

[国家“~~八六三~~”高技术研究发展计划资助项目 (~~国科发管字[1996]512号~~)]

[国家科技攻关计划重大资助项目 (~~国科发管字[1996]512号~~)]

饮用水消毒技术

吴一蓁摇高乃云摇乐林生摇编著



化学工业出版社

环境·能源出版中心

·北京·

前 言

饮用水消毒是常规水处理工艺的最后一道安全保障工序，对于保证用水安全具有重要意义。

本书综述了近年来饮用水消毒的理论和技術，主要包括以下内容：

总论——叙述水中的病原体、控制指标和饮用水消毒技术概论；

物理消毒技术——概述饮用水的物理消毒法，并介绍紫外线消毒技术；

化学消毒技术——概述饮用水的化学消毒法，并叙述加氯、二氧化氯和臭氧消毒技术。

参加本书编写的还有：上海市水务局吴今明教授级高级工程师，上海市调度监测中心陈国光教授级高级工程师，浙江工业大学严敏教授，上海市自来水市北有限公司高炜工程师。此外参加本书编写并提供相关实验研究工作成果的还有同济大学的徐斌、张巧丽、伍海辉、万蓉芳、曾文慧、贺道红、芮旻和王福连等。

感谢严煦世教授在指导本书写作过程中提出的宝贵意见以及所做的贡献。

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。书中不妥之处，还希望各位同行不吝指正。

编著者

顾 敏 年 愿 月

目 录

第一篇 总论

第一章 饮用水病原微生物及其控制指标	员
第一节 水中的病原体及其传播	员
一、水中常见的病原体	员
二、病原体的传播途径	源
第二节 水质标准中的生物控制指标	缘
一、指示微生物	缘
二、微生物指标的数量测定	苑
三、饮用水水质标准中的微生物指标	愿
四、饮用水生物控制指标的辅助参数	员
第三节 饮用水微生物控制与水质安全	圆
一、历史上因水质问题对人类造成的健康危害	圆
二、微生物控制目标的转化	猿
三、饮用水常规消毒的有效性	源
第二章 饮用水消毒技术概论	苑
第一节 饮用水消毒技术的发展历史	苑
一、饮用水消毒技术的发展历史	苑
二、常用消毒方法的基本特点	怨
第二节 饮用水消毒效率的影响因素	圆
一、消毒效率及其影响因素	圆
二、消毒剂的作用方式	缘
三、消毒方法的选择	苑
第三节 饮用水消毒技术的发展方向	苑
一、饮用水中的氯消毒副产物	苑
二、当前在饮用水消毒领域内的研究工作方向	猿

第二篇 饮用水物理消毒技术

第三章 物理消毒技术概述	猿
第一节 物理消毒的原理和技术特点	猿
第二节 各种物理消毒法	猿
一、加热	猿
二、辐射	猿
三、过滤	源
四、微波辐射	源

摇摇五、电场处理	源
摇摇六、磁场处理	源
摇摇七、超声波处理	缘
摇摇八、压力	愿
摇摇九、紫外线辐射	愿
第四章摇摇紫外线消毒技术	源
摇摇第一节摇摇紫外线的性质和产生	源
摇摇第二节摇摇紫外线消毒技术原理和特点	源
摇摇一、光生化反应动力学	源
摇摇二、紫外线杀菌原理	缘
摇摇三、微生物对紫外线的敏感性	缘
摇摇四、紫外线消毒应用	缘
摇摇第三节摇摇紫外线消毒装置	缘
摇摇一、紫外线源形式	缘
摇摇二、紫外线灯的附属装置	缘
摇摇三、紫外线灯的工作参数	缘
摇摇第四节摇摇紫外线消毒系统设计	远
摇摇一、能量效率	远
摇摇二、紫外线反应器形式	远
摇摇三、紫外线应用相关材料的性质	远
摇摇四、紫外线消毒系统	缘
摇摇五、影响紫外线杀菌的因素	远
摇摇六、紫外线的防护	愿

第三篇摇摇饮用水化学消毒技术

第五章摇摇化学消毒技术概述	远
摇摇第一节摇摇化学消毒的原理和技术特点	远
摇摇第二节摇摇各种化学消毒法	苑
摇摇一、卤素消毒	苑
摇摇二、臭氧消毒	苑
摇摇三、重金属离子消毒	苑
摇摇四、过氧化氢(匀韵 ₂)消毒	苑
摇摇五、过氧乙酸消毒	愿
摇摇六、高铁酸钾消毒	愿
摇摇七、高锰酸钾消毒	愿
摇摇八、表面活性物质消毒	愿
摇摇九、其他有机合成物消毒	愿
摇摇十、羟基自由基消毒	缘
摇摇第三节摇摇化学消毒剂的应用环境	愿
摇摇一、碱、酸和氧化还原电位	愿

