

2025年门头沟区普通公路沿线地质灾害防治工程  
(一标段)

施工图勘查设计

第二册 共三册

第一分册 共二分册

(本分册由设计说明和工程数量表组成)

广西交通设计集团有限公司  
2025年02月

# 2025年门头沟区普通公路沿线地质灾害防治工程

(一标段)

## 施工图设计

法定代表人: 黄东

设计阶段: 施工图

技术负责人: 米德才

提交单位: 广西交通设计集团有限公司

部门负责人: 陈川

资质等级: 地质灾害评估和治理工程勘察设计甲级

审 核: 李耀华

证书编号: 450020241120055

项目负责人: 李耀华 杨忠

发证部门: 中华人民共和国自然资源部

报告编写人: 杨忠、李泓琛、成威



提交日期: 2025年02月



## 地质灾害防治单位资质证书

单位名称：广西交通设计集团有限公司

资质类别：地质灾害评估和治理

工程勘查设计

住 所：南宁市青秀区民族大道153号

资质等级：甲级

证书编号：450020241120055

有效期至：2029 年 04 月 01 日



发证机关：广西壮族自治区自然资源厅

发证日期：2024 年 04 月 01 日



中华人民共和国自然资源部监制

## 主要参加人员表

项目名称:2025 年门头沟区普通公路沿线地质灾害防治工程（一标段）施工图设计

姓名	职务及职称	项目责任
黄东	公司副总经理、公司总工、正高级工程师	项目总体管理
米德才	公司副总工、正高级工程师、注册岩土工程师	项目总体、技术审定
陈川	岩土工程勘察设计院院长、高级工程师	部门负责人
匡波	岩土工程勘察设计院副院长、高级工程师	管理协调
唐正辉	岩土工程勘察设计院总工程师、正高级工程师、注册岩土工程师	部门技术质量管理
李耀华	岩土工程勘察设计院副总工程师、高级工程师	项目负责人、技术审核
杨忠	高级工程师	项目负责人、调查、设计
李泓琛	工程师	图件编制
成威	工程师	图件编制
文海珍	工程师	清样核对出版、项目档案管理

## 目录

1 项目概况 .....	1	7.13 K19+195~K19+208 左侧浅层滑塌隐患防治工程（项目编号：S211-13）	60
2 自然地理与工程地质条件 .....	3	7.14 K21+140~K21+200 左侧崩塌隐患防治工程（项目编号：S211-14）	62
3 勘查工作及地灾状况 .....	13	7.15 K22+010~K22+090 左侧崩塌隐患防治工程（项目编号：S211-15）	64
4 设计依据及设计标准 .....	15	7.16 K24+100~K24+300 左侧浅层滑塌隐患防治工程（项目编号：S211-16）	71
5 总体设计思路 .....	16	7.17 K6+050~K6+065 左侧崩塌隐患 .....	73
6 总体设计方案 .....	16	7.18 K5+180~K5+250 左侧滑塌隐患防治工程（项目编号：X209-1）	75
7 治理分项工程设计 .....	19	8 施工组织设计 .....	77
7.1 K2+105~K2+180 处左侧崩塌隐患防治工程（项目编号：S211-1）	19	9 工程施工安全相关建议 .....	86
7.2 K3+520~K3+600 右侧崩塌隐患防治工程（项目编号：S211-2）	21	10 其他说明 .....	87
7.3 K9+750~K9+770 右侧崩塌隐患防治工程（项目编号：S211-3）	23	附表（各工程数量表） .....	87
7.4 K9+990~K10+042 右侧崩塌隐患防治工程（项目编号：S211-4）	25		
7.5 K10+465~K10+520 右侧崩塌隐患防治工程（项目编号：S211-5）	27		
7.6 K13+000~K13+135 右侧崩塌隐患防治工程（项目编号：S211-6）	37		
7.7 K14+520~K14+620 左侧崩塌隐患防治工程（项目编号：S211-7）	40		
7.8 K14+867~K14+965 左侧崩塌隐患防治工程（项目编号：S211-8）	45		
7.9 K15+500~K15+625 左侧崩塌隐患防治工程（项目编号：S211-9）	47		
7.10 K16+120~K16+360 左侧崩塌隐患防治工程（项目编号：S211-10）	49		
7.11 K17+410~K17+500 左侧崩塌隐患防治工程（项目编号：S211-11）	56		
7.12 K17+910~K18+010 左侧崩塌隐患防治工程（项目编号：S211-12）	58		

# 2025 年门头沟区普通公路沿线地质灾害防治工程（一标段） 施工图设计

## 1 项目概况

### 1.1 任务由来

门头沟区，隶属于北京市，位于北京城区正西偏南，呈东西带状分布，面积 1455km<sup>2</sup>，东部与海淀区、石景山区为邻，南部与房山区、丰台区相连，西部与涿鹿县、涞水县交界，北部与昌平区、怀来县接壤。地处华北平原向蒙古高原过渡的山地地带，全区以山地为主，山地面积占全区的 97%，地势由西北向东南倾斜。门头沟西部山区是北京西山的核心部分，山形挺拔高峻、险峰叠嶂，境内有北京市最高峰东灵山，海拔 2303m，境内次高峰百花山，海拔 1991m，海拔 1500m 左右的山峰 160 余座。门头沟区构造变形强烈，褶皱构造规模较大，断裂构造发育，地形切割强烈，岩石破碎，具备崩塌、滑坡、泥石流等地质灾害孕灾条件，是北京地区发生地质灾害较多、灾害损失较严重的地区之一。

近年来，随着门头沟区经济和旅游业的飞速发展，各种工程建设活动增多，改变了部分公路沿线山体边坡的地质环境条件，崩塌、滑坡、泥石流作为突发地质灾害的主要类型，在门头沟区尤为发育。

门头沟区各公路沿线相对高差大，多在山体的一侧垂直修建，边坡坡率大部分不满足现有的公路规范，且山体岩石松动、雨季碎石易落，对来往车辆和行人也带来了极大的安全隐患，严重威胁人民的生命财产安全。2023 年 7 月底，受台风“杜苏芮”影响，门头沟地区遭受极端强降雨，最大日降雨量达 723 毫米，强降雨导致门头沟区

多处位置发生大规模山体滑坡和崩塌，给当地人民的生命财产、交通水利、旅游设施及植被景观造成了严重损失。

为落实北京市突发地质灾害防治的总体要求，达到防灾减灾的目的，维护人民生命财产安全，满足政府部门在新形势下的决策需要，推进北京市突发地质灾害防治工作，北京市交通委员会批准《北京市交通委员会关于开展 2025 年普通公路沿线地质灾害防治工程计划项目前期工作的通知》【京交公管发〔2024〕25 号】。

根据通知精神，北京市交通委员会门头沟区公路分局公开招标方式，由广西交通设计集团有限公司（以下简称“我公司”）中标承担该项目的勘查设计任务。中标后，我公司立即组织有关技术人员赶赴现场，对现场进行踏勘和开展详细勘查工作，详细调查并听取了当地公路部门的情况介绍，收集了相关资料，在综合分析研究的基础上，结合当地公路部门的意见及建议，依据边坡及地质灾害治理相关规范，于 2024 年 11 月 15 日完成本项目勘查报告的初步编制工作；2024 年 11 月 28 日，本项目顺利通过由北京市公路事业发展中心组织召开的“初步勘查报告和设计方案”评审；我公司随即根据相关“专家评审意见”和业主及主管部门代表意见进行报告修编完善工作等；2025 年 2 月 20 日，本项目施工图勘查设计工作成果文件顺利通过业主代表和规自口专家的相关评审；随后，我方根据评审会相关意见经修改完善后形成本报告。

### 勘查设计时间一览：

- (1) 2024 年 10 月 25 日～2024 年 10 月 31 日，地形图测量；
- (2) 2024 年 10 月 28 日～2024 年 11 月 4 日，工程地质测绘；
- (3) 2024 年 11 月 5 日，外业工作全部结束；

- (4) 2024年11月6日~2024年11月15日，综合整理及报告编写；
- (5) 2025年11月28日，项目通过“初步勘查报告和设计方案”评审；
- (6) 2025年2月20日，项目施工图成果文件通过业主方和规自口专家评审。

## 1.2 工作范围

本项目工作范围包括S211斋幽路、X007斋柏路、X209军红路等列入2025年度计划的地质灾害治理点位及应急抢险等突发工程项目，主要内容为上述公路沿线地质灾害状况调查、地质灾害勘查、地质灾害防治设计等，包括为完成项目所需的初步设计、施工图设计及后续服务等工作。

通过资料收集与甲方沟通，确定纳入本次防治范围的隐患点共18个。修正后的地灾点情况及防治方案见表1.2-1。

**修正后项目区地质灾害点防治一览表**

**1.2-1**

修正后地灾点编号	修正后里程桩号	修正后的地灾点名称	防治方案
S211-1	K2+105~K2+180	斋幽路 K2+105~K2+180 处左侧崩塌隐患	K2+105~145段坡脚设2.5m挡土墙； K2+145~180段GPS-150-C覆盖式引导系统
S211-2	K3+520~K3+600	斋幽路 K3+520~K3+600 处右侧崩塌隐患	坡脚滑塌体清除+上部APS-300-P主动防护系统+下部GPS-300-O张口式引导防护系统+局部危岩锚杆加固
S211-3	K9+750~K9+770	斋幽路 K9+750~K9+770 处右侧崩塌隐患	APS-150-P主动防护系统
S211-4	K9+990~K10+042	斋幽路 K9+990~K10+042 处右侧崩塌隐患	滑塌体清除+锚杆挂钢筋网喷砼+植被混凝土绿化
S211-5	K10+465~K10+520	斋幽路 K10+465~K10+520 处右侧崩塌隐患	GPS-300-O张口式引导防护系统+局部危岩清除+局部危岩锚杆加固
S211-6	K13+000~K13+135	斋幽路 K13+000~K13+135 处右侧崩塌隐患	K13+000~020段(易滑塌段)坡脚设1.5m挡土墙； K13+020~110段(易崩塌段)GPS-300-O张口式引导防护系统 K13+110~135段(易碎落段)APS-150-P主动防护系统

修正后地灾点编号	修正后里程桩号	修正后的地灾点名称	防治方案
S211-7	K14+520~K14+620	斋幽路 K14+520~K14+620 处左侧崩塌隐患	坡顶设PPS-200-DB-A被动防护系统+坡脚凹腔处的嵌补；其中K14+520~575段坡面设APS-300-P主动防护系统
S211-8	K14+867~K14+965	斋幽路 K14+867~K14+965 处左侧崩塌隐患	危岩清除+GPS-200-O张口式引导防护系统
S211-9	K15+500~K15+625	斋幽路 K15+500~K15+625 处左侧崩塌隐患	危岩清除+GPS-300-O张口式引导防护系统+危岩锚杆加固
S211-10	K16+120~K16+360	斋幽路 K16+120~K16+360 处左侧崩塌隐患	危岩清除+坡顶PPS-200-DB-A被动系防护系统+坡面APS-300-P主动防护系统+坡底凹腔回填嵌补
S211-11	K17+410~K17+500	斋幽路 K17+410~K17+500 处左侧浅层滑塌隐患	柔性格栅网
S211-12	K17+910~K18+010	斋幽路 K17+910~K18+010 处左侧崩塌隐患	危岩清除+APS-150-P主动防护系统+挡土墙
S211-13	K19+195~K19+208	斋幽路 K19+195~K19+208 处左侧浅层滑塌隐患	挡土墙
S211-14	K21+140~K21+200	斋幽路 K21+140~K21+200 处左侧崩塌隐患	挡墙顶设柔性格栅网
S211-15	K22+010~K22+090	斋幽路 K22+010~K22+090 处左侧崩塌隐患	GPS-200-O张口式引导系统
S211-16	K24+100~K24+300	斋幽路 K24+100~K24+300 处左侧浅层滑塌隐患	柔性格栅网
X007-1	K6+050~K6+065	斋柏路 K6+050~K6+065 处左侧崩塌隐患	危岩清除+APS-150-P主动防护系统
X209-1	K5+180~K5+250	军红路 K5+180~K5+250 处左侧浅层滑塌隐患	2.5m高挡墙

## 门头沟区公路路网图

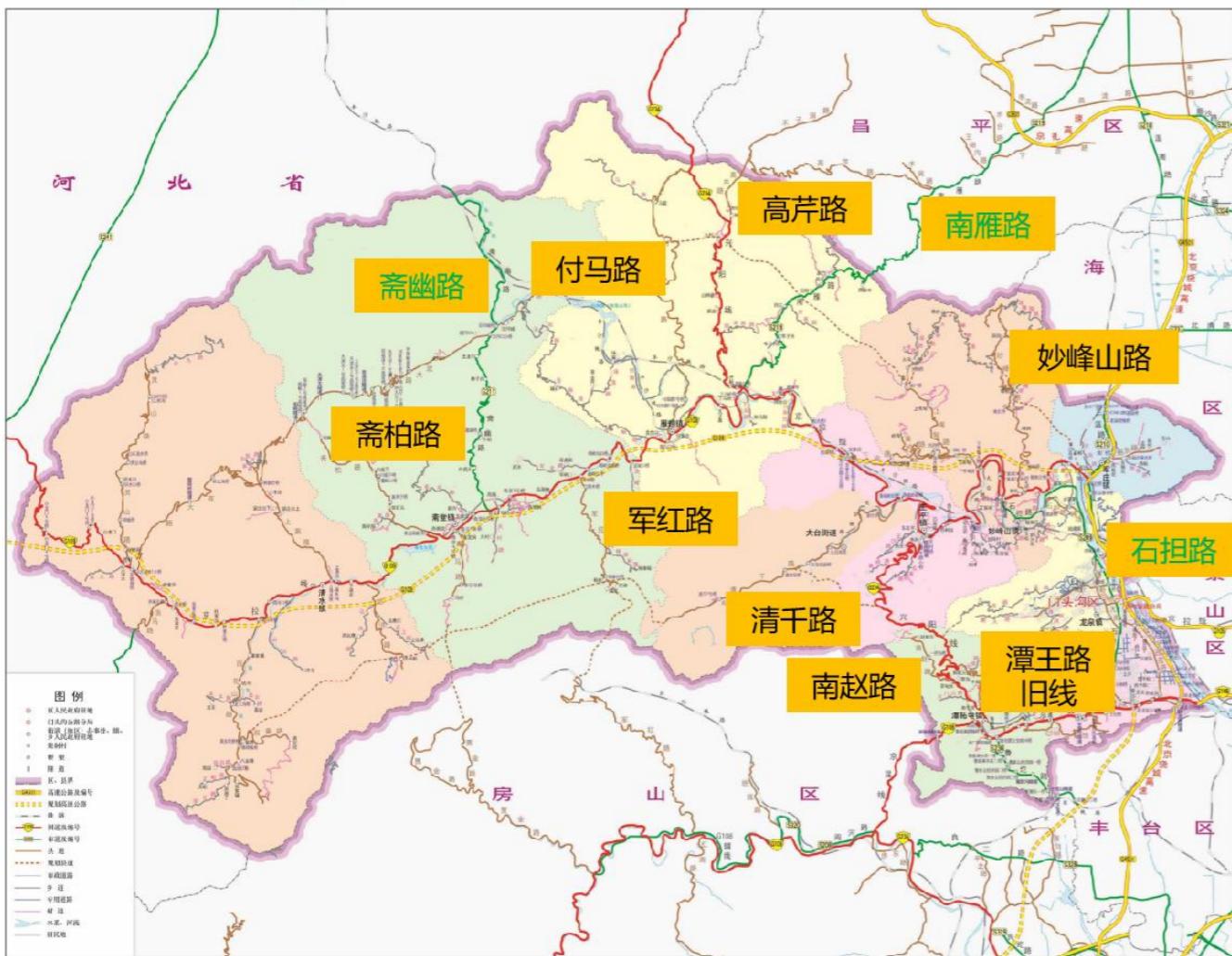


图 1.2-1 门头沟区公路路网图

## 2 自然地理与工程地质条件

### 2.1 自然地理条件

#### (一) 自然地理位置

工程地理位置属于北京市门头沟区，门头沟区位于北京城区正西偏南，距离城区约 25 公里，处于东经  $115^{\circ} 25' 00'' \sim 116^{\circ} 10' 07''$ ，北纬  $39^{\circ} 48' 34'' \sim 40^{\circ} 10' 37''$  之间。东西长约 62 公里，南北宽约 34 公里，总面积 1455 平方公里。其东部与海淀区、石景山区为邻，南部与房山区、丰台区相连，西部与河北省涿鹿县、涞水县交界，北部与昌平区、河北省怀来县接壤。

项目区地质灾害点位于 S211 斋幽路、X007 斋柏路、X209 军红路等公路沿线，交通条件好，其地理位置与交通条件见图 2.1-1。

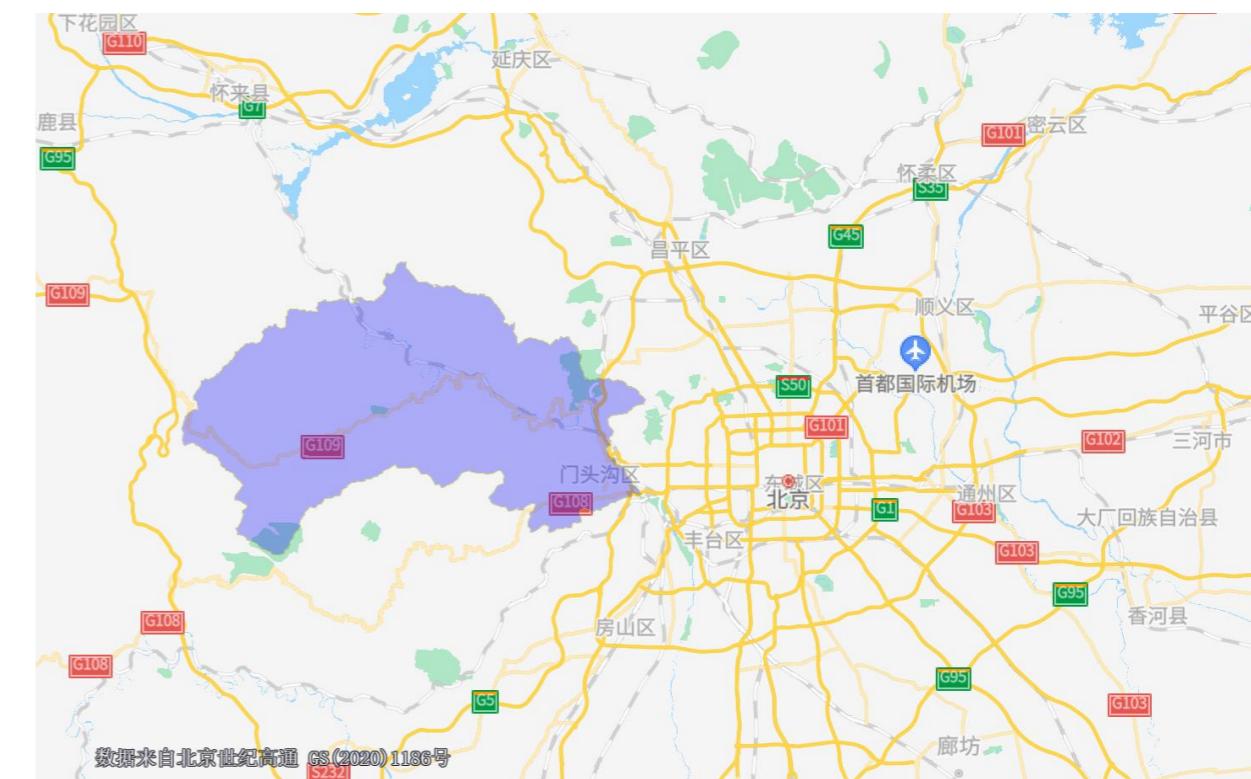


图 2.1-1 项目地理位置图

#### (二) 气象与水系

## (1) 气象

气候：门头沟区属中纬度大陆性季风气候，春季干旱多风，夏季炎热多雨，秋季凉爽湿润，冬季寒冷干燥。西部山区与东部平原气候呈明显差异。年平均无霜期 200 天左右，江水河村一带无霜期仅 100 天。日照时数较多，年平均日照 2470 小时。

气温：年平均气温东部平原 11.7℃，西部斋堂一带 10.2℃。极端最高气温东部 40.2℃，西部 37.6℃。极端最低气温西部-22.9℃，东部-19.5℃。春季 60 天，夏季 76 天，秋季 60 天，冬季 169 天，冬季漫长是境内气候的一大特征。全年日照总时数 2657.6 小时，无霜期 120-194 天。

降水：降水量自东南向西北逐渐减少，受中纬度大气环流的不稳定和季风影响，降水量年际变化大，年平均降水量约 600 毫米，汛期年均降雨量 489.8 毫米，占全年降雨量的 81.6%；最多为 970.1 毫米(1977 年)，最少为 377.4 毫米(1997 年)。

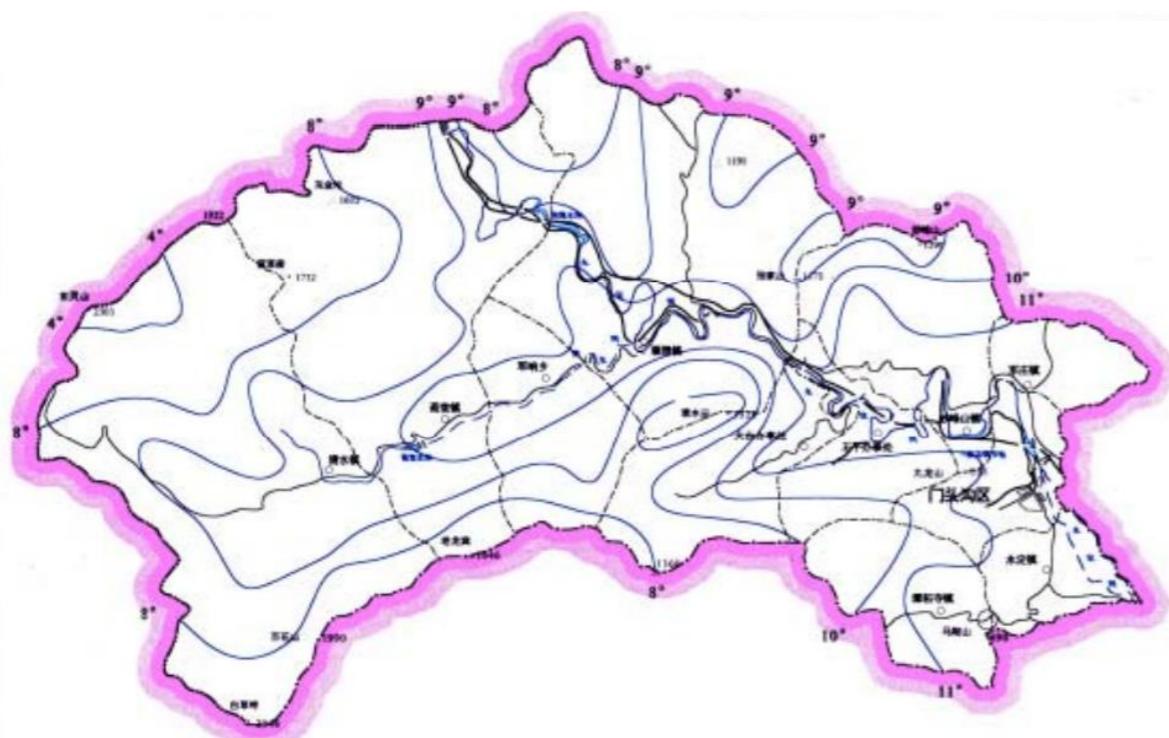


图 2.1-3 门头沟区多年平均年气温等值线图

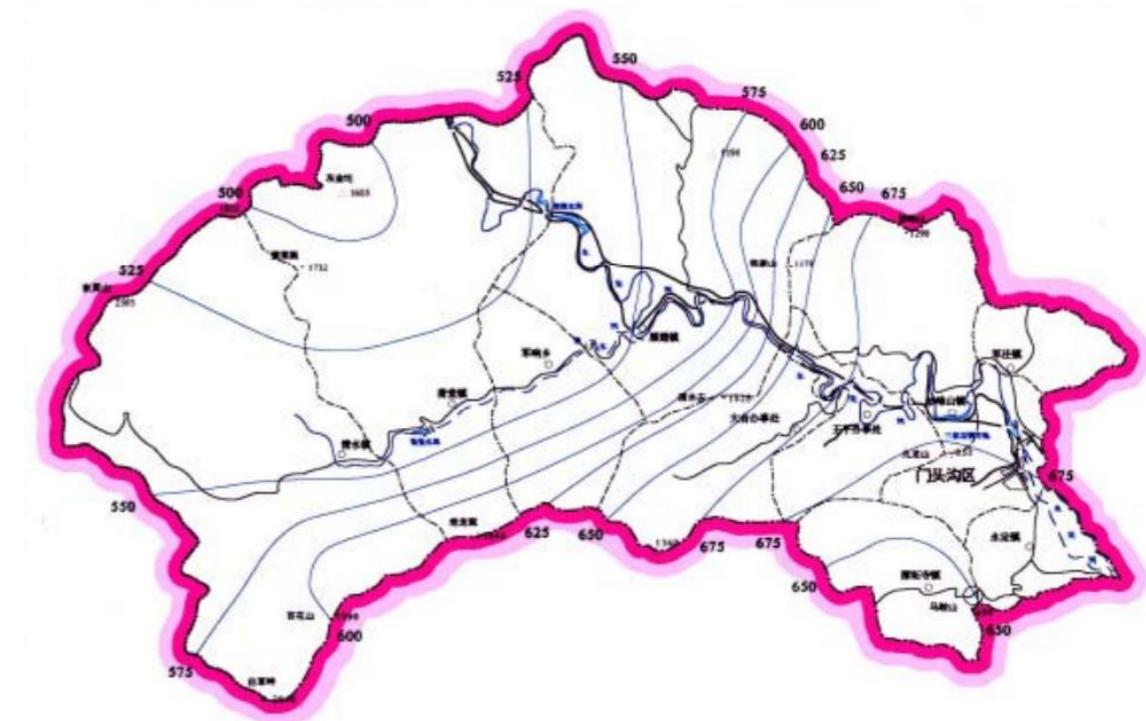


图 2.1-4 门头沟区多年平均年降水量等值线图

## (2) 水系

门头沟区内河流均属海河水系。

永定河是全区最大的过境河流，其自西北官厅水库以下的幽州附近入境，穿山峡后在三家店以下流向平原，境内河段约 100km，流域面积 1397.50km<sup>2</sup>，自官厅水库至三家店区间称“官厅山峡”。主要支流有清水河、湫河、清水涧沟、苇甸沟、樱桃沟等，大小支流共 300 余条。由于受上游降水不均匀的影响，其流量极不稳定。境内流域范围坡度陡，河道坡降大，入境处海拔 373 米，出境处为 73 米，河道坡降为 2.99%，故水流湍急。加之上游流经黄土地区，河水含沙量较多，平原地区的河道不断发生淤积，迁徙不定，故史有“洋河”、“小黄河”、“无定河”之称。直至 20 世纪 50 年代修筑了官厅水库后，才改变永定河的水文特征。

清水河是永定河官厅山峡最大支流，为境内第二大河，上游有两支，北支发源于灵山，南支发源于百花山，两支于塔河口汇合，自西向东经上、下清水、斋

堂、军响在青白口村注入永定河，河道全长 35 公里，河谷宽阔，是门头沟区主要耕作区。

湫河自北向南由杨村入本区经大村、西口子、马家套在珠窝村下附近汇流入永定河,河道长 29.8km,流域面积 214.5km<sup>2</sup>。

清水涧沟自大寒岭经千军台、板桥在清水涧附近与永定河汇流，河道长 16.0km，流域面积 69.25km<sup>2</sup>。

苇甸沟自妙峰山经禅房、炭厂至下苇甸入永定河，河道长 15.0 km，流域面积 55.5km<sup>2</sup>。

樱桃沟自妙峰山经涧沟、南樱桃至担礼入永定河，河道长 14.0km，流域面积 36.25km<sup>2</sup>。

## 2.2 工程地质条件

### 2.2.1 地形地貌

北京市门头沟区地处蒙古高原向华北平原过渡地带，地形骨架形成于中生代的燕山期构造运动。区内平缓的山地与陡峭的山坡交替出现，地形呈锯齿状、阶段性上升。门头沟地形总的趋势是：西北高，东南低，从西北向东南逐渐由中山过渡到平原。整体地形特点可概括为“四山三川夹一河”，四列南西—北东走向的山脉自西向东依次为：灵山—黄草梁—灰金坨—笔架山、白草畔—百花山—老龙窝—鬃鬃山—清水尖—妙峰山、九龙山—香峪、马鞍山—卧龙岗。过渡带内由于山地切割严重，各岭脊之间分列着褶皱、断裂构造形成的大大小小的沟谷 300 余条，整体构成地形特点中的“三川”。永定河作为区内地貌特征中的最重要的“一河”自西北向东南切穿四列大山，形成 100 余公里的峡谷和宽山、窄谷的景观。

该区域自燕山运动以来，一直处在上升过程中，隆起阶段与宁静阶段交互出现的地壳活动与外力作用相配合，形成了多层次地貌。区内平缓的山地与陡峭的山坡交替出现，地形呈锯齿状、阶梯式上升。区内分布有北京的最高峰—灵山，海拔 2303m；南侧的永定镇四道桥为门头沟区的最低点，海拔约 73m。

区域的整体地貌类型属山地地貌，根据绝对高度和相对高度可进一步划分为中山区、低山区及山间沟谷流水侵蚀与堆积地貌，在永定河山间河谷段两岸一般都发育有数级阶地。山前洪冲积平原地貌仅分布于永定河出山口的冲洪积扇、阶地及漫滩。

#### 1) 中山区

海拔高程大于 800m，平均高度约 1250m，占门头沟区山地总面积的 50%。由于受北东向构造线控制，形成三条呈北东向平行排列的山岭主脊。北部中山平均海拔 1400m，主要由蓟县系雾迷山组厚层巨厚层灰岩、燧石条带白云岩组成，形成大片倾斜平缓的岩溶高原，最高峰为东灵山海拔 2303m；南部中山为一典型的倒转复式向斜，平均海拔 1000m，主要由侏罗系火山岩组成，分布于妙峰山、百花山一线，最高峰为白草畔 2035m；东南部中山规模较小，平均海拔仅 850m，主峰绝石梁海拔 956.7m。

#### 2) 低山区

海拔 800m 以下的山地，坡度一般在 25° ~45° 。除受北东向大构造控制外，明显受小构造干扰和差别侵蚀，地形较为破碎，有的呈低山丘陵。与河谷相对高差 100~200m 左右。

#### 3) 河谷台地

主要分布于清水河河谷和永定河河谷，沿河谷两侧不连续分布。河谷台地一般三级，分早、中、晚更新世。其中发育和保存较好的是中、晚更新世，尤以晚更新世马兰台地保存最好。冲积物厚 20~50m，中更新世阶地见有红色土。

#### 4)永定河冲洪积平原

该地貌类型位于门头沟区东南三家店至卧龙岗一带，面积仅占全区 1.2%，为永定河冲洪积扇之顶部，平均坡降 0.7%。根据地貌部位及沉积物对比，可分为切割破碎的永定河二级冲洪积平原台地和近代永定河一级冲洪积平原。

项目区道路地形起伏很大，线路穿越区域的整体地貌类型属山地地貌，根据绝对高度和相对高度可进一步划分为中山区、低山-丘陵区及山间沟谷流水侵蚀堆积地貌，在山间河谷两岸一般都有发育数级阶地。平原地貌仅分布于永定河出山口的冲洪积扇、阶地及漫滩。山体坡度一般在 30~50° 之间，因道路建设多形成路堑边坡，基岩裸露，局部切坡路段边坡直立，坡间分布 V 字型和 U 字型沟谷，山坡植被发育一般，以灌木为主间或分布松树，核桃树等，局部相对平缓处为人工砌石梯田，长满茂密杂草，少量树木。

### 2.2.2 地层岩性

门头沟区地层发育较齐全，从中元古界蓟县系起，除太古界地层没有出露，从震旦系的浅变质岩到第四纪沉积物都有出露，其中尤以中生界侏罗系最为发育。

根据区域地质资料及现场调查，工作区地层主要为上覆第四系全新统崩坡积层( $Q_4^{col}$ )、第四系冲洪积层( $Q_4^{al+dl}$ )、第四系残坡积层( $Q_4^{el+dl}$ )、下伏自蓟县系(Jx)至新近系(N)的多组地层，其中以侏罗系最为发育，分布范围最广。

工作区内出露地层由新至老依次为：

#### (一)崩坡积层( $Q_4^{col}$ )

主要为块石、碎石，灰色、灰褐色等杂色，松散，块石、碎石成份主要为，含量 50%~70%，粒径 10~200cm，棱角状，多数为角砾与粘性土壤隙。该层广泛分布于斜坡体中下部，裸露岩体下方，主要为上部灰岩、砂岩体崩塌堆积形成，厚度一般 0.2~0.5m 不等。

#### (二)冲洪积层( $Q_4^{al+pl}$ )

由河流搬运的物质组成，主要为砂砾与粘性土组成的含砾粉质粘土：黄褐色，主要由粘土、砂、砾组成，稍湿，可塑状，干强度韧性中等，稍有光泽，无摇振反应，局部含砂较多，厚度约 2~4m。

#### (三)残坡积层( $Q_4^{el+dl}$ )

主要为岩体风化岩块与粘性土组成的含砾、碎石粉质粘土，黄褐色，主要由粘土、砂组成，稍湿，可塑状，干强度韧性中等，稍有光泽，无摇振反应，局部含强风化碎石。该层为覆盖层，在勘查区表层连续分布，在山顶和山脊位置相对薄，据本次勘探揭露，层厚仅 0.5~1.0m。局部岩体风化强烈区域相对较厚，一般 1~3m。

(四) 新近系(N)：零星出露在斋堂—杜家庄的清水河南岸及山前地带。岩性为棕红色砾石层和棕红色黄土状亚粘土，砾石成分复杂但磨圆度较好。

(五) 白垩系(K)：区内出露范围不大，主要分布在齐家庄以南、公涧铺以北的分水岭地区以及沿河城南部地区。主要岩性为安山岩、流纹岩、流纹质熔结凝灰岩及火山碎屑岩。

(六) 侏罗系(J)：为区内分布最广泛的地层单元，自黄塔至妙峰山斜跨全区。其中下部窑坡组为本区最主要的含煤地层。岩性组合为：底部玄武岩、安山

岩及安山质火山碎屑岩；下部（窑坡组）粉砂岩、细砂岩、粗砂岩互层夹煤层；中上部砾岩、砂岩、凝灰质粉砂岩夹火山熔岩。

（七）二叠系（P）：分布于木城涧—色树坟—东杨坨、王平村—西峰寺一带。岩性组合为砾岩、砂岩、凝灰质砂岩、含砾石英砂岩夹煤层。

（八）石炭系（C）：分布于木城涧—潭柘寺、色树坟—灰峪一带，条带状展布，梨园岭以南，淤柏村北也有少量出露。岩性组合主要为粉砂岩、细砂岩、泥质岩夹煤层。

（九）奥陶系（O）：主要分布于木城涧—北岭—潭柘寺以南地区、色树坟—灰峪以北地区以及杜家庄—王家山以北地区，呈北东向带状展布。岩性以厚层灰岩、泥质条带灰岩及角砾灰岩与白云岩互层为主。

（十）寒武系（E）：主要分布在梨园岭—刘家峪、青白口—大村以南一带，总体呈北东向展布，下苇甸、鲁家滩等地也有出露。岩性组合为豹斑泥晶灰岩、鲕粒灰岩及竹叶灰岩与粉砂岩互层。岩石较坚硬，但常夹有软弱岩层，岩体强度有所降低，形成的山体多以低山为主。

（十一）青白口系（Qn）：主要分布于燕家台—柏峪台、青白口—大村一带，鲁家滩以南有少量出露。岩性组合主要为黑色页岩、粉砂岩及石英砂岩等。岩石抗风化能力较弱，极易破碎。

（十二）蓟县系（Jx）：广泛分布于区内西北部梨园岭—沿河城—青白口以北地区。岩性组合为灰白色巨厚层—厚层状硅质条带白云岩夹薄层状黑色页岩。岩石坚硬，层理发育，多形成陡峻的高山。

（十三）岩浆岩：区内侵入岩不甚发育，仅以岩枝、岩株、岩床等形式零星分布。

主要岩性包括：辉长岩、花岗岩、花岗闪长岩、二长斑岩、闪长岩、闪长玢岩、石英斑岩等。较大岩体有：棋盘岩辉长岩体，出露面积约 10 平方公里、上苇甸花岗闪长岩体，约 7 平方公里、碾台花岗岩体，约 7.5 平方公里、白羊石虎花岗岩体，约 20 平方公里（包括河北省部分）。除棋盘岩辉长岩体外，其余岩体均为燕山期岩浆活动产物。

各公路地灾点主要分布地层岩性一览表如下：

各公路地灾点主要分布地层岩性一览表

表 2.2-1

序号	公路名称	主要地层岩性	备注
1	S211 斋幽路	白垩系下统东岭台组（K <sub>1d</sub> ）英安岩、火山碎屑岩；侏罗系中统龙门组（J <sub>2l+j</sub> ）砂砾岩、粉砂岩；侏罗系下统窑坡组（J <sub>1y</sub> ）砂砾岩；蓟县群杨庄组与雾迷山组（Pt <sub>2r+w</sub> ）页岩、泥质白云岩；燕山期（η o <sub>5</sub> <sup>2</sup> ）石英二长岩等	/
2	X007 斋柏路	侏罗系上统髫髻山组（J <sub>3t</sub> ）安山岩、变质砂岩、砾岩、火山碎屑岩等	/
3	X209 军红路	侏罗系中统龙门组（J <sub>2l+j</sub> ）砂砾岩、粉砂岩等	/

## 2.2.3 地质构造

北京地区的构造格局形成于中生代，新生代以来得到进一步改造，其特点是以断裂及其控制的断块活动为主要特征。新生代活动的断裂主要有北北东—北东向和北西—东西向两组，大部分为正断裂性质，并在不同程度上控制着新生代不同时期发育的断陷盆地。

北京平原区的构造主要表现为一系列北东向或北北东向与北西向的断裂构造（其中以北东向断裂构造为主）。这一构造格局在中生代晚期已基本形成。自中生

代末期以来，平原区内又形成了北东向的西山迭坳褶、北京迭断陷、大兴迭凸起、大厂新断陷等隆凹相间的构造格局。新近纪末期，特别是第四纪期间，新构造运动表现出明显的新生性，改变了早期北京断陷的构造格局：丰台凹陷古近纪和新近纪沉降中心大部在第四纪期间消失，转而表现为微倾斜相对抬升；沙河、顺义附近形成了新的凹陷和沉降中心，第四系厚度可达 600~800m，凹陷边界受隐伏活动断裂控制，等厚度线表现出地块的掀斜和水平扭动。

门头沟区位于燕山台褶带之西山迭坳褶，包括青白口中穹褶和门头沟迭陷褶。燕山期经历了较强烈的构造变形，形成了一系列大规模的褶皱构造，断裂构造较为发育。

### （一）褶皱构造

区内褶皱构造发育，是北京地区中生代向斜构造规模较大的分布相对集中的地区。褶皱核部一般较宽阔、平缓、两翼较陡，形似箱装。其中一北东向褶皱规模较大，东西向和北西向次之，近南北向者规模较小，且不发育。

(1)燕家台复式背斜：出露于门头沟区最西部。它包括西北翼的烟筒山向斜、轴部的燕家台背斜、东南翼的梁家山向斜、传子岭—川底下背斜、梁家庄南向斜。各背斜核部由中上元古界组成，向斜核部由寒武系、奥陶系组成。背、向斜两翼产状一般 $30\text{--}40^\circ$ 。晚期受同方位沿河城断裂等切割破坏，局部褶皱构造形态较复杂。

(2)百花山—髻髻山复式向斜：呈北东东向斜贯门头沟区中部，规模巨大，是西山重要的构造单元之一。包括军响南背斜、庙安岭向斜、大背梁—煤窝梁背斜及其南侧向斜等。

(3)门头沟复式背斜：出露于门头沟区东部。自西北至东南有王平村背斜、九龙山—香峪大梁向斜、红庙岭背斜、石景山向斜、石门营背斜。褶皱舒缓波状。北翼和核

部产状较平缓，南翼往往因伴有断层产状陡立，甚至倒转。

(4)百花山向斜：为一略向南西缓倾伏，轴面向南东陡倾的斜外箱状向斜。北东端于斋堂西南略翘起，西南倾伏端为燕山晚期镇厂向斜截切掩覆。东翼伴有马兰倒转脊状背斜及逆冲断层，产状稍陡，西北翼及向斜核部岩层产状较缓。

(5)髻髻山向斜：位于髻髻山—妙峰山一带，形态与百花山向斜类似，呈北东走向，轴面向南东陡倾，唯一斜歪箱状向斜。西北翼产状较缓，核部开阔平坦，东南翼伴有斜歪并倒转的脊状背斜及逆冲断层，受早期构造限制和晚期构造改造，东北和西南端褶皱轴方位略有偏转，总体上呈现出“S”型特征。

