

## 第十二章 给水处理设备

编写单位 无锡锅炉水处理设备研究所

上海电站辅机厂

编写人 艾中 王根娣 张曼玲

主审 蒋如丰

## 第一节 概 论

### 一、火力发电厂中水的功用

火力发电厂中，水一方面作为水汽循环系统的工作介质，另一方面大量的水作冷却用。

以凝汽式发电机组为例，水进入锅炉后，吸收热量，蒸发成蒸汽，蒸汽进入汽轮机后将蒸汽的热能转变成机械能，发电机将机械能转变成电能，送至电网。汽轮机的排汽进入凝汽器并被大量冷却水冷却成凝结水，经凝结水泵送至低压给水加热器，加热后送入除氧器，再由给水泵将已除氧水送到高压给水加热器，最后进入锅炉。

水汽循环系统中，不断输入由生水经过水处理的补给水，以补充热力系统的水汽循环损失。

供热机组输出的蒸汽大部分不能回收，故其补给水量比凝汽式机组大得多。

### 二、火力发电厂运行时水质的重要性

水、汽热力系统中水的品质，是影响发电厂蒸汽动力设备安全、经济运行的重要因素之一。

在火力发电厂中，由于水、汽品质不良而引起的危害如下：

(1) 热力设备(锅炉、汽轮机等)结垢。由于水质不良，运行一段时间后，在水接触的受热面上会生成一些固态附着物即水垢。因为水垢的导热性能比金属差几十到几百倍，且这些水垢又极易在热负荷很高的锅炉炉管中生成，因而使结垢部位的金属管壁温度过高，金属强度下降，严重时产生变形甚至破坏。同时，结垢还会降低发电厂的经济性。发电厂锅炉的省煤器中若结有1mm厚的水垢，则其燃料用量将增加1.5%~2%。

(2) 热力设备腐蚀。水质不良能引起金属的腐蚀，腐蚀会缩短设备的使用期限。且由于金属腐蚀产

物转入水中，加剧在高热负荷受热面上的结垢过程。而结成的垢又会促进锅炉炉管的腐蚀。此种恶性循环导致金属破坏。

(3) 过热器和汽轮机积盐。不良水质污染蒸汽，随蒸汽带出的杂质沉积在蒸汽通过的各个部位，这会引起：过热器管壁过热甚至爆管；增加汽轮机内蒸汽流通阻力，降低出力、效率；增加汽轮机轴向推力致使隔板弯曲造成事故等。

### 三、火力发电厂中水处理的必要性

火力发电厂水处理工作是为了保证热力系统各部分有良好的水汽品质，以防止热力设备结垢、积盐和腐蚀，保证发电厂的安全、经济运行。

火力发电厂的水处理工作，主要包括以下内容：

(1) 补给水处理。包括除去天然水中悬浮物和胶体物的澄清(凝聚、沉淀)、过滤等预处理；除去水中溶解的 $\text{Ca}^{2+}$ 、 $\text{Mg}^{2+}$ 的软化处理；除去水中溶解盐类的除盐处理等。这些，通常称为锅外水处理。

(2) 对给水进行除氧、加药等处理。

(3) 对于锅筒锅炉要进行锅水的加药处理和排污，即锅内水处理。

(4) 对于直流锅炉或某些亚临界压力锅筒锅炉机组，则要进行汽轮机的凝结水精处理。

(5) 在热电厂中，对生产返回凝结水，要进行除油、除铁处理。

(6) 对冷却水要进行防垢、防腐和防止有机附着物等处理。

(7) 对热力系统各部分的水汽质量进行监督。

(8) 化学清洗热力设备以及机炉停运期间的保养工作。

## 第二节 水 质

### 一、天然水的组成

#### (一) 水在自然界的循环及其特征

自然界中的水可分为天空水(雨、雪等)、地表水(江、河、湖、海)及地下水(井、泉水)。地表水主要来自雨水，地下水主要来自地表水，而雨水又来自地表水和地下水的蒸发。

在太阳照射和地心引力等因素影响下，水在自然界中不断地循环运动着。

天然水中雨雪最为纯洁，仅在下降过程中与空中各种杂质相遇，溶有气体、盐类与固体微粒，而其含量都不大。但因天然水收集困难，不能将其作为工业用水水源。

地表水来自雨水,雨水流经地面土壤及岩石时,由于冲刷和溶解的结果,含有悬浮杂质及钙镁等盐类。同时,溶解了大气中的氧以及由于水中或泥土中有机物的分解和氧化所生成的二氧化碳气体,碳酸氢盐较多。

在形成江河的过程中,挟带了大量悬浮杂质,且因河岸土壤的溶解、动植物遗体腐烂分解,江河水含有大量胶体杂质、有机物质。但由于CO<sub>2</sub>的逸散,碳酸氢钙转变为碳酸钙而沉淀,故碳酸氢盐的含量一般比地下水为少。江河水水质一年中不稳定,它适于作火力发电厂水源。

海水由于长期蒸发浓缩,含盐量特多,以氯化钠和硫酸镁为主。它只能供滨海电厂作凝汽器的冷却用水。

地下水在流经地层时悬浮杂质被滤去,但溶解了大量盐类,且由于土壤中有机物产生的CO<sub>2</sub>的溶入,故碳酸氢盐含量高。地下水含氧量较少,其水质一般终年很稳定,可作火力发电厂的水源。

## (二) 天然水中的几种主要化合物

### 1. 碳酸化合物

碳酸和碳酸盐类统称为碳酸化合物。水中碳酸化合物有几种不同的存在形态:溶于水中的气体二氧化碳CO<sub>2</sub>;分子态碳酸H<sub>2</sub>CO<sub>3</sub>;碳酸氢根HCO<sub>3</sub><sup>-</sup>和碳酸根CO<sub>3</sub><sup>2-</sup>。由于一般的分析操作无法区别水中溶解的二氧化碳和碳酸这两种物质,而只能测得它们的总量,因此将这两者之和表示为一个量。

水中各种形态的碳酸化合物相对量与pH值的关系如表4-12-1所示。

表 4-12-1 水中碳酸化合物相对量与 pH 值的关系

碳酸的形式	pH 值							
	4	5	6	7	8	9	10	11
CO <sub>2</sub> +H <sub>2</sub> CO <sub>3</sub>	99.79	97.07	66.72	24.99	3.22	0.32	0.02	—
HCO <sub>3</sub> <sup>-</sup>	0.3	3.02	33.74	74.98	96.70	95.84	71.43	20.00
CO <sub>3</sub> <sup>2-</sup>				0.03	0.08	3.84	28.55	80.00

注:表内数值为摩尔分数(%)。

在用离子交换法对水质进行软化、除盐处理时,利用pH值不同时的碳酸化合物平衡的特性,以选择合理的物理、化学处理方法。

### 2. 硅酸化合物

它是天然水中常见的杂质,由水流经地层时与含有硅酸盐的岩石作用而带入。地下水的硅酸化合

物含量一般比地表水的多。

天然水中硅酸化合物可分为:

(1) 分子、离子态硅酸化合物 溶于水称可溶性硅,其微粒在1nm以下,可用离子交换法除去。

(2) 不安定态胶体硅 其为微粒大小在1μm~1nm之间、呈胶体分散状的不溶性硅。因凝胶型树脂内微孔直径比胶体硅小得多,故不能除去胶体硅。但可在水的预处理工艺中给以除掉。

(3) 吸附状态和比较安定细粒状态硅酸化合物 水中硅酸能被铁、铝氧化物颗粒,钙、镁碳酸盐颗粒及悬浮有机物颗粒表面吸附,即吸附状态硅酸化合物。一般可经过滤除去。但当水中有多量有机物时,常存在含硅量多的、较安定的、粒度很小的悬浮物,过滤不易去除它们。

(4) 较安定粗粒态硅酸化合物 水中粘土、岩石、硅酸盐所含的硅酸,一般可用过滤法除掉。

### 3. 铁的氧化物

天然水中的铁离子有亚铁Fe<sup>2+</sup>和高铁Fe<sup>3+</sup>两种形态。若水中溶解氧量很小和pH值很低(深井水)时,水中只有Fe<sup>2+</sup>。亚铁盐类溶解度较大。若水中溶解氧量较大和pH值升高时,Fe<sup>2+</sup>会氧化成Fe<sup>3+</sup>,再水解成难溶的氢氧化铁Fe(OH)<sub>3</sub>。当pH≥8时,Fe<sup>2+</sup>被水中溶解氧氧化的速度很快。地表水中,溶解氧量多,当pH值在7左右时,水中几乎只有Fe(OH)<sub>3</sub>,而Fe<sup>2+</sup>浓度很小。深井水中Fe<sup>2+</sup>浓度很大。

### 4. 氮的化合物

天然水中氮的无机化合物有NH<sub>4</sub><sup>+</sup>、NO<sub>2</sub><sup>-</sup>和NO<sub>3</sub><sup>-</sup>,其来源是动植物的各种有机物质、硝酸盐的溶解,以及随工业排水混入的NH<sub>4</sub><sup>+</sup>。

随污水带入的氮的有机化合物在微生物的作用下,会分解成较简单的氮化合物。如果没有氧,其最终产物是氨;如果水中有氧,则在细菌参与下,能使氨继续分解,生成亚硝酸盐或硝酸盐。

## (三) 天然水中的杂质

天然水中的杂质按其颗粒大小的不同,分为三类:颗粒最大的为悬浮物,其次是胶体物,最小的是溶解物。

### 1. 悬浮物

它是指颗粒直径约在0.1μm以上的微粒,主要有砂子、粘土类无机化合物以及动植物生存过程中产生的物质或死亡后的腐败产物类有机化合物。它们常悬游在水流中,呈不稳定状态,分布也很不均

