

TIELU XINHAO XITONG WANGLUO YU XINXI ANQUAN

# 铁路信号系统 网络与信息安全

闫连山 陈建译 编著  
郭 进 审

中国铁道出版社  
CHINA RAILWAY PUBLISHING HOUSE

# 铁路信号系统网络与信息安全

闫连山 陈建泽 编著  
郭 进 审

中国铁道出版社

2016年·北京

## 内 容 简 介

本书是在国家将网络空间安全提升到国家战略层面的大背景下,针对铁路信号系统所存在的网络和信息安全问题进行研究分析的阶段性成果。书中在介绍信号系统核心技术与设备和网络与信息安全知识的基础上,从网络与接口安全、通信协议安全、现场测试与防护方案等角度出发详细阐述了信号系统所涉及的网络与信息安全问题,并进一步从管理层面给出系统化的建议,对基于软件定义网络的安全管控思想进行了探讨。

本书适合铁路电务系统相关管理和工程技术人员参考,同时可以作为参考书供高等学校高年级本科生和研究生相关专业使用。

## 图书在版编目(CIP)数据

铁路信号系统网络与信息安全 / 闫连山, 陈建译  
编著. —北京: 中国铁道出版社, 2016. 3  
ISBN 978-7-113-21469-2

I. ①铁… II. ①闫… ②陈… III. ①高速铁路—  
铁路信号—信号系统—信息安全—高等学校—教材  
IV. ①U284

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2016)第 027719 号

书 名: 铁路信号系统网络与信息安全  
作 者: 闫连山 陈建译 编著

策 划: 崔忠文  
责任编辑: 李嘉懿 编辑部电话: 010-51873147 电子信箱: dianwu@vip.sina.com  
封面设计: 郑春鹏  
责任校对: 王 杰  
责任印制: 陆 宁 高春晓

出版发行: 中国铁道出版社(100054, 北京市西城区右安门西街 8 号)

网 址: <http://www.tdpress.com>

印 刷: 中煤(北京)印务有限公司

版 次: 2016 年 3 月第 1 版 2016 年 3 月第 1 次印刷

开 本: 787 mm×1 092 mm 1/16 印张: 12.25 字数: 300 千

书 号: ISBN 978-7-113-21469-2

定 价: 60.00 元

## 版权所有 侵权必究

凡购买铁道版图书, 如有印制质量问题, 请与本社读者服务部联系调换。

电话: (010)51873174(发行部)

打击盗版举报电话: 市电(010)51873659, 路电(021)73659, 传真(010)63549480

# 前 言

近年来随着“棱镜门”事件的持续发酵,网络空间已经成为陆、海、空和天之后各国博弈的另外一个空间,所涉及的网络空间安全也成为国家战略组成部分。涉及网络与信息安全的各个应用领域都在重新审视、关注和重视潜在的威胁及其应对方案。

对于中国铁路而言,一方面,我们拥有足以让全体铁路人自豪、让世人瞩目的高速铁路系统,营业里程占世界高速铁路总里程的一半以上;另一方面,各种完备的技术体系支撑了高速铁路的快速建设与发展,后续的安全运维日显重要。对于支撑高速铁路控制神经中枢——信号系统而言,基本的运行维护有章可循,但涉及的网络与信息安全研究则是一个全新的课题。

为了解决这一问题,铁道部科技司在2012年设立了关于信号系统信息安全的重大项目(2012X004-A),围绕信号系统网络架构、信息传输(协议)、安全管控等开展研究。项目由西南交通大学牵头,联合了广州铁路(集团)公司、深圳永达电子有限公司、中国铁路通信信号集团公司等多家单位实施。本书是项目组三年多研究成果的积累,也是对铁路信号系统网络与信息安全的初步探索。

为了保持著作内容的系统性和完整性,本书内容的大致安排如下。

第1章简要介绍了铁路信号系统的发展历史和基本概念(如联锁、闭塞),为后续章节理解信号系统奠定基础。

第2章介绍了高速铁路信号系统组成及其核心单元技术与设备,包括了CTCS-2/CTCS-3级列车运行控制系统、高速铁路信号系统、三张网组成以及调度集中、联锁和列控等子系统(设备),便于后续章节的网络和接口安全分析。

考虑到电务系统绝大多数职工对网络与信息安全都比较陌生,第3章介绍了相关基础知识,包括信息安全的基础知识、网络安全威胁与防护手段,以及操作系统和数据库系统的安全等内容。

第4章和第5章分别针对网络与接口安全以及通信协议安全进行了详细分析,力图将可能涉及的隐患及其对策提出来,供广大技术人员和管理者参考。

第6章结合前期进行的现场测试情况,给出了网络信息安全的测评方案建议,研讨了面向TDCS/CTC的安全防护,以及一种面向终端加固的低成本网关方案。

“三分技术,七分管理”,科学管理的重要性对于网络与信息安全极为重要,书中所提到的不少威胁都可以通过合理的管理手段降低或避免。因此,第7章详细阐述了层次化和系统化的安全管理体系建议。

最后,面对日益复杂的铁路信号系统网络,结合近年来兴起的软件定义网络技术,在第8章探讨了基于安全管控理念的信号系统网络架构,也许能够为将来技术发展提供一些参考。

本书由西南交通大学闫连山教授和广州铁路(集团)公司陈建译教授级高工合作完成,并经西南交通大学郭进教授审阅。书中内容是多家单位合作成果的结晶,更得到了不少专家同仁的大力支持与帮助,中国铁路总公司电务部覃燕同志对书稿提出了大量宝贵意见,总公司其他相关领导刘大为、李萍、莫志松、李凯、靳俊等,西南交通大学潘炜、艾兴阁和方旭明教授,深圳永达电子有限公司戚建淮总经理等提出建议,借此机会表示深深谢意。

此外,多位项目组成员和研究生参与部分内容的收集整理和初稿撰写,包括广州铁路(集团)公司叶建斌工程师、深圳永达公司的曾旭东高工、中国铁路通信信号集团公司李强工程师、西南交通大学郭伟讲师、博士生李赛飞和崔允贺,以及硕士生吴庆彪等同学。

