

沈阳地铁1号线地铁车辆电传动系统

王 鑫, 金福来

(沈阳地铁有限公司 车辆部, 辽宁 沈阳 110041)



作者简介:王 鑫(1976-),男,工程师,车辆部部长,现从事运营车辆管理工作。

摘 要:介绍了沈阳地铁1号线地铁车辆的主要参数及其电传动系统的牵引/再生制动性能,阐述了主电路的组成、主要设备的参数及动作时序。对控制系统中的重要环节如牵引/再生制动的控制等作了简单的描述。

关键词:地铁车辆;交流传动;主电路;控制系统;沈阳地铁1号线

中图分类号:U231;U266.2 **文献标识码:**A **文章编号:**1000-128X(2011)02-0040-03

The Electric Drive System of Shenyang Metro Line 1 Vehicles

WANG Xin, JIN Fu-lai

(Vehicle Department, Shenyang Metro Co., Ltd., Shenyang, Liaoning 110041, China)

Abstract: This paper introduced the main parameters about the vehicles of Shenyang metro line 1 and the traction and regenerative braking performance of its electric drive system. It also expounded the formation about the power circuit, the parameters and action sequence of the main equipment. What's more, the paper elaborated briefly the important parts of control system, such as the control of traction and regenerative braking.

Key words: metro vehicles; AC drive; power circuit; control system; Shenyang metro line 1

0 引言

沈阳地铁1号线为沈阳市开工建设的第一条地铁线路,自十三号街至黎明文化宫,线路全长27.9 km,正线全部为地下线,全线设22座车站。地铁车辆为B2型车,采用不锈钢车体,装备列车自动运行(ATO)系统,引进了三菱公司最新的矢量控制的交流电传动系统,应用了无速度传感器等多项新技术。

1 车辆的主要参数及性能

供电条件:车辆采用架空接触网供电,受电弓受流,额定电压DC1 500 V。接触网隧道内采用刚性悬挂,车辆段内采用柔性悬挂。

列车编组方式:采用3动3拖编组,1辆动车和1辆拖车组成1个动力单元,共3个动力单元。

在AW2~AW3负载,车轮半磨耗状态,干燥、清洁

的平直轨道和额定电压下,列车0~40 km/h平均启动加速度不小于 0.83 m/s^2 ,列车0~80 km/h平均启动加速度不小于 0.5 m/s^2 ,列车平均常用制动减速度不小于 1.0 m/s^2 ,紧急制动不小于 1.2 m/s^2 。

列车最高运行速度为80 km/h;列车平均旅行速度不低于35 km/h。

列车纵向冲击率不大于 0.75 m/s^3 。

另外,列车具有坡道救援能力及动力损失1/3时故障运行能力。

2 主电路

牵引主电路见图1。

2.1 主设备及参数

① 受电弓(PAN)。受电弓为上海天海QG-120(B)型受电弓,额定静态压力为 $(120 \pm 10) \text{ N}$,额定电压为DC1 500 V,额定电流为1 500 A。每列车配置2个受电弓,主电路高压回路不贯通。

