

文章编号：1005-8451 (2018) 02-0011-06

基于TCMS的列车辅助变流器启动及复位方法研究

许杰，杨川，李宇

(中国中车长春轨道客车股份有限公司 电气研发部，长春 130062)

摘要：为了解决在中压电源并网启动控制过程中，因辅助变流器启动逻辑误判而出现的启动失效和正常设备被列车控制管理系统隔离的问题，设计一种先期前置清零和后期备份的故障排除方法，该控制策略可有效地避免不必要的中压减载，显著提高列车中压供电系统的可靠性及旅客乘车的舒适度，保证辅助变流器启动逻辑循环的流畅性。该方法经地面联调平台仿真验证和车辆现场试验验证，效果良好。

关键词：列车控制管理系统；辅助变流器；启动失效；故障逻辑复位

中图分类号：U266.236 : TP39 **文献标识码：**A

Starting and resetting method of train auxiliary converter based on TCMS

XU Jie, YANG Chuan, LI Yu

(Department of Electrical Research and Development, CRRC Changchun Railway Vehicles Co. Ltd.,
Changchun 130062, China)

Abstract: In order to solve the problem that the start-up failure and the normal equipment are isolated by the TCMS due to the misoperation of the auxiliary converter during the start-up control of the medium voltage power supply, this article designed a pre-set clear and late backup troubleshooting method. The control strategy can not only effectively avoid unnecessary medium voltage load shedding, but also significantly improve the reliability of the train medium voltage power supply system and passenger comfort, it also ensures the smoothness of the auxiliary converter starting logic cycle. Ground simulation platform simulation and vehicle field test verification results were very effective.

Keywords: Train Control Management System(TCMS); auxiliary converter ; start-up failure; fault logic reset

辅助供电系统是轨道交通车辆核心组成部分，承担着除牵引系统动力供电（即牵引电机所需用电）外车辆交流负载的供电，如空气压缩机、列车空调、照明设备等部件，蓄电池浮充电、AC380 V 负载分配等辅助设备均是通过辅助供电系统供电^[1-2]。辅助供电系统包括辅助变流器（SIV）和充电桩、蓄电池、应急逆变器等^[3]。其中，辅助变流器作为辅助供电系统的核心部件，将接触网电压转化为不同等级的电压，通过列车贯穿线传输给各个用电设备，以保证列车各类用电设备正常运行。

然而在实际应用中，经常会出现由于列车控制管理系统（TCMS）逻辑控制部分的失误判断，导致正常的辅助变流器被从启动序列中隔离，引起不必要的中压减载情况的出现，影响辅助变流器启动循

收稿日期：2017-09-11

基金项目：中国铁路总公司科技研究开发计划课题（2014J004-C）。

作者简介：许杰，工程师；杨川，工程师。

环的流畅性。深入分析辅助供电系统的工作原理和网络控制方法，找出辅助变流器逻辑启动失效故障的根本原因，有针对性地设计有效的逻辑复位条件，对确保车辆的正常运营，保障旅客的乘车安全性和舒适度具有十分重要的意义。

1 辅助供电系统

1.1 辅助供电系统主电路

列车采用母线集中供电方式，由分散布置的辅助变流器通过供电总线排向整车同相位输出 380 V (50 Hz) 的三相交流电源。每辆车配置有 4 台辅助变流器（简称：SIV1~SIV4），均为电压控制型（可实现并联同步及反馈闭环控制^[4]），硬件配置、控制方式一致并相互独立，并网启动时不区分主从设备，可随机启动，输出功率均为 200 kVA^[5]。辅助交流供电系统主电路如图 1 所示。其中，接触器 KMK 用于

