

## 第四节 饮用水处理

人与其它生物一样，离开了水就不能生存下去，所以人们总是依水而集居。水是一种很好溶剂和悬浮剂，许多的物质可以溶解或是悬浮在水中，从有利的一方面看，它可将人们居住环境中中和个体产生的污物清洗干净，把工矿企业生产中的某些废物清除掉，使环境卫生个人卫生得到保障。但是从不利的一方面看，各种各样的污水排入水源，其中有毒或有害物质不能迅速获得净化，人们如果直接饮用这种水源的水，势必要使健康遭受危害。所保障人们获得质好量足的饮用水，是给水工程和给水卫生工作者的首要任务。污染饮用有害物质可分为两大类。一为致病微生物的污染，另一为有毒化学物质的污染。解决前卫生保障措施是饮用水消毒，解决后者则采取饮用水净化。

水处理(water treatment)包括净化和消毒。通常将改善水的物理性质和消除水中某些化学成份称为净化(purification)。常用的净化方法为沉淀、混凝、过滤。其它还有脱色、除臭味、除铁、除氟、软化、淡化等等。消毒就是利用理化方法，杀灭水中病原微生物。广义的净化也把消毒包括在内。

### 一、 一、 沉淀(sedimentation)

取一杯浑浊的河水，就可以观察到许多有关给水处理的现象。首先，会发现一些粗大的泥砂颗粒迅速沉到杯底，水则逐渐澄清，杯底的下沉物将逐渐增多。但在一定时间(例如半小时)以后，水就不容易进一步澄清。有的河水甚至在放置很久以后，也达不到自来水那样的透亮程度，总带一点浑，有时还带有色度和臭味。这种浑浊、颜色和臭味则为悬浮在水中的一些很细微的粘土颗粒、微生物和有机物微粒造成的。

粘土颗粒的比重和那些粗泥砂的比重一样，其难于沉淀的原因可用胶体化学的一些概念来解释。水和水里那些均匀分布的细小颗粒所构成的体系，物理化学中称为分散体系。分散体系可以按其中颗粒大小分成三类：真溶液、胶体溶液及悬浮液。真溶液中的颗粒包括小于1nm的分子和离子，由于这些分子或离子的尺寸很小，不能相起光线的散射，所以看起来水呈透明状；如果分散体系中的颗粒为1nm-1000nm，则称为胶体溶液；颗粒大于1000nm则称为悬浮液。胶体溶液和悬浮液中颗粒能够引起光的散射，因此使水呈浑浊。胶体溶液在物理化学中也简称胶体，而其中的分散物质则称为胶体颗粒。但在一般的场合，有时也把胶体理解为胶体溶液中的颗粒。

胶体颗粒具有布朗运动的特性，由于胶体不断地进行布朗运动，因此不会象大的泥砂颗粒那样，借重力的作用沉淀下来，这就是河水中的粘土颗粒保持不沉而使水浑浊的原因。

水中比水比重大的悬浮物在重力作用下可逐渐下沉，称为自然沉淀。悬浮物沉降的速度与其颗粒大小、密度有关，水温也有一定关系。沉淀法一般只能去除20~100 $\mu$ 以上的颗粒，胶体颗粒不能用沉淀法去除。

表 3-24 水中悬物的沉降速度

颗粒直径 (mm)	悬浮物的性质	沉降速度 (mm/s)	每沉降 1m 所需时间
1.0	粗砂	100	10s
0.1	细砂	8	2min
0.01	细淤土	0.154	2h

0.001	细粘土	0.00154	7天
0.0001	胶体粘土	0.0000154	2年

从上表可看出，小于 0.001mm 的颗粒，需要很长时间才能沉淀，单靠自然沉淀难以澄清。根据试验，沉淀 2~3h 后，即使再加长沉淀时间，悬浮物沉降的量增加很微小，如沉降 3h 悬浮物可沉降 90.2%，沉降 7h 悬浮物亦不过沉降 91.7%，因此延长沉淀时间以提高沉淀效果是不合理的。

由于自然沉淀需要时间较长，在行军、野营或战时是不适用的。当长期驻扎或固定营房在修建集中式给水时可用作初步处理，但多与混凝联用。常用沉淀设备为各式沉淀池。

## 二、混凝(coagulation)

雨水冲刷和流经地表，将许多的泥沙、腐殖土和有机污物带入江河和湖塘地表水源之中，这是造成天然水浑浊的主要原因。然而，工矿企业产生的废水和生活污水排入地表水源之中，更是导致天然水浑浊而有碍健康的祸害。大家都亲身感受到，饮用浑浊水，不但使感观和心理上产生不舒服感，而且由于其中含的微生物和其它杂质多，容易使饮用者感染上疾病。所以，澄清浑水受益饮用者，这是一项重要而受人们欢迎的卫生措施。

水中含有的杂质可分为两大类：一类是不溶解而是混悬在水中的，称为浑浊物或悬浊物另一类是溶解在水中肉眼看不见的，称为溶解物。水中含有这些杂质，除了少数溶解在水中对人体有益的矿物盐类以外，大都是些不合乎饮用卫生要求的污染物，应该加以去除。去除饮水中污染物的措施叫做饮水净化。去除水中胶体和其他微小悬浮物质的方法，在一般的自来水处理过程中主要有两种途径。一种是在水中加入一些药剂(主要的药剂称混凝剂)，让细小颗粒互相吸附结成较大的颗粒，从水中沉淀出来，这叫做混凝沉淀法，其中加药结成大颗粒的过程叫做混凝，也称凝聚。这种方法一般可以把水的浑浊度降低到 25 度以下。另一种方法是在水中加入混凝剂后，使这些细小的颗粒直接吸附在一些相对巨大的颗粒(如砂子)表面而去除掉，这就是过滤的方法，过滤往往设在混凝沉淀的后面。过滤可以把水的浑浊度降低到生活饮用水的标准，即在 5 度以下。

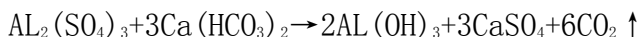
混凝沉淀的效果很好，可去除浊度 98%，去除色度 80%，去除细菌和病毒 80~98%。此外，还有除铁、除氟、去除水中某些毒物及水中核、化学、生物战剂的作用。

### (一) 混凝机理

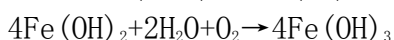
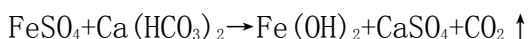
混凝的机理比较复杂，至今尚未完全解决。因为影响混凝的因素很多，且不同的混凝剂，其作用机理亦不尽相同。混凝的原理比较复杂，至今尚未完全解决。混悬在水中的微细颗粒所以能够长期保持分散而不沉，是因它们带有相同的电荷，如粘土、腐殖质、微生物等都带有负电荷，互相排斥，因而不能粘附在一起形成大的聚集体而下沉。

目前，混凝的原理多用压缩双电层或化学架桥作用来解释。压缩双电层作用就是在水中加入电解质(混凝剂)，使水中异离子增加。一些异离子由胶团的扩散层进入吸附层，同时减少了扩散层厚度，好象扩散层受到压缩，使各胶团的胶粒之间距离缩短，增加了碰撞机会而凝聚。化学架桥作用则是因混凝剂为高分子物质，一般具有链状结构，当它的某一链节上的基团吸附某一颗粒后，另一链节上基团可伸展于水中吸附另一胶粒，形成胶粒——高分子物质——胶粒聚集体，就如架桥一样。这两种作用都不是独立的，而往往是同时存在。

最常用的铝盐和铁盐在水中的反应，可简单的表示如下：



铁盐的反应一般表示为：



## (二) 混凝剂 (coagulant)

植物用药物来澄清浑水已有悠久的历史。人们在生活实践中早已会用明矾和带粘性的野生等来处理浑水以供饮用。然而把用药物来澄清浑水作为一项水处理的技术，并且用科学的方法进行研究，那是在二十世纪初才开始的。用药物来澄清浑水称为混凝沉淀。所加入的药物称为混凝剂。也有叫做凝集剂、凝聚剂或絮凝剂，名称尚未统一。此外，有些混凝剂它本身在澄清浑水中只起辅助作用，为了与前者加以区别，另叫它助凝剂或助沉剂。目前各国所使用的混凝剂种类繁多，有无机的和有机的，有天然的和人工合成的；尤其是合成高分子混凝剂种类特别多。其中有些已试用于自来水厂处理浑浊水，初步观察到在使用过程中未发现该药剂对饮用者产生生理上的影响。伴繁雄也介绍日本 41 家公司所生产的 264 种高分子混凝剂和助凝剂，其中 80% 以上是聚丙烯酰胺类的产品。混凝剂的分类大概如下表所示。

表 3-25 混凝剂的分类举例

类别		品名举例	性能	
无机类	低分子	铝盐 铁盐 镁盐	明矾、硫酸铝、氯化铝、铝酸钠 硫酸铁、硫酸亚铁、氯化铁 碳酸镁、碳酸氢镁	混凝剂 混凝剂 混凝剂
	高分子	聚合铝 硅酸活性	碱式氯化铝、碱式硫酸铝 硅酸	混凝剂 助凝剂
有机类	天然高分子	淀粉 蛋白质 藻类	玉米份、土豆粉、糊精 动物胶、骨胶、乳胶 海藻酸钠、琼胶	助凝剂 两性，助凝剂 阴性，助凝剂
	改性或合成高分子	纤维素 衍生物	羧甲基纤维素 羧乙基纤维素	阴性，助凝剂 中性，助凝剂
	改性淀粉及其衍生物	碱性淀粉、羧甲基淀粉 淀粉-聚丙烯酰胺接枝共聚物		阴性，助凝剂 阳性，助凝剂

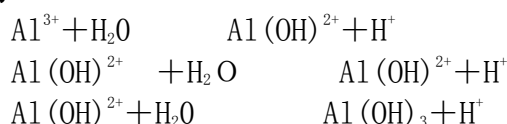
	聚合或 缩合高 分子合 成物	水解聚丙烯酰胺，聚苯乙烯磺酸钠 改性阳离子型聚丙烯酰胺，聚乙烯吡啶季胺 盐，甲醛双氰胺 聚丙烯酰胺，聚糖。	阴性，助凝 剂 阳性，助凝 剂  中性，助凝 剂
--	-------------------------	--	--

