

上海浦东国际机场捷运线特定联锁控区划分技术方案

王 野 潘玉玲 赖志强 秦怀阳

(上海富欣智能交通控制有限公司, 201203, 上海//第一作者, 工程师)

摘 要 通过对上海浦东国际机场捷运线的旅客运输高可靠性需求进行分析, 定制化地设计了特定联锁控区划分技术方案, 并基于典型的信号设备故障, 评价该技术方案对捷运线可靠性及可用性的影响。该技术方案可为国内外相关机场捷运系统的建设提供实际案例参考。

关键词 上海浦东国际机场; 捷运线; 特定联锁控区划分; 列车转线作业

中图分类号 U239.8.7

DOI: 10.16037/j.1007-869x.2020.10.047

Technical Scheme of Special Interlocking Control Area Division for Shanghai Pudong International Airport MRT Line

WANG Ye, PAN Yuling, LAI Zhiqiang, QIN Huaiyang

Abstract By analyzing the high reliability requirements for the passenger transport of Shanghai Pudong International Airport MRT (mass rapid transit) Line, a customized technical division scheme of special interlocking control area is designed. Based on the typical signal equipment failures, the influence of the technical scheme on the reliability and availability of MRT Line is assessed. This scheme can provide a practical case reference for the construction of related airport MRT system both in China and abroad.

Key words Shanghai Pudong International Airport; MRT Line; special interlocking control area division; train transfer operation

Author's address Shanghai Fuxin Intelligent Transportation Solutions Co., Ltd., 201203, Shanghai, China

上海浦东国际机场捷运线服务于安检后的旅客运输, 设置 T1/T2 航站楼、S1/S2 卫星厅和 T3 航站楼(预留)5 座车站。需要去卫星厅登机的旅客, 在航站楼办理完值机、行李托运、联检、安检等手续后, 在楼内下到地下捷运车站乘坐捷运列车前往卫星厅; 在卫星厅到港的旅客, 由卫星厅地下捷运车站乘坐捷运列车前往航站楼, 再经相应流程, 离开机场。捷运线分为东、西两线, 列车运营组织方案为 T1—S1 之间的两股道各自独立穿梭运行, T2—

S2 之间的运行模式同 T1—S1, 而 S1/S2—T3 采用单线穿梭运行模式, 如图 1 所示。

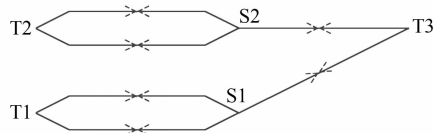


图 1 上海浦东国际机场捷运线列车运营组织示意图

作为捷运线的核心构成部分, 信号系统承担行车指挥和安全防护的重任。与传统地铁信号系统不同, 捷运线信号系统功能设计应满足空侧捷运线高可靠性要求和空防安全管理需要。

本文以上海浦东国际机场捷运线信号系统特定联锁控区划分技术方案为契入点, 阐述自主化信号厂商为满足捷运线高可靠性运输需求而进行的适配性设计, 目标是为国内外在建或规划的机场捷运线提供设计参考。

1 空侧捷运线高可靠性要求

根据世界航空网络运行的需要, 上海浦东国际机场作为大型枢纽机场需具备 24 h 运行能力, 包括人员、设施设备。而目前因各种因素导致的离港和到港的航班延误情况也时有发生。因此, 空侧捷运线也应具备 24 h 运行保障能力, 这对系统方案、运营维护模式提出新的要求。而陆侧捷运线, 原则上可以留有天窗时间用于系统的专门检修维护。

捷运线作为航站区运行的“一环”, 一旦出现问题, 将引起一系列连锁效应, 对旅客组织将产生重大影响。考虑到机场运行不能中断, 因此捷运线的高可靠性尤为重要。捷运线运行直接从属于机场运行管理, 有关运行方案决策均需得到机场认可, 作为保障机场运行的系统, 只要机场客运服务不停, 机场捷运线就必须保持运转。

