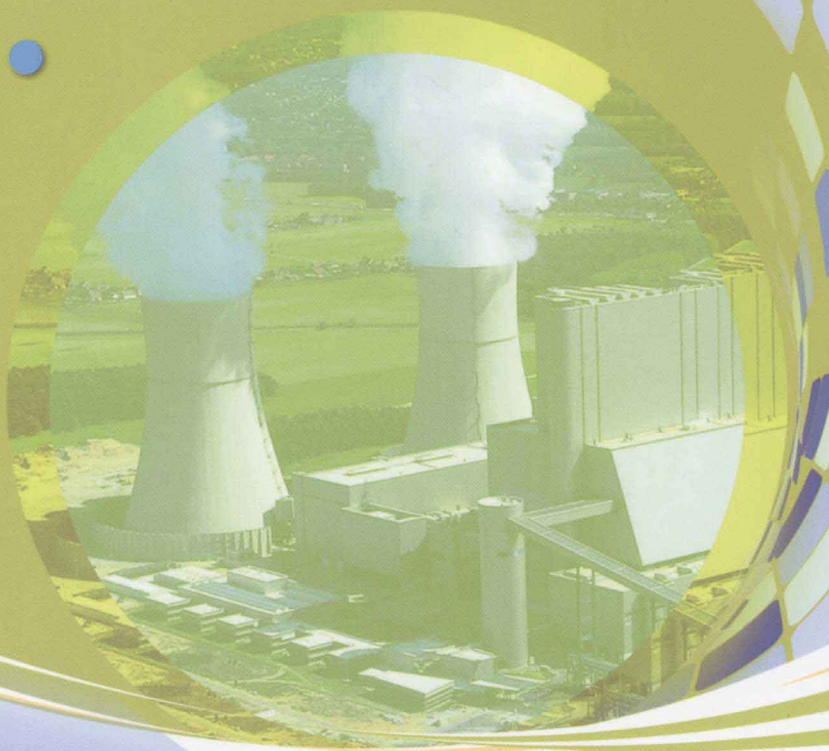


660MW超超临界火力发电机组培训教材

HUAXUE FENCE

# 化学分册

望亭发电厂 编



中国电力出版社  
CHINA ELECTRIC POWER PRESS

## 内 容 提 要

《660MW 超超临界火力发电机组培训教材》对超超临界燃煤发电机组的原理及设备只做简单介绍,着重以岗位运行知识为基础,以提高操作技能为目的,根据电厂生产一线人员在 660MW 超超临界燃煤发电机组调试、运行、维护过程中的经验,详细介绍发电设备及系统的运行维护及故障处理。

本书为此套教材的《化学分册》,共 14 章,内容包括水的混凝、沉淀、过滤处理,锅炉补给水的超滤、反渗透及离子除盐处理,凝结水精处理,取样加药及炉内监督、水化学工况及化学清洗,循环冷却水处理,工业废水、污水处理,电厂燃煤、用油等。

本书可作为从事 660MW 超超临界火力发电机组电厂化学专业调试、运行维护和检修技术等岗位的生产人员、技术人员和管理人员的上岗培训、在岗培训及继续教育等的培训教材,也可作为 600~1000MW 超超临界火力发电机组化学专业技术人员及大专院校相关专业师生的参考教材。

## 图书在版编目(CIP)数据

660MW 超超临界火力发电机组培训教材. 化学分册/望亭发电厂编. —北京: 中国电力出版社, 2011.5  
ISBN 978-7-5123-1698-0

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>)

航远印刷有限公司印刷

各地新华书店经售

\*

2011 年 9 月第一版 2011 年 9 月北京第一次印刷

787 毫米×1092 毫米 16 开本 24.75 印张 590 千字

印数 0001—3000 册 定价 52.00 元

## 敬告读者

本书封面贴有防伪标签,加热后中心图案消失  
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

# 《660MW 超超临界火力发电机组培训教材》

## 编 委 会

主任委员 陈海斌

副主任委员 齐崇勇 杨惠新

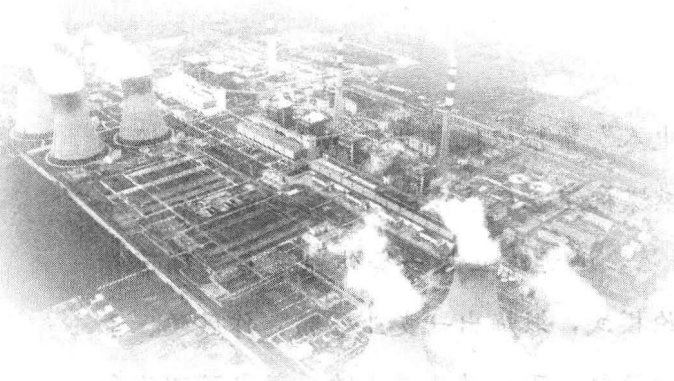
丛书主编 林 伟

编 委 朱卫风 林 伟 陈海宁 秦明宝 郭海军

胡龙弟 徐国飏 包献忠 朱建平 王建中

高 炜 陆 烨 陆建棋 李浩侃 曹 萍

瞿才良 罗志浩



# 序

自 1882 年中国有了商品电以来，中国电力工业的历史车轮已然驶过了三个世纪。斗转星移，大浪淘沙，在今天知识爆炸的时代，新一代的电力工作者需要怎样的知识来传承光荣，成就梦想？需要怎样的书籍来实现自我提升，成为一名真正具有竞争力的电力工作者？人生哲理、科学理论、生活常识，这些都很重要。阅读它们可以使人明智、静心、修身、达理，不断走向完美。但要成为一名优秀的电力运行工作者，除了这些之外，更为重要的是一定要有过硬的专业素质，以及坚定而执着的专业精神，这就需要有一套专业对口、学践结合、操作性强、通俗易懂的职业学习丛书，这就是我们出版《660MW 超超临界火力发电机组培训教材》丛书的主要宗旨。

