

研
究
开
发HXD2B 型大功率交流电力机车
辅助电路设计

于海霞, 陈立峰

(北车大同电力机车有限责任公司 技术中心, 山西 大同 037038)



作者简介：于海霞（1974—）女，高级工程师，从事电力机车电气系统的研究与设计开发工作。

摘 要：介绍了 HXD2B 型大功率交流传动电力机车辅助电路系统的构成，并对辅助电路工作原理、辅助负载运行管理及辅助电路保护系统进行了详细阐述。此系统性能可靠，目前已完成型式试验及线路运行考核，应用状况良好。

关键词：HXD2B 型大功率电力机车；辅助电路；辅助负载运行管理；保护系统

中图分类号：U264.6

文献标识码：A

文章编号：1000-128X(2012)04-0014-04

Design of HXD2B High-power AC Electric Locomotive Auxiliary Circuit

YU Hai-xia, CHEN Li-feng

(Technical Center, CNR Datong Electric Locomotive Co., Ltd., Datong, Shanxi 037038, China)

Abstract: Comprise of auxiliary circuit for HXD2B type high-power AC electric locomotive was introduced, and auxiliary circuit working principle, auxiliary load running management and the auxiliary circuit protective system was expounded. The system was reliable, and has passed the type test and running inspection in good condition.

Key words: HXD2B high-power AC electric locomotive; auxiliary circuit; auxiliary load running management; protective system

0 引言

HXD2B 型大功率交流传动货运电力机车是中国北车集团大同电力机车有限责任公司在引进国外先进技术、消化吸收的基础上，自主研发制造的具有中国自主知识产权的大功率交流传动货运电力机车。该机车总功率达到 9 600 kW，单轴功率为 1 600 kW，轴式为 C_0-C_0 ，是目前世界上单轴功率最大的电力机车之一，整车设计水平达到国际一流。

HXD2B 型电力机车的辅助电气系统主要由辅助电源、充电机电路、辅助负载和相应的辅助电器等组成。每台机车辅助电源包括 4 路辅助变流器输出的三相 AC 400 V 电源和 2 路 DC 110 V 电源。辅助负载有 3 种：三相交流 400 V、单相交流 230 V 和直流 110 V 负载。

辅助变流器采用 DC-AC 的变换模式实现电源的变换输出，其输入电源 DC 3 775 V 取自主变流器中间直流环节，每台机车有 4 组辅助变流器装置。每半台机车有 2 路辅助变流电路，一路为变频变压型 (VVVF)，一路为定频定压型 (CVCF)。这两路变流电路互为冗余，当其中任意一路故障时，另一路为所有的负载提供电源。

收稿日期：2011-12-14

充电机采用 AC-DC-AC-DC 的变换模式，输入电路取自三相 AC 400 V 电源电路，每半台机车具有 1 路充电机电路，每台机车的 2 路充电机电路在 MPU 的管理下轮流工作，为蓄电池充电，给 DC 110 V 负载提供电源。整台机车的 2 路充电机电路互为冗余，任 1 路充电机故障时，由另一路充电机为整车的 DC 110 V 负载提供电源。控制系统采用数字控制技术通过 MVB 网络与车内其他设备进行数据交换，实现辅助系统的系统控制、状态检测和故障信息的存储传输。

辅助电气系统具有完善的电气保护和防火保护功能，整个辅助电气系统借鉴国际上先进、成熟的设计和应用经验，结合国内铁路的实际运用情况设计而成。其辅助变流柜柜体采用铆接结构，加工制造工艺复杂、精度高，电磁兼容性好；通风系统采用车内进风、车顶排风的独立通风方式为功率模块和功率器件提供冷却；其功能电路采用模块化结构设计。

