



水 淨 劑 凝 混 用

В.И.馬尔基佐夫著

建 筑 工 程 出 版 社

水 淨 劑 凝 混 用

金 崇 磐 譯

內容提要 本書通俗地說明了淨水的化學原理,敘述了淨水站中採用的混凝劑,並對它們的優缺點作了比較,指出了水的混凝和混凝劑配量的方法。本書還介紹了混凝劑和用水量的統計方法,以及降低混凝工作成本的方法。

本書可作淨水站混凝工作人員及中等技術學校學生讀物之用。

原本說明

書 名 ОЧИСТКА ВОДЫ КОАГУЛЯНТАМИ
著 者 В.И. Маркизов
出版者 Издательство Министерства коммунального хозяйства РСФСР
出版地點及日期 Москва—1954

用 混 凝 劑 淨 水

金 崇 磐 譯

*

建築工程出版社出版 (北京市阜成門外南風土路)

(北京市書刊出版業營業許可證出字第052號)

建築工程出版社印刷廠印刷·新華書店發行

書號382 字數16千字 787×1092 $\frac{1}{32}$ 印張 $1\frac{3}{4}$

1956年10月第1版 1956年10月第1次印刷

印數: 1—3,500冊 定價 (10) 0.30元

目 錄

前 言	5
引 言	6
第 一 章 混凝作用的原理	9
1. 从化学方面來簡單地說明飲用水的淨化	9
2. 混凝的原理	10
3. 促成混凝的条件	13
4. 促成混凝的方法	17
(1) 用石灰來增加水的硷度	17
(2) 予先在水中加氯	18
第 二 章 淨水工作中所采用的混凝剂	19
1. 對於混凝剂的一般要求	19
2. 鋁混凝剂	20
3. 鉄混凝剂	22
4. 各种混凝剂优缺点的比較	25
5. 混凝剂及其他药剂的貯藏和運輸	27
第 三 章 药剂的調制及配量	29
1. 溶液的調制	29
2. 干药剂的調制	36
3. 药剂的配量	37
4. 調制及配量药剂时的安全技術	45
第 四 章 生產檢查	47
1. 混凝剂質量的檢查	47
2. 調制混凝剂溶液的檢查	47

3. 混凝剂配量的檢查	49
4. 混凝效果的觀察	50
第 五 章 統計及表報	51
1. 關於成本的概念	51
2. 統計的組織	52
3. 表 報	53
4. 降低混凝成本的办法	54
参考書籍	55

前 言

混凝是淨水技術處理過程中的一個重要環節。它對水在過濾以前作爲一個準備步驟的澄清及除色過程，有着改進和加快的作用。

混凝作用是一個複雜的現象。近年以來，由於制藥技術的大大地改進，藥劑的運輸及配量工作的更加完善，大部分是電氣化的設備，因此，從事混凝工作的工人，也要豐富自己的知識，提高自己的文化和技術水平。

本書的目的，是幫助淨水站中從事用混凝劑淨水的工人們提高自己的業務。本書向他們介紹混凝過程的原理，淨水工作中所採用各種混凝劑的特性，把它們調制、配量的方法，並敘述了因此所需的設備。

引 言

水是兩種簡單物質——氫氣和氧氣 H_2O ——的化學化合物。露天水域(河、湖及蓄水庫)中的天然水,通常可供居民區給水之用。天然水中含有各種有機的及礦物混合物。其中有溶解的鹽類、氣體、有機物質,以及不溶解的礦物的和有機固體微粒,在水裡形成懸浮物體而存在着。

所有溶解在水裡的各種鹽類,應引起我們注意的,主要是一切鈣和鎂的鹽類。這種鹽類在水裡可以經常遇到,而它們組成了水的總硬度。水燒開以後,通常可以減少它的總硬度。這種現象說明了大部分的水中含有鈣的重碳酸鹽 $Ca(HCO_3)_2$ 。當水燒開時,這種鹽類部分地開始分解,形成不溶解的鹽類,成為沉渣而下沉。水燒開後可以消除的這種硬度,叫做暫時硬度或可除硬度;水燒開後仍舊存在的硬度,叫做永久硬度。暫時硬度和永久硬度的總和,是水的總硬度。硬度的數量用度或毫克-當量(МГ-ЭКВ)來表示。一硬度相當於1公升水中含有10毫克的氧化鈣。

