

盾构下穿河流富水砂卵石层综合施工技术

林 富 志， 孙 敏

(中国水利水电第七工程局有限公司,四川 成都 610081)

摘 要:盾构下穿河流具有很高的风险性。成都地铁 4 号线二期工程西延线为富水砂卵石地层,因卵石级配不连续且大粒径卵石含量较高而被评定为特级危险源。为保证地表安全、将沉降控制在可控制范围之内,同时又要防止喷涌等情况的发生,下穿前合理设置和调整盾构机掘进参数,在盾构下穿河流前、中、后采取相应的措施,以保证盾构机能够安全顺序的下穿就显得极为重要。
关键词:富水砂卵石层;下穿河流;加固措施;盾构控制措施;地铁
中图分类号:TV52;TV544 **文献标识码:** B **文章编号:**1001-2184(2015)06-0013-04

成都地铁 4 号线二期工程采用复合式土压平衡盾构机施工,地层差异对盾构机的掘进具有很大影响,尤其是在富水砂卵石地层中且上部为河流中掘进所制定的施工技术措施是否能够适应掘进地层至关重要。如何保证盾构机的施工安全?如何将其对周边环境的影响降到最低是笔者在文中讨论的重点。介绍了以下穿江安河为案例针对该地层制定的专项施工技术措施,可为其他类似地层下穿河流提供参考。

1 工程概述

(1)成都地铁 4 号线二期工程。

成都地铁 4 号线二期工程西延线为连接市区至西部温江区的线路,全长 10.804 km,全线共设车站 8 座,(其中换乘站 2 座),线路设计起点至大学城站设一段折返线,尾端西部新城站至终点设一区间线路连接 4 号线一期工程,本线路共设站 8 区间,由西向东依次为大学城站、杨柳河站、凤溪站(与规划 17 号支线换乘)、南熏大道站、光华公园站、西部新城西站(与规划 22 号线换乘)、凤凰大街站、西部新城站。盾构机在凤凰大街站~西部新城站区间下穿江安河。

(2)江安河情况。

江安河又名江安堰,河面宽度约 40 m,河床为原状砂卵石。过水能力为 154 m³/s,分出支渠 26 条,斗渠 196 条,控灌农田 31.27 万亩(1 hm² = 15 亩)。

江安河河水在都江堰宝瓶口从岷江分流,在

宝瓶口可对江安河水进行调蓄和分流。枯水季节水深约 0.3 ~ 1 m,水流平缓,丰水期水深约为 1 ~ 1.5 m,水流较大。

(3)江安桥情况。

距左线隧道开挖轮廓线约 10 m 位置为光华大道江安桥,江安桥为双向八车道城市干线,是连接成都与温江的城市主干道。桥的下部基础为“钢筋混凝土扩大浅基础+底系梁+墩柱”。

2 工程地质情况

本标段隧道所穿越的岩层主要为密实卵石土(2-9-3)、(3-8-3)层(图 1),漂石含量为 5% ~ 20%,漂石一般粒径为 20 ~ 40 cm。砂卵石地层围岩体整体强度较低,但单个岩块块体强度非常高,根据车站施工以及前期盾构出渣取样分析,该区域内有可能存在直径超过 300 mm 的漂石。

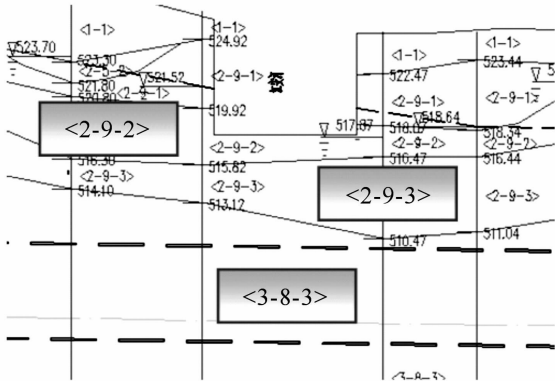


图 1 工程地质剖面图

(1)(2-9-3)密实卵石土(Q₄^{al}):青灰、灰白、灰褐色,密实,饱和,漂卵石含量为 75% ~

90%,多为中砂充填,卵石粒径一般为 20 ~ 180 mm。根据 1-5#、2#坑探揭示该段含 10% ~ 25% 的漂石,局部地段富集,漂石粒径一般为 200 ~ 300 mm,石质以花岗岩、砂岩为主,磨圆度较好,分选性较差。根据本段卵石点荷载试验结果,卵石单轴抗压强度值为 112.7 ~ 163.7 MPa。石质为 V 类,坚硬程度分类为坚硬岩。本层钻孔揭示,层厚 3.8 ~ 9.8 m,埋深 9.1 ~ 12.2 m,修正后超重型动探击数 $N'_{120}=9.4 \sim 23$ 击。

