

电厂化学

山东省电力学校编

电力工业出版社

21.8

电 厂 化 学

山东省电力学校编

电力工业出版社

5631270

电 厂 化 学

山东省电力学校编

*

电力工业出版社出版

(北京德胜门外六铺炕)

新华书店北京发行所发行·各地新华书店经售

水利电力印刷厂印刷

*

787×1092毫米 16开本 8.5印张 185千字

1981年2月第一版 1981年2月北京第一次印刷

印数 00001—10140册 定价0.75元

书号 15036·4161

内 容 提 要

本书共分十章，主要讲述：天然水的杂质；炉外水处理系统；腐蚀、结垢、积盐的原因及其防止；热化学试验和汽水质量标准；锅炉化学清洗；冷却水处理等。此外，还简要地介绍了润滑油的性质和汽轮机运行中油的监督与维护，电厂燃料的特性和工业分析等内容。

本书可作为中等专业学校热能动力设备专业电厂化学课程的教材，也可供有关工人和技术人员参考。

前 言

本书可作为中等专业学校热能动力设备专业电厂化学课程的教材,也可供发电厂有关工人和技术人员参考。

本书内容包括炉内外水处理、冷却水处理、热化学试验、主要汽水质量标准以及锅炉的化学清洗等。炉外水处理只讲述基本原理及其主要系统,重点讲述结垢、腐蚀、蒸汽污染的原因和防止方法,其他方面的内容则作一般介绍。

本书由山东省电力学校吴仁芳(第一、二、三、四、五、六、七、八章)和邹厚芳(第九、十章和绪论)两同志编写,刘光荫同志描图,全书由邹厚芳同志统稿。

本书由北京电力学校主审,参加审稿会的单位有长春电力学校、吉林省电力试验所、山东省石横发电厂、旅大电力学校、山西省电力学校、电力工业部干校等。在编写过程中,得到一些发电厂、中试所和兄弟学校的帮助,山东省电力学校赵殿恒同志对本书初稿提出了宝贵意见。在此对上述单位和有关同志表示感谢。

限于水平,书中差错在所难免,诚恳希望各校师生和读者批评指正。

编 者

1980.7.

目 录

前 言	
绪 论	1
第一章 天然水中的杂质	2
第一节 天然水中的杂质	2
第二节 水质指标	4
第二章 炉外水处理系统	7
第一节 水的预处理	7
第二节 水的软化和除盐	15
第三节 其他除盐系统	29
第四节 凝结水的净化	31
第三章 水垢的形成及其防止	35
第一节 水垢和水渣的性质及危害	35
第二节 水垢的形成	36
第三节 炉内磷酸盐处理	40
第四节 “盐类暂时消失”现象	44
第四章 热力设备的腐蚀及其防止	46
第一节 金属腐蚀的基本理论	46
第二节 影响电化学腐蚀的因素	49
第三节 热力系统的金属腐蚀	51
第四节 给水系统金属腐蚀的防止	52
第五节 汽水系统的腐蚀	55
第六节 锅炉停用时的腐蚀和防止方法	58
第五章 蒸汽的污染及其防止	61
第一节 蒸汽的污染	61
第二节 蒸汽流程中的盐类沉积物	64
第三节 获得清洁蒸汽的方法	67
第六章 热化学试验和汽水质量标准	72
第一节 热化学试验	72
第二节 汽水质量标准	75
第七章 锅炉的化学清洗	80
第一节 锅炉化学清洗的目的和范围	80
第二节 锅炉化学清洗的药品	81
第三节 锅炉化学清洗的步骤	84
第八章 冷却水处理	86
第一节 有机附着物的生成与防止	86

第二节	凝汽器铜管的结垢及防止	87
第三节	凝汽器铜管的清洗	90
第四节	凝汽器铜管的腐蚀和防止	92
第九章	润滑油	96
第一节	概述	96
第二节	润滑油的理化性质及使用性能	97
第三节	汽轮机油的使用及维护	102
第十章	电厂燃料	107
第一节	煤的组成和分析基础	107
第二节	煤的采样和工业分析	111
第三节	煤的元素成分	118
第四节	煤的发热量	121
第五节	煤的可磨性	122
第六节	煤粉细度的分析和灰渣可燃物的测定	123
第七节	煤的灰熔点	124
第八节	液体燃料和气体燃料	126

绪 论

火力发电厂是一个能量转换的工厂。在锅炉中，燃料的化学能转变成蒸汽的热能；在汽轮机中，蒸汽的热能转变成机械能；在发电机中，机械能转变成电能。在火力发电厂能量转换过程中，水是主要的介质，汽水质量的好坏直接影响着锅炉和汽轮机的安全、经济运行。因此，热能动力设备专业的技术人员和工人，都有必要了解水处理和有关电厂化学的基本知识。