匀。当水静置时,轻者浮,重者沉,可用过滤的方法去除。

### 2. 胶体物

它是指颗粒直径在  $1\text{nm}\sim 0.1\mu\text{m}$  之间的微粒。天然水中的矿物质胶体,主要是铁、铝和硅的化合物。有机胶体是由于水中动植物遗体腐烂分解而生成的,主要是腐植质。

胶体物是许多分子和离子的集合体,由于其比表面积(单位体积物质所具有的表面积)很大,显示出明显的表面活性(液体和固体的表面都具有吸附其他物质的能力),故其表面常吸附有多量离子而带电。同类胶体因带有同性电荷而相互排斥,不能相互粘合成大颗粒下沉,因此胶体物比较稳定,分布也较均匀。

常采用凝聚、沉淀、过滤(或澄清、过滤)的方法去除。

### 3. 溶解物

它是指颗粒直径小于  $1\text{nm}$  的微粒,它们大都以离子、分子或气体形态存在于水中。

(1) 呈离子状态的杂质。阳离子如  $\text{Na}^+$ 、 $\text{K}^+$ 、 $\text{Ca}^{2+}$ 、 $\text{Mg}^{2+}$ 、 $\text{NH}_4^+$ 、 $\text{Fe}^{2+}$ 、 $\text{Mn}^{2+}$ 、 $\text{Ca}^{2+}$ 、…。阴离子如  $\text{HCO}_3^-$ 、 $\text{Cl}^-$ 、 $\text{SO}_4^{2-}$ 、 $\text{F}^-$ 、 $\text{NO}_3^-$ 、 $\text{CO}_3^{2-}$ 、…。

主要的离子有:

1) 钙离子( $\text{Ca}^{2+}$ )、镁离子( $\text{Mg}^{2+}$ )、碳酸氢根( $\text{HCO}_3^-$ )和硫酸根( $\text{SO}_4^{2-}$ )。这些离子的来源主要是含有游离  $\text{CO}_2$  的水流经地层时,对石灰石( $\text{CaCO}_3$ )、白云石( $\text{MgCO}_3 \cdot \text{CaCO}_3$ )和石膏( $\text{CaSO}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$ )的溶解。

2) 钠离子( $\text{Na}^+$ )和氯离子( $\text{Cl}^-$ )。来源是当水流经地层时,溶解了其中的氯化物。

(2) 溶解气体。常见的有氧( $\text{O}_2$ )和二氧化碳( $\text{CO}_2$ ),有时还有硫化氢( $\text{H}_2\text{S}$ )、二氧化硫( $\text{SO}_2$ )和氨( $\text{NH}_3$ )等。

氧( $\text{O}_2$ )的来源是由于水中溶解了大气中的氧。地下水的含氧量一般较少。天然水中的  $\text{CO}_2$  主要是水中或泥土中有机物的分解和氧化的产物。

## 二、水质指标

水质指标用来表示水质的好坏。不同的工业部门由于水的用途不一,对水质要求不同,故水质指标也有所不同。

火力发电厂用水的指标中有许多是代表某种化合物(或离子)的量,如  $\text{Na}^+$ 、 $\text{K}^+$ 、 $\text{Ca}^{2+}$ 、 $\text{Mg}^{2+}$  等各种阳离子; $\text{HCO}_3^-$ 、 $\text{SO}_4^{2-}$ 、 $\text{Cl}^-$  等各种阴离子的量,以

及溶氧  $\text{O}_2$ 、 $\text{CO}_2$  的量。

也有不少是表示某些化合物之和或为了表征某种性能的指标,这种指标称为技术指标,如悬浮物、含盐量、硬度等。

下面叙述某些技术指标:

### (一) 悬浮物

1L 水样经滤纸过滤后,滤纸的截留物在  $110^\circ\text{C}$  温度下烘干称重即为悬浮物的量。其单位用  $\text{mg/L}$  表示。

为了简便起见,常用浑浊度(浊度)表示,它反映水中悬浮物对光线透过时所发生的阻碍程度。以 1L 蒸馏水含  $1\text{mg SiO}_2$  所产生的浑浊度作为一个单位,即  $1\text{mg}(\text{SiO}_2)/\text{L}$ (浊度)。测定时,用浊度仪比较水样与标准溶液的透明程度,它是一种间接指示水中杂质的指标。

水溶液的光学性质还受水中胶体物含量的影响,但由于悬浮物是产生此光学性质的主要因素,故浑浊度可大致地表征水中总悬浮物的量。

测定悬浮物的量时,因受测定条件(如过滤时样品的状态或过滤器)的影响,其测定值并不完全等于水中悬浮物烘干后重量(即悬浮固体的量)。

### (二) 含盐量

水中的盐类一般指离解为离子状态的溶解固体,其阳、阴离子的含量总和为含盐量,可通过水质全分析用算法求得,单位为  $\text{mg/L}$ 。

水中总固体包括悬浮固体及溶解固体两部分。悬浮固体是指水中悬浮物烘干后的质量,溶解固体是指水中溶解的盐类、有机物等烘干后的质量。

为了简便,常取一定体积的已过滤水样蒸干,再将残渣在  $105\sim 110^\circ\text{C}$  下干燥至恒重,此为溶解性蒸发残渣。它可近似地表示水中溶解固体的量。因在该温度下有些物质如硫酸盐、磷酸盐的湿分和结晶水不能除尽;有些物质如碳酸氢盐加热即分解;某些有机物在该温度下开始氧化等等。因此,溶解性蒸发残渣的测定值只能近似表示溶解固体。

### (三) 电导率

利用水中离子导电能力来评价水中含盐量的多少,则操作简单、速度快、灵敏度高。

水中距离为  $1\text{cm}$ 、截面积各为  $1\text{cm}^2$  的两个电极,通上直流电所测得的电阻的倒数叫电导率,单位为  $\mu\text{S}/\text{cm}$ 。

电导率的大小除了和水中离子量有关外,还和离子种类有关。故单凭电导率不能计算其含盐量。但

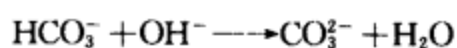
当水中各种离子的相对量一定时,则离子总浓度愈大,其电导率也愈大。故在实际应用中可直接以电导率反映水中含盐量。对于同一种水,当水中杂质组成较稳定时,可以实测这种水的电导率和含盐量的关系曲线。

#### (四) 碱度

它是指水中能与强酸作用的物质含量,即能与氢离子相化合的物质含量,单位为 mmol/L。碱度包括以下三类:

- (1) 碳酸氢盐碱度( $\text{HCO}_3^-$ );
- (2) 碳酸盐碱度( $\text{CO}_3^{2-}$ );
- (3) 氢氧化物碱度( $\text{OH}^-$ )。

水中不能同时存在碳酸氢盐碱度和氢氧化物碱度。因有:



故一般水中的碱度可能有5种不同的形式存在:

- (1) 只有  $\text{OH}^-$  碱度;
- (2) 只有  $\text{CO}_3^{2-}$  碱度;
- (3) 只有  $\text{HCO}_3^-$  碱度;
- (4) 同时有  $\text{OH}^-$  和  $\text{CO}_3^{2-}$  碱度;
- (5) 同时有  $\text{CO}_3^{2-}$  和  $\text{HCO}_3^-$  碱度。

一般天然水的碱度只有  $\text{HCO}_3^-$ ,即水的碱度等于其碳酸盐硬度,若水分析结果总碱度大于总硬度时,说明水中有钾、钠的碱度存在。

#### (五) 酸度

酸度即单位容积水中所含能与强碱(如 NaOH、KOH 等)起作用的物质含量。包括:

- (1) 强酸如 HCl、 $\text{H}_2\text{SO}_4$ 、 $\text{HNO}_3$  等;
- (2) 强酸弱碱所组成的盐类,如铁、铝等离子与强酸所组成的盐  $\text{FeCl}_3$ 、 $\text{Al}_2(\text{SO}_4)_3$  等;
- (3) 弱酸如  $\text{H}_2\text{CO}_3$ 、 $\text{H}_2\text{S}$  以及有机酸。

酸度不等于水中氢离子的浓度。氢离子浓度是指呈离子状态的  $\text{H}^+$  数量,而酸度表示中和滴定过程中可以与强碱进行反应的全部  $\text{H}^+$  数量,其中包括原已电离的和将会电离的两个部分。

除被污染外,天然水中一般不含强酸物质。天然水中含有不同数量的游离碳酸。

酸度的单位与碱度的单位相同。

#### (六) 硬度

单位容积水中钙、镁离子的总和称为硬度,单位为 mmol/L。硬度可分为:

- (1) 碳酸盐硬度。即单位容积水中钙、镁的碳酸氢盐和碳酸盐量之和。

(2) 非碳酸盐硬度。指钙、镁的硫酸盐、硝酸盐和氯化物等所形成的硬度。

当水中  $\text{Ca}^{2+} + \text{Mg}^{2+} > \text{HCO}_3^-$  时,说明水中有非碳酸盐硬度存在,其差值即为总硬度与总碱度之差,碳酸盐硬度等于总碱度。当  $\text{Ca}^{2+} + \text{Mg}^{2+} < \text{HCO}_3^-$  时,说明水中没有非碳酸盐硬度,而有钾、钠碱度,这部分碳酸盐称为负硬度。

#### (七) pH 值

pH 值是水中氢离子浓度  $[\text{H}^+]$  的负对数。水的电离度很小,水电离时所产生的氢离子和氢氧根离子的数量相等。在  $22^\circ\text{C}$  时的不含任何杂质的理论纯水,  $[\text{H}^+] = [\text{OH}^-] = 10^{-7}$

用负对数形式表示,即

$$\text{pH} = \text{pOH} = -\lg([\text{OH}^-]) = 7$$

因此,  $\text{pH} = 7$  时,表示水呈中性反应;

$\text{pH} < 7$  时,表示水呈酸性反应;

