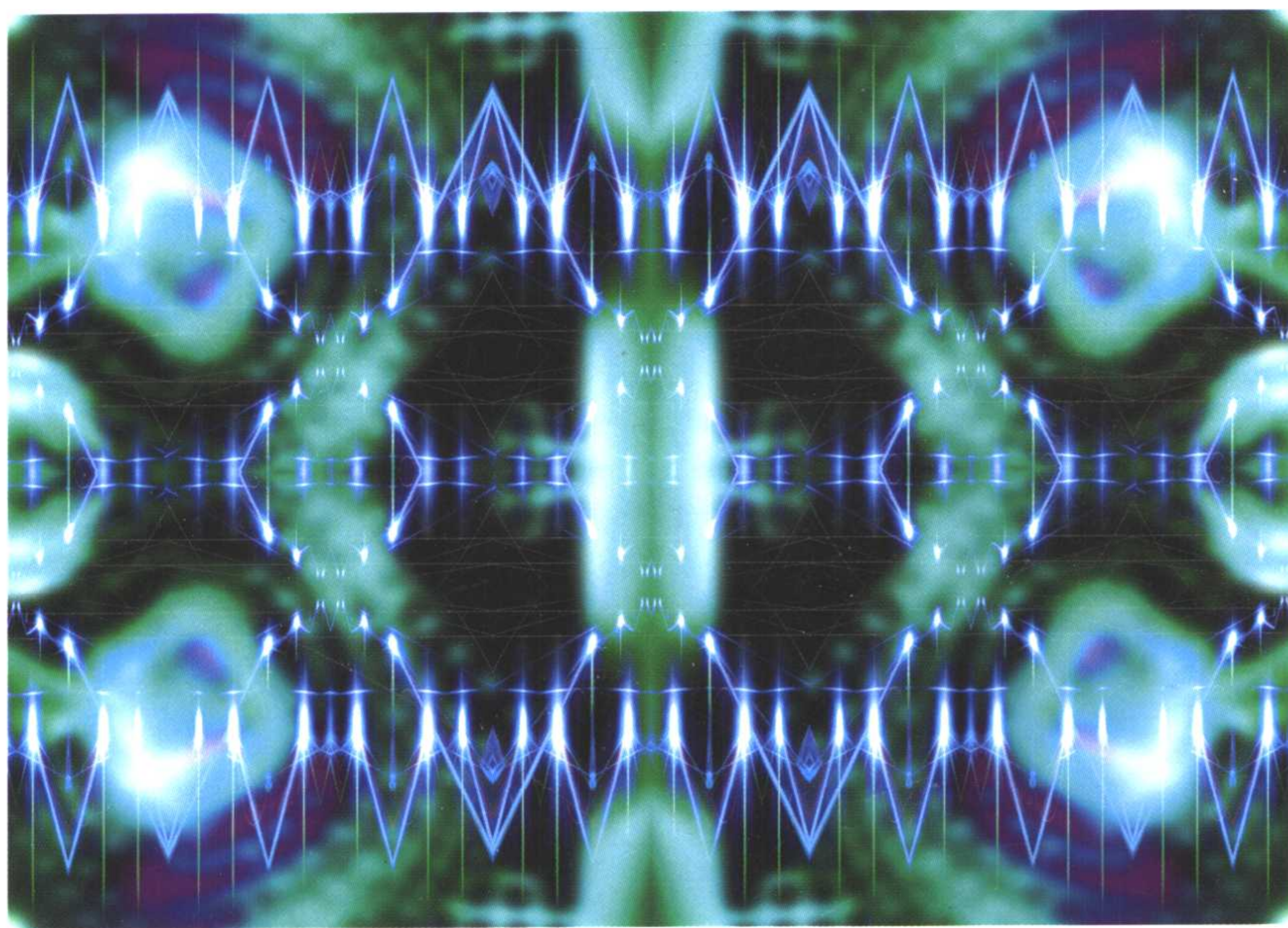


杨宝红 汪德良 王正江 等编著

火力发电厂 废水处理与回用



Chemical Industry Press



化学工业出版社
环境·能源出版中心

火力发电厂废水处理与回用

杨宝红 汪德良 王正江 等编著



化学工业出版社
环境·能源出版中心

· 北 京 ·

图书在版编目 (CIP) 数据

火力发电厂废水处理与回用/杨宝红等编著. —北京:
化学工业出版社, 2006. 5
ISBN 7-5025-8614-8

I. 火… II. 杨… III. ①火电厂-水处理②火电厂-
废水综合利用 IV. X773

中国版本图书馆 CIP 数据核字 (2006) 第 040764 号

火力发电厂废水处理与回用

杨宝红 汪德良 王正江 等编著

责任编辑: 徐娟 董琳

责任校对: 于志岩

封面设计: 胡艳玮

*

化学工业出版社 出版发行
环境·能源出版中心

(北京市朝阳区惠新里 3 号 邮政编码 100029)

购书咨询: (010)64982530

(010)64918013

购书传真: (010)64982630

<http://www.cip.com.cn>

*

新华书店北京发行所经销

北京云浩印刷有限责任公司印刷

三河市前程装订厂装订

开本 787mm×1092mm 1/16 印张 15½ 字数 376 千字

2006 年 6 月第 1 版 2006 年 6 月北京第 1 次印刷

ISBN 7-5025-8614-8

定 价: 35.00 元

版权所有 违者必究

该书如有缺页、倒页、脱页者, 本社发行部负责退换

前 言

我国的水资源不足已经成为制约国民经济和社会发展的的重要因素。火力发电厂是工业用水大户，也是废水排放大户。随着水资源短缺的加剧和日益严重的环境污染，废水处理在火力发电厂中占有越来越重要的位置。火力发电厂的废水回用具有节水和环保的双重效益；通过废水的回用，实现废水资源化，已经成为火力发电厂实现可持续发展的必由之路。在这方面，国家和电力行业都适时地制定了相应的政策。党的十五届五中全会要求要将水资源与石油资源、粮食资源等关系我国经济安全和长远发展的战略资源同等对待。1999 年出台了“国家十五节水规划”和“电力十五节水规划”；2005 年出台了“电力十一五节水规划”。在电力行业的节水规划中，对火力发电厂的用水和废水减排的目标都有具体的规定。

