



全国普通高等院校“十三五”规划系列教材  
——城市轨道交通运营管理类

# 城市轨道交通 运营信号基础

CHENGSHI GUIDAO JIAOTONG  
YUNYING XINHAO JICHU

主 编 ○ 徐纪康 赵晓峰 周艳丽  
主 审 ○ 徐瑞华

 西南交通大学出版社





全国普通高等院校“十三五”规划系列教材  
——城市轨道交通运营管理类

# 城市轨道交通 运营信号基础

主 编 ○ 徐纪康 赵晓峰 周艳丽

主 审 ○ 徐瑞华

西南交通大学出版社  
· 成 都 ·

图书在版编目(CIP)数据

城市轨道交通运营信号基础 / 徐纪康, 赵晓峰, 周艳丽主编. —成都: 西南交通大学出版社, 2017.9  
全国普通高等院校“十三五”规划系列教材. 城市轨道交通运营管理类  
ISBN 978-7-5643-5666-8

I. ①城… II. ①徐… ②赵… ③周… III. ①城市铁路-交通信号-信号系统-高等学校-教材 IV. ①U239.5

中国版本图书馆CIP数据核字(2017)第223436号

全国普通高等院校“十三五”规划系列教材——城市轨道交通运营管理类  
**城市轨道交通运营信号基础**

主 编 / 徐纪康 赵晓峰 周艳丽  
责任编辑 / 穆 丰  
助理编辑 / 宋浩田  
封面设计 / 何东琳设计工作室

西南交通大学出版社出版发行  
(四川省成都市二环路北一段111号西南交通大学创新大厦21楼 610031)  
发行部电话: 028-87600564 028-87600533  
网址: <http://www.xnjdcbs.com>  
印刷: 四川煤田地质制图印刷厂

成品尺寸 185 mm × 260 mm  
印张 8 字数 183 千  
版次 2017年9月第1版 印次 2017年9月第1次

书号 ISBN 978-7-5643-5666-8  
定价 28.00 元

课件咨询电话: 028-87600533  
图书如有印装质量问题 本社负责退换  
版权所有 盗版必究 举报电话: 028-87600562

## 编委会

主任：徐刚

副主任：曾翠峰 罗钦

委员：王志强 朱炜 张雄飞 徐纪康

李伟 马羽 曹文忠 郭朝荣

温少表 潘伟健 姚国如

# 前 言

伴随着我国城市化进程的加快,城市交通问题日益加剧。鉴于轨道交通的安全、准点、节能、环保和大容量等特点,发展以轨道交通为骨干的城市公共交通系统已成为解决城市交通问题的共识。城市轨道交通信号系统提供行车指挥、运行控制和调整、超速防护、自动驾驶等功能,是保证列车运行安全的重要设备。因此,城市轨道交通运营管理专业人员能对信号系统及相关设备有所了解,将更有利于运营工作的开展。

《城市轨道交通运营信号基础》课程讲述了信号专业中的各种基础设备及其工作原理,介绍了联锁和闭塞的基本概念和定义,并以此为基础,详细描述了信号系统的架构和功能,包括现在实际使用较多的基于通信的列车运行控制系统(简称CBTC)和无人驾驶信号系统。然后,本书介绍了与信号系统相关的各种运营组织和运营技术指标的计算原理和计算方法。最后,基于现在城市轨道交通网络化运营和互联互通发展趋势,讲解了与网络化运营相关的模式和方法,以及信号与网络化运营相适应的各种原理和方案。

目前,虽然各层次的城市轨道交通运营相关的教材比较多,但紧密结合信号与运营之间相关内容的教材仍然少见。鉴于此,本教材立足于城轨,结合多年来“城市轨道交通信号基础”课程的教学实践,以及对实际的CBTC系统和无人驾驶系统的调研等进行整理,形成了这本《城市轨道交通运营信号基础》的教材,力求让学生深入理解信号与运营之间的相结合点。

本书由上海工程技术大学徐纪康、上海富欣智能交通控制有限公司赵晓峰、华东交通大学周艳丽共同编写;由同济大学徐瑞华担任主审。

在编写过程中,本书大量参考和引用了有关城市轨道交通的文献和相关企业的产品技术资料,在此谨向有关专家及部门致以最衷心的感谢。鉴于编写人员水平有限、资料难以收集齐全及实践经验的局限性,书中难免有不足之处,恳请读者批评指正。

