



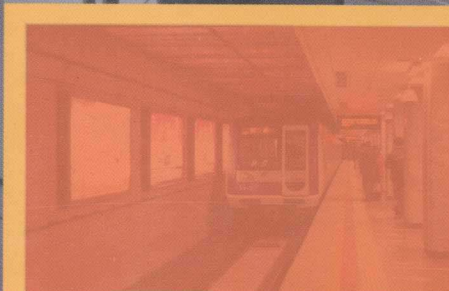
中央广播电视大学教材

城市轨道交通信号 与通信系统

CHENGSHI GUIDAO JIAOTONG XINHAO YU TONGXIN XITONG

■ 王燕梅 等编

C HENGSHI GUIDAO
JIAOTONG XINHAO YU
TONGXIN XITONG



中央广播电视大学出版社

中央广播电视大学教材

城市轨道交通信号与通信系统

王燕梅 等编



中央广播电视大学出版社

北京

图书在版编目 (CIP) 数据

城市轨道交通信号与通信系统 / 王燕梅等编. —北京 :
中央广播电视大学出版社, 2011.3
中央广播电视大学教材
ISBN 978 - 7 - 304 - 05063 - 4

I. ①城… II. ①王… III. ①城市轨道交通 - 交通信号 -
信号系统 - 广播电视大学 - 教材 IV. ①U239.5

中国版本图书馆 CIP 数据核字 (2011) 第 029199 号

版权所有, 翻印必究。

中央广播电视大学教材
城市轨道交通信号与通信系统
王燕梅 等编

出版·发行: 中央广播电视大学出版社
电话: 营销中心 010 - 58840200 总编室 010 - 68182524
网址: <http://www.crtvup.com.cn>
地址: 北京市海淀区西四环中路 45 号 邮编: 100039
经销: 新华书店北京发行所

策划编辑: 李永强 责任版式: 韩建冬
责任编辑: 闫海新 责任校对: 王 亚
责任印制: 赵联生

印刷: 北京博图彩色印刷有限公司 印数: 2001 ~ 5000
版本: 2011 年 3 月第 1 版 2013 年 5 月第 2 次印刷
开本: 185mm × 230mm 印张: 15.5 字数: 304 千字

书号: ISBN 978 - 7 - 304 - 05063 - 4
定价: 23.00 元

(如有缺页或倒装, 本社负责退换)

《城市轨道交通信号与通信系统》编委会

主任：王燕梅

副主任：刘慧峰

委员：周洪江 宋保卫

 笕 薇 苏胜强

前 言

随着现代化城市轨道交通的发展,20世纪90年代以来,我国城市轨道交通加快了建设步伐。进入21世纪,城市轨道交通的建设进入了高潮。目前,北京、天津、上海、广州已建成不同规模的地铁和轻轨,深圳、南京、大连、长春、武汉、重庆也已开通运营地铁或轻轨,另外,哈尔滨、青岛、沈阳、西安、杭州、苏州等城市的城市轨道交通也正在建设之中。

城市轨道交通因其运营条件相对较好,以及具有运行密度高、站间距离短、列车运行速度相对不太高等特点,其信号系统与铁路信号系统相比,有较大的区别。

本书密切结合城市轨道交通的实际情况,介绍各项信号和通信系统。全书共分7章:城市轨道交通信号系统概述、城市轨道交通信号基础设施、联锁设备、列车运行自动控制、基于通信的列车控制系统、城市轨道交通的通信系统和电源系统。本书以培养岗位技能为出发点,理论联系实际,图文并茂,便于阅读,并在每一章后配有习题,供学习参考。本书既可作为高职院校、职业技术学院城市轨道交通专业及相关专业的教材和教学参考书,也可作为从事城市轨道交通建设和运营管理专业技术人员的参考用书。

本书由黑龙江交通职业技术学院王燕梅副教授担任主编,参编人员有黑龙江交通职业技术学院副教授周洪江、黑龙江交通职业技术学院讲师宋保卫、深圳广播电视大学刘慧峰副教授和笪薇副教授。全书由王燕梅副教授、刘慧峰副教授统稿。深圳地铁集团公司高级工程师周小涤为主审。另外,深圳广播电视大学苏胜强副教授在本书编写过程中也给予了大力支持。

