

房山区贾金路边坡稳定性评价与治理方法研究

张 硕

(北京市地质工程勘察院,北京 100048)

摘要:公路是国家经济发展的主要载体,公路沿线的边坡稳定性评价及治理工作会成为今后很长一段时间的重点工作。本文以北京市房山区 G108 国道 K3+500~K4+720 路段 6 处危岩治理为工程背景,开展岩质边坡稳定性评价方法及治理措施研究。本文研究的重点是山体边坡是否稳定,同时选取最为有效的治理方案,为类似治理项目提供借鉴。

关键词:危岩;工程地质;赤平投影;边坡治理;位移监测

中图分类号:U418.5⁺2 **文献标识码:**A **文章编号:**1672-7428(2018)10-0097-07

Slope Stability Evaluation and Treatment along Jiajin Road, Fangshan District/ZHANG Shuo (Beijing Institute of Geological & Prospecting Engineering, Beijing 100048, China)

Abstract: The highway is the main carrier of national economic development, and slope stability evaluation and treatment along the road will be the key work for a long time. Based on the treatment of six hazardous rock bodies in Section K3+500~K4+720 over the national highway G108 in the Beijing Fangshan district, this paper conducts study on the stability evaluation method and treatment measures for rock slopes. The study is focused on the stability assessment of the slope and the selection of the effective treatment measures.

Key words: hazardous rock; engineering geology; plane projection numerical simulation; slope treatment; displacement monitoring

1 工程概况

贾金路位于北京市房山区史家营乡,路东南头与 108 公路相接(见图 1)。贾金路两侧目前地质灾害潜在隐患点共有 6 处,主要分布在 K3+500~K12+380 路段,地质灾害类型主要为崩塌。本次研究的地质灾害崩塌点有 6 处。各治理点基本情况详见表 1。



图 1 贾金路地质灾害治理段地理位置示意图

表 1 各地质灾害治理点基本情况

序号	里 程	地灾类型	序号	里 程	地灾类型
1	K3+500~600	危岩、崩塌	4	K4+435~490	危岩
2	K3+620~640	危岩	5	K4+555~570	危岩
3	K3+660~665	危岩	6	K4+690~720	危岩

2 地灾治理段区域工程地质条件

2.1 地形地貌

贾金路位于北京市西部山区贾峪口村北西大堰台沟谷内,总体呈北西、南东向展布(见图 2)。路两侧为中低山区,区域海拔高程为 320~920 m。地灾治理段大堰台沟谷区域海拔高程为 282~515 m。路两侧沿线冲沟较发育,沟两侧局部发育少量坡洪积台地。

贾金路地灾治理段区域地形地貌现状见图 3、图 4。

2.2 地层概述

治理路段区域主要分布有第四系、寒武系、青白口系和蓟县系地层。分述如下。

收稿日期:2018-07-31

作者简介:张硕,男,汉族,1987 年生,工程师,勘查技术与工程专业,硕士,从事岩土工程、地质灾害治理工程相关的设计工作,北京市石景山区模式口东里 28 号楼,547964627@qq.com。



