



“十二五”国家重点出版物出版规划项目

GAOSU TIELU LIECHE YUNXING KONGZHI JISHU
JISUANJI LIANSUO XITONG

高速铁路列车 运行控制技术 ——计算机联锁系统

□ 段武 主编

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

高速铁路列车运行控制技术

——计算机联锁系统

段武 主编

中国铁道出版社
CHINA RAILWAY PUBLISHING HOUSE

内 容 简 介

本书通过对计算机联锁系统技术攻关与创新工作的总结和凝炼,旨在从基础理论、硬件与软件结构、安全计算机平台、应用实例等方面进行深入浅出、全面系统的介绍,使我国从事高速铁路研究开发、工程实施、运营维护、使用管理等相关技术人员,能够更加深入地了解 and 掌握计算机联锁系统的基本结构、工作原理、关键技术和相关技术规范。

本书可供高速铁路相关技术人员、运用和管理人员学习,对各类院校相关专业师生也有重要的参考价值。

图书在版编目(CIP)数据

高速铁路列车运行控制技术:计算机联锁系统/段武
主编. —北京:中国铁道出版社,2017. 12
ISBN 978-7-113-20819-6

I. ①高… II. ①段… III. ①高速铁路-列车-运行-
控制系统 IV. ①U284. 48

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2017)第 329301 号

书 名:高速铁路列车运行控制技术——计算机联锁系统
作 者:段 武 主编

策 划:崔忠文

责任编辑:崔忠文

电 话:(市)010-51873146
(路)021-73146

电子信箱:dianwu@vip. sina. com

封面设计:崔丽芳

责任校对:胡明锋

责任印制: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:13.75 字数:333 千

书 号:ISBN 978-7-113-20819-6

定 价:68.00 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

《高速铁路列车运行控制技术》 编写委员会

主 编 刘朝英

副主编 章 燕

成 员(按姓氏笔画排序)

李文涛 李 凯 郑 升 袁湘鄂

莫志松 曹 玉 靳 俊

序

近年来,我国高速铁路快速发展,取得了举世瞩目的成就。高速铁路列车具有运行速度快、追踪间隔时间短的显著特点。为确保行车安全,必须采用高可靠、高安全的列车运行控制系统。

中国列车运行控制系统(简称 CTCS)技术体系是充分吸取了国际列控系统的先进经验,并结合中国国情进行系统集成创新的成果,具有自主知识产权,其技术水平已跨入世界先进行列。

CTCS 既包括地面设备,也包括车载设备,是车地一体化的综合控制系统。支撑 CTCS 的主要设备包括:CTCS-3 级、CTCS-2 级列控车载设备,调度集中设备,轨道电路设备,计算机联锁设备,无线闭塞中心(RBC),列控中心(TCC),临时限速服务器(TSRS)等。列控地面设备根据联锁进路信息、列车追踪信息、允许速度信息、线路坡度信息等形成列车行车许可,由列控车载设备控制列车安全地运行。CTCS 在应用中不断成熟和完善,为我国高速铁路的快速发展创造了条件。我国高速铁路按照 200~250 km/h 高速铁路信号系统以 CTCS-2 级列控系统为主,250~350 km/h 高速铁路信号系统以 CTCS-3 级列控系统为主进行规划建设。

为了完整地呈现中国列车运行控制系统技术体系,反映铁路科研人员长期辛勤耕耘的创新成果,我们编写了《高速铁路列车运行控制技术》,使我国从事高速铁路研究开发、工程实施、运营维护、使用管理等相关技术人员,能够更加深入地了解中国列车运行控制系统的基础理论、关键技术、工程实践和相关技术规范。

《高速铁路列车运行控制技术》包括五个分册,分别是《调度集中系统》《CTCS-3 级列车运行控制系统》《CTCS-2 级列车运行控制系统》《ZPW-2000 系列无绝缘轨道电路系统》《计算机联锁系统》。

高速铁路列车运行控制技术凝聚着一大批科研、建设、运营工作者的智慧和汗水。谨以此书,献给为中国高速铁路列车运行控制技术创新拼搏奉献的同志们。

编写委员会
2016 年 10 月

前 言

计算机联锁(CBI)系统是以计算机控制技术为核心,采用可靠性技术、“失效—安全”(fail-safe)技术以及安全相关通信等技术实现车站联锁要求的计算机实时控制系统;它以电气和/或电子传输方式集中操纵动力式道岔及色灯信号机、主要以软件实现联锁关系,是实现重大生命攸关功能的铁路信号控制系统中最为典型的一类复杂电子可编程安全苛求系统。经过三十多年的曲折发展,计算机联锁系统已成为我国铁路主流的车站联锁系统并得到普遍应用,在干线和支线铁路正逐步取代 6502 继电联锁系统;我国高速铁路的车站联锁全部采用计算机联锁系统。目前,我国是世界上使用计算机联锁系统最多的国家。

