

城市轨道交通列车辅助供电并网控制方案

宋君君, 杜苗苗, 郭文勇, 李如石, 张红星

(中车唐山机车车辆有限公司, 河北 唐山 063035)

摘 要: 针对列车辅助供电系统扩展供电和并网供电 2 种供电方式的优劣, 主要介绍了并网供电方式, 详细分析了辅助变流器的并网供电分时启动控制算法、中压接触器的控制方法、短路检测流程。此控制算法在某地铁列车上应用稳定, 表明中压交流并网供电技术的发展已基本成熟。

关键词: 地铁列车; 辅助供电系统; 并网供电; 分时启动控制

中图分类号: U239.5; U264.5⁺6

文献标识码: A

doi: 10.13890/j.issn.1000-128x.2019.04.021

Parallel Network Control Method on Auxiliary Power Supply System of Subway Train

SONG Junjun, DU Miaomiao, GUO Wenyong, LI Rushi, ZHANG Hongxing

(CRRC Tangshan Co., Ltd., Tangshan, Hebei 063035, China)

Abstract: Aiming at the advantages and disadvantages of two kinds of power supply modes, i.e. extended power supply and grid power supply, the grid power supply mode was introduced, and the time-sharing start control algorithm of grid power supply of auxiliary converter, the control method of medium voltage contactor and the short circuit detection process were analyzed in detail. The application of the control algorithm in a metro train was stable, which indicated that the development of medium voltage AC grid power supply technology has been basically mature.

Keywords: subway train; auxiliary power supply system; grid power supply; time-sharing start control

0 引言

中压并网供电技术能够实现列车供电能力的合理分配, 实现对剩余供电容量的最大化利用, 从而保证乘客安全性和舒适性。由于它所具有这些独特的优势, 使其在地铁列车中应用广泛, 这对地铁列车有着重要意义。

并网供电就是将所有辅助变流器同时并联到贯穿列车的中压母线上, 需要先选定一个主机启动, 其余变流器输出依次并联到母线上。分时启动控制方案是并网供电技术的关键部分之一, 目前部分地铁项目上由网络控制系统对所有辅助逆变器进行分时启动。本

文将针对网络系统分时启动的软件控制逻辑进行研究分析。

1 城市轨道交通列车辅助供电系统

城市轨道交通列车辅助供电系统包括辅助逆变器控制单元(DCUA)、辅助变流器(ACM)、低压启动单元(LVPS)与蓄电池(BAT)。DCUA实现与列车网络的通信和变流器的控制, 低压启动单元是蓄电池的补充, 含有蓄电池电压检测控制板。如果蓄电池电压下降到标称值70%以下时, 电压太低不足以启动列车, 这时应急启动单元的DC/DC变流器开始工作, 将DC 1 500 V网压转换成DC 110 V为辅助控制单元供电, 之后ACM启动, 实现列车启动。辅助供电系统结构图见图1。

收稿日期: 2018-06-20; 修回日期: 2018-12-28

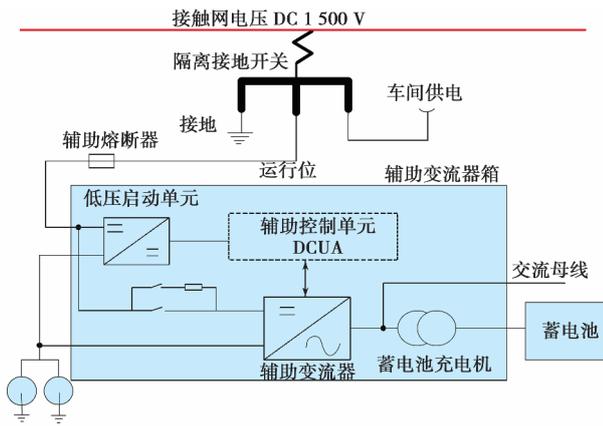


图1 辅助供电系统结构图

城轨车辆辅助供电系统交流供电有扩展供电（集中供电）和并网供电2种方式^[1]。扩展供电方式的优点是使用设备数量少，缺点是在故障时供电能力损失较多。并网供电方式的优点如下：