中压母线扩展供电的通断控制,接触器 KMA 用于对应辅助变流器的输出电压控制^[6]。

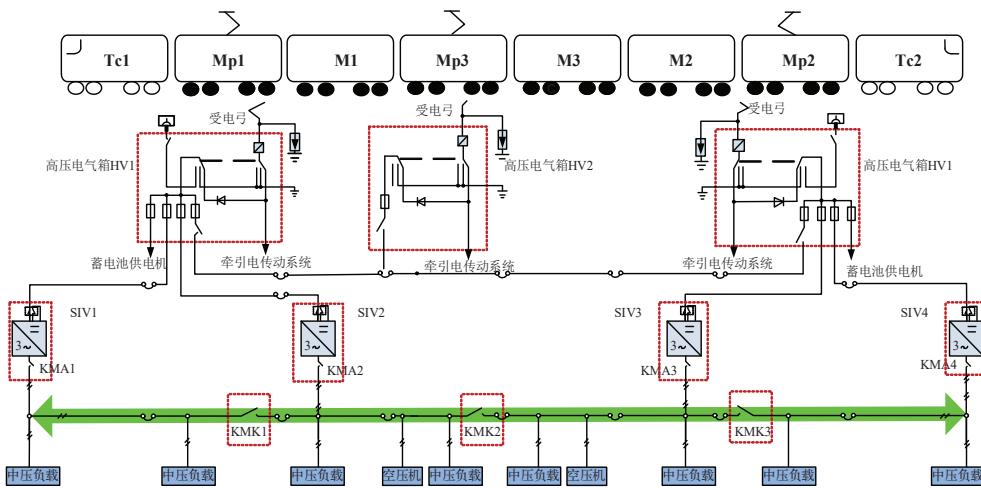


图1 辅助交流供电系统主电路

1.2 辅助供电系统TCMS控制结构

TCMS 功能强大,对供电线路发生的过载、短路、瞬间大电流冲击、过压、欠压、接地等现象均能够及时加以保护。同时,供电负载具有自诊断的功能和故障保护措施,确保了旅客的乘车安全。

辅助控制模块是进行辅助控制、调节的重要模块,主要包括主控制器、模块控制器,负责辅助电源系统的控制和与 TCMS 通信,也可以进行不同功率变流器的控制和调节^[7-8]。

TCMS 与辅助控制模块采用多功能车辆总线(MVB)进行命令、状态和诊断信息的交互,每个供电单元的中央控制单元(CCU)通过绞线式列车总线(WTB)与其他供电单元的 CCU 连接,进行数据交换,实现辅助电源系统的并网启动控制和故障复位操作。CCU 与显示器(HMI)连接,可以实时显示辅助系统状态^[9]。网络控制器框图如图 2 所示。

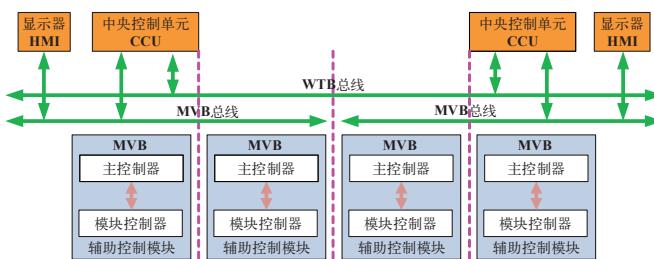


图2 辅助系统的网络控制器框图

2 TCMS控制的辅助供电系统启动过程

2.1 TCMS控制分时序启动的必要性

多台辅助变流器运行时,其车载空调、空压机等交流设备仍需要 380 V 的三相交流中压母线电源,通常,由车载 SIV 将 DC1 500 V 的直流高压母线电源逆变而来。单台辅助变流器的容量无法同时满足整列车上全部中压负载的供电需求,并且由于车辆的负载设备大部分是泵类,直接启动负载,会导致启动的冲击电流过大,严重影响列车运行状态,因此通常由 TCMS 控制多台辅助变流器的分时序启动,并进行启动故障检测和排除,使车载 SIV 并行运行、协同工作,以建立稳定的中压母线电源,提高辅助供电系统的可靠性及安全性,提高交流中压母线的供电质量。

2.2 辅助变流器的启动

2.2.1 辅助变流器内部启动

辅助变流器的内部启动是并网启动的准备阶段,在此过程,需要满足并网启动流程的各种准备条件。列车激活,列车蓄电池打开,TCMS 正常工作,辅助变流器与 TCMS 通信环境良好。并网启动前,每台 SIV 均有自检过程,在最初启动阶段,所有的中压母线接触器均保持断开状态。当 SIV 内部控制模块检测到高压 DC1 500 V 和 110 V 控制电压正常时,4 台 SIV 自行启动,同时三相输出接触器短暂闭合以检测自身供电区段是否存在短路情况,此时,TCMS 控制负载不启动。所有中压母线接触器 KMK 闭合,TCMS 检测到所有中压母线接触器 KMK 闭合信号。内部启动成功后,SIV 通过列车通信网络反馈“辅助变流器内部正常”信号给 TCMS。

