

第 1 章 含铁、含锰水处理工艺 与运行管理

由于地表水中的铁、锰主要是以不溶解的 $\text{Fe}(\text{OH})_3$ 和 MnO_2 形式存在，因而铁、锰含量不高，一般不需除铁、除锰的处理。而我国地下水中铁的含量多为 $5\sim 10\text{mg/L}$ ，锰的含量为 $0.5\sim 2.0\text{mg/L}$ 。铁和锰共存于地下水中，但含铁量往往高于含锰量。由于地层对地下水的过滤作用，一般地下水只含有溶解性的铁化合物，所以在地下水中主要以 2 价铁离子 (Fe^{2+}) 的形式存在；锰在地下水中主要以溶解度高的 2 价锰离子 (Mn^{2+}) 的形式存在。铁、锰的高含量会使水产生色、嗅、味；用于造纸、纺织、制革、化工等行业时，会影响其产品质量。因此，依照我国饮用水卫生标准中规定，铁含量超过 0.3mg/L 、锰含量超过 0.1mg/L 的原水必须进行除铁、除锰处理。

铁和锰在水中都以 2 价的离子形式存在，地下水除铁、除锰是氧化还原过程。去除地下水中的铁、锰都利用同一原理，主要是把溶解的离子转化为沉淀物分离出来，即将溶解状态的 2 价铁、2 价锰氧化成悬浮状态的 3 价铁、4 价锰，使其能由水中沉淀析出，再经过滤料层过滤即可达到去除的目的。铁和锰的氧化还原反应受环境因素的影响变化很大，铁的氧化还原电位比锰低，氧化速率较锰快，所以铁比锰易于去除。

1.1 除铁、除锰方法概述

1.1.1 地下水除铁方法

地下水中铁的存在形态主要是 2 价铁离子，因此可利用氧化

剂将 2 价铁离子氧化成氢氧化铁沉淀而除去水中的铁。常用的氧化剂有氧、氯和高锰酸钾等，其中，利用空气中的氧气最方便、经济。我国除铁技术中，应用最多的就是以空气中的氧为氧化剂的接触氧化除铁法。

接触氧化除铁法即是使含铁地下水经曝气后即刻进入滤池进行过滤，利用滤料颗粒表面形成的铁质活性滤膜的接触催化作用，将 2 价铁氧化成 3 价铁，并附着在滤料表面。整个过程包括曝气和过滤两个单元，且催化氧化和截留去除在滤池中一次完成。

1.1.2 地下水除锰方法

锰常与铁共存于地下水中，但相同 pH 值时 2 价铁比 2 价锰的氧化速度快，即 2 价铁会阻碍 2 价锰的氧化。因此，对于铁、锰共存的地下水，应先除铁再除锰。

单独除锰采用与除铁相同的接触氧化法，工艺过程也是先曝气再过滤。只是在接触氧化除锰工艺中，滤料的成熟期较除铁长得多。主要与原水的含锰量有关：如原水含锰量高，成熟期需 60~70d；含锰量低，则需 90~120d，甚至更长。其次，滤料的成熟期也和滤料有关。滤料种类、滤料粒径及滤层厚度等和除铁相同。

地下水中的铁、锰也可在同一滤池的滤层中去除，上部滤层为除铁层，下部滤层为除锰层，如图 1.1.1 所示。

含铁、含锰水的处理方法及工艺情况汇总见表 1.1.1。

当水中含铁、锰量较高时，为防止除铁层向下延伸压缩除锰层引起锰泄漏而使滤后水不符合水质标准，一般是采用曝气、两级过滤处理工艺，即经过曝气的含铁含锰地下水，先进入除铁滤池，再进入除锰滤池。