(6)青白口半穹隆：系燕山早、中期构造改造而成，出露于门头沟区北部，为一轴向北西—北北西、轴面近直立、南端岩层产状直立闭合、东西两翼产状较陡、顶部岩层产状平缓、北部北东向沿河城断裂阻隔成限制的鼻状隆起构造。

(7)镇厂—杜家庄向斜：出露于本区最西部，区内部分仅为向斜北段翘起端。东翼产状倾向北西西，倾角 $30\text{--}45^\circ$ ，核部岩层产状平缓，西至西北翼倾角较小，为一轴面略向东陡倾的不对称向斜。

(8)下苇甸穹隆：出露于髻髻山向斜之东侧，穹窿轴向近南北、轴面近直立，规模相对较小。

另外，在马兰—斋堂等地有一些规模较大的南北向褶皱，在潭柘寺等地，于早期向斜南翼有一些镶边的南北向小褶皱，是燕山晚期褶皱构造叠加的结果。

### （二）断裂构造

区内断裂构造较发育，以北东向、北北东向为主，东西、北西向次之。

(1)大断裂：区内大断裂仅有一条—沿河城断裂，其走向北东 $50^\circ$ 左右，倾向

南东，倾角 $60^{\circ}$ — $70^{\circ}$ 。出露于北东向燕家台复式背斜与髫髻山—百花山复式向斜之过渡带。该断裂经历了多期次的活动，有较复杂的相对运动和变形过程。燕山早期在北北西-南南东方向挤压应力作用下，随着北东向褶皱的进一步发展，该断裂以反时针压剪性破裂出现；燕山中期在北西-南东向挤压应力作用下，断裂仍为压剪性，但作顺时针扭动，东盘向西盘上冲；燕山晚期在区域性北西西-南东东向挤压应力作用下，断裂表现为张剪性顺时针滑动，东南盘正断下掉；新生代以来，断裂的部分地段仍表现出活动性，呈明显的正断层性质。

(2)一般断裂：区内一般断裂主要包括北东向断裂和北北东向断裂。

北东向断裂：基本定形于燕尾服山早期，常被形成时代稍晚的北北东向断裂迁就利用，使其延展方位常发生向北北东向偏转，正常情况下走向多在北东 $50^{\circ}$ — $60^{\circ}$ 左右，向东南或西北倾斜，倾角 $20^{\circ}$ — $45^{\circ}$ 不等。沿走向舒缓波状弯曲、糜棱岩、挤压片理化、破碎带常发育，常伴有明显的动力变质现象，具较明显的压性、压剪性特征，经常以逆冲、甚至逆掩推覆构造形式出现。部分地区由于后期构造珠不断隆起抬升，中断裂的中深构造层次常可见向韧性剪切断裂逐渐过渡的现象。该类断裂对燕山早期的岩浆侵入活动、燕山中期之火山喷发-沉积有较明显的控制作用。断裂的规模一般较大，长度可达 $10\text{KM}$ 以上，延伸较稳定，空间上常成束成带，并与北东向的褶皱构造密切伴生。区内出露较好的北东向断裂有斋堂—军响断裂束和木城涧一大台断裂带、斜河涧—寨口断裂、张家庄断裂、大地—四台子断裂等。

北北东向断裂：走向一般为北东 $20^{\circ}$ — $30^{\circ}$ ，倾向东南或西北，倾角 $30^{\circ}$ — $60^{\circ}$ 不等。延伸较稳定，规模多在 $20$ — $30\text{km}$ 以上。形态舒缓波状，常雁行斜列，具明显的压剪性特征。其形成时期大致为燕山中晚期，一般均截切东西向断裂，现今

仍有较大的活动性，特别是地平原区与其它构造交接部位，常有不同级别的地震发生。新生代以来，断裂性质由压剪性向张剪性焉断层转化。空间上呈带状分布。区内主要的北北东向断裂有齐家铺—白羊石虎断裂、王大台北断裂、珠窝断裂束、妙峰山断裂、涧沟断裂、大台—上苇甸断裂等。地质图见（图 1—5）。

## 2.2.4 新构造运动与地震

据《北京市门头沟区地震目录汇编》（内部资料），本区境内未发生过强震，但多次受到邻区强震影响。北京及周边地区( $38^{\circ} 51' \sim 41^{\circ} 34' \text{N}$ ;  $114^{\circ} 43' \sim 118^{\circ} 16' \text{E}$ )共查证到4.7级以上地震75次(不含余震)。计4.7~4.9级地震28次，5.0~5.9级地震33次，6.0~6.9级地震12次，7.0~7.9级地震1次，8.0级地震1次。最早的一次地震发生在公元294年居庸关一带，为6级地震；最近的一次地震发生在2006年7月4日河北文安县附近，为5级地震。总体来看，地震频率不高但破坏极大。如1679年9月2日三河-平谷地震，是中国东部人口稠密地区影响广泛和损失惨重的知名历史地震之一，也是北京附近历史上发生的最大地震。据史书记载，以河北省三河县和北京市平谷县的灾情最重，震中烈度为XI度，破坏面积纵长500千米，北京城内皇宫有多处损坏。再如1976年7月28日河北唐山大地震，是近年来中国东部震级最大、破坏性最强的一次地震，震中烈度为XI度。北京及周边周边地区发生过5.5级及以上的破坏性地震共23例。

根据GBI8306-2015《中国地震动参数区划图》资料显示，项目区地震烈度区属VIII度区，地震动峰值加速度 $0.2\text{g}$ ，地震动加速度反应谱特征周期值为 $0.4\text{s}$ 。设计地震分组为第二组。

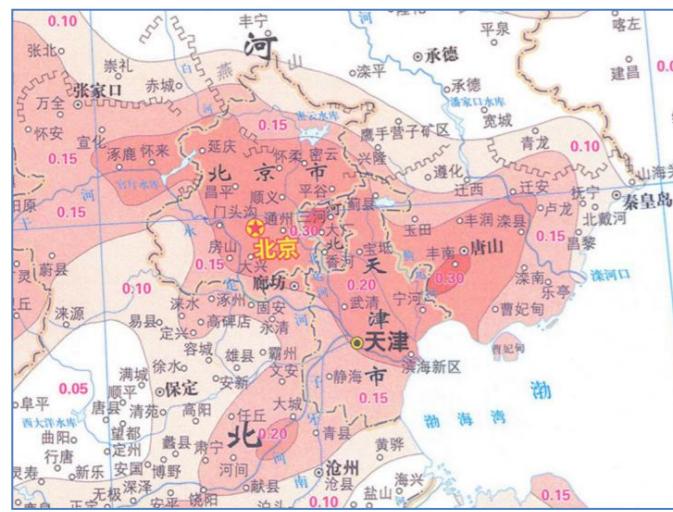


图 2.2-24 门头沟区地震动峰值加速度区划图



图 2.2-25 地震动加速度反应谱特征周期区划图

## 2.2.5 水文地质

### (一) 地表水

区内河流均属大海河水系。永定河自西北官厅水库以下的幽州附近入境，穿山峡后在三家店以下流向平原。境内河段约有 100km，流域面积 1397.50km<sup>2</sup>。自官厅水库至三家店区间称“官厅山峡”。主要支流有：清水河、湫河、清水涧沟、苇甸沟、樱桃沟等。

其次区内存有多处水塘，均位于山脚，水域面积约 100m<sup>2</sup>~1500m<sup>2</sup> 不等，多已硬化，蓄水状态良好；另部分山坡脚存在既有灌溉渠道，为上个世纪 70 年代砖混砌筑，通水情况一般，局部地段堵塞严重。

地表水补给来源主要为降雨及地下水排泄，水体顺山坡散流，顺势补给农田、旱地、水塘，通过溪河排泄，部分以蒸发形式排泄或下渗补给地下水。

### (二) 地下水类型

区内最主要的地下水类型为基岩裂隙水，分岩溶裂隙水和裂隙孔隙水两类。

1) 岩溶裂隙水：存在于奥陶系、青白口系的碳酸盐岩中。奥陶系灰岩分布在百

花山向斜两翼，质纯层厚，岩溶发育，是较典型的岩溶含水层。在地势低洼有利排泄地段，往往有大泉出露，如上清水泉。

青白口系灰岩质地不纯，溶蚀作用较差，很少有大泉出露。中元古界客迷山组分布面积较广，岩性主要是燧石条带白云岩，可溶性并不好。但性脆裂隙发育，地下水主要存在于裂隙中。

2) 裂隙孔隙水：包括碎屑岩裂隙孔隙水、岩浆岩裂隙孔隙水和第四系地层孔隙水。

碎屑岩裂隙孔隙水：主要赋存于石炭系、二叠系及侏罗系下统岩层中，岩性为砂岩、页岩互层夹煤层。组成向斜构造两翼。地下水存在于裂隙发育的砂岩中，水量比较丰富，多为层间水，具有承压性，在有利部位可自流。由于受页岩阻水，泉出露较多，沟谷中往往汇成小溪，终年不断。如斋堂一带，侏罗系下统砂岩含水层承压水可自流。在九龙山向斜南翼，石炭系、二叠系砂页岩分布区，井泉分布普遍，水位埋藏较浅，在煤系地层中地下水较丰富。

岩浆岩裂隙孔隙水：主要赋存在喷出岩含水岩组中。岩性为侏罗系玄武岩、安山岩、火山集块岩。构成百花山向斜的核部。岩性坚硬，裂隙不发育，储水条件差。

第四系地层孔隙水：主要分布于河道内或山间洼地处，赋存在第四系松散堆积层中，属潜水或滞水，其分布及水量受季节性降雨、地层岩性、地形条件等影响较大。主要接受大气降雨、地表水、基岩裂隙水等补给，补给条件较好，以蒸发、泉水、沿土体内部孔隙或基岩裂隙下渗、向低洼沟谷中渗流的方式排泄。

## 2.2.6 不良地质与特殊性岩土

## (一) 不良地质

项目公路沿线发育的不良地质主要有崩塌、岩堆、危岩、泥石流、岩溶、坡面溜滑等，分述如下：

**崩塌：**崩塌是门头沟区乃至全北京市山区常见的一种不良地质现象，崩塌主要是斜坡被陡倾的张性破裂面分割而成的块体突然脱离母体，一般以垂直运动为主，多处于岩石坚硬、性脆、构造节理发育的陡倾（山体坡度多大于 $55^{\circ}$ ）基岩坡面、地形陡峭地段或处于既有道路或建筑工程已开挖形成的高陡裸露边坡处，坡面多不平整，在雨水冲刷下，碎裂岩石易被雨水冲刷流失，产生崩塌。在项目区各公路边坡侧均有分布，规模从 $0.3m^3\sim10m^3$ 不等，其发生时间不受降雨限制，也较少制约因素，因此较难预防；对公路运营和行车安全影响较大。

崩塌具有集中性、群发性和突发性三种发育特征。集中性主要表现在崩塌在各水系流域广泛分布数量多，但都集中在某些区、段，有一定分布规律；群发性主要表现在崩塌在地域上分布集中，与它形成条件密切相关，在相同的地形地貌、地质构造的条件下，遇上暴雨、地震等触发因素，此类不良地质现象必然成群出现；突发性主要表现在崩塌的发生在时间上历时短暂，其突发性较为突出。

**岩堆：**指陡峻山坡上，岩体崩坍物质经重力搬运，在山坡坡脚或平缓山坡上堆积的松散堆积体，往往与崩塌伴生。本项目部分公路局部路段有分布，规模几一上百立方米不等。

**危岩：**为崩塌前期的特定表征形式，在既有公路开挖形成的高陡边坡或是自然山体陡峭斜坡段，岩体直接裸露于地表，经过长期的风化作用，岩体及结构面强度低，裂隙间充填物被冲刷殆尽，裂隙进一步扩张，岩石结构体间黏结力几乎为零，最终形

成危岩体；一般可简单划分为高位危岩（与地面相对高度 $\geq 30m$ ）和低位危岩（与地面相对高度 $<30m$ ）。项目区多条公路沿线分布有危岩，规模 $0.5m^3\sim30m^3$ 不等，成为公路运营的潜在威胁和隐患。

**泥石流：**本区泥石流较发育，泥石流面积占山区总面积的 16.18%，全区共发育有泥石流 103 条，潜在泥石流 17 条。由于受地形、地貌、地质构造、降雨及人为等因素的影响，本区泥石流分布极不均匀，主要集中在清水、斋堂、军响、雁翅四镇境内。

泥石流爆发突然，成因复杂，它是地质地貌、水文气候等多种环境条件综合作用下的产物，其时间和空间分布仍有一定的规律性，主要表现为其分布在空间上受主干断裂控制，多分布于节理裂隙发育的坚硬岩石区或软硬相间岩石区，多集中在中、小沟谷，与局部地区暴雨密切相关；泥石流时间分布上其活动强弱与洪水周期一致，多发生于每年的七月下旬至八月上旬的连续中高强度降雨时间段内。

本区泥石流主要为以沟源崩、滑塌触发沟床物质活动而形成的泥石流，其碎屑物颗粒分布范围一般在 $0.005\sim100mm$ ，具有粗颗粒含量大、粘性物质少的颗粒组成特点，其固体物质主要来自沟床物质和坡面物质，沟床物质包括古泥石流堆积物、冲积-冲洪积及洪积物、崩积物、坍塌堆积物及流失土壤等，坡面物质主要为崩塌、坍滑等，包括残积、残坡积的碎石土、砂土及基岩风化层的破碎石块等，前者占泥石流总补给量的 80%以上，后者仅占总补给量的 5-20%。

**岩溶：**主要分布于奥陶系、青白口系的碳酸盐岩中，形态表现为地下溶洞、溶蚀裂隙为主，规模一般不大，洞中局部充填有含砾黏土等冲洪积物，对公路影

响相对较小。

**坡面溜滑：**坡面溜滑主要集中在残坡积层相对略厚（多大于 0.5 米），地形坡度在 25-40° 间的坡面上，规模一般几一几十立方米，大者可超几百立方米，当地人称“龙扒掌”或“山剥皮”。

**积雪：**门头沟区最低气温西部-22.9℃，东部-19.5℃。冬季 169 天，冬季漫长，冬季路面积雪对道路通行影响较大，岩质边坡积雪反复冻融加剧坡面岩体破坏从而诱发崩塌。

**强震区：**根据 GBI8306-2015《中国地震动参数区划图》资料显示，项目区所有地灾点的地震烈度区属Ⅷ度区，地震动峰值加速度 0.2g，地震动加速度反应谱特征周期值为 0.4s。设计地震分组为第二组。

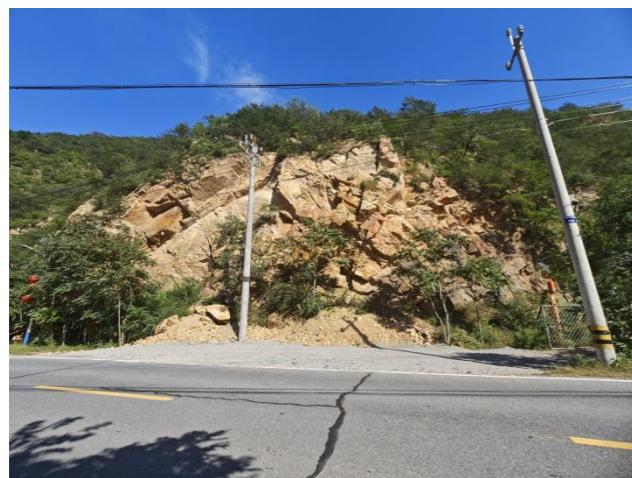


图 2.2-1 崩塌、岩堆



图 2.2-2 危 岩



图 2.2-3 泥石流



图 2.2-4 坡面溜滑

## (二) 特殊性岩土

项目公路沿线发育的特殊性岩土主要有人工填土、煤层、崩解性岩石等，分述如下：

**人工填土：**主要分布于项目区既有公路路基区，以素填土为主，厚度 0.3~10m 不等，填筑时间长，已经完成自身固结沉降，并经多年车辆运营碾压，物理力学性质相对较好。

**季节性冻土：**门头沟区年平均气温东部平原 11.7℃，西部斋堂一带 10.2℃。极端最高气温东部 40.2℃，西部 37.6℃。极端最低气温西部-22.9℃，东部-19.5℃。春季 60 天，夏季 76 天，秋季 60 天，冬季 169 天，各地灾点的冻土为季节性冻土，冬季冻结，夏季全部融化，周期性的冻融对地基的稳定性影响大。

**煤层：**项目区石炭系中统本溪组、二叠系山西组和侏罗系下统窑坡组地层中局部分布有煤层，煤层常以夹层产出，厚度一般不大，在本项目 X017 清千路后半段见有分布。

**崩解性岩石：**项目区新近系及部分侏罗系砂泥岩因层厚较薄，泥质含量偏高，往往具有一定崩解性，存在受水浸泡软化、崩解、风化碎落的特性，易形成落石。

## 2.2.7 人类工程活动

区内对地质环境影响较大的人类工程活动主要是道路建设。道路修建与后期维护带来了对原有植被的破坏、开挖削坡形成了高陡的人工边坡。这些不仅对地质环境条件有一定程度的破坏，并破坏了自然斜坡原有的应力分布状态。在后期的应力重分布过程中，坡体形成了沿结构面向临空方向的卸荷松动、崩塌及上部松散堆积物的坍塌。人类工程活动的进行加大了边坡自身及上部松散堆积体的不稳定性。

## 3 勘查工作及地灾状况

### 3.1 勘查工作

勘查主要采用资料收集、测量、地质调绘、挖探、取样测试、影相拍摄、无人机航拍、三维倾斜摄影等综合手段进行，基本查明了各公路沿线的地灾点（段）工程地质条件、水文地质条件和各地灾点（段）的类型、规模等，包括崩塌、危岩等的物质组成、基本特征、变形特征、灾情和险情，分析了崩塌、危岩等的形成机制、破坏模式。

本次勘查主要结论有：

(1) 崩塌、危岩等地质灾害位于门头沟区 S209 石担路、S211 斋幽路、S219 南雁路、X002 妙峰山路、X007 斋柏路、X016 南赵路、X017 清千路、X209 军红路、X210 高芹路等列入 2025 年度计划的地质灾害治理点位及应急抢险等突发工程的公路沿线，出露基岩为下伏白垩系下统东岭台组 (K1d) 英安岩、火山碎屑岩；侏罗系上统髫髻山组 (J3t) 安山岩、变质砂岩、砾岩、火山碎屑岩；侏罗系中统龙门组 (J2l+j)

砂砾岩、粉砂岩；侏罗系下统窑坡组 (J1y) 砂砾岩；三叠系上统杏石口组 (T3J1) 页岩、砂岩、砾岩等；奥陶系下统冶里组 (O1l) 白云质灰岩、泥晶灰岩；奥陶系下统上下马家沟组 (O12) 灰岩、白云岩等；寒武系上统 (E3) 泥晶灰岩等；寒武系中下统 (E1+2) 泥晶灰岩、泥岩、粉砂岩等；青白口群下马岭组与长龙山组、景儿峪组并层 (Pt31) 页岩、砂岩、泥晶灰岩等；蓟县群杨庄组与雾迷山组 (Pt22r+w) 页岩、泥质白云岩；燕山期 (n o52) 石英二长岩等。分布区内地形陡峭，局部成陡崖微地貌，坡度一般大于 70°，局部临空面近乎直立。

(2) 各地质灾害点（段）场区覆盖层厚度整体薄，厚度多在 0.5m 以下，少量为 0.5~1.0m 间，部分场地基岩直接裸露。

(3) 各崩塌、危岩地质灾害点岩体完整性受结构面控制显著，隐患点坡表多被切割成层状、碎裂块状、镶嵌块状等结构。经综合分析各隐患点所处斜坡位置、坡度、主控结构面发育状况及近期变形史，各隐患点整体处于基本稳定状态—欠稳定状态，但坡面岩体节理裂隙发育，加之前缘临空，发生零星岩块的可能性大，危岩体长期若遇外动力或强降雨等因素，岩体结构遭受破坏，易发生局部小型崩塌。

(4) 按《地质灾害治理工程实施技术规范》(DB11/T1524-2018) 和《崩塌防治工程勘查规范(试行)》(T/CAGHP011-2018) 等标准规范，各崩塌隐患点防治工程等級主要为二级，少为三级。

(5) 通过本次勘查，对治理工程的社会效益、经济效益和环境效益进行了评估，危岩的防治工程具有重要意义，可最大限度降低对坡脚公路的威胁和损失。

(6) 岩土物理力学参数

根据本次勘查成果，并结合当地相关工程经验值综合取值如下表：

岩土物理力学参数建议值表

表 3-1

岩土名称	重度 (kN/m <sup>3</sup> )		抗压强度 (MPa)		抗拉强度 (MPa)		抗剪强度		承载力特征值 Fak (kPa)	岩体对挡墙基底摩擦系数 $\mu$	极限粘结强度标准值 frbk (kPa)		
	天然	饱和	天然	饱和	天然	饱和	天然	饱和					
中风化 (粉)砂岩、变质 砂岩	27.0	27.5	30	25	3.0	2.5	300	/	42. 5	/	1200	0.55	800
砂岩 结构面	/	/	/	/	0.6	0.5	27. 5	21. 5	27. 5	21	/	/	/
中风化 砾岩	26.0	26.5	25	20	2.5	2.0	250	150	40	35	1000	0.52	600
砾岩 结构面	/	/	/	/	0.25	0.2	32. 5	24. 5	23. 5	18. 0	/	/	/
中风化 白云岩	27.5	28.0	85	73	8.5	7.3	450	/	45	/	1500	0.6	1000
白云岩 结构面	/	/	/	/	0.85	0.73	32. 5	24. 5	30	23. 5	/	/	/
中风化 灰岩	27.2	27.7	80	70	8.0	7.0	400	/	43	/	1400	0.58	950
灰岩 结构面	/	/	/	/	0.8	0.7	30. 0	22. 5	25	20	/	/	/
中风化 石英二 长岩	27.8	28.3	90	80	9.0	8.0	480	/	48	/	1600	0.62	1200
二长岩 结构面	/	/	/	/	0.9	0.8	35. 0	27. 5	28	23	/	/	/

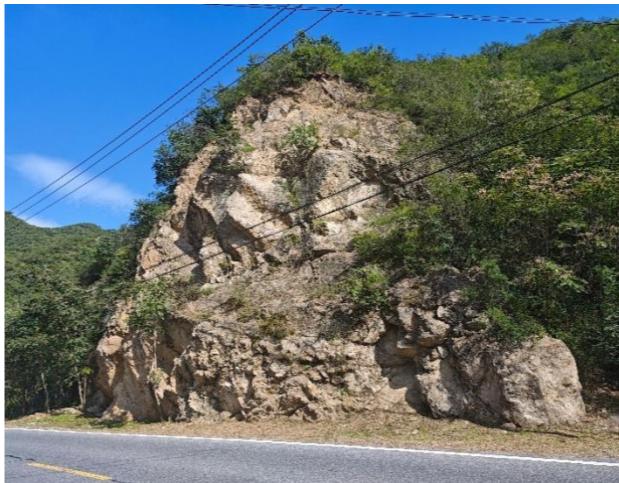


图 3.2-1 崩塌危岩 (斋幽路)



图 3.2-2 崩塌危岩 (妙峰山路)



图 3.2-3 坡面溜滑 (斋幽路)



图 3.2-4 泥石流 (高芹路)

### 3.2 地灾状况

根据本次勘查成果，本区各公路地质灾害类型主要为：崩塌、危岩、泥石流、坡面溜滑碎落等。

## 4 设计依据及设计标准

### 4.1 设计依据

《2025年门头沟区普通公路沿线地质灾害防治工程勘查设计》合同书;  
《2025年门头沟区普通公路沿线地质灾害防治工程勘查报告》。

### 4.2 规范标准

- (1) 《地质灾害防治条例》(2003年11月19日);
- (2) 《地质灾害分类分级标准》(试行)(T/CAGHP001-2018);
- (3) 《地质灾害治理工程实施技术规范》(DB11/T1524—2018);
- (4) 《崩塌防治工程勘查规范》(试行)(T/CAGHP011-2018);
- (5) 《崩塌防治工程设计规范(试行)》(T/CAGHP032—2018);
- (6) 《建筑边坡工程技术规范》(GB50330—2013);
- (7) 《建筑地基基础设计规范》(GB50007—2011);
- (8) 《混凝土结构设计规范》(GB50010-2010)(2015年版);
- (9) 《岩土锚杆(索)技术规程》(CECS22: 2005);
- (10) 《岩土锚杆与喷射混凝土支护工程技术规范》(GB50086-2015);
- (11) 《铁路沿线斜坡柔性安全防护网》(TB/T3089—2016);
- (12) 《边坡柔性防护系统》(JT/T1328—2020);
- (13) 《危岩落石柔性防护网工程技术规范》(试行)(T/CAGHP066-2019);
- (14) 《公路路基设计规范》(JTGD30—2015);
- (15) 《公路沥青路面设计规范》(JTGD50—2017);
- (16) 《中国地震动参数区划图》(GB18306—2015);

(17) 《建筑抗震设计规范》(GB50011—2010)(2016年版);

(18) 《建筑抗震设计标准》(GB/T50011-2010)(2024年版)。

### 4.3 设计标准

#### (1) 崩塌规模等级

根据《地质灾害分类分级标准》(试行)(T/CAGHP001-2018)第4.2.3节, 崩塌规模等级划分详见下表:

崩塌(含危岩体)规模等级表				
灾害等级	特大型	大型	中型	小型
体积V(万m <sup>3</sup> )	V≥100	100>V≥10	10>V≥1	V<1

表 3-1

#### (2) 受崩塌威胁设施重要性分类

参照《崩塌防治工程设计规范》(试行)(T/CAGHP032-2018)附录A, 受崩塌威胁设施重要性分类详见下表:

受崩塌威胁设施重要性分类表

表 3-2

重要性	设施类别
非常重要	放射性设施、核电站、大型地面油库、危险品生产仓储、政治设施、军事设施等
重要	城市和城镇重要建筑(含30层以上的高层建筑)、国家级风景名胜区、列入全国重点文物保护单位的寺庙、高等级公路、铁路、机场、学校、大型水利水电工程、电力工程、大型港口码头、大型矿山、油(气)管道和储油(气)库等
较重要	城市和城镇一般建筑、居民聚居区、省级风景名胜区、列入省级文物保护单位的寺庙、边境口岸、普通二级(含)以下公路、中型水利工程、电力工程、通信工程、港口码头、矿山、城市集中供水水源地等
一般	居民点、小型水利工程、电力工程、通信工程、港口码头、矿山、乡镇集中供水水源地、村道等

#### (3) 防治工程等级

参照《崩塌防治工程设计规范》(试行)(T/CAGHP032-2018)第 4.3.1 节崩塌防治

工程等级划分表，本工程防治工程等级划分详见下表：

防治工程分级表

表 3-3

防治工程等级		特级	I	II	III
威胁对象	威胁人数/人	$\geq 5000$	$\geq 500$ 且 $< 5000$	$\geq 100$ 且 $< 500$	$< 100$
	威胁设施的重要性	非常重要	重要	较重要	一般

#### (4) 危岩稳定安全系数

参照《崩塌防治工程设计规范》(试行)(T/CAGHP032-2018)第 5.3.2 节，危岩稳定安全系数取值详见下表：

危岩稳定安全系数

表 3-4

崩塌破坏类型	崩塌防治工程等级							
	特级		I 级		II 级		III 级	
	一般工况	校核工况	一般工况	校核工况	一般工况	校核工况	一般工况	校核工况
滑移式	1.40	1.15	1.40	1.15	1.30	1.10	1.20	1.05
倾倒式	1.50	1.20	1.50	1.20	1.40	1.15	1.30	1.10
坠落式	1.60	1.25	1.60	1.25	1.50	1.20	1.40	1.15

注：一般工况指天然工况和暴雨(融雪)工况，校核工况指地震工况

#### (5) 抗震设计

根据《中国地震动参数区划图》(GB18306—2015)附录 C，拟建场地对应 II 类场地的基本地震动峰值加速度为 0.20g，反应谱特征周期为 0.40s，地震烈度为 VIII 度。依据《公路桥梁抗震设计细则》(JTG/TB02—01—2020)，抗震设防烈度为 VIII 度。

## 5 总体设计思路

本项目防治措施综合考虑了各种因素(包括边坡高度、总坡度、陡与缓的局部形态、边线距离、岩体特征、施工条件等)而制定，过程中与业主方进行了充分有效的沟通，主要措施包括：

- (1) 对于偶发性、易落石的人工边坡或人工边坡坡顶以上存有危岩、崩塌、风险的自然斜坡，基本以柔性防护网(主、被动防护网及引导网)为主；
- (2) 对于有破碎节理发育、稳定性较差的危岩体增加了清除或锚杆加固措施；
- (3) 对于坡面滑塌、碎落以及易风化崩解的边坡，采用护面墙、挡墙进行加固支撑；
- (4) 结合门头沟为北京市区后花园和涵养区的功能定位，本次拟防治地灾点边坡采用整体提升景观绿化的工程设计理念，对景观绿化要求较高的重点路段边坡在工程措施基础上辅以植生袋或植藤措施以加强景观绿化效果。

本项目总体设计思路是以最优化的手段进行浅表层落石、危岩及岩土体控制，达到将灾害影响降低到最小的目的并对公路边坡适当增强景观绿化效果。

## 6 总体设计方案

考虑到本项目边坡数量较多，治理面积较大，采取全面治理的方式难度较大且费用较高，且崩塌具有突发性及不确定性等特点，因此，本项目采取“以防为主、防治结合”的总体设计方案。通过布置柔性防护网，将坡面危岩进行约束、拦截或引导至坡脚安全场地，避免对公路造成不利影响。同时根据危岩体稳定性

分析及评价，对方量较大、稳定性较差的危岩体采取清除或锚杆加固等措施。对局部土体崩塌、不稳定斜坡等采用坡面防护及加固等措施。

本项目主体工程为柔性防护网工程，按大类划分为3类，即主动防护网、被动防护网以及引导防护网，防护网型号综合考虑边坡岩体特征、危岩稳定性及运动特征、施工条件等因素按下表进行选取：

柔性防护网各类型号适用性选型表

表 5-1

类型	适用条件	选型依据
主动防护网	适用于节理、裂隙发育的弱风化硬质岩且整体稳定的路堑边坡防护	①对于高度小于20m的低矮边坡；②坡面岩体完整性较好的岩质陡边坡；③坡面起伏较大的高陡裸露岩质边坡；④允许对坡面扰动且可进行封闭施工的边坡；⑤落石频发率较低且发生落石后便于及时清理的边坡
被动防护网	适用于危岩落石防护工程，适用于整体稳定，但坡面(表)节理裂隙较发育、危岩发育较多，拦截落石后便于清理维护，且存在满足系统发挥作用产生最大变形时所需要的空间，一般设置于坡度相对较缓的坡体中下部及路堑堑顶或低矮路堤外自然斜坡	①现场有满足系统网片受冲击变形时不对防护对象造成损害安全距离条件；②孤石、危石分布较多且分散的坡面；③坡面起伏较小的裸露岩质边坡；④高度大于20m的上陡下缓边坡；⑤落石频发率低且发生落石后便于维护清理的边坡
引导防护网	适用于危岩落石防护工程，适用于整体稳定，但坡面(表)节理裂隙较发育、危岩发育较多，坡面(表)不宜过多扰动、清理困难、落石源与线路间高差大，且坡脚可进行落石收集或采用其他组合防护措施的高陡边坡	①存在浅表层潜在滑动或局部滑塌、塌落等变形破坏可能的土质或强风化的类土质边坡，或者是坡面大块孤石发生崩落后可能牵引后侧边坡浅表层失稳破坏并进一步引起其他孤石崩落的块石土边坡，且坡脚有落石堆积区的边坡；②对于坡面锚固条件较好的陡边坡；③维护条件较差、清理工作难度较大或存在潜在落石频发率较高的边坡

各公路典型地灾点治理里程段防护网型号详见分项工程设计说明。

## 6.1 危岩清除工程

对坡面破碎危岩体及浮石进行清理，块径较小的危岩体采用撬棍撬除，较大块危岩体采用钎锤或风镐破碎，大块危岩体采用静力爆破等方式进行解体后清除。危岩体务必清除到位，避免工程扰动形成新的危岩体。

## 6.2 堆积体清除

堆积体清除是针对边坡脚积累了从上部滑落的碎石、土体形成的不稳定的堆积体，滑坡堆积体清除的主要作用包括减少灾害风险、恢复土地利用、改善生态环境。

## 6.3 主动防护系统工程

根据边坡坡度、坡高、危岩稳定性以及发育情况、防护能级等因素，分别采用主动钢绳网、主动绞索网等措施，基本方法均为将现坡面松动岩块清理剥离，采用钢绳(钢筋)锚杆锚入稳定岩层，覆盖柔性防护网并与锚杆有效连接，其为主动防护，防止石块剥落，其优点为耐久性强、美观，坡面可结合自然植被或绿化。施工中需将现灌木切断主干，保留根系，待其穿过钢丝网自然繁殖成长。

## 6.4 被动防护系统工程

针对边坡坡高较高、施工难度较大、且存在上陡下缓的有利地形时，在合适位置布置被动防护网。

## 6.5 引导防护系统工程

包括覆盖式引导网以及张口式引导网。在高陡边坡的中间部位向下设置张口式引导网，无需承接上部落石时采用覆盖式引导网，其目的为引导落石进入限定区域，维护简单，不危及行车。

张口式引导网结构配置为：钢柱+支撑绳+锚杆+拉锚+减压环+主网+格栅网。

覆盖式引导网结构配置为：支撑绳+锚杆+主网+格栅网。

## 6.6 挡土墙工程

主要针对不稳定斜坡，为确保边坡的整体稳定，采用坡脚设置 C25 混凝土挡土墙进行支挡。

## 6.7 危岩锚杆捆绑加固工程

锚杆可以深入到岩石体内部，将其与岩石体紧密连接起来，从而增加岩石体的整体稳定性。这种方法利用了锚杆的抗拉强度，提高了滑动面的抗滑力，并且锚杆自身也提供了部分抗剪力。在加固过程中，需要根据危岩体的具体情况来确定锚杆的布设间距、长度以及施工工艺，确保加固效果达到最佳。

## 6.8 锚杆加固工程

分为与主动防护网结合的系统锚杆加固以及单个危岩体的锚杆加固。主动防护网系统锚杆加固一般采用钢丝绳锚杆，钻孔直径 50mm，成孔方式采用手持式风镐钻进；危岩体锚杆加固一般采用直径为 25mm 的螺纹钢筋锚杆，钻孔直径 110mm，成孔方式采用潜孔锤或锚杆钻机钻进，锚杆间距一般  $2 \times 3m$ ，锚杆长度根据实际情况确定。

## 6.9 锚杆挂钢筋网喷砼支护工程

针对土质崩塌、易风化解体的碎裂岩质边坡等，为减少雨水对坡面的冲刷破坏降低崩滑风险，采用锚网喷砼进行支护，主体结构为加固锚杆及钢筋混凝土防护面层。

## 6.10 植被混凝土绿化工程

通过特殊配比的混凝土基材（含胶凝材料、骨料、改良剂及植物种子等）构建具备强度和孔隙结构的生长载体，结合工程防护措施与植被种植，实现边坡稳定、生态修复及景观营造的复合技术。主要应用于新建或既有交通线路的岩质、半岩质边坡（如挖方形成的裸露岩石边坡）、高陡土质边坡（坡度 $\leq 70^\circ$ ），对边坡进行绿化修复。

对于挂网喷砼坡面，因其坡面未绿化，景观效果一般，因此可结合植被混凝土技术对喷砼坡面进行绿化，既保证坡面的稳定性，又增加了边坡的绿化覆盖率。

## 6.11 岩体局部嵌补工程

岩体局部嵌补工程的主要作用是修复岩体中的裂缝、孔洞等缺陷，提高岩体的整体性和稳定性。岩体局部嵌补工程通过填补和加固岩体中的局部损坏部分，防止其进一步恶化，确保岩体的完整性和安全性。

## 6.12 路面修复工程

对因边坡治理施工损毁的路面进行修复，面层铣 9cm，路基层铣 1cm 后洒布透层封层，再摊铺 6cm 厚 AC-20 中粒式沥青混凝土，后摊铺 4cm 厚 AC-13 细粒式沥青混凝土。

本设计文件工程量统计为设计理想情况，实际施工中应按通用图要求布设，可根据实际地形、地物进行适当调整；设计工程数量详见相应工程数量表，最终数量以现场实际收方为准。

## 7 治理分项工程设计

### 7.1 K2+105~K2+180 处左侧崩塌隐患防治工程（项目编号：S211-1）

#### 7.1.1 基本情况

S211-1 崩塌隐患点位于斋幽路 K2+105~K2+180 处左侧边坡。防治区域如下：



图 7.1.1 防治区域全貌

#### 7.1.2 勘查主要结论

##### 7.1.2.1 位置分布、基本特征及危害对象

根据现场勘查结合区域资料，坡体主要由侏罗系龙门组砂砾岩组成，中风化状态，露褐色，多呈薄~厚状分布，岩质较硬。边坡整体坡向  $117^\circ \sim 121^\circ$ ，坡面基岩裸露，坡角较平缓，自然斜坡坡度约  $5\sim 15^\circ$ ，局部发育灌木植被，坡面表层岩体因不利结构面切割、风化等影响，局部发生小规模掉块落石现象，隐患点现状坡率  $1:0.1\sim 1:0.3$ ，最高约 18m。其基本特征详见地质灾害隐患点综合分析评价表。

构面切割、风化等影响，局部发生小规模掉块落石现象，隐患点现状坡率  $1:0.1\sim 1:0.3$ ，最高约 18m。其基本特征详见地质灾害隐患点综合分析评价表。

根据现场调查，该隐患点主要威胁斋幽路过道车辆及行人安全，按《地质灾害治理工程实施技术规范》（DB11/T 1524-2018）和《崩塌防治工程勘查规范（试行）》（T/CAGHP011-2018）等标准规范，该崩塌隐患点防治工程等级为Ⅱ级。

S211-1 崩塌地质灾害隐患点综合分析评价表

表 7.1.2-1

地质灾害点 编号	S211-1	里程桩号及边侧	斋幽路 K2+105~K2+180 处左 侧
既有边坡状况			边坡整体坡向 $117^\circ \sim 121^\circ$ ，坡面基岩裸露，坡角较平缓，自然斜坡坡度约 $5\sim 15^\circ$ ，局部发育灌木植被，坡面表层岩体因不利结构面切割、风化等影响，局部发生小规模掉块落石现象，隐患点现状坡率 $1:0.1\sim 1:0.3$ ，高度为 18m。
工程地质条件			勘查区地貌类型属构造剥蚀低山地貌；边坡坡面基岩裸露，坡顶以上地形较为平缓，自然斜坡坡度约 $5\sim 15^\circ$ ，灌木植被较发育。边坡为岩质边坡，坡体主要由侏罗系龙门组砂砾岩组成，中风化状态，露褐色，多呈薄~厚状分布，岩质较硬。岩层产状 $250^\circ \angle 29^\circ$ ；四组节理产状及密度为 J1:120° $\angle 65^\circ$ ，1~2 条/m，延伸 3~10m；J2:165° $\angle 41^\circ$ ，1~2 条/m，延伸 1~10m；J3:353° $\angle 75^\circ$ ，<1 条/m，延伸 2~15m；J4:65° $\angle 52^\circ$ ，2~3 条/m，延伸 0.5~3m。
不良地质现象			区内岩体节理裂隙发育，岩体切割成块状，加之人工切坡较陡，坡面长期裸露，表层岩体风化剥蚀，岩体破碎，因此区内主要不良地质现象为崩塌、危岩。
周边环境条件			坡脚为斋幽路，有 10KV 电杆、电力线等。
现状变形特征			该边坡无整体变形现象；现状变形破坏形式主要为表层岩体因不利结构面切割、风化等影响，局部发生小规模掉块落石现象。
地灾影响因素 及形成机制			①人类工程活动，区域人类工程活动强烈，边坡为建设 S211 道路爆破切坡所致，一方面，使得原本较完整的岩体产生多组不规则裂隙。而切坡坡度过

	<p>陡使得岩体在自重作用下沿裂隙缓慢向下弯曲、滑移。其中外倾坡体的裂缝形成了软弱基座，纵向切割的裂缝构成了崩塌体的两侧壁。另一方面，切坡在一定程度上破坏了陡崖的整体稳定性，为危岩的形成提供了临空条件，加快危岩的变形破坏。爆破和切坡过陡是该崩塌形成的初始成因；</p> <p>②强降雨，强降雨对崩塌的主要作用有三：一是水的物理化学作用降低了结构面的粘结力；二是在陡崖后缘裂缝中的水柱形成静水压力；三是入渗滑塌体外倾结构面内形成的扬压力作用，都使得危岩在雨季的稳定性大幅下降，因而暴雨对危岩体的稳定性影响极大；</p> <p>③风化作用，工程区域内季节变化明显，气温，湿度等风化因素变化剧烈，这些因素综合作用加速了危岩体裂隙的扩展，降低了岩体强度，加快了岩体的变形破坏。</p> <p>多组陡倾节理裂隙将局部岩体切割破碎，在陡倾临空坡面中容易产生坠落式崩塌破坏，表现为局部崩塌落石。</p>
稳定性因素分析	<p>(1) 岩层面与边坡斜交，为切层坡，发生整体滑动的可能性很小。</p> <p>(2) 三组陡倾节理将岩体切割为块状，坡体前缘临空，切割岩体易沿临空面滑动坠落，加之局部岩体破碎，局部区域掉块形成小规模凹岩腔，易发生局部掉块落石。</p> <p>N 边坡: 101° ∠85° J1: 120° ∠65° J2: 165° ∠41° J3: 353° ∠75° E W S 产状: 250° ∠29° J4: 65° ∠52°</p>
综合评价	<p>边坡与岩层产状斜交，沿边坡坡向方向岩层产状视倾角平缓，边坡发生整体失稳的可能性较小，通过工程地质类比法对边坡进行分析评价，边坡整体在2024水文年暴雨期间基本无明显变形迹象，初步判断边坡整体稳定，但长期若遇外动力或强降雨等因素，由于节理裂隙发育，可能存在局部崩塌。</p>

