



城市轨道交通CBTC系统 调试与维护

徐劲松 主编



中国建筑工业出版社

城市轨道交通 CBTC 系统 调试与维护

徐劲松 主编

中国建筑工业出版社

图书在版编目 (CIP) 数据

城市轨道交通 CBTC 系统调试与维护/徐劲松主
编. —北京: 中国建筑工业出版社, 2017. 7
ISBN 978-7-112-20866-1

I. ①城… II. ①徐… III. ①城市铁路-轨道交通-
自动控制系统-调试方法②城市铁路-轨道交通-自动控
制系统-维修 IV. ①U239.5

中国版本图书馆 CIP 数据核字 (2017) 第 139828 号

CBTC 信号系统是基于无线通信的列车自动控制系统, 本书重点描述 CBTC 系统全生命周期内设备的调试与维护工作, 分析了每个过程需要攻克的核心与共性技术问题, 建立安全、系统的调试流程与方法。本书本着突出安全实用的原则, 强调内容的针对性、实用性和有效性, 充分反映了新技术、新材料、新工艺、新设备及新标准、新规程; 力求贴近现场实际, 并应用案例教学的手法, 用直观的案例和图示进行分析和说明; 突出非正常情况下应急处理能力的训练。

本书适用于从事城市轨道交通 CBTC 信号系统调试和维护的设计、施工、监理、运营管理等工作的工程技术人员、管理人员使用, 也可供相关院校师生作为教学参考。

责任编辑: 曾 威

责任校对: 焦 乐 李美娜

城市轨道交通 CBTC 系统调试与维护

徐劲松 主编

*

中国建筑工业出版社出版、发行 (北京海淀三里河路 9 号)

各地新华书店、建筑书店经销

北京科地亚盟排版公司制版

北京建筑工业出版社印刷

*

开本: 880×1230 毫米 1/32 印张: 16 $\frac{3}{4}$ 字数: 547 千字

2017 年 9 月第一版 2017 年 9 月第一次印刷

定价: 70.00 元

ISBN 978-7-112-20866-1

(30508)

版权所有 翻印必究

如有印装质量问题, 可寄本社退换

(邮政编码 100037)

本书编委会

主 编：徐劲松

副 主 编：徐金平 于小四 徐 建 孙晋敏

技术顾问：何华武

主编单位：宁波轨道交通运营分公司

参编单位：中铁七局集团有限公司

卡斯柯信号有限公司

参编人员：孙晋敏 汪小勇 徐 健 刘宏泰

侯学辉 阳六兵 胡 俊 孙志法

焦良博 周 茂 聂 晓

序

1949年,新中国成立,我国铁路事业翻开了全新的篇章,铁路信号系统,也从地面人工信号、地面主体信号、机车辅助信号发展为具备ATP超防、车地联动的轨道交通行车指挥系统。20世纪90年代开始,我国城市轨道交通进入了快速发展的持续期,在吸取国际、国内铁路信号系统先进经验的基础上,城市轨道交通信号系统也从初期的固定闭塞发展到了移到闭塞,基于无线自由传输的CBTC信号系统已经成为城市轨道交通的行车指挥中枢。

信号系统是轨道交通智能化的重要体现。在系统调试阶段,经过科学、细致的调试流程,实现CBTC信号系统的全功能开通,是系统建设好的一个重要标志。新线建设是阶段性的工作,而运营维护好,确保信号系统能够从影响行车变成行车安全、市民出行的保障,则是长期持续性的工作。我国轨道交通运营时间只有50多年,关于CBTC信号系统从调试流程到设备维护具有系统性指导的专著又很少,因此把信号系统成功调试开通及维护的经验进行总结提炼就很有必要。

《城市轨道交通CBTC信号系统调试与维护》是全体参编人员广泛调研了CBTC信号系统在国内的成功开通实例,深入总结CBTC信号系统维护经验,提炼出从调试好设备确保全系统开通到维护好系统设备保障行车的流程,并结合宁波轨道交通1、2号线开通维护的实践所形成的著作。

