

全书共九章，涵盖了饮用水对人体健康的影响、饮用水源的保护与饮用水安全保障技术等方面的内容。对饮用水的常规处理、深度处理、消毒及消毒副产物的控制、管道直饮分质供水及应急安全供水进行了较为详尽的阐述。

本书内容丰富，系统性、针对性强，可供与饮用水有关的设计院、企业、卫生防疫部门有关的给排水专业科学研究者、技术人员和大专院校师生等参考。

图书在版编目 (CIP) 数据

饮用水安全保障技术/梁好，盛选军，刘传胜编著.

北京：化学工业出版社，2006.10

ISBN 978-7-5025-9368-1

I. 饮… II. ①梁…②盛…③刘… III. 饮用水-
水处理 IV. TU991.2

中国版本图书馆 CIP 数据核字 (2006) 第 119736 号

饮用水安全保障技术

梁 好 盛选军 刘传胜 编著

责任编辑：董 琳

文字编辑：谢蓉蓉

责任校对：李 军

封面设计：张 辉

*

化学工业出版社出版发行

(北京市东城区青年湖南街 13 号 邮政编码 100011)

购书咨询：(010)64518888

购书传真：(010)64519686

售后服务：(010)64518899

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

*

新华书店北京发行所经销

北京市振南印刷有限责任公司印刷

三河市前程装订厂装订

开本 787mm×1092mm 1/16 印张 20 $\frac{1}{2}$ 字数 531 千字

2007 年 1 月第 1 版 2007 年 1 月北京第 1 次印刷

ISBN 978-7-5025-9368-1

定 价：49.00 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

前 言

20 世纪末，世界范围的水资源短缺、水环境恶化与突发事件构成了饮用水水源的三大水患，严重威胁饮用水的安全性。保障饮用水安全、维护健康生命是人的一项基本需求，现阶段我国饮用水安全形势仍然十分严峻。一些地区饮用水存在水质不达标、供水保证率低、水质型地方病突出等问题。因此，要减少疾病，提高健康水平，最行之有效的措施就是使所有人得到安全的饮用水和合格的卫生条件。

保证饮用水安全、维护人民群众的生命健康是当今社会发展对水处理工作者的第一需要和第一任务。保障饮用水安全是全面建设小康社会的重要内容之一。

本书以饮用水的安全保障技术为主线，在大量收集归纳国内外同类研究及应用资料的基础上，结合作者单位（广州军区联勤部净水研究所）的研究，对饮用水的卫生、安全保障技术进行了较全面的介绍。书中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。

作者参考了前辈、同行学者的研究成果和文献，在此，向他们表示衷心的感谢。这些参考文献在书中予以介绍，如有遗漏，深表遗憾。

参加本书编写的还有华南理工大学环境工程学院谢磊博士，华南农业大学生物检测中心的黄雪梅博士，在此表示衷心的感谢。

本书可供给水排水专业的科学研究和技术人员、大专院校师生和给水排水相关专业的人员参考。由于作者的水平和能力所限，书中不妥之处，还希望各位同行、读者不吝指正。

编著者

2006 年 8 月于广州

第 1 章 饮用水安全与健康

1.1 水资源概况

1.1.1 世界水资源概况

水是生命的摇篮，是人类赖以生存和生产的不可缺少的基本物质，是地球上不可替代的宝贵的基础自然资源，是生态环境的控制性要素之一，同时也是战略性的经济资源，水资源是一个国家综合国力的有机组成部分。展望未来，水资源匮乏正日益影响全球的经济发展与生态环境，甚至可能导致国家和地区间的冲突。联合国有关机构指出“水将成为世界最严重的资源问题”，“缺水问题将严重制约 21 世纪经济和社会发展并可能导致国家间的冲突”，“供水不足将成为一个深刻的社会危机，世界上在石油危机之后的下一危机便是水的危机”。缺水问题是一个世界性问题。

全球的水总储量为 $13.86 \times 10^8 \text{ km}^3$ ，其中 96.5% 为海水，其他分布在陆地、大气和生物体中，约为 2.53%，其中多储存于冰川、雪盖和 750m 深度以上的地下，而可取用的河水、湖水及浅层地下水等仅占 0.2% 左右，这里还包括相当大一部分的苦咸水（表 1-1）。

表 1-1 世界水储量

水的类型	分布面积/ $\times 10^4 \text{ km}^2$	水量/ $\times 10^4 \text{ km}^3$	水深/m	在世界储水量中的比例/%	
				占总储量	占淡水储量
1. 海洋水	36130	133800	3700	96.5379	
2. 地下水(重力水和毛管水)	13480	2340	174	1.6883	
其中,地下水	13480	1053	78	0.7597	30.0606
3. 土壤水	8200	1.65	0.2	0.0012	0.0471
4. 冰川与永久雪盖	1622.75	2406.41	1463	1.7362	68.6972
南极	1398	2160	1546	1.5585	61.6628
格陵兰	180.24	234	1298	0.1688	6.6801
北极岛屿	22.61	8.35	369	0.0060	0.2384
山脉	22.4	4.06	181	0.0029	0.1159
5. 永冻土底冰	2100	30.0	14	0.0216	0.8564
6. 湖泊水	206.87	17.64	85.7	0.0127	
淡水	123.64	9.10	73.6	0.0066	0.2598
咸水	82.23	8.54	103.8	0.0062	
7. 沼泽水	268.26	1.147	4.28	0.0008	0.0327
8. 河床水	148800	0.212	0.014	0.0002	0.0061
9. 生物水	51000	0.112	0.002	0.0001	0.0032
10. 大气水	51000	1.29	0.025	0.0009	0.0368
水的总储量	51000	138598.461	2718	100	
其中,淡水储量	14800	3502.921	235	2.5274	100

1.1.2 我国水资源概况与用水紧张状况

我国水资源总量为 $2.8 \times 10^{12} \text{ m}^3$ ，虽居世界第 6 位，但人均水资源量 2220 m^3 ，为世界

人均的 1/4，在世界上 153 个国家和地区的统计中，排名 121 位，表 1-2 给出了一些国家平均年径流量、人均水量、单位面积水量。另外，我国水资源在区域分布上很不均匀，特别是北方地区，耕地面积占全国的 59.2%，人口占全国的 44.3%，而水资源仅占全国的 14.7%；由于我国处于东亚季风区，水量（降水和径流）年内和年际变化大，全国各地几乎每年都有旱灾发生，以黄河流域最甚；全国有 300 多个城市缺水，尤其是北方地区，几乎所有城市都严重缺水，如大连、天津、烟台、青岛人均水资源占有量都在 200m³ 左右；全国占地面积大于 500m² 的岛屿有 6500 多个，其中绝大部分属严重缺水，是全球人均水资源最贫乏的国家之一。然而，中国又是世界上用水量最多的国家。仅 2002 年，全国淡水取用量达到 5.497×10¹¹m³，大约占世界年取用量的 13%，约为美国 1995 年淡水供应量 4.7×10¹¹m³ 的 1.2 倍。

表 1-2 一些国家平均年径流量、人均水量、单位面积水量

国 家	平均年径流量/×10 ⁸ m ³	人口 /万人	人均水量 /(m ³ /人)	耕地 /×10 ⁴ km ²	单位面积水量 /(m ³ /km ²)
巴西	51912	11909	43700	3233	713.6
前苏联	47140	26880	17600	22667	92.4
加拿大	31220	2409	129600	4360	318.3
美国	29702	22980	12920	18933	69.7
印度尼西亚	28113	14750	19000	1640	753.3
中国	27115	103100	2632	10000	117.3
印度	17800	69389	2450	16467	48.1
日本	4500	11765	3825	433	561
墨西哥	4100	6920	5925	1800	101.2
澳大利亚	3450	1493	23100	1693	90.5
新西兰	3000	317	94640	47	2857.1
法国	2000	5396	3706	1720	51.7
意大利	1850	5624	3290	1240	66.7
巴基斯坦	1830	8370	2186	2027	40.1
智利	1770	1140	1526	480	183.9
前联邦德国	1700	6170	2755	773	97.7
英国	1600	5579	2868	687	103.5
伊朗	1170	3745	3124	1900	30.2
埃及	555	4293	1300	333	74
阿富汗	500	2204	2270	467	47.6
全世界	468900	451000	10340	132600	156.8

