

轨道交通信号控制系统主备双系 工作状态的识别与控制*

韩安平¹ 施莉娟^{2,3}

(1. 中国铁道科学研究院集团有限公司通信信号研究所, 100081, 北京; 2. 上海有轨电车工程技术研究中心, 201804, 上海; 3. 上海市轨道交通结构耐久与系统安全重点实验室, 201804, 上海//第一作者, 研究员)

摘要 目的: 针对轨道交通信号控制系统冗余结构中主备双系状态切换时可能存在的风险, 提出一种新的硬件判决方式以避免该风险。**方法:** 轨道交通信号控制系统多采用二乘二取二和双机热备冗余结构, 由2个功能完成相同的主备双系组成。主备双系各自有主控、同步和离线等3种固定的工作状态, 其不允许同时出现为主控状态。这3种工作状态的控制与转换依赖于自身和对方系的工作状态。目前, 系统工作状态的判决机制主要有通信判决和硬件判决2种方式。若采用通信判决, 一旦通信出现问题, 则存在同时出现主备双系都为主控状态的风险。为此, 提出采用设置工作继电器的硬件判决方法, 即通过继电器硬件判决方式来识别和控制系统主备双系的工作状态, 以避免同时出现主备双系处于主控状态的风险。主备双系各设置一个工作继电器, 通过继电器的硬件接点条件来反映对应系的工作状态, 并提出了设计原理、判决原则、判决实现流程及应用环境, 分析了硬件判决方式比通信判决方式具有的技术优势。**结果及结论:** 通过采集工作继电器位置反映对应铁路信号控制系统各系的工作状态, 主要有以下优势: ①不依赖于主备双系间通信的状态, 解决了由于通信问题带来状态信息丢失的问题; ②不论系统是否开机, 系间是否通信正常, 各系都能通过采集对方工作继电器接点条件来识别对方系的工作状态, 从而能准确控制本系的工作状态; ③继电器反应速度明显高于通信处理的反应速度, 一旦系统工作状态发生变化, 工作继电器快速动作可使主备双系及时得到相应系的工作状态信息; ④继电器具有固有失效安全特性, 工作继电器一旦发生故障落下, 使系统尽快转到离线状态; ⑤通过继电器识别和控制系统工作状态, 软件处理逻辑简单, 也能使维护人员直观辨识系统工作状态。

关键词 轨道交通信号控制系统; 双机冗余; 工作状态识别; 切换控制

中图分类号 U284.48

DOI:10.16037/j.1007-869x.2023.07.033

Identification and Control of Rail Transit Signaling Control System Main and Standby Dual-system Working Status

HAN Anping, SHI Lijuan

Abstract Objective: Targeting the possible risks in the main/standby dual-system status switchover of rail transit signaling control system redundancy structure, a new hardware judgment method to avoid those risks is proposed. Method: Rail transit signaling control system often adopts double 2 out of 2 method and dual-system hot standby redundancy structure. The system consists of main and standby two systems that perform the same function, each has three working status of host, synchronization or off-line, and they are not allowed to be in host status at the same time. Control and switchover of the 3 working status depend on the working status of the system itself and the other one. At present, the judgment mechanism of system working status mainly includes communication judgment and hardware judgment. For communication decision, there is a risk of both systems in host control status simultaneously during communication faults. Thus the hardware judgment method with working relays is put forward, meaning that relays are used to identify and control the working status of the main and standby dual-system to avoid the above risk. Main and standby systems set up a working relay respectively to reflect the working status of the corresponding system by relay hardware joint condition, for which the design theory, decision principle, decision implementation flow and application environment are proposed. The technical advantage of hardware judgment over communication judgment is analyzed. Result & Conclusion: By collecting working relay position, the working status of corresponding systems under the railway signaling control system is reflected. Main advantages are as follows: (1) independent of the communication status between main and standby sys-

