

CHUNJINGSHUI YU
KUANGQUANSHUI
CHULI GONGYI
JI SHESI
SHEJI JISUAN

纯净水与矿泉水

处理工艺及设施设计计算

第二版

李福勤 陈宏平 主编
崔玉川 主审



化学工业出版社

纯净水与矿泉水处理 工艺及设施设计计算

第二版

李福勤 陈宏平 主编
崔玉川 主审



化学工业出版社

· 北京 ·

本书论述了饮水水质与健康的关系,并重点对饮用纯净水和矿泉水的水质特征、水质标准、生产工艺及单元处理设施的作用进行了全面阐述;以计算例题的形式(共37道题),具体介绍了各处理设施的设计计算内容、方法和步骤;还对其水处理车间内设施的平面布置、常用处理设备的产品目录进行了系统介绍。

本书信息丰富、可靠,例题典型、实用,并列举了相关的国内外行业标准。本书可供饮用纯净水和矿泉水的开发生产企业、相关设备生产厂家,以及给水排水、食品饮料酿造等领域的工程技术人员和大专院校师生参考使用。

图书在版编目(CIP)数据

纯净水与矿泉水处理工艺及设施设计计算/李福勤,
陈宏平主编. —2版. —北京:化学工业出版社,2015.2
ISBN 978-7-122-22529-0

I. ①纯… II. ①李…②陈… III. ①高纯水-水处理-
工艺②矿泉水-水处理-工艺③高纯水-水处理设施-设计
计算④矿泉水-水处理设施-设计计算 IV. ①TU991.27

中国版本图书馆CIP数据核字(2014)第293293号

责任编辑:徐娟

文字编辑:荣世芳

责任校对:王素芹

装帧设计:刘剑宁

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:三河市延风印装厂

787mm×1092mm 1/16 印张13¼ 字数342千字 2015年5月北京第2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:49.00元

版权所有 违者必究

前 言

《纯净水与矿泉水处理工艺及设施设计计算》的第一版自 2003 年 5 月出版以来，得到了广大读者的关爱，十多年来，随着人民物质和文化生活水平的提高，以及环保和保健意识的增强，人们更加重视饮水的安全与健康，纯净水与矿泉水已由初期的概念变成了现实生活中的真正需求。

为了满足公众需求，体现技术进步，在对本书进行再版编写时，进行了必要的删减、增补和整合，全书由 7 章增至 8 章，使内容更为丰富翔实，风格更加实用朴实，主要改进体现在以下几点。

第一，将原来第一章第一节和第二章第一节内容增补整合为 3 章内容，即第 1 章“生命之水”，第 2 章“饮水水质与健康”，第 3 章“饮用水类别及其特点”。突出了饮水以健康为目的的宗旨。

第二，将原来第一章第二节和第三章内容整合为新的第 4 章，即“饮用纯净水标准及生产工艺设施”，4.1 为“饮用纯净水相关标准”，4.2 为“饮用纯净水总体生产线”。同时，用我国新发布的《瓶装饮用纯净水》、《瓶（桶）装饮用纯净水卫生标准》和《饮用净水水质标准》替换了旧的标准。

第三，将原来第二章第二节和第三章内容整合为新的第 5 章，即“饮用矿泉水标准及生产工艺设施”，5.1 为“饮用矿泉水相关标准”，5.2 为“饮用矿泉水总体生产线”。同样，用我国新发布的《饮用天然矿泉水》替换了旧的标准。

第四，由于在实际应用中电渗析已经被反渗透所替代，因此，在第 6 章和第 8 章中删除了部分电渗析的内容，同时加强了超滤、反渗透和各种新设备的相关内容。在第 7 章“饮用纯净水与矿泉水处理站的布置”中，增加了水处理车间布置示例，更加实用。

第五，在附录中用我国新发布的《生活饮用水卫生标准》替换了旧的标准，并增加了世界卫生组织《饮用水水质准则》（第三版）和美国《饮用水法规》。

本书由李福勤、陈宏平任主编，李福勤统稿。特别感谢崔玉川老师为本书再版所做的工作和举让，并担任主审。感谢聂文欢、唐玮媛、王少雄、杜佳、张晓航、贾玉丽等在文字整理和资料收集中所做的工作。在该书再版编写过程中，参考了不少论文和专著，以及同行前辈们的一些宝贵资料，在此特致衷心感谢！

由于编者的时间和水平有限，书中不当之处，请广大读者给予批评指正。

编者

2014 年 6 月

第一版前言

水是生命不可缺少的物质，是活有机体的基本成分。饮水质量的好坏，直接关系到人体的健康。人类从喝天然水、泉水，到喝经消毒处理后的自来水，无疑是一次饮水的革命。20世纪70年代以来，随着社会经济的高速发展，环境问题日益突出，水资源污染，水资源危机严重影响着人类的健康。饮什么水也成了人们需要认真考虑的重要问题。近年来，一部分人出于对自来水污染的担忧，花钱买好水，一时间，饮用矿泉水、纯净水成了流行的时尚，从而掀起了又一场饮水革命，水真正成了一种消费品。

