

引风机与高效燃气炉效率的关系分析

雷威

(中山大洋电机股份有限公司 广东 中山 528411)

摘要: 燃气炉产品是暖通 HVAC 行业最重要的产品之一,其相关能效标准也在不断提高,根据美国能源部要求,预计 2028 ~ 2029 年,低能效燃气炉将被高效燃气炉替代而退出市场。引风机作为燃气炉中的关键零部件之一,与它的能效关系密切。本文从引风机风量的仿真和引风机风量的测试详细地说明了引风机风量与引风机转速的关系。并从天然气燃烧原理、燃气炉效率计算理论和燃气炉效率的实际测试方面进行了详细的说明。经分析可以得出:引风机风量的设计对燃气炉效率有很大影响,且不是简单的线性关系,燃气炉的效率与 CO₂ 及冷凝水含量等直接相关,为后续引风机的设计和燃气炉能效提升提出了意见和方向。

关键词: 燃气炉; 引风机; 效率; CO₂; 冷凝水

0 引言

当前,全球对能效的要求越来越高,也在不断地提高最低能效标准^[1]。而且越来越多的国家已经确定了在未来的十年以内要达到碳中和的目标,为此欧盟在法律上还规定能效优先原则,来应对全球越来越严重的温室效应现象。另外美国能源部也对 60 多个类别的电器和设备执行最低节能标准。由于这些标准,美国消费者仅 2015 年就在水电费上节省了 630 亿美元。到 2030 年,1987 年以来生效的所有标准累计节省的运营成本将达到近 2 万亿美元。标准涵盖的产品约占家庭能源使用的 90%,商业建筑使用的 60%,工业能源使用的 30%。以暖通中的燃气炉应用最广泛的美国市场为例,预计 2028 年或 2029 年新能效标准生效,其中最关键的一点是最低燃烧效率提升到 95%。这些效率的提高将每年为消费者节省 19 亿美元,并在 30 年内减少 3.73 亿公吨的碳排放量和 510 万吨的甲烷排放量——相当于 6100 万个家庭每年的排放量。引风机是燃气炉中关键的零部件之一,其与燃气炉的效率直接相关,即将实施的能效标准,将对引风机产品的设计带来更大的挑战,传统的认知中,引风机性能与燃气炉效率是存在着线性关系,但实际上并非如此。

1 研究对象:燃气炉与引风机

1.1 高效燃气炉(效率≥90%)

燃气炉系统燃烧可燃气体产生热量。一台典型的换热器包括一系列通路,每一条通路通过燃烧可燃气体加热。燃烧可燃气体或者燃料气的燃烧产物,一般被牵引通过换热器通路,进入收集器箱,然后通过引风机的作用,经由烟道或者燃气管排入周围环境中。

1.2 引风机

典型的引风机包括一件外壳、一台电动机和一件离心式风扇转轮,由电动机转子轴驱动。外壳包括一个中心进气口、一个蜗螺形收集器区域和一个出气口,后者从收集器区域伸出^[2],如图所示。

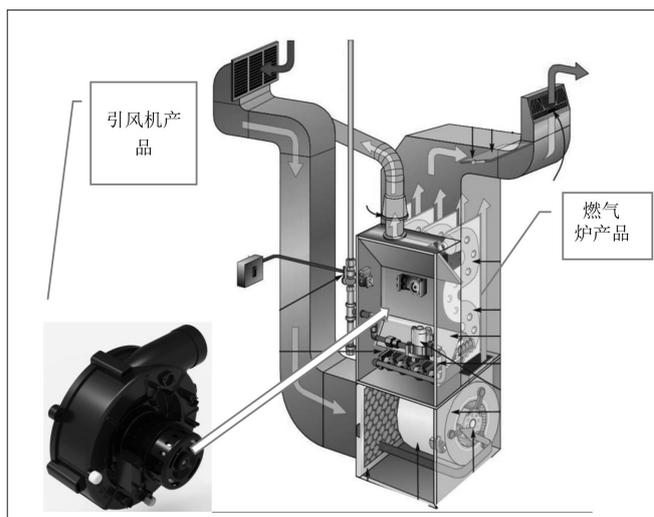


图 燃气炉产品与引风机产品

2 问题描述:90 燃气炉效率分析

某 90 燃气炉开发时要求整机效率达到 96%,在设计验证过程中,初期引风机设计方案客户测试效率为 94%,按常规业内认知分析,原因为燃烧的尾气二氧化碳值较低,是引风机风量过大导致。因此多次降低了引风机的风量测试,整机效率始终达不到目标 96%的要求,且还会有效率变低的现象,与预期不相符,因此对此问题做深入研究。

3 改善验证:研究方法(测试系统)

