

隧道口劣化软岩顺层边坡失稳机制及防治设计

赵海松, 魏安辉, 张 乐, 向 波, 周仁强, 邬 凯, 陈 沛

(四川省公路规划勘察设计研究院有限公司, 成都 610041)

摘要:以麻路岗隧道口边坡为例,通过工程地质调查总结分析边坡失稳机制,进而提出防治设计方法,并结合监测成果对坡体的治理效果进行讨论。结果表明:洞口劣化软岩顺层边坡大桩号侧层面及坡脚缓倾坡外构造面组合、小桩号侧顺层偏压的不利条件下,坡脚形成临空;同时,受构造劣化作用,岩体层间结合差,局部发育泥化层;地下水入渗影响下,坡体及洞口发生变形破坏;坡脚反压回填是防止此类边坡进一步变形的快速、有效手段,采用抗滑桩对坡体治理后,稳定性较好。对洞口劣化软岩顺层边坡除施工前勘察外,还应进行施工阶段勘察,以调查坡体外倾结构面的发育特征与结合情况,当存在层面与其他结构面组合下坡体临空或顺层偏压时,采用抗滑桩进行支挡是有效的预加固手段。

关键词:顺层边坡;隧道洞口;变形特征;失稳机制;防治设计

中图分类号:U416 **文献标志码:**A **文章编号:**1671-1807(2023)19-0151-08

顺层边坡指边坡走向与岩层近于平行,岩层倾向与坡向交角不超过 30° ,且边坡坡角大于岩层倾角的层状结构边坡^[1-5]。受构造、岩性、地壳抬升等因素影响,顺层边坡广泛分布,坡体内部岩体软弱夹层发育或层间结合差,部分发育层间错动带或构造光滑镜面,受开挖、降雨等诱因作用,其平面滑动主要表现为边坡在自重及其他荷载作用下沿软弱结构面发生顺层滑移破坏,失稳风险高,破坏严重,治理成本昂贵^[6-10]。四川盆地是我国的典型红层分布区,其顺层边坡具有区域群发、危害严重、治理成本高等特点^[11-15]。隧道穿越山体时,其进出口边坡的稳定性是建设中的难点,遭遇顺层边坡后常对建设人员及设备安全造成严重威胁。因此,研究隧道口顺层边坡的失稳机制及防治措施,对川渝地区隧道建设中的防灾减灾具有指导作用^[16-18]。

顺层斜坡地段隧道建设时,隧道开挖对坡体应力赋存的扰动更为明显,对地震、降雨等作用下的

坡体效应具有放大效应^[19]。顺层偏压常导致隧道局部塌方、变形等病害,且其破坏特征受岩体结构面影响显著^[20]。隧道洞口在地形因素与结构面因素耦合作用下甚至出现偏压侧与非偏压侧受力相反导致的“压旋效应”^[21]。公路隧道洞口段施工易于诱发顺层滑坡灾害。文献^[21]结合磨子坪隧道洞口段施工探讨了此类边坡的变形规律。关于隧道洞口顺层边坡,特别是存在顺层偏压现象且岩体软弱、结构面发育等多个不利地质条件下的顺层边坡失稳机制及防治设计少有研究。

鉴于此,依托沐马高速公路麻路岗隧道洞口软岩顺层边坡,通过工程地质调查、现场监测等手段,考虑降雨、开挖等诱因,总结该类顺层边坡的基本特征及失稳机制,提出应急治理措施和工程治理措施,并结合长期监测对防止设计进行验证。最后,从公路工程地质勘察的角度进行经验讨论,期望为此类不利地质条件下的边坡防治设计提供参照。

收稿日期:2023-06-16

基金项目:四川省交通运输科技项目(2021-A-12,2021-A-02);四川省公路规划勘察设计研究院有限公司科研项目(2022-YL-02)。

作者简介:赵海松(1989—),男,云南宣威人,四川省公路规划勘察设计研究院有限公司,工程师,研究方向为岩土工程勘察设计;魏安辉(1979—),男,四川宜宾人,四川省公路规划勘察设计研究院有限公司,正高级工程师,硕士,研究方向为岩土工程、地质灾害;通信作者张乐(1996—),男,河南三门峡人,四川省公路规划勘察设计研究院有限公司,助理工程师,硕士,研究方向为公路特殊路基及地质灾害防治;向波(1973—),男,四川荣县人,四川省公路规划勘察设计研究院有限公司,教授级高级工程师,博士,研究方向为公路工程地质灾害防治;周仁强(1979—),男,山东青岛人,四川省公路规划勘察设计研究院有限公司,正高级工程师,硕士,研究方向为隧道支护结构;邬凯(1985—),男,河南商丘人,四川省公路规划勘察设计研究院有限公司,正高级工程师,博士,研究方向为公路边坡地质灾害防治;陈沛(1969—),男,四川成都人,四川省公路规划勘察设计研究院有限公司,正高级工程师,研究方向为公路特殊路基及地质灾害防治。

