

# 西部高原山区高速铁路列控系统 方案探讨

莫志松<sup>1,2</sup>

(1. 北京交通大学 电子信息工程学院, 北京 100044;  
2. 中国国家铁路集团有限公司 工电部, 北京 100844)

**摘要:** 我国西部地区经济发展对铁路客、货运运能提出越来越高的要求, 但CTCS-2/3级列车运行控制系统难以满足高速列车在西部高原山区恶劣、复杂环境的运用需求。系统分析西部高原山区高速铁路对列控系统的特殊需求, 研究总结其主要技术目标, 在新型列控系统的基础上, 提出适用于西部高原山区高速铁路的列控系统总体技术方案。该方案既能满足安全性、适用性、先进性等各方面需求, 又考虑了系统的兼容性与规范性, 并与国际先进列控技术的发展趋势一致。

**关键词:** 列车运行控制系统; CTCS-T; 西部高原山区; 高原地下高铁

中图分类号: U284

文献标识码: A

文章编号: 1001-683X (2021) 05-0077-07

DOI: 10.19549/j.issn.1001-683x.2021.05.077

## 0 引言

我国西部地区高速铁路建设是国家发展的重大战略部署, 对经济、社会、交通运输和国防安全具有重大意义。但西部地区尤其是高原山区海拔高、气压低、含氧量少、线路条件差, 主要表现在桥隧多、长大坡

道、地质板块活动频繁、地质灾害隐患大、运营环境复杂、电磁干扰强。某些线路的隧道占比超过线路全长80%, 线路累计拔起高程超过10 000 m, 约50%的线路位于海拔3 500 m以上, 海拔超过4 000 m的占22%, 可以称之为“高原地下高速铁路”, 其复杂的运行环境, 对高铁信号系统提出了极为苛刻的要求。

目前中国列车运行控制系统(CTCS)分5级, 其中CTCS-0和CTCT-1主要针对普速铁路<sup>[1]</sup>, 而高速铁路则主要采用CTCS-2/CTCS-3(简称C2/3)系统。虽然C2/3系统已有大量成熟应用, 但也存在一定限制:

**基金项目:** 中国国家铁路集团有限公司科技研究开发计划项目(P2018G008)

**作者简介:** 莫志松(1973—), 男, 正高级工程师, 硕士。

E-mail: mozhisong@hotmail.com

(1) 采用自动闭塞制式,对轨道电路依赖大,难以进一步缩短列车追踪间隔以提高运输效率;(2) 地面设备种类多,结构复杂,轨旁设备数量大,工程投资大,维护困难,难以适应我国西部高原山区铁路复杂恶劣的运用环境<sup>[2]</sup>。而CTCS-4级列控系统尚处于理论研究阶段,其提出的取消轨道电路、完全基于无线传输信息、实现移动闭塞等特点,打破C2/3系统的局限性,是下一代列控系统的方向,但CTCS-4主要依赖卫星导航实现列车定位,并不适应“高原地下高速铁路”难以接收卫星信号的情况。

研究适应西部高原山区恶劣环境和运用特点的高速铁路列控系统制式(为便于表述,暂命名为CTCS-T),提出可行性强的工程技术方案,对建设和运用好西部高原铁路、开发具有自主知识产权的下一代列控系统具有重要意义。

## 1 列控系统运用需求分析

(1) 降低建设难度。西部高原山区频发地质灾害、高寒缺氧、气候条件恶劣等特点,都给系统建设尤其是室外施工带来极大困难。列控系统应尽量减少区间轨旁设备,从而减少室外施工的工作强度。

(2) 稳定运行、减少运维。西部高原山区铁路大部分路段位于海拔3 000 m以上的高原山地,空气稀薄、温差大。稀薄的空气可导致头痛、失眠、呼吸困难等高原反应;山高谷深、人迹罕至、高寒缺氧等问题造成工效低、有效作业期短,给列控系统运维人员带来严峻考验。因此,列控系统应尽可能减少区间轨旁设备,从而减少运维工作量。同时,对系统尤其是地面设备的稳定运行、低故障率提出更高要求。

