

热电厂实用技术丛书

水处理技术 **及** 工程实例

王鼎臣 主编



化学工业出版社

热电厂实用技术丛书

水处理技术及工程实例

王鼎臣 主编



化学工业出版社

· 北京 ·

本书系《热电厂实用技术丛书》之一。本书主要介绍电厂水处理的基本原理、工艺流程、处理设备和运行管理。既介绍了传统的离子交换技术，也详细介绍了近年来应用开发十分活跃的反渗透、超滤、膜滤等技术。本书是作者吸收国外最新技术，结合国内数十年的研究应用开发经验而编写的，既有详尽的理论知识，又有丰富的工程实例。可供火力发电厂、热电厂、地方电厂的广大水处理专业人员、技术工人及管理人员阅读参考。

图书在版编目 (CIP) 数据

水处理技术及工程实例/王鼎臣主编. —北京: 化学工业出版社, 2007.10

(热电厂实用技术丛书)

ISBN 978-7-122-01271-5

I. 水… II. 王… III. 热电厂-水处理 IV. TM621

中国版本图书馆 CIP 数据核字 (2007) 第 157257 号

责任编辑: 郑叶琳

装帧设计: 关 飞

责任校对: 李 林

出版发行: 化学工业出版社 (北京市东城区青年湖南街 13 号 邮政编码 100011)

印 刷: 大厂聚鑫印刷有限责任公司

装 订: 三河市延风装订厂

787mm×1092mm 1/16 印张 14½ 字数 352 千字 2008 年 1 月北京第 1 版第 1 次印刷

购书咨询: 010-64518888 (传真: 010-64519686) 售后服务: 010-64518899

网 址: <http://www.cip.com.cn>

凡购买本书, 如有缺损质量问题, 本社销售中心负责调换。

定 价: 38.00 元

版权所有 违者必究

《热电厂实用技术丛书》编委会

主 任 周小谦

副 主 任 郁 刚 王振铭

编 委 (以姓氏笔画为序)

王汝武 王国刚 王振铭 王鼎臣 邢培生

杜文学 汪玉林 郁 刚 周小谦

丛 书 主 编 汪玉林

本分册主编 王鼎臣

本分册编写人员 (以姓氏笔画为序)

王洁如 王鼎臣 陈积福 孟广楨 崔 捷

本分册审校 丁桓如

序

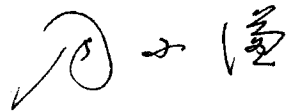
节约能源、保护环境是我国实现可持续发展战略的重要组成部分，这已成为我国的一项基本国策。目前，在商业企业可大规模实现能源转换的技术中，热电联产、热电装置的热电效率是最高的。建设热电厂，实现热电联产、热电冷联供是节约能源、保护环境、提高企业经济效益的有效途径。新中国成立以来，在我国电力和工业建设及城市建设中，都高度重视热电联产的建设，使热电联产在我国得到较大的发展。到2006年底，全国共有6MW以上热电联产机组2606台，总容量达到80486.9MW，占全国火电装机总容量的18%，为国民经济发展提供了强大动力，为节约能源、保护环境做出了巨大贡献。初步估算，从发电侧看比纯凝汽发电节省3000万吨以上原煤，从供热侧看比小锅炉节省4000多万吨原煤，相应估算减少CO₂排放1.8亿吨，减少SO₂排放120多万吨，并减少了NO_x和粉尘的排放。在我国能源结构中以煤为基础的格局，以电为中心的发展战略，在相当长的时间内是不会变的。

目前，在我国电厂的能源结构中，燃煤电厂的发电量约占全国总发电量的80%以上，即使到2020年，燃煤电厂的发电量仍将在70%以上。煤燃烧排放的SO₂和NO_x以及粉尘仍是大气主要污染源。努力提高能源利用率，尽可能减少煤炭消耗，减少温室气体和SO₂的排放，仍然是环境保护的重要任务。为此，继续加大热电联产建设步伐，扩大热电联产在电力装置中的比例，就成为今后电力建设中一个重要任务，也是我国实施节约能源、保护环境可持续发展战略的必然选择。