2.2.2 分时序的辅助变流器并网启动

当 SIV 通过自检排除设备内部故障和母线短路故障后,自行内部启动,当 TCMS 收到至少一个辅助变流器反馈的辅助变流器内部正常信号后,将开始整个并网启动过程。

通过控制 KMA 闭合,使中压母线得到 380 V 电压。TCMS 将综合辅助变流器内部正常、中压母线接

触器 KMK 已闭合、辅助变流器并网成功等条件，来判断主辅助变流器并网启动命令的发送和复位，监视和控制整个并网启动过程。分时序并网启动过程分为 3 个独立的子流程。

(1) 辅助变流器主、从设备选定。如果至少有一个辅助变流器反馈辅助变流器内部正常信号，且其启动失效逻辑位为 0，TCMS 将其设置为逻辑主机，并将作为逻辑主机辅助变流器（默认为 Tc1 车 SIV1），TCMS 将当前 SIV 的主 / 从逻辑位，置为 1，使其自动成为并网启动的主机，它的输出状况决定了中压母线网络的电压、相位与频率。同时将主 / 从逻辑位依然为 0 的其余 3 个变流器均确定为从属辅助变流器。辅助变流器主、从设备选定子流程如图 3 所示。

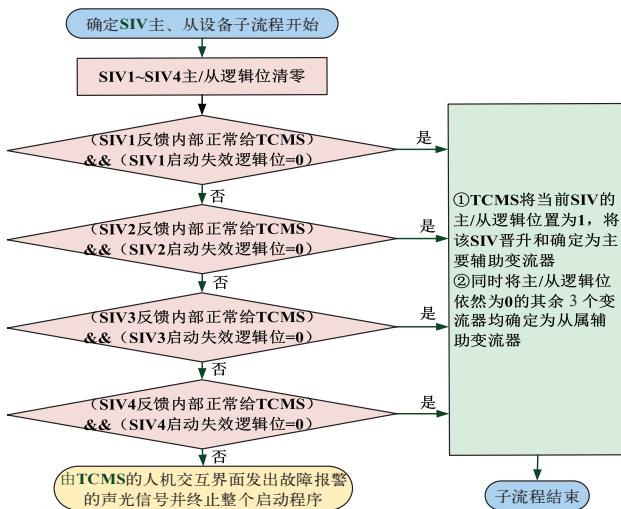


图3 辅助变流器主、从设备选定子流程

(2) 主辅助变流器并网启动。正常情况下，主辅助变流器接收到主辅助变流器并网启动指令后，会闭合其所对应的闭合母线接触器 KMA。而后主辅助变流器会反馈辅助变流器并网成功信号给 TCMS。如果 TCMS 在发出主辅助变流器并网启动指令后的 7 s 内，收到相应辅助变流器反馈的成功信号，则 TCMS 停止发送指令。此时，母线上存在电压，其相位和频率由首先并网启动的主辅助变流器决定。

(3) 从属辅助变流器并网启动。按照从左至右的逻辑顺序，TCMS 逐一发送“从辅助变流器并网启动”给 SIV2~SIV4，延时 2 s，辅助变流器 SIV2~SIV4 接收到 TCMS 发送的信号后，通过检测母线情况立即

进行内部同步，同步后三相输出，闭合母线接触器 KMA2~4，完成并网启动，TCMS 控制从属 SIV 并网启动的流程如图 4 所示。

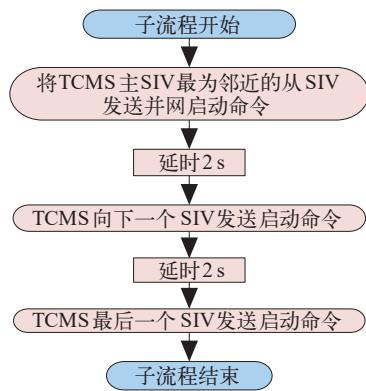


图4 从属辅助变流器并网启动流程图

整个并网过程历时约 8 s^[10]。同步并网启动完成后，4 台 SIV 在中压网络中地位同等，相互独立，TCMS 将分别对 SIV 设备启动过程和状态进行监视和诊断。并网启动的过程如图 5 所示。

