

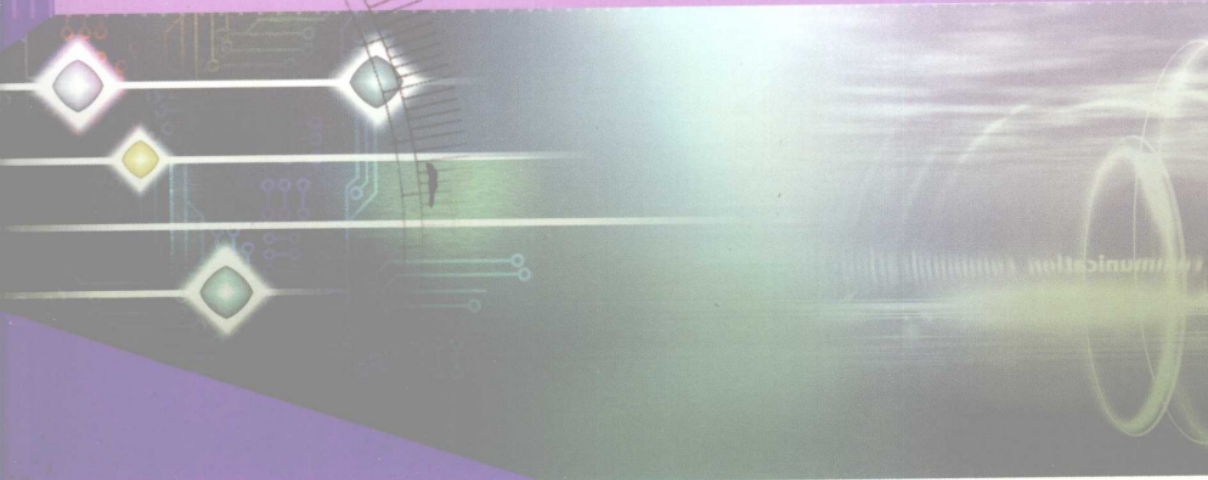
QUJIAN XINHAO YU LIECHE YUNXING
KONGZHI XITONG

高等学校教材

QUJIAN XINHAO YU LIECHE YUNXING
KONGZHI XITONG

区间信号与列车运行 控制系统

董 昱 主编



中国铁道出版社
CHINA RAILWAY PUBLISHING HOUSE

责任编辑: 武亚雯 刘红梅
封面设计: 薛小卉



中国铁道出版社

CHINA RAILWAY PUBLISHING HOUSE

地址: 北京市宣武区右安门西街8号

邮编: 100054

网址: WWW.TDPRESS.COM

ISBN 978-7-113-08069-3



9 787113 080693 >

ISBN 978-7-113-08069-3 / TP · 2427

定 价: 38.00 元

高等学校教材

区间信号与列车运行 控制系统

董昱 主编

中国铁道出版社

2008·北京

内 容 简 介

本书根据目前铁路信号技术的最新发展及发达国家高速铁路列车运行控制系统的新技术设备,结合教学改革的要求,参考了大量的参考文献编写而成。全书分为两篇共8章内容。

第一篇介绍传统的区间闭塞的内容,主要包括:第1章区间闭塞基础,第2章半自动闭塞,第3章区间自动闭塞,第4章机车信号与站内电码化。

第二篇介绍适用于CTCS-2、CTCS-3和CTCS-4系统的相关内容,主要包括:第5章列车运行控制系统原理,第6章CTCS-2级列车运行控制系统,第7章应答器原理及应用,第8章列车运行控制系统技术应用。

通过对相关基础理论和目前使用的主要闭塞技术所实现的自动闭塞系统,如TVM430、日本ATC和ITCS系统的分析,本书力求把我国目前主流的信号设备工作原理、所涉及的基础理论及工程应用有机地结合在一起。

本书可作为铁道信号(交通信息工程及控制)专业本科生的专业课教材,也可作为相关专业研究生和广大铁路信号专业技术人员学习铁路区间信号和列车运行控制系统的参考资料。

图书在版编目(CIP)数据

区间信号与列车运行控制系统/董昱主编. —北京:中国铁道出版社,
2008.6
ISBN 978-7-113-08069-3

I. 区… II. 董… III. ①铁路信号②列车-运行-控制系统
IV. U284

中国版本图书馆CIP数据核字(2008)第079562号

书 名: 区间信号与列车运行控制系统
作 者: 董 昱 主 编

责任编辑: 武亚雯 刘红梅 电话: 010-51873132 电子邮箱: wyw716@163.com
封面设计: 薛小卉
责任校对: 张玉华
责任印制: 金洪泽 陆 宁

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)

