

“十三五”江苏省高等学校重点教材
城市轨道交通职业教育系列教材——城市轨道交通控制

城市轨道交通

联锁系统维护

主 编 黄克勇 薄宜勇 杨 进

副 主 编 王 恒 邱 鹏 邓 敏

主 审 任 敬



校企合作



微课



复习思考题

西南交通大学出版社

· 成 都 ·

图书在版编目 (C I P) 数据

城市轨道交通联锁系统维护 / 黄克勇, 薄宜勇, 杨进主编. —成都: 西南交通大学出版社, 2021.8

ISBN 978-7-5643-8136-3

城市轨道交通 - 联锁设备 - 维修 - 高等职业教育 - 教材
U239.5

中国版本图书馆 CIP 数据核字 (2021) 第 138358 号

Chengshi Guidao Jiaotong Liansuo Xitong WeiHu
城市轨道交通联锁系统维护

主 编 黄克勇 薄宜勇 杨 进

责任编辑 梁志敏

封面设计 何东琳设计工作室

出版发行 西南交通大学出版社

(四川省成都市金牛区二环路北一段 111 号
西南交通大学创新大厦 21 楼)

邮政编码 610031

发行部电话 028-87600564 028-87600533

网址 <http://www.xnjdcbs.com>

印刷 成都中永印务有限责任公司

成品尺寸 185 mm × 260 mm

印张 21.75

字数 573 千

版次 2021 年 8 月第 1 版

印次 2021 年 8 月第 1 次

定价 45.00 元

书号 ISBN 978-7-5643-8136-3

课件咨询电话: 028-81435775

图书如有印装质量问题 本社负责退换

版权所有 盗版必究 举报电话: 028-87600562

P R E F A C E

前 言

中国目前是世界上城市轨道交通发展最快的国家，其建设运营规模持续快速增长，技术装备水平也不断提高，对各类人才的需求极度旺盛。为响应城轨交通产业的发展需求，高职院校加紧开办相关专业。2015年，城市轨道交通通信信号技术专业被纳入高职专业目录，全国的专业布点迅速增加。但由于是面向新兴产业的新兴专业，绝大部分专业书籍都是从国铁领域或通信领域转入的，缺乏城轨行业的技术积累和工程实践，导致该专业的核心课程和教材建设存在较大不足。

城市轨道交通联锁系统是城市轨道交通信号系统中关键子系统之一，是城轨系统安全的最后保障，是唯一可以单独维持运营的子系统，在教学上也是城轨信号专业的关键核心课程。因上述原因，该课程目前同样缺乏能紧密对接城轨相关技术标准和职业标准，与城轨联锁系统建设场景需求一致，且符合高职院校教学规律的书籍。

高职院校目前使用的城市轨道交通联锁系统相关教材，在内容上或是国铁与城市轨道交通领域互相掺杂、逻辑不清，或是由信号供货商的产品说明书堆砌而成，与城轨联锁的实际情况不够匹配。因此，需要编写一本专门面向城轨领域联锁系统的，能反映真实工程实践最新技术技能的教材，来填补空白。

本书以中国城市轨道交通协会发布的《城市轨道交通 CBTC 信号系统行业技术规范-产品规范》和《城市轨道交通 CBTC 信号系统-CI 子系统规范》(CZJS/T0031-2015)为标准输入文件。以 2019 年 8 月，人力资源社会保障部发布的《城市轨道交通信号工国家职业技能标准》(征求意见稿)为用户需求输入文件，采用标准城市轨道交通的五个车站作为标准车站，对城轨交通联锁的原理、功能、接口和性能进行讲解，紧密联系实际。

本书由南京铁道职业技术学院黄克勇教授以及薄宜勇、杨进两位副教授主编，南京恩瑞特实业有限公司王恒和南京轨道交通系统工程有限公司邓敏为副主编，南京地铁公司任敬主审，王锡奎老师对全书进行了校对。黄克勇策划并负责全书统稿，编写了第一章和第二章；薄宜勇编写了第三章和第四章；杨进编写了第五章和第六章；王恒编写了第七章和第八章；邓敏编写了第九章；王锡奎编写了第十章；李露编写了第十一章。

由于编者的水平有限，书中难免有疏漏和描述不当之处，恳请广大读者批评指正。

编 者

2020年11月

CONTENTS

目 录

1	第一章 绪论	001
	第一节 城市轨道交通信号系统概述	002
	第二节 轨道交通信号系统的发展趋势	006
	第三节 城轨计算机联锁	010
	复习思考题	013
	微课 联锁的定义	013
2	第二章 城轨联锁的技术基础	014
	第一节 工业控制计算机	015
	第二节 分布式和集中式控制	022
	第三节 冗 余	025
	第四节 计算机联锁系统的可靠性与安全性保障	032
	第五节 城轨计算机联锁的硬件基础	039
复习思考题	042	
微课 常用提高 RAMS 的方法	043	
3	第三章 城轨联锁原理	044
	第一节 城轨联锁的组成	045
	第二节 联锁基础	055
	第三节 室外设备布置原则	063
	第四节 进路表编制原则	071
第五节 联锁表制作	083	

复习思考题	098
微课 城轨联锁的组成	098

4

第四章 城轨联锁系统软件 099

第一节 软件的功能与总体结构	100
第二节 联锁数据与数据结构	102
第三节 联锁控制程序及其任务调度方式	106
第四节 进路处理程序	108
第五节 过程输入输出程序	121
复习思考题	124
微课 进路处理过程	124