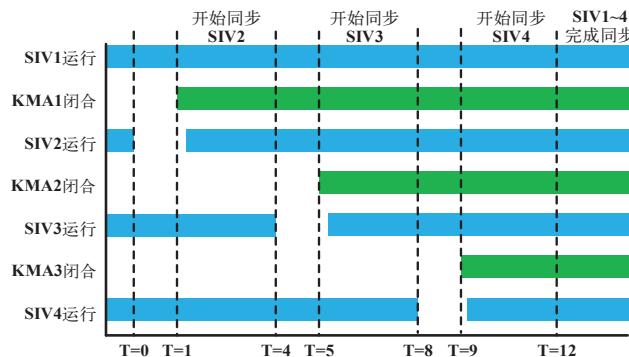


图5 正常并网启动过程图

如果 TCMS 在发出主辅助变流器并网启动指令后的 7 s 内，未收到相应辅助变流器反馈的辅助变流器并网成功状态，TCMS 会重新进行流程 1 的循环，选定启动信号的位置，按照由左到右的顺序，重新选定主辅助变流器，并向其发送主辅助变流器并网启动命令，如上循环，直至有辅助变流器反馈辅助变流器并网成功。

如果在首轮并网启动过程中所有辅助变流器均未反馈辅助变流器并网成功状态，则并网启动失败。对于未能正常启动的辅助变流器，TCMS 会将该变流器对应寄存器中的启动失效逻辑位从 0 置为 1，记录其为故障的辅助变流器，不再向该故障辅助变

流器发送并网启动命令并进行隔离。

辅助变流器并网启动后：当TCMS收到3台辅助变流器反馈的辅助变流器并网成功信号时，列车无需减载；当仅收到2个辅助变流器并网成功信号时，TCMS会控制空调系统切除一半的压缩机；当仅收到1个辅助变流器并网成功信号时，TCMS关闭所有空调压缩机，仅保留通风功能。

TCMS控制辅助变流器并网启动的流程如图6所示。

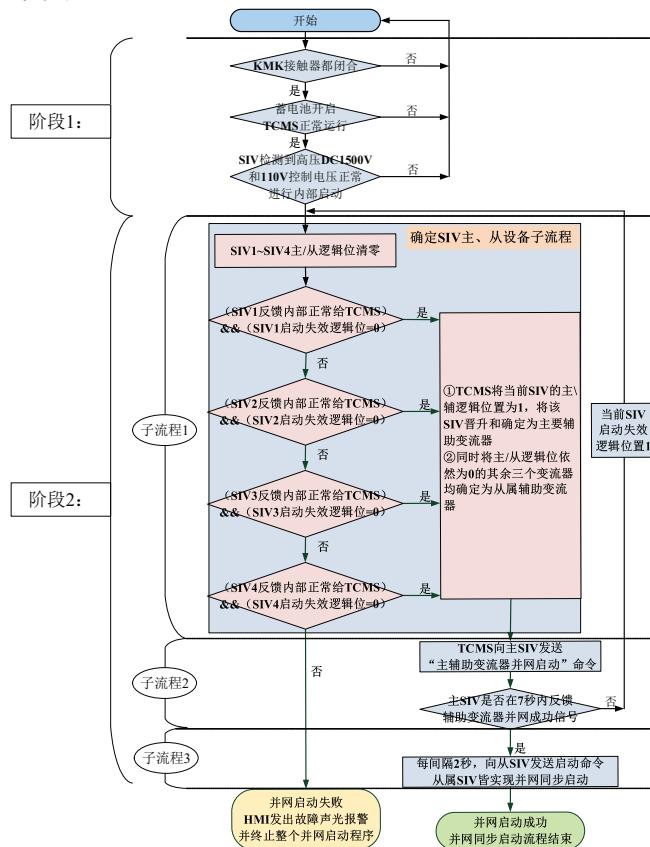


图6 TCMS控制SIV并网启动流程图

2.3 现有SIV并网启动的逻辑弊端分析

在上述TCMS控制辅助变流器并网的常规启动过程中，往往由于列车前一次上电时辅助变流器启动失效、辅助控制模块异常，或者MVB线路干扰等原因，致使某些非故障的辅助变流器的寄存器中的“启动失效逻辑位”发生预期之外的逻辑错误，而TCMS并没有对逻辑误判可能的检测和相应的故障排除方法，从而导致正常启动的辅助变流器始终被TCMS误判为故障的辅助变流器，被TCMS从下一轮的启动序列中切除和隔离，始终无法参与复位启动。这不但会影响列车中压供电系统并网循环的流畅性，造