$\text{pH} > 7$  时,表示水呈碱性反应。

水的 pH 值与水的碱度和酸度在概念上是有区别的。酸度和碱度是指水中含酸、碱物质多少的指标;pH 值是指水中酸、碱强弱的指标。例如投加一定量的 NaOH 或  $\text{Na}_2\text{CO}_3$ ,前者投入水中 pH 值急剧增加;后者投入水中 pH 值增大较小,但碱度均为其投入量。

#### (八) 耗氧量

天然水中有机物种类繁多,组成复杂,很难准确测定。但可利用有机物具有的可氧化性的共性,在一定的条件下,用氧化剂处理水样,测定其反应过程中消耗的氧化剂量,并换算成  $\text{O}_2$  来表示,单位为 mg ( $\text{O}_2$ )/L。

通常用高锰酸钾  $\text{KMnO}_4$  作为氧化剂,此时所测得的耗氧量为化学耗氧量,用符号 COD 表示。

测定有机物耗氧量时,还应减去水中与  $\text{KMnO}_4$  起作用的还原物质(亚硝酸盐、二价铁盐、硫化氢等)的消耗量。

### 三、天然水的分类

#### (一) 按主要水质指标分类

按含盐量分为:

低含盐量水——含盐量在 200mg/L 以下;

中等含盐量水——含盐量为 200~500mg/L;

较高含盐量水——含盐量为 500~1000mg/L;

高含盐量水——含盐量在 1000mg/L 以上。

按硬度分为:

极软水——硬度在 0.5mmol/L 以下;



软水——硬度为0.5~1.5mmol/L;  
 中等硬度水——硬度为1.5~3mmol/L;  
 硬水——硬度为3.0~4.5mmol/L;  
 极硬水——硬度在4.5mmol/L以上。

(二) 按水加工工艺学分类

- (1) 碱性水。即总碱度大于总硬度的水。此时碱度与硬度之差称为“负硬度”。
- (2) 非碱性水。即总硬度大于总碱度的水。

四、我国水源的水质情况

我国幅员广大，河流纵横、水质情况较为复杂，总的来说，我国河流因地区不同，悬浮物含量相差很大。华东、中南和西南地区因为土质和气候条件较好，草木丛生，水土流失较少，河水浑浊度一般很低，

年平均浑浊度在100~400mg/L之间。东北地区河流浑浊度在几百mg/L以下。华北和西北地区的河流，特别是黄土地区，悬浮物含量高、变化大，暴雨时，夹带大量泥沙，河水中悬浮物含量可由几百mg/L上升至几万mg/L。

我国江河水的含盐量和硬度都比较低。含盐量一般在70~900mg/L之间，属于低含盐量的约占一半，其他都是中等含盐量水。地下水大部分是中等含盐量水。我国江河水的硬度在0.5~4mmol/L之间，东南沿海一带最低，大都小于0.25mmol/L；愈向西北，硬度愈大，可达1.5~3mmol/L；东北地区，硬度由北向南增大，松花江和东北沿海又低达0.25~0.5mmol/L。地下水的硬度较高。

第三节 锅炉水汽质量标准

本标准适用于3.82MPa以上的火力发电机组。

一、锅炉给水质量标准

(1) 给水中的硬度、溶氧、铁、铜、钠和二氧化硅的含量，应符合表4-12-2的规定。

表4-12-2 锅炉给水质量标准(1)

炉型	锅炉压力 (MPa)	硬度 <sup>①</sup> (μmol/L)	溶氧 (μg/L)	铁 (μg/L)	铜 (μg/L)	钠 (μg/L)	二氧化硅 (μg/L)
锅筒锅炉	3.82~5.78	≤1.5	≤15	≤50	≤10	—	应保证蒸汽中二氧化硅符合标准
	5.88~12.64	≤1.0	≤7	≤30	≤5	—	
	12.74~15.58	≤1.0	≤7	≤20	≤5	—	
	15.68~18.62	~0	≤7	≤20	≤5	—	
直流锅炉	5.88~18.62	~0	≤7	≤10	≤5 <sup>②</sup>	≤10 <sup>③</sup>	≤20

- ① 有凝结水处理电厂的给水硬度应为0μmol/L。
- ② 争取≤3μg/L。
- ③ 争取≤5μg/L。

对于液态排渣炉和燃油锅炉，因炉膛局部热负荷高，其给水的硬度和铁、铜的含量，应符合高一个压力等级锅炉的规定。

(2) 给水中的pH、联氨和油的含量，一般应符合表4-12-3的规定。

二、锅炉给水的各组成部分的质量标准

(一) 补给水质量标准

补给水的质量，以不影响给水质量为标准，一般按表4-12-4的规定控制。

- (1) 进入离子交换器的水，应注意水中悬浮物、有机物和残余氯的含量，一般按下列标准控制：  
 悬浮物<5mg/L(固定床顺流再生)；

表4-12-3 锅炉给水质量标准(2)

炉型	锅炉压力 (MPa)	pH 25℃	联氨 (μg/L)	油 (mg/L)
锅筒锅炉	3.82~5.78	8.5~9.2	—	<1.0
	5.88~12.64	8.8~9.3	10~50	≤0.3
	12.74~15.58	或	或	
	15.68~18.62	9.0~9.4	10~30	
直流锅炉	5.88~18.62	(加热器为铜管)	(挥发性处理)	

- 注：1. 用石灰-钠离子交换水为补给水的电厂，应改为控制凝结水的pH值，最大不超过9.0。
- 2. 对大于12.74MPa的锅炉。其给水中的总碳酸盐(以二氧化碳mg/L计算)一般应≤1。

表4-12-4 补给水质量标准

种类	硬度(μmol/L)	二氧化硅(μg/L)	电导率(μS/cm) 25℃	碱度(mmol/L)
1级化学除盐系统出水	≈0	≤100	≤5	—
1级化学除盐-混床系统出水	≈0	≤20	≤0.2	—
石灰、二级钠离子交换系统出水	≤2.5	—	—	0.4~0.6
氢-钠离子交换系统出水	≤2.5	—	—	0.15~0.25
2级钠离子交换系统出水	≤2.5	—	—	—

悬浮物<2mg/L(固定床逆流再生);  
游离氯<0.1mg/L;  
耗氧量<2mg/L(高锰酸钾法)。

(2) 蒸发器和蒸汽发生器中的水、汽质量,应符合下列标准:

- 1) 二次蒸汽  
钠含量≤500μg/L;  
二氧化硅含量≤100μg/L;  
游离二氧化碳含量,以不影响给水质量有限。

- 2) 蒸发器和蒸汽发生器的给水  
硬度≤10μmol/L;  
溶氧(经除氧后)≤50μg/L。

3) 蒸发器内的水。蒸发器和蒸汽发生器内水的质量,应根据水汽品质试验确定。

磷酸根含量一般为5~20mg/L,对于采用锅炉排污水作补充水的蒸发器,磷酸根含量不受此限制。

(二) 汽轮机凝结水质量标准

(1) 凝结水中的硬度、电导率和溶氧的含量应符合表4-12-5的规定。

表4-12-5 凝结水质量标准(1)

锅炉压力(MPa)	硬度(μmol/L)	溶氧(μg/L)	电导率(氢离子交换后) 25℃(μS/cm)
3.82~5.78	≤1.5	≤50	—
5.88~12.64	≤1.0	≤50	—
12.74~15.58	≤1.0	≤40	≤0.3
15.68~18.62	—	≤30	

凝结水中二氧化硅的含量,应保证锅水中二氧化硅的含量符合标准。

对于海水、淡海水、苦咸水及含盐量大、硬度小的冷却水,还应监督凝结水的电导率或钠含量等。

(2) 凝结水经氢型混床处理后的硬度、电导率、二氧化硅、钠、铁和铜的含量应符合表4-12-6的规定。

表4-12-6 凝结水质量标准(2)

硬度(μmol/L)	电导率 25℃ (μS/cm)	二氧化硅 (μg/L)	钠 (μg/L)	铁 (μg/L)	铜 (μg/L)
≈0	≤0.2	≤15	≤5	≤8	≤3

(三) 疏水和生产回水质量标准

疏水和生产回水质量以不影响给水质量为前提,一般按表4-12-7的规定控制。

表4-12-7 疏水和回水质量标准

名称	硬度(μmol/L)	铁(μg/L)	油(mg/L)
疏水	≤2.5	≤50	—
生产回水	≤2.5	≤100	≤1(经处理后)

生产回水还应根据回水的性质,增加必要的化验项目。

三、锅水质量标准

(1) 亚临界锅筒锅炉用挥发性处理时,其锅水应按表4-12-8规定的标准控制。

表4-12-8 锅水质量标准(1)

pH 25℃	总含盐量 (mg/L)	二氧化硅 (mg/L)	氯离子 (mg/L)
8.5~9.5	≤2.0	≤0.2	≤0.5

(2) 锅筒锅炉用磷酸盐处理,其锅水应按表4-12-9规定的标准控制。

表4-12-9 锅水质量标准(2)

锅炉压力 (MPa)	磷酸根(mg/L)			pH 25℃
	单段蒸发	分段蒸发		
		净段	盐段	
3.82~5.78	5~15	5~12	≤75	>9
5.88~12.64	2~10	2~10	≤50	9~10
12.74~15.58	2~8	2~8	≤40	9~10
15.68~18.62	0.5~3	—	—	9~10

当锅水 pH 值低于标准时,应查明原因,采取措施。若添加中和剂,锅水 pH 值不得超过正常运行控制标准的上限。

用除盐水作为补给水的锅炉,其锅水中氯离子的含量一般按表4-12-10规定的指标控制。

表4-12-10 锅水质量标准(3)

锅炉压力(MPa)	氯离子 (mg/L)
5.88~15.58	≤4
15.68~18.62	≤1

锅水的含盐量和二氧化硅含量,一般按表4-12-11规定的指标控制,必要时应通过水汽品质试验确定。

表4-12-11 锅水质量标准(4)

锅炉压力(MPa)	含盐量(mg/L)	二氧化硅(mg/L)
5.88~12.64	≤100	≤2.00
12.74~15.68	≤50	≤1.50
15.68~18.62	≤20	≤0.25

