

第一章 水污染与水质

第一节 水资源现状

水是地球上生物形态出现的基础，是人类生存和社会发展必需的自然资源。由于现代工业、农业和科学技术的迅速发展，以及对水资源不合理利用和过度需求，人类面临水资源被污染和可用水量短缺的严重局面。水资源保护和水污染治理成为全人类必须关注的历史任务。为此，水处理工作者应该提供先进的方法和有效的材料积极发展制水工业以满足人类迅速增长的对水质、水量的要求。

水资源

水资源是在当前经济技术条件下可为人类利用的地表水、地下水和土壤水构成的陆地水循环体系。地球上总水量约为 13.6 亿 km^3 。我国总水量约为 27.00()亿 m^3 ，是全世界人均水量的 1/4，居世界 109 位，被列为世界 13 个水资源贫乏国家之一。我国 600 多座城市中有 300 多座城市缺水。我国的水资源在时空上分布也不均衡，南方水有余，北方水不足；全年降水 20%，集中在夏秋季节。在我们这样的人口大国，水资源的保护和合理使用急需引起高度的重视。

二、水污染

全世界总人口的 40% 面临缺水。为什么会缺水？究其原因有以下几方面：淡水资源少、人为污染、人口增长、浪费、管理不善等，其中污染是主要原因。全球 50% 的水源遭受不同程度的污染，全世界有 10 亿人喝不到洁净水。在国外，19 世纪随着资本主义工业的发展，河流污染日趋严重。英国的泰晤士河 1800 年每天排污 450 多 t，1850 年每天增至 900 多 t，水生物几乎绝迹，1910 年每天排污 2.745 万 t。1953 年河流下游溶解氧减少，硫化物高达 14 mg/L ，有些河段夏季出现黑臭。德国莱茵河在 1971 年枯水期，污染使水中 COD 达到 30~130 mg/L ，溶解氧降至 1 mg/L 。20 世纪日本发生过严重的汞中毒（水俣病）、镉中毒（痛痛病）事件；1960—1970 年代美国发生 100 多起水污染事件；前苏联在 50 年前曾向德萨河倾倒核废料，1990 年代探测表明水中放射线强度仍超标 100 多倍。上述污染

均造成不少人发病或死亡。目前,在一些发达国家水污染得到了有效的控制,但仍存在不同程度的水污染问题。我国近 80%的河流一度被污染,排入长江的废水每年超过 140 亿 t。在我国 2000 年排入淮河的废水 42.5 亿 t,氮氮排放总量 12.33 万 t/a;海河流域 COD 排放量为 153 万 t/a;辽河流域 COD 排放量为 5427 万 t/a。据 1995 年统计,我国关中地区(包括西安、宝鸡、咸阳、渭南、铜川)年污水排放量为 6.224 7 亿 m³ 其中西安为 2.922 4 亿 m³。1998 年西安市城市生活污水处理率仅为 20.1%,宝鸡等其他四个城市在 2000 年前还无污水处理厂。由此造成几乎一半的河流水质为 IV、V 级。1996 年 4 月 11 日《科技日报》曾报道:经 WHO 调查,由于水污染全世界每年有 5 000 万儿童死亡,3 500 万人患心血管病,7 000 万人患结石病,9 000 万人患肝炎。

水源污染按来源可分为天然污染和人为污染。人为污染包括物理污染、生物污染和化学污染。几乎所有的国家都在经历着污染—治理的艰难过程。解决污染的根本途径是消除污染源,不应是先污染后治理;但水污染已成现实,当务之急是对污染水进行有效治理,改善生活用水水质,同时要运用法律手段和现代科技方法逐步消除和控制污染源,使水污染降到最低程度。

第二节 优先污染物

有确定结构和组成的化学物质(不是广义的化学物种)称为化学品,其数量已达 700 万种。水中化学污染已成为众害之首。为人类文明曾带来巨大进步的化学品,由于人们在生产、使用和管理上的疏漏,无控制地进入水源和大气,造成环境污染,威胁人类生存。

一、优先污染物

有人估计,进入环境的化学品约 10 万种,其中不少是有毒物质,称为有毒污染物。污染物对人类、生物的危害程度不同。目前许多国家根据污染物生物降解难易、生物积累性、有无三致作用(致癌、致畸、致突变)、有无潜在威胁等因素提出了污染物的控制名单。需优先检测和优先控制的环境污染物被称为“优先污染物”(Priority Pollutants)。

早在 1970 年代,美国在“清洁水法”中规定了 129 种优先污染物。前苏联于 1985 年公布了 561 种有机污染物在水体中的允许浓度。前联邦德国 1980 年公布了 120 种水中有毒污染物。我国在“七五”期间开始了环境优先监测的研究,结合我国的情况提出了中国环境“优先污染物黑名单”。如表 1-1 所列,其中包括 68 种(类)有毒物质。

综合国内外公布的黑名单,优先污染物主要有以下一些:

(1) 无机物。镉、铍、锑、铬、铅、汞、砷及其化合物,氰化物。

(2) 有机物。苯类:苯、乙苯、甲苯;苯酚类:苯酚、五氯苯酚、2,4-二氯苯酚、硝基酚;卤代烃类:卤甲烷、四氯化碳、氯代乙烷、六氯丁二烯、六氯乙烷、六氯环己烷、六氯环戊二烯、三氯乙烯、四氯乙烯、二氯苯、二氯丙烷、二氯丙烯、多氯联苯、二氯苯;氯醚:氯苯基苯醚、溴苯基苯醚、多氯代二苯醚;多环芳烃类:苯并芘、苯并蒽、二苯并蒽、茚并芘;胺类:N-亚硝基二甲胺、N-亚硝基二苯胺、联苯胺;其他:DDT、艾氏剂、

