

文章编号: 1000-7598-(2005)增刊-257-04

碎裂岩石路堑边坡稳定性评价与安全防护设计

晏鄂川¹, 戴光忠², 刘昌雄²

(1. 中国地质大学(武汉) 工程学院, 武汉 430074; 2. 湖北省第二地质大队, 恩施 445000)

摘 要: 以湖北省 209 省道宣恩段东门关隧道进口段的典型碎裂结构路堑岩质边坡为例, 针对该边坡工程地质、水文地质、岩体结构特征以及前期变形破坏迹象, 判断出边坡的变形破坏模式。在此基础上, 通过现行规范推荐的不平衡推力法, 对边坡的稳定性进行评价, 并进行了安全防护设计。在设计过程中, 针对常规技术容易出现的冒顶剪出、桩间土挤出和锚索预应力损失衰减等问题, 提出避开使用此类技术, 而采用削坡、锚杆、格构以及挡墙等措施, 试图为解决碎裂结构岩石路堑边坡的分析与防护难题提出一种新的思路。

关 键 词: 路堑边坡; 碎裂结构岩体; 稳定性评价; 防护设计

中图分类号: U 418.5⁺2

文献标识码: A

Stability analysis and treatment design of a loosen structure road cutting rock slope

YAN E-chuan¹, DAI Guang-zhong², LIU Chang-xiong²

(1. Faculty of Engineering, China University of Geosciences, Wuhan, 430074, China;

2. The Second Geology Team in Hubei Province, Enshi 445000, China)

Abstract: The road cutting rock slope above the Dongmenguan tunnel in Xuanen sector of Hubei Provincial 209 highway, is a typical loosen structure one. According to characteristics of engineering geological, hydrogeological, structure of rock mass and prior symptom of deformation and failure of the slope, potential types of slope failure are identified; and un-equilibrium pushing method commended by present criterion is used to calculate the slope stability and to process treatment design. During remediation for the slopes of loose material, general treatment techniques always bring many problems such as the extrusion of soil above top of pile, the extrusion of soil between piles, and the decay of anchoring forces in cable bolts; so techniques relating to cutting, anchoring, structure beam and retaining wall are proposed to substitute techniques caused problems. A new method about solving the problems of analyzing and remedying loosen structure road cutting rock slope is presented.

Key words: road cutting slope; loosen structure rockmass; stability assessment; treatment design

1 前 言

在山区高等级公路修建的过程中, 经常会遇到碎裂结构岩石路堑边坡变形失稳的现象。并且, 由于目前对该类型边坡的变形破坏规律认识不够, 以及对治理设计的锚固支挡工程的有效性缺乏定量的判断, 致使该类边坡失效案例呈增多的趋势^[1]。碎裂结构岩石路堑边坡较膨胀土、粘性土等边坡易被忽视, 因为其变形破坏直到坡面形成一段时间后, 经应力场及变形场的变化, 才得以突然体现, 并且受岩体结构控制, 边坡一旦失稳将可能产生大规模

整体式滑坡, 给治理带来相当大的困难^[2, 3]。目前, 在边坡治理中运用最多的是抗滑桩支挡技术和预应力锚索、锚杆等锚固技术, 以及排水孔(沟)、挡土墙等辅助手段。但是, 对于碎裂结构路堑边坡的治理, 常规技术皆有弊端, 如利用抗滑桩易产生桩间土挤出、冒顶现象, 利用预应力锚索易出现预应力衰减导致锚固失效等。因此, 对于碎裂结构岩石路堑边坡的分析与治理目前还没有得到很好解决。

本文以湖北省 209 省道宣恩段东门关隧道进口段的典型碎裂结构岩石路堑边坡为例, 针对该边坡工程地质、水文地质、岩体结构特征以及前期变形

收稿日期: 2005-03-16

基金项目: 湖北省交通厅科技项目“复杂地质条件路堑边坡稳定性研究”资助。

作者简介: 晏鄂川, 男, 1969 年生, 教授, 博士生导师, 主要从事岩土工程与工程地质的教学和科研。E-mail: yecyec6970@163.com 联系电话: 027-67883376

