

研
究
开
发

6 500 马力内燃机车用辅助同步发电机

胡新林, 吴顺海, 于 力

(南车株洲电机有限公司, 湖南 株洲 412001)



作者简介: 胡新林 (1973-), 男, 工程师, 主要从事牵引电机及风力发电机的研发工作。

摘 要: 介绍了6 500 马力 (4777.5 kW) 内燃机车用无刷励磁辅助同步发电机的研制背景、结构特点及在研制中采用的一些新技术。通过装机运行试验进行了验证, 结果表明该发电机结构合理、性能可靠, 到达了国内先进水平。

关键词: 内燃机车; 无刷励磁; 辅助同步发电机

中图分类号: U262.45; TM341 **文献标识码:** A **文章编号:** 1000-128X(2011)04-0035-03

Development of Auxiliary Synchronous Generator for 6 500 HP Diesel Locomotive

HU Xin-Lin, WU Shun-hai, YU Li

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

Abstract: Introduction of brushless exciting auxiliary synchronous generator developed for 6 500 HP diesel locomotive was presented including developing background, structure characteristics and new applied technology. With field operation, the generator was proved structure reasonable and performance reliable, it reaches the domestic advanced level.

Key words: diesel locomotive; brushless exciting; auxiliary synchronous generator

0 引言

随着现代大功率变流技术的发展, 机车的交流传动已成为现代机车技术发展的方向。一般来说, 机车的交流传动包含两大部分: 机车驱动动力系统和辅助传动系统。交流传动系统由于采用异步电机作为驱动动力, 相比传统的直流驱动系统, 具备电机结构简单、功率密度大、可靠性高、维修简单等多种优点。

另外, 交流辅助传动系统与传统的液压传动和机械传动系统相比, 最突出的特点是提高了机车的可靠性, 节约了燃油, 降低了机车的运用成本, 实现了逆变器在机车牵引工况时, 精确调节柴油机的油水温度。

众所周知, 高速重载作为提高运营效率的有效手段, 已成为运输行业发展的趋势。在内燃机车领域, 交流传动的机车功率已经超过了6 000 马力, 相应地对辅助系统提出了新的要求。本文通过对6 500 马力机车交流辅助传动系统供电发电机——无刷励磁辅助同步发电机(以下简称辅发电机)的分析讨论, 提供一种此类发电机的研发思路。

1 辅发电机技术要求

考虑到机车的运营特点以及负载的要求, 发电机的主要及特殊技术要求为:

满足机车对应各速度点驱动所有辅助电动机的能力, 其中包括3台75 kW冷却风扇电机、2台50 kW牵引通风机、1台50 kW和2台11 kW主变流器通风机电机(以上电机功率均为额定点功率);

在满负荷的情况下, 满足19 s内机车由0至16级手柄升速的要求(对应柴油机转速为400~1 000 r/min);

满足机车速度对应16级手柄的情况下冷却风机由变流器向辅发电机的切换;

满足当变流器突然故障时, 75 kW冷却风机突然改由辅发电机直接供电启动直至正常运转的能力;

考虑到内燃机车制动的要求, 辅发电机采用两路同相位输出。

基本参数:

额定容量	2×250 kVA
额定电压	480 V
极对数	2
额定电流	2×301 A

收稿日期: 2011-06-06

功率因数	0.85
额定频率	94.07 Hz
励磁方式	无刷励磁 主绕组输出恒压/频比控制
励磁电压	110 V 直流电源
绝缘等级	H/H
冷却方式	自通风
防护等级	IP23
工作制	S1

2 设计与制造难点

2.1 电磁设计方面

如何选取辅发电机合适的热负荷以满足绝缘等级的要求；

如何选取辅发电机合适的过载能力以满足在满负荷的情况下实现 19 s 内机车由 0 至 16 级手柄升速的要求，辅助系统不至于由于辅发电机过载能力不足的原因而引起系统崩溃；

