



超超临界火电机组培训系列教材

# 电厂化学分册

主 编 吴春华

参 编 龚云峰 赵晓丹 王 啸

诸红玉 徐刚华



中国电力出版社  
CHINA ELECTRIC POWER PRESS

超超临界火电机组培训系列教材

# 电厂化学分册

主 编 吴春华  
参 编 龚云峰 赵晓丹 王 啸  
诸红玉 徐刚华



中国电力出版社  
CHINA ELECTRIC POWER PRESS

## 内容提要

本书是《超超临界火电机组培训系列教材》的《电厂化学分册》。全书共二十三章,详细介绍了水的混凝、澄清和过滤处理,超滤和反渗透预除盐处理,离子交换深度除盐处理,凝结水精处理,循环冷却水处理,热力设备腐蚀与防止,锅内水化学工况及水汽品质控制,化学清洗,废水处理,制氢系统,电力用油,锅炉补给水处理和凝结水精处理的程序控制等。

本书适合从事 1000MW 超超临界火力发电机组设计、安装、调试、运行、检修及其管理工作的工程技术人员阅读,可作为电厂生产人员的培训教材,亦可供有关专业人员和高等学校相关专业师生参考。

## 图书在版编目(CIP)数据

超超临界火电机组培训系列教材. 电厂化学分册/  
吴春华主编. —北京:中国电力出版社, 2012. 11  
ISBN 978-7-5123-3218-8

I. ①超… II. ①吴… III. ①火力发电-发电机组-  
技术培训-教材 ②火电厂-电厂化学-技术培训-教材  
IV. ①TM621

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2012)第 137429 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>)

汇鑫印务有限公司印刷

各地新华书店经售

\*

2013 年 1 月第一版 2013 年 1 月北京第一次印刷  
787 毫米×1092 毫米 16 开本 22.5 印张 535 千字  
印数 0001—3000 册 定价 64.00 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

# 《超超临界火电机组培训系列教材》

## 编 委 会

主 任 姚秀平  
副主任 倪 鹏 刘长生  
委 员 杨俊保 任建兴 符 杨 郑蒲燕 高 亮 肖 勇 章德龙  
丁家峰 钱 虹 吴春华 徐宏建 张友斌 李建河 潘先伟  
张为义 符义卫 黄 华 陈忠明 洪 军 孙志林

### 《锅炉分册》编写人员

主 编 章德龙  
副主编 王云刚 缪加庆

### 《汽轮机分册》编写人员

主 编 丁家峰  
副主编 陆建峰 王亚军 戴 欣

### 《电气分册》编写人员

高 亮 江玉蓉 陈季权 胡 荣 杨军保 洪建华 编 著

### 《热控分册》编写人员

主 编 钱 虹  
副主编 黄 伟 刘训策 汪 容

### 《电厂化学分册》编写人员

主 编 吴春华  
副主编 龚云峰 赵晓丹 王 啸 诸红玉 徐刚华

### 《燃料与环保分册》编写人员

主 编 徐宏建  
副主编 辛志玲 谈 仪 李中存 许 斌

# 前言

进入 21 世纪,我国经济飞速发展,电力需求急速增长,电力工业进入了快速发展的新时期。截至 2011 年底,全国发电装机容量达 10.56 亿 kW,首次超过美国(10.3 亿 kW),成为世界电力装机第一大国。其中,火电 7.65 亿 kW。目前,全国范围内已投产的单机容量 1000MW 超超临界火电机组共有 47 台,投运、在建、拟建的百万千瓦超超临界机组数量居全球之首。华能玉环电厂、华电邹县电厂、外高桥第三发电厂、国电泰州电厂等一大批百万千瓦级超超临界机组的相继投产,标志着我国已经成功掌握世界先进的火力发电技术,电力工业已经开始进入“超超临界”时代。根据电力需求和发展的需要,未来几年,我国还将有大量大容量、高参数的超超临界机组相继投入生产运行。因此,编写一套专门用于 1000MW 超超临界机组的培训教材有着现实需求的积极意义。

上海电力学院作为一所建校六十余年的电力院校,一直以来依托自身电力特色,利用学校的行业优势,发挥高校服务社会的功能,依托丰富的电力专业师资资源,大力开展针对发电企业生产人员的各类型、各层次、各工种的技术培训。从 20 世纪 70 年代至今,学校已先后为全国近百家电厂,从 125MW 到 600MW 的超临界机组,以及我国第一台 1000MW 超超临界火力发电机组——华能玉环电厂等培养了大批技术人才,成为最早开始培训同时接受培训厂家最多、机组类型最丰富的院校之一。2012 年 11 月,学校以 1000MW 火电机组培训代表的面向发电企业技术项目正式被上海市评为 2006~2012 年市级培训品牌项目。

