

文章编号:1006-2106(2015)04-0027-05

路堑边坡滑坡成因机制浅析及防治对策^{*}

宋 章^{**} 王 科 崔建宏 王光能

(中铁二院工程集团有限责任公司, 成都 610031)

摘要:研究目的:针对云桂铁路大菠萝黑路堑边坡滑坡,在现场地质调绘、钻探、物探及工程测试等综合勘探的基础上,从工程地质环境、采空区影响、降水及施工影响等几方面对该滑坡的成因机制进行分析研究,并提出防治对策,为类似工程提供借鉴。

研究结论:(1)路堑工程边坡滑坡的产生主要受地层岩性及采空区的影响,特殊沉积环境下形成的砂岩、泥岩等膨胀岩,成岩作用差,力学强度低,受人为洞采影响形成扰动圈进一步降低了该区域地层的力学强度;(2)现场岩土体力学参数较施工图指标降低较多,岩体下滑力大于抗滑桩的抗滑力,造成第一排桩倾覆变形,第一级边坡滑动后,使第二排桩锚固段减小,致使第二排桩倾斜变形,最终形成工程边坡滑坡;(3)该工程边坡滑坡的破坏形式,下部表现为推移式破坏,而上部呈现为拉裂式破坏;(4)对该工程滑坡的整治,应在滑坡体上部清方减载的基础上根据力学指标合理布设抗滑桩,并辅以地表水及地下水的疏排措施的综合方案;(5)本研究结论对类似地质条件下的铁路及公路工程深路堑地段的勘察和施工具有借鉴意义。

关键词:云桂铁路;滑坡;成因机制;防治对策;采空区;力学指标

中图分类号:P642.22 文献标识码:A

Genetic Mechanism and Treatment Measures of Landslide for Cutting Slope

SONG Zhang, WANG Ke, CUI Jian - hong, WANG Guang - neng

(China Railway Eryuan Engineering Group Co. Ltd, Chengdou, Sichuan 610031, China)

Abstract: **Research purposes:** Based on the comprehensive surveys of the engineering geological investigation, drilling, geophysical prospecting and engineering test, analyzed systematically the genetic mechanism of Daboluohai landslides for Kunming - Guilin Railway by means of researching the engineering geological environment, mined - out area influence, rainfall and construction and so on, and proposed the treatment measures of the landslide. This paper put forward the treatment measures and analysis methods with the reference to the similar projects.

Research conclusions: (1) The landslide formation was mainly affected by the stratigraphic lithology and mined - out area, the dilative rocks such as sandstone and mudstone which formed under the special sedimentary environment had the characteristics of poor diagenesis and low mechanical strength, and the disturbance ring which formed because of the mined - out area further reduced the mechanical strength of the regional stratigraphic lithology. (2) The in - situ rock strength parameters were low more than the parameters of working drawing, the slide force of rock mass is greater than the resistant force of the anti - slide piles, and it caused the first row piles overturning deformation. After the first level excavation slope slid, it resulted in the anchoring depth of the second row piles decreased short more than previous environment, and caused ultimately the second row piles inclination and deformation, and in the end the engineering landslide formed. (3) The failure modes of the engineering landslide presented the over - type damage of its low part and crack - type damage of its upper part. (4) For the treatment measures of the landslide, first cut upper part of the

^{*} 收稿日期:2014-09-03

基金项目:中国铁路总公司科技研究开发计划项目(2013G014-B)

^{**} 作者简介:宋章,1977 年出生,男,高级工程师。

landslide, and then design reasonably anti-slide piles by the mechanical index, at last set up the drainage measures of the surface water and underground water. (5) The research conclusions can be widely applied in the survey and construction of cutting slope in similar geological condition of railway and highway.

