

机电工程施工中安全风险识别与控制技术研究

杨慧

呼和浩特市京城固体废物处置有限公司，内蒙古自治区呼和浩特市，010010；

摘要：围绕机电工程施工阶段的人员设备环境交互特点，提出以场景为单元的安全风险识别与控制技术框架。研究从风险源结构化、场景分级、感知布局、算法识别、工程控制与组织治理六条路径展开，给出对象边界、数据口径与操作闭环，使隐患能够被及时发现、准确定级与快速处置。方法强调规则与证据并行，借助任务分解与作业画像构建可计算的风险清单，以监测与预案对接实现联动响应。评价体系覆盖暴露频次、严重度、响应时长与复发率四类指标，通过滚动复盘与知识条目沉淀推动持续改进，为复杂工序穿插与多专业协同条件下的安全管理提供可迁移的技术路径。

关键词：机电工程施工；安全风险识别；风险分级管控；多源感知；应急处置

DOI：10.69979/3060-8767.25.06.080

引言

机电工程施工具有作业空间狭窄、交叉接口密集、临时设施占比高与工况波动强等特征，风险既来源于设备与工器具，也来源于组织与环境与行为。传统做法依赖经验巡查与事后治理，容易在高节奏与高并发的条件下出现盲点与延误。要在受限时空中稳定降低事故概率，需要把对象、规则与流程统一在同一语义空间，把风险识别与分级管控与应急处置连接为闭环。本文在纯理论边界内提出一套可执行的识别与控制方法，围绕模型表达、监测布局、算法判定与工程控制构建多层协同，并以数据治理与例会机制巩固执行力，目标是在质量与进度不受损的前提下提高安全水平。机电专业耦合度高，管线密集与临时用电与吊装频繁，轻微偏差会在链路上放大为事故。把识别嵌入准备与执行与收尾，让排程与治理在同一平台协作，以作业画像与风险矩阵促成共识与稳态控制。

1 安全风险识别的理论基础与场景约束

1.1 风险源结构化模型与要素刻画

风险识别的起点是明确对象与关系。机电工程中的风险源可归纳为能源释放、空间坠落、机械卷入、触电燃爆与环境伤害五大类，对象包括设备、构件、工器具与人员活动，对应关系由连接、邻接与穿越三条链路表征。结构化模型把每一对象与关系映射为可记录条目，给出标准命名与编码与强制属性，使任何作业都能在模型中找到位置^[1]。

要素刻画围绕暴露、概率与后果展开。暴露描述人在危险能量附近的时间与距离，概率描述故障或误操作触发的可能，后果描述伤害的深浅与波及范围。三项要

素结合形成风险矩阵，并与作业许可与检验频次挂钩。模型允许记录保护层数量与有效性，包含隔离、锁定、联锁、警示与培训五种常设手段，以及临时措施的时限与复归。为提升一致性，在模型中设置术语库与判定示例，减少不同人员对同一现象的分歧。

在约束层面，应把结构承载、临时用电、起重吊装与密闭受限等高危工序单列条目，并绑定必需条件与禁止条件。任何偏离都在系统内产生告警，并要求在现场完成证据化的闭环记录。通过对对象与要素的结构化表达，现场风险从散乱的描述转化为可计算的清单。结构化之后需要与数据入口对齐。台账、作业许可、检验记录与监测数据以同一编码贯通，任何风险源条目都能追溯到证据。对模糊描述设置纠错词典与示例图，减少语言差异带来的理解偏差。对新型工法与新设备开设试运行阶段，在限定区域内收集风险表现，把新现象纳入术语库与判据库。模型并不追求一次穷尽，而是在运行中不断生长，条目按照价值与频次进行分层，常见高价值内容置于显眼位置，罕见内容保留参考路径。在指标层面设置领先信号以捕捉早期异动，常用项包含许可申请偏移与到货延迟与拥挤度上升。领先信号并非直接风险，却能在高压时段提前提醒，促使排程调整与隔离资源增配。

1.2 作业场景分类与风险显著性评估

施工现场的风险与场景耦合紧密，为了让识别具有可操作性，可依据空间形态、能量类型与并发程度对场景分层。空间形态分为高处与洞口与临边与狭窄通道，能量类型分为电能与热能与压力与动能，并发程度描述交叉作业与时间重叠的密度^[2]。分层完成后为每类场景配置基准风险画像，画像包含常见诱因、典型症状与拦截办法。