作为水处理用的混凝剂要求对人体健康无害，混凝效果好，使用方便及价廉易得。

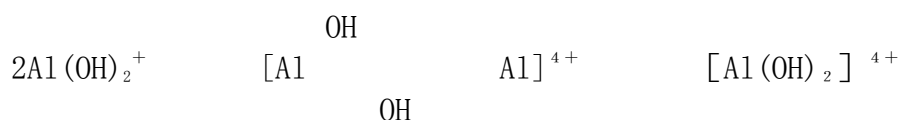
### 1. 铝盐：

铝盐是最常用的混凝剂，包括明矾 $\text{Al}_2(\text{SO}_4)_3 \cdot \text{K}_2\text{SO}_4 \cdot 24\text{H}_2\text{O}$ 、硫酸铝 $\text{Al}_2(\text{SO}_4)_3 \cdot 18\text{H}_2\text{O}$ 、氨明矾 $\text{NH}_4\text{Al}(\text{SO}_4)_2 \cdot 12\text{H}_2\text{O}$ 及铝矾土等。

(1) 铝盐的反应铝盐加入水中，当 pH 大于 3 时，迅速发生水解反应，基本反应式为



实际上铝盐在水中反应过程要复杂得多，在 pH 大于 4 以后， $\text{Al}(\text{OH})_2^+$  的数量增多，开始产生羟基架桥反应如：



形成的多核羟基络合物主要有  $[\text{Al}_6(\text{OH})_{14}]^{4+}$ 、 $[\text{Al}_7(\text{OH})_{17}]^{4+}$ 、 $[\text{Al}_8(\text{OH})_{20}]^{4+}$ 、

$[\text{Al}_{13}(\text{OH})_{34}]^{5+}$  等。pH 再升高，缩聚反应结果，最终生成 Al 核无限多而电荷为零的氢氧化铝难溶沉淀物。

(2) 铝盐的应用铝盐的用量根据水质而定，用量必须适当，过多可降低水的 pH 值不利于混凝，过少则不易形成絮状物。一般部队使用铝盐剂量，明矾为 50~200mg/L，硫酸铝用量减半。在集中式给水中，由于混和反应条件良好，用量还可减少。

表 3-26 水的透明度与硫酸铝用量关系

水的透明度 (cm)	硫酸铝用量 (mg/L)
230~120	0~40
120~70	20~60
70~40	40~80
40~25	60~100
25~15	80~120
15~8	100~150
8~4	120~160

由于悬浮物的浓度可以影响混凝剂用量，因此，也可以根据悬浮物的多少（以透明度表示）来估计混凝剂用量。

因为混凝剂用量受很多因素影响，尤其是集中式给水处理水量大，可用试验

方法以确定较合适的混凝剂用量，以保证混凝效果和节约混凝剂用量。常用试验方法为三杯法，具体方法见实习讲义。在野外情况下，也可用三桶法，即在三个盛有浑水桶内(容量 20L)，各加入 5%明矾溶液 20、30、40ml，先快后慢搅拌 3~5min，放置 5~10min，以出现絮状物大，形成速度快，澄清效果好的一桶为适量，以此作为单位剂量计算。如三桶在 10min 后仍无絮状物形成或絮状物很微小，则须增加明矾溶液量再作试验。如加入足量的铝盐混凝效果仍不好，可投加石灰或其它碱性物质。

铝盐的主要缺点是：影响因素多，适用水的 pH 范围较窄，反应澄清时间较长等。

2. 聚合氯化铝(polyaluminium chloride, 羟基氯化铝、碱式氯化铝)：聚合氯化铝是一种无机高分子混凝剂，早在本世纪初即开始研究，但在五十年代后才开始在给水中应用。我军自六十年代以来对其制作工艺及在水处理应用上进行了大量研究，并在军内推广使用。

(1) 聚合氯化铝性质与混凝机理：聚合氯化铝是由铝灰或其它含铝物质如铝矾土、煤矸石、煤渣等与盐酸反应而成。产品成分比较复杂，其组成不是单一某一种固定分子结构，而是各种形式的铝的络合离子与氯离子结合的混合物。由于原料和制造方法不一致。成分结构有所变动，但基本上没有很大差别，一般化学通式为  $[Al_2(OH)_nCl_{6-n}]_m$ ，其中 n 为 1~5 任何整数，m 为  $\leq 10$  整数。

聚合氯化铝是无机高分子络合物，由于羟基的架桥作用而起缩合反应，生成多核络合物，由于核大量增加，构成了巨大聚合物。聚合氯化铝本质上与铝盐并无不同，但由于其本身为电荷适度、聚合度大的无机高分子电解质，中和电荷、粘接架桥能力较强，即以最优形态投入水中立即发挥混凝作用，而能以较少剂量取得较好混凝效果，这是聚合氯化铝优于其它铝盐的原因。

(2) 聚合氯化铝的优缺点：经我军对各类水源水广泛试验、自来水厂实践和实验室试验证明聚合氯化铝有很多优点。

①用量少。在同样剂量时，其混凝效果较硫酸铝、三氯化铁好。军队野外常用剂量为 30~60mg/L，剂量过大效果反而降低。当原水浊度在 500mg/L 以下时，按固体投加量计，其效果为硫酸铝 3.75~6 倍，原水浊度为 7500mg/L 时，为 6~15 倍，可减少药剂成本 40~75%。

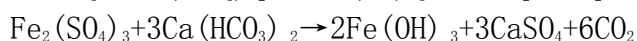
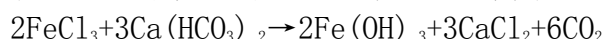
②絮状物形成快，大而细密，沉淀速度快。一般搅拌 1min，静置 5~10min 即可应用，因反应沉淀时间缩短，在相同条件下可提高处理能力 1.5~3 倍。

③影响因素少。如对原水浊度、碱度、温度、有机物含量等变化适应性强。适应原水 pH 范围比硫酸铝宽在 6~9。适宜投加量宽，过量投加也不会如硫酸铝造成水浑浊。

④混凝效果好。在除浊、除铁、除氟、除有毒金属、除菌等方面都较硫酸铝好。但在实际使用中发现使用聚合氯化铝混凝时，处理水表面常有浮沫、沉淀物容积较大，水的碱度较低时，混凝效果较差。为克服这些缺点，我军曾研制带有硫酸根、聚丙烯酰胺或植物助凝剂的聚合氯化铝。

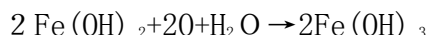
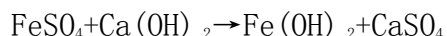
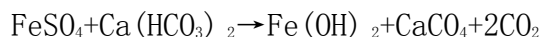
3. 铁盐：常用铁盐有硫酸亚铁(绿矾)  $FeSO_4 \cdot 7H_2O$ 、三氯化铁  $FeCl_3 \cdot 6H_2O$  和硫酸铁  $Fe_2(SO_4)_3 \cdot 2H_2O$ 。

铁盐的混凝机理与铝盐基本相同，简单的可用下列公式表示



硫酸亚铁为二价铁盐，只有转变成三价铁才能形成  $Fe(OH)_3$ 。  $FeSO_4$  先水解成

Fe(OH)<sub>2</sub>再氧化成Fe(OH)<sub>3</sub>。为促进更快形成Fe(OH)<sub>2</sub>常同时投加石灰。



由于靠水中溶解氧来氧化二价铁速度较慢，可以加入漂白粉来氧化二价铁。漂白粉的用量(按有效氯计算)与硫酸亚铁之比，按理论计算为1:7.8，实际上漂白粉用量可多算一些，以同时用于水的消毒。



聚合硫酸铁是一种新型高分子无机净水剂，它是以硫酸亚铁为主要原料，经反应在常压下化合而成。聚合硫酸铁具有许多优点，如净水效果比其它铁盐好，影响因素少，原料来源可靠价廉，余留的铁比铝安全等等，是一种有前途，日益应用广泛的净水剂。

铁盐的优点为：絮状物比重大，沉降较快；适应水的pH值宽(pH3.5~6.5，或8~11)；在低温时效果亦好；去除砷、含砷军用毒剂及肉毒杆菌毒素效果较好。

铁盐的缺点是处理后的水易产生色、味；具有强酸性，对设备有腐蚀作用；使用时亚铁盐要投加石灰或氯。

4. 镁盐：用铝盐或铁盐处理混水，会产生大量污泥，且污泥含水量高，脱水亦困难，处理也麻烦。用碳酸镁混凝水可循环使用，解决了这个难题，目前美国很多水厂都采用这种方法。

用碳酸镁来混凝沉淀浑水，需先投加石灰将水的pH值提高到11以上，使其形成氢氧化镁絮状物而沉淀。沉淀下来的污泥集中于浓缩池，通入二氧化碳使生成易溶于水的碳酸氢镁，后者经曝气后再转化为碳酸镁供循环使用。我国我军尚未应用此项技术。

5. 净水植物：公元前2000年已有使用某些植物汁液净水的记载，我国古代医学文献中也有使用桃杏仁、贯众净水记载。六、七十年代我军对净水植物进行了大量筛选、试验研究，发现有混凝、助凝作用的植物有数十种。其中有混凝作用的有量天尺、仙人掌、木棉树与木瓜，有助凝作用的有榆树、土肉桂、钝叶樟、木芙蓉、刨花楠、梧桐树等等。

以净水植物作混凝剂或助凝剂，是利用植物的全草(如贯众、马齿苋)、根茎(如仙人掌、量天尺)、叶(如钝叶樟)、花(如木芙蓉花)、果汁(如木瓜)，其中多含有多糖类高分子物质，含有-CONH<sub>2</sub>、-COOH、-OH、-NH<sub>2</sub>等基团，带负电荷，可能与水中铁、铝、钙等两价以上阳离子形成多糖类金属盐絮凝体。此外，还有电荷中和及粘附架桥作用。

净水植物作为混凝剂时，可取量天尺或仙人掌一块，在一端划几条口子，稍加挤压，在浑水中搅2~3min至出现蛋花状絮状物为止，沉淀5min，取上面清水或经布滤后使用。也可将仙人掌捣烂，取一定量粘稠物加入水中，搅拌至出现絮状物，静置澄清备用。

