

石油石化工业污水 分析与处理

张翼 林玉娟 范洪富 王宝辉 编著



SHIYOU SHIHUA GONGYE WUSHUI FENXI YU CHULI

石油工业出版社

石油石化工业污水分析与处理

张 翼 林玉娟 范洪富 王宝辉 编著

石油工业出版社

内 容 提 要

本书概述了水资源的国内外状况,油田污水和化工污水的来源、种类以及治理途径,全面介绍了油田污水和化工污水的传统与现代工业处理方法与技术,并对未来的发展趋势进行预测。同时也论述了污水中污染物的分离富集、采样保存和现代分析技术等,重点介绍了现代仪器分析方法。全书将水污染治理意义、方法途径、分析测试技术融于一体。

本书可作为环境科学和环境工程等有关专业的本科生与研究生教材或参考书,同时可供环境监测站、工矿企业从事环境分析的广大科技工作者参考。

图书在版编目(CIP)数据

石油石化工业污水分析与处理/张翼等编著.

北京:石油工业出版社,2006.7

ISBN 7-5021-5491-4

I. 石…

II. 张…

III. ①石油工业-污水处理

②石油化学工业-污水处理

IV. X74

中国版本图书馆 CIP 数据核字 (2006) 第 032048 号

出版发行:石油工业出版社

(北京安定门外安华里 2 区 1 号 100011)

网 址: www.petropub.com.cn

发行部: (010) 64210392

经 销: 全国新华书店

印 刷: 石油工业出版社印刷厂

2006 年 7 月第 1 版 2006 年 7 月第 1 次印刷

787×1092 毫米 开本: 1/16 印张: 21.5

字数: 550 千字 印数: 1—1500 册

定价: 80.00 元

(如出现印装质量问题,我社发行部负责调换)

版权所有,翻印必究

前 言

环境问题是 21 世纪世界各国人民共同关心的问题，也是科学技术领域里重大研究课题之一。水环境的污染、预防和控制是环境保护课题中的重要组成，特别是随着石油工业和化学工业的迅猛发展，工业用水和污水处理已成为制约发展的主要问题，近年来引起了各国政府及有关组织和专家们的广泛重视，都在积极为研究开发污水处理的新技术和生产过程的清洁化寻找途径，并努力实现污水的零排放和最大限度的再利用。

总结前人的工作经验，促使人们了解国内外水资源的状况，了解目前石油和化工污水分析与处理的研究状况、推广新技术、新方法和新工艺，这是编写本书的宗旨。

本书是以从事环境工程研究和环境分析检测的科技工作者为主要读者对象，以油田污水处理和化工生产污水处理为服务目标，全面介绍了过去和现在所采用的技术，并给出了今后的发展方向和需要解决的重要课题。全书共分为八章：水资源、水污染及防治，化学与环境保护，油田污水及处理技术，水的净化技术，石油化工废水与处理技术，水样的采集与水质指标的测定方法，分离富集方法和仪器分析方法。本书的第一章和第七章由王宝辉编写，第三章和第四章由范洪富编写，第五章、第六章由林玉娟编写，第二章和第八章的编写由张翼完成，全书由张翼统稿。书中引用了相关参考文献的图、表和数据，在此向有关作者表示感谢。哈尔滨工业大学的马军教授在该书的编写过程中给予许多指导并进行了审阅，赵丽、李雪峰、胡兵、楚伟华、程东红、贾晶晶等研究生同学参加了编写、绘图和校对工作，在此一并表示感谢！

由于编者水平有限，书中错误和疏漏在所难免，敬请有关专家读者批评指正。

目 录

第一章 水资源、水污染及防治	(1)
第一节 水资源.....	(1)
第二节 水污染.....	(8)
第三节 水污染防治.....	(18)
第二章 化学与环境保护	(28)
第一节 环境质量评价的一般要求.....	(28)
第二节 环境质量监测的主要手段.....	(30)
第三节 三废处理.....	(31)
第四节 绿色工艺设计.....	(37)
第三章 油田污水及处理技术	(40)
第一节 油田污水处理意义和重要性.....	(40)
第二节 油田污水的水质要求.....	(41)
第三节 油田污水组成成分和性质.....	(42)
第四节 油田污水处理技术及其工艺.....	(45)
第五节 油田污水处理设备的现状和展望.....	(60)
第六节 常用油田污水处理药剂.....	(65)
第七节 油田污水治理的新途径——环保注水.....	(70)
第四章 水的净化技术	(74)
第一节 沉降和混凝技术.....	(74)
第二节 离心分离.....	(81)
第三节 吸附与过滤技术.....	(82)
第四节 化学沉淀法水处理技术.....	(85)
第五节 微生物及杀菌技术.....	(86)
第六节 膜法水处理技术.....	(99)
第七节 电化学法.....	(119)
第五章 石油化工废水与处理技术	(124)
第一节 炼油厂废水.....	(124)
第二节 基本有机原料的合成.....	(137)
第三节 各类石油化工废水的处理.....	(151)
第四节 石油化工废水治理技术的发展趋势.....	(175)
第六章 水样的采集与水质指标的测定方法	(177)
第一节 水质指标和水质分析.....	(177)
第二节 水质指标间的关系.....	(179)
第三节 水质指标测定方法.....	(181)
第四节 水样的采集、储存与处理.....	(190)

