

凝土早期强度与水化热,影响抗冻融能力<sup>[2]</sup>。

## 4.2 混凝土施工过程控制技术

### 4.2.1 施工环境温度管控

混凝土浇筑应避免极端低温天气,宜选择日均气温5℃以上的时段进行;若需冬季施工,需采取加热保温措施,确保搅拌用水温度控制在40-60℃,骨料温度不低于5℃,混凝土出机温度不低于10℃,入模温度不低于5℃。浇筑现场需搭建保温棚,采用燃煤取暖器、电暖器等设备维持环境温度,避免混凝土表面温度骤降。

### 4.2.2 浇筑与振捣工艺优化

采用分层浇筑方式,每层厚度控制在300-500mm,浇筑间隔时间不超过混凝土初凝时间,防止出现施工缝。振捣采用插入式振捣器,振捣时间控制在20-30s,至混凝土表面泛浆、无气泡溢出为止,避免过振导致引气剂引入的气泡破裂,或漏振形成疏松区域。对于薄壁构件与节点部位,需加强振捣,确保密实度。

### 4.2.3 施工缝与预埋件处理

施工缝应设置在受力较小部位,浇筑前需将旧混凝土表面凿毛,清除松动颗粒与杂物,涂刷界面剂或水泥净浆,确保新老混凝土结合紧密。预埋件安装前需除锈处理,表面涂刷防锈涂层,与混凝土接触部位宜设置锚固筋,增强粘结力;浇筑时需确保预埋件周围混凝土密实,避免出现空鼓。

### 4.2.4 模板拆除控制

模板拆除时间需根据混凝土强度与环境温度确定,常温下混凝土强度达到设计强度的75%以上方可拆除,冬季施工时需延长至85%以上,且拆除时混凝土表面温度与环境温度差不超过20℃,避免温差过大引发裂缝。拆除后需及时覆盖保温材料,继续养护<sup>[3]</sup>。

## 4.3 混凝土养护与防护强化技术

### 4.3.1 冬季养护技术

混凝土浇筑完成后,应在12h内覆盖保温保湿材料,优先选用阻燃型岩棉被、土工布与塑料薄膜组合的养护方式,塑料薄膜紧贴混凝土表面,确保水分不流失,岩棉被覆盖层数根据气温调整,维持混凝土核心温度与表面温度差不超过15℃。对于大型基础构件,可采用蓄热法养护,在模板外侧包裹保温层,内部设置测温点,实时监测温度变化,必要时采取蒸汽养护,确保养护期内混凝土温度不低于5℃。养护期不少于14d,低温环境下延长至21d以上。

### 4.3.2 表面防护处理

混凝土达到设计强度后,需对表面进行防护处理,增强抗渗抗冻能力。对于基础表面、电缆沟内壁等部位,涂刷渗透型结晶型防水涂料,形成致密的防护层,阻止水分侵入;外露结构表面可采用聚合物水泥砂浆抹面,厚度控制在15-20mm,提升表面强度与抗冻性。此外,可在混凝土表面涂刷硅烷浸渍剂,渗透深度不小于3mm,形成憎水层,减少水分吸附。

### 4.3.3 排水系统优化

变电构筑物周围需设置完善的排水系统,避免雨水、雪水积聚在基础周围。电缆沟、设备基础底部设置排水沟与集水井,及时排出积水;场地地面采用找坡设计,确保雨水快速排离结构区域,减少混凝土与水分的接触时间。

## 4.4 新型抗冻融技术应用

### 4.4.1 纤维增强混凝土技术

在混凝土中掺用聚丙烯纤维、钢纤维等增强材料,纤维均匀分散在混凝土内部,可有效抑制冻融过程中微观裂缝的扩展,提升混凝土的抗拉强度与韧性。聚丙烯纤维掺量为0.6-1.0kg/m<sup>3</sup>,钢纤维掺量为20-50kg/m<sup>3</sup>,适用于薄壁构件、节点部位及易受冻融损伤的区域。

### 4.4.2 自修复混凝土技术

利用微生物自修复技术,在混凝土中掺入含有芽孢杆菌的胶囊,当混凝土出现裂缝时,水分侵入引发芽孢杆菌萌发,代谢产生碳酸钙沉淀,填充裂缝,恢复结构致密性。该技术适用于难以进行后期维修的隐蔽部位,可显著提升混凝土的长期抗冻融能力。

### 4.4.3 模块化预制混凝土技术

采用工厂预制、现场安装的模块化施工方式,工厂内可精确控制混凝土配合比、养护环境,确保构件抗冻性能达标;现场仅需进行拼接安装,减少野外低温环境下的施工环节,降低质量风险。预制构件拼接部位采用高性能密封胶与钢筋连接,确保密封防水性能<sup>[4]</sup>。

