

相关技术

适用于小型热气机性能试验的电加热器的研制

杨欣, 潘卫明, 许世杰, 龚欢, 蔡勇

(上海齐耀动力技术有限公司, 上海 201203)

摘要:介绍了一种针对小型家用热气机性能试验开发的电加热器系统。该电加热器可以模拟性能试验时外燃系统对热头的加热情况, 精确控制输入的热量。针对不同材料不同形式的加热器进行理论试验研究, 确定并制造了应用于试验的电加热器系统。试验验证了其可行性, 可满足家用小型热气机性能试验的要求。

关键词: MCHP 系统; 性能试验; 电加热器; 家用小型热气机

中图分类号: TK423.4⁺3 **文献标识码:** A **文章编号:** 1001-4357(2012)02-0047-04

R&D of Electric Heater Used for Performance Testing of Small Stirling Engine

Yang Xin, Pan Weiming, Xu Shijie, Gong Huan, Cai Yong

(Shanghai MicroPowers Ltd. Shanghai 201203)

Abstract: A electric heater system for the performance testing of small household Stirling engine is introduced. This electric heater can imitate the heating condition of external combustion system heating the heating head, so that the heat input can be controlled accurately. By theory test research on different heaters with different materials and forms, the electric heating system for test was developed. Through adaptability test, the electric heater has been proven feasible and sufficient for performance testing of small household Stirling engine.

Keywords: MCHP system; performance testing; electric heater; small household Stirling engine

0 引言

能源是国民经济发展的重要物质基础。在能源日益紧缺的今天, 合理的利用能源, 提高能源的利用率已成为世界各国普遍关注的问题。为了进一步优化能源结构, 实现能源的综合利用, 提高能源总体效率, 建立安全的能源供应体系, 中国政府提出了“节约与开发并重, 近期把节约放在优先地位”的能源方针政策。微型热电联供(简称 MCHP, Micro Combined Heat and Power)技术符合当前的能源利用形势。

MCHP 供电量 ≤ 5 kW, 能最大限度地为家庭用户节约能源, 提高能源安全性和能源品质, 并具有逐步替代家用燃气锅炉的趋势。

MCHP 系统的核心部件为小型家用热气机。一般而言, 小型家用热气机采用紧凑型结构, 除外燃系统外, 活塞-连杆组件、传动系统及发电机部分均布置在充压式曲轴箱内, 工作时曲轴箱内充有一定压力。就笔者检索到的文献范围, 尚未见到针对家用小型热气机的整机性能试验的文献报道。而没有整机性能试验数据就很难对热气机自身功率特性进行深入研究, 热气机的燃烧状况、热功转换效率、机械传动效率及电机效率都无从知晓, 更无法对热气机本身进行有针对性的性能优化。

本文在进行性能试验的过程中, 为了去除燃气热值变化、燃烧状况变化等因素对性能试验的影响, 提出了用电加热器来取代燃烧器成为性能试验实验样机的热源, 以便精确控制输入热气机中的热

收稿日期: 2011-12-08

作者简介: 杨欣(1986-), 男, 硕士在读, 主要研究方向为斯特林发动机性能优化及测试, E-mail: realaudi@gmail.com。

量。进一步,通过对各个热头加热器的控制,还可以控制各个热头的温度高低,以模拟燃烧不均匀状态下的各种工况。通过测量整机的机械输出功、发电输出电功率、缸内工质的瞬时压力以及电加热器输出的热量,可以分别得到热气机的指示功、输出功、电功率,从而得到热气机的热功转换效率、热气机传动机构的机械效率、发电机的发电效率等;并可根据这些效率,对整个发电装置进行针对性的优化。

1 加热器设计要求

4R50GZ 小型热气机为四缸热气机,由外燃系统向热气机提供热量,四个热头(如图 1 所示)从燃烧室中吸收热量。4R50GZ 型热气机设计发电功率为 1 kW,若热电转换率为 15%,则需要电加热器输入大约 6.67 kW 的热量。