摇摇二、化学消毒剂的操作方式	愿苑
第六章摇氯消毒技术	愿源
摇摇第一节摇氯的物理化学特性和制备	愿源
摇摇第二节摇氯消毒的原理、方法和特点	愿猿
摇摇一、氯与水的反应	愿猿
摇摇二、氯与水中杂质的反应	愿源
摇摇三、可获得氯（有效氯）	愿苑
摇摇四、氯消毒的特点和消毒副产物	愿愿
摇摇五、氯的消毒机理	愿员
摇摇第三节摇氯消毒工艺方案	愿圆
摇摇一、余氯量	愿圆
摇摇二、余氯测定方法	愿源
摇摇三、自由性余氯消毒	愿缘
摇摇四、化合性余氯消毒	愿缘
摇摇五、折点氯化消毒	愿愿
摇摇六、过量加氯和脱氯	愿愿
摇摇七、工艺流程上加氯点位置的确定	愿园
摇摇八、氯与其他消毒剂联用	愿员
摇摇第四节摇氯消毒的设备装置	愿员
摇摇一、氯的储存	愿员
摇摇二、加氯设备	愿圆
摇摇第五节摇氯消毒系统设计	愿怨
摇摇一、加氯系统切换方式	愿怨
摇摇二、氯库和加氯间设计	愿怨
摇摇三、加氯系统的控制	愿猿
摇摇第六节摇次氯酸盐及氯化物消毒	愿源
摇摇一、氯化石灰、漂白粉、次氯酸钙和漂粉精	愿源
摇摇二、次氯酸钠	愿缘
摇摇三、有机氯化物消毒剂	愿苑
摇摇第七节摇氨的使用	愿愿
摇摇一、氨的性质	愿愿
摇摇二、氨的应用	愿怨
第七章摇二氧化氯消毒技术	员员
摇摇第一节摇二氧化氯的物理化学特性	员员
摇摇第二节摇二氧化氯制备	员圆
摇摇一、化学法	员圆
摇摇二、电化学方法	员缘
摇摇三、其他方法和稳定的二氧化氯产品	员远
摇摇第三节摇二氧化氯的分析测定	员苑
摇摇一、二氧化氯测定方法概述	员苑

摇摇二、二氧化氯测定方法介绍	员愿
摇摇第四节摇摇二氧化氯消毒的原理和特点	员员
摇摇一、二氧化氯与无机物的反应	员员
摇摇二、二氧化氯与有机物的反应	员圆
摇摇三、二氧化氯的杀灭作用	员圆
摇摇四、二氧化氯消毒副产物	员猿
摇摇五、二氧化氯消毒特点	员源
摇摇第五节摇摇二氧化氯消毒应用	员缘
摇摇一、二氧化氯应用方式和投加量	员缘
摇摇二、水中二氧化氯浓度的控制	员远
摇摇三、二氧化氯消毒设施	员愿
摇摇第六节摇摇亚氯酸钠使用	员怨
第八章摇摇臭氧消毒技术	员圆
摇摇第一节摇摇臭氧的物理化学特性	员圆
摇摇一、自然界的臭氧	员圆
摇摇二、臭氧的基本性质	员圆
摇摇第二节摇摇臭氧的制备	员猿
摇摇一、辐射法	员猿
摇摇二、电解法	员猿
摇摇三、等离子体射流法	员源
摇摇四、紫外线法	员源
摇摇五、电晕放电法	员缘
摇摇第三节摇摇臭氧消毒的原理和特点	员愿
摇摇一、臭氧的杀灭能力	员愿
摇摇二、臭氧的消毒机理	员愿
摇摇三、臭氧的消毒副产物	员怨
摇摇四、臭氧的消毒特点	员员
摇摇五、臭氧与其他处理方法结合消毒	员猿
摇摇第四节摇摇臭氧的分析测定	员源
摇摇一、比色法和吸收光度法	员缘
摇摇二、容量滴定法	员远
摇摇三、电化学法	员苑
摇摇四、其他方法	员苑
摇摇第五节摇摇放电法臭氧发生器	员愿
摇摇一、高压放电臭氧发生器的形式	员愿
摇摇二、臭氧发生器设计的进展	员员
摇摇三、臭氧生产的沿面放电技术	员猿
摇摇第六节摇摇臭氧应用系统	员源
摇摇一、电晕放电法臭氧发生器的供气系统	员源
摇摇二、臭氧应用工艺考虑	员怨

摇摇三、臭氧的投加设备·····	页码
摇摇四、臭氧的接触设备·····	页码
摇摇五、臭氧系统的尾气处理·····	页码
摇摇第七节摇摇臭氧系统中使用的工程材料·····	页码
摇摇第八节摇摇臭氧系统设计·····	页码
摇摇一、臭氧系统设计应考虑的问题·····	页码
摇摇二、臭氧系统设计内容·····	页码
参考文献·····	页码