1.1.3 曝气装置

曝气装置常用跌水曝气、喷淋曝气、射流曝气、曝气塔曝气等形式。

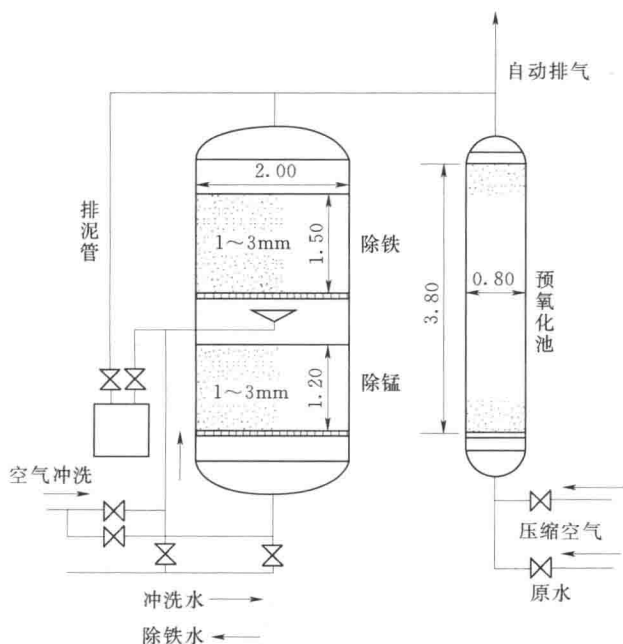


图 1.1.1 除铁、除锰双层滤池

表 1.1.1 含铁、含锰水的处理方法及工艺情况汇总

方法	除铁、除锰		
	接触氧化法	生物固锰除锰法	曝气两级过滤法
工艺流程	含铁水 → 曝气 → 过滤 → 除铁水	含铁锰水 → 生物除锰固锰装置 → 曝气 → 除铁、锰水	含铁、锰水 → 曝气 → 一级过滤 → 二级过滤 → 除铁、锰水
适用情况	只能在水的 pH 值不低于 7.0 的条件下可能较有效去除 2 价铁	当原水中含铁量低于 6.0mg/L、含锰量低于 1.5mg/L 时, 可采用生物固锰除锰法	当地下水含铁量、含锰量较高时, 可采用曝气两级过滤工艺。 当地下水中含铁量大于 10mg/L、含锰量大于 2.0mg/L 时, 一般采用两级曝气、两级过滤的工艺流程

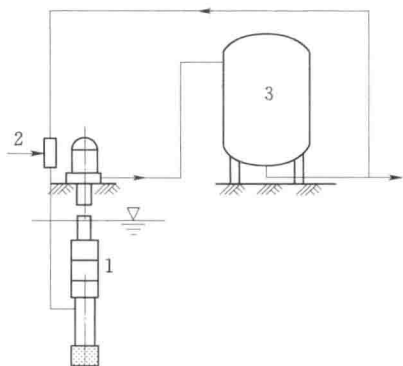


图 1.1.2 射流曝气装置

1—深井泵；2—水射器；3—除铁滤池

如图 1.1.2 所示，射流曝气装置适合于地下水中铁、锰含量不高且不必为提高 pH 值需要消除水中二氧化碳的小型除铁锰装置。图 1.1.3 所示为莲蓬头曝气装置，装置中单个莲蓬头的服务面积一般为 $1.0 \sim 1.5\text{m}^2$ ，莲蓬头孔口直径为 $4 \sim 8\text{mm}$ ，安装深度为滤池液面以下 $1.5 \sim 2.5\text{m}$ 。该曝气装置除莲

蓬头易堵塞需常更换外，具有曝气均匀、运行可靠、管理简单等优点。曝气塔曝气装置中填有多层板条或焦炭或矿渣填料层，如图 1.1.4 所示，当含铁锰水由塔顶的穿孔管向下喷淋通过填料层时，氧便会溶入其中。这样水与空气接触时间长，充氧效果较好。