1 辅助电路

HXD2B 型机车辅助电路的辅助电源电路、三相负载电路、单相负载电路除辅助负载之外，其余部分都被集中安装在辅助变流柜和辅助控制箱里。

1.1 辅助电源电路原理

图1是三相AC 400 V电路原理图, 单相交流230 V取自AC 400 V中的单相与中性点, 见辅助负载电路。图2是110 V充电电路原理图。

I 端、II 端辅助负载电路原理图分别见图3、图4。

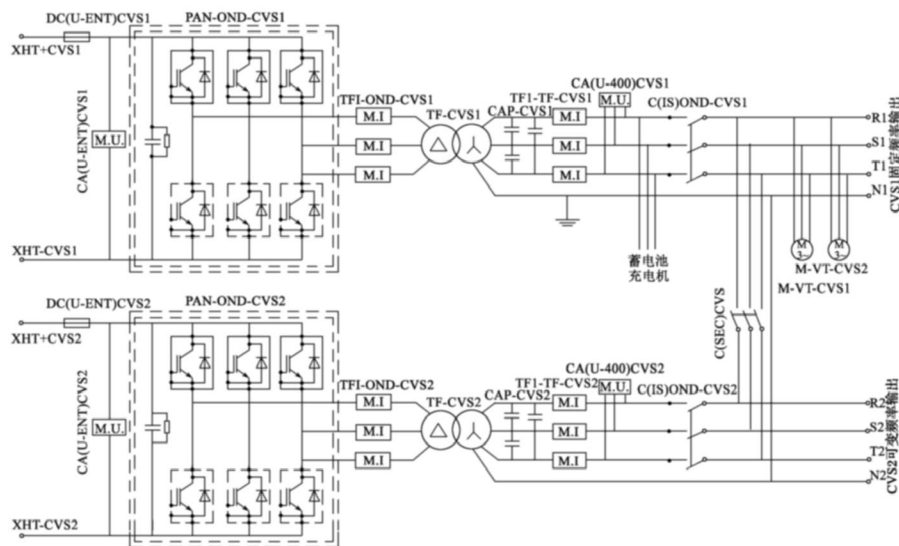


图1 三相 AC 400 V 电路原理图

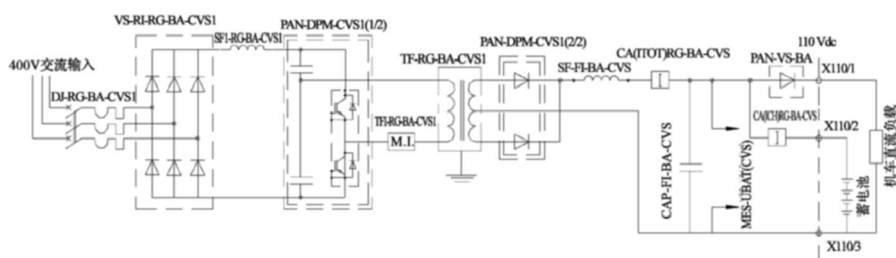


图2 110 V 充电电路原理图

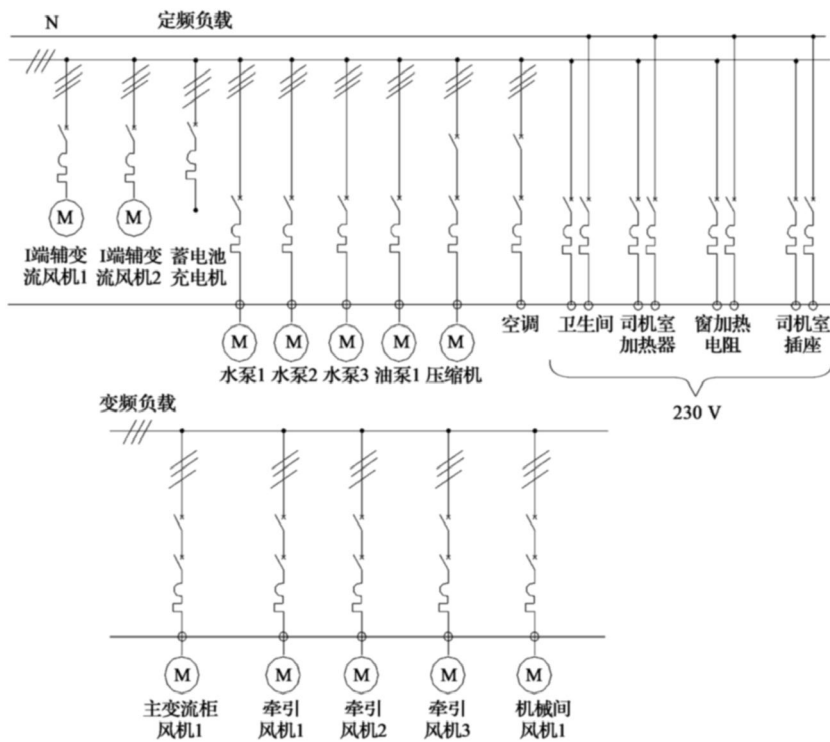


图3 I 端辅助负载电路原理图

1.2 辅助电路组成

每台HXD2B型机车的辅助供电电路由相同的2组电路组成, 每组辅助电源由2路辅助变流电路和1路充电电机电路组成, 其中辅助变流电路一路为定频输出, 另一路为变频输出。定频输出为泵类、压缩机、空调等

不需要变频功能的负载供电, 输出为AC 400 V (50 Hz); 变频输出为风机类需要变频功能的负载供电, 4种输出方式: AC 400 V (50 Hz)、AC 324 V (45 Hz)、AC 256 V (40 Hz)和AC 100 V (25 Hz)。2路辅助电源电路硬件电路和器件参数完全相同, 主要由输入电路、中间电路和输出电路组成。其中输入电路主要由输入熔断器CC(ENT)CVS、输入电压传感器CA(U-ENT)CVS、电压检测模块LT(DC)FI-CVS组成。由电阻和氖灯相串联组成的电压检测模块被连接到三相逆变器的输入电容器上, 当电容器上的电压大于100 V时, 氖灯被点亮, 若电压低于50 V, 氖灯会灭; 中间电路主要由三相逆变器PAN-OND-CVS、逆变器输出电流互感器TFI-OND-CVS等组成; 输出电路主要由三相隔离变压器TF-CVS、滤波电容CAP-CVS、三相变压器输出电流互感器TFI-TFCVS、三相电流测量板