5

第五章 城轨联锁上位机的操作 125

第一节 操作基础	126
第二节 联锁操作	136
第三节 ATS 操作	141
第四节 命令一览表	144
第五节 线路监控元素种类	149
复习思考题	162
微课 联锁上位机的操作	163

6

第六章 接口电路 164

第一节 与信号机的接口	165
第二节 与转辙机的接口	172
第三节 和轨道电路的接口	191
第四节 驱动采集接口电路	192
复习思考题	205
微课 交通转辙机反操	205

7	第七章 城轨联锁基础设施	206
	第一节 计 轴	207
	第二节 控制盘	225
	复习思考题	231
	微课 CI 和 BP 盘的接口	231

8	第八章 西门子联锁系统	232
	第一节 系统构成	233
	第二节 系统功能	240
	第三节 系统原理	246
	第四节 系统性能	249
	第五节 系统软件	264
	第六节 系统接口	265
	第七节 计轴系统	269
	复习思考题	280
微课 西门子联锁的构成	281	

9	第九章 卡斯柯联锁系统	282
	第一节 联锁子系统构成	285
	第二节 联锁子系统的功能	290
	第三节 试车线功能	303
	第四节 CI 子系统原理	304
	第五节 CI 子系统性能	308
	第六节 CI 子系统的接口	309
复习思考题	311	

<i>10</i>	第十章 CI 和车辆段接口·····	312
<i>11</i>	第十一章 CI 和 PSD/APG 接口·····	320
	附 录·····	326
	参考文献·····	340

第一章

绪 论

【学习目标】

1. 了解城市轨道交通的定义、范围。
2. 掌握城市轨道交通信号系统的定义。
3. 掌握城市轨道交通信号系统的组成。
4. 了解城市轨道交通信号系统的特点。
5. 了解城轨信号系统的发展趋势。
6. 掌握联锁的定义。
7. 掌握计算机联锁系统（Computer Interlocking, CI）的一般要求、硬件要求、软件要求和性能要求。
8. 了解 CI 的环境条件和其他要求。

【学习方法和建议】

熟悉本章教学内容，认真阅读教材，掌握城市轨道交通信号系统和联锁的定义。学习中多阅读网络上与城市轨道交通相关的论文、标准和资料，拓宽知识面，加深对本章内容的理解。

第一节 城市轨道交通信号系统概述

一、城市轨道交通信号系统的基本概念

轨道交通顾名思义就是运载人和物的车辆在“特定”的轨道上行走，轨道起了支撑、传递荷载和导向的作用。完整的轨道交通体系包括轨道、车站建筑、车辆、车辆段、结构工程、供电、通信、信号、环控、给排水系统等设施。从行业上划分，分为铁路行业和城市轨道交通行业。铁路又分为普通铁路（设计时速不超过 160 km）、快速铁路（设计开行时速 160~250 km 的动车组铁路）以及高速铁路（设计开行时速不低于 250 km 的动车组铁路）。城市轨道交通方面，我国目前已经开通的制式包括地铁、轻轨、单轨、有轨电车、磁悬浮交通（仅上海）以及市域快轨等，如图 1-1 所示。

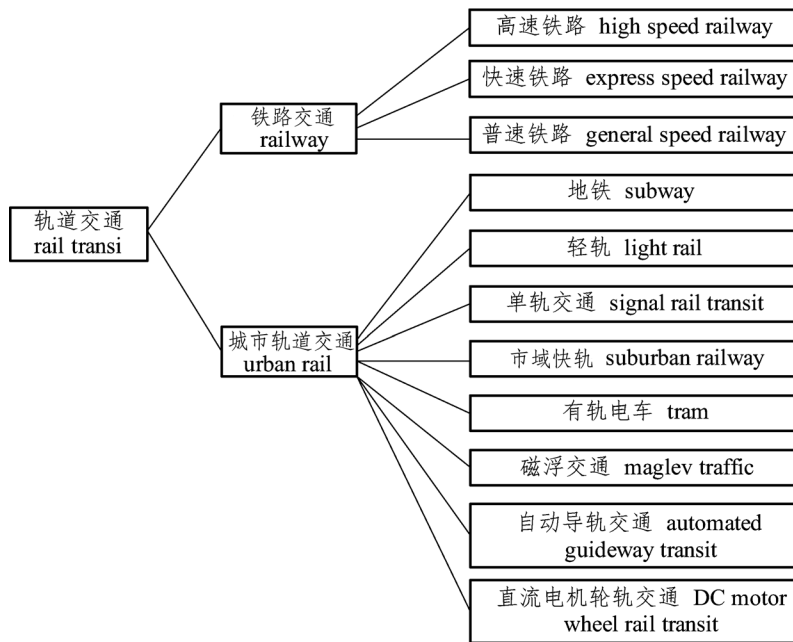


图 1-1 轨道交通组成

城市轨道交通是采用轨道结构进行承重和导向的车辆运输系统，依据城市交通总体规划的要求，设置全封闭或部分封闭的专用轨道线路，以列车或单车形式，运送一定规模客流量的公共交通方式。

城市公共交通分类标准中明确城市轨道交通包括：地铁系统、轻轨系统、单轨系统、有轨电车、磁浮系统、自动导向轨道系统、市域快速轨道系统。此外，随着交通系统的发展，已出现其他新的交通系统。