2 特定联锁控区划分技术方案

为满足机场 24 h 航空旅客运输的需要, 上海浦

东国际机场捷运线在规划设计阶段即开始注重提高系统的可靠性。如图 2 所示, T1—S1/T2—S2 采用双线穿梭运行方式, A 线和 B 线互为备份, C 线和 D 线互为备份, 单线故障时, 航站楼 (T1/T2) 至卫星厅 (S1/S2) 的列车运行间隔拉长, 客运服务不会中断。

考虑到故障模式下也需具备输送旅客的能力,

因此将全线划分成 3 个联锁控制区域: 车辆基地作为独立的联锁控制区域; 正线 A/B/C/D 4 根股道包含 T3 预留站台划分成 2 个联锁控制区域, 其中 A/C 为 1 个联锁控区, B/D 为 1 个联锁控区, A/C、B/D 联锁控制区域的边界在卫星厅 (S1/S2) 站后道岔区域和 T3 站台前道岔区域, 如图 2 所示。

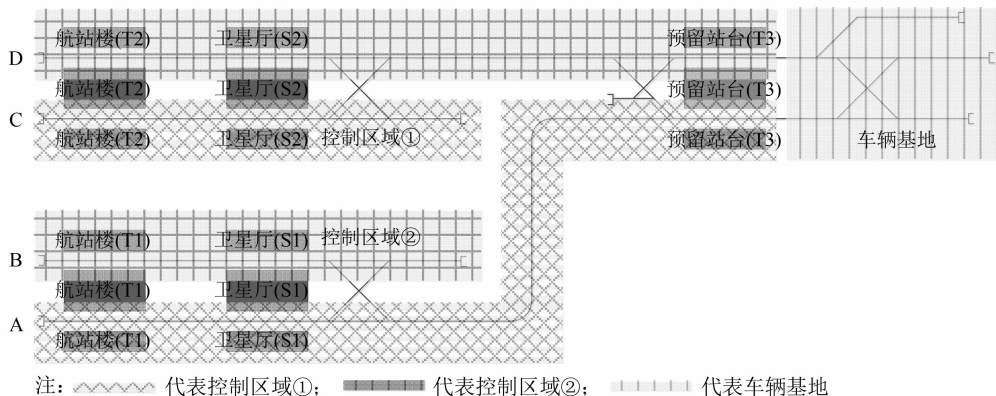


图 2 特定联锁控区划分技术方案

传统地铁线路的联锁控区边界一般不会设置在道岔区域, 这会极大地增加系统设计的复杂度。为确保行车安全, 同时满足 TB/T 3027—2015《铁路车站计算机联锁技术条件》行业技术规范的要求, 通过对卫星厅 (S1/S2) 站后道岔区域和 T3 站前道岔区域进行现场勘察, 以及对电客列车编组进行技术分析, 形成以下技术方案。

2.1 卫星厅 (S1/S2) 站后道岔区域

卫星厅 (S1/S2) 站后折返线具备正线存车功能, 为提高主用列车下线维护、备用列车上线替开的效率, 发车间隔不变。以东线左线 S2 站为例, 其站后道岔区域土建条件如图 3 所示。S1 站后道岔区域土建条件与 S2 基本相同。