CTCS-2级列控系统是在既有有线第6次提速期间研发而成,充分利用了既有联锁、闭塞等信号设备,又增补了部分新研发设备。这种研发背景导致列控系统地面设备复杂度增加,列控中心、联锁系统、临时限速服务器、信号安全数据网等各设备间的功能缺乏合理分配,交互的耦合度大,增大了协调难度<sup>[3]</sup>。如何将地面系统功能进行集成、降低系统的复杂度和运维成本,是西部高原山区高速铁路对列控系统提出的要求。恶劣的自然环境和长交路高原地下运行环境,对

司机的操纵构成极大挑战,降低司机劳动强度、确保驾驶安全成为必然要求,因此对列控系统增加智能驾驶功能提出强烈需求。智能驾驶系统应在现有自动驾驶技术的基础上进一步提高自动化等级,增加外部环境感知能力、安全态势评估能力、故障诊断分析能力。

(3) 节约成本。从经济角度而言,系统方案需要考虑减少建设和运维成本。轨道电路是目前高铁C2/3系统中进行区间闭塞的重要基础设备,承担着列车占用检查、断轨检查、车地通信等功能,但轨道电路的建设成本和维护成本都相当高。以ZPW-2000系列轨道电路为例,室内设备主要包括发送器、接收器、防雷模拟网络盘,室外设备主要包括调谐匹配单元(PT)、空芯线圈(SVA),每个轨道区段单价合计约20万元,其配套设备包括ZPW-2000机柜、列控中心设备等。另有厢式机房及其用地,电缆、机柜、空调、综合防雷、地线、继电器等配套设备、器材若干。同时还需考虑列控车载设备配套相关模块及逻辑功能等方面的成本。

随着设备投用时长增加,设备维护费用也逐年递增。轨道电路、应答器主体设备性能不良,更换频率上升明显;冰雪季节钢轨引接线、应答器等轨间、轨旁设备受损严重,强度下降;雨季电缆特性不良、防雷元件不良问题多发,电缆径路需要持续防护补强;机房工业空调常年24 h运用,耗电量较大,元器件甚至主要部件损耗严重;轨旁设备受风吹日晒雨淋冰砸及列车高速运行等环境因素影响,老化明显,强度下降,存在失稳隐患。既有CTCS系列列控系统无论建设成本还是运维成本都相对较高,而西部高原山区经济发展水平相对落后,因此,要求方案具有低成本的特性,以满足可持续发展运用需求。

(4) 提高运输能力。西部高原山区高速铁路建设,对提升我国西部地区的交通能力、促进西部地区经济社会发展、增进民族团结、加强国防建设具有重大意义。国家西部大开发战略及西部地区的经济发展,都迫切需要进一步改善西部地区铁路客、货运条件,提升其运能与运力。

青藏铁路设计车站共56个,其中预留22个,区段全长1 134.555 km。2股道车站2个、4股道车站5个、5股道车站1个,其余均为3股道车站。格拉段列车运

行方式为非追踪运行方式,在现有列车运行参数下,格拉段的通过能力为18对,其中旅客列车6对,货物列车11对,摘挂列车1对。据统计,自青藏铁路开通至2016年,累计运送进出藏旅客1817.1万人次、年均增幅3.6%,运送进出藏货物3225.4万t、年均增幅22.6%<sup>[4]</sup>,2018年全年旅客和货物发送量分别达1655.6万人次、3400.3万t,比上年分别增长10.3%、5.8%,其中旅客发送量创下历史新高<sup>[5]</sup>,随着青海省、西藏自治区经济社会快速发展,铁路客货运量必将持续增长。为此青藏铁路格拉段于2016年3月—2018年8月进行了扩能改造,新增会让车站13座,一定程度上缓解了格拉段运输能力紧张的局面<sup>[6]</sup>,但仍无法满足青藏地区长期的运量增长需求。

