

车载中频高速同步发电机设计

邓红军

(兰州电机股份有限公司, 甘肃 兰州 730314)

摘要: 对车载中频高速同步发电机设计思路和设计特点进行阐述。根据设计思路和设计特点制造了试验样机, 在制造过程中着重对磁极线圈的绑扎与固定、三相旋转整流器的内部结构做了改进。进行了电机性能的试验分析, 对采取的技术措施进行验证, 验证了设计方法的有效性。这为同类电机设计提供了参考。

关键词: 同步发电机; 磁极线圈; 绑扎; 三相旋转整流器

中图分类号: TM 302 **文献标志码:** A **文章编号:** 1673-6540(2019)06-0091-04

Vehicle-Mounted Intermediate Frequency High Speed Synchronous Generator

DENG Hongjun

(Lanzhou Electric Corporation, Lanzhou 730314, China)

Abstract: The design ideas and design characteristics of the vehicle-mounted intermediate frequency high speed synchronous generator were elaborated. The test prototype was made according to the design idea and design characteristics. The binding and fixing of magnetic pole coil as well as the internal structure of three-phase rotating rectifier were greatly improved in the process of prototype fabrication. Motor performances of the prototype were tested, and the effectiveness of the technical measures to improve the motor performances was verified. This research provided valuable experience for the future design of similar motor.

Key words: synchronous generator; magnetic pole coil; binding; three-phase rotating rectifier

0 引言

随着国民经济和国防建设的大力发展, 中频发电机因具有输出电压波形品质好、稳态电压调整率范围小、突变额定功率负载的稳定时间短等诸多优点, 广泛应用于航空、航天、机场等领域。中频发电机与汽车上的燃气轮机和底盘发动机组成车载移动电源, 提供满足负载使用要求的中频交流电。车载中频发电机因受车上空间限制, 要求具有结构紧凑、体积小、重量轻等特点。与其他电机相比, 中频高速同步发电机恰好具备以上特点而成为车载中频电源的首选机型。

转子绕组固定与绑扎是中频高速同步发电机的设计难点。文献[1]介绍了电机绕线转子

铁心表面无纬带的绑扎, 认为电机最高转速时铁心部位线圈的离心力应小于等于无纬带箍紧贴转子铁心表面时的预紧力。文献[2]介绍了发电机转子绕组端部网状无纬带绑扎技术。文献[3]介绍了同步交流发电机绕组端部结构, 其中玻璃纤维无纬带缠绕在绕组端部环状体内径处布置以转轴定位的轮辐型线圈支架, 外径处多层缠绕绑扎玻璃纤维网状无纬带。文献[4-6]对电机设计的理论及参数的优化设计进行了较为详细的阐述。

在上述文献研究的基础上, 结合兰州电机股份有限公司长期在设计发电机方面所积累的经验, 针对车载中频发电机需具有电压波形品质好、结构紧凑、体积小、重量轻等特点, 本文设计了一种适合车载条件使用的中频高速同步发电机。首

先讨论了该发电机的设计思路, 然后对电机参数进行优化, 并详细分析了中频高速同步发电机的设计特点, 最后制造了 1 台试验样机, 进行了电机性能的试验分析, 验证了该电机设计方法的有效性。

1 设计思路

1.1 设计原则

受安装空间及条件的限制, 发电机要在满足主要性能指标的同时来控制发电机体积和重量。根据电机的基本尺寸方程^[4]:

$$\frac{D^2 l_{ef} n}{P'} = \frac{6.1}{\alpha_p' k_{NM} k_{dp} A B_{\delta}}$$

(1)

- 式中: D ——电枢直径;
 l_{ef} ——电枢的计算长度;
 n ——电机额的转速;
 P' ——电机的容量;
 α_p' ——计算极弧系数;
 k_{NM} ——气隙磁场波形系数;
 k_{dp} ——电枢绕组系数;
 A ——线负荷;
 B_{δ} ——气隙磁密。

由式(1)可知, 在电机容量和其他参数一定的条件下, 体积和转速成反比。要使电机的体积相对较小, 在条件允许的情况下, 则需要适当提高电机的转速。

1.2 主要参数

为了满足车载发电机体积小、重量轻的要求, 确定了样机的主要参数, 如表 1 所示。

表 1 样机主要参数

参数名称	参数值
额定功率/kW	75(55+20)
额定电压/V	200
额定频率/Hz	400
额定转速/(r·min ⁻¹)	8 000
额定功率因数	0.8(滞后)
励磁方式	无刷励磁
绝缘等级	H
定额	连续(S1)
冷却方式	IC01
外壳防护等级	IP21

2 设计特点

2.1 主要难点、要点

- (1) 因受安装条件的限制, 发电机要求体积小, 重量轻;
- (2) 发电机额定转速为 8 000 r/min, 保证转子绕组在高转速下运行而不被损坏, 转子绕组的固定和绑扎方式成为必须解决的问题;
- (3) 为保证发电机在高转速(8 000 r/min)运转过程中, 三相旋转整流器能够正常工作, 确保其内部结构在高速运转中不受损坏, 必须对三相旋转整流器进行设计改进;
- (4) 发电机转速高(8 000 r/min)、工作环境温度低(-40~60 ℃), 因此需要筛选满足发电机可靠运行的轴承。