狄氏剂、异狄氏剂、二氢茈、丙烯醛、丙烯腈。

表 1-1 中国环境优先污染物黑名单

化	学	类	别	名	称
1.	卤代(烷、烯)烃类	二氯甲烷、三氯甲烷、四氯化碳、1,2-二氯乙烷、1,1,1-三氯乙烷、1,1,2,2-四氯乙烷、三氯乙烯、四氯乙烯、三溴甲烷			
2.	苯系物	苯、甲苯、乙苯、邻-二甲苯、间-二甲苯、对-二甲苯			
3.	氯代苯类	氯苯、邻-二氯苯、对-二氯苯、六氯苯			
4.	多氯联苯类	多氯联苯			
5.	酚类	苯酚、间-甲酚、2,4-二氯酚、2,4,6-三氯酚、五氯酚、对-硝基酚			
6.	硝基苯类	硝基苯、对-硝基甲苯、2,4-二硝基甲苯、三硝基甲苯、对-硝基氯苯、2,4-二硝基氯苯			
7.	苯胺类	苯胺、二硝基苯胺、对硝基苯胺、2,6-二氯硝基苯胺			
8.	多环芳烃	萘、苊、苯并[b]苊、苯并[k]苊、苯并[a]芘、茚并[1,2,3-c,d]芘、苯并			
9.	酞酸酯类	酞酸二甲酯、酞酸二丁酯、酞酸二辛酯			
10.	农药	六六六、滴滴涕、敌敌畏、乐果、对-硫磷、甲基对硫磷、除草醚、敌百虫			
11.	丙烯腈	丙烯腈			
12.	亚硝胺类	N-亚硝基二丙胺、N-亚硝基二正丙胺			
13.	氰化物	氰化物			
14.	重金属及其化合物	砷及其化合物、铍及其化合物、镉及其化合物、铬及其化合物、铜及其化合物、铅及其化合物、汞及其化合物、镍及其化合物、铊及其化合物			

在美国公布的 65 类优先污染物中，有金属与无机化合物 5 种，农药 20 种，多氯联苯 7 种，卤代脂肪烃 20 种，醚类 7 种，单环芳香族化合物 12 种，酚类 11 种，酞酸酯类 6 种，多环芳烃 16 种，亚硝胺类 7 种。优先污染物名单随监测技术、性能认识、国家发展水平而变化。对于优先污染物的处理技术也要优先考虑。

目前已确证或怀疑可致癌的有机物有：二苯胂胺、乙酰胺、丙烯腈、氯仿、四氯化碳、碘代甲烷、1-二氯乙烷、双氯乙基醚、对氯苯基三氯乙烷、六氯苯、2,4,6-三氯苯酚、狄氏剂、1,4-二噁恶烷、氯乙烯、苯、苯并(a)芘、苯并苊、4,4-DDE、乙烯基氯。

二、污染物分类

水中除了有毒污染物外，还有不少其他有害物。一般而言，在地表水中种类多，含量低；在工业废水中种类少，含量高。为了处理方便，对污染物进行适当分类是必要的。根据明显的共性，可以将污染物分为化学性污染物、物理性污染物和生物性污染物。由于化学污染物种类很多，还可细分，为便于研究和处理，一般分为以下八类。

1. 有毒污染物

(1) 无机有毒污染物：主要是重金属及少量非金属。重金属有汞、镉、铬、铅、铜、镍、钴、锌、锰、钒、钛、钼等，其中对生物危害最大的有汞、镉、铬、铅，其他在规定时间内无害，甚至人体必需。重金属一般在水中以离子形式存在。非金属有砷、氟、氰酸根、

亚硝酸根，多为阴离子。

(2) 有机有毒污染物：各国列入“优先污染物”的多属于此类。有机物一般水中溶解度小，多为非离子型化合物。

2. 耗氧有机物

主要为工业废水和生活污水带入水体的糖类、蛋白质、油脂、木质素等。这类化合物虽无毒，但在水体自净过程中消耗溶解氧，故列为有害污染物，其含量常以总需氧量（TOD）表示。

3. 酸碱盐污染物

来源于工业排放的酸碱及酸雨，它们使水体 pH 值非低即高，影响生物的生存、农业灌溉及工业应用。盐类可使淡水矿化度增高。

4. 富营养污染物

氮和磷的化合物是植物和微生物的主要营养物质，但若过量排入水体时就会使藻类等物质大量繁殖，造成有机物增多、溶解氧减少、鱼类死亡、水体变臭。所以氮、磷称为富营养污染物。

5. 油类污染物

由于石油仍为当今世界的主要能源和化工原料，含油废水与日俱增。海洋运输油品泄漏不时发生，因此油类污染面较广，应作为一类特殊污染物对待。

6. 固体污染物

水中胶体状态的物质和悬浮状态的物质，均是不溶于水的，在饮用水和工业用水中需有所限制，称其固体污染物。

7. 放射性污染物

有些元素如铀、钍、钚、镅等由于核结构不稳定，自发地放射出某些射线，如 α 射线、 β 射线、 γ 射线、X 射线等。这些射线对人体有害，进入水体后保留放射性，称为放射性污染物。核工业、应用放射性物质的单位（如医院）均有放射性废水排出。

8. 生物污染物

污水中的病原菌、病毒、病虫卵有可能引起各种疾病，称为生物污染物。

水处理中去除单个污染物的情况较少，因此这种分类有助于选择水处理方法。

三、生物难降解有机物

生物法仍为现代废水处理的基本方法，但实践表明废水中的有些有机物，生物法难以降解，甚至影响生物处理系统。

许多学者的研究表明有机物的生物难降解性与有机物的化学结构之间存在着相关性。

难降解有机物有些对微生物无毒，有些对微生物有较强的毒性，后者对生物法危害更大。氯代芳香族化合物常存在于有机工业水中，难以生物降解，但程度不同，瞿福平等以氯酚类、氯苯类和氯甲苯类为受试物研究了好氧生物对其降解的规律性。实验表明生物降解性与受试物苯环上基团的电性和基团在苯环上的位置有关。羟基和甲基为供电子基，引入后使苯环上电子云密度增加，有利于酶体系从有机物夺取电子。取代基的位置不同，产生不同的空间效应。

