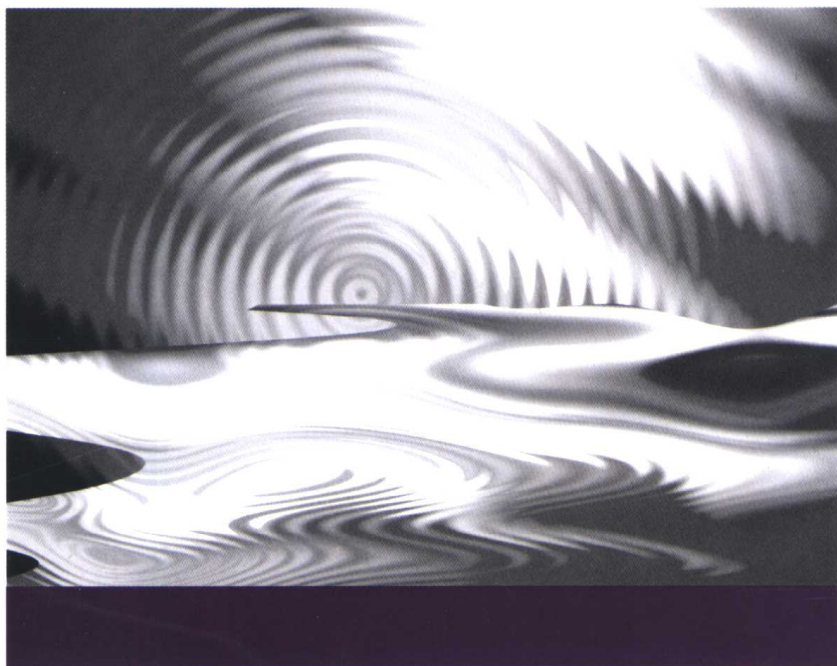


张林生 主编

水的深度处理 与回用技术



Chemical Industry Press



化学工业出版社
环境科学与工程出版中心

水的深度处理与回用技术

张林生 主编



化学工业出版社
环境科学与工程出版中心

· 北 京 ·

(京) 新登字 039 号

图书在版编目 (CIP) 数据

水的深度处理与回用技术/张林生主编. —北京:化学工业出版社, 2004. 3

ISBN 7-5025-5339-8

I. 水… II. 第… III. ①废水处理②废水综合利用 IV. X703

中国版本图书馆 CIP 数据核字 (2004) 第 024846 号

水的深度处理与回用技术

张林生 主编

责任编辑: 陈丽 徐娟

责任校对: 蒋宇

封面设计: 于兵

*

化学工业出版社 出版发行
环境科学与工程出版中心

(北京市朝阳区惠新里 3 号 邮政编码 100029)

发行电话: (010) 64982530

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

*

新华书店北京发行所经销

北京兴顺印刷厂印刷

北京兴顺印刷厂装订

开本 720mm×1000mm 1/16 印张 18¼ 字数 344 千字

2004 年 5 月第 1 版 2004 年 5 月北京第 1 次印刷

ISBN 7-5025-5339-8/X·410

定 价: 34.00 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

内 容 提 要

随着我国国民经济的发展与人民生活水平的提高，对饮用水水质的要求越趋严格，对水体环境保护的要求逐步提高。同时，为开发工农业生产高速发展所需要的水资源，污水处理回用已成为当务之急。本书阐述给水与污水深度处理及回用技术的理论、应用，主要包括过滤、膜技术（超滤、纳滤、反渗透等）、臭氧氧化、光催化氧化、活性炭吸附、消毒、高梯度磁分离等单元深度处理技术、微污染水生物处理技术、污水除磷脱氮技术、污水处理再生利用技术等。

本书可作为高等院校环境工程、市政工程专业研究生教材，也可供水处理工程设计人员、水厂管理技术人员、环境工程技术人员参考使用。

序 言

我国是水资源相对贫乏的国家，随着近二十年来工农业生产和国民经济的快速发展，水资源问题越来越突出。污水排放使水体受到污染，个别水域出现富营养化现象，破坏了生态环境。同时，水源污染威胁饮用水源的安全，而水源水质还难以在较短时间内得到根本的改善。为了控制环境污染和保证饮用水质安全，需要吸收水处理新技术，而《水的深度处理与回用技术》一书正可满足这一要求。