② 避雷器。避雷器采用AREVA公司的HDC2CTM

收稿日期:2009-11-05;收修改稿日期:2010-12-10

型号避雷器, 额定电压为DC 2 000 V, 标称放电电流为 10 kA(8/20 μ s)。

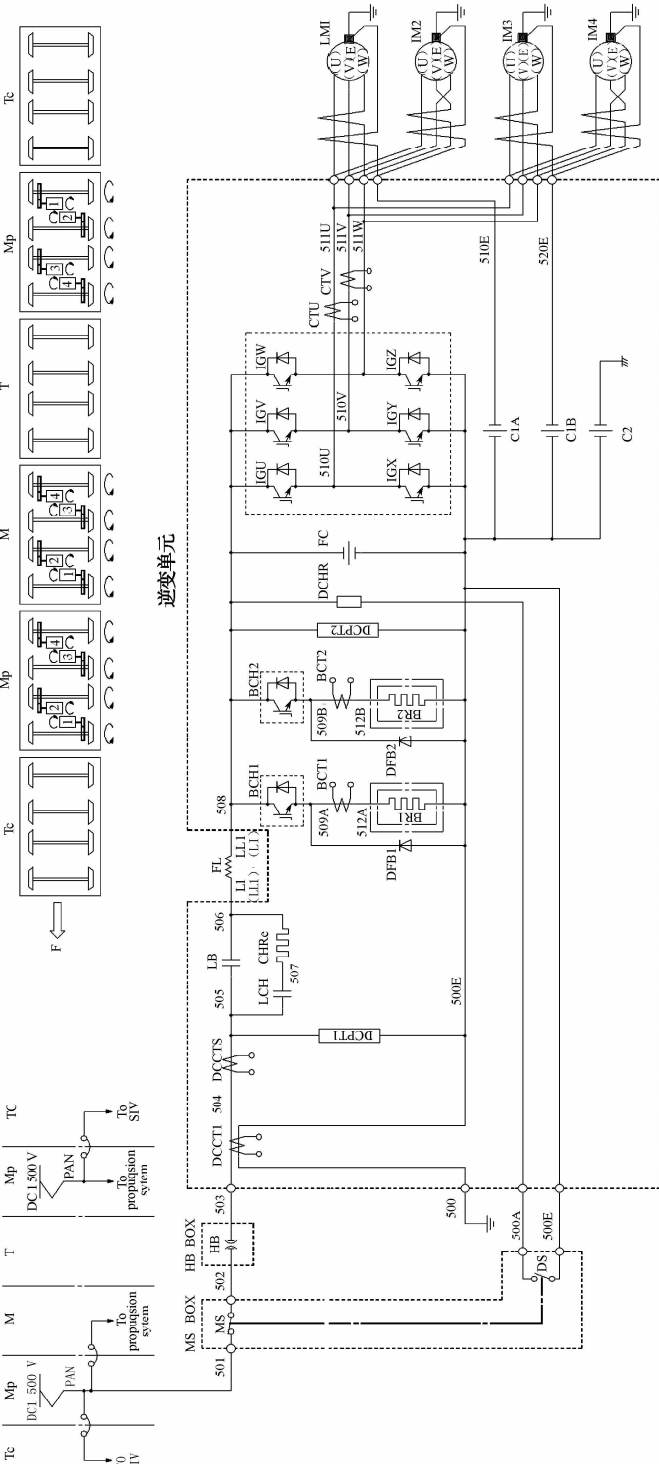


图 1 沈阳地铁 1 号线牵引主电路

Tc ——带司机室拖车; T ——不带司机室拖车; Mp ——带受电弓动车; M ——不带受电弓动车; SIV ——辅助电源; MS ——主隔离开关; HB ——高速断路器; FL ——线路电抗器; LCH ——充电接触器; LB ——线路接触器; CHRe ——充电电阻; BR1/BR2 ——制动电阻; BCH1/BCH2/IGU/IGV/IGW/IGX/IGY/IGZ ——IPM 功率元件; DCHR ——放电电阻; FC ——牵引模块支撑电容; DCCT1/DCCTS ——电流传感器; DCPT1/DCPT2 ——电压传感器; CTU/CTV ——电流互感器; IM1/IM2/IM3/IM4 ——牵引电机

③ 主隔离开关箱 (MS)。主隔离开关箱内有主开关和放电开关, 主开关额定电压为DC 1 500 V, 额定电

流为1 100 A; 放电开关额定电压为DC 1 500 V, 额定电流为100 A, 主开关和放电开关之间机械联锁。

④ 高速断路器箱 (HB)。高速断路器采用 Secheron 公司的UR6型高速断路器, 额定电压为DC 2 000 V, 额定电流为1 000 A, 过流整定值为1 800 A, 持续短路电流为30 kA, 短路持续时间为15 ms。

⑤ 线路电抗器 (FL)。线路电抗器采用空芯电抗器, 自然冷却, 额定电压为DC 1 500 V, 持续额定电流为350 A, 额定电感值为8.5(1 $\pm$ 0.15) mH。

⑥ 牵引逆变器 (VVVF)。采用无速度传感器控制的电压型PWM逆变器, 其最大输出容量为1 110 kVA; 输出电压的频率范围为0~160 Hz。采用热管散热器, 冷媒为纯水, 走行风自然冷却。各电器部件的主要电参数为: 充电接触器 (LCH) 和线路接触器 (LB) 额定电压为DC 1 500 V, 额定电流为800 A; 支撑电容 (FC) 为DC 2 050 V(额定电压)、静电容量为11 mF, 与线路电抗器组成的LC滤波器的共振频率为16.46 Hz; 逆变桥臂采用3 300 V/1 200 A的IPM功率器件; 斩波回路也采用3 300 V/1 200 A的IPM功率器件; 斩波电阻 (BR1和BR2) 的电阻值为2.95 Ω , 每个制动电阻的平均功耗91 kW; 充电电阻 (CHRe) 由2个18 Ω /300 W 的电阻串联, 充电时间小于1.5 s; 放电电阻DCHR由2个250 Ω /120W 的电阻并联, 放电时间小于9.5 s。

