

畅销书作家李复兴教授 最新饮水科普力作

告诉你**自来水中健康的隐形杀手**

科学饮水

“氯”

无氯无忧

李复兴 赵飞虹 牛建秀 编著

净水除氯，健康选择



化学工业出版社

科学饮水

“氯”

无氯无忧

李复兴 赵飞虹 牛建秀 编著



化学工业出版社

· 北京 ·

你了解自来水的消毒方式吗？

你知道自来水氯化消毒的利弊吗？

如何在饮水处理中消除对人体健康有危害的消毒副产物？

本书分安全饮水，缺“氯”不可和认识“氯”害，无“氯”无忧两篇共六章详细介绍自来水为何要氯化消毒，消毒副产物种类及与人类健康的关系，家用净水器的选择和使用等。书中在叙述过程中插入大量相关科学知识，使读者充分认识自来水氯化消毒的利弊，引导读者科学饮水，无“氯”无忧。

图书在版编目（CIP）数据

科学饮水，无“氯”无忧/李复兴，赵飞虹，牛建秀编著. —北京：化学工业出版社，2010.2

ISBN 978-7-122-07243-6

I. 科… II. ①李…②赵…③牛… III. 氯—应用—饮用水—水消毒 IV. TU991.25

中国版本图书馆CIP数据核字（2009）第224553号

责任编辑：温建斌 蔡红

装帧设计：王晓宇

责任校对：战河红

出版发行：化学工业出版社（北京市东城区青年湖南街13号 邮政编码100011）

印装：化学工业出版社印刷厂

720mm×1000mm 1/16 印张9 1/2 字数119千字 2010年2月北京第1版第1次印刷

购书咨询：010-64518888（传真：010-64519686） 售后服务：010-64518899

网 址：<http://www.cip.com.cn>

凡购买本书，如有缺损质量问题，本社销售中心负责调换。

定 价：25.00元

版权所有 违者必究



序(一)

氯是一种强氧化剂,常用来消毒、杀菌、漂白,也是化工原料。自从将氯应用于饮水杀灭病菌以来,有效地制止了介水疾病的传播,保障了人类的饮水安全与身体健康。氯之于人类功不可没!但随着科技的进步、发展,人们又发现氯与水中某些有机化合物反应会产生对人有毒有害甚至致癌的副产物,引起了国际学术界、企业界的关注。

作者李复兴教授,营养学家,长期从事有关健康水的研究。在这本书中,作者介绍了氯的特性与用于饮水消毒的历史;水中主要的病菌、微生物、原虫及其引起的介水性传染病的风险;投氯产生的消毒副产物对人类健康的潜在威胁;其他消毒技术的优点与不足;消毒副产物的控制等内容。

作者收集了丰富、翔实的资料,深入浅出地对氯进行了详细的阐述,提出了氯用于消毒对人类健康的有利、有害的矛盾,并提出了整体解决矛盾的途径:①保护好水源免受污染;②加强消毒前的净化处理,尽量减少消毒副产物的前体物;③科学合理地综合利用各种消毒技术,包括适量加氯;④增强自我保护意识,采用家庭净水器脱氯与去除其副产物。

作者提醒读者在重视开发其他消毒技术之际,切不可为了减免氯化消毒副产物对人体潜在威胁而忽视致病微生物给人类带来的灾害,水中致病微生物、原虫对人类的危害仍是第一位的,目前世界范围内氯消毒仍是饮水净化的主流,不要轻易摒弃氯消毒。

希望这本书能让读者充分全面了解有关氯的知识,在家庭饮水中加强自我保护意识,达到科学饮水、增进健康的目的。我想这也是作者辛劳编写这本书的愿望。

清华大学环境科学与工程系

王占生

2009年11月17日



序(二)

祝贺《科学饮水，无“氯”无忧》首次在我国出版并预祝本书的出版对增进我国饮水的安全保障工作作出更大的贡献！

本书的主要作者李复兴教授是国际好水协会会长、中国医促会健康饮用水专业委员会主任、北京公众健康饮用水研究所所长，他长期从事有关健康水的研究，即探索好水的基本特性和好水与人体健康、疾病的关系。本书是作者继2007年出版的《水，是药还是毒？》一书后的又一本介绍科学饮用水知识的好书，具有以下三方面的特点。

