

高等学校规划教材

工业水处理技术

GONGYESHUI CHULI JISHU

王文东 主 编
周 成 张 卉 副主编
杨宏伟 主 审

中国建筑工业出版社

高等学校规划教材

工业水处理技术

王文东 主 编
周 成 张 卉 副主编
杨宏伟 主 审

中国建筑工业出版社

图书在版编目 (CIP) 数据

工业水处理技术/王文东主编. —北京: 中国建筑工业出版社, 2017. 7

高等学校规划教材

ISBN 978-7-112-20922-4

I. ①工… II. ①王… III. ①工业用水-水处理-高等学校-教材 IV. ①TQ085

中国版本图书馆 CIP 数据核字 (2017) 第 140478 号

本书从我国水资源概况和进行工业水处理的必要性出发, 系统地介绍了工业水处理的目标要求、常用净化工艺。全书共 8 章, 第 1 章绪论, 介绍我国水资源概况、水体污染特点、工业水处理的现状及必要性; 第 2 章工业水的使用和排放要求; 第 3 章工业水预处理技术; 第 4 章工业水物理处理技术; 第 5 章工业水化学处理技术; 第 6 章工业水物理化学处理技术; 第 7 章工业水生物处理技术; 第 8 章工业水处理工程实践, 列举了 6 个典型应用案例, 结合实际对全书知识加以梳理。书中选有例题便于读者理解内容, 书后附有思考题与习题便于读者巩固所学知识。

本书内容详尽, 系统全面, 可以作为给排水科学与工程和环境类专业本科教材, 也可以作为相关专业研究生和工程技术人员的工具书。

为方便教学, 作者特制作了配套课件, 如有需求, 请发邮件至 cabpbeijing@126.com 索取。

责任编辑: 王美玲 吕娜

责任校对: 焦乐 姜小莲

高等学校规划教材

工业水处理技术

王文东 主编

周成 张卉 副主编

杨宏伟 主审

*

中国建筑工业出版社出版、发行 (北京海淀三里河路 9 号)

各地新华书店、建筑书店经销

霸州市顺浩图文科技发展有限公司制版

北京君升印刷有限公司印刷

*

开本: 787×1092 毫米 1/16 印张: 14 $\frac{1}{4}$ 字数: 344 千字

2017 年 8 月第一版 2017 年 8 月第一次印刷

定价: 28.00 元 (赠课件)

ISBN 978-7-112-20922-4

(30574)

版权所有 翻印必究

如有印装质量问题, 可寄本社退换

(邮政编码 100037)

前 言

随着我国经济的发展以及工业现代化进程的快速推进,工业水的使用量和排放量均已达到了不容忽视的水平。与此同时,我国大部分地区的水资源短缺状况以及全国范围内的水污染形势并无缓解趋势。为此,大力发展先进生产工艺、提高工业水的复用率、减少工业水的使用和排放量,已成为现代工业和环境保护事业的必然发展方向。工业用水的净化处理以及工业排水的处理与回用已成为给水排水专业本科生和研究生应当掌握的重要内容。然而,相关教材只有周本省先生编写的《工业水处理技术》一书。该书侧重介绍包括循环冷却水和锅炉水在内的工业用水净化技术,缺少对工业排水单元处理技术的论述。编者结合工业水处理的授课经验,查阅国内外相关教材和文献,对课堂讲义进行扩展补充形成了本书,以期给给排水科学与工程、环境工程和环境科学专业本科生提供学习教材,也可以作为相关专业的研究生和工程技术人员的工具书。

全书在编写过程中淡化了工业用水处理和排水处理的界限。首先,从水的循环过程来看,一方面,各种天然水源在工业企业污水排放等人类活动的干扰下,有机污染、氮磷污染甚至重金属污染对生产过程的影响已经达到了不可忽略的程度;另一方面,工业企业自身的大量工艺、冷却、锅炉和清洗排水又需通过深度净化处理作为工业用水进行回用,部分行业实现“零排放”的目标。工业用水和工业排水的净化处理已经很难找到本质区别。其次,从工业水单元处理技术角度来看,几乎所有的单元技术,如混凝、沉淀、深层过滤、消毒、离子交换和膜处理等均可既应用于传统意义上的工业用水处理,也可应用于工业排水处理,亦即处理单元本身是不具有“给水”或“排水”属性的。为此,全书坚持以“待处理水”或“受污染水”进行各单元处理技术介绍,仅在工艺的应用范围和例题分析等部分明确给出待处理水的来源,即属于天然水或工业排水。