书中内容以学术和技术探讨为主,仅供大家参考,具体各种技术方案及管理规范的实施以国家铁路局和中国铁路总公司各类标准和规章为准。由于网络与信息安全对于铁路而言尚属新的领域,时间仓促,水平所限,书中不足之处还望见谅,也希望全国铁路系统同仁们能够把宝贵意见反馈给我们,以便我们进行改正。

作 者

2015年12月

# 目 录

|                           |     |
|---------------------------|-----|
| 第 1 章 铁路信号系统发展            | 1   |
| 1.1 飞速发展的铁路               | 1   |
| 1.2 信号系统基本概念              | 3   |
| 1.3 铁路信号系统发展              | 14  |
| 参考文献                      | 15  |
| 第 2 章 高速铁路信号系统            | 17  |
| 2.1 CTCS-2 和 CTCS-3 级列控系统 | 17  |
| 2.2 高速铁路信号系统网络            | 22  |
| 2.3 核心单元技术与设备             | 30  |
| 参考文献                      | 43  |
| 第 3 章 网络与信息安全基础           | 45  |
| 3.1 信息安全基础                | 45  |
| 3.2 网络安全威胁                | 48  |
| 3.3 网络安全防护                | 51  |
| 3.4 从数据到应用系统安全            | 71  |
| 3.5 未来网络安全发展趋势            | 81  |
| 参考文献                      | 82  |
| 第 4 章 信号系统网络与接口安全         | 83  |
| 4.1 GSM-R 无线通信系统的安全性分析    | 83  |
| 4.2 联锁系统安全分析              | 92  |
| 4.3 列控系统安全分析              | 93  |
| 4.4 CTC 系统安全分析与防护         | 98  |
| 4.5 集中监测系统安全分析            | 103 |
| 4.6 系统之间接口安全              | 103 |
| 4.7 铁路信号系统网络半实物仿真平台       | 105 |
| 参考文献                      | 111 |
| 第 5 章 信号系统网络通信协议安全        | 114 |
| 5.1 安全通信协议                | 114 |
| 5.2 RSSP-II 协议的安全性分析      | 116 |

|              |                              |            |
|--------------|------------------------------|------------|
| 5.3          | RSSP-II 改进建议 .....           | 122        |
|              | 参考文献 .....                   | 127        |
| <b>第 6 章</b> | <b>网络信息安全测评与防护方案 .....</b>   | <b>128</b> |
| 6.1          | 测试评估方案 .....                 | 128        |
| 6.2          | TDCS/CTC 系统信息安全防护 .....      | 137        |
| 6.3          | 针对协议的边界加固与终端防护 .....         | 139        |
|              | 参考文献 .....                   | 145        |
| <b>第 7 章</b> | <b>信号系统网络信息安全管理 .....</b>    | <b>146</b> |
| 7.1          | 信息安全管理组织、人员和制度 .....         | 146        |
| 7.2          | 层次化和系统化安全管理体系 .....          | 147        |
| 7.3          | 典型案例分析 .....                 | 159        |
|              | 参考文献 .....                   | 163        |
| <b>第 8 章</b> | <b>下一代信号系统网络体系研究探索 .....</b> | <b>164</b> |
| 8.1          | 软件定义网络概念 .....               | 164        |
| 8.2          | 基于 SDN 的统一管控平台 .....         | 180        |
| 8.3          | 未来趋势 .....                   | 184        |
|              | 参考文献 .....                   | 187        |
| <b>附录</b>    | <b>名词术语英(缩略语)中对照 .....</b>   | <b>189</b> |

# 第1章 铁路信号系统发展

信号系统是铁路运输安全保障的关键环节之一,随着铁路的飞速发展取得了巨大的进步。本章简要回顾了我国铁路事业的发展历史,并介绍了信号系统相关基本概念,为后续章节奠定基础。

## 1.1 飞速发展的铁路

铁路作为国家基础设施之一,由于受气候和自然条件影响较小,运输能力大,在运转频率和成本占据了较大优势,再加上各种类型的运输车辆,能够基本不受重量和容积限制地承运商品(是公路和航空运输所不能比拟的),因此铁路运输在国民经济的发展中处于相当重要的地位<sup>[1]</sup>。作为能源和矿物等重要物资的重要运输方式,中国铁路承担了85%木材、85%原油、60%煤炭、80%钢铁及冶炼物资的运输任务<sup>[2]</sup>。到2015年末,中国内地地区铁路的实际营业里程已经超过12万千米,占世界铁路的10%,换算为运输周转量则占到了世界的33%(中华人民共和国成立时,中国内地能够维持运营的铁路仅有约1万千米)<sup>[3]</sup>。

中国第一条真正营运的铁路是1876年由英国怡和洋行擅自铺设的吴淞铁路,全长14.5 km,但通车营运一年就被清政府赎买并拆除。19世纪末,英、法等国多次侵入中国,强迫中国签订多条不平等条约,也包括了修筑铁路的“路权”,虽然当时中国面临沦为半殖民国家,但这段时期里铁路却得到了快速发展,在中国铁路史上有着重要意义。随着保路运动兴起,清政府终于决定兴建完全由中国人自行设计施工的京张铁路,中国首位铁路工程师——詹天佑,创造性地运用了“人”字型铁路,完成了在崇山峻岭修建铁路的艰巨工程<sup>[4]</sup>。

1912年中华民国建立后,在既有基础上持续建设铁路。抗战爆发前,国民政府已完成粤汉和陇海两路,并在华东、华北地区修建了浙赣、同蒲、江南、淮南和苏嘉等线。1927年至1937年间,国民政府共修铁路3 793 km(未包括同时期东北三省修筑的4 500 km),全国铁路里程已达1.2万千米<sup>[4]</sup>。