(2)(3-8-3)密实卵石土(Q_3^{fgl+al}):青灰、灰黄色,饱和,密实,漂卵石约占 75% ~ 90%,卵石粒径一般为 20 ~ 180 mm。根据 1-5#、2#坑探资料,漂石含量约为 10% ~ 25%,局部地段富集,漂石粒径集中在 200 ~ 300 mm。石质成分主要以石英砂岩、花岗岩等为主,磨圆度较好,分选性差。根据本段卵石点荷载试验结果,卵石单轴抗压强度值为 83.7 ~ 205.2 MPa。石质坚硬程度分类为坚硬岩。

3 水文地质情况

本标段地层富水,枯水期埋深一般在 3 ~ 5 m 之间,丰水期埋深一般在 1 ~ 3 m 之间,本段地层富含大量卵石,具有较强的透水性,渗透系数为 28 m/d。

河流与地下水未发现有联通,但具有较强的补给性。

根据江安河水文站数据,近 6 年 5 月份最大流量为 63.8 m³/s(2009 年 5 月 28 日),近 3 年最大流量为 56.3 m³/s(2012 年 5 月 21 日);近 6 年 7 月份最大流量为 61.5 m³/s(2013 年 7 月 13 日),近 3 年最大流量为 56.3 m³/s(2013 年 5 月 21 日)。

4 河堤及河床加固采取的有效措施

(1)河堤加固措施。

河堤加固采用袖阀管注浆加固。在盾构隧道通过江安河前,对河堤两侧沿隧道方向前后 6 m 范围内、隧道外 3 m 范围内的河堤段地层采取地表注浆预加固处理,地表注浆预加固孔布置为间排距 3 m × 3 m。分两个加固区,每个加固区布置 30 个孔,上游侧孔深为 22.386 m,下游侧孔深为 22.75 m,布置方式见图 2。

(2)河床加固措施。

河床加固范围为在上游侧距离左线隧道边线

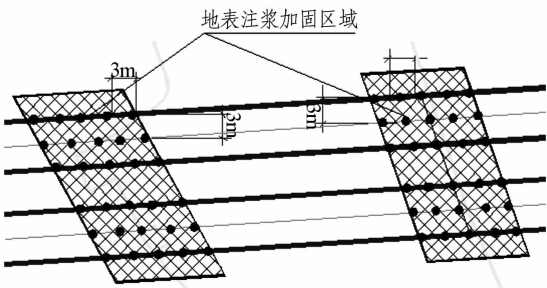


图 2 袖阀管注浆加固区域图

6 m,下游侧距离右线隧道边线 2 m,沿河流方向 25 m 范围内采用钢筋网片铺设,铺设钢筋网片前浇筑 C15 混凝土垫层厚 5 cm,然后浇筑 C20 混凝土 20 cm 厚(图 3、4)。

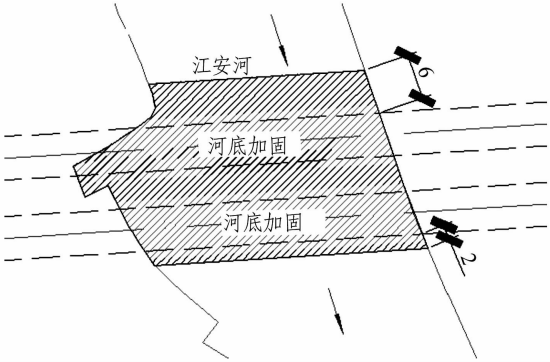


图 3 河床加固区域范围图

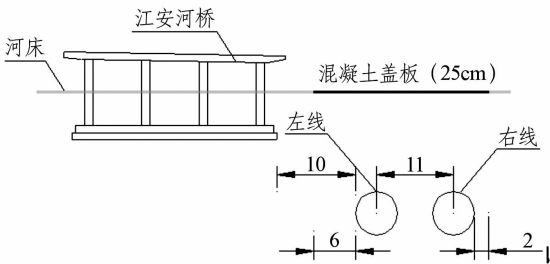


图 4 河床加固剖面图

①河道导流。

施工时值枯水期及河流下游的非灌溉期,河道主要承担沿河居民区废水排放功能。施工期间项目部与河道管理部门联系,上游关闸以减小河道水流量。在盾构穿越段河道的上下游采用砂袋围堰断流、φ1 500 无缝钢管导流。