本套丛书包括《锅炉分册》、《汽轮机分册》、《电气分册》、《热控分册》、《电厂化学分册》与《燃料与环保分册》6 个分册,是学校基于多年以来的培训经历累积而成,并融合多家在学校培训的厂家资料,由上海电力学院和皖能铜陵发电有限公司合作完成的。

丛书在编写过程中,力求反映我国超超临界 1000MW 等级机组的发展状况和最新技术,重点突出 1000MW 超超临界火电机组的工作原理、设备系统、运行特点和事故分析,包含国内主要四大发电设备制造企业——上



海电气、哈尔滨电气、东方电气、北京巴威的技术资料，以及大量国内外最新的百万机组资料，并经过华能玉环电厂、国电泰州电厂、皖能铜陵电厂、国华绥中电厂、华润广西贺州电厂、国华徐州电厂、国电谏壁电厂、浙能台州电厂、江苏新海电厂、浙能嘉兴电厂、浙能舟山六横电厂、华电句容电厂、华能南通电厂等十几家百万千瓦发电机组企业培训使用，最终逐步修改、完善而成。本套丛书注重理论联系实际，紧密围绕设备型号进行讲解，是超超临界火电机组上岗、在岗、转岗、技能鉴定、继续教育通用培训的优秀教材。

本套丛书由上海电力学院副院长姚秀平教授担任编委会主任，现皖能集团总工程师倪鹏（原皖能铜陵发电有限公司总经理）、皖能铜陵发电有限公司总经理刘长生担任编委会副主任，上海电力学院华东电力继续教育中心和皖能铜陵发电有限公司负责组织校内 18 位长期从事培训工作的教师和 10 位专工联合编写，历时近 3 年，历经多次修改而成。

本套丛书在编写过程中，中国上海电气集团公司、华东电力设计院、国华宁海发电有限公司、国电北仑发电有限公司、中电投上海漕泾发电有限公司、外高桥第三发电有限公司、浙能嘉兴发电有限公司、国电泰州发电有限公司、浙能舟山六横煤电有限公司等提供了大量的技术资料并给予了大力的支持和热情帮助；上海电力学院成教院杨俊保副院长、培训科肖勇科长、司磊磊老师以及多位研究生为本丛书的出版做出了大量细致工作，在此表示诚挚的感谢。

本册为《电厂化学分册》，全书共二十三章，其中第一～四章、第十三章由龚云峰编写，第五～八章由赵晓丹编写，第九～十二章、第十四章由吴春华编写，第十五～二十章由诸红玉编写，其他章节由王啸编写，现场技术资料由徐刚华提供，全书由吴春华负责统稿。本分册由丁桓如担任主审。

由于知识和经验有限，书中难免有不妥之处，恳请广大读者提出宝贵意见，以利不断完善。

**编者**

2012 年 11 月

# 目 录

## 前言

<b>第一章 绪论</b> .....	1
第一节 火力发电厂生产用水.....	1
第二节 火力发电厂汽水品质不良的危害.....	2
<b>第二章 水质概述</b> .....	5
第一节 天然水中杂质.....	5
第二节 水质指标.....	7
第三节 天然水中几种无机化合物 .....	12
第四节 天然水中有机化合物 .....	14
<b>第三章 水的混凝澄清处理</b> .....	18
第一节 胶体颗粒的基本性质 .....	18
第二节 水的混凝处理 .....	21
第三节 常用混凝剂和絮凝剂 .....	25
第四节 水中悬浮颗粒的沉降 .....	27
第五节 沉淀池 .....	28
第六节 澄清池 .....	35
第七节 气浮工艺 .....	39
<b>第四章 水的过滤处理</b> .....	43
第一节 粒状介质过滤 .....	43
第二节 粒状介质过滤设备 .....	49
第三节 其他过滤工艺 .....	53
第四节 水的吸附处理 .....	56
<b>第五章 膜处理技术</b> .....	62
第一节 超滤 .....	64
第二节 反渗透 .....	68
第三节 电渗析和电除盐 .....	79
<b>第六章 水的离子交换处理</b> .....	83
第一节 离子交换树脂的基本知识 .....	83
第二节 离子交换树脂性能 .....	86