净水植物作助凝剂用时，先向水中加入明矾。快速搅拌2~3min至出现微小絮状物时，再加入砸烂植物1~2g/10L或10%植物水浸液2~5ml/10L。慢搅1~2min到出现大絮状物时，即用布滤或沉淀3~5min后，取上清水使用。此法可使混凝时间加快，明矾用量节约1/3。

净水植物在干燥后或水浸液放置过久，净水作用即消失。一般均使用新鲜植物或现配水溶液，但也有个别植物干燥后仍有净水效果，净水植物多只用于野外

少量水处理。

### (三)助凝剂

助凝剂本身可起混凝作用,也可不起混凝作用,但与混凝剂一起作用时,能促进混凝的作用。助凝剂一般可分二类:一是调节或改善混凝条件药剂,如原水碱度不足可投加石灰,又如硫酸亚铁氧化为高铁需加氯气等;二是加大絮状物粒度、比重和结实性的药剂,如在水中加粘土可起到加重,加大絮状物的作用,在水中加无机或有机高分子物质如活化硅酸、骨胶、聚丙烯酰胺,可加强粘附架桥作用,使胶体脱稳,加大絮状物。

1. 活化硅酸:活化硅酸的原料为硅酸钠(钠水玻璃),其成份为 $\text{Na}_2\text{O} \cdot x\text{SiO}_2 \cdot y\text{H}_2\text{O}$ 。使用硫酸或硫酸铵等活化剂,将硅酸钠中碱中和,使二氧化硅分解出来产生胶体。

活化硅酸实质上属于一种阴离子型高分子电解质,常作为铝盐或铁盐的助凝剂,一般采用 $1 \sim 1.5\% \text{SiO}_2$ ,使用少量即可大大增强混凝过程,可减少混凝剂用量,改善低温、低碱度条件下混凝效果。有时单用活化硅酸也可起到混凝作用。硅酸溶液不能久存,放置一段时间便变成冻胶失去作用。因此,只能现场调配,即日使用。

2. 聚丙烯酰胺(polyacrylamide PAA):聚丙烯酰胺是一种人工合成水溶性非离子型有机高分子物质,无色无味呈透明胶状体,分子式为 $[\text{CH}_2=\text{CHCONH}_2]_n$ ,分子量有数百万至数千万。

聚丙烯酰胺在水中可分散成巨大数量的长链状高分子,单用可以作为混凝剂,如加入聚丙烯酰胺重量 $1 \sim 5\%$ 的氢氧化钠,碱化后变成一种阴离子型的高分子物质聚丙烯酸钠,用来处理高浊度水,混凝效果可提高数倍。聚丙烯酰胺与混凝剂配合使用可大大提高混凝效果。使用时溶解成 $0.1 \sim 1\%$ 溶液,可与混凝剂同时或加混凝剂后 $1 \sim 5\text{min}$ 加入。用量为 $0.1 \sim 1\text{mg/L}$ ,量过多反而会降低效果。

聚丙烯酰胺的单体丙烯酰胺有毒,故规定聚丙烯酰胺含游离的丙烯酰胺不得超过 $0.2\%$ 。国内有的研究建议,聚丙烯酰胺和丙烯酰胺在饮用水中最高容许浓度,经常使用时(指每年使用时间超过1个月)分别为 $1.0\text{mg/L}$ 和 $0.01\text{mg/L}$ ,非经常使用时(每年使用少于1个月)为 $2.0\text{mg/L}$ 和 $0.1\text{mg/L}$ 。

聚丙烯酰胺适用于高浊度,高色度或有特殊臭味的水,高浓度有机废水,含有毒有害物质的水,放射物质污染的水及含有大量致病菌和病毒的水。

### (四)影响混凝的因素

影响混凝效果的因素很多,且较复杂,主要有以下5个因素:

1. 水的pH值和碱度:水的pH值对混凝的影响程度,随混凝剂种类的不同而异。铝盐在水中水解后,要在一定的pH值范围内才能形成氢氧化铝。氢氧化铝为两性化合物,当pH值大于 $8.5$ 时,氢氧化铝产生明显溶解,生成铝酸离子 $\text{AlO}_2^-$ ,pH值小于 $3$ 时,氢氧化铝又可离解为三价铝离子。一般认为水的pH在 $5.7 \sim 7.8$ 范围内混凝效果较好。

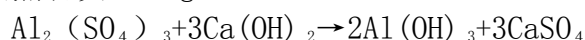
铁盐同样受水的pH值影响,但较铝盐好些。因铁盐水解性能较铝盐好,水解产物不易溶解。三价铁盐适宜的pH值为 $6.0 \sim 8.4$ ,而二价铁盐只有当pH值大于 $8.5$ 时,才可被氧化为三价铁,因此需投加碱。

高分子混凝剂尤其是有机高分子混凝剂,混凝效果受pH值影响较小。

水的碱度主要是指水中的碳酸盐、重碳酸盐和氢氧化物,一般水源水都含有一定的碱度。铝盐和铁盐在水中水解时,每步产生的 $\text{H}^+$ 都将导致水的pH值下降,需有碱性物产生将之中和使水解能进行完全,如 $\text{Al}_2(\text{SO}_4)_3 + 3\text{Ca}(\text{HCO}_3)_2 \rightarrow 2\text{Al}(\text{OH})_3$

$3\text{CaSO}_4$ 。

但当水中碱度不足或混凝剂投加量很高时，水中 pH 值将大幅度下降，就必须投加碱性物质才能获得良好混凝效果。一般 1g 硫酸铝加熟石灰 0.33g, 1g 硫酸亚铁加熟石灰 0.26g。



2. 水温:水温对混凝效果有明显影响。水温低时，铝盐在水中水解缓慢，反应进行慢，絮状物形成也慢且颗粒细小疏松，即使增加剂量效果亦不大。此外水温低时，水的粘度增大，絮状物亦不易下沉。

为提高低温时混凝效果，常用增大剂量，延长沉淀时间，投加高分子助凝剂或改用聚合氯化铝、聚合硫酸铁等方法。

3. 水中杂质:水中悬浮物的成分，如不同的粘土种类、浓度，腐殖酸等都对混凝有影响。据试验，膨润土形成的浊度消耗的铝盐量较高岭土高 20 倍之多。水中悬浮物的多少能影响絮状物的形成，浑浊或稍浑浊的水较透明的水更易凝聚，一般水中悬浮物多少与混凝剂投加量成正比，但如悬浮物极少时，反而要增加剂量或投加粘土或助凝剂。当水中存有腐殖质、单宁等化合物时，使水具有很高色度，用铝盐或铁盐混凝除色须在低 pH 值下进行，才能取得较好的效果。

4. 搅拌:搅拌对混凝的效果也有很大影响。搅拌的速度和时间如果不适当，亦不能获得最佳混凝效果。混凝剂加入水中后，应迅速充分搅动使混凝剂得以快速混和均匀，形成微细絮状物，然后慢速搅拌，以增加絮状物碰撞机会形成较大的絮状物下沉。剧烈长时间搅拌或经常改变搅拌方向，都可导致絮状物不可逆的破坏。合适的搅拌可以提高混凝效果，减少混凝剂的用量。

### 三、过滤(filtration)

浑水经砂层过滤后就会变清一些，但水太浑就容易使砂层堵塞，这个概念是从生活经验中得来的。最早的滤池就是根据这样的概念建立起来的。自然沉淀可能使水的浑浊度降到 50 度以下，把自然沉淀以后的原水通过滤池过滤，就可以防止滤池过早地堵塞。过滤后的水质可以好到什么程度呢?通过不断的实践，发现不仅水质浑浊度可以接近于 0，而且能起很好地去细菌、臭味以及色度的作用。过滤可以改善水的感官性质，直接过滤可去除浑浊度 90%，对除铁锰也有一定效果，去除微生物效果则不佳，慢砂滤去除微生物效果则很好，大肠杆菌、病毒、阿米巴包囊、贾第鞭毛虫包囊去除率均在 99%以上。混凝沉淀后经快砂滤，可以提高去除金属效果，对去除农药滴滴涕、有机磷有较好效果，对去除大肠杆菌、病毒、阿米巴包囊均比直接过滤有较大提高。如直接过滤去除脊髓灰质炎病毒仅 1~50%，加明矾，沉淀过滤则去除率大于 99.7%。

#### (一)过滤原理

1. 机械筛滤:筛滤能去除大于滤层孔隙的悬浮物，随着过滤的进行，截留杂质增多滤层孔隙愈来愈小，使微小的颗粒物和微生物也被截留下来。

2. 沉淀:水中悬浮物由于重力作用，在过滤时沉积在滤料的表面上，而小于滤层孔隙的悬浮物进入滤层时，也会在重力作用下脱离流线而沉淀在空隙中，滤层实际起到一个有巨大表面积多层的沉淀池作用。

3. 吸附:由于水流通过孔隙，不断与滤材发生碰撞，破坏了水中胶体保护层，悬浮物、胶体和溶解杂质被滤材所吸附。产生吸附作用是包围在滤料周围的胶体物质或是范德华力和静电引力。

4. 生物滤膜:被截留在滤料表面的微生物利用粘附在滤料表面和水中有有机物



为养料不断繁殖，形成一薄层粘液生物膜(biomembrane)。生物膜可以截留最细小的颗粒和微生物，分泌生活性酶，吸附和杀灭微生物，促进氨和亚硝酸盐的氧化。

## (二) 滤料的种类

滤料是过滤水用的，且长期浸泡水中，因此其理化性质必然对水质产生影响，也就可能影响人体健康。因此，滤料应合乎一定的卫生要求，即本身无毒，亦不会与水中任何化学物质结合产生有毒物质，不会被微生物利用和分解；有良好机械强度，不易磨损破碎。

1. 颗粒状滤料：最常用的有石英砂、无烟煤、磁铁矿、锰矿、木炭、活性炭。近年发展的有陶粒、陶瓷料、石墨、聚苯乙烯发泡塑料珠等。就地取材还可利用煤渣、蚌壳等。

2. 纤维状滤料：如石棉纤维、金属纤维、聚丙烯纤维、纤维活性炭、纤维离子交换树脂、 $\alpha$ 纤维素、布、棉花、羊毛等。各种纤维可织成布或编成绳状绕缠在支架或多孔圆筒上，也可成团置于过滤器内进行过滤。

