

地铁机电安装工程项目施工安全风险管控探究

杨瑞文

中铁六局集团电务工程有限公司

DOI:10.12238/jpm.v6i6.8089

[摘要] 基于城镇化快速发展背景，地铁工程施工规模持续增加，而机电安装作为其中关键项目，强化安全风险管控，对保障工程质量、维护人身安全、促进行业发展具有重要意义。然而，当前项目施工存在风险意识不强、管理制度不全面等问题，基于此，本文通过相关文献查询，结合案例分析，针对地铁机电安装施工中常见安全风险进行归类，遵循施工原则，提出风险分级管控、智能化监测、强化人员培训等策略，显著减少事故的发生，以此提高机电安装工程的安全性，从而为同类项目安全施工提供借鉴。

[关键词] 地铁机电工程；安装施工；风险类型；管理策略

Research on risk management of construction safety in subway electromechanical installation projects

Yang Ruiwen

China Railway Sixth Bureau Group Electric Engineering Co., LTD.

[Abstract] Against the backdrop of rapid urbanization, the scale of subway construction projects continues to expand. As a critical component, mechanical and electrical installation plays a vital role in ensuring project quality, safeguarding personal safety, and promoting industry development. However, current construction projects face issues such as weak risk awareness and incomplete management systems. In response to these challenges, this paper categorizes common safety risks in subway mechanical and electrical installation through literature review and case analysis. Adhering to construction principles, it proposes strategies including risk classification control, intelligent monitoring, and enhanced personnel training, significantly reducing accidents. This approach aims to enhance the safety of mechanical and electrical installation projects, providing a reference for similar projects to ensure safe construction.

[Key words] subway electromechanical engineering; installation construction; risk type; management strategy

地铁是当前城市交通领域中相对重要的部分，不仅缓解当前路面交通的压力，也是推动城市发展的关键。机电项目施工，涉及多个系统的设计，包括通风空调、供电等，施工也涵盖多种风险操作，如高空、空间受限、电气等，施工环境复杂封闭，交叉作业频繁，均存在严重的安全隐患。如果机械和电气设备施工质量不合格，会造成大量人员伤亡和财产损失，同时也影响施工进度和城市交通发展。因此，全面系统分析风险管理策略，对保证工程顺利进行、维护城市公共安全具有重要作用。

一、安全风险类型分析

（一）高空坠落风险

地铁机电安装中，经常需要在高处进行设备吊装和管道安装。工人在搬运物料、调整设备位置等操作过程中，如果没有适当地使用安全带，系带钩没有紧固在坚固部件上，很容易出现从高处坠落的风险。

（二）有限空间作业风险

地铁隧道、电缆井和集水井是受限空间，存在缺氧和有害气体积聚的危险性。该区域的氧浓度可能会小于 19.5%，并且可能会积聚有害气体，如甲烷、硫化氢。在给水、排水管线和铺设管线过程中，如果不事先做好气体测试，便会造成人员出现昏厥，甚至因缺氧而引起呼吸困难。

（三）电气作业风险

地铁机电安装，需要进行大量电气设备的安装和调试工作，其中包括电力系统的变压器和配电柜的安装，也包括通信和信号系统设备布线。如果设备接地电阻低于标准（超过 4 Ω），导线、线缆的绝缘被破坏，则极易发生触电风险。安装期间，如果没有严格按照停电检查和挂接地线的规定进行施工，会造成人身触电伤害。

（四）机械伤害风险

施工期间，起重或电焊等大型机械经常被使用。当吊车进行重大机械提升时，如果钢索严重磨损或吊钩防卸机构失灵，将会造成设备的跌落；当电焊机工作时，如发现夹钳的绝缘被损坏，会对操作者造成触电伤害；使用切割机时，如果没有保护盖或者没有适当地放置，会有飞溅的碎屑对人员造成伤害。

二、安全风险管理原则探讨

预防为主：通过完善内部风险预警体系，对施工风险进行事前识别。在项目实施前，采用 BIM 仿真技术，对项目施工中潜在风险进行分析，从而提出针对性防范对策。

系统管理：地铁机电安装是相对复杂的工程，涉及工作人员、设备、环境等多种元素，这便需要制定全面性的管理系统，将工程项目策划、设计、施工和验收等各个环节纳入系统中，实现风险的系统性管理。

分级管控：针对辨识出来的安全风险进行分级，按照风险出现的可能性及结果的严重性，将其划分为四个等级，即严重、较大、一般和低风险。根据不同的风险等级，采用差别控制方法。

持续改进：安全风险是动态的工作内容，需要针对当前风险进行分析，进行不断汲取经验，持续改进管理策略。通过对事故案例和检查记录等数据探讨，发现施工中存在的问题，及时提出相应的改进措施。

