

高速公路某路堑滑坡成因及稳定性研究

尹国荣

(湖南化工地质工程勘察院有限责任公司,湖南 长沙 410000)

摘要:针对张桑高速第四合同段 K22+886-K23+450 段路堑滑坡成因,例如地形地貌因素、岩性因素、构造因素、水文地质因素等,外因方面的因素为人类活动、农业及工程活动和持续强降雨等,进行全方位的分析,并简单介绍了公路路堑滑坡特征,例如滑坡边界、地貌、形态特征、滑体特征等,提出具体的防治措施,采取截排水、支挡等措施,取得较好的成效,旨在为类似工程项目提供一定的帮助与借鉴。

关键词:高速公路项目;路堑滑坡;稳定性

[DOI]10.12231/j.issn.1000-8772.2020.31.303

1 引言

本文结合张桑高速公路第四合同段路堑滑坡产生的具体原因,提出详细的防治措施,不仅可以提升高速公路路堑滑坡的稳定性,而且能够保证高速公路的稳定运行。但是,因为高速公路建设规模的不断扩大,路堑滑坡成因越来越复杂,为了进一步提升公路路堑滑坡的稳定性,本文重点探讨高速公路路堑滑坡防治要点与注意事项,核心内容如下。

2 案例概况分析

张桑高速第四合同段 K22+886-K23+450 段右侧边坡属于张家界服务区主线范围。边坡区位于桑植县桥头乡桥头村境内,该路段的主线路线走向为 127°,地貌属于构造剥蚀山体,从总体上看,西高东低,山体自然坡度可分为三个部分,高程在 450m 以上山体自然坡度约 45°,平台与山坡坡脚自然坡度约 25°~35°,山坡坡脚与坡积裙前缘的自然坡度约 15°~25°。坡积裙前缘为相对较开阔的山前冲洪积平原,宽约 250~300m。通过对该地区进行前期勘探和调查,并根据当地的区域地质资料,边坡区揭露基岩为志留系中统泥质粉砂岩,结合附近露头测得岩层产状 150°∠18°。边坡区地质条件差,对边坡稳定性影响较大。

3 滑坡特征

3.1 滑坡边界、地貌、形态特征

4# 滑坡体位于高速公路 K23+280-K23+500 段右侧路堑,坡顶出现较多拉张裂缝,长裂缝长为 180m,短裂缝长度为 10~20m,宽约在 0.5~50cm 之间,局部错落台阶高度在 5~80cm 之间,其中有 2 条贯通性裂缝,其顶部分别位于 398m、418m 平台。总体上呈圆弧状,其中 418m 平台贯通性裂缝系 2015 年 3 月 20 日前后出现的,距道路右侧边线距离约 220m 的 424m 平台 2015 年 3 月 28 日在地质调查时发现一近直线型,长度为 70m 的横向张裂缝及羽状裂缝,缝宽约 0.5~15cm 之间。

3.2 滑体特征

4# 滑坡体面积约 49600m²,滑坡体平均厚约 13m,滑坡体体积约 64.5×10⁴m³,结合《公路工程地质勘察规范》JTJ C20-201 可以得知,属大型牵引式中层土质滑坡;滑体土自上而下主要由粉质黏土、碎石组成。其中:粉质黏土④:褐黄色、褐红色、紫红色夹灰白色,呈可塑~硬塑状态,局部为软塑~可塑状态,碎石含量约 5~15%,粒径 0.2~3cm,砾石成分主要为泥质粉砂岩、硅质岩碎块。该土层在 4# 滑坡体范围广泛分布,厚度:3.50~13.0m,平均 7.74m。

碎石⑤:褐黄色、灰绿色、灰褐色、紫红色,松散~中密状,局部为密实状,稍湿~湿,粒径约为 2~6cm,大者能够达到 20~100cm,碎石含量约为 55~60%,母岩成分为泥质粉砂岩、石英砂岩、硅质岩

