

离心风机旋转失速时频特性及渐进过程分析

舒 畅

(浙江浙能兰溪发电有限责任公司 浙江 兰溪 321100)

摘要 :为了对风机失速时频特性进行分析 ,利用国内电站广泛应用的离心风机 ,进行了旋转失速实验 ,提取风机从正常状态到旋转失速发展过程的压力信号 ,运用 Fourier 变换以及小波包分析对压力信号的时频特性以及失速渐进过程进行分析 ,从而在一定程度上为失速的检测和控制奠定基础。

关键词 :离心风机 旋转失速 时频特性 失速渐进过程

中图分类号 :TH432

文献标志码 :A

DOI:10.13314/j.cnki.jhbsi.2015.02.005

0 引言

风机是电厂的大型回转设备 ,是不可缺少的辅助设备 ,其运行状况的好坏直接关系到电厂的安全、可靠、经济运行。据统计 ,火电厂停机故障中很大一部分因素是由于风机、泵等旋转机械造成的^[1]。在火电厂的 5 种辅助设备送风机、引风机、磨煤机、给水泵、高压加热器中 ,由于送、引风机的故障引起机组停机的概率仅次于磨煤机^[2]。因此 ,对电站风机常见故障进行预测、诊断甚至控制 ,从而有效遏制故障的发生 ,确保风机安全、可靠运行 ,对整个电厂的安全、经济、可靠运行具有重要意义。由于离心风机的旋转失速(吸力侧失速)边界线与最高效率线比较接近^[3-4] ,使得风机容易发生旋转失速。风机发生失速 ,叶轮内部流场遭到破坏 ,会产生高幅值、低频率的压力脉动 ,这样叶片就会受到非稳态的压力脉动。因此 ,当叶片经过旋转失速区时 ,由于非稳态压力脉动的影响 ,叶片就会受到交变应力 ,如此循环往复 ,叶片就会疲劳损伤。特别是当叶片发生共振时 ,应力将成倍增加 ,严重时会导致叶片断裂 ,这样就会严重威胁风机的运行^[5]。旋转失速继续恶化 ,则可能导致喘振。风机发生喘振不仅会引起风机及连接管道的振

动 ,而且还会造成整个机组效率下降 ,严重时甚至造成事故隐患^[6]。离心风机旋转失速表现与轴流压缩机有较大的区别^[3] ,而大多数的失速研究都集中于轴流压缩机方面。目前由于受产品投资规模等因素的影响 ,对离心风机的旋转失速研究相对较少。随着现代电站机组容量不断扩大 ,运行工况越来越复杂 ,对其进行及时有效的检测 ,实现失速的主动控制 ,保证离心风机的健康、安全运行 ,从而减少或避免失速给生产带来的危害 ,这不仅对风机 ,而且对整个电厂有着重要意义。而进行失速时频特性分析以及失速渐进过程分析等规律性认识是实现风机失速检测的基础。为此 ,本文利用国内电站广泛应用的 G4-73No8D 离心风机 ,进行旋转失速实验 ,提取风机从正常状态到旋转失速发展过程的压力信号 ,运用 Fourier 变换以及小波包分析对压力信号的时频特性以及失速渐进过程进行分析 ,从而在一定程度上为失速的检测和控制奠定基础。

1 旋转失速的产生机理及失速特征

1.1 旋转失速的产生机理

风机叶片一般设计为机翼状的流线型 ,这样在设计工况下运行 ,气流冲角较小。当风机运行状况偏离设计工况时 ,如果流量低于设计流量 ,气体进入叶轮的径向速度减小 ,气流冲角增大 ;当流量减小到一定程度 ,气流冲角超过临界冲角时 ,就会在叶片后缘点附近产生涡流 ,涡流逐渐增多 ,流道面积逐渐减小 ,多余的气体就会进入叶轮附近流道。气体沿着逆叶轮旋转方向进入下一个流道时 ,气体冲击叶轮工作面 ,使得该流道涡流增加 ,流道面积减少 ,从而又迫使气体转入下一个流道。如此发展 ,涡流组团就会沿着与叶轮旋转方向相反的

方向传播,并引起振动^[7]。

1.2 旋转失速的特征^[8]

旋转失速主要分为渐进型和突变型。

渐进型旋转失速是随着流量的减小而逐渐发生的。其主要特点为:(1)增压比随着流量的减小而逐渐降低,等转速线连续不间断;(2)分离区旋转速度不随分离区数目的增加而变化;(3)失速分离区数目随流量减小而逐渐减少,分离区由叶尖向叶高方向逐步扩展。

