

doi:10.3969/j.issn.1672-6073.2011.06.020

杭州地铁1号线过江隧道 特殊地质施工方法

陈周斌

(杭州市发展和改革委员会 杭州 310026)

摘要 介绍杭州地铁1号线穿越钱塘江隧道采用的土压平衡盾构法。由于地质情况复杂,盾构施工要同时克服卵石层、高承压水、有害气体(主要为甲烷)三大难题。论述在这些特殊地质条件下采取的掘进施工工艺,有效地克服了以上难题,保证工程安全顺利进行。

关键词 城市轨道交通 杭州地铁1号线 盾构过江隧道 卵石层 承压水 有害气体 特殊地质

中图分类号 U231.3 **文献标志码** A

文章编号 1672-6073(2011)06-0086-03



图1 滨江站—富春路站区间

1 工程概况

杭州地铁1号线于滨江站—富春路站区间穿越钱塘江,该段为全地下区间,里程范围为K5+880.274~K8+835.859,区间左线总长2.946 km,区间右线总长2.956 km,里程K6+913.3~K8+255.0之间穿越钱塘江,穿越长度1 340 m。在里程K6+750和K8+351.9处设风井2座,在K7+350和K7+850.4设2座联络通道,其中K7+350处联络通道兼排水泵站。

施工采用两台盾构机,盾构机从滨江站始发,沿江陵路向西北方向前行,过滨盛路到江南风井进洞,经更换刀具和机械检查后,于江南风井出洞继续向西北推进,过闻涛路,穿越南岸江堤和钱塘江,过江后穿越北岸江堤和之江路,再推至江北风井进洞,随后盾构机在江北风井出洞后,继续沿婺江路推至富春路站进洞,整条隧道完成(见图1)。

2 隧道过江段特殊工程地质

2.1 卵石地层分布

工程地质剖面图如图2所示,过江隧道掘进区域的地质复杂,主要穿越的地层包括:砂夹砂质粉土、砂质粉土、淤泥质粉质黏土、淤泥质粉质黏土、粉质黏土、含砂粉质黏土、细砂、圆砾。其中,圆砾层侵入隧道长度为183.5 m,侵入隧道最大深度1.28 m,圆砾层砾石最大长度约9 cm,宽度约4 cm,厚度为3~4 cm。

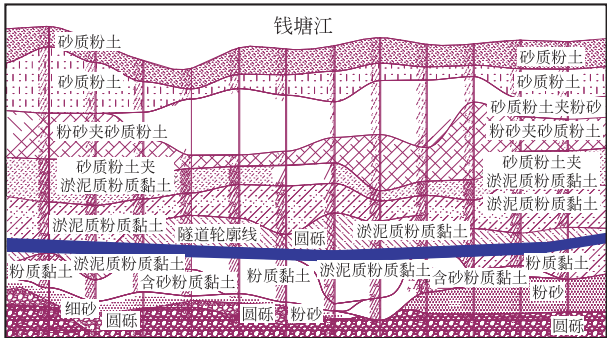


图2 工程地质剖面图

2.2 过江段承压水情况

承压水主要分布于深部的细砂、圆砾层中,水量丰

收稿日期:2011-03-10 修回日期:2011-04-11

作者简介:陈周斌,男,高级工程师,主要从事地铁、铁路工程的规划建设管理, czb@fzw. hz. gov. com

富,隔水层为上部的淤泥质层和黏土层,过江段最大承压水压力在 0.26 MPa 左右。

2.3 过江段有害气体分布情况

根据勘测结果,有害气体主要分布于过江隧道沿线江南岸至主航道(江中心)段,主航道至江北岸有害气体含量较少。地下有害气体以囊状形式存在,主要存在于细沙和圆砾层上部,淤泥质黏土层为气源层,细砂层为储气层,含气层沿隧道结构线长度约 540 m。钱塘江靠近南岸位置处气压最大,最大气压约 0.22 ~ 0.39 MPa,并沿结构线向北岸逐渐减少,有害气体最大流量为 48.85 m³/h,主要成分为甲烷(CH₄),其体积占 91.6% ~ 94.6%;其次为氮气(N₂),占 1.9% ~ 5.7%;二氧化碳(CO₂)占 2.58% ~ 3.44%,还有微量的一氧化碳(CO)。