成设备和资源的闲置浪费，而且，剩余的变流器容量不足也将导致列车中压系统减载运行，将切除部分空调、电热、空压机等中压负载设备，尤其是空调系统的损失比率会很高，降低了列车中压供电系统安全可靠性及旅客乘车舒适度。

3 非故障SIV逻辑复位方法

3.1 逻辑复位时间点

辅助变流器逻辑复位共有3个复位时间点，可使在并网启动中失效并被TCMS从启动序列中隔离的SIV，重新加入启动序列，使实际无故障，但启动失效逻辑位为0的SIV快速复位，以完成辅助变流器并网顺序启动的全过程。

时间点1：列车上电后，DC1500V高压电经受电弓送入辅助电源箱，辅助变流器与受电弓接通。此时，将列车上次得电后，做为“主机”SIV启动失效或系统误报的“启动失效逻辑位”全部清零。

时间点2：第1个辅助变流器作为“主机”设备启动前，对其“启动失效逻辑位”清零，将前次启动失效或系统误报的启动失效信号清零。

时间点3：当所有辅助变流器依次并网启动，但是没有任何一个SIV并网成功时，辅助变流器的启动失效信号会置位为1，这时需要将“启动失效逻辑位”全部清零，以便重新开始并网启动，实现列车中压辅助变流器正常循环启动，使启动失效被“隔离”的辅助变流器在此投入使用。