水质不良对热力设备有三大危害，即结垢、腐蚀和积盐，特别是在大容量、高参数的热力设备中，其危害更为显著。实践证明，设备很多事故的发生是与化学工作有关的。

热力设备的结垢一般发生在热负荷较高的部位。由于水垢的传热能力比金属的传热能力低几百倍，所以结垢部位的金属管壁易于过热引起金属强度下降，在管内介质压力作用下，管道便会局部变形、鼓包、甚至引起爆管事故。当水冷壁管结有铁垢时，还会引起垢下腐蚀。结垢必然增加燃料的消耗。冷却水如处理不当，凝汽器铜管将集结碳酸盐水垢而降低传热效率，从而引起凝汽器的端差升高，凝汽器真空度下降，使汽轮机出力降低，严重时甚至被迫停机，造成重大的经济损失。

热力设备因水质不良会引起腐蚀，腐蚀不仅缩短设备本身的使用期限，而且由于金属腐蚀产物转入水中，水中杂质增多，从而加剧热负荷高的受热面上结垢的过程，进一步促进腐蚀而形成恶性循环。腐蚀产物如被蒸汽带到汽轮机中沉积下来，则将严重影响汽轮机的安全经济运行。

过热器积盐会引起管壁过热而爆管。汽轮机内积盐会降低热效率和出力，特别是高温高压大容量的机组，其高压级蒸汽通流部分的截面积很小，少量的积盐也会大大增加蒸汽流通的阻力，使汽轮机出力下降，当积盐严重时，还会使推力轴承负荷增大，隔板弯曲，造成事故停机。

热力设备的结垢、腐蚀、积盐会降低设备的使用年限，减少其年利用小时数，同时增加检修工作量和检修费用。

为使热力设备尽可能不发生结垢、腐蚀、积盐，就要保证汽水品质良好，这除依靠水处理和化学人员的化学监督外，还要求锅炉、汽轮机有良好的安装、检修质量和合理的运行方式。如汽包内部装置的安装或检修质量差，汽水分离效果不好，使蒸汽含盐量升高，就易导致过热器和汽轮机积盐；如除氧器运行不正常，给水含氧量升高，就会加快金属设备的腐蚀；如机炉运行工况急剧变化，会使蒸汽恶化。

此外，汽轮机运行中还应重视润滑油的维护与监督。

第一章 天然水中的杂质

第一节 天然水中的杂质

天然水中都含有很多杂质，即使看起来是清澈透明的，但实际上也不是纯净的，因为水是一种溶解能力很强的溶剂，它能溶解自然界中的许多物质，组成溶解于水的杂质。此外，天然水中还混杂一些不溶解于水的杂质。水中的杂质可以分为下列两类。

一、悬浮物和胶体

颗粒直径为 10^{-4} 毫米以上的微粒称为悬浮物，主要有粘土、砂子，还有有机悬浮物，如水藻、植物遗体和细菌等。它们不但不溶于水，而且能使水浑浊。这类杂质在水中是不稳定的，当水静止时，它们可以自行下沉。颗粒大的、比重大的沉得快，有些则需要较长的时间才能沉淀。一般地面水的悬浮物含量较大，洪水时期地面水的悬浮物含量就更大。

颗粒直径为 $10^{-6} \sim 10^{-4}$ 毫米之间的微粒称为胶体，它是许多分子和离子的集合体，具有很大的表面积，在表面上吸附着相同电荷的离子而带电，天然水中的胶体一般带负电荷，它们以稳定的、微小的颗粒存在于水中，并互相排斥。这类杂质主要是硅、铁、铝的化合物和一些有机物。

悬浮物和胶体可采用凝聚、澄清、过滤的方法除去。

二、溶解物质

溶解物质与水分子均匀地混合在一起，其颗粒大小为 10^{-6} 毫米以下，以离子或分子状态存在，溶解物质主要是溶解的盐类和气体。

(一) 呈离子状态的杂质

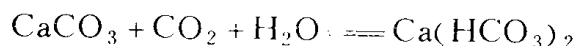
天然水中常见的离子如表1-1所示。

表 1-1 天然水中常见的离子					
阳离子			阴离子		
名 称		符 号	名 称		符 号
钠 离 子		Na^+	重 碳 酸 根		HCO_3^-
钾 离 子		K^+	氯 离 子		Cl^-
钙 离 子		Ca^{2+}	硫 酸 根		SO_4^{2-}
镁 离 子		Mg^{2+}	硝 酸 根		NO_3^-
铁 离 子		Fe^{3+}	碳 酸 根		CO_3^{2-}
铝 离 子		Al^{3+}	硅 酸 氢 根		HSiO_3^-

