

内燃机车新型励磁与辅助系统

杨 格, 刘松柏, 罗国永, 魏培华

(株洲中车时代电气股份有限公司, 湖南 株洲 412001)

摘要: 针对内燃机车主辅一体化发电机的励磁控制和辅助系统需求, 提出了一种新型励磁与辅助系统, 就其组成、功能特点与技术创新点进行了重点阐述。通过试验验证与现场应用结果表明, 该系统运行性能稳定、可靠性高。

关键词: 励磁控制; 辅助系统; 内燃机车; 主辅一体化发电机

中图分类号: U262

文献标识码: A

doi: 10.13890/j.issn.1000-128x.2017.03.011

New Excitation & Auxiliary System for Diesel Locomotive

YANG Ge, LIU Songbai, LUO Guoyong, WEI Peihua

(Zhuzhou CRRC Times Electric Co., Ltd., Zhuzhou, Hunan 412001, China)

Abstract: New excitation & auxiliary system for diesel locomotive was introduced in order to fulfill requirement of excitation control and auxiliary system of main and auxiliary integrated generator, the constitute & function and technical innovation was detailed. Stable operation performance and high reliability of the system were proved by test and application.

Keywords: excitation control; auxiliary system; diesel locomotive; main and auxiliary integrated generator

0 引言

传统交直内燃机车电气牵引系统方案采用主、辅 2 套发电机, 二级励磁控制, 另配一套直流发电机用于机车柴油机的启动、机车直流发电。

传统辅助系统存在一些固有的不足, 比如配置了主发电机, 交、直辅助发电及其励磁调节系统, 3 套设备开支大, 且采用二级励磁控制动态响应慢。相对而言, 国外部分主流内燃机车辅助系统采用主辅一体化发电机、一级励磁控制、交直充电机解决方案实现了主辅发电机的一体集成, 重量与体积大幅下降, 一级励磁动态响应快, 交直充电机在取代传统直流发电机的基础上还具有恒流恒压充电的功能^[1]。

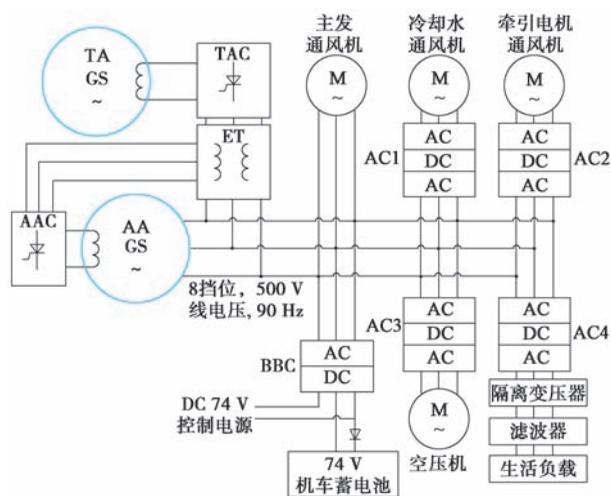
株洲中车时代电气股份有限公司结合国际主流内燃机车励磁与辅助系统发展需求, 自主开发了一套新型内燃机车励磁与辅助系统。以下将对该系统开发与

应用进行具体阐述。

1 系统组成

励磁与辅助系统是电传动内燃机车的关键系统之一, 励磁系统主要用于内燃机车主发电机、辅助发电机的励磁调节, 机车级微机控制单元通过对发电机的励磁调节以实现其输出功率的闭环控制。辅助系统用于为机车柴油机冷却水风机、发电机通风机、牵引通风机、空压机、工频 380 V 交流负载提供所需交流电源, 并具有变频启动及变频调速等节能功效。新型励磁及辅助系统典型组成如图 1。

TA、AA 为主辅同轴一体化发电机组的 2 个组成部分, 机车柴油机启动后, 先由机车蓄电池为 AA 提供启动励磁电源, 启动时辅助发电机励磁由蓄电池和 AAC 一起提供, 当辅发电压与频率比值达到门槛值要求时, 断开蓄电池开关, 由 AAC 单独控制辅助发电机 AA 励磁, 整车辅助系统正常供电运转^[2]。在机车加载后, 整车控制单元根据柴油机挡位、机车速度



