

QILUN FADIANJIZU ZHENDONG ZHENDUAN
JISHU WENDA

汽轮发电机组振动诊断 技术问答

郭宝仁 常浩 编著



中国电力出版社
CHINA ELECTRIC POWER PRESS

QILUN FADIANJIZU ZHENDONG ZHENDUAN
JISHU WENDA

汽轮发电机组振动诊断 技术问答

郭宝仁 常 浩 编著
马泽山 徐贞禧 审核



中国电力出版社
CHINA ELECTRIC POWER PRESS

内 容 提 要

本书以技术问答的形式,把复杂的理论用直观、形象、简洁的语言,辅以典型的生产实例加以解读,方便读者掌握机组振动基本知识,基于现场的 TSI 及 TDM 系统,学会振动测量及动平衡技术,提高识别和消除故障能力。通过强调问题、引起注意、启发思考,达到避免和消除机组事故的目的,这是一本解决机组振动问题的实用性技术丛书。

本书可供从事汽轮机运行、检修、安装等工作的工程技术人员和管理人员阅读,也可供科研人员及高等院校师生参考。

图书在版编目(CIP)数据

汽轮发电机组振动诊断技术问答/郭宝仁,常浩编著. —北京:
中国电力出版社, 2016. 5

ISBN 978-7-5123-8909-0

I. ①汽… II. ①郭…②常… III. ①汽轮发电机组-机械振动-故障诊断-问题解答 IV. ①TM311.14-44

中国版本图书馆 CIP 数据核字 (2016) 第 026649 号

中国电力出版社出版、发行

(北京市东城区北京站西街 19 号 100005 <http://www.cepp.sgcc.com.cn>)

三河市航远印刷有限公司印刷

各地新华书店经售

*

2016 年 5 月第一版 2016 年 5 月北京第一次印刷

787 毫米×1092 毫米 16 开本 15.5 印张 324 千字

印数 0001—2000 册 定价 58.00 元

敬告读者

本书封底贴有防伪标签,刮开涂层可查询真伪

本书如有印装质量问题,我社发行部负责退换

版权专有 翻印必究

前言

截至 2014 年底,全国全口径发电设备容量 13.6019 亿 kW,其中火电装机容量 9.1569 亿 kW,火电容量占总装机容量的 67.32%。全国发电量 55459 亿 kWh,其中火电发电量 41731 亿 kWh,火电发电量占全国发电量的 75.25%,2014 年全国发电设备平均年利用小时 4077.3h,其中火电机组平均年利用小时 4557.3h,火力发电在发电行业中占有较大比重,是中国电力的基础。

汽轮机组是火力发电厂的关键设备,它的安全、经济及可靠运行至关重要,不仅涉及企业自身的经济效益,更关系到人们生活、生产用电,电与人们日常生活息息相关。由于汽轮机组是高速旋转设备,不可避免地出现故障,其中,振动问题是机组经常发生的故障之一,且比较难以处理。特别是近几年来,容量大、参数高、轴系长、结构复杂的汽轮机组相继投入,在安装、调试、运行及检修阶段中出现了更多新的振动问题。诊断并消除振动问题,涉及设计、制造、安装、运行及检修诸多领域,不仅需要理论知识,更需要长期的工程实践和经验的积累,理论知识和实践经验缺一不可,而丰富的实践经验更有助于实际问题的解决。由于振动问题的复杂性、隐蔽性、多变性,涉及的知识面广,普通工程技术人员往往觉得振动问题高深莫测,难学难懂,特别是从事电厂运行、检修及管理的人员,大部分没有系统学习过振动知识,更没有亲身处理振动问题的经历,很多人不知从哪里入手学习振动技术,与此同时,很多电厂的 TDM 系统几乎处于闲置状态,无人问津,给工作带来诸多不便。为了能使相关从业人员更好地掌握振动技术,提高专业水平,满足工作需要,我们组织编著了《汽轮发电机组振动诊断技术问答》这本书。本书以技术问答的形式,将复杂的理论转换为直观、形象、简洁的语言进行解读,并配有实例,以便掌握机组振动基本知识,学会振动测量及动平衡技术,提高识别和消除故障能力,通过强调问题、引起注意,启发思考,达到避免或消除机组事故的目的,这是一本解决机组振动问题的实用性技术丛书。希望通过阅读本书,读者对振动专业有所了解,并对解决实际振动问题有所帮助。若本书能使读者从中受益,提高解决生产实际问题的能力和水平,编著者将甚为欣慰。

