

石油化工设备技术问答丛书

设备状态监测及故障诊断 技术问答

钱广华 屈世栋 编著



中国石化出版社

[HTTP://WWW.SINOPEC-PRESS.COM](http://www.sinopec-press.com)

石油化工设备技术问答丛书

设备状态监测及故障诊断 技术问答

钱广华 屈世栋 编著

中国石化出版社

内 容 提 要

本书采用问答形式,详细介绍了关键机组设备状态监测及故障诊断技术等基本知识,并根据作者在设备维护检修方面积累的经验,从振动与测试的概念、常用振动信号的分析、不同类型故障诊断、润滑监测及以可靠性为中心的维修(RCM)的作用等方面提出了参考方法,更利于为关键机组在使用、维护方面提供帮助。

本书特为石油化工行业从事大型转动设备运行管理和维护检修的技术人员和操作工而写,对于从事设备管理和制造人员也有一定的参考价值。

本书可以作为大型转动设备技术人员、操作工及保全工的参考书或工具书,具有简单、易懂、实用的特点。

图书在版编目(CIP)数据

设备状态监测及故障诊断技术问答/钱广华,屈世栋编著. —北京:中国石化出版社,2012.1
(石油化工设备技术问答丛书)
ISBN 978-7-5114-1251-5

I. ①设… II. ①钱… ②屈… III. ①石油炼制-机械设备-设备状态监测-问题解答 ②石油炼制-机械设备-故障诊断-问题解答 IV. ①TE96-44

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2011)第 224551 号

未经本社书面授权,本书任何部分不得被复制、抄袭,或者以任何形式或任何方式传播。版权所有,侵权必究。

中国石化出版社出版发行

地址:北京市东城区安定门外大街 58 号

邮编:100011 电话:(010)84271850

读者服务部电话:(010)84289974

<http://www.sinopec-press.com>

E-mail:press@sinopec.com

北京科信印刷有限公司印刷

全国各地新华书店经销

*

787×1092 毫米 32 开本 3.375 印张 69 千字
2012 年 1 月第 1 版 2012 年 1 月第 1 次印刷
定价:12.00 元

序

设备是企业进行生产的物质技术基础。现代化的石油化工企业，生产连续性强、自动化水平高，且具有高温、高压、易燃、易爆、易腐蚀、易中毒的特点。设备一旦发生问题，会带来一系列严重的后果，往往会导致装置停产、环境污染、火灾爆炸、人身伤亡等重大事故的发生。因而石油化工厂的设备更体现了设备是企业进行生产、发展的重要物质基础。“基础不牢、地动山摇”。设备状况的好坏、直接影响着石油化工企业生产装置的安全、稳定、长周期运行，从而也影响着企业的经济效益。

确保石油化工厂设备经常处于良好的状况，就必须强化设备管理，广泛应用先进技术，不断提高检修质量，搞好设备的操作和维护，及时消除设备隐患，排除故障，提高设备的可靠度，从而确保生产装置的安全、稳定、长周期运行。

为了加强企业“三基”工作，适应广大石油化工设备管理、操作及维护检修人员了解设备，熟悉设备，懂得设备的结构、性能、作用及可能发生的故障和预防措施，以提高消除隐患、排除故障、搞好操作和日常维护能力的需要，中国石化出版社针对石油化工厂常见的各类设备，诸如，各类泵、压缩机、风机及驱动机、各类工业炉、塔、反应器、压力容器，各类储罐、换热设备，以及各类工业管线、阀门管件等等，组织长期工作在石油化工企业基层，有一定设备理论知识和实践经验的专家和技术人员，以设备技术问答的形式，编写了一系列“石油化工设备技术问答丛书”，供大家学习和阅读，希望对广大读者有所帮助。本书即为这套丛书之一。

