

广州地铁6号线直线电机车辆技术与4号线和5号线车辆的区别

游高祥

(广州市地下铁道总公司 运营事业总部, 广东 广州 510310)



作者简介: 游高祥 (1983-), 男, 工程师, 现主要从事地铁车辆技术管理、车辆维护等工作。

摘 要: 介绍广州地铁6号线直线电机车辆技术, 阐述6号线车辆与4、5号线车辆的区别, 总结出6号线车辆设计上是在改进4、5号线车辆不足的同时得到了优化。

关键词: 直线电机车辆; 技术分析; 技术改进; 广州地铁4号线; 广州地铁5号线; 广州地铁6号线

中图分类号: TM389.4; U231 文献标识码: A 文章编号: 1000-128X(2012)02-0049-05

Linear Motor Vehicle Technology of Guangzhou Metro 6th Line and Difference from 4th & 5th Line Vehicle

YOU Gao-xiang

(Operation Business Division, Guangzhou Metro Corporation, Guangzhou, Guangdong 510310, China)

Abstract: Linear motor vehicle technology of Guangzhou metro 6th line was introduced, and the difference from 4th & 5th line vehicle was illustrated, which pointed out that the vehicle design of 6th line was improved and optimized based on 4th & 5th line vehicle technique.

Key words: linear motor vehicle; technology analysis; technology improvement; Guangzhou metro 4th line; Guangzhou metro 5th line; Guangzhou metro 6th line

广州地铁6号线西起白云区的金沙洲, 向东南穿越荔湾区、越秀区, 之后折向东北, 经天河区, 止于萝岗区。6号线线路全长41.95 km, 共设32座车站, 其中29座地下站, 3座高架站。首期工程浔峰岗—长湴段, 线路长24.51 km, 其中地下线长21.31 km, 高架线长2.9 km, 过渡段长0.3 km, 共设22座车站, 其中19座地下站, 3座高架站, 共有9座车站分别与其他轨道交通线路换乘。二期工程长湴—香雪段线路长约17.44 km, 全为地下线, 共设10座车站, 全为地下站, 设换乘站一座, 在暹岗与规划4号线换乘, 植物园站预留远期线路拆分运营的条件。6号线车辆最高运行速度90 km/h, 采用4辆编组直线电机车辆, 平均旅行速度为35 km/h。

1 6号线车辆技术

6号线车辆基本技术条件是根据广州地区的自然环境、快速干线行车组织的需求以及线路的主要参数、供电条件、车辆轮廓限界等, 对车辆种类、列车编组、

载客能力、车辆自重、列车速度、启动平均加速度、制动平均减速度等技术参数和技术指标提出的。

1.1 车辆基本尺寸

6号线车辆由4节编组的2个单元车组成(A车+B车组成1个单元) A车长度17 600 mm B车长度16 840 mm, 4节编组长度71 640 mm(不包括列车两端自动车钩)/72 260 mm(包括列车两端自动车钩)。列车编组如图1所示。