1949年10月,新中国为了快速恢复经济而大规模进行铁路建设,管理体制则模仿苏联方式。1950年开始首先决定填补西部地区的铁路空白,开始建设成都到重庆的成渝铁路,经过两年建成,成为新中国的第一条铁路;1961年8月,宝成铁路宝鸡至凤州段电气化完成并交付营运,成为中国第一条电气化铁路。从1966年到1980年又相继建成为开发西南西北地区的贵昆、成昆、川黔、襄渝、兰新、焦枝和太焦铁路等,以及为增强中部及东部地区运输能力的京通、京承、皖赣和鹰厦铁路等铁路干线、支线100多条,全国铁路营运里程增加到约5万千米<sup>[4]</sup>。

随着改革开放的实施,人口流动日趋频繁,经济发展令铁路的运输压力日益增加,也推进着铁路发展。至20世纪90年代末,已经先后建成京九线、南昆线、大秦线、宝中线、侯月线等

一批铁路干线,以及包括京广铁路衡广段、兰新铁路在内的复线电气化工程,全国铁路营业里程达到 66 428 km。

同时,除了持续扩大铁路网,铁路也以“提速”为发展战略。1994 年中国铁路旅客列车平均旅行速度只有 48.3 km/h,远远落后于其他发达国家。为了提高铁路在运输市场中的竞争力和扩大运输能力,1997 年 4 月 1 日,中国铁路实施第一次大面积提速,京广、京沪、京哈三大干线全面提速,旅客列车平均旅行速度提升到 54.9 km/h。在此后的十年间,中国铁路又经历了五次大规模的提速和运行图调整,到 2007 年,铁路进行了第六次大面积提速,在提速干线开行“和谐号”动车组,旅客列车速度 200~250 km/h,达到国际上在既有线提速改造的最高水平。旅客列车平均旅行速度提升到 70.18 km/h,其中跨局动车组 150.3 km/h,管内动车组 133.84 km/h。自此之后,中国铁路终结在既有线上再提速,并着眼于建设高速铁路,展开了我国铁路建设的新篇章。

中国第一条真正意义上的高速铁路是在 2002 年建成运营的秦沈高速铁路,全线设计速度达到 200~250 km/h,同年“中华之星”电力动车组在秦沈高速铁路创造了当时“中国铁路第一速”的 321.5 km/h,轰动一时。表 1-1 列举了中国铁路发展史上创造的诸多第一速记录<sup>[5]</sup>。

表 1-1 中国铁路第一速记录<sup>[5]</sup>

| 纪录创造日期      | 车型               | 中国铁路第一速    | 地点     |
|-------------|------------------|------------|--------|
| 电力机车        |                  |            |        |
| 1997 年 01 月 | 韶山 8 型电力机车       | 212.6 km/h | 北京环铁   |
| 1998 年 06 月 | 韶山 8 型电力机车       | 239.6 km/h | 京广铁路   |
| 内燃动车组       |                  |            |        |
| 2002 年 12 月 | NZJ2“神州号”动车组     | 210.7 km/h | 秦沈高速铁路 |
| 电力动车组       |                  |            |        |
| 1998 年      | X2000“新时速”摆式动车组  | 200 km/h   | 广深铁路   |
| 1999 年 09 月 | DDJ1“大白鲨”动车组     | 223 km/h   | 广深铁路   |
| 2000 年 10 月 | DJJ1“蓝箭”动车组      | 235.6 km/h | 广深铁路   |
| 2001 年 11 月 | DJF2“先锋”动车组      | 249.6 km/h | 广深铁路   |
| 2002 年 09 月 | DJF2“先锋”动车组      | 292.8 km/h | 秦沈高速铁路 |
| 2002 年 11 月 | DJJ2“中华之星”动车组    | 321.5 km/h | 秦沈高速铁路 |
| 2008 年 04 月 | CRH2C“和谐号”动车组    | 370 km/h   | 京津城际   |
| 2010 年 02 月 | CRH2C“和谐号”动车组    | 394.2 km/h | 郑西高速铁路 |
| 2009 年 12 月 | CRH3C“和谐号”动车组    | 394.2 km/h | 武广高速铁路 |
| 2008 年 06 月 | CRH3C“和谐号”动车组    | 394.3 km/h | 京津城际   |
| 2010 年 09 月 | CRH380A“和谐号”动车组  | 416.6 km/h | 沪杭高速铁路 |
| 2010 年 12 月 | CRH380BL“和谐号”动车组 | 457 km/h   | 京沪高速铁路 |
| 2010 年 12 月 | CRH380AL“和谐号”动车组 | 486.1 km/h | 京沪高速铁路 |
| 2011 年 01 月 | CRH380BL“和谐号”动车组 | 487.3 km/h | 京沪高速铁路 |

2005年1月7日,国务院常务会议通过了我国首个《中长期铁路网规划》,明确了中国铁路网中长期建设目标:到2020年,全国铁路营业里程达到10万千米,主要繁忙干线实现客货分线,复线率和电气化率分别达到50%,运输能力满足国民经济和社会发展需要,主要技术装备达到或接近国际先进水平<sup>[6]</sup>。《规划》实施后,大批铁路建设项目,包括京津城际铁路、石太高速铁路、合武铁路、合宁铁路等高速铁路相继开工。2008年11月27日,铁道部出台《中长期铁路网规划(2008年调整)》方案,《调整方案》将2020年全国铁路营业里程规划目标由10万千米调整为12万千米以上。同年,我国首条设计速度达350 km/h的高速铁路——京津城际铁路通车运营<sup>[7]</sup>。

经过10多年的高速铁路新线建设和对既有铁路的高速化改造,我国目前已经建成了世界上最大规模以及最高运营速度的高速铁路网。截至2015年末,中国铁路运营里程达到12万公里,其中高铁1.9万公里,居世界第一位。并且国内目前正在兴建和即将兴建的高速铁路总里程也高达20 000多 km<sup>[8]</sup>。根据中国中长期铁路网规划方案,至2020年年底,我国将基本上建成以“四纵四横”为骨架的全国快速客运网,总里程将会超过35 000 km。在经历了若干年铁路建设之后,我国已经进入了调整、巩固、充实、提高的平稳发展时期<sup>[9]</sup>。

