

鐵 研 譯 叢

聚沉劑在軟水過程中的應用

鐵道部鐵道研究所

一九五四年

聚沉劑在軟水過程中的應用

鐵研譯叢第2號

鐵道部鐵道研究所

一九五四年·北京

這本小冊子是介紹聚沉劑在石灰碱法軟水過程中應用的一般基本原理與實際操作方法，可供鐵路及其他部門軟水工作人員的參考。

本冊係根據蘇聯鐵道運輸科學研究院通報第 150 號，1949 年俄文版本譯出，著者 Е. Ф. 科爾卡葉夫，譯者：本所化學研究組宋昌幾。

Е. Ф. КУРГАЕВ

ПРИМЕНЕНИЕ КОАГУЛЯНТА НА
ВОДОУМЯГЧИТЕЛЬНЫХ УСТАНОВКАХ

Всесоюзный научно-исследовательский институт
железнодорожного транспорта

Москва 1949

聚沉劑在軟水過程中的應用

前 言

I 關於聚沉作用及聚沉劑的基本概念

II 用聚沉劑處理水的技術

1. 選擇最適當的聚沉劑劑量
2. 聚沉劑溶液的配製及給藥
3. 用聚沉劑處理水獲得成功的條件
4. 水的渾濁度及透明度的測定

前 言

在石灰碳法軟水過程中使用聚沉劑可以顯著地縮減軟水設備所需的體積，改善軟水的質量，提高現有設備的生產能力，並且減少因碳酸鈣沉積而發生水管淤塞的危險。

本報告係以全蘇聯鐵道運輸科學研究所在試驗室及生產條件下進行研究的結果為根據，闡述一些聚沉劑在軟水設備內應用的指示。

本報告係由給水試驗室主任技術科學碩士 Е.Ф. 科爾卡葉夫執筆，供軟水工作人員，鐵路給水部門工作人員及機務段化驗室參考之用。

研究所所長 В.В. 科洛契金

水質系主任 В.И. 富列得曼

I 關於聚沉作用及聚沉劑的基本概念

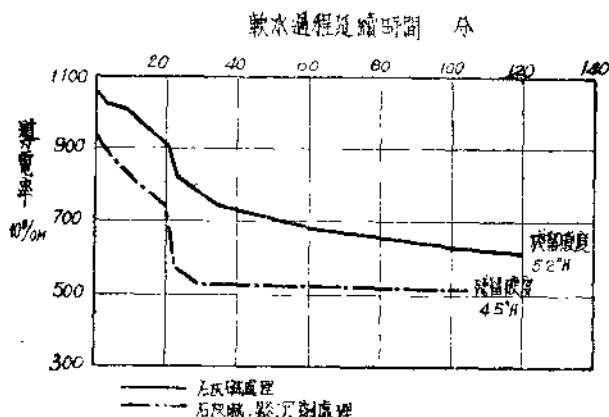
在石灰碱法軟水過程中，水垢形成者鈣鎂離子變為碳酸鈣和氫氧化鎂自水中析出後處於膠體狀態，其粒子直徑約為 $10^{-4} - 10^{-6}$ 公厘，帶有電荷，呈布朗運動，能通過濾紙，但不能通過超濾器，具有擴散的本領，長久靜置，不會沉下。

本所實驗證明碳酸鈣和氫氧化鎂從膠體狀態轉變到「粗粒分散」狀態（Грубодисперсное состояние），即這些物質能够自水中沉下需時甚久，佔全部軟水處理時間的極大部份。石灰碱等葯劑與生成硬度的鹽類的作用是進行得很快的，而由膠體狀態轉變到粗粒分散狀態的過程由於條件不同，往往需時數小時至數十小時。

存留於水中的 $[CaCO_3, Mg(OH)_2]$ 膠體增加水的殘留硬度，以後會在水管發生沉澱。在機車鍋爐內這些物質生成水垢及泥污。

若干外在因素的影響可以促進膠體狀態物質的沉澱，例如加熱和攪拌等措施能增加膠粒互相碰撞合併的可能性，加熱之所以有此作用是由於粒子的布朗運動加劇所致。

用聚沉劑（КОАГУЛЯНТ）處理則能發生更大的效果，聚沉劑溶液加入被處理的水中後就生成另一個膠體系統，其所帶電荷和碳酸鈣氫氧化鎂膠體系統所帶的電荷符號相反，由於電荷因中和作用而消失的緣故，膠粒就相互合併，迅速變大。（譯者按：膠體粒子之難於合併主要是因為它們帶有符號相同的電荷的緣故）。

