

1 绪 论

1.1 给水技术的发展历史

人类自有史记载以来就一直寻求改善其饮用水质的途径，以保证饮用安全。

人类文明的起源与发展，与水的利用（包括饮用水的净化）和污水的治理是密不可分的。在 4000 年前印度人就利用木炭对水进行过滤，并将滤后水贮存于铜制容器中以保持其新鲜。埃及在 3500 年前就有最早的饮用水过滤装置。

意大利的威尼斯是世界上第一个大规模供应过滤水的城市。威尼斯是建在岛上的城市，它需依靠收集和贮存于水池中的雨水作为城市的饮用水水源。在这些水池的四周建有许多砂滤池，雨水通过砂层过滤后进入集中的贮水库，然后从这里取水供应城市。

第一座供给全城用水的大型滤池，建于 1804 年苏格兰的派斯利（Paisley），供水是用马车运送给用户的。1807 年在格拉斯哥（Glasgow）由一供水公司负责建成过滤水厂和供水管道，将过滤水用管道送至用户。

1829 年在伦敦设计和建造了慢砂滤池，其后在欧洲的 19 个城市，如苏格兰的爱丁堡，爱尔兰的都柏林，法国的马赛和南茨，德国的奥托那（Altone）和柏林等都建造了慢砂滤池水厂。美国 1872 年在纽约州的波基浦夕（Pough Keepsic）建成了第一座慢砂滤池水厂。

1.1.1 过滤与疾病

19 世纪过滤装置得到了改进，根据巴斯脱、考赫等人的研究，确定了疾病的病菌理论，1884 年考赫分离出霍乱病的致病剂——霍乱弧菌（*Vibro Cholera*）。

1892 年考赫对德国两座城市——奥托那和汉堡进行霍乱病的对比调研，确定出过滤对霍乱病的爆发有明显的控制作用。这两个城市都取用易北河（Elbe）的水作为饮用水源，其中奥托那取水源地在汉堡市的下游，受污染更加严重。奥托那在取水之后进行过滤处理，而汉堡无过滤处理。霍乱流行病学调查证明，奥托那市的霍乱发病率明显低于汉堡市，这证明过滤能有效地去除引起霍乱病的病原菌。

美国自 19 世纪中期后霍乱不再是个问题，但是伤寒仍每年继续造成成千上万人死亡。伤寒病是一种水传播疾病，其病原菌称为沙门氏伤寒菌（*Salmonella Typhi*）。

19 世纪 80~90 年代，在美国进行了过滤试验。马萨诸塞州卫生局在劳伦斯市建立了试验站。当时麻省理工学院（MIT）的 W.T.Sedgwick 教授主持了这项试验。这一研究成果对 20 世纪有重大影响，由此开发的化学混凝过滤技术能处理很浑浊的原水。

正当劳伦斯市进行过滤试验时，伤寒横扫整个城市，最严重的伤寒爆发地是使用梅瑞马克（Merrimac）河的河水作为水源的地区。为了控制伤寒流行病，在该市建造了砂滤池。过滤前后 5 年期间的调查结果表明，该市伤寒死亡率下降 79%。

1.1.2 沉淀和澄清

沉淀作为一种水处理形式已有数千年的实践历史。罗马的劳地齐亚（Laodicea）市就是最早应用沉淀水库来澄清浑浊供水的城市之一。大约在公元 260 年 Antiochus Theos 建造一条从开普勒河（Caprus River）到该市，长约 2000m 的供水渠，在引水渠的末端建有两个方型水池，分别为 15m×15m 和 5m×5m，用来沉淀混浊水。

19 世纪初苏格兰的佩斯科、格拉斯哥和法国的巴黎以及美国一些城市如弗吉尼亚州的林奇伯格（Lynchburg）都建造了沉淀水池。

使用混凝剂用来改进沉淀效果已有数百年的历史。世界公认的明矾混凝沉淀净水技术起源于中国。17 世纪末，西班牙的一位传

教士纳瓦瑞特 (Navarette) 描述了他目睹中国人如何使黄河水沉淀的情景：“他们往成瓶水中投入少许明矾，并摇晃水瓶。两小时后水变得清澈透明”。美国军队的 William Sibert 将军于 1914 年也有类似的记载，他看到人们用长杖搅拌加明矾使水澄清。“我们发现这根杖上钻有一些小孔，其中装有粉末状明矾，它们溶于水后便能澄清水。这意味着我们发现的这种明矾净水技术在中国已经应用了许多世纪。”