饮用纯净水和矿泉水，在食品饮料行业中属非酒精类饮料中软饮料的一个分支，作为饮用水产业，国外产销历史比较悠久，20世纪80年代以来，产销两旺，品种繁多。我国虽然起步较晚，但也发展迅猛，短短几年全国各类饮用水生产企业已经超过2000多家，每年生产各种矿泉水和纯净水在500万吨以上，而且还有发展的势头。

本书从人体健康角度分析了纯净水及矿泉水的水质特征；介绍了国内外有关纯净水、矿泉水的水质标准；针对不同原水水质阐述了纯净水和矿泉水的生产工艺单元设施的作用；以计算例题的形式具体介绍了纯净水与矿泉水处理单元设施的设计计算；对水处理车间设施的平面布置进行了简要介绍；汇列了纯净水与矿泉水常用的部分处理设施产品目录。所编写的设计计算例题，从前处理、中段处理到终端处理，共34题，其内容大部分取材于实际工程资料。本书可供纯净水、矿泉水生产企业、相关设备生产厂家，以及给水排水专业的工程技术人员和院校师生参考使用。

该书由崔玉川主编。书中第一、二、四章由崔玉川编写，第三、五、六、七章由李福勤编写。

由于我们的水平有限，书中错误和不妥之处，恳请读者批评指教。

编者
2002. 10

目 录

第1章 生命之水	1
1.1 水是机体的要素	1
1.1.1 人体水的含量	1
1.1.2 人体器官的含水率	1
1.1.3 人体的体液	1
1.2 人体的需水量	2
1.2.1 影响人体需水量的因素	2
1.2.2 人体需水量估算方法	2
1.2.3 体内水的更换周期	3
1.3 机体的水量平衡	3
1.3.1 机体失水的途径与水量	3
1.3.2 机体补水的途径与水量	3
1.3.3 机体水平衡的调节	4
1.4 人体缺乏水的后果	4
1.4.1 机体脱水的严重性	4
1.4.2 水是维系生命的源泉	5
第2章 饮水水质与健康	6
2.1 水中矿物元素与健康	6
2.1.1 水中的矿物元素	6
2.1.2 常量矿物元素与健康	8
2.1.3 微量矿物元素与健康	11
2.1.4 无机盐在人体内的作用	16
2.1.5 元素之间的作用	16
2.2 饮水水质和疾病	17
2.2.1 微生物与疾病	17
2.2.2 有机物与疾病	20
2.2.3 矿物质与疾病	21
第3章 饮用水类别及其特点	27
3.1 自来水与直饮水	27
3.1.1 自来水	27
3.1.2 直饮水	30
3.2 纯净水与矿泉水	31
3.2.1 纯净水	31

3.2.2 矿泉水	33
3.3 安全水、健康水及功能水	34
3.3.1 安全水	34
3.3.2 健康水	35
3.3.3 功能水	38
3.4 商品灌装饮用水	42
3.4.1 我国灌装饮用水的兴起	42
3.4.2 灌装饮用水的类别	43
3.4.3 灌装饮用水简介	43
第4章 饮用纯净水标准及生产工艺设施	46
4.1 饮用纯净水相关标准	46
4.1.1 《瓶装饮用纯净水》(摘要)	46
4.1.2 《瓶(桶)装饮用纯净水卫生标准》(摘要)	46
4.1.3 《饮用净水水质标准》(摘要)	47
4.2 饮用纯净水总体生产线	48
4.2.1 纯净水生产的一般流程	48
4.2.2 纯净水生产线主要特点	50
4.2.3 几种常见水量生产线及主要设备	50
4.2.4 灌装线及其设备	52
4.2.5 常用水处理方法在纯净水生产工艺中的选择	56
4.3 水处理工艺中单元设施及作用	57
4.3.1 前(预)处理单元设施	57
4.3.2 中段处理单元设施	69
4.3.3 终端处理设施	90
第5章 饮用矿泉水标准及生产工艺设施	95
5.1 饮用矿泉水相关标准	95
5.1.1 《饮用天然矿泉水》(摘要)	95
5.1.2 《饮用天然矿泉水厂卫生规范》	96
5.1.3 国外饮用天然矿泉水水质标准	96
5.2 饮用矿泉水总体生产线	97
5.2.1 饮用天然矿泉水处理的特殊要求	97
5.2.2 饮用矿泉水生产一般流程	98
5.2.3 国外矿泉水的生产工艺	100
5.3 矿泉水处理工艺及单元设施	100
5.3.1 取水引水工艺	100
5.3.2 曝气工艺	101
5.3.3 过滤工艺	104
5.3.4 消毒工艺	105
5.3.5 充气工艺	106

