

文章编号: 1005-8451 (2014) 02-0032-04

# 基于安全平台裁决的ATO系统冗余设计 与实现

李亮, 尹逊政, 孟军

(中国铁道科学研究院 通信信号研究所, 北京 100081)

**摘要:** 阐述CBTC系统中列车自动驾驶(ATO)系统的工作原理以及冗余设计; 对当前国内外主流厂商冗余实现方式的优缺点进行分析, 提出基于安全平台的双机并行冗余架构的设计原理及实现方案。

**关键词:** 基于通信的列车控制; 列车自动驾驶; 双机热备; 安全平台

**中图分类号:** U284 : TP39 **文献标识码:** A

## Redundancy design and implementation to ATO System based on safety platform

LI Liang, YIN Xunzheng, MENG Jun

(Signal & Communication Research Institute, China Academy of Railway Sciences, Beijing 100081, China)

**Abstract:** This paper described the working principle and redundancy design of ATO in CBTC System, analyzed the advantages and disadvantages of redundancy implementation used by current domestic and international mainstream manufacturers, proposed the design principle of Hot standby redundancy architecture based on the safety platform.

**Key words:** CBTC; Auto Train Operation System(ATO); hot standby; safety platform

随着城市轨道交通和信息技术的快速发展, 基于通信的列车控制系统(CBTC)在城市轨道交通信号系统中得到了广泛应用。CBTC系统的大量应用, 有效地缩短了列车的追踪间隔, 提高了轨道交通的运行效率。作为CBTC系统的一个重要组成部分, 列车自动驾驶系统(ATO系统)可以降低司机的劳动强度, 提高列车运行的舒适性、减小列车运行的能源消耗。在当前的轨道交通建设中列车自动驾驶系统已经普遍配置, 大部分新建线路都实现了直接开通自动驾驶功能。

列车自动驾驶系统在列车运营中的作用日渐重要, 对其可用性及安全性也提出了新的要求。本文将介绍列车自动驾驶系统的应用现状及扩展需求, 并提出对其进行功能扩展的解决方案。

## 1 列车自动驾驶系统原理与应用

### 1.1 列车自动驾驶系统概述

收稿日期: 2013-02-28

作者简介: 李亮, 助理研究员, 尹逊政, 助理研究员。

#### 1.1.1 列车自动驾驶系统功能

##### (1) 列车运行控制

根据车载ATP计算的线路信息(限制速度、安全点、停车点等)和地面列车自动驾驶设备下发的列车运行控制指令(时刻表信息、运行间隔调整指令等)为列车生成运行速度曲线。该曲线综合考虑了运行效率、节能环保和乘客舒适度等因素, 为最优化运行曲线。

根据列车的牵引制动性能、线路坡度、列车当前速度等信息生成列车控制指令, 对列车的速度进行调节, 以保证列车实际行驶曲线尽可能的贴近运行速度曲线。

##### (2) 精确进站停车

通过安装在站台特定区域的位置检测设备(环线交叉点、应答器或电子标签等), 列车自动驾驶系统可以获取精确的列车位置, 并基于列车速度、距停车点的距离、列车制动模型等因素计算停车曲线。通过变换所需的牵引力和制动力, 使列车速度遵循该停车曲线, 实现精确停车。

当前普遍使用的精确停车的指标要求为: 实

际停车点偏离目标停车点的距离小于  $\pm 0.3$  m 的概率为 99.9995 %。

### (3) 车门 / 屏蔽门控制

根据司机预先选择的门控模式, 列车自动驾驶系统可向列车自动输出开 / 关车门指令, 并同步向地面信号设备发出开 / 关屏蔽门指令。

#### 1.1.2 列车自动驾驶系统结构

(1) 系统硬件结构。ATO 系统为双机热备冗余结构, 如图 1 所示。ATO 系统 A 机和 B 机通过 IO 板与车辆系统连接实现对列车的控制, 通过以太网板与其他子系统进行数据交换。