由于我国城市轨道交通信号与通信系统尤其是ATC引入多国技术,制式众多,资料难以搜集齐全,再加上编者水平所限,时间仓促,书中难免有错误、疏漏和不妥之处,恳请读者批评指正。

编 者
2010年8月

目 录

第一章 城市轨道交通信号系统概述	(1)
第一节 城市轨道交通信号系统的特点	(2)
第二节 城市轨道交通信号系统的组成	(5)
第三节 城市轨道交通信号系统的设备分布	(8)
第四节 我国城市轨道交通信号技术的发展	(13)
第二章 城市轨道交通信号基础设备	(20)
第一节 继电器	(21)
第二节 信号机	(26)
第三节 转辙机	(36)
第四节 轨道电路	(48)
第五节 微机计轴设备及应答器	(63)
第三章 联锁设备	(71)
第一节 概述	(72)
第二节 6502 电气集中联锁	(74)
第三节 计算机联锁	(82)
第四章 列车运行自动控制	(107)
第一节 概述	(108)
第二节 列车自动防护子系统	(120)
第三节 列车自动监控子系统	(139)

第四节 列车自动运行子系统	(156)
第五章 基于通信的列车控制系统	(172)
第一节 CBTC 系统的特点与分类	(173)
第二节 西门子的 CBTC 系统结构	(176)
第三节 系统的功能与特点	(178)
第四节 基于漏泄波导通信的列车运行控制系统	(181)
第六章 城市轨道交通的通信系统	(187)
第一节 概述	(188)
第二节 城市轨道交通通信系统的组成	(192)
第三节 光纤传输系统	(196)
第四节 公务电话系统	(199)
第五节 闭路电视系统	(205)
第六节 时钟系统	(214)
第七章 电源系统	(221)
第一节 智能电源屏	(222)
第二节 UPS	(225)
练习与思考部分参考答案(客观题部分)	(237)
参考文献	(239)

第一章 城市轨道交通信号系统概述

【知识目标】

- 理解城市轨道交通信号系统的作用；
- 了解城市轨道交通信号系统的特点；
- 了解城市轨道交通信号系统的工作原理。

【能力目标】

- 了解城市轨道交通的特点和要求；
- 理解城市轨道交通信号与通信系统的设备组成；
- 熟悉我国城市轨道交通信号技术的发展。

【引导案例】

近年来，我国城市轨道交通已经进入了一个快速发展时期，北京、上海、广州等15个城市已建和在建线路总长达1 500多 km，到2020年，我国城市轨道交通线路将达到5 000 ~ 6 000 km。城市轨道交通是城市的命脉，其运营安全工作是第一位的。

城市轨道交通信号设备是城市轨道交通的主要技术装备，它担负着指挥列车安全运行、提高运输效率的重要任务。

现代化的城市轨道交通要求城市轨道交通信号设备的现代化。

第一节 城市轨道交通信号系统的特点

城市轨道交通是现代化都市的重要基础设施，它安全、便利、迅速、舒适地在城市范围内运送乘客，最大限度地满足市民出行的需要。在城市各种公共交通工具中，轨道交通具有运量大、速度快、安全可靠、污染低、受其他方式干扰小等特点，对改变城市交通状况是行之有效的。

城市轨道交通系统的安全、速度、输送能力和效率与信号系统密切相关，以速度控制为基础的列车运行自动控制系统已成为城市轨道交通信号系统的共同选择。信号系统实际上已成为城市轨道交通调度指挥和运营管理的中枢神经，选择合适的信号系统，可以带来较好的经济效益和社会效益。

一、城市轨道交通的特点

1. 城市轨道交通区别于铁路的特点

城市轨道交通虽然和铁路同为轨道交通，但和铁路有不少不同之处。

(1) 运营范围

城市轨道交通的运营范围是城市市区及郊区，范围较小，不像铁路那样涉及范围广，而且连接城乡。

(2) 运行速度

城市轨道交通因在城市范围内运行，站间距离短，且须站站停车，列车运行速度较低。而铁路的运行速度比较高，许多线路在 120 km/h 以上，高速铁路在 300 km/h 以上。