5.3.6	灌装工艺	106
第6章	饮用纯净水与矿泉水处理设施的设计计算	108
6.1	前处理单元设施设计计算	108
6.1.1	调节	108
6.1.2	曝气	108
6.1.3	除铁除锰	112
6.1.4	粗滤	114
6.1.5	活性炭吸附	114
6.1.6	离子交换软化	115
6.2	中段处理单元设施设计计算	118
6.2.1	精滤	118
6.2.2	超滤	119
6.2.3	电渗析	120
6.2.4	反渗透	128
6.3	终端处理单元设施设计计算	138
6.3.1	紫外线杀菌	138
6.3.2	臭氧杀菌	138
6.3.3	终端水箱	138
6.3.4	洗瓶灌装设备	138
6.4	纯净水生产线设施系统计算实例	139
第7章	饮用纯净水与矿泉水处理站的布置	141
7.1	水处理车间布置的内容与要求	141
7.1.1	水处理车间布置的内容	141
7.1.2	布置原则	141
7.2	水处理车间布置示例	141
第8章	饮用纯净水与矿泉水处理设施的设备选型	145
8.1	水箱、水泵及计量控制仪表	145
8.1.1	水箱	145
8.1.2	不锈钢水泵	146
8.1.3	流量计	147
8.1.4	电磁阀	147
8.1.5	电导仪	147
8.2	预处理设备	148
8.2.1	多介质、活性炭及除铁锰过滤器	148
8.2.2	软化器	149
8.2.3	脱气塔	151
8.3	中段膜分离设备	152
8.3.1	精密过滤器	152
8.3.2	超滤净水器	153

8.3.3 电渗析器	155
8.3.4 反渗透膜及装置	156
8.4 杀菌消毒及灌装设备	160
8.4.1 紫外线消毒器	160
8.4.2 臭氧消毒器	161
8.4.3 灌装设备	164
8.5 成套生产设备	166
8.5.1 纯净水生产成套设备	166
8.5.2 矿泉水生产成套设备	170
附录	174
附录 1 《瓶装饮用纯净水》(GB 17323—2010)	174
附录 2 《瓶(桶)装饮用纯净水卫生标准》(GB 17324—2003)	177
附录 3 《饮用净水水质标准》(CJ 94—2005)	180
附录 4 《饮用天然矿泉水》(GB 8537—2008)	182
附录 5 《饮用天然矿泉水厂卫生规范》(GB 16330—1996)	186
附录 6 《生活饮用水卫生标准》(GB 5749—2006)	193
附录 7 世界卫生组织《饮用水水质准则》第三版	196
附录 8 美国《饮用水法规》	199
参考文献	203
作者简介	204

第1章 生命之水

水是人类生存、生活与生产所不可替代的物质条件。随着生命科学的发展，对于人体中水的生理功能的重要作用的认知将越来越深入。有的医学专家也已指出，从表现上看，作为生命三大要素的“阳光、空气和水”，似乎均属于生命的外部因素，但现代生物医学的研究成果表明，水在很大程度上还是构成生命的主因之一。所以，对于饮水问题，不仅要重视水量是否足够，水质是否安全，还应理解水质与健康与生命的关系问题。

1.1 水是机体的要素

人类的生命活动，需要多种物质参与：蛋白质是生命的基础；脂肪和碳水化合物是能量的源泉；维生素和矿物质元素也各有所能，缺一不可。论及营养，人们自然想到上述物质，而往往忽视一种重要的物质，这就是人类营养的无名英雄——水。

1.1.1 人体水的含量

水不仅是生命存在的基本条件，也是生命结构的基本构体。构成人体的大致组分为：蛋白质占17%，脂肪占14%，碳水化合物占1.5%，钙等矿物质占6%，其余61.5%为水。也就是说，人体体重的2/3是水。

水是人体内含量最多的成分，其含量占体重的比例也因年龄、性别及胖瘦程度而不同。一般瘦人体内的含水量约为体重的70%，肥胖人员只占50%左右，男子含水量比女子多5%（女子体内脂肪较多）。同时随着年龄的增加，体内含水量将逐渐减少：三天胎儿的含水率为97%，3月时为91%，8个月时为81%，新生儿为80%，一岁与成人接近。成年人体内含水量占体重的60%~70%，老年人则不到60%。

1.1.2 人体器官的含水率

人体内的水与蛋白质、碳水化合物以及脂肪相结合成胶体状态。其中55%的水分在细胞内，16%为细胞间液，7.5%在血浆中，其余部分则分布在骨骼、软骨和结缔组织中。

人体各器官组织中的含水率大致如下：血液82%，肌肉76%，皮肤72%，肺、心脏80%，肾83%，肝68%，胃肠75%，脑75%，眼球99%，脂肪10%~30%，骨骼22%。

人体肌肉组织约为体重的40%，所以肌肉的含水量约为全身总含水量的一半。通常机体内脂肪含量增加时，含水量将下降。

所以，从某种程度上可以说人体是由水组成的，甚至可以说生命活动是以水为中心的，一旦缺水，生命必然结束。

1.1.3 人体的体液

在人体内的水分中，约有60%是在细胞内，40%为相对可以流动的水分，称之为体液。体液有20余种，它们大部分都是由水组成的，如血液、淋巴液、脑脊液、汗液、尿液、大肠液、小肠液、消化液、唾液、胃液、胆汁、胰液、奶液、羊水、胸水、腹水、眼球前房水



