

饮用水

YINYONGSHUI
GANGUANPINGJIA
JI GONGCHENGJISHU

感官评价及工程技术

丛丽 苏德林 编著



化学工业出版社

饮用水

YINYONGSHUI
GANGLIANPINGJIA
JI GONGCHENGJISHU

感官评价及工程技术

丛丽 苏德林 编著



化学工业出版社

·北京·

图书在版编目 (CIP) 数据

饮用水感官评价及工程技术/丛丽, 苏德林编著.
北京: 化学工业出版社, 2007.7
ISBN 978-7-122-00754-4

I. 饮… II. ①丛…②苏… III. ①饮用水-评价
②饮用水-水处理 IV. TU991.2

中国版本图书馆 CIP 数据核字 (2007) 第 101225 号

责任编辑: 刘兴春

装帧设计: 史利平

责任校对: 吴 静

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: 北京市彩桥印刷有限责任公司

720mm×1000mm 1/16 印张 11½ 字数 220 千字 2008 年 1 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: 30.00 元

版权所有 违者必究

前 言

水是人类基础的生命物质之一，人类社会的发展史也是一部不断利用水、研究水、认识水的水科学发展史。从远古时期的认识水要澄清、洁净才对人体健康无害，到目前以各种方式应对水的环境污染并根据需要制造所需的水，人类对水科学的研究取得了丰硕的成果，也付出了巨大的代价。在这个探索水的性质和功能的过程中，人体感官始终起着重要的作用。感官感觉是人类的一种本能，是人类漫长进化过程中形成的保护自身的本能，如出生几天的婴儿就喜欢甜的水而拒绝苦味的水。对于任何一种饮用水，即使所有的水质指标都证实了水的卫生性和安全性，但感官评价结果不好人们也是不会接受的，饮用水的感官评价结果是人类决定是否接受一种饮用水的第一要素。

饮用水的感官评价不仅仅是人类选择饮用水的一种因素，同时也是饮用水水质的一个综合反映。自然界中不存在纯水，水在自然循环和社会循环过程中会受到自然条件、地质条件和社会活动的影响，使水中混入来自自然界中各种地球化学和生物化学变化过程的产物以及人类各种社会活动作用产生的物质，形成不同的化学组成，造成天然水的水质存在巨大差异，从而也导致了天然水口感上的巨大差异。最近几十年来，由于人类文明的发展和进步，人类的活动范围和程度不断加强，人类活动所排放的烟尘、废水、废渣和生活垃圾通过各种渠道进入水的循环过程，在丰富和改变水化学组成的同时也改变了水质，表现出来的是饮用水产生了严重的感官问题。饮用水的感官问题关系着饮用人群的身心健康，关系到一个社会的生存安全，饮用水的感官问题引起了社会各界和水科学研究者的高度关注。

尽管感官评价对饮用者选用饮用水至关重要，但是，水科学的工作者对感官评价研究甚少，既没有感官评价的标准方法，更缺乏对饮用水感官评价影响因素的研究，甚至关于饮用水感官评价的定义也是模糊的。1993年 Stone 和 Sidel 给出了感官评价的定义，感官评价是用于唤起、测量、分析和解释产品通过视觉、嗅觉、触觉、味觉和听觉所引起反应的一种科学方法。饮用水的感官评价是一门依赖于人的生理学和心理学基础、实践性很强、与饮用水科学密切联系的一门科学，包含了生理学、心理学、统计学、食品化学等方面的内容。

本书是作者在中国科学院生态与环境研究中心博士后站研究成果的基础

上编写的，在博士后站的研究中，重点研究了饮用水感官评价的测试方法、水中因子与感官评价结果之间的关系、人类对水的偏爱性以及北京市市场瓶装水的感官评价等内容。在编写本书时，增加了水处理工艺、消毒方法对水的感官评价的影响，以及地质环境疾病与饮用水的感官评价的关系等内容。

在博士后站工作期间，得到了合作导师刘俊新研究员的悉心指导，为课题的研究及本书的编写提供了思路；另外，郑祥副教授对本文关于测试数据处理内容提供了诸多帮助和指导，在此一并表示衷心感谢。

