

·工程技术·

## 不稳定路堑高边坡和滑坡治理施工技术

谢东辉

铜汤高速公路十八合同段

**摘 要** 路堑高边坡、滑坡治理,高架桥是山区高速公路的两大特点。要做好路堑高边坡施工,尤其是不稳定路堑高边坡、滑坡治理施工的技术含量与经济意义,可与高架桥相提并论。

**关键词** 不稳定路堑高边坡 滑坡治理施工技术

### 1 概述

不稳定路堑高边坡是根据地质和受力计算采用人工开挖形成的高度大于 20m 以上的土质和高度大于 30m 以上的石质路堑斜坡。滑坡治理则为稳定古滑坡,因修建高速公路对其前沿阻滑段减载,可能诱发古滑坡复活而进行的治理。

铜汤高速公路十八合同段地处毛塔岭,

顺麻川河逆流而行,经苏坑、杨家坪到汤口镇山岔村结束,线路总长 4.3Km。4.3Km 中设高架桥 11 座,双幅总长 3.137Km;而路基双幅总长仅 1.163Km,占线路总长的 27%。在 1Km 多一点的线路上,30m 以上的路堑高边坡有五处,滑坡有三处。

1.1 各段路堑高边坡、滑坡治理高度、长度、设计防护方案详见下表

### 5 结束语

根据爆破振动测试以及对平硐溜井稳定性检测调查的结果,证明孔间微差爆破能够明显地降低爆破振动。测震数据显示,与排间微差爆破相比,降震率平均达到 80.16%。

孔间微差爆破爆堆松散,块度较小而且均匀,未出现根底或硬墙,爆破的技术经济指标和爆破质量均在正常范围内。说明该项技术的应用对爆破质量和成本没有显著的影响,能满足兰尖铁矿采场正常生产的需要。

孔内、孔间微差爆破的降震效果比孔间微差爆破更好,根据爆破振动测试,在相同条件下,它的爆破震动比孔间微差爆破平均降低 48.5%,适用于对爆破震动要求

更严的地方,但它的施工要比孔间微差爆破复杂。

采用了这两项爆破技术后,兰 4<sup>#</sup>、兰 5<sup>#</sup>废石平硐溜井内再也没有出现过失稳现象。这两项爆破技术的应用,在保证兰尖铁矿平硐溜井的使用安全和采场正常生产方面起了非常重要的作用。它不需要大的投入,不需要添置设备,降震效果非常明显,减少了平硐溜井的维修费用,延长了兰尖铁矿平硐溜井系统安全使用寿命,经济效益十分显著。

该技术的应用范围相当广泛,孔间微差爆破和孔内、孔间微差爆破技术是一种经济、简便、易行、实用、可靠而有效的爆破降震方法。

编号	起止点桩号	防护,治理形式	高度 (m)	分级数	长度 (m)左	长度 (m)右
1801	YK190 + 660 ~ + 820	锚索框格防护	38.74	五级		160.00
1802	K191 + 400 ~ + 485	锚杆框格防护 锚索框格防护	40.00	五级		85.00
1803	K191 + 814 ~ + 910	锚杆框格防护 锚索框格防护	60.00	七级	111.20	
1804	K191 + 690 ~ + 720	锚杆框格防护 锚索框格防护	32.00	五级	35.00	
1805	K193 + 045 ~ + 100	锚杆框格防护 锚索框格防护	38.00	五级		55.00
毛塔 2 号滑坡	ZK190 + 002 ~ + 215	浆砌片石 抗滑挡墙	7.24		92.00	
苏坑 滑坡	K191 + 347 ~ + 403	浆砌片石 抗滑挡墙	5.30			56.00
河漂 滑坡	K193 + 200 ~ + 420	削坡减载、锚索抗 滑桩、堆载反压			220.00	