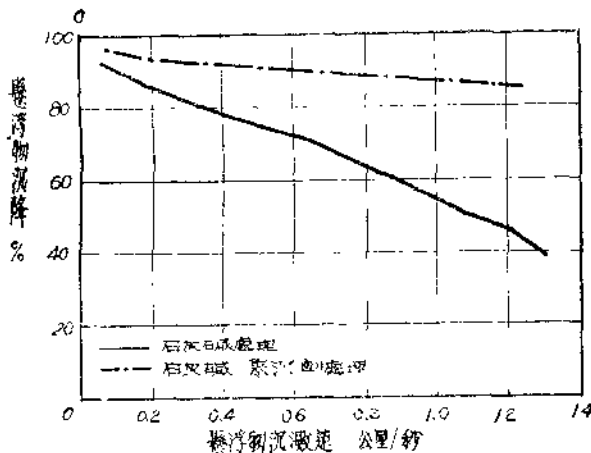


圖一 聚沉劑對軟水過程延續時間的影響

聚沉劑對軟水過程延續時間的影響見圖一，用電量法(Электрометрический метод)觀察軟化過程，可以精確地確定反應過程完畢的時間。在相同的條件下使用聚沉劑可以縮短軟水時間60—70%，降低殘留硬度15—20%。

聚沉劑的聚沉作用所生成的凝絮(хлопья)顆粒大，下沉迅速大，這些凝絮除機械地吸着一些粗粒分散的物質和泥沙以外，還吸附了一些溶解在水中的物質，主要是有機質，這些物質的存在對軟水作用是有妨礙的，因此以聚沉劑去除它們有着重要的意義。

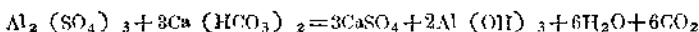
聚沉劑對懸浮物的影響見圖二。



圖二 聚沉劑對懸浮物特性的影響

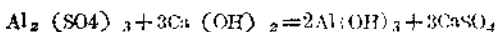
本所給水實驗室在生產條件下進行的試驗證明，使用聚沉劑可以把軟化過了的水的渾濁度，自100—120毫克/升降低到20—30毫克/升，這樣就提高沉澱池的工作效率二倍。

常用的聚沉劑為硫酸鋁 $\text{Al}_2(\text{SO}_4)_3 \cdot 18\text{H}_2\text{O}$ 及綠礬(硫酸亞鐵) $\text{FeSO}_4 \cdot 7\text{H}_2\text{O}$ ，硫酸鋁與水中的碳酸氫鈣或碳酸氫鎂起作用，生成鈣鎂的硫酸鹽及氫氧化鋁並放出二氧化碳。

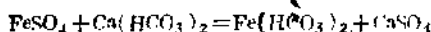


氫氧化鋁構成膠體系統，引起聚沉作用的進行及懸浮凝絮的生成。

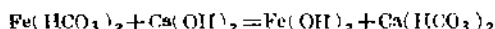
硫酸鋁與水中存在的氫氧化鈣起下列作用



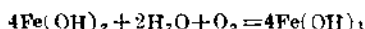
綠礬與碳酸氫鈣起下列作用。



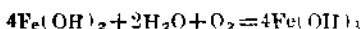
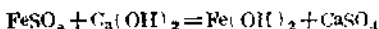
所生成的碳酸亞鐵能够失去二氧化碳，構成懸浮凝絮，但這過程進行得很慢，所形成的凝絮也是細小的，因此需要加入消石灰以加速反應，增加聚沉作用。



