


西安电力高等专科学校 编
大唐韩城第二发电有限责任公司



600MW火电机组培训教材

辅助系统分册

 中国电力出版社
www.cepp.com.cn

600MW HUODIAN JIZU
PEIXUN JIAOCAI

600MW火电机组培训教材

锅炉分册

汽轮机分册

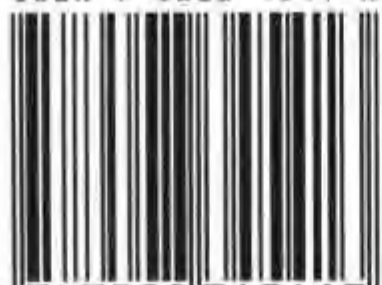
电气分册

仪控分册

集控分册

辅助系统分册

ISBN 7-5083-4541-X



9 787508 345413 >

定价：40.00 元

销售分类建议：电力工程 / 火力发电

600MW 火电机组培训教材

辅助系统分册

西安电力高等专科学校 编
大唐韩城第二发电有限责任公司



中国电力出版社

www.cepp.com.cn

内 容 提 要

本套《600MW 火电机组培训教材》是由西安电力高等专科学校和大唐韩城第二发电有限责任公司联合组织编写的。本分册是《辅助系统分册》，全书共分为五篇 16 章，分别为：火力发电厂水汽概述，水的预脱盐，离子交换除盐，冷却水处理，水汽品质及热力设备监督，制氢站，火电厂燃煤概述，燃煤管理，燃煤输送，烟气脱硫，环保水处理，除灰系统，除渣系统，汽轮机油的监督和维护，绝缘油的监督和维护，合成抗燃油的监督和维护等。

本套教材以大唐韩城第二发电有限责任公司 600MW 机组的设备和控制系统为主，结合国内 600MW 机组的情况，以实用为出发点，突出 600MW 机组的设备、系统特点，注重基本理论与实践的结合，注重知识的深度与广度的结合，注重专业知识与操作技能的结合，可以作为 600MW 机组运行、检修人员、技术和管理人员的培训教材，还可以作为相关专业大、中专院校的教材和教学参考书。

图书在版编目 (CIP) 数据

600MW 火电机组培训教材. 辅助系统分册/西安电力高等专科学校, 大唐韩城第二发电有限责任公司编. —北京: 中国电力出版社, 2006

ISBN 7-5083-4541-X

I. 6... II. ①西... ②大... III. ①火力发电—发电机—机组—技术培训—教材②火力发电—发电机—辅助系统—技术培训—教材 IV. TM621.3

中国版本图书馆 CIP 数据核字 (2006) 第 074120 号

中国电力出版社出版、发行

(北京三里河路 6 号 100044 <http://www.cepp.com.cn>)

北京丰源印刷厂印刷

各地新华书店经售

*

2006 年 11 月第一版 2006 年 11 月北京第一次印刷

787 毫米×1092 毫米 16 开本 20.75 印张 504 千字

印数 0001—3000 册 定价 40.00 元

版 权 专 有 翻 印 必 究

(本书如有印装质量问题, 我社发行部负责退换)

《600MW 火电机组培训教材》

编委会

主任：张明 王元春

副主任：李新民 解建宝 张宝瑞 蔺昌宇 齐强

委员：孙文杰 冯宏涛 孙朝阳 何方 宁海琪

杨升军 刘佩芬 张建丁 赵丽 付妍玉

赵胜林 贾品丽 党争奎 穆顺勇 梁振武

杨曙光 田凤 王军峰 王崇军

丛书主编：解建宝 蔺昌宇

丛书主审：李新民 齐强 宁海琪

《辅助系统分册》

主编：穆顺勇

主审：韩隶传 罗奖合 陈浩 郭焱

曹杰玉 吕文生 齐强 何方

参编：王浩青 李珩 王文雅 康魏华

彭芳 汪纯素 王勇 王红仓

田金焕 赵胜林 田凤 李红旗

杨曙光

前 言

随着我国经济的快速发展,高参数、大容量、低能耗、小污染、高自动化程度的600MW机组将逐渐成为主力机组,近几年来,有一大批600MW机组相继投产,通过培训提高生产人员和技术人员的技术水平是确保机组安全、经济、可靠运行的基础。本套培训教材由西安电力高等专科学校和大唐韩城第二发电有限公司(以下简称韩城第二发电厂)联合组织编写。全书分为《锅炉分册》、《汽轮机分册》、《电气分册》、《仪控分册》、《集控分册》、《辅助系统分册》六个分册。

本套教材在西安电力高等专科学校张明教授和大唐韩城第二发电有限公司王元春高级工程师为主任的编委会的精心组织下,用两年多的时间,由具有丰富的大机组培训教学经验的教师和具有丰富生产实际经验的工程技术人员共同完成。内容以韩城第二发电厂600MW机组的设备和控制系统为主,结合国内600MW机组的情况,以实用为出发点,突出600MW机组的设备、系统的特点,注重基本理论与实践的结合,注重知识深度与广度的结合,注重专业知识与操作技能的结合,可以作为600MW机组运行、检修、技术和管理人员的培训教材。还可作为相关专业大、中专院校的教材和教学参考书。