当前，加快转变经济发展方式已成为影响我国经济社会领域各个层面的一场深刻变革。在火电行业，大容量、高参数的火电机组因为其较低的能耗和排放成为了行业发展的主流。随着单机百万容量机组的投产发电，标志着我国的电力工业已经步入百万级时代。但是，就目前情况而言，600MW 级的机组仍是我国电网供电的中坚力量。因此，加强对 600MW 级机组基础理论的研究，深入开展 600MW 级机组的管理创新和技术创新，不断提高 600MW 级机组运行技术水平，对于促进中国电力工业更加健康快速地发展，确保国民经济稳定运行具有重要的现实意义。

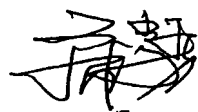
2009 年 6 月，望亭发电厂通过科学论证、大胆规划、辛苦建设，在国内率先成功投运了由上海电气集团制造的 660MW 超超临界燃煤机组。投运至今，各项性能指标在同类型机组中处于先进行列，并成为中国华电集团 600MW 级标杆机组。“追求卓越，勇于创新”的企业精神造就了今天望亭发电厂的再度辉煌，有

着崇尚科学、不断精益求精传统的“望电人”紧紧依托自身日积月累、扎实深厚的技术底蕴，立足 660MW 级超超临界燃煤机组基建生产运行所掌握的第一手宝贵经验，加紧研究、认真总结、不断提炼，迅速建立起一套体系完善、环节精益、过程闭环、统筹兼顾的运营管控理论模式，锻炼出一支业务精、作风硬、素质强的职工队伍，为更好地发挥机组运营潜效、不断提升内生效益奠定了理论和技术基础，为实现超超临界机组在中国更好地发展和运营做出了自己应有的贡献。

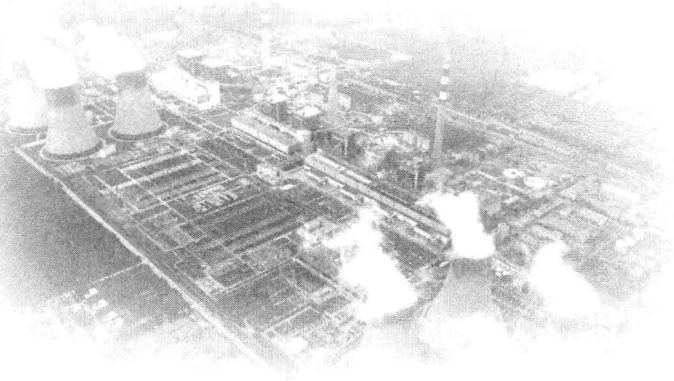
本套丛书编撰历时两年有余。两年来，在望亭发电厂党委和厂部的关心支持下，集聚厂内技术骨干的编撰团队克服了生产任务繁重、技术资料缺乏、编撰经验不足等诸多困难，充分发挥“望电人”严谨求实的工作作风，勤钻研、巧思考、多实践，力求在内容上理论联系实际，在表述上做到通俗易懂。本套丛书包括《汽轮机分册》、《电气分册》、《锅炉分册》、《脱硫脱硝分册》、《化学分册》、《燃料分册》、《热控分册》。针对发电厂工作的特点，本套丛书对 660MW 超超临界燃煤发电机组设备的原理只做简单介绍，着重以岗位运行知识为基础，以提高技能操作能力为目的，根据电厂一线人员在 660MW 超超临界燃煤发电机组调试、运行、维护过程中的经验，介绍发电设备及系统的运行维护及故障处理，有效提升了本书的实用性，使该书成为国内少有的能够全面、系统地反映该类型机组的培训教材。

时代在变，创新的精神和力量是永恒的。我们希望本套丛书的出版，能够成为一个契机和交流的载体，为推动低碳节能的 660MW 超超临界燃煤机组在中国更好更快地发展增添一份力量。

由于编撰人员的理论水平和实践经验有限，书中难免有缺点和错误，恳请读者批评指正。



2011 年 4 月



# 前言

随着电力工业技术的不断发展，用电量的持续增加和世界范围内环保形势的日趋严峻，大容量、高参数、高效率的超超临界大型发电机组正逐渐成为我国电力系统的主力发电机组。大型超超临界发电机组普遍采用低  $\text{NO}_x$  燃烧以及烟气脱硫脱硝技术，大幅度降低了二氧化硫、氮氧化物等污染物的排放。低煤耗、高环保的超超临界发电机组目前正成为我国电力行业“上大压小”、“节能减排”的首选机型。

