

高等学校交通信息工程系列教材

# 轨道交通信号控制基础

轨道交通信号系统是轨道交通的重要组成部分。本书着重介绍运营基础、信号基础设备、故障-安全技术、铁路车站信号控制系统、区间行车控制基础、行车调度指挥管理系统、列车运行自动控制技术、基于通信的列车控制技术及列车运行自律分散技术。本书可作为高等院校交通工程、交通信息工程、轨道交通等专业本科生教材，也可作为交通信息工程与控制专业方向硕士研究生的参考教材，并可供有关工程技术人员、运营管理人员参考。

郎宗棣 曾小清 姜季生 编著

吴汶麒 主审



 同济大学出版社  
TONGJI UNIVERSITY PRESS

高等学校交通信息工程系列教材

# 轨道交通信号控制基础

郎宗棣 曾小清 姜季生 编著

吴汶麒 主审



同济大学出版社

TONGJI UNIVERSITY PRESS

## 内容提要

轨道交通信号系统是轨道交通的重要组成部分。本书着重介绍运营基础、信号基础设施、故障-安全技术、铁路车站信号控制系统、区间行车控制基础、行车调度指挥管理系统、列车运行自动控制技术、基于通信的列车控制技术 & 列车运行自律分散技术。本书可作为高等院校交通工程、交通信息工程、轨道交通等专业的本科生教材,也可作为交通信息工程与控制专业方向硕士研究生的参考教材,并可供有关工程技术人员、运营管理人员参考。

### 图书在版编目(CIP)数据

轨道交通信号控制基础/郎宗棣,曾小清,姜季生编  
著. —上海:同济大学出版社,2007.1  
(高等学校交通信息工程系列教材)  
ISBN 978-7-5608-3396-5

I. 轨… II. ①郎… ②曾… ③姜… III. 铁路信号—自动控制—高等学校—教材 IV. U283.1

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2006)第 136752 号

---

高等学校交通信息工程系列教材

## 轨道交通信号控制基础

郎宗棣 曾小清 姜季生 编著

责任编辑 马继兰 责任校对 谢惠云 封面设计 陈益平

---

出版发行 同济大学出版社 [www.tongjipress.com.cn](http://www.tongjipress.com.cn)

(地址:上海市四平路 1239 号 邮编:200092 电话:021-65985622)

经 销 全国各地新华书店

印 刷 同济大学印刷厂

开 本 787mm×1092mm 1/16

印 张 22.75

印 数 1-3100

字 数 568000

版 次 2007 年 1 月第 1 版 2007 年 1 月第 1 次印刷

书 号 ISBN 978-7-5608-3396-5/U·62

---

定 价 36.00 元

---

本书若有印装质量问题,请向本社发行部调换 版权所有 侵权必究

## 高等学校交通信息工程系列教材编委会

主任 杨东援

副主任 董德存

编委会委员

同济大学 杨东援 董德存 张 浩 严作人 张树京 吴汶麒

曾小清 张 轮

上海交通大学 刘允才 朱 杰 何 晨 敬忠良 李建勋

上海大学 费敏锐 陈惠民

华东理工大学 顾幸生

北方交通大学 徐洪泽

上海海运学院 金永兴 汤天浩 施朝健 宗蓓华 周溪召

蔡存强 陈伟炯 丁以中 施 欣

西南交通大学 王长林

南京航空航天大学 王成华

上海电信技术研究院 祁庆中

东华大学 丁永生

上海第二工业大学 蒋川群

常州工学院 肖闯进

大连海事大学 任 光

集美大学 邵哲平

华东船舶工业学院 王建华

镇江高等专科学校 杨国祥

武汉理工大学 刘明俊

地铁建设有限公司 裘哲雷 黄 钟

深大通信网络有限公司 关志超

上海城市交通信息中心 朱 昊

普陀区科学技术委员会 张小松

中兴通讯股份有限公司 钟 宏

上海船舶运输科学研究所 徐永发

上海海滔通信技术有限公司 张臣雄

东南大学无线电工程系 吴镇扬

常州电信局 郭建冬

上海铁路局城市轨道交通设计研究院 曹俊文 刘 藩

## 总 序

随着信息技术突飞猛进地发展,大力推动了全球信息化前进步伐。信息化带动工业化已经明显地促进了国民经济的持续发展。同时,信息技术也为综合交通(铁路、公路、水运、航运以及城市交通)的现代化和智能化带来了无限生机和活力,由此诞生了一个崭新的专业,这就是交通信息工程专业。

为了培养 21 世纪我国乃至全球紧缺的交通信息工程领域内的高级专门人才,同时为了深化高等院校课程体系改革和教材建设的急需,同济大学出版社邀请了上海乃至全国有关交通、信息、通信、控制等领域的专家和教授,组成了阵容强大的交通信息工程专业系列教材编委会,他们在长期从事教学科研和工程领域的基础上,规划并编写出一套面向高校本科的交通信息工程专业系列教材,并将陆续出版发行。

