

## 第7章 微生物问题

饮用水被人或动物粪便污染后,对健康最大的危险就是水中的微生物。当然,其他暴露源和暴露途径也很重要。

本章主要讨论可通过饮用水、吸入饮用水飞沫或接触饮用水等途径引起疾病的病原体以及与其有关的控制措施,这些病原体致病的证据是通过暴发疾病的研究,或非暴发情况下的前瞻性研究得到的。

### 7.1 与饮用水有关的各种微生物危害

由致病性细菌、病毒和寄生虫(如原虫和蠕虫)引起的传染病是与饮用水有关的对健康最常见、最普遍的威胁。这些传染病对公众健康的危害程度取决于病原体致病的严重程度、传染性及受累及的人群。

供水安全的破坏可引起大规模污染,并可能导致可以检测到的疾病暴发。其他方面的破坏和一些少量但多次重复的污染,可能会导致严重的散发疾病,但未必与公共卫生监督的饮用水水源有关。

量化的危险性评估可能有助于对发病危险的了解和处理,尤其是涉及到散发疾病时。

#### 7.1.1 水源性疾病

可通过污染饮用水传播疾病的病原体多种多样。表 7.1 和图 7.1 提供了与饮用水供应处理相关的病原体的综合信息。其谱型会随各种变异因素的变化而改变,如人群和动物种群的增加,废水使用量的逐步上升,生活方式和医疗干预措施的改变,人群的迁移和旅游,新病原体和已有病原体的突变或重组的选择压力等等。个体的免疫性也有很大差异,或是因为与一种病原体接触获得了免疫性,或是受一些因素,如年龄、性别、健康状况和生活条件等的影响而有所改变。

对于经粪-口途径传播的病原体,饮用水只是一种传播载体。食物、手、用具和衣服的污染也可能起作用,在家庭卫生和健康状况较差时更是如此。改进水质量和水供应、改进排泄物处理方式和改善一般卫生状况都是降低经粪-口途径传播的疾病的重要措施。

饮用水安全不只是与粪便污染有关,有些微生物(如军团菌)在供水管道系统中生长,而其他一些(如麦地那龙线虫)则在水体中生长,他们可引起疫情暴发和一些散发病例。另一些微生物(如有毒的蓝藻)则需要特殊的处理方法,这一问题将

最常见和最广泛存在的健康危害:与饮用水有关的由致病性细菌、病毒、原虫和寄生虫引起的传染病。

在本准则的其他部分中叙述(见 11.5 节)。

表 7.1 水源性疾病病原体及其在水供应中的重要意义

病原体		对健康重要性	在供应水中持久性 <sup>a</sup>	对氯的耐受力 <sup>b</sup>	相对传染性 <sup>c</sup>	重要的动物源
<b>细菌</b>						
Burkholderia pseudomallei	类鼻疽伯克霍尔德氏菌	低	可繁殖	低	低	否
Campylobacter jejuni, E.coli	空肠弯曲杆菌, 大肠杆菌	高	中等	低	中等	是
Escherichiacoli-Pathogenic <sup>d</sup>	致病性埃希氏大肠杆菌 <sup>d</sup>	高	中等	低	低	是
E.coli-Enterohaemorrhagic	肠出血性大肠杆菌	高	中等	低	高	是
Legionella spp	军团菌属	高	繁殖	低	中等	否
Non-tuberculous mycobacteria	非结核型分支杆菌	低	繁殖	高	低	否
Pseudomonas aeruginosa <sup>e</sup>	绿脓杆菌 <sup>e</sup>	中等	可繁殖	中等	低	否
Salmonella typhi	伤寒杆菌	高	中等	低	低	否
Other salmonellae	其他沙门氏菌	高	可繁殖	低	低	是
Shigella spp.	志贺氏菌属	高	短期	低	中等	否
Vibrio cholerae	霍乱弧菌	高	短期	低	低	否
Yersinia enterocolitica	小肠结肠炎型耶尔森氏菌	高	长期	低	低	是
<b>病毒</b>						
Adenoviruses	腺病毒	高	长期	中等	高	否
Enteroviruses	肠道病毒	高	长期	中等	高	否
Hepatitis A	甲型肝炎病毒	高	长期	中等	高	否
Hepatitis E	戊型肝炎病毒	高	长期	中等	高	可能
Noroviruses and Sapoviruses	类诺沃克病毒和札幌病毒	高	长期	中等	高	可能
Rotavirus	轮状病毒	高	长期	中等	高	否
<b>原虫</b>						
Acanthamoeba spp	棘阿米巴属	高	长期	高	高	否
Cryptosporidium parvum	微小隐孢子虫	高	长期	高	高	是
Cyclospora cayetanensis	环孢子虫	高	长期	高	高	否
Entamoeba histolytica	痢疾阿米巴	高	中等	高	高	否
Giardia intestinalis	肠贾第虫	高	中等	高	高	是
Naegleria fowleri	福氏耐格里阿米巴	高	可繁殖 <sup>f</sup>	高	高	否
Toxoplasma gondii	刚地弓形虫	高	长期	高	高	是
<b>寄生虫</b>						
Dracunculus medinensis	麦地那龙线虫	高	中等	中等	高	否
Schistosoma spp.	血吸虫属	高	短期	中等	高	是

注: 流行病学调查和病史资料已证实了上述病原体经水传播这一事实, 部分致病事例显示, 在符合条件的宿主身上的确引发了相应的疾病。对接触已知数量病原体的志愿者们进行的实验研究提供了有关信息。由于大多数研究针对成年健康志愿者, 所以这些数据只适用于部分接触病原体的群体, 至于外推到更敏感人群, 则有待进一步的研究。

a 在 20°C 水中, 传染期的检测时段: 短期, 少于一周; 中等, 一周至一月; 长期, 一月以上。

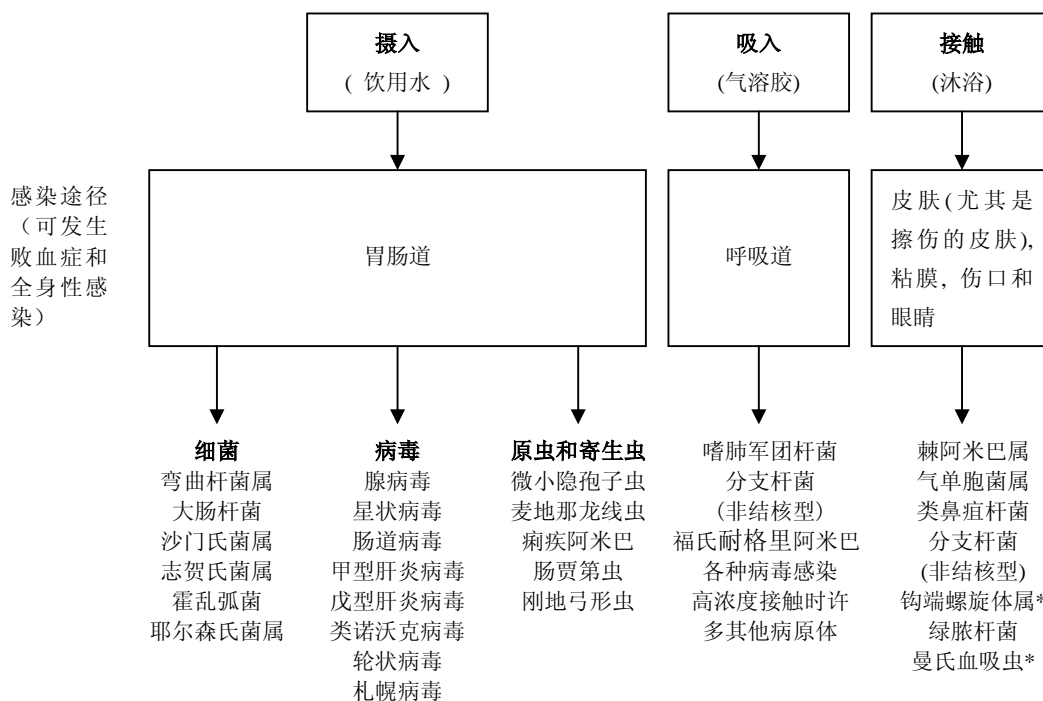
b 按常规剂量和常规接触时间进行水处理时, 处于传染期的病原体游离分布于水中。中等耐力指病原体可能没有被完全破坏。

c 来自志愿者试验或流行病学依据。

d 包括肠道病原体、肠道产毒性及肠道侵袭性病原体。

e 主要感染途径为皮肤接触, 但也可能经口感染免疫力低下者或癌症病人。

f 在温水中。



\* 主要是接触高污染的地表水源。

图 7.1 水源性疾病病原体的传播途径和举例

吸入水的微滴(气溶胶)可引发某些严重疾病,这是由于水微滴中温度适宜,且有营养物质存在,病原体可以繁殖。这些疾病包括由军团菌属引起的军团病和退伍军人病,以及由福氏耐格里阿米巴[原发性阿米巴脑膜脑炎(PAM)]和棘阿米巴属(阿米巴脑膜炎,肺部感染)引起的疾病。