第七章 分离富集方法.....	(200)
第一节 概述.....	(200)
第二节 蒸馏与挥发分离法.....	(202)
第三节 沉淀分离法.....	(203)
第四节 泡沫分离法.....	(213)
第五节 溶剂萃取分离法.....	(217)
第八章 仪器分析方法.....	(230)
第一节 原子吸收分光光度法.....	(230)
第二节 X 射线荧光分析法.....	(249)
第三节 紫外 - 可见分光光度法.....	(255)
第四节 荧光分光光度法.....	(269)
第五节 红外分光光度法.....	(279)
第六节 气相色谱法.....	(288)
第七节 高效液相色谱法.....	(313)
附录一 环境分析中的常用单位.....	(328)
附录二 国内标准.....	(330)

第一章 水资源、水污染及防治

第一节 水资源

一、水圈

海洋和陆地上的液态水和固态水构成一个基本连续的圈层覆盖在地球表面，称为水圈。它包括江河湖海中的一切淡水、咸水、土壤水、浅层和深层地下水以及南北两极冰帽和各大陆高山冰川中的冰，还包括大气圈中的水蒸气和水滴。大气中的水是全球水循环中的一个重要环节。

水是一种神奇的物质，地球之所以能够成为一颗智慧星球，水是关键因素。如今地球表面的 70% 以上覆盖着水，大多数生物体内水的含量也达到 % 以上。研究发现，人体血液的矿化度为 9000mg/L，与 30 亿年前的海水是相同的。静脉点滴用的生理盐水的浓度为 0.9% 的 NaCl 溶液，与原始海水一致。这似乎告诉我们，现代人的身体内仍然流动着几十亿年前的海洋水。在自然界的植物体内，水分含量更高，有些甚至高达 95%。这一切都充分表明地球上生命的产生和进化都离不开水。

人们的日常生活更是时时处处与水密切联系，从生活、娱乐到工业生产和农业灌溉，无一不与水密不可分。

水的优异的自然性质决定了它对人类和生态环境的特殊意义：

(1) 水是无色透明的，允许太阳光中的可见光和波长较长的紫外线部分透过，使光合作用所需的光能够到达水面以下的一定深度，而对生物体有害的短波紫外线则被阻挡在外。这不仅在地球上生命的产生和进化过程中起到关键作用，对今天生活在水中的各种生物具有重要意义。

(2) 水是一种极好的溶剂，为生命过程中营养物和废弃物的传输提供了最基本的媒介。而且水的介电常数在所有液体中是最高的，使得大多数离子化合物能够在其中溶解并发生最大限度的电离，这对营养物质的吸收和生物体内各类生化反应的进行具有重要意义。

(3) 除液氨外，水的比热是所有液体固体中最大的，为 $4.18\text{J}/(\text{g} \cdot ^\circ\text{C})$ 。此外，水的蒸发热也极高，在 20°C 下为 2.4kJ/g 。这是由于这种高比热、高蒸发热的特性，地球上的海洋、湖泊、河流等水体，白天吸收到地表的太阳光的热量，夜晚又将热量释放到大气中，避免了剧烈的温度变化，使地表温度长期保持在一个相对恒定的范围内。月球表面都是岩石，石头的比热只有水的 20%，所以月球表面的气温变化可以从 $+120^\circ\text{C}$ 到 -150°C 。

(4) 水在 4°C 时密度最大，这一特性在控制水体温度分布和垂直循环中起着重要作用。在气温急剧下降的夜晚，水面上较重的水层向水底沉降，与下部水层更换，这种循环过程使得的溶解在水中的氧和其他营养物质得以在整个水域分布均匀，当水体趋于一种稳定状态，水底温度是 4°C ，在这一层中水生物可以幸存。

(5) 冰轻于水。冰的密度比水小，只有 $0.92\text{g}/\text{cm}^3$ ，可以浮在水面上。这一特性对水下生物具有重要意义。否则，气温降低时水面上的冰会沉降到水底，从而导致整个水体完全冻结，给水下生物带来灭顶之灾。

地球是一个水量丰富的星球，全世界的总水量约有 $14 \times 10^8 \text{ km}^3$ 之多，但它的存在形式多种多样，如海洋水、冰川水、湖泊水、沼泽水、江河水、土壤水、大气水和生物水等。水在地球的分布很不均匀，水质也很不相同。地球上海洋面积占全球面积的 71%，含盐的海洋水占全部水资源的 97.3%，人类难以直接利用；2.7%的淡水中，又有 68.7%是以冰川和冰帽的形式存在于南北极和高山地区，也难以被人类直接利用，地球上水分布见表 1-1。

表 1-1 地球上水量分布

总水量分布 (%)		淡水量分布 (%)	
海水	97.3	冰盖 冰川	77.2
淡水	2.7	地下水 土壤水	22.4
—		湖泊 沼泽	0.35
—		大气	0.04
—		河流	0.01

按海陆之间的水量平衡计算，每年流经陆地进入海洋的总水量约为 $4 \times 10^4 \text{ km}^3$ 。但是，其中的 70%，即 $2.8 \times 10^4 \text{ km}^3$ 为洪水径流，一般在一天至数天内宣泄入海。另有 $0.5 \times 10^4 \text{ km}^3$ 流经无人区（如热带丛林和寒带冻原），无人问津，可供人类利用的稳定径流量只有 $0.7 \times 10^4 \text{ km}^3$ 。为了截取洪水径流，人们修筑了许多大小水库，目前全世界水库的总库容量达到了 $0.2 \times 10^4 \text{ km}^3$ ，约占全球总径流量的 16.75%，使人类可利用的淡水量达到 $0.9 \times 10^4 \text{ km}^3$ 。然而，受气候和地理条件的影响，地球上不同国家水资源的分布都极不均匀，冰岛、厄瓜多尔、印度尼西亚等国家水资源丰富。而北非和中东许多国家，如埃及和沙特阿拉伯等国，降水量少，蒸发量大，因此径流量很小，人均和单位面积土地的淡水占有量都极少。我国也属于缺水国家。