从总体上看，中国水资源领域面临以下 5 大严峻挑战。

(1) 水资源开发过度，生态破坏严重 人口的增加，经济的发展，工农业生产与城市生活对水资源的需求逐年在增加。由此，造成水资源的开发程度偏高，局部地区超过水资源的最大允许开发限度。伴随而至的环境与生态恶化愈发严重。由于单方面强调地表水渠道的利用率，使山前冲洪积扇地区河流的地下水量大为减少，造成下游河道干涸、沙化。

(2) 城市供水集中，供需矛盾尖锐 在城市地区，工业和人口集中，供水地点范围有限，常年持续供水，同时要求供水保证率高。随着城市和工业的迅猛发展，大中城市供需矛盾日趋尖锐。中国 666 座城市中，缺水城市就达 333 座，其中严重缺水 108 座，主要集中在北方，高峰季节只能满足需水量的 65%~70%，全国城市日缺水量达 1600 余万立方米。因缺水，工业经济年损失估计高达 2300 多亿元。造成水资源短缺的直接原因：①水资源分布与人口、土地分布的极不平衡；②工农业发展迅速，人口成倍增长，人类对水的需求量超出可供的水资源量。这种对水资源需求的增长与中国有限的水资源量之间形成尖锐矛盾；③天

然存在的劣质水体，以及水资源污染所造成的污染水体所占水资源的比例较高，造成严重的“水质型”缺水；④水资源开发利用不合理，水资源利用效率低下，水浪费现象十分普遍，在不发达或欠发达地区尤为如此。

(3) 地下水过量开采，环境地质问题突出 因地下水开采过于集中，在城市地区引起地下水位持续下降、地面沉降，在滨海地区引起海水入侵等环境地质问题。

① 区域地下水位持续下降，降落漏斗面积不断扩大。这一现象在华北平原较普遍，深层水水位以 $3\sim 5\text{m/a}$ 的速率下降，天津、沧州、衡水、德州一带下降漏斗已连成一片，面积达 $3.18\times 10^4\text{km}^2$ 。苏锡常地区区域降落漏斗面积已达 3000km^2 ，漏斗中心水位埋深 $60\sim 70\text{m}$ 。

② 泉水流量衰减或断流。在北方，由于在岩溶泉域内不合理开采地下水，造成一些泉水流量衰减或断流，给城市建设和旅游景观带来不利影响。

③ 地面沉降。超量集中开采深层地下水造成水位大幅度下降后，多孔介质释水土层压密，导致了地面沉降，如北方的天津、北京、太原、沧州、邯郸、保定、衡水、德州、许昌等城市，南方的上海、常州、苏州、无锡、宁波、嘉兴、阜阳、南昌、湛江等 20 多个城市。地面沉降造成城市雨后地面积水、建筑物被破坏等严重危害。

④ 由于超量开采地下水，造成水位大幅下降，地面失衡，在覆盖型岩溶水源地和矿区产生地面塌陷。据统计，河北、山东、辽宁、安徽、浙江、湖南、福建、云南、贵州等省 20 多个城市和地区不同程度发生地面塌陷，人民生命财产和生产生活遭到极大破坏和损失。

⑤ 海水入侵。沿海城市和地区在滨海含水层中超量开采地下水，造成海水入侵含水层、地下水水质恶化及矿化度和氯离子浓度增加，如辽宁省大连市、锦西市，河北省秦皇岛市，山东省莱州湾、青岛市、烟台市，福建厦门市等地。海水入侵破坏了地下淡水资源，加剧了沿海地区水资源紧张的局面。

(4) 水资源开发利用缺乏统筹规划和有效管理 目前，对地下水与地表水、上游与下游、城市工业用水与农业灌溉用水、城市和工业规划布局及水资源条件等尚缺乏合理综合规划。地下水开发利用的监督管理工作薄弱，地下水和地质环境监测系统不健全。

(5) 水资源污染严重、水环境日益恶化 全国污废水年排放量 370 多亿立方米，约 85% 未经处理，直接排入江河或渗入地下，使流经城市的河流两岸受到污染，72% 的纳污河流各项污染物平均值不同程度超标。近年来，随着乡镇企业的急速发展以及农业施用化肥的大量增加，除城市附近的点污染外，农业区面源污染日趋严重。据不完全统计，我国有机氯农药 $86.23\times 10^4\text{t}$ ，有机磷农药 $24.26\times 10^4\text{t}$ ，平均使用 $10.8\text{kg}/\text{km}^2$ 。灌水与降水等淋溶作用造成地下水大面积农药与化肥污染。另外，我国有污水灌溉农田近 $133\times 10^4\text{km}^2$ ，其中以城市为中心形成的污灌区就有 30 多个，在农作物生长季节的污灌量相当于全国污水排放总量的 20%。这在缓和水资源紧张、扩大农业肥源和净化城市污水方面起了积极作用。但农灌污水大部分未经处理，约有 70%~80% 的污水不符合农灌水质要求，而且多系生活污水和工业废水的混合水，其成分复杂，含有大量有毒有害的有机物和重金属。每年由于污水灌溉渗漏的大量污水，直接造成污染地下水，使污灌区 75% 左右的地下水遭受污染。

此外，乡镇企业生活污水和工业废水的大量排放，构成了我国水体的另一个重要污染源。大多乡镇企业生产工业比较落后，规模小、发展快、数量多、分散且排污量大、浪费资源严重，污水处理设施很不完善，造成局部水域严重污染。

据对全国七大江河和内陆河的 110 个重点河段的水质监测结果的统计表明，符合《地面水环境质量标准》I、II 类的河段仅占 32%，III 类水质的河段占 29%，属于 IV、V 类的占 39%。全国有 1.7 亿人饮用受到污染的水。全国约 90% 的城市水环境恶化，附近河流或河

段已成为名副其实的排污沟，直接影响农用水源。地表水源污染严重，地下水水质状况很不乐观。97.5%城市地下水受到不同程度的污染，近90%的城市饮用水源的水质不符合国家饮用水标准。地下水源污染的状况十分严峻。

上述分析表明，目前制约我国水资源开发利用的关键问题是水资源短缺、供需矛盾突出、水污染严重。其主要原因是管理不善，造成水质恶化速度加快。统计表明，近60%~70%的水资源短缺与水污染有关。“水质型”缺水问题严重困扰着水资源的充分有效利用。因此，水资源利用与保护的关键在于水资源数量与质量的正确评价、供需平衡的合理分析、水资源开发利用工程的合理布局、节水技术与措施的有效实施，实现防止、控制和治理水污染，缓解水资源短缺的压力，实现水资源的有效保护、持续利用和良性循环。

1.2 饮用水与健康

水是生命之源，公众饮用干净的健康饮用水是基本人权。保障公众喝上干净的水是国家、社会、企业的基本责任，为公众提供健康饮用水是构建和谐社会系统工程的重要组成部分。随着全国建设小康社会的进展，人们对生活质量的要求不断提高，提倡健康饮水是适应时代发展的需要，普及科学饮水知识是企业家和科技工作者的历史使命。

1.2.1 水是生命之本

(1) 水是人体的重要组成部分 水是生命之源，也是生物机体组成中含量最大的一种物质，一般占人体重的50%~70%。同时，年龄越小含水量越高：胎儿体内水的含量为98%；婴儿体内含水量约为75%；成人体内含水量为55%~65%。