中国石化设备管理协会副会长 胡安定

* * * * * * 目 录 * * * * * *

第一章 振动与测试的基本概念

1. 振动的基本概念是什么？	(1)
2. 振动有哪几个基本参量？	(1)
3. 振动分析及故障诊断中振幅是如何表示的？	(1)
4. 振动频率的概念是什么？	(2)
5. 振动信号中相位的概念是什么？	(2)
6. 什么是径向振动、水平振动、垂直振动、轴向振动？	(3)
7. 振动位移、速度和加速度的相位差别是多少？	(3)
8. 轴位移(轴向位置)的定义是什么？	(3)
9. 为什么对轴位移进行在线状态监测和故障诊断 分析很有必要？	(3)
10. 轴心位置的定义是什么？	(4)
11. 机组差胀、机壳膨胀的概念是什么？	(4)
12. 为什么要对轴承回油温度及瓦块温度进行监测？	(4)
13. 什么是慢转偏心距？如何测量？	(4)
14. 测振传感器的种类及其优缺点是什么？	(5)
15. 压电式加速度传感器的工作原理和优点是什么？	(6)
16. 电涡流式速度传感器的安装应注意什么问题？	(6)
17. 如何判断涡流传感器输出信号的可靠性？	(7)
18. 如何获取相位脉冲信号？	(8)
19. 什么是同步振动与亚同步振动？	(8)
20. 亚同步振动有哪些特点？	(9)

21. 振动频谱的谱线数需要多少? (9)

22. 使用动圈式速度传感器和压电晶体加速度型传感器测试
 的振动频谱、波形有差异吗? (9)

第二章 常用的振动信号分析方法

1. 为什么振动分析法是最主要的旋转设备故障分析方法? (11)

2. 时域分析的局限性是什么? (11)

3. 采样定理的具体内容是什么? (12)

4. 旋转机械信号采集的基本问题是什么? (12)

5. 在旋转机械振动信号分析的基本手段是什么? (13)

6. 振动信号如何实现从时域到频域的转换? (13)

7. 设备振动的基本特征频率是如何计算的? (13)

8. 旋转机械状态监测及故障诊断中常用哪些分析图谱? (14)

9. 什么是波德图? 从波德图中可以得到哪些信息? (14)

10. 什么是极坐标图? 从极坐标图中可以得到哪些信息? (15)

11. 什么是频谱瀑布图? (16)

12. 什么是极联图? (17)

13. 什么是轴心位置图? (17)

14. 什么是轴心轨迹图? (18)

15. 什么是振动趋势图? (19)

16. 什么是波形频谱? (20)

第三章 旋转设备的故障诊断

1. 故障和故障诊断的含义是什么? (22)

2. 故障诊断的目的是什么? (22)

3. 故障诊断的任务主要包括哪几个方面? (23)

4. 旋转设备主要是指哪些设备? (23)

5. 压缩机从工作方式上可分为几大类?	(23)
6. 旋转机械的主要部件和其振动的特殊性是什么?	(23)
7. 在离心压缩机整个服役期内, 设备运行维护一般 有哪些规律性?	(24)
8. 对在不同的运行期间的离心压缩机采取哪些不同 的措施, 保证机组的稳定运行?	(24)
9. 哪些设计制造的原因会引起旋转机械发生故障?	(25)
10. 哪些安装维修的原因会引起旋转机械发生故障?	(25)
11. 哪些运行操作的原因会引起旋转机械发生故障?	(26)
12. 状态维修的特点和目标是什么?	(26)
13. 设备状态点检监测的流程是什么?	(27)
14. 旋转设备分类的一般原则是什么?	(27)
15. 进行设备状态监测及故障诊断需要设备的哪些基本资料?	(28)
16. 如何确定旋转设备状态监测的测点位置?	(28)
17. 设备监测周期的确定应该遵循什么原则?	(29)
18. 如何确定转子的临界转速?	(30)
19. 刚性转子和柔性转子的概念和划分依据是什么?	(30)
20. 旋转设备有哪些典型故障?	(31)
21. 转子不平衡的诊断方法和注意事项是什么?	(31)
22. 转子弯曲的种类和振动机理是什么?	(32)
23. 转子弓形弯曲(永久性弯曲)的原因是什么?	(32)
24. 转子弓形弯曲(永久性弯曲)的振动特征是什么?	(32)
25. 转子临时弯曲的原因及振动特性是什么?	(33)
26. 转子不对中有哪些形式?	(33)
27. 产生转子不对中的原因是什么?	(34)
28. 转子不对中故障的特征是什么?	(34)
29. 转子不对中故障识别的注意事项是什么?	(35)
30. 油膜涡动和油膜振荡的原因是什么?	(35)
31. 转子发生油膜振荡时一般具有哪些特征?	(37)
32. 蒸汽激振产生的原因是什么?	(38)

