

給水工程汇刊

(第四集)

上海市自来水公司編

科学技術出版社

目 录

混凝理論与淨水設備調度·····	林家濂·····	I
用超濾膜檢驗大腸菌族法·····	N. E. 茄克遜·····	28
华盛顿台尔卡利亞水厂高速過濾的研究·····	N. E. 茄克遜·····	37
用實驗方法測定地面水的混凝作用和混凝动态·····	Z. 諾伐克·····	53
上海市自来水公司用二苯胺硫脲測定水中銅、鋅 及鉛含量之灵敏色比色法·····	赵鍾美·····	64
上海市自来水公司用比光式濁度仪測定混濁度法·····		69
上海市自来水公司提高混凝沉淀池工作效率的經 驗·····	宋仁元·····	74
上海市自来水公司利用发电厂的冷却水为給水水 源的經驗·····	閔奇若·····	80
上海市自来水公司改进离心水泵点滴經驗·····	吳 騄·····	86
上海市自来水公司給水調度經驗总结·····	金能始·····	92
上海市自来水公司上水道安裝工程施工点滴經驗·····		104
上海市自来水公司防治搖蚊幼虫經驗·····	黃元鈞·····	116

混凝理論与淨水設備調度

林家謙

一、序 論

純淨的水，在普通条件下为无色无味无嗅之透明液体，在自然界中无純淨的水。天然水中皆含有雜質，所含雜質如系溶解于水中时，則將不影响水的透明度（指肉眼觀察），所含雜質如系不溶解物而悬浮于水中时，則將大大的影响水的透明度。由于悬浮在水中的顆粒大小不同、形狀不同、光学性質不同，其所造成的光学現象亦有所不同。

顆粒大小大于照射光綫的半波波長时（可見光綫，波長在 400 ~ 750 $m\mu$ 之間），光綫將被反射，若此顆粒为透明体时，則更將同时发生折射現象，被反射及折射光綫的顏色，即將視顆粒对光綫的選擇吸收性質而定。

顆粒大小小于照射光綫的半波波長时（如膠体顆粒其大小在 1 ~ 100 $m\mu$ 之間），則光綫將发生散射現象，顆粒为球狀无色非金属时（膠体金属顆粒对光綫的吸收能力甚強），散射光强度可用雷萊方程式表示如下：

$$I = 24\pi^3 I_0 \left(\frac{n_1^2 - n_2^2}{n_1^2 + n_2^2} \right)^2 \frac{N u^2}{\lambda^4}$$

或

$$I \lambda^4 = \text{常数}$$

式中

$$\begin{cases} I_0 = \text{入射光强度} \\ I = \text{散射光强度} \\ n_1 = \text{顆粒折射率} \\ n_2 = \text{介質(水)折射率} \\ N = \text{顆粒数} \\ u = \text{顆粒体积} \\ \lambda = \text{入射光波長} \end{cases}$$

根据实验证明上列方程式仅适用于顆粒大小为 $5 \sim 100 m\mu$ 时, 若顆粒大小为 $100 \sim 150 m\mu$ 时則方程式应为 $I\lambda^3 = \text{常数}$, 顆粒大小为 $150 \sim 250 m\mu$ 时, 則为 $I\lambda^2 = \text{常数}$ 。对很大的顆粒則 $I\lambda^0 = \text{常数}$, 意即 I 与波長无关。

天然水中含有各种性質不同、大小不同、形狀不同的悬浮物質时, 其所造成光学的綜合現象, 遂使人們視覺上呈有混濁的印象, 因此观察水的混濁程度, 借以判断水質是否良好, 不失为一最簡便的鉴定方法。虽然必需指出水質澄清, 尚不能断定水質必然良好。混濁的水常不适宜于生活飲用或工业使用。一般水質标准規定对水的混濁度皆有甚高的要求, 故对淨水工艺而言, 去除水的濁度当为其最主要的任务。