(3) 当锅炉进行协调磷酸盐处理时,其锅水的

Na<sup>+</sup>与PO<sub>4</sub><sup>3-</sup>的摩尔比,一般应维持在2.5~2.8。若锅水的Na<sup>+</sup>与PO<sub>4</sub><sup>3-</sup>的摩尔比低于2.5时,可暂用添加中和剂或提高锅水磷酸根含量调节。

#### 四、蒸汽质量标准

自然循环、辅助循环锅筒锅炉或直流锅炉的饱和蒸汽和过热蒸汽质量应符合表4-12-12的规定。

表4-12-12 蒸汽质量标准

炉型	压力 (MPa)	钠 (μg/kg)		二氧化硅 (μg/kg)
		磷酸盐 处理	挥发性 处理	
锅筒锅炉	3.82~5.78	≤15		≤20
	5.88~18.62	≤10	≤10 <sup>①</sup>	
直流锅炉	5.88~18.62	≤10 <sup>①</sup>		

① 争取标准为≤5μg/kg。

对于压力≥5.88MPa的锅炉,当用除盐水补给,并用电导率连续监督运行中的蒸汽质量时,其电导率(氢离子交换后)一般应≤0.3μS/cm(25℃)。

为防止汽轮机积结金属氧化物,还应检查蒸汽中铜和铁的含量,一般应符合表4-12-13的规定。

表4-12-13 蒸汽含铜、铁量标准

锅炉压力 (MPa)	铁 (μg/kg)		铜 (μg/kg)
	锅筒锅炉	直流锅炉	
15.68~18.62	≤20	≤10	≤5 <sup>①</sup>

① 争取标准为≤3μg/kg。

对于压力≤15.68MPa的锅炉,表4-12-13内规定的指标可作为参考。

### 第四节 水的预处理

水中含有的机械杂质、胶体物、细菌、微生物、有机物、活性氯、铁锰等高价离子对电渗析、反渗透、离子交换树脂的影响如下:

(1) 对电渗析的影响。机械杂质堵塞设备水流通通道、砂粒使膜破损;悬浮物、细菌粘附膜上,带极性有机物被膜吸附均会促使膜电阻增加和水质恶化;铁、锰离子使膜中毒;游离氯使阳膜氧化;进水硬度高会导致极化和沉淀结垢等。

(2) 对反渗透的影响。悬浮物、胶体物堵塞反渗

透膜,降低脱盐率;游离氯恶化聚酰胺膜性能;铁、锰离子含量高时在膜表面形成氢氧化物胶体产生沉积;细菌污染膜恶化水质等。

(3) 对离子交换树脂的影响。悬浮物附着交换剂颗粒表面,降低交换容量;有机物污染阴树脂,交换容量下降、恶化水质、缩短树脂寿命;细菌、微生物堵塞交换剂层孔隙,造成树脂结块;活性氯使阳树脂氧化分解、树脂结构破裂;铁、锰离子使树脂中毒,降低交换容量,恶化水质。形成氢氧化物胶体沉淀,



堵塞树脂微孔压降增加等。

为了保证水的预脱盐(电渗析、反渗透)、离子交换等主要工艺的技术经济效果和长期安全运行,进水必须降低或去除以上这些杂质。所采用的基本工艺流程为澄清、过滤。为适应后续水处理工序不同设备的需要,可对基本工艺流程作适当变化,增减部分设备。

若进水碳酸盐硬度较高,可在澄清(或混凝、沉淀)除去浊度的同时,投加石灰进行预软化。

若单独混凝沉淀达不到除硅要求时,可同时加石灰,再加镁剂进行除硅。

根据需要,加氯进行杀菌。

若进水中有机物较多时,或余氯较高者,在除盐系统前增设活性炭进行吸附。

若采用预脱盐(电渗析或反渗透),应再增加微孔过滤去除砂过滤所不能去除的微细颗粒。

含铁、锰量较多时,可增设机械通风曝气器。

以上这些处理常常是水处理工艺的第一步,是为其后阶段的处理创造有利条件。因此,习惯上称为水的预处理。

### 一、水的澄清

在澄清设备中综合了混凝与泥水分离(沉淀)2个过程。

#### (一) 混凝原理

天然水中的胶体微粒多带负电荷,同号电荷胶体产生静电斥力不能彼此聚集。同时由于带有电荷,可在颗粒表面形成水化膜,阻碍颗粒相互聚集。此即胶体的稳定性。

混凝处理是向水中投加混凝剂(或絮凝剂),通过混凝剂的水解,产物压缩胶体颗粒的扩散层,减小胶体颗粒之间斥力,使胶粒脱稳而相互聚结;或者通过投加水解产物带有正电荷的混凝剂,对原水胶体颗粒的电荷强烈吸附;也可通过投加高分子物质或混凝剂,水解和缩聚反应生成的高聚物起架桥作用,使胶粒脱稳聚结。

混凝处理过程包含了凝聚和絮凝2个阶段,凝聚阶段形成较小微粒,再通过絮凝以形成较大絮粒。

#### (二) 药剂

##### 1. 混凝剂

有铝盐、铁盐两类。铝盐常用的有硫酸铝、明矾、碱式氯化铝等。铁盐有硫酸亚铁、三氯化铁等。

##### 2. 助凝剂

本身不起混凝作用,但可提高混凝效果,如生石

灰调节水的pH值提高混凝效果;氯可破坏水中有机物,使二价铁氧化成三价铁;骨胶与三氯化铁配合使用,净水效果好;海藻酸钠用在浊度较大的原水(200度左右)助凝效果好;其他如活性炭、各种粘土可改善水中絮粒结构等。

##### 3. 絮凝剂

加入水中会形成凝絮,起吸附架桥作用,但一般不能提高除铁和除有机物的效果。目前,常与混凝剂共同使用于高浊度水的混凝处理。人工合成的高分子絮凝有聚丙烯酰胺,天然高分子絮凝剂有水溶性淀粉、刨花水等。

#### (三) 影响混凝效果的因素

##### 1. 加药后水的pH值

不同的混凝剂都有其最适宜的pH值,因而有必要调整溶液的pH值,使之达到该混凝剂的最大混凝作用且絮体的溶解度最小。

##### 2. 混凝剂的加入量

混凝剂的准确加入量应根据水质试验确定,在运行中再根据实际处理效果加以调整。

##### 3. 水温

水温对于铝盐混凝剂的水解作用有相当大的影响。水温低时,由于颗粒碰撞效果差,且水的绝对粘带系数增大,阻力增加,凝絮沉降速度变慢,因而低温时混凝效果差。水温对于铁盐的混凝效果影响不显著。

##### 4. 水和混凝剂的混合速度

混凝剂在水中水解和形成胶体的速度非常快,当刚投加混凝剂时需要快速搅拌,以生成大量小粒的氢氧化物胶体迅速扩散到水的各部分及时和水中杂质起作用。混合以后是凝絮的形成和长大,此时搅拌速度要慢,以利凝絮长大。

此外,水中杂质、接触介质等对混凝有着一定的影响。

#### (四) 澄清设备

澄清器(池)是利用其中积聚的泥渣与原水中的杂质颗粒相互接触、吸附,以达到清水较快分离的设备。可较充分发挥混凝剂的作用和提高澄清效率。

澄清器(池)按泥渣的情况,一般分为循环(回流)泥渣型和悬浮泥渣(泥渣过滤)型。

##### 1. 机械搅拌加速澄清器

如图4-12-1所示,其运行流程如下:

原水经截面为三角形的环形进水槽3下面的出水孔或缝隙,流入混合室4,在这里由于搅拌器上叶

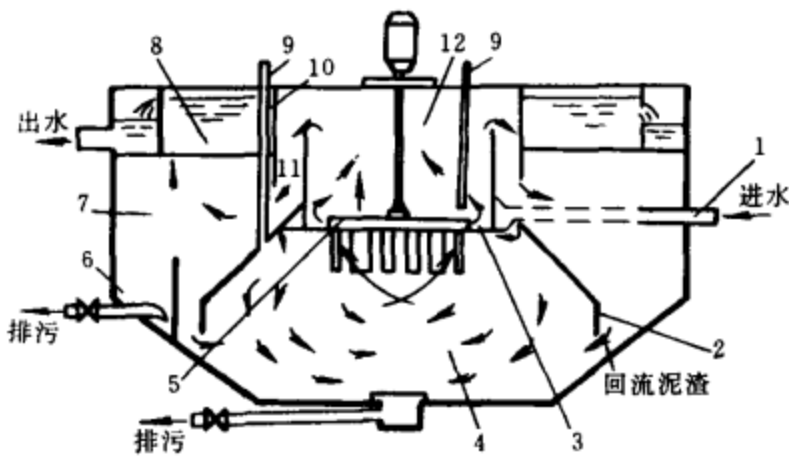


图4-12-1 机械搅拌加速澄清器

- 1—进水管 2—伞形板 3—进水槽 4—第一反应室（混合室） 5—机械搅拌器 6—泥渣浓缩室 7—分离室 8—集水槽 9—加药管 10—导流板 11—导流室 12—第二反应室

片的搅动,使进水和大量回流泥渣混合均匀;混合室中夹带有泥渣的水流被搅拌器上的涡轮提升到第二反应室12,在这里进行絮凝长大的过程;然后,水流经导流室11(消除水流的纹动)进入分离室7;在分离室中,由于其截面较大,故水流速度很慢,可使泥渣和水分离,清水流入集水槽8;而泥渣大部分回流到第一反应室,部分进入泥渣浓缩室6;进入第一反应室的泥渣,随进水流动;进入泥渣浓缩室的泥渣定期排走。

