

浅谈 400M 数字无线列调建设的重要性及工程上的应用

王悦朋

中铁电气化局集团有限公司 北京 100071

【摘要】：铁路无线调度通信系统是保障列车运行安全、提升运输效率的核心基础设施。长期以来，以 450MHz 模拟无线列调为代表的传统通信系统在普速铁路、支线铁路中发挥了重要作用。但随着铁路运输业务的数字化转型，传统模拟系统暴露出频率资源利用率低、抗干扰能力弱、数据承载能力不足等诸多短板，已难以满足智慧铁路建设的需求。

在此背景下，基于 400MHz 频段的列车数字无线调度通信系统（DRTD）应运而生。该系统以 DMR 数字通信技术为核心，通过数字化改造实现了频谱效率的大幅提升，同时具备更强的数据传输能力与安全防护能力，成为普速铁路、支线铁路以及地方铁路无线通信升级的核心方案。本文结合当前铁路通信的发展现状，深入分析了 400M 数字无线列调建设的必要性及重要性，系统阐述了 DRTD 系统的技术架构与核心特性，并结合实际工程案例，探讨了该系统在工程实践中的组网方案、覆盖设计与应用效果，最后对系统未来的优化方向进行了展望，旨在为铁路无线通信系统的数字化升级提供参考。

【关键词】：400M 数字无线列调；DRTD；铁路通信；工程应用；数字化改造

DOI:10.12417/2811-0528.26.12.079

1 引言

铁路作为国民经济大动脉，运输效率与安全保障是行业发展核心，无线调度通信系统则是连接调度中心、车站与列车的关键纽带，承担着调度指挥、安全防护、应急通信等核心业务。

过去数十年，我国铁路无线通信形成多制式并存格局，450MHz 模拟无线列调凭借部署简单、成本低廉的优势，在大量普速、支线铁路得到广泛应用。

然而，随着业务发展与智慧铁路建设推进，传统模拟系统的局限性日益凸显。与此同时，国铁集团已明确 450MHz 模拟列调频率许可到期后不再延续，要求迁移至 400M 数字系统；同时 GSM-R 设备技术支持将于 2030 年终止，5G-R 专网建设尚在推进，且部署成本过高，不适用于普速、支线铁路。

在此背景下，国铁集团发布相关标准推出 DRTD 系统，为铁路通信数字化升级提供了标准依据^[1]，该系统可解决传统模拟系统的痛点，也为未来通信融合提供支撑，建设应用具有重要现实意义。

2 400M 数字无线列调建设的必要性及重要性

2.1 传统模拟列调系统的发展瓶颈

作为我国普速铁路长期使用的主流通信方案，450MHz 模拟无线列调系统的瓶颈随业务升级逐渐显现：

一是频率资源瓶颈：模拟系统采用 25kHz 信道带宽，单

载频仅支持一路语音，频谱利用率极低；叠加平调、列尾等多业务独立运行，频率资源日趋紧张，同邻频干扰频发，通信质量难以保障^[2]。

二是业务承载瓶颈：模拟系统以话音业务为主，仅能支持极低速率的短数据传输，无法承载调度命令、进路预告、车次号校核等数字化业务，制约了铁路智能化升级。

三是安全可靠不足：模拟通信无加密与终端鉴权机制，存在信息窃听、非法终端接入的安全风险；同时存量模拟设备已进入老化期，维护成本攀升，故障频发，难以保障通信稳定。

2.2 DRTD 系统对铁路通信能力的全面提升

相比传统模拟系统，400M 数字无线列调系统通过数字化技术实现了通信能力的全面提升，这也是其建设的核心价值：

一是频谱效率大幅提升：DRTD 采用 DMR 双时隙技术，在 12.5kHz 信道内实现两路逻辑信道并发，频谱利用率较模拟系统提升 4 倍，有效缓解频率资源紧张问题，可在有限频段内承载列调、工务等多部门通信需求^[3]。

二是数据传输能力显著增强：单逻辑信道数据速率可达 2.4Kb/s，是模拟系统的 8 倍，可承载调度命令、车次号校核、在途监测等数据业务，例如在列尾通信中，有效解决了复杂地形下列尾通信距离不足、可靠性低的问题，保障货运列车运行安全^[4]。

三是安全性全面加强：系统支持空口加密与终端身份

作者简介：王悦朋（1993-），男，河北石家庄人，大学本科，工程师，研究方向：通信工程。

鉴权,可防止信息窃听、篡改与非法终端接入;同时采用分布式架构与冗余热备设计,中心或站间网络故障时,本站及邻站基础通信仍可正常运行,大幅提升了系统容错能力,保障调度通信不间断^[1]。

