

地铁盾构法隧道工程施工风险管理研究

胡爽爽

上海隧道工程有限公司

摘要:近年来,随着国民经济实力的快速提升城镇化进程不断加快,城市常驻人口数量逐年递增。城市人口的增长给城市交通带来更多的压力,城市轨道交通做为城市内优质便捷的交通工具,可以有效缓解交通压力,已在多数城市地区广泛建设和应用。盾构法是地铁隧道施工中常见的施工技术,近年来城市地铁项目的日益增加,盾构技术也得到了快速的发展。由于盾构法主要应用于规模大、技术复杂的隧道施工项目,通常具有投资金额大、工序交错复杂,影响范围广等特点,并且一些常见的地质灾害也会给施工造成较多风险和困扰。因此,加强地铁盾构法隧道施工控制,强化施工过程中的技术管理和风险管理尤为重要。本文结合地铁盾构法隧道施工工序,分析盾构法隧道施工的风险特点及常见的事故类型探讨地铁盾构法隧道施工中风险管理及控制措施,旨在为类似项目施工提供一定经验参考。

关键词:地铁盾构法;隧道施工;施工技术;风险管理

【DOI】10.12254/j.issn.2096-6539.2022.15.052

随着我国经济制度改革的不断深化国民经济水平得到了快速提升,城镇化建设进程的不断加快带动了城市地铁的建设和发展。地铁的应用价值较高,不仅具有便捷、高效、节能、环保等特点,同时具有运量大、节省土地空间的优势。根据国家交通部数据统计,截至至2022年7月,我国内陆地区城市轨道交通的开通线路已达8000余公里,其中地铁的占比约为79%。并且已有四十八个城市开通并运营城市轨道交通,线路多达250余条,同时在建地铁项目约为7000余公里。地铁的运营不仅使人们出行更加便捷也有利于带动地区经济发展,不过由于整个工程项目资金投入量大影响范围广,因此对于项目施工管理要求更为严格。地铁隧道施工是地铁项目的关键工作,常规的地铁施工方法分为明挖回填法、钻挖法(盾构法、矿山法)。盾构施工法是钻挖法的一种形式又称盾构法,是通过盾构机的刀盘进行挖掘推进,盾体做为支撑结构的钻挖方法。随着机械化程度的不断提升盾构施工法被更多的应用,并已逐渐成为地铁隧道施工的主要方法。

隧道施工是地铁工程中重要的分部分项工程,由于隧道施工流动性强、复杂性高、风险因素多等特点,且施工过程中穿梭于城市地下区域,影响较为广泛,因此

更加不利于施工风险管理和控制。近年来由于地铁隧道施工风险管理意识不足,加之各地加快了地铁项目的建设,地铁隧道施工事故时有发生,造成了较大的经济损失和较为恶劣的社会影响。因此在项目施工过程中项目管理人员如何根据施工情况有效开展风险分析,减少施工隐患降低风险等级避免安全事故,成为项目管理时必须重视和思考的问题。

一、地铁盾构法隧道施工的主要工序及流程

地铁盾构法隧道工程具有综合性强、规模跨度大、受外部因素影响多的特点,施工工序较为复杂,本文结合常见的地铁隧道施工流程将盾构施工工序分解为五个步骤,即:盾构施工准备阶段、竖井工序施工、盾构始发阶段、盾构掘进阶段以及盾构到达阶段。

(一) 盾构施工准备阶段

盾构施工主要是地底隧道的开挖施工,而地下施工涉及的影响因素也非常多,因此施工前必须进行充分的勘测和分析,才能有效保证隧道施工的顺利推进。盾构施工准备工作主要包括:地质结构勘测、施工测量、施工方案制定、施工图纸设计、施工监测点布置、施工机械选型、施工周边设施调查及结构承载性检测等。

(二) 竖井工序施工

依据使用功能隧道竖井施工主要分为两类,一是用于盾构机始发竖井,一是用于盾构机接收竖井。通常施工过程中需要采用竖井使盾构机由地上进入地下施工区域。竖井的作用除了在隧道施工过程中应用外,运营阶段通常将其改造为通风、排水或车站等功能性设施。在竖井施工阶段必须完成水平坐标的传递、水准点设置、贯通测量、竖井开挖以及竖井加固维护等工作,以确保后续工程的顺利推进。

(三) 盾构始发阶段

盾构机由基座开始运行出发,利用负环管片及反力架产生的反向作用力使其由始发竖井进入到地下指定位置开始作业。盾构始发阶段不仅需要封堵洞门拆除临时挡墙同时需要完成后反力架、负环管片的拆装及始发掘进和盾构设备组装调试工作,并且需要完善其他一些附属性工作如土体加固、封门凿除等。

(四) 盾构掘进阶段

盾构掘进是隧道盾构施工的主要阶段包含工序较多,如:盾构推进、衬砌面加固处理、二次衬砌、壁后注浆、管片的拼装及开仓换刀等工作,同时还包括推进

过程中土方的开挖及运输。在盾构掘进阶段，推进深度、注浆情况及压力都会影响到整体的掘进速度，因此在施工过程中需要结合施工地点的地质情况设置合理的参数，并且相关的参数需根据土质变化而随之调整。