《辅助系统分册》为本套教材的一个分册。本分册分为五篇,主要讲述大型火力发电厂辅助系统中,电厂水处理、制氢站、燃煤管理和输送、烟气脱硫、环保水处理、除灰除渣、油务管理等设备系统的原理、结构、运行以及故障处理。内容包括:超滤、反渗透预脱盐,离子交换除盐,循环水处理,水汽质量监督;制氢相关知识;环境保护;除灰、除渣和燃煤输送系统的运行;透平油、绝缘油、抗燃油的监督和维 护等。共计五篇十六章。

本分册由西安电力高等专科学校穆顺勇担任主编,参加本册编写的人员有:穆顺勇、王文雅(第一、二、三章),康魏华、王红仓、田金焕(第四、五、六章),彭芳、赵胜林(第七、八、九章),王浩青、田凤、李红旗(第十、十一章),李珩、杨曙光(第十二、十三章),汪纯素、王勇(第十四、十五、十六章)。

本分册由西安热研究院韩隶传教授级高工、罗奖合教授级高工、曹杰玉教授级高工、陈浩工程师、郭焱工程师、吕文生工程师,西安电力高等专科学校齐强高级工程师负责主审,西安电力高等专科学校解建宝副教授、齐强高级工程师、何方老师参与审稿,由编审委员会集体定稿。

韩城第二发电厂温晓勇、侯兴华、雷会斌、吉武俊等同志提出了修改意见,并提供资料和支持帮助,在此一并致谢。

由于水平和条件所限,书中不妥之处,敬请读者指正。

编 者

2006年3月于西安

目 录

前 言

第一篇 火电厂水处理及制氢站

第一章 火力发电厂水汽概述	1
第一节 火力发电厂水汽系统简介.....	1
第二节 火力发电厂水源.....	5
第三节 天然水中的杂质.....	6
第四节 锅炉补给水净化流程.....	17
第二章 水的预脱盐	26
第一节 超滤.....	26
第二节 反渗透.....	35
第三章 离子交换除盐	53
第一节 离子交换原理.....	53
第二节 离子交换除盐装置.....	57
第三节 除碳器.....	73
第四节 离子交换除盐系统.....	75
第五节 技术经济指标.....	87
第四章 循环冷却水处理	92
第一节 循环冷却水系统与设备.....	92
第二节 水量计算与盐类平衡.....	93
第三节 循环冷却水系统的结垢及其控制.....	94
第四节 循环冷却水中微生物的危害及其控制.....	98
第五节 循环冷却水旁流过滤弱酸软化系统.....	107
第六节 凝汽器铜管的清洗.....	113
第七节 凝汽器铜管的腐蚀及防止.....	117
第八节 凝汽器铜管泄漏的检查和处理.....	126
第五章 水汽品质及热力设备监督	129
第一节 水汽质量标准.....	129
第二节 水汽取样及运行监督.....	132

第三节	水汽取样分析装置	135
第四节	水汽质量劣化处理	141
第五节	热力设备腐蚀、结垢和积盐的检查监督	143

第六章 制氢站 149

第一节	制氢原理	149
第二节	电解制氢系统	152
第三节	制氢设备运行及监督	156

第二篇 燃煤管理与输送

第七章 火电厂燃煤概述 170

第一节	燃煤基础知识	170
第二节	煤样采制	175

第八章 燃煤管理 187

第一节	电力燃煤供应计划的编制、订货	187
第二节	燃煤计量与验收	189
第三节	燃煤管理	196
第四节	耗用燃煤的计量	203

第九章 燃煤输送 204

第一节	燃煤系统概述	204
第二节	卸煤设备	206
第三节	斗轮堆取料机	210
第四节	筛分破碎设施	218
第五节	带式输送机	226

第三篇 环境管理

第十章 烟气脱硫 235

第一节	脱硫技术简述	235
第二节	各种烟气脱硫工艺比较	238
第三节	石灰石—石膏湿法烟气脱硫理论基础	240
第四节	石灰石—石膏湿法烟气脱硫的系统和设备	244
第五节	烟气脱硫装置的防腐	249
第六节	工程实例	251

第十章 环保水处理	258
第一节 火电厂水务管理	258
第二节 火电厂排水水质监督	261

第四篇 除 灰 除 渣

第十二章 除灰系统	269
第一节 除灰系统简述	269
第二节 除灰系统运行	274
第三节 除灰系统故障及处理	278
第十三章 除渣系统	284
第一节 除渣系统简述	284
第二节 除渣系统运行	293
第三节 除渣系统故障及处理	297