在额定转速的情况下，75 kW 风机直接由辅发电机供电投入运行时，在强励磁反应不及时的情况下，辅发电机不至于由于风机投入时引起的冲击电流而产生的强枢反应导致过载能力的下降进而导致辅助系统崩溃。

2.2 结构设计及制造方面

如何合理设计辅发电机的整体结构以保证 2 个同步发电机的气隙均匀性；

相比一般民用领域的无刷励磁的同步发电机的 1 500 r/min 运行转速的情况而言 辅发电机的额定运行转速为 2 822 r/min 如何合理设计辅发电机的转子结构确保辅发电机高速运行时旋转绕组及整流模块的安全运行的要求；

由于辅发电机的外径的限制性要求，加上系统的双回路输出的要求，辅发电机的定转子绕组的设计和制造异常困难；

如何合理设计轴承结构，满足频繁启动、各方向上振动加速度大的铁路运行环境的安全运行要求。

3 电磁设计

在综合考虑辅发电机的各项性能要求，并基于已有电机设计与制造经验的基础上，开展了辅发电机的电磁设计工作。

为简化计算过程，在过载能力参数的选取时执行如下假设：柴油机升速完成时，辅发电机所拖动的辅助系统同步完成了升速过程；辅发电机的负载系统的所有风机（异步电动机）的综合转差率 s 为 0.08；在工作点附近，异步电动机的电磁转矩与转差率成正比地变化。

柴油机升速时，辅发电机的励磁系统同步按照恒压/频比的控制要求完成了励磁的补充和供给工作。

众所周知，风机类负载的功率特点是：

$$P \propto V^3$$

由此推断 辅发电机的过载能力要求点也就是其额定运行点，对应转速为 2 822 r/min。

19 s 内机车由 0 至 16 级手柄升速时，对应辅发电机的转速变化为：由 1 129 r/min 升速至 2 822 r/min。

转速变化率为：

$$dv/dt = (2822 - 1129) / 19 = 89.1 \text{ r/min/s}$$

该转速变化对应于 4 极的同步转速为 2 822 r/min 的异步电动机而言，转差率值为

$$s = 89.1 / 2822 = 0.0316$$

因此，风机随柴油机升速时所驱动的异步电动机的转矩输出为

$$T = (s + s_0) \cdot T_N / s = (0.0316 + 0.8) \times T_N / 0.8 = 1.395 T_N$$

综合考虑设计过程中的一些不确定性、75 kW 风机直接由辅发电机供电投入以及一定的设计裕量，最终选定辅发电机的最小过载能力为 1.6 倍。

为确保设计的准确性，提高设计效率，辅发电机的电磁参数采用已有成熟运用经验的同步电机计算程序予以选取，该程序是在文献 [1-4] 的基础上编制而成，图 1、图 2 分别为计算程序的界面图及运行结果界面图。



图 1 计算程序界面



图 2 计算结果界面

4 结构设计

4.1 整体结构的选择

考虑到辅发电机安装形式为卧式, 为确保电机的高速运转及频繁负载变动的要求, 电机整体结构采用刚度较好的焊接机座结构形式, 励磁电机的定子和主发电机的定子均安装在机座上, 励磁采用旋转电枢式凸极同步发电机, 主发电机采用旋转磁极式隐极同步发电机, 轴承结构采用双轴承的结构形式, 非传动端为定位端, 主发电机为4极电机, 分两路输出, 励磁机为8极电机, 发电机轴伸为1:50锥度, 防护式轴向自通风, 冷却风从端盖以及机座侧面的进风口进入发电机, 从机座端部排风口排出。如图3所示。