车体宽度: 车体外部最大宽度不大于2 900 mm, 车辆地板面宽度处为2 800 mm。

车辆高度(轨面至车顶高、新轮): 含排气口及空调单元不大于3 650 mm, 受电弓落弓高度不大于3 650 mm。

车辆中心高度(客室净高): 地板面到天花板中心最小高度为2 100 mm, 客室内乘客站立区最小高度为1 900 mm。

轨面到地板面高度930 mm(正常运营状态、空载、新轮), 车钩中心线距轨面高度为500 mm。

6号线车辆额定载客量(6人/m²)为918人/列, 超载情况下(9人/m²)达到1 318人/列。

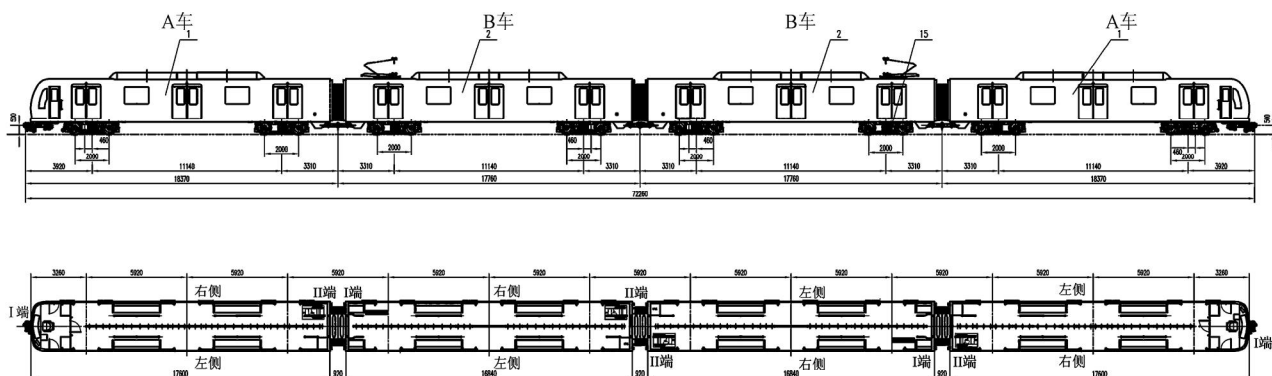


图 1 6 号线车辆编组图

1.2 车辆主要配置及参数

牵引系统采用直线电机和VVVF牵引逆变器,6号线车辆为全动车,每个转向架上安装1台直线电机,每节车配备1套VVVF牵引逆变器(1个单元车的2套VVVF逆变器安装在1个箱体体内)。直线电机采用大功率、自然风冷交流电动机,电机持续功率为130 kW,小时功率达到165 kW;VVVF牵引逆变器采用3 300 V、1 200 A的IPM 半导体元件,逆变器具备故障诊断及在线状态监视功能,制动电阻安装在地面变电站而不装在列车上。

制动系统采用EP2002设备,制动系统在每个单元内构成1个通信网络并与列车控制系统通信,每个转向架均有1个EP2002设备(G阀或S阀),每节车配置1个空气控制屏。

辅助系统采用集中供电方式,每个单元车配置1台大容量三相380 V静态逆变器和直流110 V整流器,380 V交流逆变器容量为124 kVA,直流110 V整流器容量为16 kW。2个单元车之间静态逆变器故障情况下采用扩展供电方式。

转向架采用柔性技术,每节车配备2个转向架,主要参数如下:转向架中心距为11 140 mm,转向架轴距为2 000 mm,轮对内侧距为1 353±2 mm,车轮直径(新轮)为730 mm,半磨耗为690 mm,全磨耗为650 mm。

每节车配置2套车顶轻型空调机组,机组制冷量为35 kW,送风量为4 250 m³/h,新风量为1 300 m³/h,紧急通风量为1 735 m³/h,制冷剂为R407C。

列车控制系统采用ATA878标准ARCNET网络,采用“目”形拓扑结构,网络与各子系统通过RS485通信。

车门采用电动微动塞拉门,每节车每侧3对车门,车门宽度为1 400 mm,高度为1 860 mm。

1.3 列车牵引性能

列车结构速度为100 km/h,列车最大运行速度为90 km/h,冲击极限为0.75 m/s³,负荷为AW2,供电电压不小于1 500 V,在平直轨道上,列车启动平均加速度(0~35 km/h)不小于1.0 m/s²,列车平均加速度(0~90 km/h)不小于0.5 m/s²。

1.4 列车制动性能

在额定负荷(AW2)平直干燥轨道上,车轮半磨耗状

态,额定供电电压,列车最大运行速度90 km/h,常用制动平均减速度不小于1.0 m/s²,快速/紧急制动平均减速度不小于1.3 m/s²。

常用制动对所有负载工况(AW0~AW3)均有效,即满足制动减速度和冲击极限的要求。停放制动能使超负荷(AW3)的列车在55‰坡道上制停住,停放制动能使空车(AW0)的列车在60‰坡道上制停住。

