

淤泥质地层过江隧道盾构掘进施工控制要点

葛晶晶

中铁十四局集团大盾构工程有限公司

摘要：我国土地面积辽阔，各地区的地质条件差异较大，导致工程建设施工技术种类较多，各种施工机械设备也多，进而才可以满足不同城市、不同工程类型和不同地质条件下的安全高质量施工要求，但是某些复杂的施工环境仍然会给施工单位带来极大的挑战，会增加施工风险。因此本文结合实际地域和相关工程就盾构掘进施工展开了讨论，依据杭州市地域特征和地质特点，结合该地区地铁施工经验，在过江掘进中不可避免地会遇到一些难题，从而影响盾构隧道的施工安全和质量。施工人员需要分析、明确本次施工的重难点，并采取有效措施，以保证工程安全和质量。

关键词：淤泥质地层；过江隧道；盾构掘进；控制要点

【DOI】10.12254/j.issn.2096-6539.2022.18.019

引言

随着我国经济的不断发展及国力的提升，各项工程建设全面开花，城市的配套系统也越来越完善，现今一些主要城市都在相继开始修筑城市地铁轨道交通工程，特别是南方地区经济发展速度较快，在现今的施工技术水平支持下，城市地铁轨道交通发展也较快，各种道路、桥梁、地铁工程不断出现，极大地提高了城市服务质量，同时也引起了人们对工程建设相关技术的关注。其中盾构施工工艺在地铁建设中被广泛应用，与此同时，对于提高施工速度，保障施工安全具有重大的意义。但在修建过程中，尤其在南方地区，地下水丰富、情况复杂，盾构在接收和始发过程中风险更显突出，因此值得相关人士深入研究。

一、工程概况

近年来，杭州上城区高质量开发利用地下空间，大力创建城市地下空间开发建设精品工程，一个个高品质的地下空间项目脱颖而出，让地下空间成为集约节约利用土地、改善城市环境、提高城市安全韧性的新抓手，其中望江路过江隧道工程作为杭州市地下空间优秀典范项目非常值得探讨。

该过江隧道工程包含2个盾构隧道，全长3.59公里，均为单洞双车道隧道，左线长度为1836.836m，右线隧道长度为1830m。该隧道下穿钱塘江，施工时左右线均按江南到江北的方向进行。主要施工内容为钢筋混凝土施工，盾构隧道采用管片拼装式单层衬砌，强度等级为C50，防水等级为P12，盾构隧道内部结构全部为现

浇砼。

位于施工断内的钱塘江河面宽度约为1300m左右，岸区地面标高一般为5.0~7.0m，地形一般开阔平坦。江中隧道埋深约12m~22m，最大水压0.42Mpa。最小转弯半径1000m，最大纵坡4.5%。

二、工程重难点

（一）洞门破除

洞门破除时对土体的扰动较大，会导致周围土体受力改变而脱离稳定状态，容易造成土体崩落而危及现场的工作人员和机械设备，因此需要按照设计要求采取合适的加固措施，使加固体与围护结构保持紧密稳固的状态。

综合现场施工条件和施工方式，本工程的加固设计为，盾构端头部分采用地面搅拌桩+外围设置C15素地下连续墙+2排旋喷桩闭合+降水方式进行加固。

（二）盾构进洞前姿态保持

盾构机与密封钢环之间理论间隙为20cm，进洞时如果姿态未能很好保持，导致盾构与密封钢环间隙不均，会影响密封效果。因此需要做好各项施工准备工作，不仅要掌握具体的操作手法，对于所使用到的材料（如洞门密封钢环）也需按要求制作，确保其性能、尺寸等质检内容达标。同时在盾构组装前对洞门预埋钢环进行测量，如有偏差则需调整始发托架位置，并尽可能提高盾构始发托架制作及安装精度，保证盾构机组装完成后达到设计位置。此外，为了确保万无一失，施工过程中，还需安排专人旁站，随时关注洞门密封情况，以便在出现异常时第一时间有效处理。

（三）盾构始发穿越浅埋地层

盾构始发地段盾构出洞处主要穿越4-1粉砂、4-2粉细砂，该层土体呈灰色，饱和，松散~稍密，局部夹粉质黏土、粉土薄层及中粗砂透镜体。其中浅覆土段盾构施工容易出现误差和沉降问题，对于这部分特殊地质条件需要采取适宜的处理措施，并结合实际土壤情况调整施工，以避免始发过程中可能产生的质量或安全问题。