33. 什么是旋转失速与喘振?	(38)
34. 如何识别旋转失速与喘振?	(39)
35. 机械松动的类型和振动信号的特征是什么?	(40)
36. 转子断叶片、零部件或垢层脱落的故障机理与 特征是什么?	(41)
37. 当旋转机械发生动、静部分碰摩时具有哪些故障特征? ...	(42)
38. 转子裂纹产生的原因和振动信号的特征是什么?	(44)
39. 在振动信号出现机械偏差和电气偏差的原因是什么? 如何检验这两种偏差?	(45)
40. 大型旋转机械监测与故障诊断系统分类和组成是什么? ...	(46)
41. 在线监测系统的软件由几部分组成?	(46)
42. 在线与离线监测诊断系统的异同点是什么?	(47)
43. 应该采用何种单位评定设备振动是否超标?	(48)
44. 为什么使用普通的手持简易振动表测试低速的循环水 泵时, 不管是否有故障存在, 振动值总值很小? 对于 低速机器在测试时应该注意那些方面?	(48)
45. 振动测试能否反映出电机的电气问题? 电动机单转正常, 和风机或者水泵连接之后振动大是否说明就是风机、 水泵有问题?	(48)
46. 过程参数, 例如功率、真空等, 和振动相关吗? 应该 考虑哪些过程参数的影响?	(49)

第四章 滚动轴承故障诊断

1. 滚动轴承故障诊断的主要有哪些方法?	(50)
2. 引起滚动轴承故障的主要原因是什么?	(51)
3. 滚动轴承主要的故障形式有哪些?	(51)
4. 滚动轴承故障诊断的方法有哪些?	(53)
5. 在滚动轴承的故障诊断中如何进行分析谱带的选择?	(54)

6. 在滚动轴承的监测中, 如何选择测点?	(55)
7. 滚动轴承的简易诊断方法有哪些?	(55)
8. 为什么电机的滚动轴承已经严重损坏, 而瓦振位移或者速度值仍然很小? 应该采用什么方法来早期发现滚动轴承的损坏?	(57)
9. 什么是冲击脉冲?	(57)
10. 冲击脉冲值与滚动轴承状态的关系是什么?	(58)
11. 冲击脉冲对轴承寿命的定义是什么? 冲击脉冲评定参数的含义是什么?	(58)

第五章 齿轮箱故障诊断

1. 齿轮有哪些失效形式?	(60)
2. 什么是齿轮的啮合频率?	(62)
3. 齿轮振动的特征频率边频带是如何产生的?	(62)
4. 齿轮的故障分析方法有哪些?	(63)
5. 齿轮磨损故障的频谱特征是什么?	(65)
6. 齿轮偏心和齿隙游移故障的频谱特征是什么?	(65)
7. 齿轮不对中故障的频谱特征是什么?	(65)
8. 齿轮断裂故障的频谱特征是什么?	(66)
9. 齿轮故障与轴承故障的差异是什么?	(66)

第六章 振 动 标 准

1. 振动标准是如何分类的?	(67)
2. 什么是振动的相对标准?	(67)
3. 什么是振动的绝对标准?	(68)
4. 旋转设备的振动判断标准有哪几种?	(68)
5. 旋转机械特定机种专用标准是指什么?	(69)

第七章 往复式压缩机的监测及故障诊断

1. 往复机械诊断的主要难点是什么? (70)
2. 往复式压缩机的常见故障有哪些? (70)
3. 往复机械状态监测及故障诊断需监测的参数有哪些? (71)

