



“十二五”国家重点出版物出版规划项目

列车运行控制方法与技术丛书

丛书编审委员会主任 宁 滨

列车运行控制系统 安全性设计技术

LIECHE YUNXING KONGZHI XITONG
ANQUANXING SHEJI JISHU

马连川 编著

中国铁道出版社
CHINA RAILWAY PUBLISHING HOUSE

“十二五”国家重点出版物出版规划项目
铁路科技图书出版基金资助出版

列车运行控制方法与技术丛书

列车运行控制系统安全性设计技术

马连川 编著

中国铁道出版社

2017年·北京

内 容 简 介

本书为《列车运行控制方法与技术丛书》之一。本书依据 IEC 61508、EN 50126、EN 50128、EN 50129 等国际安全标准,结合轨道交通(铁路、城市轨道交通、高速磁浮等)信号系统故障—安全技术的发展趋势,针对列车运行控制系统的安全性设计,从系统安全生命周期要求、安全完整性要求、硬件安全性设计、软件安全性设计等方面,详细描述了相关的安全性设计技术的细节,并给出了列控安全计算机安全性设计的实例。

本书可作为高等院校轨道交通及控制、自动化等专业学生的教学用书,也可作为在职专业人员的继续教育教材或相关工程技术人员的参考、培训教材。

图书在版编目(CIP)数据

列车运行控制系统安全性设计技术/马连川编著. —北京:
中国铁道出版社,2017. 12
(列车运行控制方法与技术丛书)
ISBN 978-7-113-23345-7

I. ①列… II. ①马… III. ①列车-运行-控制系统-安全
设计 IV. ①U284. 48

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2017)第 162532 号

书 名: 列车运行控制方法与技术丛书
名: 列车运行控制系统安全性设计技术
作 者: 马连川 编著

策 划: 崔忠文
责任编辑: 李嘉懿
封面设计: 崔 欣
责任校对: 焦桂荣
责任印制: 高春晓

编辑部电话: 010-51873147

电子信箱: dianwu@vip. sina. com

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: 中国铁道出版社印刷厂

版 次: 2017年12月第1版 2017年12月第1次印刷

开 本: 787 mm×1 092 mm 1/16 印张: 14.5 字数: 351 千

书 号: ISBN 978-7-113-23345-7

定 价: 80.00 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

《列车运行控制方法与技术丛书》

编审委员会

名誉主任

孙优贤 工程院院士 浙江大学
施仲衡 工程院院士 中国地铁工程咨询公司
孙永福 工程院院士 中国铁道学会
桂卫华 工程院院士 中南大学

主 任

宁 滨 教授 北京交通大学校长

副主任

刘朝英 教授级高工 中国铁路总公司运输局电务部主任
唐 涛 教授 北京交通大学轨道交通控制与安全国家重点实验室主任

委 员(按姓氏笔画排序)

卜长坤 北京交通大学
王飞跃 中国科学院自动化研究所
刘大为 中国铁路总公司科技部
李开成 北京交通大学
陈建译 广州铁路(集团)公司
杨志杰 中国铁道科学研究院
赵会兵 北京交通大学
段 武 中国铁道科学研究院
郜春海 北京交通大学
莫志松 中国铁路总公司运输局
郭 进 西南交通大学



崔忠文 中国铁道出版社
黄卫中 中国铁路通信信号集团股份有限公司
程荫杭 北京交通大学
董海荣 北京交通大学
蔡伯根 北京交通大学

序

截至 2014 年底,我国高速铁路运营里程达到 1.6 万公里,成为世界高速铁路运营里程最多的国家。高速铁路把环渤海经济圈、中原城市群、关中城市群、武汉城市圈、长株潭城市群、长三角经济圈、珠三角经济圈等经济区紧密联系在一起,大幅缩短城市间的时空距离,有效减低出行时间成本,对促进区域经济协调发展发挥巨大作用。我国在 22 个城市开通运营城市轨道交通,总通车里程达 3 000 多公里,北京、上海的城市轨道交通日运量已达 1 000 万人以上。高速铁路、城市轨道交通已成为我国公共交通骨干,在国民经济、社会发展中发挥着重要作用。