这套教材具有明显的交通信息工程专业特色,是国内首创,国外也不多见。编写这套教材的宗旨在于培养学生综合运用多门学科知识的能力,提高交叉复合型人才的素质。它是以综合交通系统的信息化、智能化、集成化和网络化为核心,全面运用信息、通信、控制及计算机等高新技术,结合交通系统工程的特点,大力改进和实现交通系统的现代化,以便迎接 21 世纪全球经济一体化的挑战。

这套教材具有“厚基础、强背景、宽专业、重综合”,以及交叉多门学科领域的实用型信息工程专业本科教材的特点,主要为交通信息工程应用类,但对于其他实用型信息工程类专业(如经济信息、社会信息、军事信息、人文信息、医学信息、工程信息等)也具有一定的参考价值,同时也可以作为成人教育、网络教育、高职教育、人员培训等授课教材,同样也适合自学者使用。

这套教材的内容结构是围绕着综合交通系统的信息化和智能化,全方位地展示各种新技术和新方法,并强调理论联系实际,专业基础教材有练习,专业教材有案例。同时,紧密配合本科教学计划和课程体系,着重于基本原理和实用技术方面的内容,体现知识和技能的有机结合,全面培养学生理论分析和独立解决问题的能力,进一步拓展知识面,激发学生学习的积极性和创新意识。

这套教材可以按照教学计划和课程体系分别安排在不同学年的专业基础类和专业类课程系列内,并根据教学大纲和教学时数安排为必修课或选修课。

张 晓

2003年12月5日

## 前 言

世界轨道交通发展的历史表明:轨道交通是解决大气污染、噪声污染、交通拥挤等问题的有效交通方式。轨道交通信号系统是轨道交通的重要组成部分,对于提高运营与管理水平起着至关重要的作用。

20世纪50年代起,我国成立了多所由铁道部领导的铁道学院,铁路信号专业是原铁道学院的主要专业之一,主要专业课程有铁路信号运营基础、铁道信号基础设备及原理、区间信号自动控制、车站信号自动控制、铁道信号远程控制、驼峰信号自动控制及列车控制自动化等。近半个世纪以来,积累了丰富的专业教学资源与经验,为我国的铁路事业输送了数以万计的铁路信号系统专业人才。原铁路信号专业的教学与研究是本教材的主要编写基础。

改革开放以来,随着社会主义市场经济的发展,行业办学模式已被打破,我国高等教育体制进行了一系列的改革,旨在培养理论结构合理、知识面宽广、具有创新能力的适应社会不断发展的高素质人才。在此背景下,铁路的专业教学内容已被纳入广义的大交通范畴。伴随着我国城市轨道交通的发展,铁路的概念已演化成“轨道交通”,轨道交通分为城市轨道交通与城际间轨道交通(我国俗称“大铁路”)。我们以多年来大铁路的教学资源为基础,增加了城市轨道交通有关电子、计算机和通信技术的现代信息控制技术、智能轨道交通控制技术等内容,面向“交通信息工程”专业的本科生开设“轨道交通信号控制基础”课程。该教材是“高等学校交通信息工程系列教材”中的一本。

本教材主要适用于交通信息工程专业本科生的专业必修课教材,也可用于交通信息工程及控制专业和相关专业的研究生参考教材,还可作为高等职业学校的专业基础课程。同时,也为从事轨道交通规划设计、信号系统建设与设计及运营组织管理的专业技术人员提供技术参考资料。

本教材分为8章:

第1章 运营基础:介绍轨道交通和轨道交通信号的作用、列车运行、分界点和车站分类等运营基础知识。

第2章 信号基础设备:介绍信号继电器原理、信号机、动力转辙机和轨道电路等基础设备。

第3章 故障-安全技术:介绍故障-安全计算机、容错等技术。

第4章 铁路车站信号控制系统:介绍车站信号控制系统基本概念、车站信号控制系统设计和电路原理和计算机联锁系统。

第 5 章 区间行车控制基础:包括区间行车概论、半自动闭塞与自动闭塞。

第 6 章 行车调度指挥管理系统:介绍调度指挥管理信息系统的基本原理、调度集中与行车指挥自动化。

第 7 章 列车运行自动控制技术:介绍现代列车运行自动控制系统的速度控制模式、列控系统的系统构成、列控系统的应用等级、典型的列控系统以及机车信号与超速防护。

第 8 章 列车运行自律分散技术:包括自律分散系统基本原理、轨道交通信号系统中的自律分散技术。

本书是作者在多年来从事轨道交通信号控制专业的教学及研究基础上撰写的。本书的编著人员分工如下:第 1,2,3,5,6,7 章由郎宗棫副教授执笔;第 4 章由姜季生副教授执笔;曾小清副教授执笔第 8 章,并参加了第 2,4,6,7 章的编写,担任本书的总体编排;董德存教授、赵时旻高级工程师对全书的构架提出了宝贵的指导性建议。此外,硕士研究生白涛、牛振宇、杨涛、吴娟、刘艳梅在文档输入、内容编辑等方面做了大量工作,并参与第 4,8 章的编写;本书引用了国内外从事轨道交通研究的专家、学者的研究成果,并得到了他们的热情指导,在此一并表示谢意。