第一篇总论

第一章 饮用水病原微生物及其控制指标

联合国环境和发展机构指出，人类约有 60% 的疾病与细菌感染有关，其中 25% 以上的疾病是通过饮用水传播的，60% 的人类疾病和 25% 的儿童死亡率与饮用水的水质有关，发展中国家中的 60% 的病例和超过 15% 的死亡人数与不洁净水有联系。平均每年约有 1.8 亿人因饮用不洁净水而发生疾病。在每年 1.2 亿因病死亡的儿童中大约有超过 2500 万人死于水媒传染病。即使是发达国家也无法根除水媒传染病的发生。据世界卫生组织统计，全世界约有 15 亿人不能得到洁净的饮用水，人类要把平均高达 15% 可用于生产的时间消耗在与水有关的疾病上。

图 1-1 显示了儿童死亡率与供水安全之间的关系（据世界卫生组织统计）。

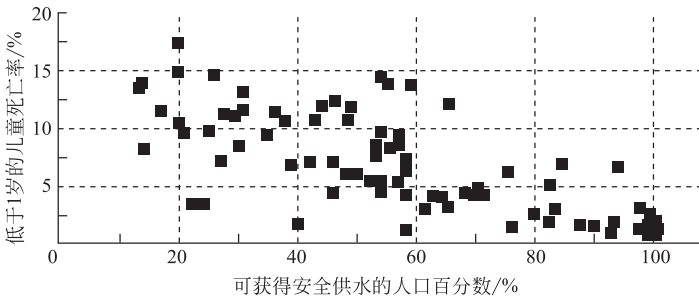


图 1-1 儿童死亡率与供水安全之间的关系

第一节 水中的病原体及其传播

一、水中常见的病原体

能感染人类的生物有以下 3 类，其中一些需要水生的宿主来完成其生命周期，另一些是以水为媒介来感染人类。

细菌

细菌个体的尺寸一般为 0.5-5 μm 的范围，与胶体颗粒大小（0.1-1 μm）相近。通常病原细菌要小些，不超过 5 μm。一般细菌的等电点大都在 5-9 左右，所以在常见的 pH 范围（6.5-8.5）内，水中大多数细菌是带负电的。这个性质使得带负电的消毒剂分子不易接近细菌，从而影响杀菌的效果。革兰氏阴性菌的细胞壁黏肽层外还有脂蛋白、磷脂外膜和脂多糖，能阻挡较大的分子渗入细胞。因此革兰氏阴性菌要比革兰氏阳性菌对消毒剂

的抵抗力强。

有些细菌在细胞壁外有一层黏液性物质，称为荚膜。有荚膜的细菌比较难以用化学药物杀灭。

有的细菌在一定的环境条件下细胞质会浓缩脱水，在细胞内部形成一个由多层膜组成的封闭结构，称为芽孢。芽孢膜含有角蛋白，能结合游离的化学基团，通透性较低，因此芽孢对消毒药剂的抵抗力较强。

由于细菌主要由蛋白质和多糖等有机高分子构成，含有许多能以氢键和水分子结合的极性基团如羟基、氨基和羧基等，因此细菌的水化程度较高，水分子也可以渗透通过细胞壁和细胞膜。

细菌在水中的存在方式可以是独立游离的，也可以是相互聚集形式，或者是粘附在悬浮颗粒上或胶体颗粒上。

细菌的上述特点表明它们与胶体颗粒有一定的相似性，在水中具有稳定性。并且能被处理胶体颗粒的一些物理化学过程如混凝沉淀、过滤等水处理工艺去除。

以水为媒介的传染病细菌包括许多种，主要有以下几种。

(员) 杆菌摇包括伤寒沙门(芽孢杆菌)杆菌、副伤寒沙门杆菌、乙型副伤寒沙门杆菌、细菌性痢疾志贺(杂菌)杆菌、副痢疾志贺杆菌、肠道病原埃希大肠杆菌(细菌)、肠炎耶尔森(再殖性杆菌)菌、绿脓杆菌(芽孢杆菌)、肉毒杆菌(食物中毒)、土拉巴斯德菌(野鼠热或兔热病病原)、结核杆菌、军团杆菌(细菌)、空肠弯曲菌(伤寒杆菌)等。

(圆) 弧菌摇主要是霍乱弧菌(霍乱弧菌)。

(猿) 钩端螺旋体摇感染后引起黄疸出现、流感伤寒、肺炎、脑膜炎和肾功能衰竭等症状。

(源) 其他病菌摇如葡萄球菌可引起化脓性感染、食物中毒等。

原生动动物

对人类致病的原生动动物主要有以下几种。

(员) 各种溶组织变形虫(阿米巴原虫)摇能引起阿米巴痢疾，某些变形虫能引起脑膜炎和肝脓肿等。

(圆) 贾第虫(蓝伯贾第鞭毛虫)摇又称为蓝伯贾第鞭毛虫。贾第虫的滋养体大小长约缘-圆皂,宽缘-员皂,厚圆-源皂。孢囊大小为(员-员)皂伊(缘-怨)皂。贾第虫寄生在人体小肠、胆囊等处,可引起腹痛、腹泻、吸收不良等症状和胆道系统疾病。病原滋养体所引起的腹泻在旅游者中发病率较高,故又称旅游者腹泻。贾第虫孢囊在水中可存活源,在氯化消毒水(含氯缘)中可活圆-猿,在粪便中孢囊的活力可维持缘以上,但在缘或干燥环境中很易死亡。此外,孢囊在蝇类消化道内可存活缘,在蟑螂消化道内经缘仍有活力。

