

某工程滑坡变形失稳机理及发展趋势分析与治理方案比选

徐国民, 杨金和

(西南有色昆明勘测设计(院)股份有限公司, 云南 昆明 650051)

摘要: 就滑坡治理而言,不同的设计者可能给出不同的方案,这些方案甚至会出现较大差异,因此,对治理方案进行安全性、经济性、合理性等方面的比较是十分必要的.本文对某滑坡治理工程作了介绍,从弄清滑坡地质环境条件出发,在分析边坡变形失稳机理及其发展趋势的基础上,对治理方案进行了比选论证和分析,提出优选方案并加以实施.文章对边坡潜在不稳定因素的分析及对有利和不利因素的探讨可供类似工程借鉴.

关键词: 滑坡治理;地质环境;边坡变形;锚固

中图分类号: TD824.7 **文献标识码:** A **文章编号:** 1007-855X(2008)05-0007-06

Sliding Mechanism and Development Trend of an Engineering Landslide and Comparison of Control Schemes

XU Guo-min, YANG Jin-he

(Southwest Nonferrous Metals Kunming Geological Surveying and Designing (Institute) Inc., Kunming 650051, China)

Abstract: The necessity to compare the security, economy and rationality of different landslide control schemes is firstly made clear. Through the introduction of a concrete project, the geological environment, sliding mechanism and development trend are analyzed to choose an optimal scheme, which is then put into effect. This analysis of potential sliding factors as well as other advantageous and disadvantageous factors is hopefully referential to similar projects.

Key words: landslide control; geological environment; slope deformation; anchoring

0 引言

2006年10月,某钢铁集团红山铁矿精矿输送管线工程(穿越1#古滑坡体)在管线及公路施工后期,紧邻管线的斜坡发生局部变形及滑移破坏——古滑坡局部复活.滑坡使公路局部下沉、拉裂,公路外边坡下侧水田隆起、开裂,现状滑坡属工程滑坡.

滑坡后缘紧邻地下输送管线,若滑坡进一步发展,势必导致管线断裂,近200 km的管线将瘫痪、停产,造成惨重损失.为保证管线及公路的安全运行,2006年12月对古滑坡新变形部分进行了再勘察.2007年10月进行治理方案设计,随后投入了工程治理.

1 滑坡工程地质条件

1.1 气象、水文简况

区内属亚热带气候,干湿季节分明,雨量充沛,年降雨700~1200 mm,平均930 mm;60%以上降雨集

收稿日期:2008-05-18.

第一作者简介:徐国民(1964-),男,高级工程师,主要研究方向:水工环地质.

E-mail: xugme@sina.com

中在6、7月份,多以阵雨、暴雨形式降落.最低气温 1°C 左右,最高达 40°C 以上,年平均气温 25°C ,总的气候夏秋炎热,冬春温和.滑坡区所在斜坡北侧坡脚为一大冲沟——肥味河,枯水期最小流量仅 $0.05\text{ m}^3/\text{s}$,50年一遇洪峰流量达 $170\text{ m}^3/\text{s}$,肥味河下切与淘蚀是古滑坡产生的因素之一.

1.2 地形、地貌

现状滑坡所在区域位于中山斜坡中部,地形总体南高北低,高程在 $1\ 359\sim 1\ 459\text{ m}$ 之间,相对高差 100 m .新建公路以上(南侧),地形较缓,坡度约 $10^{\circ}\sim 15^{\circ}$,为农耕地,且为水田;公路线以下(北侧)地形较陡,约 $30^{\circ}\sim 35^{\circ}$,部分已退耕还林,滑坡剪出带及下方零星分布水田.

1.3 岩(土)层结构及其工程地质特征

根据钻孔揭露及地表调查,勘察范围内揭露的主要地层有:

①人工填土层:褐黄、灰等杂色,松散、稍密状态,主要由粉质粘土及角砾、碎石组成,角砾、碎石成分主要为强风化板岩、砂岩.平均剪切、压缩波速分别为 161 m/s 、 666 m/s .