地铁是一种大运量的轨道运输系统，采用钢轮钢轨体系，标准轨距为 1435 mm，主要在大

城市地下空间修筑的隧道中运行，当条件允许时，也可以穿出地面，在地上或是高架桥上运行。

地铁按照选用车型的不同，又可分为常规地铁和小断面地铁；根据线路客运规模的不同，又可分为高运量地铁和大运量地铁。地铁车辆的基本车型为 A 型车、B 型车和 LB 型车（直线电机）三种。A 型车基本宽度为 3 000 mm；B 型车和 LB 型车车辆的宽度为 2 800 mm。每种车型又有带司机室和不带司机室、动车和拖车的区分。地铁系统的列车编组通常由 4~8 辆组成，列车长度为 70~190 m，要求线路有较长的站台相匹配，最高行车速度不应小于 80 km/h。

在国内，城市轨道交通中的很多类型还没有绝对明确的规范定义。“地铁”和“轻轨”的名称本身就不严谨，因为“地铁”早已不特指地下铁路，“轻轨”也不特指轻型轨道，两者概念在民间和学术界一直存在很大分歧争议。从已建成的城市轨道交通情况来看，中国大陆内的地铁系统，其技术规范、数据规格、建成效果等都较为统一，在多座城市中应用，可以形成相对完善的标准体系。

单轨系统和悬浮系统的整体模式比较独立，但同样存在交叉关系，因为在现有的磁悬浮轨道系统中，列车都是跨座式运行的，和跨座式单轨在外观上一致。悬挂式单轨的本质是索道缆车，已偏离常规车辆交通的特征。

有轨电车长期以来作为轨道交通的另类，和公路车辆混行，因其主要沿着地面微型轨道行驶，仍将它纳入城市轨道交通的范畴。不过，虚拟轨道列车（俗称智轨列车）的出现又打破了有轨电车和无轨电车间的独立性。

城市轨道交通信号（urban rail transit signal）是指应用于城市轨道交通系统中，人工或自动实现行车指挥和列车运行控制、安全间隔控制技术的总称。

城市轨道交通信号系统是实现行车指挥、列车运行监控和管理所需技术措施及配套装备的集合体。信号系统应确保行车安全、提高运输效率、改善工作环境、促进管理的现代化。

城市轨道交通信号系统一般由列车检测、联锁、闭塞与列车控制等行车指挥和列车运行控制等系统设备组成，根据用户需求确定系统的构成与规模，并适应线路的延伸扩展。

城市轨道交通信号系统（ATC）由列车自动监控（ATS）、列车自动防护（ATP）、列车自动运行（ATO）及计算机联锁（CI）几个子系统组成，如图 1-2 和图 1-3 所示。