第八章 润滑油监测分析

1. 什么是润滑监测? 其意义是什么? (72)
2. 润滑油分析一般有哪几个步骤? (72)
3. 为什么润滑油分析法也是旋转设备故障诊断中的一个重要手段? (74)
4. 什么是润滑油光谱分析法? (74)
5. 什么是铁谱分析技术? (75)
6. 铁谱技术对磨粒的识别与分析主要有几种方式? (76)
7. 铁谱技术的主要工作流程包括几个方面? (76)
8. 实现铁谱技术的基本设备主要有哪些? (76)
9. 铁谱技术分析机器磨损状态的工作内容是什么? (76)
10. 铁谱技术的特点是什么? (77)
11. 铁谱分析技术的缺点是什么? (77)
12. 什么是润滑油铁谱的定性分析? (78)
13. 进行润滑油分析样品取样的基本原则是什么? (78)
14. 根据不同的金属零件, 磨损颗粒按其产生的方式可分几类? (78)
15. 什么是铁谱的定量分析? 其理论依据是什么? (80)
16. 什么是密度计法? (80)
17. 什么是磨损烈度指数? (80)
18. 齿轮传动按运动寿命可分为几个磨损阶段? 如何识别不同的

磨损阶段和类型?	(81)
19. 如何利用铁谱监测滚动轴承和滑动轴承的磨损?	(82)

第九章 以可靠性为中心的维修(RCM)

1. 传统的维护和维修策略经历了几个发展阶段?	(83)
2. 什么是以可靠性为中心的维修(RCM)?	(83)
3. 为什么说 RCM 技术可以有效地提高装置的运行可靠性并降低维修成本?	(84)
4. RCM 理论的七个基本要素是什么?	(84)
5. RCM 分析中资产的功能及其性能标准是什么?	(85)
6. 什么是功能失效?	(86)
7. 功能失效的原因有哪些?	(86)
8. 什么是故障影响?	(87)
9. RCM 分析中故障后果有几类?	(87)
10. 如何预测或预防每一个故障?	(88)
11. 如果找不到一个合适的主动维护措施, 该采取什么被动维护措施?	(89)
12. 实施 RCM 分析的主要工作步骤有哪些?	(90)
13. 项目开工会要完成哪些工作?	(90)
14. 进行 RCM 分析需要收集哪些数据资料?	(90)
15. 通常 RCM 分析从几个方面着手明确具体分析对象?	(91)
16. 筛选分析及工艺访谈的目的是什么?	(91)
17. 筛选分析的过程是什么?	(92)
18. 详细的 RCM 分析主要是指哪些内容?	(92)
19. 什么是关键性分析?	(93)
20. 什么是失效模式影响分析?	(93)
21. RCM 分析中如何进行维护策略与任务的制定?	(94)
参考文献	(95)

第一章 振动与测试的基本概念

1. 振动的基本概念是什么？

机械振动是指物体围绕其平衡位置附近来回摆动并随时间变化的一种运动。机械振动通常以其幅值、周期(频率)和相位来描述。

2. 振动有哪几个基本参量？

振动的基本参量有振幅、频率(周期)和相位。构成一个确定性振动有3个基本要素，即使在非确定性振动中，有时也包含有确定性振动。振幅、频率、相位，这是振动诊断中经常用到的三个最基本的概念。

3. 振动分析及故障诊断中振幅是如何表示的？

幅值：表示物体动态运动或振动的幅度，它是机械振动强度的标志，也是机器振动严重程度的一个重要指标。机器运转状态的好坏绝大多数情况是根据振动幅值的大小来判别的。振幅的大小可表示为峰-峰值(P-P)、单峰值(0-P)、有效值(RMS)或平均值(Average)，如图1-1所示。一般情