(猿) 隐孢子虫(隐孢子虫)摇虫体大小约圆-远皂,卵囊约源-远皂,孢子缘皂伊缘皂左右。隐孢子虫广泛寄生于动物体内,完成整个生活史不需转换宿主。全部生活史约需缘-员感染后主要引起消化道急慢性腹泻症状,还可引起喉炎、气管炎、肺炎等呼吸道感染,以及胰腺炎、肝炎等。隐孢子虫感染是艾滋病患者主要的致死病因之一。隐孢子虫不容易被一般水厂的过滤工艺去除,有很强的抗氯性,常规浓度的加氯量几乎无法杀灭,而它仅需极少量(一般数个甚至只要一个卵囊)就可能传播

和致病。通常患者感染 2 周以后就大量排泄数量巨大的卵囊，一天可排出 1 万个，而患者每天可排出 1 万个以上的卵囊，连续排出期超过 1 周。隐孢子虫病治疗至今尚无特效药物。

3. 寄生虫 (Parasites)

常见的危害人类的寄生虫有肠道寄生虫如蛔虫、钩虫、绦虫、丝虫，以及肺吸虫、血吸虫 (Schistosoma spp.)、姜片虫 (Fasciola hepatica)、麦地那龙线虫 (Dracunculus medietensis) 等。一般饮用水消毒剂的投加剂量往往难以对寄生虫起作用，即使是对虫卵和幼体。

4. 病毒 (Viruses)

病毒体积要比细菌小得多，大小范围约为 0.02~0.1 μm。病毒外部有蛋白质外壳保护内部的核酸。消毒剂必须进入病毒外壳破坏核酸，才能将病毒杀死。水可传播病人的排泄物中的上百种病毒，包括以下几种。

(1) 肠病毒 (Enteroviruses) 肠病毒在肠壁上繁殖并从粪便中排出，大小约 0.3~0.4 μm。其中主要包括：

① 脊髓灰质炎病毒即小儿麻痹病毒；

② 柯萨奇 (Coxsackievirus) 病毒最初分离于纽约州的悦登镇。除了胃肠炎之外，柯萨奇病毒还能引起无菌性脑膜炎、疱疹性咽喉炎、胸壁痛、手足口病、心肌炎、肺炎、麻痹性脊髓灰质炎等。

③ 肠孤儿病毒 (Echovirus, 埃可病毒) 可引起无菌性脑膜炎、红疹、感冒、胃肠炎、类脊髓灰质炎、肺炎、婴幼儿腹泻和疱疹性咽喉炎等。

④ 非特异性的肠病毒可引起肺炎、细支气管炎等呼吸道疾病、急性出血性结膜炎、致死性脑炎、麻痹性脊髓灰质炎等。

⑤ 甲型肝炎 (Hepatitis A virus) 病毒是引起甲型肝炎的病原，直径 0.026 μm。发病潜伏期 15~45 天。病毒在潜伏期的后期和发病早期从粪便排出，有传染性。通过水传播的肝炎病毒还有戊型肝炎病毒。

(2) 呼肠孤 (Rotavirus) 病毒呼肠孤病毒类含有双链 RNA，有双层蛋白荚膜。其中能感染人畜的病毒主要有轮状病毒 (Rotavirus)，可感染十二指肠，引起肠炎，是导致婴儿腹泻死亡的主要原因。

(3) 腺病毒 (Adenovirus) 腺病毒直径约为 0.08~0.1 μm，经呼吸道和消化道传播。可引起急性呼吸道感染、咽结膜热、婴幼儿肺炎、婴幼儿胃肠炎、流行性角膜结膜炎、扁桃体和增殖腺潜伏感染，以及禽畜感染等。

(4) 乳多泡病毒 (Cowpox virus) 乳多泡病毒直径 0.3~0.4 μm，其中包括在自然条件下可致肿瘤的乳头状瘤病毒，可感染人畜，产生疣和乳头状瘤。

(5) 小圆病毒 (Poliovirus) 小圆病毒类直径约 0.3~0.4 μm 左右，可感染人、畜、禽和昆虫，有专一性。其中包括脊髓灰质炎病毒 (首次在美国加利福尼亚地区分离)，感染儿童和成人后，患者会出现恶心、呕吐和腹泻等症状。