欲去除水的濁度, 即分离悬浮于其中的雜質, 可利用悬浮顆粒的重力作用, 通过靜置或緩流使其自水中沉降而得以分离。但此法仅能去除顆粒較大較重的悬浮物, 事实上在淨水工艺中对一般沉淀池設計, 仅考虑最小沉速为不低于 0.2 公厘/秒者。水中悬浮物沉降速度与水的密度粘度有关, 亦与悬浮物之密度、体积及形狀有关。悬浮物顆粒愈小則其沉降速度亦愈小, 沉降速度在假定顆粒形狀为球形, 直徑不大于 0.1 公厘时, 可根据史托克公式加以計算。在大多数情况下, 呈混濁状态的天然水, 其所含有的悬浮物顆粒直徑皆在 5μ 以下。故此种悬浮物沉速极慢, 絕非一般沉淀池所能去除, 水中更微小之悬浮物, 其顆粒直徑小于 1μ 者, 此种顆粒因受水中分子运动影响作不断的布朗运动, 故根本无沉降現象而能形成頗稳定的悬浮状态。至于更微小的膠体顆粒, 其直徑約为 $0.1 \sim 0.001 m\mu$ 之間, 此种膠粒除作不断的布朗运动外, 因其負有一定符号的电荷, 顆粒与顆粒之間受静电力作用互相排斥, 不至碰撞, 凝結成較大顆粒而沉降, 故所造成的混濁状态亦更为稳定。显而易见, 如何破坏这种稳定状态, 即所謂凝聚处理, 在淨水过程中极关重要, 亦惟有將水中悬浮物質稳定性加以破坏后, 才能使后繼

的沉淀處理、過濾處理，或接觸過濾處理，得以順利進行。

依照膠體化學的觀點，分散在水（分散介質）中的分散相，由於分散程度的不同，所構成的體系可分為三種類型，其一為懸浮液與乳濁液，其分散相顆粒橫斷面大小是大于 0.1μ 。此種體系為動力學不穩定者，即分散相迟早將沉降于底部。其次為真溶液，其分散相大小是小于 $1m\mu$ ，此種體系為單相，均衡及熱力學穩定者。最后即所謂膠體溶液，其分散相大小在于 $1\sim 100m\mu$ 之間，此種體系雖為動力學穩定但為熱力學不穩定及不均衡者，即分散相顆粒有企圖增長以減小二相之間分界面的傾向。

膠體溶液又可分為親液膠與增液膠二種，親液膠體溶液為高分子物質的均衡溶液，性質接近于真溶液，而增液膠體溶液則為不溶解物質分子的顆粒聚合體所組成，其性質即為典型的膠體溶液性質。在一般情況下，天然水源水之色度多系處於親液膠體狀態的有機物質如腐植質等所造成，而水之混濁度則多系處於增液膠體狀態的無機物質如粘土等所造成。我公司各水廠淨水工友累積多年來實際操作經驗，將黃浦江水源水分為黃水、白水、黑水等數類，而與上述分類原則可以符合。估計所謂黃水即屬於懸浮液，水中雜質以顆粒大小，大于 0.1μ 者為主。白水屬增液膠液，以雜質顆粒大小處於 $0.1\sim 0.001\mu$ 之間者為主。黑水則屬親液膠液，系因水源水被污染而含有高分子有機物質所致。當然，在所有的情況下，黃浦江水所含雜質顆粒大小，屬於各種類型者皆有，但比例不同而已，因此我淨水工友對水源水尚有淡黃色水、灰色水、清水等之分。黃水大都出現於每年 2、3 月及 8、9 月，即黃浦江水位最低及最高期間，其他季節多為淡黃水或白水，至于黑水或灰色水則因水源經常受生活、工業廢水等污染，故隨時可在落潮時間出現。

上文已述及，在淨水工藝中，凝聚處理極為重要，凝聚處理之效果如何與水中所含雜質的顆粒類型，數量多寡，有莫大的關係，而其中尤以膠體微粒及顆粒小于 1μ 者影響最大，從事淨水工作

者,欲掌握淨水工艺,改善淨水工艺,必需对膠体微粒的結構、电性質、稳定性,以及凝聚作用的原因、过程与影响因素有深切的了解。

二、水中膠体的構成及其物理化学性質

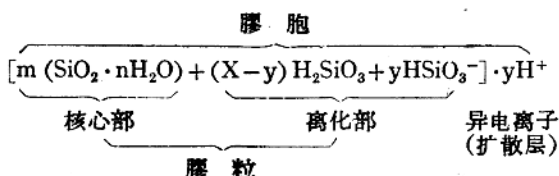
增液膠体:受天然水流冲刷地面上之粘土等无机物質成高度分散状态微粒而分散于水中,此种微粒即所謂增液膠体,乃为一多分子聚合体,其結構如下:

整个膠体單位称为膠胞,膠胞可分为二个部分即:

1. 膠粒: 膠粒中心为核心部, 系由相当数目的相同分子所組成。核心部外围为离化部, 系由被核心部所吸附的某种可离解分子所組成。离化部中一部分分子未离解而一部分分子則发生离解, 因此每个膠粒皆負有电荷, 所負电荷符号与数量則視离化部分子离解的方式与程度而定, 一般天然水中的粘土膠粒皆負有負电荷。

2. 扩散层: 膠粒离化部中所离解出之异电离子, 扩散在四周的分散介質(水)中, 即形成为扩散层。

茲举二氧化矽膠体为例, 將其結構图示意如下:



如下图 1 所示, 膠胞之电荷情况为一双电层, 其一为內层即离化部(又称吸附层或海姆荷次层), 在內层中被核心表面吸附之离子称为形成电位离子(图中的 HSiO_3^-), 此离子紧密地与一部分异电离子(图中的 H^+)相連即形成一不动层, 此不动层所負电荷符号显然即为形成电位离子的电荷符号, 亦即为膠粒的电荷符号。不动层中形成电位离子与异电离子之間电位称为形成电位(又称固定电位或 ϵ 电位)即整个不动层体系中的电化学电位(热力学电

位), 不动层的厚度“ δ ”则取决于离子半径。其次为外层, 即扩散层 (又称流动层或古依层)。由于热运动及分散介质 (水) 的极性作用, 内层中一部分异电离子扩散于四周的分散介质中而形成了此流动层。流动层中电荷密度随离开带电胶粒的距离增加或减小, 当流动层对不动层作相对移动时, 显然将产生一

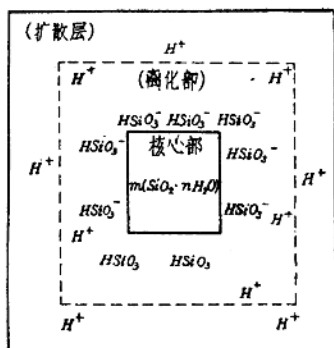


图 1

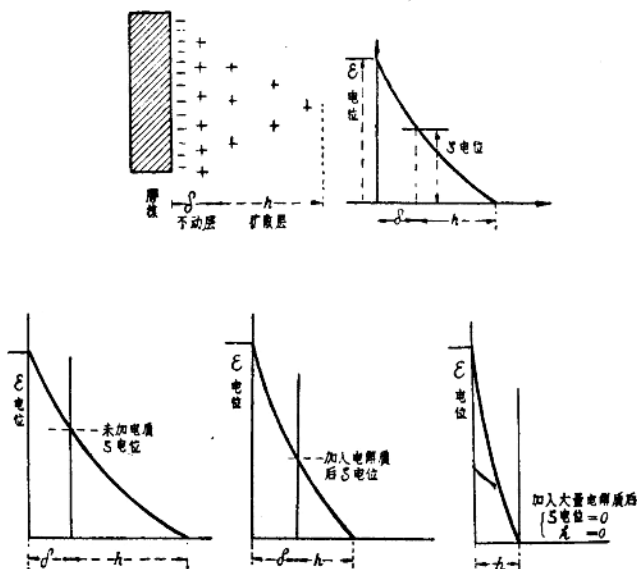


图 2

电动势,即称为流动电位或 ξ 电位,一般意見皆認為扩散层愈厚則 ξ 电位、膠粒电荷、膠粒間排斥力亦愈大,亦即膠体溶液之稳定性愈高,此种情况可用图2图解表示如上:

因此,对某一膠体溶液的稳定性可用其 ξ 电位大小来表示。 ξ 电位約为70毫伏特时,膠体溶液甚稳定,若 ξ 电位降低至某一程度,以致膠粒間之静电排斥力不能敌过膠粒布朗运动动能时,則將发生撞击,并借范德华吸力而凝聚成較大顆粒。此时之 ξ 电位,称为临界电位,对呈渾濁状态的天然水而言,一般皆認為其临界电位为20~40毫伏特(ξ 电位为0时,称为等电位或等电状态)。