我们不仅要不断增加热电联产的比例、节约能源，同时还要不断提高热电联产的建设、运行管理水平，以进一步提高效率、降低消耗、减少污染、增加效益。近年来，随着科学技术的发展，一些新技术、新设备、新工艺、新的管理理念在火电厂广泛应用，促进了企业技术进步，在节约能源、改善环境方面取得显著成效。循环流化床燃烧技术的应用，不仅能燃烧劣质煤、高硫煤，而且使环境得到改善；脱硫除尘技术的广泛应用减少了SO₂、NO_x以及粉尘的排放，对保护和改善人类的生态环境，保障人体健康起到积极作用；电厂水处理采用膜分离技术，既减少水污染，又节约用水，提高企业经济效益；提高电厂主要设备锅炉、汽轮机、电气设备效率降低了煤耗，风机、水泵及其他辅助设备的电耗，降低工厂用电；完善电厂热力系统及设备的优化配置，改善运行操作，加强运行管理，采用综合利用技术、自动化技术等，都使能源消耗大幅度降低，提高了能源利用率，提高了企业经济效益。

随着热电联产产业的发展，热电厂建设迅速发展，从业人员迅猛增加，热电联产、节约能源、环境保护、综合利用、电厂自动化技术等新技术广泛应用，热电行业对热电新技术普及的要求日益强烈，因此，编辑出版一套适用于热电行业的技术丛书是很有必要的。

由中国电机工程学会组织编写，化学工业出版社出版的《热电厂实用技术丛书》（以下简称《丛书》）正是适应了这一形势要求。《丛书》涵盖了热电厂建设、热电设备、热电技术各个领域，对当今热电厂已经应用的新技术、新设备、新工艺都作了论述，并着重介绍实际应用成果，理论联系实际，经验实用具体。参加《丛书》编写的人员大多是在热电行业第一线的高级工程师，具有扎实的理论基础和丰富的实践经验，《丛书》的编写具有科学性、实用性和可操作性。相信这套《丛书》对于提高我国热电厂的建设技术和管理水平、热电厂的综合利用、环境保护的水准以及提高企业的经济效益都将会起到积极的促进作用。对于热电行业的专业技术人员、技术工人以及热电厂设计、运行、管理及相关人员，这套《丛书》是一套很好的参考书。因此，我向广大热电科技工作者及有关人员推荐《热电厂实用技术丛书》，以飨读者。



2007年9月

前 言

随着水科学技术进步和能源事业的发展，对发电厂水处理工作提出了相应的高标准要求，传统的化学水处理的概念，已不能反映当代水处理的内容和要求。传统的以加药处理、离子交换处理为主导的水处理技术，已不能满足高参数大容量机组建设和发展的需要。

工业园区大型热电厂（300MW、600MW 级）建设，要求稳定可靠的供热参数和供热量，要求稳定的高品质的水、汽质量指标。地区大型发电厂（600MW、1000MW，超临界、超超临界参数）建设，要求汽、水质量水平很高，传统的水处理工艺和手段是难以保证的。

传统的水处理方法和手段，是一种“投入换取法”，循环水靠大量加药、大量排污获得机组短暂“偏安”；锅炉水靠离子交换，用食盐（NaCl）换软水，用酸碱换除盐水，是以浪费资源、污染环境为代价的。为了节能、减排，为了保护环境，为了从“投入—污染—更大投入—更严重污染”的恶性循环怪圈中走出来，必须从思想上、从实践上，对长期遵循的“投入换取”法来一次变革。把“投入换取”变为只取不投的“分离提取”法。在火力发电厂水处理工作中，全面推行膜法水处理技术，用超滤（UF）取代传统的混凝澄清水处理系统；用反渗透（RO）取代传统的阴阳离子交换系统；用连续电去离子（EDI）取代复床加混床系统这是水处理技术发展的主流，是大势所趋，是发展循环经济的要求，是节能减排的要求，是环境保护的要求。

本书在编写过程中用较大篇幅介绍膜分离技术，用较多的工程实例展示膜法水处理的英姿和实实在在的效益。我们力图在这场水处理大变革浪潮中推波助澜，为建设绿色星球大厦，添砖加瓦。