由于编写时间较紧,作者水平有限,书中难免存在疏漏和错误,敬请读者能将意见反馈回来,以便今后修订和完善。曾小清副教授的联系地址:zengxq@mail.tongji.edu.cn。

编著者  
2006 年 8 月

# 目 次

总序

前言

第 1 章 运营基础 .....	(1)
1.1 轨道交通和轨道交通信号的作用 .....	(1)
1.1.1 轨道交通的作用和组成 .....	(1)
1.1.2 轨道交通信号的作用 .....	(2)
1.1.3 轨道交通线路 .....	(4)
1.2 列车运行、分界点和车站分类 .....	(8)
1.2.1 列车的基本知识 .....	(8)
1.2.2 分界点的作用和分类 .....	(9)
1.2.3 车站与信号机 .....	(10)
1.3 列车运行图和区间通过能力 .....	(16)
1.3.1 列车运行图 .....	(16)
1.3.2 列车运行图的要素及其计算 .....	(18)
1.3.3 车站间隔时间 .....	(20)
1.3.4 追踪列车间隔时间 .....	(24)
1.3.5 区间通过能力与信号设备的关系 .....	(25)
第 2 章 信号基础设备 .....	(30)
2.1 信号继电器原理 .....	(30)
2.1.1 直流无极电磁继电器工作原理 .....	(30)
2.1.2 直流继电器的电特性 .....	(31)
2.1.3 其他类型安全型继电器 .....	(31)
2.1.4 安全型继电器的特点 .....	(33)
2.1.5 继电器的图形符号和继电器电路的组成和分析方法 .....	(33)
2.1.6 继电器接点电路逻辑基础 .....	(40)
2.2 色灯信号机 .....	(45)
2.2.1 信号机的用途 .....	(45)
2.2.2 透镜式色灯信号机结构原理 .....	(46)
2.2.3 LED 色灯信号机结构原理 .....	(48)
2.2.4 铝合金色灯信号机构 .....	(50)
2.3 动力转辙机 .....	(50)



2.3.1	道岔	(50)
2.3.2	动力转辙机的基本任务	(52)
2.3.3	ZD6 系列电动转辙机	(54)
2.3.4	外锁闭装置	(57)
2.3.5	S700K 型电动转辙机	(66)
2.3.6	ZY 系列电液转辙机	(80)
2.4	轨道电路	(91)
2.4.1	轨道电路概述	(91)
2.4.2	工频交流连续式轨道电路	(97)
2.4.3	电气化牵引区段的轨道电路	(106)
2.4.4	轨道电路的基本工作状态和基本参数	(108)
2.4.5	城市轨道交通无绝缘轨道电路和数字轨道电路	(112)
<b>第3章</b>	<b>故障-安全技术</b>	<b>(119)</b>
3.1	故障-安全原理	(119)
3.1.1	安全性和可靠性概念	(119)
3.1.2	故障-安全原理	(120)
3.1.3	系统输入输出信号安全要求和对策	(122)
3.1.4	安全性评估	(126)
3.2	信号安全技术	(133)
3.2.1	故障-安全计算机	(133)
3.2.2	硬件安全性技术分类	(135)
3.2.3	软件安全性技术分类	(137)
3.2.4	容错技术	(139)
3.2.5	铁路信号安全技术	(145)
<b>第4章</b>	<b>铁路车站信号控制系统</b>	<b>(151)</b>
4.1	车站信号控制系统基本概念	(151)
4.1.1	进路与信号机	(152)
4.1.2	道岔的位置和状态	(157)
4.1.3	道岔、进路和信号机之间的联锁	(161)
4.1.4	联锁系统概述	(166)
4.1.5	进路控制过程	(170)
4.2	车站信号控制系统设计和电路原理	(172)
4.2.1	电气集中设备简介	(172)
4.2.2	进路选择电路	(175)
4.2.3	执行组电路	(183)
4.2.4	进路解锁电路	(197)

