

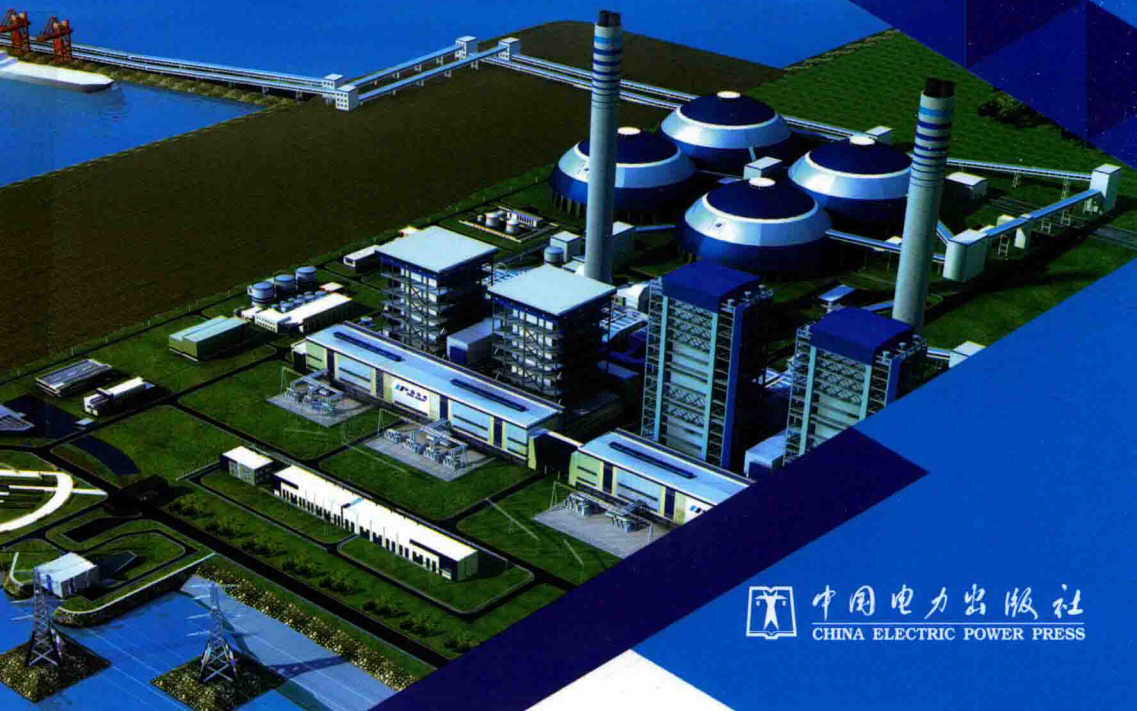
特色鲜明
生动翔实
方便实用

“全彩”和“图解”完美结合
“还原”和“再现”现场实际
突出讲解“重点”和“细节”



图解 1000MW 超超临界机组设备巡检

华电莱州发电有限公司 编



中国电力出版社
CHINA ELECTRIC POWER PRESS

图解1000MW 超超临界机组设备巡检

华电莱州发电有限公司 编



中国电力出版社
CHINA ELECTRIC POWER PRESS

内 容 提 要

电厂运行人员的巡回检查是对设备的“健康查体”，“体检”质量取决于运行人员对系统的全面掌握程度。本书以 1000MW 超超临界机组设备巡检经验总结为基础，从机、炉、电三个方面共十六个章节以“图解”形式对 1000MW 超超临界机组主辅设备系统进行了全面系统的讲解，内容包含系统简介、日常巡检项目、常见故障及危险点、事故案例警示等多个方面。本书收录了丰富的现场设备照片，通过“图解”较大程度上“还原”和“再现”现场实际。