火力发电厂的废水资源化的潜力很大。通过废水回用，可以替代火力发电厂 30% 以上的新鲜水，有很大的节水效益。同时，废水回用又可以减少火力发电厂的外排废水量，减轻对环境的污染，有很大的环保效益。在 20 世纪 90 年代以前，火力发电厂大都没有考虑废水回用的问题，废水处理的目的是达标排放。近年来，由于水资源费和排污费的日益增长，火力发电厂废水回用的市场被激活，废水资源化的进程逐渐加快，对废水综合利用的技术需求也变得日益旺盛。由于火力发电厂废水处理的重点已经由达标排放转为综合利用，因此相应的废水处理工艺也发生了很大的变化。

目前火力发电厂废水处理的基本状况是大部分火力发电厂能够做到废水达标排放，但废水回用的水平还不高，技术和管理方面都存在不少问题。最典型的问题是用水不合理、浪费严重、重复利用率低。因此，需要在加强管理的同时，采用合理的废水回用技术，提高节水和废水减排的效益。

本书共分十章。其中，第一章由汪德良和杨宝红编写；第二章和第七章由杨宝红和王正江编写；第三章由许臻编写；第九章和第十章由杨宝红、王璟、姜琪和汪德良编写；其余各章由杨宝红编写；全书由杨宝红统稿。在本书的编写过程中，同事余耀宏工程师和叶治安工程师提供了大量的素材，在此表示衷心感谢。

由于水平有限，书中难免存在不足之处，恳请各位读者批评指正。

杨宝红
2006 年 3 月

目 录

第一章 火力发电厂的水资源与废水资源	1
第一节 水资源的存在形式与分布	1
一、水的存在形式和特性	1
二、水资源的状况	2
第二节 火力发电厂常用的水源类型和水质特点	3
一、地表水	3
二、地下水	5
第三节 水中的主要杂质和水质分析	6
一、天然水中的主要杂质	6
二、主要水质分析指标	8
第四节 火力发电厂的废水资源	14
一、火力发电厂废水回用的历史和现状	14
二、火力发电厂废水的资源化潜力	15
三、火力发电厂废水综合利用的难度	15
第二章 火力发电厂废水的形成、分类及排放控制	17
第一节 火力发电厂废水的形成	17
一、水质污染的几种形式	17
二、水汽循环系统废水的来源	17
三、锅炉补给水处理系统的废水	19
四、凝结水精处理系统再生废水	21
五、凝汽器冷却水系统	21
六、大型设备的冷却排水	22
七、冲灰、冲渣系统	23
八、煤系统废水	24
九、油系统废水	24
十、其他来源废水	24
第二节 火力发电厂废水的分类	24
一、按照废水的来源划分	24
二、按照废水的流量特点划分	25
三、按照废水的水质特点划分	25
第三节 火力发电厂废水的排放控制	26
一、废水排放控制标准	26
二、火力发电厂废水排放常规监测项目	27

第三章 废水的收集和深度处理工艺	29
第一节 废水的收集和处理方式	29
一、废水的收集	29
二、废水处理方式	29
第二节 混凝澄清工艺	30
一、混凝澄清的去除对象	30
二、混凝澄清的机理和过程	30
三、泥渣特性	31
四、影响泥渣特性的因素	32
五、排泥对澄清效果的影响	34
六、几种常用混凝剂的性能	34
七、澄清器	36
第三节 气浮	40
一、气浮的原理	40
二、影响气浮运行的主要因素	40
三、气浮工艺容易发生的问题	42
第四节 石灰处理	43
一、概述	43
二、石灰处理的原理	44
三、影响石灰处理效果的因素	44
四、其他化学软化处理方法	45
第五节 过滤	45
一、粒状过滤的一般知识	45
二、影响过滤器截污容量的因素	47
三、过滤器的反洗	48
四、火力发电厂常用的粒状滤料过滤器	50
五、其他类型的过滤器	53
第六节 微絮凝过滤	54
一、微絮凝过滤的原理	54
二、微絮凝过滤的应用	54
三、微絮凝过滤处理地下水时 SDI 指数的变化	55
第七节 超滤	56
一、超滤的工作原理	56
二、超滤膜的类型、材质和结构	57
三、内压式和外压式超滤膜组件	58
四、死端过滤和错流过滤	59
五、超滤的主要设计参数	59
六、超滤的污堵和断丝	60
第八节 反渗透	61
一、反渗透的基本概念	61

二、反渗透膜的类型和特点	62
三、反渗透对预处理的要求	63
四、反渗透运行中的问题	64
五、反渗透系统的关键设备和材料	67
六、膜元件的安装和保管	69
第四章 火力发电厂的水平衡优化	70
第一节 火力发电厂用水存在的问题	70
一、跑冒滴漏	70
二、用水不合理	70
第二节 火力发电厂水平衡试验	71
一、水平衡试验项目及内容	71
二、与水平衡有关的几种水量概念	71
三、评价水平衡的关键指标	72
四、水平衡试验中几个关键水量的确定	73
第三节 火力发电厂的典型水平衡	75
一、空冷机组的水平衡	75
二、循环冷却型湿冷机组	76
三、海水冷却电厂	80
第四节 水平衡优化的关键	80
一、循环水系统的排水量与冲灰用水量相匹配	80
二、分类收集废水	80
三、合理进行废水的回用	81
第五章 废水集中处理站	82
第一节 废水的收集	82
一、废水集中处理站收集的废水	82
二、废水的收集设施	83
第二节 废水的处理工艺	84
一、经常性废水的处理	84
二、非经常性废水的处理	85
三、主要的废水处理设备	88
四、污泥脱水设备	89
第六章 循环水冷却水系统	92
第一节 循环水中的杂质	92
一、杂质的来源	92
二、无机离子杂质	93
三、微生物杂质	95
第二节 循环水的高浓缩倍率运行	96
一、浓缩倍率与减少补水的关系	97
二、高浓缩倍率运行方案的确定	97
三、循环水处理	98