铁道信号系统是用于控制和防护列车运行的一类特殊设备,旨在保证轨道交通安全、高效运行。计算机、通信及控制等现代信息技术的应用,使铁道信号技术向系统化、网络化、智能化发展,构成了无缝覆盖铁路车、线、站,实时控制列车运行全过程的复杂自动控制系统——列车运行控制系统。伴随着高速铁路、城市轨道交通发展起来的列车运行控制技术和装备,是保证列车安全、高效运行的核心,是高速铁路、城市轨道交通技术先进性的体现。

过去十年,伴随着高速铁路和城市轨道交通的发展,国家高度重视列车运行控制技术和装备的发展,先后在北京交通大学建立了轨道交通控制与安全国家重点实验室、轨道交通运行控制工程研究中心及北京实验室等国家和省部级研究平台,设立了一系列国家自然科学基金、863 计划、国家科技支撑计划及省部级研究项目,围绕高速铁路、轨道交通迫切需要列车运行控制技术和装备,开展相关的应用基础、前沿技术和装备研究。经过潜心研究、努力攻关和拼搏实践,我国已攻克了列车运行控制核心技术,掌握了列车运行控制原理和方法,形成了需求提取、系统集成和联调联试、运用维护等涵盖列车运行控制系统全寿命周期的方法和技术,取得了一系列重大成果,使我国列车运行控制装备技术水平居世界前列。在借鉴欧洲列车控制系统(ETCS)技术规范基础上,我国提出了中国列车运行控制系统(CTCS)技术体系,制订了 CTCS 技术规范和标准。在引进国外核心技术基础上,自主研发了 CTCS-2 级列车运行控制系统和基于 GSM-R 的 CTCS-3 级列车运行控制系统的成套技术装备,实现了互联互通,保证了列车在高速铁路网中长距离、跨线安全、高效运行。经过多年努力,在攻克核心技术基础上,我国自主研制了适

于城市轨道交通的基于通信的列车控制(CBTC)系统。2010年底,北京亦庄线CBTC示范工程顺利开通运营,使我国成为第四个掌握CBTC技术的国家,解决了多年困扰城市轨道交通发展的技术难题。2010年至今,带动CBTC信号系统每公里造价下降达30%以上,降低了城市轨道交通全寿命周期成本,有效支撑了城市轨道交通快速发展和安全运营。

《列车运行控制方法与技术丛书》在系统总结近年来我国列车运行控制核心技术攻关、关键装备研制、工程建造与运用维护等方面所取得的丰富成果基础上,全面介绍了列车运行控制系统的基本原理和关键技术,系统设计、测试验证、安全保证及运营维护等方法。本丛书由轨道交通控制与安全国家重点实验室、轨道交通运行控制国家工程研究中心组织编写,荣幸地入选“十二五”国家重点出版物出版规划项目,并得到铁路科技图书出版基金、轨道交通控制与安全国家重点实验室的支持与资助。

《列车运行控制方法与技术丛书》对于列车运行控制系统领域具有较高的学术价值和实用意义,可为从事列车运行控制的科学研究、关键技术装备研发和运营维护人员提供参考。

编审委员会

2015年10月

前 言

列车运行控制系统作为轨道交通信号系统的重要组成部分和典型的安全苛求系统,是列车安全运行的“大脑”和“神经系统”。

最早在铁路信号系统中出现的故障—安全技术体现了绝对和狭义的安全概念,其主要是以实际经验为基础发展而来。随着以微处理器等大规模集成电路或超大规模集成电路为核心的微电子技术日新月异的发展及其在铁路信号系统,特别是在列车运行控制系统中的广泛应用,传统故障—安全概念转变为具有概率特性的广义安全概念,铁路信号系统特别是列车运行控制系统的安全目标也转变为功能安全,因此,系统的安全性设计在传统故障—安全设计方法的基础上发生了根本性变化。本书依据 IEC 61508、EN 50126、EN 50128、EN 50129 等国际安全标准,从系统安全生命周期要求、安全完整性要求、硬件安全性设计、软件安全性设计等不同方面,针对列车运行控制系统的安全性设计进行论述。

