

DOI:10.16799/j.cnki.csdqyfh.2023.05.041

新建钻爆法隧道穿越既有输水隧洞实施方案

冯辉

(深圳市交通公用设施建设中心, 深圳市 518040)

摘要:以某钻爆法市政隧道项目穿越既有输水隧洞为例,阐述了市政隧道实施方案中关于设计、施工、监测等方面的应对措施。市政隧道采用全包防水+CD法分部开挖,可有效减少隧道施工期及运营期对输水隧洞的变形影响,通过三维数值模拟,输水隧洞在隧道施工期最大隆起量为3.57 mm,在隧道运营期基本无变形;隧道施工过程中对洞室内坚硬岩体采用“水磨钻取芯+静态破碎”的施工方式,避免了爆破振动对输水隧洞结构的损伤;除加强隧道施工期的监控量测外,在隧道内布设了健康监测点,为隧道及输水隧洞的健康状态评估提供了可靠依据。

关键词:钻爆法隧道;输水隧洞;穿越;非爆破;监控量测

中图分类号: U455

文献标志码: B

文章编号: 1009-7716(2023)05-0157-05

0 引言

近年来,国家对基础建设不断投入,隧道建设迎来了建设高峰期,伴随隧道地下空间的不断开发,各种隧道项目之间的近距离施工或穿越施工不可避免。对于钻爆法隧道来说,传统的爆破施工会对临近建(构)筑物产生不用程度的不利影响,如何降低或者避免爆破振动影响有待深入研究。

新建隧道穿越既有输水隧洞的主要影响因素包括:围岩条件、地下水条件、隧道洞室尺寸、隧道间净距、开挖支护方式、施工方法等。翟明杰等^[1]利用有限元分析软件发现地铁隧道下穿输水隧洞主要引起输水隧洞轴线方向的不均匀沉降及附加应力。孙剑^[2]提出了高铁隧道上跨输水隧洞时关于施工方法及监控量测的要求。刘光华等^[3]通过数值计算分析了电力隧道下穿输水方涵引起的结构应力及沉降影响,并对输水隧洞周边注浆加固范围进行了讨论。刘拓^[4]研究出可通过调整爆破炸药当量和爆破方式减小爆破振动对输水隧洞的影响。

本文以深圳侨城东路钻爆法隧道上跨东江水源工程长岭皮隧洞为工程背景,开展隧道开挖施工对输水隧洞变形影响的三维数值模拟分析,并提出了设计、施工、监测方面的应对措施,以保证输水隧洞安全,可为类似工程提供一定参考。

收稿日期: 2023-02-03

作者简介: 冯辉(1977—),男,学士,高级工程师,从事交通基础设施建设管理工作。

1 工程概况

1.1 项目概况

深圳市侨城东路项目北起龙澜大道-福龙路立交,止于滨海大道,为城市快速路,线路全长约15.7 km,共设置5座主线隧道,在阳台山区域以两座分离式钻爆法隧道形式上跨东江水源工程长岭皮输水隧洞。

本项目隧道在右线桩号RK6+016及左线桩号LK6+007处与长岭皮隧洞(中心桩号K102+920附近)平面交叉,斜交角度约73°,其平面位置关系见图1。穿越处的长岭皮隧洞洞底高程为29 m,侨城东路右线、左线隧道与长岭皮隧洞的竖向结构净距分别为15.23 m、15.05 m(约侨城东路隧道一倍洞径),其竖向位置关系见图2。