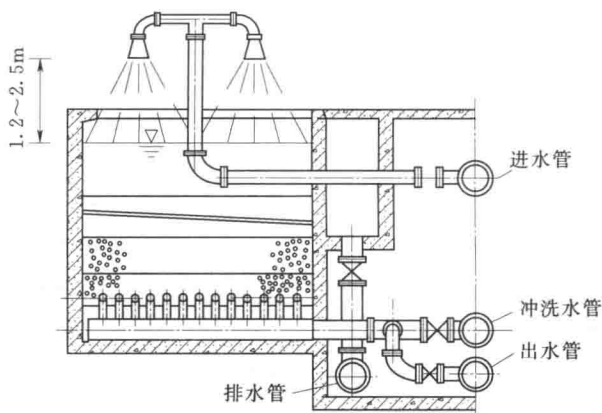


图 1.1.3 莲蓬头曝气装置

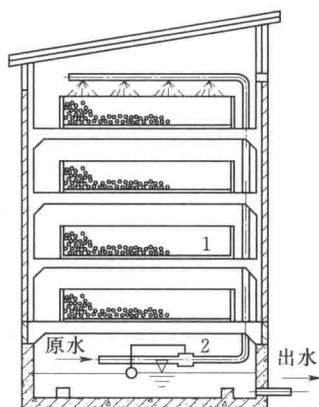


图 1.1.4 曝气塔曝气装置

1—焦炭层；2—浮球阀

各类曝气装置的特点列于表 1.1.2 中。

表 1.1.2 各类曝气装置的特点

曝气方式	特 点	适用 范围
跌水曝气	跌水曝气的曝气构造简单，操作方便，便于灵活应用，也可充分利用滤池进水的跌水装置，当需要进一步提高水中溶解氧浓度时，可再增大跌水高度或采取多级跌水措施	适用并广泛用于小型供水工程
喷淋曝气	曝气装置常设在重力式除铁滤池之上。曝气效果好，能满足大多数地下水除铁要求，无需机械设备，操作简单。但当含铁量高时孔眼易堵塞，并应注意通风	适用于含铁量小于 10mg/L 的曝气装置
射流曝气	曝气装置除莲蓬头易堵塞需常更换外，具有曝气均匀、运行可靠、管理简单等优点	适合于地下水中铁、锰含量不高且不必为提高 pH 值需要消除水中二氧化碳的小型除铁、锰装置
曝气塔曝气	曝气塔曝气装置中填有多层板条或焦炭或矿渣填料层，当含铁、含锰水由塔顶的穿孔管向下喷淋通过填料层时，氧便会溶入其中。这样水与空气接触时间长，充氧效果较好	曝气效果好，氧的利用率较高，且不易被铁质堵塞，适用于含铁量较高的地下水曝气

1.2 除铁、除锰工艺的运行管理

1.2.1 除铁、除锰滤池的运行管理

除铁、除锰滤池一般采用重力式快滤池或压力式滤池，滤料采用石英砂（粒径为0.5~1.2mm）、无烟煤或锰砂（粒径为0.6~2.0mm）（图1.2.1）等。当锰含量较高时，宜采用锰砂滤料。重力式快滤池滤层厚度采用700~1000mm；压力式滤池采用1000~1500mm。在过滤单元中，滤料存在着一个成熟期，即随着过滤的进行，在滤料表面才会逐渐形成具有催化作用的棕黄色或黄褐色铁质活性滤膜，此时才会有除铁效果。所以，一般滤池投入使用4~20d后出水含铁量才能达到饮用水水质标准。滤料成熟期的长短与滤料、原水水质及滤池运行参数等因素有关，如石英砂的成熟期要比锰砂长。



图 1.2.1 除铁、除锰专用锰砂滤料

除铁、除锰滤池的运行管理要点见表1.2.1。

表 1.2.1 除铁、除锰滤池的运行管理要点

内容	除铁、除锰滤池运行管理要点
滤料的装填	除铁、除锰滤料在装填前应按设计要求认真对滤料进行筛选，筛选后自下而上，由大至小逐层装填。 滤料装填后应及时进行反冲洗，水流自下而上，将粒径不合格的滤料砂粉末及泥水及时冲洗走，直至出水澄清才能正式投入运行

内容	除铁、除锰滤池运行管理要点
初运行	当采用石英砂滤料时, 开始应在低滤速下进行, 待氧化膜形成后再加大滤速。 初运行时, 反冲洗水量不宜过大, 强度不宜过高, 仅以松动滤层为主, 以免影响生物性滤膜形成
反冲洗	当进出水压力表差值达到允许水头损失值时, 应对滤料进行反冲洗; 当滤后水中铁、锰含量超出规定值后 (铁不大于 0.3mg/L, 锰不大于 0.1mg/L) 也应立即进行反冲洗
参数控制	生物滤池可控制的运行参数主要是滤速和反冲洗强度。为保证微生物稳定适宜的生存环境, 发挥滤池的正常处理效果, 应严禁突然加大滤速, 如果需要应考虑滤层的适应过程, 每次滤速变化量不超过 1m/h, 严格按照要求进行反冲洗
维护与保养	除铁、除锰滤池 (滤罐) 滤料, 每年应进行翻砂整理, 捣碎黏结在一起的大块, 并观察滤料层厚度, 如发现滤层减少, 应补足滤料