一個毫克-當量是28.04毫克/公升 CaO 。水中所含的各種重碳酸鹽,組成了叫做水的重碳酸鹽硬度。硬度用毫克-當量或用度來表示。給水地表水源的硬度,基本上由含有鈣和鎂的重碳酸鹽類所組成。水中鈣和鎂的鹽類,其中也包括重碳酸鹽的含量,在一年中的各個時期是各有不同:冬季的幾個月中,地表水源只靠地下水來供給,這時水中所含的鹽類最多;其他幾個月中,既沒有冰來遮蓋而且還有大氣降水(就是雨雪水)流到水域中去,因此,含鹽量就減少了;在洪水時期含鹽量最少。

在水中还可遇到其他雜質，例如鐵鹽、氯的化合物（或叫做氯化物）和氮的化合物等等。所有这些鹽类及它的化合物，在用混凝剂淨水时沒有重要的意义。

通常遇到的溶解在水中的气体，是氧 O_2 、氮 N 及二氧化碳 CO_2 ，有时还有硫化氫 H_2S 。氧气和二氧化碳是活躍的金属氧化剂，能使金属生銹（腐蝕）；除这以外，二氧化碳还能破坏混凝土。但是二氧化碳不是經常發生这种侵蝕作用，只是在它不能和鈣鹽化合而余留下来成为游离状态的时候，才發生侵蝕作用。正像以后所說的，水中二氧化碳的含量，在凝結过程中是会增加的。

水中含有硫化氫，說明水受了沾污，这时水有难聞的臭味。水中有了硫化氫，也要引起生銹。

地表水源的水中，除了溶解的鹽类及气体以外，还含有各种活的水生物，它們的形式是細菌、水草、植物性和动物性的微生物。水中植物性及动物性微生物的数量及种类，是被各种条件所决定的。对水中有机物的种类及数量的組成，可以發生影响的主要因素有：温度、太陽光的照耀、溶解氧及鹽类成分。因此，在夏季水域中的有机物，要比冬季來得多。

至於大腸菌族，例如大腸桿菌，在夏季太陽光的紫外線輻射作用下，地表水源的水中經常可以看到它的数量大大的減少。

礦物雜質，主要是粘土顆粒及砂，在下雨及融雪时期，經由天然的途徑和地表水一起流入水域。水流所挾帶的較大的顆粒，形成叫做流沙小道。大粒懸游物体的含量从表面向底層漸漸地增加。当水流速度減小时，这些顆粒很快地沉到底部。小的顆粒（礦物質的及从有机物派生的）在整个水中均匀地分布着。它長时期地处在懸游的状态，很慢地向下沉降，甚至在靜水中也是这样。水中的懸游顆粒造成了水的渾濁度。

在水中还有更小的顆粒，肉眼是看不到的，甚至在顯微鏡下也

不能識別，它只能用超顯微鏡來辨別。這樣的顆粒，在水中是永遠不沉澱的，甚至無窮長久的靜置也是不會沉澱的。這樣的顆粒叫做膠狀物體。在天然水中它主要是由有機化合物組成，但也有由鐵及矽酸化合物的無機物組成的。有機的膠狀化合物是從土壤及池沼中被水沖下來的，它們是由有機生物分解而組成的。生物分解的產品其中主要的是植物性生物，就是腐植性物質，可把水染污而使它帶黃色，形成了水的色度。

水的渾濁度及色度，是根據一年中的各個時期；根據下雨的強度和時間；根據夏季——植物性有機物猛烈繁殖的時期，就是叫做水域開花時期，水源中有機生物的發展情況和秋季——水草枯死時期，水源中有機生物的發展情況而決定。

因此，給水所採用的地表水源中的水，它的特性是：在懸游物體的含量方面；在鹽類成分方面；在細菌生長方面；在氣味及其他物理化學指標方面有變化的成分。這些水質指標通常不符合飲用水標準的要求。因此，為了使水質指標符合標準所要求的，必須用淨化的方法來改進它的質量。