另一种最早使用的混凝剂是杏仁。古埃及人将破碎的杏仁擦抹在盛水容器的内壁，然后剧烈搅拌使杏仁沫与混浊水混合，3h 后水便得到澄清。

美国最早使用混凝剂的公用供水公司，是新泽西州的 Somerville 和 Ravitan 公司。该公司安装了混凝装置作为快速砂滤池的预处理单元。几乎与此同时，新泽西州新布朗斯维克市 Rutgers 大学的 P.T.Austem 和 F.A.Wilber 在美国首次进行了混凝的科学研究，研究确定了合理的明矾投量限，并且建议混凝沉淀不加过滤可能是一种可行的处理方法。他们还指出，明矾可以直接加在滤池中而不必设置中间混凝池。

19 世纪 90 年代中，在肯塔基州路易斯维尔 (Louisville) 的 louisville 水公司将混凝与砂滤结合起来，大大减少其出水的浊度和细菌数。这一研究成果充实了水处理工艺的知识，根据俄亥俄河水水质，采用了沉淀预处理技术。

1.1.3 消毒

以各种形式对水的消毒，已经有数千年实践的历史，其中最常用的方法是将水煮沸。另外，杀菌剂从使用的年限看依次为铜、银、氯、臭氧和紫外线。

虽然 19 世纪出现的城市集中供水设施为数不少，但是健康与公共卫生状况并未得到显著的改善。例如 1900 年在美国约有 3000 余个集中供水系统，而在某些情况下它们实际上引起了疾病的爆发。用泵和管道输送的水一旦受到污染，就能够在其服务的城市或社区扩散病原菌。

最早提到用氯净化水是 1835 年在费城由 Robley Dunglison 博士在其发表的“人类健康”一文中提出的。他提到使用少量的氯或一种氯化物可使沼泽的水变成可饮用的水。

最早记载臭氧的应用是 1939 年在德国，当时在实验室中复制成功臭氧发生的自然过程。最早用臭氧作为净水剂是 1893 年在荷兰。

John Snow 博士在 19 世纪 50 年代在伦敦爆发霍乱之后使用氯对宽街供水泵的供水进行消毒。1897 年 Sims Woodhead 在英格兰肯特郡 Maidstone 爆发伤寒病之后使用漂白粉液作为饮用水供水干管的消毒的临时措施。

第一座永久性的投氯消毒水厂于 1902 年建在比利时 Middlekerke 并开始投入使用。在该水厂中石灰的氯化物和过氯化铁通过点滴投加机在过滤前往水中投加。在 20 世纪初，英国开始对饮用水进行连续氯化消毒，在使用氯化消毒的地方，伤寒病死亡率大幅度下降。

欧洲饮用水氯化消毒的成功经验也被引进到美国，新泽西州的泽西市的水厂在 John L. Leal 博士的建议下率先采用了氯化消毒技术。该市的饮用水水源取自 Boonton 水库并且未进行过滤处理。该市居民担心从该水库取用的水的质量，因为他们认为该水库受到了上游城市所排放污水的污染，为此东泽西水公司选用消毒以取代建造滤池。其结果是令人鼓舞，出水的细菌总数显著减少而其费用远低于其他任何一种处理方法。

第一个有生产规模地应用液氯对水消毒是在 1912 年纽约西部供水公司在尼亚加拉大瀑布过滤水厂开始的，使用由 Georg OrNSTEIN 博士开发的液氯投加设备。

美国在应用氯化消毒之后，伤寒发病率大幅度减少，例如 1917~1918 两年，弗吉尼亚州的威灵 (Wheeling West Virginia) 伤寒发病率为 (155 ~ 200) 人 / 10 万人；1918 年来使用氯化消毒后，在 1919 年前 3 个月记载的伤寒病只有 7 例。在 1919 年 4 月份 3 周中断了投氯消毒就有 21 例病例，而以后恢复投氯消毒，在该年度的后 6 个月中只有 11 例病例。

在 20 世纪 20 年代，美国许多供水公司都对水进行了消毒处理。臭氧也是一种消毒剂，在 20 世纪初期作为消毒剂曾与氯竞争，但是氯很快成为占主导地位的消毒剂。

在 20 世纪初，美国也有些水公司尝试了应用紫外线（UV）进行水消毒。在 1916~1928 年期间美国 4 个供水公司采用 UV 消毒。第一个 UV 水消毒设备于 1916 年用于肯塔基州的 Henderson，这套设备一直运行到 1923 年；俄亥俄州的 Berea 市 1923 年安装了 UV 消毒设备，一直运行到 1936 年。