本书综合了国内外水的深度处理与回用的理论和先进技术，内容涉及过滤及膜技术、特种处理技术、微污染水生物处理技术、污水脱氮除磷技术以及污水再生利用技术等。其中，超滤、微滤、臭氧氧化、光催化氧化、高梯度磁分离、BAF、BAC、生物脱氮除磷等方面的内容，都是当前大家关注的新技术。本书既阐明了水的深度处理与回用的基本理论，还介绍了有关的工艺和计算，并列举了一些工程实例，具有很好的参考价值。

严煦世
2004年2月

前 言

我国人均水资源贫乏，属世界上的贫水国家，不少城市存在不同程度的缺水现象，严重缺水的城市达城市总数的 15% 以上。同时，我国水的有效利用程度较低，目前万元产值用水量及水的重复利用率指标均与发达国家有较大的差距。

我国水体污染也相当严重。目前城市与工业污水处理率及处理程度低，随着国民经济的快速发展，污水排放量增大，引起水体环境恶化及相当普遍的水体富营养现象，使不少水源受到污染，水质已不符合国家饮用水源水质标准。

为了控制污染保护环境，水与污水的深度处理及再生利用就十分重要。微污染水源水的深度处理可保证饮用水水质安全，保护人类健康。污水深度处理可使污水资源化重复利用，减少生产成本，控制水体污染。归根到底，水的深度处理与回用技术是保护人类生存与发展环境的重要举措。

本书主要内容为给水与污水深度处理与回用技术的理论与应用，既阐述了相关工艺与技术的基本理论，也汇集了有关工程应用方面的内容和知识。书中题材广泛，吸收了国内外诸多文献的研究成果，在此谨向文献的作者表示衷心的感谢。本书由东南大学的张林生教授主编。参加编写的人员有杨广平、查春花、巩有奎、李国新、王素芳、朱凤松、赵伟、杨弦、陈鸣等。本书在编写过程中还得到了东南大学的吕锡武教授、吴浩汀教授的大力支持，在此一并表示感谢。

本书的编写限于水平，疏漏之处，欢迎广大读者与同行专家批评指正。

东南大学张林生

2004 年 1 月

目 录

第 1 章 水的深度处理与回用	1
1.1 我国的水资源现状	1
1.1.1 水资源的含义及主要特点	1
1.1.2 我国水资源的特点	2
1.1.3 我国水资源紧缺的原因	4
1.1.4 水资源开发与利用	5
1.2 水源微污染问题及饮用水深度处理技术	6
1.2.1 微污染水源的特点	6
1.2.2 微污染水的主要危害	6
1.2.3 微污染水处理技术概述	7
1.2.4 微污染水深度处理技术概述	9
1.3 水体富营养化问题及污水深度处理技术.....	14
1.3.1 富营养化定义.....	14
1.3.2 我国湖泊富营养化现状.....	14
1.3.3 水体富营养化的危害.....	15
1.3.4 水体富营养化的污染源.....	16
1.3.5 生物处理对富营养化水源水的净化.....	18
1.3.6 污水的深度处理技术.....	20
1.4 污水资源化与再生利用.....	26
1.4.1 城市污水再生利用的目的及意义.....	26
1.4.2 污水再生利用的对象.....	28
1.4.3 国外污水再生利用的发展状况.....	29
1.4.4 我国污水再生利用的发展与现状.....	33
第 2 章 过滤及膜技术	35
2.1 过滤.....	35
2.1.1 过滤机理.....	35
2.1.2 滤池的形式及构造.....	36
2.1.3 深层过滤滤池.....	37
2.1.4 上向流与辐射流过滤.....	39