Key words: Kunming - Guilin Railway; landslides; genetic mechanism; treatment measure; mined-out area; mechanical index

大菠萝黑路堑边坡滑坡处于云桂铁路里程 DK 669+950~DK 670+020 段,以深挖方的路堑形式通过,路堑中心最大开挖深度 16.5 m,路堑右侧最大挖方边坡高度约 32 m。此路堑高边坡采用二级边坡的开挖方式,并设置两排抗滑桩对其进行加固处置。

2013 年 4 月 4 日下午 14:30 左右,路堑段高边坡右侧一级边坡发生开裂,14:50 边坡开始大面积滑移,至 17:30 左右该高边坡滑移面进一步扩大,随后高边坡变形继续发展,直至 4 月 6 日高边坡才基本稳定;路堑边坡变形稳定后,其后缘形成高 4~5.5 m 的陡坎,前缘从路堑底面剪出形成反翘,如图 1 所示。



图 1 大菠萝黑边坡滑坡

1 地质背景及地质构造

测区属滇东南中低丘陵地貌,地面高程 1 730~1 805 m;地面自然坡度 $10^{\circ}\sim 40^{\circ}$,局部较陡;测段左侧为水库,距线路 50~200 m。基岩出露以砂岩、泥岩、玄武岩及灰岩为主。据弥勒气象站资料,测区多年平均降雨量 977.8 mm,最大 1251.5 mm(1971 年),最小 724.9 mm(1963 年),降雨量 80% 以上集中于 5~10 月份^[1-2]。

据区域地质资料分析^[3],测区构造线近南北向;而现场调绘和钻探揭示工程区附近未见构造迹象,新构造运动不活跃。

2 滑坡地貌及其结构特征

2.1 滑坡地貌特征

大菠萝黑路堑边坡滑坡处于云贵高原中低丘陵地貌,地面高程 1 781.3~1 739.5 m,相对最大高差为

42 m。表层已按原设计 1:1.5 或 1:1.75 刷坡。滑坡基本稳定以后,形成典型的“圈椅状”滑坡地貌,后缘形成 4~5.5 m 的陡坎,坡度 $60^{\circ}\sim 75^{\circ}$,壁面较光滑,擦痕明显;前缘已将原线路右侧 12 m 的抗滑桩最远推移至线路左中线,并将底部岩土体挤出形成 3 m 高土堆(即反翘现象)。滑坡体后缘弧形拉张裂缝发育,两侧可见羽状裂缝。

2.2 滑坡结构特征

该滑坡为岩质滑坡,滑坡体主要成分为下第三系强风化状的砂岩、泥岩、角砾岩,成岩作用极差;滑坡轴向长约 80 m,平均宽度约 70 m,滑坡体厚约 5~15 m,总体积约 $6\times 10^4\text{ m}^3$,主滑动方向约 $S53^{\circ}W$,如图 2 所示,滑坡的产生主要为第一级边坡开裂变形滑移而牵引二级边坡发生滑移,后缘土体出现多条近垂直于主轴的拉裂缝,表现为中层牵引式滑坡。

3 滑坡的成因机制及稳定性评价

3.1 路堑边坡滑坡成因分析

针对云桂铁路 DK 669+950~DK 670+020 段大菠萝黑路堑工程边坡滑坡的成因,在此根据现场地质调绘、钻探、物探及工程测试等手段和方法,从工程地质环境、采空区影响、降水及施工影响等几方面对其进行阐述。

3.1.1 工程地质环境条件

3.1.1.1 岩土沉积环境及其结构特征

测段二叠系下统(P_1^{+m})的灰岩夹白云岩的古岩溶洼地内,后期由于岩浆活动在灰岩中具点、脉状分布有二叠系上统(P_2^b)强风化及全风化玄武岩;而在古岩溶洼地上面由于下第三纪时湖相沉积环境的作用,接受沉积时发生岩溶塌陷,底部堆积形成角砾岩,且在这一时期受湖相沉积环境的影响而被风化剥蚀及淋滤作用下的二叠系上统之玄武岩中的铜铁矿析出,融入湖相沉积的下第三系(E_2^{la})的砂岩、泥岩、砾岩中;后期由于某些因素的影响,在工程区形成一直径约 100 m 封闭的小盆地继续接受湖相沉积,致使工程区下第三系地层与石林盆地内其他下第三系地层差异很大,沉积过程中周边陡壁灰岩继续垮塌形成角砾岩及砂泥岩中的灰岩透镜体,且中间一个时期沉积比较稳定,植物比较繁茂,在下第三系(E_2^{la})的砂岩、泥岩、砾岩中形成

