

文章编号:1009-6582(2011)03-0117-06

浅埋软弱破碎围岩隧道进洞施工技术研究

姜同虎¹ 霍三胜² 叶飞¹ 夏永旭¹

(1 长安大学 桥梁与隧道陕西省重点实验室,西安 710064; 2 山西高陵高速公路有限公司,陵川 046000)

摘要 进洞一直是隧道施工的关键环节,而洞口工程的顺利完成是暗洞正常施工的前提。目前,采用超前管棚支护、超前小导管注浆等超前支护方式基本能够保证隧道顺利进洞,但是大部分隧道进洞后在洞口段均会出现初期支护沉降变形较大的现象。山西省高(平)-陵(川)高速公路郭家川 2# 隧道洞口段围岩极其软弱破碎,在隧道采用超前管棚支护顺利进洞后,为了防止洞口段初期支护再次出现较大的沉降变形,提出在洞口段采用联合支护的方案,即将洞口段初期支护的钢拱架与护拱连接,并加强初期支护钢拱架之间的纵向连接,实践证明此方案是切实有效的。分析对比表明,对于浅埋软弱破碎围岩隧道,联合支护方案能够有效地减小洞口段初期支护的变形量,保证隧道结构的稳定性,从而保证隧道安全、快速进洞。

关键词 浅埋隧道 软弱围岩 进洞技术 超前支护 联合支护

中图分类号:U455.7 **文献标识码**:A

1 引言

洞口施工素来是隧道工程施工的一个难点,常有“进洞难”之说,尤其是浅埋软弱破碎围岩隧道,洞口施工更加困难。隧道进洞的设计与施工深受地形、地质、气象及隧道周边环境等因素所影响。一般隧道洞口段覆盖较薄,且常年受到风雨冷热等风化侵蚀作用,地质较为软弱,不易形成压力拱抵抗围岩压力;而且施工时边坡与隧道的不稳定现象常相互影响,恶化施工条件进而延误工程进度。因此,在确保安全、降低工程投入、提高工作效率的前提下,怎样利用较为成熟的超前支护方式确保隧道安全进洞,并降低初期支护的沉降变形值,是浅埋软弱破碎围岩隧道进洞经常面临的问题。

为了降低隧道开挖时对围岩的扰动,在隧道暗洞施工前一般需要采取必要的进洞超前支护措施,以保证隧道的安全、顺利施工。随着隧道建设水平的不断发展,国内外在隧道进洞施工方面所采取的超前支护技术也日渐成熟。

近些年来,我国的隧道建设发展很快,在隧道进洞超前支护方式上也出现了多种形式,但大部分隧道工程中仍主要采用超前管棚支护、超前小导管注浆等进洞超前支护措施^[2]。

但是,在隧道洞口段的特殊地形、地质条件下,仅采用超前支护往往不足以控制隧道暗洞初期支护的变形。特别是浅埋软弱破碎围岩隧道的洞口段初期支护常发生下沉变形,造成初期支护与护拱间产生脱离裂缝、初期支护产生环向裂缝。为了有效地控制隧道初期支护的沉降变形,本文结合山西省高(平)-陵(川)高速公路郭家川 2# 隧道极其软弱破碎的洞口段工程实际,提出了加强超前支护护拱与初期支护间连接,并加强洞口段初期支护钢拱架之间连接的浅埋隧道联合支护进洞方式。

2 工程概况

郭家川 2# 隧道位于山西省高(平)-陵(川)高速公路陵川县郭家川村以南约 600 m、北四渠村以北约 500 m。隧道设计为左右线分离式短隧道,其右线

修改稿返回日期:2011-03-31

基金项目:国家自然科学基金资助项目(50808020);中国博士后科学基金资助项目(20080440183)。

作者简介:姜同虎(1986-),男,硕士研究生,从事桥梁与隧道研究,E-mail:jiangtonghu@126.com。

里程桩号原设计为 YK27+775~YK28+220, 洞身全长 445 m; 后新图纸在进洞口增加明洞 20 m, 洞身全长变为 465 m。右线深埋段长 180 m, 最大埋深 46 m; 浅埋段长 240 m, 最浅埋深 6.14 m。左线里程桩号原设计为 ZK27+780~ZK28+215, 洞身全长 435 m; 后新图纸在出洞口处增加明洞 25 m, 洞身全长变为 460 m; 左线深埋段长 145m, 最大埋深 43.57 m; 浅埋段全长 270m, 最浅埋深 7.2 m。