2.1.5	新型滤料过滤	40
2.2	反渗透	44
2.2.1	膜分离法概述	44
2.2.2	反渗透机理	45
2.2.3	反渗透处理工艺	47
2.2.4	反渗透装置的工艺计算	53
2.2.5	反渗透在水处理中的应用	57
2.3	纳滤	60
2.3.1	纳滤的分离机理	60
2.3.2	纳滤的分离特性	61
2.3.3	纳滤的工程应用	63
2.4	超滤	65
2.4.1	超滤的工作原理	65
2.4.2	超滤的操作方式	66
2.4.3	超滤操作的影响因素	66
2.4.4	超滤的计算	69
2.4.5	超滤在水处理中的应用	73
第3章	特种处理技术	77
3.1	臭氧化技术	77
3.1.1	臭氧净水机理	77
3.1.2	水质指标对臭氧化过程的影响	80
3.1.3	臭氧的制备与投加	80
3.1.4	臭氧净水的工艺计算	85
3.1.5	臭氧水处理工艺的典型流程	86
3.2	光催化氧化技术	87
3.2.1	光催化氧化技术的基本概念及发展概况	87
3.2.2	光催化氧化机理	88
3.2.3	光催化氧化的催化剂	89
3.2.4	光催化氧化反应器	90
3.2.5	光催化氧化的工艺及应用	91
3.3	活性炭吸附技术	93
3.3.1	活性炭的性质及其吸附作用	93
3.3.2	吸附等温线	95
3.3.3	活性炭吸附的主要影响因素	98

3.3.4	吸附方式	99
3.3.5	吸附剂的再生	102
3.3.6	吸附塔的设计	104
3.3.7	吸附法在水处理中的应用	106
3.4	水的除氟技术	109
3.4.1	氟的性质、分布及危害	109
3.4.2	石灰沉淀法除氟	109
3.4.3	吸附与离子交换法除氟	111
3.4.4	其他除氟方法	114
3.4.5	含氟废水处理工程实例	114
3.5	消毒技术	115
3.5.1	氯和次氯酸盐消毒	115
3.5.2	二氧化氯消毒	116
3.5.3	紫外线消毒	119
3.5.4	超声波消毒	121
3.5.5	臭氧消毒	122
3.6	高梯度磁分离技术	122
3.6.1	高梯度磁分离技术的原理	122
3.6.2	高梯度磁分离处理设备	124
3.6.3	高梯度磁分离技术的特点及应用	126
第4章	微污染水生物处理技术	130
4.1	曝气生物过滤池	131
4.1.1	BAF的基本原理和特点	131
4.1.2	BAF的结构、类型及运行方式	132
4.1.3	BAF在微污染水处理中的工程应用	136
4.2	生物接触氧化(BCO)法	140
4.2.1	BCO法的处理原理及特征	140
4.2.2	BCO池的构造及工艺	141
4.2.3	BCO工艺的计算与组合工艺	146
4.2.4	BCO处理微污染水工程实例	147
4.3	生物活性炭(BAC)技术	150
4.3.1	BAC的处理原理	150
4.3.2	BAC的工艺结构及有关运行参数	151
4.3.3	BAC组合工艺流程	152