1.2 不稳定路堑高边坡的工程地质情况

五处不稳定路堑高边坡均地处皖南断褶中蚀低山区,除 1805 高边坡基岩直接出露,为震旦系夏统休宁组 ( $Z_{1x}$ ) 砂岩外,其余各处山坡覆盖层均为第四系全新统残坡积层 ( $Q_4^{el+dl}$ ),基岩为震旦系中统雷公坞组 ( $Z_{21}$ ) 凝灰岩。其余特征分诉如下:

- 1.2.1 1801 高边坡山脊呈直线状,坡度较陡,为 40 ~ 45°,无剥蚀平台,山脊走向 EW。
- 1.2.2 1802 高边坡山脊呈支线性,自然坡面较陡,为 35 ~ 40°。
- 1.2.3 1803 高边坡山脊走向 SE35°,呈直线状,坡度较陡,自然坡度 35 ~ 40°,无剥蚀平台。
- 1.2.4 1804 高边坡山脊走向 NW30°,呈直线状,自然坡度较陡,为 30 ~ 50°,无剥蚀平台。
- 1.2.5 1805 高边坡山脊走向 NW30°,呈直线状,坡度较陡,自然坡度为 35 ~ 50°,无剥蚀平台。

1.3 稳定性评估

中铁西北科学研究院 2004 年 8 月在《安徽省铜陵至汤口高速公路路堑高边坡普查评估报告》中指出,十八合同段五处高边坡均属不稳定边坡。安徽省公路勘测设计院根据普查评估报告,进行了优化设计。

1.4 三处滑坡治理概况

1.4.1 毛塔 2 号滑坡 位于黄山区谭家桥镇毛塔村境内,于拟建高速公路测设里程 ZK190 + 002 ~ ZK190 + 215 段,分布于麻川(香)河东岸(凸岸)。其形状如扇形,滑坡体主滑方向为 282°,后缘较陡峭,左右两侧发育冲沟,中部较平坦宽阔,前缘有约 2 ~ 4 米陡坎。施工前为一稳定的古滑坡体,考虑麻川(香)河洪水冲蚀,高速公路建设时对前缘阻滑段减载,可能会诱发古滑坡复活而进行的治理。

1.4.2 苏坑滑坡 位于黄山区汤口镇苏坑村,于拟建高速公路 K191 + 347 ~ K191 + 403 段,分布于麻川(香)河西岸(凸岸)。位于一古滑坡(苏坑滑坡)前缘,规模不大,其形状如扇形,主滑方向为 81°,其后缘有约 1.5m 陡坎,后缘及南侧有破裂缘,北侧发育冲沟,前缘鼓丘明显,高于河流漫滩约 10m,滑坡体的形态特征较为明显。施工前为一稳定古滑坡体,高速公路建设时对前缘阻滑段减载,可能会诱发古滑坡复活而进行的治理。

1.4.3 河漂滑坡 位于黄山区汤口镇河东

村香河漂流处,于拟建高速公路 K193 + 200 ~ K193 + 420 段,座落于香河南岸(凸岸)。该滑坡体长约 245m,坡高约 20m,前缘宽 210m,滑坡体厚度 4.6 ~ 18m,体积约 15 ~ 20 万  $m^3$ ,主滑方向为 339°,基本与线路走向垂直,线路从前缘通过。施工前为一稳定古滑坡体,高速公路建设时要对前缘阻滑段开挖,可能诱发古滑坡复活而进行的治理。

## 2 山区高速公路的特征

山区高速公路不仅工程宏伟,技术密集,科技含量高,而且地形地质复杂,山势陡峭,峡谷崎岖。所以多处采用桥梁跨峡谷,或沿山谷顺河流设高架,或依陡坡凌空飞越架桥梁,桥梁是山区高速公路的一大特征。有限的路基则要劈山削岭,形成高边坡,若遇地质不稳定,诱发滑坡则要综合防护高边坡、治理滑坡,所以不稳定路堑高边坡、滑坡治理成了山区高速公路的另一特征。