本书分七章,共有 400 个问题。第一章介绍了振动学的一些基础知识,对相关名词术语进行解读。第二章介绍了振动测量所需的仪器、仪表,对如何安装、使用等技术进行了解答。第三章介绍了火电机组现行的振动评定标准,并对其进行了解读,帮助读者对振动标准有进一步的理解和认识。第四章介绍了常见的振动故障特征及诊断方法,掌握该知识有助于及时分析和消除现场振动问题。第五章介绍了故障诊断及消除实例,加深读者对故障特征理解,提高处理振动问题的能力。第六章介绍了运行机组的振动预防与控制,通过调整手段消除机组在启动、运行中存在的振动问题,防止过大的振动对机

组造成更大伤害，同时对国家能源局发布的《防止电力生产事故的二十五项重点要求》中的振动相关内容进行了解读。第七章介绍了机组现场动平衡技术，对动平衡的方案选择、策略及技巧进行了解答，并介绍了现场动平衡实例。最后对《防止电力生产事故的二十五项重点要求》以及国家振动标准进行了汇总，方便读者查阅。

编著者长期从事汽轮机的振动工作，具有生产一线的工作经历，积累了大量的科研成果和生产经验。本书注意理论和实践相结合，立足于实用性、科学性和先进性的紧密结合。可供从事汽轮机运行、检修、安装等工作的工程技术人员和管理人员阅读，也可供科研人员及高等院校师生参考。

本书由华电电力科学研究院郭宝仁、常浩编著，大唐辽宁分公司马泽山、原华北电力科学研究院徐贞禧主审。在编著过程中，沈阳工程学院，中电投东北分公司，东北电力科学研究院，国电科学技术研究院，哈尔滨汽轮机厂有限责任公司，华润电力（锦州）有限公司，中国能建东电一公司，阜新金山煤矸石热电有限公司，神华国华绥中发电有限责任公司等同志给予了大力帮助并提出了大量宝贵意见和建议，为本书增色颇多，同时华电电力科学研究院给予了大力支持。书中所列的故障实例是从近几年多台机组出现的振动故障挑选而来，多数是编著者亲身经历并处理的。