机械搅拌器的结构是上部为涡轮,下部为叶片。涡轮的结构与作用类似于泵,它是用来将夹带有泥渣的水提升到第二反应室。可用改变其转速与改变高低的方法来调整其提升能力。

加药可通过加药管或者直接加至进水管、水泵吸水管等处。

### 2. 水力循环澄清器

在水力循环澄清器中,泥渣的循环不是依靠机械搅拌,而是利用喷射器的原理。如图4-12-2进水由喷嘴高速冲出,通过混合室进入喉管,在混合室中造成负压,吸入大量回流泥渣。在喉管中,由于水的快速流动,水、药品和泥渣可以得到充分混合,因此,当水流到反应室时,就会迅速形成良好的凝聚。

在水力循环澄清器中,可通过改变喷嘴的口径和用升降调节器调节喷嘴和混合室喇叭口的间距来调整回流泥渣量。

在喉管以后,水的流程和机械搅拌器中的相似,即由第一反应室→第二反应室→分离室→集水槽。由第一反应室到第二反应室的过程中,沿程

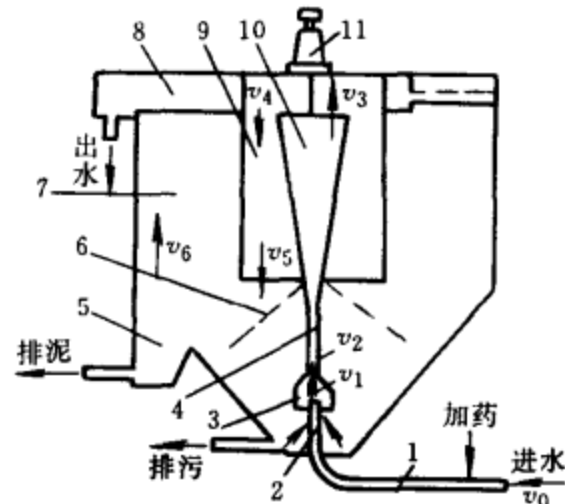


图4-12-2 水力循环澄清器

- 1—进水管 2—喷嘴 3—混合室 4—喉管 5—泥渣浓缩室 6—伞形挡板 7—分离室 8—集水槽 9—第二反应室 10—第一反应室 11—调节器

水力循环澄清池的优点是:结构简单,投资较低,运行和管理方便。缺点是:对原水流量、水质和水温变化的适应性较差;同时由于它是依靠水的动能促使泥渣回流,故单池容量不宜过大。

### 3. 脉冲澄清器

属悬浮泥渣型,运行时有一层由于水的流动而悬浮着的泥渣层,水通过此泥渣层时就进行了澄清过程。脉冲澄清器运行时泥渣层不断上下波动。

如图4-12-3,加有药剂的原水由进水管引入真空室,在这里,由于真空泵在抽气,产生真空,室中水位随之上升;当升到预定的水位(g)时,电磁阀自动开放,因空气进入真空室,破坏了真空,于是水从真空室急剧下落,经底部配水系统支管上的孔眼喷出。喷出的水在遇到挡板(见图4-12-4)时,由于涡流作用而进行混合,最后由挡板间狭缝中冲出,冲动泥渣层,使其上升。通过泥渣层的清水,经集水管排出。当真空室中水位下落到预定的低水位(d)时,电磁阀自动关闭,由于真空泵在继续抽气,真空室中水位又上升,进入下一脉冲周期。真空室中水位上升时称为充水,水位下降时称为放水。

放水时泥渣层膨胀,且此时泥渣层中水的上升流动是变动的,最初快,后来渐慢。充水时泥渣层中水的上升流速很小,可以为零,或甚至水流不是上升而是下降,此时泥渣层就收缩。放水时泥渣层中水的

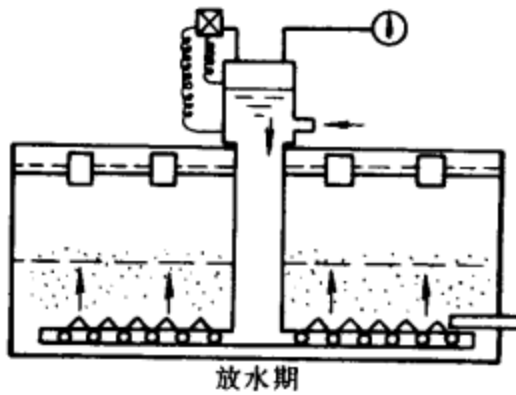
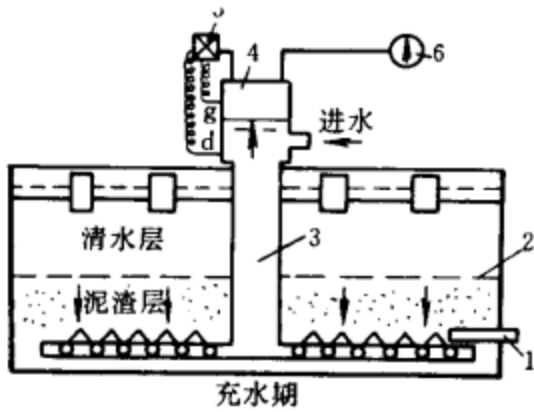


图4-12-3 真空式脉冲澄清器

1—排泥管 2—集泥室上缘 3—落水井 4—真空室 5—空气阀开关 6—真空泵

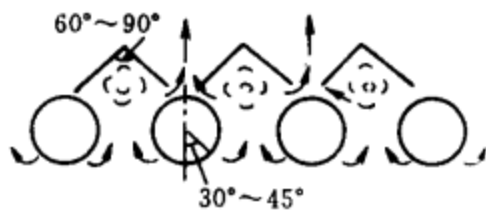


图4-12-4 配水系统中的挡板

上升流速要比泥渣颗粒沉速高得多，这时泥渣层处于均匀悬浮状态。充水时进入澄清器的水流上升速度比泥渣颗粒沉速要小，充水的时间应能保证泥渣层收缩到原来高度，多余泥渣经泥渣浓缩室排走。

脉冲澄清器水和药剂的混合不是靠搅拌，而是靠配水系统中特制的上部挡板。避免了搅拌太慢使混合不好，太快易将形成的凝聚打碎的矛盾。经验证明挡板形式混合良好。

## 二、水的过滤

置于混凝沉淀(澄清)之后，是水的预处理的一部分。

### (一) 过滤原理

过滤过程有2种作用。

一种是机械筛分作用，某些颗粒大于滤料孔隙的悬浮杂质，首先被滤料阻留，滤料层中孔隙逐渐变

小，后续细小悬浮杂质即相继被阻。且在截留下来的悬浮杂质之间，因发生彼此重叠和架桥过程而形成的附加的滤膜，也起机械筛分作用。

另一种是接触凝聚作用，滤料颗粒是接触介质，表面起吸附作用。滤料砂粒排列得比澄清器中悬浮泥渣的颗粒更为紧密、稳定。经过混凝沉淀处理过的水，在流经滤料层弯弯曲曲孔道时，水中那些扩散层已被压缩的胶体微粒，能有更多的机会和砂粒接触、碰撞、吸附而易凝聚在砂粒表面。

### (二) 滤料及承托层

#### 1. 滤料

用作给水处理的滤料应符合以下要求：

(1) 具有良好的机械强度，以防因摩擦而破碎、淤积滤层，影响出力。

(2) 具有足够的化学稳定性，以免滤料与水溶液产生化学反应而恶化水质。

石英砂强度好，适用于中性、酸性(pH值2.1~6.5)水溶液，但在碱性溶液中其SiO<sub>2</sub>要溶解。无烟煤适用于中性、酸性和碱性(pH值8.5~11.8)水溶液。大理石机械强度较差，且溶解于酸性水。

(3) 具有一定的颗粒级配和适当的孔隙率。滤料的颗粒大小不一，不能用一个简单的指标表示。只用滤料颗粒粒径的最大最小范围来表示颗粒的大小，虽使用方便但不能反映滤料颗粒大小的均匀程度，若大小颗粒相差较大，则使反洗操作困难；若反洗强度太大，则会带出微小颗粒；若反洗强度太小，又不能松动下部滤层；另外，使过滤情况恶化。细小颗粒集中在滤层表面，杂质堆积在表层，使水头损失增加得很快，过滤周期缩短。

我国现行规范采用的滤料颗粒级配的表示方法是：最大粒径、最小粒径和不匀系数 $K_{80}$ 。

不匀系数  $K_{80} = \frac{d_{80}}{d_{10}}$ ， $d_{80}$ 为80%(按质量计)的滤料能通过筛孔孔径(mm)； $d_{10}$ 为10%(按质量计)滤料能通过筛孔孔径(mm)， $d_{10}$ 又称有效粒径，它反映了滤料中小颗粒滤料的大小。 $K_{80}$ 反映了滤料颗粒大小不均匀程度。 $K_{80}$ 愈大，表示大小颗粒间的差别愈大，给运行带来不良后果。

单层石英砂滤料， $K_{80}=2.0$ ；双层滤料普通快滤池(无烟煤与石英砂)， $K_{80}=2.0$ ；双层滤料接触滤池：无烟煤  $K_{80}=1.3$ ；石英砂  $K_{80}=1.5$ ；三层滤料无烟煤  $K_{80}=1.75$ ；石英砂  $K_{80}=1.45$ ；磁铁矿  $K_{80}=1.69$ 。