欲破坏膠体体系的稳定性,显然应从降低其 ξ 电位着手,或从压缩以减薄扩散层之厚度着手;扩散层情况与地球表面上空气分布情况或与“离子气氛”情况极相似,其厚度 h 可用下列方程式表示:

$$h = \frac{A}{\sqrt{\sum Z_i^2 r_i}}$$

式中 A 为常数, $\sum Z_i^2 r_i$ 称为溶液的离子强度,其中 Z_i 为离子的化合价,而 r_i 則为其分子濃度。显而易见欲减小 h 值只需增加 $\sum Z_i^2 r_i$ 值即可。为达到此目的,在实际操作中,仅需在膠体体系中加入相当濃度而能生成高价离子的电解質,即能使 h 值减少, ξ 电位降低而发生凝聚作用。

現代淨水工艺中,对凝聚处理所采用的电解質,不外乎硫酸鋁、明礬、氯化鋁等鋁凝聚剂以及硫酸亞鉄、硫酸高鉄、三氯化鉄等鉄凝聚剂。采用鋁鹽、鉄鹽的理由为此种化合物价格低廉,溶解于水中时即能离解成高价离子(Al^{+++} , Fe^{+++}),此外并能生成对凝聚作用有助的水解化合物,关于此点下文將再述及。

在天然水源水中,呈膠体状态的粘土,其膠粒皆負有負电荷,其异电离子可为 Na^+ , K^+ , Mg^{++} , Ca^{++} , H^+ , Al^{+++} , 或 Fe^{+++} , 此則視水中所含有离子的情况而定。按照上列次序,异电离子被膠

粒吸附程度依序遞增，故通常粘土膠粒所吸附异电离子为 Na^+ 或 K^+ 时，則远較所吸附异电离子为 Al^{+++} 或 Fe^{+++} 时为稳定。当將某种电解质加入水中时，所加入离子与被膠粒吸附的异电离子之間，將发生离子交换作用，此交换作用除服从質量作用定律外，尚与离子化合价、阳离子种类、离子大小等有关。基于上述的离子交换吸附現象，吾人对渾濁水的性質可用其离子交换能力加以表示。某种水的离子交换能力与此水中所含有膠粒的性質、多寡有关，故与凝聚作用的效果如何有莫大的关系。度量水之离子交换能力的單位为微毫克当量/公升，意即每公升水中所含有的膠体，其可被交换的离子为若干微毫克当量之謂。最后尚应指出，在測定渾濁水之硷度时，若使用滴定法，則所加入的 H^+ 离子，部分將被交换吸附，致使所测硷度結果偏高，对此現象，在进行凝聚作用研究时亦应加以注意。

亲液膠体：实际上亲液膠体溶液为一真正溶液，但因所溶解的物質系高分子量化合物，其分子远較溶剂分子为大（如蛋白質的分子量可为数万至数十万）且多作杆狀或綫狀，故具有某些特殊的性質。高分子物質溶解于水中（或其他溶剂）后，各个分子（或离子团）大小与所謂增液膠体膠粒大小属同量級，因此亦呈有与增液膠粒相类似的分子动力性質及光学性質，但高分子物質溶液終究为真溶液，与由不溶解于水的增液膠体所形成的膠体溶液有本質上的不同，前者为單相均衡体系，后者則为二相或多相的微非均态体系，故現代膠体化学，已不作亲液膠、增液膠之分，过去所謂亲膠体溶液称之为高分子物質溶液，对增液膠体溶液則称之为膠体溶液。

高分子物質溶液与膠体溶液有显著不同的性質，茲仅就与淨水方面有关的不同性質列举于下：

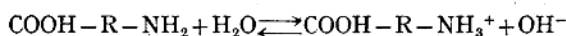
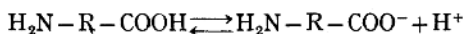
I. 高分子物質溶液粘度远較膠体溶液为大。

