

研
究
开
发NDJ₃ 型内燃动车电传动系统设计

夏建民, 易 玲

(南车戚墅堰机车有限公司 产品设计部, 江苏 常州 213011)



作者简介: 夏建民 (1966-), 男, 高级工程师, 现从事内燃机车电传动系统的研究工作。

摘 要: 阐述了 NDJ₃ 型内燃动车电传动系统的设计基础和设计原则, 介绍了 NDJ₃ 型内燃动车的主传动系统、励磁系统、供电系统以及控制和保护系统, 重点介绍了动车在成熟技术上的改进设计部分, 包括制动性能改进设计、火灾报警系统设计、操纵台设计、重联控制改进设计。最后对电阻制动的改造及验证结果做了详细说明。

关键词: NDJ₃ 型内燃动车; 电传动系统; 重联; 操纵台; 电阻制动

中图分类号: U266.1

文献标识码: A

文章编号: 1000-128X(2012)01-0001-05

Electric Drive System Design of NDJ₃ Diesel Locomotive

XIA Jian-min, YI Ling

(Product Design Department, CSR Qishuyan Locomotive Co., Ltd., Changzhou, Jiangsu 213011, China)

Abstract: Firstly, design basis and principle of NDJ₃ diesel locomotive electric drive system was represented. Secondly, the main drive system, excitation system, power-supply system and control & protection system were introduced, emphasis on the improvement based on existing technology including brake design, fire-alarm design, operation stand design, multiple control design etc. Lastly, modification of resistance braking and its verification results were explained in detail.

Key words: NDJ₃ diesel locomotive; electrical drive system; multiple; operation stand; resistance braking

0 引言

“和谐长城号”内燃动车组是根据铁道部的要求, 为满足北京奥运观光旅游的需要, 由南车戚墅堰机车有限公司联合南车南京浦镇车辆有限公司研发制造的新型动车组。该动车组运行区段为北京至八达岭长城 (以下简称京八线), 南车戚墅堰机车有限公司承担内燃动车的研制, 车型为 NDJ₃ 型内燃动车。

1 NDJ₃ 内燃动车概述

“和谐长城号”NDJ₃ 型内燃动车主传动系统设计以“新曙光号”NZJ₁ 型准高速内燃动车 (以下简称 NZJ₁ 型内燃动车) 为基础; 控制系统在保留了 NZJ₁ 型内燃动车成熟技术的基础上, 借鉴了 DF_{11G} 型内燃机车控制电路的成功经验。

与 NZJ₁ 型内燃动车的电传动系统相比, NDJ₃ 内燃动车 (以下简称内燃动车) 电传动系统做了以下改进

设计:

通过对内燃动车牵引特性和制动性能的改进设计, 保证了内燃动车具有足够的牵引力和制动力, 具备适用于京八线和其他线路的运用功能。火灾报警系统在微机报警显示的基础上, 又新增加了火灾声光报警装置, 进一步提高了内燃动车运行的安全性。为满足单司机值乘的需要, 内燃动车微机重联中, 新增加了微机重联控制功能。根据新型客车塞拉门的控制需要, 内燃动车的塞拉门控制电路做了全新设计。

操纵台的外观设计, 体现了“和谐”系列机车操纵台的特点; 操纵台上显示屏及电气元器件的布置满足人机工程学的原理和规范化司机室的要求。为进一步提高机车操作的安全性和可靠性, 在控制电路的设计中增加了安全可靠环节。

