

热边界条件对压气机绝热效率影响规律研究

桑梧海¹ 黄立勇² 王磊磊² 李伟¹ 苗熠芝¹ 甄冠富¹
(1 康跃科技(山东)有限公司 山东 寿光 262718; 2 河北工程大学机械与装备工程学院 河北 邯郸 056038)

摘要: 本文通过研究压气机热边界条件对其绝热效率的影响机理,得到了不同热边界条件下压气机绝热效率测量值和真实值的变化规律。利用 CFX 软件建立压气机工作模型,并通过试验验证了该模型的准确性,最后使用该模型模拟了不同壁面温度下绝热效率测量值和真实值的变化情况和机理。
关键词: CFX 热边界; 压气机; 绝热效率

0 引言

随着我国汽车工业的发展,废气涡轮增压系统作为提升发动机性能的重要技术得到了越来越广泛的应用。由于涡轮增压器运行温度较高,导致内部存在较大的热量传递,从而对压气机和涡轮的工作性能造成影响,但是在压气机和涡轮常规的设计过程中均假设其工作条件为绝热,造成了与实际情况存在一定的偏差。胡友安与董素艳利用三维软件对涡轮增压器内部的应力温度场进行了分析。A. Romagnoli、Moosania S M 就涡轮增压器的内部传热研究现状进行了总结。综上,国内外对于传热所造成的压气机绝热效率的改变尚未得到关注,本文利用软件 CFX 分析了热边界条件对压气机绝热效率的影响规律。

1 模型设置及计算结果验证

本文通过在 CFX 软件模拟压气机不同的工作温度,计算软件设定总压作为进口边界条件、质量流量作为出口边界条件。该压气机的设计转速为 160000r/min,叶轮直径为 44mm。

本文利用参考文献所提供的方法准确测量了压气机的绝热效率。压气机压比和绝热效率的模拟预测值均略低于压气机绝热效率测量结果的修正值,最大误差均小于 5%。

2 计算结果分析

本文主要分析了压气机绝热效率真实值和测量值随壁面温度的变化规律。其中,压气机绝热效率真实值和压气机绝热效率测量值分别用 $\eta_{C, adibitic, actual}$ 和 $\eta_{C, adibitic, measure}$ 表示。公式(1)、(2)为压气机绝热效率真实值和测量值误差的计算公式。

$$\Delta \eta_{C, adibitic, actual} = \left(\frac{\eta_{C, adibitic, actual}}{\eta_{C, adibitic, actual}} - 1 \right) \times 100\% \quad (1)$$

$$\Delta \eta_{C, adibitic, measure} = \left(\frac{\eta_{C, adibitic, measure}}{\eta_{C, adibitic, measure}} - 1 \right) \times 100\% \quad (2)$$