当天然水被污染时，根据污染水的来源不同，水中除上述离子外，还可能有铵离子 NH_4^+ 、锰离子 Mn^{2+} 、铜离子 Cu^{2+} 、镍离子 Ni^{2+} 等金属离子；硫氢酸根 HS^- 、亚硝酸根 NO_2^- 、磷酸氢根 HPO_4^{2-} 和磷酸二氢根 H_2PO_4^- 等阴离子。下面对几种主要离子作一介绍。

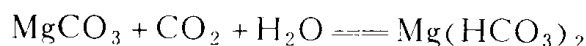
1. 钙离子 在含盐量较少的水中，钙离子的含量常在阳离子中占第一位。天然水中钙离子主要是含有二氧化碳 CO_2 的水对地层中石灰石 CaCO_3 的溶解，生成溶解度很大的重

碳酸钙，反应如下



钙离子的另一个来源是石膏 $\text{CaSO}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$ 直接溶解于水。

2. 镁离子 天然水中镁离子主要是含有二氧化碳 CO_2 的水溶解地层中的白云石 $\text{MgCO}_3 \cdot \text{CaCO}_3$ ，生成溶解度较大的重碳酸镁，反应如下



镁离子的另一个来源是可溶性镁盐直接溶解于水中。在地面水和地下水中，镁离子含量通常比钙离子含量小，但在海水中，镁离子含量比钙离子含量大得多。

3. 钠离子 钠离子的来源是由于水流经地层时溶解了含钠的盐类，它是水中主要阳离子，也是构成水中盐类的主要成分。

4. 重碳酸根 重碳酸根是天然水中主要的阴离子，是由水中二氧化碳和碳酸盐反应后生成的。

5. 氯离子 氯离子是所有天然水中必含的杂质。氯离子的来源是由于水流经地层时溶解了氯化物。随地区不同，水中氯离子含量也不同。海水中含有大量氯化物，这是由于天然水流入海洋，逐渐蒸发积累而形成的。

6. 硫酸根 硫酸根是天然水中常见的杂质，主要是由于地层中石膏的溶解，所以地下水硫酸根一般比地面水硫酸根多。

(二) 溶解气体

天然水中溶解的气体主要有氧 O_2 和二氧化碳 CO_2 ，如水受污染还可能有硫化氢 H_2S 、二氧化硫 SO_2 、氨 NH_3 等气体。

1. 氧 天然水中氧的主要来源是溶解大气中的氧气。大气中的氧在水中的溶解度如图1-1所示。

天然水中氧的含量随外界条件(温度、压力)的不同而差别较大，一般在0~14毫克/升

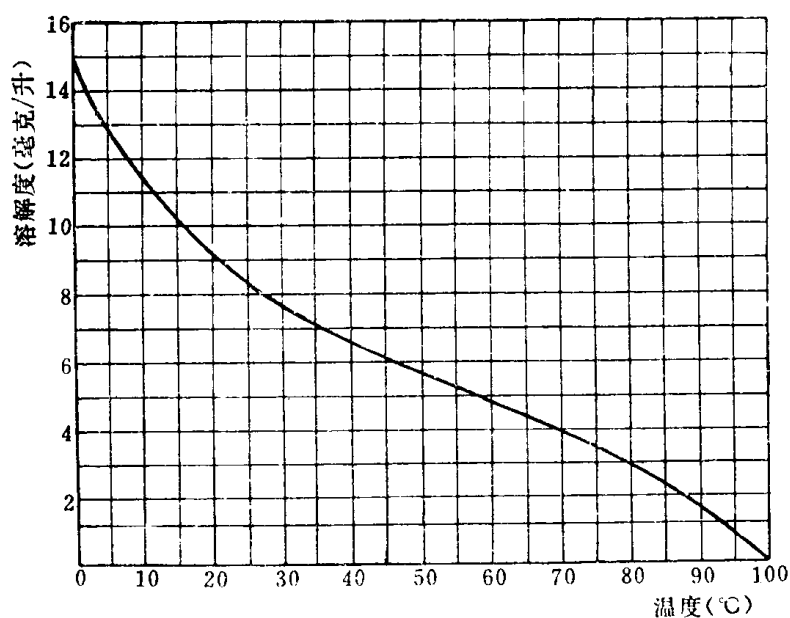


图 1-1 一大气压下氧在水中的溶解度

之间。地下水含氧量比地面水含氧量小。

2. 二氧化碳 天然水中的二氧化碳主要是水中或土壤中有机物分解和氧化的产物，其次是大 气中二氧化碳的溶解。天然水中的二氧化碳含量在几十至几百毫克/升之间，其中地面水中的二氧化碳含量不超过20~30毫克/升，地下水中的二氧化碳含量有时却很高。

