

DOI:10.16031/j.cnki.issn.1003-8035.2020.01.04

某高速公路隧道洞口错落体变形原因与治理措施分析

张乾翼, 赖国泉

(中铁西北科学研究院有限公司, 甘肃 兰州 730000)

摘要: 山区公路建设中, 由于隧道洞口位于错落体上, 造成隧道施工期间穿越错落体时出现多次冒顶, 严重影响工期及施工安全。通过对该隧道洞口变形监测、工程地质条件及有限元数值模拟软件综合分析, 研究了该错落体的形成机理、变形特征及变形原因, 并在此基础上提出了综合治理措施, 有效治理了隧道的冒顶及变形, 保证了隧道的最终顺利贯通, 从中总结出了薄层及中厚层泥灰岩岩层地段发生错落的影响条件, 并提出在隧道洞口位于错落体上时设计施工的注意事项, 为业内类似工程提供参考。

关键词: 隧道; 错落; 变形; 治理分析

中图分类号: U459.2; U458

文献标识码: A

文章编号: 1003-8035(2020)01-0025-05

Analysis of deformation and controlling measures of a cut slope at a highway tunnel portal with faulted rock mass

ZHANG Qianyi, LAI Guoquan

(Northwest Research Institute Co., Ltd. of China Railway Engineering Corporation,
Lanzhou, Gansu 730000, China)

Abstract: During the construction of remote highways, because the tunnel portal is located on the faulted rock mass, roof falling occurs many times when crossing the faulted rock mass during the tunnel construction, which seriously affects the period and safety of construction. Based on the comprehensive analysis of the deformation monitoring, engineering geological conditions and the finite element numerical simulation software of the tunnel opening, the formation mechanism, deformation characteristics and deformation causes of the wrong fall body are studied. Based on this, comprehensive control measures are proposed to effectively control the roof caving and deformation of tunnel, which ensures tunnel holing-through. Moreover, this paper summarizes the conditions of the occurrence of faulted rock mass in the thin layer and thick layer of muddy limestone, and puts forward the precautions for designing and construction of tunnel portal located on the wrong fall body, which provides a reference for the similar projects in the industry.

Keywords: the tunnel; faulted rock mass; deformation; governance analysis

0 引言

错落是斜坡变形的一种类型, 它是指被陡倾角的构造面与后山完整岩体分开的风化破碎的岩体, 因坡脚受冲刷或人工开挖而被压缩, 引起的坡体以垂直下错为主的变形现象^[1]。

某隧道出口位于一错落体上, 隧道施工期间在穿越错落体时由于围岩比较破碎, 自稳能力差, 隧道出现多次冒顶。其中较大的一次冒顶地表形成一个面积约 175 m² 的陷坑, 隧道开挖后在初支之后加上护拱, 变形还是比较严重, 经测量洞内初支变形个别断面已经达到 70 cm, 特别是洞口导拱变形比较严重, 随时有垮

收稿日期: 2019-04-12; 修订日期: 2019-06-09

第一作者: 张乾翼(1988-), 男, 甘肃陇西人, 硕士, 工程师, 主要从事地质灾害咨询、勘察、设计等工作。E-mail: 1515343161@qq.com

塌可能(图1)。对此,设计单位根据地勘资料及错落体的特征,提出了对隧道仰坡采用抗滑桩+刷方+截排水综合治理措施,经过一系列的工程措施后,隧道最终成功贯通。



图1 左线隧道受挤压变形

Fig.1 The deformation of on the left tunnel, caused by extrusion

本文主要以该错落体为例,分析了该错落体形成的机理,并提出了具体治理措施,为业内类似工程提供参考。

1 古错落体^[2-3]

1.1 地质背景

该错落体所在地形呈半个馒头状。错落体前部为一自然“U”型冲沟,冲沟左岸附近为一人工开挖的施工便道,其高程约605 m。靠近山体为错落壁,其南部为该错落体,其坡度上缓下陡,错落体顶部坡度约20°~25°,坡面坡度约45°,错落体前后高差约60~75 m,左侧为基岩陡坎,右侧为自然斜坡。

