

城市轨道交通车辆应急启动电路改进及 控制方法优化方案

邸 峰¹ 张 坤² 曾凡飞¹ 王 博¹ 马升潘²

(1. 中车青岛四方车辆研究所有限公司, 266111, 青岛;

2. 中车青岛四方机车车辆股份有限公司, 266111, 青岛//第一作者, 工程师)

摘 要 城市轨道交通列车在应急启动模式下, 如在蓄电池亏电工况下直接带载启动, 会发生充电机过流停机问题, 其在启动过程中还存在应急启动电源停机的问題。基于列车应急启动模式工作原理, 针对性地提出优化的应急启动电路并对相应控制方法进行优化, 实现了应急启动模式的一键激活列车。优化后的应急启动电路及优化控制方法已在济南轨道交通 R2 线上进行了试验。试验效果良好, 验证了优化应急启动电路及优化控制方法的可用性和有效性。

关键词 城市轨道交通; 车辆; 应急启动电路; 应急启动控制方法

中图分类号 U260.36

DOI:10.16037/j.1007-869x.2021.12.048

Scheme of Emergency Start Circuit Improvement and Control Method Optimization for Urban Rail Transit Vehicle

DI Feng, ZHANG Kun, ZENG Fanfei, WANG Bo, MA Shengpan

Abstract When urban rail transit train is under emergency start mode, if starting directly with load in working condition of low battery, the battery charger will stop due to overcurrent, and the emergency start power supply will shut down during the start-up process. Based on the working principle of train emergency start mode, an improved emergency start circuit is proposed, and the corresponding control method is optimized to realize one-key activation of the train in the emergency start mode. The improved emergency start circuit and optimized control method have been tested on Ji'nan Rail Transit Line R2. Test results turn out well, which verifies the availability and effectiveness of the improved emergency start circuit and the optimized control method.

Key words urban rail transit; vehicle; emergency start circuit; emergency start control method

First-author's address CRRC Qingdao Sifang Rolling

Stock Research Institute Co., Ltd., 266111, Qingdao, China

城市轨道交通列车启动分为正常启动和应急启动^[1]。当蓄电池发生故障或严重亏电, 列车无法依赖蓄电池进行正常激活时, 可通过应急启动电源为充电机提供控制电路所需的 DC 110 V 电源, 使充电机完成启动; 待直流母线电压能满足车辆负载供电要求时, 应急启动电源即可退出工作, 列车完成激活。目前, 新建城轨项目通常要求充电机在应急启动模式下不仅需为列车亏电的蓄电池充电, 还需为列车 DC 110 V 负载供电。蓄电池牵引应用的加入, 使列车应急启动功能的使用概率大幅提高, 也对其操作的便利性和可靠性要求相应提高。因此, 有必要针对此问题进行优化研究。

1 应急启动模式工作原理及问题

1.1 应急启动工作原理

应急启动模式工作原理框图如图 1 所示, 当列车蓄电池欠压时, 因蓄电池箱内欠压继电器 QC1 保护, 蓄电池无法投入, 列车不能正常激活, 充电机也不能正常启动。此时, 需要通过应急启动电源为充电机提供控制电源。该电源能够将高压 (DC 1 500 V 或 DC 750 V) 供电转换为 DC 110 V 供电, 并可通过采样检测蓄电池电压实现滞环控制应急启动电源启停。本文以应急启动电源检测到蓄电池电压小于 88 V 时设备启动, 大于 96 V 时设备停机为例进行说明。

在列车高压供电正常后, 应急启动电源如检测到蓄电池欠压, 则自动启动, 同时司机室内应急启动电源提示灯点亮。当提示灯点亮后, 司机按下应急电源输出按钮, 即可为本车充电机控制器提供

