

中低压鍋炉的水处理

凝聚、沉淀和过滤

水利电力部技术改进局编

水利电力出版社

內 容 提 要

本書介紹中低壓鍋爐爐外水處理常用的方法：凝聚法、沉淀法和過濾法，分別敘述了每種方法的應用範圍和作用，運行、調整和控制的方法，以及提高效率的途徑。書中結合我國情況介紹了蘇聯的先進經驗。本書可供中低壓鍋爐的工作人員和水處理工作人員閱讀。



中低壓鍋爐的水處理

凝聚、沉淀和過濾

水利電力部技術改進局編

*

2030R441

水利電力出版社出版（北京西郊科學路二里溝）

北京市書刊出版業營業許可證出字第105號

水利電力出版社印刷廠排印 新華書店發行

*

787×1092 $\frac{1}{32}$ 開本 * 2 $\frac{1}{4}$ 印張 * 50千字

1959年4月北京第1版

1959年4月北京第1次印刷(0001—4,090冊)

統一書號：15143·1615 定價(第9類)0.25元

目 录

一、水的凝聚	2
1. 凝聚的作用	2
2. 影响凝聚效果的主要因素	2
3. 直流式水处理设备上的凝聚过程	6
4. 直流式净水系统中凝聚部分的运行	8
5. 凝聚剂有效剂量的测定(以硫酸亚铁为例)	14
二、炉外处理——沉淀法	16
1. 沉淀法的应用范围	16
2. 沉淀设备强力工作的方法	19
3. 沉淀设备的运行和控制	24
4. 影响沉淀器效率的主要因素	38
5. 沉淀器构造上和运行上的改进	40
6. 沉淀器的主要型式及其附属设备	46
三、水的过滤	53
1. 过滤的作用	53
2. 影响过滤效率的主要因素	54
3. 过滤器的调整	59
4. 机械过滤器中过滤材料的特性	60
5. 过滤器运行中的控制	67
6. 双流式压力机械过滤器	67

一、水的凝聚

1. 凝聚的作用

凝聚处理可以除去水中的胶状物、悬浮物以及有机物。凝聚剂的作用，是由于它水解后能生成带有阳电荷的胶溶体，而天然水中的胶溶物质，一般带有阴电荷(藻菌类、矽酸等)，于是两种胶体颗粒便进行中和，凝聚成为絮状颗粒。

通常采用的凝聚剂，有硫酸铝、硫酸铁及硫酸亚铁。

中小容量锅炉的水处理，在悬浮物含量不高时，可不必进行凝聚，可用过滤器来去除悬浮物，还可以利用阳离子交换剂上层来去除悬浮物。

凝聚过程进行得不能令人满意的后果是：阳离子交换剂的吸收容量降低和铝或铁的离子进入炉内，引起复杂水垢的生成以及产生其他一系列复杂的情况。

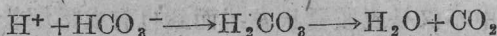
2. 影响凝聚效果的主要因素

(1) 氢离子浓度

将氢离子浓度保持为适当数值，是保证凝聚过程最有效的基本条件。

硫酸铝的水解，与氢离子浓度的关系很大，当 $\text{pH} > 8.2$ 时氢氧化铝颗粒带阴电荷， $\text{pH} < 8.2$ 时氢氧化铝颗粒带阳电荷。假如 pH 再升高，则不带电荷的氢氧化铝还要再与氢氧根化合成一种复合物 $\text{Al}(\text{OH})_4^-$ 。所以，在较高的 pH 溶液中，不会形成雪絮状的氢氧化铝，凝聚过程不会令人满意。为了保

証硫酸鋁得以充分水解，還需有足夠數量的陰離子；因為當硫酸鋁水解時形成氫離子，其濃度提高後，平衡被破壞而轉為氫氧化物。在天然水中，陰離子大多是重碳酸鹽離子，它和氫離子結合在一起，並且會降低水的鹼度：