水是机体内每个细胞和组织的基本组成成分。细胞和组织的含水量是不同的：肌肉和薄壁组织器官（肝、肾、脑等）中含水70%~80%，皮肤约为60%~70%，骨骼中约12%~15%，血液中含水约为80%。人体肌肉组织约占体重的40%，所以肌肉的含水量约占全身总水量的一半。通常肌体内脂肪含量增加时，含水量将下降。

(2) 人的需水量与水平衡 由于水是生命本身最重要的成分，所以体内严重缺水或水过剩都将会给人体健康带来大的损害。正常人体每日摄入量总是与排出体外的水量处于动态平衡状态。人每天究竟应喝多少水为恰当？应根据气候、身体状况、生活习惯等因素而定。按人的正常生理需水量约为2~2.5L/d，至少需要1kg（L）水（通常对成年人每天应补给的水量是每1kg体重为40mL水）。一般人每日进水量大约为2500mL，其中汁液液体水1400mL，食物水800mL，代谢过程内生成水300mL；而每日的出水量也应是2500mL，计皮肤蒸发汗700mL，肺呼出蒸气水300mL，尿排出1350mL，粪排出150mL。水平衡的调节受下丘脑神经中枢控制，它控制渴感和肾脏排水。而发烧、高蛋白膳食、干热气候、呕吐、腹泻和外伤损害等，都会扰乱机体对水的正常需要。

(3) 人体中水的生理意义和代谢作用 由于水具有溶解能力强、介电常数大、黏度小、比热容高等理化特性，使它在生物体内具有特殊重要的意义。

第一，水是人体基本组成成分，是维持生命、保持细胞外形、构成各种体液所必要的物质。

第二，参与机体代谢。由于水具有很强的溶解性，使各种有机物和无机物溶于水中，甚至一些脂肪和蛋白质也能在适当条件下分散于水中，构成乳浊液或胶体溶液。由于水的流动性强，可以作为体内各种物质的载体，对于各种营养素的运输和吸收、气体的运输和交换，代谢产物的运输与排泄起到了极其重要的作用。水是体内生化反应的媒介，同时水本身也参

与体内的化学反应。水是各种化学物质在体内正常代谢的保证。所以水是维持人体生理新陈代谢的主要介质（属于媒体营养物质）即通过水把吸收来的营养物质（结构营养物质——蛋白质、脂肪、碳水化合物、常量矿物质等；调控营养物质——微量元素、维生素等）溶解输送到机体的各个部分，之后又通过水把代谢物排出机体以外，从而维护生物体内物质及能量的转化过程和平衡。

第三，调节体温。水对体温的调节是由它的3个特性决定的。

① 水的比热容高。由于体内含有大量的水，所以在代谢过程中所产生的热能多被水吸收，保持体温恒定。

② 水的蒸发热大。当机体在 37°C 时，每毫升水的蒸发热为 2424.6J ，因此蒸发少量水即可散发体内贮存的大量热。

③ 水的导热性强。水为非金属中最好的导热体，虽然机体各组织代谢强度不一样，产热量不一样，但可通过水的导热作用来保证机体各组织和器官间的温度趋于一致。

第四，作为润滑剂。水的黏度小，可使体内摩擦部位润滑，减少损伤。体内关节、韧带、肌肉、膜等处的活动都由水作为润滑剂。同时水还可滋润身体细胞，使其经常保持湿润状态。水可以保持肌肤柔软，有弹性。水还可以维持腺体器官的正常分泌。

(4) 人体水缺乏的后果 水在机体内的存在形式包括两部分，即细胞外液和细胞内液。细胞外液占体重的 20% ，细胞内液占体重的 $40\%\sim 50\%$ ，总体液百分含量超过或低于此范围都会发生生理性改变，机体自身为在较小限度内调节体液，而具备许多机制，其中起重要作用的是大脑下丘脑的神经中枢，通过肾脏控制口渴和排尿感觉。当机体失水量为体重的 2% 左右时，是以细胞外液和间液水分丢失为主。此时下丘脑的口渴中枢受到刺激，出现意识性摄水需求，出现尿少及尿钾丢失量增加。如果继续脱水，当失水量达体重的 4% 左右，细胞内外液水分的丢失量大致相等，会出现脱水综合征：表现严重的口渴感，心率加快，体温升高，疲劳及体温下降等症状。当失水量为体重的 $6\%\sim 10\%$ 时，细胞内液水分丢失的比例增加，表现呼吸频率增加，血容量减少，恶心，食欲丧失，厌食，容易激怒，肌肉抽搐，精神活动减弱，甚至发生幻觉、谵语和昏迷。所以，从某种意义上说，机体失水的过程就是衰老的过程。

(5) 机体中水的来源 补充机体失水的途径有三。

第一，饮用水和其他饮料，占人体水分总来源的一半以上。某些硬水虽然含有足量的钙，但由于不是以离子状态存在，在体内吸收量很小。

第二，固体食物。通过固体食物同时摄入的水分（如饭、菜、水果等），占人体水分总来源的 $30\%\sim 40\%$ 。食物水中，有的水分以结晶水形式存在，有一部分以结合水形式存在，都可被人体吸收。

第三，约 10% 来自机体内的物质生物氧化过程的代谢水。代谢水是由营养素在体内氧化燃烧后生成的。如 100g 碳水化合物、蛋白质或脂肪，它们在机体内完全氧化后，分别可产生 60g 、 42g 和 110g 代谢水。但是脂肪和蛋白质在氧化过程中还要消耗一部分水分。

1.2.2 饮用水水质与健康

水是自然界一切生命的重要基础，是人类赖以生存和发展必不可少的物质之一。然而，水在自然界的循环过程中，由于人类的活动和工农业的发展，往往会通过不同途径使天然地表水和地下水受到不同程度的污染，因此，水又成为人们疾病发生和传播的重要媒介。世界卫生组织的统计表明，人体所得的各种疾病， 80% 与水有关。从20世纪70年代起，饮用水中化学成分的数量急剧增加，世界范围内饮用水中，已出现765种合成有机化合物，其中

117 种是属于致癌的或有关致癌的物质。2003 年，世界水资源大会公布的统计报告称，全球约有 14 亿人喝不到安全的饮用水，有 23 亿人没有起码的卫生条件，每天有 6000 名儿童死于卫生不良引起的疾病，尤其在发展中国家已出现了由于饮用水卫生恶劣而造成的令人不安的征兆。我国仅有不足 11% 的人能饮到符合卫生标准的水，有 65.4% 的人口在饮用浑浊、苦咸、受工业污染或能传播疾病的水，约 7 亿人在饮用大肠杆菌超标的水，1.7 亿人在饮用受有机物污染的水，其中近 4000 万人的饮用水污染尤其严重，主要分布在长江沿岸及人口稠密的地区。

饮用水是否安全将直接影响到使用者的健康，关系到人民生活质量的改善与提高。安全的饮用水不会因饮入此种水后发生传染病、地方病或长期饮用后也不会发生某些慢性疾病或者产生对健康不利影响。安全的饮用水首先必须符合国家饮用水卫生标准，该标准是从保障人体健康角度，结合具体国情（技术、经济、居民文化、卫生素质）制定。

1.2.2.1 水的感官性与健康

人类评价饮用水质量的最早参数仅限于感官性的，包括由视觉、嗅觉和味觉所感受的浊度、颜色、肉眼可见异物、嗅和味等几个参数。浊度是用来反映水中悬浮物含量的一个替代参数，悬浮物是水中许多有害物质（包括菌类）寄存的场所，其含量越低越有利于健康。水的嗅和味是由于水中所含的某些物质产生的，虽然一般只限于直接影响水的可饮性，但是产生嗅和味的某些化合物，本身可能是对健康有害的物质。水中某些无机离子和溶解总固体的浓度较高时，或水中溶解的无机气体，或水中的藻类都会产生异味，影响水的可饮性。