本书通俗易懂、实用性强，可作为面向 1000MW 超超临界机组运行人员及设备维护人员日常培训教材，也可作为电厂生产管理人员的参考用书。

图书在版编目 (CIP) 数据

图解 1000MW 超超临界机组设备巡检 / 华电莱州发电有限公司编. —北京: 中国电力出版社, 2017.8

ISBN 978-7-5198-0572-2

I . ①图… II . ①华… III . ①超临界机组—设备—巡回检测—图解 IV . ① TM621.3-64

中国版本图书馆 CIP 数据核字 (2017) 第 063292 号

出版发行: 中国电力出版社

地 址: 北京市东城区北京站西街 19 号 (邮政编码 100005)

网 址: <http://www.cepp.sgcc.com.cn>

责任编辑: 孙建英 (010-63412369)

责任校对: 马 宁

装帧设计: 张俊霞 左 铭

责任印制: 蔺义舟

印 刷: 北京博图彩色印刷有限公司

版 次: 2017 年 8 月第一版

印 次: 2017 年 8 月北京第一次印刷

开 本: 710 毫米 × 980 毫米 16 开本

印 张: 17

字 数: 232 千字

印 数: 0001—3000 册

定 价: 98.00 元

版权专有 侵权必究

本书如有印装质量问题, 我社发行部负责退换

主 任 秦世贤

常务副主任 孙学军

委 员 赵 永 赵训海 刘清亮 张 勇
邱元刚 李友志 张志强

主 编 张志强

副 主 编 刘芝亮 马 记 张晓东

参 编 韩丽娜 李洪泉 邱立国 王 刚
魏道君 邢立军 张 娟

自华电莱州发电有限公司（简称莱州公司）一期工程机组投运以来，不断创新培训思路，拓宽培训阵地，提升青年员工业务技能水平，先后开展“青年夜校”“青春微课堂”“爱岗助教”等活动，以便实现新老员工技能、经验无缝衔接。

为此，莱州公司结合公司发展和人员特点，创新培训方式，历时10个月编写各专业培训教材。教材将现场实景清晰展示，全面分解，重点讲解，使之成为运行培训的有效工具，开创了国内火电运行培训教材的新形式。

本书采用“全彩”与“图解”完美结合，将整个机、炉、电进行全面、细致分解，较大程度上“还原”和“再现”现场实际，突出每一个重点和细节，通过绚丽多彩的图片让读者充分感知，将被动的学习变为主动的接收，充分调动大家的学习兴趣，进入全新的学习历程，提升青年员工业务技能水平。

汽轮机篇，主要由韩丽娜、王刚、邢立军编写，共4章，依次对汽轮机基本常识、运行巡回检查规定、设备概述及汽轮机设备检查要点做了详细说明，通俗易懂，突出岗位特色，注重现场实操与集控运行规程的相互结合。

锅炉篇，主要由张娟和魏道君编写，共6章，前5章依次对制粉系统、风烟系统、干除渣系统、锅炉燃烧系统及锅炉本体检查要点做了详细说明；第6章为锅炉设备操作，主要讲解设备定期工作操作，有一些图片在巡回检查章节中已进行了说明，本部分未重复编图。

电气篇，主要由张娟和邱立国编写，共6章，依次对发电机变压器组、厂用电系统、事故保安、直流及UPS系统、继电保护、安全自动装置以及变压器检查要点做了详细说明。

本书重在培养大家对设备运行状态和操作的熟知、掌握和理解，力求在最短时间内帮助大家入门，若有不足之处，望大家给予指正！

编者

2017年6月

前言

汽轮机篇

第 1 章 汽轮机基本常识 / 2

- 1.1 水泵基本知识 / 2
- 1.2 有关名词术语 / 2
- 1.3 应知应会 / 7

第 2 章 运行巡回检查规定 / 8

- 2.1 巡回检查一般规定 / 8
- 2.2 巡回检查时间规定 / 9
- 2.3 巡回检查路线规定 / 10
- 2.4 巡回检查内容及巡检项目 / 11
- 2.5 特殊情况巡回检查规定 / 12