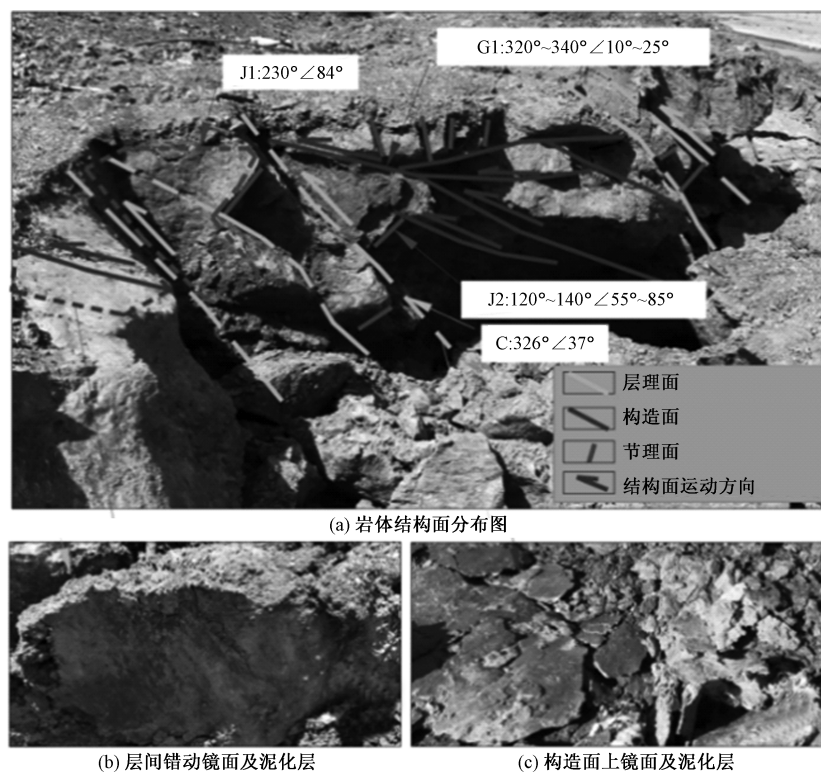


图2 研究区岩体结构面特征

综上,研究区斜坡属单斜地貌,岩质软且构造劣化显著,层间及外倾的 G1 构造面上镜面发育,且局部发育泥化层,抗剪强度较低,结构面组合作用下易于诱发顺层边坡失稳破坏。

2 顺层边坡基本特征及破坏机制

2.1 洞口段边坡开挖特征

洞口段边坡失稳前,洞口开挖边坡如图 3 所示。洞口大里程方向 LZK20+480~LZK20+540 边坡开挖时间为 2018 年 1 月 1 日,完成时间为 2018 年 1 月 25 日,该段左侧采用三级边坡开挖,开挖后坡向约 323°,坡高 15~23 m,坡度 36°~46°,开挖后未及对坡体进行防护。隧道左洞暗洞里程为 LZK20+480,进洞时间为 2018 年 4 月 19 日,开挖至 LZK20+468 掌子面时间为 2018 年 4 月 30 日;截至 2018 年 6 月 3 日左洞开挖进尺约 42 m,里程为 LZK20+438~LZK20+480。边坡和洞口的开挖时间及方向如图 4 所示。

边坡上出露侏罗系沙溪庙组粉砂质泥岩,岩层优势产状 326°/37°,受构造影响,层面倾角存在起伏,岩层以中厚~厚层状为主。根据现场坡体开挖特征,小桩号侧 LZK20+438~LZK20+480 段洞口存在顺层偏压现象,大桩号侧 LZK38+480~LZK38+540 段左侧边坡基岩顺层,边坡开挖后开

