

# 铁路与城市轨道交通信号控制系统比较分析

邱 杰

中铁电气化局集团第三工程有限公司 河南 郑州 450000

**摘要:** 本文阐述了铁路信号控制系统在安全性、列车间隔控制、列车进路控制、容错性和可靠性方面的需求,以及城市轨道交通信号控制系统在高密度高频率、灵活调度、乘客安全与信息、能源效率与环境友好方面的需求。从关键技术和运行特点对比二者差异,展现二者因不同运输场景而产生的不同特点。

**关键词:** 铁路与城市轨道交通; 信号控制系统; 比较分析

## 引言

在现代交通领域,铁路和城市轨道交通是重要的组成部分。信号控制系统作为保障其安全高效运行的关键因素,对于铁路和城市轨道交通有着不同的意义。铁路承担着长途客货运输,城市轨道交通服务于城市内部通勤。二者的运行环境、运输需求不同,相应的信号控制系统也各具特点,深入比较二者有助于更好地理解 and 优化这些系统,保障交通安全和运营效率。

## 1 铁路信号控制系统的特点和需求

### 1.1 安全性需求

铁路信号控制系统是确保铁路交通运行安全的关键设施。它必须具备高度的安全性,以防止列车碰撞、脱轨等事故的发生。安全性需求体现在系统的各个环节,包括信号设备的可靠性、信号传输的准确性、系统对故障和异常情况的快速响应能力等。

### 1.2 列车间隔控制需求

列车运行间隔是指相邻两列列车之间的时间间隔。合理的运行间隔能够保证列车之间的安全距离,避免碰撞事故的发生。同时,适当的运行间隔还能提高列车运行的效率,减少乘客的候车时间。因此,铁路信号控制系统需要具备精确的列车间隔控制能力,根据客流量、列车速度等因素灵活调整运行间隔。

### 1.3 列车进路控制需求

列车进路控制是指对列车行驶路径的规划和控制。铁路信号控制系统需要能够根据列车运行计划、车站布局、轨道条件等因素,自动或人工地选择和调整列车的进路。这要求系统具备高度的智能化和自动化水平,以确保列车能够安全、高效地到达目的地。

### 1.4 系统容错性和可靠性需求

铁路信号控制系统必须具备较高的容错性和可靠性。容错性是指系统在出现故障或异常情况时,能够自动或人工地切换到备用模式,保证列车运行的安全和连

续。可靠性则是指系统在长时间运行过程中,能够保持稳定的性能和准确的功能。为满足这些需求,系统需要采用冗余设计、故障检测与诊断技术、备份与恢复机制等措施<sup>[1]</sup>。

## 2 城市轨道交通信号控制系统的特点和需求

### 2.1 高密度和高频率需求

城市轨道交通系统通常具有高密度和高频率的客流特点。因此,信号控制系统需要能够支持高密度的列车运行和频繁的到站离站操作。这要求系统具备高效的列车调度和进路控制能力,以确保列车能够准时、准确地到达目的地。

### 2.2 灵活的调度需求

城市轨道交通系统面临着复杂的客流变化和运营需求。因此,信号控制系统需具备灵活的调度能力,能够根据客流情况、列车运行状态等因素实时调整列车运行计划和进路。这要求系统具备高度的智能化和自动化水平,以及完善的调度指挥和运营管理功能。

### 2.3 乘客安全和乘客信息需求

城市轨道交通系统作为城市公共交通的重要组成部分,承担着大量乘客的运输任务。因此,信号控制系统需要确保乘客的安全和提供准确的乘客信息。这包括列车到站时间、列车运行状态、紧急疏散指示等信息。系统还需要具备故障检测和报警功能,以便在出现异常情况时及时采取措施保障乘客的安全。

### 2.4 能源效率和环境友好需求

城市轨道交通系统通常采用电力牵引方式,因此信号控制系统需要考虑能源效率和环境友好性。这包括优化列车运行策略以减少能耗、采用节能型信号设备等措施。同时,系统还需要具备对环境噪声和振动的控制能力,以减少对周边环境的影响。

## 3 铁路与城市轨道交通信号控制系统比较分析

### 3.1 关键技术的比较

### (1) 列车间隔控制技术

铁路与城市轨道交通在列车间隔控制技术这一关键环节展现出了明显的差异。铁路作为长距离、大运量的运输方式,其信号控制系统的核心诉求之一是提高运行速度和运营能力。在广袤的铁路线路上,列车需要在保证安全的前提下尽可能地高速行驶,以减少长途运输的时间成本。这就要求列车间隔控制技术能够适应高速行驶状态下的安全距离保障,同时还要兼顾不同类型列车的速度差异和运行特点。