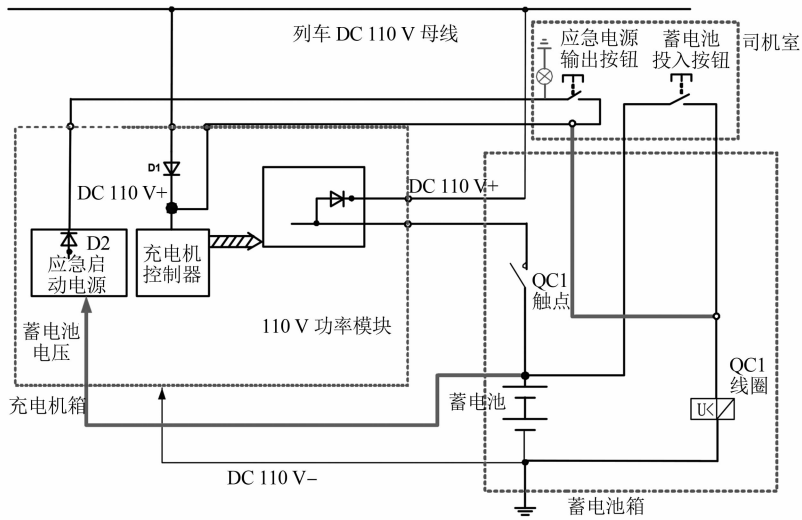


图 1 应急启动模式工作原理框图

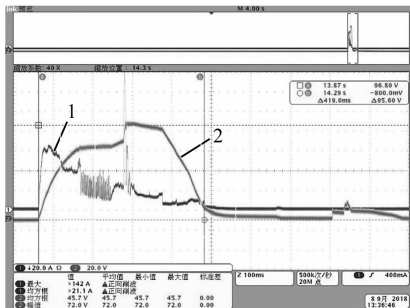
Fig. 1 Schematic diagram of emergency start mode working principle

DC110V 控制用电,进而保证充电机正常启动输出以激活列车,并为蓄电池充电。应急启动电源在检测到蓄电池电压高于 96 V 后自动停机。

1.2 目前应急启动存在的问题

近年来,在新建项目中已普遍应用的城市轨道交通车辆应急启动功能逐步暴露出一些问题。

1) 电压尖峰问题。按照方案设计,应急启动电源在检测到蓄电池电压大于 96 V 后将自动停机,列车负载转为由充电机供电。在实际应用中,充电机输出电压尖峰峰值虽已达 96 V,并使应急启动电源停机,但此时充电机输出仍未完全稳定,因控制器供电丢失则充电机启动失败。相应实景图如图 2 所示。



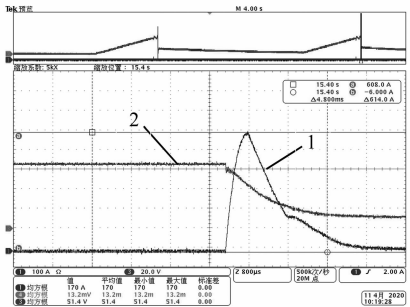
注: 1——充电机输出电流; 2——充电机输出电压。

图 2 应急启动模式下输出电压尖峰冲击工况实景图

Fig. 2 Output voltage spike shock waveform in emergency start mode

2) 负载冲击问题。目前,在城市轨道交通车辆中,除空调及空压机等大功率设备采用 AC 380 V 供电外,照明、LCD(液晶显示器)屏幕、电子地图及

各系统控制器等设备均采用 DC 110 V 供电。可见, DC 110 V 负载多为容性负载。容性负载因其自身的物理特性,在启动时会给供电端带来远大于自身功率的冲击电流。在正常启动工况下,该冲击电流由蓄电池承担;而在应急启动工况下,设备在得电瞬间所受冲击电流较大,易触发充电机短路保护,导致充电机停机,启动失败。以济南市轨道交通 R2 线车辆为例,其应急启动瞬间冲击电流高达 608 A,如图 3 所示。目前,主要通过启动前切除列车大功率负载等更改应急启动操作的方法来解决应急启动瞬间大冲击电流的问题,操作方法如下:首先,切除列车大功率负载,然后应急启动列车充电机为蓄电池预充电;待蓄电池电压满足正常启动要求后,退出应急启动模式,之后再正常激活列车^[2];充电机工作稳定后,再逐步投入列车负载。该操作过程需断合数十个断路器,较为繁琐,操作的复杂性高,不适于应急应用。



注: 1——充电机输出电流; 2——充电机输出电压。

图 3 应急启动模式下负载冲击波形实景图

Fig. 3 Load impact waveform in emergency start mode

2 优化方案

针对应急启动模式存在的问题,本文结合应急启动电路与控制方法进行优化。

2.1 应急启动电源的启停逻辑优化

针对电压尖峰问题,可在电源启停控制逻辑中增加延时控制功能,以实现启停控制的滤波。优化后的控制逻辑框图如图 4 所示。图 4 中,在电源启停条件中均加入 10 s 延时控制,可有效避免电源的误启动及误停机。此外,在控制算法中,将应急启动模式的充电机最高输出电压限制为 95 V,且该限制持续 80 s。该优化方法从算法层面对充电机输出电压进行优化控制,减少电压尖峰的出现。