1.5 列车故障运行及救援能力

当损失1/4动力时,在AW2状态下可以保证列车以最高速度不低于80 km/h运行一个往返;当损失1/2动力时,在AW2状态下,列车可在55‰的坡道上启动行驶到最近车站;当损失1/2动力时,在AW0状态下,列车能不低于60 km/h速度运行,并保证列车正常的常用制动减速度;一列空载列车牵引一列AW3(无动力)故障列车能在55‰的坡道上启动行驶到最近车站。

2 6 号线车辆与 4 号线及 5 号线车辆的区别

4 号线车辆是国内第1条采用直线电机驱动的城市轨道车辆,且车辆的设计、生产周期均比较短,车辆在设计过程中有些情况并没有考虑得非常详细。

4、5 号线车辆经过6年的运营,在运营中出现一些异常现象,如能耗偏大、车轮不圆、接地装置断裂、制动盘磨耗过快等。

6 号线车辆在设计上和4、5 号线^[1]有许多区别,从整车重量、客室布置、车钩形式、转向架到制动方案、列车网络控制方案均有比较大的变动。

2.1 车辆重量

车辆重量是车辆设计/制造过程中非常重要的参数,车辆的重量直接影响能耗、运营成本,特别是直线电机车辆,由于直线电机的效率和功率因数比传统电机要低,因此直线电机车辆轻量化是其发展趋势。

6 号线车辆在设计时充分考虑减轻车辆重量的各种方法,主要减重措施有:优化内装墙板、照明灯具、风道布置;立柱扶手、客室座椅骨架采用铝合金材料;优化车下线槽和次地板安装;增加网络传输信号,减少硬连线。通过以上变更后6号线每节车比

4、5号线的要轻1 t左右,为29 t左右。

2.2 客室布置

为了提高服务水平,让乘客感受更舒适的乘车环境,6号线车辆客室布置进行以下几方面优化:

每节车厢内增加1个轮椅区及轮椅扶手、安全带,方便残疾人乘坐地铁,并可将轮椅安全固定在扶手上。

调整客室立杆布置,将车门正中的立杆往两边调整,有效引导乘客往车厢中间移动,有利于乘客快速上下车。

在客室底部增加空调回风口,有效延长空调空气回路,增加空气流动,使客室空气温度更均匀。

为方便维护/维修,调整客室座椅上方玻璃尺寸及取消车厢两端小玻璃。

调整客室媒体播放LCD屏到座椅上方,方便乘客欣赏节目。

2.3 车辆连挂方式

地铁列车由不同车厢组成,2节车厢之间通过车钩连接,列车车钩可分为全自动车钩、半自动车钩和半永久牵引杆。通常情况下,单元车内部采用半永久牵引杆连接;2个单元车之间通过半自动车钩连接;2个头车前端采用全自动车钩以保证连挂运行时各项功能。随着运用经验的积累,地铁列车很少会将2个单元解编后重新编组运用,4节编组列车相对比较短,在架/大修时可以通过架车机同时架起。因此,6号线车辆与4、5号线相比减少了半自动车钩,车辆连挂方式为: -A+B+B+A-,其中“-”为全自动车钩,“+”为半永久牵引杆。

2.4 转向架

转向架承受车辆自重和载重,并使这些重量均匀分布给各个车轮,传递给钢轨。6号线车辆转向架在4、5号线车辆转向架基础上进行了局部优化,如车轴加粗、接地装置改为内置式、电机高度调整装置增加锁定装置等。

