

文章编号: 1001-1986(2001)-0038-04

蓝 小 公 路 边 坡 防 护

李海波, 李红平, 邓 威 (陕西省公路工程咨询公司, 陕西 西安 710068)

摘要: 蓝小公路的边坡防护方法从性质看可分为两类: 一是消除或削弱使边坡稳定性降低的各种应力因素; 二是直接削减推滑力及提高抗滑力。对某一特定边坡来说, 其治理方法依照“概念化设计, 信息化施工”的原则, 不断优化设计, 采取综合处理措施。文中对 K10 和 K12 两处规模较大的边坡防护处理方法进行了分析, 并对新型的防护系统 SNS 网做了简要说明。

关 键 词: 边坡; 防护; 蓝小公路

中图分类号: U 416.1⁺⁴ **文献标识码:** B

1 概述

蓝田到小商塬二级汽车专用公路是陕西省交通厅世界银行贷款公路工程项目 II 的一个子项目, 全长 48.5 km, 位于西安市的蓝田县和商洛地区商州市境内, 是 312 国道的重要组成部分, 也是陕西乃至西北通往东南沿海的重要路段。

蓝小公路是陕西省修建的第一条山区高等级公路, 由于自然边坡工程地质条件恶劣, 沿线发现数段不稳定边坡, 并且某些地段多次发生了滑坡等地质灾害。为了保证施工安全和行车安全, 建设单位对蓝小边坡进行了防护处理。在建设过程中, 注意了对自然环境的保护, 尽量减少对自然环境的破坏, 使路容路貌与周围环境相协调。

2 沿线工程地质概况

蓝小公路位于秦岭山地和渭河盆地两大地貌单

元。秦岭山地起伏较大, 渭河盆地属秦岭山前洪积扇和渭河支流冲积平原。沿线地质构造发育, 地层岩性较单一, 出露地层主要为花岗岩和千枚岩两种岩石, 仅在坡麓地带带有第四系堆积碎石土。花岗岩为燕山早期侵入花岗岩, 主要在蓝田境内出露。受造山运动影响, 花岗岩节理、小型构造非常发育, 局部路段风化变质严重, 绿泥石化、云母化、蚀变等现象较多, 岩石强度大大降低, 用手捏即呈碎粒状或碎片状。千枚岩主要在商州境内出露, 具有千枚状构造, 片理面具强丝绢光泽。由于千枚岩强度较低, 片理发育, 所以风化非常严重, 随处可见面积不等的岩屑流现象, 而且受构造运动影响, 发育多组结构面、破碎带, 岩体被切割成大小不等的块状。

沿线水源为地表水, 由大气降水补给, 沿山体坡面汇流, 渗入节理面、断层结构面、软弱结构面后, 加上冻融、冲刷和劈裂作用, 加速了岩体的滑塌及风化失稳。

收稿日期: 2000-10-19

作者简介: 李海波(1972—), 男, 山西省浮山县人, 陕西省公路工程咨询公司工程师, 从事工程地质研究工作。

力锚索灌注水泥浆, 增强桩体抗弯能力;

e. 若桩体缺陷为断面, 且断面缝隙较小、强度较好, 则宜采用静压注浆或高强粘结剂粘结处理。粘结剂施涂设备、钻孔摄像监视仪等专用仪器设备应

进一步改进并配备;

f. 桩体检测主要评价桩体的完整性, 对事故桩基修复后的力学性能没有全面评估, 在今后的工作中应予以重视。

Treatment technology of pile base accident

GUO Xiao-shan (Rock Geotechnical Engineering Company, Shaanxi, Xi'an 710054, China)

Abstract: A case history study on the B za¹⁹⁻² pile base accident of the Xiewang Grade-Crossing-Elimination Bridge of highway surrounding Xi'an shows the technologic process of accident treatment, including bore drilling for determining the defect section; bottom-hole cleaning and recording related data near defect section with ultrasonic inspection; reinforcing defect section using high pressure rotary jet grouting; comparing and evaluating the treatment effect, determining with ultrasonic inspection. It is also discussed that the application conditions of static pressure grouting, rotary jet grouting; chemical grouting with strength-producing cementing material, grouting of reinforced steel, grouting of pretensioned cable anchor and the periphery reinforcing with rotary jet grouting. In the end some existing problem are presented.