第三节 循环水排污水的回收处理	101
一、循环水排污水回用的难度和关键	101
二、化学沉淀软化预处理	102
三、混凝澄清预处理	103
四、膜过滤处理	103
五、反渗透膜的污染	108
第四节 循环水排水回收工程实例	119
一、化学软化处理工艺实例	119
二、混凝澄清处理系统实例	123
三、超滤工艺工程实例	124
第七章 脱硫废水处理	126
第一节 烟气脱硫技术概述	126
一、石灰石(石灰)-石膏湿法脱硫工艺	126
二、喷雾干燥法工艺	127
三、炉内喷钙工艺	127
四、烟气循环流化床脱硫工艺	127
五、海水脱硫工艺	127
六、电子束法脱硫工艺	128
七、氨水洗涤法脱硫工艺	128
第二节 脱硫废水的水质	128
一、脱硫废水的产生	128
二、脱硫废水中的杂质	129
三、脱硫废水中主要污染物的排放控制	131
第三节 重金属离子的去除方法	133
一、沉淀处理	134
二、还原法	139
三、离子交换法	139
四、吸附	139
五、电解法	140
六、铁氧体法	140
第四节 脱硫废水的处理工艺	140
一、悬浮物的去除	141
二、还原性物质的去除	142
三、 F^- 的去除	142
四、脱硫废水处理系统	143
五、工程实例	144
第八章 冲灰水回用处理技术	147
第一节 粉煤灰的来源及性质	147
一、煤的组成	147
二、飞灰的形成	149

三、灰的性质·····	149
第二节 灰中主要元素的分布和溶出·····	151
一、灰中主要元素的分布·····	151
二、灰中元素的溶出·····	153
第三节 火力发电厂的除灰系统·····	156
一、除灰方式·····	156
二、稀浆输灰·····	157
三、厂内闭路循环输灰·····	158
四、灰场排水处理系统·····	158
第四节 灰水水质·····	159
一、湿式除尘的灰水水质·····	159
二、电除尘的灰水水质·····	160
三、灰场沉淀后的灰水水质·····	163
第五节 冲灰水系统的防垢处理·····	165
一、灰水系统的结垢·····	165
二、主要防垢处理工艺·····	167
第九章 煤、油废水和生活污水的处理回用·····	172
第一节 含煤废水的处理·····	172
一、含煤废水的水质·····	172
二、含煤废水的收集·····	172
三、含煤废水的处理工艺·····	173
四、台州电厂含煤废水处理工程·····	174
第二节 含油废水的处理·····	178
一、含油废水的来源·····	178
二、含油废水的水量和水质·····	179
三、含油废水的收集·····	180
四、含油废水处理设备·····	181
第三节 火力发电厂生活污水回用·····	184
一、生活污水的来源及特点·····	184
二、火力发电厂常用污水处理工艺·····	185
三、火力发电厂污水回用工程实例·····	187
第十章 城市污水在火力发电厂的再生利用·····	193
第一节 概述·····	193
一、城市污水再生利用的意义·····	193
二、污水再生利用的历史和现状·····	193
第二节 城市污水的特点和处理工艺·····	195
一、概述·····	195
二、各类工业废水的水质特点·····	195
三、城市污水的二级处理·····	200
第三节 污水再生利用要解决的主要问题·····	203

一、生物黏泥沉积和藻类繁殖·····	204
二、氨氮的问题·····	206
三、 Cl^- 和 SO_4^{2-} 对铜管和混凝土的腐蚀 ·····	208
四、其他问题·····	209
第四节 二级出水的深度处理·····	210
一、混凝、过滤处理·····	211
二、石灰处理·····	211
三、超滤深度处理·····	216
四、曝气生物滤池·····	219
五、氨氮的去除工艺·····	223
六、杀菌处理·····	225
第五节 污水深度处理后的水质·····	227
一、与生物黏泥和藻类有关的水质指标·····	227
二、影响浓缩倍率的水质指标·····	229
三、其他水质指标·····	229
第六节 凝汽器管的材质和腐蚀试验·····	230
一、铜合金的一般知识·····	231
二、凝汽器管的腐蚀形式·····	232
三、不同材质腐蚀试验·····	233
参考文献·····	235

第一章 火力发电厂的水资源与废水资源

第一节 水资源的存在形式与分布

在火力发电厂水汽循环系统中，水是实现能量传递和能量转换的重要介质。水的热容量大，传递相同的能量使用的工质数量最少；液体水几乎不可压缩，有利于能量的传递；水的来源广泛，而且化学性质稳定，对设备、环境无危害。因为这些性质，使得水成为火力发电厂最重要的工作介质。

火力发电厂的水源来自自然界。天然水资源的储量与存在形式对火力发电厂的规模及分布有制约性的影响。本节主要讨论天然水资源的形式与分布特点。

一、水的存在形式和特性

1. 水的存在形式

水是自然界存在的最广泛、最丰富的资源，地球表面大约有 70% 以上的面积被水所覆盖。水以固、液、汽三种形态广泛存在于海洋、河流、沼泽、湖泊、地下、冰川、积雪、大气、土壤和生物体内。其中，气态水主要存在于大气中；而固态水则以冰川、积雪的形式存在；其他水体大多为液态水。自然界中水的分布情况见表 1-1。