3个复位条件添加的时间点如图7所示。

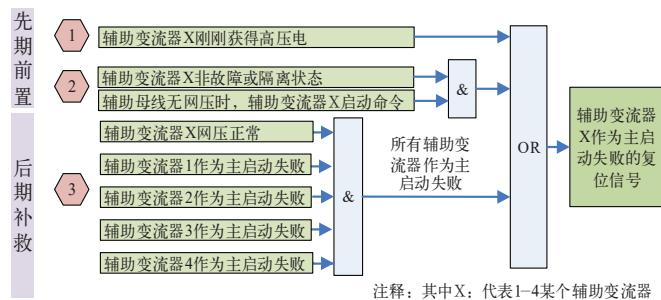


图7 3个复位条件时间点示意图

3.2 非故障SIV逻辑复位方法描述

为了能够对因逻辑误判失误而被TCMS系统从启动序列中切除或隔离的非故障辅助变流器进行逻辑复位，本文设计了利用3个时间点的两轮（先期

前置和后期补救) 辅助变流器复位操作的算法, 能够有效地避免逻辑误判情况的发生, 减少不必要的中压减载, 保证并网启动循环的流畅性。

辅助变流器复位方法描述为主线流程和子流程两部分。其主线流程结构图如图 8 所示。

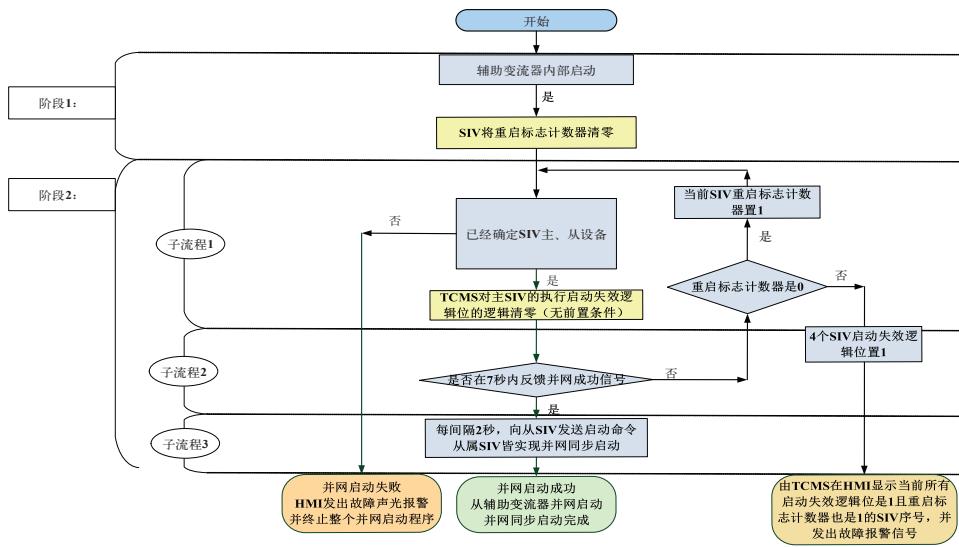


图8 复位方法的框图

3.2.1 先期前置一时间点1

在准备阶段结束之后, 4台辅助变流器在自身得电后, 均将自身的“重启标志计数器”清零, 然后再分别向 TCMS 发送辅助变流器内部正常信号。

3.2.2 先期前置一时间点2

在主、从辅助变流器判定程序(流程 1)后, 对被选为主辅助变流器的设备进行一次无任何前置条件的启动失效逻辑位清零操作, 恢复到启动序列中。

3.2.3 后期补救一时间点3

在整个并网启动流程中, 添加布尔型变量“重启标志计数器”条件, TCMS 可通过启动失效逻辑位和重启标志计数器两个变量, 在时间节点 3 后, 使得 TCMS 对所有 SIV 的启动失效逻辑位进行新一轮复位程序。当所有 SIV 的启动失效逻辑位均置为 1 后, TCMS 会再次依次判断 SIV 的重启标志计数器的数值: 如果是 0, 则重新进行一次主从辅助变流器的选定程序, 重新进行正常的并网启动; 如果是 1, 说明当前辅助经过两轮的并网启动均失败, TCMS 将声光报警信号发送到显示器, 提示司机。主、从辅助变流器判断程序采用循环结构, 最大循环次数为 3 次。子流程如图 9 所示, 具体流程描述如下。

4台辅助变流器在自身得电后, 均将重启标志计数器清零, 并向 TCMS 发送“辅助变流器内部正常”信号; 根据收到的信号情况, 有以下两种情况:

(1) TCMS 收到至少一个 SIV 发送的“辅助变流器内部正常”信号。

按照从左到右的顺序, TCMS 默认 Tc1 车的 SIV1 为首选的默认“主机”辅助变流器, TCMS 依次判断辅助变流器 SIV1~SIV4 是否发辅助变流器内部正常信号, 且辅助变流器 SIV1~SIV4 的重启标志计数器依然为 0, 如果同时满足上述两个条件, 则把当前设备作为“主机” SIV, 主从判断逻辑位标定为 1, 同时标定剩下的 SIV 为从属设备, 主从判断逻辑位标定

为 0。

(2) 如果 TCMS 均没有收到 SIV1~SIV4 的辅助变流器内部正常信号, 由 TCMS 的人机交互界面发出故障报警的声光信号并终止整个启动流程。

通过 3 个时间点的逻辑处理和两轮启动操作流程, 可以看出当 4 台辅助变流器依次启动失败的情况首轮发生时, 通过增设重启标志计数器的计数逻辑, 可以使得 TCMS 对所有启动失效的辅助变流器再进行新一轮复位操作, 通过此方法, TCMS 无需上电重启, 仅在本次上电周期中就能继续新一轮的

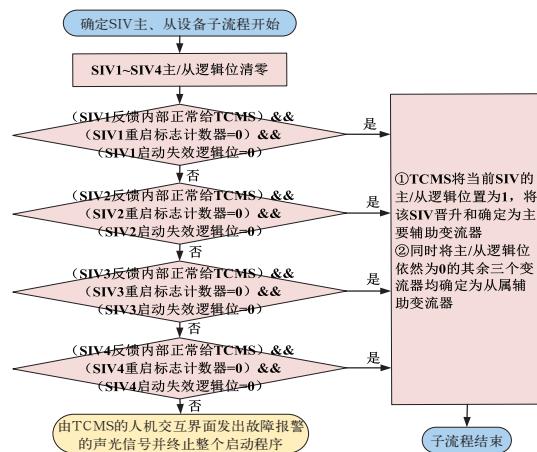


图9 子流程图

并网启动，避免了列车停车、重启上电等一系列不必要的操作，有效地保障了辅助变流器并网启动循环的流畅性。

4 结束语

通过分析列车并网供电的原理和常规并网启动的TCMS时序，发现常规启动中存在因逻辑误判而出现的启动失效、正常设备被隔离的问题，在可进行复位逻辑处理的3个时间点有针对性地设计和确定了合适的复位条件。该方法能及时对因逻辑误判而被TCMS从启动序列中切除和隔离的正常辅助变流器进行复位，杜绝不必要的中压减载情况，显著提高列车中压供电系统平稳运行的安全可靠性及旅客乘车舒适度。该方法经动车组列车地面联调平台仿真验证和车辆试验现场验证，效果良好。

参考文献：

[1] 张立常, 康 鹏. 城市轨道交通车辆电路分析与电气故障处

理 [M]. 北京: 机械工业出版社, 2012.