4.3.4 BAC 工程实例	155
----------------------	-----

第 5 章 污水除磷技术	159
---------------------------	------------

5.1 污水生物除磷原理	159
--------------------	-----

5.1.1 污水中磷的转化	159
---------------------	-----

5.1.2 生物除磷原理	159
--------------------	-----

5.1.3 生物除磷的影响因素	161
-----------------------	-----

5.2 污水生物除磷工艺	163
--------------------	-----

5.2.1 A/O 工艺	163
--------------------	-----

5.2.2 Phostrip 工艺	164
-------------------------	-----

5.2.3 污水生物除磷工艺设计	165
------------------------	-----

5.3 化学沉淀法除磷技术	169
---------------------	-----

5.3.1 化学沉淀法除磷原理	170
-----------------------	-----

5.3.2 化学沉淀法除磷的影响因素	170
--------------------------	-----

5.3.3 化学沉淀法除磷工艺	172
-----------------------	-----

5.3.4 除磷工程实例	175
--------------------	-----

5.4 结晶法除磷技术	178
-------------------	-----

5.4.1 结晶法除磷原理	178
---------------------	-----

5.4.2 结晶法除磷的晶种	180
----------------------	-----

5.4.3 结晶法除磷工艺	181
---------------------	-----

5.4.4 结晶法除磷的应用	181
----------------------	-----

第 6 章 污水脱氮技术	183
---------------------------	------------

6.1 污水生物脱氮原理	183
--------------------	-----

6.1.1 氨化与硝化	184
-------------------	-----

6.1.2 反硝化	186
-----------------	-----

6.1.3 硝化反应和反硝化反应的主要影响因素	188
-------------------------------	-----

6.1.4 生物脱氮过程中氮转化的条件	189
---------------------------	-----

6.2 污水生物脱氮工艺	191
--------------------	-----

6.2.1 活性污泥法脱氮传统工艺	191
-------------------------	-----

6.2.2 A/O 工艺及改进型工艺	192
--------------------------	-----

6.2.3 AB 工艺及改进型工艺	195
-------------------------	-----

6.2.4 其他工艺	196
------------------	-----

6.3 氨的吹脱去除	196
------------------	-----

6.3.1 氨吹脱原理	196
-------------------	-----

6.3.2	氨吹脱工艺	197
6.3.3	氨气脱除塔工作的影响因素	199
6.3.4	氨吹脱工艺的设计参数	202
6.4	折点加氯法除氨	202
6.4.1	基本原理	202
6.4.2	折点加氯处理的影响因素和设计参数	203
6.4.3	余氯脱除	205
6.4.4	工程实例——美国加利福尼亚州 Sacramento 污水处理厂	206
6.5	沸石除氨	207
6.5.1	沸石除氨原理	207
6.5.2	固定床沸石除氨的影响因素	208
6.5.3	沸石的再生	211
6.5.4	沸石除氨工艺的设计	214
第7章	污水同步脱氮除磷技术	215
7.1	污水同步脱氮除磷工艺	215
7.1.1	传统活性污泥工艺	215
7.1.2	巴颠甫 (Bardenpho) 脱氮除磷工艺	216
7.1.3	生物转盘同步脱氮除磷工艺	217
7.2	氧化沟脱氮除磷工艺	218
7.2.1	氧化沟工艺概述	218
7.2.2	氧化沟工艺基本原理	219
7.2.3	氧化沟的技术特征	220
7.2.4	氧化沟工艺流程类型	222
7.2.5	氧化沟工艺系统的设计	227
7.3	SBR 法脱氮除磷工艺	230
7.3.1	SBR 工艺基本原理	231
7.3.2	SBR 工艺的技术特征	231
7.3.3	影响 SBR 工艺脱氮除磷的主要因素	232
7.3.4	SBR 工艺流程类型	233
7.3.5	SBR 工艺系统的设计	237
7.4	污水同步脱氮除磷处理工程实例	239
7.4.1	A ² /O 工艺工程实例	239
7.4.2	氧化沟脱氮除磷工艺工程实例	241
7.4.3	循环式活性污泥法 (C-TECH 工艺) 工程实例	244

第 8 章 污水处理再生利用技术..... 249

8.1 污水再生利用的水质要求 249

8.1.1 概述 249

8.1.2 污水再生利用的水质指标 249

8.1.3 污水再生利用的水质要求 250

8.2 污水再生利用的方法与工艺 263

8.2.1 概述 263

8.2.2 再生水处理方法 265

8.2.3 污水再生利用工艺的选择 266

8.3 污水再生利用工程实例 271

8.3.1 日本芝山住宅区污水处理系统 271

8.3.2 美国 21（世纪）水厂深度处理系统 273

8.3.3 大连污水再生利用工程 275

8.3.4 城市污水回用于化工工艺用水 277

参考文献..... 279

第 1 章 水的深度处理与回用

1.1 我国的水资源现状

1.1.1 水资源的含义及主要特点

水是人类赖以生存和社会发展的宝贵自然资源，没有水，就没有生命，也没有我们生活的世界。它是人类社会可持续发展的限制因素，在自然界中以不同的形态存在并循环不息，其水质也受多种因素的影响而变化。

在国内外的一些权威书刊中，对“水资源”的定义有不同的叙述，如在联合国教科文组织和世界气象组织共同编制的《水资源评价活动——国家评价手册》中将水资源定义为：可资利用或有可能被利用的水源，具有足够的数量和可用的质量，并能在某一地点为满足某种用途而可被利用。《中国大百科全书》中水资源的定义是：地球表面可供人类利用的水，包括水量（质量）、水域和水能资源，一般指每年可更新的水量资源。而在《简明大不列颠百科全书》中水资源的定义则是：世界水资源包括地球上所有的（气态、固态或液态）天然水的总量。

可见，水资源定义有广义和狭义之分。广义的水资源指地球上所有的水，不论它以何种形式、何种状态存在。狭义的水资源则认为水资源是在目前的社会条件下可被人类直接开发与利用的水。而且开发利用时必须技术上可行，经济上合理且不影响地球生态。极地冰川、山地冰川、海水由于各自使用的不方便而未被人类大规模的开发利用。