编 者

2017年7月

# 目 录

1 绪 论 .....	1
1.1 城市轨道交通的历史和发展 .....	1
1.2 城市轨道交通信号与运营之间的关系 .....	3
1.3 本书的主要内容和结构 .....	6
2 城市轨道交通信号设备 .....	7
2.1 继电器 .....	7
2.2 信号机 .....	17
2.3 道岔与转辙机 .....	23
2.4 应答器 .....	30
2.5 计轴器 .....	33
3 CBTC 信号系统 .....	43
3.1 联锁原理 .....	43
3.2 闭塞原理 .....	51
3.3 CBTC 信号系统原理和功能 .....	58
3.4 无人驾驶信号系统 .....	65
4 信号系统中的运营性能 .....	72
4.1 牵引计算原理 .....	72
4.2 基于移动闭塞的列车间隔时间计算 .....	84
4.3 基于信号系统的折返能力计算 .....	87
5 运行图与信号系统 .....	93
5.1 运行图 .....	93
5.2 运行图在信号系统中的应用 .....	94
5.3 运行图的调整 .....	98
5.4 案例分析 .....	100
6 网络化运营与信号系统 .....	103
6.1 网络化运营 .....	103
6.2 网络化运营下的调度功能 .....	107
6.3 信号系统与网络化运营 .....	112
参考文献 .....	118

# 1 绪 论

## 1.1 城市轨道交通的历史和发展

随着社会与经济的发展,城市化已成为当今世界发展的重要趋势。城市化是人与物、资金、技术、信息等由乡村向城市、由小城镇向大城市、由空间上的平面向某些点聚集的历史过程。在城市化的历程中,不同规模及不同发展阶段的城市产生了不同的交通需求,需要通过相应的交通技术及运输工具来加以满足。从许多国际化大都市发展的实践来看,轨道交通以其运量大、速度快的技术优势成为城市交通结构中不可缺少的组成部分,它较好地解决了大、中型城市交通日益增长的供需矛盾问题,并满足了城市化发展的要求。与城市的形成、发展及城市化进程的初级阶段、中级阶段和高级阶段相对应,城市交通的发展也分为初级、中级和高级三个阶段;相应的,作为城市交通主要组成部分的城市轨道交通的发展也经历了生成期、成长期和成熟期三个阶段。

### 1.1.1 生成期的城市轨道交通

生成期城市轨道交通的变革具有时代的爆发性。城市化初期,由工业技术进步所创造的所有先进交通工具基本上被首先用于解决市际交通问题。当城市化进程发展到一定程度,城市规模扩大到只有利用交通工具才能保证城市经济生活的正常进行时,城市内部交通系统开始诞生,出现了相应的交通工具并逐渐有所发展。正是在这种背景之下,1828年在巴黎出现了一种可供14人乘坐的单行“公共马车”,并以固定路线、固定价格、按固定站循环的方式运载乘客,这是历史上第一条公共交通线。随后又演变成马拉轨道车,从而拉开城市轨道交通发展的序幕。

### 1.1.2 成长期的城市轨道交通

工业革命以后的城市规划无不把城市交通放到了极为重要的地位。同时,城市交通的侧重点从城市的外部交通逐渐转移到城市内部交通特别是轨道交通上来,先进的交通工具也随即从外部交通转到内部交通中来。比如,伦敦、巴黎、纽约、东京和柏林都曾把部分市际铁路改造为市郊铁路,甚至把蒸汽牵引方式也一度引入城市内部交通之中。随着城市内部交通的发展,关于城市轨道交通的成分比例也越来越大,这一过程与城市化的步伐是紧密相连的。

城市化要求城市交通系统的规模与其发展的规模相适应。随着城市化进程的加快和城市规模的扩大,除了要保证城市内部人员的正常出行需要并发展相应的城市客运交通工具以外,交通工具的规模(即承运能力)必须与城市化本身发展的规模相适应。从马车、马拉轨道车向有轨电车、地铁方向的发展,不仅仅表现了交通工具的变革,最主要地还是体现了承运能力的变革。

成长期的城市轨道交通系统已相当完备,在城市交通中所占的比重已越来越大。进入成长期后,英、法等国城市交通系统迅速发展,在很短时间里就把由工业革命带来的各种先进技术用到了城市交通系统中来,尤其体现在市内交通部分。在交通工具的更新与改造方面,更是不遗余力。

1852年,欧洲有9个城市出现了有轨电车。此后,有轨电车就一直作为城市公共交通的主要手段。1863年世界上第一条地下铁道在英国伦敦建成,同期出现城市铁路郊区线路。到了第一次世界大战前夕,世界上至少有12个城市修建了地铁,它们分别是:伦敦(1863年)、纽约(1868年)、伊斯坦布尔(1875年)、布达佩斯(1897年)、格拉斯哥(1897年)、威尼斯(1898年)、巴黎(1900年)、波士顿(1901年)、柏林(1902年)、费城(1907年)、汉堡(1912年)、布宜诺斯艾利斯(1913年)。

