

分级支挡在滑坡治理中的应用

刘 炯

中南勘察设计院集团有限公司, 湖北 武汉 430050

[摘要]在山区修建公路时, 由于特殊的地形和地质环境条件, 加之工程活动, 往往或造成老滑坡复活及新滑坡的产生, 尤其是面对范围大或下滑力较大的滑坡, 此时采用单一的防护处治结构, 会造成造价过大或施工难度过大或难以根本的治理滑坡, 此时需要采取多种防护方式, 以保证滑坡体的稳定。文章以思茅至澜沧高速澜沧江引桥段 K57 滑坡为例, 介绍分级支挡思路及滑坡处治处理措施, 以期工程提供参考。

[关键词]分级支挡; 滑坡治理; 多排抗滑桩

DOI: 10.33142/ec.v7i2.11117

中图分类号: P642.22

文献标识码: A

Application of Graded Support in Landslide Treatment

LIU Jiong

Zhongnan Engineering Corporation Limited, Wuhan, Hubei, 430050, China

Abstract: When constructing highways in mountainous areas, due to special terrain and geological environment conditions, combined with engineering activities, old landslides may revive and new landslides may occur, especially when facing landslides with large areas or sliding forces. Using a single protective treatment structure at this time can cause high cost, construction difficulty, or difficulty in fundamentally treating landslides. Multiple protective methods need to be adopted to ensure the stability of the landslide body. The article takes the K57 landslide in the Lancang River approach section of the Simao Lancang Expressway as an example to introduce the idea of graded support and landslide treatment measures, in order to provide reference for engineering.

Keywords: graded support; landslide control; multi row anti-skid piles

在山区公路修建中, 在公路选线或施工过程中往往需要对大的滑坡体或堆积体进行处治, 当滑坡体量较大、剩余下滑力较大时, 采用常规的单排桩或单一支挡措施往往不能达到规范规定的安全系数, 需要考虑多排抗滑桩、分级支挡方案。而多排抗滑桩、分级支挡方案是一个比较复杂的问题, 也已得到了国内外学者的普遍关注^[1-5]。

云南省思茅至澜沧高速公路澜沧江引桥 K57 滑坡位于澜沧江西侧澜沧县境内, S309 省道与澜沧江中间, 引桥沿江布线, 2017 年 11 月 5 日, 309 省道在该段有明显下沉情况。2017 年 12 月 6 日 309 省道变形加剧, 右侧挡土墙变形破坏, 两翼裂缝自 S309 路基左侧延伸至澜沧江边。根据设计地勘资料显示该桥全桥范围内均属于块石土堆积区, 堆积厚度 20 米~40 米。



图 1 滑坡体全貌



图 2 S309 路面下沉情况

1 工程区概况

(1) 地形地貌

工程区主要位于构造侵蚀中低山深切河谷地貌区, 区

内主干河流—澜沧江总体由北西向南东径流, 岩堆前缘一带谷底标高 591~598m, 河谷狭窄, 宽约 60~162m。区内峰顶标高 770~1328m, 相对切割深度约 250~740m。北岸岸坡陡峻, 自然坡角多在 45° 以上, 坡面深切冲沟发育, 临江坡面多见陡坎、悬崖, 居民点稀少, 树木葱茏, 坡面两侧发育冲沟。

工程区主要位于一巨型岩堆, 平面形态总体呈似“钟”形。东、南、西三侧脊状凸起, 周缘地形以陡坡陡坎为主, 依次相连构成其侧缘边界, 顺坡向北(朝坡脚)敞开, 直抵澜沧江河谷, 整体呈“圈椅”状。坡面凹凸起伏, 局部发育有缓坡平台。

勘察资料显示 K57+050 滑坡体发育于该“岩堆”前缘之北西角。滑两侧呈凸坡地形, 坡底未形成明显的冲沟, S309 公路采用挡墙路基通过凹坡区, 路基外侧设有高约 3~6m 的挡墙; 中~下部(便道~河边区)地形宽缓, 坡面植被发育。

顺坡坡面呈折线型。坡脚的澜沧江江底(水下)地形呈缓斜坡, 河底高程一般 581~601.67m, 最深冲刷线距岸边(HPK11)约 69m; 岸边地形较陡, 自然坡角约 50~60°, 局部出现陡坎; 临江有采砂便道(目前已废弃)顺坡展布, 便道堆积有厚约 1m 左右的弃砂; 采砂便道~桥位施工便道之间为宽缓平台, 平台宽约 100m, 植被发育; 便道至 S309 公路一带以陡坡地形为主, S309 公路外侧设

