

探究多风险因素耦合下的地铁施工安全技术

王福园

中铁十二局集团有限公司

摘要:为提升地铁施工的安全性,采取有效的施工安全技术,在地铁施工过程中要对其风险因素进行综合分析,判断施工安全状态,制定科学的施工方案并进行调整。文章先对地铁施工的特点进行分析,根据地铁安全施工体系脆弱性开展多风险因素耦合分析,为地铁施工安全技术措施提出建议,以供参考。

关键词:多风险因素;地铁施工;安全技术

【DOI】10.12254/j.issn.2096-6539.2023.18.047

引言

随着我国城市化建设进程的持续推进,为市民日常出行提供更多便利,有效缓解城市交通拥堵问题,在公共交通中可以合理利用地下空间资源,加强城市轨道交通建设。地铁施工受环境、地质、技术、人员等因素的影响,可能出现安全问题,对此,要对其风险因素开展耦合分析,并选取对应的施工安全技术。

一、地铁工程施工特点

(一)施工协调性

在城市轨道交通工程的施工过程中,由于其建设施工技术复杂、成本高昂、工期较长等特点,为确保其安全技术体系的有效性,在其建设过程中要综合考虑各种风险因素,随着地铁施工进程的推进,施工环境和现场条件会发生较大变化,为减少外部因素对地铁施工安全性的影响,还及时调整施工方案和施工进度,协调各个施工环节中人员、设备、材料等要素,满足复杂的地下管道和城市道路等环境变化需求,使地铁施工质量和安全得到保障。此外,除了对施工要素的协调外,为满足相关安全规范和法律法规的要求,施工单位还要注重施工作业与自然环境的协调性,减少施工过程中对环境造成的破坏与污染,并确保施工全过程人员生命、财产的安全性。

(二)环境复杂性

地铁工程的建设主要是通过对地下空间的利用,缓解地上交通的压力,因此,在城市轨道交通线路通常位于市区的地下部分,在城市繁华区域开展施工作业,在施工安全技术开展期间,既要考虑施工现场复杂的地质条件,还要加强对地下管线的全面掌握,防止在地铁施工期间影响周边建筑和地下设施^[1]。由于施工空间大小相对有限,在地铁站的设置中还要考虑其与周围建筑之间的相互作用,避免对施工现场周边环境和居民生活造成影响,从安全性的角度出发,针对不同的环境状况适当调整技术实施。

(三)技术多样性

为减少不同施工现场环境下各种因素对地铁施工造成的不利影响,推进施工作业有序开展,在施工过程中通常设计地下连续墙、桩基、钻孔桩、盾构等复杂多样的施工技术。在这些技术的应用实践中,为使其发挥最大化的应用优势,不仅对施工人员的专业性水平提出较高要求,还要注重各种施工机械配置的先进性。在地铁施工安全技术开展期间,要做好施工机械设备和人员的协调配合,根据施工现场的实际状况选用适宜的施工技术,必要时可对其进行调整和改进,确保施工作业安全性,推动地铁施工有序进行。

二、地铁施工技术中多风险因素耦合分析

(一)脆弱性理论

在现代社会中随着城市轨道交通建设数量的增多,地铁具有施工复杂性和形式多样性等特征,不论其中某一种或多种风险因素都有可能导致不可逆的经济损失或人员伤亡状况出现。脆弱性理论以复杂网络理论为基础,对网络中的关键站点进行明确,进而深入分析城市轨道交通网络的统计拓扑参数,最终完成对网络脆弱性的研究。在地铁施工安全技术中应用脆弱性理论对其风险因素展开分析可以发现,以其在受到干扰时的敏感性、在不利影响中的恢复力、在遭遇风险时的暴露性、在面对各种不利因素时的适应性和应对力等为研究对象,对地铁施工中的多风险因素进行分析。