本书在编写过程中，参考了王晓蓉主编的《环境化学》、王栋等翻译的《食品感官评价原理与技术》、丁耐克编著的《食品风味化学》、赵新淮编著的《食品化学》、秦钰慧主编的《饮用水卫生与处理技术》、邵刚编著的《膜法水处理技术》、戴塔根等主编的《环境地质学》等文献的相关内容，在此一并表示感谢，感谢这些专家和学者所做出的研究，为饮用水感官评价研究的深入开展提供了科学基础和技术支持。

作者力求全面系统地把有关感官评价的内容介绍给读者，抛砖引玉，让更多的人了解、关注、研究饮用水的感官评价，为提高饮用水的感官评价效果及工程技术做出贡献。但由于作者才疏学浅，遗漏及不足之处在所难免，真诚欢迎读者的批评指正，以便在今后的研究中不断提高。

编著者

2007年5月

目 录

1 饮用水感官评价的涵义	1
1.1 饮用水资源的概况	1
1.1.1 水资源概况	1
1.1.2 天然水的组成	4
1.2 水与人类健康的关系	6
1.2.1 人体中的水及其功能	6
1.2.2 水中所含的物质与人体健康的关系	8
1.3 饮用水感官评价的概况	10
1.3.1 饮用水的概念和标准	10
1.3.2 饮用水感官评价的概念和功能	11
参考文献	12
2 饮用水存在的感官问题及产生原因	13
2.1 饮用水资源污染导致的感官问题	13
2.1.1 饮用水资源污染现状	13
2.1.2 饮用水资源污染带来的感官问题	16
2.2 水处理工艺带来的感官问题	20
2.3 饮用水输送系统带来的感官问题	21
2.4 舆论宣传带来的感官问题	23
2.5 饮用水感官问题带来的后果	24
2.5.1 反映了饮用水水质的恶化	24
2.5.2 对常规水处理工艺提出了巨大的挑战	24
2.5.3 促进了瓶装水事业的快速发展	24
2.5.4 人们的饮水观念混乱	28
参考文献	30
3 饮用水感官评价的研究进展	32
3.1 饮用水感官评价的研究进展	32
3.1.1 初级阶段	32
3.1.2 研究饮用水卫生安全阶段	33
3.1.3 应对有机物污染阶段	33
3.1.4 寻求优质水阶段	34
3.2 感官评价的研究进展	34
3.2.1 感官评价的定义	34
3.2.2 感官检验的主要方法	35

3.2.3 感官检验的发展现状	36
参考文献	38
4 饮用水感官评价的生理学和心理学基础	39
4.1 饮用水感官评价的生理学基础	39
4.1.1 人的味觉	39
4.1.2 人的嗅觉	42
4.1.3 人的口腔神经感觉	43
4.1.4 人体感官的相互作用	43
4.2 感官作用的心理学基础	44
参考文献	47
5 饮用水感官评价的化学基础	48
5.1 甜味物质	48
5.2 苦味物质	49
5.3 酸味物质	50
5.4 咸味物质	51
5.5 辣味物质	52
5.5.1 热辣(火辣)味物质	52
5.5.2 辛辣(芳香辣)味物质	53
5.5.3 刺激辣味物质	53
5.5.4 辣味物质的构-性关系	53
5.6 涩味物质	54
5.7 其他显味物质	54
5.8 气味物质	54
参考文献	58
6 饮用水感官评价的测试方法	59
6.1 环境要求	59
6.2 评价人员	60
6.2.1 自愿参加的原则	60
6.2.2 培训品尝人员	60
6.3 语言描述符的确定	61
6.3.1 消费者经常使用的饮用水感官评价描述符	61
6.3.2 科学研究经常使用的饮用水感官评价描述符	61
6.3.3 品尝人员提供的饮用水感官评价描述符	61
6.3.4 饮用水感官评价语言描述符的确定	62
6.4 样品呈送方案	62
6.5 感官评价过程设计	62

