

铁路接触网防风偏技术措施优化研究

——以大风区段为例

刘海涛，侯磊，李阳

中国铁路郑州局集团有限公司郑州供电段，河南 郑州 450015

DOI:10.61369/ME.2026010006

摘 要： 强风天气是威胁普通电气化铁路接触网安全运行的主要自然因素，较之高速铁路系统，普通铁路接触网在结构参数及机械特性等方面的差异性更为显著，使其在穿越旷野、峡谷等大风区段时，更容易产生风偏振动，而过度摆动易致绝缘子和桥梁、杆塔等接地体之间存在的电气空气间隙被击穿，从而造成频繁跳闸断电事故，打乱正常的行车计划及周期，并对运输安全和效率持续构成挑战。面对大风区段这一特殊工况，传统防护手段在适用性和经济性显然难以契合现代化需求，亟待从技术层面进行更深层次的优化与创新，以提升普通电气化铁路网络的防风韧性和运行稳定性，保障沿线运输畅通与安全。

关 键 词： 大风区段；铁路接触网；防风偏技术；优化分析

Research on Optimization of Windproof Deviation Technology Measures for Railway Contact Network — Taking Strong Wind Sections as an Example

Liu Haitao, Hou Lei, Li Yang

Zhengzhou Power Supply Section of China Railway Zhengzhou Group Co., Ltd., Zhengzhou, Henan 450015

Abstract： Strong wind weather is the main natural factor threatening the safe operation of ordinary electrified railway contact networks. Compared with high-speed railway systems, ordinary railway contact networks have more significant differences in structural parameters and mechanical characteristics, making them more prone to wind-induced vibration when crossing windy sections such as wilderness and canyons. Excessive swinging can easily cause electrical air gaps between insulators and grounding bodies such as bridges and towers to be broken down, resulting in frequent tripping and power outages, disrupting normal driving plans and cycles, and posing continuous challenges to transportation safety and efficiency. Faced with the special working condition of strong wind sections, traditional protective measures are obviously unable to meet modern needs in terms of applicability and economy. It is urgent to carry out deeper optimization and innovation at the technical level to improve the wind resistance and operational stability of ordinary electrified railway networks, and ensure smooth and safe transportation along the line.

Keywords： strong wind section; railway contact network; windproof deviation technology; optimization analysis

引言

加强大风区段接触网系统的防风偏能力，已经变成铁路工程领域的关键性任务，值此背景之下，对现有防风偏技术措施进行系统梳理，并深入优化，旨在发展更加精细、智能的防风策略，对于提高铁路运营的安全程度和经济效益，具有关键的研究价值和现实意义。

一、铁路接触网防风偏技术措施优化意义分析

（一）有助于提升普铁运营安全可靠水平

普通电气化铁路作为我国铁路网络的骨干力量，其承担着繁

重的客货运输任务，其运输连续性及稳定性等指标，对于国家经济活动及人民生活而言十分关键，而接触网属于向电力机车直接供电的无备用系统，该设备在完整运输链条中属于薄弱环节。而在大风区段发生的接触网风偏故障，并非是偶然的局部事

件，而是会对全网运行秩序造成威胁的系统性风险。一旦绝缘子因风偏放电而导致跳闸情况发生，就会造成区间停电，从而引发列车班次延误，亦可能会引发区间堵塞状况，继而打乱全网运行图。鉴于此，其所产生的连锁反应及间接经济损失巨大，凭借对防风偏技术措施进行优化处理，能够明显降低这类恶性停电事故的发生概率，继而从根源上遏制运营中断风险，直接提升普通铁路在面对极端天气时的韧性和生存能力^[1]。

（二）有助于增强接触网设施抗风韧性

普通铁路接触网会因设计标准不同、建设年代不同及投资成本存在差异，其内部结构和材料特性区别于常见的高速铁路，表现为具有更大的悬挂质量，且波动传播速度更低及动态响应特性不同。而传统防风偏设计常常是基于静态或准静态而计算，未能充分考虑风与结构的动态耦合效应，亦未有效综合普通铁路接触网自身所具备的结构特点，因此难免存在安全隐患。如果引入更精确的风场模拟、结构动力学分析及疲劳寿命评估，就能够针对普通铁路的典型结构形式，专门制定防风偏方案，这种精细化、定制化的提高路径，能够切实提高接触网系统自身的抗风能力即“抗风韧性”，可以保证设施在大风反复冲击的情况下，依然能够保持结构完整、功能稳定，亦可以延长设备的服役寿命。