和后房水、前列腺液、精液、宫颈液、关节腔滑液、鼻涕水和泪水等。这些体液的色彩、性质和功能各不相同，各具特色。

人体是由细胞组成的，一个人全身的细胞总数有 100 万亿个。凡是有细胞的地方就有水，体液的 2/3 存在于细胞内液（包含钾、镁的水分），其余的 1/3 则存在于细胞外液（包含钠、钙的水分）。细胞外液主要为血液、淋巴液、消化液等。水一旦进入细胞，就会渗入到细胞间隙使其充满组织液。水分将营养及氧补给细胞，并从中运出废物和二氧化碳。

人体各部分能在数微米范围内进行复杂而有规律的化学反应，水起着关键的作用。有资料指出，细胞周围包围着相当于几千万道尔顿分子量的水集团，这些水与蛋白质、脂肪一样发挥着生理功能。例如维持红细胞膜功能的脂双层的脂质之间存在一个水膜，这个结构化的水膜，控制了红细胞与周围物质的关系，同样也维持着细胞和细胞膜的功能。

由于生命科学和医学的不断发展，现在已经发现水对于生命来说，不仅是个“载体”和“工具”，水本身就是生命大分子的一个组成部分。没有水，生命大分子的结构就不能建立，体现生命现象的功能就不能实现。

1.2 人体的需水量

1.2.1 影响人体需水量的因素

人体每天对水的正常需要量，随着个体的年龄、体重、气候、劳动强度及生活饮食习惯等情况而不同。另外，许多因素会增加人体的需水量，如高温、低湿度、高海拔、活动、进食、疾病、旅行、锻炼、怀孕、哺乳等。

年龄越大，每公斤体重需要的水量相对减少，婴儿及青少年的需水量在不同的阶段亦有不同，到成年后则相对稳定。

1.2.2 人体需水量估算方法

关于人体每天需水量的估算方法有 3 种，结果都是成年人每天平均需要水量为 2000mL 以上或 2500mL 左右。

(1) 按单位体重估算 根据美国洛杉矶国际医药研究所的研究，成年人每天应补充的总水量标准是每千克 (kg) 体重每天应补充 40mL 水 (1kg 水=1L=1000mL)。不到 1 岁的婴儿所需水量往往是成年人的 3~4 倍 (因其体表的相对面积较大，水代谢率较高，比较容易发生失水)，参见表 1-1。因此，一个体重为 50kg 的人，每天的总需水量应为 2000mL 以上。

表 1-1 人体每日的需水量

年龄/岁	日需水量/(mL/kg)	年龄/岁	日需水量/(mL/kg)
7 天~1	120~160	8~9	70~100
2~3	100~140	10~14	50~80
4~7	90~100	成年人	40

(2) 按排出量估算 一般成年人，每天的尿液、皮肤蒸发、呼气、粪便等的总排水量约为 2500mL。根据人体水的摄入量与排出量应当平衡的原理，人每天的需水量应为 2500mL 左右。

(3) 按美国 RDA (膳食营养素供给量) 标准估算 成年人每消耗 1kcal (1cal=4.18J, 下同) 能量，需水量为 1mL，婴儿则为 1.5mL。而成年人每天平均至少需要消耗 2000kcal 热量，也就是说，每人每天要补充 2L 水才行。据测算，体重在 55kg 左右的从事轻体力职



业活动的成年女性,每天消耗能量在 2100kcal 左右,其每日需水量就大约为 2100mL;体重在 67kg 左右的从事轻体力职业活动的男性,每日消耗能量为 2700kcal 左右,故其每日需水量就大约为 2700mL。

1.2.3 体内水的更换周期

健康的人会将所吸收的水在当天逐渐排泄掉,大部分经由肾排除,其余则经过呼吸、皮肤及粪便排出。体内水分大约 20 天便全部更换一次。

1.3 机体的水量平衡

水是机体的重要成分,人体在进行新陈代谢过程中,水会不断地从人体中失去。如果人体的机能完全正常,其所失去的水必须即时补上,否则体内严重缺水或水过剩都将会给人体的健康带来较大的损害。所以,正常人体每日摄入量应与排出体外的水量处于动态平衡状态,其数量为 2500mL 左右。人体每天对水的补充应尽量得到满足。