第五篇 油 务 管 理

第十四章 汽轮机油的监督和维	299
第一节 汽轮机油的监督	299
第二节 运行汽轮机油的维护	303
第十五章 绝缘油的监督和维	306
第一节 绝缘油的监督	306
第二节 变压器油的维护	312
第十六章 合成抗燃油的监督和维	315
第一节 合成抗燃油简介及作用	315
第二节 合成抗燃油的监督与维护	317
参考文献	321

第一篇 火电厂水处理及制氢站

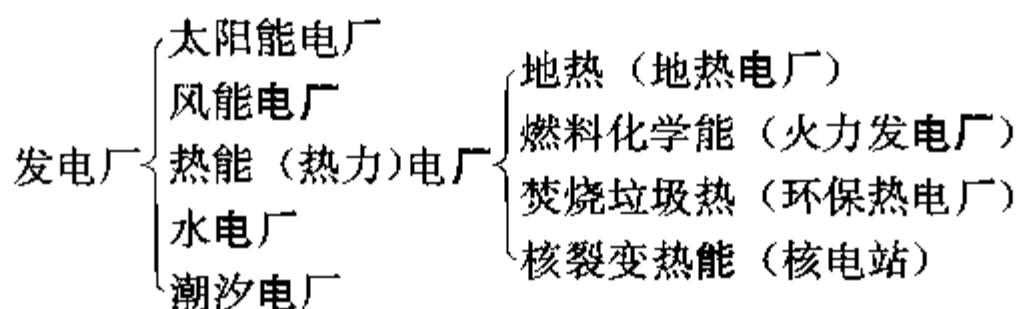
第一章 火力发电厂水汽概述

第一节

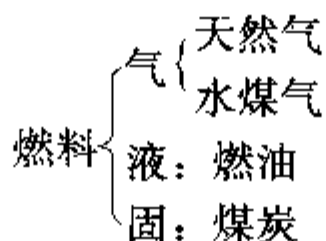
火力发电厂水汽系统简介

一、火力发电厂能量转换

在工农业生产中，应用最广泛的能源是电能。根据能量守恒定律：能量不会创生也不会消灭，只能从一种形式转化为另一种形式，电能是由其他能源转化而成。按所用能源的种类不同，发电厂可分为如下几种形式：



其中，燃料又分为：



在我国用得比较普遍的热能来自各种燃料的化学能，此种以热能为能源的发电称为火力发电，其主要燃料有：燃气（天然气、水煤气等）、燃煤、燃油。

在火力发电厂中，如图 1-1-1 所示，炉水吸收燃料（煤、油或天然气）燃烧放出的热能转变成蒸汽，蒸汽导入汽轮机中将热能转变成机械能，发电机将机械能转变成电能，故火力发电厂实质上是一个能量转化工厂。水在其中的主要作用是传递能量和作为冷却介质。