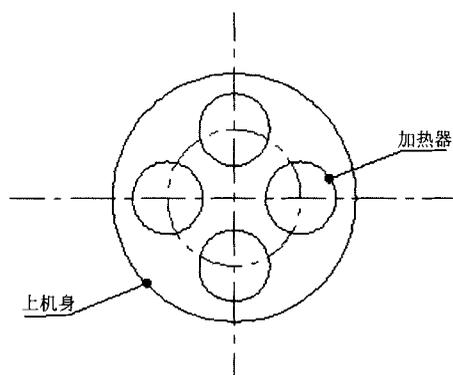


图 1 4R50GZ 型热气机热头布置示意图

4R50GZ 型热气机相邻的两个热头之间距离只有 26 mm,空间很小,而且对单位面积发热量也提出要求,所以加热器必须具有尺寸小,单位面积发热量高的特点。

2 加热器材料选择

通过对国内加热器市场的调研,一般工业用加热器使用的材料有镍铬合金、铁铬铝合金、硅钼棒发热元件、PTC 陶瓷热敏电加热丝等,这几种加热器材料主要特点分别如下。

(1) 镍铬合金是应用最为广泛的电加热材料,其特点主要有:

- ① 抗氧化能力强;
- ② 熔点较高,能达到 1 200 ℃;
- ③ 辐射率高,无磁性,耐腐蚀性强,电阻率较高;
- ④ 机械强度比较高,高温使用不变形,结构不易改变,塑性较好,易修复。

(2) 铁铬铝合金的特点:

- ① 使用温度高,熔点高达 1 400 ℃;
- ② 使用寿命长,表面负荷高,抗氧化性好,电阻率高;
- ③ 高温强度低,随着使用温度升高其塑性增大,元件易变形,不易弯曲和修复。

(3) 硅钼棒的特点:

① 由于在高温氧化性气氛下使用会在表面生成一层光亮致密的石英玻璃膜,所以硅钼棒具有高温抗氧化性;

② 在氧化气氛下,最高使用温度高达 1 800 ℃;

③ 硅钼棒其物理硬度高,不适合加工,元件一旦损坏无法修复,价格比较昂贵。

(4) PTC 陶瓷热敏电加热丝的特点:

① 恒温发热特性,PTC 热敏电阻表面温度保持恒定值,该温度只与 PTC 热敏电阻的居里温度 and 外加电压有关,而与环境温度基本无关;

② PTC 加热元件加热状态时无明火,热转换率高,受电源电压影响极小,自然寿命长;

③ 恒温加热 PTC 热敏电阻可以制作成多种外形结构和不同规格;

④ 利用 PTC 元件或导热板表面迅速发出的热量直接或间接地激发接触其表面的远红外涂料或远红外材料使之辐射出红外线,通过辐射换热加热受热元件;

⑤ PTC 热敏电阻加热温度有限,最高温度不超过 500 ℃,主要用于中小功率加热场合。

小型热气机外燃系统正常工作时热头侧壁温度约为 600 ~ 700 ℃,所以排除 PTC 加热陶瓷。由于加热器是围绕热头的圆筒型,对加工要求比较高,硅钼棒不适合加工成圆筒型,而且需要在氧化气氛下工作,所以也排除硅钼棒。铁铬铝合金使用温度和环境适合模拟外燃系统工作,但是其物理特性,即高温强度低,随使用温度升高其塑性增大会导致加热器变形,故也被排除。镍铬合金工作温度比铁铬铝合金略低,但也能满足加热器工作温度要求,最重要的是其强度比较高,高温使用不变形,结构不易改变。故选择镍铬合金为加热器加热材料。