⑦ 牵引电机 (IM1~IM4)。牵引电机为三相四极交流异步电机, 无速度传感器; 主要参数为: 功率190 kW (1小时制额定)、电压1 100 V、电流130 A、转速2 370 r/min、频率80 Hz、转差率1.4%、效率 $\geq$ 93%、功率因数 $\geq$ 84%、绝缘等级200级; 在转子轴端安装了低噪声冷却风机, 冷却空气通过通风口进来并且从电机驱动端排出。

⑧ 接地装置。动车采用齿轮箱接地, 在动车的每个齿轮箱上装有1个接地装置, 电刷的尺寸为25 mm $\times$ 40 mm $\times$ 55 mm, 弹簧压紧力为300 cN/cm²; 拖车采用轴端接地, 接地装置的电刷通过弹簧压紧力与车轴紧密接触。电刷的截面积为12.5 mm $\times$ 32 mm, 弹簧压紧力为15.7 (1 $\pm$ 0.1) N。

齿轮传动比为131/17。

2.2 主电路控制逻辑

2.2.1 高速断路器 (HB) 的控制

有以下限制条件: ① LCH和LB未处于闭合状态; ② HB未处于闭合状态; ③ 逆变单元无断开HB的指令; ④ 无保护动作使HB断开的指令。

在上述条件全部满足后, 按下司机台上的复位按钮, HB闭合。

2.2.2 接触器LCH和LB的控制

当以下条件全部满足时, LCH和LB闭合: ① HB闭合且LCH和LB断开; ② 逆变单元无过压保护动作; ③ 接触网电压大于1 000 V; ④ LCH、LB断开的保护动作未发生; ⑤ 无切除逆变单元的指令; ⑥ 运行方向手

柄离开“0”位。

说明：LCH先于LB闭合，LCH闭合后，滤波电容器充电，待接触网电压与滤波电容器电压之间的电压差小于40 V时LB再闭合。

2.2.3 动作时序

系统在正常状态下工作时，各电器的动作时序如图2所示。

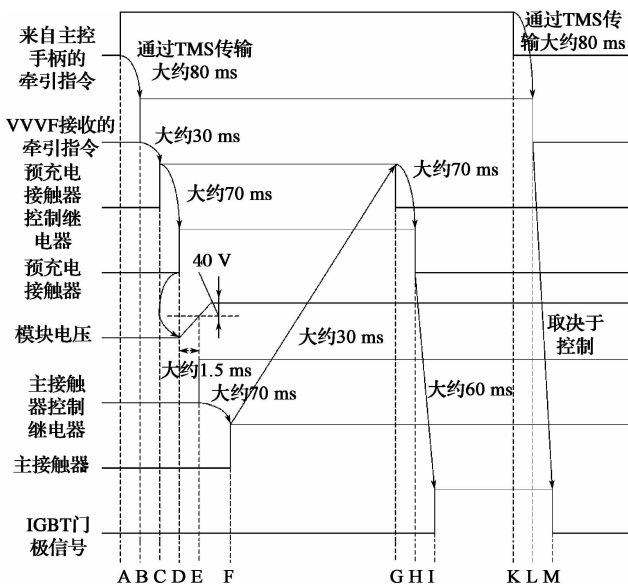


图2 牵引操作时序图

3 控制系统

牵引控制系统采用了基于间接转子磁场定向的无速度传感器控制方式。该方法使用了电机定子电压的前馈控制和定子电流的反馈控制，通过对转子和定子电阻估算获得高性能，并实现转矩的瞬态控制。电机运行在高速区时，采用弱磁控制，速度增加时磁通相应降低。矢量控制方法如图3所示。