第三节	离子交换树脂的应用常识 .....	90
第四节	一级除盐系统离子交换原理 .....	93
第五节	离子交换装置及运行操作 .....	112
第六节	混合离子交换器 .....	115
第七节	再生系统 .....	119
<b>第七章</b>	<b>凝结水处理 .....</b>	<b>121</b>
第一节	凝结水的污染 .....	121
第二节	凝结水的过滤 .....	122
第三节	凝结水的除盐 .....	125
第四节	树脂的再生 .....	127
<b>第八章</b>	<b>循环冷却水处理 .....</b>	<b>136</b>
第一节	冷却水系统和设备 .....	136
第二节	循环冷却水系统的防垢处理 .....	139
第三节	循环冷却水系统中污泥、微生物和腐蚀的控制 .....	142
第四节	循环冷却水系统运行及管理 .....	147
<b>第九章</b>	<b>超超临界机组热力设备的腐蚀和防止 .....</b>	<b>150</b>
第一节	金属腐蚀的基本概念和原理 .....	150
第二节	热力设备的氧腐蚀及防止 .....	152
第三节	热力设备的停用腐蚀与停用保护 .....	158
第四节	热力设备的酸性腐蚀及防止 .....	163
<b>第十章</b>	<b>超超临界机组的水化学工况 .....</b>	<b>169</b>
第一节	超超临界机组水化学工况概述 .....	169
第二节	超超临界机组水化学工况及运行控制 .....	171
<b>第十一章</b>	<b>超超临界机组水汽品质控制 .....</b>	<b>183</b>
第一节	超超临界条件下蒸汽的特性 .....	183
第二节	超超临界机组水汽控制质量标准 .....	184
第三节	超超临界机组水汽集中取样分析装置 .....	186
<b>第十二章</b>	<b>热力设备的化学清洗 .....</b>	<b>190</b>
第一节	锅炉化学清洗的必要性 .....	190
第二节	常用的清洗剂和添加剂 .....	191
第三节	化学清洗的工艺过程 .....	195
第四节	化学清洗系统 .....	196
第五节	化学清洗步骤 .....	197
第六节	化学清洗中的化学监督 .....	199
第七节	化学清洗的效果检查和废液处理 .....	200



<b>第十三章 火力发电厂废水处理</b> .....	203
第一节 火力发电厂废水概述 .....	203
第二节 废水生物处理 .....	205
第三节 污泥处理 .....	209
第四节 电厂废水处理系统 .....	212
<b>第十四章 制氢系统</b> .....	217
第一节 发电机的冷却方式 .....	217
第二节 氢气的基本特性 .....	218
第三节 制氢装置及系统 .....	219
第四节 制氢系统的有关技术指标 .....	219
第五节 氢冷发电机的气体置换、充氢与泄漏检测 .....	220
<b>第十五章 电力用油的基础知识</b> .....	223
第一节 石油的化学组成 .....	223
第二节 石油的炼制工艺简介 .....	225
第三节 油品及产品的分类 .....	226
第四节 电力用油的质量标准和试验方法 .....	226
<b>第十六章 油品的性质</b> .....	232
第一节 油品的理化性能 .....	232
第二节 绝缘油的电气性能 .....	238
<b>第十七章 油品的氧化及废油的处理</b> .....	240
第一节 油品氧化的机理 .....	240
第二节 影响油品氧化的因素 .....	242
第三节 抗氧化添加剂 .....	245
第四节 油品的抗氧化安定性 .....	246
第五节 废油再生处理的方法 .....	247
第六节 几种废油再生处理常用的方法简介 .....	248
<b>第十八章 电力用油的运行、监督和维护</b> .....	250
第一节 变压器油的维护及防劣措施 .....	250
第二节 运行变压器油的质量标准和试验方法 .....	252
第三节 运行汽轮机油的维护及防劣措施 .....	257
第四节 运行汽轮机油的质量标准和试验方法 .....	259
第五节 变压器油的气体监督和潜伏性故障的检测 .....	262
<b>第十九章 六氟化硫 (SF<sub>6</sub>) 绝缘气体简介</b> .....	269
第一节 六氟化硫绝缘气体的基本性质 .....	269
第二节 六氟化硫绝缘气体电弧分解产物及其处理 .....	270