1. 本书选题正确。民以食为天，食以水为先。科学饮水是饮水安全保障的前提与基础，是当前广大群众最关心的大事。在水处理中如何合理选择消毒剂？科学合理地进行氯化处理？如何在饮水处理中消除对人体健康有危害的消毒副产物？等等。本书均作了成功的研究与论证。

2. 本书指导思想正确。本书在回顾我国饮水安全保障工作发展历史的基础上，总结了饮水安全保障工作必须遵循的四条基本原则，即①在处理中，防止介水性传染病始终是水处理的重中之重；②要积极防范突发性公共事件对饮水安全的影响；③搞好水源保护工作，是保障安全饮水的前提；④设置合理的水处理工艺（含消毒工艺）与设备是保障安全饮水的前提。本书既肯定了水氯化消毒过程中形成的副产物对人体健康的影响，并为防止氯化副产物对人体健康危害提出了四大措施，即①保护水源免受污染；②原水中尽量减少消毒副产物的前体物；③根据原水水质特点，合理采用各种消毒方法；④采用家庭净水器。

3. 坚持与时俱进，前瞻性强。本书特别强调：饮水安全是人类生存和发展的基本权利。针对当前水体普遍遭受污染的特点，作者提出了建立与完善饮水安全保障三大体系，即：一是建立饮用水源地安全保障体系；二是

建立城镇供水(集中)安全保障体系；三是建立家庭饮用水自我保障体系。

本书不仅是一本饮水安全保障工作方面科普读物，而且又是一本可供环保、水利、卫生、建设等有关政府管理部门、有关科研单位工作人员和有关院校师生阅读的好读物。它必将在饮水安全保障工作方面，对水处理的科研、教学、生产运行与管理工作起到积极的推进工作。

浙江省建设厅科技委

政府特殊津贴专家 钱荣孙

2009年10月31日



前言

Foreword

氯是自然界中广泛分布的一种元素，在地壳中存在各式各样的氯化物。考古学家发现早在公元前3000年古人就会利用岩石中盐类(氯化钠)。氯作为一种新的元素是1810年由英国著名的化学家戴卫首先给予确认。

氯元素生产的产品在我们生活的方方面面、无处不在。我们每日使用的食盐(氯化钠)是最普通的氯化物。氯主要用于化学工业尤其是有机合成工业上，是生产塑料、合成橡胶、染料及其他化学制品或中间体等的重要原料，氯给人带来的好处还有就是氯在水消毒中的应用。

本书主要内容是介绍及回顾近百年来氯作为消毒剂在饮用水中应用的历史和相关技术问题，其中突出介绍和阐述氯作为消毒剂和人类健康的关系。

在1850年由英国 John Snow 首先将氯消毒剂用于供水消毒上，当时有效地防止了伦敦霍乱的蔓延。到目前为止世界上所有的城镇供水大部分都采用氯化消毒。氯化消毒在预防介水性病原微生物传染性疾病的控制，保障公众饮水安全起着举足轻重的关键作用。

任何科学技术都是一把双刃剑，均具有利弊二重性。氯等消毒剂也是如此。可以说，一个多世纪以来世界范围内已经成功地应用氯化消毒，直到1972年鲁克博士在美国鹿特丹自来水厂首先发现经过氯化消毒后的饮用水中检测出了三卤甲烷(THMs)。已经很清楚三卤甲烷是水氯化消毒副产物的一种，所谓消毒副产物是一些消毒剂对水进行消毒时，与水中的一些有机物发生反应而产生的。随着消毒剂的种类和水中有机物的不同所产生的消毒副产物的数量和种类均不同。至今文献报道的消毒副产物的种类大约有600~700种。

1976年美国国家癌症协会研究发现三氯甲烷对动物有致癌作用。20世纪90年代流行病学发现膀胱癌、直肠癌以及结肠癌等的发病率和饮用水中氯消毒投加量之间有潜在的相关关系。

作者认为尽管很多甚至有“三致”作用的物质属于痕量物质，但在体内有长期的积累、富集和叠加作用，对人体的危害往往是长期的，甚至在十年、二十年后方显现出来。所以我们不能忽视氯化消毒技术对人体生命安全和健康的危害作用。