(3) 服务对象

城市轨道交通的服务是客运服务，铁路则是客、货混运。

(4) 线路与轨道

城市轨道交通大部分线路在地下或高架上通行，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，车辆段一般采用 7 号道岔，这些都与铁路不同。另外，城市轨道交通还有跨座式和悬挂式，铁路则没有。

(5) 车站

城市轨道交通的车站一般为正线，多数车站也没有道岔，换乘站多为立体方式；铁路车站有数量不等的道岔及股道，有较复杂的咽喉区，换乘为平面方式。

(6) 车辆段

城市轨道交通的车辆段要进行车辆检修、停放以及大量的列车编解、接发车和调车作业。而铁路车辆段通常分为货车车辆段和客车车辆段，分别用于检修货车和客车。

(7) 车辆

城市轨道交通采用电动车组，没有铁路中机车和车辆的概念，也没有铁路那样众多类型的车辆。

(8) 供电

城市轨道交通的供电包括牵引供电，且均为直流电力牵引，没有非电气化铁路的说法。另外，城市轨道交通的动力、照明供电尤为重要，一旦供电中断，将陷入整体瘫痪状况。电气化铁路采用牵引供电方式。

(9) 通信信号

城市轨道交通列车密度高，行车间隔短，普遍采用列车自动监控和列车自动运行的方式，并建有自成体系、独立完整的内部通信网，还包括广播和闭路电视。而铁路信号系统正逐步向列车调度自动化方向发展。

(10) 运营管理

城市轨道交通行车作业单一，除了进、出段和折返外，没有越行，没有交会，正线上一般没有调车作业，易于实现自动控制。本文论述中的越行、交会、调车作业是指铁路作业。

2. 城市轨道交通区别于城市道路交通的特点

(1) 容量大

地下铁道单向每小时运送能力可达 30 000 ~ 70 000 人次，轻轨交通每小时的运送能力为 10 000 ~ 30 000 人次，而公共汽车、电车为 8 000 人，在客流密集的城市建设城市轨道交通可疏散公交客流。

(2) 运行准时、迅速

城市轨道交通有自己的专用线路，与道路交通相隔离，可保证乘客准时、迅速地到达目的地。

(3) 安全

城市轨道交通多建于地下或高架，即使在地面也与道路交通相隔离，与其他交通工具无相互干扰，运行安全有充分的保障。

(4) 利于环境保护

城市轨道交通噪声小，污染轻，对城市环境不会造成破坏。

(5) 节省土地资源

城市轨道交通（多建于地下或高架）即使在地面其占地也有限，可充分利用城市空间，节省土地资源。

但是，城市轨道交通也存在一定的局限性，如：建设费用高；建设周期长；技术含量高；建设难度大；一旦遇有自然灾害尤其是火灾，乘客疏散困难，容易造成人员伤亡。此外，城市轨道交通系统建成后就难以迁移和变动，不像地面公共交通可以机动地调整路线和设置站点，以满足乘客流量和流向变化的需要，其运输组织工作远比地面公共交通复杂。

二、城市轨道交通对信号系统的要求

城市轨道交通尤其是地下铁道因其固有的特点，对其信号系统提出了如下要求：

1. 安全性要求高

因城市轨道交通尤其是地下部分隧道空间小，行车密度大，故障排除难度大，若发生事故难以施援，严重影响行车，所以，对行车安全的保证即对信号系统提出了更高的安全要求。

2. 通过能力大

城市轨道交通不设站线，进站列车均停在正线上，先行列车的停站时间会直接影响后续列车接近车站，所以要求信号设备必须满足通过能力的要求。

3. 保证信号显示

虽然城市轨道交通地面信号机少，地下部分背景暗，且不受天气影响，直线地段瞭望条件好，但曲线地段受隧道壁的遮挡，信号显示距离受到限制，所以保证信号显示也是一个重要的问题。

4. 抗干扰能力强

城市轨道交通均为直流电力牵引，所以要求信号设备对其有较强的抗干扰能力。

5. 可靠性高

由于城市轨道交通隧道净空小，且装有带电的牵引接触轨或接触网，行车时不便维修和排除设备故障，所以要求信号设备具有高可靠性。

6. 自动化程度高

城市轨道交通站间距短，列车密度大，行车工作十分频繁，而且地下部分环境潮湿，空气不佳，没有阳光，工作条件差，所以要求尽量采用自动化程度高的先进技术设备，以减少工作人员数量及他们的劳动强度。