本书为本科教材,使用本书的学生需具有一定《水质工程学》基础。考虑到内容的完整性,本书仍对工业水处理中应用较多的、与《水质工程学》存在交叉的部分工艺技术,如混凝、沉淀、过滤、消毒以及包括活性污泥法和生物膜法在内的生物处理技术,从工艺原理、技术特征、应用范围和设计计算等方面进行介绍,但作了适当删减。尤其是生物处理技术部分,仅选择性地介绍了间歇式活性污泥法(SBR)、循环活性污泥工艺系统、生物滤池、生物接触氧化、膜生物反应器、生物流化床、厌氧消化池、升流式厌氧污泥床反应器(UASB)和厌氧膨胀颗粒污泥床(EGSB)工艺,但这些工艺基本已经可以覆盖工业水处理的所有情况。

本书第1、2章和第8章由西安建筑科技大学王文东编写;第3章和第6章6.4节由西安市环境保护科学研究院丁真真编写;第4章由西安建筑科技大学姬晓琴编写;第5、6章(6.4节除外)由昆明理工大学周成编写;第7章7.1~7.5节由西安建筑科技大学张卉编写;第7章其余部分由长安大学李晓玲编写。全书由王文东主编,周成和张卉副主编,清华大学环境学院杨宏伟老师主审。本书编写过程中还得到清华长三角研究院和中煤

西安设计工程有限责任公司在工业水处理设计原型素材等方面提供的大力支持，西安建筑科技大学高湘老师对书稿内容提出了宝贵的意见和建议。同时，编者还参考了有关文献和资料，吸收了其中的技术成就和丰富的实践经验。在此，一并表示衷心的感谢。

限于编者的理论水平和实践经验，书中难免存在缺点和欠妥之处，恳请读者批评指正。

2016年12月12日

目 录

第 1 章 绪论	1
1.1 我国水资源概况	1
1.1.1 水资源的分布特点	1
1.1.2 我国水资源分布状况	2
1.2 工业用水水源类型及其特点	2
1.3 我国水体污染现状	3
1.4 污染源与工业污染	4
1.4.1 污染源	4
1.4.2 工业排水污染现状	5
1.5 工业水处理的重要性和必要性	6
思考题与习题	7
第 2 章 工业水的使用和排放要求	8
2.1 工业用水与废水排放	8
2.2 工业水处理对象及来源	9
2.3 工业用水与排放质量要求	10
2.3.1 国家标准	10
2.3.2 行业标准	13
2.3.3 地方标准	14
2.3.4 各类标准间的关系	14
2.4 工业水处理技术概述	15
思考题与习题	15
第 3 章 工业水预处理技术	16
3.1 格栅和筛网	16
3.1.1 格栅	16
3.1.2 筛网	18
3.1.3 格栅设计计算	19
3.2 沉砂池	21
3.2.1 平流式沉砂池	21
3.2.2 曝气沉砂池	23
3.2.3 旋流式沉砂池	24
3.3 调节池	25
3.3.1 调节池类型	25
3.3.2 调节池的混合	28

3.3.3 调节池设计计算	29
3.4 隔油池	33
3.4.1 平流式隔油池	33
3.4.2 斜板式隔油池	35
思考题与习题	36
第4章 工业水物理处理技术	37
4.1 气浮	37
4.1.1 基本原理	37
4.1.2 常用气浮药剂	37
4.1.3 气浮设备	38
4.1.4 设计计算	43
4.2 沉淀	46
4.2.1 平流式沉淀池	47
4.2.2 竖流式沉淀池	48
4.3 深层过滤	52
4.3.1 普通快滤池	52
4.3.2 压力滤池	55
4.3.3 纤维滤池	58
4.3.4 连续过滤滤池	58
4.4 膜处理技术	59
4.4.1 超滤	60
4.4.2 反渗透	64
4.4.3 电渗析	67
4.5 冷却	72
4.5.1 冷却塔结构	72
4.5.2 冷却塔类型	73
4.5.3 敞开式循环冷却水系统	74
4.5.4 敞开式循环冷却水系统分析	75
4.5.5 冷却塔设计计算	78
思考题与习题	79
第5章 工业水化学处理技术	80
5.1 酸碱中和	80
5.1.1 酸碱废水互混中和法	80
5.1.2 药剂中和法	81
5.1.3 过滤中和法	83
5.2 化学沉淀	86
5.3 硬水化学软化技术	90
5.4 氧化还原	93
5.4.1 原理	93

