

# 基于车载 ATC 系统冗余切换的 地铁车辆控制电路优化设计

赵 虹 黄海霞 梁汝军

(中车南京浦镇车辆有限公司, 210031, 南京//第一作者, 高级工程师)

**摘 要** 双端冗余信号系统中主用车载 ATC(列车自动控制)系统和备用车载 ATC 系统切换时,会中断所有对车辆的输出信号。着重从信号系统冗余切换过程中丢失零速信号、紧急制动信号及牵引制动控车信号后车辆的运行状态及风险进行分析,优化车辆电路实现信号系统无缝切换,保证信号冗余切换的可用性、稳定性,进而提高列车的运营效率及服务质量。

**关键词** 地铁; 车辆; 控制电路; 列车自动控制; 冗余切换  
**中图分类号** U231.7; U284.77<sup>+1</sup>

DOI:10.16037/j.1007-869x.2022.06.035

## Optimal Design of Metro Vehicle Control Circuit Based on Redundant Switching of On-board ATC Control System

ZHAO Hong, HUANG Haixia, LIANG Rujun

**Abstract** When the main on-board ATC controller and standby on-board ATC controller of the dual terminal redundant signaling system are switched, all output signals to vehicles will be interrupted. The analysis of the running state and risk of vehicle after the loss of zero speed signal, emergency braking signal and traction braking control signal in the process of signaling system redundant switching is carried out. Vehicle circuit is optimized to realize signaling system seamless switching, ensuring availability and stability of signal redundancy switching, which further improves train operation efficiency and service quality.

**Key words** metro; vehicle; control circuit; train automatic control; redundancy switching

**Author's address** CRRC Nanjing Puzhen Co., Ltd., 210031, Nanjing, China

地铁车辆信号系统故障导致信号状态丢失,直接影响到列车的行车安全、运营效率及服务质量。为提高信号系统的可靠性及运营效率,国内各城市大多数地铁列车已采用双端冗余信号系统,即:一套车载 ATC(列车自动控制)系统为主用;另外一套

车载 ATC 系统处于热备状态<sup>[1]</sup>,车载 ATC 系统头尾冗余配置见图 1。当前端车载 ATC 系统出现故障并自动跳转到尾端,备用车载 ATC 系统可以根据其当前模式状态自动接管列车防护控制。通常两套系统接管时会存在 500 ms 延时,为避免在此期间信号状态丢失而影响列车正常运行,需对车辆控制电路进行优化设计,配合信号系统无缝切换,保证车载 ATC 系统冗余切换的可用性、稳定性。

## 1 地铁车载 ATC 系统冗余切换流程

如当车载 ATC 系统主处理器单元、加速度计、信标天线、速度传感器、接近传感器和外围处理单元等的硬件或软件出现故障,导致主用车载 ATC 系统宕机<sup>[2]</sup>,车载 ATC 系统会中断所有对车辆的输出及牵引制动模拟量信号,进入冗余切换状态。车载 ATC 系统冗余切换流程如下:

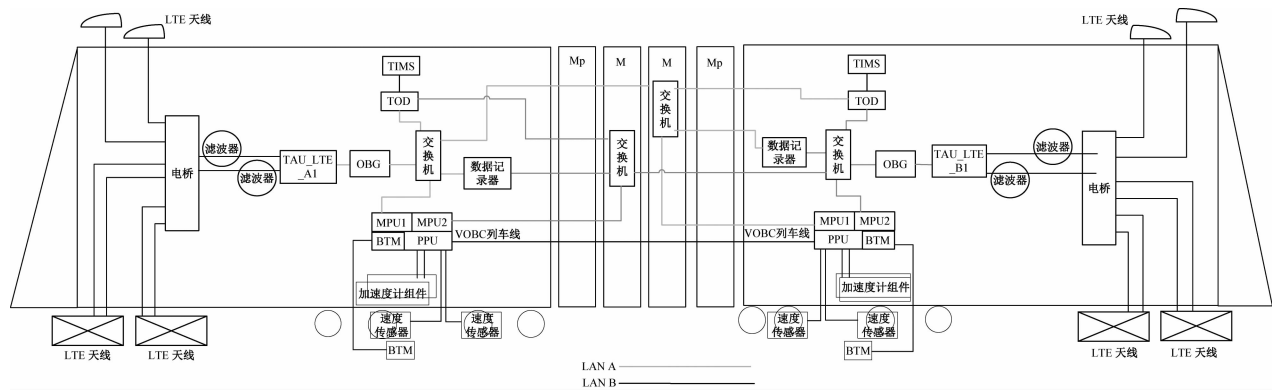
1) 主用车载 ATC 系统检测到硬件或软件故障,并切换至移交状态。在移交状态下主用车载 ATC 系统输出给车辆的紧急制动信号中断,其他控车指令随即丢失<sup>[3]</sup>。信号冗余切换中断指令时序见图 2。

2) 备用车载 ATC 系统检测到主用车载 ATC 系统的在线工作状态指令断开,准备进入激活状态。

3) 备用车载 ATC 系统在 500 ms 内接管主用系统并转为激活状态后,激活对车辆的所有输出,包括紧急制动相关的指令。

4) 主用车载 ATC 系统检测到备用车载 ATC 系统的在线工作状态指令时,进入到非激活状态,完成无缝切换。

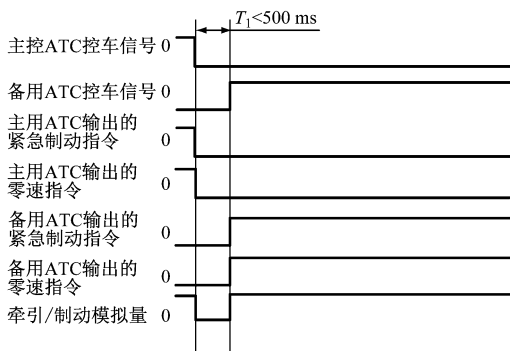
5) 备用车载 ATC 系统通过网络传输单元和列车控制信号线恢复到切换前的状态,并恢复对车辆的所有输出,进而对列车进行控制和防护。



注:VOBC 为车载控制器;TAU 为车载接入单元;OBG 为车载网关;TOD 为司机显示单元;TIMS 为列车控制和管理系统;MPU1、MPU2 分别为主处理单元 1、2;PPU 为外围处理单元;LAN 为局域网;BTM 为查询应答器天线;LTE 为长期演进;M 为无受电弓的动车;Mp 为有受电弓的动车。

图1 地铁车载ATC系统头尾冗余配置图

Fig. 1 Head and tail redundancy configuration diagram of metro vehicle on-board ATC control system



注:  $T_1$  为冗余切换时间。

图2 车载ATC系统冗余切换中断指令时序图

Fig. 2 Sequence diagram of redundant switching interruption command of on-board ATC control system

## 2 车载 ATC 系统冗余切换时的车辆状态及风险

车载 ATC 系统发生的故障无法预期, 车载 ATC 系统冗余切换可能出现在车站站台区域或列车不同运行场景中, 因此车辆应对措施也不尽相同。

### 2.1 车辆静止时的车载 ATC 系统切换控制

当列车停在站台区域处于静止状态时,车载 ATC 输出门使能信号、开/关门信号、零速信号、制动指令及紧急制动高电平信号,保证乘客安全上下车。此时如果主控车载 ATC 系统突发故障,进入冗余切换状态,ATC 端口输出的门使能信号、开/关门信号、零速信号、制动指令及紧急制动高电平信号丢失,列车紧随指令丢失进入戒备状态。