轨道交通伴随着城市公共交通的发展而生成,它从一开始就以大众作为主要运输服务对象,并逐步成为城市公共交通结构中不可缺少的组成部分。这种运行方式正好适应了随着城市化发展城市客流对公共交通变化的需要。在以后近百年的时间里,许多大城市基本上把城市轨道交通的发展作为城市公共交通系统的主体来对待。从一定程度上讲,轨道交通在现代城市交通的大众化中起着不可忽视的重要作用,其飞速发展是历史的一种必然趋势。

### 1.1.3 成熟期的城市轨道交通

和任何事物的变化规律一样,城市轨道交通也有一个产生、发展、成熟的过程。这其中除了技术因素外,更重要的是社会因素。第二次世界大战以后,世界各国的经济进入了一个新的发展期。在二战前城市化水平比较高的国家,在战争后又迅速进入城市化发展比较成熟的阶段。而不少在二战前城市化水平并非很高的国家或地区,由于城市经济的飞跃发展也迅速达到了城市化比较成熟的阶段。由城市化发展与城市交通发展的紧密关系所决定,一些发达国家或地区的城市交通,特别是轨道交通发展也进入了成熟期。

由工业革命推动的城市化进程,在一些发达国家经过近一个世纪的加速发展后,先后于20世纪70、80年代进入稳定期。从总体上说,城市化中的城市人口所占总人口比例达到80%就基本上处于稳定状态了。它既标志着城市化发展已基本进入了稳定成熟期,也标志着人与物向城市空间运动的规模流量积沉达到了空前的水平。同时,市际交通与市内交通的规模也达到了空前水平。

促使城市交通进入成熟期的因素是多方面的。但总的说来可归结为两个方面:一个方面是城市经济的进一步发展,并最终把城市化发展推向了成熟阶段;另一个方面则是城市交通本身的进一步发展,使其不仅在满足城市对内与对外交通需求方面得到了进一步满足,



而且在交通系统及运输手段革新方面也有了极大的发展和完善，从而保证了城市轨道交通的发展在一些发达城市进入了成熟期。

## 1.2 城市轨道交通信号与运营之间的关系

本小节主要通过一个案例来介绍轨道交通信号与运营之间的相辅相成关系。如图 1.1 所示为 1828 年依靠蒸汽机车实现的轨道交通。

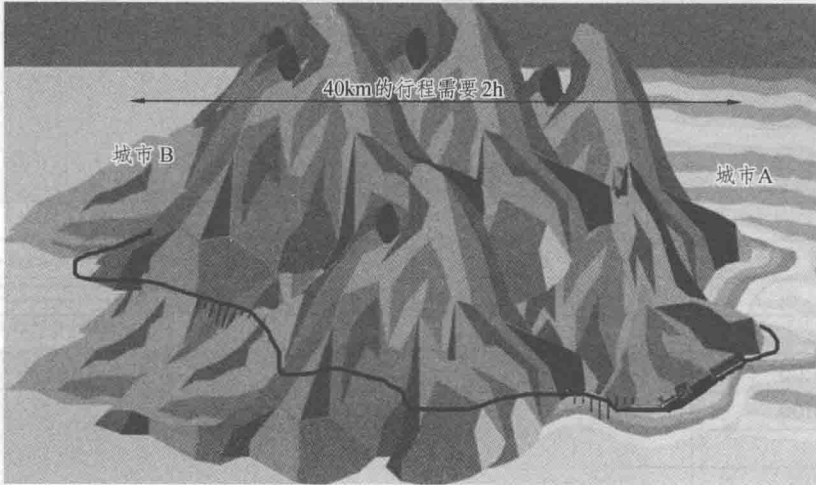


图 1.1 1828 年的轨道交通现状

当时的线路单一，车次只有一列，时刻表非常简单，运输能力也非常低，如表 1.1 所示。乘客需要在车站等待的时间非常长，服务效率低下。

表 1.1 时刻表信息

城市 A		城市 B	
列车到达	列车出发	列车到达	列车出发
	9:00	11:00	
14:00			12:00
	15:00	17:00	
20:00			18:00

轨道交通发展到第二阶段，随着轨道岔道设备的产生，具备允许列车在车站停靠在轨道支线的条件了。同时运输能力有了进一步的提高，可以保证两列列车在同一条线路上运营。如图 1.2 所示，时刻表信息如表 1.2 所示。