（三）有助于降低运营维护综合成本

大风区段接触网所潜在的风偏问题，不仅是技术方面的挑战，亦是沉重的经济负担，这一问题引发的成本主要体现于两个层面，即直接层面和间接层面。直接成本包含着因风偏放电烧损绝缘子和电气设备，其需要频繁更换和维修而产生的费用，及为实施临时加固及应急抢险工作，投入的大量人力和物力；而间接成本就更为巨大，包括因列车延误、停运情况，而导致的运输损失，及为调整运行图、疏导客流和货流，产生的运营组织成本。在传统情况下，为应对风偏问题更倾向于采取“过度设计”或“事后补救”等粗放策略，尽管在短期内卓有成效，但从长期观之，其综合成本十分高昂。鉴于此，对防风偏的技术措施进行优化，其核心经济意义在于从事后被动维修，转变为事前主动防御，借助一次性精准投资，实现长期成本节约，而这种对全生命周期成本所进行的优化，对于盈利能力相对薄弱、更加注重成本效益的普通铁路运营而言，具有重大的现实价值^[2]。

二、大风区段铁路接触网防风偏技术的应用特点分析

（一）技术措施的集成化与系统性

大风区段接触网的防风偏技术的应用特殊要点在于，其具备高度集成化和系统性，在设计阶段中，工程师不再单独计算单个支柱或腕臂强度，而是会采用基于“接触网——受电弓系统动力学”的整体仿真模型进行综合计算，因此防风偏设计也成为系统性的参数优化过程。这些措施并非是简单叠加，而是经由系统设计，互为表里、相辅相成，共同构成有机的防御体系，能让整个接触网系统对外界风扰的抵抗能力实现“质”的飞跃，完成从局部加强到整体稳健的转变。

（二）动态性与智能化的深度融合

传统防风偏技术属于静态且处于被动地位的刚性抵御方式，而现阶段其应用特点正在朝着动态响应及智能化方向深入延伸，体现出从“被动抵御”向“主动感知与适应”的演进过程。而借助在重点风区布置高精度气象站及接触网动态监测装置，系统可以实时感知环境冲击及网络状态的变化，并将采集到大量数据借助物联网传送给后台数据中心，借助大数据分析和人工智能算法实现大风预警。因此，在风速接近临界值时，会提前向调度中心发出警报，从而为采取限速或停运措施提供决策支持，这种把“感知——决策——执行”闭环融入至接触网系统中的举措，极大程度上提升着接触网应对风荷载的动态适应能力，使其成为富有弹性的“智能”基础设施。

（三）高可靠性与经济性的精细平衡

在大风区段应用防风偏技术时，必须在安全可靠性及全生命周期成本两者之间寻找最佳平衡，这一特点的产生是因外部环境严峻且运营要求标准较高，一旦接触网出现风偏故障，就极易引发刮弓、钻弓等情况，甚至会造成供电中断等严重事故，鉴于此可靠性是首要目标。采用“分级、分区、分点”这一精准化的策略及基于监测数据开展预测性维护，就能够避免对全线采取“一刀切”做法所带来的巨大浪费，在保证关键区段绝对安全的同时，也让项目整体的成本效益达到最优化，促使工程技术和管艺术实现深度结合^[3]。

三、铁路接触网防风偏技术措施优化原则分析

（一）差异施策原则

差异施策原则的核心要点在于摒弃传统视角和理念下的“一刀切”设计，依据线路沿线具体的气象条件、地理环境及工程状况，开展精细化、定制化的防风偏设计工作，从而达成安全与经济的高度统一。由于普通铁路跨度较长，其所途经区域的地形地貌复杂且多变，可能会经历平原、丘陵、峡谷及风口等不同地段，而这些区域的瞬时风速、风向以及风压皆具有显著差异。鉴于此，优化设计必须建立在详细风区划分及微地形气象勘察的基础之上，而这一原则亦要求设计者需要深入现场，精准识别风险点，做到“一段一策”甚至是“一柱一策”，从而确保有限资源及有效技术集中运用到最薄弱、最危险的区段，进而从整体上提高线路的防风可靠性，有效控制工程的总投资及后期维护成本。

（二）协同匹配原则

协同匹配原则代指各类防风技术措施及其他组成部分之间需要实现相互协调、有机配合，从而形成高效的整体抗风体系。由于接触网属于精密动态系统，无论是哪一单一参数出现偏移，都极易引发“牵一发而动全身”的系统效应。因此，在进行防风偏优化设计时，必须从系统角度考虑这一联动关系。这一原则要求设计者要有整体视角，能够以高屋建瓴的总览思想借助动态仿真及精密计算，保证所有的措施皆能协同工作，在有效抑制风偏的同时保障弓网受流性能、系统安全冗余度及机械的可靠性。