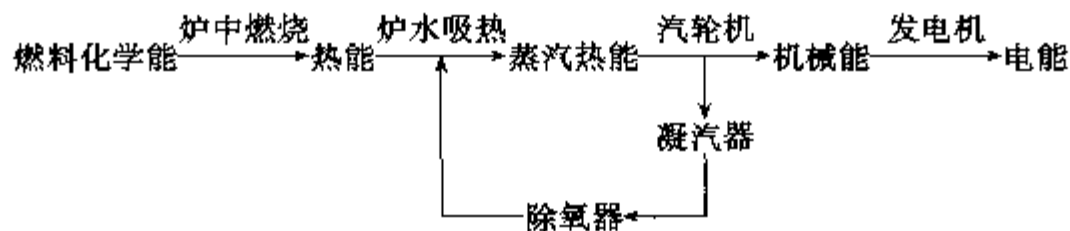


图 1-1-1 能量转化过程示意

二、水汽循环系统

火力发电厂的主要生产系统有水汽系统、燃烧系统、电气系统三大部分。锅炉和汽轮机是火力发电的主要设备。省煤器、水冷壁、汽包、过热器、再热器、汽轮机、凝汽器、除氧

器、高、低压加热器等是水汽系统的主要组成部件，水和蒸汽在其中循环运行，构成了完整的水汽系统，其流程系统如图 1-1-2 所示。

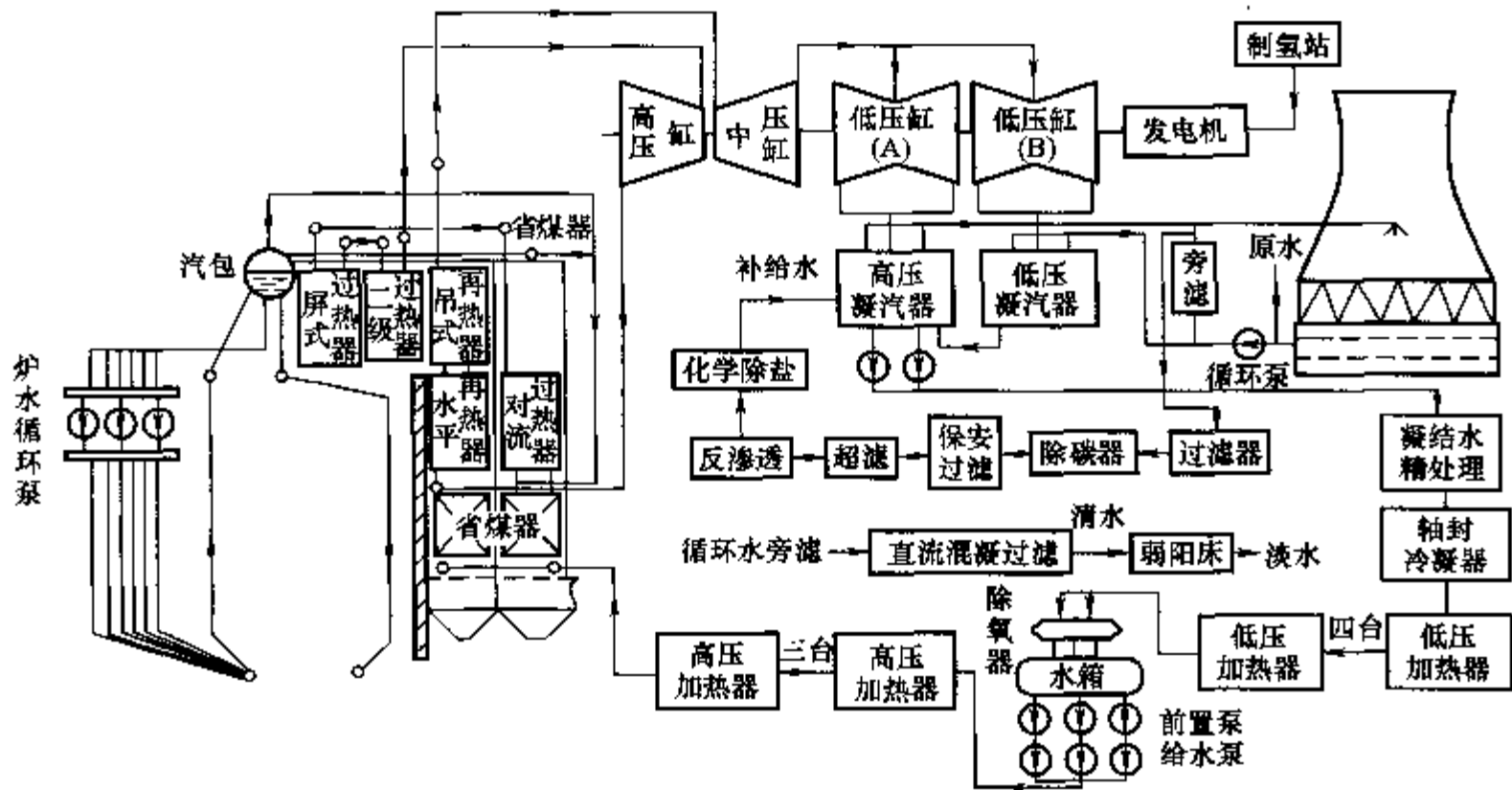


图 1-1-2 某 600MW 发电机组水汽循环流程示意

在水汽系统中，锅炉产生的饱和蒸汽经对流过热器、屏式过热器、二级过热器后成为过热蒸汽，进入汽轮机高压缸做功，然后，经水平再热器、吊式再热器再热后，进入汽轮机中、低压缸做功；做过功的乏汽进入高、低压凝汽器凝结成为凝结水，经凝结水泵、凝结水净化、轴封冷凝器、低压加热器后送入除氧器；再由给水泵将已除氧的给水经高压加热器后送入锅炉省煤器，如此循环运行。

在水汽循环流动过程中，不可避免地产生跑、冒、滴、漏、溢流等损失，为了补充水汽循环中的汽水损失而加入的水称为补给水。为了防止补给水中的杂质对热力设备产生危害，对补给水的质量有很高的要求，而且机组参数愈高，对其要求也愈严。目前，我国不同参数的发电机组的补给水种类见表 1-1-1。

表 1-1-1 发电厂机组的容量和补给水种类

名称	额定功率 (MW)	额定压力 (MPa)	补给水种类
中压机组	6、12、25	3.9	软化水或除盐水
高压机组	50、100	9.81	除盐水或高纯水
超高压机组	125、200	13.23、13.73	高纯水或凝结水净化
亚临界机组	300、600	16.68~18.27	高纯水和凝结水净化

三、水汽命名

水在热力发电厂中所起的作用不同，水质常有较大的差别。因此，根据实用的需要，我们为这些水命名不同的名称，简述如下：

(1) 原水。未经任何处理的天然水（如江、河、湖、泊、海洋、地下水等）称为原水，它是热力发电厂中各种用水的来源，又称生水。

(2) 清水。原水经过混凝、澄清、过滤后去掉悬浮物的水称为清水。

(3) 锅炉补给水。原水经过各种方法净化处理后，用来补充热力系统汽水损失的水称为锅炉补给水。锅炉补给水按其净化处理方法的不同又可分为软化水、蒸馏水、除盐水和高纯水等。