3. 多孔成型滤料：多孔成型滤料可用陶瓷、硅藻土、活性炭、金属、塑料等原料制成管状或板状。陶土滤器早在二次世界大战中就曾应用，可隔滤细菌，但因笨重、易碎、易堵塞、清洗困难、出水量小等缺点在军队已不再使用。近年研制有变孔烧结活性炭管，弹性变孔隙率过滤材料部分克服了这些缺点。

4. 薄膜型滤料：有各种类型的微滤膜和超滤膜，微滤膜孔径约在  $20\sim 0.1\mu$ ，超滤膜孔径约在  $0.1\sim 0.01\mu$ ，主要用于去除微细悬浮颗粒、细菌、病毒和胶体等。这种滤料由于孔径很小，极易堵塞，因此水需先经有效的预处理，一般只用于对净化度要求较高的小量水处理。

## (三) 影响过滤的因素

影响过滤效果的因素很多，较重要的有：

1. 滤料的粒径与级配：滤料粒径是指一个刚好能把滤料包围在内的假想球面直径。滤料粒径大，滤料间孔隙也大，筛滤、沉淀悬浮物作用就小，微小悬浮物易于穿过。滤料粒径小，悬浮物多被筛滤阻于表层，使水流阻力增大，易于堵塞。因此，滤料的粒径应适宜，才能得到较好过滤效果。

滤料级配是指滤料中各种粒径颗粒所占的重量比例。在集中式给水的过滤池只有具有适当级配的滤料层，才能取得良好过滤效果。通常用有效粒径(effective size)和不均匀系数(diversity factor)作为滤料级配的指标。

常用有效直径 $d_{10}$ ，是指能通过滤料 10%的筛孔孔径。 $d_{10}$ 反映了滤料中小颗粒的大小。 $d_{80}$ 则表示通过滤料重量 80%的筛孔孔径。 $d_{10}$ 与 $d_{80}$ 之比称为不均匀系数 $k_{80}$ ( $k_{80}=d_{80}/d_{10}$ )。 $k_{80}$ 反映滤料大小不均匀程度。 $k_{80}$ 愈大表示滤料中颗粒大小相差愈大。不同型式的滤池要求有效粒径和不均匀系数亦不一样。但非每种滤料都能满足要求，因此应将滤料进行筛分试验。最简的筛分方法是取规定最大和最小两种粒径相应的筛子来筛分，截留于小孔筛上的滤料都合使用。

2. 滤层厚度：滤料除有合适的粒径和级配外，还必须有一定的厚度，才能保证过水的水质。在过滤时，悬浮物或絮状物开始在滤层表层积聚，以后逐渐向深处移动，悬浮物穿透的深度和滤料的粒径、滤速及混凝效果有关。粒度大、滤速快、混凝效果差的，其穿透深度就较大。因此，滤料粒径大，需要滤层厚；滤料粒径小、需要滤层薄。如快砂滤池一般穿透深度约为 40cm，加上保护层厚度约 20~30cm，则滤层总厚度应为 60~70cm。又如双层滤池，在砂上加一层煤粒，煤粒孔隙较大，絮状物可穿透得更深些，煤和砂的总厚度要求为 80~100cm。

3. 滤速:滤速对过滤的效果影响很大。滤速过快,悬浮物难以粘附、沉淀,随水流而出使过滤破坏。有效的滤速是由滤料大小、形状、厚度、水质条件及混凝效果而定的。慢砂滤砂粒粒径小,原水未经混凝处理故滤速较慢,只有 0.1~0.3m/h,否则很快堵塞。而快滤池滤料粒径大,原水经过混凝处理,滤速就可提高到 8~12m/h。

4. 水的性质:水的性质对过滤效果影响也很大,如水的浑浊度、色度、有机物、藻类等。其中影响最大的是原水的浊度。原水浊度大时,滤过时间缩短,出水量减少。据试验,单层滤料原水未经混凝沉淀出水浊度将随原水浊度升高而升高。水中藻类对过滤也有较大影响,小量藻类即可使滤层水头损失增加,量大时很快将滤料孔隙堵塞。因此,对滤池进水浊度有一定要求,如快滤池进水一般应小于 20 度。

除此外影响过滤的因素还有滤料形状和孔隙度,过滤方式,投加混凝剂、助滤剂的剂量、方式等等。

#### (四) 过滤方式:

过滤方法分为两大类:即表面过滤,就是将悬浮物截留在滤料表面,滤层过滤就是悬浮物能进入滤层深处并被截留。表面过滤如金属筛网、陶瓷过滤管、活性炭烧结管、石棉滤板、滤膜等。滤层过滤有慢滤池、快滤池、砂滤桶、压力过滤器等。

### 四、消毒(disinfection)

污染饮用水有害物质可分为两大类。一为致病微生物的污染,另一为有毒化学物质的污染。解决前者卫生保障措施是饮用水消毒。

据调查,引起人类发病的传染病总共约有 148 种,其中有 15 种是经水传播的,其中尚没有包括可能经水传播的以下几种传染病:耶氏菌(Yersinia)小肠结肠炎,沙园病,葡萄球菌食物中毒,肉毒中毒,蓝氏贾第鞭毛虫病,蛔虫病和肺吸虫病等。它们在整个传染病中的发病率和死亡率也是比较高的,它们对部队战斗力的影响甚为严重。例如:1817 年英国远征军 18,000 人侵略印度,在几个月里饮用未经任何消毒的河水,死于霍乱者达 13,000 人。1859 年法军在阿尔及利亚作战,15000 军人中患霍乱者 12,000 人,因而不得不停止战争。第一次世界大战中,因饮用水水质污染严重,法军中患伤寒者 124,000 人,德军中 116,000 人,俄军中也有 70,000 人。美军在越南战场上(1967 年),因饮用了污染阿米巴包囊的水,患阿米巴痢疾及其并发症的士兵有数千人之多。所以饮用水的消毒问题,特别要引起部队给水卫生工作者的重视。

表 3-27 水传播的传染病

病名	传染源	死亡率	分布
阿米巴痢疾	溶组织阿米巴	低	全球
急性腹泻	致病性大肠菌、肠道病毒等	低	全球
霍乱	霍乱弧菌	24 小时内 10—80%死亡	印度、东南亚等
麦地拉丝虫病	麦地拉丝虫	无死亡	印度、中东、非洲等
棘球虫病	绦粒棘球绦虫	可致死	分布广
传染性肝炎	肝炎病毒甲型	0.2%死亡	全球

钩端螺旋体病	钩端螺旋体	低	全球
脊髓灰质炎	脊髓灰质炎病毒	低	全球
副伤寒	副伤寒杆菌	低	全球
血吸虫病	裂体吸虫	有高的可能	亚洲、非洲、南美
痢疾	各型痢疾杆菌	死亡少	全球
绦虫囊虫病	绦虫	无死亡	分布广
兔热病	土拉巴期德氏菌	5%死亡	亚、非、欧洲
伤寒病	伤寒杆菌	10%死亡	全球
霉菌病	致病性霉菌	无死亡	分布广

联合国世界卫生组织 1980 年的一项研究报告指出：1980 年全世界有 13 亿 2 千万人得不到清洁的饮用水，世界上每天平均有 25,000 多人由于饮水污染所引起的疾病和由于缺水而死亡。第三世界国家中死亡的婴儿，其中五分之三到五分之四是死于痢疾、霍乱这样的疾病，污染的水源是产生这些疾病的主要原因，所以，该组织的总干事马勒认为：对人的健康来说，水龙头的数量与人口的比例，要比病床的数量与人口的比例更为重要。他进一步强调：为了大大提高世界人民的卫生水平，不需要新品种的特效药和造价昂贵的医院综合体，只需要两件极为普通的东西，即供给洁净的饮用水和不传播传染病的厕所。

再从流行病学的观点来看饮水消毒的重要性，我们首先来看霍乱的流行。当霍乱弧菌还没有发现以前，1854 年伦敦宽街的霍乱流行，经斯诺医师调查证实，是由于该地的饮水井遭受附近住宅的坑厕和阴沟污水污染所引起的。当时还没有消毒饮水的药品，只得将此井封闭，才控制了霍乱的流行。1892 年德国汉堡爆发了霍乱，是由于当地饮用水源遭受霍乱患者排泄物的污染所引起的。1909 年俄国彼得堡霍乱流行，也证实是由于自来水网被霍乱弧菌污染所致。霍乱在全世界大流行 7 次，死者不计其数。自 1820 年以来，霍乱传入我国，对我国人民的威胁很大。如 1932 年在我国霍乱流行中登记的患者就有 10 万以上，死亡 3 万余人。自 1961 年以来副霍乱又在全球五大洲流行。1970 年至 1979 年，副霍乱侵犯的国家和地区达 273 个，报告的病例数达 765,409 人。又有人报告河水经漂白粉消毒者与不消毒者发病率之比分别为 0.70% 和 2.44%。可见饮水进行消毒来防止霍乱是十分必要的。有人曾对一厂家属区流行伤寒病进行调查，发现经常喝生水者的发病率比不喝生水的高出约 24 倍。

表 3-28 某工厂家属区自来水型伤寒发病与喝生水的关系（吴彭年 1979）

喝水习惯	调查人数	发病数	患病率 (%)
经常喝生水	452	33	73.1
偶尔喝生水	267	7	26.22
不喝生水	1302	5	3.84

水的消毒是水质改善中最重要的一环。污染的原水经混凝、沉淀、过滤仍有一部分微生物未能杀灭。据美国试验，志愿者饮用经大肠杆菌和肝炎病毒污染、并经混凝沉淀、过滤但未氯化的水仍有约 60% 的志愿者发病。

从军队来说，平时饮用未经消毒的水面引起肠道传染病暴发至今仍时有发生，而战时因条件所限，往往不得不饮用污染的源水，以及敌人可能使用生物战剂。因此，原则上说不论平战时，凡饮用水必需经过消毒。在我军《军队战时饮用水卫生标准》中特别强调，“任何类型的水源水，供给饮用时必须经水质检验和消毒”。根据我军数十年的实践证明，水的消毒是防止肠胃道传染病必不可少的措施。

