

北京昌平线地铁车辆

张 安

(南车青岛四方机车车辆股份有限公司 技术中心, 山东 青岛 266111)



作者简介:张 安(1971-),男,高级工程师,主要从事城轨车辆的研发工作。

摘 要:介绍了北京昌平线地铁车辆,包括车辆的编组和主要技术参数,以及车体、转向架、牵引系统、制动系统、辅助电源系统、列车控制和诊断系统等主要部件和系统的基本特点,并对北京昌平线地铁车辆的主要技术特点进行了总结。

关键词:北京昌平线;地铁车辆;DBPS 蓄电池;缺电保护;列车设备;技术特点;技术参数
中图分类号:U266.2;U231 **文献标识码:**A **文章编号:**1000-128X(2011)03-0056-05

Metro Vehicle of Beijing Changping Line

ZHANG An

(Technology Center, CSR Qingdao Sifang Locomotive & Rolling Stock Co., Ltd., Qingdao, Shandong 266111, China)

Abstract: Metro vehicle of Beijing Changping line was introduced, including vehicle marshalling, main technical parameters, and the characters of system and major components such as car body, bogie, traction system, brake system, auxiliary power supply, train control and diagnosis system. The primary technical characteristics of metro vehicle of Beijing Changping line were summarized.

Key words: Beijing Changping line; metro vehicle; DBPS battery; power-fail protection; train equipment; technical characteristic; technical parameter

0 引言

北京轨道交通昌平线是一条连接中心城区与昌平新城的南北向的轨道交通快速客运线路。线路北端起点位于昌平镇西北涧头村以南规划十三陵镇南侧,至城铁13号线西二站北侧终止。

昌平线全长31.7 km,其中高架线15.5 km,地下线13.2 km。共设站11座,其中地下站5座,高架站6座。昌平线分期建设,一期工程为城南站至西二旗站段,二期工程为十三陵景区站至城东站段,线路长度10.15 km。昌平线车辆初、近、远期均为6辆编组,初期配属车辆27列/162辆,一期配属车辆15列/90辆。

列车充分采用了先进的设计、可靠的技术和成熟的产品,适合北京地铁昌平线的运行环境,节省能源,方便维修和更换。设计中采取了一系列措施满足对环境保护的要求,保证乘客安全,最大程度地方便乘客和乘务员,乘坐舒适。

1 列车编组及主要技术参数

1.1 列车编组

北京昌平线地铁车辆由4动2拖共6辆车编组而成,编组方式为:+ Tc1 - M1 - M2 - M3 - M4 - Tc2 +。其中:+ 为半自动车钩,- 为半永久棒式车钩;Tc1和Tc2为带司机室的拖车,其设备配置相同;M1、M2、M3、M4车为无司机室的动车,且M1和M4设备配置相同,M2车与M1和M4相比少了空压机,M3车与M1和M4相比少了空压机和BHB箱,但多了扩展供电箱。

1.2 列车主要参数

列车设计定员1460人,超员时可载客2070人。设计最高运行速度100 km/h,构造速度110 km/h。

列车主要技术规格和参数如下:

车体长度	
Tc车	19 500 mm
M1、M2、M3、M4车	19 000 mm
车辆高度	3 800 mm
车体宽度(最大处)	2 800 mm

列车两端车钩连接面间长度	118 370 mm
车钩高度	600 ⁺¹⁰ mm
侧门对数	4对/侧
列车载客能力	
定员	1 460 人
超员	2 070 人
车辆两转向架中心距	12 600 mm
固定轴距	2 300 mm
车轮直径	840 mm(新)
轨距	1 435 mm
轴重	14 t
齿轮传动比	99/14 7.07
供电电压	DC 750 V(DC 500 ~ 900 V)
受电方式	第三轨上部接触受电
牵引电机功率(小时制)	180 kW
通过最小曲线半径	
正线	R300 m
车场线	R110 m
最高运行速度	100 km/h
平均旅行速度	50 km/h
(平均站停时间30 s ,不含首末站)	
实际测试平均旅行速度	57.6 km/h
平均加速度(在超员情况下 ,在平直干燥线路上 ,	
车轮半磨耗状态 ,额定电压750 V)为 :	
列车从0加速到40 km/h	1.0 m/s ²
实际测试加速度为	1.02 m/s ²
列车从0加速到100 km/h	0.4 m/s ²
实际测试加速度为	0.64 m/s ²
平均制动减速度(在额定载员情况下 ,在平直干燥线路上 ,	
车轮半磨耗状态 ,列车在最高运行速度	
100 km/h时 ,从给制动指令到停车时)为 :	
最大常用制动	1.0 m/s ²
实际测试减速度为	1.03 m/s ²
紧急制动	1.2 m/s ²
实际测试减速度为	1.22 m/s ²
列车纵向冲击率	0.75 m/s ³
在牵引或制动时实测最大冲击率为	0.73 m/s ³