1.3.1 机体失水的途径与水量

人体每天的失水途径与失水量如下。

① 通过肾组织排出尿液水,约 1500mL。

② 通过皮肤排出的汗水和皮肤无感蒸发水(气温低于 25℃ 时)约为 500mL,以及通过肺和口鼻呼出气体中排出去的水约为 400mL。

③ 通过大肠排出的水约为 100mL。

其中,①、②两部分联系紧密,汗多时尿液少,汗少时尿液多,合计约 2400mL。

1.3.2 机体补水的途径与水量

人体中水的三个来源如下。

(1) 饮料水 包括饮服的水、茶、咖啡、汤、乳和其他各种饮料中的水。它们含量较大,约 1300mL,占人体水分总来源的一半以上。

(2) 食物水 即来自固化或半固化食物中含有的水。如米饭含水量在 60% 左右;蔬菜、水果含水量常在 80%~90%,甚至更多。每天随食物进入人体的水分约为 900mL,占人体水分总来源的 30%~40%。食物水中,有的水分以结晶水形式存在,有一部分是以结合水形式存在,都可以被人体吸收。

(3) 代谢水 即来自体内生物氧化或代谢过程所产生的水,主要为三大生热营养素(碳水化合物、蛋白质和脂肪)消化后在产生能量和二氧化碳的同时所产生的水。代谢水实际上也来自食物,人体从每天的食物中产生的代谢水约为 300mL,占人体水分总来源的 10% 左右。每 100g 营养物在体内的产水量为:糖类 60mL,蛋白质 41mL,脂肪 107mL。但是后两项在氧化过程中还要消耗一部分水。当体内缺乏水分时,代谢水就扮演了重要角色,它是新陈代谢排泄废物所需要的最低限度的水。

可以看出,人体所需要的水分,主要应从饮水获得,其次是从食物中获得。当摄入充足的水后,首先保证了把代谢废物、食物残渣等通过粪便、尿液、汗液排出体外,其余的水才可以用于维持生命和健康,使血液、淋巴液的循环呈现良好状态,这样才可以保证供给身体所需要的营养物,同时又能够溶解废物,消除毒素,进而增进内脏功能,皮肤也会得以滋润、光滑。



一个正常成年人每天水的排出和摄入量见表 1-2。

表 1-2 成年人每天（24h）水的排出量和摄入量

排 出		摄 入	
途径	数量/(mL/d)	途径	数量/(mL/d)
肾	1500	饮水	1300
皮肤	500	食物	900
肺	400	体内代谢	300
大肠	100		
合计	2500	合计	2500

使机体中始终充有 2500mL 左右的动态水，是正常人体健康的基本要求。因为饮水过少，体内水代谢将失去平衡，会出现水的“赤字”，使细胞处于失水状态，影响正常的生理机能，血液黏度升高，不利于废料和毒害物质的排泄；若长期过多饮水，则会加重心脏和肾脏的负担，冲淡血液，使全身细胞的氧交换受到影响。

1.3.3 机体水平衡的调节

在正常情况下，人体内水的出入量是保持动态平衡的，这是由于神经、激素及体液中的某些化学物质参与了调节的结果。

(1) 神经调节作用 口渴思饮是体内缺少水分的信号，排尿是体内水分过多及代谢的结果。口渴与排尿都受神经系统的调节。

(2) 激素调节作用 体内某些激素（如垂体生长素、促甲状腺激素）具有利尿作用，另一些激素（如增压素）则有抗利尿作用。某些皮质激素也能促进血液水分的增加。

(3) 化学调节作用 主要体现在食物成分与机体平衡的关系上。有些离子能促进水在组织内的积蓄，有些则可以促进排尿。例如钠可促进水在体内的积蓄，因此水肿病人不宜多进食食盐；钾和钙能促进水分由体内排出，所以多吃水果、马铃薯、甘薯等富含钾、钙的食品可以利尿，即与此有关。另外，通常认为每同化 1g（克）糖类时，可在体内积蓄 3g 水。因此，摄取富有糖类食物的幼儿，体重虽然显著增加，但因蓄积大量水分，因而体质松软。蛋白质为亲水胶体，血浆中的蛋白质有保持血液水分的作用。脂肪不但不能促进水的积蓄，还会迅速引起水的负平衡。某些物质如咖啡碱，也有利尿作用。

1.4 人体缺乏水的后果

1.4.1 机体脱水的严重性

水在机体内的存在形式包括两部分，即细胞外液和细胞内液。前者占体重的 20%，后者占体重的 40%~50%。总体液的百分含量超过或低于此范围时，都会发生生理改变。机体自身为了在较小限度内调节体液而具备许多机制，其中起重要作用的是大脑下丘脑的神经中枢，通过肾脏控制口渴和排尿感觉。

人体因为有水的溶媒作用，才能在体内不断地进行新陈代谢，代谢所产生的废物又必须及时排出体外，这就需要水分作为载体。这种水量每天最低约需 500mL。如果完全不摄入水分，人体也要排泄代谢所产生的废物，所需水分就从体内各部分收集。这种情况持续下去，细胞的水分就会减少，形成脱水，严重时会危及生命。