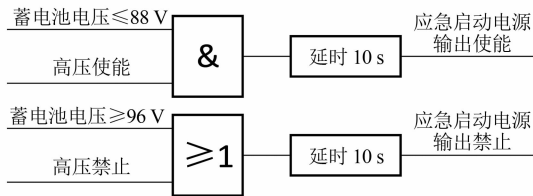


图 4 应急启动电源启停逻辑

Fig. 4 Start/stop logic of emergency start power supply

2.2 应急启动控制电路优化

针对负载冲击问题,可优化列车应急启动控制电路。在优化电路中,将充电机输出电压作为应急启动工况下列车 DC 110 V 负载投入的控制信号。当充电机输出电压能满足负载投入接触器线圈的吸合电压时,负载投入。该优化措施避免了充电机在启动初期带载启动造成的充电机启动失败。但在负载投入时,充电机仍会受到较大电流的冲击,需要结合后续控制方法进行调节。

列车两端分别为 Tc(带司机室的拖车)1 车和 Tc2 车,其应急启动信号的列车布置如图 5 所示。在充电机输出回路正线处,引出接线通过连接器 X14.17 连接到整车回路,传输应急启动工况列车负载投入使能信号,并将应急启动电源输出端接到蓄电池箱欠压继电器(即图 6 中继电器 KVGB1,其欠压保护设置值为 82 V)前端。

列车在蓄电池亏电时发出应急启动命令,随后,应急启动工况下蓄电池箱欠压继电器强制投入,建立负载投入接触器线圈的控制回路。其中,应急启动电源输出信号由列车贯通线传送,故任一车应急启动电源的对外输出均可供全车蓄电池充电机控制用电,并给出全车蓄电池箱中欠压继电器

欠压状态的旁路信号。负载投入使能信号则仅连接至本车蓄电池箱中负载投入控制回路。司机发出应急启动信号后,全车充电机控制器得电,蓄电池箱欠压继电器复位,待充电机启动输出且各充电机负载投入使能信号给出后,相应蓄电池箱负载投入接触器闭合。此时,不需司机或操作人员再去进行任何操作即可实现全列车充电机与负载的激活,进而实现应急启动功能的一键启动,具有高效便捷性。此外,按照该优化方案执行应急启动时,列车 2 台充电机同时启动,整车负载冲击由 2 台充电机共同承担,也可进一步降低应急启动工况下,充电机启动瞬间,负载带来的瞬时冲击。

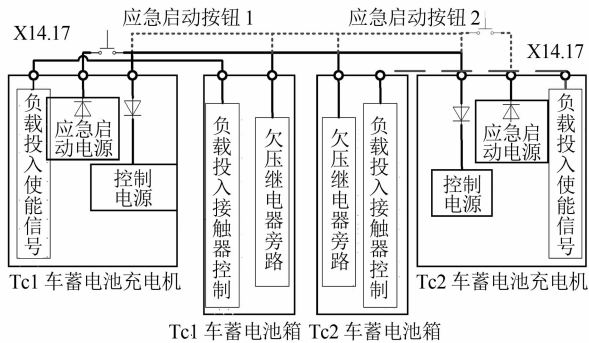


图 5 应急启动信号列车布置示意图

Fig. 5 Schematic diagram of emergency start signal layout on the train

优化的列车应急启动控制电路如图 6 所示。其中:QAGB 为蓄电池箱输出隔离开关,处于常闭状态;QFGB 为负载投入信号保护断路器,也处于常闭状态。当列车蓄电池亏电,需执行应急启动功能时,列车通过脚踏升弓或车间电源等方式接入高压供电;待应急启动电源得到高压供电,且检测到蓄电池欠压启动输出 DC 110 V 电压后,列车应急启动功能指示灯亮起;此时,司机按下应急启动按钮,欠压继电器 KVGB1 线圈得电动作,时间继电器 KTGB(断电延时 30 s)线圈控制回路建立;待充电机输出电压满足线圈吸合电压后,继电器 KTGB 动作,KTGB 常开触点闭合,负载接触器 KMGB2 的线圈控制回路建立,接触器 KMGB2 闭合,列车负载投入,由充电机供电。