淨水的方法是把水沉澱並通過砂濾池來過濾，使其中的懸游物體和膠狀物體沉降，並用氯來消毒。但是用這種簡單沉澱和過濾法來使水中懸游的及膠狀的物體沉降，需要很長的時間，而且還往往得不到很好的澄清效果。所以為了改進水的澄清程度和加快它的過程，應採取用凝滲劑來處理的方法。

第一章 混凝作用的原理

1. 從化學方面來簡單地說明飲用水的淨化

混凝是物理化学作用。为了要說明这种作用,我們先來說明發生在水中的某些基本物理化学現象的實質。

如果在水中溶解有任何数量的某种鹽类,例如氯化鈉 NaCl ,那末这种溶解物質的一部分分子,就会分解成为更簡單的組成部分,叫做离子。但是有的物質像糖和煤油等,它們的分子在水中並不分解成为离子。只是鹽类酸和硷才有这种性質。

离子帶有正电荷(+)或負电荷(-)。其中正离子和負离子的电荷的总数,总是彼此相等。离子具有某些和分子不同的性質。例如,鹽酸 HCl 分解成为帶正电荷的氫离子 H^+ 及帶負电荷的氯离子 Cl^- 。氯离子並沒有氯的气味、顏色及漂白性,也就是沒有气态氯所具有的那些性質。离子發生反应是很迅速的,可是分子間發生反应是很慢的。

分子在水中分解成离子的作用,叫做电离解。所有的分子在水中並不是离解得一样的。离解的程度,主要決定於溶解在水中的物質的化学性質,以及它的温度。弱酸(醋酸)比强酸(例如硫酸),离解得比較少。温度提高,离解就会增加。

水的分子同样有离解的性質,但是很弱的。化学的純水 H_2O 离解成为氫离子 H^+ 及叫做氫氧离子的 OH^- 。 H^+ 离子帶正电,而 OH^- 离子帶負电。 H^+ 离子造成酸性,而 OH^- 离子造成硷性。如果 H^+ 离子比 OH^- 离子多,水就有酸性反应;相反的,如果 OH^- 离子較多,那末水就有硷性反应。当水中 H^+ 离子及 OH^- 离子数量相等时,水有中性反应——既沒有酸性,也沒有硷性。化学的純水总是中性的,

但是当水中有溶解的物质时，它可能有酸性或硷性的反应。水的反应采用1公升水中单位 H^+ 离子的数目来表达，并且用符号 pH 来表示（ pH 是表示1公升水中氢离子浓度的指标）。中性的水在温度 $25^{\circ}C$ 时 $pH=7$ ，这相当于 $[H^+]$ 浓度 $=10^{-7}$ 。酸性水的 pH 指标小于7，而硷性水的 pH 指标大于7。

在水中加入酸或硷会改变水的反应；也相应地改变了 H^+ 及 OH^- 离子的数量。根据标准，饮用水的反应，应当不低于6.3而不过大。但是这个指标不能和水的硷度相混，硷度：正如我们以前所知道的，是决定于水中所含钙和镁的二碳酸盐（重碳酸盐）的数量。

既然水离解成为 H^+ 及 OH^- 离子，那末这些离子可以和水中所含的别种离子起反应。举例来说，如果在水中，加入碳酸钠盐 Na_2CO_3 的溶液，那末盐的分子就要分解成为 Na^+ 和 CO_3^{--} 离子。带正电荷的氢离子 H^+ 将和带负电荷的 CO_3^{--} 离子结合，而在这时候生成不大离解的碳酸 H_2CO_3 分子， Na^+ 及 OH^- 离子完全离解在水中，而不发生反应。于是在溶液中就积聚了过剩的 OH^- 离子，由于这些，溶液就会呈现硷性反应。

盐类和水之间的这种反应，叫做水解作用。

盐类在水中的水解，进行得不是一样的。有些盐类水解很快，有些很慢。但水的温度是影响所有各种物质水解速度的普通条件。提高水的温度，物质的水解速度就加快；相反地，在冷水中，水解的速度就进行得比较慢些。