水消毒的方法和药剂很多(见下表)，但最常用的仍然是煮沸和氯消毒法。

表 3-29 水的各种物理化学消毒法

分类	方 法
物 理	热:煮沸
	声:超声波
	辐射:紫外线、微波、 $\gamma$ 射线
	压力:超滤
化 学	卤族元素:氯、碘、溴
	卤间化合物:氯化溴、氯化碘、溴化碘
	过氧化物:臭氧、过锰酸钾、高铁酸钾、过氧乙酸
	金属:银、铜
协 同	化学与化学:氯胺与碘化钾、氧与溴化碘、铜:维生素 C:过氧化物
	物理与化学:臭氧和紫外线、银与超声波、载银树脂

### (一) 氯消毒法

#### 1. 氯消毒剂

化学元素氯是 1774 年被瑞典 Scheele 发现的。1785 年法国的 Berthollet 用氯制成漂白粉投入生产为工业应用。在卫生方面最早应用氯是在 1846 年。Semmelweis 首次用氯水在病房中消毒而降低了产妇的产褥热死亡率(由 12% 降到 1.27%)。1854 年伦敦曾用氯来去除污水中的臭味。1881 年德国细菌学家在实验室证明次氯酸可把培养的细菌杀死。1896 年在亚德里亚海(Adriatic Sea)奥匈海军基地发生伤寒病流行时，曾用漂白粉来进行消毒。1897 年在英国 Maidstone 伤寒病流行时，Sims woodhead 曾用漂白粉液来消毒供水。1902 年在比利时的小镇 Middelkerke 首次用次氯酸钙来处理水，那是将氯化铁和次氯酸钙混合使用，以便达到混凝和消毒的双重目的。1903 年比利时 Ostede 的化学家 Maurice 用氯酸钾和草酸混合制成氯气来消毒饮水。由此可见，在 19 世纪末才有用氯来消毒水的报道。在 1905—1915 年这十年中，主要是用次氯酸来消毒，并对饮水氯化抱有怀疑和偏见。至 1905 年后的十年中，有用液氯来消毒水，是继续普及和训练的阶段。再到 1935 年后的十年中，是对氯消毒水特别感兴趣的

时期，主要考虑持续消毒和味道的问题，特别提倡用氯胺消毒。至 1945 年后的十年中，水厂用氯消毒达到半自动化，并对氯消毒饮水的效果和影响因素进行了有系统的研究。50 和 60 年代，氯的制剂日益增多，消毒效果得到提高，并发展了二氧化氯、臭氧和氯、氯碘及氯溴等处理饮用水的研究，并且氯消毒已达到了自动化的程度。自 70 年代以来，由于发现氯可与水中某些碳氢化合物反应产生致癌物质，使人们对氯消毒饮水又产生了怀疑和争论，已召开过多次氯化消毒的国际性会议，但由于尚未找到更好的饮水消毒剂来取代氯，所以世界各国消毒饮用水采用氯的仍占绝大多数。

## 2. 氯消毒剂的种类

供饮水消毒用的氯制剂分为液态氯、无机氯制剂和有机氯制剂三种。

(1) 液氯 将氯气在常温下加压 6~8 个大气压即可变为琥珀色液体，储存于钢瓶中。液氯在减压时，很快挥发成气体，通过加氯器，将氯与水配成氯溶液再投入水中。液氯易溶于水，溶解度与温度有关，如 10℃ 时 1L 水可溶解氯 9969mg，而 20℃ 时则为 7291mg。

液氯价廉，且消毒时使水偏向酸性，有利于消毒。但氯气有毒，对粘膜有强烈刺激性，高浓度可致人死命，因此在运输、储存、使用时应防止泄漏，注意安全。

(2) 漂白粉  $\text{CaCl}(\text{OCl})$  漂白粉是石灰经氯化制成的，其成分较复杂，含有杂质较多，其中有效成分为有效氯，即有杀菌能力的有效成分。凡含氯化合物的分子团中氯的价数大于负一价者均为有效氯。一般商品漂白粉含有效氯 35%，但漂白粉保存不当时，如受热、日晒、封闭不严，有效氯极易损失。我室在重庆地区试验，储存于腊封瓦罐和棕瓶的漂白粉，冬春季有效氯每月损失分别为 0.55% 和 0.2%，夏秋季则为 2.23% 与 2.1%。在北方全年有效氯损失要低些。在南方一般保存的漂白粉，有效氯损失可按每月 0.5~2.5% 估计。漂白粉如配成溶液，有效氯损失慢得多。

漂白粉消毒费用比液氯贵 3~4 倍，储存时有效氯易损失，且可提高水的 pH 值不利于消毒。但使用方便，消毒小量水时还是可应用的。

漂白粉精  $\text{Ca}(\text{OCl})_2$  是氯化石灰的精制品，有效氯含量可达 70%，有粉剂与片剂两种，性质较稳定。据我室多年观察漂白粉精片(含有效氯 200mg/片)，每年损失有效氯约 10mg。

漂白粉精价格虽高于漂白粉，但含有效氯高，且不易损失，故实际费用与漂白粉相差不大，为我军主要饮水消毒剂。

(3) 二氯异氰尿酸钠 ( $\text{C}_3\text{O}_3\text{N}_3\text{NaCl}_2$ ) 商品名“优氯净”为白色粉末，易溶于水，水溶液澄清无沉淀，含有效氯 62~64.5%。性质极稳定，不受高温、高湿影响，吸湿至一定程度即稳定，加以烘干后，有效氯并无大损失。

二氯异氰尿酸钠含有效氯高又不易损失，消毒后水 pH 值较低，受有机物影响小，故消毒效果也较好，但价格较贵，只能用于小量水消毒。

(4) 次氯酸钠 ( $\text{NaOCl}$ ) 将氯气通入氢氧化钠溶液即可制得次氯酸钠溶液，含有效氯 12~15%。目前多采用电解食盐溶液生产次氯酸钠。现我军广州军区已生产有次氯酸钠发生器，并已在部分军队自备水厂和医院污水处理站使用。

电解食盐生产次氯酸钠需消耗能源，价格较液氯高几倍，但生产使用较液氯安全，适于无液氯供应地区。

(5) 二氧化氯 ( $\text{ClO}_2$ ) 为淡黄绿色气体，易溶于水，溶解度比氯大 5 倍。可通过次氯酸钠与氯作用而制得。我军与地方均研制有二氧化氯发生器，但多为含

二氧化氯、氯、臭氧、过氧化氢等混合气体，其中二氧化氯仅有百分之几。

二氧化氯是强氧化剂，消毒作用不受氨和pH值影响，杀灭微生物快而效果好，不会产生卤代甲烷，是一种有前途的水消毒剂。但二氧化氯在水中可还原为亚氯酸盐( $\text{ClO}_2^-$ )，后者据动物试验可损伤红细胞，引起溶血性贫血。实际应用时 5mg/L 二氧化氯，饮用约 3 月未见任何变化。为安全起见美国环保局建议使用量不应超过 1mg/L。

(6) 氯胺与氯氨 有机氯胺性能稳定，耐储存、氯味少，易溶于水，适用 pH 范围广。常用有氯胺 T，含有效氯 35%。过去外军和我军均曾使用“哈拉宗”饮水消毒片即为氯胺制剂，因氯胺消毒效果差，消毒时间长，现已少用。

氯氨是人工投加氯与氨而形成的。氨可采用液氨、硫酸铵或氯化氨。一般先在水中加氨后再加氯，亦有先加氯再加氨的。氯氨法可解决余氯散失和氯臭问题，我国应用不多。但因氯氨可减少卤代甲烷的产生，故近年应用氯氨消毒又多起来。

### 3. 氯消毒机理

(1) 氯的水解 氯气或氯消毒制剂溶到水中，就很快地水解成  $\text{HOCl}$ 。



水解常数  $K_h = \frac{(\text{H}^+)(\text{Cl}^-)(\text{HOCl})}{(\text{Cl}_2)}$  随水温不同而有所变化。例如：0℃ 时为  $1.45 \times 10^{-4}$  克分子  $\text{L}^{-1}$ ，15℃ 时为  $2.81 \times 10^{-4}$ ，25℃ 时为  $3.94 \times 10^{-4}$ ，35℃ 时为  $5.10 \times 10^{-4}$ ，45℃ 时为  $6.05 \times 10^{-4}$ 。

氯的水解速度特别快，甚至在 1℃ 时于 1 秒钟以内就可完成。

(2) 氯的离解 次氯酸 ( $\text{HOCl}$ ) 在水中可以离解。

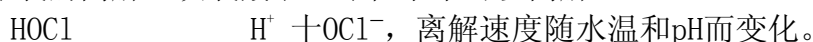


表 3-30 不同 pH 值时  $\text{HOCl}$  和  $\text{OCl}^-$  含量 (水温 20℃)

PH 值	$\text{HOCl}$ (%)	$\text{OCl}^-$ (%)
4	100.0	0.0
5	99.7	0.3
6	96.8	3.2
7	75.2	24.8
8	23.2	76.8
9	2.9	97.1
10	0.3	99.7
11	0.03	99.97

(3) 有效氯 氯的原子序数是 17，它的原子核中有 17 个带正电荷的质子。氯原子核被三层电子所包围，接近核的里层有 2 个电子，中层有 8 个电子，它们在化学反应中是无用的。最外层只有 7 个电子，于是它要在化学反应中获得一个电子，或者失去 7 个电子才能形成一个稳定的结构。当它获得 1 个电子后则为 -1 价，当它失去 7 个电子后则为 +7 价。

例如下列氯化物中氯的价数是： $\text{NaClO}_4$  (+7)， $\text{NaClO}_3$  (+5)， $\text{ClO}_2$  (+4)， $\text{NaOCl}$  (+1)

饮水消毒氯制剂中的有效氯 (available chlorine,  $\text{HOCl}$ ) 并不是指氯制剂中氯的实际含量，而是代表它在氧化还原反应中的当量值，它是作为比较氯制剂杀菌能力或漂白能力的基础。上面已谈到  $\text{HOCl}$  中的 Cl 为 +1，如用碘量法来测定其中的氯量时，则需要 2 个  $\text{I}^-$  才相当于 1 个  $\text{HOCl}^{+1}$  中的氯。