目前由实验得到规律性还是初步的，但可以看出好氧生物降解与有机污染物化学结构之间的相关性是明显的。

第三节水的液态结构与特性

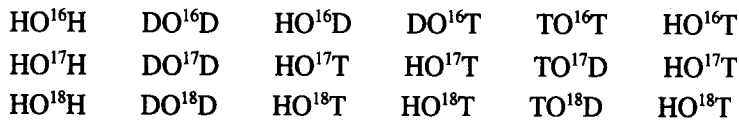
水在自然界，人类生产、生活过程中发挥着无比奇妙的作用。这些作用源于水特殊的结构和特殊的性质。至今我们对水的认识还是很不够的。

一、水的液态结构

在水的聚集状态中，人们了解得比较清楚的是它的气态和固态，而对于其液态结构所知甚少。液态结构对于水质控制十分重要。无论是污染过程还是处理过程均与其液态结构密切相关。

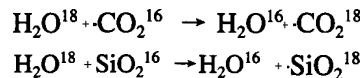
(一) 水的分子结构

水的化学式为 H_2O ，高温蒸汽状态测得的分子量为 18，符合上述分子式。由于氢和氧各有三种同位素，氢的同位素分别以 H、D、T 三个符号表示，氧的同位素为 O^{16} 、 O^{17} 、 O^{18} ，所以有 18 种不同质量的水分子。分子式如下：



普通水为 18 种水分子的混合物，但 H_2O^{16} 的含量占 99.745% (摩尔百分数)。

水中除 H_2O^{16} 外，其余为重水。重水的密度略大，其蒸汽压比普通水小。调查显示，雨水和雪水中重水含量比海水略低，显然是自然循环中蒸发的结果。水还可以发生同位素交换：



由于反应向右趋势大，天然河水中 O^{18} 含量低，而在 CO_2 和 SiO_2 中略高。

天然水中的氢、氧同位素可用来研究天然水的成因和地下水源变化。

经结构测定和计算，在水分子中两个氢原子位于氧原子的相同一边，形成氢核为底、氧核为顶的等腰三角形，如图 1-1 所示。

由于氧的电负性大于氢，分子中电子云分布不对称，正负电荷中心不重合，使水分子一端带正电，另一端带负电。水分子的极性远大于化学组成与其类似的硫化氢。由于水分子的特殊结构和水分子中氧元素和氢元素的原子特点，使水分子具有异乎寻常的两大性质：分子的强极性和分子间易形成强的氢键。由于每个水分子中有两个带正电的氢核，可以与其他水分子的氧原子形成两个氢键，每个水分子中的氧原子有两个独对电子还可以与其他两个水分子的氢核形成两个氢键，所以每个水分子有可能形成四个氢键。测定表明在固态水（冰）中，氢键达到饱和，分子排列有序，形成规则的六方晶系冰晶体。而在水中

一般氢键未达到饱和。氢键对于水的特性、水与污染物的相互作用、水与水处理剂的相互作用有重要意义。

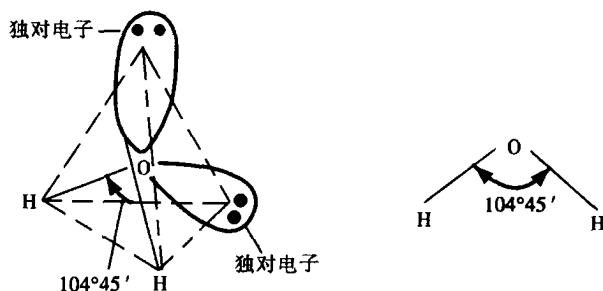


图 1-1 水分子结构

(二) 水的液态结构

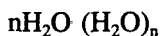
1. 早期理论

为了说明水的性质，人们对液态水的结构提出了不少说法，大致可分两种：

一种为连续体或均相体理论，认为液体水中不应有任何结构上的不均匀性，即水为均匀体或连续体。纯水不发生光散射支持该说法。它还认为冰融化为水时氢键并未完全断裂，只是发生弯曲、扭转或伸长，氢键的键能随键角而变化。所有水分子都有基本相同的环境，因而结构是连续而均匀的。

另一种为混合物理论，认为融化后的水是单个水分子、微小冰晶粒、多个水分子缔合体的混合物。以后混合物模型发展为“闪动”模型，认为水分子之间的缔合体并非固定不变，旧氢键不断消失，新氢键不断产生。有资料表明 0℃ 水中有 15% 的氢键解体。

由于水分子的极性和氢键的存在，液态水中的缔合现象是不容置疑的。



(H₂O)_n 代表水的缔合分子。

2. 目前进展

液态水由于体系复杂（包括单个分子、缔合物），必须用先进的实验技术、获得足够的的数据，才可能进行数学处理。

(1) 有些报道称，微污染水结构具有结构记忆和信息功能。

(2) 利用簇科学的理论对液体水结构进行研究，但由于水中分子间力和氢键同时存在，理论处理和试验都遇到了困难。

(3) 近年国内外用计算机和远红外振动隧道光谱仪（FIR—VRT）对水分子间作用的细节进行了研究。计算了水分子簇最小能量平衡结构以及可能存在的转型结构。

王林双等利用实验数据总结了液体水中最小能量结构的几何形状与水分子个数、氢键个数的关系，结果表明：水分子簇尺寸增大时，构型由平面向三维立体结构转变，氢键个数并不与分子个数严格成正比。如分子簇中分子个数为 4 时，氢键个数为 5，最小能量结构为平面环状；分子个数为 8 时，氢键个数为 12，最小能量结构为三维立体。

水液态结构的研究具有重要意义，有助于选择杂质的去除方式，可以深入了解传质机

理，了解水的溶解作用、渗透作用、乳化作用及代谢作用。如有资料称科学家们发现人体内部的水有两种：一种是类似雪花的六角水团，叫做生命水，它可将有关信息传至每个细胞、并带出废物；另一种是被束缚的生物水，将有害物束缚在细胞内。生命水减少就会影响新陈代谢。

上述看法还很不成熟，但可以肯定这种研究是有意义的。

二、水的异常性质

常温下地球上以液态存在的无机物极少，与生物存在息息相关的水都能以气、液、固三态存在，并以相态变化永无止境的循环着。水视为氧族中的氢化物，但与同族中的其他氢化物相比，性质差别甚大；与常温下存在的其他液体比较，其特性是突出的。