区内表层被残坡积粉质黏土及碎、块石土(Q_4^{dl+el})覆盖,下覆三叠系中统巴东组第三段(T_2^3b)泥灰岩,岩层产状为NW60°~80°/NE4°~12°控制错落体底界,岩体构造节理裂隙较发育,主要发育有三组:①产状NE5°/NW87°,微张,节理面平直,无填充物,节理间距0.3~0.8 m,延展0.5~1.0 m,控制错落体东侧界;②产状NW16°~20°/NE68°~88°,微张,节理面平直,无充填物,节理间距0.5~0.8 m,控制错落体西侧界;③产状NW75°~88°/NE88°,微张,节理面平直,无充填物,节理间距0.5~1.0 m,控制错落体南侧界(图2)。

1.2 变形机理

该区内的岩层坡体结构为上硬下软的基座式结构,即顶部为中厚层的泥灰岩、下部为薄层易风化的泥灰岩,抗风化能力较弱。由于地质构造等作用,坡体内形成近东西向,倾角近乎直立的节理切割完整和破碎

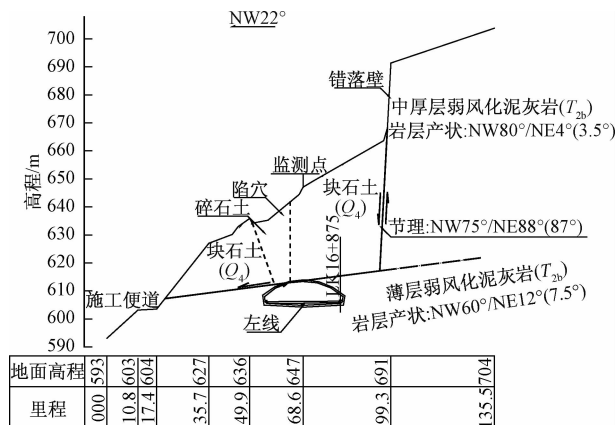


图2 古错落地质断面图

Fig.2 Geological cross-section of an ancient slump

岩石。加之,薄层泥灰岩岩层倾向临空面,在形成长期风化剥蚀、地下水浸润、老沟槽水流的冲刷等作用后发生错落,形成目前的地貌形态。

1.3 目前变形

古错落体的底界位于左线隧道开挖范围内,当左线隧道开挖至错落体底界与隧道拱顶相交位置后,隧道出现冒顶。随后,坡体地表变形加剧,其中主要裂缝:①走向NE85°,宽20 cm,下错25 cm,延伸长约8 m,近直线分布,向山体内侧方向下错;②走向NE10°,宽15 cm,延伸长约5 m;③走向NE20°,宽20 cm,下错30 cm,呈弧形分布,向山体外侧下错;④走向NE20°,宽15 cm,下错20 cm,延伸长约2 m,近直线分布,向山体外侧下错。坡体其余变形迹象均有不同程度加剧。

2 稳定性评价

2.1 现场监测

在坡体产生变形后,施工单位在坡体上布设了多个地表位移监测点,根据监测资料来看,坡体在9月底10月初有较大的变形(图3)。随后变形趋于稳定,至12月中旬变形再次加剧,直至2013年1月18日变形仍在发展。从监测资料分析:2012年年底至2013年年初的变形量明显增大,变形量最大的10#监测点累积垂直位移已达605 mm,变形方向则明显偏向坡体临空方向,即与坡面倾向接近,约NW22°。

2.2 有限元数值模拟分析

(1) 参数定义模型建立

模型参照典型1-1断面,采用二维有限元软midas-GTS进行分析。在属性定义中岩土采用平面单元,隧道初支采用梁单元,岩土体物理力学参数选取参

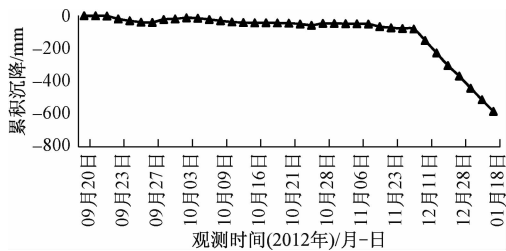


图 3 典型监测点累计沉降—时间曲线

Fig.3 The cumulative settlement-time curve of typical monitoring points

考地勘报告及本地区经验值综合确定^[4-5](表 1)。目前开挖后进行初支状态下模型图(图 4)。

表 1 岩土体物理力学参数

Table 1 Physical and mechanical parameters of rock and soil

名称	$\gamma/(\text{kN}\cdot\text{m}^{-3})$	E/kPa	μ	c/kPa	$\varphi/(^{\circ})$
碎块石土	19.5	30 000	0.32	10	25
泥灰岩	20	2 000 000	0.3	50	30
初支	22	28 000 000	0.2	/	/