II. 低濃度的电解质即可使膠体溶液发生沉淀，而欲使高

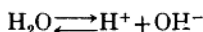
分子物質溶液发生相同的沉淀效应，必須加注入濃度甚高的电解质。

III. 膠体溶液中膠粒皆負有一定符号的电荷，非經特殊方法处理不至变更符号，而高分子物質溶液中发生离解作用，帶有电荷的高分子量离子，其电荷符号极易改变，溶液中氫离子濃度不同时，其电荷符号亦随之变更，或为負电荷或为正电荷，此种現象称之为两性电性，欲了解两性电性原因可举蛋白質为例，蛋白質为一胺基酸，欲了解其帶电行为只需研究一胺基酸即可。

一胺基酸水溶液，其离解情况如下：



又水的离解为：



从上列三个离解平衡方程式，可得下面三个离解公式：

$$\frac{C_{\text{H}^+} \cdot C_{\text{R}-}}{C_{\text{A}}} = K_{\text{a}} \quad (1)$$

$$\frac{C_{\text{OH}^-} \cdot C_{\text{R}+}}{C_{\text{A}}} = K_{\text{b}} \quad (2)$$

$$C_{\text{H}^+} \cdot C_{\text{OH}^-} = K_{\text{w}} \quad (3)$$

式中： C_{A} 为未离解分子的濃度

$C_{\text{R}-}$ 为高分子量阴离子的濃度

$C_{\text{R}+}$ 为高分子量阳离子的濃度

K 为离解常数

当溶液中高分子量，阴阳离子濃度互相等时，显然为一等电状态，亦即为一不稳定状态，高分子物質有凝聚沉积的傾向。在等电状态时，溶液之 pH 值称为此溶液的等电点，其数值可根据上列三个离解公式計算之，在等电点时显然为：

$$\begin{aligned}
 C_R &= C_R + \\
 (1) \rightarrow \frac{C_H +}{C_{OH-}} &= \frac{K_a}{K_b} \\
 C_H^2 + &= \frac{K_a}{K_b} C_{OH-} \cdot C_H + \\
 C_H^2 + &= \frac{K_a}{K_b} K_w
 \end{aligned}$$

故
$$pH = -\log \sqrt{\frac{K_a K_w}{K_b}}$$

故一高分子物质溶液其 pH 值低于等电点时，则高分子阳离子占优势，其 pH 值大于等电点时，则高分子阴离子占优势。

能形成高分子物质溶液的化合物种类极多，无法一一枚举。对天然水源水而言，其所以含有高分子物质皆系受污染所致。一般所遇见者，皆为来自动植物的蛋白质类化合物，或已部分分解的蛋白质类如腐植酸、腐植质等。水中若含有腐植质则呈黄色、黄褐色或甚至为黑色，此即造成天然水呈有色度的主要原因。在净水工艺中，当然亦应包括去色的处理在内，根据以上所述，已可预知去除浊度与去除色度所需的有利条件，可能并非一致，所幸一般的天然水源水，尤其是有卫生防护措施的水源，色度问题皆不严重，在净水过程中如能达到去除浊度的目的，则色度亦能相应地减低至期望的要求，大多数情况下可认为在去除浊度的处理中，所形成的凝聚颗粒有吸附腐植质等有色物质的能力，因此色度得以相应去除，虽然必需指出对个别特殊水源水，在去除浊度后，其所呈色度可能仍然颇高而不能符合水质要求。此在水源水选择勘察工作时，不可不加以注意，否则必需考虑，净水过程中的特殊处理，以求能达到去色的目的。