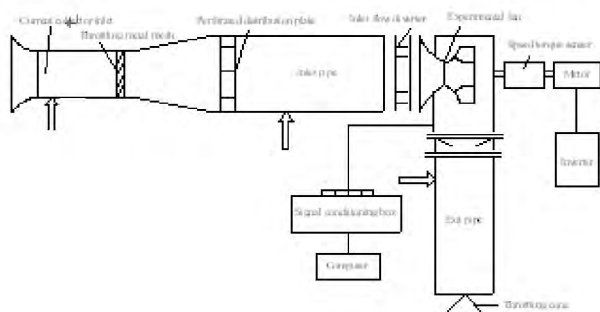
当气流在整个叶高上发生分离时,则发生突变型旋转失速。突变型旋转失速的主要特点为:(1)失速分离区数目一般情况下比较少;(2)增压系数急剧下降,等转速线上出现间断点。

流量逐步减小,渐进型失速首先发生,当流量减小到一定程度后,则会发生突变型失速。发生突变型旋转失速时,叶片所受的激振力要大于渐进

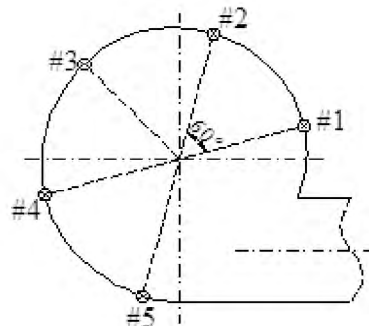
型失速工况下的激振力,振动也比较明显。

2 离心风机旋转失速实验

本文利用国内电站广泛应用的离心风机进行了实验研究。实验装置、测试系统及测点布置情况如图1所示。实验风机的设计流量为 $\bar{q}_v=0.205$,采用变频器调节转速,调节精度可达0.3转;在转速为1300r/min,导流器开度为15°工况下,进行旋转失速渐进过程实验。为对不同位置的动态压力信号进行捕捉,本实验采用周向等角度(60°)间隔在风机机壳上布置了1~5号5个压阻式高频动态压力传感器,以此来测量风机机壳内壁气体的动态压力信号。压力信号送入信号调理器进行信号调理。采用基于凌华PCIS-DASK的C++ Builder数据采集程序,对5路动态压力信号进行同步采样,采样频率为320Hz。



(a)测试系统图



(b)测点布置图

图1 实验测试系统和动态压力测点分布

3 离心风机旋转失速特征分析

本实验主要研究旋转失速的时频特性、失速先兆的出现以及从正常运行到旋转失速的渐进过程。

本文首先采用Fourier变换对旋转失速的特性进行频域分析,得到全频域中失速频率值、基频、谐波的分布。在分析失速的渐进过程中,由于频率分辨率单一、时域信息缺乏等缺陷,Fourier分析方法不再适用。而小波分析能够比较好的适用于叶轮机械非稳态流动时频特性分析中。因此,本文采用小波包分析方法对实验数据进行旋转失速的时域特性分析和失速渐进过程分析。

3.1 旋转失速与风机性能参数的关系

对于实验风机,在各导流器调节角度下,随着流量的减小均会出现旋转失速。当流量减小到一

定程度,流场的脉动会突然加剧,脉动幅度增强,从而进入到失速工况下。实验风机的最高效率线与旋转失速边界线比较接近。风机实验性能曲线与最高效率、失速边界线的对应关系曲线如图2所示。

为了便于比较不同类型风机的性能,本文采用无因次参数和无因次曲线来描述风机运行状态。无因次参数定义如下:

(1)流量系数

$$\bar{q}_v = \frac{q_v}{u_{2p} A_{2p}} \quad (1)$$

其中 q_v -流量(m^3/s); u_{2p} -叶轮出口圆周速度(m/s); A_{2p} -叶轮圆面积(m^2)

(2)全压系数

$$\bar{p} = \frac{p_p}{\rho_p u_{2p}^2} \quad (2)$$

其中 p_p —全压(p_a) p_p —流体密度(kg/m^3) u_{2p} —叶轮出口圆周速度(m/s)