滤料层的孔隙率是指滤料颗粒间空隙的体积与滤料层的体积(滤料颗粒的体积与滤料颗粒间空隙的体积之和)之比。石英砂的孔隙率为0.4左右,无烟煤的孔隙率约为0.5。

(4) 外形接近于球形,表面比较粗糙而有棱角。

球形颗粒具有一定的孔隙率,表面粗糙的颗粒比表面积大,棱角处吸附力强。

表4-12-14为常用滤料的规格与性能。

表4-12-15为配过滤设备的滤料种类、粒径级配与层高。

表4-12-14 常用滤料规格及性能

名称	粒径范围 (mm)	粒径级配	物理化学特性
天然石英砂滤料	0.5~0.8	$K_{80}=1.5\sim1.6$	密度 $2.6\sim2.7\text{g/cm}^3$ 化学成分 $\text{SiO}_2\geq 96\%$ (98.8%) (质量分数) $\text{Fe}_2\text{O}_3\leq 0.15\%$ (0.03%) 未检出有害重金属元素 抗压强度 $\geq 98\text{MPa}$ (101.33MPa) 粒径合格率 $\geq (95\pm 5)\%$ 大于最大直径者 $\geq 2\%$ 小于最小直径者 $\geq 3\%$
	0.5~1.0	$K_{80}=1.5\sim2.0$	
	0.5~1.2	$K_{80}=1.5\sim2.0$	
	1~2	$K_{80}=1.5\sim2.0$	
粒状无烟煤滤料	0.8~1.8	$>1.8\text{mm}$ 的 $\leq 3\%$ $<0.8\text{mm}$ 的 $\leq 3\%$	密度 $1.4\sim1.5\text{g/cm}^3$ 堆密度 $0.65\sim0.74\text{g/cm}^3$ 孔隙率50%~55% 含矸率 $<5\%$ 机械强度 破碎率 $\leq 4\%$ 磨损率 $\leq 2\%$
粒状磁铁矿滤料	0.25~0.5 0.5~1.0 1~2 2~4 4~8 8~16	粒径合格率 $\geq 90\%$ 其中 $>d_{\text{最大}}$ , $\leq 5\%$ $<d_{\text{最小}}$ , $\leq 5\%$	密度 $4.5\text{g/cm}^3$ 机械强度 破碎率 $\leq 2\%$ 磨损率 $\leq 1\%$

表4-12-15 过滤设备的滤料、粒径级配和层高

过滤器(池)型式		滤料			
		种类	级配(mm)	层高(mm)	
重力式滤池	单层滤料	无烟煤	$\phi 0.8\sim1.5$	700	
		石英砂	$\phi 0.5\sim1.2$	700	
		大理石	$\phi 0.5\sim1.2$	700	
	双层滤料	普通快滤池	无烟煤	$\phi 0.8\sim1.8$	400~500
			石英砂	$\phi 0.5\sim1.2$	400~500
接触滤池	接触滤池	无烟煤	$\phi 1.2\sim1.8$	400~600	
		石英砂	$\phi 0.5\sim1.0$	400~600	
三层滤料	三层滤料	无烟煤	$\phi 0.8\sim2.0$	600	
		石英砂	$\phi 0.5\sim0.8$	230	
		磁铁矿	$\phi 0.25\sim0.5$	70	

(续)

过滤器(池)型式		滤料		
		种类	级配(mm)	层高(mm)
重力式滤池	三层滤料	磁铁矿	φ0.5~1.0	50
		磁铁矿	φ1.0~2.0	50
		磁铁矿	φ2.0~4.0	70
		磁铁矿	φ4.0~8.0	70
		砾石	φ8.0~16.0	100
		砾石	φ16.0~32.0	160
压力式滤器	单层滤料	石英砂	φ0.5~1.2	1200
	单层滤料	无烟煤	φ0.5~1.2	1200
	双层滤料	石英砂 无烟煤	φ0.5~1.2 φ0.8~1.6	800 400

2. 承托层

它的作用：一是防止过滤时滤料从配水系统中流失；二是在冲洗时起一定的均匀配水作用。

对承托层的要求是：(1)在反冲洗时高流速情况下不被冲动；(2)要形成均匀的孔隙，以创造均匀布水的条件；(3)材质坚固且不溶解于水。一般采用天然卵石或砾石。

承托层颗粒最小尺寸为2mm，因为滤料的最大粒径为1~2mm。承托层颗粒最大尺寸为32mm，它是由冲洗时所产生的最大冲击力而定的。且最下层要求至少在150mm，以保证配水的射流直接在这一层内扩散而不冲动。

表4-12-16为承托层的组成。

表4-12-16 承托层的组成

层次(由上到下)	粒径 (mm)	厚度 (mm)
1	2~4	100
2	4~8	100
3	8~16	100
4	16~32	150

(三) 影响过滤运行的因素

1. 滤速

滤速是假定滤料不占有空间时水通过过滤器(池)的速度。滤速太快，会使出水水质下降，水头损失加大，而使过滤周期缩短。滤速过慢，则单位过滤面积的出力小，经济性差。最大允许滤速，主要决定于滤料的粒径，粒径愈小，允许的滤速愈小。

2. 反洗

用水自下而上通过滤层进行反洗，以除去滤出的泥渣，恢复滤料的过滤能力。为了达到清除污物的目的，应有足够的反洗时间和反洗强度(每秒时间每平方米滤池面积所需多少升的反洗水流量)。滤料愈粗，滤料密度愈大，则要用的反洗强度愈大。反洗时间短，则反洗水量不足，则达不到清洗要求。

滤池中设有压缩空气管道，通压缩空气使滤料颗粒间发生擦洗作用，以提高清洗效果。

3. 水流的均匀性

为了发挥滤池的最大效能，在过滤或反洗的过程中，都要求沿过滤截面各部分的水流分布均匀。这就要求配水系统设计得均匀性好。

(四) 过滤设备

1. 重力式无阀滤池

如图4-12-5所示，由进水管送入的水通过滤层，汇集到下部集水室，再由连通管(可设于滤池的4个角落)流至上部冲洗水箱。当此水箱内盛满水后，便开始向外送水。随着运行时间的增长，滤层中阻力增大，于是虹吸上升管内的水面随之升高，当阻力继续增加使水面上升到虹吸辅助管口时，水即自此管中急剧下落(见图4-12-6)。这时，主虹吸管(虹吸上升管和虹吸下降管的总称)中空气便可通过抽气管13不断抽走(随水流到排水井后逸入大气)，因而主虹吸管中产生负压，使虹吸上升管和下降管中的水面均很快地上升，当此两股上升的水流汇合后，便形成虹吸；这时过滤室中的水立即被虹吸管抽走，冲洗水箱中的水迅速倒流至滤层中，形成自动反冲洗；这样，冲洗水箱中水位便下降，当它降到虹吸破坏管10



的管口以下时,由于空气进入虹吸管内,虹吸作用被破坏,冲洗过程结束,进入下一运行循环。

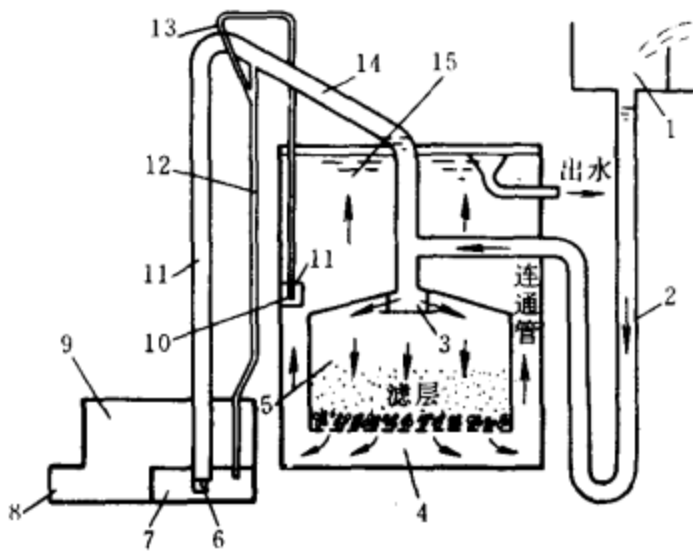


图4-12-5 重力式无阀滤池

- 1—进水槽 2—进水管 3—挡板 4—集水室
- 5—过滤室 6—锥形挡板 7—水封槽 8—排水管
- 9—排水井 10—虹吸破坏管 11—虹吸下降管
- 12—虹吸辅助管 13—抽气管
- 14—虹吸上升管 15—冲洗水箱

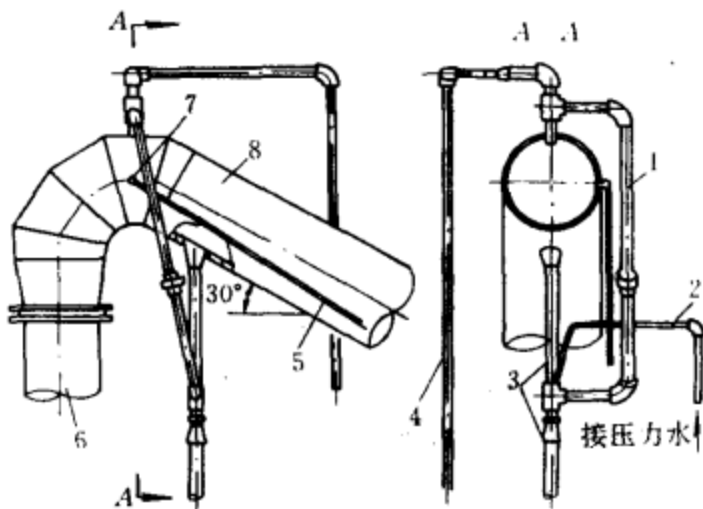


图4-12-6 虹吸辅助管

- 1—抽气管 2—强制冲洗管 3—虹吸辅助管 4—虹吸破坏管
- 5—透明塑料水位管 6—虹吸下降管
- 7—水位管管嘴 8—虹吸上升管

进水槽和U形进水管的设置,是为了避免空气吸入池内。因为当有空气吸入时,在运行后期可能形不成虹吸。而且如不设此U形管,则在反洗后期,进水管就成了虹吸破坏管。

虹吸辅助管的高度反映运行期终时水头的允许值,此高度越大,工作周期愈长。但增加虹吸管高度会增加工程造价,且还会在运行时使滤层污染严重,冲洗不净。一般虹吸管的装高为1.5~2.0m。