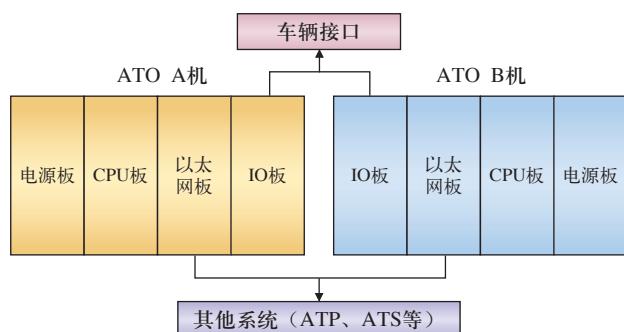


图1 ATO系统硬件结构图

(2) 系统软件结构。ATO 系统软件构成如图 2 所示。



图2 ATO软件模块构成图

逻辑处理部分: 根据输入的数据报文和列车接口信息进行逻辑运算, 计算出列车当前的控制速度曲线, 并生成相应的控制指令以及双机冗余

切换判断等逻辑处理运算。

输入输出管理部分: 采集列车速度、司机操作等信息, 并传输给逻辑处理部分。接收逻辑处理部分的列车控制信息, 并转化为相关的模拟 / 数字信号, 通过车辆接口控制列车运行。

通信管理部分: 负责列车自动驾驶系统与车载 ATP 设备、车辆控制系统、地面 ATO 设备和车载人机界面等设备的数据通信。

接口管理部分: 接口管理部分负责对 ATO 系统与其他系统之间的接口管理, 包括 ATP 接口、ATS 接口、HMI 接口以及 ZC 接口等。完成系统间数据的交互管理。

#### 1.2 列车自动驾驶系统应用

随着 CBTC 系统的普及, 列车控制自动化程度越来越高。列车自动驾驶系统已经由最初的司机驾驶辅助设备演变为主要的行车控制设备, 对其可用性要求越来越高。对列车自动驾驶系统的要求主要表现在热备冗余方面: 车载自动驾驶系统应具备两套完全独立的控制设备, 当单套出现故障后能自动切换到另外一套工作, 冗余设备的切换不应影响列车的正常行驶。

当前国内外部分信号厂商针对此需求, 在原有设备上进行了适应性的修改, 增加了冗余控制功能。目前主要采用双端交叉冗余和单端双机热备 2 种方式。

##### 1.2.1 双端交叉冗余方式

列车头尾两端各安装 1 套 ATP 和 ATO 设备, 每端的列车控制系统都需要提供 2 套控制接口, 分别与车头、车尾的 ATP 和 ATO 设备连接。当单端的设备出现故障后, 另外一端的设备将自动接管工作。激活端的设备将提供给车辆相应的激活信号, 由车辆系统根据此信号对双套接口传输过来的控制指令进行选择。

双端交叉冗余方式已经在实际工程实施中得到了验证, 此方式具有以下优点: 节约设备数量; 冗余实现逻辑简单。

同时, 在工程运用中也发现以下问题:

(1) 列车接口复杂。头尾交叉控制需要列车控制系统提供双套的控制电路接口, 并增加了列车控制线缆。给信号系统与车辆系统的接口设计和日常运营的检修维护增加了大量的工作。同时, 车辆需要安全的处理双路控制指令输入, 对车辆

专业接口设计和逻辑运算的安全性提出了很高的要求。

(2) 整体可用性降低。单端任何1个设备的故障，都会导致全部信号系统车载设备切换到另外一端工作。由于涉及到大量的信号车载设备，任意2个设备的交叉故障都会造成系统不可用。同时，由于地面信号系统布置限制，在后备模式下实现双端交叉冗余需要增加大量的地面设备。

### 1.2.2 单端双机热备冗余方式

每端都配置2套独立的ATO设备，2套设备使用并联的方式与列车控制系统提供的1套控制接口连接。ATO设备之间通过相互之间的信息交换实现设备的冗余切换，保证仅有1套ATO设备输出控制指令。

单端双机热备冗余方式的优点：列车接口简单；ATO冗余切换相对独立。

此方式存在的缺点：设备配置较为复杂；切换机制复杂。

## 2 ATO冗余结构设计与实现

### 2.1 ATO系统冗余结构设计

针对ATO系统设备冗余结构的需求和应用现状，特别是各种实现方式存在的问题。本文提出了一种新的ATO冗余结构：基于安全平台判决的双机并行冗余设计。该结构采用了单端双套的配置，双机之间采用并行运行的方式，同时进行信息采集、逻辑运算和命令输出。为了保证切换过程的安全可控，引入了外部安全平台作为双机工作的裁决设备。

如图3所示，ATO冗余系统由以下几部分构成：

(1) ATO设备。ATO-A和ATO-B为2套并行的控制设备，它们有各自独立的输入通道，输出通道通过裁决设备的并行输出控制单元与列车控制接口连接。ATO-A和ATO-B实时进行状态自检，并把自检信息发送给裁决设备。

