

文章编号: 0451-0712(2005)10-0200-05

中图分类号: U458.1

文献标识码: B

隧道变形的技术处理方案

郭振武, 陈 勇

(路桥集团第一公路工程局北京海威公司 北京市 100071)

摘 要: 针对不良地质灾害造成的隧道初期支护出现的严重扭曲、挤压、剪断、急剧下沉等变形现象,并迫使初期支护侵入二次净空,探讨如何在隧道施工中,安全、快速地通过扩挖换拱方法解决此类问题。以新奥法施工为指导思想,汲取相关的技术成果和经验总结,介绍隧道全断面扩挖置换的技术处理方案和施工体会。

关键词: 新奥法; 变形; 处理措施

隧道是高等级公路穿越山区的重要通道,但因山区地形复杂、地质条件多变而极易发生不良地质灾害,迫使隧道发生严重变形,无法满足设计衬砌断面要求,从而给大跨度、结构复杂的中长隧道带来了施工上的困难。本文将根据发达隧道的施工经验,参照相关经验,并结合本工程自身特点,制定了隧道内扩挖置换技术方案和技术措施,在实际运用中,达到了良好的效果。

1 隧道初期支护变形现象描述

一般而言,隧道洞身变形主要表现在初期支护喷混凝土面层和钢拱架上。由于不同隧道受其地形、地质的多样性影响,如严重偏压、超浅埋、地下水活动频繁、地质构造复杂、围岩状况差等,使洞身初期支护在开挖施工中,地层应力释放或集中在洞身某一段落,致使初期支护喷混凝土面出现开裂、脱落,甚至掉块,钢(格栅)拱架急剧下沉,呈现压屈状态,并伴有压弯、扭曲、甚至剪断等不良现象。隧道初期支护主体受力结构受到严重的损毁,无法满足设计要求,给洞身质量和施工安全带来了极大的隐患。

2 施工技术处理方案

针对隧道初期支护严重变形损毁的情况,为确保施工安全,应立即停止掌子面掘进,同时采取临时加固措施和永久加固措施,以保障洞室结构的整体稳定,使隧道应力重分布达到新的静态平衡状态,并满足设计要求。下面分别介绍临时加固和永久加固

技术方案。

2.1 临时加固措施

临时加固措施主要是采用强力支撑于变形的初期支护,减小和抑制已损毁初期支护继续增大变形。一般有:(1)架设钢护拱,形成双层钢拱架受力;(2)架立强支撑、增大受力点,减轻已损坏的初期支护受力;(3)增加临时仰拱,提早形成封闭环受力。其断面型式有3种,如图1。

2.2 永久加固措施

永久加固措施主要是选取恰当、合理的支护参数,采用可满足隧道受力条件的技术方案,永久性地加固洞室结构。

在施工过程中,当发现初期支护出现了开裂或有增大变形后,可立即施做注浆小导管,进行注浆固结围岩,增强围岩间摩阻力,形成具有一定能力的自稳性。结合发达隧道洞身大变形情况分析,在洞身变形后,沿所有损毁段落和裂缝处采用了长6 m,间距1 m×1 m的G42($\delta=4$)导管注浆,其单孔注浆量平均在0.5~2 t,暂时稳定了变形持续发展。但由于隧道受地形、地质条件的制约,地层应力复杂,无法准确掌握围岩间的实际应力,因此隧道在短暂的稳定后,再次出现了下沉、收敛等变形,隧道平衡状态失稳。对此,为了使隧道达到新的平衡受力条件,经综合分析、反复比选,决定对隧道洞身采取永久性的加固措施。其永久加固措施为:(1)采用长12 m的 $\phi 89$ 注浆大钢管加固洞身已损毁初期支护段落;(2)对洞身已损毁的初期支护进行扩挖换拱施工,重新