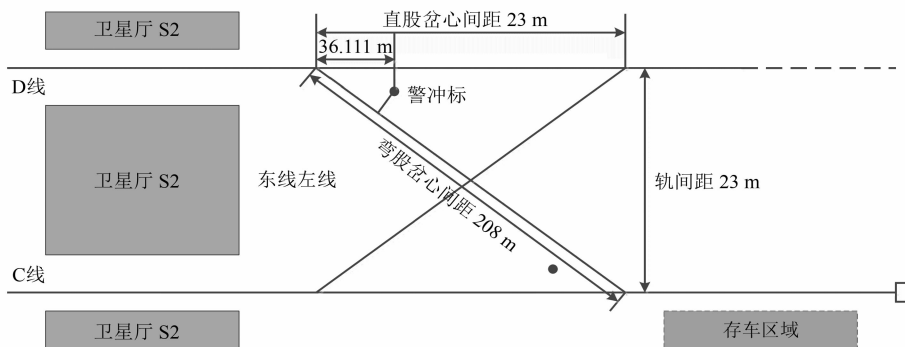


图 3 卫星厅 S2 站后道岔区域土建条件

根据设计提资资料和现场踏勘结果, S2 站后 C 线/D 线轨间距为 23 m, 直股道岔岔心之间距离为 207 m, 侧股道岔岔心距离为 208 m, 警冲标距离道岔岔心 36.111 m。电客列车采用 A 型车 4 节编组, 长度为 94.4 m, 考虑一定安全余量, 列车外悬及倒溜防护距离设定为 10 m。由于 C 线和 D 线分属 2 个不同的联锁控区, 类比传统地铁不同线路间转线作业和正线车辆基地转换轨的信号设计理念, S2

站后道岔区域侧股满足“差置法”布置实体信号机的技术条件, 如图 4 所示。

S2 站后每一个道岔警冲标外方 10 m 处布置 1 个计轴磁头, 侧股 2 组道岔之间被分隔出 1 个无岔区段, 区段的边界采用“差置法”布置实体信号机进行防护, 无岔区段的长度满足列车长度和双端司机瞭望距离要求。整个站后道岔区域共计安装 16 个计轴磁头, 划分出 8 个轨道区段, 如图 5 所示。

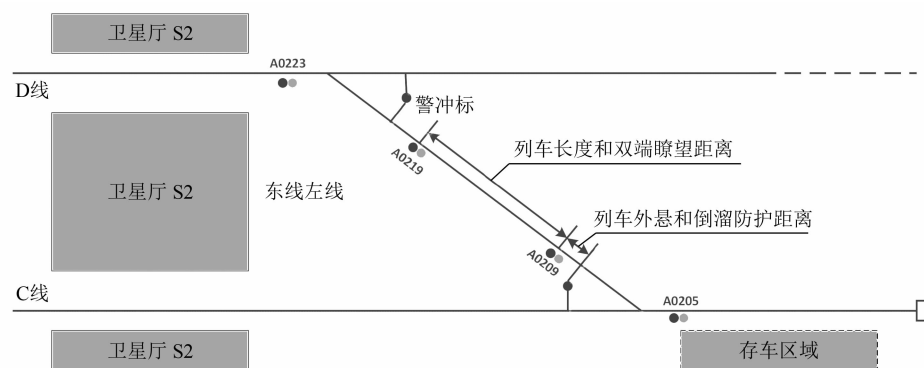


图 4 S2 站“差置法”实体信号机布置示意图

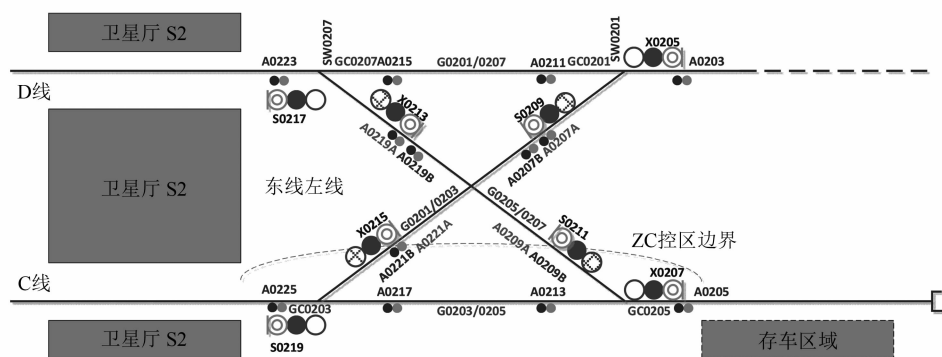


图 5 S2 站后联锁控区边界设计

特别需要指出的是,道岔侧向无岔区段 G0201/0203 和 G0205/0207 每一个边界点布置 2 个计轴磁头,由 C 线和 D 线联锁设备分别进行采集,确保列车进路功能不受底层计轴区段状态采集影响,保持相互独立。