为使广大电力生产岗位工人、技术人员和管理人员熟悉、了解和掌握 660MW 超超临界大型燃煤火力发电机组的性能及特点，中国华电集团公司望亭发电厂在中国电力出版社的大力支持下，组织各级技术人员耗时两年时间，精心编写了《660MW 超超临界火力发电机组培训教材》。

针对发电厂工作的特点，本套教材对 660MW 超超临界燃煤发电机组设备的原理只做简单介绍，着重以岗位运行知识为基础，以提高操作技能为目的，根据电厂生产一线人员在 660MW 超超临界燃煤发电机组调试、运行、维护过程中的经验，详细介绍发电设备及系统的运行维护及故障处理，力求能以平实的语言及通俗的阐述，更好地满足 660MW 超超临界燃煤机组岗位运行、技能操作和继续教育的需要。本套教材也可供高等院校有关专业的相关师生参考。

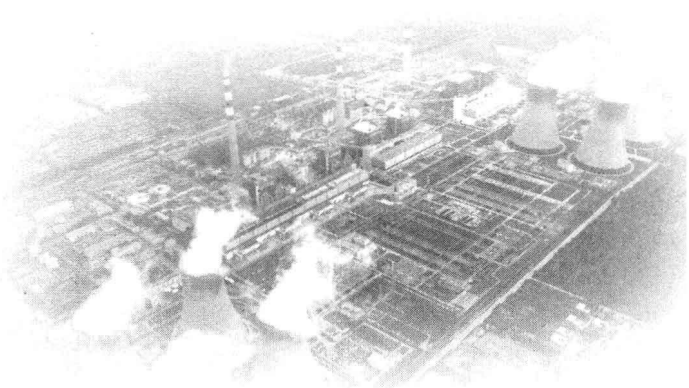
本书为《660MW 超超临界火力发电机组培训教材》化学分册，共 14 章，由李浩侃主编，包献忠主审，韩美玲、杨少华、杨波、徐彬、李明佳、周栋明、刘蔚华、高峰、黄建萍、张清参与了本书的编写工作，全书由杨少华负责统稿。

本分册在编写过程中，参阅了部分已正式出版的技术文献及制造厂、设计院、安装单位、调试单位的有关说明书、图纸等技术资料，在此一并表示感谢。

由于编者水平有限，加之编写时间仓促，错漏之处在所难免，敬请读者批评指正，并提出宝贵意见。

编者

2011 年 4 月



# 目 录

序

前言

|                    |     |
|--------------------|-----|
| 第一章 超超临界机组化学专业技术特点 | 1   |
| 第二章 水质概论           | 5   |
| 第一节 水在火力发电厂中的作用    | 5   |
| 第二节 水的特性           | 7   |
| 第三节 天然水的水质概况       | 9   |
| 第四节 水质指标           | 15  |
| 第三章 水的预处理          | 21  |
| 第一节 水的混凝沉淀处理       | 21  |
| 第二节 水的过滤处理         | 40  |
| 第三节 水的吸附处理         | 53  |
| 第四章 循环冷却水处理        | 60  |
| 第一节 冷却水方式          | 60  |
| 第二节 水量平衡           | 62  |
| 第三节 循环冷却水的防垢处理     | 63  |
| 第四节 循环冷却水的微生物控制    | 70  |
| 第五节 凝汽器水侧的腐蚀与防护    | 74  |
| 第五章 锅炉补给水处理        | 77  |
| 第一节 超滤             | 77  |
| 第二节 反渗透系统          | 91  |
| 第三节 离子交换器          | 120 |
| 第六章 凝结水精处理         | 142 |
| 第一节 凝结水精处理概述       | 142 |
| 第二节 凝结水前置过滤器       | 146 |
| 第三节 凝结水混床          | 150 |

|             |                       |     |
|-------------|-----------------------|-----|
| 第四节         | 混床树脂的再生工艺             | 156 |
| <b>第七章</b>  | <b>热力设备的腐蚀与控制</b>     | 170 |
| 第一节         | 腐蚀概论                  | 170 |
| 第二节         | 锅炉金属在水和蒸汽中的腐蚀         | 173 |
| 第三节         | 热力设备系统的腐蚀             | 179 |
| 第四节         | 热力设备系统的腐蚀控制           | 185 |
| 第五节         | 热力设备腐蚀、结垢和积盐的检查监督     | 193 |
| 第六节         | 锅炉补给水处理设备的腐蚀与防护       | 196 |
| <b>第八章</b>  | <b>水汽质量及直流锅炉给水处理</b>  | 198 |
| 第一节         | 超超临界参数的水汽特性及品质控制      | 198 |
| 第二节         | 超超临界参数机组水汽质量标准        | 203 |
| 第三节         | 锅炉给水处理                | 207 |
| 第四节         | 给水全挥发性处理              | 209 |
| 第五节         | 给水加氧处理                | 211 |
| <b>第九章</b>  | <b>化学水汽、加药系统及化学监督</b> | 220 |
| 第一节         | 水汽集中取样分析装置            | 220 |
| 第二节         | 给水加药系统和设备             | 230 |
| 第三节         | 直流锅炉的化学监督             | 238 |
| <b>第十章</b>  | <b>锅炉的化学清洗和停用保护</b>   | 245 |
| 第一节         | 锅炉的化学清洗               | 245 |
| 第二节         | 锅炉的停用保护               | 268 |
| <b>第十一章</b> | <b>电厂废水处理</b>         | 277 |
| 第一节         | 水污染                   | 277 |
| 第二节         | 污水处理的基本方法             | 282 |
| 第三节         | 工业废水处理                | 288 |
| <b>第十二章</b> | <b>电厂燃料</b>           | 306 |
| 第一节         | 煤质化验                  | 306 |
| 第二节         | 煤化验仪器                 | 318 |
| <b>第十三章</b> | <b>电力用油</b>           | 337 |
| 第一节         | 电力用油的分类和质量标准          | 337 |
| 第二节         | 电力用油的性质               | 340 |
| 第三节         | 电力用油的抗氧化安定性           | 347 |
| 第四节         | 绝缘油的电气性能              | 351 |
| 第五节         | 变压器油的作用和维护            | 353 |
| 第六节         | 汽轮机油的作用和维护            | 356 |