郭家川 2[#] 隧道围岩主要由煤层、泥岩及薄层灰岩组成, 其岩性较为复杂, 岩体节理裂隙发育, 岩质以软岩为主, 整体围岩级别为 Ⅱ级; 其洞体及周边范围内存在不规则的大体积煤矿或硫磺矿采空区。隧道新乡端洞口均位于第四系(Q₂^{al+pl})粉质粘土(黄土)覆盖的黄土缓坡脚处, 竖向节理较发育, 局部夹薄层状或透镜状砂砾; 且隧道下半断面与当地的煤系地层重合, 隧道拱脚及仰拱稳定性较差。隧道新乡端洞口(图 1)进洞施工极其困难, 因此需要采取必要的防护措施。



图 1 郭家川 2[#] 隧道新乡端洞口

Fig.1 Portal at Xinxiang end of Guojiaochuan No.2 tunnel

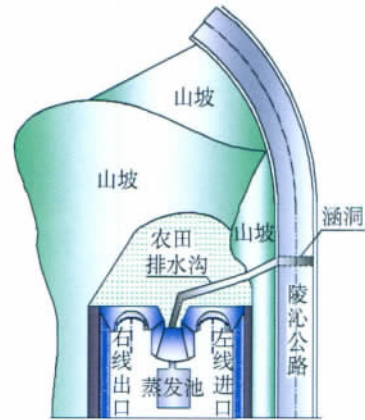


图 2 郭家川 2[#] 隧道新乡端洞口周围地形示意
Fig.2 Terrain around the portal at Xinxiang end of Guojiaochuan No.2 tunnel

隧道地质条件属黄土覆盖的基岩山脊, 洞身段至新乡端洞口微地貌均为第四系黄土覆盖的基岩残区和黄土缓坡。隧址区植被不发育, 除山脊局部零星分布的灌木丛及野生草本植物外, 隧址区第四系覆盖层地表多已辟为耕地。

(3) 气象

隧道项目区属暖温带湿润大陆季风气候区, 四季分明, 冬长夏短, 雨热同季。2010 年夏季该地区降雨频繁, 尤其是 7 月份降雨量较往年明显增多, 导致在建高速公路边坡多处出现滑坡。

(4) 周边环境

隧道上方为农田, 且地势平坦, 雨水不易排出; 陵沁一级公路位于隧道上方, 公路两侧排水沟的水均排至隧道洞口上方, 致使隧道洞口段土体含水量较大。

隧道洞口进洞采用超前管棚支护, 此支护方式的好处在于: 超前距离较大, 能够形成纵向钢梁作用, 可以有效地减小由于岩土体自重产生的侧向压力, 稳定洞口前方地层; 在钢管上预留注浆孔, 管棚施工完成后, 进行岩土体注浆, 可以提高岩土体自身的稳定性, 发挥自身的成拱作用, 而且还能减小地下水对岩土体稳定性的影响。

3.2 郭家川 2[#] 隧道超前管棚支护施工

超前管棚支护的施工质量直接影响隧道进洞的顺利与安全, 因此应严格按照设计的施工步骤(图 3)进行施工, 以保证施工质量。在隧道施工过程中特别注意了以下几点:

(1) 考虑到隧道的围岩情况, 在洞口施作护拱

3 隧道进洞超前支护

3.1 郭家川 2[#] 隧道洞口工程环境分析

隧道洞口的工程环境极其复杂, 隧道顺利进洞是该隧道建设的关键。施工时必须对隧道洞口的地形、地质、气象与隧道周边环境影响因素进行综合分析, 以确定隧道的进洞方案。

(1) 地形

隧道隧址区地形属构造剥蚀低中山地形, 隧道穿越的山体地形起伏相对较小, 尤其是隧道新乡端洞口 80m 范围内的埋深只有 7.2~8 m, 且隧道洞口三边环山, 位于沟谷汇水处(图 2)。