5.4.2	氧化剂和还原剂	96
5.4.3	氧化法处理工业水	96
5.5	离子交换	101
5.5.1	离子交换剂	101
5.5.2	离子交换的基本原理	104
5.5.3	离子交换的工艺流程	105
5.5.4	离子交换设备和系统	107
	思考题与习题	109
第6章	工业水物理化学处理技术	110
6.1	混凝	110
6.1.1	混凝机理	110
6.1.2	混凝的影响因素	112
6.1.3	工业水处理中常用的混凝剂和助凝剂	113
6.1.4	混凝设备	116
6.1.5	设计计算	117
6.2	澄清	123
6.2.1	澄清池基本原理	123
6.2.2	澄清池类型	123
6.2.3	澄清池的设计计算	126
6.3	吸附	130
6.3.1	吸附机理与吸附类型	130
6.3.2	吸附剂	130
6.3.3	吸附设备	133
6.3.4	设计与计算	133
6.3.5	吸附法在工业水处理中的应用	134
6.4	电解	135
6.4.1	电解原理	135
6.4.2	电解槽的结构类型	136
6.4.3	电解法在工业水处理中的应用	136
	思考题与习题	137
第7章	工业水生物处理技术	138
7.1	工业水生物处理技术概述	138
7.2	间歇式活性污泥法	140
7.2.1	工艺原理	140
7.2.2	工艺特点及适用条件	140
7.2.3	设计计算方法	141
7.3	循环活性污泥工艺系统	145
7.3.1	CASS系统组成与运行方式	145
7.3.2	CASS系统运行期内各区的反应行为	147

7.3.3	CASS 工艺设计与运行调控	148
7.4	生物滤池	150
7.4.1	生物滤池工艺形式	150
7.4.2	生物滤池性能影响因素	153
7.4.3	曝气生物滤池设计计算	154
7.5	生物接触氧化	156
7.5.1	生物接触氧化原理	156
7.5.2	生物接触氧化特点	156
7.5.3	生物接触氧化池结构组成	157
7.5.4	设计计算	160
7.6	膜生物反应器技术	163
7.6.1	概述	163
7.6.2	膜组件	164
7.6.3	MBR 工艺类型	165
7.6.4	MBR 工艺设计计算	166
7.6.5	膜污染成因与控制	171
7.7	生物流化床	174
7.7.1	原理和类型	174
7.7.2	载体与生物膜	177
7.7.3	内循环好氧生物流化床设计计算	179
7.8	厌氧消化池	182
7.8.1	工作原理	182
7.8.2	厌氧消化池的分类	182
7.8.3	厌氧消化池的构造	183
7.8.4	厌氧消化池设计计算	184
7.9	升流式厌氧污泥床反应器	186
7.9.1	简介	186
7.9.2	UASB 反应器原理及构造	187
7.9.3	UASB 反应器设计计算	188
7.10	厌氧膨胀颗粒污泥床工艺	191
7.10.1	工艺原理	191
7.10.2	EGSB 反应器构造特征	192
7.10.3	EGSB 反应器设计计算	193
	思考题与习题	194
第 8 章	工业水处理工程实践	195
8.1	工业水处理方案设计	195
8.1.1	设计资料收集	195
8.1.2	设计原则及程序	195
8.1.3	选择处理工艺	197