Key words: pile base; rotary jet grouting; accident; treatment

3 路堑边坡失稳因素

路堑边坡失稳系由多种因素造成, 主要有:

3.1 边坡工程地质条件恶劣

蓝小公路沿山区河流蜿蜒而行, 沿线线路走向与区域构造展布方向基本一致, 河流本身就是大型构造断层发育带, 在公路两侧可见到多条伴生的次级断层破碎带、大面积的构造节理发育带, 大多数与河流走向平行或斜交。这些次级断层破碎带和构造节理带再加上雨水的渗透、劈裂作用是造成目前边坡失稳的重要因素。

3.2 边坡开挖人为因素

路堑边坡的构筑过程, 始终贯穿着在爆破开挖的“破坏”作用中寻求边坡建设“稳定”的矛盾, 要求在爆破挖方时最大限度地完整保留坡后岩体, 减少对其损伤。随着技术进步与发展, 目前高大路堑边坡爆破施工一般提倡采用延长药包倾斜深孔爆破, 坡面采用预裂爆破, 自上而下有效地控制好坡形。蓝小线个别路堑边坡在爆破开挖过程中, 边坡岩体遭受了较大损伤, 成形的边坡难以达到原设计要求, 使边坡稳定性受到了威胁。

3.3 勘察设计不足

公路路基设计规范中规定, 严重不良地质路段或挖方边坡高度超过 30 m 的深长路堑, 均应列为路基重点工程, 做出特殊设计。路堑边坡设计时, 由于边坡工程地质条件隐蔽性大, 以及受勘察成果的阶段性客观限制, 很难根据边坡具体条件划分路基重点, 并做出单独设计。

4 不稳定边坡分类

蓝小线不稳定边坡可以分为如下几类: 滑坡、崩塌、滑塌和岩屑流等。

4.1 滑坡

滑坡主要发生于土质边坡及古滑坡。如 K1+640—K1+694 段为土质边坡, 在山坡上可见到明显的滑坡裂缝, 宽约 10~30 cm, 滑坡壁落差约 3~4 m, 滑坡边界延伸长度约 130 m, 滑动方向与路面斜交大约 10°。滑坡体为第四系坡残积物及原岩风化物。滑动速度受降雨量的影响, 降雨较大则滑速较大。K41 段为古滑坡, 已处于相对稳定状态, 存在的主要问题是滑体表层松散土体及块石的滑塌崩落。

4.2 崩塌

崩塌是指边坡前缘的部分岩体被陡倾结构面分割, 并以突然的方式脱离母体, 翻滚而下, 堆积于坡脚形成岩堆的过程与现象。如 K34+950—K35+

050 路段, 爆破、挖方使原来构造节理发育的自然稳定岩坡形成高达 50~60 m 的临空面, 底部直立, 顶部反倾, 且临空面顶部是巨大高陡的山体, 由于开挖山体岩石应力释放, 与岩面斜交的一组节理从山脚直贯山顶。在顶部巨大山体重力作用下及自然风化因素影响下, 岩体节理面部位抗剪力降低, 导致顺坡节理面贯通, 从中上部或直接从底脚剪出, 产生大规模的崩塌事件。

4.3 滑塌

滑塌是岩层或松散层顺坡滑移、滚动与坐塌, 重新达到稳定坡脚的边坡破坏过程与现象。它主要受顺坡层理面或节理面的控制, 在斜切层理面的构造面和节理面的共同作用下, 底脚被开挖或岩体悬空在重力作用下而产生的层间滑动, 在松散土体或岩体非常破碎的风化岩地段, 雨水的冲刷渗透是产生边坡顺层滑塌的主要诱导因素。蓝小线易产生滑塌的主要路段有: K7+994—K8+065, K12+341—410, K26+331—450, K30+390—420 等。

4.4 岩屑流

在十三合同段的边坡大部分都有这种现象, 十四合同段主要位于 K29+484—565 段。主要是千枚岩、页岩等易风化岩体的风化物在雨水的冲刷作用下形成的, 危害程度不大。