鹼度每降低 1 毫克當量/立升，相當於注入 57 毫克/立升 $\text{Al}_2(\text{CO}_3)_3$ 。在運行條件中，這一點可用來控制凝聚劑的劑量〔1 度相當於 20.4 毫克/立升 $\text{Al}_2(\text{SO}_4)_3$ 〕。

在水中鹼度較低、不足以維持凝聚所需的 pH 範圍時，可用苛性鈉或蘇打來鹼化水，在直流式凝聚-陽離子交換軟化設備中，應維持最低鹼度不低於 0.71 毫克當量/立升（約為 2 德國度）。

由於氫氧化鋁是二性化合物，它在適當條件下能呈酸性，也能呈鹼性；那末，在 pH 值較高時（8.5 以上，這是用鹼化法達到的），氫氧化鋁可能溶解，所以在混有石灰處理的系統中，最好是利用綠礬（硫酸鐵）作為凝聚劑。

（2）接觸時間

在水溫低時，水進行機械過濾以前，水解過程所需的時間是個主要條件。

直流式凝聚陽離子交換設備中，這一階段的長短，決定於計量縮孔至過濾器這一段的距離，一般 6~8 公尺是不夠長的，很難保證凝聚過程各階段的完成。

凝聚-陽離子交換軟化設備在運行時，凝聚過程的完全與否是很重要的，控制得當，可以減少氫氧化鋁或鐵帶進陽離子交換劑，以免降低陽離子交換器的吸收容量。

凝聚過程的效果，一般都是根據水的耗氧量的降低來估計，用占原水中耗氧量的百分數來表示。這時所用的最終值是

阳离子交换过的水的耗氧量。

这种控制方法(它十分简单),对于凝聚过程是否完全,不能作全面和正确的估计。因为水的耗氧量的降低,不仅决定于凝聚效果,而且也决定于原水中有机物的成分。大家都知道:有机物在水中不仅是成胶质状态,而且也有成溶解状态的。根据水的耗氧量降低来控制凝聚过程,是不能对水处理某一阶段完成的程度作出结论的。而这一点对水处理设备的运行,是十分重要的。经验证明,凝聚过程一般都不是在机械过滤器内结束,而要移到阳离子过滤器中去,因而使阳离子过滤器污秽。

从澄清水和阳离子软化过的水的耗氧量的差别数,可以表明机械过滤器中凝聚过程的完成情况。

根据Г.И. 苏多茨基工程师所建议的凝聚过程完全程度的系数,来控制直流式凝聚阳离子交换设备内的凝聚,是更适宜的。

这一系数按下式确定:

$$K_r = \frac{O_{CB} - O_{OB}}{O_{CB} - O_{KB}}$$

式中 K_r ——凝聚过程完全程度的系数;

O_{CB} , O_{OB} 和 O_{KB} ——生水、澄清水和阳离子软化过的水的耗氧量。

当 $O_{OB} = O_{KB}$ 时,即是凝聚完全在机械过滤器内完成时,此系数为 1。

依据凝聚过程完全程度的系数和耗氧量降低百分数,分别来估计凝聚过程,往往是不相符合的。当耗氧量降低百分数较少时,而设备的凝聚过程完全程度的系数是令人满意的。这两种指标相互补充,便可对凝聚过程作出较正确的估计和控制。

凝聚过程完全程度的系数决定于生水耗氧量的多少。在苏

联经常进行凝聚的冶金企业用的直流式水处理，其完全程度的系数一般为0.9。

(3) 温度

温度降低，除了会迟缓水解过程外，还对形成的絮团特性及其形成速度有影响。温度低时，产生含有大量水分、沉淀很慢的氢氧化铝的絮团。提高温度，便能促使水中悬浮物等易于形成紧密、较重的、有结晶结构的絮团，这种絮团是较易沉淀的。

低温时，絮团形成的速度要大大降低。图1是按B.A. 斯闊宾采夫和M.T. 格魯別娃所繪的图复制的，其中表明碱度1.07毫克当量/立升(30°)和3.06毫克当量/立升的水凝聚时，温度对絮团的形成速度的影响。由这一图中可以得出结论：温度对碱度不大的软水的影响特别大。