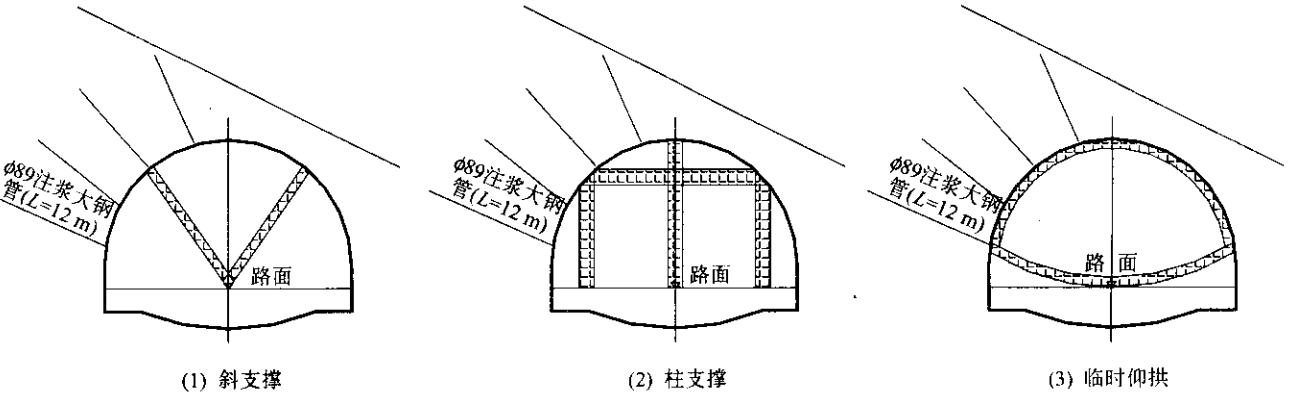


图 1

施做初期支护。下面分别详述 $\phi 89$ 长大钢管和扩挖换拱施工永久加固洞室的技术措施。

2.2.1 长大导管加固洞室方案

(1)原理:利用大导管的“长、大”的特点,对隧道上方进行深层次加固围岩,固结松动圈,支承和加固自稳能力极低的围岩,防止软弱围岩的下沉、松弛和坍塌等;同时在有偏压地段或应力集中的隧道和段落,可利用注浆后的长大钢管抗滑、抗扭性能好的特点,减轻隧道受山体的压力,达到加固洞室的目的;另一方面,为扩挖换拱施工提供安全保障。

(2)大钢管的孔深、孔距及注浆量的确定。

①孔深的确定。

根据泰·沙基经验公式可知,对松散破碎岩层,其坑道在开挖后,产生的松动圈为: $0.25(B+H) \sim 0.35(B+H)$ 。结合发达隧道工程可知,其隧道产生的松动圈在 $6 \sim 8.5$ m,由于隧道变形严重,考虑到扩挖换拱施工安全,故加大大钢管的长度,确定在 $9 \sim 12$ m 范围。

②孔距及注浆量的控制。

大钢管的孔距与注浆孔的浆液扩散半径 R 是密切相联的,而影响浆液扩散半径的因素有浆液浓度及凝胶时间、岩层裂隙大小、透水系数、注浆压力及注浆时间等,对于相对较均匀的土质地层,浆液扩散半径可用马格公式计算:

$$R=3\sqrt{\frac{200KhrtV_w+r^3}{nV_g}}$$

式中: R 为浆液扩散半径,cm; n 为围岩的空隙率,取 10% ; r 为注浆孔半径,取 8.9 cm; V_w 为水的粘度,取 5×10^{-3} Pa·s; V_g 为浆液的粘度,取 17×10^{-3} Pa·s; h 为以水头表示的注浆压力,取 $2\,000$ cm; K 为围岩渗透系数,取 1×10^{-3} cm/s; t 为

注浆时间,取 600 s。
据此可得,采用 M25 纯水泥浆液注浆时,在注浆压力不低于 2 MPa 情况下,其理论计算扩散半径为 $R=102$ cm。

因此,注浆孔间距按 $D=(1.4 \sim 1.7)R$ 计算,取 $D=1.5R$ 可得出注浆孔间距为 153 cm。但考虑到实际施工时,由于受岩层裂隙分布各向异性且不规则、差距很大,延伸方向不同等影响,浆液的扩散半径比土质土层更难确定。经现场试验注浆,单孔注浆水泥用量在 $600 \sim 1\,500$ kg 范围,根据:

$$Q=\pi R^2ln,$$

式中: Q 为单根导管注浆量; R 为浆液扩散半径,m; l 为导管长度,m; n 为围岩空隙率,%。

可得 $R=52 \sim 77$ cm,因此在 $D=78 \sim 115.5$ cm 范围,最终确定注浆孔间距 D 取 1 m,呈梅花型布置 $1\text{ m} \times 1\text{ m}$ 。