血吸虫病(裂体吸虫病)是热带和亚热带地区的一种主要寄生虫病,其传播过程是由感染的淡水螺释放出血吸虫的幼虫尾蚴,尾蚴再穿透皮肤使人感染。接触水体是主要的传播途径。随时可获得的安全饮用水有助于预防此病,因为减少了与污染水源的接触(如打水回家或用这些水沐浴或洗衣)。

可以想象,被土壤和粪便污染的不安全饮用水也可作为其他寄生虫感染的载体,如肠袋虫病(结肠小袋纤毛虫)和某些蠕虫(片吸虫,姜片虫,棘球绦虫,裂头绦虫,蛔虫,鞭虫,弓形虫,板口线虫,钩虫,类圆线虫和猪带绦虫)。但是在大部分情况下,通常的传播方式并不是喝了污染的饮用水,而是食用了被粪便污染了的食物或是带有粪便的土壤(猪带绦虫病便是食用了含囊尾蚴的生猪肉所致)。

在自然环境中存在的其他病原体也能在部份或全部免疫功能受损的人群中引发疾病,如老人或幼儿、烧伤或有大面积创伤的病人、接受免疫抑制疗法,或是获得性免疫缺陷综合症(艾滋病)患者。如果这些人饮用或沐浴的水中含有足

够数量的病原体，便可引起皮肤和眼、耳、鼻、喉粘膜的各种感染。这些病原包括绿脓杆菌、黄杆菌、不动杆菌、克雷伯氏菌、沙雷氏菌、气单胞菌和某些“生长缓慢”的非结核性分支杆菌等（见 1.3 节支持性文件《水中的病原分枝杆菌》）。

表 7.1 列举了可传染人的大多数病原体(第 11 章中有更详细的描述)，这些病原体在世界各地分布广泛，但其中有些则是区域性的，如引起霍乱或麦地那龙线虫病暴发的病原体，消灭麦地那龙线虫是世界卫生大会(1991)已确定的一个目标。

在表 7.1 中，可能还有一些可经水传播的病原体没有提到，这是因为一些新的或以前不知道的经水传播的病原体不断被发现，所以该类病原体的数目正在不断增长（见 WHO 2003a）。

### 7.1.2 微生物在水中的持续存留和生长

典型的水源性病原体可在饮水中持续存留，但大部分不能生长和繁殖。如埃希氏大肠杆菌和弯曲杆菌这样的微生物可在淤泥中蓄积，并在水流增加时迁移于水中。

离开宿主后，大部分病原体丧失活力和感染力。其衰减速度常呈指数增长，在一段时间后则检测不到病原体了。持续存留能力低的病原体必须迅速找到新的宿主，并且常常是通过人与人接触，或是因个人卫生状况不佳而传播，而不是经饮用水传播。持续存留能力受几种因素影响，其中温度是最重要的。高温时衰减速度通常要快一些，高温的作用可能是由于阳光中紫外线辐射对水表层病原体的杀灭效应。

最常见的水源性疾病病原体或寄生虫都具有高度感染力，能在水中繁殖，或在体外有很高的抗衰减能力。

病毒和休止期的寄生虫(包囊，卵袋，卵)均不能在水中繁殖。相反，生物降解产生相对高浓度的有机碳，加上暖和的温度和低残留氯，却能让某些微生物在地表水及供水系统中得以生长，如军团菌、霍乱弧菌、福氏耐格里阿米巴、棘阿米巴和其他一些有害生物（见 1.3 节支持性文件《异养菌平皿计数（HPCs）和饮水安全》）。

水中微生物的特性可迅速并大范围地发生改变。病原体含量的骤增可显著增加疾病发生的危险性，并可引起水源性疾病的暴发。对微生物的水质监测通常不可能及时提供信息，因而管理部门无法采取措施及时阻断不安全的水源。

### 7.1.3 公共卫生方面

水源性疾病的暴发可能会波及大量人群，在开展和实施饮用水质量监督方面，首要任务便是监控这些传染病的暴发。有证据表明，在没有突发疾病发生的情况下，合格的饮用水有助于使患病率处于本底状态，因此整个社区中监督饮用水质量的目标应针对水源性疾病的控制。

经验表明，在社会经济发展处于不同水平的国家，水源性疾病暴发的监测系

统通常都是无效的，未查出暴发并不保证他们不存在，也不表明饮用水一定是相当安全的。

已知经污染饮用水传播疾病的某些病原体可导致严重疾病，甚至危及生命。如伤寒，霍乱，传染性肝炎[由甲型肝炎病毒（HAV）或戊型肝炎病毒（HEV）引起]，以及志贺氏属菌和埃希氏大肠杆菌 0157 引起的疾病。其他病原体感染的后果一般不太严重，如自限性腹泻(类诺沃克病毒，隐孢子虫引起)。

接触病原体的后果对每一个体甚至对不同群体来说都是不一样的。重复接触同一病原体可导致获得性免疫，得病的概率可能会低一些，病情也会轻一些。人体对某些病原体(如 HAV)的免疫力是终身的，而对另一些病原(如弯曲杆菌)可能只有几个月到几年。此外，居民中有一些敏感的群体(如幼儿、老人、孕妇和免疫受损者)可能得病的概率会更高或病情会更重，甚至死亡。但并不是所有病原体对各个敏感群体都一定会有更大的影响。

并非所有感染了病原体的人都会发生有症状的疾病。无症状感染人群(包括带菌者)的比例因病原体不同而异，也取决于该群体的特性，如免疫状况。带菌者、无症状感染者和有症状感染者均可能在继发传播病原体中起作用。

## 7.2 健康目标的制定

### 7.2.1 针对微生物危害的健康目标

在 2.1.1 节和第 3 章已描述了制定健康目标的一般要求。

从流行病学和危险性评估两方面均可得到有关健康危险性的信息，而从这两方面来的信息通常是作为主要信息资源的一种补充。

用“健康结果”方法也可制定健康目标，条件是认为水源性疾病负担相当严重，干预措施的效果可以监测得到，即可以见到经饮用水传播疾病的下降情况。

当经饮用水传播疾病发生的病例数太少，或很难通过公共卫生监测及开展分析流行病学研究直接进行测定时，危险性评估是非常有用的。

在针对许多病原体制定健康目标时，来自流行病学和危险性评估两方面的数据虽然不多，但是正在不断增加。在制定国家目标时，从局部地区所得到的资料总是非常有价值的。

监督微生物危害最常用的健康目标是绩效目标（见 3.2.2 节），该目标着眼于可接受的疾病负担。WQTs（水质目标，见 3.2.3 节）并不是专为病原体制定的，因为检测终水中的病原体是不可行的，或者费用-效益比是不合算的。

### 7.2.2 危险性评估方法

在很多情况下，通过建立和应用危险性评估模型可评估改进饮水质量对人群健康的影响。

作为一个迅速发展的领域，QMRA（微生物危险性定量评估）系统地综合了已有的关于暴露与剂量-反应关系的信息，并对因接触病原体而造成的疾病负担作出评估。所用的数学模型是：评估饮用水中低浓度病原体对人群和亚人群的

影响。

为了制定国家或地区的健康目标，在应用和解释分析流行病学研究得到的信息时，要考虑到一系列因素，包括以下各项：

- 是否提供疾病减少的特异性评估指标或制定疾病预期下降的范围？
- 目标人群的代表性如何？他们作为研究的样本是否能保证所得结果用于更大人群时也是可靠的？
- 人口统计或社会经济状况方面的一些微小差别会对预期结果产生何种程度的影响？