置有高约 5~6m 的挡墙,挡墙墙脚—便道呈陡坡,平均自然坡角约 40°;公路南东(靠山)侧为取土形成的平台,长约 120m,宽约 30m,现改建为施工驻地项目部。受滑坡变形影响,S309 公路被迫向坡体内侧改道微调,改道后的 S309 公路对上部岩堆体切坡后形成陡坡,切坡高度约 20m,切坡后由于此处岩性变化较大,整体坡度 50~60°,局部近直立,崩坡积块(碎)石裸露;其上为斜坡地貌平均坡度约 25~35°,上部切坡坡面植被发育。

滑坡体位于澜沧江边一处岩堆体南缘,坡面呈折线型,局部出现陡坎;坡面植被发育。坡脚的澜沧江江底(水下)地形呈缓斜坡。

(2) 地质构造

根据澜沧江特大桥地震安评报告,本区地震基本烈度 8 度区,地震动加速度峰值为 0.272g。S309 省道公路及在建的澜沧江特大桥西岸引桥均从研究滑坡体后缘通过,滑坡工程治理时其抗震设防烈度应与区内主体工程构筑物抗设防烈度相一致。

鉴于本研究滑带(岩)土层均难以通过现场或室内试验获取稳定性验算参数,本次专题研究主要通过反演计算分析结合工程经验类比综合确定。稳定评估指标主要依据滑坡体宏观变形状况来确定,具有较强的经验性。必须综合考虑滑坡体不同发育阶段的变形特点,结合场区的变形特点确定才能最终确定。

2 滑坡成因分析

澜沧江右岸坡脚软岩遭受风化剥蚀、河流侵蚀冲刷作用,上覆硬岩拉裂导致大规模崩塌,于该区形成巨厚堆积体,坡脚崩积物顺坡堆积直达澜沧江且占据右岸部分河床,导致江流挤压向北。此后,随着澜沧江江水的强烈冲刷,崩坡积堆积体前缘逐渐后退,前缘支挡能力不断削弱,并最终导致坡脚段失稳滑动,于现今后缘一带形成凹坡地形。受沿岸采砂场影响,K57 滑坡体今年变形趋势明显,坡体经过多次变形调整,最终达到基本稳定状态,并于滑坡中部形成现今之缓坡平台地貌特征。

景洪电站建成后,随着区内水位抬升,滑坡区坡脚一带江水流速变缓,遂建成现采砂场。原采用抽取取砂方法,主要吸取河床浅部砂层,对坡脚扰动小,故坡体能维持基本稳定状态,期间坡体未产生明显变形迹象。

近一年来,高速公路开工建设对砂石等材料需求增大,现沿江采砂多采用采砂能力更强采砂船作业,滑坡坡脚一带深挖采砂作业一方面改变了前缘坡脚的坡面形态,另一方面堆积体底部砂层侧向出露易受水流侧向冲刷、流失,导致前缘扰动程度加剧,抗滑能力明显削弱,成为坡体变形失稳之主要诱发因素。此外,区内工程活动(如爆破震动、后缘重型车辆反复加载、坡面形态的人为改造等)则加剧了坡体变形与发展。

3 滑坡体稳定性评价

本次滑坡体计算评价根据研究滑坡体控制剖面的地

形地貌、变形趋势、岩堆体岩土层结构及其临空条件,综合钻探、钻孔测斜成果确定的滑动面形态,确定控制剖面滑体可选择折线滑动模型,进行整体稳定性验算分析,求取滑坡整体沿实测滑面滑动时的整体稳定系数。

滑坡后缘区陡坡脚受桥位施工便道切脚开挖扰动影响,出现路面强烈下沉、挡墙开裂、剥落、掉块等强变形特征,类似土质边坡圆弧滑动破坏模式,综合后缘裂隙边界及坡脚剪出口确定的最危险圆弧滑动面,采用圆弧滑动法验算其稳定系数。

在 K57 胡滑坡治理设计中所考虑的计算工况条件分别考虑天然、滑坡体饱水、滑坡体饱水+8 级地震三种状态。作用力考虑重力、静(动)水压力、地震作用。

验算地质概化模型根据控制性工程地质勘探剖面(2-2')构建,整体滑动面由钻孔和测斜成果确定。后缘区施工便道上方的不稳定体则依据后缘边界及坡脚剪出口采用圆弧滑动法进行稳定性计算;块石土强度反演时则对后缘采用地形恢复法进行反算。

