

# 旋转机械常见故障机理研究

苏咏梅, 王振宇 (郑州职业技术学院电气电子工程系, 河南 郑州 450121)

[摘要] 研究了旋转机械中最具代表性的转子系统, 讨论了转子不平衡、不对中、转子弯曲、油膜涡动、油膜振荡等常见故障发生和发展的机理, 对故障机理及其在工程实践中的运用进行了初步探讨。

[关键词] 旋转机械; 故障机理; 故障诊断

[中图分类号] TH17

[文献标识码] A

[文章编号] 1673-1409 (2009) 04-N283-03

大型旋转机械故障是指旋转机械的功能失常, 即其动态性能恶化, 不符合技术要求。例如, 旋转机械运行失稳, 机械发生异常振动和噪声、机械的工作转速和输出功率发生变化以及介质的温度、压力、流量异常等。旋转机械发生故障的原因不同, 所产生的信息也不一样, 根据机械特有的信息, 可以对旋转机械故障进行诊断。

旋转机械的主要功能是由旋转动作完成的, 转子是其最主要的部件。旋转机械发生故障的重要特征是机器伴有异常的振动和噪声, 其振动信号从幅值域、频率域和时间域实时地反映了机器故障信息。转子常见的故障有转子不平衡、转子不对中、转子弯曲、油膜涡动和油膜振荡等<sup>[1~3]</sup>。

## 1 转子不平衡

在旋转机械中, 若转子的质心与旋转轴不重合, 就存在不平衡。转子不平衡包括转子系统的质量偏心及转子部件出现缺损。转子质量偏心是由于转子的制造误差、装配误差、材质不均匀等原因造成的, 称此为初始不平衡。转子部件的缺损是指转子在运行中由于腐蚀、磨损、介质结垢以及转子受疲劳力的作用使转子的零部件(如叶轮、叶片等)局部损坏、脱落、碎块飞出, 造成新的转子不平衡。转子质量偏心 and 转子部件缺损是 2 种不同的故障, 但其不平衡振动机理却有共同之处。

转子不平衡故障的主要振动特征为: ①频谱图中, 谐波能量集中于基频; ②振动的时域波形为正弦波; ③当工作转速一定时, 相位稳定; ④转子的轴心轨迹为椭圆; ⑤转子的进动特征为同步正进动; ⑥转子振动的强烈程度对工作转速的变化很敏感, 振动幅值与转速的平方成正比, 而与负荷大小无关; ⑦质量偏心的矢量域稳定于某一允许的范围, 而转子发生部件缺损故障时, 其矢量域在某一时刻从一点突变到另一点; ⑧在第一临界转速之下, 不平衡振动的振幅随转速的增大而增大。当转速大于第一临界转速后, 转速上升, 振幅趋向于一个较小的稳定值。当转速接近第一临界转速时, 发生共振, 振幅具有最大峰值; ⑨不平衡故障主要有静不平衡和动不平衡 2 种。对于静不平衡, 其振动方向主要反映在径向, 与轴向振动无关, 转子两端轴承同一方向的径向振动为同相; 对于动不平衡, 除存在径向振动外, 大的力偶不平衡也可能产生轴向振动, 转子两端轴承同一方向的径向振动相位差为  $180^\circ$ 。

转子不平衡时典型的振动特征如表 1 所示。

表 1 转子不平衡时的振动特征

	特征频率	常伴频率	振动稳定性	振动方向	相位特征	轴心轨迹	进动方向	矢量区域
质量偏心	1	1	稳定	径向	稳定	椭圆	正进动	不变
部件缺损	1	1	突发性稳定后稳定	径向	突变后稳定	椭圆	正进动	突变后稳定

## 2 转子不对中

机组各转子之间由联轴器联接构成轴系, 传递运动和转矩。由于机器的安装误差、承载后的变形以

[收稿日期] 2009-07-10

[作者简介] 苏咏梅(1971-), 女, 1993年大学毕业, 硕士, 讲师, 现主要从事电气控制系统方面的研究工作。

及机器基础的沉降不均等,造成机器工作状态时各转子轴线之间产生轴线平行位移、轴线角度位移或综合位移等对中变化误差,统称为转子不对中。

不对中是旋转机械故障中最为常见的故障之一,旋转机械故障中转子系统故障诊断的 60%是由不对中引起的。具有不对中故障的转子系统在其运转过程中将产生一系列有害于设备运行的动态效应,如引起设备的振动,机器联轴器偏转、轴承早期损坏、油膜失稳和轴的弯曲变形等,导致机器发生异常振动,危害极大。

