

# 国外水处理新技术

[英] 刘易斯 (W.M.Lewis) 编

张亚杰 顾泽南 宋仁元 朱 珉 译

上海科学技术出版社

# 国外水处理新技术

[英] 刘易斯 (W.M.Lewis) 编

张亚杰 顾泽南 宋仁元 朱 珉 译

上海科学技术出版社

## 内 容 提 要

本书概要介绍了近年来欧美各国在给水工程科学的新发展和水外理工艺的新技术。内容有混凝、反应、澄清、气浮、过滤以及消毒等净水处理新的发展。特别对由于水资源紧张,水质受到污染而引起的水中有机物、氨氮的去除方法,以及去盐的原理和方法作了阐述。书中也讨论了水处理后污泥的处理和处置,以及水质自动监测、仪表化等。

本书可供给水工作的工程技术人员,高等院校给排水专业、环境工程专业师生,给排水研究所、设计院的工作人员,以及从事水处理工作的工程技术人员参考。

责任编辑 孔繁祉

DEVELOPMENTS IN WATER TREATMENT

Edited by

W.M.LEWIS

Applied Science Publishers Ltd-1980

### 国外水处理新技术

[英] 刘易斯 (W.M.Lewis) 编

张亚杰 顾泽南 宋仁元 朱 珉 译

上海科学技术出版社出版

(上海瑞金二路450号)

本书由上海发行所发行 常熟兴隆印刷厂印刷

开本 787×1092 1/32 印张 14.25 字数 317,000

1989年8月第1版 1989年8月第1次印刷

印数: 1—5,000

ISBN 7-5323-0406-X/TU·22

定价: 5.10 元

## 译者的话

本书是英国应用科学出版社(Applied Science Publishers Ltd.) 1980年组织出版的“科学和技术进展”丛书中的一本(Developments in Water Treatment)。书中介绍了近年来各国水处理如混凝、反应、澄清、过滤、消毒等理论上、工艺技术上的发展和成就。同时,还专章论述了近年应用气浮法去除水中微小颗粒与藻类的新成就,专章讨论了近年因水资源紧张以及水质受到污染所引起的有机物的去除和氨氮的处理。本书还扼要介绍了去盐工艺的发展历史、实践现状以及费用成本比较。最后部分,集中叙述了水处理后污泥的处理和处置方法以及水厂水质监测仪表与自动检测的新发展。

本书论述精辟,实用性强,对于学习和掌握水处理先进技术和了解其趋向都有借鉴价值。

本书由宋仁元译第一、二章,朱珉译第十、十二、十三章,张亚杰译第五、六、七、八、十一章,顾泽南译三、四、九章,最后由张亚杰、顾泽南作全书译文的审定。

由于书中述及不少新的科学技术,译文不妥、错误之处,请读者批评指正。

张亚杰 顾泽南 宋仁元 朱 珉

一九八七年七月

# 前 言

1976年世界卫生组织(WHO)出版的《饮用水水质监察》一书的导言中载明：“保护饮用水供水的公共卫生，必须保证给水系统的每个组成部份——水源、净化、储存及输配——的功能均无失灵、不合格的危险”。饮用水与我们呼吸的空气是一种特殊的商品，人们对它们一般是没有选择自由的，因此保证饮用水的最高质量是极端重要的事。

发达国家，自从给水系统中普遍加注消毒剂后，因微生物污染饮水而威胁健康的情况已显著减少。今天公共给水工作者面临的可能是很多微量物质带来的问题，至少有一部分是由于分析化学的迅速发展和对环境的认识，从而感到必需有饮用水的水质标准。

原水中存在众多的化合物，包括从集水区内土壤和矿石中渗出的一些简单离子到(在某些情况下)化学工业排放出来还未能鉴别的废弃物，如把它们排成名单，其长短将取决于分析化学家的能力及其所用的仪器。