VS-RI-TF-CVS、三相输出电压传感器CA(U-400)CVS、放电电阻R(DC)FI-CVS、滤波电容CAP-FI-CVS、输出接触器和故障切换接触器等组成。三相电流测量板连接到三相变压器输出电流互感器的二次侧, 将3个互感器测得的三相输出电流信号输入到三相整流板再整流为单相电流, 送入ACU控制单元, 当输出电流大于过流门限值825 A时或输出电流大于过载门限值245 A并持续5 s时, ACU停止逆变器软启动工作并停止充电机工作。

110 V充电电机电路主要由充电机断路器DJ-RG-BA-CVS、充电机三相整流器VS-RI-RG-BA-CVS、输入滤波电抗器SF1-RG-BA-CVS、充电机模块PAN-DPM-CVS、充电机变压器TF-RG-BA-CVS、充电机电流互感器TFI-RG-BA-CVS1、输出滤波电抗器SF-FI-BA-CVS、输出电流传感器CA(ITOT)RG-BA-

CVS、输出滤波电容CAP-FI-BA-CVS、输出隔离二极管模块PAN-VS-BA和充电电流传感器CA (ICH) RG-BA-CVS组成。

每台机车的辅助负载电路包括变频负载和定频负载,定频负载主要包括辅助变流器通风机1 (M-VT-CVS1)、辅助变流器通风机2 (M-VT-CVS2)、水泵 (M-PE1~M-PE6)、油泵 (M-PH1~M-PH3)、主压缩机(M-CPR1~M-CPR2)、司机室空调(CLIM1~CLIM2)和生活设备及卫生间AC 230 V负载;变频负载主要包括主变流柜风机 (M-VT-BMT1~M-VT-BMT3)、牵引电机通风机 (M-VT-MT1~M-VT-MT6)、机械间通风机 (M-VT-SM1~M-VT-SM3)。