二、全球淡水资源

据联合国能源和自然资源委员会的专家们指出，全球水资源受到严重污染，人类未来的生存将受到威胁。该委员会专家认为，可饮用的淡水是人类生存的基本条件之一，但这个大自然赐予人类的宝贵资源近年来出现了危机。首先是水资源量的短缺。淡水资源在全球水资源中的占有量还不到百分之一，全世界有 80 多个国家将近 40% 的人口严重缺水。专家们预计，人类对淡水的需求在 2025 年之前每年将以 6.5% 的速度增长。

同缺水相比，对人类威胁更大的则是水资源的污染问题。它直接关系到人们饮用水的质量，关系到人类的健康。

人口的快速增长再加上工业化、城市化、农业集约化和大量使用水的生活方式导致全球性水危机。目前大约 20% 的人口缺乏安全的饮用水，大约 50% 的人口缺乏安全的卫生设施系统。普遍的水位下降带来严重的问题，因为它造成水短缺，又造成沿海地区的海水侵蚀。许多大城市都存在饮用水的污染问题，硝酸盐污染和日益加重的重金属影响几乎所有地方的水质。全球淡水供应量不会增加，越来越多的人口依靠这一固定的供应，而越来越多的水源被污染。水安全将会像粮食安全一样，在今后几十年中将成为世界上许多国家和地区的重点问题。

专家们还指出，水资源的污染主要来自家庭污水、工业废水和农药污染三个方面。根据世界资源研究所（World Resources Institute, WRI）2000 年 10 月 21 日公布的一份报告，

到 2025 年，全球至少有 35 亿人口——大约是世界总人口的一半，将居住在缺乏农业、工业及生活用水的地区。《全球生态系统探索分析：淡水资源》(Pilot Analysis of Global Ecosystem (简称 PAGE): Freshwater Systems) 是世界资源研究所正在准备的一个分为五个部分的系列报告之一。该报告对全球生态系统现状进行了综合评估。根据该报告，全球农业密集地区、大都市及工业地区的水质状况都出现了下降。

在发展中国家，90%以上的污水未经处理就直接排入河流或湖泊。根据该报告提供的数字，由于以上原因，每年有 500 万人死于水源性疾病，如霍乱，另外还有数百万的人因饮用不清洁的水而致病。经过采用先进的污水处理技术以及减少磷在洗涤剂中的使用，在过去二十年内，欧洲及美国的地表水水质有了一定程度的提高。但其他问题，如化学肥料流失造成的硝酸盐污染，在欧美及世界其他地区则呈增长趋势。除了给人类健康造成危害之外，全球河流、湖泊及地下水质的退化还大幅度削弱了水生生物的多样化。PAGE 报告的作者之一，卡门·雷文伽 (Carmen Revenga) 指出：“人们只听说亚马逊丛林中物种的灭绝，但相比之下全球淡水资源的情况比它要糟糕得多”。

雷文伽认为《全球生态系统探索分析：淡水资源》的主要目的是向人们展示如何将淡水资源作为一个系统来管理。雷文伽说：“通常，人们在将淡水资源分流用于某一个目的，如灌溉或发电时，并未考虑这样的做法会影响整个水资源系统功能。如破坏了水系的供水能力、减少了江河流域的物产、影响了该地区水资源的发展潜力”。

《全球生态系统探索分析：淡水资源》指出：人们往往忽视了淡水资源对水净化及洪水控制能力的重要性，因为这些能力无法像农业产品一样进行交易。因而在对淡水资源的不同用途进行评估时，很难判定孰优孰劣。位于美国马萨诸塞州阿默斯特市 (Amherst) 的全球水资源政策规划署主任桑德拉·波斯特尔 (Sandra Postel) 说：“总体上看，PAGE 报告是一份极具价值的报告，它对水资源现状作了很好的分析”。但是，本报告作者们在准备报告过程中通常面临的一个问题是，信息不完整及地区与地区之间信息不兼容，难以对不同地区进行推断和比较。雷文伽说：“90 年代的水资源数据不如 80 年代充分，因为许多政府减少或停止了对水资源监测的资助。”

淡水资源短缺给人类生存带来危害。目前全球有 10 亿人未能用上洁净的水，24 亿人缺乏充足的用水卫生设施，每年有 500 多万人死于同水有关的疾病。到 2025 年，全球将有 35 亿人面临水资源短缺，占全球总人口的 50%，北非和西亚地区尤其严重。淡水资源危机严重制约了可持续发展。全球范围内的淡水消费量日益增加，许多国家的用水速度已经超过了水的再生速度；人类过度用水、水污染和引进外来物种造成湖泊、河流、湿地和地下含水层的淡水系统被破坏或消失；很多国家的淡水管理政策与当地实际情况脱节等问题导致淡水资源的日益匮乏。虽然地球 70%的面积覆盖着水，但供人类饮用的淡水仅有 2.5%。目前在全球淡水资源中，农业用水占 70%、工业用水占 20%、家庭和市政用水占 10%。联合国预计，在未来 20 年里，需要增加 17%的淡水灌溉农作物以满足粮食消费。到 2025 年整个淡水供给需要增加 40%。根据联合国 2000 年千年首脑会议所确定的目标，世界各国应在 2015 年之前将无法获得洁净饮用水的人口减少一半。在 2002 年召开的世界可持续发展首脑会议上，各国领导人表示争取在 2015 年之前将无法获得适当卫生服务的人口减少一半。为实现上述目标，全人类必须加强淡水资源管理，有效地保护和利用淡水资源。