* 中国铁道科学研究院集团有限公司科技研究计划重点课题(2021 YJ039); 上海市国际科技合作基金项目(19210730300)

tems, status information loss caused by communication problem is solved; (2) whether system is turned on or communication between systems is normal, both main and standby systems can identify the working status of the other one by collecting working relay joint condition, thus control working status of itself accurately; (3) relay response speed is evidently faster than communication process response speed, and once system working status switches, working relays of both main and standby systems can act instantaneously to inform the other one of their working status; (4) relay has intrinsic fail-safety feature, meaning that if the working relay fails, system will be turned to offline status as soon as possible; (5) identifying and controlling system working status through relays, the software processing logic becomes simple and the maintenance personnel can identify system working status intuitively.

Key words rail transit signaling control system; dual-system redundancy; working status identification; switchover control

First-author's address Signal & Communication Research Institute, China Academy of Railway Sciences Co., Ltd., 100081, Beijing, China

在可靠性要求较高的系统中,多采用双机设计。双机冗余是提高系统可靠性的有效手段^[1]。在轨道交通行业,电务安全是影响轨道交通运输安全的重要因素^[2-3]。铁路信号安全控制系统是铁路电务关键的安全系统^[4],其对系统的安全性和可靠性都有较高的要求^[5]。

轨道交通信号控制系统主要指铁路车站计算机联锁^[6]、列车运行控制和城市轨道交通 CBTC(基于通信的列车控制)^[7]等信号安全控制系统,所采用的信号安全控制平台均设计为冗余结构^[8]。目前常见的信号控制系统的冗余结构为双机热备、三取二和二乘二取二^[9],其中双机热备和二乘二取二制式应用最多^[10-11]。

二乘二取二和双机热备制式系统都是由 2 个完成相同功能的主备两系(机)组成。两系同时工作,但主系优先具有控制权。系统有效的对外输出控制命令,包括输入/输出接口电路的输出驱动命令和以通信方式传输的控制命令,均由具有控制权的主系输出^[12]。这些命令的正确性将直接影响到系统的安全性。二乘二取二和双机热备制式系统通常情况下必须要求主备双系同步工作,且不允许同时出现双主情况,即只能有一系为主系(主控系),另一系为备系(同步系)或停止运行(离线系)。为

此,很有必要对轨道交通信号控制系统双系工作状态的识别与控制进行相关研究,以实现系统各系状态的准确识别和控制,最终达到保障系统对外输出的安全性。

1 信号控制系统工作状态的判决方式

目前,铁路信号控制系统主备工作状态的判决机制主要有通信判决和硬件判决 2 种方式^[13]。

通信判决方式是依靠通信手段,通过双系间相互传递必要的信息来进行状态判决和控制。在双系间通信不畅或中断的情况下,甚至在双系软件版本控制出现漏洞,造成双系不能正常通信以获取对方工作状态的情况下,就可能使自己误判对方系未处于主控状态(主系)而使自己也工作为主控状态,即出现上述的双主情况。造成双系间通信不畅或中断的原因很多,典型的原因有系间通信线断线或漏插。双主意味着 2 套设备都可以向执行层发送合法的驱动命令。由于双系没有工作在同步状态,也就是说有可能各自发出的驱动命令不一致,如果驱动表示模块或电路没有预防双主的机能(如仅执行一系的指令),就有可能出现危险的输出情形。而且,当单系更换软件后,主备系软件因版本不一致易造成双系间通信不畅而出现双主的情况。为了避免出现类似风险情形,多以不同方式加固了双系间的通信通道和处理方式,以尽可能保证双系间通信的良好性。

硬件判决方式是通过硬件电路或元器件状态来表示和控制系统的工作状态,并通过采集相应的硬件信息来对工作状态进行判决。相比通信判决方式,更能有效避免双主情况的发生。本文主要论述采用硬件判决方式来识别和控制铁路信号控制系统双系的工作状态。