压气机绝热效率变化规律如图 1 所示,从图中可以看出,随着壁面温度变化,压气机绝热效率测量值和真实值均呈现出从大变小然后再逐渐增大的变化规律,两者的区别为压气

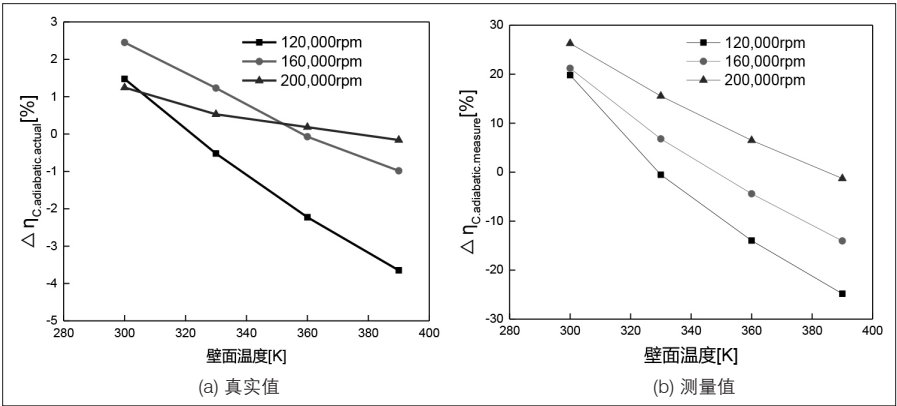


图 1 压气机绝热效率-壁面温度变化规律

机绝热效率真实值随壁面温度变化幅度较小,而压气机绝热效率测量值的变化幅度较大。两者的变化幅度除与压气机壁面温度密切相关外,均与压气机转速存在一定的关系,测量值的变化幅度与转速成反比,主要由于吸热量与压缩功所占比值随转速的升高而下降。

造成上述现象的主要原因是压气机吸收热量主要发生在压气机绝热压缩后,如图 2 所示。从图中可以看出,在不同转速下压气机绝热压缩后的吸热量明显大于压气机绝热压缩过程中的吸热量。压气机绝热效率真实值主要受到压气机绝热压缩功(压气机绝热压缩过程)的影响,而绝热效率测量值会受到测量过程中压气机进出口温度差的影响,压气机进出口温度差会随着压气机绝热压缩后吸热量的增加而增加。从图中可以看出,当压气机壁面温度与压气机内介质工作温度相同时,对压气机绝热效率真实值和测量值的影响也最小。

3 结语

本文主要得出如下主要结论:

- (1) 本文在选定工况下,将 CFX 软件计算得到的压气机绝热效率与台架测量结果进行对比,对比表明,数值计算结果和试验结果能够吻合较好。
- (2) 压气机壁面温度对压气机绝热效率的近似真值均未产生明显的影响,压气机绝热效率测量值(基于传统方法)则产生了较大误差。
- (3) 壁面温度对绝热效率近似真值主要通过影响绝热压缩过程来实现,工质在压气机内的压缩过程持续时间较短,

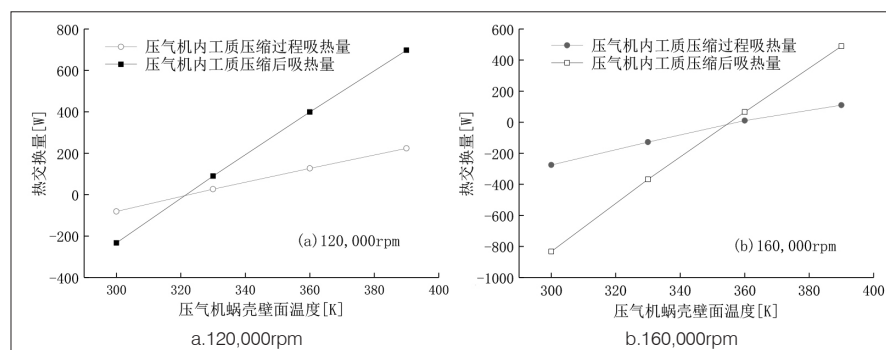


图 2 压气机绝热压缩前/后吸热量

并且此过程中工质与压气机壁面接触面积较小,压气机压缩过程中工质吸热量可基本忽略,而压气机绝热效率近似真值主要受到压气机压缩过程的影响,导致其基本不受热边界条件的影响。

基金项目: 河北省自然科学基金(E2017402135)

参考文献:

[1] 胡友安, 李晓东, 陈图钧. 涡壳温度场和热应力的有限元分析[J]. 机械强度, 2007, 29(1): 130-134.

[2] 董素艳, 刘松龄, 朱惠人. 涡轮级进口温度分布不均匀时流场和温度场的非定常数值模拟[J]. 西北工业大学学报, 2001, 19(3): 345-348.

[3] A. Romagnoli, A. Manivannan, S. Rajoo. A review of heat transfer in turbochargers[J]. Renewable & Sustainable Energy Reviews, 2017, 79(4): 1442-1460.

[4] Moosania S M, Zheng X. Effect of internal heat leakage on the performance of a high pressure ratio centrifugal compressor[J]. Applied Thermal Engineering, 2017, 111(9): 317-324.