显著性评估用于在众多风险中确定先后顺序。方法把暴露频次、接近度与后果强度组合为分值，结合作业时窗与人员资质与设备状态给出动态权重，形成当天与本周的重点清单。对突出的条目设置复核通道与复测频次，避免只看一次的错判。评估结果与排程联动，重要作业获得更宽的窗口与更多的隔离资源，普通作业分配到干扰更小的时段。场景化的分层与显著性评估共同构成识别阶段的方向盘，使资源集中到真正重要的位置。评估方法支持定量与定性结合。定量侧基于历史数据拟合暴露强度与事故相关性曲线，定性侧通过专家打分补足数据稀缺场景，两者经过校准后形成统一分值。显著性阈值不采用单一常数，而是结合季节与工期与班次在一定区间内自适应。评估结果以热力图叠加到模型平面，人员在移动端即可查看当日重点与禁入区域。若某类场景在连续时段内保持高分值，系统自动发起专项检查并对排程进行限流，让高压态势得以消化。为避免统计假象带来误导，显著性评估设置对照区与安静期，对同类作业在相近条件下进行并行观测，以排除天气与换班等外源因素的影响。对低频高后果的场景引入守门规则，任何相关作业都需追加专人旁站与复核记录，并在结束后完成简报与复盘。

2 施工期风险监测技术与感知体系

2.1 多源感知布设与关键参数选取

监测的目标是让关键变量在可视范围内变化。感知体系结合固定与移动两类手段，固定点位覆盖配电柜与竖井与临边与洞口等高风险区域，移动装备覆盖起重路径与临时通道与堆放区。关键参数包括电流电压与接地连续性与温湿与粉尘与气体浓度与风速与位移与倾角，人员侧结合定位与在岗状态^[3]。

布设原则强调少而精。参数选择遵循因果关联与可达性与维护便利三项准则，优先选择与事故机理直接耦合的量，优先选择可长期稳定工作的点位，优先选择易于清洁与更换的安装方式。采集口径统一采样频率与时间基准与编码，保证跨设备数据能被拼接。数据进入平台后先做完整性校验与漂移校验，再在看板上用阈值与趋势双轨展示。为适应环境波动，阈值采用分时段与分区域的自适应方式，避免在昼夜温差或湿度突升时产生大量无效告警。传感边侧应当具备自检能力与电源冗余，关键点位采用双路径供电与心跳检测，失联时在本地记录并及时告知值守。移动装备以可更换电池与防尘防水外壳应对现场环境，数据以短报文上传并在平台侧做去噪与插补。设备校准设置周期与标识，过期自动提醒并禁止关键数据进入决策。对可能触发误报的因素编制白名单与补偿表，例如临时切割与焊接时的电磁干扰，以

免对无关区域造成干扰。数据链路需要具备韧性。关键节点设置本地缓存与断点续传，平台端按来源与时间进行交叉校核，对突兀跳变进行可信度打分并标注来源，低可信度信息仅作为参考不触发动作。对于跨楼层的竖井与竖向通道，增设中继与导向标识，保障深处区域的通信与定位。

2.2 风险识别算法与预警逻辑

识别算法把信号转化为可理解的结论。规则路径基于机理建立阈值与组合判据，例如电流与温升的联动、位移与倾角的协同、风速与粉尘的耦合，满足条件即触发预警。统计路径利用历史分布构建基线，通过偏离度与变化率捕捉异常，弱信号以滑动窗口平滑后再比较^[4]。两条路径并行运行，在证据一致时给出强烈提示，在意见不合时降级提示并请求复核。

预警逻辑强调从提示到行动的传递。告警分级对应不同的响应时限与人员层级，短时可逆的波动由班组就地处置，持续上升或跨越硬边界的现象升级到管理层。每条告警都在系统内形成任务并持续跟踪，直至在现场完成核验与闭环。为抑制告警疲劳，平台按兑现率动态调整阈值并排序展示，把真实高风险放在更显眼位置。识别到的组织类问题与行为类问题同样纳入告警体系，诸如许可到期与资质缺失与动火未清等事件以同样力度推动处理。为降低漏判风险，算法在关键窗口采用高灵敏度模式，在非关键窗口采用稳健模式，并通过样本权重对难例进行强化学习。识别链路加入人工复核节点，值班长可以在看板上快速标注判定，系统吸收判定结果更新阈值与权重。对短时异常采用延时策略，持续时间不足的波动只记录不触发动作，对持续增长的异常给予更高等级提示。为了避免算法黑箱带来的不信任，每一条结论都附带关键证据与简易解释，便于在现场即时沟通。多级预警与分派机制减少拥堵。系统根据作业区域与在岗班组自动匹配接收者，避免信息在错误人手中积压。对连续出现的同源告警合并呈现，按时间与空间聚类给出统一任务，处置结束后一次关闭。对由排程变更触发的风险，算法在发布前给出影响分析与缓冲建议，帮助管理层决定是否切换路径。

3 风险控制技术与组织机制优化

3.1 工程控制与作业流程重构

控制的底座是工程手段。临时用电推行分级保护与选择性配合，电缆走向与接头编号在模型中一一对应，施工前完成连续性与绝缘的双重验证。起重吊装以路径与驻留点的可达校核为前置，吊具冗余与风速界限写入作业卡，班组在现场以清单完成逐项确认。高处与洞口