5. 真菌 (Fungi)

水中有寄生性真菌，一般它们并不通过水感染人类。但一些真菌可通过公共浴场和泳池形成皮肤交叉感染，如一些霉菌病等。

当微生物被某种消毒处理工艺杀死以后，一般其分解产物可能仍存在于水中。这种分解产物通常对水的大多数用途没有影响，但如将含有这种产物的水用作医用注射稀释液时，会

引起实验动物或人的体温的升高。因此这种分解产物被称作“热原质”，是一种内毒素。有的消毒工艺（如膜法等）可以去除水中的热原质。

二、病原体的传播途径

由于对生活环境的不适应，病原体在进入天然水体以后会逐渐死亡。但它们仍能在水中存活一定的时间，在此期间仍然有感染能力。参见表 1-1。

表 1-1 一些病原体在水中的存活时间

病原体	自来水	河渠水	井水	污水
脊髓灰质炎病毒	1-2 周	1-2 周		1-2 周
轮状病毒		1-2 周		1-2 周
脊髓灰质炎病毒	1-2 周	1-2 周		1-2 周
甲型肝炎病毒			1 周	
大肠杆菌	1-2 周	1-2 周		1 周
粪链球菌		1-2 周		1 周
伤寒杆菌	1-2 周	1-2 周	1 周	1-2 周
副伤寒菌	1-2 周	1-2 周		1-2 周
痢疾杆菌	1-2 周	1-2 周	1 周	1-2 周
霍乱弧菌	1-2 周	1-2 周	1 周	1-2 周
土拉巴斯德菌	1 周	1-2 周	1 周	1-2 周
炭疽杆菌芽孢		数十年		
结核杆菌		1-2 周		1-2 周
钩端螺旋体		1 周	1 周	1-2 周

一般当水温较低时微生物在水中的存活时间较长。

水媒传染病以伤寒、霍乱最为直接。副伤寒、沙门氏杆菌病、杆菌性痢疾（志贺氏细菌性痢疾）、出血螺旋体病等比较间接一些。出血螺旋体病可通过接触污染的水而被感染，宠物和老鼠也能成为感染源。肠道病原埃希氏大肠杆菌（E. coli）疾病是 20 世纪 50 年代中在美国发现的。水媒传染还与各种消化道感染、结核病、皮肤感染等有关系。

病毒所需的感染剂量要比细菌少得多。因此当水中含有致病性肠道病毒时，对人类的感染危害性往往要比致病性肠道细菌严重。此外，肠病毒对一般消毒剂的耐受性也比埃希氏大肠杆菌强。

以水为媒介的原生动物病例在过去并不突出。以往认为宿主排出的病原体数量较少，而且病原体个体较大（一般约 100 μm），容易被水处理工艺去除。但是近年来因病原虫污染自来水的案例时有发生，并且在许多先进国家也未能幸免。因此人们逐渐对原生动物导致的水媒疾病加以重视，认识到采用一般传统的饮用水处理和消毒工艺来根除这些病原体是很不容易的，而且这些病原体的感染剂量往往极小。

根据美国近年来的统计，在人类通过长期实践掌握了水媒传染病原细菌的有效控制手段以后，饮用水发生卫生事故次数的主要的致病源已经向病原原生动物转化，致病性的原生动物已在发达国家中逐渐上升为占主要地位的水媒传染病原。美国环保总署、日本、荷兰等国都正在考虑将某些病原原生动物作为饮用水的卫生学指标之一。英国首先在 1989 年要求从有隐孢子虫风险的水源取水的供水企业对出厂水进行隐孢子虫的连续监测，同时对饮用水中的隐孢子虫提出强制性限制标准，我国建设部《城市供水水质标准》（GB 5749-2006）中源

已经提出了与病原虫相关的项目。

一般剂量的消毒过程不能杀灭寄生虫及其虫卵。但普遍认为有效的水处理工艺（如储存、絮凝沉淀和过滤）可以将其去除。

表 1-1 列出了在供水系统中常见的主要水媒介病原体。

表 1-1 供水系统中的主要水媒介病原体（据宰均的有关资料）

病原体	健康影响	水中存活期 ^①	抗氯性	传染性	动物源
细菌					
空肠弯曲菌和大肠弯曲菌	大	中	低	中	有
军团菌	大	可繁殖	低	中	否
致病性埃希大肠杆菌	大	中	低	低	有
肠出血型埃希大肠杆菌	大	中	低	高	有
绿脓杆菌	中	可繁殖	中	低	否
沙门伤寒菌	大	中	低	低	否
其他沙门菌	大	可繁殖	低	低	有
志贺菌	大	短	低	中	否
霍乱弧菌	大	短	低	低	否
肠炎耶尔森菌	大	长	低	低	有
病毒					
腺病毒	大	长	中	高	否
肠病毒	大	长	中	高	否
甲型肝炎病毒	大	长	中	高	否
戊型肝炎病毒	大	长	中	高	可能
轮状病毒	大	长	中	高	否
类诺沃克病毒和类札幌病毒	大	长	中	高	可能
原生动物					
棘变形虫	大	长	强	高	否
隐孢子虫	大	长	强	高	有
卡晏环孢子球虫	大	长	强	高	否
溶组织变形虫	大	中	强	高	否
贾第虫	大	中	强	高	有
福氏耐格里阿米巴	大	可繁殖	强	高	否
刚地弓形虫	大	长	强	高	有
寄生虫					
麦地那龙线虫	大	中	中	高	否
血吸虫	大	短	中	高	有

