



15

工業污染防治技術手冊

廢水處理 常用化學藥劑



序

防治工業污染，乃當前工業發展重點工作之一。本團自民國七十二年成立以來，即積極展開輔導國內污染性工廠有關防治污染之技術。在輔導工作進行期間，深覺工業污染防治範疇內之技術資料頗為缺乏，且多為英文，其實用性甚難為國內業者普遍接受。

本團有鑑於此，乃自七十三年起，陸續準備各類有關資料，於輔導工廠時提供其參考；由於此等技術性資料深具實用性，的確有助於污染防治之改善，頗為業者所喜愛。七十五年開始，本團更進一步，有系統地將各類處理技術，分門別類，陸續延聘國內知名專家學者撰寫成冊，予以編印，免費提供各界參考，期能加速業界對污染防治技術之普遍提昇，從而達成發展工業兼顧環境保護之目的。

本手冊為曾迪華教授所撰寫，曾教授目前任教於國立中央大學環境工程學研究所，作育英才，原極忙碌，為協助本團推動防治工業污染工作，特抽空就所專精撰寫專文，除敬表欽佩外，並致誠摯的謝忱。

工業污染防治技術服務團

楊萬發

中華民國八十二年六月

目 錄

	頁 次
第一章 前 言-----	1
第二章 消毒劑-----	3
2.1 消毒原理-----	3
2.2 常用消毒劑之特性-----	3
2.2.1 氯-----	3
2.2.2 次氯酸鹽-----	4
2.2.3 二氧化氯-----	5
2.2.4 臭氧-----	5
2.3 處理效果-----	11
第三章 化學氧化還原劑-----	17
3.1 化學氧化還原原理-----	17
3.2 常用氧化劑與還原劑之特性-----	17
3.2.1 氧-----	17
3.2.2 過氧化氫-----	18
3.2.3 高錳酸鉀-----	18
3.2.4 二氧化硫-----	21
3.2.5 亞硫酸鹽-----	21
3.3 處理效果-----	22
3.3.1 氧化作用-----	22
3.3.2 氯化作用-----	22
3.3.3 臭氧之氧化-----	23
3.3.4 高錳酸鉀之氧化-----	23
3.3.5 過氧化氫之氧化-----	23
3.3.6 還原作用-----	24
第四章 混凝劑-----	27
4.1 混凝原理-----	27
4.2 常用混凝劑之特性-----	27

4.2.1	硫酸鋁	27
4.2.2	氯化鐵	28
4.2.3	硫酸鐵	30
4.2.4	硫酸亞鐵	31
4.2.5	鋁酸鈉	31
4.2.6	石灰	32
4.2.7	聚合物	32
4.3	處理效果	35
4.3.1	混凝沉澱作用	35
4.3.1.1	石灰	35
4.3.1.2	鋁鹽	35
4.3.1.3	鐵鹽	37
4.3.1.4	聚合物	37
4.3.2	污泥之化學調理	38
4.3.2.1	鐵鹽或鋁鹽	38
4.3.2.2	石灰	38
4.3.2.3	聚合物	39
第五章	中和劑	41
5.1	中和原理	41
5.2	常用中和藥劑之特性	41
5.2.1	中和酸性廢水之藥劑	41
5.2.1.1	苛性鈉	42
5.2.1.2	蘇打灰	43
5.2.2	中和鹼性廢水之藥劑	44
5.2.2.1	二氧化碳	45
5.2.2.2	硫酸	46
5.2.2.3	鹽酸	46
5.3	處理效果	47
5.3.1	中和酸性廢水	47
5.3.1.1	鹽基性鈉化合物	47

5.3.1.2 鹽基性鹼土類化合物-----	47
5.3.1.3 石灰石-----	47
5.3.2 中和鹼性廢水-----	47
5.3.2.1 強酸-----	48
5.3.2.2 二氧化碳-----	48
第六章 廢水處理所需加藥量之決定-----	49
第七章 結論-----	51
參考文獻-----	53
附錄一：化學藥劑於水和廢水處理之應用	
附錄二：廢水處理典型之加藥量	

