

第五章 给 水

Robert A. Clark, Virendra Sethi,
David L. Tippin, James A. Williams

很早以前,环境工程师就发现了大量供应高质量的生活饮用水和满足质量要求的工业以及商业用水的方法。给水牵涉到需求规划、水质要求、地表水和地下水资源评估、地下水生产、地表水收集、地表水治理、盐水治理、非常规水生产和治理水分布等。

传统的地表水处理厂利用化学药品提高悬浮颗粒的去除率及杀菌效果。物理过程包括简单的沉淀和过滤。其传统的处理单元过程包括快速搅拌、混凝、絮凝、沉降、过滤和消毒。对于化学处理和污泥处理还需有辅助系统。一些特别的工艺方法包括炭吸附、离子交换和水的软化。

其他水源水的处理要求确定现场的原水水质。通常,给水的需求量会影响处理工艺的成本-效益选择,而地下水供给要求打井和处理技术的进步,如曝气、软化和/或消毒。半咸水和咸水也要求现场确定处理过程,典型处理过程包括膜技术,如反渗透和电渗析。

配水系统包括(小)进户和分布管线,(大)运输管网和存储设备。配有重力分布器的压力储罐和配有分布泵的地上储罐的设计需要达到安全系统要求的数量和压力标准。一般说来消防的需求决定了设计。

自20世纪初以来,美国水工协会(AWWA)一直在忙于制定饮用水工业的标准。这些标准促进了水的利用,公布了数百种的产品和程序。在本章最后列出了AWWA标准及对它的讨论。

水的需求量

国家的水资源已被大力开发以满足各种用途。给水工程通常是针对某个重要的目标,如城市给水、灌溉、防洪或航运。

使用过的水的去向有两种:一部分水在使用后回到地面水或地下水源;一部分在使用过程中被消耗了而不回到水源。一种典型的消耗是植物的蒸腾。大部分用于灌溉的水,特别是喷洒灌溉,要么被植物吸收了,要么从土壤挥发了。水消耗还包括盐水,但主要考虑的是新鲜水的损耗和各种用水的消耗。

表5.1总结了1975年的实际用水和2000年的用水计划中各种主要的水消耗。如表所示,最大的消耗是灌溉,其次是电力发电用冷却水^[1]。

为合理地评价水系统,能估计具体使用的需求量是很有用的。表5.2总结了具体的生活、商业、工业和农业活动用水的需求量^[2]。后面各节将对这些方面都加以讨论。

生活用水

1975年平均(城市)用水是每人每天118 gal(0.43 m³);一个典型的四口之家每人每天使用

87 gal(0.33 m³)来饮用、烹调、洗涤和清洁卫生^[1]。31 gal(0.12 m³)/人·天的差值主要是运送中的损失、消防、街道清洗、城市和公园维护及其他一些小项目。大多数中心(城市)系统都有运送150 gal(0.57 m³)/人·天水的的能力,但这些包括了一些制造业用水。典型的农村用户生活用水为66 gal(0.25 m³)/人·天。

表 5.1 水在各项使用中的排放量和消耗量^[1]

用 途	总排放量, 10 ⁶ gal/day			总消耗量, 10 ⁶ gal/day		
	1975	1985	2000	1975	1985	2000
净水						
生活用水:						
中心(城市)	21164	23983	27918	4976	5665	6638
非中心(农村)	2092	2320	2400	1292	1408	1436
商业用水	5530	6048	6732	1109	1216	1369
制造业用水	51222	23687	19669	6059	8903	14699
农业用水:						
灌溉	158743	166252	153846	86391	92820	92506
牲畜	1912	2233	2551	1912	2233	2551
蒸汽发电	88916	94858	79492	1419	4062	10541
矿业	7055	8832	11328	2196	2777	3609
公共土地及其他 ^a	<u>1866</u>	<u>2162</u>	<u>2461</u>	<u>1236</u>	<u>1462</u>	<u>1731</u>
总净水	338500	330375	306397	106590	120545	135080
咸水 ^b , 总计	<u>59737</u>	<u>91236</u>	<u>118815</u>			
总排水	398237	421611	425212			

a 包括养鱼和其他各项使用;

b 主要在制造业和蒸汽发电中使用的咸水。

注: 将每天 10⁶ 加仑转化为立方米, 系数为 3785。

表 5.2 典型的水需求量^[2]

项 目	加仑/天(m ³ /天)
机场(每位乘客)	3.5(0.013)
公寓、多人口家庭(每人)	60(0.23)
澡堂(每位浴客)	10(0.04)
露营:	
建筑, 半永久性的(每位工人)	50(0.19)
不供应食物的白天(每位露营者)	15(0.06)
豪华的(每位露营者)	100-150(0.38~0.57)

续表

项 目	加仑/天(m^3 /天)
有限水管胜地的白天和黑夜(每位露营者)	50(0.19)
备有中心浴室和卫生器具的旅游者(每人)	35(0.13)
季节性入住的小屋(每人)	50(0.19)
具有单独卫生间的庭院(每人)	50(0.19)
俱乐部:	
乡村(每位居住会员)	50(0.19)
乡村(每位非居住会员)	25(0.10)
住宿:	
外来住户(每位)	50(0.19)
非居住者添有厨房的	50(0.19)
豪华的(每人)	10(0.038)
多家庭公寓(每人)	50~75(0.19~0.28)
出租房间(每人)	60(0.23)
单家庭(每人)	50~75(0.19~0.28)
庄园	100~150(0.38~0.57)
工厂(每人每轮班加仑数)	15~35(0.06~0.13)
高速公路休息区(每人)	5(0.02)
有单独卫生间的旅馆(双人间)	60(0.23)
有单独卫生间的旅馆(每人)	50(0.19)
医院外的其他单位(每人)	75~125(0.28~0.47)
医院(每床)	250~400(0.95~1.51)
自助洗衣房(每顾客的加仑数)	50(0.19)
牲畜(每种动物):	
牛(喝水)	12(0.04)
奶牛(喝水)	35(0.13)
山羊(喝水)	2(0.01)
猪(喝水)	4(0.02)
马(喝水)	12(0.04)
骡(喝水)	12(0.04)
绵羊(喝水)	2(0.01)
公牛	12(0.04)
带浴池、卫生间和厨房的汽车旅馆(每个床位)	50(0.19)
加床和卫生间(每个床位)	40(0.15)