联锁(interlocking)概念普遍存在于许多控制领域,系指将具有特定约束关系的相关对象联系起来,通过严格按照规定的程序和条件以锁定/解锁的方式进行控制,以避免因约束关系被破坏而可能造成严重后果。本质上,联锁是对具有重要约束关系的多个控制对象的一种特定控制方式;这些重要的特定约束关系就是“联锁关系”;而依据某种联锁关系以技术手段实现联锁控制的技术装置称之为“联锁设备”,狭义上特指铁路信号联锁设备,因为联锁概念本就源起于历史悠久的铁路车站联锁。以 1856 年在英格兰 Bricklayer Arms 车站装设的萨氏联锁机为起始标志,从机械联锁、电气机械联锁、电气联锁到计算机联锁,近两百年来,实现重大生命攸关功能的车站联锁设备始终是铁路信号的核心基础设备之一;而作为铁路信号核心理念和基本设计原则的“故障—安全”,也主要是在车站联锁的发展过程中确立的。

设计、实现或了解、分析任何铁路信号安全相关系统,都主要基于两个基本层面:一个是系统的一般应用功能及其技术实现的手段和特点,另一个是能够支撑这些技术手段确保系统行车安全的技术措施。本书在深入分析车站计算机联锁系统的边界、接口、控制对象特别是进路控制的特点,系统的功能架构、一般功能特点和 RAMS 特点的基础上,从这两个层面对计算机联锁系统进行了详述。主要内容包括计算机联锁系统的一般硬件结构及其技术特点、常见冗余技术、安全相关通信技术、安全计算机平台以及联锁系统应用软件的构成与特点等;并阐述了高速铁路给计算机联锁技术带来的显著改变与进步。

本书还结合车站联锁的发展,对源于近代、历史悠久的“故障—安全”,成熟于现代的可靠性,确立于当代的安全性,以及由这三者融合、演进发展而来的“失

效—安全”，特别对事实上由 EN 50129 所确立的“失效—安全”基本原则进行阐述和总结；并结合常用可靠性、安全性概念、常见冗余结构、安全原理等关键点，对以 IEC 61508 为代表的国际基础功能安全标准和以 EN 50129 为代表的铁路信号安全相关标准进行了重点解读与差异对比，力图深层次地揭示以高安全完整性要求、特别是“失效—安全”要求的各种联锁功能为特征，以计算机联锁为典型代表的当代铁路信号复杂可编程安全苛求系统的安全内涵。

本书由段武主编，单冬主审。第一章由段武、袁湘鄂编写；第二章由段武编写；第三章由段武、张萍编写；第四章由段武、潘明、梁志国、杨霓霏编写；第五、六、七章由段武编写；第八章由卢佩玲、徐德龙、袁湘鄂、杨霓霏、段武编写。

本书参与审核的人员有：覃燕、曹玉、徐中伟、聂影、谢静高、何涛、殷继宏、张春德等专家。特别感谢齐志华对本书编写所给予的大力帮助。本书编写过程中还得到刚建雷、郑长宗、赵立志、王国光、窦伟、杨勇、唐世军等专家的大力协助，在此一并表示衷心感谢！

由于编者能力、水平所限且本书涉及面较广，书中内容及表述不全面、不准确乃至错误之处在所难免，热忱欢迎专家、读者批评、指正。

编者

2017年11月

目 录

第一章 绪 论	1
第一节 车站联锁系统	1
第二节 车站联锁系统的发展	6
第二章 计算机联锁系统概述	11
第一节 定义、边界及与其他系统的接口	11
第二节 计算机联锁的主要控制对象	14
第三节 计算机联锁系统的基本功能架构	29
第四节 计算机联锁系统的主要特点	37
第三章 可靠性、安全性及“失效—安全”	41
第一节 可靠性与安全性及其常用概念	41
第二节 “失效—安全”的基本原则	55
第三节 可靠性和安全性的影响因素及一般改进途径	59
第四章 计算机联锁系统中的常见冗余技术	65
第一节 概 述	65
第二节 铁路信号系统的安全相关与冗余特点	67
第三节 双机热备冗余(1oo2)	70
第四节 二取二冗余(2oo2)	74
第五节 二乘二取二冗余(2×2oo2)	79
第六节 三取二冗余(2oo3)	83
第七节 1oo2D 冗余	84
第八节 四种冗余结构的可靠度、安全度对比	85
第九节 故障检测与冗余	93
第十节 安全通信与冗余	95
第五章 计算机联锁系统的硬件结构及特点	97
第一节 概 述	97
第二节 操作显示系统的构成及主要特点	98
第三节 记录查询系统的构成及主要特点	102