- [2] 王艳荣. 城市轨道交通车辆电气检修 [M]. 上海: 上海科学技术出版社, 2010.
- [3] 肖彦君, 吴茂彬. 城轨列车辅助供电系统的技术要求和电路选型 [J]. 现代城市轨道交通, 2004 (4).
- [4] 程永谊. 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.
- [5] 李耘菴. 上海轨道交通 11 号线北段工程车辆辅助电源系统 [J]. 机车电传动, 2010 (5): 57-61.
- [6] 李海新, 胡禹峰. 深圳地铁 11 号线车辆辅助交流供电系统控制研究与设计 [J]. 电力机车与城轨车辆, 2015 (5).
- [7] 朱 恺. 地铁辅助系统关键技术研究 [D]. 北京: 北京交通大学, 2012.
- [8] 唐小飞. 机车辅助供电系统状态在线检测系统设计与实现 [J]. 铁路计算机应用, 2011, 20 (1).
- [9] 常振臣, 沙 森. 高速列车网络控制系统原理与应用 [M]. 北京: 中国铁道出版社, 2016: 30-67.
- [10] 江 伟, 张薇琳, 王伟陈. 地铁车辆辅助逆变器并联供电模式分析 [J]. 机车电传动, 2015 (6).

责任编辑 陈 蓉

(上接 P7)

基于增强现实的检修作业指导。通过该功能，用户可以从智能眼镜中看到检修工序各作业步骤的三维动画以及相关文字说明，较传统方式更为直观。

具体实现流程如图3所示。

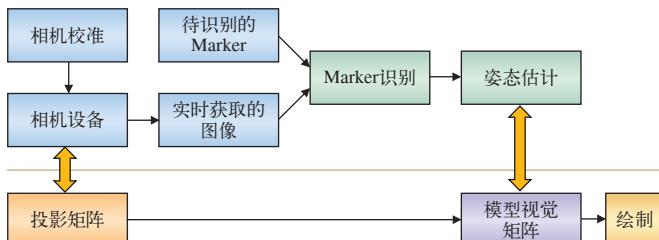


图3 工艺卡片增强现实展示实现流程

4 结束语

本文对增强现实技术在动车组检修作业指导中的应用进行研究，对动车组检修过程中的作业指导需求进行分析，归纳总结出部件信息、作业任务、工艺卡片三类需求，在此基础上，设计系统架构、功能架构和系统接口，设计了基于图片标识的复杂检修工序工艺卡片 AR 展示方案。该方案可解决现有检修作业指导中存在的检修人员无法边作业边查看指

导信息以及信息显示不直观的问题。

参考文献：

- [1] 朱森良, 姚 远, 蒋云良. 增强现实综述 [J]. 中国图形图像学报, 2004, 9 (7): 767-774.
- [2] 罗 斌, 王涌天, 沈 浩, 等. 增强现实混合跟踪技术综述 [J]. 自动化学报, 2013, 39 (8): 1185-1201.
- [3] 吴 帆, 张 亮. 增强现实技术发展及应用综述 [J]. 电脑知识与技术, 2012 (12): 8319-8325.
- [4] 张运超, 陈 靖, 王涌天, 等. 基于移动增强现实的智慧城市导览 [J]. 计算机研究与发展, 2014, 51 (2): 302-310.
- [5] 陈玉文. 增强现实技术及其在军事装备和模拟训练中的应用研究 [J]. 系统仿真学报, 2013, 25 (S1), 258-262.
- [6] 张惟皎, 贾志凯. 动车组运用检修信息化管理探讨 [J]. 铁路计算机应用, 2013, 22 (1): 5-9.
- [7] 王 辉, 张惟皎, 王 治. 动车段动车组管理信息系统架构设计与关键技术分析 [J]. 铁路计算机应用, 2013, 22 (1): 13-16.
- [8] 王 辉, 张惟皎, 李 樊, 等. 基于 S1000D 的动车组技术信息结构化方法 [J]. 中国铁路, 2016 (2): 27-31.

责任编辑 陈 蓉