3 加热器结构布置方案

根据镍铬合金的特性,采用镍铬合金为发热元件的电加热器布置方案大致可归纳如下。

方案一:将镍铬合金电热丝布置在氧化铝陶瓷块内,包裹在热头周围。工作时镍铬合金加热丝发

出热量使氧化铝陶瓷块陶瓷升温，通过发射元红外线和热辐射这两种方式将热量传递给热头。

方案二：直接将镍铬合金丝加工成圆筒状，套在热头外围，通过热辐射向热头传递热量。

方案三：将镍铬合金电热丝布置在绝缘耐热材料内，如“热得快”，用氧化铝包裹镍铬合金电热丝。工作时通过氧化铝传递热量，再通过热交换传递给热头。

针对三种方案的可行性进行理论和试验的论证。

第一种方案中氧化铝陶瓷可以耐高温，也有很好的热传导性，电加热器的辐射面积可以做得较大，可实现性较高。第二种方案由于镍铬合金丝在工作状态下带电并裸露在空气中，且热头材质为金属，有可能导致短路的发生，不予采用。第三种方案曾进行过试验，发现由于该方案热传导面积较小，且辐射面积有限，传导到热头的热量有限，造成加热器本体温度持续上升，最终电热丝温度达到熔点并烧断，致使加热器报废，可靠性较低，排除方案三。

根据前述分析，最终采用第一种方案制造电加热器。具体结构形式如下：

(1) 用镍铬合金电热丝穿过氧化铝陶瓷块的通孔组成履带式加电热带；

(2) 外围用不锈钢套筒固定，避免高温加热时发生变形(如图2所示)；

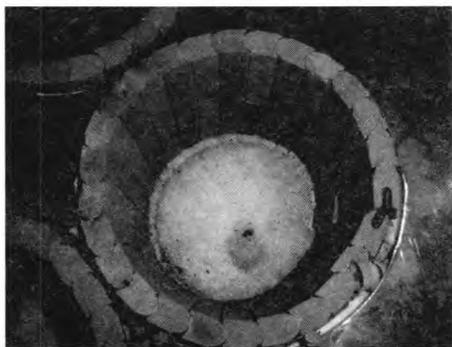


图2 加热器内壁

(3) 电加热器外部保温层采用50 mm保温棉，确保热量不会从外部流失；

(4) 电加热器外壳材料选用不锈钢，四个侧面分别布置有电加热器电源线及拉手(如图3所示)。

加热器采用三相380 V供电，一、二号加热器并联由一路供电，三、四号加热器分别由两路供电，通过四台富士PXR4型微型控制器调节各个加热器的电流电压，以达到控制各加热器发热量的目的。每

个电加热器均布置有电热偶，用以测量加热器工作温度；热头侧壁也布置了热电偶，可以观察工作时侧壁面与热头顶端温度差，了解热头工作情况。安全方面有漏电保护开关，亦可以通过微型控制器设置工作温度，一旦加热器超过工作温度，系统会自动给超温加热器断电，同时可以起到精确控制加热器温度的作用。

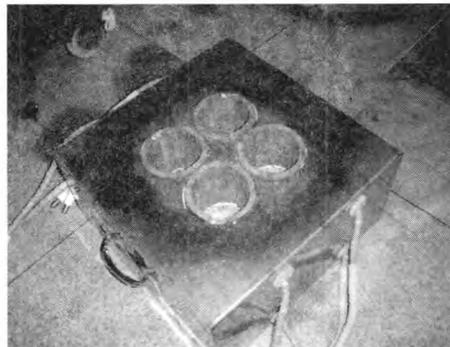


图3 加热器外观

4 试验过程及结果

电机热器安装调试完毕后，进行了电加热器代替外燃系统的可行性试验。

首先拆除外燃系统，保留陶瓷隔热板，将加热器放置在热气机机身上，检查安装面安装间隙，在间隙比较大的地方填塞隔热棉，避免试验时热量散失造成试验数据不准确。试验时其他参数沿用外燃系统试验时的参数。

电加热试验如图4所示。试验开始时间：2011年9月20日13:30；室温：22℃；工质压力：2 MPa；当热头温度到达600℃开启热气机发电。热头最高温度不超过850℃。