供水水质的感官性项目会影响其外观、气味或味道，用户往往以此来评价水质并以此来确定能否接受，因此水的感官性项目指标也要达到可接受的水平。总的来说，感官性项目有些不好一般不影响健康，故世界卫生组织强调：制定国家标准过程中应仔细权衡控制这类项目的投入和效益，需因地制宜地提出要求；也可以像美国那样，把有关健康的项目作为强制性标准，而把感官性项目作为建议，国家在统计是否完成标准要求时，可不包括感官性项目。随着人民生活水平不断提高，对感官性项目的要求也不断提高。2001 年日本主管供水的厚生省曾安排研究：怎样的水是可口的，怎样达到可口，然后提出了快适水（口味好）的水质标准。该标准不属强制执行，而是引导性的，政府对为此采取深度处理的供水企业给予部分经济补贴。

1.2.2.2 饮用水中的元素及化合物与健康

人体需要的主要元素有 10 种，即碳、氧、氢、钙、硫、磷、钠、钾、氯和镁。在微量元素中，现已知道铁、碘、铜、锰、锌、钴、铬、硒、钼、氟、硅、锡、钒、镍、铝和硼等 16 种元素与人类的生理活动有关。这个名单的元素还会不断增长。通过饮用水进入人体的这些元素必然与健康有关。表 1-3 根据我国生活饮用水标准编制说明，结合有关资料列出部分元素及化合物与健康的关系。

1.2.2.3 水体中的主要污染物及来源

(1) 水体污染源 水体污染主要是指水体因某些物质的介入，导致其化学、物理、生物或放射性等方面特性的改变，从而造成水质恶化，影响人体健康或破坏生态环境的现象。水体中污染物主要来自人们的生产和生活活动，主要来源有工业废水、生活污水、农业污水等。对水体污染影响较大的工业废水主要来自冶金、化工、电镀、造纸、印染、制革等行业。废水中有害物质的种类和数量因生产工艺和生产方式的不同而有很大差异。如电力、矿山等部门的废水主要含无机污染物，而造纸、食品等部门的废水有机物含量很高。生活污水主要是指居民生活中产生的洗涤污水和粪便等，污水中氮、磷含量较高，并常含有肠道致病菌和病毒。城市污水不经处理就排入地面水体，会使河流、湖泊受到污染，常引起地面水体

表 1-3 水中元素及化合物与健康的关系

元素及化合物	产生影响	GB 5749—85
总硬度	人们对水的硬度有一定的适应性,改变硬度(特别是高硬度)可引起胃肠功能的暂时性紊乱	450mg/L(以硬度酸钙计)
铁	高浓度时使水外观不良,有味	0.3mg/L
铜	毒性小,过多对人体有害	1.0mg/L
锌	毒性很低,但摄入太多则刺激胃肠道	1.0mg/L
硫酸盐	有轻泻作用	250mg/L
氯化物	浓度过高可产生恶味	250mg/L
溶解性总固体	高浓度时有泻药反应	1000mg/L
氟化物	摄入过多对人体有害,可致慢性中毒	1.0mg/L
氰化物	有剧毒	0.05mg/L
砷	与皮肤癌有关,认定的致癌物	0.05mg/L
硒	其化合物对人和动物有毒	0.01mg/L
汞	剧毒物,可致慢性中毒	0.001mg/L
铬(六价)	致癌物	0.05mg/L
铅	在骨中累积,便秘、贫血、腹痛	0.05mg/L
银	有毒,很高时致命	0.05mg/L
硝酸盐	诱发高铁红蛋白症以及可能形成致癌的亚硝酸盐	20mg/L
氯仿	公认的致癌物	60 μ g/L
四氯化碳	具有多种毒理学效应,包括致癌性	3 μ g/L
苯并(a)芘	致癌物	0.001 μ g/L
滴滴涕	作用于中枢和外周神经系统,具有强蓄积性	1 μ g/L
六六六	有毒,糖耐量异常	5 μ g/L
放射性物质	诱发癌症,有致畸作用,会遗传后代	总 α <0.1Bg/L 总 β <1Bg/L

富营养化。农业污水是栽培作物、饲养牲畜、加工农产品等过程中排出的污水,常含有多种病原体、悬浮物以及化肥、农药等。除人为因素外,自然因素也可引起水质某些成分的改变,危害人体健康。如由于特殊的地质化学成分的影响,使水中某些微量元素含量过高或过低。人们长期饮用这种水会引起某些疾病,如水致地方性氟中毒及地方性甲状腺肿。

(2) 水体污染物 水体中的污染物种类按性质可分为化学性、物理性及生物性污染物。

① 化学性污染物 引起化学性污染的各种有毒化学物质有汞、镉、铅、砷、铬、镍、锰等重金属元素及滴滴涕、六六六、多氯联苯、有机磷农药、多环芳烃等有毒有机物。其中富含氮、磷的有机物质严重污染水体后,可引起水体富营养化。

② 物理性污染物 物理性污染包括放射性污染及热污染等。核能的利用及同位素在生产科研中的广泛使用,使放射性废水增加,污染水体后可影响人体健康。工矿企业向水体中排放高温废水,使水温升高,影响水生态环境,使水质恶化。

③ 生物性污染物 各种污水排入水体后,可将病原微生物如细菌、病毒、原虫及各种寄生虫等带入水体,引起传染病的流行。

1.2.2.4 饮用水和传染病

人们对饮用水中污染物对健康危害的认识最早是从致病细菌开始的。19世纪末,由于人类认识到严重危害生命的霍乱、伤寒、痢疾等传染病是通过饮用水传播的,才第一次把水质与健康直接联系起来。通过饮用水传播的病原微生物有细菌、病毒、原生动物和肠虫等。基于这一认识,人们采取了许多卫生和净化手段以减少致病细菌的威胁。由于采取了这些措施,水致传染病的发病率大幅度减少。我国城市供水基本上采用氯消毒,据不完全统计,细菌总数和大肠菌群指标合格率大多在95%以上,从而有效地控制了水传染性疾

(1) 细菌性传染病 细菌是微生物王国的重要组成部分。它们像微小的单细胞植物，呈球状、杆状或螺旋状，都有细胞壁或细胞外膜，聚集成群生长。细菌广泛存在于土壤、水和有机物中。动物肠道，包括人的肠道里也生长有大量的细菌，帮助消化食物。当某些细菌在新的环境里生存时，就会引起疾病。如果饮水时这些细菌随水进入人体，就会引起诸如腹泻和肠道痉挛等病症。

① 霍乱。霍乱是最早发现的水致疾病。它是由霍乱弧菌引起的急性肠道传染性疾病，霍乱通过受霍乱病菌感染的人所排出的粪便污染的水和食物传播，通常发生在那些不能提供足够清洁的饮用水和没有适当的污水处理设施的发展中国家。在这些国家，当人们食用生的、生活在受污染水域的贝类水产品后就很有可能暴发霍乱。许多人感染霍乱病菌后并不立即发病，当霍乱暴发时，感染情况已十分严重。约有 5% 的人感染霍乱后发生腹泻和脱水，如果处置不当，可能导致死亡。

现在西方发达国家由于有现代化的污水处理设施和先进的给水处理技术，霍乱已基本不再发生，然而霍乱仍是发展中国家面临的大问题。由于旅行和商业活动的增多，霍乱传入发达国家的可能性仍然存在。

② 埃希氏大肠杆菌。通常生活在动物和人类肠道里的细菌叫大肠杆菌，大肠杆菌里最广为人知的是埃希氏大肠杆菌。在肠道里埃希氏大肠杆菌与宿主相处和谐，帮助宿主消化食物。当饮用水受粪便垃圾污染后，水中可检测出埃希氏大肠杆菌，总大肠杆菌数也大大增加。

埃希氏大肠杆菌共有几百种菌株，大部分是无害的。然而只要其中一种发生变化或突变，将对公共健康带来很大影响。比较明显的例子是 O157 : H7。该菌释放出胞外毒素，能引起严重的出血性腹泻、肾功能衰竭，甚至引起死亡。