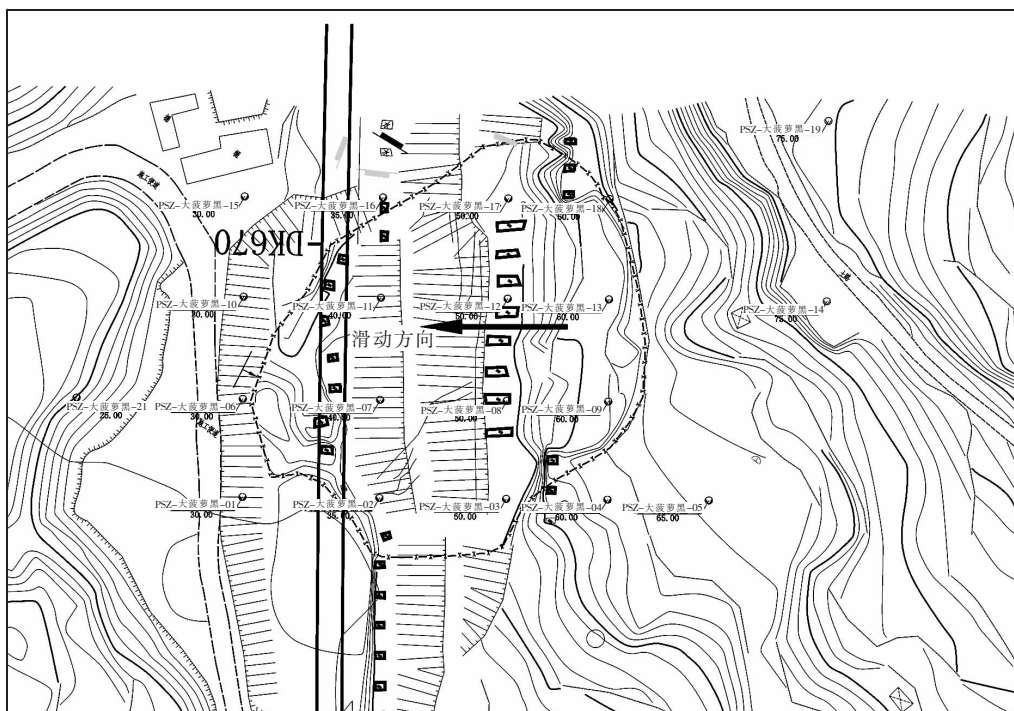


图2 路堑边坡滑坡平面图

一薄层有机质含量较高的劣质煤层。

地表测绘及钻探揭示,测区溶隙、溶孔、岩溶破碎带及溶洞等岩溶现象发育,而钻探揭示的新生工程滑坡区灰岩中岩溶现象主要呈溶孔、岩溶破碎带及褐黄色粉质黏土充填的溶洞等形式。

下第三系地层成岩性差,结构松散,节理裂隙发育,风化程度高,呈强风化碎裂状及全风化土状。据勘测试验资料(33组试样)表明,下第三系的泥岩成岩作用差,岩质软,遇水易软化,经膨胀土详判,总体呈现为弱~中等膨胀性,局部为强膨胀土。

上述分析表明,下伏灰岩具有岩溶破碎带、溶洞等岩溶现象,而上覆强风化及全风化泥岩、砂岩具有高含水量及膨胀性等特征,这是导致路堑边坡早期防护结构失效的主要原因之一。

3.1.1.2 地质构造特征

从区域地质资料分析,测区区域构造线近南北向;而从现场调绘和钻探揭示来看,工程区附近未见构造迹象。段内下第三系(E_2^b)砂岩、泥岩、砾岩夹灰岩与二叠系上统(P_2^b)玄武岩、下统(P_1^{+m})灰岩夹白云岩呈不整合接触。附近测得下第三系岩层产状 $N10^\circ E/10^\circ NW$;二叠系下统灰岩夹白云岩岩层产状 $N55^\circ E/10^\circ SE$;总体来说工程区岩层产状较缓,褶曲不明显,不存在顺层滑坡的现象。

测区未见明显的构造行迹,因此可以说测区构造对路堑工程边坡滑坡的影响较小。

3.1.1.3 水文地质特征

边坡的失稳及滑坡的产生,与地表水及地下水紧密相连。据钻探揭示,在工程区及其附近范围内地下水位埋藏较深(地表以下 50 m 未见地下水),仅局部见上层滞水的存在,因此地下水对新生工程滑坡影响较小。工程区地表水为水库水,且库水位极低,基本未影响到路基边坡的高度,排除了水库水对新生工程滑坡的影响。