全书共五章。第一章描述了传统铁路信号故障—安全技术的产生与发展历程、技术特征以及广义安全概念的发展概况,介绍了相关安全标准,给出了典型铁路信号系统安全结构举例。第二章说明了系统生命周期、安全完整性及其等级等安全性设计的基本概念,并给出了系统硬件 SIL 计算的实例。第三章主要描述了安全相关系统及其硬件安全性设计所需要的具体技术要求,包括质量与安全管理措施、具体功能和技术安全措施以及与安全相关的环境耐受要求。第四章主要描述了安全相关系统软件安全性设计所需要的具体技术要求,包括软件管理与组织、软件保障一般要求以及通用软件、应用数据和算法的研发要求,最后给出了具体软件开发的技术和措施。第五章作为前述章节所阐述相关安全性设计的应用,以一种二乘二取二结构的列控安全计算机的设计与实现为例,描述了其架构设计、硬件设计和软件设计细节、安全完整性等级指标计算过程以及基于时间自动机的系统建模与验证过程。

本书可作为高等院校轨道交通信号及控制、自动化等专业学生的教学用书,也可作为在职专业人员的继续教育教材或相关工程技术人员的参考、培训教材。

本书由马连川编著。中国铁道科学研究院段武研究员对全书进行了审阅,并提出了许多宝贵的修改意见。在编写过程中也得到了轨道交通控制与安全国家

重点实验室、轨道交通运行控制系统国家工程研究中心、北京交通大学电子信息工程学院的许多同事和研究生的热情支持和帮助。在此，一并对他们表示衷心的感谢。

由于作者水平有限，书中一定存在许多错误和不足之处，恳请读者批评指正。

编 者

2017 年 5 月

目 录

第一章 绪 论	1
第一节 铁路信号安全技术的发展	1
一、传统铁路信号故障—安全技术的产生	2
二、传统铁路信号安全技术概述	3
三、故障—安全概念的发展	9
第二节 安全标准	11
一、IEC 61508 标准	11
二、EN 50126/50128/50129 标准	13
三、EN 50159 标准	14
第三节 典型铁路信号系统安全结构举例	15
一、编码微处理器结构	15
二、SIMIS 结构	16
三、SMILE 结构	20
第二章 列控系统的安全性设计基础	22
第一节 系统生命周期	22
第二节 安全完整性及其等级	26
一、安全需求	26
二、安全完整性	26
三、安全完整性需求的分配	27
四、安全完整性等级(SIL)	33
第三节 安全相关系统硬件的 SIL 计算	34
一、IEC 61508 标准中基于可靠性框图的 SIL 计算方法	35
二、PDS 方法及其应用	39
第三章 系统和硬件安全性设计	44
第一节 系统级方法	44
一、系统层次结构的概念	44
二、系统需求和特点	45

三、系统边界和功能	45
第二节 避免系统失效以及控制随机与系统失效	46
第三节 详细技术要求	52
一、功能正确运行的保障	52
二、故障的影响	53
三、外界影响下的运行	56
四、安全相关应用条件	57
五、安全合格测试	58
第四节 SIL3 或 SIL4 补充技术要求	59
一、物理的内部独立性的获得	59
二、物理的外部独立性的获得	59
三、单故障分析方法示例	60
四、多重故障分析方法示例	61
第五节 其他要求	63
一、可编程器件要求	63
二、既有硬件和商业现货产品硬件要求	67
三、型式试验耐受要求	68
四、电磁兼容及防雷要求	68
第四章 软件安全性设计	74
第一节 概 述	74
一、软件研发流程	74
二、软件安全完整性等级	75
三、软件管理和组织	75
第二节 软件保障一般要求	78
一、软件测试	78
二、软件验证	79
三、软件确认	80
四、软件评估	80
五、软件质量保障	81
六、软件修改和变更控制	82
七、支持工具和语言	83
八、软件部署和维护	85
第三节 通用软件研发要求	87
一、通用软件的生命周期和文档	87

