

包银高铁风沙高寒地段联调联试关键技术研究

王建强

中国铁路呼和浩特局集团有限公司, 内蒙古 呼和浩特 010010

DOI:10.61369/ERA.2026080019

摘 要 : 包头至银川高速铁路内蒙古段地处西北戈壁风沙、季节性高寒大温差特殊区域, 沿线冻土发育、沙尘频发、昼夜温差悬殊, 路基冻胀融沉、接触网积污腐蚀、线路结构温变变形等病害突出, 高速列车动态运行稳定性控制难度远大于内陆常规平原高铁线路。结合包银高铁分段分步联调联试现场工程实践, 系统梳理土建轨道、牵引供电、通信信号、防灾安全监控各专业系统调试流程与试验项目, 深入剖析大风沙尘、极端温差、季节性冻土多重耦合工况下联调联试技术难点。通过采用分级逐级提速动态检测、轨道毫米级闭环精调、风沙环境弓网耦合优化、多专业问题清单闭环管控等针对性技术措施, 全面优化车—线—电—信—控系统匹配关系。经全过程动态检测验证, 内蒙古境内线路轨道动力学指标、弓网受流质量、列控行车控制精度、灾害预警联动响应均符合高速铁路验收规范, 有效破解西部高寒风沙区域高铁动态平顺性不足、弓网受流不稳定、系统接口适配性差等共性工程难题。研究成果可为内蒙古自治区后续铁路新建、改扩建项目提供可靠技术借鉴与现场施工参考。

关 键 词 : 包银高铁; 高速铁路; 联调联试; 风沙高寒; 轨道精调; 弓网匹配; 动态验收

Research on Key Technologies for Joint Debugging and Testing of Baoyin High speed Railway in Wind blown and Cold Regions

Wang Jianqiang

China Railway Hohhot Group Co., Ltd., Hohhot, Inner Mongolia 010010

Abstract : The Inner Mongolia section of the Baotou–Yinchuan High–Speed Railway is located in a unique region characterized by northwest Gobi sandstorms and significant seasonal temperature variations. The area features extensive permafrost, frequent dust storms, and substantial diurnal temperature fluctuations, leading to prominent issues such as frost heave and settlement of subgrade, contamination and corrosion of contact networks, and thermal deformation of track structures. These challenges make dynamic operational stability control for high–speed trains far more complex than on conventional inland high–speed rail lines. Drawing from field practices during segmented joint debugging and testing of the Baotou–Yinchuan line, this study systematically reviews debugging procedures and test items across civil engineering, track systems, traction power supply, communication signaling, and disaster prevention monitoring systems. It thoroughly analyzes technical difficulties arising from the combined effects of strong winds, dust storms, extreme temperatures, and seasonal permafrost conditions. Targeted measures—including tiered dynamic speed optimization, millimeter–level closed–loop precision track adjustment, optimized wind–dust environment–track–network coupling, and comprehensive multi–disciplinary issue management—have been implemented to enhance coordination among vehicle, track, power, signaling, and control systems. Comprehensive dynamic testing confirmed that the track dynamics parameters, current transmission performance of the pantograph–network system, train operation control accuracy, and disaster early–warning response all comply with high–speed railway acceptance standards. This effectively addresses common engineering challenges in western cold regions, such as insufficient operational smoothness, unstable pantograph–current transfer, and poor system interoperability. The research findings provide reliable technical references and practical guidance for future railway construction and expansion projects in the Inner Mongolia Autonomous Region.

Keywords : Baoyin high–speed railway; high–speed railway; joint commissioning and testing; wind–sand and cold climate conditions; precision track adjustment; bow–net matching; dynamic acceptance inspection

引言

近年来内蒙古自治区高速铁路路网建设持续提速，西部通道铁路基础设施不断完善，包银高铁作为国家中长期铁路网京兰客运通道核心组成段落，是连接蒙西、宁夏地区重大民生战略性交通工程。线路内蒙古区段横穿乌兰布和沙漠边缘戈壁地带，区域生态脆弱、气象条件恶劣，大风沙尘天气持续时间长，冬夏极端温差跨度大，季节性冻土分布广泛，铁路土建结构、四电设备、户外运营设备长期处于复杂恶劣环境荷载作用下。

联调联试作为高速铁路竣工验收、开通运营前不可或缺的关键工序，是对线路整体结构、机电成套系统、行车安全控制体系开展全参数、全工况、全时段综合动态检验。常规平原地区高铁联调技术体系无法完全适配内蒙古戈壁风沙高寒工况，静态验收合格参数在高速动态运行、温度变化、风沙侵蚀后极易出现指标超标问题。结合包银高铁现场实际开展特殊环境联调联试技术总结，优化恶劣气候下线路调试工艺、设备匹配参数、安全管控模式，对提升内蒙古西部铁路工程建设质量、强化高铁长期安全运营保障能力具有重要工程实用价值。