亞鐵氫氧化物由於氧化作用逐漸變為高鐵氫氧化物，呈黃棕色，自水中沉澱出來。



綠礬與消石灰起下列作用



可以推想，當石灰碱法軟水時聚沉劑與石灰發生作用因而相應地增加了石灰的需要量，同時還應增加碱的用量，因為按照上列反應，在水中生成了相應的硫酸鈣即永久硬度鹽類。

用 1 毫克/升硫酸鋁需要增加石灰與碱的用量各 0.05°。

用 1 毫克/升綠礬需要增加石灰與碱的用量各 0.04°。

攪拌可以加速聚沉過程中膠體及懸浮粒子相互間的合併聚結，在用硫酸鋁處理時，還能促使反應所生成的二氧化碳自水中逸散。

水的 pH 值對於聚沉作用的良好與否有很大的關係，硫酸鋁最合適的 pH 值約在 4.3—8.0 之間，而對於綠礬則在 6.0—7.0 及 8.1—9.6 兩個範圍內。

用綠礬作聚沉劑比起硫酸鋁來有下列優點：綠礬聚沉作用最適宜的水的 pH 值與軟水作用最適宜者相近，在此狀況之下即使水的溫度較低，聚沉作用亦可順利進行；三氧化鐵的比重（3.6）比三氧化鋁的比重（2.4）大，三氧化鐵的凝絮由於逐漸由無定形轉變為結晶狀態具有較大的吸附能力，特別適宜於除去水中的有機物質。

綠礬的缺點是：水中含有有機物質時，綠礬使水呈現污色，需要嚴格控制藥量以免損害水質，綠礬消耗藥量比較大且硫酸鐵溶液有腐蝕性需要用耐酸材料製成的容器。

硫酸鋁由硫酸作用於黏土、高嶺土或其他含氧化鋁的物質製成，通常製成塊狀，每塊約重 30 公斤，比重 1.6，純硫酸鋁含無水 $\text{Al}_2(\text{SO}_4)_3$ 應不少於 45.3%，粗製品含無水 $\text{Al}_2(\text{SO}_4)_3$ 約為 33—40%，帶灰色或發黃色，形狀不規則，每塊約重 20—25 公斤。

綠礬可由金工場的廢酸洗液（Отработанный травильный раствор）提取

，有下列三種方法，即冷卻法，濃縮法及增加酸度法，其中以『冷卻法』最簡單，係根據硫酸鐵在低溫時溶解度的降低的原理為基礎，其法如下：熱的廢酸洗液在本盆內澄清除去鐵滓後倒入木槽中，置於蔭涼地，當溶液溫度降至 $0-10^{\circ}\text{C}$ 則該溶液內有 50—60% 的綠礬結晶析出，在冬季，冷卻及獲得結晶全部過程約需 10—20 小時。槽內溶液應保持 0.5—0.6 米深，並時刻攪拌之。為了加速結晶的形成，可於槽內置以隔板，等槽空後取出隔板用木槌敲去附在板上的結晶。把收集起來的結晶傾倒入小槽溝中，使其母液能流回原槽供下次應用。

綠礬成結晶形，呈綠色，但在長期儲藏中部份變為銹黃色，綠礬的成份規格： FeSO_4 不少於 52.5%，游離硫酸不大於 0.5%，水中不溶物不大於 0.5%。

II 用聚沉劑處理水的技術

1. 選擇最適當的聚沉劑藥量

為了確定在合理的藥劑消耗條件下聚沉劑對水的澄清發生良好結果必需的藥量，須進行下列實驗：

取五個相同的玻璃圓筒，其體積大於 0.5 或 1 升，每個圓筒各劃二個刻度，一個在上，一個在下，上刻度表示圓筒在該刻度以下的體積為 0.5 或 1 升，下刻度距筒底 50 毫米。

把聚沉劑配成 1% 溶液。自軟水設備混合槽底端或反應槽底的放水管取出水樣，倒進玻璃圓筒中至上面刻度為止。如圓筒上刻度表示之體積為 1 升，則以下列數量的聚沉劑溶液注入，第一圓筒 3 毫升，第二圓筒 4 毫升，第三圓筒 5 毫升，第四圓筒 6 毫升，第五圓筒 7 毫升。上列藥量相當於 30, 40, 50, 60, 70 毫克，如圓筒的體積為 0.5 升，則用藥量俱各減半。以小棒攪拌 2—3 分鐘，或將圓筒加塞顛倒十次，然後靜置 20—30 分鐘，此時須用心仔細觀察懸浮凝絮生成和水澄清的情形。用虹吸管把水自圓筒吸出至水面降低到圓筒下刻度為止，（虹吸管底端不應低於刻度，以免沉澱吸出）然後以『卜字法』（Крест）或『斯尼林』（Шеннел) 法測其透明度或渾濁度，毫克/升。