2 电传动系统设计

2.1 动车牵引和制动性能

为了保证内燃动车有足够的牵引力和制动力, 同

收稿日期: 2011-04-15; 收修改稿日期: 2011-09-26

时具有一定的运行速度,动车的牵引齿轮传动比选为 65/22,牵引电动机采用 ZD106 型电机。

2.1.1 动车牵引性能

内燃动车阻力按 TB/T 1407—1998《列车牵引计算规程》计算,动车牵引特性按《NDJ₃型内燃动车牵引特性计算》技术文件计算,牵引计算结果见图 1。

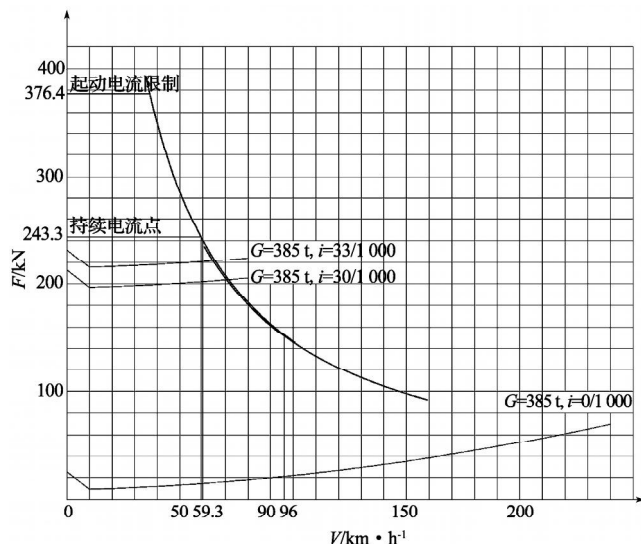


图 1 内燃动车牵引特性曲线

图 1 表示的基本数据如下：

柴油机装车功率	5 520 kW
柴油机转速	1 000 r/min
同步牵引发电机容量	2 800 kVA
牵引齿轮传动比	65/22
牵引电动机磁削系数	55%
轴重	21 t
轮径	1 013 mm
持续牵引力	243.3 kN
持续速度	59.3 km/h
最大速度	160 km/h
进入磁场削弱速度点	96 km/h
返回全磁场速度点	90 km/h
牵引吨位	G=385 t
坡道 i 分别为	0‰, 30‰, 33‰

2.1.2 动车制动性能

内燃动车的电阻制动有 2 种制动性能。其制动性能初始设计根据内燃动车的标书完成,该方案适用于运行速度为 60 km/h 以上的线路,并在铁科院环形道的制动性能试验完成了验证试验,制动力满足标书要求。但在“京八线”进行实际线路试验时,发现该线路有连续 33‰ 的坡道,且坡道限速不超过 40 km/h,内燃动车的电阻制动力不能满足实际线路的需要。因此,对动车的制动性能做了改进设计(具体改进部分将在第 4 节中做重点介绍)。改进后的动车性能经实际线路试验,完全满足运用需要。

2.1.2.1 初始设计的制动性能

初始设计的内燃动车电阻制动特性按《NDJ₃型内

燃动车电阻制动特性计算》技术文件进行计算,制动计算结果见图 2。

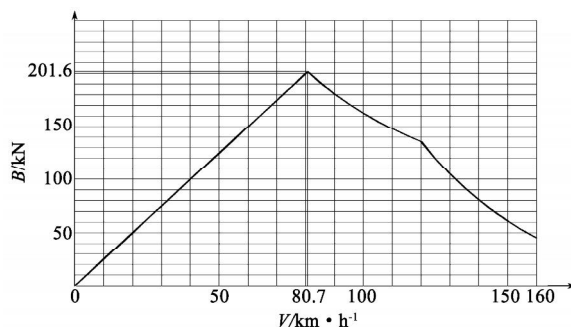


图 2 初始设计的内燃动车电阻制动特性曲线

相关的基本参数如下：

最大制动电流	670 A
最大励磁电流	765 A
制动电阻值	1.14 Ω
最大制动力	201 kN
最大制动力时的速度	74 km/h

2.1.2.2 改进后的制动性能

为满足在京八线的实际运行需求,对内燃动车的制动电阻装置进行了改进设计。改进后,内燃动车具有 2 种电阻制动性能,用户可以根据动车的实际运行线路,选择不同的制动特性: 运用于运行速度为 60 km/h 以上的线路时,动车采用图 2 所示的制动性能。