不对中故障的主要振动特征为:①齿式联接不对中的特征频率为转速频率的 2 倍,转子径向振动出现工频和 2 倍频,不对中量越严重,2 倍频所占比重越大;②时域曲线类似正弦曲线轴心轨迹为香蕉形或八字形,正进动;③联轴器不对中故障产生的对转子的激励力幅值,随转速的升高而加大,因此高速旋转机械应更加注重转子的对中要求;④激励力幅与不对中量成正比,随不对中量的增加,激励力幅成线性加大;⑤联轴器同一侧相互垂直的 2 个方向,2 倍频的相位差是基频的 2 倍;联轴器 2 侧同一方向的相位在平行位移不对中时为 0°,在角位移不对中时为 180°,综合位移不对中时为 0°~180°;⑥轴系转子在不对中情况下,中间齿套的轴心线产生相对位移,在平行位移不对中时的回转轮廓为一圆柱体,角位移不对中时为一圆锥体,综合作用不对中时是介于两者之间的形状,回转体的回转范围由不对中量决定;⑦振动随负荷变化敏感。当负荷变化时,由联轴器传递的扭矩立即发生变化,如果联轴器不对中,则转子的运动状态也立即变化;⑧轴承不对中时,径向振动较大,有可能出现高次谐波,振动不稳定;⑨联轴器不对中时轴向振动较大,振动频率为 1 倍频,振动幅值和相位稳定;⑩2 倍频共振发生在基频共振之前,而且没有发生第 2 次共振;⑪过大的不对中量,即使能够安装,也会导致联轴器不符合其运动条件而“卡死”,从而使转子产生巨大的交变应力,对转子系统具有更大的破坏性。

转子不对中时的振动特征如表 2 所示。

表 2 转子不对中时的振动特征

特征频率	常伴频率	振动稳定性	振动方向	相位特征	轴心轨迹	进动方向	矢量区域
2	3	稳定	径向、轴向	较稳定	双环椭圆	正进动	不变

### 3 转子弯曲

转子弯曲包括转子弓形弯曲和临时性弯曲 2 种故障;而每 1 种又分为中间弯曲和端部弯曲 2 种。

转子弓形弯曲是指转子轴呈弓形,它是由于转轴结构不合理、制造误差大、材质不均匀、转子长期存放不当等原因造成的。发生永久性弯曲变形是由于热态停机时未及时盘车、热稳定差、长期运行后转轴自然弯曲加大等原因造成的。转子临时性弯曲是由于转轴有较大预负荷、开机运行时暖机不足、升速加快、加载太大、转轴热变形不均匀等原因造成的。转轴弓形弯曲与转轴临时性弯曲是 2 种不同的故障,但其故障机理相同。转速无论发生弓形弯曲还是临时性弯曲,它都要产生与质量偏心类似的旋转矢量激振力,同时在轴向发生与角频率相等的振动。这 2 种故障的机理与转子质量的偏心相同。

转子弯曲故障振动特征为:①振动频率主要为主频,还会出现 2 倍频和 3 倍频。一般情况下,3 倍频高于 2 倍频;②径向和轴向都会有较大的振动;③同一根轴的 2 个轴承座的轴向振动相位差为 180°;④转子弓形弯曲时,矢量起始点大,随着运行继续增大,而转子临时性弯曲时,升速时矢量逐渐增大,稳定运行后矢量减小;⑤其他振动特征与不平衡时相同。

转子弯曲的振动特征如表 3。

表 3 转子弯曲的振动特征

	特征频率	常伴频率	振动稳定性	振动方向	相位特征	轴心轨迹	进动方向	矢量区域
弓形弯曲	1	2	稳定	径向轴向	稳定	椭圆	正进动	矢量起始点大,随运行继续增大
临时性弯曲	1	2	稳定	径向轴向	稳定	椭圆	正进动	升速时矢量逐渐增大,稳定后减小

### 4 油膜涡动和油膜振荡

油膜涡动和油膜振荡是由滑动轴承油膜力学特性引起的自激振动。以圆柱滑动轴承为例,由于交叉

刚度系数不等于零, 油膜弹性力有使轴颈失稳的因素。轴承中轴颈中心的位置与工作转速和载荷大小有关。

对于受载条件一定的滑动轴承, 当轴颈转速不太高时, 即使受到一个偶然的外部干扰力的作用, 轴颈仍能回到平衡位置; 轴颈转速升高达到一定数值后, 一旦受到外部干扰力的作用, 轴颈便不能回到初始位置, 而沿近似椭圆的封闭轨迹涡动, 或者沿某一不规则的扩散曲线振荡, 这就形成了轴承的失稳状态。

油膜涡动的振动特征为: ①频谱中的次谐波在半频处有峰值; ②其轴心轨迹为基频与半频叠加构成的较为稳定的双椭圆; ③相位稳定, 正进动。

油膜振荡是自激振荡, 其主要特征有: ①自激振动(即涡动), 只有当角频率高于第1临界角频率时才有可能发生; ②大多数情况下, 自激振动的频率大致等于转子的固有频率; ③自激振动不是共振现象。在多数情况下, 它在转速的大范围内随时可能出现, 而且实际上往往不能确定这范围的上限; ④自激振动能否出现的界限主要取决于轴承设计, 在最不利的情况下, 这一界限即失稳转速的下限, 约为临界转速的2倍; ⑤自激振动是非常激烈的, 它的振幅往往比不平衡质量引起的共振振幅还要大; ⑥自激振动是正向涡动, 与转子的振动方向相同; ⑦当转速逐渐升高时, 自激振荡往往要推迟发生, 即它不一定在转速达到失稳转速的下限时就立刻发生, 而是大于此下限时就发生。升速越快, 自激振荡越要推迟; ⑧当自激振荡已经发生后, 如果降低转速, 则它可以保持到低于升速时开始发生的转速, 即使在升速缓慢而自激振动没有推迟的时候也是这样。