TA—主发电机；AA—辅助发电机；TAC—主发励磁模块；AAC—辅发励磁模块；ET—励磁变压器；BBC—交直充电机模块；AC1~AC4—辅发模块

图1 新型励磁与辅助系统典型组成与应用

等计算出主发电机的目标电压值，将目标电压值转化为模拟信号送给主发励磁控制器TAC，TAC根据采集的电压与给定值进行内部PID调节，快速跟踪目标电压。

辅助发电机输出电压随着机车手柄级位和柴油机转速变化而变化，机车8挡位辅助发电机最高输出电压可达3AC 500 V，从电压上无法匹配发电机励磁的需求，且辅助系统供电负载种类多且复杂。为了配置合适的励磁供电电压，励磁变压器采用2个二次侧绕组，将辅发输出电压通过隔离和降压分别对TAC、AAC提供励磁供电电源。

BBC用于机车蓄电池的充电以及直流负载的供电。BBC内部采用了成熟的半桥逆变隔离电路，可靠性高。由于BBC的输出正线同时为直流负载和机车蓄电池提供电源，因此设置了防逆流二极管，防止机车蓄电池馈电。

AC1~AC3用于3路需要变频启动与变频工作的负载供电，AC4输出提供CVCF电源用于生活负载。

2 系统特点与创新

2.1 系统特点

传统交直内燃机车采用主、辅2台发电机^[3]，牵引发电机、辅助发电机采用一体化之后，主、辅发电机单元转子同轴，与柴油机曲轴直接耦合。新型发电机共用一套强迫通风系统，冷却效率高；两者一体化，总的体积和重量得到大幅下降，为机车设计布局带来更多的便利；配合图1的BBC，以及柴油机蓄电池—逆变器—发电机逆变启机技术，更可省去机车的直流发电机^[4]。对内燃机车而言，在同等有限的装车功率下，可获得更好的牵引与加速性能；另一方面也节能。2种方式结构对比如图2所示，通过对比可发现省去了齿轮箱和直流发电机。交直充电机BBC的引入应用，

取代了其直流供电功能。



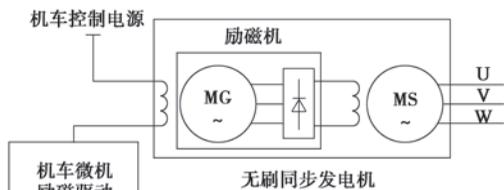
(a) 传统内燃机车发电设备

(b) 新型内燃机车发电设备

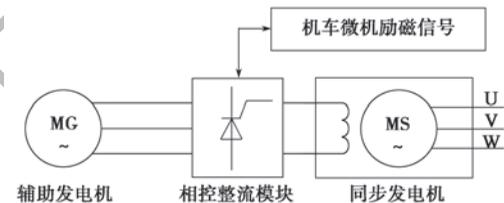
图2 传统与新型内燃机车发电设备结构对比

2.2 主、辅发电机一级励磁调节

传统的无刷励磁同步发电机方案中，其发电机内自带励磁发电机，机车级微机单元为励磁发电机提供励磁，励磁发电机输出三相交流电压通过发电机内不可控整流盘整流，为发电机提供励磁^[5]。而主辅一体化发电机省去了其中的励磁发电机和整流机构，直接采用一级励磁调节方案。2种方案的对比见图3。



(a) 无刷励磁调节



(b) 相控励磁调节

图3 发电机励磁方式对比示意图

图3(a)为传统的无刷励磁方式示意图。从图中可看出，无刷励磁同步发电机构造复杂，其转子部分内含一套励磁发电机与整流电路，在机车运用过程中，转子部分与机车柴油机共轴旋转，为同步发电机定子部分提供三相旋转磁场。该种励磁方式属二级间接励磁，动态响应缓慢。