三、世界与中国淡水形势及危机

水是基础性的自然资源和战略性的经济资源。水资源的可持续利用是经济和社会可持续

发展极为重要的保证。国内外水资源的问题与人口的增长和经济的发展有密切关系，我国也不例外。

1. 世界淡水资源和水危机

地球上水的储量很大，但淡水只占 2.5%，其中易供人类使用的淡水不足 1%。据专家最新估计，全球陆地上可更新的淡水资源约 $(41.02 \sim 42.75) \times 10^{12} \text{m}^3$ ，其中易于使用的约 $(12.5 \sim 14.5) \times 10^{12} \text{m}^3$ 。按 1995 年人口统计，全球人均淡水资源约 $7170 \sim 7450 \text{m}^3$ ，其中易于使用的淡水人均约 $2180 \sim 2440 \text{m}^3$ 。可见，地球上的淡水资源是有限的。水的需求随人口和经济发展而迅速增长。1995 年全球用水总量已达 $36000 \times 10^8 \text{m}^3$ ，人均用水 628m^3 ，约占易用淡水资源量的 26%~29%。据联合国调查，全球约有 4.6 亿人生活在用水高度紧张的国家或地区内，还有 $\frac{1}{4}$ 人口即将面临严重用水紧张的局面。水资源已成为世纪之交世界各国普遍关注的重要议题之一。

2. 我国水资源开发利用现状

我国水资源总量根据 1956—1979 年水文资料分析，我国 24 年平均的降水总量为 $61889 \times 10^8 \text{m}^3$ (648mm)，形成河川径流总量 $27115 \times 10^8 \text{m}^3$ (284mm)，占降水量的 44%。其中由地下水排泄的基流量为 $6780 \times 10^8 \text{m}^3$ ，占 27%，冰雪融水补给量 $560 \times 10^8 \text{m}^3$ ，占 2%。地下水资源量约 $8288 \times 10^8 \text{m}^3$ ，由降水和地表水补给。其中山区丘陵区 $6762 \times 10^8 \text{m}^3$ ，平原区 $1874 \times 10^8 \text{m}^3$ (包括重复计算量 $348 \times 10^8 \text{m}^3$)。全国水资源总量 $28124 \times 10^8 \text{m}^3$ (已扣除地表水和地下水相互转化的重复量)。

水资源特点：

(1) 中国水资源总量居世界第四位，但人均水资源占有量偏少。按 1997 年人口统计人均水资源仅 2220m^3 ，仅为世界人均水资源的 $\frac{1}{3}$ 。到 21 世纪中叶，按 16 亿人计人均水资源仅为 1760m^3 ，进入联合国评价的用水紧张国家的行列。

(2) 水资源的主要矛盾是，在地区上分布极不均匀，与人口、土地、生产力布局不相匹配，见表 1-2。

表 1-2 水资源、人口、耕地、GDP 人均亩均水资源比较

分 区	占全国 (%)				人均水量 ($\text{m}^3/\text{人}$)			亩均水量 ($\text{m}^3/\text{亩}$)
	水资源	人口	耕地	GDP	1997	2010	2050	
东北 (松辽)	7.0	9.6	20.2	10.4	1646	1501	1287	660
华北 (黄淮海)	7.7	34.7	39.4	32.4	500	449	389	373
西北 (内陆河)	4.8	2.1	5.7	1.7	4876	4140	3331	1589
南方 (长江以南)	80.4	53.6	34.7	55.5	3481	2952	2634	4317
全国	100	100	100	100	2220	2050	1760	1888

联合国评价标准：用水紧张国家 $<1700 \text{m}^3/\text{人}$ ；缺水国家 $<1000 \text{m}^3/\text{人}$ ；极端严重缺水 $<500 \text{m}^3/\text{人}$ 。

(3) 水资源补给量在年和年际之间变化极大。水旱灾害出现频繁，农业生产不稳定，水资源供需矛盾突出。例如：1998 年属于丰水年，全国河川径流量比正常年份多 $6247 \times 10^8 \text{m}^3$ ，其中长江偏多 $3491 \times 10^8 \text{m}^3$ (多 36.7%)；松花江偏多 $693 \times 10^8 \text{m}^3$ (多 90.9%)，长江、嫩江出现了特大洪涝灾害。2001 年干旱严重，全国大部分地区河川径流量偏少，松花江、辽河、海河、黄河、淮河比正常年份来水偏少 23%~67%，长江也偏少 6.9%，仅东

南、华南沿海、西南和西北内陆来水偏丰。

3. 水结构的变化

(1) 全国城乡用水急剧增加 1980 年全国用水 $4437 \times 10^8 \text{m}^3$ ，人均用水 450m^3 ；2001 年增加到 $5567 \times 10^8 \text{m}^3$ ，人均用水 436m^3 。从 1980 年以来用水增长了 $1130 \times 10^8 \text{m}^3$ ，年增长率 1.04%。