O157 : H7 在 1982 年首次被分离出来，从那以后发生了数起 O157 : H7 致病事件，但直到 1993 年该细菌才引起广泛注意。当年在美国 4 个州有 700 多人受其感染致病，其中 51 人发展成急性肾衰竭和尿血性贫血（医学上称出血性肾功能衰竭综合症，hemolytic uremic syndrome），4 人死亡。发病的原因是在当地的快餐店食用未煮熟的牛肉所致，显然牛在屠宰时其肠道细菌污染了牛肉并一直存活于加工后的牛肉里。目前估计全美国每年共有 2 万例 O157 : H7 感染，250 人死亡。

尽管受由水传播的埃希氏菌感染的病例并不多，但仍有潜在的威胁。因此公众应只饮用经适当处理后的饮用水，而且避免水受任何粪便垃圾污染。如对水质有疑问，应煮开再喝。

③ 空肠弯曲杆菌 (*Campylobacter*)、沙门氏菌 (*Salmonella*) 和志贺氏菌 (*Shigella*)。这里还要提到其他几种由水传播并引起腹泻的细菌。1972 年首次发现空肠弯曲杆菌能引起腹泻，从那以后由空肠弯曲杆菌引起的腹泻病例呈上升趋势。在一项研究中发现，因空肠弯曲杆菌引起腹泻而住院的病人占 44%。

沙门氏菌引起的腹泻叫伤寒，通常由受粪便污染的食物传播。最常见传播沙门氏菌的食物有肉类、家禽、奶制品和蛋类等，沙门氏菌很少由饮用水传播。但 1993 年密苏里一城镇暴发由饮用水受污染而传播的沙门氏菌致病事件，导致 600 人生病，其中 15 人住院，7 人死亡。发病原因极有可能由鸟的排泄物污染了两个未充分密封的储水池所致。这种情况虽极少发生，但也应引起足够注意和严密监视。

志贺氏菌曾被发现与几起痢疾暴发有关。1992 年暴发两起因在湖水里游泳引起的痢疾，1994 年则暴发两起因饮用未经处理的井水而引起的痢疾，分别有 437 人和 266 人受影响。2000 人由此致病。

(2) 原生动物 原生动物属于单细胞生物里的寄生虫，其生活习性跟微小动物相似，因

此曾被称为微动物 (animacules)。尽管原生动物尺寸比细菌大,但仍需显微镜才能观察。原生动物在水体和自然界广泛存在,一部分生活在水体里的原生动物能引起消化道疾病。

因为比细菌少得多的原生动物就能引起腹泻,同时原生动物对氯的抵抗能力比细菌要强得多,因此由饮用水中原生动物引起的流行病暴发次数也比由细菌引起的要多得多。

① 隐孢子虫 (*Cryptosporidium*)。隐孢子虫孢囊寄生在动物肠道里,通过饮用被动物粪便污染的水,或者接触动物和被感染的人而未将手冲洗干净等途径而传播到人的肠道内,由此而发生的疾病叫隐孢子虫病。主要症状有身体疼痛、排气、肿胀、体重下降、呕吐、低烧和严重脱水性腹泻。健康的人一般持续发病几天(很少有超过10~14d)然后恢复正常,少数人腹泻能持续好几个月,但通常无别的症状。

有充分的证据显示大多数自来水中均含有少量的隐孢子虫。一项研究表明65%~97%的地表水中含有低浓度的隐孢子虫。另一项对胃肠炎患者(腹泻、恶心和胃痉挛)的研究表明:他们中1%~4%的人排泄物中检出隐孢子虫。

目前至少有6起被证实由饮用水引起的隐孢子虫病。最大规模的一起于1993年发生在美国威斯康星的密沃珂,引起40万人生病。比较特别的是这几起疾病暴发都是由经充分加氯消毒的地表水引起的。

尽管隐孢子虫病给病人带来痛苦,但基本上不会引起别的症状,并能完全恢复。但不幸的是也有例外,特别是对那些免疫系统受损害的人而言(医学上称免疫系统缺陷症)。由白细胞和抗生素组成的免疫系统起防御人体受外界感染的作用,那些免疫系统受损害的人受隐孢子虫感染后不能恢复正常并发展成慢性腹泻。

在20世纪80年代刚开始认识到隐孢子虫是可由水传播的病源微生物时也正是艾滋病(获得性免疫缺损综合症)开始流行的时候。艾滋病的特点是免疫系统功能弱,不能充分抵御外界病原的感染。在艾滋病开始流行的同时,由于器官移植和由于癌症而接受化疗而使其免疫系统受损的人也逐渐增多。所有这些免疫系统有缺陷的人感染隐孢子虫后发展成慢性隐孢子虫病的危险性显著增加,并伴有终身腹泻和脱水,这些患者生活质量显著下降。据美国国家疾病防治中心的报告,约有2%的艾滋病患者同时患有隐孢子虫病。

隐孢子虫难以控制的原因是由于其有坚硬的外壳,因此抗生素不能进入其体内将其杀死。也正是由于这一原因,常规水处理中的加氯处理不能有效杀死隐孢子虫。换句话说,为了防治隐孢子虫病,未来我们必须采取新的手段以去除隐孢子虫。

目前已发现有几种方法可以防治水传播的隐孢子虫病。第一个方法是过滤,即通过机械过滤的方法去除隐孢子虫孢囊。为了保证所有的隐孢子虫孢囊被去除,必须采用所谓的“绝对”过滤技术,即将水中 $1\mu\text{m}$ (10^{-6}m)以上的颗粒全部去除。臭氧、反渗透和蒸馏也可以去除隐孢子虫。最经济而有效的方法是煮开水。

② 贾第虫 (*Giardia*)。与隐孢子虫病相似,贾第虫病也是由单细胞的原生动物引起的。症状表现为消化道肿胀、排气和腹泻,持续时间一般为7~10d,很少发展成慢性病。贾第虫有一层外壳,由于外壳的保护这种寄生虫可以在体外生存很长时间,而且使之具有一定的抗氯性。贾第虫由水、人与人之间手的接触或同性性行为传播。但与隐孢子虫不同的是,贾第虫可以被抗生素杀灭。

贾第虫是美国由饮用水传播而引起腹泻的最常见病因。自1965年以来共暴发了80起由饮用水传播的贾第虫病,致病人数达2万,占有所有上报到国家疾病防治中心并明确知道发病原因的腹泻总数的约2/3。

水处理对防止贾第虫病发生的有效性还不十分明确。水处理中常规的加氯量(余氯0.1~0.5mg/L)不足以灭活贾第虫孢子,而且对需多少剂量的氯才能灭活贾第虫孢子也还没有明

确的结论。发生贾第虫病暴发时水厂可以增加加氯量，但会产生严重的氯味。普通滤池过滤不能有效去除水中贾第虫及其孢子。

因此有效地防止贾第虫病主要应保护水源不受污染和强化混凝过程，使贾第虫孢子与其他有机颗粒一起沉淀下来。不过强化混凝成本较高，小水厂难以承受。如果担心受贾第虫污染，最有效的方法是饮开水。如果烧开水不方便或没有条件，还有其他几种方法可供选择。其一可以使用滤径小于 $6\mu\text{m}$ 的便携式过滤器，一些过滤器内装有浸碘树脂，可增加保护作用。如没有过滤器，则可选用氯或碘作消毒剂，但必须使用高剂量，最高可达 8mg/L 。这两种消毒剂消毒时间都必须在 8h 以上，消毒后可加抗坏血酸（维生素 C）消除消毒带来的异味（药味）。

③ 圆孢子虫 (*Cyclospora*)。圆孢子虫是最近新发现的由饮用水传播并能引起腹泻的寄生虫。圆孢子虫引起的腹泻称圆孢子虫病。尽管圆孢子虫与隐孢子虫是近亲，但目前对圆孢子虫的了解很少。如果不治疗，圆孢子虫病能持续数星期，而且常常复发。