①供电能力互补性强、冗余度高，当1台逆变器故障，只需切除故障逆变器的输出，列车上少量负载

被切除甚至不切除，供电能力损失少。

②系统抗负载电流冲击能力强。并网供电方式的缺点是控制复杂，体现在对逆变器之间的同步控制的相位、频率和电压波形控制要求较高。

总的来说，并网供电与扩展供电相比，并网供电在列车供电故障状态下的运行能力和负载分配是现有扩展供电所无法比拟的。

2 列车辅助供电系统结构

某城市地铁列车设置4台辅助变流器，三相380V交流电为贯穿整列车的中压母线电压（在3车设置一个中压接触器，通过IO端口实现TCMS对它的控制），其为车上的空调、驱动电机、冷却风机、空气压缩机等交流设备供电。辅助变流器通过MVB总线与中央控制单元CCU通信，由CCU实现4台变流器的启动控制，组成结构如图2所示。中压接触器的作用是防止某一个辅助变流器出现外部短路故障。

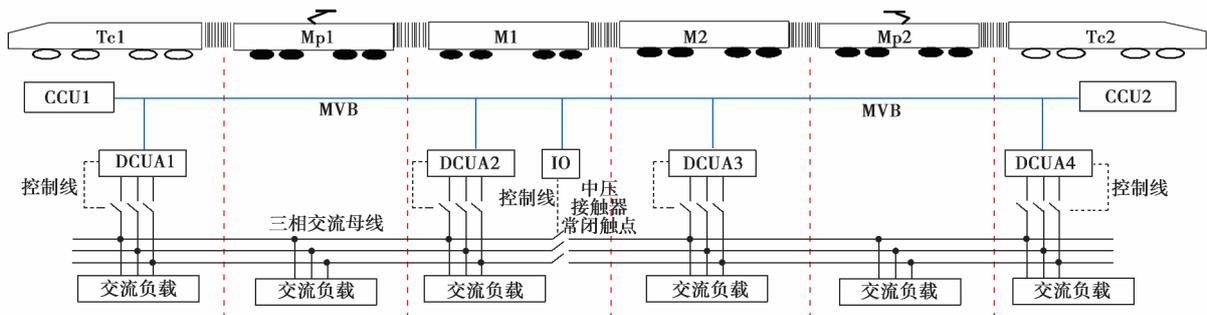


图2 列车辅助供电系统控制示意图

3 辅助变流器并网控制启动

TCMS用于ACM启动控制的输出信号有“变流器启动指令”和“母线空闲启动指令”2个，用于控制ACM的启动和主从ACM的选择。DCUA将ACM反馈的各种检测信号和状态信号发送给TCMS。控制及状态反馈信号如图3所示。



图3 信号传输图

控制中所需重要信号的详细定义如表1。

表1 控制中所需重要信号的详细定义

信号名称	信号含义
交流母线激活反馈	作为主ACM启动完成后，检测所在的中压母线上电压达到标称电压值就会发出
变流器启动指令	变流器启动使能信号，高电平有效
母线空闲ACM启动指令	变流器主使能信号，高电平有效

3.1 并网分时启动控制方案分析

TCMS实现4台变流器的分时启动，指定1台主ACM，让其余3台ACM请求与主ACM同步有序启动并同步至列车三相中压母线上，实现并网启动。这样做的目的是防止4台变流器同时启动造成负载电流过大，发生过流故障。

每台主ACM启动时间为5s，从ACM同步的时间为3s。如果每台ACM给予的启动时间固定为6s，ACM满足启动条件则可以保证在此时间段内顺利完成启动，那么启动4台ACM需要24s。这种逻辑设计结构简单，但启动时间较长。为缩短启动时间，在6s固定启动时序内穿插另外一个间隔1s的启动时序（该启动时序通过判断“交流母线激活”信号来实施，若从ACM在启动时刻检测到主ACM反馈的“交流母线激活”置高，则其启动时序按1s输出，否则按6s输出）。这样4台ACM在中压母线接触器闭合的情况下11s之内就能完全启动，在接触器断开的情况下18s就能完成。