第 3 章 设备概述 / 13

- 3.1 火力发电厂生产过程 / 13
- 3.2 汽轮机设备组成情况 / 14

第 4 章 汽轮机设备检查要点 / 15

- 4.1 汽轮机 / 15
- 4.2 循环水系统 / 19
- 4.3 开式水系统 / 30
- 4.4 闭式水系统 / 35

- 4.5 发电机定子内冷水系统 / 40
- 4.6 发电机密封油系统 / 47
- 4.7 汽轮机润滑油与顶轴油系统 / 56
- 4.8 抗燃油系统 / 62
- 4.9 给水泵汽轮机润滑油系统 / 65
- 4.10 氢气系统 / 69
- 4.11 辅汽系统 / 73
- 4.12 轴封系统 / 76
- 4.13 抽真空系统 / 80
- 4.14 凝结水系统 / 86
- 4.15 给水系统 / 93
- 4.16 高、低压加热器 / 102
- 4.17 机组快冷装置 / 108

锅炉篇

第5章 制粉系统 / 112

- 5.1 磨煤机区域 / 113
- 5.2 密封风机区域 / 116
- 5.3 给煤机区域 / 117
- 5.4 一次风机区域 / 120

第6章 风烟系统 / 123

- 6.1 空气预热器区域 / 123
- 6.2 送风机区域 / 126
- 6.3 暖风器区域 / 130
- 6.4 吸风机区域 / 131

第7章 干除渣系统 / 134

- 7.1 系统简介 / 134
- 7.2 正常运行巡回检查项目 / 134

第8章 锅炉燃烧系统 / 137

- 8.1 火检冷却风机区域 / 137
- 8.2 微油点火区域 / 138
- 8.3 燃烧器区域 / 142
- 8.4 燃尽风区域 / 147
- 8.5 吹灰区域 / 149

第9章 锅炉本体 / 152

- 9.1 锅炉本体概述 / 152
- 9.2 正常运行巡回检查项目 / 153

第10章 锅炉设备操作 / 157

- 10.1 制粉系统 / 157
- 10.2 风烟系统 / 164
- 10.3 干除渣系统 / 170
- 10.4 锅炉燃烧系统 / 179

电气篇

第11章 发电机变压器组 / 192

- 11.1 500kV GIS / 192
- 11.2 发电机 / 194
- 11.3 励磁系统 / 197
- 11.4 发电机出口电压互感器 / 199

第 12 章 厂用电系统 / 202

- 12.1 10kV 高压厂用电系统和设备 / 202
- 12.2 400V 低压厂用电系统和设备 / 206
- 12.3 凝结水泵变频装置 / 207

第 13 章 事故保安、直流及 UPS 系统 / 210

- 13.1 事故保安电源 / 210
- 13.2 柴油发电机 / 211
- 13.3 直流系统 / 214
- 13.4 UPS 系统 / 215
- 13.5 蓄电池系统 / 216

第 14 章 继电保护 / 219

- 14.1 500kV 母线保护 / 220
- 14.2 500kV 线路及断路器保护装置 / 222
- 14.3 发电机变压器组保护 / 224
- 14.4 启动备用变压器保护 / 231

第 15 章 安全自动装置 / 237

- 15.1 网络通信接口 / 237
- 15.2 行波测距装置 / 239
- 15.3 500kV 测控屏 / 242
- 15.4 厂用电快切及故障录波装置 / 245
- 15.5 自动准同期装置 / 248

第 16 章 变压器 / 251

- 16.1 启动备用变压器 / 251
- 16.2 主变压器 / 255
- 16.3 干式变压器 / 257

附录 10kV 真空开关故障处理流程 / 260

汽轮机 篇



第 1 章

汽轮机基本常识

1.1 水泵基本知识

泵共有三种形式：①叶片式：由装在主轴上的叶轮对流体做功并提高其能量。又分为离心式、轴流式、混流式三种。②容积式：利用工作室容积周期性的改变来输送液体。如柱塞泵、齿轮泵等。③射流式：利用能量较高的流体输送能量较低的流体。如注油器、射水抽气器等。