## 1.2 信号系统基本概念

在实际铁路运输过程中,即使在铁路线路、桥梁、机车和车辆等设备条件良好的情况下,也可能发生列车冲突和颠覆等重大事故。发生列车冲突的原因可能是多列列车同时占用一个空间造成的;也可能是由于道岔位置不正确而导致列车驶入错误线而造成冲撞;另外,列车速度超过了线路限制速度也会引起颠覆事故。

因此,在现代铁路运输系统中,除了铁路固定设备(线路、桥、隧)和移动设备(机车、车辆)以外,还需要铁路信号系统的支撑,共同构成铁路运输系统三个不可分割的技术基础。

铁路信号系统是为了保证运输安全而诞生和发展的,在铁路运输中的地位是基础设施、安全设备、指挥工具和服务条件;作用是保证行车安全、提高运输效率和改进服务质量;任务是行车指挥、进路控制、间隔调整、速度控制、编组与解体,系统的第一使命是保证行车安全<sup>[10]</sup>。铁路信号系统可以准确迅速地组织列车运行和保证调车作业安全,从而提高运输效率,改善行车工作人员的劳动条件。利用信号机的显示,能向列车或调车车列发出指示运行条件、线路状况、列车或车辆位置等信息。

### 1.2.1 铁路信号基础设备

信号是传递信息的符号,铁路信号设备是一个总称,主要包括信号(Signal)及相关设备、联锁(Interlocking)和闭塞(Blocking)。铁路信号是指向有关行车和调车作业人员发出的指示和命令;联锁设备用于保证站内行车和调车工作的安全和提高车站的通过能力;闭塞设备用于保证列车区间内运行的安全间隔,提高区间内的通过能力。

#### 1.2.1.1 信号机

铁路信号机(Signal)是安装在铁路道旁的机械或电子设备,用以传送线路前方状态的相关信息给司机或调车员。司机或调车员通过理解信号代表的指令采取相应操作,一般来说,铁

路信号会指示列车以安全速度行驶(含降速)或立即停止<sup>[11]</sup>。

我国铁路的色灯信号机目前主要采用的是XS型系列透镜式色灯信号机,有高柱型和矮型之分。不论是高柱型还是矮型,按照机构还可分为二灯式、三灯式、四灯式、五灯式等,这些不同类型的机构由信号设计部门根据需要选用或组合使用。但不同显示数目的信号机构,其显示的原理都是相同的,其结构也是相似的,只是灯室数目不同而已。信号机按用途分为进站、出站、通过、进路、预告、接近、遮断、驼峰、驼峰辅助、复示、调车信号机。出站与进路复示信号机及遮断信号机是单显示的信号机;预告信号机是二显示信号(绿灯或黄灯),预告进站、通过或防护信号机的禁止和进行信号显示;自动闭塞区段的通过信号机是三显示信号(红灯、绿灯或黄灯);适宜于铁路提速和高速区段的通过信号机则是四显示信号(红灯、绿灯、黄灯或黄绿两灯)<sup>[11]</sup>。图1-1为典型的信号机设置。

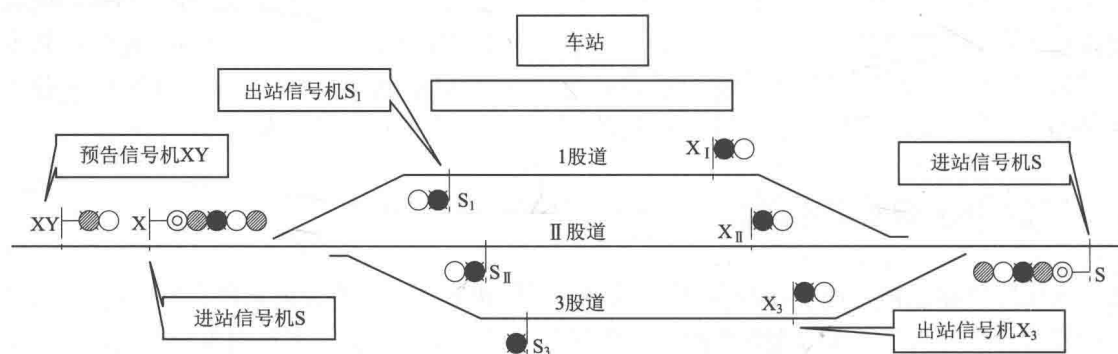


图 1-1 信号机设置图示<sup>[11]</sup>

#### (1) 进站信号机(X、S)

进站信号机用于防护车站,指示列车可否进站以及进站时的运行条件,一般设在距车站最外方进站道岔尖轨尖端(逆向道岔)或警冲标(顺向道岔)不少于50 m的地方。

#### (2) 出站信号机( $S_I$ 、 $S_{II}$ 、 $S_3$ 、 $X_I$ 、 $X_{II}$ 、 $X_3$ )

出站信号机的作用是防护区间。作为列车占用区间的凭证,指示列车可否由车站开往区间;与敌对进路相联锁,信号开放后保证进路安全可靠;指示列车站内停车的位置,防止越过警冲标。每条发车线均应单独设置出站信号机以免误认信号造成行车事故。出站信号机应设在每一发车线路警冲标内方的适当地点。

#### (3) 预告信号机(XY)

当非自动闭塞区段未安装机车信号时,在进站、通过、防护等信号机前方均应设置预告信号机;在采用色灯式进站信号机或进站信号机的显示距离不足或瞭望条件受限制的情况下,也必须设置预告信号机。它的作用是将主体信号机的显示状态提前告诉司机。预告信号机应设在距主体信号机不少于一个列车制动距离(目前我国为800 m)的地点。

#### (4) 通过信号机

通过信号机的作用是防护自动闭塞区段的闭塞分区或非自动闭塞区段的所间区间(线路所之间),其设置示意如图1-2所示,作用是指示列车可否开进它所防护的闭塞分区或所间区间。通过信号机通常设在所间区间或闭塞分区的分界处。