(2) 裁决设备。裁决设备根据工作状态，选取良好的ATO设备为主用设备。使用报文形式把选择结果发送给ATO设备，以实现通信的切换控制。裁决设备控制并行输出控制单元的继电器组动作，以实现ATO设备控车指令的切换控制。

(3) 并行输出控制单元。并行输出控制单元

由2组继电器构成，分别控制ATO-A和ATO-B的控车指令输出。

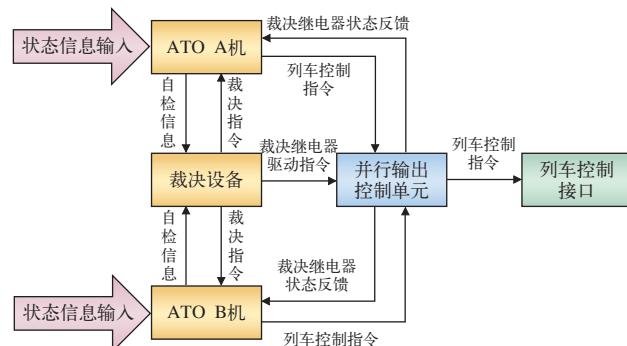


图3 双机冗余结构原理图

与既有的车载ATO冗余方案相比，基于外部安全平台判决的双机并行的冗余结构具有以下优点：结构简单清晰；冗余切换机制安全可靠；ATO的输出指令可安全切除。

### 2.2 ATO系统冗余功能实现

#### 2.2.1 硬件设计

双机并行的冗余结构在硬件上仅增加了并行输出控制单元作为ATO设备与车辆接口的中继器件。并行输出单元由2组切换继电器构成，其硬件原理如图4所示。

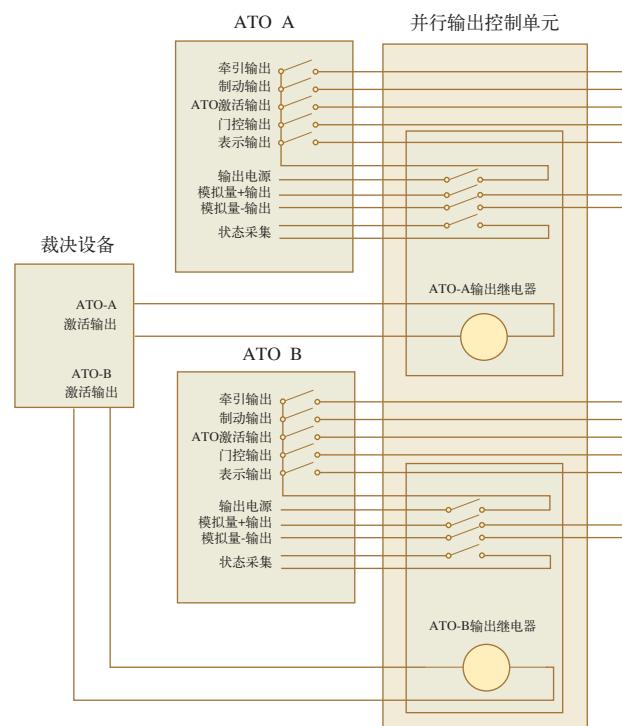


图4 并行输出单元硬件设计

根据ATO设备输出信号的特点，对于使用驱

动电压输出的信号（如牵引、制动指令等）采取了直接控制输出电源的手段进行切断输出以节省继电器接点使用，对于模拟量控制信号输出则采取双接点双断的手段进行切断输出。

### 2.2.2 裁决设备软件设计

充当裁决设备的安全平台的软件应实现以下功能。

(1) 实时监督ATO-A和ATO-B的自检状态信息并对其合理性进行检查,以判断ATO-A和ATO-B的工作状态; (2) 根据ATO-A和ATO-B的工作状态选择主用ATO单元,并输出相应的继电器控制指令; (3) 检查ATO输出继电器的状态,确保主用设备的继电器正常吸起; (4) 继电器粘连、通信中断等故障状态的处理。