引风机产品是燃气炉燃烧系统中非常重要的部件,

关系着燃气炉的燃烧状况和效率^[3], 引

风机项目开发和研究必须建立一整套完整的测试系统, 其中包含风量测试系统^[4]和燃气炉测试系统两个关键的测试系统。

3.1 小风量测试系统

燃气炉中由于燃气和空气需要充分混合燃烧, 要想充分利用燃烧的热量, 就需要很长的燃烧管道和充分的热量传递时间^[5], 燃烧的效率才能最大化, 因此燃气燃烧管道都很狭长和曲折, 引风机需要提供很高的静压和较小的风量^[6]。小风量测试系统静压范围: 0 ~ 1200Pa, 风量 0 ~ 200CFM (精度可达到 1CFM)。

3.2 燃气测试系统

由于燃气炉的功能和结构比较特殊, 目前市场上无通用的测试系统, 结合 ANSI Z21.47 燃气中央炉标准和 GB/T 16411-2008《家用燃气用具通用试验方法》, 建立了一套专业的燃气测试系统。此燃气测试系统能满足所有需测试项目, 如燃气炉能力和温升测试、燃烧保护装置测试、燃烧测试、热效率测试、年度能效测试、鼓风机能效测试等。此燃气测试系统核心仪器是烟气分析仪, 主要分析机组燃烧后废气成份; 气相色谱仪, 主要用于分析燃气在燃烧前的热值。

4 改善验证: 研究方法

4.1 引风机性能仿真

在实际引风机设计中, 为避免大量实际测试浪费测试资源, 都会先通过仿真确认引风机的初步性能^[7], 然后再通过风量测试系统实测确认, 这样会很大程度地降低资源的使用, 有助于提高效率。

仿真结果与实测结果基本都相差在 10%以内, 而且随静压变化的规律相同^[8]。

4.2 引风机的设计和验证

根据燃气炉的对引风机高静压和小风量的需求^[9], 结合风机系统的设计理念^[10], 设计了多个风机方案, 经过仿真风机的性能, 以及结合实测数据, 基本可以满足燃气炉高静压和小风量的性能要求; 另外在相同的风机部分情况下, 引风机风量主要受电动机转速的影响, 风量和静压均与转速成正相关, 因此在引风机的设计中, 需要关注电动机转速的设计, 引风机设计的静压 - 风量、转速 - 风量要保持线性输出, 减少不规则变化。

表 1 高效燃气炉实测数据

电压 / V	80	100	115	129
负载状态	额定状态 7in.w.c	额定状态 7in.w.c	额定状态 7in.w.c	额定状态 7in.w.c
负载能力 / (Btu/hr)	60000	60000	60000	60000
热值 / (Btu/CfT)	1017	1015	1015	1015
氧气 / %	5.5	6.2	6.2	6.7
一氧化碳 / ppm	27.0	17.8	17.2	14.4
二氧化碳 / %	9.1	8.6	8.7	8.4
AFCO/ppm	36	25	24	21
烟管出气温度 / °F	108	107	110	109
烟管气体温升 / °F	33	35	34	36
进气温度 / °F	75	72	75	73
出气温度 / °F	117	115	118	115
温升 / °F	42	42	42	42
负载温升范围 / °F	30 ~ 60	30 ~ 60	30 ~ 60	30 ~ 60
系统电压 (RMS)	80	100	115	129
引风机转速 / (r/min)	3284	3420	3464	3482
30min 燃气输入 (CfT)	29.9	29.8	30.0	29.7
30min 能源输入 (BTU)	29749	29743	29838	29563
30min 水重 (lb)	1.8	2.0	1.5	2.2
负载效率 / %	96.0	96.7	94.9	97.3
标称效率 / %	90.00	90.00	90.00	90.00

4.3 燃气炉测试验证

结合 ANSI Z21.47 及 ANSI-ASHRAE103 的测试要求, 某项目燃烧实际测试数据如表 1 所示。

从数据对比分析得出: CO₂ 含量与冷凝水质量成反比例关系; CO₂ 含量与燃气炉效率成反比例关系; 燃气炉效率与冷凝水质量正相关。根据上述关键参数之间的关系可以看出, 燃气炉的整机燃烧效率并不是单纯的与引风机的性能成正相关, 也并不是与某一个参数正相关, 而是多方面因素综合影响的。

5 理论分析

5.1 燃烧理论分析

燃气主要组成成分是甲烷, 通过点燃会产生一种氧化反应。实际在负载燃烧中, 有时会发现红色的火焰, 并非纯淡蓝色的火焰, 这是甲烷没有充分燃烧的表现, 会产生一氧化碳。这种情况通常是由于甲烷与氧气混合不充分而导致的。燃气炉燃烧中出现的甲烷与氧气混合不充分最主要是受到引风机风量的影响, 因此引风机风量的设计会很大程度影响燃气炉的效率, 在设计过程中需要重点关注。