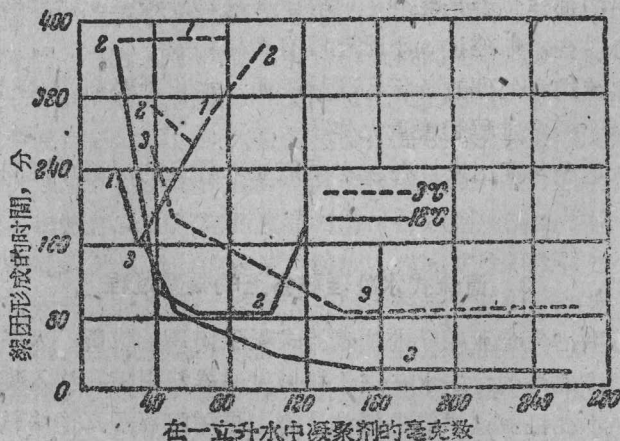


图1 水温对凝聚过程的影响

1—水碱度0.60毫克当量/立升(1.68°); 2—1.10毫克当量/立升(3.09°);
3—3.06毫克当量/立升(8.62°)。

Φ.И. 別兰認為絮团形成速度的降低，是絮团氫氧化鋁形成过程速度降低的結果。但是，根据 O.И. 馬尔台諾娃(莫斯科动力学院)的資料，水温低于 $5\sim 10^{\circ}\text{C}$ 时，除上述現象外，水解速度也要大大降低。

因此，应当把水温提高至 $35\sim 40^{\circ}\text{C}$ 視為一項大大改善凝聚过程的措施。在冶金企业內，最好是利用馬丁車間的热水和它供水系統的排水来供水处理設備之用，是合理的。

(4) 水和試剂的混合

将水和試剂混合，是改善凝聚过程的主要因素之一。这样在低温时可以大大縮短時間(縮短 $\frac{14}{15}$ 至 $\frac{24}{25}$ 的時間)。碱度低的軟水凝聚时，混合的效果更为显著。例如，碱度0.6毫克当量/立升(1.7°)的水凝聚时，如B.A. 斯闊宾采夫和 M.A. 格魯別娃所指出的那样：若是混合，則經過 $11\sim 20$ 分鐘便开始絮結；如果沒有混合，則經過6小时还没有絮結現象。

直流式水处理設備运行經驗表明：水和凝聚剂混合的良好，对于凝聚过程起着重大作用。

从这个角度出发，在生水泵前注入凝聚剂，毫无疑问是优越的。

3. 直流式水处理設備上的凝聚过程

苏联冶金企业电厂內的直流式凝聚阳离子設備，大多是按标准型式建造的：生水在进入机械过滤器前用縮孔注入凝聚剂溶液。水在机械过滤器中經過澄清，再用阳离子交换法軟化。大多数冶金企业的中小容量鍋炉，在水处理設備上沒有凝聚，只是在洪水期才用它。

在使用石灰預先处理时(綜合法)，进行凝聚的目的是改善

水在沉淀器內的澄清。在某些石灰阳离子設備中，这种改善沉淀器运行的方法，是相当有效的。

在某一台水处理設備上暂时停用凝聚，甚至在沉淀器負荷低于額定負荷时，也使水的透明度由40公分降到6公分（根据鉛字法）。若加入凝聚剂，甚至在沉淀器过負荷时，也使水的澄清程度令人滿意。

苏联某热电厂石灰阳离子处理設備长期运行的經驗也証明，用凝聚来改善石灰处理过的水的澄清程度是合适的。

在有石灰預先处理的系統中，大多是用綠矾作凝聚剂。

直流式水处理設備，在运行中存在如下的困难問題。

(1) 葯剂的剂量問題

运行經驗表明，直流式水处理設備中进行凝聚的最大困难，是葯剂注入方面的問題。計量器本身，尤其是和凝聚剂的酸性溶液接触的管路和截門都要腐蝕。在許多設備上，由于这种情况而不得不用橡皮管，管上有作截流截門用的螺旋夹。用縮孔計量器作試剂的准确注入，是不可能的。因此，注入量的确定和調整是用針狀閥，注入量的控制，是根据处理水的碱度降低的情况来进行的。即使有針狀閥的校准曲綫，也不能将試剂注入量的調整作得很均匀而沒有波动，并达到所需的准确程度。