2.3 应急启动控制方法优化

优化后的应急启动控制电路,同样会面临负载冲击问题。因此,需基于优化后的控制电路对应急启动控制方法进行优化。

在采用优化后电路进行实车试验时发现,由于

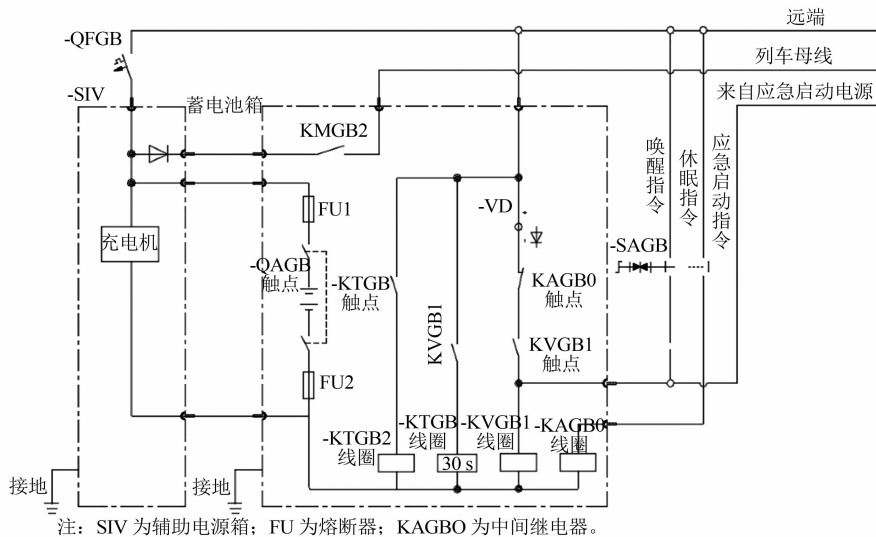


图6 优化的列车应急启动控制电路

Fig. 6 Optimized emergency start control circuit of the train

轨道交通用继电器驱动电压范围较广（以 110 V 继电器为例），故当充电器输出电压达到 67 V 时，负载投入继电器动作，整车负载接入到列车 DC 110 V 母线。此时，由于容性负载突加，在充电器输出端会有较大的冲击电流，易导致充电器瞬间触发短路保护，应急启动失败。因此，在应急启动时需设置控制器对输出电流进行实时监测。当输出电流大于限流值时，控制器迅速降低输出电压给定值，减小 IGBT（绝缘栅双极型晶体管）驱动信号的占空比输出，避免电流继续升高；在避开大电流冲击后，控制器继续升高输出电压。该控制过程类似于充电器为列车 DC 110 V 容性负载进行了一次预充电。

经过首次充电后，容性负载有初始存储电压 U_0 。受容性负载特性影响，启动瞬间的电流 I 如式 (1) 所示。

$$I = \frac{U - U_0}{R_{eq}} e^{-(t/CR_{eq})} \quad (1)$$

式中：

U ——目前施加在容性器件上的电压；

U_0 ——容性器件的初始电压；

R_{eq} ——电路等效阻抗；

t ——工作时间，启动瞬间 $t=0$ ；

C ——容性器件等效容值。

对于同一设备来说， C 和 R_{eq} 为定值。经过模拟预充电后，容性负载再次接受充电器输出的电压时将不会有较大电流冲击，可以保证充电器正常启动。启动后，充电器输出电压逐渐升高；待充电器输出电压达到 95 V 后（该电压值可按需调整），限

制充电器输出最高电压为 95 V，且限制持续 80 s，以确保应急启动电源不会因检测到瞬间较高电压而停止输出；之后，充电器恢复正常模式工作。优化后的应急启动控制方法流程如图 7 所示。

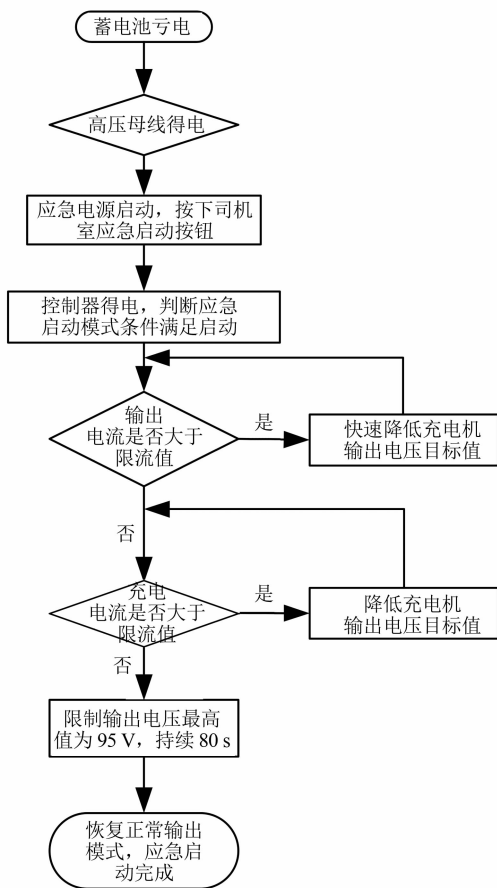
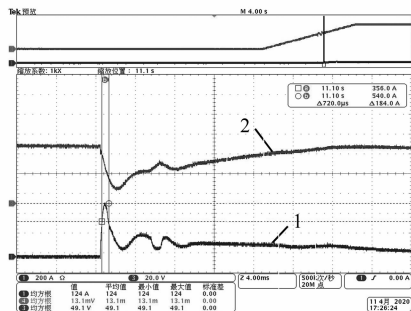