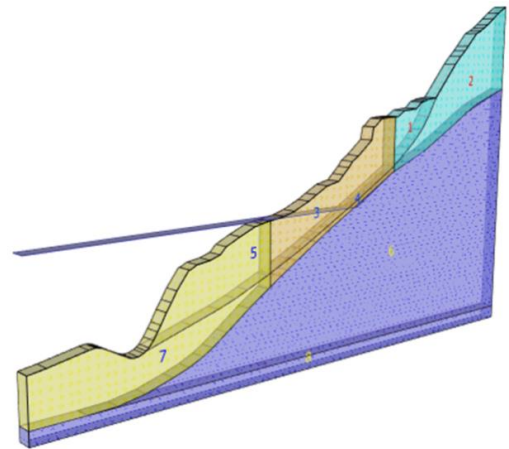


图 3 滑坡推力计算剖面图

滑带土剪切试验分为现场、室内两种。岩堆堆积层主要由粗粒块石构成,分选性差,以粗粒结构为主且粒径差异悬殊,结构松散;强风化含砾粗砂岩受风化影响,颗粒间结合差,难于采取原状样,无法进行室内岩土试验;本次设计主要是结合室内试验及反演分析综合确定岩土体参数。

鉴于本研究滑带(岩)土层均难以通过现场或室内试验获取稳定性验算参数,本次专题研究主要通过反演计算分析结合工程经验类比综合确定。

鉴于本研究滑带(岩)土层均难以通过现场或室内试验获取稳定性验算参数,本次专题研究主要通过反演计算分析结合工程经验类比综合确定。稳定评估指标主要依据滑坡体宏观变形状况来确定,具有较强的经验性。必须综合考虑滑坡体不同发育阶段的变形特点,结合滑坡体前、后缘变形趋势和时间点,并详细勘察 K57 滑坡体地形变化后才能做出选择。

深孔位移监测结果显示,局部钻孔已经出现监测管被剪断的现象,结合滑坡拉裂缝位置和工程地质勘察结果,可以确定滑动面的具体深度和位置。通过反演分析,确定岩土体参数如下表:

表1 岩土体参数取值

岩土名称	重度		天然抗剪强度指标		饱和抗剪强度指标	
	天然	饱和	粘聚力	内摩擦角	粘聚力	内摩擦角
块石土(滑坡后缘)	22	23.5	10	30	8	28
块石土(滑坡中部)	22	23.5	15	28	12	27
块石土(滑坡前部)	22	23.5	/	/	/	25

表2 滑坡稳定系数验算

剖面编号	验算对象	天然状态	饱水状态	饱水+地震状态
2-2'	后缘(便道上方强变形区)	0.976	/	/
2-2'	整体	0.994	0.932	0.768
剖面编号	验算对象	天然状态	饱水状态	饱水+地震状态

验算结果显示:

(1) K57 滑坡体在自然工况条件下,滑坡整体稳定系数 $K=0.979 (<1.0)$,在饱水及饱水+地震不利工况条件下,滑坡体处于不稳定状态,难以满足规范要求。

(2)在自然工况条件下,滑坡后缘稳定系数 $K=0.976 (<1.0)$,后缘区呈现路面强烈下沉、路基挡墙开裂、掉块剥落等破坏现象。

综合现场调查和滑坡体计算结果显示目前 K57 滑坡整体处于失稳状态,为保证高速公路及 S309 桥梁安全运营,需应尽快采取有效的坡体加固防护措施。

4 滑坡治理方案必选

初步设计时对此滑坡体研究了双排抗滑桩、三排抗滑桩方案。

双排抗滑桩方案计算结果如下:

表3 双排抗滑桩计算结果

桩位	桩型	滑坡水平推力 KN	桩间距 m	桩长 m	滑面距桩顶距离 m	桩宽 m	桩高 m	最大弯矩 KN/m	最大剪力 KN	桩顶位移 mm
第一排	C型	1099	6.0	30	14.9	2.5	3.5	46484	6443	43
第二排	D型	1415	6.5	30	16.8	2.75	3.5	91659	11037	76

双排抗滑桩的具体处治措施如下:

(1)在 S309 省道左侧山体设置锚索地梁,对滑坡体上部岩堆体进行加固。

(2) S309 省道向左改移后,设置 2 排抗滑桩:

第 1 排桩(C型)位于改移后 S309 右侧路肩,尺寸为 $2.5 \times 3.5\text{m}$,桩间距 6m,桩长 30m。在距离桩顶 2m、4m

处各设一束 $6\phi s15.2$ 预应力锚索,设计长 42m、锚固段长 16m,张拉设计预应力 300kN。桩顶设置冠梁连接,在距离桩顶 6m 处预留一处锚索孔。