参考文献	63
7 水中影响因子与感官评价结果的关系	64
7.1 有机影响因子	64
7.1.1 水中的天然有机物及其对感官评价的影响	64
7.1.2 水中的人工合成有机物及其对感官评价的影响	65
7.1.3 消毒副产物及其对感官评价的影响	65
7.1.4 藻类分泌的有机物及其对感官评价的影响	65
7.2 无机影响因子	66
7.3 水质综合指标与感官评价的关系	67
7.3.1 溶解性总固体/矿化度 (TDS)	68
7.3.2 色度	68
7.3.3 浊度	68
7.3.4 肉眼可见物	69
7.3.5 pH 值	69
7.3.6 硬度	69
7.3.7 碱度	69
7.3.8 二氧化碳气体	70
7.3.9 温度	70
7.4 结论	70
参考文献	71
8 人类对饮用水的偏好性	72
8.1 试验设计	72
8.2 试验结果与讨论	73
8.2.1 第一组	73
8.2.2 第二组	74
8.2.3 第三组	75
8.2.4 第四组	76
8.3 小结	77
9 饮用水处理工程技术与感官评价结果的关系	78
9.1 常规水处理技术对饮用水感官评价的影响	78
9.1.1 常规水处理技术	78
9.1.2 常规水处理工艺出水水质特点及感官评价结果	78
9.2 膜法水处理技术对饮用水感官评价的影响	78
9.2.1 反渗透技术 (RO) 出水的感官评价特点	78
9.2.2 纳滤技术 (NF) 出水的感官评价特点	83
9.2.3 超滤技术 (UF) 的感官评价特点	87

9.2.4	微滤技术 (MF) 出水的感官评价特点	91
9.2.5	电渗析技术 (ED) 出水的感官评价特点	93
9.3	其他水处理技术对饮用水感官评价的影响	95
	参考文献	96
10	消毒方法对饮用水感官评价的影响	98
10.1	饮用水氯化消毒方法与感官评价	98
10.1.1	氯化消毒	98
10.1.2	氯化消毒饮用水的感官评价特点	99
10.2	紫外线消毒方法与感官评价	100
10.2.1	紫外线消毒	100
10.2.2	紫外线消毒水的感官评价特点	100
10.3	臭氧 (O ₃) 消毒方法与感官评价	100
10.3.1	臭氧消毒	100
10.3.2	臭氧消毒水的感官评价特点	101
10.4	二氧化氯 (ClO ₂) 消毒方法与感官评价	101
10.4.1	二氧化氯消毒	101
10.4.2	二氧化氯消毒饮用水的感官评价特点	102
10.5	其他消毒方法出水的感官评价特点	102
	参考文献	103
11	地质环境疾病与饮用水的感官评价	104
11.1	地质环境与人类健康	104
11.1.1	地形地貌与健康	104
11.1.2	岩石与健康	105
11.1.3	土壤与健康	106
11.1.4	地质构造与健康	106
11.1.5	水文地质与健康	106
11.2	地质环境疾病与饮用水的感官评价	107
11.2.1	地方性砷中毒	107
11.2.2	地方性氟中毒与饮用水的感官评价	109
11.2.3	碘缺乏病	111
11.2.4	癌症与饮用水的感官评价	112
11.2.5	克山病、大骨节病与饮用水的感官评价	113
11.2.6	心血管病与饮用水的感官评价	115
	参考文献	115
12	我国市场瓶装水的感官评价研究	116
12.1	样品采集与测试过程设计	116

