

盾构下穿运营地铁施工技术研究

文 / 邹海波 中电建铁路建设投资有限公司

摘要：本文以地铁施工为研究对象，探究盾构下穿运营地铁施工技术的方式、方法，给出合理建议，增加地铁施工参考。本文以某地铁项目为研究对象，结合工程具体情况，采用盾构下穿运营地铁施工技术，整合技术资源，调整技术参数，致力于得到高品质工程。通过盾构下穿技术的应用，地铁项目的建设效率、建设质量显著提升，不仅减少了传统施工方法的风险和问题，还可以在长期发展规划中创造出较高的价值。项目单位应继续优化技术理念和技术方法，针对技术操作的各个环节不断的创新，节约工程资源。

关键词：盾构下穿；运营地铁；施工技术；操作要点

【DOI】10.12254/j.issn.2096-6539.2025.21.026

引言

地铁项目的建设、运营，在于加强城市空间资源的应用，充分缓解城市交通发展压力，为城市的可持续发展奠定坚实的基础。盾构下穿技术的应用，虽然有利于运营地铁的施工建设，但是在技术操作的过程中，依然要加强施工现场的勘察、调研，逐步把握好技术操作的规范性、合理性，对每一个技术环节有效的整合，避免在工程建设中陷入较大的困境。项目单位在盾构下穿运营地铁施工时，应做好安全防护工作，对于各类外部问题采取针对性的方法去处理，从根本上减少安全事故的不利影响。

一、项目概况

西乡站~宝安站区间（以下简称西~宝区间）左线线路长 3515.134m（ZDK7+050.6~ZDK10+563.1，长链 2.634m），右线线路长 3511.011m（YDK7+050.6~YDK10+563.1，短链 1.489m），平曲线 R=1500m/1500m/3000m/5000m，竖曲线 R=10000m/15000m，最大纵坡 26%，线间距 7.8m~13.0m，区间隧道埋深 20.75m~57.46m。区间隧道开挖直径 9.14m，管片外径 8.8m，内径 8m，厚 400mm，环宽 1.8m。采用两台 Φ9140 双模（TBM&EPB）盾构施工，如表 1 所示。

表 1：西宝区间地质情况统计表

线路	上软下硬地层 (m)	全断面中微风化(m)	全强风化花岗岩 (m)	备注
左 3515.134m	785.7 (22.4%)	2596.184 (73.8%)	133.2 (3.8%)	岩石质量指标 (RQD) 中~微风化花岗岩 80~91%，中~微风化闪长岩 65~85%
右 3511.011m	826.7 (23.5%)	2525.211 (71.9%)	159.1 (4.6%)	

线路自宝安站始发，沿宝安大道向西北方向掘进，穿过裕安一路人行天桥、罗田路人行天桥、群贤人行天桥、西乡河桥、西乡河北人行天桥、规划地铁 15 号线、共乐

人行天桥后沿规划道路到达西乡站。区间采用盾构法施工，区间设 8 座联络通道（17# 联络通道兼做废水泵房）和 2 座电力洞室，如图 1 所示。



图 1：西乡站~宝安站区间线路平面图

二、盾构下穿运营地铁施工的关键技术

（一）盾构机选型与参数优化

盾构下穿运营地铁施工过程中，项目单位应根据地铁项目的具体特点，加强盾构机的合理选型，还要在盾构设

备的参数方面科学优化，确保在盾构下穿作业的过程中得到较多的保障。盾构下穿运营地铁施工前，应加强地层特性、施工环境的现场勘察、调研，掌握详细的环境信息，不同的盾构机型对于地质的适应能力不同，而且在掘进效

率与成本方面也表现出较大的差异性，盲目选用盾构机，不仅会导致地铁施工遇到较多的风险与难题，还有可能在长期建设中陷入较大的困境。比如，针对富水砂卵石地层，比较建议使用土压平衡盾构机，施工过程中要加强理论计算，将刀盘开口率控制在60%左右，刀具要保持较高的耐磨性能，还要增加合金镶嵌设计，借此减少结泥饼问题、刀具磨损问题等。项目单位在盾构机选型优化、参数优化时，还要结合地铁项目的客观情况开展仿真研究，提前做好各类风险的应对准备^[1]。