8.2 工业水处理等级划分	203
8.3 典型工业水处理案例分析	203
8.3.1 不锈钢厂废水处理与回用工程	203
8.3.2 深圳 M 纺织厂废水治理工程	207
8.3.3 上海某药厂锅炉给水及生产用水处理工程	210
8.3.4 北京某啤酒厂酿造废水处理工程	211
8.3.5 某洗涤用品生产企业日用化工废水处理工程	212
8.3.6 某洗煤厂洗煤废水处理及回用工程	214
思考题与习题	216
参考文献	217

第 1 章 绪 论

1.1 我国水资源概况

水是一切生物赖以生存的物质，也是维持生态平衡、进行工农业生产不可或缺的宝贵资源。由于对水作为自然资源的基本属性的认识程度和角度的不同，有关水资源的确切定义仍未有统一定论。《大英百科全书》将水资源解释为：“全部自然界任何形态的水，包括气态水、液态水和固态水。”世界气象组织和联合国教科文组织共同编制的《资源评价——国家能力评估手册》定义水资源为：“可以利用或有可能被利用的水源，具有足够数量和可用的质量，并能在某一地点为满足某种用途而可被利用。”《中华人民共和国水法》将水资源定义为“地表水和地下水”。《环境科学词典》定义水资源为“特定时空下可利用的水，是可再利用资源，不论其质和量，水的可利用是有限制条件的”。

一般认为，水资源的概念有广义和狭义之分。广义的水资源是指地球上所有的水。不论它以何种形式、何种状态存在，都能够直接或间接地被人类利用。狭义的水资源则是指在目前的经济技术条件下可被直接开发与利用的水。狭义的水资源除了考虑水量外还要考虑水质，而且开发利用时技术上可行、经济上合理且不影响地球生态。这使得很多水在目前的经济技术条件下不能被称为水资源。如南北两极虽为最大淡水水库，但由于远离人类居住地，难以进行有效利用。因此，通常所说的水资源是狭义上的水资源，即陆地上可供生产、生活直接利用的淡水资源。而这部分水量只占地球上总水量的极少一部分。

1.1.1 水资源的分布特点

地球上以各种形态存在的水的总量高达 14.6 亿 m^3 。但海水、苦咸水约占 97.3%，存在于陆地上的各种淡水资源仅占总量的 2.7%。表 1-1 列出了这些淡水资源的存在形态及所占百分比（体积分数，按总淡水资源为 100%计）。

淡水资源的存在形态及所占百分比

表 1-1

序号	类别	占淡水储量比(体积分数,%)
1	地下水	30
2	土壤水	0.05
3	淡水湖泊水	0.26
4	冰川与永久雪盖	68.7
5	永冻土底冰	0.86
6	沼泽水	0.08
7	河水	0.007
8	生物水	0.003
9	大气水	0.04

从表 1-1 可知, 全球淡水资源的 68.7% 存在于南北极的冰川和永久雪盖之中, 其余的主要是地下水, 其他的淡水资源只占淡水总量的 1.3%。相对丰富的地下水中可作为水资源利用的通常是直接受地表水补给的浅层地下水, 仅占地下水总量的很小一部分。有资料表明, 全球真正可供利用的水资源仅占地表水和地下水总量的 0.6%, 称之为可利用水资源, 其总量约为 50000 km³。按全球人口 60 亿计算, 人均可利用水资源量可达 8000m³。然而, 由于水资源分布的不均匀性和人口分布的不均匀性, 加之部分水资源的污染, 真正能够利用的水资源量远小于这个数字。

1.1.2 我国水资源分布状况

2013 年的统计结果显示, 我国的人均水资源占有量为 2059.7m³, 仅为世界平均人均占有量的四分之一。与此同时, 有限的水资源在我国的分布还十分不均匀。总体上看, 呈现从东南向西北递减的变化规律。全国共有 16 个省份 (自治区、直辖市) 的人均水资源量低于联合国可持续发展委员会制定的人均水资源占有量标准 (2000m³), 其中 11 个地区, 包括: 北京、天津、河北、山西、上海、江苏、安徽、山东、河南、陕西和宁夏的人均水资源占有量低于 1000m³。这 11 个地区的水资源总量仅占全国水资源总量的 7.5%, 但人口数量占全国人口总数的 40.2%, 地区生产总值占国内生产总值的 44.4%, 农作物播种面积占全国农作物播种面积的 37.1%。水资源与经济、人口、农作物的地区分布不匹配, 导致局部地区用水紧张程度远高于全国平均水平。