表 1-1 自然界中水的分布情况

水 体	占地球总水量的百分数/%	水体积/m ³	水 体	占地球总水量的百分数/%	水体积/m ³
海洋	97.2	1.32×10 ¹⁸	土壤水	0.005	6.7×10 ¹³
冰冠和冰川	2.15	2.92×10 ¹⁶	大气水	0.001	1.3×10 ¹³
地下水	0.62	8.34×10 ¹⁵	生物体内水	0.0005	6×10 ¹²
淡水湖泊	0.009	1.25×10 ¹⁴	河流	0.0001	1.25×10 ¹²
咸水湖和内海	0.008	1.04×10 ¹⁴			

从表 1-1 可以看出，地球上以液态存在的水主要是海水，占地球总水量的 97% 以上。淡水资源仅占地球总水量的 2.8%，而且大部分以冰川和冰冠的形式存在，目前还难以直接利用。在工业生产中，可直接利用的水源主要为河流、湖泊和浅层地下水，这部分仅占总水量的 0.0141%。

2. 水的资源特性

水是部分不可再生的资源，也是一种流动性的、会随时间变化的资源。人类社会的各种活动都离不开水。事实上，水资源最重要的价值并不是我们常见的各种用途，而是支撑土地、水、森林、草原、矿产、能源、海洋、气候、物种和旅游十大资源中的母体资源。这些资源都是人类社会能够保持持续发展的重要物质条件；没有水，这些资源都不可能存在。

各种形态的水通过循环进行转化。水的循环是地球生物界得以生存的重要因素。海洋中的水蒸发进入大气层变为大气水；随空气流移动的大气水遇到一定的气象条件时，又以雨、雪、冰雹等形式落回地球表面，形成河流、湖泊等地表水源。地球表面的水除了通过蒸发、降水（雨雪）过程与大气水进行转化之外，还通过渗滤与地下水发生联系。因此，水的各种

存在形态都不是孤立的，而是相互联系、相互影响和相互转化的。

二、水资源的状况

1. 水资源的数量

水资源的概念是指在目前的技术条件下，人类可以直接利用的地表水和地下水；水资源量是根据多年平均降水量计算出的每年可更新的地表水总量和地下水总量的和。水资源量用人数平均后，即得到人均水资源占有量。

国际上根据各国的人均水资源占有量，将缺水状况划分为三个等级：

① 人均水资源占有量在 $2000 \sim 3000 \text{m}^3/\text{人}$ 之间时，为轻度缺水；

② 人均水资源占有量在 $1000 \sim 2000 \text{m}^3/\text{人}$ 之间时，为中度缺水；

③ 人均水资源占有量 $< 1000 \text{m}^3/\text{人}$ ，为重度缺水。

目前世界主要缺水国家的人均水资源占有量见图 1-1。需要说明的是，图 1-1 所列出的缺水国家的人口总量占世界总人口的一半，还有一些缺水的国家并未在图中列出。另外，还有一些国家按照上述标准计算不缺水，但存在区域性缺水地区，如美国的西部地区 and 俄罗斯的中亚地区等。由此可见，水资源的短缺是全球性的。