本著作遵照我国现行的国家标准、行业标准及有关规定编写而成,非常适用于信号系统的新线开通调试以及运营维护,对城市轨道交通信号系统的调试与维护,具有建设性的作用。

中国科学技术协会副主席
中国工程院院士
中国铁路总公司总工程师



2017年2月16日

前 言

根据国务院批准的中国铁路总公司《中长期铁路网规划》和中国城市轨道交通“十三五”规划，我国铁路和轨道交通新一轮大规模建设强力推进，在建设客运专线、发展城际客运轨道交通的同时，加快城市轨道交通和市域轨道的建设。在此背景下，《城市轨道交通 CBTC 信号系统调试与维护》总结了我国城市轨道交通 CBTC 信号系统多年来调试与维护的经验从实践应用出发编写而成。

本书以实用为原则，强调内容的针对性、实用性和有效性，以专业知识为主要内容，充分反映轨道交通 CBTC 信号系统调试与维护的新技术、新材料、新工艺、新设备及新标准、新规程；力求贴近现场实际，并应用案例教学的手法，用直观的案例和图示进行分析和说明，努力提高质量和效果；突出对非正常情况下应急处理能力的训练；同时，本着“少而精”的原则，知识以必需、够用为度，描述力求生动、通俗易懂，图文并茂。

全书共分三章：第一章为城市轨道交通信号系统概述；第二章为 CBTC 系统调试；第三章为 CBTC 系统维护。理论与实践相结合，内容丰富，实用操作性强。

本书由徐劲松主笔，徐金平、于小四、孙晋敏等同志参与了编写工作。中国建筑业协会专家、享受国务院政府特殊津贴专家于小四为本书的出版发行进行了策划；中国科学技术协会副主席、中国铁路总公司总工程师、中国工程院院士何华武为本书作序，在此一并表示感谢！

由于编者的调试和维护经验及编写水平所限，书中缺点和错误在所难免，敬望广大读者提出宝贵意见。

作者 徐劲松

目 录

第一章 城市轨道交通信号系统概述	1
第一节 概述	1
第二节 CBTC 信号系统介绍	3
一、CBTC 信号系统功能及基本原理	4
二、CBTC 信号系统基本结构及内部接口	4
三、CBTC 信号系统与外部接口	5
第三节 代号缩写	6
第二章 CBTC 信号系统调试	13
第一节 CBTC 系统调试总述	13
一、目标	13
二、范围	13
第二节 调试组织机构	13
一、轨道交通建设方与运营方	13
二、信号系统集成商	13
三、监理单位	14
四、施工单位	14
五、与信号系统接口各供应商	14
第三节 运营新线参建工作	14
一、新线参建的目的	14
二、新线参建注意的问题	15
三、新线参建信号系统调试的工作	15
第四节 CBTC 系统现场调试	16
一、安全风险	17
二、静态调试	18
三、动态调试（动车测试）	46

四、接口测试	78
五、系统联调联试及专家测试	109
附录：联调联试评估范本	294
第三章 CBTC 信号系统维护	330
第一节 城市轨道交通信号系统维护概述	330
一、维护目标及要求	330
二、维护范围	330
第二节 城市轨道交通信号系统维护管理	331
一、新建轨道交通线路面临的困难	332
二、维护管理办法研究	332
第三节 站场设备维护	337
一、站场室内信号设备维护	338
二、轨行区信号设备维护	373
第四节 车载设备维护	407
一、前置条件	408
二、车载信号设备维护	408
三、车载信号设备维护结果	414
第五节 中心设备维护	414
一、一般要求	414
二、中央信号设备维护	415
三、中央信号设备维护结果	415
第六节 信号系统故障处理流程	416
一、设备运行等级划分	416
二、设备故障管理办法	416
三、设备故障处理一般程序	417
四、设备故障抢修流程	420
五、应急预案	422
六、重大活动及节假日保驾方案	440
第七节 典型故障分析	443
一、车载故障分析	444
二、轨旁故障分析	490

第一章 城市轨道交通信号系统概述

城市轨道交通信号系统是指列车运行、保证行车安全、提高运输效率的关键设备。只有在列车运行前方的轨道区段没有列车占用、道岔位置正确、敌对或相抵触的进路没有建立等条件满足，才允许向列车发出允许前行的信号，列车只要严格遵循信号的指示行车，就能确保列车安全运行，反之将导致事故。

