

蓄电池牵引在上海地铁 16 号线车辆上的应用

谭海云, 李 勇

(西门子(中国)有限公司株洲分公司, 湖南 株洲 412001)



作者简介: 谭海云(1976-), 男, 工程师, 现从事城轨车辆研发工作。

摘 要: 从主电路设计、控制电路设计、软件设计、蓄电池选型等方面重点介绍了上海地铁 16 号线蓄电池牵引功能的设计方案, 经过仿真和试验, 达到了预期设计要求。

关键词: 蓄电池牵引; 轨道车辆; 牵引系统; 牵引逆变器; 上海地铁 16 号线

中图分类号: U231; U267.1 文献标识码: A 文章编号: 1000-128X(2015)06-0083-03

doi: 10.13890/j.issn.1000-128x.2015.06.022

Application of Battery Traction in Shanghai Metro Line 16 Vehicle

TAN Haiyun, LI Yong

(Zhuzhou Branch of Siemens China Co., Ltd., Zhuzhou, Hunan 412001, China)

Abstract: The conceptual design of battery traction function in Shanghai metro line 16 was introduced from the aspects of main circuit, control circuit, software and battery selection etc., and with simulation and test, the design was validated to satisfy the requirement.

Keywords: battery traction; railways vehicles; traction system; traction inverter; Shanghai metro line 16

0 引言

上海轨道交通 16 号线采用的是 120 km/h 速度等级、3 节编组、WTB 列车网络的 A 型地铁车辆, 2 列 3 节编组的列车可以自由联挂重联运行。

地铁车辆采用接触网受流、受流器第三轨受流和蓄电池 3 种供电方式。每列车配置 2 节半动车和 1 节动车, 每节半动车配置 2 根动轴, 1 节动车配置 4 根动轴, 每一动轴配置 1 台三相交流异步牵引电机, 系统采用架控的控制方案。

当区间输电设备故障造成高压中断或列车进入短距离的断电区, 可通过激活司机室的蓄电池牵引功能按钮, 激活蓄电池牵引。2 组车载蓄电池分别给邻近的 2 个牵引逆变器供电, 驱动列车慢速移动至指定位置。下面对蓄电池牵引系统进行介绍。

1 蓄电池牵引主电路设计

目前我国城市轨道交通大部分都是采用架空接触网或第三轨供电方式。将蓄电池牵引方式集成到已有

的城市轨道交通系统中, 关键问题是牵引系统的高压输入和蓄电池低压输入的可靠隔离以及逻辑电路上的功能互锁。

蓄电池牵引主电路与正常牵引高压主电路之间的可靠隔离直接决定方案的成功与否, 因此在输入端配置 1 个两位置的电动隔离开关, 分别代表蓄电池牵引 (DC 110 V) 和正常牵引 (DC 1 500 V)。电动开关包含驱动总成、连杆机构和旋转机构, 通过转动 1 把闸刀在固定的 2 个刀夹间进行切换达到转换电路的目的。电动开关使用低压电源来控制并驱动底座上的电机, 当开关接收到转换命令时, 低压控制线路提供给直流机电源, 促使刀开关旋转并实现位置切换。由于电动开关是通过物理位置的转换来实现 DC 1 500 V 和 DC 110 V 两路电源的转换, 因此只需 1 个电动开关即可实现可靠的隔离, 具体参见图 1 高压主电路。在蓄电池牵引的输入端设置熔断器, 实现蓄电池牵引模式的过流保护。