在地铁施工中的多风险因素耦合分析中可在脆弱性理论的基础上,根据地铁施工安全技术从暴露度、敏感度、适应度三个方面对其多风险因素展开分析,结合实际状况综合考虑多种因素之间的相互作用,总结多风险因素在信息、能量、物质之间交换过程和规律。在暴露度分析中,人为风险因素包含操作失误、违法装载、违规作业、资质较低等;机械风险因素包含水压控制不当、设备技术落后、设备运行故障等;环境风险因素包含有害气体、软弱土层、复杂地质、恶劣天气、地下水上涨、砂性土层或粉土等;管理风险因素包含责任落实到位、管理制度不完善、安全监管未落实、施工方案不科学等。在敏感度分析中,人为风险因素包含心理素质、人员责任感、人员安全意识等;在机械风险因素中包含设备固有设计缺陷、设备故障频率较高、设备设计不满足标准要求等;环境风险因素包含围岩变形、恶劣天气频繁出现等;管理风险因素包含安全政策执行不及时、安全管理秩序不稳定、劳动人员安排不合理等。在适应度分析中,人员风险因素体现在管理人员的

组织协调能力不足和施工人员的应急处理能力较差；机械风险因素体现在防护措施不到位和设备有效性不足；环境风险因素体现在紧急环境问题处理不及时和地质整理方案实施不准确；管理风险因素体现在应急预案落实不到位、管理制度模式混乱和安全教育开展不充足^[2]。

（二）地铁施工多风险因素耦合机理

通过查阅相关文献的方式总结地铁施工中的风险因素，可以将其风险源分为人员、机械、环境、管理四种，这四种风险因素本身在其内部和外部之间存在一定的耦合性，在扰动作用下发生动态变化，由于其相互之间具有较强的依赖性和关联性，如果其中某一风险因素出现扰动，就会对其他因素产生影响，对更多风险因素的出现和蔓延起到促进和推动作用，最终出现耦合现象，导致发生风险事故。

人员的不安全行为会导致其在地铁施工安全技术中发生人为失误；机械设备的的社会安全因素会致使其在运行期间出现设备故障问题；环境的不安全状态使得地铁施工环境脆弱性较高；管理漏洞的存在也会加重无效管理的现象，通过这些风险因素的出现都会对地铁施工的安全性造成影响，其中各自又涵盖多个子因素，具有阶段性、递次性的特征，对地铁施工安全技术造成影响，最终发生安全事故。

地铁安全施工多风险因素耦合过程的动态变化以外界扰动为起点，当其受到外界扰动的脆弱性影响时，受上述多种风险因素的影响，在其未冲破暴露度和敏感度阈值时会表现出事故征候。当其冲破阈值后，在敏感度的作用下达达到耦合滤波器，并向耦合振荡器传输，出现耦合脆弱性因素脉冲，如果其恢复能力较好。未冲破适应度阈值，就会出现严重事故征候，反之，则会冲破适应度阈值，发生安全事故。

（三）多风险因素的耦合分析

为从客观角度对地铁施工安全技术中的多风险因素进行耦合分析，在分析过程中可结合脆弱性理论和风险因素各因子的耦合程度，对其整体的脆弱性进行度量，降低主观偏见和思想干扰，对地铁施工整体的安全技术脆弱性进行全面掌握。在具体的分析过程中，一方面，要以过去地铁施工中已经发生安全事故为依据，对其客观数据进行科学计算，明确地铁施工安全技术中的风险因素个数和相互耦合、相互依赖的风险因素个数。另一方面，根据地铁施工安全技术不同风险因素的风险程度划分，采用单因素体系、双因素体系和多因素体系的脆弱性风险耦合分析，准确判断地铁施工安全技术的脆弱性高低。

在地铁施工安全技术多风险因素的耦合分析中，既能从人员、机械、环境、管理四种风险因素出发，完成单因素体系、双因素体系和多因素体系的脆弱性风险耦合分析，还可针对四类风险因素，结合安全技术整体的暴露性、敏感性和适应性完成单因素体系、双因素体系

和多因素体系的脆弱性风险耦合分析^[3]。对不同耦合状况下某一风险发生的可能性和风险程度进行科学计算，有效评估地铁施工安全技术中不同耦合因素产生影响的严重程度，促使分析结果的可信度和客观性得到有效提升。

