

# Research on the Safety Management of Traction Power Supply in Heavy-haul Railway

Chuanze Liu

Guoneng Shuohuang Railway Development Co., Ltd. Yuanping Branch, Xinzhou, Shanxi, 034100, China

## Abstract

This paper focuses on the safety management of traction power supply system in heavy-haul railway. Through in-depth study of the composition and operation principle of the system, related technical challenges and problems, as well as fault mode and effect analysis (FMEA) and risk identification and evaluation methods, we can fully grasp the faults and risks that traction power supply system may face. On this basis, a perfect safety management system is built, including the framework design, information technology application, as well as personnel training and emergency response mechanism. The study of this paper has practical guiding significance for ensuring the reliability and stability of railway system and improving the level of transportation safety.

## Keywords

heavy-haul railway; traction power supply; safety management

## 重载铁路中牵引供电安全管理研究

刘川泽

国能朔黄铁路发展有限责任公司原平分公司, 中国·山西 忻州 034100

## 摘要

论文聚焦于重载铁路中牵引供电系统的安全管理, 通过深入研究系统的组成和运行原理、相关技术挑战与问题, 以及故障模式与效应分析(FMEA)和风险识别与评估方法, 全面掌握牵引供电系统可能面临的故障和风险。在此基础上, 构建了完善的安全管理体系, 包括框架设计、信息化技术应用, 以及人员培训与应急响应机制。论文的研究对于确保铁路系统的可靠性和稳定性, 提高交通运输安全水平具有实际指导意义。

## 关键词

重载铁路; 牵引供电; 安全管理

## 1 引言

随着社会经济的不断发展, 重载铁路作为运输体系的重要组成部分, 其安全性和可靠性日益受到关注。牵引供电系统作为铁路运行的关键支撑, 其安全性直接关系到列车的正常运行和旅客的出行安全。然而, 由于系统的复杂性和特殊性, 牵引供电系统在运行过程中可能面临各种潜在的故障和风险。因此, 论文旨在通过深入的风险评估和科学的安全管理体系构建, 提高重载铁路中牵引供电系统的整体安全水平, 确保其在高强度使用条件下的可靠性和稳定性。

## 2 重载铁路牵引供电系统概述

### 2.1 系统组成和运行原理

重载铁路的牵引供电系统是电气化铁路的关键组成部分, 由牵引变电所和接触网两大部分构成, 如图1所示。其

中, 牵引变电所被视为系统的核心, 承担着供电系统的核心角色。其主要装备为牵引变压器, 其任务是保障向机车提供质量良好且持续不断的电力, 其性能直接决定了重载铁路的整体运输能力。

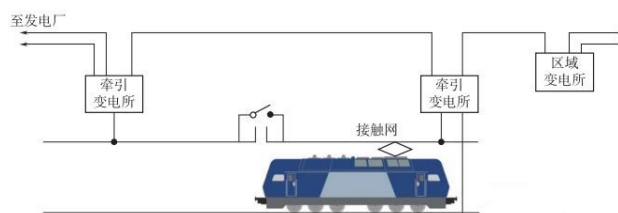


图1 重载铁路牵引供电系统组成

在系统运行原理方面, 电气化铁路的“加电站”即牵引变电所, 起到了提供电力的关键作用。牵引变电所的可靠性对于普通线路和尤其是重载线路至关重要。其中, 牵引变压器是主要的设备, 其作用是确保变电所输出电力能够满足电力机车对于稳定电流的需求<sup>[1]</sup>。在重载铁路中, 由于电力机车功率大、接触网电流较高, 因此, 在选择变压器容量时

【作者简介】刘川泽(1993-), 男, 中国山西大同人, 硕士, 从事铁路牵引供电系统安全管理研究。

需要充分考虑重载运行条件，容量越大，输出电流也随之增大，以满足系统的高功率需求。

## 2.2 相关技术挑战与问题

重载铁路的牵引供电系统在其关键作用中面临着一系列的技术挑战与问题。由于重载铁路对于电力机车的需求较大，系统需要面对高功率的输出要求，这就对系统中的牵引变电所和相关设备提出了更高的技术要求。在这一背景下，如何设计和优化牵引变压器，以满足高功率和高电流的要求，成为一个亟待解决的问题。这一问题需要在设计中考虑变压器的散热、绝缘等关键技术，以确保其在高负载情况下的稳定运行。

其重载铁路的特殊运行条件也为牵引供电系统带来了额外的技术挑战。例如，列车在运行过程中可能会经历复杂多变的线路情况，如弯道、坡道等，这对系统的供电连续性和稳定性提出了更高的要求。应对这一挑战，需要对供电系统进行智能化设计，引入先进的监测与控制技术，以保障系统能够适应各种复杂的运行环境。