4.3	计算机联锁系统 .....	(202)
4.3.1	计算机联锁系统的硬件结构 .....	(203)
4.3.2	计算机联锁系统的软件简介 .....	(213)
<b>第5章</b>	<b>区间行车控制基础 .....</b>	<b>(225)</b>
5.1	区间行车概论 .....	(225)
5.2	半自动闭塞 .....	(227)
5.2.1	半自动闭塞概况 .....	(227)
5.2.2	64D型继电半自动闭塞 .....	(230)
5.3	自动闭塞 .....	(241)
5.3.1	自动闭塞概述 .....	(241)
5.3.2	区间通过信号机的设置 .....	(248)
5.4	装备列车运行自动控制的自动闭塞 .....	(259)
5.4.1	固定闭塞 .....	(259)
5.4.2	准移动闭塞 .....	(260)
5.4.3	虚拟闭塞 .....	(260)
5.4.4	移动闭塞 .....	(260)
<b>第6章</b>	<b>行车调度指挥管理系统 .....</b>	<b>(262)</b>
6.1	列车调度指挥系统的基本原理 .....	(262)
6.1.1	列车调度指挥系统的层次 .....	(263)
6.1.2	列车调度指挥系统的主要功能 .....	(263)
6.1.3	系统结构和信息源 .....	(266)
6.1.4	铁道部调度指挥管理中心 .....	(268)
6.1.5	TDCS系统软件、数据库、接口设计及软件开发项目 .....	(272)
6.1.6	基础信息采集系统 .....	(277)
6.1.7	数据通信规程和站场显示描述文件格式 .....	(279)
6.2	调度集中与行车指挥自动化 .....	(290)
6.2.1	调度集中 .....	(290)
6.2.2	行车指挥自动化 .....	(295)
<b>第7章</b>	<b>列车运行自动控制技术 .....</b>	<b>(297)</b>
7.1	列车运行自动控制系统的速度控制模式 .....	(297)
7.1.1	分级速度控制 .....	(297)
7.1.2	目标距离速度控制 .....	(299)
7.1.3	控制模式简表 .....	(300)
7.2	列控系统的系统构成 .....	(300)
7.3	列控系统的应用等级 .....	(301)
7.3.1	CTCS 0级 .....	(302)

7.3.2	CTCS 1 级 .....	(302)
7.3.3	CTCS 2 级 .....	(302)
7.3.4	CTCS 3 级 .....	(303)
7.3.5	CTCS 4 级 .....	(303)
7.3.6	等级对照 .....	(303)
7.4	典型的列控系统 .....	(304)
7.4.1	法国 U/T 系统 .....	(305)
7.4.2	日本 ATC 系统 .....	(305)
7.4.3	欧洲 ETCS 系统 .....	(306)
7.4.4	德国 LZB 系统 .....	(306)
7.4.5	信息传输媒介 .....	(306)
7.5	机车信号与超速防护 .....	(307)
7.5.1	机车信号系统 .....	(308)
7.5.2	列车超速防护系统 .....	(309)
<b>第 8 章</b>	<b>列车运行自律分散系统技术 .....</b>	<b>(310)</b>
8.1	自律分散系统基本原理 .....	(310)
8.1.1	ADS 简介 .....	(310)
8.1.2	ADS 的基本构成 .....	(311)
8.1.3	ADS 技术举例 .....	(312)
8.1.4	用 ADS 概念构建列车自动控制系统的优点 .....	(313)
8.1.5	ADS 技术的成熟性 .....	(315)
8.2	基于自律分散技术的轨道交通信号系统 .....	(315)
8.2.1	自律分散信号系统的特征 .....	(316)
8.2.2	自律分散型 ATS 子系统特征 .....	(316)
8.2.3	ATP/联锁/ATO 子系统 .....	(322)
8.2.4	通信与软件解决方案 .....	(327)
8.3	智能型分散自律调度集中系统(CTC) .....	(328)
8.3.1	CTC 系统的自律分散特征 .....	(328)
8.3.2	分散自律调度集中(CTC)系统硬件结构 .....	(329)
8.3.3	分散自律调度集中(CTC)系统功能模块 .....	(331)
8.3.4	分散自律调度集中(CTC)系统技术条件 .....	(334)
<b>参考文献</b>	.....	<b>(347)</b>
<b>编著者简介</b>	.....	<b>(349)</b>

# 第 1 章 运营基础

## 1.1 轨道交通和轨道交通信号的作用

### 1.1.1 轨道交通的作用和组成

现代化的运输方式有轨道交通、公路、水运、航空和管道五种。轨道交通又可分为铁路和城市轨道交通。与其他运输方式相比,铁路运输具有运量大、成本低、速度快、安全可靠、能全天候运输等众多优势。我国铁路承担全国客货总周转量的 60%~70%,这说明铁路运输在国民经济中具有重要的地位。