### 2.1.1 车门系统执行关门指令

列车车门的开/关由 EDCU(门控器)控制,并

根据开门信号、关门信号、门使能信号、零速信号的状态驱动门电机,从而实现车门的开/关功能。车门动作逻辑见表1。

表 1 车门动作逻辑

**Tab. 1 Train door action logic**

| 零速信号 | 关门信号 | 门使能信号 | 开门信号 | 车门状态 |
|------|------|-------|------|------|
| 0    | x    | x     | x    | 关门   |
| 1    | 1    | x     | x    | 关门   |
| 1    | 0    | 0     | x    | 保持   |
| 1    | 0    | 1     | 0    | 保持   |
| 1    | 0    | 1     | 1    | 开门   |

由表 1 可知,车载 ATC 系统故障单元(以下简称“控制系统故障单元”)输出的门使能信号、开/关门信号丢失后车门状态仍保持;但是列车零速信号作为车门 ATC 系统安全输入信号,其丢失后车门执行关门指令。当站台区域列车车门打开,上下客途中,车载 ATC 系统进行冗余切换,出现列车零速信号 500 ms 短暂丢失,导致车门意外关闭,造成乘客恐慌甚至夹伤风险。

### 2.1.2 制动系统施加紧急制动

控制系统故障单元输出的紧急制动信号丢失时,车辆的紧急制动回路断开,车辆触发紧急制动。由于列车处于静止状态,因此列车不受影响。

## 2.2 车辆运行中的车载 ATC 系统冗余切换

在 ATC 控车的情况下,列车高速运行过程中,主用车载 ATC 系统因故障宕机时,车辆的牵引和制动系统反应如下:

1) 制动系统施加紧急制动。列车高速运行时

突发主用车载 ATC 系统因故障切换至备用系统时,控制系统故障单元输出的紧急制动信号丢失,车辆紧急制动回路断开,车辆触发紧急制动。车辆紧急制动只采用纯空气制动,作用比较迅猛,通过最大制动力保证列车在规定距离内安全停车。在此过程中,由于惯性因素强大冲击力导致乘客意外摔倒。紧急制动不可自动恢复,必须停车后进行人工恢复。

2) 牵引系统切除牵引,车辆惰行。车载 ATC 系统输出牵引控车命令,牵引力模拟量丢失,牵引系统监控紧急制动回路状态并封锁牵引,此时车辆执行惰性状态。

### 3 车辆控制电路优化设计

车载 ATC 系统切换过程中。主用车载 ATC 系统会中断所有对车辆的输出信号,导致站台区域车门意外关闭及车辆施加紧急制动停车问题。对车辆控制电路进行了优化设计,保证主用和备用车载 ATC 系统的无缝切换。