随着信息技术的不断发展，特别是计算机技术、现代网络技术、无线和移动通信技术以及一体化的信息控制技术等现代化技术的广泛应用，信号系统发生了革命性的变化，轨旁的地面信号已由车载信号所代替，信号的内容也已发生了根本性的变化，列车接收的目标速度、目标距离由车载系统直接控制列车自动运行，实现列车超速防护和车站程序自动定位停车等。近几年基于无线通信的列车自动控制系统（CBTC），在各大新建轨道交通城市中广泛应用，提高了列车运行效率。此外，LTE 技术承载 CBTC 综合业务，也已在城市轨道交通信号系统采用，将进一步提高了信号系统的安全性和稳定性。

第一节 概 述

城市轨道交通以其安全、可靠、准点、便捷等诸多优势已成为城市居民出行的首选，并得到大规模发展，目前我国城市轨道交通的规模和数量均已位居世界前列。城市轨道交通信号系统作为列车运行的安全防护和运行控制系统，在保证安全、提高效率方面起着至关重要的作用，它的建设和维护水平直接关系到轨道交通的运营服务水平。城市轨道交通信号系统从最初的机械控制系统演进到最新的 CBTC（基于无线通信的列车控制）系统，其控制精度和自动化水平得到了很大的提高，对维护的要求也越来越高。本文基于最新制式的信号系统——CBTC 系统，对其基本原理、结构和接口进行介绍，并在此基础上对 CBTC 系统的调

试和维护进行重点描述,期望对 CBTC 系统运行质量的提升有所帮助。

城市轨道交通信号系统也称为列车自动控制系统 (Automatic Train Control), 简称为 ATC 系统。它实现行车指挥和列车运行自动化,能最大限度地确保列车运行安全,提高运输效率,减轻运营人员的劳动强度,充分发挥城市轨道交通的运载能力。目前国内城市轨道交通信号系统普遍采用 CBTC,正线信号系统采用基于移动闭塞的 CBTC 系统,车地通信采用无线通信方式。系统包括列车自动监控 (ATS)、列车自动防护 (ATP)、列车自动驾驶 (ATO)、计算机联锁 (CI)、数据通信 (DCS)、维护支持 (MSS) 等子系统以及培训设备和电源设备。同时,具备降级使用 (包括后备运营) 模式。

CBTC 系统采用多重冗余技术,其中凡涉及行车安全的正线地面计算机系统一般采用“三取二”或“二乘二取二”热备的安全冗余结构,且必须满足“故障-安全”原则。所有安全系统的供货商必须对提供的用于运营的系统出示独立权威安全认证机构出具的安全认证证书。

车载信号设备采用首尾配置,可实现首尾无缝切换。首尾车载设备切换过程中对列车进行实时监控,不影响列车正常运行或司机正常驾驶。在无人自动折返时能实现自动换端。

信号系统主要子系统的安全完整性等级 (SIL) 详见表 1-1。

信号系统主要子系统的安全完整性等级表

表 1-1

子系统名称	安全完整性等级
列车自动保护子系统 (ATP)	4 级
计算机联锁子系统 (CI)	4 级
计轴设备 (AC)	4 级
列车自动监控子系统 (ATS)	2 级
列车自动驾驶子系统 (ATO)	2 级

城市轨道交通信号系统遵循右侧行车原则,设备按 24h 不间断运行设计,满足每天运营时间。

信号系统的设备配置应有利于行车组织和运营管理,正线、折返线、渡线、存车线、出入段/场线及试车线均按双线正常运行方向人工/全自动驾驶运行设计。正线所有进路、试车线进路均具有 ATP/ATO 功能,ATO 定点停车、ATS 发车计时器仅按正方向设置。

联锁设备与 ATS 系统相结合, 能实现中央 ATS 和本地的两级控制。试车线具备测试信号设备 ATP/ATO 功能的完整能力。

与其他线路的联络线, 采用人工驾驶模式实现转线作业, 以联锁控制方式进入其他线路运行。

具有完善的远程故障自诊断功能, 应对全线的中央设备、车站设备、轨旁设备、车载设备以及车地通信设备进行实时监督和故障报警, 应能准确报警到可更换单元(插拔件)等, 便于及时更换, 并能根据用户需要在维修中心实施远程故障报警和故障诊断。

第二节 CBTC 信号系统介绍

基于通信技术的列车控制(简称 CBTC—Communication Based Train Control)不依靠轨道电路向列控车载设备传递信息, 而是利用通信技术实现“车地通信”并实时地传递“列车定位”信息。通过车载设备、轨旁通信设备实现列车与车站或控制中心之间的信息交换, 完成速度控制。系统通过建立车地之间连续、双向、高速的通信, 使列车命令和状态可以在车辆和地面之间进行实时可靠的交换, 并确定列车的准确位置及列车间的相对距离, 保证列车的安全间隔。CBTC 系统速度距离曲线见图 1-1。