12.1.1	试验水样的收集	116
12.1.2	水样水质指标选择和测试分析	117
12.1.3	测试者选择	118
12.1.4	试验过程设计	118
12.1.5	数据处理方法	120
12.2	饮用水感官评价结果与分析	126
12.2.1	纯净水的试验结果及讨论	126
12.2.2	“优质饮用水”的试验结果与讨论	141
12.2.3	人造矿物质水的试验结果与讨论	143
12.2.4	低 TDS 低钙低镁天然矿泉水的试验结果与讨论	145
12.2.5	低 TDS 高钙高镁天然矿泉水的试验结果与讨论	147
12.2.6	高 TDS 低钠天然矿泉水的试验结果与讨论	149
12.2.7	高 TDS 高钠天然矿泉水的试验结果与讨论	150
12.3	水分子的微观缔合结构对感官评价的影响	152
12.4	小结	161
	参考文献	162
13	改善饮用水感官评价结果的工程实践	163
13.1	去除饮用水中的异嗅	163
13.1.1	水源水水质情况	163
13.1.2	高锰酸钾预氧化工艺系统及原理	164
13.1.3	处理效果	164
13.2	苦咸水的淡化	164
13.2.1	咸阳机场原有供水水质情况	165
13.2.2	咸阳机场利用反渗透技术淡化苦咸水	165
13.2.3	苦咸水淡化效果	166
13.3	去除饮用水中的铁、锰	166
13.3.1	哈尔滨供水七厂水源水水质情况	167
13.3.2	多层纤维除铁除锰塔工艺	167
13.3.3	处理效果	168
13.4	去除饮用水中的钙、镁	168
13.4.1	水源水的水质情况	168
13.4.2	软化处理的工艺系统	168
13.4.3	处理效果	170
13.4.4	工艺参数	170
	参考文献	170

1 饮用水感官评价的涵义

1.1 饮用水资源的概况

1.1.1 水资源概况

宇航员在太空中观察地球是一个蓝色的星球，那是由于地球表面大部分被水覆盖，水的总量近 $13.8 \times 10^8 \text{ km}^3$ ，占据地球表面的 70.8%，平均深度为 3.8km。水构成了地球环境的一部分——水圈，水圈中水的总量是恒定的，但水的存在形式却在不断地变化与循环中。水在地球环境中不断运动，蒸发的大气集结成云，变成雨或雪降落到地面，渗入到地下储水层，流入湖泊、河流和海洋，再蒸发返回到大气形成云……水在循环过程中起到了输送热量和调节气候的作用。水是地球资源的一部分，称为水资源。地球的水资源见表 1-1，其中海洋水占地球总水量的 97.3%，淡水只占 2.7%，可供人类使用的淡水资源约为 $850 \times 10^4 \text{ km}^3$ ，仅占地球总水量的 0.64%。

表 1-1 地球水资源分布

水体类型	水量/ km^3	占总量的百分比/%
海洋	1320000000	97.3
淡水湖	125000	0.009
盐湖和内海	104000	0.008
河流	1250	0.0001
土壤水	67000	0.005
地下水	8350000	0.61
冰冠和冰川	29200000	2.14
大气水	13000	0.001
合计	1360000000	100

注：数据来自王晓蓉，1993。

我国水资源约为 $27219 \times 10^8 \text{ m}^3$ ，居世界第六位，我国水资源具有三个显著特点：一是尽管水资源总量不低，但是由于人口众多，人均拥有水量仅为世界人均拥有平均水量的 1/4；二是我国水资源分布非常不均匀，占全国土地面积的 63.7% 的北方流域，其水资源占全国水资源的 20%，而占全国土地 36.3% 的南方流域，水资源占全国水资源的 80%；三是降水及河川径流的年内分配集中，年际变化大和连丰、连枯年表现突出，我国大部分地区降水受季风影响，在年内和年际之间有很大的变化，汛期 4 个月的降水量和径流量占全年的 60%~80%，

我国主要河流都曾出现过连续几年水较丰和水较枯的现象，如黄河曾出现过连续11年（1922~1932年）的少水期。

尽管水资源以各种各样的形式存在着，但人类能够直接利用并易于利用的饮用水水源主要为河流、湖泊、沼泽和地下水，只有在特殊情况下才考虑采用海水或其他形式的水资源作为饮用水的水源。

1.1.1.1 河流水资源

降落到地面的水，最初汇集成一些细流，继而形成小溪，最后汇合成河流。由于水量的大小与地区自然地理条件的差异，可形成常年性河流，也可形成间歇性河流。河流的形成是一个非常复杂的过程，可概括为5个阶段。

