

城市复杂地质与环境条件下小净距隧道设计

何小龙¹, 何 成², 乔春江¹, 魏伯忠³

(1. 中交第二公路勘察设计院有限公司, 湖北 武汉 430056;

2. 华中农业大学园艺林学学院, 湖北 武汉 430070;

3. 西南交大土木工程设计有限公司, 福建 厦门 361012)

摘 要:以厦门环岛干道会展中心隧道工程为背景,探讨了在城市复杂地质与环境条件下小净距隧道下穿排洪箱涵时隧道平面、纵断面线型设计;隧道结构支护参数设计;隧道下穿排洪箱涵施工方法及隧道监控量测设计.分析结果可为类似地层的小净距隧道的设计与施工提供参考和经验.

关键词:城市隧道;小净距;排洪箱涵;设计

中图分类号:U452.2

文献标识码:A

doi:10.3969/j.issn.1674-2869.2011.05.012

0 引 言

日本科研工作者从 70 年代开始在小净距隧道的数值模拟、模型试验、结构相互影响评价、爆破振动控制等方面做了一些研究^[1].在我国,小净距隧道尚为新型隧道结构型式,并近年来在铁路隧道、公路隧道和城市地铁隧道中大量采用,但是类似厦门环岛干道会展中心隧道工程,即受多处大型地下结构与地面建筑严重影响、在地质条件极为复杂的海岸滩涂挖填地区修建长距离小净距隧道的工程实例,可供结构设计与施工直接参考的文献极少.本文以厦门环岛干道会展中心隧道工程为背景,探讨城市复杂地质与环境条件下小净距隧道设计相关问题.

1 工程概况

厦门环岛干道会展中心隧道工程为双向四车道城市Ⅱ级主干路,设计车速 50 km/h,隧道净宽 10 m,净高 5 m.路线起点位于原环岛干道里程桩号 K8+750 位置,终点接环湖里大道南段,工程位置(AK10+984.544),路线全长 2 234.544 m,其中隧道长 1 195 m(单洞长)、U 型槽引道长 560 m、接线长 479.544 m.本项目的建设对于完善厦门市本岛的路网结构、形成便捷通畅的路网系统,对厦门岛内东部及市中心的交通联系具有十分重要的作用;对促进本岛东部、南部开发战略的全面实施,具有十分重大的意义.

1.1 地形地貌、地质构造与岩土层分布

隧道场地沿线为近岸滩涂地貌,后经人工填土整平形成道路及绿化用地,场地地势开阔,地面较平坦.会展南二路东侧沿线均为高层建筑.会展北路以北沿隧道方向,为新填路基土.据钻孔测量资料,场地沿线孔口标高 5.21~12.79 m,南高北低,高差 7.58 m.

根据文献[2]资料,拟建场地北面 1 km 有虎仔山断裂带,该断裂带位于厦门岛东部虎仔山一带,发育于燕山晚期花岗岩中;场地西北面 1.5 km 发育黄厝~龙山断裂.近年来的研究表明,这些断裂带已趋稳定状态,拟建场地及周围地区没有发现断裂通过,属构造稳定地块.

经钻探揭露,拟建场地内岩土层自上而下依次分别为:素填土(Q_4^{pl})、淤泥(Q_4^m)、中砂(Q_4^{al+pl})、粉质粘土(Q_4^{al+pl})、粗砂(Q_4^{al+pl})、残积砂质粘性土(Q^{el})、全风化花岗岩(γ)、强风化花岗岩(γ)、中风化花岗岩(γ).

1.2 水文地质条件

拟建场地地下水类型主要为孔隙、裂隙潜水,主要赋存和运移于中砂、粗砂孔隙中,其次孔隙潜水赋存和运移于素填土孔隙中;基岩裂隙水主要赋存于风化岩体的裂隙中,场地地下水主要靠大气降雨渗入补给及邻区地下水的侧向补给.

拟建场地各岩、土层渗透系数 k 的试验值提供如下:素填土 $k=1.65\times 10^{-3}$ cm/s,淤泥 $k=9.33\times 10^{-7}$ cm/s,粉质粘土 $k=2.3\times 10^{-5}$ cm/s,

中砂 $k=1.5\times10^{-2}$ cm/s、粗砂 $k=4.5\times10^{-2}$ cm/s、
残积砂质粘性土 $k=5.6\times10^{-5}$ cm/s,基岩风化带
 $k=7.5\times10^{-4}$ cm/s.

沿线地下水稳定水位埋深为 1.12~6.10 m
(标高 3.11~4.13 m,高程为 85 国家高程基准),
场地地下水位随季节性变化不大,其年变幅约
1.00 m 左右.地下水对砼结构具弱腐蚀性;对砼结
构中的钢筋:长期浸水部分无腐蚀性,干湿交替带
具弱腐蚀性;对钢结构具弱腐蚀性.