图2 贾金路地灾治理段区域卫星影像图



图3 贾金路地灾治理段区域地貌现状

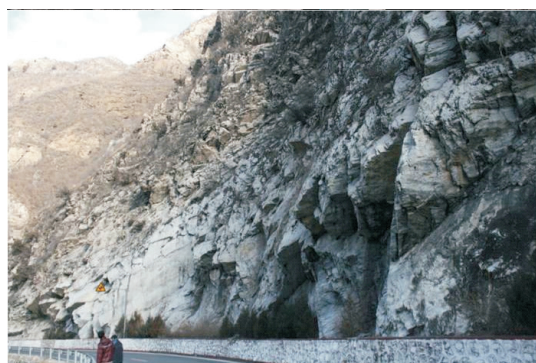


图4 贾金路地灾治理段区域地貌现状

第四系:主要为洪冲积和坡洪积地层,洪冲积地层分布于大堰台沟内,主要岩性为卵石。坡洪积地层分布于山坡坡脚地带,主要岩性为漂石、块石、碎石和少量粘性土。

寒武系:主要分布于 K8+200~K12+400 路段,主要岩性为粉砂质泥岩夹白云岩,表层风化程度中等,风化层厚度 1.5~2.50 m,裂隙发育中等。

青白口系:主要分布于 K5+800~K8+200 路段,主要岩性为泥晶灰岩、硅质泥晶灰岩夹少量页岩,表层风化程度中等,风化层厚度 0.5~2.0 m。

裂隙发育中等。

蓟县系:主要分布于 K3+200~K5+800 路段,主要岩性为泥质白云岩,硅质条带白云岩和泥晶白云岩,表层风化程度中等,风化层厚度 0.5~2.0 m。裂隙发育中等。

2.3 地下水概述

治理路段目前无地下潜水,只有基岩裂隙水,水位埋深大于 20.0 m。基岩裂隙水补给来源主要为大气降水。治理路段及附近区域内无地表水体,治理路段一侧为大堰台沟,目前沟内无水,只在雨季时有暂时性流水。在目前自然环境条件下,治理施工可不考虑地下水影响。

2.4 不良地质作用

据调查,道路沿线边坡的不良地质作用为崩塌、落石。场地自然斜坡一般处于稳定状态。因筑路开挖而形成的人工边坡,多数为反向坡,边坡中普遍发育高陡节理,其中与坡向走向近乎平行的节理对边坡稳定性影响最大,在风化、重力及水动力作用下,易发生崩塌与掉块危险。岩石表面普遍遭受风化,多为强风化—中等风化,强风化带厚度一般为 1.00~2.00 m。受构造条件及岩性的影响,风化程度及风化带厚度不均一。

2.5 建筑抗震设计条件

场地抗震设防烈度为 7 度,设计基本震动加速度值为 0.15g,设计震动分组为第一组。

3 边坡岩体结构特征

根据现场调查及赤平投影分析,边坡岩体结构特征及稳定性评价如下。

3.1 K3+500~600 段

该段边坡坡长 100 m,高约 25~30 m。边坡坡向为 $240^{\circ}/80^{\circ}$,岩层产状为 $20^{\circ}/40^{\circ}$ 。岩体结构面发育,外观破碎,边坡岩体结构类型以碎裂结构为主,局部块状结构,坡体顶部有植被发育。共发育了 3 组裂隙,包含一组 X 形节理(图 5),一组产状为 $150^{\circ}/70^{\circ}$,延伸平直,裂面粗糙,弱风化,闭合。另一组产状为 $200^{\circ}/40^{\circ}$,延伸平直,裂面粗糙,弱风化,微张。裂隙产状为 $30^{\circ}/89^{\circ}$,间距 0.3~0.6,中等风化。

选取 J1($150^{\circ}/70^{\circ}$),J2($200^{\circ}/40^{\circ}$),J3($30^{\circ}/89^{\circ}$) 三组节理进行赤平投影分析(图 6)。在赤平投影图中,通过坡面 ns 与岩层面 cs 的产状可以判断出边坡