(1) 降水过程

河流是由降水引起的，发生在河流整个流域上的降水都是形成河流的重要环节，降水的量及其在空间和时间上的变化有可能各不相同，同一流域的降水强度有时均匀有时也不均匀。降水的这些变化过程直接影响河流的丰枯变化。

(2) 流域蓄渗过程

水渗入土壤的过程称为下渗。水流向洼地停蓄的过程称为填洼。

(3) 坡面漫流过程

当降水强度大于下渗强度或土壤水已达饱和后，雨水开始沿坡面流动，成为坡面漫流过程。

(4) 河网集流过程

坡面上的水经漫流进入河网后，即在河网内沿河槽继续向下游运动，此过程称为河网集流过程。

(5) 地下径流过程

下渗的降水在地下形成径流，直接作为河流的补给水。

河流水量的补给源根据来源不同可分为雨水补给源、融雪水补给源、永久积雪或冰川融水补给源、湖泊和沼泽水补给源和地下水补给源五种，有时几种补给源交替或共同补给。

由河流的形成过程可见，形成河流的地区的地质环境、社会环境影响或决定着河流水资源的水量、水质状况。

1.1.1.2 湖泊水资源

湖泊是陆地表面具有一定规模的天然蓄水洼地，是地表的一种更换周期较长、流动缓慢的滞留性水体，深受其周围陆地生态环境和社会经济条件的影响。湖泊按其湖盆的成因，可分为以下七类。

(1) 构造湖

由于地壳的构造运动而产生的凹陷积水而成的湖泊。其特点是湖岸平直、狭长、陡峭、深度大。

(2) 火山口湖

火山喷发停止后，火山口成为积水湖盆。其特点是面积不大但深度非常大。

(3) 侵蚀湖

由冲刷、侵蚀作用而形成的洼地积水而形成的湖泊。其特点是湖水较浅、面积、形状不一，湖水的矿化度较高。

(4) 河成湖

由于洪水造成的河流改道、河流运行过程中的裁弯取直、淤积等原因，使原来河道的河段变成了湖盆。该类湖水深较浅。

(5) 海成湖

在浅海、海湾及河口三角洲地区，由于沿岸水流携带泥沙的沉积，使沙嘴、沙洲不断延伸，最后封闭海湾使之与海隔离而形成的湖泊。

(6) 冰成湖

由古代或现代冰川刨蚀或堆积作用形成的湖泊。特点是大小、形状不一，成群分布。

(7) 堰塞湖

河流两岸的山坡受火山爆发、地震、山崩、泥石流等的影响而崩塌，崩塌物质或火山熔岩阻塞河道，河水被阻塞而形成的湖泊。

形成原因不同的湖泊，水质有很大差别。

1.1.1.3 沼泽水资源

沼泽是地表土壤层水过饱和的地段。它是一种特殊的自然综合体，具有3个基本特征：(a) 地表长期过湿或有薄层积水；(b) 其上生长湿生植物或沼生植物；(c) 大部分有一定厚度的泥潭积累，土壤剖面有明显的浅育层或潜育化现象。

沼泽的形成可归纳为两种情况：积水体沼泽化和陆地沼泽化。积水体沼泽化是指海滨沼泽化、湖泊沼泽化和河流沼泽化；陆地沼泽化是指森林沼泽化和草甸沼泽化。

沼泽的泥炭层按质量百分比计算，一般含有89%~94%的水，可见沼泽是一个良好的蓄水体。沼泽水大都以重力水、毛细管水、薄膜水等形式存在于泥炭空隙和草根层中。在沼泽中，泥炭空隙和草根层所含水的上部边界形成沼泽的潜水面。当潜水面露出地面时，重力水在沼泽表面形成永久性的湖泊和小河，或是降落大雨、融雪或河流泛滥后在沼泽表面形成暂时性的水潭。