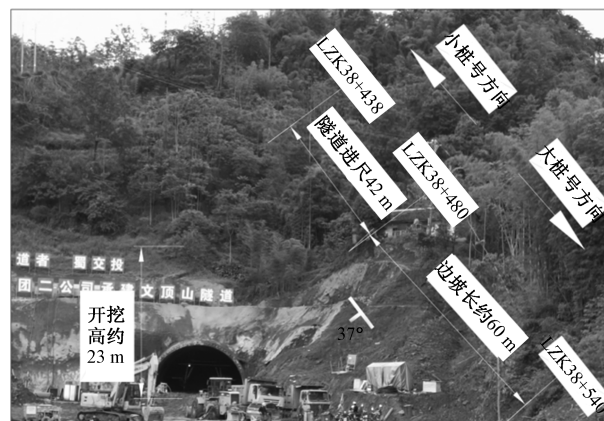


图3 洞口开挖边坡情况

挖坡度与岩层倾角相差较小。

2.2 变形过程及破坏特征

2.2.1 变形过程及规模

2018 年 6 月 4 日 08:00,隧道施工时发现隧道出口段 LZK20+468~LZK20+480 段左侧边墙逐渐变形,洞外大里程方向 LZK20+480~LZK20+533 段边坡发生变形破坏,并伴随响声,至 09:00,坡体变形逐渐结束,整个坡体变形过程约 1 h,变形滑移量为 0.5~2 m。

LZK20+468~LZK20+533 段边坡变形周界清晰,顺路线长约 65 m,垂直路线宽为 15~37 m,厚为 4~11 m,总量约 $1.2 \times 10^4 \text{ m}^3$ 。平

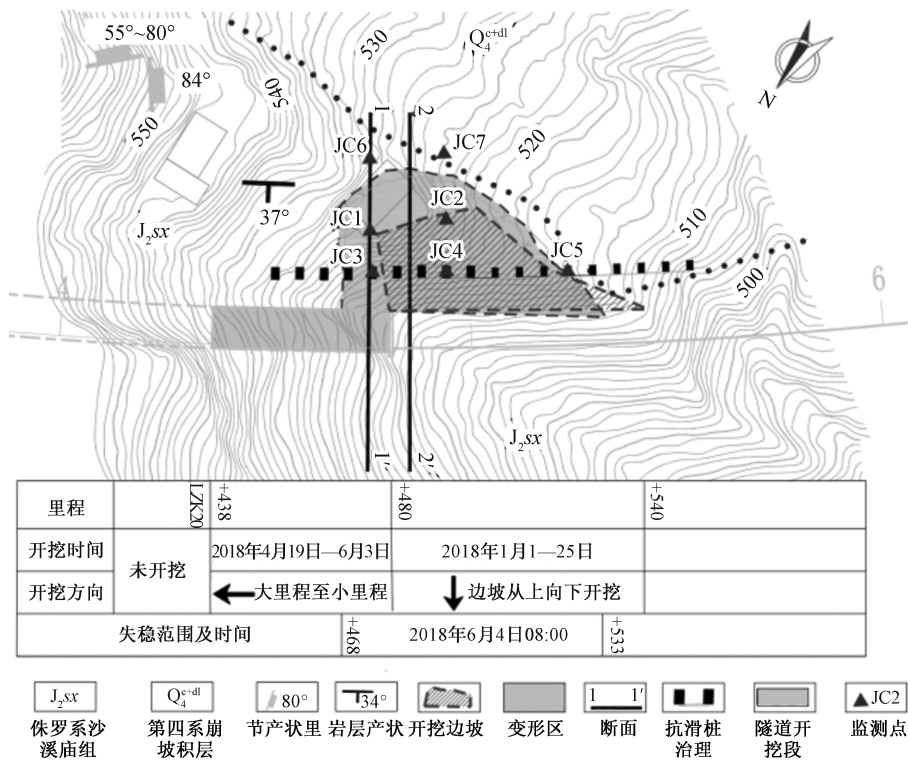


图 4 场区工程地质平面及开挖情况

面范围如图 4 所示。典型工程地质断面如图 5 所示。

2.2.2 破坏特征

隧道洞口边坡变形现场如图 6 所示,边坡失稳导致隧道洞口和地表呈现不同程度变形破坏。

1) 洞口破坏特征。坡体变形后致隧道 LK20+468~LK20+480 段初期支护发生不同程度破坏,隧道左侧生侵陷,拱腰工字钢沿拱顶、拱腰及边墙发弯折破坏,拱腰最大侵陷约 1 m;右侧拱腰及边墙发生开裂。

2) 地表变形特征。坡体变形后,地表裂缝封闭成环,东北侧为剪切裂缝,长约 23 m,错开 0.05~0.1 m (图 6 中 b 处);后缘为张拉裂缝,裂缝长约 42 m,下错 0.3~1 m (图 6 中 c 处),宽 0.2~1.5 m (图 6 中 c 处);前缘剪出破坏明显,可见岩体沿缓倾层面剪出破坏,前缘剪出错动 1~1.5 m (图 6 中 e 处)。