（二）地层加固与注浆技术

盾构下穿运营地铁施工时，地层加固与注浆作业是不可或缺的组成部分，自身产生的综合影响力也比较高，继续按照陈旧的理念、方法作业，不仅无法创造出较高的价值，还有可能在长期施工中陷入较大的困境。盾构下穿运营地铁施工时，项目单位在地层加固方面，要加强各类工法的联合应用，避免地层出现严重的变形问题。例如，通过地面WSS加固工法的应用，可以对上软下硬地层产生良好的改造效果，利用高压注浆技术，打造优良的止水帷幕，还可以结合洞内二次注浆技术，从地铁项目管片吊装孔，按照定量注浆的方法去操作，对于既有的线路施工时，能够将沉降量控制在1.1mm以内。项目单位在地层加固与注浆时，也可以选择应用CS双浆液的方法施工，主要是通过水泥浆液、水玻璃浆液联合操作，双浆液模式下，不仅凝胶时间比较短，而且早期强度比较高，对于富水圆砾地层的注浆加固具有非常好的效果，节约成本超过上百万元^[2]。

（三）自动化监测与动态调控

盾构下穿运营地铁施工手段、方法正不断完善，项目单位在技术操作过程中，意识到自动化监测以及动态调控是非常重要的，如果这两项工作在开展过程中表现出较多的问题，不仅会导致地铁项目的发展遭受到严重的损失，还有可能因此造成无法挽回的后果。项目单位要加强盾构下穿运营地铁施工的实时监控，并加强施工参数联动，提高精细化施工水平。比如，通过智能监控系统，可以开展超过200项的监测指标联动分析，对于盾构设备的推力、注浆压力等参数合理的调整，针对下穿既有线路时，沉降量得到了良好的控制。项目单位在监测与调控的过程中，也可以选用自动电子位移监测站的方法，联合应用人工辅助测量技术，再加上BIM模型，对盾构下穿运营地铁施工过程模拟分析，加强风险源的有效识别，并且在可视化管控中得到较好的效果^[3]。

三、盾构下穿运营地铁施工的技术实践

（一）袖阀管注浆施工工艺

盾构下穿运营地铁施工时，本项目在部分区域应用袖阀管注浆施工工艺，该项工艺的有效应用，不仅可以给地铁建设带来较多的保障，还可以在施工过程中减少传统作业的风险，创造的经济效益较高。袖阀管注浆技术的操作难度并不高，主要是按照分段式注浆的方法操作，每一段注浆长度称之为注浆步距，一般情况下，注

浆步距选择0.5m的距离。项目单位对每一段注浆任务完成以后，要向上移动或者是向下移动一个步距的心管长度，利用自动提升设备进行移动操作，如果区域范围内不利于自动化设备的运行，也可以通过人工方法，利用2个管钳对称夹住心管，在两侧同时的、均匀的用力，将心管保持匀速移动。注浆过程中，每完成3—4m的注浆长度，都要拆除1节注浆心管，等待注浆完全结束以后，要在注浆管上部位置盖上门盖，便于在后续开展复注浆施工，提高盾构下穿运营地铁施工的质量。

（二）地面WSS注浆施工工艺

对于盾构下穿运营地铁施工而言，地面WSS注浆工艺是不错的选择，该项技术的应用，不仅可以给下穿施工带来较多的便利条件，还可以在长期作业的过程中保持较高的安全性、稳定性，减少传统施工方法的风险和问题。项目单位在施工前，要结合设计要求，放出处理边界，本项目对于放桩位的偏差，控制在2cm范围内，钻头对准孔位以后，要保持垂直状态。本项目使用的注浆用水，主要是通过市政自来水或者是清水作业。钻孔过程中，选择应用二重管钻机进行作业，可以直接钻到预定的深度，技术人员在钻进作业时，应保证钻杆的高度垂直性，偏移量要控制在1.5%范围内。注浆作业时，初始阶段的注浆压力要控制在1MPa以内，达到目标压力以后，要将钻杆提升50cm左右，并重复开展注浆作业。现场加强了分段注浆方法的应用，单孔注浆过程中可以划分成上段、下段进行注浆作业。注浆结束以后，要求通过浆液自身的特性，达到自然封孔的效果，等待压力稳定以后，再停止注浆。技术操作完毕时，应加强注浆效果的检测分析，确保满足相关设计要求。