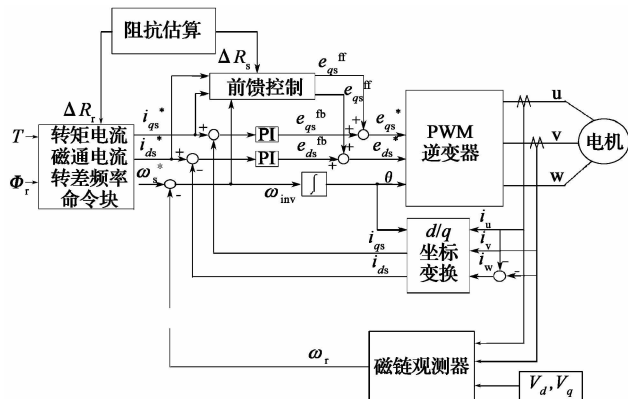


图3 矢量控制原理方框图

控制特点有：① 系统可靠性高；② 系统维修成本低；③ 较宽的调速范围；④ 先进的优化脉冲模式：较高的转换利用，限制了对电源系统和机械的反应；⑤ 自我调节，自动参数识别，自动牵引系统自检：简化调试，改善了诊断和维护。

3.1 牵引、常用制动力指令的形成

牵引及常用制动指令经主控制器或车载装置(CC)发出。主控制器通过电位计将主控手柄位置信号转换成模拟信号，电位计的输出电压随主控手柄的位置发生变化。图4给出了电位计输出信号与主控手柄位置之间的关系。ATO系统发出指令参考值是由车载控制器采用10比特(例如1024级)来表示0~100%的牵引和制动结果，并且在列车监控系统(TMS)侧进行如下转化：0%~0.9%=0%，1.0%~1.9%=1%等。

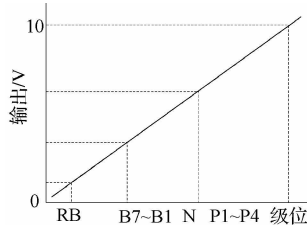


图4 电位计输出信号与主控手柄位置关系

3.2 牵引控制

正常情况下，VVVF逆变器控制器根据主控制器上主控手柄位置对应的模拟信号和BCU(制动控制单元)的负载信号计算牵引扭矩。这些信号通过TMS传输。另外牵引扭矩会随线路电压和列车速度发生变化。牵引扭矩控制包括防冲击功能，冲击率将被控制在 0.75 m/s^3 以内。在接触网电压为DC 1 500 V、车轮直径805 mm下最大牵引扭矩按照图5进行控制。

0~40 km/h之间：恒定转矩区域(加速度 0.87 m/s^2)；
40~45 km/h之间：恒定功率区域(最大扭矩随速度增加而下降，与速度成反比)；
45~90 km/h之间：自然特性区域(最大扭矩随速度增加而下降，与速度平方成反比)。

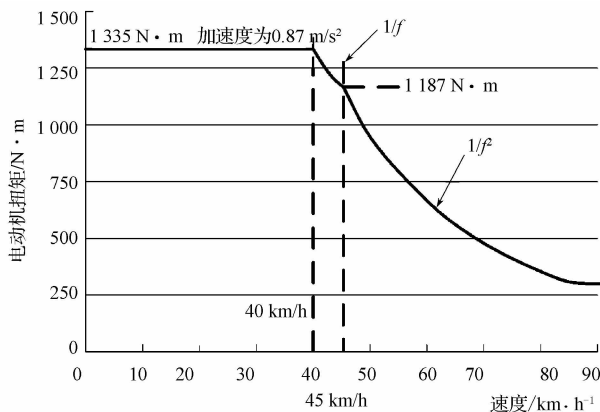


图5 额定电压(DC1 500 V)及AW3载荷下牵引扭矩

为维持各种载荷条件下恒定扭矩区域的加速度，牵引扭矩需要通过TMS的车厢载荷信息进行补偿，也就是说恒定扭矩区域的牵引扭矩模型会与车厢载荷成正比变化。

高加速模式。该功能适用于空载列车救援超员故障列车的情况。由于负载补偿控制的特性，正常操作时，空载列车只能产生与其载荷相当的牵引力。而在救援工况时牵引力一般不能满足要求，此时可以在实施牵引的情况下，操作司机台上的高加速按钮，从而使空载列车产生较大的牵引力。(下转第46页)