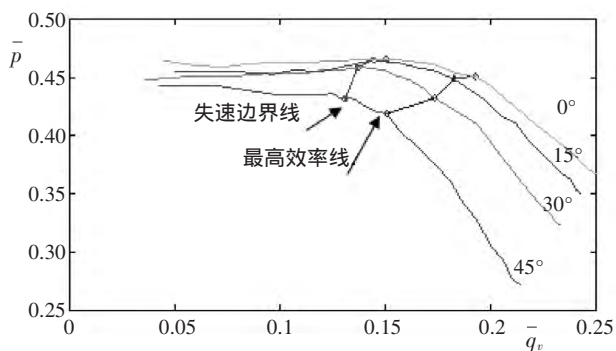


图 2 最高效率线和失速边界线

图 3 所示,点 1、点 2、点 3、点 4 分别对应着正常状态、失速起始阶段、弱失速发展阶段、强失速阶段。

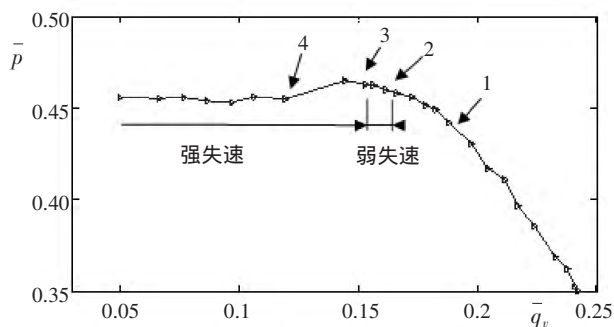
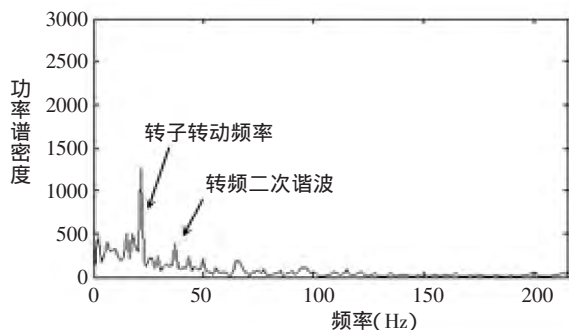


图 3 G4-73No8D 风机性能及失速发展

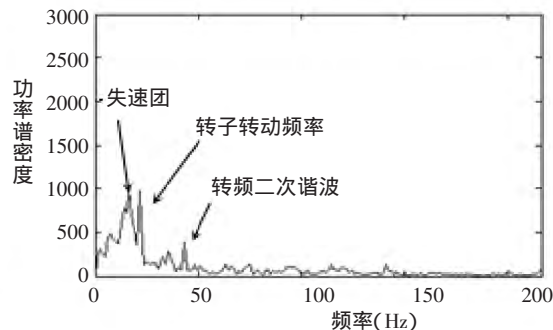
3.2 旋转失速的频域特性分析

在导流器全开工况下,旋转失速发展过程如

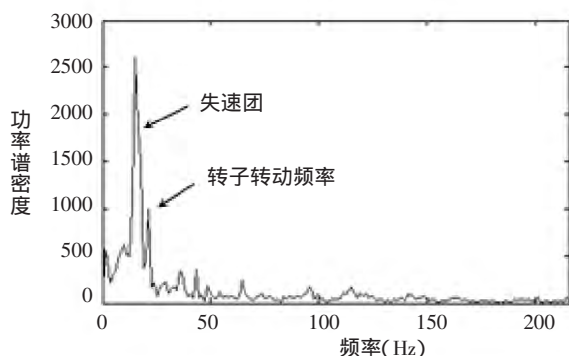
压力信号的频谱如图 4 所示,为降低噪声对信号的影响,取 20 个样本的均值。



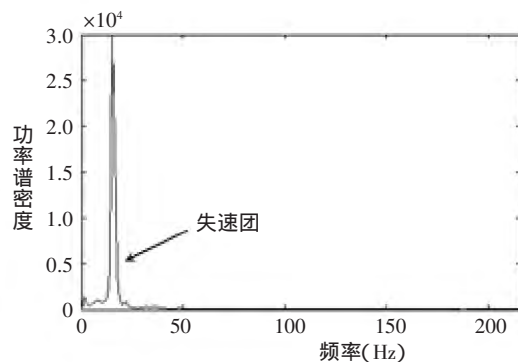
a) 近失速状态 $q_v=0.172$



b) 弱失速初始状态 $q_v=0.154$



c) 弱失速发展状态 $q_v=0.151$



d) 强失速状态 $q_v=0.147$

图 4 旋转失速发展过程中压力信号的功率谱图

由图 4 可以看出:在正常运行工况下,压力信号中包含转子转动频率以及其谐波。当风机接近失速状态时,在风机转频约 2/3 处出现波动较小的扰动成分,幅度相对较小。当流量小于一定程度后,风机进入弱失速状态,在弱失速状态下,流量变化的范围很小,但失速团对应频率脉动的能量会急剧增长,与此同时,整个压力信号的脉动也会增强。随着失速的发展,失速成分的脉动幅度也在