2.4.1 车轴加粗

为了解决4、5号线车辆车轮不圆问题,通过对4、5号线车辆一系列试验调查,包括4号线直线电机车辆振动试验(电机吊杆更换前后)和4号线切除电机试验(1节车分别切除1个电机和拆除1个电机),对转向架各个主要部件再次进行仿真计算,得出产生车轮不圆的主要原因是:轮对的1阶弯曲频率和直线电机的回弹频率之间的谐振造成轮轨间的垂向和横向力的周期性的变化。

为避免轮对和电机之间的谐振,6号线车辆轮对的弯曲频率由91.5 Hz提高到103 Hz,通过计算车轴各个部位变化对弯曲频率的影响,最终确定将车轴中间部分直径从136 mm增加到155 mm,以及直线电机两边的车轴处直径从136 mm增加到168 mm,如图2所示。

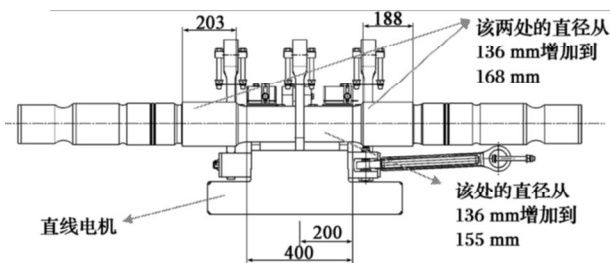


图2 6号线车辆车轴加粗示意图

2.4.2 内置式接地装置

4、5号线车辆采用内置式轴箱,外置式接地装置,因此接地装置上需设置轴承来连接转动的车轴和不动的碳刷,从而增加接地装置体积和重量。另外接地装置安装在轴端,车轴的弯曲振动在轴端更为明显,4、5号线车辆接地装置出现过断裂、脱落等问题。

6号线车辆采用和内置轴箱直接连接的接地装置,由于接地装置金属环直接过盈安装在车轴上,外壳安装在轴箱上,因此可以避免断裂、脱落等问题。另外,新型接地装置结构更为简单、体积小、重量轻、维护量小。6号线车辆接地装置如图3所示。

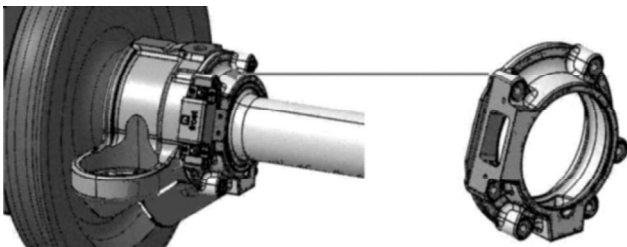


图3 内置式接地装置

2.4.3 优化直线电机气隙调整装置

直线电机车辆与旋转电机车辆一个区别就是前者电机被分为一次侧和二次侧2部分,分别安装在车辆和轨道上,后者电机的一次侧和二次侧组装成一个整体只安装在车辆上。一次侧和二次侧之间的间隙对电机的效率和功率因数有直接关系,间隙越小,效率和功率因数越高。由于车辆运行时会产生垂向振动,为避免一次侧和二次侧刮碰,直线电机车辆的电机气隙不能调整太小。

车辆运行一段时间后,车轮磨耗一定值时或由于某些原因导致车轮镟修时,需要重新调整电机气隙。4、5号线电机气隙调整装置双头螺柱下端松动、橡胶圈转动等问题,在6号线车辆设计时进行了优化,如:在双头螺柱下端增加止动圈及固定销,在橡胶圈中间增加固定销及增加上部锁紧垫片等措施。

2.5 感应板

直线电机的效率和功率因素均比旋转电机高。为了提高效率、节约运营能耗,6号线正线铺装叠片式感应板,对比4、5号线整体式感应板,提高了6号线车辆直线电机效率,电机功率同时可提高10%,在同等牵引性能情况下可降低电机电流,从而降低能耗,节约运