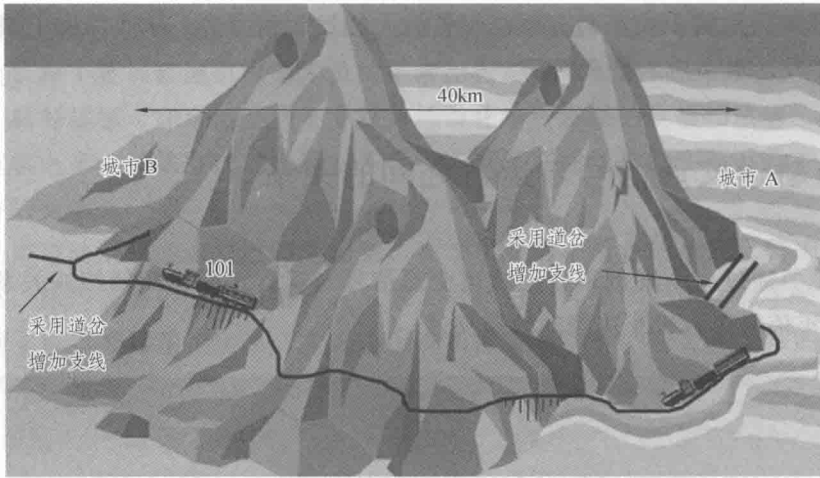


图 1.2 带道岔的轨道交通线路

表 1.2 时刻表信息

城市 A		城市 B	
列车到达	列车出发	列车到达	列车出发
	101 9:00	101 11:00	
	102 10:00	102 12:00	
101 14:00			101 12:01
102 15:00			102 13:00
	101 15:01	101 17:00	
	102 16:00	102 18:00	
101 20:00			101 18:01
102 21:00			102 19:00

但是，当有两列以上的列车在区间运行时，后车并不知道前方列车的运行情况。如果前车发生故障而导致列车无法运行时，需要考虑安全和影响因素。因此，产生了信号机等设备，用于提前告诉后续列车的司机前车运行情况并采取相应的措施。如图 1.3 所示。

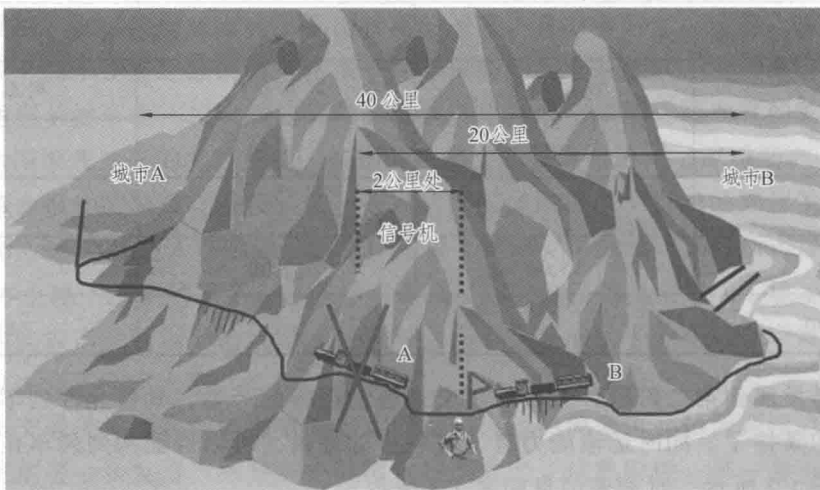
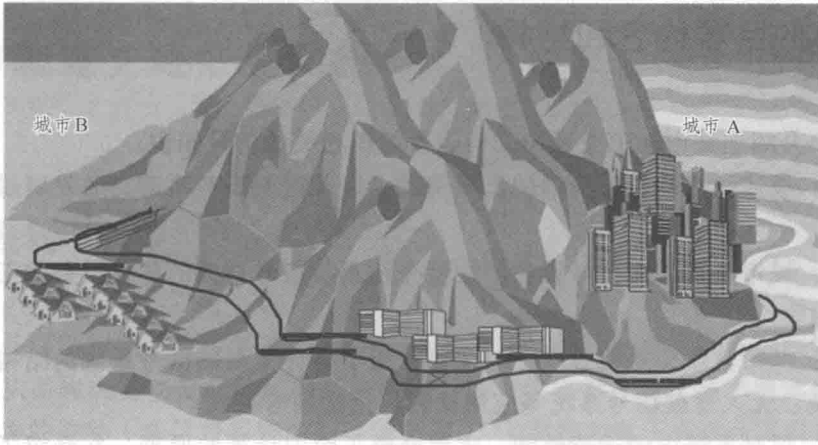
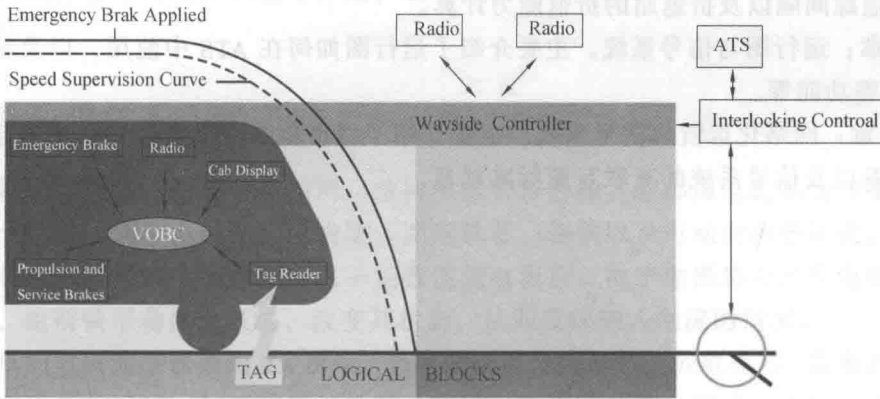