网 址: <http://www.tdpress.com>

印 刷: 北京市兴顺印刷厂

版 次: 2008年6月第1版 2008年6月第1次印刷

开 本: 787 mm × 960 mm 1/16 印张: 21.75 字数: 446千

印 数: 1~3 000册

书 号: ISBN 978-7-113-08069-3/TP·2427

定 价: 38.00元

版权所有 侵权必究

凡购买铁道版的图书,如有缺页、倒页、脱页者,请与本社读者服务部调换。

电 话: 市电(010)51873170, 路电(021)73170(发行部)

打击盗版举报电话: 市电(010)63549504, 路电(021)73187

兰州交通大学“十一五”规划教材 编审委员会

主 任:任恩恩

副 主 任:王晓明 盖宇仙

委 员:(按姓氏笔划排名)

王 兵 朱 琨 陈宜吉

姜国栋 谢瑞峰 虞庐松

主 编:董 昱

出版说明

近年来,兰州交通大学认真贯彻落实教育部有关文件精神,不断推进教育教学改革。学校先后出资数百万元,设立了教学改革、专业建设、重点课程(群)建设、教材建设等项基金,并制定了相应的教学改革与建设立项计划、项目管理及奖励办法等措施。根据培养“基础扎实、知识面宽、能力强、素质高、具有创新精神的应用型的高级专门人才”的培养目标,学校各院(系、部)认真组织广大教师积极参加教学改革与建设,开展系统的研究与实践,取得了一系列教学改革与建设成果。

教学内容和课程体系的改革是教学改革的重点和难点,学校投入力量最大,花费时间最长,投入精力最多,取得的成效也最为显著,突出反映在教材建设方面。“十五”期间,学校共资助“十五”规划教材45本,资助普通教材56本,这些教材是一些学术造诣较深、教学水平较高、教学经验比较丰富的教师担任主编,骨干教师参编,同行专家主审而定稿的。在教材中凝聚了编著教师多年的教学、科研积累和成果,为推进教育创新、深化教学改革、提高教学质量做出了贡献。

2005年,在认真学习教育部相关文件精神的基础上,根据学校的办学指导思想 and 人才培养目标定位,各专业修订了新的人才培养方案,构建了“通识教育基础上的宽口径专业教育”的人才培养模式。为配合新的人才培养方案的实施,进一步深化教育教学改革,学校在“十五”教材建设的基础上,制定了“十一五”教材建设规划。“十一五”期间,学校将进一步加强教材建设工作,更好地发挥教材在人才培养中的重要作用。本着“重点支持优势、特色专业教材,兼顾一般教材,优选编者,保证质量”的原则,设立教材建设专项基金,力争在“十一五”期间出版一批高水平、高质量、有特色的教材。

本教材为学校“十一五”教材建设资助计划项目,并通过了学校教材编审委员会审定。希望该教材在教学实践过程中,广泛听取使用意见和建议,适时进一步修改、完善和提高。

兰州交通大学“十一五”规划

教材评审委员会

2006年4月

前 言

交通运输的速度是与经济、社会发展水平相适应的。现代交通运输的发展史在一定意义上就是以提高速度为核心的技术开发史。

旅客运输的高速化已成为一种世界潮流,冲击着各国交通运输结构,速度已成为各种交通运输方式参与市场竞争的主要手段。高速铁路伴随着经济、科技、社会发展的步伐应运而生。铁路与其他交通运输方式相比,有着许多技术经济上的优势:大容量、低能耗、少占地、适应性强的公共交通体系。因而高速铁路在我国有广阔的发展空间。

为了实现我国铁路向高速、重载方向的不断发展,大量的新技术如:数字信号处理技术、数据通信理论、铁路综合数字移动通信系统(GSM-R)、可靠性理论和容错控制、计算机网络等在铁路信号领域中得到广泛的应用,使铁路信号设备的技术水平得到了很大的提高。

鉴于目前我国铁路信号设备的实际情况,基于 CTCS-0 和 CTCS-1 标准的设备仍占有很大的比例,如在现场 64D 半自动闭塞、国产八信息和十八信息移频自动闭塞仍然大量存在和使用(截至 2005 年,半自动闭塞装备率所占比重约仍为 61.7%,国产移频自动闭塞装备率所占比重也约为 14%),故本书对这两部分内容予以保留。

对于符合 CTCS-2、CTCS-3 标准的设备,如 ZPW-2000 区间闭塞系统、应答器系统、地面列控中心、相应的车载设备,本书均予以详细阐述。如果说 CTCS-2 代表了目前的列控系统标准和水平的话,那么 CTCS-3、CTCS-4 则代表了区间闭塞和列控系统今后的发展方向;本书的内容力求把我国铁路信号设备的现状和今后的发展趋势有机地结合起来,以兼顾不同层次的读者。