续表

项 目	加仑/天($\text{m}^3/\text{天}$)
停车场:	
整夜冲洗的卫生间(每位露营者)	25(0.10)
有单独浴池无下水道连接的拖车(每辆拖车)	25(0.10)
有单独浴池且连接下水道的拖车(每辆拖车)	50(0.19)
野餐:	
有浴池、喷头及冲洗卫生间(每位野餐者)	20(0.08)
只有卫生间(每位野餐者)	10(0.04)
家禽:	
鸡(每 100 只)	5~10(0.02~0.048)
火鸡(每 100 只)	10~18(0.04~0.07)
有卫生间的饭店(每人)	7~10(0.03~0.04)
无卫生间(每人)	2(0.01~0.0)
有酒吧和鸡尾酒廊的(每人的添加量)	2(0.01)
学校:	
膳宿(每位学生)	75~100(0.28~0.38)
白天,有咖啡屋、体育馆和淋浴(每位学生)	25(0.01)
白天,有咖啡屋无体育馆和淋浴(每位学生)	20(0.08)
白天,无咖啡屋、体育馆和淋浴(每位学生)	15(0.06)
加油站(每辆汽车)	10(0.04)
商店(每个卫生间)	400(1.51)
游泳池(每位游泳者)	10(0.04)
剧院:	
泊位(每辆车)	5(0.02)
放映厅(每位)	5(0.02)
工人:	
建筑(每人每班)	50(0.19)
白天(学校或办公室,每人每班)	15(0.06)

最近的调查已经改进了对户内用水的估计方法——在个人用水器具被计量的基础上^[122]。在最近的调查中,带有小型数据记录器的居民水表被监测以用于分析户内用水^[123~125]。户内用水中的各固定设备消耗的估计百分数如表 5.3 所示^[126]。根据 1987 年全国范围的调查,户内居民用水量估计为 60 gal(0.228 m^3)/人·天,而 1997 年的研究报告为 60.4gal(0.23 m^3)/人·天。

下节讨论了需水峰值和特殊用水,如绿地、喷淋和消防等用水的变化。

表 5.3 固定设备用水占室内用水的估计百分数

项目	1984 年调查 ^[122]	1997 年调查 A ^[123]	1997 年调查 B ^[125]
类型			
浴室	12	2	2
洗衣机	22	24	24
洗碗机	2	3	2
水龙头	14	15	18
淋浴喷头	14	17	21
卫生间	23	26	30
渗漏	13	12	4
总计	100	100	100

需求峰值 单独水系统的用水量直接随室内的生活用水或农场用水的变化而变化。室内用水量一般在午饭时、上午洗衣时和晚上睡觉前达到最高值。在其余的白天和夜晚时间里，用水量几乎为 0。因此，一户人家的总用水量也许集中在一天的几个小时内，其实际用水速度比表 5.2 所示的平均值要大得多。

若干个用水设备的同时运行也将决定生活给水系统输水量的最大峰值。如同时开动淋浴器、自动洗碗机、绿地喷头和清洁卫生时将会产生近乎临界点的峰值。当然在通常情况下这些设备不会同时使用；但是，只要它们存在于同一系统中，这个可能性就存在。因此在设计中加和这些值是有道理的。表 5.4 列出了生活和农场设施用水的预期值^[2]。

表 5.4 管道、住户和农场的水流速^[2]

地点	水压 ^a		流速	
	kgf/cm ²	lb/in ²	L/s	Gal/min ^a
普通水龙头	0.56	8	0.13	2.0
自关式水龙头	0.56	8	0.16	2.5
洗涤盆的横向龙头, 3/8in	0.56	8	0.28	4.5
洗涤盆的横向龙头, 1/2in	0.56	8	0.28	4.5
浴缸水龙头	0.56	8	0.38	6.0
洗衣桶水龙头, 1/2in	0.56	8	0.32	5.0
喷头	0.56	8	0.32	5.0
厕所球阀	0.56	8	0.19	3.0
厕所冲洗阀	1.05	15	0.95-2.52	15-40 ^b
小便池的冲洗阀	1.05	15	0.95	15
花园水管(50ft, 3/4-in 洒水龙头)	2.11	30	0.32	5.0
花园水管(50ft, 5/8-in 出口管)	1.05	15	0.21	3.33
喷泉式饮水器	1.05	15	0.05	0.75
防火水管, 1/2in, 1/2in-喷嘴	2.11	30	2.52	40

a 水压指给水水龙头或水出口打开流水时其附近的压力；

b 随冲阀的种类和设计的不同而改变。

绿地喷淋 绿地喷淋用水量由绿地面积、喷淋设备种类、气候、土壤和水控制等条件决定。在干旱地区,用水量也许会大于等于生活和农牧总需求。估计一般喷淋速度为表面积每小时约 1.3 cm 就可以了,即大约为每小时向 100 ft² 的面积喷洒 30 gal 水。

如果可能,该系统应至少有 500~600 gal/h 的输水能力。这样规模的给水系统就可满足输水高峰的需求。需水峰值可通过绿地喷洒和生活用水峰值的加和而得到。

消防用水 在单独的给水系统区域,有效的消防依赖于产权所有者提供的设施。国家消防协会已经准备了有关利用可得到水资源的报道^[2]。

消防重力管网的使用存在着一些基本的问题,包括用于储水的水坝、池塘或储水罐的建设和确定安装管网管道的尺寸。管道的尺寸取决于以下两个因数:

1. 供给点到使用点的总落差
2. 管道的长度

具有丰富蓄水层而且结构良好的水井是生活和消防用水的可靠保证。没有配蓄水设备而又需要提供消防用水的井应该进行泵测,在全年最干旱的季节应具有 2 小时持续提供 8~10 gal/min(0.03~0.04 m³/min)水的能力。

如果马达、控件和动力管线都有良好防火的话,那么消防用水就更可靠。当所有的设备都安装在井外,且有分离的动力管线通过其他建筑物时,可达到更高的防火标准。

最小的市场有供货的单独压力系统至少要有 3.5 gal/min 的输水能力。利用普通的花园龙头,虽然具有一定的初始防火或淋湿附近建筑物的价值,但不能指望它对较大的火势有用。若已经安装这个系统,则应该配以接头和龙头。若规划新系统或更新旧设备,应该达到 8.33 gal/min 的输水能力,当然供水也要跟上。一个大单位用于添置消防用的额外成本可以部分地由用于它处的增加的水量和减少的火灾保险金来补偿。

制造业用水

1954 年,制造业每天从地下和地表水源抽取 32.4 亿加仑的净水或盐水。这些水在厂里循环使用 1.8 次后有 93.2% 排回水源。到 1975 年,取水量增加到 60.9 bgd(10 亿加仑),循环使用 2.2 次后有 90.5% 排回地表水源^[1]。

农业用水

农业用水主要用于灌溉和牲畜。牲畜用水仅占农业用水总量的 1%。在所有农业用水中,灌溉用水量最大。全国有 4500 万亩地需要灌溉,这为节约大量的水提供了可能性,而这些水还可以用于其他行业或农业中的其他地方。1975 年,灌溉摄水量为 158.7 bgd,消耗了 86.4 bgd,将来的摄水量可以减少^[1]。

能源生产

1975 年,在摄取的用于所有能源生产的净水中有 95% (88.9bgd) 用于蒸气发电。到 2000 年,冷却技术的进步将使得用于蒸气发电的净水摄取量降低 11%,但仍占能源生产用水的 94%。虽然蒸气发电的摄水量很大,但 1975 年它所“消耗”的水量仅占摄水量的 2%,而随着冷却技术的进步及 2000 年摄水量的减少,蒸气发电的耗水量却占摄水量的 13%。这个显著的增加归于循环过程中高温导致的巨大蒸发^[1]。

矿业

在矿业生产中,水用来提炼金属、非金属和燃料。金属包括铅、锌、镁、金、银、铜和钨等。非金属包括石灰、黏土、重晶石、磷酸盐、岩盐、浮石、沙和宝石等。燃料包括煤、油岩、石油、天然气和液化天然气。1975年,矿业用水量占全国净水摄取量的2.1%,即7.1 bgd。到2000年,矿业摄取量上升了61%,达到了全国摄取量的3.7%,为11.3 bgd。

节水

合适的节水工程从另一个角度来说是提高水资源总量。在以下章节中,将对生活、商业、工业和农业节水的可能性及价格在节水中的影响进行讨论。

城市节水 大约50%的生活用水是用于室内。表5.5列出了一些可能节水的地方及其节水的百分比。这些减少户内用水浪费的方法也大致适用于商业和政府。其他节水方法包括优化浇水程序和采用渗漏探测程序节水^[3]。

表 5.5 潜在的户内用水节水量^[3]

类型	节水量占户内使用量的百分比%
新建筑物	
低-冲洗卫生间	18
低-流速喷头	12
厨房的低-流速水龙头	2
减压阀	5
绝热水管线	4
低耗水洗衣机	5
低耗水洗碟机	4
已建建筑物	
塑料瓶或水坝作为卫生间蓄水池	18
用低流速喷头替换原喷头	12
厨房、卫生间用低速通风装置	2
减压阀	5
绝热水管线	1

工业节水 在工业方面最重要的是水的循环使用。这已经得到了一些企业的重视,这些企业试图通过控制废物的排放来减轻对环境的污染,从而避免罚款。企业特别是用水大户从水价体系中得到了甜头。这个水价体系的修改有利于减少净水的需求量。

农业节水 改进喷淋系统或滴灌,改善已有系统(包括灌溉计划)和农场管理,农业灌溉效率可以得到提高。选择低耗水的农作物,降低植物耗水,可减少灌溉用水量。利用给输送水的沟、渠加衬里和更有效的输水计划可使农民更有效的节水。一个地区的节水量基于维持盐量平

衡的流过水量及多余水的处理,比如,水是重复使用还是排入盐性地表或地下水中。

价格 设置水价的基本目的是为了保证足够的税收来补偿各种费用,而商业公司则是为了盈利。这个价格体系还可以起到防止浪费的作用。虽然“合理的”和“浪费”的定义还有些模糊,但对于现行价格的评定指出,该体系在大多数地区已引起了重视。

7种普遍的价格体系请参见表5.6。当然还有一些其他的形式:根据面积大小收费,根据使用方式收费等。但表5.6代表了基本的类型。阶梯状平台收费是不等价的,不能有效减少浪费。虽然统一收费是合理的,但它通常对于浪费只能起到很小的抑制作用。递增的块状收费,峰值收费及季度性收费也许能降低浪费。

表 5.6 价格体系小结^[3]

系统类型	定义和注解	合理程度	减少浪费
水表	1. 并不都被认为是一种定价方法;它对大多数的定价程序都有影响 2. 在没有表的地方安装仪表可以至少降低25%的消耗	合理的必要基础	是
平价	1. 通常在没有安装仪表的地方使用;对用户不管用水量的多少收费相同 2. 有时价格会随输水管线尺寸而改变 3. 便于操作管理	不合理	否
基本费之上部分递减收费	1. 用户被收取一个设定的固定水量费用,超过部分费率递减。	不合理	否
统一价	1. 每个水单元的花费都一样	合理	作用很小
基本费之上部分递增收费	1. 用户被收取一个设定的固定水量费用,超过部分费率递增。	合理	是
峰值或季节价	1. 在确定的水量范围定一个统一价格。这个水量一般基于较少绿地灌溉用水季节或水分配系统的平均值 2. 超过以上确定水量按高价收费。	合理	是
生活必须部分定价	生活必须部分的价格不增加,超过其上的部分可按一个固定百分比提价。	合理	是