2.2 采用的技术措施

2.2.1 总体方案

发电机由同轴共壳的 55 kW 和 20 kW 的两部分主发电机和同轴的交流励磁机组成, 55 kW 和 20 kW 2 个主发电机转子提供励磁的交流励磁机采用公用铁心的结构, 交流励磁机定子铁心(磁场)由低碳薄钢板冲制的 16 极整圆磁极冲片叠成。在铁心槽内放置绝缘后, 分别嵌入相互绝缘的 16 极和 8 极两套绕组。在磁极铁心的极靴内表面开有小槽, 槽内粘有成型的钕钴永久磁钢, 形成 16 极固定磁场, 极性与 16 极磁场绕组形成的极性一致, 以保证发电机可靠起励建压。交流励磁机转子铁心(电枢)上嵌有两套互相绝缘的 8 极和 16 极三相对称绕组, 分别经 2 个三相旋转桥式整流器整流后输入到 55 kW 和 20 kW 主发电机磁场, 经各自的自动电压调节器控制输出互不干扰的 55 kW 和 20 kW 中频交流电, 既达到了双发电励磁系统互不干扰的目的, 又缩短了发电机总长尺寸, 同时也减轻了电机重量。总体结构如图 1 所示。

在电磁结构方面, 优化设计参数, 按定子槽数为 90 槽进行设计, 采用短距、分布、斜槽等方法改善输出电压波形^[5-6]。在转子极靴上设置阻尼笼, 对发电机转子不对称短路时的过电压进行了有效抑制, 发电机承担不平衡负载的能力增强, 从而使发电机能稳定运行, 避免失步^[6]。通过选取合理的冲片尺寸和导体匝数, 选取优质的硅钢片

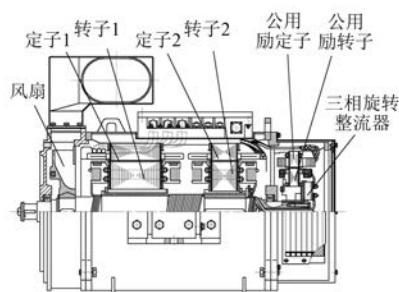


图1 总体结构图

和铜线,使线负荷和电密趋于合理,从而降低铁耗和铜耗,最终降低发电机各绕组的温升^[6]。在机械结构方面,端盖和机座采用钢板焊接后进行退火处理,以消除焊接应力,预防时效变形的发生。转轴选取优质碳素结构钢并进行调制处理,使结构件满足强度要求并有一定的设计裕度,保证了发电机在8 000 r/min高转速连续运行下的机械强度。

2.2.2 磁极线圈绑扎与固定

由于发电机转速高,磁极线圈的绑扎与固定尤为重要。充分借鉴兰州电机股份有限公司在工频发电机磁极线圈绑扎与固定上的成熟经验,对磁极线圈绑扎与固定采取了如下措施:在磁极绕线绝缘支架外圆面增加凹槽,在凹槽部位进行无

纬带扎箍,依靠无纬带扎箍的强度抵消绕组端部的离心力,举一反三,在同样转动的部件励磁机电枢绕组端部也增加了无纬带扎箍的措施;在转子磁极绕组极间对传统的撑块(如图2所示)进行了改进,改用双头螺杆连接的极间分体撑块固定极间绕组(如图3所示),撑块材料选用密度较低的高强度铝合金。具体的磁极线圈绑扎与固定,如图4所示。

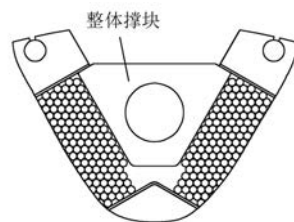


图2 改进前撑块结构

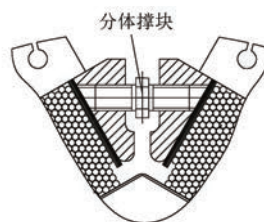


图3 改进后撑块结构

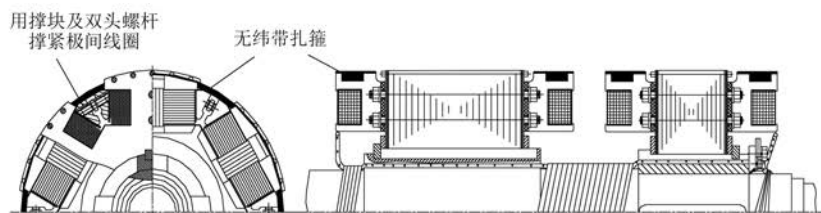


图4 磁极绕组端部绑扎

2.2.3 三相旋转桥式整流器改进

为了适应8 000 r/min高转速运转要求,在与整流器生产厂进行深入讨论后,对三相旋转整流器内部结构(如图5所示)采取以下4个方面的加强措施(如图6所示):