与临边采用围挡与防坠与警示的组合,支架与脚手的承载在上线前经复核人员签认。

流程重构的核心是把危险能量与人群分离。以作业许可为触发器,把隔离上锁与挂牌放在任务最前面,把试运行与复位放在任务末尾。穿插作业以窗口化组织,易相互干扰的专业放在错峰时段或相邻区域,必要时设置临时屏障。对不可避免的近距离交互设置观察与护航,明确谁暂停谁让行,减少同屏操作导致的误判。流程在平台内固化为标准模板,任何偏离都须说明原因并在时限内复归。标准作业卡把要点凝练为少量步骤,并在每一步设置可视提示与误操作拦截。常用工器具实行颜色区分与定点归位,减少交叉区域的寻找时间。物料搬运与堆放遵循重量与稳定的双要求,通道保持可视宽度与转弯半径满足设备通过,上下层之间设置防坠挡板与缓冲护栏。对于带电测试与调试配置临时围挡与现场观察,确认稳态后再撤除。流程复核不以签字代替见证,关键节点由非本班组人员交叉检查。检验活动前移到预制与进场环节,支吊架与电缆桥架与开关组件入库即抽检尺寸与强度与绝缘,合格件贴上可追溯标识并在安装节点自动匹配。对夜间与恶劣天气设定作业红线,达不到可视与防护要求即改期处理,减少因环境不利导致的偶发事故。许可流转在线化后,作业申请与评审与批准在同一界面完成,附件包含现场照片与风险清单与隔离措施,节点留痕并可追溯。访客与外协进入现场需完成宣讲与测验,通过后方可领取证件,离场时交回记录与器具。

3.2 应急处置与持续改进闭环

应急的关键在于可靠与可达。预案针对触电燃爆坠落挤压缺氧等高频场景给出就地动作顺序与呼救路径,物资位置与人员职责在模型地图上可视呈现。演练以短周期与小范围为主,把高概率细节做熟,把关键信息贴近现场,让新成员能够在最短时间找到正确位置与工具。处置过程强调通信畅通与现场秩序,控制扩展与二次伤害优先于原因追查。

持续改进依赖数据与复盘。所有告警与事故在平台上生成因果链,包含时间与地点与参与人员与采取动作与客观证据,复盘在例会上按事实展开并形成改进条目。条目进入责任与时限的看板,关闭后沉淀为可检索的知识,下一次触发相似情形时自动推荐。对重复出现的条目发起专项治理,从培训材料与作业卡与检查清单三方面同步修订,使组织能力随时间增长而非遗忘。指标体系用于检验改进效果。响应时长、复位时长、处置成功率与同类问题复发率定期汇总,对下降缓慢的条目开展

联合分析。培训从复杂讲解转为短视频与实操卡片,新成员在进场当日完成必修项目并通过简单测验。平台保留匿名报障通道,任何人发现隐患都可快速报送并获得反馈。当远程支持可用时,建立专家值班制度,以视频与模型切片形式指导现场完成从安全确认到复位的完整动作。改进并非一蹴而就,需要以小步快跑的方式前进。每个周期选择少量高价值条目进行深入修复,完成后验证成效并更新标准,把成功经验纳入模板库。对跨单位场景设立联合演练与联合复盘,消除边界摩擦,让不同组织在共同规则下迅速形成合力。

4 结语

以场景为单元的风险识别与控制方法能够把机电工程施工中的复杂因素收拢到可计算的框架之内。通过对对象建模与场景分层与多源感知与算法识别与工程控制与组织治理的协同,隐患被看见与被定级与被处置,等待与盲点与反复下降到可接受范围。研究坚持证据化与留痕化与标准化,把经验转化为规则与模板,把一次性的临时做法转化为可复用的实践。随着数据质量与执行纪律的提升,识别的命中率与控制的稳定度将同步改善,安全表现将以更高的确定性在不同项目与不同团队之间复制与推广。

参考文献

- [1]王子健.机电安装工程施工安全风险识别与评估研究[D].北京建筑大学,2024. DOI: 10.26943/d.cnki.gbjzc.2024.000711.
- [2]徐文忠.BIM技术在地铁机电工程安全文明施工中的应用[J].四川建筑,2020,40(04):358-360.
- [3]胡雁鸣.浅析公路机电工程施工安全风险管控方法[C]//中国公路学会.全国第二届品质工程论坛暨惠清高速公路绿色科技示范工程现场观摩会论文集.北京诚达交通科技有限公司;,2019:48-57. DOI:10.26914/c.cnkihy.2019.002505.
- [4]吴秉泽,吴维农,方斌承,等.建筑机电工程施工安全风险防控技术分析[C]//中国机电装备维修与改造技术协会.机电装备技术论文交流及技术人才培养与发展研讨会论文集.浙江诚力工程项目管理有限公司;温州市惠涛机电设备有限公司;浙江搏鸿建设工程有限公司;瑞安市公路工程有限公司;,2025:548-554. DOI:10.26914/c.cnkihy.2025.017447.