(4) 凝结水。在汽轮机中做功后的蒸汽冷凝成的水称为凝结水。

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

(6) 返回水。热电厂向热用户供热后回收的蒸汽冷凝水称为返回水。返回水又有热网加热器冷凝水和生产返回冷凝水之分。

(7) 给水。送进锅炉的水称为给水。凝汽式发电厂的给水，主要由凝结水，补给水和各种疏水组成。热电厂的给水组成中，还包括返回水。

(8) 锅炉水。在锅炉本体的蒸发系统中流动着的水称为锅炉水，简称炉水。

(9) 冷却水。用作冷却介质的水称为冷却水，循环使用的冷却水称循环水。在电厂中，它主要是指通过凝汽器用以冷却汽轮机排汽的水。

(10) 饱和蒸汽。炉水吸热蒸发的，饱和温度与压力对应的蒸汽。

(11) 再热蒸汽。在汽轮机高压缸做功后的蒸汽被重新送入锅炉再热器加热，然后进入汽轮机中压缸继续做功的蒸汽。

(12) 过热蒸汽。饱和蒸汽经过加热器加热后的蒸汽，也称为干蒸汽。

四、水汽系统中杂质的影响

热力系统中的水汽品质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。天然水中含有许多杂质，若净化处理不彻底，杂质就会随补给水进入水汽循环系统；冷却水中的杂质也会因凝汽器铜管的渗漏和泄漏进入凝结水中，当凝结水净化设备工作异常时，杂质便进入水汽循环系统；水汽循环系统还有自身的各种腐蚀产物。这些不良杂质，将会给热力设备造成如下几种危害。

（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。

因为水垢的导热性能比金属差几百倍，而这些水垢又极易在热负荷很高的锅炉炉管中生成，所以结垢对锅炉（或热交换器）的危害性很大。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。结垢不仅危害设备的安全运行，而且还会大大降低发电厂的经济性。例如，近代火电厂省煤器结 1mm 厚水垢，燃煤耗量增加 1.5%~2%；水冷壁管内结 1mm 厚水垢，燃煤耗量增加 10%。此外，水垢还会引起沉积物下腐蚀。由于发电厂燃料用量很大，所以燃料的消耗率看似微小，浪费量却十分巨大，若能有效防止或减少结垢，将会产生巨额的经济效益。另外，循环水的水质不良，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。热力设备结垢以后，必须及时清洗，这就要停运设备，减少了设备的年利用小时数，还要增加检修工作量和费用等。

（二）热力设备及其系统的腐蚀

发电厂热力设备的金属经常和水汽接触，若水质不良，则会引起金属腐蚀，如在给水管、各种加热器、锅炉省煤器、水冷壁、过热器和汽轮机凝汽器等，都会因水质不良而被腐蚀。腐蚀不仅缩短设备本身的使用期限，造成经济损失，而且腐蚀产物转入水中，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，结成的垢又会加速炉管的垢下腐蚀。如此恶性循环，会迅速导致爆管等事故的发生。

（三）过热器和汽轮机流通部分的积盐

水质不良会使蒸汽溶解和携带的杂质增多，这些杂质会沉积在过热器或汽轮机蒸汽流通部位，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、大容量汽轮机组，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。

为了保证热力系统中有良好的水汽质量，我们必须坚持“预防为主”的方针，加强对水、蒸汽的净化处理和严格的质量监督，防止和减缓热力设备腐蚀、结垢、积聚沉积物，提高设备的安全经济性，延长设备的使用寿命。

五、电厂水处理工作的主要任务

电厂水处理工作的任务就是保证热力系统各部分有良好的水汽品质，以防止热力设备结垢、积盐和腐蚀的发生。因此，在热力发电厂中，水处理工作对保证机组的安全、经济运行具有十分重要的意义。

热力发电厂电厂化学工作者的主要工作内容如下：

- （1）制备质量合格、数量足够、成本经济的补给水。其过程包括除去天然水中悬浮物和胶态杂质的澄清、过滤预处理，除去水中溶解的钙、镁离子的软化处理，除去水中全部溶解盐类的除盐。这些制备补给水的过程，通常称为炉外水处理。
- （2）对给水进行除氧、加药等处理。
- （3）对汽包锅炉进行锅炉水的加药处理和排污，这些工作称为锅内水处理。
- （4）对直流锅炉机组或某些亚临界压力汽包锅炉机组进行凝结水的净化处理。
- （5）在热电厂中，对生产返回水进行除油、除铁等净化处理。
- （6）对冷却水进行防垢、防腐和防止有机附着物等处理。
- （7）锅炉、凝汽器、排灰管道、内冷发电机的化学清洗。
- （8）对热力系统各部分的汽水质量进行监督。
- （9）机、炉停备用保养。
- （10）热力设备大修期间进行结垢、腐蚀、积盐情况检查，并作出评价。
- （11）做好各种热化学试验、除氧器调整试验等。
- （12）制备质量合格、成本经济的氢气。
- （13）做好火力发电厂的各项环保工作，包括烟气除尘、脱硫、废水处理、废渣综合利用等。

