

盾构施工易发风险分析及预防措施

朱佳鹏 顾正清

苏州市建设工程质量安全监督站 江苏 苏州 215000

摘要：苏州轨道交通事业蓬勃发展，与此同时苏州轨道交通建设存在着不小的安全监管压力。本文从盾构施工角度入手，阐述了在盾构施工过程中存在的各种风险，包括盾构始发及接收时洞门处涌水涌沙、盾构始发异常、盾尾密封装置失效、盾构机抬头或下沉、地面沉降或隆起，以及日常安全风险方面，包括渣土及管片的运输、管片的吊运拼装、有毒有害气体控制等，对上述各类风险分别进行了分析，并提出了相应风险预防措施，以此希望助力苏州轨道交通事业安全有序推进。

关键词：轨道交通；盾构施工；安全风险；预防措施

1 概述

轨道交通工程大部分属于地下工程，面临着复杂的地下施工环境，安全风险极大，但是发展决不能以牺牲人的生命为代价，这必须作为一条不可逾越的红线。近年来，苏州轨道交通事业蓬勃发展，目前苏州轨道交通6、7、8号线建设接近尾声，轨道交通10号线及2、4、7延伸线正有序推进，苏州轨道交通建设安全监管仍存在着不小的压力，特别是盾构施工过程中面临着各种风险。了解盾构施工过程中的易发风险隐患和主要预防措施，能够帮助安全监管部门强化轨道交通重大安全风险管控，推动安全生产治理模式向事前预防转型。

2 盾构施工易发风险

2.1 洞门处涌水、涌沙

盾构始发接收环节若处理不当极易导致洞门处涌水、涌沙，造成此类风险的主要原因有：（1）盾构端头加固效果不佳，水直接沿着加固土体内部流出，导致洞门处涌水、涌沙；（2）端头加固长度不足，致使地下水及泥沙从盾构机壳体外部流出与洞门处形成贯通通道，涌水、涌沙；（3）洞门密封不到位，在盾构接收的瞬间，大量的泥沙和水从盾构机刀盘周围涌出。

防范洞门处涌水、涌沙措施主要有：（1）端头加固过程中要严格控制施工质量，以地层加固范围内加固体强度和渗透系数指标为主要控制要点。（2）在盾构始发或接收前应进行超前探孔试验，若加固不满足要求，需进行超前注浆二次加固，以满足始发或接收条件；（3）合理设置端头加固长度^[1]，针对苏州富水、软土砂土地层，加固长度 $L = \text{盾构长度} + 1.5 \sim 2\text{m}$ ；（4）洞门密封圈采用橡胶帘布和折页压板时安装要准确，并在外侧设置洞门翻板拉紧装置，在出洞前进行封环作业，进行二次注浆，待盾体全部推出洞门后，及时进行洞门封堵。

2.2 盾构始发无法正常进行

反力架变形和始发托架的问题是造成盾构无法正常始发的主要原因。反力架及始发托架在安装前未进行受力验算，安装后未进行焊缝探测，反力架及始发托架固定不到位，盾构机在前进过程中由于自身过重，千斤顶回顶，始发托架的推力过大，会造成反力架变形、始发托架移位，无法满足盾构正常始发^[2]。

主要预防措施：（1）始发架、反力架设计时，应进行详细的受力计算，确保其受力满足盾构始发要求；（2）安装完成后，应对始发架、反力架进行全面检查，包括平面位置、轴线、标高，确保其安装位置符合设计计算模型；（3）盾构始发前，应对始发架、反力架安装连接螺栓的紧固程度、焊缝长度等进行检查，并对焊缝进行检测，确保满足始发要求；（4）始发架两侧进行加固确保反力架斜撑、顶撑受力稳定、结构符合要求；（5）应进行反力架检测，如发现变形，立刻降低推力，减小推进速度及刀盘扭矩。

2.3 盾尾密封装置失效

盾尾密封是由盾尾钢丝密封刷和盾尾油脂组成，密封装置失效极易导致盾构掘进过程中盾尾处涌水涌沙^[3]。造成盾尾密封装置失效的原因主要有：（1）盾尾密封件弹性钢丝刷失效或损坏，无法恢复变形，导致压力不足，密封件失效；（2）盾尾油脂质量较差，流动性不足，起不到有效的保护作用，导致密封性能差；（3）盾尾油脂受到污染，油脂掺和杂物或填充泥浆，钢丝刷无法形成密封效果；（4）油脂泵及管路异常，气压达不到工作要求，油脂无法填充钢丝刷；（5）注浆或分段填充泥浆压力控制不当，泥浆盾尾刷凝固成块，导致润滑脂填充不到位，影响密封效果；（6）管片与盾尾不同心，使盾尾与管片间的间隙过大，注浆压力过大，造成盾尾