在上列實驗中，對於水的澄清最有顯著功效的藥量就是最適當的藥量，它所起的澄清作用和比它小的藥量所起的作用相比較有顯著的差別，而和比它大的藥是所起的作用相比較則差別並不如此顯著。

在軟水設備內進行上述實驗之前必需增加石灰與鹼的藥量，其值與所用聚沉

劑最大數量相當，例如用綠礬量最大數值為 70 毫克/升，則石灰與礬的劑量應該各增加 $0.04 \times 70 = 2.8\%$ 。

如果不知道聚沉劑的有效成份並且沒有天秤，則可按下列方法配製溶液。在一個專作配溶液用的槽內每 100 升水加入 1 提桶（Ведро）聚沉劑（譯者按 1 提桶 = 12.299 升），然後抽取試樣以比重計測其比重。（按通常聚沉劑的有效成份大約為 40—50%，這樣配成的溶液濃度約為 6—8%）然後取出 100 毫升聚沉劑溶液，加蒸餾水 $[(P-1) \cdot 100]$ 毫升，式中 P = 取自槽內之聚沉劑溶液以比重計測得之濃度%。所得溶液之濃為 1%。把溶液的比重換算為濃度百分數可以利用表 1, 2。

表 1

比 重 15°C	$Al_2(SO_4)_3 \cdot 18H_2O$ 濃度 %	比 重 15°C	$Al_2(SO_4)_3 \cdot 18H_2O$ 濃度 %
1.005	0.92	1.040	7.38
1.010	1.84	1.045	8.30
1.016	2.77	1.050	9.23
1.021	3.69	1.055	10.15
1.026	4.61	1.059	10.41
1.031	5.54	1.064	11.99
1.036	6.46	1.068	12.91

表 2

比 重 18°C	$FeSO_4$ 濃度 %	比 重 18°C	$Fe_2(SO_4)_3$ 濃度 %
1.0085	1	1.047	2
1.0180	2	1.036	4
1.0375	4	1.057	6
1.0575	6	1.077	8
1.0785	7	1.079	10
1.1000	10	1.118	12
1.1220	12		

配溶液時，乾燥的聚沉劑以起重機放到投藥台上，然後向槽內投入所需之量。如已知聚沉劑的有效成份 $\text{Al}_2(\text{SO}_4)_3$ 或 FeSO_4 ，則其投藥量 K_1 可按下列公式計算。

$$K_1 = \frac{p \cdot b}{P} \text{ 公斤}$$

式中 p ＝欲得聚沉劑溶液的濃度，%

b ＝藥槽的有效體積，升

P ＝聚沉劑的有效成份含量，%

如果不知道 P 之值，可用前述方法把1提桶（Ведро）聚沉劑加入100升水中，以比重計測出其濃度，然後稀釋或加濃至欲配得之濃度。通常聚沉劑配成4—5%溶液應用。

在大規模軟水設備其生產率超過200立方米/小時者，聚沉劑之溶解與向混合槽給藥應分別在兩個槽內進行，溶解槽在軟水器的下面，溶液用唧筒從溶解槽打入給藥槽內，給藥槽的構造與圖〔三〕相似，唧筒及導管應以耐酸材料製成。

爲了促使聚沉劑迅速溶解，應當預先把塊狀聚沉劑打碎，溶解時加熱並加以激烈攪拌。

聚沉劑的溶解速度與藥塊的直徑成反比。

表3以硫酸鋁爲例說明加熱和攪拌兩個因素對於溶解速度的影響（溶解一小時所得溶液的濃度以%表之）

表 3

攪 拌 與 否	純 硫 酸 鋁		不 純 硫 酸 鋁
	溶 液 溫 度 °C	所得溶液濃度 %	所得溶液濃度 %
不 攪 拌	—	13.0	6.4
不 攪 拌	26—40	23.7	7.5
攪 拌	8	34.7	22.5
攪 拌	26—40	43.3	30.0

