

半硬半软岩隧道塌方的力学特性及处理方法分析^{*}

喻 军 刘松玉 童立元

(东南大学交通学院岩土工程研究所 南京 210096)

摘 要 由于蛟岭隧道出口横断面一半为硬岩,结构完整,而另一半为软岩,为风化岩层,且较为破碎,所以在隧道开挖时,硬岩一侧刚度较大,变形较小,自稳能力大;软岩一侧与之相反,遇水软化,流变性明显,所以在软硬岩交界面处,产生滑移,导致塌方,从而在软岩一侧采取了地表加固和掌子面管棚注浆的处理,形成了与硬岩接近的强度,使隧道周围形成一个承载环,并对处理段进行了监测,监测数据分析表明处理后迅速达到稳定。

关键词 半硬半软岩 隧道塌方 管棚 注浆 地表加固 蛟岭

中图分类号:U452.1⁺1 文献标识码:A

MECHANICAL CHARACTERISTICS AND TREATMENT METHOD OF COLLAPSE OF TUNNEL WITH HALF - HARD AND HALF - SOFT ROCKS ALONG ITS TRANSVERSE SECTION

YU Jun LIU Songyu TONG Liyuan

(Institute of Geotechnical Engineering, Transportation College, Southeast University, Nanjing 210096)

Abstract The Jiaoling tunnel in construction encountered two types of rocks along its transverse section. Half of the tunnel section is hard - rock while the other half is soft rock. The hard rock is intact and has a 40 MPa compressive strength. The soft rock is weathered and fractured and has a compressive strength 5MPa. Collapse at the side of soft rock took place during the construction. Mechanical characteristics for the hard and soft rocks and the collapse reasons were analyzed at the portal of the left tunnel line. . Then counterpart collapse treatments were employed. For example, surface with grouting reinforcement and tube - grouting frame were explained. Strength of the treated soft rock was almost equal to that of hard rock. Bearing loop was made up of treated soft rock and hard rock. At last the treated zone was monitored. It was judged from monitoring data that the zone was stable quickly. So, this treatment method is reasonable and effective. The bearing loop theory can be used to the half - hard and half - soft rock transverse - section tunnel. New idea in the paper is the suspension theory applicable to bolting and grouting - tube treatment of soft rock tunnel. This theory can improve the effectiveness of bolt reinforcing soft rock tunnel. This conclusion in the paper is useful for design and construction of tunnel in half - hard and half - soft rock.

Key words Hard rock, Soft rock, Rock tunnel, Collapse, Tube frame, Grouting, Surface with grouting reinforcement, Jiaoling

* 收稿日期:2008 - 01 - 22;收到修改稿日期:2008 - 05 - 05.

第一作者简介:喻军,主要从事隧道及地下工程的施工和研究. Email: yujunsunny@163.com

1 引言

在山区公路建设中,经常会受到地形地貌条件的限制,需要在山体中修建长大的公路隧道。隧道属于地下工程,在岩体中开挖隧道,由于原来的受力结构平衡体系受到破坏,引起了围岩的应力重分布,因此,在公路隧道施工过程中很容易引起塌方,不仅会造成重大的经济损失,而且还会严重影响施工安全和施工进度^[1,2]。所以一方面要预防塌方,另一方面对已经塌方的隧道要处理好,以免留下隐患,影响隧道的安全运营。

2 工程概况及工程地质特征

景婺黄(常)高速公路蛟岭隧道,为东西走向,左线进出口里程分别为 K82+420~K83+951.2,全长 1531.2m;右线进出口里程分别为 K82+300~K83+955,全长 1655m。左线隧道进出口均为 VI 级围岩,右线隧道进口为 VI 级围岩,出口为 IV 级围岩。蛟岭隧道是景婺黄高速公路中一座上下分离式隧道,穿越煤系地层,位于江西省婺源县与景德镇市交界处,进口位于婺源县镇头镇立新煤矿工区 3 号井南侧约 100m 处,出口位于景德镇市浮梁县湘湖镇东流村狮山自然村南东约 100m。