到目前为止还没有充分的材料说明圆孢子虫病对人体健康的危害到底有多大，对此还需继续观察和研究。

(3) 病毒 病毒是已知最小的感染人体并致病的微生物。病毒的尺寸为 $15\sim 300\text{nm}$ ，它们能很容易透过滤池。病毒不能离开生物体的细胞单独繁殖，其形状有杆状、球状和多面体。病毒有一层蛋白质外壳，里面有核糖核酸或脱氧核糖核酸，并附着在宿主的脱氧核糖核酸上进行复制繁殖。

直到 20 世纪 70 年代以前，人们只知道细菌和原生动感染引起腹泻，还有一大部分腹泻并不了解发病原因。1972 年通过电子显微镜，研究人员在流行性腹泻病人的粪便里发现有病毒存在。电子显微镜比普通显微镜的放大倍数可以高几千倍。这种病毒后来被称为诺沃科 (Norwalk) 病毒。1978 年通过电子显微镜又发现另一病毒，并取名为螺旋病毒 (rotavirus)。从那以后其他引起腹泻的病毒被陆续鉴别出来。

上述病毒的流行大多数通过人和人的直接接触或食用蛤肉和鲜贝等带壳的海鲜，也有因饮用自来水、井水，接触河水、湖水、商品冰块和水上游乐场而受感染的病例。由于确切判断病毒性腹泻发病原因往往比较困难，还有一些病例并未上报至有关部门，因此由水引起的病毒性腹泻到底占多大比例还不十分清楚。

所有由水引起的腹泻中，水均未得到充分处理。其中几起是由于饮用未经处理的私人井水，其他的是未充分加氯。通常来说，如果饮用水充分加氯，由水传染的病毒性疾病可以得到预防。

1.2.3 饮用水和致癌风险

对饮用水和致癌风险的关系这一问题的提出是基于这样一个事实：随着分析技术的发展，研究人员在饮用水中发现多种化学物质，其浓度足以造成饮用者有致癌的潜在威胁。20 世纪六七十年代后制定的水质标准都考虑了对癌症的预防因素。

1.2.3.1 饮用水中致癌物种类

饮用水中致癌物的分类可以有不同的方法，这里以进入饮用水的方式分类。第一类通过自然因素在水源地进入水体；第二类由人类生产、生活产生的污染物在水源地进入水体；第三类是在水处理过程中产生的（见 1.2.3.2 节）。

(1) 从水源地通过自然因素进入水体的可能致癌物 这里主要介绍砷、石棉和放射性物质。

① 砷 砷是许多工业生产过程都使用的金属。现在饮用水中砷的来源主要是因水源地

附近的自然地理因素引起的，特别是在火山沉积岩地区。一些研究表明长期饮用砷含量高的水能导致多种皮肤疾病，包括皮肤增厚、皮肤色素沉着和皮肤肿瘤。剂量反应曲线也表明砷的摄入量与皮肤癌的发病率有密切的相关性。最新的一些研究表明砷也可引起体内器官癌症。包括肺癌、肾癌、膀胱癌和结肠癌；最近实验室研究也证实砷能诱发细胞复制过程中基因表达的改变。因此国际癌症研究会将砷列为第一类致癌物。

② 石棉 石棉的主要成分是硅，是公认的肺癌致癌物。50年前对接触石棉的工人的职业病研究就表明，那些经常接触石棉的工人最终患上肺癌的可能性比未接触这些物质的工人要高得多。研究也发现接触石棉的工人患胃癌的人比较多，原因可能在于这些人吞咽了含有石棉的肺部黏液，这些石棉最终进入胃组织。

饮用水中石棉的致癌作用还不清楚。石棉在环境中广泛存在，可以通过水源附近的自然地理因素、采矿和炼铁对水源的污染和含有石棉材料的给水水管或水渠的腐蚀等途径进入饮用水中。石棉以纤维状形式存在，其纤维丝的结构特性（长度、宽度和直径）和其浓度（每升水中石棉纤维丝的多少）对致癌作用都有重要的影响。目前还未发现强有力的证据证明饮用水中由自然因素产生的石棉能导致癌症。但不管怎样，因为已知石棉是肺癌致癌物，美国安全饮用水法规定了石棉的限制浓度，国际癌症研究会也将石棉列为第一类致癌物。

③ 放射性物质 离子化放射线的致癌性众所周知，原子弹爆炸和原子能事故的幸存者都有很高的致癌风险，目前还不清楚饮用水中由于自然因素而存在的放射性剂量是否也能导致癌症。世界各地的饮用水中都存在微量的镭、铀和氡等放射性物质，其浓度可能各不相同。地表水中一般放射性物质含量低，而地下水中放射性物质含量相对较高。

一些生态学的研究表明饮用水中放射性与癌症有很弱的相关性，研究人员比较了美国佛罗里达两个地区的情况，其中一个地区饮用水中放射性含量高，另一地区相对较低，结果发现放射性含量高的地区白血病（血癌）的发病率相对较高。对依阿华州的研究也发现饮用水中放射性高能导致高的白血病发病率，北卡罗莱纳州的一项研究也表明饮用水中氡含量高的地区儿童血癌的发病率比氡含量低的地区高。但是所有这些研究都引起一些不同的意见。这些批评意见涉及研究中癌症发病率的统计方法、放射性剂量的计算以及没有考虑其他因素的影响等方面的问题。因为这些原因，因此研究人员认为美国由饮用水中放射性直接引起的癌症很少。

(2) 人类生产、生活产生的污染进入水体后的潜在致癌物 人类生产、生活过程中产生大量的有机物，通过各种方式直接或间接地进入饮用水中。

① 硝酸盐 由农业生产产生的面源污染中含有氮含量高的杀虫剂、杀草剂、杀鼠剂、化学肥料和粪肥等，最终导致地下水中硝酸盐含量高。

对饮用水中硝酸盐的潜在致癌作用的担心是因为有研究表明饮用水中的硝酸盐进入人体后能与胃黏膜作用生成亚硝胺（*N*-nitrosamine），而亚硝胺是强致癌剂。研究也证实硝酸盐摄入量与亚硝胺产生量相关。尽管有这方面的担忧，目前饮用水中硝酸盐引起癌症增加的证据还很少，这种推测是否正确也未有定论。另外长期定量测定饮用者的硝酸盐摄入量也很困难，而且癌症的发展有一段时间比较长的潜伏期。

② 有机化合物 二战后美国和世界其他国家的工业化进程，导致大量新合成的有机物在工业、农业、商业和人们生活中使用。尽管这些化学品的使用使我们的生活更方便、更高效、更舒适，但它们也产生了环境污染的问题。许多化合物在自然界很难分解，因此它们的处置就成为新的问题。为了处置这些化合物，其中一部分被直接倾倒入水体，还有一部分被填埋，这两种处置方式都导致部分化学物质最终进入饮用水中。许多化学物质在处置地附近区域逐渐积累，但如果其中的一部分进入到地下水含水层后，就会广泛扩散。特别是化肥和

杀虫剂，直接施用于土壤并往土壤下层渗透，其他一些化合物在分解或挥发后因沉降作用进入水体。

化合物中产生最大污染问题的是有机化合物。容易分解或挥发的有机物称挥发性有机物，包括苯、四氯化碳、氯乙烯等。这些有机物可通过饮用、呼吸和皮肤接触进入人体。其他的有机物比较稳定，包括丙烯酸酯、氯丹（Chlordane）、二噁英、多氯联苯等。这些有机物主要通过饮用水进入人体。这些有机物中大部分含有氯，因此属氯代有机物。

这些有机物中苯、氯乙烯和二噁英被国际癌症研究会列为第一类致癌物（即确定的致癌物）；其他的7种有机物被列为第二类致癌物（很可能的致癌物）；还有11种被列为第三类致癌物（有可能的致癌物）；剩下的有机物未分类。