2 列车的主要设备

列车主要设备布置情况见表 1。

表1 主要设备布置情况一览表

车型	牵引系统	辅助系统	制动系统	空压机	扩展供电装置	BHB箱	蓄电池	信号系统
Tc1								
M1								
M2								
M3								
M4								
Tc2								

2.1 车体

车体为 B1 型车体 ,在外部造型、装饰和车头设计上具有现代城轨列车的造型特点 ,列车采用鼓形断面设计。

北京地铁昌平线不锈钢车体材料采用奥氏体不锈钢(SUS301L系列) ,符合日本标准JIS G4305—1999 ,其中外板采用符合欧洲EN10088标准的EN1.4318材料 ,车体的牵、枕部位采用高耐侯钢 ,其机械性能满足标准GB/T 4171—2008 要求。不锈钢车体具有强度刚度好、抗冲击性好、耐腐蚀、熔点高、外表无涂装、维护方便的突出优点。

车体基础结构设计成薄壁筒型的整体承载结构 ,底架、侧墙、端墙、车顶和司机室等均承受载荷。车体结构具有足够的强度以承受车辆运用过程中的各种载荷 ,并在确保车体有足够的强度和刚度的前提下实现了车体的轻量化。

侧墙采用整体冲压成型的内层筋板。内层筋板结构不锈钢车体避免了传统板梁式结构不锈钢车体易造成强度、刚度的不均匀 ,焊接易变形等缺陷 ,提高了侧墙钢结构的整体承载能力和受力稳定性 ,同时还提高了侧墙钢结构外表面的平整度。

车体的固有振动频率与转向架的固有振动频率错开 ,同时避开了车下吊装电气设备频率的整数倍点以及空压机等产生振动的频率点 ,以防产生共振。

在 Tc 车的前端设置防爬器和吸能装置 ,用于车辆发生碰撞时吸收能量和保护乘客。

2.2 转向架

北京地铁昌平线用转向架为 SDB-140 型转向架。

转向架分为动车转向架和拖车转向架 2 种 ,均为无摇枕结构。两者的主要区别是 : 动车转向架有牵引传动装置(牵引电动机、齿轮传动装置、联轴节) ,动车用构架设有牵引电机吊座、齿轮箱吊座等 ; 拖车转向架没有牵引传动装置 ,其他结构基本相同。该转向架主要特点如下 :

基础制动采用盘形制动 ,制动盘独立承担摩擦制动热负荷 ,与踏面制动相比极大改善了车轮工作环境 ,降低了车轮踏面异常磨耗的发生机率 ,大大提高了车轮使用寿命。

为适应速度提高到 140 km/h 的要求 ,一系悬挂采用在地铁和高速动车组广泛运用的轴箱转臂式定位结构 ,具有较大的水平定位刚度 ,提高了车辆的临界速度 ,同时具有较低的垂向刚度 ,可以保证较好的垂向舒适性 ,降低车辆轮重减载率和脱轨系数 ,提高了运行安全性。

采用小刚度、大柔度的空气弹簧来改善车辆乘坐舒适性。空气弹簧气囊下的紧急弹簧(橡胶堆) 具有较低的垂向和横向刚度 ,可以保证空气弹簧失效的紧急工况下 ,车辆仍能够按照正常运营速度安全运行。