此外，燃煤监督和油务（包括 SF₆ 气体）监督也是电厂化学的重要工作。



第二节 火力发电厂水源

一、水分子的结构

水的基本化学式为 H_2O ，它不仅是地球上分布最广、贮量最多的物质，也是一切生命

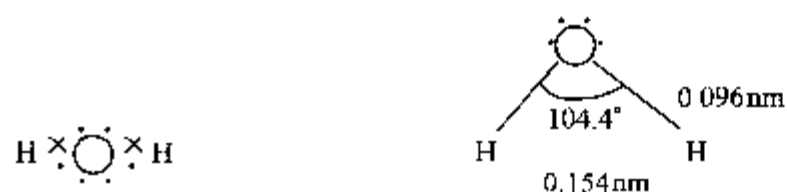


图 1-1-3 水的分子结构

体的基本成分，如人体的含水量达 60%~70%。水分子的结构如图 1-1-3 所示，O—H 的键长为 0.096nm，H—H 键长为 0.154nm，H—O—H 的键夹角为 104.4°，两个氢原子核排列成以氧原子核为顶的等腰三角形，从而使氧的一端带负电荷，氢的一端带正电荷，因此，

水分子是一个极性很强的分子。由于水分子在正极一方有两个裸露的氢核，在负极一方有氧的两对孤对电子，这样就使每一个水分子都可以把自己的两个氢核交出与其他两个水分子共有，而同时氧的两对孤对电子又可以接受第三、四个氢核，使这五个水分子之间形成四个氢键，其中每一个外围分子又再与另外的分子继续生成氢键。这种现象称为水分子的缔合。因此，水是单个分子 H_2O 和 $(H_2O)_n$ 的混合物， $(H_2O)_n$ 称为水分子的集聚体或聚合物。

二、水的特性

(一) 水的状态

水在常压下有汽、液、固三态。在常压下，水的冰点为 $0^{\circ}C$ ，沸点为 $100^{\circ}C$ 。在自然环境中以固体或液体存在，并有相当部分变为水蒸气。火力发电厂的生产工艺就是利用水的这种变化来转换能量的。

(二) 水的密度

水的密度与温度的关系和一般物质不同，一般物质的密度均随温度上升而减小；而水的密度是在 $3.98^{\circ}C$ 时最大，为 $1g/cm^3$ ，高于或低于此温度时，其密度都小于 $1g/cm^3$ 。这可以用水分子之间的缔合现象来解释，即在 $3.98^{\circ}C$ 时水分子缔合后的聚合物结构最密实，高于或低于 $3.98^{\circ}C$ 时，水的聚合物结构比较疏松。

(三) 水的比热容

几乎在所有的液体和固体物质中，水的比热容最大 [$4.1868J/(kg \cdot ^{\circ}C)$]，同时水也有很大的蒸发热和溶解热。这是因为水在加热时，热量不仅消耗于水温的升高，还消耗于水分子聚合物的解离（氢键）。所以，在火力发电厂和其他工业中，常以水作为传递热量的介质，这可以使设备的体积最小。

(四) 水的溶解能力

水的溶解能力极强，是一种很好的极性溶剂。溶解于水中的物质相互之间可以发生许多化学反应，而且水直接能与许多金属氧化物、非金属氧化物及活泼金属产生化合作用。锅炉补给水净化的任务就是将水在自然界中溶解和携带的杂质部分或全部除去。

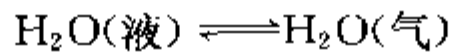
(五) 水的电导率

因为水是一种很弱的两性电解质，能电离出少量的 H^+ 和 OH^- ，所以，即使是理想的纯水也具有一定的导电能力，这种导电能力常用电导率来表示。

电导率是电阻率的倒数。水的电阻率是对断面为 $1\text{cm} \times 1\text{cm}$ 、长 1cm 的体积的水所测得的电阻，单位是 $\Omega \cdot \text{cm}$ ，电导率的单位是 S/cm 或 $\mu\text{S/cm}$ ， 25°C 时纯水的电导率为 $0.0516\mu\text{S/cm}$ 。

(六) 水的沸点与蒸汽压

水的沸点与蒸汽压力有关。如将水放在一个密闭容器中，水面上就有一部分动能较大的水分子能克服其他水分子的引力逸出水面，进入容器上部空间成为蒸汽，这一过程称为蒸发。进入容器空间的水分子不断运动，其中一部分水蒸气分子碰到水面被水体中的水分子所吸引，又返回到水中，这一过程称为凝结。在一定条件下，当水的蒸发速度与水蒸气的凝结速度相等时，水面上的水分子数量不再改变，即达到动态平衡