摇摇^① 短：少于 1 星期；中：1 星期 ~ 1 个月；长：大于 1 个月。

第二节 水质标准中的生物控制指标

一、指示微生物

指示微生物必须具备的特点

水中的致病微生物有很多种，这些微生物的浓度很低，测定手续复杂费时，工作人员还有被感染传播的危险，因此在实际水质检验中不可能对所有致病微生物一一分离鉴定。有必要寻找具有一定代表性的指示生物控制指标来衡量饮用水的消毒效果。这些指示微生物必须具备下列特点：

- ① 在病原体可能存在的地方，指示微生物也存在（最好指示微生物的数量与病原体数量成正比）；
- ② 指示微生物存在的数量应当等于或大于病原体数量；
- ③ 指示微生物为生活污水污染所特有，在天然水源中不存在；
- ④ 指示微生物对自然水环境和一般水处理消毒的耐受能力应当比病原体强，即要求一旦指示微生物不存在或被灭活时，病原体也不存在或被灭活；
- ⑤ 指示微生物本身没有致病性；
- ⑥ 可用简便、迅速和低廉的方法检测。

目前尚未找到一种普遍适用于水质监测的微生物指标。下列常用的指示微生物各自有其优缺点，适用于不同的条件。通常遇到的困难是如何根据具体情况选择一种或数种合适的指示微生物。

常用指示微生物

(员) 大肠菌群，总大肠菌 (精道染能早负责, 贼岩碧色染能) 摇大肠菌群细菌或大肠产气菌是一类柱状或杆状菌，泛指一切杆状、无芽孢、需氧或兼性厌氧的革兰阴性菌，一般包括埃希氏菌属大肠杆菌、产气杆菌、枸橼酸盐杆菌和副大肠杆菌，能在胆汁盐、发酵的葡萄糖和乳糖的环境中生长并产酸产气。有特异性，比较容易鉴别。

大肠菌群中有少数几型能引起人类的腹泻，分别称为产肠毒素型、肠致病型和肠侵袭型。有些类型对畜禽有致病性，已经引起人们的广泛关注。某些大肠菌种群能在自然水环境中繁殖。

(圆) 埃希菌属大肠杆菌 (耘精染能碧色科精能) 摇在大肠菌群中，埃希菌属大肠杆菌是用来标志被消化道污水污染的最常用的指示细菌，菌体大小 (圆源~ 圆苑) μ 皂伊(圆园~ 猿园) μ 皂。生长适宜的温度为猿益，在 源缘益下培养 圆原能使生化吡啉试验呈阳性。埃希菌属大肠杆菌在自然界的生存力较强，在一般消化道的的生活条件下对人体无害。

(猿) 粪源大肠杆菌 (零碧岩碧色染能) 摇粪源大肠杆菌是在 (源缘缘依圆圆) 益的温度下培养起来的，又被称做耐热大肠杆菌 (贼染能碧色染能科精能)。它是大肠菌群体中的某些类别，通常在自然环境中不容易繁殖。其中的 怨缘属于在 源益下培养的埃希大肠杆菌。来自温血动物粪便的大肠菌群能在 (源缘缘依圆圆) 益下生长繁殖，而其他来源，如冷血动物和来自土壤的大肠菌群却不能在这个温度下生长。所以采用 (源缘缘依圆圆) 益的温度培养试样，可以比较可靠地确定这些繁殖起来的大肠菌来自温血动物的消化排泄物，污染指示性更为明确。

我国生活饮用水检验规范所采用的检测大肠杆菌的方法是使用乳糖培养基，培养温度为猿益。这样检出的大肠菌群能优先培养出寄生在人体内的埃希菌属大肠杆菌和产气杆菌。

(源) 粪链球菌 (零碧岩碧色染能科精能; 源缘缘依圆圆) 摇粪链球菌又称肠道链球菌，是一类不容易在水环境中繁殖的革兰阳性菌，比粪大肠菌耐受力高。它在温度高达 源益时仍能存活，其自然消亡率与大肠菌相仿。在找不到大肠菌的情况下也常用它来确认消化道污水污染。但是粪链球菌的某些种有可能来自动物排泄物，粪链球菌的数量也比埃希大肠杆菌少。