7. 限界条件苛刻

城市轨道交通的室外设备及车载设备受土建限界的限制，要求设备体积小，同时必须兼顾施工和维护作业空间。

三、城市轨道交通信号系统的特点

城市轨道交通信号系统虽然沿袭铁路的制式，但由于其自身的特点，与铁路的信号系统还是有一定的区别的。城市轨道交通信号系统的特点有以下几点：

1. 具有完善的列车速度监控功能

城市轨道交通所承担的客运量巨大，对行车间隔的要求远高于铁路，最小行车间隔达到90 s，甚至更小，因此对列车运行速度的监控要求极高。

2. 数据传输速率较低

城市轨道交通的列车运行速度远低于铁路干线的列车运行速度，最高运行速度通常为80 km/h，所以信号系统可以采用速率较低的数据传输系统。

3. 联锁关系较简单但技术要求高

城市轨道交通的大多数车站没有配线，不设道岔，甚至也不设地面信号机，仅在少数有岔联锁站及车辆段才设置道岔和地面信号机，故联锁设备的监控对象远少于铁路车站的监控对象，联锁关系远没有铁路复杂。除折返站外，全部作业仅为旅客乘降，非常简单。通常，一个控制中心即可实现全线的联锁功能。

城市轨道交通信号自动控制最大的特点是把联锁关系和ATP编/发码功能结合在一起，且包含一些特殊的功能，如自动折返、自动进路、紧急关闭、扣车等，增加了技术难度。

4. 车辆段独立采用联锁设备

城市轨道交通的车辆段类似于铁路区段站的功能，包括列车编解、接发列车和频繁的调车作业，线路、道岔和信号设备都较多，所以一般独立采用一套联锁设备。

5. 自动化水平高

由于城市轨道交通的线路长度短，站间距离短，列车种类较少，行车的规律性很强，因此，它的信号系统中通常包含自动排列进路和运行自动调整的功能，自动化强度高，人工介入极少。

第二节 城市轨道交通信号系统的组成

自城市轨道交通问世以来，其安全程度和载客能力不断地提高，信号系统也不断地完善

和发展。随着经济和计算机技术的飞速发展，城市轨道交通信号技术日趋成熟，成为城市轨道交通不可缺少的组成部分。

城市轨道交通信号系统通常由列车运行自动控制（Automatic Train Control, ATC）系统和车辆段信号控制系统两大部分组成，用于列车进路控制、列车间隔控制、调度指挥、信息管理、设备工况监测及维护管理，由此构成了一个高效的综合自动化系统，如图 1-1 所示。

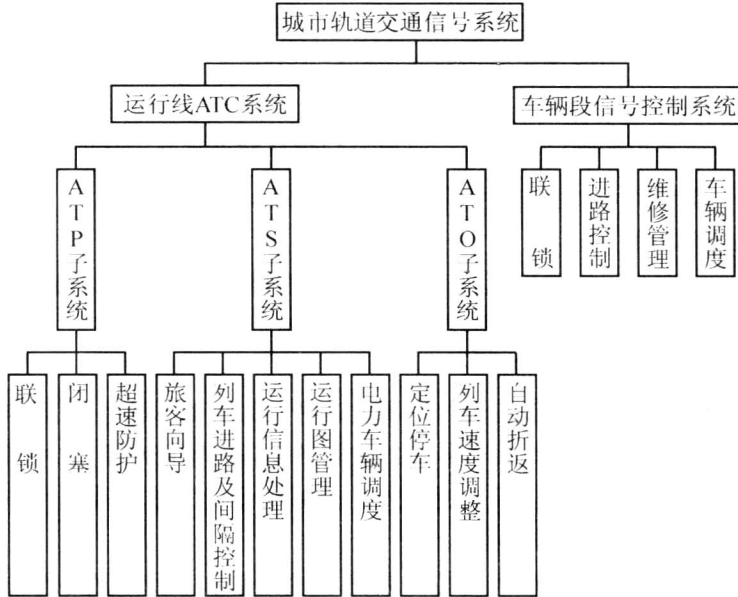


图 1-1 联锁运行线 ATC 系统

一、列车运行自动控制系统

列车运行自动控制系统包括列车自动防护（Automatic Train Protection, ATP）、列车自动运行（Automatic Train Operation, ATO）及列车自动监控（Automatic Train Supervision, ATS）3 个子系统。系统须设置行车控制中心，沿线各车站设计为区域性联锁，其设备放在控制站（一般为有岔站），列车上安装有车载控制设备。控制中心与控制站通过有线数据通信网连接，控制中心与列车之间可采用无线通信进行信息交换。ATC 系统直接与列车运行有关，因此，ATC 系统中的数据传输要求比一般通信系统的安全性、可靠性和实时性更高。