对这些污染物致癌性的研究还比较少，已经进行的研究也与其他生态学或流行病学研究中存在的问题一样有其不足之处，为了弥补这些问题，一些研究选择在有毒化合物堆积地或附近地区进行。这些地区污染物的浓度比环境中正常条件下污染物浓度高许多倍，希望通过这些研究能明确发现这些污染是否与癌症发病率有关系。其中一项研究在纽约州靠近尼亚加拉大瀑布的爱渠（Love Canal）地区进行。这一地区曾是有毒废物堆积地，后来在这些地方盖了很多房子。研究发现这里的肺癌发病率较高，但这是否是饮用水受污染引起的则不清楚，因为这些有机物也可能挥发后进入空气中，然后通过呼吸作用进入人体内。在马萨诸塞州沃堡（Woburn）进行的一项研究发现该地区饮用水受有机化合物污染后有一儿童白血病高发群，但对加州河边县（Riverside County）的调查却未发现有毒有机物堆积地区有癌症发病率高的现象。

美国曾对全国339个县有毒废物堆积地区的癌症发病率进行研究，结果发现这些地区肺癌、膀胱癌、胃癌、结肠癌的发病率明显比别的地区高。新泽西州27个小镇饮用水中挥发性有机物高，这些地区白血病的发病率也高。同样，宾州饮用水受污染的地区膀胱癌发病率也比别的地区高。

这些研究都说明饮用水中有机物含量增加可能引起癌症发病率的增加，但是由于这类研究本身的缺陷，研究结果还不能完全证明所列的所有有机物是否都致癌。

1.2.3.2 水处理过程中产生的致癌物

水污染和致癌风险问题中比较矛盾但又有趣的一个问题是与氯有关。氯作为最广泛使用的饮用水消毒剂为控制饮用水传播的传染病起了巨大的作用，但现在却被发现它也会产生致癌的消毒副产物。

氯作为化学元素，能与碳原子形成强电子键。因此氯代有机物（有机氯）十分稳定，不易降解，使其在土壤和水中长期存在并不断累积。而且这些有机物都有亲脂性（即容易进入脂肪），因此当它们通过食物和水进入人体和动物后很容易在脂肪内累积。

有机氯化物在20世纪70年代中期首次在饮用水中被检出，这些有机物是因消毒过程中使用的氯与水中天然或人为污染带来的有机物起化学反应而生成的。这些化合物中目前大部分还未能分析、鉴定出来，即使能被检测的有机物，目前对其研究也还很少。这些消毒中产生的氯代有机物在饮用水中的含量很大程度上取决于水源水中有机物的含量。因为地表水源比地下水源更容易受天然有机物和工业废水的污染，因此，以地表水为水源的饮用水中这类氯代消毒副产物的含量通常比以地下水为水源的饮用水中高。

氯代消毒副产物中最常见也是研究最多的有机物是三卤甲烷和卤乙酸。三卤甲烷是由三个卤素（一般是氯和溴）原子与甲烷分子中的碳原子相连，比较常见的是三氯甲烷。如果水源水中溴离子含量高，就会有溴代甲烷产生。通常三卤甲烷在地表水源饮用水中含量为30~300 $\mu\text{g/L}$ ，在地下水源饮用水中含量为1~10 $\mu\text{g/L}$ 。以老鼠做试验发现长期饮用含三卤甲烷

或三氯甲烷的饮用水能导致肝癌和肾癌的发生，细菌试验发现溴代甲烷能引起脱氧核糖核酸突变，老鼠试验证明溴代甲烷引起肾癌和结肠癌。卤乙酸中最常见的是二氯乙酸和三氯乙酸，实验室动物试验发现三氯乙酸诱发肝癌。

为了证实氯代消毒副产物是否会引发癌症发病率增加，科研人员开展了以人为对象的研究。研究的第一步是比较饮用加氯和不加氯的饮用水的地区的癌症发病率的变化，结果发现饮用加氯的饮用水地区的居民结肠癌、直肠癌和膀胱癌的发病率增加。然后为了证实这一结果，开展了病例控制试验。其中一项研究结果表明，饮用加氯消毒的自来水30年或30年以上的人患膀胱癌的风险比从来没有饮用过氯消毒的自来水的人高1.6~1.8倍。另一规模较大的研究表明美国每年有5000例膀胱癌和8000例直肠癌是因饮用加氯的自来水引起的。丹麦最近的一份研究报告介绍了氯代消毒副产物与乳腺癌的关系。

到目前为止最为可靠的结论是饮用水中氯代消毒副产物与膀胱癌相关。氯代消毒副产物引起直肠癌的研究结果还缺乏一致性，因为以不同地区的人口为对象的研究和病例控制研究都有其自身固有的弱点，因此饮用水中氯代消毒副产物跟癌症的相关关系还不十分可靠。

正是因为没有明确的结论，环境界和工业界就是否继续采用氯消毒还存在很大的争议。绿色和平组织的人士认为氯代有机物是自然界本身不存在、且对人类有潜在危害的污染物，因此应该禁止工业生产使用氯。他们还说氯代有机物的数目是如此之多、种类是如此之复杂而难以划分，因此要明确哪类氯代副产物是安全的几乎是不可能的。他们建议氯的禁用应包括工业生产和水处理。他们还指出目前已有可以代替氯消毒且不产生氯代副产物的水处理技术。

工业界的代表人士说氯代有机物中危害最大的种类已被鉴别出来且已被去除。他们还说目前还没有强有力的证据说明饮用水处理中产生的副产物是有害的。这些副产物在饮用水中浓度很低，可实验室却用很高的浓度做试验。除此之外，他们还强调即使饮用水中现在这些副产物的浓度水平的确对人体有害，但比起氯消毒控制病原微生物给人类带来的好处，这些危害根本不值一提。新的饮用水消毒方法（如臭氧）还很贵且未被大规模使用过。即使这些新的替代技术可以用作饮用水消毒，饮用水的输水管道仍需氯来维持消毒效果。最后一点，他们认为氯在工业界和水处理中使用是如此之广，企图找到氯的替代品将会非常昂贵。

这场争论的真理在谁的一方还不知道，最有可能是双方都有一定的道理。氯的副产物可能引起癌症发病率增加，下面还将介绍，氯代有机物还与生殖问题有关，但也无可否认氯在饮用水处理中的应用并有效控制水致传染病的传播是公共卫生和保健中最伟大的进步。比较明确而且一致同意的一点是这个问题还需深入研究，问题的解决办法最终随着时间的推移慢慢会被发现。

美国癌症研究所试验证明，三氯甲烷和四氯化碳能引起大、小白鼠发生肝癌和胃癌。为此美国环保局规定，饮用水中总有机卤化物含量不能超过 $100\mu\text{g}/\text{L}$ 。水中有机卤化物对人体的危害尚未完全弄清楚，它的危害程度正在研究讨论中。例如三氯甲烷使小白鼠和大白鼠致癌剂量为 $477\text{mg}/\text{kg}$ 和 $180\text{mg}/\text{kg}$ ，以此剂量推算到人（按 60kg ），则每人每天摄入三氯甲烷量为 $11\sim 29\text{g}$ 可致癌。

美国水厂协会（AWWA）研究基金会报道了消毒副产物致癌风险的数据，其中提到在总的消毒副产物致癌风险中，卤乙酸占90%以上。由此可见，饮用水中含有的卤代烃类虽有致癌性，但含量极少，不足以引起癌症。

1.2.4 饮用水对雌性激素和生育能力的影响

20世纪90年代早期丹麦的一份医学报告引起公众的强烈关注。根据这份报告，西欧男

子的平均精子数在此前 50 年内持续减少，同时精子的质量也下降。而且精子数的减少速度十分显著，在一些国家减少了 40%。另外，报告还指出隐睾（睾丸停留在腹部，而不是下降到阴囊）、尿道口异常（hypospadias）（尿道口在阴茎的下面而不是阴茎头）和睾丸肿瘤的病例呈上升趋势，而这些病症通常很少见。