2.3 适配铁路通信体系的分层发展需求

当前我国铁路通信正向分层差异化方向发展:高等级干线铁路将逐步采用 5G-R 专网作为核心通信手段,而普速、支线及地方铁路运输量较低、对成本敏感,5G-R 部署成本过高,并不适用。

DRTD 系统凭借低成本、技术成熟、功能适配的特点,成为这类线路通信升级的最优方案,同时还可作为 5G-R 的后备应急通信手段,在 5G-R 故障时提供基础调度保障,提升全系统冗余能力。

这种分层体系既保障了高等级线路的高性能需求,又以低成本实现了普速支线线路的数字化升级,推动全路通信转型,符合国铁集团的技术发展要求^[1]。

3 DRTD 系统的技术架构与核心特性

3.1 系统整体架构

DRTD 系统采用了分层分布式的架构设计,整体由中心设备、车站设备、区间设备与移动设备四个部分构成,各部分之间通过 IP 网络与无线空口进行互联,实现了全系统的协同工作。

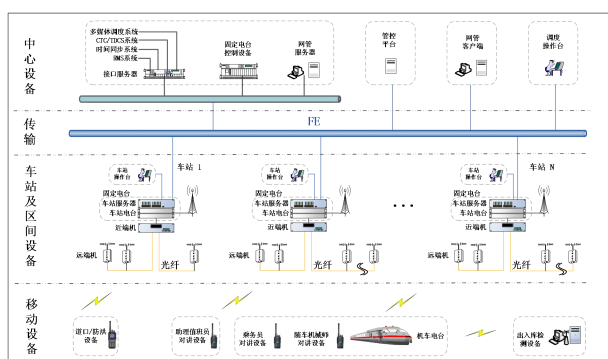


图 1 DRTD 系统整体架构图,清晰展示了系统各层级的组成与互联关系

3.1.1 中心侧管控设备

中心设备部署于调度中心,是系统的管控核心,负责全网业务管理、终端位置同步、大三角语音调度、数据转发及设备监控维护。该设备支持本地与云化灵活部署,模块化设计保障系统稳定,配套调度操作台支持个呼、组呼等调度操作,可实时显示通话与设备状态,支持音数据记录,为调度人员提供高

效操作界面。

3.1.2 车站侧接入设备

车站设备部署于车站机房,其中固定电台是无线接入核心,负责车站区域终端接入管理、本站小三角通话处理,可本地完成调度命令、车次号校核等数据业务处理,同时支持数模共存的过渡模式。该设备同样支持本地与云化部署,模块化设计便于扩展维护,配套车站操作台可满足值班员的本站调度指挥需求,具备完善的调度操作与状态监控能力。

3.1.3 区间覆盖与移动终端

区间设备用于解决区间弱场覆盖,核心为光纤直放站:近端机在车站机房耦合固定电台信号,数字化后经光纤传输至区间远端机,放大后发射,覆盖隧道、山区等弱区;该设备支持底噪抑制、自动增益调节,可适配环形、链型等组网,适配不同地形。

移动终端包括 CIR、作业对讲设备等,负责与地面的音数据交互,环境适应性强,可保障复杂环境下的通信稳定。

系统中心与车站间依托既有数据网采用 IP 组网,通过 VPN 与优先级保障实现业务可靠传输,相邻路局可通过骨干网互通,保障跨局通信连续。

3.2 核心技术特性

DRTD 系统基于 DMR Tier2 数字常规制式开发,该制式为 ETSI 制定的专用数字对讲主流标准,产业链成熟。

该技术采用双时隙时分多址,在单个 12.5kHz 载频上承载两路独立逻辑信道,实现数话同传,可在不影响语音调度的同时传输数据信息,信道利用率大幅提升^[5]。

功能上,系统继承了传统列调的个呼、组呼、紧急呼叫等语音调度功能,同时扩展了短数据、分组数据传输能力,可满足调度命令、车次号校核、在途监测等数字化业务需求。

系统具备良好的兼容过渡能力,通过数模兼容信道机实现数模终端互通,保障终端改造期间业务不间断;改造完成后,模拟信道可转换为数字信道,实现资源充分利用^[1]。

覆盖设计上,系统采用固定电台+直放站混合组网:车站区域由固定电台直接覆盖,区间弱区通过直放站延伸;相邻车站采用频率交替配置避免同频干扰,同时设置合理的切换交叠区,保障列车高速运行时平滑切换,避免通信中断,系统场强覆盖不低于-95dBm,保障全区间通信质量^[1]。