因此，通常所说的水资源是指陆地上可供生产、生活直接利用的江河、湖沼以及部分储存于地下的淡水资源，亦即“可利用的水资源”。这部分水量只占地球总水量的极少部分。

如果从可持续发展的角度来看，水资源仅指一定区域内逐年可以恢复更新的淡水。具体说是指以河川径流量表征的地表水资源，以及参与水循环的以地下径流量表征的地下水资源。对一定区域范围而言，水资源的量并不是恒定的，它随用水的目的和水质要求的不同、科学技术与经济发展水平的不同而变化。

水是自然环境的重要组成物质，它不断运动着，积极参与自然环境中正在发生和进行的一系列物理的、化学的和生物的过程。水资源作为一种动态的可更新资

源，具有以下特性：再生性和有限性，时空分布的不均匀性，流动性和溶解性。

（1）再生性和有限性

地球上的水以相态转换、吸收和释放热量的形式，在地球大气圈、岩石圈以及生物圈的参与下形成水循环，使地球上各种水体不断更新，呈现再生性。但在一定的时间、空间范围来说，大气降水对水资源的补给却是有限的，水资源并不是“取之不尽，用之不竭”的，世界陆地年径流量约为 $470\,000 \times 10^8 \text{ m}^3$ ，可以说这是目前可资人类利用的水资源的极限。另外，一定地区在某一时间范围内的水资源是有限的，所以一定要将水资源的开发与维护相结合，以保持水资源持续开发利用。

（2）时空分布的不均匀性

水资源的时空变化是由气候条件、地理条件等多种因素综合决定的。那些距海较近、接受输送水汽较为丰富的地区雨量充沛，水资源数量也较为丰富，而那些位居内陆、水汽难以到达的地区，降水稀少，水资源极其匮乏，从沿海到陆地呈现为湿润区到干旱区的变化。在时间上，水循环的主要动力是太阳辐射，因而地球运动所引起的四季变化，造成同一地区所接受的辐射强度是不同的，使得同一地区的降雨在时间上的差异也是很明显的，主要表现为一年四季的年内水量变化以及年际间的水量变化。对一个地区来说，夏季雨量较多，循环旺盛，是一年的丰水期，而每年的冬天，水循环减弱，雨水稀少，是每年的枯水期。此外，径流年际变化的随机性很大，常出现丰枯交替的现象，还可能出现连续洪涝或持续干旱的情况，即出现所谓径流年际变化的丰水年组和枯水年组现象。这种径流时空分布的不均匀性对水资源利用产生了许多不利的因素。

（3）流动性和溶解性

在常温下，水主要以液态形式存在，具有流动性，这种流动性使水可被拦蓄、调节、引调，从而使水资源的各种价值得到充分的开发利用，同时也使水具有一些危害，会造成洪涝灾害、泥石流、水土流失与侵蚀等。另外，水在流动并与地表、地面及大气相接触的过程中会夹带及溶解各种杂质，使水质发生变化。这一方面使水中具有各种生物所必需的有用物质，但也会使水质受到污染。

1.1.2 我国水资源的特点

我国幅员辽阔，人口众多，是一个发展中的国家，由于特定的地理、气象、人口、经济等因素的影响，我国水资源有着自己的特点。

（1）水资源总量丰富，相对量较少

据水利部水资源评价结果表明：我国平均年径流总量 $27\,115 \times 10^8 \text{ m}^3$ ，年均地下水资源量为 $8288 \times 10^8 \text{ m}^3$ ，扣除重复量，我国多年平均水资源总量为 $28\,124 \times 10^8 \text{ m}^3$ 。河川径流约占全国水资源总量的 94.4%。我国年平均降水总量为

61 889×10⁸ m³，其中，45％转化为地表和地下水资源；55％消耗于蒸发。我国水资源总量居世界第 6 位，平均径流深度约 284 mm，为世界平均值的 90％，居世界第 7 位。我国水资源总量虽然丰富，但按耕地面积和人口数平均，却相当之少。我国耕地平均占有径流量为 28.32 km³/ha^①，仅为世界平均数的 80％。至 2000 年底，我国人口已接近 13 亿，每人年占有径流量仅为 2200 m³，居世界第 121 位，相比而言，低于世界平均值的 1/3。