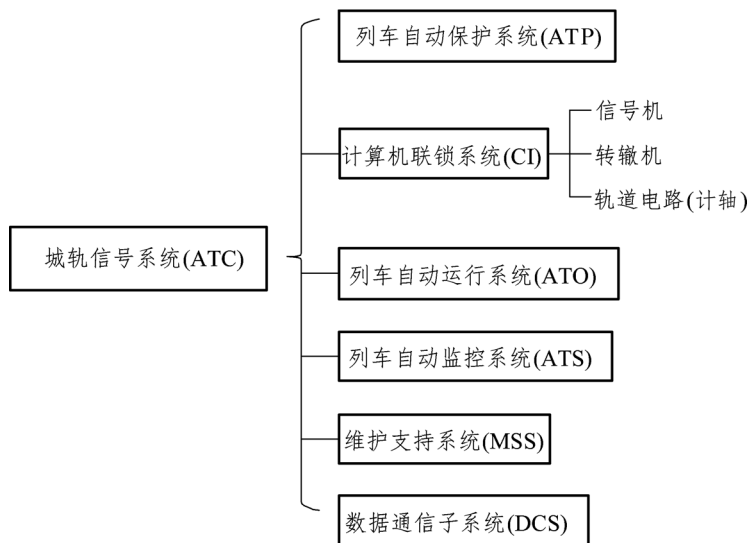


图 1-2 城市轨道交通信号系统组成

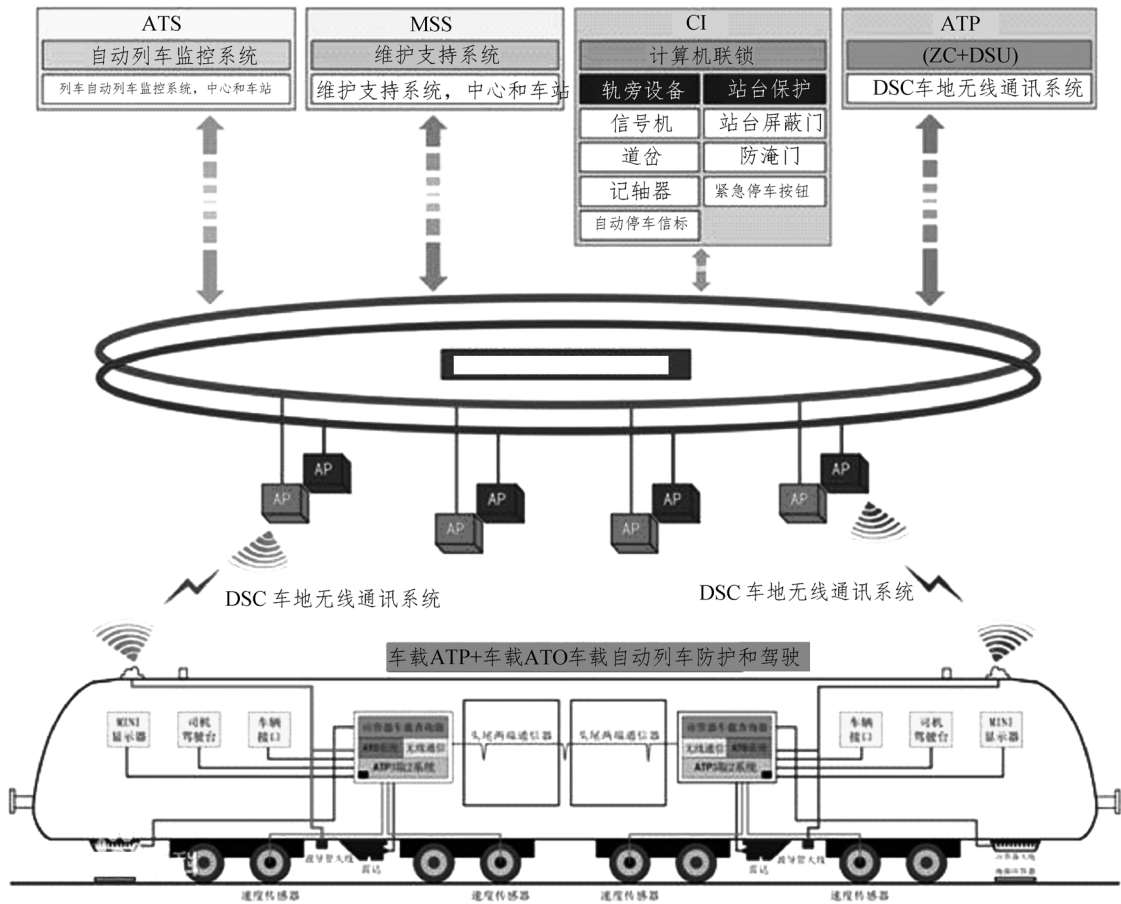


图 1-3 城市轨道交通信号系统构成

二、城轨信号系统与国铁信号系统的区别

1. 运营范围

城市轨道交通运行范围为城市市区及郊区，往往只有几十千米，不像铁路那样四通八达，纵横数千千米。

2. 运行速度

城市轨道交通因站间距离短，且站站停车列车，运行速度一般不超过 80 km/h。而铁路运行速度比较快，许多线路超过 120 km/h，高速铁路在 300 km/h 以上。

3. 服务对象

城市轨道交通服务对象单一，只有市内客运服务。而铁路则分为客运、货运等。

4. 线路与轨道

城市轨道交通大部分线路在地下或高架通行，均为双线，各线路之间一般不过线运营。正线一般采用 9 号道岔，车辆段采用 7 号道岔，这些都与铁路不同。另外，城市轨道交通还有铁路没有的跨座式和悬挂式。

5. 车 站

城市轨道交通多为正线，多数车站也没有道岔，换乘站多为立体方式，不像铁路那样车站有数量不等的道岔及股道，有较复杂的咽喉区，换乘也为平面方式。

6. 车辆段

城市轨道交通的车辆段不同于铁路的车辆段，只有车辆检修的功能，而是类似于铁路的区段站，要进行车辆的检修、停放，以及大量的列车编解、接发车和调车作业。

7. 供 电

城市轨道交通的供电包括牵引供电和动力照明供电，且均为直流供电牵引，没有非电气化铁路的说法。

8. 运营管理

城市轨道交通运营条件十分单纯，除了进/出段和折返外，没有越行没有交会，正线上没有调车作业，易于实现自动监控。

9. 通信信号

(1) 铁路以地面信号机的色灯“信号显示”为主体信号，车上的“机车信号”为辅助信号；城市轨道交通与铁路相反，是以车载信号为主，地面信号为辅的方式。

(2) 城市轨道交通实行右侧行车制，信号机设置在运行方向右侧；而铁路实行左侧行车制，信号机设置在运行方向左侧。

(3) 一般情况下，城市轨道交通正线区间不设通过信号机；铁路一般在区间有通过信号机防护。

(4) 城市轨道交通正线设有岔站，为了防护道岔和实现连锁关系而设置地面矮柱信号机，一般中间站（无岔站）都不设信号机。

(5) 铁路车站必设进站信号机和出站信号机，而且都为高柱信号机。城市轨道交通可根据需要选择进/出站信号机为高柱或是矮型。

三、城市轨道交通信号系统特点

城市轨道交通信号系统具有以下特点：

(1) 城市轨道交通行车密度大、站间距离短，所以信号的应变速度快、信息量大。

(2) 城市轨道交通的区间不宜敷设地面信号，而以机车速度信号为主体信号。

(3) 为了安全可靠地指挥行车，由计算机系统自动地实现速度控制和定位（点）停车控制；对于容量大、高密度的交通系统将逐步发展成为无人驾驶的自动运行系统。

(4) 车地之间的数据交换基本采用无线方式。为传递特殊信息可敷设地面应答器，完成地面与列车间的信息交换。

(5) 轨道交通的信号、通信设备应是个完整的运行管理系统，它应用先进的计算机及光通信技术，完成列车进路控制、运行图管理、列车追踪、运行表示、运行监视、列车数据传

输、闭路电视监控、旅客导向信息控制及广播系统等。整个系统由中央处理装置、外部记忆装置、运行装置、列车数据的传送装置、网络控制装置及运行表示盘等构成。

第二节 轨道交通信号系统的发展趋势

城市轨道交通的信号系统的发展经历了固定闭塞、准移动闭塞和移动闭塞三个阶段，在我国城市轨道交通发展的起步较晚。

一、基于数字轨道电路的列车自动控制系统

广州一号线在 20 世纪 90 年代从德国西门子引进第一条准移动闭塞的信号系统。信号系统采用数字轨道电路完成列车占用检查、列车完整性检查，同时兼做断轨的检查。因此，轨道电路作为一种检查手段及传输方式在城市轨道交通系统中仍然发挥着重要作用。数字轨道电路的优点在于能提供大容量的信息传输，对改善列车自动控制系统性能，减少运行间隔发挥了重要作用。