(缘) 亚硫酸还原梭菌 (泽碧岩碧色染能科精能) 摇亚硫酸还原梭菌属于梭状芽孢杆菌属，是一类革兰氏阳性嫌气芽孢细菌。其代表性菌株是致黑梭状芽孢杆菌 精染能碧色染能科精能 远

其他常见的还有产气荚膜梭菌、肉毒梭菌、破伤风梭菌等。这类细菌的主要特征是能将亚硫酸盐还原为硫化物，其芽孢在水环境和水处理条件下要比绝大多数包括病毒在内的病原体耐受性强，比大肠菌存活期长。由于亚硫酸盐还原梭菌是寄居在人类和动物肠道内的正常菌种，因此能指示较早的排泄物污染，有人建议将其作为长期污染或间断污染的指示菌，也可将其作为病原虫和病毒的消毒指标。但亚硫酸还原梭菌一般数量比大肠杆菌少，对亚硫酸还原梭菌的检测也比较复杂耗时，测定费用较高。并且由于亚硫酸还原梭菌可能存活繁殖，有时会得出不正确的结论。

(远) 大肠杆菌噬菌体 (噬菌体) 是一种以细菌体为宿主的病毒，具备病毒的特点，对水环境和消毒剂的耐受性也和其他致病性病毒相似。对大肠杆菌噬菌体的测定比较简单，它在水中的数量一般要比致病性病毒高几个数量级，因此被一些研究者建议作为消化道致病性病毒的污染控制指标。

一般在人类的排泄物和生活污水中，大肠菌要比常见的消化道致病菌数量多而存活力强，根据配制的研究，某些病菌在井水中存活时间的长短顺序大致为：

痢疾志贺杆菌 粪链球菌 大肠杆菌 副伤寒菌 沙门菌 霍乱弧菌 伤寒杆菌

而据研究，在远时一些微生物对氯的耐受顺序大致如下：

大肠杆菌噬菌体 脊髓灰质炎病毒 呼肠孤病毒 大肠杆菌 大肠杆菌噬菌体 VI 分枝杆菌

当变化的时候，上述顺序会有所变动，可能是由于微生物表面带电和消毒剂性质发生变化的综合结果。

大肠杆菌常被利用来指示水被消化道排泄物污染的程度。采用大肠杆菌作为指示参数，还因为大肠杆菌对一般消毒剂的耐受能力较常见的肠道致病菌为高（例如霍乱弧菌、伤寒杆菌、痢疾杆菌、布氏杆菌和钩端螺旋体等）。所以可以在一定程度上衡量供水系统的卫生学质量。

取水水源中如无大肠菌，可理解为水源未受粪便污染。但对于自来水管的出厂水，由于消毒灭活各类微生物要求的浓度值以及杀灭作用时间不同，病毒和寄生虫的生存规律也和大肠杆菌不同，因此大肠菌符合标准并不等于病毒指标和病原虫指标是安全的，大肠菌作为饮用水生物安全性的控制指标实际上并不全面，它并不能指示隐孢子虫、贾第虫和病毒的安全水平。因此在有可能产生病毒和病原虫污染的水体中，采用大肠杆菌指标来指示微生物被杀灭的情况往往不敏感，有必要采取其他检测技术，或者综合其他能保证消毒效率的指标（例如浑浊度、消毒剂剩余浓度、接触时间和混合情况等）做出判断。

二、微生物指标的数量测定

饮用水的微生物指标常用每升水中的细菌数表达。常用的数量测定方法有以下两种。

多管培养法

多管培养法是取一定量的水样，按照培养大肠菌的特定方式进行培养。若在所培养的水样中观察到有大肠菌（以发酵产气等现象为特征）则该水样为阳性结果，否则为阴性结果。根据每次测定中水样阴性结果和阳性结果的个数和取样体积，就可以在一定的统计意义上判定水中的大肠菌数值。这个细菌数具有概率含义，称为“最可能数目”（最可能数），

其确定方法参见表 员

表 员 摇大肠菌数的 酝子羣值确定

发酵管样品测试结果数目		每 员 摇水样中的大肠菌的 酝子羣值	
阴性结果	阳性结果	检测 缘个 员 摇水样	检测 缘个 员 摇水样
缘	园	约 园	约 园
源	员	园	园
猿	圆	缘 猿	园 猿
圆	猿	怨	园 怨
员	源	员 源	员 源
园	缘	跃 缘	跃 缘

一般而言多管培养法繁琐费时，占用实验器皿和设备较多。但是适用水质的条件较广，至今仍作为检测大肠菌数量的主要标准方法。

微孔滤膜法

微孔滤膜法是取一定量的含菌水样，用孔径为 园 缘 皂的微孔滤膜过滤，再将滤膜所浓集的细菌贴在装有鉴别培养基的特殊培养皿上培养计数。

微孔滤膜法测定所需时间和使用的设备材料要比多管培养法少得多，获得的细菌数值比较直接。但是不能用于悬浮物含量较高的水，水中的藻类和其他微生物在含量较高时对结果有干扰，水中的毒物也可能干扰测定。在检测大肠杆菌时，一般仅在结果与标准多管培养法相同的情况下才可以进行替代。