营费用。

2.6 制动方案

6号线车辆制动方案和4、5号线车辆一样,分为常用制动、快速制动和紧急制动,制动系统均负责管理列车制动计算、制动施加/缓解等。

6号线车辆紧急制动性能比4、5号线的更优,充分利用了直线电机车辆电机和感应板之间电制动力,不受限于轮轨粘着,优先使用电制动。4、5号线车辆紧急制动全部由气制动施加;而6号线车辆紧急制动分2级,第1级优先使用电制动,电制动力不够时补充气制动,如警惕按钮引起的紧急制动、方向手柄引起紧急制动、ATC发出紧急制动等;第2级采用纯空气制动,由司机按下紧急制动按钮。在任何1个电制动故障及第1级紧急回路故障情况下将自动转为第2级,保证列车安全。

6号线车辆的常用制动方案也进行了优化。在常用制动电制动不足时,气制动将补充电制动不足部分。4、5号线列车气制动在1个单元车所有转向架上同时调整气制动方案,如图4所示。6号线列车采用在1个单元车内转向架分步调整方案,即在只需补充小气制动力时,

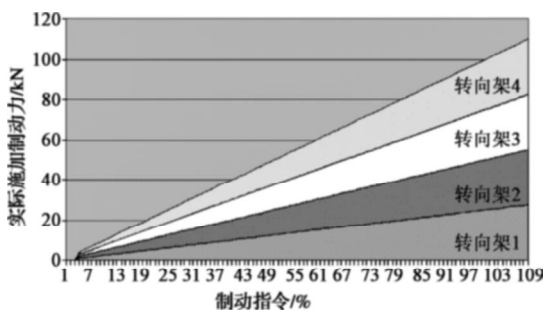


