

# 广州地铁列车控制关键电路逻辑设计优化方案

刘仁福 陈卓群

(广州地铁集团有限公司运营事业总部,511495,广州//第一作者,工程师)

**摘 要** 地铁列车激活、方向控制、紧急停车、紧急制动、警惕监视、牵引及制动指令、司机室占有等 7 个列车控制关键电路中的元器件一旦发生故障,将需列车救援,故存在安全隐患。以广州地铁 7 号线列车为例,分析列车关键电路存在的安全隐患原因,针对列车激活、紧急停车、牵引及制动指令电路提出了相应的旁路逻辑设计优化方案,并对方案效果进行了评估。

**关键词** 地铁;列车控制;电路逻辑设计;优化

**中图分类号** U231.6

**DOI:**10.16037/j.1007-869x.2020.01.040

## Optimization of Key Control Circuit Logic Design for Guangzhou Metro Vehicles

LIU Renfu, CHEN Zhuoqun

**Abstract** In case of component failures in the key control circuit, such as metro train activation, direction control, emergency stop, emergency brake, vigilance surveillance, traction and breaking command, as well as driver cab possession, train rescue is needed to eliminate the hidden dangers. Taking Guangzhou metro Line 7 as an example, the causes of hidden dangers existing in the key control circuits are analyzed, corresponding bypass logic design optimization schemes for metro train activation, emergency stop, traction and breaking command are proposed, the effects of the schemes are evaluated.

**Key words** metro; train control; circuit logic design; optimization

**Author's address** Operations Division of Guangzhou Metro Group Co., Ltd., 511495, Guangzhou, China

列车激活、方向控制、紧急停车、紧急制动、警惕监视、牵引及制动指令、司机室占有等 7 个控制电路与列车运行安全密切相关,是地铁列车控制的关键电路。当关键电路的开关元件发生故障时,列车可能无法起动,存在运行安全隐患。由于联锁触点、行程开关及继电器等开关元件的故障无法避免,因此,有必要为关键电路设置旁路开关,以彻底解决开关元件故障引起的列车无法起动问题。

## 1 列车控制的关键电路

广州地铁 7 号线列车控制的关键电路示意图如图 1 所示。通过排查该列车控制的关键电路发现,列车激活、紧急停车、牵引及制动指令这 3 个控制电路缺少冗余设计或旁路设计。文献[1]发现列车激活电路有冗余设计缺陷,存在无法激活列车的安全隐患;文献[2]认为牵引指令电路发生故障后车辆无法发出牵引指令;文献[3]发现紧急停车按钮发生故障后,列车紧急制动无法缓解,需优化紧急停车回路。本文针对列车激活、紧急停车、牵引及制动指令电路故障等事件导致的列车不能起动风险,分析了故障原因,并提出了增加旁路设计的优化方案。

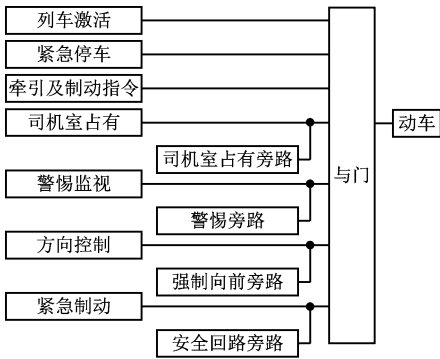


图 1 列车控制的关键电路构成示意图

## 2 优化方案

### 2.1 设计原则

列车控制电路的旁路激活后,会改变列车控制逻辑,使原有的控制回路建立条件不再是充分必要条件<sup>[4]</sup>。因此,旁路的设置需遵循安全可靠、不影响既有操作或习惯的设计原则。

### 2.2 列车激活旁路逻辑

列车激活旁路逻辑示意图如图 2 所示。

#### 2.2.1 激活故障分析

在一端司机室闭合激活开关后,列车激活指令

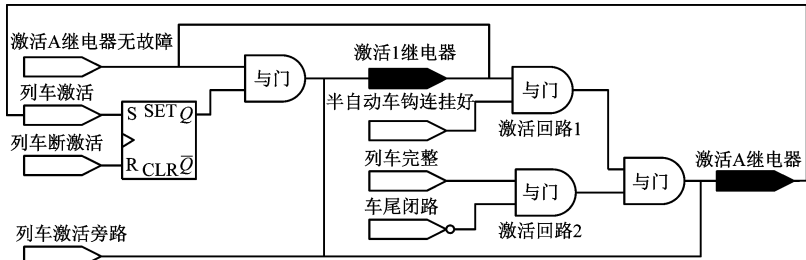


图2 列车激活旁路逻辑示意图

经过激活 A 继电器传送至激活 1 继电器。激活 1 继电器上电后代替激活 A 继电器触点完成自锁。此时,列车激活信号经过半自动车钩监视开关,完成激活回路 1 的检测。