二、软件需求	87
三、软件架构和设计	88
四、组件设计	91
五、组件实现和测试	92
六、集成	92
七、整体软件测试/最终确认	93
第四节 应用数据和算法的研发	94
一、目 标	94
二、输入文档	95
三、输出文档	95
四、要 求	95
第五节 技术和措施的选择标准	97
一、条款表	98
二、详细表格	103
第五章 列控安全计算机设计举例	108
第一节 二乘二取二列控安全计算机结构设计	108
一、结构特点	108
二、二取二功能的实现	110
三、二乘(双通道热备)功能的实现	115
第二节 列控安全计算机硬件设计	120
一、硬件设计基础	120
二、电源设计	134
三、强故障—安全电路设计	139
四、诊断设计	145
五、输入输出的安全性设计	146
六、EMC 及防雷设计	150
第三节 安全完整性等级指标计算举例	155
一、计算举例所针对的地面列控安全计算机结构	155
二、安全完整性等级指标计算	158
三、计算结果及分析	163
第四节 软件安全性设计的附加措施	176
一、软件设计与实现的具体措施	176
二、语言和编译器及链接编辑器的措施	185
三、软件验证与测试方法的措施	187

四、防范软件导致共因故障的措施	189
第五节 地面列控安全计算机软件设计	192
一、基于安全核的设计方法	192
二、列控安全计算机软件设计	194
三、操作系统的选择	196
四、安全核心的实现	200
五、系统可靠性设计	204
第六节 地面列控安全计算机的形式化验证	206
一、时间自动机及其验证工具 UPPAAL	206
二、基于时间自动机的系统建模	208
三、基于 UPPAAL 的仿真与验证	214
参考文献	219

第一章 绪 论

轨道交通是指利用轨道列车进行人员、货物运输的方式,特定而言是以机车、车辆为移动设备(以下简称列车)、线路(轨道、桥梁、隧道等)为固定设备、以站场(车站、编组场等)为运输生产基地实现运输功能的庞大系统。目前常见的轨道交通主要有铁路、城市轨道交通和磁悬浮交通。

轨道交通列车具有速度快、质量重、制动距离长、在区间内一般不能避让的特点,为确保行车安全,必须确保在同一时间不能把同一资源——轨道分配给多列列车,列车运行中不能给“本列车”或其他列车(或环境)带来风险。为使轨道交通系统高效运营,必须尽可能晚地给列车分配资源,尽可能快地释放资源,为此,需要行车指挥系统按运行计划,可靠、安全地指挥列车(或机车)等移动设备,在轨道交通系统中安全、高效地运行。行车指挥系统的主要技术装备称之为轨道交通信号系统,简称信号系统。

信号系统最早随着铁路的出现应运而生,随着运输需求的多样化和复杂性以及科学技术的发展,特别是通信技术、计算机技术、网络技术和自动控制技术的发展及其在信号领域的应用,信号系统的功能和内涵发生了巨大的变化。信号系统已发展成为确保列车行车安全、缩短列车追踪间隔、提高运输效率、提供列车运行信息和改善劳动强度的基础设备,是轨道交通的关键技术装备之一。信号设备一般包括车站联锁系统、列车运行控制系统(含区间闭塞系统)、调度集中系统(CTC)和信号集中监测系统(CSM)等。

列车运行控制系统(简称列控系统)是铁路信号系统的重要组成部分之一,由地面设备、车载设备、车地信息传输设备等构成,以技术手段对列车运行方向、运行间隔和运行速度进行控制,确保列车能够安全运行、提高运行效率。在不同的应用场合,列控系统的设备构成也有所差异。