该研究报告的作者提出一种假设来解释这些发现。他们认为精子数下降、男性生殖器官和睾丸疾病的增多的原因在于男性胚胎在妊娠时期接触类雌性激素化合物（类似雌性激素的化合物）太多，这些类雌性激素化合物来源于其母亲受外界环境的污染。由于男性胚胎在子宫发育过程中接触了过多的类雌性激素化合物，使睾丸中性激素产生细胞发育推迟，最后导致成年后精子数减少。同样，母体中类雌性激素化合物太多也导致男性在胚胎发育期其他性器官的发育异常。

现在科学研究已经证实，在妊娠的关键时期接触太多的雌性激素或类雌性激素化合物将对胚胎的发育带来不利的影响，而且这些不利影响并不是马上能被察觉，需在若干年后才能表现出来。换句话说，在妊娠关键时期雌性激素很小的改变对胚胎的发育和以后的成人都将产生永久的危害，控制胚胎发育期雌性激素的水平对保证胚胎正常发育十分关键。另外，一些化合物尽管与雌性激素没有化学结构相似性，但仍像雌性激素一样能与雌性激素受体细胞结合。并且雌性激素受体细胞与其他激素的受体细胞不同，对雌性激素的选择性不是特别强，因此其他类似雌性激素的化合物也能与之结合。

在 20 世纪 60 年代人们就开始认识到二战后随工业化进程产生的并在日常生活中被广泛使用的 5 万~10 万种新的合成化合物对人体健康和自然环境带来的危害。这些化合物包括：①杀虫剂，如广为人知的滴滴涕；②多氯联苯，主要用作液压流体、黏合剂、阻燃剂；③二噁英，主要来源于垃圾焚烧、造纸、钢铁生产和汽车生产；④APEs（alkylphenolpolyethoxylates），主要用于油漆、洗涤剂、化妆品和除草剂。

研究人员对这些化合物即时的和中期的危害或者毒性进行了评价。

在 20 世纪 60 年代和 70 年代，关于这些化合物将产生长期危害的第一手材料主要来源于对野生动物的研究。过去一直有正常的生育功能和哺育能力的动物被发现生殖功能受损、生殖器官发育不全、哺育能力也不正常。例如，美国佛罗里达的阿坡拉湖内幼小的短鼻鳄鱼急剧减少，而生殖器官不全的幼小短鼻鳄鱼却在不断增加。生活在受污染的河流、湖泊和海洋水域的鱼类生殖器官异常的发生率比通常情况高得多。生活在海岸边的鸟类新出生的幼鸟性别比例失调，且没有正常的生殖功能。哺乳动物中，在美国佛罗里达大湖生长的美洲豹和貂发育异常、生殖功能受损，包括精子数少和精子活性低。

这些毫无关联的动物为什么会发生相同的病变？通过一部分环境科学家和环境毒理学家辛勤而又持之以恒的观察研究，终于逐渐得出一致的结论。这是因为一些能产生即时的或中期危害的类雌性激素化合物对胚胎正常发育的不利影响的结果。这个过程产生原因存在于这些化合物本身的一些特点。

① 这些二战后新合成的有机物大部分在环境中持久存在。许多合成化合物在自然界很难被分解，能在自然界存在数年或数十年，因此在环境中大量累积。

② 这些化合物属于脂溶性化合物，因此很容易在动物脂肪内累积。在食物链中每一环节的动物通过食物摄取这些化合物后都会在体内积累，也称生物累积。

③ 这些化合物能与雌性激素受体细胞结合。尽管结合能力不如雌性激素本身与其受体细胞之间那么强，但它们的绝对量和浓度都足以带来危害。尽管这些化合物在人体脂肪内浓度只有百万分之一或十亿分之一的量级，但雌性激素的浓度只有万亿分之一的量级，因此人体内这些化合物的浓度量级比正常的雌性激素高很多倍，根据传质原理，它们能与雌性激素

受体细胞结合。

通过不断的研究，人类对类雌性激素化合物认识的最大突破是发现这些物质最大危害在于对胚胎发育的影响。在此以前毒理学家集中在研究这些化合物对成人的危害，而没有考虑其对胚胎发育的影响，最新的研究证明类雌性激素化合物的最大危害是对胚胎发育的有害影响。在许多试验中发现胚胎发育过程中雌性激素或者类雌性激素化合物浓度发生很小的变化，出生的小孩及长大以后的成人其性器官和功能都会有很大的改变，包括性行为 and 性偏爱、男性或女性特征、性器官的发育和精子数、生殖能力和生殖欲望等。这些化合物浓度的改变，导致胚胎中基因密码的改变，最终改变了胚胎发育和其后出生的人的命运。

目前基本已公认不断上升的人的生育能力丧失和性器官异常病例与动物在这方面的问题是相似的，正如动物胚胎在发育过程中易受类雌性激素化合物的影响一样，人的胚胎在发育过程中也同样易受这类化合物的危害。

那么这些情况的发生是怎么跟饮用水联系在一起的呢？这主要是由于饮用水为这些类雌性激素类化合物进入人体提供了途径。

这些合成有机化合物的大部分最终通过各种渠道进入水体。其中一部分通过工厂排放废物被直接倒入河流、港湾和湖泊等水体，其他的合成有机化合物通过间接渠道也进入水体。如通过焚烧和挥发，这些有机物进入大气中，然后扩散至全球，最后通过降雨的形式进入水体，这就是一个地方生产的有机物最后在很遥远的另一地方出现的原因。事实上南极已发现高浓度的合成有机化合物，如滴滴涕和多氯联苯。

另外一个途径是有机物渗入土壤，最终进入地下含水层。例如施用农药，这些农药慢慢渗入土壤。废物填埋场附近也发现有高浓度的合成有机化合物，并最终污染了附近的水源。所有这些潜在的污染源最终都导致水源的污染，也同样污染了在水中生存的鱼和其他动物。这些鱼和动物，作为人的食物，把污染物最终转移到人体内。

就在最近，又有推测这些类雌性激素化合物可能还会引起其他健康危害。过去70年美国妇女的乳腺癌的发病率持续上升，据估计美国每9个妇女就有1人有患这种恶性疾病的可能。引起乳腺癌的一个因素是雌性激素的浓度过高，雌性激素浓度越高，患乳腺癌的风险越大。科学家正在研究类雌性激素化合物是否对乳腺癌的发生有一定的贡献。

动物试验表明胚胎与雌性激素接触后刺激前列腺和子宫的发育。美国越来越多的前列腺癌的发生是否与类雌性激素化合物的广泛污染有关呢？越来越多的年轻妇女发生子宫内膜异位是否也由此而引起呢？子宫内膜异位是指子宫组织出现在子宫外的腹腔。美国共有500万妇女受此影响，引起剧烈疼痛并导致不育。

更令人感兴趣的是这些类雌性激素化合物是否对脑部组织有影响。几项研究都发现在怀孕时经常食鱼的妇女生下的小孩容易发生智力障碍、注意力不集中和多动症等疾病，据推测可能因为鱼体内含有高浓度的类雌性激素化合物。这种推测可靠吗？

1998年华盛顿特区的世界水资源研究所发布了一份报告，指出在过去的几十年里北美和西欧的工业化国家初生婴儿的性别比例发生了很大变化。男性婴儿的比例越来越低，这与20世纪60年代在太平洋海岸生长的鸟类性别比例发生变化的现象有相似性。

这些问题都还需进一步证实，但它们已说明如果在关键的环节受到合成有机化合物的污染，将给我们带来长期的、严重的后果。

1.2.5 水质与地方病

地方病与水质的关系是一个非常典型的问题。由饮用水所导致的地方病是由于饮用水中某些微量元素过多或严重缺乏而引起的地方性非传染性疾病。这些化学元素是人体中激素、