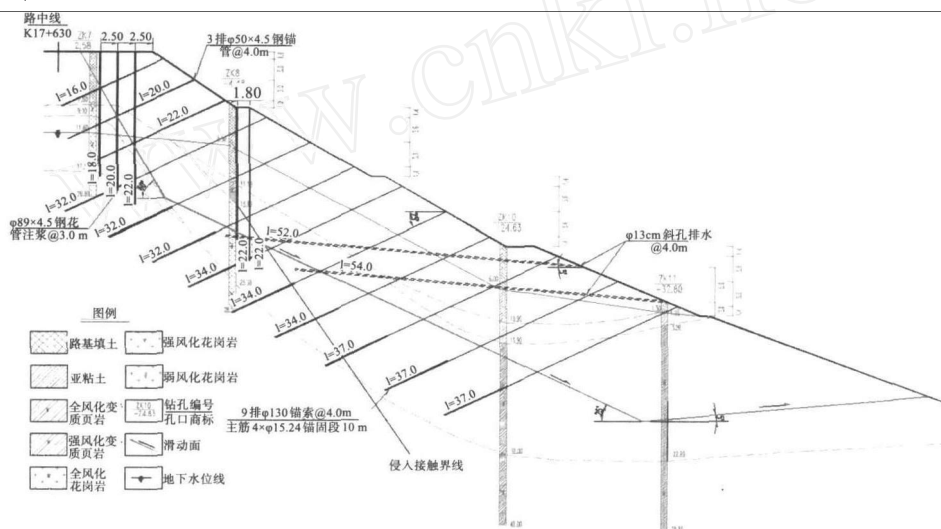


图4 滑坡代表性横断面设计

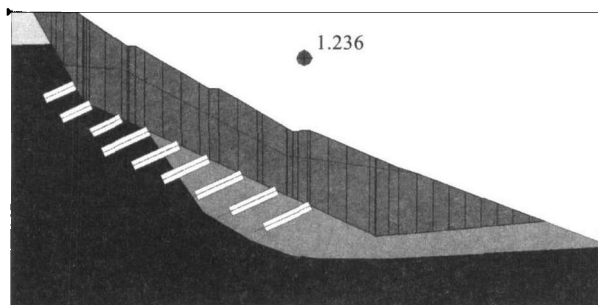


图5 K17+630代表性横断面加固后的稳定性分析结果

该滑坡经上述加固措施治理后至今,路基、路面经历过三个雨季及汽车荷载的作用下仍处于

稳定状态,说明上述治理措施是可靠的,采用Sarma法进行滑坡的稳定性分析计算是合理的,经反算的抗剪强度指标与滑带土层饱和状态的强度参数较接近。因此,边坡的稳定性分析设计宜采用岩土层在饱和状态下的物理力学性质指标。

## 参考文献:

- [1] 广东省地质勘察基础工程公司. K17+500~K17+800右幅高路堤边坡病害补充地质勘察报告[R]. 2004.
- [2] 郑颖人, 陈祖煜, 等. 边坡与滑坡工程治理[M]. 北京: 人民交通出版社, 2007.