②含角砾、碎石粉质粘土:第四系坡残积层,硬塑状为主,局部可塑状,稍湿.褐黄色、棕灰色、浅黄色,碎石含量 $15\%\sim 25\%$,成风主要为强风化砂岩、板岩,棱角状,直径 $2\sim 20\text{ cm}$ 不等,最大 35 cm .平均剪切、压缩波速分别为 324 m/s 、 859 m/s .

③板岩、砂岩:属三叠系干海子组岩层,上部强风化段呈淡紫红色、褐黄色,薄至中厚层状,岩石破碎,岩芯呈碎石土状、碎石状、块状.节理裂隙发育,沿裂隙面普遍见锈红色铁质膜,局部见白色石英脉充填.层面不明显,RQD一般 $10\%\sim 25\%$.下部中至微风化,灰、黑灰色,薄至中厚层状,裂隙发育,层面轴心夹角 $75^{\circ}\sim 85^{\circ}$.RQD一般 $60\%\sim 80\%$.平均剪切、压缩波速分别为 889 m/s 、 $1\ 975\text{ m/s}$.

1.4 水文地质条件

滑体位于斜坡中部,主要为地下水的迳流区,斜坡坡形单一,地形切割不深,斜坡上部地下水埋深一般较浅,下部地下水埋深一般较大.经钻孔揭露的地下水位埋深在 $0.90\sim 17.00\text{ m}$ 之间,水位标高变化较大.地下水为潜水,水位基本都处于第四系土层内,局部为处于基岩内的裂隙水.第四系坡积含碎石粘土,松散

表1 各土层主要物理力学指标建议值表

Tab.1 The main physical and mechanical parameters of rock-soil strata

层号	岩土层名称	岩土状态	重力密度 $\rho/(\text{kN}\cdot\text{m}^{-3})$	内聚力标准值 C_k/kPa	内摩擦角标准值 $\varphi_k/(\text{°})$	承载力特征值 f_k/kPa	摩擦因数 μ	岩石与锚固体粘结强度特征值 f_{tb}/kPa
①	人工填土	稍密	19.0	12*	6*			
②	含角砾碎石粉质粘土	硬塑	19.5	35	8	250	0.30	25
③	板岩夹砂岩	强风化	25.0	40	25	350	0.40	135
		中至微风化	27.0	150	30	800	0.50	180
	软弱夹层		20	27	6			
	滑带土(用于滑坡计算)	软塑	19.3	18	6			

至中密状,状态差异大,赋水性有差异,为弱-强透水层;下伏的强至中风化三叠系岩层节理、裂隙较发育,为基岩裂隙型弱含水层,弱至微风化的板岩为相对隔水.地下水主要由大气降水及水田地表水补给,沿坡向沟谷肥味河排泄.

1.5 不良地质作用

不良地质作用主要有:

A. 软弱夹层和土岩界面:基岩内的软弱夹层为全风化板岩,呈可塑粉质粘土状,局部存在,一般深度在 15 m 以下,且岩层倾向和坡向呈反倾组合,基岩整体沿软弱层产生滑动的可能性小;土岩界面为场地内主要不利稳定的结构面,其倾向与坡向基本一致,在不利因素作用下,易产生滑坡危害.

B. 古滑坡及边坡加载与地下水:场地原为一古滑坡,为一浅层土体滑坡,两次勘察期间,其均处于总体稳定状态,但若长期受水下渗及加载等不利因素影响以及现状滑坡进一步发展,可能导致该古滑坡整体复活.

2 滑坡分析与评价

2.1 滑坡基本特征

2.1.1 形态特征

新产生滑移部位位于古滑坡中部之公路及其下方,沿新建公路内边缘向下滑动,南北长约 50 m,东西宽约 40 m,主滑动方向 317°。

2.1.2 变形特征

局部公路路面下沉约 50 cm,公路外侧新堆积土下沉 0.6 ~ 1.2 m,公路内侧拉张裂缝基本沿路沿石边缘连通,裂缝宽 10 ~ 30 cm 不等,公路下方 50 ~ 80 m 范围的水田出现隆起,张拉裂缝宽 10 ~ 20 cm,延伸长 3 ~ 10 m。