激活回路 2 的激活条件为列车完整及车尾闭路未执行。激活回路 1 和激活回路 2 建立后,列车的激活 1 继电器及激活 A 继电器上电自锁,使列车完成完整性检测,并将激活指令通过激活继电器传送至其他控制回路。

若列车的激活 1 继电器或激活 A 继电器等器件发生故障,列车将无法激活。

2.2.2 优化方案效果评估

列车激活旁路激活后,无需进行激活回路 1 及激活回路 2 的完整性检测,可直接将列车激活指令分别传送至激活回路 1 中的激活 1 继电器与激活回路 2 中的激活 A 继电器,从而确保激活指令得到有效执行。

1) 由于激活旁路激活后列车不再进行完整性检测,可避免激活回路中继电器、开关等故障导致的列车无法激活。

2) 新增的激活旁路开关能传递激活指令,既不影响列车原有正常激活功能,也可最大程度减少激活故障的影响。

2.3 列车安全回路旁路

列车安全回路旁路逻辑示意图如图 3 所示。

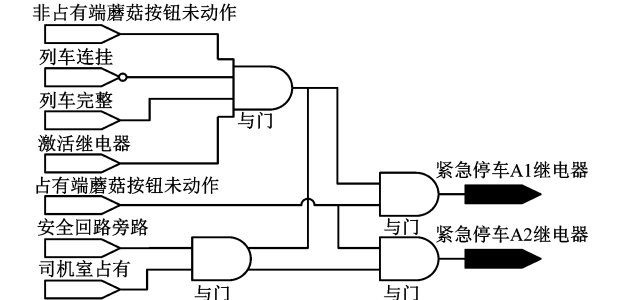


图3 安全回路旁路逻辑示意图

2.3.1 紧急停车故障分析

在列车无连挂动作时,列车控制电路通过检测

占有端与非占有端蘑菇按钮的完好性、列车完整性及列车激活状态来判断列车是否需要施加紧急停车指令。

若紧急停车回路中的蘑菇按钮、连挂状态、激活继电器之一发生故障,或列车完整性任一安全检测条件不满足,则紧急停车 A1 继电器失电,列车出现降弓、主断电器断开并施加紧急制动的情况,无法进行受电弓控制、主断电器控制及缓解紧急制动。

2.3.2 优化方案效果评估

司机室占有,且司机室占有端蘑菇按钮未动作是安全回路旁路激活的条件。

安全回路旁路激活后,列车安全信号将传递至 A1 继电器与新增的 A2 继电器。A2 为 A1 的冗余配置,可在紧急停车回路中紧急停车按钮、连挂继电器、激活继电器、A1 继电器发生故障并导致紧急停车时,使列车缓解紧急制动、升弓及闭合主断电器,进而启动。

1) 安全回路旁路可解决激活及紧急停车继电器、非占有紧急停车按钮、连挂行程开关等发生故障所导致的无法启动问题;

2) 只有占有端的司机室安全回路旁路激活有效,而非占有端的无效,从设计上确保了安全回路旁路的安全可控;

