

降低信号系统单点故障对运营影响的技术方案

张楚潘

广州地铁集团有限公司 广东广州 510000

摘要: 随着我国城市轨道交通项目的建设进程不断加快, 开通线路日益增加, 城市轨道交通信号系统作为城市轨道交通行车安全及运行效率的指挥中枢, 系统/设备单点故障造成对运营影响的事件不断发生, 对线路的整体运营及服务水平造成严重影响, 信号系统的安全性、可靠性逐渐受到各个城市的重视。冗余技术便是解决系统/设备单点故障对运营影响的常采用的一种技术, 是提高信号系统安全性、可靠性的最有效的方法之一, 城市轨道交通项目建设中, 通常会在工程设计、系统/产品设计中采用合理的冗余设计, 已达到降低信号系统单点故障对运营影响的目的。

关键词: 轨道交通信号系统; 运营影响; 技术方案

Technical scheme to reduce the impact of single point failure of signal system on operation

Chupan Zhang

Guangzhou Metro Group Co., Ltd. Guangzhou, Guangdong 510000

Abstract: With the acceleration of the construction of urban rail transit projects in China, the number of open lines is increasing. As the command center of urban rail transit traffic safety and operation efficiency, the incidents of system/equipment single point failures that affect the operation are constantly occurring, which has a serious impact on the overall operation and service level of lines. The safety and reliability of signal systems are gradually valued by various cities. Redundancy is a commonly used technology to solve the impact of single point failure of system/equipment on operation, and it is one of the most effective methods to improve the safety and reliability of signal system. In urban rail transit project construction, reasonable redundancy design is usually adopted in engineering design and system/product design, which has achieved the purpose of reducing the impact of single point failure of signal system on operation.

Keywords: Rail transit signal system; Operational impact; Technical proposal

一、城市轨道交通信号系统介绍

随着计算机技术、通信技术的不断发展, 近年来国内外城市轨道交通信号系统通常采用基于通信技术、计算机技术、功能完备、科技含量高、安全可靠、先进成熟的列车自动控制 ATC 系统, 包括四个子系统: 列车自动监控子系统 (ATS); 列车自动防护子系统 (ATP); 列车自动驾驶子系统 (ATO); 联锁子系统 (CI)。

四个子系统基于先进的通信信息交换网络构成闭环系统, 可以充分发挥信号系统保证行车安全、提高运行效率、缩短行车间隔、提高运输能力和服务质量的作用, 实现迅速、及时、准确的行车调度指挥和运输管理现代化, 并为旅客提供舒适、快捷、现代化服务。

二、城市轨道交通信号系统冗余技术方案

城市轨道交通信号系统是保证列车运行安全的控制系统, 用于提高系统安全可靠性的冗余设计至关重要, 以下就系统/产品设计、工程设计两大角度分别对城市轨道交通信号系统硬件冗余设计、软件冗余设计、网络通道冗余设计、供电冗余设计和接口冗余设计5方面进行分析探讨。

1. 硬件冗余设计

(1) 冗余技术发展

伴随着计算机技术日以继地发展, 信号系统硬件冗余技术经历了从双机冷备、双机热备, 以及二取二、三取二、二乘二取二等阶段。如计算机联锁子系统随着

冗余技术的发展, 国内外信号厂家联锁系统产品梳理如下表所示:

冗余结构类型	信号厂家联锁系统产品梳理
双机热备	阿尔斯通公司VPI联锁系统、USSI公司MICROLOCK联锁系统、西屋公司SESTRACE联锁系统、铁科院TYJL- II型联锁系统、通号设计院DS-11型联锁系统、交大微联JD-IA型联锁系统
三取二	西门子SICAS联锁系统、阿尔卡特公司VCC联锁系统、铁科院TYJL-TR9型联锁系统、通号设计院DS6-20型联锁系统、和利时VSI2000A型联锁系统、恩瑞特NRIET-CI- III型联锁系统
二乘二取二	卡斯柯iLOCK联锁系统、铁科院TYJL- III型联锁系统、通号设计院DS6-K5B型联锁系统、交大微联EI32-JD型联锁系统、泰雷兹Seltrac®PMI型联锁系统

(2) 信号系统各类设备冗余技术要求

①《城市轨道交通信号系统通用技术条件》对城市轨道交通信号系统提出冗余设计的要求:

- 1) 信号系统及产品应采用必要的冗余技术;
- 2) 信号系统重要设备应有冗余措施;
- 3) 行车指挥中心及车站主要设备应具有冗余措施, 主备系统宜实现无扰切换;
- 4) 装备列车自动防护系统的列车, 测速装置宜采用冗余技术;
- 5) 数据传输通道应具有冗余措施;
- 6) 联锁设备必须符合故障-安全的原则, 应采用必要的冗余和安全技术并具有故障诊断和报警能力;
- 7) 电源系统主要功能单元, 宜采用模块化积木式结构。

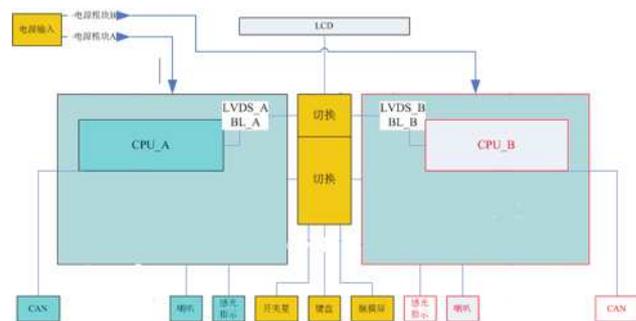
②《地铁设计规范》中也对信号系统提出冗余配置要求:

- 1) ATS系统: 架构与配置时网络拓扑结构应采用冗余方式, 主要服务器采用双机热备方式, 当主机故障时, 主备机切换应确保系统功能完整、各种显示连续、正确。
- 2) ATP系统: 地面ATP计算机设备应采用冗余结构; ATP系统站间通道, 应采用独立的冗余通道; 无人驾驶系统ATP地面/车载计算机设备应采用三取二或二乘二取二冗余结构。
- 3) 车地无线通信系统应采用冗余场强覆盖设计, 当一套网络故障时, 应确保信号系统车地信息传输的连续性。
- 4) 当采用无人驾驶时, ATO系统及主要设备应采用冗余结构。

根据上述规范、标准要求, 同时参考国内外城市轨道交通信号系统实施方案, 原则上系统的主要行车设备采用多重冗余技术结构、成熟的可靠性标准部件、减少可能中断系统运行的单点故障、提供“故障运行”等措施, 切换时间不影响设备工作的连续性, 完全做到无扰切换, 使系统成为高可靠性、高可用性设备。建议信号系统各类子系统及设备冗余技术如下表所示:

系统/设备	冗余结构	备注
联锁子系统	三取二或二乘二取二	关键部件(板卡级、模块级)全部冗余配置; 网络端口/网络链路冗余配置
ATP/ATO子系统	地面ATP/ATO系统: 三取二或二乘二取二	
	车载ATP系统: 单端采用三取二或二乘二取二	
	车载ATO系统: 双机热备	
计轴系统	二取二或二乘二取二	
ATS子系统	ATS系统关键设备(服务器、车站分机、现地控制工作站等)双机热备	
DSC系统	服务器双机热备; 网络交换机双套冗余配置; 有线网络通道、无线网络通道双网冗余配置	
MSS系统	服务器双机热备	
电源系统	双UPS+ 双母线方案	
车载测速设备	单端热备冗余或头尾共享冗余	
DMI	宜采用双冗余系统架构	

为提高系统的可靠性, DMI显示采用高可靠高安全性的双冗余系统架构, 具备双套完全功能的系统电路。通常状态下, 一套系统运行, 一套系统备用。当运行系统发生故障时, 可通过切换操作立即切换使用备用系统。



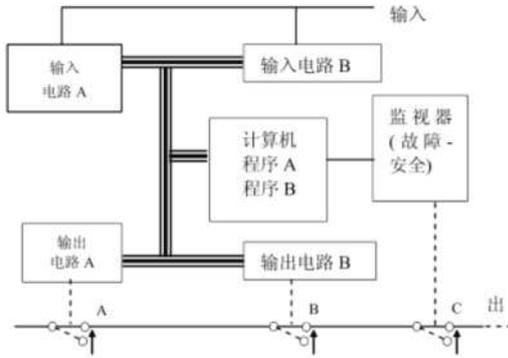
DMI冗余结构图

2. 软件冗余设计

涉及行车安全的子系统的计算机软件设计应采取必要的冗余、容错和避错设计策略, 保证命令输出的正确性, 使所设计的软件符合系统的故障-安全要求。

例如: 计算机软件冗余技术是指在一台计算机的主机内拥有两套独立程序, 也就是所谓的带有比较结果的

“一硬二软”方案，主机内的两套程序按照独立的格式依次独立完成对输出数据的处理，经由比较器进行结果比较，在比较结果一致的情况下会经过两套输出电路，达到数据的输出来接通控制电路。此软件冗余方式中，存储器、CPU等共用，程序编制至少由两个人分别独立完成，防止一个输入数据的错误使得两套程序产生同样的结果。