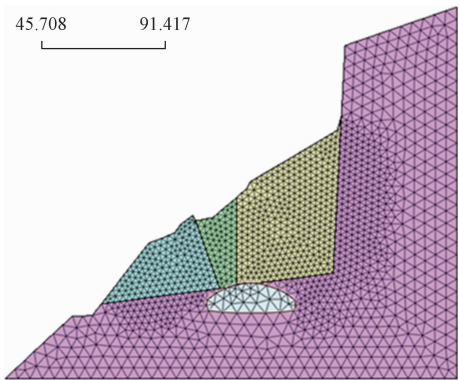


图 4 数值模型图

Fig.4 The numerical model figure

(2) 模拟工况

模拟工况主要用施工阶段模拟隧道开挖的详细过程,通过模拟隧道洞身核心土开挖、初期支护和施加护拱的全过程,查看隧道开挖引起的塑性区,为隧道冒顶支护加固提供依据。

(3) 计算结果分析

由图 5 分析可知,该隧道开挖引起的主要变形区域在隧道顶及靠近错落壁的地表范围,2012 年年底至 2013 年年初为隧道穿越错落体时间段,变形量明显增大,累积垂直位移最大 605 mm,计算结果中最大垂直位移达 608 mm,数值模拟结果与现场监测变形情况相吻合。若继续开挖隧道,对隧道不进行强有力的支撑,隧道的变形将持续增大,可能导致计算模型中出现的

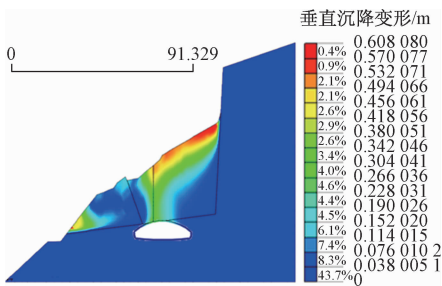


图 5 垂直沉降变形云图

Fig.5 The vertical displacement deformation figure

情况,整个隧道顶出现整体下错的破坏。

3 变形原因

隧道开挖引起错落体变形原因是多方面的^[6-7],通过现场调查与分析,并结合数值模拟与坡体岩层结构特征分析得出主要有以下三个方面的原因。

(1)该段地层主要为薄层泥灰岩和中厚层泥灰岩组成,坡体结构为下软(底部薄层泥灰岩)上硬(中厚层泥灰岩)基座式结构,底部薄层泥灰岩长期风化剥蚀后,顶部中厚层泥灰岩在层理、节理等优势结构面的影响下整体下错,形成较大的错落体,这为坡体的变形提供了物质来源。

(2)气象环境因素:错落区降雨量较大,大气降雨、地表径流及坡体上部雨水的下渗,使坡体含水量较高,降低了土体力学指标,为错落的变形创造了不可或缺的条件。

(3)人类工程活动的影响:隧道左洞开挖后,切断了老错落体底界,破坏错落体原有的力学平衡,导致隧道出现塌陷、冒顶,从而松散的块石土向左洞方向出现挤压后,坡面出现拉张裂缝,使得错落体老裂缝重新显现出来。由于坡体沉降变形的逐步加剧,使得上次陷穴附近的结构物破坏,拱顶以上的土体塌至洞内,拱顶以上形成较高的临空面,致使坡体向临空方向产生了侧向滑动变形。

4 治理措施

4.1 治理难点

坡体变形造成坡面产生巨大陷坑,拱顶以上土体塌至洞内造成隧道洞口堵塞,继续在隧道内加设支撑空间狭小,难以操作;另外,坡面变形严重,坡面坡度较陡,抗滑桩等工程施工没有操作空间,难度较大。

4.2 治理措施

考虑到错落体变形特点及上述治理难点,该错落

体病害采用抗滑桩+刷方+截排水进行综合治理^[8-9],见图6工程布置平面图。

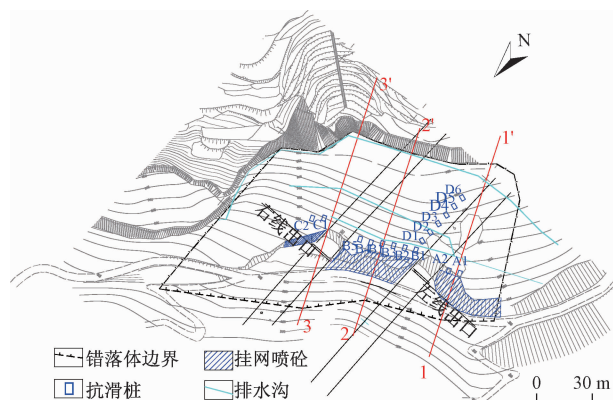


图6 工程布置平面图

Fig.6 The plan of project layout

为防止隧道仰坡产生大面积的坍塌变形,在错落体前部坡体设置一排抗滑桩(编号A、B和C型),抗滑桩截面 $2\text{ m}\times 3\text{ m}$,桩长 $29\sim 31\text{ m}$ 。见图7、图8治理工程1-1'、2-2'断面图。