2.1.3 滑坡体特征

滑坡体物质以人工堆积的含碎石粘土为主,填土牵动下伏残坡积土体一起滑动。滑动后缘为公路内侧,紧邻精矿浆输送管线。滑体厚度 2.30 ~ 10.0 m,平均 5.60 m,滑坡体中部凸起,前缘坡脚见泉水出露。该滑坡属“浅层、小型推移式土体工程滑坡”。勘察期间,古滑坡未见整体复活迹象,古滑坡总体稳定。

2.2 滑坡成因分析

2005 年 5 月曾对古滑坡进行过勘察,其间,该滑坡处于稳定状态,勘察建议将滑体上部水田退耕或改造为旱地,后由于征地困难,水田改造未能进行,地表排水措施未实现,地表水长期下渗,外加修建精矿浆输送管线及公路开挖土方均堆填在公路外侧,使得公路下方古滑坡局部加载,破坏(岩)土体的力学平衡状态,引起人工堆积土所在边坡及其下侧变形失稳。

2.3 滑坡稳定分析^[1]

2.3.1 滑面形态确定及计算结果

从滑坡左侧边缘开挖探槽可明显看出,滑带土为含碎石粘土滑带土,呈软且可塑状。根据钻孔动探结合地质钻探、地面变形情况判定滑坡滑面形态综合分析,滑面上、下部位于土层中,为弧形破坏,中部受土岩界面控制,为线形破坏,总体接近弧形,故采用弧形公式计算。

计算参数选用表 1,经计算,滑坡稳定系数为 0.998,该滑坡处于现状不稳定状态。

从以上计算结果可知,除现状滑坡外,潜在滑面之稳定系数也满足不了工程边坡稳定安全系数的要求。

2.3.2 滑坡发展趋势分析

本滑坡为工程诱发的变形失稳,稳定系数为 0.988,现状处于不稳定状态,如不进行治理,随着地下水(尤其是雨季)的继续入渗、公路的运行或震动等外部因素的影响,其变形失稳将逐步加剧,进而引起更大范围的滑坡,严重危害输送管道的安全运行。

3 滑坡治理

3.1 边坡安全论证

经过勘察,查明了现状滑坡(滑面 1)的范围及其特征。为了彻底根治不留隐患,在勘察的基础上,需进一步查找可能的潜在滑动面。根据边坡岩土特性、空间分

布形态及其不利组合,认为该边坡还有可能产生滑动的两个潜在滑动面即潜在滑动面 2 和潜在滑动面 3 存在(图 1)。两个潜在滑动面主要沿土岩结合面分布,可能产生以折线形为主的滑动,特别是在滑面 1 产生进一步滑动的情况下,滑动面 2 将产生牵引式滑动,滑动面 3 将产生推移式滑动。经计算,各块体稳定系数如表 2。潜在滑动面的物理力学参照滑动面 1 选取(模拟最差状况,但实际状况要好)。

表 2 各块体的稳定系数计算结果表

Tab.2 Results of the stability block coefficient

滑面代号	物理力学参数			稳定系数	
	重力密度 $\rho/(\text{kN}\cdot\text{m}^{-3})$	内聚力标准 C_k/kPa	内摩擦角标准 值 $\varphi_k/(\text{°})$	不计地震 K_s	计入地震 K_s'
滑动面 1	19.3	18	6	0.998	0.842
潜在滑动面 2	19.3	18	6	1.127	0.879
潜在滑动面 3	19.3	18	6	1.135	0.884

