

盾构穿越河流施工技术分析与总结

于宝祥

中交一航局城市交通工程有限公司 天津 300400

摘要：本文以青岛地铁8号线支线大涧站~大沽河博物馆站区间盾构穿越沽河段施工方案为基础，深入剖析该项目施工状况，并综合上海、广州、南京等地地铁穿越河流工程案例，全面总结经验、对比分析，旨在为盾构穿越河流施工提供更为系统、深入的技术参考与管理思路，推动该领域技术的不断发展与完善。

关键词：盾构；穿越河流；技术分析

1 青岛地铁8号线支线盾构穿越沽河段项目分析

1.1 工程概况

1.1.1 区间与河流特征

大涧站~大沽河博物馆站区间风井~大沽河博物馆站段右线长2591.655m，左线长2615.183m，采用两台盾构施工。穿越的大沽河河面段长约800m，施工时处于枯水期，河底平坦，水位及水深变化具有一定规律，与地下水水力联系不明显。

1.2 隧道设计参数

隧道平、纵断面设计复杂，右线最大下坡-23.4‰，最大上坡+18.653‰，最小转弯半径R800缓和曲线；左线参数类似。盾构主要穿越微风化砂岩和中风化砂岩地层。

2 重难点及应对措施

2.1 重难点分析

土压盾构长距离下穿大沽河，需精确控制地表沉降和盾构姿态，确保施工安全与周边环境稳定。

盾构长距离硬岩段掘进，刀具磨损迅速，对设备性能及耐久性要求极高。

刀具磨损导致的开仓换刀作业风险巨大，如涌水、塌方等事故威胁施工人员安全与工程进度。

盾构机密封管理极为关键，密封失效将引发严重后果，如泥水渗漏、土仓压力失衡等^[1]。

2.2 应对措施总结

穿越前进行试验段施工，通过试验段优化掘进参数，包括土仓压力、推进速度、刀盘转速等；全面检查维护盾构机，确保设备各系统正常运行，为穿越施工奠定坚实基础。

穿越过程中严格控制掘进参数，根据实时监测数据及时调整；进行渣土改良，提高渣土的流塑性和止水

性；加强注浆管理，采用同步注浆与二次注浆相结合的方式，填充盾尾空隙，控制地层沉降；实时监测盾构姿态，一旦发现偏差及时纠偏；确保盾尾密封，合理控制盾尾油脂注入量与注入压力。

针对刀具磨损，依据地层岩性特点合理配置刀具，如在硬岩地层增加滚刀数量；选择经验丰富的专业人员进行换刀作业，制定科学的换刀方案，降低换刀风险。

安装盾构机时严格把控密封性能，对密封部件进行严格检测；掘进中合理操作，避免因操作不当损坏密封；视情况及时调整盾尾油脂注入量，确保密封效果。

3 施工工艺技术

3.1 穿越前的准备工作

专项施工方案编制：组织专家论证，确保方案的科学性和可行性。对施工人员进行全面的技术交底和安全培训。

设备检查与维护：对盾构机及配套设备进行全面细致的检查和保养，确保设备处于最佳工作状态，储备充足的易损零部件。

地质补勘：必要时进行补充勘察，进一步核实地质情况，特别是对不良地质区域的详细勘察。

监控量测点布设：严格按照方案要求埋设地表和隧道内的监控量测点，获取初始数据。

3.2 穿越过程中的技术措施

掘进参数实时调整：根据地层变化和监测数据，及时优化土仓压力、推进速度、刀盘扭矩等掘进参数，保证掘进过程平稳、高效。

同步注浆与二次注浆管理：严格控制注浆量和注浆压力，确保浆液填充饱满，有效控制地层沉降。根据实际情况调整浆液配比，提高注浆效果。

盾构姿态控制：利用先进的测量导向系统，实时监测盾构姿态，及时进行纠偏，避免大幅度纠偏对土体的过度扰动。

作者简介：于宝祥，男，汉族，1984年9月生，天津人，本科学历，工程师，现就职于中交一航局城市交通工程有限公司，研究方向：轨道交通，主要从事：盾构施工。

渣土改良技术：根据地层特性，选择合适的渣土改良材料和方法，改善渣土的流塑性和止水性，降低盾构机的掘进阻力。

超前地质预报：采用多种预报手段，如地质雷达、超前钻探等，提前探测前方地质情况，为施工决策提供依据^[2]。

3.3 穿越后的收尾工作

隧道内部结构施工：确保管片拼装质量，做好防水处理和排水系统安装等工作。

地表恢复与环境整治：对穿越区域的地表进行恢复，修复周边环境，减少施工对环境的影响。

4 其他盾构穿越河流工程案例

4.1 案例一：上海地铁某号线穿越黄浦江工程

4.1.1 工程特点：黄浦江江面宽阔，水深较大，水流速度较快，且两岸建筑物密集，对沉降控制要求极高。

4.1.2 施工难点：高水压环境下盾构机密封困难，易发生渗漏，威胁施工安全和周边环境；而且穿越地层复杂，既有软土地层又有硬岩地层，刀具磨损严重，增加施工成本和风险；两岸建筑物众多，沉降控制难度大，需确保建筑物安全，避免因沉降过大导致建筑物损坏。