图3(b)为本文方案所述励磁方式示意图，主发电机励磁环节引入相控整流模块，相控整流模块接受机车微机励磁信号，通过控制相控整流桥元件的换相触发角，以控制励磁输出电压，从而实现励磁电流的调节。该种励磁方式属一级直接励磁，动态响应快。因其转子部分仅包含励磁绕组本身，构造简单、维护简便。

2.3 新型辅变模块应用

辅助交流传动系统在内燃机车上已有多年的应用，其不足之处在于自主平台的变流器模块品种较少。近年来自主开发的一款模块在HXN5B机车上得到了批量运用^[4]，但由于其为第一代产品，与基于国外VACON模块平台开发的同类产品相比，体积与重量均不占优势。新型变流器模块在同等功率容量的条

件下, 解决了小型化问题, 体积与重量约为上一代产品的 2/3。

3 部件特点与创新

3.1 励磁充电柜

新型励磁与辅助系统的产品之一为新型励磁充电柜, 如图 4 所示。



图 4 励磁充电柜产品图

从功能上而言, 该产品兼顾了主流的交流、直流内燃机车通用性的需求, 柜体自带强迫风冷, 设计紧凑, 便于机车安装布置。励磁充电柜包括变压器、主发励磁控制器、辅发励磁控制器和充电机模块 4 部分。

励磁系统采用了变压器 + 相控模块为主的励磁系统^[6]。辅助电机的交流输出经过隔离变压器和相控模块转变为直流, 直接输出给辅发电机和主发电机的励磁绕组, 使得控制方式简便, 现场调试和维修简单和可靠。隔离变压器本身可靠性高, 相控模块采用了模块式晶闸管直接安装在散热器上, 使得散热方便, 结构紧凑。控制电路板上大量采用表面贴器件后, 通过安装铝合金隔板的方式来提高电磁兼容性能。

充电机模块为半桥高频 DC/DC 变换器电路, 主要由三相半桥可控整流、半桥高频逆变、高频变压器隔离、二次全桥整流电路等, 装有隔离驱动单元和微机控制单元。

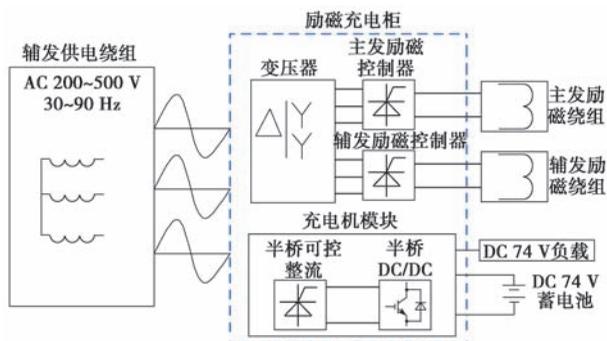


图 5 励磁充电柜主电路框图

1) 励磁变压器主要技术参数

额定容量	59 kVA
频率	30~90 Hz
变压比	6:1

相数	三相
初级绕组参数要求	
绕组连接形式	三角形连接
额定电压 (基波)	线电压 AC 200~500 V

次级绕组参数要求	
绕组连接形式	星形连接
额定电压 1	线电压 AC 33.3~83.3 V
额定电压 2	线电压 AC 20~50 V

2) 励磁模块 (AAC、TAC) 主要技术参数

型号	TPL5 A
控制电压	DC 74 V
最大励磁电流	DC 300 A
最大输入电压	DC 83 V
通信接口	RS485

3) 交直充电机模块 (BBC) 主要技术参数

型号	tPOWER-MC2
控制电压	DC 74 V
输入电压	AC 200 V/30 Hz~AC 500 V/90 Hz
输出电压	DC 74 V
恒流充电电流	DC 50 A
最大充电电流	DC 90 A
通信接口	RS485

3.2 新型变流器模块

新型辅助系统核心部件变流器模块如图 6。基于公司现有平台基础, 集成了控制、通信、IGBT 驱动等功能, 主电路采用 AC-DC-AC 电路结构^[7]。新型辅变模块主要由散热器、整流二极管、支撑电容器、IGBT 元件、电流传感器、采样电阻、放电电阻、低感母排、控制盒、驱动板等组成。