三、地铁机电安装工程项目施工安全风险管理策略

（一）构建智能化风险监测系统

基于数字化发展背景，应用大数据等技术，致力构建智能化风险监测系统。施工期间，利用各种不同形式的传感设备，对工程中的风险部位进行实时监控。针对高空区域，采用倾角、位移等传感器，针对脚手架、移动平台进行 10Hz 频率的倾斜角及变形监测，当倾斜角大于 3° 或变形超过 5mm 时，进行报警。密闭环境中，提前对氧气、甲烷等气体进行实时监测，根据《工作场所有害因素职业接触限值》规定，当氧气浓度小于 19.5%，甲烷浓度大于爆炸下限（5% LEL），硫化氢浓度大于 10ppm 时，探测器会立刻产生声光警报，并将相关的信息传输到云监测平台^[1]。

监测系统采用人工智能技术，对收集到的信息进行深入分析，利用机器学习方法构建预警模型。比如建立历史数据的长短期记忆网络（LSTM）模型，可以对载荷改变引起的支架失稳风险进行 2-3h 的预报，其预报精度达到 85% 左右。以某地铁项目为例，工程采用该智能监控体系，对 3 起支架倾倒、5 起受限空间瓦斯超标等安全问题进行实时预警，针对 2-4 小时内气体含量进行系统性分析，从而合理安排工作时间，以此减少事故的发生。另外，该系统还提供多个终端的即时浏览功能，使管理者可以通过移动电话 APP 了解工程风险情况，从而实现风险的远程监控。

（二）实施安全风险分级管控动态管理

运用风险矩阵法，对企业风险进行定量评价，以此构建安全风险分级管控动态体系。将风险分为四个等级，分别是红色

（严重）、橙色（较大）、黄色（一般）、蓝色（低风险）四个等级，并根据风险等级分别制定相应的控制对策。针对严重风险源，应当制定专门的控制计划，并经工程技术负责人组织有关方面的专业人员进行验证，报送企业安全监督机构备案^[2]。比如针对已评定为“严重危险”的地铁隧道大型风机吊装作业，需要对其额定起重量进行测定，还要考虑钢丝绳断裂应力以及吊钩强度等指标，以保证其额定起重量超过风机重量的 1.2 倍，钢丝绳安全系数不小于 8。吊装期间，由 2 名专业的安全人员进行监督，同时利用激光测距机对提升的水平位移和调试进行监控。

根据项目进度和环境变化，对项目风险进行实时评估和控制。在汛期建设期间，由于积水和漏电等原因，在地下工程建设中，受限空间操作风险明显增加，风险程度从“一般”提升到“较大”。在这种情况下，需要加大排水设备布置，并按小时测定水位，保证水位在 30cm 以内。同时加大对电力设施巡视频率，每天检查电缆接头和配电箱的绝缘电阻，要求绝缘电阻值大于 $0.5\text{ M}\Omega$ 。通过 PDCA 循环，对控制流程进行持续改进。某工程通过动态管理，将前期 12 个主要风险因素逐渐减少到 5 个，风险控制措施的完成率由 70% 提高到 95% 左右，使工程的安全性得到切实的保障。

（三）强化施工人员安全培训与教育

加强人员安全训练和教育，必须建立分级培训制度。针对新入职人员，按照三阶段进行安全教育，培训时间不低于 40 课时。主要学习安全生产法，也可以涉及建设工程安全生产管理等相关规定，并对如何正确地使用安全帽和安全带等进行详细讲解。完成培养后采取闭卷形式进行测试，测试分数必须在 80 分或更高的水平^[3]。

针对电工、焊工、吊车等特殊人员，除了接受专门职业培训外，还要根据特种作业人员安全技术培训考核管理规定，进行三年一次的重新学习和培训。主要包括新设备和新技术的安全作业规程和事故案例分析。将 VR 技术应用于培训中，以模拟高空坠落、触电、火灾等事故情景，使人员有置身于事故现场的感觉。虚拟现实摔跌仿真，通过座椅的振动和风速的仿真，提高培训的逼真度，让人员对安全风险有深刻记忆。某地铁项目施工中，通过虚拟现实技术的应用，使人员的安全意识测评成绩由原来的 60% 提高到 85% 左右，违规行为下降 40%。构建培养管理档案，针对各培训时间、成绩等进行详细记录，从而为后续学习提供依据。

（四）完善安全管理制度与监督机制

强化项目、技术等各部门的安全责任，以此制定安全生产责任制度。制定《安全生产责任考核办法》，把安全生产责任制和企业业绩考评结合，确保安全生产考核占比达到 30% 以上。实行定期安全检查制度，设计专项检查、不定期检查等方式。每月进行一次例行检查，由工程安全领导小组负责，主要是考核各项安全制度的落实情况，检测设施设备运行情况，明确人员作业规范等情况^[4]。针对高危作业，如受限空间或电气操作等，

在作业前及操作期间进行专项检测。安全监督机构不定时进行随机抽样检查，每个月不少于2次。

根据安全隐患排查治理制度，针对存在问题，下发整改通知，安排整改责任人，制定整改措施，确定整改时限。对于一般隐患，要在3天之内进行整治，对于严重问题，必须停产进行治理，并且要经过安全管理机构检查。以某地铁项目为例，在进行设备安全检查时，检测到部分设备接地电阻达到 8Ω ，超出规范规定的 4Ω ，当即责令有关人员进行整改，并对相关责任人进行处罚。针对突发事件，制定系统全面的应急预案，每年进行至少两次的应急演练。通过桌面推演与实战演练，验证与提高应对能力，保证一旦出现意外事件，能够快速有效的应对。