(3)大导管施工机具及施工工艺。

①施工机具,见表 1

表 1

名称和规格型号	主要用途
LYSEC 液压潜孔钻机	导管钻孔
英格索兰 VHP-700 空气压缩机	供 风
HBW-100 型高压注浆机	注 浆
ZBX-500 液压油泵	回油设备、辅助钻孔

②施工工艺流程简介,见图 2。

2.2.2 扩挖换拱施工技术处理

以新奥法“管超前、严注浆、短进尺、弱爆破、强支护、勤量测”为指导思想,在合同工期内,科学合理地安排隧道总体施工进度计划。根据发达隧道的断面型式及工程特点,为确保隧道扩挖换拱质量,制定

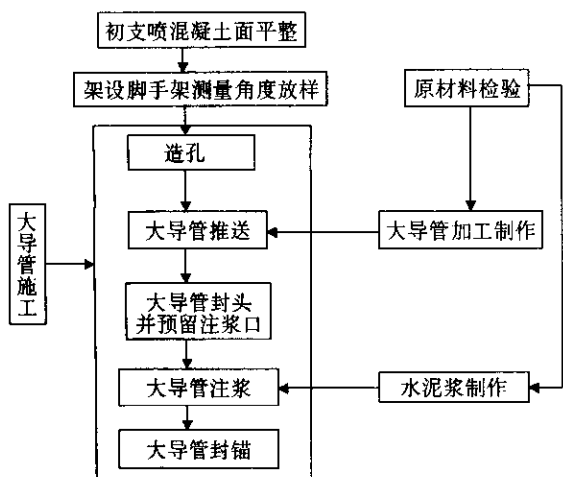


图 2

了以下施工方案。

2.2.2.1 全断面(局部)扩挖换拱初期支护、二衬参数的选择

(1) 初期支护措施。

隧道初期支护设置为 I20b 工字钢架, 间距为 50 cm/榀, 纵向连接采用 $\phi 25$ 钢筋进行连接, 并采用剪刀型形式, 环向间距为 50 cm/根, 钢筋网采用双层

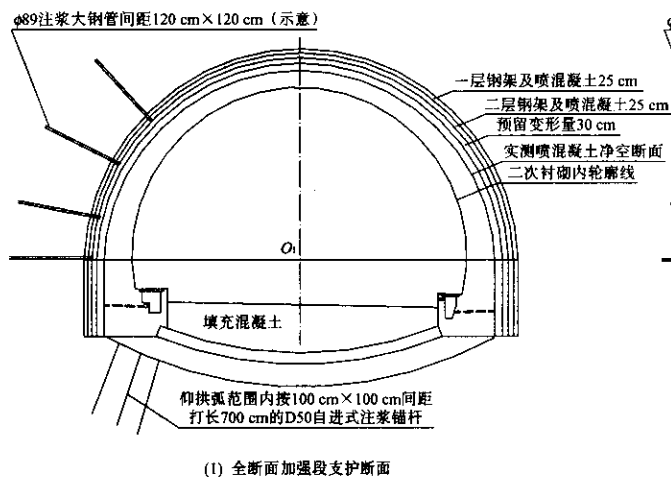
$\phi 8$ 钢筋网, 网格间距 20 cm \times 20 cm, 喷射混凝土为 C25 混凝土, 厚 25 cm; 系统锚杆采用长 600 cm 的注浆小导管, 按 100 cm \times 100 cm 梅花型沿隧道开挖外弧进行布置; 锁脚锚杆采用长 4 m 的 $\phi 25$ 砂浆锚杆, 每榀拱架在拱脚设置 16 根; 预留变形量由原设计 25 cm 变更为 30 cm

(2) 二衬参数的选择。

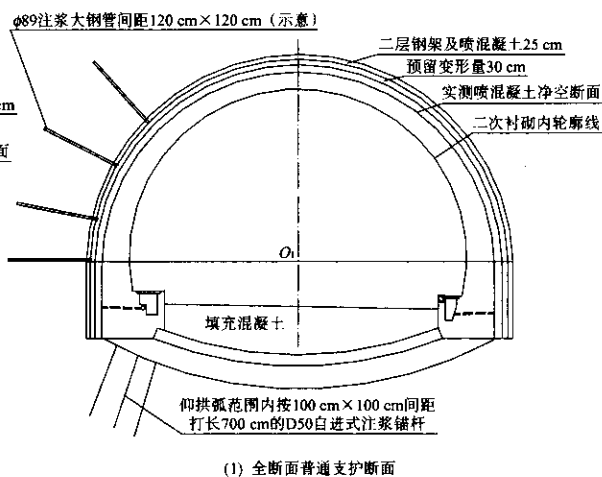
主筋为 $\phi 25$ 双层钢筋, 纵向间距为 20 cm/排; 纵向连接筋为 $\phi 18$ 钢筋, 环向间距 30 cm; 箍筋采用 $\phi 8$ 单肢箍按 20 cm \times 30 cm 梅花型布置; 二次衬砌混凝土标号按设计为 C25, 厚度为不小于 60 cm。