(2) 地质

(作为超前管棚导向墙)时,对护拱的基础进行了加大底面面积和深度的处理,以防止护拱出现沉降变形,影响隧道洞口和周围边坡的稳定性。

(2) 隧道洞口段埋深较浅,护拱内钢拱架设三榀,护拱长度 2 m,采用 C30 混凝土浇筑;管棚孔口套管与钢拱架焊接成整体。

(3) 在护拱接近洞口处的两榀钢拱架上预留钢筋,作为联合支护的连接筋,预留位置位于拱顶及两拱腰处。

(4) 隧道洞口段围岩软弱破碎,钻孔完成后应及时安设管棚钢管,以避免出现塌孔;当钢管安装困难时可用卷扬机反压顶至设计位置。

(5) 为了保证注浆效果,注浆时采用先灌注“单”号孔,再灌注“双”号孔的方法。

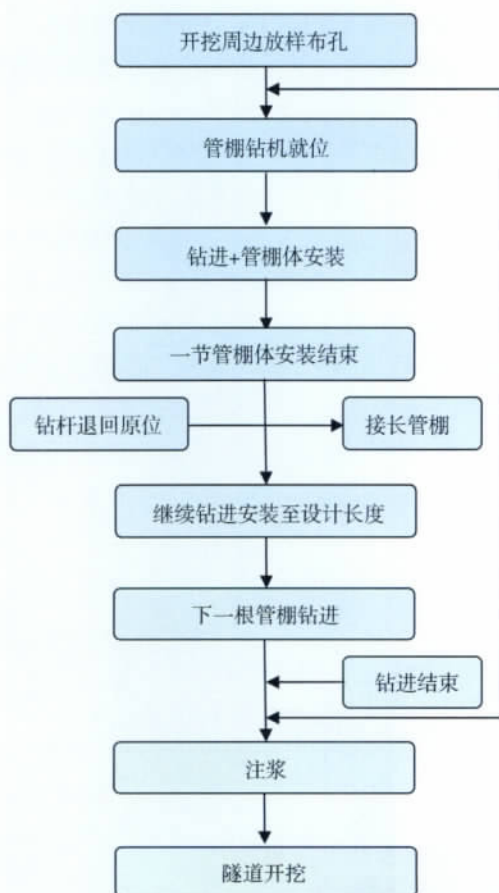


图3 超前管棚支护施工步骤

Fig.3 Construction sequence of advance pipe-roofing

郭家川 2# 隧道超前管棚支护施工质量良好,为隧道的顺利进洞提供了有效的前提条件。图 4 为郭家川 2# 隧道洞口护拱图片。



图4 郭家川 2# 隧道洞口护拱

Fig.4 Protective arch rib at the entrance of Guojiaochuan No.2 tunnel portal

4 郭家川 2# 隧道隧道进洞联合支护

4.1 隧道进洞联合支护的提出

郭家川 2# 隧道左线新乡端洞口段为浅埋,且围岩破碎,虽采取了超前管棚支护,但隧道开挖后仍无法形成压力拱,围岩失去自稳能力,全部土压力均作用在初期支护上;而隧道下部为煤系地层,地基承载力严重不足,虽然采用了增加锁脚锚杆及加固钢拱架基座等措施,但是仍不足以提供足够的反力。

隧道左线新乡端暗洞开挖后,初期支护发生较大沉降变形,导致初期支护与护拱发生脱离,初期支护产生环向裂缝(图 5、图 6)。隧道洞口段在经过一段时间沉降后,变形逐渐趋于稳定。由于 7 月份隧道下台阶开挖及降雨频繁导致隧道上方土体自稳性进一步降低,且增大了土体的容重,导致初期支护再次发生较大的沉降变形,局部地段初期支护限界严重,导致二次衬砌厚度不足,严重地影响了隧道的正常施工。

表 1 为郭家川 2# 隧道 ZK28+205 断面初期支护拱顶下沉量统计表,图 7 为该断面拱顶下沉量曲线图。上台阶开挖后隧道拱顶沉降量达到 15.5 cm,约 20 天后进行下台阶及仰拱的开挖,隧道再次沉降