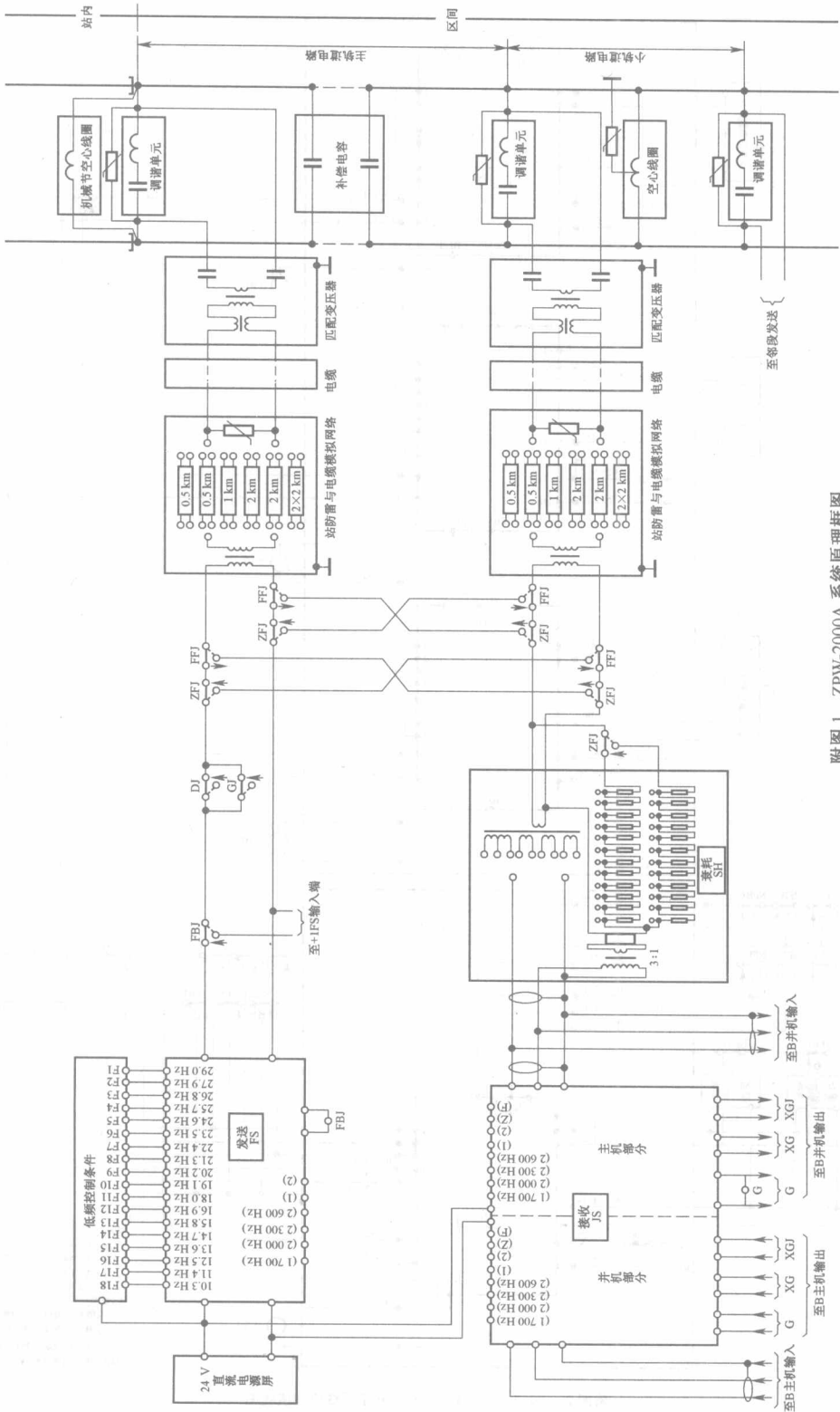
本书由兰州交通大学铁道信号应用技术研究所和自动控制系联合编撰,由董昱担任主编。其中,第 1 章由董昱编写;第 2 章由陈永刚、王蓓编写;第 3 章由董昱、王蓓、林海香编写;第 4 章由陈永刚编写;第 5 章由董昱、林海香、林俊亭编写;第 6 章由董昱编写;第 7 章由董昱、林海香编写;第 8 章由董昱、陈永刚编写。全书由董昱统稿并审定。