1. ATP 子系统

ATP 子系统的功能是对列车运行进行超速防护，对与安全有关的设备实行监控，从而实现列车位置检测，保证列车间的安全间隔和列车在安全速度下运行，完成信号显示、故障报警、降级提示、列车参数和线路参数的输入，与 ATS 子系统、ATO 子系统及车辆系统连接

并进行信息交换。

ATP 子系统不断地将从地面获得的前行列车的位臵信息及线路信息、前方目标点的距离和允许速度信息等信息通过轨道电路等传至车上，再由车载设备计算得到当前所允许的速度，或由行车指挥中心计算出目标速度传至车上，再由车载设备测得实际运行速度，以此来对列车速度实行监督，使之始终在安全速度下运行，以缩短列车运行间隔，保证行车安全。

采用轨道电路传送 ATP 信息时，ATP 子系统由设于控制站的轨旁单元、设于线路上各轨道电路分界点的调谐单元和车载 ATP 设备组成，并包括与 ATS、ATO、联锁设备的接口设备。

2. ATO 子系统

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和制动的控制，包括列车自动折返，根据控制中心的指令使列车按最佳工况正点、安全、平稳地运行，自动完成对列车的启动、牵引、惰行和制动，传送车门和屏蔽门同步开关信号。

ATO 子系统包括车载 ATO 单元和地面设备两部分。地面设备有站台电缆环路、车地通信设备以及与 ATP、联锁系统的接口设备。

3. ATS 子系统

ATS 子系统主要用于实现对列车运行的监督和控制，辅助调度人员对全线列车进行管理，其功能包括：调度区段内列车运行情况的集中监视与控制，监测进路控制、列车间隔控制设备的工作，按行车计划自动控制道旁信号设备以接发列车，列车运行实绩的自动记录，时刻表自动生成、显示、修改和优化，运行数据统计及报表自动生成，设备运行状态监测，设备状态及调度员操作记录，运输计划管理，列车车次号自动传递等。

ATS 子系统包括控制中心设备、ATS 车站和车辆段分机。控制中心设备有中心计算机系统、工作站、显示屏、绘图仪、打印机和不间断供电系统（Uninterruptible Power System, UPS）等。每个控制站设一台 ATS 分机，用于采集车站设备的信息和传送控制命令，并实现车站进路自动控制功能。车辆段分机用于采集车辆段内库线的列车占用情况及进/出车辆段的列车信号机的状态。

此外，在 ATC 范围内的各正线控制站各设一套联锁设备，用以实现车站进路控制。联锁设备接收车站值班员和 ATS 控制。考虑运用的灵活性，若正线有岔站，原则上应独立设置联锁设备，当然也可以采用区域控制方法。

二、车辆段联锁设备

车辆段设一套联锁设备，用以实现车辆段的进路控制，并通过 ATS 车辆段分机与行车指挥中心交换信息。

车辆段联锁设备前期采用 6502 电气集中联锁，近来均采用计算机联锁。

先进的车辆段信号控制系统的特点是信号一体化，包括联锁系统、进路控制设备、接近通

知、终端走过防护和车次号传输设备等。这些设备由局域网连接并经过光缆与调度中心相通。列车的整备、维修与运行相互衔接成一个整体，从而保证了城市轨道交通的高效率和低成本。