在本书编写过程中采用了国内外专家们的经验和资料，并得到多方面的支持。在此谨向他们表示衷心感谢。由于本书涉及较多新领域、新概念、新内容，加上我们水平所限，时间所限，不足之处在所难免，敬请读者批评指正。

编者

2007 年 10 月

目 录

第一章 总论	1
第一节 水在发电厂中的作用.....	1
第二节 发电厂汽水循环系统.....	2
第三节 发电厂水处理的重要性.....	3
第四节 水处理工作主要内容.....	4
第二章 发电厂用水的水源和水质	6
第一节 发电厂用水的水源和水质特征.....	6
第二节 发电厂用水的水质指标.....	8
第三章 发电厂水汽质量标准	12
第一节 水汽质量标准.....	12
第二节 锅炉补给水质量控制指标.....	18
第三节 循环冷却水质量标准.....	19
第四章 水的预处理	21
第一节 水中胶体物的性质.....	21
第二节 混凝处理.....	25
第三节 水的沉淀、沉降与澄清.....	35
第四节 水的过滤处理.....	45
第五章 离子交换技术	62
第一节 离子交换剂及分类.....	62
第二节 离子交换树脂.....	62
第三节 离子交换基本原理.....	69
第四节 离子交换在水处理中的应用.....	74
第五节 离子交换器常规床型及再生方法.....	81
第六节 离子交换器的其他床型.....	87
第七节 离子交换树脂的变质、污染及防治.....	88
第八节 抗污染床离子交换器.....	89
第六章 反渗透	93
第一节 反渗透原理.....	93
第二节 反渗透膜.....	96
第三节 膜组件.....	102
第四节 反渗透装置.....	104
第七章 超滤技术	112
第一节 超滤的基本原理.....	112
第二节 超滤膜的性能.....	113

第三节	各种超滤组件的分类	117
第四节	超滤膜的浓差极化与污染的防治	119
第五节	超滤膜的清洗	122
第六节	典型超滤膜及组件产品	123
第八章	连续电去离子 (EDI) 技术	133
第一节	连续电去离子工作原理	133
第二节	连续电去离子的特性	135
第三节	EDI 产品的应用及应用参数	137
第四节	EDI 系统技术经济分析	142
第九章	集成膜技术	144
第一节	锅炉补给水处理集成膜系统	144
第二节	循环冷却水处理集成膜系统	151
第十章	发电厂水处理系统设计	156
第一节	水处理设计需要的原始资料	156
第二节	锅炉水处理系统	156
第三节	汽轮机组的凝结水精处理	178
第四节	汽轮机组的循环冷却水处理	180
第十一章	水处理工程实例	186
实例 1	出力 60t/h 高压锅炉补给水离子交换水处理系统	186
实例 2	出力 100t/h 新型离子交换系统在热电厂水处理中的应用	194
实例 3	出力 2×60t/h 全膜法锅炉补给水处理系统	198
实例 4	膜分离技术在大型海滨电厂水处理系统中的应用	199
实例 5	辽宁 FX 发电有限责任公司锅炉补给水处理工程	208
实例 6	内蒙古 JL 发电有限责任公司锅炉补给水处理工程	213
参考文献		220

第一章 总 论

第一节 水在发电厂中的作用

一、发电过程

发电就是将一次能源转换成电能的过程，这一过程在发电厂内完成。发电厂有火力发电、水力发电、核能发电等。

火力发电是将煤、石油或天然气等燃料通过火力发电设备转换成电能的生产过程。我们着重讨论的是燃煤火力发电厂的生产过程。

燃煤发电厂主要设备有锅炉设备、汽机设备、发电机及电气设备、燃料运输设备、供水设备、除尘除灰设备、水处理设备、热电厂的供热设备等构成。其中锅炉、汽机、发电机称为火力发电厂的三大主体设备。

