

研  
究  
开  
发160 km/h内燃交流传动轨道车  
电气牵引系统

肖功彬, 杨 格

(株洲南车时代电气股份有限公司 技术中心, 湖南 株洲 412001)



**摘 要:** 主要对160 km/h内燃交流传动轨道车电气牵引系统中主传动系统、控制系统进行了系统介绍,对电气牵引系统在装车试验中遇到的中间直流环节电压振荡问题进行分析,提出解决措施。

**关键词:** 160 km/h 轨道车; 电气牵引系统; 主电路; 控制系统; 中间直流环节; 电压振荡

**中图分类号:** U216.61 **文献标识码:** A **文章编号:** 1000-128X(2012)05-0034-05

**作者简介:** 肖功彬(1971-),男,高级工程师,从事交流传动内燃机车电传动系统的研究与开发。

## Electric Drive System of 160 km/h Diesel Engineering Vehicle

XIAOGong-bin, YANGGe

(Technology Center, Zhuzhou CSR Times Electric Co.,Ltd., Zhuzhou, Hunan 412001, China)

**Abstract:** Electric drive system of 160 km/h diesel engineering vehicle was introduced systematically from main circuit and control system particularly. At the meantime, the problem and solutions of middle DC-link voltage oscillation were described occurred in test.

**Key words:** 160 km/h diesel engineering vehicle; electric drive system; main circuit; control system; intermediate DC link; voltage oscillation

## 0 引言

随着国内高铁建设的快速发展,高铁相应配套设备的需求日益增加,原有轨道车很难适应新形势下的铁路发展需要,高速、节能和高可靠性的轨道车成为铁路工务系统的新需求。另一方面,交流传动技术在干线机车上得到了广泛的应用,其在启动牵引力、恒功调速性能、动力学性能、粘着利用性能等方面具有较强的优势。基于市场需求及技术发展趋势,株洲南车时代电气股份有限公司于2010年自主开发了160 km/h内燃交流传动快速轨道车。该新型轨道车将主要用于200 km/h及更高等级轨道线路维修中物料、工具及人员的运输。

## 1 轨道车主要技术参数

主要技术参数如下:

轨道车整备质量	60 t
轴式	B <sub>0</sub> -B <sub>0</sub>
轨距	1 435 mm
轮径	915 mm(新)880 mm(半磨耗)845 mm(旧)

传动方式	交流电传动
柴油机装车功率	2 × 338 kW(2台柴油机)
轨道车轮周功率	505 kW
最大运行速度	160 km/h
最大试验速度	170 km/h
最大启动牵引力	54 kN
最大电制动力	50 kN
电制动功率	350 kW

图1为轨道车的牵引/电制动特性要求。根据160 km/h内燃交流传动轨道车整车技术要求:启动牵引力54 kN,持续牵引力33 kN,牵引轮周功率为505 kW,恒功速度范围33~160 km/h,最大电制动力50 kN,电制动车轮周功率为350 kW,恒功速度范围25~160 km/h。考虑到用户提出的可靠性要求,轨道车前后转向架采用2套独立的牵引系统。正常运行时,2套牵引系统同时投入,分别按整车的牵引/电制动特性曲线的一半运行。如一套系统出现故障,另一套系统不受影响,对整车而言仅牵引/电制动力减少,不会造成机破。轨道车单套牵引系统运行时,如单机运行(不牵引拖车),则平直道上的平衡速度能够达到140 km/h,12‰的坡道上平衡速度能达到100 km/h;如牵引50 t拖车在平直道上的平衡速度能够达到110 km/h,12‰的坡道上平衡速度

收稿日期:2011-11-30;收修改稿日期:2012-06-14

能达到52 km/h。

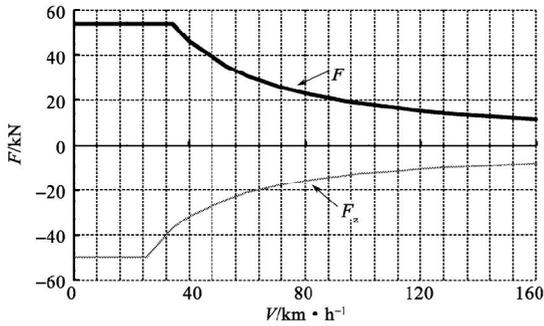


图1 160 km/h 轨道车牵引/电制动特性曲线

## 2 电气牵引系统

160 km/h 内燃交流传动轨道车电气牵引系统主要目标为将柴油机的输出功率传递到转向架及将轨道车的动能转化为电制动能量,从而实现轨道车的牵引及电制动功能。同时电气牵引系统还实现整车的逻辑控制、柴油机调速、恒功率控制和整车故障诊断及保护功能。