以 NaOCl 为例, 它的分子量是 74.5, 氯在其中的含量比为  $35.5/74.5=47.7\%$ 。有效氯则为  $2 \times 47.7\%=95.4\%$ 。表 3.31 为几种氯制剂纯品中有效氯含量。

附带说一句, 有效氯不要与有效自由氯 (free available chlorine) 混淆起来, 指水氯化消毒中的次氯酸分子和离子的总浓度, 它是与结合氯相区别的有效杀菌。

表 3-31 几种氯制剂纯品中有效氯含量(%)

氯制剂	分子量	分子当量	实际氯含量	有效氯量
Cl <sub>2</sub>	71	1	100	100
HOCl	52.5	1	67.7	135.4
NaOCl	74.5	1	47.7	95.4
Ca(OCl) <sub>2</sub>	143	2	49.6	99.2
NH <sub>2</sub> Cl	51.5	1	69.0	138.0

(4) 氯与氮化合物的作用 天然水中含有的氮化合物能与氯起化学反应。无机氮化合物中的氨和亚硝酸盐, 有机氮化合物中的各种氨基酸初蛋白质, 都能与氯发生作用。

对于氯气起的消毒作用, 有不同的说法, 但比较合理的说法是: 氯的消毒作用是通过它所产生的次氯酸 HOCl 产生的, 而不是氯气本身, 也不是它所产生的氢离子或次氯酸根 (OCl<sup>-</sup>) 的作用。HOCl 是一个中性的分子, 可以扩散到带负电的细菌表面, 并穿过细菌的细胞膜进入细菌内部。HOCl 分子进入细菌内部后, 由于 Cl 原子的氧化作用破坏了细菌的某种酶的系统 (酶是一种蛋白质成分的催化剂, 细菌的养分要先经过它的作用后才能被吸收), 最后导致细菌的死亡。而次氯酸根 OCl<sup>-</sup> 虽然也包括一个氯原子, 但它带负电, 不能靠近带负电的细菌, 所以也不能穿过细菌的细胞膜进入细菌内部, 因此很难起消毒作用。水中 HOCl 和 OCl<sup>-</sup> 中所含的氯总量称为自由性氯, 水中氯胺所含的氯总量则称为化合性氯。自由性氯的消毒效能比化合性氯的消毒效能高。

### 3. 影响氯消毒的因素

#### (1) (1) 水的性质

①水的 pH 值: 氯制剂在水中水解成次氯酸, 次氯酸又可离解为次氯酸离子和氢离子。



次氯酸的离解与水的 pH 值关系密切。pH 值愈高, 次氯酸离解愈多, 反之, 离解愈少。如 pH4 时, 次氯酸基本不离解, pH7 时有 24.8% 离解为次氯酸离子, 至 pH8 次氯酸就有 76.8% 离解。由于次氯酸的杀菌能力比次氯酸离子大 80 倍, 因此在酸性环境下杀菌能力比碱性环境强。

据 Butterfield 试验, 在 2~5℃ 接触 5min, 100% 杀灭大肠杆菌, 在 pH8.5 时需要的游离氯量为 pH7 时的 3.7 倍。Kabler 归纳各种 pH 值和水温下杀灭几种病毒所需加氯量和接触时间, 认为不论温度高低, 剂量大小, 在 pH 值相差 2 时, 有效消毒时间约增加 2.5 倍以上。

②水温: 化学反应速度是与温度密切相关的。而氯消毒也就是氯与微生物体内某些化学物质起作用, 因此水温升高, 杀菌作用也增强, 而在水温低时, 杀菌作用就显著下降, 尤其是 pH 值亦高时, 影响更大, 如上述 Butterfield 试验,

同是 pH8.5, 在水温 2~5℃时杀灭大肠杆菌的剂量比 20~25℃高一倍。

③水中杂质:包括水中有机物如酚、腐殖质、蛋白质及其分解物等, 无机物如亚铁、亚硝酸盐、粘土等及生物如微生物、藻类等等。这些物质均能与氯作用而消耗氯, 例如一份蛋白胨可消耗 6 份氯, 一份氨氮可消耗 9 份氯。

水中悬浮物除消耗氯外, 还可将细菌包含在悬浮物内部, 使氯不能与细菌接触而影响消毒效果。试验证明用氯消毒含有悬浮物的水后, 水中已不能拾出大肠杆菌, 但将沉淀的悬浮物搅动后, 又可从水中检出大肠杆菌。因此水中悬浮物多时, 应先经过处理, 才能保证氯消毒的效果。

(2)病原体种类:不同的病原体对氯的抵抗力是不同的。在致病菌中, 无芽胞的细菌一般对氯的抵抗力较低, 尤其是革兰氏阴性细菌, 如肠道致病菌。据试验, 在不耗氯水中, 游离氯 0.06mg/L 以上, 室温下 5min 即可将大肠杆菌、伤寒杆菌、志贺氏痢疾杆菌和绿脓杆菌 100%杀灭。而大肠杆菌对氯抵抗力又较伤寒杆菌、宋氏和福氏痢疾杆菌和布氏杆菌强。

革兰氏阳性细菌对氯的抵抗力较革兰氏阴性细菌强, 是因为它们的细胞壁较厚, 渗透性较低及组成成分差异等原因。如葡萄球菌用浓度为 500~1000mg/l 的漂白粉溶液, 要 5~10min 才能杀灭。

有芽胞的细菌因具有几乎不透水致密的外膜, 氯不易渗入到细菌体内而将其杀灭, 因此对氯抵抗力最强。有的试验用液氯 150mg/l, 要 30min 才能将炭疽芽胞杀灭。

人型结核杆菌对氯的抵抗力也强, 据试验加氯 8mg/l, 余氯 7mg/l 才可有效杀灭。钩端螺旋体对氯的抵抗力和大肠杆菌相似或弱一些。立克氏体对氯的抵抗力则较强, 加氯量 50mg/l, 10min 方能将其完全杀灭。

肠道病毒的抵抗力一般比肠道细菌强, 但不同的病毒对氯抵抗力差别很大。Liu 等用美国 Potomac 河水加 20 钟病毒进行氯灭活试验, 结果发现除腺病毒 III 型和呼肠病毒比肠道细菌对氯的抵抗力低以外, 其它大多数病毒对氯的抵抗力比肠道细菌约大 10 倍左右。在同样条件下灭活 99.99%的呼肠 I 型病毒需 2.7min, 柯萨奇 A9 型需 6.8min, 人肠道孤病毒 9 型需 12.4min, 脊髓灰质炎病毒 I 型需 16.2min。我军试验自来水加氯 3mg/l 以上接触 30min, 黄浦江水、珠江水加氯 7.5mg/l, 接触 30min, 才能有效灭活甲肝病毒。水中如含有氨氮对灭活病毒影响很大, 因氯与氨形成结合氯灭活病毒能力很差。WHO 在《饮用水水质准则》中指出, 受污染的水经净化消毒后, 浑浊度在 1 度以下, pH 少于 8, 接触时间至少 30min, 游离余氯至少 0.5mg/l 才算安全。

各种包囊对氯的抵抗力亦很大, 如据报道在常温下 (23℃), pH7~8, 在 30min 内杀灭阿米巴包囊最低氯量为 1.2~4.2mg / L。但另有试验表明加氯量达 100mg / L, pH7, 接触 10min 只能杀灭病人排出的阿米巴包囊 97.6%。

下表为 Morris 综合各种不同类型氯对杀灭水中 (不耗氯) 99% 各种病原体所需氯量, 由此可看出各种病原体对氯抵抗力差异。

表 3-33 杀灭病原体 99% 以上氯浓度

	杀灭 99% 所写的浓度 (mg / L)			
	肠道细菌	肠道病毒	阿米巴胞囊	芽胞
HOC1	0.02	0.002~0.4	10	10
OC1-	2	>20	103	>10 <sup>3</sup>



NH <sub>2</sub> Cl	5	10 <sup>2</sup>	20	4×10 <sup>2</sup>
Cl <sub>2</sub> (pH7)	0.04	0.8	20	20
Cl <sub>2</sub> (pH8)	0.1	2	50	50

注:接触时间 10min, 水温 5℃

(3) 剂量与接触时间为保证氯消毒的效果, 必须有足够的加氯量和接触时间。消毒时, 加氯量必须满足水中杂质消耗的氯量(需氯量), 并在接触一定时间后, 余留有一定的氯量(余氯量), 才能保证消毒的可靠。故实际上加氯量等于需氯量加余氯量。但单有足够的加氯量亦不够, 还必须有一定的接触时间, 通常饮水消毒采用的接触时间为 30min。

实验证明, 氯消毒剂量和接触时间存在着一定关系。即接触时间长, 消毒剂量小, 接触时间短, 消毒剂量大。据此可得出浓时积公式

$$C^n t = K$$

式中 C 为消毒剂浓度。t 为达到一定杀菌要求时间, n 为浓度系数, 当消毒剂浓度变化与时间变化影响相等时 n=1。K 为浓时积常数。

White 根据用氯杀灭 99%水中柯萨奇病毒 A2 型计算出来的浓时积表, 可作为水的氯消毒时参考。

表 3-34 不同条件下加氯消毒时浓时积

pH	浓时积 (K)	
	0~5℃	10℃
7.0~7.5	12	8
7.5~8.0	20	15
8.0~8.5	30	20
8.5~9.0	35	22

注:n=1, C 按余氯量算

即余氯量(mg/L)和消毒接触时间的乘积达到表内 K 值可保证消毒的效果。余氯量和接触时间可以调整, 只要达到表内 K 值, 消毒都同样有效。

例如对水温 5℃, pH 值 7 的水消毒, K=12, 消毒时间为 30min, 则所需游离余氯量为  $C=12/30=0.4\text{mg/L}$ 。如在同样条件下, 消毒时间缩短为 15min, 则游离余氯量为  $C=12/15=0.8\text{mg/L}$ 。

上述浓时积是以柯萨奇病毒作试验的, 故对繁殖型细菌有较大的安全系数, 对其它病毒也可应用。据试验甲肝病毒在水的 pH 在 7 以下, 水温 20℃以上, 水的浑浊度不大于 0.1 度时, 浓时积 35 可达到灭活目的。而杀灭阿米巴包囊浓时积需 650, 杀灭炭疽芽胞芽胞浓时更高达 4500, 因此不宜用氯消毒法, 前者可采用过滤, 后者则用煮沸消毒。

