



教育部职业教育与成人教育司推荐教材
职业教育电力技术类专业教学用书

电厂水处理 技术

庄秀梅 主编



中国电力出版社
<http://jc.cepp.com.cn>



教育部职业教育与成人教育司推荐教材
职业教育电力技术类专业教学用书

电厂水处理 技术

主 编 庄秀梅
编 写 张小玲 王德英 林永华
 李东艳 蔡 庄
主 审 周肖燕 袁世平



中国电力出版社

<http://jc.cepp.com.cn>

内 容 提 要

本书为教育部职业教育与成人教育司推荐教材。

本书从火力发电厂水处理工艺的原理、设备结构和运行操作等方面,系统地阐述了火力发电厂水处理技术。该书突破传统水处理教材在内容上的选编方式,较全面地介绍了各种水处理方法,力求实用为主、简明易懂,对于研究性理论和公式推导以够用为度。注重推广行业国家标准的使用。对现场运行操作技术给予了充分重视,突出了离子交换设备的运行程序和操作步骤的内容,反映了给水联合处理、EDI电去离子除盐、反渗透和微滤等新技术,介绍了现场应用实例。全书共分十九章,主要内容包括:绪论、天然水概述、水的沉淀处理、水的过滤处理、离子交换树脂概述、离子交换树脂的工艺特性、除盐装置及运行操作、离子交换除盐系统、膜过滤技术、电渗析水处理技术、蒸馏法除盐、凝结水精处理、金属腐蚀原理、热设备的金属腐蚀及其防止、汽包锅炉的炉水水质调节、锅炉的化学清洗蒸汽污染及防止、直流锅炉机组水汽化过程冷却水处理、热力发电厂水处理系统设计。

本书可供高等职业技术学校的师生使用,也可作为企业岗位培训、职业资格鉴定的培训教材,还可作为电力、化工、石油、冶金和纺织等单位从事水处理的研究、设计和应用的工程技术人员和管理人员的工作参考书。

图书在版编目(CIP)数据

电厂水处理技术/庄秀梅主编. —北京:
中国电力出版社, 2007. 1

教育部职业教育与成人教育司推荐教材
ISBN 978-7-5083-4601-4

I. 电... II. 庄... III. 火电厂—水处理—高等学校: 技术
学校—教材 IV. TM621.9

中国版本图书馆CIP数据核字(2006)第089493号

中国电力出版社出版、发行
(北京三里河路6号 100044 <http://j.c.cepp.com.cn>)
北京市同江印刷厂印刷
各地新华书店经售

*

2007年1月第一版 2007年1月北京第一次印刷
787毫米×1092毫米 16开本 32.75印张 693千字
印数0001 3000册 定价42.50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)

前言

本书为教育部职业教育与成人教育司推荐教材，是根据教育部审定的电力技术类专业主干课程的教学大纲编写而成的，并列人教育部《2004~2007年职业教育教材开发编写计划》。本书经中国电力教育协会和中国电力出版社组织专家评审，又列为全国电力职业教育规划教材，作为职业教育电力技术类专业教学用书。

本书体现了职业教育的性质、任务和培养目标；符合职业教育的课程教学基本要求和有关岗位资格和技术等级要求；具有思想性、科学性、适合国情的先进性和教学适应性；符合职业教育的特点和规律，具有明显的职业教育特色；符合国家有关部门颁发的技术质量标准。本书既可以作为学历教育教学用书，又可作为职业资格和岗位技能培训教材。

本书在编写过程中编者力求汲取最新信息，博采各种水处理技术精华，强调结合实际，注重实际操作，反映新兴技术。本书具有如下特点：①突破传统水处理教材在内容上的选编方式，较全面地介绍了各种水处理工艺，力求实用为主、简明易懂，对于研究性理论和公式推导以够用为度；②注重推广国家行业标准的使用；③对现场运行操作技术给予了充分重视，着力从技术应用角度突出介绍了各种离子交换工艺的设备结构、运行操作程序及步骤；④反映了给水联合处理，EDI电去离子除盐、反渗透和微滤等新技术，对发展前景极好的反渗透水处理技术也进行了探讨；⑤介绍了一些现场应用实例。

本书绪论、第二章至第七章、第十二章至第十六章由哈尔滨电力职业技术学院庄秀梅教授编写，第十一章、第十八章由兰州电力学校张小玲编写，第八章、第九章由黑龙江大学蔡庄编写，第十七章由东北电力大学王德英教授编写，第十九章由哈尔滨电力职业技术学院林永华副教授编写，第一章、第十章由李东艳副教授编写。全书由长春第一热电有限公司高工周肖燕同志和东北电力大学袁世平教授主审。特别是袁世平教授对全书文字修辞进行了修改与审订，并提出了宝贵的建议。黑龙江省电力科学院研究院监督中心史立红主任，在本书的内容设计和章节的审订中提出了许多宝贵的意见和建议。在编写过程中隋冰玉、高恩平、王彦兵、张鹏、刘文洋等同志做了大量工作，在此对他们致以衷心的感谢。