二、水在发电厂中的作用

水犹如火力发电厂的血液，在整个热力系统中循环。水进入锅炉后吸收燃料燃煤放出的热能，转变成蒸汽，导入汽轮机；在汽轮机中，蒸汽的热能转变成机械能；汽轮机带动发电机，将机械能转变成电能，完成能量转换过程。为了能量转换的效率和安全性，对水汽的质量，不同部位都有不同的严格要求，而且机组参数（温度、压力）愈高，要求也愈严格。目前我国运行的锅炉、汽轮组的蒸汽参数和其容量如表 1-1 所示。

表 1-1 发电厂机组容量和蒸汽参数

压力等级	锅 炉			汽 轮 机		
	蒸发量 /(t/h)	汽压 /MPa	汽温 /°C	功率 /MW	汽压 /MPa	汽温 /°C
中压机组	75	3.9	450	12	3.43	435
	130	3.9	450	25	3.43	435
高压机组	220	10	540	50	8.82	535
	410	10	540	100	8.82	535
超高压机组	400	14.0	555	125	12.23	550
	670	14.0	540	200	12.74	535
亚临界机组	935	17	570	300	16.17	550
	1000	17	555	300	16.17	550
	1025	17	540	300	16.17	535
	2008	17	540	600	16.17	535
超临界机组	1900	26	541	600	25.4	536
	2800	25.76	542/568	900	24.96	538/566
超超临界机组	3070	27.46	605/603	1000	26.25	600/600

第二节 发电厂汽水循环系统

发电厂根据是否对外供汽（生活用汽和生产用汽）分为凝汽式发电厂和热电厂，其汽水循环系统基本相同，不同处在于热电厂有对外供汽管道和供汽回水管道。如图 1-1 所示。

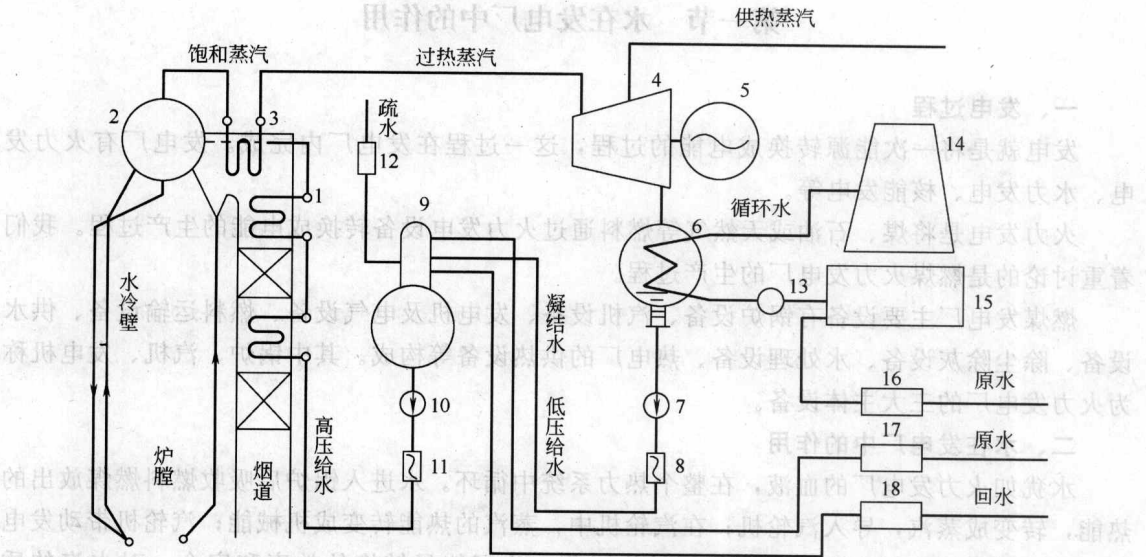


图 1-1 发电厂水汽循环系统

- 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—疏水箱；13—循环水泵；14—冷却塔；15—冷却池；16—循环水处理装置；17—锅炉补给水处理装置；18—热网回水处理装置