加熱在綠礬溶液製備過程有下列特徵：即其溶解度在40°時爲28.6%，20°時爲20.9%，10°時爲17.2%，0°時爲13.6%（以 FeSO_4 計算）。

在通常使用的濃度（5—10%）情況下，溶解速率與溶液濃度無關。

基於上述理由，聚沉劑溶液的配製應加熱到40—50°C進行，加熱可用活蒸

汽，或廢汽或利用螺旋形的熱交換裝置。若利用蒸汽來攪拌，則可將蒸汽經多孔管通入，其入口應在溶解槽之底部。如能獲得壓縮空氣亦可利用它來攪拌。鐵路最常用手搖攪拌。

在加熱到 40°C 和手搖攪拌的條件下，聚沉劑溶液的配成約需時 4 小時。軟水所通常備有二個配藥液的槽，輪換使用以保證供應不斷並使聚沉劑有足夠的溶解時間，充份發揮其效用。

溶解槽經過 5—6 回工作後應加以清洗以清除不溶雜質，但每星期至少應清洗一次，因為槽內結集過多的雜質能增加攪拌的困難，並易引起藥管的堵塞。

溶液配成後用比重計測其比重，按照表 1, 2 查得其濃度 P ，%，然後視軟水生產率的大小及由實驗求得之最適當的投藥量 K ，按照表 4 確定聚沉劑溶液的消耗量 Q ，該消耗量 Q 係指軟水量每小時 10 立方公尺在 10 秒鐘內所消耗的聚沉劑溶液的毫升數，由此可計算每秒鐘的消耗藥量。

表 4

聚沉劑藥量 毫克 / 升 (K)	聚沉劑溶液消耗量 Q ，(軟水器每小時軟水 10 立方公尺在 10 秒鐘內消耗聚沉劑溶液的毫升數) 溶液濃度 %							
	3	4	5	6	7	8	9	10
20	18.5	13.9	11.1	9.25	7.95	6.95	6.18	5.55
30	27.5	20.8	16.7	13.90	11.9	10.4	9.26	8.34
40	37.0	27.8	22.2	18.5	15.9	13.9	12.3	11.1
50	46.4	34.7	27.8	23.1	13.8	17.4	15.4	13.9
60	55.5	41.6	33.4	27.8	23.8	20.8	18.5	16.7
70	65.0	48.5	39.0	32.4	27.8	24.3	21.6	19.4
80	74.0	55.5	44.5	37.0	31.8	27.8	24.6	22.2
90	83.0	62.5	50.0	41.6	35.6	31.2	27.8	25.0
100	22.5	69.5	55.5	46.2	39.6	34.6	30.8	27.7

知道了單位時間內所需聚沉劑溶液的數量以後就可確定給藥器的給藥圈的口徑及其浸沉深度，表 5 載明對於不同給藥圈口徑及其浸沉深度與溶液流出量的關係。

表 5

給葯圈的沉度 公厘 (mm)	聚沉劑溶液的流出量，毫升/秒。給葯圈的直徑(d, mm) · 公厘。						
	d = 4	d = 5	d = 6	d = 7	d = 8	d = 9	d = 10
50	7.48	11.65	16.78	22.84	29.84	37.75	46.62
75	9.14	14.27	20.56	27.97	36.55	46.25	57.10
100	10.55	16.48	23.47	32.30	42.20	53.40	65.94