由于编者的学识有限，加之时间仓促，因此书中尚存在审订不细和疏漏等不妥之处，在此敬请各位读者和专家雅正。

编者

2006年5月

目 录

前言	
绪论	1
第一章 天然水概述	5
第一节 天然水的特点	5
第二节 天然水中的杂质及来源	6
第三节 水质指标	10
第四节 天然水中几种主要化合物	15
第五节 天然水的分类	17
第二章 水的沉淀处理	20
第一节 胶体概述	20
第二节 水的混凝处理原理	22
第三节 水的沉淀软化	28
第四节 沉降原理	32
第五节 沉淀池	33
第六节 澄清池	35
第三章 水的过滤处理	43
第一节 过滤概述	43
第二节 滤料	44
第三节 过滤工艺	46
第四节 过滤器	48
第五节 滤池	52
第六节 活性炭吸附过滤	56
第七节 其他过滤方法	61
第四章 离子交换树脂概述	67
第一节 离子交换树脂概述	67
第二节 离子交换树脂的性能	72
第三节 离子交换平衡与离子交换速度	77
第五章 离子交换树脂的工艺特性	84
第一节 动态离子交换过程	84
第二节 离子交换树脂的交换特性	89
第三节 新离子交换树脂的处理和贮存	95

第四节	离子交换树脂的变质、污染与复苏	98
第六章	除盐装置及运行操作	104
第一节	顺流再生离子交换器	104
第二节	逆流再生离子交换器	111
第三节	浮动床	119
第四节	混合床	130
第五节	双层床和双室床	135
第六节	分流再生固定床、提升床及满室床	140
第七节	除碳器	144
第七章	离子交换除盐系统	147
第一节	离子交换软化处理	147
第二节	离子交换软化和除碱联合水处理	149
第三节	离子交换除盐水处理	151
第四节	离子交换除盐系统概述	157
第五节	再生系统	160
第六节	设备的防腐蚀	163
第八章	膜过滤技术	167
第一节	反渗透基本原理	167
第二节	反渗透膜	169
第三节	反渗透膜组件	174
第四节	反渗透给水预处理	176
第五节	反渗透系统的运行	179
第六节	反渗透装置的停用保护、储运和化学清洗	184
第七节	微滤和超滤	189
第九章	电渗析水处理技术	194
第一节	离子交换膜	194
第二节	电渗析的物理化学过程	195
第三节	电渗析装置	198
第四节	电渗析器法水处理除盐工艺系统	202
第五节	连续电去离子技术	203
第十章	蒸馏法除盐	210
第一节	用蒸馏法制取淡水	210
第二节	单级、二级和多级蒸发装置	211
第三节	闪蒸蒸发装置	214
第四节	水垢的形成与防止	218
第五节	闪蒸蒸发装置应用实例	220
第十一章	凝结水精处理	222
第一节	凝结水处理的必要性	222

第二节	凝结水的过滤	223
第三节	凝结水的除盐	227
第四节	凝结水精处理的新工艺	233
第五节	凝结水精处理系统	234
第十二章	金属腐蚀原理	236
第一节	火电机组热力设备的运行条件及材质	236
第二节	金属的腐蚀及其分类	240
第三节	电极电位	242
第四节	极化和去极化	245
第五节	影响金属腐蚀的因素	248
第十三章	热力设备的金属腐蚀及其防止	252
第一节	给水系统金属的腐蚀	252
第二节	给水系统金属腐蚀的防止	256
第三节	锅炉水汽系统的腐蚀、结垢及其防止	272
第十四章	汽包锅炉的炉水水质调节	278
第一节	水垢和水渣的特性	278
第二节	汽包锅炉的炉水水质调节	283
第三节	锅内水处理的加药方法及装置	290
第四节	锅炉割管检查结垢、腐蚀状况的方法	292
第十五章	锅炉的化学清洗	294
第一节	锅炉化学清洗的目的	294
第二节	化学清洗药品	295
第三节	化学清洗方案的制定	302
第四节	化学清洗步骤	304
第五节	应用实例	312
第六节	热力设备的停用腐蚀与保护	313
第十六章	蒸汽污染及防止	319
第一节	蒸汽的污染	319
第二节	饱和蒸汽带水和溶解杂质的影响因素	320
第三节	蒸汽流程中的盐类沉积	324
第四节	获得清洁蒸汽的方法	329
第五节	水汽质量标准与取样方法	332
第六节	汽包锅炉的热化学试验	341
第七节	凝汽器漏水率的测定方法	344
第十七章	直流锅炉机组水汽理化过程	345
第一节	直流锅炉机组水汽系统概述	345
第二节	直流锅炉机组水汽理化过程	347
第三节	直流锅炉机组的水处理	355