等,呈次棱角状,泥质含量约 10~30%不等,局部有架空现象。该土层在 4# 滑坡体范围广泛分布,厚度约为 2.50~12.70m,平均约为 6.99m。

3.3 滑床特征

4# 滑坡滑床岩性为志留系中统强风化泥质粉砂岩夹石英砂岩,山体冲沟中基岩裸露,岩层产岩层产状 260°~300°∠5~15,顶面由滑坡前缘到后缘基岩面坡度变化不大,坡度约在 5°到 15°之间,4# 滑坡体范围内基岩面形态在纵向上与边坡倾向表现为反向坡,对边坡稳定比较有利。

3.4 滑动面(带)特征

通过地面工程地质测绘、高密度电阻率法及钻孔揭露,滑坡滑带为岩土接触带,位于碎石与破碎基岩接触界面,中部和前缘位于粉质黏土与碎石接触界面。由于滑带存在较多碎石,接触界面的土质表现为软塑~可塑状态,结合《岩土工程勘察规范》GB 50021-2001(2009 年版)可以得知,该地区存在高岭土团块。4# 滑坡体前缘勘察期间未能见到剪出口,该滑坡范围有 2 条深层监测断面 3-3'(注:监测孔编号为 CX5、CX6、CX7、CX8、CX12、CX13)与 2-2'(注:监测孔编号为 CX3、CX4),但据深层监测孔 CX8 表明在地面以下 4~5m 深度范围出现位移突变,该位移突变在后期呈持续增大趋势,至 2015 年 4 月 27 日该孔接近地表附近累计位移量为 90mm,位移速率为 9.0mm/d,5 月 13 日该孔的位移速率为 3.0mm/d(注:有所减缓,但仍在继续发展),相应标高约 344m 左右,该段为较开阔的施工平台,而 JC13 与 JC16 位移监测孔表明其前面仍处于变化较大地段;2015 年 4 月 30 日专家会议后在 K23+400 中点及 K23+400 左 40m 新增监测孔 CX12 与 CX13。CX12 至 5 月 31 日无明显变化;CX13 至 5 月 27 日无明显变化;另据施工单位反映在 K23+269 涵洞开挖时发现侧壁出现水平向弧形滑坡裂缝,其裂缝面距坡顶距离约 1~2m,按当时开挖时近山体坡脚处标高为 336~338m,其上部平台为 341m 考虑,则可能的滑动面标高为 339m;由于其下 328m 标高往东方向为较开阔的道路与农田,本报告按不利原则考虑,假定剪出口标高为 328m 左右。

3.5 滑坡体发展变化趋势

湖南致力工程科技有限公司于 2015 年 2 月 1 日至目前,对该边坡工程进行坡顶水平位移和垂直位移、深部位移及地表裂缝的监测工作(详见《张桑高速公路第四合同段 K22+780-K23+500 段斜坡工程监测点平面图》)。现引用其资料如下:

第一,2015 年 2 月 5 日~3 月 15 日期间 LF4、LF5、LF6 监测点所在裂缝持续增宽、位错。2015 年 3 月 16 日~5 月 31 日期间 LF4、LF5、LF6 监测点所在裂缝变形仍在持续发展。

表 1 现状滑坡稳定性计算结果表

计算目标	断面号	工况	c (kPa)	φ (°)	稳定系数	评价结果	备注
计算目标	断面号	工况	c (kPa)	φ (°)	稳定系数	评价结果	备注
4#滑坡	12—12'	I 0	10	18	1.105	基本稳定	F1 (342.0m)
		II 0	10	18	0.807	不稳定	
		I 0	10	18	1.144	基本稳定	F2 (328.0m)
		II 0	10	18	0.868	不稳定	
	13—13'	I 0	10	18	1.014	欠稳定	F1 (343.0m)
		II 0	10	18	0.719	不稳定	
		I 0	10	18	1.140	基本稳定	F2 (339.0m)
		II 0	10	18	0.795	不稳定	
		I 0	10	18	1.126	基本稳定	F3 (328.0m)
		II 0	10	18	0.767	不稳定	
	14—14'	I 0	10	18	0.903	不稳定	F1 (343.0m)
		II 0	10	18	0.645	不稳定	
I 0		10	18	1.142	基本稳定	F2 (330.0m)	
II 0		10	18	0.797	不稳定		