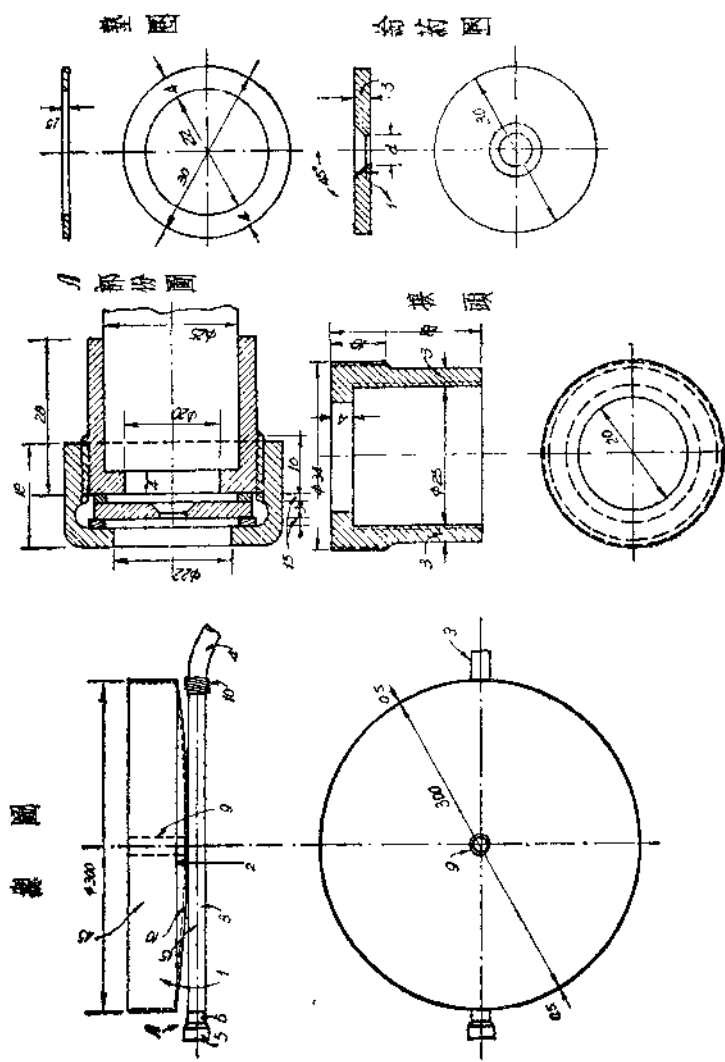
給葯圈的沉度 (Глубина) 即自液面到圈中心的距離，爲了便於控制起見，在浮盤上裝一有刻度的標尺，其零度與圈中心在同一水平面上。

每個軟水器都應備有一套不同口徑的給葯圈，變更它的沉度及其直徑就能得到任何需要的給葯量。

給葯器按所要求的條件裝設完畢後用有刻度的容器承受自該器內流出的溶液十秒鐘，檢查是否妥當。

給葯圈的孔需定期清洗。

圖四爲浮盆形給葯器構造詳圖，利用圖三和圖四就可在任何軟水設備內按裝聚沉劑的給葯器。



圖四 浮球形給藥器構造詳圖
 1. 浮球的圓筒部份 (盒身) 2. 浮球的球面部份 (盒底) 3. 導管 4. 軟管 5. 圈罩
 6. 給藥圈 (已標準) 7. 螺圈 8. 接頭 9. 導管 10. 螺絲

3. 用聚沉劑處理水獲得成功的條件

爲了獲得用聚沉劑處理水的最大功效，必須遵守若干條件，茲簡述如下：

在計算聚沉劑給藥量時應小心控制石灰鹼投藥量的正確保證適當的過量。石灰鹼藥量不足不但減低軟水效率，而且凝絮不易生成，減損聚沉作用。

聚沉劑的進口處應以實驗找出，通常其入口處在反應槽之前的一個混合槽內，但當反應槽與沉澱池之間水位有很大差別時，懸浮凝絮可能被打碎，因而破壞水的澄清，在此情況下聚沉劑應適當地在反應槽之後加入。

聚沉劑加入之後應劇烈攪拌，使均勻分散於水中，並與石灰起作用，然後攪拌應緩慢下來以幫助懸浮凝絮的生長和下沉。攪拌的速率約爲 30—60 公分/秒（沿壁水流與靜止壁面的相對速度）

聚沉劑如果在反應槽之後加入，爲了攪拌方便起見，可以在由反應槽通到沉澱池的槽溝中裝設隔板。

有時在加入石灰之前先行加入聚沉劑以去除有碍軟水作用的有機物質，但有些水含有所謂『保護膠體』（Защитный коллоид）阻礙聚沉作用，爲了消除這類雜質保證聚沉作用的正常進行可以預先用氯氣處理。