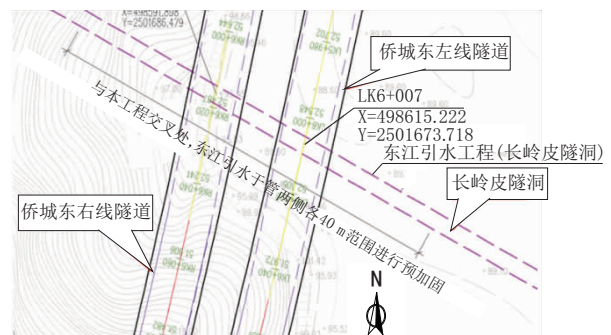


图1 平面位置关系图

1.2 市政隧道概况

侨城东路隧道为单洞三车道规模,道路宽度11.75 m,道路限界高度5.0 m,隧道采用三心圆断面,隧道内净宽14.85 m,内净高9.81 m。隧道采用复合式衬砌结构形式,初期支护采用28 cm厚C25喷射

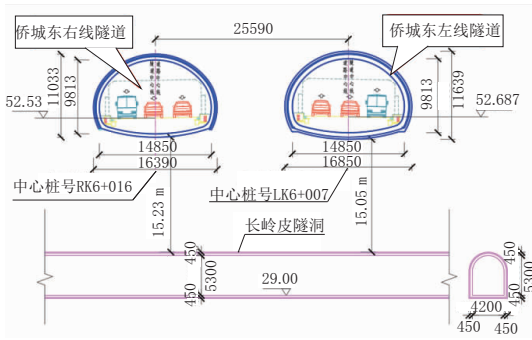


图2 竖向位置关系图(单位:mm)

混凝土 + I 22b 工字钢,二次衬砌采用 60 cm 厚 C40 自防水混凝土,采用 CD 法分部开挖。隧道复合衬砌横断面见图 3。

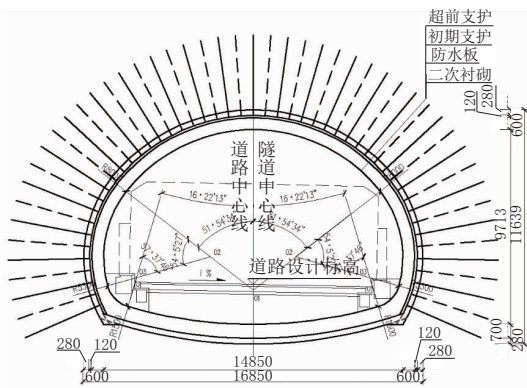


图3 侨城东路隧道复合式衬砌横断面图(单位:mm)

1.3 输水隧洞概况

东江水源供水网络干线工程建成于 2001 年 12 月,线路全长 106 km,设计年供水量为 7.2 亿 m^3 ,是深圳市供水系统的重要组成部分。长岭皮隧洞位于东江水源供水网络干线的西端,长约 3.72 km,为低流速无压隧洞,隧洞断面为城门拱形。隧洞内净宽 4.2 m,内净高 5.3 m,采用复合式衬砌,二次衬砌厚度 30 cm(拱墙)/25 cm(底板),见图 4。隧洞工程等级为 II 等,抗震设防烈度为 VII 度,设计洪水标准为 50 a 一遇,校核洪水标准为 100 a 一遇。

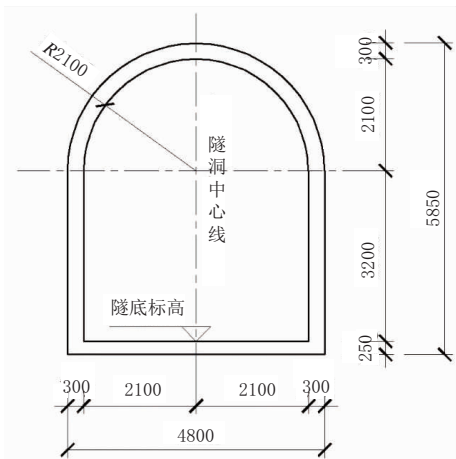


图4 长岭皮隧洞二次衬砌横断面图(单位:mm)