第四节	直流锅炉的水洗	360
第五节	直流锅炉的热化学试验	361
第十八章	冷却水处理	364
第一节	冷却水系统中污泥的形成及其防止	364
第二节	凝汽器铜管内结垢及水质判断	370
第三节	循环冷却水的防垢处理	375
第四节	凝汽器铜管的清洗	382
第五节	凝汽器铜管冷却水侧的腐蚀及其防止	385
第十九章	火力发电厂水处理系统设计	392
第一节	原水预处理	392
第二节	锅炉补给水除盐系统	400
第三节	汽轮机组的凝结水精处理	418
第四节	冷却水处理	421
第五节	给水处理	422
第六节	锅内水处理	423
第七节	热网补给水及生产回水处理	423
第八节	工程实例	424
参考文献	442

绪论

一、水在火力发电厂中的作用

火力发电就是利用热能转变为机械能进行发电。火力发电厂的生产过程，是一个能量转化过程，它是利用燃料（煤、石油或天然气等）所蕴藏的化学能，通过燃烧变成热能传给锅炉中的水，使水转变为具有一定压力和温度的蒸汽，导入汽轮机；在汽轮机中，蒸汽膨胀做功，将热能转变为机械能，推动汽轮机转子旋转；汽轮机转子带动发电机转子一起高速旋转，将机械能转变为电能送至电网。所以，在火力发电厂的生产过程中，水担负着传递能量的重要作用。

另外，水在火力发电厂的生产过程中，也担负着冷却介质的作用。用以冷却汽轮机排出的蒸汽；冷却转动机械设备的轴瓦等等。

锅炉和汽轮机是火力发电厂的主要设备。为了保证机组正常运行，对锅炉用水质量有很严格的要求，机组中蒸汽的参数愈

高，对其要求也愈严。国产锅炉、汽轮机机组的蒸汽参数和容量如表 0-1 所示。

表 0-1 发电厂机组的容量和蒸汽参数

名称	额定功率 (MW)	蒸汽参数			
		锅炉		汽轮机	
		汽压 (MPa)	汽温 (°C)	汽压 (MPa)	汽温 (°C)
中压机组	6, 12, 25	3.9	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

二、火力发电厂的水、汽循环系统

在火力发电厂中，水进入锅炉后吸收燃料燃烧放出的热能，转变为具有一定压力和温度的蒸汽，送入汽轮机中膨胀做功，使汽轮机带动发电机转动。做完功的蒸汽排入凝汽器（蒸汽在凝汽器铜管外侧，管内通以冷却水）被冷却水冷却变为凝结水。凝结水由凝结水泵送到低压加热器加热，加热后送至除氧器除氧。除氧后的水再由给水泵送到高压加热器加热，然后经省煤器进入锅炉汽包。这就是凝汽式发电厂水、汽循环系统。如图 0-1 所示。

在上述系统中，水汽虽然是密封循环，但总免不了有些损失。造成水、汽损失的主要原因有以下几方面：

(1) 锅炉部分。锅炉的排污放水，安全门和过热器放汽门向外排汽，蒸汽吹灰和燃油时采用蒸汽雾化等等，都要造成水、汽损失。

(2) 汽轮机部分。汽轮机的轴封处要连续向外排汽，抽气器和除氧器的排气口处也会随空气排出一些蒸汽。另外，用蒸汽加热或用蒸汽推动附属机械（如加热器，汽动给水泵）等，也会造成水、汽损失。

(3) 各种水箱。各种水箱（如疏水箱，给水箱等）有溢流和热水的蒸发等损失。

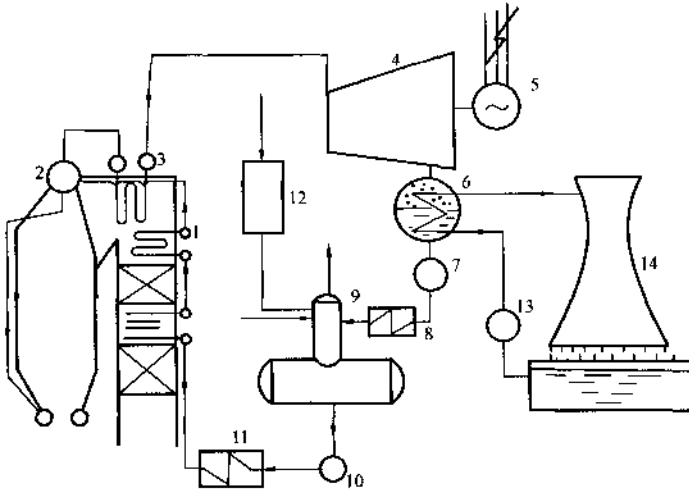


图 0-1 凝汽式发电厂水、汽循环系统主要流程

- 1—省煤器；2—汽包；3—过热器；4—汽轮机；5—发电机；6—凝汽器；
7—凝结水泵；8—低压加热器；9—除氧器；10—给水泵；11—高压加热器；
12—水处理设备；13—冷却水泵；14—冷水塔