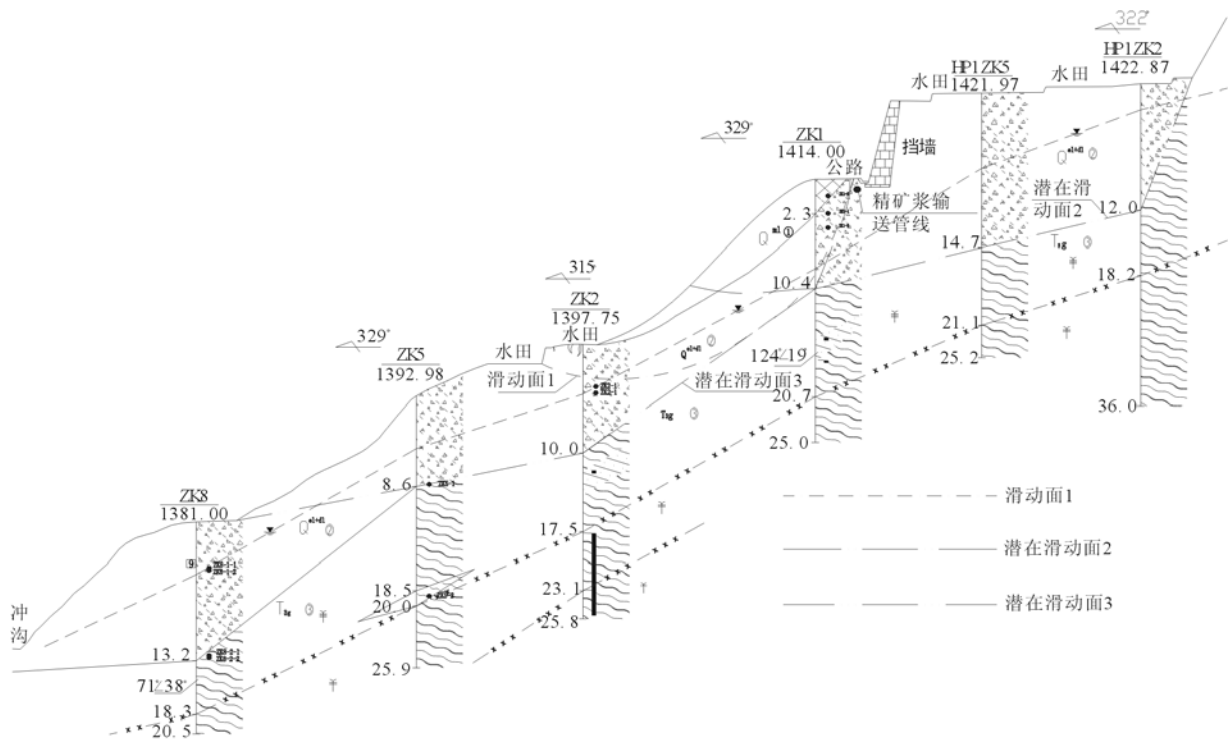


图1 工程地质及滑坡计算剖面

Fig.1 Section of engineering geological and landslide calculation

3.2 治理方案及其比选^[4,5]

根据现状不稳定和潜在不稳定因素的分析,设计考虑了3个方案进行比选。

方案1:对中部的现状滑坡及下部的潜在滑体均进行锚索加固(图2),方案的出发点是确保现状滑坡及其下的斜坡根基稳定。

方案2:以抗滑桩为主体支护结构进行支护,即在现状滑体斜坡中部设置抗滑桩,设计时将土面结合在以上均以悬壁考虑,即便是潜在滑体3产生滑动桩前土体溜走,也不致影响到上部边坡的安全(图3)。

方案3:只对现状滑坡体进行锚索加固(图4)。

上述3个方案的优劣对比如表3。

表3 方案对比表

Tab.3 Project comparison

方案编号	优点	缺点
方案1	中部及下部锚索,外加截排水措施及坡面防护,可同时消除现状不稳定和潜在不稳定,治理工程根基稳固,能确保万无一失。	工程量较大,工程造价较高,锚索施工震动可能引起现状滑坡变形加剧。
方案2	抗滑桩,外加截排水措施及坡面防护,能保证桩上部斜坡的稳定,即使下部斜坡变形破坏也能保证管线及公路的运行安全。工程造价适中。	抗滑桩需分序施工,工期较长,嵌入岩体需爆破,震动可能引起滑体变形加剧。
方案3	现状滑体锚索加固,外加截排水措施及坡面防护,工程量最小,工期最短,造价最低。	锚索施工震动可能引起现状滑坡变形加剧,对潜在滑体没有工程控制,有一定工程风险。