1.2.2 除铁、除锰滤罐的运行管理

除铁、除锰滤罐的运行管理及维护保养要点见表 1.2.2。

表 1.2.2 除铁、除锰滤罐的运行管理及维护保养要点

除铁、除锰罐运行管理要点	除铁、除锰罐维护保养要点
<p>(1) 当装置出水含铁量或含锰量超过国家《生活饮用水卫生标准》(GB 5749—2006) 时应进行反冲洗, 当滤层水头损失达到 1.5~2.5m 时, 也应进行反冲洗; 冲洗前应检查清水池或高位水池的水量是否充足。</p> <p>(2) 反冲洗时, 滤层表面以上一般应有一定水深, 要缓慢开启反冲洗阀门, 并应控制反冲洗强度, 防止冲乱滤料层和承托层。</p> <p>(3) 除铁、除锰装置在滤料反冲洗后, 要求滤料层清洁, 滤料面平整。</p> <p>(4) 按厂家说明书中规定的工作压力和安全运行的额定压力运行, 运行过程中不应超压</p>	<p>(1) 每半年打开人孔对滤料进行全面检查, 看滤料是否平整、有无泥球或裂缝; 每年要停机保养一次, 全面检查后调换机体内损坏零部件, 检查和补充滤料; 每年应进行一次清洗和防腐处理。</p> <p>(2) 滤料翻新或添加滤料后, 应在运行前用漂白粉或液氯配制成 50mg/L 的含氯水, 在装置内浸泡 1d 左右, 然后再冲洗一次, 即可投入运行。</p> <p>(3) 每 3~5 年进行大修理一次。更换和修理各种已损坏和已经淘汰的配套设备, 更换零部件及更新滤料</p>

第 2 章 含氟水与苦咸水的 处理工艺与运行管理

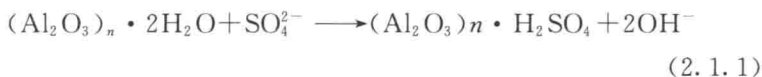
2.1 含氟水的处理工艺与运行管理

氟是机体生命活动所必需的微量元素之一，适量的氟具有固齿作用，但过量的氟则会产生毒性。我国地下水含氟地区分布范围很广，因长期饮用含氟量高的水可引起以牙齿和骨骼为主的慢性疾病。轻者患氟斑牙，表现为牙釉质损坏、牙齿过早脱落等，重者则骨关节疼痛，甚至骨骼变形弯腰驼背等，完全丧失劳动能力。所以高氟水的危害是严重的，我国《生活饮用水卫生标准》(GB 5749—2006)规定，氟化物不得超过 1.0mg/L；或工程规模不大于 1000m³/d (1 万人以下)，含氟量超过 1.2mg/L 时就应设法进行处理。

除氟可采用吸附过滤、混凝、电渗析等方法，我国应用最多的是吸附过滤法。即使含氟水通过滤料，利用吸附剂和离子交换作用，将水中氟离子吸附去除。根据采用的吸附剂不同，可分为活性氧化铝吸附过滤法和骨炭过滤法。

2.1.1 活性氧化铝吸附过滤法

除氟用的活性氧化铝为白色颗粒状多孔吸附剂 (图 2.1.1)，有较大的表面积。使用前，活性氧化铝须用硫酸铝溶液进行活化，反应式为



除氟反应式为



活性氧化铝的吸附能力用吸附容量表示，1g 活性氧化铝所能吸附氟的重量称为吸附容量。吸附容量的大小与原水的含氟量、pH 值、活性氧化铝的粒度等因素有关。原水含氟量越高，吸附容量越大；原水的 pH 值在 5~8 之间时，活性氧化铝的吸附容量较大；较小的活性氧化铝可获得较大的吸附容量，且容易再生，但反冲洗时因粒径小而易流失。我国多将 pH 值控制在 6.5~7.0 之间，粒径一般选择 1~3mm。

活性氧化铝吸附过滤除氟装置分为固定床和流动床。固定床滤层厚度为 1.1~1.5m，滤速为 3~6m/h；流动床滤层厚度为 1.8~2.4m，滤速为 10~12m/h。

当活性氧化铝滤层失去除氟能力后，需停止运行，对其进行再生后再重复使用。一般先要用原水对滤层进行反冲洗；之后，以 1%~2% 硫酸铝或 1% 氢氧化钠溶液为再生液进行再生；再生后还须用除氟水进行反冲洗，然后进水除氟直至出水合格为重新运行开始时间。一般再生时间需 1.0~1.5h。