2.2.2.2 普通全断面置换与加强全断面置换段落的选择

根据隧道实测拱顶沉降变形分析, 扩挖换拱段可视初期支护损毁程度划分为通全断面置换与加强全断面置换段落。一般初期支护损毁程度大, 地质条件差, 拱顶沉降变形相对比较大, 隧道受山体侧压力较大宜视为加强全断面置换段落, 应对该段架设双层工字钢进行加强。反之, 下沉量相对较小, 初期支护损毁程度较小的段落视为普通全断面置换段。见图 3。



(1) 全断面加强段支护断面



(2) 全断面普通支护断面

图 3

2.2.2.3 开启工作面部位的选择

开启工作面位置的选择宜在钢拱架相对变形较小处。开启新工作面前, 应分别在拱顶、两侧拱腰处进行浅孔爆破, 探视拱背围岩状况及注浆效果。开启前, 必须在换拱的段落进行加强压浆, 密实隧道上方土体, 并在开启位置前后 5 m 范围内用临时钢支撑进行加固, 保证隧道换拱施工安全, 必要时采用大管

棚注浆和跳跃式开启扩挖置换工作面方法(扩挖跳隔间距不宜大于 2 m)。

2.2.2.4 利用浅孔爆破对扩挖换拱段进行拱、墙置换, 严格控制超欠挖

(1) 浅孔扩挖钻孔爆破施工。

① 钻爆原则: 因扩挖时的断面较大且围岩自稳性较差, 故钻孔爆破时应遵循加密炮孔、少装药量的

原则,爆破剥离已损毁的钢拱架,减小爆破时对已注浆固结围岩的扰动。

②孔位结构:沿隧道开挖断面方向钻孔时,钻孔深度宜大于初期支护厚度的10~15 cm,以达至爆破破坏损毁工字钢及喷射混凝土厚度的最佳效果;对于Ⅱ、Ⅲ类围岩,因围岩较为松软,为避免造成

较大超挖,不宜采用深孔爆破,一般孔眼间距为30~40 cm,钻孔方向宜垂直爆破面;沿隧道开挖外轮廓线方向(即线路方向)钻孔时,孔眼相当于辅助周边眼,孔深宜控制在开挖进尺长度的1/2,孔眼间距宜为30~40 cm,以便达到光爆效果。见图4。

