

高铁提质改造通信GSM-R系统网络优化方案研究

马立虎

通号工程局集团有限公司 北京 100070

摘要：贵广客专提质改造阶段的GSM-R网络优化围绕既有线路运营条件下的问题整改与性能提升展开，全程依托天窗点完成现场测试、参数调整、干扰清除与覆盖补强等环节。网络优化工作直面跨线路信号重叠、同频冲突、乒乓切换、底噪抬升等现场突出问题，通过交叉区段邻区精细化配置、频点唯一性调整、覆盖功率动态校准、直放站从信号引入等针对性处置，让网络指标逐步满足CTCS-3级列控系统的运行要求。优化动作均立足于工程现场实际状态，以问题闭环为导向完成全线路无线环境规整与通信质量提升，为同类型既有高铁提质改造的GSM-R网络优化提供可直接参照的工程实施路径。

关键词：高铁提质改造；通信GSM-R系统；网络优化方案

引言：贵广客专提质改造工程将线路运行速度与列控系统等级同步提升，对应GSM-R网络需完成从单网覆盖到冗余覆盖的转变，网络优化工作全部在既有线路正常运营的背景下推进。各类网络异常问题集中出现在龙里北至从江区段，涵盖切换失败、高等级通话质差、底噪异常抬升等典型现象，问题诱因包含外部公网强信号侵入、网内频点规划冲突、邻区配置缺失、越区覆盖失控等多重因素。优化实施团队依托天窗点开展上道测试、频谱扫描、参数修改与设备调试，严格遵循不影响日间行车的管控要求，推动网络状态持续向验收标准靠拢，最终实现全线无线通信业务稳定承载。考虑到贵广客专途经山区、丘陵等复杂地形，进一步加剧了网络覆盖不均与信号干扰问题，为优化工作增加了实施难度，也对优化方案的针对性与可行性提出了更高要求。

1 GSM-R网络现场问题排查与定位

1.1 无线信号干扰源现场甄别与确认

干扰问题的定位依托红线内外分段测试与运营商设备联动验证完成，排查工作按照线路管辖范围划分为外部环境核查与站内设备核查两大板块。红线外侧的排查借助专用测试设备完成频段扫描，记录异常信号的频点特征与场强分布，结合沿线运营商基站分布情况锁定潜在干扰源头。红线内侧的排查利用天窗点上道开展定点测试，对底噪异常抬升的站点逐一对接周边通信运营商，通过分时段关闭基站的方式完成干扰小区精准匹配^[1]。测试过程中同步记录干扰出现的里程位置与持续时段，梳理干扰对通话质量与切换流程的具体影响形式，形成完整的干扰点位清单与特征描述。

1.2 切换异常场景现场核查与归类

切换异常的核查沿着线路全线逐区段开展，重点针

对隧道出入口、桥梁衔接段、车站咽喉区等信号变化剧烈区域完成往复测试。测试过程中完整采集小区切换指令下发与执行状态，识别出邻区关系缺失导致的无法切换、越区覆盖引发的乒乓切换、外部强信号干扰造成的切换中断等不同类型的切换中断问题。交叉并线区段因两套不同设备厂商网络共存，出现跨线路信号重叠覆盖引发的切换混乱，此类场景需单独梳理信号覆盖边界与邻区配置逻辑。全部切换异常点位均标注对应公里标与周边参照物，同步记录异常出现时的信号电平与邻区列表状态，为后续参数调整提供完整现场依据。

1.3 覆盖薄弱区段现场检测与标记

覆盖薄弱区段的检测依托车载测试设备与定点复测相结合的方式推进，沿着线路正线连续采集接收电平数值，标记出场强未达到稳定通信标准的段落。隧道内部因空间封闭与屏蔽效应，易出现信号衰减过快导致的覆盖不足，此类区段结合漏缆敷设状态与直放站工作状态完成复核。山区曲线地段受地形遮挡影响，部分区域出现信号陡降形成短时弱覆盖，测试过程中记录遮挡来源与信号变化趋势。桥梁区段因两侧空旷易出现信号漂移，需结合天线方位角与俯仰角设置核查覆盖方向合理性。所有覆盖薄弱区段均形成独立台账，明确问题位置、表现形式与关联设备状态。

2 GSM-R网络优化工程实施

2.1 干扰清除工程现场实施

干扰清除工程现场实施严格遵循既定处置流程，以外部干扰源协同治理与内部干扰源自主整治为两大主线，分阶段完成全线干扰点位的清零作业。外网干扰源的治理依托铁路管理部门与通信运营商的联动机制推进，针对已通过频谱扫描与定点测试精准定位的干扰小