沼泽水富含有机质和悬浮物，生物化学作用明显。水浑浊，一般颜色呈黄褐色。当有机酸和铁锰含量高时，沼泽水面呈现红褐色。沼泽水矿化度较低，除干旱区的盐沼泽和海滨沼泽外，一般均低于500mg/L。沼泽水的硬度也很低。沼泽水一般为酸性或中性，以弱酸性为主，pH值一般为3.5~7.5。腐殖质含量高，每升水中含有几毫克至上百毫克不等。

1.1.1.4 地下水资源

埋藏于地表以下土壤空隙和岩石空隙中的水，统称为地下水。地下水按在地下的埋藏时间可分为上层滞水、潜水和承压水三类。

(1) 上层滞水

在透水性较好的土壤中常夹有不透水的土层，这时，降水或灌溉水在下渗过程中，因受相对隔水层的阻挡而滞留于隔水层之上，形成了上层滞水。上层滞水靠大气降水或地表其他水体的直接深入补给，这种水因埋藏较浅而非常容易受到污染。

(2) 潜水

潜水指埋藏在地下第一稳定隔水层之上，具有自由表面的重力水。它的上部没有连续完整的隔水层顶板，通过上部的透水层与地表相通，其自由表面称为潜水面。大气降水和地表其他水体可通过透水层直接深入补给潜水，潜水的分布区和补给区是一致的，潜水的水位、流量、化学成分都随着地区的不同而不同。

(3) 承压水

承压水是充满于上下两个稳定隔水层之间的重力水，水体承受静水压力，与有压管道中的水流相似。承压水由于有稳定的隔水顶板和底板，与地表的联系基本被隔绝，因而承压水的埋藏区和补给区不一致。承压水靠相邻潜水含水层侧向补给和上部含水层越流补给。承压含水层的埋藏深度一般较大，其水位、水量、水温、水质受外界因素影响较小。

1.1.2 天然水的组成

由各种水资源的形成过程来看，自然界并不存在绝对纯净的水，水在运动过程中不断从环境（包括土壤、岩石、大气、生物有机体）中溶解各种溶质，同时又通过吸附-解吸、沉淀-溶解、氧化-还原、络合-分解等物理化学过程与环境实现溶质交换，使水质发生改变。天然水的水质主要取决于水流经的岩石、土壤、生物有机体的成分，同时受地质结构的深刻影响。环境中的盐类物质最容易被水溶解进入水中；大气中的活性气体也会进入水中，水中发生各种生物化学反应也会产生气体；天然水中还存在非溶解性物质、胶体等。天然水中的主要元素成分见表 1-2。

表 1-2 天然水的元素成分

元 素	中值/($\mu\text{g/L}$)	范围/($\mu\text{g/L}$)	存在形态
Ag	0.3	0.01~3.5	
Al	300	8~3500	胶体
Ar	600		Ar
As	0.5	0.2~230	阴离子
Au	0.002	0.001~0.02	阴离子

续表

元 素	中值/($\mu\text{g/L}$)	范围/($\mu\text{g/L}$)	存在形态
B	15	7~500	B(OH)_3
Ba	10	<3~150	Ba^{2+}
Be	0.3	0.01~1	
Bi	0.027		
Br	14	0.05~55	Br
C	11×10^3	$(6 \sim 19) \times 10^3$	HCO_3^-
Ca	15×10^3	$(2 \sim 120) \times 10^3$	Ca^{2+}
Cd	0.1	0.01~3	
Ce	0.2	0.1~0.2	
Cl	7000	$(1 \sim 35) \times 10^3$	
Co	0.2	0.04~8	
Cr	1	0.1~6	
Cs	0.02	0.005~1	Cs^+
Cu	3	0.2~30	有机体
Dy		0.005~0.05	
Eu	0.006	0.002~0.009	
F	100	50~2700	F^-
Fe	500	10~1400	胶体
Ga	0.09		
Hf	0.01	0.005~0.13	
Hg	0.1	0.001~2.8	有机体
I	2	0.5~7	I^-
K	2200	500~1000	K^+
La	0.1	<0.05~0.8	
Li	2	0.07~40	Li^+
Lu	0.003	0.002~0.005	
Mg	4000	400~6000	Mg^{2+}
Mn	8	0.02~130	
Mo	0.5	0.03~10	MoO_4^{2-}
N	50	2~1800	NO_3^-
Na	6000	700~25000	Na^+
Nd	0.15	<0.06~0.25	
Ni	0.5	0.02~27	
P	20	1~300	H_2PO_4^-
Pb	3	0.06~120	
Ra	4×10^{-7}		
Rb	1	0.6~9	Rb^+
Rn	1.7×10^{-12}		Rn
S	3700	200~40000	SO_4^{2-}
Sb	0.2	0.01~5	Sb(V)