縮孔式計量器內的凝聚剂溶液，或多或少都要被进入計量器內的水大大地冲淡。这在計量器內溶液将尽时更为明显。当凝聚剂溶液的温度高于水温时，溶液和水的混合会加强起来。若經常不进行分析，便不能确定計量器运行最后所送出溶液的濃度。若是这样作，便使控制复杂化起来。专作这项用的水——溶液界綫处的浮标（装在水位指示玻璃上），一般都不动作。

在这种条件下，为了保持凝聚剂的注入量为規定数量，进行这一过程的操作是十分困难的。

(2) 水和凝聚剂的混合問題

系統地进行直流凝聚的水处理设备运行所要遇到的第二个問題，便是水和凝聚剂溶液混合的不够好。

在标准的直流式水处理设备系統中，水和药剂是在进入机械过滤器的生水管道中混合的。所以，縮孔至过滤器的距离愈长，也就能混合得愈好。

直流式设备中的生水，一般是利用从連續排污膨胀器的排污到热交换器来进行加热的，实际上这个热源太少，因为要使水加热到 $35 \sim 40^{\circ}\text{C}$ ，仅用排污水的热是不够的。

苏联有一个淨水设备就存在这些缺点，使得机械滤器經常出渾水，使得一些未完成凝聚过程的产物帶入鍋炉，加重了結垢現象，最后就由于炉內鋁矽酸盐垢沉积物的增加而使鍋炉水冷壁管发生事故。

苏联的另一电厂也是采用直流式设备，炉內生成坚硬的矽酸鋁垢，周期性地引起爆管事故，电厂根据这一情况，对受热系統的內表面进行了詳細的檢查，并在每次停炉时都有重点地檢查鍋炉个别元件。

这种預防性的观察和监督鍋炉受热內表面的方法，使得电厂降低和消除了沸騰管和水冷壁管結垢所引起的事故，但仍然发生結矽酸盐垢的現象。通过詳細地調查电厂水处理运行方式，得出一个結論，即炉內生成的矽酸鋁垢是几乎不含有碱土阳离子的(Ca^{+2} 和 Mg^{+2})，春秋季节垢內的矽酸含量就会增加，此时期內由于凝聚设备运行不良而使給水含鋁量加大，所以，該厂炉內生垢的最終原因是凝聚过程不良所致。

4. 直流式淨水系統中凝聚部分的运行

(1) 设备及系統

为了改善凝聚时的温度，有很多时候是在压力式混合加热器(图2)中进行生水补充预热的，这个加热器运用起来很安全，也能应付快速加热的需要。

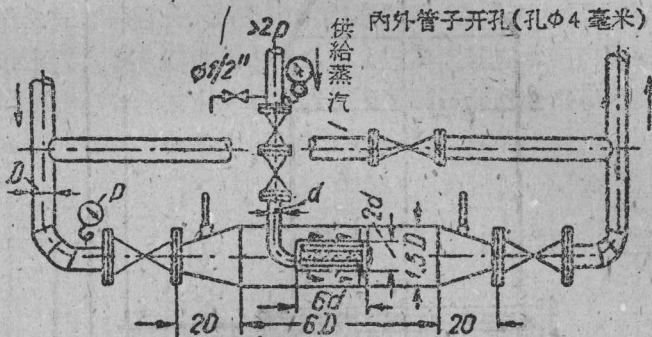


图2 压力式混合型加热器

乌克兰电业局所属一个机构中有一位工程师叫伏·恩·馬紡諾夫斯基，他建議采用另一套立式的混合加热器(图3)。在本体1管子中插入套筒4，蒸汽从联箱3通过喷嘴5进入套筒，为了使套筒安装方便，本体是用法兰盘接起来的，套筒是先在部位2处相互焊起来，然后成套地嵌入本体1，并焊在本体上。