1. 物理特性

(1) 沸点高、热容大。硫化氢 (H_2S) 和水 (H_2O) 具有相似的分子式，但硫化氢的沸点为 -60.3°C 汽化热为 $18\ 64\ \text{kJ/mol}$ ，而水的沸点为 100°C 汽化热为 $40\ 63\ \text{kJ/mol}$ 。水由液态变为气态其相变热比硫化氢大一倍，利用相变进行杂质与水的分离需要较多的能量。

(2) 表面张力大 ($73 \times 10^{-3}\ \text{N/m}$)。水的表面张力仅次于汞。表面张力愈大，表面能愈高，因此液体有自发降低表面张力的趋势。对水而言，盐类的溶入，增大了表面张力，故水的表面层盐浓度常小于水的内部。表面张力还产生毛细管现象。

(3) 粘滞度小、流动性大。这种性质在水的输送和处理中均有重要作用。温度和压力影响水的粘滞度。

(4) 介电效应高。盐溶于水中发生离解时，一些水分子围绕着每个离子形成一层抵消外部引力（或斥力）的水分子膜，阻止异号离子间结合。这种水分子膜所起类似绝缘介质的作用称为介电效应，其强弱以介电常数量度。介电效应阻止了不同电荷离子的相互结合，从而使盐类稳定地溶解于水中。

2. 物理化学特性

(1) 良好的溶解性。许多无机物（尤为盐类）和极性有机物易溶于水中，呈溶解状态。自然界中许多物质通过不同的途径进入水体，形成水中杂质，有些有害的则成为污染物。水还和溶入其中的许多物质发生化学作用，不断地改变水体的化学组成。

(2) 水化作用。由于水分子的强极性，它与极性化学微粒发生强的结合作用，如水中的离子常以水化离子存在，弱极性的分子亦可与水作用。水化是水溶液中的普遍现象。水化离子因离子的半径、电荷、电子结构不同，离子的水化热、水化半径均有差异，如表 1-2。

表 1-2 常见离子的水化半径及水化热

离子	离子半径 (Å)	水化半径 (Å)	水化热 (kJ/mol)
H^+	10^{-5}	2.82	1 099
Li^+	0.60	3.82	506
Na^+	95	3.58	409
K^+	1.33	3.31	334
Ca^{2+}	0.99	4.12	1 964
Mg^{2+}	0.65		

既然水中溶解性杂质被不同程度地水化，那么，水化作用的强弱、水化层的厚薄均要影响分离方法和传质过程。

水化理论提出很早，但水化物有关特征数据还很少。水化学的研究需要进一步深入，更多地掌握水化细节，有助于水处理理论的提高。

第四节 水质

一、水

“水”，这个名词在有些词典中作了三种定义。第一种定义：水，一种透明无色，几乎无嗅、无味的液体，植物和动物生活所必需，所有溶剂中应用最广。熔点 0°C ，沸点 100°C ，比重 1.0000 (4°C)。第二种：各种水的任何一种如雨水。第三种定义：任何一种水体，如海、湖、河流或溪流。第一种定义的水就是属于化学物种的水，是一种纯净物质，它是在自然界中很难找到的。通常所说的水是第二、第三种定义的水，它已经不是纯净物质，而是以化学上的水为介质，包含有其他物质的多组分体系。

二、水质

地球上的水永远处于循环之中，这种循环包括自然循环和社会循环，而每一循环都向水中带入其他物质。社会循环由人类活动引起，从而出现，污染—治理—再污染—再治理的水利用过程。如黄河兰州区域，据 1983 年 105 个污染源的调查，每年排放入黄河中的悬浮物、COD、 BOD_5 、油等十几种污染物 48 678 t，排放废水量达 13 194 万 t，水厂不得不进行一定的处理。实际水质不同于化学上水的性质，甚至不同的水体性质亦有差别。

化学上水的性质是不变的，而实际水的性质是可变的。所谓“水质”，就是指实际水中水和杂质共同体现的综合特征。“水质”一词具有两方面的意义。一是水质体现实际水的性质，如比重、pH、沸点、杂质含量、生理功能等；二是水质体现水的质量，即现代生产和人类生命保健对水的品质所要求的水平。水和杂质有其自身的化学组成、结构和性质，二者形成一种新的体系后，除可以保持某些特性外，也使体系出现新的性质。杂质进入水中后既有杂质之间可能的化学反应，又有杂质和水之间可能的化学反应，不管反应进行得快慢，体系在宏观上还是保持一个相对稳定的状态。水处理前必需作水质调节，使水质均匀。

三、水中杂质分类

工业废水和生活污水中一般杂质含量高、种类少，而天然水体中却是种类多、含量较低。作为原水均来自天然水体。按照杂质在水中的形态和粒径，天然水中杂质可分为以下几类。

1. 离子态

主要来自无机物，少量来自有机物。无机物中尤以盐类为主。离子的化学形态除简单离子如 Na^+ 、 Ca^{2+} 、 Cl^- 、 SO_4^{2-} 、 SiO_3^{2-} 外，还有复杂的配位离子，如 $\text{Al}(\text{OH})_2^+$ 、 $\text{Al}(\text{OH})_2^{2+}$ 、 $\text{Si}(\text{OH})_3^-$ 、 $\text{SiO}(\text{OH})_2^-$ 等。这类杂质的粒径在 0.1~1 nm。离子态杂质宜选用离子交换、电渗析和反渗透等方法。

2. 分子态

包括小分子的有机物和无机物，而主要是有机物和一些常见气体。一般粒径要比离子态杂质大一些。水处理中可选用吸附分离的方法。

3. 大分子有机物

除腐殖酸、蛋白质等以外还有工业、生活污水排入水体的合成高聚物。

4. 胶体物

天然水中的胶体主要由铁、铝、硅的化合物形成。大分子有机物和胶体物的粒径均在 1~100 nm，可选用絮凝法处理。

5. 悬浮物

粒径一般在 100 nm 以上，其主要成分是黏土、粉沙。其中大于 0.1 mm 可用絮凝法。

6. 微生物

其尺寸一般在 1 μm 以上，主要为细菌。通过水质的理化检验，对杂质归类，有助于选择最佳的处理方法。

四、水质标准

水的应用主要在三个方面：生活用水、工业用水及农业用水。由于用途不同对水质提出了不同要求，并以明确的数量指标加以规定，称为水质标准。工业废水和生活污水也不能随便排放，需经处理，使污染物含量达到规定要求，才能排入水体。水质应用标准、污水排放标准，由于工业门类颇多，对水质的要求有很大差别。如半导体工业对水中杂质的要求极为严格，锅炉用水因锅炉压力不同而有不同的要求。