1.2 工业用水水源类型及其特点

现代工业门类复杂、产品繁多、用水系统庞大。工矿企业不仅需要大量用水, 而且对供水水源、水压、水质等有严格的要求。按照水在地表的存在状态, 工业企业的供水水源可分为地下水、江河水和湖泊 (水库) 水三大类。此外, 随着脱盐技术的不断发展, 海水也逐渐成为沿海城市工业用水的重要水源。

1. 地下水

地下水是由降水经过土壤下渗形成的, 按其在地下的分布深度可分为表层水、层间水和深层水。通常用作原水使用的地下水是层间水, 即中层地下水。这种水受气候和人类活动等外界因素影响较小, 显著的特点是杂物少, 水温变化小, 有机物和微生物含量低, 水质成分较为稳定。但水的含盐量一般较高, 硬度和碱度大, 且随埋藏深度的增加, 含盐量有明显增加的趋势。表 1-2 列出了我国较典型的地下水水质。

我国较典型的地下水水质

表 1-2

水质项目	河北石家庄	黑龙江哈尔滨	宁夏同心	湖南岳阳	天津塘沽
pH	7.6	6.9	—	5.5	8.3
Ca ²⁺ (mg/L)	82.9	78.2	481	2.83	8
Mg ²⁺ (mg/L)	19.8	12.8	437.8	1.56	3.7
Na ⁺ + K ⁺ (mg/L)	16.2	23.5	2790	5.29	317
HCO ₃ ⁻ (mg/L)	219.6	317.2	488.2	9.76	464
SO ₄ ²⁻ (mg/L)	37.3	8	3938	8.95	48

续表

水质项目	河北石家庄	黑龙江哈尔滨	宁夏同心	湖南岳阳	天津塘沽
Cl ⁻ (mg/L)	28	21.3	2128	2.55	200
CO ₂ (mg/L)	—	11.5	—	5.5	—
含盐量 (mg/L)	403.8	461	10476	38	1040

2. 江河水

江河是由降水经过地面径流汇集而成的，流域面积宽广，水质受地区、气候、土质和人类活动等因素的影响较大。我国地表水体的含盐量总体上呈现东南低、西北高的分布规律（表 1-3）。除受海水影响较大的沿海地区外，从东南地区小于 50mg/L 的低含盐量向西北逐渐增至 1000mg/L 以上。如松花江的含盐量小于 100mg/L；西南诸河水的含盐量小于 300mg/L；以塔里木河为代表的新疆几个盆地的河水含盐量均大于 1000mg/L；其余地区河水的含盐量在 300~500mg/L。

一般的，硬度随含盐量的增加而增加。淮河、秦岭以南、东北三江流域、新疆北部部分地区河水硬度小于 85mg/L，内蒙古高原北部、新疆三盆地、河套地区的河水硬度大于 250mg/L。同时，季节不同，江河水的水质也存在较大差异。在丰水期，江河水中的泥沙等悬浮杂质含量明显高于枯水期，浊度从几十毫克/升到数百毫克/升。有机组分含量则是冬季低于夏季，北方低于南方。水温则随气候变化而变化。

我国主要河流的主要水质指标

表 1-3

水质项目	长江	黄河	珠江	黑龙江	闽江	塔里木河	松花江
Ca ²⁺ (mg/L)	28.9	39.1	18	11.6	2.6	107.6	12
Mg ²⁺ (mg/L)	9.6	17.9	1.1	2.5	0.6	841.5	3.8
Na ⁺ + K ⁺ (mg/L)	8.6	46.3	16.1	6.7	6.7	10265	64.4
HCO ₃ ⁻ (mg/L)	128.9	162	32.9	54.9	20.4	117.2	64.4
SO ₄ ²⁻ (mg/L)	13.4	82.6	34.8	6	4.9	6052	5.9
Cl ⁻ (mg/L)	4.2	30	7.3	2	0.5	14368	1
含盐量 (mg/L)	193.6	377.9	110.2	83.7	35	31751	93.9