二、基于通信的列车控制系统（CBTC）

随着通信技术的发展，尤其是无线通信技术的发展，信号系统车地之间采用的轨道电路传输方式被无线通信取代，轨旁的有线传输被基于以太网通信协议的网络取代，从而发展成为基于通信的 CBTC 信号控制系统，目前，我国新建的城市轨道交通线路基本采用这种控制制式。

CBTC 相比传统的铁路信号系统有以下优点：

- （1）无须繁杂的电缆，而是以无线通信系统代替，减少了电缆铺设及维护成本。
- （2）可以实现车辆与控制中心的双向通信，大幅度提高了列车区间通过能力。
- （3）信息传输流量大、效率高、速度快，容易实现移动闭塞系统。
- （4）容易适应各种车型、不同车速、不同运量、不同牵引方式的列车，兼容性强。
- （5）可以将信息分类传输、集中发送和集中处理，提高了调度中心工作效率。

由于采用 CBTC 系统的列车控制是基于车地信息的无线传输，无线通信传输平台的可靠性与安全性就显得十分重要，无线传输技术的发展将成为城市轨道交通信号系统发展的重要因素。通信技术的飞速发展，大容量、高速率、高质量的 LTE（长期演进）无线传输技术的成熟，必将大大促进城市轨道交通信号系统的发展。新一轮的城市轨道交通发展规划，特别关注市域快速轨道的建设和城市及城市群轨道交通网络化运营，在一个城市或城市群内的各条线路间实现互联互通将成为信号系统的基本需求。

三、未来发展趋势

那么，以后城市轨道交通的未来发展方向是什么？各个信号供货商看法不一，归纳起来，有以下几个发展方向。

1. CBTC 系统的互联互通

信号厂家在一个城市内实现互联互通以后，不仅可以实现跨线、并线、越行等运输组织，还可以实现列车、车辆段、车辆维修装备的资源共享，在线路延伸、车辆增购时不用受制于原有的供应商，在满足旅客运输需求的前提下，可降低装备的全寿命周期成本。

要实现 CBTC 系统的互联互通，需要有统一的车地通信协议。这涉及统一的技术要求、总体架构和功能分配、车载电子地图、不同供应商之间的计算机联锁（CI）、区域控制器（ZC）、ATS（列车自动监控）的接口协议以及车载 ATP /ATO 系统和车辆系统的接口等。为了验证这些统一的规范与接口协议对实现互联互通的充分性与必要性，需要经过实验室、线路的试验验证和示范工程的实践。

2014 年，中国城市轨道交通协会责成其技术装备专业委员会，牵头编制 CBTC 信号系统互联互通的接口规范。国家把重庆地铁二期工程的 4、6、10 号线和环线作为国家示范工程，对 CBTC 系统的互联互通规范进行验证。重庆的示范工程从设计阶段开始就对线路、车站、供电、限界、车辆等各个环节进行策划与统一部署，验证后的 CBTC 互联互通规范将纳入城市轨道交通信号系统招投标技术条件。

如图 1-4 所示，L1 和 L2 是两条单独的地铁线路，目前受信号系统的影响，1 号线（L1）和 2 号线（L2）线路上的运营列车不能相互开到对方的线路上，如果 L1 上运行的列车想要开到 L2 上，需要采用人工驾驶方式才能运行到 L2 线路上。实现互联互通后，L1 和 L2 线路上的列车可以相互运营。

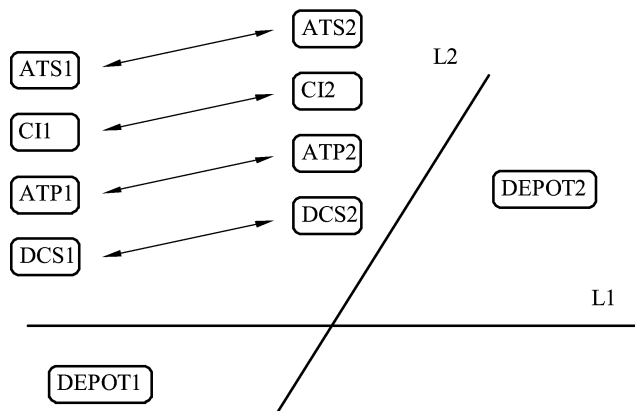


图 1-4 互联互通示意图

2. 统一的 LTE-M 平台

目前承载 CBTC 无线通信的 2.4 GHz 公用频段存在影响行车安全的不可控因素，极有可能造成重大群体事件。工信部发布无〔2015〕65 号文，明确 1.8 GHz（1.785 ~ 1.805 MHz）作为城市轨道交通等行业的专用频段。

LTE-M 平台是在 TD-LTE（时分-长期演进）基础上形成的城市轨道交通专用无线通信平台，经过国家无线电管理部门、协会、业主单位以及信号和通信供应商的反复论证，其可持续性强、易于升级，适应列车速度范围宽（最高满足车速 300 km/h 以上工况），可覆盖地铁、市郊铁路、

城际轨道交通等所有线路制式，在 QoS（服务质量）保障机制、抗干扰、传输速率、延时、通信质量、可维护性和全面性等方面具有较大优势，有成熟的产业链，相比其他制式，如 WLAN（无线局域网），有更好的应用前景，更符合城市轨道交通的发展方向。中国城市轨道交通协会已委托其技术装备专业委员会组织制定 LTE-M 技术规范，包括系统、接口、技术设备、测试、工程等五类 19 个子规范。规范的编制遵循以下原则：