第二节 水质指标

表示天然水和电厂内各种水的杂质数量的指标称水质指标，如表1-2所示。

表 1-2 水 质 指 标

项 目	符 号	单 位	项 目	符 号	单 位
全 固 形 物	QG	毫克/升(mg/l或ppm)	硫 酸 根	SO ₄ ²⁻	毫克/升(mg/l或ppm)
悬 浮 固 形 物	XG	毫克/升(mg/l或ppm)	氯 根	Cl ⁻	毫克/升(mg/l或ppm)
溶 解 固 形 物	RG	毫克/升(mg/l或ppm)	硝 酸 根	NO ₃ ⁻	微克/升(μg/l或ppb)
灼烧减少固形物	SG	毫克/升(mg/l或ppm)	二 氧 化 硅	SiO ₂	毫克/升(mg/l或ppm) 微克/升(μg/l或ppb)
电 导 率	DD	微姆欧/厘米(μS/cm或μs/cm)	游 离 二 氧 化 碳	CO ₂	毫克/升(mg/l或ppm)
pH	pH		游 离 氯	Cl ₂	毫克/升(mg/l或ppm)
碱 度	JD	毫克当量/升(me/l或epm) 微克当量/升(μe/l或epb)	化 学 耗 氧 量	COD	毫克/升(mg/l或ppm)
硬 度	YD	毫克当量/升(me/l或epm) 微克当量/升(μe/l或epb)	安 定 性	AX	
钙 离 子	Ca ²⁺	毫克/升(mg/l或ppm)	透 明 度	TD	厘米(cm)
镁 离 子	Mg ²⁺	毫克/升(mg/l或ppm)	浊 度	ZD	毫克/升(mg/l或ppm)
铁 铝 氧 化 物	R ₂ O ₃	毫克/升(mg/l或ppm)	油	Y	毫克/升(mg/l或ppm)
钠 离 子	Na ⁺	微克/升(μg/l或ppb)	铜 离 子	Cu ²⁺	微克/升(μg/l或ppb)

(一) 悬浮物

水中悬浮物的多少通常用透明度或浊度来估计。

测定透明度的方法是 将水样徐徐注入底部装有白磁板并画有“⊕”(线宽1毫米，点的直径1毫米)的圆形玻璃管(直径为30毫米，长为1000~1500毫米)内，从顶部观察，当白磁板上黑点刚刚消失，而“⊕”字尚能看见时，停止注水样，标尺上所示的玻璃管内水样的高度(厘米)，即为水样的透明度。

浊度是由于水中含有悬浮物和胶体物质而造成的。这些物质可使入射光发生反射和散射。水样浊度越大，反射光和散射光越强，透射光就越弱；反之，水样浊度越小，透射光越强，反射光和散射光就越弱。根据透射光和反射光、散射光的强度的变化，确定水样浊度的大小。

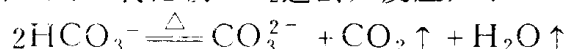
(二) 含盐量

水中各种盐类均以离子的形式存在，所以水中各种阴、阳离子的总和称为含盐量。

不同地区的水，由于来源不同，含盐量大小也不一样。含盐量的表示方法有两种：一种是以毫克当量/升表示，将水中全部阴、阳离子的毫克当量/升的数值相加；另一种是将各种阴、阳离子的含量换算成毫克/升，然后相加。

水中含盐量的大小，通常用溶解固形物的含量来表示。将一定体积的过滤水样蒸干，其残渣在105~110℃下干燥至恒重即得溶解固形物，单位以毫克/升表示。溶解固形物的含

量和含盐量不完全相等，因为水中的杂质在蒸发过程中会发生某些化学变化，如重碳酸根 HCO_3^- 在蒸发过程中会生成二氧化碳 CO_2 逸出，反应如下



重碳酸根的损失量约为 50% $\left(\frac{\text{CO}_2 + \text{H}_2\text{O}}{2\text{HCO}_3^-} = \frac{62}{122} \approx \frac{1}{2} \right)$ 。因此用溶解固形物来表示含盐量时应进行校正。

$$\text{含盐量} = \text{溶解固形物} + \frac{1}{2} \text{HCO}_3^- \quad \text{毫克/升} \quad (1-1)$$

水中含盐量的大小，也可用导电率大小来表示。因为水中的阴、阳离子具有导电能力，所以水的电导率越大，则含盐量越大，水质也越差。电导率的单位为微姆欧/厘米。

根据水中含盐量的大小，可将水分为四类：

- (1) 低含盐量水，含盐量在 200 毫克/升以下；
- (2) 中等含盐量水，含盐量在 200 ~ 500 毫克/升；
- (3) 较高含盐量水，含盐量在 500 ~ 1000 毫克/升；
- (4) 高含盐量水，含盐量在 1000 毫克/升以上。