3) 安全回路旁路激活后,占有端紧急停车按钮仍有效,可满足紧急停车需求。

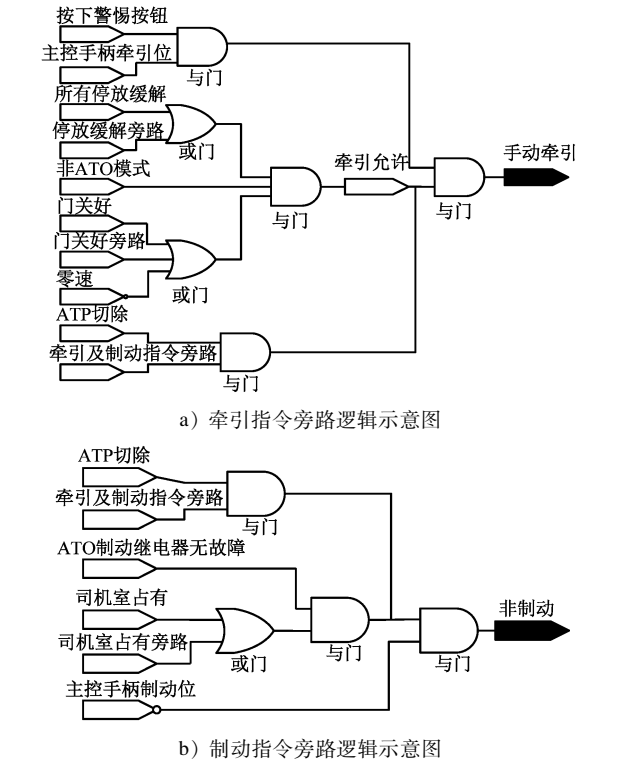
2.4 牵引与制动指令旁路逻辑

牵引与制动指令旁路逻辑示意图如图 4 所示。

2.4.1 牵引与制动指令故障分析

广州地铁 7 号线列车的牵引制动逻辑如表 1 所示。由表 1 可知,当且仅当牵引列车线与制动列车线的逻辑值同时为“1”时,列车才具备启动条件。若牵引列车线或制动列车线的逻辑值为“0”,则列车只能处于惰行或制动状态,无法继续牵引。

1) 人工牵引指令中断。人工驾驶模式下,司机摁下“警惕”按钮并将主控手柄推至牵引位,即在列



注：ATO 为列车自动运行；ATP 为列车自动防护

图 4 牵引及制动指令旁路逻辑示意图

表 1 广州地铁 7 号线列车牵引制动逻辑		
列车状态	牵引列车线逻辑值	制动列车线逻辑值
牵引	1	1
制动	0	0
	1	0
惰行	0	1

注：列车方向逻辑值需为非零值

车满足牵引允许条件时发出牵引指令。列车牵引指令配合司机控制器牵引级位,使列车起动。若牵引允许回路中,ATO 模式、所有停放缓解及门关好继电器中任意一者出现故障,使列车未满足牵引允许条件,则手动牵引指令中断。根据表 1,此时的牵引列车线逻辑值为“0”,列车只能处于惰行或制动状态。此外,虽然牵引回路中所有停放缓解及门关好继电器已设置了旁路,但在继电器吸合而部分触点卡滞时,司机无法激活相应的旁路。如所有停放缓解继电器触点在牵引允许回路中卡滞,而该继电器其他触点无异常时,则停放缓解监视绿灯亮起,但 HMI(人机接口界面)无相关故障信息。此时司机无法及时操作停放缓解旁路,可能需要列车救援。

2) 制动指令持续有效。非制动工况下,制动指令经司机室占有继电器、ATO 制动继电器传送至制动命令列车线。在制动指令回路中,若 ATO 制动继

电器或司机室占有继电器发生故障,则制动指令无法传送至制动列车线。由表 1 可知,制动列车线逻辑值为“0”时列车处于制动状态。

#### 2.4.2 优化方案效果评估

如图 4 a) 所示,牵引指令旁路逻辑示意图解决 ATO 模式继电器、停放缓解监视继电器、门关好监视及 ATP 切除继电器触点如发生故障,会使牵引命令逻辑值为“0”;如图 4 b) 所示,ATO 制动继电器、司机室占有继电器触点如发生故障,会使制动指令逻辑值为“0”,满足人工驾驶起动的要求。

若 ATO 模式下,信号控制系统发出的制动指令制动逻辑值为“0”,而旁路异常激活时的制动逻辑值为“1”,二者冲突。为避免这一冲突,可在旁路激活条件中增加 ATP 切除条件,以确保司机控制器指令的唯一性。

1) 旁路可解决牵引及制动指令回路中 ATO 模式、停放缓解监视,以及 ATO 制动等继电器触点发生故障导致的列车无法起动问题;

2) ATP 切除作为旁路启用的前提,可避免司机控制器指令与信号控制系统指令发生冲突,确保指令的唯一性;

3) 旁路可减少司机判断故障的时间,能尽快恢复正线行车组织。

### 3 结语

合理地运用旁路开关,可避免关键控制回路故障导致的列车救援,提高列车的运营效率。基于广州地铁的运营需求与国内地铁运营经验,本文针对列车激活、紧急停车、牵引及制动指令电路提出了相应的设计优化方案。该优化方案在保障列车安全可靠的前提下,既不影响司机的既有操作习惯,也提供了车辆发生故障时的应急措施,可供地铁车辆电路设计参考。

### 参考文献

[1] 陈通武. 广佛线车辆列车激活电路分析及优化设计[J]. 电力机车与城轨车辆,2012,35(6):65.

[2] 张兴宝. 西安地铁 2 号线车辆启动联锁及旁路设计探讨[J]. 城市轨道交通研究,2013(4):92.

[3] 任崇会. 地铁列车正线紧急停车按钮故障分析及处理建议[J]. 现代城市轨道交通,2018(1):22.

[4] 吕劲松,聂畅. 地铁列车旁路的设置情况与原则分析[J]. 电力机车与城轨车辆,2013,36(6):66.

(收稿日期:2018-03-26)