防治措施建议	坡面整体滑动可能性小，但坡体岩体破碎，且前缘切坡较陡，坡面易发生松散块石掉块现象，建议左侧设置坡脚挡土墙，右侧设置覆盖式引导系统。
--------	---

### 7.1.2.2 治理工程设计参数

岩土物理力学参数建议值表

表 7.1.2-2

岩土名称	重度 (kN/m <sup>3</sup> )		抗剪强度		抗压强度 (MPa)	抗拉强度 (MPa)	承载力特征值 Fak (kPa)	岩体对挡墙基底摩擦系数 μ	极限粘结强度标准值 frbk (kPa)				
			C(kPa)	Φ(°)									
中风化砂砾岩	27	27.5	300	/	42.5	/	30	25	3.0	2.5	1200	0.55	800
砂砾岩结构面	/	/	27.5	21.5	27.5	21	/	/	0.6	0.5	/	/	/

### 7.1.3 设计方案

根据现场地形、地质及施工条件，本防治点主要采取左侧设置坡脚挡土墙，右侧GPS-150-C 覆盖式引导系统的方式进行综合治理，治理措施及选型详见下表：

防治措施统计表

表 7.1.3-1

里程桩号	K2+105~K2+180
里程长度 (m)	75
实际防治宽度 (m)	49
设计高度 (m)	21
网面面积 (m <sup>2</sup> )	1029
治理措施	左侧设置坡脚挡土墙，右侧GPS-150-C 覆盖式引导系统
选型理由	(1) 边坡整体稳定性较好，仅进行浅表层落石运动控制；(2) 坡脚地带坡度较缓，有利于落石缓冲及拦截；(3) 落石块径较小、频发率较低；(4) 破碎区松散岩体分布于边坡中上部，在边坡中下部设覆盖式引导系统能拦截并引导落石掉落至坡脚，便于后期清理及维护；(4) 对于不稳定斜坡，增设坡脚挡土墙增加其稳定性。

施工安全保障措施	<p>1、按照先清危再挂网的顺序进行施工，危岩及浮石务必清理到位，清理后无明显松动及脱落迹象；2、施工前公路临时交通导改，单车道通行，设置交通管理员、监督员及施工监测员；3、坡面危岩、浮石清理时临时中断交通，边坡下方严禁车辆、行人通行；4、吊车作业人员、高空作业人员持证上岗、戴好安全帽、系好安全绳；5、严禁同一桩号处边坡上下同时作业；6、雨季、汛期施工注意防患山洪、崩塌等灾害风险。</p>
----------	--

## 7.2 K3+520~K3+600 右侧崩塌隐患防治工程（项目编号：S211-2）

### 7.2.1 基本情况

S211-2 崩塌隐患点位于斋幽路 K3+520~K3+600 处右侧边坡。防治区域如下：



图 7.2.1 防治区域全貌

### 7.2.2 勘查主要结论

#### 7.2.2.1 位置分布、基本特征及危害对象

根据现场勘查结合区域资料，坡体主要由侏罗系窑坡组变质砂砾岩组成，中风化状态，青灰色，多呈巨厚状分布。边坡整体坡向  $303^{\circ} \sim 307^{\circ}$ ，坡面基岩裸露，坡角较陡峭，自然斜坡坡度约  $45\sim 55^{\circ}$ ，局部发育灌木植被，坡面表层岩体因不利结构面切割、风化等影响，局部发生小规模掉块落石现象，隐患点现状坡

率 1:0.1~1:0.3，最高约 50m。其基本特征详见地质灾害隐患点综合分析评价表。

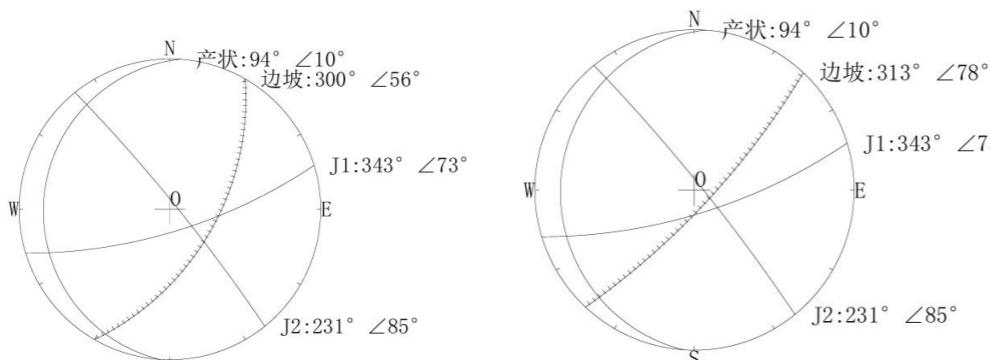
根据现场调查，该隐患点主要威胁斋幽路过道车辆及行人安全，按《地质灾害治理工程实施技术规范》（DB11/T 1524-2018）和《崩塌防治工程勘查规范（试行）》（T/CAGHP011-2018）等标准规范，该崩塌隐患点防治工程等级为Ⅱ级。

S211-2 崩塌地质灾害隐患点综合分析评价表

表 7.2.2-1

地质灾害点 编号	S211-2	里程桩号及边侧	斋幽路 K3+520~K3+600 处右 侧
既有边坡状况	边坡整体坡向 303° ~307°，坡面基岩裸露，坡角较陡峭，自然斜坡坡度约 45~55°，局部发育灌木植被，坡面顶处分布多处危岩体，隐患点现状坡率 1:0.1~1:0.3，最大高度约 50m。右侧坡脚有块径 0.5~2m 不等落石，规模约为 200m³。		
工程地质条件	勘查区地貌类型属构造剥蚀低山地貌；边坡坡面基岩裸露，坡顶以上地形较为陡峭，自然斜坡坡度约 45~55°，灌木植被较发育。边坡为岩质边坡，坡体主要由侏罗系窑坡组变质砂砾岩组成，中风化状态，青灰色，多呈巨厚状分布。岩层产状 94°∠10°；两组节理产状及密度为 J1:343°∠73°，1~2 条/m，延伸 5~20m，裂隙内泥质充填或无充填；J2: 231°∠85°，1~3 条/m，延伸 2~5m。		
不良地质现象	区内岩体节理裂隙发育，岩体切割成块状，加之人工切坡较陡，坡面长期裸露，表层岩体风化剥蚀，岩体破碎，因此区内主要不良地质现象为崩塌、危岩。根据地质调查，该边坡属逆层边坡，但发育一组顺层节理外加 1 组竖向节理，相互切割成豆腐块，块径 1~3m 不等，边坡下半部分危岩体已被清理，上部呈悬空状镶嵌于坡体中，高度自坡脚往上约 8m 一直延伸到坡顶，最大高度约 50m，受岩石风化、雨水作用及地震作用易发生坠落。		

	
周边环境条件	坡脚为斋幽路，有 10KV 电杆、电力线等。
现状变形特征	该边坡无整体变形现象；现状变形破坏形式主要为表层岩体因不利结构面切割、风化等影响，局部发生小规模掉块落石现象。
地灾影响因素 及形成机制	<p>①人类工程活动，区域人类工程活动强烈，边坡为建设 S211 道路爆破切坡所致，一方面，使得原本较完整的岩体产生多组不规则裂隙。而切坡坡度过陡使得岩体在自重作用下沿裂隙缓慢向下弯曲、滑移。其中外倾坡体的裂缝形成了软弱基座，纵向切割的裂缝构成了崩塌体的两侧壁。另一方面，切坡在一定程度上破坏了陡崖的整体稳定性，为危岩的形成提供了临空条件，加快危岩的变形破坏。爆破和切坡过陡是该崩塌形成的初始成因；</p> <p>②强降雨，强降雨对崩塌的主要作用有三：一是水的物理化学作用降低了结构面的粘结力；二是在陡崖后缘裂缝中的水柱形成静水压力；三是入渗滑塌体外倾结构面内形成的扬压力作用，都使得危岩在雨季的稳定性大幅下降，因而暴雨对危岩体的稳定性影响极大；</p> <p>③风化作用，工程区域内季节变化明显，气温，湿度等风化因素变化剧烈，这些因素综合作用加速了危岩体裂隙的扩展，降低了岩体强度，加快了岩体的变形破坏。</p> <p>多组陡倾节理裂隙将局部岩体切割破碎，在陡倾空坡面中容易产生坠落式崩塌破坏，表现为局部崩塌落石。</p>
稳定性因素	(1) 岩层层面与边坡斜交，为切层坡，发生整体滑动的可能性很小。

分析	(2) 三组陡倾节理将岩体切割为块状，坡体前缘临空，切割岩体易沿临空面滑动坠落，加之局部岩体破碎，局部区域掉块形成小规模凹岩腔，易发生局部掉块落石。
	
综合评价	边坡与岩层产状斜交，沿边坡坡向方向岩层产状视倾角平缓，边坡发生整体失稳的可能性较小，通过工程地质类比法对边坡进行分析评价，边坡整体在2024水文年暴雨期间基本无明显变形迹象，初步判断边坡整体稳定，但长期若遇外动力或强降雨等因素，由于节理裂隙发育，可能存在局部崩塌。
防治措施建议	坡面整体滑动可能性小，但坡体岩体破碎，且前缘切坡较陡，坡面易发生松散块石掉块现象，建议坡脚清理落石+上部主动防护系统+下部张口式引导防护系统+局部危岩锚杆加固。

### 7.2.2.2 治理工程设计参数

岩土物理力学参数建议值表

表 7.2.2-2

岩土名称	重度 (kN/m <sup>3</sup> )		抗剪强度		抗压强度 (MPa)	抗拉强度 (MPa)	承载力特征值 Fak (kPa)	岩体对挡墙基底摩擦系数 $\mu$	极限粘结强度标准值 frbk (kPa)				
			C(kPa)	$\phi$ (°)									
天然	饱和	天然	饱和	天然	饱和	天然	饱和	天然	饱和				
中风化变质砂砾岩	27.0	27.5	300	/	42.5	/	30	25	3.0	2.5	1200	0.55	800
变质砂砾岩结构面	/	/	27.5	21.5	27.5	21	/	/	0.6	0.5	/	/	/

### 7.2.3 设计方案

根据现场地形、地质及施工条件，本防治点主要采取坡脚清理落石+上部APS-300-P 主动防护系统+下部 GPS-300-0 张口式引导防护系统+局部危岩锚杆加固的方式进行综合治理，治理措施及选型详见下表：

防治措施统计表

表 7.2.3-1

里程桩号	K3+520~K3+600
里程长度 (m)	80
实际防治宽度 (m)	56、78
设计高度 (m)	21.1、32
网面面积 (m <sup>2</sup> )	1182 (主动网)、2496 (张口式网)
治理措施	坡脚清理落石+上部 APS-300-P 主动防护系统+下部 GPS-300-0 张口式引导防护系统+局部危岩锚杆加固
选型理由	(1) 边坡整体稳定性较好，仅进行浅表层落石运动控制；(2) 坡脚地带坡度较缓，有利于落石缓冲及拦截；(3) 落石块径较小、频发率较低；(4) 主动网能有效遏制危岩的进一步发展，避免形成更大的崩塌隐患；(5) 破碎区松散岩体分布于边坡中上部，在边坡中下部设张口式引导网能承接并引导落石掉落至坡脚，便于后期清理及维护；(6) 边坡岩体存在明显卸荷裂隙，裂隙倾向与坡向相同，存在整体倾倒风险，需考虑锚杆加固。
施工安全保障措施	1、按照先清危再挂网的顺序进行施工，危岩及浮石务必清理到位，清理后无明显松动及脱落迹象；2、施工前公路临时交通导改，单车道通行，设置交通管理员、监督员及施工监测员；3、坡面危岩、浮石清理时临时中断交通，边坡下方严禁车辆、行人通行；4、吊车作业人员、高空作业人员持证上岗、戴好安全帽、系好安全绳；5、严禁同一桩号处边坡上下同时作业；6、雨季、汛期施工注意防患山洪、崩塌等灾害风险。

## 7.3 K9+750~K9+770 右侧崩塌隐患防治工程（项目编号：S211-3）

### 7.3.1 基本情况

S211-3 崩塌隐患点位于斋幽路 K9+750~K9+770 处右侧边坡。防治区域如下：



### 7.3.2 勘查主要结论

#### 7.3.2.1 位置分布、基本特征及危害对象

根据现场勘查结合区域资料，坡体主要由白垩系东岭台组火山碎屑岩组成，中风化状态，露褐色，多呈厚状分布。边坡整体坡向约  $309^{\circ}$ ，坡面基岩裸露，坡角较平缓，自然斜坡坡度约  $35\sim 55^{\circ}$ ，局部发育灌木植被，坡面表层岩体风化剥蚀，岩体破碎，因此区内主要不良地质现象为崩塌、危岩，隐患点现状坡率  $1:0.1\sim 1:0.3$ ，最高约 20m。其基本特征详见地质灾害隐患点综合分析评价表。

根据现场调查，该隐患点主要威胁斋幽路过道车辆及行人安全，按《地质灾害治理工程实施技术规范》（DB11/T 1524-2018）和《崩塌防治工程勘查规范（试行）》（T/CAGHP011-2018）等标准规范，该崩塌隐患点防治工程等级为Ⅱ级。

S211-3 崩塌地质灾害隐患点综合分析评价表

表 7.3.2-1

地质灾害点 编号	S211-3	里程桩号及边侧	斋幽路 K9+750~K9+770 处 右侧
既有边坡状况	边坡整体坡向约 $309^{\circ}$ ，坡面基岩裸露，坡角较平缓，自然斜坡坡度约 $35\sim 55^{\circ}$ ，局部发育灌木植被，坡面表层岩体风化剥蚀，岩体破碎，因此区内主要不良地质现象为崩塌，隐患点现状坡率 $1:0.1\sim 1:0.3$ ，最大高度约 20m。		
工程地质条件	勘查区地貌类型属构造剥蚀低山地貌；边坡坡面基岩裸露，坡顶以上地形较为平缓，自然斜坡坡度约 $35\sim 55^{\circ}$ ，灌木植被较发育。边坡为岩质边坡，坡体主要由白垩系东岭台组火山碎屑岩组成，中风化状态，露褐色，多呈厚状分布。岩层产状 $33^{\circ} \angle 45^{\circ}$ ；三组节理产状及密度为 $J1:265^{\circ} \angle 66^{\circ}$ , $2\sim 3$ 条/m, 延伸 $2\sim 5$ m; $J2:42^{\circ} \angle 59^{\circ}$ , $1\sim 2$ 条/m, 延伸 $1\sim 10$ m, $J3:123^{\circ} \angle 54^{\circ}$ , $2\sim 4$ 条/m, 延伸 $3\sim 5$ m。		
不良地质现象	区内岩体节理裂隙发育，岩体切割成块状，加之人工切坡较陡，坡面长期裸露，表层岩体风化剥蚀，岩体破碎，因此区内主要不良地质现象为崩塌。		
周边环境条件	坡脚为斋幽路，有 10KV 电杆、电力线。		
现状变形特征	该边坡无整体变形现象；现状变形破坏形式主要为表层岩体因不利结构面切割、风化等影响，局部发生小规模掉块落石现象。		
地灾影响因素 及形成机制	<p>①人类工程活动，区域人类工程活动强烈，边坡为建设 S211 道路爆破切坡所致，一方面，使得原本较完整的岩体产生多组不规则裂隙。而切坡坡度过陡使得岩体在自重作用下沿裂隙缓慢向下弯曲、滑移。其中外倾坡体的裂缝形成了软弱基座，纵向切割的裂缝构成了崩塌体的两侧壁。另一方面，切坡在一定程度上破坏了陡崖的整体稳定性，为危岩的形成提供了临空条件，加快危岩的变形破坏。爆破和切坡过陡是该崩塌形成的初始成因；</p> <p>②强降雨，强降雨对崩塌的主要作用有三：一是水的物理化学作用降低了结构面的粘结力；二是在陡崖后缘裂缝中的水柱形成静水压力；三是入渗滑塌</p>		

岩土物理力学参数建议值表

表 7.3.2-2

岩土名称	重度 (kN/m <sup>3</sup> )		抗剪强度		抗压强度 (MPa)		抗拉强度 (MPa)		承载力特征值 Fak (kPa)	岩体对挡墙基底摩擦系数 $\mu$	极限粘结强度标准值 frbk (kPa)		
			C(kPa)	$\phi(^{\circ})$									
中风化变质砂砾岩	27.0	27.5	300	/	42.5	/	30	25	3.0	2.5	1200	0.55	800
变质砂砾岩结构面	/	/	27.5	21.5	27.5	21	/	/	0.6	0.5	/	/	/

### 7.3.3 设计方案

根据现场地形、地质及施工条件，本防治点主要采取 APS-150-P 主动防护系统+植藤的方式进行综合治理，治理措施及选型详见下表：

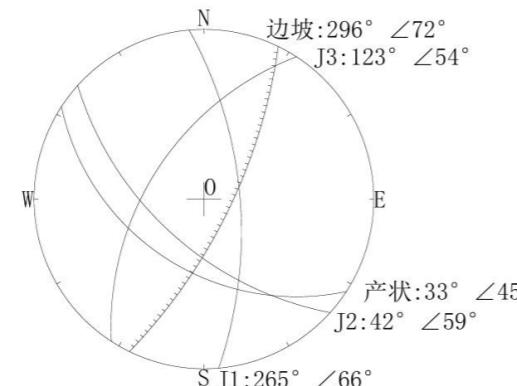
防治措施统计表

表 7.3.3-1

里程桩号	K9+750~K9+770
里程长度 (m)	20
实际防治宽度 (m)	26
设计高度 (m)	24
网面面积 (m <sup>2</sup> )	624
治理措施	APS-150-P 主动防护系统
选型理由	(1) 边坡整体稳定性较好，仅进行浅表层落石运动控制；(2) 坡脚地带坡度较缓，有利于落石缓冲及拦截；(3) 落石块径较小、频发率较低；(4) 破碎区松散岩体分布于边坡中上部，且坡率不大，设置主动防护系统能较好挂网成型并防护落石。
施工安全保障措施	1、按照先清危再挂网的顺序进行施工，危岩及浮石务必清理到位，清理后无明显松动及脱落迹象；2、施工前公路临时交通导改，单车道通行，设置交通管理员、监督员及施工监测员；3、坡面危岩、浮石清理时临时中断交通，边坡下方严禁车辆、行人通行；4、吊车作业人员、高空作业人员持证上岗、戴好安全帽、系好安全绳；5、严禁同一桩号处边坡上下同时作业；6、雨季、汛期施工注意防患山洪、崩塌等灾害风险。

体外倾结构面内形成的扬压力作用，都使得危岩在雨季的稳定性大幅下降，因而暴雨对危岩体的稳定性影响极大；  
③风化作用，工程区域内季节变化明显，气温，湿度等风化因素变化剧烈，这些因素综合作用加速了危岩体裂隙的扩展，降低了岩体强度，加快了岩体的变形破坏。  
多组陡倾节理裂隙将局部岩体切割破碎，在陡倾临空坡面中容易产生坠落式崩塌破坏，表现为局部崩塌落石。

### 稳定性因素分析



边坡与岩层产状斜交，沿边坡坡向方向岩层产状视倾角平缓，边坡发生整体失稳的可能性较小，通过工程地质类比法对边坡进行分析评价，边坡整体在 2024 水文年暴雨期间基本无明显变形迹象，初步判断边坡整体稳定，但长期若遇外动力或强降雨等因素，由于节理裂隙发育，可能存在局部崩塌。

### 综合评价

坡面整体滑动可能性小，但坡体岩体破碎，且前缘切坡较陡，坡面易发生松散块石掉块现象，建议设置主动防护系统。

### 7.3.2.2 治理工程设计参数

## 7.4 K9+990~K10+042 右侧崩塌隐患防治工程（项目编号：S211-4）

### 7.4.1 基本情况

S211-4 崩塌隐患点位于斋幽路 K9+990~K10+042 处右侧边坡。防治区域如下：



### 7.4.2 勘查主要结论

#### 7.4.2.1 位置分布、基本特征及危害对象

根据现场勘查结合区域资料，坡体主要由白垩系东岭台组火山碎屑岩组成，中风化状态，露褐色，多呈厚状分布。边坡整体坡向约  $309^{\circ}$ ，坡面基岩裸露，坡角较平缓，自然斜坡坡度约  $5\sim 15^{\circ}$ ，局部发育灌木植被，坡面顶处分布多处危岩体，隐患点现状坡率  $1:0.1\sim 1:0.3$ ，最高约 20m。其基本特征详见地质灾害隐患点综合分析评价表。

根据现场调查，该隐患点主要威胁斋幽路过道车辆及行人安全，按《地质灾害治

理工程实施技术规范》(DB11/T 1524-2018) 和《崩塌防治工程勘查规范(试行)》(T/CAGHP011-2018) 等标准规范，该崩塌隐患点防治工程等级为 II 级。

**S211-4 崩塌地质灾害隐患点综合分析评价表**

**表 7.4.2-1**

地质灾害点 编号	S211-4	里程桩号及边侧	斋幽路 K9+990~K10+042 处 右侧
既有边坡状况	边坡整体坡向约 $309^{\circ}$ ，坡面基岩裸露，坡角较平缓，自然斜坡坡度约 $5\sim 15^{\circ}$ ，局部发育灌木植被，坡面顶处分布多处危岩体，隐患点现状坡率 $1:0.1\sim 1:0.3$ ，最大高度约 20m。		
工程地质条件	勘查区地貌类型属构造剥蚀低山地貌；边坡坡面基岩裸露，坡顶以上地形较为平缓，自然斜坡坡度约 $5\sim 15^{\circ}$ ，灌木植被较发育。边坡为岩质边坡，坡体主要由白垩系东岭台组火山碎屑岩组成，中风化状态，露褐色，多呈厚状分布。岩层产状 $94^{\circ} \angle 10^{\circ}$ ；两组节理产状及密度为 $J1:343^{\circ} \angle 73^{\circ}$ ， $1\sim 2$ 条/m，延伸 $5\sim 20$ m，裂隙内泥质充填或无充填； $J2: 231^{\circ} \angle 85^{\circ}$ ， $1\sim 3$ 条/m，延伸 $2\sim 5$ m。		
不良地质现象	区内岩体节理裂隙发育，岩体切割成块状，加之人工切坡较陡，坡面长期裸露，表层岩体风化剥蚀，岩体破碎，因此区内主要不良地质现象为崩塌。		
周边环境条件	坡脚为斋幽路，有 10KV 电杆、电力线。		
现状变形特征	该边坡无整体变形现象；现状变形破坏形式主要为表层岩体因不利结构面切割、风化等影响，局部发生小规模掉块落石现象。		
地灾影响因素 及形成机制	<p>①人类工程活动，区域人类工程活动强烈，边坡为建设 S211 道路爆破切坡所致，一方面，使得原本较完整的岩体产生多组不规则裂隙。而切坡坡度过陡使得岩体在自重作用下沿裂隙缓慢向下弯曲、滑移。其中外倾坡体的裂缝形成了软弱基座，纵向切割的裂缝构成了崩塌体的两侧壁。另一方面，切坡在一定程度上破坏了陡崖的整体稳定性，为危岩的形成提供了临空条件，加快危岩的变形破坏。爆破和切坡过陡是该崩塌形成的初始成因；</p> <p>②强降雨，强降雨对崩塌的主要作用有三：一是水的物理化学作用降低了结构面的粘结力；二是在陡崖后缘裂缝中的水柱形成静水压力；三是入渗滑塌体外倾结构面内形成的扬压力作用，都使得危岩在雨季的稳定性大幅下降，</p>		

	因而暴雨对危岩体的稳定性影响极大； ③风化作用，工程区域内季节变化明显，气温，湿度等风化因素变化剧烈，这些因素综合作用加速了危岩体裂隙的扩展，降低了岩体强度，加快了岩体的变形破坏。 多组陡倾节理裂隙将局部岩体切割破碎，在陡倾临空坡面中容易产生坠落式崩塌破坏，表现为局部崩塌落石。
稳定性因素分析	(1) 岩层层面与边坡斜交，为切层坡，发生整体滑动的可能性很小。 (2) 三组陡倾节理将岩体切割为块状，坡体前缘临空，切割岩体易沿临空面滑动坠落，加之局部岩体破碎，局部区域掉块形成小规模凹岩腔，易发生局部掉块落石。
综合评价	边坡与岩层产状斜交，沿边坡坡向方向岩层产状视倾角平缓，边坡发生整体失稳的可能性较小，通过工程地质类比法对边坡进行分析评价，边坡整体在2024水文年暴雨期间基本无明显变形迹象，初步判断边坡整体稳定，但长期若遇外动力或强降雨等因素，由于节理裂隙发育，可能存在局部崩塌。
防治措施建议	坡面整体滑动可能性小，但坡体岩体破碎，且前缘切坡较陡，坡面易发生松散块石掉块现象，建议清坡+锚杆格梁+植生袋绿化。

#### 7.4.2.2 治理工程设计参数

岩土物理力学参数建议值表

表 7.4.2-2

岩土名称	重度 (kN/m <sup>3</sup> )		抗剪强度		抗压强度 (MPa)		抗拉强度 (MPa)		承载力特征值 Fak (kPa)	岩体对挡墙基底摩擦系数 $\mu$	极限粘结强度标准值 frbk (kPa)		
			C(kPa)	$\phi$ (°)									
	天然	饱和	天然	饱和	天然	饱和	天然	饱和	天然	饱和			
中风化英安岩	27.2	27.7	400	/	43	/	80	70	8.0	7.0	1800	0.58	950
火山碎屑岩结构面	/	/	85.0	75	28	25	/	/	0.8	0.7	/	/	/
强风化英安岩	26.2	26.5	60	48	25	22	/	/	/	/	800	0.45	450

#### 7.4.3 设计方案

根据现场地形、地质及施工条件，本防治点主要采取清坡+锚杆格梁+植生袋绿化的方式进行综合治理，治理措施及选型详见下表：

防治措施统计表

表 7.4.3-1

里程桩号	K9+990~K10+042
里程长度 (m)	52
实际防治宽度 (m)	52
处治面积 (m <sup>2</sup> )	1240
治理措施	滑塌体清除+锚杆挂钢筋网喷砼+植被混凝土绿化
选型理由	(1) 该边坡属于土岩结合边坡，风化层较厚，原边坡开挖后坡面未防护，在连续降雨的影响下，边坡出现浅层滑塌；(2) 原边坡已滑塌，大部分松散滑塌体已清除，边坡处于基本稳定状态，需对边坡进行加固，避免进一步滑塌；(3) 锚杆可用于边坡稳定性加固，挂网喷砼可有效防止雨水冲刷；(4) 破碎区松散岩体分布于边坡中上部，在边坡中下部清理坡面有助于坡面稳定；(5) 边坡喷砼后坡面景观效果较差，结合植被混凝土可对喷砼坡面进行有效的绿化。
施工安全保障措施	1、按照先清除坡面松散岩土体再进行锚杆施工，后挂网喷砼，对于坡面的大块浮石务必清理到位，清理后无明显松动及脱落迹象；2、施工前公路临时交通导改，单车道通行，设置交通管理员、监督员及施工监测员；3、坡面松散岩土体及浮石清理时临时中断交通，边坡下方严禁车辆、行人通行；4、吊车作业人员、高空作业人员持证上岗、戴好安全帽、系好安全绳；5、严禁同一桩号处边坡上下同时作业；6、雨季、汛期施工注意防患山洪、崩塌等灾害风险。

## 7.5 K10+465~K10+520 右侧崩塌隐患防治工程（项目编号：S211-5）

### 7.5.1 基本情况

S211-5 崩塌隐患点位于斋幽路 K10+470~K10+520 处右侧边坡。防治区域如下：



### 7.5.2 勘查主要结论

#### 7.5.2.1 位置分布、基本特征及危害对象

根据现场勘查结合区域资料，坡体主要由白垩系东岭台组英安岩组成，中风化状态，露褐色，多呈中厚~巨厚状分布。边坡整体坡向约  $305^{\circ}$ ，坡面基岩裸露，坡面有危岩，规模约  $1\sim10m^3$  不等，极易崩塌，部分模型体已崩塌，隐患点现状坡率  $1:0.1\sim1:0.4$ ，最高约 30m。其基本特征详见地质灾害隐患点综合分析评价表。

根据现场调查，该隐患点主要威胁斋幽路过道车辆及行人安全，按《地质灾害治

理工程实施技术规范》(DB11/T 1524-2018) 和《崩塌防治工程勘查规范(试行)》

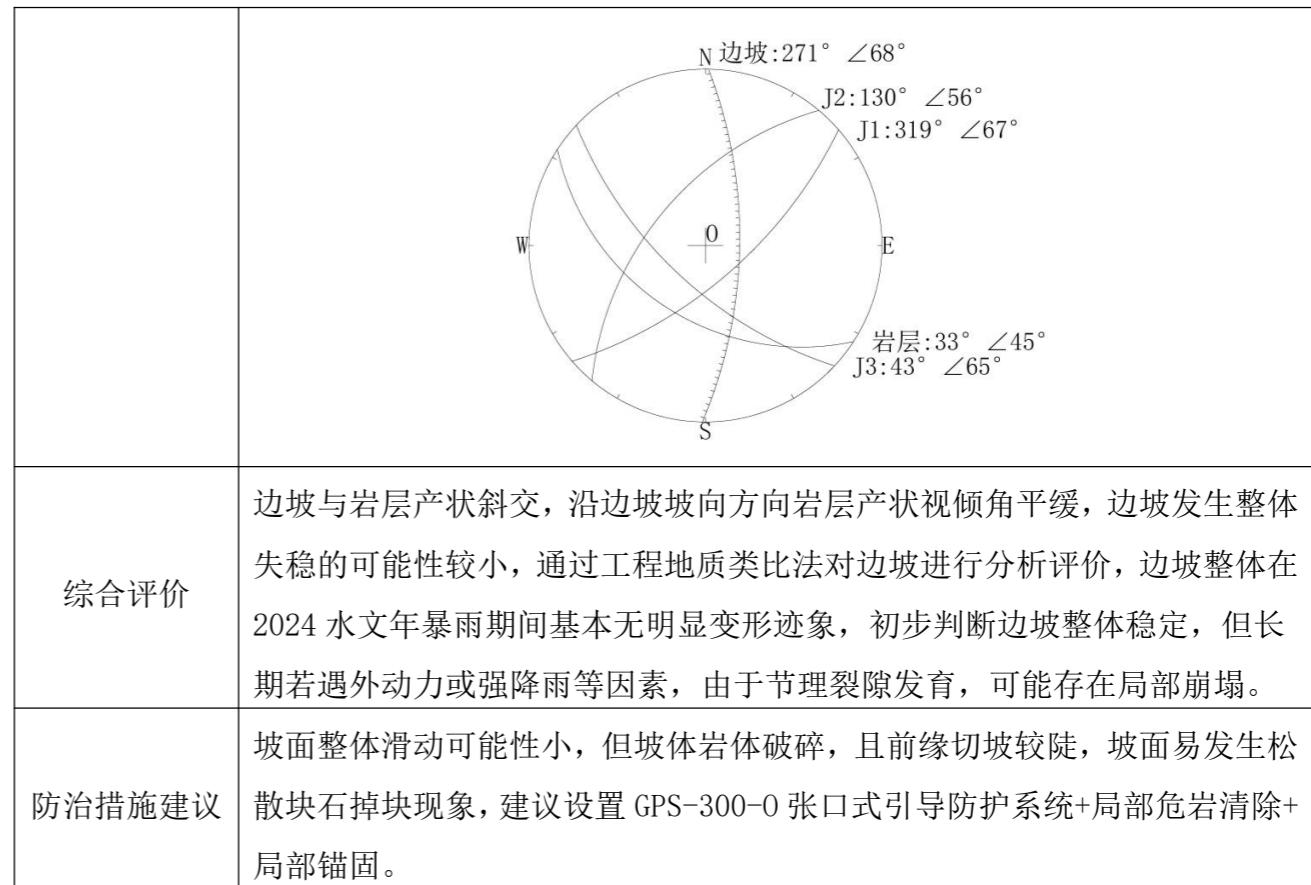
(T/CAGHP011-2018) 等标准规范，该崩塌隐患点防治工程等级为 II 级。

**S211-5 崩塌地质灾害隐患点综合分析评价表**

**表 7.5.2-1**

地质灾害点 编号	S211-5	里程桩号及边侧	斋幽路 K10+465~K10+520 处 右侧
既有边坡状况	边坡整体坡向 $305^{\circ}$ ，坡面基岩裸露，坡面有危岩，规模约 $1\sim10m^3$ 不等，极易崩塌，部分模型体已崩塌，隐患点现状坡率 $1:0.1\sim1:0.4$ ，最大高度约 30m。		
工程地质条件	勘查区地貌类型属构造剥蚀低山地貌；边坡坡面基岩裸露，坡顶以上地形较为较陡，自然斜坡坡度约 $30\sim35^{\circ}$ ，灌木植被较发育。边坡为岩质边坡，坡体主要由白垩系东岭台组英安岩组成，中风化状态，露褐色，多呈中厚~巨厚状分布。岩层产状 $33^{\circ}\angle45^{\circ}$ ；三组节理产状及密度为 $J1:319^{\circ}\angle67^{\circ}$ ， $1\sim2$ 条/ $m$ ，延伸 $3\sim20m$ ； $J2:130^{\circ}\angle56^{\circ}$ ， $<1$ 条/ $m$ ，延伸 $5\sim20m$ ， $J3:43^{\circ}\angle65^{\circ}$ ， $1\sim2$ 条/ $m$ ，延伸 $5\sim20m$ 。		
不良地质现象	区内岩体节理裂隙发育，岩体切割成块状，加之人工切坡较陡，坡面长期裸露，表层岩体风化剥蚀，岩体破碎，因此区内主要不良地质现象为崩塌。根据地质调查，坡顶存在一处危岩体，高约 5-7m，受岩层及节理相互切割成 4-6 块单体，镶嵌于坡体中，一部分突出坡面，单个块径 1-2m 不等，受岩石风化、雨水冲刷及地震作用易发生坠落。		
			

周边环境条件	坡脚为斋幽路，有 10KV 电杆、电力线。
现状变形特征	该边坡无整体变形现象；现状变形破坏形式主要为表层岩体因不利结构面切割、风化等影响，局部发生小规模掉块落石现象。
地灾影响因素及形成机制	<p>①人类工程活动，区域人类工程活动强烈，边坡为建设 S211 道路爆破切坡所致，一方面，使得原本较完整的岩体产生多组不规则裂隙。而切坡坡度过陡使得岩体在自重作用下沿裂隙缓慢向下弯曲、滑移。其中外倾坡体的裂缝形成了软弱基座，纵向切割的裂缝构成了崩塌体的两侧壁。另一方面，切坡在一定程度上破坏了陡崖的整体稳定性，为危岩的形成提供了临空条件，加快危岩的变形破坏。爆破和切坡过陡是该崩塌形成的初始成因；</p> <p>②强降雨，强降雨对崩塌的主要作用有三：一是水的物理化学作用降低了结构面的粘结力；二是在陡崖后缘裂隙中的水柱形成静水压力；三是入渗滑塌体外倾结构面内形成的扬压力作用，都使得危岩在雨季的稳定性大幅下降，因而暴雨对危岩体的稳定性影响极大；</p> <p>③风化作用，工程区域内季节变化明显，气温，湿度等风化因素变化剧烈，这些因素综合作用加速了危岩体裂隙的扩展，降低了岩体强度，加快了岩体的变形破坏。</p> <p>多组陡倾节理裂隙将局部岩体切割破碎，在陡倾临空坡面中容易产生坠落式崩塌破坏，表现为局部崩塌落石。</p>
稳定性因素分析	<p>(1) 岩层层面与边坡斜交，为切层坡，发生整体滑动的可能性很小。</p> <p>(2) 三组陡倾节理将岩体切割为块状，坡体前缘临空，切割岩体易沿临空面滑动坠落，加之局部岩体破碎，局部区域掉块形成小规模凹岩腔，易发生局部掉块落石。</p>



### 7.5.2.2 危岩、节理裂隙发育区分布及形态特征

本次区内已经查明 1 个危岩，编号为 WY211-5，方量总计 20m<sup>3</sup>，被结构面切割开来属于小型崩塌，详细信息下表。

S211-5 危岩体统计表

表 7.5.2-2

序号	里程及边侧	危岩编号	面积 (m <sup>2</sup> )	厚度 (m)	体积 (m <sup>3</sup> )	密度 (t/m <sup>3</sup> )	质量 (t)
S211-5	斋幽路 K10+465~K10+520 处左侧	WY211-5	10	2	20	2.68	53.6

危岩单体特征、稳定性评价及整治方案见下表。

### S211-5WY211-5 岩体特征、稳定性评价及整治表

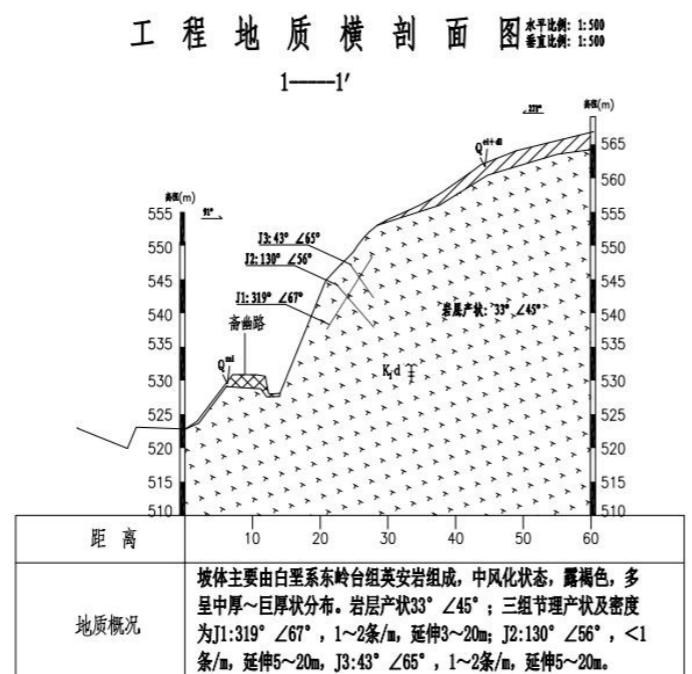
7.5.2-3

编号	坐标	X: 389805.04	危岩顶标高	563	岩层产状		193°∠16°		斜坡倾向		305°		危岩前缘倾角		77°	斜坡结构类型		碎屑岩质斜坡
WY211-5		Y: 4434680.60	危岩底标高	534	顶宽 (m)	1	底宽 (m)	2	高 (m)	10	厚 (m)	1	体积 (m³)	6	崩塌方向	305°	破坏方式	滑移式

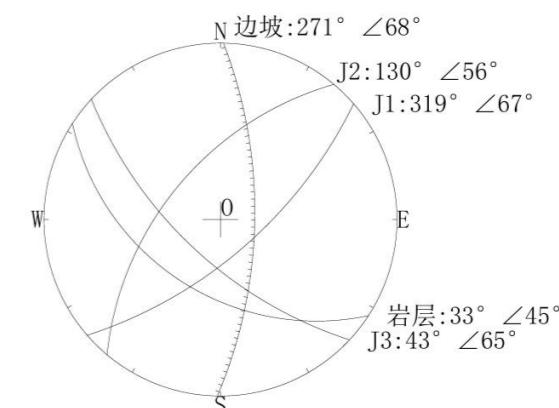
控制危岩的结构面特征

照片

危岩剖面示意图



赤平投影分析图



据赤平投影分析：块体易沿结构面产生坠落式破坏，其余节理面起切割岩体作用。通过工程地质类比法对边坡进行分

## 危害性 预测

危岩体一旦失稳，将威胁坡脚道路行人车辆的生命财产安全。

危岩形态及变形特征	危岩体立面形态呈不规则形，前缘临空，主要受优势结构面切割，岩体较破碎。	危岩稳定性评价	析评价，危岩体基本无明显变形迹象，初步判断危岩体天然工况、暴雨工况下处于稳定状态，但长期若遇外动力或强降雨等因素，危岩体不良地质现象加剧，可能发生局部小型崩塌。	治理方案	清除危岩体，底部被动防护网
-----------	-------------------------------------	---------	--	------	---------------