(4) 管道系统。各种管道系统中法兰盘连接不严密和阀门漏泄等原因，都会造成水、汽损失。

为了维持火力发电厂热力系统的正常水、汽循环运行，就要用水补充这些损失，这部分补充水称补给水。补给水须经过混凝、沉淀、过滤、除盐（或软化）等水处理设备把水中有害的杂质去除后再补入循环系统。有些火力发电厂，除发电外还向附近工厂和住宅区供生产用汽和取暖用热水（或蒸汽），这种电厂称为热电厂。热电厂中的水、汽循环系统的主要流程如图 0-2 所示。

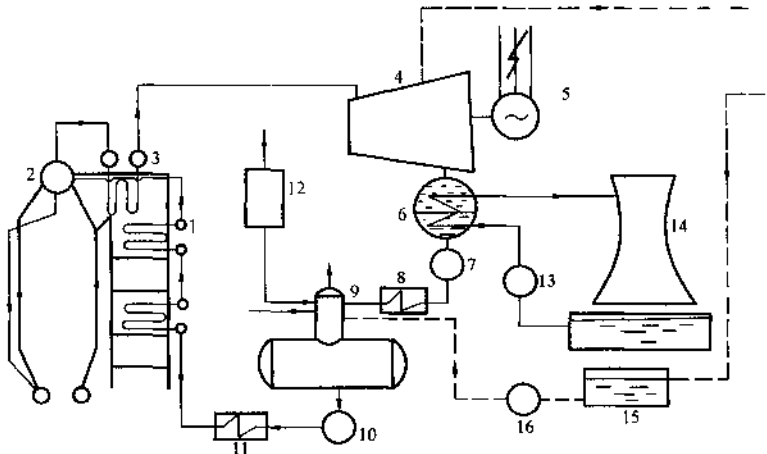


图 0-2 热电厂中的水、汽循环系统

- 1—省煤器；2—汽包；3—过热器；4—汽轮机；5—发电机；6—凝汽器；
7—凝结水泵；8—低压加热器；9—除氧器；10—给水泵；11—高压加热器；
12—补给水处理设备；13—循环水泵；14—冷水塔；15—回水；16—回水泵

在热电厂中，由于用户用热方式不同和供热系统复杂等原因，往往使送出的蒸汽大部分不能回收，造成很大的水、汽损失。所以在热电厂中，补给水量经常比凝汽式电厂大得多。

三、火力发电厂中常用水的名称

由于水在火力发电厂水、汽循环系统中所经历的过程不同，其水质和功能常有较大的差别。因此，根据生产实际的需要，我们常给予这些水以不同的名称，现简述如下。

(1) 生水。生水是未经任何处理的天然水（如江、河、湖泊、地下水等）。在火力发电

厂中生水是制取补给水的原料，或用来冷却转动机械的轴承，以及供消防用等。

(2) 补给水。生水经过各种方法处理后，用来补充火力发电厂水、汽循环系统中损失的水。补给水按其净化方法的不同，又可分为软化水、蒸馏水和除盐水等。

(3) 凝结水。在汽轮机中做功后的蒸汽经凝汽器冷凝成的水，称为凝结水。

(4) 疏水。各种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。火力发电厂中疏水系统比较复杂，在图 0-1 和 0-2 中为了说明水、汽循环的主要系统，所以未把它表示出来。

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

(6) 给水。送进锅炉的水称为给水。凝汽式发电厂的给水，主要由汽轮机凝结水、补给水和各种疏水组成。热电厂的给水组成中，还包括返回凝结水。

(7) 锅炉水。在锅炉本体的蒸发系统中流动着的水，称为锅炉水，简称为炉水。

(8) 冷却水。作为冷却介质的水称为冷却水。在火力发电厂中它主要是指通过凝汽器用以冷却汽轮机排汽的水。

四、火力发电厂水处理的重要性

长期的实践使人们认识到，火力发电厂热力系统中水、汽质量的好坏，是影响火力发电厂热力设备（如锅炉、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含有许多杂质，这种水是不允许进入水、汽循环系统的。为了保证热力系统中有良好的水质，必须对天然水进行适当的净化处理，并严格地监督水、汽循环系统中的水、汽质量，否则，就会引起以下危害。

1. 热力设备结垢

如果进入锅炉或其他热交换器内的水中含有杂质（特别是高价金属离子），则经过一段时间运行后，在和水接触的受热面上，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。结垢对锅炉（或热交换器）的安全经济运行有很大危害。这是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，会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。结垢不仅影响到设备安全运行，而且还会大大降低发电厂的经济性。例如，火力发电厂锅炉的省煤器中结有 1mm 厚的水垢时，其燃料用量就多消耗 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，所以燃料的消耗率虽只有微小的增加，却会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。而且，热力设备一旦严重结垢还必须停止运行，及时进行清洗工作，因而减少了设备的年利用小时数。此外，还要增加检修的工作量和检修费用等。