（五）盾构到达阶段

当盾构施工推进至距车站100米左右距离时，通常这一阶段称之为盾构到达阶段。盾构到达阶段施工是较为关键的阶段包括盾构接收基座安装、洞门凿除、土体加固等相关工作，并且工作中要保证工作速度和效率尽量减少保护土体的暴漏时间。

二、地铁盾构法施工中风险特点及常见事故

地铁隧道施工具有很强的隐蔽性，施工过程中的通风、排水、照明等都在地下进行，施工难度大。随着近年来城镇化的不断推进，城市人口密度快速增长，地铁项目的规模和数量也在快速增长，由于地铁隧道施工的隐蔽性，地铁安全和质量事故频发导致了大量人身伤亡和经济损失。

（一）盾构施工风险特点

由于地铁隧道施工过程中的风险较为隐蔽，风险管控难度较大，许多隐藏的风险难以被及时发觉，很多时候需要开挖后才能发现隐患，给施工人员造成潜在危险，这也使施工中的风险性更高。隧道的地质情况会直接影响盾构法隧道施工进度和施工安全，在施工过程中通常需要反复对地质情况进行勘测，确认相关数据并根据数据设定盾构推进参数和施工方案，不过由于地下结构的复杂性，有时也会出现勘测不全或不准确的情况会直接影响到施工人员安全给施工作业带来风险。由于地

铁隧道施工穿梭于城市地下，在施工过程中难免会对地下管线以及地上建筑造成一定影响，并且此类设施的结构也会直接影响着施工的总进度。同时若施工过程中测量数据偏差、沉降数据观察不准确或施工方案选择不合理等都会对地上建筑和地下施工的安全性造成影响，且也会造成恶劣的社会面影响。隧道穿梭于一些特殊的地质结构过程中，如暗涌、有毒有害气体、特殊土质等区域时也存在较大施工风险。地铁隧道风险发生后会造成较为严重的后果，不仅会导致延误施工进度导致设备损坏，严重时会造成大量人员伤亡及社会影响。

（二）地铁隧道施工的相关事故统计

近年来，我国各地争相进行地铁建设，不过由于部分项目施工过程中对于风险缺乏有效的认识和分析施工风险管理不到位，以至于导致安全事故的发生。在地铁施工事故中最为严重的是2008年“11·15”杭州地铁一号线坍塌事故，此次事故直接导致萧山区湘湖风情大道约75米道路路面坍塌下陷，附近河流决堤。此次事故最终导致21人死亡，4人失踪，事故直接经济损失5000余万元，人员伤亡惨重且社会影响极为恶劣。

结合官方相关公布和报道，笔者统计了近年来我国地铁隧道施工过程中出现的部分典型安全事故案例，见表1所示。

三、地铁盾构法隧道施工风险管理措施

综上所述，地铁盾构法隧道施工不同于普通的城建项目，在施工过程中不仅环境复杂、综合性强、施工工艺繁杂，同时具有风险隐蔽性强、社会面影响范围广等特点，这些特点不仅影响着项目的开展和推进同时也影

表1 近年来我国地铁隧道典型施工安全事故

序号	事故时间	事故地点	事故简述	事故导致的后果
1	2019年5月27日	青岛地铁4号线静-沙区间	隧道洞内塌方，导致崂峰路路面塌陷	事故导致3人死亡，2人失踪
2	2018年01月25日	广州地铁21号线水-苏区间	带压开仓过程中，使用电焊机，因电焊机短路引发火灾。	事故导致3人死亡，经济损失1000余万元
3	2018年02月07日	佛山地铁2号线绿岛湖站-湖涌区间	突发透水，施工人员尝试堵漏未果，导致隧道上方30多米地面坍塌。	事故导致11人死亡，1人失踪、8人受伤，造成直接经济损失约5500万元。
4	2016年10月19日	沈阳地铁9号线盾构施工区间	开仓换刀过程中，地面沉降造成城市自来水管破裂积聚大量泥水涌入仓内，造成路面塌方。	事故导致3人死亡
5	2012年11月09日	南昌地铁1号线盾构区间	施工过程中竖井维护的结构受到破坏导致竖井坍塌	事故导致1人死亡
6	2015年01月02日	武汉地铁3号线市民之家站-宏图大道站区间	盾构施工过程中导致天然气管道出现破损、泄漏，出现爆炸事故。	事故导致2人死亡
7	2003年07月01日	上海地铁4号线浦-南区区间	联络通道出现严重渗漏水现象，水土流失严重导致地面沉降超标。	事故导致直接经济损失1.5亿元，事后修复完善费用耗费近10亿元