采用直流接触器实现蓄电池牵引与正常牵引回流电路可靠隔离, 通过控制电路和软件互锁, 保证仅在系统进入蓄电池牵引模式后, 此接触器才允许闭合。

车辆控制单元实时监控直流接触器的辅助触点, 充分保证在正常牵引情况下, 如果此接触器的辅助触点处

在闭合状态, 牵引系统则封锁牵引, 从而保证正常牵引和蓄电池牵引的可靠性。

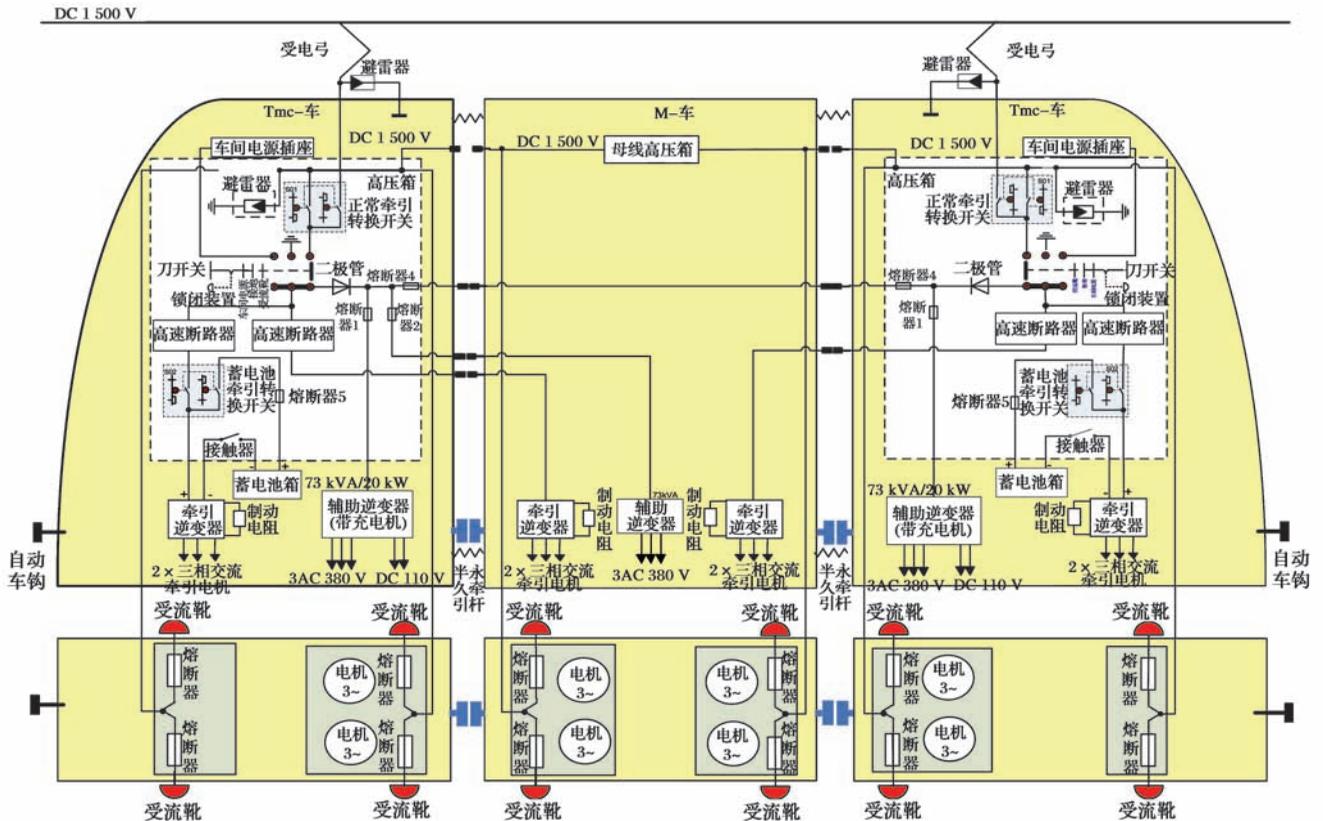


图 1 高压主电路

2 控制电路设计

在蓄电池牵引的逻辑电路中设置软件逻辑和硬件逻辑的双重限制条件, 确保车辆进行蓄电池牵引时, 受电弓落下, 受流靴在脱靴位, 高速断路器断开, 电动隔离开关转动到 DC 110 V 位置。

2.1 蓄电池牵引模式

如图 2 所示, 司机在占有端司机室触发自复位按钮 S1, 激活蓄电池牵引模式, 当列车控制单元收到蓄电池牵引命令请求, 评估相关的状态信息, 如果蓄电池牵引条件允许, 则输出蓄电池牵引命令, 此时高速断路器已断开, 继电器 K1 得电。