1999 年在中国香港召开的关于“21 世纪革新的水与废水处理技术的进展”国际会议中，丹麦的哈尔莫斯教授提出了“水的处理可以解释为从任何污染程度净化到满足需求的任何净化程度的净化方法”，“用于供水的处理工艺与用于废水的处理工艺的差别将消失”。这预示着水与废水处理技术已经发展的程度，尤其是深度氧化技术和膜技术的引入，提供满足需求的任何净化程度的水在技术上已经具有可实施性，关键是需要多大的资金和运行费用，即经济承受能力成为制约技术应用的关键。

1.2 饮用水净化技术的发展

饮用水的净化技术与工程设施，是保障人们饮水卫生和安的重要措施，它是人类在与水源污染及由此引起的疾病所做的长期斗争中产生的，并随着水源水污染及由此引起的疾病的变化而不断发展和完善的。回顾从 1804 年在英国派斯利（Paisley）建成世界上第一座城市慢砂滤池水厂至今近 200 年来，饮用水净化技术可分为几个显著不同的阶段。第一阶段是从 19 世纪初到 20 世纪 60 年代。19 世纪，欧美一些城市由于排出的污水、粪便和垃圾等使地表水和地下水水源受到污染，造成霍乱、痢疾、伤寒等水传染疾病的多次大规模爆发和蔓延，夺去成千上万人的生命。这些惨痛的教训，促进了饮用水去除和消灭细菌技术的发展。其代表性的工艺流程是混凝沉淀—砂滤→投氯消毒，成为普通净水技术。其目的是去除浊度和杀灭水传染病菌。第二阶段是从 20

世纪 60 年代开始，随着工业和城市的迅速发展，饮用水水源受到日趋广泛和严重的污染，饮用水面临着新任务。饮用水水源不仅受到更多的城市污水及工业废水等点源的污染，而且遭受到更难控制的非点源污染。如：城市街道及地面径流水、农田径流、空气沉降、垃圾场的渗滤液等污染。

1974 年，Rook 等人从氯化后的高色度水中检测出三氯甲烷。1974 年美国环保局对新奥尔良市卡洛尔顿水厂的出水进行测试和分析，结果在出水水中检测出 66 种微量有机物，其中有机卤化物含量最高：氯仿 $133\mu\text{g}/\text{L}$ ；二溴氯甲烷 $1.1\mu\text{g}/\text{L}$ ；溴仿 $0.57\mu\text{g}/\text{L}$ ；二氯乙烷 $8.0\mu\text{g}/\text{L}$ ；六氯乙烷 $4.4\mu\text{g}/\text{L}$ ；1,1,2-三氯乙烷 $0.35\mu\text{g}/\text{L}$ ；四氯乙烷异构体 $0.11\mu\text{g}/\text{L}$ ；双-2-氯异丙醚 $0.88\mu\text{g}/\text{L}$ 。该城市位于密西西比河最下游，以污染严重的河段作为饮用水水源，造成癌症死亡率高居全美第一位。统计调查表明，白种男人的癌症发病率比饮用未受污染的地下水的人群高 33 人/10 万人。此发现引起了美国环保局的重视，在 1974~1975 年组织进行了对美国 80 个主要城市的各种不同水源的原水及经不同流程处理的自来水出水的有机污染的调查研究 (NORS)，确定自来水中三氯甲烷 (THMs)、四氯化碳及 1,2-二氯乙烷等六种有机氯化物的含量，调查结果证明自来水中广泛存在 THMs，而且是在氯化过程中形成的。随后于 1976~1977 年又组织进行全国有机物监测调查 (NOMS)，对 113 处各种类型水源及处理过程的给水系统，进行历时 12 个月的现场调查。NOMS 监测数据表示，三氯甲烷是饮用水中最广泛的合成有机污染物，而且出现的浓度也最高，检出 THMs 最高值达 $784\mu\text{g}/\text{L}$ 。美国给水服务公司对在 20 个州运行的 100 多座水厂净化水中的三氯甲烷 (THMs) 测定结果如表 1-1 所示。

表 1-1 美国给水厂出水中 THMs 调查结果

占水处理厂的百分率/%	净化水中 THMs 的浓度/ $(\mu\text{g}/\text{L})$	占水处理厂的百分率/%	净化水中 THMs 的浓度/ $(\mu\text{g}/\text{L})$
6.0	>100	19.5	50~70
17.5	70~100	57.0	<50