2.3 破坏机制分析

2.3.1 基岩顺层

该边坡地层岩性以侏罗系沙溪庙组粉砂质泥岩为主,岩层优势产状 $326^{\circ}/37^{\circ}$,边坡开挖后坡向约 323° ,岩层倾向与坡向夹角约 3° ,属典型软岩顺层边坡。

2.3.2 岩体结构面劣化

1) 受南北向与东西向构造带作用,岩体层间结

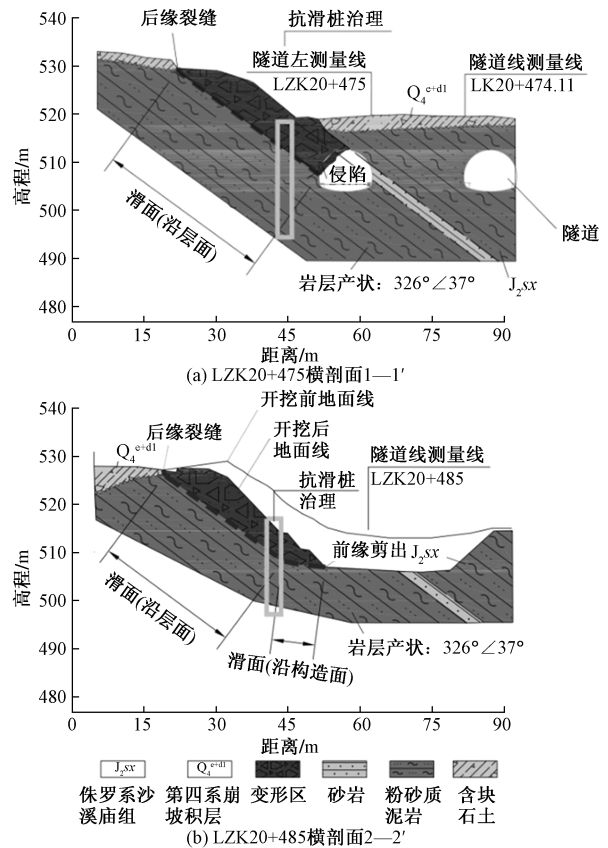


图 5 典型工程地质断面图

合差-极差,层面间构造挤压镜面极为发育,局部发育泥化层。

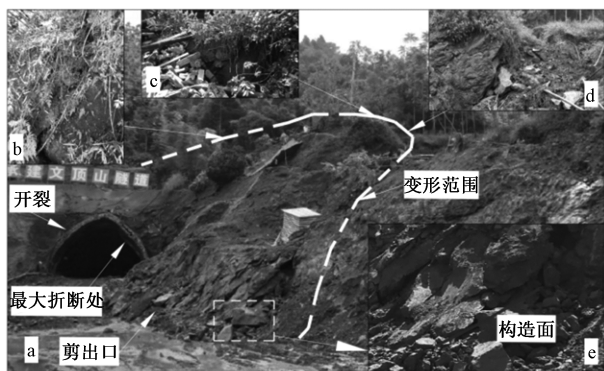


图6 隧道洞口边坡变形现场

2) J1 产状 $230^{\circ} \angle 84^{\circ}$, 延伸一般 >10 m, 切深 $3 \sim 8$ m, 结合差, 近地表局部充填泥, 为坡体沿小桩号侧壁拉裂提供了优势劣化节理面。

3) 开挖边坡坡脚处发育一组缓倾外倾构造面 G1, 产状 $320^{\circ} \sim 340^{\circ} \angle 10^{\circ} \sim 25^{\circ}$, 其上镜面发育, 局部发育泥化层。

因此, 小桩号侧壁沿切大, 为坡体沿侧壁失稳提供变形空间; 坡脚发育外倾结构面, 加之边坡上岩体结构面劣化, 局部发育泥化层, 为坡体顺层失稳奠定了基础。

2.3.3 边坡及隧道开挖

边坡开挖前坡度为 $20^{\circ} \sim 35^{\circ}$, 上陡下缓, 坡角小于岩层倾角, 坡体前缘及小桩号侧壁未临空, 仅大桩号侧壁临空; 边坡开挖后小桩号侧壁未临空、大桩号侧壁临空, 坡度 $36^{\circ} \sim 46^{\circ}$, 开挖坡角与岩层倾角相差较小, 但大桩号方向边坡在层面及构造面组合下出现前缘临空, 小桩号方向开挖后隧道顺层偏压, 导致坡脚抗滑力较开挖前大幅减少, 坡体稳定性降低。