一、工程概况

包银高速铁路设计行车速度 250km/h，双线电气化有砟轨道客运专线，线路东起内蒙古包头市，途经巴彦淖尔、乌海，向西接入宁夏银川铁路枢纽。内蒙古境内线路总长占全线比例较高，地貌以戈壁荒漠、风沙堆积洼地、季节性冻土路基地段为主，沿线常年大风天数多，沙尘天气集中，区域内极端温差可达 70℃ 以上，昼夜温差波动显著。

线路路基、桥梁、道岔结构易受冻胀融沉循环作用产生不均匀沉降，道床易受风沙堆积出现板结、弹性衰减问题，接触网导线、绝缘子易受沙尘污染降低绝缘性能与受流稳定性。项目严格按照国铁建设管理要求，采用分段施工、分段联调、分段验收、全线贯通实施模式，依次完成惠农—银川区段、包头—惠农区段联调联试工作。全过程依次开展低速全线拉通试验、分级逐级提速试验、单列及重联动车组运行试验、多系统接口联合调试、缺陷逐项整改复测，全面完成全线动态性能综合核验。

二、高寒风沙地区高铁联调联试主要工作内容

（一）轨道及路基桥梁土建系统动态检测

轨道平顺性是高速列车安全平稳运行基础保障，本次联调重点检测轨道高低、轨向、水平、三角坑、轨距变化率等几何状态参数，同步监测路基工后沉降、桥梁竖向横向振动幅值、梁体转角变形、支座受力状态以及道岔转换密贴、锁闭可靠性、高速过岔冲击响应。

针对内蒙古风沙地段道床积沙、道砟粉化板结、冻胀循环导致线路几何状态偏移问题，依托综合检测列车波形数据精准定位病害点位，有序开展线路精捣、拨道调整、垫板优化、扣件复紧等精细化整治工作，建立动态检测、数据分析、现场整改、复核复测闭环流程，持续优化线路平顺性指标，保障不同温度、不同行车速度下列车运行平稳舒适。

（二）牵引供电与弓网耦合系统专项联调

牵引供电与弓网受流系统直接决定动车组持续稳定取电能力，是风沙地区高铁调试核心重难点内容。静态阶段全面检测接触网导高、拉出值、跨中弛度、张力补偿、吊弦受力、绝缘设备

状态等基础参数。动态阶段逐级提升试验速度，实时监测弓网动态接触压力、接触网抬升幅值、硬点冲击振动、离线次数、电弧燃弧时长与燃弧概率。

受西北风沙环境影响，沙尘极易附着接触导线与受电弓滑板表面，破坏接触面贴合精度，高速运行易出现瞬时离线、异常放电现象。加之温差作用造成接触网张力波动、弛度变化，重联动车组前后弓气流相互干扰，进一步加剧弓网匹配难度。现场结合季节温度、风力条件动态优化接触网参数，集中整治接头硬点缺陷，有效提升复杂工况下弓网运行稳定性。

（三）通信信号及列车运行控制系统调试

GSM-R 无线通信、轨道电路、应答器、列控中心、CTC 调度集中系统共同构成高铁行车安全控制核心。联调期间全面开展车地无线通信链路测试、行车控制指令传输校验、临时限速下发执行、列控模式自动切换、非正常行车模拟演练等项目。

内蒙古西部戈壁开阔区域电磁环境复杂，大风振动易造成户外信号设备偏移，沙尘侵入机柜影响设备散热与信号稳定性。现场优化基站信号覆盖阈值、切换参数，强化室外设备防尘密封、防风加固处理，排查信号干扰、传输延迟、逻辑冲突等隐患，确保高速行车、区间变道、重联运行等各类工况下列控指令精准可靠、通信连续稳定。

（四）防灾安全监控及客运服务系统联调

全线布设大风监测、雨量监测、地震预警、线路异物入侵、轨温实时监测等立体化防灾设备，联调阶段完成传感器标定、报警阈值整定、分级预警逻辑调试、调度联动响应试验。模拟大风、沙尘、地质灾害等突发场景，验证灾害预警、自动限速、区间封锁、信息推送全流程及时性、准确性，构建适配内蒙古大风沙尘气候的高铁安全防护体系。

同步完成车站广播、视频监控、客运检票、时钟同步、电力动环监测等客运运维系统联调，实现全线设备统一调度、集中管控、智能运维，满足高速铁路常态化运营管理需求。

三、内蒙古风沙高寒地段联调联试重难点问题

（一）风沙侵蚀引发轨道动态病害反复频发

戈壁大风携带大量沙尘持续堆积线路道床，造成道砟密实度

不均匀、道床弹性下降、轨道高低不平顺加剧。部分区段静态验收指标合格，但列车高速动载循环后极易出现三角坑、轨向偏移超限问题，病害重复出现，精调、复测、整改工作量大增加。同时风沙磨损道岔零部件，造成转换卡滞、密贴不良，严重影响行车安全。