改进列车运行闭塞方式是提升运输效率的主要手段之一。目前国际上通用的闭塞追踪方式有2种:固定闭塞和移动闭塞。

①固定闭塞以固定的闭塞分区为单位作为追踪间隔,系统难以判断列车在闭塞分区内更具体的位置,因此列车制动的起点和终点只能取闭塞分区的边界点。为充分保证安全,必须在2列车间设置1个防护点,这使列车间的安全间隔较大,一定程度上影响了线路使用效率,限制了线路通过能力的提高,已不太适应铁路运输能力进一步发展的要求。固定闭塞制式的闭塞分区既要满足本线运行速度最高的列车制动距离需求,也要满足本线运行制动性能最差的列车制动距离需求,多种因素兼顾后,经过牵引计算,才能确定闭塞分区的布点方案,在保障安全的前提下,必然要牺牲部分效率。而且,闭塞分区布点一经确定即固定下来,不得随意改动。这种技术特点导致按照固定闭塞方式运行的线路,运能难以进一步提高,不太符合铁路智能化、自动化、高密度、低成本的运输发展需求。

②移动闭塞方式的列车控制系统在确定列车制动曲线、计算列车最大制动距离时,依赖更精确的实时速度和具体位置。在保证列车前后安全距离的情况下,列车能在2个相邻移动闭塞分区以很小的间隔同时前进。列车能以较高速度和较小间隔运行,从而提高运营效率<sup>[7]</sup>。

铁路运输效率的提升需求不断推动铁路信号领域

技术演进。因此,通过采用更先进的闭塞制式,保障和提高西部高原山区高速铁路的通行能力,是促进民族团结、维护国家统一、巩固边疆稳定的需要,也是促进西部经济社会发展的需要。

(5)与国际列控技术发展趋势保持一致。由于运营特征方面的差异,各制式列控系统的结构、技术和设备都各有不同,但从技术发展路线上却有很多相通之处,在提升行车安全保障能力、降低全生命周期成本、提高运输能力和效率、改善运营服务质量、提高系统自动化和智能化程度等方面具有共性。进一步优化信号系统结构,提升列车自主定位精度,减少轨旁设备,改进闭塞方式,是国内外学者对新型列控系统的共同研究方向<sup>[8-10]</sup>,可为西部高原山区高速铁路列控系统方案提供重要参考。

(6)与CTCS体系统一。我国高速铁路均采用了CTCS-2级或CTCS-3级技术标准,普速铁路采用CTCS-0级技术标准,我国铁路符合CTCS技术体系<sup>[11]</sup>。通用的系统规范和兼容性,使列车跨线运行、列车跨局调配等非常便捷。西部高原山区高速铁路作为我国铁路网的重要组成部分,为了统一技术标准、互联互通,列控方案也需要与CTCS体系保持一致。

## 2 主要技术原则

为满足西部高原山区高速铁路的特殊运用环境要求,需要建立一个高安全、高可靠、高可用、少维护、易维护、智能化程度高,支持车车通信、移动闭塞和智能驾驶的新型列控系统。通过对国际先进列控系统的特征和应用场景分析,并结合西部高原山区高速铁路对列控系统的需求,我国西部高原山区高铁列控系统CTCS-T应满足如下技术目标:

(1)系统适应电气化区段,以及连续隧道、高原、山区、戈壁等特殊环境地区,满足高可靠、高可用和少维护需要。

(2)满足高速铁路运用需求,满足动车组和内燃、电力等普速机车运行控制的需求。

(3)满足单线、复线区段列车追踪运行需要,正向和反向支持移动闭塞方式运营。

(4)不依赖轨道电路,以车载设备为中心,完成

自主定位和列车完整性检查。

(5) 不依赖卫星定位技术, 以满足长大隧道运用需求。

(6) 应实现车地车通信或车载与车载的直接通信功能, 多途径获得前车位置, 主要是进一步提高系统的安全性, 并能提高运输效率。

(7) 应具有完善的后备运行功能。

(8) 应融入CTCS技术体系, 装备系统车载设备的动车组能够在CTCS-2/3级列控系统线路上跨线运行。

(9) 具备IP化车地双向通信功能, 能够适应GSM-R通信、5G-R移动通信网络、公众移动通信网络、卫星通信、数字移动对讲等多种通信制式, 满足列控及其他业务的可靠信息传输要求。

