

铁路电气化改造中的关键技术难题及解决方案

陈 伟

蒙冀铁路有限责任公司 内蒙古 呼和浩特 010010

摘 要: 铁路电气化改造作为提升铁路运输效能的关键举措, 面临供电系统谐波与负序、接触网磨损与悬挂稳定性、通信信号系统电磁干扰与兼容性等关键技术难题。采用先进的滤波装置、冗余供电网络、智能监控系统, 以及新型耐磨接触线材料、自适应悬挂技术、综合电磁防护技术等解决方案, 有效提升了供电系统、接触网和通信信号系统的性能。这些措施的实施, 为构建高效、安全、环保的铁路运输体系奠定了坚实基础, 推动了铁路电气化改造的顺利进行。

关键词: 铁路电气化改造; 关键技术难题; 系统性能优化

引言

铁路电气化改造是现代铁路运输发展的重要趋势, 旨在通过引入电力驱动系统替代传统燃料机车, 实现列车运行速度、运输能力和能源利用效率的大幅提升。然而, 在电气化改造过程中, 供电系统、接触网和通信信号系统等关键技术领域面临诸多挑战。这些技术难题的解决, 对于确保铁路系统的稳定运行和可持续发展具有重要意义。因此, 深入研究并应用先进技术和解决方案, 成为铁路电气化改造的关键所在。

1 铁路电气化改造中关键技术的重要性

铁路电气化改造在现代铁路运输发展中占据举足轻重的地位, 其关键技术的攻克与应用对于提升铁路系统的整体效能具有深远意义。电气化改造旨在通过引入电力驱动系统, 替代传统的燃料机车, 大幅提高列车的运行速度、运输能力及能源利用效率。这一转变顺应了全球节能减排的大趋势, 也促进了铁路运输的可持续发展。在铁路电气化改造过程中, 关键技术的突破与应用至关重要。接触网作为电气化铁路的核心组成部分, 其设计、施工及维护均面临诸多技术挑战。如接触网的悬挂参数、材料选择及安装工艺直接影响列车的受流质量和运行安全。采用先进的悬挂技术、优化接触网的几何参数、选用高性能的导电材料以及实施精细化的施工工艺, 成为确保电气化铁路稳定运行的关键所在, 供电系统的可靠性也是电气化改造中的一大技术难题。为确保列车持续、稳定地获取电能, 必须构建高效、安全的供电网络。这涉及供电线路的设计、变电所的布局、电力设备的选型及故障应对机制等多个方面。通过采用智能化供电管理系统、实施定期的设备维护与检修以及建立快速响应的故障处理机制, 有效提升供电系统的可靠性和稳定性。铁路电气化改造中的关键技术对于提升铁路

系统的整体效能具有不可估量的价值。通过持续的技术创新和精细化管理, 我们有望构建一个更加高效、安全、环保的铁路运输体系, 为国家的经济社会发展提供强有力的支撑。

2 供电系统技术难题与解决方案

2.1 技术难题

在铁路电气化改造的征途中, 供电系统的技术难题犹如拦路虎, 对整体改造效果产生着决定性影响。从高效能源传输到稳定供电保障, 每一环节的挑战都需精心应对。唯有克服这些技术难关, 方能确保电气化铁路的顺畅运行, 为铁路交通的现代化转型奠定坚实基础。电力电子设备在电气化铁路变流与控制环节广泛应用, 其运行时会产生大量谐波电流。这些谐波电流如果注入电网, 电网电压波形就会发生畸变。在同一电网下的精密仪器, 会因电压波形畸变而出现测量误差, 影响其正常运行。而且, 铁路牵引负荷具有单相特性, 这打破了三相电网的平衡状态, 进而产生负载电流。负载电流会使电力设备的铜损和铁损增加, 长期处于这种状态下, 设备的使用寿命将大幅缩短, 维修成本也会显著上升。铁路运输的特性决定了其对供电连续性和稳定性的极高要求。如果供电出现故障, 列车的运行就会被迫中断, 会打乱整个运输秩序, 还会在一些特殊情况下危及行车安全。传统供电系统在面对复杂多变的运行环境, 如恶劣天气导致的线路故障, 以及突发的设备故障时, 恢复供电的速度较慢, 难以在短时间内保障铁路的正常运营, 这就成为铁路电气化改造中亟待解决的重要问题^[1]。