(2) 用水结构发生了变化农业用水所占的比重下降，工业和生活用水比重增大，见表 1-3。

表 1-3 水结构的变化

水 结 构	1980 年 ($\times 10^8 \text{m}^3$)	2001 年 ($\times 10^8 \text{m}^3$)
农业用水	3699 (占 83.4%)	3826 (占 68.7%)
工业用水	457 (占 10.3%)	1142 (占 20.5%)
生活用水	280 (占 6.3%)	600 (占 10.8%)

4. 水资源开发利用中存在的问题

(1) 人均用水量较低。我国的用水总量已超过美国 (1995 年美国总用水量 $5554 \times 10^8 \text{m}^3$ ，其中淡水 $4703 \times 10^8 \text{m}^3$)，仅次于印度，居世界第二位。但全国平均人均用水量 $436 \text{m}^3/\text{人}$ ，仅相当于美国的 $1/4$ (淡水)，世界人均用水量的 $1/2$ 。

(2) 用水在地区上的差别明显。现将全国分成包括长江、珠江、东南沿海和西南诸河在内的南方；由松花江、辽河、海河、黄河和淮河组成的北方和西北内陆三个区域进行统计，其分析结果见下表 1-4。由表中可以看出，我国南北方的总用水量与水资源的条件有一定的关系，一般情况是水资源相对比较丰富的南方用水多于水资源贫乏的北方和西北内陆地区。

表 1-4 全国各地区用水量统计

分 区	用水总量 ($\times 10^8 \text{m}^3$)	占全国的百分比 (%)	人均用水量 (m^3)
全国	5567.4	100	436
北方 (松、辽、海、黄、淮)	1990.6	35.75	355
南方 (长、珠、东南、西南)	2993.9	53.77	441
西北内陆河	583.0	10.47	2148

从全国各省 (市、区) 的用水量统计结果来看，其差别还与产业结构有密切关系。如表 1-5 给出了各类用水量排位居全国前四或前三位的省市，其中新疆因农业用水量大，其总用水量在全国居首位。

表 1-5 几个省的用水量比较

单位: $\times 10^8 \text{m}^3$

省	总用水量	农业用水	工业用水	生活用水
新疆	487.14	463.84	—	—
江苏	466.38	280.76	143.17	42.45
广东	446.33	257.68	116.87	71.78
湖南	318.55	224.43	—	39.40
黑龙江	—	—	81.86	—

(3) 水污染严重。我国 2001 年工业废水和城镇生活污水排放总量 $626 \times 10^8 \text{t}$ 。全国符合和优于三类水的河长占总评价河长的 61.4%，比上年增加了 2.7 个百分点。但水污染问题仍然十分突出。

(4) 用水效率偏低。为了消除人口和经济发展水平的影响，按人均 GDP、人均用水量、万元 GDP 用水量等指标统计（见表 1-6），可以看出，各省市用水的效率与经济发展水平和产业结构组成有一定的关系。在经济发达地区随着产业结构调整，用水效率的提高，万元 GDP 的用水量呈逐年下降的趋势，人均用水量基本可保持不变或略有下降。因此，经济结构调整，建设高效、节水型产业，应是今后经济社会发展的方向。

表 1-6 按人均 GDP、人均用水量、万元 GDP 用水量等指标统计

地 区	省 市	人均 GDP (万元)	人均用水 (m³)	万元 GDP 用水 (m³)	亩均灌溉 (m³)	生活用水 (L/d)		万元工业 增值用水 (m³)
						城镇	农村	
全国		0.75	436	580	473	218	92	268
北方	北京	2.04	281	138	337	291	168	109
	天津	1.82	191	105	231	174	93	56
	辽宁	1.20	307	256	432	165	90	113
南方	上海	3.07	658	215	319	380	98	364
	浙江	1.45	445	307	473	308	108	171
	广东	1.36	573	423	825	484	152	248
	江苏	1.29	634	490	520	236	115	335
西北	新疆	0.79	2597	3284	864	265	166	214

(5) 各地区主要水资源问题。北方持续干旱，人均用水量只有 355m^3 ，在全国是最低的。这部分水量大部分是超采的地下水和引用未处理的污水，黄河下游地区还挤占了黄河的冲沙水。因此，该地区出现了资源性缺水和严重的生态环境问题。

南方旱涝交错，水污染发展迅速，并得不到控制，供水安全得不到保证，造成了污染型缺水。

西北内陆地区水土资源过量开发，人工绿洲的发展挤占了天然绿洲和湖泊的生态用水，造成了生态环境恶化，出现了生态型缺水。

(6) 经济高度发达地区的水资源问题。长江流域的工业化和城市化水平略高于全国平均水平；太湖流域经济发达，城镇化水平较高；因此太湖流域和上海市可代表我国经济高度发达地区的用水水平。这两个地区 2001 年的用水状况见下表 1-7。

表 1-7 太湖流域和上海市 2001 年的用水状况 单位： $\times 10^8 \text{m}^3$

项 目	总 用 水 量	农业用水	工业用水	生活用水
全流域	1742.8	1017.8 (58.4%)	516.4 (29.6%)	208.6 (12%)
太湖流域	297.4	100.6 (33.8%)	158.3 (53.2%)	38.6 (13%)
上海市	106.2	13.7 (12.9%)	77.5 (73%)	15 (14.1%)