响着项目施工管理的有效性。因此在地铁盾构隧道施工过程中全面、有效的开展风险管理是工程管理的必要条件。

（一）施工组织方面管控

1. 建立健全风险管理制度

完善的制度是工作开展的前提和基础，也是风险管理工作开展的主要依据。地铁盾构法隧道施工风险管理首先要健全安全管理制度，完善全员安全管理责任制度，制定符合施工情况的安全培训制度，提高人员的安全责任意识。加强对特种作业人员的检查和审核。作业前应落实安全检查制度，根据隧道施工作业规范以及安全技术标准定期开展安全隐患检查工作，提升安全管理水平。

2. 制定科学合理的风险管理体系

地铁盾构法隧道施工要充分结合国家两个体系制度建设指导思想，完善自身安全管理体系，充分提升安全监管的有效性。结合地铁盾构法隧道施工特点，依据风险分级管控和隐患排查治理体系的深层内涵，切实提高安全管理水平。根据单位实际情况全员开展风险辨识活动，制定分级管控策略全员参与、全员管理。要加强安全监管，充分创新安全管理方法，开展全员隐患排查处理评比活动，提高人员参与积极性，将安全目标作为各项评比的硬性考核指标，将风险预判与安全目标相结合，将隐患消除于初始阶段，进一步降低事故概率。

（二）施工环境方面管控

地铁盾构法隧道施工中常见的灾害包括坍塌、冒顶、涌突、岩爆等地质灾害。为了保证施工时的安全，施工前不仅要结合当地有关部门的地质报告和数据，同时要充分对地质情况进行调查分析，准确的分析出预要进行的工作面地质情况，包括隧道内的岩层分布和类型变化、各种岩性接触带的位置以及其他水文地质条件，采用超前地质预报分析手段进行监测分析有效的避免上述类型危害，保障施工安全。不过由于隧道实际施工时所应对的地质结构更加复杂，有时采用超前的探测勘验并不能完全保证预测的准确性，所以施工过程中也要加强安全监测和管理，发现异常沉降和突发情况时立即检查处理。

（三）加强盾构施工中设备管理

施工作业前必须结合作业区域的地质条件选择匹配的盾构机型，并且要根据作业方案和施工特点做好盾构刀盘以及刀具的设计。施工前做好盾构机设备的维护和检查，确保其可靠性。在盾构机刀具更换作业时，应采用动态换刀的形式，并且要遵循快速、高效的原则，要逐步加强信息化的应用，提高设备整体的信息化水平，提升安全性。

（四）施工技术环节的风险管控

地铁盾构法隧道施工的风险管控要根据工艺特点有针对性地制定管控措施，识别工序中的风险单元和风险级别，逐级制定管控措施。特别是施工中的关键性工艺，施工前要结合现场环境特点对地理条件和地质特性进行可靠性分析，完善工前任务单。要做好质量检查工作保证工作质量，为后续工序打好基础。在注浆过程中要科学的选用配比，注浆时要严格按照施工方案进行，注意注浆压力和速度的控制。在水资源丰富的区域要加强排水系统的风险管理，特别是土质含水量高的区域必须设置机械性排水装置，整个工程排水系统设置必须经过技术人员分析和专家论证，确保安全性。施工过程中的支护必须严格按照设计要求和施工方案进行，根据地质条件变化及时调整掘进参数，认真分析支护方案的合理性和可靠性。定期对支护情况进行检查，当支护情况发生变化时要立即实施加固和补救措施。要制定完善的突发事件应急预案，有利于出现突发情况时可以科学合理组织工作，降低事故损害。

四、结束语

近年来随着我国城镇化进程的不断加快，地铁工程得到快速发展。盾构法作为地铁隧道工程最为常用的方式，其施工风险管理尤为重要。地铁盾构法隧道施工中为保证施工整体的安全推进必须严格落实地质监测，科学进行盾构选型设置合理的掘进参数。施工过程中要加强质量管理和支护检查，制定完善的应急预案，加强信息化技术的应用提升整体安全性。综上所述，地铁盾构法隧道工程危险性高、技术难点多、施工情况复杂，因此风险管理必须要严、细、精，通过不断的探索总结，制定出适合地铁盾构法隧道施工的技术以及安全标准。从而确保隧道工程的稳步发展和提升，推进地铁工程的可持续发展。

参考文献

- [1] 王劲博. 盾构隧道衬砌背后空洞的危害及分布规律特性研究[J]. 河南建材, 2022(12): 18-20.
 - [2] 袁涛涛. 地铁隧道盾构法施工中的地面沉降问题研究[J]. 工程研究与实用, 2022, 3(16).
 - [3] 郝景益. 盾构掘进过程中壁后注浆液对管片上浮的影响及控制[J]. 流体测量与控制, 2022, 3(6): 26-29.
 - [4] 马坤, 孙世梅, 傅贵. 杭州地铁施工重大事故行为原因研究[C]. //第五届行为安全与安全管理国际研讨会论文集. 2018: 198-201.
- 作者简介: 胡爽爽(1994-9), 男, 汉, 湖北黄冈, 大学本科, 助理工程师, 主要从事工作范围: 市政工程(隧道, 地下结构)。