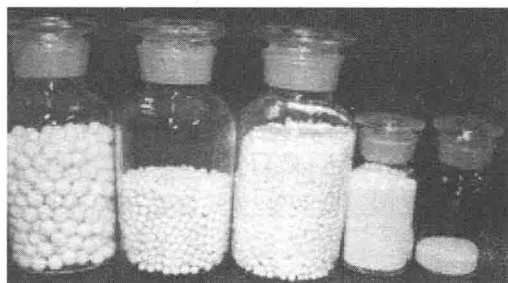


图 2.1.1 活性氧化铝

操作管理注意事项：滤料首次使用时，必须用 5% 的硫酸铝溶液浸泡 1~3h，并要适当搅拌，再用水冲洗 6~8min，方可使用。

活性氧化铝除氟吸附滤池的再生时间，应根据原水水质、吸附容量分为调 pH 和不调 pH。开车运行后，应记录运行时间，运行一定时间后，应掌握其运行周期。当滤池出水氟含量不小于

1.0mg/L, 应进行再生处理, 以保证出厂水氟含量达到国家生活饮用水卫生标准。现场经常观察活性氧化铝球状颗粒表面是否洁白、是否有结板现象。

2.1.2 骨炭过滤法

骨炭的主要成分是羟基磷酸三钙, 其是由兽骨燃烧去掉有机质后的产品, 故而称为骨炭过滤法, 又称为磷酸三钙过滤法。骨炭层失效后, 同样需要停止运行进行再生。再生液常用 1% 氢氧化钠溶液, 再生后需用 0.5% 的硫酸溶液中和。

2.2 苦咸水的处理工艺与运行管理

2.2.1 离子交换法

1. 复床除盐

阴、阳离子交换器串联使用, 称为复床。复床除盐常用的系统有强酸-脱气-强碱系统、强酸-弱碱-脱气系统、强酸-脱气-弱碱-强碱系统。

(1) 强酸-脱气-强碱系统。

系统由强酸阳床、除 CO_2 器和强碱阴床组成, 如图 2.2.1 所示。原水先通过强酸阳床除去水中的阳离子 (出水呈酸性), 再通过除 CO_2 器除去 CO_2 , 最后由强碱阴床除去水中的阴离子。在运行过程中, 可采用逆流再生方式提高出水水质, 强碱阴床采

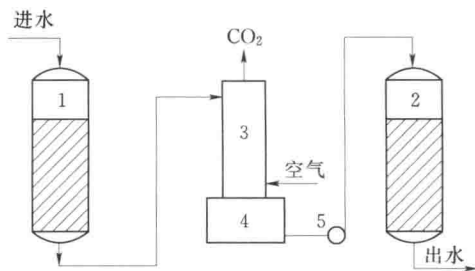


图 2.2.1 强酸-脱气-强碱系统

1—强酸阳床; 2—强碱阴床; 3—除 CO_2 器;
4—中间水箱; 5—水泵

用热碱液再生可提高除硅效果。

强酸-脱气-强碱系统多用于制取脱盐水。

(2) 强酸-弱碱-脱气系统。

该系统由强酸阳床、弱碱阴床、除 CO_2 器组成，如图 2.2.2 所示。系统中除 CO_2 器的设置位置要视弱碱树脂的再生剂而定：用 Na_2CO_3 或 NaHCO_3 再生时，水中会增加大量的碳酸，所以脱气应放在最后；若用 NaOH 再生，除 CO_2 器

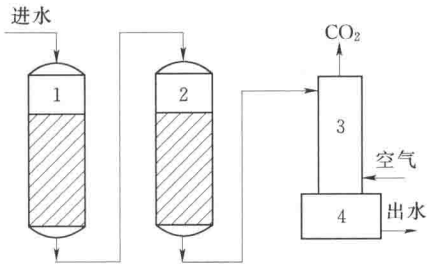


图 2.2.2 强酸-弱碱-脱气系统

- 1—强酸阳床；2—弱碱阴床；
3—除 CO_2 器；4—中间水箱

在弱碱阴床之前和之后均可。该脱盐系统由于应用了弱碱树脂，不仅提高了交换容量，而且有效降低了再生比耗，多适用于无除硅要求的情况。

(3) 强酸-脱气-弱碱-强碱系统。

如图 2.2.3 所示，系统由强酸阳床、除 CO_2 器、弱碱阴床和强碱阴床组成。阴离子交换树脂采用串联再生方式，以氢氧化钠为再生剂，先再生强碱树脂，再再生弱碱树脂，可提高再生剂