主要用水指标见表 1-8。从表中可以看出，太湖流域和上海市的人均用水指标较高，

主要因该用水量中包括了相当大的一部分火力发电站贯流式冷却用水在内，如上海市的工业用水中，约有一半以上属于火力发电冷却用水。若扣除此项用水，太湖和上海市的用水指标在全国各省市中是比较先进的。但与日本、德国等其他先进国家比较，仍有相当大的差距。

表 1-8 太湖和上海市的用水与日本、德国等其他先进国家比较

项 目	人均 GDP (万元)	人均用水量 (m ³)	万元 GDP 用水 (m ³)	单方水产出 GDP (元)
全流域	0.80	405	507	19.7
太湖流域	2.70	742	274	36.5
上海市	3.07	658	211	46.5
日本			22.4	446.4 (97.2*)
德国	—	—	25.6	390.6 (85.1*)
经济高收入国家平均			45.3	221.8 (48.3*)

注：人均用水量未扣火电厂用水；* 按购买力评价 (PPP) 换算。

5. 对策和问题的研究

(1) 全国供需发展前景。21 世纪中叶，我国人口将达到 16 亿左右，经济要达到中等发达国家水平；目前国际上经济发达的高收入国家和中等偏上收入国家人均年用水量多数在 400~800m³；如将我国人均用水维持在 2000 年 430m³ 的水平或略高到 450m³，全国 16 亿人的需水量将增加到 $(6900 \sim 7200) \times 10^8 \text{m}^3$ 。

目前我国城市化水平滞后于社会经济发展的要求，预计到人口高峰期城市化率将达到 60%，即我国将有 9~10 亿人生活在城镇，工业和生活用水将占总用水量的 42.6%，势必加剧城市供水的压力，城市水资源问题将日益突出。

新增加的 $(1400 \sim 1700) \times 10^8 \text{m}^3$ 供水量有一半以上用以解决北方缺水。东北、西北、内陆河可在区内调配，黄淮海三流域需从长江上、中、下游跨流域调水来解决。但新增加的水量需要大量资金投入。

在加强管理，改革体制，加大投入，合理配置，节水和污水资源化，高效利用和注重保护的前提下，经过努力我国有条件在人均用水量 400~450m³ 的基础上，实现第三步战略目标。

(2) 对策和问题的研究。基于以上供需发展的前景，建议今后对以下对策和问题加强研究。

加大节水和污水资源化力度的问题。目前我国的水资源有效利用率较低，单方水的产出明显低于发达国家，节水尚有较大潜力。节约用水和科学用水，应成为水资源管理的首要任务。应通过节水宣传教育，征收水资源费，调整水价，实行计划供水、取水许可等制度，保证节水目标的实现。节水的另一条途径是污水资源化。城市污水未经处理排入河道，既浪费了资源，又污染了环境，遗害于人民。进入 21 世纪，城市和工业用水仍将继续迅速增加。2001 年城市和工业用水已超过 $1430 \times 10^8 \text{m}^3$ ；扣除电力工业用水，按 70% 计算，废污水排放量已达到 $626 \times 10^8 \text{t}$ ，即每天进入河道的废污水已接近 $1.7 \times 10^8 \text{t}$ 。这些污水如加以处理，达到环境允许的排放标准或污水灌溉的标准，使污水资源化，既可增加水源解决农业缺水问题，又可起到治理污染和改善生态环境的作用。将污水处理回用于农业与污染治理有机地结

合起来，对于解决我国水资源的短缺和水环境的改善有特别重要的意义，应作为经济持续发展的重要战略措施来抓。

合理安排生态环境用水问题。水资源短缺的地区，在经济发展中往往城市和工业用水挤占农业用水，农业用水又挤占生态用水，导致生态环境恶化。干旱半干旱地区，生态环境脆弱，必须确保生态环境用水，防止灌溉农业的盲目发展和生态环境的进一步恶化。对于黄河以及其他多沙河流，水保措施的减水减沙水量和下游河道的冲沙水量，应作为生态环境用水在供水规划中做出合理的安排。从区域水分与能量，水分与盐分，水量与泥沙以及水量供与需四个方面进行调控，如何协调平衡干旱缺水地区的生态用水，今后还需要重点进行研究。

调整产业结构，实现水资源合理配置问题。为了实现可持续发展的战略目标，水资源的开发必须根据人口—经济—水资源—环境协调发展的原则，在区域上进行合理配置，实现国土经济的均衡发展。在缺水地区，应限制耗水量大的产业发展，并进行必要的产业结构调整，以减缓水资源短缺状况。但彻底解决北方的缺水问题，仍需要考虑修建跨流域调水工程，包括东线、中线和西线“南水北调”等工程。跨流域调水工程的建设必须做好总体规划和科学的论证，要兼顾调入和调出流域的合理需水要求，防止其对生态环境造成不利影响。在规划中应结合投入产出、经济和生态效益的分析，对产业结构调整、水资源合理配置方案进行深入研究。

加大投资力度，加快供水工程的建设问题。新水源工程建设需要大量资金投入。应按照经济规律进行新水源的开发，根据供水成本合理地制定各行业的水价。通过水价的调整，激励用户集资建设节水工程、污水处理回用和地下水回灌工程，减少引用水量。多水源的相互竞争，有利于水源工程的规模控制和资金的合理筹措，并可避免水源工程规模过大，造成不必要的资金积压和浪费，同时提高水源工程的效益。