尽管全世界尚无新的消毒技术取代氯化消毒，因此在以下四个方面措施减少氯化消毒对人体的潜在危害。

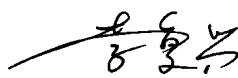
1. 最根本的方法是从饮用水源头抓起，加大饮用水水源地保护，治理及监控；减少水源地有机污染；减少对自来水通过处理消除病原体的依赖。

2. 对自来水厂来讲，最有效的措施是降低水中消毒副产物前体物质的含量，特别是水中总有机碳(TOC)含量。因为TOC越高，使得氯的投加量增加，接触的时间越长，则容易产生消毒副产物及其他有毒有机物的数量。有些自来水厂采用臭氧+活性炭的预氧化技术、北京公众健康饮用水研究所研发的紫外光催化技术等都能有效地降解水中的有机物。

3. 在饮用水水质标准中强化消毒副产物的指标控制。国际上一些发达国家的饮用水水质标准中对于消毒副产物的界限值越来越严格。

4. 有条件的家庭可以选择家庭安全饮水的自我保障体系，可以选择优质的家庭净水器等，例如“除氯宝”类的产品。这类产品主要的原理是除去水中的游离余氯，改善水的味和臭。但是家庭用的净水器要注意及时更换滤芯。

总之，饮水安全是人类生存和发展的基本权利。作者认为当前从三方面建立饮水安全保障体系，一是建立饮用水水源地的安全保障体系；二是建立城镇供水安全的保障体系；三是家庭饮用水自我保障体系。前二者是长远而持久的工作，而后者对于广大消费者来讲确是最直接和最为方便的，也容易做到。但是每个家庭成员首先要树立自我饮水安全的意识，只有这样才能有效地选择适当的设备和产品，使每个家庭用水和饮水做到卫生、健康、环保和节水。



2009年11月10日

目 录

Contents

第一篇 安全饮水，缺“氯”不可

第一章 安全充足饮水的重要性.....	2
一、防止介水性传染病是水处理的重中之重.....	3
二、突发公共事件对饮水安全的影响.....	4
三、保障安全饮水的前提条件——水源的保护.....	9
四、合理的水处理工艺.....	11
第二章 水的氯化消毒.....	21
一、氯的历史.....	21
二、氯的性质、安全性及用途.....	24
三、水的氯化消毒.....	29
第三章 介水性传染病.....	58
一、饮用水的微生物风险.....	59
二、与饮水有关微生物的危害.....	59
三、微生物在水中的持续存留和生长.....	62

第二篇 认识“氯”害，无“氯”无忧

第四章 饮用水安全吗.....	66
一、我国水污染给自来水水质带来的挑战.....	67
二、水中微生物的危害.....	73
三、安全饮用水的基本要素.....	89