运用于“京八线”时,内燃动车采用改进后的制动性能,制动特性曲线见图 3。

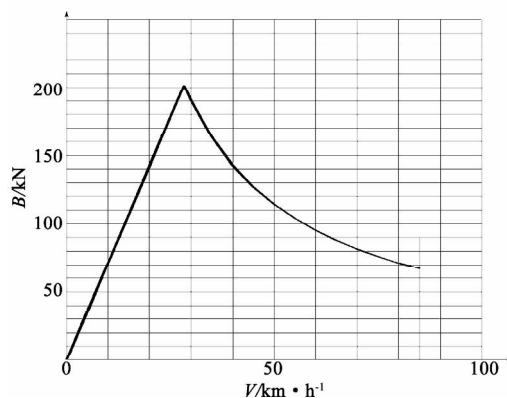


图 3 改进后的内燃动车电阻制动特性曲线

相关的基本参数如下：

最大制动电流	670 A
最大励磁电流	765 A
制动电阻值(带抽头)	0.38 Ω
最大制动力	201 kN
最大制动力时的速度(带抽头)	28 km/h

2.2 主传动系统

内燃动车主传动系统采用成熟的交直流传动技术,三相交流同步发电机发出的交流电,经主硅整流柜整流后变成直流电,通过电空接触器、工况转换开关和方向转换开关,给 4 台并联的直流牵引电动机供电。

主传动系统电路由牵引工况电路、电阻制动工况电路和自负荷试验工况电路组成。

2.3 励磁系统

内燃动车的励磁系统有2套系统,一套是以80C186型CPU为核心的微机控制系统,另一套是故障励磁系统。

微机励磁控制系统对主发电机的励磁进行调节,牵引力大、恒功速度范围广,可以充分经济地利用柴油机功率。

为防止微机励磁系统出现故障影响内燃动车的正常运行,励磁系统还设有故障励磁系统。2种励磁方式可以通过万能转换开关进行手动转换。

2.4 供电系统

内燃动车采用DC 600 V供电,供电系统采用动车双路向客车集中供电,客车分散变流的技术模式。

内燃动车设有独立的600 V直流供电装置,客用电全部由动车副发电机(与主发电机同轴)提供,副发电机的感应子励磁机与主发电机励磁机同轴安装在动车电机室内。

供电励磁恒压调节器通过对副发电机励磁机励磁电流的调节,使内燃动车柴油机在不同转速下保证发电发电机输出恒定的电压。

动车司机室可以控制2台动车(即首、尾车)分别向客车供电,首、尾2台动车换向操纵时,动车供电系统保持不断电。

另外,动车供电系统还设有供电请求显示、过流保护、过压保护、接地保护等功能。

2.5 直流辅助系统

直流辅助系统主要由柴油机启动电路、辅助发电电路、蓄电池充电电路、空压机电机供电电路和司机室辅助用电设备电路等组成。

柴油机启动前,启动发电机作为直流串励电动机,由蓄电池供电;柴油机启动后,启动发电机作为直流他励发电机,为控制电路、空压机电机和司机室辅助用电设备以及照明电路等提供直流电源,同时给蓄电池充电。

司机室辅助用电设备主要包括电动洗涤、电烤箱、电冰柜、空调、电暖气、热脚炉等。

另外,动车还装有空气净化装置、轮轨润滑装置和火灾报警装置等辅助用电设备。

2.6 主要电气元件的技术参数

2.6.1 主、副发电机参数

型号	JF211
冷却方式	强迫外通风

2.6.1.1 主发电机

额定容量	2 800 kVA
额定电压	610/770 V (AC)
额定电流	2 635/2 070 A (AC)
额定转速	1 000 r/min

额定频率	116.7 Hz
励磁方式	他励

2.6.1.2 副发电机

额定容量	430 kVA
额定电压	480 V (AC)
额定电流	520 A (AC)
额定转速	560/1 000 r/min

2.6.2 硅整流柜参数

2.6.2.1 主硅整流柜

额定直流输出电压	1 000 V 允差+12%
额定直流输出电流	3 500 A
最大直流输出电流	5 100 A
整流元件	ZP2000/28型
整流线路	三相桥式整流 每桥臂3只元件

2.6.2.2 供电整流柜

额定交流输入电压	480 V
额定交流输入电流	520 A
额定直流输出电压	600 V
额定直流输出电流	700 A
硅整流元件	ZP2000/28型
整流线路	三相桥式整流 每桥臂1只元件

2.6.3 牵引电动机参数

型号	ZD106
额定功率	530 kW
额定电压	680/930 V
额定电流	835/610 A
最大电流	1 200 A
额定转速	955 r/min
最大转速	2 465 r/min
励磁方式	串励
工作制	连续
绝缘等级	H/H
冷却方式	强迫外通风

2.6.4 启动发电机

型号	ZQF408D
额定功率	50 kW
额定电压	110 V
额定电流	455 A
额定转速	1 510/2 696 r/min
励磁方式	他励(发电机工况) 串励(电动机工况)