电气牵引系统包括主传动系统及控制系统(如图2所示)。主传动系统主要由2台主发电机、1台主变流器(包括2台整流器、2台逆变器)4台牵引电动机及1台制动电阻装置(包括2组电阻)组成。控制系统主要由2台微机控制装置LCS32(其中1台冷备份)1台传动控制单元DCU(同时控制2个转向架)2个网络通信模块GWM(其中1个冷备份)及2个显示器IDU组成。

主传动系统采用完全相同且独立的2套牵引系统,受同一套控制系统控制,功能控制及性能控制完全一样。控制系统则采用了冷备份冗余模式。当微机控制装置LCS32故障时,司乘人员通过操作LCS32切换开关将故障LCS32隔离,并将另一台LCS32投入工作。当网络通信模块GWM故障时,司乘人员通过操作GWM切换开关将故障GWM隔离,并将另一台GWM投入工作。

### 2.1 主传动系统

#### 2.1.1 主电路

如图3所示,轨道车主传动系统包含2套完全独立的主电路,分别将2台主发电机输出的电能经变流转换输入至相对应的转向架内牵引电动机。一套主电路

### 控制系统

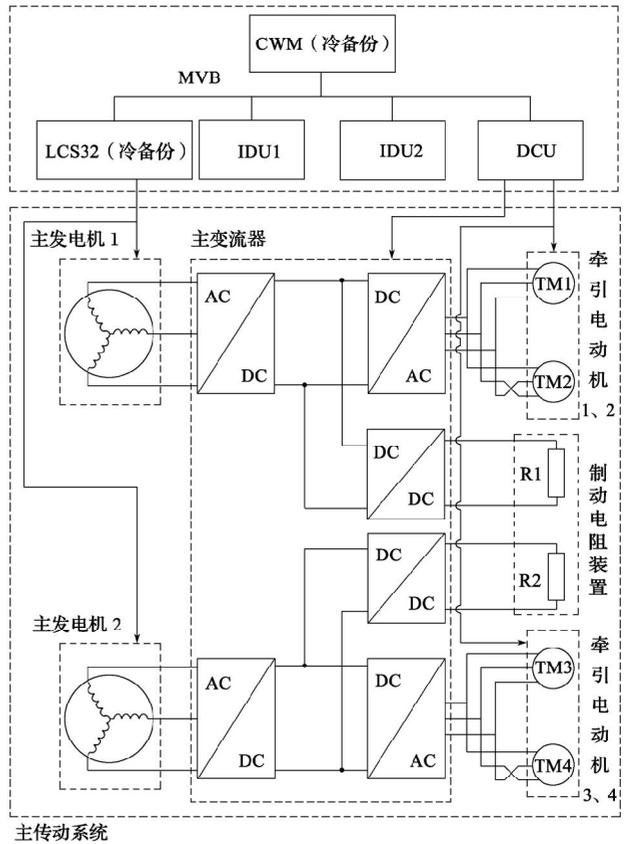


图2 电气牵引系统组成示意图

分别包含1台主发电机、1台整流器、1台逆变器、2台牵引电动机及1组制动电阻。轨道车牵引时,主发电机输出的三相交流电经主变流器的整流模块整流后转换成直流电,逆变器将直流电逆变成频率及电压可变的三相交流电,给转向架上2台异步牵引电动机供电。电气牵引系统通过电路的交直交变换功能将柴油机的输出功率传递到轨道车的轮周。电阻制动时,牵引电动机工作在发电机工况,将轮周制动能量转换为电能输入到主变流器,通过开通主变流器的斩波器将能量消耗