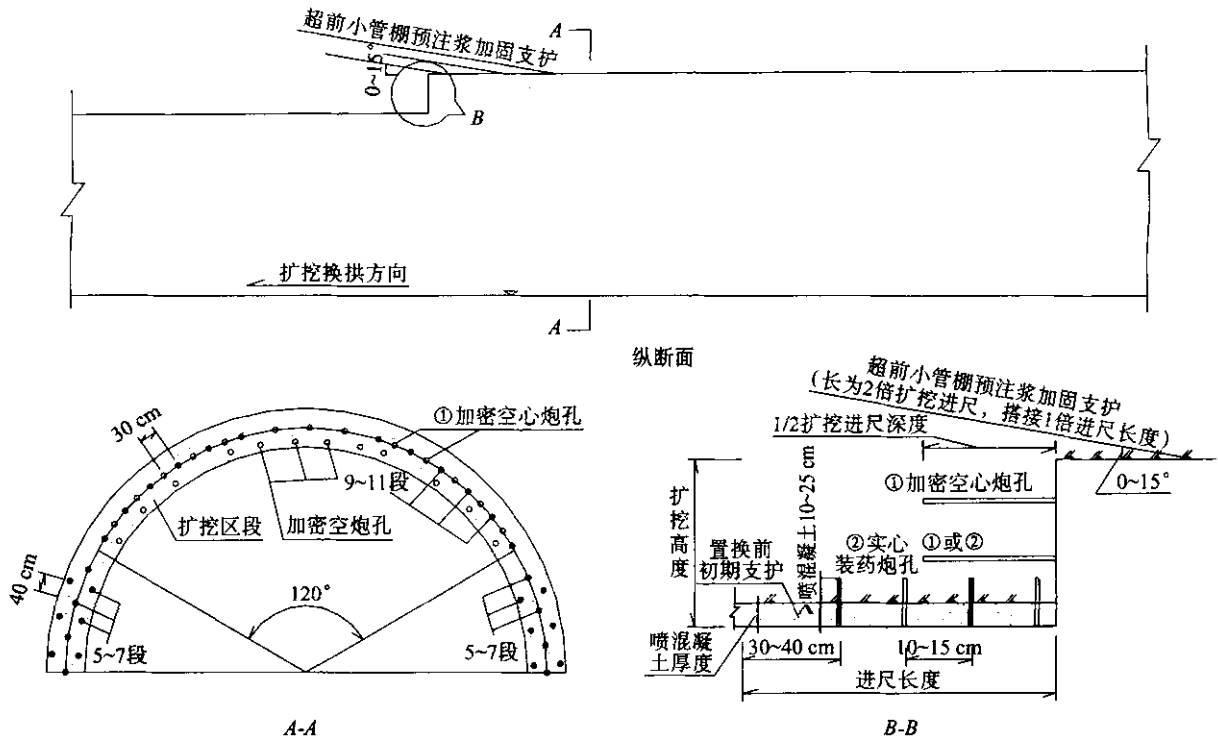


图 4

③药量控制:为严格控制好扩挖时超欠挖,在拱部和拱腰及拱脚处,应分别布置药量大小。一般两侧拱腰炮孔处采用间隔跳段布药方式,每个炮孔内装药量宜为100~200 g左右。装药时,孔内微差低段雷管相邻段间隔时间大于50 ms,以便改善爆破效果和防止地震波叠加而产生较大的地震动。如遇较坚硬岩石或层理较厚的片状砂岩时,可适当增大药量,并将雷管置于孔底倒数第二节药卷上引爆,拱腰处炸药宜采用9或11段微差毫秒雷管进行起爆。另外,为了确保周边眼同时起爆,保证光爆效果,还可将各孔内的导爆索延长至孔外,用一长主干导爆索顺拱部周边眼进行串联,使每个周边眼孔内有2套独立的起爆系统,确保同时起爆。

拱脚处宜加强药量,各孔装药量宜控制在200~400 g范围内,并采用5或7段微差毫秒雷管进行引爆;拱部多钻孔,少装药或不装药;各炮孔装药后应

用炮泥严格堵塞,以增大爆力,保证爆破效果。

④起爆程序:各段毫秒微差雷管脚线集束于掌子面中央悬挂,采用火雷管+导火索引爆。进行拱部扩挖时,起爆程序为:先拱脚后拱腰;进行边墙扩挖时,起爆程序为:先墙身后墙脚。

⑤控制超欠挖。

正确标示开挖轮廓线:在扩挖爆破前经测量放样后,画出开挖轮廓线,画线时应考虑预留围岩变形和画线误差等因素,在设计轮廓线外要适当加大尺寸,施工误差按径向加大5 cm控制。

超欠挖控制:经爆破后,隧道开挖轮廓需进行适度修补,对局部欠挖部分,应采用风镐或风钻进行凿除;对松散欠挖部分,宜用人工轻度敲凿;对拱顶欠挖部分,应慎之又慎,可预先打设超前小导管并注浆加固,必须进行凿顶时,应先观察拱顶两侧有无危石或松动岩块体,在确保安全的情况下,人工轻度凿

除,以能够保证架设钢拱架至计标高为最佳。拱背塌穴和局部超挖部位,须用同级标号喷混凝土进行充填至密实,不得填塞片石或风化岩等。

优化爆破设计:用控制爆破技术,根据隧道扩挖时的围岩状况,对不同地段的围岩进行地质素描,采取不同参数的光面爆破技术,不断总结,修正爆破参数使之达到最佳效果。

(2) 拱、墙施工。

拱部扩挖、立架完成后,应立即施做锁脚锚杆,锁脚锚杆倾斜向下 45° ,钢拱架底部采用 5 cm 的木板或钢板垫置,以增大受力面,以达到减小钢拱架下沉的目的,相邻两榀钢拱架间宜采用 $\phi 25$ 钢筋作剪刀型连接筋焊接。