至今还未能准确地确立价格和用水量之间的关系。有关由于水价的增加而导致的用水量减少的记录和档案往往是很少或不完整的。虽然有些文献立足于经济理论,但有时实际经验却表现出矛盾的一面。随着价格的增加,用水量并未显著或持续地减少。因此,这仅仅是在某一水平上的逻辑假设,价格将会对用水量产生巨大的影响。

从节水的观点来看,一个水价政策的有效性关键在于能使消费者清楚地认识到减少用水量可以节约钱。因此,对于合理用量以上的水的消费应引起足够的重视,应成为消费者考虑预算和运行成本的重要因素之一。价格体系,如递增的块状收费,峰值收费及季度性收费为促进用量与费用之间的量化关系的意识起到了一定的作用。

按价计税在用水账单中并未体现出来。这些税收一般着重于确认对水系统如消防用水的

资本收益。但是,无论哪里只要是实践上通过规范的收费体系,那么实行节水的利益和兴趣就是不持续的。

有些地区的废水处理费用包含在水费中,这就要求处理厂的处理能力与废水量一致。这样可利用体现在账单上的费用来鼓励用户利用上述方式节水。

水表 水表可以在两方面起到节水的作用。第一,在大多情况下(用户会在用水量与费用之间产生一个很强的意识)安装水表可以减少 25% 的用水;第二,除了平价,任何计价系统都应要求安装水表。

水 质

在饮用水中,原水水质是最重要的因素之一。为了保证给消费者供应可饮用水,国家已建立饮用水标准(见第三章)。这些问题将在本节讨论。

原水供给

全国的地表水,如湖泊、湿地、河流和小溪,是大量可使用的可见水资源。而地下水是几乎不可见的,或者说很少引起公众注意。但是,在美国地下水作为一个重要的水资源,提供了工业、农业和饮用水四分之一的用量^[1]。

上个十年用于提高地表水水质的努力已经开始产生效果。数据表明,尽管人口和 GNP 在持续增加,但地表水的水质不再恶化。虽然街道和农场径流以及其他非点源通常有与点源一样恶劣的地表水,但是工厂、城市处理厂和其他人口聚居地都逐渐趋于控制之下。

与此相类似的检测和控制地下水水质的措施还未采取,这主要是因为人们一般认为地下水的水质是很好的。然而最近的数据表明地下水已经存在很严重的问题,表明地下水被人工合成的有机物污染的证据越来越多。

人们一直都认为地下水是干净的水源,但是,最近的资料显示在许多地方地下水已经被污染了。数据表明污染有不同的来源,包括各种物质,特别是剧毒的有机和无机化学物质。由于地下水被广泛地用做饮用水,这些有毒物就可能出现在供给的饮用水中,从而对人体产生伤害。

由人工合成的有机化合物引起的地下水污染特别严重。地下水中这些污染物浓度比从污染最严重的地表供水(俄亥俄和密西西比河)取得并处理过的饮用水还要高几个数量级^[4]。对于大多数在饮用井水中发现的有机污染物还没有联邦健康标准。它们大多是已知或被怀疑的致癌物和诱变剂,为了人类的健康,它们在地表水中的浓度必需低于 10ppb。即使在该风险浓度下,这些化合物通常仍然是无色无味的。

从污染源获取的并有类似物质保护的地下水,在非固化层(沙、砾石和卵石)中的要比固化层(石灰石、裂岩和砾岩)中的安全。由于泥土层能起到一定的过滤作用,因此从深些的井中可以获得更好更卫生的水。但必需指出的是有些地区在地质层深处没有水层。

饮用水法规

在美国,1914 年就讨论了第一个系列的饮用水标准,直到 1962 年都在逐步地进行修改^[128]。该标准仅用于州际间的运输,如铁路、公路和航空。根据 1974 年的安全饮用水方案(SDWA, PL 93 - 523),建立了用于美国全国范围各社会水供给的第一系列的初级和次级饮用

水标准^[129, 130]。1986年的安全饮用水修正案(SDWAA)中增加了大量必须满足的条例款项。

SDWAA要求环保局为每一种能够对饮用水消费者的健康产生不良影响的污染物建立最高污染浓度目标(MCLGs)^[131]。每个MCLGs都要求建立在确定对健康不会产生不良影响的水平,并留有足够的保留安全空间。最高污染浓度(MCLs)应尽量接近MCLGs。

当技术或经济上测定给水污染浓度不可行时,SDWA授权EPA在现场建立处理技术要求。加上MCLs的定性条例,SDWAA包含了几条影响深远的关于监测、过滤、消毒和使用铅产品的条例。SDWAA指导下的EPA条例分为以下五部分:

1. 挥发性有机化合物
2. 监测合成的有机化合物、无机化合物和不规范的污染物
3. 放射性核素污染
4. 消毒剂和氧化剂副产品
5. 无机化合物和合成的有机化合物

EPA已经与饮用水企业、环保组织等有关团体共同协商议定今后开展制定有关规章活动的备忘录。该备忘录将包括一个信息收集规则(ICR),两阶段的产品消毒和一个加强地表水治理的规则(ESWTR)^[132]。

此外,美国水工协会(AWWA)已经采纳了一套“水质目标”。该“目标”是AWWA的部分官方政策,包括了过滤后水的浊度、颜色、味道和气味^[128]。该“目标”建议了包括铁、铝和镁的水平,特别强调水应该是非腐蚀的。