容积泵或轴流泵不允许在出口门关闭的情况下启动的原因：容积泵在出口门关闭时，只要电机转动，出口压力就要升高，电机的功率也随出口压力的升高而升高，会因为超压损坏泵体、管道设备或因过电流损坏设备。

对于轴流泵，在泵出口门关闭的情况下（流量为0），泵消耗的功率最大；随着出口流量的增加，泵消耗的功率逐渐减少，而电机的容量根据设计点的功率和一定的裕量选定的，所以轴流泵在出口门关闭的状态下启动电机会过载，泵因压力过高损坏。所以轴流泵启动时应先开启出口门再启动泵。

1.2 有关名词术语

1. 汽蚀

由于泵的叶轮入口处压力低于工作水温的饱和压力，所以会造成一部分液体汽化，汽化后的汽泡进入压力较高的区域时，由于压力增加突然凝结，于是四周的液体就向此处补充，造成水力冲击，这种现象称为汽蚀现象。这种连续的冲击负荷，会使材料的表面逐渐疲劳损坏，引起金属表面的剥蚀，进而出现



蜂窝状蚀洞。水泵汽蚀会引起泵发生振动和噪声，同时汽蚀时汽泡堵塞叶轮槽道，使泵不能正常工作。

防止泵汽蚀的措施：①采用双吸叶轮；②增大叶轮的入口面积；③增大叶轮进口的边宽度；④叶轮首级采用抗汽蚀材料；⑤设前置诱导轮或前置泵；⑥正确选择吸入口高度；⑦减小入口阻力，入口管短而且直。

2. 水锤

在压力管路中，由于液体流速的急剧变化，从而造成管路中流体压力显著、反复、迅速地变化，对管道有一种“锤击”的特征，这种现象称为水锤（或叫水击）。水锤有正水锤和负水锤之分。正水锤时，管道中的压力升高，可以超过管道中正常压力的几十倍至几百倍，以致管壁产生很大的应力，而压力的反复变化将引起管道和设备的振动，管道的应力交变变化，将造成管道、管件和设备的损坏。负水锤时，管道中的压力降低，也会引起管道和设备振动。应力交替变化，对设备有不利的影响，同时负水锤时，如果压力降得过低可能使管中产生不利的真空，在外界压力的作用下将管道挤扁。为了防止水锤现象的出现，可以采取增加阀门启闭时间，尽量缩短管道的长度，在管道上装设安全阀门或空气室等，来限制压力突然升高的数值或压力降得太低的数值。

3. 饱和状态

(1) 汽水动态过程：一定压力下汽水共存的密封容器内，液体和蒸汽分子在不停的运动；有的跑出液面，有的返回液面，当从水中飞出的分子数目等于因相互碰撞而返回水中的分子数目时，这种状态为汽水平衡状态。