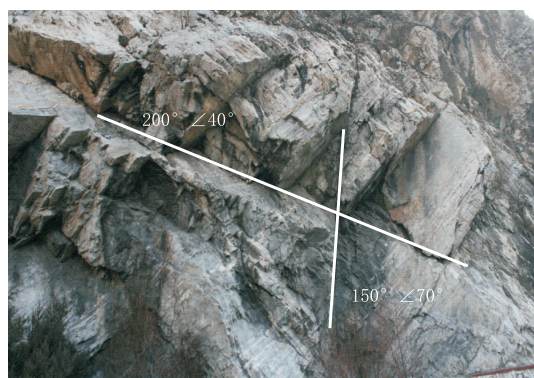


图 5 K3+500~600 段边坡岩体结构图

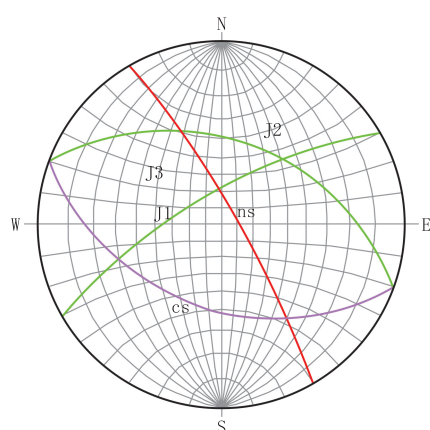


图 6 K3+500~600 段节理赤平投影

为反向坡,边坡整体处于稳定状态,X形节理面交点在赤平投影中处于边坡投影的一侧,且软弱面组合交线倾向坡里,软弱组合面倾角小于坡面倾角,局部可能有崩塌、掉块的发生。

综上所述,边坡整体稳定性较好,但由于岩体破碎,裂隙较为发育,在降雨或震动作用下容易发生局部崩塌与掉块等破坏现象。

3.2 K3+620~640 段

该段边坡坡长 20 m,高约 20~25 m。边坡坡向为 $160^\circ \angle 60^\circ$,岩层产状为 $16^\circ \angle 38^\circ$ 。岩体结构面发育,边坡上部岩体结构为碎裂结构,底部完整性较好为块状结构,坡体局部有植被覆盖(图 7)。主要发育两组裂隙,一组产状为 $210^\circ \angle 65^\circ$,延伸平直,弱风化,闭合。另一组产状为 $185^\circ \angle 70^\circ$,卸荷裂隙,波状延伸,裂隙间距 0.4~0.6 m,中等风化,张开 0.05~0.1 m。

选取 J1($210^\circ \angle 65^\circ$),J2($185^\circ \angle 70^\circ$)两组节理进行赤平投影分析(图 8)。在赤平投影图中,通过坡面 ns 与岩层面 cs 的产状可以判断出边坡为反向坡,边坡整体处于稳定状态,J1和J2节理面交点在



图 7 K3+620~640 段边坡岩体结构图

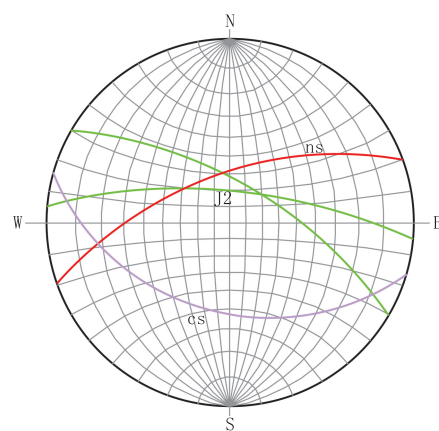


图 8 K3+620~640 段节理赤平投影

赤平投影中处于边坡投影的一侧,且软弱面组合交线倾向坡里,软弱组合面倾角大于坡面倾角,说明此段边坡整体稳定性较好,但由于边坡上部岩体结构为碎裂结构,且有卸荷裂隙发育,在降雨或震动等外部作用下容易发生局部岩体崩落的危险。

3.3 K3+660~665 段

该段边坡坡向为 $170^\circ \angle 50^\circ$,岩层产状为 $16^\circ \angle 40^\circ$,为反向坡。岩体整体完整性好,为块状结构。存在局部危岩体(图 9),危岩体四周临空。主要受后缘卸荷裂隙控制,裂隙产状为 $20^\circ \angle 65^\circ$ 。