随着电气化铁路的不断发展，能源效率和环保性也成为牵引供电系统面临的问题。在设计中需要考虑如何提高能源利用率，降低能源浪费，以实现环境的友好和可持续发展。这一问题主要涉及新型材料的应用、智能能源管理系统的引入等方面的创新。

## 3 牵引供电系统故障与风险评估

### 3.1 故障模式与效应分析 (FMEA)

故障模式与效应分析 (FMEA) 在重载铁路牵引供电系统的安全管理中扮演着至关重要的角色。该分析方法旨在通过深入研究系统中可能发生各种故障模式，评估这些故障对系统性能和安全性影响，从而在设计和运行阶段有效地降低故障风险。

FMEA 通过识别并详细描述可能的故障模式。对于牵引供电系统而言，常见的故障主要包括牵引变电所的电源失效、变压器过载、接触网损坏等。在识别故障的同时，需要对每个故障模式进行详细的分析，包括故障的原因、发生的概率、故障的严重性等。这一步骤对于系统的整体理解至关重要，有助于揭示潜在的风险点。FMEA 需要评估各个故障模式对系统性能和安全性影响。在这一阶段，需要考虑故障的后果，如对电力传输的影响、列车运行的安全性、系统可用性等方面的影响。对于可能导致系统崩溃或大面积故障的故障模式，需给予更高的评估权重，以确保系统在面临这些故障时能够迅速做出应对。FMEA 能够提供基于风险优先级的故障处理建议<sup>[2]</sup>。通过结合故障的概率和后果，可以确定哪些故障需要更紧急地采取措施，以及采取何种措施。这有助于制定有效的预防和维护计划，提高系统的可靠性和安全性。

### 3.2 风险识别与评估方法

风险识别与评估在重载铁路牵引供电系统中是一项复杂而关键的任务，旨在全面了解潜在风险，评估其可能性和影响，为系统的安全性和可靠性提供科学的决策支持。论文将详细介绍风险识别与评估方法，确保系统在运行过程中具备高度的安全性。

风险识别阶段需要对系统进行全面而系统的审查，主要包括对牵引供电系统的设计、结构、运行模式等多个方面的深入了解。通过专业领域的专家团队和技术人员，收集系统的技术文档、设计图纸、运行记录等资料，以全面把握系统的特点和关键要素。在风险识别的过程中，采用先进的风险识别工具和方法，可以运用故障树分析 (FTA)、事件树分析 (ETA) 等系统工程方法，通过对各个子系统、设备以及操作流程的逐一分析，识别潜在的故障和事故发生点。同时，通过专业模拟软件，对系统进行虚拟仿真，模拟各种异常情况，进一步提高风险识别的全面性和准确性。接下来是风险评估阶段，该阶段旨在确定识别到的各种风险的级别和优先级。采用风险矩阵、风险概率图等方法，对每个潜在风险的可能性和影响进行定量和定性的评估。这些评估结果有助于确定哪些风险是高风险，需要紧急处理，哪些是中风险，可以通过适当措施进行管理，以及哪些是低风险，可以接受或通过监控来处理。基于风险评估的结果，制定相应的应对策略和措施。这可能包括制定紧急预案、改进设备设计、加强维护和监测，以及提供培训计划等。在此过程中，需综合考虑技术、经济和管理等多个因素，确保采取的措施既能降低风险又能保证系统的高效运行。

## 4 安全管理体系构建

### 4.1 安全管理框架设计

安全管理体系的构建对于重载铁路牵引供电系统至关重要，它涉及对系统各方面的全面监管和有效控制，以确保系统在运行中始终处于安全可靠的状态。在这一背景下，设计合理的安全管理框架显得尤为关键。

安全管理框架应该建立在国家制定标准和相关法规的基础上。系统运行所在地的法规要求、国际电气化铁路标准等将直接影响安全管理框架的制定。因此，首要任务是明确适用的法规和标准，确保安全管理框架的合规性和可行性。安全管理框架应该包括全面的管理要素。这些要素涵盖了从系统设计、设备采购、运行维护到应急响应等全过程的安全管理。框架中的设计要充分考虑到各个环节的特点，确保管理措施的科学性和实际操作性。在框架设计中，应明确牵引供电系统的主要安全风险，根据这些风险确定相应的安全控制措施。例如，针对电气化铁路牵引供电系统中常见的电气故障，可以在框架中设立电气安全管理子系统，包括定期的设备巡检、绝缘电阻检测、过电压保护等措施。在管理框架