#### 3.1 列车零速信号优化

列车零速信号可由信号系统、制动系统及牵引系统输出,列车采用零速继电器得电与否代替零速状态。零速继电器控制电路如图 3 所示。

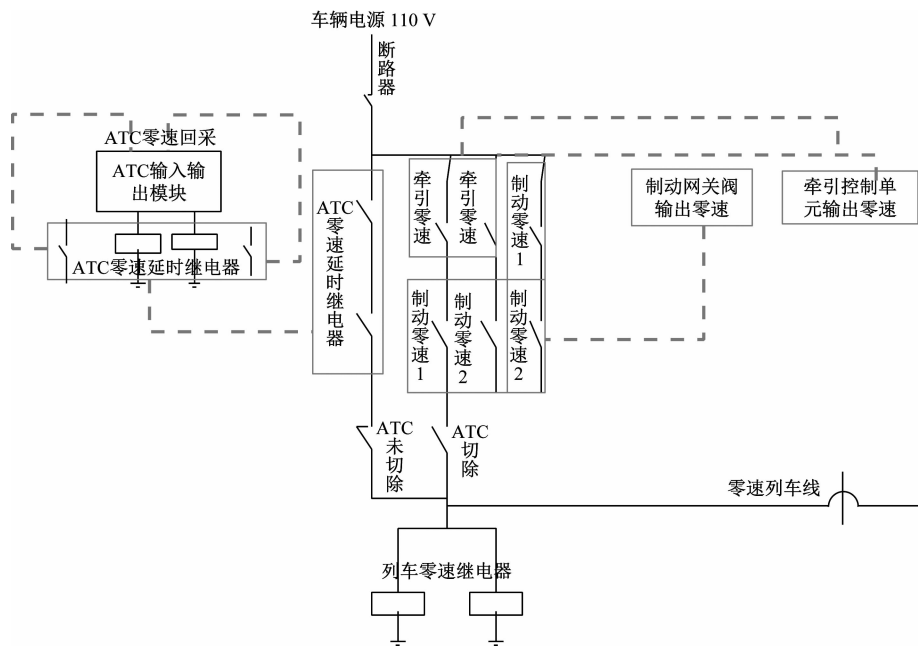
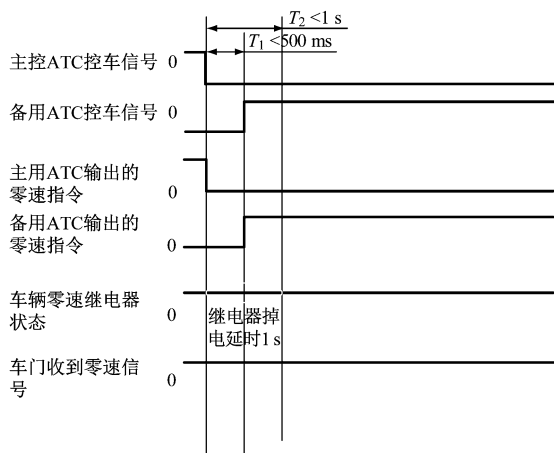


图 3 零速继电器控制电路  
Fig. 3 Zero speed relay control circuit

在 ATC 控车情况下,制动系统及牵引系统输出的零速信号不参与控车,仅靠信号系统输出的零速信号控制列车零速继电器状态。列车停稳到站台后,车辆零速状态由 ATC 系统速度传感器精确算出,ATC 系统对自身输出的零速状态回采及监控,保证了输出零速信号的安全可靠。当车载 ATC 系统在站台区域冗余切换时,零速信号丢失导致车门意外关闭。为避免此风险,车辆控制电路设计时,信号系统输出端口零速继电器采用掉电延时继电器。掉电延时继电器有多种规格,其延时分别为 0.25 s、0.50 s、1.00 s,甚至更长。考虑车载设备两端主机 500 ms 切换时间、30 ms 继电器动作时间及 50 ms 列车控制信号线传输延时等因素,选用延时

为 1 s 的延时继电器。主用 ATC 故障丢失零速输出信号时,零速延时继电器线圈不会立即断电,延时 1 s 后断电,完全覆盖了备用车载 ATC 系统 500 ms 切换时间、继电器动作时间及列车控制信号线传输延时。列车零速信号时序见图 4。

尽管 ATC 系统冗余切换会导致零速信号指令丢失,在掉电延时继电器延时 1 s 失电的过程中,列车车门能正常收到零速信号;当备用车载 ATC 系统接管后,输出零速信号,通过延时继电器保证了车门开关保持原有状态。对于制动系统而言,列车本身即为零速状态,延时继电器不会对制动系统造成任何影响,同时也避免了造成乘客恐慌或被夹伤的风险。



注:  $T_2$  为零速继电器延时时间。

图4 列车零速信号时序图

Fig. 4 Time sequence diagram of train zero speed signal

### 3.2 紧急制动电路优化

车辆制动系统性能需满足 BS EN 13452-1—2003 的相关要求。假设平直轨道上列车的制动初始参考速度为 80 km/h, 列车运行速度从 80 km/h 减速至 0 的过程中, 紧急制动平均减速度为  $1.2 \text{ m/s}^2$ , 紧急制动瞬时减速度  $1.32 \text{ m/s}^2$ 。根据车辆制动系统计算可知, 制动阀的打开系统空走时间  $t_{10}$  (即制动缸压力为最大纯空气制动力的 0 ~ 10%) 为 0.2 s, 制动建立时间  $t_{90}$  (即制动缸压力为最大纯空气制动力的 10% ~ 90%) 为 1.3 s。车辆紧急制动过程中制动缸压力如图 5 所示。