3 过江隧道施工的主要风险分析

过江段的地质情况复杂,加大了施工难度。施工过程中需要重点克服 3 个问题:一是圆砾层及砂性土层,会对盾构刀具产生严重磨损,磨损后需进行江中气压换刀,而对土压平衡盾构机来说,江中盾构气压换刀风险非常大;二是承压水问题,会导致螺旋机喷涌和盾尾渗漏,增加施工风险;三是有害气体,处理不好,会产生涌水、涌砂及爆炸事故。以上 3 个问题是杭州地铁 1 号线过江隧道施工中面临的三大难题,处理不好,不但会影响进度,还会发生严重事故,而杭州地铁 1 号线过钱塘江隧道为钱塘江上施工的第一座隧道,无类似施工经验可供参考。

4 针对特殊地质条件的施工措施

4.1 针对卵石层的施工措施

盾构机的选型,考虑到周边环境影响等因素,本工程采用加泥式土压平衡盾构机。增大盾构机刀盘开口率,开口率由原来的30%扩大到40%,配置2套刀具磨损检测装置。所采用刀具的切削直径为6 340 mm,刀具数量由原来的144把调整为191把,其中切削刀70把,弧面切削刀12把,中心刀1把,贝壳刀52把,撕裂刀21把,周边刀35把,并对撕裂刀的形状和耐磨度做了改良,使刀具更加适应地层。刀盘上刀具布置如图3所示。

针对圆砾层可能存在直径较大的卵石,本工程采用直径达 800 mm 的叶片螺旋机,可提高出土效率和实现大颗粒出土。在螺旋机的壳体上设置 2 个加泥加水口,并在土仓和刀盘正面各设置 4 个加泥加水口,用来



图3 刀具布置

改善土体流动性,改良刀盘正面和土仓内的渣土,必要时可通过加泥加水口进行纳基膨润土或高分子聚合物等的加注,充填压实螺旋机,并起到保护刀盘、刀具的作用。根据盾构机需穿越砂、卵石层的要求,在进行实物试验的基础上,确定本工程的浆液配比如表1所示。

表1 土体改良配合比 kg

膨润土	碱	添加剂 1	添加剂 2	水
200 ~ 500	1.5	1.0	10	500 ~ 800

注:膨润土钠基,膨胀率 13~16 倍。

4.2 针对高承压水的施工措施

考虑到盾构线路上出现的高承压水地质状况,盾构机盾尾密封采用3道盾尾密封,呈钝角形,采用焊接式钢丝密封刷2道和钢板刷1道,钢板刷设置是提高刚性,使密封刷不易折断,更好地保证密封性能。在油脂充足的前提下,盾尾密封结构能抵抗0.6 MPa以上的水压,为进一步提高可靠性,对盾尾油脂品质进行严格控制,采用优质进口材料。

掘进线路上高承压水地质的存在增大了施工过程中发生喷涌的风险,为安全起见,在盾构螺旋机上部预留应急孔,法兰与螺旋机间增设球阀。若持续出现喷涌现象,无法按正常程序恢复施工时,通过关闭球阀使法兰盘上接保压泵,进行恢复施工。在盾构机的切口环和支承环后设置 2 道应急注浆孔,在发生施工风险(如盾尾渗漏严重、气压换刀时从盾构外向后漏气、盾构机姿态不好时),需盾构前端紧急注浆时均可进行应急注浆。

4.3 针对有害气体的施工措施

本工程穿越钱塘江段,盾构穿越断面存在有毒有害气体,在螺旋机出口、盾尾上部及第1节车架前端设置有有毒有害气体自动监测报警装置,并在隧道施工面、

成形隧道内及第二和第三车架间再各配置1台手持有害气体监测仪器,加强有害气体监测。为确保盾构安全掘进,根据本工程特点,隧道通风方式采用混合式通风,作为预防有害气体浓度超标的主要措施之一。压入式风机采用SDF(A)型2×30 kW通风机,2座隧道各用1台,另备1台作为应急风机。吸入式风机选用FBCZNO13型防爆抽出式轴流通风机。