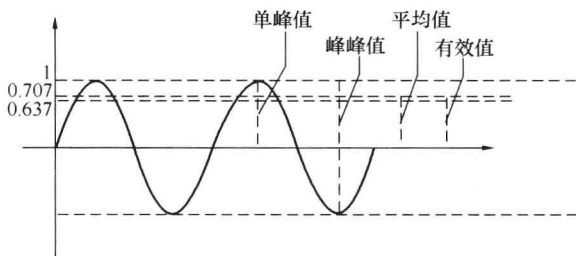


图1-1 振幅的表示方法

况下，位移振幅通常用峰 - 峰值(P - P)表示；速度振幅通常用有效值(振动烈度) V_{rms} 来表示；加速度振幅通常用峰值表示。

它们之间的换算关系是：

$$\text{峰峰值} = 2 \times \text{单峰值} = 2 \times 2^{1/2} \times \text{有效值}$$

表述振动幅值的大小通常采用振动的位移、速度或加速度值为度量单位。一般在振动测量中，除特别注明外，振动位移(D)以峰 - 峰值表示，单位一般是微米(μm)或密耳(mil)；振动速度(V)常用有效值表示，单位用毫米/秒(mm/s)或英寸/秒(in/s)。振动速度的有效值又称为“振动烈度”。有的行业的设备振动标准就是以“振动烈度”来作为基础的。振动加速度(A)积分一次即为振动速度；而振动速度再积分一次就成了振动位移。

$$\text{即：} \quad V = 2\pi fD; \quad A = 2\pi fV = (2\pi f)^2 D$$

以上仅仅是对简谐振动而言是正确的，因其频率 f 值为一常数；而对于一个复杂振动或波形来说，由于其振动频率 f 值的多重性而会带来误差。

4. 振动频率的概念是什么？

频率是振动特性的标志，是分析振动原因的重要依据，频率是指振动物体在单位时间(1s)内所产生振动的次数，即 Hz，以 f_0 表示。很显然， $f_0 = 1/T_0$ 。对于旋转机械的振动来说，存在下述令人感兴趣的频率：①转动轴的旋转频率；②各种振动分量的频率；③机器自身和基础或其它附着物的固有频率。

5. 振动信号中相位的概念是什么？

振动信号的相位，表示振动质点的相对位置。不同振动源产生的振动信号都有各自的相位。相位相同的振动，会引

起合拍共振，产生严重的后果；相位相反的振动产生互相抵消的作用，起到减振的效果。由几个谐波分量叠加而成的复杂波形，即使各谐波分量的振幅不变，仅改变相位角，也会使波形发生很大变化，甚至变得面目全非。

相位的测量对于确定转子上的高点、转子的临界转速以及诊断故障和进行动平衡等都是重要的。

6. 什么是径向振动、水平振动、垂直振动、轴向振动？

径向振动是指垂直于机器转轴中心线方向的振功。径向振动有时也称为横向振动。水平振动是指与水平方向一致的径向振动。垂直振动是指与垂直方向一致的径向振动。轴向振动是指与转轴中心线同一方向的振动。

7. 振动位移、速度和加速度的相位差别是多少？

位移、速度和加速度信号之间的相位各自相差 90° 。速度信号相位比位移信号相位小 90° ，加速度信号相位比速度信号相位小 90° 。

8. 轴位移(轴向位置)的定义是什么？

轴向位置是止推盘和止推轴承之间的相对位移。例如：转子动静部件之间的轴向摩擦、喘振等都会引起轴向位置的变化。

9. 为什么对轴位移进行在线状态监测和故障诊断分析很有必要？

在某些非正常的情况下，大型旋转机械的转子会因轴向力过大而产生较大的轴向位移，严重时会引起推力轴承磨损，进而引起叶轮与汽缸隔板摩擦碰撞；大型汽轮机在启动和停车过程中，也会因转子与缸体受热和冷却不均而产生差胀，严重时会发生轴向动静摩擦。尽管轴位移故障的概率不是很高，但也常有发生，特别是一旦发生后对设备造成的损