封方式的性能比较。

表3 2种不同密封方法性能比较

密封方式	用爱姆卡条密封	用3M 胶带密封
密封件固定	粘接于接线盒	粘接于接线盒盖板
防水效果	良好	良好
缺点	密封件粘接于接线盒上, 粘接工艺实现比较困难	密封件粘接于接线盒盖板, 接线盒进行二次装配时, 密封件易变形
优点	防水性好, 现场操作方便	操作方便

6 结语

地铁列车电传动系统线路空心滤波电抗器采用敞

开式真空浸漆型结构, 产品具有结构紧凑、维护方便、防潮防霉等特点。类似产品结构已成功在北京地铁2号线, 广州地铁4、5号线, 天津地铁2、3号线, 北京地铁房山线成功应用。

参考文献：

[1] 丁荣军, 陈文光. 地铁车辆用交流传动系统的设计 [J]. 机车电传动, 2001 (5).
[2] 崔立君. 特种变压器理论与设计 [M]. 北京: 科学技术文献出版社, 1995.
[3] 变压器实验技术大全 [M]. 沈阳: 辽宁科学技术出版社, 2006.
[4] EN60310, 牵引变压器, 电抗器试验 [S].

(上接第42页)

紧急运行模式。作为备用操作, 在TMS出现故障时使用。如果按下“紧急运行”操作开关, 则进入该模式, VVVF逆变器将根据列车线路指令操作。在紧急运行模式中, 不论主控制器主控手柄位置如何, 牵引扭矩均被设置为一个规定的扭矩值, VVVF逆变器将最大列车速度控制在40~45 km/h范围内, 启动扭矩固定为空载(AW0)负载条件下的最大值。在紧急操作模式中不能进行再生制动操作。

3.3 空转 / 滑行控制

VVVF控制器估计牵引电机转动频率, 然后通过加速度或减速度差方法来检测空转或打滑状态。瞬时加速度或减速度将通过当前速度数据和15 ms前的速度数据来进行计算, 每5 ms计算1次。标准加或减速度通过200 ms前速度数据和1 s前的速度数据来进行计算, 每5 ms计算1次。加/减速度的微分是由标准加、减速度和瞬间加、减速度计算出来的。该方法能够将空转或滑行检测错误降到最低, 并提供快速响应的和最优的空转或滑行检测。

3.4 再生制动控制

TMS 以列车为单位进行再生制动控制, 再生制动控制过程如下：

- ① TMS根据司控器或车载装置(CC)发出的制动指令和电子制动控制单元(EBCU)发出的车辆载荷来计算每辆车的制动力, 并累加每辆车的制动力得到列车总制动力。在计算中, TMS考虑冲击限制参数。
- ② TMS根据每辆车的载荷计算各动车的再生制动力, 并送给各VVVF。
- ③ VVVF根据来自TMS的请求施加再生制动并将实际制动力反馈给TMS。
- ④ TMS再将列车的总制动力、各VVVF反馈的实际再生制动力送至各EBCU。

⑤ EBCU 根据总制动力和来自TMS的再生制动力计算和控制空气制动力。

为防止VVVF和牵引电机过热或轮对滑行, TMS控制再生制动切除, 通过TMS切除再生制动力有4种情况：

- ① 如果牵引系统发生某严重故障需要切除, TMS将切除所有VVVF的再生制动以防止VVVF和牵引电机过热。
- ② 如果VVVF检测到滑行现象, VVVF向TMS传输滑行控制信号, TMS向EBCU转送此信号。EBCU控制滑行并向TMS传输再生制动切除信号(为了保护), TMS接收到再生制动切除信号后便切除该车VVVF的再生制动命令。
- ③ 当来自VVVF的电制动有效信号是“0”时(直到制动信号关闭为止), 相应的VVVF再生制动信号将被切除。
- ④ 切除信号作为测试用输入。此信号输入时, 所有VVVF的再生制动信号将被切除。

4 结束语

沈阳地铁1号线车辆电传动系统集成度高、技术参数设置合理、设计理念先进, 并采用了先进、成熟的无速度传感器控制。自2010年9月27日投入试运营以来, 目前车辆性能稳定, 电传动系统的各项技术指标符合设计要求, 能适应沈阳地铁1号线的运行环境。

参考文献：

[1] 三菱电机株式会社. 沈阳地铁1号线牵引制动系统操作手册 [S]. 日本: 三菱电机株式会社, 2009.
[2] 徐惠林. 北京地铁5号线车辆电传动系统 [J]. 机车电传动, 2008(6): 36-39.