（二）大温差环境造成结构参数动态漂移

沿线冬夏、昼夜温差极大，钢轨、桥梁钢结构、接触网线索热胀冷缩效应明显，线路几何尺寸、接触网张力弛度随环境温度不断变化。出现白天合格、夜间超标、夏季合格、冬季偏移现象，固定调标标准难以长期适用，大幅提升参数管控难度。

（三）沙尘积污显著降低弓网受流运行质量

沙尘附着接触网表面增大接触电阻，破坏弓网紧密贴合状态，高速运行频繁产生离线、燃弧现象。重联运行时前车扰动气流带动沙尘上扬，后车受电弓受流环境进一步恶化，弓网耦合控制成为本次联调最突出技术难题。

（四）恶劣气象压缩有效施工作业窗口期

春季强沙尘、冬季低温严寒、突发性大风天气较多，高精度轨道精调、高空接触网作业、高速动态试验均受限，天窗利用效率偏低，试验计划统筹、工序衔接组织难度显著加大。

四、恶劣环境下联调联试关键优化技术措施

（一）分级逐级提速全域动态检测技术

严格遵循低速排查隐患、中速优化平顺、高速验证性能、超时速安全兜底原则有序开展提速试验，稳步提升检测速度至超设计时速标准。全面捕捉风沙荷载、温度应力、动载作用下线路结构动态响应，充分暴露静态无法发现的隐蔽病害，预留充足安全冗余，保障运营速度长期稳定可控。

（二）高寒风沙轨道毫米级闭环精调工艺

合理选择无风、少沙、温度平稳窗口期开展线路精细化捣固精调，建立检测研判—现场整治—复检验收—跟踪观测全闭环管理模式。针对性调控道床密实度，优化钢轨垫板、扣件调整参数，抵消冻胀、温差、积沙带来线路偏移，持续提升轨道长期动态平顺稳定性。

（三）戈壁风沙工况弓网综合整治优化技术

坚持试验前后常态化接触网清扫除尘作业，根据环境温度实时修正接触网张力补偿数值，抵消温差形变影响。全面打磨线路硬点、接头不平顺缺陷，优化吊弦安装参数，结合重联运行实测数据调整弓网匹配阈值，显著降低高速离线与燃弧发生率。

（四）多专业协同清单化闭环隐患管理

建立全线缺陷统一台账管理制度，按照重大隐患、重点问题、一般缺陷分级分类管控，明确责任专业、整改时限、验收标准。工务、供电、电务、车辆多方联动会商，高效处置跨系统接口矛盾、设备联动异常问题，所有问题整改一项、复核一项、销号一项。

（五）极端天气专项安全作业管控措施

制定内蒙古地区大风、沙尘、低温天气试验作业管控细则，明确不同气象等级作业禁止条件。加强户外设备防风、防尘、防冻防护改造，规范天窗封锁、行车防护、现场监护流程，杜绝恶劣天气冒险试验作业，保障联调全过程安全。

五、现场应用实施成效

经过系统性联调联试与专项技术优化整治，包银高铁内蒙古境内所有土建结构指标、轨道动力学参数、弓网动态受流性能、列控系统控制精度、防灾预警联动功能全部满足国家高速铁路验收规范标准。风沙、温差诱发各类动态缺陷全部闭环清零，重联运行、大风工况、高低温工况设备运行稳定可靠，系统协同匹配良好，全线顺利通过动态验收，按期具备安全开通运营条件。

本次工程总结形成一套贴合内蒙古西部地域特点的高铁联调联试施工工艺、质量管控要点、病害处置方案，实用性强、可复制推广，有效填补自治区高寒风沙戈壁地区高速铁路调试技术空白。

六、结论

内蒙古西部戈壁风沙、大温差高寒特殊环境，导致高速铁路联调联试工况复杂、病害多样、管控难度较高，传统内陆高铁调试经验无法直接套用。工程实践表明，采用分级逐级提速动态检测、轨道精细化闭环精调、风沙弓网专项参数优化、全流程清单化质量管理等综合技术措施，能够有效解决冻胀沉降、道床积沙、弓网不稳、系统适配性差等突出难题。

包银高铁联调联试全过程技术经验，可广泛应用于内蒙古后续城际铁路、普速铁路、新建高速铁路工程，持续提升自治区铁路工程建设整体质量，完善西部铁路安全运营保障体系，助力区域交通高质量长远发展。

参考文献

[1] TB 10761-2018 高速铁路联调联试及动态验收技术规范 [S]. 北京：中国铁道出版社，2018.
[2] 中国铁路呼和浩特局集团有限公司. 包银高速铁路内蒙古段联调联试工作总结报告 [R].2025.
[3] 王健. 高寒大风地区高速铁路联调联试关键技术研究 [J]. 铁道工程学报，2024.
[4] 内蒙古交通规划勘察设计院. 内蒙古西部风沙冻土地区铁路工程技术要点 [R].2023.
[5] 李建军. 风沙环境高速铁路轨道平顺性控制技术 [J]. 内蒙古公路与运输.