三、凝聚作用

凝聚作用种类 上文已再三指出凝聚作用在净水工艺中极其

重要，目前一般淨水過程中的加礬混凝處理、沉淀處理、過濾處理，以及最近蘇聯所首創的接觸過濾處理，其中所牽涉到的凝聚作用各不相同，凝聚作用可分為下列數種類：

I. 本體凝聚作用(Perikinetic Coagulation) 在天然混濁水中加入某高價電解質如硫酸鋁、硫酸鐵等混凝劑後，所離解出的高價陽離子 (Al^{+++} 或 Fe^{+++} 等) 除將與水中膠粒發生離子交換外，並將發生壓縮膠粒擴散層厚度的作用，而使膠粒 ζ 電位下降至臨界電位，或甚至於零，此時每個膠粒皆處於接近或不帶電荷的不穩定狀態，由於布朗運動或人工所造成的運動，微粒將互相發生碰撞，並借所謂范德華吸引力而逐漸凝聚成較大顆粒，此種現象吾人即稱之為本體凝聚作用。所加入電解質如系能發生水解作用者，如硫酸鋁、鐵等，則在適當條件下，將形成有粘合作用的氫氧化物微粒 [$Al(OH)_3$ 、 $Fe(OH)_3$]。此種微粒與水中原有已失去電荷的膠粒，將一併凝聚成較大的顆粒，而在凝聚作用過程中起很大的幫助作用，因此所謂本體凝聚又可分為“單純本體凝聚”與“粘本體凝聚”二種類型。嚴格地講，所謂粘本體凝聚應為一吸附凝聚。在淨水處理中“單純本體凝聚”效果較差，“粘本體凝聚”則效果顯著。既然如此，在淨水工藝中所選擇的混凝劑，除因價格低廉及能生成高價陽離子外，當然亦應為能發生水解作用而生成有粘合性氫氧化物者，此亦所以鋁鹽、鐵鹽化合物較普遍採用作混凝劑之理由。此外當然尚需注意適合發生水解作用的條件究竟為何，關於此點，下文將再述及之。

II. 吸附凝聚作用(Orthokinetic Coagulation) 在一多分散相體系中，以較粗大的粒子為中心，而粘附其他較細小粒子的現象即稱為吸附凝聚作用。此種現象顯然即為表面吸附作用。造成表面吸附作用的原因，甚為複雜，但主要原因不外乎為范德華吸引力以及由於分界面處形成雙電層現象，而發生的靜電吸引力等所致。淨水工藝中的沙濾處理，即屬吸附凝聚作用。一般濾池中濾料間

之空隙远較被除去之水中微粒为大，故淨水工艺中的過濾处理，絕非普通的篩濾作用而系为吸附凝聚作用。在濾池开始运行之初，濾料表面清洁，其所发生的吸附作用，称为异相吸附凝聚。随后濾料表面为被吸附微粒所包住，但吸附凝聚仍繼續进行，此时所发生之吸附作用則称为同相吸附凝聚，即簡称为吸附凝聚。

四、水中混凝作用过程及影响混凝作用的某些因素

淨水处理过程 我公司所属五个水厂，其淨水处理过程与国内外的一般淨水厂皆相类似，即加混凝剂混和，反应室混凝，沉淀池沉淀，及濾池過濾，整个处理过程中所发生的变化如下：

(一)源水中加入混凝剂后立即发生化学反应，此化学反应包括混凝剂离解作用，与水中膠粒发生离子交换作用，降低膠粒 ζ 电位作用以及生成氫氧化物的水解作用。此一系列的化学反应，进行速度极快，一瞬間即告完成，溫度对反应进行的速度虽有影响，但因整个化学反应，过程時間极为短促，故实际上可認為溫度并不发生影响。

(二)通过第一阶段的化学反应，源水中各种微粒的帶电情况发生变化，原有之帶电膠粒已失去电荷，此外尚有新形成的分子状态氫氧化合物，所有此种微粒皆作布朗运动，以致互相碰撞而凝聚成較大顆粒，顆粒逐漸增長，至其大小达 1μ 时則將失去其布朗运动能力，而即結束此第二阶段变化，第二阶段時間久暫与溫度有密切关系，可用斯謨魯霍夫司基凝聚公式說明如下：

被实验所証实的斯氏公式为

$$n_t = \frac{n_0}{1 + Bt}$$

式中 n_0 为开始时微粒数， n_t 为 t 時間后微粒数， B 为一常数其数值为：

$$B = 4\pi R D n_0$$

其中 R 为粒子吸引力作用范围半径, D 为扩散系数, D 值与温度成正比例, 温度愈高则 D 值愈大, n_i 亦愈小, 意即达到相同凝聚程度所需时间亦较短, 通过简单的试验, Camp, Root 及 Bhoota (Jour. A. W. W. A. Vol. 32, №11, P. 1913) 等认为此第二阶段在不同季节水温下, 其时间约为 6~10 秒。