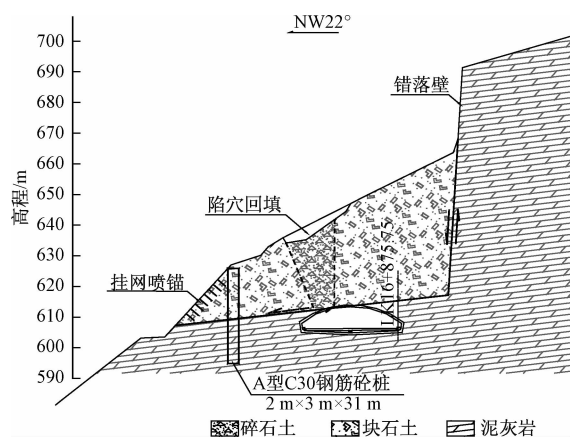


图7 治理工程1-1'断面图

Fig.7 Cross-section 1-1' of treatment works

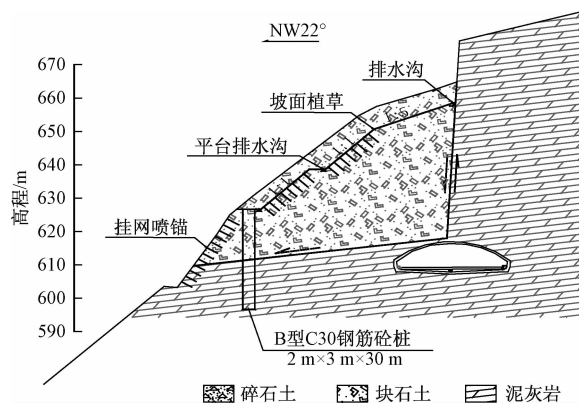


图8 治理工程2-2'断面图

Fig.8 Cross-section 2-2' of treatment works

左线右侧挤压变形明显,主要原因为左线开挖形成临空面后,坡体向临空方向产生变形,加上坡体岩层较为破碎,隧道埋深较浅,土压力不均匀使得隧道产生偏压破坏,因此在左线右侧设置一排D型抗滑桩进行防护,阻止坡体继续向左洞变形,确保隧道的安全。D型抗滑桩截面 $2\text{ m}\times 3\text{ m}$,桩长 30 m 。见图6工程布置平面图。

由于坡体变形严重,对施工安全造成极大威胁,且抗滑桩施工没有操作空间,难度较大,因此,对隧道顶错落体进行刷方。一、二级边坡按 $1:1$ 坡率刷方,高 12 m ,坡脚留 6 m 、 4 m 平台;三级边坡按照 $1:5$ 坡率刷方,高 $7\sim 8\text{ m}$ 。对刷方后坡面采用挂网喷锚和植草防护。见图8治理工程2-2'断面图。

为防止地表水入渗进入坡体,对错落体地表裂缝采用黏土夯填、水泥砂浆封闭的措施,在刷方后错落体后部、一级平台及二级平台各设置一道截排水沟。

施工方较好地执行了设计方案,截止2013年6月,隧道出口穿越错落体段已顺利完工,且通过监测数据显示坡体处于稳定状态,表明设计方案合理可行见图9。



图9 治理后隧道出口外貌

Fig.9 The tunnel portal after treatment

5 结论

本文结合工程实例,重点分析了隧道开挖引起错落体变形的原因,并通过合理的治理措施最终根治了该错落体病害,主要结论如下:

(1)坡体岩层结构为上硬(中厚层的泥灰岩)下软(薄层易风化的泥灰岩)的基座式结构时,在地质构造及近乎直立的节理切割作用下,薄层泥灰岩岩层倾向临空面,在长期风化剥蚀、地下水浸润、老沟槽水流的冲刷等作用后会发生错落。