2.3.4 降雨

2018 年上半年研究区降雨量如图 7 所示。边坡开挖完成及隧道进洞至 LZK20+468(隧道内变形边界)时坡体未变形。而 2018 年上半年研究区降雨丰富, 至 2018 年 6 月 4 日总降雨量达 678.5 mm, 其中降雨主要集中于 2018 年 4—6 月。

连续强降雨后地表水沿岩体节理面、层面及 G1 构造面等裂隙入渗并运移, 特别是沿外倾的层面及 G1 构造面入渗后, 其上局部发育的泥化层饱水软化, 导致抗剪强度进一步降低, 在 2018 年 6 月 2—4 日连续降雨后边坡发生变形破坏。

综上, 该隧道洞口为软岩顺层边坡, 大桩号方向边坡开挖后在外倾层面及坡脚缓倾坡外构造面组合下出现前缘临空, 小桩号方向隧道洞口段顺层偏压, 为坡体失稳提供空间变形条件; 小桩号侧壁节理面沿

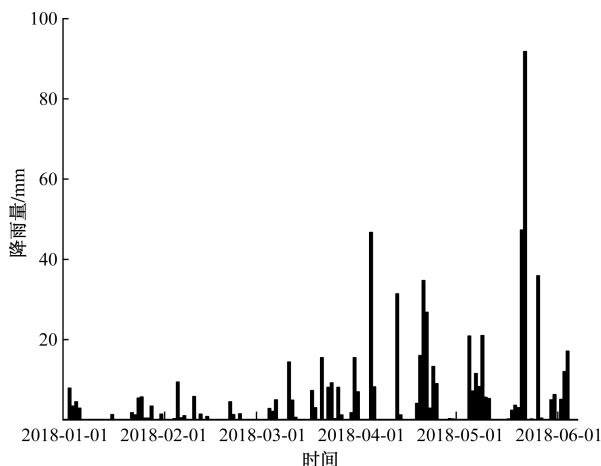


图7 2018年上半年研究区降雨量

切大, 为坡体沿侧壁拉裂提供了优势结构面; 岩体结构面劣化显著, 特别是层面及 G1 构造面上局部发育泥化层, 在降雨入渗下, 导致泥化层饱水软化, 抗剪强度进一步降低, 致边坡发生变形破坏。

3 工程防治措施

3.1 应急治理措施

结合边坡变形情况, 应急处治措施实施如下:

- 1) 隧道暂停施工, 撤离洞内施工机具。
- 2) 变形段反压回填。对隧道洞口及边坡坡脚位置进行反压回填, 回填高度约 10 m, 坡比约 1:2。
- 3) 裂缝封闭。地表裂缝用黏土封闭, 防止雨水侵入。
- 4) 加强监控量测。对裂缝宽度、长度及变形体内外增加地表位移监测点, 并加强监测。
- 5) 加强临时排水。对变形体外侧设置临时截水沟, 截排坡面径流。应急处置现场如图 8 所示。



图8 应急处置现场

3.2 工程治理措施

3.2.1 坡体稳定性分析

- 1) 计算方法。变形体在外倾层面及构造面下

发生滑移变形,滑动面为折线型,根据《滑坡防治工程勘查规范》GB/T 32864—2016,宜采用传递系数法进行稳定性评价和推力计算。

2)参数选取。经取样试验,滑体粉砂质泥岩饱和密度为 2.7 g/cm^3 。滑带抗剪强度参数采用经验数据类比及反演方法综合确定。结合边坡变形情况,滑带抗剪强度参数反演天然工况下稳定性系数取 1.05,暴雨工况下取 0.98。考虑层面及构造面间局部均含泥化层,发育构造镜面,其抗剪强度相近,计算时取统一值。滑带抗剪强度参数见表 1。

3)稳定性计算及推力选取。经对变形体最不利的 LZK20+485 剖面进行稳定性及推力计算,经推力对比,按暴雨工况下稳定性安全系数 1.15 进行控制设计,支挡位置处下滑推力为 924.8 kN,下滑力角度为 35.8° ,见表 2。

表 1 滑带抗剪强度参数

天然		饱和	
黏聚力 c/kPa	内摩擦角 $\varphi/(\circ)$	黏聚力 c/kPa	内摩擦角 $\varphi/(\circ)$
28	19.6	26	18.5

表 2 变形体 LZK20+485 剖面支挡位置推力

设计工况	稳定安全系数	支挡位置下滑推力/kN	下滑力角度/ $(^\circ)$
暴雨	1.15	924.8	35.8

3.2.2 工程治理措施

1)抗滑桩支挡。抗滑桩布置平面图如图 4 所示,具体可分为隧道偏压段及边坡开挖段。

小桩号方向隧道偏压段:LZK20+452~LZK20+480 段采用抗滑桩进行支挡,抗滑桩路线向桩中心间距为 6.0 m,抗滑桩截面尺寸为 $2.0 \text{ m} \times 3.0 \text{ m}$,桩长为 24~34 m,共计设计抗滑桩 6 根,桩心距道路左侧边缘 10 m,典型支挡设计断面如图 5(a)所示。