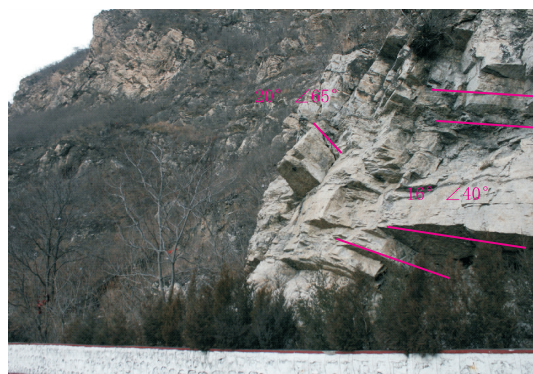


图 9 K3+660~665 段边坡结构图

边坡结构完整,整体稳定性好,但是存在局部危岩体,在降雨或震动作用下容易发生危岩体掉落现象。

3.4 K4+435~490 段

该段边坡坡长 55 m,高约 18~25 m。边坡坡向为 $230^{\circ}/71^{\circ}$,岩层产状为 $0^{\circ}/38^{\circ}$ 。岩体结构面发育,岩体破碎,边坡岩体结构为层状结构,岩层厚度约为 0.1~0.3 m,坡体局部有植被覆盖(图 10)。主要发育两组裂隙,一组产状为 $180^{\circ}/50^{\circ}$,波状粗糙,张开 0.7~1 cm。另一组产状为 $250^{\circ}/80^{\circ}$,平直粗糙,闭合。

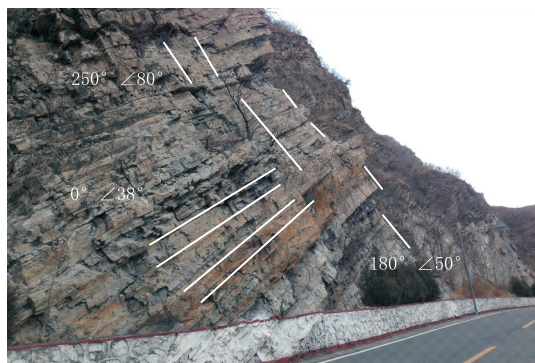


图 10 K4+435~490 段边坡结构图

选取 J1($180^{\circ}/50^{\circ}$), J2($250^{\circ}/80^{\circ}$) 两组节理进行赤平投影分析(图 11)。在赤平投影图中,通过坡面 ns 与岩层面 cs 的产状可以判断出边坡为反向坡,边坡整体处于稳定状态, J1 和 J2 节理面交点在赤平投影中处于边坡投影的一侧,且软弱面组合交线倾向坡里,软弱组合面倾角大于坡面倾角,说明此段边坡整体稳定性较好。但是由于边坡岩体破碎,裂隙发育密集,在降雨或震动作用下容易发生局部崩塌与掉块等破坏现象。

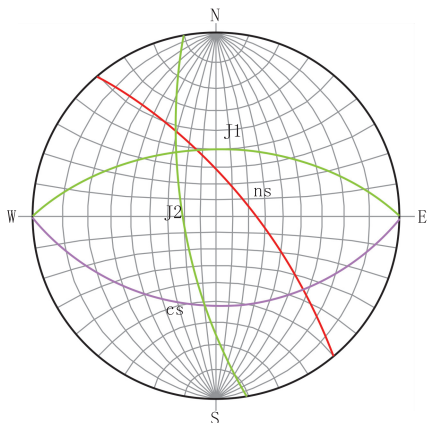


图 11 K4+435~490 段赤平投影

3.5 K4+555~570 段

该段边坡坡长 15 m,高约 20 m。边坡坡向为 $195^{\circ}/75^{\circ}$,岩层产状为 $5^{\circ}/45^{\circ}$ 。下部岩体结构破碎,坡面中等风化,主要发育两组裂隙,一组产状为 $165^{\circ}/65^{\circ}$,波状粗糙,中等风化。另一组产状为 $62^{\circ}/85^{\circ}$,波状延伸,裂面粗糙(图 12)。