图4 电加热试验

在试验过程中，通过热成像仪和激光测温器对电加热器外壳及接触面进行热量散失的监控，结果显示基本没有热量流失。

试验数据如图5、图6所示。

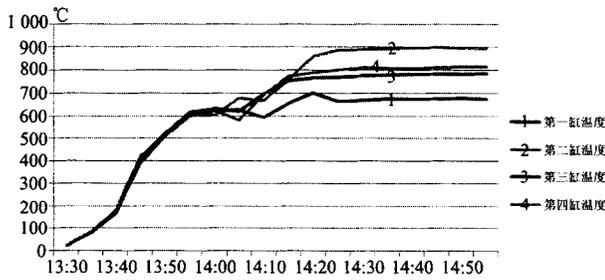


图 5 各缸温度变化

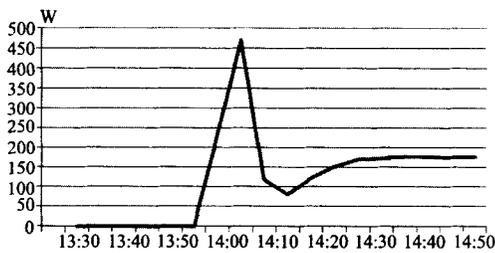


图 6 电机输出功率变化

试验结果显示, 试验前半个小时加热器工作发出的热量主要对热气机本身进行加热, 待机器温度升高到 600 °C 以上再开启热气机; 在试验进行一个小时后, 电加热系统与热气机工作基本达到平衡态, 即电加热器输入热量等于热气机工作吸收热量; 在平衡态时采集电加热器和 4R50GZ 型热气机的各项数据, 并对其进行分析计算, 最后得出热气机整机热电转换效率为 12.5%, 与 4R50GZ 型热气

机理论热电转换效率 15% 较为接近, 所得结果基本准确。由于使用电加热器可以精确控制输入进热气机的热量, 得以消除燃烧器不同工作状态对性能试验的影响。因为本次试验整机输出电功率只达到额定功率的 20%, 所以结果还是比较理想的。

下一步试验准备通过用电加热器精确控制输入热头热量, 通过扭矩仪和缸压测试系统测量机械功和冷热缸压力波, 对结果计算分析后确定热气机热功转换效率并绘制万有曲线。

5 结 论

通过以上试验以及试验数据的分析, 可以得出如下结论:

- (1) 选择的电加热材料与电加热器结构形式合理;
- (2) 试验验证了所设计电加热器的有效性;
- (3) 该电加热器可以模拟工作时外燃系统的工作状况, 可在热气机整机性能试验时精确控制输入热气机的热量, 从而去除燃气热值变化以及燃烧状态变化等因素对整机性能的影响。

参考文献

- [1] 金东寒. 斯特林发动机技术[M]. 哈尔滨: 哈尔滨工程大学出版社, 2009.

(上接第 46 页)

(2) 将百分表支架安装于下定子的哈夫面上, 通过盘车装置转动转子, 任取无纬带表面一点为零位, 测量该档无纬带的跳动, 并根据跳动, 找出各档无纬带跳动的最大点位置, 选用靠近铁心两端部的各一档无纬带箍, 以该点做为整个转子表面的最高点, 进行气隙调整;

(3) 吊运上定子至安装位置, 对上、下定子进行复位安装, 并拧紧上、下定子哈夫面螺栓;

(4) 检查定子与转子轴向磁中心位置, 若检查结果偏差超出要求, 松开定子与底架的紧固螺栓, 重新调整定子, 直至满足轴向磁中心位置要求后, 再次紧固定子与底架之间的螺栓, 并在推进电机试车前, 对定子和底座配铰定位销进行定位;

(5) 以转子表面任意一点为基准, 测量该基准与定子各主极中心点位置之间的间隙, 测量换向器端与非换向器端各八点间隙, 要求间隙均匀度不大于 0.5 mm;

(6) 测量无纬箍最高点位置与每个主极内弧极尖、中心点位置之间的间隙, 用 1 m 塞尺通过整个铁心, 要求定子主级与转子无纬箍偏心最高点之间的最小间隙满足设计要求。

3.2 注意事项

(1) 由于电动机安装时有一定斜度, 需注意电机气隙在机座两端的气隙均匀;

(2) 转子在转动过程中, 应时刻注意轴承温度, 若出现发热, 温度超过 60 °C, 则需停车, 待轴承降温后再重新进行;

(3) 上定子安装前要仔细检查电机内是否清洁, 不允许任何杂物进入电机内。

4 结 论

推进电机分体式安装较整体式安装更为复杂, 它的安装质量直接影响着轴系和船体的振动以及电机运行的可靠性, 控制好电机气隙和推力轴承间隙是关键。