(三) 碱度

碱度是指水中含有能和强酸作用的碱性物质的总量，亦即能和氢离子 H^+ 相化合的物质总量。水的碱度主要由氢氧根 OH^- 、碳酸根 CO_3^{2-} 、重碳酸根 HCO_3^- 组成，在炉水中还有磷酸根 PO_4^{3-} 、硅酸根 SiO_3^{2-} 。天然水的碱度主要是重碳酸根 HCO_3^- 。

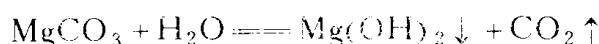
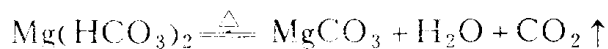
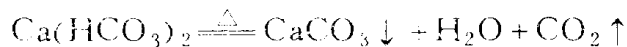
测定碱度时，选用适当的指示剂，用一定浓度的硫酸 H_2SO_4 或盐酸 HCl 的标准溶液进行滴定。当用酚酞作指示剂时，测得的碱度为酚酞碱度，它是总碱度的一部分；当用甲基橙作指示剂时，测得的碱度为甲基橙碱度，即总碱度。

碱度的单位，一般用毫克当量/升表示，有时也用德国度 ($^\circ\text{G}$) 表示。它们之间的换算关系为 1 毫克当量/升 = 2.8°G ； $1^\circ\text{G} = 0.357$ 毫克当量/升。

(四) 硬度

水中的金属离子，除碱金属外，都能构成硬度，但天然水中的硬度习惯上是指钙镁离子的含量。其单位以毫克当量/升表示，也可用德国度 ($^\circ\text{G}$) 表示。硬度分为碳酸盐硬度和非碳酸盐硬度两种。

1. 碳酸盐硬度 ($\text{YD})_{\text{H}}$ 它是指水中钙镁的重碳酸盐，当水煮沸时，发生如下反应



从以上反应式看出，钙、镁的重碳酸盐在加热时都能转变成沉淀物，所以重碳酸盐硬度又称暂时硬度。

2. 非碳酸盐硬度 ($\text{YD})_{\text{K}}$ 它主要是指水中钙和镁的硫酸盐、硝酸盐和氯化物等形成的硬度，水煮沸时不会析出，故又称永久硬度。

3. 总硬度 碳酸盐硬度和非碳酸盐硬度之和叫做总硬度。

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;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、钠的重碳酸盐,称为负硬度。

天然水按总硬度可分为:

- (1) 极软水,硬度在1.0毫克当量/升以下;
- (2) 软水,硬度在1.0~3.0毫克当量/升;
- (3) 中等硬度水,硬度在3.0~6.0毫克当量/升;
- (4) 硬水,硬度在6.0~9.0毫克当量/升;
- (5) 极硬水,硬度在9.0毫克当量/升以上。

(五) 酸度

酸度是指水中能和强碱起中和作用的酸性物质的总量。这些物质归纳起来有以下三类。

- (1) 能全部电离出氢离子的强酸,如盐酸 HCl 、硫酸 H_2SO_4 、硝酸 HNO_3 等;
- (2) 强酸弱碱所组成的盐,如三氯化铁 FeCl_3 等;
- (3) 弱酸,如碳酸 H_2CO_3 、氢硫酸 H_2S 、腐植酸等。

酸度是用强碱标准溶液来滴定的,滴定用甲基橙作指示剂时,所测得的酸度是(1)、(2)两类酸度,即强酸酸度;滴定用酚酞作指示剂时,所得的是总酸度。

天然水中一般只含有游离二氧化碳所形成的碳酸,没有强酸酸度,水处理过程进行到某一阶段(阳床出水)时,会出现强酸酸度。酸度单位以毫克当量/升表示。

(六) pH值

水溶液的酸碱性一般用pH值来表示, pH是氢离子浓度的负对数。

$$\text{pH} = -\log [\text{H}^+] = \log \frac{1}{[\text{H}^+]} \quad (1-2)$$

pH = 7 时,水溶液为中性; pH < 7 时,水溶液为酸性; pH > 7 时,水溶液为碱性。

天然水的pH值一般为6.8~8.5之间,在热力发电厂中,各种水质的pH值是重要控制指标之一。

(七) 耗氧量

耗氧量是指水中可被高锰酸钾氧化的有机物的含量。当水中含有还原性物质(亚硝酸盐、二价铁盐、硫化氢等)时,还原性物质也和高锰酸钾起作用,因此确定有机物的耗氧量时,应减去还原性物质所消耗的高锰酸钾量。

第二章 炉外水处理系统

天然水中含有很多杂质，这样的水必须经过一系列处理（除去其对机炉安全运行有害的杂质），才能作为锅炉的补给水。习惯上，将混凝、沉淀、澄清称为预处理。经过预处理的水，再进行软化或除盐，方可作锅炉的补给水。