危险性评估首先从提出问题开始，其目的是确定各种可能的危害和从危害的源头到消费者的各种途径。然后，将人接触病原体的情况(环境浓度及摄入量)和所选病原体的剂量-反应关系综合起来并描绘出危险性的特征。结合其他信息(社会，文化，政治，经济，环境等)就可提出一些优先选用的处理办法。为鼓励利益相关各方的支持和参与，在处理过程的每一阶段，都能做到透明并主动沟通有关危险性的信息是非常重要的。表 7.2 描述了危险性评估的一个例子。

### 问题的形成和危害的确定

对饮用水系统的每一个环节而言，不论它是否受饮用水供应者的直接监控，对所有的潜在危害，导致危害的原因和具体的事件(可能发生什么和如何发生)，都应该查明并形成文件。这包括点污染源(如生活和工业污水的排放)和散在污染源(如农业和畜牧业活动造成的污染)。也要考虑持续的、间歇的或季节性的污染，还要考虑到极端的和不常见的事件，如旱灾和洪水。

从广义上讲，危害就是指危害的具体场景，就是一些可导致消费者接触特定病原微生物的事件。在这种情况下，可将危害性事件(如生活废水污染水源的高峰期)称为危害。要选择好有代表性的微生物，即如果能监控他们则可保证全部相关的病原体也在控制之下。通常，这意味着至少要包括一种病菌，一种病毒和一种原虫。

**表 7.2 病原体危害健康的危险性评估范例**

步骤	目的
1 形成问题和查明危害	查明与饮用水有关的损害公众健康的各种可能危害，同时查明从危害源到消费者的途径
2 暴露量评估	确定暴露群体的大小和特征，以及暴露的途径、量和时间
3 剂量-反应关系的评估	描述暴露与健康受损之间的关系
4 危险性特征	综合得自暴露、剂量-反应关系和卫生干预措施的信息，以评估公共卫生问题的严重性以及评价其易变性和不确定性

来源：根据 Haas et al.(1999) 改编。

## 暴露评估

暴露评估是对个体接触病菌数量的估计，主要是指经口摄入的病菌。暴露评估常常是一种主观的推测，不可避免地具有不确定性，而且必须考虑各种因素的可变性，如在某个时段内微生物浓度（污染水平）和摄入数量等的变化。

暴露可认为是消费者在一个特定时刻摄入的单剂量病原体，或是多次暴露的总量（如一年）。暴露取决于饮用水中微生物的浓度和消耗的水量。

不大可能或很难恰当地直接测定饮用水中的病原体。常见的做法是推测或测定水源中的浓度，并用估计的减少量（如经过水处理）去判定饮用水中病原体的浓度。最好是在病原体浓度最高的水域（一般为水源）进行病原体测定。通常使用替代菌（如埃希氏大肠杆菌）来估计随后采用的监控措施是否能够去除该病菌（也见 1.3 节支持性文件《水处理和病原体控制》）。

对所有的病原体来说，暴露评估的另一个组成部分便是人群摄入的未经煮沸的原水量，其中包括饮水习惯的个体差异，特别是危险人群的饮水习惯。在微生物危害的危险性评估中，采用未经煮沸的饮用水的数量（直接饮用和用于食品制作）是至关重要的，因为加热会使病原体迅速失活。这一水量比用于推导化学准则值和 WQTs 所用的水量低。

用饮水中病原体的浓度乘上饮水体积便可评估一个消费者的日暴露量。用于本“准则”的未煮沸饮用水数量设定为每天一升。

## 剂量-反应评估

暴露于一种或多种病原体后产生有害健康反应的概率是从剂量-反应模式中推导出来的。已有的剂量-反应数据主要来源于对健康成年志愿者进行的研究结果。人群中的某些亚人群如儿童、老人和免疫功能受损者对传染病更为敏感，但目前尚无这方面的相应资料。

传染模型的概念基于以下观察，即假定接触了规定暴露剂量的病原体有可能得传染病。摄入一种或多种病原体是传染病发生的必要前提。而且，这些摄入的病原体必须在宿主体内存活。单击原则（即一个微生物也能使人感染得病，尽管概率可能不高）是一个重要的概念。这一概念代替了旧文献中常用的（最小）感染剂量的概念（见 1.3 节支持性文件《食物和水中病原体的危害特性》）。

一般来说，在水中分散良好的病原体属泊松分布。当任何微生物的存活和开始感染的概率相同时，剂量-反应关系可简化成指数函数。但如果这一概率不同时，就导致  $\beta$ -泊松分布的剂量-反应关系，其中“ $\beta$ ”指的是各种病原体（和宿主）的单个概率分布，当接触程度低时（这种情况在饮水中最常见），其剂量-反应模型接近线性关系，并仅代表因单个微生物引起的感染概率（见 1.3 节支持性文件《食物和水中病原体的危害特性》）。

## 危险性特征

危险性特征将有关病原体暴露、剂量-反应、严重性及疾病负担等方面收集

的数据资料集中在一起。

感染概率可以估计为污染的饮用水的暴露量与暴露于一个微生物导致感染的概率之乘积。每天的感染概率乘上 365 便是每年的感染概率。这样计算的假定是不同的暴露事例是各自独立的，并且没有产生保护性免疫。这种简化估计只有在低危险性时才是合理的。

并非所有感染的个体都会出现临床症状，大多数病原体常常引起无症状感染。出现临床症状人群的百分比取决于病原体，也取决于其它因素如宿主的免疫状况。年患病危险性可用感染率乘上感染后患病的概率来表示。

表 7.3 中的数字表达了某一个体在某一特定的年份中得病的概率。如得弯曲杆菌病的危险是  $2.5 \times 10^{-4}$ /年，即平均每 4000 名摄入该饮用水的消费者中会有一人得此病。

**表 7.3 参照病原体可耐受的疾病负担和水源质量的关系：计算示例**

河水（人和动物污染）		隐孢子虫	弯曲杆菌	轮状病毒 <sup>a</sup>
原水质量( $C_R$ )	微生物个数/升	10	100	10
要达到可耐受危险的水处理效果(PT)	下降百分数	99.994 %	99.99987 %	99.999968 %
饮用水质量( $C_D$ )	微生物个数/升	$6.3 \times 10^{-4}$	$1.3 \times 10^{-4}$	$3.2 \times 10^{-5}$
生水饮用量(V)	升/天	1	1	1
接触饮用水(E)	微生物个数/天	$6.3 \times 10^{-4}$	$1.3 \times 10^{-4}$	$3.2 \times 10^{-5}$
剂量-反应(r)	一个微生物的传染率	$4.0 \times 10^{-3}$	$1.8 \times 10^{-2}$	$2.7 \times 10^{-1}$
日感染危险性( $P_{inf,d}$ )	每天	$2.5 \times 10^{-6}$	$2.3 \times 10^{-6}$	$8.5 \times 10^{-6}$
年感染危险性(腹泻) ( $P_{inf,y}$ )	每年	$9.2 \times 10^{-4}$	$8.3 \times 10^{-4}$	$3.1 \times 10^{-3}$
感染后患病(腹泻) 的危险性( $P_{illinf}$ )		0.7	0.3	0.5
年患病(腹泻) 危险性( $P_{ill}$ )	每年	$6.4 \times 10^{-4}$	$2.5 \times 10^{-4}$	$1.6 \times 10^{-3}$
疾病负担(db)	DALYs/病例	$1.5 \times 10^{-3}$	$4.6 \times 10^{-3}$	$1.4 \times 10^{-2}$
敏感人群( $f_s$ )	人群的百分比	100 %	100 %	6 %
疾病负担(DB)	DALYs/年	$1 \times 10^{-6}$	$1 \times 10^{-6}$	$1 \times 10^{-6}$
公式:	$C_D = C_R \times (1 - PT)$ $E = C_D \times V$ $P_{inf,d} = E \times r$			

<sup>a</sup> 数据得自高收入地区，在低收入地区的严重程度更高，但经饮用水传播并不是主要途径。

将发生特定疾病的危险性转化为疾病负担/病例时，用的计量是 DALYs。这不但反映了急性终点反应(腹泻)，也反映了死亡率和较严重的终点反应（如与弯曲杆菌有关的格林-巴利综合症，即急性感染性多发神经炎）。每个病例的疾病负担可以有很大不同。例如，每 1000 例轮状病毒的疾病负担在低收入地区为 480 DALYs，而且还经常发生儿童死亡。但在大多数居民都能得到医疗救助的高收入地区仅为 14 DALYs/1000 例（见 1.3 节支持性文件《世界卫生组织饮用水水质准则中公共卫生危险性的量化》）。由于这种疾病负担上的明显差别，为了要达到相同的危险程度(以 DALYs/年 表示)，在相同水源质量的情况下，在低收入地区就需要实施更严格的水处理。最好是把表 7.3 中疾病负担估计值（以 DALYs/年表示）与特定的国情相结合。表 7.3 中没有免疫缺陷人群的计算数值