隧道左线 IV 级围岩占全线长度的 24.0%, III 类围岩占全线长度的 59.6%,隧道右线 IV 级围岩占全线长度的 30.9%, III 围岩占全线长度的 48.5%,围岩顶板近岩溶及地表,岩溶充填软塑粘土,爆破震动易垮塌,微张、张扭性或压扭性节理发育,受力极易打开,局部发育溶蚀空洞或沟缝,岩芯为部分碎块或碎石状,含少量炭质,具轻微硅化或硅质胶结,且含构造裂隙破碎带及上下盘,结构物呈泥质夹碎石状,以挤压破碎为主,含构造脉状水,岩芯破碎,为松散或压碎状镶嵌结构,进出口均为上部硬塑状,下部软塑,呈蠕动状松散结构的残坡积碎石亚粘土,断层破碎带内,地下水较丰富,并且局部可能存在岩溶水,因此,地质条件差,特别是岩溶水可能对施工构成威胁。

蛟岭隧道左线出口段 ZK83+840~+970 为 VI 级围岩,洞口段位于沟谷内,洞口顶部为一古窑,有矿工居住并有水井,后来久不用被埋没,洞身围岩为残坡积碎石亚粘土,上部腐植土,矿渣,生活垃圾土质松散,中部土层旱季呈硬可塑状,雨季呈软可塑

状,下部土层为软可塑,呈蠕动状松散结构,同时,残坡积土层内夹有大块、巨状孤石。土层内饱含孔隙水,岩层内充满裂隙水,土、石分界面层间潜水充裕,并顺层下泄。

隧道横断面反映出围岩成分复杂,均质性差,各向异性明显,左侧墙腰或墙角以上为硬度较高,较完整的大块状灰岩,而右侧拱腰以下为软塑状亚粘土,承载力低,侧力大,形成左侧为硬岩右侧为软岩的横断面,隧道结构极易产生不均匀沉降,施工中,外力逐渐增大,内力失衡,结构失稳,最终导致垮塌。如出口横断面一半为硬岩,岩石强度为 40MPa,结构完整,而另一半为软岩,为风化岩层,强度为 5MPa,且较为破碎,在施工中产生塌方引起地表开裂(图 1)。



图 1 蛟岭隧道出口塌方段地表的裂缝

Fig. 1 The crack of the surface of the exit collapse sect of Jiaoling tunnel

3 塌方情况及力学特性分析

2005 年 1 月 6 日左线出口 ZK83+883.5 处发生塌方,纵向长 11m,宽 8m,塌方深 6m,第二次发生在 ZK83+867~+882,第三次发生在 ZK83+835~+847。第四次塌方 ZK83+847~+867 长 20m,位于第二次和第三次之间,塌方高度为拱顶以上 8~12m,将已塌至地表,形成塌方漏斗,漏斗底面面积约 90m²,顶面积 360m²,洞内塌方体填满整个隧道断面,造成隧道内外阻断,3 台喷混凝土机,6 台 TY28 钻机,多台其他机械和大量施工材料被埋^[3]。

ZK83+867~+882 约 15m 为受塌方牵动地段,观察到初期支护内 I16 工字钢弯曲,或扭曲变形,喷混凝土层开裂剥落,ZK83+832~+847 长约 15m 地段也系受牵动地段,病害整治一并进行。

隧道的开挖包含着全部消除隧道壁上的径向应力,同时导致不排水剪切,开挖前,岩土体处于天然平衡状态,开挖后,较多的岩土体进入了塑性状态。从围岩的应力分布规律来看,顶部和底部容易出现拉应力,拱腰和墙脚处产生很大的剪应力,这使原来的径向压应力降低,切向的压应力升高,随着孔隙水压力的减小,差值减小,在衬砌的作用下,产生新的平衡。由于隧道的左侧为灰岩,右侧为软塑亚粘土,在雨水的作用下,水分子进入土体,形成一种楔入作用,使粘土体积增大,产生膨胀力,在隧道衬砌的限制下,在结构上产生一种增量作用。当衬砌的刚度不足以抵抗这种膨胀力和围岩压力作用,在衬砌上产生开裂,剥落,冒落,塌方等,其次是雨水进入土体,使粘聚力降低,强度下降,若初衬暴露过长,容易出现塌方。