2 信号控制系统工作状态的判决原理设计

2.1 工作继电器的设计原理

在二乘二取二或双机热备制式系统中,双系各设置一个工作继电器(以下简称“GZJ”),通过 GZJ 的硬件接点条件来反映对应系的工作状态。双系除了采集自身 GZJ 的接点外,还互采对方系的 GZJ 接点。

双系各自的固定工作状态有 3 种,即主控、同步和离线工作状态。当信号控制系统启机后,通过检

查双系 GZJ 的接点状态并结合双系的工作情况,控制各系在 3 种固定工作状态间的转换,相应控制各自 GZJ 的进一步动作。图 1 为信号控制系统工作状态转移图。

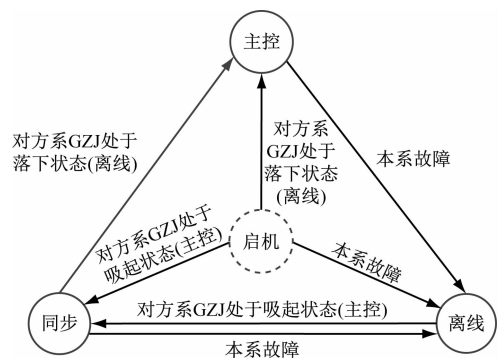


图 1 信号控制系统工作状态转移图

Fig. 1 Diagram of signaling control system working status transition

当信号控制系统处于主控状态或同步状态时,自身控制的 GZJ 吸起;离线状态时,自身控制的 GZJ 落下,GZJ 的安全侧为落下状态^[14]。为了准确判断本系及对方系的工作状态,双系均采集本系和对方系 GZJ 的前后接点,并进行校核。图 2 为 GZJ 驱采图。

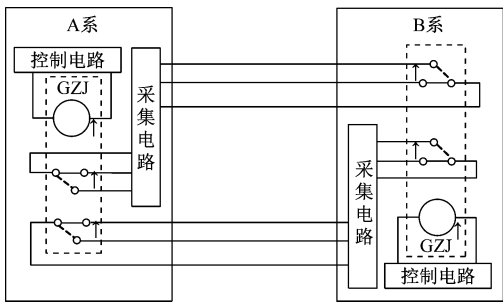


图 2 GZJ 驱采图

Fig. 2 GZJ circuit diagram of actuation and acquisition

2.2 信号控制系统工作状态转移的判决原则

启机过程是一种非固定工作状态,即信号控制系统启机后可以转为主控、同步和离线 3 个工作状态中的任何一个状态。

在系统刚启机时,仅在采集到对方 GZJ 后接点接通且前接点断开才判断对方处于离线状态,本系才可升为主控状态,并驱动本系 GZJ 励磁吸起;若采集到对方 GZJ 前接点接通且后接点断开,并且和对方系的通信正常,本系才有可能升为同步状态,并驱动本系 GZJ 励磁吸起;若本系自检发现有故障

存在,应工作在离线状态。

当本系处于离线状态时,系统可通过自检确认设备一切正常,并通过采集确认对方 GZJ 处于吸起状态,在设计的一定时刻通过主动呼叫对方系,和对方系取得联系并检查满足条件后可转为同步状态,驱动本系的 GZJ 吸起。本系在离线状态时,对方系只会处于主控状态或离线状态,因此当采集到对方 GZJ 吸起时,对方只能为处于主控状态,不可能处于同步状态。

当本系处于同步状态时,对方系一定处于主控状态,一旦主控系发生故障,本系采集到原主控系 GZJ 落下,即可由同步状态转为主控状态,并维持本系 GZJ 的驱动。

不论本系处于主控状态还是同步状态,一旦发生故障即转为离线状态。处于离线状态的一系不宜自动直接升为主控,因为设备有故障才转到离线状态,若故障排除,可通过重新启机方式转为同步或主控。