作者简介: 桑梧海(1975.06-), 男, 汉族, 山东寿光人, 本科, 高级工程师, 研究方向: 叶轮机械与增压技术。

(上接第 140 页)

该保护方式虽然能有效防止一次消谐器过热损坏, 却改变了电压互感器中性点运行方式, 对相电压测量精度产生较大影响, 进而影响保护动作和电能计量准确性。

本文研究的一次消谐器保护装置的设计思路为将保护装置与一次消谐器分离解耦, 保护装置并联于一次消谐器两端, 当检测到一次消谐器长时间通过较大电流, 自动旁路一次消谐器, 保持电压互感器一次侧中性点接地方式, 不会影响相电压测量精度。

2.2 硬件设计

本文研究的一次消谐器保护装置主要包括主控模块、数据采集模块、动作执行模块、电源模块、显示模块。

主控模块采用 STC15F2K32S2 型单片机。STC15F2K 系列单片机是由 STC MCU 有限公司生产的新一代 8051 单片机, 具有高速、高稳定性、低功耗和超强抗干扰能力。

数据采集模块由电压互感器、电流互感器及 CS5460 芯片构成, 可以精确测量瞬时电压、电流, 并计算有效值、瞬时功率、有功功率、无功功率, 配合互感器使用测量精度可达 0.1%。电源模块基于稳压芯片 SC4519 进行设计, 可实现 12V 转 3.3V, 为单片机及其他芯片供电。

动作执行模块采用高压真空接触器进行设计。真空接触器的开关管外壳采用瓷绝缘材料制成的波纹式瓷管, 具有爬电距离远、机械强度高、耐热和耐冲击能力强的优势。开关管内安装一对触头, 材料采用耐磨且低截流值的材料, 可在满足开断性能的条件下, 最大限度抑制分闸过程中的截流过电压。

2.3 软件设计

本文研发的一次消谐器保护装置, 采用单片机控制, 自动判断, 用高压真空接触器短接一次消谐器, 系统正常后一次消谐器会再次自动投入运行。

电力系统正常运行, 一次消谐器通过电流小于 50mA, 一次消谐器保护装置正常运行, 并显示消谐器的通流电流。若通过电流大于 50mA, 保护装置报谐振故障, 同时显示故障电流, 屏幕闪烁, 声光报警。如果谐振状态超过 30 秒(如果电流过大, 时间根据单片机计算结果自动缩短), 保护装置判断系统发生接地或者缺相运行状态, 显示屏显示系统接地, 屏幕闪烁, 并同时报警, 启动真空接触器旁路一次消谐器, 防止一次消谐器烧毁。在保护装置动作后, 可以用控制器的复位键或者远程信号进行复位, 装置恢复正常状态。为防止频繁操作真空接触器, 系统判断接地后, 30s 内不允许复位。为防止系统故障状态为消除造成二次影响, 如果复位后, 10s 内电流超过 50mA, 则直接判断为接地状态, 如果电流小于 50mA, 系统转到正常, 复位过程中继续报警。

3 结语

经实验验证, 本文研究的一次消谐器保护装置能够实现设计功能, 在一次消谐器长时间通过较大电流时, 可迅速闭合真空接触器, 旁路一次消谐器, 防止一次消谐器因过热烧毁。同时, 为防止真空接触器频繁动作或一次消谐器故障, 本装置控制策略上也进行了相应的设计。下一步计划将保护装置在现场进行实际应用, 进而不断优化、改进, 旨在保障配网设备和人身安全, 为电网安全稳定运行保驾护航。

参考文献:

[1] 郑龙飞. 10kV 电力系统 PT 铁磁谐振机理及抑制措施的研究[D]. 辽宁工程技术大学, 2015.

[2] 张东亮. 10kV 电网谐波的抑制与消谐器的研究[J]. 电工电气, 2009(10): 9-12+34.

[3] 李海东. 10kV 电压互感器一次消谐器的应用[J]. 电世界, 2013, 54(06): 20.