对于这种半硬半软的围岩,在隧道横截面上,存在软硬交界面,容易滑动,产生不均匀沉降,在厚粘土一侧,地表沉降小,拱顶沉降大,所以在处理这种塌方有独特的技术。

4 塌方处理方案比选^[3]

4.1 明洞方案

废弃已建初期支护,挑顶挖铰改修明洞方案,优缺点如下:

(1)优点:明洞主体工程质量容易得到保证,运营安全可靠;主体结构在露天施工,作业面宽,施工方便。

(2)缺点:边仰坡刷坡范围大,坡顶高,且边仰坡以外的山体易形成大型滑坡病害,严重威胁施工人员的安全;洞顶道路为大山深处采石场和林场大型车辆的必由之路,若断路,影响甚大,也难以达成协议;时值雨季,山谷汇水直接冲刷明洞路堑,引发洪灾,造成事故;挖方弃土量大,弃方无处利用,明洞回填不能就近取土,增加投资。

4.2 暗洞方案

从地表和洞内双向加固围岩,加强超前管棚支护、初期支护、二次衬砌结构的力度。优缺点如下:

(1)优点:可以避免明洞方案的4大弊病;有以往的处理经验、技术上可行;洞内施工,受雨天影响较小;工期比明洞短。

(2)缺点:注浆量大,工程费用高;注浆施工,技

术含量高,对注浆质量的要求高,施工队伍责任大;塌方处理危险大,必须加强预防措施和安全教育,必须加强现场的施工管理和监理力度。

综上所述,注浆加固、处理塌方方案虽有一定难度,但技术上可行,通过努力可以取得成功,故推荐暗洞方案。

5 处理方案

5.1 地表加固

为了在隧道顶部一定范围形成成效连续的承压拱,使应力分布均匀连续,减少应力集中,增强土体的抗压,抗剪强度,采用旋喷注浆和钢筋悬吊的地表加固方法。旋喷注浆采用高压水冲刷处理区段的土,同时用导管对下面的位置进行注浆,随着旋喷管的提升和旋转形成不同直径的单个灌浆柱,对于松散的粘土层,高压旋喷有效直径可达到0.80~1.2m。通过调整孔距和考虑扩散半径可以确保形成连续的三维的注浆体块。为了防止水泥浆进入隧道内核心土,可考虑在垆体两端未用止浆墙封堵,设计孔深高于顶部1~2m,采用边界控制孔进行静压注浆^[4]。

5.2 工作面管棚辅助加固^[5-8]

拱顶以上1~2m内的粘土层由于考虑严重跑浆等不能整体加固,仅靠扩散只能局部胶结,不能形成整体效益,为了防止核心土的下沉,局部出现崩落,在地表加固的基础上,再用管棚对工作面进行注浆加固。

注浆孔布置:注浆孔的环向间距为30~40cm;孔深穿越塌方的径向范围为18~20m,钻孔外插角为8°~10°。管棚梅花形布置,管棚一端焊接在格栅拱架上,一段搭接在垆体上,开挖一环后及时进行喷锚网,紧接架设棚支撑,以便形成整体支护,采用“短进尺,强支护,多循环”施工方法。

5.3 仰拱下软土地基加固^[9]

在左线ZK83+850~+900长50m,行车方向的右侧半宽7~9m的范围内,仰拱下软可塑碎石粘土层地基,首先,铲除仰拱地下60cm,深度的软塑土层,接着铺满50cm厚的碎石或卵石,在卵、碎石层之上施做10cm的水泥砂浆垫层或C10的混凝土层,最后施工仰拱及充填混凝土,然后,在施做垫层、