第五章 自来水中的消毒副产物对人类健康的影响..... 91

一、消毒副产物的种类和分布..... 92

二、消毒副产物生成的影响因素..... 93

三、消毒副产物对健康的影响..... 96

四、消毒副产物生成的控制..... 99

五、有关氯消毒剂量的限制..... 106

六、氯化消毒的展望..... 108

第六章 家用净水器的选择和使用..... 110

一、什么是家用净水器..... 110

二、家用净水器常见滤材的类型..... 113

三、家用净水器的选购与维护..... 121

附 录

附录一 游离余氯的测定方法《生活饮用水卫生规范》..... 128

附录二 消毒方法的比较..... 131

一、氯气消毒..... 131

二、氯胺消毒..... 132

三、二氧化氯消毒..... 133

四、臭氧消毒..... 134

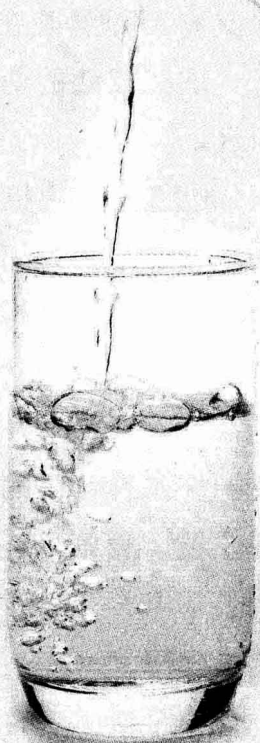
五、紫外线消毒..... 135

六、银离子消毒..... 137

参考文献..... 139

第一篇

安全饮水，缺“氯”不可



Water

第一章



安全充足饮水的重要性

20世纪是科学技术空前辉煌的世纪，人类创造了历史上最为巨大的科学成就和物质财富。这些成就深刻地改变了人类生产和生活的方式及质量，同时也深刻地改变了人类的思维观念和对世界的认识，改变并继续改变着世界的面貌，极大地推动了社会的发展。美国国家工程学院在2000年宣布了对20世纪影响最大的20项工程项目。这些成就的前四项为：电气化、汽车、飞机和安全而充足的饮用水。

电气化、飞机和汽车明显地改善了人的生活。而列为第四位的安全而充足的饮用水取得成就，相对前三种不那么明显，但引起的变化却是令人震惊的。提供安全而充足的饮用水，实际上有效地防止了介水性传染病的发生，大大提高了人们的预期寿命。在20世纪初，介水性疾病，如伤寒和霍乱，使成千上万的人丧失生命。最常见的介水性传染病是当时的第三大死因。在20世纪的百年时间水处理工艺、设备，特别是氯消毒的使用将19世纪的第三大死因大大地降低了其发生率，氯作为消毒剂为提供安全和充足的水提供了最重要的保障。

安全饮用水的公共卫生保障涉及许多方面，例如优质的水源、合理的加工工艺、优良的设备和有效的消毒剂，以及安全和干净的输配管道和贮水池。任何一方面都不能偏废。特别是近二十年间自来水的加工工艺、技术和设备飞速发展，新技术、新材料不断涌现，例如膜过滤技术、新型絮凝剂等产品的使用，其中氯制剂作为消毒剂应用在饮用水中被认为是20世纪最伟大的公共卫生的进步。

一、防止介水性传染病是水处理的重中之重

在世界各地水处理最重要的目的就是严防介水性传染病的爆发。水源性传染疾病的爆发可能会波及大量人群。现今快速流动的、相互依赖和相互关联的世界为传染病的快速传播以及对人类的威胁创造了无数机会。目前，传染病从地理学角度上讲比历史任何时候传播的速度都要快。先进的交通工具使世界各国人员往来与日俱增；所以世界上任何一个地方一旦疾病爆发或流行，那么仅仅几小时后就会使其他地区大难临头。

传染病不仅传播速度快，而且新病种出现的速度似乎也超过了过去的任何时期。自20世纪70年代开始，新出现的传染病即以空前的、每年新增一种或多种的速度被发现。现今约有40种疾病在一代人以前是不为人所知的，比如“非典”、甲型流感等。

未处理或不适当处理饮用水引起的介水性传染病严重地威胁公众健康，特别是在发展中国家差不多有一半人口在饮用不清洁的水。在这些国家，一些疾病，例如霍乱、伤寒和慢性痢疾是这些地区无论年轻人还是老人死亡的主要原因。由于贫困人们缺乏水污染知识，以及缺乏良好的水处理方法和饮用水输送的基础设施，令人遗憾的是，在1990年，超过300万个五岁以下的儿童死于痢疾，至今世界很多地区的人还没有安全饮用水。

据联合国发布的资料表明：世界上有一半以上的大河被污染，有30多亿人的饮水不符合卫生标准，有20多亿人的饮水发生困难。在发展中国家，有80%的各类疾病是通过饮用了不清洁的水传播的，每年因饮用不卫生水至少造成全球2000万人死亡，因此，水污染被称作“世界头号杀手”。在水污染所引起的疾病中，最普遍且对人类健康造成影响最大的是疟疾、血吸虫病、肠内寄生虫感染和河盲病（盘尾丝虫病）等介水性传染病。据世界卫生组织和联合国儿童基金会联合发表的1份报告称“因缺乏洁净水造成的腹泻病例每年多达40亿起，造成220万人死亡，其中大部分是5岁以下的儿童”（图1）。

