

城市轨道交通系列丛书

# 城市轨道交通信号与通信系统

吴汶麒 主编



81

中国铁道出版社

城市轨道交通系列丛书

# 城市轨道交通信号与通信系统

吴汶麒 主编

中国铁道出版社

1998年·北京

# (京)新登字 063 号

## 内 容 简 介

随着城市轨道交通的发展,作为轨道交通机电设备之一的通信信号设备也受到人们越来越大的关注。本书作为城市轨道交通系列丛书之一,详细地介绍了关于城市轨道交通通信信号技术的有关知识,是国内第一本专业领域的著作,内容广泛,资料丰富。全书共分5章,分别介绍了信号基础设备、联锁的基本知识、列车超速防护和自动驾驶(ATP/ATO)系统、列车自动监控(ATS)系统以及通信系统。

本书可作为管理人员、技术人员和大专院校学生的基础理论知识读本,也可作为本行业专家学者在此基础上深化研究和促进技术发展的参考资料。

## 图书在版编目(CIP)数据

城市轨道交通信号与通信系统/吴汶麒主编. —北京:  
中国铁道出版社,1998.6  
(城市轨道交通系列丛书/孙章,何宗华主编)  
ISBN 7-113-03027-0

I. 城… II. 吴… III. ①城市运输:轨道运输-交通信号  
②城市运输:轨道运输-通信系统 N. U121

中国版本图书馆 CIP 数据核字(98)第 15039 号

书 名: 城市轨道交通系列丛书  
城市轨道交通信号与通信系统

著作责任者:吴汶麒

出版·发行:中国铁道出版社(100054,北京市宣武区右安门西街8号)

策 划 编 辑:傅立彦

责 任 编 辑:安颖芬

封 面 设 计:薛小卉

印 刷:中国铁道出版社印刷厂

开 本:850×1168 1/32 印张:6.75 字数:177千

版 本:1998年10月第1版 1998年10月第1次印刷

印 数:0001—3000册

书 号:ISBN 7-113-03027-0/U·831

定 价:18.60元

**版权所有 盗印必究**

凡购买铁道版的图书,如有缺页、倒页、脱页者,请与本社发行部调换。

## 序

世界上轨道交通很早就作为公共交通在城市中出现。随着科学技术和城市化的发展,大运量的轨道交通在现代大城市中越来越起着重要的作用。经济发达国家城市的交通发展历史告诉我们,只有采用大客运量的地铁和轻轨交通系统,才是从根本上改善城市公共交通状况的有效途径。

我国发展大运量轨道交通的历史也并不短,40年前北京就开始了地铁建设。想建地铁的城市也不少,但一直因造价太贵而却步。至今一些百万人以上的大城市,仍然用传统的公共汽车和无轨电车来维持客运的做法,已越来越不能满足城市居民高频率出行的需要。因而目前很多大城市又在考虑和策划修建轨道交通项目。除北京外,上海和广州都已经在建造现代化的地铁系统。北京、上海、天津、广州四城市虽已有地铁线路在运营,但远远不能较为普遍地满足需要。由于我国城市轨道交通的应用技术和基础理论都还处于开拓阶段,项目实施的大多数情况是要引进技术和设备,国产化率低,成为工程造价昂贵的主要原因。因而提高我国城市轨道交通行业的技术力量,发挥自主建设能力,努力降低工程造价,已是健康发展大运量轨道交通的关键。

为此,我们组织了建设部和铁道部的有关专家,编写了这套《城市轨道交通系列丛书》,同时还与德国西门子股份公司交通技术集团进行合作,吸收了一些实用而先进的技术成果,分别按不同专业内容纳入这套丛书。

这套系列丛书以普及现代城市轨道交通基础理论、知识为目标,较为全面系统地阐述了城市轨道交通的发展历史和先进的技术成果,同时也论述了不同类型轨道交通的系统特征、通用技术的适应范围、专业技术及其综合效应等。这套丛书可作为管理人员、

专业技术人员和大专院校学生的基础理论知识读本,也可作为本行业专家学者在此基础上深化研究和促进技术发展的参考资料。

周干峙\*

1998年

---

\* 周干峙 中国科学院院士、工程院院士、建设部顾问、原建设部副部长

• 2 •

# 前 言

城市轨道交通因其客运量大、污染少等特点而在解决大城市的交通矛盾中起着越来越大的作用。我国自 80 年代开始,一些大城市开始规划和修建轨道交通,而在这过程中,作为轨道交通机电设备之一的通信信号设备也受到人们越来越大的关注。