衷心感谢在本书编写过程中,提供帮助的学校教务处及有关单位;尤其感谢铁道信号应用技术研究所的各位研究生,正是他们的帮助和努力,使得本书得以顺利出版。

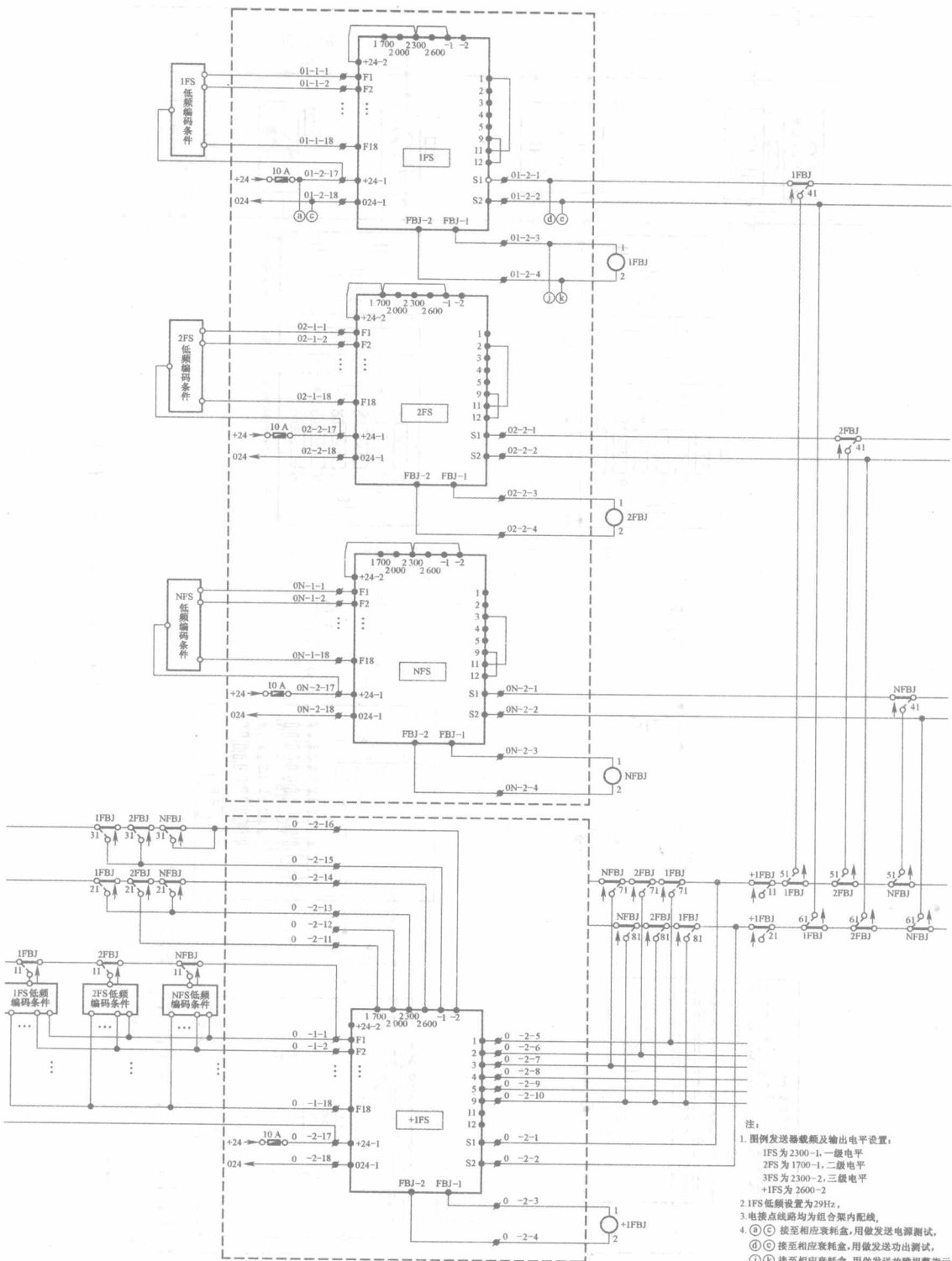
因作者水平有限,加之资料不全、时间仓促,书中错误在所难免。恳请读者提出宝贵的意见,使本书得到不断的完善和改进。