第四节	联锁主控层的构成及主要特点	104
第五节	联锁执行层的构成及主要特点	106
第六节	轨旁设备接口	116
第七节	电源系统	119
第六章	计算机联锁系统的安全计算机平台	121
第一节	概 述	121
第二节	铁路信号安全计算机平台“失效—安全”设计的基本原则与要点	124
第三节	联锁安全计算机平台的主要基本功能	129
第四节	联锁安全计算机平台软件的主要构成及其功能	133
第七章	计算机联锁系统应用软件的构成及特点	144
第一节	概 述	144
第二节	人机交互系统的软件	144
第三节	联锁软件	148
第八章	计算机联锁系统在高速铁路的应用	168
第一节	高速铁路计算机联锁系统的主要特点	168
第二节	计算机联锁系统接入信号系统安全数据网	172
第三节	计算机联锁系统与列控系统的结合	181
第四节	适用于高速铁路的计算机联锁系统与主要的相关功能扩展	185
第五节	无配线车站应用	194
第六节	动车段应用	195
第七节	衔接站	202
第八节	多机牵引道岔的控制	205
参考文献		209

第一章 绪 论

铁路车站联锁系统具有悠久的历史和传承,并且始终是铁路车站信号控制的核心基础设备之一。在我国铁路已得到普遍应用的计算机联锁系统,是当前最新一代的铁路车站联锁系统,在干线和支线铁路正全面或逐步取代 6502 继电联锁系统。目前,我国按 CTCS-3 级和 CTCS-2 级标准建设的线路全部采用计算机联锁作为车站联锁控制系统,计算机联锁已成为我国高速铁路信号控制系统中不可或缺的重要基础设备。

本章首先阐述车站联锁的基本概念、基本功能、基本功能要素、基本设计原则以及“故障—安全”核心理念;然后简要介绍车站联锁系统的四个发展阶段及其主要类型,重点对计算机联锁系统的发展特点、我国计算机联锁的主要发展历程进行了归纳总结。

第一节 车站联锁系统

一、车站联锁的基本概念与基本功能

“联锁”一词可早见于韩愈《汴州东西水门记》:“惟汴州河水自中注,厥初距河为城,其不合者诞置联锁于河。”其中的“联锁”系指铁索;而“联锁”作为近代技术的专有名词则应始于铁路信号。在《辞海》中对“联锁”现代普适意义的解释为:“技术设备上的相互控制装置,特指铁路信号联锁设备。”《铁路信号名词术语》中给出的联锁定义为:“通过技术方法,使信号、道岔和进路必须按照一定程序并满足一定条件,才能动作或建立起来的相互关系。”

车站联锁系统是专用于对列车和车列(列车的接发作业和车列的调车作业,是铁路车站两种最主要的行车作业方式)在车站内的运行进行控制,并保证其运行安全的控制系统。道岔和信号是车站联锁系统直接控制的轨旁设备,进路则是铁路车站对列车和车列运行进行控制管理的基本实现方式。

进路由相关道岔和轨道区段等组成的有信号指示(由列车信号指示列车的运行,由调车信号指示车列的运行)和防护的特定经路。道岔主要由可移动的尖轨和固定的基本轨等组成,尖轨(复杂道岔还包括可动的岔心等)的位置决定列车/车列的走向,共有“定位”、“反位”和“四开”三种位置状态。“定位”通常开向直股方向,允许列车以较高的速度通过;“反位”一般开向侧向,允许通过速度较低;“四开”则是尖轨未与基本轨密贴而不能通行的状态、是道岔的转换状态或是不能转换到位的故障状态,此时通行轻则使道岔和轨道遭到破坏,重则发生掉道或翻车事故,后果严重。显然,相关的道岔位置及其表示是否正确、相关的轨道区段是否空闲,是防护进路的信号能否开放(给出允许显示)的前提条件;而且进路必须具有排他性,一旦建立后其上的每个信号、道岔和轨道区段均不能同时再属于其他的进路(重叠、相交和迎面的敌对进路)。因此,为了保证行车安全,避免发生挤岔、掉道,甚至翻车、撞车的危险,进路的建立,必须

严格检查相关的信号、道岔、轨道区段等之间的关系满足规定的条件(联锁条件),即构成进路的各基本单元之间必须满足特定的约束关系,才能按照规定的顺序和程序动作;而进路一经建立之后又必须对之加以“锁闭”,且“锁闭”之后只有在满足规定的条件时,才能按照规定的顺序和程序解除锁闭;绝不允许随意进行改变,以免因误操作或故障等其他因素破坏进路而危及行车安全。这种“锁闭”和“解锁”的操作,在早期确实是曾经通过特制的锁和钥匙来进行的,联锁一词应由此而来。