## 5 结论

高寒地区特殊的气候环境决定了变电构筑物混凝土抗冻融技术的复杂性与重要性,混凝土冻融破坏已成为影响变电工程安全稳定运行的关键因素。当前,通过材料优化、施工管控、养护强化及新型技术应用等手段,已形成较为完善的抗冻融技术体系,但在实际应用中仍存在问题,制约了技术应用效果。要提升高寒地区变电构筑物混凝土抗冻融能力,需从技术设计、施工管理、材料选用及后期运维等多维度发力,通过系统施策,可有效提升混凝土结构的抗冻融性能,延长变电构筑物使用寿命,降低运维成本,保障高寒地区电力系统的安全稳定运行。

## 参考文献

- [1] 何清.透水混凝土路面施工技术及透水性能验收标准[C]//河南省豫商经济文化交流协会.2025中国建筑经济研讨会论文集(上册).江苏亚兴建设有限公司,2025:69-70.
- [2] 李俊毅.对硬化混凝土气泡间距系数测定方法的论述[J].水运工程,2025,(07):58-67.
- [3] 邓文彬,杨丽,孙常康.基于DIC技术冻融后钢筋混凝土梁损伤识别[J].混凝土,2025,(06):48-53.
- [4] 吴胜.新型混凝土配合比对混凝土强度和耐久性的影响[C]//广西网络安全和信息化联合会.第十届工程技术管理与数字化转型学术交流会论文集.宁波市鑫和混凝土有限公司,2025:131-133.

# Research on the Construction and Practice of Safety Operation Management System for Self rotating Special Equipment

Shengcun Wang

Guoneng Huangda Railway Co., Ltd., Dongying, Shandong, 257000, China

## Abstract

Self rotating special equipment has a wide range of applications in various fields such as railway transportation. However, its operational safety is facing significant challenges posed by risks, such as personnel injuries and equipment damage, as well as a series of problems including inadequate full process control, barriers to cross departmental collaboration, and lagging technical prevention and control. In the current security management situation, there is a lack of systematic mechanisms for controlling equipment failure rates, closed-loop rectification of hidden dangers, and emergency response timeliness. It is urgent to establish a safety operation management system with risk prevention and control as its core content, including multiple levels such as goals, organization, systems, technology, and emergency response, in order to effectively control the risks throughout the entire process from equipment admission to scrapping, personnel training, and job execution, and ensure the safe and stable operation of equipment.

## Keywords

self-propelled operation; Special equipment; safe operation

## 自轮运转特种设备安全运行管理体系构建与实践研究

王盛存

国能黄大铁路有限责任公司, 中国·山东 东营 257000

## 摘要

自轮运转特种设备在铁路运输等众多领域有着广泛应用。然而,其运行安全正面临着重大风险带来的挑战,容易发生如人员伤亡、设备损坏这类恶性事故,并且还在全流程管控不够完善、跨部门协同存在壁垒,以及技术防控较为滞后等一系列问题。在当前的安全管理状况下,设备故障率控制、隐患整改闭环以及应急响应时效等方面都缺少系统性的机制。迫切需要构建一个以风险防控作为核心内容,包含目标、组织、制度、技术、应急等多个层面的安全运行管理体系,以此达成从设备准入直至报废、人员培训再到作业执行整个流程的全链条风险得到有效控制,保障设备安全稳定地运行。

## 关键词

自轮运转; 特种设备; 安全运行

## 1 引言

自轮运转特种设备在铁路运输、工程施工等领域属于关键装备,它的安全运行对于人员生命财产安全以及运输系统效率有着直接的关联。近些年来,随着设备服役的年限不断增长,作业环境变得日益复杂,运行强度也有所提高。在行业内部,因设备故障而引发的事故风险明显增大,以往传统的“事后处置”类型的管理模式已经很难契合风险防控的要求<sup>[1]</sup>。当下行业中普遍存在安全目标不清晰、管理流程呈现碎片化、技术防控手段较为滞后等情况,急需构建一套系

统化、全流程的安全运行管理体系,达成从被动应对转变为主动防控的转型,为特种设备的安全管理给予理论方面的支持以及实践方面的路径。

## 2 自轮运转特种设备安全运行管理体系框架构建

### 2.1 安全运行管理体系核心要素设计

#### 2.1.1 目标层

安全运行管理体系的目标层作为体系构建的逻辑起始点,要以风险防控当作核心,确立有系统性、可量化的安全管理导向。其核心目标被设定成“零重大事故、低风险事件、全流程可控”。这里面,“零重大事故”着重于杜绝出现造成人员伤亡、设备严重损坏或者环境破坏的恶性事件;“低风险事件”突出凭借源头管控来降低一般隐患转变为事故的

【作者简介】王盛存(1990-),男,中国河北元氏人,本科,助理工程师,从事自轮运转特种设备安全运行管理与风险防控研究。

概率；“全流程可控”则是要求达成从设备准入直至报废、从人员培训到作业执行的全链条风险可视以及可控。为了保障目标可落地，需要建立量化指标体系：在设备层面，明确关键设备故障率的控制阈值、关键部件平均无故障工作时间的提升目标；在管理层面，设定隐患整改闭环率、安全培训覆盖率、应急预案演练达标率等硬性指标；在应急层面，规定应急响应时效，形成“目标-指标-考核”的闭环管理机制。