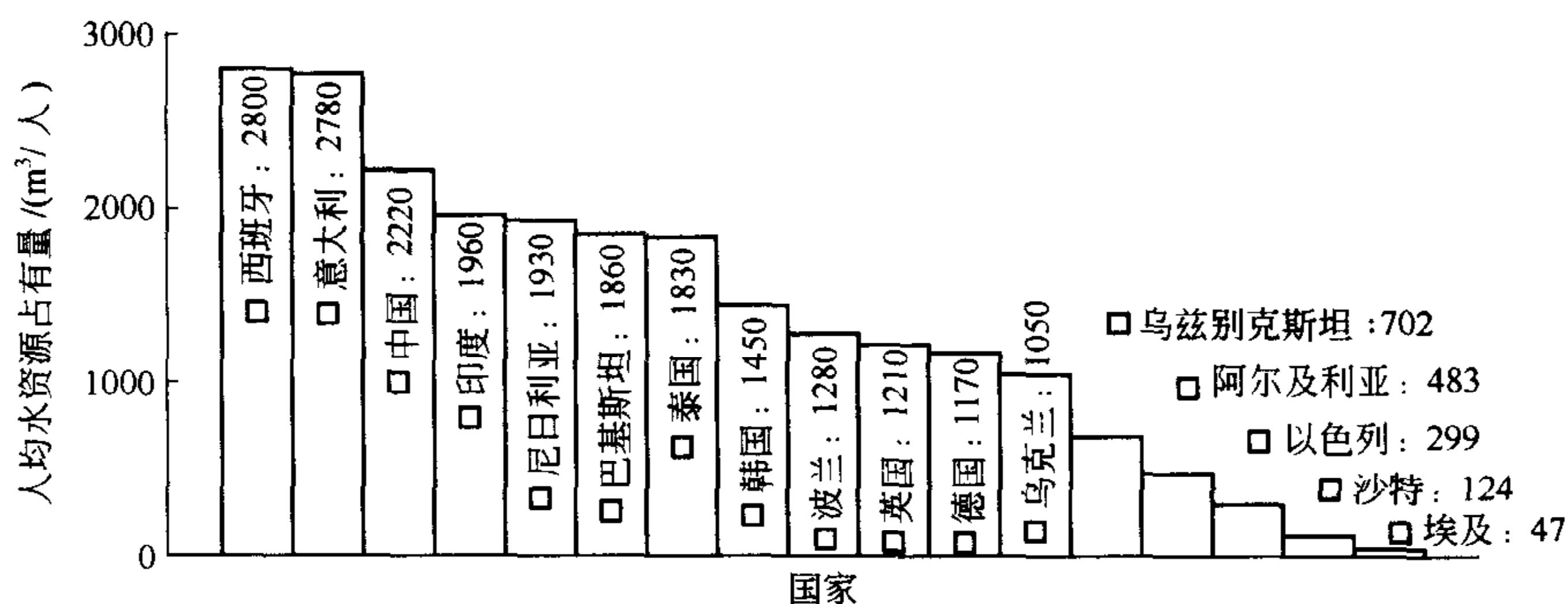


图 1-1 世界主要缺水国家的人均水资源占有量

我国目前的水资源状况是平均年降水总量为 6.2 万亿立方米，可更新的地表水、地下水总量为 2.8 万亿立方米/年。1997 年我国的总人口为 12.6 亿，照此计算的人均水资源占有量为 $2220 \text{m}^3/\text{人}$ ，属于轻度缺水国家。到 2030 年，预计全国人口将达到 16 亿，如果地表水、地下水的年更新总量保持不变，则人均水资源占有量将会降至 $1700 \text{m}^3/\text{人}$ ，届时将进入中度缺水国家的行列。值得指出的是，我国的水资源在时空分布上极不均匀。北方缺水地区，人均水资源量仅为 $990 \text{m}^3/\text{人}$ ，属于重度缺水地区。

由于水资源主要依靠大气降水来再生和补充，因此在人类经济活动的周期内水资源的储量不是恒定的。在不同地区、不同的气候条件下有不同程度的变化，有时变化会十分剧烈，水资源的状态脆弱，而且自恢复能力很弱。人类活动中对水资源进行的过度开采，以及工业污染都对水生态系统产生了严重的破坏。

2. 我国水资源的分布

在我国，水资源的时空分布极不均匀。从时间上来讲，有春寒夏涝、雨热同期的特点。大部分地区 60%~80% 的降雨集中在 4 个月内，造成了大部分雨水以洪水径流的形式排走。从空间分布上来讲，具有东南水多、西北水少的特点。水资源的分布与经济发展的要求不匹配；其中，黄河、淮河、海河三条大河流域面积占全国面积的 39%，人口占全国的 35%，

水资源量仅占全国的 7.7%。这些因素对我国的工农业生产都有不利的影响。

3. 我国水资源污染的严重形势

2005 年 6 月，国家环保总局发布了对全国七大水系 194 条河流、396 个断面的水质监测结果，总体情况是可用作饮用水源的Ⅰ～Ⅲ类水质占 49.2%，已受污染不能用作饮用水源的Ⅳ～Ⅴ类水质占 28.5%，严重污染的劣Ⅴ类水质占 22.3%。七大水系主要污染物指标是氨氮、五日生化需氧量（BOD₅）、高锰酸盐指数（COD_{Mn}）和石油类。表 1-2 为此次调查结果汇总。

表 1-2 七大水系水质调查情况

水 系	Ⅰ～Ⅲ类	Ⅳ～Ⅴ类	劣Ⅴ类	主要污染指标	总体评价
长江水系	86.3%	8.8%	4.9%	石油类、氨氮、溶解氧	整体水质良好
黄河水系	52.4% ^①	21.4%	26.2%	石油类、氨氮和 BOD ₅	中度污染
珠江水系	75.8%	21.2%	3.0%	溶解氧、石油类	总体水质良好
松花江水系	17.5% ^①	52.5%	30.0%	COD _{Mn} 和石油类	中度污染
淮河水体	24.7%	43.5%	31.8%	BOD ₅ 、COD _{Mn} 和氨氮	中度污染
海河水系	26.8%	25.0%	48.2%	COD _{Mn} 、BOD ₅ 、石油类	重度污染
辽河水系	43.2% ^①	43.2%	13.5%	石油类、氨氮和 BOD ₅	轻度污染

①：无Ⅰ类水质。

第二节 火力发电厂常用的水源类型和水质特点

火力发电厂使用的天然水源主要有地表水和地下水两种。其中，地表水源包括各种河流、湖泊、水库、泉水等。

1990 年，西安热工研究院对全国火力发电厂使用的水源类型进行了调研。结果显示，在调研的 232 家电厂中，使用地表水的有 118 家，占 50.9%；使用地下水的有 76 家，占 32.8%；使用自来水的有 16 家，占 6.9%；其他占 9.4%。无论是地表水还是地下水，其杂质都会随着时间而变化，但地表水的变化通常更快和更明显。季节性的影响因素，如降水、干旱、海潮、湖泊的更新等，都能够导致水体特征发生明显的变化。

一、地表水

地表水是维持地球生态繁荣的重要基础，主要以河流、湖泊等形式存在。地表水源主要来自降雨、冰雪融水以及浅层地下水渗出（如泉水）等；清洁的地表水几乎都可以被人类直接利用。

地表水的水质受环境的影响，容易变化。除了地质条件外，大气中的 O₂、N₂、CO₂、灰尘以及受污染地区的 SO₂、烟尘、H₂S 等杂质都可以溶入地表水中。其中，悬浮物和有机物是地表水最容易变化的指标。由于存在方式不同，河流与湖泊在许多方面有各自的特点。

1. 江河水的特点

连续流动、不断更替是江河水最大的特点。江河水的更新快，水流与地表物质接触时间短，因此与其他陆地上的水体相比，河水的含盐量低，有一定的自净化能力；一旦被污染，比其他水源易于复原；这些特点对环境保护极为有利。

我国幅员辽阔，自然条件差异较大，因此地表水水质有很大的差别，有明显的地带性分布特征。即使是同一条河流，也常常因上游和下游、夏季和冬季、雨天和晴天，水质完全不同。

河水的化学成分是复杂多样的，其水质随河道沿程的环境、季节、天气的改变会有较大幅度的变化。河水在流动过程中，要接触到各种岩石、土壤，会溶进泥沙、有机物和无机盐等很多杂质。这些杂质组成除了与河床的地质结构、接触的土壤成分有关外，还与上游补给水流的来源和水量、支流或坡面水流的来源和水量等因素密切相关。因为河水会与浅层地下水进行交流，所以其水质还与河道附近的地下水水质有关。