起动转矩	$\geq 2\ 720\ \text{N}\cdot\text{m}$
通风方式	自通风

2.6.5 感应子励磁机

型号	JGL-405F
----	----------

2.6.5.1 主发电机励磁机

额定容量	36 kVA
额定频率	539.2 Hz

额定电压	72 V
额定电流	286 A
额定转速	2 696 r/min
工作制	连续
冷却方式	自通风

2.6.5.2 供电发电机励磁机

额定容量	10.2 kVA
额定频率	302 Hz
额定电压	28 V
额定电流	210 A
额定转速	1 510/2 696 r/min
工作制	连续
冷却方式	自通风

2.7 微机控制系统

内燃动车微机控制系统以NZJ₁型准高速内燃动车的微机系统为基础,控制系统的设计借鉴了DF_{11G}内燃机车的成功经验。微机控制系统除了保留NZJ₁型内燃动车恒功励磁控制(具备供电及辅助功率转移功能)、电阻制动特性控制、轮对防空转防滑行控制、动车各系统的检测、保护和故障显示外,部分电器新增加了重联控制功能。

2.7.1 控制原理

微机接受各种传感器输入的动车运行参数,接受有关继电器和接触器触头输入的开关量信号,通过软件的处理,发出各种控制命令;通过励磁板的调节,实现机车的恒功控制;通过数字输出板驱动具有重联控制功能的继电器;存储器板将有关动车运行信息和故障代码通过Lonworks网络发送至显示屏进行显示。

2.7.2 控制功能

1)柴油机调速控制

内燃动车采用有挡无级调速方式控制柴油机转速,微机根据司机控制器的挡位信号驱动步进电机,对柴油机转速进行调节控制。

2)牵引特性控制

牵引工况时,微机控制系统对动车进行恒功控制,使同步主发电机或柴油机恒功运行。柴油机转速在640 r/min以上时,微机利用功调电阻信号实现辅助功率与主发电机功率间的转移,使柴油机以经济工况运行。柴油机转速在640 r/min以下时,微机对主发电机进行恒功控制,使动车具有理想的牵引特性。主发电机具有限压、限流、恒功的理想牵引特性。

3)电阻制动特性控制

电阻制动工况时,在司机控制器主手柄各挡位下,微机控制系统控制牵引电动机在高速范围内保持制动电流恒定不变,在低速范围内具有恒定的磁场电流。

动车单独使用电阻制动,只要出现滑行现象,微机将自动降低恒流基准,以减少制动功率,直到滑行现象消除。

4)防空转/滑行控制

在牵引和制动工况下,微机控制系统根据牵引电动机速度传感器检测到的各轴转速差异和加速度,进行综合比较,然后按轮对空转或滑行程度的不同,采取相应的保护措施(如自动撒砂、降功等),提高动车的粘着性能。

5)保护控制与故障诊断

微机通过接收各种电压、电流传感器的信号,对电气系统进行各种保护;通过接收柴油机转速、滑油压力、冷却水温度等传感器的信号,对柴油机进行保护。

微机显示屏可以自动或有选择地显示某些监控参数,能自动显示报警和与动车系统有关的故障信息,便于运用部门和司乘人员了解动车运行状态。

6)其他控制

微机控制系统还具有加载/减载速率控制、电压/电流的升降速率控制、牵引电动机磁场削弱控制和微机通信重联控制等。

2.7.3 显示功能

内燃动车操纵台上设有微机显示屏,通过操作显示屏上相应按键,可以根据需要随时查询动车各系统信息,包括工况信息、供电参数;各种油压、温度参数;各电机电流、电压、转速参数;牵引电机投入和切除状态、各接触器及继电器吸合和分断状态;动车速度、柴油机转速和功率、轴温信息及故障信息参数。

此外,对于部分因传感器故障等引起的机车保护,可以通过在显示屏上进行故障保护切除操作。

2.8 保护系统

为了保证动车柴油机及电气控制装置可靠安全地运行,在设计中采取了一系列保护措施。内燃动车电气系统方面设有主硅整流柜输出过流、主硅整流柜输出过压、主发电机励磁过流、牵引电动机过流、牵引电动机励磁电流过流、牵引电动机超速、制动电阻过流、电阻制动装置失风、牵引主电路接地、牵引主电路过流、供电主电路接地、供电主电路过流、辅助发电过压及主副发电机和牵引电动机轴承超温等保护措施。