②河床清理。

围堰断流后,采用小型挖掘机清除河床表层含淤泥的砂卵石,清除厚度不小于 50 cm,并对清除后的开挖面进行整平、压实。

③钢筋网的铺设。

钢筋网片采用 φ8 钢筋加工,网格尺寸为 20

cm×20 cm。钢筋网采用加工厂预制、现场铺设的方式,铺设前在河床面浇筑 5 cm 厚找平 C15 混凝土垫层。

将钢筋网搭接成一个网格,长度不小于 10 cm,搭接点采用点焊连接,铺设须平顺。

④混凝土浇筑。

河床部位清理后,先铺 5 cm 厚 C15 垫层混凝土,钢筋网片铺设完成后进行混凝土浇筑,混凝土采用商用 C20 混凝土,浇筑厚度为 20 cm。

混凝土必须一次浇筑成形,不留施工缝、杜绝混凝土冷缝,保证混凝土板的整体性。

5 防止喷涌、涌砂的控制措施

5.1 渣土改良措施

渣土改良是指通过向刀盘前方加膨润土、泡沫剂、聚合物和外加剂与刀盘切削下来的渣土拌和,增大渣土的流动性、和易性,方便出渣,同时在掌子面形成泥膜以保护掌子面的稳定性,对刀具也可起到一定的保护作用。

隧道下穿越地层主要为砂卵石(2-9-3)、(3-8-3)地层,注入泡沫+膨润土可有效改善土体流塑性及透水性,泡沫膨化土体、润滑刀具,可有效防止刀盘结泥饼;同时,可以防止渣土过于粘稠而导致的刀盘扭矩增大、螺旋机堵塞等现象出现。

(1)采用加聚合物的 BASF 泡沫剂。

采用 BASF 公司加聚合物的高效发泡剂进行渣土改良,以润滑刀盘刀具,减小刀盘扭矩、降低渣土的渗透率,增加渣土的流动性和塑性。

1 t 泡沫剂中加入聚合物 100 L,每环(1.5 m)泡沫剂注入量不少于 80 L,泡沫剂的发泡率为 10~12 倍,以形成浓稠泡沫为准,根据渣土的性状即时调整泡沫参数,以期达到最佳的渣土改良效果。

穿越过程中,在保持土压稳定的前提下,减少发泡倍率,降低泡沫气体流量,防止河床被击穿。

(2)膨润土+聚合物。

如果地下水量较大,单靠泡沫是无法避免喷涌发生的。若要防止喷涌,一方面需降低进入土仓的地下水量,另一方面要避免地下水进入土仓。经过大量的试验确定采用的具体措施如下。

①采用盾构机渣土改良管路,向土仓上部人闸门附近注入膨润土+聚合物改良材料,随着刀盘转动,改良材料与渣土充分搅拌,在土仓内形成

低渗率的渣土,使地下水无法进入土仓内进而防止喷涌的发生。

②向土仓中注入膨润土+聚合物改良材料,一方面使土仓中的卵石不至于沉积,另一方面使已经进入土仓的水与改良材料混合,增加渣土的粘稠度、降低水的流动性,进而防止喷涌。

③膨润土+聚合物改良材料的配合比参量通过试验及现场试用后最终确定。根据前期使用效果分析,初步确定膨润土:水:聚合物=1 000:5 000:50(kg)。

5.2 加强同步注浆

盾构开挖直径为 6 280 mm,管片外径为 6 000 mm,管片与开挖轮廓之间的间隙为 140 mm,因此,必须通过同步注浆材料进行填充并确保密实,防止地层滞后沉降。在这种砂卵石地层条件下,地层渗透性很大,为了保证成形隧道及河道安全,必须确保管片外侧间隙充填密实,并通过试验确定同步注浆液的配比。同步注浆液配比见表 1,凝结时间为 6 h。

表 1 同步注浆配合比表 /m³		
序号	材料	质量
1	水	490
2	水泥	240
3	粉煤灰	310
4	膨润土	290
5	砂	760

6 对盾构机采取的控制措施

6.1 盾构掘进参数控制

根据 9#、10#盾构在砂卵石地层目前已经完成的掘进完成情况,结合本标段的地质情况及隧道埋深设定的盾构下穿江安河的掘进参数见表 2。

表 2 掘进参数表		
序号	参数名称	下穿江安河(砂卵石)
1	总推力	1 200~1 400 t
2	掘进速度	30~50 mm/min
3	刀盘转速	1~1.3 r/minBH
4	刀盘扭矩	3 500~5 000 kN·m 以内
5	土压力	0.6~0.9 bar
6	泡沫剂	80 L,根据渣土改良情况及刀盘扭矩情况及实际情况做相应调整
7	同步注浆	1.5 m 幅宽不低于 7 m³,注浆压力不超过 0.35 MPa
8	出渣量	55~56 m³,砂卵石地层渣土松散系数按照 1.2 计算;在控制出渣方量的同时,用 45 t 门吊电子秤对每环渣土进行称重,由重量和方量对渣土进行有效控制