图 1.3 集成信号机和道岔的轨道交通系统

随着信号设备的发展和完善，如今的城市轨道交通运营达到了更高的效率。城市轨道交通具备了 ATC 信号系统后，能实现高效的运行能力，同时也降低了司机的工作强度，如图 1.4 所示。



(a)



(b)

图 1.4 集成 ATC 系统的轨道交通系统

具备了信号系统之后，整体的运行效率才能满足如图 1.5 所示的运行图要求。

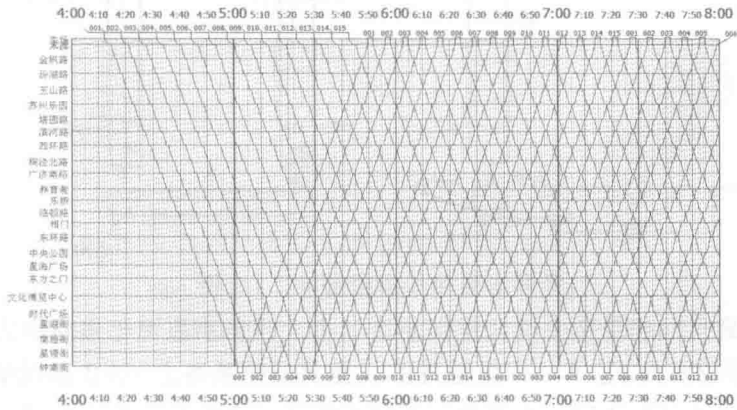


图 1.5 运行图

因此，轨道交通运输能力的发展与信号有着密不可分的关系。通过信号设备的发展和提升，才能实现高密度高效率的运输能力。

### 1.3 本书的主要内容和结构

本书主要介绍在城市轨道交通中，与运营组织相关的信号知识。

第 1 章：概述。介绍轨道交通的发展情况，以及时刻表与轨道交通发展过程之间的相关关系。

第 2 章：城市轨道交通信号设备。主要介绍了与信号相关的各种设备的工作原理、类型和作用等内容。

第 3 章：城市轨道交通信号系统。主要介绍了各种类型的信号系统的结构和功能，包括 CBTC 系统、无人驾驶信号系统等应用比较广泛的信号系统。

第 4 章：信号系统中的运营性能。主要介绍了牵引计算的原理，并介绍了如何分析列车之间的追踪间隔以及折返站的折返能力计算。

第 5 章：运行图与信号系统。主要介绍了运行图如何在 ATS 中使用，以及基于运行图的 ATS 调整功能等。

第 6 章：网络化运营与信号系统。主要介绍了城市轨道交通的信号系统与部分网络化运营的关系以及信号系统的互联互通标准规范。

## 2 城市轨道交通信号设备

### 2.1 继电器

继电器是自动控制系统中常用的电器，用于接通和断开电路，以发布控制命令和反映设备状态，从而构成自动控制和远程控制电路。信号继电器是用于城市轨道交通信号技术中各类继电器的统称（在信号系统中简称继电器），主要作为电子式或计算机式信号系统的接口部件，发挥着不可缺少的重要作用。继电器动作的可靠性直接影响到信号系统的可靠性和安全性。

#### 2.1.1 继电器的基本原理

继电器种类很多，性能各不相同，结构形式各种各样，但都由电磁系统和接点系统两大主要部分组成。其中电磁系统由线圈、固定铁芯、轭铁以及可动的衔铁构成，接点系统由动接点和静接点构成。当线圈通入一定数值的电流后，由于电磁感应产生电磁吸引力，吸引衔铁，由衔铁带动接点系统，改变其状态，从而反映输入电流的情况。