① 当机体失水量为体重的 2% 左右时，是以细胞外液和间液水分丢失为主。此时下丘脑



的口渴中枢受到刺激，出现意识性摄水需求，出现尿少及尿钾丢失量增加。

② 若继续脱水，当失水达到体重的4%左右时（为中等程度脱水），细胞内外液水分的丢失量大致相等，会出现脱水综合征，表现为严重口渴感、口腔干涸、皮肤起皱、心率加快、体温升高、疲劳等症状。

③ 当失水量为体重的6%~8%时，细胞内液水分的丢失比例增加，并表现为呼吸频率增加，无尿、血容量减少，恶心、食欲丧失，易激怒，肌肉抽搐，精神活动减弱。

④ 如果失水10%（为严重脱水），会使心血管、呼吸和体温调节系统受到损伤，可出现烦躁，眼球内陷，皮肤失去弹性，体温增高，脉搏细弱，血压下降，面色苍白，四肢冰冷，晕眩，头痛，行走困难。

⑤ 当人体失水15%时，会出现幻觉、昏厥，生命难以维持。

⑥ 当失水达20%时，就会引起狂躁、虚脱、昏迷，导致死亡。这是因为，细胞的增生必须依赖脱氧核糖核酸DNA（含水量25%~50%，或更高）的代谢，水是维系DNA双螺旋结构支架的重要组分。当缺水达体重的20%时，巨大的DNA双螺旋结构即可解体，生命就此终止。

由上述可见，干渴给人的威胁往往更甚于饥饿。人在疲劳、负伤等情况下，首先需要的是水，关键时刻一口水就可能救活一条生命。

1.4.2 水是维系生命的源泉

人体对水的需要仅次于氧。一个人短期内不吃食物，当体内贮备的糖类、脂肪耗尽，蛋白质也失去一半时，如能喝到水，即使体重减轻40%，也能勉强维持生命。但人体若失掉15%的水，生命就有危险。另外，水、阳光、空气虽然都是生命之源，但当人被困于空气稀薄、没有任何食物、黑暗的洞穴环境里时，只要有水喝，仍然可以活两三个星期，然而一旦断绝了水，仅能有数天的活命时间。俗话说：“宁可三日无粮，不可一日缺水”。关于在只供水不供食品 and 完全都不供给两种情况下，人的存活期有不同的记述：有7周与7天之说，有1个月与一周之说，有5周与5天之说，也有3周与3天之说等。说明除了食品与水之外，还与年龄、健康状态、气温及精神状态等因素有关。据对自愿试验者和灾害幸存者的调查结果表明，只喝水不吃食物，可以存活20天以上；不喝水也不吃食物，通常用不了几天就会死于脱水。有资料说，在常温下只能忍受3天左右。在炎热季节，恐怕1天也难忍。

另据报道，人不吃不喝而存活下来的最长时间是18天。例如1979年4月1日，18岁的奥地利青年安德烈斯·米哈瓦克兹，被警察关进一间拘留所的单人小屋，不幸的是警察把他忘记了。由于既无食物又无水，等到4月18日 he 被发现时，人已经奄奄一息，后经抢救才活了下来。而在只喝水不吃食物的情况下，人的最长存活时间竟可达382天，相当于前者的21倍。例如1940年出生的号称“超重量级”的苏格兰人安格斯·巴比里，从1965年6月至1966年7月，仅靠医院提供的水、苏打水、茶水、咖啡和维生素延续生命，只是体重由214.3kg下降到80.8kg。

第2章 饮水水质与健康

2.1 水中矿物元素与健康

人类生存与健康不仅需要水和能量，也需要矿物元素，对此人类经历了一个从朦胧认识到逐步深入认识的历史过程。18 世纪中叶，一位瑞典科学家首先指出生物体的骨骼是由磷酸钙组成的；一位意大利科学家确定了人体的血液中含有铁；一位西方科学家在生物组织中发现了钾和镁；随后，又有科学家证实了铁和碘为人体生理所必需。19 世纪，科学家们又陆续发现了磷和硫是人体蛋白质、脂肪、糖和核酸的构成部分；钠和氯是以盐的形式存在于体液中的；锌是很多酶的必要组分；碘是人体甲状腺素不可缺少的物质；铬能使人体有效地利用糖，也是维生素 B₁₂ 的组成部分，为机体制造血红蛋白所必需。

西方一位叫卡斯特罗的科学家首次提出了“矿物饥饿”的问题，意思是人体除了因缺乏食物可引起饥饿外，还存在着一种由于缺乏矿物质而引起的饥饿，这种观点立即得到了许多科学家的赞同和认证。当时美国的一家制药厂还为此专门研制生产了一种矿物质增补剂，专门用来满足人们对这种“矿物饥饿”的需要。