（四）-8、-7环拼装

-8、-7环拼装在盾尾内空拼成环后整环后推至反力架，-8、-7环空拼成环及后推至反力架后的姿态保证是本工程难点。

①-8、-7环拼装以盾尾间隙为控制标准，盾尾圆度是-8、-7环成环的保准，盾尾组装过程中进行调圆，组装后对盾尾断面进行测量；

②盾尾底部铺设四根槽钢作为-8、-7环支撑及-8、-7环后移导轨；

③-8、-7环过盾尾刷过程中需缓慢后移，防止管片姿态突然改变；

④反力架作为-8环基准面，其姿态需精确定位。

三、盾构掘进施工控制要点

(一) 始发轴线确定、负环排布

盾构始发试掘进段隧道中线平面上为R=700m的圆曲线，但是盾构机始发初期，为了确保能持续向前掘进，同时保障相关配件、辅助装置稳定，初始盾构段需保持直线，当盾构机整体进入隧道，盾尾完全脱离始发基座后，才能按照圆曲线来调整方向，按照设计轴线进行纠偏（可采取洞门环偏移预埋措施，在盾构机盾体完全进入洞门预埋钢环后开始纠偏，同时，为了防止每环纠偏后，纠偏总长度偏大，后期掘进时可调整二衬厚度），使各个预计偏差值均能满足要求，进而确保盾构机最后能在轴线偏差控制范围内顺利推进。纠偏示意图可参见下图1。

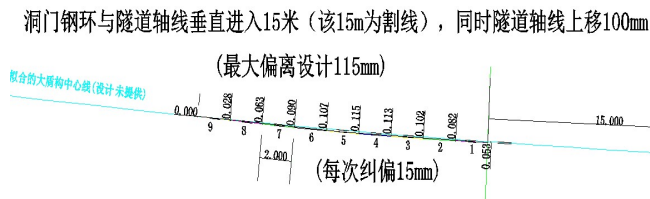


图1 盾构始发轴线平面图

(二) 拼装-8及-7环

盾构机调试完毕到达始发位置后，-8环所到达的位置与预期出现了较大的偏差，为了使-8环到达最终位置，需要进行空拼，并在进行空拼前先焊接导轨和限位板。为此，需按照始发台导轨位置设置导轨，距推力千斤顶末端2800mm~3000mm位置处焊接20#加肋工字钢进行限位，同时顶部采用20#工字钢，将二者与预埋钢板焊接。

-8环成环之后，将所有螺栓拧紧，每相邻两块焊接3道加肋钢板固定，之后割除所有外部固定钢支撑，用千斤顶将-8环整环后移2300mm，在其前端面，除-7环第一块观片拼装位置外，需焊接L字形钢板机进行固定。

由于-8环与-7环相邻，空拼-8环时必然会对-7环造成影响，因此还需以-8环作基准环逐块拼装-7环，最后两环都按要求拼好后，-7环第一块与-8环通过螺栓也固定良好后，可将两环整体一起后移至最终位置。

需要注意的是拼装时，应分块有序进行，前一块拼好后才能按顺序到下一块，且要分两次在不同的时候以不同的方式进行固定。第一次是真空吸盘没有离开管片之前，可参照下图2的方式焊接固定。在管片成环之前，所有的管片都需按此操作，以防止管片拼装出现问

题时，在纠正过程中因去除管片而影响真空吸盘的工作效果。第二次固定则是在管片成环后，每相邻两块管片焊接至少3块钢板固定，同时相邻两环也需焊接固定，以确保所有环的所有管片都能发挥作用。



图2 型钢固定示意图

(三) 洞门破除施工

根据现场施工情况和环境特点，为了避免洞门破除施工造成碰撞、伤人等事故，并确保盾构组装完成时能尽快始发出洞，破除施工可分次进行。施工时需先使用钢管、扣件搭设支架，并拉设防护网，以打造一个安全稳固的作业平台。然后根据现场施工情况，及时安排人员进行混凝土凿除工作。如1200厚的连续墙第一次破除时可安排在刀盘下井后，主要是为了清除内部钢筋，方便第二次快速破除。然后在盾构机-6环管片拼装完成后，根据盾构进度安排，提前两天进行凿除和清扫工作，并将所有废渣用吊斗由吊机吊运出基坑，弃置于指定的安全地方。

(四) 盾构机前移

当上述施工内容完成，且通过验收后，按序需要拼装-5环，因此需要将盾构机推进到-5环。前移之前，应该在盾构机两侧焊接防扭转钢支撑，对所需设备进行检修和调试，对现场施工范围内进行清扫，确保一切正常，现场整洁有序，前移准备工作充分。

盾构机推进应缓慢进行，推力要缓慢增加，以方便观察前移过程中对管片的影响，如果发现管片出现变化或连接松动，必须暂停施工，分析异常的原因，商议适宜的解决办法，并严格执行以获得较好的处理结果后，再申请继续推移并收到允许通知后才能复移，以切实保障施工质量与安全。

当盾构机推进-5环时，盾构机刀盘会缓慢进入洞门圈密封帘布。在这个过程中需要防止刀盘接触洞门密封挡板，因此必须设置足够的观测点位，提前在洞门圈四周设置好监控点位和通讯系统，以确保可以及时发现问题并迅速通知暂停施工，待调整好密封板与盾构机外壳，刀盘与洞门密封挡板有足够的间隙后才能继续推进。直到最短千斤顶行程达到2800时盾构机停止前移，按照上述-8、-7环管片安装方式拼装-5环管片。