第一节 水的预处理

一、混凝处理

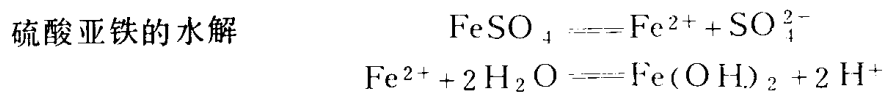
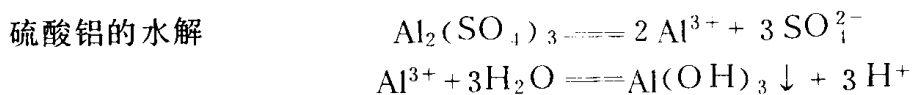
含有悬浮物、有机物和胶体的天然水直接进入交换器，则会污染离子交换剂，降低离子交换剂的工作交换容量；在交换器中不能除去的杂质，如铁铝的胶体化合物，随水带入锅炉，会引起蒸汽质量恶化和热力设备的结垢、腐蚀。因此，在水处理过程中，必须首先采用混凝处理，将这些杂质除去。

（一）混凝处理的原理

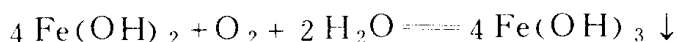
天然水中的胶体颗粒通常带有负电荷，它们互相排斥，彼此不能集聚成较大的颗粒，因此胶体处于悬浮的稳定状态。当向水中加入适当数量的混凝剂时，并在一定的 pH 值条件下，混凝剂发生水解生成带正电荷的胶体。这就与原水中带负电荷的胶体发生电中和，破坏了水中胶体颗粒的稳定性，共聚成较大的网状颗粒，包裹着悬浮物和一些水分，增加了颗粒重量，加快了沉降速度。

常用的混凝剂有：硫酸铝 $\text{Al}_2(\text{SO}_4)_3 \cdot 18\text{H}_2\text{O}$ 、硫酸铁 $\text{Fe}_2(\text{SO}_4)_3$ 和硫酸亚铁 $\text{FeSO}_4 \cdot 7\text{H}_2\text{O}$ 等。

混凝剂在水中的水解过程如下：

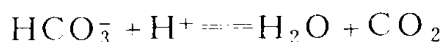


氢氧化亚铁在水中溶解度较大，只有在水的 $\text{pH} > 8$ 和水中含有氧时，才能生成溶解度小的氢氧化铁 $\text{Fe}(\text{OH})_3$ ，反应如下



所以，用硫酸亚铁 FeSO_4 作混凝剂时，应配合石灰处理，以提高水的 pH 值。

在进行混凝处理时，混凝剂水解所产生的 H^+ ，能中和水中的碱度（中和的量与所加混凝剂的当量数相等），反应如下



所以，运行中可根据水的碱度的降低，来调整混凝剂的加入量。

(二) 影响混凝处理的主要因素

1. pH 值 天然水中加入混凝剂后, 水的 pH 值稍有降低, 因常用的混凝剂是强酸弱碱的盐类, 它的水解会增加水的酸性。对混凝效果有影响的主要是加药后水的 pH 值 (以下所说 pH 值, 都是指加药后水的 pH 值)。

用铝盐作混凝剂时, 水解产生的氢氧化铝是两性的, $\text{pH} < 5.5$ 时, 它会溶于水中; $\text{pH} > 8.2$ 时, 它显酸性, 生成溶于水的偏铝酸盐。所以, 最适宜的 pH 值在 $5.5 \sim 8.2$ 之间, 此时水解生成带正电荷的氢氧化铝胶体。

用硫酸亚铁作混凝剂时, 水的 pH 值在 $8 \sim 10$ 时效果最好, 如水的 pH 值过低或过高, 氢氧化铁也会溶解。

2. 混凝剂的加入量 混凝剂的加入量应根据水质试验确定。采用硫酸铝 $\text{Al}_2(\text{SO}_4)_3 \cdot 18\text{H}_2\text{O}$ 时, 加药量一般为 $0.2 \sim 1.0$ 毫克当量/升, 相当于 $20 \sim 100$ 毫克/升; 采用硫酸亚铁 $\text{FeSO}_4 \cdot 7\text{H}_2\text{O}$ 时, 加药量一般为 $0.1 \sim 0.5$ 毫克当量/升, 相当于 $14 \sim 70$ 毫克/升。

悬浮物愈多, 混凝剂用量愈大, 有时悬浮物含量虽较少, 但因有机物较多或色度较大, 混凝剂用量也应相应多些。

3. 混凝剂与水的混合 水与混凝剂应均匀混合, 这样反应就较完全。在刚加入混凝剂时, 必须快速搅拌, 因混凝剂在水中的水解和形成胶体的速度很快, 快速搅拌可生成大量小颗粒的氢氧化铝胶体, 并能与水混合均匀, 及时地和水中杂质起作用。水和混凝剂混合之后, 形成絮团并长大, 这时, 搅拌的速度不宜过快, 否则絮团不易长大, 甚至会打碎已形成的絮团。所以搅拌速度要求由快转慢。