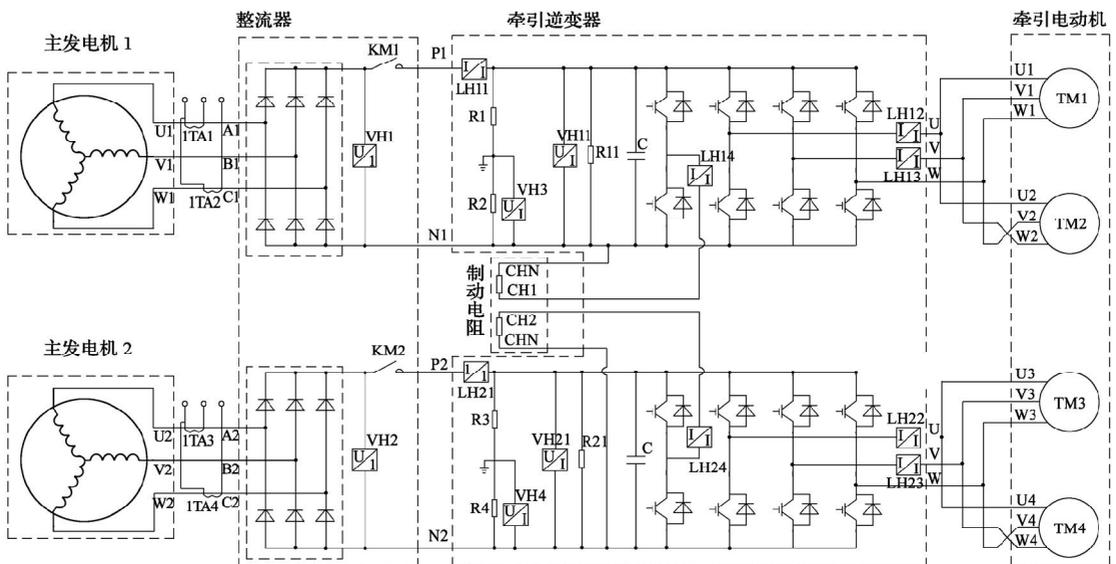


图3 主传动系统主电路原理图

在制动电阻上。

2.1.2 中间直流环节电压选择

中间直流环节电压是轨道车主传动系统的一个关键参数,它决定主发电机、整流器、逆变器以及异步牵引电动机等系统主要设备的电压等级,决定了设备的输入/输出电流(在轨道车功率一定的条件下),进而决定了设备的体积、重量。中间直流环节电压的优化选择是一个非常复杂的系统问题<sup>[1]</sup>。

根据160 km/h内燃交流传动轨道车的牵引/电制动特性并基于既有的、成熟的产品平台,确定额定中间直流环节电压值 $U_d$ 为DC 1 500 V。

轨道车柴油机装车功率为338 kW,柴油机调速设8个挡位 最高转速为1 800 r/min 最低转速为1 000 r/min。牵引工况下,中间直流环节电压在柴油机额定转速1 800 r/min时为1 500 V 转速最低1 000 r/min时为900 V。中间直流环节电压 $U_d$ 与柴油机转速 $n$ 的函数关系为 $U_d = n - 100$ ,且满足 $900 V < U_d < 1 500 V$ 。而当轨道车处于电制动工况时,中间直流环节电压恒定为1 500 V。

2.1.3 主要电气设备技术参数

主发电机的技术参数:

类型	隐极式发电机
额定容量	400 kVA
额定输出电压	AC 1 170 V
额定输出电流	AC 197 A
额定转速	1 800 r/min
额定频率	90 Hz
额定功率因数	0.95
额定效率	不小于0.94
励磁方式	无刷励磁
励磁电流	8 A
励磁电压	80 V
极对数	3(满足停车发电时的工频输出)
绝缘等级	H/H(定子/转子)
工作制	连续
冷却方式	径向自通风
旋转方向	面对辅助传动端看为逆时针

输出电压与柴油机转速关系

交流 $U = (n - 100) / 1.282$ ,且满足 $702 V < U < 1 170 V$

整流器参数:

额定阀侧电压	AC 1170 V
额定输入电流	AC 2 × 223 A
额定整流输出电压	DC 1 500 V
额定整流输出电流	DC 2 × 283 A
主电路联接方式	三相全波整流
整流二极管	DZ950N44K
冷却方式	热管 + 走行风冷
整流器效率	99%

牵引逆变器参数:

主电路形式	二点式VVVF
开关元件	IGBT 3 300 V/800 A
额定直流输入电压	1 500 V
输出电压	AC 0 ~ 1 248 V
额定输出电流	AC 2 × 256 A(与牵引电动机参数匹配)
最大输出电流	AC 2 × 338 A(与牵引电动机参数匹配)
开关频率	500 Hz
冷却方式	热管 + 走行风冷
逆变器控制方式	直接力矩控制
牵引电动机参数:	
额定功率	200 kW
额定电压(基波)	1 170 V
最大电压(基波)	1 248 V
额定电流(基波)	118 A
启动电流(基波)	169 A
启动转矩	1 424 N·m
额定转矩	880 N·m
额定效率(基波)	94%
额定转速	2 172 r/min
恒功转速范围	1 341 ~ 4 088 r/min
最高转速	4 258 r/min
额定功率因数(基波)	0.89
绝缘等级	耐电晕200级
风量	20 m <sup>3</sup> /min
制动电阻参数:	
额定阻值(20 )	2.8
最大阻值(最高温度时)	3.3
平均功率	2 × 280 kW
额定工作电压	DC 1 500 V
最大工作电压	DC 1 800 V
冷却方式	强迫风冷

2.2 控制系统

2.2.1 主要组成

如图4所示,160 km/h内燃交流传动轨道车控制系统由微机控制装置LCS32、传动控制单元DCU、网络通信模块GWM及显示器IDU组成,该控制系统集轨道车控制、监视、故障诊断及保护功能于一体。控制系统采用分布式控制技术,控制系统各部件之间采用专用的多功能车辆总线MVB电缆进行连接。

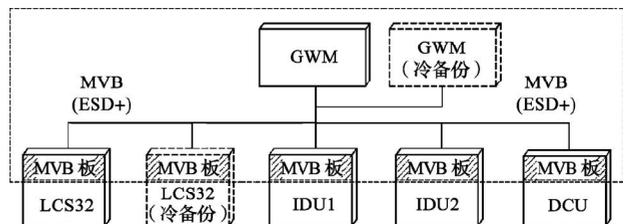


图4 控制系统组成示意图

GWM控制和管理整个控制系统的MVB网络通信,实现MVB网络的管理、数据交换。

LCS32负责整车级控制,主要包括协调轨道车各部分的运行,实施轨道车部分逻辑控制,实施柴油机转速给定,实施主发电机输出电压特性控制,实现轨道车的牵引特性给定及柴油机恒功率控制。

DCU负责传动级控制,接收来自LCS32的牵引力给定,同时采样中间直流环节电压、牵引电机相电流、牵引电机转速及IGBT元件的驱动反馈,利用直接力矩控制技术控制逆变器模块的IGBT元件开关状态,从而控制逆变器的输出电压幅值、相位和频率,使牵引电机的输出转矩与LCS32的给定力矩一致。DCU通过对牵引电动机的特性控制,最终实现轨道车的牵引/制动特性控制。自负荷试验时,DCU接收来自LCS32的自负荷命令,驱动斩波IGBT闭合,将制动电阻接入中间直流环节,通过电阻将柴油发电机组的输出能量以热能的方式消耗,以验证柴油机转速—功率特性。全车只配置1台DCU。DCU内部分为2组控制单元,分别控制主传动系统的2套主电路。

IDU1及IDU2的主要功能为实现轨道车的人机通信功能。其中,IDU1安装在轨道车的I端司机室,IDU2安装在轨道车的II端司机室。

### 2.2.2 工况转换控制

交流电传动轨道车较液力传动或机械传动的轨道车,除了能够满足正常的牵引运行要求外,还具备电制动、自负荷、低恒速及停车发电等运行工况要求。

控制系统将轨道车分为6个运行工况,分别为惰转、牵引、电制动、自负荷、低恒速及停车发电。控制系统根据司机的操作指令完成6个工况的相互转换。图5为工况转换关系图,工况转换过程中,牵引、电制动、自负荷、低恒速及停车发电工况的相互转换,必须经过惰转工况。