带有比较结果的“一硬二软”软件冗余方案

3. 网络通道冗余设计

DCS子系统在结构设计层面上具备完全冗余的特性。冗余概念应用在DCS子系统设计的所有层次上，包括交换机、光纤链路和空中的无线链路。

DCS网络结构应采用双网冗余设计，为CBTC数据信息提供两条对等独立的网络传输通道。两个网络并行工作，同步传递数据信息，所有信息数据都通过两个独立的网络传送到终点，实现冗余通信。

DCS有线通信网络设备应具备实现双向自愈环形拓扑结构组网的能力，当单个通信设备发生故障时，有线通信网络仍能正常工作，不会导致CBTC信号设备之间的通信发生中断。

DCS有线通信网络设备应保证在构建环形网络后，当网络通路发生单点故障时网络自愈时间小于50ms。

DCS有线网络路由传输设备应采取冗余备份的构建方式，以保证网络的可靠工作。

4. 供电冗余设计

电源系统应能适用两路独立的交流电源输入。

两路输入电源间应具有自动转换、手动转换功能，每路输入均具备手动直供功能，转换过程中不应影响后端负载正常供电，转换时间（包括手动和自动）不应大于0.15s。

当输入电源出现断电、断相时，电源屏应发出声光报警，并自动转换至另一路电源供电。

电源屏各输出电源模块应设有冗余模块，当任一电源模块出现故障或进行维修时，应能转换至备用电源模

块，继续保持供电。

当冗余模块不能实现与主用模块并联均流时，应采用1+1热备切换的冗余方式；当冗余模块可实现与主用模块并联均流时，应采用N+M并联的工作冗余方式，M不应小于 $(1/3)N$ 。

(1) 双母线方案

两路市电输入经切换单元后，分别给两台并联的UPS供电，经UPS输出后给交、直流单元提供输入电源，两台UPS正常工作时均分负载，当其中一台UPS出现故障时，由另外一台UPS承担起所有的负载。

两路独立的市电输入电源，经过两套独立“Y型”切换单元后，输出两路电源，供电系统内部形成独立的两条母线。

两路市电正常工作情况下，UPS1、UPS2为后端负载提供稳压电源，UPS1输出和UPS2输出形成2条独立母线。具体工作原理按照后端负载划分（直流负载、交流负载）：

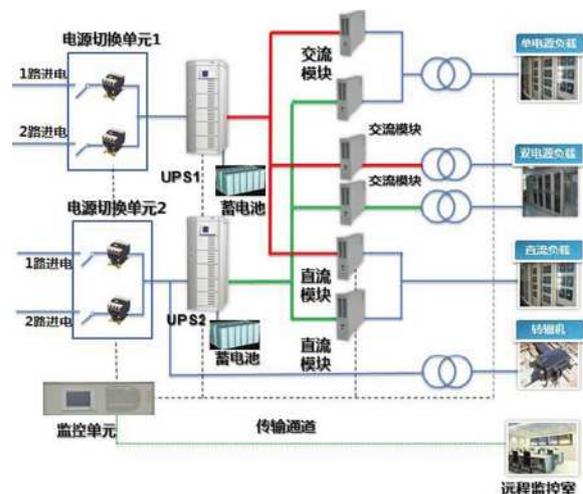
① 直流负载部分：

直流负载：通过直流模块“1+1”备份、并联冗余输出为其供电，直流单电源的主、备模块前端分别由UPS1、UPS2供电，形成2条独立母线，相互备份、互不影响。当其中一条母线故障，另外一条母线能够零切换的为直流单电源负载正常供电。