(10) 能将列控和联锁的功能集成起来。一体化设备能接收无线闭塞中心(RBC)的虚拟区段状态信息, 通过安全数据通信网与相邻联锁进行信息交互, 完成站内联锁、区间方向控制等功能, 并通过目标控制器直接控制道岔、信号机、轨道电路等轨旁设备。

(11) 具备智能化运用维护功能, 车载设备应具备维护数据无线自动数据传输, 实现运行环境自监控、安全态势自感知、系统故障自诊断。

(12) 具备列车智能驾驶功能, 能够实现列车自动行驶、精确停车、站台自动化作业、无人折返、列车自动运行调整等功能。

(13) 具备对网络攻击的防护措施, 以保证系统满足信息安全要求。

(14) 无线通信采用国产化密码算法, 满足信息安全要求。

### 3 CTCS-T列控系统总体技术方案

根据设计原则与总体目标, 既有成熟列控系统均无法满足西部高原山区高速铁路运行需求。例如, C2/3系统依赖轨道电路, 轨道交通领域基于通信的列车自动控制系统(CBTC)不能满足高速运用需求, 铁路部门正在研发的新型列控系统依赖卫星定位技术, 不能适应长大隧道运用需求。因此, 提出一种在新型列控系统基础上、符合CTCS技术体系、满足工程适应性与技术先进性、既不依赖轨道电路定位又不依赖卫

星定位的西部高原铁路列控系统总体技术方案。CTCS-T符合CTCS-4级列控系统技术特征, 又根据西部高原铁路技术特点和国际列控系统技术发展趋势进行了适当改进。CTCS-T列控系统总体技术方案见图1。

CTCS-T列控系统包括车载设备和地面设备。车载设备示意图2。

车载设备根据所装备列车的类型不同(动车组或机车牵引列车), 部分单元根据需求可裁剪、可配置, 例如, 无C2/3线路运行需求的机车, 可以不装备支持电路域通信的车载无线电台。

地面设备主要由区间设备、车站设备及中心设备构成:

(1) 区间根据工程需要配置少量无源应答器, 主要用于辅助列车定位、等级转换预告等功能。

(2) 车站根据规模(道岔组数等)及作业需求(调车等), 采取以下2种配置方案: ①集中联锁车站方案: 配置列控联锁一体化设备(简称联锁)、CTC车站自律机、电源屏等。②远程控制车站方案: 配置目标控制器、电源屏等。

车站根据工程需要配置计轴或轨道电路、信号机和无源应答器。根据列车定位精度需要和卫星定位信号覆盖情况, 该方案可在车站配置卫星差分基站提高列车卫星定位精度。

(3) 中心设备主要由RBC、临时限速服务器(TSRS)、列控维护中心等组成, 为了维护和属地化管理的便利性, 中心设备将采用相对集中方式布置。

#### 3.1 车载设备

(1) 多源融合自主测速定位单元。基于轮速传感器+应答器+北斗定位融合, 北斗卫星定位仅应用于卫星接收条件良好的区段, 隧道内并不需要设置“伪卫星”信号设备。该方案可有效代替轨道电路、电子计轴计, 并大量减少布置应答器。

(2) 采用以安全型列尾设备和列车自动保护系统(ATP)车载设备为核心, 基于风压、列车长度和列车运动状态的完整性检查技术, 解决列车自主完整性检查问题, 满足非动车组运用需求。