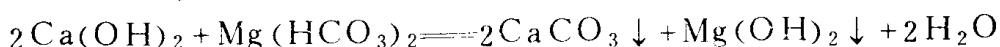
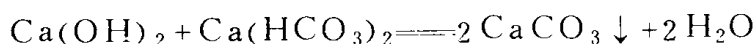
4. 温度 水的温度直接影响混凝剂的水解过程, 形成絮团的速度和性质。水温低于 $5 \sim 10^\circ\text{C}$ 时, 水解速度较慢, 产生的絮团含水量大, 沉降速度较慢; 水温在 $25 \sim 40^\circ\text{C}$ 时, 水解速度较快, 形成紧密的较重的絮状物也快, 容易沉淀, 混凝效果比较好。

二、石灰处理

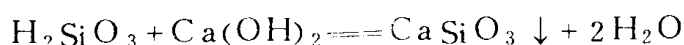
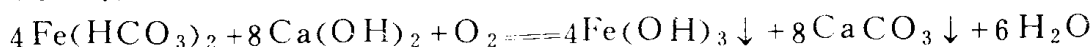
石灰处理是将水中钙、镁重碳酸盐转变成难溶化合物沉淀出来, 达到降低水中硬度的目的。它适用于碳酸盐硬度较高和非碳酸盐硬度较低的水, 作为离子交换处理前的预处理。

(一) 石灰处理的原理

石灰处理是向水中加入氢氧化钙 $\text{Ca}(\text{OH})_2$ 或氧化钙 CaO (粉末状), 它们能与水中的二氧化碳 CO_2 、重碳酸钙 $\text{Ca}(\text{HCO}_3)_2$ 和重碳酸镁 $\text{Mg}(\text{HCO}_3)_2$ 产生下列反应



石灰处理时, 还发生下列反应



因此, 石灰处理时还可以除掉部分铁和硅的化合物。

至于水中的非碳酸盐硬度, 用石灰处理是不能消除的, 如下列反应



仅把镁硬转变成等当量的钙硬。

由上可知，石灰处理可消除水中的二氧化碳和钙、镁的重碳酸盐，使水中的硬度和碱度降低。在热力发电厂中采用石灰处理主要是降低水中的二氧化碳和碱度。

（二）影响石灰处理的主要因素

1. 原水水质 原水暂硬越小，则形成的碳酸钙 CaCO_3 越少，沉淀过程就进行得越慢。原水含有有机物、粘土和硅酸等胶体化合物，会阻碍碳酸钙 CaCO_3 沉淀的生成，这样就大大地降低结晶过程的速度，对石灰处理不利。因此，在采用石灰处理的同时，必须采用混凝处理，以提高石灰处理的效果。

2. 温度 提高水的温度可加快生成碳酸钙 CaCO_3 的结晶速度，同时也可加快沉降速度，使出水残留的碳酸盐硬度降低，提高出水质量。一般将水的温度提高至 40°C 为宜，因水温过高，对以后的离子交换剂不利。

3. 石灰用量 石灰加入量应根据具体情况而定。一般当需要除二氧化硅 SiO_2 时，石灰用量维持在出水氢氧根 OH^- 过剩量在 $0.05 \sim 0.20$ 毫克当量/升，出水 $\text{pH} = 9.6 \sim 10.4$ ，称为氢氧根规范的石灰处理。如只要降低水的碱度，石灰用量维持在出水重碳酸根 HCO_3^- 的残留量在 $0.05 \sim 0.2$ 毫克当量/升，其余为碳酸根 CO_3^{2-} ，出水 $\text{pH} = 9.5$ ，称为重碳酸盐规范的石灰处理。

三、镁剂除硅处理

天然水中的硅化合物含量在几至几十毫克/升之间，常以胶体或分子状态存在，只有当 $\text{pH} > 10$ 以上时，才能转成真溶液。硅化合物在高压锅炉中，易形成铝、铁和钙的盐类，沉积在热负荷高的水冷壁受热面上形成水垢。分子状态的二氧化硅 SiO_2 又易溶解在高压蒸汽中，随蒸汽进入汽轮机内，沉积在叶片上，形成坚硬的水垢，使汽轮机的出力降低，且机炉参数越高，硅在蒸汽中溶解度越大，危害性也就越大，因此必须对水进行除硅。

（一）镁剂除硅的原理

同时用石灰和混凝处理时，水中的硅化物可降至 $3 \sim 5$ 毫克/升，如同时向水中投加氧化镁 MgO ，就会生成氢氧化镁 Mg(OH)_2 沉淀，达到一定数量时，则可使硅化合物降至 1 毫克/升左右。