根据长岭皮隧洞 2008 年的雷达检测结果,输水隧洞在交叉点区域附近(中心桩号 K102+480~K103+520)的洞身拱顶、左右边墙及拱腰出现围岩破碎、空洞等问题,在 2012 年对输水隧洞拱顶进行灌浆处理后,围岩破碎、空洞问题得到一定缓解,但局部区域仍然存在。

1.4 穿越点地质条件

根据本工程勘察钻孔资料,两工程相交区域工程地质及水文地质条件如下。

(1)长岭皮隧洞位于微风化中粒花岗岩,微风化花岗岩饱和抗压强度 73.25 MPa(平均值)。

(2)侨城东路右线隧道位于微风化花岗岩中,围岩级别为 III 级,见图 5。

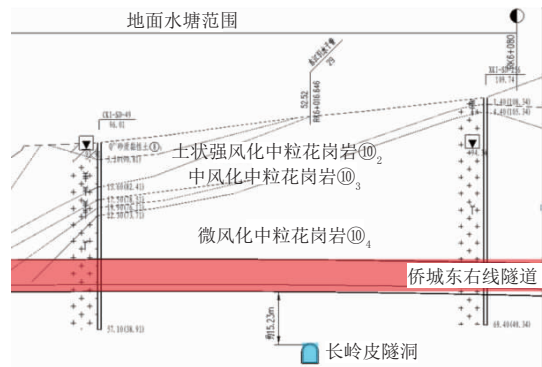


图5 侨城东路右线隧道地质纵断面

(3)侨城东路左线隧道位于土状强风化花岗岩、块状强风化花岗岩、中风化花岗岩、微风化花岗岩中,围岩级别为 III 级~V 级,见图 6。

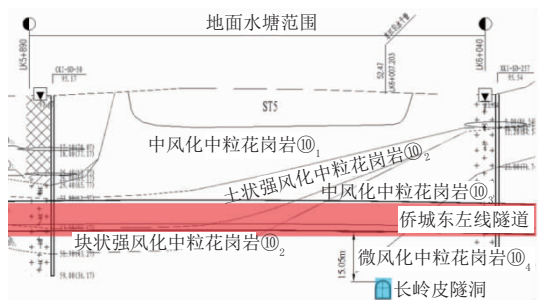


图6 侨城东路左线隧道地质纵断面

(4)穿越区地表为一处水塘,水深 4.85 ~ 16.85 m,稳定地下水位在隧道顶板以上,围岩点滴状出水为主,局部裂隙发育地段线流状出水。

2 隧道施工对输水隧洞影响计算

2.1 计算模型

侨城东路右线隧道与左线隧道中心间距约 26.6 m,隧道底部与长岭皮隧洞最小竖向净距约 15.05 m。根据隧道所处地质条件及相应物理力学参数,采用 MIDAS?GTS NX 2022 R1 建立三维数值计算模型,

模型尺寸为长 60 m × 宽 120 m × 高 90 m,并通过钝化和激活功能来模拟隧道的开挖施工。

2.2 计算参数

计算所采用的各材料物理力学指标见表 1。

表 1 计算材料参数表

编号	名称	弹性模量 /MPa	重度 /(kN·m ⁻³)	C/kPa	φ/(°)	泊松比	本构模型
1	素填土	8	18	12	10	0.3	
2	砂质黏性土	25	18.9	21	20	0.3	
3	全风化中粒花岗岩	80	19.2	30	23	0.3	
4	土状强风化中粒花岗岩	180	19.5	34	28	0.3	摩尔 - 库伦模型
5	块状强风化中粒花岗岩	240	21	50	30	0.3	
6	中风化中粒花岗岩	1 000	25	500	35	0.3	
7	微风化中粒花岗岩	3 000	26.2	1 500	40	0.3	
8	市政隧道二衬混凝土	30 000	25	—	—	0.167	弹性模型
9	长岭皮隧洞二衬混凝土	24 000	25	—	—	0.167	