水质标准不是一成不变的，而是随着生产的发展和社会的进步而不断修改。1914 年美国颁布的“公共卫生署饮用水水质标准”是最早而有明确意义的水质标准，但也只对细菌作了规定。1950 年代以后由于水的污染日趋严重，污染物种类和含量快速增加，同时水质分析技术和水质与人体健康的关系的研究日益深入，各国不断完善本国的水质标准，每次修订均增加水质项目或修改最高允许浓度。

饮用水是各国政府特别关注的水种。根据 1980 年代以后有关资料，美国、日本、欧共体、世界卫生组织的饮用水水质标准代表了当前世界上对饮用水的质量要求，加强了对有机物控制，尤其是对消毒副产物的控制。世界卫生组织在 1992 年公布的饮用水水质标准中规定浓度值的指标数为 98 种，其中各种有机物就有 78 种，占总数的 79%。美国在 1994 年公布的水质标准指标数为 88 种，其中各种有机物为 57 种，占总数的 65%。我国的饮用水水质标准亦作多次修订，作出了符合我国国情的规定。我国饮用水水质标准中，1959 年为 16 项，1976 年为 23 项，1985 年为 35 项；在美国的饮用水水质标准中 1914 年为 2 项，1942 年为 18 项，1962 年为 28 项，1976 年为 47 项，1986 年为 83 项。项目的增加既

体现对水质要求的提高，亦反映水质污染加重、对污染物危害的认识及治理水平。表 1-3 至表 1-5 列出有关水质标准。

表 1-3 生活饮用水水质标准 (GB5749—85)

项目	标准 (最大允许浓度)	项目	标准 (最大允许浓度)
感官性状和一般化学指标		19 硒	0.01 mg/L
1 色度 (PCU)	无颜色	20 汞	0.001 mg/L
2 浑浊度 (NTU)	3 度, 特殊情况 5 度	21 镉	0.01 mg/L
3 嗅和味	不得有臭味	22 六价铬	0.05 mg/L
4 肉眼可见物	不许有	23 铅	0.05 mg/L
5 pH 值	6.5~8.5	24 银	0.05 mg/L
6 总硬度	450.0 mg/L	25 硝酸盐	25 mg/L
7 铁	0.3 mg/L	26 氯仿 *	60 µg/L
8 锰	0.1 mg/L	27 四氯化碳	3 µg/L
9 铜	1.0 mg/L	28 苯并 (a) 芘	0.01 µg/L
10 锌	1.0 mg/L	29 滴滴涕	1 µg/L
11 挥发酚类 (以苯酚计)	0.002 mg/L	30 六六六	5 µg/L
12 阴离子合成洗涤剂	0.3 mg/L	细菌学指标	
13 硫酸盐	250 mg/L	31 细菌总数	100 CFU/mL
14 氯化物	250 mg/L	32 总大肠杆菌	3 CFU/L
15 溶解性固体	1 000 mg/L	33 游离余氯	0.3 mg/L, 末 0.05 mg/L
毒理学指标		放射性指标	
16 氟化物	1.0 mg/L	34 总 α 放射性	0.1 Bq/L
17 氰化物	0.05 mg/L	35 总 β 放射性	1 Bq/L
18 砷	0.05 mg/L		
* 试行标准			

2001 年卫生部颁布了“生活饮用水水质卫生规范”(Sanitary Standard for Drinking Water Quality), 该规范于 2001 年 9 月 1 日起施行。与 GB5749—85 对照, 有如下不同:

(1) 将生活饮用水水质卫生要求的检验项目分为“常规检验项目”及“非常规检验项目”。

“常规检验项目”有 33 项, “非常规检验项目”有 60 项, 二者共 95 项, 比 GB5749—85 多出 60 项。

(2) 在“常规检验项目”中几个项目的限值比 GB5749—85 更低, 如硝酸盐由 25 mg/L 变为 20 mg/L 四氯化碳由 3 µg/L 变为 2 µg/L, 镉由 0.01 mg/L 变为 0.005 mg/L。

在“非常规检验项目”中比 GB5749—85 增加了更多的农药品种 (如灭草松、叶枯哇、百菌清、溴氰菊酯、内吸磷、乐果、2,4-D、马拉硫磷、对硫磷、甲基对硫磷等) 和有毒有机物 (如苯、氯苯、六氯苯、七氯环氧化物、五氯酚、氯胺、甲醛、溴仿、三氯乙酸、丙烯酰胺等) 及一些特殊有毒物 (如微囊藻毒素-LR)。

(3) 检验项目的区分符合我国大多数水厂的实际; 同时, 检验范围的扩大及某些项目限值要求的提高均表明我国饮用水标准更接近 WHO Guidelines for Drinking Water Quality (1993)。

表 1-4 饮用净水水质标准 (CJ94—1999)

项目	限值	项目	限值
色度	5度	氟化物	0.05 mg/L
浑浊度	1NTU	硝酸盐 (以氮计)	10 mg/L
臭和味	无	砷	0.01 mg/L
肉眼可见物	无	硒	0.01 mg/L
pH值	6.0~8.5	汞	0.001 mg/L
总硬度 (以 CaCO_3 计)	300.0 mg/L	镉	0.01 mg/L
铁	0.20 mg/L	铬 (六价)	0.05 mg/L
锰	0.05 mg/L	铅	0.01 mg/L
铜	1.0 mg/L	氧仿	30 μg /L
锌	1.0 mg/L	四氯化碳	2 μg /L
铝	0.2 mg/L	DDT	0.5 μg /L
挥发酚类 (以苯酚计)	0.002 mg/L	六、六、六	2.5 μg /L
阴离子合成洗涤剂	0.20 mg/L	苯并(a)芘	0.01 μg /L
硫酸盐	100 mg/L	细菌总数	50CFU/100mL
氯化物	100 mg/L	总大肠菌群	0CFU/100mL
溶解性总固体	500 mg/L	***游离余氯 (管网末梢水)	≥ 0.05 mg/L
COD _{Cr} (以氧计)	2 mg/L	总 α 放射性	0.1 Bq/L
※总有机碳 (TOC)	4 mg/L	总 β 放射性	1 Bq/L
氟化物	1.0 mg/L		