(3) 车载无线通信单元及电台支持既有电路域(仅动车组)和分组域车地数据传输功能, 并具备其他

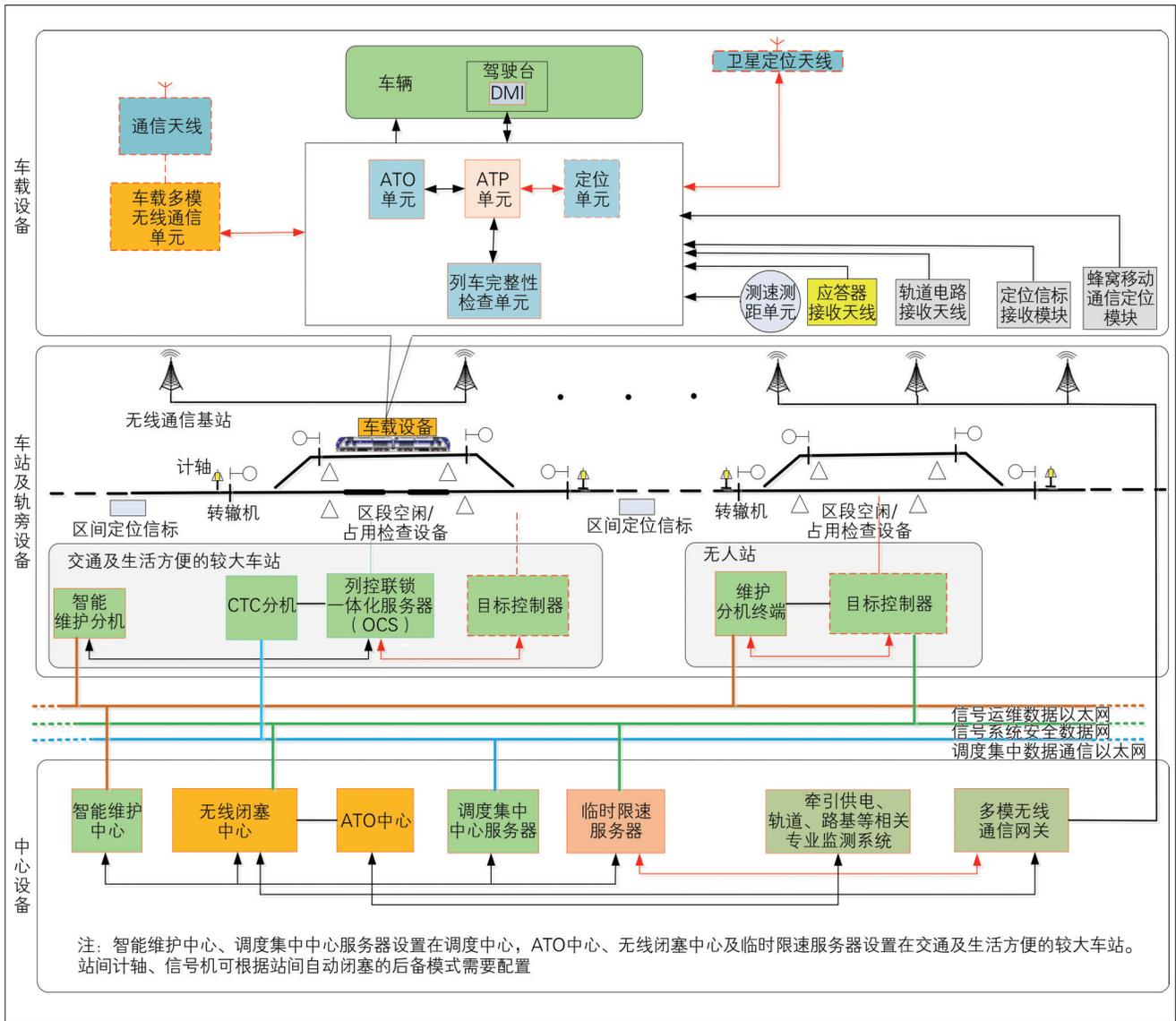


图1 CTCS-T 列控系统总体技术方案

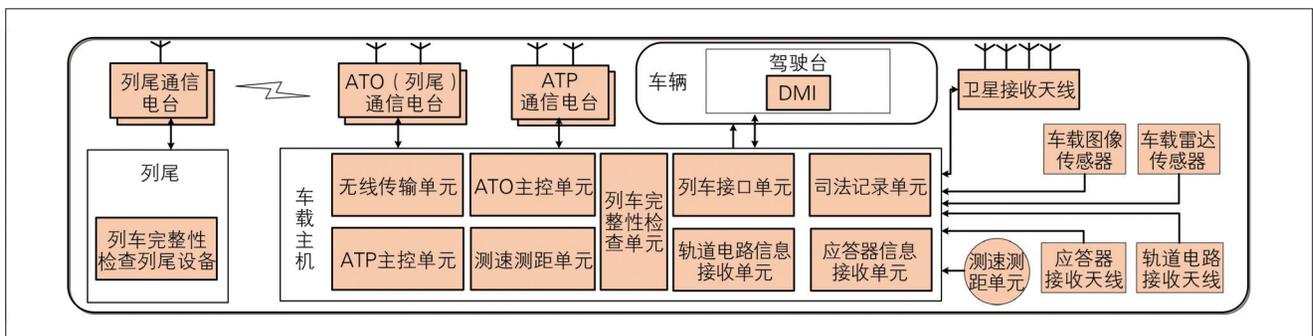


图2 车载设备示意图

下一代无线通信升级能力，解决列车控制系统控车数量不断增加、单车数据吞吐量日益提高的实际问题。

(4) 车载设备通过应答器读取方式获得本区域

RBC/TSRS的ID，再经特别的TSRS服务器（具备IP地址查询功能），实现RBC/TSRS的IP地址查询，并与需要连接的RBC/TSRS建立连接。

(5) 引入虚拟应答器技术。在线路条件符合、卫星覆盖情况较好路段设定虚拟应答器,使用卫星定位数据与电子地图中的虚拟应答器信息进行匹配,实现虚拟应答器的自动捕获。捕获的虚拟应答器与BTM接收的实体应答器作用相同,支持报文输出、位置校准等功能。

(6) 各车载设备均与地面控制设备采用网络方式连接,系统实现车地车通信或车载与车载的直接通信功能,多途径获得前车位置。车载设备通过直接获取的前车位置信息对行车许可信息进行安全比较,进一步提升系统安全性。在车站接发车环节,通过车车通信、车地车通信,实现列车的精确定位,进而在进路办理环节压缩相关时间参数,提高接发车效率和车站延后利用率。

(7) 系统应具备列车自动运行(ATO)功能,以降低司机劳动强度,进一步提高驾驶安全性。系统能自适应智能控制动车组及电力、内燃等机车牵引的不同车型,能够自适应列车不同载重需求;应能根据实时目标停车点及运行时分自动调整列车驾驶策略;系统应具备运行环境自感知、安全态势自评估、设备故障自诊断等智能列控系统功能。