(如 HIV/AIDS 患者中的隐孢子虫病), 在某些国家, 这些人群的数量还是很多的。3.3.3 节中有很多关于 DALY 的信息, 并提出了如何将其用于估计危险程度的参考值。

人群中可能只有一部分人对某些病原体是敏感的, 因为在开始感染阶段可产生免疫力或患病后可获终生免疫保护, 例如 HAV 和轮状病毒。据估计在发展中国家, 所有 5 岁以上的儿童都对轮状病毒有免疫力, 这是由于在生命的头几年中, 他们总是反复地接触该病毒所致。所以, 总人口中, 平均有 17% 对轮状病毒是敏感的。在发达国家的婴幼儿中, 轮状病毒感染是常见的, 主要是在低龄儿童中诊断出此病, 但他们在整个人口中的百分比是较低的。这样, 在发达国家中, 平均有 6% 的人口是敏感的。

危险性评估的各个阶段所收集数据的不确定性和可变性导致了危险性评估结果的不确定性。虽然我们这里只提到点值的估计(见下文), 但危险性评估模型可以对这些可变性和不确定性进行合理的解释。

对每一个变量来说, 选择最适当的点值估计是很重要的。理论上说, 危险性与摄入量的算术平均值成正比。因此, 推荐了下列变数的算术平均值: 病原体在原水中的浓度, 水处理后除去的量, 以及消耗的饮水量。这一推荐与微生物学家和工程师们常用的计算是不同的, 他们将浓度和处理效果转化成对数值, 并按对数刻度进行计算和解释。这样得出的评估值是几何平均值, 而不是算术平均值, 显然会低估所评价的危险性。因此, 分析现场数据时有可能要求对原始数据进行审核, 而不是依靠所报告的对数转换值。

### 7.2.3 制定针对危险性的工作目标

上述程序为评估人群危险值提供了方法, 其中考虑到了水源质量和监控措施的作用。这可以和危险性的参考值(见 3.3.2 节)或当地制定的危险性可容许值相比较。这些计算方法可使某些评估数字化, 这些评估包括: 水源保护程度或为使水源危险性达到可以接受的水平需进行的处理以及对监控措施变化时产生的影响进行的分析。

绩效目标最常用于水处理工作, 如, 测定微生物数量减少程度以确保水的安全性。绩效目标可用于一个特定体系(如可以考虑某一水源的特性), 或是扩大其使用范围(如, 在某一类型的所有水系中引入设想的水源的性质, 或从某一类型的水源中抽取水样)(也见 1.3 节支持性文件《水处理和病原体控制》)。

图 7.2 显示了对原水中一些病原体的水处理工作目标。例如, 在高收入地区, 在每升水源水有 10 个微生物的情况下, 对隐孢子虫得出的工作目标是 4.2 logs(或 99.994%), 对轮状病毒, 其工作目标是 5.51 log 单位(99.99968%)(也见表 7.4)。在高收入和低收入国家中, 对轮状病毒的不同工作目标是与这一微生物在这两类国家的病情严重程度不同有关。在低收入国家, 儿童死亡率相对较高, 其结果是疾病负担也高。而且, 在一些低收入国家中, 5 岁以下人群的比例较高, 因而感染轮状毒病的危险性也较高。

图 7.2 选定与原水质量有关的细菌、病毒、原虫病原的绩效目标（达到  $10^{-6}$  DALYs/人/年）

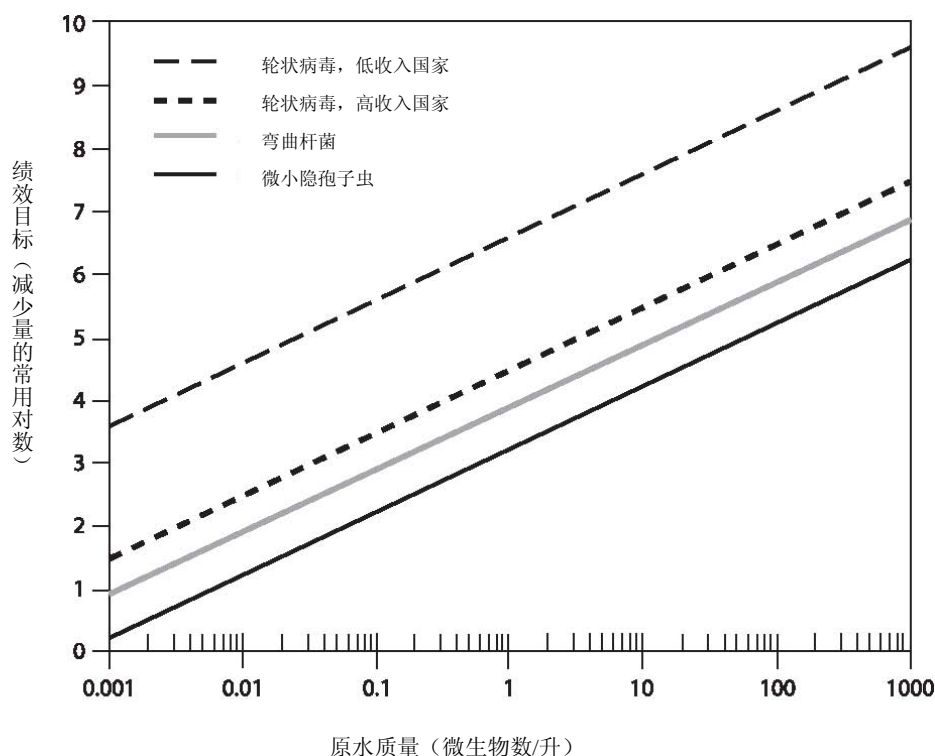


表 7.4 从表 7.3 范例计算得出的卫生目标

	隐孢子虫	弯曲杆菌	轮状病毒 <sup>a</sup>
水源中微生物个数/升	10	100	10
最终健康指标	$10^{-6}$ DALYs/人/年	$10^{-6}$ DALYs/人/年	$10^{-6}$ DALYs/人/年
患腹泻病的危险性 <sup>b</sup>	1/1600/年	1/4000/年	1/11000/年
饮用水质量	1/1600 升	1/8000 升	1/32000 升
绩效目标 <sup>c</sup>	4.2 log <sub>10</sub> 单位	5.9 log <sub>10</sub> 单位	5.5 log <sub>10</sub> 单位

<sup>a</sup> 资料来自高收入地区。在低收入区，病情更为严重，但饮用水传播并不占主要地位。

<sup>b</sup> 针对敏感人群。

<sup>c</sup> 绩效目标是根据水源水质测定病原体的减少量的对数值。

表 7.4 中描述了绩效目标是如何获得的，提供了数据和计算例子，通常可用以建立水源性疾病病原体的危险性评估模型。表中例举了具有代表性的三种病原体(细菌，病毒和原虫)，它们取自多个水源。计算这些事例的目的是要得到如 3.3.3 节中描述的危险性参考值： $10^{-6}$  DALYs/人/年。表中数据表明，计算要求的是危险性的估计值，而不是指导值。

### 7.2.4 实施绩效目标的结果

将表7.3所列资料中对危险处理者有用的内容重新加以整理,结果列于表7.4。资料中包括饮用水中病原体的平均污染水平,它既非水质目标(WQT),也不意味着提倡对终水中病原体进行监测。例如水中隐孢子虫的水平为 $6.3 \times 10^4/\text{L}$ 时(见表7.3),相当于1600升水中含有1个隐孢子虫卵囊(见表7.4)。绩效目标是危险性评估表中最重要的管理资料,可以用减少量的百分数来表示(表7.3中“处理效果”一行),也可以用减少量的对数值表示。例如轮状病毒污染水平降低99.99968%相当于 $5.5 \log_{10}$ 单位。