2.3 模拟工况

(1)隧道施工工况

考虑市政隧道结构自重 + 围岩压力等各种荷载,分析市政隧道开挖施工过程中对其下方长岭皮隧洞的影响。

(2)隧道运营工况

在市政隧道的路面上施加 20 kPa 模拟车辆荷载,分析隧道运营阶段时车辆荷载对长岭皮隧洞的影响。

三维计算模型见图 7。隧道衬砌及相对关系模拟见图 8。

随着市政隧道开挖施工,长岭皮隧洞变形主要为向上隆起,因隧洞位于微风化花岗岩地层中,周边围岩条件较好,隧洞最大隆起量 3.57 mm,位于交叉点正下方,可满足隧洞变形控制要求,见图 9。

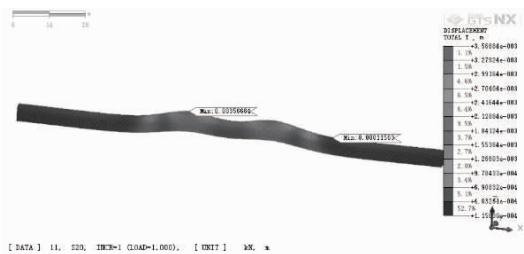


图 9 施工工况输水隧洞变形图(单位:mm)

(2)隧道运营工况

在市政隧道内的车辆荷载作用下,长岭皮隧洞向下沉降 0.27 mm,变形影响基本可以忽略不计,见图 10。

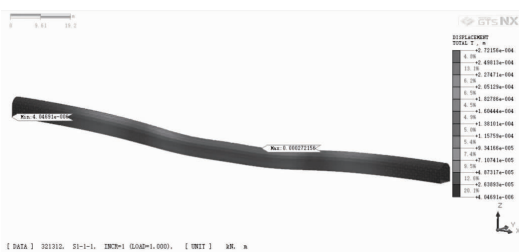


图 10 运营工况输水隧洞变形图(单位:mm)

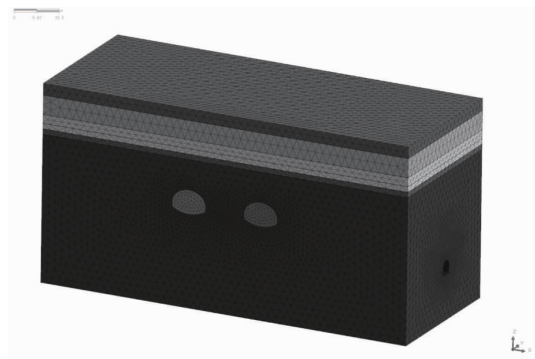


图 7 三维计算模型



图 8 隧道衬砌及相对关系模拟

2.4 计算结果

(1)隧道施工工况

3 施工方法

3.1 施工方式比选

根据《深圳市东江水源工程管护办法》(深圳市人民政府令第 259 号),确定长岭皮隧洞的保护范围为:自工程垂直中心线两侧水平方向各 40 m 的区域。对位于保护范围内的市政隧道的开挖方式需要特殊考虑。

基于地质勘察资料,位于穿越点附近的市政隧道基本位于中风化花岗岩、微风化花岗岩,属坚硬岩体。根据国内类似隧道项目经验,对于通常可采用的开挖方式包括控制爆破法、液压冲击锤、静态破碎法、悬臂掘进机法、铣挖机、水磨钻取芯法等^[5-7]。

考虑到穿越点附近的长岭皮隧道存在围岩破碎、空洞破碎情况,为确保输水隧洞结构安全,对侨城东路隧道采用非爆破方式施工。从施工可行性、便利性、经济性多方面综合比选后,隧道位于全风化花岗岩、强风化花岗岩区域采用机械开挖,位于中风化花岗岩、微风化花岗岩的区域采用“水磨钻取芯+静态破碎”的开挖方法。