联锁并不只局限于铁路信号领域。实际上,常有某些控制对象之间存在着重要的特定约束关系,这些约束关系一旦发生错误就可能造成破坏性的后果,不但需要严格按照规定的程序加以控制,还必须采取某种技术措施,将这些约束关系联系起来加以“锁定”,只有在相关条件满足、且通常还须按照规定的顺序才能解除“锁定”;具有这种特点的控制方式就是联锁控制,这些特定的约束关系就是联锁关系。广义上,联锁就是将具有特定约束关系的相关对象联系起来,严格按照规定的程序和条件加以控制并进行锁定/解锁,以避免因约束关系被破坏而可能产生的严重后果;是对具有重要约束关系的多个控制对象的一种特定控制方式。联锁设备就是以技术手段实现这种控制方式的技术装置。

铁路车站联锁就是通过技术方法实现并确保信号、道岔、区段以及进路间的相互关系正确。由于信号的错误开放、显示升级、灭灯及错误保留,道岔的表示错误及误动,区段空闲/占用的表示错误等,都可能造成极其严重的破坏性后果,因而车站联锁设备自 1856 年诞生以来,就始终是铁路车站保证列车和车列正常和安全运行的核心基础设备,具有最高等级的安全要求。

铁路车站联锁系统的基本功能,是通过技术的方法,严格按照规定的联锁条件控制道岔的转换和锁闭、信号的开放和关闭、进路的建立和解锁等;联锁系统依据信号、道岔、轨道区段以及进路间的联锁关系,自动地对值班员的操作进行联锁条件检查,通过排列进路和控制信号显示对列车和车列的运行进行控制。

二、车站联锁系统的基本功能要素和基本设计原则

(一) 车站联锁的基本功能要素

操纵、传输和锁闭/解锁,是车站联锁系统的三大基本功能要素。操纵,主要是对信号特别是对道岔的操纵;传输,是把信号、道岔和轨道区段等进路基本单元之间的约束关系“联”起来;“锁闭”则是对“联”起来的关系,依据规定的条件进行控制和锁定/解锁的逻辑处理。其中传输和锁闭是核心。可以说“联锁”这个词精辟地表达了此类系统的核心要素,在字面上也可以简单而形象地理解为:把特定的约束关系“联”起来并“锁”住。

铁路车站信号系统具有地域性分布的特点,车站联锁系统的操纵、传输和锁闭/解锁功能的实现方式及其控制区域范围的大小,首先取决于控制技术的发展水平。

(二) 车站联锁的基本设计原则与理念

在联锁系统基本功能实现方式的技术层面之上,设计原则与理念是具有先天性影响的重要因素。尽量采用成熟技术、合理地避免系统的复杂化以及充分的误操作防护等,是车站联锁系统功能设计的主要基本原则。

1. 使用成熟技术可以显著降低未知风险。

由于缺少经验,新技术的使用可能潜在存有巨大的未知风险。首先是新技术本身存在未

知风险,其次是由于引入新技术可能导致原先固有的隐藏危险的显露,还有因缺少恰当或合适的规范而产生设计或操作错误造成的风险等等。

铁路信号控制对新技术的采用历来持保守态度,基本都是在其他领域应用成熟以后才引入使用的;计算机控制技术,就是在已经发展了几十年以后才开始进入铁路信号核心控制领域的。

2. 在具有相同功能和性能的前提下,基本功能结构简单的系统可具有更高的可靠度,其安全性也更加容易得到保障。

系统复杂度的增加,可能会成倍甚至更多地增加其达到要求的可靠性和安全性的难度,而合理的“简约”则是保障系统可靠性和安全性非常有效的设计原则;特别是对系统安全相关的核心结构和核心功能,应尽量避免过于复杂的,尤其是并非十分需要甚至完全是辅助性的需求,这一点在国外的计算机联锁系统中表现得十分明显。

3. 充分的误操作防护。

或许是出于对人员素质和管理的担心,我国铁路信号界对人为失误的防护极为重视,往往在技术和成本允许的范围内,尽最大努力将其纳入联锁的防护范畴。

最为典型的当属 6502 继电联锁系统中针对故障锁闭所使用的区段人工解锁(区段故障解锁)电路。最早试图将计算机联锁系统引入中国铁路的某国际知名信号公司的专家,曾经对中方提出的在其区段故障解锁软件中类比 6502 增加“迎面解锁”防护的要求十分不解,认为对已经规定、并在技术上已保证了只有两人同时操作才能生效的区段故障解锁,无须再做相关的联锁逻辑检查;按照他们的理念,有了两个人同时操作作为相互校核的安全保障,对于这种十分关键、但通常较少使用的功能已经足够了,完全可以无条件地解锁。实际上对区段故障解锁进行迎面解锁防护的检查和限制,即使对于计算机联锁而言,其逻辑处理也确实是相当困难的,并且会明显增加软件的复杂度和工作量。

事实上由于这类理念上的不同,加之客货混跑的复杂运营情况、对平面溜放等某些特定功能的追求,以及希望标准制式能够兼容尽可能多的站场及其需求情况的理念,使得我国车站联锁的复杂程度一般要明显高于国外的同类系统。