空气弹簧使用寿命不小于8年。

牵引装置采用“Z”字形全弹性无间隙牵引装置,通过优化牵引刚度,隔离转向架纵向伸缩振动通过中心销向车体弯曲模态振动的传递。

二系设置过充止挡,既有防止空气弹簧垂向过充功能,又实现了整体起吊功能,吊起车体时能够将转向架一起吊起。

车轮降噪阻尼环在车轮发生振动时,通过阻尼环与车轮之间摩擦产生界面阻尼耗能,能够起到抑制车轮径向和横向模态振动的作用,减少车轮向外辐射

噪声,从而获得较好的降噪效果。

互换性能好,不仅相同类型的转向架可以互换,而且动车转向架和拖车转向架的大部分部件都可互换。

2.3 牵引系统

列车的牵引及其控制系统采用车控方式,每套VVVF逆变器给一辆动车上的4台牵引电机并联供电。牵引主电路原理图见图1,主要设备有受流器、MS/BS箱、MF箱、HB箱、VVVF逆变器箱、滤波电抗器、牵引电机等。

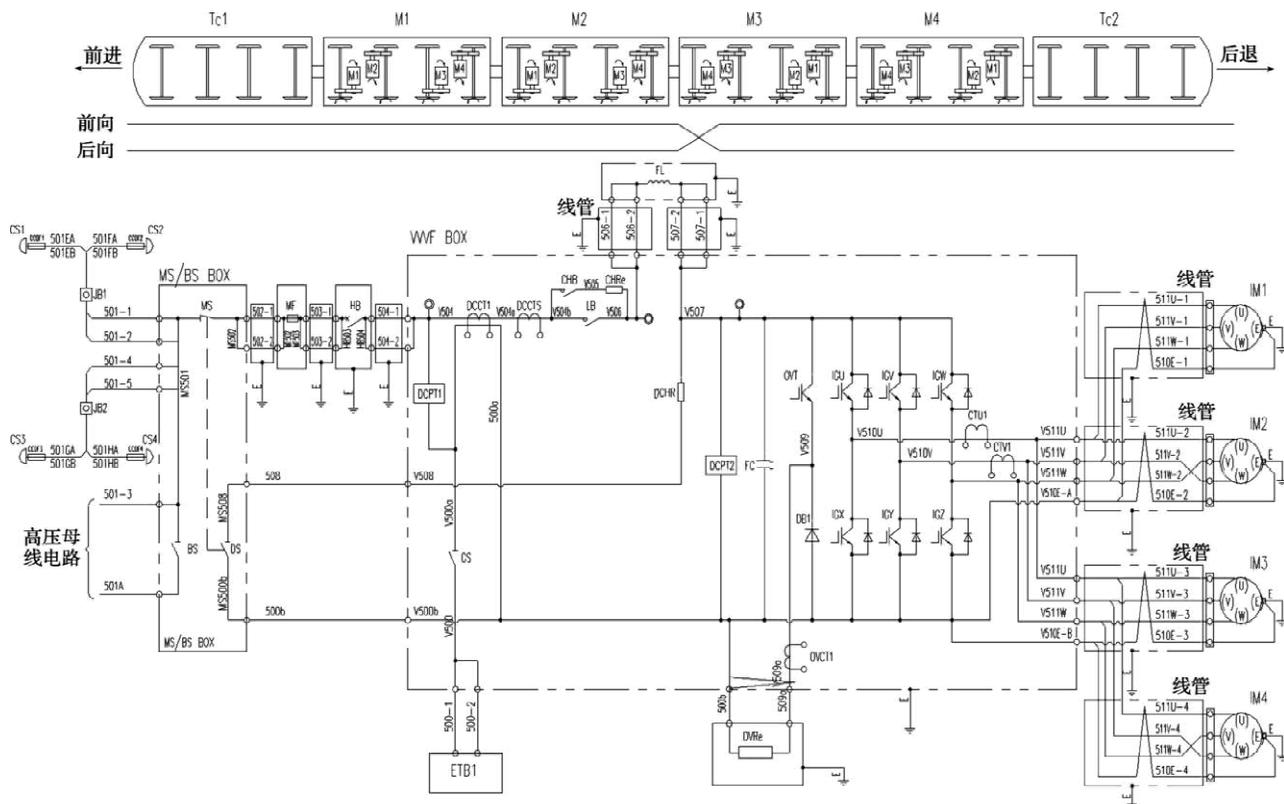


图 1 牵引主电路原理图

VVVF逆变器采用无速度传感器矢量控制,与采用速度传感器的相比,具有结构简单、维护少,可靠性高等特点。系统具有快速响应的防空转与防滑行的控制功能,通过对列车速度进行实时监控,当检测到车轮发生空转或滑行时迅速重新恢复轮轨粘着,有效抑制空转与滑行。VVVF逆变器通过与制动系统的联合控制实现列车防滑行的控制,使列车能平稳可靠地运行。