5.2 燃气炉效率

依照 ANSI 21.47 的测试方法, 燃气炉的热效率将利用下式来计算: 燃气炉的热效率 = 100% - 烟气损失

的百分比, 根据实际测试, 整理公式如下:

$$\text{负载效率} = 100 - K - 100 / 20120 \times (X_1 + X_2 + X_3 + X_4 + X_5) + E - F$$

$$E = 100 \times 1053.3 \times M_{30\text{min 水重}} / \text{BTU}_{30\text{min 水重}}$$

$$F = (100 \times M_{30\text{min 水重}} / \text{BTU}_{30\text{min 水重}}) \times [(T_{\text{烟管}-70}) - 0.45 \times (T_{\text{烟管}-42})]$$

以 4.3 燃气测试数据为例:

$$X_1 = 187.76, X_2 = -9.05, X_3 = 11.43, X_4 = -1.92, X_5 = 0.06, E = 7.25, F = 0.05.$$

公式中: (1) K 为定值; (2) 由于燃气测试过程中需要保证温升在一定范围内, $T_{\text{烟管}}$ 和 $T_{\text{进气}}$ 通常变化不大; (3) F 数值通常较少, 对效率影响较小。

由此可知: 引风机性能与燃气炉燃烧后的 CO_2 含量直接相关, 燃气炉效率主要受 CO_2 含量和冷凝水质量影响, 而且效率应均与 CO_2 含量和冷凝水质量正相关。但实际测试中, 从上述实测数据看, 针对同一个燃气炉, CO_2 与冷凝水质量成反比例的关系, 即 CO_2 增大, 冷凝水质量会降低。根据上述公式, CO_2 升高, 负载效率会随之增高, 但冷凝水质量降低时, 负载效率会随之降低。这就需要考虑 CO_2 与冷凝水质量对负载效率影响的比重。从上述 CO_2 对比转速、冷凝水质量对比转速、效率对比转速得知, 冷凝水质量对效率的影响比重会比 CO_2 含量比重大。从效率对比转速得知, 引风机风量与电动机转速正相关, 因此效率受风机转速影响很大。综上, 实测数据与理论分析一致, 燃气炉的效率与引风机的性能并不是传统意识的正相关的, 需要通过仿真、风量测试确定引风机设计方案, 以达到提高燃气炉效率的目标。

6 结语

随着全球能效要求的提升, 燃气炉高效化是未来必然的发展方向, 因此如何提高燃气炉效率也是必须考虑的问题。本文通过引风机风量、燃气炉效率等多方面的理论分析以及实际测试验证, 从而得出为了适配燃气炉

高效需求, 引风机设计的静压 - 风量、转速 - 风量要保持线性输出。引风机性能是影响燃气炉效率的关键因素之一, 两者并非直接线性正相关, 在部分工作区域存在正态关系。本文分析结论为后续引风机的设计提供了指导意见和说明; 打破了行业内常规的对于引风机和燃气炉效率之间的固有认识, 有助于业内其他从业者对燃气炉和引风机关系的理解。引风机从设计端就开始考虑负载能效问题, 以适应全球越来越严格的能效要求, 有助于我国燃气炉、引风机产品在未来全球市场中保持良好的竞争力。

参考文献:

- [1] 聂能光, 李福忠. 风机节能与噪声 [M]. 北京: 科学出版社, 1990.
- [2] 李庆宜. 通风机 [M]. 北京: 机械工业出版社, 1981.
- [3] 商景泰. 通风机使用技术手册 [M]. 北京: 机械工业出版社, 2005.
- [4] 张玉成, 仪登利, 冯殿义, 等. 通风机设计与选型 [M]. 北京: 化学工业出版社, 2011.
- [5] 王传忠, 阳志亮. 燃气的安全与节能管理 [M]. 北京: 中国财富出版社, 2021.
- [6] 孙研. 通风机选型实用手册 [M]. 北京: 机械工业出版社, 1999.
- [7] 章宝华, 刘源全. 流体力学 [M]. 北京: 北京大学出版社, 2013.
- [8] 商景泰. 通风机设计入门与精通 [M]. 北京: 机械工业出版社, 2012.
- [9] 成心德. 离心通风机 [M]. 北京: 化学工业出版社, 2007.
- [10] 孙熠. 2006 版新编风机选型设计实用手册 [M]. 北京: 中国知识出版社, 2006.

作者简介: 雷威 (1985.09-), 男, 畲族, 江西赣州人, 本科, 高级工程师, 研究方向: 电动机产品及风机系统。