图4 4、5号线气制动补充方案

逐个转向架投入气制动,如图5所示。该方案可以有效解决4、5号线车辆运营过程中频繁补充过小气制动,导致制动盘磨损过快问题。

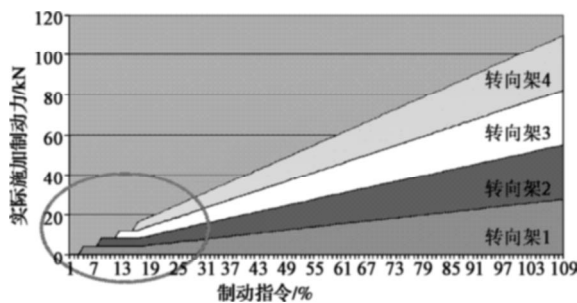


图5 6号线气制动补充方案

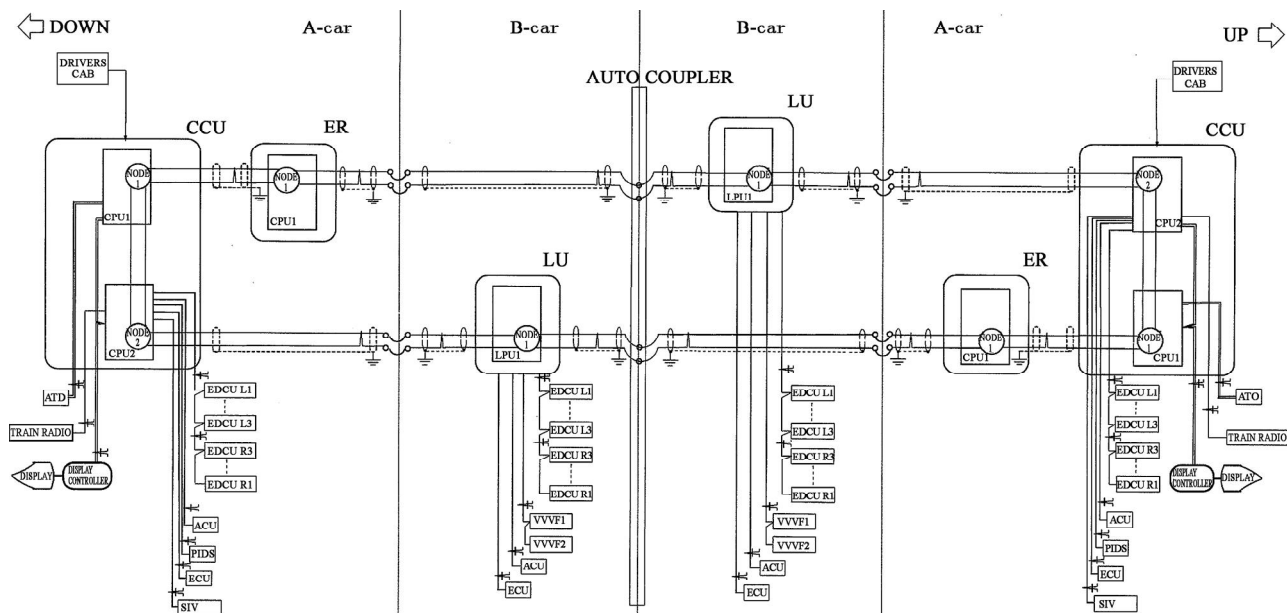
2.7 列车网络传输控制

4、5、6号线列车控制系统网络均采用ARCNET总线,但在组网方式、传输信号及控制列车功能方面有差别。

2.7.1 网络拓扑

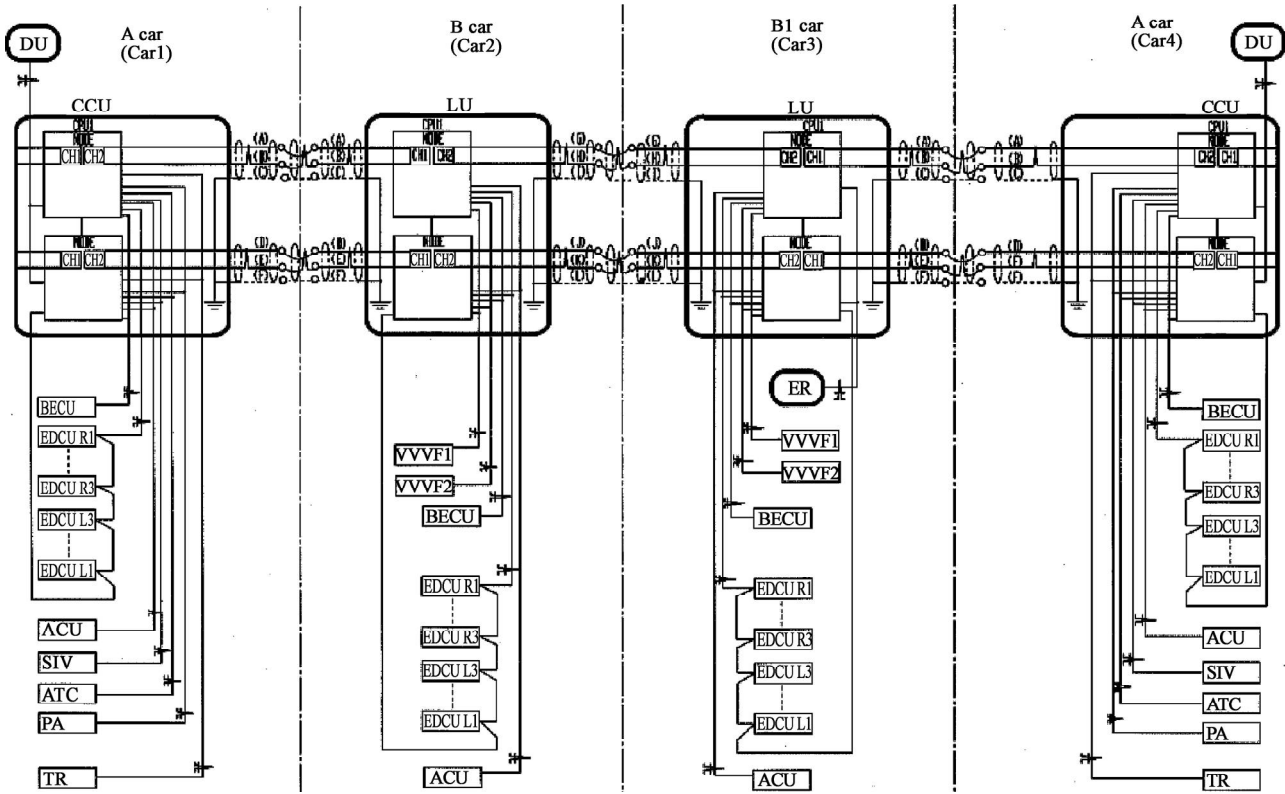
4、5号线列车总线设备主要由中央控制单元(CCU)、本地控制单元(LU)、事件记录仪(ER)等设备组成环形网络,车辆各子系统(如牵引系统、气制动系统等)通过本车CCU或LU与列车控制系统通信,其中CCU具备双CPU冗余功能,网络拓扑如图6所示。