水處理最合適的條件應以實驗決定，實驗可在實驗室或軟水所進行，按水處理的不同條件觀察其結果。

以綠礬爲聚沉劑時可能由於氧的含量不足以使 $\text{Fe}(\text{OH})_2$ 變爲 $\text{Fe}(\text{OH})_3$ 因而聚沉作用不能順利進行，這時應以壓縮空氣或其他充氣（аэрация）方法攪拌之。

應該適當地控制水的 pH 值以獲得良好的效果。

水的澄清效果是否良好以其渾濁度或透明度來判斷。

4. 渾濁度與透明度的測定

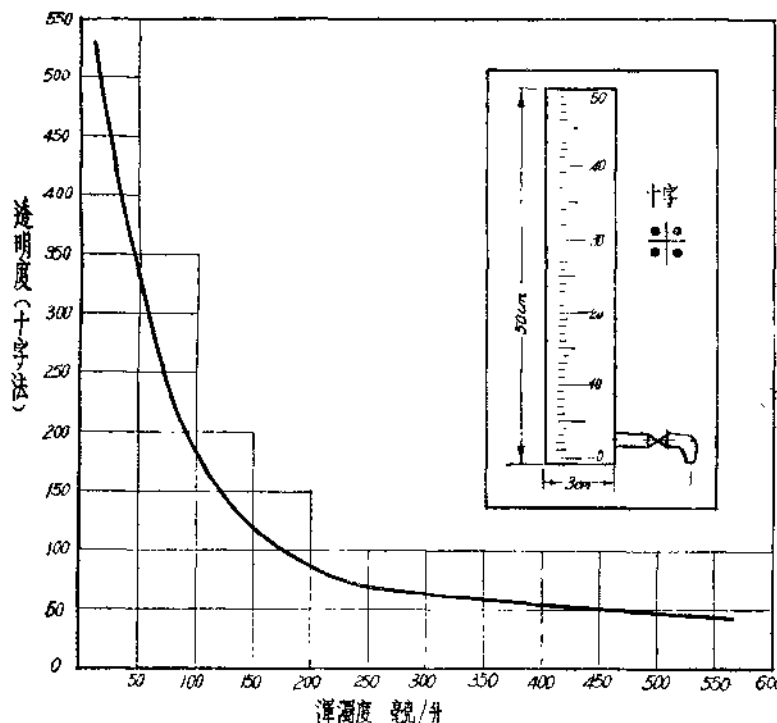
渾濁度（Мутность）表示水中懸浮物含量（毫克/升），以下列方法測定之。

將濾紙放入烘箱在 110°C 烘至恒重 B_1 （毫克/升）然後用該濾紙濾過 50 毫升水樣，再行烘至恒重 B_2 ，過濾前後濾紙重量之差 $(B_2 - B_1)$ 乘以 20 等於懸浮物的含量毫克/升。

測定水的透明度（Прозрачность）需要一個玻璃筒及黑墨所畫的十字，如圖五所示（譯者按：十字每劃粗 1 公厘，四角上的小點直徑 1 公厘）玻璃筒裝滿水樣後，置於「十」字上面，此時試驗者把眼睛靠近圓筒自筒口向下俯視，然後打開圓

筒下部活塞（註：圓筒下口中心距筒底 0.5 公分）使水流出，至通過水柱能清晰看見「十」字爲止，圓筒中騰留的水柱高度（毫米）表示水之透明度。

圖五是透明度（十字法），（公厘）與渾濁度（毫克/升）的近似換算圖解，如欲得到更正確的結果則需按各別水質同時測定其透明度（公厘），及其渾濁度（毫克/升）。



圖五 用「十字法」測透明度的儀器及透明度—渾濁度換算圖解

各個水樣透明度的測定必須在同一的條件，不直射的日光下進行，如所測得之值小於50公厘則此種數據往往很不準確，而應該用重量法測其渾濁度。測定透明度所用的「十」字可以用所謂斯尼林（Снеллен）鉛字來代替。