开挖边墙时,应清除上半断面拱架底角处的土渣和边墙底角虚渣。如若已施工仰拱及填充混凝土,则扩挖边墙时,其底部必须凿除至坚硬仰拱混凝土面上或坚硬岩石基础上,并保证开挖边墙底部标高不得高于水沟铺底标高。边墙立架前,边墙底角应用同级标号的混凝土或砂浆将其抹平并垫置工字钢;同时,边墙钢拱架必须与垫置的工字钢焊接于一体,拱架底角也应埋置于混凝土或砂浆中,并立即施做锁脚锚杆,边墙施工时,可根据置换前后拱架的变形情况,进行跳跃式边墙接腿施工。

(3) 对于已损毁的工字钢拱架和径向锚杆,经修凿、拉直等加工后,亦将其焊接于置换后的钢拱架上,进行二次利用,并与钢筋网、喷混凝土形成受力整体,增强支护能力,提高整个洞室的稳定。

2.2.2.5 洞室扩挖时,勤超前支护措施

由于是对已损毁钢拱架进行扩挖置换施工,所以在每一开挖、支护循环中,应尽早施做超前锚杆和架设临时强支撑或临时仰拱,即“勤超前支护”。隧道超前支护采用 $\phi 42 \times 4$ 注浆小导管,环向间距 30 cm/根,自隧道中心线朝两侧 7.5 m 范围内打设。

一般采用超前小导管进行超前预注浆加固,密实换拱前方土体,保证了施工安全。超前导管长度宜取为扩挖进尺的 3~5 倍,纵向间距宜为扩挖进尺的 2~3 倍,环向间距宜为 30~50 cm,并向洞身两侧方向错开叠层排列,并穿插钢拱架,其超前角度不宜过大,宜取为 $0^\circ \sim 15^\circ$,以减小因超前小导管循环进尺形成的锯齿状超挖,超前注浆压力为 0.5~1.0 MPa。

每一扩挖进尺前,均需在换拱前方 5~10 m 范

围内进行临时强支撑或临时仰拱的架设,以减小换拱前方围岩压力过大,保障换拱施工安全。

根据监控量测情况分析,对洞室扩挖置换后采取必要的注浆措施。

2.2.2.6 适时跟进二次衬砌,早日封闭

隧道初期支护与二次衬砌之间的距离,过短则形成工序间相互的施工干扰,影响进度;距离过长则造成安全隐患。

为使隧道及早形成受力较好的环形封闭,应及时紧跟二次衬砌,二次衬砌与扩挖掌子面的距离不宜超过 40 m,以 30 m 左右为宜。中间可以采用灵活的跳跃式衬砌,使衬砌台车尽量靠近掌子面,再返折回衬砌跳空段。

2.2.3 工艺流程

超前小导管支护及注浆→扩挖爆破剥离拆除损毁工字钢拱架→安装工字钢架→打设系统锚杆及压浆→喷射混凝土→下一循环……进行下部边墙的开挖接腿→边墙锚杆→喷射混凝土→二次衬砌紧跟→……与上部开挖进入平行工序。

3 监测分析

为了进一步了解和观察扩挖换拱时的围岩动态发展情况,进行了拱顶沉降观测。结合发达隧道下行线 K168+450~K168+500 段换拱量测数据,由此可知,随换拱掌子面的进尺,换拱段与非换拱段拱顶沉降均会发生较大变化。一般而言,换拱前,在距离换拱掌子面前方 2~20 m 范围内,其拱顶沉降变化较大;换拱后,在距离换拱掌子面后方 6~17 m 范围内,其拱顶沉降变化较大。因此宜在换拱后初期支护中打设长锚杆或注浆小导管,密实换拱后拱背围岩,促使拱背岩层形成自拱能力,减小隧道的沉降变形;而隧道内非换拱段落(距离换拱掌子面 20 m 以外)在进行注浆加固和临时强支撑措施后,受其影响则相对较小。

4 结语

由于隧道型式是多种多样的,而隧道受各种地形、地质的影响又是复杂多变的,本文结合了发达隧道工程的自身特点,针对隧道出现的严重损毁现象,提出了长大导管加固措施和扩挖换拱施工工艺,以供同类隧道施工借鉴,不足之处,恳请指正。