继电器 K1 得电后, 其辅助常开触点闭合, 常闭触点断开, 电动隔离开关 DC 110 V 位置继电器 K2 得电, 此时其辅助触点闭合, 电动隔离开关的驱动电机正转方向得电, 带动闸刀移动。当电动开关转到 DC 110 V 位置时, 其辅助触点 S2 断开, 即继电器 K2 断电, 此时直流电机失电, 驱动电机停止工作, 这样避免了电机长时间得电而导致电机损坏。

电动隔离开关的 2 个位置通过继电器 K1 的辅助触点进行连锁, 使得在任何时候只有 1 个继电器得电, 确保了高压电路和蓄电池牵引电路的可靠隔离。

在蓄电池牵引时, 继电器 K2 得电后, 其辅助触点断开受电弓、受流靴控制电路确保在蓄电池牵引时受电弓落下、受流靴在脱靴位置。

当车辆控制单元发出蓄电池牵引命令时, 继电器 K4 得电, 通过其辅助触点断开高速断路器, 实现了高速断路器和蓄电池牵引的硬件连锁。

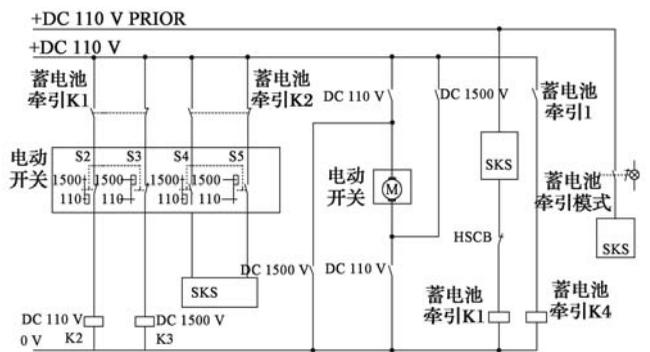


图 2 控制电路

2.2 正常牵引模式

列车激活后, 即列车 DC 110 V 供电正常, 此时蓄电池牵引模式未激活, 蓄电池牵引命令继电器失电, 电动开关闸刀保持在 DC 1500 V 位置, 即继电器 K3 得电, DC 110 V 位置继电器 K2 失电。图 2 中电动开关驱动电机正负极反接, 使得电动开关驱动电机只能反转, 带动闸刀移动。当电动开关转到 DC 1500 V 位置时, 其辅助触点 S3 断开, 即继电器 K3 失电。辅助触点 S4、S5 分别监控电动开关 2 个位置反馈, 供车辆控制单元诊断。

3 软件设计

车辆电路设计保证了高压输入和蓄电池低压输入的可靠隔离及控制逻辑电路上的功能互锁的前提下, 车辆控制单元实时地对高压电路、控制电路的关键部件在蓄电池牵引模式下的状态进行评估, 蓄电池牵引软件流程图参见图 3。当下列条件满足时, 车辆控制单元将发出蓄电池牵引命令, 列车将进入蓄电池牵引模式:

- ①司机占有信号激活; ②司机操作蓄电池牵引按钮; ③所有的高速断路器断开; ④闸刀处在 DC 110 V 位置; ⑤所有受电弓降下, 受流靴在落靴位; ⑥系统未检测到 1 500 V 高压; ⑦线路接触器断开; ⑧牵引逆变器直流环节电压等于或者小于蓄电池电压; ⑨列车静止; ⑩列车 MVB 网络通信正常; ⑪回流接触器闭合。

当满足下列任何条件之一时, 车辆控制单元将取消当前的蓄电池牵引命令: ①司机重新操作了蓄电池牵引按钮; ②列车 MVB 网络通信故障; ③闸刀处在错误的位置; ④司机室未占有; ⑤回流接触器断开或故障。