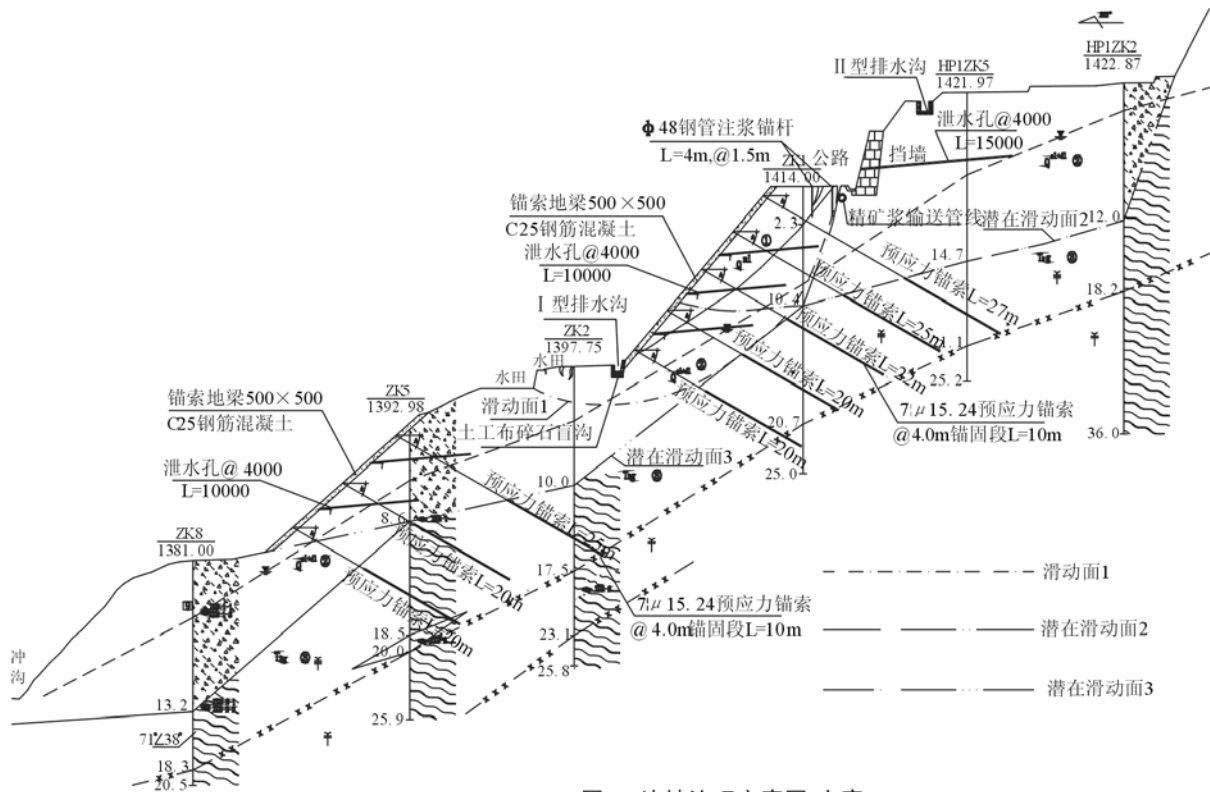


图2 边坡治理方案图(方案1)

Fig.2 Project designing of landslide control (designing 1)