图7 优化后的应急启动控制方法流程图

Fig. 7 Flow chart of optimized emergency start control method

2.4 优化效果验证

基于优化后的应急启动电路及控制方法,在济南市轨道交通 R2 线对车辆进行试验,其工作效果良好,试验波形如图 8 所示。由图 8 可以看出:在列车负载投入后,优化后的控制方法可有效减小容性负载瞬间充电导致的电流尖峰;经过短暂的电压调整,充电机即可恢复正常输出,完成充电机应急启动,使列车激活成功。

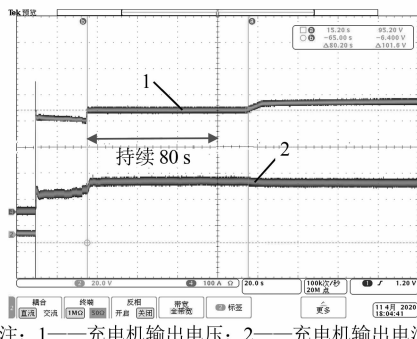


注: 1——充电机输出电流; 2——充电机输出电压。

图 8 充电机输出电压、输出电流试验波形图

Fig. 8 Test waveform of output voltage and output current of battery charger

优化后应急启动控制过程的电压及电流如图 9 所示。



注: 1——充电机输出电压; 2——充电机输出电流。

图 9 优化后应急启动控制过程图

Fig. 9 Waveform optimized of emergency start control process

由图 9 可以看出:充电机输出电压升至 95 V 后,维持运行约 80 s,而后恢复正常模式运行;整个过程运行稳定平滑,符合预期设定工况。重复进行多次试验发现,采用优化后的应急启动电路及控制方法后,试验结果均满足应用要求。

利用优化的应急启动电路配合优化的控制方法,不仅可以显著降低容性负载投入对充电机造成的电流冲击,而且保证了应急启动操作的便利性,实现了一键启动,提高了应急启动功能的可用性。

3 结语

分析了现有城市轨道交通车辆在应急启动模式下存在的问题,针对性提出优化的应急启动电路并对相应控制方法进行优化,解决了列车在蓄电池亏电工况下直接带载启动而造成的充电机过流停机问题,对启动过程中存在应急启动电源停机的问

题进行优化,实现了应急启动的一键启动激活列车。本文提出的应急启动电路及控制方法已在济南轨道交通 R2 线上进行了试验。试验效果良好,验证了优化应急启动电路及优化控制方法的可用性和有效性。

参考文献

- [1] 傅思良,王志铭. 深圳地铁车辆充电机紧急启动控制电路及操作方法的改进[J]. 电力机车与城轨车辆,2007(3):65.
FU Siliang, WANG Zhiming. Improvements of battery charger emergency start control circuit and operation on Shenzhen metro vehicles[J]. Electric Locomotives & Mass Transit Vehicles, 2007(3):65.
- [2] 张晓玲,王小征. 地铁车辆应急启动控制方案分析及改进[J]. 汽车与车辆,2018(2):56.
ZHANG Xiaoling, WANG Xiaozheng. Analysis and improvement of emergency starting control scheme for subway vehicles[J]. Auto & Vehicles, 2018(2):56.

(收稿日期:2020-07-14)

(上接第 228 页)

- [2] 容建华,王万齐,刘闯. 铁路工程智慧工地管理信息系统设计与实现[J]. 铁路计算机应用,2018(7):99.
RONG Jianhua, WANG Wanqi, LIU Chuang. Intelligent construction site management information system for railway engineering[J]. Railway Computer Application,2018(7):99.
- [3] 沈祖安,周诚. 基于物联网的石化工程建设项目施工安全智能管理系统[J]. 土木工程与管理学报,2020(5):20.
SHEN Zu'an, ZHOU Cheng. IoT-based construction safety man-

agement system for petrochemical project[J]. Journal of Civil Engineering and Management,2020(5):20.

- [4] 宋晓刚. 基于 BIM 的工程施工安全智能管理研究[J]. 建筑经济,2021(2):29.
SONG Xiaogang. Research on intelligent management of engineering construction safety based on BIM[J]. Construction Economy,2021(2):29.

(收稿日期:2020-11-17)