-4环推进1000mm左右，刀盘离掌子面20cm距离，此时停机、建仓。在洞门密封里注密封油脂和堵漏材料，注浆、注脂后继续推进。

+2环推进1500mm左右时，0环预埋钢板位置全部露出盾尾，焊接二次密封，继续推进。

盾构机前移过程中，由于阻力的影响，加上机械运行自身的干扰，盾构机的运行姿态可能会不正常，这样会导致前移出现偏差，也容易造成施工安全问题出现，为此在前移过程中需要缓慢，同时做好观察，及时调整，有效控制姿态。

在管片脱出盾尾时要及时焊接钢件加固，底部填塞木楔形块支撑。盾构机开始前移1.8m时，及时施作导轨延伸基础。

(五) 量测、监控工作

(1) 测量：为了确保整个施工有序、安全顺利地开始，直到结束，需要做好相关的监管准备工作，如盾

构机始发前应将地面测量基准点引入始发井下，以便对始发托架、反力架、盾构机导轨、预埋洞门环、洞门密封进行定位测量，确保施工的精确性。同时盾构机前移之前，为了确保其顺利入洞，需要对洞门环、密封刷及始发基座、导轨进行联系测量，以有效控制前移线路。最后盾构机拼装完成后，为了确保机械设备运行状态符合当前工程施工要求，需对盾构机的姿态进行测量，并将测量结果作为重要的施工参考数据，准确导入盾构机自动导向定位系统VMT中。

(2) 盾构机掘进前应在隧道轴线上按监测要求布置监测点；掘进时，对监测点进行监控测量，并做好记录，以便为施工管控提供参考。具体的监测项目、开展方式和测点布置情况等可参见下表1。

表1 监测内容

监控项目	方法及工具	测点布置	量测频率
地表沉降	精密水准仪	始发段每20m布置一个断面	开挖面距离量测断面前后<2B时，1-2次/d
			开挖面距离量测断面前后<5B时，1次/2d
			开挖面距离量测断面前后>5B时，1次/周
隧道净空收敛	收敛计	每10m布置一个断面	开挖面距离量测断面前后<2B时，1-2次/d
			开挖面距离量测断面前后<5B时，1次/2d
			开挖面距离量测断面前后>5B时，1次/周
隧道拱顶与底部隆陷	精密水准仪	5-10米布置一个断面	开挖面距离量测断面前后<2B时，1-2次/d
			开挖面距离量测断面前后<5B时，1次/2d
			开挖面距离量测断面前后>5B时，1次/周
建筑物沉降倾斜	精密水准仪、钢尺	每20m设一个断面， 每断面7-11个测点	开挖面距离量测断面前后<2B时，1-2次/d
			开挖面距离量测断面前后<5B时，1次/2d
			开挖面距离量测断面前后>5B时，1次/周

结语

总之，该过江隧道工程在实际施工过程中积极引入了多项新技术、新工艺，其中隧道盾构掘进施工技术发挥了巨大的作用。但综合本文我们也可以看出，盾构机在使用前后过程中需要关注的点较多，不仅施工流程严密，施工方式严谨，各项检查、观测工作也必不可少。只有按照施工规范施工，并针对工艺特点、施工重难点加强监管，才能有效保障管片拼装质量，合理控制盾构机姿态和前移速度，进而减少施工质量问题，也能全面保障施工现场人和物的安全。目前本工程已经圆满完成，充分说明了所采取的施工方案的可信性和管控措施的有效性，对后续类似工程起到很好的示范作用，不仅有利于完善本市的交通网络体系，也可促进我国道桥事业的发展。

参考文献

[1] 臧马立. 地铁隧道盾构掘进施工关键技术[J]. 四

川水泥, 2022(06): 236-238.

[2] 孙庆田, 王新宇, 杨壮志. 复杂环境超小间距隧道盾构掘进施工技术[J]. 现代隧道技术, 2022, 59(01): 200-206.

[3] 张宏, 刘海洋. 地铁隧道盾构掘进对上跨地道基坑稳定性影响研究[J]. 现代隧道技术, 2021, 58(04): 125-132.

[4] 丁华兴, 杨光武, 张飞, 陈寿根. 重叠隧道盾构掘进顺序对桥梁桩基的影响分析[J]. 市政技术, 2021, 39(10): 67-72.

[5] 姜平, 李特. 地铁叠线隧道盾构掘进对地表沉降影响研究[J]. 铁道工程学报, 2020, 37(09): 66-71.

[6] 谭春腾. 地铁隧道盾构掘进施工技术要点分析[J]. 江西建材, 2021(04): 160-161.