在美国的 NORS、NOMS 及其他调查研究中，从各种自来水中检测出的有机化合物多达 700 多种，其中有些是致癌的或被怀疑致癌的。经过研究发现其中有 24 种有机化合物是有致癌性，包括：艾氏剂、苯并芘、双氯乙醚、双氯甲醚、丙体六六六（BHC）、四氯化碳、氯丹、氯仿、1,2-二溴乙烷（EDB）、1,1-二氯乙烷（EDC）、迪氏剂、DDT、DDE、恩氏剂、1,1,2-三氯乙烷、三氯乙烯、四氯乙烷、四氯乙烯、氯乙烯、1,2-苯并蒽、联苯胺、1,2-亚乙基硫脲、3-甲基胆蒽、氨基甲酸酯等。还有一些有机物能促进或增强致癌作用，其中有氯甲基乙醚、双氯异丙醚、十二烷、十八烷、癸烷等。无机污染物中砷、石棉、镉、六价铬等也是致癌物质。Kransner 等人 1989 年对美国 35 个主要水厂中氯化消毒副产物进行了较为全面、详细的调查，发现氯化副产物中三卤甲烷所占比例最大，卤代有机酸次之，此外，还检测出了卤代乙腈、卤代酮及氯酚等多种难挥发性的有机卤代物。

根据英国、美国及荷兰的一些流行病学家的调查研究，皆证明了长期饮用含多种微量污染物（尤其是致癌、致畸、致突变污染物）水的居民群，其消化道的癌症死亡率明显高于饮用洁净水对照组的居民群。因此，从饮用水中去除这些微量污染物已成为第二阶段净水的首要任务。而当时的给水厂通用处理工艺：混凝沉淀 砂滤 投氯消毒的处理流程是无法有效去除这些微量污染物，故此开发饮用水除污染新技术势在必行。

为此，从 20 世纪 60 年代开始，美国、西欧、日本等国家或地区，广泛地开展饮用水除污染新技术的试验研究，对活性炭吸附、臭氧、二氧化氯、高锰酸钾、过氧化氢等氧化剂氧化除污染方法及由其组成的净化系统进行了大量的试验研究，并形成了以臭氧氧化和生物活性炭为代表的深度净化工艺。

进入 20 世纪 90 年代后，饮用水中不断出现新的病原微生物因子，同时饮用水中化学成分的数量急剧增加，水污染进入第三时期。抗氯型病原微生物如隐孢子虫（*Cryptosporidium*）的出现也使人们对传统的加氯消毒工艺产生了质疑。贾第虫（*Giardia*）和

隐孢子虫是目前世界水处理界研究最多的病原微生物。贾第虫主要是通过它的孢囊 (Cyst) 来传播疾病的。孢囊是指它在外界环境不利或休眠时, 由身体外围形成的一层膜所构成的形态。

而隐孢子虫则主要通过卵囊 (Oocyst) 来传播疾病。卵囊是其复杂的生活周期的一个阶段, 是指虫卵及所包的外囊整体。贾第虫孢囊的体形大小约为 $5\sim 10\mu\text{m}$, 隐孢子虫则更小, 为 $2\sim 5\mu\text{m}$ 左右。贾第虫和隐孢子虫病都是一种胃肠炎症。隐孢子虫病具有周期性腹泻的特征, 健康和免疫力强的患者 30d 即可痊愈, 通常持续 $3\sim 20\text{d}$ 。而对于免疫能力低下者, 如艾滋病患者, 往往会导致死亡。1993 年 4 月在美国威斯康辛州 密尔沃基市 (Milwaukee, Wisconsin) 爆发了由隐孢子虫引起的水传播疾病, 共 40.3 万人感染该病, 4000 余人住院, 112 人死亡。

1.3 饮用水标准的发展

人类历史上第一个关于水质优劣的标准是由罗马人 Vitruvius 于公元前一世纪提出来的。他根据水在煮沸以后的反应、蔬菜经水煮熟以后的滋味及人们饮用水后对健康的影响来确定水质的好坏。此后尽管随着时间的推移, 人们对水本身的认识和饮用水处理都得到了一定的提高和改进, 但真正意义上的饮用水标准直到 20 世纪初 (1914) 才在美国首次出现。尽管该水质标准仅对细菌学指标 (细菌总数和大肠杆菌数) 做出了规定, 但对保护饮用者的健康起到了十分重要的作用。根据美国 78 个城市的资料, 每 10 万人中的伤寒病死亡人数由 1910 年的 20.54 人降为 1964 年的 0.15 人。该标准在 1925 年、1942 年、1946 年和 1962 年的 4 次修订中, 指标由最初的两项分别增加到 11, 18, 19 和 28 项, 但差别并不大, 且主要集中在与人体健康相关的化学物质 (主要是无机物) 和生物因子, 以及一些感官指标如色、臭、味等。但从 1974 年国会通过《安全饮用水法 (SDWA)》, 在美国安全饮用水法赋予美国环境保护局拥有建立保证饮水安全规则的权利。在安全饮用水法的指导下, 形成了各个时期的规则, 表 1-2 是不同时期颁布的饮用水标