(2) 饱和状态：处于动态平衡的汽、液共存状态即为饱和状态。

(3) 饱和压力：饱和状态时，液体和蒸汽温度相同，该温度即为饱和温度；液体和蒸汽压力也相同，该压力即为饱和压力。

(4) 饱和状态的水为饱和水；饱和状态的汽为饱和汽。

(5) 饱和压力随饱和温度升高而增大：温度升高，分子平均动能增大，从



水中飞出的分子数目越多，使汽侧分子密度增大；同时蒸汽分子的平均运动速度也增加，使蒸汽分子对器壁的碰撞增强，压力增大。因此饱和压力随饱和温度升高而增大。

4. 氢气的露点温度

氢气在等压下进行冷却时，其中水蒸气开始凝结时的温度。

5. 加热器端差

加热器正常疏水温度与进水温度的差值称为下端差；加热器进汽压力下的饱和温度与出水温度的差值称为上端差。

6. 凝汽器端差

凝汽器排汽压力所对应的饱和蒸汽温度与循环水出水温度的差值。

7. 凝汽器过冷度

凝汽器排汽压力所对应的饱和蒸汽温度与凝结水温度的差值。过冷度的危害：燃料消耗量增大，热经济性降低；凝结水含氧量增加，加剧设备腐蚀，降低了安全性。产生的原因：凝汽器汽侧积气、蒸汽分压降低；热井水位升高，淹没部分钛管；钛管排列不佳或过密，凝结水在钛管外形成水膜，水膜温度低于饱和温度。

8. 水冲击

水或者冷蒸汽进入汽轮机造成水滴与高速旋转的叶片相撞击，导致推力轴承磨损、叶片损伤、汽缸和转子热应力裂纹、动静摩擦、高温金属部件永久性热变形，以及由此而来的机组振动。水冲击是现代汽轮机发生较多且对设备损伤较严重的恶性事故之一。

9. 温度

物体表面的冷热程度。

10. 压力

物体单位面积上所承受的垂直作用力。

11. 表压力

用压力表测量压力所得的数值，是高于大气压力的数值，即表压力。它指的是在大气压力的基础上测得的压力值，用 P 表表示。

12. 绝对压力

容器内气体的真实压力，用 $P_{\text{绝}}$ 表示。表压力和绝对压力的关系如下： $P_{\text{表}} = P_{\text{绝}} - P_0$ 或 $P_{\text{绝}} = P_{\text{表}} + P_0$ ，式中 P_0 为当时当地的大气压力（近似等于1工程大气压）。

13. 真空

当密闭容器中的压力低于大气压力时，称低于大气压力的部分为真空。

14. 真空度

用百分数表示的真空，叫真空度，即：用测得的真空数值除以当地大气压力的数值再化为百分数。

15. 经济真空

所谓经济真空是提高真空使汽轮发电机增加的负荷与循环水泵多消耗的功率之差为最大时的真空。如真空再继续提高，由于汽轮机末级喷嘴的膨胀能力已达极限，汽轮机的功率不再增加，此时真空称为极限真空。

16. 最佳真空

即汽轮机功率增加值与循环水泵功率增加差值最大时，冷却水量对应的真空。判断凝汽器状态的指标是最佳真空、最小过冷度、合格的凝水品质。

17. 汽化与凝结

物质从液态变为汽态的过程叫汽化，汽化方式有两种：蒸发、沸腾。物质从汽态变为液态的现象叫凝结。在一定的压力下，液态的沸点也就是蒸汽的凝



结温度。凝结与汽化是两个相反的热力过程。

18. 过热蒸汽

在同一压力下，对饱和蒸汽再加热，则蒸汽温度开始上升，超过饱和温度，这时的蒸汽叫过热蒸汽。

19. 蒸汽过热度

过热蒸汽的温度与饱和蒸汽的温度之差叫蒸汽过热度。过热度越大，则表示蒸汽所储存的热能越多，对外做功的能力越强。

20. 焓

焓是气体的一个重要的状态参数。焓的物理意义为：在某一状态下气体所具有的总能量，它等于内能和压力势能之和。

21. 熵

熵是热力学中的一个导出参数。熵的微小变化起着有无传热的标志作用。熵的引入可以方便地反映出热力过程热量的转换及循环的热效率。

22. 液体的汽化潜热

在定压下把1kg的饱和水加热成1kg干饱和蒸汽所需要的热量，叫作该液体的汽化潜热（简称汽化热）。

23. 凝结热

在定压下，1kg蒸汽完全凝结成同温度的水所放出的热量叫作凝结热。

24. 汽化热与凝结热的关系

在一定的压力和温度下，液体的汽化热与相同压力、温度下的凝结热相等，即在温度相等、压力相同的情况下，1kg饱和蒸汽凝结时放出的热量等于1kg饱和水汽化时所吸收的热量。