### 2.1.2 组织层

采用“三级管理体系”进行设计：决策层以安全领导小组作为核心，由企业主要负责人牵头开展工作，全面统筹安全战略规划、资源配置以及重大风险决策等事宜，并且定期对安全管理目标达成情况给予审议；执行层包含设备管理部门、调度指挥中心、作业单位等职能主体，承担安全制度落地、日常风险管控以及跨部门协同等工作，其中，设备管理部门主要负责设备全生命周期管理，调度指挥中心负责运行计划与风险预警联动，作业单位负责落实现场安全操作规范；现场层以班组作为基本单元，明确班组长为现场安全第一责任人，监督作业人员执行安全规程、落实风险防控措施。为破解跨部门协同方面存在的壁垒，建立了三方联动机制，即每周召开安全协同例会，设备部门通报设备状态监测数据，调度部门反馈运行计划风险，安监部门核查隐患整改情况，形成《跨部门安全协同备忘录》，并明确责任追溯路径，以此保证“责任有人负责、问题有人管理、整改形成闭环”。

### 2.1.3 制度层

人员安全管理制度要加强能力与责任的紧密关联：实行“持证上岗、定期复训”的双轨制度，作业人员只有借助理论考核与实操评估之后才能获得证书，复训每半年进行一次，重点加强新技术、新规程方面的培训；建立岗位安全责任制，把“安全绩效”纳入绩效考核体系当中，对于隐患排查、风险防控成效突出的人员给予奖励，对违章操作、责任事故实行“一票否决”，形成“培训-考核-激励-问责”的人员管理闭环。

### 2.1.4 技术层

状态监测系统打造一体化网络：于设备关键部位布置振动、温度以及压力传感器，以此实时收集运行数据，借助5G/北斗双模传输至数据中台，构建起设备健康状态评估模型，达成“正常-预警-告警”三级状态的可视化展示。风险预警平台达成闭环管理：依据历史故障数据与实时监测信息，运用机器学习算法构建风险预警模型，针对设备故障、人员违章等风险进行实时研判，自动推送处置方案，同时跟踪整改进度，形成“预警-处置-验证”的管理闭环。应急指挥系统提高突发事件响应效率：集成GIS地图、视频监控以及应急资源调度模块，在发生突发事件时自动生成应急处置路径图，辅助指挥人员迅速调配资源，缩短应急响应时间。

### 2.1.5 应急层

分级应急预案库会依据不同的风险场景，精准地采取相应策略。它按照事件的性质划分成设备故障类、作业事故类以及环境灾害类专项预案，明确了“预警-响应-处置-恢复”整个流程的操作指引。就像制动失效预案规定了“马上采取紧急制动措施，通知调度封锁线路，启用备用制动系统”这样的处置步骤，并且还附带了详细的应急通讯录以及资源清单。

## 2.2 安全运行管理体系运行机制

### 2.2.1 计划阶段

在计划阶段，是以风险评估作为基础来构建全链条规划体系的。该体系包含“风险识别-目标分解-方案落地”三个环节。每年年初，由安全领导小组负责牵头，结合上一年度安全运行的数据、行业安全新规以及现场调研所得到的结果，开展年度风险评估工作，形成《自轮运转特种设备风险清单》。这份清单明确了高风险场景以及管控的优先级。依据风险评估的结果，制定年度安全管理目标，将其细化为可量化的指标，并且分解到各个执行层，配套制定实施方案，明确责任主体、时间节点以及资源保障等内容，形成《年度安全管理实施计划表》，把它作为全年体系运行的行动指南。

### 2.2.2 执行阶段

在执行阶段，着重关注制度、技术以及人员这三个要素的协同配合，借助流程的固化以及动态的监控来保障计划可顺利落地实施。在制度方面，把安全管理的目标融入到《自轮运转特种设备安全操作规程》《作业指导书》等相关文件之中，组织全体员工开展关于制度的宣贯培训工作，并且凭借“制度测试加上现场提问”这样的方式来验证员工对制度的掌握程度。在技术层面，激活状态监测系统以及风险预警平台的功能，实时收集设备运行的数据，一旦数据超出阈值就会自动触发预警，调度中心会同设备部门立刻进行研判并处置。在人员方面，按照不同的层级和类别来实施培训：对于管理层，重点开展风险决策以及协同机制方面的培训；对于作业人员，则进行“理论授课加上模拟实操”的培训，只有培训合格之后才可上岗工作。为了保证执行过程处于可控状态，依托信息化平台构建“执行进度看板”，实时展示各个部门目标的完成率，对于滞后的指标自动标红并推送给责任部门。

### 2.2.3 检查阶段

在检查阶段，将企业内部审计与外部评估二者相结合，以此对目标达成度展开系统核查，定位体系存在的短板之处。企业安监部门每季度都会开展内部审计工作，采用的是“资料审查+现场验证”这种方式：资料审查主要聚焦于制度执行记录以及目标指标数据；现场验证则是随机抽取作业班组进行检查，观察安全规程的执行状况以及设备关键部位的状态。外部评估每年会聘请第三方安全技术机构来实