柴油机方面设有柴油机超速、机油压力低、燃油压力低、冷却水温高、机油油温高、曲轴箱压力高、手动紧急停车按钮等保护措施。转向架方面设有轴箱轴承超温、驱动装置轴承超温保护措施。

2.9 火灾报警系统

为了提高运行的安全性,内燃动车火灾报警系统除了具有微机火灾报警显示外,又新增加了火灾声光报警装置,具体方案如下:

在动力室内设有2组烟探测器和温探测器,在电气室高压电器柜内设有一组烟探测器和温探测器。当某一检测部位有一个探测器感知信号时,火灾报警控制器面板上发出预警信息;当某一检测部位感烟、感温探测器同时有信号时,火灾报警控制器面板上发出火

警信息,同时火灾报警控制器送出2路火警信号,一路信号给微机,操纵台上的微机显示屏显示火灾报警信息;另一路送给操纵台上的声光报警装置,声光报警装置发出声光报警信息。

为了防止火警漏报,当某一检测部位其中一个探测器发生故障时,只要另一探测器有报警信号时,火灾报警系统将其作为火警信息处理。

2.10 重联控制系统

内燃动车的重联控制系统包括线控重联、集控重联、微机通信重联和电空制动重联。

2.10.1 线控重联

线控重联可以实现首、尾动车工况和方向同步转换、同步加载和卸载、柴油机同步起机和停机及调速、空压机泵风、工作状态信号指示、供电控制和首车与尾车的门控电源互锁等功能。改进设计后的线控重联电路,可以实现任意2台内燃动车的重联。

2.10.2 集控重联

集控重联为动车与客车的电气重联。集控重联可以实现动车与客车间供电请求、供电相应的信息传送,动车对客车的塞拉门控制和动车间以及动车与客车间的电话通信。

根据新型客车塞拉门控制的要求,内燃动车塞拉门控制电路做了全新设计,塞拉门由动车司乘人员在司机室控制,控制电路电源为DC 24 V。

为了提高动车塞拉门控制的安全性和可靠性,在塞拉门电气控制上采取了如下安全措施: 供电电源采用2套电源供电。塞拉门控制电源采用专用电源和动车蓄电池(24 V抽头)2种供电方式,蓄电池供电作为专用电源故障时的备用方案。首车控制的唯一性。动车首、尾车门控电源在电气上进行互锁,只有当首车的“首尾车”开关处于“首车”位、尾车的“首尾车”开关处于“尾车”位时,首车的司乘人员才能对客车塞拉门进行控制,确保了塞拉门控制的安全性。

2.10.3 微机重联

为了满足单司机值乘的要求,内燃动车增加了微机重联控制功能。微机显示屏除了可以同步显示首、尾车微机采集的模拟量信息和开关量信息外,通过操作微机显示屏上相关的按键,首车可以对尾车进行如下控制:可以切除尾车的故障牵引电动机,可以对尾车的接地继电器和过流继电器(不带机械自锁)进行电气解锁,对“置接地位置继电器”进行接地切除操作。

2.10.4 电空重联

电空制动重联可以实现首、尾车电空制动的同步控制。

3 操纵台

3.1 外型设计

铁 道

部将“京八线”内燃动车组命名为“和谐长城号”内燃动车组,将其列为“和谐”系列车型,所以除内燃动车

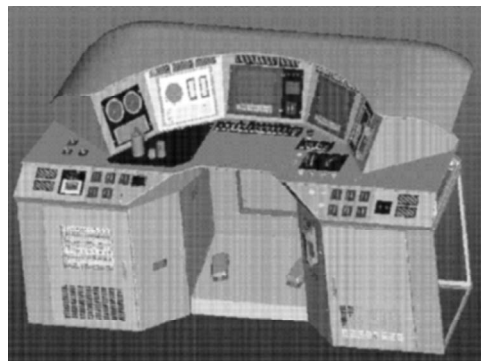


图 4 操纵台总体效果图

的外形和颜色设计与“和谐”系列动车保持一致外,操纵台的外形设计也采用“和谐”系列机车同样的方案。操纵台效果图如图4所示。

3.2 电器布置

内燃动车操纵台上各显示屏、显示模块及电气元件的布置根据人机工程学原理和规范化司机室的要求进行设计。操纵台视野正前方,从左至右依次是风表模块、电表模块、监控显示屏、声光报警显示模块、微机显示屏和MMI操作终端,呈扇形布置;操纵台台面从左至右是大闸、小闸、大扳钮开关组、司机控制器、小扳钮开关组和按钮(风笛、起机、停机);其他按钮、万能转换开关以及重联电话和CIR的相关装置布置在操纵台两侧。