图5 初期支护与护拱间的脱离裂缝

Fig.5 Crack between primary support and protective arch rib

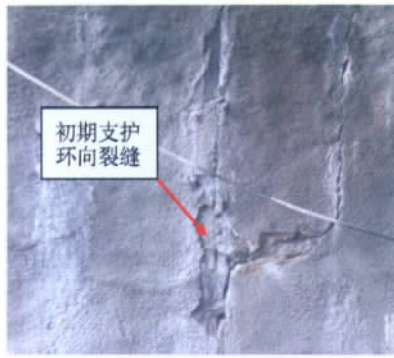


图6 洞口段初期支护环向裂缝

Fig.6 Circumferential cracks of primary support at portal

表1 左线洞口段沉降量数据统计

Table 1 Statistics of settlements at the portal of left line

日期	沉降量/cm	相对上一次沉降量/cm
2010-06-20	1.7	
2010-06-21	6.9	5.2
2010-06-22	10.1	3.2
2010-06-23	13.3	3.2
2010-06-24	15.2	1.9
2010-06-25	15.5	0.3
2010-07-14	18.1	2.6
2010-07-15	18.7	0.6
2010-07-16	18.9	0.2
2010-07-17	23.1	4.2
2010-07-18	26.7	3.6
2010-07-19	29.2	2.5
2010-07-20	30.3	1.1
2010-07-21	30.2	-0.1
2010-07-22	30.1	-0.1

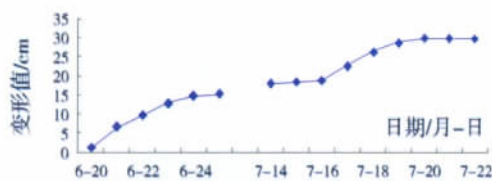


图7 隧道 ZK28+205 断面初期支护拱顶沉降曲线

Fig.7 Curve of crown settlements of primary support at ZK28+205

14.8 cm,对隧道初期支护产生了较大的影响,且出现了裂缝及混凝土脱落现象。

通过对郭家川 2# 隧道洞口段初期支护沉降情况的分析可以看出,隧道洞口端初期支护因诸多因

素影响,极易发生沉降变形,从而导致初期支护与护拱脱离,且初期支护产生裂缝。这些裂缝既影响了初期支护的受力及稳定性,又可能产生一些次生灾害,如沿裂缝产生的渗漏水、初期支护下沉侵入二次衬砌界限等。为了减小初期支护的沉降变形,在隧道右线新乡端洞口施工中采用了隧道进洞联合支护方案。

4.2 隧道进洞联合支护方案

联合支护是指将护拱钢拱架与初期支护的钢拱架连接,使其形成整体,并加强洞口段初期支护钢拱架之间的连接,最终形成护拱与初期支护及初期支护之间的联合支护体系。该体系主要由两部分组成,即护拱钢拱架与初期支护钢拱架的连接、初期支护钢拱架之间的连接。

4.2.1 护拱钢拱架与初期支护钢拱架的连接

护拱钢拱架与初期支护钢拱架的连接是将洞口段初期支护的第一、二榀钢拱架与护拱的预留钢筋焊接,该预留钢筋在护拱施工时焊接在护拱的后方两榀钢拱架上,以便使初期支护与隧道洞口护拱联合成为一体,为初期支护的钢拱架提供足够的反力,以抵抗围岩压力、降低沉降变形量。

护拱的预留钢筋是护拱浇筑前在其后方两榀钢拱架的拱顶及两拱腰处预先焊接,在不影响护拱施工的前提下由焊工将 $\phi 24$ 钢筋焊接在钢拱架上;在隧道暗洞开挖并安装第一、二榀钢拱架时,采用搭接或锚固方式将其固定于预留钢筋上(图 8)。