有的医学研究者宣布，饮用水中某一物质的存在或缺乏，直接影响到某种疾病死亡率或发病率的变动。问题的复杂性还在于很多已知化合物的毒性还没有被充分了解，于是放在工作人员肩上的责任是，要在“水处理”方面提出一项或多项综合的工艺过程，使之尽可能做到使供水不仅保证感观上可以接受，而且在化学性质上达到最好的标准，并要使输配水系

统的整体性不受到损害和不再引起附加的污染。仅以多瑙河 (Danube)、特伦特河 (Trent)、莱茵河 (Rhine) 这样三条河流而言, 要使处理后的水质可信无疑, 就需要有非常高超的处理技术。

“处理工艺”并不是一个简单的可证的参数, 它决定于原水的性状和质量, 但也可以只需有一种简单的工艺, 例如仅为过滤或过滤加消毒。另一方面, 如从上述三条低地河流的取水, 要做到自来水水质合乎标准, 就需要把各种工艺过程组合起来, 例如, 从用混凝过程去除悬浮物开始等等, 并可能需要应用本书叙述的大多数工艺技术, 才能达到需要的饮用水水质。

在本书的系列叙述中可以发现, 处理工艺的各个重要方面, 均由一位专长于该方面的作者写一篇文章, 文章的开端先简短地介绍历史背景, 再提供有关本题的最新资料。

一个值得思考的问题是, 从最近能取得的资料报导中得知, 在 1975 年, 世界上乡村人口中的 78%, 甚至城市人口中的 22%, 还没有足够的自来水供应。而在城市中已具备管网供水能力的 77% 的人口中, 只有 57% 接水进户, 而具备可供 54% 人口的公共给水站供水又仅能得到间断供水。

意识到改正这些缺陷的紧迫需要, 1977 年 3 月, 在阿根廷马德普拉塔 (Mar del Plata) 举行的联合国自来水会议倡导和通过了“国际饮水供应和环境卫生十年 (1981~1990)”。目标是鼓励和帮助世界上所有国家, 确定工作程序, 使水量和水质达到现实的标准并尽可能于 1990 年向所有的人供应自来水。

不幸的然而真实的, 迄今——我们尚不知道这一情况今后将延续多久, 很多国家 (不仅是发展中国家) 正受到不同

# 目 录

第一章	饮用水水质	
		古德曼 (A. H. Goodman).....1
第二章	工艺选择	
		米勒 (D. G. Miller) .....34
第三章	混凝和絮凝	
		斯蒂文逊 (D. G. Stevenson) .....56
第四章	聚合絮凝剂	
		希尔孙 (M. A. Hilson) 理查兹 (W. N. Richards) .....100
第五章	沉淀	
		理查德 (Y. Richard) 卡彭 (B. Capon) ...128
第六章	溶气浮升	
		柴贝尔 (T. F. Zabel) 梅尔本 (J. D. Melbourne) .....149
第七章	过滤	
		特巴特 (T. H. Y. Tebbutt) .....208
第八章	有机化合物的去除	
		肖特 (C. S. Short) .....235
第九章	氮化合物的去除	
		冈特利特 (R. B. Gauntlett).....275
第十章	脱盐	

	伯利(M. J. Burley) 梅尔本 (J. D. Melbourne) .....	306
<b>第十一章</b>	<b>消毒</b>	
	佩林 (A. T. Palin).....	360
<b>第十二章</b>	<b>污泥的处理和处置</b>	
	希尔孙(M. A. Hilson) .....	384
<b>第十三章</b>	<b>水质监测</b>	
	莫利(P. J. Morley) 科普(J. Cope) ...	411



# 第一章 饮用水水质

古德曼(A. H. Goodman)

## 提 要

百年来,水中成分影响人体健康的知识已经取得了进展,发达国家已从水传播疾病的时代发展到了一个给水系统卫生可靠的时代,换言之,在安全应用方面已经取得了显著的进步。但在发展中的国家仍遭受着水致疾病,这种状态已正确地观察到了。较多的发达国家公布了水质准则,进行了比较并讨论了有关的水质参数。当准则存在差别时则加以说明。经常在某些参数的内涵上出现争议。可能的话,尽量提供这些内涵的依据。涉及到准则可信的限度,建议必须依靠给水专家的经验作出水质的最后决定。