5 不稳定边坡的防治

蓝小公路的边坡防护方法除了常用的截排水设施外, 主要有: 挂网喷浆, 锚拉式挡墙, 顶部设碎落台, 锚拉式井字梁, 局部锚固及 SNS 布鲁克网等。总的说来其防治方法从性质看可分为两类: 一是消除或削弱使边坡稳定性降低的各种应力因素, 如为使边坡不受地表水的冲刷而在边坡坡脚砌石护坡, 为防止软弱岩石风化产生剥落而在边坡表面喷浆及生物防护——植树植草, 为防止地表水流入岩土体的结构面使岩土体过分湿润、结构面软化、强度降低, 而在坡面采取截引地表水或疏干地下水等; 二是直接削减推滑力及提高抗滑力, 如削坡、支档、锚固等。当然对某一特定边坡来说, 其治理方法总是采取综合措施。比如对几处危害性严重的边坡, 采用主动加力的预应力锚固技术, 并与格构式轻型挡墙相结合, 以抵抗较大的滑余推力; 有些边坡结合削坡措施, 上部坡面防护采用网喷砼, 或采用主动 SNS 布鲁克网, 下部采用挡墙等。

6 典型路堑边坡处理分析

限于篇幅, 本文仅列举 K10 和 K12 两个有代表

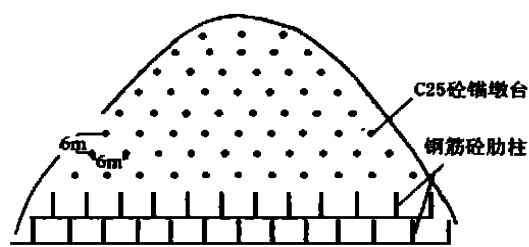


图 1 K10 防护形式布置立面示意图

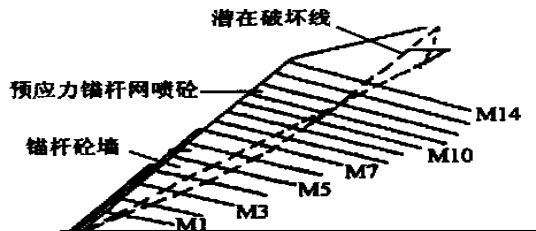


图 2 K10 标准断面防护形式示意图

性的例子。

6.1 K10 路堑边坡防护处理

K10 有 4 段滑坡, 其中较难处理的滑体发育于 K10+595-758, 该段发育有两段大规模的滑坡。其中 K10+595-680 段边坡最大高度 65 m, 滑体宽度大于 100 m。该处自然坡高陡, 坡体后缘滑坡张裂隙有 60 余条, 宽者大于 0.6 m, 深 5 m 以上, 延展范围已接近上方自然坡最高处。张裂隙间发育多级滑坡平台, 最大滑坡壁高度超过 3 m。自然坡上树木倾倒, 并指向滑坡主方向。

该滑体赋存介质主要为二云母石英片岩, 岩体风化十分严重, 抗剪强度很低, 滑动作用发生后, 残余强度基本损失殆尽。边坡岩体中发育一组顺坡节理(J2: 优势产状 210/56, 设计坡面产状 205/64), 远大于磨擦角并于原设计坡面出露, 可发生平面型破坏或与后缘反倾节理组(J1: 优势产状 9/71) 组成双平面型复合破坏与变形。在如此不利的边坡工程地质条件下, 山体坡脚在边坡开挖遭到破坏后, 会发生平面型或双平面型滑塌, 并导致倾倒型破坏与变形, 进一步引发风化岩体的应力破坏。由于自然边坡高陡, 岩体质量恶劣, 滑塌造成后缘坡体临空, 重力作用下会牵引出进一步的滑移变形, 由此造成“多米诺骨牌”效应, 使滑体不断向后多级延展, 发育后期必然会导致突发性大规模滑坡, 造成大的灾难。

由于滑体滑余推力较大, 结合现有坡形特点及路基宽度, 防护工程可用空间有限, 采用主动加力的预应力锚索来加固坡体。经滑余推力及锚固力计算, 坡体需最大锚固力 1 120 kN/m。根据锚索间距设计, 单锚固单元锚固设计张拉力为 800 kN, 索体材料选用 4×7Φ5(15.0-150 II-GB5224-85) 预应