大桩号方向边坡开挖段:LZK20+480~LZK20+554 段采用抗滑桩进行支挡,抗滑桩路线向桩心-桩心间距为 6.0 m,抗滑桩截面形式分为 A、B 两种类型,A 型桩截面形式为 $2.0 \text{ m} \times 3.0 \text{ m}$ 的矩形,桩长 20 m 设置 3 根;B 型桩为 $1.6 \text{ m} \times 2.4 \text{ m}$ 的矩形,桩长 14~18 m,设置 9 根,共计设置抗滑桩 11 根,典型支挡设计断面如图 5(b)所示。

2)隧道治理方案。左洞反压土体压实,拱顶 180° ,采用 $\phi 108$ 大管棚超前支护,管棚长 18 m,左洞变形范围洞内(不含仰拱)采用径向注浆加固,注浆加固范围为隧道开挖轮廓线外 5 m,注浆孔口环

向间距 1.50 m,纵向间距 1.50 m,梅花形布置,注浆孔孔径 $\phi 46 \text{ mm}$,孔口设 50 cm 长 $\phi 48 \text{ mm} \times 5 \text{ mm}$ 热轧无缝钢管作为孔口管,注浆孔与隧道轴线呈 90° ,孔深 5.20 m,注浆材料采用水泥浆,水灰比为 $0.8:1.0 \sim 1.0:1.0$,水泥采用 42.5 普通硅酸盐水泥。左洞 LZK20+468~480 隧道变形段按照 Z5a 型衬砌施工。

3)桩号调整。根据现场开挖情况及线路左侧抗滑桩的设置,隧道左洞洞口桩号调整为 LZK20+490。

4)监测方案。受边坡失稳破坏影响,原边坡地表监测点除 JC1、JC2 外,均已破坏,结合治理工程情况,在变形体内抗滑桩上增加 3 个地表位移监测点(JC3、JC4、JC5),在变形体外增加 2 个变形体外侧监测点(JC6、JC7),形成“两纵三横”地表监测网,对坡体进行变形监测。监测点布置如图 4 所示。

5)施工工序。洞口仰坡及开挖边坡的反压回填;隧道偏压段及边坡开挖段左侧抗滑桩施工;反压体及桩前变形体清方;隧道变形段大管棚支护施工;隧道变形段衬砌施工;明洞及洞门墙施作。施工现场如图 9 所示。

3.2.3 坡体稳定性状况分析

工程治理施工时间节点见表 3,边坡监测时程曲线如图 10 所示,因 JC6、JC7 位于变形体外,其未变形,因此未列出监测曲线。

根据 JC1、JC2 地表位移监测曲线可知,2018 年 6 月 4 日边坡发生突发性变形失稳,监测显示位移分别为 1.1、1.2 m,反压回填后至 2019 年 5 月 10 日



图 9 工程治理施工现场

表 3 工程治理施工时间节点

工程措施	开始时间	完成时间
反压回填	2018-06-04	2018-06-05
抗滑桩施工	2018-10-10	2019-01-16
反压体桩前变形体清方	2019-02-10	2019-02-19
隧道变形段大管棚支护	2019-03-01	2019-03-14
隧道变形段衬砌	2019-03-29	2019-05-10