## 1.1. 历史概况

### 1.1.1. 导言

我们的祖先从实践中学到,泉水或溪流适宜于饮用。今天世界上某些地方,如果无替代品或需水量大的话,任何种类的水源可能仍有吸引力。可是在文明社会,人们有权要求饮用水水质应是可以接受并且是可信赖的。“可接受的”概念随着时间进展变得更为明确,即水中不应该有妨碍用户身体健康

的成分。有些水源,特别是从地下获得的水源,可能不需要处理就适合直接饮用,但大部份地面水须经一定形式的处理才能成为有吸引力和可接受的水。无论是为了决定必要的生产‘可接受’水的水处理方式也好,或是为了确定已有的处理方式是否充分有效,都必须将水质分析成果与一些标准作对比。

从用户的观点讲,要使水看起来有吸引力,一般要做到水清、没有明显的粒状物和色度经常要低。按照用户的习惯及需要对水质的主观评价可能各不相同。在一个很干旱的国家里很容易被接受的水,在另一个水源丰富的国家则成为不能接受的了。无论如何,为了防止有害于用户,对水质进行精细的评价是必要的。说用户能看出布罗德街泵站水存在缺陷是令人难以相信的,然而当约翰斯诺(John Snow)博士认定这种水中含有的一些物质导致该地区霍乱传播时<sup>[1]</sup>,根据他的论证,使用了另一个替代的给水系统,便从此减少了疾病的影响程度。在继续其流行病方面的经典研究中,他证明这两个不同水源:一个受到污水污染;另一个没有受到污染,从用户的健康来说的确是有差别的。按照他对南沃克(Southwark)、兰贝思(Lambeth)公司及沃克斯霍尔(Vauxhall)公司的供水系统的观察,罗伯特科克(Robert Coch)对汉堡(Hamburg)及阿登纳(Altona)的给水系统也进行了类似的对比研究。虽然据埃及文献记载和在公元前约400年由希波克拉底(Hippocrates)的提倡,在古时常进行水的过滤。科克研究的结果认为采用过滤除了去除水中悬浮杂质,使水在外表上更有吸引力以外,还有减少细菌含量的好处<sup>[2]</sup>。相当时期来,细菌学方面的标准已被人们所接受,并且因今天出现更多第一流的化学分析而显得更为突出,所以,十分重要的一点是,这些细菌学标准不能被忽略。据世界卫生组织估算,世界上约

有80%的疾病与水有关。不论是直接受微生物或通过生物媒介物——昆虫携带及蜗牛寄生媒介物——或由于不适当的供水而造成卫生上的缺陷<sup>[3]</sup>。在任何时候，估计约有4亿人患肠胃炎及2亿人患血吸虫病，二者很可能与受污染的生活用水有关。发达国家增加水的重复利用意味着存在某种致病微生物的风险更大了<sup>[4]</sup>。自1908年实行氯消毒以后，在发达国家公共给水系统中，消毒已几乎普遍采用。虽然有些水源在相当一段时期内可以认为对污染已进行足够的防护，对这种水可以不消毒，但1937年在克罗伊登(Croyton)发生的霍乱流行病表明<sup>[5]</sup>，即使地下水在避免污染方面也并不绝对安全。在英国，除了供应小团体的最小的水源以外，所有给水系统均进行消毒，并且随着对各种源水消毒方法的发展，希望在不久的将来，对所有例外系统也都进行消毒。

### 1.1.2. 水质控制的准则

饮用水系统的化学污染，如果是铁或锰，把水放在空气中很明显地会变色；如有苦味或涩味，则很明显是由于作为轻微泻药的硫酸镁含量过高，但近年最令人担心的是未被察觉和预料的污染。在日本，由于水源受到排放废水中镉的污染而引起痛痛病<sup>[6]</sup>。在英国，已把保护水源考虑进各种法律性质的指令中，主要有1951年及1961年的《河流法》(防止污染)，1963年的《水源法》，而1973年的《水法》则达到了最高峰。这些法令允准控制工业废水对河流的排放量，以保护饮用水的水源。但是还不能防止事故性污染物的排放，据报告，在水道上每年约有2300起这类排放事故。其中一部分可能流到作为饮用水的水流中，不过，由于当局的警惕，在公共给水中还没有发生影响严重的事故。