(2) 水资源时空、地域分布不均衡

① 水资源时空分布不均，年际、年内变化大。年际间最大和最小径流量的比值，长江以南中等河流在 5 以下，北方河流多在 10 以上。径流量的逐年变化存在着明显的丰平枯水期，可能出现连续数年为丰水年或枯水年的交替现象。水资源年内径流分配也不均衡。长江以南地区 60％的降水多出现在 4～7 月；长江以北地区 80％以上的降水多出现在 6～9 月；西南地区 70％左右的降水多集中在 6～10 月。一年中较长时间缺水的现象，给经济发展与人民生活带来很大困难。

② 水资源地域分布极不均匀，南北、东西部差距悬殊。我国水资源南多北少，东多西少，与人口、耕地、矿产等资源分布极不匹配。长江流域及其以南地区面积占全国总面积的 36.5％，却拥有全国 80.9％的水资源；长江以北诸水系的流域面积约占国土面积的 63.5％，其水资源总量却只占全国的 19.1％，其中西北内陆河地区面积占 35.3％，水资源量仅占 4.6％。有关资料表明，北方人均水资源占有量约 1127 m³，仅为南方人均占有量的 30％左右。在全国人均水资源占有量不足 1000 m³ 的 10 个省（区）中，北方地区就占了 8 个，除辽宁省外，其他都集中在华北地区。水资源地域分布极不均衡的特点，导致我国北方和西北地区常常出现资源性缺水；水资源年际变化大、年内分配不均的特点，是造成我国半干旱、半湿润和许多地区（包括南方地区）季节性缺水的根本原因。

(3) 水污染态势难以遏制

水污染是人为与自然双重因素所致，是水资源领域的特殊灾害，致使水资源匮乏的形势更加雪上加霜，是水资源管理中的“顽症”。表 1-1 是 1998 年全国各流域废污水排放量，表 1-2 是 1998 年全国七大江河水系污染类别比率。

表 1-1 1998 年全国各流域废污水排放量 单位：×10⁸ m³

流域片	废污水排放总量	流域片	废污水排放总量	流域片	废污水排放总量
长江	189	海河	55	东南诸河	28
珠江	155	淮河	47	内陆河	9
松辽	71	黄河	32	西南诸河	7

由表 1-1 可知，1998 年全国废污水排放总量共 593×10⁸m³（不包括火电直

① 1 ha=10⁴ m²。

流冷却水)，其中工业废水排放量为 $409.17 \times 10^8 \text{ m}^3$ ，占废水总量的 69%；生活污水排放量为 $183.83 \times 10^8 \text{ m}^3$ ，占废污水排放总量的 31%。

表 1-2 1998 年全国七大江河水系污染类别比率 单位：%

污染类别	长江	珠江	黄河	松花江	淮河	海河	辽河	污染类别	长江	珠江	黄河	松花江	淮河	海河	辽河
I 类	4	29	0	0	0	5	4.5	IV 类	11	22	47	67	18	10	22.7
II 类	67	36	24	0	11	19	2.3	V 类	10	2	12	21	6	9	4.5
III 类	4	7	5	4	17	4	4.5	超 V 类	4	4	12	8	48	53	61.5

由表 1-2 可知，按污染程度，由重至轻排序为：辽河，海河，淮河，松花江，黄河，珠江，长江。对七大江河污染贡献较大的还有面源污染，农药、化肥是面污染源的主要污染物，相当一部分流失的农药与化肥通过地表径流进入水体，污染江河。大量 N、P 等营养物质流入水体，造成水体污染，破坏水体功能。水体污染是造成污染性缺水的主要根源。

(4) 水浪费现象普遍存在

水浪费和水污染加剧了水资源危机，造成了供需失衡。据统计，全国 668 座城市中，缺水城市达 400 个，全国城市平均缺水达 $1600 \times 10^4 \text{ m}^3/\text{d}$ ，每年因缺水影响工业产值 2300 亿元。