因此，了解矿物元素与健康的相关知识是十分必要的。

2.1.1 水中的矿物元素

2.1.1.1 矿物元素及其水溶性

矿物质是指构成各种无机盐的主要化学元素。按照其物理化学性质一般可把它们分为金属元素和非金属元素两种类型。在化学元素周期表中，金属元素的名称均为金字旁，非金属元素的名称多为石字旁，金属元素的数量远多于非金属元素。常见的金属矿物元素有钾 (K)、钠 (Na)、钙 (Ca)、铁 (Fe)、铜 (Cu)、铝 (Al)、镁 (Mg)、锌 (Zn) 等，其中钾、钠、钙、铁、锌等均与生命密切相关。主要的非金属矿物元素有碳 (C)、硫 (S)、磷 (P)、硅 (Si)、砷 (As)、硒 (Se)、碘 (I)、硼 (B) 等，其中碳、硫、磷是构成生命体的重要元素。

金属元素的氧化物溶解于水后一般呈碱性，如氧化钠溶于水后形成烧碱，氧化钙溶于水后形成消石灰。非金属元素的氧化物溶解于水后一般呈酸性，如二氧化硫溶于水后形成亚硫酸，三氧化硫溶于水后形成硫酸，二氧化氮溶于水后形成硝酸，二氧化碳溶于水后形成碳酸。

2.1.1.2 水中矿物元素的类别

水是一种良好的溶剂，所以地球上的绝大多数矿物元素都可以在水中找到。自然界的水实际上是包括各种矿物元素的溶液，这些矿物元素的存在不同程度地影响了水的物理化学特性。一切生命均离不开水，因此水中的矿物元素也与人体健康密切相关。

水中矿物元素含量的多少与水所接触的环境密切相关。一般来讲，地下水矿物元素含量最多，湖水和水库水次之，河水较少，未与地表接触的雨滴、雪花或高山积雪最少。

水中溶解性总固体（总含盐量）的 95%~99% 由钠、钾、钙、镁四大阳离子和氯根、

硫酸根、碳酸根、重碳酸根四大阴离子组成。按照含量的多少，水中的元素可分为以下4组。

- ① 主要元素，有钾、钠、钙、镁、铁、铝、氯、硫、氮、氧、氢、碳、硅等。
- ② 含量较少的元素，有锂、铯、钡、铅、镍、锌、锰、铜、溴、碘、氟、硼、磷、砷等。
- ③ 稀有而含量极少的元素，有铬（Cr）、钴（Co）、铀（U）、铟（In）、铍（Be）、锗（Ge）、锆（Zr）、钛（Ti）、钒（V）、汞（Hg）、铋（Bi）、镉（Cd）、钨（W）、硒（Se）、钼（Mo）、银（Ag）、金（Au）、铂（Pt）、锡（Sn）、锑（Sb）等。
- ④ 放射性元素，如镭（Ra）、钍（Th）、氡（Rn）等。

2.1.1.3 水中矿物元素的形态

水的电离能力极强，水中溶解的矿物质大多数以离子或离子团形式存在，可分为带正电的阳离子和带负电的阴离子。阳离子多数为金属元素，阴离子多数为非金属元素组成的离子团。矿物质的物理化学特性不同，在水中的溶解度差异很大，溶解度影响矿物元素在水中的丰度。一般氯化盐溶解度最大，硫酸盐次之，磷酸盐较低，碳酸盐最低；强碱金属盐溶解度较大，弱碱金属盐较低。

除了溶解的矿物元素外，水中还有以非溶解态存在的矿物元素，即悬浮颗粒。悬浮颗粒中的矿物元素一般不易被人体吸收，且大部分悬浮颗粒在水质净化过程中被去除，所以悬浮颗粒对人体健康的影响较小。

2.1.1.4 常量元素与微量元素

近年来人们经常见到“微量元素”这个名词，与之对应的另一个名词是“常量元素”（宏量元素）。“微量”或“常量”是指从分析化学角度对元素在物体或系统中的存在量、摄入量等在概念上进行的分类，常量元素意思是数量较多的元素，微量元素与之相反。各种元素在不同的系统中其丰度不同，所以常量元素与微量元素在不同学科、不同领域、不同国家中有着不同的含义和划分标准。

根据地学学者的研究，在地壳中，存量由多到少的元素依次为氧（49.52%）、硅（25.75%）、铝（7.51%）、铁（4.7%）、钙（3.39%）、钠（2.64%）、钾（2.4%）、镁（1.94%）、氢（0.88%）、钛（0.58%）、磷（0.12%）、碳（0.087%）、锰（0.08%），上述元素约占地壳总质量的99.6%。其余不足0.5%，属于微量元素。

生物化学是以化学元素在生物体内特别是人体内含量的多少来划分常量或微量元素的。我国大多数医学界学者认为占人体总重量万分之一以上的十余种元素为常量元素。除去氧、氢、氮、碳等组成有机物的常量元素外，钙、钾、钠、磷、硫、氯等7种常量元素约占人体总矿物质的60%~80%。微量元素是指人体内含量极少，不足人体总重量的万分之一，但对人体正常的生理功能来说又不可缺少的元素，如铁、锌、铜、碘、锰、硒、氟、钼、钴、铬、镍、钒、锡、硅、砷等。也有将微量元素定义为在人体内的含量低于每千克体重0.1g的元素。几乎所有人体必需的微量元素都可以在水中找到，饮水是人们补充微量元素的重要途径之一。