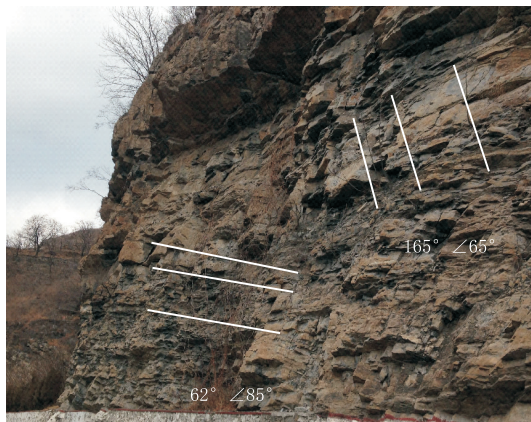


图 12 K4+555~570 段边坡结构图

选取 J1($165^{\circ}/65^{\circ}$), J2($62^{\circ}/85^{\circ}$) 两组节理进行赤平投影分析(图 13)。在赤平投影图中,通过坡面 ns 与岩层面 cs 的产状可以判断出边坡为反向坡,边坡整体处于稳定状态,两组节理面交点在赤平投影中处于边坡投影的一侧,且软弱面组合交线倾向坡里,软弱组合面倾角小于坡面倾角。由于岩体破碎,局部风化作用,边坡在降雨或震动作用下容易发生局部掉块现象。

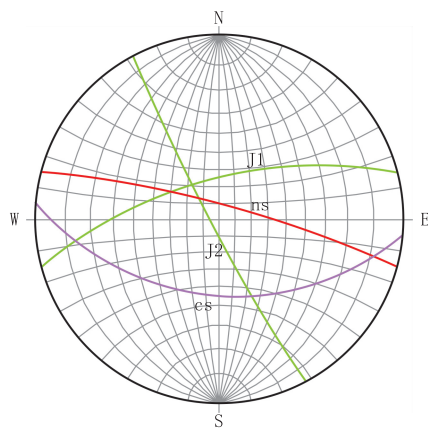


图 13 K4+555~570 段节理赤平投影

3.6 K4+690~720 段

该段边坡坡长 30 m,高 16~18 m。边坡坡向为 $190^{\circ}/85^{\circ}$,岩层产状为 $10^{\circ}/40^{\circ}$ 。该段边坡坡面破碎,结构类型为薄层状结构,受层面控制。主要发育两组裂隙,一组产状为 $15^{\circ}/25^{\circ}$,平直延伸,层间

距 0.1~0.2 m。另一 3/4 产状为 $170^{\circ}\angle 60^{\circ}$,卸荷裂隙,波状粗糙,微张,强风化(图 14)。

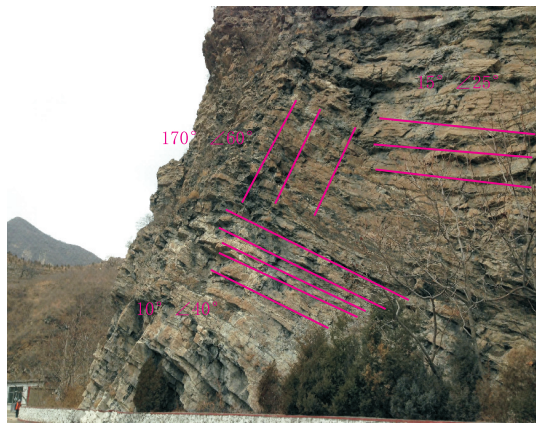


图 14 K4+690~720 段边坡结构图

选取 J1($15^{\circ}\angle 25^{\circ}$),J2($170^{\circ}\angle 60^{\circ}$)两组节理进行赤平投影分析(图 15)。在赤平投影图中,通过坡

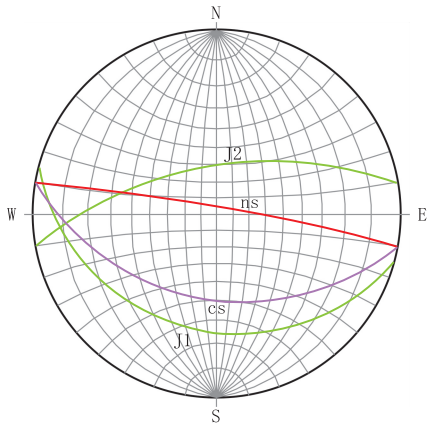


图 15 K4+690~720 段节理赤平投影

面 ns 与岩层面 cs 的产状可以判断出边坡为反向坡,两组软弱面交点在赤平投影中处于边坡投影的另一侧,说明软弱面组合交线倾向坡里。由于卸荷裂隙的存在边坡存在局部危岩体,在降雨或震动作用下容易发生危岩体掉落现象,但边坡整体稳定性好。