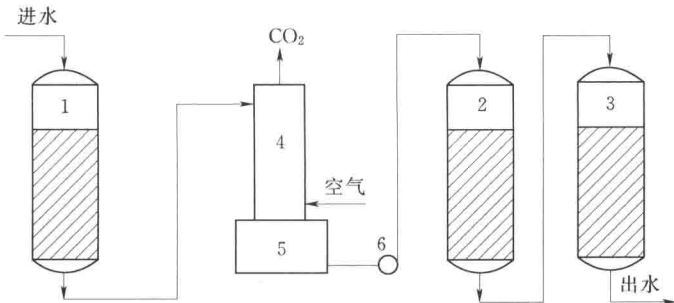


图 2.2.3 强酸-脱气-弱碱-强碱系统

- 1—强酸阳床；2—弱碱阴床；3—强碱阴床；
4—除 CO_2 器；5—中间水箱；6—水泵

的利用率。该系统适用于原水有机物含量较高、强碱阴离子含量较大的情况。

2. 混合床除盐

混合床是指将阴、阳离子树脂按一定比例混合在一起装填的离子交换器。床中阴离子树脂的体积一般是阳离子树脂的 2 倍，使用时先将二者均匀混合，再生时分层再生。再生方式分为体内再生和体外再生两种。体内再生又分为酸、碱分步再生和同步再生。

分步再生的步骤是：反洗分层→进碱、阴树脂再生→第一次正洗→进酸、阳树脂再生→第二次正洗→阴、阳树脂混合→最后正洗。

混合床对有机物污染很敏感，水进入混合床前，应进行预处理。

混合床中阴、阳离子树脂交替紧密接触，等同于串联的复床除盐系统，使流经的原水进行多次除盐，因而出水水质稳定、纯度较高，且受间断运行方式的影响小。

2.2.2 膜分离法

膜分离法有电渗析、反渗透、超滤、微滤等。膜分离是指在某种推动力的作用下，利用特定隔膜的透过性能，达到分离水中离子或分子以及某些微粒的目的。膜分离的推动力是膜两侧的压力差、电位差或浓度差。

1. 电渗析法

电渗析法是指在外加直流电场作用下，利用离子交换膜的选择透过性（即阳膜只允许阳离子透过，阴膜只允许阴离子透过），使水中阴、阳离子做定向迁移，而达到去除水中离子的目的。

离子交换膜实质上就是膜状的离子交换树脂，其化学组成和化学结构与离子交换树脂一致，只是外形为薄膜片状，具有选择透过性。按其选择透过性能，离子交换膜分为阳膜和阴膜，而按其膜体结构，可区分为异相膜、均相膜和半均相膜 3 种。

电渗析法的工作过程如图 2.2.4 所示，外加直流电场的阴极

和阳极之间，放置交错排列的阳膜与阴膜，水通过两膜及网膜与两极之间所形成的隔室时，水中阴、阳离子分别向阳极、阴极方向迁移。由于膜的选择透过性，可形成交替排列的淡室（离子浓度减少）和浓室（离子浓度增加）。淡室出水为淡水，浓室出水为浓水，与电极板接触的隔室称为极室，其出水为极水。同时，两电极发生氧化还原反应，使阴极室因溶液呈碱性而结垢，阳极室因溶液呈酸性而腐蚀。

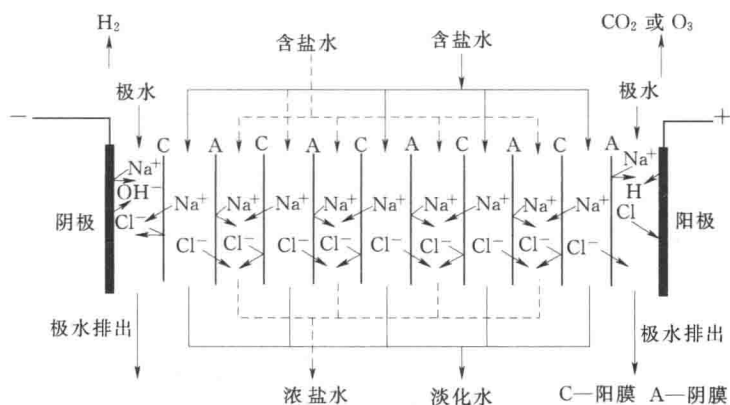


图 2.2.4 电渗析原理示意图

电渗析主要应用于苦咸水的除盐。电渗析法在废水处理中也有应用，如电渗析法处理镀镍废液回收镍。对于给水处理，电渗析用于水的淡化，要求获得淡水，排弃浓水；对于废水处理，根据废水组成和处理目的不同，需要的是淡水或浓水，或二者都需要。给水处理中，隔室采用 3 室布置，且在膜室中进行反应，即浓缩→淡化→浓缩，进入浓、淡室的是同一原水。而在废水处理中，电渗析除 3 室外，还可按 2 室或 4 室布置，进入各室的水流可以是同一原水，也可不是。2 室布置利用的是电极反应，4 室布置可用于复分解反应。