|      |                     |     |
|------|---------------------|-----|
| 第七节  | 抗燃油的维护.....         | 358 |
| 第八节  | 油品的净化处理.....        | 360 |
| 第十四章 | 化学运行异常处理及预案、措施..... | 364 |
| 第一节  | 化学运行设备异常分析及处理.....  | 364 |
| 第二节  | 预案.....             | 374 |
| 第三节  | 措施.....             | 378 |
| 参考文献 | .....               | 385 |

## 第一章

# 超超临界机组化学专业技术特点

超临界、超超临界机组的火力发电技术以其高热效率、低污染物排放以及良好的运行灵活性和负荷适应性成为目前世界上唯一先进、成熟和达到商业化规模应用的洁净煤电发电技术，也是当今火力发电的主力机组和发电技术研究的一个主要方向。我国自 20 世纪 80 年代以来相继引进了 10 台超临界机组，取得了一定的设计、安装和运行经验，“十五”国家重大技术装备和国产化项目开展了“600MW 超临界火电机组成套设备研制”，国产的 600MW 超临界机组于 2004 年和 2005 年在河南沁北和江苏常熟相继投产，我国电力工业迎来了一个超临界机组建设的高峰期，超临界机组也将成为我国发电行业的主力机组。为更好地了解 and 总结超临界机组的技术特点，方便电厂运行人员的操作维护，现将超临界、超超临界机组化学专业的主要特点作一简要分析。

### 一、超超临界机组化学专业的主要特点

火电机组化学专业的主要工作有水、煤、油气、氢气及化学仪表程控 5 个方面，其中绝大部分工作集中在水专业，而超超临界机组与亚临界机组的主要区别在于锅炉，水专业的绝大部分工作又是为锅炉服务的，所以超超临界机组化学专业的特点都是由超超临界锅炉的特性所带来的。电厂锅炉根据循环方式可分为自然循环锅炉、强制循环锅炉、直流锅炉和复合循环锅炉；根据蒸汽压力可分为低压锅炉、中压锅炉、高压锅炉、超高压锅炉、亚临界压力锅炉、超临界压力锅炉和超超临界压力锅炉。直流锅炉有亚临界和超临界、超超临界的，所以直流锅炉不一定是超临界、超超临界锅炉，但超超临界锅炉肯定都是直流锅炉。直流锅炉的特性与超超临界的高参数是决定超超临界机组化学专业特点的两个主要因素。火电机组化学专业的水、煤、油气、氢气及化学仪表程控 5 个方面中，超超临界机组与亚临界机组的主要区别体现在水和化学仪表程控两个方面，并且化学仪表程控的区别也是由水处理方式的不同和超超临界机组的高要求所决定的，所以超超临界机组化学专业的特点主要表现在以下几个方面：

(1) 机组的化学清洗。超超临界机组由于是高参数直流锅炉，考虑到水冷壁、汽水分离器的材料以及直流锅炉结构特点的要求，其化学清洗工艺是与亚临界汽包锅炉有很大区别的。

(2) 机组的水化学工况。直流锅炉由于没有汽包的浓缩排污，给水直进直出，其对应的水化学工况处理与亚临界汽包锅炉区别较大。

(3) 化学仪表程控。由于水化学处理工况的不同以及运行要求的提高，相应的对化学仪表程控的要求也提高了。

(4) 给水与凝结水系统的要求。由于直流锅炉对给水品质的要求高, 因此相应对给水与凝结水系统的设备及运行要求也高。

(5) 机组启停与停机保养方面。由于直流锅炉的特点及水化学工况处理的不同, 其机组启停与停机保养方面也有所区别。

(6) 过热器与再热器的高温蒸汽氧化。由于超超临界机组的汽温高, 其高温蒸汽氧化问题也特别突出。

## 二、超超临界机组的化学清洗

超超临界机组直流锅炉由于锅炉结构特点和材料的区别, 其化学清洗工艺与亚临界汽包锅炉不同。在清洗介质方面, 考虑到盐酸中氯离子对合金钢的影响, 不能用盐酸作清洗介质, 常用的有 EDTA、氢氟酸、柠檬酸。鉴于目前已经有研究者在金相试验中发现酸洗中的氟离子对奥氏体不锈钢有晶间腐蚀风险, 因此也应尽量避免使用。清洗系统设计方面, 由于采用对奥氏体钢安全的清洗介质, 因此可以考虑将高低压给水系统、省煤器、水冷壁、汽水分离器等串起来一起进行清洗, 这样可以不分炉前和本体两步清洗, 缩短清洗工期。有条件的还可将过热器和再热器串进来, 以提高过热器和再热器的清洁度, 减少锅炉吹管次数和工期。