编者

2008 年 4 月

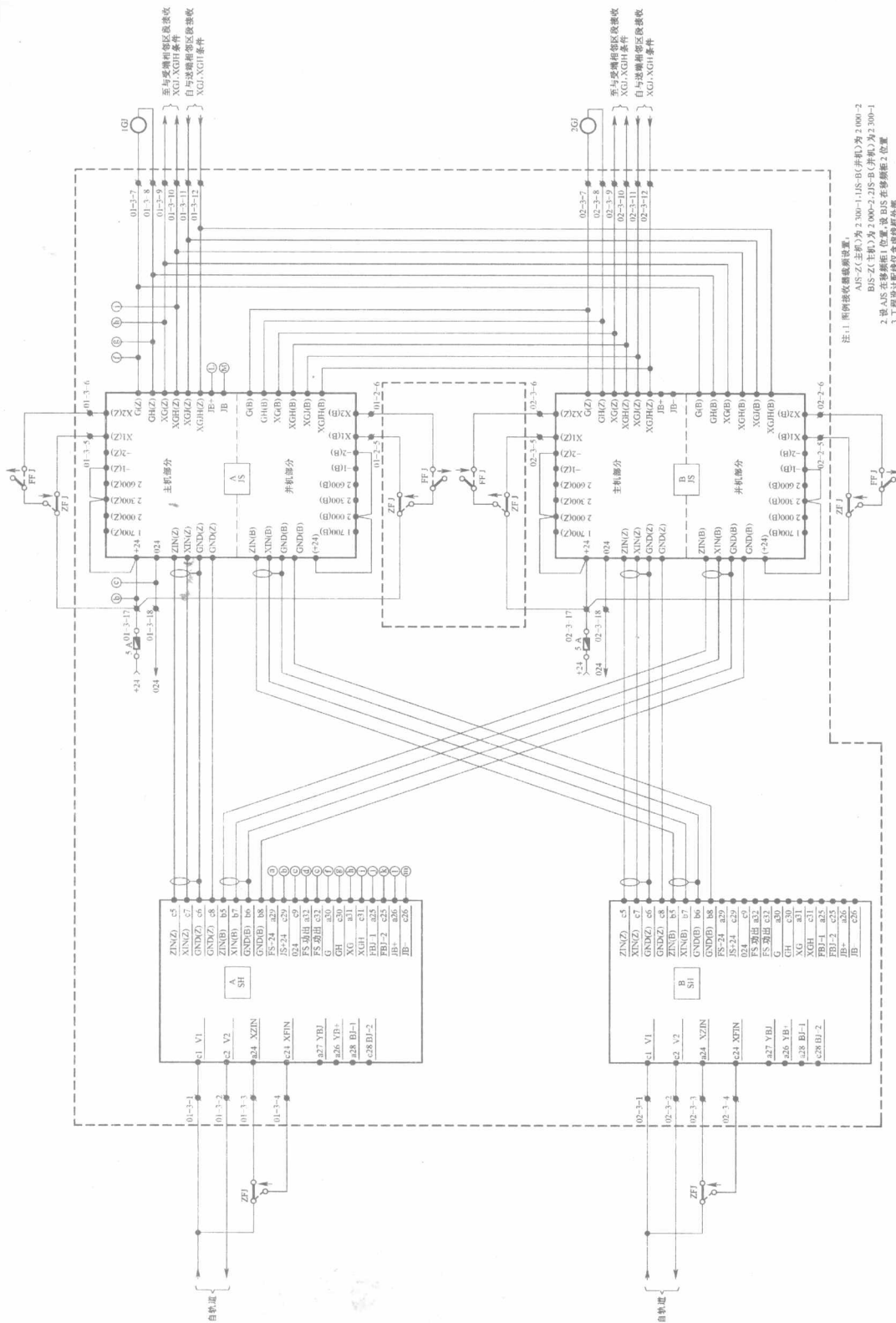


附图 1 ZPW-2000A 系统原理框图



附图2 发送器发送器“N+1”冗余系统原理接线图

附图 3 接收器双机并联运用原理接线图



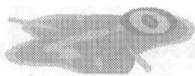
目 录

第一篇 区间信号自动控制

1 区间闭塞基础	1
1.1 闭塞的基本概念和分类	1
1.2 区间闭塞的发展历史、现状及发展趋势	5
思考题	7
2 继电半自动闭塞	8
2.1 单线继电半自动闭塞构成原理及设备	8
2.2 单线继电半自动闭塞电路的构成	16
2.3 64D型继电半自动闭塞存在问题及解决办法	26
2.4 与64D型结合的计轴站间闭塞	28
思考题	37
3 区间自动闭塞	38
3.1 数字频率调制(FSK)原理	38
3.2 数字信号处理技术及应用	43
3.3 国产移频自动闭塞及电路原理	64
3.4 UM71自动闭塞及电路原理	81
3.5 UM2000型移频自动闭塞系统原理	92
3.6 ZPW-2000A型移频自动闭塞系统原理	97
思考题	124
4 机车信号与站内电码化	125
4.1 机车信号概述	125
4.2 主体化机车信号	128
4.3 站内电码化	140
4.4 自动停车装置	162
思考题	166

第二篇 列车运行控制系统

5 列车运行控制系统原理	168
5.1 列控系统概述	168
5.2 列控系统基本原理	172
5.3 CTCS 系统描述	210
思考题	214
6 CTCS-2 级列车运行控制系统	215
6.1 CTCS-2 级列控系统技术要求	216
6.2 CTCS-2 级列控中心技术	226
6.3 既有线 CTCS-2 级列控系统车载设备技术	239
思考题	260
7 应答器系统原理及应用	262
7.1 概述	262
7.2 应答器系统组成	262
7.3 应答器工作原理	269
7.4 LEU 的工作原理及报文读写工具	275
7.5 应答器传输模块	278
7.6 应答器用户数据的形成	278
7.7 应答器编号和设置原则	286
7.8 报文应用举例	289
思考题	296
8 列车运行控制系统技术应用	297
8.1 基于固定闭塞的列控系统	297
8.2 采用虚拟闭塞的列控系统	311
思考题	320
附录 1 ZPW-2000A 发送器外线连接示意图端子代号及用途说明	321
附录 2 接收器外线连接示意图和端子代号及用途说明	323
附录 3 衰耗盘端子用途说明	325
附录 4 限速目标距离	326
附录 5 限速信息冗余覆盖与一致性	327
附录 6 缩写语	329
参考文献	331