1998 年冬在粤北乳源开始接触山区第一条高速公路,系京珠高速公路粤北 F 合同段,起于 K66 + 831.994,止于 K75 + 200,全长 8.89 公里,全段共设有各类桥梁 9 座,2814.918 延米,桩基 486 根,960 延米,墩台 224 座,梁板 1024 片;其中特大桥 1 座,大桥 4 座,东田长溪河特大桥全长 1602.777m。路基长 7.5 公里,而高边坡就有 13 处,13 处高边坡用了各类粘结锚杆 5.9 万延米;各类预应力锚索 2410 束 6.2 万延米,各类抗滑桩 247 根 3 万立方米。

2000 年夏又到云南墨江承揽元磨高速公路 13 - 2 合同施工,该合同段起 K303 + 995,止于 K306 + 500,全长仅 2.515 公里,全段共设有各类桥梁 5 座,其中特大桥 1 座,大桥 4 座,K306 + 165 特大桥为 77 + 140 + 77m 的连续刚构桥,桥占线路总长的

40%。路基总长 1.509 公里,高边坡就有 5 处,最高一处高边坡坡高 98.0m。滑坡 4 处,其中一处恰好在 K306 + 165 特大桥 2 号主墩的位置上。

山区高速公路施工,不但要会修桥,而且还要会修坡治坡。

## 3 动态设计的经济意义

3.1 动态设计 不稳的路堑高边坡、滑坡,从外观地形地貌上很难判别它是否稳定,因此坡面开挖,地层揭示后,应经常观察分析地质状况是否与设计提供的资料相符,若差异较大,应及时向设计单位汇报,不要死搬硬套,一味照图施工。对于稳定高边坡,判断有误的滑坡该取消防护、治理的就取消,尽量节省工程造价,开挖后揭示出来的地质隐患,应提防出现不可预测的突发事件,并及时做好施工安全防护措施,该增加的防护、治理措施就及时增加,以免造成后患,这就是进行动态设计的宗旨。

3.2 经济意义 铜汤高速公路全线有 85 处高边坡,其中稳定高边坡 38 处,欠稳妥高边坡 26 处,不稳定高边坡 21 处;3 处滑坡,这是当初的评估报告。坡面开挖后,据说有不少欠稳定、不稳定高边坡最终确认为稳定高边坡,1805 高边坡就是其中一处,该高边坡取消原设计防护后,概略统计节省工程造价 70.1577 万元。全线有多少欠稳定、不稳定高边坡最后确认为稳定高边坡后,取消或修改了防护所节省的工程造价又是多少呢?滑坡治理费用更高,河漂滑坡、防滑桩人工挖孔揭露的地质与勘探不符而被取消后,经概略计算,节省工程造价高达 312.8643 万元。动态设计带来的经济效益是可观的,可在山区高速上广为推广。

## 4 不稳定路堑高边坡施工要点

4.1 基本方针 坚持“开挖一级,防护一

级;逐级开挖,逐级防护”十六字方针。纠正过去一挖到底,再施工防护的习惯做法。

#### 4.2 施工方法

4.2.1 截水沟设置 视坡面覆盖层厚度决定是否要先做好截水沟,将坡顶山水截住,防止边坡施工时,山水流入坡面,影响边坡稳定。1802 高边坡第四系残坡积层( $Q_4^{el+dl}$ )较厚,故先做好截水沟后,再进行坡面开挖。而 1801、1803 和 1805 三个高边坡,第四系残坡积层( $Q_4^{el+dl}$ )仅 30 ~ 50cm,施工过程中可能垮塌的土方量很少,所以未做截水沟前就进行了坡面开挖工作。尤其是 1805 高边坡,坡顶是反向坡,可以不必做截水沟。高边坡开挖过程中,每级施工层平台上也应及时开挖纵向排水沟,将坡面雨水引到边坡两侧的截水沟排放。