- （1）满足城市轨道交通车地间安全信息类的信息传输需求；
- （2）保证 CBTC 系统的安全可靠运行；
- （3）实现不同厂商 LTE-M 平台的互联互通；
- （4）参照成熟稳定的国际标准和国家标准；
- （5）采用综合承载方式时具有较好的性能指标。

所有子规范也在 2016 年底前陆续发布，使 LTE-M 实现标准化和有技术依据，为各项目业主在 LTE-M 平台网络规划和建设方面提供指导，促进城市轨道交通通信系统的创新和技术进步。由于信息安全的需求，中国城市轨道交通协会已在 2016 年 5 月 31 日发布〔2016〕3 号文，明确建议各地新建线路的 CBTC 系统采用 LTE-M 平台，并充分利用宽带专业通信的技术优势实现安全信息的综合承载。所制定的 CBTC 系统互联互通和 LTE-M 规范可以作为城市轨道交通信号系统的上层规范。

3. 全自动驾驶

全自动驾驶能大幅度提升运行效率。例如，巴黎地铁 1 号线是建于 1911 年的百年老线，改成全自动驾驶以后，运行追踪间隔从 105 s 缩短为 85 s。实现全自动驾驶能够优化操纵。例如在同一供电臂内控制列车的进站制动和出站加速时间，对列车进行以节能为判据的优化操纵。西门子公司在巴塞罗那的 R9 全自动驾驶线路比人工驾驶可节能 15% 以上。据统计，已实现全自动驾驶的线路运行可靠性高于 99.98%，大于人工驾驶线路。全自动驾驶的范围已经远远超出信号系统的范围，至少应该包括车辆控制、牵引供电、站台屏蔽门控制、无线传输、综合监测等系统，这就打破了原有信号系统的专业划分范围。然而，这些系统仍以信号控制系统为核心，所以也把城市轨道交通的全自动驾驶看成信号系统的发展方向。

实现了全自动驾驶以后，运行管理的重点从关注正常运行调度转移到管理故障情况下的应急响应能力和处理手段。运行组织管理的机构、规章制度也应随之进行调整。可以预见，全自动驾驶必将成为下一代城市轨道交通信号系统的发展方向。

4. 车-车通信

从列车运行控制的基本原理上分析，通过列车间车-车无线通信（见图 1-5），应能实现列车的运行控制。从运输需求的角度可知，如果用车-车通信实现列车控制，则可大大减少轨旁设备，而线路的道岔也可由运行中的列车作为指挥中心来进行控制。对 CI 的控制地位的认识，是车-车通信能否发展成为一种制式的关键。CI 在传统的列车控制系统中将其作为列车控制的最后一道防线。如果在车-车通信列车控制系统中仍保留联锁在传统信号系统中的地位，那么车-车通信列车控制可以带来的减少轨旁设备的优势就将大打折扣。将 ZC 的控制功能转移到车载控制系统上的代价是很大的。为此必须提升车辆控制系统的安全等级，必须考虑在车载控制中心故障以后的降级运行措施，并与传统信号系统作对比，车-车通信的安全性、可靠性是否需要提升。此外，必

须对车辆运行控制功能转移到车上以后增加的成本和减少轨旁控制设备的成本进行比较，验证其经济性。最后，还要检验车-车通信系统给运输组织带来的进步，检验其投入产出关系。

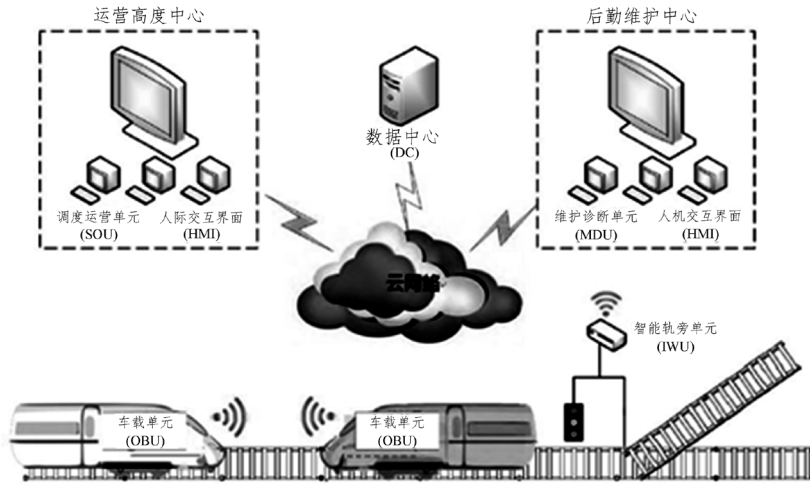


图 1-5 典型车-车系统组成图

可以肯定，在既有系统中增加车-车通信功能必能够增强车辆控制的安全性。如何发展车-车通信功能、如何定位车-车通信功能的地位，是城市轨道交通信号系统发展方向的另一个命题。

图 1-6 所示为车载子系统的原理图。其中，TMU 为地面列车管理单元，记录列车信息和响应每列车对线路列车信息的查询的功能，该单元仅用于信息记录和辅助建立车-车通信，不进行任何控车管理，是非安全相关单元。该单元主要功能有：管辖范围内列车登记、注销、信息管理和响应每列车查询等。