① 全国农业灌溉用水量约为 $3900 \times 10^8 \text{ m}^3/\text{年}$ ，占全国总用水量的 70%，但由于全国普遍采用“土渠输水，大水漫灌”的古老方式，水的浪费十分严重，有效利用率只有 30%~40%，而发达国家由于实现了输水渠道防渗化、管道化，大田喷灌、滴灌化，灌溉达到自动化、科学化，水的有效利用率已达 70%~80%。如果把我国灌溉用水有效利用率提高 15%，每年可节水 $600 \times 10^8 \text{ m}^3$ ，比整个黄河的年水量还多。

② 我国许多企业设备陈旧，工艺落后，水的重复利用率只有 50%左右，发达国家却达 70%以上。我国工业万元产值耗水量为 103 m^3 ，是发达国家的 10~20 倍。

③ 由于水价太低，供水技术落后，城市生活用水浪费现象普遍存在。据统计，全国城市自来水管网水量损失率高达 20%~30%，再加上使用中的跑、冒、滴、漏，每年约有 $10 \times 10^8 \text{ m}^3$ 的水被损失掉。

1.1.3 我国水资源紧缺的原因

(1) 污染严重

据不完全统计，目前全国工业污水日排放量约为 $6000 \times 10^4 \text{ m}^3$ ，城市生活污水排放量为 $5000 \times 10^4 \text{ m}^3$ ，全国已有 1/3 以上的河段受到污染，不能用于灌溉的河段长 $1.28 \times 10^4 \text{ km}$ 。辽宁省辽河流域年排污水总量 $168 \times 10^8 \text{ m}^3$ ，其中工业废水排放量高达 $10.4 \times 10^8 \text{ m}^3$ 。2000 年 2 月，河北省保定市安新县境内的白洋淀

水域由于上游排放的工业废水中有害物质硫（S）、磷（P）的含量超过国家规定标准的 40 倍，导致白洋淀水域发生大面积鱼类死亡事件，受污染水域面积共计 3080 ha，直接经济损失达到 2385 万元。据专家估计，要恢复该水域的生态环境，至少需要 10 年的时间。严重的水体污染，给下游的日常生活、农业生产、生态环境等都带来了巨大的影响。

（2）浪费严重

在农田灌溉方面，由于技术落后、工程不配套、管理不善等，水的利用率不到 40%，仅渠系渗漏的水每年高达 $1700 \times 10^8 \text{ m}^3$ ，占农田灌溉水总量的 43%。在工业用水方面，循环利用率低，仅为发达国家的 1/3 左右。在生活用水方面，都不同程度上存在着水龙头漏水现象。

（3）现有水利工程调蓄能力小，供水保证率低

目前我国有各种大、中、小型水库 86 万多座，总容量约 $4100 \times 10^8 \text{ m}^3$ ，占总径流量 15.6%，但调蓄能力低。水库供水量只占总供水量的 54%，占总径流量的 8.6%，供水保证率也不高。

（4）开发利用不平衡

我国北方水少，但集中了许多工业城市（如华北、辽宁等地区），需水量大，不论河川径流或地下水资源，其开发利用率都很高。海、辽两河的径流利用率已达到 60%~65%，海河流域的地下水开采利用率已高达 90%，黄、淮两河的水资源利用率也已达到 40%~50%。自 1972~1996 年，因缺水造成工农业经济损失累计约为 268 亿元，粮食减产 $98.6 \times 10^8 \text{ kg}$ 。我国南方水资源丰富，工农业生产用水量较大，但河川径流利用率却低于 16%。

（5）生态环境失调

毁林开荒造成严重的水土流失，使生态环境失调。辽宁省东部山区，边治理边破坏，破坏速度大于治理速度。致使水土流失加剧，自然灾害频繁，无雨则旱，遇雨则涝，生态环境已经丧失了自然调节的功能。大型水库年淤积损失库容相当于每年报费一座库容在 10^8 m^3 以上的大型水库。

综上所述，水资源作为人类生存和社会发展的一种宝贵资源必须十分珍惜，应采取各种有效措施，使有限的水资源得到合理的开发和利用，以保障社会的可持续发展。

1.1.4 水资源开发与利用

（1）节约用水、合理利用水资源

节约用水除具有节省用水量的直接含义之外，应有更深广的合理用水之意。它包括减少水的使用量；减少水的损失、浪费；增加水的重复利用率和回用；实行清洁生产；提倡污（废）水资源化等。节约用水是关系到我国社会经济可持续