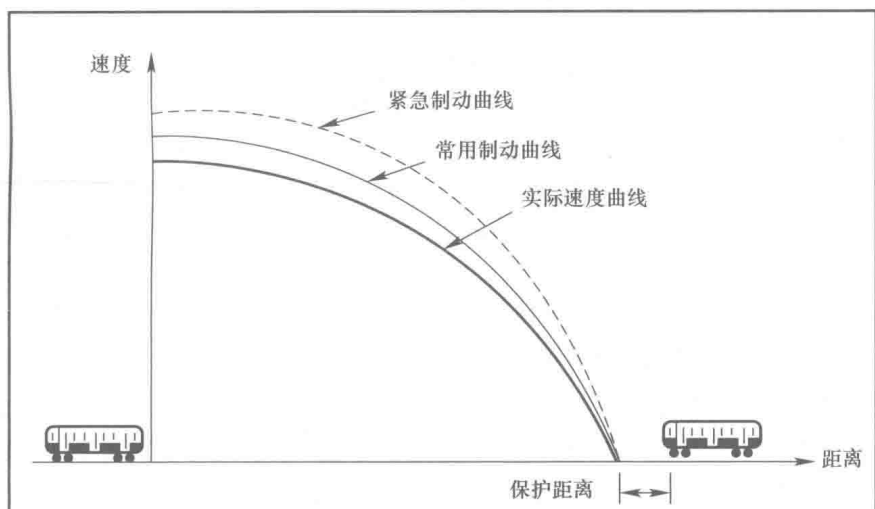


图 1-1 CBTC 系统速度距离曲线示意

一、CBTC 信号系统功能及基本原理

CBTC 信号系统管理轨道和列车资源,实现安全、高效的列车运行,为乘客和外部其他系统提供丰富的信息。CBTC 信号系统主要功能包括列车运行调度的管理、列车运行的安全防护和列车运行的辅助操作等运营相关功能,同时为系统的维护提供维护管理功能。列车运行调度管理功能是以实现对列车运行计划的管理、监控线路和列车运行的状态、为操作人员提供调整运行的手段。列车安全防护功能基于故障导向安全的原则防止列车间的冲突、超速及其他危险场景的发生,列车安全防护功能是列车运行的调度管理和辅助操作的前提。列车运行的辅助操作功能在列车安全防护功能的基础上为列车的驾驶提供辅助操作,辅助操作功能根据线路的自动化等级有所不同,基本的辅助操作功能如列车运行过程中自动控制车辆实施牵引、制动或惰行、控制列车自动在站台精确停车、控制列车车门自动开关等。

CBTC 信号系统基于主动列车定位技术,通过车载与轨旁区域控制器的实时通信将自身的定位发送给区域控制器,区域控制器根据列车所在区域的轨旁其他设备状态及其前车的位置为该车计算移动授权,并通过无线发送给车载,由车载实施列车的安全防护。CBTC 信号系统采用移动闭塞的方式,列车间的间隔基于列车的当前位置实时计算,在保证安全前提下有效地缩小了列车间隔,提高了行车效率。

二、CBTC 信号系统基本结构及内部接口

CBTC 信号系统主要由 ATS 子系统、CI (联锁) 子系统、ATC (列车自动防护 ATP 和列车自动运行 ATO 子系统)、MSS (维护支持) 子系统和 DCS (数据通信) 子系统组成,其典型的系统结构图如图 1-2 所示。

ATC 子系统包括 ATP 和 ATO 子系统。ATP 子系统主要负责列车定位、列车位移和速度测量、超速防护和防护点防护、临时限速、运行方向和倒溜监督、退行监督、停稳监督、车门监督及释放、紧急制动、站台门监控、紧急停车按钮监控、防淹门、列车完整性监督。ATO 子系统主要负责自动驾驶、精确停车、列车调整、主动列车识别。