（三）洞内超前加固技术

针对盾构下穿运营地铁施工区域的软弱地层，提前对隧道上部一定范围内软弱地层采取加固措施，以确保盾构下穿施工安全。项目单位开展洞内超前加固作业时，应根据盾构下穿的基础要求进行调整、优化，设计完善的技术流程，具体如图2所示。项目单位将止浆塞塞入密封装置，并与球阀连接。将止浆塞上配套的密封装置与球阀法兰连接在一起；钻机就位，调整钻机角度，先将钎头与钎杆通过反向插入密封装置内，然后将钎杆与钻机连接好。开启钻机（钻机操作方法详见钻注一体机说明书），钻进至盾体内预定深度；通过渣土收集球阀先注入一定量的膨润土；通过钻机注浆口开始注浆作业，边退杆边注浆，直至距离盾构刀盘前端1.2米处停止注浆作业；钻杆继续退回，同时钻机注浆口注入膨润土，防止浆液通过成型钻孔向盾构刀盘渗透；钎头退回至渣土收集阀内，关闭球阀，开始准备下一个孔位注浆。穿越期间安排技术水平和施工经验最丰富的操作手和机电工程师进行掘进施工，确保穿越期间盾构机各项参数严格控制及设备故障的及时处理。穿越期间，上软下硬地层应采用气压辅助掘进方式。必要时进行径向孔注入厚浆，保证管片壁后填充。

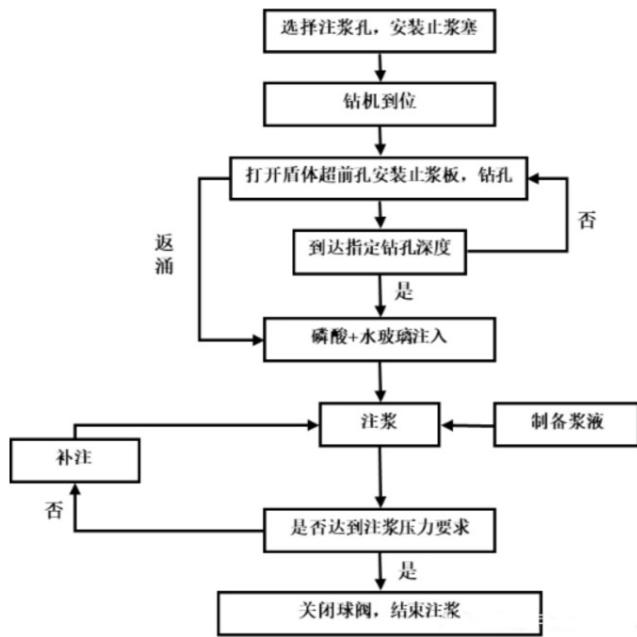


图 2: 洞内超前加固技术流程

(四) 盾构穿越前施工控制

盾构下穿运营地铁施工前，控制措施要把握好现场情况的具体影响，继续按照传统的、粗放的手段去控制，不仅无法得到较好的效果，还有可能在长期控制的过程中表现出较多的风险，届时造成的一系列损失是难以弥补的。项目单位在盾构穿越前，要加强基础资料的调查研究，针对区间隧道的相对位置关系有效掌握。对于各类建（构）筑物基础设施的影像资料应仔细地分析，避免在盾构下穿运营地铁施工的过程中因为资料不足造成严重的破坏现象。穿越之前，要与出土施工队伍积极联系，施工过程中要保证渣土运输的连续性和渣土的运输速度，避免因土方外运受到严重的阻碍，减少盾构停机问题的影响。盾构下穿运营地铁施工前，项目单位针对盾构掘进所需要的管片材料、螺栓材料、防水材料、注浆材料等，都要进行充足储备，还要仔细检测各类材料是否符合要求，是否能够在材料的使用过程中达到较好的效果，针对一系列的材料漏洞要快速的识别、处理。盾构下穿运营地铁施工控制，更多的是要做好准备工作，项目单位要按照精细化的要求开展准备，并对各类突发情况以及可能遇到的特殊问题有效的识别、处理。