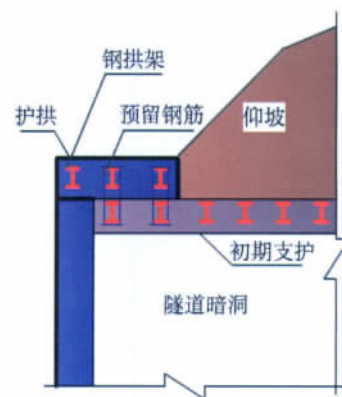


图8 护拱钢拱架预留钢筋示意

Fig.8 Embedded rebar of steel arch in protective arch rib

4.2.2 初期支护钢拱架之间的连接

初期支护钢拱架之间的连接是指在隧道进洞后

加强初期支护钢拱架之间的纵向连接,使隧道的初期支护结合成为一体,从而有效地防止隧道初期支护的不均匀沉降,增加隧道初期支护的抗剪能力,减少环向裂缝的形成,保证隧道初期支护的稳定性及安全性。隧道纵向钢拱架之间的连接是在保证钢筋网及喷混凝土的施工质量的基础上进行的。

对于初期支护沉降不是特别严重的隧道,只要增加初期支护纵向连接筋的数量及长度,一般都可以有效地控制初期支护的变形;对沉降严重的隧道可采用增加工字钢作为纵向连接筋(图9),工字钢能够提供足够的刚度和抗剪能力,保证隧道初期支护的整体性,有效地降低隧道下台阶、仰拱开挖时初期支护产生的不均匀沉降变形。

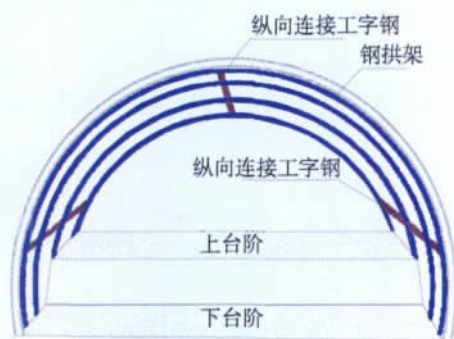


图9 工字钢作为纵向连接筋示意
Fig.9 Longitudinal connection with I-steel

4.3 隧道进洞联合支护效果

郭家川2#隧道右线新乡端洞口施工时采用了联合支护方案进洞,在洞口段加强初期支护与护拱、初期支护钢拱架之间的连接,使隧道初期支护形成整体,有效地降低了隧道初期支护的变形量。在施工过程中对洞口段初期支护加强监控量测,准确地掌握了隧道的变形量(表2、图10)。上台阶开挖后隧道拱顶沉降量达到6.6cm,约20天后进行下台阶及仰拱的开挖,隧道再次沉降4.9cm,对隧道初期支护的影响较小,顺利、安全地完成了洞口段施工。

通过对隧道左右线洞口段拱顶沉降变化值进行对比分析可以看出,隧道进洞联合支护方案的实施能够有效地降低浅埋软弱破碎围岩隧道洞口段施工时初期支护的变形量,保证隧道初期支护的稳定性,对于隧道顺利、安全进洞起到了较为重要的作用。

表2 右线YK28+210断面拱顶沉降量数据统计

Table 2 Statistics of crown settlements at YK28+210 of right line

日期	沉降量/cm	相对上一次沉降量/cm
2010-08-14	1.2	
2010-08-15	2.6	1.4
2010-08-16	4.1	1.5
2010-08-17	5	0.9
2010-08-18	5.7	0.7
2010-08-19	6.2	0.5
2010-08-20	6.5	0.3
2010-08-21	6.6	0.1
2010-09-12	8.2	1.6
2010-09-13	8.4	0.2
2010-09-14	8.5	0.1
2010-09-15	9.7	1.2
2010-09-16	10.9	1.2
2010-09-17	11.8	0.9
2010-09-18	12.6	0.8
2010-09-19	13.1	0.5
2010-09-20	13.3	0.2
2010-9-21	13.4	0.1

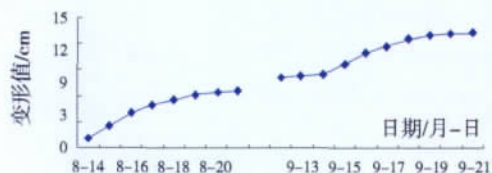


图10 隧道YK28+210断面初期支护拱顶沉降曲线
Fig.10 Curve of crown settlements of primary support at YK28+210 vs. time

5 结论

通常在隧道进洞施工中虽采取了一定的超前支护措施,但许多围岩条件差的隧道仍会出现较大的初期支护沉降变形,而加强护拱钢拱架与初期支护钢拱架之间连接,以及初期支护钢拱架之间的连接,能够使隧道洞口段的支护形成联合的统一体,从而有效地防止较大沉降变形情况的发生。通过在郭家川2#隧道的成功实践表明,联合支护方案在隧道施工中具有推广价值。