2. 热力设备腐蚀

发电厂热力设备的金属经常和水接触，若水质不良，则会引起金属的腐蚀。火力发电厂的给水管道、各种加热器、锅炉的省煤器、水冷壁、过热器和汽轮机凝汽器等，都会因水质不良而引起腐蚀。腐蚀不仅要缩短设备本身的使用期限，造成经济损失，同时，还由于金属的腐蚀产物转入水中，使给水中杂质增多，从而又加剧在高热负荷受热面上的结垢过程，而

结成的垢转而又会促进锅炉的腐蚀。如此恶性循环，会迅速导致锅炉爆管事故。此外，如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。

3. 过热器和汽轮机积盐

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。过热器内积盐会引起金属管壁过热、变形鼓包甚至爆管，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，它的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。当汽轮机内积盐严重时，还会使推力轴承负荷增大，隔板弯曲，造成事故停机。

火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。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。

五、火力发电厂水处理工作

火力发电厂的水处理工作，主要包括以下内容：

- (1) 净化生水。经过混凝、澄清、过滤及离子交换等工艺制备质量合格、数量足够的补给水，并通过调整试验降低水处理成本。
- (2) 对给水要进行加氨和除氧等处理。
- (3) 对于汽包锅炉要进行锅炉水的加药处理和排污。
- (4) 对于直流锅炉机组和亚临界压力及以上的汽包锅炉机组，进行汽轮机凝结水精处理。
- (5) 在热电厂中，对生产返回凝结水，要进行除油、除铁等净化处理。
- (6) 对冷却水要进行防垢、防腐和防止有机附着物等处理。
- (7) 在热力设备停、备用期间做好设备防腐工作中的化学监督工作。
- (8) 在热力设备大修时应掌握设备的结垢、积盐和腐蚀等情况，以便审查水处理效果，不断改进水处理工作。
- (9) 做好各种水处理的调整试验，配合汽轮机、锅炉分场做好除氧器的调整试验，锅炉的热化学试验以及热力设备的化学清洗工作。
- (10) 正确取样、化验、监督给水、炉水、蒸汽和凝结水等水、汽质量，并如实反映情况。

天然水概述

第一节 天然水的特点

一、天然水在自然界的存在和分布

水是地球上分布最广的物质之一，据估计约为 $1.4 \times 10^9 \text{ km}^3$ 。如果把地球表面夷平，使天然水完全平铺在地面上，那么它的厚度可达 2600m。

地球上的水在地面上的分布极不均匀。其中 97% 处于浩瀚的海洋中，约有 2.2% 形成南北极的冰山和冰川，其余不足 1% 处于陆地部分。在陆地水资源中绝大部分为地下水，至于江、河、湖中的水仅占总水量的 0.02%。

二、天然水在自然界的运动

天然水在太阳辐射能的作用下形成循环运动，如图 1-1 所示。

三、天然水的特点

天然水的物质组成与它的形成环境有关，天然水由于来源不同，水质也不同。

1. 大气水

大气水一般泛指雨、雪、雹等形式降落的水。大气水是水蒸气凝结成的水，所以它不含矿物杂质，

类似蒸馏水，是自然界中品质最好的水。但是，因为水的溶解能力很强，在大气水从空中降落的过程中，就会吸收和溶解来自空气中的气体、细菌和尘埃等杂质，这些余质含量的多少，取决于相互接触时间的长短和空气的污染程度。一般雨水的硬度不超过 0.1 mmol/L ($\frac{1}{2} \text{ Me}^{2+}$)，含盐量也不超过 50 mg/L ，是比较纯净的。由于这种水收集起来很困难，因此大气水不能作为锅炉用水的来源。

2. 地面水

地面水主要是指河水、江水、湖水和水库水等。由于地面水是在地表面流过，溶解的矿物质较少，因此这种水的含盐量和硬度都较低，我国地面水的含盐量一般在 $70 \sim 900 \text{ mg/L}$ 之间，硬度在 $1.0 \sim 8.0 \text{ mmol/L}$ ($\frac{1}{2} \text{ Me}^{2+}$) 之间。但是，由于冲刷、流动的结果，往往会混入大量的泥砂和有机物等杂质。

地面水的水质，往往受季节和外界条件的影响而有较大的差异，主要有以下几种影响：

(1) 季节的影响。同一条河流，季节不同，水质变化很大。洪水期与枯水期相比，硬度和含盐量会大大降低，而悬浮物和有机物的含量却会急剧增高。即使同一季节，雨天和晴天，上游和下游，它们的水质也有所不同。