发电厂汽水是怎样循环的呢？首先是给水进入锅炉产生饱和蒸汽再经过热器生成过热蒸汽，经汽轮机后进入凝汽器，在这里被冷却为凝结水，此凝结水经凝结水泵送到低压加热器，加热后送入除氧器，再经给水泵将除过氧的水送到高压加热器，然后进入锅炉。构成热力系统中水汽的循环。在循环过程中会有一些的损失量，如锅炉排污、过热器放汽，管路系统漏汽漏水、汽轮机轴封冒汽、除氧器冒汽等。凝汽式发电厂汽水损失较小，一般不超过 5%，这部分损失由锅炉补给水处理装置供给；而热电厂承担对外供汽任务这部分损失量很大，供热损失量由供热负荷减去凝结回水量而得。热电厂的锅炉补给水量要比凝汽式发电厂大得多。

发电厂水汽循环过程所处的部位不同，水汽质量有很大差别。根据实用上的需要，我们给予这些水汽以不同名称，具体如下。

1. 原水

原水又叫生水，是指未经任何处理的水源水，作为电厂用水的水源有天然水（如江、河、湖、海等地面水和地下水源开采出的深井水），它是发电厂中各种用水的主要来源，也有些地区采用矿井水和城市污水作水源的。

2. 锅炉补给水

原水经各种处理方法处理后用来作为补充热力设备汽水损失的水。按处理方法不同又可

分为软化水和除盐水。

3. 凝结水

蒸汽经汽轮机做功后，再经凝汽器冷凝成的水。

4. 疏水

各种蒸汽管道和用汽设备中蒸汽冷凝的水称为疏水。它通过疏水器汇集到疏水箱再经过疏水泵打到除氧器中。

5. 供热回水

热电厂向用户供热后回收的蒸汽冷凝水。

6. 锅炉给水

锅炉给水也叫给水。是由除氧器出口经给水泵送到锅炉的水，它是由凝结水、疏水、锅炉补给水等组成。热电厂给水组成中还包括供热回水。

7. 锅炉水

在锅炉本体汽水循环过程流动着的水称为锅炉水。习惯简称炉水。

8. 工业冷却水

冷油器、空气冷却器和轴承冷却用水，这部分水常用深井水也可用循环水。

9. 循环水

在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。

10. 循环水补充水

发电厂凝汽器循环冷却水量很大，在循环过程中有蒸发损失、风吹损失和排污损失，这些损失一般不超过循环水量的5%。补充这部分损失的水称为循环水补充水。

11. 饱和蒸汽

炉水蒸发分离出的湿蒸汽叫饱和蒸汽。

12. 过热蒸汽

饱和蒸汽经过过热器再次加热生成的水蒸气叫过热蒸汽。

13. 供热蒸汽

热电厂供热用户的蒸汽。这部分蒸汽有的是抽凝式汽轮机的抽汽或背压式汽轮机排汽。

第三节 发电厂水处理的重要性

热力系统中汽、水品质好坏直接影响发电厂热力设备的安全经济运行。天然水有各式各样的杂质，如固体杂质、气体杂质、胶体杂质、生物杂质和各种溶解盐类。不经任何处理是不适合火力发电厂热力设备用水要求的，没有好炉水就没有好汽，汽质不好，也会造成用汽设备地危害。水汽品质不良会造成哪些危害呢？

一、热力设备的结垢

当进入锅炉或其他热交换器水质不良，经过一段时间的运行后，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。因为金属的导热性能比水垢的导热性高出几十及至几百倍，在炉管中在有水垢时，要达到无水垢相同的炉水温度，受热面管壁温度必然要提高。当温度超过了金属所能承受的温度时，就会引起鼓包和爆管事故。结垢不仅危害安全运行，而且还会大大降低发电厂的运行经济性。例如发电厂锅炉的省煤器中，结有1mm厚的水垢，燃料用量就比原来的多消耗1.5%~2.0%。由于发

电厂锅炉容量都很大，每年使用的燃料量也很大，燃料消耗率微小的增加，都会给国家造成巨大的经济损失。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，热力设备结垢以后，必须及时清洗工作，这就要停止运行，减少了设备的年利用小时数，此外还要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，水质不良会引起金属腐蚀。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使用期限，造成经济损失，而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的垢下腐蚀。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、主汽门、汽轮机叶片等。这种现象称为积盐。过热器内积盐引起金属管壁过热甚至爆管；主汽门积盐会影响蒸汽道流量并会导致调速器失灵造成重大设备人身事故；汽轮机叶片积盐，会大大降低汽轮机的出力和效率，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。