在此书出版之际，谨向以上单位和个人及本书所引用的资料作者致以衷心的感谢。

限于作者的水平和经验，书中难免有缺点和不妥之处，恳请读者批评指正。

编著者

2016年4月

目 录

前言

第一章 振动学基础知识

一、机械振动 1

1. 什么是振动? 1

2. 什么是机械振动, 其形态用什么描述? 1

3. 机械振动有哪些分类? 1

4. 什么是简谐振动及其表示方法? 1

5. 什么是周期振动及其表示方法? 2

6. 什么是非周期振动? 2

7. 什么是随机振动? 2

8. 什么是稳态振动? 2

9. 什么是瞬态振动? 2

10. 什么是自由振动? 2

11. 什么是受迫振动? 3

12. 什么是自激振动? 3

13. 自由振动、自激振动、受迫振动有什么区别? 3

14. 什么是弯曲振动? 有什么特征? 3

15. 什么是纵向振动? 有什么特征? 3

16. 什么是扭转振动? 有什么特征? 3

17. 什么是挠曲振动? 有什么特征? 3

18. 什么是振荡? 3

19. 什么是涡动? 有什么特点? 4

20. 什么是油膜振荡? 4

21. 什么是颤振? 4

22. 什么是线性振动? 4

23. 什么是非线性振动? 4

24. 什么是绝对振动? 4

25. 什么是相对振动? 4

26. 什么是通频振动值?	4
27. 什么是基频振动值?	5
28. 什么是二倍频振动值?	5
29. 什么是半频振动值?	5
30. 什么是谐波振动?	5
31. 什么是次谐波振动?	5
32. 什么是拍振?	5
33. 什么是汽轮发电机组振动?	5
34. 什么是轴系扭振?	5
35. 什么是机械系统?	6
36. 什么是线性系统?	6
37. 什么是非线性系统?	6
38. 什么是惯性系统?	6
39. 什么是等效系统?	6
40. 什么是多自由度系统?	6
41. 什么是振动模态?	6
42. 什么是模态振型?	6
43. 什么是模态分析?	6
44. 什么是模态矩阵? 有什么作用?	7
45. 什么是共振?	7
46. 什么是共振频率?	7
47. 什么是固有频率? 由什么决定?	7
48. 什么是阻尼固有频率?	7
49. 什么是阻尼? 分为几种?	7
50. 什么是线性阻尼?	7
51. 什么是非线性阻尼?	7
52. 怎样描述单自由度线性系统的运动方程?	7
53. 什么是刚度?	8
54. 什么是动刚度?	8
55. 振动量值与不平衡力和动刚度有什么关系?	8
56. 什么是基本周期?	8
57. 什么是频率?	8
58. 什么是角频率?	8
59. 什么是相位角?	8
60. 什么是相位角差?	9
61. 什么是振动量值?	9

62. 什么是峰值?	9
63. 什么是峰峰值?	9
64. 什么是有效值?	9
65. 峰峰值、单峰值、有效值有什么区别?	9
66. 什么是位移?	9
67. 什么是速度?	9
68. 什么是加速度?	10
69. 振动位移、速度、加速度有什么区别?	10
70. 振动位移与速度怎样换算?	10
71. 什么是振动烈度?	11
二、转子与轴承	11
1. 什么是转子?	11
2. 汽轮机转子结构形式有哪些?	11
3. 什么是轴颈?	11
4. 什么是轴颈中心线?	11
5. 什么是轴颈中心?	12
6. 什么是刚性转子?	12
7. 什么是挠性转子?	12
8. 什么是完全平衡的转子?	12
9. 什么是转子“热跑”试验?	12
10. 转子“热跑”能彻底消除转子热应力吗?	12
11. 什么是转子临界转速?	12
12. 转子的振动挠曲线是怎样随转速变化的?	12
13. 什么是汽轮发电机组轴系?	13
14. 什么是轴系稳定性?	13
15. 评价汽轮机转子稳定性的指标是什么?	13
16. 怎样分析汽轮机轴系振动特性?	13
17. 怎样分析转子的固有响应方程?	14
18. 可倾瓦、椭圆瓦轴承有什么特点?	15
19. 滑动轴承和滚动轴承有什么区别?	16
20. 汽轮机径向轴承中轴心轨迹是怎样的?	16
21. 动压滑动轴承静特性包括哪些?	16
22. 动压滑动轴承的动特性包括哪些?	17
23. 径向滑动轴承动压油膜是怎样形成的?	17
24. 评价轴承性能的主要指标是什么?	17
25. 轴承类型对轴承稳定性有什么影响?	17

26. 什么是挠性支承和刚性支承?	18
三、不平衡与平衡	18
1. 什么是质心?	18
2. 什么是重心?	18
3. 什么是重点?	18
4. 什么是高点?	18
5. 什么是滞后角?	18
6. 什么是节点?	19
7. 什么是激励?	19
8. 什么是响应?	19
9. 什么是主惯性轴?	19
10. 什么是不平衡?	19
11. 什么是不平衡质量?	19
12. 什么是不平衡量?	19
13. 转子的不平衡质量、不平衡量、不平衡力及振动间的关系?	20
14. 什么是不平衡相角?	20
15. 什么是不平衡矢量?	20
16. 什么是第 n 阶振型不平衡量?	20
17. 什么是等效第 n 阶振型不平衡量?	20
18. 什么是静不平衡?	21
19. 什么是偶不平衡?	21
20. 什么是动不平衡?	21
21. 什么是热致不平衡?	21
22. 什么是初始不平衡?	21
23. 什么是合成不平衡?	21
24. 什么是合成矩(偶)不平衡?	21
25. 什么是力?	22
26. 什么是惯性力?	22
27. 什么是恢复力?	22
28. 什么是转子轴向推力?	22
29. 什么是不平衡力?	22
30. 什么是不平衡力偶?	22
31. 什么是剩余不平衡?	22
32. 什么是不平衡度?	22
33. 什么是平衡品质等级?	23
34. 什么是平衡?	23