## 三、超超临界机组的水化学工况

目前应用于亚临界及以上机组的水工况主要有两大类共 6 种, 即还原性水工况 (包括磷酸盐水工况、氢氧化钠水工况、碱性全挥发水工况和络合物水工况) 和氧化性水工况 (包括中性水工况和联合水工况)。还原性水工况中的磷酸盐水工况 (PT)、氢氧化钠水工况 (CT) 和络合物水工况主要用于汽包锅炉, 碱性全挥发水工况 (AVT) 可用于汽包锅炉和直流锅炉, 氧化性水工况 (OT) 主要用于直流锅炉。也就是说, 目前适用于直流锅炉的水化学工况只有 AVT 和 OT 两种方式。考虑到 (AVT) 方式下金属表面的保护膜不够严密、给水和锅炉水铁含量高、炉内铁垢形成速度快、锅炉运行压降大、机组酸洗间隔短等方面的原因, OT 处理方式目前已成为直流锅炉机组的首选化学水工况。超超临界机组在化学专业运行维护方面的许多特点也大多来源于 OT 处理方式。以下分别介绍 AVT 和 OT 两种处理方式的特点和区别。

### (一) 全挥发性处理

全挥发性处理 (简称 AVT) 是在水汽系统深度除氧的条件下, 用氨和联氨来维持一个较佳的除氧碱性工况, 是一种抑制铜、铁腐蚀的锅炉水处理方式。该种处理方式最初用于直流锅炉, 近 10 年来也开始在亚临界汽包锅炉上实施。

表 1-1 列举了 5 个国家采用 AVT 方式时的给水质量标准。从表中可以看出: 给水阳离子电导率和 pH 值是两个非常重要的控制指标, 前者代表给水纯度, 而后者代表给水的腐蚀性。通常情况下, 给水 pH 值提高, 给水中铁离子浓度将会下降, 而当  $\text{pH} > 8.0$  时, 铜合金随给水 pH 值的提高, 腐蚀速度会迅速增加。特别是在高 pH 值情况下, 铜合金有可能发生氨腐蚀。综合考虑铜铁的腐蚀行为, 必须采用一个折中的给水 pH 值。国家标准规定: 铜铁系统的给水 pH 值为  $8.8 \sim 9.3$ , 全铁系统的给水 pH 值为  $9.0 \sim 9.5$ 。值得一提的是对于铝管空冷式凝汽器, 给水 pH 值控制较低, 规定最大不得超过 8.0。对于给水中  $\text{Na}^+$ 、 $\text{SiO}_2$  的规定, 直流锅炉与蒸汽锅炉规定相同, 即  $\text{Na} \leq +5 \mu\text{g/L}$ ,  $\text{SiO}_2 \leq 15 \mu\text{g/L}$  (亚临界及以上

锅炉)；汽包锅炉水没有  $\text{Na}^+$ 、 $\text{SiO}_2$  的具体规定，一般以保证锅炉水和蒸汽品质为前提。

表 1-1 5 个国家采用 AVT 方式时的给水质量标准

| 项目\国家                                             | 苏 联           | 日 本     | 美 国                         | 德 国     | 中 国                         |
|---------------------------------------------------|---------------|---------|-----------------------------|---------|-----------------------------|
| 氢电导率 ( $\mu\text{S}/\text{cm}$ )                  | $\leq 0.3$    | 0.85    | $< 0.2$                     | $< 0.2$ | $\leq 0.3$                  |
| pH 值 ( $25^\circ\text{C}$ )                       | $9.1 \pm 0.1$ | 8.5~9.5 | 铜系统 8.8~9.3<br>全铁系统 9.0~9.6 | 9.0~9.5 | 铜系统 8.8~9.3<br>全铁系统 9.0~9.5 |
| $\text{N}_2\text{H}_4$ ( $\mu\text{g}/\text{L}$ ) | 20~60         | $> 10$  | 10~20                       | —       | $< 30$                      |
| $\text{O}_2$ ( $\mu\text{g}/\text{L}$ )           | $\leq 10$     | $< 7$   | $< 5$                       | $< 20$  | $< 7$                       |
| 铁 ( $\mu\text{g}/\text{L}$ )                      | $< 10$        | $< 10$  | $< 10$                      | $< 20$  | $< 10$                      |
| 铜 ( $\mu\text{g}/\text{L}$ )                      | $< 5$         | $< 2$   | $< 2$                       | $< 3$   | $< 5$                       |