(1) 增加2 mm厚环氧玻璃布板,通过与铝质

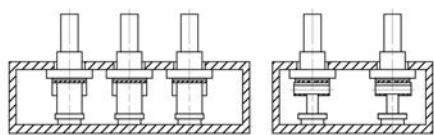


图5 三相旋转整流器内部平面结构图

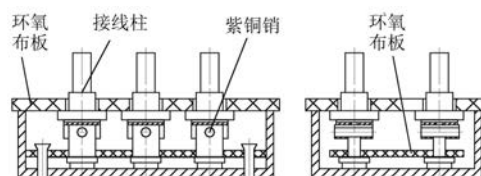


图6 改进后三相旋转整流器内部平面结构图

外壳底部紧固的4个螺钉 M3×12 mm,压住6个整流管心,避免管心与电连接片之间的焊接点受力。

(2) 增加 $\phi 2$ mm紫铜销,用以平衡接线柱螺栓的离心力。根据计算,即使高速运转中的离心

力全部作用在铜销上,其受到的剪切应力为 89.2 MPa,也小于许用应力 100 MPa。

(3) 增加 3 mm 厚环氧玻璃布板,压住序 2 接线柱上增加的平台。该环氧玻璃布板与铝盒外壁用胶粘牢,并与整个旋转整流器一起由 4 个安装螺栓 M4×25 mm 固定到交流励磁机电枢支架端面上,可以防止盒内任何结构零件甩出。

(4) 由于接线柱材料为黄铜,将接线柱螺纹 M4 改为 M5,可避免因过分拧紧螺母而折断。

同时在励磁机电枢支架的三相旋转桥式整流器安装平面上加工出对称的两凹槽,如图 7 所示,使装配后三相旋转桥式整流器外壳的侧面与支架凹槽的内侧面紧贴,以彻底避免三相旋转桥式整流器因受高转速下的离心力作用而向外滑移。

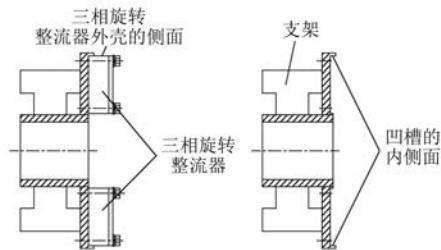


图 7 三相旋转整流器安装结构示意图

2. 2. 4 轴承筛选

轴承的选用是发电机研制成功与否的一个关键技术问题。国产轴承均不能满足高转速使用要求,因此选用进口轴承。为此,经多方筛选比对,并通过国内代理商采购到了可以适应 - 45 ~ 130 ℃工作温度和 8 000 r/min 连续运行的轴承,轴承型号为 FLB98K6009。

3 试验验证

依照上述设计思路及设计特点,制造了 1 台试验样机。样机制造完成后,先后进行型式试验^[7]、高温、低温、湿热和冲击试验。试验结果表明:发电机的各项性能指标满足技术任务书的要求,体积和质量也满足技术任务书的要求。主要性能参数符合性对照表如表 2 所示。

试验完成后,对电机解体进行进一步分析,发现,电机磁极绕组固定与绑扎完好,无有害变形,旋转整流器完好无损,轴承转动灵活无损坏。由此可见,设计方法合理,所采用的技术措施合理有效。

表 2 主要技术指标符合性对照表

指标名称	要求	实测值	结论
机壳外径×长/mm	φ355×700	φ350×675	合格
质量/kg	≤200	198	合格
效率/%	≥85	86.5	合格
稳态电压调整率/%	≤±1	-0.3/-0.35	合格
定子温升/K	≤95	62.4/36.2	合格
转子温升/K	≤95	56.9/25.4	合格
相电压波峰系数	1.31~1.51	1.43/1.44	合格
相电压总谐波含量/%	≤3	0.68/0.68	合格
相电压偏离系数/%	≤4	0.014/0.022	合格
电压调制/%	≤1	0.369/0.319	合格
电压波动率/%	≤0.5	0.02/0.007	合格

4 结 语

本文提出了车载中频高速同步发电机的设计思路及设计特点,并制造了 1 台试验样机,对设计思路及设计方法进行验证。试验结果表明,电机设计方法合理,所采用的技术措施合理有效。设计方案能够满足车载中频高速同步发电机在高转速运行条件下的性能与机械强度要求。为今后设计同类型电机提供了参考。

【参考文献】

[1] 杨青.电机绕线转子铁心表面无纬带的绑扎[J].电机与控制应用,2011,38(10): 47.

[2] 郭永红,王淑英.发电机转子绕组端部网状无纬带绑扎的设计与制造[J].中小型电机,2002,29(2): 63.

[3] 孟永奇.浅析交流发电机转子绕组端部结构[J].电机技术,2014(1): 47.

[4] 陈世坤.电机设计[M].2 版.北京:机械工业出版社,1990.

[5] 许实章.电机学[M].修订本.北京:机械工业出版社,1988.

[6] 黄国治,傅丰礼.中小旋转电机设计手册[M].北京:中国电力出版社,2007.

[7] 国防科学技术工业委员会.中频、双频发电机通用规范: GJB 1213-1991[S].北京:中国标准出版社,1992.

收稿日期: 2019-02-18