不断变化。当风机进入强失速状态时,失速团的频率脉动的能量达到最大,此时压力信号主要以失速频率为主。

3.3 旋转失速渐进过程压力信号分析

实验取得风机在 1300rpm 时不同导流器开度工况下的旋转失速渐进过程压力信号。现取 2 号测点的压力信号进行小波分析,此时导流器开度为 $\beta=15^\circ$ 。失速渐进过程的压力信号的时域变化和

小波分析结果如图5所示。由于采样频率为320Hz,因此小波分析的分析频率为160Hz。对失速渐进过程的压力信号进行4层小波分解,其第3层细节系数对应的频带为2040Hz,风机基频为

21.7Hz,故在此频带范围内,其第4层细节系数对应的频带为1020Hz,根据风机旋转失速频谱特性^[9],本实验离心风机旋转失速频率为14.4Hz(2/3基频),位于此频带范围内。

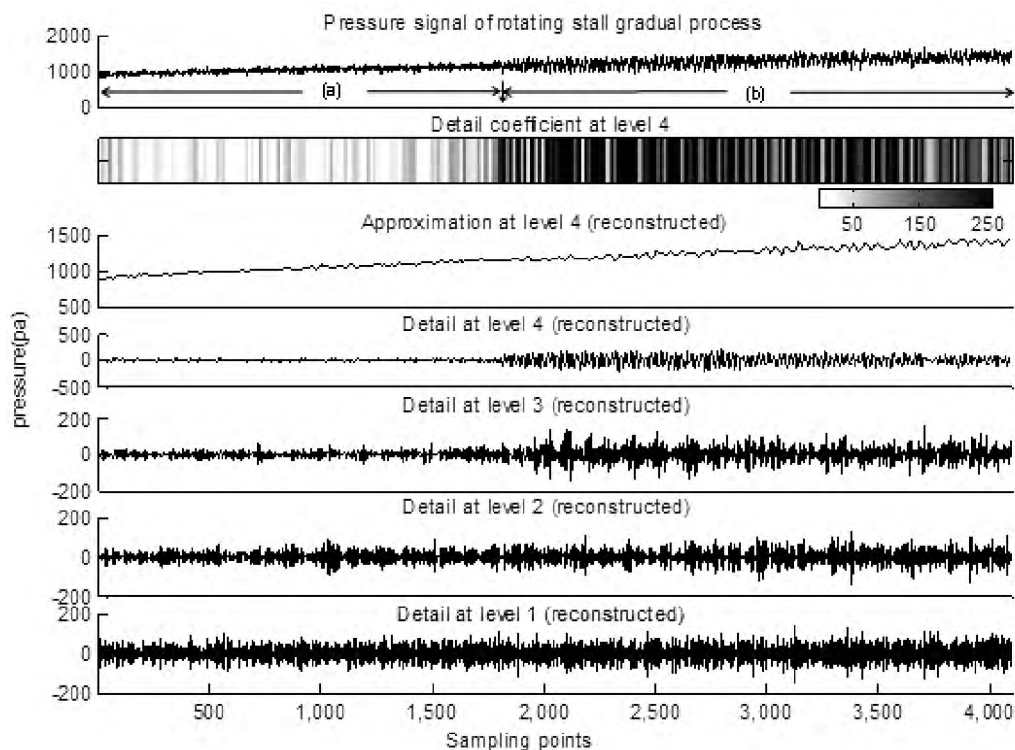


图5 风机压力信号及其小波变换时频图

图5中(a)、(b)段分别对应未失速和失速状态。失速状态下的压力信号近似正弦波。由图5中第四层的细节系数相空间图中可见,伴随着流量的逐渐降低,风机机壳内压力逐渐增大,一些分散的能量成分出现在对应失速频率的频带中。在图5中箭头所指示的采样点处,脉动幅度发生突变,发生旋转失速,为失速的起始点。在该点之后的失速过程中,压力信号呈现明显的非稳态特性,压力脉动幅度的增长显著,压力信号中逐渐占优的成分变为失速频率的脉动,与此相对应的流场动态压力则表现出无规则的波动,失速团所对应的频率出现间歇的脉动,如果失速脉动的间隔减小,甚至出现小范围的失速持续的现象。在整个失速过程中,失速的强度先增强而后缓慢减弱。