### 7.2.5 如何根据国家和地方具体情况设置以危险性为基础的绩效目标

表7.4对病原体的选择主要基于资料的可获得性。这些资料包括微生物在水处理过程中的抵抗力、传染性及其所致疾病负担等。虽然改进病原体的选择方式在通常情况下对应用该模型得出的总体结论不会有太大影响,但所列出的病原体可能不是世界各地的首选病原体。

无论何地,该类型的评估应尽可能使用具有明显的国家或地区特征的资料,如果缺乏特征性资料,根据缺失数值可对危险性评估作出近似估计(见下表7.5)。

表7.4仅对水处理过程中水质的改变进行了说明,对水源保护措施未进行阐述。通常水源保护措施是保证饮用水安全的重要因素,直接影响饮用水中病原体的污染水平及变化。表7.3中列出的危险性评估结果是基于整个供水系统水质没有下降的假设,这些设想并非在所有的条件下均可行,但无论在何情况下,尽可能考虑这些因素无疑是明智的做法。

表7.4仅列出了点估计值,并未说明可变性和不确定性。完整的危险性评估模型应该考虑这些因素,其表示方法是输入基于统计学分布的变量值而非点估计值。但目前许多国家还没有能力使用这些模型,并且也缺乏详细说明这些分布的资料。获得这些资料可能要投入大量的时间和人力、物力、财力,但其结果必将对实际的水源水质和水处理的成效有更深入的了解。

饮用水是否需要处理同样取决于危险性评估模型中应考虑假定变量值(例如饮用水的消费量、敏感人群所占比例)。未煮沸的饮用水的消费量的变化对微小隐孢子虫绩效目标的影响见图7.3,若原水中微小隐孢子虫卵囊的污染水平为每升1个,而水的消费量在每日0.25升至2升之间时,则绩效目标范围为 $2.6 \log_{10}$ 单位至 $3.5 \log_{10}$ 单位。一些暴发资料显示,在发达国家,5岁以上的人中有很一部分对轮状病毒导致的腹泻缺乏免疫力,人群中易感者所占比例的变化对轮状病毒腹泻发生的影响见图7.4。例如,如果每升水源水中有10个病毒颗粒,且人群中易感者比例由6%上升至100%时,则绩效目标由 $5.5 \log_{10}$ 单位增至 $6.7 \log_{10}$ 单位。

### 7.2.6 健康结果目标

判定一个社区疾病发病率下降的健康结果目标可用来评价在社区或家庭中针对特定水质进行干预的水安全计划项目(WSPs),这些目标将用于考核接受干预措施的社区预期疾病发病率下降的情况。

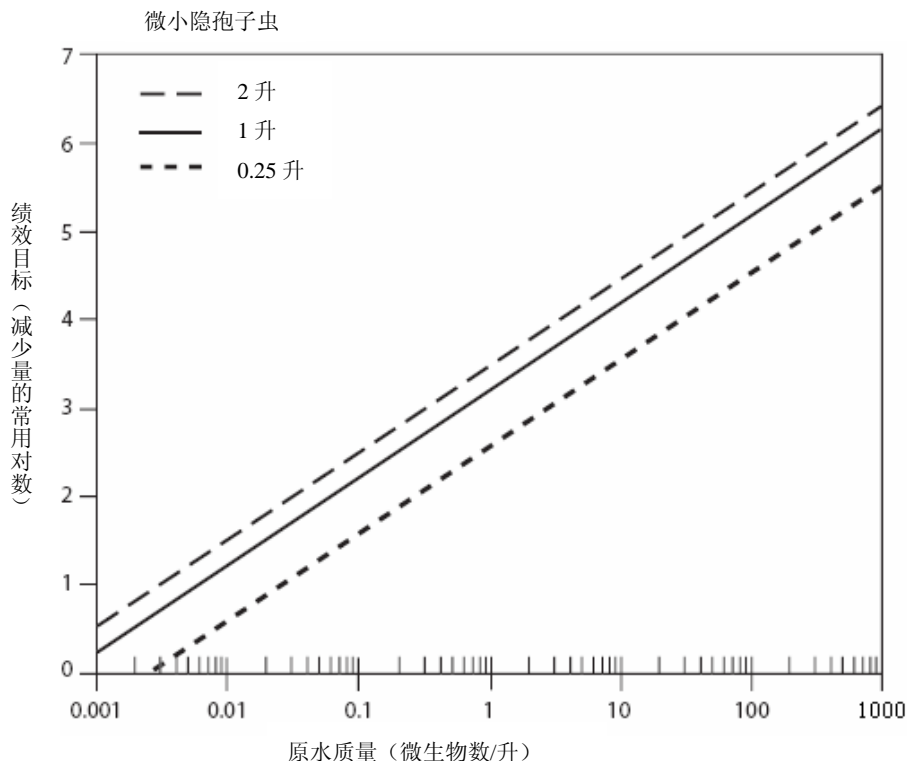


图 7.3 与日饮用生水有关的微小隐孢子虫绩效目标（要达到 $10^6$  DALYs/人/年）

若改进水质可引起某种疾病的发病率下降，且下降幅度超过5%（如在所有的腹泻病例中水源性腹泻发病率下降5%），则水质干预即是一个应优先考虑的问题。世界上许多地方，因实施水质干预而产生的健康收益如估计在5%以上即被认为是卓有成效的。直接评估提高水质所产生的健康受益在疾病负担较重且采取了有效干预措施的地区是可能的，如通过饮用水中埃希氏大肠杆菌的减少数量来评价，这样的干预在促进水安全改进措施的第一步方案中是一种强有力的手段。

在某一地区，若选择某种特定的量化疾病发病率下降作为健康结果目标时，建议在该地区的一些有代表性社区开展连续的、主动的公共卫生监测，而不是进行被动监测。

### 7.3 病原体污染及其处理

正如 4.1 节所讨论的，系统评估包括确定整个饮用水供水链是否能够供给达到既定目标的饮用水，这需要全面了解水源的质量及控制措施的实施效果。

了解水源中病原体的污染状况非常重要，有助于选择水质最好的水源作为饮用水，同时便于确定水源中病原体的负荷及水平，为水安全计划中创建符合健康目标的水处理标准提供依据。

对控制措施效果的判定应包括证实（参见 2.1.2 和 4.1.7 节）。证实不论对确保水处理能达到理想目标（绩效目标），还是对控制措施可能有所改进的地区进

行评价（如将已达到的工作目标和通过良好实施过程表明可能达到的工作目标相比较）都非常重要。

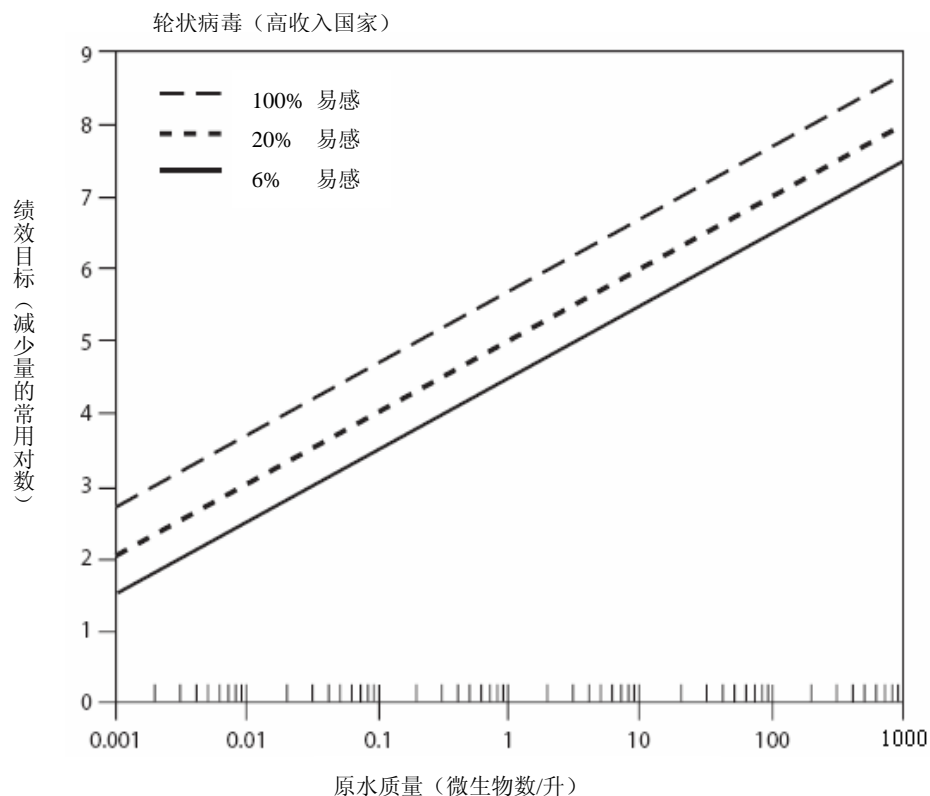


图 7.4 与敏感人群有关的轮状病毒绩效目标（要达到 $10^6$  DALYs/人/年）

### 7.3.1 污染状况

地下水和地表水水源中病原体和指示性微生物的存在情况受许多因素的影响，其中包括集水区地貌所固有的物理和化学特性、人类活动范围的广度和深度、能排放病原体到环境中动物的存在与否等。