（五）推行安全标准化施工

推进安全标准化施工，必须编制详细的机电安装安全标准化施工手册，内容包括施工前准备阶段，也要涵盖后续的设备安装和系统调试。根据《建筑施工安全检查标准》，在现场设置规范性的安全设施。尤其是高空作业领域，合理设置护栏，其高度不得少于1.2m，横挡之间不得超过0.6m，立柱之间的距离不得超过2m，同时悬挂密目的防护网。针对发生危险的工作场所，要有明确的危险种类、防范措施及紧急联络方法^[5]。

建筑材料的存放进行标准化，并对电缆、管材等材料进行分级存放，其堆积高度不得大于1.5m，并在其下方加垫木板，以防潮湿或变形。对于易燃物质如油漆、氧气乙炔瓶等，要有专门的仓库进行储存，仓库要满足防火、防爆的要求，并要有充足的消防设备，仓库的温度要低于 30°C ，而湿度要控制在60%。通过实施安全规范化建设，实现建筑工程的规范化管理，降低因违章作业带来的安全隐患。通过对某工程进行安全规范化建设，使工程现场安全水平得到明显改善，其安全保护设备的合格率由原来的75%上升至98%，而安全事故发生率下降35%。同时规范化建设有利于树立企业形象，为后续工程建设提供良好的基础。

（六）引入第三方安全风险管理服务

借助第三方安全风险管理，必须选择具有丰富地铁安全治理实践经验的专业机构。项目实施前，结合建设工程安全设施“三同时”监督管理办法，针对项目方案进行安全审查。通过对施工工艺、设备选择和工作流程的综合评价，运用HAZOP法对施工过程中存在的隐患进行辨识。比如针对某地铁项目设计进行审查时，第三方检测到该设备吊装路线通过一条埋地管道，具有撞击风险，进而提出相应的改进措施，采取分段吊装方法，从而有效防止安全隐患。

第三方采用LEC法，对项目按月进行安全检测及风险评定。对于得分在70以上的高风险工作，应提供针对性的控制措施。在工程验收时，由第三方组织根据《建设项目安全设施竣工验收评价规范》等规定，对其进行综合评估，并形成相应的评估结果。通过对工程建设实施过程中多项安全隐患的排查和整

改，完善受限空间运行许可程序，将审批时限由4个小时压缩到2个小时。第三方的参与，为项目的安全施工提供客观和专业支持。

四、案例分析

以某市地铁3号线某路段施工为例，进行通风、空调、给排水、供电等多个专业的设计，其建设情况较为复杂，存在较大的安全隐患。该工程施工早期，因对施工过程中的安全隐患没有进行有效控制，导致高处坠落事故发生。事发后，项目小组对此给予高度关注，及时进行一系列整改。

首先，建立安全隐患监控体系，通过在施工现场设置位移、倾角等传感器，并在受限空间设置瓦斯探测器，对风险进行实时监控和预警。其次，实行危险等级控制的动态管理，对各类生产经营行为开展危险评价，制定相应的等级控制表，确定相应的人员和控制措施。根据现场实际情况，提出特殊的施工计划，并进行了相关的技术鉴定。最后，加强对人员的安全教育，通过虚拟现实技术进行培训，增强人员的安全意识与技术水平。同时健全企业的安全管理体系，加大对安全的监管力度，对违反规定的操作要进行严厉处罚。

通过采取一系列对策，施工后期安全工作取得明显效果。在后续施工中，未发生安全事故，整改风险的比例为100%，违规作业数量下降80%，项目通过验收，为相关地铁施工提供可借鉴的经验。

结语：

综上，地铁机电安装施工，通过建立智能化监控、分级管控等策略，能够明显减少施工安全风险，大幅度降低意外事件的发生。通过对人员进行严格培训，提高整体人员安全意识，持续完善安全管理制度和监管体系，可以使各种施工操作更加顺畅，从而保证工程的顺利进行。未来，随着城市地铁施工技术的发展，相关行业需要结合新技术和新理念，持续改进施工安全管理体系，同时促进行业之间的技术交流和共享，进一步优化地铁交通运输系统，从而为交通行业发展提供有力的保障。

[参考文献]

- [1]刘耀军.地铁机电安装工程项目施工安全风险管控[J].人民公交, 2024, (24): 83-85.
- [2]付康.智能化技术在地铁项目机电安装及装饰装修施工安全管控中的应用探究[J].张江科技评论, 2024, (10): 93-95.
- [3]陈石峰.机电安装工程项目施工安全风险管控[J].电气技术与经济, 2024, (04): 262-264+284.
- [4]王龙飞, 张先锋, 谢鹏辉, 张亮, 朱艳阳.BIM+VR技术在地铁机电安装工程风险管理中的应用[J].工程技术研究, 2022, 7(21): 55-57.
- [5]李军, 廖龙飞, 王合良.地铁机电设备系统委外维护风险及对策探讨[J].装备制造技术, 2022, (02): 229-231.