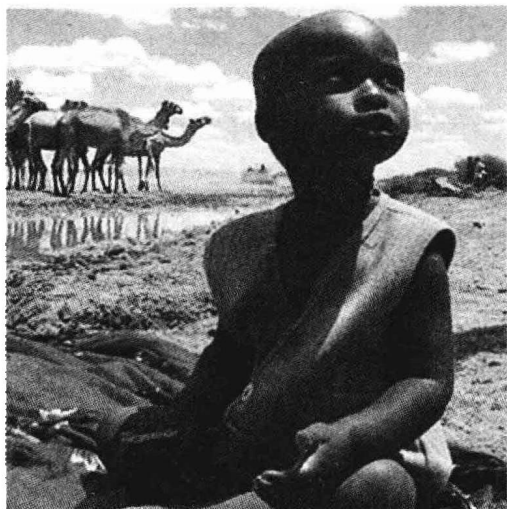


图1 骆驼小子

(摄影师：Boniface Mwangi

——肯尼亚内罗毕)

一个孩子在吃饭，他的父母此时正将家中的驼群赶到肯尼亚Al-Akaburu的一处水源饮水。池中的水也被当地人用来做饭和饮用。在撒哈拉以南的非洲，缺乏清洁的水比战争导致的死亡人数更多：每天有6000人死于痢疾和腹泻。

二、突发公共事件对饮水安全的影响

所谓的突发公共事件是指突然发生，造成或者可能造成重大人员伤亡、财产损失、生态环境破坏和严重社会危害，危及公共安全的紧急事件。突发公共事件包括工业生产事故、战争、重大自然灾害和恐怖事件等。

近百年来，自来水工艺和设备等有了长足的发展，但是面对全球污染加剧的局面和突发公共事件的不时发生，给自来水厂带来严峻的挑战，各类水污染事件依然层出不穷。水处理过程中的氯化消毒保障了饮水的安全性，大量统计数据说明，加强饮用水消毒是保障全世界公共卫生的主要手段。正如美国微生物学会认为“公共供水的消毒处理是唯一的、最重要的、不折不扣的措施”。

美国疾病预防控制中心（CDC）和环保总局（EPA）从1971年开始联合对饮水和娱乐用水引起的介水性传染病突发事件进行统计，所统计的数字还不能完全涵盖所有的病例，因为有些病例没有上报到CDC或EPA。统计表明：美国从1991年到2000年各类供水系统出现了155次突发公共卫生事件，总病例为431846例，其中最大的一次是

1993年美国密尔沃基爆发隐孢子虫事件，详见表1。

表1 1991～2000年美国各类供水系统发生介水性疾病统计

病原体	公共供水系统		非公共供水系统		个人供水系统		总 量	
	爆发事件	病例	爆发事件	病例	爆发事件	病例	爆发事件	病例
贾第鞭毛虫	11	2073	5	167	6	16	22	2256
隐孢子虫 ^①	7	2	407642	578	2	39	11	408259
弯曲杆菌	1	172	3	66	1	102	5	340
非伤寒的沙门氏菌	2	749	0	0	1	84	3	833
大肠杆菌	3	208	3	39	3	12	9	259
大肠杆菌	0	0	1	781	0	0	1	781
志贺氏杆菌	1	83	5	484	2	38	8	605
类志贺邻单胞菌	0	0	1	60	0	0	1	60
Non-01弧菌属霍乱	1	11	0	0	0	0	1	11
甲肝	0	0	1	46	1	10	2	56
类似诺沃克因子病毒N	0	0	1	46	1	10	2	56
小的圆形结构病毒	1	148	1	70	0	0	2	218
化学制品	18	522	0	0	7	9	25	513
未确定的	11	10162	38	4.387	11	238	60	15237
合计	57	422364	64	8.934	34	548	155	431846

① 1993年美国密尔沃基报道的403000个病例。

注：1. 表中的数据来自美国CDC的介水性疾病的周报。

2. 公共供水系统是指那些社区至少平均有25个全年居住的住户并至少有15年以上服务关系。

3. 非公共供水系统是指那些社区至少平均有25个住户并至少有15年以上的服务关系，同时居民至少每年有60天用过水。

4. 个人供水系统是指那些住户少于25个服务期且少于15年。

图2是1991～2000年不同因素引起美国介水性疾病爆发的比例分布。从图2中可以看出由原生动物引起的疾病约为21%，细菌引起的约为18%，病毒引起的接近6%，化学污染，例如铜、铅和硝酸盐引起的约为16%，不明原因的为39%。从美国10年的统计显示，在突发公共事件中，微生物引起介水性传染病爆发所产生的次数为多数。因此预防微生物污染，保障公众的饮水卫生安全是各国水安全计划中的重中之重。