第一、二阶段变化所需时间皆极短促, 为使源水中所进行的各种反应皆能均衡发展, 故要求混凝剂加入后能与源水迅速混和, 否则反应室中所进行的混凝效果将较差。根据 N. A. 邱尔尼高夫研究结果认为混和时间应为 30~40 秒 (宋仁元: 我对澄清设备发展趋势看法, 给水文集 1956 年第一期)。

(三) 上阶段所形成之颗粒尚极微小, 务需促其继续凝聚成较大颗粒为沉淀处理创造条件, 所形成的颗粒, 既已失去布朗运动能力, 互相碰撞之机会当然大为减少, 凝聚作用进度亦大受影响, 故在此阶段中, 必需用人工方法在水中造成适宜运动, 增加颗粒互相碰撞机会, 使凝聚作用得能继续进行, 此即所谓反应室的混凝作用。混凝作用的效果如何非常重要, 后续的沉淀与过滤处理效果如何, 皆将取决于混凝作用是否良好, 影响混凝作用效果的因素极多, 兹分述如后:

I. 离子交换能力之影响:

根据郎席李尔 (Langelier) 研究试验结果, 对离子交换能力极高的源水, 通过单纯本体凝聚过程的混凝作用, 效果甚好, 对离子交换能力低的源水, 通过单纯本体凝聚过程的混凝作用, 效果则甚差, 其原因因为离子交换能力较低之源水, 其中所含有的微粒数量甚少, 故互相碰撞机会亦甚少, 混凝作用效果, 亦当然不佳。郎氏所试验之对象为一种人造源水, 其硬度一律为 25 P. P. M., 离子交换能力以微毫克当量/公升表示, 所得结果为惟有离子交换能力大于 $250 \mu e/l.$ 的水, 方可在单纯本体凝聚的混凝作用中获得良好的效果, 否则混凝效果甚差。一般天然水其离子交换能力皆不高, 美

国情况为 $50\mu\text{e}/\text{l}$. 左右, 故使用单纯本体凝聚作用无法达到希望的净水要求, 欲解决此困难, 其方式有二: 其一为在水中加入所谓助凝剂, 如胶体二氧化矽溶液 (貝列斯法 Baylis) 或污泥等物以增加水的离子交换能力, 其次为创造有利于粘本体凝聚作用进行的条件, 上文已曾述及源水中加入混凝剂后, 在适当条件下, 将发生水解作用而形成氢氧化物致使水中微粒数量大为增多, 此种情况对混凝作用极为有利, 故粘本体凝聚的混凝效果皆较显著, 一般天然水源水的混凝效果与加混凝剂(硫酸铝)量的关系可用图 3 图解表示如下:

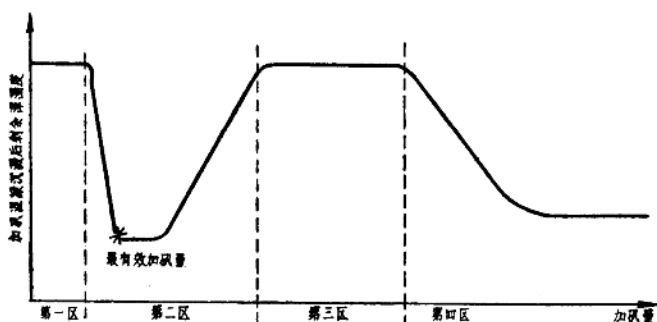


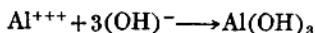
图 3

图中横坐标为混凝剂加注量(硫酸铝) 纵标为经过混凝, 沉淀后水之剩余浑濁度数, 借以表示混凝效果。

表示混凝效果之曲线可划分为四个区域:

在第一区中, 水中虽然加入混凝剂, 但浑濁度丝毫未見降低, 其原因为所加入的混凝剂全部消耗在与水中膠粒进行离子交换作用, 故无凝聚作用发生。

在第二区中, 离子交换作用已告结束, 多余的混凝剂即与水中硷度发生水解作用, 而形成氢氧化物。



氫氧化鋁在互相凝聚過程中，同時吸附凝聚水中原有之膠粒，故濁度得以去除。隨著混凝劑量的增加，氫氧化鋁的數量亦增加，故混凝效果亦提高，混凝劑量達最有效量時，水之剩餘濁度亦達到其最低點。眾所周知，一般所採用的混凝劑，如硫酸鋁等，加入水中後，由於水解作用，將降低水之鹼度，而使酸度（即氫離子濃度）增高，所形成的氫氧化鋁為一兩性電解質，其離解方程式為