35. 什么是现场平衡? 23

36. 什么是精细平衡? 23

37. 什么是挠性转子高速平衡? 动力平衡方程是指什么? 23

38. 什么是挠性转子低速平衡? 24

39. 什么是静平衡? 24

40. 什么是动平衡? 24

41. 什么是多面平衡? 24

42. 什么是振型平衡? 24

43. 什么是平衡转速? 24

44. 什么是工作转速? 24

45. 什么是临界速度? 24

46. 什么是平衡允差? 24

47. 校正(平衡)方法是什么? 25

48. 什么是测量平面? 25

49. 什么是校正平面? 25

50. 什么是试加质量(试重)? 25

51. 什么是校正质量(配重)? 25

第二章 振动测量技术

一、传感器及测试系统 26

1. 什么是传感器? 有什么特点? 26

2. 什么是惯性传感器? 有什么特点? 26

3. 什么是线性传感器? 26

4. 什么是位移传感器? 可分为哪几种? 26

5. 什么是速度传感器? 其原理和组成是什么? 26

6. 速度传感器有哪些作用? 26

7. 速度传感器安装时应注意什么? 27

8. 什么是加速度传感器? 其原理和组成是什么? 27

9. 加速度传感器有哪些作用? 27

10. 什么是复合式传感器? 27

11. 复合式传感器有哪些作用? 27

12. 什么是光电传感器? 由什么组成? 28

13. 光电式传感器安装应注意哪些? 28

14. 什么是电涡流传感器? 由什么组成? 28

15. 电涡流传感器有哪些作用? 28

16. 电涡流传感器安装应注意什么? 29

17. 什么是前置器? 30

18. 什么是键相器? 有什么用途? 30

19. 什么是数字滤波器? 有什么用途? 30

20. 什么是跟踪滤波器? 有什么用途? 30

21. 选用传感器应注意哪些事项? 30

22. 什么是传感器的灵敏度? 31

23. 什么是传感器幅值失真? 31

24. 什么是传感器频率失真? 31

25. 什么是传感器相位失真? 31

26. 振动仪表有哪些测量误差? 31

27. 通频振动量值的测量误差是什么? 31

28. 什么是 TSI 系统, 有哪些作用? 32

29. 什么是 TDM 系统, 有哪些作用? 32

二、信号处理 32

1. 什么是采样频率? 32

2. 什么是采样速率? 32

3. 什么是采样周期? 32

4. 什么是傅里叶级数? 32

5. 什么是傅里叶变换? 33

6. 什么是波德图, 有哪些用途? 34

7. 什么是极坐标图, 有哪些用途? 35

8. 什么是轴心位置图, 有哪些用途? 35

9. 什么是轴心轨迹图, 有哪些用途? 36

10. 什么是频谱图, 有哪些用途? 37

11. 什么是瀑布图 (级联图), 有哪些用途? 37

12. 什么是趋势图, 有哪些用途? 38

第三章 振动评定标准

一、标准制定原则 39

1. 振动标准有哪些? 39

2. 振动标准有什么作用? 39

3. 振动标准制定的依据是什么? 39

4. 我国汽轮发电机组轴承座振动标准制定的历程? 40

5. 我国汽轮发电机组轴振动标准制定的历程? 41

6. 轴承座振动标准 (GB/T 6075.2) 适用范围是什么?	42
7. 轴振动标准 (GB/T 11348.2) 适用范围是什么?	43
8. 轴承座振动评价准则是什么?	43
9. 轴振动评价准则是什么?	44
10. 振动评定标准划分几个区域, 含义是什么?	45
11. 什么是振动基线值, 怎样确定?	45
二、标准的使用	45
1. 怎样设置汽轮机振动保护逻辑方式?	45
2. 怎样设置汽轮机振动保护定值?	46
3. 怎样整定轴承座振动报警值?	47
4. 怎样整定轴振动区域边界值?	47
5. 振动标准中, 轴承座振动推荐值是多少?	48
6. 振动标准中, 轴振动推荐值是多少?	48
7. 执行标准时, 振动值越小越好吗?	48
8. 用振动量值与振动烈度评价轴承座振动状态有什么区别?	49
9. 原电力部制定的轴承座振动标准有什么缺点?	49
10. 轴振能替代轴承座振动吗?	50
11. 轴承座三个方向振动的允许值一样吗?	50