密封漏浆。

主要预防措施：（1）采用高韧性的耐磨盾尾刷，盾尾钢丝密封刷及盾尾油脂在进场前进行严格的检查验收并形成记录，保证钢丝刷及油脂的成品质量；（2）掘进过程中定期对盾尾钢丝刷进行检查，若发现损坏，应在采用保护措施后及时更换尾刷，涂抹好盾尾油脂，并进行验收；（3）强化盾尾油脂存储及管路工作日常保养工作，防止杂物污染油脂，保证油脂泵及管路的畅通；（4）严格控制盾构姿态和盾尾间隙，使上下左右间隙均匀，合理控制注浆压力，一方面防止泥浆溢出造成尾刷凝固，另一方面防止注浆压力过大击穿尾刷导致浆液渗漏。

2.4 盾构机抬头或下沉

苏州部分地区存在淤泥质土，自稳性较差，盾构机自重较大，若盾构机掘进姿态调整不及时、盾构掘进速度过快、掘进参数不正确，易造成盾构机下沉或抬头现象。

主要预防措施：（1）盾构机在始发掘进段内，对盾构的推进速度、土仓压力、注浆压力等参数按方案进行设定，根据掘进状态实时进行动态调整，为后期正常掘进打下坚实基础；（2）正常掘进阶段，加强管片参数控制，关注掘进参数、注浆压力、盾尾油脂注入量、泡沫注入量，合理调整参数，使盾构机正常平稳掘进；（3）加强掘进过程中出渣量的控制，坚持出渣体积与质量双重控制，出现超方及时处理；（4）及时测量管片姿态，根据管片姿态调整掘进方向，确保成型管片与隧道轴线一致；（5）加强地表沉降监测，每天对地表进行监测，提高对始发、接收、下穿风险源的监测频率，监测信息及时反馈，发现异常及时采取有效措施进行控制^[4]。

2.5 地面沉降或隆起

地表沉降分为盾构前端刀盘位置沉降和盾尾后沉降。盾构前端刀盘位置沉降主要是由于盾构掘进切口过大，速度过快，造成超挖，使地层发生沉降^[5]；盾尾后沉降主要是注浆不及时，不饱满，形成空洞受力发生地表沉降^[6]。盾构机在掘进过程中，盾壳与周围土体的摩擦力及刀盘对土体的推力影响，导致盾构机开挖面前部土体受到挤压，挤压作用使得地面产生隆起。同步注浆量或二次注浆量过大也是引起地面隆起的一个因素。

主要预防措施：（1）加强盾构掘进线路的地表监测，特别是临近刀盘和盾尾的位置，对异常部位及时采取地面注浆加固及区间内二次注浆处理；（2）根据地层确定合理的掘进参数，如土仓压力、推进速率、刀盘转速、注浆压力、螺旋机速率等，确保开挖面的土压平衡，减少开挖面变形，保证盾构前端不出现塌方、沉降或隆起；（3）盾构姿态变化不易过大，尤其是小半径曲

率下，掘进时需勤测勤纠；（4）加强同步注浆，及时填充管片与土体之间的空隙，以达到防水及控制地表沉降的效果；同时也要严控浆液坍塌度，防止土体液化。

3 日常安全风险

3.1 管片及渣土的垂直运输方面

盾构垂直运输设备常规为龙门吊，日常安全管控风险主要有：（1）门吊行走区域未设置护栏进行隔离；（2）轨道两端未设置车档或门吊无起升高度限位器、行走限位器、起重量限制器或限位器失效；（3）轨道接头处未进行接地；（4）门吊未使用专用开关箱；（5）吊钩存在缺陷或钢丝绳磨损已达到报废标准未更换；（6）门吊未定期进行自检、维修保养和检测。

风险预防措施：（1）严格把关门吊的进场验收，审核安装拆修单位的资质，严格按照方案进行安装或拆卸；（2）定期对门吊进行自检、维修保养和检测，对门吊结构设施、限位器，吊钩及钢丝绳吊具等方面加强检查，不满足要求的应及时进行更换，轨道两侧应设置缓冲器和端部止挡；（3）专职安全员加强巡视，门吊行走区域护栏缺失及时进行恢复，对于门吊直接接入配电箱或总配电箱的行为及时制止，配备专用的开关箱。

3.2 管片及渣土的水平运输方面

管片的水平运输主要存在车辆设施及管理上的两大风险源。

车辆设施方面风险类型主要有：（1）运载车辆停驶时未采取防溜车措施；（2）车辆后视镜系统及警示装置失效；（3）车辆动力、制动功能等存在故障；（4）车辆连接不可靠或无保险链等风险。在车辆管理方面风险类型主要有：（1）车辆超载、超限、车辆超速行驶或隧道内无限速标志；（2）车辆、轨道无日常检修保养记录；（3）未采取人车分行措施，或行车区域内施工作业未采取有效安全防护措施。