## 2. 单阀滤池

单阀滤池的工作原理与无阀滤池的基本相同,不同点在于:单阀滤池虹吸管的高度比无阀滤池的低得多,它从滤池顶盖上接出后即行下弯,虹吸管上装有一个闸阀。顶盖上装有水头损失计,当水头损失达到预定数值时,打开虹吸管上的阀门,冲洗便开始。当水箱水位下降到预定位置(或根据冲洗时排出污水浊度而定)时,关闭阀门,冲洗结束。

单阀滤池的虹吸管高度较低,有利于安装与维修;但操作比无阀滤池稍繁。两者造价大致相同。

## 3. 虹吸滤池

虹吸滤池用抽真空沟通虹吸管以连通水流,用进空气破坏虹吸作用,以切断水流。图4-12-7所示为圆形滤池的两个单元。右侧正在过滤,左侧正在清洗。

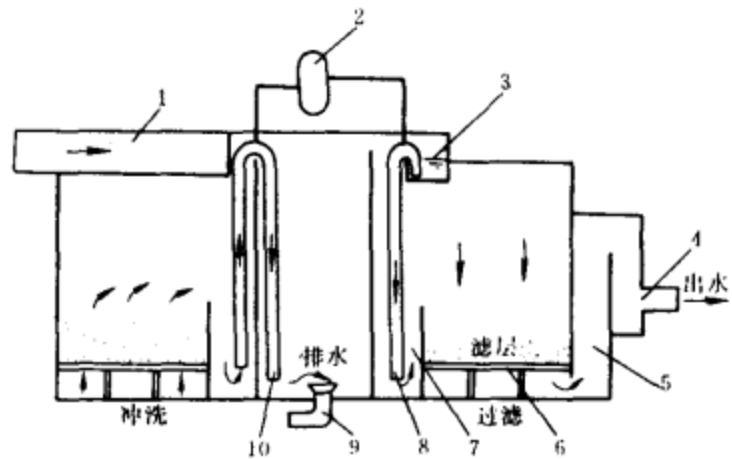


图4-12-7 虹吸滤池

- 1—总进水槽 2—真空系统 3—环形配水槽 4—出水管
- 5—集水槽 6—配水装置 7—进水槽
- 8—进水虹吸管 9—排水管 10—冲洗虹吸管

在过滤时,原水送入总进水槽,流至环形配水槽,然后用若干个进水虹吸管分别送至各单元滤池的进水槽内,通过进水堰溢流至进水管中,随后又各自通过各单元滤池的滤层、配水系统而至集水槽,集水槽是总的,集水槽集取的水翻过出水井中的控制堰,由出水管送出。

当池内水位上升至预定高度时,由于池内已积存较多的污物,就必须冲洗。冲洗时,首先破坏此单元的进水虹吸管真空,使配水槽内的水不再流入。此时,该单元滤池仍在继续过滤,但随着池内水位的下降,滤速逐渐降低,当滤速显著变慢时,就利用真空系统抽去该单元滤池冲洗虹吸管中的空气,使之形成虹吸。此时,首先是滤池内的存水通过冲洗虹吸管流至排水管,当滤池内水位降至比集水槽的水位低时,冲洗就开始。冲洗水流程为,从集水槽→配水

系统→由下而上通过滤层→冲洗虹吸管→冲洗排水槽→冲洗排水管。当冲洗至排水较清时，即可破坏冲洗虹吸管中的真空，停止冲洗，然后起动进

水虹吸管，开始过滤。

虹吸滤池造价较低、操作管理方便；因为用来冲洗的水头较小，所以单元滤池的面积不宜过大。

## 第五节 水的预脱盐

在火力发电厂中，当原水含盐量较高时，给水的除盐过程中往往采用预脱盐和离子交换法配合使用，水中大部分含盐量先通过预脱盐除去，再用离子交换法进一步除盐。使整个水处理系统有良好的适应性，操作稳定且较为经济合理。

常用的预脱盐方法有电渗析和反渗透。它们属于膜分离方法，具有无相态变化、分离时节省能源、可连续操作等优点。

### 一、电渗析

#### (一) 基本原理

电渗析是利用在直流电场作用下，阳、阴离子交换膜对溶液中阳、阴离子的选择透过性，使溶液中阳、阴离子在隔室中发生离子迁移，分别地通过阳、阴离子交换膜而达到除盐的目的。

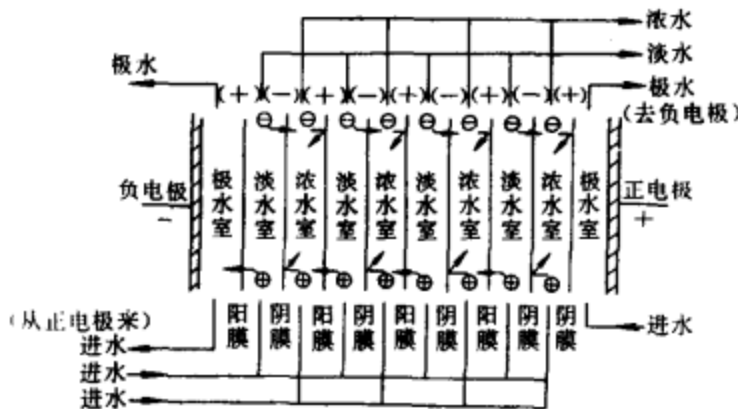


图4-12-8 电渗析原理

如图4-12-8所示，当含盐水通过电渗析器时，在通有直流电的情况下，水中的离子带有电荷，阳离子向负极迁移，阴离子向正极迁移。

电渗析器中的离子交换膜，是用离子交换树脂粉末做成的树脂薄膜，具有内层为固定基团和外层可解离离子的结构。阳膜内层具有负电场，因而溶液中阴离子受到排斥不能通过，而阳离子可进入膜的孔道内，可穿过孔眼将阳膜上原有的阳离子排代下来。同样，阴膜的内层具有正电场，排斥阳离子而允许阴离子进入，因而淡水室阴离子向正极迁移，透过阴膜进入浓水室，阳离子向负极迁移，透过阳膜进入浓水室。但浓水室内阳、阴离子均不能透过阴、阳膜。结果，浓水室浓度增高，淡水室因离子的不断移出，

浓度降低而得到淡水。

#### (二) 结构

电渗析由一层层交替排列的隔板、离子交换膜及两端的电极组成，外面用压板和螺杆把隔板和膜压紧而成。

电渗析器主要组成部分为膜堆、极区、压紧装置等，见图4-12-9。

##### 1. 膜堆

一对阴、阳膜和一对浓、淡水隔板交替排列组成一个膜对，在两电极之间，由若干膜对堆叠在一起称为膜堆。

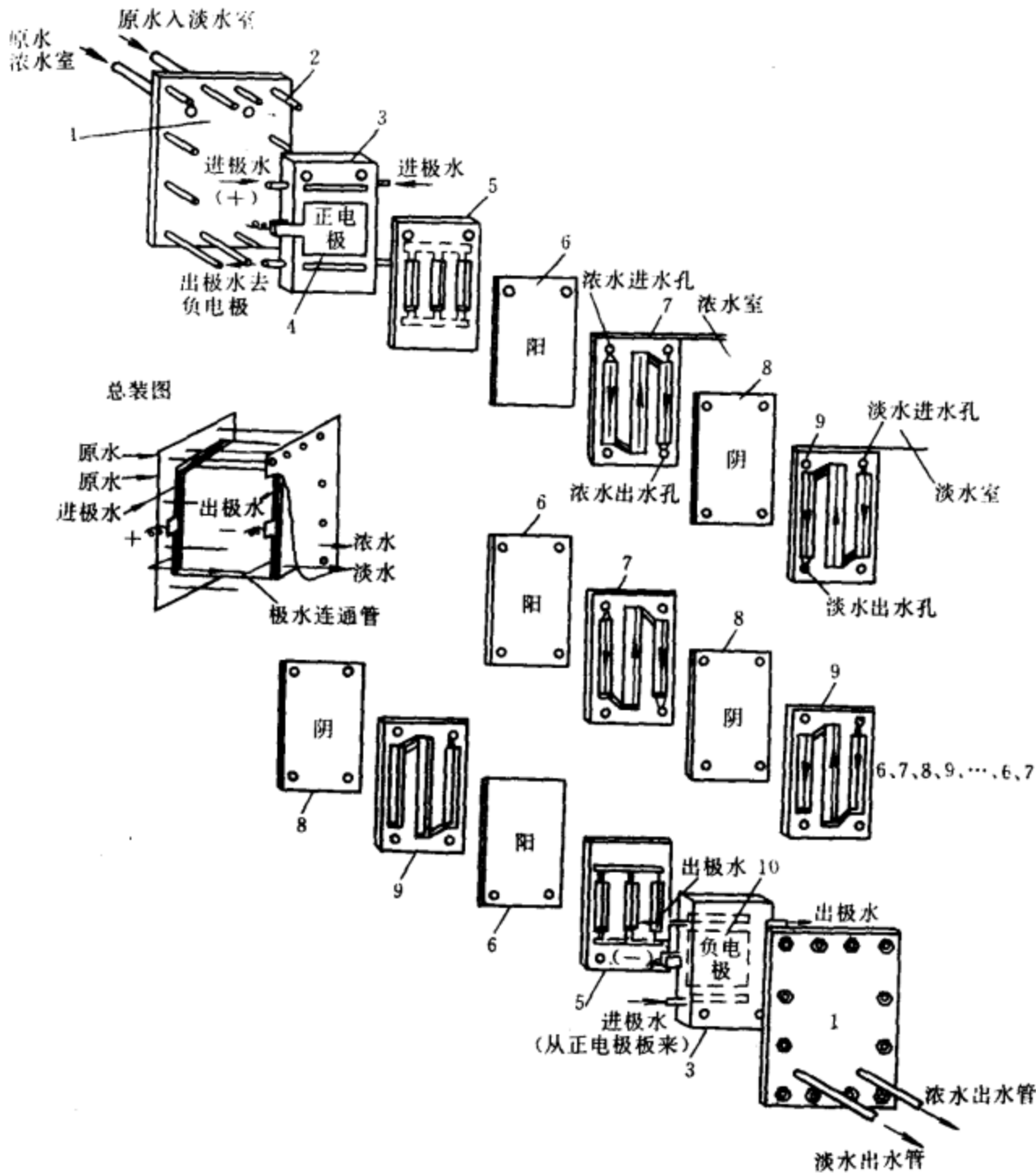
(1) 隔板。为隔板框和隔网结合在一起的总称。隔板框可用硬聚氯乙烯或其他材料制成，厚度常在2mm以下，隔板框上开有许多槽和孔(见图4-12-10)，水流由进水孔送入后沿布水槽送入流水槽，然后沿各流水槽和过水槽流动，最后由布水槽和出水孔送出。