S2 站后道岔区域被设置为“关键区域”。如图 6 所示,列车转线作业过程中,同一时刻只能有一列车驶入道岔侧向区域,通过 C 线联锁和 D 线联锁照查关系实现。例如,C 线联锁办理一条进入道岔侧向区域的列车进路时,驱动照查信号至安全侧“低电平”,通过继电接口(或网络接口)传输给 D 线联锁,D 线联锁受照查信号影响,不能办理进入道岔侧

向区域的列车进路。列车在 S2 站后进行折返作业时,为避免在道岔区域停车,C 线和 D 线跨区接车进路和发车进路始端信号构成联锁关系,通过 C 线联锁和 D 线联锁复示信号机驱动信号实现。例如,在办理存车区域至 D 线卫星厅 S2 站台的列车进路时,C 线联锁的发车进路始端信号 X0207 和 D 线联锁的接车进路始端信号 X0213 构成显示关系,只有在信号机 X0213 开放白灯允许信号时,信号机 X0207 才可以开放白灯允许信号,D 线联锁将 X0213 的白灯驱动输出 CXJ 通过继电接口(或网络接口)传输给 C 线联锁,作为 C 线联锁开放 X0207

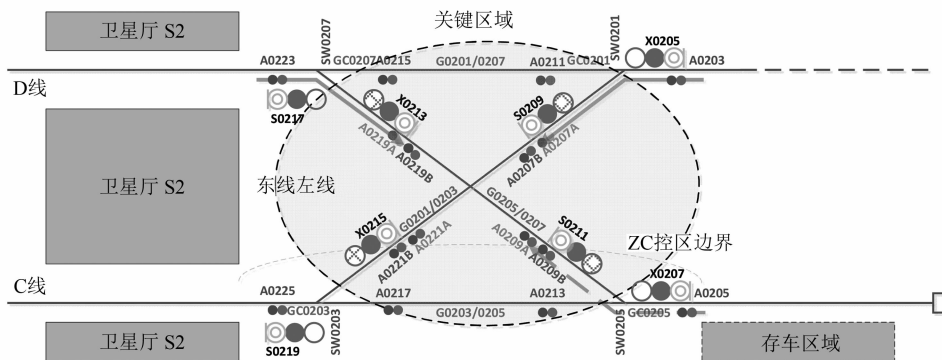


图 6 S2 站列车转线作业的安全防护

信号的特殊检查条件。

S2 站后 4 组道岔均为单动道岔,通过“差置法”在道岔侧向布置实体信号机的方式,将 C 线两组道岔 SW0203/SW0205 和 D 线两组道岔 SW0201/SW0207 进行分隔,列车在 T2—S2 之间双线穿梭运行时,单线 ZC/CBI (区域控制器/联锁) 信号设备故障降级或 S2 站后单线道岔故障失表,另外一线列车运行完全不受影响。

2.2 T3 航站楼预留站站前道岔区域

T3 预留站台站前道岔区域用于东线和西线之间列车转线作业,以及远期延伸线的轨道配线接

入。根据设计提资资料和现场踏勘结果,如图 7 所示,T3 预留站站前 A 轨/D 轨轨间距 13.2 m,连接 A 轨和 D 轨道岔侧向弯股长度为 119 m。电客列车采用 A 型车 4 节编组,长度为 94.4 m。考虑一定安全余量,列车外悬及倒溜防护距离设定为 10 m,线路不满足差置法布置信号机条件。同时,根据 GB 50157—2013《地铁设计规范》中的 A 型车车辆限界的技术条件,线路不满足“并置法”布置实体信号机的条件。最终采用“并置法”布置虚拟信号机作为两个联锁控区的边界。