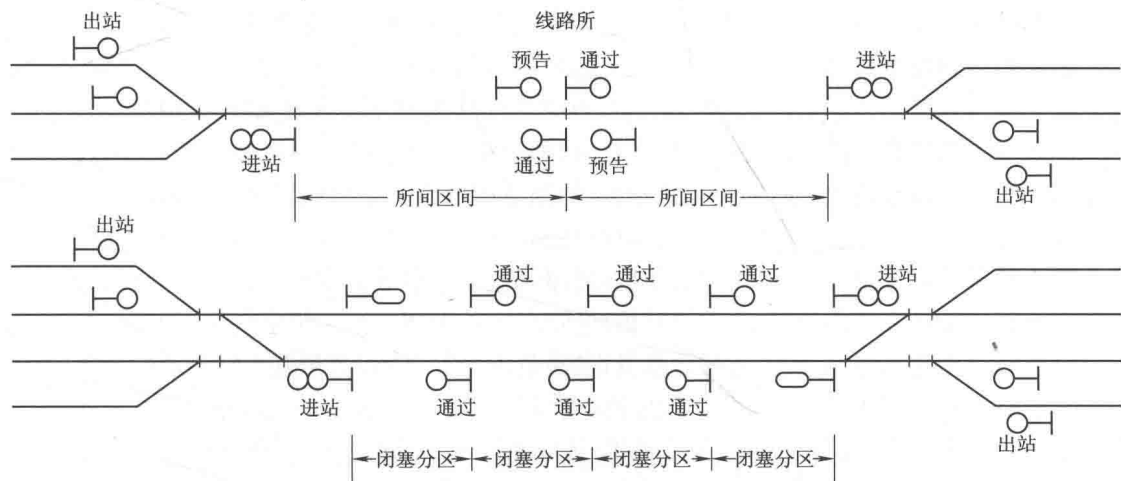


图 1-2 通过信号机设置示意图

(5)调车信号机

调车信号机是用来指示调车机车进行作业的，只在电气集中联锁的车站上采用，通常设在调车作业繁忙的线路上(如到发线、咽喉道岔区)，以及从非联锁区到联锁区的入口处。

调车信号机一般采用矮型色灯信号机，在到发线上也可以在出站信号机上添设一个允许调车的月白色灯，作为出站兼调车信号机。

(6)进路

在车站上为列车进站与出站所准备的通路，称为列车进路；为各种调车作业准备的通路称为调车进路。一般每一个列车、调车进路的始端都应设有一架信号机进行防护，以保证作业时的安全。信号机灯光显示的一方为信号机的前方，信号机的后方则为所防护的进路。

信号机既然是防护进路的，就要有一个明确的范围，也就是说进路应有明确的始端和终端。不然的话，就没有办法防护。进路通常用信号机、警冲标、车挡表示器、站界标或次一信号机来确定管辖范围<sup>[1]</sup>。如图 1-3 所示的进路包括以下设置。

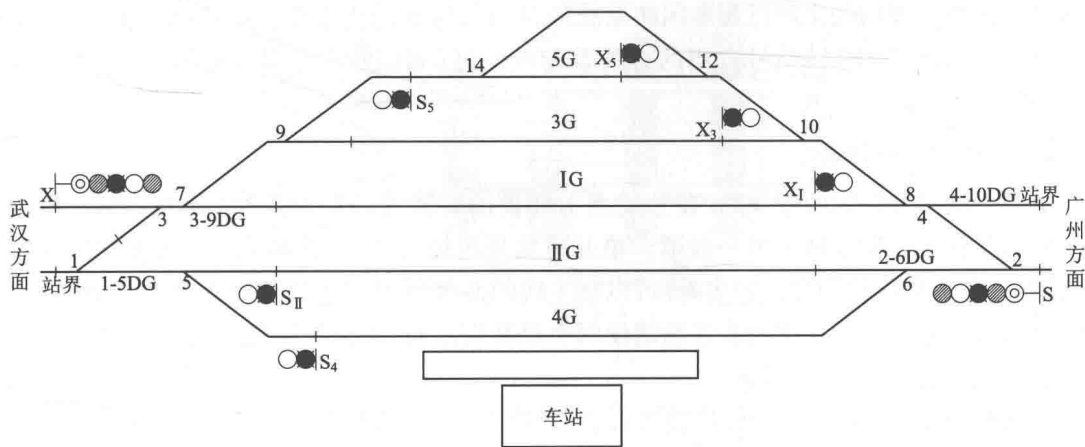


图 1-3 中间站信号机布置平面图

- ①下行Ⅰ道接车进路:  $X$  为防护信号机;进路范围从  $X$  到  $X_1$  (含股道)。
- ②下行3道接车进路:  $X$  为防护信号机;进路范围从  $X$  到  $X_3$  (含股道)。
- ③下行5道接车进路:  $X$  为防护信号机;进路范围从  $X$  到  $X_5$  (含股道)。
- ④下行Ⅰ道发车进路:  $X_1$  为防护信号机;进路范围从  $X_1$  到站界。
- ⑤下行3道发车进路:  $X_3$  为防护信号机;进路范围从  $X_3$  到站界。
- ⑥下行5道发车进路:  $X_5$  为防护信号机;进路范围从  $X_5$  到站界。
- ⑦上行Ⅱ道接车进路:  $S$  为防护信号机;进路范围从  $S$  到  $S_{II}$  (含股道)。
- ⑧上行4道接车进路:  $S$  为防护信号机;进路范围从  $S$  到  $S_4$  (含股道)。
- ⑨上行5道接车进路:  $S$  为防护信号机;进路范围从  $S$  到  $S_5$  (含股道)。
- ⑩上行Ⅱ道发车进路:  $S_{II}$  为防护信号机;进路范围从  $S_{II}$  到站界。
- ⑪上行4道发车进路:  $S_4$  为防护信号机;进路范围从  $S_4$  到站界。
- ⑫上行5道发车进路:  $S_5$  为防护信号机;进路范围从  $S_5$  到站界。