城市轨道交通的信号系统因站间距离及列车间隔时间短、列车运行速度不高(相对于远程铁路而言)等特点而与远程铁路的信号系统有一定的区别。进入 80 年代后,由于电子、计算机技术的飞速发展,促使城市轨道交通的自动化程度越来越高,从而对信号系统的技术要求也越来越高。

本书作为城市轨道交通系列丛书之一,详细地介绍了关于城市轨道交通通信信号技术的有关知识。全书共分 5 章:第一章介绍信号基础设备,其中信号机、转辙机、继电器均与远程铁路的相同,而轨道电路则与远程铁路有所不同,在城市轨道交通中已普遍采用无绝缘音频数字编码轨道电路。第二章介绍联锁的基本知识,鉴于城市轨道交通车站信号设备极其简单(停车场除外),所以联锁设备较远程铁路要简单。第三章介绍城市轨道交通信号系统的关键设备:列车超速防护(ATP)系统,鉴于城市轨道交通的列车间隔时间较短,因此必须装备可靠性强的超速防护系统。由于目前的城市轨道交通列车大多已是自动驾驶,所以本章内容也包括了自动驾驶(ATO)的介绍。为了帮助读者更好地理解车上一地面的信息传输,在本章的最后对“数码调制理论”作了简单的论述。第四章介绍列车自动监控(ATS)系统,第五章简明扼要地论述了城市轨道交通通信系统的组成与工作方式。

本书的第一、二、三章由吴汶麒教授编写,第四章由郎宗棣副教授编写,第五章由朱幼全副教授编写,全书由吴汶麒教授主编。

作者  
1998年

# 目 录

绪 论	1
第一章 基础设备	7
§ 1.1 信号机	7
§ 1.2 继电器	13
§ 1.3 转辙机	23
§ 1.4 轨道电路	32
第二章 联锁设备	49
§ 2.1 联锁逻辑的主要内容	50
§ 2.2 6502 组合式电气集中的电路原理	51
§ 2.3 微机联锁	78
第三章 列车超速防护和自动驾驶(ATP/ATO)系统	93
§ 3.1 列车超速防护(ATP)系统	94
§ 3.2 点式列车超速防护系统(点式 ATP 系统)	97
§ 3.3 采用轨间电缆的连续式列车超速防护系统	108
§ 3.4 不用轨间电缆的连续式列车超速防护系统	115
§ 3.5 列车自动驾驶(ATO)系统	120
§ 3.6 数码调制的理论基础	126
第四章 列车自动监控(ATS)系统	142
§ 4.1 系统概况	142
§ 4.2 功能和工作原理说明	147



§ 4.3	设备性能和说明 .....	159
§ 4.4	ATS 性能说明 .....	160
§ 4.5	软件系统说明 .....	161
§ 4.6	ATS 操作方式说明 .....	163
§ 4.7	人一机操作说明 .....	164
§ 4.8	ATS 的仿真系统 .....	168
§ 4.9	ATS 的信息通道(图 4—3) .....	169
§ 4.10	电源 .....	170
<b>第五章 城市轨道交通的通信系统 .....</b>		<b>172</b>
§ 5.1	概述 .....	172
§ 5.2	光纤传输系统 .....	175
§ 5.3	数字程控交换网 .....	184
§ 5.4	闭路电视监控系统 .....	196
§ 5.5	无线通信系统 .....	201
§ 5.6	广播系统 .....	204

## 绪 论

人们总是习惯于将 1863 年 1 月 10 日在英国首都伦敦投入运行的 6.5 km 地下铁道作为城市有轨交通的生日。从这以后的 130 多年的历史进程中,城市轨道交通与世界经济同步发展,目前世界在 127 个大、中城市内,已经拥有 5 263.9 km 地铁线路,城市轨道交通——地铁和轻轨,已经成为各国经济发展和改善人民生活的一个不可分割的部分。