随着我国经济的发展、城市化进程的快速推进和以市场经济为主导的商务活动的日益频繁,城市交通矛盾逐渐严重,发展大容量环保型、经济型的城市轨道交通已成为解决大城市交通矛盾的关键。《国家产业政策政策》明确指出:“在百万人以上城市,要优先发展以轨道交通为主的公共交通系统。”目前,我国 100 万人口以上的城市已发展到 40 多个,获得城市轨道交通建设规划批复的城市已有 15 个,总长 1460 多公里。总投资规模约 5000 亿元左右,规划在 10~15 年,即在“十一五”至 2020 年间建成。还有一些城市的轨道交通规划待批,或正在规划编制中。在“十一五”至 2020 年期间,中国城市轨道交通的需求是很大的。近几年,我国对管理体制、投资方向、如何降低工程造价、技术难题攻关以及设备国产化方面做了大量的研究并取得了突破性进展。随着城市轨道交通工程造价不断降低和建设资金筹措能力的增强,大规模修建城市轨道交通的条件已经具备。

中国城市轨道交通现已进入快速发展阶段,在把握机遇、快速发展的同时,更应重视政策的指导作用,因此,在可持续发展的战略指导下,发展城市轨道交通具有重大的现实意义。

轨道交通运输设备是完成轨道交通运输任务的物质基础。它主要有以下几类技术设备组成:

① 线路和沿线的各种车站:线路是列车运行的基础,而沿线的各种车站则是办理客货运输的生产基地。

机车车辆以及机车车辆的修理与整备设备:机车是轨道交通运输的牵引动力,而车辆则是一装载旅客和货物的工具,修理与整备设备又是为保持机车车辆的完好和正常运用的必要条件。

轨道交通的通信、信号设备是轨道交通运输的耳目,是保证行车安全和提高运输效率的有力工具。一旦通信设备及信号设备故障,特别是信号设备故障,轨道交通运输将陷于瘫痪,整个国民经济将遭受严重损失,因此,人们将通信信号比喻为轨道交通的神经系统。

我国铁路企业的管理组织,目前的基本形式为铁道部、铁路局、站段、实现统一指挥,分级管理。在铁路企业内,设有运输、机务、车辆、电务、工务、材料供应、工厂、基本建设等各方面业务部门,专门从事各项具体的业务活动,并且各业务部门之间紧密联系协调地进行生产活动。

## 1.1.2 轨道交通信号的作用

### 1. 轨道交通运输安全与轨道交通信号

轨道交通运输的基本任务是运送旅客,运送国民经济建设和工农业生产中所需要的货物。因为要切实保证旅客和货物平安、完整地运送到目的地,因此,运输的安全是运输业中永恒的主题。另外,在运输中,如何能使轨道交通运输效率最高,达到高密度、重载和高速也是运输业中追求的目标。

影响轨道交通运输安全的因素可分为轨道交通外部因素和轨道交通内部因素。轨道交通外部因素,又可分为人为和自然灾害两部分。人为因素:旅客携带危险物品,不法分子破坏线路和列车,道口机动车不按道口信号通行,汽车司机抢道行驶、偷盗铁路运营设备等。自然灾害有洪水冲垮线路、地震、塌方落石等。路内的因素主要表现为各种铁路设备的不良和违章作业两大方面。影响轨道交通运输安全的因素非常复杂,而且发生的地点和时间又是随机的。因此,从铁路一开始出现,人们就采用信号指挥列车运行,从原始的烛光信号到各种类型的现代化轨道交通信号系统和设备。并把铁路信号中的故障-安全技术作为一个专题进行研究,经过长期的实践、积累经验、不断改进,一直发展成以故障-安全为中心的轨道交通信号技术设备。

在运输的实践中,即使轨道交通线路、桥梁、机车和车辆等设备在良好的情况下,也会发生列车冲突和颠覆事故。发生列车冲突的原因是两列或多列列车同时占用一个空间造成的,或是由于道岔位置不正确而导致列车驶入异线而造成侧面冲撞。另外,列车速度超过了限制速度也会引起颠覆事故。为保证安全,把线路划分成若干段,每一段为一个空间,在一个空间内只允许一列列车按规定速度运行。如何保证一个空间只允许一列列车运行?就要在划定的空间入口处设置信号机以指挥列车能否可以驶入该空间。信号机的开放,必须检查线路空闲和线路状态良好,防止错误操作等安全技术与信号控制技术相结合,就构成了轨道交通信号安全系统,简称轨道交通信号(也是我们常说的信号、联锁,闭塞设备的总称)。

既然以信号机的显示作为列车安全运行的凭证,即显示进行信号,允许列车驶入防护的空间,显示禁止信号,则不准列车驶入防护空间,当安全技术设备和信号机的控制设备发生故障时,应立即关闭信号,给出禁止信号,禁止列车驶入信号机防护的空间,这就是铁路信号系统中的故障-安全原则。