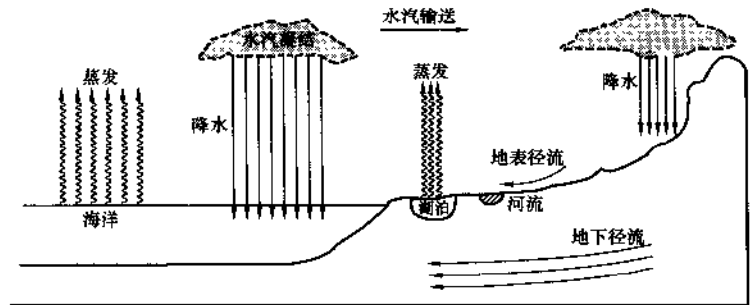


图 1-1 水在自然界中的循环

(2) 外界污染的影响。工业废水和生活污水向江河排放使地面水的水质发生很大的变化。水质严重污染, 往往给锅炉水处理工作带来很大的困难。

(3) 受海水倒灌的影响。部分沿海地区的河流, 虽然平时氯离子含量不高, 但在枯水期海水倒灌时, 氯离子含量会成百倍地急剧增大。湖水和水库水, 由于流动性较小, 又经较长时间的自然沉淀, 所以悬浮物的含量比江河水要低。

3. 海水

海洋水也属于地表水, 但因含盐量很高, 未经处理时, 既不能作为锅炉用水, 也不能作为饮用水。

各地海洋水质基本上是相似和稳定的, 其显著特点是含盐量较高, 约 35g/L 左右。各主要离子之间的比例关系基本上是一定的, 只有 HCO_3^- 及 CO_3^{2-} 变化较大。它们含量的固定次序是: $\text{Na}^+ > \text{K}^+ > \text{Mg}^{2+} > \text{Ca}^{2+}$, $\text{Cl}^- > \text{SO}_4^{2-} > \text{HCO}_3^- > \text{CO}_3^{2-}$ 。在海水中, 氯化物含量约占 89%。

海水必须经过淡化处理才能应用, 未经处理的海水主要限于用来冷却热交换设备。位于海滨的热力发电厂, 主要用海水作为凝汽器的冷却水, 但要注意海生动植物对取水口和输水管道的堵塞问题, 同时还要充分注意对水泵、凝汽器材质的选用及其他金属设备和器材的腐蚀问题。

4. 地下水

地下水主要是指井水、泉水和自流水等。由于在循环过程中, 通过土层和岩层时得到了过滤, 地下水经常是透明的, 悬浮物极少, 但因溶解了可溶性矿物质而使水的含盐量较高。地下水含盐量的多少, 取决于其流经地层的矿物成分、接触的时间和水流路程的长短等。由于各地水文地质条件不同, 地下水的水质变化很大。一般含盐量在 100~500mg/L 之间, 有些地区可能更高; 硬度通常在 2~10mmol/L ($1/2\text{Me}^{2+}$) 之间, 但也有小至仅 0.1mmol/L ($1/2\text{Me}^{2+}$) 和高至 25mmol/L ($1/2\text{Me}^{2+}$) 以上的; 氯离子含量, 低的可小于 50mg/L, 高的可达 700~800mg/L。

表 1-1 某些天然水的成分

项目 (mg/L)	地面水		地下水	
	黄浦江	松花江	北京某深井水	宁夏同心县
Ca^{2+}	27.7	12.0	68.3	217.5
Mg^{2+}	9.0	3.8	24.3	170.9
$\text{Na}^+ + \text{K}^+$	28.7	6.8	33.8	—
HCO_3^-	70.0	64.4	251.3	260.6
SO_4^{2-}	27.0	5.9	62.6	2174.8
Cl^-	44.0	1.0	35.5	93.4
含盐量	216.0	93.9	475.9	4944.0

地下水的水质, 一般终年很稳定, 很少受季节或外界条件的影响。但河床附近的浅井水, 其水质也会像地面水一样随季节和外界条件的变化而有较大的变化。

作为锅炉用水的水源, 我国南方地区常用地面水, 而北方地区常用地下水。在选用锅炉用水的水源时, 不但要从满足水量需要方面考虑, 而且要摸清水源水质及其受季节和外界条件

影响的变化情况, 特别应了解清楚水源被周围工业废水排放造成人为污染的特点。

第二节 天然水中的杂质及来源

水是一种溶解能力很强的溶剂, 能溶解大气中、地表面和地下土壤岩层里的许多物质,

另外水的流动使得不溶于水的物质混杂在水中，这些物质称为杂质。

天然水的杂质是多种多样的，但在一般情况下，它们都是由一些常见元素组成的酸、碱、盐之类的化合物，只有少量呈单质或其他复杂化合物的形态。

由于水处理方法与杂质颗粒的大小有关，在水处理工艺中，我们通常按这些杂质颗粒的大小，将其分成三类：悬浮物、胶体和溶解物质。

一、悬浮物

1. 悬浮杂质的成分

悬浮物是颗粒粒径在 $0.1\mu\text{m}$ 以上的微粒。这类杂质在水中是不稳定的，很容易除去。水出现浑浊现象，都是由此类物质造成的。

之所以称为悬浮物，因为它们常常悬浮在水流中，而在实际上当水静置时，有些较轻的物质会上浮于水面，称为漂浮物；较重的则下沉，称为可沉物。可沉物主要是砂子和黏土类无机化合物；漂浮物主要是动植物生存过程中产生的物质或死亡后的腐败产物，是一些有机化合物。