* 试行

***其他消毒法可不列入

根据中国情况,建设部中国城镇供水协会建议 2000 年城市供水水质目标,将自来水公司分为四类。一类指标为 88 项,二类指标为 51 项,三、四类公司指标为 35 项。表 1-5 为一类水暂行水质目标,既是第一类水实现水质目标,也是 1980 年代的国际先进水平。

从上述所列表中看出,我国目前的饮用水水质标准只相当于 2000 年四类公司的水质目标,显然还比较落后。政府和水处理工作者还面临着严重的任务。

工业用水的水质要求差别较大。如:中压锅炉水允许有硬度,高压锅炉水硬度要求为零;电子工业中要求纯水的含盐量在 0.5~0.05mg/L 之间,超纯水要求含盐量在 0.05mg/L 以下。

各国对排放的污水都提出了要求,即污水排放标准。污水是不能直接排放的,需经适当的方法处理达到排放标准,才允许排放。由于污水来源广、种类多,我国排放标准分为污水总合排放标准 (GB8978—1996) 和行业排放标准。在污水总合排放标准中对污染物按性质和控制方式划分为两类:第一类污染物和第二类污染物,第二类污染物提出了年限制标准并划分为两个时间段 (以 1997 年 12 月 31 日划线)。

表 1-5 一类水水质暂行目标

项目	指标值	项目	指标值
色度	5 度	硅	
浑浊度	1NTU	溶解氧	
臭和味	无	碱度	>30 mg CaCO ₃ /L
肉眼可见物	无	硝酸盐(以氮计)	20 mg/L
pH 值	6.0~8.5	氟化物	1.0 mg/L
总硬度 (以 CaCO ₃ 计)	450 mg/L	阴离子洗涤剂	0.3 mg/L
氯化物	250 mg/L	剩余氯	05 mg/L 末 0.3 mg/L
硫酸盐	250 mg/L	挥发酚	0.002 mg/L
溶解性总固体	1 000 mg/L	铁	0.3 mg/L
铝	0.2 mg/L	锰	0.1 mg/L
钠	200 mg/L	铜	1.0 mg/L
镁	50 mg/L	银	0.05 mg/L
电导率	400 μ S/cm (20℃)	氯仿	60 μ g/L
钙	100 mg/L	四氯化碳	3 μ g/L
1,2-二氯甲烷	10 μ g/L	2,4,6-三氯酚	10 μ g/L
1,1-二氯乙烯	0.3 μ g/L	六价铬	0.05 mg/L
四氯乙烯	10 μ g/L	汞	0.001 mg/L
三氯乙烯	30 μ g/L	铅	0.05 mg/L
五氯酚	10 μ g/L	硒	0.01 mg/L
苯	10 μ g/L	DDT	1 μ g/L
亚硝酸盐	0.1NO ₂ ⁻ mg/L	六六六	5 μ g/L
氨	0.5 mg/L	苯并(a)芘	0.01 μ g/L
耗氧量	5 mg/L	农药 (总)	0.5 μ g/L
总有机碳		敌敌畏	0.1 μ g/L
矿物油	0.01 mg/L	乐果	0.1 μ g/L
钡	0.1 mg/L	对硫磷	0.1 μ g/L
硼	1 mg/L	甲基对硫磷	0.1 μ g/L
酚类 (总量)	0.002 mg/L	除草醚	0.1 μ g/L
苯酚		敌百虫	0.1 μ g/L
间甲酚		铍	0.000 2 mg/L
2,4-二氯酚		镍	0.05 mg/L
对硝基酚		铈	0.01 mg/L
有机氯: (总量)	1 μ g/L	矾	0.1 mg/L
二氯甲烷		钴	1.0 mg/L
1,1,1-三氯乙烷		多环芳烃 (总量)	0.2 μ g /L
1,1,2-三氯乙烷		萘、荧蒽、苯并 (b)	
1,1,2,2-四氯乙烷		荧蒽、苯并 (k)	
三溴甲烷		荧蒽茚并 (1,2,3,4d) 芘	
对二氯苯		苯并(shi)芘	
六氯苯	0.01 μ g/L	细菌总数	100 个/mL
氰化物	0.05 mg/L	大肠杆菌群	3 个/L
砷	0.05 mg/L	粪型大肠杆菌	MPN<1/100ml
放射性: 总 α	0.1 Bq/L	粪型链球菌	MPN<1/100ml
总 β	1 Bq/L	亚硫酸还原菌	MPN<1/100ml

表 1-6 第一类污染物最高允许排放浓度

序号	污染物	最高允许排放浓度(mg/L)
1	总汞	0.05
2	烷基汞	不得检出
3	总镉	0.1
4	总铬	1.5
5	六价铬	0.5
6	总砷	0.5
7	总铅	1.0
8	总镍	1.0
9	苯并(a)芘	0.000 03
10	总铍	0.005
11	总银	0.5
12	总 α 放射性	1 Bq/L
13	总 β 放射性	10 Bq/L

表 1-7 第二类污染物最高允许排放浓度 (mg/L)

(1997 年 12 月 31 日之前建设的单位)