在各种水质指标中，悬浮物是河水最容易变化的水质指标。东南沿海具有土壤层薄、花岗岩多、植被较好和水土流失少的特点，因此这一带河水的悬浮物在大部分时间内较低；而长江流域则因为相连的水系复杂，其悬浮物在较长时间可以维持在 1000mg/L 以上。华北和西北地区的河流的悬浮物一般较高，变化幅度很大。特别是在黄土区的河道，每逢暴雨时大量的泥沙被冲入河水中，河水的悬浮物可以在几小时内由几百毫克每升骤涨至几万毫克每升。这方面最典型的例子就是黄河：在冬季悬浮物仅几十毫克每升；而在夏季遇暴雨发生洪峰时，悬浮物可达几十万毫克每升。东北地区河流的悬浮物浓度不高，其数值一般在数百毫克每升以下。

与悬浮物相比，河水的无机盐含量相对比较稳定，但地域之间的差别还是很明显的。一般情况是东北、南方地区河流的含盐量和硬度都比较低（有些河流的含盐量甚至不到 50mg/L），西北、华北地区的含盐量较高。在西北、华北地区，有些河流的含盐量甚至超过 1000mg/L，而且通常都是高硬度水。无论是哪个地区，入海口河段的含盐量的变化往往很大。因为海水倒灌的影响，经常会出现含盐量突然升高的情况。很多以此为水源的火力发电厂因为原水水质不稳定而影响了生产，如广东珠江流域、西江流域和天津市海河流域的火力发电厂等。

上述分析都是基于自然条件做出的。近年来，各种地表水源的工业污染加剧，使得原本水质极好的河流受到污染，有机物、含盐量等水质指标大幅度升高，水质恶化，增大了工业用水的成本。

2. 湖泊、水库

湖泊和水库是地表水资源存在的另一种重要形式。根据水深的不同，湖泊分为浅水湖泊和深水湖泊两类。

相对于河流来讲，湖泊水的水流迟缓，没有整体水的置换，更新期比河流长。湖泊与河床的接触时间很长，这样会增强湖水对湖盆中的岩石、土壤的溶蚀作用。同时，湖水的水面宽广，蒸发量较大，盐分留在水中逐渐被浓缩。如果上游河水的补充量小，随着时间的推移，其含盐量一般都明显升高。例如，山西漳泽电厂的水源地漳泽水库，库容约 3 亿立方米。1985 年，水库水的溶解固体物为 341.5mg/L， COD_{Mn} 为 1.48mg/L；到了 1994 年，因干旱水库补水量不足，溶解固体物和 COD_{Mn} 分别增至 627.5mg/L 和 3.12mg/L，给电厂的生产带来了极大的困难。

对于面积较大的湖泊，不同的区域水质不同。另外，对于深水湖泊，不同的水深，水质分布也不同。湖泊的水质随水深的变化情况如下。

(1) 水温

湖水的水温成层分布，因此在深度方向上存在密度差，从而水体内部存在着对流现象。

水库表面的水温受环境影响很大，而深层的水温则比较稳定。在夏季，水温垂直分布上存在一个水温跃动层（简称温跃层，如图 1-2 所示）。水深超过此层后，温度会突然大幅度降低，同时其他水质指标都有一个突变。

(2) 浊度

与河水相比，因为长时间静止沉降，湖水的浊度一般较低。但在不同的深度，其浊度的大小是不同的。一般是上层低，中层和下层高。

(3) 溶解氧

水中的溶解氧在水的表面最高，一般与大气饱和。随着水深的增加，溶解氧稍有降低。但当水深超过温跃层后，溶解氧浓度会急剧下降；溶解氧浓度可以由大气饱和浓度急剧降低到零。