多年来，对公共饮用水系统水质的主要要求虽然没有作

具体规定，但认为必须完全合乎卫生要求。各种《公共健康法》载明，对向公众保证供应水符合卫生的应负的责任，原先是赋予当地卫生部门的医务官员的，直到1974年英格兰及威尔士和1975年苏格兰等整顿分工时，该责任才变为赋予环境卫生官员。以往，卫生部门医务官员对水的某些方面不满意，可宣布这种水是不适合卫生的。为了提供准则，对前卫生部于1934年公布的一份供水系统细菌学检验报告(Report on the Bacteriological Examination of Water Supplies)以后经几次修订，直到1969年才由公共安全及卫生部、住房部及威尔士办事处及当地政府公布了现行的《公共卫生、医学报告》第71号系列刊物上的题为《供水系统的细菌学检验》文章。此后已经修订并延伸到了包括水中存在的病毒和考虑致病原生物等内容的章节，但就饮用水中化学成分而言，虽则长期来有所考虑，但英国一直还没有一个国家标准。各别供水企业过去只能参照已公布的其他水质标准<sup>[7]</sup>，直到1958年世界卫生组织公布了《饮用水国际标准》。它的出版对改善水质及水处理是一大帮助。但在英国并不是法定地应用着。1961年世界卫生组织公布了《饮用水的欧洲标准》<sup>[8]</sup>，其目的是推动改善饮用水水质，鼓励在欧洲的经济及技术发达的国家达到比国际标准更高的标准。因为有些欧洲国家，工业发展密度高，农业耕种集中，对给水的危害机会也是世界其他地方不常碰到的，所以采用这种比较严格的标准是公正的。现在大部份供水企业已注意到《欧洲标准》所推荐的内容。

在英国加入欧洲经济共同体以后，共同体委员会积极推动整个共同体执行意图提高供水水质的各项《指令》，其中首先完成并已公布的是有关《饮用水给水系统的地面水水质》<sup>[9]</sup>。这一《指令》在被英国内阁接受后，成为责成执行的东

西,因此《指令》中附件的标准也成为英国法定标准了。一个关于《人体耗用水的水质指令》草案经详细讨论后,在1975年7月31日递交给了内阁<sup>[10]</sup>。《指令》中有些条目几经商榷,已于1978年12月被内阁所接受,但到目前为止最后的文本尚未公布。该《指令》规定了在成员国,包括英国在内的公共和私营的饮用水系统的水源标准。这些标准不仅包括那些必须满足用户官感所需要的,而且还包括矿物成分及有机化合物的标准。再者,其中有些参数已包括在通常所谓的水的卫生分析中,以确定是否有某种程度的污染。很多不寻常的元素也包括在标准里。部分原因是由于近年来导入了先进的薄层气相色谱、高压液相色谱、电子捕获分光光度计及用于有机物的气相色谱和质谱等,因而能够检出,鉴别它的存在并可估计其数量使人引起注意。如今,已能鉴定出十亿分之几(ppb)浓度级别。《欧洲共同体委员会》已安排组织成员国进行研究,合作公布了在水中发现的一个很长的有机物名称表<sup>[11]</sup>。这个表列出了在饮用水中检出和估计出的几百种数量的化合物并在公布以后又发现了很多的化合物。