完成电渗析过程的装置称为电渗析器，由压板、电极、电极托板及极框、阴膜、阳膜、浓水隔板、淡水隔板等部件组装并压

紧而成。其中，电极材料常采用石墨、铅和不锈钢等。隔板材料有聚氯乙烯、聚丙烯、合成橡胶等。隔板包括有回路式和无回路式两种形式。前者流程长、流速高，一次处理效果好，适用于流量较小且处理要求较高的场合；后者流程短、流速低，要求隔板搅动作用强，水流分布均匀，适用于流量较大而处理要求不高的场合。

一对电极及电极间的阴膜、阳膜称为一级，并联的具有同向水流的若干级（包括一级）称为一段。电渗析器的组装方式有一级一段、多级一段、一级多段和多级多段等。

在电渗析法工作过程中，当电流增大到一定程度时，会在膜界面引起水的离解。此时，若离子扩散不及时，氢离子便会透过阳膜，氢氧根离子透过阴膜，使得阳膜淡室一侧富集过量的氢氧根离子，阳膜浓室的一侧富集过量的氢离子；而阴膜淡室的一侧富集过量的氢氧根离子，阴膜浓室的一侧富集过量的氢离子，这种现象称为极化。发生极化后，由于浓室中离子浓度高，就会在浓室阴膜的一侧生成碳酸钙、氢氧化镁沉淀，从而增加膜电阻，减小膜的有效面积，降低出水水质，影响正常运行。发生极化现象时的电流密度称为极限电流密度，正常运行时，要控制操作电流在极限电流密度以内。

应用电渗析器除氟运行管理简单，不需投加化学药剂，只需调节直流电压即可。具体运行管理要点如下：

(1) 在电渗析的运行管理中，要确定几个参数：工作压力和流量、电流、电压、进出水水质，还要确定倒极间隔和酸洗周期。如果浓水是循环利用的，还要确定浓水的循环比例。

(2) 电渗析运行过程中，要严格控制进水水质，防止杂质沉积在膜上。

(3) 出水水质应根据用户要求而定。通常运行时，主要是用测定电导率来控制进水、出水水质变化。

(4) 为了更好地掌握电渗析运行工况，定期取样对水温、浊度、耗氧率、铁、锰、pH值和游离性余氯等进行定期测定。当

采用浓水、极水循环时，还应定期监测上述水中的总盐、pH 值。

电渗析装置维护保养措施如下：

(1) 严格执行操作规程。定期倒极、酸洗和反冲洗，半年至一年对本体解体清洗一次。

(2) 应注意环境卫生，开机前对电渗析器本体进行一次冲洗。膜堆上禁止存放金属工具和杂物，以免堆路烧坏膜堆。

(3) 预处理设备应及时反洗和再生，定期洗刷原水水池和清水水箱。

(4) 压紧板和支架涂刷防锈漆，螺杆、螺帽要经常上油防腐。

(5) 电渗析器可以连续运行，也可以间歇运转。停止运转时，本体中应经常冲水，以使膜保持湿润状态，防止干燥后收缩变形。若较长时间不用，最好将电渗析器拆卸后保养。

2. 反渗透法

(1) 渗透与反渗透 (RO)。

只允许水分子通过而不允许溶质通过的膜称为半渗透膜。用这种半渗透膜将纯水与含有溶质的溶液隔开。如图 2.2.5 所示，纯水将会自动地进入到溶液一侧并使溶液一侧的液位升高，直到两侧达到一定的高度差为止，这种现象称为渗透。渗透平衡时，膜两侧液面的静液位差（压力差）称为渗透压。如果在溶液面上施加大于渗透压的压力，则溶液中的水就会流向纯水一侧，这种现象称为反渗透。反渗透不能自动进行，必须施加压力，只有当