参考文献

References

- [1] 韩 剑. 小康高速公路隧道进洞技术研究[D]. 西安: 长安大学, 2009, 2~8
Han Jian. Study on Construction Technology of Tunnel Entrance Sections on Xiaohu-Ankang Expressway [D]. Xi'an: Changan University. 2009: 2~8
- [2] 阎 亮. 不良地质条件隧道洞口段支护研究[D]. 北京: 北京交通大学, 2009, 6~13
Yan Liang. Research on the Supporting of Unfavorable Geological Tunnel Portal [D]. Beijing: Beijing Jiaotong University. 2009: 6~13
- [3] 高怀鹏, 毛海东. 长管棚预注浆超前支护技术在浅埋偏压大跨隧道洞口施工中的应用[J]. 公路, 2005, (10): 214~217
Gao HuaiPeng, Mao Haidong. The Use of Long Tube, Prestress-mortar and Pre-timbering Technique in the Shallow, Partital, Long Span Tunnel Construction [J]. Highway. 2005, (10): 214~217
- [4] 谭军民. 浅谈隧道超前支护施工技术[J]. 隧道建设. 2007, (增刊): 482~485
Tan Junmin. Pre-support Technology in Tunnelling Construction [J]. Tunnel Construction, 2007, (Supplement): 482~485
- [5] 柳建国, 刘 钟. 隧道超前支护与水平旋喷技术开发[J]. 现代隧道技术. 2008, (增刊): 398~403
Liu Jianguo, Liu Zhong. The Development of the Pre-support in tunnel and Horizontal Jet-grouting Technology [J]. Modern Tunnelling Technology. 2008, (Supplement): 398~403
- [6] 黄建明. 水平旋喷搅拌桩在暗挖隧道超前支护中的应用[J]. 铁道建筑. 2007, (7): 26~28
Huang Jianming. Applications of Horizontal Rotation-jet Mixing Piles as Forepoling to Driving Tunnel [J]. Railway Engineering. 2007, (7): 26~28
- [7] 关宝树. 隧道工程施工要点集[M]. 北京: 人民交通出版社, 2003, 370~389
Guan Baoshu. Collection of Key Points in Construction of Tunnel Projects [M]. Beijing: China Communications Press, 2003: 370~389
- [8] 王梦恕. 中国隧道及地下工程修建技术[M]. 北京: 人民交通出版社, 2010
Wang Mengshu. Tunnelling and Underground Engineering Technology in China [M]. Beijing: China Communications Press. 2010
- [9] 中华人民共和国行业标准. JTG D70-2004 公路隧道设计规范[S]. 北京: 人民交通出版社, 2004
Professional Standard of People's Republic of China. Code for Design of Road Tunnel (JTG D70-2004) [S]. Beijing: China Communications Press, 2004

Study on Entrance Excavation of a Tunnel in Shallow Soft Fractured Surrounding Rock

Jiang Tonghu¹ Huo Sansheng² Ye Fei¹ Xia Yongxu¹

(1 Shanxi Provincial Key Laboratory for Highway Bridges & Tunnels, Chang'an University, Xi'an 710064;

2 Shanxi Gaoling Expressway Co., Ltd., Lingchuan 048300)

Abstract Entrance excavation is always the key link of tunnel construction, the smooth completion of tunnel entrance is the premise of normal tunnel construction. The surrounding rock is extremely weak and broken at tunnel entrance of Guojiachuan No.2 tunnel on Gao (Ping) - Ling (Chuan) Highway of Shanxi Province. After adopting advance pipe-roofing at the entrance, combined support of steel arch and a protective arch rib were adopted, the longitudinal connection of steel arches of primary support was reinforced, which proved to be efficient. The combined support can reduce the deformation of primary support at the entrance of the shallow tunnel in weak broken surrounding rocks, ensuring the stability of tunnel structure and the construction of tunnel entrance.

Key words Shallow tunnel; Soft surrounding rock; Entrance excavation; Advance support; Combined support