从这个角度来讲,工程区因其地表水不发育,地下水仅有局部上层滞水,对路堑工程边坡滑坡影响较小。

3.1.2 采空区的影响

工程区二叠系上统(P_2^b)玄武岩地层中含有呈细脉状、膜脉状分布的黄铁矿及铜矿^[2],清末民初时工程区曾有民间私采铁铜矿现象,但因其年代久远,采矿巷道大部分已塌陷,且地表也早已经过数次改造,原有矿区的地形地貌已发生变化。路堑边坡滑坡产生后,经调查及对工程区进行物探、钻探及施工开挖揭示等工作,查明路堑工程边坡滑坡完全处于采空区扰动范围带内,且其滑动深度基本处于塌陷巷道标高位置左右。采空区巷道虽已塌陷,但塌陷区土质疏松,为软弱的不良地质体,工程边坡易沿此产生滑动而失稳破坏。

因此可以说,大菠萝黑路堑工程边坡滑坡的产生,受其下采空区塌陷的影响也是其主要原因之一。

3.1.3 降水的影响

工程区下第三系地层的泥岩具有遇水膨胀、失水

收缩的中等~强膨胀特性。在雨水的作用下极易膨胀导致边坡失稳。无独有偶,新生工程滑坡发生前几天,区域内有降水现象,且当时工程滑坡后缘未采取截排水沟措施,导致地表雨水下渗,使得工程区内泥岩遭遇雨水的作用而产生膨胀,降低了岩土物理力学指标,加剧了工程边坡的失稳破坏。

因此,降水也是导致该路堑工程边坡滑坡产生的重要因素之一。

3.1.4 施工的影响

工程施工的影响主要体现在以下三个方面:一是大型机械作业时的振动对边坡的影响;二是一、二级边坡抗滑桩浇筑过程中混凝土中水的下渗对工程边坡岩土弱化的影响;三是施工组织顺序的问题。大型机械作业时,首先其振动惯性力增加了工程边坡的下滑动力,其次是振动作用使得围岩中的剪应力增加,使得岩体中的结构面及裂纹裂隙扩展和延伸,致使原有的物理力学性能进一步下降,从而影响工程边坡的整体稳定特性。此外,在第一、二级边坡的 31 根防护桩的混凝土浇筑过程中,水的下渗进一步弱化了工程边坡岩土物理力学性质,致使边坡中泥岩、砾岩遇水膨胀,加剧了边坡失稳破坏。

现场调查发现,边坡施工时,首先未在边坡后缘设置截排水沟,施工中未充分重视雨水对边坡的影响;其次,边坡施工时未遵循设计文件的“分级施作→分段跳桩开挖→分段施工”的施工组织顺序,这也进一步加剧了边坡的失稳。

据上述分析可知,边坡的施工对路堑工程边坡滑坡的产生也是一个不容忽视的重要因素之一。

3.1.5 主要成因分析

云桂铁路 DK 669+950~DK 670+020 段大菠萝黑路堑工程边坡滑坡的产生,在诸多影响因素中,主要影响因素为:区域小范围内的湖相还原沉积环境下沉积的下第三系砂岩、泥岩及角砾岩,成岩作用差,质软,力学强度低,工程性质类似膨胀土;工程区内曾经有洞采现象,塌陷后的岩层软弱,形成扰动带。

综上所述,路堑边坡滑坡产生的原因为特殊沉积环境下形成的砂岩、泥岩等膨胀岩,成岩作用差,力学强度低,受人为洞采影响形成扰动圈进一步降低了该区域地层的力学强度。现场岩土体力学参数较施工图指标降低较多,岩体下滑力大于抗滑桩的抗滑力,造成第一排桩倾覆变形,第一级边坡滑动后,使第二排桩锚固段减小,致使第二排桩倾斜变形,最终形成牵引式工程边坡滑坡。