图3的加热器可以预热80~100吨/小时的水，水温升高30~35°C；运行中經驗証明效果很好，无声而且安全。

混合式压力加热器可以装在生水泵之前，也可以装在生水泵之后，如果装在生水泵之前，那么加热器与泵的距离不应小于8~10米。

烏拉尔电业局所属一个机构在調整淨水設備运行方面，創造并采取了一些措施，这些措施显著地改善了直流式淨水系統的凝聚部分。

既然炉內发生結垢，首先便需提高加药准确性，同时改善

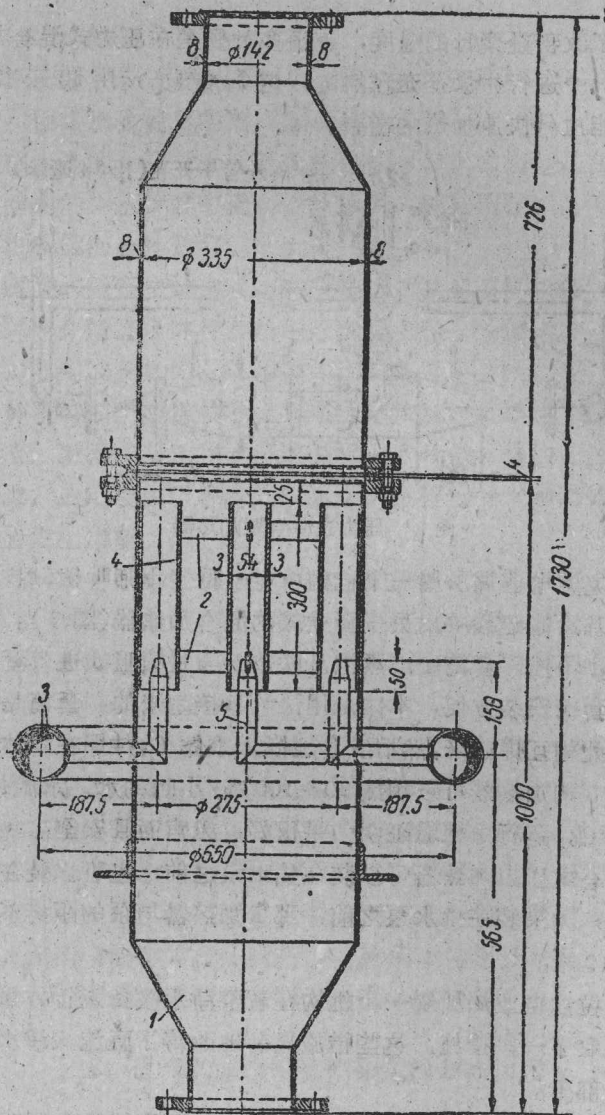


图3 烏克蘭冶金动力混合型结构的直立式加热器

藥劑同水的攪拌。根据哥·波·苏多斯基建議，采用了露天式加藥系統，藥是加在生水泵之前。最初时期是用槽子上的龙头調節加藥，龙头的高度根据泵前回水量的大小来决定。后来装上了更加完善的設備，如图4的系統所示。生水进入配水器6，主要的水流从配水器进入中間水箱4，蒸汽就在水箱內通过噴咀把水預热，有一股水从配水器出来后就流向凝聚剂和苛性鈉或碳酸鈉的虹吸剂量器1，藥劑是在泵前加入。