VVVF逆变器的控制单元具有各种运行条件下的快速响应能力和有效的保护。自我监控与诊断功能集成在逆变器控制功能中,可以将重大故障等事件存储在监控装置中,以便用于维护、维修和故障诊断。VVVF逆变器通过通信总线方便地与制动控制装置进行数据交换,并能通过通信总线方便地和列车控制和诊断系统交换数据。

2.4 制动系统

制动系统具有常用制动、保持制动、紧急制动及停放制动功能。制动系统以二动一拖为一个单元进行

电空混合常用制动控制,按列车制动力的需求,优先使用动车上的电制动(再生制动),电制动力不足时由空气制动补充,制动控制装置根据实际电制动力的大小来确定是否需要补充空气制动以及补充多少空气制动。电制动与空气制动随时自动配合、平滑转换,使列车不至产生过大的冲动。列车冲动限制小于 0.75 m/s^3 。

两辆动车和一辆拖车组成一制动单元,主要包括风源系统、司机制动控制器、电空制动装置(含紧急制动装置和电子控制装置)、基础制动装置、停放制动装置、空气弹簧控制装置等。

图2为制动电气控制系统框图,司控器同时产生模拟和数字2种制动控制指令。模拟控制指令由列车控制和诊断系统采集,然后通过MVB总线传送到每一个车的制动控制装置(BCU)。数字编码指令通过制动编码列车线直接送到BCU,当网络控制系统正常时,优先使用由网络传送的模拟制动指令,当网络系统故障无法传送制动指令时,BCU使用由列车线传送的数字编