圖 目 錄

	頁 次
圖 一 臭氧器之基本構造-----	11
圖 二 利用空氣製造臭氧之流程圖-----	12
圖 三 HOCl 、 OCl^- 和 pH 間之關係-----	12
圖 四 消毒時間與濃度關係-----	14
圖 五 氯和二氧化氯相對地殺菌效率-----	15
圖 六 苛性鈉溶液之黏滯度-----	43
圖 七 蘇打灰溶液之黏滯度-----	44

表 目 錄

	頁 次
表一 理想與常用化學消毒藥劑特性比較-----	7
表二 氯氣之性質-----	8
表三 液氯之性質-----	9
表四 臭氧在水中之溶解度-----	10
表五 各種消毒劑之致命係數-----	15
表六 過氧化氫之性質-----	19
表七 水溶液過氧化氫之物理性質-----	20
表八 高錳酸鉀之性質-----	20
表九 二氧化硫之物理性質-----	22
表十 氯化鐵之特性-----	29
表十一 氯化鐵在各種強度溶液時析出結晶的平均溫度-----	30
表十二 硫酸鐵之特性-----	31
表十三 各種石灰之特性-----	34
表十四 各種污泥脫水方式常用之化學調理劑-----	40
表十五 一般燃料之二氧化碳產生量-----	46
表十六 決定化學加藥量之試驗方法-----	49
附表1-1化學藥劑於水和廢水處理之應用-----	55
附表2-1廢水處理氯化作用之目的和所需之加氯量-----	59
附表2-2水處理氯化作用之目的和所需之加氯量-----	60
附表2-3典型之除磷所需混凝劑藥量-----	60
附表2-4聚合物應用於廢水處理和所需藥量-----	61
附表2-5典型之污泥濃縮所需加藥量-----	61
附表2-6污泥化學調理所需藥量-----	62
附表2-7聚合物應用於污泥處理和所需藥量-----	63
附表2-8常用鹼性和酸性藥劑之中和因素(Neutralization Factors)-----	64

第一章 前言

為了淨化水質，減低水污染負荷或將有害物質轉化為無害物質，在處理都市污水或工業廢水的操作過程中，經常須加入某些化學藥品，以達到下列各項不同之目的：

1. 消毒
2. 混凝與膠凝
3. 沉降水中之溶解物質
4. 酸鹼度之調整
5. 污泥之調理
6. 氧化還原

但化學藥劑可應用於水處理，污水處理和工業廢水處理的種類和形式甚多，同時同一種藥劑經常可使用於不同的目的⁽¹⁾。適當地選擇和使用化學藥劑於廢水處理，必須先對化學藥劑的特性，處理效果，加藥方式和反應控制等加以瞭解，最終才能經濟地、有效率地達到處理之目的。

本文乃針對以上之廢水加藥處理的目的，對於常用之化學藥劑，就其特性和效果，分別加以討論。至於化學藥劑的加藥型態及機械，反應控制和控制儀器將另文敘述。

第二章 消毒劑

2.1 消毒原理

消毒(disinfection)乃是將水中之致病微生物破壞或使其失去活性，但不一定完全滅菌(sterilization)。在廢水處理中，一般要求將細菌(bacteria)，病毒(virus)和阿米巴囊(amoebic cysts)三類病菌破壞。消毒的方法可分為：化學藥劑法、物理法、機械法和輻射法⁽²⁾，其中化學藥劑法最普遍應用於廢水處理。

以化學消毒藥劑破壞病原性微生物，其反應機構目前仍未明瞭，但有證據顯示，大部份之消毒劑乃是與微生物的細胞蛋白質作用破壞蛋白質，特別是使主要的酵素系統(enzyme systems)失去活性，進而使微生物無法維持其生命。根據在細胞內出現或產生的酵素，假設消毒的反應機構至少包括兩個步驟：(a)消毒劑滲入細胞膜，和(b)消毒劑作用於細胞之酵素，使細胞質直接退化，而達到消毒的目的⁽³⁾。