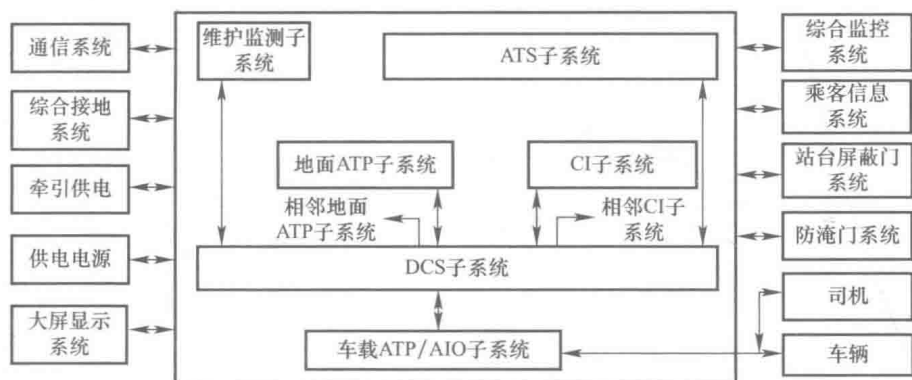


图 1-2 CBTC 系统结构图

CI 子系统主要负责进路控制、自动闭塞控制、紧急关闭、扣车、进路的自动功能、信号机控制、轨道空闲处理、道岔控制、本地监控、信号设备的监督报警及故障诊断。

ATS 子系统主要负责系统监视（显示）、进路操作、临时限速、列车描述、列车运行调整、时刻表/运行图编辑和管理、列车运用计划及管理、车站发车指示、维护和报警、运营记录和统计报表、系统管理、回放。

MSS 子系统主要负责设备管理、设备运行状态检测、维护管理、外部接口管理、系统配置。

DCS 子系统主要为整个系统提供通信通道，并具备网络配置及管理功能，由于 DCS 子系统并不直接参与信号系统的逻辑，只是为信号系统间的信息传输提供通道，因此相对于 CBTC 信号系统的逻辑功能而言是透明的。

CBTC 信号系统各子系统间采用标准协议进行接口，这些安全协议和编码方式具备高安全性、可靠性并符合国际标准。各子系统接口间传递的信息如图 1-3 所示。ATS 和 CI 之间交换的信息为进路和控制命令及其状态，ATS 和 ATC 间交换的信息为列车的控制命令及其状态，CI 和 ATC 间交换的信息为轨旁设备的控制及状态和列车占用的状态。