25. 循环热效率

工质每完成一个热力循环所做的有用功和工质在每个热循环过程中从热源吸收的热量的比值叫作循环热效率。循环热效率说明了循环中热能转变为功的程度，效率越高，说明工质从热源吸收的热量转变为有用功的比例越高；反之，效率越小，说明转变为有用功的热量越少。

26. 汽耗率

汽轮发电机组每发出 $1\text{kW}\cdot\text{h}$ 的电能所消耗的蒸汽量称为汽耗率。

27. 热耗率

汽轮发电机组每发 $1\text{kW}\cdot\text{h}$ 的电能所需要的热量叫热耗率。

1.3 应知应会

(1) $0.01\text{mm}=10\mu\text{m}=1\text{丝}$ 。

(2) 汽轮机95%的轴向推力由平衡装置承担，剩余的及附加轴向推力才由推力轴承承担。推力轴承工作瓦块及非工作瓦块分别承受转子正向及反向推力。轴向推力增大时，推力轴承工作瓦块温度升高。

(3) 可倾瓦轴承通常由3~5个或更多个能在支点上自由倾斜的弧形瓦块组成，也叫摆动轴承。可倾瓦轴承的瓦块工作时可随转速、载荷、轴承温度不同而自由摆动，在轴颈四周形成多个油楔。可倾瓦轴承在稳定性、承载力、功耗等各方面居支持轴承之首（三油楔轴承、椭圆形轴承次之，圆筒形轴承最差）理论上可以完全避免油膜振荡。

(4) 二次门操作：开时先开一次门，后调节二次门；关时先关二次门，后关一次门，再略开二次门放尽汽水后关闭。

(5) $1\text{ppb}=0.000000001$ ； $1\text{ppm}=0.000001$ ； $60\text{万kW}=600\text{MW}=600000\text{kW}$ 。

(6) $1\text{工程大气压}(1\text{at})=1\text{kgf/cm}^2=98070\text{Pa}=10\text{m H}_2\text{O}=735\text{mm Hg}$ ； $1\text{标准大气压}(1\text{atm})=101325\text{Pa}=10.33\text{m H}_2\text{O}=760\text{mm Hg}$ 。

(7) 轴承双振幅乘以2即为轴振的双振幅。



第 2 章

运行巡回检查规定

巡回检查是运行人员鉴定和掌握设备基本状况，积累运行现场资料，及时发现设备系统存在问题及异常的重要手段，是确保发电机组安全稳定经济运行的重要保证。因此，必须认真仔细地做好各项工作。

2.1 巡回检查一般规定

(1) 巡检人员应由经过考试合格的定岗人员进行，严禁无岗位人员独立进行巡回检查。

(2) 巡回检查时巡检人员不得从事检修维护工作或承担学习任务。

(3) 巡检人员巡检前应掌握巡查设备及系统的运行方式（运行、备用或检修）和运行参数的正常范围，熟知阀门和挡板在不同负荷时的开度，仪表指示在不同负荷时的相应位置。

(4) 设备或系统停运检修时，巡检人员应了解检修工作内容及工作范围。巡检时如发现检修设备安全措施有变动、安全警示牌缺失、检修设备与运行设备隔绝不可靠，或检修工作影响运行或备用设备区域文明生产时，应立即通知检修人员停止工作进行整改，并汇报值班负责人。

(5) 巡检人员离开控制室巡检前应汇报值班负责人。

(6) 巡检人员巡检时应根据巡检设备需要带好必要工具，如对讲机、手电、听针、低压验电笔、测温仪、测振表、测氢仪等。

(7) 巡检人员进入生产现场后对设备和系统检查、分析、判断，其方法为根据经验主观检查判断和利用工器具、仪表进行定量鉴定。