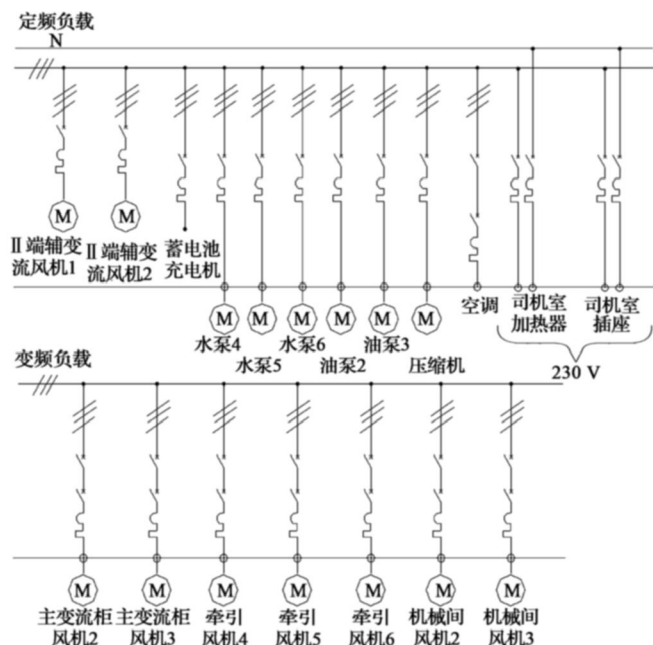


图4 II端辅助负载电路原理图

1.3 辅助电路原理描述

四象限主变流器中间直流环节直流电压DC 3 775 V作为辅助变流器的输入,经输入熔断器送入三相脉宽调制IGBT逆变器模块,一旦三相逆变器模块工作异常,辅助变流器柜内部的输入熔断器(带有辅助触点)将对线路和变流器提供保护。12 M Ω 电阻和2.5 μ F电容并联组成输入滤波器,接在辅助变流器输入和牵引设备输出之间,它的作用是降低辅助变流器和牵引设备之间的布线电感,同时也限制逆变器工作时产生的过电压。并联在电容两端的电阻是用来给电容放电的,确保在5 min内,使电压从标称电压峰值降到50 V以下。由电阻和氖灯相串联组成的电压显示模块被连接到电容器上,当电容器上的电压大于100 V时,氖灯被点亮,若电压低于50 V氖灯熄灭,这样给操作者提供了安全醒目的提示。辅助逆变器分为定频逆变器CVS1和变频逆变器CVS2,ACU辅助控制单元为其提供控制脉冲。定频逆变器CVS1是将输入DC 3 775 V变为输出电压为1 465 V_{rms}-50 Hz PWM电压输出的装置;变频逆变器CVS2是将输入DC 3 775 V变为输出电压在366 V_{rms}-

25 Hz和1 465 V_{rms}-50 Hz之间变化电压输出的装置(V_{rms}为电压有效值)。逆变器输出电流互感器实时检测逆变器输出电流,对过电流进行保护。三相隔离变压器采用高漏感,结合输出电容,形成一个低通滤波器,从而在变流器输出端生成一个准正弦波。正常工况下,故障切换接触器不吸合,输出接触器吸合,2组逆变器同时工作为半台机车的辅助负载提供电源;在故障情况下,故障逆变器的输出接触器不吸合,另一个输出接触器和故障切换接触器吸合,这时非故障逆变器为半台机车辅助负载提供定频电源。