而另一个更为重要的核心设计理念,针对的则是设备的“失误”,即设备的故障情况,这就是“故障—安全”理念,可以说不了解“故障—安全”就不可能真正懂得铁路信号。

三、车站联锁系统的“故障—安全”

铁路信号控制系统中普遍存在着各种各样的联锁关系,车站联锁因其本身具有的复杂性、规模性等特点而成为典型代表;“故障—安全”(也称故障导向安全)则是车站联锁乃至铁路信号控制系统的核心设计理念和原则,是联锁系统必须具有的一种安全功能或性能。在铁路信号领域,“故障—安全”是与联锁系统密不可分、必须了解的一个最为重要的基本概念。

铁路信号控制系统是典型的实现重大生命攸关功能的安全苛求系统,而“故障—安全”也可以认为是在技术上苛求的一种表现。苛求可以理解为是有道理的吹毛求疵,甚至只要不是毫无道理的吹毛求疵也可以归入苛求之列;合格的铁路信号人员尤其是设备研发人员,应该具有苛求精神。

由于铁路交通及其控制系统(特别是其早期的控制系统)具有简单、明确并易于控制实现的安全侧,铁路信号是最早从技术上产生并确立“故障—安全”原则的领域。1830 年英国在从

利物浦到曼彻斯特开行旅客列车的线路上,开始使用一种以绳索牵拉球状物体并在其下悬有一灯的球形信号,以球体升起为允许信号,以球体下降(在夜间以灯光被遮挡或熄灭)为禁止信号;这被认为是“故障—安全”原则的第一个应用成果,也是之后(约始于 1840 年)广泛使用的机械式臂板信号机的雏形。这种信号设计,考虑了在绳索断裂和大风吹灭灯火的两种故障情况下,使信号导向安全侧的防护措施。

实际上,一个系统从故障的发生到最终产生后果都有一个过程,“故障—安全”就是有步骤地对这个过程的发展加以引导和控制的技术。概括地说,“故障—安全”就是在设计时,以技术的手段保证将故障的后果“自然”或者“自动”地导向安全侧;并且至少应对任何可能导致危险的单故障都能够确保“系统在失效时只存在容许的状态”(EN 50126)。这类技术手段可以有各种各样的形式,其本质是利用某种固有的物理特性来使向安全侧的导向在一定的、可以接受并能够得到保证的条件下成为必然。传统的“故障—安全”技术,主要依赖于使用具有“故障—安全”性能的设备或基础器件按照一定的构造/配置规则构成信号安全系统,特殊的基础器件/设备、特定的前提条件和特定的配置/构造原则是传统“故障—安全”技术的三大基本要素。

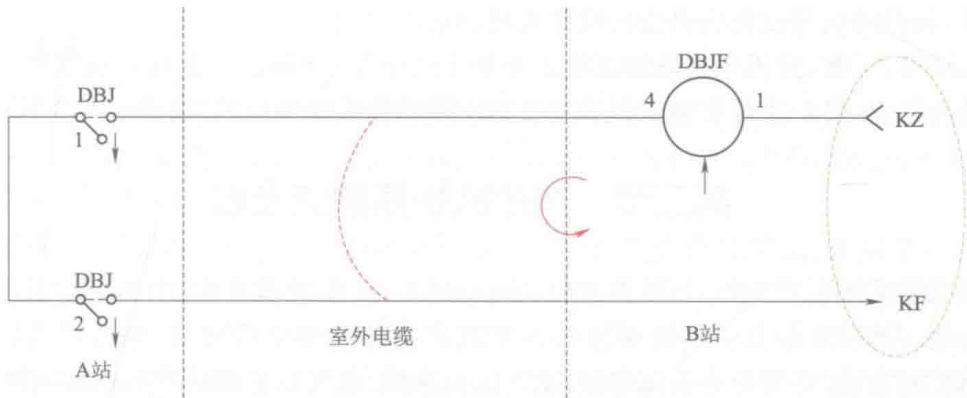
此类特殊的设备和器件通过巧妙地利用某种物理特性来设计构造,都具有结构与故障模式简单和明显的故障不对称性特征(“简单”才可能穷举分析任何可能的故障情况,“不对称”才能够保障故障导向)。诞生于机械联锁时代的臂板信号机,就是通过巧妙的结构设计利用重力实现“故障—安全”原则的典型代表,而适用于电气联锁、也以(失磁)落下为安全侧状态的 AX 系列安全型继电器,迄今为止仍是我国铁路使用最为广泛的典型“故障—安全”器件。

作为我国铁路信号继电控制系统基本构成器件的 AX 系列安全型继电器,研发于 20 世纪 60 年代初,至今仍在 6502 电气集中和各型计算机联锁系统中大量使用。AX 系列继电器为直流 24 V 供电的重力、弹力返回式电磁式继电器;所使用的银氧化镉接点材料,当负载电流在 60 A 以下时不会粘连。此类继电器利用的固有物理特性,是永久恒定的重力并辅之以持久稳定的弹力,还有不易粘连的接点材料特性,以确保当励磁(联锁)条件不满足而失磁时能够可靠落下至安全侧;其安全工作的特定前提条件是良好的组装、正确的安装和额定的工作电压和电流;采用 AX 系列安全型继电器构造安全电路时还必须遵循以下特定的配置原则:

1. 以电流对继电器闭合接点的接通检查为条件成立的确认判据;
2. 与控制对象安全侧相对应的前、后接点使用原则,特别是对非限制侧(潜在危险侧)的控制与表示只使用闭合前接点、确认限制侧(安全侧)表示使用后接点;
3. 普遍的断线防护及室外混线防护原则,如图 1-1、图 1-2 所示的位置法、双断法。

堪称典范的 6502 电气集中联锁系统,就是以 AX 安全型继电器为基本器件,按照上述配置原则,通过布线逻辑以继电器接点电路来实现的、符合“故障—安全”原则的车站联锁系统。

AX 系列继电器的安全性,虽然在我国铁路超过 50 年的大规模成功应用中得到了充分的验证和认可,但实际上也有危险侧故障发生的情况,如确有因内部安装螺帽脱落或因接点簧片有问题而被卡住不能落下的情况。在京九铁路建设中我国首次引进西门子公司计算机联锁系统时,西门子公司的人员在专门进行了测试后告知,若按照他们执行的标准,并不认为该类继电器是“故障—安全”的,因为其所执行标准的接点耐流要求更高,会使 AX 继电器的接点粘连。此外,AX 系列继电器现在面临的主要问题,还有在接点结构等方面不符合现行国际标准、接点材料不够环保等。对此,国内已有主要的生产研发单位开始试图通过合资引进的方式,生产符合最新国际标准且适于我国计算机联锁系统接口使用的新一代“故障—安全”型继电器。



(a) 位置错误：短路继电器无条件错误吸起



(b) 位置正确

图 1-1 电源、继电器接点与线包的位置对混线的防护作用

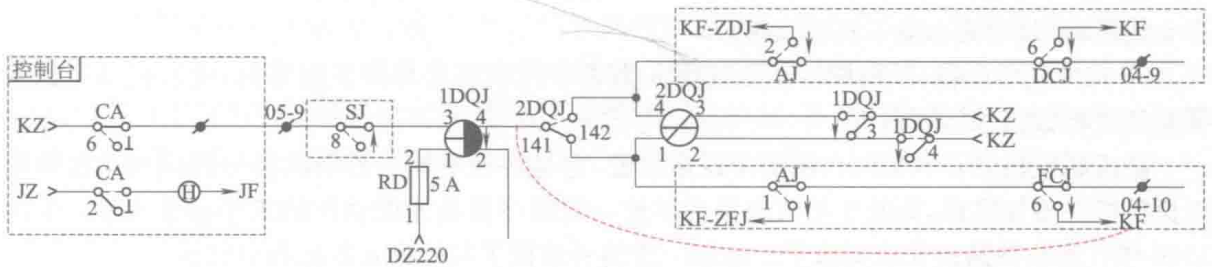


图 1-2 双断对混线的防护作用：单侧混线不会造成继电器误动

显然，即使是成功地巧妙利用永恒的物理特性，“故障—安全”的实现也是有条件的，实现并稳定保持对这些条件的满足也是要付出一定代价的（体积、重量大，生产、维护成本高以及污染等就是使用 AX 系列继电器需要付出的代价）。通常要求越高、需求越复杂、代价也越高，而决定能够达到的“故障—安全”性能水平高低的这些条件，往往又取决于所能承受的代价。社会的进步与发展，观念与需求的改变也不断带来新的变化，今天的安全观念、相关的价值观念与对生命的尊重程度，与 20 年前、10 年前相比显著不同，60 km/h 速度与 300 km/h 速度的安全要求、所能承受的代价也肯定不同；即使安全要求相同，但功能需求的快速增长、技术的进步也会给系统控制及“故障—安全”的技术实现手段带来本质改变。因而“故障—安全”始终是铁

路信号界,特别是信号设备的研发和设计人员的永恒主题。

综上所述,了解、分析车站联锁系统主要基于两个基本层面:一个是实现联锁三要素的技术手段及其特点,另一个是能够支撑这些技术手段确保系统安全的“故障—安全”技术措施。

第二节 车站联锁系统的发展

车站联锁系统是从 1856 年英格兰 Bricklayer Arms 车站装设的、由 Saxby 首创的萨氏联锁机开始的。按照联锁基本功能要素技术实现方式的演变阶段划分,迄今已历四代。按照“联”和“锁”的方式,可划分为机械联锁、电气机械联锁、电气联锁和计算机联锁四种;按照操纵方式,除了技术实现手段的不同之外,通常划分为“非集中”和“集中”两类,这主要是按照道岔的操纵方式划分的。非集中联锁由扳道员就地操纵道岔,简单易行且可直接观察道岔区段的列车或车列的占用情况,但扳道员与车站值班员的联系效率低,且疏忽不易防范;特别是有多个道岔需要扳动时,扳道员还要往返奔波,进路办理时间长、劳动强度大。集中联锁则是在信号楼内对道岔和信号机实行集中操纵,同时也使联锁可以用比较容易的集中方式来实现。集中联锁可节省操纵人员并取消车站值班员与扳道员的电话联系,提高生产效率、改善劳动条件并消灭联系中可能发生的差错,但因不便于观察道岔位置以及区段占用的状态,对技术设备及其管理的要求更高。