4 工程应用实践与典型案例分析

4.1 项目概况

为验证 DRTD 系统的实际应用效果,国内已开展多个试点工程,其中昆明局玉河线蒙自北-长桥海-蒙自-朗敞寨区段的试验项目最具代表性,可充分验证系统在复杂地形下的应用能力。该项目涵盖 4 站 3 区间,包含开阔区间、桥梁、隧道等多种地形,其中蒙自-朗敞寨区间存在隧道弱场覆盖需求,且线路为 CTC 区段,对通信可靠性要求较高^[1]。项目目标是全面测试系统的数字语音、数据、数模兼容、在途监测、网管等功能,验证系统实际运行效果。

4.2 工程部署方案

中心设备部署于蒙自北调度工区,负责试验区段管控;长桥海、蒙自、朗敞寨三站机房分别部署车站操作台与固定电台,负责本站接入与业务处理。针对蒙自-朗敞寨区间的隧道弱区,部署光纤直放站实现信号延伸,近端机在蒙自北工区,通过光纤连接远端机。供电上,中心与车站采用 AC220V 供电,区间远端机采用直流远供,依托既有电缆供电,降低了工程成本。覆盖上,车站与隧道分别采用固定电台、直放站的定向天线,实现全区间信号连续覆盖。

4.3 应用效果

现场测试显示,该项目取得了良好的应用效果:实现了全区间信号连续覆盖,复杂地形下场强均满足标准;语音通话清晰无中断,调度功能与数据传输均稳定可靠;验证了数模兼容能力,保障改造过渡期间业务连续;网管功能可实时监控设备状态,大幅提升运维效率。

除该试点外,DRTD 系统已在多个支线、地方铁路落地,

有效解决了不同场景下的传统系统痛点,例如连云港物流园铁路解决了隧道调车盲区问题,煤炭支线解决了山区列尾通信可靠性问题^{[4][6]}。

5 现存挑战与优化方向

尽管 DRTD 系统已取得良好应用效果,但建设应用中仍存在部分挑战:一是数模过渡问题,存量模拟终端需逐步改造,过渡期间的数模共存会增加系统复杂度,如何平稳高效完成过渡是当前工程的重点。二是复杂地形覆盖优化问题,部分山区铁路地形复杂,如何在控成本的前提下实现全区间覆盖,同时解决干扰、时延及直放站组网优化问题,仍需进一步研究^[7]。三是业务扩展能力待提升,当前系统主要承载基础业务,未来需与 5G、物联网等新技术融合,实现异构网络协同,兼顾低成本基础通信与高带宽业务需求,为铁路运输提供更全面的支撑。

6 结论

400M 数字无线列调系统是我国铁路无线通信数字化升级的重要举措,有效解决了传统模拟系统的频谱利用率低、业务承载弱、安全可靠不足等痛点,为普速、支线及地方铁路提供了低成本、高可靠的数字化通信方案,同时适配了我国铁路通信分层发展需求,与 5G-R 形成互补,推动全路通信智能化转型。

工程实践验证了 DRTD 系统的良好性能与应用效果,可有效保障调度通信可靠性,提升运输效率与安全水平。尽管当前系统仍存在部分挑战,但随着技术优化与工程经验积累,这些问题将逐步解决。未来,随着铁路智慧化建设推进,该系统将在更多线路落地,为我国铁路高质量发展提供坚实的通信保障。

参考文献:

- [1] 国家铁路局.列车数字无线调度通信系统总体技术要求(暂行)(TJDW249-2023),2023.
- [2] 康斌,卢晓辉.铁路支线 400MHz 数字无线列调系统[J].铁道通信信号,2022,58(8):69-72,78.
- [3] 曹帅,高皋,周天庶,等.DRTD 系统固定电台数据管理控制模块的设计实现[J].铁路通信信号工程技术,2023.
- [4] 罗群.一种 LTE-R 和 400MHz 数字双模列尾通信实现方法[C]//第三十四届中国(天津)2020IT、网络、信息技术、电子、仪器仪表创新学术会议.2020.
- [5] 张恩硕,周天庶,高皋,等.DRTD 系统固定电台控制设备管控模块设计与实现[J].铁路通信信号工程技术,2023.
- [6] 苏勋忠,苏健,卢杰.上合组织(连云港)国际物流园专用铁路隧道数字平调信号覆盖系统设备[J].港口科技,2023(8):2-5.
- [7] 王英慧,秦平.地面 400MHz 数字通信中继系统研究[J].铁道通信信号,2018.
- [8] 丁凤霞,边利平,宋宗莹,等.一种 LTE-R 和 400MHz 数字双模列尾机车电台实现方法[J].交通科技与管理,2021.