灾害隐患点基本特征详见下表 7.2.2-4：

S211-7 灾害隐患点基本特征表

序号	规模	基本特征	稳定性及落石易发性分析
S211-7	该区距坡脚威胁对象高差约 15m，所处势能较高。该破碎区立面形态沿节理面陡坎分割，平面尺寸及放量见前述。	区内立面凹凸不平，多处呈悬挑状。区内下部零星掉块，小型岩腔发育，岩腔凹进深度约 0.2~0.8m。总体坡向 37°。其余特征见前述。	由于区内节理裂隙发育且密度较高，故主要以小块单体滑移或局部松散岩体存在零星掉块。

表 7.5.2-4

### (1) 滑移式危岩体

1) 后缘有陡倾裂隙时按下式计算(图 7.5.2-1)：

图 7.5.2-1 滑移式危岩稳定性计算(后缘有陡倾裂隙)

$$F = \frac{[(G + Q_v) \cos\theta - (Q_h + V) \sin\theta - U] \tan\phi + cL}{(G + \theta_v) \sin\theta + (Q_h + V) \cos\theta}$$

$$V = \frac{1}{2} \gamma_w h_w^2$$

$$U = \frac{1}{2} \gamma_w h_w L$$

式中：

V—裂隙水压力(kN/m)，V=0.5\*γ w\*hw2；

hw—后缘陡倾裂隙冲水高度；

U—滑面水压力(kN/m)；

L—滑面长度(m)；

c—滑面粘聚力标准值(kPa)；

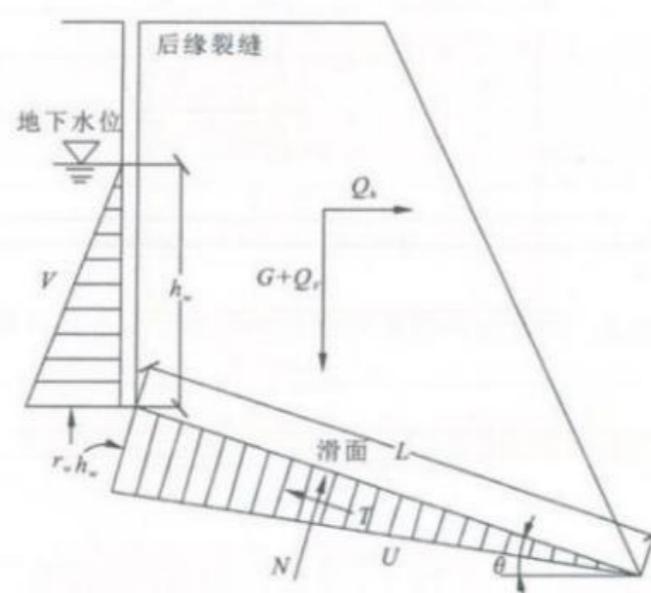
φ—滑面内摩擦角标准值(°)；

θ—滑面倾角(°)。

Qh、Qv 水平地震荷载和垂直地震荷载；

F—危岩稳定性系数；

G—危岩体自重(kN/m)。



(2) 坠落式危岩体

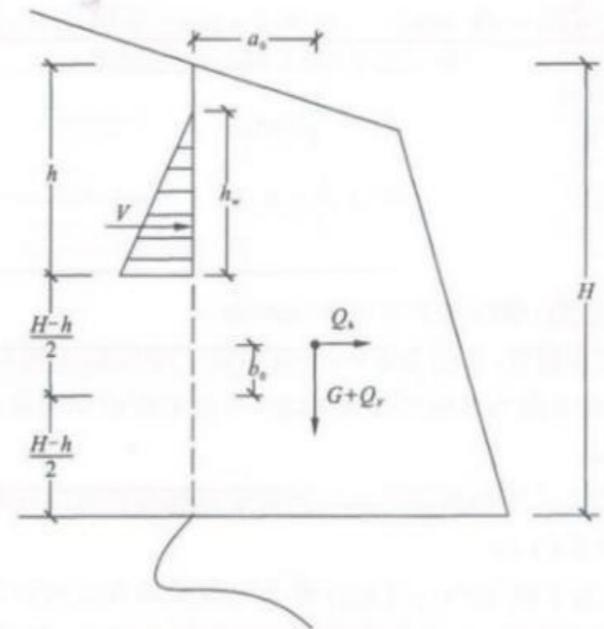


图 7.5.2-2 坠落式危岩稳定性计算

$$F = \frac{(H-h)c}{G + Q_v}$$

式中：

c—危岩粘聚力标准值 (kPa)；

H—危岩的悬臂高度 (m)；

h—后缘裂隙深度 (m)；

其它符号意义同前。

## 2、计算工况

共取三种工况进行计算分析：

(1) 天然状态（自重，经调查，天然工况下未见裂隙水）；

(2) 暴雨状态（饱和自重+裂隙水压，其中裂隙充水高度取裂隙深度的 1/3）；

(3) 地震工况、（基本荷载+暴雨裂隙水压+地震力）。

### 3、计算参数的确定

① 危岩体重度的确定：区内危岩块体为泥质粉砂岩，据现场刻石取样的室内试验成果，其泥质粉砂岩天然块体重度取  $25.7\text{kN/m}^3$ ，饱和块体重度取  $26.2\text{kN/m}^3$ 。

#### ② 结构面抗剪强度指标

一般来讲，结构面的物理力学参数取值合理与否决定定量分析结果可靠性。

本次参数取值参考《中国地质灾害防治工程行业协会团体标准》

(T/CAGHP011-2018)，结合危岩区的节理裂隙发育情况、岩体完整性，结构面结合情况及地区类似工程经验值进行综合取值。英安岩天然状态  $C=27\sim35\text{kPa}$ ,  $\Phi=25\sim29^\circ$ ，暴雨工况，按天然工况 0.75 倍折减，则饱和状态  $C=17\sim22\text{kPa}$ ,  $\Phi=16\sim20^\circ$ 。

#### ③ 抗拉强度指标

根据岩体力学性质，取值抗拉强度指标为抗压强度的 0.1 倍。考虑到危岩体

后缘裂隙贯通性好，岩体极其破碎，故将岩石抗拉强度折减至 0.10 倍。泥质粉砂岩天然工况  $f_{lk}=200\text{kPa}$ ，暴雨工况  $f_{lk}=180\text{kPa}$ 。

危岩体稳定性计算各岩体指标参数表

表 7.5.2-5

岩土名 称	重度		抗剪强度		抗压强度		抗拉强度	
	(kN/m <sup>3</sup> )		C (kpa)	$\Phi$ (°)	(Mpa)		(Mpa)	
	天然	饱和	天然	饱和	天然	饱和	天然	饱和
英安岩	26.7	27.2	30	22	22	19	20	16

#### 4、危岩稳定性评价标准

根据威胁对象及其重要性等因素，本次防治工程等级为Ⅱ级；危岩稳定性评价标准见下表：

危岩类型	危岩稳定状态				表 7.5.2-6
	不稳定	欠稳定	基本稳定	稳定	
滑移式危岩	$F < 1.0$	$1.0 \leq F < 1.15$	$1.15 \leq F < 1.3$	$F \geq 1.3$	
坠落式危岩	$F < 1.0$	$1.0 \leq F < 1.35$	$1.35 \leq F < 1.5$	$F \geq 1.5$	
倾倒式危岩	$F < 1.0$	$1.0 \leq F < 1.130$	$1.30 \leq F < 1.5$	$F \geq 1.5$	

#### 5、稳定性计算结果

危岩体 编号	破坏模式	工况 1：天然状态		工况 2：饱和状态		工况 3：校核工况		表 7.5.2-7
		稳定性 系数	稳定 状态	稳定性 系数	稳定 状态	稳定性 系数	稳定 状态	
WYS211-5	滑移式	1.68	稳定	1.23	欠稳定	1.14	欠稳定	

#### 6、稳定性分析评价

从危岩体稳定性计算可知，大部分危岩块体在天然状态下处于稳定状态，在暴雨工况下处于欠稳定状态，地震工况下处于欠稳定状态～不稳地状态。说明危岩体受暴雨因素影响较大，定量分析与定性分析的结果基本吻合。

结合定性分析，岩体受节理面切割破碎，浅表层局部存在不稳定块体，表现为零星掉块。

#### 7.5.2.4 危岩破坏后的运动计算

##### 1、运动形式

###### (一) 运动模式划分

落石在下落过程中具备滚动或滑落、飞射、弹跳三种运动模式。遵循如下几

点规律：

(1) 当坡面由陡变缓时，原滚动或滑动运动模式不变，但在过渡点会发生由运动方向改变引起的速度减小，在这里不考虑过渡点的阻力作用，这种考虑从最终的防护结构设计来看是偏保守的。

(2) 当坡面由缓变陡时，落石飞出坡面做飞射运动，续而与坡面接触时发生弹跳。

(3) 当坡面法向阻尼系数较大而使落石不能继续弹跳进时（法向计算速度为零或负值），以弹跳模式运动的落石将转化为滚动或滑动模式。

##### (二) 计算理论

落石在下落过程中具备滚动或滑落、飞射、弹跳三种运动模式。遵循如下几点规律：

###### (1) 滚动或滑动模式

在落石以滚动或滑动模式运动时，其运动轨迹即为坡面形状（如图 7.5.2-3），其运动速度的变化主要受坡面摩擦作用控制，则平行于坡面的运动速度可计算为：

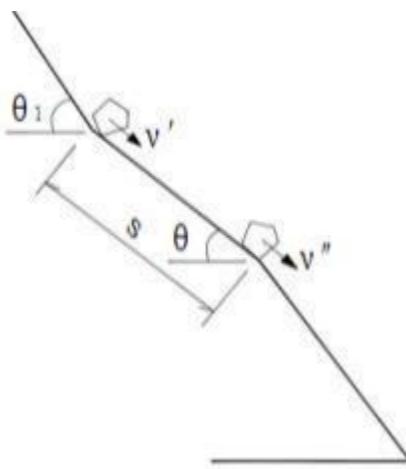


图 7.5.2-3 滚动或滑动模式计算示意图

$$V' = (V' + 2as)^{0.5}$$

式中：

$$a=g(\sin \theta - u\cos \theta)$$

$$V' = V_1' \cos(\theta_1 - \theta)$$

$V'$  为计算点的落石速度；

$V'$  为计算段初始点的落石运动速度；

$V_1'$  为前一计算点的落石运动速度；

$\theta_1$  为前一计算段的坡面角；

$g$  为重力加速度 ( $9.8 \text{m/s}^2$ )；

$a$ 、 $s$ 、 $\theta$ 、 $\mu$  分别为计算段内落石运动加速度、运动距离（坡面长度）、坡面角和坡角摩擦系数（根据滚动或滑动模式区别采用相应的滚动或滑动摩擦系数）。

从计算方式可以看出，两计算点间的坡面必须具有相同的坡面倾角和摩擦系数，若有不同，则必须分段计算。按这些方法从运动起点一直计算到运动停止点、运动模式改变点或坡脚止落点。

## (2) 飞射、弹跳模式

在飞射、弹跳运动模式下，其运动轨迹为各触地点间落石运动抛物线段的组合，其运动速度的大小和方向均受坡面阻尼作用的影响（如图 7.5.2-4），触地后的落石弹起速度可计算为：

$$v_{x,0} = A_1 \cos \theta - A_2 \sin \theta$$

$$v_{y,0} = -A_1 \sin \theta - A_2 \cos \theta$$

$$A_1 = R_t * (v_x, \cos \theta - v_y, \sin \theta)$$

$$A_2 = R_n (v_x, \sin \theta + v_y, \cos \theta)$$

式中：  $\theta$  为计算点的坡面角；

$v_x$ 、 $v_y$ 、 $v_x'$ 、 $v_y'$  分别为落石触地弹跳前后  $x$  和  $y$  方向（水平和铅直方向）上的速度；  $R_t$ 、 $R_n$  分别为计算点处坡面的切向和法向阻尼系数；

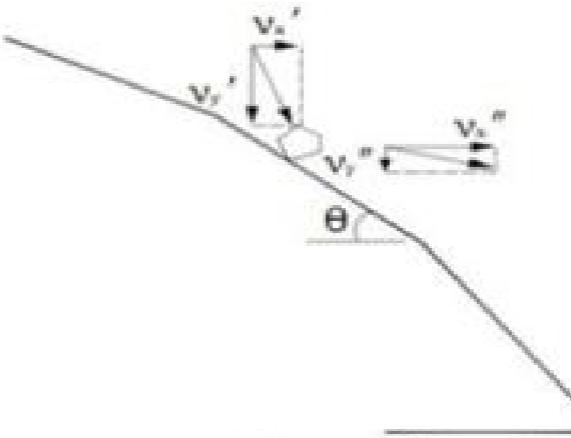


图 7.5.2-4 弹跳运动模式计算示意图

以此计算速度作为落石抛物线运动轨迹的初始速度，可以计算出下一触地点前的瞬间速度大小和方向、触地点位置（运动抛物线与坡面线的解析交点），并

再次重复前一计算过程，如此不断进行，直到运动模式改变、运动停止或到达坡脚落点为止。

## 2、运动计算

### (一) 计算参数选取

前已分析，当落石为滚动运动时，将受坡面摩擦作用，按表 7.5.2-8 确定斜坡表面的摩擦系数。

斜坡表面摩擦系数 k 值计算公式表

序号	斜坡倾角 $\alpha$	k 值计算公式
1	0~30°	$K=0.41+0.0043*\alpha$
2	31~60°	$K=0.543-0.0048*\alpha+0.000162*\alpha^2$
3	61~90°	$K=1.05-0.0125*\alpha+0.0000025*\alpha^2$

注:k 值计算公式可用于下列各种情况山坡:

- ① $\alpha \geq 45^\circ$ 基岩外露的山坡;
- ② $\alpha = 35 \sim 40^\circ$ 基岩外露，局部有草和稀疏灌木的山坡;
- ③ $\alpha = 30 \sim 35^\circ$ 有草，稀疏灌木，局部基岩外露的山坡;
- ④ $\alpha = 25 \sim 30^\circ$ 有草，稀疏灌木的山坡。

当落石为弹跳模式运动，取决于坡面的阻尼系数，而坡面阻尼系数取决于坡面覆盖层和植被特征，其值大小可通过表 7.5.2-9~7.5.2-10 进行经验性选取。

切向阻尼系数表

表 7.5.2-9

切向阻尼系数 $R_t$	坡面特征
0.87~0.92	光滑坚硬的表面，如铺砌面或光滑的层状岩石表面
0.83~0.87	基岩表面和无植被的崩塌堆积体
0.82~0.85	有少量植被的崩塌或砾石堆积体
0.80~0.83	植被覆盖的崩塌堆积体和植被稀少的土质边坡
0.78~0.82	灌木覆盖的土质边坡

法向阻尼系数表		表 7.5.2-10
法向阻尼系数 $R_n$	坡面特征	
0.37~0.42	光滑坚硬的表面，如铺砌面或光滑的层状岩石表面	
0.33~0.37	基岩表面和砾石边坡	
0.30~0.33	崩塌堆积体和坚硬的土质边坡	
0.28~0.30	软土质边坡	

### (二) 计算位置选取

据现场调查，勘查区存在危岩体和破碎区块石。本次选取各区典型剖面、区域内最大危岩单体石块计算落石运动计算。详见下表：

灾害点计算剖面及最大粒径石块统计表

序号	里程及边侧	计算剖面选取	最大危岩单体方量 (m³)
S211-7	K14+600 左侧	K14+600 左侧	1.2

表 7.5.2-11

### (三) 计算方法

本次采用了《铁路工程不良地质勘察规程》(TB 10027-2022) 5.5.3 条文说明推荐的危岩体落石最大能量式、最大弹跳高度式、最大滚动距离式，结合数值模拟软件 Rocfall 进行落石风险性分析，它考虑到了岩块的形状、大小和密度、运动方式、坡面形态、坡面粗糙度、坡面摩擦系数、阻尼系数等基本输入参数及其不确定性特征，可模拟得出落石的运动轨迹、弹跳高度、落石速度等，较好地反映了落石真实下落过程。

### (四) 落石运动过程模拟

模拟的基本假定为：模拟进行 50 次落石运动轨迹，落石沿危岩带区域随机分布，起始点为危岩带顶部位置，水平和竖直速度为 0.1m/s 时，认定落石停滞。每个块体方量根据表 7.5.2-7 确定，摩擦系数按表 7.5.2-8 选取，在弹跳模式下，

根据表 7.5.2-9、7.5.2-10 选取阻尼系数（在公差为 0.04 范围内计算机随机选取），模拟计算过程见下表。

### (1) 危岩单体落石运动模拟及结果统计

S211-5 (K14+600 左侧) 地质灾害点 1-1' 剖面落石运动模拟计算及结果统计见下图：

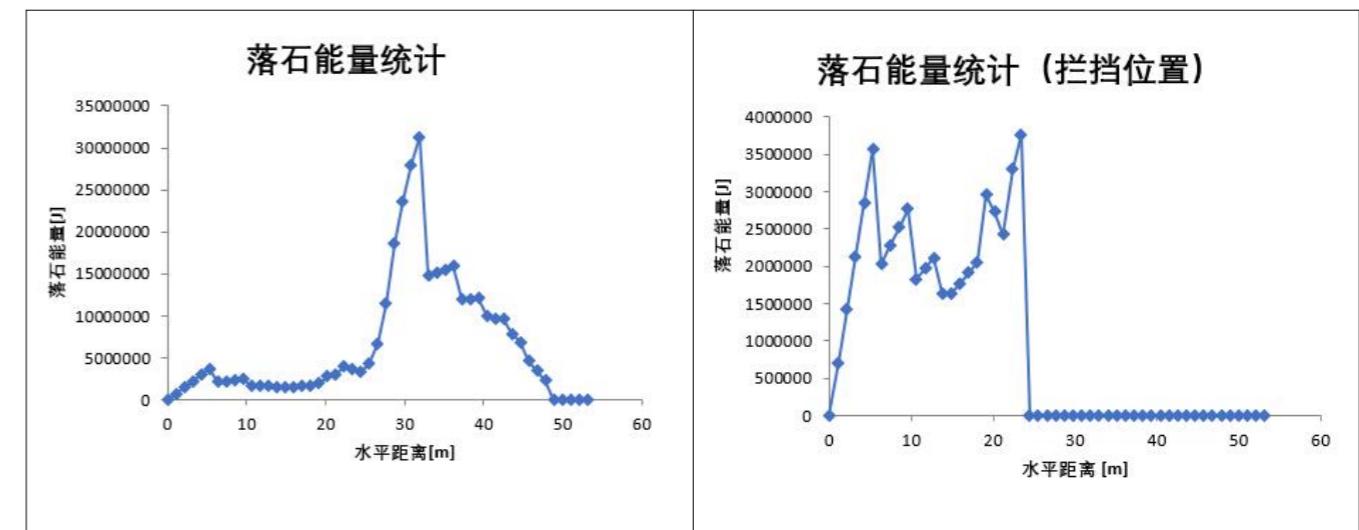
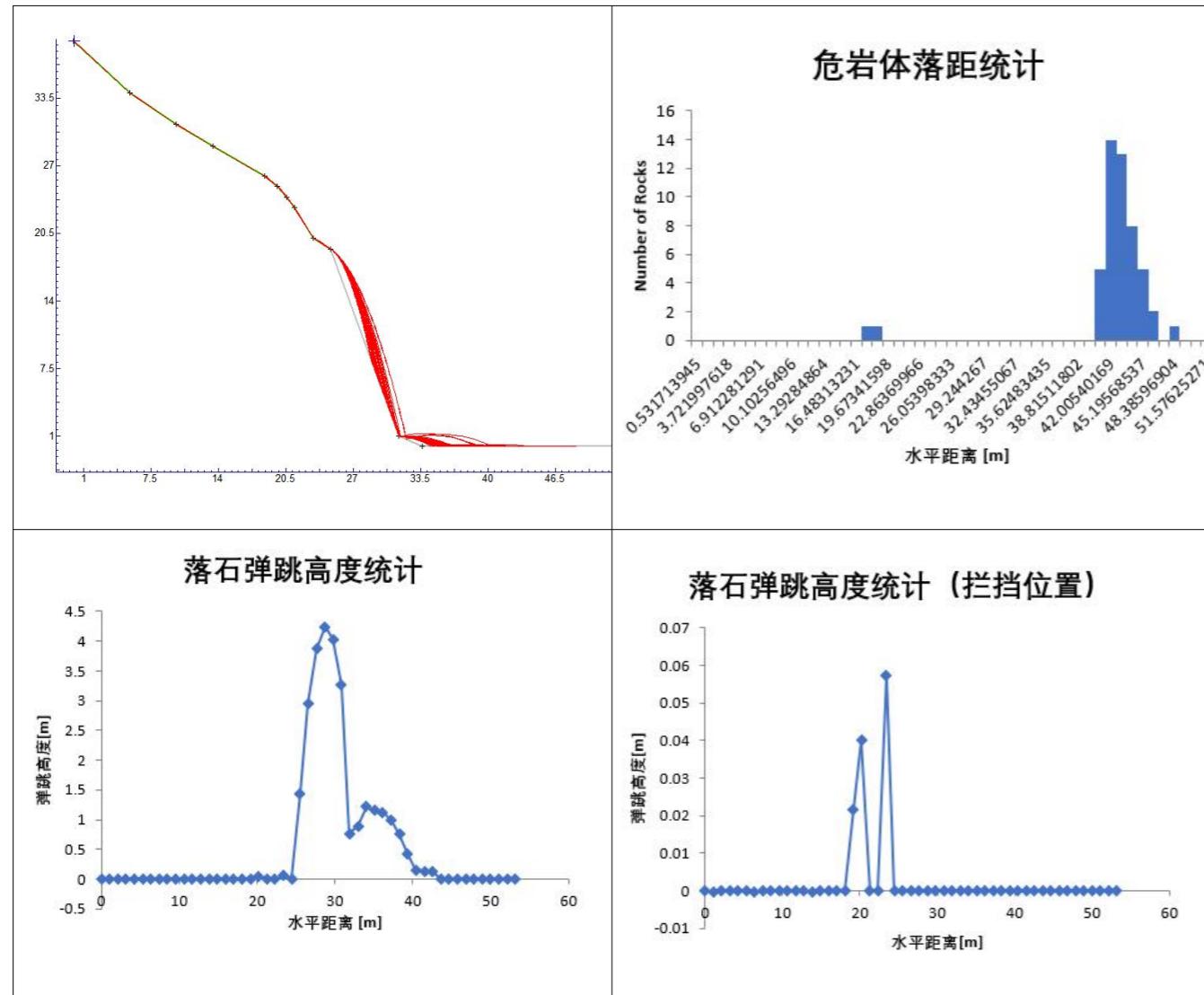


图 7.5.2-5 落石运动模拟结果图

### (五) 计算结果及分析

落石运动计算结果统计表

表 7.5.2-12

序号	里程及边侧	最大	最大弹	块体	拟定石	最大冲	拦挡部位	
		落距 [m]	跳高度 [m]				弹跳高度 (m)	冲击能量 (kJ)
S211-5	K14+600 左侧	48	4.30	6	54400	30000	0.6	3600

从计算结果看，危岩失稳时，对坡下道路安全造成威胁。

### 3、崩塌的危害性评价及危险性预测

据对危岩带岩体的勘查，危岩体易沿缓倾、外倾结构面产生滑移；后壁节理面、侧壁节理面主要起切割块体作用。且岩体受节理面切割破碎，浅表层局部存在不稳定块体，表现为零星掉块。本报告对各危岩的节理面进行了统计分析，节理结构面的组合关系多对岩体的稳定性不利。在风化、降雨以及风化等作用下，易于产生危岩崩塌。

崩塌的下方即是 S211 斋幽路省道，根据危岩体（带）特征，经综合分析崩塌区出现局部的块体滑塌的可能性大，危险性及危害性较大。

### 7.5.2.5 治理工程设计参数

岩土物理力学参数建议值表

表 7.5.2-13

岩土 名称	重度 (kN/m <sup>3</sup> )		抗剪强度		抗压强度 (MPa)		抗拉强度 (MPa)		承载 力特 征值 Fak (kPa)	岩体 对挡 墙基 底摩 擦系 数 $\mu$	极限粘 结强度 标准值 frbk (kPa)		
			C(kPa)	$\phi$ (°)									
	天然	饱和	天然	饱和	天然	饱和	天然	饱和					
中风化 英安岩	27.2	27.7	400	/	43	/	80	70	8.0	7.0	1800	0.58	950
英安岩 结构面	/	/	30.0	22.5	25	20	/	/	0.8	0.7	/	/	/

### 7.5.3 设计方案

根据现场地形、地质及施工条件，本防治点主要采取 GPS-300-0 张口式引导防护系统+局部危岩清除+局部锚固的方式进行综合治理，治理措施及选型详见下表：

防治措施统计表

表 7.5.3-1

里程桩号	K10+465~K10+520	
里程长度 (m)	55	
实际防治宽度 (m)	80	
设计高度 (m)	28	
网面面积 (m <sup>2</sup> )	2240	
治理措施	GPS-300-0 张口式引导防护系统+局部危岩清除+局部锚固	
选型理由	(1) 边坡整体稳定性较好，仅进行浅表层落石运动控制；(2) 坡脚地带坡度较缓，有利于落石缓冲及拦截；(3) 落石块径较小、频发率较低；(4) 破碎区松散岩体分布于边坡中上部，在边坡中下部设张口式引导网能承接并引导落石掉落至坡脚，便于后期清理及维护；(5) 边坡危岩存在裂隙，体量较小，考虑局部清理危岩；(6) 边坡岩体存在明显卸荷裂隙，裂隙倾向与坡向相同，存在整体倾倒风险，需考虑锚杆加固。	
施工安全保障措施	1、按照先清危再挂网的顺序进行施工，危岩及浮石务必清理到位，清理后无明显松动及脱落迹象；2、施工前公路临时交通导改，单车道通行，设置交通管理员、监督员及施工监测员；3、坡面危岩、浮石清理时临时中断交通，边坡下方严禁车辆、行人通行；4、吊车作业人员、高空作业人员持证上岗、戴好安全帽、系好安全绳；5、严禁同一桩号处边坡上下同时作业；6、雨季、汛期施工注意防患山洪、崩塌等灾害风险。	

## 7.6 K13+000~K13+135 右侧崩塌隐患防治工程（项目编号：S211-6）

### 7.6.1 基本情况

S211-6 崩塌隐患点位于斋幽路 K13+000~K13+135 处右侧边坡。防治区域如

下：



### 7.6.2 勘查主要结论

#### 7.6.2.1 位置分布、基本特征及危害对象

根据现场勘查结合区域资料，坡体主要由白垩系东岭台组砂类页岩组成，中风化状态，棕褐色，多呈巨厚状分布。边坡整体坡向约 295°，坡面基岩裸露，坡面有危岩，危岩规模较大，极易崩塌，部分危岩体已崩塌，隐患点现状坡率 1:0.1~1:0.3，最高约 30m。其基本特征详见地质灾害隐患点综合分析评价表。

根据现场调查,该隐患点主要威胁斋幽路过道车辆及行人安全,按《地质灾害治理工程实施技术规范》(DB11/T 1524-2018)和《崩塌防治工程勘查规范(试行)》(T/CAGHP011-2018)等标准规范,该崩塌隐患点防治工程等级为II级。

S211-6 崩塌地质灾害隐患点综合分析评价表 表 7.6.2-1

地质灾害点 编号	S211-6	里程桩号及边侧	斋幽路 K13+000~K13+135 处 右侧
既有边坡状况	边坡整体坡向 295°, 坡面基岩裸露, 坡面有危岩, 危岩规模较大, 极易崩塌, 部分危岩体已崩塌, 隐患点现状坡率 1:0.1~1:0.3, 最大高度约 30m。		
工程地质条件	勘查区地貌类型属构造剥蚀低山地貌; 边坡坡面基岩裸露, 坡顶以上地形较陡, 自然斜坡坡度约 25~35°, 灌木植被较发育。边坡为岩质边坡, 坡体主要由白垩系东岭台组砂类页岩组成, 中风化状态, 棕褐色, 多呈巨厚状分布。岩层产状 338°∠49°; 两组节理产状及密度为 J1:183°∠69°, 2~4 条/m, 延伸 1~5m; J2:98°∠62°, 1~2 条/m, 延伸 0.5~6m。		
不良地质现象	区内岩体节理裂隙发育, 岩体切割成块状, 加之人工切坡较陡, 坡面长期裸露, 表层岩体风化剥蚀, 岩体破碎, 因此区内主要不良地质现象为崩塌。		
周边环境条件	坡脚为斋幽路, 有 10KV 电杆、电力线。		
现状变形特征	该边坡无整体变形现象; 现状变形破坏形式主要为表层岩体因不利结构面切割、风化等影响, 局部发生小规模掉块落石现象。		
地灾影响因素 及形成机制	<p>①人类工程活动, 区域人类工程活动强烈, 边坡为建设 S211 道路爆破切坡所致, 一方面, 使得原本较完整的岩体产生多组不规则裂隙。而切坡坡度过陡使得岩体在自重作用下沿裂隙缓慢向下弯曲、滑移。其中外倾坡体的裂缝形成了软弱基座, 纵向切割的裂缝构成了崩塌体的两侧壁。另一方面, 切坡在一定程度上破坏了陡崖的整体稳定性, 为危岩的形成提供了临空条件, 加快危岩的变形破坏。爆破和切坡过陡是该崩塌形成的初始成因;</p> <p>②强降雨, 强降雨对崩塌的主要作用有三: 一是水的物理化学作用降低了结构面的粘结力; 二是在陡崖后缘裂缝中的水柱形成静水压力; 三是入渗滑塌体外倾结构面内形成的扬压力作用, 都使得危岩在雨季的稳定性大幅下降, 因而暴雨对危岩体的稳定性影响极大;</p>		

稳定性因素 分析	③风化作用, 工程区域内季节变化明显, 气温, 湿度等风化因素变化剧烈, 这些因素综合作用加速了危岩体裂隙的扩展, 降低了岩体强度, 加快了岩体的变形破坏。
	多组陡倾节理裂隙将局部岩体切割破碎, 在陡倾临空坡面中容易产生坠落式崩塌破坏, 表现为局部崩塌落石。
	(1) 岩层层面与边坡斜交, 为切层坡, 发生整体滑动的可能性很小。 (2) 三组陡倾节理将岩体切割为块状, 坡体前缘临空, 切割岩体易沿临空面滑动坠落, 加之局部岩体破碎, 局部区域掉块形成小规模凹岩腔, 易发生局部掉块落石。
综合评价	边坡与岩层产状斜交, 沿边坡坡向方向岩层产状视倾角平缓, 边坡发生整体失稳的可能性较小, 通过工程地质类比法对边坡进行分析评价, 边坡整体在 2024 水文年暴雨期间基本无明显变形迹象, 初步判断边坡整体稳定, 但长期若遇外动力或强降雨等因素, 由于节理裂隙发育, 可能存在局部崩塌。
防治措施建议	坡面整体滑动可能性小, 但坡体岩体破碎, 且前缘切坡较陡, 坡面易发生松散块石掉块现象, 建议 K13+000~020 段(易滑塌段)坡脚设挡土墙(新增); K13+020~110 段(易崩塌段)张口式引导防护系统; K13+000~135 段(易碎落段)主动防护系统。

### 7.6.2.2 治理工程设计参数

岩土物理力学参数建议值表

表 7.6.2-2

岩土 名称	重度 (kN/m <sup>3</sup> )		抗剪强度			抗压强度 (MPa)	抗拉强度 (MPa)	承载 力特 征值 Fak (kPa)	岩体 对挡 墙基 底摩 擦系 数 $\mu$	极限粘 结强度 标准值 frbk (kPa)	施工安全保障措施		
			C (kPa)		$\phi$ (°)								
	天然	饱和	天然	饱和	天然	饱和	天然	饱和					
中风化 粉砂岩	27.0	27.5	300	/	42.5	/	30	25	3.0	2.5	1200	0.55	800
粉砂岩 结构面	/	/	27.5	21.5	27.5	21		/	0.6	0.5	/	/	/

### 7.6.3 设计方案

根据现场地形、地质及施工条件，本防治点主要采取 K13+000~020 段（易滑塌段）：坡脚设 1.5m 挡土墙（新增）；K13+020~110 段（易崩塌段）：GPS-200-O 张口式引导防护系统；K13+110~135 段（易碎落段）：APS-150-P 主动防护系统的方

式进行综合治理，治理措施及选型详见下表：

防治措施统计表

表 7.6.3-1

里程桩号	K13+000~K13+135	
里程长度 (m)	135	
实际防治宽度 (m)	102、31	
设计高度 (m)	37、30	
网面面积 (m <sup>2</sup> )	3774 (张口式网)、930 (主动网)	
治理措施	K13+000~020 段（易滑塌段）：坡脚设 1.5m 挡土墙（新增）；K13+020~110 段（易崩塌段）：GPS-200-O 张口式引导防护系统 K13+110~135 段（易碎落段）：APS-150-P 主动防护系统。	
选型理由	(1) 边坡整体稳定性较好，仅进行浅表层落石运动控制；(2) 坡脚地带坡度较缓，有利于落石缓冲及拦截；(3) 落石块径较小、频发率较低；(4) 破碎区松散岩体分布于边坡中上部，在边坡中下部设张口式引导网能承接并引导落石掉落至坡脚，便于后期清理及维护；(5) 对于不稳定斜坡，增设坡脚挡土墙增加其稳定性；(6) 破碎区松散岩体分布于边坡中上部，且坡率不大，设置主动防护系统能较好挂网成型并防护落石。	

## 7.7 K14+520~K14+620 左侧崩塌隐患防治工程（项目编号：S211-7）

### 7.7.1 基本情况

S211-7 崩塌隐患点位于斋幽路 K14+520~K14+620 处左侧边坡。防治区域如下：



图 7.7.1 防治区域全貌

### 7.7.2 勘查主要结论

#### 7.7.2.1 位置分布、基本特征及危害对象

根据现场勘查结合区域资料，坡体主要由白垩系东岭台组变质砂砾岩组成，中风化状态，青灰色，多呈中厚~厚状分布。边坡整体坡向约 48°，坡面基岩裸露，坡面有危岩，危岩规模较大，极易崩塌，部分危岩体已崩塌，隐患点现状坡率 1:0.2~1:0.3，最高约 17m。其基本特征详见地质灾害隐患点综合分析评价表。

根据现场调查，该隐患点主要威胁斋幽路过道车辆及行人安全，按《地质灾害治

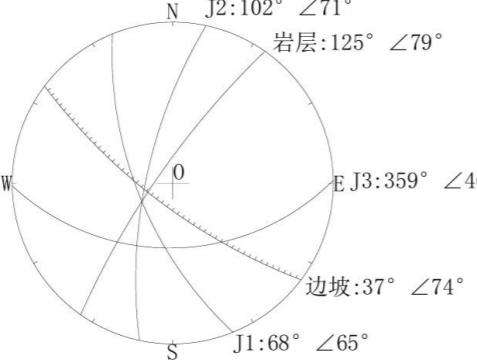
理工程实施技术规范》(DB11/T 1524-2018) 和《崩塌防治工程勘查规范(试行)》

(T/CAGHP011-2018) 等标准规范，该崩塌隐患点防治工程等级为 II 级。

S211-7 崩塌地质灾害隐患点综合分析评价表

表 7.7.2-1

地质灾害点 编号	S211-7	里程桩号及边侧	斋幽路 K14+520~K14+620 处 左侧
既有边坡状况	边坡整体坡向 48°，坡面基岩裸露，坡面有危岩，危岩规模较大，极易崩塌，部分危岩体已崩塌，隐患点现状坡率 1:0.2~1:0.3，最大高度约 17m。		
工程地质条件	勘查区地貌类型属构造剥蚀低山地貌；边坡坡面基岩裸露，坡顶以上地形较陡，自然斜坡坡度约 45~52°，灌木植被较发育。边坡为岩质边坡，坡体主要由白垩系东岭台组变质砂砾岩组成，中风化状态，青灰色，多呈中厚~厚状分布。岩层产状 125°∠79°；四组节理产状及密度为 J1:68°∠65°，1~2 条/m，延伸 0.5~3m；J2:102°∠71°，<1 条/m，延伸 0.3~15m；J3:307°∠35°，<1 条/m，延伸 0.5~2m；J4:359°∠46°，<1 条/m，延伸 4~15m。		
不良地质现象	区内岩体节理裂隙发育，岩体切割成块状，加之人工切坡较陡，坡面长期裸露，表层岩体风化剥蚀，岩体破碎，因此区内主要不良地质现象为崩塌。		
周边环境条件	坡脚为斋幽路，有 10KV 电杆、电力线。		
现状变形特征	该边坡无整体变形现象；现状变形破坏形式主要为表层岩体因不利结构面切割、风化等影响，局部发生小规模掉块落石现象。		
地灾影响因素 及形成机制	①人类工程活动，区域人类工程活动强烈，边坡为建设 S211 道路爆破切坡所致，一方面，使得原本较完整的岩体产生多组不规则裂隙。而切坡坡度过陡使得岩体在自重作用下沿裂隙缓慢向下弯曲、滑移。其中外倾坡体的裂缝形成了软弱基座，纵向切割的裂缝构成了崩塌体的两侧壁。另一方面，切坡在一定程度上破坏了陡崖的整体稳定性，为危岩的形成提供了临空条件，加快危岩的变形破坏。爆破和切坡过陡是该崩塌形成的初始成因； ②强降雨，强降雨对崩塌的主要作用有三：一是水的物理化学作用降低了结构面的粘结力；二是在陡崖后缘裂缝中的水柱形成静水压力；三是入渗滑塌体外倾结构面内形成的扬压力作用，都使得危岩在雨季的稳定性大幅下降，		

	<p>因而暴雨对危岩体的稳定性影响极大；</p> <p>③风化作用，工程区域内季节变化明显，气温，湿度等风化因素变化剧烈，这些因素综合作用加速了危岩体裂隙的扩展，降低了岩体强度，加快了岩体的变形破坏。</p> <p>多组陡倾节理裂隙将局部岩体切割破碎，在陡倾临空坡面中容易产生坠落式崩塌破坏，表现为局部崩塌落石。</p>
稳定性因素分析	<p>(1) 岩层层面与边坡斜交，为切层坡，发生整体滑动的可能性很小。</p> <p>(2) 三组陡倾节理将岩体切割为块状，坡体前缘临空，切割岩体易沿临空面滑动坠落，加之局部岩体破碎，局部区域掉块形成小规模凹岩腔，易发生局部掉块落石。</p> 
综合评价	边坡与岩层产状斜交，沿边坡坡向方向岩层产状视倾角平缓，边坡发生整体失稳的可能性较小，通过工程地质类比法对边坡进行分析评价，边坡整体在2024水文年暴雨期间基本无明显变形迹象，初步判断边坡整体稳定，但长期若遇外动力或强降雨等因素，由于节理裂隙发育，可能存在局部崩塌。
防治措施建议	坡面整体滑动可能性小，但坡体岩体破碎，且前缘切坡较陡，坡面易发生松散块石掉块现象，建议坡顶设被动防护系统+坡脚凹腔处的嵌补其中K14+520~575段坡面设主动防护系统。

		号	(m <sup>2</sup> )	(m)	(m <sup>3</sup> )	(t/m <sup>3</sup> )	(t)
S211-7	斋幽路 K14+520~ K14+620 处左侧	WY211-7	10	2	20	2.68	53.6

危岩单体特征、稳定性评价及整治方案见下表。

### 7.7.2.2 危岩、节理裂隙发育区分布及形态特征

本次区内已经查明1个危岩，编号为WY211-7，方量总计20m<sup>3</sup>，被结构面切割开来属于小型崩塌，详细信息下表。

S211-7 危岩体统计表

表 7.7.2-2

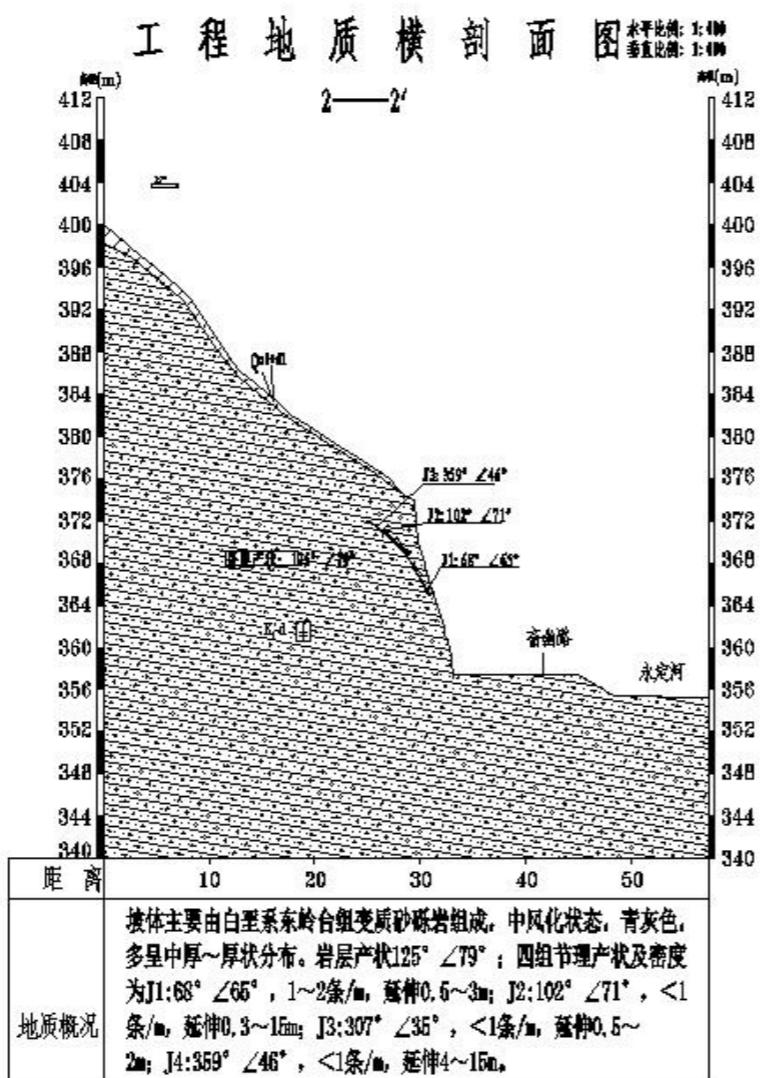
序号	里程及边侧	危岩编	面积	厚度	体积	密度	质量

编号	坐标	X: 390219	危岩顶标高	384	岩层产状		$193^{\circ} \angle 16^{\circ}$		斜坡倾向		$37^{\circ}$		危岩前缘倾角		$77^{\circ}$		斜坡结构类型		碎屑岩质斜坡
WY211 -7		Y: 4438031	危岩底标高	372	顶宽 (m)	1	底宽 (m)	1	高 (m)	10	厚 (m)	2	体积 (m <sup>3</sup> )	83.9	崩塌方向	$77^{\circ}$	破坏方式	滑移式	