国际上也有许多标准控制饮用水质量。其中最突出的是世界卫生组织(WHO)和欧洲共同体(EC),他们都已经制定了许多重要的指导方针和标准。

饮用水质量

雨、雪、冰雹和冻雨等降水含有很少的杂质。当它们在大气中形成和降落时可能会含有微量的矿物质、气体和其他物质,但降水绝对不含微生物。

一旦降水到达地表,就很可能被矿物质、有机物、微生物和其他污染物污染。地表径流时,水可能会夹带泥土颗粒,使水变浑浊。同时它还会夹带有机物和细菌。当地表水通过泥土渗透到水层时,大多数的悬浮颗粒都被过滤掉了。这个天然过滤层可以部分地去除细菌和颗粒物;但水通过矿物层时化学特性会发生很大的变化。州或地方政府的卫生机构以及商业实验室可进行化学和微生物分析。大量的实验方法可用来确定饮用水水质是否达到规范要求,并评价处理的各个步骤^[133~135]。

由于人工合成的化合物如农药和杀虫剂的广泛使用,使人们对水质重新加以关注。这些有机物大多数是剧毒的。在水中即使只有很低的浓度也会产生很大的毒性。近几年的水污染案件表明排水口和污染源都含有合成的去垢剂。

通过地表时水质变化的特性可以分为四大类:

1. 物理:与生活用水水质相关的物理表现特性,如颜色、浊度、温度、味道、气味等
2. 化学:有时通过观察到的化学反应来确定水的化学特性,如软硬水在洗涤时的情况
3. 生物:生物试剂对公众健康非常重要,同时在修饰水的物理和化学特性中也起到了很大的作用
4. 放射性:当放射性物质可能进入水体时应考虑水的放射性

物理特点 准备使用的水应去除所有与视觉、嗅觉和味觉有关的杂质。水的物理特征包括浊度、色度、味道、气味、温度和泡沫度。

浊度 黏土、砾石、浮藻和其他无机物等悬浮物质在水中的表现称为浊度。当一杯水的浊度超过 5 个单位时就可观察出来,会产生视觉反感。饮用水中的黏土或其他惰性悬浮颗粒也许不会对人体健康产生危害,但最好加以处理以具有更广用途。暴雨过后,地下水浊度的变化可以作为周围地表或其他引入污染的指示。

浊度是通过悬浮颗粒的光散射来测量的,并以 Formazin 悬浮作为校对标准。所有浊度计都基于确定的标准^[136~138]。光学颗粒计数器对悬浮物质浓度的细微变化更敏锐,因此可以用来评估处理厂的处理效果^[139]。加强地表水处理条例要求量化去除病菌。研究利用颗粒计数器和血细胞计数器等对致病菌进行监测和定性的快速分析方法正在进行之中。

颜色 腐烂的蔬菜中的可溶性有机物和某些无机物会使水产生颜色。有时,过量繁殖的水藻或水生微生物也会导入颜色。当然颜色本身一般不会对人体健康产生不良影响,但它有碍美观,因此应该处理。

味道和气味 水体的味道和气味可能是由外来物质引起,如有机物、无机盐或不溶性气体。它们可能来自日常生活、农业或自然界。地下水中的某些物质并非对健康有害,但它对水体产生了不良感观,如硫酸镁盐(Epsom 盐),硫酸钠盐(Glauber's 盐)和氯化钠(普通食盐)。

用水不应有不良的味道和气味。了解给水水源的化学特性对于选择采用何种技术处理水是很重要的。

温度 一般情况下饮用水最好是冰凉的,通常不会有太大的温度波动,不超过几度。山区的地表水和地下水一般都接近标准。多数人认为 10℃~15℃ 温度的水口感最好。地下水的温度在全年几乎都保持恒定。浅水水源(<50 英尺)的温度随季节的变化较大,但深层水的水源温度很稳定,接近于地表水的全年平均温度。这就是为什么井水冬暖夏凉原因。

与一般的想法相反,不是井越深水温就越低。当井深超过 100 英尺时,地下水每深 75~150 英尺水温就上升 0.6℃。在火山附近,温度上升得更快。

泡沫 1965 年以后,由于烷基苯磺酸盐(ABS)不易天然降解,因此作为去污剂中的添加剂已被禁止使用。而较易生物降解的线型烷基磺酸盐(LAS)则用于大多数的去污剂中。但在缺氧的条件下,即使是 LAS 也降解得很慢。

当去污剂的浓度大于 1mg/L 时,水会产生泡沫。当然泡沫本身是无害的,但用户应该知道如果给水中的去污剂太多当在玻璃杯中产生了明显的感观时,也可能出现了其他有害污染物。

化学特征 形成地壳的岩石的性质不但影响再生水水量,还影响水质。当地表水渗透到地下水层,泥土和岩石中的可溶性物质也会进入水体。因此,地下水通常含有更多的可溶性物质。

特定区域的水化学特性有时可从水源岩石的分析中预测出来。这些数据通常可以从出版的美国地质概貌或联邦、州和当地的卫生、地质和水部门中获取。当无法取得时才进行水源的化学分析。一些州的卫生和地质部门,以及州立大学和许多商业实验室都有相关的设备可以提供服务。

可以从化学分析中获得的信息有:

1. 存在有害或不良物质的可能性
2. 水系统腐蚀的可能性
3. 水污染固定设备和衣服的可能性

以下在这里讨论水的化学特性,一些参数是建立在 1962 年公共健康服务的饮用水标准建议的限制基础上^[5]。

有毒物质 水中可能含有溶解性的有毒物质。如果分析出水中的这些物质超过了下表的标准浓度,那么该水就不能使用(表 5.7)。

表 5.7 最大污染水平^[5]

物质	浓度, mg/L	物质	浓度, mg/L
As	0.05	F	2
Ba	1.00	Pb	0.05
Cd	0.01	Se	0.01
Cr ⁺⁶	0.05	Ag	0.05
CN	0.2		

氯化物 大多数的水中都含有溶解性的氯化物。它的量主要由海底沉积物的渗漏以及海水、盐水或工业、生活废物的污染所决定。当饮用水中的氯化物浓度超过了 250 mg/L 时一般会产生显著的味道。在某一地区氯化物浓度超过 250 mg/L 而其他标准都符合时,此时应该在该区域之外寻找另一水源。