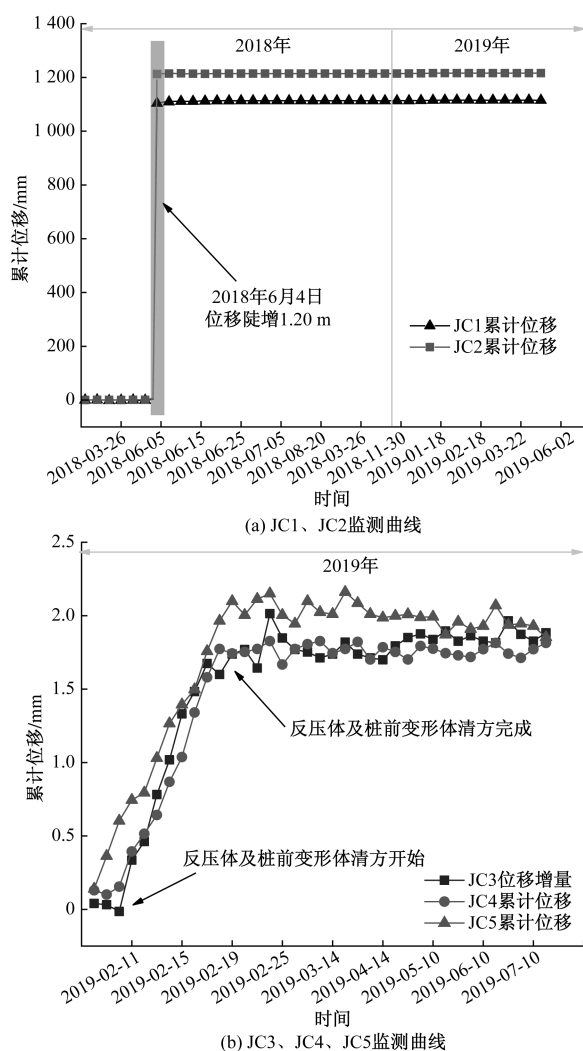


图10 边坡监测时程曲线

工程治理施工结束,坡体未发生明显变形;根据JC3、JC4、JC5地表位移监测曲线可知,在抗滑桩施工完成后,2019年2月10—19日对反压体及桩前变形体进行清方期间,坡体变形增长1.8~2.0 mm。其原因是桩前清方开始后,抗滑桩前缘逐渐临空,桩前抗力减少,抗滑桩受力后变形所致。当桩前全部开挖临空后,抗滑桩全部承担了下滑力,桩变形逐渐收敛稳定。工程治理至今,该公路已通车运营,坡体稳定,未发生再次变形。可见,坡脚反压是应急治理的快速、经济手段,抗滑桩是后期治理工程的有效手段。

4 讨论

洞口劣化软岩顺层边坡在勘察设计阶段由于植被茂密,难以详细查明边坡结构面沿切、是否发育泥化层等情况,难以判断边坡开挖后是否存在结构面组合下的临空现象,建议结合施工阶段的边坡岩体开挖出露情况进行详细调查,以准确查明边坡

结构面组合、结合及结构面间泥化层情况,以此再次判断边坡是否需要预加固。

因此,洞口劣化软岩顺层边坡勘察设计可分为两个阶段:工程施工前勘察应加强结构面调查统计,尽可能查明边坡开挖后是否存在结构面组合下的临空现象,主控结构面的抗剪强度,坡体是否需要预加固等;工程施工中需进行施工阶段勘察设计,尤其是结构面组合下的临空情况和结构面抗剪强度。基于上述两阶段的勘察,对坡体是否需要预加固进行分析判断,以防止洞口顺层边坡发生变形破坏。

5 结论

1)该隧道洞口边坡变形机制为坡体软岩顺层,边坡开挖后坡体在层面及构造面组合下出现前缘临空,加之隧道洞口段顺层偏压,为坡体失稳提供空间条件;外倾的层面及G1构造面上局部发育泥化层,在降雨入渗下,导致泥化层饱水软化,抗剪强度进一步降低,致边坡发生变形破坏。

2)隧道洞口顺层失稳滑塌后,坡脚反压是应急治理的快速、经济的手段,抗滑桩是后期治理工程的有效手段。

3)隧道洞口劣化软岩顺层边坡勘察设计建议分为施工前勘察和施工阶段勘察两个阶段。在查明坡体存在劣化结构面组合或临空下,应及时对坡体进行预加固。

参考文献

- [1] AL-HOMOUD A S, TUBEILEH, T K. Analysis and remedies of landslides of cut slopes due to the presence of weak cohesive layers within stronger formations[J]. Environmental Geology, 1998, 33(4): 299-311.
- [2] GARIANO S L, GUZZETTI F. Landslides in a changing climate[J]. Earth-Science Reviews, 2016, 162: 227-252.
- [3] 冯君,周德培,李安洪.顺层岩质边坡开挖稳定性研究[J].岩石力学与工程学报, 2005, 24(9): 1474-1478.
- [4] WEI H, GIANVITO S, XU Q, et al. Acoustic emissions and microseismicity in granular slopes prior to failure and flow-like motion: the potential for early warning[J]. Geophysical Research Letters, 2018, 45(19): 10406-10415.
- [5] PECORARO G, CALVELLO M, PICIULLO L. Monitoring strategies for local landslide early warning systems[J]. Landslides, 2018, 16: 213-231.
- [6] 刘明扬,宋顶峰,付晓东,等.降雨作用下土石混合体边坡力学参数弱化规律与稳定性分析[J].科技和产业, 2021, 21(8): 313-318.
- [7] FAN G, ZHANG L M, ZHANG J J, et al. Time-frequency analysis of instantaneous seismic safety of bedding rock slopes [J]. Soil Dynamics and Earthquake Engineering,