火力发电厂水处理工作就是为了保证热力系统各部位有良好的汽水品质，以防止热力设备的结垢、积盐和腐蚀。因此，在火力发电厂中，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。

第四节 水处理工作主要内容

一、锅炉补给水处理

锅炉补给水处理又称炉外水处理。其主要内容包括原水预处理，除去水源水中的悬浮杂质、胶体杂质和有机物等。传统的预处理方法是混凝澄清、机械过滤等；另外还包括对净化水的脱盐和脱气处理，这部分处理主要是除去溶解盐类，也就是水中的各种阳离子和阴离子，同时还包括去除水中有害气体如二氧化碳等。

二、给水处理

给水处理包括给水加氨处理，用以调节给水 pH 值，防止给水系统腐蚀，同时还包括给水加联氨补充除氧处理。

三、对汽包锅炉进行锅炉水的水质校正处理

也就是通过向锅炉汽包内加药剂如磷酸三钠、氢氧化钠或其他复合水质调节剂，保持炉水的理想工况，以防止腐蚀和结垢。这些工作又称锅内水处理（习惯上称炉内水处理）。

四、对生产返回水进行处理

在热电厂中，对生产返回水进行除油、除铁或其他深度净化处理。

五、循环冷却水处理

包括对循环水补充水进行净化或除硬降盐处理，特别是深度污染的地表水源或污水作水源的，这项工作格外重要。同时还包括循环水的旁流处理和对循环水加缓蚀阻垢剂处理以及

杀菌灭菌处理等。

六、其他内容

主要包括：对大型火力发电厂（300MW、600MW 或更大机组）凝结水精处理；水力冲灰系统灰管防垢处理；废水处理；对全厂热力系统水汽质量监督和检查；热力设备的化学清洗；热力设备的大修检查；热力设备的停运保养。

第二章 发电厂用水的水源和水质

第一节 发电厂用水的水源和水质特征

发电厂用水的主要水源是天然水。在缺水地区也有用城市污水作水源的，矿区采矿涌水也可作为电厂用水水源，海滨城市也可用海水作水源。根据不同水源的水质情况可采用不同的处理方法，以满足电厂不同场合用水的水质要求。下面着重介绍天然水的水质特性。

天然水一般可分为地表水（江河、湖泊、水库等）和浅层地下水。在我国南方，地表水源较丰富，很多电厂采用地表水源，在我国北方，多数电厂采用地下水源。地表水与地下水主要不同之处在于地表水含盐量较低，硬度、碱度较低，而悬浮物较大，且污染较重；而地下水一般含盐量较高，硬度、碱度较高，而水质机械杂质少，也很少受到污染，一年四季水质变化不大。

一、天然水中的主要杂质

天然水中的杂质有固态、液态或气态。它们大多以分子形式、离子形式或胶体形式存在于水中。如按杂质颗粒大小不同，可分为悬浮物、胶体和溶解物质三大类。见表 2-1 所示。

表 2-1 水中杂质的分类

粒径/mm	10^{-7}	10^{-6} 、 10^{-5} 、 10^{-4}	10^{-3} 、 10^{-2} 、 10^{-1} 、1	
分类	溶解物	胶体	悬浮物	
特征	透明	光照下浑浊	浑浊	肉眼可见
一般处理方法	膜分离 RO 离子交换蒸馏	膜分离 UF 混凝	膜分离 MF 澄清过滤	自然沉淀

1. 悬浮物

悬浮物是指颗粒直径约在 10^{-4} mm 以上的微粒，包括泥沙、纤维、动植物微小碎片等。

2. 胶体

胶体是指颗粒直径约为 10^{-6} ~ 10^{-4} mm 之间的微粒，主要是铁、铝、硅的化合物及动植物有机体的分解产物、蛋白质、脂肪、腐殖质等。由于胶体颗粒比表面积大，有明显的表面活性，因而表面常常带有正负电荷离子，天然水中的黏土颗粒，一般带负电荷，而金属离子氢氧化物则带正电荷。