## (二) 加氧处理

给水加氧处理（简称 OT）是在高纯度给水中加入适量的氧化剂（ $\text{O}_2$  或  $\text{H}_2\text{O}_2$ ），以达到减缓热力设备腐蚀的目的，它与给水除氧的 AVT 还原性水工况截然相反，是一种氧化性水工况。加氧处理是 20 世纪 70 年代德国开发出来的一种新型的锅炉水处理方式，不久便用于苏联、意大利、丹麦等欧洲国家，近 20 年来，澳大利亚、日本、美国等国家也相继应用了这一技术。我国于 20 世纪 80 年代末，首先在华东某火力发电厂 1 台 300MW 直流锅炉上使用。OT 方式推广应用较快，主要是由于该种处理方式有明显的效益。采用 OT 方式后，锅炉内沉积物量减少、腐蚀损坏降低，并且直流锅炉炉管和加热器压降快速升高问题得到了解决，锅炉清洗频率降低、凝结水净化装置运行周期延长、给水管道的 FAC 大有改善等。因此，目前德国、日本、苏联和中国等许多国家将 OT 方式列入国家标准。

## 四、有关要求

### (一) 对化学仪表程控的要求

由于直流锅炉对给水水质要求高，进行 OT 处理时尤其如此，因此对化学在线仪表的完好率和准确度要求都高。当给水加氧采用自动方式时更加如此，因为氧是一种危险的钝化剂，浓度过高和过低都有危险。对超临界机组有三种在线表非常关键，即电导率表、pH 表和氧表。当给水加氧采用自动方式时，其自控实现的原理和方式以及安全措施也非常重要。

### (二) 对给水与凝结水系统的要求

直流锅炉对给水品质要求高，当采用 OT 处理时，凝结水要求 100% 精处理，高压加热器疏水最好有过滤装置，凝汽器要严防泄漏，给水与凝结水最好为全铁系统，至少凝汽器以后为全铁系统。

### (三) 对机组启停与停机保养的要求

同样是由于直流锅炉对给水品质要求高的原因，超超临界机组对开机时的冷、热态水冲洗要求严格，特别是 OT 处理的机组，开机时一般不加氧，只用氨调 pH 值，直到水质达到要求后才开始加氧，停机时先停加氧，维持 pH 值直至停机。停机后的保养可采用干法或湿法，但不适宜用十八胺等方法。

### 五、高温蒸汽氧化问题

由于超超临界机组的过热蒸汽和再热蒸汽汽温高，因此其高温蒸汽氧化问题比亚临界机组突出，氧化层的剥离会引起过热器与再热器的堵管、主汽门的卡涩以及汽轮机的磨损。研究表明，不同的水工况对氧化层的剥离没有太大影响，主要是管材及运行工况的影响，包括选用抗氧化和剥离性能好的材料、对表面膜进行铬化处理、防止运行超温等。

## 第二章

## 水 质 概 论

## 第一节 水在火力发电厂中的作用

在火力发电厂中，水进入锅炉后，吸收燃料燃烧放出的热，转变为蒸汽，然后进入汽轮机，将蒸汽的热能转变为汽轮机的机械能；汽轮机带动发电机，将机械能转变为电能。因此，水是电厂整个热力系统的工作介质，也是某些热力设备的冷却介质。如果将燃料比作电厂的“口粮”，那么水可称得上是电厂中流动的“血液”。为了保证锅炉、汽轮机的正常运行，锅炉和汽轮机对所用水的质量要求比较严格，而且机组蒸汽的参数越高，对水质的要求也越严。目前，我国制造的机组蒸汽参数和容量如表 2-1 所示。

表 2-1

热力发电厂机组蒸汽参数和容量

| 名 称        | 额定功率<br>(MW) | 蒸 汽 参 数     |           |             |           |
|------------|--------------|-------------|-----------|-------------|-----------|
|            |              | 锅 炉         |           | 汽 轮 机       |           |
|            |              | 汽压<br>(MPa) | 汽温<br>(℃) | 汽压<br>(MPa) | 汽温<br>(℃) |
| 中压机组       | 6、12、25      | 3.90        | 450       | 3.43        | 435       |
| 高压机组       | 50、100       | 9.81        | 540       | 8.82        | 535       |
| 超高压机组      | 125          | 13.23       | 555       | 12.23       | 550       |
|            | 200          | 13.73       | 540       | 12.74       | 535       |
| 亚临界压力机组    | 300          | 16.68       | 555       | 16.17       | 550       |
|            |              | 18.27       | 541       | 16.66       | 537       |
|            | 600          | 18.27       | 541       | 16.66       | 537       |
| 超(超)临界压力机组 | ≥600         | >22.11      | —         | >22.11      | —         |