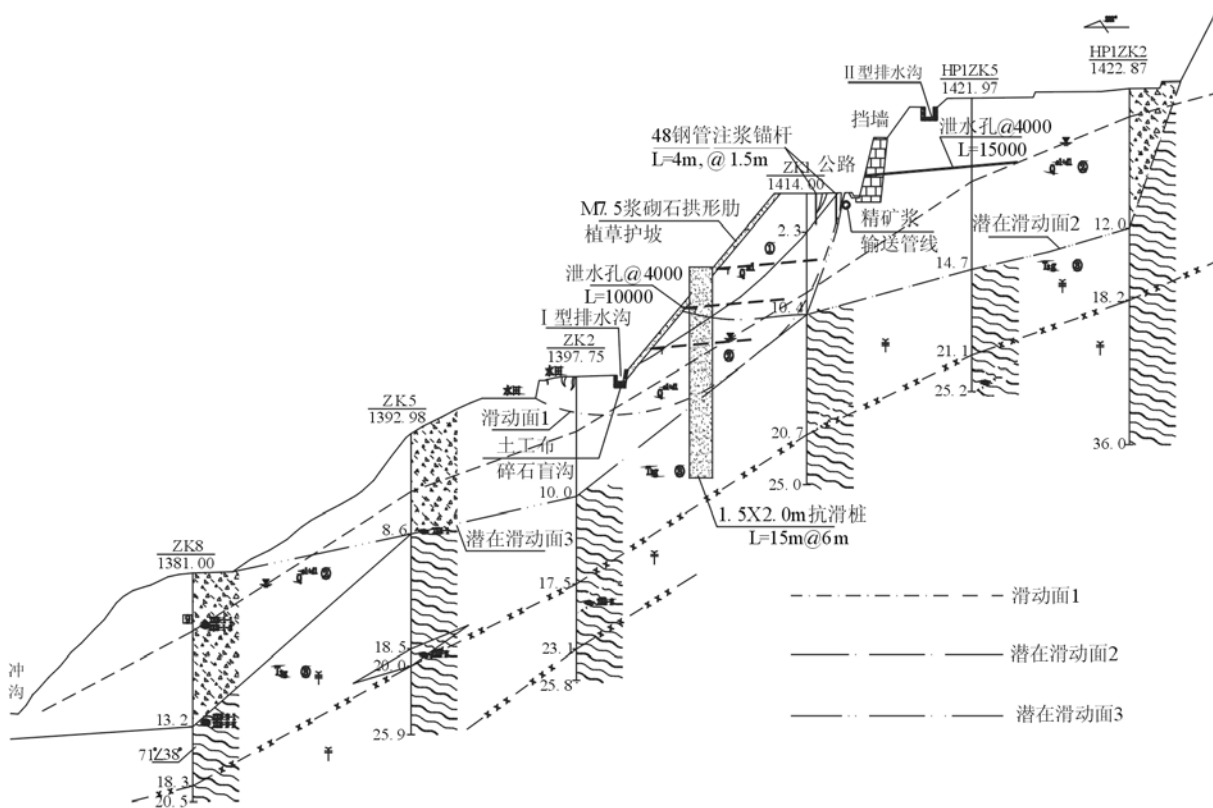


图3 边坡治理方案图(方案2)

Fig.3 Project designing of landslide control (designing 2)