② 交流负载部分：

后端交流负载均按照单电源负载以及双电源负载进行区分，具体供电方式如下：

单电源负载：通过交流模块“N+N”备份，并联冗余后再经隔离变压器输出为其供电，主、备模块前端分别由UPS1、UPS2供电，形成2条独立母线，相互备份、互不影响。当其中一条母线故障，另外一条母线能够零切换的为此电源正常供电。



双电源负载: 经隔离变压器输出为其供电, UPS1电源的隔离变压器前端由UPS1供电, UPS2电源的隔离变压器前端由UPS2供电, 形成2条独立母线, 相互备份、互不影响。当其中一条母线故障, 另外一条母线能够零切换的为交流双电源的其中一路负载正常供电。

(2) 配线方案

在进行初步设计、招标设计、合同谈判、设计联络过程中对信号系统电源系统的各种输出电源均应采用隔离供电方式。向室外设备供电的电源电路必须采取可靠的防雷措施并单独送电。信号系统输出电源应根据电源使用用途、数量等进行合理分束要求, 分别供电, 涉及安全的设备均使用单独的电源模块, 网络安全设备、继电器电源、每站每一侧PSD、每站的ESB、其他出室外(如联络线接口等)的直流电源等设备均使用单独的电源模块, 并按照规范要求进行预留。在施工图设计过程中针对各种设备在电源屏、零层、集电器柜间形成双环设计, 避免因为单根电源电缆故障产生对设备用电的影响。

5. 接口冗余设计

(1) 外部接口

①与通信时钟接口

由于信号ATS子系统是冗余配置。当监测到与两个主时钟服务器的连接都出现故障时, ATS系统会在一定时间内保持内部时间同步。在这个期间, 系统将会发送报警信息, 直到问题被解决。

②与通信无线接口

ATS系统与无线系统有着直接的物理和逻辑接口。ATS到无线系统的通信应通过TCP连接, 提供两个独立的以太网接口。

③与站台门接口

对站台门系统的“开门、关门”命令按照每个站台每侧屏蔽门有一个安全输出进行设计。

接口电路通常是与联锁设备互相传递安全信息, 它的所有输出和输入使用“双断”方式: 站台门给ZC的安全输入复示继电器电路使用站台门继电器的2个触点, 同时ZC给站台门的安全输出复示继电器电路使用ZC输出状态继电器的2个触点。

④与防淹门接口

信号系统与防淹门系统之间的接口信号均互相提供

两组干接点, 接口电路采用双断设计。

信号系统从防淹门系统获得: 防淹门打开且锁闭状态、关闭请求状态(每个站台上下行每个单独的防淹门均有一个安全输入); 信号系统向防淹门系统提供: 对防淹门系统的“允许关闭”命令(每个站台上下行每个单独的防淹门均有一个安全输出)。

防淹门状态在信号设备室由一个安全继电器复示; 复示继电器电路使用防淹门继电器的2个触点(双断); 防淹门将在其控制室复示信号输出的继电器状态; 复示继电器电路使用ZC输出状态继电器的2个触点(双断)。

⑤与联络线接口

信号系统与防淹门系统之间的接口信号均互相提供两组干接点, 接口电路采用双断设计。本线信号系统与联络线信号系统互相将双方的相关轨道、道岔、信号机条件传递给对方。

(2) 内部接口

①ATS与车辆段联锁接口

ATS系统和车辆段联锁系统各由两个系统服务器组成。ATS系统为冗余配置。一旦检测到与第一个车辆段联锁系统服务器的链路故障后, ATS系统会与另一个车辆段联锁系统服务器接口, 继续运行。

②站联接口

信号系统内部站间联系主要包括场段与洗车线接口、场段与正线接口、车辆段与试车线接口。接口信号均互相提供两组干接点, 接口电路采用双断设计。

三、总结

随着我国城市轨道交通行业迅速发展, 冗余的信号设备在城市轨道交通信号系统中得到广泛应用, 有效提高了城市轨道交通信号设备系统运行的可靠性合稳定性, 城市轨道交通项目建设中, 在工程设计、系统/产品设计中采用合理的设计方案, 可降低信号系统单点故障对运营的影响。

参考文献:

[1]任荔娜. 铁路信号系统故障维修工作中的问题及应对策略[J]. 产业创新研究, 2020(18): 138-139.

[2]谭力天, 陈昕, 李澎东. 一种基于统计学模型的城轨信号系统故障诊断方法[J]. 控制与信息技术, 2020(04): 87-90.