三、CBTC 信号系统与外部接口

CBTC 系统与外部的接口主要包括 CI 与轨旁设备的接口，ATC 与车辆的接口及 ATS 与外部信息系统的接口，接口详细内容在后续

“CBTC 信号系统与外部接口” 章节详述，接口概况如图 1-4 所示。

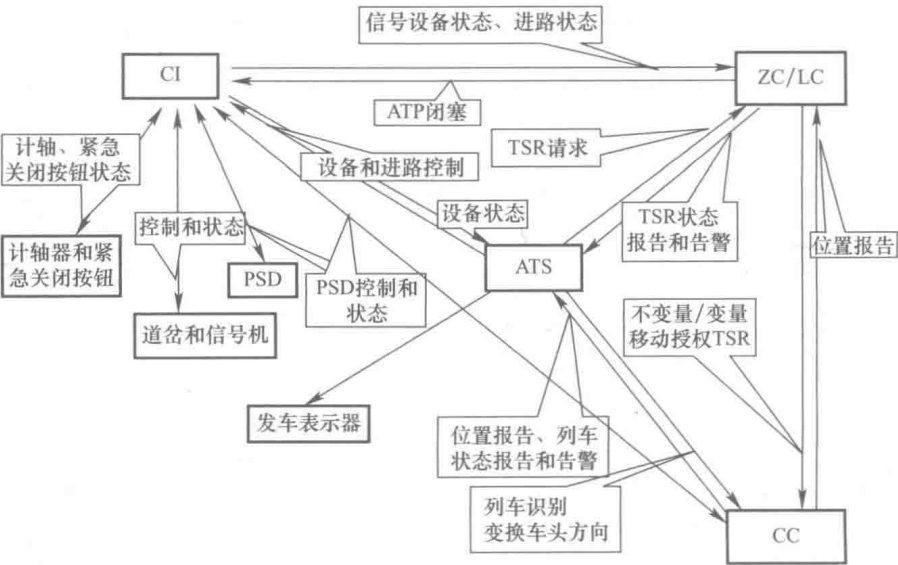


图 1-3 核心子系统接口示意

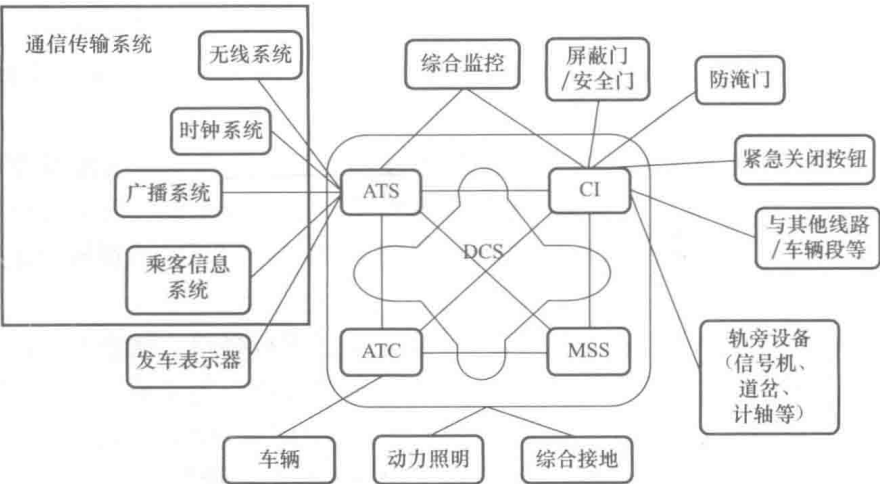


图 1-4 信号系统与外部接口

第三节 代号缩写

城市轨道交通 CBTC 信号系统代号详见表 1-2。

城市轨道交通 CBTC 信号系统代号缩写表

表 1-2

AC	计轴 Axle Counter
ANSI	美国国家标准协会 American National Standards Institute
AP	自动保护 Automatic Protection
ATB	自动折返 Automatic Turn Back
ATC	列车自动控制 Automatic Train Control
ATO	列车自动操作 Automatic Train Operation
ATP	列车自动保护 Automatic Train Protection
ATS	列车自动监控 Automatic Train Supervision
BM	点式降级模式 Block Mode
CAD	计算机辅助设计 Computer Aided Design
CI	计算机联锁 Computer based Interlocking
CBTC	基于通信的列车自动控制系统 Communication Based on Train Control system
CC	车载控制器 Carborne Controller
DCC	车辆段控制中心 Depot Control Centre
DCS	数据传输系统 Data Communication System
DMI	驾驶室显示屏 Driving Monitor Interface
DTI	发车计时器 Dwell Time Indicator

续表

EB	紧急制动 Emergency Brakes
EMC	电磁兼容性 Electro magnetic Compatibility
EMCT	光电转换器 Electric Media Convert
EOA	授权终点 End Of Authority
ESA	紧急停车区域 Emergency Stop Area
ESB/ESP	紧急停车按钮 Emergency Stop Button/Emergency Stop Plunger
FAT	工厂验收测试 Factory Acceptance Tests
GB	中国国家标准 Guo Biao
HILC	高等级完整性控制 High Integrity Level Control
IBP	综合后备盘 Integrate Backup Panel
IEC	国际电工委员会 International Electrotechnical Commission
IEEE	电子与电气工程师协会 Institute of Electrical and Electronics Engineers
IP	Internet 协议 Internet Protocol
ISCS	综合监控系统 Integrated Supervisory Control System
ISO	国际标准化组织 International Standards Organization
LAN	局域网 Local Area Network
LATS	车站 ATS 分机 Local ATS

续表

LC	轨旁 ATP/ATO 线路控制器（线路控制功能）Line Controller
LCD	液晶显示器 Liquid Crystal Display
LED	发光二极管 Light Emitting Diode
LEU	欧式编码器 Local Eurobalise Encoder Unit
LRU	线路可替换单元 Line Replaceable Unit
MMS	微机监测系统 Maintenance Monitoring System
MSS	维护支持系统 Maintenance Support System
MCB	小型电路断路器 Miniature Circuit Breaker
MTIB	列车运行初始化信标 Moving Train Initialization Beacon
NA	不适用 Not Applicable
NMS	网络管理系统 Network Management System
OCC	控制中心 Operation Control Centre
OMAP	车载调试软件 Outil de Mise Au Point（法语）
PA	广播 Public Address
PC	个人计算机 Personal Computer
PDU	配电装置 Power Distribution Unit
PIS	旅客信息系统 Passenger Information System