区,由铁路项目管理机构向对应运营商出具正式工作函件,明确干扰影响范围与危害程度,提出降功率运行或退服的具体处置要求。运营商完成现场调整后,优化团队立即利用天窗点组织上道复测,通过专用设备采集底噪数值与信号质量指标,确认干扰影响完全消除且网络指标回归正常范围后方可闭环。网内干扰的处置聚焦基站硬件与馈线传输链路,组织专业人员对全线基站逐站开展深度检查,重点核查射频单元工作状态、合路器匹配性能、馈线连接紧固度与接头防水密封性,对存在损耗异常、连接松动的配件完成现场更换,对故障板卡与异常设备完成整机替换。频率规划不合理引发的同频与邻频干扰,基于现场实测的信号重叠关系完成频点重新规划与配置下发,保障相邻基站与交叉并线区段不同线路小区之间保持足够频率间隔,阻断互调干扰与重叠干扰的产生条件。直放站设备引发的传导干扰与转发过载问题,通过现场增益校准与输出功率限值调整完成整治,结合覆盖需求设定合理转发强度,避免信号过强压制周边小区正常通信^[2]。全部干扰处置工序结束后,对重点区段与复杂点位进行多次往复验证,确保无任何遗留干扰点位持续影响GSM-R网络的稳定运行,为后续切换优化与覆盖补强打好干净的电磁环境基础。在天窗点作业组织方面,建立干扰处置与天窗时长的动态匹配机制,依据干扰点位分布密度与处置复杂度,提前规划上道路径与工序衔接顺序,压缩非作业耗时,确保每处干扰整治均在单天窗内完成闭环,减少天窗使用数量。

2.2 切换性能优化工程现场实施

切换性能优化工程现场实施以提升高速移动状态下通信连续性为核心目标,围绕邻区关系完善与无线参数精细化校准展开全线路落地推进。邻区配置的完善工作基于现场实测的覆盖重叠关系开展,对切换失败点位与弱覆盖区段逐一核查邻区列表,补充缺失的双向邻区关系,删除冗余与错误的邻区配置,保障列车行驶路径上的相邻小区具备稳定可靠的切换通道。越区覆盖造成的乒乓切换与频繁重选问题,通过现场调整天线俯仰角与下压角度完成覆盖边界收缩,结合基站发射功率的精细化设定,将信号控制在合理覆盖范围之内,杜绝小区间信号无序交错引发的切换混乱。交叉并线区段存在的跨线路异常切换现象,依托现场测试数据调整切换门限与切换触发条件,改变目标小区的接入优先级与判决逻辑,避免非本线小区信号强行介入切换流程造成业务中断^[3]。同址双基站构建的冗余网络场景下,切换逻辑按照主备网络分工完成现场设定,主用网络保持正常切换参数与覆盖强度,备用网络维持待机状态与较低功率,

主用网络出现故障时可无感知切换至备用网络,主用网络恢复后可按照预设规则平稳回切。每一处参数调整与配置修改完成后,均立即组织随车测试与连续验证,实时采集切换信令与执行状态,记录切换时延与成功率指标,对未达标段落重新调整参数组合,直至切换流程全程顺畅稳定。全线切换优化完成后形成完整参数配置资料,记录每处修改内容与测试结果,为后期运维核查与故障追溯提供完整依据,确保列车在全速运行条件下实现无缝切换与业务不间断承载。针对优化参数与工程现场状态的强关联特性,建立参数调整的现场确认机制,每次修改前复测当前覆盖与干扰底数,修改后即时验证切换效果。

2.3 覆盖补强工程现场实施

覆盖补强工程现场实施针对前期检测标记的各类弱覆盖区段,采取差异化处置策略完成现场落地,全面提升全线场强均匀性与稳定性。隧道内部弱覆盖区段的整治以漏缆系统与直放站设备为核心,现场核查漏缆敷设平直度、固定间距与接头密封状态,对弯曲过度、固定松动、损耗超标的段落完成整体更换,重新紧固接头并做好防水防潮处理,同步校准光纤直放站的上行与下行增益,调整输出功率至合理区间,保障隧道内信号均匀分布且无明显波动。桥梁区段与山区曲线地段的弱覆盖问题,通过现场微调天线方位角与俯仰角完成信号投射方向优化,避开山体、桥墩等遮挡物影响,将信号精准覆盖至行驶路径区域,弥补地形条件造成的覆盖缺口。直放站覆盖区段存在的单链路故障风险,通过引入从信号的方式构建主备冗余覆盖路径,将相邻基站信号以光纤拉远方式延伸至目标区段,主信号保持正常工作功率,从信号维持低功率待机状态,主信号出现中断时从信号自动提升功率承接业务,保障覆盖连续性不被打破。车站与区间衔接段的覆盖断层或重叠过量问题,通过现场微调基站发射功率与切换区域划分完成均衡处理,消除信号陡升陡降现象,保障列车进出站过程中接收电平平稳过渡^[4]。针对部分邻线基站覆盖能力不足的问题,优化过程中同步对基站发射模块进行性能检测,对功率输出不达标、信号稳定性差的模块进行现场升级,进一步提升基站覆盖效能,确保弱覆盖区段整治效果稳定。所有覆盖补强措施均在天窗点内完成现场落地,施工过程严格遵守既有线作业安全规范,不影响日间列车正常运行。全部工序结束后开展全线连续覆盖测试,利用车载设备逐公里采集场强数据,重点复核隧道进出口、桥梁中部、山区曲线、车站咽喉等关键位点的信号指标,确保全线场强满足CTCS-3级列控系统语音业务