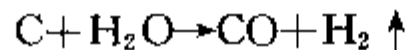
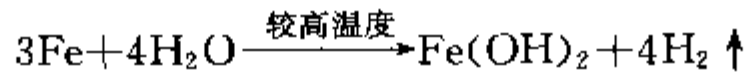
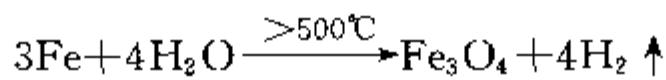
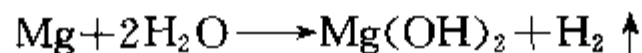
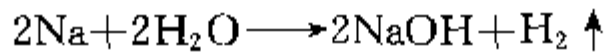


在温度一定的情况下，达到动态平衡时的蒸汽称为该温度下的饱和蒸汽，这时的蒸汽压力称为饱和蒸汽压，简称蒸汽压。

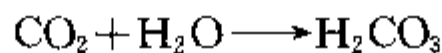
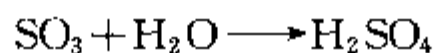
当水的温度升高到一定值，其蒸汽压力等于外界压力时，水就开始沸腾，这时的温度称为水在该压力下的沸点，不同压力下水的沸点不同。在一定温度和压力下的饱和蒸汽，增加压力则蒸汽向液态转化，这个过程叫液化。当蒸汽高于某一温度时，不管加多大压力都不能将蒸汽液化，这一温度称为蒸汽的临界温度。在临界温度下使蒸汽液化的压力称为临界压力。水蒸气的临界温度为 374°C ，临界压力为 22.0MPa 。

(七) 水的化学性质

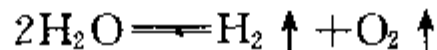
(1) 水能与金属和非金属作用放出氢气。



(2) 水还能与许多金属和非金属的氧化物反应生成碱和酸。



(3) 水有很强的稳定性，加热到 2000°C 时才有 0.588% 的水分解。



水具有以上特性，是用来作热力发电厂能量转换的介质的先决条件。

第三节

天然水中的杂质

一、杂质的分类

天然水体是海洋、河流、湖泊、沼泽、水库、冰川、地下水等地表与地下贮水体的总称，它包括水和水中各种物质、水生生物等。从自然地理的角度看，天然水体是指地表水覆



盖的自然综合体，简称天然水或原水。

天然水分为海洋水和陆地水，陆地水又可分为苦咸水和淡水，淡水分为地表水和地下水（包括泉水）。这些天然水在自然循环运动中，无时不与大气、土壤、岩石、各种矿物质、动、植物等接触。由于水是一种很强的溶剂，极易溶解和携带各种杂质，所以，天然水体是在一定的自然条件下形成的，是含有许多溶解性和非溶解性物质的、组成复杂的一种综合体。化学概念上那种理想的纯水在自然界中是不存在的。

天然水中混杂的物质有固态的悬浮物、离子、溶解的分子、胶体。水处理工艺中通常将这些杂质按存在状态及颗粒直径分为三类：悬浮物（粒径 $\phi > 10^{-4} \text{mm}$ ）、胶体（粒径 $10^{-6} \text{mm} < \phi < 10^{-4} \text{mm}$ ）、溶解物（粒径 $\phi < 10^{-6} \text{mm}$ ）。从表 1-1-2 中可以看出天然水中杂质的分类和组成。

表 1-1-2 水中杂质的综合特性

粒径 (mm)	10^{-9}	10^{-8}	10^{-7}	10^{-6}	10^{-5}	10^{-4}	10^{-3}	10^{-2}	0.1
分 类	真 溶 液				胶 体		悬 浮 物		
成 分	主要离子		溶解气体		无 机	有 机	下沉物 (无机)	漂浮物 (有机)	
	阴	阳	主要	微量					
	Cl ⁻ SO ₄ ²⁻ HCO ₃ ⁻ CO ₃ ²⁻ HSiO ₃ ⁻	Na ⁺ K ⁺ Ca ²⁺ Mg ²⁺	O ₂ CO ₂	N ₂ H ₂ S CH ₄	SiO ₂ · H ₂ O Fe(OH) ₃ · H ₂ O Al ₂ O ₃ · H ₂ O	腐殖质富里酸	硅铝酸盐颗粒、沙砾、黏土	动、植物残肢 (枝)、碎片	
危 害	结垢、积盐、腐蚀				堵塞反渗透膜通道、污染离子交换树脂、使热力设备产生硅垢		堵塞管路 污染阳树脂		
特 征	透 明				光照下浑浊		浑 浊	肉眼可见	
分辨工具	质子显微镜				超显微镜		显微镜		
沉降 1m 的时间	∞				200 年		2 年~7d, 7d~2min		
常用处理方法	蒸馏、电渗析、反渗透、闪蒸、离子交换				超 滤		精密过滤	过 滤	
					混凝、澄清、过滤				

天然水体在自然运动和社会运动过程中溶解和携带了大量的物质，这些物质的数量和组成决定了水体的性质。这些物质都能引起热力设备的结垢、积盐和腐蚀，影响火力发电厂设备的安全、稳定、经济运行。因此对火力发电厂水汽系统而言，水中溶解和携带的所有物质都是杂质。