- 2017,94:92-101.
- [8] 赵宝友,郑天照,王东,等. 基于强度原理的顺层岩质边坡动力安全系数判据研究[J]. 防灾减灾工程学报,2016,36(5):811-819.
- [9] 冯文凯,胡云鹏,谢吉尊,等. 顺层震裂斜坡降雨触发灾变机制及稳定性分析:以三溪村滑坡为例[J]. 岩石力学与工程学报,2016,35(11):2197-2207.
- [10] 张乐,冯君,武小菲,等. 基于变形控制的含软弱夹层顺层边坡治理[J]. 地质灾害与环境保护,2021,32(4):94-101.
- [11] 陈达,许强,郑光,等. 顺层边坡溃曲变形形成条件及其与层面倾角的关系[J]. 科学技术与工程,2021,21(7):2616-2625.
- [12] 张乐,邬凯,向波,等. 四川盆地红层高填路堤沉降及稳定特性分析[J]. 科学技术与工程,2023,23(3):1238-1247.
- [13] 张俊云,张乐,高福洲,等. 粒度分布对红层土石混合体强度及颗粒破碎的影响[J/OL]. 工程地质学报:1-9 [2023-08-02]. DOI:10.13544/j.cnki.jeg.2022-0140.
- [14] 欧光照,吴益平,肖威,等. 三峡库区巴东组泥灰岩顺层缓倾高边坡变形破坏模式研究[J]. 科学技术与工程,2015,15(9):164-169.
- [15] 何武,张乐,龚祖坤,等. 顺层边坡首次破裂长度及影响因素分析[J]. 路基工程,2021(3):122-127.
- [16] 李帅,王玉兰,朱琦,等. 顺层牵引式路堑滑坡综合整治方案[J]. 科学技术与工程,2020,20(1):303-311.
- [17] 郑鹏韬,师晋,陈粟,等. 人类活动影响高速公路滑坡的发灾机理和致灾模式研究:以余家海滑坡成因机理为例[J]. 科技和产业,2023,23(6):255-263.
- [18] 赵海松,张乐,邬凯,等. 考虑侧壁阻力的顺层边坡失稳机制及稳定性评价[J/OL]. 防灾减灾工程学报:1-10 [2023-08-02]. DOI:10.13409/j.cnki.jdpme.20221111002.
- [19] 陈志荣,宋丹青,刘晓丽,等. 隧道口顺层斜坡地震动力响应特征振动台试验[J]. 地球科学,2022,47(6):2069-2080.
- [20] 胡炜,喻渝,谭信荣,等. 顺层偏压隧道破坏特征及支护措施研究[J]. 地下空间与工程学报,2020,16(S1):450-456,510.
- [21] 晏鄂川,周瑜,毛伟,等. 多因素引发的公路隧道偏压效应分析[J]. 地下空间与工程学报,2012,8(5):1041-1047.

Failure Mechanism and Prevention Design of Deteriorated Soft-rock Bedding Slope at Tunnel Entrance

ZHAO Haisong, WEI Anhui, ZHANG Le, XIANG Bo, ZHOU Renqiang, WU Kai, CHEN Pei

(Sichuan Highway Planning Survey Design and Research Institute Ltd., Chengdu 610041, China)

Abstract: Taking the slope of a tunnel entrance as an example, the slope instability mechanism was summarized and analyzed through engineering geological survey, and then the prevention and control design method was proposed, and the treatment effect of the slope was discussed in combination with the monitoring results. It shows that under the unfavorable conditions of the combination of the large pile side of the soft rock bedding slope and the outer structural surface of the slope toe, and the bedding bias of the small pile side, the slope toe forms a free face. At the same time, due to the structural deterioration, the interlayer bonding of the rock mass is poor, and the mud layer is locally developed. Under the influence of groundwater infiltration, the deformation and failure of the slope and the hole occur. Back pressure backfilling at the toe of the slope is a fast and effective means to prevent further deformation of such slopes. After the slope is treated with anti-slide piles, the slope stability is good. In addition to the pre-construction investigation, the construction stage investigation should also be carried out to investigate the development characteristics and combination of the external inclined structural plane of the slope. When there is a combination of the layer and other structural planes, the slope is free or the bedding is biased, and the anti-slide pile is an effective pre-reinforcement method.

Keywords: bedding slope; tunnel entrance; deformation characteristics; failure mechanism; prevention design