4.2.2 测量放样 用全站仪,5m 一个断面进行放样,准确放出高边坡开挖线的位置,然后按设计坡比进行开挖。高边坡一般挖方数量都比较大,一级坡面设置比较高,如开挖深度不够,机械很难进行二次刷坡作业;超深开挖又要加大开挖方的数量,一般业主都很难认可,给自身造成一定的经济损失。一级坡开挖完后,再用全站仪进行该级坡的坡脚位置检查,设置过坡平台,准确放出下级坡的开挖线位置。重复上述放样步骤,准确控制高边坡坡比,过坡平台尺寸,最终达到控制高边坡几何尺寸的目的。

4.2.3 不稳定路堑高边坡监控点布设 边坡开挖过程和开挖完后,在顶部边坡上方布设三个控制点,位置设在边坡两侧和中央;边坡中间几级平台中央各布置三个点,一级三个点分别布置在边坡坡脚两侧和中央。如边坡较长可适当增加两个点,以便施工过程中进行定期观测,及时发现不稳定路堑高边坡位移及下沉情况,采取相应的应急措施进行处理。1802 高边坡在施工过

程中曾经发生过二次塌方事故,从掌握到的控制点观测数据表明,第五级、第四级和第三级已防护好的边坡并没有位移与沉降。所以第二级边坡塌方部位只采用短锚杆现浇框格梁底垫层方法加以处理,经济损失很少;第一级边坡开挖塌方后,首先进行回填反压,设计院根据塌方情况,进行了优化设计:采用小导管注浆补强方法对一级坡进行处理,仍按原设计锚索框格防护。并在三级坡上增长了 21 孔锚索墩,总的处理费用仍然很少。

4.2.4 施工顺序 不稳定路堑高边坡防护的施工顺序应与路堑挖方紧密结合,统筹考虑,相互兼顾。

(1)土质路堑高边坡采用机械开挖、刷坡,局部机械修整不到的地方,采用人工刷坡。如高边坡较长,采用分段开挖,分段刷坡的方法施工。分段方式可采用跳跃式,前后分段式。高边坡防护亦可采用上述形式。同一级不稳定路堑高边坡开挖,刷坡完后,及时组织机械,劳力进行防护。一级坡防护好后,再进行下一级边坡开挖。

(2)石质不稳定路堑高边坡开挖采用爆破方法施工。爆破开挖石质边坡时,一方面要严格控制装药量,防止爆破作业对上一级已完成或正在进行的防护工程造成破坏;另一方面应控制好边坡坡比和超欠挖,最好采用光面爆破技术进行爆破作业。石质边坡的坡比,比土质边坡较难控制,通常的做法是对欠挖部分采用风镐修凿坡面,对超挖部分则采用在框格梁下面现浇框格梁底垫层,或加短锚杆现浇框格梁底垫层进行填补。

#### 4.3 不稳定路堑高边坡防护

高边坡防护形式比较多,通常采用锚索框格防护、锚杆框格防护、锚索墩等。

##### 4.3.1 锚索框格防护施工

(1)锚索框格防护施工顺序:整理坡面——测施孔位——钻孔——锚索制安——注浆——(挖槽——支模——浇底垫层——绑扎钢筋——支模——现浇框格梁砼——养护)——锚索张拉,锁定——封锚。

(2)钻孔:采用美国英格索兰 VHP750 型螺杆空压机,风动潜孔锤打眼成孔,该机最大容积流量为  $21.2\text{m}^3/\text{min}$ ,最大排气压力  $1.38\text{MPa}$ 。采用全站仪放样,控制孔位偏差不超过  $\pm 3\text{cm}$ ,钻孔倾角按设计规定,允许误差不超过  $\pm 1^\circ$ ;考虑沉渣影响,为确保锚索深度,实际钻孔深度应大于设计深度  $1.0\text{m}$  左右。钻孔施工不能导致恶化边坡条件,全部采用风动潜孔锤成孔。钻进过程中对每孔地层变化(岩粉情况),进尺速度(钻进、钻压等)及一些特殊情况做好现场记录。若遇塌孔,应立即停钻,进行固壁灌浆处理,24 小时后再重钻。确保成孔直径  $130\text{mm}$ ,钻孔完后用高压空气(风压  $0.2 \sim 0.4\text{MPa}$ )进行清孔,保证水泥砂浆与孔壁岩体的粘结强度。