2.2 解决方案

在铁路电气化改造中, 供电系统面临的谐波与负序问题以及供电可靠性挑战不容忽视。(1) 针对谐波与负序问题, 我们采用了先进的滤波装置组合作为解决方

法。有源滤波器（APF）与静止无功补偿器（SVC）的协同应用，为电网电能质量的提升提供了有力保障。APF凭借其动态跟踪补偿能力，实时检测并消除谐波电流，而SVC则通过快速调节无功功率，有效稳定电网电压。两者相辅相成，共同作用于电网，明显降低了谐波与负序电流的影响，确保了其他用电设备的正常运行。（2）为增强供电可靠性，我们构建了冗余供电网络，采用双电源、双线路的供电方式，为铁路系统提供了多重保障。备用电源自动投入装置（BZT）的引入，更是将供电可靠性提升至新高度。当主供电线路发生故障时，BZT能迅速响应，在极短时间内将负荷切换至备用电源，确保供电的不间断，保障了铁路运输的连续性和稳定性。（3）我们成功引入了先进的智能监控系统，该系统整合了传感器技术与大数据分析等前沿科技，对供电设备的运行状态实施了全面且实时的监测。借助强大的数据分析和故障诊断算法，我们能够敏锐捕捉到设备中潜藏的故障信号，从而提前预警并迅速调度维护团队进行处理。这一战略性的部署不仅显著提升了供电系统的稳定性，还有效削弱了设备故障对铁路运输安全的潜在威胁，为铁路运输的高效、安全、稳定运行提供了坚实的保障和有利的技术支撑^[2]。

3 接触网技术难题与解决方案

3.1 技术难题

接触网作为铁路电气化系统中向列车输送电能的关键部分，在实际运行中面临诸多挑战。在列车运行期间，受电弓与接触线始终保持滑动接触，这种持续的摩擦作用会对接触线造成不可避免的磨损，接触线长期处于高张力的受力状态，这加剧了材料的疲劳损耗，还会使磨损情况更为严重。当接触线磨损达到一定程度时，其表面会变得粗糙不平，进而导致接触电阻增大，引发接触不良现象。接触不良会使电流传输不稳定，产生拉弧效应，会影响供电质量，降低列车运行的稳定性，还对受电弓和接触线造成进一步的烧蚀损坏，严重威胁列车的运行安全。频繁更换磨损严重的接触线，会增加铁路运营的维护成本和时间成本。接触网的悬挂系统肩负着支撑接触线并确保其与受电弓可靠接触的重要使命。在复杂的气象条件和列车高速运行的双重作用下，悬挂系统的稳定性面临严峻考验。在强风环境中，强大的风力会使接触线产生剧烈摆动，超出正常的运行范围，导致受电弓与接触线之间的接触压力发生变化，容易出现短暂脱离接触的情况，即脱弓现象。而在低温环境下，接触网的金属部件会因热胀冷缩而发生尺寸变化，影响悬挂系统的几何参数，降低其弹性和缓冲性能，同样不

利于受电弓与接触线的稳定接触，严重时甚至会引发安全事故。

3.2 解决方案

在铁路电气化改造进程中，接触网扮演着举足轻重的角色。其技术难题的攻克，如材料选择、悬挂系统设计及张力控制等，对提升整个电气化铁路系统的性能与效率至关重要。这些努力将确保列车运行的平稳与安全，推动铁路现代化进程，满足日益增长的运输需求。

（1）针对接触线磨损与寿命问题，我们采取了材料和结构两方面的综合优化策略。在材料研发层面，我们致力于探索并应用新型高强度、耐磨的接触线材料。通过将铜合金与稀土元素进行复合，利用稀土元素的独特性能，如细化晶粒结构、提升材料强度和硬度等，明显增强了接触线的耐磨性能，有效延长了其使用寿命。在结构设计方面，我们优化了接触线的截面形状，确保其在满足电气性能要求的同时，能更好地分散受电弓与接触线之间的接触压力，减少局部磨损。我们还引入了先进的张力控制技术，根据列车运行工况和环境因素实时调整接触线的张力，避免了因张力不当导致的磨损和疲劳损伤。（2）针对悬挂系统稳定性问题，我们采用了自适应悬挂技术。该技术通过传感器实时采集列车运行速度、气象条件等关键信息，并借助智能控制系统对悬挂参数进行动态调整。在强风等恶劣天气条件下，安装在接触网上的防风装置会自动启动，通过特殊设计限制接触线的摆动幅度，确保受电弓与接触线的可靠接触。我们引入了弹性吊索等新型悬挂部件，利用其出色的弹性和缓冲性能，有效吸收列车运行过程中产生的振动和冲击，改善了受电弓与接触线之间的接触状态。这些解决方案的实施提升了接触网的性能，还为列车的安全、高效运行提供了坚实保障。（3）针对接触网的维护管理难题，我们开发了智能监控系统，实时监测接触网状态，及时预警潜在故障，实现了维护工作的智能化与精准化，进一步提升了铁路电气化系统的可靠性和运营效率^[3]。