第一篇 区间信号自动控制

1 区间闭塞基础

1.1 闭塞的基本概念和分类

自铁路开始运营,就产生了如何控制列车运行间隔以确保列车运行安全的问题。由于列车在线路上运行,不能以相互避让的方法避免迎面相撞,加之列车速度快、质量大,从开始制动到停车需要行走较长的距离,这就产生了后继列车追撞前行列车的可能。为了确保列车在区间内的运行安全,我们把确保列车在线路上运行安全的技术措施和设备,称之为“安全列车间隔控制系统”。闭塞设备是保证列车在区间内行车安全的设备,而列车在车站的行车安全则是由“车站联锁装置”来保证的。铁路线路以车站(线路所)为分界点划分为若干区间,区间的界限在单线上以两个车站的进站信号机柱的中心线为车站与区间的分界线。在双线或多线上,分别以各线路的进站信号机柱或站界标的中心线为车站与区间的分界线。为了提高线路通过能力,在自动闭塞区段又将一个区间划分为若干个闭塞分区,以同方向两架通过信号机柱为闭塞分区的分界线。为了确保列车在区间内的运行安全,列车由车站向区间发车时必须确认区间(分区)内没有列车并遵循一定的规律组织行车,以免发生列车正面冲突或追尾等事故。闭塞就是用信号或凭证,保证列车按照前行列车和追踪列车之间必须保持一定距离(空间间隔制)运行的技术方法。要完成上述闭塞在我国目前还不能由列车司机直接完成,而要由车站值班员来完成。对司机来说,必须由车站值班员给出行车凭证后才能占用区间。在我国,列车占用区间的凭证通常为车站出站信号机和区间通过信号机的准许显示。在用信号的准许显示作为凭证时,首先必须保证区间空闲,其次要办理闭塞手续和发出凭证。当列车进入区间后出站信号机自动关闭准许显示。只有证实列车完全出清区间并再次办理闭塞时,才能再一次开放准许显示。

组织列车在区间内行车的方法,一般有以下两种:(1)时间间隔法。列车按照事先



规定好的时间由车站发车,使前行列车和追踪列车之间必须保持一定时间间隔的行车方法。这种行车方法因追踪列车不能确切地得到前行列车的运行位置,所以不能确保列车在区间内的运行安全,我国已不再使用此种行车方法。(2)空间间隔法。把铁路线路划分为若干个段落(区间或闭塞分区),在每个区段内同时只准许一列车运行,这样使前行列车和追踪列车之间必须保持一定距离的行车方法,这种行车方法能严格地把列车分隔在两个空间,可以有效地防止列车追尾和正面冲突事故的发生,确保列车运行安全。这种行车方法是我国目前所采用的闭塞方法,我们所说的闭塞就是指空间间隔法。

目前,闭塞可分为站间闭塞、以地面信号为主的自动闭塞和带有列控系统的自动闭塞等几类。

1. 站间闭塞

站间闭塞就是两站间只能运行一列车,其列车的空间间隔为一个站间。按技术手段和闭塞方法又可分为:电话闭塞、半自动闭塞和自动站间闭塞。

(1)半自动闭塞就是人工办理闭塞手续,列车凭信号显示发车后,发车站出站信号机自动关闭。在没有设备检测区间是否留有车辆时,还必须由接车站的值班员确认列车的完全到达和人工恢复闭塞。这种方法因为既要人工操纵,又要依赖列车运行自动关闭信号,所以称作半自动闭塞。其特征为:站间或所间只准走行一列车。

(2)自动站间闭塞就是在有区间占用检查的条件下,自动办理闭塞手续,列车凭信号显示发车后,出站信号机自动关闭的闭塞方法。其特征为:有区间占用检查设备;站间或所间区间只准走行一列车;办理发车进路时自动办理闭塞手续;自动确认列车到达和自动恢复闭塞。

自动闭塞就是根据列车运行及有关闭塞分区状态自动变换信号显示,而司机凭信号行车的闭塞方法。其特征为:把站间划分为若干闭塞分区,有分区占用检查设备,可以凭通过信号机的显示行车,也可凭机车信号或列车运行控制的车载信息行车;站间能实现列车追踪;办理发车进路时自动办理闭塞手续,自动变换信号显示。

2. 以地面信号为主的自动闭塞

当列车最高运行速度在 160 km/h 及以下时,通常采用以地面信号为主的自动闭塞系统。该系统一般设有地面通过信号机、机车装备机车信号及自动停车装置,来保证列车按照空间间隔制运行。目前,以地面信号为主的自动闭塞可分为:三显示自动闭塞和四显示自动闭塞。