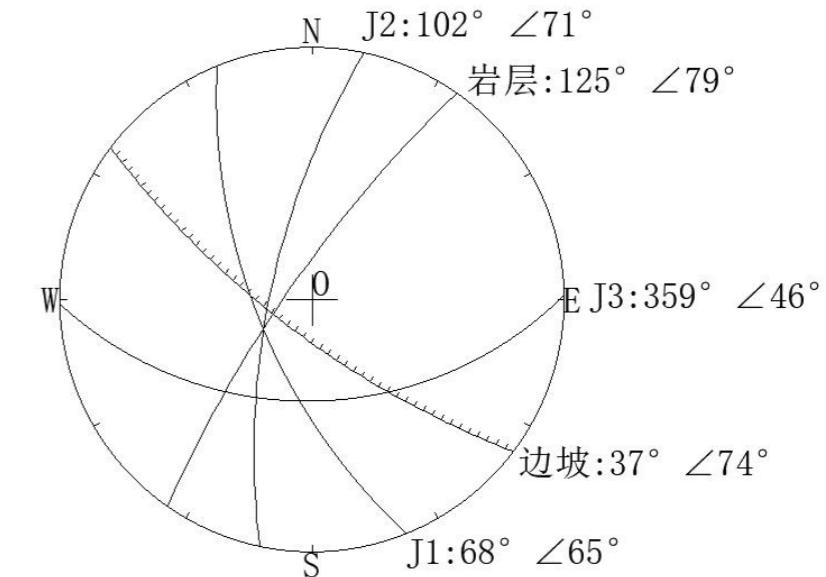
控制危岩的结构面特征

编号	位置	倾向	倾角	切割深度	张开度	充填物	裂面形态	裂面粗糙度	裂隙间距	地下水情况
J1	后壁	$32^{\circ}$	$82^{\circ}$	0.5~1.5m	1~2cm	无	较弯曲	较粗糙较光滑	0.5~1m	无
J2	底部	$146^{\circ}$	$79^{\circ}$	0.2~1m	0.5~1cm	无	较弯曲	较粗糙	1~2 m	无
产状	侧壁	$193^{\circ}$	$16^{\circ}$	0.5~1m	闭合	无	较平直	较光滑	1~3 m	无

危岩剖面示意图



赤平投影分析图



				据赤平投影分析: 块体易沿结构面产生坠落式破坏, 其	危害性	危岩体一旦失稳, 将威胁坡脚道路行人车辆的生命
--	--	--	--	----------------------------	-----	-------------------------

危岩形态及变形特征	危岩体立面形态呈不规则形，前缘临空，主要受优势结构面切割，岩体较破碎。	危岩稳定性评价	余节理面起切割岩体作用。 通过工程地质类比法对边坡进行分析评价，危岩体基本无明显变形迹象，初步判断危岩体天然工况、暴雨工况下处于稳定状态，但长期若遇外动力或强降雨等因素，危岩体不良地质现象加剧，可能发生局部小型崩塌。	预测	财产安全。
				治理方案	清除危岩体，底部被动防护网

### 7.7.2.3 危岩稳定性计算及评价

#### 1、计算公式的选择

同 7.5.2 章节。

#### 2、计算工况

同 7.5.2 章节。

#### 3、计算参数的确定

同 7.5.2 章节。

#### 4、危岩稳定性评价标准

同 7.5.2 章节。

#### 5、稳定性计算结果

		危岩体稳定性系数及评价表						表 7.7.2-3
危岩体编号	破坏模式	工况 1：天然状态		工况 2：饱和状态		工况 3：校核工况		
		稳定性系数	稳定状态	稳定性系数	稳定状态	稳定性系数	稳定状态	
WYS211-7	滑移式	1.61	稳定	1.22	欠稳定	1.11	欠稳定	

### 7.7.2.4 危岩破坏后的运动计算

#### 1、运动形式

同 7.5.2 章节。

## 2、运动计算

#### (一) 技术参数选取

同 7.5.2 章节。

#### (二) 计算位置选取

据现场调查，勘查区存在危岩体和破碎区块石。本次选取各区典型剖面、区域内最大危岩单体石块计算落石运动计算。详见下表：

灾害点计算剖面及最大粒径石块统计表				表 7.7.2-4
序号	里程及边侧	计算剖面选取	最大危岩单体方量 (m³)	
S211-7	K14+600 左侧	K14+600 左侧	1.2	

#### (三) 计算方法

同 7.5.2 章节。

#### (四) 落石运动过程模拟

同 7.5.2 章节。

##### (1) 危岩单体落石运动模拟及结果统计

S211-7 (K14+600 左侧) 地质灾害点 1-1' 剖面落石运动模拟计算及结果统计

见下图：

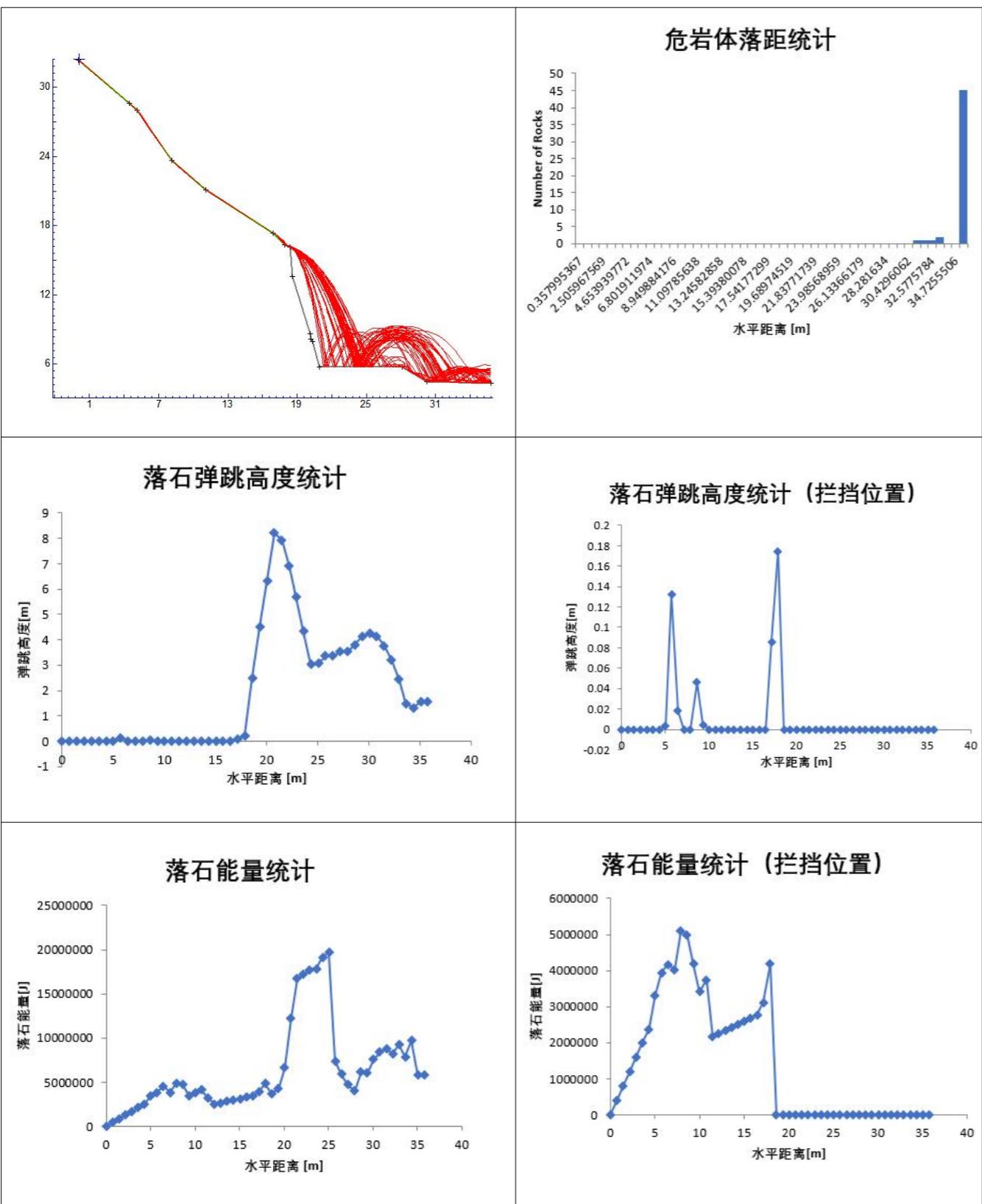


图 7.7.2-1 落石运动模拟结果图

## (五) 计算结果及分析

落石运动计算结果统计表

表 7.7.2-5

序号	里程及边侧	最大落距 (m)	最大弹跳高度 (m)	块体方量 ( $m^3$ )	拟定石块质量 (kg)	最大冲击能量 (kJ)	拦挡部位	
							弹跳高度 (m)	冲击能量 (kJ)
S211-7	K14+600 左侧	11	0.35	2	54400	300	0.28	300

从计算结果看，危岩失稳时，对坡下道路安全造成威胁。

## 3、崩塌的危害性评价及危险性预测

据对危岩带岩体的勘查，危岩体易沿缓倾、外倾结构面产生滑移；后壁节理面、侧壁节理面主要起切割块体作用。且岩体受节理面切割破碎，浅表层局部存在不稳定块体，表现为零星掉块。本报告对各危岩的节理面进行了统计分析，节理结构面的组合关系多对岩体的稳定性不利。在风化、降雨以及风化等作用下，易于产生危岩崩塌。

崩塌的下方即是 S211 斋幽路省道，根据危岩体（带）特征，经综合分析崩塌区出现局部的块体滑塌的可能性大，危险性及危害性较大。

### 7.7.2.5 治理工程设计参数

岩土物理力学参数建议值表

表 7.7.2-6

岩土名称	重度 ( $kN/m^3$ )		抗剪强度		抗压强度 (MPa)		抗拉强度 (MPa)		承载力特征值 $Fak$ (kPa)	岩体对挡墙基底摩擦系数 $\mu$	极限粘结强度标准值 $frbk$ (kPa)	
			C (kPa)	$\phi$ (°)								
中风化变质砂砾岩	27.0	27.5	300	/	42.5	/	30	25	3.0	2.5	1200	0.55
变质砂砾岩结构面	/	/	27.5	21.5	27.5	21	/	/	0.6	0.5	/	/

### 7.7.3 设计方案

根据现场地形、地质及施工条件，本防治点主要采取坡顶设 PPS-200-DB-A 被动防护系统+坡脚凹腔处的嵌补其中 K14+520~575 段坡面设 APS-300-P 主动防护系统的方式进行综合治理，治理措施及选型详见下表：

防治措施统计表		表 7.7.3-1
里程桩号		K14+520~K14+620
里程长度 (m)		100
实际防治宽度 (m)		105、66
设计高度 (m)		5、21
网面面积 ( $m^2$ )		525（被动网）、1386（主动网）
治理措施		坡顶设 PPS-200-DB-A 被动防护系统+坡脚凹腔处的嵌补其中 K14+520~575 段坡面设 APS-300-P 主动防护系统
选型理由		(1) 边坡整体稳定性较好，仅进行浅表层落石运动控制；(2) 坡脚地带坡度较缓，有利于落石缓冲及拦截；(3) 落石块径较小、频发率较低；(4) 破碎区松散岩体分布于边坡中上部，在边坡中上部设被动防护系统能拦截落石；(5) 边坡岩体存在明显卸荷裂隙，裂隙倾向与坡向相同，存在整体倾倒风险，需考虑嵌补；(6) 主动网能有效遏制危岩的进一步发展，避免形成更大的崩塌隐患。
施工安全保障措施		1、按照先清危再挂网的顺序进行施工，危岩及浮石务必清理到位，清理后无明显松动及脱落迹象；2、施工前公路临时交通导改，单车道通行，设置交通管理员、监督员及施工监测员；3、坡面危岩、浮石清理时临时中断交通，边坡下方严禁车辆、行人通行；4、吊车作业人员、高空作业人员持证上岗、戴好安全帽、系好安全绳；5、严禁同一桩号处边坡上下同时作业；6、雨季、汛期施工注意防患山洪、崩塌等灾害风险。

### 7.8 K14+867~K14+965 左侧崩塌隐患防治工程（项目编号：S211-8）

#### 7.8.1 基本情况

S211-8 崩塌隐患点位于斋幽路 K14+867~K14+965 处左侧边坡。防治区域如下：



图 7.8.1 防治区域全貌

#### 7.8.2 勘查主要结论

##### 7.8.2.1 位置分布、基本特征及危害对象

根据现场勘查结合区域资料，坡体主要由白垩系东岭台组变质砂砾岩组成，中风化状态，青灰色，多呈中厚~厚状分布。边坡整体坡向约  $105^\circ$ ，坡面基岩裸露，坡面有危岩，危岩规模较大，极易崩塌，部分危岩体已崩塌，隐患点现状坡

率  $1:0.2 \sim 1:0.3$ ，最高约 25m。其基本特征详见地质灾害隐患点综合分析评价表。

根据现场调查，该隐患点主要威胁斋幽路过道车辆及行人安全，按《地质灾害治理工程实施技术规范》（DB11/T 1524—2018）和《崩塌防治工程勘查规范（试行）》（T/CAGHP011—2018）等标准规范，该崩塌隐患点防治工程等级为Ⅱ级。

S211-8 崩塌地质灾害隐患点综合分析评价表

表 7.8.2-1

地质灾害点 编号	S211-8	里程桩号及边侧	斋幽路 K14+867~K14+965 处 左侧
既有边坡状况	边坡整体坡向约 $105^\circ$ ，坡面基岩裸露，坡面有危岩，危岩规模较大，极易崩塌，部分危岩体已崩塌，隐患点现状坡率 $1:0.2 \sim 1:0.3$ ，最大高度约 25m。		
工程地质条件	勘查区地貌类型属构造剥蚀低山地貌；边坡坡面基岩裸露，坡顶以上地形较为平缓，自然斜坡坡度约 $35\sim48^\circ$ ，灌木植被较发育。边坡为岩质边坡，坡体主要由白垩系东岭台组变质砂砾岩组成，中风化状态，青灰色，多呈中厚~厚状分布。岩层产状 $59^\circ \angle 69^\circ$ ；三组节理产状及密度为 J1: $130^\circ \angle 40^\circ$ , <1 条/m, 延伸 2~10m; J2: $205^\circ \angle 85^\circ$ , <1 条/m, 延伸 2~10m; J3: $152^\circ \angle 56^\circ$ , 2~3 条/m, 延伸 0.5~3m。		
不良地质现象	区内岩体节理裂隙发育，岩体切割成块状，加之人工切坡较陡，坡面长期裸露，表层岩体风化剥蚀，岩体破碎，因此区内主要不良地质现象为崩塌。		
周边环境条件	坡脚为斋幽路，有 10KV 电杆、电力线。		
现状变形特征	该边坡无整体变形现象；现状变形破坏形式主要为表层岩体因不利结构面切割、风化等影响，局部发生小规模掉块落石现象。		
地灾影响因素 及形成机制	<p>①人类工程活动，区域人类工程活动强烈，边坡为建设 S211 道路爆破切坡所致，一方面，使得原本较完整的岩体产生多组不规则裂隙。而切坡坡度过陡使得岩体在自重作用下沿裂隙缓慢向下弯曲、滑移。其中外倾坡体的裂缝形成了软弱基座，纵向切割的裂缝构成了崩塌体的两侧壁。另一方面，切坡在一定程度上破坏了陡崖的整体稳定性，为危岩的形成提供了临空条件，加快危岩的变形破坏。爆破和切坡过陡是该崩塌形成的初始成因；</p> <p>②强降雨，强降雨对崩塌的主要作用有三：一是水的物理化学作用降低了结</p>		

稳定性因素 分析	构面的粘结力；二是在陡崖后缘裂缝中的水柱形成静水压力；三是入渗滑塌体外倾结构面内形成的扬压力作用，都使得危岩在雨季的稳定性大幅下降，因而暴雨对危岩体的稳定性影响极大； ③风化作用，工程区域内季节变化明显，气温，湿度等风化因素变化剧烈，这些因素综合作用加速了危岩体裂隙的扩展，降低了岩体强度，加快了岩体的变形破坏。 多组陡倾节理裂隙将局部岩体切割破碎，在陡倾临空坡面中容易产生坠落式崩塌破坏，表现为局部崩塌落石。
	(1) 岩层层面与边坡斜交，为切层坡，发生整体滑动的可能性很小。 (2) 三组陡倾节理将岩体切割为块状，坡体前缘临空，切割岩体易沿临空面滑动坠落，加之局部岩体破碎，局部区域掉块形成小规模凹岩腔，易发生局部掉块落石。
综合评价	边坡与岩层产状斜交，沿边坡坡向方向岩层产状视倾角平缓，边坡发生整体失稳的可能性较小，通过工程地质类比法对边坡进行分析评价，边坡整体在 2024 水文年暴雨期间基本无明显变形迹象，初步判断边坡整体稳定，但长期若遇外动力或强降雨等因素，由于节理裂隙发育，可能存在局部崩塌。
防治措施建议	坡面整体滑动可能性小，但坡体岩体破碎，且前缘切坡较陡，坡面易发生松散块石掉块现象，建议设置危岩清理+张口式引导防护系统。

### 7.8.2.2 治理工程设计参数

岩土物理力学参数建议值表

表 7.8.2-2

岩土 名称	重度 (kN/m <sup>3</sup> )		抗剪强度			抗压强度 (MPa)	抗拉强度 (MPa)	承载 力特 征值 Fak (kPa)	岩体 对挡 墙基 底摩 擦系 数 $\mu$	极限粘 结强度 标准值 frbk (kPa)			
			C(kPa)	$\phi$ (°)									
	天然	饱和	天然	饱和	天然	饱和	天然	饱和					
中风化 变质砂砾岩	27.0	27.5	300	/	42.5	/	30	25	3.0	2.5	1200	0.55	800
变质砂砾岩结构面	/	/	27.5	21.5	27.5	21	/	/	0.6	0.5	/	/	/

### 7.8.3 设计方案

根据现场地形、地质及施工条件，本防治点主要采取危岩清理+GPS-200-0 张口式引导防护系统的方式进行综合治理，治理措施及选型详见下表：

防治措施统计表

表 7.8.3-1

里程桩号	K14+867~K14+965	
里程长度 (m)	98	
实际防治宽度 (m)	128	
设计高度 (m)	28	
网面面积 (m <sup>2</sup> )	3584	
治理措施	危岩清理+GPS-200-0 张口式引导防护系统	
选型理由	(1) 边坡整体稳定性较好，仅进行浅表层落石运动控制；(2) 坡脚地带坡度较缓，有利于落石缓冲及拦截；(3) 落石块径较小、频发率较低；(4) 破碎区松散岩体分布于边坡中上部，在边坡中下部设张口式引导网能承接并引导落石掉落至坡脚，便于后期清理及维护；(5) 边坡危岩存在裂隙，体量较小，考虑局部清理危岩。	
施工安全保障措施	1、按照先清危再挂网的顺序进行施工，危岩及浮石务必清理到位，清理后无明显松动及脱落迹象；2、施工前公路临时交通导改，单车道通行，设置交通管理员、监督员及施工监测员；3、坡面危岩、浮石清理时临时中断交通，边坡下方严禁车辆、行人通行；4、吊车作业人员、高空作业人员持证上岗、戴好安全帽、系好安全绳；5、严禁同一桩号处边坡上下同时作业；6、雨季、汛期施工注意防患山洪、崩塌等灾害风险。	

### 7.9 K15+500~K15+625 左侧崩塌隐患防治工程（项目编号：S211-9）

#### 7.9.1 基本情况

S211-9 崩塌隐患点位于斋幽路 K15+500~K15+625 处左侧边坡。防治区域如

下：



#### 7.9.2 勘查主要结论

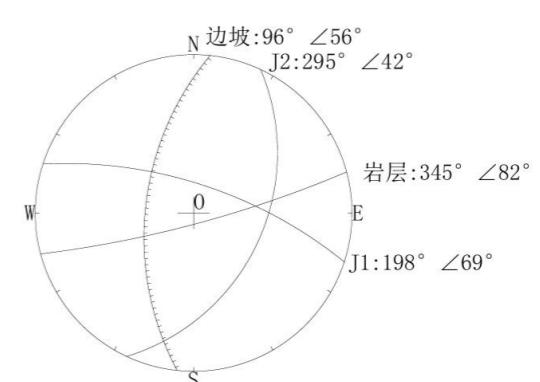
##### 7.9.2.1 位置分布、基本特征及危害对象

根据现场勘查结合区域资料，坡体主要由蓟县群杨庄组和雾迷山组并层白云岩组成，中风化状态，青灰色，多呈薄～中厚状分布。边坡整体坡向约 102°，坡面基岩裸露，坡顶部分形成倒坡，坡面有危岩，危岩规模较大，极易崩塌，部分危岩体已崩塌，隐患点现状坡率 1:0.2~1:0.4，最高约 12m。其基本特征详见地质灾害隐患点综合分析评价表。

根据现场调查，该隐患点主要威胁斋幽路过道车辆及行人安全，按《地质灾害治理工程实施技术规范》（DB11/T 1524-2018）和《崩塌防治工程勘查规范（试行）》（T/CAGHP011-2018）等标准规范，该崩塌隐患点防治工程等级为Ⅱ级。

S211-9 崩塌地质灾害隐患点综合分析评价表 表 7.9.2-1

地质灾害点 编号	S211-9	里程桩号及边侧	斋幽路 K15+500~K15+625 处 左侧
既有边坡状况	边坡整体坡向约 102°，坡面基岩裸露，坡顶部分形成倒坡，坡面有危岩，危岩规模较大，极易崩塌，部分危岩体已崩塌，隐患点现状坡率 1:0.2~1:0.4，最大高度约 12m。		
工程地质条件	勘查区地貌类型属构造剥蚀低山地貌；边坡坡面基岩裸露，坡顶以上地形较陡，自然斜坡坡度约 45~55°，灌木植被较发育。边坡为岩质边坡，坡体主要由蓟县群杨庄组和雾迷山组并层白云岩组成，中风化状态，青灰色，多呈薄~中厚状分布。岩层产状 345°∠82°；两组节理产状及密度为 J1:198°∠69°，<1 条/m，延伸 5~10m；J2:295°∠42°，<1 条/m，延伸 1~3m。		
不良地质现象	区内岩体节理裂隙发育，岩体切割成块状，加之人工切坡较陡，坡面长期裸露，表层岩体风化剥蚀，岩体破碎，因此区内主要不良地质现象为崩塌。		
周边环境条件	坡脚为斋幽路。		
现状变形特征	该边坡无整体变形现象；现状变形破坏形式主要为表层岩体因不利结构面切割、风化等影响，局部发生小规模掉块落石现象。		
地灾影响因素 及形成机制	①人类工程活动，区域人类工程活动强烈，边坡为建设 S211 道路爆破切坡所致，一方面，使得原本较完整的岩体产生多组不规则裂隙。而切坡坡度过陡使得岩体在自重作用下沿裂隙缓慢向下弯曲、滑移。其中外倾坡体的裂缝形成了软弱基座，纵向切割的裂缝构成了崩塌体的两侧壁。另一方面，切坡在一定程度上破坏了陡崖的整体稳定性，为危岩的形成提供了临空条件，加快危岩的变形破坏。爆破和切坡过陡是该崩塌形成的初始成因； ②强降雨，强降雨对崩塌的主要作用有三：一是水的物理化学作用降低了结构面的粘结力；二是在陡崖后缘裂缝中的水柱形成静水压力；三是入渗滑塌		

稳定性因素 分析	<p>体外倾结构面内形成的扬压力作用，都使得危岩在雨季的稳定性大幅下降，因而暴雨对危岩体的稳定性影响极大；</p> <p>③风化作用，工程区域内季节变化明显，气温，湿度等风化因素变化剧烈，这些因素综合作用加速了危岩体裂隙的扩展，降低了岩体强度，加快了岩体的变形破坏。</p> <p>多组陡倾节理裂隙将局部岩体切割破碎，在陡倾临空坡面中容易产生坠落式崩塌破坏，表现为局部崩塌落石。</p>
综合评价	<p>(1) 岩层层面与边坡斜交，为切层坡，发生整体滑动的可能性很小。</p> <p>(2) 三组陡倾节理将岩体切割为块状，坡体前缘临空，切割岩体易沿临空面滑动坠落，加之局部岩体破碎，局部区域掉块形成小规模凹岩腔，易发生局部掉块落石。</p> 
防治措施建议	边坡与岩层产状斜交，沿边坡坡向方向岩层产状视倾角平缓，边坡发生整体失稳的可能性较小，通过工程地质类比法对边坡进行分析评价，边坡整体在 2024 水文年暴雨期间基本无明显变形迹象，初步判断边坡整体稳定，但长期若遇外动力或强降雨等因素，由于节理裂隙发育，可能存在局部崩塌。
	坡面整体滑动可能性小，但坡体岩体破碎，且前缘切坡较陡，坡面易发生松散块石掉块现象，建议危岩清理+张口式引导防护系统+锚杆加固。

### 7.9.2.2 治理工程设计参数

岩土物理力学参数建议值表

表 7.9.2-2

岩土 名称	重度 (kN/m <sup>3</sup> )		抗剪强度		抗压强度 (MPa)	抗拉强度 (MPa)	承载 力特征 值 Fak (kPa)	岩体 对挡 墙基 底摩 擦系 数 μ	极限粘 结强度 标准值 frbk (kPa)				
			C(kPa)	φ(°)									
	天然	饱和	天然	饱和	天然	饱和	天然	饱和					
中风化 白云质 灰岩	26.5	26.7	400	/	43	/	40	35	4.0	3.5	1500	0.52	850
白云质 灰岩结 构面	/	/	30.0	25	25	20	/	/	0.6	0.5	/	/	/

### 7.9.3 设计方案

根据现场地形、地质及施工条件，本防治点主要采取危岩清理+GPS-200-0 张口式引导防护系统+锚杆加固的方式进行综合治理，治理措施及选型详见下表：

防治措施统计表

表 7.9.3-1

里程桩号	K15+500~K15+625	
里程长度 (m)	125	
网面面积 (m <sup>2</sup> )	4750	
治理措施	危岩清理+GPS-300-0 张口式引导防护系统+锚杆加固	
选型理由	(1) 边坡整体稳定性较好，仅进行浅表层落石运动控制；(2) 坡脚地带坡度较缓，有利于落石缓冲及拦截；(3) 落石块径较小、频发率较低；(4) 碎区松散岩体分布于边坡中上部，在边坡中下部设张口式引导网能承接并引导落石掉落至坡脚，便于后期清理及维护；(5) 边坡危岩存在裂隙，体量较小，考虑局部清理危岩；(6) 边坡岩体存在明显卸荷裂隙，裂隙倾向与坡向相同，存在整体倾倒风险，需考虑锚杆加固。	
施工安全保障措施	1、按照先清危再挂网的顺序进行施工，危岩及浮石务必清理到位，清理后无明显松动及脱落迹象；2、施工前公路临时交通改，单车道通行，设置交通管理员、监督员及施工监测员；3、坡面危岩、浮石清理时临时中断交通，边坡下方严禁车辆、行人通行；4、吊车作业人员、高空作业人员持证上岗、戴好安全帽、系好安全绳；5、严禁同一桩号处边坡上下同时作业；6、	

	雨季、汛期施工注意防患山洪、崩塌等灾害风险。
--	------------------------

## 7.10 K16+120~K16+360 左侧崩塌隐患防治工程（项目编号：S211-10）

(T/CAGHP011-2018) 等标准规范，该崩塌隐患点防治工程等级为Ⅱ级。

### 7.10.1 基本情况

S211-10 崩塌隐患点位于斋幽路 K16+120~K16+360 处左侧边坡。防治区域如下：



图 7.10.1 防治区域全貌

### 7.10.2 勘查主要结论

#### 7.10.2.1 位置分布、基本特征及危害对象

根据现场勘查结合区域资料，坡体主要由白垩系东岭台组变质砂砾岩组成，中风化状态，青灰色，多呈薄～中厚状分布。边坡整体坡向约 105°，坡面基岩裸露，坡面有危岩，危岩规模较大，极易崩塌，部分危岩体已崩塌，隐患点现状坡率 1:0.2～1:0.3，最高约 16m。其基本特征详见地质灾害隐患点综合分析评价表。

根据现场调查，该隐患点主要威胁斋幽路过道车辆及行人安全，按《地质灾害治理工程实施技术规范》(DB11/T 1524-2018) 和《崩塌防治工程勘查规范(试行)》

S211-10 崩塌地质灾害隐患点综合分析评价表

表 7.10.2-1

地质灾害点 编号	S211-10	里程桩号及边侧	斋幽路 K16+120~K16+360 处 左侧
既有边坡状况	边坡整体坡向约 105°，坡面基岩裸露，坡面有危岩，危岩规模较大，极易崩塌，部分危岩体已崩塌，隐患点现状坡率 1:0.2～1:0.3，最大高度约 16m。		
工程地质条件	勘查区地貌类型属构造剥蚀低山地貌；边坡坡面基岩裸露，坡顶以上地形较为平缓，自然斜坡坡度约 5～15°，灌木植被较发育。边坡为岩质边坡，坡体主要由白垩系东岭台组变质砂砾岩组成，中风化状态，青灰色，多呈薄～中厚状分布。岩层产状 225°∠29°；两组节理产状及密度为 J1:190°∠73°，1～3 条/m，延伸 1～8m；J2:93°∠79°，1～3 条/m，延伸 0.5～5m。		
不良地质现象	区内岩体节理裂隙发育，岩体切割成块状，加之人工切坡较陡，坡面长期裸露，表层岩体风化剥蚀，岩体破碎，因此区内主要不良地质现象为崩塌。		
周边环境条件	坡脚为斋幽路。		
现状变形特征	该边坡无整体变形现象；现状变形破坏形式主要为表层岩体因不利结构面切割、风化等影响，局部发生小规模掉块落石现象。		
地灾影响因素 及形成机制	<p>①人类工程活动，区域人类工程活动强烈，边坡为建设 S211 道路爆破切坡所致，一方面，使得原本较完整的岩体产生多组不规则裂隙。而切坡坡度过陡使得岩体在自重作用下沿裂隙缓慢向下弯曲、滑移。其中外倾坡体的裂缝形成了软弱基座，纵向切割的裂缝构成了崩塌体的两侧壁。另一方面，切坡在一定程度上破坏了陡崖的整体稳定性，为危岩的形成提供了临空条件，加快危岩的变形破坏。爆破和切坡过陡是该崩塌形成的初始成因；</p> <p>②强降雨，强降雨对崩塌的主要作用有三：一是水的物理化学作用降低了结构面的粘结力；二是在陡崖后缘裂缝中的水柱形成静水压力；三是入渗滑塌体外倾结构面内形成的扬压力作用，都使得危岩在雨季的稳定性大幅下降，因而暴雨对危岩体的稳定性影响极大；</p> <p>③风化作用，工程区域内季节变化明显，气温，湿度等风化因素变化剧烈，这些因素综合作用加速了危岩体裂隙的扩展，降低了岩体强度，加快了岩体</p>		

	的变形破坏。 多组陡倾节理裂隙将局部岩体切割破碎，在陡倾临空坡面中容易产生坠落式崩塌破坏，表现为局部崩塌落石。
稳定性因素分析	(1) 岩层层面与边坡斜交，为切层坡，发生整体滑动的可能性很小。 (2) 三组陡倾节理将岩体切割为块状，坡体前缘临空，切割岩体易沿临空面滑动坠落，加之局部岩体破碎，局部区域掉块形成小规模凹岩腔，易发生局部掉块落石。
综合评价	边坡与岩层产状斜交，沿边坡坡向方向岩层产状视倾角平缓，边坡发生整体失稳的可能性较小，通过工程地质类比法对边坡进行分析评价，边坡整体在2024水文年暴雨期间基本无明显变形迹象，初步判断边坡整体稳定，但长期若遇外动力或强降雨等因素，由于节理裂隙发育，可能存在局部崩塌。
防治措施建议	坡面整体滑动可能性小，但坡体岩体破碎，且前缘切坡较陡，坡面易发生松散块石掉块现象。

#### 7.10.2.2 危岩、节理裂隙发育区分布及形态特征

本次区内已经查明1处危岩，编号为WY211-1，方量总计20m<sup>3</sup>，该处危岩已被结构面切割开来属于小型崩塌，详细信息下表。

S211-1 危岩体统计表

表 7.10.2-2

序号	里程及边侧	危岩编号	面积 (m <sup>2</sup> )	厚度 (m)	体积 (m <sup>3</sup> )	密度 (t/m <sup>3</sup> )	质量 (t)
S211-1 0	斋幽路 K16+120~ K16+360 处左侧 边坡	WY211-10	2	1	2	2.68	2.68

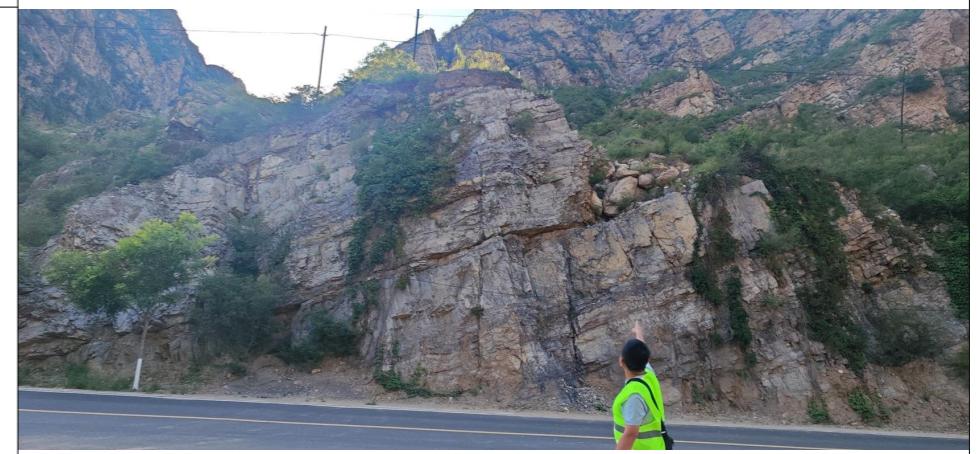
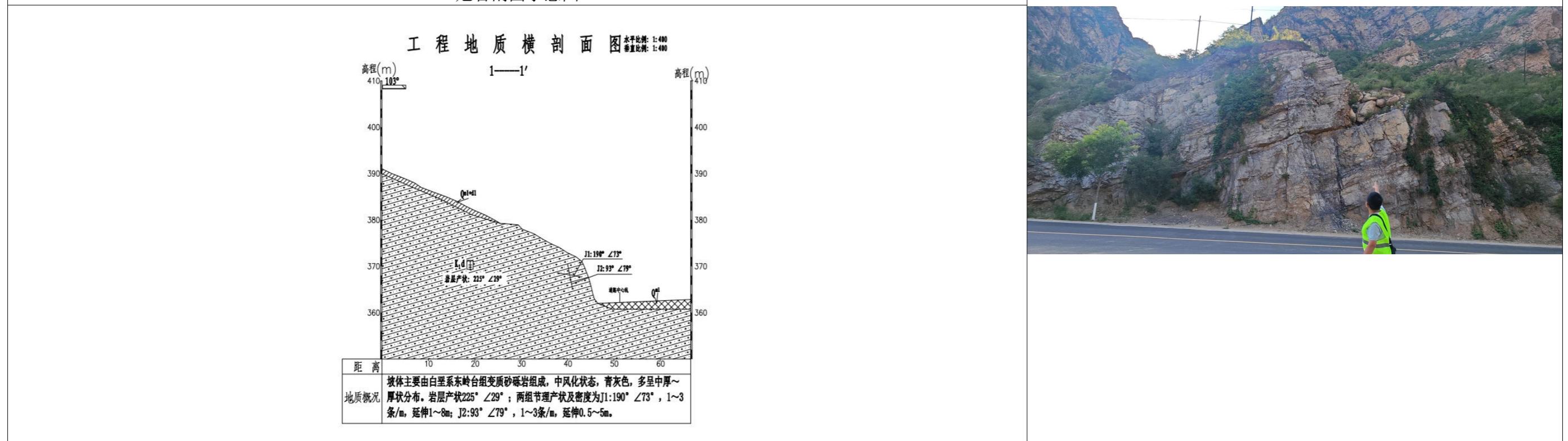
危岩单体特征、稳定性评价及整治方案见下表。

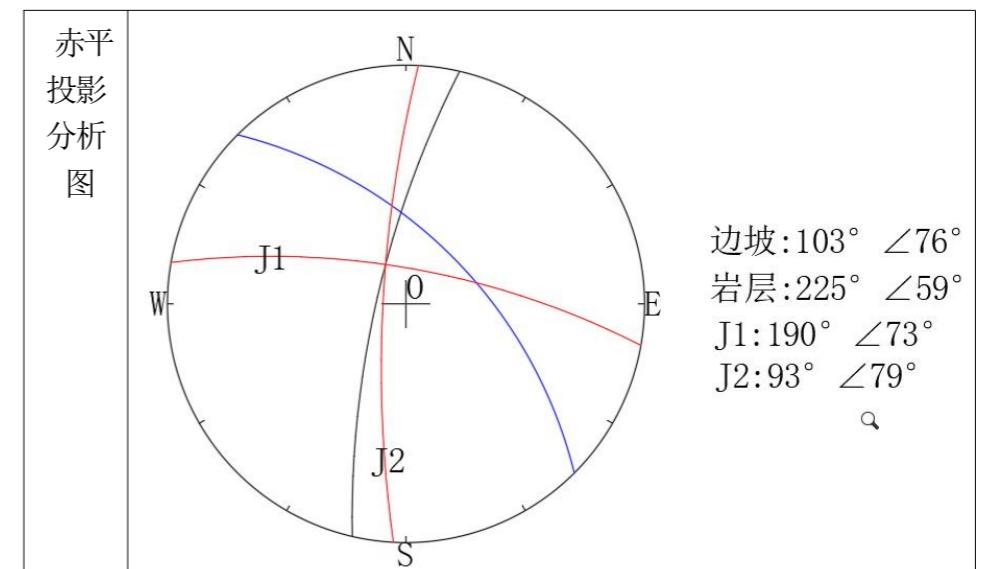
编号	坐标	X: 390458.44	危岩顶标高	373	岩层产状		225°∠29°		斜坡倾向		105°		危岩前缘倾角		60°	斜坡结构类型		碎屑岩质斜坡
WY211 -15		Y: 4439462.85	危岩底标高	361	顶宽 (m)	1	底宽 (m)	2	高 (m)	10	厚 (m)	1	体积 (m³)	2	崩塌方向	105°	破坏方式	坠落式

控制危岩的结构面特征

编号	位置	倾向	倾角	切割深度	张开度	充填物	裂面形态	裂面粗糙度	裂隙间距	地下水情况							
J1	后壁	93°	79°	0.5-1.5m	1~2cm	无	较弯曲	较粗糙较光滑	0.5~1m	无							
J2	底部	190°	73°	0.2~1m	0.5~1cm	无	较弯曲	较粗糙	1~2 m	无							
产状	侧壁	225°	29°	0.5~1m	闭合	无	较平直	较光滑	1~3 m	无							

危岩剖面示意图





危岩形态及 变形特征	危岩体立面形态呈不规则形，前缘临空，主要受优势结构面切割，岩体较破碎。	危岩稳定性 评价	<p>据赤平投影分析：块体易沿结构面产生坠落式破坏，其余节理面起切割岩体作用。</p> <p>通过工程地质类比法对边坡进行分析评价，危岩体基本无明显变形迹象，初步判断危岩体天然工况、暴雨工况下处于稳定状态，但长期若遇外动力或强降雨等因素，危岩体不良地质现象加剧，可能发生局部小型崩塌。</p>	危害性 预测	危岩体一旦失稳，将威胁坡脚道路行人车辆的生命财产安全。
			治理 方案	危岩清理+坡顶 PPS-200-DB-A 被动系防护系统+坡面 APS-150-P 主动防护系统+坡底凹腔回填嵌补	