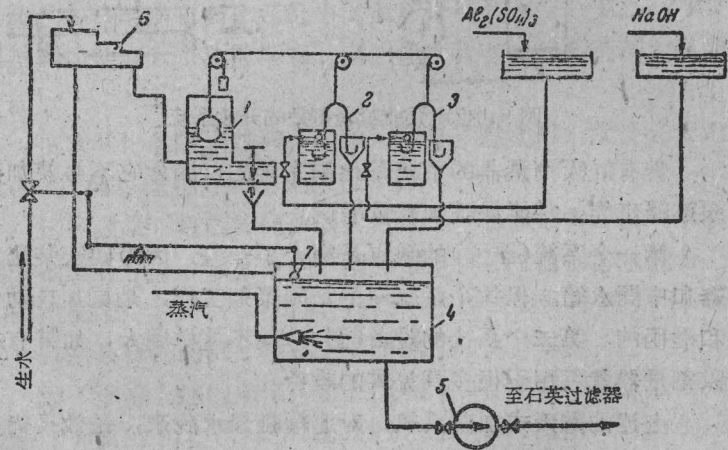


图4 生水泵前带有中間水箱和虹吸剂量器的凝聚剂剂量开放系統

1—虹吸剂量器；2—凝聚剂剂量；3—碱剂量；4—能停留10分鐘的中間水箱；5—生水泵；6—水分配器；7—浮漂型水位調整器。

有一个淨水室采用了型式有些不同的露天式加藥系統（图5）。凝聚剂的溶液是先在槽1內配好，沉淀后送入垫圈式剂量器2。溶解槽可以做为存放凝聚剂配好溶液的容器。泵3就从剂量器处把藥溶液連續打入固定水箱4，龙头就从槽4把藥加入生水泵之前的管道5，过剩的溶液又从固定水箱进入槽1或垫圈剂量器2。

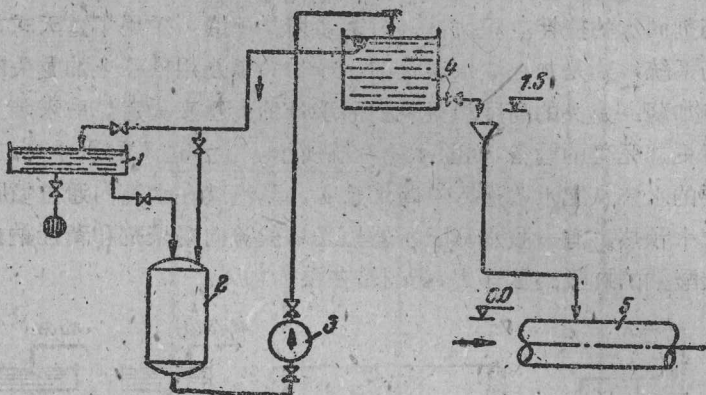


图5 生水泵前凝聚剂量的开放系统

带有虹吸剂量器的系统是比較完善的，因为它不必使加药泵連續工作，并能保証加药量准确。

第一个系統(图4)的缺点是龐大了一些，因为要安装配水器和中間水箱。但这个系統中的加凝聚剂工作，是更加自动化和准确的。第二个系統的设备(图5)就不这样龐大，如带有虹吸剂量器就可用于很多直流式的设备。

上述的露天式加药系統，对連續凝聚水說来，是效果优良和合理的，担心泵本身及泵入口管腐蝕而引起故障，是沒有根据的。事实証明：这些系統运行4~6年，管子和泵的金屬并没損坏。

这些系統的主要优点是：它們能很准确地加药和监督，并能使水和凝聚剂得到很好的攪拌。

阳离子交换过的水和給水的鋁含量很小，就表明凝聚过程的效果很好。

給水鋁含量的降低，就大大地降低了炉水的含鋁量，这对防止結成鋁矽酸盐垢說来，是有决定性影响的。

(2) 凝聚設備运行中发生的一些問題

直流式凝聚-阳离子交換淨水設備上的一些最經常碰到的問題，是由于在机械过滤器上作用过程并未結束，以致造成阳离子交換剂的污垢和氢氧化鋁帶入鍋炉的危險。

此时，凝聚过程完成系数降至低于 0.8；去除有机物和矽酸含量的程度也显著地降低。出現这种現象的原因很多，其中包括： $Al_2(SO_4)_3$ 加药量可能不符合于要求，垫圈剂量器上所产生的的一些毛病也会使运行中的加药量受到改变，例如，調節針型閥或垫圈入口孔被堵塞、溶液濃度改变、加药量不太准确等。

带有碱化的凝聚过程，如果加碱量不准确时，就会大大地改变 pH 值，这也会影响凝聚效果。

运行效果不好的其他原因，可能是：水預热得不够，水和凝聚剂混合不良，加药中的一些缺陷或机械过滤器排水設備上的一些缺陷，如垫料层位移、在某一过滤层形成污垢局部积累、排水系統孔的部分堵塞、过滤速度較高等等。