3.2 并网控制逻辑算法

在每个启动周期内，TCMS仅仅通过控制“变流器启动指令”和“母线空闲启动指令”2个信号来控制

ACM的启动,若2个信号同时置高,则该台ACM被设定为主ACM,完成主ACM启动;当三相母线电压达到标称电压值时,主ACM会反馈“交流母线激活”信号,通知TCMS启动成功;然后TCMS按顺序发送高电平的“变流器启动指令”和低电平的“母线空闲启动指令”给其余ACM,指定它们为从ACM,每台

ACM间隔1s开始同步启动。

控制算法中对于从ACM启动控制,并不会把从ACM启动完成信号(对应的ACM完成启动并实现并网)引入控制逻辑,TCMS仅仅是发出从ACM的启动使能信号,并不管其是否真正启动。

所有ACM的分时启动控制流程描述如图4。

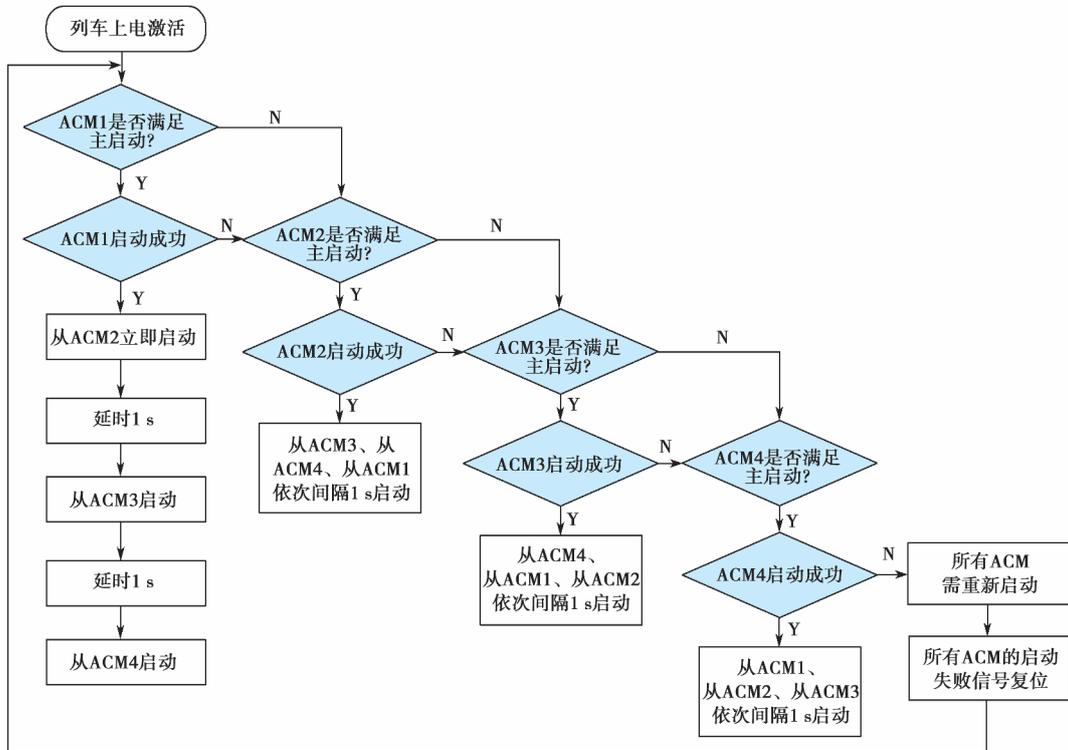


图4 控制启动流程图

启动时序图如图5所示。

主ACM启动时间大约5s,若6s内没有反馈母线激活,认为启动失败

母线一旦激活,ACM2立即启动,ACM3间隔1s启动,ACM4再间隔1s启动

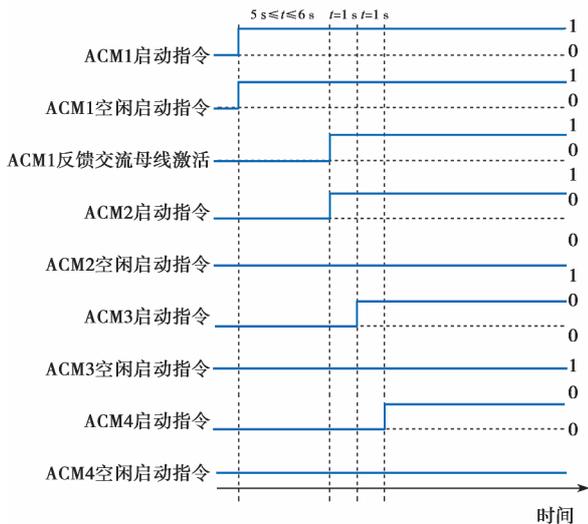


图5 分时启动时序图

3.3 重要信号的逻辑判断条件