6号线车辆CCU和LU均为双CPU冗余结构,各车之间CCU或LU组成环形网络,CCU和LU内部2个CPU通过内部总线通信,列车上其他各电气系统与CCU或LU的2个CPU遵循主从控制方式通信,因此,列车网络具备更好的冗余功能,网络拓扑如图7所示。



CCU——中央控制单元;LU——本地控制单元;ER——事件记录仪;DISPLAY——司机显示器;DISPLAY CONTROLLER——显示器控制器;ATO——列车自动驾驶系统;TRAIN RADIO——列车无线电系统;EDCUXX——车门控制单元XX;ACU——空调控制单元;PIDS——乘客信息系统;ECU——气制动控制单元;SIV——静态逆变器;VVVFx——牵引逆变器x

图6 4、5号线列车控制系统拓扑图



CCU——中央控制单元；LU——本地控制单元；ER——事件记录仪；DU——司机显示器；ATC——列车自动驾驶系统；TR——列车无线电系统；EDCUXX——车门控制单元XX；ACU——空调控制单元；PA——乘客信息系统；BECU——气制动控制单元；SIV——静态逆变器；VVVFX——牵引逆变器X

图 7 6 号线列车控制系统拓扑图

2.7.2 传输信号

6 号线列车网络传输信号除 4、5 号线列车主要传输各子系统状态信息及故障信息外，还有许多控制信号也通过网络传输，如牵引/制动指令、牵引/制动参考值、牵引/制动模式等，这样可减少车辆布线、降低车重、减轻车辆维护量。

2.7.3 列车控制及保护

6 号线列车网络控制及保护功能比 4、5 号线更加强，除实现 4、5 号线空调/空气压缩机顺序启动、零速信号控制、停放制动控制、主风缸压力监视等功能外，6 号线列车网络还可实现牵引/制动控制、高速断路器控制、洗车模式/高加速模式等功能；在保护功能上实现车门启动联锁及旁路、气制动联锁及旁路、停放制动联锁及旁路等。大大简化硬件电路设计，减少车辆维护量。

3 结语

广州地铁 6 号线是广州第 3 条采用直线电机车辆运输线路，也是国内第 4 条直线电机车辆线路。6 号线车辆于 2011 年底调试，计划在 2012 年投入运营。相信在技术上优化后的 6 号线车辆在运营中可靠性将大大提高。

参考文献：

[1] 庞绍煌，高伟. 广州地铁 4 号线直线电机车辆[J] 都市轨道交通，2006(1)：77-79.
[2] 广州市地下铁道总公司. 广州市轨道交通六号线直线电机车辆采购合同[M] 广州：广州市地下铁道总公司，2010.
[3] 南车青岛四方机车车辆股份有限公司. 广州地铁 6 号线设计联络资料[M] 青岛：南车青岛四方机车车辆股份有限公司，2010.