地下水或地表水的氯化物浓度上升说明它可能受到污染,特别是在那些原来氯化物值很低的地方。

铜 某些天然水中会含有铜,特别是那些已被开采的矿区。当腐蚀性水通过铜管时可能会引入过量的铜。虽然水中含有少量的铜对人体无害,但它会产生怪味,因此建议饮用水中的铜浓度应低于 1.0 mg/L。

氟化物 某些水源中可能含有天然的氟化物。水中含有浓度合适的氟化物对人体有益。资料显示含氟化物的地区比无氟地区的齿类疾病发病率低。氟化物的最佳浓度依赖于大气温度,因为大气温度也决定了人们饮用水的量。一般建议氟化物的最佳浓度为 0.7~1.2 mg/L。当饮用水中的氟化物浓度超过最佳浓度时会产生白齿病,且发病率随超过量的增加而增加。因此,应向州和地方的卫生部门就它们的推荐标准进行咨询。(最高允许浓度见表 5.8)

表 5.8 氟化物的最大浓度^[5]

年平均日最高气温, °F	氟化物的最高允许浓度, mg/L
50.0~53.7	2.4
53.8~58.3	2.2
58.4~63.8	2.0
63.9~70.6	1.8
70.7~79.2	1.6
79.3~90.5	1.4

注: °C = 5/9(°F - 32)。

铁 由于土壤中含有大量的铁,而且腐蚀性水会从管道中溶解部分铁,因此,水中通常含有少量的铁。由于铁导致水洗物变成褐色,使茶、咖啡等饮料变味,因此它不受欢迎。最近的研究表明,用含超过 10 mg/L 铁的水洗过的蛋更易腐烂。建议饮用水中铁的最高浓度为 0.3 mg/L。

铅 长期或短期暴露在铅的环境中会对健康产生严重的伤害。长期暴露在相对低浓度的铅环境中也会导致疾病甚至死亡。铅在人体内会产生积累,因此水环境的铅浓度不应超过 0.05 mg/L。过量的铅也可能存在于水源中,通常它们都是由于腐蚀含铅的器件或管道所形成。为了保证安全的给水,这种情况应予以纠正。

镁 限制饮用水中镁的浓度有两个理由:(1)防止对美观和经济利益的损害;(2)避免由于过量摄入而产生的生理不适。饮用水用户发现镁会使水洗物变成褐色,使茶、咖啡等饮料变味。因此建议限制镁的浓度为 0.05 mg/L。

硝酸盐 婴儿饮用含有过量硝酸盐的水会生“蓝婴病”。饮用水中硝酸盐浓度不应超过 45mg/L(以氮表示应低于 10 mg/L)。通常在浅井水中发现过量的硝酸盐说明它,被生活废物污染了。当被污染的井中硝酸盐浓度大于 10 mg/L 时,它对婴儿就明显有害。当饮用水中可能含有硝酸盐时就不应让婴儿饮用。当浓度超标时,应在卫生部门的指导下使用。

农药 农药使用的疏忽会使水体受污染,不可饮用。几起有关案件已被报道,水井附近不能使用农药。

钠 实验室可以精确分析出给水中钠的含量。当用户利用离子交换来软化饮用水会增加钠的含量。因此,若要求精确了解单独摄入钠的量时,应分析被软化的水。

对于健康的人,由于从其他地方摄入的钠大大多于饮用水中的量,因此水中钠的含量并不重要。但对于那些患有心、肾、代谢失调等病的患者,他们必须进行低钠饮食,因此要考虑饮用水中的钠含量。一般进行低钠治疗的患者的饮用水钠含量应低于 20 mg/L。若超过了,应就食谱和钠摄入量向医师咨询。

硫化物 硫化镁和硫化钠的渗漏会导致水中硫化物浓度升高,从而产生臭味,因此,水中硫化物浓度应低于 250 mg/L。

锌 在某些天然水体中含有锌,特别是在已被开采的锌矿附近。一般认为锌对人体无害,但浓度过高会使水产生怪味,因此,建议锌的浓度低于 5.0 mg/L。

目前废弃或正在开采的矿区已产生严重的地表水和地下水污染。最严重的是由于矿物的渗漏,矿区附近的水中都含有较高浓度的铁、镁、硫化物和酸度。

碱度 碱度由水中的二氧化碳、一氧化碳和氢氧化物组成。这些物质可以用标准方法、利用各种指示剂来滴定。确认碱度的来源有利于给水处理。

硬度 硬水和软水是相对的术语。硬水不利于肥皂和去污剂发挥作用,它要求额外的劳动和清洗剂。而且,硬水加热时会在水壶和炊具产生硬垢,从而需要更多的燃料消费。

地下水中矿物的组成反映出水在地壳中的运动情况。通常,干旱地区的地下水硬度比多雨地带要高些,含有更多的矿物。越深的水层矿物浓度可能越高,因为它有更多的时间(也许是一百万年)来溶解矿物。

形成给水硬度的钙镁盐分为两类:碳酸盐为暂时硬度,非碳酸盐为永久硬度。

碳酸盐为暂时硬度是因为它在加热时会生成沉淀附于管道和容器表面,从而大幅降低硬度。

之所以称非碳酸盐为永久硬度是因为它加热时不会降低。非碳酸盐硬度主要是指水中的

硫化钙、硫酸镁和氯化钙、氯化镁。

pH pH反映水中的氢离子浓度。它也是酸和碱的度量。pH值范围在1~14,7为中性水。pH<7时,值越低酸度越大;pH>7时,值越大碱性越高。天然水pH值一般为5.5~9.0。调节pH值可以控制腐蚀、消毒等。