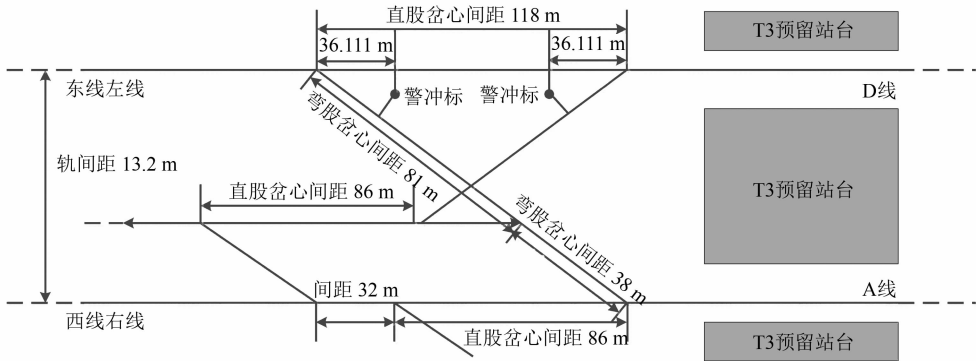


图 7 T3 站前道岔区域土建条件

如图 8 所示,通过虚拟信号机 VX0512/VS0510 将东线和西线划分成为两个不同的联锁控区,增加了联锁列车安全间隔防护功能的复杂度。列车在转线作业过程中,东、西两线联锁应互相照查,避免迎面冲突,接车进路和发车进路始端信号应构成显

示关系,只有在接车进路始端虚拟信号机开放逻辑允许信号时,发车进路的始端实体信号机才能开放允许信号,避免挤岔风险。列车在直股穿梭运行过程中,邻区联锁控区边界的道岔应防护在定位,避免侧方冲突。

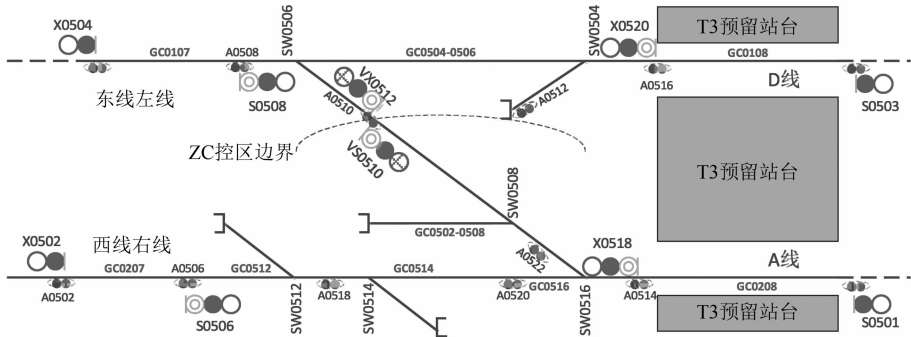


图 8 T3 站前联锁控区边界设计

1) 列车转线作业。例如在办理 S0508—S0501 长进路时,东线联锁在办理 S0508—VS0510 进路时,驱动照查信号至安全侧“低电平”,通过继电器接口 (或网络接口) 传给西线联锁,西线联锁受照查信号影响,不能办理进入道岔侧向区域的列车进

路。接车进路 VS0510—S0501 办理成功后,始端信号 VS0510 开放逻辑白灯允许信号,西线联锁将 VS0510 允许信号通过机电接口 (或网络接口) 复示给东线联锁,作为东线联锁开放发车进路 S0508—VS0510 始端信号 S0508 的特殊条件。接车进路始

端信号开放后,立刻构成接近锁闭,取消进路时,调度员应首先取消/人工解锁发车进路,然后取消/人工解锁接车进路。为规避调度员误操作行为,ATS禁止办理以虚拟信号机 VX0512/VS0510 为目的地的列车进路。