第三节	六氟化硫绝缘气体的监督与管理	271
<b>第二十章</b>	<b>磷酸酯抗燃油简介</b>	<b>275</b>
第一节	磷酸酯抗燃油的性能	275
第二节	磷酸酯抗燃油的监督与管理	276
<b>第二十一章</b>	<b>补给水和凝结水程序控制的基本知识</b>	<b>281</b>
第一节	程序控制的基本知识	281
第二节	程序控制在电厂化学水处理中的应用	285
第三节	程序控制系统设计及机型选择	286
第四节	上位机组态软件	289
<b>第二十二章</b>	<b>补给水处理系统的程序控制</b>	<b>297</b>
第一节	补给水处理系统总体概述	297
第二节	过滤器的自动控制	298
第三节	逆流再生阳床工艺过程自动控制	298
第四节	逆流再生阴床工艺过程自动控制	300
第五节	混床工艺过程自动控制	301
第六节	除盐系统的自动控制	304
第七节	现场就地仪表及信号	307
第八节	现场执行器	309
第九节	PLC 硬件配置	312
第十节	上位机配置	314
第十一节	补给水处理系统控制操作及注意事项	315
<b>第二十三章</b>	<b>凝结水精处理程序控制</b>	<b>330</b>
第一节	凝结水精处理系统总体概述	331
第二节	前置过滤器的自动控制	334
第三节	高速混床的自动控制	336
<b>参考文献</b>		<b>348</b>

# 第一章

## 绪 论

由于水的传热性能好、热容量高，因此被认为是火力发电厂的理想工质。在火力发电厂生产过程中，燃料在锅炉中燃烧，把燃料中的化学能转变成热能传递给锅炉水冷壁中的水，吸收热能后的水变成具有一定温度的蒸汽，然后流经过热器进一步升温后进入汽轮机，推动汽轮机旋转。旋转的汽轮机带动发电机将机械能转变为电能。汽轮机做功后的乏汽排入凝汽器中，被冷却水冷却成凝结水，高参数机组凝结水经处理后再次送回锅炉循环利用。因此，水在火力发电厂中起着能量传递、水变成高温蒸汽后推动汽轮机旋转做功和冷却等作用。

### 第一节 火力发电厂生产用水

#### 一、火力发电厂中汽水流程

当压力等于或超过临界压力时，汽水的密度差消失，无法进行汽水分离，所以，超临界参数锅炉只能采用直流锅炉。典型的超临界直流锅炉机组汽水流程如图 1-1 所示。

#### 二、各种汽水损失

在上述汽水循环系统中，汽水虽然是循环流动的，但是总不免有些损失。造成这些汽水损失的主要原因有以下几部分：

##### 1. 锅炉部分

锅炉的排污放水、安全门和过热器放汽门的向外排汽、用蒸汽推动的附属机械、蒸汽吹灰和燃烧液体燃料时采用蒸汽雾化等。

##### 2. 汽轮机组

汽轮机的轴封排汽、抽汽器和除氧器排气口的排汽。

##### 3. 各种水箱

各种水箱（如疏水箱等）有溢流和热水的蒸发等。

##### 4. 管道系统

各管道系统法兰盘连接不严密、阀门泄漏等。

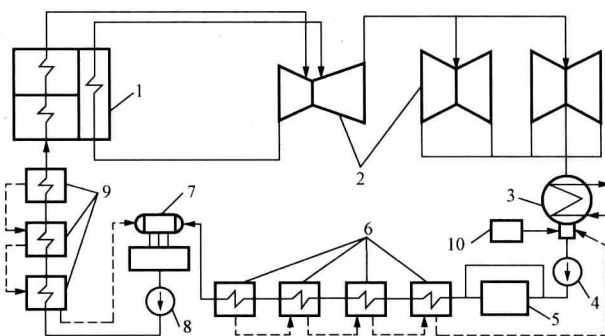


图 1-1 超临界直流锅炉机组水汽循环流程

1—锅炉；2—汽轮机；3—凝汽器；4—凝结水泵；5—凝结水精处理系统；6—低压加热器；7—除氧器；8—给水泵；9—高压加热器；10—补给水处理系统

凝汽式电厂汽水损失量一般小于锅炉蒸发量的2%~4%。为了维持热力系统的正常汽水循环流动,就要补充这些损失,这部分水称为补给水。

### 三、火力发电厂生产用水分类

#### 1. 生水

又称原水,是指未经处理的天然水,如江河水、湖水、地下水等。在火力发电厂中生水既可作为制取锅炉补给水的水源,又可作为冷却水或消防水使用。

#### 2. 锅炉补给水

生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。锅炉补给水按其净化处理方法的不同,又可分为软化水、蒸馏水和除盐水等。