灾害隐患点基本特征详见下表 7.10.2-3:

S211-15 灾害隐患点基本特征表		表 7.10.2-3	
序号	规模	基本特征	稳定性及落石易发性分析
S211-15	该区距坡脚威胁对象高差约 13m, 所处势能较高。该破碎区立面形态沿节理面陡坎分割, 平面尺寸及放量见前述。	区内立面凹凸不平, 多处呈悬挑状。区内下部零星掉块, 小型岩腔发育, 岩腔凹进深度约 0.5m。总体坡向 105° 其余特征见前述。	由于区内节理裂隙发育且密度较高, 故主要以小块单体滑移或局部松散岩体存在零星掉块。

### 7.10.2.3 危岩稳定性计算及评价

#### 1、计算公式的选择

同 7.5.2 章节。

#### 2、计算工况

同 7.5.2 章节。

#### 3、计算参数的确定

同 7.5.2 章节。

#### 4、危岩稳定性评价标准

同 7.5.2 章节。

#### 5、稳定性计算结果

		危岩体稳定性系数及评价表						表 7.10.2-4			
危岩体 编号	破坏模式	工况 1: 天然状态		工况 2: 饱和状态		工况 3: 校核工况		序号	里程及边侧	计算剖面选取	最大危岩单体方量 (m³)
		稳定性 系数	稳定 状态	稳定性 系数	稳定 状态	稳定性 系数	稳定 状态				
WYS211-10	滑移式	1.36	稳定	1.19	欠稳定	1.11	欠稳定				

#### 6、稳定性分析评价

从危岩体稳定性计算可知, 大部分危岩块体在天然状态下处于稳定状态, 在暴雨工况下处于欠稳定状态, 地震工况下处于欠稳定状态~不稳地状态。说明危岩体受暴雨因素影响较大, 定量分析与定性分析的结果基本吻合。

结合定性分析, 岩体受节理面切割破碎, 浅表层局部存在不稳定块体, 表现为零星掉块。

### 7.12.2.4 危岩破坏后的运动计算

#### 1、运动形式

##### (一) 运动模式划分

同 7.5.2 章节。

##### (二) 计算理论

同 7.5.2 章节。

#### 2、运动计算

##### (一) 技术参数选取

同 7.5.2 章节。

##### (二) 计算位置选取

据现场调查, 勘查区存在危岩体和破碎区块石。本次选取各区典型剖面、区域内最大危岩单体石块计算落石运动计算。详见下表:

灾害点计算剖面及最大粒径石块统计表				表 7.10.2-5
序号	里程及边侧	计算剖面选取	最大危岩单体方量 (m³)	
S211-10	K16+152 左侧	K16+152	6	

#### (三) 计算方法

同 7.5.2 章节。

#### (四) 落石运动过程模拟

同 7.5.2 章节。

### (1) 危岩单体落石运动模拟及结果统计

S211-10 (K16+150~K16+200 左侧) 地质灾害点 1-1' 剖面落石运动模拟计算及结果统计见下图:

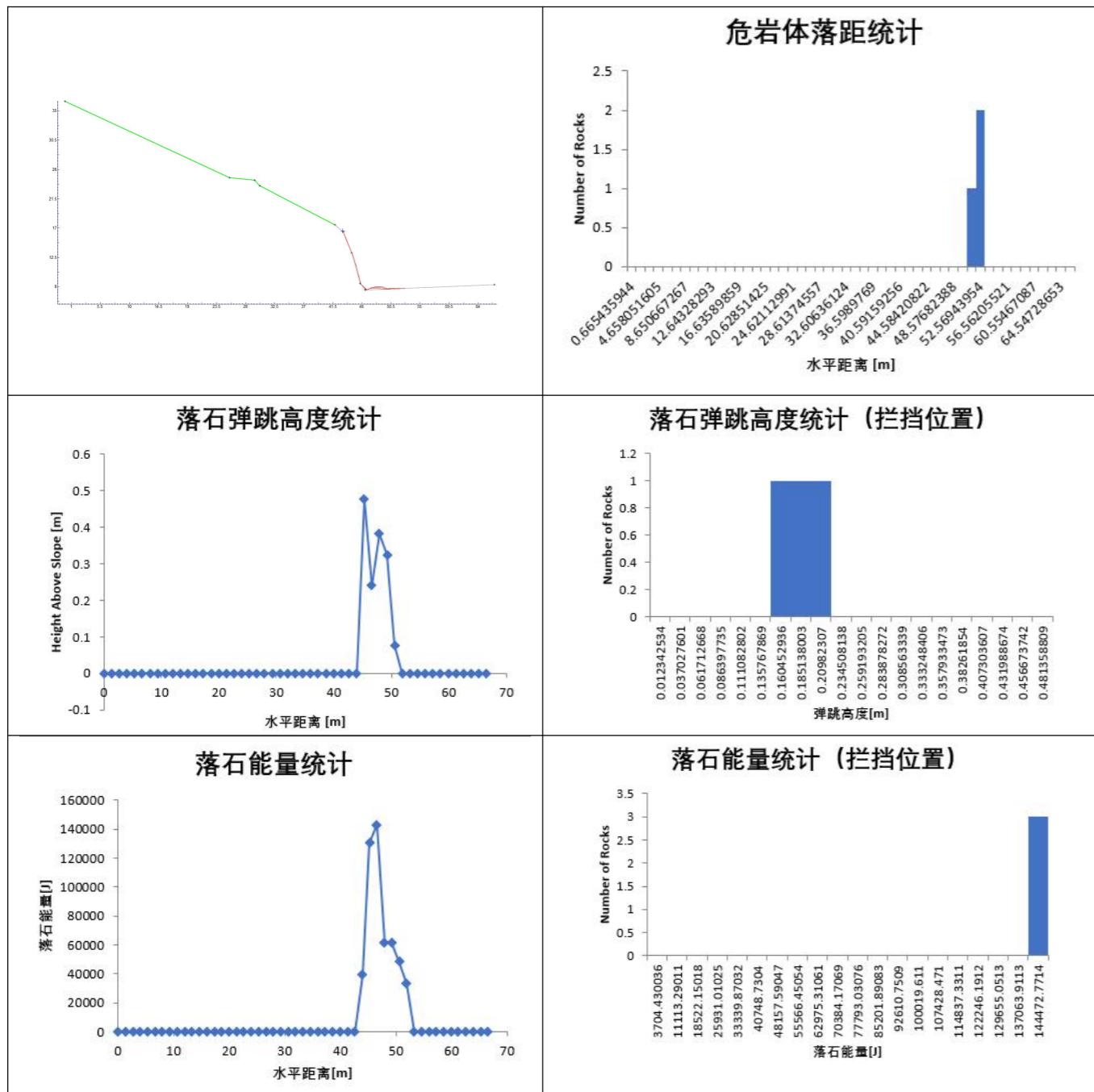


图 7.10.2-1 落石运动模拟结果图

### (五) 计算结果及分析

落石运动计算结果统计表

表 7.10.2-6

序号	里程及边侧	最大落距 (m)	最大弹跳高度 (m)	块体方量 (m³)	拟定石块质量 (kg)	最大冲击能量 (kJ)	拦挡部位	
							弹跳高度 (m)	冲击能量 (kJ)
S211-10	K16+152 左侧	13	0.5	1.0	2780	144	0.2	144

从计算结果看, 危岩失稳时, 对坡下道路安全造成威胁。

### 3、崩塌的危害性评价及危险性预测

据对危岩带岩体的勘查, 危岩体易沿缓倾、外倾结构面产生滑移; 后壁节理面、侧壁节理面主要起切割块体作用。且岩体受节理面切割破碎, 浅表层局部存在不稳定块体, 表现为零星掉块。本报告对各危岩的节理面进行了统计分析, 节理结构面的组合关系多对岩体的稳定性不利。在风化、降雨以及风化等作用下, 易于产生危岩崩塌。

崩塌的下方即是 S211 斋幽路省道, 根据危岩体(带)特征, 经综合分析崩塌区出现局部的块体滑塌的可能性大, 危险性及危害性较大。

### 7.10.2.5 治理工程设计参数

岩土物理力学参数建议值表

表 7.10.2-7

岩土名称	重度 (kN/m³)		抗剪强度		抗压强度 (MPa)		抗拉强度 (MPa)		承载力特征值 Fak (kPa)	岩体对挡墙基底摩擦系数 μ	极限粘结强度标准值 frbk (kPa)
			C (kPa)	φ (°)							
中风化变质砂砾岩	27.0	27.5	300	/	42.5	/	30	25	3.0	2.5	1200
变质砂砾岩结构面	/	/	27.5	21.5	27.5	21	/	/	0.6	0.5	/

### 7.10.3 设计方案

根据现场地形、地质及施工条件，本防治点主要采取危岩清理+坡顶  
PPS-200-DB-A 被动系防护系统+坡面 APS-300-P 主动防护系统+坡底凹腔回填嵌补的  
方式进行综合治理，治理措施及选型详见下表：

防治措施统计表

表 7.10.3-1

里程桩号	K16+120~K16+360
里程长度 (m)	240
实际防治宽度 (m)	261、269
设计高度 (m)	5、19
网面面积 ( $m^2$ )	1305 (被动网)、5111 (主动网)
治理措施	危岩清理+坡顶 PPS-200-DB-A 被动系防护系统+坡面 APS-300-P 主动防护系统+坡底凹腔回填嵌
选型理由	(1) 边坡整体稳定性较好, 仅进行浅表层落石运动控制; (2) 坡脚地带坡度较缓, 有利于落石缓冲及拦截; (3) 落石块径较小、频发率较低; (4) 破碎区松散岩体分布于边坡中上部, 在上部设置被动系防护系统能拦截边坡上部落石, 在边坡中下部主动防护系统能拦截落石; (5) 边坡危岩存在裂隙, 体量较小, 考虑局部清理危岩; (6) 破碎区松散岩体分布于边坡中上部, 且坡率不大, 设置主动防护系统能较好挂网成型并防护落石。
施工安全保障措施	1、按照先清危再挂网的顺序进行施工, 危岩及浮石务必清理到位, 清理后无明显松动及脱落迹象; 2、施工前公路临时交通导改, 单车道通行, 设置交通管理员、监督员及施工监测员; 3、坡面危岩、浮石清理时临时中断交通, 边坡下方严禁车辆、行人通行; 4、吊车作业人员、高空作业人员持证上岗、戴好安全帽、系好安全绳; 5、严禁同一桩号处边坡上下同时作业; 6、雨季、汛期施工注意防患山洪、崩塌等灾害风险。

7.11 K17+410~K17+500 左侧崩塌隐患防治工程（项目编号：S211-11）

### 7.11.1 基本情况

S211-11 崩塌隐患点位于斋幽路 K17+410~K17+500 处左侧边坡。防治区域如



图 7.11.1 防治区域全貌

### 7.11.2 勘查主要结论

#### 7.11.2.1 位置分布、基本特征及危害对象

根据现场勘查结合区域资料，坡体主要为铁路隧道出渣弃渣堆积形成的堆积体，岩性为黏性土及风化岩碎石、块石，岩土体一般较松散，饱水后强度降低可能出现浅层滑塌，持续降雨可能滑塌范围增大。下伏基岩为白垩系东岭台组变质砂砾岩组成，中风化状态，青灰色，多呈薄～中厚状分布。边坡整体坡向约249

°，隐患点现状坡率1:0.75~1:1，最高约20~30m。其基本特征详见地质灾害隐患点综合分析评价表。

根据现场调查，该隐患点主要威胁斋幽路过道车辆及行人安全，按《地质灾害治理工程实施技术规范》（DB11/T 1524-2018）和《崩塌防治工程勘查规范（试行）》（T/CAGHP011-2018）等标准规范，该崩塌隐患点防治工程等级为III级。

**S211-11 崩塌地质灾害隐患点综合分析评价表 表 7.11.2-1**

地质灾害点 编号	S211-11	里程桩号及边侧	斋幽路 K17+410~K17+500 处 处左侧
既有边坡状况	边坡整体坡向约249°，坡体主要为铁路隧道出渣弃渣堆积形成的堆积体，岩性为黏性土及风化岩碎石、块石，岩土体一般较松散，饱水后强度降低可能出现浅层滑塌，持续降雨可能滑塌范围增大。隐患点现状坡率1:0.75~1:1，最大高度约20~30m。K16+370~K16+420段坡脚设有格栅网。		
工程地质条件	勘查区地貌类型属构造剥蚀低山地貌；边坡坡面无基岩裸露，岩层及节理产状不详，地下水贫乏。坡顶以上地形较为平缓，自然斜坡坡度约45~52°。坡体主要为铁路隧道出渣弃渣堆积形成的堆积体，岩性为黏性土及风化岩碎石、块石，岩土体一般较松散，饱水后强度降低可能出现浅层滑塌，持续降雨可能滑塌范围增大。下伏基岩主要由白垩系东岭台组变质砂砾岩组成，中风化状态，青灰色，多呈薄~中厚状分布。		
不良地质现象	主要为坡面碎落、浅层滑塌。		
周边环境条件	坡脚为斋幽路。		
现状变形特征	该边坡无整体变形现象；现状变形破坏形式主要为松散堆积体发生坡面碎落、浅层滑塌现象。		
地灾影响因素 及形成机制	①人类工程活动，主要为铁路隧道出渣弃渣堆积形成的堆积体，岩性为黏性土及风化岩碎石、块石，岩土体一般较松散，饱水后强度降低可能出现浅层滑塌，持续降雨可能滑塌范围增大。堆积形成的人工边坡过陡是该崩塌形成的初始成因；		

	②强降雨，强降雨对崩塌的主要作用有三：一是水的物理化学作用降低了结构面的粘结力；二是在陡崖后缘裂缝中的水柱形成静水压力；三是入渗堆积体内形成的扬压力作用，都使得堆积体在雨季的稳定性大幅下降，因而暴雨对堆积体的稳定性影响极大；
稳定性因素 分析	坡体主要为铁路隧道出渣弃渣堆积形成的堆积体，岩性为黏性土及风化岩碎石、块石，岩土体一般较松散，饱水后强度降低可能出现浅层滑塌，持续降雨可能滑塌范围增大。
综合评价	边坡发生整体失稳的可能性较小，堆积体结构松散，强降雨易产生坡面冲刷、岩块滚落。
防治措施建议	设置柔性格栅网。

### 7.11.2.2 治理工程设计参数

**岩土物理力学参数建议值表 表 7.11.2-2**

岩土 名称	重度 (kN/m³)		抗剪强度		抗压强度 (MPa)	抗拉强度 (MPa)	承载 力特 征值 Fak (kPa)	岩体 对挡 墙基 底摩 擦系 数 μ	极限粘 结强度 标准值 frbk (kPa)				
			C(kPa)	φ(°)									
中风化 变质砂 砾岩	27.0	27.5	300	/	42.5	/	30	25	3.0	2.5	1200	0.55	800
变质砂 砾岩结 构面	/	/	27.5	21.5	27.5	21	/	/	0.6	0.5	/	/	/

### 7.11.3 设计方案

根据现场地形、地质及施工条件，本防治点主要采取坡脚设置柔性格栅网的方式进行综合治理，治理措施及选型详见下表：

**防治措施统计表 表 7.11.3-1**

里程桩号	K17+410~K17+500
里程长度 (m)	90

实际防治宽度 (m)	90
设计高度 (m)	-
网面面积 ( $m^2$ )	-
治理措施	柔性格栅网
选型理由	(1) 边坡整体稳定性较好,仅进行浅表层落石运动控制; (2) 坡脚地带坡度较缓,有利于落石缓冲及拦截; (3) 落石块径较小、频发率较低; (4) 对于不稳定斜坡,增设坡脚挡土墙增加其稳定性; (5) 被动网能针对边坡坡高较高、施工难度较大、且存在上陡下缓的有利地形时,在合适位置布置被动防护网拦截落石后清理维护。
施工安全保障措施	1、按照先清危再施工的顺序进行施工,危岩及浮石务必清理到位,清理后无明显松动及脱落迹象; 2、施工前公路临时交通导改,单车道通行,设置交通管理员、监督员及施工监测员; 3、坡面危岩、浮石清理时临时中断交通,边坡下方严禁车辆、行人通行; 4、吊车作业人员、高空作业人员持证上岗、戴好安全帽、系好安全绳; 5、严禁同一桩号处边坡上下同时作业; 6、雨季、汛期施工注意防患山洪、崩塌等灾害风险。

## 7.12 K17+910~K18+010 左侧崩塌隐患防治工程 (项目编号: S211-12)

### 7.12.1 基本情况

S211-12 崩塌隐患点位于斋幽路 K17+910~K18+010 处左侧边坡。防治区域如下:



图 7.12.1 防治区域全貌

#### 7.12.2.1 位置分布、基本特征及危害对象

根据现场勘查结合区域资料,坡体主要由白垩系东岭台组变质砂砾岩组成,中风化状态,青灰色,多呈薄~中厚状分布。边坡表面多裸露,坡顶有建筑物。下伏基岩为白垩系东岭台组变质砂砾岩组成,中风化状态,青灰色,多呈薄~中厚状分布。边坡整体坡向约67°,隐患点现状坡率1:0.1~1:0.3,最高约20m。其基本特征详见地质灾害隐患点综合分析评价表。

根据现场调查,该隐患点主要威胁斋幽路过道车辆及行人安全,按《地质灾

害治理工程实施技术规范》(DB11/T 1524-2018)和《崩塌防治工程勘查规范(试行)》(T/CAGHP011-2018)等标准规范,该崩塌隐患点防治工程等级为Ⅱ级。

S211-12 崩塌地质灾害隐患点综合分析评价表 表 7.12.2-1

地质灾害点 编号	S211-12	里程桩号及边侧	斋幽路 K17+910~K18+010 处 处左侧
既有边坡状况	边坡整体坡向约 67°, 坡体主要由白垩系东岭台组变质砂砾岩组成, 中风化状态, 青灰色, 多呈薄~中厚状分布。边坡表面多裸露, 坡顶有建筑物。		
工程地质条件	勘查区地貌类型属构造剥蚀低山地貌; 坡体主要由白垩系东岭台组变质砂砾岩组成, 中风化状态, 青灰色, 多呈薄~中厚状分布。岩层产状近水平, 28° $\angle$ 5°; 三组节理产状及密度为 J1:196° $\angle$ 65°, 5~8 条/m, 延伸 2~5m; J2:263° $\angle$ 51°, 3~4 条/m, 延伸 0.2~2m; J3:23° $\angle$ 60°, 2~4 条/m, 延伸 0.5~3m。边坡区地下水贫乏, 未见基岩裂隙水出露。		
不良地质现象	主要为崩塌。		
周边环境条件	坡脚为斋幽路。		
现状变形特征	该边坡无整体变形现象; 现状变形破坏形式主要为表层岩体因不利结构面切割、风化等影响, 局部发生小规模掉块落石现象。		
地灾影响因素 及形成机制	<p>①人类工程活动, 区域人类工程活动强烈, 边坡为建设 S211 道路爆破切坡所致, 一方面, 使得原本较完整的岩体产生多组不规则裂隙。而切坡坡度过陡使得岩体在自重作用下沿裂隙缓慢向下弯曲、滑移。其中外倾坡体的裂缝形成了软弱基座, 纵向切割的裂缝构成了崩塌体的两侧壁。另一方面, 切坡在一定程度上破坏了陡崖的整体稳定性, 为危岩的形成提供了临空条件, 加快危岩的变形破坏。爆破和切坡过陡是该崩塌形成的初始成因;</p> <p>②强降雨, 强降雨对崩塌的主要作用有三: 一是水的物理化学作用降低了结构面的粘结力; 二是在陡崖后缘裂缝中的水柱形成静水压力; 三是入渗滑塌体外倾结构面内形成的扬压力作用, 都使得危岩在雨季的稳定性大幅下降, 因而暴雨对危岩体的稳定性影响极大;</p> <p>③风化作用, 工程区域内季节变化明显, 气温, 湿度等风化因素变化剧烈,</p>		

	这些因素综合作用加速了危岩体裂隙的扩展, 降低了岩体强度, 加快了岩体的变形破坏。 多组陡倾节理裂隙将局部岩体切割破碎, 在陡倾临空坡面中容易产生坠落式崩塌破坏, 表现为局部崩塌落石。
稳定性因素 分析	(1) 岩层层面与边坡斜交, 为切层坡, 发生整体滑动的可能性很小。 (2) 三组陡倾节理将岩体切割为块状, 坡体前缘临空, 切割岩体易沿临空面滑动坠落, 加之局部岩体破碎, 局部区域掉块形成小规模凹岩腔, 易发生局部掉块落石。
综合评价	边坡与岩层产状斜交, 沿边坡坡向方向岩层产状视倾角平缓, 边坡发生整体失稳的可能性较小, 通过工程地质类比法对边坡进行分析评价, 边坡整体在 2024 水文年暴雨期间基本无明显变形迹象, 初步判断边坡整体稳定, 但长期若遇外动力或强降雨等因素, 由于节理裂隙发育, 可能存在局部崩塌。
防治措施建议	建议设置主动防护系统+挡土墙。

## 7.12.2.2 治理工程设计参数及治理方案建议

### (1) 治理工程设计参数

岩土物理力学参数建议值表

表 7.12.2-2

岩土 名称	重度 (kN/m <sup>3</sup> )		抗剪强度		抗压强度 (MPa)		抗拉强度 (MPa)		承载 力特 征值 Fak (kPa)	岩体 对挡 墙基 底摩 擦系 数 $\mu$	极限粘 结强度 标准值 $f_{rbk}$ (kPa)		
			C(kPa)	$\phi$ (°)									
中风化 变质砂 砾岩	26.8	27.2	400	/	43	/	40	30	8.0	7.0	1300	0.48	750
变质砂 砾岩结 构面	/	/	50.0	43	22	18	/	/	0.5	0.4	/	/	/

### (2) 治理方案建议

该边坡坡面整体较稳定，滑动可能性小，但坡体节理裂隙发育，岩体破碎，且前缘切坡较陡，坡面易发生松散块石掉块现象，建议坡面设置主动防护系统进行防护。

### 7.12.3 设计方案

根据现场地形、地质及施工条件，本防治点主要采取危岩清除+APS-150-P 主动防护系统+挡土墙的方式进行治理，治理措施及选型详见下表：

防治措施统计表		表 7.12.3-1
里程桩号		K17+910~K18+010
里程长度 (m)		100
实际防治宽度 (m)		91
设计高度 (m)		14
网面面积 ( $m^2$ )		1274
治理措施		危岩清除+APS-150-P 主动防护系统+挡土墙
选型理由	(1) 边坡整体稳定性较好，仅进行浅表层落石运动控制；(2) 坡脚地带坡度较缓，有利于落石缓冲及拦截；(3) 落石块径较小、频发率较低；(4) 对于不稳定斜坡，增设坡脚挡土墙增加其稳定性；(5) 主动网能有效遏制危岩的进一步发展，避免形成更大的崩塌隐患；(6) 对于不稳定斜坡，增设坡脚挡土墙增加其稳定性。	
施工安全保障措施	1、按照先清危再挂网的顺序进行施工，危岩及浮石务必清理到位，清理后无明显松动及脱落迹象；2、施工前公路临时交通导改，单车道通行，设置交通管理员、监督员及施工监测员；3、坡面危岩、浮石清理时临时中断交通，边坡下方严禁车辆、行人通行；4、吊车作业人员、高空作业人员持证上岗、戴好安全帽、系好安全绳；5、严禁同一桩号处边坡上下同时作业；6、雨季、汛期施工注意防患山洪、崩塌等灾害风险。	

### 7.13 K19+195~K19+208 左侧浅层滑塌隐患防治工程（项目编号：S211-13）

#### 7.13.1 基本情况

S211-13 浅层滑塌隐患点位于 S211 斋幽路 K19+195~K19+208 (对应原计划治理桩号 K19+195-K19+208) 处左侧。防治区域如下：



图 7.13.1 防治区域全貌

#### 7.13.2.1 位置分布、基本特征及危害对象

根据现场勘查结合区域资料，坡面无基岩出露，边坡整体坡向  $45^\circ$ ，该坡为松散堆积体边坡，坡度一般  $30\sim40^\circ$ ，高度为  $14\sim15m$ 。其基本特征详见地质灾害隐患点综合分析评价表。

根据现场调查，该隐患点主要威胁 S211 公路过道车辆及行人安全，按《地质灾害治理工程实施技术规范》(DB11/T 1524-2018) 和《崩塌防治工程勘查规范

(试行)》(T/CAGHP011-2018)等标准规范,该崩塌隐患点防治工程等级为III级。

S211-13 浅层滑塌隐患地质灾害隐患点综合分析评价表

表 7.13.2-1

地质灾害点 编号	S211-1	里程桩号及边侧	S211 斋幽路 K19+195~K19+208 左侧
既有边坡状况	该处边坡因泥石流作用、崩塌作用及散落作用,局部形成堆积体边坡,边坡高度14~15m,坡向45°,坡率约为1:1.25~1:1.50。坡面无基岩出露,多为砂土、碎石,坡面植被零星发育。边坡坡顶以上自然坡度整体平缓,约1°~10°,坡顶乔灌木植被较发育。		
工程地质条件	河谷台地陡坡地貌;铁路权属范围,边坡表面多裸露,局部有绿植覆盖,坡顶有变压器电杆及铁路,坡底连着公路,公路边发育有河流,坡旁约10m处建设有排水涵洞。坡体主要由碎石、砂土等松散堆积物组成,堆积物粒径大小不均匀。坡顶覆盖层薄,主要为填土,厚度约0.2~0.5m。边坡区地下水贫乏,未见基岩裂隙水出露,附近10m可见地表水。		
不良地质现象	区内泥石流、崩塌、散落作用下形成松散堆积体边坡,饱水后坡体强度降低可能出现浅层崩塌,持续降雨后滑坡范围可能增大,因此区内主要不良地质现象为坡面碎落、浅层滑塌。		
周边环境条件	坡顶上方设置有一个10KV电缆分支箱及10KV电线杆,坡顶电缆电线旁为铁路线路。坡体东侧有一条人造小路,西侧约10m处设置有一排水涵洞。坡底接壤S211 斋幽路,坡底现设铁丝防护网。人造小路及斋幽路交汇旁建设有一间2*1m小房,小房旁的坡面有宽约6m长11m沿坡面建设的混凝土墙。坡底S211 斋幽路北侧约10m处有1条小河经过。		
现状变形特征	该边坡暂无整体变形现象,现状变形破坏形式主要为松散堆积体浅层滑塌及坡面表层松散石块碎落。		
地灾影响因素 及形成机制	①人类工程活动,区域人类工程活动强烈,边坡为建设S211道路爆破切坡所致,一方面,使得原本坡体的密实度受到破坏,坡体表面覆盖层变松散;另一方面,切坡在一定程度上破坏了坡体的整体稳定性,为滑塌的形成提供了地质条件,加快坡面的变形破坏。爆破和切坡过陡是该坡面碎落、浅层滑塌形成的初始成因;此外,坡顶为铁路轨道,高速行驶的火车经过时增加了坡体的上覆荷载,可能会加速导致坡体变形破坏。		

	②强降雨,松散堆积体富水性较强,在持续雨水天气下坡体饱水后,岩土体抗剪强度降低,重度增加,可能导致边坡整体或局部失稳。 ③风化作用,工程区域内季节变化明显,气温,湿度等风化因素变化剧烈,这些因素综合作用加速了碎石裂隙的扩展,降低了岩体强度,碎石在陡倾的坡面上受外力作用容易发生碎落,表现为局部碎石顺坡滚落。
稳定性因素 分析	①堆积体边坡堆积物结构松散,自稳定性相对较差,坡面粗颗粒、碎石可能在重力作用下自然滚动到既有路面上; ②松散堆积体富水性较强,在持续雨水天气下坡体饱水后,岩土体抗剪强度降低,重度增加,可能导致边坡整体或局部失稳。
综合评价	堆积体边坡堆积物结构松散,自稳定性相对较差,在人为扰动或自然重力作用下粗颗粒、碎石滚落至道路路面;在持续雨水天气下坡体饱水后,岩土体抗剪强度降低,重度增加,可能导致边坡整体或局部失稳。
防治措施建议	坡面整体失稳的可能性小,但坡面堆积物较松散,长期若遇外动力或强降雨作用下,浅层坡面可能局部或整体会发生滑塌,坡面碎石顺坡滚落现象,建议设置挡土墙。

### 7.13.2.2 治理工程设计参数及治理方案建议

#### (1) 治理工程设计参数

岩土物理力学参数建议值表

表 7.13.2-2

岩土 名称	重度 (kN/m³)	抗剪强度				抗压强度 (MPa)	抗拉强度 (MPa)	承载 力特征 值 Fak (kPa)	岩体 对挡 墙基 底摩 擦系 数 $\mu$	极限粘 结强度 标准值 frbk (kPa)	
		天然	饱和	天然	饱和						
碎石	18.5	19.5	20	16	18	15	--	--	--	160	0.25
中风化 白云岩	27.5	28.0	450	/	45	/	85	73	8.5	7.3	1500
白云岩 结构面	/	/	32.5	24.5	30	23.5	/	/	0.8 5	0.73	/

#### (2) 治理方案建议

坡面整体失稳的可能性小,但坡面堆积物较松散,长期若遇外动力或强降雨

作用下,可能局部或整体会发生滑塌,坡面碎石顺坡滚落现象,建议设置柔性格栅网。

### 7.13.3 设计方案

根据现场地形、地质及施工条件,本防治点主要采取设置挡土墙的方式进行治理,治理措施及选型详见下表:

防治措施统计表		表 7.13.3-1
里程桩号	K19+195~K19+208	
里程长度 (m)	13	
实际防治宽度 (m)	13	
设计高度 (m)	2.5	
网面面积 ( $m^2$ )	-	
治理措施	挡土墙	
选型理由	(1) 边坡整体稳定性较好,仅进行浅表层落石运动控制; (2) 坡脚地带坡度较缓,有利于落石缓冲及拦截; (3) 落石块径较小、频发率较低; (4) 对于不稳定斜坡,增设坡脚挡土墙增加其稳定性。	
施工安全保障措施	1、按照先清危再挂网的顺序进行施工,危岩及浮石务必清理到位,清理后无明显松动及脱落迹象; 2、施工前公路临时交通导改,单车道通行,设置交通管理员、监督员及施工监测员; 3、坡面危岩、浮石清理时临时中断交通,边坡下方严禁车辆、行人通行; 4、吊车作业人员、高空作业人员持证上岗、戴好安全帽、系好安全绳; 5、严禁同一桩号处边坡上下同时作业; 6、雨季、汛期施工注意防患山洪、崩塌等灾害风险。	

### 7.14 K21+140~K21+200 左侧崩塌隐患防治工程 (项目编号: S211-14)

#### 7.14.1 基本情况

S211-14 崩塌隐患点位于 S211 斋幽路 K21+140~K21+200 处左侧。防治区域如下:



#### 7.14.2.1 位置分布、基本特征及危害对象

根据现场勘查结合区域资料,坡面出露基岩为燕山晚期晚侏罗世石英正长岩、石英二长岩,边坡整体坡向  $68^\circ$ ,坡度约  $40^\circ$ ,高度约 11m。其基本特征详见地质灾害隐患点综合分析评价表。

根据现场调查,该隐患点主要威胁 S211 公路过道车辆及行人安全,按《地质灾害治理工程实施技术规范》(DB11/T 1524-2018)和《崩塌防治工程勘查规范(试行)》(T/CAGHP011-2018)等标准规范,该崩塌隐患点防治工程等级为 II 级。

S211-14 崩塌地质灾害隐患点综合分析评价表

表 7.14.2-1

地质灾害点 编号	S211-14	里程桩号及边侧	S211 斋幽路 K21+140~K21+200 左侧
既有边坡状况	该处边坡为人工切坡，位于铁路下方，边坡高度约 11m，坡向 68°。坡面基岩裸露，植被零星发育，存在大量崩积物。边坡坡顶为铁路路基及便道，铁路上方自然坡度整体陡峭，坡面基岩出露，已采用主动防护网防护。		
工程地质条件	河谷台地陡崖地貌；边坡坡面多裸露，自然斜坡坡度约 38°，灌木植被较发育。坡体主要由燕山晚期晚侏罗世石英正长岩、石英二长岩组成，中风化状态，青灰色，多呈中厚~厚状分布。坡面大量崩积物。边坡区地下水贫乏，未见基岩裂隙水出露。		
不良地质现象	区内产状较平缓，岩体节理裂隙发育，岩体切割成块状，加之人工切坡较陡，坡面长期裸露，表层岩体风化剥蚀，岩体破碎，因此区内主要不良地质现象为岩体掉块。		
周边环境条件	(注意事项：公路、电线、电杆、电塔、房建、既有挡墙等情况如实描述，涉及到影响设计方案。)		
现状变形特征	该边坡无整体变形现象；现状变形破坏形式主要为表层岩体因不利结构面切割、风化等影响，局部发生小规模掉块落石现象。		
地灾影响因素 及形成机制	<p>(1) 人类工程活动 区域人类工程活动强烈，边坡为建设 S211 道路爆破切坡所致，一方面，使得原本较完整的岩体产生多组不规则裂隙。而切坡坡度过陡使得岩体在自重作用下沿裂隙缓慢向下弯曲、滑移。其中外倾坡体的裂缝形成了软弱基座，纵向切割的裂缝构成了崩塌体的两侧壁。另一方面，切坡在一定程度上破坏了陡崖的整体稳定性，为危岩的形成提供了临空条件，加快危岩的变形破坏。爆破和切坡过陡是该崩塌形成的初始成因；</p> <p>(2) 暴雨 暴雨对崩塌的主要作用有三：一是水的物理化学作用降低了结构面的粘结力；二是在陡崖后缘裂缝中的水柱形成静水压力；三是入渗滑塌体外倾结构面内形成的扬压力作用，都使得危岩在雨季的稳定性大幅下降，因而暴雨对危岩体的稳定性影响极大；</p> <p>(3) 风化作用</p>		

	工程区域内季节变化明显，气温，湿度等风化因素变化剧烈，这些因素综合作用加速了危岩体裂隙的扩展，降低了岩体强度，加快了岩体的变形破坏。多组陡倾节理裂隙将局部岩体切割破碎，在陡倾临空坡面中容易产生坠落式崩塌破坏，表现为局部崩塌落石。
稳定性因素 分析	(1) 岩层层面与边坡斜交，为切层坡，发生整体滑动的可能性很小。 (2) 三组陡倾节理将岩体切割为块状，坡体前缘临空，切割岩体易沿临空面滑动坠落，加之局部岩体破碎，局部区域掉块形成小规模凹岩腔，易发生局部掉块落石。
综合评价	边坡与岩层产状斜交，沿边坡坡向方向岩层产状视倾角平缓，边坡发生整体失稳的可能性较小，通过工程地质类比法对边坡进行分析评价，边坡整体在 2024 水文年暴雨期间基本无明显变形迹象，初步判断边坡整体稳定，但长期若遇外动力或强降雨等因素，由于节理裂隙发育，可能存在局部崩塌。
防治措施建议	坡面整体滑动可能性小，但坡体岩体破碎，且前缘切坡较陡，坡面易发生松散块石掉块现象，建议挡墙顶设柔性格栅网。

#### 7.14.2.2 治理工程设计参数及治理方案建议

##### (1) 治理工程设计参数

岩土物理力学参数建议值表

表 7.14.2-2

岩土 名称	重度 (kN/m³)		抗剪强度		抗压强度 (MPa)	抗拉强度 (MPa)	承载 力特 征值 Fak (kPa)	岩体 对挡 墙基 底摩 擦系 数 μ	极限粘 结强度 标准值 frbk (kPa)				
			C(kPa)	φ(°)									
碎石	18.3 ~19. 3	18.8 ~19. 8	18~2 5	15~2 2	16~2 7	14~2 5	/	/	/	280~35 0	0.2~0. 3	80~110	
中风化 石英二 长岩	27.8	28.3	480	/	48	/	90	80	9.0	8.0	1600	0.62	1200
二长岩 结构面	/	/	35.0	27.5	28	23	/	/	0.9	0.8	/	/	/

##### (2) 治理方案建议

该边坡坡面整体较稳定，滑动可能性小，但坡体节理裂隙发育，岩体破碎，且前缘切坡较陡，坡面易发生局部崩塌及掉块落石现象，建议挡墙顶设置柔性格栅网。

#### 7.14.3 设计方案

根据现场地形、地质及施工条件，本防治点主要采取挡墙顶设柔性格栅网的方式进行综合治理，治理措施及选型详见下表：

防治措施统计表		表 7.14.3-1
里程桩号		K21+140~K21+200
里程长度 (m)		60
实际防治宽度 (m)		60
设计高度 (m)		-
挂网 (m <sup>2</sup> )		-
治理措施		挡墙顶设柔性格栅网
选型理由		(1) 边坡整体稳定性较好，仅进行浅表层落石运动控制；(2) 坡脚地带坡度较缓，有利于落石缓冲及拦截；(3) 落石块径较小、频发率较低；(4) 对于不稳定斜坡，增设坡脚挡土墙增加其稳定性；(5) 被动网能针对边坡坡高较高、施工难度较大、且存在上陡下缓的有利地形时，在合适位置布置被动防护网拦截落石后清理维护。
施工安全保障措施		1、按照先清危再挂网的顺序进行施工，危岩及浮石务必清理到位，清理后无明显松动及脱落迹象；2、施工前公路临时交通导改，单车道通行，设置交通管理员、监督员及施工监测员；3、坡面危岩、浮石清理时临时中断交通，边坡下方严禁车辆、行人通行；4、吊车作业人员、高空作业人员持证上岗、戴好安全帽、系好安全绳；5、严禁同一桩号处边坡上下同时作业；6、雨季、汛期施工注意防患山洪、崩塌等灾害风险。

#### 7.15 K22+010~K22+090 左侧崩塌隐患防治工程（项目编号：S211-15）

##### 7.15.1 基本情况

S211-15 崩塌隐患点位于 S211 斋幽路 K22+010~K22+090 处左侧。防治区域如下：



##### 7.15.2.1 位置分布、基本特征及危害对象

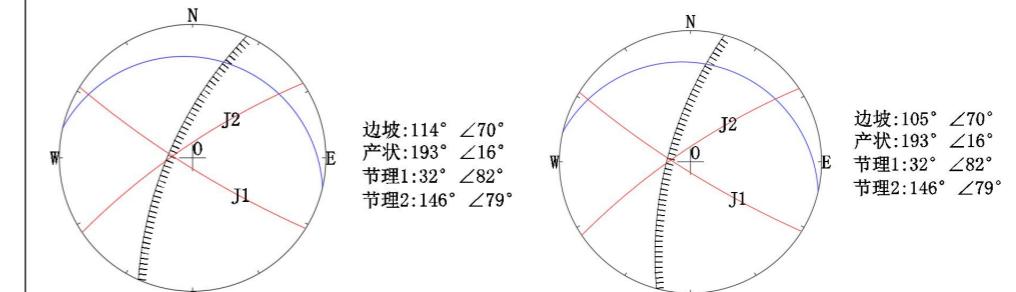
根据现场勘查结合区域资料，边坡属河谷陡崖地貌，坡体主要为蓟县群杨庄组白云岩组成，中风化状态，青灰色，多呈薄～中厚状分布，边坡表面多裸露，局部有爬藤，边坡整体坡向约 100°，区内地形陡峭，局部成陡崖微地貌，坡度一般大于 45°，局部临空面近乎直立，高度为 13m。其基本特征详见地质灾害隐患点综合分析评价表。

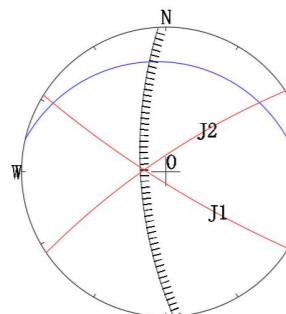
根据现场调查，该隐患点主要威胁 S211 公路过道车辆及行人安全，按《地质

灾害治理工程实施技术规范》(DB11/T 1524-2018)和《崩塌防治工程勘查规范(试行)》(T/CAGHP011-2018)等标准规范,该崩塌隐患点防治工程等级为II级。

S211-15 崩塌地质灾害隐患点综合分析评价表 表 7.15.2-1

地质灾害点 编号	S211-15	里程桩号及边侧	S211 斋幽路 K22+010~K22+090 处左侧
既有边坡状况	该处边坡因人工切坡前缘地形陡峭,局部成陡崖微地貌,属岩质坡,边坡最高约13m,坡向100°,坡率约1:0.3~1:0.5,局部近直立(或倒坡)。坡面基岩裸露,植被零星发育。		
工程地质条件	边坡表面多裸露,局部发育灌木类植物坡。坡体主要蓟县群杨庄组白云岩组成,中风化状态,青灰色,多呈薄~中厚状分布。岩层产状193°∠16°;两组节理产状及密度为J1:32°∠82°,5~8条/m,延伸0.5~3m;J2:146°∠79°,3~6条/m,延伸0.3~2m。边坡区地下水贫乏,未见基岩裂隙水出露。		
不良地质现象	<p>区内岩体节理裂隙发育,岩体切割成块状,加之人工切坡较陡,坡面长期裸露,表层岩体风化剥蚀,岩体破碎,因此区内主要不良地质现象为崩塌、危岩。</p> <p>根据现场调查,边坡坡顶处有两处危岩,尺寸分别为1.2x1.8x0.6m,1.8x0.5x0.6m。</p> 		