这种可把元素或化合物检测、估量到如此低浓度的能力,使得公共卫生进入了崭新的领域。用某些方式使对极低浓度元素或化合物的接触暴露,和对健康所起的某些有害影响,这两者的关系是一件要认真研究的事。很多的例子证明须接触暴露一个很长的时期,才能最后得出该影响的结论。这一时限有时极长,因为据认为有些致癌物质从最初接触暴露到证实其致癌作用,可能要20年之久。这与水中存在高浓度物质的有害或有毒效应在相对较短时间内急性发作(如在不久前,由于受细菌感染所发生严重的后果)有很大的差别。用测定某一种物质在一个长时期内,即是一种积蓄暴露(chronic

exposure), 是否对某些人有明显的影响的方法就是研究某一地区整个居民群经暴露在某种物质前, 预计, 到一定时期会引起健康上的影响, 以之与据信未曾暴露于该种物质的类似居民群的健康状况统计资料进行对比的一种方法。如果将不同社会、环境及其他因素的误差加以修正后, 被研究的两群居民的健康仍出现重要的差别时, 则可表明暴露于该物质与对健康的特殊作用有一定的关系。这种流行病学的研究方法正在为研讨、寻找水中物质成分限量的合理结论方面不断扩大其应用。最早应用这种研究方法的实例是北美洲大湖周围(包括部分加拿大安大略省)的甲状腺高发病症调查。当地饮用水中含碘量低, 已被认为是该地区缺碘的标志。就绝大多数的矿物质而言, 水极少作为唯一的饮食摄取源。但是在很多情况下水能为人们提供摄入相当含量的矿物质。碘的情况就是这样。另外一个流行病调查的例子表明, 当氟化物摄入量较正常量少时就发生龋齿病。

遗憾的是, 流行病调查需时很长而且艰苦, 标准中很多建议的限值是根据较短时间、少数人、在一定条件下公布的调查报告中得到的, 其价值可能被其他有关当局所怀疑。在对公共健康有怀疑的场合, 较妥当的是宁可倾向于安全, 按此原则选用公布报告中的数据, 要一直到怀疑消除为止。由于用各种方法都很难获得令人信服的佐证, 所以在水质准则中, 采用这类限值, 只能是作为一种预防措施。在考虑某一特定给水系统时, 要判断是否需要在水中的成分进行分析。为帮助作出判断, 将在以下各段落中对各种水质准则中所显示的参数予以讨论。

世界卫生组织出版的《饮用水欧洲标准》<sup>[8]</sup>, 认真地区分了哪些物质在饮用水中很可能出现的什么浓度可认为有毒,

它们很可能对健康产生实际的危害；哪些物质含量过多可能引起麻烦（从产生厌恶的味道到变色或浑浊等）；哪些物质可能对胃肠有些刺激，纵然是相对地无害的。标准中，或许是因为在其他处理工艺中会产生干扰或引起腐蚀或将排出过多的沉积物，列出了一系列应予以控制物质的水平。这个概念一直贯串于《饮用水的地面水水质准则》之中。其中，对公共健康有重要影响的参数被指定为I值（imperative 命令性的），当它从有碍限值（nuisance value）的观点看或对健康有倾向性影响则称为G值（guide value 指导性）。用于《人体耗水水质准则》草案中的地面水方面准则的I值已被最高允许浓度（MAC—maximum acceptable concentration）所替代，而“指导值”则仍予以保留。

应着重指出《地面水水质准则》中的数值是用于水源的，有些引用的参数是代表污染程度的标志。其中有些数据经过工艺处理以后，其数值已有所降低，而其他部分则属于保守性物质，因经过处理后并无数量上的变化。但有些其他情况，还要留有一定的裕量，这是由于经过工艺处理的结果反而要增加——例如，硫酸盐的水平，当用硫酸铝或硫酸铁作为混凝剂来作水的凝聚时，允许增加硫酸盐含量，列于上述准则中的附录I中的三种水质水平是与所用三种处理工艺水平相适应的，现摘录如下：