#### 3. (汽轮机)凝结水

在(汽轮机)中做功后的蒸汽经过冷凝成的水。

#### 4. 疏水

火力发电厂内部各种蒸汽管道和用汽设备中的蒸汽凝结成的水称为疏水,它经疏水器汇集到疏水箱。在火力发电厂中高压疏水一般回收至除氧器,低压疏水回收至凝汽器。

#### 5. 返回凝结水

返回凝结水指向热用户供热后,回收的蒸汽凝结水。其中又有热网加热器凝结水和生产蒸汽凝结水之分。

#### 6. 给水

送往锅炉的水称为给水。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。热电厂还包括返回凝结水。

#### 7. 锅炉水

在锅炉本体的蒸发系统内流动着的水称为锅炉水,简称炉水。

#### 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。

## 第二节 火力发电厂汽水品质不良的危害

热力系统中汽水的品质是影响热力设备(锅炉、汽轮机等)安全、经济运行的重要因素之一。没有净化处理的天然水含有许多杂质,这种水如进入汽水循环系统,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净化处理和严格的汽水质量监督。

热力系统中由于汽水品质不良引起的危害主要有以下几种:

### 一、热力设备的结垢

如果进入锅炉或热交换器的水质不良,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,如图1-2所示。因为水垢的导热性能比金属差数百倍,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)的危害很大。它可使结垢部位的金属管壁过热,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，甚至引起爆管事故，如图 1-3 所示。结垢不仅危害到安全运行，还会大大降低运行经济性。

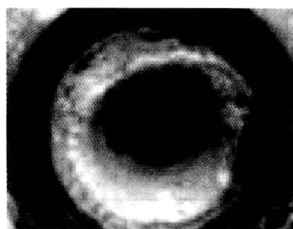


图 1-2 锅炉管道结垢



图 1-3 管道局部过热而引起的破裂

## 二、热力设备的腐蚀

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，如图 1-4 所示。腐蚀不仅会缩短设备本身的使用寿命、造成经济损失，同时还因为金属的腐蚀产物进入水中，使给水杂质增多，进一步加剧在高热负荷受热面上的结垢过程，结成的垢又会促进锅炉炉管的垢下腐蚀。此种恶性循环会迅速导致爆管事故。

## 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，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，这种现象称积盐，如图 1-5 所示。积盐会引起过热器金属管壁过热甚至爆管；降低汽轮机出力和效率，严重时，还会使推力轴承负荷增大，隔板弯曲，造成事故停机。



图 1-4 金属材料腐蚀

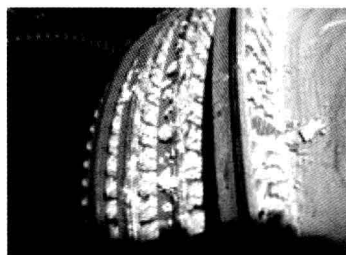


图 1-5 汽轮机积盐

随机组参数的不断提高，其对汽水品质的要求也越高。表 1-1 给出了超临界火力发电机组给水、蒸汽和凝结水的质量标准（DL/T 912—2005《超临界火力发电机组水汽质量标准》）。

表 1-1 超临界火力发电机组给水、蒸汽和凝结水的质量标准

项目	氢电导率 (25℃, $\mu\text{S}/\text{cm}$ )		$\text{SiO}_2$ ( $\mu\text{g}/\text{L}$ )	Fe ( $\mu\text{g}/\text{L}$ )	Cu ( $\mu\text{g}/\text{L}$ )	$\text{Na}^+$ ( $\mu\text{g}/\text{L}$ )	$\text{Cl}^-$ ( $\mu\text{g}/\text{L}$ )	TOC ( $\mu\text{g}/\text{L}$ )
	给水	挥发处理	$<0.20 (<0.15)$	$\leq 15$	$\leq 10$	$\leq 3$	$\leq 5$	$\leq 5$
加氧处理		$<0.15 (<0.10)$	$(\leq 10)$	$(\leq 5)$	$(\leq 1)$	$(\leq 2)$	$(\leq 2)$	



续表

项目	氢电导率 (25 C, $\mu\text{S}/\text{cm}$ )	$\text{SiO}_2$ ( $\mu\text{g}/\text{L}$ )	Fe ( $\mu\text{g}/\text{L}$ )	Cu ( $\mu\text{g}/\text{L}$ )	$\text{Na}^+$ ( $\mu\text{g}/\text{L}$ )	$\text{Cl}^-$ ( $\mu\text{g}/\text{L}$ )	TOC ( $\mu\text{g}/\text{L}$ )
蒸汽	$<0.20$ ( $<0.15$ )	$\leq 15$ ( $\leq 10$ )	$\leq 10$ ( $\leq 5$ )	$\leq 3$ ( $\leq 1$ )	$\leq 5$ ( $\leq 2$ )	—	—
凝结水	挥发处理	$<0.15$ ( $<0.10$ )	$\leq 10$	$\leq 5$	$\leq 2$	$\leq 3$	—
	加氧处理	$<0.12$ ( $<0.10$ )	( $\leq 5$ )	( $\leq 3$ )	( $\leq 1$ )	( $\leq 1$ )	