4 通信信号系统技术难题与解决方案

4.1 技术难题

在铁路电气化改造进程中，通信信号系统遭遇的技术难题对整个铁路运行的安全性与高效性有着重要影响。电气化铁路的运行环境充斥着强电磁干扰源。电力机车运行时产生的大功率电磁辐射，以及供电系统中高次谐波的存在，都使得通信信号系统面临严峻的电磁干扰挑战。通信信号设备如果受到干扰，信号传输过程中便极易出现错误。如在列车运行控制中，错误的信号传输会导致列车的速度控制指令出现偏差，使列车运行速

度异常,影响行车安全。信号丢失的情况同样不容忽视,当关键的控制信号丢失时,列车与调度中心之间的通信中断,调度指挥无法及时掌握列车的位置和运行状态,容易引发列车运行秩序的混乱。而信号延迟则会使列车的响应时间变长,无法及时执行调度指令,降低运输效率。通信信号设备自身抗干扰能力的不足,成为铁路电气化改造顺利推进的一大阻碍。既有铁路电气化改造需要整合新老通信信号设备,实现系统的互联互通。但不同时期投入使用的通信信号设备,因技术发展的阶段性差异,在技术标准上大相径庭。早期设备采用的模拟信号传输技术与现代的数字信号技术难以兼容,不同厂家生产的设备在通信协议方面也各自为政。这种协议的不统一,使得设备之间无法准确识别和解析对方发送的信号,数据交互难以实现。在列车自动控制系统中,新老设备的不兼容可能导致控制信息无法准确传递,使列车的自动控制功能无法正常发挥,给系统的集成和改造工作增添了重重困难。

4.2 解决方案

(1) 面对电磁干扰这一复杂问题,我们创新性地采用了综合电磁防护技术作为核心解决方案。该技术融合了屏蔽、滤波、接地等多种手段,构建起一道坚不可摧的电磁防护网。它不仅有效抵御了外部电磁干扰,还确保了系统内部的稳定运行,为铁路电气化改造中的供电系统提供了强有力的安全保障。在屏蔽措施层面,我们对通信信号电缆实施了双层屏蔽结构设计,其中外层屏蔽有效阻挡了外界大部分的低频电磁干扰,而内层屏蔽则增强了抵御高频干扰的能力,从而明显降低了电磁干扰对电缆内信号传输的不良影响。我们在设备内部配置了滤波电路,该电路依据信号的频率特性,通过电感、电容等元件精心构建的滤波网络,对高频干扰信号进行了精准的筛选和有效的抑制,仅允许正常的通信信号顺利通过,彻底消除了高频干扰信号对设备运行的潜在威胁。我们还着重完善了接地系统,良好的接地设计能够为干扰电流提供一条低阻抗的泄放通道,将设备内部产生的感应电流以及外界侵入的干扰电流迅速引入大地,确保了设备的电磁兼容性,为通信信号的稳定传输奠定

了坚实基础。(2) 针对系统兼容性问题,我们着手制定了一套统一的通信信号技术标准和接口规范。这套统一的技术标准详尽地明确了信号的编码方式、传输速率、调制解调方法等关键性技术参数,使得不同设备在信号处理过程中能够遵循相同的规则,实现了信号处理的一致性。统一的接口规范也规定了设备之间的物理连接方式、电气特性以及数据交互格式,极大地促进了不同设备之间的互联互通,提升了系统的整体效能。在改造实施过程中,我们对原有的通信信号设备进行了有针对性地升级和改造,通过硬件的更换和软件的升级等手段,使其全面符合新的标准要求。(3) 在完成改造后,我们加强了对通信信号设备的检测和调试工作。运用专业的检测设备对设备的各项性能指标进行了全面而细致的测试,同时模拟了各种运行工况进行了深入的调试,及时发现并妥善解决了潜在的问题,确保了新老系统能实现无缝对接,稳定运行。这一举措提升了通信信号系统的整体性能,也为铁路电气化改造的成功实施提供了有力保障^[4]。

结束语

综上所述,铁路电气化改造中的关键技术难题通过一系列创新解决方案得到了有效应对。这些解决方案不仅提升了供电系统、接触网和通信信号系统的性能,还为铁路运输的安全、高效运行提供了坚实保障。未来,随着技术的不断进步和创新,铁路电气化改造将朝着更加智能化、高效化和环保化的方向发展,为国家的经济社会发展贡献更大力量。

参考文献

- [1] 许正荣. 市政道路桥梁设计的关键要素与优化研究[J]. 中华建设, 2024, (07): 110-112.
- [2] 康亮. 研究市政道路桥梁预应力施工技术要点[J]. 居业, 2024, (06): 52-54.
- [3] 程光炯, 秦国金. 既有普速电气化铁路隧道内锚臂更换施工技术研究[J]. 电气化铁道, 2020, 31(5): 84-89.
- [4] 任智超. 电气化铁路接触网施工技术要点分析[J]. 山东工业技术, 2019(05): 109-111.