本章将在简要描述轨道交通列车运行控制系统特点的基础上,首先说明传统铁路信号故障—安全技术的产生与发展历程、传统铁路信号故障—安全技术特征以及向具有概率特性的广义安全概念的发展概况,然后列举了 IEC 61508 以及 EN 50126、EN 50128、EN 50129 和 EN 50159 等安全标准的主要内容,最后给出了以微处理器等大规模集成电路或超大规模集成电路为核心的复杂微电子系统引入铁路信号系统过程中出现的几种典型铁路信号系统安全结构的技术特征描述。

第一节 铁路信号安全技术的发展

由于列车运行控制系统是铁路信号系统的重要组成部分之一,其安全性设计从属于铁路信号安全技术范畴。铁路信号安全技术是随着铁路运输的发展和科学技术水平的发展而不断前进的。

首先出现的是传统铁路信号故障—安全技术,体现的是绝对和狭义的故障—安全概念,主要以实际经验为基础,吸收所经历时代的先进技术而发展起来。

而后,随着科学技术的进步,特别是以微处理器等大规模或超大规模集成电路为核心的微电子技术日新月异的发展,铁路信号系统也进入到一个崭新的发展阶段,促使以狭义、绝对故障—安全概念为基础的传统铁路信号故障—安全技术向以功能安全为核心的现代铁路信号安全技术的转变。

一、传统铁路信号故障—安全技术的产生

在设备发生故障时,使其倒向安全侧的故障—安全概念早已萌发。早在 1825 年,世界上出现了第一条铁路——英国的斯托克顿—达林顿(Stockton-Darlington)铁路,当时在夜间是用车站窗口的蜡烛烛光指挥行车的。约定以烛光亮作为停车信号,以烛光灭作为允许信号,这样常因大风吹灭表示“停止”的蜡烛而发生多次冒进的行车事故。于是将其含义反过来,把蜡烛亮定义为“进行”,蜡烛灭定义为“停止”。这就是在初期阶段萌发的故障—安全的原始概念。

此后,随着科学技术的发展,铁路信号率先开始使用故障—安全设备,其中产生过重大影响的下述几种设备:

(一)臂板信号机

1841 年格列高里(C. H. Gregory)发明了易于被司机辨认的臂板信号机,它模仿人们举起手臂发出信号的动作,约定以举起臂板作为停车信号,但由于牵引臂板动作的导线出现折断事故而不能发出停车信号,从而使伤亡事故仍难避免。以此为契机,研制出利用重力显示停车信号的臂板信号机,其结构如图 1-1 所示,它根据臂板的角度表示信号状态,水平时定为安全侧的停止信号,其具体的故障—安全措施是:臂板是木质的,夜间显示用的镜框是铁质的,其重量超过臂板,以回转轴为中心产生反向力矩保持臂板的水平位置。牵纵拐肘的重锤以其自身重量保持下锤状态,此时通过拉杆对显示镜框产生下拉的力,维持臂板的水平位置。这样一来,一旦拉杆折断或导线折断,依靠镜框和重锤的重力,使臂板成为水平,导向安全侧。这种重力法原理后来成为故障—安全技术的重要方法之一。

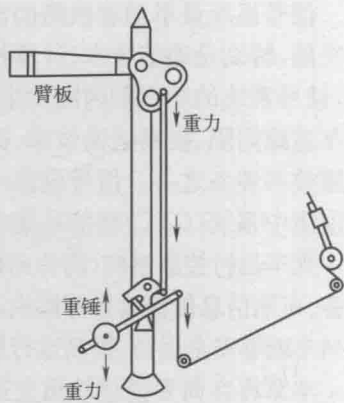


图 1-1 机械臂板信号机的结构

(二)机械联锁设备

1856 年 John Saxby 提出并在英国 Bricklayer Arms 联络站上装设了机械联锁设备,随后由 Farmer 对此加以改进,所以称为 Saxby-Farmer 式联锁装置。联锁关系往往是双方相互制约的先后顺序关系,例如当道岔位置不对,禁止信号机显示允许信号;道岔锁闭后,不准许它再变位,信号机显示允许信号。机械联锁用机械的方法实现了信号机和道岔之间的这种联锁,防止操作人员的错误办理。