2) 列车穿梭运行。例如东线联锁在办理 S0508—S0503 进路时,需要检查道岔 SW0508 处于定位状态,但道岔 SW0508 由西线联锁进行控制,因此西线联锁采集道岔 SW0508 定位和反位表示状态和区段 GC0502—0508 占用/出清状态,在组合柜处通过跨区接口电路传输给东区联锁。S0508—S0503 进路建立且锁闭后,西区道岔 SW0508 应锁闭在定位,不能被移动(包括人工单操道岔或进路移动道岔)。S0508—S0503(或 X0520—X0504)进路建立且锁闭后,驱动照查信号 ZCJ 至“低电平”,通过跨区接口电路传输至西区联锁集中站设备室内道岔控制组合,切断道岔启动电路。特别地,因东区联锁设备故障或跨区接口电路故障导致 ZCJ 落下,西区道岔 SW0508 不在定位时,系统提供通过破铅封按钮的形式旁路 ZCJ,采用应急方式操作道岔。这种通过计算机联锁逻辑和 6502 电气集中控制配合使用的定制化功能,在道岔安全防护的基础上,满足特定联锁控制划分技术方案的高可用性需求,即西线(或东线)联锁控区设备故障不影响邻区东线(或西线)列车穿梭运行。

3 故障模式下列车运营影响分析

表 1 通过联锁设备故障、信号电源故障和道岔无表示故障等典型故障场景评估特定联锁控区划

分技术方案对捷运线列车运营的影响。由表 1 可以看出:采用“差置法”布置实体信号机并构建信号显示联锁关系对卫星厅(S1/S2)站后进行定制化设计,对系统可用性有显著提升;而采用“并置法”布置虚拟信号机并构建信号显示关系对 T3 站前进行定制化设计,对系统可用性也有一定的改善。考虑到载客运营区域为 T1—S1/T2—S2,因此特定联锁控区划分技术方案达到了预期的目标。

表 1 故障模式下列车运营影响分析

| 序号 | 故障类型 | 航站楼站—卫星厅站运营 | 列车进出车辆基地 |
|----|--------|---|-------------------------------|
| 1 | 联锁设备故障 | 列车由双线穿梭运行降级为单线穿梭运行,运能减半,服务质量下降,列车运营不会中断 | 列车单根股道(东线或西线)进出车辆基地 |
| 2 | 信号电源故障 | 列车由双线穿梭运行降级为单线穿梭运行,运能减半,服务质量下降,列车运营不会中断 | 列车东线和西线均丧失进出车辆基地的能力 |
| 3 | 道岔故障 | 卫星厅站后道岔故障,道岔所在轨道停运,相邻轨道列车正常运行 | T3 站前道岔故障,列车东线和西线均丧失进出车辆基地的能力 |

4 结语

本文以上海浦东国际机场捷运线高可靠性和可用性需求分析为切入点,详细介绍了特定联锁控区划分技术方案的设计与实践,以期为国内外相关机场捷运线的建设提供一定的借鉴。

参考文献

[1] 何文卿. 6502 电气集中电路(修订本)[M]. 北京:中国铁道出版社,1997.
[2] 李文沛,刘武军. 机场旅客捷运系统规划[M]. 上海:上海科学技术出版社,2015.

(收稿日期:2020-05-15)

我国新一代地铁智能化直流牵引供电系统试运营

由中国船舶集团第七一二研究所研制的新一代地铁智能化直流牵引供电系统近日在广州地铁 13 号线白江站一次送电成功,进入示范站试运营阶段。记者 22 日从位于武汉的七一二所了解到,该系统以七一二所自主研发的具备完全自主知识产权的智能断路器为核心,具有设备运行状态自诊断特征,数据信息接入云平台。通过集成创新,该系统实现了关键设备的信息化、数字化、智能化,达到事前智能预警、事后快速定位、远程集中管理等一系列智能运维目标。据悉,新一代地铁智能化直流牵引供电系统具备实时、准确、有效在线监测和数据驱动分析应用功能,对创新维修模式、降低运维成本、提高城市轨道交通运营效益和保障轨道交通运营安全具有重要意义。

(摘自 2020 年 9 月 22 日新华网,记者 谭元斌报道)