准。特别是在《1986年安全饮用水法修订案》通过后，美国饮用水标准中所要求的项目几乎成倍地增长。

表 1-2 美国各年代颁布的饮用水准则

年代	准 则	调整后增加的污染物数目	调整后总的污染物数目	按 1986 年的安全饮用水法修订案要求的总数
1975	国家临时一级饮用水准则	18	18	
1976	临时放射性核素	4	22	
1979	临时总三卤甲烷	1	23	
1986	修订的氟化物	0	23	
1987	挥发性有机化学物质	8	31	31
1988		0	31	62
1989	地表水处理条例和总大肠杆菌条例	4	35	96
1991	阶段二 SOC _s 、IOC _s 、铅和铜条例	27	62	111
1992	阶段五 SOC _s 和 IOC _s	22	84	111
1993	—	0	84	111
1994	—	0	84	136
1995	—	0	84	136
1996	信息收集条例(仅指检测)	0	84	

美国于 1975 年颁布了《国家暂行饮用水基本规则 (NIPDWR_s)》。此规则仍将微生物质量作为优先控制指标，但引人注意地增加了六种有机物指标。1979 年 11 月 29 日又对《国家暂行饮用水基本规则 (NIPDWR_s)》进行了修改，将三卤甲烷列入了规则中，规定饮用水中总三卤甲烷 (TTHM_s) 含量不能超过 100 $\mu\text{g}/\text{L}$ 。

为了能使饮用水的 TTHM_s \leq 100 $\mu\text{g}/\text{L}$ 最大浓度水平 (MCL)，供水工业采用一系列的措施来达到这个标准。最常用的改进方法是将投氯点从处理流程中的进水消毒变为处理后水消毒。控制氯的投量，在采用余氯消毒的地方如一级或二级消毒，用氯胺取代，这些改革的结果表明，效果确实在一个合理的费用下达到了 TTHM_s \leq 100 $\mu\text{g}/\text{L}$ 。而这又产生了这样的变化，即从微生物角度上考虑是否影响处理后水的完善性，这样改进是否影响或牺牲了处

理后水的微生物质量。

为了确保处理后水的微生物质量，1989 年美国环境保护署实施了“地表水处理法”（surface water treatment rule）和“总大肠杆菌法”（total coliform rule），该法要求贾第虫卵囊总的灭活率为 3 个 logs（99.9%），病毒的去除率为 4 个 logs（99.99%）。“地表水处理法”的核心是 CT （消毒剂浓度与接触时间的乘积）概念。即足够的消毒剂浓度（ C ）和足够的接触时间（ T ），以便在不同的水质条件下和使用不同的消毒方式能达到具体的灭活程度。与氯相比氯胺是较弱的消毒剂，氯胺的 CT 值比氯大两个数量级。“地表水处理法”（SWTR）还要求在至少 95% 的配水系统的水样分析中能达到适当数量的消毒剂的残留。臭氧与二氧化氯化学性质不稳定，主要是不能满足残余消毒剂量的要求。类似的 TCR（总大肠杆菌法）要求重视消毒的过程以减少配水系统内细菌的生长。在执行这两条法规时发现一些自来水公司为了达到 THMs 的规范进行了投氯消毒的改进，现在又违反了 SWTR 或 TCR 法规，这就使得制订规章的机构重新评定他们早些时候许诺的近期总 THMs 的最大浓度水平将低于 $25\mu\text{g}/\text{L}$ 。

由于发现取代液氯的消毒剂也可以产生对人体健康有不利影响的副产物，从而使 THMs 和卤仿 DBPs 的条例复杂化。例如含溴化物的水经臭氧氧化后，形成溴酸盐。溴酸盐像氯仿和二氯乙酸一样也已经被确认为是人类的致癌物质。应用二氧化氯作氧化剂或消毒剂能形成亚氯酸盐（ MClO_2 ），引起动物肝中毒。