码指令。制动编码列车线除了传送司控器的冗余数字编码外，还用于回送时的制动控制。

列车具有故障导向安全的紧急制动系统，紧急制

动完全由空气制动承担。

制动控制装置可通过 MVB 通信总线方便地与列车控制和诊断系统交换数据。

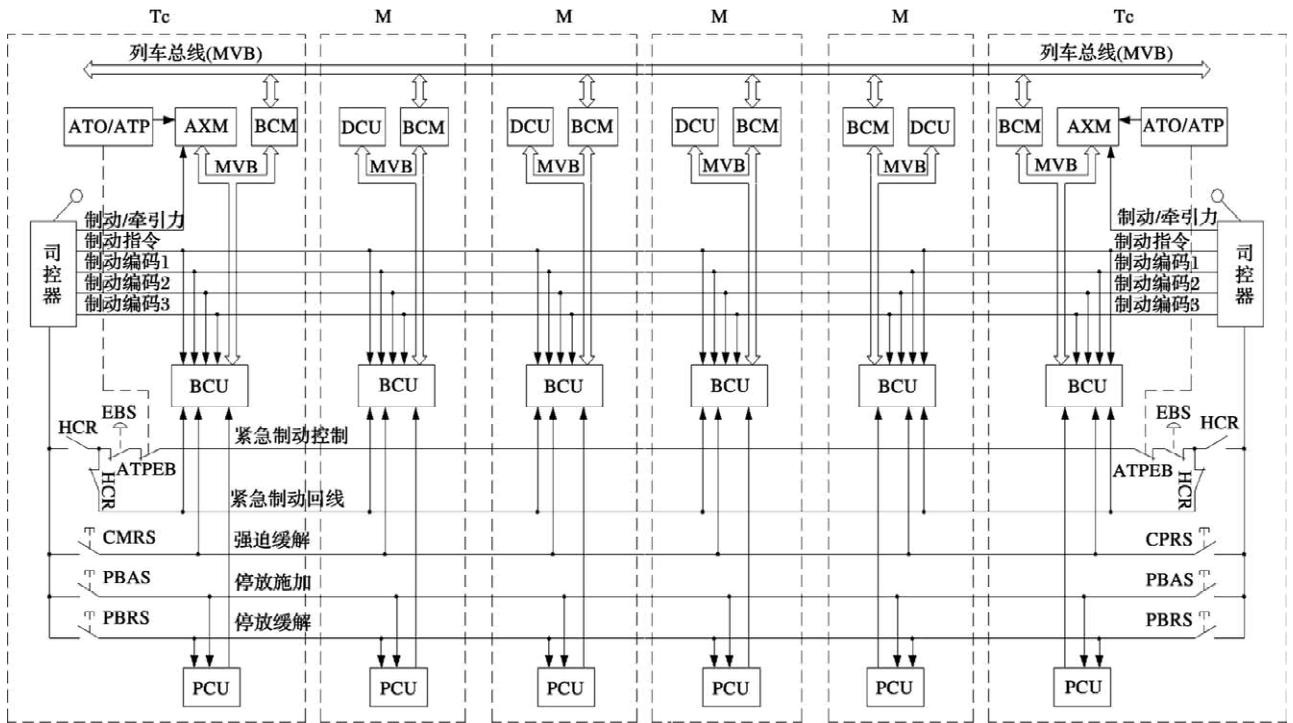


图 2 制动电气控制系统框图

BCU——制动控制单元；PBS1——停放制动施加按钮；EBS——紧急制动按钮；HCR——头车控制继电器；DCU——牵引控制单元；BCM——总线耦合模块；PCU——停放制动控制装置；PBS2——停放制动缓解按钮；ATPEB ATP——紧急制动继电器；CPRS——强迫缓解按钮；AXM——模拟量输入/输出模块

2.5 辅助供电系统

每列车设 2 套 185 kVA 的辅助逆变器(SIV)系统,主要设备均安装在 Tc 车。在正常情况下,2 台辅助逆变器的输出能力满足列车各种负载工况的用电要求,当其