为了消除上述的缺陷，应在試驗室中确定凝聚剂的合适加药量和介質的 pH，为此，就要把所处理的水倒在一些量筒或錐形燒杯中，它們的容量是 1.5~2 立升，并往其中加 0.5~1% 濃度的凝聚剂溶液，条件是使每个容器中的加药量相差 10~15 毫克/立升，即后一个加药量就比前一个加药量多 10~15 毫克/立升。

合适的加药量，能使水中完全和快速地形成大的片状物。

在这个測定中应考虑到所試驗水的碱度；如加药量增加到最大限度还不能得到預定效果时，可从水的碱度考虑进行水的碱化。

根据运行数据，鋁的凝聚剂加药量对軟水說来是 0.18~0.

54毫克当量/立升($0.5 \sim 1.5^\circ$), 而 pH 約为 $5 \sim 6.5$ 。

用这种方法檢查所選擇的凝聚剂加药量正确之后, 就应想法查明和消除上述缺陷来提高加药的准确性。

然后, 必須使温度正常化(标准化), 为此, 就首先要合适地运用供水循环系統的温水, 再檢查机械过滤器, 把材料取出来, 并消除排水系統的故障, 或用再投入补充过滤器的方法来降低水的过滤速度。

5. 凝聚剂有效剂量的測定(以硫酸亚鉄为例)

試驗凝聚剂有效剂量, 是为了确定处理效果最佳的凝聚剂量, 因剂量太小时, 凝聚效力不够, 剂量太大时則不經濟, 而且增加非碳酸盐硬度及溶解固形物。

由于水中 pH 值及水温会影响凝聚效力, 所以可考虑对 pH 与凝聚效力的关系进行試驗, 并确定适当的温度条件。

凝聚作用的好坏, 可从处理水的透明度、耗氧量及腐植酸盐来比較。

(1) 硫酸亚鉄有效剂量試驗

准备数分生水样品, 加入不同剂量的硫酸亚鉄(設为 0.0, 0.1, 0.2, 0.3, 0.4, 0.5 毫克当量/立升), 用 0.1HNaOH 溶液中和至利用酚酞試驗恰呈紅色为止, 在一定温度(根据現場水处理温度选定)的水浴上保持 2 小时, 并經常攪拌。

观察处理水凝聚的快慢和透明度, 取一部分滤过样品測定耗氧量及腐植酸盐。

現举出一种水試驗結果为例, 如图 6 所示。

試驗結果: 凝聚剂量为 0.3 毫克当量/立升时, 水样开始澄清, 且有机物含量降得最低, 故有效剂量选为 0.3 毫克当量/立升。

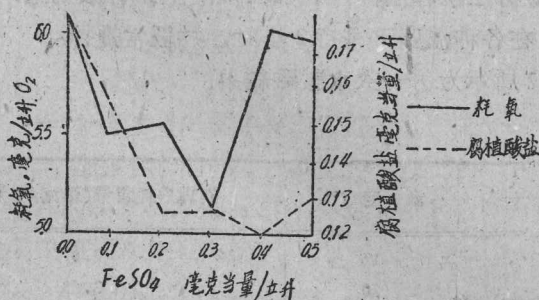


图 6

(2) pH对凝聚效力的影响

在数分生水样品内，各加入硫酸亚铁，加入量为已测定的有效剂量，用0.1N NaOH 或0.1N HCl 来调整不同的 pH，在一定温度的水浴上保持 2 小时，并经常搅拌。

表 1 所示为一次水试验结果。

表 1

编 号	pH	处理后耗氧量(毫克/立升 O ₂)
1	4.8	4.52
2	7.2	4.48
3	8.0	4.45
4	8.6	4.44
5	9.0	3.44
6	9.4	3.32
7	9.8	3.00
8	10.2	2.88

由表 1 结果看出，pH 高时效果较好，pH 至 8.6 以上，处理效果较显著。

(3) 温度对凝聚效力的影响