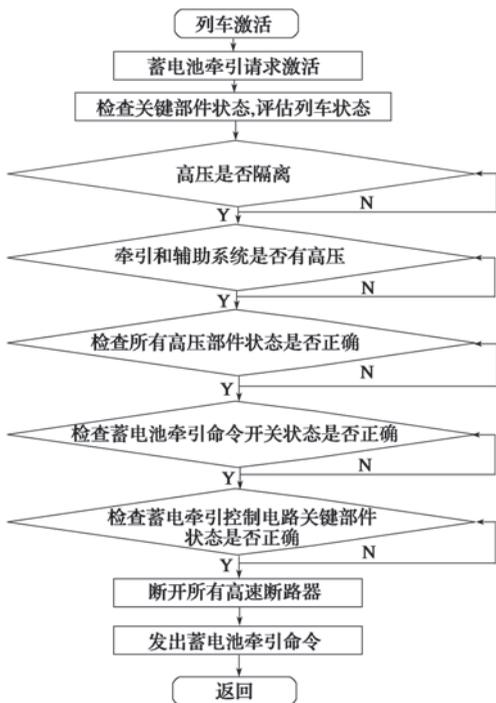


图 3 蓄电池牵引软件流程图

通过蓄电池牵引时在软件上对列车状态的评估, 确保了在蓄电池牵引时系统的高可靠性和安全性。

4 蓄电池牵引性能仿真

在 AW3 载荷、速度 3.5 km/h 平直轨道上运行距离 100 m 条件下的蓄电池牵引和制动特性曲线如图 4、图 5 所示。由于蓄电池牵引无法提供电制动, 列车的制动由空气制动替代。

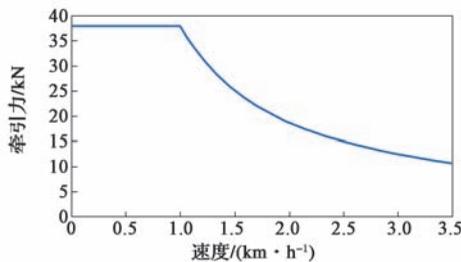


图 4 蓄电池牵引特性曲线

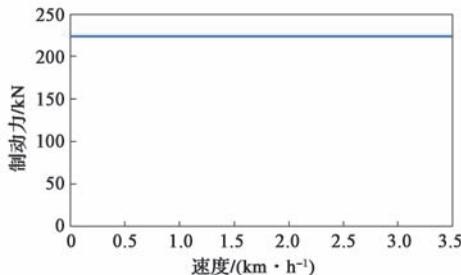


图 5 蓄电池制动性能曲线

5 蓄电池选型

蓄电池紧急牵引距离的长短取决于蓄电池容量大小和牵引逆变器的散热能力。蓄电池快速释放大电流的能力是实现蓄电池牵引功能的关键。若要实现区间的紧急牵引, 势必增加蓄电池的容量, 从而增加了车辆的载荷, 增加日常车辆运营的能耗。纵观车辆的日常运营能耗和蓄电池牵引性能, 合理选用蓄电池成为蓄电池牵引技术的发展方向。常见蓄电池性能参数如表 1 所示。

表 1 常见蓄电池性能参数对比

性能指标	铅酸蓄电池	镍镉蓄电池	锂电池
电压 / V	2	1.2	3.7
重量比能量 / (Wh·kg ⁻¹)	30~45	40~60	110~190
体积比能量 / (Wh·L ⁻¹)	60~90	100~150	200~500
循环寿命 / 次数	300~500	500~1 000	500~2 000
每月自放电率	4%~5%	20%~30%	<5%
有害物质	铅	镉	无
单位成本 / (元·Wh ⁻¹)	1~1.5	3	6
安全性	良好	优秀	优秀
充电速度	中等	较快	较快
维护性	无需加水, 充电维护	需加水, 换液	极少, 需监控电压
有无污染	有, 较轻	有, 较重	无
有无记忆效应	无	有	无

上海 16 号线的车载蓄电池不仅要满足车辆牵引启动、加速过程中的大电流, 而且还要满足车辆的辅助供电要求, 在使用蓄电池牵引功能后能保证车辆紧急负载 45 min 供电。

基于紧急供电负载要求, 考虑蓄电池牵引性能, 结合车辆日常能耗, 上海地铁 16 号线车辆选用 SAFT 高倍率镍镉 MSX130×84 蓄电池。图 6 是以常温为 20 ℃、放电效率为 0.9、老化系数为 0.9 的条件下的蓄电池容量和端电压对时间的仿真曲线。结果显示, 列车经过一次蓄电池牵引, 然后紧急负载供电 45 min, 蓄电池

(下转第 90 页)