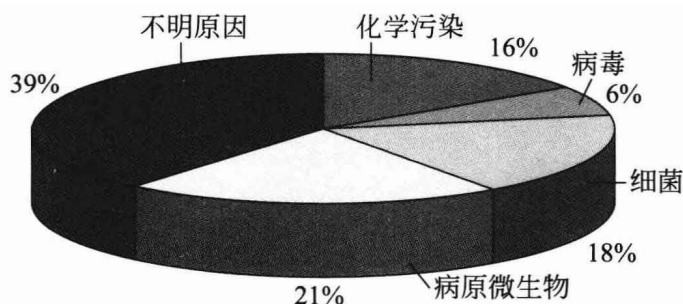


图2 1991～2000年美国介水性疾病发生比重

据2008年12月报道，美国路易斯安那州杰斐逊城中的2800个供水系统中38个长期以来微生物一直不达标，同月据匹兹堡报道，Shadyside村自来水被大肠杆菌污染，当地卫生部门警告当地老人不要饮用自来水。

自来水中除了大肠杆菌的污染外，在饮用水中还不断出现新的病原微生物，例如微小病毒、贾第鞭毛虫、隐孢子虫等等。1976年首次在人体内检出隐孢子虫，此后，它被确认为腹泻病的病因。在亚洲、澳大利亚、非洲和南美洲十分盛行。现在在美国，隐孢子虫是最主要的水传染病因。在英国、日本、荷兰，饮用水传染病爆发也与隐孢子卵囊有关。由于微孢子虫的孢子从感染体排泄进入污水，由于其尺寸小（1～5 μm ），它们很难用常规过滤技术去除，而且对氯消毒有很强的抗性。

自来水供水系统的病毒存在也已经引起各国卫生系统的深切关注。法国、美国、罗马尼亚、印度等国都从常规处理后用氯消毒过的自来水中检出病毒。俄罗斯的研究资料指出，在自来水系统中一年四

季均可分离出肠道病毒。1982年在我国武汉市某自来水厂出水中检出肠道病毒、柯萨奇病毒和脊髓灰质炎病毒。1987年，在同一水厂出水中检出肠道病毒量达78pfu/L。2003年7月重庆市某学校学生饮用被污染的水爆发甲肝疫情，104个学生有98名感染者，53名确诊为甲肝患者。

当出现一些突发的公共卫生事件，其中包括传染病疫情、群体性不明原因疾病，都会严重地影响公众的健康和生命的安全。我国第一次生活饮用水水质和水性疾病调查（1983）结果表明，水致伤寒爆发屡有发生，1958年以来几乎每年均有，仅1980～1983年就发生180起。传染性肝炎仅1981年就发生水污染致爆发流行141起，1983年上海肝炎大流行虽是毛蚶引起，但与水污染密切相关。

从我国已经公布的数据中显示，最主要的介水性传染病是水源水被污染而爆发肠道传染病。表2为我国1958～1984年介水性传染病调查报告。

表2 我国1958～1984年介水性传染病调查报告

疾 病	发生次数/起	发病率/%	累计发病数目/例
伤寒	353	0.63～78.7	45535
细菌性痢疾	157	3.4～55.5	50934
传染性肝炎	141	11.7～23.6	9548

介水性传染病对人们的健康除带来直接的危害以外，还引发各种社会成本的增加。例如1992年召开的第一届国际水消毒的安全性会议上，有一些研究者认为，由于微生物引起的疾病引发的费用，例如医疗费用、人员、时间等相关费用于通过水消毒处理而产生的费用具有一定的相关性甚至高得多。加拿大魁北克大学Pierre Payment博士认为“在工业化国家‘轻微的’的胃肠道疾病的社会成本比送入医院的急性病例所花费的费用要高得多”。

以美国为例，每年没有去医院由医生诊治而发生的费用估计为95亿美元（平均为1985美元/人），经过医生诊治的为27亿美元，而住院的医疗费用仅为7.6亿美元。该依据是由美国大约500000医疗机构