二、杂质的来源

(一) 悬浮物

悬浮物是指粒径为 $\phi > 10^{-4} \text{mm}$ 的物质微粒。按其微粒大小和相对密度的不同可分为漂浮物、悬浮物和沉降物。如一些植物及腐烂体的相对密度小于 1g/cm^3 ，一般漂浮于水面，称为漂浮物；一些动、植物的微小碎片、纤维或死亡后的腐烂产物的相对密度近似等于 1g/cm^3 ，一般悬浮于水中，称为悬浮物；一些黏土、砂粒之类的无机物的相对密度大于 1g/cm^3 ，当水静止时沉于水底，称为沉降物。因此，悬浮物在水中很不稳定，分布也很不

均匀，是一种比较易于除去物质。

悬浮物进入锅炉或热力系统，能在其中沉积造成受热面结垢或管道堵塞；进入补给水净化系统，会堵塞或划伤反渗透膜，污染离子交换树脂等。

(二) 胶体

胶体是指粒径大约在 $10^{-6} \sim 10^{-4}$ mm 之间的微粒，主要是铁、铝、硅的化合物以及动、植物有机体的分解产物、蛋白质、脂肪、腐殖质等，它们往往是许多分子或离子的集合体。由于这种颗粒比表面积大，有明显的表面活性，表面上常常带有某些正电荷或负电荷而呈现出带电性。天然水体中的黏土颗粒一般都带负电荷，而一些金属离子的氢氧化物则带正电荷。因带相同电荷的胶体颗粒互相排斥，不能聚集，所以胶体颗粒在水中是比较稳定的，分布也比较均匀，难以用自然沉降和过滤的方法除去。

天然水体中的悬浮物和胶体颗粒对光线有散射效应，是造成水体浑浊的主要原因，所以它们是各种用水处理首先清除的对象。胶体物质还能堵塞反渗透膜，污染离子交换树脂；能使炉水起泡，使蒸汽品质劣化，并引起汽包内汽水共腾。

(三) 溶解物质

溶解物质是指粒径 $\phi < 10^{-6}$ mm 的微粒，它们往往以离子、分子或气体的状态存在于水中，成为均匀的分散体系，称为真溶液。这类物质不能用混凝、沉降、过滤的方法除去，必须用蒸馏、膜分离或离子交换的方法才能除去。

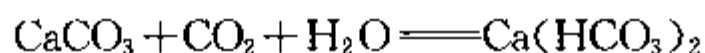
1. 呈离子状态的物质

如表 1-1-2 所示，天然水体中含有的主要离子有 Cl^- 、 SO_4^{2-} 、 HCO_3^- 、 CO_3^{2-} 、 Na^+ 、 K^+ 、 Ca^{2+} 、 Mg^{2+} 等八种离子，它们几乎占水中溶解固体总量的 95% 以上。另外，水中还有一定的生物生成物、微量元素及有机物。生物生成物主要是一些氮（如 NH_4^+ 、 NO_2^- 、 NO_3^- ）、磷（ HPO_4^{2-} 、 H_2PO_4^- 、 PO_4^{3-} ）、铁和硅的化合物；微量元素是指含量小于 10mg/L 的元素，主要有 Br^- 、 I^- 、 Cu^{2+} 、 Co^{2+} 、 Ni^{2+} 、 F^- 、 Fe^{2+} 、 Ra^{2+} 等；有机物有腐殖酸、富维酸、富里酸等。

(1) 钠离子 (Na^+)。几乎所有的钠盐都是可溶的，再加之钠盐占地壳矿物质的 25%，水在自然循环运动中能溶解大量的钠盐，在自然环境中一般又不存在 Na^+ 的沉淀反应，因而水中的钠离子含量较大。 Na^+ 可与 CO_3^{2-} 、 HCO_3^- 、 SO_4^{2-} 形成离子对 Na_2CO_3 、 NaHCO_3 、 Na_2SO_4 。在海水中几乎所有的阴离子都可与 Na^+ 生成离子对。淡水中的 Na^+ 主要以游离状态存在。

钠离子的来源是水流经地层时溶解了含钠的盐类，它是水中主要阳离子之一，也是构成水中盐类的重要成分。

(2) 钙离子 (Ca^{2+})。在含盐量少的水中，钙离子的量常常在阳离子中占第一位。天然水中的钙离子主要来自地层中的石灰石 (CaCO_3) 和石膏 ($\text{CaSO}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$) 的溶解。 CaCO_3 在水中的溶解度虽然很小，但当水中含有二氧化碳时， CaCO_3 就较易溶解。这是因为它们相互反应面生成溶解度较大的碳酸氢钙的缘故，其反应如下



天然水中可能同时溶解 CaCO_3 、 $\text{CaSO}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$ 、 CaSO_4 ，使水中 Ca^{2+} 浓度大大超过 HCO_3^- 的浓度。

不同的天然水中钙离子的含量相差很大，一般在潮湿地区的河水中 Ca^{2+} 的含量比其他