当列车最高运行速度为 120 km/h 时,我国铁路一般采用三显示自动闭塞。就是通过信号机具有三种显示能预告列车前方两个闭塞分区的状态;分两个速度等级,一个闭塞分区的长度满足从规定速度到零的制动距离。

当列车最高运行速度达到 160 km/h 时,我国铁路一般采用四显示自动闭塞。四显示自动闭塞就是通过信号机具有四种显示能预告列车前方三个闭塞分区的状态:分三个速度等级,二个闭塞分区的长度满足从规定速度到零的制动距离。多于四显示时,则以机车信号为主。



目前铁路信号显示制度主要有进路制和速差制信号两种显示方式。进路制信号以指示列车进入不同进路为原则的信号显示制度,速差制信号是每一种信号显示均表示不同行车速度的信号显示制度。我国铁路既有的信号显示基本属于进路式简易速差信号显示方式,其速差速度含义主要体现在进站信号机(含接车进路信号机)的显示上。世界各国铁路的信号显示方式随着列车运行速度的提高正在向速差制信号显示方式转变。随着我国铁路提速,其信号显示方式中的速差含义也正在逐步增强。如属于限速运行的信息有双半黄色灯光显示(限速 45 km/h)、双半黄色灯闪光显示(限速 80 km/h)以及红黄灯闪光显示(限速 20 km/h)。属于速差信号信息的有四显示及特殊区段的黄灯、黄 2、黄 2 闪、黄 3、绿黄 2 等信息。它们都明确提出要减速到规定的速度等级,通过接近的地面信号机。属于预告要减速的信息有三显示的黄灯、四显示的绿黄灯信息。

3. 带有列控系统的自动闭塞

列车运行自动控制系统(简称列控系统)是靠控制列车运行速度的方式来实现列车按照空间间隔制运行的技术方法。运行列车间必须保持的空间间隔首先是满足制动距离的需要,还要考虑适当的安全余量和确认信号时间内的运行距离。所以根据列控系统采取的不同控制模式会产生不同的闭塞制式。列车间的追踪运行间隔越小,运输能力就越大。

从闭塞制式的角度来看,装备列车运行控制的自动闭塞可分为三类:固定闭塞、准移动闭塞(含虚拟闭塞)和移动闭塞。

(1)固定闭塞:列控系统采取分级速度控制模式时,采用固定闭塞方式。运行列车间的空间间隔是若干个闭塞分区,闭塞分区数依划分的速度级别而定。一般情况下,闭塞分区是用轨道电路或计轴装置来划分的,它具有列车定位和占用轨道的检查功能。固定闭塞的追踪目标点为前行列车所占用闭塞分区的始端,后行列车从最高速开始制动的计算点为要求开始减速的闭塞分区的始端,这两个点都是固定的,空间间隔的长度也是固定的,所以称为固定闭塞。对于固定闭塞采用的列控技术通常是如图 1-1 所示的分级速度控制方式。

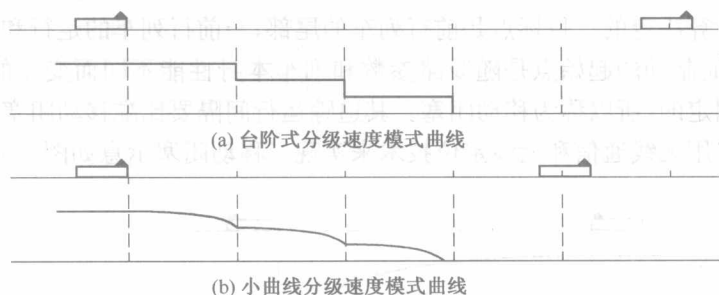


图 1-1 分级速度控制方式

(2)准移动闭塞:准移动闭塞方式的列控系统采取目标距离控制模式(又称连续式

一次速度控制)。目标距离控制模式根据目标距离、目标速度及列车本身的性能确定列车制动曲线,不设定每个闭塞分区速度等级,采用一次制动方式。准移动闭塞的追踪目标是前行列车所占用闭塞分区的始端,当然会留有一定的安全距离,而后行列车从最高速开始制动的计算点是根据目标距离、目标速度及列车本身的性能计算决定的。目标点相对固定,在同一闭塞分区内不依前行列车的走行而变化,而制动的起始点是随线路参数和列车本身性能不同而变化的。空间间隔的长度是不固定的,由于要与移动闭塞相区别,所以称为准移动闭塞。显然其追踪运行间隔要比固定闭塞小一些。一般情况下,闭塞分区是用轨道电路或计轴装置来划分的,它具有列车定位和占用轨道的检查功能。准移动闭塞示意如图 1-2 所示。