(五) 盾构穿越中施工控制

盾构下穿运营地铁施工过程中，项目单位要积极调整自身的控制措施，各项控制工作的开展不能总是按照固定的路线操作，要坚持在长期控制的过程中给出明确的决策依据。泡沫加注是比较不错的辅助方法，该项技术作用下，可以对土压平衡盾构机的掘进作业提供较多的帮助，不仅可以改良土体塑流性能，还可以降低刀盘扭矩，避免盾构设备出现严重的破坏。泡沫加注过程中，要充分考虑到土仓状态、土仓压力、渣土性状的影响，还要根据地质条件的变化，针对泡沫参数灵活的调整。膨润土泥浆加注也是比较好的方法，该项技术的应用，

在于向刀盘前方加注钠基膨润土泥浆，借此可以促使土仓长期保持在稳定的压力状态，在掌子面、刀盘切口以上，形成了高性能的护壁泥膜，对于掌子面具有较强的稳定效果，避免在施工过程中出现地下水持续涌入的问题，有助于改善渣土的性质，针对螺旋机喷涌问题也可以快速的解决。盾构下穿运营地铁施工过程中，项目单位不仅要做好控制方案的设计、实施，还要在控制的过程中，对各类动态因素的变化准确识别，逐步掌握好各项控制工作的具体实施效果，提高控制的效率、控制的质量，为地铁项目的长期、稳定运行提供较多的保障。

(六) 盾构穿越后施工控制

盾构下穿运营地铁施工结束后，项目单位依然不能放松，要根据国家的相关规范以及地铁施工要求，在施工结束后进行对应的控制作业，目的是维护好已经得到的施工成果，还要在施工检测力度上不断提升，对于可能出现的问题，或者是已经表现出的隐患，都要采取针对性的措施去解决，避免各类风险出现严重的恶化现象。本项目根据监测结果，在管片脱出盾尾 5 环后，对管片后的建筑空隙可采取盾构衬背注浆的方法来填充，浆液选水泥浆，注浆压力 0.5MPa ~ 1.0MPa。在盾构掘进过程中，隧道周边土体势必被扰动，这将在某种程度上对穿越建（构）筑物产生影响，当沉降速率持续增加时，即可对建（构）筑物进行跟踪注浆。为提高注浆质量，土体受扰动后均会产生不同程度的自身结构稳定性减弱和渗水情况；若是管片拼装过程出现问题而产生接缝渗漏，就会加剧土体固结、导致地表沉降增加。因此管片防渗堵漏工作必须及时进行。通过施工后的控制，盾构下穿质量才是真正意义上得到了显著提升，对于各类风险和隐患的排查效率也比较高。项目单位要根据得到的成果，继续加强盾构下穿的深度研究，逐步改善技术机制，对各类突发情况、特殊问题都要灵活应对，逐步丰富技术参考和技术指导，为地铁项目的内外环境优化奠定坚实的基础。

结语

现阶段的盾构下穿运营地铁施工体系不断完善，各项技术应用过程中，不仅得到了较多的参考和指导，还可以在施工过程中减少隐藏的风险和问题，一系列工程建设比较符合预期，各个城市的地铁项目运营，开始得到更好的效果。项目单位对于盾构下穿技术的应用，要从多个角度思考、探究，针对行业内提出的新理念、新方法要积极关注，同时也要做好施工现场的协调管理，对盾构下穿运营地铁施工的各类突发情况，采取针对性的措施去解决，避免在长期规划建设中遇到新的挑战。

参考文献

[1] 王建军, 雒伟勃, 朱诚, 等. 盾构近距离下穿既有地铁运营线施工技术 [J]. 建筑机械, 2025, (07): 83-89.
 [2] 严亚根. 超大直径泥水盾构下穿运营地铁隧道关键施工技术 [J]. 凿岩机械气动工具, 2025, (01): 138-140.
 [3] 姜在胜. 地铁盾构隧道下穿铁路运营线施工控制技术的探讨 [J]. 四川水泥, 2025, (01): 270-272.