一、机械联锁

1. 非集中机械联锁:以人力就地分散操纵道岔,分散操纵或以机械传动方式集中操纵臂板信号机,以机械方式传动及以机械机件实现联锁。

钥匙联锁、联锁箱联锁和日式信号握柄,都是典型的在臂板信号机与道岔之间实现非集中联锁的机件和装置。中国最早装设的车站联锁,是 1910 年以前在北宁铁路(即京奉铁路,今北京至沈阳间)装设的非集中机械联锁。

2. 机械集中联锁:以机械传动方式由人力集中操纵道岔和臂板信号机,道岔握柄与信号握柄间以机械锁床实现联锁。

萨氏联锁机就是典型的机械集中联锁装置,它是将设于同一处所的信号握柄和道岔握柄以机械机件施加联锁,而使车站值班员必须按一定顺序扳动才能动作的集中联锁装置。中国 1910 年在南满铁路连长线周水子车站第一连络所装设了约翰逊式机械集中联锁。

二、电气机械联锁

电气机械联锁以人力和机械传动方式集中操纵道岔,以电气传输方式集中操纵色灯信号机,道岔的机械握柄与信号机的电气握柄间以锁床和电气接点电路实现联锁。这种联锁方式实际是机械集中联锁向电气集中联锁发展过程中的过渡型式。它主要是在机械集中联锁的基础上对信号机及其控制方式进行了改进,采用了色灯信号机并用电气传输方式取代了臂板信号机的导线传动机构。

中国 1925 年在长大线周水子车站安装了美国 USS 公司生产的带有萨式锁簧床的电气机械集中联锁系统;1926 年至 1936 年间在南满铁路相继装设了满铁型电气机械集中联锁系统。

三、电气联锁

1. 非集中电气联锁:以人力就地分散操纵道岔,以机械传动方式集中或分散操纵臂板信号机,或以电气传输方式集中操纵色灯信号机。道岔与信号机间以电气接点电路实现联锁,或者以信号握柄或信号桌上握柄实现相互间的联锁。

1927年,南满铁路为了克服因股道延伸而导致的导线装置操作不便,开始在一些非集中联锁车站采用电磁锁闭器件—电锁器,从而构成我国早期的非集中电气联锁系统。

2. 电气集中联锁:以电气传输方式集中操纵动力式道岔及色灯信号机;道岔与信号机间实现联锁的具体方式有锁床式、电锁式和继电器式。锁床式联锁仍采用电气握柄方式,以锁床和电气接点电路实现联锁;电锁式联锁全部采用电气接点电路实现联锁;采用继电器接点电路实现联锁的称为继电器式电气集中。

1926年,在南满铁路大石桥车站,装设了美国GRS公司生产的锁床式电气集中联锁机。继电器式电气集中联锁1927年始用于美国Stanley-Berwick间的调度集中区段;1939年,抚顺煤矿大官屯车站装设了中国第一个单独操纵手柄式的继电器式电气集中联锁。

相对于机械联锁,继电器式电气集中联锁采用动力转辙机、色灯信号机和轨道电路三大电气基础设备,使用安全型继电器构成联锁逻辑自动处理系统,使车站控制和联锁功能得到了空前的完善。继电器式电气集中联锁的出现,是铁路信号系统由机械时代过渡到电气时代的重要标志;由于锁床式和电锁式电气集中联锁很快被淘汰,现在一般所称的电气集中联锁,即指继电器式电气集中联锁。新中国成立以来采用的电气集中联锁系统,主要经历了20世纪50年代的570、580和590系列,60年代的6026进路操纵按钮式小站组合式电气集中、6320进路操纵大站组匣式电气集中等,70年代的6501电气集中等的研发与试用;经过20年,可以说是一个非常复杂的发展与统一的过程,最终在1973年以6320为基础进行改进,形成了6502大站电气集中继电器联锁系统。

6502电气集中是在动力转辙机、色灯信号机和轨道电路三大电气基础设备的基础上,以电气传输方式集中操纵动力式道岔及色灯信号机,以继电器接点电路实现联锁的车站联锁系统;是以安全型继电器为基本单元,按照与安全侧相对应的前、后接点使用原则,断线防护及室外混线防护等原则,通过布线逻辑来实现的符合“故障—安全”原则的车站联锁系统。