最简单的电磁继电器如图 2.1 所示。当给线圈通以一定数值的电流后，在衔铁和铁芯之间产生一定数量的磁通，该磁通通过铁芯、衔铁、轭铁和气隙，形成一个闭合磁路，铁芯对衔铁就产生了吸引力。

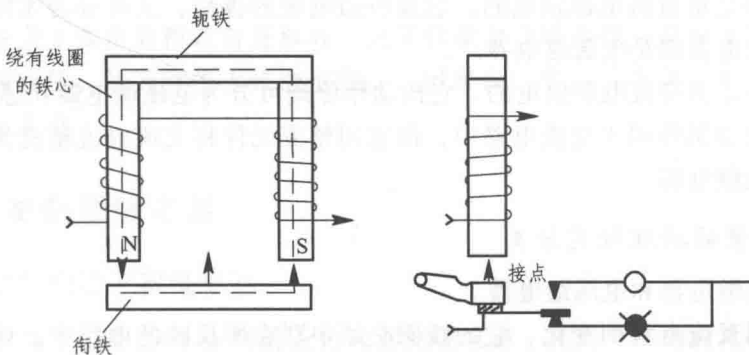


图 2.1 电磁继电器的基本原理

吸引力的大小取决于所通电流的大小。当电流增大到一定值时，当吸引力增大到能克服衔铁向铁芯运动的阻力时（主要是衔铁自重），衔铁就被吸向铁芯。由衔铁带动的动接点（随衔铁一起动作的接点）也随之动作，与动合接点（前接点，以下简称前接点）接通。此状

态称为继电器励磁吸起（以下简称吸起）。吸引力随电流的减小而减小，当吸引力减小到不足以克服衔铁重力时衔铁靠自重落下（称为释放），衔铁带动动接点与前接点断开，与动断接点后接点（以下简称后接点）接通。此状态称为继电器失磁落下（以下简称落下）。

继电器具有开关特性，利用它的接点通、断电路，可构成各种控制和表示电路。继电器也具有继电特性，能以极小的电信号来控制执行电路中相当大的对象，能控制多个对象和多个回路，能控制远距离的对象。此外，继电器还有故障-安全（发生故障时导向安全）性能，抗雷击性能强、无噪声、不受周围温度影响等特性。

由于上述这些性能，信号继电器在城市轨道交通以电子器件和计算机构成的信号系统中，（如：计算机联锁、微机监测等设备中），作为其接口部件，将系统主机与轨道电路/计轴、信号机、道岔转辙机等执行部件结合起来。虽然已出现全电子化的系统，但要全部取消继电器仍然需要相当长的时间。所以，不仅在现在，更是在未来，信号继电器在城市轨道交通信号领域将始终起着重要作用。

## 2.1.2 信号继电器的分类

继电器种类繁多，信号继电器种类也不少，可按不同方式分类。

### 1. 按动作原理分类

可分为电磁继电器和感应继电器。

电磁继电器是通过继电器线圈中的电流在磁路的气隙（铁芯与衔铁之间）中产生电磁力，吸引衔铁，带动接点动作的。此类继电器数量最多。

感应继电器是利用电流通过线圈产生的交变磁场与另一交变磁场在翼板中所感应的电流相互作用产生电磁力，使翼板转动而动作的。

### 2. 按动作电流分类

可分为直流继电器和交流继电器。

直流继电器是由直流电源供电的，它按所通电流的极性，又可分为无极、偏极和有极继电器。直流继电器都是电磁继电器。

交流继电器是由交流电源供电的。它按动作原理可分为电磁继电器和感应继电器。

整流式继电器虽然用于交流电路中，但它用整流元件将交流电流整流为直流电，所以其实质上是直流继电器。

### 3. 按输入量的物理性质分类

可分为电流继电器和电压继电器。

电流继电器反应电流的变化，它的线圈必须串联在所反映的电路中。该电路包含被反映的器件，如电动机绕组、信号灯泡等。

电压继电器反映电压的变化，它由线圈励磁电路单独构成。

### 4. 按动作速度分类

可分为正常动作继电器、缓动继电器和快动继电器。

正常动作继电器，其衔铁动作时间为  $0.1 \sim 0.3 \text{ s}$ 。大部分信号继电器属于此类，一般无需加此称呼。

缓动继电器，其衔铁动作时间超过  $0.3 \text{ s}$ ，又分为缓吸、缓放。时间继电器是利用脉冲延时电路或软件设定使之缓吸。缓放型继电器利用短路铜环产生磁通使之缓动，主要取其缓放特性。