车辆段内试车线设若干段与正线相同的 ATP 轨道电路和 ATO 地面设备，用于对车载 ATC 设备进行静、动态试验。

在车辆段停车库，一般还设有日检/月检设备，以对列车进行上线前的常规检测。

第三节 城市轨道交通信号系统的设备分布

按地域不同，城市轨道交通信号设备可划分为 5 部分：控制中心设备、车站及轨旁设备、车辆段设备、试车线设备和车载 ATC 设备。

一、控制中心设备

控制中心设备属于 ATS 子系统，是 ATC 的核心，其组成如图 1-2 所示。

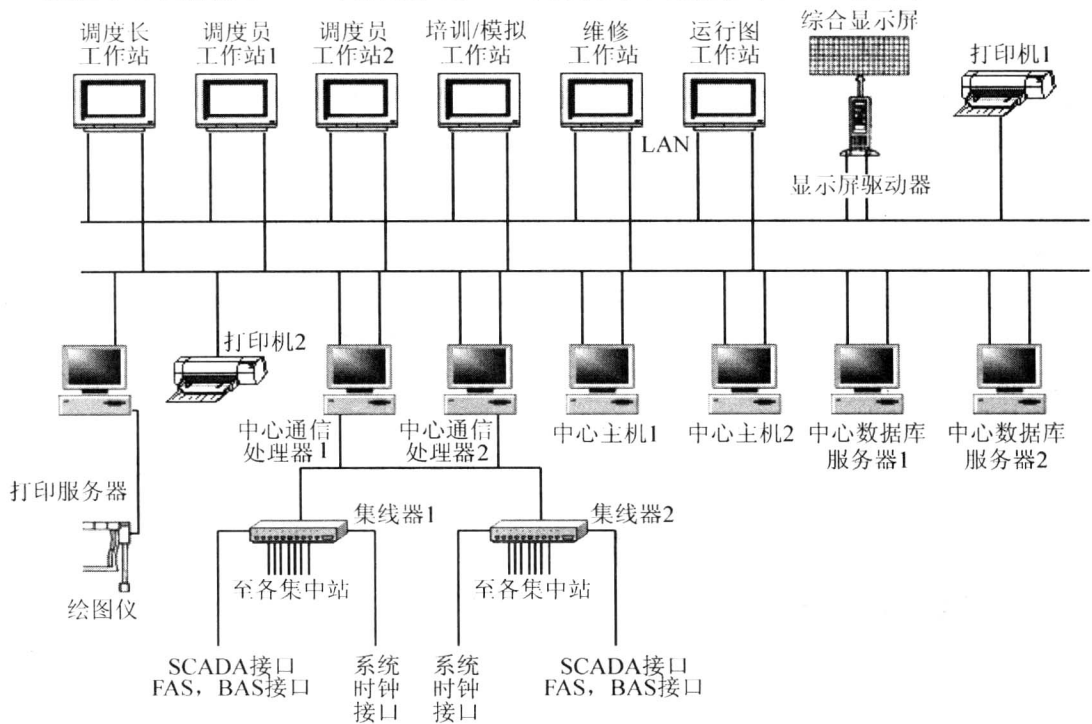


图 1-2 控制中心设备的组成

控制中心设备主要包括中心计算机系统、综合显示屏、调度员及调度长工作站、运行图工作站、培训/模拟工作站、绘图仪和打印机、维修工作站、UPS 及蓄电池组。其中,综合显示屏、调度员及调度长工作站设于主控制室,控制主机、通信处理器、数据库服务器、维修工作站设于设备室,运行图工作站设于运行图室,绘图仪和打印机设于打印室,培训/模拟工作站设于培训室,UPS 设于电源室,蓄电池组设于蓄电池室。

1. 中心计算机系统

中心计算机系统包括控制主机、通信处理器、数据库服务器、局域网及各自的外部设备。为保证系统的可靠性,主要硬件设备均为双机热备方式,可自动或人工切换。系统能满足自动控制、调度员人工控制及车站控制的要求。

2. 综合显示屏

综合显示屏设于控制中心的主控制室,用来监视正线列车的运行情况及系统设备的状态,由显示设备和相应的驱动设备组成。

3. 调度员及调度长工作站

调度员及调度长工作站用于行车调度指挥。

4. 运行图工作站

运行图工作站用于运行计划的编制和修改,通过人机对话可以实现对运行时刻表的编辑、修改及管理。

5. 培训/模拟工作站

培训/模拟工作站配有各种系统的编辑、装配、连接和系统构成工具以及列车运行仿真软件。它可与调度员工作站显示相同的内容,有相同的控制功能,能仿真列车的在线运行及各种异常情况,而不参与实际的列车控制。实习操作员可通过它模拟实际操作,培养控制系统的能力和各种情况下解决问题的能力。