图 6 新型辅变模块图

新型变流器模块采用双管 IGBT 元件, 同时通过热仿真对基板厚度和散热翅片进行了优化设计, 根据模块整体设计的需要, 对低感母排进行定制化设计开发。通过上述一系列的优化, 体积重量减少了约 1/3。

系统所有模块容量等级、电路形式与外形尺寸均完全一致, 可互换使用, 以提升辅助变流器系统的可维护性与兼容性。

技术参数:

型号	tPOWER-MA1
控制电压	DC 74 V
输入电压	0 V/0 Hz~AC 500 V/100 Hz
输出电压	0 V/0 Hz~AC500 V/160 Hz
额定电流	160 A
通信接口	RS485
冷却方式	强迫风冷

4 试验与验证

4.1 励磁充电柜的试验验证

4.1.1 励磁模块试验

对于文中所述的 TAC、AAC 相控励磁模块, 经轻载试验、过载试验、输入网压跳变试验等一系列验证, 符合设计技术要求, 试验波形如图 7、图 8 所示。

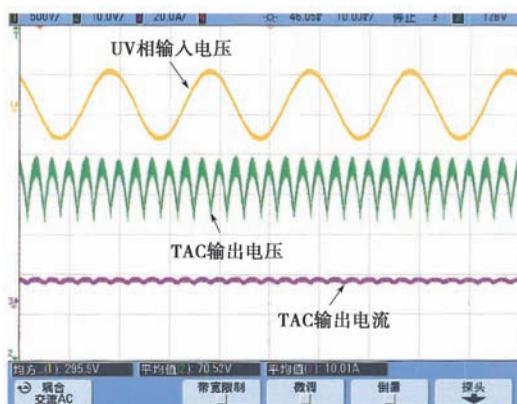


图 7 轻载试验波形

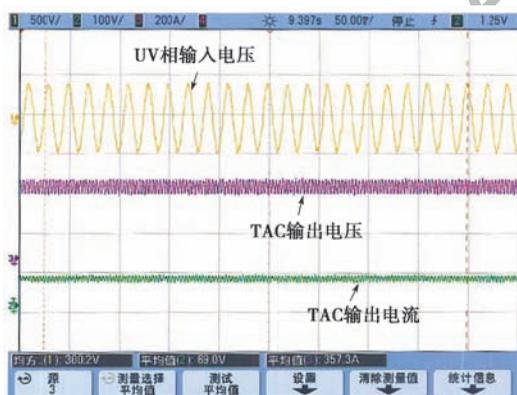


图 8 过载试验波形

4.1.2 交直充电机模块试验

对于文中所述的 BBC 交直充电机模块, 经欠压保护试验、负载突变试验等一系列验证, 完全符合设计技术要求, 如图 9、图 10 所示。

4.2 变流器模块的振动和温升仿真验证

tPOWER-MA1 变流器模块集控制、通信、驱动于一体, 结构紧凑, 安装尺寸小、功能集全。为确保产品运行的可靠性, 特进行了振动试验和温升仿真验证。

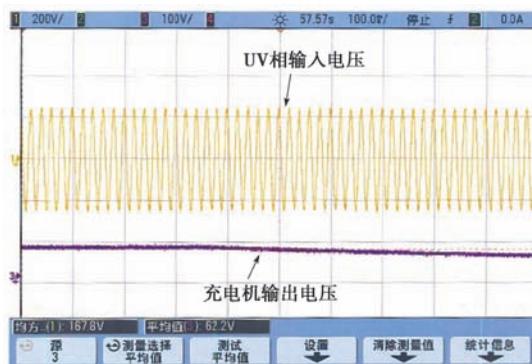


图 9 充电机欠压保护试验

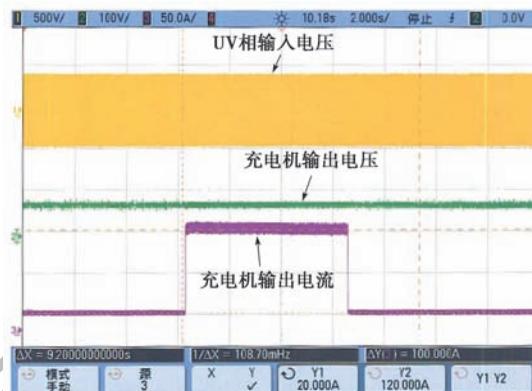