改革水利管理体制，实现水资源的统一管理，加强水资源的立法和规划工作。加强水资源的持续性开发利用，改变以往水资源工程的重建设轻管理的现象。改革水资源管理机制，以流域管理与区域管理相结合、水资源权属与开发利用权属相分开为原则，实现包括城市与农村、水量与水质、地表水和地下水、供水与需水在内的水资源统一管理。实行“一龙管水，多龙治水”的模式，加强水资源立法工作，加强流域规划与滚动规划工作。

第二节 水 污 染

水污染是指天然洁净水由于人类活动而被污染的现象。1984年颁布的《中华人民共和国水污染防治法》中说明，水污染是指“水体因某种物质的介入而导致其物理、化学、生物或者放射性等方面特性的改变，从而影响水的有效利用，危害人体健康或破坏生态环境，造成水质恶化的现象”。

一、主要水环境污染物

造成水体污染的污染源有多种，不同污染源排放的污水废水具有不同的成分和性质，但其所含的污染物主要有以下几种。

1. 悬浮物

悬浮物是指悬浮在水中的污染物质，包括无机的泥沙、炉渣、铁屑，以及有机的纸片、菜叶等。水力冲灰、洗煤、冶金、屠宰、化肥、化工、建筑等工业废水和生活污水中都含有悬浮状的污染物，排入水体后除了会使水体变混浊，影响水生植物的光合作用外，还会吸附

有机毒物、重金属、农药等，形成危害更大的复合污染物沉入水底，日久后形成淤积，会妨碍水上交通或减少水库容量，增加挖泥负担。

2. 耗氧有机物

生活污水和某些工业废水中含有糖、蛋白质、氨基酸、酯类、纤维素等有机物质，这些物质以悬浮状态或溶解状态存在于水中，排入水体后能在微生物作用下分解为简单的无机物，在分解过程中消耗氧气，使水体中溶解氧减少，微生物繁殖。当水中溶解氧降至4mg/L以下时，将严重影响鱼类和水生生物的生存；当溶解氧降至零时，水中厌氧微生物占优势，造成水体变黑发臭，将不能用于饮用水源和其他用途。耗氧有机物的污染是当前我国最普遍的一种水污染。由于有机物成分复杂，种类繁多，一般用综合指标生化需氧量（BOD）、化学需氧量（COD）或总有机碳（TOC）等表示耗氧有机物的量。清洁水体中 BOD_5 含量应低于3mg/L， BOD_5 超过10mg/L则表示水体已经受到严重污染。

3. 植物性营养物

植物性营养物主要指含有氮磷等植物所需营养物的无机、有机化合物，如氨氮、硝酸盐、亚硝酸盐、磷酸盐和含氮和磷的有机化合物。这些污染物排入水体，特别是流动较缓慢的湖泊、海湾，容易引起水中藻类及其他浮游生物大量繁殖，形成富营养化污染，除了会使自来水厂运行困难，造成饮用水的异味外，严重时也会使水中溶解氧下降，鱼类大量死亡，甚至导致湖泊的干涸灭亡。

4. 重金属

很多种金属对生物有显著毒性，并且能被生物吸收后通过食物链浓缩千万倍，最终进入人体造成慢性中毒或严重疾病。例如，著名的日本水俣病就是由于甲基汞破坏了人的神经系统而引起的；骨痛病则是镉中毒造成骨骼中钙减少的后果，这两种疾病最终都会导致人的死亡。

5. 酸碱污染

酸碱污染物排入水体会使水体的pH值发生变化，破坏水的自然缓冲作用。当水体pH值小于6.5或大于8.5时，水中微生物的生长会受到抑制，致使水体自净能力减弱，并影响渔业生产，严重时还会腐蚀船只、桥梁和其他水上建筑。用酸化或碱化的水浇灌农田，会破坏土壤的理化性能，影响农作物的生长。酸碱对水体的污染，还会使水的含盐量增加，提高水的硬度，对工业、农业、渔业和生活用水都会产生不良影响。

6. 石油类

含有石油类产品的废水进入水体后会漂浮在水面并迅速扩散，形成一层油膜，阻止大气中氧进入水中，妨碍水生植物的光合作用。石油在微生物的作用下的降解也需要消耗氧，造成水体缺氧。同时，石油还会使鱼类呼吸困难直至死亡。食用在含有石油的水中生长的鱼类，还会危害人体健康。

7. 难降解有机物

难降解有机物是指那些难以被微生物降解的有机物，它们大多是人工合成的有机物。例如，有机氯化物、有机芳香胺类化合物、有机重金属化合物以及多环有机物等。它们的特点是能在水中长期稳定的存留，并通过食物链富集进入人体。它们中的一部分化合物具有致癌致畸和致突变的作用，对人类健康构成了极大威胁。

8. 放射性物质

放射性物质主要来自核工业和使用放射性物质的工业或民用部门。放射性物质能从水中

或土壤中转移到生物、蔬菜或其他食物中，并发生浓缩和富集进入人体。放射性物质释放的射线会使人的健康受损，最常见的放射病就是血癌，即白血病。

9. 热污染

废水排放引起水体的温度升高，被称为热污染。热污染会影响水生生物的生存及水资源的利用价值。水温升高会使水中溶解氧减少，同时加速微生物的代谢速率，使溶解氧的下降更快，最后导致水体的自净能力降低。热电厂、金属冶炼厂、石油化工厂等常排放高温废水。

