

轨道交通的土建工程施工重大风险因素及其预控

孙曰森

中国电建市政建设集团有限公司

DOI:10.12238/jpm.v6i9.8396

[摘要] 我国的交通运输网络体系结构中，轨道交通是非常重要且关键的组成部分，在国内交通运输和经济发展等等方面均具有重要价值。而伴随国内轨道交通建设工作逐渐得到推进，其土建工程所处的环境发生了比较大的变化，面临的风险因素逐渐增多，其中一部分重大风险因素影响之下，轨道交通建设工作受到影响的的同时，对于一线施工技术人员的人身财产安全也具有负面影响。因此，在轨道交通的土建工程施工工作中，需要重视一系列重大风险因素的预防和控制，这对于轨道交通的土建工程施工效率和施工效益提升均具有重要意义，同时也是此类型项目施工工作的一条必经之路。

[关键词] 轨道交通；土建工程；风险因素；风险预控

Major risk factors and pre control of civil engineering construction in rail transit

Sun Yuemiao

China Electric Power Construction Municipal Construction Group Co., Ltd.

[Abstract] In China's transportation network architecture, rail transit is a very important and critical component, with significant value in domestic transportation and economic development. As the construction of domestic rail transit gradually advances, the environment in which its civil engineering works are located has undergone significant changes, and the risk factors it faces have gradually increased. Under the influence of some major risk factors, the construction of rail transit is affected, and it also has a negative impact on the personal and property safety of frontline construction technicians. Therefore, in the construction of civil engineering projects for rail transit, it is necessary to pay attention to the prevention and control of a series of major risk factors. This is of great significance for improving the construction efficiency and benefits of civil engineering projects for rail transit, and it is also a necessary path for the construction work of this type of project.

[Key words] Rail Transit; Civil engineering; Risk factors; risk precontrol

引言：

从城市基础设施角度来看，轨道交通土建工程作为城市基础设施核心构成，其施工安全与质量不仅影响项目自身推进，同时还直接关系公共利益与运营安全。轨道交通的土建工程施工过程中面临众多风险因素，包含地质条件复杂、作业环境多变、技术标准严格等等，潜在重大风险因素贯穿设计、施工、监测全周期，在不重视重大风险因素预防和管控的情况下，一方面制约实际建设工作的推进，另一方面还会导致施工技术人员的人身财产安全得不到保障。因此，本研究将开展针对性探究和分析，旨在提升施工风险预控科学性，保障工程安全高效推进，为城市轨道交通建设提供理论支撑与实践指导，对于提高工程的可控性与可靠性、保障轨道交通建设的可持续发展意义深远。

一、轨道交通的土建工程施工重大风险因素预控的重要性

（一）保障人员生命健康安全

工程建设施工过程中，最为重要的基础性原则就是“安全性原则”，轨道交通土建工程也不例外。而且，土建工程施工项目具有显著的环境复杂、作业空间受限等等也正，存在较多的重大风险因素，包含高支模、深基坑等工序隐含坍塌、高处坠落等致命威胁等等。在建设施工工作过程中，如果缺失前瞻性风险辨识与评估，潜在隐患会进一步发展，甚至演变为现实灾难，直接危及施工人员及周边公众的生命安全。通过重大风险因素的预控，可以超越事后补救的被动模式，转向源头治理的主动防御，构建一种本质化的安全屏障。对于具体的轨道交通土建工程来说，重大风险因素预控可以显著降低严重伤亡事

故概率，营造安全可控的作业氛围，从而为整个项目的顺利推进奠定人本基础^[1]。

（二）维护工程本体质量与结构稳定

轨道交通土建工程不同于一般性建设工程，其需要长期承载轨道交通的基本职责，需要其保持工程质量和长期结构稳定性，对重大风险因素实施预控对于实现这一目标具有决定性作用。土建工程的施工质量直接关系到线路未来数十年的运营安全与耐久性能。如果不重视重大风险预控^[2]，意味着一系列风险将成为质量隐患，包含隧道开挖引起的地层扰动、基坑降水对周边土体的影响、以及隐蔽工程存在的缺陷等等，有可能引发结构沉降、变形甚至破坏，工程质量和结构稳定性得不到保障，甚至形成永久性缺陷。而通过重大风险的有效预控，可以将质量保障从结果验收前置到过程管控，实现从“建造”到“造优”的转变，为轨道交通系统提供可靠坚实的硬件基础。

（三）规避巨大社会经济损失

依据现状来看，轨道交通项目具有投资规模巨大、社会关注度高的特点，其土建工程施工不重视重大风险预控，一旦发生重大事故，将引发连锁负面效应。包含事故导致的工程中断、工期延误会产生直接经济损失，并可能引发合同纠纷与巨额赔偿等等。更为深远的影响在于，由于轨道交通是城市化的组成部分，事故和相关问题的出现，有可能对城市交通网络建设进度造成阻滞，打乱区域发展规划，影响公众出行便利与城市经济发展节奏。而风险预控过程中，可以通过一系列的前瞻性决策，以较小成本投入避免可能发生的灾难性经济后果与深远社会影响，从而保障重大公共基础设施投资的有效性，维护社会资源利用的效益与稳定，这也是轨道交通土建工程施工工作所必须要重视的基础工作内容。