4 结论

本文通过对离心风机失速频域特性和失速渐进过程的研究,得出以下结论:

(1)在正常运行状态下,压力信号中包含转子

转动频率及其谐波。当风机接近失速状态时,在风机转频约2/3处出现波动较小的扰动成分,幅度相对较小。当流量小于一定程度后,风机进入弱失速状态。此时流量变化范围很小,但失速团对应频率脉动的能量会大幅度增长,同时也会引起压力信号整体脉动的增强。随着失速的发展,失速成分的脉动幅度也在不断变化。当风机进入强失速状态时,失速团的频率脉动的能量达到最大,此时压力信号主要以失速频率为主。

(2)伴随着流量的逐渐降低,风机机壳内压力逐渐增大,一些分散的能量成分出现在对应失速频率的频带中。失速发生后,压力信号呈现明显的非稳态特性,与此相对应的流场动态压力则表现出无规则的波动,失速团所对应的频率出现间歇的脉动,如果失速脉动的间隔减小,甚至出现小范围的失速持续的现象。在整个失速过程中,失速的强度先增强而后缓慢减弱。

(下转第49页)

参考文献:

- [1]Holec ,H. Autonomy and Foreign Language Learning[M]. Oxford :Pergamon Press ,1981.
- [2]Dickinson ,L. Self-instruction in Language Learning[M]. Cambridge :Cambridge University Press ,1987.
- [3]Dickinson ,L. Autonomy and Motivation :a Literature Review[J]. System ,1995.

Exploration on the Cultivation of English Practical Ability of Undergraduates:under the Guidance of the Autonomous Learning Model

ZHANG Ya-min, XU Chao

(The Foreign Language Teaching Department, Hebei Finance University, Hebei Baoding 071000, China)

Abstract: With improvements in computer and internet resources, autonomous English learning has become a major concern of the reform of college English teaching. Taking ability cultivation as its basis, autonomous English learning lay emphasis on the personal development of students and switch recipient learning to constructive learning. In order to improve undergraduates' English practical ability, autonomous English learning model is supposed to be innovated, which would make for the development of undergraduates' awareness of autonomous learning and ability of practice, and facilitate the reform of college English teaching.

Key words: autonomous English learning; practical ability; cultivating strategy

(上接第17页)

参考文献:

- [1]Wood C O. Failure Cause Analysis-Fans[R]. EPRI Report ,CS-1693.
- [2]国家电力监管委员会电力可靠性管理中心. 2007 年全国电力可靠性指标[EB/OL]. (2007-05-11)[2015-01-11]. <http://www.chinaer.org>.
- [3]侯军虎. 基于多参数的风机状态监测与故障诊断的研究[D]. 保定:华北电力大学,2003.
- [4]侯军虎,王松岭,安连锁,等. 基于一类改进谐波小波的离心风机旋转失速特征分析[J]. 动力工程,2003,23(6):2814-2818.
- [5]刘哲,王松岭,吴正人,等. 电站离心风机旋转失速机理分析及处理对策[J]. 发电设备,2011(2):94-97.
- [6]张磊,王松岭,张倩,等. 离心风机旋转失速状态下的流体动力学特征[J]. 中国电机工程学报,2012(14):95-102.
- [7]陈虹微. 离心压缩机旋转失速振动原因分析及改进[J]. 噪声与振动控制,2010(2):84-87.
- [8]陆亚钧. 风机叶片机中的旋转失速和喘振现象及分离旋涡流动[J]. 水利电力机械,1992(5):20-44.
- [9]Wood C O. Failure Cause Analysis-Fans [R]. EPRI Report ,CS-1693.

The Frequency Domain Characteristics and Gradual Process Analysis of Rotating Stall of Centrifugal Fan

SHU Chang

(Zhejiang Zheneng Lanxi Power Co.,Ltd. Zhejiang Lanxi 321100, China)

Abstract: To analysis the time-frequency characteristics and the gradual process characteristics of stall, the experiment of rotating stall was carried out on the centrifugal fan, which is widely used in domestic power plant. Te development pressure signals from the normal to the stall are extracted. Then, the pressure signals are analyzed about the time-frequency characteristics and the gradual process characteristics of stall. Thus, a foundation to the further research of the rotating stall to centrifugal fan is laid.

Key words: centrifugal fan; rotating stall; time-frequency characteristics; process characteristics