生物特征 饮用水和冷却水必须去除致病生物,如细菌、原生动物、病毒和肠虫。

感染的个体排泄出来的有些生物会导致人体的疾病。目前对人体疾病载体很少进行监控。因此,很有必要提高对一般安全水源污染的警惕或变换处理方式来产生安全水。

水从地表渗漏到地下水水位时,悬浮颗粒包括微生物可被过滤去除^[2]。去除效率取决于覆盖层的厚度和性质。黏土或“硬土层”能更好地保护地下水。如果颗粒足够细,且厚度充分,沙和砾石也可以起到很好的过滤作用。由于储存条件不利于细菌的生长,因此储存水层中的细菌很少。过滤不能保证地下水一定能安全饮用,还必须通过实验室的测定。

天然水的物理、化学和生物作用在水生植物和微生物的生长周期中要么加快要么阻碍其生长。例如,藻是一种漂浮在地表水中的绿色植物,其生长能被光、热、营养物(氮、磷)和作为有机分解产物的二氧化碳所促进;反过来,它的生长也会由于pH值的改变、无机物、光线的缺乏、温度和特定的细菌所阻碍。

藻细胞持续的生产和死亡也会影响给水水质。观察天然水中的非病原细菌和微甲壳类动物可以得到相同的结论。

通过以下方式可以减少由微生物导致的污染:

1. 选择通常不支持动植物大规模生长的水源
2. 保护给水以免生物的持续污染
3. 减少营养物的引入,如有机和营养物质
4. 采用破坏生物生长及其副产物的处理方式

辐射特征 发展和使用原子能作为能源,以及放射性矿的开采,使确定允许摄入人体最高放射物浓度成为必要。

人体暴露于辐射或放射性物质中是有害的,因此要避免不必要的暴露。当前的公共卫生服务饮水标准中规定的放射性物质浓度就是用来限定人体对这些物质的摄入量,以使个体总辐射暴露不会超过联邦辐射委员会建议的辐射防护指导中所规定的量。人们总是暴露在水、食品、空气的天然辐射中。个体所受的辐射量与所处的环境有关。水中的放射性活度一般是不高的,但在某些特殊的地区会有人造或天然的辐射源。

各地区辐射背景值或其他形式的放射性等数据可以在美国环保局、美国公共卫生服务机构、美国地质运输,及联邦、州、地方机构的出版物中查询,也可从相应的机构了解到更具体的信息和建议。

饮用水再生 饮用水再生是指将排出水净化为适合于人类使用和循环的给水^[6]。当然,废水也能被再生为非饮用水,这已经在工业、农业和娱乐业中得到应用。

随着废水处理技术的革新,越来越多的公司机构认识到它的潜力。再生水的使用方式应该因地制宜。考虑资源化的公司应该认识到再生水自身的所有问题和可行性。

饮用水资源化有以下三种方式:

1. 饮用水的直接资源化指排水通过高效处理后直接引回现存的给水分布系统。这就是经典的“管到管”定义的资源化。

2. 有计划的间接资源化指有目的地将高度处理过的出水排放到给水取水点的上游。
3. 地下水的再生指直接将出水注进作为饮用水源的含水层或水喷淋到地表后又渗漏回地下水层。

通过上述方式, 废水处理最终又回到用户水龙头。

非饮用水水质

商业、工业、农业用水与饮用水有不同的水质要求, 因此可以利用非饮用水源。在另外一些情况下, 需要供应高质量的水源。下面就按分类加以讨论。

工业生产水质要求 生产用水的质量要求与制造工艺和产品质量有关。比较处理费用和产值的提高以及运行、维护、设备更新成本的降低, 可以确定提高水质的经济点。高成本、高产品质量、良好的运行周期和水源的破坏促进了工业中对水质要求的意识。因此, 当水质提高时可以大幅提高产品质量。处理后的水对杂质的要求比未处理的水要求要高一些。

许多工业产品生产要求水清澈、无色、无味、硬度低、无铁、无镁、无硫化氢和有机质, 并且有一定的生物学指标, 如瓶装饮料、精细化工、罐装食品、奶粉、食用油、洗涤剂等等。从私人水源来的生产用水需要经过纯化, 市政给水中讨论的处理原则大体适用于工业生产用水。

当用肥皂作为清洁剂或要求蒸发淋洗水无残渣时, 应软化洗水。对硬度敏感的工业有洗衣厂、电镀厂、牛奶厂、冰厂和布料厂。它们通常要将水预先进行软化。另一方面, 某些工艺, 如啤酒、精馏、食品, 又要求相对较硬的水, 因此还要适当的添加硬度。纸厂、炼油厂和钢铁厂不要求用水达到饮用水的标准, 但它们有各自的要求。纸浆和低质纸张可由有 50 单位浊度的带色的水制作, 但它必须是低铁、低镁、低硬度和低二氧化碳, 对有机纤维和矿物颗粒的形式也有一定的要求。相反, 高质纸只能由高质量的水生产。在炼油厂和钢铁厂, 水主要是用于产生蒸气和冷却。作为冷却水它和其他工业的要求一样。但在钢铁碾压中, 若冷却水的氯化物含量大于 150 mg/L 会使碳钢迅速破裂。各种工艺水的水质要求见表 5.9^[7]。

表 5.9 工业生产用水的水质要求(所有数据的单位为 mg/L)^[7]

工业用途	浊度	色度	硬度 /CaCO ₃	Fe	Mn	总固体	碱度	味	硫化氢	其他要求
空调	...	...	...	0.5*	0.5	...	...	低	1	无腐蚀性或黏液
焙烤	10	10	...	0.2*	0.2	...	...	低	0.2	饮用水
酿造										
清啤酒	10	...	...	0.1*	0.1	500	75	低	0.2	饮用水, NaCl < 275 mg/L, pH 6.5~7.0
黑啤酒	10	...	...	0.1*	0.1	1000	150	低	0.2	饮用水, NaCl < 275 mg/L, pH ≥ 7.0
罐头食品										
豆科植物	10	...	25~75	0.2*	0.2	...	...	低	1	饮用水
普通	10	...	...	0.2*	0.2	...	...	低	1	饮用水
碳酸饮料	2	10	250	0.2(0.3)*	0.2	850	50~150	低	0.2	饮用水, 有机颜料加耗氧量 < 10 mg/L