快动继电器，其衔铁动作时间小于  $0.1 \text{ s}$ 。

## 5. 按接点结构分类

可分为普通接点继电器和加强接点继电器。

普通接点继电器具有开端功率较小的接点的能力，以满足一般信号电路的要求，多数继电器为普通接点继电器，一般不加此称呼。

加强接点继电器具有开断功率较大的接点的能力，以满足电压较高、电流较大的信号电路的要求。

## 6. 按工作可靠程度分类

可分为安全型继电器和非安全型继电器。

安全型继电器（N 型）是无需借助于其他继电器，亦无需对其接点在电路中的工作状态进行监督检查，其自身结构便能满足一切安全条件的继电器，其特点是：

- （1）当线圈断电时，衔铁可借助自身重量释放，从而使前接点可靠断开。
- （2）选用合适的接点材料，构成非熔接性前接点，或采用能防止接点熔接的特殊结构。
- （3）当一组不应闭合的后接点仍然闭合时，结构上能防止所有前接点闭合。

非安全型继电器（C 型）是必须监督检查接点在电路中的工作状态，以保证安全条件的继电器，其特点是：

- （1）由于继电器在使用时已检查了衔铁的释放，因此不必采用非熔接性接点材料。
- （2）当一组不应闭合的前接点仍然闭合时，结构上能保证所有后接点不闭合。反之亦然。

安全型继电器主要依靠衔铁自身释放，故又称重力式继电器；非安全型继电器主要依靠弹簧弹力释放衔铁，故又称弹力式继电器。一般来说，安全型继电器的安全性、可靠性高于非安全型继电器。

## 2.1.3 常用安全型继电器

### 2.1.3.1 JWXC 型直流无极继电器

安全型继电器为直流  $24 \text{ V}$  系列的重力式直流继电器。其典型结构为无极继电器，其他各型继电器均由无极继电器的派生，因此，绝大多数零件都能通用。

无极继电器由直流电磁系统与接点系统两大部分组成。直流电磁系统由线圈、铁芯、衔铁、轭铁以及衔铁止片等五部分组成。接点系统由接点片、重锤片、接点拉杆、接点托片等四部分组成。

JWXC 型继电器的基本结构如图 2.2 所示，电磁系统的线圈水平安装在铁芯上，分为前线圈和后线圈，以便分别使用。

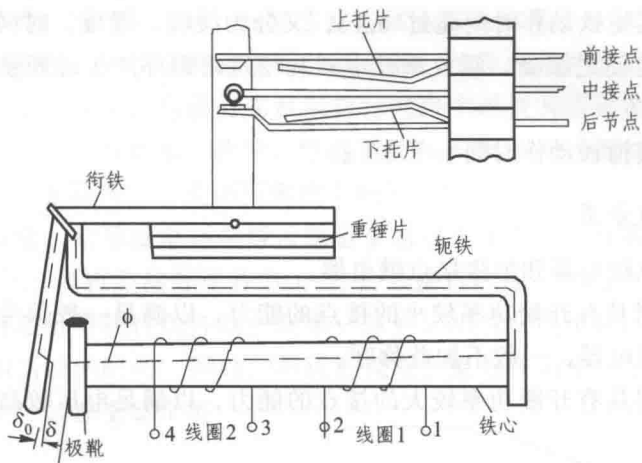


图 2.2 JWXC 型继电器的基本结构

继电器的特点是：只要通入继电器线圈的直流电流达到规定值，无论什么极性都能吸起。它分电压型和电流型两种：电压型线圈与电源并联，电流型线圈串联在电源回路中。因而电压型继电器线圈匝数较多、线径细、线圈电阻较大；电流型继电器线圈匝数较少、线径粗、线圈电阻较小。根据继电器型号中线圈电阻值就可以确定继电器属于哪一类。

在线圈上有一定数量的电流流过时，由于线圈通电而产生磁场，在铁芯、轭铁、衔铁气隙等形成的回路中产生磁通。这个磁通所经过的路径称为磁路。当线圈中的电流逐渐达到一定数量安匝时，由于磁通的作用，在工作气隙处对衔铁产生一定的电磁力，当此电磁力足以克服重锤片、推杆、接点弹片等对衔铁的作用力时，使衔铁吸向铁芯，衔铁推动推杆上升，带动中接点，使其与后接点断开，与前接点闭合。这时，继电器为吸起状态。当线圈中的电流减小时，铁芯中磁通也随之减少，磁极对衔铁的吸力不能克服重锤片、推杆以及接点弹片对接点的作用力时，衔铁释放，使中接点离开前接点，而与后接点闭合，这时称为落下状态。这种继电器的动作与通过线圈的电流大小有关，而与电流的方向无关。但两线圈磁通方向必须一致，否则，磁通相互抵消，继电器不能吸起。