3.2 滑坡形成机制

云桂铁路大菠萝黑 DK 669+950~DK 670+020

段路堑边坡于 2013 年 4 月 4 日下午 14:30 左右一级边坡开始发现裂纹,到 14:50 边坡开始大面积滑移,同时一级边坡处 23[#]~31[#]抗滑桩及二级边坡处 40[#]~47[#]抗滑桩发生倾斜(如图 3 所示),至 17:30 左右滑移面进一步扩大,侧向目测边坡水平滑移约 3 m,二级边坡处 41[#]~47[#]抗滑桩、一级边坡处 24[#]~26[#]、29[#]~32[#]抗滑桩与垂直向倾斜 30°~45°,27[#]、28[#]桩发生平移约 3 m,该段中部路堑底部隆起;变形一直持续至 4 月 5 日 12:00 左右才逐渐减缓,至 4 月 6 日 8:00,变形才逐渐停止,变形边坡基本趋于稳定。变形稳定后,经测量,一、二级边坡防护桩倾倒变形桩桩顶距原来平面位置近平移了 10 m,如图 4 所示。

据其成因分析,路堑工程边坡滑坡的产生主要受地层岩性及采空区的影响,其次为施工的影响,再次为降水的影响,故路堑工程边坡滑坡又具有一般工程滑坡的特点。这是因为路堑边坡滑坡如单受采空区唯一影响,则主要表现为垂直下降破坏为主的现象;但从工程边坡滑坡变形迹象、发生、发展及稳定过程来看,工程边坡滑坡具有下陷和侧滑两个方向的运动;工程区采矿活动虽年代久远,且地表经过数次改造变形,但工程区见少数的负地形,说明工程区的采空区塌陷破坏早已形成,目前已无大的巷道存在,这从物探、钻探及施工开挖揭示也说明了这一现象。



图 3 一、二级边坡倾倒变形桩实物图

工程区整个塌陷区为扰动带,采空区巷道塌陷范围为一个薄弱的地带,其为后期工程滑坡的天然滑动带;其次由于工程区内泥岩的中等~强膨胀特性,在雨水、渗水的膨胀软化作用下,进一步弱化岩土体的物理力学性能;两者为后期工程滑坡的产生创造了先天的条件;后由于坡面开挖施工机械振动惯性作用,进一步破坏了扰动土体的应力平衡,坡体内裂隙增多,且使得原本比较差的边坡岩土体物理力学性能进一步降低;此外加之不合理的施工组织顺序,在多种影响因素交汇重叠作用下,致使路堑边坡最终产生了以下沉为主、侧滑为辅的新生工程滑坡。

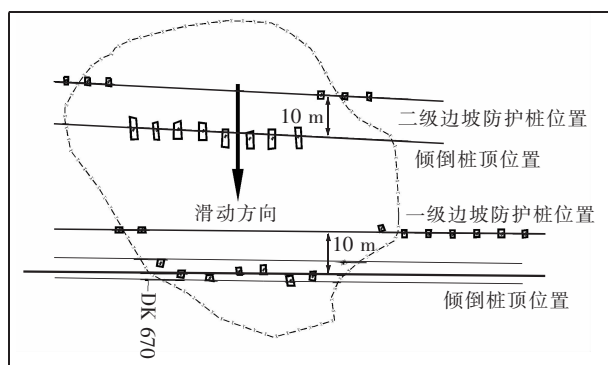


图4 防护桩倾倒变形图

就新生工程滑坡变形破坏行迹而言,滑坡分为两块:第一块范围为二级边坡防护桩以下至路堑中心,这一块的一级边坡防护桩前缘至路堑中心土体在下滑过程中及变形稳定后表现为隆起,二级边坡防护桩前缘具有一条长大的贯通裂缝,这一块表现为采空区的进一步塌陷侧滑为主的推移式滑动。第二块范围为二级边坡防护桩至工程滑坡后缘;工程滑坡后缘见一坡度近 60° 的3 m高的陡坎,且见擦痕现象。这一块块体上出现了一系列拉裂缝,且二级边坡倾倒变形的防护桩基本呈直线型,倾角、平移距离相差无几。这说明这一块主要受前缘一块推移式滑动后,二级边坡防护桩前缘出现了临空面,防护桩的抗滑段裸露不足以承载后缘边坡土体的重力开始发生倾倒变形破坏,后缘土体于是出现了以拉裂破坏为主的滑动,直至达到边坡新的动态平衡。