油膜涡动、油膜振荡时的振动特征如表4。

表4 油膜涡动、油膜振荡时的振动特征

	特征频率	常伴频率	振动稳定性	振动方向	相位特征	轴心轨迹	进动方向	矢量区域
油膜涡动	$\leq 0.5$	1	较稳定	径向	稳定	双环椭圆	正进动	改变
油膜振荡	$< 0.5 \times (0.43 \sim 0.48)$	组合频率	不稳定	径向	不稳定(突变)	扩散不规则	正进动	改变

此外, 旋转机械常见的故障还有转子与静止部件发生摩擦引起的故障、转子支承系统联接松动引起的故障、密封和间隙动力失稳引起的故障、转轴具有横向裂纹引起的故障等等, 这些故障具有各自的机理和特点, 这里不再赘述。

#### [参考文献]

- [1] 韩捷, 张瑞林. 旋转机械故障机理及诊断技术 [M]. 郑州: 河南科学技术出版社, 1997
- [2] 钟秉林, 黄仁. 机械故障诊断学 [M]. 北京: 机械工业出版社, 2005
- [3] 李国华, 张永忠. 机械故障诊断 [M]. 北京: 化学工业出版社, 2002

[编辑] 洪云飞

campus construction. It is proved that after the practice, this method enhanced the server high usability and the application system stability as well as the data security.

**Key words:** server cluster technology; digitized campus; data backup technology

### 278 Simple Practical Temperature Control System Based on Microcontroller

CHEN Yuan (Luoding Polytechnic College, Luoding 527200)

**Abstract:** A simple practical temperature control system based on microcontroller was designed by using AT89S51 as the core. There are four circuits, such as the temperature collection circuit, key display circuit, power supply circuit and electric wire control circuit, in which smart temperature sensor DS18B20 is used for temperature collection, in key displays circuit the 8-bit digital control, a  $4 \times 4$  matrix keyboard is driven by HD7279A chip, in power supply circuit TL431 voltage is used as regulators and in the heating control circuit the heating of electric wire is controlled by the ordinary relay switch. The system is mainly used to implement temperature acquisition, display and control functions, and it has a broad market prospect.

**Key word:** temperature control system; AT89S51; DS18B20

### 283 The Mechanism of Normal Faults in Rotating Machinery

SU Yong-mei, WANG Zhen-yu (Zhengzhou Technical College, Zhengzhou 450121)

**Abstract:** In this paper, Rotor system that represented rotating machine was studied. Trend situation of feature extraction techniques was discussed, the thesis systematically studied the characteristic parameters, fault mechanism, techniques of feature extraction and its application in the engineering practice. The paper studies the causes of normal faults such as unbalance, misalignment, oil-film whirling and oscillating.

**Key words:** rotary machinery; fault diagnosis; fault mechanism

### 295 Seismic Stability Analysis Based on Pseudo-static Approach of Reinforced Slopes

CHENG Guo-wei (Dongying Bureau of Highway Administration, Dongying 257000)

ZHAO Xue-sheng (The Third Railway Survey and Design Institute Group Corporation, Tianjin 300251)

LI Ling (Dongying Bureau of Highway Administration, Dongying 257000)

**Abstract:** According to the assumed geometry of the failure surface, the stability of slopes reinforced with geosynthetics was analyzed within the framework of the pseudo-static approach under the seismic loading only for the log-spiral failure mode. Calculations are conducted by applying the kinematic theorem of limit analysis. Each analytical expression in the article is derived that is enable one to conveniently calculate the reinforcement force required to prevent failure and the yield acceleration of slopes subjected to earthquake loading, and is applied conveniently for evaluating the parameters of the earthquake-induced permanent displacement and stability analysis using Newmake's sliding block method.

**Key words:** reinforced slope; log-spiral failure mechanism; seismic stability; yield acceleration

### 307 The Research of Anti-seismic Reinforced Concrete Beams Strengthened by Steel-bonded Plates

LI Chu-qiao, LU Hai-lin, ZHONG Wei (Yangtze University, Jingzhou 434023)

**Abstract:** The basic principle and development course of steel-bonded technique were briefly introduced, the progress of reinforced concrete beams was discussed the new trends of finite element model in seismic resistance fields were discussed. It provided a reference for the development of experimental study in reinforced concrete beams strengthened by steel-bonded plates.

**Key words:** reinforcement with steel-bonded plate; reinforced concrete beam; seismic resistance; finite element model

---

Translated & Edited by SU Kai-ke(苏开科)