力钢绞线, 锚具选用 OVM 15-4 型。坡顶修筑排水沟, 坡体下部采用高强预应力锚杆肋柱砼墙, 中部采用肋柱预应力锚索网喷砼, 上部采用锚墩台预应力锚索网喷砼。(图 1 及图 2) 锚杆、锚索长度及锚固段长度见表 1。由于坡面上留有局部滑塌体及危岩, 须做非爆破方式的削方刷坡预处理。

墩台预应力锚索施工顺序: 穿孔—安装锚索—锚固段压力注浆并养护—浇筑墩台—张拉、锁定—张拉段压力注浆—端头处理。

施工技术要求: 锚孔位、孔径、孔深及布置形式应符合设计要求, 孔距误差不宜超过 200 mm, 孔深误差不宜超过 50 mm。索体插入孔内长度不应小于设计规定的 95%。锚孔轴线与设计偏差不应大于 3°。灌注砂浆用中细砂, 粒径不大于 0.5 mm。砂浆配合比, 灰: 砂为 1: 1~1: 2(重量), 水灰比 0.38~0.45。普通硅酸盐水泥不低于 425 号。注浆时应采用注浆管在锚孔底部注浆。注浆压力不小于 0.4 MPa, 要保证注浆密实, 索体保护层不小于 2 cm。预应力锚索须准确控制锚固段注浆长度, 锚固段浆体养护 7 d 后, 方可实施预应力张拉。锚墩台采用 C25 钢筋砼现场浇注, 墩台与坡面紧密接触, 严禁漏缝。锚固墩台平面应平整, 应与与锚索受力方向垂直, 底面应坐落于平整坡面上。预应力锚索张拉前, 应确定张拉设备, 并设计要求编排张拉程序。为减少岩石徐变或其他因素引起应力松弛, 采用超荷张拉, 并持荷 5 min 以上, 当没有明显预应力衰减时, 再行锁定。锚索正式张拉前, 取设计张拉力的 20% 预张 2~3 次, 以使锚索完全平直并接触紧密。预应力锚索施工前应按设计要求进行锚索抗拔试验。施工后应进行验收校核试验。

6.2 K12 路堑边坡防护处理

SNS (Safety Netting System) 系统是一种以钢丝绳为主的柔性防护系统。该系统 1956 年首先由瑞士布鲁克集团研制开发并用于雪崩防护, 以后随着科学技术和经济建设的不断发展, 逐渐推广并用于边坡安全防护领域。该系统 1995 年引入中国, 在短短的几年时间里, 已应用于水电、铁路、公路、矿山等领域的边坡安全防护中, 并取得了令人满意的结果。

表 1 K10 锚杆参数

排号	锚杆长度	锚固段长度	锚拉段长度
M1, M2	12	6	6
M3	14	8	6
M4	16	8	8
M5-M7	18	8	10
M8	20	8	12
M9	20	8	12
M10	25	8	17
M11-M14	25	8	17

SNS 系统可分为被动防护和主动防护系统两类。被动系统可用于岩崩防护、爆破防护、泥石流治理等; 主动系统可用于浅层滑坡治理、坡面问题治理、岩崩防护和爆破防护。

被动防护系统主要是对落石等的有效的拦挡, 其标准体系防护能量高达 2 350 kJ(即一块重 6 t 的石块从 32.6 m 的地方自由落下的能量), 并已能设计出 5 000 kJ 的防护能力。主动防护系统通过锚钉和支撑绳固定方式将钢绳网覆盖在有潜在灾害的坡面上, 从而实现防止灾害的目的。其固定系统由锚杆和锚杆间的支撑绳构成, 通过固定在锚杆或支撑绳上并施以一定预张拉的钢绳网对整个边坡形成连续支撑, 其预张拉作业形成了阻止局部岩块或土体移动的预应力, 从而实现其主动防护功能。系统的传力过程为“钢绳网—支撑绳—锚杆—稳定地层”, 该系统在作用原理上类似于喷锚支护和锚钉墙, 但因其柔性特征能使系统承担较大的下滑力, 并将局部集中下滑力向四周均匀传递以充分发挥整个系统的防护能力; 且该系统对坡面形态与特征无特殊要求, 不破坏坡面原始形态且其在一定条件下可配套实现坡面人工植被防护。