第四章 振动故障特征及诊断

一、故障诊断	51
1. 什么是动静碰磨振动, 产生的机理?	51
2. 动静碰磨振动怎样诊断?	51
3. 消除动静碰磨振动有哪些对策?	52
4. 什么是轴承自激振动, 产生的机理是什么?	53
5. 轴承自激振动有哪些特点?	53
6. 轴承自激振动怎样诊断?	54
7. 消除油膜涡动或油膜振荡的轴承自激振动有哪些对策?	54
8. 什么是汽流激振, 产生的机理?	55
9. 汽流激振怎样诊断?	56
10. 消除汽流激振有哪些对策?	56
11. 汽流激振与油膜振荡及油膜涡动有什么区别?	57
12. 汽轮机转子存在热弯曲怎样诊断?	57
13. 汽轮机转子存在热弯曲有哪些原因?	58
14. 发电机转子存在热弯曲怎样诊断?	58

15. 发电机转子存在热弯曲有哪些原因?	59
16. 转子中心孔进油怎样诊断?	60
17. 联轴器螺栓松动怎样诊断?	60
18. 转子质量不平衡怎样诊断?	61
19. 轴承座刚度不足怎样诊断?	62
20. 什么是联轴器不对中?	62
21. 什么是轴承不对中?	62
22. 什么是转子不对中?	63
23. 转子不对中对振动有什么影响?	63
24. 联轴器端面张口值及圆周差对轴承载荷有什么影响?	63
25. 运行中转子中心不正怎样诊断?	64
26. 汽缸膨胀不畅有哪些原因?	64
27. 汽缸膨胀不畅对振动影响怎样诊断?	65
28. 热弯曲、动静摩擦及膨胀不畅引发的振动有什么区别?	65
29. 结构振动怎样诊断?	66
30. 转子裂纹怎样诊断?	66
31. 高次谐波振动怎样诊断?	67
32. 分次谐波振动怎样诊断?	67
33. 随机振动怎样诊断?	68
34. 振动通频值与工频值相差大是什么原因?	68
35. 振动随转速升高而增大, 带负荷后振动稍有降低是什么原因?	68
36. 正常运行时, 机组振动突然增大是什么原因?	69
37. 振动与负荷无关, 轴承振动大且不稳定是什么原因?	69
38. 振动与负荷有关, 某一负荷下突然剧烈振动是什么原因?	70
39. 振动与汽轮机的热状态有关, 机组振动大是什么原因?	70
40. 振动与凝汽器的真空有关, 机组振动大是什么原因?	70
41. 备用机组在启动时, 临界转速下降是什么原因?	71
42. 轴承座轴向振动大是什么原因?	71
43. 怎样识别动叶片脱落?	71
44. 叶片脱落怎样应急处理?	72
45. 叶片脱落与汽流激振、轴承自激和摩擦振动有什么区别?	72
二、故障特征汇总	73
1. 振动故障有哪些特征?	73
2. 典型振动故障怎样分类?	74
3. 振动故障与主要频率有什么关系?	74
4. 振动故障与升速、降速有什么关系?	75