(三)信号继电器

1870 年左右,具有非对称错误特性的信号继电器就开始使用了。这种继电器是把无电闭合的接点组规定为安全侧,有电闭合的接点组规定为危险侧。当发生断电、断线故障时必须使反映侧危险状态的前接点组自动断开,反映侧安全侧状态的后接点组自动闭合。这种继电器的结构如图 1-2 所示,其实现故障—安全的技术措施是:

(1)有电闭合的接点组采用银和炭的接点,银和炭成为一个不可熔性的组合,使其不能因

电弧、火花或大电流造成熔接而保持吸起位置。

(2) 衔铁的设计是依靠它的重力而不用弹力,在失去电能的时候,使有电闭合的接点断开。

(3) 动接点组与衔铁间采用硬性连接,以保证衔铁和接点动作的一致。

(4) 磁路空气隙是经过仔细调整选定的,并由非磁性的安全止钉保持这一空气隙。

(5) 继电器端子柱之间的空隙,其漏电和耐压的大小一定要足以使得雷击和其他高压脉冲不会损坏面板和将其绝缘电阻减至不安全的程度。

这样的结构确保:当电路、线圈发生故障时,后接点组闭合的概率大大超过前接点组闭合的概率,使其具有非对称错误特性;定义前接点反映危险状态,后接点反映安全侧状态,例如用后接点组构成红灯显示,前接点组构成绿灯显示,当发生故障时,以较高的概率变成红灯显示,从而实现故障—安全原则。

(四) 轨道电路

1872 年美国的维·鲁滨逊(V. Robinson)发明了轨道电路,最初是开路式轨道电路。列车进入轨道电路区段,由于钢轨断裂、连接线断线,继电器不能励磁吸起,发生了不能显示停止信号的事故,因而,三年后改进为直流闭路式轨道电路,如图 1-3 所示。在没有列车或车辆时,钢轨上流通电流,使轨道继电器励磁吸起闭合前接点组,当列车或车辆占用轨道电路,连接线断线、钢轨裂缝时,轨道继电器会失电落下闭合后接点组,表示区段占用,显示停止信号,实现故障—安全。这里的

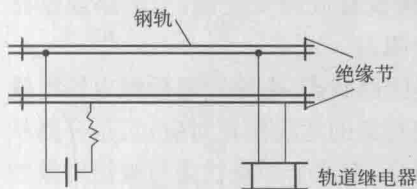


图 1-3 直流闭路式轨道电路结构

里的安全侧与轨道电路的开路或短路状态相对应。

(五) 继电联锁设备

1929 年 Chicago Rockisland 和 Pacific 铁路公司在美国 Illinois 州的 Blue Island 设置第 1 个继电联锁装置。它是用信号继电器,根据闭路原理和安全对应法则组成实现信号机、道岔、轨道电路电气联锁的继电器电路。

在这个阶段,铁路信号仍停留在狭义的故障—安全概念上。故障—安全技术主要以实际经验为基础,吸收各个时代的先进技术而发展起来。

二、传统铁路信号安全技术概述

(一) 故障—安全技术

当设备或系统发生故障时,不致错误地给出危险侧输出,能使之保持或导向安全侧的手段,叫作故障—安全技术,故障—安全技术是传统铁路信号安全技术的核心。

从机械的、电气的到电子的信号设备,设计使用了许多故障—安全技术,特别是经过实际使用而改进了的安全技术,成为传统铁路信号安全技术的重要内容。

(1) 安全侧分配法,在我国又称为安全对应法则,已是贯穿传统铁路信号故障—安全技术的非常重要的一个方法。凡涉及行车安全的信号器件和设备,无论是机械的、电气的还是电子