处于主控状态的一系也不宜自动直接升为同步,因为只有发生故障才会自动放弃主控身份。

表 1 为系统各工作状态下 GZJ 状态对应表。表中列出了双系 GZJ 各采集状态与各自系统工作状态对应的合理性,也列举了各自系统在相应 GZJ 采集条件下的工作状态处理动作。表 1 为信号控制系统各工作状态下 GZJ 状态对应表。

3 信号控制系统工作状态的判决实现流程

信号控制系统在启机时需先判决工作在什么状态,运行过程中也需要周期性判决维持或转移为什么状态,这些处理都是由软件完成。

3.1 启机时的系统状态处理流程

信号控制系统启机时系统状态处理流程如图 3 所示。GZJ 的状态判断是决定系统启机后工作在什么状态的关键决定因素。表 1 中启机栏所列的处理动作在图 3 中对应的流程分支做了标注。

3.2 运行过程中的系统工作状态处理流程

信号控制系统运行过程中系统状态处理流程如图 4 所示。GZJ 的状态也是判定系统工作状态的关键决定因素。本系工作状态是否正常的因素和双系间通信是否正常的因素也是一些流程分支的检查项。表 1 中主控、同步、离线栏所列的处理动作在图 4 中对应的流程分支也做了标注。

表 1 信号控制系统各工作状态下 GZJ 状态对应表

工作状态	本系 GZJ 采集状态				对方系 GZJ 采集状态				是否驱动 本系 GZJ
	10	01	00	11	10	01	00	11	
主控许可状态	√	×	×	×	√	√	√	√	是
主控处理动作	◎1	↘1	↘2	↘3	◎2	◎3	◎4	◎5	
同步许可状态	√	×	×	×	√	×	×	×	是
同步处理动作	双方系决定	↘4	↘5	↘6	◎6	↗1	↘7	↘8	
离线许可状态	×	√	×	×	√	√	√	√	否
离线处理动作	◎7	◎8	◎9	◎10	◎11 或 =1	◎12	◎13	◎14	
启机许可状态	×	√	×	×	√	√	√	√	否
启机处理动作	↘9	双方系决定	↘10	↘11	=2 或 ↘12	↗2	↘13	↘14	

注:10—前接点采集有,后接点采集无;01—前接点采集无,后接点采集有;00—前后接点均采集无;11—前后接点均采集有;√—允许状态;×—禁止状态;↗—升为主控;↘—降为离线;◎—维持原状态;=—转为同步状态;√、×、↗、↘、◎、= 右边的数字—状态转移序号。