破坏迹象,判断出边坡的可能破坏模式,并在此基础上,通过现行规范推荐的不平衡推力传递法,对边坡的稳定性进行评价,并进行了治理设计。试图为解决碎裂结构岩石路堑边坡的分析与防护提出一种新的思路。

2 工程概况

东门关隧道进口段边坡为一深挖高路堑岩质边坡,位于湖北省 209 省道宣恩段东门关隧道进口处左侧。该路段里程桩号自 k41+097.2 至 k41+358,路堑中心最大开挖深度 19 m,路面平均高程为 861 m,坡顶高程为 970 m,高差 109 m。边坡内部结构面极其发育,4 组结构面及层面将坡体切割成碎裂结构,呈松散破碎状。自 2003 年路堑开挖以来,先后发生过两次大的滑动、崩塌,因此自稳性差。

2.1 地形地貌

本区地貌上整体表现为脊岭峡谷中低山地貌形态,其中隧道进口衔接路线沿近南北向窄谷底部展布,两侧发育与其近垂直的坡立谷延伸至陇脊,地形坡度 $30^{\circ} \sim 50^{\circ}$ 。

东门关隧道进口段边坡坡面整体向西倾斜(图 1),顺坡面走向长度 260 m,坡体南、北两侧均有与边坡走向大角度相交的横向坡立谷,谷坡陡峭,构成坡体侧向临空面。

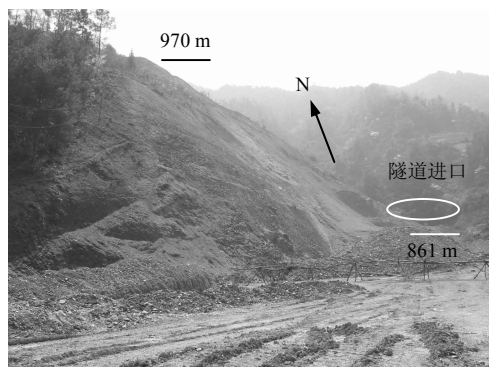


图 1 东门关隧道进口段边坡照片

Fig.1 Photo of the Dongmenguan slope

2.2 地质构造

边坡为逆向坡,坡体为一倾向南东的单斜岩层构造,岩层产状: $125^{\circ} \sim 140^{\circ} \angle 50^{\circ} \sim 60^{\circ}$,节理极其发育,共见有 4 组,产状与密度分别为: ① 组: $290^{\circ} \angle 45^{\circ}$,密度 12~15 条/m; ② 组: $190^{\circ} \angle 72^{\circ}$,密度 6~8 条/m; ③ 组: $5^{\circ} \angle 70^{\circ}$; ④ 组: $235^{\circ} \angle 45^{\circ}$ 。控制性节理产状为: $290^{\circ} \angle 45^{\circ}$ 、 $235^{\circ} \angle 45^{\circ}$ (均为外倾结构面),坡体浅层有不同程度的张开,

见有粉粘土、粘土充填。以上 4 组节理及层面将边坡岩体切割成松散碎裂状。

2.3 地层岩性

坡体上分布岩土层有:

① 粉质粘土:黄色、黄褐色,稍湿,不可塑,局部含少量碎石,表层富含植物根系,孔隙发育。分布于坡上部及坡顶表层,厚度 2~6 m。

② 粉砂质泥岩夹粉砂岩、细砂岩:黄色、黄灰色,碎裂结构,薄层状,强风化。

2.4 水文地质概况

坡体前缘的峡谷汇集周围地表、地下水形成常年小型河流,并且其南、北两侧坡立谷中均有地表溪流汇入该河流,枯洪季节水位、流量变化大。坡体上分布粉质粘土为相对隔水层,基岩层整体为隔水层组,但因受地形的控制,赋水条件差。透水层主要补给源为引至坡顶灌溉用水及大气降水。