由于历史原因,我国城市轨道交通起步较晚。尽管我国百万以上人口的大城市已有 30 多个,但直至 1996 年年底,仅在京、沪、津、广四城市建成或在建地铁,运营长度仅 60 km 左右。鉴于城市轨道交通在缓解城市交通矛盾中起到的作用越来越受到重视,所以,越来越多的大城市正在修建或正在规划城市有轨交通,可以预期,在未来的 10~20 年中,我国的城市有轨交通将会有有一个飞速的发展。

在规划城市轨道交通的过程中,必须规划和建设与预测客流量相适应的通信信号设施。用于指挥和控制列车运行的通信信号设施,尽管其投资额在整个工程中所占的比例甚低(通常在 3% 以下),但对于提高通过能力、保证行车安全却有着至关重要的作用。例如,香港的地下铁道,设计要求载客能力为 6 万人/(小时·方向),每列车的定员定为 2 000 人/列车(实际使用情况为 2 616 人/列车),则必须每 2 min 发出 1 列车(即列车间隔为 2 min)。如果信号设备相对落后,如采用移频自动闭塞,那么最小列车间隔为 4 min,这就意味着在同一条线路上,使用同样的车辆,但载客能力只能达到 3 万人/(小时·方向)。显然,在城市轨道交通中采用先进信号设备(如列车速度自动控制系统——ATC 系统)是一项事半功倍的措施。随着科技的发展,特别是计算机、微电子技术的发

展,使信号技术出现了一场革命。目前在一些发达国家的城市轨道交通中,依赖信号技术的进步,最小行车间隔已缩短至 100 s 以下。采用先进的信号技术,还将大大提高行车的安全性,使得因人为的疏忽(如司机忽视信号显示)、设备的故障而产生的事故率降至最低。此外,采用先进的信号技术可以避免不必要的突然减速和加速,这不仅可提高行车的稳定度,还对节能具有重要的作用。据文献报道,采用先进的 ATC 技术,使列车始终处于最佳速度状态,可导致节省电能 15% 以上。

与机车和轨道技术相同,城市有轨交通的信号制式基本上沿袭了大铁路的传统制式。从城市轨道交通的发展历史看,上世纪末和本世纪初,信号技术主要是采用机械式集中联锁、电话闭塞及机械式自动停车装置。本世纪 30 年代起,美国率先采用继电式电气集中及利用轨道电路的自动闭塞,色灯信号机取代了臂板信号机,感应式自动停车装置取代了机械接触式自动停车装置。由于轨道电路技术的出现,使站间较长距离的区间可划分为若干个较短的闭塞分区,由列车来控制信号显示,从而有效地缩短了行车间隔,明显地提高了通过能力。

本世纪 60 年代以来,计算机和微电子技术突飞猛进,使信号技术经历了一场革命。以往要靠司机来执行的一些任务,如瞭望信号、使列车加减速等等现在完全可以在计算机的监控下自动进行,在确保安全的前提下实现最小列车间隔。由于在列车运行调度中心的计算机和列车车载计算机之间建立起了可靠、有效的信息、数据交换的通道,因此,一切列车运行的现状信息(车次号、速度、位置……)都可经由通道向调度中心发送,从而在调度中心内可一览无余地将整条线路的实时状态显示在行车指挥人员面前;与此同时,一切与列车运行有关的信息,如调度命令、线路状态、前方列车的位置或前方停车点的位置……也可通过同一个通道发送给列车车载计算机,从而得出实时的应有最佳速度并显示在驾驶台上,或由司机手动操纵或进行自动操纵,以使列车处于最佳状态。由于调度中心与列车车载计算机之间的协调工作,使运输效率得以最充

分的发挥,司机的任务仅限于监督设备的状态。信号技术目前的发展已完全可以实现无人驾驶。

当然,计算机进入信号领域内的另一场革命是用微计算机来取代继电器的作用,实现联锁功能,即所谓的微机联锁。这将不仅大大节省投资(主要是土建与电缆的投资),而且使可靠性、应变能力、控制范围都有明显的提高。

如上所述,城市轨道交通的信号技术制式是沿袭大铁路的制式,但还是有它固有的特点,主要反映在以下5个方面:

(1)由于城市轨道交通往往承担巨大的客流量,因此对最小行车间隔的要求远高于大铁路。这就对列车速度监控提出了极高的要求,要求其能提供更高的安全保证。

(2)由于城市轨道交通的列车运行速度远低于铁路干线上的列车运行速度,因此在信号系统中可以采用较低速率的数据传输系统。

(3)由于城市轨道交通的大多数车站仅有上、下客的功能,在大多数车站上并不设置道岔,甚至也不设置地面信号机(依靠机车信号及速度监控设备驾驶列车),仅在少数联锁站及车辆段才设置道岔及地面信号机,如上海地铁一号线仅在4个联锁站及1个车辆段上设置道岔及地面信号机,因而,联锁设备的监控对象远远少于一般大铁路的客、货站,通常1个电气集中控制中心即可实现全线的联锁功能。

(4)由于城市轨道交通的车辆段具有与大铁路车辆段不同的功能,类似于大铁路区段站的功能,其行车组织工作主要包括编解、接发及调车,因而,城市有轨交车辆段的信号设备远多于其他车站,通常独立采用一套电气集中装置,但在采用微机联锁时,往往也仅作为一套微机联锁中的一部分。除了车辆段外,其他车站的行车组织作业既单纯又简单,所以在联锁站上的信号灯也仅有3种颜色、4种含义:

红灯: 停车;

绿灯: 前进,前方道岔在定位;

月白灯：前进，前方道岔在反位；

红灯+月白灯闪光：引导信号。

(5)由于城市轨道交通的线路长度、站间距离都较短，列车种类单一，行车时刻表的规律性很强，日复一日地按照同一运行计划周而复始地运行，因此，在城市轨道交通的信号系统内，通常都包含有进路自动排列功能，即按事先预定的程序自动排列进路，只有运行图变更时才有工人工介入。

城市轨道交通的信号系统通常包括两大部分：联锁装置和列车运行控制系统(后者又称为 ATC 系统——Automatic Train Control)，其中 ATC 系统又包括列车超速防护 ATP(Automatic Train Protection)、列车自动驾驶 ATO(Automatic Train Operation)及列车自动监控 ATS(Automatic Train Supervision)3 个子系统，简称“3A”系统。

ATP 子系统主要用于对列车驾驶进行防护，对与安全有关的设备或系统实行监控，实现列车间隔保护、超速防护等功能，其主要的工作原理是：不断地将一些信息(例如：来自联锁设备和操作层面上的信息、地形信息、前方目标点的距离和允许速度信息等等)从地面传至车上，从而得出此时刻所允许的安全速度，依此来对列车实现速度监督及管理。使用 ATP 子系统的一大优点是缩短了列车间隔，提高了线路的利用率和行车的安全性。

ATO 子系统主要用于实现“地对车控制”，即用地面信息实现对列车驱动、制动的控制。由于使用 ATO 子系统后，可以使列车经常处于最佳运行状态，避免了不必要的、过于剧烈的加速和减速，因此明显提高了旅客的舒适度，提高列车准点率及减少轮轨磨损，与列车的再生制动相配合，可以节省电能的消耗。

ATS 子系统主要是实现对列车运行的监督和控制，辅助行车调度人员对全线列车运行进行管理。它给行车调度人员显示出全线列车的运行状态，监督和记录运行图的执行情况，在列车因故偏离运行图时及时做出反应(提出调整建议或者自动修整运行图)，通过 ATO 的接口，向旅客提供运行信息通报(例如：列车到达、出