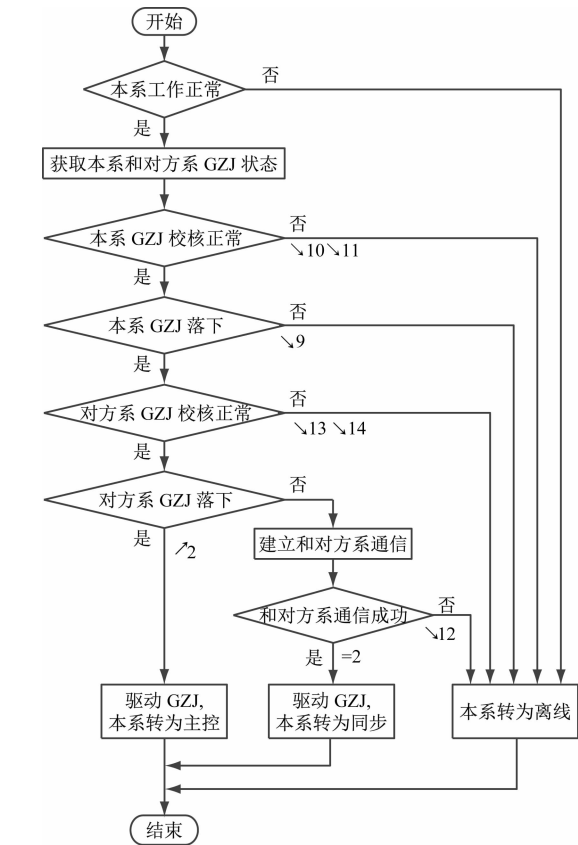


图 3 启机时系统状态处理流程图

Fig. 3 Flow chart of system status processing at startup

4 应用环境

目前铁路信号控制系统对系统的工作状态控制主要有 2 种方式,一种是设有状态控制手柄方式,另一种是不设状态控制手柄方式。设有状态控制手柄的方式配置有一个三位切换手柄。三个切换

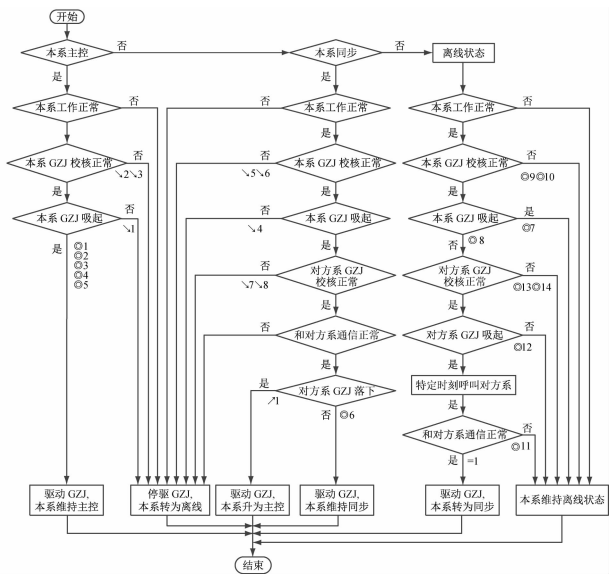


图 4 运行过程中系统状态处理流程图

Fig. 4 Flow chart of system status processing during operation

位分别是 A 系、B 系和自动,其分别对应强制 A 系持续主控、强制 B 系持续主控和自动控制各系工作状态的转换。不设状态控制手柄的方式在双系均开机的情况下,即直接进入自动控制各系工作状态的转换的模式,若想强制 A 系或 B 系持续主控,只能采取关闭对方系方式。

本文论述的通过设置 GZJ 来识别和控制系统工作状态的设计方案,可应用于不设状态控制手柄的系统和设有状态控制手柄系统在手柄位于自动位时对系统状态识别和控制的处理。设状态控制手柄的系统在手柄位于 A 系或 B 系位置时,各系的状态识别和控制主要由手柄位置决定。

5 结语

继电器常态有吸起和落下2个状态,通过采集GZJ位置反映对应铁路信号控制系统各系的工作状态,主要有以下优势:①不依赖于双系间通信的状态,解决了由于通信问题带来状态信息丢失的问题;②不论系统是否开机,系间是否通信正常,各系都能通过采集对方GZJ接点条件识别对方系的工作状态,从而能准确控制本系的工作状态;③继电器反应速度明显高于通信处理的反应速度,一旦系统工作状态发生变化,GZJ快速动作可使双系及时得到相应系的工作状态信息;④继电器具有固有失效安全特性,GZJ一旦发生故障落下,使系统尽快转到离线状态;⑤通过继电器识别和控制系统工作状态,软件处理逻辑简单,也能使维护人员直观辨识系统工作状态。