4 电阻制动的改进

4.1 主电路的改进

内燃动车制动电阻装置的具体改进方案是对制动电阻增加抽头,减小接入制动电路回路的电阻。

制动电阻的主电路改进见图5中虚线部分所示。

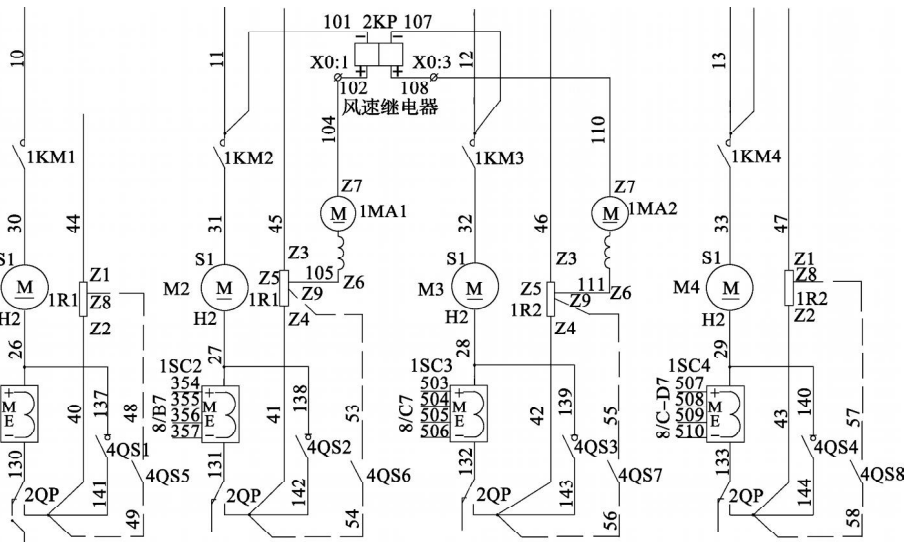


图 5 改进后的电阻制动主电路

(下转第10页)

采用上述方法,样机在不同转速下的铁耗的实测值与计算值见图11。由结果可见,在空载铁耗实测值与计算值的一致性较好。负载时有偏差,分析可能的原因有,高速时,转子磁钢的涡流损耗较低速为大,计算值时并未考虑。另外由于机械装配的不一致性、负载时实际电流的不对称性均会造成机械损耗的不一致,从而带来不可避免的铁耗的测量误差。

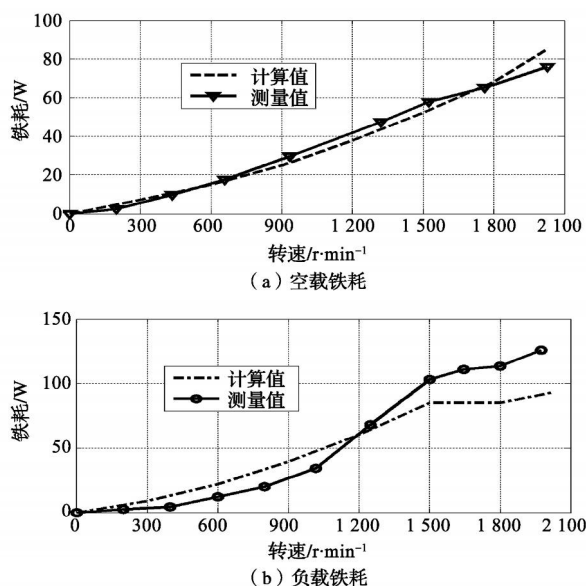


图 11 电机铁耗计算值与实测值

4 结论

本文基于二维有限元计算得到的磁密分布,计算分析了不同工况下,电机铁心不同部位,由于基波磁

场,逆变器供电引入的谐波,定子槽开口,铁心饱和以及永磁体谐波磁动势等原因产生的铁耗的相对大小,并通过试验验证了方法的可行性。最后采用该方法分析比较了整数槽和分数槽电机在不同工况下铁耗的构成,得出:电机工作于不同工况下它们在总铁耗中所占的份额不同,可以通过该方法计算它们的相对大小,分析铁耗产生的原因,优化设计电机。