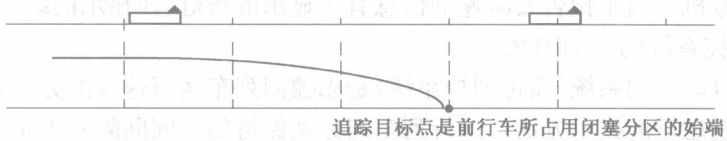


图 1-2 准移动闭塞示意图

虚拟闭塞:是准移动闭塞的一种特殊方式,它不设轨道占用检查设备,采取无线定位方式来实现列车定位和占用轨道的检查功能,闭塞分区是以计算机技术虚拟设定的。虚拟闭塞示意如图 1-3 所示。

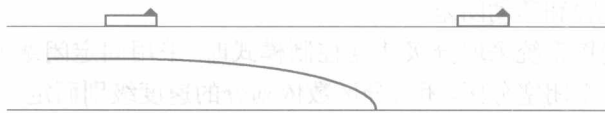


图 1-3 虚拟闭塞示意图

(3)移动闭塞:移动闭塞方式的列控系统也采取目标距离控制模式(又称连续式一次速度控制)。目标距离控制模式根据目标距离、目标速度及列车本身的性能确定列车制动曲线,采用一次制动方式。移动闭塞的追踪目标是前行列车的尾部,当然会留有一定的安全距离,后行列车从最高速开始制动的计算点是根据目标距离、目标速度及列车本身的性能计算决定的。目标点是前行列车的尾部,与前行列车的走行和速度有关,是随时变化的,而制动的起始点是随线路参数和列车本身性能不同而变化的。空间间隔的长度是不固定的,所以称为移动闭塞。其追踪运行间隔要比准移动闭塞更小一些。移动闭塞一般采用无线通信和无线定位技术来实现。移动闭塞示意如图 1-4 所示。

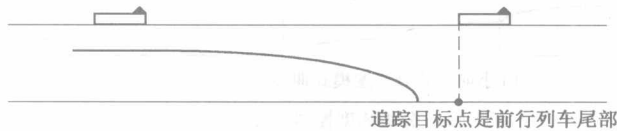


图 1-4 移动闭塞示意图



1.2 区间闭塞的发展历史、现状及发展趋势

实现区间闭塞的设备也是随着铁路运输的发展而发展,闭塞设备技术对提高列车运行密度和运输效率具有重要的作用。在闭塞设备发展的历史中经历了早期的人工闭塞设备、半自动闭塞设备、以地面信号为主的自动闭塞设备以及带有列车运行控制系统的自动闭塞,以下分别说明这些设备的发展过程。

1. 人工闭塞设备

早期的人工闭塞设备是用电报和电话闭塞方式,经过一段时间的使用后,又先后发明了电气路签机和电气路牌机,实现了路签和路牌闭塞方式。由于这种闭塞方式的效率低下,且安全性较差,因此逐渐被其他闭塞设备所取代。但电话闭塞的方式被保留。在“十五”期间人工闭塞[包含电话和路签(牌)]装备率为0.1%。

2. 半自动闭塞设备

半自动闭塞是用人工来办理闭塞及开放出站信号机,而由出发列车自动关闭出站信号机,并实现区间闭塞的一种闭塞方式。继电半自动闭塞是以继电电路的逻辑关系来完成两站间闭塞作用的闭塞方式。我国的单线铁路,采用的是64D型继电半自动闭塞。与人工闭塞设备相比,半自动闭塞设备在确保行车安全和提高行车效率方面,都有明显的提高。

3. 以地面信号为主的自动闭塞设备

半自动闭塞由人工办理闭塞手续,列车凭出站信号机的允许信号显示出发,出站信号机在列车出发后自动关闭,列车到达接车站经人工确认整列到达后办理到达复原,解除闭塞。半自动闭塞利用车站来隔离列车,即两站间的区间同时只允许一列列车运行。而且由于区间没有空闲检查设备,须由人工确认列车的整列到达,而事故复原的安全操作得不到保证,所以行车安全程度不高,并影响运输效率。

以地面信号为主的自动闭塞设备是根据列车运行及有关闭塞分区状态,自动变换通过信号机显示而司机凭信号行车的闭塞方法,它适用于列车最高运行速度在160 km/h的情况。自动闭塞是在列车运行过程中自动完成闭塞作用的。自动闭塞将一个区间划分为若干闭塞分区,在每个闭塞分区的起点都装设通过信号机用以防护其后方的闭塞分区。每个闭塞分区内都装设轨道电路(或计轴器等列车检测设备),通过轨道电路将列车和通过信号机的显示联系起来,根据列车运行及有关闭塞分区的状态使通过信号机的显示自动变换。因为闭塞作用的完成不需要人工操纵,故称为自动闭塞。目前大量使用的典型的自动闭塞设备如ZPW-2000A。

以地面信号显示为主的铁路信号系统只是向司机提供视觉信号,由司机解释信号显示意义并驾驶列车。信号显示仅仅指明安全运行条件,而列车的安危在很大程度上由司机控制。由于地面信号显示系统有时受到自然环境(如雾、风沙、大雨等)的影响以