2.1.1.5 环境元素与生物元素的联系

生物与外部环境之间进行着物质与能量交换，从而与外部环境保持着物质的动态平衡。通过长期演化，生物体中的元素丰度与其生存环境中的元素丰度间有着统一性，具有相似的分佈特征，也存在着重要差异。岩石圈中的主要成分硅和铝，在生物体中含量并不高。而组成生物原生质的主要元素碳、氢、氧、氮的丰度比岩石圈中这几种元素的绝对丰度显著提高。生物体中元素含量与海水中元素绝对丰度间的相关性更为显著，这可能与生命起源于海



洋有关。生物在进化过程中,吸收具有一定生命功能的元素,硅、铝一般不能形成溶解性或挥发性化合物,因而较少被吸收。

2.1.2 常量矿物元素与健康

常量矿物元素是构成人体的“建筑材料”,其重要性显而易见。常量矿物元素主要由食物获得,从饮水中摄入的量较少。但是饮水中常量矿物元素的含量会影响人体中常量矿物元素的平衡,而且水中的常量矿物元素主要以离子形式存在,有利于人体吸收。主要常量矿物元素的作用和影响如下。

(1) 钙 钙和镁是影响水硬度的主要阳离子,属于水中含量较多的矿物元素。硬度较高的水易结垢,影响茶壶或锅炉的传热,严重时导致茶壶或锅炉报废。钙和镁离子可与肥皂中的脂肪酸根形成难溶的脂肪酸钙或脂肪酸镁,影响肥皂的使用。用硬度较高的水洗衣,钙、镁离子沉积在衣物上,可使衣物发硬,影响穿着舒适。高硬度的水易使人腹泻,不过人体可以逐渐适应水的硬度。“水土不服”是指初到饮用水硬度较高地区的外地人常发生腹泻的现象,经过一段时间后,这种现象就会消失,这个过程俗称“换水土”。一般河水硬度较低,地下水和矿泉水硬度较高。国家饮用水卫生标准规定生活饮用水硬度不大于 450mg/L (以碳酸钙计)。

钙是人体骨骼、牙齿的主要成分,人体中所含的大部分钙都集中在骨骼及牙齿中。骨骼不仅是人体的重要支柱,而且在钙的代谢及维持钙的内循环稳定方面有着重要作用。钙缺乏主要影响骨骼的发育和结构,临床症状表现为婴幼儿的佝偻病和成年人的骨质疏松症及骨质疏松症。此外,软组织、细胞外液及血液中也含有一定量的钙离子。凝血机制离不开钙,如果血液中缺少钙离子,皮肤划破时血液便不易凝结。钙是细胞内的化学信使,影响神经细胞的传递,缺钙会导致过敏、肌肉抽搐、痉挛。缺钙还会引起高血压,造成动脉硬化,导致心血管病的发生,甚至会诱发肠癌。青年女性在妊娠全过程中,需要付出 20~30g 的钙,平均每天约付出 100mg 以上。妊娠期缺钙,血管平滑肌张力增加,是妊娠高血压的重要原因之一,而且会影响胎儿正常发育。

钙与人体的健美有关。长期缺钙时,眼球的弹性下降,眼肌的收缩功能不良,使有些人出现眼大无神的现象,或过早出现眼角皱纹,还容易发生近视。据调查,近年来女青年近视发病率上升与缺钙有密切的关系。缺钙会影响神经肌肉的协调。当神经周围体液中的钙离子浓度下降时,神经兴奋性会显著增加,可出现烦躁、多动、失眠、手足发麻、肌肉痉挛、腰腿酸痛等症状。钙离子对维持细胞膜的完整性有重要作用,缺钙可使细胞膜的通透性增加,可使皮肤和黏膜对水的渗透性增加,使皮肤弹性降低,出现不明原因的皮肤瘙痒、水肿和皮肤荨麻疹。

钙的摄入量也不是越多越好,血液和体液中钙的含量是一定的,过量摄入将导致高的血清钙,从而导致消化系统、血清系统及泌尿系统的疾病,会使人发生结石以及骨骼变粗等。哈佛大学的研究人员警告说,摄钙过多可能易患前列腺癌。其可能的解释是,钙可降低人体内维生素 D 的含量,而维生素 D 恰恰是保护前列腺的。

因此,人体应当每日摄入适量的钙,才能保证正常的生长发育及新陈代谢。人体每日需钙量随年龄、性别、身体状况的不同而异。我国规定的每日供给量为:成年男女 800mg;儿童 500~1000mg;孕妇 1000mg;乳母 1500mg。

(2) 镁 镁是叶绿素分子的核心原子,叶绿素结构以镁原子铕状结合为其分子的母核,此镁原子铕状结合具有强力催化剂的作用。叶绿素中镁的功能是一般镁离子的数万倍,人体内到处都有以镁为催化剂的代谢系统,约有 100 个以上的重要代谢必须靠镁来进行,镁几乎