### 2.1.3.2 JZXC 型整流式继电器

在只有交流电源供电处，其监督或记录继电器采用整流式继电器。整流式继电器一般常用的有 JZXC-480、JZXC-H156、JZXC-0.14、JZXC-H18 以及派生的 JZXC-H18F 等。各种型号的整流式继电器的工作原理与构成基本相同，均由整流器与直流无极继电器构成。整流方式有两种：桥式整流和半波整流。

在直流无极继电器中接点上部安装半导体整流元件，将交流电变成直流电，作为直流无极继电器。

整流式继电器磁路工作原理与直流无极继电器相同。通过继电器线圈的电流是整流而来的。实际在线圈上所加的是一种全波或半波的脉动直流。由于这种脉动直流使磁路中磁通也存在交变成分，电磁吸力也产生脉动，引起继电器工作时发出声响，这对继电器工作



来说是不利的。

### 2.1.3.3 JPXC 型偏极继电器

偏极继电器能反映通入继电器线圈电流的极性，一般在道岔表示电路中使用。偏极继电器与无极继电器的结构基本相同，只是磁路系统中有特殊部分，即铁芯极靴为方形，衔铁为方形，方形极靴下端装有 L 形永久磁铁，磁路系统的结构如图 2.3 所示。当输入线圈的电流大小达到规定值，并且极性与要求相同时，继电器才能励磁，而电流的方向相反时，衔铁保持不动。

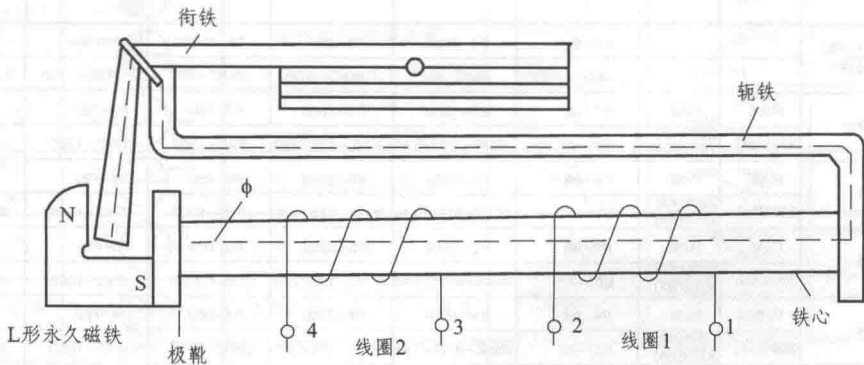


图 2.3 偏极继电器磁路系统结构图

### 2.1.3.4 JYXC 型有极继电器

继电器的吸起与释放和电流极性有关，而且在断电后仍保持原来通电时的状态不变。当继电器线圈通以正向电流时，继电器励磁，断电后仍保持在励磁状态；只有在通以反极性电流时，衔铁才能返回，反之亦然。因此规定：定位为衔铁吸合状态，对应接触的接点为定位接点；反位为打落状态，对应接触的接点为反位接点。

JYXC 型继电器主要用于道岔启动电路。一般有两种类型：普通接点型，如 JYXC-270；加强接点型，如 JYJXC-220/220。

有极继电器的接点系统与无极继电器基本相同，在磁路中有所不同，磁路中增加了永久性磁铁。用一块端部成刀型的永久磁铁代替无极继电器的部分轭铁，磁铁与衔铁间用螺钉紧固，衔铁上没有止片，如图 2.4 所示。

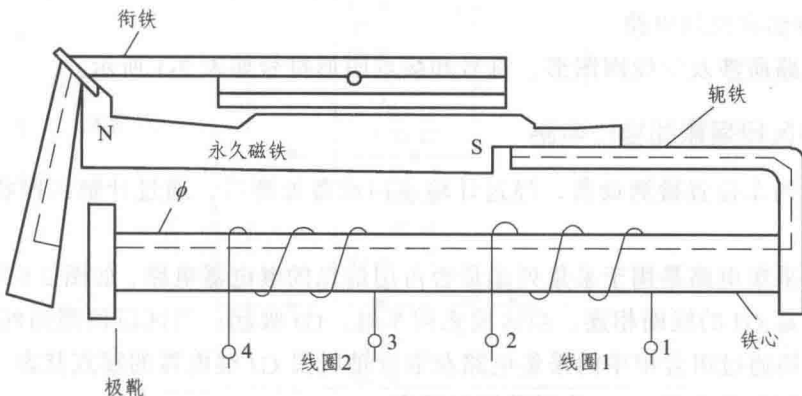


图 2.4 有极继电器磁路系统结构图