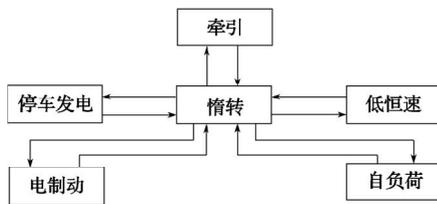


图5 轨道车工况转换关系图

### 2.2.3 牵引工况

牵引工况下,LCS32综合手柄挡位、柴油机转速、轨道牵引特性曲线、最大轮周功率基准及柴油机的负载反馈系数计算得到牵引力给定,并将牵引力转换为力矩发送给DCU。DCU根据LCS32的力矩给定,并综合粘着控制、电机特性曲线限制、变流器功率限制等因素发出触发脉冲,控制主变流器输出一定频率和电压的三相交流电给牵引电机,产生轨道车的轮周牵引力,从而实施轨道车牵引驱动。

2套牵引系统执行相同的牵引力,如一套故障或该套牵引系统设置为惰转,则轨道车牵引动力减半。

### 2.2.4 电制动工况

为增加轨道车的制动安全性及减少闸瓦磨损,轨道车设置了电制动功能。当轨道车进行电制动时,牵引电动机工作在发电机工况,在发电的过程中电动机会产生反力矩促使轨道车减速,而发出的电能由制动电阻进行耗散。

电制动工况下,LCS32综合轨道车速度、电制动特性曲线、手柄挡位计算得到制动力给定,并将制动力转换为力矩发送给DCU。DCU根据LCS32的力矩给定,并综合粘着控制、电机特性曲线限制、变流器功率限制等因素发出触发脉冲,控制主变流器输出一定频率和电压的三相交流电给牵引电机,产生轨道车的轮周制动力,从而实施轨道车电制动。

### 2.2.5 自负荷工况

自负荷工况的设置主要验证柴油机的功率输出特性,方便柴油机的调试与检修。

自负荷工况下,LCS32通过自负荷工况命令发送给DCU,DCU驱动斩波IGBT闭合,将制动电阻接入中间直流环节。LCS32根据柴油机转速控制中间直流环节电压输出,使得制动电阻消耗的功率与当前转速下柴油机的输出功率相匹配,以验证柴油机的功率特性。

### 2.2.6 低恒速工况

轨道车应用过程中并不需要在低恒速工况下运用,基于整车及电气牵引系统平台化的要求,本轨道车设置了低恒速工况。

当司机将低恒速开关置于运行位,并通过IDU设置了当前低恒速运行速度,DCU比较所设定的速度值与轨道车实际速度值,根据其差值对轨道车牵引力进行PID调节,控制电机输出的输出力矩,从而实现轨道车恒速运行。现场运用表明,轨道车能以1~10 km/h范围内任一速度恒速运行。

### 2.2.7 停车发电工况

轨道车进入作业现场时,具备向作业现场提供三相380 V交流电的能力,输出功率大于75 kW。

本轨道车利用电气牵引系统的主发电机1向外输出三相380 V交流电,而无需另外设置单独的柴油发电机组。司机将停车发电开关置于运行位,且当轨道车速度为零时,轨道车则进入停车发电工况。LCS32控制柴油机转速稳定为1 000 r/min,此时对应主发电机输出频率为50 Hz,同时调节主发电机的励磁电流,控制主发电机输出三相380 V交流电。

## 3 装车试验及问题解决

160 km/h内燃交流传动轨道车在装车试验过程中,发现自负荷、牵引工况下存在中间直流环节电压振荡现象,随着车速的增加、挡位的上升,中间直流环

节电压振荡加剧。

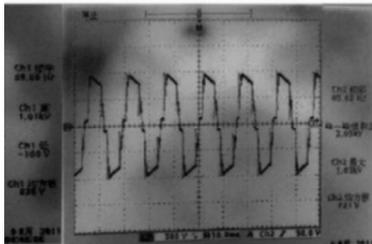
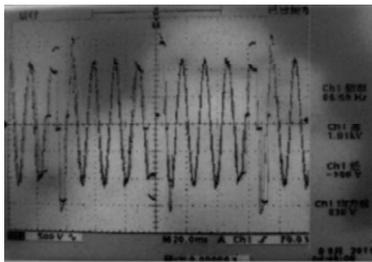
针对中间直流环节电压振荡问题,在现场从多方面进行了分析和查找。由于中间直流环节电压和中间直流环节功率值是由LCS32通过调节主发电机励磁电流而间接调节,首先考虑从励磁控制、励磁电路两方面加以改进和优化。