发时间,运行方向,中途停靠站名……)。

图 1 给出了城市轨道交通信号系统功能的框图说明。

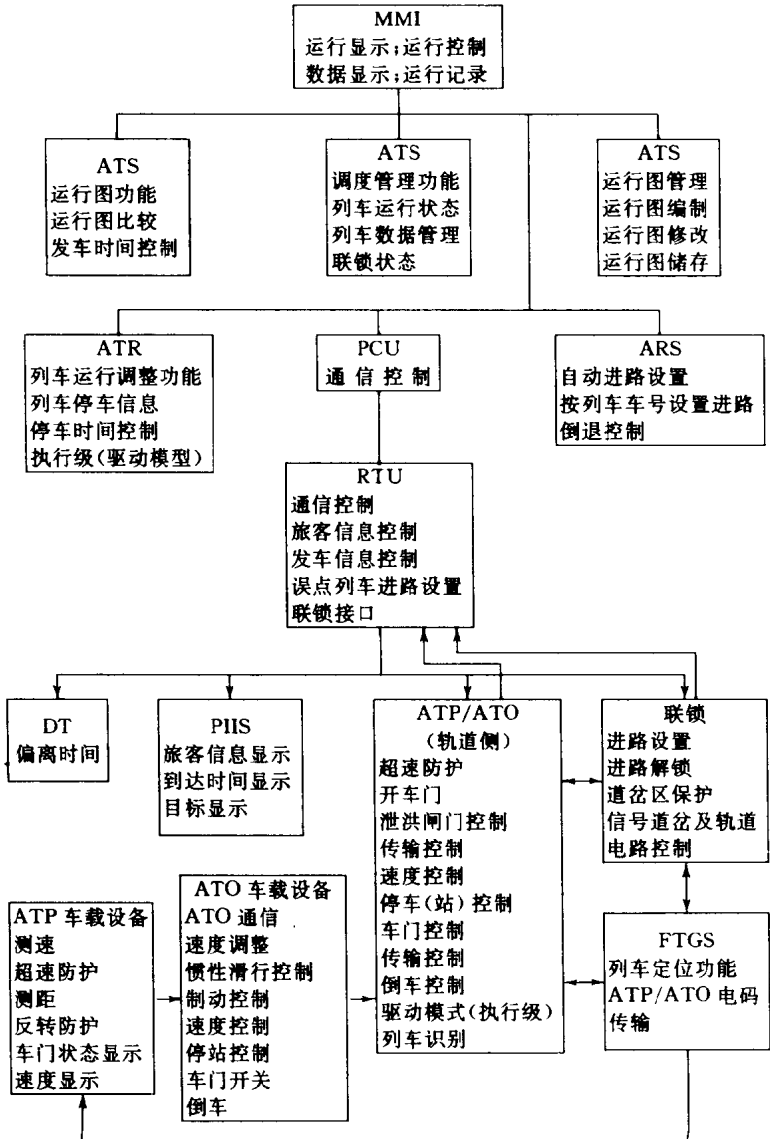


图 1 城市轨道交通信号功能结构

本书即按上述 3 个子系统来阐明城市轨道交通信号系统的原理和构成。在此之前还专列一章来介绍信号系统的主要基础设备：信号机、转辙机、继电器、轨道电路（包括计轴器）。

城市轨道交通的通信系统必须适应与满足轨道交通的运营管理。整个通信系统包括以下 5 个组成部分：

(1)通信网 用通信电缆或光缆作为传输介质，所提供的服务为话音通信（自动电话交换机之间的中继线通道、各种有线调度电话、有线广播话音、直达话音通道等）及数据通信（电力、防灾、环控的监控通道，有线广播及闭路电视的监控通道以及自动售检票系统的数据通道）。

(2)电话网 利用同一套程控交换机网组成有轨交通专用电话网和自动电话交换网。

(3)有线广播系统 每一个车站设置 1 套有线广播系统，每个站分为若干个播音区，例如：站厅，上、下行站台，机房，办公室等等，可以同时广播，也可分区广播。中央控制室通过遥控、遥测，对各车站的广播系统进行控制和监测。

(4)闭路电视系统 主要是供有轨交通中央控制室的调度人员监视沿线各车站（主要是站台及站厅）的状况，车站值班员也可通过该系统了解站内各区域的现状。

(5)无线通信 通常可包括若干个子系统，如上海地铁一号线的无线通信包括列车调度电话，公共治安电话，车辆段电话及紧急无线电话等 4 个子系统。

由于城市轨道交通的通信系统与其他行业使用的通信系统差别不大，而有关上述 5 个方面的理论专著已经很多，所以本书内对通信系统的阐述比较简略，有兴趣的读者可以参考其他专著。

# 第一章 基础设备

## § 1.1 信号机

尽管由于历史原因,国内外还残留一些臂板信号机,但在干线及新线上臂板信号机已几乎绝迹,臂板信号机也将与蒸汽机车一起进入历史博物馆。

目前城市轨道交通采用的信号机主要是透镜式色灯信号机,在我国铁路上主要采用的是XS系列透镜式色灯信号机,这里,就这类信号机的结构、光学系统作一简单的叙述。

### § 1.1.1 透镜式色灯信号机的机构

国产XS型透镜式色灯信号机有高柱型和矮型之分,不论是高柱型还是矮型,其机构还要分单显示、二显示和三显示,供使用部门选择使用。不同显示数目的信号机机构,显示的原理都是相同的,其结构也相似,只是灯室数目不同,整个机构大小不同,因此,本书只对高柱和矮型的二显示色灯信号机构作扼要的介绍。