（三）维保便利原则

维保便利原则即在对防风偏技术措施进行设计及选用时，需充分考虑普通铁路的运维资源、作业天窗、技术能力等现实条件，优先选择结构简单、坚固耐用、易于检查的方案，确保在其生命周期中具备可维护性及可用性。因普通铁路的运维天窗时间较短，且技术力量及装备水平无法与高铁相较，因此在进行优化时，更应倾向于模块化、标准化结构，以可调式防风拉线为例，其松紧程度能够在日常巡检时方便进行调整及复位，在材料选择方面，应突出耐腐蚀性及长效性，如采用热镀锌钢材或高强度铝合金，旨在减少因锈蚀而产生的频繁更换工作量，这一原则的本质在于将运维需求提前到设计阶段，凭借对设计进行优化以降低后期维护难度、频率及成本，进而保证防风设施在长时间使用的过程中，真正做到“建得起、用得好”。

四、铁路接触网防风偏技术措施优化路径——以大风区段为例

（一）精准风区划分，实现分级防控

实现技术优化及应用结构创新，深入调研沿线气象数据及地理数据是首要之策，依据长期气象观测情况及历史故障数据，运用GIS技术对线路开展精细化风区划分工作，从而识别特大风区、重点风区及一般风区，对于不同风区可以制定差异化的防风设计标准及技术措施清单。例如在峡谷、风口等特大风区区域，可以采用最高设计风速，综合运用防风拉线、定位管支撑等强化措施。这种“分级防控”策略能够避免全线采用“一刀切”式的过度设计举措，将有限资源及有效技术精准投放至最危险路段，提升线路整体防风安全性，实现工程经济性的最优化。

（二）强化结构设计，提升机械强度

面对大风所带来的巨大荷载时，对支持装置及锚固结构开展针对性的补强工作是核心优化途径，因此在选择相关部件时，应当优先挑选抗风型定位器，如双耳双座式及加强型腕臂、耐张型绝缘子，这些部件的机械强度和抗疲劳性能皆远远高于普通标准件。譬如，在支柱根部、腕臂底座等关键受力部位，可以采用法兰式加强型底座或增加固板，以提升连接点的稳定性及抗扭转能力。借助系统性的结构强化，能够从根本上提升接触网硬件设施

的“体质”，使其有效抵御大风的反复冲击，降低零部件发生变形以及损坏的概率，提高系统的综合可靠性。

（三）优化参数配置，增强系统稳性

一方面，在支柱容量允许的前提条件下，适当增大接触线和承力索的张力，能够有效提高线索的“绷紧”程度，从而减小线索在风作用下的偏移幅度和振动能量；另一方面，要精确计算并调整定位点的拉出值，避免在出现最大风偏时产生硬点或钻弓风险。同时，还要严格控制定位管坡度，保证定位管在无风状态下呈现水平或者稍微上扬状态，为在风压作用下可能产生的下压情况预留安全空间，借助对上述参数进行协同优化，能够提升整个系统的动态稳定性及抗干扰能力。

（四）引入智能监测，构建防控体系

推动防风手段从传统“静态防御”向“动态感知与主动防控”升级，可以在特大风区段专门布设无线智能测风装置及接触网动态监测装置，对风速、风向以及接触线拉出值、高度等关键的数据进行实时采集，利用物联网的技术把采集到的数据传回监控中心，构建起大风预警与状态评估系统，在实现超限自动报警、为调度指挥提供限速或停运的决策依据的同时，还能够借助大数据分析，实现对接网设备状态的趋势预测及健康管理，从而指导开展精准化状态维修。而通过践行“监测——预警——运维”的闭环防控体系，能够极大程度上提升运维效率和对风灾的主动防御能力，保障普通铁路大风区段长期安全运行。

五、结语

综上所述，大风区段铁路接触网防风偏技术的优化是一项综合性较强的系统工程，它囊括设计、工程及运维等多个方面，借助探讨优化原则，使得各环节协同匹配及便于维护保养，通过构建多层次、立体化的防风体系，从而达成“结构稳固、参数协调、智能预警”的理想目标。在未来优化工作中，应坚持技术性和经济性兼顾的原则，将传统刚性加固技术和现代的智能感知技术深度融合，推动防风策略发生转变，从过去静态防御朝着动态感知与主动预警的智慧防控方向发展，全面提升普通铁路在恶劣风环境下运行的安全性与可靠性，进而为铁路运输能够持续保持畅通提供坚实的保障。

参考文献

- [1] 向江海, 赵军, 张思宇, 彭其渊. 铁路编组站到发场技术作业计划编制优化方法研究 [J]. 铁道学报, 2025, 47(2): 11-23.
- [2] 宁健, 范家铭, 王鹏, 周培宇, 李博, 张新. 铁路列车运行图优化技术研究综述 [J]. 铁道运输与经济, 2025, 47(8): 1-16+29.
- [3] 董凤翔, 田明阳, 曾昊, 赵国强, 李俊松. BIM技术在铁路隧道设计优化中的研究与应用 [J]. 铁路技术创新, 2022(1): 47-53.