其他打乱计划的因素影响 DBPs 法规执行，是隐孢子虫这种主要的水传染病原生动物的出现，及被 Le Chevallier 等人发现在饮用水源水中的贾第虫出现的数量远高于最初的想象的数量，因此需要达到比 SWTR 所要求的 99.9% 更高程度的孢囊的去或灭活率。

EPA 已经试图在消毒副产物风险与微生物疾病风险之间找到平衡点，但该方法受到以下几方面的困扰：

- (1) 缺乏现成的与氯有关的各类卤仿 DBPs 的数据：

(2) 50% 的未确定的 TOX (总有机卤化物) 的性质资料不充分;

(3) 如果普遍接受臭氧或二氧化氯作为替代的消毒剂或氧化剂, 则由此形成的副产物资料不足;

(4) 到目前为止各类消毒副产物 DBPs, 包括 THMs 的健康影响还不确定;

(5) 缺乏病原原生动植物贾第虫和隐孢子虫卵囊的现成数据;

(6) 采用不同的消毒剂对于杀灭隐孢子虫所必须的 CT 值还不确定。

这些不确定的干扰因素使 EPA 采用了协议法则, 以便在饮用水中 DBPs 法规的实施。

1991 年对 13 种挥发性有机物 (VOCs) 和 1992 年又分别对合成有机物 (SOCs)、无机化合物 (IOC_s) 等进行规定, 新增指标分别为 27 项和 22 项。至此, 饮用水中污染物控制指标达 84 项。

1994 年 7 月 29 日 USEPA 提出了 D/DBP 条例 (消毒剂/消毒副产物), 这个条例由 USEPA 分两个阶段提出, 并同时出台了临时强化地表水处理条例。

在 D/DBP 条例执行的第一阶段, USEPA 设定总三卤甲烷 (TTHMs) 的最大浓度水平 (MCLs) 为 $80\mu\text{g}/\text{L}$, 5 种卤代乙酸 (HAAs) 总浓度为 $60\mu\text{g}/\text{L}$, 溴酸盐总浓度为 $0.01\text{mg}/\text{L}$, 亚氯酸盐总浓度为 $1.0\text{mg}/\text{L}$ 。其中 THMs 包括氯仿、一溴二氯甲烷、二溴一氯甲烷和溴仿; HAAs 包括一氯乙酸、二氯乙酸、三氯乙酸、一溴乙酸和二溴乙酸。

MCLs 按季度取样的全年平均值进行调整, 此外还规定了最大残留消毒剂浓度 (MRDLs): 氯为 $4\text{mg}/\text{L}$, 氯胺为 $4.0\text{mg}/\text{L}$, 二氧化氯为 $0.8\text{mg}/\text{L}$ 。此外第一阶段还规定了以 TOC 表示的本底 NOM 的具体处理标准。根据水源水的 TOC 和碱度, 处理设施在投氯前要求削减 TOC 浓度。

为了达到第一阶段的 THMs 和 HAAs MCLs 的最有效技术是

强化混凝或活性炭吸附，空床接触时间为 10min；达到亚氯酸盐和溴酸盐 MCLs 的最有效的技术是控制应用二氧化氯和臭氧。

在提出阶段 I 的同时也提出了阶段 II。阶段 II 根据收集信息法规的规定将收集的资料进行修订。第二阶段 THMs 为 $40\mu\text{g/L}$ ，HAAs 为 $30\mu\text{g/L}$ ，实现阶段 II 的 DBP 要求目标的最有效技术是活性炭吸附和膜过滤。

1996 年 8 月 6 日修订了安全饮用水法 (SDWA)，根据 1996 年修订的 SDWA，消毒剂和消毒副产物条例规定了完善消毒剂和消毒副产物的条例，强化地表水处理的条例和信息收集条例的时间框架。具体内容如表 1-3 所示。

1998 年 12 月 16 日又对消毒剂和消毒副产物 (D/DBPs) 做出了规定。当前，美国《国家饮用水基本规则 (NPDWRs)》对 92 种污染物做出了硬性规定，其中包括浊度，8 种微生物学指标，4 种放射性核素，19 种无机物，60 种有机物。

法国、德国、荷兰、加拿大等西方国家对饮用水中有机物的种类和含量也做出了严格的限制。世界卫生组织 (WHO) 的饮用水标准中则规定了 33 种致癌、可疑致癌有机物及其含量，其中三氯甲烷含量不能超过 $30\mu\text{g/L}$ 。德国对饮用水中三卤甲烷的含量要求更为严格，为小于 $10\mu\text{g/L}$ 。