3. 湖泊（水库）水

湖泊和水库均是由河流和地下水蓄积而成，不同之处在于水库是人工建造，湖泊是天然形成的。湖泊（水库）水的水质除与补给水来源、气候、地质及生物条件密切相关外，还随入流量和排水量、日照时间和蒸发强度的变化而改变。流入和排出的水流量越大，蒸发量越小，盐分在湖内的蓄积量也越低，一般在 300mg/L 以下。相反的，排水量小、蒸发量大的湖泊，其含盐量往往较高，这对控盐要求较高的工业企业来说，将增加处理成本。由于湖泊（水库）补给水源均为江河水或地下水，其水质稳定性也介于江河水 and 地下水之间。

1.3 我国水体污染现状

目前，我国水环境的污染形势十分严峻。就整个地表水而言，2014 年受到严重污染

的劣 V 类水体所占比例在 10%左右,个别流域可能更高,如海河流域劣 V 类水体的比例高达 39.1%,尤其是流经城镇的一些河段、沟渠、塘坝,污染十分突出。同时,涉及工业水安全的水环境突发事件的数量依然不少。环保部门公布的调查数据显示,2012 年,全国 10 大水系、62 个主要湖泊分别有 31%和 39%达不到水源地水质要求,严重影响工业、农业以及附近居民的用水安全。

湖泊由于流动性差,存在有机物和营养盐类大量富集的问题。调查结果表明,我国约 75%以上的大型湖泊均出现了不同程度的富营养化问题,尤其以太湖、巢湖和滇池最为严重。太湖在 20 世纪 80 年代初期水质尚好,80 年代后期开始出现污染,并不断加剧,这一状况截至目前尚未得到有效控制。滇池在 20 世纪 70 年代水质良好,生物多样性丰富,到 90 年代开始出现富营养化问题。湖泊富营养化速度的加剧主要与人类活动,尤其是近 30 年来我国工业化和城镇化的快速推进,工业、农业和生活用水的无组织排放密切相关。

与地表水相比,地下水水质相对稳定,但一旦出现污染则难以恢复。目前,我国地下水超采问题与水质污染问题相互影响,已形成恶性循环。这在整个华北地区表现得尤为突出。地下水的过量开采,使地下水漏斗面积不断扩大,水位大幅度下降;地下水位的下降又改变了原有的水文条件,引起污染较为严重的地表水向地下水倒灌,浅层污水不断向深层流动,地下水污染问题向更深层发展。依据全国 195 个城市的监测数据,97%的城市地下水受到不同程度污染,40%的城市地下水污染有逐年加重趋势。

1.4 污染源与工业污染

1.4.1 污染源

综上所述,作为工业用水主要水源的地表水和地下水均受到了不同程度的污染,极大地影响了工业用水的净化成本,个别地区甚至由于没有合格水源变得无水可用,严重限制了当地工业、农业和社会经济的发展。然而,造成这一困局的却并非大自然,而是人类对水资源的无序利用和肆意污染。水污染源是指向水体排放或释放污染物的场所。常见的水体污染源有工业污染源、农业污染源、城镇生活污染源以及其他水污染源。

(1) 工业污染源。工业生产产生大量废水和废液。这些废水和废液中含有随水流失的某些生产原料、中间产物、副产品以及在生产过程中形成的组分。因此,其污染成分复杂、种类多,如有机组分、氨氮、石油类、挥发酚和重金属等有害和有毒物质。受企业类型、生产工艺和所用原料种类的影响,不同工业企业排水中的污染组分存在巨大差异。

(2) 农业污染源。农作物栽培、种植,畜禽及水产养殖,农产品加工等过程排水,一般包括农田排水、饲养场排水、水产养殖排水和农产品加工排水等。在我国农业生产中,化肥和农药使用普遍过量,特别是氮肥用量最多,流失量也最高。这是我国地表水体、甚至部分地下水中氮、磷含量超标的重要原因。