序号	污染物	适用范围	一级标准	二级标准	三级标准
1	pH	一切排污单位	6~9	6~9	6~9
2	色度 (稀释倍数)	染料工业	50	180	—
		其他排污单位	50	80	—
3	悬浮物 (SS)	采矿、选矿、选煤工业	100	300	—
		脉金选矿	100	500	—
		边远地区砂金选矿	100	800	—
		城镇二级污水处理厂	20	30	—
		其他排污单位	70	200	400
4	五日生化需氧量 (BOD ₅)	甘蔗制糖、苧麻脱胶、湿法纤维板工业	30	100	600
		甜菜制糖、酒精、味精、皮革、化纤浆粕工业	30	150	600
		城镇二级污水处理厂	20	30	—
		其他排污单位	30	60	300
		甜菜制糖、焦化、合成脂肪酸、湿法纤维板、染料、洗毛、有机磷农药工业	100	200	1 000
5	化学需氧量 (COD)	味精、酒精、医药原料药、生物制药、苧麻脱胶、皮革、化纤浆粕工业	100	300	1 000
		石油化工工业 (包括石油炼制)	100	150	500
		城镇二级污水处理厂	60	120	—
		其他排污单位	100	150	500
		石油类	10	10	30
6	石油类	一切排污单位	10	10	30
7	动植物油	一切排污单位	20	20	100
8	挥发酚	一切排污单位	0.5	0.5	2.0

序号	污染物	适用范围	一级标准	二级标准	三级标准
9	总氰化合物	电影洗片（铁氰化合物）	0.5	5.0	5.0
		其他排污单位	0.5	0.5	1.0
10	硫化物	一切排污单位	1.0	1.0	2.0
11	氨氮	医药原料药、染料、石油化工工业	15	50	—
		其他排污单位	15	25	—
12	氟化物	黄磷工业	10	20	20
		低氟地区（水体含氟量 $<0.5\text{mg/L}$ ）	10	20	30
		其他排污单位	10	10	20
13	磷酸盐（以 P 计）	一切排污单位	0.5	1.0	—
14	甲醛	一切排污单位	1.0	2.0	5.0
15	苯胺类	一切排污单位	1.0	2.0	5.0
16	硝基苯类	一切排污单位	2.0	3.0	5.0
17	阴离子表面活性剂（LAS）	合成洗涤剂工业	5.0	15	20
		其他排污单位	5.0	10	20
18	总铜	一切排污单位	0.5	1.0	2.0
19	总锌	一切排污单位	2.0	5.0	5.0
20	总锰	合成脂肪酸工业	2.0	5.0	5.0
		其他排污单位	2.0	2.0	5.0
21	彩色显影剂	电影洗片	2.0	3.0	5.0
22	显影剂及氧化物总量	电影洗片	3.0	6.0	6.0
23	元素磷	一切排污单位	0.1	0.3	0.3
24	有机磷农药（以 P 计）	一切排污单位	不得检出	0.5	0.5
25	粪大肠菌	医院*、兽医院及医疗机构含病原体污水	500 个/L	1 000 个/L	5 000 个/L
		传染病、结核病医院污水	100 个/L	500 个/L	1000 个/L
26	总余氯（采用氯化消毒的医院污水）	医院*、兽医院及医疗机构含病原体污水	$<0.5^{**}$	>3 （接触时间 $\geq 1\text{h}$ ）	>2 （接触时间 $\geq 1\text{h}$ ）
		传染病、结核病医院污水	$<0.5^{**}$	>6.5 （接触时间 $\geq 1.5\text{h}$ ）	>5 （接触时间 $\geq 1.5\text{h}$ ）

注：* 指 50 个床位以上的医院。

。* 加氯消毒后须进行脱氯处理 达到本标准。

表 1-8 第二类污染物最高允许排放浓度

(1998 年 1 月 1 日后建设的单位)

mg/L

序号	污染物	适用范围	一级标准	二级标准	三级标准
1	pH	一切排污单位	6~9	6~9	6~9
2	色度（稀释倍数）	一切排污单位	50	80	—
		采矿、选矿、选煤工业	70	300	—
		脉金选矿	70	400	—
3	悬浮物（SS）	边远地区砂金选矿	70	800	—
		城镇二级污水处理厂	20	30	—
		其他排污单位	70	150	400

序号	污染物	适用范围	一级标准	二级标准	三级标准
4	五日生化需氧量 (BOD ₅)	甘蔗制糖、苕麻脱胶、湿法纤维板、染料、洗毛工业	20	60	600
		甜菜制糖、酒精、味精、皮革、化纤浆粕工业	20	100	600
		城镇二级污水处理厂	20	30	—
		其他排污单位	20	30	300
5	化学需氧量 (COD)	甜菜制糖、合成脂肪酸、湿法纤维板、染料、洗毛、有机磷农药工业	100	200	1 000
		味精、酒精、医药原料药、生物制药、苕麻脱胶、皮革、化纤浆粕工业	100	300	1 000
		石油化工工业（包括石油炼制）	60	120	500
		城镇二级污水处理厂	60	120	—
		其他排污单位	100	150	500
6	石油类	一切排污单位	5	10	20
7	动植物油	一切排污单位	10	15	100
8	挥发酚	一切排污单位	0.5	0.5	2.0
9	总氰化合物	一切排污单位	0.5	0.5	1.0
10	硫化物	一切排污单位	1.0	1.0	1.0
11	氨氮	医药原料药、染料、石油化工工业	15	50	—
		其他排污单位	15	25	—
		黄磷工业	10	15	20
12	氟化物	低氟地区（水体含氟量<0.5mg/L）	10	20	30
		其他排污单位	10	10	20
13	磷酸盐（以P计）	一切排污单位	0.5	1.0	—
14	甲醛	一切排污单位	1.0	2.0	5.0
15	苯胺类	一切排污单位	1.0	2.0	5.0
16	硝基苯类	一切排污单位	2.0	3.0	5.0
17	阴离子表面活性剂 (LAS)	一切排污单位	5.0	10	20
18	总铜	一切排污单位	0.5	1.0	2.0
19	总锌	一切排污单位	2.0	5.0	5.0
20	总锰	合成脂肪酸工业	2.0	5.0	5.0
		其他排污单位	2.0	2.0	5.0
21	彩色显影剂	电影洗片	1.0	2.0	3.0
22	显影剂及氧化物总量	电影洗片	3.0	3.0	6.0
23	元素磷	一切排污单位	0.1	0.1	0.3
24	有机磷农药（以P计）	一切排污单位	不得检出	0.5	0.5
25	乐果	一切排污单位	不得检出	1.0	2.0