2.5 边坡变形破坏发展过程

自 2003 年路堑开挖以来,边坡曾按原设计坡比放坡时发生过两次大的滑动和崩塌。根据现场工程地质调查,最近一次滑塌范围高于 2003 年底的放坡起坡线,塌滑区最低高程 906 m,最高 969 m,滑塌范围: k41+190~k41+355。后缘塌滑陡坎垂直高差约 3 m,水平错动近 100 cm,裂缝宽度 30~100 cm 不等。滑动面总体倾角为 40° ,主滑方向为 270° ,与边坡倾向基本一致;剪出口高程在 900~915 m 之间;滑体主要由粉质粘土及强风化岩体构成。在桩号 k41+097.2~k41+193 段,坡顶高程约 918 m,坡高 58 m,按 1:0.75 坡比分阶放坡开挖后,边坡基本稳定;在桩号 k41+193~k41+358 段,坡顶高程 970 m,坡高 100 m,按 1:0.5~1:1 坡比放坡开挖后,2003 年已经产生坍滑;随后减小开挖坡比,至 1:0.75~1:1 放坡开挖后,边坡上部仍发生变形破坏,后缘共产生有裂缝 3 条,近于平行展布,整体呈弧形排列,延伸长度 20 m~60 m。张开度 15~100 cm。其中前缘裂缝之前的坡体已产生坍滑,顺坡向运移斜距 10~15 m。因此,该段边坡有产生整体滑动迹象的明显。该边坡产生滑动失稳的主要原因是设计的开挖放坡坡比的安全系数储备不够,以及施工期间仅采用削坡的单一减荷措施。

3 稳定性评价

稳定性计算所使用的方法为《建筑边坡工程技术规范》(GB 50330-2002)^[4]推荐的不平衡推力法,根据该边坡的变形破坏规律,破坏模式选用圆弧型滑动模式,边坡稳定性系数按下式计算:

$$k_s = \frac{\sum R_i}{\sum T_i} \quad (1)$$

$$R_i = N_i \tan \varphi_i + c_i l_i \quad (2)$$

式中 R_i , N_i , T_i 分别为第 i 计算条块滑动面上的抗滑力 (kN/m), 滑体在滑动面法线和切线上的反力 (kN/m); l_i , c_i , φ_i 分别为第 i 计算条块滑动面长度 (m), 滑动面上岩土体的凝聚力 (kPa) 和内摩擦角 ($^{\circ}$)

表 1 物理力学性质指标

Table 1 Material properties of Dongmenguan slope

	重度 / $\text{kN} \cdot \text{m}^{-3}$		凝聚力 / kPa		内摩擦角 / ($^{\circ}$)	
	γ	γ_s	c	c_s	ϕ	ϕ_s
岩体	24.0	25.0				
滑动面			75	65	23.8	22.8

岩体及滑动面的抗剪强度参数在试验、反算基础上综合确定。计算工况考虑天然状态和饱水状态两种, 计算结果为防护前在天然状态下边坡 (条分图见图 2) 稳定性系数为 1.05, 饱水状态下边坡稳定性系数为 1.01。因此, 该边坡处于临界失稳状态, 考虑坡脚还需开挖数米才能达到相应的路面高程, 需对该边坡进一步防护。

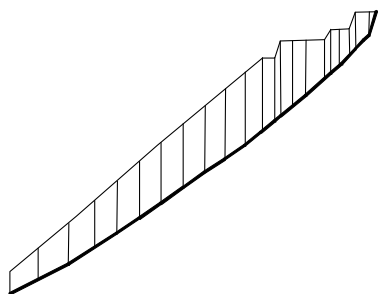


图 2 防护前边坡稳定性计算条分图

Fig.2 Calculation chart of slope stability before treatment

4 边坡安全防护设计

针对碎裂结构路堑岩质边坡的自身特点, 考虑避开使用常规方法中的抗滑桩和预应力锚索, 而采用削坡、锚杆、浆砌块石格构以及挡墙, 辅以排水系统, 如此, 一方面可扬长避短, 防止加固工程的失效; 另一方面可同样取到治理的效果, 且更经济合理。在边坡治理工程中, 锚固和支挡工程量一般通过推力计算加安全系数来确定。根据《建筑边坡工程技术规范》^[4] (GB50330-2002), 边坡由外倾软弱结构面控制, 处于滑坡地段, 边坡滑塌破坏将直接影响公路建设, 破坏后果严重, 边坡安全等级定