### 3.2 地面设备

(1) 减配轨道电路,尽量取消区间轨道电路,在车站或等级转换边界处则根据需要配置。

(2) 扩展RBC功能:

①支持移动闭塞模式的行车许可计算,能够根据列车位置报告、轨旁列车占用检查等信息,生成移动闭塞行车许可信息,并通过车地无线通信系统传送给其控制范围内的车载设备,以控制列车安全运行。

②配合车载设备实现列车占用检查并报告给联锁。RBC基于列车位置和安全边际,为每个有完整性确认且通信正常的列车建立轨道占用区域,并且当收到新的列车位置报告时,RBC应更新有完整性确认并有通信的列车的轨道占用区域。

③RBC能够对线路上可能无列车位置报告的列车,如车地通信超时、失去列车完整性检查、列车位置丢失等,通过设置虚拟区段占用的方式采取安全防护措施。

(3) 联锁列控一体化。联锁列控一体化通过目标控制器负责车站道岔、信号机等设备的联锁关系控制,以及区间闭塞方向的控制,实现车站内接车、发车、调车等进路防护功能。列控联锁一体化设备还向RBC提供车站内进路信息、区间方向信息和实体区段状态信息,并从RBC接收以虚拟区段为单位的占用状态信息。

(4) 扩展TSRS功能:

①TSRS应具备电子地图存储、管理及向车载设备分发功能,根据列车位置、运行方向等信息分块向车载设备实时发送电子地图功能。

②TSRS接收各卫星差分基站发送的卫星差分数据,并根据列车位置信息,向车载设备发送所在区域的卫星差分数据。

③TSRS可根据需要选配IP查询服务功能,设置为独立的机柜,内部存储RBC/TSRS、车载设备和列尾设备的ID及IP对应关系表,能够满足车载设备或列尾设备通过连接对象ID查询对应IP的需要。