现场试验过程中,先从励磁控制角度,对模拟量采集频率、励磁调节频率、PI参数等3方面进行了优化和尝试,从实际试验结果看,无法消除中间直流环节电压的振荡。

结合试验情况,初步怀疑为主发电机本身存在问题,同时通过查阅相关技术文献<sup>[2]</sup>,发现在其他行业应用中,隐极式发电机在带整流系统和反电势负载时,主发电机参数选择不当时有可能产生大幅低频振荡。

根据上述分析,在现场专门进行了验证试验,用蓄电池提供线性励磁电源,自负荷工况下,中间直流环节电压振荡现象依然存在。由此进一步锁定问题的根本原因在于主发电机参数与负载不匹配。

根据问题所在,株洲南车时代电气股份有限公司与主发电机厂商共同分析后制定了主发电机的改进方案:加大气隙、增加阻尼绕组、减少励磁机电枢绕组匝数。在主发电机改进后,现场继续进行了一系列验证试验。图6及图7分别为主发电机改进前后

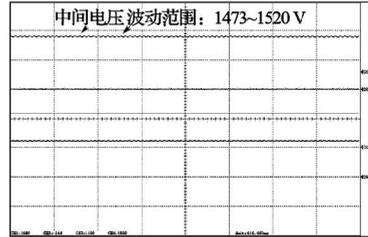
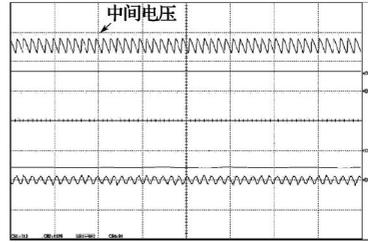


(b) 改进后

图6 主发电机改进前后输出电压波形

中间直流环节电压波形对比。从试验结果看,中间直

流环节电压振荡问题得到有效抑制和解决。



(b) 改进后

图7 主发电机改进前后中间直流电压波形

### 4 结语

160 km/h内燃交流传动轨道车是国内自主研发的首台内燃交流传动高速轨道车,也是国内首次采用隐极式主发电机供电的交流传动内燃机车。在整车调试过程中,遇到中间直流环节电压振荡问题,经过深入分析、改进和试验,问题得到解决。从整车现场装车调试及长交路正线试验的结果来看,牵引、电制动、低恒速及自负荷等工况运行平稳,整车操控方便、柴油机转速波动小、工况转换良好,初步表明电气牵引系统满足整车设计要求。后续将通过轨道车的现场运用考核试验进一步验证电气牵引系统的功能及性能。

### 参考文献:

[1] 刘连根. 内燃机车中间直流电压的选择与变流系统标准化设计[J] 机车电传动, 2002(2): 19-25.

[2] 马伟明. 同步发电机-整流器-反电动势负载系统的稳定性分析[J] 电工技术学报, 2000(15): 1-6.

[3] 杜建华, 陈康. 轴重及悬挂参数对大功率六轴交流传动机车运行平稳性的影响[J] 内燃机车, 2010(10): 1-5.

[4] 池茂儒, 张卫华, 曾京, 等. 高速客车转向架悬挂参数分析[J] 大连交通大学学报, 2007, 28(3): 13-19.

[5] 罗赞, 陈康, 罗世辉. 计算机仿真评价机车车辆低速抗爬轨能力[J] 机车电传动, 2002(5): 13-15.

(上接第33页)

### 参考文献:

[1] 李廉枫. 出口非洲机车的运用分析与未来机车开发设想[J] 铁道机车车辆, 2010, 30(4): 80-83.

[2] 中国南车集团眉山车辆厂. 宽轨铁路过轨转向架: 中国, 200720081276.2[P]. 2008-10-22.