周边环境条件	S211本路段沿河边修建,离小河高约14m,隐患边坡坡顶及公路外侧各有一输电线,推测电压220v,除此之外,隐患点附近未见其他构筑物。
现状变形特征	该边坡无整体变形现象;现状变形破坏形式主要为表层岩体因不利结构面切割、风化等影响,局部发生小规模掉块落石现象。
地灾影响因素 及形成机制	<p>①人类工程活动,区域人类工程活动强烈,边坡为建设S211道路爆破切坡所致,一方面,使得原本较完整的岩体产生多组不规则裂隙。而切坡坡度过陡使得岩体在自重作用下沿裂隙缓慢向下弯曲、滑移。其中外倾坡体的裂缝形成了软弱基座,纵向切割的裂缝构成了崩塌体的两侧壁。另一方面,切坡在一定程度上破坏了陡崖的整体稳定性,为危岩的形成提供了临空条件,加快危岩的变形破坏。爆破和切坡过陡是该崩塌形成的初始成因;</p> <p>②强降雨,强降雨对崩塌的主要作用有三:一是水的物理化学作用降低了结构面的粘结力;二是在陡崖后缘裂缝中的水柱形成静水压力;三是入渗滑塌体外倾结构面内形成的扬压力作用,都使得危岩在雨季的稳定性大幅下降,因而暴雨对危岩体的稳定性影响极大;</p> <p>③风化作用,工程区域内季节变化明显,气温,湿度等风化因素变化剧烈,这些因素综合作用加速了危岩体裂隙的扩展,降低了岩体强度,加快了岩体的变形破坏。</p> <p>多组陡倾节理裂隙将局部岩体切割破碎,在陡倾临空坡面中容易产生坠落式崩塌破坏,表现为局部崩塌落石。</p>
稳定性因素 分析	<p>(1) 岩层层面与边坡斜交,为切层坡,发生整体滑动的可能性很小。</p> <p>(2) 三组陡倾节理将岩体切割为块状,坡体前缘临空,切割岩体易沿临空面滑动坠落,加之局部岩体破碎,局部区域掉块形成小规模凹岩腔,易发生局部掉块落石。</p> 

	 <p>边坡:87°∠70° 产状:193°∠16° 节理1:32°∠82° 节理2:146°∠79°</p>
综合评价	边坡与岩层产状斜交，沿边坡坡向方向岩层产状视倾角平缓，边坡发生整体失稳的可能性较小，通过工程地质类比法对边坡进行分析评价，边坡整体在2024水文年暴雨期间基本无明显变形迹象，初步判断边坡整体稳定，但长期若遇外动力或强降雨等因素，由于节理裂隙发育，可能存在局部崩塌。
防治措施建议	坡面整体滑动可能性较小，但坡体岩体破碎，且前缘切坡较陡，坡面易发生松散块石掉块现象，建议设置张口式引导系统。

危岩单体特征、稳定性评价及整治方案见下表。

### 7.15.2.2 危岩、节理裂隙发育区分布及形态特征

本次区内已经查明1个危岩，编号为WY211-15，方量总计600m<sup>3</sup>，被结构面切割

开来属于小型崩塌，详细信息下表。

S211-15 危岩体统计表

表 7.15.2-2

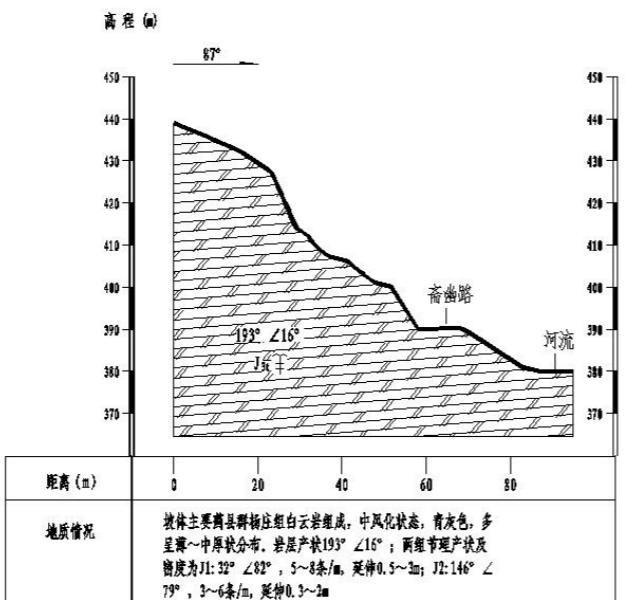
序号	里程及边侧	危岩编号	面积 (m <sup>2</sup> )	厚度 (m)	体积 (m <sup>3</sup> )	密度 (t/m <sup>3</sup> )	质量 (t)
S211-1 5	斋幽路 K22+010~ K22+090处左侧	WY211-15	150	4	600	2.68	1608
控制危岩的结构面特征							
编号 WY211 -15	坐标 X: 389544 Y: 4444053	危岩顶标高	430	岩层产状	193°∠16°	斜坡倾向	114°
		危岩底标高	420	顶宽 (m)	2	底宽 (m)	2
照片							

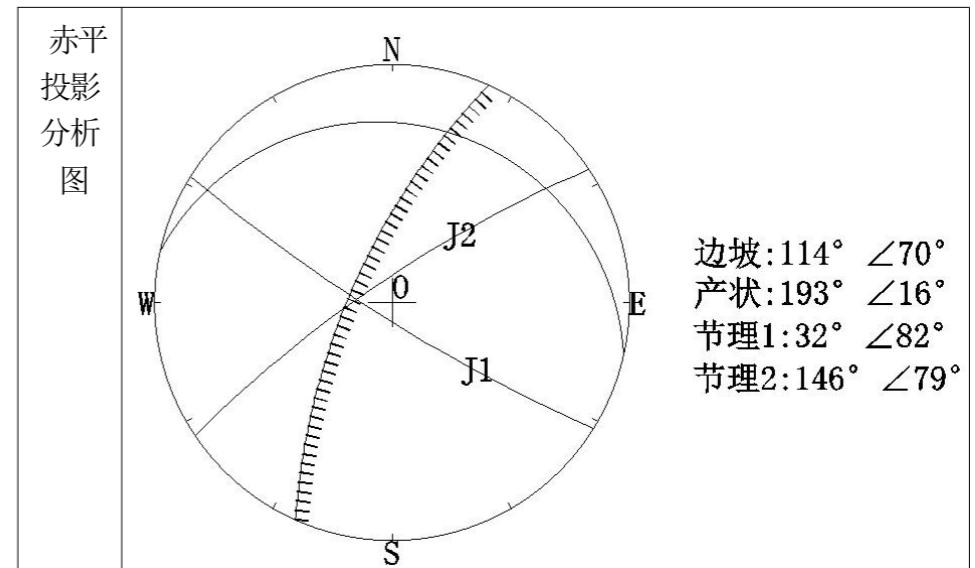
编号	位置	倾向	倾角	切割深度	张开度	充填物	裂面形态	裂面粗糙度	裂隙间距	地下水情况
J1	后壁	32°	82°	0.5-1.5m	1~2cm	无	较弯曲	较粗糙较光滑	0.5~1m	无
J2	底部	146°	79°	0.2~1m	0.5~1cm	无	较弯曲	较粗糙	1~2 m	无
产状	侧壁	193°	16°	0.5~1m	闭合	无	较平直	较光滑	1~3 m	无

危岩剖面示意图

工程地质剖面图 P3—P3'

比例尺 水平 1:1000 垂直 1:1000





危岩形态及变形特征	危岩体立面形态呈不规则形，前缘临空，主要受优势结构面切割，岩体较破碎。	危岩稳定性评价	<p>据赤平投影分析：块体易沿结构面产生坠落式破坏，其余节理面起切割岩体作用。</p> <p>通过工程地质类比法对边坡进行分析评价，危岩体基本无明显变形迹象，初步判断危岩体天然工况、暴雨工况下处于稳定状态，但长期若遇外动力或强降雨等因素，危岩体不良地质现象加剧，可能发生局部小型崩塌。</p>	危害性预测	危岩体一旦失稳，将威胁坡脚道路行人车辆的生命财产安全。
			治理方案	张口式引导网系统	

灾害隐患点基本特征详见下表 7.15.2-3:

S211-15 灾害隐患点基本特征表

表 7.15.2-3

序号	规模	基本特征	稳定性及落石易发性分析
S211-15	该区距坡脚威胁对象高差约 15m, 所处势能较高。该破碎区立面形态沿节理面陡坎分割, 平面尺寸及放量见前述。	区内立面凹凸不平, 多处呈悬挑状。区内下部零星掉块, 小型岩腔发育, 岩腔凹进深度约 0.5m。总体坡向 114° 其余特征见前述。	由于区内节理裂隙发育且密度较高, 故主要以小块单体滑移或局部松散岩体存在零星掉块。

### 7.15.2.3 危岩稳定性计算及评价

#### 1、计算公式的选择

同 7.5.2 章节。

#### 2、计算工况

同 7.5.2 章节。

#### 3、计算参数的确定

同 7.5.2 章节。

#### 4、危岩稳定性评价标准

同 7.5.2 章节。

#### 5、稳定性计算结果

危岩体稳定性系数及评价表

表 7.15.2-4

危岩体 编号	破坏模式	工况 1: 天然状态		工况 2: 饱和状态		工况 3: 校核工况	
		稳定性 系数	稳定 状态	稳定性 系数	稳定 状态	稳定性 系数	稳定 状态
WYS211-15	滑移式	1.66	稳定	1.24	欠稳定	1.13	欠稳定

#### 6、稳定性分析评价

从危岩体稳定性计算可知, 大部分危岩块体在天然状态下处于稳定状态, 在暴雨工况下处于欠稳定状态, 地震工况下处于欠稳定状态~不稳地状态。说明危岩体受暴雨因素影响较大, 定量分析与定性分析的结果基本吻合。

结合定性分析, 岩体受节理面切割破碎, 浅表层局部存在不稳定块体, 表现为零星掉块。

### 7.15.2.4 危岩破坏后的运动计算

#### 1、运动形式

同 7.5.2 章节。

#### 2、运动计算

##### (一) 技术参数选取

同 7.5.2 章节。

##### (二) 计算位置选取

据现场调查, 勘查区存在危岩体和破碎区块石。本次选取各区典型剖面、区域内最大危岩单体石块计算落石运动计算。详见下表:

灾害点计算剖面及最大粒径石块统计表

表 7.15.2-5

序号	里程及边侧	计算剖面选取	最大危岩单体方量 (m³)
S211-15	K22+090 左侧	K22+090 左侧	1.0

##### (三) 计算方法

同 7.5.2 章节。

##### (四) 落石运动过程模拟

同 7.5.2 章节。

##### (1) 危岩单体落石运动模拟及结果统计

S211-5 (K22+090 左侧) 地质灾害点 1-1' 剖面落石运动模拟计算及结果统计见下图:

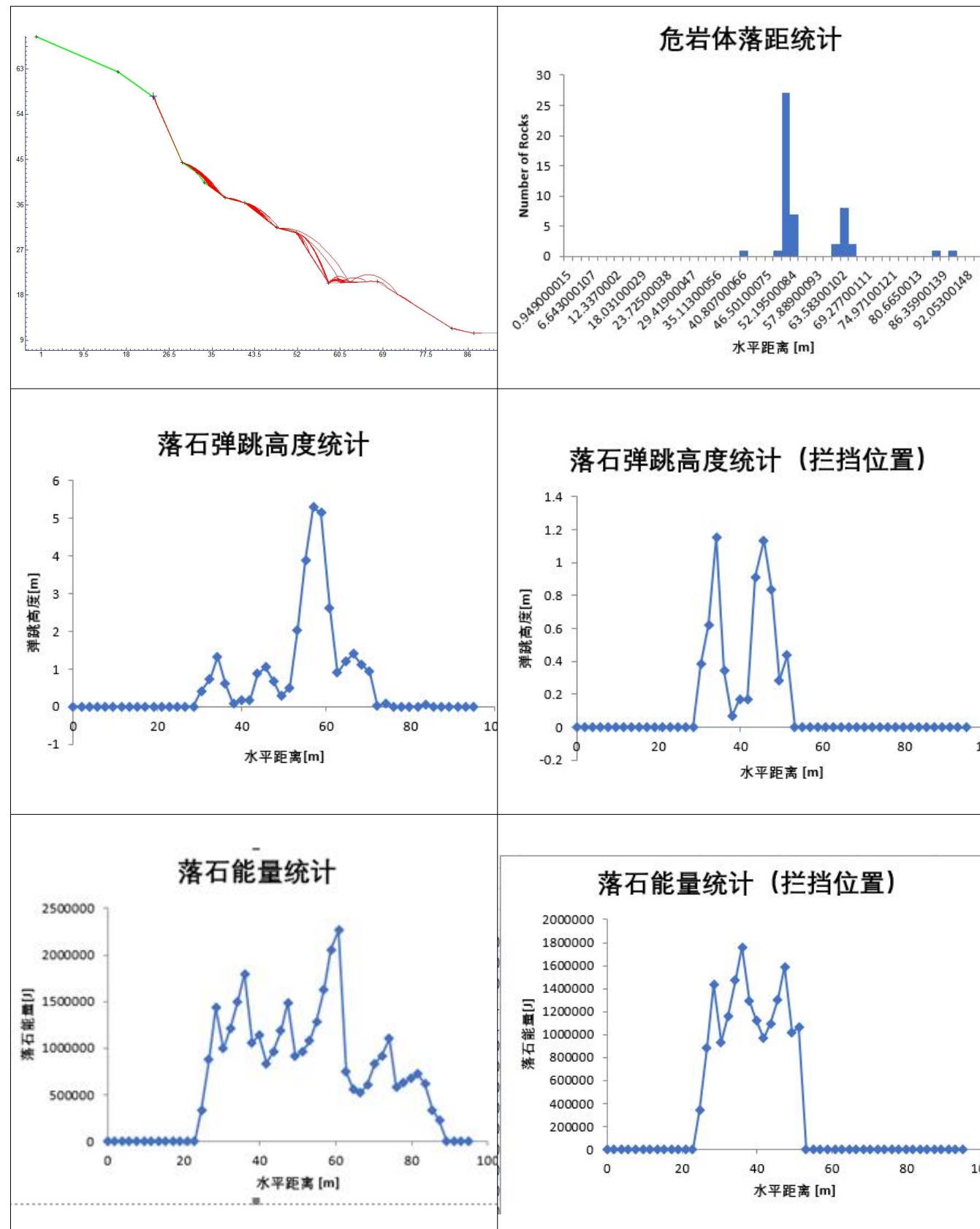


图 7.15.2-1 落石运动模拟结果图

## (五) 计算结果及分析

序号	里程及边侧	最大落距 (m)	最大弹跳高度 (m)	块体方量 ( $m^3$ )	拟定石块质量 (kg)	最大冲击能量 (kJ)	拦挡部位	
							弹跳高度 (m)	冲击能量 (kJ)
S211-15	K22+090 左侧	86	5.8	6	16800	2300	1.2	1800

从计算结果看，危岩失稳时，对坡下道路安全造成威胁。

## 3、崩塌的危害性评价及危险性预测

据对危岩带岩体的勘查，危岩体易沿缓倾、外倾结构面产生滑移；后壁节理面、侧壁节理面主要起切割块体作用。且岩体受节理面切割破碎，浅表层局部存在不稳定块体，表现为零星掉块。本报告对各危岩的节理面进行了统计分析，节理结构面的组合关系多对岩体的稳定性不利。在风化、降雨以及风化等作用下，易于产生危岩崩塌。

崩塌的下方即是 S211 斋幽路省道，根据危岩体（带）特征，经综合分析崩塌区出现局部的块体滑塌的可能性大，危险性及危害性较大。

## 7.15.2.5 治理工程设计参数及治理方案建议

### (1) 治理工程设计参数

岩土物理力学参数建议值表

表 7.15.2-7

岩土名称	抗剪强度				抗压强度				抗拉强度				承载力特征值 Fak (kPa)	岩体对挡墙基底摩擦系数 $\mu$	极限粘结强度标准值 $frbk$ (kPa)
	重度 ( $kN/m^3$ )		C (kPa)	$\phi$ (°)	抗压强度 (MPa)		抗拉强度 (MPa)		天然		饱和				
天然	饱和	天然	饱和	天然	饱和	天然	饱和	天然	饱和	天然	饱和	天然	饱和	天然	饱和
中风化白云岩	27.5	28.0	450	/	45	/	85	73	8.5	7.3	1500	0.6	1000		
白云岩结构面	/	/	32.5	24.5	30	23.5	/	/	0.8	0.73	/	/	/		

### (3) 治理方案建议

该边坡坡面整体较稳定，滑动可能性小，但坡体节理裂隙发育，岩体破碎，且前缘切坡较陡，坡面易发生松散块石掉块现象，建议坡面设置 GPS-200-0 张口式引导系统。

### 7.15.3 设计方案

根据现场地形、地质及施工条件，本防治点主要采取 GPS-200-0 张口式引导系统方式进行综合治理，治理措施及选型详见下表：

防治措施统计表

表 7.15.3-1

里程桩号	K22+010~K22+090
里程长度 (m)	80
实际防治宽度 (m)	95
设计高度 (m)	18
挂网 (m <sup>2</sup> )	1710
治理措施	GPS-200-0 张口式引导系统
选型理由	(1) 边坡整体稳定性较好，仅进行浅表层落石运动控制；(2) 坡脚地带坡度较缓，有利于落石缓冲及拦截；(3) 落石块径较小、频发率较低；(4) 破碎区松散岩体分布于边坡中上部，在边坡中下部设张口式引导网能承接并引导落石掉落至坡脚，便于后期清理及维护。
施工安全保障措施	1、按照先清危再挂网的顺序进行施工，危岩及浮石务必清理到位，清理后无明显松动及脱落迹象；2、施工前公路临时交通导改，单车道通行，设置交通管理员、监督员及施工监测员；3、坡面危岩、浮石清理时临时中断交通，边坡下方严禁车辆、行人通行；4、吊车作业人员、高空作业人员持证上岗、戴好安全帽、系好安全绳；5、严禁同一桩号处边坡上下同时作业；6、雨季、汛期施工注意防患山洪、崩塌等灾害风险。

### 7.16 K24+100~K24+300 左侧浅层滑塌隐患防治工程（项目编号：S211-16）

#### 7.16.1 基本情况

S211-16 浅层滑塌隐患点位于 S211 斋幽路 K24+100~K24+300 处左侧。防治区域如下：



#### 7.16.2.1 位置分布、基本特征及危害对象

根据现场勘查结合区域资料，边坡属河谷台地陡崖地貌，坡体主要由松散的残坡积体组成，属土质边坡，边坡表面多裸露，局部发育灌木类植物坡，边坡整体坡向约 55°，高度为 25m。其基本特征详见地质灾害隐患点综合分析评价表。

根据现场调查，该隐患点主要威胁 S219 公路过道车辆及行人安全，按《地质灾害治理工程实施技术规范》（DB11/T 1524-2018）和《崩塌防治工程勘查规范（试行）》（T/CAGHP011-2018）等标准规范，该崩塌隐患点防治工程等级为 III 级。

S211-16 浅层滑塌地质灾害隐患点综合分析评价表

表 7.16.2-1

地质灾害点	S211-16	里程桩号及边侧	S211 斋幽路
-------	---------	---------	----------

编号		K24+100~K24+300 处左侧
既有边坡状况	该处边坡因人工切坡前缘地形稍陡，边坡表面多裸露，坡体主要由残积土组成，属类土质边坡，边坡最高约 25m，坡向约 55°，坡率约 1:0.75~1:1，坡面局部植被发育。	
工程地质条件	边坡表土为残积土，容易塌落，边坡上部有铁塔，表面多裸露。坡体主要为散落作用形成的堆积体边坡，坡体一般较松散，饱水后强度降低可能出现浅层滑塌，持续降雨可能滑塌范围增大。基岩为蓟县群杨庄组白云岩，岩层产状为 140° / 18°。边坡区地下水贫乏，未见基岩裂隙水出露。	
不良地质现象	边坡主要由松散的残坡积组成，结构松散，坡脚离河边较近，易受雨水和河水上涨影响而发生浅层滑塌，因此区内主要不良地质现象为浅层滑塌。	
周边环境条件	S211 本路段沿河边修建，离小河高约 2.5m，隐患边坡坡顶为铁路，公路外侧为输电线。	
现状变形特征	该边坡暂无整体变形现象；现状变形破坏形式主要为松散堆积体浅层滑塌。	
地灾影响因素及形成机制	(1) 堆积体边坡堆积物结构松散，自稳定性相对较差，道路建设过程中开挖坡脚使边坡出现局部失稳； (2) 强降雨，松散堆积体富水性较强，在持续雨水天气下坡体饱水后，岩土体抗剪强度降低，重度增加，可能导致边坡整体或局部失稳。	
稳定性因素分析	(1) 堆积体边坡堆积物结构松散，自稳定性相对较差，坡面粗颗粒灰岩岩块可能在重力作用下自然滚动到既有路面上； (2) 松散堆积体富水性较强，在持续雨水天气下坡体饱水后，岩土体抗剪强度降低，重度增加，可能导致边坡整体或局部失稳。	
综合评价	堆积体边坡堆积物结构松散，自稳定性相对较差，在人为扰动或自然重力作用下岩块滚落至道路路面，在持续雨水天气下坡体饱水后，岩土体抗剪强度降低，重度增加，可能导致边坡整体或局部失稳。	
防治措施建议	坡面整体滑动可能性较小，但坡体岩体破碎，风化强烈，且前缘切坡较陡，坡面易发生松散块石掉块现象，建议坡脚设置柔性格栅网。	

## 7.16.2.2 治理工程设计参数及治理方案建议

### (1) 治理工程设计参数

岩土物理力学参数建议值表

表 7.16.2-2

岩土名称	重度 (kN/m³)		抗剪强度		抗压强度 (MPa)		抗拉强度 (MPa)		承载力特征值 Fak (kPa)	岩体对挡墙基底摩擦系数 μ	极限粘结强度标准值 frbk (kPa)		
			C(kPa)	φ(°)									
堆积体	18.5	19.5	20	16	18	15	--	--	--	160	0.25	45	
中风化白云岩	27.5	28.0	450	/	45	/	85	73	8.5	7.3	1500	0.6	1000
白云岩结构面	/	/	32.5	24.5	30	23.5	/	/	0.8 <sub>5</sub>	0.73	/	/	/

### (2) 治理方案建议

该边坡坡面整体较稳定，滑动可能性小，但坡体节理裂隙发育，岩体破碎，且前缘切坡较陡，坡面易发生松散块石掉块现象，建议坡脚设置柔性格栅网。

## 7.16.3 设计方案

根据现场地形、地质及施工条件，本防治点主要采取柔性格栅网的方式进行综合治理，治理措施及选型详见下表：

防治措施统计表

表 7.16.3-1

里程桩号	K24+100~K24+300	
里程长度 (m)	200	
实际防治宽度 (m)	200	
设计高度 (m)	-	
挂网 (m²)	-	
治理措施	柔性格栅网	
选型理由	(1) 边坡整体稳定性较好，仅进行浅表层落石运动控制；(2) 坡脚地带坡度较缓，有利于落石缓冲及拦截；(3) 落石块径较小、频发率较低；(4) 被动网能针对边坡坡高较高、施工难度较大、且存在上陡下缓的有利地形时，在合适位置布置被动防护网拦截落石后清理维护。	

施工安全保障措施	<p>1、按照先清危再挂网的顺序进行施工，危岩及浮石务必清理到位，清理后无明显松动及脱落迹象；2、施工前公路临时交通导改，单车道通行，设置交通管理员、监督员及施工监测员；3、坡面危岩、浮石清理时临时中断交通，边坡下方严禁车辆、行人通行；4、吊车作业人员、高空作业人员持证上岗、戴好安全帽、系好安全绳；5、严禁同一桩号处边坡上下同时作业；6、雨季、汛期施工注意防患山洪、崩塌等灾害风险。</p>
----------	--

## 7.17 K6+050~K6+065 左侧崩塌隐患防治工程（项目编号：X007-1）

### 7.17.1 基本情况

X007-1 崩塌隐患点位于 X007 斋柏路 K6+050~K6+065（对应原计划治理桩号 K6+50~K6+65）处左侧，防治区域如下：



#### 7.17.2.1 位置分布、基本特征及危害对象

根据现场勘查结合区域资料，坡面出露基岩为侏罗系龙门组 ( $J_1$ ) 砂岩，边坡整体坡向  $30^\circ$ ，区内地形陡峭，临空面陡立，高度约 20m。其基本特征详见地质灾害隐患点综合分析评价表。

根据现场调查，该隐患点主要威胁 X007 公路过道车辆及行人安全，按《地质灾害治理工程实施技术规范》（DB11/T 1524-2018）和《崩塌防治工程勘查规范（试行）》（T/CAGHP011-2018）等标准规范，该崩塌隐患点防治工程等级为 II 级。

X007-1 崩塌地质灾害隐患点综合分析评价表

表 7.17.2-1

地质灾害点 编号	X007-1	里程桩号及边侧	X007 斋柏路 K6+050~K6+065 处左侧
既有边坡状况	该处边坡因人工切坡前缘陡立，属岩质坡，边坡高度为 20m，坡向约 30°，坡率近直立（或倒坡）。坡面基岩裸露，植被零星发育。		
工程地质条件	河谷台地陡崖地貌；边坡坡面多裸露，坡顶以上地形较为平缓，自然斜坡坡度约 5~15°，灌木植被较发育。坡体主要由侏罗系龙门组（J1）砂岩组成，中风化状态，灰色，薄~中厚层状构造，岩质硬，岩体较破碎。坡顶覆盖层薄，主要为薄层种植土，厚度约 0.2~0.5m。岩层产状 10°∠23°；三组节理产状及密度为 J1:281°∠77°，1~3 条/m，延伸 5~10m，张开 0.5~3cm，无充填；J2:173°∠79°，1~3 条/m，延伸 3~12m，张开 0.2~2cm，无充填。边坡区地下水贫乏，未见基岩裂隙水出露。		
不良地质现象	区内产状较平缓，岩体节理裂隙发育，岩体切割成块状，加之人工切坡较陡，坡面长期裸露，表层岩体风化剥蚀，岩体破碎，因此区内主要不良地质现象为岩体掉块。		
周边环境条件	隐患点岩体凸出于丁字路口西南侧。		
现状变形特征	该边坡无整体变形现象，现状的变形破坏形式主要为浅表层岩体因不利结构面切割、风化等影响，局部发生小规模掉块现象。		
地灾影响因素 及形成机制	<p>(1) 人类工程活动</p> <p>区域人类工程活动强烈，边坡为建设 X107 道路爆破切坡所致。一方面，使得原本较完整的岩体产生多组不规则裂隙。而切坡坡度过陡使得岩体在自重作用下沿裂隙缓慢向下弯曲、滑移。其中外倾坡体的裂缝形成了软弱基座，纵向切割的裂缝构成了崩塌体的两侧壁。另一方面，切坡在一定程度上破坏了陡崖的整体稳定性，为危岩的形成提供了临空条件，加快危岩的变形破坏。爆破和切坡过陡是该崩塌形成的初始成因。</p> <p>(2) 暴雨</p> <p>暴雨对崩塌的主要作用有三：一是水的物理化学作用降低了结构面的粘结力；二是在陡崖后缘裂隙中的水柱形成静水压力；三是入渗滑塌体外倾结构面内形成的扬压力作用，都使得危岩在雨季的稳定性大幅下降，因而暴雨对危岩体的稳定性影响极大。</p>		

	(3) 风化作用
	季节变化明显，气温，湿度等风化因素变化剧烈，这些因素综合作用加速了危岩体裂隙的扩展，降低了岩体强度，加快了岩体的变形破坏。多组裂隙将局部岩体切割十分破碎，局部滑移产生后，在岩体中下部形成临空。块体较小、较破碎的危岩体容易在产生滑移式崩塌，表现为零星掉块。
稳定性因素 分析	(1) 岩层层面与边坡斜交顺向，为顺向坡，斜交视倾角较小，区域无明显整体变形特征，极端工况条件可能产生顺向滑移或倾覆破坏。 (2) 优势结构面相互组合将岩体切割为块状，坡体前缘临空，切割岩体易沿临空面滑动坠落，加之局部岩体破碎，局部区域掉块形成小规模凹岩腔，易发生局部掉块落石。
综合评价	边坡与岩层产状顺向斜交，由于节理裂隙发育将岩体切割开来，可能存在局部掉块。极端情况下甚至可能产生顺向滑移甚至倾覆破坏。
防治措施建议	坡面岩体破碎，且前缘切坡较陡，坡面易发生松散块石掉块现象，极端情况下可能诱发滑移、倾覆破坏，建议设置主动防护系统。

### 7.17.2.2 治理工程设计参数及治理方案建议

#### (1) 治理工程设计参数

岩土物理力学参数建议值表

表 7.17.2-2

岩土 名称	重度 (kN/m³)		抗剪强度		抗压强度 (MPa)		抗拉强度 (MPa)		承载 力特 征值 Fak (kPa)	岩体 对挡 墙基 底摩 擦系 数 μ	极限粘 结强度 标准值 frbk (kPa)	
			C(kPa)	Φ(°)								
中风化 砂岩	27.0	27.5	300	/	42.5	/	30	25	3.0	2.5	1200	0.55
砂岩 结构面	/	/	27.5	21.5	27.5	21	/	/	0.6	0.5	/	/

### 7.17.3 设计方案

根据现场地形、地质及施工条件，本防治点主要采取危岩清除+APS-150-P 主动防护系统的方式进行综合治理，治理措施及选型详见下表：

防治措施统计表

表 7.17.3-1

里程桩号	K6+050~K6+065
里程长度 (m)	15
实际防治宽度 (m)	24
设计高度 (m)	18
挂网面积 ( $m^2$ )	432
治理措施	危岩清除+APS-150-P 主动防护系统
选型理由	(1) 边坡整体稳定性较好, 仅进行浅表层落石运动控制; (2) 坡脚地带坡度较缓, 有利于落石缓冲及拦截; (3) 落石块径较小、频发率较低; (4) 破碎区松散岩体分布于边坡中上部, 且坡率不大, 设置主动防护系统能较好挂网成型并防护落石。
施工安全保障措施	1、按照先清危再挂网的顺序进行施工, 危岩及浮石务必清理到位, 清理后无明显松动及脱落迹象; 2、施工前公路临时交通导改, 单车道通行, 设置交通管理员、监督员及施工监测员; 3、坡面危岩、浮石清理时临时中断交通, 边坡下方严禁车辆、行人通行; 4、吊车作业人员、高空作业人员持证上岗、戴好安全帽、系好安全绳; 5、严禁同一桩号处边坡上下同时作业; 6、雨季、汛期施工注意防患山洪、崩塌等灾害风险。

## 7.18 K5+180~K5+250 左侧滑塌隐患防治工程 (项目编号: X209-1)

### 7.18.1 基本情况

X209-1 滑塌隐患点位于 X209 军红路 K5+180~K5+250 (对应原计划治理桩号 K5+180~K5+230) 处左侧。防治区域如下:



### 7.18.2.1 位置分布、基本特征及危害对象

根据现场勘查结合区域资料, 边坡为堆积体边坡, 整体坡向约  $228^\circ$ , 总体坡度为  $30^\circ$ , 后缘岩质临空面可陡至  $65^\circ$  乃至近乎直立, 边坡高度为约 10m。其基本特征详见地质灾害隐患点综合分析评价表。

根据现场调查, 该隐患点主要威胁 X209 公路过道车辆及行人安全, 按《地质灾害治理工程实施技术规范》(DB11/T 1524-2018) 和《崩塌防治工程勘查规范(试行)》(T/CAGHP011-2018) 等标准规范, 该崩塌隐患点防治工程等级为 III 级。

X209-1 滑塌地质灾害隐患点综合分析评价表

表 7.18.2-1

地质灾害点 编号	X209-1	里程桩号及边侧	军红路 K5+180~K5+250 处左侧

既有边坡状况	该处边坡因人工切坡前缘地形陡峭，属堆积体边坡，边坡高度为 10m，坡向 228°，现状坡率 1:0.2~1:0.3（局部形成倒坡）。
工程地质条件	河谷台地陡崖地貌；边坡坡面多裸露，坡顶以上地形较为平缓，自然斜坡坡度约 5~15°，灌木植被较发育。坡体主要为散落作用形成的堆积体边坡，坡体一般较松散，饱水后强度降低可能出现浅层滑塌，持续降雨可能滑塌范围增大。边坡区地下水贫乏，未见基岩裂隙水出露。
不良地质现象	区内产状较平缓，岩体节理裂隙发育，岩体切割成块状，加之人工切坡较陡，坡面长期裸露，表层岩体风化剥蚀，岩体破碎，因此区内主要不良地质现象为崩塌。
周边环境条件	堆积体边坡周边为岩质陡坡。
现状变形特征	该边坡无整体变形现象；现状变形破坏形式主要为表层岩体因不利结构面切割、风化等影响，局部发生小规模掉块落石现象。
地灾影响因素及形成机制	①人类工程活动，区域人类工程活动强烈，边坡为建设 S209 道路爆破切坡所致，切坡在一定程度上破坏了原始斜坡的整体稳定性，为滑塌的形成提供了临空条件，加快滑塌的变形破坏； ②强降雨，强降雨对滑塌的主要作用有三：一是水的物理化学作用降低了堆积体的粘结力；二是在陡崖后缘裂隙中的水柱形成静水压力；三是入渗滑塌体外倾结构面内形成的扬压力作用，都使得潜在滑塌体在雨季的稳定性大幅下降；
稳定性因素分析	(1) 岩层层面与边坡斜交，为切层坡，发生整体滑动的可能性很小。 (2) 三组陡倾节理将岩体切割为块状，坡体前缘临空，切割岩体易沿临空面滑动坠落，加之局部岩体破碎，局部区域掉块形成小规模凹岩腔，易发生局部掉块落石。
综合评价	边坡与岩层产状斜交，沿边坡坡向方向岩层产状视倾角平缓，边坡发生整体失稳的可能性较小，通过工程地质类比法对边坡进行分析评价，边坡整体在 2024 水文年暴雨期间基本无明显变形迹象，初步判断边坡整体稳定，但长期若遇外动力或强降雨等因素，由于节理裂隙发育，可能存在局部崩塌。
防治措施建议	坡面整体滑动可能性小，但考虑到堆积体松散、雨期易滑的工程特性，建议设置挡墙。

### 7.18.2.2 治理工程设计参数及治理方案建议

#### (1) 治理工程设计参数

岩土物理力学参数建议值表

表 7.18.2-2

岩土名称	重度 (kN/m <sup>3</sup> )		抗剪强度		抗压强度 (MPa)	抗拉强度 (MPa)	承载力特征值 Fak (kPa)	岩体对挡墙基底摩擦系数 $\mu$	极限粘结强度标准值 frbk (kPa)				
			C(kPa)	$\phi(^{\circ})$									
堆积体	18.5	19.0	20	17	18	16	--	--	160	0.25	45		
中风化粉砂岩	27.0	27.5	300	/	42.5	/	30	25	3.0	2.5	1200	0.55	800

#### (2) 治理方案建议

该边坡坡面整体较稳定，滑动可能性小，但坡体结构松散，雨期易滑，建议坡脚部位设置挡墙。

### 7.18.3 设计方案

根据现场地形、地质及施工条件，本防治点主要采取 2.5m 高挡墙的方式进行治理，治理措施及选型详见下表：

防治措施统计表

表 7.18.3-1

里程桩号	K5+180~K5+250	
里程长度 (m)	70	
实际防治宽度 (m)	70	
设计高度 (m)	2.5	
治理措施	2.5m 高挡墙	
选型理由	(1) 边坡整体稳定性较好，仅进行浅表层落石运动控制；(2) 坡脚地带坡度较缓，有利于落石缓冲及拦截；(3) 落石块径较小、频发率较低；(4) 对于不稳定斜坡，增设坡脚挡土墙增加其稳定性。	

施工安全保障措施	1、按照先清危再挂网的顺序进行施工，危岩及浮石务必清理到位，清理后无明显松动及脱落迹象；2、施工前公路临时交通导改，单车道通行，设置交通管理员、监督员及施工监测员；3、坡面危岩、浮石清理时临时中断交通，边坡下方严禁车辆、行人通行；4、吊车作业人员、高空作业人员持证上岗、戴好安全帽、系好安全绳；5、严禁同一桩号处边坡上下同时作业；6、雨季、汛期施工注意防患山洪、崩塌等灾害风险。
----------	---

## 8 施工组织设计

### 8.1 施工条件

#### (一) 地质条件

根据区域地质资料，结合本次踏勘，工作区地层主要为上覆第四系全新统崩坡积层( $Q_4^{col}$ )、第四系冲洪积层( $Q^{al+dl}$ )、第四系残坡积层( $Q^{el+dl}$ )、下伏白垩系下统东岭台组( $K_{1d}$ )英安岩、火山碎屑岩；侏罗系上统髫髻山组( $J_{3t}$ )安山岩、变质砂岩、砾岩、火山碎屑岩；侏罗系中统龙门组( $J_{2l+j}$ )砂砾岩、粉砂岩；侏罗系下统窑坡组( $J_{1y}$ )砂砾岩；三叠系上统杏石口组( $T_3J_1$ )页岩、砂岩、砾岩等；奥陶系下统冶里组( $O_1^1$ )白云质灰岩、泥晶灰岩；奥陶系下统上下马家沟组( $O_1^2$ )灰岩、白云岩等；寒武系上统( $\in_3$ )泥晶灰岩等；寒武系中下统( $\in_{1+2}$ )泥晶灰岩、泥岩、粉砂岩等；青白口群下马岭组与长龙山组、景儿峪组并层( $Pt_3^1$ )页岩、砂岩、泥晶灰岩等；蓟县群杨庄组与雾迷山组( $Pt_2^2r+w$ )页岩、泥质白云岩；燕山期( $\eta o_5^2$ )石英二长岩等。

#### (二) 地形条件

项目区整体地形为西高东低之势，受地层岩性和风化剥蚀影响，山顶多以浑圆为主，局部受构造作用影响形成岩石陡坎，山体坡度一般在30~45°之间，坡间分布V字型和U字型沟谷，山坡植被发育一般，以灌木为主间或分布松树，核桃树等，局部相对平缓处为人工砌石梯田，长满茂密杂草，少量树木，大部分荒废。

S211斋幽路等基本沿河流、沟谷修建，整体地势较高，地形多为一侧靠山、一侧临河，受路基开挖影响，开挖面形成坡高数十米至百余米的陡峭岩质边坡，崩塌、危岩等地质灾害规模较大，安全隐患突出，施工难度较高。

#### (三) 气象条件

气候：门头沟区为暖温带季风型大陆性半湿润半干旱气候。冬季受西伯利亚、蒙古高压控制，夏季受大陆低压和太平洋高压影响，四季分明，干湿冷暖变化明

显。西北部山区与东南部平原气候呈明显差异，多年平均日照 2699h/a，年平均无霜期 202 天。

气温：年平均气温 11.8℃，历史最高气温曾达到 43.5° C(1961 年 6 月 10 日)，最低气温曾至-26° C(1966 年 2 月 22 日)。

降水：北京地处山地与平原的过渡地带，气候具有明显的地域差异。山前一带为多雨区，山后和平原南部地区为少雨区。具有降水集中，强度大，分布不均匀，年内集中和连丰连枯的变化特征，多年平均降水量 573.6mm。2012 年 7 月 2 日，北京遭遇大雨，局地达特大暴雨级别，全市平均降雨量 164mm，为 61 年以来最大。其中，最大降雨点门头沟区河北镇达到 460mm。2021 年 7 月中下旬至 8 月上旬，北京多次遭遇暴雨，局地大暴雨，根据北京市气象局得知，截至 10 月 26 日 2021 年北京市全市 20 多个站点平均降雨量 902mm，其中，最大降雨点位于海淀区，降雨量 1227mm。

#### （四）水源及电力条件

拟防治地灾点大部分靠近河流，施工用水可直接从邻近河流取用，其余地灾点需用水车到附近河流或取水点取用。

拟建工程区内有电力线通过，施工用电可直接从居民点或电力线上接用，施工电力有保障。

#### （五）交通条件

治理区均位于公路的左侧或右侧路堑边坡或斜坡地带，项目区交通条件较好。

#### （六）建筑材料

根据治理工程设计，本次治理工程所需的建筑材料主要包括柔性网、钢筋、水泥、砂石等，所有材料均可从项目所在城区及北京市区购买。

### 8.2 施工方法及施工机械

通过分析项目区施工条件，主动防护系统、引导防护系统、被动防护系统可通过索道或汽车吊运送至施工区域，坡面挂网采用车载高空作业平台进行施工，钢丝绳锚杆采用手持式风镐成孔，危岩体加固锚杆采用简易式边坡锚杆钻机成孔，钻孔、