仰拱及仰拱之上的充填混凝土时,预埋注浆管,直径为107mm,间距为0.8m。压水泥浆,注浆压力为4.0 MPa。

6 塌方处理效果分析

当发生塌方后,立即在边坡上布点观测,冒顶的位置和岩土体的分界线以及观测点布置如图2所示。

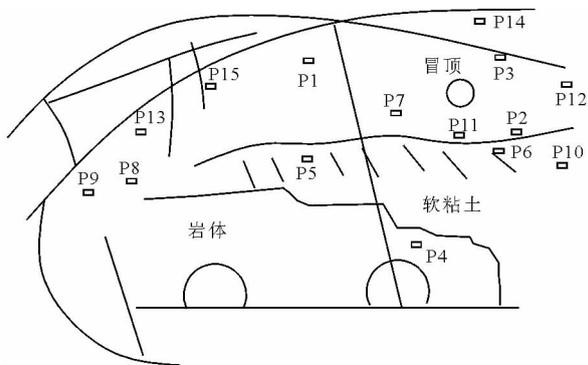


图2 蛟岭隧道出口边坡观测点布置

Fig. 2 The distribution of monitoring points of the exit slope of Jiaoling tunnel

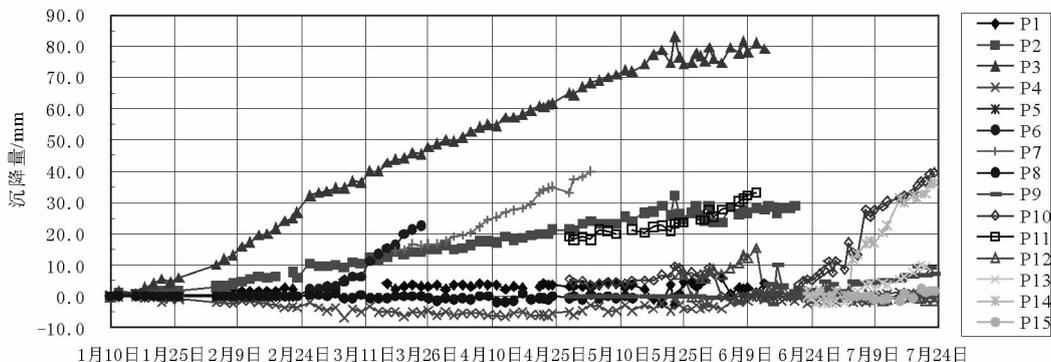


图3 蛟岭隧道出口边坡观测点位移随时间的变化曲线

Fig. 3 The curves of the displacement change with time at the exit slope of Jiaoling tunnel

(3) 确保锚喷支护的施工质量。确保锚杆的长度选取和锚杆施作方向的选定的正确,应以充分发挥锚杆功能作用,并获得经济合理的锚固功效为原则。

(4) 对于VI级围岩的隧道施工,必须遵守“杆超前、弱爆破、短进尺、快封闭、强支护、勤测量”的原则。

(5) 应进行爆破作业对支护结构影响的研究。针对软岩地质情况,选择爆破参数,提高开挖轮廓的质量,减少或避免由于超欠挖过大而引起的应力

集中对支护的不良影响。从图3的监测结果来看,位于冒顶口附近的P3点变化最大,为80mm,而且一直呈增长趋势,到5月底塌方处理完毕时,才趋于稳定。P7点也一直增大,最大为40mm,在5月初该测点被破坏。P2和P11点变化趋势相近,一直缓慢增大,在5月底趋于稳定,P10和P14点开始比较稳定,从7月初到7月底开始增大,最大为40mm,因为这两点位于较为陡的坡度上,是受降雨的影响,产生浅层的滑动,对边坡稳定性影响不大。其他位于岩体边坡上的测点较为稳定,数值也较小。从监测数据分析可知,处理效果较好,经过雨季的考验,边坡仍然稳定。地表加固结合掌子面管棚加固处理的特点:施工速度快;施工安全可靠;节省资金。