1.3 隧道设计概况

隧道左右线南、北端洞口都采用分离式拱形
明洞结构,以左线隧道为例,AK8+930~AK9+
225 为北侧隧道引道,AK9+225~AK9+425 为
拱形明洞,AK9+225~AK10+200 为小净距隧
道,AK10+200~AK10+260 为连拱隧道,AK10
+260~AK10+420 为拱形明洞,AK10+420~

AK10+685 为南侧隧道引道.

隧道洞身主要穿越性质差异极大的各类杂填
土、粘土、砂层、砂砾层、全风化或强风化花岗岩,
围岩级别属于 V 级及以下的特殊围岩,有很多区
段隧道洞身处于软硬交错的土岩交互地层,地下
水位线仅处于地表下 1.12~6.10 m,与海水有连
通性,且主体隧道为浅埋条件下的暗挖双洞小净
距隧道和连拱隧道.

隧道结构设计按浅埋暗挖法设计,采用复合
式衬砌^[3].初期支护由喷射混凝土、钢拱架及钢筋
网组成,并辅以锚杆、小导管和管棚等辅助加固措
施,充分调动和发挥围岩的自承能力,在监控量测
信息的指导下施作二次衬砌.小净距隧道 V 级围
岩标准断面如图 1 所示,为曲边墙拱形断面,隧道
开挖轮廓宽 12.02 m,高 9.86 m,初期支护厚 28
cm,二次衬砌 45 cm.

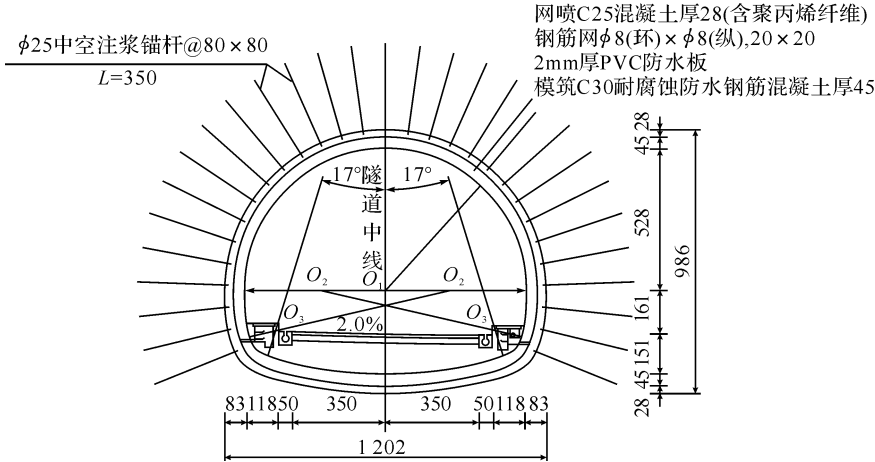


图 1 V 级围岩隧道标准断面(单位:cm)

Fig. 1 Standard cross-section of tunnel in V class wallrock

小净距隧道修建的成败关键是如何保证中夹
岩层的稳定,有效的减少爆破对中夹岩的扰动,并
采取一定的加固措施是可以保证其稳定和支护结
构的安全的^[4].

- 本隧道工程设计与施工的难点在于:
- a. 下穿排洪箱涵时小净距隧道设计与施工;
 - b. 临近新景海韵园高层建筑物时连拱隧道设计与施工;
 - c. 穿越富水粘性土、砂层、强风化花岗岩等地层时浅埋小净距隧道设计与施工;
 - d. 穿越富水粘性土、砂层、强风化花岗岩等地层时浅埋连拱隧道设计与施工.

同时,在小净距隧道的施工过程中还应坚持
采用动态的设计方案;采用符合实际围岩级别的
施工方式;做到及时支护,采用合理的支护方法;
要做到勤量测,及时反馈现场情况以便有针对性

地做出合理、及时的调整^[5].

2 隧道总体设计研究

2.1 设计指导思想

本工程是一项综合性的大工程,满足交通功
能要求、确保工程质量和安全,以人为本、以科技
为依托、以可持续发展为基础、以建设节约型工程
为原则是总体设计的指导思想.

- a. 工程总体布置要符合城市总体规划,减少
拆迁,布局紧凑,满足交通功能要求,方便运营管
理和维修,并与周边环境协调一致;
- b. 必须符合国家有关国土管理、环境保护、水
土保持等法规要求,同时应注意节约用地,妥善处
理弃渣和污水;
- c. 根据隧道建设方案和地质条件,安全、合理
确定隧道埋深以及左、右线隧道间距,确保隧道施

工安全、保证隧道使用功能、节约投资;

d. 尽可能采用技术成熟、降低施工难度、加快施工进度设计,合理组织施工及施工期间的交通组织;

e. 采用的新技术、新工艺和新材料,既要经济合理,安全可靠,又要适合本工程的建设特点.