### 1.2.1.2 继电器

继电器(Relay)是一种自动控制与远程控制系统必不可少的元件。这种元件的特性是当

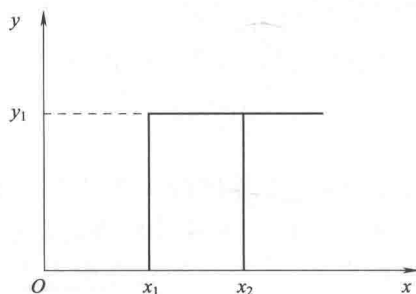


图 1-4 继电器特性曲线

输入  $x$  达到一定值时,输出量  $y$  发生突变。如图 1-4 所示,当输入量  $x$  从 0 增大到  $x_1$  时,输出量  $y$  从 0 突然增大到  $y_1$ ,此后如  $x$  再增大,输出量  $y$  保持不变;当输入量  $x$  从大于或等于  $x_2$  减小到小于  $x_1$  时,输出量  $y$  突然从  $y_1$  减小到 0,此后,如  $x$  再继续减小至零,  $y$  仍保持在  $y_1$  大小。如上所述的二值特性,就称为继电特性。具有继电特性的元件,称为继电器。

由此可见,继电器是一种控制参数变化时能引起被控制参数突然变化的电器元件。它能以极小的电信号来控制执行电路中功率相当大的对象,并能控制数

个回路,以此来完成由人工难以实现的具有复杂逻辑关系的控制过程。

由于继电器具有这样的基本功能,故成为自动控制与远程控制必不可少的器件,广泛应用于国民经济各个部门的生产过程和国防系统的自动化与运动化之中。在铁路系统中,铁路信号设备也大量地应用铁路信号专用的各种类型继电器(如信号安全型继电器)及其他类型继电器<sup>[12]</sup>。

### 1.2.1.3 道岔和转辙机

由一条线路分歧为两条线路,在分歧点上铺设的转辙线路叫做道岔(Turnout)。道岔用来使机车车辆从一股道转入另一股道。单开道岔采用最为广泛,占各类道岔总数 95% 以上。在站场中,当需要连接的股道较多时,可以在主线的两侧或同侧连续铺设两个普通单开道岔,如因地形长度限制不能在主线上连续铺设两个单开道岔时,可以设法把一个道岔纳入另一个道岔之内,这就组成了复式道岔。

转辙机(Switch)是道岔的转换装置,能转换道岔、锁闭道岔及反映道岔尖轨所处的位置,是实现车站信号等自动控制及远距离控制必不可少的设备。按转辙机的动力来分,我国目前主要有以电动机为动力的电动转辙机、以压缩空气为动力的电空转辙机及以高压液体(油压)

为动力的电液转辙机三种。按转辙机的转换时间可将其分为快速(0.5~1.5 s)、中速(3~6 s)和低速(8~20 s)三种。

上述各种动力的转辙机,只要选用适当功率的电动机或设计合适的机械结构,都可以获得不同的转换速度。电动转辙机转换时间的长短决定于电动机的功率及机械结构的减速比。同样功率的电动机,转换时间长一些可使转换力增大;而同样的转换力,转换时间长一些,可选用功率较小的电动机。

我国绝大多数电气集中设备的车站,以及无风源过滤设备的驼峰调车场都采用电动转辙机,因此,电动转辙机使用的数量最多。其次是电空转辙机,凡是有风源过滤设备的驼峰调车场,一般都采用电空转辙机。电液转辙机目前使用得还不多<sup>[13]</sup>。

#### 1.2.1.4 轨道电路

轨道电路(Track Circuit)是一段以铁路线路的钢轨为导体构成的电路,用于自动连续检测这段线路是否被机车车辆占用,也用于控制信号或转辙装置,以保证行车安全。如图 1-5 所示,整个路网依适当距离分成许多闭塞区间,各闭塞区间以轨道绝缘接头隔开,形成独立轨道电路,各区间的起始点皆设有色灯信号机。