## 一、火力发电厂生产用水的分类

在火力发电厂中，为了明确不同生产用水所处的地位，将其冠以不同的名称。

(1) 原水。原水是未经任何净化处理的天然水。

(2) 清水。清水是原水经过沉淀、过滤处理除去悬浮杂质的水。

(3) 补给水。清水经过物理或化学方法，除去水中部分离子或绝大部分离子杂质后，用来补充热力设备汽水循环过程中损失掉的水，被称为锅炉补充水。

根据锅炉用水的不同要求,补给水分为只除去  $\text{Ca}^{2+}$ 、 $\text{Mg}^{2+}$  的软化水和除去绝大部分阴、阳离子的除盐水。

(4) 汽轮机凝结水。在汽轮机中做功后的蒸汽经冷凝形成的水称为汽轮机凝结水,简称凝结水。

(5) 疏水。蒸汽管道和用汽设备中的蒸汽凝结水称为疏水。它经疏水器汇集到疏水箱或并入凝结水系统中。

(6) 返回凝结水。热电厂向热用户供热后,回收的蒸汽凝结水称为返回凝结水,简称回水,其中又有热网加热器凝结水和生产返回凝结水之分。

(7) 给水。送进锅炉的水,也就是从除氧器送至锅炉的水称为锅炉给水,简称给水。凝汽式发电厂的给水是由汽轮机凝结水、补给水和各种疏水组成的。热电厂的给水中还包括用户返回凝结水。

(8) 锅炉水。在锅炉本体内的蒸汽系统中流动的水称为锅炉水。

(9) 循环冷却水。用来冷却从汽轮机中排出蒸汽的水称为冷却水。由于大多数电厂的冷却水是循环利用的,因此又称为循环冷却水,简称循环水。

(10) 内冷水。内冷水是指水氢氢和双水内冷式发电机中,用于带走发电机定子绕组和转子绕组运行中产生热量的水。

此外,为了调节锅炉水和冷却水的水质,需定期排放部分水,称为排污水。

## 二、水质不良的危害

长期的实践使人们认识到,热力系统中水的质量是影响发电厂热力设备(锅炉、汽轮机等)安全、经济运行的重要因素之一。没有经过净化处理的天然水中含有许多杂质,这种水如进入水汽循环系统,将会造成各种危害。为了保证热力系统中有良好的水质,必须对水进行适当的处理,并严格地监督汽水品质。

下面介绍热力发电厂中,由于汽水品质不良而引起的危害。

### (一) 热力设备的结垢

如果进入锅炉或其他热交换器的水质不良,则经过一段时间运行后,在与水接触的受热面上会生成一些固体附着物,这种现象称为结垢,这些固体附着物称为水垢。水垢的热导率仅为金属的几十分之一或几百分之一,而且这些水垢又极易在热负荷很高的锅炉炉管中生成,它可使结垢部位的金属管壁温度过高,引起金属强度下降,这样在管内压力的作用下,就会发生管道局部变形、产生鼓包,甚至引起爆管等严重事故,因此结垢对锅炉(或热交换器)的危害性很大。结垢不仅危害安全运行,而且还会大大降低发电厂的经济性。例如,热力发电厂锅炉的省煤器中结有 1mm 厚的水垢时,燃料用量就比原来多消耗 1.5%~2.0%。由于发电厂锅炉的容量一般都很大,每年使用的燃料量也很大,因此燃料的消耗率虽只有微小的增加,却会给国家和企业造成巨额的经济损失。另外,在汽轮机凝汽器内结垢会导致凝汽器真空度降低,从而使汽轮机的热效率和出力下降。加热器的结垢会使水的加热温度达不到设计值,使整个热力系统的经济性降低。热力设备结垢后,必须及时进行清洗,这就要停止运行,从而减少设备的年利用小时数,此外还会增加检修工作量和费用等。

### (二) 热力设备的腐蚀

发电厂热力设备的金属经常和水接触,若水质不良,则会引起金属腐蚀。热力发电厂的

给水管道、各种加热器、锅炉省煤器、水冷壁、过热器和汽轮机凝汽器等都会因水质不良而腐蚀。腐蚀不仅会缩短设备本身的使用期限，造成经济损失，而且金属腐蚀产物转入水中，使给水中杂质增多，从而加剧在高热负荷受热面上的结垢过程，结成的垢又会加速锅炉炉管腐蚀，此种恶性循环会迅速导致爆管事故。此外，金属的腐蚀产物被蒸汽带到汽轮机中沉积下来后，也会严重地影响汽轮机的安全、经济运行。

### （三）过热器和汽轮机的积盐

水质不良会使锅炉不能产生高纯度的蒸汽，随蒸汽带出的杂质就会沉积在蒸汽通过的各个部位（如过热器和汽轮机），这种现象称为积盐。过热器管内积盐会引起金属管壁过热，甚至爆管；汽轮机内积盐会大大降低汽轮机的出力和效率，特别是高温、高压、大容量汽轮机，其高压部分蒸汽流通的截面积很小，所以少量的积盐也会大大增加蒸汽流通的阻力，使汽轮机的出力下降。当汽轮机积盐严重时，还会使推力轴承负荷增大，隔板弯曲，造成事故停机。

热力发电厂水处理工作就是为了保证热力系统各部分有良好的水汽品质，以防止热力设备的结垢、积盐和腐蚀。因此，在热力发电厂中，水处理工作对保证发电厂的安全、经济运行具有十分重要的意义。

## 第二节 水的特性

在基础化学中，有关水的性质已有较详细的介绍，但对于火力发电厂生产用水，以下几个特性不容忽视。

### 一、水的分散作用

水是一种极性很强的分子，它对许多物质（包括金属）具有很强的分散能力，并与其形成分散体系，因此在自然界中不存在纯水。

水的分散能力是任何其他物质都不能与之相比的。由于水的介电常数很大，对分散质的电离能力也极强，多种物质在水中不但有很大的溶解度，还有最大的电离度，水中分散的各种物质之间可以发生各种化学反应，而且水本身很容易参与化学反应。因此，各种水溶液都有极为复杂的性质。