由于影响氯消毒的因素很多, 各种水质有很大不同, 有的因素如水的 pH 值、水温、病原体种类等不易人为改变, 因此为保证消毒效果最重要的是掌握好加氯

量和接触时间,这两个因素虽可互相调节,但亦不可无限的过大过小或过长过短,如剂量过小,时间再长也达不到消毒目的,反之亦然。因此,一般游离余氯不宜低于 0.3mg/L,接触时间不应短于 15min。

在水源没有严重污染情况下,温暖季节采用浓时积 6~12,寒冷季节采用浓时积 12~18,是可保证消毒安全的。

## (二)氯消毒方法

(1)常氯消毒法适用于平时营区或较长时间驻扎经常性水的消毒。水源保护情况良好,水质透明又没有严重污染时,使用常量氯消毒法可保证饮水安全。若水质污染严重或混浊时,则必须先经处理再用常量氯消毒。

常量氯消毒多采用液氯、漂白粉或漂白粉精。一般加氯量为 1~3mg/l,消毒 30min 后,应保持游离余氯 0.3~0.5mg/L。使用漂白粉(精)在容器或井内消毒方法如下。

①计算水量。井水量计算已见上述。水池容量按一般算法。此外应熟悉军队常用容器如水桶、行军锅、面盆的容量,以便确定投加的消毒剂量。

②确定加漂白粉(精)量。可用估计法、实验法及算法。但一般需先估计或测定漂白粉有效氯含量。

最简单方法是根据水质清浊估计加漂白粉量。但此法不太准确,因未能考虑水质的其它情况。

表 3-35 不同水质加漂白粉(精)量

水质	加氯量(mg/L)	加漂白粉量(g/m <sup>3</sup> )	加漂白粉精量(片/m <sup>3</sup> )
透明水(井水)	1~2	5~10	5~10
微浑水(河水)	2~3	10~15	10~15
稍混水(塘水)	3~4	15~20	15~20

注:漂白粉有效氯含量 18~25%,漂白粉精每片含有效氯 200mg

试验法可用三杯法(见实习)或三桶法。三杯法适用于平时处理较大的水量。三桶法则较粗,仅用于行军、野营与战时小量水消毒。方法原理是在各杯(桶)水内加入不同量漂白粉溶液后 30min,用化学试剂或感官测定余氯量,取合适余氯的一杯(桶)的加漂白粉液量,即可计算出每升(m<sup>3</sup>)应加漂白粉(液)量。此法不需了解漂白粉有效氯含量。

计算方法必须先知道漂白粉有效氯含量,再根据水质确定加氯量,按下式计算加漂白粉

$$\text{加漂白粉量(g)} = \text{加氯量(mg/L)} \times \text{水量(L)} / \text{漂白粉有效氯含量(\%)} \times 1000$$

例如水源水为保护良好透明无色河水,无污染,水池容量 2m<sup>3</sup>,漂白粉有效氯含量 20%,加氯量为 2mg/L,应加漂白粉量为

$$\text{加漂白粉量(g)} = 2 \times 2000 / 20\% \times 1000 = 20$$

算法比较复杂,但较估计法准确些,常用于井水消毒。

③进行消毒。应先将漂白粉(精)调成浆状或配成溶液加入,后者可用上清液,充分搅拌,放置 30min。

④测定余氯 是保证消毒重要一环。因影响消毒的因素多,水质变化大,常用的估计法,计算法都不一定准确,只有根据余氯量才能判断消毒是否可靠。一般要求游离余氯为 0.3~0.5mg/L。战时或有肠道传染病流行时,应不低于 1~2mg/L。水被生物战剂污染时不低于 5mg/L。

下表为美国公共卫生局(USPHS)建议的杀菌和杀包囊最低余氯量可供参考。

表 3-36 USPHS 建议最低余氯量(mg/L)

pH	游离余氯			结合余氯
	杀菌 0~25 ℃	杀包囊 22~25 ℃	杀包囊 2~5 ℃	杀菌 0~25 ℃
6.0	0.2	2.0	7.5	2.0
7.0	0.2	2.5	10.0	2.5
8.0	0.2	5.0	20.0	3.0
9.0	0.2	20.0	70.0	3.5

(2)超氯消毒法 用超过正常氯量 5~10 倍或更大的氯量消毒水称为超氯消毒法。此法适用于有色混浊、污染严重的水。方法简便,消毒效果好,消毒时间短。但消耗药量大,而且余氯很高,必须经过脱氯方可饮用。因此只用于行军、野营、战时紧急情况下,水源受到严重污染或发生肠道传染病流行或生物战时。近年有的城市因水源严重污染,加氯量已近 10mg/L,余氯亦高达 2~3mg/L。

消毒方法可估计加入正常 5~10 倍漂白粉量,消毒 10~15min,测定余氯,1mg 余氯可用 3.5mg 硫代硫酸钠脱去,简单方法可加漂白粉量一半的硫代硫酸钠即可,亦可将水通过活性炭或木炭过滤器脱氯。简便的超氯消毒剂量可按下表。

表 3-37 简便超氯消毒药剂用量

水量(L)	消毒剂		脱氯剂	
	漂白粉 (g)	或漂白粉精 (片)	Na <sub>2</sub> S <sub>2</sub> O <sub>3</sub> (g)	或 Vc(片)
10	1	1	0.5	3
100	10	10	5	30
1000	100	100	50	300

经我室试验研究,认为维生素 C 片是一种很好脱氯剂,每片 100mg 维生素 C 可脱氯 64.7mg。此法方便,快速(压碎加入,略一搅拌即可),维生素 C 性质稳定,储存 10 年脱氯效果不变,对人有益无害。

### (三)其它消毒法

1. 紫外线:紫外线辐射是由低压汞灯产生的,具有杀菌作用紫外线波长 250~265 μm。紫外线杀菌原理是其对微生物细胞 DNA 的胸腺嘧啶起光化学转变作用,导致细胞死亡。

一支 25W 紫外线灯可消毒约 2m<sup>3</sup>/h。灯寿命平均在 2000~3000h。水层厚度不超过 1520cm。灯可装在水上方或水中。紫外线辐射强度随水层深度增加而减少,水色、混浊、溶解盐类和有机物都可降低紫外线的穿透力。一般原水浑浊度大于 5 度,色度大于 10 度最好先经过处理。

紫外线消毒的优点为:不改变水的理化性质,水中含氨不影响杀菌能力,不

产生臭味，消毒快，过量照射亦无影响。缺点为：杀灭芽胞、病毒效果比繁殖型细菌差，受水质、水层厚度影响较大，无余留作用，不易确定失效时间，价格较贵等。紫外线消毒效果据我军多个单位试点，细菌合格率为 80~100%。适用于水质较好的地下水。

2. 臭氧：臭氧是氧的同素异形体，臭氧是将干燥空气或氧气通过高压放电而制得的。臭氧在常温下为无色气体，有特殊臭味，不易溶于水，一般常温下每斤水只溶解十几毫克。臭氧氧化能力很强，杀菌迅速，一般在几分钟内即可将细菌杀灭。其杀菌与杀灭芽胞病毒效果均较氯好。消毒水投加剂量通常不大于 1mg/L。接触时间 15min，余臭氧量 0.4mg/L，可保证饮水安全，包括杀灭病毒。

臭氧的优点是杀菌快，效果好，对铁、锰、色、味、酚、苯并(a) 芘等有机物都有去除能力，不受水中氨和 pH 值的影响，不产生卤代甲烷。由于水源日益污染严重，国外使用臭氧消毒饮水日益增多，我国自来水厂使用极少，我军已进行不少试验研究，但未进行实用。使用臭氧也存在一定问题，如价格昂贵，设备复杂，消耗能源多，无余留作用，不能储存需现制现用等。近来又发现臭氧和某些有机物可形成臭氧化物、过氧化物、环氧化物和醛化物，这些物质也可能有致癌性。

3. 卤间化合物(interhalogens)：卤间化合物是两种不同卤素形成的化合物，如氯化溴(BrCl)、氯化碘(ICl)、溴化碘(IBr)。卤间化合物较各单个卤素杀菌作用强。有人曾用氯、溴、氯化溴作杀灭大肠杆菌比较，发现氯化溴在同样条件下 100%杀灭大肠杆菌所需剂量较氯和溴低 2~8 倍。另试验在氯制剂中加入 2%溴化钾，杀灭 99.999% 的多种细菌比单独用氯制剂的量低 7.5~15 倍。

氯化溴杀灭大肠杆菌和病毒效果很好，如氯化溴消毒污水，其杀灭大肠杆菌效果比臭氧还好。另试验杀灭脊髓灰质炎病毒效果比氯高 3 倍。氯化溴受水的 pH 值和氨影响也小，形成的溴氨仍有同样杀菌作用，在低温时效果也好，故有人认为氯化溴可考虑作为氯的替代剂。

4. 银：很早就知道银的容器有消毒水的作用。自德国首先使用银消毒饮水以来，至今仍有学者不断研究，并用于船舶、小量水、储水和个人饮水消毒，个别自来水厂亦有用银作消毒。

银消毒的原理是细菌对银有较强的吸附性，银吸附于细胞壁破坏细菌的分裂功能，量大时可进入细胞内储存于胞浆膜上，并与含巯基的酶形成不可逆的硫银化合物，影响细胞的呼吸作用，导致细菌死亡。

极微量的银就有杀菌作用称为微动作用(oligodynamic action)，但杀菌时间较长需 1~2h，一般消毒水的剂量为 0.05~0.3mg/L。我室试验杀灭井水中痢疾杆菌加银量要在 0.1mg/L 以上，银有持续杀菌作用，可用于长期储水。

银离子消毒方法很多，可以直接加入硝酸银、电解银或将银载在陶粒、羊毛织物、尼龙纤维、颗粒活性炭、离子交换树脂上，用作过滤同时有消毒作用，我军研制的载银树脂、载银活性炭已广泛用于个人饮水消毒管和净水器中。