3.2 施工要点

(1) 水磨钻施工

水磨钻钻孔时考虑一定外插角,确保满足隧道空要求。水磨钻成功取芯后,逐渐拉出水磨钻,轻微敲打芯体,使其与母岩分离,再将其取出。

(2) 非爆破施工

水磨钻取芯孔全部完成后,可在隧道周边形成连续的槽型临空面。对于剩余未开挖的隧道上半断面岩体,采用液压劈裂机,由外向内、自上而下分裂,由人工撬落;对于隧道下半断面岩体,采用岩石切割机进行横、竖向切割、拉槽后进行破除。

4 其他措施

4.1 输水隧洞加固

市政隧道施工前应结合长岭皮隧洞停水维护计划,对穿越区输水隧洞结构衬砌及围岩质量深入检测。为进一步减小市政隧道施工对输水隧洞的变形影响,考虑对穿越区输水隧洞进行内贴钢板+工字钢加固处理,见图11。此外,视检测评估结果,亦可采用必要的灌浆方式来填充衬砌背后空洞,消除病害,提高引水隧洞抗变形能力。

4.2 监控量测

(1) 施工期监控量测

为保证施工安全,达到信息化施工的要求,施工期间除了对市政隧道进行监控量测以外,还考虑对输水隧洞进行自动化监测,监测内容包括:

- a. 拱顶沉降监测点(每15m设一个监测断面,在隧洞拱顶处设置一处监测点)。
- b. 应变监测点(每15m设一个监测断面,每断面布设应变计6支,具体布设安装位置见图12)。
- c. 交叉段输水隧洞如存在裂缝,需增加裂缝监

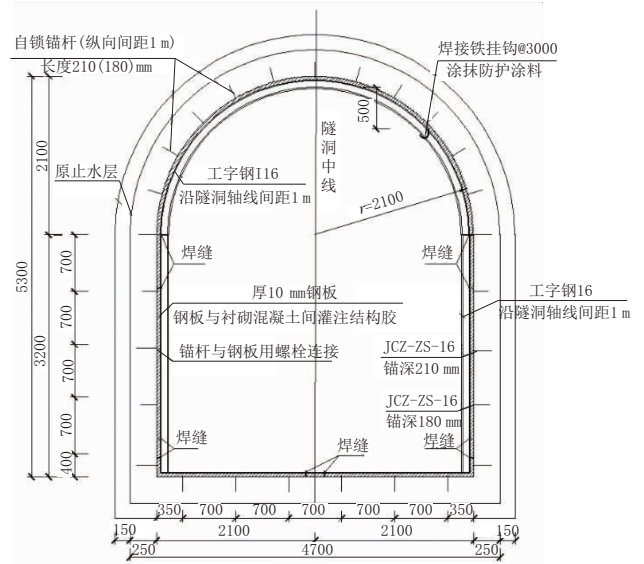


图 11 输水隧洞内衬钢板+工字钢加固示意图(单位:mm)

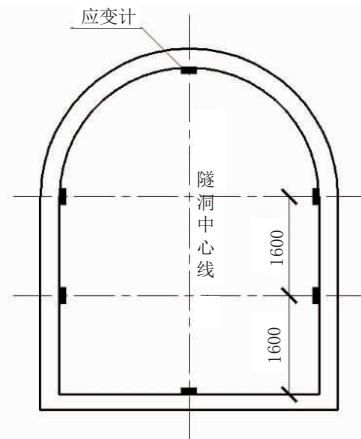


图 12 输水隧洞应变监测仪器安装示意图(单位:mm)

测点,并在地下水位变化较明显的地方需布设渗压监测点。

(2) 运营期健康监测

市政隧道在通车运营期间会遭受环境作用、荷载作用、结构老化损伤等因素的影响,从而导致结构抗力有所衰减,隧道结构健康状态如发生变化,势必会对下方输水隧洞造成不利影响,因此有必要在隧道内布设健康监测点,确保隧道在设计使用期限内安全、可靠、可控的正常运营。