二、轨道交通土建工程施工面临的重大风险因素

（一）复杂地质与水文条件

伴随着国内城市轨道交通事业的快速发展，轨道交通土建工程所触及的面积越加广泛，复杂且不确定的地质与水文条件出现概率也变得越来越高。轨道交通土建工程线路往往穿越不同地层，由此，工程往往容易遭遇软土、砂卵石、溶洞或断裂带等不良地质体，以上这些地层的物理力学性质差异显著，其强度、变形特性与稳定性难以精确预估^[3]。高地下水位、承压水或存在腐蚀性的地下水文环境出现之后，产生的水土压力作用容易对基坑围护结构与隧道衬砌形成巨大荷载，潜在地下水渗流可能引发涌水、涌砂等等事故情况，进而对工程安全构成根本性威胁。

（二）深大基坑开挖失稳

深大基坑工程是城市轨道交通建设中的基本工作内容，而基坑开挖深度大、周边环境拥挤的状态下，工程自身的安全稳定性面临严峻考验。工程坑壁的土体在卸荷作用下，其应力状

态也随之发生对应的改变，后续有可能产生较大侧向变形与基底回弹。而且，在轨道交通土建工程基坑降水若处理不当的情况，不仅影响坑内作业，还容易导致坑外土体固结沉降。而且，从工程施工角度上来看，整个开挖过程本身是动态的土-结构相互作用过程，任何工序失误或外部扰动的情况下，有可能打破脆弱平衡，进而导致支护结构失效、坑壁坍塌或基底隆起。

（三）隧道施工引发地层变形

在轨道交通土建工程的建设施工过程中，隧道开挖施工导致原有地应力平衡被打破，应力重分布导致围岩向隧道内移动，后续就会出现地层损失的问题，而伴随着施工过程的推进，变形情况向上传递逐渐波及地表，导致地面沉降或隆起。过大的或不均匀的地层变形情况的出现，使得隧道自身轴线偏位与衬砌结构受力遭受到严重负面影响，更可能危及沉降影响范围内既有建筑物、地下管线的安全与正常使用。施工过程对地层变形的控制精度直接关系到上方环境的安全^[4]。

（四）邻近既有建筑物影响

城市密集成区是轨道交通土建工程的主要区域之一，这导致施工过程紧邻或下穿既有建筑物的作业蕴含极高风险。施工产生的振动、噪声、地层位移看起来常见，但容易对邻近桥梁、建筑基础、地下管线、铁路等设施的正常使用寿命与安全性能产生不利影响。基础差异沉降可能导致上部结构产生附加应力，出现裂缝甚至影响结构整体稳定性。对历史保护建筑或精密设施，其允许变形值极为苛刻。目前在轨道交通土建工程的正式施工之前，虽然可以进行评估与监测，但土体与结构相互作用的机理十分复杂，精确预测影响程度存在困难，使得邻近施工始终存在不可预见的风险与潜在冲突。

三、轨道交通的土建工程施工重大风险因素预控方式

（一）复杂地质与水文条件预控管理

轨道交通土建工程施工面临复杂地质与水文条件时，施工难度得到提升，风险因素也随之提升，因此相关施工单位在实际的施工过程中，需要采取全面且系统的预控措施。施工团队在正式施工之前，可以开展详尽的地质勘察工作，运用多种勘察手段如钻探、物探、室内试验等，获取沿线地层的详细地质信息，包括地层类型、分布规律、物理力学性质等，为后续轨道交通土建工程设计与施工提供精准依据。在此基础上，施工单位还可以建立地质风险评估体系，依据勘察数据对施工过程中可能遇到的不良地质体进行划分，包含软土、砂卵石、溶洞、断裂带等进行风险等级划分，并且针对不同风险等级制定相应的预控策略^[5]。另外，施工团队需要加强地下水文监测与控制，通过布置水位观测井实时监测地下水位变化，防止因降水过度导致周边土体沉降问题的出现，同时采取截水、堵水措施减少地下水对基坑及隧道施工的影响。

（二）深大基坑开挖失稳预控

深大基坑开挖作为轨道交通土建工程的关键环节,其对于土建工程施工工作十分重要的同时,本身也是风险因素较多的施工环节,对应的风险因素预控至关重要。在工程前期,相关的施工团队需要进行精准的勘察与设计工作,详细查明基坑周边实际情况,包含相关的地质条件、地下水文情况以及周边环境特征,并且依据勘察结果运用数值模拟分析等手段对基坑开挖过程中的土体应力释放、变形规律等进行预测,并在此基础上制定科学合理的基坑支护设计方案,后续可以依据实际情况选择适宜的支护结构形式,具体包含排桩、地下连续墙、土钉墙等等。施工阶段,施工团队需要严格遵循分层分步开挖原则,严格控制每层开挖深度与高度,进而减少土体暴露时间及施作支护结构,使得支护结构与土体的协同作用得到协同。同时,加强基坑降水管理,根据水文地质条件合理设计降水系统,控制降水速率与降深,避免因降水过快过多引发周边土体沉降与基坑隆起,及时调整降水方案。