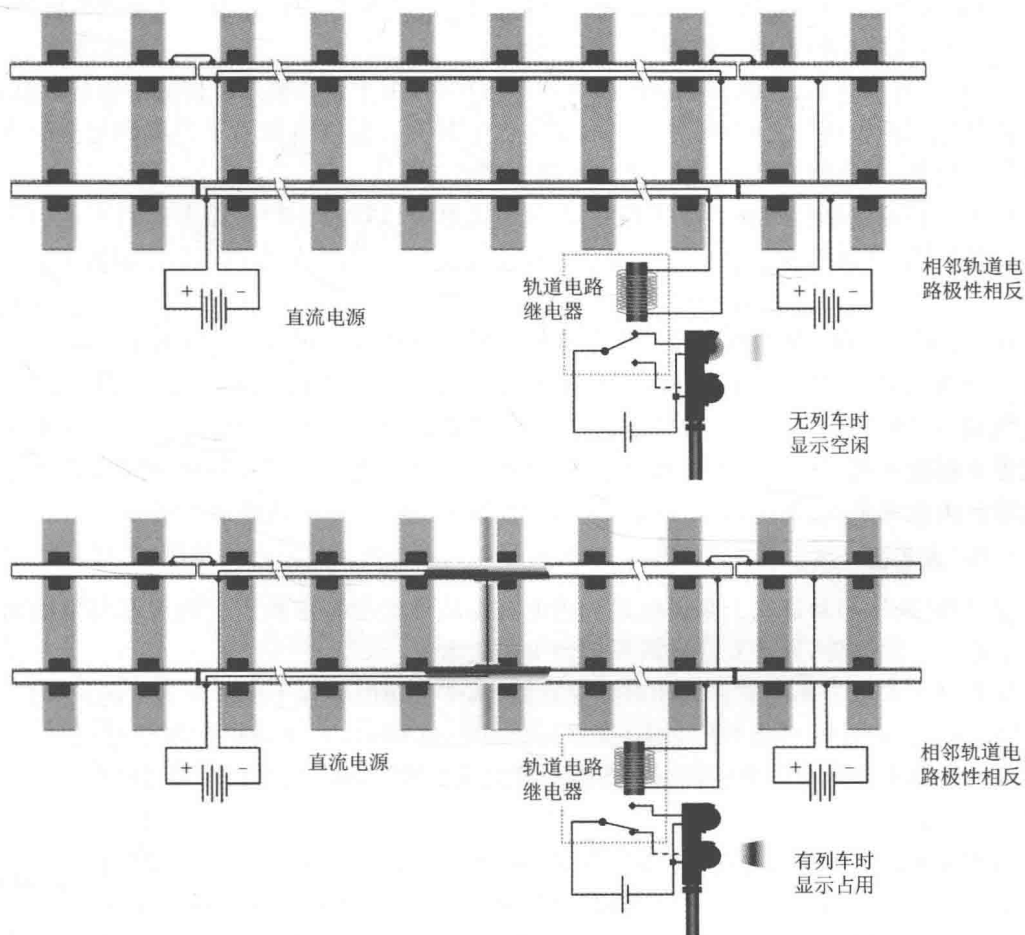


图 1-5 轨道电路原理

当有列车驶入闭塞区间时,电流改经列车车轴,不会流经继电器,接点接通红灯电路(信号机即显示禁行)。当轨道电路某段线路上空闲时,轨道电路上的继电器有足够的电流通过,吸起被磁化的衔铁,闭合前接点,从而接通色灯信号机的绿灯电路,显示绿色灯光,表示前方线路空闲,允许机车车辆占用。轨道电路的这种工作特性能够防止列车追尾和冲突事故,确保行车安全。

轨道电路的另一个重要作用是能发现钢轨发生断裂。一旦前方钢轨折断或出现阻碍,切断了轨道电流,就会使继电器因供电不足而释放衔铁接通红色信号电路。此时,线路虽然空闲,信号机仍然显示红灯,从而防止列车颠覆事故。

轨道电路有四种状态,即调整状态(无车占用)、分路状态(有车占用)、断轨故障状态和短路故障状态。

(1)调整状态:平时在轨道电路的两根钢轨完好、又无列车占用时,电源电流通过两根钢轨和接收设备——轨道继电器,使它有电磁力吸起衔铁,并且闭合其前接点,反映了轨道电路空闲——调整状态。

(2)分路状态:当有列车占用轨道区段时,电源电流被列车轮轴分路,使继电器由于得不到足够的电流而失磁,使衔铁落下,并且闭合其后接点,反映了轨道电路被占用——分路状态。

(3)断轨状态:当轨道电路发生断轨或断线等故障时,同样使接收电流减少而继电器失磁,使衔铁落下,反映出轨道电路故障——断轨状态。

(4)短路故障状态:当轨道电路区段无列车占用时,由于钢轨辅助设备的不正常接触,或外界短路线造成两根钢轨之间短路(此时的短路也是分流),使继电器由于得不到足够的电流而失磁落下衔铁,并且闭合其后接点,此为短路故障状态。

由上述轨道电路的四种工作状态可知,轨道电路可以检查钢轨线路上的列车运行情况及线路完整状态,并将这些信息连续地传递到自动控制系统中去,从而可以迅速和准确地指挥列车运行。

例如:区间自动闭塞与机车信号就是利用轨道电路传递前方列车运行状态的信息,自动地指挥后方续行列车,以最小的间隔运行,从而提高行车的密度和速度,并确保了行车安全性。在电气集中车站的到发线上装设轨道电路,可以检查出轨道上是否有车占用,防止向有车占用的股道上再接入列车。道岔区段轨道电路,可以防止列车轮对占用道岔时,发生道岔中途转换的危险。由此可见,轨道电路在铁路信号自动控制系统中具有极其重要的作用<sup>[11]</sup>。

#### 1.2.1.5 应答器

应答器(Balise)从定义上来讲就是利用电磁感应理论在特定地点实现机车与地面间相互通信的数据传输装置,通常安装在两根钢轨中心枕木上。

应答器主要分为无源应答器和有源应答器,其中无源应答器不要求外加电源,平时处于休眠状态,仅靠瞬时接收车载 BTM(Balise Transmission Module)天线的能量信号而工作,并能在接收到车载天线能量信号的同时向车载天线发送大量的编码信息。应答器的典型组成结构如图 1-6 所示。

当车载天线接近应答器时,应答器的耦合线圈感应到 27 MHz 的磁场,能量接收电路将其转化为电能,从而建立起应答器工作所需要的电源,应答器开始工作,控制模块首先判断 C 接口来的数据是否有效,若无效或无数据,则使用报文存储器中的数据输出到数据收发模块,经功率放大后,由耦合线圈发送。只要在车载天线在应答器上方,控制模块就会不间断地发送报

文。一旦控制模块作出报文选择(选择存储的数据还是 C 接口传来的数据),在本次上电工作周期内,无论 C 接口数据有效与否,应答器都不会改变发送的数据。C 接口工作电源仅用于该接口电路,不给控制模块和数据收发供电,因此,有源应答器也只有在车载天线出现时才发送数据<sup>[14]</sup>。