隧道健康监测的内容及设备主要包括:

- a. 变形监测;
- b. 内力应力监测;
- c. 隧道内温、湿度场监测;
- d. 地表沉降监测。

4.3 市政隧道防排水设计

对于上跨长岭皮隧洞区域的市政隧道,在隧道二次衬砌外侧敷设全包防水卷材,二次衬砌按承受一定水压力进行设计,混凝土抗渗等级 P12。隧道运

营期间,自防水混凝土+全封闭防水卷材的双重措施可保证地下水无法进入隧道结构,从而引起输水隧洞周边地层变形,同时隧道内污水也无法渗透到隧道结构之外,不影响输水隧洞水质安全。

5 结 论

(1)根据三维数值模拟结果,当输水隧洞周边围岩条件较好时,新建隧道上跨穿越施工时如采用合理的支护参数及开挖方式,将不会对输水隧道造成较大影响;新建隧道采用全包防水复合式衬砌后,将减少隧道运营期因地下水排放引起的输水隧洞周边地层变形。

(2)对位于新建隧道洞身范围内的坚硬岩体,比选多种施工工艺后择优采用“水磨钻取芯+静态破碎”施工工艺,可避免围岩爆破振动对输水隧洞结构的损伤。

(3)除加强隧道施工期的监控量测外,有必要在隧道内布设健康监测点,为隧道及输水隧洞在后续运营期的健康状态评估提供依据。

参考文献:

[1] 翟明杰,杨进新,王雷.基于有限元法的地铁隧道下穿既有输水隧洞安全影响研究[J].北京水务,2017(6):30-35.

[2] 孙剑.新建高铁隧道穿越输水工程隧洞技术方案[J].黑龙江水利科技,2021,49(6):97-99.

[3] 刘光华,魏红.电力隧道近距离底穿输水方涵应力变形分析[J].2020,42(4):108-111.

[4] 刘拓.公路隧道爆破对邻近引水隧洞振动响应的分析与实测研究[J].隧道建设,2014,34(12):1126-1130.

[5] 刘明高,吴金刚,毕强.城市山岭隧道穿越别墅区开挖方式的选择与实践[J].市政技术,2019,36(3):35-140.

[6] 崔会超,饶军应,赵霞,等.“水磨钻”非爆破开挖施工工艺在小断面地铁隧道施工中的应用[J].城市建设理论研究,2018(4):143-144.

[7] 刘曙亮,王猛,陈郁平.城市复杂环境下硬岩隧道非爆破施工关键技术研究[J].市政技术,2021,39(9):87-92.



(上接第 150 页)
(东钱湖段)快速路一期工程IV标段庆路(东钱湖段)快速路工程中的鄞县大道跨线桥平移顶升改造工程,针对性地研究桥梁平移新型摩擦界面,具有以下特点。

(1)避免了目前技术中复杂施工,施工便捷,工序简单,并且材料用量较少,钢板可回收利用,滑道找平层使用高强度自流平灌浆料,小时强度高,不会出现浇筑不密实的情况。保证了平移安全。

(2)使用灰饼冲筋与高精度水准仪测量,保证平移滑道处于同一标高,能够较好地控制平移滑道标高,不会因为滑道标高突变引起的局部应力过大带

来的对桥梁的各种不利影响;

(3)使用该新型摩擦界面进行桥梁平移施工,使摩擦系数降为 0.005 左右,大大降低了桥梁平移时的水平顶推力,消除了横向顶推力过大对桥梁附加应力的不利影响,不会因为摩擦界面摩擦系数相差过大,出现不稳定现象。确保桥梁平移时结构安全。

参考文献:

[1] 尹天军.细解横潦泾,中国最大跨径、最长的顶升桥梁[J].中国公路,2011(13):90-93.

[2] 尹天军,蒋岩峰,危文亮.一种桥梁平移轨道找平装置:中国,CN202121127464.0[P].2022-01-28.