(2)重视预加固措施,在隧道开挖之前,应查明洞口坡体的地质情况,隧道开挖容易引起坡体松弛变形,

开挖前应做好预加固措施,即加强超前导管及注浆,必要时增加抗滑桩进行预加固,确保施工及运营安全。

(3)防止错落体病害向其他形式灾害转化,该错落体变形的主要原因是隧道左洞开挖后,切断了古错落体底界,破坏错落体原有的力学平衡,导致拱顶以上土体塌至洞内,形成新的较高的临空面,若不对其进行加固处理,坡体将向新的临空方向产生侧向滑动,从而发生滑坡灾害。

(4)错落体变形时主要推力来自上部,故治理中应先对上部坡体进行刷方减载,下部采用抗滑桩进行支挡,另外要结合综合排水措施,防止地表水渗入坡体加剧变形。

参考文献:

- [1] 王恭先,徐峻龄,刘光代,等. 滑坡学与滑坡防治技术[M]. 北京:中国铁道出版社,2004. [WANG G X, XU J L, LIU G D, et al. Landsliding and landslide-proof technology [M]. Beijing: China Railway Publishing House, 2004. (in Chinese)]
- [2] 徐邦栋. 滑坡分析与防治[M]. 北京:中国铁道出版社,2001. [XU B D. Analysis and prevention of landslide [M]. Beijing: China Railway Publishing House, 2001. (in Chinese)]
- [3] 张倬元,王士天,王兰生. 工程地质分析原理[M]. 北京:地质出版社,1994. [ZHANG Z Y, WANG S T, WANG L S. Principles of engineering geology [M]. Beijing: Geological Publishing House, 1994. (in Chinese)]
- [4] 郑颖人,赵尚毅,邓卫东. 岩质滑坡破坏机制有限元数值模拟分析[J]. 岩石力学与工程学报, 2003, 22(12): 1943 - 1952. [ZHENG Y R, ZHAO S Y, DENG W D. Numerical simulation on failure mechanism of rock slope by strength reduction FEM [J]. Chinese Journal of Rock Mechanics and Engineering, 2003, 22(12): 1943 - 1952. (in Chinese)]
- [5] 赵尚毅,郑颖人,邓卫东. 用有限元强度折减法进行岩质滑坡稳定性分析[J]. 岩石力学与工程学报, 2003, 22(2): 254 - 260. [ZHAO S Y, ZHENG Y R, DENG W D, et al. Stability analysis of rock slope by strength reduction FEM [J]. Chinese Journal of Rock Mechanics and Engineering, 2003, 22(2): 254 - 260. (in Chinese)]
- [6] 田义斌,厚行霞,柳彦虎,等. 某错落体转化为岩石滑坡的研究[J]. 岩土工程学报, 2011, 33(S1): 268 - 272. [TIAN Y B, HOU X X, LIU Y H, et al. Transformation of ancient faulted rock mass into landslide [J]. Chinese Journal of Geotechnical Engineering, 2011, 33(S1): 268 - 272. (in Chinese)]
- [7] 田志宇,郑金龙. 隧道穿越错落体的设计与施工经验总结[J]. 现代隧道技术, 2013, 50(4): 152 - 157. [TIAN Z Y, ZHENG J L. Design and construction experience summary of tunnel crossing wrong falling body [J]. Modern Tunnel Technology, 2013, 50(4): 152 - 157. (in Chinese)]
- [8] 中铁西北科学研究院有限公司. 重庆奉节-巫溪高速公路E5标闵家隧道出口错落体病害治理工程地质勘察报告[R]. 兰州:中铁西北科学研究院有限公司, 2013. [Northwest Research Institute Co., Ltd. of China Railway Engineering Corporation. E5 standard minjia tunnel exit faulted rock mass disease control engineering geological survey report of the highway from Fengjie, Chongqing to Wuxi [R]. Lanzhou: Northwest Research Institute Co., Ltd. of China Railway Engineering Corporation, 2013. (in Chinese)]
- [9] 中铁西北科学研究院有限公司. 重庆奉节-巫溪高速公路E5标闵家隧道出口错落体病害治理工程施工图设计. 兰州:中铁西北科学研究院有限公司, 2013. [Northwest Research Institute Co., Ltd. of China Railway Engineering Corporation. The working drawing design for E5 standard Minjia Tunnel exit treating faulted rock mass from Fengjie, Chongqing to Wuxi [R]. Lanzhou: Northwest Research Institute Co., Ltd. of China Railway Engineering Corporation, 2013. (in Chinese)]