灌浆需配比空压机、搅拌机、浆液注浆机等。

### 8.3 施工顺序、技术要求及验收标准

#### 8.3.1 施工顺序

考虑到施工安全，总体施工顺序及各分项工程施工顺序如下：

(1)临时工程：临时设施修建，如临时道路、临时用水用电系统、临时房屋、交通导改等。

(2)危岩清理：危岩体圈定、风镐破碎或采用静态爆破剂破碎、钢钎撬除。

(3)主动防护系统：测量放样确定锚杆孔位、锚杆安设及注浆、安装纵横向支撑绳、铺挂格栅网、铺挂环形网。

(4)被动防护系统：基座、锚杆孔位测量定位、锚杆成孔、安设及注浆、基座安装、下支撑绳及其缓冲绳安装、钢柱及拉锚绳、防倾倒绳、边垂绳安装、上支撑绳及其缓冲绳安装、环形网安装、格栅安装。

(5)覆盖式引导防护系统：测量放线确定锚杆孔位、锚杆安设及注浆、安装顶端横向支撑绳、安装纵向主拉、次拉钢丝绳、张挂双绞六边形网防护网、安装纵向钢丝、安装横向固定钢丝绳。

(6)张口式引导防护系统：上部拦截部分施工与被动防护网施工要求相同，下部引导部分与主动防护网施工要求相同。

(7)混凝土挡墙：坡体开挖、坡面修整→挡墙基础开挖→地基验槽→基础砼浇筑→墙身支模→墙身砼浇筑→墙背混凝土施工（混凝土面板墙逐级向上施工）→墙体养护。

(8)锚杆加固：坡体开挖、坡面修整→锚杆定位→成孔→锚筋下放→注浆→养护→锚头施工。

(9)路面修复：旧路面铣刨→洒布透层封层→摊铺 6cm 厚 AC-20 中粒式沥青混凝土→压实→洒布粘层→摊铺 4cm 厚 AC-13 细粒式沥青混凝土→压实。

#### 8.3.2 施工技术要求

##### 1、坡面清危

清除勘查圈定的危岩体及坡面明显松动的岩块，要求坡面零星危石、浮石危及线路、车辆、行人的尽量清理干净。

对危岩体采用人工进行清除，小块危岩体采用钢钎撬除，大块危岩体采用锤击或风镐破碎。危岩体务必清除到位，避免工程扰动形成新的危岩体。

危岩清除前对坡脚道路进行临时交通管制，车辆及行人严禁进入施工区域，公路路面及设施做好妥善保护。

## 2、脚手架的搭建(使用于危岩体加固施工段)

(1)搭设材料只允许使用钢门式架或钢管，且有产品合格证，钢管和扣件使用前必须经检测合格。

(2)需搭设三排脚手架，脚手架外立杆内侧必须设置经检测合格的密目式安全网、1.2m 高防护栏杆，以及 0.18m 高、厚度不小于 10mm 的挡脚板。

(3)施工单位在搭设外脚手架或模板支撑系统时，应有相应的设计和搭设方案，并作为施工现场开工前提条件检查的内容，并经企业技术负责人和监理单位技术负责人审批同意后方可搭设。搭设后，班组应进行自检，经监理、施工单位验收合格，方可投入使用。

## 3、主动防护系统

(1)施工前应清除坡面防护区域内威胁施工安全的浮土或浮石，对不利于施工安装和影响系统安装后正常功能发挥的局部地形（局部堆积体和凸起体）或植被进行适当修整。

(2)以防护范围的最低高程为基准线放线布置锚杆孔位，若此处坡面凹凸不平，锚杆布置时可适量调整，尽可能的在低凹处选定锚杆孔位。有必要时可做局部加密处理。对于网面悬空不能紧贴坡面的区域，应在悬空处增加局部锚杆。局部锚杆的长度、强度要求可较系统锚杆适当降低。但无特殊设计时，仍宜依照系统锚杆的要求。

(3)锚杆钻孔：按设计深度钻孔并清孔，钻孔直径为 50mm。坡面系统锚杆的入射角度应与水平方向呈  $10\sim20^\circ$ ，上沿锚杆与坡面法线方向夹角小于  $20^\circ$ ，孔深

应大于设计锚杆长度 5~10cm；坡面锚杆布置于距离平台外边线  $1/3$  平台宽度处。

(4)注浆并插入锚杆。注浆采用标号不低于 M30 的水泥砂浆，宜用灰砂比 1:1~1.2、水灰比 0.45~0.50 的水泥砂浆或水灰比 0.45~0.50 的纯水泥浆，水泥宜用 42.5 普通硅酸盐水泥，优先选用粒径不大于 3mm 的中细砂，确保浆液饱满；在进行下一道工序前注浆体养护不少于三天。

(5)上支撑绳安装。在坡顶，以某一锚杆为起点，将上支撑绳反包并固定在该锚杆锚头套环上，沿坡走向依次经过相邻锚杆锚头的套环，直至终点锚杆锚头后将支撑绳拉紧，并以与起点同样的方式反包固定。支撑绳反包的长度不小于设计要求，反包处至少用三个绳夹进行固定。单根上支撑绳的长度不宜大于 25m，超过该长度时，应分段设置。

(6)从上向下铺挂双绞六边形钢丝网。将网片顶部绕过上支撑绳并折叠反包 0.5m，用绞合钢丝对反包段进行点扎固定，点扎间距 20cm。沿坡走向依次铺挂，直到将坡面设计防护区域完全覆盖。水平相邻网面采用亦采用绞合钢丝点扎连接，点扎间距 15~20cm。

(7)从上向下，从左至右铺设钢绳网，将金属网与锚杆进行临时固定，用于金属网的定位并防止金属网滑落。位于防护范围边界的钢丝绳网，应与边界锚杆对齐；竖向相邻钢丝绳网应采用卸扣连接；横向相邻钢丝绳网应采用缝合绳紧密缝合，可根据现场实际情况裁剪长度适宜的缝合绳（建议单根  $\geq 20m$ ），缝合绳两端各用 3 个绳卡进行固定。

(8)完成一定数量的金属网铺设时，应同步安装该部分金属网所在的边界绳，以固定防护网的防护边界。安装边界绳时应先将边界绳用绳夹固定在锚杆上，另一头依次穿过边界钢丝绳网的边缘网孔，终端固定在另一锚杆上（可跨多个锚杆）。边界绳安装好后，可将钢丝网顶部预留的 20~30cm 反包在边界绳上并用钢丝点扎固定。

(9)重复 (4)、(5)、(6) 步骤，直至完成所有金属网的铺设和连接。

(10)中、下撑绳安装。端头固定参见上支撑绳的安装方法，布置形式参见

系统一般布置示意图。

#### (11) 验收标准

验收标准详见《2025年门头沟区普通公路沿线地质灾害防治工程施工图设计图件》各主动防护系统大样图设计说明。

### 4、被动网

#### (1) 按设计并结合现场实际地形对锚杆进行测量定位。

a. 系统走向(基座间连线)应尽可能为水平直线，必须避开较大的地形起伏或在必要时进行平整处理(填平凹坑、整平凸起体或沿等高线放线)。当系统走向不是直线时，应根据其走向变化情况设计增加下拉锚绳。

b. 柱间距标准值为10m。必要时，在保持系统走向总长度和各分段长度不变的前提下，可以在8m~12m范围内进行调整。

c. 钢丝绳锚杆的位置由其与相邻钢柱间的水平距离确定，该距离标准值取决于系统高度，必要时允许有10%的调整量。

#### (2) 按设计开钻凿锚杆孔，锚杆的锚固力不应小于设计值。

(3) 锚杆孔内插入锚杆并灌注标号不低于M30的水泥砂浆或水灰比0.45~0.5的纯水泥浆。在进行张拉、紧固等工序前，砼或注浆体养护不得少于三天。

#### (4) 钢柱及拉锚绳安装

a. 将基座平放在地基上，并保证地脚螺栓锚杆对应穿过基座上的预留孔，拧紧地脚螺栓配套的螺母，将基座锁紧。将钢柱顺坡向上放置并使钢柱底部位于基座处。

b. 将钢柱缓慢抬起并对准基座，将钢柱底部插入地脚螺栓锚杆中，套上螺母并拧紧；同时将拉锚绳的绳圈挂于立柱顶端的挂座上，每根立柱均包含两根上拉锚绳，端部立柱则还各包含一根侧拉锚绳及一根侧拉地锚绳。(若某根立柱有下拉锚绳，也建议同时挂上)。

c. 将上拉锚绳的尾端与对应的上拉钢丝绳锚杆环套连接，缓慢张紧上拉锚绳直到立柱倾角达到设计值，用绳卡将上拉锚绳紧固。端柱处则应同时将侧拉锚绳与同一侧的侧拉锚杆套环连接，张紧侧拉锚绳时以立柱不发生侧偏为原则进行张紧控制，

同时用绳夹进行半固定(因为张拉上支撑绳或安装环形网时，端部立柱有可能发生侧偏，需要再次调整侧拉锚绳的张紧度)。

#### (5) 上支撑绳安装

a. 将上支撑绳从内向外分别穿过同一端柱(分段安装时为每一段的起始钢柱)顶部对应的挂座，将绳头与消能器的套环连接，再将消能器的尾绳与侧拉锚杆连接并用绳夹固定。

b. 然后沿平行于系统走向的方向上调直支撑绳并放置于基座的下侧，并截取适当的长度。

c. 将支撑绳尾端依次穿过钢柱顶部的对应的挂座，直到支撑绳尾端穿过另一头端柱顶部的挂座。

d. 在这一端，预先将消能器的尾绳与本侧的侧拉锚杆连接并用绳夹固定。将上支撑绳与该侧消能器的套环连接，张紧上支撑绳并用绳夹固定，完成上支撑绳的安装。

e. 重复步骤a~d，完成另一根上支撑绳的安装。

#### (6) 下支撑绳安装

a. 将消能器的尾端穿过侧拉锚杆的套环，反包后用绳夹固定；将下支撑绳的首端穿过消能器套环，反包后用绳夹固定；

b. 将下支撑绳的尾端一次穿过基座的绳槽，直到穿过另一头的端柱基座；

c. 将另一消能器的尾端固定在另一侧的侧拉锚杆上，将下支撑绳的尾端与穿过该消能器的套环后，将下支撑绳张紧，并用绳夹固定；

d. 重复步骤a~c，完成另一根下支撑绳的安装。

#### (7) 环形网的安装

a. 环形网的起吊就位方法宜根据施工场地、机具(起吊滑轮组、钢丝绳、粗麻绳、葫芦、梯子等)、人力条件及经验和习惯而定。

b. 用一根起吊绳(钢丝绳或尼龙绳)穿过环形网上沿第二排网孔，一端固定在临近立柱的顶端，另一端穿过悬挂固定于上支撑绳上的起吊滑轮组或临近立柱

顶端的挂组并使绳尾垂落到地面附近。

c. 拉动起吊绳尾端，直到环形网上沿上升到上支撑绳的高度为止，再用卸扣将环形网顶边的网孔逐个与上支撑绳连接，以暂时固定环形网的起吊高度。同时建议用一根绳子穿过网的底部网孔并固定到基座上使网片底边靠近下支撑绳，以便于环形网与下支撑绳的连接固定。

d. 重复上述步骤直到全部网片暂时挂到上支撑绳上为止，并侧向移动网片使其位于正确为止；此后即可进行网片与下支撑绳的连接，同样用卸扣将网片底部网孔与下支撑绳逐个连接。

#### (8) 环形网与端柱固定及缝合连接

a. 在拦石网两侧端柱处，将侧拉地锚绳绳圈套在端柱的顶部并卡如对应的挂座中，并沿端柱的内侧向下一次穿过环形网的侧边网孔；将锚绳从内向外侧穿过端柱基座的绳槽，并穿过侧拉锚杆的套环，用绳夹固定。另一侧采用相同方式进行镜像安装。

b. 用卸扣将相邻环形网的对应网孔连接，并锁紧卸扣。

#### (9) 双绞合钢丝网的安装

a. 将成卷的钢丝网竖直立于端柱外侧并紧靠在端柱上，顺拦石网延伸方向逐步展开钢丝网网卷。同时用绞合钢丝，将钢丝网定边的钢丝与上支撑绳点扎固定。固定间距一般不大于 30cm。点扎时将裁剪成段的绞合钢丝对折成双股后进行。待钢丝网展开至下一根立柱时，截断钢丝网，并保证留有至少 10cm 的富余长度用于搭接。

b. 从该立柱另一侧重新铺展钢丝网，并继续与上支撑绳的固定安装。直到钢丝网铺满整个拦石网。

c. 将钢丝网的底边，采用与定边相同的方式固定在下支撑绳上。

d. 将钢丝网与环形网进行点扎连接。点扎位置应在整个拦截网面上均匀分布，每平方米至少点扎 4 处。同样采用双股绞合钢丝进行点扎。

#### (10) 验收标准

验收标准详见《2025 年门头沟区普通公路沿线地质灾害防治工程施工图设计图

件》各被动防护系统大样图设计说明。

### 5、引导防护系统

#### (1) 覆盖式引导防护系统

1) 以防护范围的顶部边界为基准线放线布置上沿锚杆孔位，若坡顶覆盖层较厚，锚杆布置时可适量向坡上方调整，应以满足锚杆设计抗拔力为原则选定锚杆孔位，必要时可做局部加密或加长处理。

2) 按设计深度钻孔并清孔，钻孔直径为 50mm。坡面系统锚杆的入射角度应与水平方向呈 10~20°，上沿锚杆与坡面法线方向夹角小于 20°，孔深应大于设计锚杆长度 5~10cm；坡面锚杆布置于距离平台外边线 1/3 平台宽度处。

3) 注浆并插入锚杆。注浆采用标号不低于 M30 的水泥砂浆，宜用灰砂比 1:1~1.2、水灰比 0.45~0.50 的水泥砂浆或水灰比 0.45~0.50 的纯水泥浆，水泥宜用 42.5 普通硅酸盐水泥，优先选用粒径不大于 3mm 的中细砂，确保浆液饱满；在进行下一道工序前注浆体养护不少于三天。

4) 上支撑绳安装。在坡顶，以某一锚杆为起点，将上支撑绳反包并固定在该锚杆锚头套环上，沿坡走向依次经过相邻锚杆锚头的套环，直至终点锚杆锚头后将支撑绳拉紧，并以与起点同样的方式反包固定。支撑绳反包的长度不小于设计要求，反包处至少用三个绳夹进行固定。单根上支撑绳的长度不宜大于 25m，超过该长度时，应分段设置。

5) 从上向下铺挂双绞六边形加筋网。将网片顶部绕过上支撑绳并折叠反包 0.5m，用绳夹和绞合钢丝对反包段进行固定。每根加筋钢丝绳处用两个绳夹。沿坡走向依次铺挂，直到将坡面设计防护区域完全覆盖。水平相邻网面采用直径专用连接扣进行连接，连接扣安装间距 15~20cm。

6) 下撑绳安装。端头固定参见上支撑绳的安装方法，布置形式按设计图纸及要求安置。

#### 7) 验收标准

验收标准详见《2025 年门头沟区普通公路沿线地质灾害防治工程施工图设

计图件》各覆盖式引导防护系统大样图设计说明。

## (2) 张口式引导防护系统

上部拦截部分施工与被动防护网施工要求相同，下部引导部分与主动防护网施工要求相同。具体如下：

- 1) 拦截部分宜沿等高线布置，钢柱基座放线时，相邻钢柱基座间高差宜控制在0.5m以内。
- 2) 锚杆注浆，应保证注浆密实饱满，待浆体强度达到设计强度的70%后进入下一道工序施工。
- 3) 锚杆及基础施工宜选择在旱季、晴天施工，土层或砂砾石地层宜采用人工开挖施工。
- 4) 防护网在安装时系统宜按40m~60m进行分段，通常按50m进行分段。
- 5) 拦截部分双绞六边形网应用钢丝固定在环形网上，每平方米固定不少于4处；引导部分双绞六边形网铺挂在坡面上，每张双绞六边形网连接处应叠盖不少于10cm，叠盖处采用低碳钢丝缝合。
- 6) 钢柱安装与坡面之间夹角宜为75°~85°。
- 7) 验收标准

验收标准详见《2025年门头沟区普通公路沿线地质灾害防治工程施工图设计图件》各张口式引导防护系统大样图设计说明。

## 6、加固锚杆施工

(1) 按设计图纸位置，采用锚杆机成孔，锚杆孔径110mm，锚孔深度按工点设计图纸要求确定(以坡面为参照)，原则上要求钻孔间距与设计偏差不大于5cm(局部由于坡面岩体较破碎区域可适当调整位置，但锚孔间距与设计偏差不宜大于50cm)。

(2) 锚杆杆体采用Φ25mm的HRB400的螺纹钢，按设计倾斜角度为15°施工锚孔，角度偏差不得大于±1°，钻孔过程中须进行孔向测量，发现偏差超过要求时，应及时纠正。在钻孔过程中，对每个孔的地层变化、钻进状态、地下水及一些特殊情

况，做好现场施工记录并及时反馈给工程技术人员以采取对应措施。若遇地层松动破碎时，可采用跟进套管的钻进技术，以确保孔壁完整不坍；如遇坍孔、缩孔，应立即停钻，进行固壁灌浆处理，在浆液中可掺入适当剂量的速凝剂(初凝时间控制在3~8min)，浆液初凝后重新扫孔钻进。

(3) 锚件置入前应作除锈处理，锚杆对中支架自行加工，宜环绕锚杆主筋梅花形均匀分布，采用M30水泥砂浆或纯水泥浆注浆，注浆采用标号不低于M30的水泥砂浆，宜用灰砂比1:1~1.2、水灰比0.45~0.50的水泥砂浆或水灰比0.45~0.50的纯水泥浆，水泥宜用42.5普通硅酸盐水泥，优先选用粒径不大于3mm的中细砂，确保浆液饱满；锚杆杆体外露部分避免敲击、碰撞，3d内不得悬吊重物，待杆体砂浆初凝后，进行抗拉拔抽检测试，要求锚杆抗拔力不低于75kN，检验合格后方可进行下道工序。

(4) 安装配套的锚垫板和锁定螺帽，应注意锚杆轴向与垫片及锚具垂直，并按设计尺寸完成外锚墩封锚施工。

## (5) 质量检验及验收标准

锚杆实测项目

表 8.3-1

项次	检查项目	规定值或允许偏差	检查方法和频率
1	注浆强度(MPa)	在合格标准内	符合《公路工程质量检验评定标准》附录F的要求
2	钻孔深度(mm)	≥设计值	尺量：逐孔测
3	钻孔直径(mm)	±10(设计直径≥60) +5(设计直径<60)	卡尺：逐孔测
4	孔位(mm)	±50	尺量：逐孔测
5	钻孔倾角(°)	≤3	地质罗盘仪：逐孔测
6	杆体长度(mm)	≥设计值	尺量：逐孔测
7	锚杆插入钻孔长度(mm)	不小于设计长度的98%	尺量：逐孔测
8	锚杆抗拔力(kN)	抗拔力平均值≥设计值、最小抗拔力≥0.9倍设计值	拔力试验：锚杆数5%，且不少于3根

## 7、挡土墙施工

(1) 施工顺序：坡体开挖→坡面修整→挡墙基础开挖→地基验槽→基础砼浇筑→墙身支模→墙身砼浇筑→墙背混凝土施工(混凝土面板墙逐级向上施工)→

墙体养护。

(2) 塌方体开挖、坡面修整后要严格按图施工,开挖至基底后,应进行地基验槽和承载力检测,挡墙地基承载力不低于设计大样图要求,如承载力不满足应做相应地基处理措施。

(3) 挡墙墙身支模,混凝土浇筑施工,混凝土强度等级为C25,混凝土浇筑施工时需振捣密实,混凝土坍落度等指标满足施工工艺和强度要求。

#### (4) 质量检验及验收标准

a、混凝土挡墙按照施工技术标准进行质量控制,每分项工程完成后,必须进行检验。相关各分项工程之间,必须进行交接检验,所有隐蔽分项工程必须进行隐蔽分项验收,未经验收或验收不合格不得进行下一道分项工程施工。

b、模板、混凝土施工应符合施工技术规范的要求,特别是应分层浇筑施工缝的设置,可通过凿毛和预埋短钢筋连接施工缝混凝土。

c、混凝土强度应符合设计与规范要求。

d、变形缝、泄水孔均应满足设计要求,变形缝应竖直、贯通,并采用弹性材料填充密实,填塞深度满足设计要求。

e、混凝土挡墙实测项目应符合下表规定:

混凝土挡墙实测项目

表 8.3-3

项次	检查项目	规定值或允许偏差	检查方法和频率
1	混凝土强度(MPa)	在合格标准内	符合《公路工程质量检验评定标准》附录D的要求
2	平面位置(mm)	≤50	全站仪: 测墙顶外边线, 长度不大于30m时测5点, 每10m增加1点
3	墙面坡度(%)	≤0.3	铅锤法: 长度不大于30m时测5处, 每增加10m增加1处
4	断面尺寸(mm)	≥设计值	尺量: 长度不大于50m时测10个断面, 每增加10m增加一个断面
5	顶面高程(mm)	±20	水准仪: 长度不大于30m时测5点, 每增加10m增加1点
6	表面平整度(mm)	≤8	2m直尺: 每20m测3处, 每处测竖直、墙长两个方向

f、对挡墙外观质量应符合下列规定:

①挡墙不得出现外鼓变形,表面应光洁、平整、密实,无蜂窝、麻面、露筋等现

象;

②泄水孔应无反坡、堵塞;

③混凝土表面不应存在《公路工程质量检验评定标准》(JTG F1-2017)附录P所列限制缺陷。

g、其他未尽事宜执行《公路工程质量检验评定标准》(JTG F1-2017)及其他相关规范要求。

#### 8、挂钢筋网喷砼施工

(1) 施工顺序: 清理坡面→完善排水系统→初喷3cm厚砼→锚杆施工→挂钢筋网及铺装加强筋→复喷7cm厚砼→养护。

(2) 钢筋网采用φ8钢筋,间距200mm×200mm,并用采用12钢筋作加强筋,压于钢筋网上,并与锚杆有效焊接,在钢筋网周边用长0.8m的12锚钉固定,间距1m。

(3) 锚钉采用HRB400φ12钢筋加工,锚固深度0.8m,需保证弯头向上。锚钉可直接打入稳固土层,若无法直接打入可用小型钻机成孔后放入,孔内灌满M30水泥砂浆。

(4) 喷射砼应采用湿喷工艺,强度不低于C30,厚度不低于10cm,其中粗料最大粒径不应大于15mm,宜采用中粗砂,细度模数宜为2.5~3.2,粘粒含量应小于10%,配合比根据现场试验确定,喷砼应延伸至坡顶不少于1m。

(5) 边坡坡面按3.0m×3.0m的规格布置Φ110泄水孔,钻孔内放Φ100多孔PVC透水管,管长1m,采用无纺土工布包裹,端头做好反滤措施。若边坡富水,应另外设置深层泄水孔。

(6) 边坡应逐级清理修整、逐级防护,各级边坡开挖后应立即进行坡面防护施工,严禁拖延防护工期;尽量避开雨季施工。

(7) 施工期间加强坡面形变观测或监测,于坡顶及坡面特征部位设置观测桩网,定期进行观测边坡变形情况,以便必要时采取工程措施,有效控制边坡变形,确保防护效果。

## (8) 质量验收标准

①施工所用的沙、石、水泥必须符合设计相关规范的要求，应送实验室检测，并出具相应的检测报告。

②喷射混凝土面层施工时，每工作台班试块取样数量不小于1组。

③锚喷混凝土一般需检验喷面层有无裂缝、有无脱落、有无漏喷、有无露筋、有无空鼓以及有无漏水，如有上述情况，则表观质量检验不合格。

④检验验收项目详见下表 8.3-4。

锚喷混凝土质量检验验收				表 8.3-4
项次	检查项目	规定值或允许偏差	检查频率或检查方法	
1	混凝土强度	C25	施工时制作试块检验	
2	喷层厚度 (mm)	-10	每 200m <sup>2</sup> 一个点	

(12)其他未尽事宜按照《岩土锚杆与喷射混凝土支护工程技术规范》(GB 50086—2015)等相关规范规程进行。

## 9、植被混凝土施工

(1)植被混凝土所需材料:

1)植被砼的基材:由砂壤土、水泥、绿化添加剂及有机质按一定配合比组成，具体配合比应由实施方提供，应有可靠的经检验成功的证明。喷植被混凝土厚度为10cm，基材选取要点如下:

①砂壤土:宜选用工程所在地原有的地表土经干燥粉碎过筛而成，土壤中砂粒含量不超过 5%;

②水泥:采用 P·O 42.5 普通硅酸盐水泥;③植被混凝土绿化添加剂;

④有机质:一般采用酒糟、醋渣或新鲜有机质(稻壳、秸秆、树枝)的粉碎物,其中新鲜有机质的粉碎物在基材配置前应进行发酵处理。

2)锚钉采用 HRB400 16 钢筋,长度 50~80cm, 岩体完整时取下限值, 坡顶、坡面破碎时锚钉应加粗加长, 锚钉密度为 100cmx100cm, 锚钉采用机械成ø 40mm 孔并灌注 M30 砂浆:固定网选用 14#菱形镀锌(或包塑)铁丝网, 网孔 5cmx5cm。

3)混合植被种子:选取适宜于该地气候及土壤特点的草种及灌木籽,建议搭配冷

暖两型混合种子,具体可根据本项目景观设计内容调整。

(2)施工步骤:

1)选定配合比，确定绿化基材混合物及混合植被种子的组成。

2)清坡:清除坡面危石、杂物，平整坡面凹凸不平之处，在有倒坡之处，用浆砌片石找平。

3)挂网锚固:在坡面上钻孔后置入锚钉并挂上铁丝网，挂网锚钉间距应不超过1mx1m，锚钉外露长度约 10cm，锚钉视情况可适当加密加长;网间搭接宽度不小于 10cm，用直径不小于 2mm 的铁丝连接，并采用混凝土垫块来调节，使金属网与坡面的距离保持在 5~7cm，并在锚钉位置采用铁丝将其与锚钉绑扎牢固。

4)喷植:喷植时喷口距坡面 1m 左右，喷枪与坡面的夹角应尽量垂直，喷植次序从上到下，总喷植厚度约 10cm，基层约 8~9cm，面层约 1~2cm(含混合植绿种子)，喷植完毕表面应光滑平整。

5)养护:喷水养护，视情况采用无纺布等进行覆盖保，强制养护期为喷植结束后两个月，期间需保证坡面植被有充足的水分供应，并视出芽情况进行补植，待草覆盖坡面后，方可进入常规养护。

(3) 质量验收标准

详见结构大样图 12-2 《植被混凝土护坡绿化生态防护》。

## 10、路面修复施工

(1) 在铺筑沥青混合料前，应检查其下层的质量。其宽度、路拱与标高、表面平整度和弯沉值等，均应达到相应的规范要求。按规定喷洒透层油或粘层油。在施工当中，必须严格依照《公路沥青路面施工技术规范》JTG F40-2004 的相关规定进行。

(2) AC-13C 及 AC-20C 沥青混凝土采用 SBS 改性沥青，AC-13C 表面层粗、细集料均采用辉绿岩、玄武岩等性能指标符合要求的黑色碎石，AC-20C 下面层采用石灰岩等性能指标符合要求的碎石。沥青和矿料应满足《公路沥青路面施工技术规范》JTG F40-2004 中的有关规定，改性沥青应满足 SBS 类 I-D 的基本要

求。为确保碎石集料的质量，生产时增加水洗及整形的生产工艺。为提高路面高温稳定性、耐久性等路用性能，SBS 改性沥青都在规范的基础上提高了沥青的各项指标，如针入度，软化点，动力粘度，残留针入度比，延度、弹性恢复度等指标，且要求 SBS 改性剂宜采用星型，掺量不小于 4.5%；经过技术论证，在保证改性沥青及改性沥青混合料性能符合要求的前提下，方可采用线型 SBS，掺量不小于 5%。SBS 改性剂应符合中华人民共和国石油化工行业标准 SH/T 1610--2011 《热塑性弹性体苯乙烯-丁二烯嵌段共聚物（SBS）》表 1 的要求。

(3) 矿料级配组成设计按照“均匀、嵌挤、密实”的要求进行，应采用粗集料断级配骨架密实型的沥青混凝土。

(4) 应充分利用同类道路与同类材料的施工试验经验，经过目标配合比设计、生产配合比设计和生产配合比验证这三个阶段来确定矿料级配和沥青用量，并应符合《公路沥青路面施工技术规范》(JTG F40-2004)的矿料级配范围和马歇尔试验的技术指标，并具有良好的施工性能。当进场材料发生变化，沥青混合料的矿料级配、马歇尔试验技术指标不符合要求时，应及时调整配合比，使沥青混合料质量符合要求并保持相对的稳定，必要时重新进行配合比设计。

(5) 沥青路面不得在雨天施工，当施工中遇雨时，应停止施工。雨季施工时应采取路面排水措施。沥青混合料必须在沥青拌和厂采用拌和机械拌制，所使用的拌和设备和摊铺机械均应符合规范的要求。材料须堆放在遮雨棚内，沥青应储存稳定。

(6) 工程正式开工前，进行沥青混合料的试拌、试铺和试压试验，以确保良好的施工质量和路面施工的顺利进行，并应充分明确以下内容：

- ①混合料的生产能力，运达与摊铺时的温度；
- ②初压、复压和终压温度；
- ③压路机型号、质量、线压力、轮宽，轮胎压路机的轮重与气压；
- ④碾压时间，压路机类型组合，压路机振幅；
- ⑤压路机振动频率与行走速度的组合，振动与静压两种方式的最佳碾压遍数及松铺系数；

⑥压路机宽度与路面宽度的适宜搭接宽度；

⑦环境条件的影响。

(7) 应严格控制沥青和集料的加热温度，并按生产配合比，控制沥青和各种矿料用量，混合料应均匀、无花白料、无离析和团块。改性沥青混合料宜随拌随用，如需贮存，则贮存时间不宜超过 24 小时并且温降不得超过 10°C，不得发生结合料老化、滴漏及离析等。而普通沥青混合料放入无保温设备的储料仓时，允许的储料时间应以符合摊铺温度要求为准，有保温设备的储料仓储料时间不宜超过 72 小时。

(8) 装运混合料的自卸车应采用大吨位的，且有覆盖设备，箱底板、侧板应涂拌一层隔离剂，并排除游离余液。摊铺应连续、均衡进行，严格控制摊铺温度、厚度和平整度。同时，还应严格控制碾压温度、速度和遍数，保证达到要求的密实度。

(9) 普通沥青、改性沥青混合料路面的施工温度，通常按《公路沥青路面施工技术规范》(JTG F40-2004)表 5.2.2-2、5.2.2-3 规定的执行，特殊情况由实验另行确定。当气温低于 10°C 时，不得进行改性沥青混合料路面施工。

(10) 沥青面层的摊铺，原则上力求将接缝的数量减到最少，必须设接缝时，应尽量采用热接缝，少用或不用冷接缝。在铺筑上或中面层时，均应对其下层的质量进行再次检查，仔细清除一切杂物和污染，如有必要，可喷洒一定数量的粘层沥青。

(11) 其它未尽事宜，依照《公路沥青路面施工技术规范》(JTG F40-2004)、《公路沥青路面设计规范》 JTG D50-2017 等相关规范执行。

### 8.3.3 施工注意事项及安全保障措施

(1) 施工方必须编制详细的施工组织设计，其中应有针对可能出现的情况编制的施工应急预案；

(2) 在施工过程中若发现地质情况与设计文件有出入，应及时通知设计人员，以便复核、调整；

(3) 施工期间须采取必要的安全措施，确保工程、施工人员和交通车辆等的安全；

(4) 本工程施工必须考虑对环境的影响，在施工期间应控制减少噪声、粉尘、灰尘等污染环境的影响因素，施工过程中按规定进行妥善处理；

(5) 施工时应充分掌握边坡地质条件、施工情况等信息，当与原设计方案、勘查资料等出入较大时应进行通知设计单位，并进行必要的调整和变更。

(6) 按照先清危再挂网的顺序进行施工，危岩及浮石务必清理到位，清理后无明显松动及脱落迹象；

(7) 施工前公路临时交通导改，单车道通行，设置交通管理员、监督员及施工监测员；

(8) 坡面危岩、浮石清理时临时中断交通，边坡下方严禁车辆、行人通行；

(9) 吊车作业人员、高空作业人员持证上岗、戴好安全帽、系好安全绳；

(10) 严禁同一桩号处边坡上下同时作业；

(11) 雨季、汛期施工注意防患山洪、崩塌等灾害风险。

(5) 多工序作业，现场机械设备行走及施工安全；

3) 对上述风险应采取如下措施规避人为因素和预防自然因素导致的安全事故：

(1) 施工单位施工前应制定详细的预防措施、运行控制方案及应急救援预案；

(2) 在施工前应对施工人员进行岗前教育及安全培训，增强安全意识，规避和杜绝人为因素产生的安全事故；

(3) 严格落实现场监督检查制度，及时排除安全隐患；

(4) 施工机械进出场及在拟建场区施工时，注意施工机械与周边设施的安全距离，注意避让或采取相对应的安全措施，确保安全；

(5) 遇大风、大雨、暴雨、雷电等恶劣天气时，严格按照地区的相关规定执行，严禁盲目施工。

## 9.2 关于保证工程周边环境安全和工程施工安全的建议

(1) 本工程设计过程中结合建设单位提供的周边环境、设计图纸等资料，对场区及周边环境条件进行了梳理，施工单位施工前应结合现场实际条件，对周边环境进行进一步的详细调查，如发现特殊情况、与设计图纸不符合的情况应及时通知各参建单位进行相应的调整和协商；

(2) 施工单位应编制工程施工组织设计，并按照建设主管部门的要求进行必要的评审或审查，现场应以通过评审和审批后的施组方案组织施工；

(3) 应按照本施工图纸进行施工，施工过程中确保工程质量，合理确定施工工期，施工流程和顺序满足规范和设计要求，做好相关的施工记录、试验和检测工作，严格落实现场监督检查制度，及时排除安全隐患；

(4) 施工中应按照图纸、规范要求开展监测工作，相应的监测内容、频率、

## 9 工程施工安全相关建议

### 9.1 周边环境条件、工程风险分析及应急措施要求

1) **周边环境：**根据建设单位提供的资料，施工场地为地灾点分布的各公路，交通量中等~小。

2) **工程风险及应急措施：**针对本项目的风险主要为：

(1) 机械设备失稳倾倒造成机械伤害；

(2) 钻机零部件或携带物脱落，材料高空坠落造成的物体打击伤害；

(3) 锤头抛射、钢钎飞射、桩体碎块飞溅等造成的物体打击；

(4) 个人操作不当造成的物体打击、高处坠落、触电及火灾等；

精度满足规范和设计要求；

(5) 应编制施工专项应急预案；遇大风、大雨、暴雨、雷电等恶劣天气时，严格按照地区的相关规定执行，严禁盲目施工；

(6) 建立畅通的沟通协调机制，现场遇特殊情况应及时通知各参建单位协商解决；

(7) 施工过程中应按照北京市和国家法律法规组织施工，确保施工质量和施工安全。

(6) 沿线各地灾隐患点岩体破碎，本次治理为仅针对零星落石的浅层防护。

并且随着时间延续，边坡岩体在风化剥蚀等作用下会继续发展出新的裂隙，形成新的隐患，岩体破坏随机性强，呈点状分布，故建议养护单位加强人工巡视，防患于未然。

(7) 其他未尽事宜按照相应规范规程执行。

#### 附表（各工程数量表）

- 01、APS-150-P 主动防护系统
- 02、APS-300-P 主动防护系统
- 03、PPS-005RB 柔性格栅网
- 04、PPS-200-DB-A 被动防护系统
- 05、GPS-150-C 覆盖式引导防护系统
- 06、GPS-200-0 张口式引导防护系统
- 07、GPS-300-0 张口式引导防护系统
- 08、危岩锚杆加固
- 09、危岩锚杆捆绑加固
- 10、混凝土挡墙
- 11、锚杆挂钢筋网喷砼
- 12、植被混凝土护坡绿化生态防护
- 13、混凝土嵌补
- 14、沥青砼路面修复
- 15、危岩清除+堆积体清除

## 10 其他说明

(1) 本次治理路堑边坡普遍高陡，受限于占地及施工难度，除个别路段暂不行大规模削方处理，仅仅进行浮石清理，本次治理设计仅针对零星落石的表层防护；

(2) “动态设计，信息化施工”是该线路病害防治的一个重要特点，施工中需根据各病害点的具体情况，必要时可根据各地灾点的具体情况适当调整防治方案；

(3) 为保护现有的植物根系和清理落石方便，柔性防护网底部均要求高于路面1.0m。岩石崩落一般发生于坡体顶部的土岩结合部，主动网施工时要求网片必须覆盖到此部位以上2-3m；

(4) 山区项目地形、地物条件较为复杂，现场可根据实际地形、地物适当调整柔性防护网覆盖范围等；实际工程量可能存在与设计图纸不完全相符的情况，具体工程量以现场实际为准。

(5) 对巡视的要求：边坡防护完成后，业主需指定专人定期对其工作状态进行巡视检查，如有封闭体内及被动网拦截住的崩塌块石，需及时清理并新补网片。并定期检查柔性防护网构件的表观状态，及时处理锈蚀构件，以发挥长久效能。

## 防治工程数量表

(APS-150-P 主动防护系统)

项目名称：2025年门头沟区普通公路沿线地质灾害防治工程（一标段）

01

编制： 

复核：方泓伟

审核 李耀华

## 防治工程数量表

(APS-300-P 主动防护系统)

项目名称: 2025年门头沟区普通公路沿线地质灾害防治工程 (一标段)

02

编制：孙燕

复核：李海峰

审核：李耀华

## 防治工程数量表

(柔性格栅网 PPS-005/RB)

项目名称: 2025年门头沟区普通公路沿线地质灾害防治工程(一标段)

03

编制:

1

复核：成威

审核：李耀华

## 防治工程数量表

(PPS-200/DB-A 被动防护系统)

项目名称：2025年门头沟区普通公路沿线地质灾害防治工程（一标段）

04

编制：林志

复核: 李海峰

审核：李耀华

### 防治工程数量表

(GPS-150-C 覆盖式引导防护系统)

项目名称：2025年门头沟区普通公路沿线地质灾害防治工程（一标段）

05

编制： 

复核: 李淑娟

审核：李耀华

## 防治工程数量表

(GPS-200-0 张口式引导防护系统)

项目名称：2025年门头沟区普通公路沿线地质灾害防治工程（一标段）

06

编制： 

复核：成威

审核：李耀华

## 防治工程数量表

(GPS-300-0 张口式引导防护系统)

项目名称：2025年门头沟区普通公路沿线地质灾害防治工程（一标段）

07

编制：水忠

复核：成威

审核：李耀华

## 防治工程数量表

(危岩锚杆加固)

项目名称：2025年门头沟区普通公路沿线地质灾害防治工程（一标段）

08

编制：王文华

复核：成威

审核：李耀华

## 防治工程数量表

(危岩锚杆捆绑加固)

项目名称：2025年门头沟区普通公路沿线地质灾害防治工程（一标段）

09

编制:

复核：戚威

审核：李耀华

## 防治工程数量表

(混凝土挡墙)

项目名称：2025年门头沟区普通公路沿线地质灾害防治工程（一标段）

10

序号	起讫桩号或中心桩号	工程名称	主要尺寸说明	设置位置及长度		工程数量						备注
				左	右	现浇C25砼	回填碎石	M10砂浆	墙背回填土	码砌植生袋	挖基	
				(m)	(m)	(m³)	(m³)	(m³)	(m³)	(m²)	(m³)	
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13
1	斋幽路K2+105~K2+180处左侧崩塌隐患	路堑墙	墙高h=2.5m	42		145.49	42.00	10.50	69.30		33.39	
2	斋幽路K13+000~K13+135处右侧崩塌隐患	路堑墙	墙高h=1.5m		21	50.51	10.50	5.25	34.65		16.70	
3	斋幽路K17+910~K18+010处左侧崩塌隐患	路堑墙	墙高h=1.5m	14		33.67	7.00	3.50	23.10		11.13	
4	斋幽路K19+195~K19+208处左侧浅层滑塌	路堑墙	墙高h=0.5m	13		4.29					3.90	
5	军红路K5+180~K5+250处左侧浅层滑塌	路堑墙	墙高h=2.5m	70		242.48	70.00	17.50	185.50		139.65	
	合计			139	21	476	130	37	313		205	

编制：

复核：成威

审核：李耀华

## 防治工程数量表

(锚杆挂钢筋网喷砼)

项目名称：2025年门头沟区普通公路沿线地质灾害防治工程（一标段）

11

编制： 

复核：成威

审核：李耀华

## 防治工程数量表

(植被混凝土护坡绿化生态防护)

12

项目名称：2025年门头沟区普通公路沿线地质灾害防治工程（一标段）

编制： 

复核：成威

审核：李耀华

## 防治工程数量表

(混凝土嵌补支撑)

项目名称：2025年门头沟区普通公路沿线地质灾害防治工程（一标段）

13

编制：孙忠人

复核：成威

审核: 李耀华

## 防治工程数量表

（路面恢复工程）

项目名称：2025年门头沟区普通公路沿线地质灾害防治工程（一标段）

14

编制: 

复核：戚威

审核：李耀华

## 防治工程数量表

### (危岩及滑塌体清理工程)

项目名称：2025年门头沟区普通公路沿线地质灾害防治工程（一标段）

15

编制: 

编制：成威

审核：李耀华