(3)制索:材料采用高强度,低松弛预应力钢绞线,直径  $15.24\text{mm}$ ,强度  $1860\text{MPa}$ 。用砂轮切割机下料,对锚固段钢绞线除锈,除油污,按设计要求绑扎架线环和箍线环(箍线环用 8 # 铅丝绕两圈),架线环与箍线环间距  $1\text{m}$ ,相间分布,箍线环仅用于锚固段;自由段除锈后,涂抹黄油并立即套塑料管,两头用铁丝扎紧,并用电工胶布缠封,防止浆液进入塑料管。

(4)安索、注浆:索孔清好后及时安装锚索,一束锚索前头安装了导向帽,将锚索顺着锚孔安装到位。采用众鑫牌 JZB-2 型挤压式注浆机将灰砂比  $1:1$ ,水灰比  $0.38 \sim 0.45$  的砂浆从孔底到孔口返浆式注浆,注浆压力不低于  $2.5\text{MPa}$ 。

(5)现浇钢筋砼锚索框格梁:绑扎锚索

框格梁钢筋,立模并预埋 OVM-15 型(包括锚板、垫板、螺旋筋等)成套锚具及空口 PVC 管,现浇 C25 砼锚索框格梁。弯道边坡的锚索框格竖肋投影应垂直于路线,成扇形布置;横梁与竖肋垂直,确保框格梁的景观。框格梁砼强度达到设计强度后,方可施加预应力。

(6)锚索张拉:分五级进行,每级荷载分别为设计拉力的  $0.25$ 、 $0.5$ 、 $0.75$ 、 $1.0$ 、 $1.1$  倍,除最后一级需要稳定  $10 \sim 20$  分钟外,其余每级只需要稳定 5 分钟,并分别记录各级钢绞线的伸长量。最后一级张拉完且锚索变形稳定后,则可卸荷锁定锚索,切除多余钢绞线,用 C20 砼封锚。

#### 4.3.2 锚杆框格防护

(1)锚杆框格防护施工顺序:测放孔位——钻孔——锚杆制安——注浆——(挖槽——支模——绑扎钢筋——浇注框格梁、肋)——养护。

(2)钻孔:同样采用美国英格索兰 VHP750 型螺杆空压机,风动潜孔锤打眼成孔,锚孔直径  $\varnothing 110\text{mm}$ ,孔位偏差不超过  $\pm 3\text{cm}$ ,钻孔与坡面俯角  $25^\circ$ ,允许误差不超过  $\pm 2^\circ$ ;考虑沉渣影响,为确保锚杆长度,实际孔深应大于设计长度  $0.4\text{m}$ ,成孔后用高压空气( $0.4\text{MPa}$ )清孔。

(3)锚杆设置:采用全长锚固式水泥砂浆锚杆,直径  $\varnothing 28\text{mm}$ ,长  $10\text{m}$ 。

(4)锚杆制作与安装:锚杆制作时,锚头连接钢筋,挂接钢筋及导向钢筋必须与锚杆焊牢,安放时才能将锚杆居放锚孔中心就位。

(5)注浆:采用众鑫牌 JZB-2 型挤压式注浆机将水灰比  $0.38 \sim 0.45$ ,灰砂比  $1:1$  的水泥砂浆从孔底到孔口返浆式注浆,注浆压力不低于  $0.25\text{MPa}$ 。