(三) 隧道施工引发地层变形预控

轨道交通隧道施工过程中,地层变形是一个重大的风险因素,容易导致施工质量得不到保障,甚至导致一线施工技术人员的生命财产安全得不到保障,因此,隧道施工引发地层变形预控需要贯穿工程全生命周期。在规划与设计阶段,施工团队需要充分考虑隧道穿越地层的地质特性,结合工程实际情况运用数值模拟与模型试验等方法,针对施工过程中地层应力重分布、围岩变形等进行模拟分析,依据分析结果优化隧道断面形状、衬砌结构形式与参数,由此就可以使得开挖方法与支护时机合理确定,可以有效减少地层变形情况的出现。另外,在实际的施工过程中,施工团队需要严格执行“管超前、严注浆、短开挖、强支护、快封闭、勤量测”的原则^[6]。提前进行超前地质预报与超前支护,采用超前小导管、管棚等措施对掌子面前方围岩进行预加固,改善围岩力学性能。加强注浆工艺控制,确保注浆质量与效果,使浆液能够充分填充围岩裂隙与空隙,起到加固与堵水的双重作用,减少隧道开挖引起的地层损失与地下水流失。另外,轨道交通土建工程的隧道施工过程中,还需要重视强化施工监测与反馈,除对隧道内部的收敛、沉降进行监测工作以外,还需要重点关注地表沉降与周边建筑物变形情况,并且依据变化情况实现施工过程的精细化控制,将地层变形控制在允许范围内,保障隧道施工安全与周边环境安全,确保轨道交通土建工程隧道结构的质量与稳定性。

(四) 邻近既有建筑物影响预控

轨道交通土建工程施工邻近既有建筑物时,为预控施工对其产生的不利影响,应采取一系列综合性措施。在施工前,对既有建筑物进行全面细致的调查,包括建筑物结构类型、基础形式、使用年限、完好程度、周边地基土质等情况,同时对地下管线的分布、类型、埋深等进行探查,建立详细的既有建筑

物与管线信息档案,为后续施工方案制定提供基础数据支持。

依据调查结果,施工团队可以运用数值模拟、模型试验等技术手段对施工过程中可能产生的振动、地层位移等对既有建筑物与管线的影响进行预测评估,根据评估结果制定针对性的预控方案。在施工过程中,优先采用低振动、低噪音的施工工艺与设备,如选用液压挖掘机代替爆破开挖、采用盾构法或顶管法穿越等,从源头上减少施工对周边环境的扰动。除此之外,针对施工过程中存在较多影响因素的特征,施工单位还需要在正式施工中建立严格的施工监测制度,对既有建筑物的沉降、倾斜、裂缝以及地下管线的位移、变形等进行实时监测,将监测数据与预设的警戒值对比分析,一旦监测值接近或超过警戒值,立即采取相应的加固、保护或调整施工措施。同时,加强与既有建筑物产权单位、管理部门以及周边居民的沟通协调,及时反馈施工信息与监测情况,取得各方的理解与支持,共同应对可能出现的问题,通过全方位、全过程的预控措施,将轨道交通土建工程施工对邻近既有建筑物的影响降至最低限度,确保工程自身与周边环境的安全稳定。

结论:

综上所述不难发现,轨道交通土建工程施工重大风险因素预控是基本的施工环节,对于保障工程安全高效推进至关重要。目前轨道交通土建工程存在复杂地质水文条件、深基坑开挖失稳、隧道施工地层变形及邻近既有建筑物影响等核心风险,相关施工单位需要重视实施针对性预控措施,可有效提升施工安全水平与工程质量稳定性。并且保持预控工作贯穿工程全周期,融合地质勘察、数值模拟、实时监测及动态调整策略,形成从源头治理到过程管控的完整体系,进而促进轨道交通建设可持续发展。

[参考文献]

- [1]晋志超.浅析城市轨道交通工程中监理造价的风险控制措施[J].建设监理,2023,(11):53-55+89.
- [2]邱小耕,王冬梅,袁亮.成都地铁某车站土建工程施工安全风险识别和风险评价[J].四川水力发电,2020,39(S2):121-126.
- [3]李杜一.沈阳地铁白山路站土建施工安全风险管理工作研究[D].大连理工大学,2020.
- [4]余振忠.试论轨道交通的土建工程施工重大风险因素及其预控[J].山东工业技术,2018,(18):103.
- [5]张晓东.轨道交通土建工程施工的重大风险因素及其预控方法[J].企业改革与管理,2017,(19):214+216.
- [6]刘文,胡群芳,张红,等.城市轨道交通建设现场动态风险管理研究[C]//中国市政工程协会,北京市政路桥建设控股(集团)有限公司.2009中国城市地下空间开发高峰论坛论文集.上海市重大市政工程建设管理处;同济大学上海防灾救灾研究所;上海天麟安全管理咨询有限公司;2009:323-326.