2.2 平面设计

隧道平面设计的控制因素有:

a. 隧道线位两侧主要控制建筑物有位于会展南路南侧的 12~16 层高新景海韵园、34 层高的明发海景苑及会展路西侧 5~12 层的明发国际新城,其中新景海韵园与明发国际新城两建筑间垂直距离为 58 m,隧道左洞与新景海韵园最小距离为 9.3 m;

b. 隧道右洞尽量避开会展西路下既有 2—5.0 m×2.0 m 钢筋混凝土排洪箱涵,同时与排洪箱涵斜交重叠的长度尽可能减小到最小;

c. 会展南二路污水处理厂附近私人用地征地困难.

本隧道线位考虑以上 3 个控制因素,最终选定隧道左、右洞均在会展北路北侧进口,线位在会展北路与会展南路间向会展中心广场草地侧偏移,以避免莲前路至会展南路间会展西路下的排洪箱涵,在会展南路南侧出口,平面线形为大半径“S”型曲线方案.

2.3 纵断面设计

纵断面设计的控制因素有:

a. 按设计标准考虑纵断面坡长及坡度;

b. 考虑规划道路交叉点的竖向高程;

c. 考虑会展西路的现状高程及路下排洪箱涵的涵底高程;

d. 考虑会展南五路下排洪箱涵的涵顶高程及污水处理厂尾水排放管高程;

e. 考虑隧道的净高、埋深及与排洪箱涵涵底的安全距离;

f. 考虑隧道引道开始下穿的位置及引道长度、洞口位置;

g. 考虑与起终点已设计道路纵坡的衔接.

综合考虑以上 7 个控制因素及相关设计规范^[6],隧道左线的纵断面设计为:隧道北侧洞口段采用 -3.75% 的纵坡,于 AK9+405 处改以 -0.3% 的纵坡,于 AK10+175 改以 +4.5% 的纵坡直至隧道出口;隧道右线的纵断面设计为:隧道北侧洞口段采用 -3.75% 的纵坡,于 BK9+405 处改以 -0.307% 的纵坡,于 BK10+175 改以 +4.5% 的纵坡直至隧道出口.

3 下穿排洪箱涵的小净距隧道设计与施工

隧道在 AK9+225~AK9+425 为分离式拱形明洞,左右线中线的距离从 12.63 m 变为 20.2 m,隧道在 AK9+425~AK10+200 为小净距隧道.

隧道在 AK9+450 会展北路下方近似正交下穿 1—4.0 m×1.5 m 钢筋混凝土排洪箱涵,如图 2 所示,隧道开挖轮廓距排洪箱涵底部仅为 0.76 m,如图 3 所示.

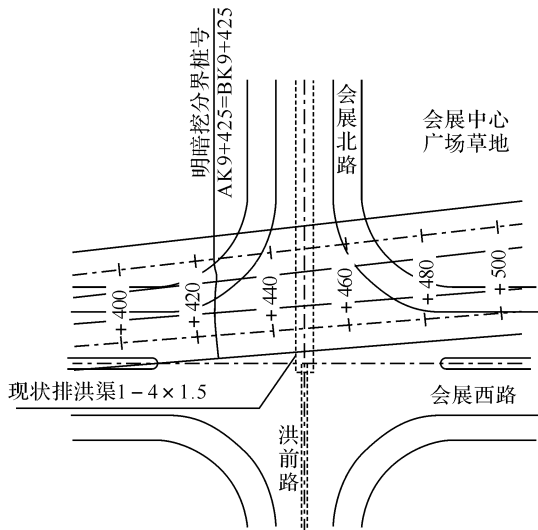


图 2 隧道与排洪箱涵的平面关系(单位:cm)

Fig. 2 Plane relation between tunnel and drainage box culvert

隧道下穿排洪箱涵的施工方法从初步设计的交叉中隔墙法也称 CRD 工法优化为中洞法^[7],由于排洪箱涵(与海水具有连通性)的重要性,选用中洞法比 CRD 工法更能有效地控制地层位移,但是中洞法比 CRD 工法造价更高.隧道初期支护采用含聚丙烯纤维的网喷 C25 混凝土(双层钢筋网),厚 30 cm,全环钢拱架采用 20b 工字钢,间距 0.75 m.二次衬砌为模筑防水耐腐蚀钢筋混凝土,厚度为 50 cm.中洞法的施工分块见图 3,施工工序如下:先开挖中导坑上半断面①,施作拱部初期支护、侧壁及仰拱临时支护;再开挖中洞下台阶②,施作仰拱初支及侧壁临时支护;其次开挖左右侧上导坑③,施作初期支护及临时仰拱;最后开挖左右侧下导坑④,施作边墙及仰拱的初期支护.