轨道交通信号另一种意义是对行车人员和与行车有关人员,发出指示列车运行和调车工作的命令,使行车人员必须按照信号的指示办事。目前采用视觉信号,这种信号显示只指明安全运行条件,而列车运行的安全在很大程度上操纵在司机手中。当轨道交通运输发展到高速、高密和重载的情况时,增大了识别信号和驾驶列车的难度,甚至发生冒进信号的事故。因此,仅靠视觉信号显示,来保证行车安全就不能满足实际需要,而需要将视觉信号变换成电信号,作为列车速度控制系统的一个参量,即使在人工驾驶失控时,至少可防止列车冒进。于是,就出现了自动停车、超速防护和速度自动调整等安全速度控制系统,这些安全速度控制系统也必须是故障-安全的,即系统发生故障时,必须使列车速度不得超过规定速度、或降速乃至可停车。

总之,轨道交通信号系统是为保证运输安全而诞生和发展的。系统的第一使命是保证行车安全,所以,系统本身是故障-安全的。并且是一种实时控制系统,它必须十分可靠才能实现它的功能。

## 2. 轨道交通信号在轨道交通运输中的地位和作用

轨道交通运输系统是由机务、车务、工务、电务及车辆五大子系统,在运营人员的管理下,共同完成运输生产任务,实现旅客和货物的位移,形成人·公里、吨·公里。这就是轨道交通运输所形成的产品,它蕴含着五大子系统所创造的价值。轨道交通信号担负着指挥列车运行,保证行车安全,从而保证列车安全,畅通的运送旅客和货物。轨道交通信号是轨道交通运输生产的一个生产部门。它在轨道交通运输国民经济中占有极其重要的地位。轨道交通信号的作用如下:

### (1) 保证行车安全

轨道交通信号确保运输安全的使命可以概括为减少事故件数、降低事故等级、缩小事故损失和承担事故转移。

### (2) 轨道交通信号设备具有投资少、见效快、效益高、贡献大的显著特点

轨道交通信号设备简单地分为车站信号、编组站调车自动化、区间信号(半自动闭塞、自动闭塞、机车信号、自动停车装置)和信号远程控制(调度集中)。

在轨道交通建设中,用于通信信号的投资不到总投资的5%,但发挥了很大的经济效益,据统计和测算,通信信号的效益占全路运输总效益的25%以上。信号在提高运输效率方面表现为加大行车密度,减少列车车辆停留及作业时间,指挥列车安全地按列车运行图运行。据有关资料统计,双线自动闭塞可提高通过能力1~2倍,单线自动闭塞在运输组织解决追踪车流条件下,可提高通过能力25%~30%,并且可延缓双线的投资。采用单线调度集中时,区间为半自动闭塞调度集中比非调度集中提高19%~24%,区间为自动闭塞调度集中比非调度集中提高15%~18%。如陇海线郑商段单线调度集中运营13年。在不增加车站到发线的情况下,提高通过能力为12%~24%。

有关信号投资少、效益大的例子不胜枚举,在现代轨道交通运输中若信号停用,全路运输立即处于瘫痪状态,损失将是无法估计的。

### (3) 信号在轨道交通现代化中的作用

在轨道交通现代化建设中,除了投入适量资金建设少量新线外,把重点放在既有运输设备的扩能改造上。首先从繁忙的京沪,京广,京哈三条干线,逐步进行强化改造。其方针是依靠科技进步——主要是信息技术和牵引动力,来促进铁路现代化的步伐。

例如郑州北编组站综合自动化系统,它是现代化信息技术在铁路中应用的一个典范。它将计算机应用于铁路信号系统中,实现了作业过程控制系统,信息处理系统和支持系统,完成了编组站驼峰作业全部自动化的功能,提高了解编能力,保证了解编作业安全,改善了运输人员的劳动条件。该项目投资仅2400万元,但年效益在1亿元以上。又如为保障客、货列车运行的安全,防止列车冒进信号,在“八五”期间,研制了实现超速防护的技术设备。

开发高速铁路是展示铁路现代化的又一显著标志。国务院批准建设的京沪轮轨高速铁路和沪杭磁悬浮高速铁路速度分别可达350km/h和450km/h。

轨道交通信息技术方面包括三个重要的子系统:

- 列车运行自动控制子系统(ATC);
- 列车调度信息管理子系统(CTC);
- 综合数字通信网子系统(IDN)。

这三个子系统中前两项都与信号有关，所以，上述实例足以说明信号在轨道交通现代化中的重要作用。

总之，信号是轨道交通运输生产的一个生产部门，它的作用是保证行车安全，提高运输效率，提高劳动生产率，改善运输人员的劳动条件，是直接指挥行车的工具，在轨道交通现代化建设中，越来越显示其重要作用。