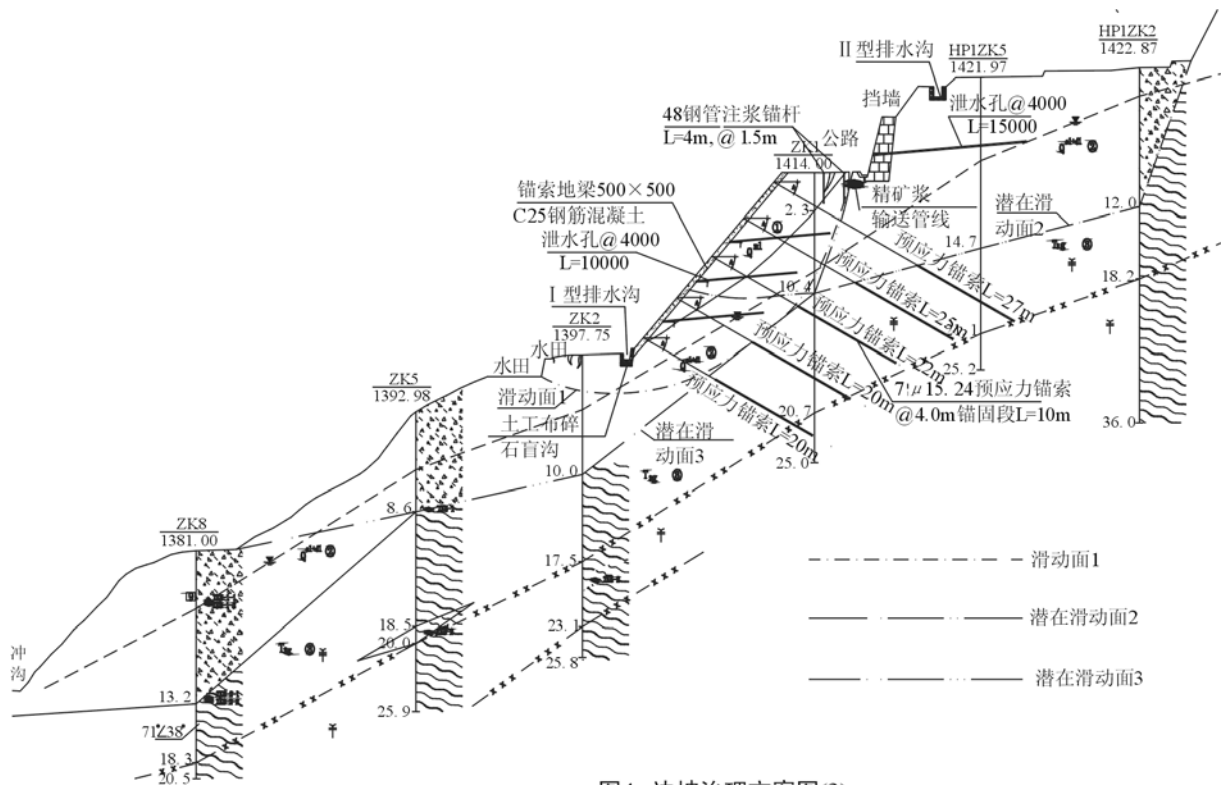


图4 边坡治理方案图(3)
Fig.4 Project designing of landslide control (designing 3)

经对有利和不利因素的反复论证,最终推荐方案3为实施方案,理由如下:其一,就潜在滑体变形机理而言,上部以牵引式为主,下部以推移式为主,对现状滑体进行锚固以后,其对上牵引和对下推移的趋势大大缓解。其二,实施现状滑体锚固后,潜在滑体3的下滑力减少,抗滑力增加,潜在滑体2的抗滑力亦相应提高。其三,采取坡面截排水和坡体内泄水措施后,减少了水对边坡的影响,潜在滑面土体的抗剪强度会有所提高,使边坡的安全稳定系数得以进一步提高。

3.3 施工不利影响的处理

如前所述,锚索成孔产生的震动可能引起滑坡变形加剧,必须采取预加固措施,以确保施工期间管线的安全,故在公路上管线外侧设置了竖向超前锚杆,一是通过注浆使拉张裂缝得以充填,二是使松散土体得到固结,三是竖向锚杆对管线起到了支挡作用。

3.4 实施效果

该治理工程已于2007年底实施完成,锚索施工期间,滑坡变形有所发展,由于采取了预加固措施,加之在锚索施工的顺序和间隔时间进行了合理控制,确保了施工期间管线安全。通过监测,工程施工完成至今,边坡情况正常。但还需经过雨季的考验,还需要对边坡进行长期监测。

4 结语

边坡治理方案需进行多方案的比选,从中优选工期、安全、造价、可操作性等各方面相对合理的方案;进行有利和不利因素的全面分析论证,对方案的优化、工程决策大有帮助;滑坡治理方案应将潜在不稳定因素一并考虑,但模拟滑动面及其物理力学参数如何选取值得进一步探讨;边坡工程的影响因素复杂多变,理论上可行的方案还需要工程运行实践的检验。

参考文献:

- [1] 中华人民共和国国家标准. GB50330—2002 建筑边坡工程技术规范[S]. 北京:中国建材工业出版社,2002.
- [2] 中华人民共和国国家标准. GB50086—2010 锚杆喷射混凝土支护技术规范[S]. 北京:中国计划出版社,2001.
- [3] 工程地质手册编委会. 工程地质手册[M]. 4版. 北京:中国建筑工业出版社,2007.
- [4] 杨宁,李四全,杨永刚. 滑坡工程地质勘察报告[Z]. 西南有色昆明勘测设计(院)股份有限公司,2006.
- [5] 徐国民. 滑坡治理工程施工图设计[Z]. 西南有色昆明勘测设计(院)股份有限公司,2007.