4 现状人工边坡稳定性的工程地质评价

现状人工各边坡稳定性评价分析见表 2。

表 2 现状人工各边坡稳定性评价分析

序号	边坡桩号	岩体结构	稳定评价
1	K3+500~600	发育 3 组裂隙,碎裂结构为主	整体稳定性好,局部块体破坏
2	K3+620~640	发育 2 组裂隙,碎裂结构为主	整体稳定性好,局部块体破坏
3	K3+660~665	卸荷裂隙发育,块状结构为主	整体稳定性好,局部小块体破坏
4	K4+435~490	发育 2 组裂隙,层状结构	整体稳定性好,局部崩塌、掉块
5	K4+555~570	发育 2 组裂隙,碎裂结构为主	整体稳定性好,局部块体破坏
6	K4+690~720	发育 2 组裂隙,薄层结构为主	整体稳定性好,局部块体破坏

5 治理措施方案比选

治理措施方法比选见表 3。

6 工程治理措施

6.1 防治工程措施

表 3 边坡治理方法比选分析

治理措施	优点	缺点	比选结论
削坡减载	一劳永逸,最为彻底	成本高,工期长,工程量大,施工干扰大,现有道路交通不能保通	本项目建设周期紧,建设期内需要保通,不宜选用
清理浮石	不受高陡边坡的限制,施工作业快速、方便,施工干扰面小,现有的道路交通能保通	人工清理施工作业速度一般	本项目边坡表层浮石、危石较多,推荐采用
SNS 主动防护网	不受高陡边坡的限制,施工作业快速方便,不需要或仅需要很少的坡面开挖,施工干扰面小,现有道路交通能保通	钢丝绳等金属构件在阳光照射下易于干扰视线	本项目边坡普遍高陡、节理发育等特点,SNS 主动防护网能有效发挥防灾治害功效,推荐选用
SNS 被动防护网	同普通 SNS 主动防护网	对道路外侧向安全净空值有要求,对景观影响较大	本项目为公路,需要考虑通行要求;而且道路外侧向净空难以满足要求,不选用
锚固	技术成熟,结构简单,施工干扰面小,现有道路交通能保通	对于钻孔作业要求高	本项目未存在节理与坡面组合成的大块危岩体,不推荐选用
截水沟	技术成熟,结构简单	增加部分占地	推荐选用

6.1.1 坡面浮石清理

坡面岩体完整稳定,斜坡上部崩落物体数量、不大,危岩的数量不多,其母岩的破碎程度不严重,

仅局部存在部分浮石危及线路、车辆、行人的坡面采取清理的原则。对于停留于坡面上或已完全脱离母体、与母体已经开裂且裂缝长度已超过危石同向尺

寸50%的浮石、危石、孤石应予以清除,同时宜结合平日养护部门的反馈意见,该路段易产生岩体崩落,现场观察有继续发展趋势,应列入清理范围。

坡面浮石清理时,要采取有效措施,确保路面不被破坏。应在处理路段设置施工围挡,路面铺“沙袋+钢板+竹排”三层防护。

6.1.2 坡面浮石清理、SNS主动防护网

对于坡面岩体完整稳定,斜坡上部崩落物体积数量不大,危岩的数量不多,仅局部崖面存在零星危石、浮石的路段,采用人工清理,并且其母岩的破碎程度较严重,或母岩风化程度虽不严重但其裂隙与坡面组合的随机块体在长期运行、降水等不利因素作用下易掉落,崩塌、落石的物质来源丰富,崩塌规模虽不大,但可能频繁发生的路段,为控制落物运动状态,采用SNS主动防护网对坡面进行覆盖,做法见图16。