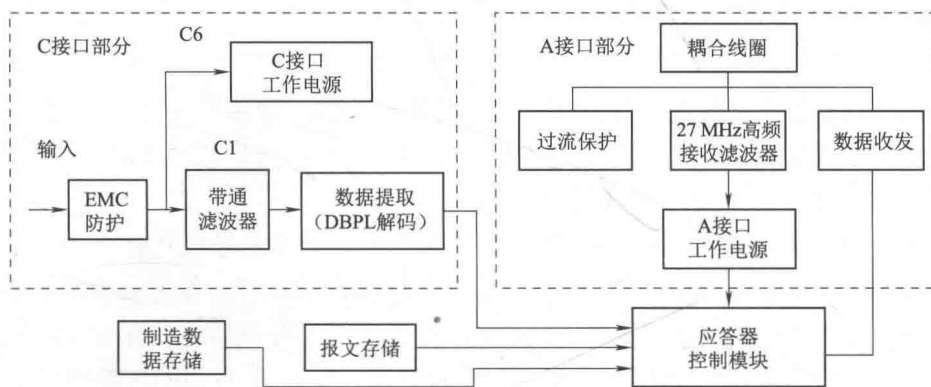


图 1-6 应答器组成结构

### 1.2.2 区间闭塞

区间的界限,对于单线区段以进站信号机作为车站与区间的界限;对于复线或多线区段,分别以各线的进站信号机或站界标作为车站与区间的界限。由车站向区间发车时,必须确认区间无车;在单线线路上还必须防止两个车站同时向一个区间发车。为此,要求按照一定的方法组织列车在区间内运行,一般叫做行车闭塞法,或叫做区间闭塞(Section Block)。

所谓“闭塞”，是指当一列车出发占用区间后，就使该区间两端封闭起来，不允许再向这一区间发车，直到该列车驶离这一区间之后，才能向该区间发第二个列车，这样就可以防止追尾。实现闭塞的方法一般有下列四种。

#### 1.2.2.1 人工闭塞(路牌、路签闭塞)

为了仅仅准许一列列车有权占用区间,必须发给一定形式的行车凭证。电报或电话闭塞的行车凭证是路票。路票是发车站值班员在和接车站值班员取得联系后签发的。列车司机得到路票后,即可向路票所指定的区间发车。因为这种方法是以人工保证的,所以也叫做人工闭塞方法,简称人工闭塞(Manual Blocking)。

在工作繁忙时容易因疏忽而造成错误签发路票,以至引起撞车事故,因而后来又采用了电气路签或电气路牌闭塞(Electronic Blocking)。此种闭塞方式的行车凭证是从闭塞机里取出的路签或路牌。在一个区间的两端车站上各安装一台闭塞机,并作为一组。在一组闭塞机里装有这个区间的行车凭证——路签或路牌。只有在区间开通的条件下,由两站的车站值班员协同操作,才能由一组闭塞机里取出一个路签或路牌。列车司机得到路签或路牌后,才有权占用该路签或路牌所属的区间。因此能保证区间只有一个列车运行。只有将已取出的路签或路牌再纳入该组的闭塞机里之后,才说明这个区间由闭塞状态又复原为开通状态,才有可能重新取出另一个路签或路牌,亦即才有可能向这个区间发出另一列车。这样就克服了电报或电话闭塞的缺点,行车安全得到了保证。

路牌和路签闭塞虽然在铁路运输中起了很重要的作用,但当行车密度加大时,这种闭塞方法就不适应了。因为取送路牌或路签的工作很繁重,还会限制列车通过车站速度,有时会发生路签或路牌破损、丢失等事故,在运量不平衡区段还要调整路签或路牌数,因而延长了车站间隔时间,而车站间隔时间延长就阻碍着线路通过能力的进一步提高,不能适应高速行车的要求。正是因为如此,半自动闭塞就逐步发展了起来。

#### 1.2.2.2 半自动闭塞

为了取消像路签或路牌那样的实物凭证,半自动闭塞以出站信号机的进行信号作为列车占用区间的行车凭证。某一区间的两个车站,所属同一区间的出站信号机同时只准许一架开放,并且只有取得区间空闲证明时才能开放。

发车站必须在办好闭塞的基础上才能开放出发信号。出站信号机开放后,区间即成为闭塞状态。列车依据出站信号机的进行信号开出车站时,这架出站信号机就自动关闭,并和有关出站信号机一样被锁在关闭的位置上。只有取得证明该列车确实全部出清区间以后,才能解除对出站信号机的锁闭,这个区间才又复原为开通状态。可见,半自动闭塞能缩短会车时间,从而提高了区间的通过能力,改善了车站值班员和机车乘务人员的劳动条件。半自动闭塞只用到列车进出车站的检查设备(用较短的一段轨道电路),在区间没有检查设备。为了证实列车在区间没有遗留下车辆,列车到站要由车站值班员确认。亦即列车是否出清区间还要由人工保证。这种方法,既要人的操纵,又依靠列车的作用自动动作,所以叫做半自动闭塞(Semi-Automatic Blocking)。

由于半自动闭塞办理闭塞的手续(包括开放出站信号机)还是需要一定的时间,而且在这种制度下,一个区间仍只准有一列列车运行。这样,当铁路运量不断增大,要求进一步提高区间通过能力时,就显示出半自动闭塞本身的局限性。

#### 1.2.2.3 自动闭塞

如果将区间划分若干个闭塞分区,每个闭塞分区都装以轨道电路,在分界点处设通过信号机,并使之与轨道电路相联系,依据列车占用和出清闭塞分区而自动地变换信号显示,这样就可以在一个区间内同时允许多列列车运行,从而使线路的通过能力得到进一步提高;并且,闭塞分区内是否留有车辆也由设备直接检查出来。这种方法,不再需要人为操纵,称之为自动闭塞(Automatic Blocking)。

自动闭塞运用在复线铁路上,提高线路通过能力的效果特别显著,因为复线铁路没有列车交会。在自动闭塞区段,一般在机车上还要装有机车自动信号,以反映地面固定信号机的显示。机车自动信号又往往附有自动停车装置,当列车司机没有按机车自动信号的显示采取措施时,自动停车装置就发挥其作用,迫使列车自动地停车。很明显,装上机车自动信号和自动停车装置后,就能进一步地发挥出自动闭塞的效果。

#### 1.2.2.4 移动闭塞

移动闭塞(Movable Blocking)方式不需要将区间划分成固定的若干闭塞分区,而是在两个列车之间自动地调整运行间隔,使之经常保持一定距离的闭塞方法。这种闭塞方式是由列车自动调整间隔,使两列车之间的间隔最小,从而增大了区间内的行车密度,大大提高区段的通过能力,但其准确性也依赖于列车定位精度的响应速度<sup>[11]</sup>。