### 1.1.3 轨道交通线路

为了保证列车运行的安全，必须根据线路状态向司机发出信号显示以指挥行车，而发出信号显示的信号机安装在线路旁，信号的设置位置又与线路状态有直接关系，所以要求信号人员要对线路有一定的认识。

#### 1. 线路的组成

机车车辆走行的通路叫线路。它是由轨道和下部建筑两部分组成。

轨道(也称上部建筑)由钢轨、轨枕、道床、道岔和联结零件、防爬设备等组成。如图 1-1(a)所示。

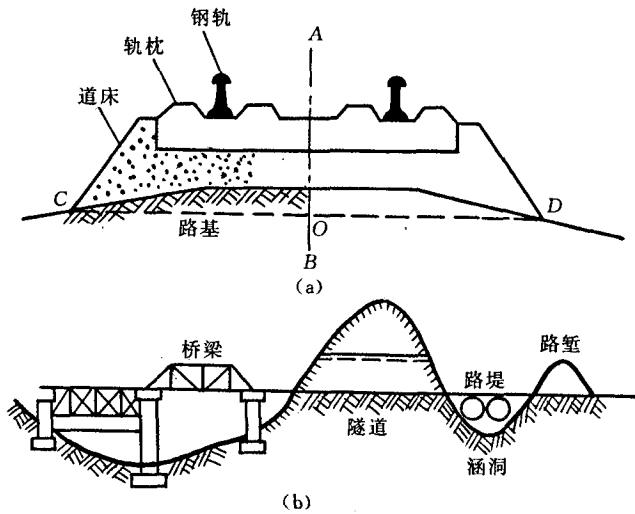


图 1-1 轨道和下部建筑

道床是铺设在路基面上的道碴(碎石或砂子)层,其作用是将轨枕传下来的压力均匀地传给路基,排除轨道中的雨水,阻止轨枕移动和缓和车轮对钢轨的冲击,使轨道具有足够的弹性。

由于我国用钢轨传输信号电流构成轨道电路,道床的状态对轨道电路影响很大,所以对道床材料有一定要求。为了提高线路阻力,保持轨道稳定,对于不同线路条件有不同的道床断面尺寸。在自动闭塞区段,为了避免传失轨道电流,道床顶面应比轨枕顶面低 20~30mm。

轨枕是钢轨的支座,并用它保持钢轨的位置,方向及轨距。轨枕按制造材料分有木枕和钢筋混凝土枕两种,不论采用哪一种轨枕,对轨道电路来说,都要求它对钢轨有较好的电气绝缘。在曲线处除用轨枕保持轨距外,还加装有轨距杆,使调整好的轨距不变,设有轨道电路时,轨距杆要实行电气绝缘。我国普通轨枕的长度为 2.5m,道岔用的岔枕和桥梁上用的桥枕,其长度

有 2.6~4.85m 等多种。每公里线路上铺设轨枕的数量,一般在 1440~1840 根之间,应结合运量和行车速度等运营条件而确定。

钢轨是承受列车车轮传来的力并把此力传给轨枕,引导列车按一定方向运行。因而它应具备足够的强度,稳定性和耐磨性,我国和多数国家一样,采用稳定性良好的宽底式钢轨,它的断面很像工字梁,包括轨头、轨腰、轨底三个部分。

钢轨类型是以每米钢轨重量来表示,如 70kg/m、60kg/m、50kg/m、43kg/m 等。钢轨越重越能承受较大的冲击力。在车辆的载重不断加大,列车速度不断提高的情况下,今后将广泛使用重型钢轨。地铁正线要求用 50kg/m 以上钢轨。

两根钢轨间的距离我国采用 1435mm。

钢轨长度,目前我国钢轨的标准长度有 12.5m 和 25m 两种。在铺设时,为了消除车轮通过轨缝处所引起的冲击力,可把钢轨焊接成几百米或几十米一段,即所谓长钢轨。钢轨越长,接缝越少,可节省联结零件,也可减少行车阻力和节省线路及机车车辆的维修费用。长钢轨对轨道电路也有利,因为可以节省在钢轨接缝处用的导接线,可以使钢轨阻抗更加稳定。沪宁线长钢轨长达 303m。

钢轨接缝处的联结零件包括鱼尾板、螺栓、螺帽和弹性垫圈等部分。钢轨接缝处必须保持的缝隙叫做轨缝。当温度变化使钢轨产生伸缩时,它可以起调节作用。在装有轨道电路的区段,轨道电路的两端要在钢轨接缝处装上电气绝缘,叫做钢轨绝缘,在轨道电路中间的钢轨接缝处,要用导接线把接缝两边的钢轨连接起来,以便使钢轨阻抗稳定不变,更好地导通信号电流。由此可见,钢轨接缝越少,对轨道电路越有利。在轨缝处安装的钢轨绝缘与钢轨类型有关,例如有 50kg/m 钢轨用的钢轨绝缘,60kg/m 钢轨用的钢轨绝缘等。