(3) 生活污染源。城镇居民和公共建筑等在日常生活和经营活动中的外排水,包括厕所粪尿、洗澡、洗衣、洗菜、绿化、道路冲洒,以及商业、医院和娱乐休闲场所等的排水。居民生活排水中的有机污染物所占比重相对较大,氮磷等营养盐含量也较高,但与工业污染源相比,其水质相对稳定,污染物浓度适中,不存在极高值或极难降解组分。

(4) 其他污染源。交通运输和船舶排水，主要污染物为化学需氧量、氨氮、总磷、石油类和重金属等。

1.4.2 工业排水污染现状

改革开放 30 多年来，由于我国工业化程度的不断提升，工业企业排水在各类地表水污染源中的比重较 20 世纪 80 年代以前有大幅增加。2010 年由环境保护部、国家统计局、农业部联合发布的《第一次全国污染源普查公报》表明，各类污染源的总排水量为 2092.81 亿 t，其中工业污染源的排水量占 11.31%。化学需氧量、氨氮、石油类的排放量分别为 3028.96 万 t、172.91 万 t 和 78.21 万 t，其中工业污染源的排放量分别占到 23.60%、17.50%和 8.49%。重金属的排放量基本上由工业企业所贡献，年均排放量 0.30 万 t，经集中处理后，削减量 0.21 万 t，实际排入水体的量为 0.09 万 t。

据 2013 年环境统计年报数据，2011 年全国废水排放量 659.2 亿 t (表 1-4)。其中，工业废水排放量 230.9 亿 t，占废水排放总量的 35.0%。这一比例自 2012 年以来，虽然随着国家管控力度的加大有所降低，但是仍然保持在 30%以上。从表中 3 年的数据中可以看出，尽管在工业排水中，化学需氧量和氨氮的排放量比生活污水少，但其生态危害和对人体健康的影响（如重金属、放射性、难降解有机组分和人工合成有机组分等）则更大。如果这些废水不经处理直接排入天然水体中，将对生态环境造成严重破坏。

全国废水及其污染物排放情况

表 1-4

年份	排放量	合计	工业源	农业源	生活源	集中式
2011	废水(亿 t)	659.2	230.9	—	427.9	0.4
	化学需氧量(万 t)	2499.9	354.8	1186.1	938.8	20.1
	氨氮(万 t)	260.4	28.1	82.7	147.7	2.0
2012	废水(亿 t)	684.8	221.6	—	462.7	0.5
	化学需氧量(万 t)	2423.7	338.5	1153.8	912.8	18.7
	氨氮(万 t)	253.6	26.4	80.6	144.6	1.9
2013	废水(亿 t)	695.4	209.8	—	485.1	0.5
	化学需氧量(万 t)	2352.7	319.5	1125.8	889.8	17.7
	氨氮(万 t)	245.7	24.6	77.9	141.4	1.8

按实际排放贡献，不同工业企业间也存在较大差异。如造纸、纺织、农副加工、化工、饮料、食品和医药 7 个行业的废水排放量占总排放量的 4/5。造纸、农副食品加工业、饮料制造业和食品制造业的 COD 排放量占 COD 排放总量的 2/3。化学原料及化学制品制造业、有色金属冶炼及压延加工业、石油加工炼焦及核燃料加工业、农副食品加工业、纺织业、皮革毛皮羽毛（绒）及其制品业、饮料制造业和食品制造业等 8 个行业的氨氮排放量占工业污染源氨氮排放总量的 85.9%。有色冶金业占重金属排放总量的 50%。而石油加工炼焦及核燃料加工业、化学原料及化学制品制造业、黑色金属冶炼及压延加工业、造纸及纸制品业、电力燃气及水的生产和供应业的挥发酚排放量已占到工业源挥发酚总排量的 96.15%。

近几年来，我国由于工业排水引起的环境污染事件屡有发生。例如，重金属工业废水对水环境和水源地的污染，以及由此引发的群体性事件；含砷、酚等有毒工业废水的污

染；有毒化工原料（三甲基氯硅烷、六甲基二硅氮烷等）对松花江水源的污染等。2007年太湖蓝藻暴发是我国主要湖泊富营养化污染典型事件。调查表明，工业企业排水对太湖流域化学需氧量、氨氮、总磷和总氮的贡献量分别占到了31.1%、34%、4.9%和29.3%。大量工业污染物和营养物质的排入，为蓝藻大规模繁殖提供了有利条件，在适宜的水温和气象条件下，形成蓝藻暴发，严重影响人民群众的正常生活。