多风险因素耦合分析中由于不同因素之间存在不同程度的交互，在其计算工程中可按照如下公式对地铁施工安全技术的有效性进行深入分析。

$$T(a,b,c,d) = \sum_{r=1}^R \sum_{j=1}^J \sum_{h=1}^H \sum_{g=1}^G P_{r,j,h,g}$$

式中，a, b, c, d分别代表人员、设备、环境和管理四个方面的风险因素；r, j, h, g分别代表四种风险因素的状态； $P_{r,j,h,g}$ 代表人员、设备、环境和管理因素在r, j, h, g状态下发生耦合风险的概率。

在完全耦合状态下借助多风险因素对其进行量化评估，根据其计算结果可以发现，计算数值越大，多风险因素的耦合程度越高，就代表地铁施工安全技术体系的脆弱性越高，安全性越低；反之，如果计算数值越小，多风险因素的耦合程度越低，就代表地铁施工安全技术体系的脆弱性越低，安全性越高。

三、地铁施工中针对多风险因素的安全技术措施

（一）加强人员安全教育

一般情况下，地铁工程施工工作的开展涉及大量的施工人员，从整体上看，这些人员在施工技术、思想认识等方面存在较大差异，导致地铁施工安全技术的实施无法得到有效控制，如果其在施工过程中出现操作不当或违规行为，都可能引发安全事故。针对地铁施工中人员风险因素的影响，在安全技术措施中要加强人员的安全教育，使其安全意识得到有效提升，并具备较强的安全防护能力，在具体的施工作业开展期间自觉对个人行为进行规范，防止因人员因素的影响导致地铁施工出现安全事故。

施工单位要控制因人为因素影响引发的安全事故，在其施工队伍建设中，要先从稳定性和长期性的角度出发，在人员聘用中尽量减少对临时工的使用。在人员正式进入工作岗位前，落实系统化安全教育工作，在三级安全教育完成后还要加强考核工作的开展，在确保人员全面掌握安全知识与技能后方可允许其正式参与地铁施工建设作业。

在开展人员安全教育期间，要使其贯穿于地铁施工的全过程中，在各个施工环节对安全教育内容进行针对性调整，将其作为一项长期坚持的工作，充分发挥班组的教育职能，帮助施工人员对施工风险和安全技术的重要作用产生更深刻的认识，掌握地铁施工安全技术^[4]。在安全教育培训中设置防护用品使用、应急处置程序、安全操作规程、安全施工技能等内容，针对不同施工环节和具体工种，制定针对性的安全教育方案。在此基础上，定期组织人员开展安全演习活动，通过实战模拟和

现场演练的方式帮助人员掌握突发情况下的应对方法，及时发现施工过程中潜在的安全隐患，减少安全事故的发生。

（二）完善技术设备管理

在现代化社会背景下的地铁施工安全技术措施要结合科技水平的快速提升，在确保人员操作规范性和技术水平高超性的基础上，加强对先进技术和设备引进与应用。

一方面，在技术管理中将应用新技术作为促进地铁施工安全技术提升的重要手段，在无人机技术、机器人技术、智能传感技术等先进技术的支持下，推动施工监控、危险作业、参数预警等安全技术的创新发展。为确保先进安全技术的应用的规范性，使其应用价值得到充分展现，针对新技术的实用性和安全性要建立一套科学完善的评估体系，并完成技术规范和标准的制定，围绕地铁施工安全需求和新技术本身的特点，开展新技术安全监管工作，促进地铁施工安全技术水平进一步提升。

另一方面，在机械设备管理中重视地铁施工机械化发展，特别是在大规模地下施工作业中，为确保各种机械设备在实际应用中处于良好的运行状态，相关人员要在全面掌握地铁施工多风险因素耦合性的基础上，密切关注机械设备维修养护的科学化开展，避免机械设备随着使用时间的延长，出现故障问题，进而引发一系列安全事故，并对地铁施工质量造成不利影响。对于所有进入施工现场的机械设备都要先对其运行状态和使用性能进行检测，将设备检查和维修工作的开展进行详细记录。针对其中部分机械设备中出现老化、磨损的构件，要定期对其进行更换或维护处理。在机械设备实际应用的过程中，要注重操作的规范性，并防止其出现超负荷运行的状况。针对部分重要的特殊机械设备，要对其操作人员的资质进行审核，加强机械设备的安全管理，提高地铁施工安全系数。