6. 绘图仪和打印机

彩色绘图仪和彩色激光打印机用于输出运行图及各种报表。

7. 维修工作站

维修工作站主要用于 ATS 系统的维护、ATC 系统故障报警处理和车站信号设备的监测。

8. UPS 及蓄电池组

控制中心配备有在线式 UPS 及可提供 30 min 后备电源的蓄电池组。

二、车站及轨旁设备

车站分集中联锁站和非集中联锁站。集中联锁站一般为有道岔车站,也可能是无道岔车

站。非集中联锁站一般为无道岔车站。有道岔车站根据需求和可能也可以由邻近车站控制，而成为非集中联锁站。车站信号设备组成示意图如图 1-3 所示，图中 TWC 即车地通信。

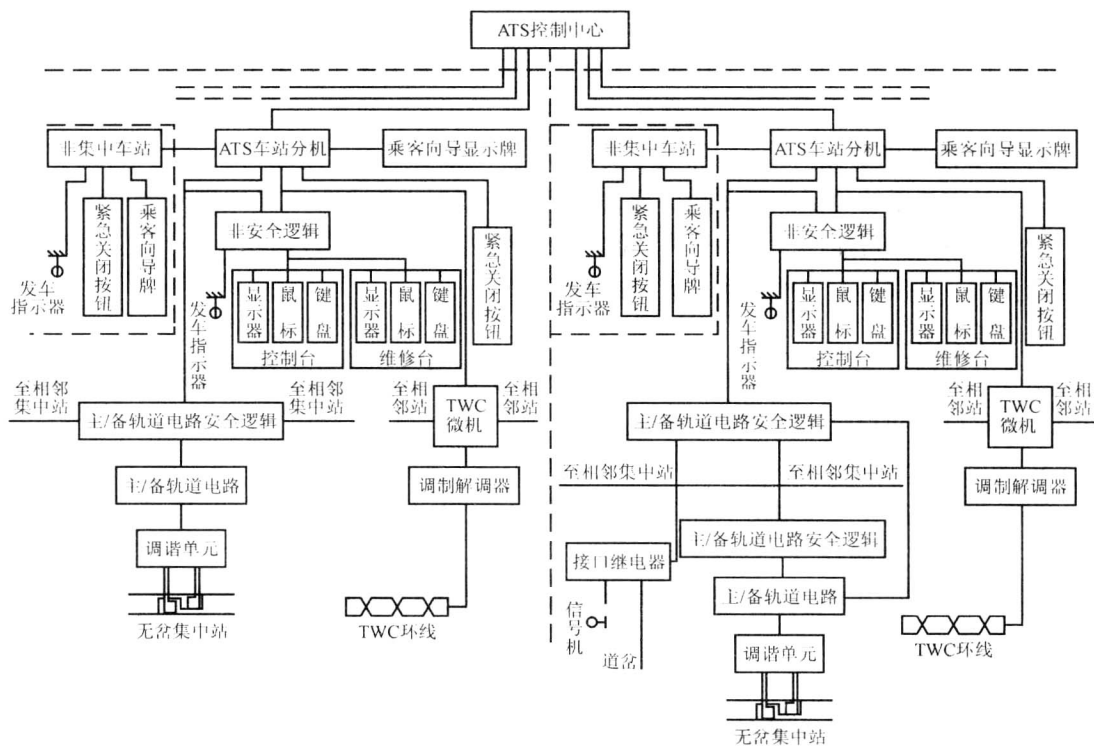


图 1-3 车站信号设备组成示意图

1. 集中联锁站及轨旁设备

集中联锁站设有 ATSCC 车站分机、车站联锁设备、ATP/ATO 地面设备、电源设备、维修终端、乘客向导显示牌、紧急关闭按钮、信号机及发车指示器和道岔。

(1) ATSCC 车站分机

集中联锁站设有一台 ATSCC 分机，用于采集车站设备的信息，接收控制命令，实现车站进路的自动控制。

(2) 车站联锁设备

车站设有继电集中联锁或计算机联锁，能接收车站值班员和 ATSCC 系统的控制，用以实现车站进路的自动控制。