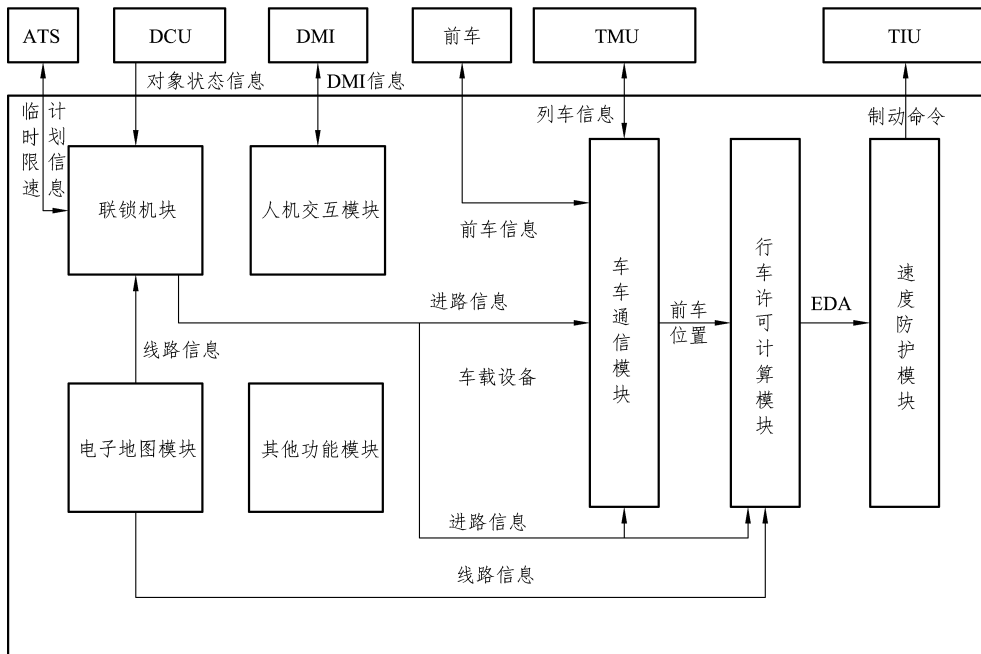


图 1-6 基于车车通信的车载系统原理图

第三节 城轨计算机联锁

一、城市轨道交通计算机联锁的定义

联锁是指为了保证铁路车站行车和调车作业的安全，在信号机、道岔和进路之间通过技术手段建立的相互制约关系。实现这种关系的设备称为联锁设备。联锁设备除了保证作业安全外，还有提高作业效率和降低劳动强度等作用。

按联锁机具体位置不同分为非集中联锁和集中联锁两大类。集中联锁按使用的器件不同又分为机械集中联锁、电气集中联锁、计算机联锁等。信号机、道岔、进路之间的联锁关系主要有：道岔位置不正确、进路未排通、进路上有车占用，防护该进路的信号机不能开放允许信号；信号一旦开放允许信号，进路被锁闭，不准许改变进路上的道岔位置，敌对进路（不允许同时建立的进路）的防护信号亦被锁闭在关闭状态。列车或车列驶入进路，信号机立即自动关闭，且不能自动重复开放。显然，联锁是存在于两个对象之间的，如道岔与信号机之间、敌对信号机之间、进路与信号机之间等。在设计联锁设备时，要将车站所有进路、信号机、道岔之间的相互制约关系找出，并列于称作联锁表的表中，以免疏漏某一项联锁内容。

城市轨道交通计算机联锁系统简称 CI，CI 系统是实现车站联锁的信号系统，CI 将控制范围内信号机、列车占用检测装置及道岔等信号设备构成一种既相互联系又相互制约的关系。CI 应保证进路行车安全，提高运输效率，改善劳动条件，并具备大信息量和联网能力。

二、CI 的要求

1. 一般要求

- (1) CI 系统满足 24 h 不间断运行的要求。
- (2) CI 系统的监控容量应满足正线车站、车辆段/停车场的建设规模和运输作业的需要。
- (3) CI 系统应具有与 ATS 校核时钟的能力。
- (4) CI 系统可与 ATS 系统配合，实现站控/遥控的转换。
- (5) CI 系统主要通过进路控制列车的运行。在 CBTC 模式下，CI 系统允许多列车运行到同一条进路内，按照移动闭塞行车；在降级模式下，CI 系统只允许一列列车运行到该进路内，按照固定闭塞行车。

2. CI 系统硬件要求

(1) CI 硬件体系结构具有层次结构，可分为人机对话层、安全运算层和执行表示层。人机对话层由操作显示设备、系统诊断维护设备组成，安全运算层由联锁计算机组成，执行表示层由采集驱动设备组成。

(2) 安全运算层计算机应采用“二乘二取二”或“三取二”硬件冗余结构。

(3) 执行表示层可采用带 CPU（中央处理器）的智能单元，也可采用不带 CPU 的电子电路实现。

(4) 人机对话层的操作显示设备应采用冗余结构。

(5) 人机对话层的操作显示设备可与 ATS 系统操作表示设备合并设置。合并设置操作显示

设备时，由 ATS 系统按照 ATS 规范提供操作、表示界面。

(6) 系统应配置冗余的电源。

(7) 对于“二乘二取二”计算机联锁，执行表示层的主体电路也应是“二乘二取二”冗余结构。对于驱动电路，主体电路即除最终产生驱动继电器电压的器件组外的其他电路。

(8) 执行层对结合继电器的物理驱动宜采用双断方式，即所有由电子电路驱动的继电器不采用公共的驱动回线。驱动继电器对应执行层的双系宜采用分线圈使用。

(9) CI 采集的继电器应通过采集继电器接点的方式直接证明继电器状态。对于涉及安全的非由 CI 驱动的关键继电器（轨道继电器、道岔表示继电器等），CI 的每一系均采用同时采集这些继电器的前后接点或双接点采集的方式并予以校核。其中定位表示、反位表示继电器及其他有动作关联的继电器可采用后接点串接后由 CI 采集的方式。