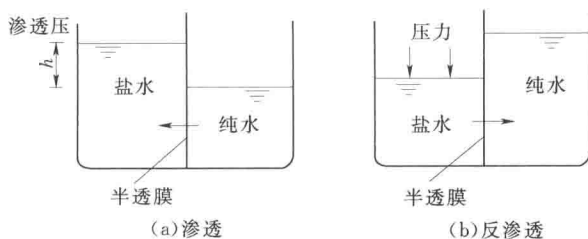


图 2.2.5 渗透与反渗透

工作压力大于溶液的渗透压时，水才能通过半渗透膜从溶液中分离出来。考虑到要获得一定的渗透水量和在反渗透过程中因浓缩而使渗透压增加等因素，实际中的工作压力要比渗透压大 3~10 倍。

(2) 反渗透膜。

在水处理中应用的反渗透膜种类很多，如 CA 膜、中空纤维膜及用不同纤维素制成的超薄膜、复合膜、混合膜等。这些膜各有特点，适用于不同的条件和目的。

CA 膜由醋酸纤维素、溶剂、添加剂制成，外观为乳白色或淡黄色的含水凝胶膜，有一定韧性，在厚度方向上密度不均匀。膜的构造由两部分组成，接触空气的那一面为表皮层，孔径为 0.8~1.0nm，起脱盐作用，表皮层下面为海绵状的多孔支撑层，孔径为 100~400nm，起支撑表皮层的作用。CA 膜对无机物和有机物都有良好的分离性能，对无机盐离子的去除率也较高，但对低分子量的非电解质去除率不高。

中空纤维膜目前有 3 种，分别以醋酸纤维素、脂肪族聚酰胺和芳香族聚酰胺为材质制成，其中最后一种应用广泛。它对污染物质的去除率较高，能够去除有机物和二氧化硅。其透水量比 CA 膜高，所需工作压力比 CA 膜低，寿命较长，但这种膜对氯的适应性很差，要求含氯量低于 0.1mg/L。

(3) 反渗透的处理工艺。

根据处理对象和所要达到的目的不同，反渗透可以有各种处理工艺。常用的反渗透处理工艺系统有以下几种：

1) 一级一段连续工艺系统。这种系统中水的回收率较低，如图 2.2.6 (a) 所示。

2) 一级一段循环式工艺系统。这种系统中水的回收率较高，但透过水的质量比一级一段连续式工艺系统差，如图 2.2.6 (b) 所示。

3) 多级串联连续式工艺系统。这种系统中，水的回收率高，各级膜簇按渐减方式布置，适用于处理水量大的情况，如图

2.2.6 (c) 所示。

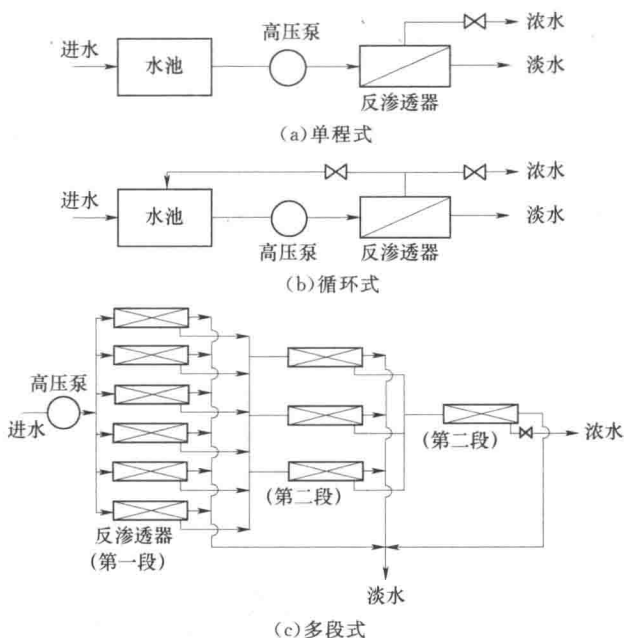


图 2.2.6 反渗透处理工艺

此外，还有一级多段连续式、一级多段循环式、多级多段连续式和多级多段循环式等工艺系统。

反渗透除主要用于苦咸水和海水的淡化外，还可用于城市污水的深度处理，此时废水的脱盐率可达 90% 以上。也可与离子交换系统联用作为离子交换的预处理，近年来在制作纯净水方面应用也较广泛。在工业废水处理中，反渗透主要用于去除重金属离子、镀铬水、镀镍水等。

在运行中原水的污染物会污染渗透膜，对膜的渗透性能造成危害，因此，必须对膜进行清洗。清洗时，可用低压高速水冲洗、气水联合冲洗，也可用清洗剂（如柠檬酸胺或 4% 硫酸氢钠水溶液）清洗。

(4) 反渗透系统的运行维护。