中一台辅助逆变器故障时,另一台承担 6 辆编组列车运行所需的负载,此时空凋制冷能力减半。

辅助电源系统主电路原理图见图 3。辅助电源系统由如下部件组成:IVS 箱、IVHB 箱、SIV 辅助逆变器箱、

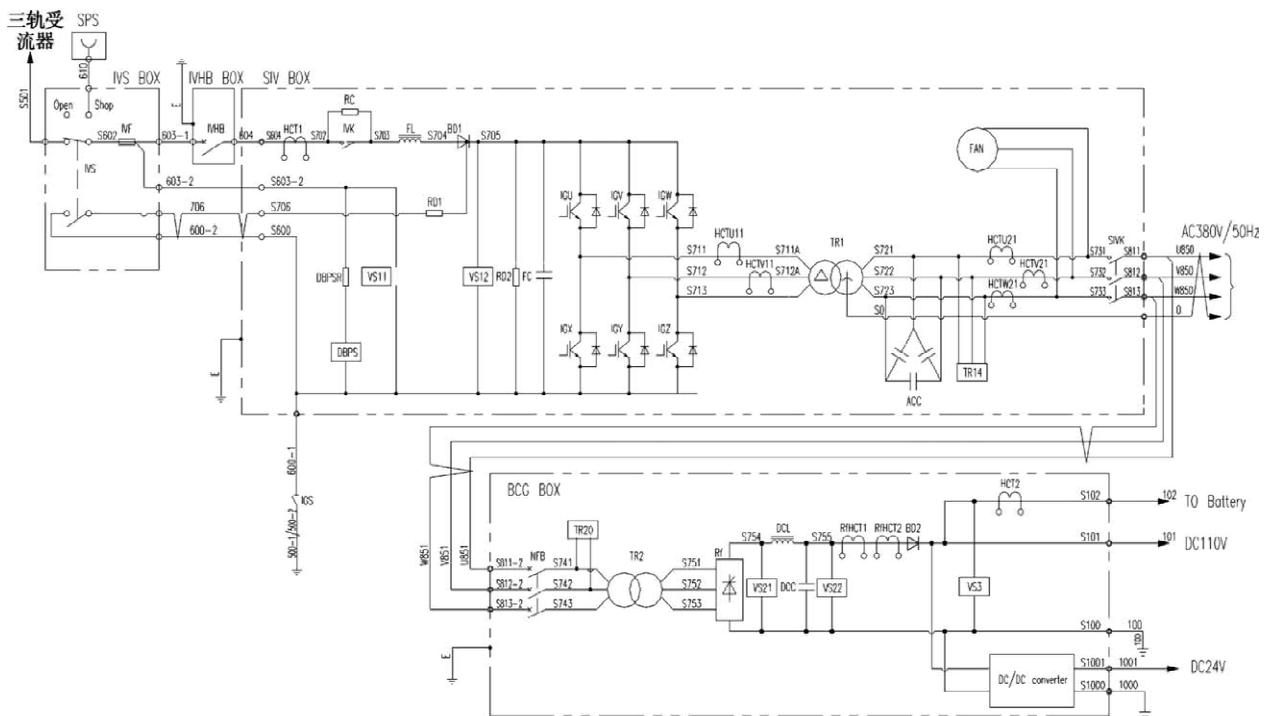


图 3 辅助系统主电路原理图

BCG 充电器、蓄电池组等。

辅助电源系统能提供 3 种输出电源,即工频三相交流 380 V、直流 110 V 和直流 24 V,作为列车照明、空调与采暖、列车控制和诊断系统、电动车门、蓄电池充电及各系统控制和显示回路,以及车载信号和通信设备的电源。

主要技术特征:

辅助电源系统具备足够的过载能力,在短时间能承受住负载启动电流的冲击;并在输入电源及负载突变条件下,瞬间输出电压变化尽量小,不会影响所有负载电机电器的正常工作。在输入电压为额定电压 DC 750 V,150% 额定输出时,装置维持运行 10 s 后关断;200% 额定输出时,装置立即关断。

输出波形畸变率小,输出的交流电压基波为正弦波,精度为 ± 5%,输出的直流电压精度为 ± 3%,波形的畸变率均小于 5%。

满足对蓄电池组的浮充电要求。

具有故障自存储功能,并能通过通信总线方便地向列车控制和诊断系统传输数据。

2.6 列车控制和诊断系统

列车控制和诊断系统采用分布式控制技术(列车控制和诊断系统拓扑图见图 4)。列车控制和诊断系统是一个集控制、信息采集、记录和显示的完全国产化的 TCN 网络系统,符合 IEC 61375 标准,具有列车牵引、

制动和其他辅助设备(如空调、HB、SIV 等)的控制功能,能对列车主要设备的运行状态和故障进行自动信息采集和诊断、记录和显示,并可通过读出器将数据读出和打印。

整个列车控制和诊断系统网络划分为三级,由贯通全列车的列车总线、贯通一个车辆的车辆总线以及车辆内与部分子系统通信的局部总线组成。列车总线和车辆总线之间通过车辆控制模块 VCM 交换数据;车辆总线和局部总线之间通过 MVB、RS485 通信模块、RCM/HCM 通信模块交换数据。

不论是 MVB EMD 列车总线还是 MVB ESD+ 车辆总线,通信线路均采用双通道热冗余设计,当某一路通信线路出现故障时,系统可以自动切换到另一路通信线路。对于关键的车辆控制模块 VCM,由于其要实现重要的车辆控制、总线管理和网关功能,因此在每列车对 VCM 做了热冗余配置,在当前主 VCM 出现故障的时候,备用 VCM 将接管主 VCM 的职责,行使所有的控制功能。

列车控制和诊断系统还支持车辆的维护工作,包括支持检查功能和自诊断功能。通过设在司机操纵台内的数据读取接口或设在车下牵引逆变器、辅助逆变器等设备内的数据读取接口可方便地下载运行记录或故障记录数据,用于分析运行状况或分析故障原因等。