兰小公路 K 12+807—K 12+900 段边坡最大高度 59 m, 岩体完整性较好, 但发育有断层破碎带及软弱夹层, 且有三组不利节理(176/42, 021/58, 133/78)与坡面组合, 发生双平面型破坏, 坡面上存有较多危岩及潜在崩岩。处理方法: 坡脚采用墩台式预应力锚索进行坡体加固, 单元锚索设计张拉力 800 kN。锚索选用 4×7Φ5(15.0—150 II—GB5224—85) 预应力钢绞线, 锚具选用 OVM 15—4 型。由于边坡岩体抗风化能力较强, 从景观考虑, 不做全坡面罩面防护, 危岩、崩岩及坡面(表 2) 防护采用 SNS 预张拉主动式防护网, 型号选用 GPS2 型, 设计预张力 5 kN。(图 3 及图 4) 锚杆长度、锚固段长度及锚拉段长度见表 2。

与传统的典型圬工建筑物相比, SNS 系统的综合技术经济优势主要表现在以下几个方面: 足够的柔性和强度使其能防护传统圬工方法不能防护的高能量落石(高陡边坡的大块崩岩); 对设防区域的原

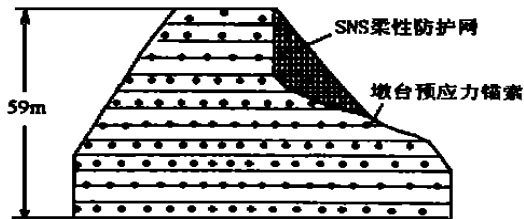


图 3 K12 防护形式布置立面示意图

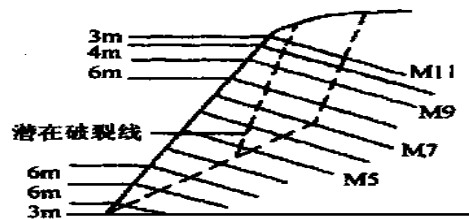


图 4 K12 标准断面防护形式示意图

表 2 K12 锚杆参数				m
排号	锚杆长度	锚固段长度	锚拉段长度	
M 1	12	8	4	
M 2	16	8	6	
M 3, M 4	20	8	12	
M 5	22	8	14	
M 6	25	8	17	
M 7	28	8	20	
M 8—M 10	25	8	17	
M 11	20	8	12	

始地貌环境具有级强的适应性, 可以在不作额外开挖的条件下进行设防施工, 从而减小整体工程开挖量、不破坏坡体原有稳定性和坡面原有植被, 并可通过植草来进行绿化, 稳定边坡, 美化环境; 系统设计原理详实可靠, 并实现了标准化的均衡设计; 标准化部件安装作业, 确保施工作业简单易行和快速化, 不形成对其他作业的干扰, 劳动强度小; 系统维护工作量小且简单易行; 系统寿命较长, 一般可达 50 a。只需更换少量部件即能延长使用寿命。

7 结束语

边坡防护工程是一个复杂的系统工程, 由于边坡工程地质条件的不确定性和隐蔽性, 对边坡的防护处理应依照“概念化设计, 信息化施工”的原则, 不断优化设计, 并且综合使用多种防护手段才能行之有效。

Side-slope protection along Lan-Xiao Highway

LI Hai-bo, LI Hong-ping, DENG Wei

(Shaanxi Highway Engineering Consult Company, Xi'an 710068, China)

Abstract: The methods for side-slope protection along Lan-Xiao Highway can be divided into two categories. The first one is focused on eliminating or reducing stress factors which negatively effect the side-slope stability. The other one is aimed to reduce the thrust potential or enhance the anti-slide. For a concrete side-slope, the process of control is according to the principle of "conceptual design and information operation", as well as optimum design and comprehensive treatment. The side-slope protection methods used in sections K¹⁰ and K¹² are summarized in this paper. In addition, a new type SNS protective wire mesh is briefly introduced.

Key words: side-slope; protection; Lan-Xiao Highway