综上所述可知,大菠萝黑 DK 669 + 950 ~ DK 670 + 020 段路堑工程边坡滑坡的破坏机制,表现为以采空区影响的下沉为主及地层岩性加施工、降水等因素影响的侧滑为辅的变形失稳破坏现象。路堑工程边坡变形的具体破坏形式表现为:第一块呈现为下沉侧滑为主的推移式滑动破坏;第二块呈现为拉裂式为主的滑动破坏。

3.3 滑坡的稳定性评价

路堑边坡滑坡发生后,通过对滑坡体前缘的回填反压处理,使得滑坡处于暂时稳定阶段;滑坡已经形成,前缘将原线路右侧 12 m 一级边坡处的 23[#] ~ 32[#] 抗滑桩推移并往线路方向倾覆或平移,其中 28[#]、29[#] 桩往线路方向平移约 9 m 并基本保持直立,表明桩体被剪断,滑体剪出体往线路左侧平移并爬高至左侧边坡,形成 3 m 高的土堆,呈现反翘现象,由此分析认为,路堑左侧边坡起到了阻滑的作用。若不采取整治措施,开挖后必将引起滑坡再次复活而影响其他工程。

因此工程施工前,应对人工边坡滑坡进行削方减载并抗滑加固后,方可进行路堑工程施工。

4 滑坡的防治对策

根据路堑工程边坡滑坡的成因机制分析,拟采取以下的防治措施:

一是,云桂铁路 DK 669 + 940 ~ DK 670 + 020 段路堑工程右侧边坡滑坡已经形成,可对滑坡上部主滑段进行清方减载。滑坡体应加强地表水及地下水的疏排。施工中须避免随意堆放建筑物,注意水的排放,避免人为原因造成滑坡的复活。

二是,下第三系泥岩、砂岩及角砾岩全风化带及强风化带成岩作用差,易风化剥落,遇水后会快速崩解软化,具有弱~中等膨胀性,局部强膨胀性。边坡稳定性检算应采用土体的残余强度指标。

泥岩、角砾岩风化残积层、玄武岩全风化带及坡残积层具膨胀土特性,属弱膨胀土;泥岩、角砾岩全风化带(W_4)及强风化带属弱~中等膨胀土(岩);可溶岩上覆红黏土也为弱膨胀土。边坡开挖应加强防护、及时封闭,避免长时间曝露,防止发生边坡坍方、变形。填方段应分层夯实填筑。天、侧沟需片石浆砌防护,同时加强地表排水措施,确保排水畅通。

三是,下伏基岩岩溶中等发育,溶槽、溶隙及溶洞发育,基岩起伏较大,上覆下第三系地层成岩作用差,抗滑桩及支挡建筑物基础建议根据力学参数合理设置。

5 结论

(1)大菠萝黑路堑工程边坡滑坡产生的原因为特殊沉积环境下形成的砂岩、泥岩等膨胀岩,成岩作用差,力学强度低,受人为洞采影响形成扰动圈进一步降低了该区域地层的力学强度。现场岩土体力学参数较施工图指标降低较多,岩体下滑力大于抗滑桩的抗滑力,造成第一排桩倾覆变形,第一级边坡滑动后,使第二排桩锚固段减小,致使第二排桩倾斜变形,最终形成工程边坡滑坡。

(2)路堑工程边坡变形的具体破坏形式表现为:第一块呈现为下沉侧滑为主的推移式滑动破坏;第二块呈现为拉裂式为主的滑动破坏。

(3)路堑工程边坡滑坡的防治,应先对滑坡上部主滑段可进行清方减载,并加强地表水及地下水的疏排;针对滑坡体下第三系具有膨胀性的泥岩、砂岩夹砾岩,边坡稳定性设计简算应采用土体的残余强度;下伏基岩面起伏较大,岩溶中等发育,且下第三系地层成岩作用差,抗滑桩及支挡建筑物基础应根据力学参数合理设置。

(4)本论文的分析方法及结论对类似地质条件下的铁路及公路工程深路堑地段的勘察和施工具有借鉴意义。目前该路堑工程边坡滑坡已经得到有效整治,且监测未见变形。(下转第 53 页 To P. 53)