充电机电路输入取自辅助变流器定频输出AC 400 V电源,通过输入保护断路器进入三相整流器VS-RI-RG-BA-CVS后变为直流DC 545 V,并联的阻容板RC-RG-BA-CVS和串联的电抗器SF1-RG-BA-CVS进一步吸收和过滤交流成分,从而为充电机PAN-DPM-CVS提供一个较为理想的直流电压。通过电容器和IGBT组成的单相半桥逆变电路;通过相应的控制将DC 545 V的直流电逆变为交流方波电源142 V,开关频率为10 kHz;通过高频变压器TF-RG-BA-CVS隔离变压,再经过全波整流电路和滤波电路输出DC 110 V电源,供给机车上DC 110 V负载和为蓄电池充电。

1.4 主要技术参数

1.4.1 直流输入参数

输入电压	DC 3 775 V (额定输入范围2 000~4 000 V)
输入电流	$I_{rms}=85$ A (有效值) $I_{max}=90$ A (最大值)

1.4.2 交流输出参数

额定定频输出电压(有效值)	400(1 $\pm$ 5%) V 50(1 $\pm$ 2%) Hz
额定变频输出电压	100(1 $\pm$ 5%)V、25(1 $\pm$ 2%) Hz 256(1 $\pm$ 5%)V、40(1 $\pm$ 2%) Hz 324(1 $\pm$ 5%)V、45(1 $\pm$ 2%) Hz 400(1 $\pm$ 5%)V、50(1 $\pm$ 2%) Hz

标称容量(两路辅助变流电路工作) 110 kVA

永久降级额定功率(故障模式下一路辅助变流电路工作) 150 kVA

非永久降级额定容量(故障模式下一路辅助变流电路工作,持续1 h) 160 kVA

1.4.3 110 V输出参数

额定输出电压	DC 110 V
额定功率	12.5 kW

2 负载运行管理

辅助电路的运行是由整车的中央处理单元MPU、主变流控制单元TCU发出命令到辅助控制单元ACU,通过ACU对辅助电路的负载进行管理和控制。

辅助变流器风机、水泵和油泵类负载没有接触器控制,可被“永久”供电,并由断路器进行保护。如某个水泵或油泵出现故障,该断路器将自动断开,ACU

可读取保护状态并存储故障以便于进行维护。

对于固定频率的辅助变流器组,在额定400 V 50 Hz 下运行5 s后,MPU发出压缩机和空调运行许可。为了限制启动时的浪涌电流,压缩机将优先于空调启动,间隔5 s。

对于可变频率的辅助变流器组,MPU根据MPU自身及TCU发出的辅助变流器输出频率需求综合判断,取其中最大的输出频率需求作为最终指令传送到ACU,控制辅助变流器输出电压及频率。TCU可发出牵引电机通风频率命令,机械间通风和主变流柜通风频率命令可在MPU中生成。同样为了限制启动时的浪涌电流,MPU可管理牵引电机通风机、机械间风机和主变流柜通风机的启动优先顺序。MPU通过ACU发出负载运行许可指令,当启动时存在若干工作请求的情况下将根据启动的优先顺序完成负载的顺序启动。负载优先顺序按功率从大到小排列如下:主变流柜通风机、牵引电机通风机、机械间风机。图5是I端可变频率负载在正常模式下的启动顺序。

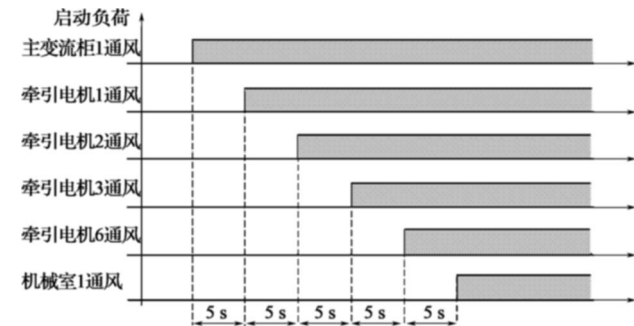


图5 可变频率负载在正常模式下的启动顺序

3 辅助系统保护

辅助电气系统具有完善的电气保护和防火保护功能:各功率模块具有过流、过压、欠压、过热等保护功能;各辅助负载具有过载和短路保护功能;电气线路具有防火保护功能。一旦发生线路过热或着火现象,系统能够自动采取措施切断机车电源,并通知司乘人员进行故障处理。