6.2 防止刀盘卡住的控制措施

- (1) 选用砂卵石地层掘进水平高的盾构机操作手,避免由于操作水平低造成刀盘卡住;
- (2) 做好渣土改良工作,防止喷涌、涌砂,造成刀盘卡死;
- (3) 制定领导值班制度,出现问题及时处理,避免河床下长时间停机;
- (4) 强化施工流程,避免不必要的停机;
- (5) 若刀盘卡住、使用脱困扭矩无法启动、刀盘不转动时,注入大量的膨润土、砂和聚合物的粘稠液体用以置换土仓内的渣土,降低刀盘扭矩,最终脱困。

6.3 超方控制措施

- (1) 超方 < 5 m³。
 - ① 加强同步注浆量。
 - ② 及时进行二次注浆。
- (2) 超方 > 5 m³。
 - ① 加大注浆量,河床内的盾构机应尽快通过塌方区。
 - ② 在河流枯水期进行打孔回填。

6.4 盾尾漏水控制措施

- (1) 使用优质盾尾油脂。
- (2) 盾尾密封处如发生较大泄漏,首先考虑多注盾尾油脂止水止砂。
- (3) 根据掘进情况,观察盾尾的漏浆情况判断是否更换盾尾刷。

(上接第 3 页)

- (7) 桩间土承载力特征值的确定:
 - ① 当 $Q \sim s$ 曲线上有明显的比例界限时,取该比例界限所对应的荷载值;
 - ② 当极限荷载小于比例界限荷载值的 2 倍时,取极限荷载值的 1/2;
 - ③ 不能按上述两点确定时,对低压缩性土和砂土,可取 $s/d = 0.01 \sim 0.015$ 时的对应值,对于中高压缩性土,可取 $s/d = 0.015 \sim 0.02$ 时所对应的荷载值。
- (8) 同一土层参加统计的试验点不应小于 3

由中水五局承建的国内单机容量最大的蓄能电站首台机转子吊装成功

10 月 22 日 15 时 30 分,由中水五局制安分局承建的国内单机容量最大的抽水蓄能电站——37.5 万千瓦的浙江仙居抽水蓄能电站首台机转子吊装成功,为实现 2016 年 1 月首台机组发电奠定了基础。仙居抽水蓄能电站位于浙江省仙居县境内,为日调节纯抽水蓄能电站,安装 4 台单机容量 37.5 万千瓦的发电机组,总装机容量 150 万千瓦,电站年平均发电量 25.125 亿千瓦时,年平均抽水电量 32.63 亿千瓦时。该电站机组目前为国内单机容量最大的抽水蓄能机组。由中水五局承建了该电站 4 台机组的机电安装和大型地下厂房工程。

7 后续保障措施

- (1) 根据监控量测结果,采用地面预留的跟踪注浆孔,及时通过地面进行跟踪注浆。
- (2) 采用管片上预留的二次注浆孔,待盾构通过后及时进行洞内二次补充注浆,以确保盾构通过后河床的稳定性及安全。
- (3) 左线盾构穿越江安河前,对已成型隧道左右线间的土体采取洞内加固措施,以确保左线掘进的安全。

8 结 语

盾构在富水砂卵石地层穿越河流具有很高的风险性,若发生冒顶或喷涌,将对盾构的掘进安全造成严重威胁。为保证盾构掘进安全,防止冒顶和喷涌的发生,掘进前对河堤和河床进行加固,对掘进参数进行设定,对盾构设备进行检查维修,掘进过程中对渣土改良实施改进,控制泡沫剂的发泡率,确保同步注浆量和注浆压力,掘进后对洞内实施二次注浆加固,从而为左线的穿越提供了安全保障。

作者简介:
林富志(1983-),男,山东栖霞人,工程师,从事地铁施工技术与管理工
作;
孙 敏(1985-),女,湖北黄冈人,助理工程师,从事水利水电工程设计工
作。

(责任编辑:李燕辉)

点、基本值的极差不得超过平均值的 30% 时,取其平均值为桩间土承载力特征值。

7 结 语

该工程振冲施工结束后,对已振冲部分的地基进行了动力触探(50 个点)及静荷载试验(5 个点),试验结果表明:加固处理后的地基承载力特征值达至 0.3 MPa,满足设计要求。

作者简介:
胡忠良(1972-),男,四川资中人,工程师,从事水利水电工程施工技
术及管理工作。

(责任编辑:李燕辉)