但银离子消毒杀菌慢，杀菌作用不强，特别是对芽胞、病毒、包囊，影响消毒因素多如 pH 值、水温、有机物、氯化物等，价格昂贵故使用受到限制。

我军研制的消毒方法还有维生素 C、铜、过氧乙酸三元协同消毒法、高铁酸钾、柠檬酸洗必泰等均有一定消毒效果，但因存在不同缺点而未能进入实用阶段。

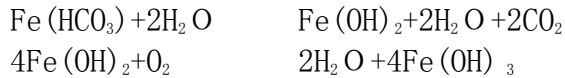
## 五、特殊水质改善方法

### (一)除铁锰(removal of iron and manganese)

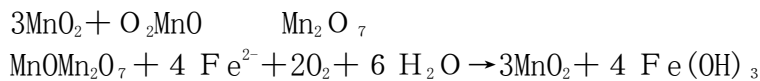
地下水中经常发现铁和锰同时存在,铁多以重硫酸亚铁( $\text{Fe}(\text{HCO}_3)_2$ )、硫酸亚铁、氯化铁形式存在,锰则多为二价和四价锰。

常用的除铁锰方法如下。

1.曝气法:将压缩空气通入水中或将水喷洒于空气中,使空气中氧进入水中,同时消除地下水中二氧化碳,提高水的pH值,二价铁在沉淀中氧化为三价铁,再经过滤去除。

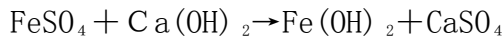


2.锰砂过滤:将水通过锰砂或人工锰砂过滤,锰砂上二氧化锰可将二价铁氧化为三价铁而滤除,锰砂滤池需经一周以上运用,即经过成熟期,效果才能稳定。



3.混凝法:常用的混凝剂如硫酸铝、氯化铝都可去除水中的铁,尤其是铁的有机化合物胶体如腐殖酸铁,混凝剂用量应经试验确定。

4.石灰法:水中加入石灰或苛性钠可提高水的pH值,使水中铁盐完全水解生成氢氧化铁胶体,能混凝为絮状物而沉淀。石灰加入水中先与亚铁起作用:



式中 $\text{Fe}(\text{OH})_2$ ,在水pH>8时,迅速氧化生成 $\text{Fe}(\text{OH})_3$ 而沉淀。

水中锰的去除较困难,但经过长时间或多次曝气和锰矿过滤也可去除。亦可用氧化剂如二氧化氯、氯、臭氧、高锰酸钾等使锰快速氧化,使二价锰变成四价锰,以二氧化锰形式沉淀。氯的用量一般为锰的3倍以上。

### (二)除氟(defluoridation)

1.混凝法:使用硫酸铝、氯化铝都有除氟效果,但使用剂量较大,需100~300mg/L或更高。此法简便,但使水中铝增高,有时可使水带涩味。电凝聚法向水中投加的 $\text{Al}^{3+}$ ,直接来源于铝板电极,可用调节电流方法控制出水含氟量。

2.活性氧化铝法:是目前我国除氟主要方法。活性氧化铝是由氧化铝水化物在300~700℃脱水而成。是一种多孔吸附剂,有较大表面积,吸附容量为1.2~1.6 $\text{mgF}^-/\text{g}$ ,吸附原理尚未阐明,目前认为是离子交换作用。

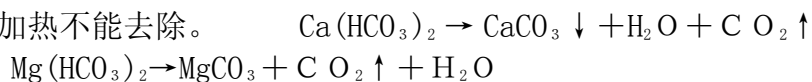
将活性氧化铝装在过滤器内,采用从下向上流方式交换吸附,接触时间15min,当出水氟高于1 $\text{mg}/\text{L}$ 时,可用5~10%硫酸铝或氢氧化钠再生。

3.骨碳法:骨碳主要成分为磷酸钙 $\text{Ca}_3(\text{PO}_4)_2 \cdot \text{CaCO}_3$ ,国内研究认为主要成分为羟基磷酸钙 $\text{Ca}_5(\text{PO}_4)_3\text{OH}$ ,除氟机理为离子交换,此外还有吸附作用。骨碳吸附容量为3.0 $\text{mgF}^-/\text{g}$ 。使用骨碳作除氟滤料,粒径以0.6~2.0mm为宜,接触时间5min。水的pH值对除氟影响较大,pH6~7较好,过酸过碱均有影响,出水含氟量超过1.5 $\text{mg}/\text{L}$ 时,需再生,先用原水反冲5min,再以1%氢氧化钠溶液动态再生2h,浸泡42~44h,再动态再生1~2h,最后以原水反冲至出水pH接近原水为止。

骨碳价格较活性氧化铝低,吸附容量高,但有的骨碳吸附容量较低,最好先经试验再决定采用。

### (三)除硬(软化)(removal of hardness)

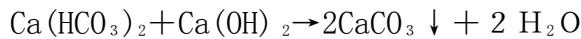
1.加热法:将水加热到100℃以上时,可去除大部分碳酸盐硬度,非碳酸盐硬度加热不能去除。





## 2. 药剂法

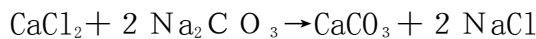
(1) 石灰法是除去水中碳酸盐硬度最简便而经济的方法。



(2) 石灰苏打法如水中同时存在碳酸盐与非碳酸盐硬度，可同时投加石灰和苏打(碳酸钠)，可去除大部分硬度。

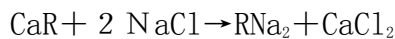


(3) 氢氧化钠法水中加入氢氧化钠可去除碳酸盐硬度，而且生成的碳酸钠又可去除部分非碳酸硬度。



(4) 离子交换法通常使用的离子交换剂有天然和合成沸石、磺化煤和合成离子交换树脂，离子交换软化法简便快速有效，其原理是利用离子交换剂的活性基团与水中钙、镁交换而使水软化。
$$\text{Na}_2\text{R} + \text{CaSO}_4 \rightarrow \text{RCa} + \text{Na}_2\text{SO}_4$$

应用时将阳离子交换剂装入园柱内，水经过滤即可软化，当交换饱和后，可用5~15%的氯化钠溶液再生后反复使用。



## (四) 淡化(除盐 desalination)

苦咸水一般含盐1000~5000mg/L，也有高达10000mg/L，根据地质情况而不同。海水的含盐量在15000mg/L以上，典型的海水含盐量为35000mg/L，苦咸水和海水脱盐技术有蒸馏、膜及离子交换三种。

1. 蒸馏法:是最古老，但是技术设备最成熟，最完善及目前世界各国军队与干旱地区淡化海水的主要方法。

蒸馏法有竖管蒸馏、多级闪急蒸馏、蒸汽压缩蒸馏、太阳能蒸馏等类型。其中应用在大量海水淡化最多的是多级闪急蒸馏，原理是加热海水进入一压力较低闪蒸室，海水急速汽化，蒸汽经冷凝而得淡水，热海水依次进入下一级压力更低闪蒸室继续蒸发，闪蒸室通常有20~30级。此法设备构造简单，锅垢危害少，节约能源，但设备较庞大。

太阳能蒸馏设备简单，不需人工能源，在气温高、日照长的缺水地区较适用。军队海上救生、海岛、边防可采用此法。简单的太阳能蒸馏装置如下图，装置每 $\text{m}^2$ 面积产水量约在1.0~4.8L/d之间。

2. 电渗析法(electrodialysis):原理是利用阳离子与阴离子交换膜交替相隔排列形成多个淡水室和盐水室，两侧设置电极，在直流电场作用下，淡水室的阳、阴离子分别透过阳离子和阴离子交换膜，淡水室的水就得以淡化，盐水室内水变得更浓。

电渗析法耗电量与原水含盐量成正比，一般用于含盐低于5000mg/L的苦咸水，较为经济便宜。电渗析对硼的去除率低，海水淡化后含硼仍达4mg/L，还要用离子交换树脂去除。我军少数舰艇及个别岛屿装有电渗析海水淡化器。

3. 反渗透法(reverse osmosis):反渗透法是目前淡化饮水较好的方法，国内外及军队对此都进行了大量研究。美军已将反渗透净水装置作为军队装备，在海湾战争中曾发挥很大作用。

反渗透的原理是利用半渗透膜将咸水与淡水分开，当向咸水一侧施加大于盐水渗透压的压力时，迫使盐水中的水透过半透膜，而将盐分阻留，使盐水得到淡

化。

反渗透主要作用依靠反渗透膜，常用于海水和苦咸水淡化的膜主要有醋酸纤维素膜、芳香族聚酰胺膜、改性醋酸纤维素膜及复合膜等。按形状分别有平板膜、管状膜和中空纤维膜，并有相应形式的反渗透淡化器。我军曾研制小分队用的手压式反渗透净化器，美军已装备有供班组用便携式脱盐器，每小时处理水 30L。

反渗透淡化器不但可用于海水、苦咸水淡化，而且对去除水中放射性物质、化学毒剂和生物战剂都有一定效果。但反渗透淡化器，对水质要求很高，应用技术难度也较大，在我军应用还待进一步研究和积累经验。

4. 离子交换法：由于离子交换树脂的交换容量较低，只适用于含盐量很低的苦咸水。故多只用于海、空军作救生用或边防小分队淡化苦咸水用。

我军装备的救生用海水脱盐剂，主要成分为银泡沸石，可使海水中氯、钠、钙、镁等离子形成不溶性沉淀物，并被过滤装置截留。每块脱盐剂重 65g 左右，放入有过滤装置脱盐袋中，吸海水至刻度，待脱盐块崩解后，振摇 15min，由过滤器出水口吸饮淡水，每块脱盐块可淡化海水 400ml。边防小分队用淡化剂为苯乙烯强碱阴离子树脂，每军用水壶加一袋 30g，振摇 15min，过滤后饮用，可将含盐量 5000mg / L 的苦咸水淡化到 2500mg / L 以下。

#### (五)除臭味(removal of taste and odor)

水中臭味来源不同去除方法亦不同，如是藻类引起可用硫酸铜杀灭，如是氯化钠，硫酸镁引起只能用上述脱盐法去除，一般由余氯、酚、石油等引起的臭味可通过活性炭过滤去除。我室试验以 300g 颗粒活性炭过滤含余氯 1.5mg / L 的水 150 吨以上，出水仍无余氯臭味。美军曾用清洗过汽油桶储水，致水有令人厌恶气味，后用颗粒活性炭过滤，气味即消除。