3. 溶解物

溶解物是指颗粒直径小于 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，成为均匀的分解体系，称为真溶液。

4. 天然水中主要的离子成分

天然水中主要溶有 8 种离子，它们几乎占水中溶解固体总量的 95% 以上，见表 2-2。

5. 天然水中的溶解气体

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) 和氨 (NH_3) 等。

表 2-2 天然水中溶有的主要离子

阳离子		阴离子		浓度
名称	符号	名称	符号	
钠离子	Na ⁺	重碳酸根(或碳酸氢根)	HCO ₃ ⁻	从数毫克/升 至数千毫克/升
钾离子	K ⁺	碳酸根	CO ₃ ²⁻	
钙离子	Ca ²⁺	硫酸根	SO ₄ ²⁻	
镁离子	Mg ²⁺	氯根(氯离子)	Cl ⁻	

天然水中氧的主要来源是水溶解大气中的 O₂。地下水中的含氧量一般较小，地表的含氧量差别很大，这是因为不同地点不同季节水温和气压不同，此外，水中有机物要和氧作用，也会改变水中溶解氧的含量。天然水中溶解氧的含量一般在 0~14mg/L。

天然水中的二氧化碳 (CO₂) 的主要来源是水中或泥土中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 CO₂，因为含量只有 0.03%~0.04%，而气体在水中的溶解度是和水面上该气体的分压成正比的（称亨利定律），相应的 CO₂ 的溶解度仅为 0.5~1mg/L，所以大气中溶入的 CO₂ 并非天然水中含有多量 CO₂ 的来源。天然水中 CO₂ 含量在几十至几百毫克/升之间。地面水中 CO₂ 含量不超过 20~30mg/L。地下水中 CO₂ 含量有时很高。

二、我国天然水主要水质特征

1. 我国江河水水质

我国江河水离子总量的变化及化学类型的变化规律一般是：东南沿海地区降水量大，气候潮湿，土壤、岩石矿物处于常年淋溶状态，可溶性组分难以积累，使河水中的离子组分低于 50mg/L，硬度在 0.5~1.0mmol/L，大都属于重碳酸盐钠型或钙型；淮河、长江中下游以南的广大地区，降水量较大，气候湿润，河水中的离子总量在 200mg/L 以下，硬度在 1~3mmol/L 大都属于重碳酸盐钙型。长江上游的云贵高原，由于受印度洋潮湿气流的影响，河水中离子总量和硬度一般介于上述两地区之间；淮河、秦岭以北的华北地区、太行山、燕山一带，降水量较小，蒸发量较大，干湿季节明显，地表呈季节性积盐状态，河水中的离子总量在 300~500mg/L，硬度在 3~5mmol/L，大都属于重碳酸盐钙型；西北内陆地区，远离海洋，干旱少雨，河水中的离子总量达 1000mg/L 以上，硬度大于 5~6mmol/L，是我国河水离子总量和硬度最高的地区，大都属于氯化物钠型；我国东北地区，由于受北冰洋潮湿气流影响，气温较低降雪较多，特别是大兴安岭以北，年均气温在 0℃ 以下，土壤常年处于冻结状态，降水不易下渗，使河水离子总量小于 100mg/L，硬度在 0.5~1.0mmol/L，与东南沿海一带基本相似。江河水的化学组分还受海水影响，有些沿海地区的河流，平时 Cl⁻ 含量不高，但枯水期受海水倒灌影响，Cl⁻ 含量急剧上升，可由平时的几十毫克/升，增加到几千毫克/升。

表 2-3 列出我国部分河流的主要离子组分。

表 2-3 河流中的主要离子组分

单位：mg/L

离子组分 河流	Ca ²⁺	Mg ²⁺	Na ⁺ K ⁺	HCO ₃ ⁻	SO ₄ ²⁻	Cl ⁻	含盐量
闽江	2.0	0.6	6.7	20.2	4.9	0.5	35.5
长江	28.9	9.6	8.6	128.9	13.4	4.2	193.6
黄河	39.1	17.9	46.3	162.0	82.6	30.0	377.9
西江	18.5	4.8	8.1	91.5	2.8	2.9	128.6
松花江	12.0	3.8	6.8	64.4	5.9	1.0	93.9
黑龙江	11.6	2.5	6.7	54.9	6.0	2.0	83.7
塔里木河	107.6	841.5	10265	117.2	6052	14368	31751