地表水中潜在的病原体来自于诸如城市污水、城区暴雨泛滥等形成的点污染以及来自农业区被污染的排出水和靠近腐物分解场所和公厕地区的下水道设施带来的非点污染，此外还来自于野生动物和家畜直接接触地表水体造成的污染。地表水体中的许多病原体因稀释和沉降而降低浓度，或由于环境的作用（热、光照、被捕食等）而死亡。

地下水由于受覆盖在其上的土壤层和不饱和带形成的天然屏障的保护，而不易受污染源的直接影响，一旦这些屏障遭到破坏，常常导致地下水的直接污染。污染可能来自于被污染的或废弃的井，也可能来自于地下污染源如公共厕所和排污水的管道。但许多研究结果显示，在那些土壤施肥或集约化饲养场所的周边地区，动物排泄物造成的地表污染严重，即使是在没有上述污染情况存在的地下深层，地下水也可检出病原体和指示性微生物，通过保护蓄水层、正确设计和建

造水井可以大大减少这些污染源的影响。

关于病原体的来源及影响其存活的关键因素的讨论详见支持性文件《地表水防护与健康》和《地下水防护与健康》（见 1.3 节）。

表 7.5 列出了不同类型的地表水和地下水中高浓度肠道病原体和微生物性标志物的估计值，主要是对已发表资料进行汇总得来的。表中列出了高估计值，高危险值代表有较高危险性，即较高的易患病程度。表中包含了针对河流和小溪的两类资料：一类是易受影响的水源，另一类是不易受影响的水源，关于这些资料的更多信息详见各种参考资料，包括 Dangendorf 等（2003）文章中引用的一些论文。

**表 7.5 文献中报道的不同水源（每升）中肠道病原体和粪便指示性微生物的高污染水平举例**

病原体或指示性菌群	湖泊和水库	易受污染的河流和小溪	荒野中的河流和小溪	地下水
空肠弯曲杆菌	20-500	90-2500	0-1100	0-10
沙门氏菌	—	3-58000 (3-1000) <sup>a</sup>	1-4	—
埃希氏大肠杆菌（属）	10000-1000000	30000-1000000	6000-30000	0-1000
病毒	1-10	30-60	0-3	0-2
隐孢子虫	4-290	2-480	2-240	0-1
贾第虫	2-30	1-470	1-2	0-1

<sup>a</sup>最近测量的一次低水平结果

表 7.5 中的数据为了解各种水源中肠道病原体和指示性微生物污染水平提供了有用的指导，但这些数据有许多局限性和来源的不确定性，包括：

- 缺乏与污染源有关的采样点信息；
- 检测方法（尤其是检测病毒和原虫）的灵敏度问题；
- 由于所使用的检测方法均不是培养法（如显微镜下观察或分子/核酸分析），因此各种研究中缺乏有关隐孢子虫卵囊、鞭毛虫孢囊和病毒生存能力及对人类传染性的资料。

虽然表中列出了水源中可能存在的病原体浓度的指标，但确定某一特定集水区和其它水源中病原体数量和浓度最精确的方法是在一段时间内连续对水质进行监测，同时考虑季节变化和诸如暴风雨等突发事件的影响。为了直接检测特殊水源中的病原体和指示性微生物，推荐在有条件的地区尽可能制定一个水安全计划项目并确定该项目检测的目标病原体，因为这样的测量结果是反映微生物负荷和污染水平的最佳估计值。

### 7.3.2 处理

较高质量的水源（例如来自于封闭蓄水层的地下水）可以依靠水源水和供水系统的保护作为主要的控制措施来保证用水安全。更常见的是实施水处理以清除或杀灭病原体，许多情况下（如水质差的地表水）需要对水进行多道工序处理，如混凝、絮凝、沉淀、过滤和消毒。表7.6概括了常用的清除微生物污染的一种或多种方法相结合的水处理过程。

表 7.6 中列出的微生物水平的降低是指广义的微生物类别或种类：细菌、病毒和原虫。由于各种微生物本身所固有的特性（如大小、外保护层的特性和表面的理化性质等）不同，因而同一处理方法对不同种类的微生物的处理效果往往存在差异。在这些微生物类群中，处理效果在特定的种、型、株间差别较小。但这种差别确实存在，表中针对各类群微生物中抵抗力强、存活时间久的病原体列出了保守的估计清除值。若某一微生物类群中不同的具体病原体间处理后其水平下降值差别较大时，则单独列出针对相应病原体的各自处理结果。

**表 7.6 减少细菌、病毒和原虫的常规和强化水处理工艺**

处理工艺	肠道病原体类群	清除基线值	可能清除的最大值
<b>预处理</b>			
粗滤	细菌	50%	通过动力过滤器防止水浑浊或熟化时应用，可达到 95%
	病毒	资料缺乏	
	原虫	资料缺乏，可能有一些清除	清除原虫的同时伴随水浊度降低
微滤	细菌	0	通常无效
	病毒		
	原虫		
备用/岸边储存	所有病原体	可能有明显的重复污染，引入水的污染程度加重；藻类生长导致水质恶化	避免在浑浊高峰时段引入水，相当于清除 90% 分隔成几个库蓄水可使清除率提高15-230倍
	细菌	0（假设储水池短路）	在 10-40 天的实际滞留时间内清除 90%
	病毒	0（假设储水池短路）	在 100 天的实际滞留时间内清除 93%
	原虫	0（假设储水池短路）	在 3 周的实际滞留时间内清除 99%
岸边过滤	细菌	2 m 后清除 99.9%	
		4 m 后清除 99.99%(基于病毒清除的最小值)	

表 7.6 续

处理工艺	肠道病原体类群	清除基线值	可能清除的最大值
	病毒	2 m 后清除 99.9% 4 m 后清除 99.99%	
	原虫	清除 99.99%	
<b>混凝/絮凝/沉淀</b>			
常规净化	细菌	30%	90% (随混凝剂、pH 值、温度、水的碱度和浊度不同而异)
	病毒	30%	70% (同上)
	原虫	30%	90% (同上)
高效净化	细菌	至少 30%	
	病毒	至少 30%	
	原虫	95%	99.99% (取决于使用适宜的聚合物过滤层)
压力溶气气浮	细菌	资料缺乏	
	病毒	资料缺乏	
	原虫	95%	99.99% (随 pH 值、混凝剂使用量、絮凝时间和循环速率不同而异)
石灰软化	细菌	2-8°C, pH9.5, 作用 6h 清除 20%	2-8°C, pH11.5, 作用 6h 清除 99%
	病毒	pH<11, 作用6h清除90%	pH>11 时清除 99.99%, 随病毒种类和沉淀时间不同而异
	原虫	低灭活	通过沉降沉淀作用降低 99%, pH11.5 时失活
<b>离子交换</b>			
	细菌	0	
	病毒	0	
	原虫	0	
<b>过滤</b>			
高效颗粒过滤	细菌	资料缺乏	最佳混凝条件下清除 99%
	病毒	资料缺乏	最佳混凝条件下清除 99.9%
	原虫	70%	最佳混凝条件下清除 99.9%
慢速砂层过滤	细菌	50%	在最佳的熟化、清洗、更换滤砂条件下且在无短路情况时清除 99.5%
	病毒	20%	在最佳的熟化、清洗、更换滤砂条件下且在无短路情况时清除 99.99%
	原虫	50%	在最佳的熟化、清洗、更换滤砂条件下且在无短路情况时清除 99%