续表

元 素	中值/($\mu\text{g/L}$)	范围/($\mu\text{g/L}$)	存在形态
Sc	0.01	0.004~0.04	SeO ₃ ²⁻ Sn(IV) Sr ²⁺ Zn ²⁺ , 有机体
Se	0.2	0.02~1	
Si	7000	500~12000	
Sm	0.06	0.01~0.12	
Sn	0.009	0.004~0.09	
Sr	70	3~1000	
Ta	<0.002		
Tb	0.003	0.001~0.005	
Th	0.03	0.007~0.1	
Ti	5	3~18'	
U	0.4	0.002~5	
V	0.5	0.01~20	
W	0.03	<0.02~0.1	
Yb	0.01	0.005~0.2	
Zn	15	0.2~100	
Zr	0.8	0.05~20	

注：数据来自 H. J. W. Bowen, 1979。

K⁺、Na⁺、Ca²⁺、Mg²⁺、HCO₃⁻、NO₃⁻、Cl⁻、SO₄²⁻ 为天然水中常见的 8 大离子，占天然水中离子总量的 95%~99%。水中的这些离子也表征了水体的主要化学特征，表 1-3 给出了水中主要离子与水的化学特征的关系。

表 1-3 水中主要离子与水的化学特征的关系

硬度		酸		碱金属			阳离子
Ca ²⁺	Mg ²⁺	H ⁺		Na ⁺	K ⁺		
HCO ₃ ⁻		CO ₃ ²⁻	OH ⁻	SO ₄ ²⁻	Cl ⁻	NO ₃ ⁻	阴离子
碱度				酸根			

注：数据来自汤鸿霄，1979。

1.2 水与人类健康的关系

1.2.1 人体中的水及其功能

1.2.1.1 人体各器官的含水量

水是维持人生命中最基本的物质之一，人体的任何功能都离不开水。一般成人体内含 60% 的水，婴儿含约 70%~80% 的水。成人的器官中含水量大致如下：骨骼 22%；肝脏 68%；皮肤 70%；胆汁 97%；肌肉 76%；肾脏 80%；肺 82%；脑 75%；血液 83%。

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

1.2.1.2 水在人体中所起的功能

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。

（1）溶解养料与氧气并输送到各器官

水是极好的溶剂，食物送到胃部，经酶的催化，分解成小微粒，并溶于水中，其中养料被小肠黏膜吸收，再送入血液循环，血液在水的帮助下，将养料和氧气送至全身各器官。

（2）清除废物

体内经代谢后的废物，由水送经血液，再送至肾、肠、肺和皮肤，在水的帮助下将废物排出体外。

（3）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 (579.5cal)，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 水为非金属中最良好的导热体，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。

因为水的比热容和蒸发热较大，水在体内有贮热和放热的作用。天冷时贮热，天热时通过汗水蒸发热量，排出每千克汗约可消耗 600kcal (2.51MJ) 热量。

（4）润滑器官组织

水的黏度小，可使体内摩擦部位滑润，减少损伤。体内关节、韧带、肌肉、膜等地的活动都由水作为润滑剂。水还可以维持腺体器官的正常分泌。可使肌肉收缩和骨骼转动起润滑作用。肺的表层与胸壁之间的胸膜，含有稀薄具有润滑作用的液体，使呼吸对胸腔内的肺脏易于活动。同时水还可滋润身体细胞，使其经