2. 悬浮杂质的来源

天然水中的悬浮物，主要来源于以下三方面：

- (1) 水流对地表、河床的冲刷。
- (2) 各种废水、废弃物侵入水体。
- (3) 水生动植物及其死亡残骸的肢解。

3. 悬浮杂质的危害

含有悬浮杂质的给水，进入锅炉内受热后很快下沉，尤其在水流缓慢的锅筒和炉管的转弯处，悬浮杂质最容易沉积。沉积的悬浮物不仅影响锅炉的传热和炉水循环，严重时可堵塞炉管，而造成被迫停炉。

悬浮杂质虽然在静置时可自行分离而去除，但需要一定的静置时间，这在工业用水中是很难做到的。所以，通常需向含有悬浮物的水中投加促进凝聚的药剂，以加快沉降速度。

二、胶体物

1. 胶体杂质的性质

胶体是颗粒粒径在 $1\sim 100\text{nm}$ 之间的微粒，是许多分子或离子的集合体。它具有较小的粒径和较大的比表面积，胶体颗粒的表面通常带有电荷，多数带负电。

胶体颗粒在水中能长期保持分散状态，即使经长期静止也不会自然沉降。

2. 胶体杂质的成分

天然水中的胶体成分比较复杂，主要是由铁、铝和硅的氧化物形成的无机矿物胶体；其次是水生动植物肢体腐烂和分解而形成的有机胶体，它是使水体产生色、臭、味的主要原因之一。另外，溶解的某些高分子物质（如腐殖质）和生长的微生物（如病毒和细菌），按其性质或肢体尺寸划分，一般也属于胶体范围。

3. 胶体杂质的危害

胶体杂质进入锅炉内时，同悬浮杂质一样，能很快形成沉积物，并在受热面上结成水垢或泥渣粘附物。另外，有机胶体会引起锅炉水发泡。当浓缩到一定程度时，就会产生汽水共腾。

去除水中的胶体杂质，必须使用混凝、沉淀和过滤处理方法。

三、溶解物质

溶解物质是指直径等于或小于 1nm 的微粒，它们往往是以离子或分子状态存在于水中形成真溶液，现概述如下。

1. 呈离子状态的杂质

天然水中的各种常见离子见表 1-2。

表 1-2 天然水中溶有离子的概况

类别	阳离子		阴离子		浓度的数量级 (mg/L)
	名称	符号	名称	符号	
1	钠离子	Na ⁺	碳酸氢根 氯离子 硫酸根	HCO ₃ ⁻ Cl ⁻ SO ₄ ²⁻	自几个至几个
	钾离子	K ⁺			
	钙离子	Ca ²⁺			
	镁离子	Mg ²⁺			
2	铵离子	NH ₄ ⁺	氟离子 硝酸根 碳酸根	F ⁻ NO ₃ ⁻ CO ₃ ²⁻	自十分之几个至几个
	铁离子	Fe ²⁺ Fe ³⁺			
	锰离子	Mn ²⁺			
3	铜离子	Cu ²⁺	硫氢酸根 硼酸根 亚硝酸根 溴离子 碘离子 磷酸氢根	HS ⁻ BO ₂ ⁻ NO ₂ ⁻ Br ⁻ I ⁻ HPO ₄ ²⁻	<1/10
	锌离子	Zn ²⁺			
	镍离子	Ni ²⁺			
	钴离子	Co ²⁺			
	铝离子	Al ³⁺			

以下对几种主要的离子作介绍。

(1) 钙离子 (Ca²⁺)。在含盐量少的水中，钙离子含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 (CaCO₃) 和石膏 (CaSO₄ · 2H₂O) 的溶解。CaCO₃ 在水中的溶解度虽然很小，但当水中含有二氧化碳 (CO₂) 时，CaCO₃ 就较易溶解。这是因为它们相互反应而生成溶解度粒大的碳酸氢钙 [Ca (HCO₃)₂] 的缘故，其反应如下式：



(2) 镁离子 (Mg²⁺)。Mg²⁺ 的来源大都由白云石 (MgCO₃ · CaCO₃) 受含 CO₂ 水的溶解而致。白云石在水中的溶解和石灰石相似，白云石中碳酸镁 (MgCO₃) 的溶解反应如下式：



在含盐量少的水中，Mg²⁺ 浓度一般为 Ca²⁺ 的 25% ~ 50%；在含盐量大的（大于 1000mg/L）水中，有的 Mg²⁺ 浓度和 Ca²⁺ 浓度大致相等，有的超过。