我国政府于 1959 年颁布了第一个饮用水水质标准，包括 16 项指标。1976 年修订的标准则将水质指标增加到 23 项。目前执行的《生活饮用水水质标准 GB 5746—85》则是根据我国国情于 1985 年提出的，其正式规定的限量参数共 35 项。根据我国饮用水实际情况，结合国际上先进的饮用水水质标准（以美国的《安全饮用水法》、欧共体水质指令及世界卫生组织的水质准则为代表）现状，中国城镇供水协会于 1993 年制定了《城市供水行业 2000 年技术进步发展规划》，该规划对不同自来水公司（简称水司）提出不同的要求。在 2000 年我国《供水行业 2000 年技术进步发展规划》规定 88 项水质指标（对一类水司）相当于欧共体 (EC) 80 年代国际先进水平 [80 年代，欧共体 (EC) 66 项，世界卫生组织 (WHO)

表 1-3 完善消毒剂和消毒副产物的条例,强化地表水处理的条例和
信息收集条例的时间框架

起始 时间	调整 SDWA 的截止时间	阶段 I D/DBP 条例	阶段 II D/DBP 条例	强化地表水处理条例
1993.10	1994.2		对于服务人口超过 100000 的系统 提出信息收集要求	对于服务人口超过 10000 的系统 提出信息收集要求
1994.3	1994.7	对于常规处理工艺提出强化混 凝要求,最大污染物水平 (MCL):三卤甲烷 = 80 μ g/L,卤 乙酸 = 60 μ g/L;溴酸盐、氯化物 的 MCL 值和消毒剂的范围	提出阶段 II 的 MCLs, THMs = 40 μ g/L, TAAs = 30 μ g/L, 采用液氯 时最有效的前物质去除技术	对于服务人口超过 10000 的系统 提出临时 ESWTR
1994.6	1996.3		颁布信息收集条例	颁布 ICR
1994.8	1996.8	公众意见周期结束		对于提出的 ESWTR 的公众意见 周期结束
1994.10	1996.9		服务人口超过 100000 的系统,开 始 ICR 监测	系统开始 ICR 检测
1995.10	1997.9	地表水服务人口超过 100000 和地下水服务人口超过 50000 的 系统,除非达到水源水标准,开始 进行小试和中试研究		
1995.11	1997.10			简述监测和临时 ESWTR 管理的 效能

续表

起始时间	调整 SDWA 的截止时间	阶段 I D/DBP 条例	阶段 II D/DBP 条例	强化地表水处理条例
1996.1	1997.12			对于效能简述的公众意见周期结束
1996.12	1998.11	颁布阶段 I		对于服务人口超过 10000 的系统颁布临时 ESWTR
1997.3	1999.2		系统完成 ICR 检测	系统完成 ICR 检测
1997.6	1999.3		简述阶段 II 再提议的有效性	对于服务人口小于 10000 的系统提出长期 ESWTR, 对人口超过 10000 系统的可能的变化
1997.10	1999.9		完成和提交小试和中试研究结果	
1997.12	1999.11		对始于 1994 年的议案开始再提议	
1998.6	2000.3	对于地表水服务人口超过 10000 的系统生效, 对于活性炭和膜技术延长符合日期	公众意见周期结束	利用 1994~1996 年的监测数据对于服务人口超过 10000 的系统的临时 ESWTR 的效能及处理水平
1998.12	2000.11		对所有社区的供水系统和稳定的非社区系统进行推荐	颁布长期 ESWTR
2000.6	2002.3	阶段 I 对于服务人口超过 10000 的地表水系统和超过 10000 的地下水系统限定效能	对上述系统颁布阶段 II	对所有系统的长期 ESWTR 的效能
2002.1	2003.12	阶段 I 服务人口小于 10000 的地下水系统限定效能除非用阶段 II 标准取代	有效降低 MCLs 和其他标准; 对于活性炭或膜技术延长符合到 2004 年	

49 项]，与不断提高的欧美各国饮用水水质标准相比较而言（WHO 于 1993 年提出了 151 项的水质标准，美国 EPA1996 年水质标准为 252 项，而且每半年修订一次）差距仍然很大。其中第一类水司为最高日供水量超过 100 万 m^3 的直辖市、对外开放城市重点旅游城市和国家一级企业的水司，其水质指标项目为 88 项其中有机物指标为 39 项。