启动流程中的作为主或从启动逻辑判断条件包括网压状态、列车是否在紧急牵引模式、DCUA反馈的低压启动状态、是否封锁所有ACM等,如图6~图9所示。

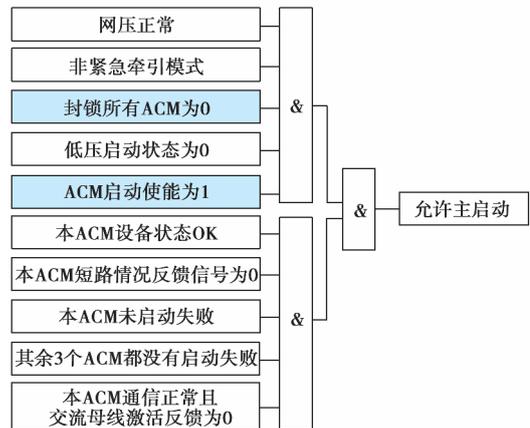


图6 主ACM启动条件

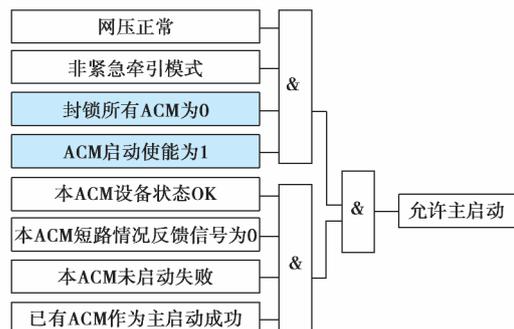


图7 从ACM启动条件

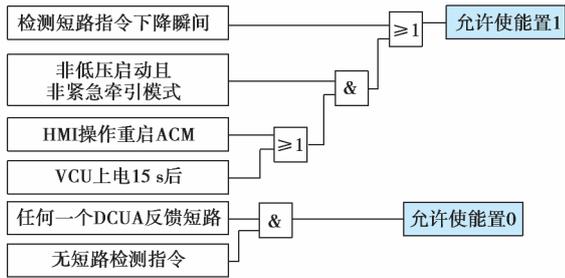


图8 ACM启动使能的逻辑条件

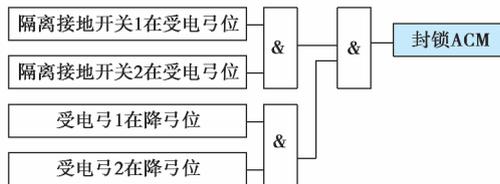


图9 封锁所有ACM的逻辑条件

3.4 中压接触器的控制

中压接触器由TCMS控制。TCMS上电后工作于正常状态，在TCMS发出启动ACM命令之前，TCMS首先闭合中压接触器，并保持持续闭合；一旦中压接触器由于某种原因断开，TCMS将不再闭合，除非TCMS重启。

TCMS诊断出以下条件之一满足时，断开中压接触器：① TCMS判断中压接触器反馈状态与命令状态不一致；② TCMS收到任一DCUA发出的外部短路故障信号；③ TCMS掉电或故障，接触器断开；④当中压接触器110V供电电源掉电时，接触器断开。