隔板框上的孔是将整块板打穿的。但布水槽和过水槽并不穿透隔板框，而是在板上开凹槽，流水槽是穿透隔板框的槽，在槽的四周留有凸边，然后将隔网四边粘在此凸边上，隔网的形式有鱼鳞状(如图4-12-11)等，隔网的材料可为硬聚氯乙烯或其他材料，厚度与隔板框相同，隔网可使阳、阴膜保持一定的距离，且使隔板流水槽中水流发生湍流，减薄界面层厚度，便于水中离子扩散，提高除盐效果。

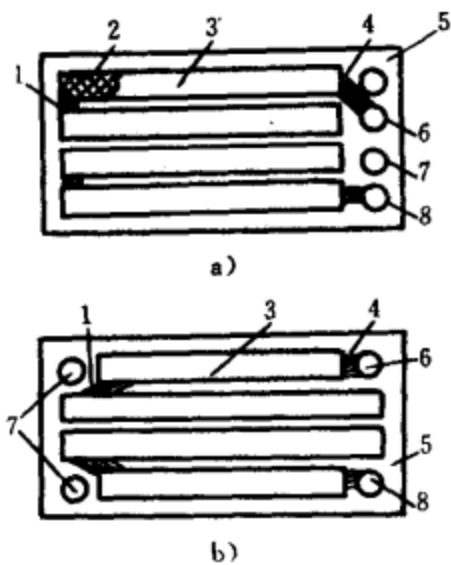
(2) 离子交换膜。按其选择透过性的不同，可分为阳膜和阴膜两大类，按膜中活性基团分布的均一程度可分为异相膜、均相膜和半均相膜三种。

离子交换膜是电渗析器的重要组成部分，它直接影响到电渗析器的除盐效率、电能消耗、抗污染能力和使用期限等技术经济指标。对离子交换膜的质量要求为：

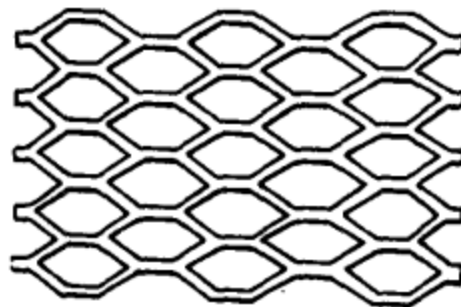
- 1) 离子选择透过性高，透水性小，膜电阻低。
- 2) 能耐一定酸、碱，抗有机物污染性能好，耐温性能好，不变形、无毒性。
- 3) 厚薄均匀，表面平整、无针孔和裂纹，膨胀收缩性好，具有足够的机械强度，且具有韧性和挠曲



1—压板 2—拉杆 3—极板 4—正电极 5—极框 6—阳膜 7—浓水隔板 8—阴膜 9—淡水隔板 10—负电极



a) 孔开在一侧 b) 孔开在两侧  
1—过水槽 2—隔网 3—流水槽 4—布水槽  
5—隔板框 6—进水孔 7—过水孔 8—出水孔



性，以防组装折裂。

## 2. 极区

极区由电极、极框、极板等组成(图4-12-12)。

(1) 电极。要求其导电性能好、机械强度高、化学和电化学稳定性好。常用材料有石墨、钛镀铂(或镀钌)、铅、不锈钢等。

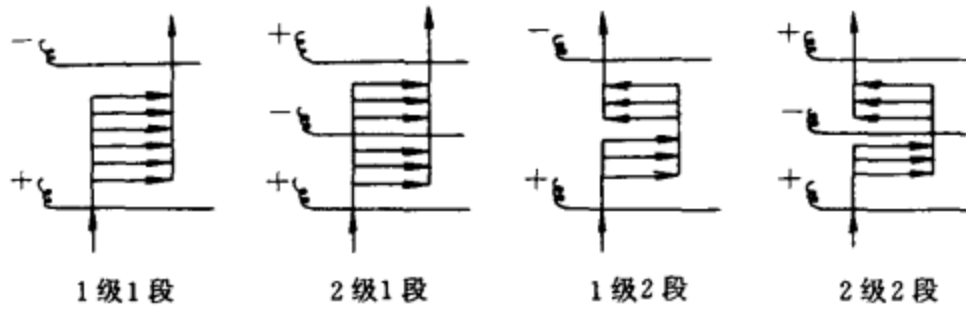


图4-12-12 电渗析器的级和段

(2) 极框。其是供极水流通的隔板，起支撑膜堆、排除电极反应产物和冷却电极作用。

(3) 压紧装置。由压板、拉杆、螺母等组成。

由于阳膜比阴膜稳定，膜堆的两端最后一个膜都排成阳膜，可防止电极反应产物对靠近它的膜的腐蚀和污染。

### (三) 电渗析器的附属设备

(1) 供直流电源设备。常用整流器获得直流电源。

(2) 仪器仪表。如电流表、电压表、压力表、流量计、电导仪等。

(3) 水箱和水泵。有除盐水箱、酸洗水箱及相应的输水泵。

### (四) 电渗析器的组装形式

在一台电渗析器的一对电极之间的最大膜对数是有限制的。如果膜对数太大，则易产生隔板中水流分布不均匀，造成膜对电压不一而引起极化现象。也不能使一对电极之间的电压过高。因此，对于不同的水量和水质，利用几个膜堆并联的方式来增加水量，用串联方式来提高除盐率，故在实际应用中，电渗析器有不同的组装方式。

单台电渗析器可用“级”和“段”说明组装方式，即一对电极之间的膜堆为1级，具有同一水流方向的并联膜堆称为1段。如图4-12-12，1级1段的组装方式是电渗析器最常用的基本方式，为降低1级1段组装方式的工作电压，可在膜堆中间增设中间电极而成2级1段。在水头损失不太大的情况下，可将2台1级1段的电渗析器组装成1台2级2段，以减少压紧装置和占地面积，但初级压力较大，故串联的级数不能太多。当处理水量小时，1级2段可提高除盐效率，减少电极和外部连接管道。

### (五) 电渗析器的除盐方式

一般分为直流式、循环式和部分循环式3种。

#### 1. 直流式

即进水通过1台或多台并、串联的电渗析器除

盐，可达到规定的水质指标。能连续制水、管路和辅助设备简单、占地面积少，但对原水含盐量变化的适应性较差，是最广泛采用的一种除盐方式。它又可分为：

(1) 单台直流式。可以是1级1段，1级多段，多级1段，多级多段，适用于小水量。

(2) 多台串联直流式。用在水量较大、除盐率要求较高的场合(见图4-12-13)。

(3) 多台串、并联组合式。适用于较大规模场合，用多台并联来满足产水量，用多台串联来达到除盐率要求。

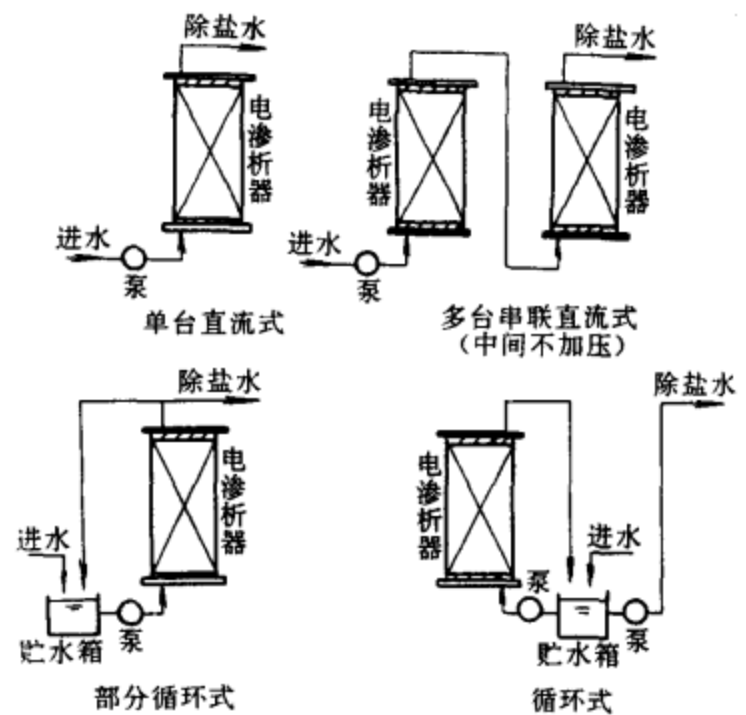


图4-12-13 除盐水系统示意图

#### 2. 循环式

将一定量的水，通过多次循环除盐，在达到所需的出水水质时，再供水，属间歇供水。适用于小用水量，除盐率要求较高的场合。

#### 3. 部分循环式

在电渗析器淡水出口分成2路，一路供用水设备；另一路继续通过电渗析器和原水一道进行除盐处理。适用于原水含盐量高或变化大的场合。对于出水水质要求高时，还可以通过调节淡水循环量来满足要求。图4-12-14为常用的多级部分循环方式。

### (六) 电渗析器的运行

#### 1. 极化

当水在淡水室中流动时，膜和水之间有摩擦力而形成一层滞流层(或称界面层)，在直流电场作用