序号	污染物	适用范围	一级标准	二级标准	三级标准
26	对硫磷	一切排污单位	不得检出	1.0	2.0
27	甲基对硫磷	一切排污单位	不得检出	1.0	2.0
28	马拉硫磷	一切排污单位	不得检出	5.0	10
29	五氯酚及五氯酚钠 (以五氯酚计)	一切排污单位	5.0	8.0	10.0
30	可吸附有机卤化物 (AOX)(以Cl计)	一切排污单位	1.0	5.0	8.0
31	三氯甲烷	一切排污单位	0.3	0.6	1.0
32	四氯化碳	一切排污单位	0.03	0.06	0.5
33	三氯乙烯	一切排污单位	0.3	0.6	1.0
34	四氯乙烯	一切排污单位	0.1	0.2	0.5
35	苯	一切排污单位	0.1	0.2	0.5
36	甲苯	一切排污单位	0.1	0.2	0.5
37	乙苯	一切排污单位	0.4	0.6	1.0
38	邻-二甲苯	一切排污单位	0.4	0.6	1.0
39	对-二甲苯	一切排污单位	0.4	0.6	1.0
40	间-二甲苯	一切排污单位	0.4	0.6	1.0
41	氯苯	一切排污单位	0.2	0.4	1.0
42	邻-二氯苯	一切排污单位	0.4	0.6	1.0
43	对-二氯苯	一切排污单位	0.4	0.6	1.0
44	对-硝基氯苯	一切排污单位	0.5	1.0	5.0
45	2,4-二硝基氯苯	一切排污单位	0.5	1.0	5.0
46	苯酚	一切排污单位	0.3	0.4	1.0
47	间-甲酚	一切排污单位	0.1	0.2	0.5
48	2,4-二氯酚	一切排污单位	0.6	0.8	1.0
49	2,4,6-三氯酚	一切排污单位	0.6	0.8	1.0
50	邻苯二甲酸二丁脂	一切排污单位	0.2	0.4	2.0
51	邻苯二甲酸二辛脂	一切排污单位	0.3	0.6	2.0
52	丙烯腈	一切排污单位	2.0	5.0	5.0
53	总硒	一切排污单位	0.1	0.2	0.5
54	粪大肠菌群数	医院*、兽医院及医疗机构 含病原体污水	500 个/L	1 000 个/L	5 000 个/L
		传染病、结核病医院污水	100 个/L	500 个/L	1000 个/L
55	总余氯(采用氯化消毒 的医院污水)	医院*、兽医院及医疗机构 含病原体污水	<0.5**	>3(接触时间 ≥1h)	>2(接触时间 ≥1h)
		传染病、结核病医院污水	<0.5**	>6.5(接触时 间≥1.5h)	>59(接触时 间≥1.5h)
56	总有机碳(TOC)	合成脂肪酸工业	20	40	—
		苧麻脱胶工业	20	60	—
		其他排污工业	20	30	—

注：其他排污单位指除在该控制项目中所到之处列行业以外的一切排污单位。

*指 50 个床位以上的医院。

**加氯消毒后须进行脱氯处理、达到本标准。

在使用 GB8978—1996 标准和确定水处理方法时对最高允许浓度应注意以下几点：污染物的危害程度。最具危险性的 13 种污染物被列为第一类污染物，对其排放浓度作了严格限制。相近污染物具有不同危害性或其他原因时浓度限量不同，如总氰化物中铁氰化物的最高允许浓度比氰根要高得多，三氯甲烷的最高允许浓度比四氯化碳高得多，某些农药不得检出。根据我国国情对第二类污染物的最高允许浓度从时间上作了划分，表明环保力度的不断加强。

为了防止水污染、保护地表水水质、保障人体健康、维护良好的生态环境，国家环境保护局重新制订了地表水环境质量标准（GB3838—2002），并于 2002 年 6 月 1 日实施，同时废止 GB3838—88 和 GHZB1—1999。新的地表水环境质量标准见表 1-9、表 1-10 及表 1-11。

表 1-9 地表水环境质量标准基本项目标准限值（mg/L）

序号		I 类	II 类	III 类	IV 类	V 类
1	水温（℃）	人为造成的环境水温变化应限制在： 周平均最大温升≤1 周平均最大温降≤2				
2	pH 值（无量纲）	6~9				
3	溶解氧 ≥	7.5	6	5	3	2
4	高锰酸盐指数 ≤	2	4	6	10	15
5	化学需氧量（COD）≤	15	15	20	30	40
6	五日生化需氧量（BOD ₅ ）≤	3	3	4	6	10
7	氨氮（NH ₃ -N）≤	0.15	0.5	1.0	1.5	2.0
8	总磷（P）≤	0.02 （湖库 0.01）	0.1 （湖库 0.025）	0.2 （湖库 0.05）	0.3 （湖库 0.1）	0.4 （湖库 0.2）
9	总氮（湖库以 N 计）≤	0.2	0.5	1.0	1.5	2.0
10	铜 ≤	0.01	1.0	1.0	1.0	1.0
11	锌 ≤	0.05	1.0	1.0	2.0	2.0
12	氟化物（以 F 计）≤	1.0	1.0	1.0	1.5	1.5
13	硒 ≤	0.01	0.01	0.01	0.02	0.02
14	砷 ≤	0.05	0.05	0.05	0.1	0.1
15	汞 ≤	0.000 05	0.000 05	0.000 1	0.001	0.001
16	镉 ≤	0.001	0.005	0.005	0.005	0.01
17	铬（六价）≤	0.01	0.05	0.05	0.05	0.1
18	铅 ≤	0.01	0.01	0.05	0.05	0.1
19	氰化物 ≤	0.005	0.05	0.2	0.2	0.2
20	挥发酚 ≤	0.002	0.002	0.005	0.01	0.1
21	石油类 ≤	0.05	0.05	0.05	0.5	1.0
22	阴离子表面活性剂 ≤	0.2	0.2	0.2	0.3	0.3
23	硫化物 ≤	0.05	0.1	0.2	0.5	1.0
24	粪大肠菌群（个/L）≤	200	2 000	10 000	20 000	40 000