裁决设备软件设计如图 5 所示。

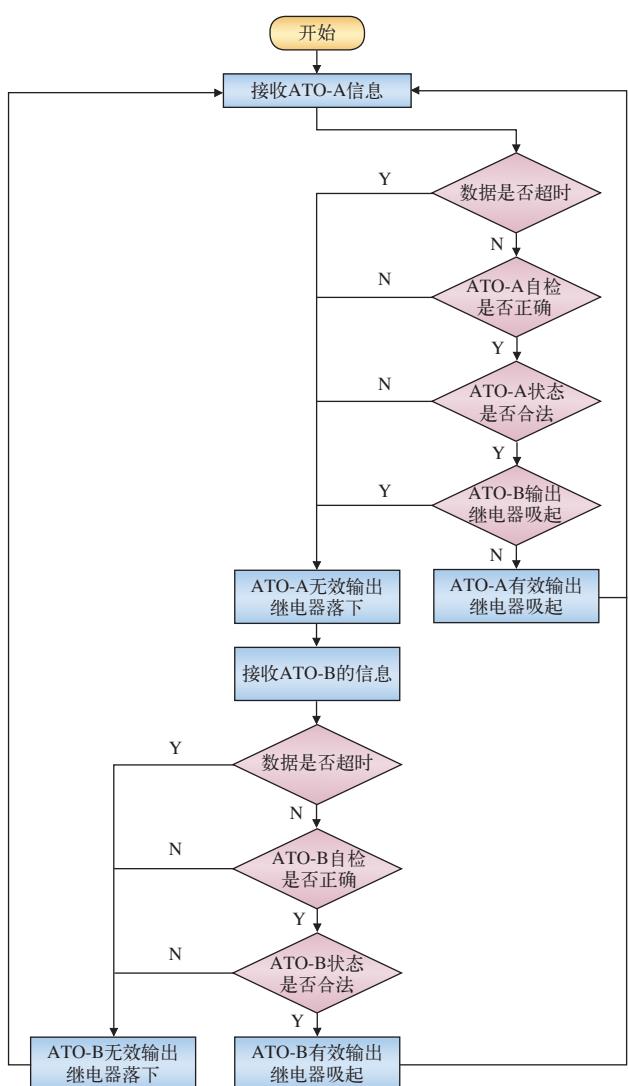


图5 裁决设备软件流程图

### 2.2.3 车载ATO系统软件设计

ATO 系统软件实现功能：实时检查自身状态，并传输给裁决设备；实时检查输出继电器反馈，并传输给裁决设备；接收裁决设备的裁决指令，获取自身是否主用。

列车自动驾驶系统软件设计如图 6 所示。

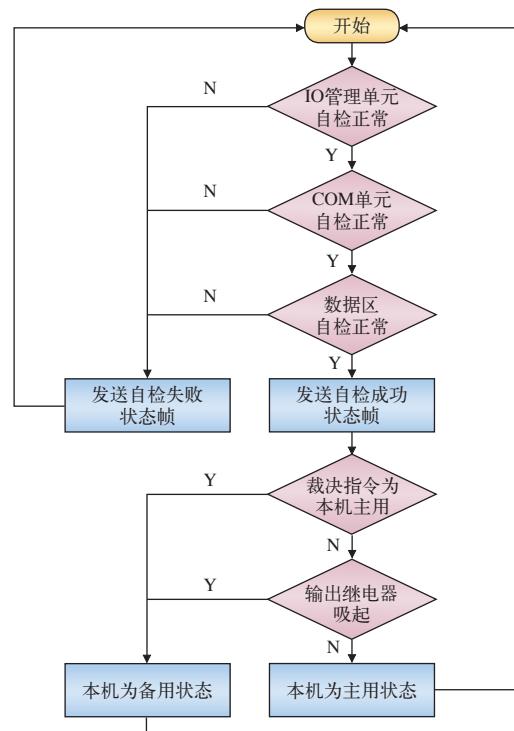


图6 ATO设备软件流程图

### 3 结束语

基于安全平台判决的双机并行结构为列车自动驾驶系统提供了一个结构清晰、功能可靠、安全性高的冗余实现方案。在此基础上，可以实现列车自动驾驶系统输出指令的无缝切换和有效切断，在很大程度上提高了列车自动驾驶设备的安全性和可靠性。

### 参考文献：

- [1] 黄良骥, 唐 涛. 地铁列车自动驾驶系统分析与设计 [J]. 北京交通大学学报, 2002, 26 (3): 36-39.
  - [2] 陈海燕. 面向无人驾驶 ATO 设备冗余机制的设计和实现 [D]. 北京: 北京交通大学, 2012.
  - [3] 闫剑平, 汪希时. 两种方式双机热备结构的可靠性和安全性分析 [J]. 铁道学报, 2000, 22 (3): 124-127.

责任编辑 陈 蕊