图 10 充电机负载突变试验

4.2.1 振动与冲击试验

为深入验证 tPOWER-MA1 变流器模块抗振性能, 模块样机按车载正常位置安装(辅变模块安装布置见图 11), 分别在相应于机车的垂向、横向、纵向按 GB/T 21563—2008 中的 I 类 B 级要求进行了提高随机振动量级的模拟长寿命试验、冲击试验。试验全程在模块输入端通入 AC 380 V/50 Hz 三相交流电, 并在模块输出端接入 400 W 风机负载。

在提高随机振动量级的模拟长寿命试验及冲击试验过程中, 模块样机能正常工作且无故障。试验之后, 模块样机结构及零部件无损伤、弯曲变形、断裂现象, 满足设计要求。

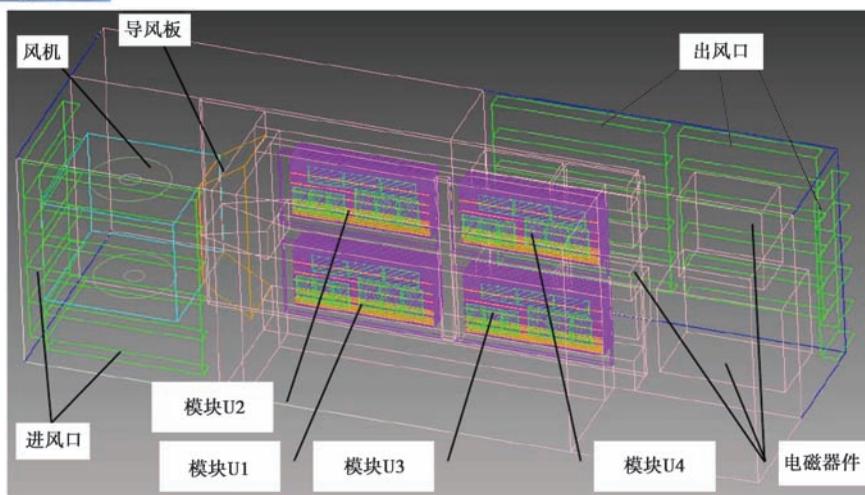


图 11 辅变模块安装布置示意图

4.2.2 温升仿真试验

将变流器模块按图 11 所示安装在辅变柜中, 在最恶劣工况情况下 (环温 55℃), 根据运用要求设定风机工作点 (流量 0.415 m³/s, 风压 465.2 Pa), 然后进行了热仿真, 从仿真结果 (表 1) 及云图 (图 12) 可以得出, 最高温度器件为模块上的 IGBT2~IGBT4, 其中最高温度为 86.78℃, 满足设计要求。

表 1 热仿真结果表

变流器模块	最高温度器件	最高温度 /℃	变流器模块	最高温度器件	最高温度 /℃
U1-	IGBT2	85.90	U3-	IGBT2	86.16
U1-	IGBT3	86.20	U3-	IGBT3	86.63
U1-	IGBT4	86.45	U3-	IGBT4	86.33
U2-	IGBT2	86.12	U4-	IGBT2	86.34
U2-	IGBT3	86.68	U4-	IGBT3	86.78
U2-	IGBT4	86.17	U4-	IGBT4	86.24