盾构施工前对穿越区域内的有害气体进行泄压释放,将有害气体压力尽量降到最小,并达到0.05 MPa以下。有害气体释放采用水上施工船,垂直打孔到储气层进行释放。放气孔布置在盾构隧道结构线两侧,每侧由内向外布置3排放气孔,最近一排距结构线8 m,各孔间距20 m,放气孔总体呈梅花形布置。排放2 d后,若单孔孔位流量仍超过25 m³/h,则在该孔周边进行加密布孔。有害气体释放在穿越隧道施工前3个月完成,并在穿越前1个月进行探孔复查,如发现气量积聚或压力回升,则需继续释放。

隧道推进施工时,根据测爆仪测试的甲烷浓度,制定如下的控制值:0~0.25%为正常作业范围;0.25%~0.5%开始警戒,并加强监测;0.5%~1%中止作业,加强通风,进行监察;1%~1.5%疏散作业人员,切断电源。当甲烷浓度恢复到小于0.25%以下时,人员方可重新进入施工现场恢复施工。

5 实施的情况和效果

在盾构机穿越卵石层过程中,由于对盾构机刀盘和刀具进行了改良,盾构刀盘正面切削力明显上升,扭矩增大。施工时出土口出现少量喷涌现象,采取缩小出土口、调节至最小开口档位的措施,对刀盘正面充填膨润土进行土体改良,监视出土口的出土情况,最终喷涌现象得到了有效控制。

盾构机在穿越承压水层期间出现过2次管片拼装期间有少量漏浆现象,后加大盾尾油脂压注量后,得到了有效缓解,在后续的施工过程中未再发生喷涌、漏浆或管片上浮等情况。

有害气体释放工作从2009年3月6日开始进行,至2009年12月25日结束,累计完成沼气释放孔277个。经打孔施工发现,部分区域的沼气含量较为丰富,压力最大达到0.15 MPa,平均压力为0.07 MPa,主要集中在钱塘江南岸至江中心段,江中心段至北岸区间沼气含量较少。在盾构推进的整个过程中,发生过一次沼气报警的情况,报警值为0.4%。报警发生后,现场施工人员立即停止推进,关闭电源,安全员携带沼气检

测仪至报警位置进行沼气检测并确定危机情况,直至报警解除,所有相关人员重返岗位,全过程持续时间为50 min。有害气体段穿越的整个过程中,未发生任何异常现象,所有可能发生有害气体泄露的地方全程受控而且未发生大范围异常泄露现象。

6 结语

在本工程修建过程中,遇到了许多特殊的地质现象,由于在施工过程中采取了以上针对性措施,并在施工过程中严格监控,因此很好地解决了盾构机穿越钱塘江遇到的卵石层、高承压水、有害气体问题,使整个施工过程进展顺利,目前该工程已全部竣工。本工程为今后类似工程的施工提供参考。

参考文献

[1] 施仲衡. 地下铁道设计与施工[M]. 西安:陕西科学技术出版社,1997.
[2] 夏明耀,曾进伦. 地下工程设计施工手册[M]. 北京:中国建筑工业出版社,1999.
[3] 陈庆怀,黄学军. 北京直径线盾构施工的关键技术[J]. 隧道建设,2008,28(6):697-703,730.
[4] 新世鹤. 广州地铁特殊地质土压平衡盾构施工方法[J]. 北京,都市轨道交通,2009,22(3):55-57.
[5] 叶书麟,韩杰,叶观宝. 地基处理与托换技术[M]. 北京:中国建筑工业出版社,1994:565-603.
[6] 杭州地铁1号线Ⅱ标滨江站~富春路站区间岩土工程详细勘察报告[R]. 杭州,2007.

(编辑:郝京红)

Construction of River-crossing Tunnel on Hangzhou Subway Line 1 under Special Geological Conditions

Chen Zhoubin

(Hangzhou Development and Reform Commission, Hangzhou 310026)

Abstract: Qiantang river-crossing tunnel on Hangzhou subway Line 1 adopted earth pressure balanced shield technology. Due to the complicated geological conditions, tunneling construction must overcome the problems of existing cobble layer, high confined water and harmful gases on the excavation route. Excavation techniques adopted under the special geological conditions overcame the above-mentioned problems effectively, and guaranteed the safe and smooth construction of the tunnel.

Key words: urban rail transit; Hangzhou subway Line 1; river-crossing shield tunnel; cobble layer; confined water; harmful gas; special geological condition.