10. 病原体

生活污水、医院污水和屠宰、制革、洗毛、生物制品等工业废水，常含有病原体，会传播霍乱、伤寒、胃炎、肠炎、痢疾以及其他病毒传播的疾病和寄生虫病。

二、水污染主要来源

人类生活所排放的各类污水是将上述污染物带入水体的一大类污染源，由于这些污水、废水多由管道收集后集中排放，因此常被称为点污染源。大面积的农田地面径流或雨水径流也会对水体产生污染，由于其进入水体的方式是无组织的，通常被称为非点污染源和面污染源。

1. 点污染源

主要的点污染源有生活污水和工业废水。由于产生废水的过程不同，这些污水和废水的成分和性质有很大差别。

1) 生活污水

生活污水主要来自家庭、商业、学校、旅游服务业及其他城市公用设施，包括厕所冲洗水、厨房洗涤水、洗衣机排水、沐浴排水及其他排水等。污水中主要含有悬浮态或溶解态的有机物质（如纤维素、淀粉、糖类、脂肪、蛋白质等），还含有氮、硫、磷等无机盐类和各种微生物。一般生活污水中悬浮固体的含量在 200~400mg/L 之间，由于其中有机物种类繁多，性质各异，常以生化需氧量（BOD₅）或化学需氧量（COD）来表示其含量。以一般生活污水的 BOD₅ 在 200~400mg/L 之间。

2) 工业废水

工业废水产自工业生产过程，其水量和水质随生产过程而异，根据其来源可以分为工艺废水、原料或成品洗涤剂、工厂的冲洗水以及设备冷却水等；根据废水中主要污染物的性质，可以分为有机废水、无机废水、兼有有机和无机物的混合废水、重金属废水、放射性废水等；根据产生废水的行业性质，又可分为造纸废水、印染废水、焦化废水、农药废水、电镀废水等。

不同工业排放废水的性质差异很大，即使是同一种工业，由于原料工艺路线、设备条件、操作管理水平的差异，废水的数量和性质也会不同。一般来讲，工业废水有以下几个特点：

（1）废水中污染物浓度大，某些工业废水含有悬浮固体或有机物的浓度是生活污水的几十甚至几百倍；

（2）废水成分复杂且不易净化，工业废水常呈酸性或碱性，废水中常含有不同种类的有机物和无机物，有的还含有重金属、氰化物、多氯联苯、放射性物质等有毒污染物；

（3）带有颜色或异味，如刺激性气体，或呈现出令人生厌的外观，易产生泡沫，含有油类污染物等；

(4) 废水水量和水质变化大，因为工业生产一般有着分班进行的特点，废水水量和水质常随时间而变化，工业产品的调整或工业原料的变化，也会造成废水水量和水质的变化；

(5) 某些工业废水的水温高，甚至有的高达 40℃ 以上。

表 1-9 列出了几种主要工业废水的水质特点及其所含的污染物。

表 1-9 几种主要工业废水的水质特点及其所含的污染物

工业部门	工厂性质	主要污染物	废水特点
动力	火力发电，核电站	热污染，粉煤灰，酸，放射性	高温，酸性，悬浮物多水量大，有放射性
冶金	选矿，采矿，烧结，炼焦，冶炼，电解，精炼，淬火	酚，氰化物，硫化物，氟化物，多环芳烃，吡啶，焦油，煤粉，重金属，酸，放射性	COD 高，有毒性，偏酸，水量较大，有放射性
化工	肥料，纤维，橡胶，染料，塑料，农药，油漆，洗涤剂，树脂	酸或碱，盐类，氰化物，酚，苯，醇，醛，氯仿，氯乙烯，农药，洗涤剂，多氯联苯，重金属，硝基化合物，胺基化合物	COD 高，pH 值变化大，含盐量大，毒性较强，成分复杂，难生物降解
石油化工	炼油，蒸馏，裂解，催化，合成	油，氰化物，酚，硫，砷，吡啶，芳烃，酮类	COD 高，毒性较强，成分复杂，水量大
纺织	棉毛加工，漂洗，纺织印染	染料，酸或碱，纤维，洗涤剂，硫化物，硝基物，砷	带色，pH 值变化大，有毒性
制革	洗革，鞣革，人造革	酸，碱，盐类，硫化物，洗涤剂，甲酸，醛类，蛋白质，锌，铬	COD 高，含盐量高，有恶臭，水量大
造纸	制浆，造纸	碱，木质素，悬浮物，硫化物，砷	碱性强，COD 高，水量大，有恶臭
食品	屠宰，肉类加工，油品加工，乳制品加工，水果加工，蔬菜加工等	有机物，病原微生物，油脂	BOD ₅ 高，致病菌多，水量大，有恶臭

2. 面污染源

面污染源又称非点污染源，主要指农村灌溉水形成的径流，农村中无组织排放的废水，地表径流及其他废水污水。分散排放的小量污水，也可列入面污染源。

农村废水一般含有有机物、病原体、悬浮物、化肥、农药等污染物；畜禽养殖业排放的废水，常含有很高的有机物浓度；由于过量的施加化肥，使用农药，农田地面径流中含有大量的氮、磷营养物质和有毒农药。

大气中含有的污染物随降雨进入地表水体，也可以认为是面污染源，如酸雨。

此外，天然性的污染源，如水与土壤之间的物质交换，风刮起的泥沙、粉尘进入水体等也是一种面污染源。

对面污染源的控制要比对点污染源难得多。值得注意的是对于某些地区和某些污染物来说，面污染源所占的比重往往不小。例如，对于湖泊的富营养化，面污染源的贡献常常超过 50%。