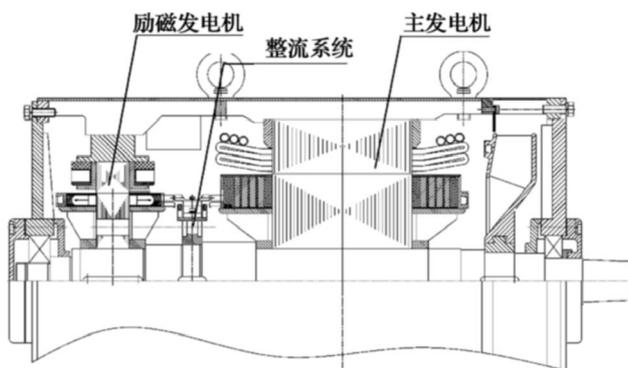


图3 辅发电机结构图

4.2 机座

机座采用焊接结构, 强度和刚度好。同时合理设计筋的位置, 保证发电机良好的通风散热效果。

4.3 主发电机定子

定子铁心由高牌号的优质冷轧硅钢片叠压而成。定子线圈为散嵌绕组, 铁心每槽放置4个导体, 分2路Y型输出, 两端各有1路输出。

4.4 励磁机定子

磁轭材料为高导磁的磁性材料, 加工后和主发电机定子一样, 固定在机座的筋条上。

磁极铁心由冲制的冷轧钢板叠制而成, 通过周边焊接成一体。磁极线圈由漆包线绕制而成。

4.5 转子

主发电机转子铁心采用高牌号冷轧硅钢片叠压而成, 两端用端板和压圈固定, 磁极为隐极机结构, 线圈为等绕组同心结构, 所用导线为漆包线。

励磁机转子铁心也是采用高牌号冷轧硅钢片叠压而成, 两端用端板和压圈固定, 端板为粘接端板, 线圈为散嵌软绕组, 三相绕组对称Y接。

转子绝缘结构为H级, 所有绕组端部均用无纬带绑扎在压圈上, 真空压力浸漆烘培后, 机械上与铁心成为了一体。

用于将励磁机转子三相交流输出整流成主发电机转子直流输入的整流盘安装在两套绕组的中间位置, 整流盘上的元件可以通过打开机座上的窗口进行更换。

5 试验及运用情况

根据GB/T 1029 《三相同步电机试验方法》以及TB/T 2436—93《铁路机车动车用旋转电机 通用技术条件》等相关标准及该辅发电机的技术条件, 在南车株洲电力机车研究所有限公司牵引电机检测试验站完成了电机的型式试验工作, 主要试验项目有: 以励磁机励磁电流为横坐标, 发电机空载电压为纵坐标的空载特性的测定; 以励磁机励磁电流为横坐标, 发电机短路电流为纵坐标的短路特性的测定; 固有电压调整率的测定; 外特性曲线测定; 调整特性测定; 温升试验及热态电阻的测定; 效率的测定; 短时过电流试验; 超速试验; 短时升高电压试验; ①噪声测定; ②振动测定。

从试验结果来看, 设计值和试验值吻合较好, 且各项指标均能满足有关国家、行业标准及原技术条件的要求。

该辅发电机装机于6 500马力机车上, 顺利通过联调试验后该机车投入了运营考核。从跟踪反馈的情况来看, 辅发电机实现了技术要求中提出的各项要求, 且运行情况良好。

6 结语

用500 kVA辅助同步发电机在南车株洲电力机车研究所有限公司牵引电机检测试验站进行了型式试验, 在6 500马力机车上进行了装机联调试验并已通过了运营考核。从试验及运用结果来看, 在整个工作区范围内, 试验值与设计值偏差在10%以内, 并完美实现了技术要求中提出的辅发电机应具备适应变流器出现故障时, 直接投入辅助机组直至正常运转的诸多苛刻运用环境的能力的要求, 该电机的功率密度和转速适应范围在同类电机中是最大的。这表明对此类型发电机的研制是成功的, 其对后续辅助同步发电机及其他高速大容量的无刷励磁的同步发电机的研制具有较大的技术参考价值。

参考文献:

- [1] 上海电器科学研究所. 中小型电机设计[M]. 北京: 机械工业出版社, 1994.
- [2] 湘潭电机厂. 交流电机设计手册[M]. 长沙: 湖南人民出版社, 1978.
- [3] 许实章. 电机学[M]. 北京: 机械工业出版社, 1996.
- [4] 陈世坤. 电机设计[M]. 北京: 机械工业出版社, 1990.