三、饮用水水质标准中的微生物指标

中国

(员) 我国卫生部颁布的生活饮用水水质卫生规范参见表 员

表 员 卫生部颁布的生活饮用水水质卫生规范 (员) 的部分细菌学指标

项 摇 目	指标值 (猿 皂)
细菌总数	员
总大肠菌群	园
粪大肠菌群	园

摇饮用水生物控制指标的辅助参数为：自由性余氯（适用于加氯消毒，采用其他消毒法则可不考虑），投药后与水接触 猿 皂 的浓度 \geq 园 皂 皂，管网末梢水 \geq 园 皂 皂

生活饮用水水质卫生规范中还规定，城市集中供水的水质检验采样点数，一般应按供水人口每 园 万人设一个采样点计算。供水人口超过 员 园 万时，采样点数可酌量减少。人口在 园 万以下时应酌量增加。全部采样点中应有一定比例布置在水质易受污染的地点。每一采样点每月采样检验细菌学指标应不少于两次。对于出厂水必须每天测定一次细菌总数、总大肠菌群和粪大肠菌群，并适当增加自由性余氯的测定频率。

(圆) 我国建设部 园 缘 年 远 月 员 日实施的城市供水水质标准 (悦 猿 远 一 圆 缘) 参见表 员 和表 员

表 1 城市供水水质标准 (GB 5749-2006) 的常规细菌学指标

项 目	指 标 值
细菌总数	≤ 1000 CFU/mL
总大肠菌群	≤ 3 MPN/100 mL
耐热(粪)大肠菌群	≤ 3 MPN/100 mL
出厂水的余氯(适用于加氯消毒) ^①	与水接触 30 min 后游离氯 ≥ 0.3 mg/L 或与水接触 30 min 后总氯 ≥ 0.5 mg/L
管网末梢水的余氯(适用于加氯消毒) ^①	总氯 ≥ 0.3 mg/L
二氧化氯(适用于二氧化氯消毒) ^①	与水接触 30 min 后出厂游离氯 ≥ 0.3 mg/L 管网末梢水的总氯 ≥ 0.3 mg/L 或二氧化氯余量 ≥ 0.1 mg/L

注① 饮用水生物控制指标的辅助参数。

表 2 城市供水水质标准 (GB 5749-2006) 的非常规细菌学指标

项 目	指 标 值
粪链球菌群	≤ 10 MPN/100 mL
蓝氏贾第鞭毛虫	≤ 1 CFU/100 L
隐孢子虫	≤ 1 CFU/100 L

注① 考虑到测定较困难,人员训练和设备投入较大,故该项指标延期一年即自 2007 年起实施。

城市供水水质标准 (GB 5749-2006) 还规定,水质采样点应分别设在水源取水口、水厂出水口、居民经常用水点及管网末梢。管网的水质检验采样点的数目与卫生部颁布的生活饮用水水质卫生规范 (GB 5749) 的规定相同。水质测定的频率见表 3。

城市供水水质标准 (GB 5749-2006) 规定,当检验结果超标时,应立即重复测定,并增加检测频率。若水质检验结果连续超标时,应查明原因和采取有效措施,并及时报告城市供水行政主管部门和卫生监督部门。

表 3 城市供水水质标准 (GB 5749-2006) 规定的水质测定频率

水 样 类 别	检 验 项 目	检 验 频 率
水源水	摇细菌总数、总大肠菌群、耐热大肠菌群	摇每日不少于一次
	摇细菌总数、总大肠菌群、耐热大肠菌群	摇每日不少于一次
出厂水	摇粪链球菌群、贾第虫、隐孢子虫	摇一般地表水源每半年检测一次,地下水源每一年检测一次,若指标有可能阳性,则每月不少于一次
	摇余氯、细菌总数、总大肠菌群	摇每月不少于两次
管网水	摇余氯、细菌总数、总大肠菌群、耐热大肠菌群,以及有可能呈阳性的粪链球菌群、贾第虫、隐孢子虫指标	摇每月不少于一次

美国

(1) 美国地表水处理法规 (1975) 规定采用地表水的处理系统必须做到贾第虫和病毒被灭活。认为如果贾第虫和病毒被灭活,军团菌也能得到控制。

(2) 美国国家环保局颁布的总大肠菌规则 (1976) 对公共供水系统的大肠杆菌测试的取样方法和测定结果处理方式做出了详尽严格的规定,见表 4。

(3) 在总大肠菌规则 (1976 年版) 中规定若例行测试取样的总大肠菌结果为阳性,则该水样应做粪源大肠杆菌或者埃希氏大肠杆菌测定;