（三）完善环境动态监测

在地铁施工的全过程中，地下环境通常会随着施工工作的开展发生变化，如果不对其展开动态检测，就有可能对周围环境和社会造成影响。对此，为尽量避免在地铁施工中出现安全事故，在安全技术措施开展期间，要充分认识动态监测在安全风险防范和化解中的重要作用，针对地铁施工中环境风险因素，综合运用多种环境监测技术，对地下基坑、周围建筑和地上主体实施规范化的环境监测，建立动态监测机制并确保其落实到位。

如果在地铁施工中出现地下水位超标的现象，就可能引发坍塌、涌水等多种安全问题，最终导致地铁施工出现安全事故。此外，地基沉降和断层活动也是影响地铁施工安全多风险因素中重要的环境因素，致使建筑物出现倾斜和开裂现象，严重影响地铁的稳定性。为有效控制环境因素对地铁工程施工安全的影响，在安全技术措施中要规范开展动态监测工作，促进环境风险识别和

控制能力的提升。在确保监测设备与技术先进性的基础上，根据地铁施工实际状况建立完善的监测系统，构建可视化地铁施工环境动态监测系统，从监测精度和运行稳定性的层面选择适宜的监测设备^[5]。针对动态监测中发现的异常数据要技术对其展开科学分析，并向上级部门及时上报，采取紧急处理措施，切实保障地铁施工安全性。

（四）优化安全管理机制

管理作为地铁施工安全技术的重要内容，也是影响地铁施工安全的关键因素之一，在地铁施工安全技术措施中要加强安全监管体系的建立与完善，严格执行各项安全管理推动，确保安全生产责任制落实到位。在安全管理制度体系的编制中，对地铁施工中的安全风险和特点进行分析，针对设备、人员、材料等实施严格的安全检查。围绕地铁工程实际状况制定合理性、可行性、适用性较强的安全管理制度体系，加强施工单位与其他参建单位之间的联系，以施工进度为基础，对安全管理制度的细节进行不断调整和优化，充分发挥制度体系的约束和引导作用，确保人员生产行为实施的规范性。根据地铁施工建设规模大小，做好部门和人员分工，明确其安全管理责任，针对各个施工环节中潜在的安全隐患，采用随机抽查和定期检查相结合的方式，及时发现施工过程中的违规行为和安全隐患，通过严格执法促进安全问题整改，降低地铁施工发生安全事故的可能性。安全监管部门要与地铁工程施工单位开展密切合作，加大安全隐患排查工作开展力度，以管线预埋、墙壁倾斜、基坑支撑、临时用电等作为隐患排查的重点内容，强化地铁施工安全保障。

结论

综上所述，在现代城市公共交通中地铁具有十分重要的地位和作用，在确保地铁施工安全技术开展的有效性，要结合施工安全影响因素开展多风险因素耦合分析，根据不同地铁工程施工现场的实际状况，提升人员安全教育、机械安全运行、环境安全监测和安全管理落实的针对性，推动地铁施工安全开展。

参考文献

- [1] 陈延辉, 逯玉连. 城市轨道交通地铁施工安全管理探究[J]. 户外装备, 2023(7): 262-264.
- [2] 农爱康. 多风险因素耦合下地铁安全施工技术研究[J]. 工程机械与维修, 2023(03): 69-71.
- [3] 侯公羽, 刘伟, 李乐等. 多风险因素耦合的地铁施工安全系统脆弱性分析[J]. 土木工程学报, 2022, 55(02): 111-119.
- [4] 郑甲. 地铁施工安全风险评估体系研究及应用研究[J]. 企业科技与发展, 2022(10): 157-159.
- [5] 伍杨波. 基于“互联网+”的地铁施工现场安全管理举措研究[J]. 中国建筑装饰装修, 2022(5): 66-68.