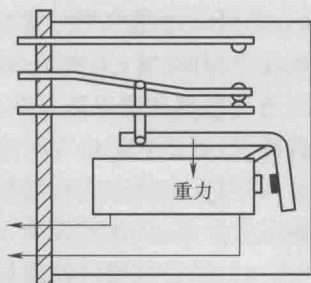


图 1-2 信号继电器结构

的,都可以用两个相对状态来描述,例如:信号机有开放和关闭两个状态;转辙机有正常(定位或反位)和非常(不密贴的四开状态)两个状态;轨道电路有调整 and 分路两个状态;信号继电器有通电吸起和断电落下两个状态等。在两个相对立的状态中,其中一个状态与停车相对应,也就是说,当该状态出现时应导致停车的后果,称与停车相对应的状态为安全状态或安全侧,那么,称与安全状态相对的状态为危险状态或危险侧。安全侧分配法就是要给信号器件或设备确定安全侧,在此前提下,才能采取其他故障—安全技术使设备发生故障时倒向安全侧。

(2)设备故障时使能量减小到最小,从而实现安全侧分配的技术。正如水从高处往低处流一样,分配高能量的一方为危险侧,分配低能量的一方为安全侧,设备故障时大都切断控制能量,使其转变为低能量状态的安全侧,一般来说,当得不到正常能量时就构不成危险侧状态。由于不正常情况(如外力消失条件下,物体不因自身重力落下)而造成危险侧状态的概率是极小的,而且是可以控制的,这样,使其具有非对称错误特性,根据这个原理实现故障—安全的具体方法如下所述。

①重力法。物体在外力作用下举高获得位能,当外力消失时,物体借自身重量而落下,将位能释放,将释放位能后所处的状态与安全侧相对应,是以重力法实现故障—安全的重要对策。利用此法的代表性器械有臂板信号机和自动道口栏木,当它们的操纵系统发生故障时,臂板和栏木都借自身重量恢复到安全状态,关闭信号和关闭道口。电锁器和信号继电器也是采用重力法实现故障—安全的,规定以衔铁吸起为危险侧,以衔铁释放为安全侧,当电路或励磁线圈断线而失去电磁能时,衔铁借自身重量释放而导向安全侧。

②闭路法。在继电器接点电路中有两种工作状态:一是闭路状态,电路通电后继电器衔铁吸起,后接点组断开,前接点组闭合,把这个闭路状态与被控对象的危险侧相对应;二是开路状态,电路断电后继电器衔铁落下,前接点组断开,后接点组闭合,把这个开路状态与被控对象的安全侧相对应。这样,当发生停电、断线等故障时,电路会自动由闭路状态转变为开路状态,以此达到故障—安全的目的。

实践经验表明研究继电器接点电路的安全性,主要是研究解决断线保护和混线保护。

断线保护主要通过串联控制电路来实现。图 1-4 是两个简单的电路,其中一个输入信号 k 与继电器线圈 J 相串联的电路,叫作串联控制电路,另一个的 k 与 J 并联,叫作旁路控制电路。在正常情况下,这两个电路是等价的,但在断线故障模式下就不同了,如旁路控制电路的旁路线断线,继电器 J 将给出危险侧输出,而串联控制电路的任何处断线,也不会给出危险侧输出。对断线故障模式来说,串联控制电路具有自测试功能,旁路控制电路则没有,显然,具有自测试功能的串联控制电路,对断线起着保护的作用,所以信号安全电路一般不采用旁路控制电路。

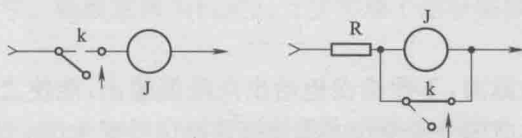


图 1-4 串联控制电路与旁路控制电路

混线保护主要通过位置法、极性法来实现。位置法是两条控制线相混时的保护措施。如图 1-5(a)所示,若两条控制线的电缆芯线相混,则道岔表示继电器 DBJ 将无条件地给出危险