(4) pH 值

水中的 pH 值也是在水的表面最高。当水深超过温跃层后，pH 值可以由表面的 8~10 降至 6.3~6.5。

(5) 藻类

藻类物质一般漂浮于湖水的表层。深度在温跃层之上时，藻类的含量随水深的增加而增大，直至温跃层达到最高值，然后急速降低至零。

(6) CO₂

在水的表面，CO₂ 的含量很小。当水深超过了温跃层后，CO₂ 的含量逐渐加大，到水底时达到最高。

(7) 其他

锰、铁、H₂S、氨氮、磷酸盐等都在较深处才出现，到水底含量达到最高。

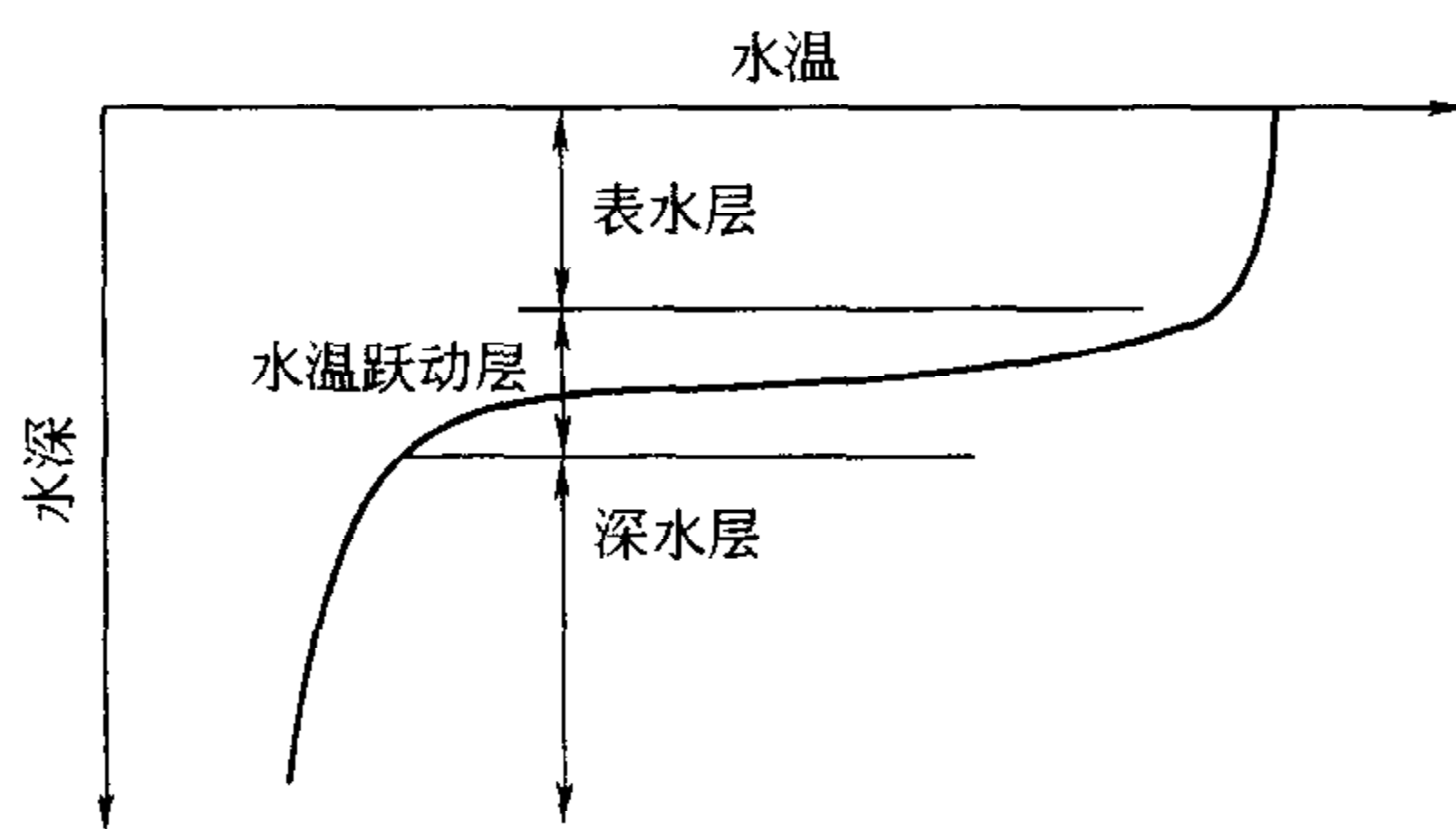


图 1-2 水库水的温跃层示意

二、地下水

地下水的水质特征相对比较稳定，变化比较缓慢。按照储存深度划分，地下水可以分为表层地下水、层间地下水和深层地下水。各层水的水质特征是不同的。

1. 表层地下水

表层地下水主要是土壤水和潜水，是地层中不透水层以上的地下水。这部分水与外界环境的联系比较多，其水量、水质很容易受外界的影响。

2. 层间地下水

层间地下水是在不透水层以下的中层地下水，是雨、雪等降水和地表水经过长距离渗流进入地下而形成的水层。火力发电厂使用的主要是层间地下水，通常将其称为地下水。

层间地下水可以由雨雪降水或地表水通过地层的渗流得到补充。因为在渗流的过程中，补充的水经过了深层过滤，而且储存时间长、储存环境稳定，因此层间地下水的水质一般变化不大，其水质指标主要与地下的地质条件有关。由于长期与石灰石、石膏、白云石、菱镁矿、硅酸盐和硅铝酸盐等矿物质接触，大量的钙、镁、钠、锶等元素溶入水中，因此一般地下水的硬度、碱度、含盐量、胶体硅、铁、CO₂ 等水质指标比地表水的高。

总体来说,层间地下水有以下特征:水质稳定,透明,几乎没有悬浮物、有机物和细菌。大部分地下水的含盐量在 $100\sim 5000\text{mg/L}$ 之间。也有极高含盐量的例子:我国西北某地的地下水含盐量曾有高达 167mmol/L 的记录。

人类对地下水的开采、废水的排放等地面活动会对地下水产生一定的影响。尽管表层地下水和层间地下水可以通过一定的途径得到补充,但一旦超量开采,就会产生水位下降、水质变差、地面沉降等一系列问题。现实的问题是在城市化过程中,水泥、沥青等硬化地面不断扩大,地表水的渗透区域逐渐减小,从而导致地下水的补充量越来越小;但同时地下水的开采量却越来越大,因此城市地面沉降加剧。在山东、河北,因为超量开采地下水,地下水层已经形成一个跨省的巨大漏斗区。

过度开采还会导致地下水的水质发生大的变化。因为过度开采可能导致水层的水位降低,所以相邻蓄水层的水可能会入侵(如近海岸的高盐分地下水层),由此引起地下水水质的变化。

3. 深层地下水

深层地下水是指深度在地表之下 1km 左右的蓄水层,由于它不能够通过地表水渗漏进行补充,很多是被封闭了千百万年的“化石”。深层地下水基本与外界隔绝,工业上一般不进行开采。已有的调查表明,深层地下水水量巨大、水质优良,是一种不可多得的丰富资源。

从水质上来讲,深层地下水的水质量优于任何江湖中的水;从储量来看,目前已探明的深层地下水储量远远大于地球表面淡水的储量,其储量可以支持人类生存几个世纪。但是,深层地下水对人类生态环境所起的作用,以及开采会带来什么样的影响,目前人们了解得很少。同时,在人类的经济活动周期内深层地下水是不能补充的。一旦开采,只有消耗没有补充,因此目前还不具备开采的能力。另外,深层地下水是人类的后代赖以生存的资源,因此目前也没有开采的必要。

第三节 水中的主要杂质和水质分析

一、天然水中的主要杂质

通常所说的水质是指水的化学组成,亦即水中的杂质组分和含量。作为一种溶解性很强的极性溶剂,水能溶解与之接触的大气、岩石、土壤中的许多物质,因此天然水不可能以纯净的形态存在,其中会有很多种类的杂质。在一般情况下,水中的杂质都是一些来自自然界的各类化合物,只有少量的杂质以单质或者其他更为复杂的化合物形态存在。如果水质受到工业污染,水中会含有一些工业合成的物质。