的稳定承载要求,形成无盲区、无波动、无突变的高质量无线覆盖环境。

3 优化效果验证与运维保障落地

3.1 网络性能全线验证与闭环整改

网络性能全线验证以低速测试与动态检测为双重手段,构建覆盖全线的指标核验体系。低速测试阶段依托夜间天窗点组织动车组上线,沿线路全程采集语音通话质量、列控数据传输稳定性、小区切换成功率等关键指标,对照既定验收标准完成逐项核对,完整记录各里程段的实际运行状态。动态检测阶段配合铁科院综合检测车开展高速条件下的系统验证,重点检验高速运行场景中列控信息传输、紧急呼叫建立、连续小区切换等核心业务的可靠性,获取真实运行环境下的网络响应效果。测试过程中对未达标区段开展深度溯源,精准区分干扰残留、覆盖薄弱、参数配置偏差等不同问题根源,将所有未达标点位纳入闭环整改清单,制定一对一处置方案并快速组织现场调整。整改工序完成后立即开展同路径复测,持续跟踪指标变化趋势,直至对应区段各项性能稳定达到标准要求。全过程执行问题销号管理,确保每一处异常点位均完成彻底处置,不留任何可能危及行车安全的通信隐患,为线路正式投入提速运行筑牢通信保障基础。

3.2 交叉并线区段专项验证与稳定管控

交叉并线区段因多网络共存、信号重叠交错的特性被列为专项管控重点,需开展独立且完整的专项验证工作。验证过程围绕不同厂商设备网络的共存兼容性、信号隔离度、切换边界清晰度展开,通过模拟双向行车与多种速度条件,检验跨线路信号是否存在非法占用、异常重选、误切换等现象。现场逐项核验邻区配置合理性、功率层级匹配度、覆盖边界控制效果,确认两套网络可在各自服务范围内独立承载业务,不产生相互侵扰

与资源抢占。对信号易混叠、切换易错乱的重点段落,建立常态化周期性监测机制,按固定周期上道测试信号分布与指标波动情况,及时识别环境变化、设备老化、参数漂移带来的潜在风险^[5]。专项验证全部通过后形成区段专项评估报告,明确日常管控重点、巡检项目、异常判定阈值与复测周期,为运维阶段提供标准化执行依据。通过持续性状态跟踪与预防性管控,保障交叉并线区段长期维持稳定可靠的通信状态,支撑双线并行场景下的安全运营。

结语

贵广客专GSM-R网络优化全程立足既有高铁提质改造的工程现场条件,以天窗点为核心作业窗口完成问题排查、干扰清除、切换优化、覆盖补强等全流程实施。各类现场问题均得到针对性处置,网络干扰得到全面清理,切换流程保持连续顺畅,覆盖状态满足高速运行与高等级列控系统的承载需求。交叉并线区段等复杂场景通过专项优化实现稳定运行,优化动作不影响日间线路正常运营,符合既有高铁改造的管控要求,能够为铁路无线通信系统现场优化提供成熟可靠的工程实践范式。

参考文献

- [1]张小兰,廖俊,楚为然,等.联调联试阶段GSM-R系统典型问题分析与优化[J].铁路技术创新,2025,(06):65-72.
- [2]孙一奇.高速铁路并线区段跨局切换无线通信系统覆盖方案研究[J].铁道通信信号,2025,61(06):64-70.
- [3]吴军,胡镨,李恒友,等.面向铁路5G-R和GSM-R系统的SPN承载方案研究与试验[J].中国铁路,2024,(08):9-18.
- [4]孙文哲.基于GSM-R的高铁无线通信系统性能分析与优化[J].电声技术,2024,48(03):125-128+134.
- [5]张健,朱啸豪,王伟力.高速铁路复杂线路区段GSM-R系统方案设计与网络优化[J].铁路通信信号工程技术,2023,20(02):42-48.