为一级。又根据边坡滑动为圆弧型滑动及一级边坡安全设计要求, 边坡稳定安全系数应定为 1.35。

4.1 削坡后的推力计算

根据边坡多次失稳的原因分析, 对边坡安全防护首先考虑继续放坡 (图 3)。

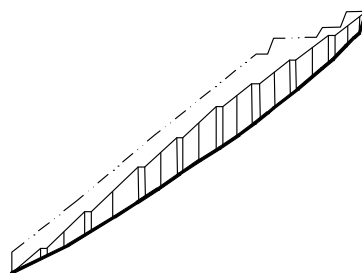


图 3 削坡后边坡稳定性计算条分图

Fig.3 Calculation chart of slope stability after cutting

通过计算, 削坡后天然状态下边坡稳定性系数为 1.24, 饱水状态时 1.15。本次设计工况为削坡后的饱水状况, 按一级边坡安全系数为 1.35 的要求, 需采取其他工程措施 (如锚杆、格构、护坡挡土墙等) 以满足边坡安全等级要求。经计算, 在设计工况下边坡剩余下滑力为 3 025 kN/m。

4.2 防护工程的布置

防护工程措施包括: 削坡、锚固、浆砌块石格构护坡、浆砌块石护坡挡墙。具体工程布置如下 (见图 4)。

(1) 削坡减载工程

削坡范围: k41+170~k41+352, 高程: 861~970 m, 根据边坡已经滑动区的工程地质状况和特征设计削坡的总体坡度控制为 $40^{\circ} \sim 41^{\circ}$, 分 12 级坡段 11 级平台削坡。自路基 (高程 861 m) 到坡顶 (高程 970 m), 除 7 级平台 (高程 927.9 m) 外, 各分段间平台宽度均为 2 m。

(2) 锚固工程

锚固布置区域 k41+170~k41+352, 高程 869 (一级坡面) ~935.6 m (八级坡面), 采用 $\phi 25$ 的全粘性砂浆锚杆, 锚杆为 II 级螺纹钢, 长度为 10 m 和 15 m, 为了防止内端点相连重新构成一个连通的应力集中带, 在每级平台下方设置一排长为 15 m 的锚杆, 其他锚杆的长度皆为 10 m, $2 \text{ m} \times 2 \text{ m}$ 矩形布置。由稳定性计算可知, 设计工况下边坡剩余下滑力为 3 025 kN/m。按设计间距, 单根锚杆设计锚固力为 190 kN, 满足《锚杆喷射混凝土支护技术规范》(GB50086-2001)^[5] 的锚杆设计要求。