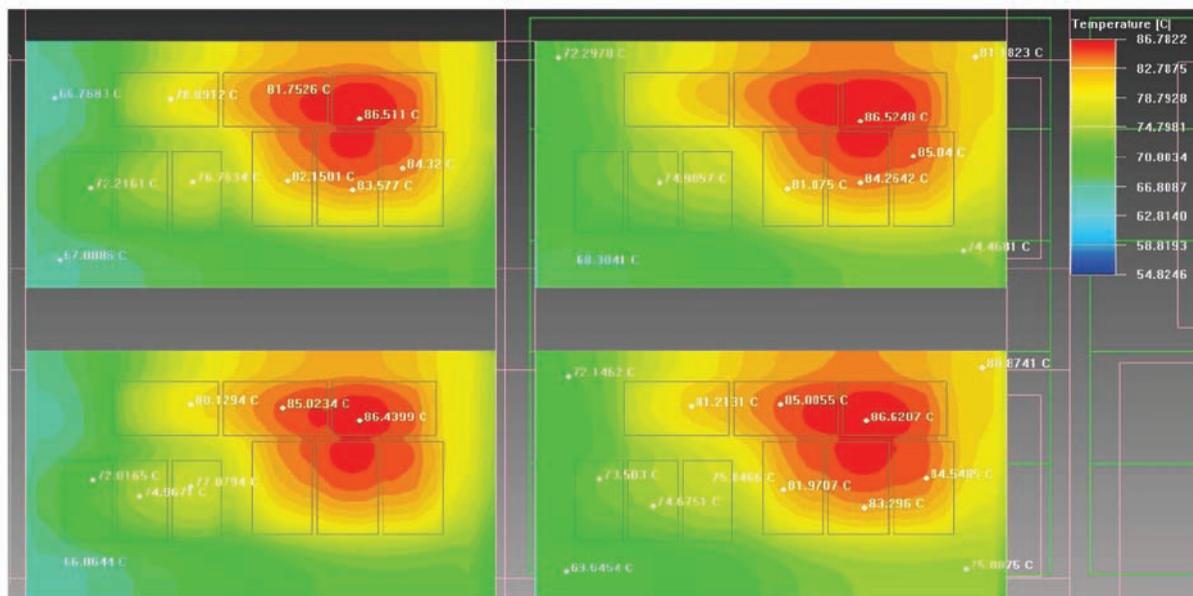


图 12 热仿真云图

5 结语

新型内燃机车励磁与辅助系统目前已在交直、交流传动多种内燃机车上得到了应用, 目前正在大批量推广阶段, 总体运行良好。

在装车试验过程中, 曾出现过变流器模块带空压机负载频繁过流问题。经技术人员现场排查分析, 模块过流原因为模块变频启动与负载投入控制不合理, 通过对辅变控制 PLC 软件的优化, 过流问题得到了很好的解决。

综上所述, 新型内燃机车励磁与辅助系统的开发与应用, 可节约机车的牵引与辅助系统的设备开支, 通过产品集成与小型化开发, 产品在功能、性能、体积和重量方面达到了国外主流产品同等水平, 具有广阔的市场前景。

参考文献:

[1] 林全峰, 封建坤. NJ2 型机车的辅助交流传动系统[J]. 内燃机车,

2007 (3): 17-23.

[2] 陈智豪, 张义, 杨格, 等. HXN5 型大功率交流传动内燃机车电传动系统[J]. 大功率交流技术, 2010 (3): 46-50.
 [3] 郝金伟. HXN5 型大功率交流传动内燃机车[J]. 机车电传动, 2009 (3): 1-5.
 [4] 罗仁俊, 樊小平, 尚敬, 等. 基于牵引变流器变频启动柴油发电机组研究[J]. 控制工程, 2016(9): 191-194.
 [5] 胡新林, 吴顺海, 于力. 6500 马力内燃机车用辅助同步发电机[J]. 机车电传动, 2011 (4): 35-37.
 [6] 王兆安, 黄俊. 电力电子技术[M]. 北京: 机械工业出版社, 2002.
 [7] 熊敏, 蹇芳, 张小勇. 20 kVA 变流器模块的研制[J]. 大功率交流技术, 2012 (2): 5-8.

作者简介: 杨 格 (1980-), 男, 工程师, 主要从事内燃机车电气牵引系统研究与开发工作。