坏往往是灾难性的。所以，对轴位移进行在线状态监测和故障诊断分析很有必要。

10. 轴心位置的定义是什么？

轴心位置是描述安装在轴承中的转轴平均位置的特征参量。例如：轴承座磨损→轴颈偏心。涡流传感器的直流分量表示轴心位置的变化。

11. 机组差胀、机壳膨胀的概念是什么？

对大型旋转机械，由于转子较长，在起动过程中转子受热快，沿轴向膨胀量比汽缸大，两者的热膨胀差称为“差胀”。

转子的热膨胀 > 汽缸的热膨胀，称为“正差胀”；

转子的热膨胀 < 汽缸的热膨胀，称为“负差胀”。

正差胀多出现在开机过程，负差胀多出现在停机过程。

对大型汽轮机组，除了测“差胀”外，还应测机壳膨胀量，有助于得到汽缸与转子之间的相对热膨胀信息，对比热膨胀和胀差量，判断汽缸与转子热膨胀是否正常。

12. 为什么要对轴承回油温度及瓦块温度进行监测？

检修或运行中的操作不当都会造成轴承工作不良，从而引起轴承瓦块及轴承回油温度升高，严重时会造成烧瓦。所以对轴承回油温度、瓦块温度进行监测也很必要。按 API 617 规定，轴承进出口润滑油的正常温升应小于 28℃，轴承出口处的最高油温应小于 82℃。另外，用铂电阻在距轴承合金 1mm 处测量时，一般不应超过 110 ~ 115℃。但由于温度的反映往往滞后，具体的测量方法又各不相同，因此应具体情况具体分析。

13. 什么是慢转偏心距？如何测量？

慢转偏心距指的是机器静止时的弯曲量，如果在允许的

范围内，机器可以起动。

测量方法：起动时用涡流传感器测得的信号中的交流信号峰 - 峰值表示。

14. 测振传感器的种类及其优缺点是什么？

测振传感器是用来测量振动的传感器，根据所测振动参量和频率响应范围的不同，一般将测振传感器分为位移传感器、速度传感器、加速度传感器三大类。

位移传感器：测的是轴与传感器尖端的相对位移，通过钻孔安装到轴承内，也称为“涡流传感器”。适用于低速设备。有些安保系统采用此传感器。主要缺点：传感器输出结果与被测物体材料有关，材料不同会影响传感器线性范围和灵敏度，须重新标定。为了获得可靠数据，对传感器的安装要求较严，不能用于高频测量。

速度传感器：速度传感器输出与振动速度成正比，信号可以直接提供给分析系统。传感器安装简单，临时测量可以采用手扶方式或通过磁座与被测物体固定，长期监测可以通过螺钉与被测物体固定。速度传感器体积、重量偏大，低频特性较差。测量 10Hz 以下振动时，幅值和相位有误差，需要补偿。测量发电机和励磁机振动时，速度传感器可能会受到电磁干扰的影响。此时，速度传感器的输出信号会变得很不稳定，忽大忽小，没有规律。体积大，运动部件会影响使用寿命，不适合低频和低频测量。

加速度传感器：加速度传感器输出与振动加速度成正比。体积小重量轻、结构紧凑不易损坏是加速度传感器的突出特点，特别适用于细小和质量较轻部件的振动测试。加速度传感器适用于高速设备和含有高速旋转部件的设备，振动分析中应用最为广泛。所有的便携式数据采集器

基本都配备加速度传感器。安保系统中也常常使用加速度传感器。

位移传感器：速度和加速度传感器在旋转机械振动测试中都得到了广泛应用。通常是用位移传感器测量转轴振动，用速度或加速度传感器测量轴承座振动。由位移、速度和加速度之间的关系可知，为了突出反映故障信号中高频分量或脉冲量的变化，可以选用加速度传感器；为了突出反映故障信号中低频分量的变化，可以选用涡流传感器。

15. 压电式加速度传感器的工作原理和优点是什么？

压电式加速度传感器的工作原理：当压电晶体受到外力作用时，其表面出现极性相反的等量电荷，其电荷大小与受力大小成正比，外力去掉时，又重新恢复到原来状态，这种能将机械能转换成电能的现象称为压电效应。利用材料压电效应制成的传感器称为压电式传感器。现在普遍使用“ICP内部放大压电式加速度传感器”，即通过内部电荷放大器将电荷放大，转换成电压信号，再传给数据采集器进行进一步的处理。

其优点如下：

- (1) 非常宽的频率范围；
- (2) 宽振幅范围、宽温度带；
- (3) 相当耐用，适合于不同的应用场合；
- (4) 稳定性好，不需要经常进行标定；
- (5) 体积小、重量轻、灵敏度高、安装简便。

16. 电涡流式速度传感器的安装应注意什么问题？

涡流传感器安装要求较严，安装时需要考虑以下几点：