第 2 排桩(D型)位于桥梁限界下方,尺寸为 $2.75 \times 3.5\text{m}$,桩间距 6.5m,桩长 30m。桩顶设置冠梁连接,在距离桩顶 1m 处预留一处锚索孔。

(3)对第 1、2 排桩之间土体进行卸载,第 1 排抗滑桩桩前外露 12m 并对桩间土体采用挂网锚喷支护。削坡后形成斜坡平台,既能减轻第 2 排抗滑桩所受的滑坡推力,也能为高速公路桥梁施工提供工作平台。

(4)对滑坡坡脚采用钢筋石笼回填反压,增强滑坡稳定性。

(5)第 1 排桩桩顶设计标高位于改移后 S309 路肩以下 2m,抗滑桩施工完成后在桩顶冠梁上设置护肩及防撞设施,并对 S309 省道路面进行恢复。

(6)改移后的 S309 左侧边坡采用锚索框架梁支护。三排抗滑桩方案计算结果如下:

表4 三排抗滑桩计算结果

桩位	桩型	滑坡水平推力 KN	桩间距 m	桩长 m	滑面距桩顶距离 m	桩宽 m	桩高 m	最大弯矩 KN/m	最大剪力 KN	桩顶位移 mm
第一排	A型	1044	6.0	32	15.8	2.5	3.5	68455	7517	70
第二排	B型	829	6.0	36	21.2	2.5	3.5	39985	4714	48
第三排	D型	1470	6.5	30	15.8	2.75	3.5	99615	12783	88

三排抗滑桩的具体处治措施如下:

(1)在 S309 省道左侧山体设置锚索地梁,对滑坡体上部岩堆体进行加固。

(2)设置 3 排抗滑桩:

第 1 排桩(A型)位于 S309 左侧,尺寸为 $2.5 \times 3.5\text{m}$,桩间距 6m,桩长 32m。桩顶设置冠梁连接,在距离桩顶 1m 处预留一处锚索孔。

第 2 排桩(B型)位于 S309 右侧路肩,桩外侧距高速公路桥梁左侧外缘净距不小于 50cm。尺寸为 $2.5 \times 3.5\text{m}$,桩间距 6m,桩长 36m。为确保抗滑桩安全、控制桩顶变形,在距离桩顶 2m、4m 处各设一束 $6\phi s15.2$ 预应力锚索,设计长 42m、锚固段长 16m,设计预应力 300kN。桩顶设置冠梁连接,在距离桩顶 6m 处预留一处锚索孔。

第 3 排桩(D型)位于桥梁限界下方,尺寸为 $2.75 \times 3.5\text{m}$,桩间距 6.5m,桩长 30m。桩顶设置冠梁连接,在距离桩顶 1m 处预留一处锚索孔。

(3)对第 2、3 排桩之间土体进行卸载,第 2 排抗滑桩桩前外露 12m 并对桩间土体采用挂网锚喷支护。削坡后形成斜坡平台,既能减轻第 3 排抗滑桩所受的滑坡推力,也能为高速公路桥梁施工提供工作平台。

(4)对滑坡坡脚采用钢筋石笼回填反压,增强滑坡稳定性。

(5)第2排桩桩顶设计标高位于S309路肩以下2m,抗滑桩施工完成后在桩顶冠梁上设置护肩及防撞设施,并对S309省道路面进行恢复。

5 滑坡治理方案优化

根据滑坡推力计算结果,于坡脚回填反压片石,分别在S309下边坡设置一排抗滑桩,在高速公路桥梁下侧设置一排抗滑桩,并结合削坡减载措施对滑坡进行综合治理。在第1排抗滑桩施工完成后,于抗滑桩后开挖6m并进行挂网锚喷支护,恢复原省道路基,再削坡6m形成桥梁桩基施工平台,再进行第2排抗滑桩的施工,之后进行高速公路桥梁的施工。抗滑桩的桩径尺寸、桩长及配筋计算依据考虑桩土协同作用进行的2排桩综合计算结果进行计算和设计。

最终采用设计方案:

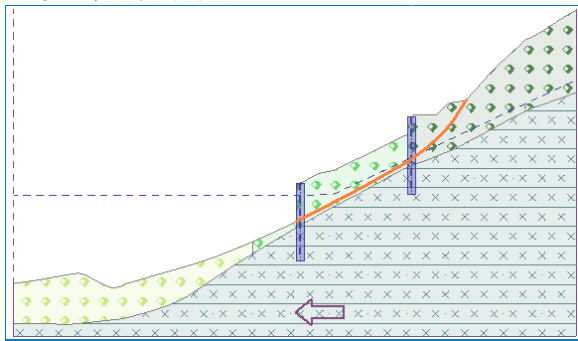


图4 抗滑桩受力计算剖面图

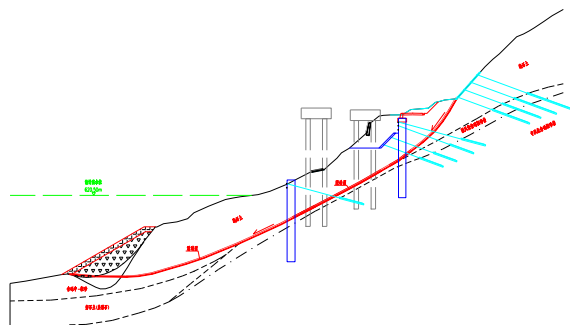


图5 滑坡体处治方案设计图

(1) 锚拉抗滑桩设计

第一排(上排)抗滑桩:滑坡段沿改路S309路基布设12个抗滑桩,桩径 $2.5 \times 3\text{m}$,桩间距6m,抗滑桩开挖中护壁厚度为30cm,为双面配筋。桩体施工完成后进行冠梁施工,冠梁厚度1.5m。上排锚索倾角为 15° ,中排锚索倾角为 20° ,下排锚索预留孔倾角为 20° 。冠梁顶部布设护肩墙,护肩高度 $\leq 2\text{m}$,护肩外缘离冠梁外侧距离 $\geq 50\text{cm}$ 。

第二排(下排)抗滑桩:下排共15个抗滑桩,桩径

$2.5 \times 3.25\text{m}$,桩间距6m,抗滑桩走向沿桥梁走向布置,桩体沿滑动方向布置。离桥墩净距 $\geq 5\text{m}$,抗滑桩开挖中护壁厚度为30cm,为双面配筋,锚索倾角为 15° 。

第一排抗滑桩桩体冠梁施工完成后进行开挖,开挖高度为冠梁顶下6m,进行锚喷处理。

(2)滑坡体上部沿原地面线布设锚索地梁,共23根,锚索竖向间距为3m,肋柱横向间距为3m,肋柱嵌入土体深度 $\geq 30\text{cm}$ 。

(3)在S309下边坡抗滑桩、高速公路下部抗滑桩施工完成后,进行两排抗滑桩间的锚索框架梁的施工,锚索框架梁与左右边部相接处锚喷处理。

(4)坡脚反压长度为250m。

(5)S309保通处理、内移改建。

6 结语

在滑坡治理设计的过程中,在详细的地质调查和计算分析的基础上,根据滑坡体的不同部位采取不同的措施对其进行处治是十分必要的。采用合适的支挡方案可以节约工程造、简短施工工期、降低施工安全。而在充足的地质资料的基础上,可采取分级支挡措施,对滑坡体不同部位分别进行处理,进而达到治理滑坡的目的,本文介绍了思茅至澜沧高速澜沧江引桥K57滑坡治理方案,针对滑坡体的不同区域分别采用不同的处治措施,在滑坡的后缘采用主动防护措施,即加锚的方案以防止滑坡体规模进一步扩大,在S309下边坡及高速公路桥梁下部采用抗滑桩这一强支护以控制滑坡体位移,满足公路通行的需要,同时对两排抗滑桩之间采取适当清方措施以减少下排抗滑桩所承受的下滑力,对于滑坡的前缘采取反压措施,以进一步达到治理滑坡的目的。

[参考文献]

- [1]郭春阳.抗滑桩在二密滑坡治理工程中的应用研究[D].陕西:长安大学,2013.
 - [2]李会章.多排抗滑桩的推力分配和计算方法研究[D].四川:西南交通大学,2014.
 - [3]李会章,冯君,宋响军.滑坡推力在多排抗滑桩上的分配情况研究[J].公路交通科技,2014(10):26-31.
 - [4]唐晓松,郑颖人,邱文平.多排抗滑桩治理工程的有限元设计计算与优化[J].防灾减灾工程学报,2011(5):548-554.
 - [5]张友良.抗滑桩与滑坡体相互作用的研究[J].岩石力学与工程学报,2002(6):839-842.
- 作者简介:刘炯(1991.7—),汉族,硕士研究生学历,毕业院校为中国地质大学(武汉),现就职中南勘察设计院集团有限公司。