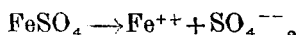
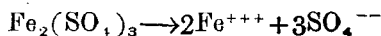
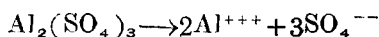
2. 混凝的原理

如果在水中加入混凝剂以后，究竟在水中发生些什么呢？

在净水工作中采用的混凝剂，是铝金属的硫酸盐 $Al_2(SO_4)_3$ ，以及铁金属的硫酸盐：硫酸铁 $Fe_2(SO_4)_3$ 和硫酸亚铁 $FeSO_4$ 。

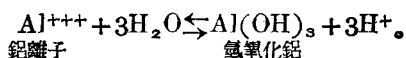
——叫做鐵的亞硫酸鹽。

這些鹽在天然的水中溶解，並很容易地分解為金屬離子和酸根：

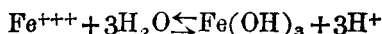


鋁和鐵的金屬離子和水中所含的 OH^- 離子起反應。

因為鋁離子有三個正電荷，而氫氧離子 OH^- 只有一個負電荷，因此，每個鋁離子和三個氫氧離子 OH^- 起反應：



由於水解的結果，鐵的硫酸鹽形成了帶三個或兩個正電荷的離子。因此，它就相應地和三個或兩個 OH^- 游子結合：



這些反應的結果，生成新的化合物，叫做氫氧化鋁、氫氧化鐵及氫氧化亞鐵。

氫氧化鋁和氫氧化鐵都是膠狀物體，它的顆粒帶有正電荷。天然水中有些成為雜質的膠狀顆粒帶有負電荷。相反的電荷之間彼此有吸引力，因此，電荷就抵銷（去掉）了，於是膠狀的顆粒便失去了它自己的穩定性，並且合併成為看得見的顆粒，這種現象叫做膠狀物體的混凝。

這樣，氫氧化鋁膠狀顆粒的正電荷和天然水中膠狀顆粒的負電荷相互抵銷，失去它們的電荷，也就是說失去了它們的穩定性，因此，他們就混凝了。

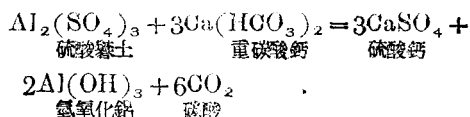
由此可知，天然水中膠狀顆粒的混凝，是由於在水中加入了帶有相反電荷的氫氧化鋁或氫氧化鐵膠狀顆粒後才能得到的。

帶有相反電荷的膠狀物體之間，能起相互混凝作用，這就說明了水中加入混凝劑以後的混凝作用，是很簡單的；但是這樣的說明不是很完滿的。根據近來的解釋，混凝的作用是很複雜的①。

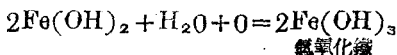
由於混凝劑的水解作用而在水中所形成的氫 H^+ 及酸根 SO_4^{2-} 和決定水中鹼度的重碳酸離子 HCO_3^- 發生反應，並和鈣及鎂的離子，也就是造成水中硬度的離子發生反應。

上面所說的物質，它們的離子之間的相互作用就產生了硫酸鈣（鎂）及碳酸。重碳酸離子和氫離子相結合，成為在水混凝過程中鹼度降低的原因。

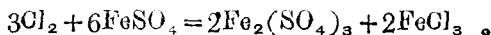
水中硫酸礬土和鈣及鎂的重碳酸鹽之間的總的化學反應，可用下列方程式來表示：



二價鐵鹽的水解不像三價鐵鹽水解那樣進行得完全。水解所產生的氫氧化亞鐵 $Fe(OH)_2$ 混凝得很慢。為了使混凝過程變快，必須使二價的鐵氧化成為三價。所以硫酸亞鐵要和石灰或是氯同時採用。加入石灰會使水的 pH 增高，這樣就促使溶解在水中的氧來使氫氧化亞鐵變成氫氧化鐵：