而城市轨道交通主要服务于城市内部的短距离通勤,其特点是行车密度大、站点间距相对较短。因此,城市轨道交通信号控制系统在列车间隔控制技术方面,更侧重于缩小追踪间隔,提高线路的通过能力,以满足城市人口密集区域内大量乘客的出行需求<sup>[2]</sup>。这种需求差异导致了两者在列车间隔控制技术上所采用的算法和策略有所不同。铁路可能会运用一些基于速度-距离模型的复杂算法,考虑到列车加速、减速性能以及不同路段的限速情况,来精确计算和调整列车间隔;而城市轨道交通则更多地采用基于固定闭塞或移动闭塞的先进技术,通过实时监测列车位置和速度,实现更紧密的列车间隔控制,保障高效的运营。

### (2) 列车进路控制技术

列车进路控制技术对于铁路和城市轨道交通信号控制系统而言,从原理上看,二者存在一定的相似性,都是为确保列车在行驶过程中能够安全、准确地进入预定的轨道线路。然而,在具体的实现方式上,二者却有着显著的区别。

铁路信号控制系统是一个庞大而复杂的体系,通常由区间闭塞设备、连锁设备、驼峰控制系统等多个部分组成。区间闭塞设备用于保证列车在区间运行时的安全间隔,通过各种闭塞方式防止列车追尾或正面冲突。连锁设备则是保障车站内进路安全的关键,它通过一系列的逻辑关系和机械、电气装置,确保道岔、信号机和进路之间的正确连锁,即只有当进路空闲、道岔位置正确且敌对进路未建立时,信号机才能开放,允许列车进入进路。驼峰控制系统主要应用于铁路编组站,用于控制车辆在驼峰场上的溜放作业,涉及到复杂的调速和车辆跟踪技术。

相比之下,城市轨道交通信号控制系统则主要由ATC系统与车辆段联锁系统构成。ATC系统是一个高度集成的系统,包括列车自动防护、列车自动运行和列车自动监控子系统。ATP子系统保障列车的安全运行,通过对列车速度和位置的实时监测,防止列车超速、冒进信号等危

险情况;ATO子系统负责在ATP的保护下实现列车的自动驾驶,提高列车运行的平稳性和准确性;ATS子系统则对整个线路上的列车运行进行集中监控和调度。车辆段联锁系统则主要负责车辆段内的进路控制,保障车辆在段内的调车、停放等作业的安全。

### (3) 列车优化调度技术

列车优化调度技术在提高铁路运输效率和城市轨道交通运营效率方面都有着至关重要的作用,但二者在这一技术的运用上各有特点。铁路信号控制系统通常采用基于运行图的优化调度策略。运行图是铁路运输组织的核心文件,它详细规定了各次列车在各个车站的到发时间、区间运行时间以及停站时间等信息。铁路调度人员依据运行图进行调度指挥,通过合理安排列车的会让、越行等作业,使整个铁路网络的运输能力得到充分发挥。这种基于运行图的调度策略需要考虑多种因素,如不同等级列车的优先权、线路的通过能力限制、车站的接发能力以及大型编组站的作业流程等。在制定和调整运行图时,往往需要经过复杂的计算和模拟,以平衡运输需求和线路资源的利用。而城市轨道交通信号控制系统则更注重实时调度和动态调整。由于城市轨道交通的运营环境复杂多变,如突发的大客流、设备故障等情况时有发生,因此需要信号控制系统能够实时地对列车运行进行调整。例如,在高峰时段,根据各站点的实时客流情况,动态调整列车的停站时间、发车间隔;当某一区间出现设备故障时,迅速调整列车运行路径,避免对整个线路运营造成过大影响。这种实时调度和动态调整能力依赖于先进的通信技术、自动化监控技术以及智能决策算法,以保障城市轨道交通在复杂环境下的高效、安全运营<sup>[3]</sup>。

## 3.2 运行特点比较

### (1) 运行速度和间隔

铁路与城市轨道交通在运行速度和间隔这两个关键的运行特征方面展现出了鲜明的差异。铁路作为长距离运输的主要方式,列车通常具有较高的运行速度。这是因为铁路需要在广袤的地域内高效地连接不同城市 and 地区,高速行驶能大幅缩短运输时间,满足人们对于长途出行和货物长途运输的时效性需求。同时,铁路列车的运行间隔相对较长,这一方面是由于其运行速度较高,需要更大的安全制动距离;另一方面,铁路运输的客流和货流在时间和空间上的分布相对分散,不像城市内部那样集中和频繁。而城市轨道交通主要服务于城市内部的短距离出行,其列车运行速度通常较低。这是为适应城市内相对较短的站点间距,频繁的启动和停车需求,