第五章 故障诊断及消除实例

一、动静碰磨故障	77
1. 600MW 空冷机组带负荷阶段轴封摩擦怎样诊断?	77
2. 350MW 湿冷机组带负荷阶段油挡摩擦怎样诊断?	78
3. 330MW 湿冷机组带负荷阶段轴封摩擦怎样诊断?	80
4. 300MW 湿冷机组启动阶段油挡摩擦怎样诊断?	82
5. 135MW 湿冷机组启动阶段汽封摩擦怎样诊断?	82
二、动叶片脱落故障	84
1. 800MW 湿冷机组高压转子第 2 级叶片脱落怎样诊断?	84
2. 600MW 空冷机组低压转子末级叶片脱落怎样诊断?	88
3. 600MW 空冷机组低压转子末级叶片脱落怎样诊断?	90
4. 330MW 湿冷机组中压末级叶片脱落怎样诊断?	93
5. 200MW 湿冷机组低压转子反向第 2 级叶片脱落怎样诊断?	95
三、转子弯曲故障	98
1. 600MW 湿冷机组发电机转子热弯曲怎样诊断?	98
2. 600MW 空冷机组高中压转子热弯曲怎样诊断?	100
3. 600MW 湿冷机组高中压转子热弯曲怎样诊断?	103
4. 300MW 湿冷机组高中压转子热弯曲怎样诊断?	105
四、转子中心不对中故障	107
1. 600MW 湿冷机组低发对轮不对中怎样诊断?	107
2. 200MW 湿冷机组低发对轮不对中怎样诊断?	110
3. 135MW 湿冷机组低发对轮销孔偏斜怎样诊断?	116
五、转子汽流激振及轴承自激振动	119
1. 1000MW 湿冷机组高压转子汽流激振怎样诊断?	119
2. 600MW 空冷机组高压转子汽流激振怎样诊断?	122
3. 300MW 空冷机组高压转子汽流激振怎样诊断?	124
4. 325MW 湿冷机组发电机轴承自激振动怎样诊断?	127
六、轴承及轴承座故障	129
1. 800MW 湿冷机组励磁机轴承球面接触差、间隙超标怎样诊断?	129
2. 350MW 湿冷机组低压轴承磨损怎样诊断?	131
3. 12MW 湿冷机组轴承座台板与基础接触差怎样诊断?	133
七、其他振动故障	135
1. 600MW 超超临界发电机集电环转子对轮裂纹怎样诊断?	135
2. 给水泵高压头、低流量时的振动怎样诊断?	138

第六章 运行机组的振动预防与控制

一、“二十五项重点要求”部分解读	141
1. 什么是“二十五项重点要求”？	141
2. 为什么规定启动前大轴晃度不超过原始值的 $\pm 0.02\text{mm}$ ？	141
3. 为什么规定启动前高压内缸上下缸温差不超过 35°C ，外缸不超过 50°C ？	142
4. 为什么机组启动前连续盘车时间应执行制造商的有关规定？	144
5. 为什么规定启动或低负荷运行时，不能投入再热蒸汽减温器喷水？	144
6. 为什么规定在中速暖机之前，轴承振动超过 0.03mm ，应立即打闸停机？	145
7. 为什么规定运行中新汽温度在 10min 内突然下降 50°C ，打闸停机？	145
8. 为什么规定疏水系统应保证疏水畅通？	145
9. 为什么规定高、低压轴封应分别供汽？	146
二、运行中的振动控制	146
1. 机组振动有哪些危害？	146
2. 轴相对振动量值大小程度怎样评价？	147
3. 运行中机组振动大应如何处理？	147
4. 新汽温度两侧温差过大对振动有什么影响？	147
5. 新汽温度过高对振动有什么影响？	147
6. 新汽温度骤然降低对振动有什么影响？	148
7. 轴承润滑油温对振动有什么影响？	148
8. 真空变化对振动有什么影响？	148
9. 高压调速汽门开度对振动有什么影响？	149
10. 低压轴封供汽温度波动大对振动有什么影响？	149
11. 低压缸喷水对振动有什么影响？	149
12. 汽缸各部件温差大对振动有什么影响？	149
13. 胀差对振动有什么影响？	149
14. 汽缸膨胀不均匀对振动有什么影响？	150
15. 汽缸疏水对振动有什么影响？	150
16. 汽缸进水对振动有什么影响？	150
17. 发电机励磁电流对振动有什么影响？	151
18. 发电机冷却介质温度对振动有什么影响？	152
19. 什么是偏摆（轴晃度）？	152
20. 什么是偏心？	152
21. 什么是偏心率（偏心率）？	152
22. 就地测量轴晃度与 CRT 画面显示偏心率有什么区别？	153