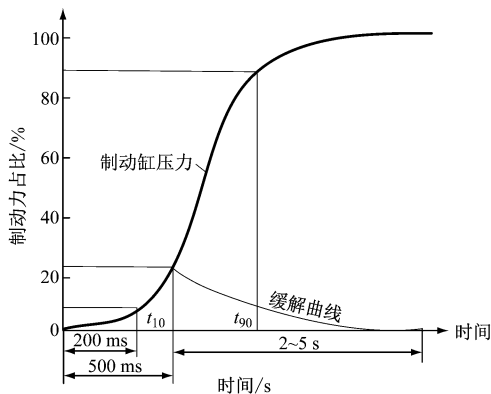


图5 车辆制动缸压力-时间关系曲线

Fig. 5 Vehicle brake cylinder pressure-time relationship curve

由图 5 可见, 车载 ATC 系统冗余切换间隔时间为 500 ms, 制动缸压力为最大纯空气制动力的 20% ~ 30%。此时相比于列车制动到停车状态, 冲击力并非很大。倘若备用车载 ATC 系统在 500 ms 内接管并自动恢复到切换前的状态, 无需停车重新启动, 这样可降低乘客摔倒的风险概率。为此, 在车辆控制电路的设计阶段需结合信号系统发出的指令, 搭建好冗余切换成功后紧急制动自动缓解、牵引恢复的电路<sup>[4]</sup>。在备用车载 ATC 系统接管电路后, 立即输出紧急制动复位信号, 将此信号并联于紧急制动回路中的零速自锁电路上, 通过旁路车辆紧急制动电路中的零速触点, 实现非零速下的紧急制动电路复位, 从而恢复因车载 ATC 系统切换而中断的紧急制动电路。车辆紧急制动控制电路如图 6 所示。

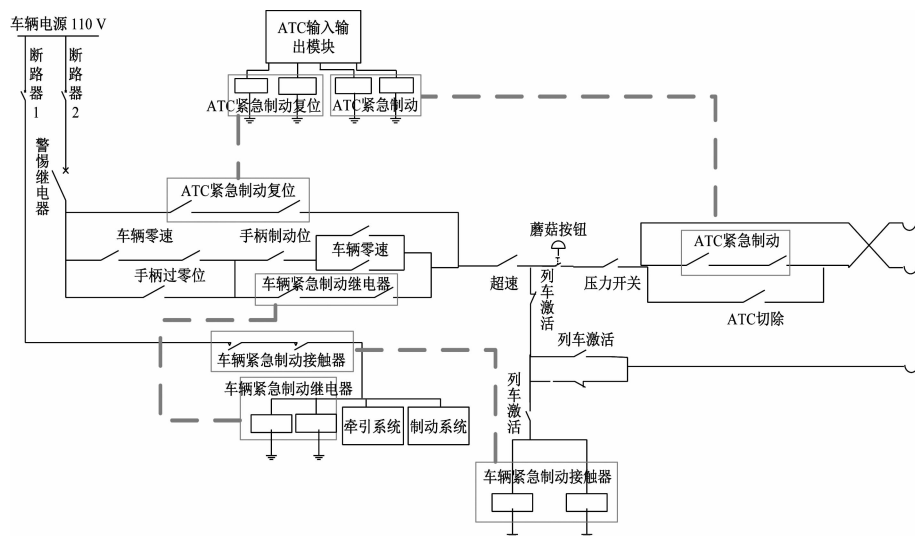


图6 车辆紧急制动控制电路设计图

Fig. 6 Design drawing of vehicle emergency braking control circuit