驾驶员可以在显示屏相应界面上了解到中压接触器的闭合状态及故障状态。列车出库前若中压接触器自检不通过，维护人员可以试图修复故障。

3.5 参与并网控制的短路检测流程

DCUA一旦检测到短路，无论任何位置出现短路，DCUA都会对短路状态反馈信号“发生外部短路”置高，并发送给TCMS。TCMS立即对指令信号“变流器启动指令”置低，并持续4s，将信号发送给4个变流器，然后TCMS断开中压母线接触器，之后在2s内立即发出“检测短路位置指令”。DCUA一旦接收到“检测短路位置指令”，断开与其相连的负载接触器，然

后启动变流器，以此来确定短路是否发生在当地ACM内部。若内部短路，TCMS通过复位“变流器启动指令”禁止短路的变流器重新启动。

如果未检测到内部短路，则可能存在外部母线短路。TCMS将尝试以正常启动逻辑启动变流器。一旦TCMS再次收到“发生外部短路”信号，TCMS将禁止同一中压段的所有变流器启动，并报告该中压段有外部短路，同时不再启动内部短路检测流程。

当检测步骤完成后，变流器开始并网启动流程。

4 结语

分析并网供电的分时顺序启动控制原理，详细解析某城市轨道交通列车上应用的辅助供电系统并网供电控制算法，此控制算法能够控制所有辅助变流器顺序启动，实现并网供电，并且设置的中压母线接触器将中压母线分成独立的两部分，最大化地利用负载，保证列车运行的稳定性和安全性。目前此控制算法在某城市的地铁车辆上应用情况良好。

参考文献：

- [1] 李轶斌. 中压交流并网供电技术在地铁列车上的应用[J]. 城市轨道交通研究, 2012, 15(6): 121-125.
- [2] 程永道. 城轨车辆辅助电源系统供电方式与电路拓扑结构分析[J]. 机车电传动, 2013(2): 49-52.
- [3] 许杰, 杨川, 李宇. 基于TCMS的列车辅助变流器启动及复位方法研究[J]. 铁路计算机应用, 2018(2): 11-16.
- [4] 阎纯洁. 城轨列车辅助系统交流供电方式的分析与比较[J]. 科技创新与生产力, 2015(4): 86-87.
- [5] 李拥军. 长沙地铁二号线一期工程辅助供电系统设计[J]. 现代物业·新建设, 2014, 13(6): 149-151.
- [6] 严刚刚. 地铁列车中中压交流并网供电技术的应用浅析[J]. 建材与装饰, 2015(18): 194-195.
- [7] 龚文斌, 张卫东. Alstom地铁列车中压辅助供电形式的性能比较及优化[J]. 仪表技术, 2011(1): 57-60.
- [8] 李网生, 陈爱林, 芮国强, 等. 地铁车辆辅助电源的设计[J]. 机车电传动, 2009(3): 51-53.

作者简介: 宋君君(1986—), 女, 工程师, 从事列车网络控制系统相关技术研究。

(上接第97页)不会将高压电从有电区域带入无电区域, 对用户使用更安全。

3 结语

根据对采用上述2种高压母线方案的单轨车通过不同无电区时供电站和主熔断器的电流变化情况的分析及对比, 最终推荐方案为仅针对辅助电源系统、空调设备设置高压母线和牵引系统采用微制动技术。该方案对牵引系统高压器件负荷容量要求较小, 可以适应的供电轨无电区长度更长, 与供电站的保护配合更

优, 对用户使用更安全。

参考文献：

- [1] 李蒂, 许文超, 安琪. 悬挂式单轨车的发展及其现状[J]. 机车电传动, 2014(2): 16-20.
- [2] 白雪, 李蒂. 悬挂式单轨车的应用分析[J]. 电力机车与城轨车辆, 2015, 38(2): 1-4.
- [3] 陈超录, 陈建校. 城市轨道交通DC750V第三轨供电列车电气牵引系统过无电区分析[J]. 科技资讯, 2011(22): 143.

作者简介: 吉安辉(1989—), 男, 工程师, 主要从事轨道交通车辆牵引电传动系统研发工作。