1.5 工业水处理的重要性和必要性

目前，我国处于重要战略机遇期。随着我国工业化、城镇化进程的加快和消费结构的持续升级，我国能源需求刚性增长，受国内资源保障能力和环境容量制约，我国环境资源制约日趋强化。工业水处理可以分为工业用水处理和工业排水处理。工业用水处理就是将水源水的水质处理到能满足企业内部不同工艺、不同设备对水质的要求，保证企业生产正常进行。例如，锅炉要求提供纯水或软水；电子工业要求使用纯水并去除水中微粒；食品工业则要求水能符合相应的饮用水标准；密闭式冷却水系统，则要求水为清水、软水或纯水。如果达不到这些要求，则会对产品、设备产生以下几个方面的影响：

(1) 影响产品质量。例如，电子工业的冲洗用水，如果水的纯度或水中颗粒状物达不到要求，生产的集成电路质量则无法得到保证；印染行业水质达不到要求，印染产品会色泽不均并出现斑点。

(2) 影响设备安全。锅炉用水水质不合格，会出现炉管内结垢、腐蚀，导致爆管，危及锅炉安全。

(3) 降低效率，浪费能源。例如，各种冷却水，如果处理不好，热交换器会产生结垢，影响传热，降低热效率，浪费能源。

(4) 食品及饮料工业用水，水质不合格还会影响人们的身体健康。

因此，为确保产品质量，保障设备安全，提高生产效率和能源利用率，需要对企业的生产用水进行净化处理，依据原水水质和用水要求的不同，选择合理的工艺流程。如前所述，现有的工业用水水源受到了不同程度的污染。从污染物来源看，工业企业自身排放的有机组分和氨氮的贡献率高达30%以上，部分指标如重金属元素则更高。由此可见，工业用水质量的高低与企业排水是否进行了处理，以及处理后的水是否达到了受纳水体的排放要求密切相关。然而，大多数企业受利益最大化理念的驱使，只重视工业用水的处理，忽视企业排水的处理，偷排乱排现象十分严重，急需整治。

在我国于2015年提出的《水污染防治行动计划》（简称“水十条”）中，明确指出要狠抓工业污染防治，取缔“十小”企业，全面排查装备水平低、环保设施差的小型工业企业。2016年年底前，按照水污染防治法律法规要求，全部取缔不符合国家产业政策的小型造纸、制革、印染、染料、炼焦、炼硫、炼砷、炼油、电镀、农药等严重污染水环境的生产项目，要专项整治十大重点行业。制定造纸、焦化、氮肥、有色金属、印染、农副食品加工、原料药制造、制革、农药、电镀等行业专项治理方案，实施清洁化改造。新建、改建、扩建上述行业建设项目，实行主要污染物排放等量或减量置换。2017年年底前，造纸行业力争完成纸浆无元素氯漂白改造或采取其他低污染制浆技术，钢铁企业焦炉完成干熄焦技术改造，氮肥行业尿素生产完成工艺冷凝液水解解析技术改造，印染行业实施低

排水染整工艺改造，制药（抗生素、维生素）行业实施绿色酶法生产技术改造，制革行业实施铬减量化和封闭循环利用技术改造。

通过落实上述环保要求，可实现部分重点行业 and 重点污染物的源头削减。除政策层面外，要真正解决工业排水的污染问题，缓解地表和地下水环境污染压力，为工业、农业和居民生活用水提供高品质水源，还需进一步提高企业的环保意识和社会责任感。同时，加快与市场需求相匹配的工业水处理材料、技术和设备的开发及推广应用，方能实现工业用水和排水的高效处理，实现我国水环境总体质量状况的根本改善。

思考题与习题

1. 论述水资源的基本含义以及我国的水资源分布状况。
2. 工业用水水源分哪几种类型，每类水体有何水质特征？
3. 论述我国水体污染类型及主要污染物来源。
4. 论述进行工业水处理的意義。