高柱二显示色灯信号机构如图1—1所示,整个机构用上部托架1和下部托架4固定在水泥柱上。点灯电线通过蛇管接头2和蛇管3从水泥柱内引入机构的箱体7内;背板5用来增大色灯信号与周围背景的亮度比;遮檐9用来防止外来光线的干扰。机构的主要部件是透镜组8,如图1—2所示,它由一块外径为239mm有色外棱梯透镜和一块外径为212mm无色内棱梯透镜,通过透镜框组装而成。透镜框上装有可调灯座,可实现上、下、前、后、左、右6个方向的调整。经过调整,使灯泡主灯位于透镜组主光轴的焦点上,从而,光源发出的光,经过有色外棱梯透镜和无色内棱梯透镜前后2次折射,形成平行的有色光束射向前方。

矮型二显示信号机构如图1—3所示。机构直接用基础螺丝5



固定在水泥基础上。为了使司机能瞭望到信号灯光，信号机构面部向上有 $5^{\circ}$ 左右的仰角。矮型信号机的箱体比较大，在箱盖3内可装信号变压器和灯丝转换继电器。透镜组中无色内棱梯透镜的外径

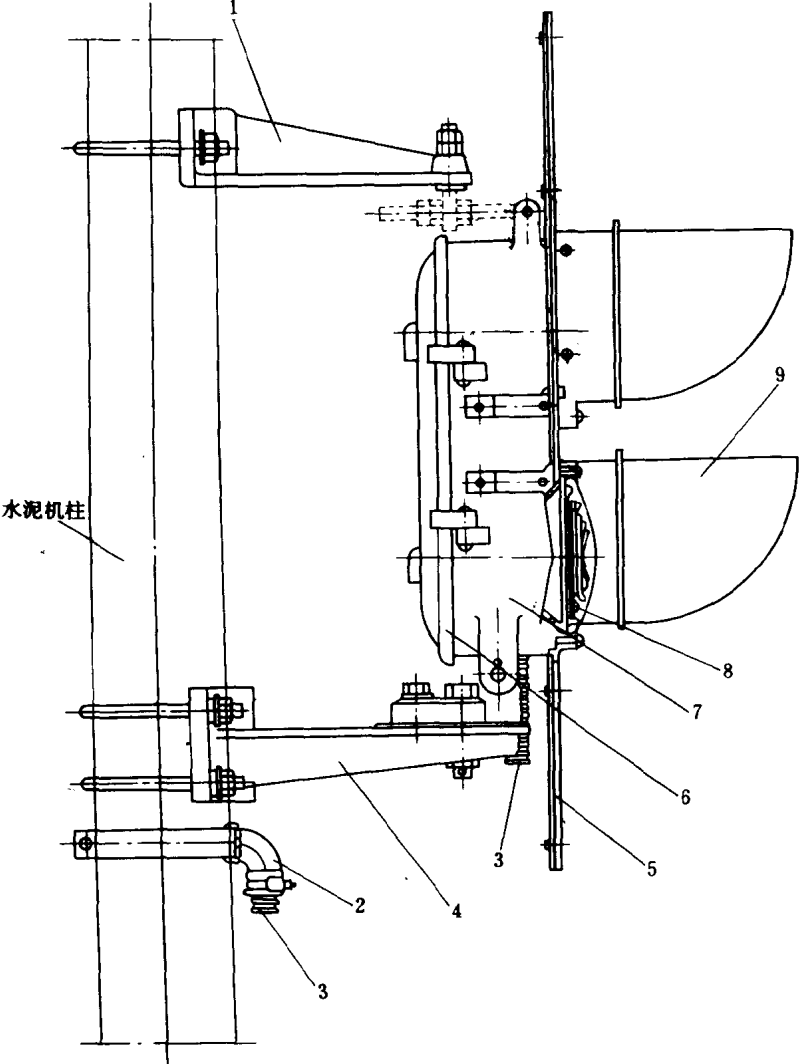


图1—1 高柱二显示信号机构