中,应设立明确的责任体系,例如制定相关安全政策、建立安全管理委员会、明确各级人员的安全职责等。责任体系的建立有助于形成良好的管理机制,确保各层级的管理人员对安全问题高度重视。信息化技术在安全管理框架中的应用也是一个重要方面。可以借助先进的监测与控制系统、大数据分析等技术手段,实现对系统运行状态的实时监测、异常识别和预警,从而更好地支持安全管理的决策。此外,为了确保安全管理框架的实施有效,必须进行定期的评估和审查。通过内部和外部的安全审核,及时发现和解决存在的问题,不断完善安全管理体系。在整个安全管理框架设计中,需充分考虑到牵引供电系统的特殊性和复杂性,确保框架既符合相关法规和标准的要求,又能够切实适应系统的实际运行情况<sup>[1]</sup>。

## 4.2 信息化技术在安全管理中的应用

信息化技术在重载铁路牵引供电系统的安全管理中发挥着关键的作用,为系统的监测、控制、评估和决策提供了强大支持。在安全管理体系中引入先进的监测与控制系统是信息化技术的重要应用之一。通过在关键节点安装传感器和监测设备,实现对牵引供电系统各项参数的实时监测,包括电流、电压、温度等。这些监测数据通过网络传输至中央控制中心,为运维人员提供翔实的运行状态信息,帮助及时发现问题并采取相应的措施。大数据分析在安全管理中的应用有助于从庞大的监测数据中提取有价值的信息。通过建立合适的模型和算法,对监测数据进行深度分析,可以实现对潜在风险的早期识别和预测。例如,通过大数据技术,可以分析系统运行过程中的异常行为,识别出潜在的故障迹象,为预防性维护提供依据,降低系统的故障风险。建立数字化的操作与维护平台是信息化技术在安全管理中的又一应用方向。通过将牵引供电系统的设备信息、维护记录、操作手册等数字化,实现对系统运行和维护的全程追踪和记录。这不仅为运维人员提供了方便快捷的信息获取手段,也有助于形成规范化的操作流程,提高操作的准确性和可控性。远程监控与控制技术也是信息化技术在安全管理中的一项关键应用。通过远程监控系统,运维人员可以在中央控制中心实时监测并远程操作牵引供电系统,减少人为巡检的频率,提高工作效率,同时降低了在现场操作过程中的安全风险。信息化技术在安全管理中的应用还包括应急响应系统的建设。通过引入智能化的应急响应系统,能够实现对各类安全事件的及时响应和处理。系统可以通过自动化的流程,迅速启动紧急停电、应急设备投入使用等措施,最大限度地减

少事故带来的损失。

## 4.3 人员培训与应急响应机制

在重载铁路牵引供电系统的安全管理体系中,人员培训与应急响应机制是至关重要的组成部分,直接关系到系统在面临各种突发情况时的应对能力和整体安全性。

为了确保牵引供电系统的安全运行,必须对运维人员进行系统的培训。培训内容主要涵盖了系统的组成与工作原理、常见故障处理方法、紧急维修技能等多个方面,以提高运维人员的专业素养。培训形式可以采取理论课程、实际操作、模拟演练等多种方式,以确保培训的全面性和实用性。在培训的基础上,建立健全的应急响应机制是保障牵引供电系统安全的关键环节。应急响应机制应当包括明确的责任分工、快速响应流程、紧急停电程序、应急设备启动流程等内容。一要明确各级责任人员的职责和权限,确保在发生安全事件时能够迅速、有序地启动应急响应程序。二要制定快速响应流程,通过预定的流程,运维人员可以在最短时间内做出决策和采取行动,降低事故对系统的影响。三要明确紧急停电程序,确保在紧急情况下能够及时切断电源,保障人员和设备的安全<sup>[4]</sup>。应急设备启动流程也是应急响应机制的一部分,主要包括应急电源、备用设备的启动流程。在发生电源中断或其他故障时,及时启动备用设备,保证系统的持续供电。应急响应机制还应包括针对不同紧急情况的特殊处理程序,如针对火灾、泄漏等不同情况,明确相应的处理步骤和防范措施。

## 5 结语

论文在重载铁路牵引供电安全管理方面取得了一定的研究进展。通过深入挖掘系统的特点和问题,通过系统性的故障与风险评估,制定了更加完善的安全管理体系,提升了铁路运输的整体安全性和可靠性。论文的研究不仅对重载铁路运输的安全性提出了可行性建议,也为未来类似系统的安全管理提供了有益的参考。

## 参考文献

- [1] 杜爱斌.重载铁路中牵引供电安全管理研究[D].成都:西南交通大学,2011.
- [2] 杨旺.高速电气化铁路牵引供电安全管理研究[J].信息化建设,2015(9):230-231.
- [3] 张莉.牵引供电安全管理研究[D].兰州:兰州交通大学,2016.
- [4] 梁卫兵.高速电气化铁路牵引供电的安全管理措施[J].科技创新导报,2014,11(19):193.