#### 附录 I

$A_1$ 、 $A_2$ 、及  $A_3$  类地面水转变为饮用水的标准处理方法定义。

$A_1$  类：简单的物理处理和消毒，即快滤和消毒。

$A_2$  类：通常的物理处理、化学处理和消毒，即预氯化混凝、絮凝、沉析、过滤、消毒（后氯化）。

A<sub>3</sub>类：加强的物理及化学处理，扩大的处理和消毒，即折点加氯、混凝、絮凝、沉析、过滤、吸附(活性炭)、消毒(臭氧、后氯化)。

另外一组水质准则已刊出在美国《饮用水安全法》(PUP. L. 93-523)<sup>[12]</sup>1412节所提出的《国家饮用水水质暂行基本标准》中。在叙述应用这些标准以后，并提供了最高污染水平的参考依据，还提出了取样频率的准则和各种污染物分析方法的指针。对标准中的最高污染水平，将列出讨论某些特定参数的依据。

曾声称，苏联于1937年制订了欧洲第一个饮用水水质标准，经过不断修改，并仿照世界卫生组织准则相同的格式。现在订出了一个新的标准(GOST2874-73)<sup>[13]</sup>，在接受几种物质于水中同时存在有可能加强其总的危害的观点方面，苏联可能搞得更深入。为了防止其综合作用增加危害，根据这些物质共同作用的原理，规定限制各种化学因素的低浓度。作为一种重要的饮用水而言，以其中各种物质的最高允许浓度部分所表示的总和应不大于1，即  $c_1/C_1, c_2/C_2 + \dots$  直到  $c_N/C_N$  应小于或等于1。这里  $c_1, c_2 \dots$  到  $c_N$  为在水中发现的各物质浓度，以 mg/L 表示，而  $C_1, C_2$  到  $C_N$  为各标准最高允许浓度，以 mg/L 表示。上述数学处理方式对氟、硝酸盐和放射性物质并不适合。评价细菌学方面组成的方法则已按照世界卫生组织的标准进行。

在相互比较那些已经公布的各种水质指标或各项准则之间，确有一个重要问题。其中结合到或联系到各种法定文件时需要各种分析和数据加以佐证。很清楚一个法定文件不准有不同的标准。但出版的内容中纯粹作为指导性的通常有两个数值，一是期望达到的数值叫做“期望值”；另一是最高允许



的数值。因为期望值远低于最大允许值，所以在考虑运用这些数值时必须审慎从事。本章的以下部分，将讨论那些公布中的某些指标及探讨对于给水水质的相对重要性。指令性的（或强制性的）数值必须照做，但有些其他数值可能对英国的情况并不合适。在讨论中，指出了所提出主要指标的参考资料出处，意图是指明彼此之间明显的差别。

### 1.1.3. 石棉纤维问题

在讨论这个问题以前，必须参考有关水中石棉纤维的各种资料。吸入石棉纤维对健康的危害已引起人们很大关心，在工作场所需要弄清空气中含有石棉纤维的数量，并且规定空气中允许存在的石棉纤维数的硬性标准的倾向已被采纳。然而尽管有外界压力，迄今尚无现实条件去规定水中石棉纤维含量的合理标准。相对地在英国很少有水样送检石棉纤维，实际上全世界采样测定水中石棉纤维的也非常有限，因为测定方法非常麻烦。所以看来并不会被广泛地采用。除非检出和测定方法有重大的突破，可能测定水中石棉纤维仍停留在一种研究课题的探索方法上，而不是一种常规测定法。测定方法包括从水样中分离固体颗粒，经过净化步骤，然后在电子显微镜下检查，以便描述纤维的形状并与无关的物质加以区别，以及数出特定区域内石棉纤维的数量。结果可能不很精确，因为水样的稀释度十分大，观察得到的数字要乘上一个很大的倍数。这样误差便可能相当大。在水中发现的纤维可能变化范围较大，也可能成束地出现，这样又引起计算上的困难。在吸入纤维的情况，已知 $0.25\sim 1\mu\text{m}$ 直径， $10\sim 60\mu\text{m}$ 长度的纤维对健康是最危险的，因为相信它们会形成间皮瘤（*mesothelioma*），这是一种胸腔中形成的癌。这些纤维是如此之小，以致吸入后可能穿过纤毛并穿入肺的深远部位。这