表 7.6 续

处理工艺	肠道病原体类群	清除基线值	可能清除的最大值
预涂层过滤包括硅藻土和珍珠岩	细菌	30-50%	用混凝剂聚合物作化学预处理可清除 96-99.9%
	病毒	90%	用混凝剂或聚合体作化学预处理时可清除 98%
	原虫	99.9%	99.99%，取决于介质级别和过滤速度
膜滤-微滤	细菌	进行适当的预处理且膜的完整性良好时，可清除 99.9-99.99%	
	病毒	<90%	
	原虫	进行适当的预处理，且膜的完整性良好时，可清除 99.9-99.99%	
膜滤-超滤	细菌	进行适当的预处理，且膜的完整性良好时，可完全清除	
纳滤和反渗透	病毒	使用纳米滤器、逆向渗透和较低孔径的超滤器，进行适当的预处理且膜保持完整时，可完全清除	
	原虫	进行适当的预处理且膜保持完整时，可完全清除	
<b>消毒</b>			
氯	细菌	Ct <sub>99</sub> 在 1-2°C，pH7 时为 0.08mg.min/L，同一温度下 pH8.5 时为 3.3mg.min/L	
	病毒	Ct <sub>99</sub> 在 0-5°C，pH7-7.5 时为 12mg.min/L，同一 pH 下 10°C 时为 8mg.min/L	
	原虫	贾第虫属 Ct <sub>99</sub> 在 pH7-7.5 的条件下，0.5°C 时为 230mg.min/L，10°C 时为 100mg.min/L，25°C 时为 41mg.min/L 隐孢子虫：不能杀死	
一氯胺	细菌	Ct <sub>99</sub> 在 1-2°C，pH7 时为 94mg.min/L；同一温度下 pH8.5 时为 278mg.min/L	
	病毒	pH6-9 的条件下，Ct <sub>99</sub> 在 1°C 时为 1240mg.min/L，15°C 时为 430mg.min/L	

表 7.6 续

处理工艺	肠道病原体类群	清除基线值	可能清除的最大值
二氧化氯	原虫	贾第虫属: pH6-9 的条件下, Ct <sub>99</sub> 在 1°C 时为 2550mg.min/L, 15°C 时为 1000mg.min/L 隐孢子虫: 不能灭活	
	细菌	Ct <sub>99</sub> 在温度 1-2°C, pH7 时为 0.13mg.min/L, 同一温度下 pH8.5 时为 0.19mg.min/L	
	病毒	pH6-9 的条件下, Ct <sub>99</sub> 在 1°C 时为 8.4mg.min/L, 15°C 时为 2.8mg.min/L	
	原虫	贾第虫属 pH6-9 的条件下, Ct <sub>99</sub> 在 1°C 时为 42mg.min/L, 10°C 时为 15mg.min/L, 25°C 时为 7.3mg.min/L 隐孢子虫: pH8, 温度 22°C 时 Ct <sub>99</sub> 为 40mg.min/L	
臭氧	细菌	pH6-7、温度 5°C 时 Ct <sub>99</sub> 为 0.02mg.min/L	
	病毒	Ct <sub>99</sub> 在 1°C 时为 0.9mg.min/L, 15°C 时为 0.3mg.min/L	
	原虫	贾第虫属: pH6-9 的条件下, Ct <sub>99</sub> 在 1°C 时为 1.9mg.min/L, 15°C 时为 0.63mg.min/L 隐孢子虫: 1°C 时为 40mg.min/L, 22°C 时为 4.4mg.min/L	
紫外线照射	细菌	99%灭活剂量: 7 mJ/cm <sup>2</sup>	
	病毒	99%灭活剂量: 59mJ/cm <sup>2</sup>	
	原虫	贾第虫属 99%灭活剂量: 5 mJ/cm <sup>2</sup> 隐孢子虫 99%灭活剂量: 10 mJ/cm <sup>2</sup>	

注: Ct 和 UV 适用于清除混悬液中的微生物, 而不是清除包埋在颗粒物中或生物膜上的微生物。

非管道输配水如屋顶蓄积水（收集的雨水）和井水、泉水等常可能被病原体污染。这些水源常常需要处理，贮藏时应配有保护措施以保障水质安全。家庭用水的许多处理方法与社区管理或其它管道输配的水处理过程相同（见表7.6），家庭水平的水处理效果类似于表7.6中列出的微生物清除的基线值。但还有另外一些技术被推荐用于家庭非管道输配水处理，它们通常不用于处理管道输配水。

有关这些水处理的工艺、操作规程和对病原体的清除效果等更加详细的资料见1.3节支持性文件（针对管道配水：《水处理和病原体控制》；针对非管道配水，主要面向家庭：《家庭用水管理》）

## 7.4 微生物的安全性质量验证

病原体具备一些与其它饮用水污染物不同的特征，列举如下：

- 水中的病原体处于分散、非溶解状态。
- 病原体常常聚集成簇或粘附在悬浮于水中的固体颗粒上。
- 病原体入侵机体造成感染的可能性和病原体的侵袭力、毒力以及个体的免疫力有关。
- 一旦被感染，病原体就会在宿主体内大量繁殖。某些致病性细菌还能在食物和饮料中繁殖，因此感染的机会持续存在甚至增加。
- 与许多化学污染物不同，病原体的剂量-反应关系并不是累积性的。

包括埃希氏大肠杆菌在内的粪便污染指示菌是微生物方面质量验证的重要参数（见 2.2.1 节）。这类水质验证（例如通过对处理工作的审核、过程监控的评估和卫生监督）是对操作监测和污染危险性评估的补充。

粪便污染指示菌应当符合一定的标准，其结果才有意义。这些指示菌应该普遍大量存在于人类和其它温血动物的粪便中，用简单的方法就能检测，而且它们不能在天然水中生长繁殖。

埃希氏大肠杆菌是粪便污染的指示性微生物，许多情况下耐热性大肠菌群可作为埃希氏大肠杆菌的替代菌用于检测。

供人类饮用的水中不应含有指示性微生物。大多数情况下，由于被污染的水中含有大量指示菌，对这些细菌的监测可以提高水质的安全程度。

在未检出埃希氏大肠杆菌的处理后的饮用水中，可能存在对正常环境条件或常规处理技术有较强抵抗力的病原体。水源性疾病暴发的回顾性研究结果和有关水中病原体特性判定的最新进展资料显示，继续依赖于有无大肠杆菌的假设已不能对水的安全性作出最佳判断。

原虫和某些肠道病毒对包括氯在内的许多消毒剂有较强的抵抗力，二者在消毒后的饮用水中仍有活力（并有致病性）。其它一些生物体可能更适合作为持久性微生物危害的指示菌，但应当对这些微生物是否符合当地的具体情况、是否有科学依据等进行评价，方可选作为附加的指示菌。因此，水质验证可能会需要对

诸如肠球菌、产气荚膜梭菌（及其芽孢）和噬菌体等一系列微生物进行分析。

表 7.7 列出了饮用水的微生物质量验证准则值，表中的单个数值不能直接使用，应当和本准则及其它支持性文件中的信息资料配套使用并加以解释。

**表 7.7 用于饮用水的微生物质量验证准则值<sup>a</sup>（也见表 5.2）**

微生物	准则值
<b>各种直接饮用水</b>	
埃希氏大肠杆菌或耐热性大肠菌群 <sup>b, c</sup>	100mL 水样中不得检出
<b>即将进入供水系统的已处理过的水</b>	
埃希氏大肠杆菌或耐热性大肠菌群 <sup>b</sup>	100mL 水样中不得检出
<b>供水系统中已处理过的水</b>	
埃希氏大肠杆菌或耐热性大肠菌群 <sup>b</sup>	100mL 水样中不得检出

<sup>a</sup> 如果检出埃希氏大肠杆菌，应立即进行调查。

<sup>b</sup> 虽然埃希氏大肠杆菌是一种表示粪便污染的较准确的指示菌，但耐热性大肠菌群计数是一种比较理想的替代方法，必要时应进行适当的确证试验。大肠菌群总数不适宜作为供水卫生质量的指标，特别是在热带地区，几乎所有未经处理的供水中均存在大量无卫生学意义的细菌。

<sup>c</sup> 在大多数农村地区，特别是在发展中国家的农村，供水被粪便污染的现象非常普遍，在这种情况下，应该设定渐进性提高供水质量的中期目标。

由于消费者对病原体的易感性不同，由此导致饮用某种特定质量的饮用水后所产生的健康效应在不同的人群中各异。由准则可以推论，有必要对参考人群进行定义，或在某些情况下注重特别敏感的亚人群。国家或地方政府在制订国家标准时可能愿意考虑所辖居民的具体特性。