四、计算机联锁

计算机联锁以电气和/或电子传输方式集中操纵动力式道岔及色灯信号机,以软件实现联锁关系。

世界上第一个投入运用的计算机联锁系统,是1978年在瑞典哥德堡车站使用的微机联锁系统。体积巨大是早期计算机的普遍特点,那时即使是“小型机”也都堪称体形庞大,而由于现场环境等条件的限制,用于工业控制领域的计算机一般都体积小、存储量小、运算能力有限,且运行速度低,对比之下只能称为“微机”。因此,早期的计算机联锁系统都称为微机联锁系统。

(一) 电子联锁与计算机联锁

计算机是可编程的复杂电子系统,计算机联锁系统实际上就是可编程(复杂)电子联锁系统,属于电子联锁其中的一种。事实上在计算机联锁之前,一些国家也曾广泛地进行过(非可编程)专用电子联锁系统的研发,虽未能达到实用化,但对计算机联锁系统的研发起到了一定

的先期试验作用。

在电气时代之后的电子时代和计算机时代的早期,国内外都曾重点研究具有“故障—安全”特征的电子器件,试图按照继电联锁的方式,以“故障—安全”器件为基础构成“故障—安全”的电子联锁系统。日本早期曾研发出采用“故障—安全”电子器件的电子联锁系统,但因成本高、功能差,发展阻碍极大,长期未能实用化。我国自1965年开始,也曾有多个单位先后进行了以“故障—安全”器件为基础的电子集中联锁系统的研发。其中,采用磁芯-晶体三极管逻辑单元的大站电子集中、采用厚膜电路逻辑单元的小站电子集中、采用两重系晶体管构成静态逻辑单元的电子集中,都进行了单站甚至多站的多年现场试用;但由于在防雷、器件来源和经济方面存在问题,特别是可靠性和“故障—安全”问题未能彻底解决,以及计算机联锁的发展趋势日益明显,这些系统都在1983年以前相继拆除了。

在计算机联锁系统中大量或全部使用通用电子器件,这些器件不具有明显的故障不对称性(一般“开关”类电子器件的故障通常具有对称性特点);这种以非“故障—安全”器件构成“故障—安全”系统的方式,全面改变了依靠设计自身具有某种固有物理特性的、符合“故障—安全”原则的设备或器件,并以此为基础构建安全系统的传统,这是计算机联锁有别于历代车站联锁系统的一个关键特点。

事实上,由于通用电子器件具有的故障不确定性和故障模式复杂等特点,使得具有悠久历史、并始终作为铁路信号一贯技术安全原则的“故障—安全”,成为复杂电子系统最晚进入铁路车站联锁领域的主要因素;并且由于微机联锁的迅速发展,造成了在继电电气集中联锁和计算机联锁之间的电子联锁系统的断代缺失。

从1984年开始,我国还曾发展过微机继电联锁系统,一种使用微机进行选路、替代6502的选择组电路,使用组匣式继电电路完成联锁执行逻辑,替代6502执行组电路的电气集中联锁系统。该系统试图对6502的组合式继电电路进行改进:通过研制新型的小型化安全型继电器,并使用组匣方式减少插接点,以获得比组合式继电电路更高的可靠性,以及更有利于大修更换等优点;结合微机的非安全逻辑处理优势,实现选路、监测、记录及通信等功能,实现双方的优势互补。该系统自1984年开展研发,1988年在京广线黑石铺站开通首套系统。经改进后又在赛汉塔拉等站使用,也曾达到一定的试用规模;但因器材、工艺未完全过关,组匣更换不便、备品器材种类多、成本贵,特别是因几乎同期开始研发的计算机联锁系统的迅速发展而失去了继续完善的发展机会。

(二)我国早期研发与引进的计算机联锁系统

我国计算机联锁系统的实用性研发始于1983年,是由通信信号公司研究设计处率先进行的。1984年在南京梅山铁矿井下进行试用之后,我国第一个正式运营的微机联锁系统于1986年在太原钢厂配料站开通使用。铁道科学研究院通信信号研究所,于1985年也开始进行微机联锁的研发工作,在郑州北上行编组站驼峰尾部进行现场试验之后,于1989年在该处开通了我国铁路的第一个微机联锁系统,该系统可对郑北上编尾全部36股道进行控制并具有平面调车单钩溜放功能。1993年铁科院研发成功采用双机热备冗余方式的微机联锁系统,于哈尔滨平房站开通使用。此类微机联锁系统,均主要采用动态驱动和动态采集、软件冗余及相应的(智能)故障检测实现系统的安全保障。其中关键的动态驱动,使用了一种用脉冲序列驱动继电器的“故障—安全”电路,由计算机以输出脉冲序列的方式进行控制。

我国首次引进国外的微机联锁系统,是大约于1986年开始进行引进工作的英国西屋公司