三相逆变器模块输出过流保护和三相变压器输出过流保护是通过电流互感器适时检测电流值并送入ACU,ACU一旦判定测量值超过了预先设定的保护值即封锁逆变器和充电机的脉冲信号,断开三相输出接触器。

三相逆变器模块输入过压、欠压保护:三相变压器输出过压、欠压是通过电压传感器实时检测电压值并送入ACU,ACU一旦判定测量值超过了预先设定的保护值范围即封锁逆变器和充电机的脉冲信号。

三相逆变器模块和充电机模块热脱扣保护:模块内部设置有温度保护装置,当半导体器件基板与散热装置结合点温度超过125℃,或者散热片的温度达到105℃,保护装置动作,断开逆变器和充电机。

过载和短路保护:各辅助负载都装有断路器或热

继电器,预先调整好整定值,负载出现过载和短路现象,断路器或热继电器即断开,达到保护目的,并将相应故障信号送入ACU存储以便于进行维护。

辅助变流器柜中还设有温度传感器和风速传感器以防止电器部件过热烧损。

整个辅助电路布线中都伴装有防火管,一旦线路或电器部件温度过高,防火管即烧熔,内部的气体泄漏、气压下降,系统能够自动采取措施切断机车电源,并通知司乘人员进行故障处理。

表1为与ACU控制相关的保护功能描述。

表1 保护变量表

ACU 变量	描述	标称值
AiXM_A_E_CA_DBV	辅助风机气流测量	从4到(20±1)mA
AiXM_A_E_CA_IAC	辅助输出电流测量	从0到230(1±3%)A
AiXM_A_E_CA_IBAT	电池电流测量	从0到24(1±3%)A
AiXM_A_E_CA_IIONDR	逆变器输出电流相位R测量	从0到70(1±3%)A
AiXM_A_E_CA_IIONDS	逆变器输出电流相位S测量	从0到70(1±3%)A
AiXM_A_E_CA_IIONDT	逆变器输出电流相位T测量	从0到70(1±3%)A
AiXM_A_E_CA_ITOT	电池充电器输出电流测量	从0到115(1±3%)A
AiXM_A_E_CA_TMPBAT	电池温度测量	-40~70℃
AiXM_A_E_CA_TMPVTCV	冷却空气温度测量	-40~70℃
AiXM_A_E_CA_UAC	辅助输出电压测量	从0到400(1±5%)V
AiXM_A_E_CA_UBAT	电池电压测量	从0到121(1±1%)V
AiXM_A_E_CA_UENT	HV输入电压测量	从2000V到4000(1±2%)V
AiXM_B_CCT_CVS	变流器输出端短路故障	1=故障,0=无故障
AiXM_B_CCT_OND	逆变器输出端短路故障	1=故障,0=无故障
AiXM_B_BT_CCENTCVS	输入熔断器反馈	1=闭合,0=断开
AiXM_B_BT_CISONDC	辅助输出接触器反馈	1=闭合,0=断开
AiXM_B_BT_CSECCVS	紧急接触器反馈	1=闭合,0=断开
AiXM_B_BT_DJRGBACV	蓄电池充电器断路器反馈	1=闭合,0=断开
AiXM_B_BT_KLIXONDCVS	逆变器热保护反馈	1=故障,0=无故障
AiXM_B_BT_KLIXDPMCVS	蓄电池充电器热保护反馈	1=故障,0=无故障

4 结语

HX_{D2B} 型大功率交流传动电力机车完成厂内的组
(下转第22页)