7 防止塌方的体会

(1) 加强现场监控量测^[10]。根据量测得到的数据,进行反馈分析,及时调整支护参数和支护时间。

(2) 对软岩带进行注浆预加固。在软岩与硬岩的分界面后,对软岩注浆加固,并加固分界面,防止滑动,以加强围岩的稳定性。

集中对支护的不良影响。

(6) 合理安排开挖进尺和进度。根据监测数据分析围岩的动态变化,选取开挖面的推进速度和支护刚度,使其逐渐趋于稳定。

8 结论

(1) 处理隧道塌方必须弄清围岩的变形速率与支护刚度的关系,维护二者的平衡:①隧道围岩形成塑性滑移楔体,造成支护结构的剪切破坏;②支护

结构与围岩粘结紧密,两者共同工作,形成无弯矩结构;③由锚杆、钢支撑、喷混凝土等所提供的支护抗力,应与塑性滑移楔体的滑移力相平衡。

(2)重视量测技术,加强围岩量测。综合运用地质及支护状态观察、围岩收敛及拱顶下沉量测、围岩内部位移量测等监控量测方法,能有助于准确判定围岩状态,及时采取措施预防塌方的发生。

(3)通过该塌方处理,可知运用地表加固结合钢筋悬吊及掌子面管棚注浆处理半硬半软岩隧道是合理可靠的,使处理过的软岩和原来的硬岩形成一个承载拱,同时,为了防止不均匀沉降,造成衬砌开裂,加强软土地基处理。

参 考 文 献

[1] 张剑. 隧道施工中掌子面后方塌方的预防和处理[J]. 铁道建筑, 2005, (12):36~37.
Zhang Jian. Prevention and treatment of collapse behind face during tunnel construction. Railway Building, 2005, (12):36~37.

[2] 陈秋南,张永兴,刘新荣等. 隧道塌方区加固后的施工监测与仿真分析[J]. 岩石力学与工程学报, 2006, 5(1):158~161.
Chen Qiunan, Zhang Yongxing, Liu Xinrong, et al.. In-situ monitoring and FEM simulation analysis of consolidation for a collapsed highway tunnel. Chinese Journal of Rock Mechanics and Engineering, 2006, 5(1):158~161.

[3] 中铁十三局集团有限公司. 蛟岭隧道左线出口段塌方病害整治方案[R], 2005.
China Railway No. 13d Group. Method of collapse cure in the left line of the exit of Jiaoling tunnel, 2005.

[4] 潘昌实. 数值力学数值方法[M]. 北京:中国铁道出版社, 1995.

Pan Changshi. Numerical mechanics and numerical method. Beijing:China Railway Publishing House, 1995.

[5] 姬传中,翟高康,朱唯. 管棚在软弱围岩隧道施工中的作用[J]. 西安公路交通大学学报, 1999, 119(S0):39~40.
Ji Chuazhong, Zhai Gaokang, Zhu Wei. Application of tube frame in tunnel construction in soft wall rocks. Journal of Jiaotong university of Xi'an, 1999, 119(S0):39~40.

[6] 孙令伟. 管棚法在隧道塌方处理中的应用[J]. 中南公路工程, 2005, 25(4):15~16.
Sun Lingwei. Application of tube-frame method for collapse treatment in tunnel. Chinese highway engineering, 2005, 25(4):15~16.

[7] 马涛. 浅埋隧道塌方处治方法研究[J]. 岩石力学与工程学报, 2006, 25(2):3976~3981.
Ma Tao. Treatment method for collapse treatment of shallow-buried tunnel. Chinese Journal of Rock Mechanics and Engineering, 2006, 25(2):3976~3981.

[8] 王立忠,胡亚元,王百里等. 崩塌松散围岩隧道施工稳定分析与施工[J]. 岩石力学与工程学报, 2003, 22(4):589~595.
Wang Lizhong, Hu Yayuan, Wang Baili, et al.. Stability analysis and monitoring for tunnel in loose soil during construction. Chinese Journal of Rock Mechanics and Engineering, 2003, 22(4):589~595.

[9] 姜功良. 浅埋软土隧道稳定性极限分析[J]. 土木工程学报, 1998, 31(5):65~72.
Jiang Gognliang. Limit analysis of the stability of shallow tunnels in soft ground. Journal of Civil Engineering, 1998, 31(5):65~72.

[10] 李晓红. 隧道新奥法及其监控量测技术[M]. 北京:中国科学技术出版社, 2002.
Li Xiaohong. NATM and in-situ monitoring technology of tunneling. Beijing:China Science and Technology Press, 2002.