以及确保乘客在车内的舒适性和安全性。城市轨道交通列车的运行间隔则较短,这是城市人口密集、客流量大的特点所决定的。在早晚高峰时段,为快速疏散大量通勤乘客,需要尽可能缩短列车间隔,提高线路的运输能力。这种运行速度和间隔的差异,对信号控制系统提出了截然不同的要求。铁路信号控制系统在设计时,要着重考虑如何在长间隔下保障高速列车的安全运行,如何精确地控制列车在高速行驶过程中的追踪和避让;而城市轨道交通信号控制系统则要聚焦于在短间隔下实现列车的高效、稳定运行,确保相邻列车之间的安全距离能适应频繁的启停操作。

### (2) 运行图与时刻表

运行图和时刻表在铁路和城市轨道交通信号控制系统中都占据着至关重要的地位,但二者在编制方面存在显著差异。铁路运行图通常更加复杂和灵活。铁路运输涉及到多种类型的列车,包括长途客运列车、短途通勤列车、货运列车等,每种列车都有其特定的运行计划 and 需求。长途客运列车需要按照旅客的出行时间和目的地进行安排,可能会有不同的停靠站点和运行时间;货运列车则要根据货物的种类、运输量以及装卸地点来规划路线和时间。此外,铁路还需要考虑不同等级列车的优先权,例如高速客运列车在运行过程中需要优先通过,以保证其时效性。而且,由于铁路运输受季节、节假日等因素的影响较大,客流量和货流量在不同时期会有明显波动,这就要求运行图能够灵活调整,以适应这些变化,从而充分利用铁路线路资源,满足不同的运输需求。相比之下,城市轨道交通是城市公共交通的骨干,乘客通常依赖其按时出行,尤其是在工作日的通勤时段。为满足乘客的这种出行需求,城市轨道交通时刻表的编制会以确保列车准点到达和出发为首要目标。在正常运营情况下,各趟列车的发车间隔和运行时间都相对固定,乘客可以依据时刻表准确地安排自己的出行计划。即使在遇到一些特殊情况,如小幅度的客流变化时,城市轨道交通系统也会尽量保持时刻表的稳定,通过微调运行间隔等方式来应对,避免给乘客带来过多的不便。

### (3) 信号设备布局和控制方式

铁路和城市轨道交通在信号设备布局和控制方式上存在明显的区别。铁路信号设备通常安装在露天的区域中,这使其面临诸多严峻的挑战。恶劣的天气条件,如暴雨、暴雪、强风、高温和低温等,会对信号设备造成损害,影响其正常运行。长时间的日晒雨淋可能导致设

备老化、腐蚀,极端天气可能直接破坏设备的零部件或影响其电气性能。此外,铁路线路绵延漫长,经过各种不同的地理区域和人口环境,信号设备还面临着人为破坏的风险,如盗窃、故意损坏等情况。这些因素都要求铁路信号设备具备较高的耐受性和防护能力,同时在维护方面需要投入更多的人力和物力。而城市轨道交通信号设备则主要安装在车站和隧道内,相对更加安全和稳定。车站和隧道环境相对封闭,可以有效避免恶劣天气对设备的直接影响,减少了因天气因素导致设备故障的概率。同时,城市轨道交通线路通常位于城市内部,有相对完善的安保措施,能较好地防止人为破坏行为。在控制方式方面,铁路信号控制系统通常采用集中控制方式。铁路运输网络规模庞大,需要一个统一的控制中心来对整个铁路线路上的信号进行集中管理和调度。通过集中控制,可以协调不同区域、不同类型列车的运行,确保整个铁路系统的有序运转。然而,城市轨道交通站点密集,线路相对复杂,如果采用完全集中控制,一旦控制中心出现故障,可能会导致整个线路瘫痪。因此,城市轨道交通在信号控制上采用分散控制的方式,各个车站或区间都有一定的自主控制能力,即使局部出现问题,也能保障其他部分的正常运行。同时,为提高运营效率和应对复杂多变的城市交通环境,自动化控制在城市轨道交通信号系统中得到了广泛应用,例如列车的自动驾驶、自动调整运行间隔等功能,减少了人为操作可能带来的误差和延误。

### 结束语

综上所述,铁路与城市轨道交通信号控制系统因各自的功能定位和运行环境而存在显著差异。这些差异体现在关键技术和运行特点的各个方面。了解这些差异对于设计、维护和改进信号控制系统至关重要。无论是保障铁路长途运输的安全与高效,还是满足城市轨道交通高密度客流的出行需求,都需要根据其特点优化信号控制系统,以适应不断发展的交通需求,为人们的出行和货物运输提供更可靠的保障。

### 参考文献

- [1]黄聪.基于通信技术的城市轨道交通信号控制系统研究[J].中国新通信,2021,23(23):7-9.
- [2]刘思源.铁路与城市轨道交通信号控制系统比较和展望分析[J].现代职业教育,2020(22):158-159.
- [3]胡亚波.现代铁路与城市轨道交通信号系统比较[J].数字通信世界,2018,11(28):237.