(3) 钠离子 (Na⁺)。钠主要存在于火成岩的风化产物和蒸发岩中，钠几乎占地壳矿物组分的 25%，其中以钠长石中的含量最高。这些矿物在风化过程中易于分解释放出 Na⁺，所以在与火成岩相接触的地表水和地下水中普遍含有 Na⁺。在干旱地区岩盐是天然水中 Na⁺ 的重要来源，被岩盐饱和的水中 Na⁺ 的含量可达 150g/L。

因为大部分钠盐的溶解度很高，所以在自然环境中一般不存在 Na⁺ 的沉淀反应，也就不存在使水中 Na⁺ 含量降低的情况。Na⁺ 在水中的含量在不同条件下相差非常悬殊，在咸水中 Na⁺ 含量可高达 100000mg/L 以上，在大多数河水中每升只有几毫克至几十毫克，在赤道带的河水中可低至 1.0mg/L 左右。所以，在高含盐量的水中阳离子主要是钠离子 (Na⁺)。

(4) 碳酸氢根 (HCO₃⁻)。水中的 HCO₃⁻，主要是由于水中溶解的 CO₂ 和碳酸盐反应后产生的。反应式参见式 (1-1) 和式 (1-2)。HCO₃⁻ 通常是天然水中最主要的阴离子。

(5) 氯离子 (Cl⁻)。天然水都含有 Cl⁻，这是因水流经地层时，溶解了其中的氯化物。

常见氯化物的溶解度都很大，可随着地下水和河流带人海洋逐渐积累起来，造成海水中含有大量的氯化物。

(6) 硫酸根 (SO_4^{2-})。天然水中都含有 SO_4^{2-} ，一般地下水中 SO_4^{2-} 的含量比江、河、湖水中的大。地层中的石膏 ($\text{CaSO}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$) 是 SO_4^{2-} 的重要来源。

2. 溶解气体

天然水中常见的溶解气体有氧 (O_2) 和二氧化碳 (CO_2)，有时还有硫化氢 (H_2S)、二氧化硫 (SO_2) 和氨 (NH_3) 等。

(1) 氧 (O_2)。天然水中氧 (O_2) 的主要来源是水溶解大气中的 O_2 。大气中的 O_2 在水中的溶解度见表 1-3。因为水中的溶解氧对金属有腐蚀作用，所以，火力发电厂用水中含有溶解氧通常是不利的。

地下水中的含氧量一般较小。各种地面水中溶解氧的含量相差很大，这是因为各地的水温和气压

不同；另外，水中有机物要和氧作用，所以也会改变溶解氧的含量。天然水中氧的含量，一般在 0~14mg/L 之间。

表 1-4 在不同温度下，当 CO_2 、 O_2 、和 H_2S 分压力为 0.101MPa 时，它们在水中的溶解度 (mg/L)

温度 (°C)	CO_2	O_2	H_2S
0	3350	69.5	7070
5	2770	60.7	6000
10	2310	53.7	5110
15	1970	48.0	4410
20	1690	43.4	3850
25	1450	39.3	3380
30	1260	35.9	2980
40	970	30.8	2360
50	760	26.6	1780
60	580	22.8	1480
80	-	13.8	765
100	-	0	0

上表为当 CO_2 的分压力为 0.101MPa 时，它在水中的溶解度；如果 CO_2 的分压力不是 0.101MPa，就应加以换算。例如，在 10°C 和大气中有 0.03% 的 CO_2 (体积百分率) 时， CO_2 在水中的溶解度为：

$$2310 \times (0.03 / 100) = 0.7 \text{ (mg/L)}$$

表 1-3 在 1 大气压下水与空气接触时氧在水中的溶解度 (mg/L)

温度 (°C)	O_2	温度 (°C)	O_2	温度 (°C)	O_2
0	14.6	11	11.0	30	7.5
1	14.2	12	10.8	35	7.0
2	13.8	13	10.5	40	6.5
3	13.4	14	10.3	45	6.0
4	13.1	15	10.1	50	5.6
5	12.8	16	9.9	60	4.8
6	12.4	17	9.7	70	3.9
7	12.1	18	9.5	80	2.9
8	11.8	19	9.3	90	1.6
9	11.6	20	9.1	100	0
10	11.3	25	8.3		

(2) 二氧化碳 (CO_2)。天然水中的 CO_2 ，主要是水中或泥土中有有机物的分解和氧化的产物，也有的是地层深处所进行的地质化学过程生成的。至于大气中的 CO_2 ，因为含量只有 0.03%~0.04% (体积百分率)，而气体在水中的溶解度是和水面上该气体的分压力 (某气体的分压力是指在混合气体总压力中，该气体所产生的那一部分压力) 成正比的 (称为亨利定律)，相应的 CO_2 溶解度仅为 0.5~1.0mg/L，所以自大气中溶入的 CO_2 并非天然水中含有多量 CO_2 的来源。