4.2 应对经验：首先，采用高等级的盾构机密封系统，如选用优质密封材料、优化密封结构设计，并在施工过程中加强密封监测和维护，定期检查和更换密封部件，确保密封效果。

其次，根据地层变化及时调整刀具配置，采用可更换刀具的刀盘设计，提高刀具的适应性。针对软土地层和硬岩地层分别选择合适的刀具类型，并根据刀具磨损情况及时更换，提高掘进效率。

最后，建立实时沉降监测系统，与建筑物产权单位密切配合，实时共享监测数据。根据监测数据及时调整掘进参数，如减小推进速度、增加土仓压力等；采用预注浆、跟踪注浆等技术控制沉降，在盾构机推进前对地层进行预加固，在推进过程中根据沉降情况及时进行跟踪注浆，填充地层空隙，减少沉降。

4.3 案例二：广州地铁某号线穿越珠江工程

4.3.1 工程特点：珠江河底地质条件复杂，存在溶洞等不良地质现象，且航道繁忙，施工安全风险高。

4.3.2 施工难点：溶洞处理难度大，若处理不当易引发盾构机下沉、塌陷等事故，严重影响施工进度和安全；施工期间需确保航道正常通行，对施工组织和安全管理要求高，需合理安排施工时间和工序，避免影响航道交通。

4.3.3 应对经验：首先，采用综合超前地质预报技术，包括地质雷达、钻探等手段，提前探明溶洞位置、

规模和充填情况等。根据溶洞探测结果制定针对性的处理方案，确保施工安全；其次，针对溶洞采用填充、加固等处理措施，如灌注混凝土、设置钢护筒等。对于小型溶洞，采用直接灌注混凝土的方法进行填充；对于大型溶洞或充填物不稳定的溶洞，先设置钢护筒进行支护，再灌注混凝土填充，提高地层稳定性。最后，与航道管理部门密切协作，制定详细的航道管制方案，合理安排施工时间，避开航道繁忙时段；在施工现场设置明显的警示志，提醒过往船只注意安全；加强与航道管理部门的信息沟通，及时掌握航道动态，确保施工期间航道安全。同时，加强盾构机的姿态控制和掘进参数监测，根据地层变化及时调整施工策略，确保盾构机安全平稳穿越溶洞区域^[3]。

4.4 案例三：南京地铁某号线穿越秦淮河工程

4.4.1 工程特点：秦淮河两岸文化古迹众多，施工过程中需保护历史文化遗产，对环境影响控制要求严格。

4.4.2 施工难点：如何在施工中减少对古建筑基础和周边环境的扰动是关键问题，需确保古建筑安全和周边生态环境不受破坏。

4.4.3 应对经验：采用微扰动施工技术，通过优化盾构掘进参数，如减小推进力、降低刀盘转速等，减小盾构机推进对地层的影响，从而减少对古建筑基础的扰动；在施工前对古建筑进行详细的勘察和评估，制定专项保护方案。加强施工过程中的环境保护措施，对施工废水、废渣等进行妥善处理。施工废水经处理达标后排放，废渣及时清运至指定地点，减少对秦淮河水质和周边生态环境的影响。

5 盾构穿越河流施工对比分析与总结

5.1 共性问题

5.1.1 地质条件复杂：无论是大沽河、黄浦江、珠江还是秦淮河，其穿越地层均具有复杂性，如软硬不均、存在不良地质等情况。这对盾构机选型、刀具配置和掘进参数控制提出了严峻挑战，要求施工方根据地层特点精准选择合适的施工设备和参数，以确保施工安全和效率。

5.1.2 安全风险高：高水压环境下的密封问题、建筑物沉降风险、航道安全以及文化遗产保护等都是盾构穿越河流施工中面临的安全风险。这些风险相互交织，一旦发生事故，将造成严重后果。

5.1.3 沉降控制要求严格：河流两岸建筑物、基础设施以及环境对沉降较为敏感，施工过程中必须精确控制地表沉降，以避免对周边环境造成不良影响。

5.2 应对策略对比

5.2.1 盾构机选型与刀具配置

青岛地铁8号线支线工程根据地层特点选择了土压平

衡式盾构机,并合理配置了初装刀具,后续根据岩层变化更换刀具。这种选型方式适用于该工程的微风化砂岩和中风化砂岩地层,能够在保证施工安全的前提下提高掘进效率。

上海地铁穿越黄浦江工程则更注重盾构机密封性能和刀具的适应性,采用可更换刀具的刀盘设计。这是因为黄浦江高压水环境对盾构机密封要求极高,且穿越地层复杂,需要刀具能够根据不同地层及时调整。