23. 怎样比较轴晃度值大小?	153
24. 通过轴晃度值大小, 怎样计算转子弯曲量?	153
25. 机组升速和加负荷过程中, 为什么要重点监视机组振动?	154
26. 机组启动时, 暖机转速要避开临界转速多少合适?	154
27. 影响转子临界转速有哪些因素?	154
28. 机组临界转速现场怎样测量确定, 应注意什么?	155
29. 单转子、轴系及实测的临界转速有什么区别?	155
30. 启停过程中, 为什么一根转子会有几个峰值?	156
31. X、Y 方向轴振偏差大的原因是什么?	157
32. 机组轴振动超过报警值, 怎样应对?	157
33. 启动时机组过临界振动大, 怎样应对?	158
34. 汽轮机转子发生径向摩擦后, 转子为什么会弯曲?	158
35. 机组启动中发生摩擦振动怎样消除?	159
36. 怎样预防叶片损坏事故发生?	159
37. 怎样预防大轴弯曲事故发生?	160
38. 怎样预防汽缸进水事故发生?	161

第七章 现场动平衡技术

一、动平衡基本知识	162
1. 什么是转子的平衡? 有什么作用?	162
2. 制造厂怎样进行转子动平衡?	162
3. 动平衡机软支承和硬支承有什么差别?	163
4. 制造厂平衡合格的转子, 为什么现场还需要平衡?	163
5. 什么是现场轴系动平衡, 有什么目的?	163
6. 现场动平衡受哪些条件限制?	163
7. 现场动平衡能解决所有的振动问题吗?	164
8. 转子平衡后能消除什么频率下的振动?	164
9. 实际上转子能达到完全平衡吗?	164
10. 现场高速动平衡基本步骤是什么?	164
11. 现场高速动平衡过程中应注意什么?	165
12. 怎样判断不平衡质量的位置和形式?	165
13. 转子上存在的不平衡质量是怎样分布的?	166
14. 刚性和挠性转子平衡有什么不同?	166
15. 平衡挠性转子有什么要求?	166
16. 挠性转子的平衡特性是什么?	167

17. 什么是对称、反对称振动分量，怎样计算？	167
18. 振动同相就对称加重，反相就反对称加重吗？	167
19. 高速动平衡最佳校正平面怎样选择？	168
20. 支承特性不同，挠性转子的主振型有什么区别？	168
21. 挠性转子的不平衡响应大小取决于什么？	169
22. 用什么来表征转子平衡状况的好坏？	169
23. 怎样确定刚性转子平衡品质？	169
24. 怎样确定挠性转子平衡品质？	169
25. 转子平衡品质有几种评定方法？	169
26. 怎样计算许用不平衡量？	169
27. 怎样计算许用不平衡度？	170
28. 平衡计算用的图解法是什么方法？	170
29. 怎样用图解法进行平衡计算？	170
30. 分析加重后的平衡效果有什么作用？	171
31. 加重准确时，振动有什么变化？	171
32. 加重准确性差时，振动有什么变化？	172
33. 加重偏小时，振动有什么变化？	172
34. 加重偏大时，振动有什么变化？	172
35. 加重方向错误时，振动有什么变化？	172
36. 加重方向不准确时，振动有什么变化？	173
37. 挠性转子平衡的方法有哪些？	173
38. 什么是影响系数法？	173
39. 什么是最小二乘的影响系数法？	174
40. 影响系数法平衡柔性转子应注意什么？	175
41. 什么是振型平衡法？	176
42. 振型平衡法和影响系数法平衡有什么区别？	177
43. 怎样用影响系数法平衡单平面单测点振动？	177
44. 怎样用影响系数法平衡单平面多测点的振动？	178
45. 怎样用影响系数法平衡多平面多测点振动？	179
46. 怎样利用影响系数法和谐波分量法相结合进行动平衡？	180
47. 振动相位测量原理是什么？	181
48. 键相器位置发生变化，相位怎样变化？	181
49. 键槽位置发生变化，相位怎样变化？	181
50. 振动探头位置发生变化，相位怎样变化？	182
51. 试加质量的方向用影响系数法怎样确定？	182
52. 试加质量的方向用机械滞后角法怎样确定？	182