當硫酸亞鐵和氯起作用時，硫酸亞鐵就變成硫酸鐵：



理論上每份氯需要 7.8 份重的結晶硫酸亞鐵。但是應當注意，

① 對於混凝劑作用更完滿的解釋見 H. Θ. 阿爾爾青和 Г. К. 馬克西莫維契的著作：“石油層工廠中水的處理”，國立技術出版社，1951 年出版及 B. A. 克略契柯和 A. A. 喀斯泰爾斯基著：“工業給水中水的淨化”，建築出版社，1950 年。

在水中有机物質的氧化同样要消費氯。采用硫酸鉄及氯化鉄作为混凝剂时,水中發生的化学反应和采用硫酸鋁时所發生的一样。

3. 促成混凝的条件

混凝的过程,在一定的時間內發生,並且有兩個階段,一个緊接着另一个。在第一个階段中,参加混凝过程的物質离子間發生化学作用;在第二个階段中,發生凝絮作用。

不論是在第一个階段或是在第二个階段中,作用的过程和結果都受着許多条件所決定。現在我們來研究在混凝的第一階段中促成混凝的最必要条件。

如果在水中加入的混凝剂数量,適應於天然水中所有膠狀的及懸游的雜質的数量,那末混凝進行得很好,也就是說水中所有的膠狀物体及懸游物体都能混凝。

如果加入的混凝剂数量比需要的少,那末天然水中有一部分雜質就不会混凝,而水是渾濁的和有顏色的,也就是說水的澄清和除色是不够的。

如果加入的混凝剂数量比必需的多,那末会引起不必要的浪費,而使淨水的成本提高,並且在許多情況下也会使水的質量變壞。

加入水中的混凝剂数量,用每1公升水中多少毫克來表示,或用每1立方公尺水中多少克來表示时,叫做用量。能使水得到最好澄清的混凝剂数量,叫做最优用量。

在生產条件下,常常采用比最优用量較少的用量,但是这时也能使水得到所要求的澄清程度,这样的用量叫做实际用量。

最优用量和实际用量由混凝試驗來求得。因此,在許多玻璃罐或玻璃瓶中注入一定容積的水,再分別加入混凝剂的溶液或是干的混凝剂試量(例如40、60、80、100、120毫克/公升),並且攪混3分鐘。然後讓水靜靜地留在這些罐子里,觀察凝絮的形成。过了

15~30分鐘，比較各種用量所形成的凝絮情況，可以找出這樣的用量，在這樣用量下可以得到最多的大粒及中粒凝絮，而水的澄清效果又比較好^①。

混凝劑的用量不只像我們在上面所指出的那樣，決定於使水變得渾濁和有顏色的懸游物和膠狀物體的數量，並且在一定程度內，也決定於水中礫度的多少。因此，混凝劑的用量還應當適應於水的礫度。當水中礫度不夠時，生成氫氧化鋁的反應不夠完全，就使水不夠澄清；水中礫度過多時，也會使混凝的過程發生困難，這時生成小的凝絮，使水在過濾以後帶乳白色。

為了使澄清的效果比較好，最重要的是要使混凝劑加入到所有被處理的水中，並且當被處理的水的質量不變時，加入的數量也固定不變。這些條件應當嚴格地遵守；特別是在混凝劑不在一處加入，而是分散地在每個輸水導管中加入的情況時；這也就是說在每個導管中的水，應當得到同樣的混凝劑用量。

用量固定的條件，是要使規定的用量不應當在很廣的範圍內變化。不應當允許實際用量的減低及當水的渾濁度和色度很高時，有特別顯著的、甚至暫時的減低。這樣會使混凝變壞，因而也使水質變壞。

在有些情況下，例如在渾濁度很小（3~4毫克/公升）及色度中等（40~45°）時，在實際工作中可以規定不致使水質變壞而允許停止混凝。停止的時間可以在幾個小時以內，但是不能大於水在沉澱池內的停留時間。

混凝劑和被處理的水之間的混和，應當認為是促成混凝的另外一個重要條件。混和是必要的條件，因為它促使混凝劑在水中均勻地分布，而保證混凝的化學反應得到完全。混和不充分會浪費混凝劑。在時間上應當是短短的1~3分鐘，但是在這段時間內