随着火力发电厂锅炉运行参数的提高，对给水纯度的要求也越来越高。这种水不但分散能力很强，对热力设备金属有侵蚀作用，而且缓冲能力极弱，对外来酸碱物质的侵入十分敏感，主要表现在 pH 值的变化上。表 2-2 标明了深度除盐水与空气接触后，由于  $\text{CO}_2$  的侵入而造成 pH 值的变化。

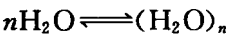
表 2-2 深度除盐水与空气接触后 pH 值的变化

| 与空气接触时间<br>(min) | 1   | 2    | 5    | 10   | 25   |
|------------------|-----|------|------|------|------|
| pH 值             | 7.6 | 7.32 | 7.22 | 6.58 | 5.82 |

### 二、水的缔合作用

分子的缔合作用指由简单分子结合成为较复杂的分子集团，而不引起物质化学性质改变的过程。

水分子由于氢键的作用，分子间极容易发生缔合，即



液态水中除含有简单分子  $\text{H}_2\text{O}$  外，同时还含有缔合分子  $(\text{H}_2\text{O})_n$ ，它们处于平衡状态。缔合是放热过程，解离是吸热过程，因此温度升高，水的缔合作用降低（ $n$  减少），高温时，水主要以单分子状态存在，水蒸气中的水分子都是以单分子状态存在的；温度降低，水的缔合作用增大（ $n$  增大）， $0^\circ\text{C}$  时水结成冰，全部分子缔合在一起，成为一个巨大的分子。因此，水在热力系统的流动过程中，其分析状态也在发生不断地变化。

当水受热时，热量一方面消耗在水体温度升高上，另一方面消耗在缔合分子的解离上，因此水的热容量最大。这就是在生产中水作为冷却其他物体或者作为储存及传递热量的优良介质的原因。

三、水的汽化作用

任何状态下的水分子都处于不断地运动状态。例如在液态水中，动能较大的分子足以冲破表面张力的影响而进入空间；反之，液面上的水蒸气分子由于受到液面分子的吸引或外界压力抵抗而回入液体中。这就是水的蒸发和凝聚过程。在一定条件下，当这两个过程达到平衡时的蒸汽称为饱和蒸汽，饱和蒸汽所产生的压力称为饱和蒸汽压，简称蒸汽压。水的蒸汽压随温度的升高而增大。水的蒸汽压与温度的关系如表 2-3 所示。

表 2-3 水的蒸汽压与温度的关系

|                         |                   |                   |                   |                   |                   |                   |                   |                   |
|-------------------------|-------------------|-------------------|-------------------|-------------------|-------------------|-------------------|-------------------|-------------------|
| 温度 ( $^\circ\text{C}$ ) | 0                 | 40                | 80                | 100               | 120               | 140               | 180               | 374               |
| 蒸汽压 (Pa)                | $6.1 \times 10^2$ | $7.4 \times 10^3$ | $4.7 \times 10^4$ | $1.0 \times 10^5$ | $2.0 \times 10^5$ | $3.6 \times 10^5$ | $1.0 \times 10^6$ | $2.2 \times 10^7$ |

当水的温度升高到一定值时，水就开始沸腾，此时的温度称为在该压力下的沸点。水的沸点与外界压力的关系如表 2-4 所示。

表 2-4 水的沸点与外界压力的关系

|                         |       |       |       |      |      |       |
|-------------------------|-------|-------|-------|------|------|-------|
| 压力 (MPa)                | 0.196 | 0.392 | 0.588 | 0.98 | 1.96 | 21.37 |
| 温度 ( $^\circ\text{C}$ ) | 120   | 143   | 158   | 179  | 211  | 374   |

从锅炉产生出来的饱和蒸汽常带有少量水分，通常称为湿饱和蒸汽，通过过热器进一步加热，清除饱和蒸汽中的湿分后，称为干饱和蒸汽。

随着温度和压力的提高，蒸汽密度增大，水的密度减小，当温度和压力提高到一定程度时，蒸汽和水的密度相同，此时称为临界状态。水的临界压力为 21.37MPa，在此压力下水的沸点为  $374^\circ\text{C}$ ，称为临界温度。处于临界状态水体的汽液两相界面已消失，这时汽液的各种性质也基本相同。

我国制造的锅炉、汽轮发电机组就是根据蒸汽参数（压力和温度）来进行分类的。火力发电厂机组的蒸汽参数和容量如表 2-5 所示。

表 2-5 火力发电厂机组的蒸汽参数和容量

| 蒸汽参数<br>机组名称 | 汽 压<br>(MPa) |     | 汽 温<br>( $^\circ\text{C}$ ) |     | 机组容量范围<br>(kW) |
|--------------|--------------|-----|-----------------------------|-----|----------------|
|              | 锅炉           | 汽轮机 | 锅炉                          | 汽轮机 |                |
| 低温低压锅炉       | 1.4          | 1.3 | 350                         | 340 | 1500~3000      |