为确保隧道施工安全,并保证隧道进洞和下穿排洪箱涵的施工安全,设计采用长管棚对洞口地段和下穿排洪箱涵段(AK9+425~AK9+465)进行洞外长管棚超前预加固,设计 $\varnothing 108$ 钢管棚间距为 40 cm,共 43 根.为了发挥加固圈的力学效应,保证注浆加固岩土质量,在管棚内增加钢筋笼

工中必须拥有足够的防排水措施,隧道穿越排洪箱涵时采用掌子面全断面注浆和洞内排水相结合

的工程措施,并根据明挖段地下水出露状况和进洞施工超前探测成果进行调整。

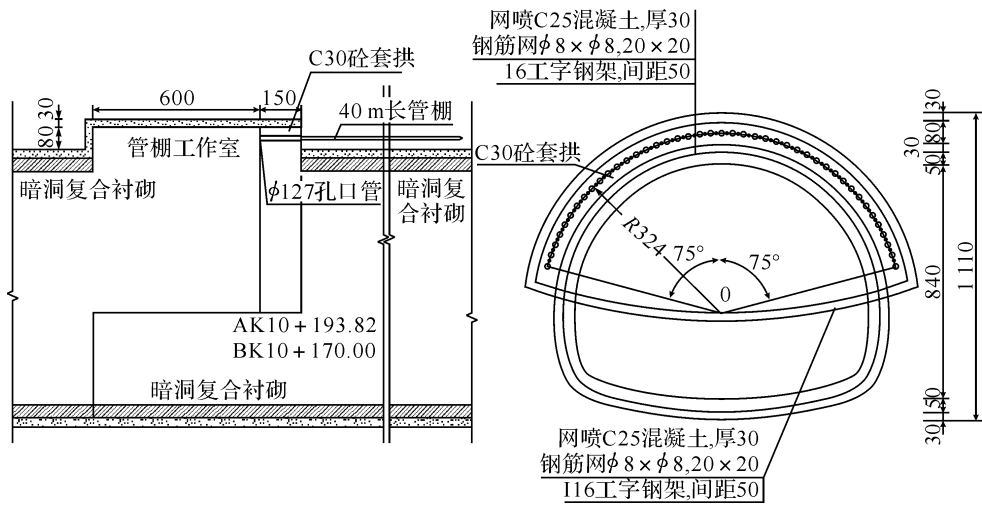


图 6 洞内管棚注浆加固方案(单位:cm)

Fig. 6 Grouting reinforcement scheme using shed-pipe inside the tunnel

为了控制由隧道施工引起排洪箱涵的不均匀沉降量,设计对排洪渠箱涵进行了重点监控量测并设计了一套备用的地表注浆加固方案. 备用加固方案是在以上围岩预加固方案和开挖方案仍不能保证隧道施工安全和排洪箱涵的正常使用时根据前期施工经验总结并经专家论证后采用。

4 结 语

根据浅埋暗挖法的施工原理并经计算分析论证制定如下工程措施:

- a. 长管棚超前注浆支护,并在长管棚间采用作小导管超前注浆支护,以保证加固圈发挥效应;
- b. 为最大限度控制地层沉降,根据类似工程经验,采用“中洞法”工法开挖施工,使大断面隧道施工分割为较小断面的施工;
- c. 开挖后立即初喷混凝土、架设钢支撑封闭成环并用纵向钢筋将钢支撑连成整体;
- d. 初期支护背后回填注浆,以减少沉降变形;
- e. 加强二次衬砌背后回填注浆工作,以减少沉降变形;

f. 加强监控量测工作,把施工过程中的动态变化始终纳入可控的管理体系之中,以便随时采取补救措施,建立健全监控量测预警制度,确保既有排洪箱涵不均匀沉降总值控制在 19 mm 以内。

参考文献:

[1] 赴日本隧道研修组. 赴日本隧道研修技术报告[J]; 铁道工程学报;1985(3):264-290.

[2] 李宏广. 厦门环岛干道(会展中心段)隧道工程勘察报告[R]. 桂林:桂林水文工程地质勘察院,2007.

[3] 王梦恕. 地下工程浅埋暗挖技术通论[M]. 合肥:安徽教育出版社,2005.

[4] 秦卫,王飞. 小净距隧道设计研究与应用[J]. 土工基础,2006(4):40-43.

[5] 唐雨春,徐林生,金美海. 小净距隧道建设的若干问题综述[J]. 隧道建设,2007(1):22-25.

[6] 公路隧道设计规范(JTG D70-2004)[M]. 北京:人民交通出版社,2004.

[7] 关宝树. 隧道工程设计要点[M]. 北京:人民交通出版社,2003.

(下转第 49 页)