① 在以後的說明中，關於澄清這個詞，可了解為使水澄清並除色。

应当保証使投入的凝凝劑能均勻地分布在所有的水量中。使水在通過隔板或在隔板之間通過時造成渦流或旋流，以及使用機械混和器都可以達到充分混和的目的。也可利用向淨水建築物供水的輸水導管做混和器。這時凝凝劑和水在長度不小於50個管徑的輸水導管段中達到充分的混和。

為了混和，應建造有孔的或是有隙縫的隔板來遮斷水流。水通過這些孔時，由於水流收縮而使流速增加，在孔中間產生渦流，水就和凝凝劑混和。在生產量大的淨水站中，為了使凝凝劑和水混和而建造隔板式混和器，水在隔板式混和器的隔板之間以及環繞着隔板以0.8~1.0公尺/秒的速度流動。

當在水中加入其他試劑（石灰、氯）時，同樣必須混和而作為生產過程中的必要條件。

此外，在凝凝時對反應速度及水的澄清結果有重大影響的另一條件，是水的溫度。在溫度比較低的水中（至 $+4^{\circ}\text{C}$ ），反應進行很慢。為了在低溫的條件下使水得到好的澄清效果，需要增加凝凝劑用量。

淨化相當透明的水（渾濁度3~4毫克/公升及色度至25°）時，當用叫做凝凝劑的不足用量（5~10毫克/公升）^①，而可以得到很好的澄清效果時，溫度並不發生影響。

現在我們來研究在凝凝的第二階段中促成凝凝的條件。

已經凝凝的氫氧化鋁（及鐵）顆粒歸併成為肉眼可以看得見的顆粒；它成為凝絮的形式，所以已經凝凝的膠狀顆粒歸併的過程叫做凝絮。由於這種顆粒在水中發生不規則的運動，相互碰撞，出現了凝結的顆粒，相互黏併（化合）的現象，做成了凝絮的基礎。這種最小顆粒的運動，是由於其中分子的不斷運動而引起的。隨着顆粒

① 不足是指比凝凝試驗所決定的實際用量少得多。在這種情況下，凝凝結果，不會形成凝絮，須在水通過濾池中砂層的時候，才生成凝絮。

的歸併而使它的運動變慢。這樣在靜水中就會使已經凝結的顆粒形成不穩定的、容易沉降的凝絮。凝絮的形成進行得很慢，在凝絮之間可以看到有乳白色。天然懸游物體的大顆粒很快地沉到底部，而不參加凝絮的合併。

由此可知，為了得到較好的凝絮，必須造成並且保持一定的條件。這些條件中首先應當包括水的攪混，就是把水造成這樣的運動：它能促使已經歸併的顆粒（凝絮）相互碰撞。這樣用人工來使凝絮相互碰撞，就能使它們合併而變稠，因此，當凝絮在沉澱池中沉降時，就能使水得到比較好的澄清。

應當指出，水的攪混應有一定的速度。應在下面所說範圍之內，來選擇速度的數值，就是要使它不會破壞已經形成的凝絮，並不會使凝絮沉澱。

研究及實際使用的結果指出，攪混的速度，最大不超過 0.6 公尺/秒，最小不低於 0.2 公尺/秒，而最好的攪混方法，是攪混速度漸漸地從最大的數值減低到最小的數值。

但是促成良好凝絮的，不只是攪混的速度，而且還有攪混的時間。根據試驗，當水經過 15~30 分鐘的攪混時，凝絮形成得最好。

什麼條件來決定必要的攪混時間呢？

在冷水中，凝絮劑凝絮的形成和歸併，是進行得很慢的，所以在低溫水中的攪混時間，應當比較長久。

蘇聯研究工作人員的試驗，其中尤其是 А. И. 戈洛娃的試驗，說明了如果攪混速度比較快（大於 0.6 公尺/秒），那末攪混時間應當最短；如果攪混速度比較慢（0.3~0.4 公尺/秒），那末要得到良好的凝絮，就必須採用最長的時間。

在生產中，凝絮的形成，是在叫做凝聚室（反應室）的建築物中進行的。在這裡使水流環繞水平的或垂直的隔板而改變方向，或是利用機械混和器，或是同時使用上面所說的設備來攪混。