注 1. 括号内的数为期望值。

2. 凝结水水质指经混床处理后。

火力发电厂的水处理工作就是为了保证热力系统各部分有良好的汽水品质，以防热力设备的结垢、腐蚀和积盐。对机组安全、经济运行具有十分重要的意义。

超临界机组的化学工作主要有以下内容：

(1) 净化生水，制备热力系统所需质量的补给水。它包括去除天然水中的悬浮物和胶体杂质的澄清、过滤等预处理；除去水中全部溶解盐类的除盐处理。补给水的处理通常称为锅炉外水处理。

(2) 对给水进行除氧、加药等处理。

(3) 对汽轮机凝结水进行净化处理。

(4) 对冷却水进行防垢、防腐和防止有机附着物等处理。

(5) 对热力系统设备各部分的汽水质量进行监督。

(6) 热力设备化学清洗以及汽轮机、锅炉停运期间的保养工作。

## 第二章

# 水质概述

### 第一节 天然水中杂质

自然界的水一直处于不停的运动中，并保持循环状态。水的循环可以分为自然循环和社会循环两种。水在循环运动过程中，接触大气、尘埃、土壤、岩石、矿物以及各种污染物，还会滋生微生物及各种水生生物，这样给水中带入很多杂质。对于天然水中杂质，可以按其颗粒大小进行分类，分为悬浮物、胶体和溶解物质三类，溶解物质又可以分为溶解气体、溶解的无机离子、溶解的有机物质三种。

#### 一、悬浮物

悬浮物通常指水中大于 $100\text{nm}$  ( $0.1\mu\text{m}$ ) 以上的颗粒，它属于肉眼可见或者光学显微镜下的可见物。这一类物质包括泥砂、黏土、藻类、细菌及动植物的肢体，例如水中细菌大小在 $0.1\mu\text{m}$ 至几十微米之间，泥砂颗粒一般大于 $100\mu\text{m}$ ，而藻类、动植物肢体则有更大的尺寸。

#### 二、胶体

胶体是指水中尺寸约为 $1\sim 100\text{nm}$ 的颗粒。由于颗粒较小，沉降速度很慢，依重力很难达到沉降的目的，再加上胶体颗粒带有电荷以及布朗运动的影响，使水中胶体颗粒非常稳定，不能用自然沉降方法去除。

水中胶体按成分可以分为无机胶体、有机胶体和混合胶体三种，无机胶体多为硅、铝、铁的化合物、复合物及其聚合体，比如各种黏土胶体就是典型的无机胶体；有机胶体多为大分子的有机物，天然水中经常见到腐殖质、蛋白质类的有机胶体；混合胶体多为无机胶体上吸附了大分子有机物构成。

#### 三、溶解物质

##### 1. 溶解气体

地表水由于和空气接触，空气会溶入水中。所以水中存在溶解的氧气即溶解氧， $\text{CO}_2$ 也会溶解在水中。另外，由于地壳运动，水生生物作用等原因，放出的 $\text{CO}_2$ 也会增加水中 $\text{CO}_2$ 含量。排入地表水的各种废水，还会给地表水带入氨、硫化氢等气体。

地下水由于和空气隔绝，水中溶解氧很少。但由于地下水长期在地层中，地壳活动产生的 $\text{CO}_2$ 会大量溶解在地下水中，地下水的 $\text{CO}_2$ 含量通常很高。

水与空气接触，在大气压力下，水中最大的溶解氧量为 $14.5\text{mg/L}$  ( $0^\circ\text{C}$ 时)，也即是此条件下的饱和溶解量。实际天然水中的溶解氧量达不到上述饱和量，一般仅为 $5\sim 10\text{mg/L}$ ，

水中溶解氧主要来自大气，水中溶解氧另一个来源是水生物的光合作用，它能将  $\text{CO}_2$  转变为有机质而放出氧。

一般地表水中  $\text{CO}_2$  含量约几至几十毫克每升，地下水中  $\text{CO}_2$  含量达几十至几百毫克每升，远远大于与空气相平衡时由空气溶入的  $\text{CO}_2$ ，这主要是因为水生生物活动及地壳变化带入造成的。比如水生生物吸收氧气，氧化体内有机质后，产生  $\text{CO}_2$  排出体外，进入水中。