## 4 结束语

以我国西部高原山区高速铁路为研究背景,结合西部高原山区特殊的地质和气候环境,从施工、运行、维护和成本等需求出发,探讨特殊环境对列控系统的特殊需求;结合既有CTCS列控系统的现状和特点,以及新型列控系统研发进展,提出适用于西部高原山区高速铁路的新型列控系统总体技术方案。该方案利用新技术优化、简化系统结构,降低建造成本和运维成本,提高了系统的可靠性和安全性,同时充分考虑国际标准的适应性,在西部铁路应用方面具有较明显优势,为我国西部地区重大发展战略提供技术支撑。以上论述属于宏观层面的方案探讨,鉴于西部高原山区高速铁路列控系统技术复杂、运营场景复杂,国际上也无成熟经验可供借鉴,因此,西部高原山区高速铁路列控系统的研发任务异常艰巨,期待尽快启动相关列控系统总体技术方案及关键技术研究工作,并开展方案论证、设备研发、试验验证等系列工作。

### 参考文献

[1] 王强,刘智平,王松林,等. CTCS-1级列控系统总体

- 方案思考与建议[J]. 中国铁路, 2021(2):81-87.
- [2] 程剑锋, 冯凯, 孙文哲. 基于车车通信的铁路列车控制系统技术研究[J]. 中国铁路, 2021(1):79-84.
- [3] 贾春肖, 张宏韬, 齐志华. 我国铁路列控联锁系统发展趋势研究[J]. 中国铁路, 2020(2):1-5.
- [4] 西藏自治区发展和改革委员会, 西藏自治区铁路建设运营工作领导小组办公室. 十年同心同行 共铸高原天路: 青藏铁路运营十年助推西藏经济社会发展情况报告[J]. 中国铁路, 2016(5):8-11.
- [5] 玉珍. 青藏铁路2018年客运量创历史新高[EB/OL]. (2019-01-08)[2021-04-02]. <http://xz.people.com.cn/n2/2019/0108/c138901-32504480.html>.
- [6] 新华社. 青藏铁路格拉段扩能改造主体工程顺利完工[EB/OL]. (2018-08-30)[2021-04-02]. [http://www.gov.cn/xinwen/2018-08/30/content\\_5317779.html](http://www.gov.cn/xinwen/2018-08/30/content_5317779.html).
- [7] 江明. 移动闭塞与准移动闭塞列车追踪间隔对比分析[J]. 铁路通信信号工程技术, 2017, 14(2):1-3.
- [8] 郭进, 张亚东, 王长海, 等. 我国下一代列车控制系统的展望和思考[J]. 铁道运输与经济, 2016, 38(6):23-28.
- [9] 王海峰, 李开成, 刘宏杰, 等. 列车运行控制系统技术发展趋势分析[J]. 铁道通信信号, 2016, 52(8):1-4.
- [10] 宁滨, 莫志松, 李开成. 高速铁路信号系统智能技术应用及发展[J]. 铁道学报, 2019(3):1-9.
- [11] 中华人民共和国铁道部. 中国列车运行控制系统CTCS技术规范总则(暂行): 科技运函[2004]14号[A]. 北京, 2004.

责任编辑 卢敏

收稿日期 2021-04-06

## Discussion on Train Control System Scheme of High Speed Railway in Mountainous Area of Western Plateau

MO Zhisong<sup>1,2</sup>

(1. School of Electronic and Information Engineering, Beijing Jiaotong University, Beijing 100044, China;

2. Department of Track, Communication &amp; Signaling and Power Supply, China State Railway Group Co Ltd, Beijing 100844, China)

**Abstract:** The economic development in western China imposes higher and higher requirements for the passenger and freight transport capacity of railways, but CTCS-2/3 train operation control system is difficult to meet the running requirements of high speed railways in the harsh and complex environment of the western plateau mountainous areas. This paper systematically analyzes the special requirements of high speed railways in the mountainous areas of western plateau for the train control system, studies and summarizes the main technical objectives, and puts forward the overall technical scheme of the train control system suitable for high speed railways in the western plateau mountainous area on the basis of the new-type train control system. The scheme not only meets the requirements of safety, applicability and advancement, etc., but also considers the compatibility and standardization of the system, which is consistent with the development trend of international advanced train control technology.

**Keywords:** train operation control system; CTCS-T; mountainous area of western plateau; plateau underground high speed railway