表 2 高速公路边坡稳定性评价

计算目标	断面号	工况	c (kPa)	φ (°)	稳定系数	评价结果	备注
4#滑坡	12—12'	I 1	10	18	0.788	不稳定	设计标高 342.0m
		II 1	10	18	0.572	不稳定	
	13—13'	I 1	10	18	0.895	不稳定	设计标高 343.0m
		II 1	10	18	0.628	不稳定	
	14—14'	I 1	10	18	0.863	不稳定	设计标高 343.0m
		II 1	10	18	0.581	不稳定	

第二,2015年2月5日至2015年5月31日期间JC13、JC14、JC15、JC16、JC17、JC18监测点在2015年3月15日之前,平面向移及沉降均具持续增大趋势,2015年3月15日~4月15日期间,上述监测点移速率有所趋缓,但是仍然具持续增大的趋势,4月15日之后,上述监测点移速率有加速迹象。

第三,深部位移主要有CX6、CX7、CX8、CX3、CX4位移突变分别出现在7.8m、10.0m、4.0m、8.4m、8.1m。该剖面所处坡体处于快速变形状态,该结果与附近地表位移监测结果相吻合。

结合《岩土工程勘察规范》(GB 50021-2001)得知,4#滑坡处于变形状态,现阶段位移有加速迹象;若山体断续开挖,道路右侧服务区开挖将在4#滑坡体处形成24m的高切坡,滑坡将进一步加速滑动。由于场地第四系堆积物堆积厚度较大,约5~20m厚,其岩性以粉质黏土和碎石夹粉质黏土为主,若遇长期降雨,在地表水和基岩裂隙水长期渗透下,极易在土体、基岩面之间形成滑动面,滑坡后缘范围会逐渐扩大,产生较大的地质危害及次生地质灾害。

4 路堑滑坡成因及稳定性分析

4.1 稳定性计算

针对当前阶段的滑坡体、以及开挖之后的滑坡体按照I工况(天然状态)、II工况(暴雨状态)下,分别计算出滑坡稳定性。根据《滑坡防治工程勘察规范》(DZ/T 0218-2006)可知,稳定性系数 $F_s \geq 1.15$ 为稳定, $1.15 > F_s \geq 1.05$ 表示基本稳定, $1.05 > F_s \geq 1.00$ 表示欠稳定, $F_s < 1.0$ 表示不稳定。

现状:I 0 工况-自重+天然状态。

II 0 工况-自重+暴雨(连续降雨)。

开挖之后:

II 1 工况-自重+天然状态。

III 1 工况-自重+暴雨(连续降雨)。

此外,根据国家标准《建筑地基基础设计规范》(GB 50007-2011),对滑坡特征分析与研究,该滑坡体为折线形滑面,采取传递系数法计算本滑坡的稳定系数,根据《公路路基设计规范》、推荐的滑坡稳定性计算公式进行计算。选择4#滑坡体对应滑坡主滑方向的12-12'、13-13'、14-14'工程地质纵断面计算稳定性系数;各断面稳定性系数计算结果见表1。

根据此次计算各断面在现状与开挖至设计标高后的稳定性系数,对边坡稳定性进行评价,具体数据见表2。

结合滑坡防治工程勘察规范》(DZ/T0218-2006)、《公路路基设计规范》(JTG D30-2004)规定,滑坡稳定状态划分为:稳定系数 $F_s \geq 1.15$ 为稳定, $1.15 > F_s \geq 1.05$ 基本稳定, $1.05 > F_s \geq 1.00$ 欠稳定, $F_s < 1.0$ 为不稳定。同时,结合表二滑坡稳定性计算结果可以得知,场地4#滑坡处于不稳定状态,需要进行有效的治理。