天然水中氨主要来自工业和生活废水中的污染物。当废水中含氮有机物（如蛋白质、尿素等）进入天然水体后，会在微生物作用下进行生物氧化，将有机质氧化为  $\text{CO}_2$ 、水和氨（ $\text{NH}_3$  及  $\text{NH}_4^+$ ），氨就是通常所称的氨氮，氨氮再进一步氧化可以氧化为  $\text{NO}_2^-$  或  $\text{NO}_3^-$ ，它称为硝酸氮。

从水中总氮、有机氮、氨氮、硝酸氮的多少和相对含量比例，可以判断水的污染程度及水污染时间的长短。

天然水中总氮的含量一般在 0 至几毫克每升。

地下水中有时含有硫化氢，当达 0.5~1mg/L 时，就可感觉到明显的臭鸡蛋味，它多数在特殊地质环境中生成。地下水中  $\text{H}_2\text{S}$  含量一般在 0 至几毫克每升。地表水中很少有硫化氢存在，偶尔出现硫化氢多是因为工业废水和生活废水排放的含硫化合物在缺氧条件下进行厌氧分解被还原而产生硫化氢。

## 2. 溶解的无机离子

天然水中溶解的无机离子主要有：阳离子  $\text{K}^+$ 、 $\text{Na}^+$ 、 $\text{Ca}^{2+}$ 、 $\text{Mg}^{2+}$  等，阴离子  $\text{HCO}_3^-$ （ $\text{CO}_3^{2-}$ ）、 $\text{SO}_4^{2-}$ 、 $\text{Cl}^-$ 、 $\text{HSiO}_3^-$  等。两者含量占水中总的无机离子 95% 以上。除了这些主要的离子外，其他的还有  $\text{Fe}^{2+}$ 、 $\text{Cu}^{2+}$ 、 $\text{Mn}^{2+}$ 、 $\text{Ba}^{2+}$ 、 $\text{Sr}^{2+}$ 、 $\text{I}^-$ 、 $\text{PO}_4^{3-}$ （ $\text{HPO}_4^{2-}$ 、 $\text{H}_2\text{PO}_4^-$ ）、 $\text{NO}_3^-$ 、 $\text{NO}_2^-$ 、 $\text{F}^-$ 、 $\text{Br}^-$ ，但含量均很低，约在毫克每升级及以下。

一般天然水中  $\text{Ca}^{2+}$ 、 $\text{Mg}^{2+}$  含量约为几毫摩尔每升，而且  $\text{Ca}^{2+}$  比  $\text{Mg}^{2+}$  多，在水溶解固形物小于 500mg/L， $\text{Ca}^{2+}$  与  $\text{Mg}^{2+}$  摩尔比约为 (2~4) : 1；当水溶解固形物大于 1000mg/L 时， $\text{Ca}^{2+}$  与  $\text{Mg}^{2+}$  摩尔比约为 (1~2) : 1；水中溶解固形物含量再高时， $\text{Mg}^{2+}$  含量会高于  $\text{Ca}^{2+}$  含量，比如海水中  $\text{Mg}^{2+}$  约为  $\text{Ca}^{2+}$  的 2~3 倍，含  $\text{Mg}^{2+}$  高的水，口感有苦味。

一般天然水中  $\text{HCO}_3^-$  浓度约几毫摩尔每升，若水 pH 值较高，有一部分  $\text{HCO}_3^-$  会变为  $\text{CO}_3^{2-}$  存在，但  $\text{CO}_3^{2-}$  浓度太高时，则要与  $\text{Ca}^{2+}$  形成  $\text{CaCO}_3$  沉淀析出。

天然水中  $\text{SO}_4^{2-}$  浓度较低，一般在几十毫克每升或以下。随天然水中溶解固形物增高，水中  $\text{SO}_4^{2-}$  浓度增多，苦咸水中  $\text{SO}_4^{2-}$  及  $\text{Mg}^{2+}$  浓度均高。

一般来讲，天然水中  $\text{K}^+$  浓度低于  $\text{Na}^+$  浓度，一则因为含钾的岩石不及含钠岩石普遍，二则进入水中  $\text{K}^+$  还会再次结合进入黏土矿物（如伊利石）中，使天然水中  $\text{K}^+$  浓度降低。