机车控制系统可以根据蓄电池管理系统对动力蓄电池实时监视状态,调整缩小动力蓄电池的充电和放电流,减小对缺陷单体电池的持续影响,同时蓄电池管理系统进行单体电池的差异性记录。动力蓄电池一致性问题使得相应的机车运用功率减小,影响机车的整体性能发挥。

3) 动力蓄电池容量问题

动力蓄电池设计输出功率250 kW,实际在试验过程中,电池在最大允许360 A放电电流工作时,中间直流环节电压由740 V降至了643 V,降幅接近100 V,电池一致性差异也表现明显,动力蓄电池长时间难以发挥250 kW的额定功率,实际应用过程中限制动力蓄电池可以短时输出250 kW功率,超过微机根据蓄电池反馈的状态计算结果后限制输出200 kW的功率。

4) 系统设备效率问题

机车混合运用工况,发电机和牵引电动机在工作的各个转速范围,中间电压都被动力蓄电池稳定钳位在700 V,不利于电机的磁路和电路设计,发电机、牵引电动机效率整体偏低。

5) 机车对动力蓄电池的充分应用问题

通过在柴油机功率有富裕的情况下动力蓄电池进行充电,在柴油机功率不足时由动力蓄电池进行补充,在机车短途轻负载作业时用动力蓄电池完成等措施,可充分提高对动力蓄电池的利用率。混合动力机车可以充分提高柴油机以及整个机车的运用经济性。

CKD6E 机车通过较长时间的调试和应用修改,目前充放电应用切换频繁,电池SOC值大部分时间维持

在40%~90%的水平,达到了较佳的状态,但仍需继续加深对动力蓄电池更佳应用状态和对机车节能环保的探索和研究,譬如配合采用地面充电系统,以及进行更深层次的机车混合度匹配、控制策略等系统领域的研究。

7 结语

CKD6E混合动力机车2010年底完成调试,2011年进行线路运用考核,完成部分性能改进,增加了制动再生能量回收功能、地面充电功能等,目前机车运行状态良好。由于具备动力蓄电池的支撑,机车启动无需等待柴油机转速上升,启动迅速,加速快,适合调车作业要求,很受司乘人员喜爱。

CKD6E 混合动力机车柴油发电机组与动力蓄电池功率混合度为3:1,180A·h动力蓄电池选用偏小,动力蓄电池单独作业时间较短,不足以单独完成一个调车作业周期。如加大混合度,按照机车作业特点,提高动力蓄电池的容量,让动力蓄电池能够独立完成一个作业周期,应该可以起到更好的节能减排效果。

CKD6E 混合动力机车的研制和运用标志着我国具备完全自主知识产权的新型节能环保型机车进入了一个新的阶段,具有深远的意义。

参考文献:

- [1] 李 斌. DF_{8CJ}型交流传动内燃机车牵引传动及控制系统[J]. 机车电传动, 2006 (4).
- [2] 陈智豪, 张 义, 杨 格, 何 良. HXN5 大功率交流传动内燃机车电传动系统[J]. 大功率变流技术, 2010 (3).

(上接第17页)

装调试后,在北京铁道科学研究院环行道试验基地完成了试验大纲所规定的全部辅助电路试验项目。另外,在铁道部产品质量监督检验中心牵引电气设备检验站完成了辅助变流柜型式试验。辅助电路经过各项严酷的性能试验和环境试验证明其参数性能及部件选择完全满足设计任务书的要求,完全满足大功率货物运输要求。同时机车通过各种新技术、新材料、新工艺的运

用,提高了列车运行的安全性、先进性和系统可靠性。

参考文献:

- [1] 张曙光. HXD2 型电力机车[M]. 北京:中国铁道出版社, 2009.
- [2] 熊成林. 不同结构的列车辅助供电系统分析与比较[J]. 机车电传动, 2008(2).
- [3] 郭晓燕. 铁道机车车辆的辅助电源系统[J]. 机车电传动, 2008(4).