4.2 滑坡成因分析

在4#滑坡中,滑坡体形成的主要原因包括两方面。结合《岩土工程勘察手册》,以及野外地质调查结果得知,场地内部的岩层平缓,节理裂隙较为发育,岩层产状 $250^\circ \sim 310^\circ \angle 5^\circ \sim 15^\circ$,节理裂隙主要产状为: $85^\circ \sim 110^\circ \angle 55^\circ \sim 70^\circ$ 、 $10^\circ \sim 50^\circ \angle 50^\circ \sim 70^\circ$,基岩面形态在纵向上与边坡倾向呈反向坡,对边坡比较有利。但是,因为节理裂隙较为发育,和周围边坡坡向成顺向坡,对边坡的稳定性不利。

结合《工程地质手册》(第五版)可知,该高速公路路段右侧山体表现为西高东低,西部的山体比较陡峭,中间存在多级梯田,山脚部位较为平缓,坡度在 25° 到 45° 之间,表现为下陡中缓上陡、上部成的地形。因为独特的地质条件,受到外部环境条件的影响,特别容易出现大面积滑坡体。同时,在场地内部,含有厚度比较大的第四系坡

积物,存在较多的粉质黏土与碎石夹粉质黏土,为滑坡的形成提供良好物质条件。软弱面也为滑坡形成提供地质环境。在场址第四系碎石含较多黏性土,下伏泥质粉砂岩为软岩,均具有遇水易软化崩解、泥化成土状的特性,碎石为透水层,而泥质粉砂岩为不透水层,基岩裂隙水与地表水的长时间渗透作用下,地下水在泥质粉砂岩和碎石界面汇聚,使得土体和基岩面间形成滑动面,这也是引发滑坡体产生的主要原因之一。

结合《建筑边坡工程技术规范》(GB 50330-2013)得知,通过在滑坡体的中间部分和边缘进行土方开挖,土方开挖完毕后,会形成比较大的临空面,将既有的应力平衡状态完全打破,促使应力可以在临空位置全部释放,人类工程活动也是引发此次滑坡的主要原因。水作为公路滑坡形成的主要影响因素,因为地下水自山顶逐渐向坡脚径流,在低洼部位,水会以下降泉排泄,或者呈线状渗流排泄,山体开挖为滑坡形成与位移提供了临空面。应力释放后产生的拉张裂隙在地下水渗透下,岩土体的软化速度不断加快,滑体重量不断提升,滑坡土地抗剪强度不断下降。与此同时,前方土方开挖施工,会给地下水排泄带来一定阻塞作用,尤其是大雨之后,雨水浸蚀、渗流而产生动水压力和孔隙水压力,会寻碎石产生一定的浮托力,将碎石内部的黏性土与细小颗粒全部带走,对滑面起到一定软化作用,降低滑面的强度,进而出现滑坡现象。

4.3 环境影响评价

根据《建筑边坡工程技术规范》(GB 50330-2013)可知,环境影响评价包括滑坡灾害本身对环境的影响评价和滑坡防治工程对环境的影响评价。因为拟建项目正处于场地土方开挖期间,西南侧山体滑坡不同程度的影响到附近居民生存和生活环境,特别是4#滑坡下方K23+280-K23+360段的桥头村有大量民房和百姓,若变形继续发展,导致滑坡整体下滑,还将造成更大的损失。因此滑坡灾害对当地地质环境和生态环境的破坏是非常严重的。滑坡防治工程短期内应保护坡体上现有的土地资源,避免造成巨大的经济损失。在抗滑支挡和地表排水工程施工期间辅以绿色施工,可达到美化环境,优化地质环境和生态环境的作用。

4.4 治理工程方案建议

4.4.1 支挡措施

因为4#滑坡中部及前缘位于高速公路左右两侧服务区范围内,标高达到340m,而右侧的服务区标高大约是343m。在滑坡的后缘部位,存在多级梯形平台,该平台标高为440m,和服务区的设计标高相差100m左右。在滑坡的后缘位置,顺着滑坡方向418m位置存在陡坎,该陡坎高约6m,和后部边坡的高差达到15m,因此,提出以下治理措施:

第一,对滑坡采取多级支护措施。在右侧服务区坡地沿红线和斜坡398m标高平台位置,通过合理设置抗滑桩,可以起到良好的支挡作用,避免出现大面积滑坡现象。

第二,采取多级梯形平台综合防治措施。在斜坡418m标高平台以上仍有较厚的第四系坡积物及深厚强风化泥质粉砂岩夹石英砂岩,泥质粉砂岩节理裂隙很发育,岩体破碎,具遇水易软化崩解、泥化成土状的特性,如果直接在滑坡体上部或者其后缘位置卸载,将形成深路堑边坡,促使应力在临空位置释放,继续往后扩展将诱发新的牵引式滑动,因此,通过在滑坡的后缘山体放坡范围之内,由原来的440m多级梯田平台逐渐扩大到447m梯田平台,避免滑坡后缘出现高陡的边坡,同时,针对4#滑坡体自身和其后的后缘,不宜采

取削坡减载处理措施,尽量减少挖方,并利用原有土体,建设多级格构梁挡墙与多级抗滑桩,起到良好的防治效果。

第三,通过采取植树造林措施,将440m标高的多级梯形平台水田改成旱地,可以避免出现大面积滑坡。

第四,结合国家标准《建筑地基基础设计规范》(GB 50007-2011),在高速公路左侧K23+280-K23+400段设计标高340m,坡底现状地面标高为324~328m,存在12~16m高差的临空面,下部民房密集,亦应在高速公路左侧路堤设置多级边坡、挡土墙等支护措施。

4.4.2 截排水措施

第一,在滑坡顶部通过设置截水沟和排水沟,可以减小外界降雨所带来的不利影响,同时,保持排水沟与截水沟宽度与深度符合规定要求,将地表径流有效排除,避免雨水大面积冲刷并渗入到坡面,可以结合当地地形地貌特点,包括既有的自然冲沟,合理设置截排水系统,确保地下水能够快速排出。

第二,通过在滑坡体后方多级梯田位置,进行植树造林,能够有效保护周围环境。因为项目正处于场地土方开挖期间,西南侧山体滑坡不同程度的影响到附近居民生存和生活环境,尤其是4#滑坡下方K23+280-K23+360段的桥头村有大量民房与百姓,如果变形继续发展,使得滑坡整体下滑,还会造成更大损失,故滑坡灾害对当地地质环境和生态环境的破坏是非常严重的,通过合理设置梯田,减小外界降雨带来的不利影响,进一步提升高速公路边坡的稳定性。

此外,通过加强对不稳定斜坡体附近村民加强地质灾害防治宣传工作,强化当地居民对地质灾害的认识和灾害发生时的自救能力。同时编制该不稳定斜坡体(含滑坡体)地质灾害防灾预案,建立健全地质灾害预警预报体系,不断加强对灾害体的监测工作。在土方开挖、治理工程正式实施前,建设单位、施工单位应继续作好群测群防工作,以保障不稳定斜坡体(含滑坡体)威胁范围内村民的生命财产安全。由具有相应资质的单位对该不稳定斜坡体(含滑坡体)进行设计和施工,结合《建筑边坡工程技术规范》(GB 50330-2013)得知,该不稳定斜坡体(含滑坡体)治理应采取动态设计、信息施工方法。

5 结束语

综上所述,通过对高速公路某路堑滑坡成因及稳定性进行合理性分析,并采取有效的防治措施,不仅可以提升高速公路路堑的稳定性,而且能够显著降低路堑滑坡的发生概率,推动我国高速公路事业的健康、全面发展。

参考文献

- [1]公路工程地质勘察规范(JTG C20-2011).
- [2]滑坡防治工程勘察规范(DZ/T 0218-2006).
- [3]滑坡防治工程设计与施工技术规范(DZ/T 0219-2006).
- [4]岩土工程勘察规范.GB 50021-2001(2009).
- [5]建筑边坡工程技术规范(GB 50330-2013).
- [6]工程地质手册(第五版)[M].中国建筑工业出版社.
- [7]岩土工程勘察设计手册(林宗元主编)[M].辽宁科学技术出版社.