2. 我国湖水水质

我国淡水湖主要分布在东部平原、东北平原和云贵高原三大区域。在东部平原有着名的五大淡水湖，即鄱阳湖、洞庭湖、太湖、洪泽河、巢湖。这些湖水的离子总量大部分小于200mg/L，也有在100mg/L以下的。如鄱阳湖37mg/L，洞庭湖184mg/L，洪泽湖208mg/L，邵阳湖240mg/L，微山湖290mg/L，白洋淀357mg/L。呈现出由南向北逐渐增加的趋势，这种变化趋势是由这些地区的气候条件和土壤条件决定的。东北平原地区的湖水的离子总量在150~250mg/L，略高于长江中下游的湖水离子总量。云贵高原的湖水离子总量基本与东北平原湖水的离子总量相等。我国湖水的主要阳离子是Ca²⁺，约占阳离子毫摩尔总数的39%~56%；主要阴离子是HCO₃⁻，约占阴离子毫摩尔总数的65%~87%。

3. 我国地下水的水质

我国浅层地下水的化学组分与江河水类似，呈现出从南和东南向西和西北方向逐渐演变的特征。在秦岭-淮河以南和东南一带，为离子总量小于500mg/L的重碳酸盐型淡水。向西至广西、云贵高原一带，离子总量增至500mg/L左右，水化学类型为HCO₃⁻-Ca²⁺、HCO₃⁻-Mg²⁺型为主。再向西至横断山脉以北和青藏高原东部，离子总量增至500~1000mg/L，水化学类型仍为HCO₃⁻-Ca²⁺型为主。

在秦岭-淮河以北的华北平原一带，包括燕山、太行山北段、秦岭、山东半岛及河南西部一带，年蒸发量大于降水量，离子总量小于500mg/L。在太行山中南段，气候更加干燥，离子总量从500mg/L增加到1000~3000mg/L，甚至到5000mg/L，水化学类型也由重碳酸盐逐渐转化为重碳酸盐-氧化物型和碳酸盐-氯化物型，最后转化为氯化物型的盐水。

在东北大兴安岭一带气温低，不利于盐分积累，离子总量一般小于200mg/L，水化学类型为HCO₃⁻-Ca²⁺型。松辽平原一带则离子总量为500~1000mg/L，水化学类型为HCO₃⁻-Na⁺、HCO₃⁻-Ca²⁺型水。

华北平原以西的黄土高原一带，离子总量一般小于1000mg/L，水化学类型为HCO₃⁻-Ca²⁺、Na⁺型。向北至长城以北气候更加干燥，离子总量增至1000~5000mg/L，水的化学类型为硫酸盐-氯化物型或氯化物-硫酸盐型。

西北地区的荒漠地带，降水稀少，蒸发强烈，河流基本枯竭，盆地中分布有卤盐水，离子总量一般为3000~16000mg/L，甚至达50000mg/L，水化学类型为氯化物-钠型。

在东南沿海一带，年降水量大于2000mm，离子总量一般在1000~5000mg/L，水化学类型为氯化物-钠型为主。

表2-4 列出部分地区地下水化学组分。

表 2-4 部分地区地下水化学组分 单位：mg/L

地区	Ca ²⁺	Mg ²⁺	K ⁺ Na ⁺	HCO ₃ ⁻	SO ₄ ²⁻	Cl ⁻
岳 阳	2.83	1.56	5.29	9.76	8.95	2.56
天 津	8.0	3.7	317	464	48	200
佳木斯	37.2	12.6	20.4	140	15	40
哈尔滨	78.2	12.8	23.5	217	8.0	21.3
石家庄	82.9	19.8	16.2	220	37.3	28

第二节 发电厂用水的水质指标

对不同行业，有不同的水质要求，衡量水质特性的水质指标也不尽相同。现就发电厂用