列车运行时,常常产生作用在钢轨上的纵向力,使钢轨作纵向移动,有时甚至带动轨枕一起移动,叫做爬行。线路爬行往往引起轨缝不均,轨枕歪斜,甚至涨轨跑道,威胁行车安全。钢轨爬行也会使道岔不能转换。为此,在容易产生爬行的线段,例如在列车经常实行制动的线段或单向运行的线段,都需要安装防爬设备,如安装防爬器和防爬撑等。

下部建筑由路基、桥梁、隧道、涵洞等设备组成,如图 1-1(b)所示。在实际管理中,除路基外都不属于“线路”范围。

## 2. 线路与信号

铁路等级是铁路的主要技术标准之一。我国《铁路线路设计规范》(简称《规范》)中规定,新建和改造铁路(或区段)的等级,应根据它们在铁路网中的作用、性质和远期的客货运量确定。其等级划分为三个等级,即 I 级、II 级、III 级。具体的条件见表 1-1。

表 1-1 铁路等级

等级	铁路在路网中的意义	远期年客货运量
I 级	在铁路网中起骨干作用的铁路	$\geq 20\text{Mt}$
II 级	1. 在铁路网中起骨干作用的铁路 2. 在铁路网中起联络,辅助作用的铁路	$< 20\text{Mt}$ $\geq 10\text{Mt}$
III 级	为某一区域服务,具有地区运输性质的铁路	$< 10\text{Mt}$



每天一对客车按 1.0 个百万吨(Mt)货运量折算。但是,近年出现的客运专线和轮轨及磁悬浮高速铁路不在这个标准范围内。

(1) 线路平面与信号的关系

为便于司机瞭望,信号机最好设在线路的直线线段上,因为曲线会影响信号机的显示距离。如图 1-2 所示。尽管信号光束的散角为上下 2°,但在曲线处仍不能保证司机能连续地看到信号显示。为此,当信号机的设置位置避不开小半径的曲线时,有必要在信号机机构内增设一块偏光玻璃,以扩大信号光束的散角。

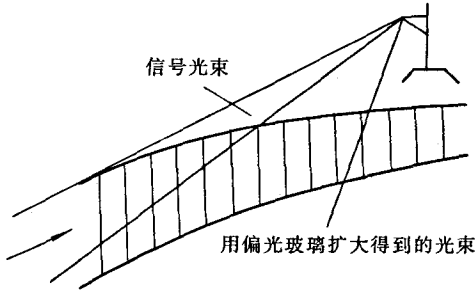


图 1-2 线路曲线与信号机光束

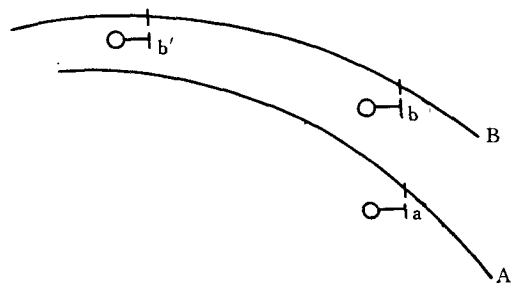


图 1-3 在曲线处并排设置信号机

在两条平行线路的曲线处,若一前一后设置信号机时,最容易被司机误认。如图 1-3 所示,在夜间,由 A 方向开来的列车,容易把信号机 b' 的信号显示误认为是给自己的,因为从远处看信号机 b' 的信号显示在左侧,而信号机 a 的信号显示反而在右侧。为此,在曲线处不准一前一后设置信号机,必须并排设置,如图中信号机 a 和信号机 b 那样。

信号机设在线路旁离开线路中心要有一定距离,要符合建筑接近限界要求。因为曲线处的轨距有时加宽,这时信号机距曲线线路中心的距离也应该相应地加大。

各级铁路的建设标准,主要是其区间线路的最小曲线半径和最大限制坡度。具体规定如表 1-2。

表 1-2 区间线路最小曲线半径

铁路等级	路段设计行车速度(km/h)	最小曲线半径(m)	
		一般路段	困难路段
I	160	2000	1600
	120	1200	800
	80	500	450
II	120	1000	800
	80	450	400
III	100	600	550
	80	400	

对于客运专线(如秦沈客运专线)来说,区间线路的最小曲线半径为 2800m,不得低于 2200m。

地铁曲线半径一般不小于 300m,困难地段不得小于 250m。