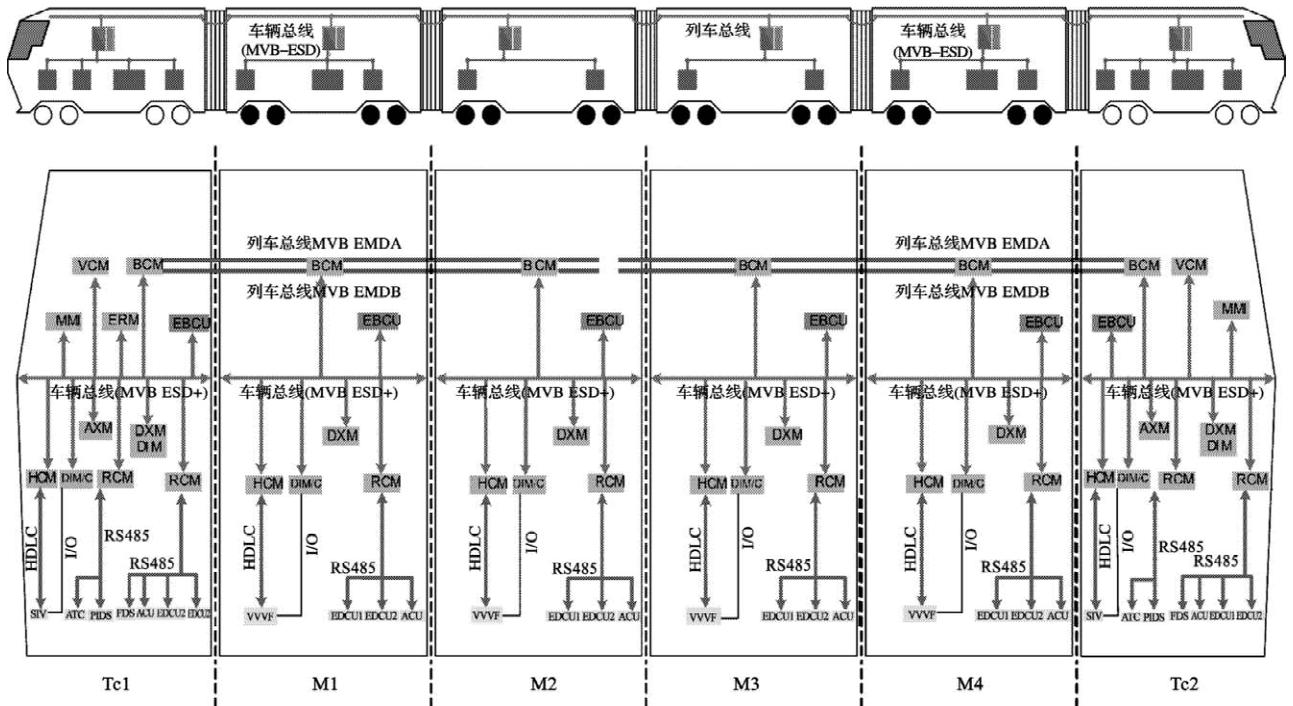


图 4 列车控制和诊断系统拓扑图

3 列车的主要技术特点

列车采用国产化的 ATC 信号系统,具有 ATO 自动驾驶功能。

列车具有强大的牵引动力,从 0 加速到 100 km/h

的平均加速度大于 0.6 m/s^2 ,远高于合同要求的 0.4 m/s^2 ,且运用适应性强。从供电电压方面来说,能适应电压从 DC 500 V 到 DC 900 V 的变化并保持正常工作;从运用环境来说,能适应地面风、砂、雨、雪的侵蚀及地面与高架线路的粘着条件运行等。(下转第 82 页)

5SJ5110-7CC20单级自动开关32-F24长期闭合有效解决一节机车电压低、充电机故障、失电现象。该开关长期闭合电压低的一节机车蓄电池电压低于77 V继电器不会动作,因此,整备作业必须先断开32-F24单级自动开关再检查每节机车蓄电池。