广州地铁穿越珠江工程由于地质复杂且存在溶洞,对盾构机的破岩能力和稳定性要求更高。因此,在盾构机选型上可能会优先考虑具有强大破岩能力和高稳定性的机型,刀具配置也会侧重于应对硬岩和溶洞地层的特点。

南京地铁穿越秦淮河工程在保证盾构机正常掘进的同时,更强调微扰动施工,对刀具的切削性能和稳定性也有一定要求。刀具的选择需要在满足切削效率的同时,尽量减少对地层的扰动,以保护古建筑和周边环境。

5.2.2 沉降控制措施

青岛地铁通过试验段优化掘进参数、加强同步注浆和二次注浆来控制沉降。试验段的成果为后续施工提供了准确的参数依据,同步注浆和二次注浆能够有效填充地层空隙,减少地层变形。

上海地铁建立实时沉降监测系统,与建筑物产权单位配合,采用预注浆等技术。实时监测能够及时掌握沉降情况,与产权单位配合可以根据建筑物特点制定更具针对性的沉降控制方案,预注浆则可以提前加固地层,预防沉降过大。

广州地铁在控制沉降的同时,还需考虑溶洞处理对沉降的影响,采取了综合的注浆和加固措施。溶洞处理后的地层稳定性对沉降控制至关重要,通过多种注浆和加固手段确保地层在盾构穿越后的稳定。

南京地铁采用微扰动施工技术,结合专项保护方案和监测措施来保护古建筑和控制沉降。微扰动施工技术从源头上减少对地层的影响,专项保护方案针对古建筑特点进行保护,监测措施则实时监控古建筑和周边环境的变形情况。

5.2.3 风险应对措施

对于盾构机密封问题,上海地铁采用高等级密封系统并加强监测维护。高等级密封系统能够有效抵御高压水,监测维护则可以及时发现并解决密封可能出现的问题。

广州地铁在应对溶洞风险时采用综合超前地质预报和针对性处理措施,同时保障航道安全。超前地质预报为溶洞处理提供准确信息,针对性处理措施确保盾构机安全穿越溶洞,航道管制措施保障航道正常通行。

南京地铁在保护文化遗产方面制定专项方案,加强环境保护措施,减少施工对周边环境的影响。专项方案针对古建筑等文化遗产制定保护措施,环境保护措施从废水、废渣处理等方面减少施工对环境的负面影响。

5.3 借鉴与启示

5.3.1 地质勘察与风险评估的重要性:全面、详细的地质勘察是盾构穿越河流施工的基础,能够提前发现潜在风险,为工程设计和施工提供依据。各工程案例都强调了在施工前对地质条件和周边环境进行充分评估,制定相应的风险应对措施。地质勘察不仅要关注地层岩性、地质构造等常规内容,还要对可能存在的不良地质体、地下水位变化、周边建筑物基础等进行详细调查。风险评估应综合考虑地质风险、施工风险、环境风险等多方面因素,制定科学合理的风险等级和应对策略。

5.3.2 施工过程中的动态控制:盾构穿越河流施工过程中,应根据实际情况及时调整掘进参数、注浆方案、刀具配置等。如青岛地铁根据试验段和穿越过程中的监测数据进行参数优化,其他工程案例也都注重实时监测和动态调整施工策略,以确保施工安全和质量。在施工过程中,要建立完善的监测体系,包括对盾构机姿态、地层变形、周边建筑物沉降等多方面的监测。根据监测数据及时分析施工效果,对掘进速度、土仓压力、注浆量等参数进行优化调整。同时,要根据地层变化及时更换刀具,确保刀具的切削性能与地层条件相匹配。

结论

盾构穿越河流施工是一项具有挑战性的工程任务。通过对青岛地铁8号线支线盾构穿越沽河段项目以及其他类似工程的分析,不同工程在应对各自的重难点时采取了多样化的策略。在未来的盾构穿越河流施工中,应高度重视地质勘察与风险评估工作,加强施工过程中的动态控制和多部门协作沟通,严格落实环保要求。同时,不断总结经验、优化技术和管理措施,以提高施工的安全性、质量、效率和环保水平,确保工程顺利完成,并最大程度地保护周边环境和各类设施。

参考文献

- [1]沙原亭.地铁盾构下穿河流及桥梁桩基施工与监测技术[J].铁道建筑技术,2015(10):16-18,22.DOI:10.3969/j.issn.1009-4539.2015.10.005.
- [2]张洪旭.大直径瓦斯盾构隧道施工通风技术研究[D].四川:西南交通大学,2021.
- [3]胡长明,张延杰,袁一力,等.盾构隧道临近河流始发及过电塔掘进技术[J].长安大学学报(自然科学版),2017,37(6):83-91.DOI:10.3969/j.issn.1671-8879.2017.06.012.