## 7.5 检测粪便指示菌的方法

粪便指示菌分析虽然不是最快的，但却是指示饮用水系统是否受污染的敏感方法。由于所使用的培养基、培养条件、水样的状态和采样后放置的时间等均可

**表 7.8 国际标准化组织（ISO）检测和计数水中粪便指示菌的标准**

ISO 标准	标题（水质）
6461-1:1986	还原亚硫酸盐的厌氧菌（梭菌属）芽孢的检测和计数 — 第一部分：液体培养基增菌法
6461-2:1986	还原亚硫酸盐的厌氧菌（梭菌属）芽孢的检测和计数 — 第二部分：膜滤法
7704:1985	对用于微生物学分析的膜滤器的评价
7899-1:1984	粪链球菌的检测和计数 — 第一部分：液体培养基增菌法
7899-2:1984	粪链球菌的检测和计数 — 第二部分：膜滤法
9308-1:1990	大肠菌群、耐热性大肠菌群和假定的埃希氏大肠杆菌的检测和计数 — 第一部分：膜滤法
9308-2:1990	大肠菌群、耐热性大肠菌群和假定的埃希氏大肠杆菌的检测和计数 — 第二部分：多管法（最可能数）

影响被分离微生物的种类和数量，因此微生物分析结果的准确性存在差异，换言之，如果世界各地不同的实验室采用统一的标准对水中微生物质量进行控制，则必须对分析方法和实验室操作过程进行标准化，这一点非常重要。

国际标准方法在被采用之前应根据当地的具体情况进行评估，例如 ISO（见表 7.8）的方法或效果及可靠性与其相当的其他已建立的方法均可采用。常规检测中使用已建立的标准方法比较理想。无论选用何种方法检测埃希氏大肠杆菌或耐热性大肠菌群，都必须考虑“复苏”或“恢复”因环境或消毒剂受到损伤的微生物菌株的重要性。

## 7.6 确定当地应对微生物水质问题和紧急情况所采取的行动

在处理饮用水供应系统遭受粪便污染的突发事件中，可能有必要对现有水源的处理措施进行调整或暂时启用其他饮用水源。同时，可能有必要在水处理后或供应过程中增加源水中消毒剂的浓度。

如果水的微生物质量不能达到要求，有必要告诫消费者在紧急情况下将水煮沸后饮用（见 7.6.1 节）。在应急反应速度足够迅速的地方，最好实施超氯消毒并立即采取纠正措施，以防止消费者接触大量被污染了的水。

在潜在的水源性疾病暴发时或检测到某一饮用水供应系统受粪便污染时，迅速反应的最低限度是将整个供水系统中的余氯浓度提高到 0.5mg/L 以上。最重要的是应在咨询当地的卫生管理部门（可能时包括民政部门，也见 8.6 节）后作出决定。

### 7.6.1 关于饮用开水及停止用水的建议

供水者和公共卫生管理部门应该一起制定一些有关发布饮用开水的通告和停止用水建议的预方案，方案应该在事故发生前准备好，并与各种管理计划组成一个整体。是否发布建议的决定往往要在短时间内做出，而对突发事件的应对措施可能使决定难于做出，并影响信息的交流沟通，损害公众的信心。

除 4.4.3 节讨论的内容外，方案应解决以下几方面的问题：

- 发布和撤销通告的标准；
- 提供给普通大众和特殊群体的信息；
- 受通告影响的各种活动。

方案中应该明确发布饮用开水和停止用水通告的沟通方式，依供水种类和所覆盖社区的大小不同而异，沟通方式包括以下几种：

- 通过媒体如电视、广播和报纸进行宣传；
- 通过电话、电子邮件、传真等特殊设备与社区人群以及当地行政管理部门接触；

- 在一些显要地区张贴布告；
- 个人发送传单；
- 邮件投递。

所选择的方法应该保证将通知尽可能快地通知涉及到的所有人，包括居民、工人、旅游者等。

饮用开水通告中应该指出，只有煮沸的水才是安全的。水煮开后，应该在不加冰的情况下使其自然冷却，这一过程在各种海拔高度下以及对混浊的水都有效。

导致考虑发布饮用开水通告的事件包括：

- 源水质量确实恶化；
- 与水处理过程或输配水系统完整性有关的重大故障；
- 消毒不恰当；
- 饮用水中检出致病菌或粪便指示菌；以及
- 流行病学证据提示饮用水导致了疾病暴发。

发布饮用开水通告是一项重大措施，可能会产生显著的负面影响。饮用开水的建议可能由于会发生烫伤和增加忧虑而对公众健康产生负面后果，即使在通告撤销后影响还将延续。此外，并非所有的消费者都会从一开始就完全按照发布的通告去做，如果饮用开水通告频繁发布或发布后被长时间束之高阁，公众的依从性将减弱。因此，应该由卫生管理部门和事故应急小组慎重考虑所有能够得到的信息，在得出公众健康面临的危险超过了因为建议饮用开水而可能带来的任何危险的结论后才能发布通知。例如，在饮用水样品中检测到有微生物污染的地方，评估是否需要发布通告时应该考虑的因素包括：

- 结果的可靠性和准确度；
- 源水易被污染的程度；
- 源水质量恶化的证据；
- 源水监测结果；
- 来自水处理和消毒过程的运行监测结果；
- 消毒剂残留情况；以及
- 输配水系统结构上的完整性。

对已有的信息应该仔细审阅，以确定可能的污染来源以及重复污染和持续污染的可能性。

发布的饮用开水通告应该清楚易懂，否则可能被接受者忽视。通常情况下通告应该包括对问题的描述、潜在的健康危害和症状、受影响的各种活动、调查工

作、已采取的纠正措施以及预期解决问题的时间表等。如果发布通告与疾病的暴发有关，应根据暴发的特征、疾病和公众反应的特点等提供专门的信息。

饮用开水通知应该明确饮用水的使用有哪些受到影响和有哪些未受到影响。一般而言，通告中应指出，未煮沸的水不能用于饮用、制备冷饮和食用冰，也不能用于制备或清洗食品和用作刷牙水。除非污染严重，一般情况下用于洗衣和洗澡是安全的（如果不咽入）。饮用开水通告可针对诸如孕妇和免疫受损者等易感人群提供专门的建议。

还应该对一些特殊场所和人员提出专门建议，例如牙科诊所、透析中心、医师办公室、医院和其他卫生保健机构、幼托机构、学校、食品供应商和制造商、旅馆、饭店，以及公共游泳池和温泉疗养院的工作人员等。

当临时性饮用开水或停止用水建议发布时，应该考虑供应诸如瓶装水或散装水等备用饮用水。方案应该明确备用水供应的来源和配送方法。

方案还应包括撤销饮用开水或停止用水通告的标准。根据发布通告的理由不同，标准可能涵盖以下一条或多条：

- 源水质量恢复到正常的证据；
- 与水处理过程或消毒系统有关的故障已排除；
- 来自消毒过程的错误已纠正，水中消毒剂残留量正常；
- 在饮用水被检出有微生物污染而发布通告的地区，污染已被消除或微生物已灭活的证据；
- 通过采用充分的管道冲刷或水置换等手段已排除了有潜在污染水和污染生物膜的证据，和/或
- 流行病学证据表明暴发已终止。

饮用开水或停止用水建议撤销时，应该采用和发布通告时相同的渠道及时向同一人群发布撤销信息。另外，有必要告诫大型建筑物以及拥有储水箱的建筑物的工作人员/管理者或居住者，要保证储水箱和所有内部输配水管道在回复正常使用前都要经过彻底冲洗。

停止用水通告虽与饮用开水通告有许多共同点，但很少发布，仅在发现对煮沸不敏感、主要是化学性污染物时才予以考虑（见 8.6 节）。

### 7.6.2 突发事件后采取的措施

任何突发事件发生后，对其原因进行彻底调查并采取补救措施以防止事件再次发生是非常重要的。要考虑已获得的经验并对水安全计划进行修改，这在为其它地区供水系统提供信息、预防发生类似事件方面也非常重要。如有条件，卫生管理部门的流行病学调查将有助于确定需要采取的行动。