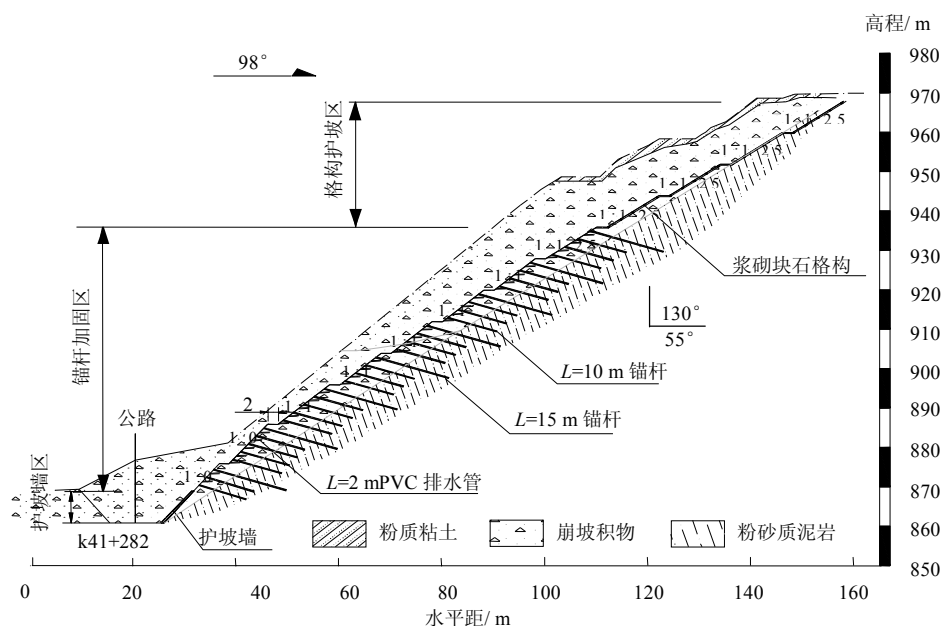


图4 治理工程示意图

Fig.4 Schematic illustration of treatment project

(3) 浆砌块石格构护坡

布置区域为 k41+215.5~k41+342, 高程: 935.6~970 m, 即第9~12级坡面上, 浆砌块石格构纵横梁 3 m×3 m 布置, 纵梁断面规格: 40 cm×40 cm, 矩形, 横梁为圆弧拱形, 曲率半径为 160 cm, 断面规格: 30 cm×40 cm, 矩形, 格构块石采用 Mu30 的新鲜岩石, 浆砌砂浆 M10, 侧面及顶面砂浆抹面, 抹面砂浆 M15, 格构嵌入坡面深度 15 cm, 纵向伸缩缝间距 15 m, 缝宽 20 mm, 缝间插软木条或沥青灌注。

(4) 浆砌块石护坡挡墙

布置区域为 k41+170~k41+352, 位置自坡脚路基以上 8 m 区域。护坡墙为浆砌块石砌筑, 底面宽度 60 cm, 顶宽 40 cm, 块石标号: Mu30, 浆砌砂浆: M7.5。护坡墙每隔 10 m 长度设置一竖向伸缩缝, 缝宽 30 mm, 缝间软木条隔离。

(5) 排水系统

各级平台靠山侧设置横向截排水沟, 水沟为外侧浆砌块石砌墙与坡面、平台面合围构成, 外侧墙块石标号: Mu30, 浆砌砂浆: M10, 侧墙表面及沟内侧面砂浆抹面, 抹面砂浆: M15。截排水沟每隔 10 m 长度设置一竖向伸缩缝, 缝宽 15 mm, 缝间沥青灌注。锚固区坡面上布设多排 2 mφ 50PVC 排水管。

5 结 论

(1) 对于碎裂结构岩体构成的路堑边坡的治理, 应注重对坡体的结构进行分析, 进而提出适当的破坏模式以进行推力计算, 为边坡加固设计提供较充分的依据, 提高治理效果。

(2) 在进行边坡安全防护设计时, 综合考虑各种加固措施的优缺点。就碎裂结构路堑岩质边坡而言, 本文提出尽量避免使用抗滑桩和预应力锚索, 而考虑用削坡、无预应力锚杆、格构、排水系统等措施, 同样达到加固治理的目的。

(3) 防护设计中要求进行推力验算, 只有被锚固坡体的强度能承受支挡应力和锚固应力、安全储备足够时, 所设计的支挡和锚固工程才安全有效。

参 考 文 献

- [1] 骆银辉, 何建华, 胡斌. 松散滑坡治理中坡体结构与强度的重要性[J]. 岩石力学与工程学报, 2004, 23(7): 1 233-1 236.
- [2] 全凤文. 碎裂结构岩质边坡滑坡机理与防治[J]. 公路, 2004, (6): 8-12.
- [3] 庄心善, 胡其志, 何世秀. 锚杆加固岩体边坡设计方法研究[J]. 岩石力学与工程学报, 2002, 21(7): 1 013-1 015.
- [4] GB50330-2002, 建筑边坡工程技术规范[S].
- [5] GB50086-2001, 锚杆喷射混凝土支护技术规范[S].