(10) 其他设备的故障，不得影响联锁设备的正常工作。

3. CI 系统软件要求

1) 软件的安全等级

CI 软件应按安全性要求划分软件安全完整性等级。

2) 软件的一般要求

(1) CI 软件应达到软件制式检测要求的可靠性和安全性。

(2) CI 软件按安全性要求划分软件安全完整性等级，并应采取与确定等级相适应的技术措施。

(3) CI 软件根据所划分的安全完整性等级，遵照软件质量保证体系、软件生命周期来设计、开发和测试软件。

在编制软件需求规格说明书时，应同时提出软件体系结构。

(4) CI 软件应经过测试确认和安全性评估，并将结果作为文档的一部分交给用户。

(5) CI 软件应能随着计算机硬件不断升级而方便地移植。

(6) CI 软件应模块化、结构化、标准化。

3) 软件的设计要求

(1) 应消除已判定的危险，避免导致危险的人为差错。

(2) 为使软件达到确定的安全完整性等级，应采用可靠性和安全性技术进行设计。

(3) 有相同意义的与行车安全有关的变量及其同一变量不同取值的信息编码的汉明码距不应小于 4。

(4) 与行车安全有关的信息编码，在其码集中非法码字和合法码字或非安全侧码字和安全侧码字的不对称比率不应小于 255:1。

(5) 在联锁机上电、复位之后，开始联锁运算之前，应运行自检程序，检查联锁机及其输入、输出接口功能的完好和完整。

(6) 联锁机在整个工作期间内，应周期性运行自检或互检程序。

(7) 开关量信息采集周期应适应列车最高运行速度的要求。

(8) 应具有对涉及联锁关系的数据的校验功能。

三、环境条件

(1) CI 设备应安装于信号机械室内，信号机械室应符合 GB/T 2887 所规定开机时的 C 级要求。

- (2) 温度：0~40℃。
- (3) 相对湿度：不大于90%（室温+25℃）。
- (4) 大气压力：74.8~106.2 kPa（相当于海拔高度不超过2500 m）。
- (5) 外电网引入电源屏的零地电位差不大于1.0 V。
- (6) 室内应采取防静电、防尘等措施。周围无腐蚀性和引起爆炸危险的有害气体。

四、性能要求

表 1-1 列出了部分可靠性、可用性、可维护性和安全性（RAMS）参数。

1. 可靠性要求

- (1) CI 系统应采用高可靠性硬件和冗余结构。
- (2) CI 系统的平均无故障间隔时间（MTBF）应 $\geq 10^5$ h。

2. 可用性要求

- (1) CI 系统的设计寿命为 15 年。
- (2) CI 系统的可用性包括可靠性和可维护性的综合指标，可用性指标应 $\geq 99.99\%$ 。

3. 可维护性要求

- (1) CI 系统的平均恢复时间 < 30 min。
- (2) CI 系统应能与信号集中监测系统接口，向其提供室内外联锁设备的状态及报警信息。

4. 安全性要求

- (1) CI 应工作可靠并符合故障-安全原则。
- (2) CI 系统的安全完整性等级应达到 SIL4 级，系统中涉及安全的设备的安全完善度等级须达到 SIL4 级或由相关国家权威部门出具等级相当的认证报告以证明其符合 SIL4 级的要求。
- (3) 有关电源、电磁环境、外部接口、人机接口（考虑操作失误）等环境条件和使用条件的设计应采用与安全完整性等级相适应的设计方法。
- (4) CI 系统应具有一定的错误检测机制，检测到软、硬件故障发生时及时采取措施，触发安全反应，不得引发或维持不安全状态。

表 1-1 系统参数

参数	取值范围
计算机联锁系统（CI）安全完整度等级	SIL4
计算机联锁系统（CI）平均无故障间隔时间（MTBF）	$\geq 10^5$ h
计算机联锁系统（CI）可用性	$\geq 99.99\%$
计算机联锁系统（CI）平均恢复时间	< 30 min
计算机联锁系统（CI）系统的处理周期	1 s

五、可扩展性要求

CI 系统的硬件和软件结构应实现模块化和标准化。

六、系统实时性要求

CI 系统的处理周期应 ≤ 1 s。

七、系统关键设备的切换

采用“二乘二取二”硬件冗余结构的系统应具备切换功能，当主机出现异常停机时，备机应能自动转为主机并接管控制权。

采用有效的冗余技术，切换时不应影响系统的正常使用并应给出相应提示。

复习思考题

1. 简答题

- (1) 城市轨道交通对信号系统的定义是什么？
- (2) 城市轨道交通信号系统的组成是什么？
- (3) 城轨信号系统与国铁信号系统的区别？
- (4) 轨道交通信号系统的发展趋势是什么？
- (5) 城市轨道交通计算机联锁的定义是什么？
- (6) CI 的一般要求是什么？
- (7) CI 系统硬件要求是什么？
- (8) CI 系统软件要求是什么？

2. 填空题

- (1) 城市轨道交通_____、_____，所以信号的应变速度快、信息量多。
- (2) 城市轨道交通信号系统（ATC）由_____、_____、_____及_____几个子系统组成。



微课 联锁的定义