机车长时间降弓,为防止2节机车蓄电池同时亏电,此时必须断开32-F24单级自动开关,保证来电后闭合开关正常升弓。

日常整备作业必须断开该开关,检查2节车蓄电池电压,电压正常将开关闭合,电压不正常及时提票。

日常运行中如遇接触网停电时为防亏电,必须断开此开关,等待接触网来电后再将开关闭合。

日常修程时,必须断开一节机车蓄电池闸刀,闭合32-F24单级自动开关,检查重联功能,有问题及时进行处理,同时对标牌进行检查,对不良的进行更换。

日常运行中同时还应将单极开关32-S10闭合,以方便司机观察2节车蓄电池是否亏电,如遇一节蓄电池亏电做好记录,并及时向段整备及检修车间汇报提票处理。

3 结语

HX_{b1}机车有其自身的特点,特别是使用在环境恶劣的大秦线上,如何运用科学手段解决安全生产中的实际问题,是今后继续努力的一个方向。在以上的探讨中可以看到,通过改进蓄电池组重联控制方式,切实弥补了2节车控制电源不具备重联功能的缺陷。在开通2万吨重载列车的初期,因蓄电池亏电、充电机故障造成的机故救援曾频繁发生,经过技术改进后有效地控制住了机车故障。

参考文献:

- [1] 郑树选. 8K型电力机车[M]. 北京:中国铁道出版社,1994.
- [2] 张有松,朱龙驹. 韶山4型电力机车[M]. 北京:中国铁道出版社,2001.
- [3] 张曙光. HX_{b1}型电力机车[M]. 北京:中国铁道出版社,2009.
- [4] 张曙光. HX_{b2}型电力机车[M]. 北京:中国铁道出版社,2009.

(上接第60页)

列车采用符合国际标准IEC 61375的完全国产化列车控制和诊断系统及制动系统,它具有冗余性高、安全可靠、使用业绩丰富等特点;与其他项目相比,它可提供更多与车辆子系统的接口方式如MVB、RS232、RS485等,而且可以同时接口2种形式的RS485,即RS485(UART)和RS485(HDLC)。

风源系统采用先进的螺杆式空压机组,与城轨车辆通常采用的活塞式空压机组相比,这种空压机组不仅运转平稳、噪声低、可以连续工作、油乳化几率低,而且可靠性高、寿命长、维护工作量极少。

与其他100 km/h项目的转向架相比,SDB-140型转向架可以适应于100 km/h及以上速度等级的列车,具有技术先进可靠、结构简单、维护量小、安全性高、高速舒适性等特点。车轮装有降噪阻尼环可以获得较好的降噪效果。

每辆Tc车设2套轴端接地装置(每个转向架1套),每辆动车设4套齿轮箱接地装置(每个轴1套),Tc车和相邻动车间不设DC 750 V高压回流负线,优化了列车接地回流系统。

列车牵引系统不设制动电阻,但设有过压吸收电阻,通过过压吸收电阻,吸收再生制动产生的一部分电能,进行平滑的电制动—空气制动转换。

辅助逆变器(SIV)具有DBPS蓄电池缺电保护功能,当列车蓄电池欠压失电时,SIV可通过DBPS装置将DC 750 V高压直接变换为DC 100 V控制电源给SIV供电,保证SIV正常启动。

列车采用的烟火报警系统具有冗余性高、先进可靠等特点,可以监测客室内和司机室内的情况,并与列车的CCTV视频监视系统可靠联接,方便司机的监控。

车辆间采用大贯通道,能使乘客方便地在车内流动。客室车窗、座椅、扶手杆及内装饰的设计美观大方,增强了乘客的方便性与舒适性。

①与以前项目相比,车下的制动、牵引、辅助、蓄电池、风源等设备布置的模块化设计,以及内装骨架、内装板、内装设备的模块化设计,更便于制造和日常维护。

②车辆的设计生产还充分考虑了防火与环保的要求,能最大限度地保证乘客的安全。车辆所用材料均为阻燃或难燃材料,满足低烟、低毒的排放标准,并符合DIN 5510标准规定。

4 结语

北京昌平线电动客车通过严谨有效的设计、组织,在极短的时间内完成了生产、试验和交付,其大部件均按要求通过了EMC、振动和其他常规试验,编组后的列车也通过了列车级的各种试验,且主要技术参数均优于合同的规定。列车现已投入运营,运营情况良好。

参考文献:

- [1] GB/T 7928—2003,地铁车辆通用技术条件[S]