一般天然水中  $\text{Cl}^-$  和  $\text{Na}^+$  的浓度在几十至几百毫克每升， $\text{K}^+$  浓度比  $\text{Na}^+$  浓度低。我国天然水中  $\text{Na}^+$  和  $\text{K}^+$  的摩尔浓度比约为 7 : 1，按 mg/L 计， $\text{K}^+$  约为  $\text{Na}^+$  含量的 4%~10%。

天然水中硅化合物种类繁多，形态各异，在水质分析中通常用  $\text{SiO}_2$  来表示。天然水中  $\text{SiO}_2$  含量一般在 1~20mg/L 之间，含量高的天然水可达 60~100mg/L，甚至超过 100mg/L。

海水中  $\text{Na}^+$  和  $\text{Cl}^-$  浓度很高， $\text{NaCl}$  含量约为 35 000mg/L，近海地区的地表水及某些井水，也会由于海水倒灌等原因渗入海水，而使  $\text{NaCl}$  浓度上升至几千毫克每升。

由于地下是还原性的缺氧环境，所以，地下水中有时含有较多的  $\text{Fe}^{2+}$  和  $\text{Mn}^{2+}$ 。

### 3. 溶解的有机物质

天然水中有机物和无机物一样，可以分为溶解态、胶态和悬浮态三种，它们来自工业和生活排放物、动植物肢体、微生物、动植物和微生物的代谢产物等。

目前，在天然水有机物研究中，通常采用水通过  $0.45\mu\text{m}$  孔径滤膜后的水中有机物当作溶解态有机物。

天然水中有机物含量，若用总有机碳（TOC）表示，一般在几至几十毫克每升，用  $\text{COD}_{\text{Mn}}$  表示，多在  $1\sim 10\text{mg/L}$ ，个别污染严重的水， $\text{COD}_{\text{Mn}}$  在  $10\text{mg/L}$  以上，地下水有机物含量少， $\text{COD}_{\text{Mn}}$  约  $1\text{mg/L}$ 。

## 第二节 水质指标

在工业用水中，常使用一些指标来表示水的质量，这就是水质指标。在其他用水场合比如生活用水、工业废水等，也有相应的水质指标，不同场合所用的水质指标之间大部分是相同的，但也有一些各自的特殊点，这主要是为适应各自不同要求而定的。

工业用水常用的水质指标可以分为两种类型，一种是表示水中某些具体成分（如离子、分子等）含量，如表示水中  $\text{Na}^+$ 、 $\text{K}^+$ 、 $\text{SO}_4^{2-}$ 、 $\text{Cl}^-$  等的指标。钠、钾、硫酸根、氯离子等，这些明确表示水中相应物质含量的指标通常叫做成分性指标；另一种类型称为技术性指标，它是用一种指标来表示水中某一类物质总的含量或者是某一类物质的某种性质，比如硬度表示水在受热时产生结垢的物质总量（通常指  $\text{Ca}^{2+}$ 、 $\text{Mg}^{2+}$  总量），溶解固体表示水中溶解的物质的总量，化学耗氧量是借水中有机物被氧化时消耗的氧化剂量来反映水中有机物的多少。

### 一、悬浮物、浊度

天然水中粗分散颗粒除悬浮物外，还有胶体，它们的共同特性是使水呈混浊感，而水质清晰透明是生活饮用水及高质量工业用水的基本条件，浊度指标用来反映水中悬浮物和胶体的多少。

浊度测量中一个重要问题是浊度的单位，目前通用的是福马胂单位，它是利用一定量硫酸胂和六次甲基四胺反应生成的微粒作为浊度单位。其配制方法为：

1g 硫酸胂溶于 100mL 无浊水中，成为溶液 A；10g 六次甲基四胺溶于 100mL 无浊水中，成为溶液 B；将 5mL 溶液 A 和 5mL 溶液 B 混合在  $(25\pm 3)^\circ\text{C}$  下放置 24h 后再用无浊水稀释至 100mL，此即福马胂浊度为 400 的标准液，可在  $30^\circ\text{C}$  以下保存一周，低于 400 福马胂浊度的标准液可用无浊水稀释获得。

所谓的无浊水通常是指纯水经过  $0.15\mu\text{m}$  微孔滤膜过滤后的水，该水不宜储存，现制现用。

采用福马胂标准液，利用散射光原理测得的浊度称为散射光福马胂浊度（NTU），采用福马胂标准液利用透射光原理测得的浊度称为透射光福马胂浊度（FTU）。

福马胂浊度标准是目前通用的浊度标准。