续表

工业用途	浊度	色度	硬度 /CaCO ₃	Fe	Mn	总固体	碱度	味 硫化 道 氢	其他要求
糖果	…	…	…	0.2*	0.2	100	…	低 0.2	饮用水
食物, 一般	10	…	…	0.2*	0.2	…	…	低 …	饮用水
冰	5	5	…	0.2*	0.2	…	…	低 …	饮用水, 二氧化硅 <10mg/L
洗衣	…	…	50	0.2*	0.2				
透明无色塑料	2	2	…	0.02*	0.02	200	…	…	无沙或无腐蚀性
造纸和纸浆	50	20	180	1.0*	0.5				
牛皮纸浆	25	15	100	0.2*	0.1	300			
苏打和硫酸	15	10	100	0.1*	0.05	200			
高质纸	5	5	50	0.1*	0.05	200			无黏液
人造纤维生产	5	5	8	0.05*	0.03	100	总 50, 氢 氧化物 8	…	Al ₂ O ₃ <8 mg/L, SiO ₂ <25 mg/L, Cu<5 mg/L, pH7.8~8.3
制造	0.3	…	55	0.0	0.0				
制革	20	10~100	50~135	0.2*	0.2	…	总 135, 氢 氧化物 8		
纺织品									
一般	5	20	…	0.25*	0.25	…	…	…	稳定性化合物, 余铝<0.5 mg/L
染色	5	5~20	…	0.25*	0.25	200	…		
洗毛	…	70	…	1.0*	1.0	…	…	低	
棉绷带	5	5	…	0.2*	0.2	…	…	低	

* 所给值适用于铁以及铁和锰的总量。

因此,即使像蒸气锅炉这样的普通工业用水,其工艺水质的要求也不是单一的。如果在炼铁的蒸气加热锅炉中没有蒸气的减少或损失,大多数城市的给水都能不加处理的直接使用。但在钢管加热锅炉中,必须进行水的防腐处理。而且,对于任何使用补偿水的冶金工业,必须进行再生水的水垢处理。对于涡轮驱动发电机组高压蒸气锅炉来说处理水的使用还并不能完全令人满意。一般它要求尽可能地去除不溶性固体和气体。

在锅炉运行中,随着压力增加会产生起泡、泡沫、结垢、碱蚀致脆和腐蚀。泡沫带着湿度和固体进入蒸气中。固体可能沉积在蒸气管线、涡轮机或其他设备中。锅炉金属的间晶破裂称为碱蚀致脆,与此相关的因素有:(1)超过金属弹性限制的张力(2)在缺硫酸盐的水中含有高浓度的腐蚀性苏打。这些情况常发生在裂缝或类似的地方。表 5.10 给出了给水可以承受的压力。考虑的因素有:(1)减少浊度、色度和有机物质(可由耗氧量测定);(2)减少硬度和硅、铝以缓解结垢;(3)维持高的硫酸盐/碳酸盐比例来控制腐蚀脆性;(4)去除氧,减少碳酸根,提高 pH 值,减少腐蚀。市政给水和私人给水都必须适当地进行处理以使之适用于高压锅炉^[7]。

表 5.10 锅炉给水水质要求^[7]

质量指标	单位	压力范围, lb/in ²			
		0~150 (0~10.54)	150~250 (10.55~17.58)	250~400 (17.59~28.12)	大于 400 (>28.12)
浊度	NTU	20	10	5	1
色度		80	40	5	2
耗氧量	mg/L	15	10	4	3
溶解氧 ^a	mg/L	1.5	0.1	0	0
硫化氢 ^b	mg/L	5	3	0	0
总硬度	mg/L	80	40	10	2
硫酸盐:碳酸盐		1:1	2:1	3:1	
氧化铝	mg/L	5	0.5	0.05	0.01
二氧化硅	mg/L	40	20	5	0
碳酸氢根	mg/L	50	30	5	0
碳酸根	mg/L	200	100	40	20
氢氧根	mg/L	50	40	30	15
总固体 ^c	mg/L	3000~500	2500~500	1500~100	50
最低 pH 值		8.0	8.4	9.0	9.6

a 进入锅炉的给水;

b 当蒸气的气味令人反感时除外;

c 依赖于锅炉的设计。

注:除了 pH 外所有都为百万分之一(ppm)。

因此,以下信息仅仅是大概说明一下冷却、产生蒸气和加热所需的水质要求。应该注意的是补偿水——即进入系统的水和原来系统中的水,循环水或锅炉水,它们的水质要求可能是不一样的。

冷却水 强制循环冷却水中不含有可能造成沉淀和阻塞的悬浮物和高浓度的生物体。对这些水的水质进行定性是很难的。只能指出由于水的使用量大,应选用廉价的处理方式来修正给水中的缺点。对开放式的循环系统的一些具体限制有:浊度低于 50 mg/L,铁和镁 < 0.5 mg/L,硫化氢 < 5 mg/L。后者之所以要限制,乃是因为其具有腐蚀能力。

对于开放式的循环系统,补偿水的硬度和碱度应尽可能的低,以便冷却塔在大规模的结垢前能正常运行好几个循环浓度,以达到节水的目的。冷却塔的补偿水水质的其他要求相对不重要,因为补偿水在流经塔时组分发生了改变,这个改变要比水本身的组分重要得多^[8]。

循环水处理后应保持无腐蚀性,无结垢并且没有淤泥和藻类。循环水中特定成分的极限浓度很难确定,因为它取决于装置的结构和运行细节,以及处理方法的选择。例如,两个较为常见的腐蚀问题:添加氯化钠至 200~500 mg/L 且 pH ≤ 7 可得到最小腐蚀率,另一方面,如果稍高一点的腐蚀性是可以接受的,那么就可以降低化学成本。这样只需要投加很低浓度(20~25