水中的杂质有多种分类方法。在水处理中,常以杂质的分散体系对杂质进行分类,因为属于同一分散体系的杂质其处理工艺往往相同。分散体系是以杂质颗粒大小为基础建立的,按照杂质的颗粒半径由大到小将杂质分为悬浮物、胶体和溶解物质三部分。

1. 悬浮物

悬浮物是水中存在的可以通过某种过滤材料分离出来的固体物质。悬浮物的颗粒半径大于 $0.1\mu\text{m}$,是水发生浑浊的主要原因。这类杂质在水中是不稳定的,在重力或者浮力作用下会发生沉淀或者上浮。组成悬浮物的主要是水中的砂粒、黏土微粒和一些动植物生命活动过程中产生的物质或死亡后产生的腐败产物。近年来,随着工业污染的加剧,一些工业废物

也逐渐成为悬浮物的主要部分。

2. 胶体

胶体是天然水中主要的杂质之一，也是火力发电厂水处理中要除去的主要杂质之一。常见的胶体物质有铁、铝、硅的各种化合物。另外，腐殖酸等能溶于水的大分子有机物也具有胶体的性质，通常也列入胶体的范围。

胶体大多是由许多不溶于水的大分子组成的集合体，是粒径在 $0.001\sim 0.1\mu\text{m}$ 之间的微粒。胶体微粒的大小介于溶解物质与悬浮物之间，是在水中存在相分界面的最小颗粒。因为存在相分界面，所以当光透过胶体溶液时会产生散射现象，这就是丁达尔现象——胶体最重要的光学性质。因为胶体的粒径极小，所以胶体颗粒具有很大的比表面积和巨大的界面自由能，这一点决定了胶体在一定条件下会脱稳而与水分离。但是，一般的条件下，水中的胶体物质能够稳定的存在，这就是胶体的稳定性特征。

胶体的稳定性包括动力稳定性和聚集稳定性。动力稳定性又称沉降稳定性，是由于存在布朗运动，使水中的胶体微粒可以长时间保持分散状态而不发生沉降。聚集稳定性又称凝聚稳定性，由于胶体颗粒表面存在双电层（存在 ζ 电位），同性电荷的相斥力阻碍了胶体颗粒在碰撞时互相黏附长大，因此，胶体微粒之间不会自行发生凝聚而脱稳。胶体的稳定性是胶体颗粒不容易沉降的根本原因。

3. 溶解杂质

溶解杂质包括无机盐和溶解气体两类。

(1) 无机盐

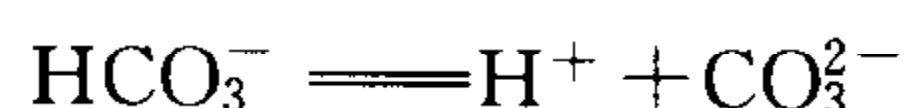
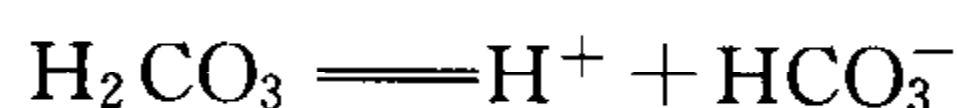
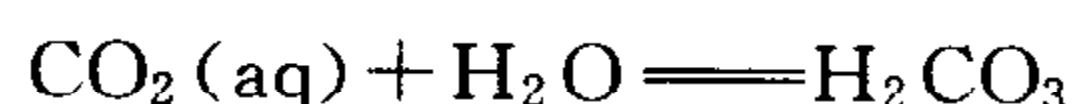
无机盐溶于水后会发​​生电离而形成离子态杂质。天然水中含有的离子有 K^+ 、 Na^+ 、 NH_4^+ 、 Ca^{2+} 、 Mg^{2+} 、 Mn^{2+} 、 Zn^{2+} 、 Ni^{2+} 、 Fe^{3+} 、 Al^{3+} 、 HCO_3^- 、 Cl^- 、 SO_4^{2-} 、 F^- 、 NO_3^- 、 CO_3^{2-} 、 HSO_4^- 等；其中主要的是 Ca^{2+} 、 Mg^{2+} 、 Na^+ 、 HCO_3^- 、 Cl^- 、 SO_4^{2-} ，其他离子占的比例较小。

离子杂质主要来源于水流经的地层、土壤等溶解的某些矿物质，如石灰石、石膏（ Ca^{2+} 、 CO_3^{2-} 、 SO_4^{2-} 来源之一）、白云石、菱镁矿（ Mg^{2+} 的主要来源之一）等；还有某些钠盐矿、钾盐矿（ Na^+ 、 K^+ 的主要来源）以及土壤中富含的铝化合物和硅化合物（铝和硅的主要来源之一）。

(2) 溶解气体

天然水中常见的溶解气体杂质包括二氧化碳（ CO_2 ）、硫化氢（ H_2S ）、二氧化硫（ SO_2 ）、氨（ NH_3 ）等。其中， CO_2 是最主要的溶解气体，也是影响水中碳酸盐平衡的主要因素之一。在天然水中，特别是低含盐量的淡水中，主要的盐分常常是碳酸类盐。

CO_2 溶于水后形成碳酸，碳酸是二元酸，在水中可以形成两种酸根，即 HCO_3^- 和 CO_3^{2-} ，主要的反应如下。



因此，碳酸在水中有以下形式：①溶于水的 CO_2 分子，通常写作 $\text{CO}_2(\text{aq})$ ；②碳酸分子， H_2CO_3 ；③碳酸氢根， HCO_3^- ；④碳酸根， CO_3^{2-} 。

在上述形式中， CO_2 分子和 H_2CO_3 分子又都称为游离二氧化碳； HCO_3^- 又称为半结合