本文所论述的设计原理已在一些轨道交通信号控制系统中得到了实际应用,对其他相关系统的设计也具有借鉴意义。

参考文献

- [1] 韩亮,卢伟,张倩.双机热备份系统切换及同步设计[J].单片机与嵌入式系统应用,2021,21(7):51.
HAN Liang, LU Wei, ZHANG Qian. Design of dual hot redundant system switching and synchronization[J]. Microcontrollers & Embedded Systems, 2021, 21(7): 51.
- [2] 韩安平,阚佳钰,姜锡义,等.中国高速铁路电务安全指数指标体系构建[J].中国铁路,2020(5):33.
HAN Anping, KAN Jiayu, JIANG Xiyi, et al. Building of indicator system for communication & signaling safety indexes of HSR in China[J]. China Railway, 2020(5): 33.
- [3] 江明.轨道交通信号控制关键技术综述[J].铁路通信信号工程技术,2019,16(11):101.
JIANG Ming. Survey of railway safety control related key technologies[J]. Railway Signalling & Communication Engineering, 2019, 16(11): 101.
- [4] 姚亚平.一种铁路信号安全控制平台的研究[J].铁道标准设计,2019,63(9):143.
YAO Yaping. Research on a railway signal safety control platform[J]. Railway Standard Design, 2019, 63(9): 143.
- [5] 赵进恒.铁路信号控制系统故障导向安全问题分析[J].技术与市场,2017,24(1):41.
ZHAO Jinheng. Analysis on fault-oriented safety of railway signal control system[J]. Technology and Market, 2017, 24(1): 41.

- [6] 韩安平,刘鹏,李红侠.计算机联锁接口信息码位安全设计[J].铁道标准设计,2022,66(8):156.
HAN Anping, LIU Peng, LI Hongxia. Safety design of information code position of computer interlocking interface[J]. Railway Standard Design, 2022, 66(8): 156.
- [7] 乔高峰,耿鹏,宿秀元,等.基于通信的列车控制(CBTC)系统中轨旁控制子系统一体化研究[J].城市轨道交通研究,2021,24(7):125.
QIAO Gaofeng, GENG Peng, SU Xiuyuan, et al. Research on integration of trackside control subsystem in CBTC system[J]. Urban Mass Transit, 2021, 24(7): 125.
- [8] 韩安平,段武.二乘二取二硬件安全冗余信号控制平台关键部件的安全设计和可靠性研究[J].铁路技术创新,2015(2):99.
HAN Anping, DUAN Wu. Research on safety design and reliability of key components of hardware security redundant signal control platform[J]. Railway Technical Innovation, 2015(2): 99.
- [9] 杨艳.城市轨道交通联锁系统的冗余结构分析[J].无线互联科技,2021,18(14):19.
YANG Yan. Analysis on redundancy structure of interlocking system of urban rail transit[J]. Wireless Internet Technology, 2021, 18(14): 19.
- [10] 段武.我国铁路车站联锁发展概要[J].铁道通信信号,2019,55(增刊1):86.
DUAN Wu. Summary of railway station interlocking development in China[J]. Railway Signalling & Communication, 2019, 55(S1): 86.
- [11] 韩安平,阚佳钰,徐德龙,等.计算机联锁系统服役状态趋势分析[J].铁道通信信号,2021,57(2):42.
HAN Anping, KAN Jiayu, XU Delong, et al. Service status trend analysis of computer interlocking system[J]. Railway Signalling & Communication, 2021, 57(2): 42.
- [12] 国家铁路局.铁路车站计算机联锁技术条件:TB/T 3027—2015[S].北京:中国铁道出版社,2016.
National Railway Administration. Computer based interlocking technical specifications: TB/T 3027—2015[S]. Beijing: China Railway Publishing House, 2016.
- [13] 单东.《铁路车站计算机联锁技术条件》导读[M].北京:中国铁道出版社,2019:80.
SHAN Dong. Introduction to technical conditions for computer interlocking in railway station[M]. Beijing: China Railway Publishing House, 2019: 80.
- [14] 国家铁路局.铁路车站计算机联锁安全原则:TB/T 3482—2017[S].北京:中国铁道出版社,2017.
National Railway Administration. Safety principle of computer interlocking in railway station: TB/T 3482—2017[S]. Beijing: China Railway Publishing House, 2017.

(收稿日期:2022-01-12)