(6)现浇钢筋砼框格梁:在已施工好的

框格梁底垫层上,放样、绑扎框格梁钢筋,立模现浇框格梁砼。弯道边坡锚杆框格梁,竖肋投影应垂直路线,成扇形布置;横梁与竖肋垂直,确保框格梁景观。

4.3.3 锚索墩施工工艺 锚索墩施工工艺与锚索框格梁施工工艺大体相同,故不再详述。

#### 4.4 滑坡治理

三处滑坡治理所采用的形式比较多,采用了地表截水地下排水、削坡减载、堆载反压、抗滑桩、锚索抗滑桩、抗滑挡土墙、浆砌片石护岸等。

4.4.1 地表截水地下排水 影响滑坡稳定因素主要是地表水。在滑坡区域设截水沟,将坡面雨水排出滑坡区域以外,所以叫地表截水。在抗滑挡土墙背、挡土墙基础上方打一排  $\varnothing 110\text{mm}$  排水孔,仰角  $6^\circ$ ,长  $35\text{m}$ ,间距  $10\text{m}$ ,出口采用三通从  $\varnothing 150\text{mm}$  横向排水盲沟排出,称地下排水。毛塔 2 号滑坡,苏坑滑坡均采用了本方案进行治理。

4.4.2 抗滑挡墙 挡土墙基础开挖时,施工季节选择旱季,措施采用分段跳跃式施工,一段砌筑完后,及时用透水性能好的砂砾回填墙背,不要因挡土墙施工导致滑坡复活。毛塔 2 号滑坡、苏坑滑坡均采用了抗滑挡墙。

4.4.3 浆砌片石护岸 毛塔 2 号滑坡前沿侵占了河道,位于河道漫滩上,河流涨水时,对滑坡前缘具有一定的冲刷作用,长期冲刷,不利于路堤下边的稳定,也会影响古滑坡的稳定,为防止河水冲刷引起古滑坡复活,在滑坡范围内的原始河岸线上用了浆砌片石护岸。

4.4.4 堆载反压 苏坑滑坡的左侧下方设有 2 号弃土场,河漂滑坡的滑坡前缘设有 1 号弃土场,弃土场外侧设有浆砌片石挡土墙,弃土场对该滑坡体在一定程度上起到了堆载反压作用。

4.4.5 抗滑桩 河漂滑坡治理原设计用了 25 根长  $18.0\text{m}$ ,  $1.80 \times 2.20\text{m}$  钢筋砼锚索抗滑桩,施工采用跳跃式人工挖孔施工了第 13、16、19、22 号抗滑桩,挖孔过程中揭露出来地层的地质与勘探不符。设计人员及原勘探人员及时到现场核实,对原勘探资料重新分析推论,认为堆积体是麻川(香)河高阶地上自然堆积而成的堆积物,并非古滑坡。根据铜汤路施工图咨询意见和专家组评审意见,取消了尚未施工的 21 根锚索抗滑桩,并对已成孔的四根,仅当作抗滑桩施工,不设锚索。路基施工时要对前缘阻滑段开挖,可能诱发滑坡发生,故在第 16、19 号和 19、22 号之间增设了二根桩长  $12.0\text{m}$ ,截面  $1.5 \times 2.0\text{m}$  的抗滑桩与原先施工的 4 根抗滑桩共同发挥抗滑桩的作用。所有抗滑桩均采用人工挖孔,按结构砼施工方法灌注桩基础。

#### 5 结语

十八合同段五个不稳定路堑高边坡有四个相继施工完毕,三个滑坡全部治理好,并且经过一个雨季的考验,除 1802 高边坡外,其余各处高边坡、滑坡均未发生塌方和诱发滑坡事故,改变了过去“谈坡色变”的经历,令我感到欣慰。铜汤十八标不稳定路堑高边坡、滑坡治理,第一次实现我们在山区高速公路施工中,不增加工程造价的项目。