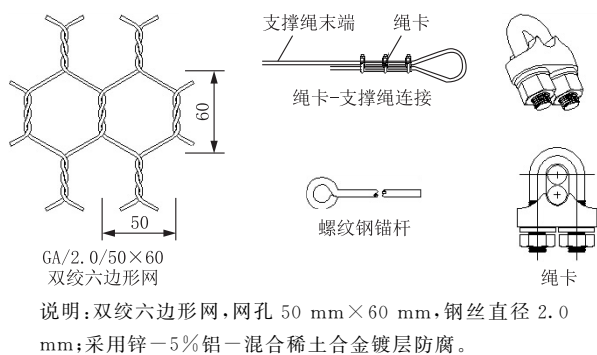


图16 SNS网节点大样图

6.1.3 坡面浮石清理、SNS主动防护网、截水沟

对于顶部较为破碎的坡面,按要求清理完坡面浮石,采用SNS主动防护网对坡面进行防护后,在用地条件允许的情况下,在边坡顶部2m以外修建截水沟,防止降水对坡面影响产生新的浮石、危石,详见图17。

6.2 工程监测

工程监测包括施工期间监测和防治效果长期监测,不少于一个水文年。主要监测内容包括以下方面,需要施工方予以配合。

6.2.1 坡顶的位移监测

采用地表大地变形监测。在边坡顶面设置位移监测网,监测坡顶地表的水平位移和下沉。测点间距一般为20m左右,采用平面精度指标为 $\pm(5\text{mm}+1\text{ppm})$ 的GPS接收机实施监测。

6.2.2 岩体的裂缝监测

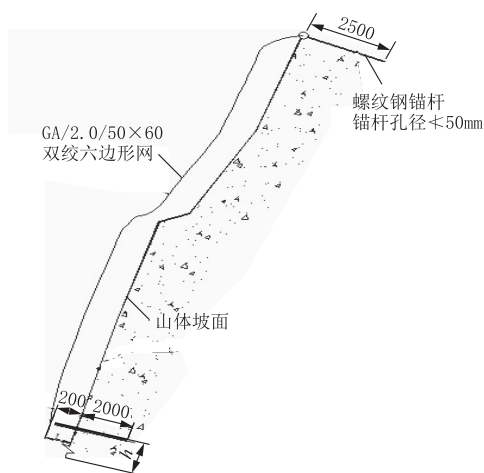


图17 边坡治理剖面图

地表裂缝位错监测用于监测地裂缝伸缩变化和位错情况。采用伸缩仪、位错仪,或千分卡直接量测。测量精度0.1~1.0mm。监测点选择在裂缝两侧,特别是主裂缝(如崩塌母体与崩塌体之间裂缝)两侧,监测裂缝两侧相对张开、闭合、下沉、抬升或错动、裂缝充水情况等。共设置20点。

7 现场治理情况

经过设计详细计算后,施工现场按照设计方案进行边坡治理,治理后边坡稳定性得到显著改善,该段公路恢复畅通,治理效果良好(参见图18)。



图18 治理区域现场工况图

8 结论

本文以北京市房山区G108国道K3+500~K4+720路段6处危岩治理为研究目标,通过野外调查、测量岩石产状、赤平投影分析等方法查明该区域基本地质条件及边坡特征。主要研究成果与结论如下。

(1)应用野外地质调查方法,查明了边坡坡面、坡脚岩体的破碎程度,通过测量岩石的产状、节理,对边坡整体稳定性做出了初步判断。

(2)应用赤平投影方法对 6 处危岩进行了详细的稳定性分析。

(3)根据稳定性分析及坡面位移监测,对边坡工程治理方法进行研究比选,从工期、安全、造价等多个方面进行细致的分析。确定了采用坡面浮石清理结合 SNS 主动防护网的治理方法。治理后边坡稳定性得到了显著的改善,治理效果良好。

参考文献:

- [1] 苏胜忠.边坡工程勘察中崩塌落石运动模式及轨迹分析[J].工程地质学报,2011,19(4):577—581.
- [2] 张栋材.滑坡稳定性分析及张清公路路堑滑坡加固方案研究[D].湖南长沙:中南大学,2002.
- [3] 张德成,徐则民,王志奇.滑坡位移的时序分析——以楚勐公路 K64+200~K64+228 路基滑坡为例[J].地球与环境,2011,39(2):224—230.
- [4] 朱良华,杨诚.城市地质灾害治理研究现状与述评[J].生态经济(学术版),2014,(1):357—359.
- [5] 周文龙,谢晓军,张铁军.公路抗灾能力分析 with 典型地质灾害处治对策研究[J].交通运输研究,2011,(19):101—106.
- [6] 董月霞.浅谈 SNS 主动防护网的施工技术[J].中国科技信息,2012,(23):53.
- [7] 陆世彪,江威.浅谈 SNS 柔性被动防护网在藏木水电站高边坡开挖防护中的应用[J].四川水力发电,2012,31(3):3—5.
- [8] 张鹏飞,王云亮.基于赤平投影的豫西某铝土矿岩质边坡稳定性分析[J/OL].西部资源,2018,(3):72—73[2018-07-31].
<https://doi.org/10.16631/j.cnki.cn15-1331/p.2018.03.033>.
- [9] 张美杰,刘静伟,张志萍.高速公路深挖路堑边坡稳定性分析过程与方法研究[J].交通世界,2017,(36):12—13,15.
- [10] 刘奔,简文彬,郑智,等.基于结构面特征的合掌岩石窟稳定性分析评价[J].水利与建筑工程学报,2017,15(6):168—172.
- [11] 尚晓光,侯克鹏,易晨星.基于赤平投影法对某锌铜矿边坡稳定性分析[J].中国锰业,2017,35(5):139—145.
- [12] 李嘉.矿山环境地质调查工作方法研究[J].民营科技,2018,(8):30.
- [13] 季景山.矿山边坡稳定性分析及加固措施研究[J].世界有色金属,2018,(8):282—283.
- [14] 康莉.浅析露天边坡变形监测技术[J].四川水泥,2018,(2):175.
- [15] 余寿全,鲁明,王良,等.某高岩质边坡治理与监测实例分析[J].地下空间与工程学报,2017,13(S2):784—790.
- [16] 龚林晋.论崩塌、滑坡地质灾害的综合性工程治理方案设计[J].世界有色金属,2018,(1):189—190.
- [17] 宋男男,王林峰,宋小波,等.落石冲击作用下柔性被动防护系统结构的动力响应分析[J].安阳工学院学报,2017,16(6):92—95,102.
- [18] 李建国.孔隙水压对大理岩破坏和失稳型式影响的实验研究[C]//中国岩石力学与工程学会.第五届全国构造物理、第三届全国高温高压学术讨论会论文摘要,1992:2.
- [19] 张凌鹏.矿区水文地质勘察中存在的问题探析[J].华北国土资源,2016,(2):106—107.
- [20] 何勇.断层带边坡地震响应特征及抗震加固机理与模式研究[D].四川成都:成都理工大学,2012.
- [21] 郭爱军,赵庆珍,姚晓东.基于 Android 系统的赤平投影软件的开发与应用[J].山西煤炭管理干部学院学报,2016,29(1):212—213,217.
- [22] 刘富有,陈鹏宇,余宏明.矿山节理岩质高边坡坡体结构特征分析[J].低温建筑技术,2015,37(11):111—113.
- [23] 陈奇珠,董翌为.赤平投影法分析岩质边坡稳定性的图解模板[J].西北水电,2013,(4):13—16,49.
- [24] 李莎,张澍.极射赤平投影在某工程岩质边坡稳定性分析中的应用[J].中国水运(下半月),2013,13(3):246—247.
- [25] 朱晓鹏.山区公路边坡勘察设计分析[J].建材与装饰,2018,(20):235—236.