我国《供水行业 2000 年技术进步发展规划》中规定 88 项（不包括 Ames 实验）水质指标（对一类水司），水质指标体系与《GB5749—85 生活饮用水卫生标准》相比较，在对水中各种有机污染物、农药等化学污染物指标方面的控制有所加强。但还有一此项目与发达国家相比有待加强，如对病原微生物，尤其是各种病毒和病原原生动动物（如贾第虫、隐孢子虫等）加以重视，在合适的检测技术的基础上考虑作为检测指标之一。设置水中有机污染物的综合性指标，如 COD_{Mn} 、TOC、DOC、紫外吸光度 UV_{254} 和 TOX 等等。自来水出厂后在管网中应该具有生物学的稳定性，能防止管道细菌的再次繁殖，为此用 AOC 等作为这种综合性指标。健康饮水的概念中还应包含如下的一些非强制性的推荐指标，如有一定的总硬度、钙、镁、溶解氧、TDS 和二氧化碳等等，这类指标要求有一定的下限，而不是平时常见的不希望过量的指标。这是在保证饮用水安全性基础上的更高目标。

1999 年 9 月 28 日我国颁布了饮用净水水质标准，如表 1-4 所示，规定于 2000 年 3 月 1 日实施。该标准规定以自来水或符合生活饮用水水源水质标准的水为原水，经深度净化后可直接供给用户饮用的管道供水和罐装水。

表 1-4 饮用净水水质标准

	项 目	限 值
感官性状	色度/NCU	5
	浑浊度/NTU	1
	臭和味	无
	肉眼可见物	无

续表

	项 目	限 值
一般化学指标	pH 值	6.0~8.5
	硬度 (以碳酸钙计)/(mg/L)	300
	铁/(mg/L)	0.2
	锰/(mg/L)	0.05
	铜/(mg/L)	1.0
	锌/(mg/L)	1.0
	铝/(mg/L)	0.2
	挥发酚类 (以苯酚计)/(mg/L)	0.002
	阴离子合成洗涤剂/(mg/L)	0.20
	硫酸盐/(mg/L)	100
	氯化物/(mg/L)	100
	溶解性总固体/(mg/L)	500
	高锰酸钾消耗量 (COD _{Mn} 以氧计)/(mg/L)	2
总有机碳 (TOC _C)/(mg/L)	4	
理化指标	氟化物/(mg/L)	1.0
	氰化物/(mg/L)	0.05
	硝酸盐 (以氮计)/(mg/L)	10
	砷/(mg/L)	0.01
	硒/(mg/L)	0.01
	汞/(mg/L)	0.001
	镉/(mg/L)	0.01
	铬(六价)/(mg/L)	0.05
	铅/(μg/L)	30
	银/(μg/L)	2
	氯仿/(μg/L)	0.5
	四氯化碳/(μg/L)	2.5
	滴滴涕 (DDT)/(μg/L)	0.01
六六六		
苯并 [a] 芘		
微生物指标	细菌总数/(cfu/mL)	50
	总大肠菌群/(cfu/100mL)	0
	粪大肠菌群/(cfu/100mL)	0
	游离余氯 (管网末梢水)/(mg/L) (如用其他消毒法则可不列入)	≥0.05
放射性指标	总 α 放射性/(Bq/L)	0.1
	总 β 放射性/(Bq/L)	1

试行。

2000年6月为了进一步改善饮用水水质，尤其是饮用水的消毒副产物，又重新修订了饮用水水质标准，生活饮用水水质常规检验项目及限值如表 1-5 所示。

表 1-5 生活饮用水水质常规检验项目及限值

项 目	限 值	项 目	限 值
感官改性状和一般化学指标		感官改性状和一般化学指标	
色度	色度不超过 15NCU, 并不得呈现其他异色	氯化物/(mg/L)	250
浑浊度	不超过 1NTU, 特殊情况下不超过 5NTU	溶解性总固体/(mg/L)	1000
臭和味	不得含有	耗氧量(以 O ₂ 计)/(mg/L)	3 特殊情况 下不超过 5
肉眼可见物	不得含有一	毒理学指标/(mg/L)	
pH值	6.5~8.5	砷	0.05
总硬度(以 CaCO ₃ 计)/(mg/L)	450	镉	0.005
铝/(mg/L)	0.2	铬(六价)	0.05
铁/(mg/L)	0.3	氰化物	0.05
锰/(mg/L)	0.1	氟化物	1.0
铜/(mg/L)	1.0	铅	0.01
锌/(mg/L)	1.0	汞	0.001
挥发酚类(以苯酚计)/(mg/L)	0.002	硝酸盐(以 N 计)	20
阴离子合成洗涤剂/(mg/L)	0.3	硒	0.01
硫酸盐/(mg/L)	250	四氯化碳	0.002
		氯仿	0.06