参考文献:

- [1] 王秀和.永磁电机[M].北京:中国电力出版社,2011:390-413.
- [2] 许大中,贺益康.电机控制[M].杭州:浙江大学出版社,2002:137-141.
- [3] 陈阳生,王文中.在恒转矩和弱磁控制状态下的各种永磁同步电机负载铁耗[J].电工技术学报,2007,22(9):45-50.
- [4] Katsumi Yamazaki, Yoshiaki Seto. Iron loss analysis of interior permanent-magnet synchronous motors, variation of main loss factors due to driving condition[J]. IEEE Trans. On Industry Applications, 2006, 42(4),1048.
- [5] Atallah K, Zhu Z Q, Howe D. An improved method for predicting iron losses in brushless permanent magnet drives[J]. IEEE Trans on Magnetics, 1992, 28(2):2997-2999.
- [6] Iorillo F, Novikov A. An improved approach to power losses in magnetic laminations under no sinusoidal induction waveform [J]. IEEE Trans on Magn, 1990,26(5):2904-2910.
- [7] Goglietti A, Lazzari M, Pastorelli M. A simplified method for the iron losses prediction in soft magnetic materials with arbitrary voltage supply[C]. IEEE, IAS 2000(1):269-276.
- [8] GB/T 3655—2000,用爱泼斯坦方圈测量电工钢片(带)磁性能的方法[S].北京:中国标准出版社,2000.

(上接第5页)

图5中,Z8、Z9为制动电阻1R1和1R2上新增加的抽头,动车进入电阻制动工况时,制动电阻Z1-Z8、Z3-Z9段投入工作。

为保证内燃动车自负荷试验时的负载达到满负荷功率,动车进行自负荷试验时试验电路中应接入全部的制动电阻,所以在改进电路中新增加了闸刀开关4Q55-4Q58,具体要求如下:

动车投入运用时,应闭合闸刀开关4Q55-4Q58;动车需做自负荷试验时,应断开闸刀开关4Q55-4Q58。

如果动车改用于其他线路(运行速度为60 km/h以上的线路上)时,应断开闸刀开关4Q55-4Q58,此时动车的电阻制动特性如图2所示。

4.2 控制电路改进

为了确保内燃动车做自负荷试验时闸刀开关4Q55-4Q58处于断开状态,在控制电路中增加了闸刀开关4Q55-4Q58的反联锁电路,如图6中虚线部分所示。

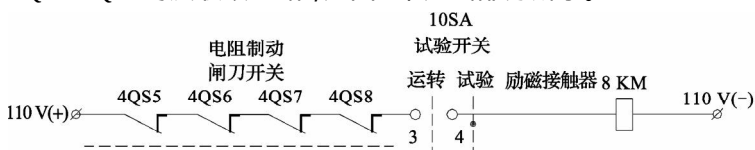


图 6 改进后的自负荷控制电路原理图

如果图5电阻制动主电路中4Q55-4Q58的主触头处于闭合状态,则图6虚线处的4Q55-4Q58辅助常闭触头处于断开状态,此时将动车的试验开关10SA置“试验”位进行自负荷试验,励磁接触器8KM不会得电,自负荷试验无法加载,从而保证了自负荷试验的可靠性。

5 结语

内燃动车电气系统的设计,是在成熟技术基础上的改进设计。牵引性能和制动性能的改进设计,满足了内燃动车在不同线路牵引和制动的需要;采用新型火灾报警系统、微机重联控制系统和新型操纵台,符合当今机车单司机值乘的要求;塞拉门控制电路的设计保证了动车组运行安全第一的指导思想。

内燃动车经过长期的运用证明,电气系统性能稳定,安全可靠,完全满足用户的要求。

参考文献:

- [1] TB/T 1407—1998,列车牵引计算规程[S]
- [2] 运装技验[2004]177号文,机车、动车组司机室设计规范[S].2004.