根據質量作用定律，水中之酸度愈高，則離解方程式愈將趨向右方，意即 $\text{Al}(\text{OH})_3$ 數量將愈為減少，而以 Al^{+++} 陽離子狀態存在於水中，因此不斷的增加加礬量反使 $\text{Al}(\text{OH})_3$ 數量逐漸減少，混凝效果亦隨之降低，此即第二區中曲線在超過最有效加礬量後，反而上升之原因。

在第三區中，加礬量甚高，致使水中酸度亦過高，此時 $\text{Al}(\text{OH})_3$ 不可能形成，故根本無粘本體凝聚作用發生，同時所加入礬量，其所離解成的 Al^{+++} 陽離子量，尚不足以降低水中膠粒之 ζ 電位至臨界電位，故單獨本體凝聚作用亦不發生，因此水中混濁度亦無絲毫降低現象。

在第四區中， Al^{+++} 陽離子量已足能降低膠粒 ζ 電位至臨界電位，故單純本體凝聚開始發生，濁度亦因此逐步降低，顯而易見 Al^{+++} 達到能使膠粒 ζ 電位接近於零時，再繼續增加混凝劑量並不能再提高混凝效果。

以上所述之第二區域即粘本體凝聚部分，是否存在，當然應視加礬後水中 pH 值情況而定，pH 值過高或過低， $\text{Al}(\text{OH})_3$ 皆不可能存在，亦即不能發生粘本體凝聚作用， $[\text{Al}(\text{OH})_3]$ 形成的 pH 值為 6.5~7.5 之間] 惟有離子交換能力較低的源水，方有粘本體凝聚作用部分，離子交換能力甚高的源水，由於第一區甚廣闊，水中膠粒離子交換作用所消耗的混凝劑量甚高，至離子交換作用階段結束時與所加注入混凝劑量相應的 pH 值已甚低，故根本無

粘和本体凝聚作用可发生，繼續加高混凝量所將发生者为單純本体凝聚作用，如图 4 所示：

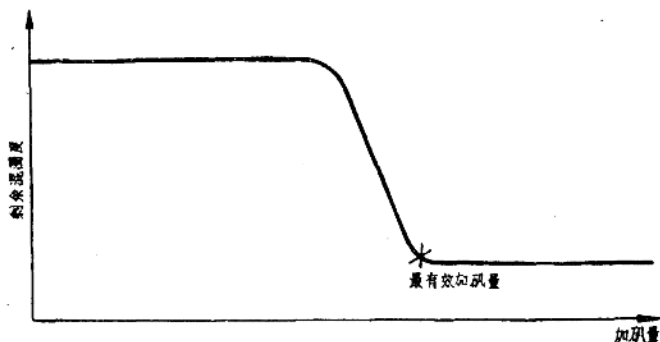
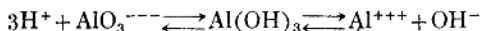


图 4

上图曲线并无再上升情况，曲线下降部分，可能为單純本体凝聚，亦可能其中一部分有粘和本体凝聚，此則与源水其他水质因素有关，可根据不同加礬量后所得之水的 pH 值情况而了解之，至于离子交换能力适中的源水，其混凝效果曲线則为第二、三区部分，比較狭小而已。

II. 礬度与 pH 值之影响

根据上述之情况，可知对某一固定的源水，其礬度过高或过低皆无益处，礬度过高 (OH^- 浓度高) 則离解作用



將趋向左方， $\text{Al}(\text{OH})_3$ 不能形成，因此必需加注大量硫酸鋁以降低 pH 值，至最有利于 $\text{Al}(\text{OH})_3$ 形成的数值时 (7.0~7.2) 方能发生混凝作用，此种情况当然应視為混凝剂的浪费，反之若水中礬度过低，則所形成 $\text{Al}(\text{OH})_3$ 数量当然甚少，如此則混凝效果亦当然較差，并且上述混凝效果曲线之第二区部分必甚狭窄，造成实际操作上控制的极端困难。加礬量稍有不妥的增减皆將使混凝效