镁剂除硅的原理，一般认为氢氧化镁 Mg(OH)_2 的颗粒表面能吸附水中大部分硅化合物，然后渐渐变成难溶的硅酸镁；还有一些是由于胶态硅化合物在混凝过程中生成难溶的硅酸钙而被除掉的。

也有人认为，当氧化镁 MgO 加入水中后，由于水解和聚合的结果形成带有反离子氢氧根 OH^- 的正电荷胶粒。则此处的氢氧根 OH^- 与水中重硅酸根 HSiO_3^- 发生离子交换，从而使硅化物随氢氧化镁颗粒沉淀出来。

常用的镁剂有菱苦土 MgO 和白云灰 $\text{MgO} \cdot \text{CaO}$ 。

（二）影响镁剂除硅的主要因素

镁剂除硅与氧化镁的用量、混凝剂用量、石灰用量、水的温度、水与悬浮沉渣接触时间以及沉渣的特性等有关。氧化镁的用量为每除去 1 份硅酸根 SiO_3^{2-} 需用 $5 \sim 20$ 份氧化镁

MgO。适当的混凝剂用量可以改善沉淀过程和提高除硅效果。加入石灰的目的是提高水的pH值，pH值在10.1~10.3为最好，此时氢氧化镁 $Mg(OH)_2$ 沉淀较多，硅化合物以溶于水的重硅酸根 $HSiO_3^-$ 存在，易被氢氧化镁 $Mg(OH)_2$ 沉淀吸附。温度是保证除硅效果的重要因素，一般维持在 $40 \pm 1^\circ C$ ，接触时间一般为1小时。如原水中的有机物较多时，会阻碍沉淀物的结晶，不利于水的除硅，可适当增加混凝剂的用量。

经过混凝、石灰、镁剂除硅处理后，水中碳酸盐硬度残留量为0.7~1.0毫克当量/升；硅酸残留量为1~1.5毫克/升；铁的残留量为0.1毫克/升；有机物可除去60~80%；出水悬浮物一般可降至10毫克/升以下；出水pH $\approx$ 10.1~10.3。

四、澄清设备

前面所讲的混凝、石灰和镁剂除硅处理都是在澄清设备内完成的。目前常用的澄清设备有：澄清器、机械搅拌加速澄清池和水力循环加速澄清池等。

1. 澄清器 澄清器在运行中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。下面简述它的结构和原理。

澄清器的主体是用钢板焊成的圆筒，筒内设有喷嘴、水平隔板、垂直隔板、排泥系统和泥渣浓缩器等，筒外装有空气分离器，结构如图2-1。

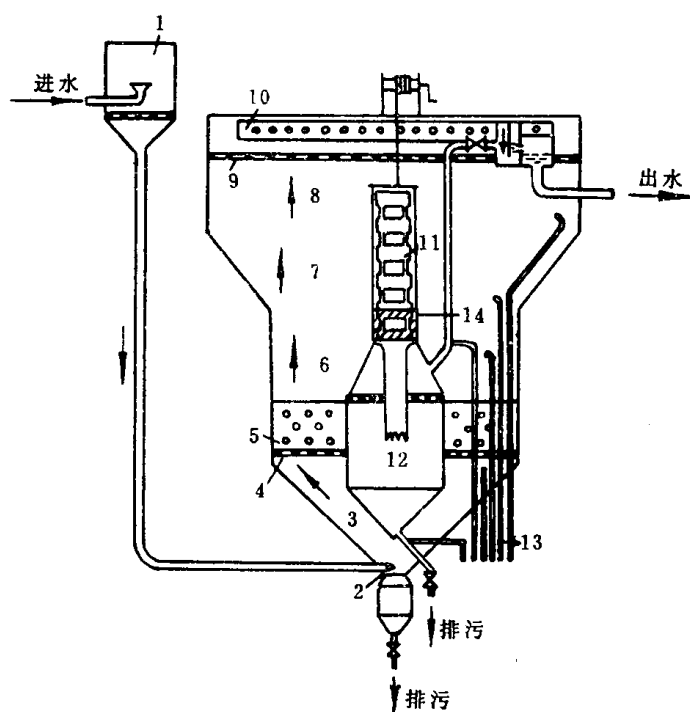


图 2-1 澄清器

- 1—空气分离器；2—喷嘴；3—混合区；4—水平隔板；5—垂直隔板；
6—反应区；7—过渡区；8—出水区；9—水栅；10—集水槽；
11—排泥系统；12—泥渣浓缩器；13—采样管；14—可动罩子

现按水在澄清器中的流程，说明各部件的作用。水首先进入空气分离器1，在这里由于水的流速变慢和流动方向的改变，水中的空气向上浮去并逸出。除去空气的水，通过喷嘴2喷入澄清器下部的混合区3。喷嘴是沿澄清器壁设置的，故喷射方向和器壁成切线，