风险预防措施：（1）定期对运输车辆硬件安全设施（防溜装置、警报装置、后视镜系统、动力和制动功能、保险链等）进行维修保养，操作、维修和保养应符合操作规程要求，对失效或不满足要求的及时进行更换，保证运输车辆硬件设置正常使用；（2）区间隧道路口处张贴限速标识，机车进入掘进机尾部100m范围内应限速3km/h，并鸣笛警示；车辆接近或通过洞口、台架下、施工作业地段以及前方障碍物时，司机应减速瞭望并鸣笛示警；在隧道内倒车或转向应开灯鸣笛或有专人指挥。

3.3 管片吊运、拼装

管片吊运、拼装方面的主要安全风险类型有：（1）管片吊运、拼装过程中连接不牢或无防滑脱装置；（2）

拼装机旋转范围有人或障碍物；（3）管片翻转、吊运、拼装设备无定期保养记录，或带病作业。

风险预防措施：（1）管片拼装准备阶段，做好拼装头及管片检查，做好管片吊机和拼装机的维修保养；（2）在管片吊运、拼装前管片安装附近属于危险区域，禁止非必要人员在此区域通过、停留。工现场要配备专职的安全管理人员进行全过程跟踪监控，发现隐患及时消除，严禁无证操作或违章作业。（3）管片拼装时所用的施工机具要严格验收后方可投入使用，管片吊机和拼装机使用前，应进行空载试验。

3.4 有毒有害气体控制方面

有害气体超标，可能造成盾构作业人员中毒、区间发生火灾等事故。防范有毒有害气体的主要安全风险有：未按规定进行机械通风或（风管破损、漏风，吊挂不平直）新鲜风量不足、无有害气体检测装置或未定期进行气体检测^[7]。

风险预防措施：（1）隧道施工应采用机械通风。当主风机满足不了需要时，应设置局部通风系统。隧道内应满足各施工作业面的最大风量，风量应按每人每分钟供应新鲜空气 3m^3 计算，风速为 $0.12\text{--}0.25\text{m/s}$ ，通风管径应经计算确定。（2）作业时每天至少应对隧洞内气体浓度检测二次。发现超标，人员应立即撤离危险区，直至达到上述允许浓度值以下，才能进行作业并保证通风状况，达到上述规定要求，严禁冒险作业。（3）根据《密闭空间作业职业危害防护规范》^[8]，在盾构开仓之前必要时请有资质的单位进行气体检测，在进仓前、中必须由施工单位安全员进行检测，检测合格后方可进仓作业。

4 结束语

轨道交通工程建设存在较多的超危工程，如深基

坑、模板工程、起重吊装、盾构法施工等，本文仅对盾构法施工做了浅薄的交流，分别从盾构施工过程中始发及接收洞门处涌水涌沙、盾构始发异常、盾尾密封装置失效、盾构机抬头或下沉、地面沉降或隆起等方面，以及日常安全风险方面等进行了分析，提出了相应风险预防措施，以此对这些风险进行有针对性的安全管控，但本文仍还有许多未考虑到的风险因素。轨道交通建设任重而道远，需要参建各方单位的不懈努力，才能保证苏州市轨道交通工程建设安全平稳有序推进。

参考文献

- [1]江玉生,杨志勇,江华等.论土压平衡盾构始发和到达端头加固的合理范围[J].隧道建设,2009,29(03):263-266.
- [2]张宝柱.浅谈暗挖隧道洞内盾构始发反力架安全技术[J].新晋商,2020(2):2.DOI:10.12222/j.1674-6716.2020.02.065
- [3]李胜新,刘广仁,张平.盾构法隧道掘进中盾尾密封涌水涌砂防治技术[J].石油工程建设,2009,35(2):2.DOI:10.3969/j.issn.1001-2206.2009.02.024.
- [4]陈自海,杨建辉,郭小东,等.软土地层中盾构施工参数对地表沉降的影响研究[J].隧道建设,2015,35(12):1281-1286.
- [5]傅鑫晖,莫涛,张晨,等.复合地层盾构机刀盘结泥饼成因及预防措施[J].地下空间与工程学报,2020(02):016.
- [6]杨建辉,渠开胜.软土地层中地铁盾构施工引起地表沉降规律研究[J].科技通报,2015,31(5):114-118,123.
- [7]罗卓琳.地铁盾构施工有害气体监测及综合治理[J].中国科技博览,2014(31):1.
- [8]白雪 主编.GBZ/T 205-2007 密闭空间作业职业危害防护规范[J].