2.2 常用消毒劑之特性

廢水處理常用的消毒劑有氯、次氯酸鈉(漂白水)、次氯酸鈣(漂白粉)、二氧化氯和臭氧。理想消毒劑和上述五種常用消毒劑特性比較示於表一⁽²⁾。下列各節，將就各種消毒劑之物理、化學特性加以討論。

2.2.1 氯(Chlorine)

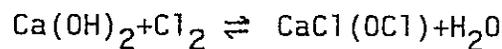
氯原子Cl，其原子數為17，原子量為35.457。氯分子Cl₂，分子量為70.914。氯在元素狀態時，為一黃綠色氣體，它能很快地被壓縮成琥珀色液體，並在大氣壓(atmospheric pressure)和溫度-150°F(-100.98°C)時凝固。氯氣在溫度49.3°F(9.5°C)和大氣壓下，含有水分時，變為Cl₂·8H₂O之水狀結晶。一般商用上，氯通常以液氯壓縮在鋼瓶內使用。液態氯大約較水重1.5倍，氣態氯較空氣重2.5倍。液氯在一般的大氣溫度和

壓力下會很快的蒸發，產生刺激性的味道，吸入少量，可致咳嗽、流淚、喉痛，多量則引起嘔吐，甚至窒息而死。皮膚觸及液氯，則有似灼傷之劇痛。故在使用時應特別注意安全措施，不能洩漏。氯氣和液氯的物理和化學性質分別節錄於表二和表三。

2.2.2 次氯酸鹽 (Hypochlorite)

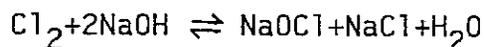
次氯酸鹽可分為普通漂白粉 (chlorinated lime)，次氯酸鈣 (calcium hypochlorite，通稱強力漂白粉) 及次氯酸鈉 (sodium hypochlorite)。

普通漂白粉係消石灰與氯在微量水之存在下，反應生成之 $\text{CaCl}(\text{OCl})$ ：



一般工業成品，含有約至70%的 $\text{CaCl}(\text{OCl})$ ，20% $\text{Ca}(\text{OH})_2$ 和一些碳酸鹽。其有效氯含量大約僅35% (理論值為56%)，儲存期間，因受溫度、光線、水分等影響，致使有效氯之含量逐漸減低，經年消失95%之有效氯。普通漂白粉末中，未反應之石灰及雜質多，致使溶解時殘渣較多。而次氯酸鈣，係石灰漿中通入氯氣，再去除 CaCl_2 , $\text{Ca}(\text{OH})_2$ ，精製為 $\text{Ca}(\text{OCl})_2$ ，一般稱為強力漂白粉，為白色粉狀，不易吸濕，性質安定，其有效氯含量約為70% (理論值為99.2%)。石灰 $\text{Ca}(\text{OH})_2$ 含量少於3至5% (故殘渣或污泥量少)。在正常儲存情況，經年消失大約僅3至5%之有效氯。

次氯酸鈉係由氯和蘇打 (caustic soda) 在水溶液中反應生成：



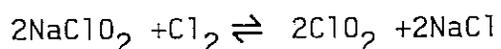
商用次氯酸鈉，或稱漂白水 (liquid bleach)，通常含5-16%之有效氯 (重量比)，必須存放於特殊容器，其性質較次氯酸鈣不穩，且易分解，如在製造過程中，控制其鹼度，使pH值接近11.0，並不含有金屬離子，可增加其穩定性。儲存溫度不可超過85°F (30°C)，否則增加其分解率，一般宜儲存在陰冷之處，同

時儲存期限不宜超過60至90天。

不論何種次氯酸鹽，皆具有某些程度的腐蝕性，且接觸時會刺激皮膚、眼睛及肌肉。所以在配製或處理次氯酸鹽溶液時，必需配戴橡皮手套、圍裙、護目鏡等保護裝備。皮膚接觸到時，必須迅速用水沖洗。

2.2.3 二氧化氯 (Chlorine dioxide)

二氧化氯同氯一樣，有氣體和水溶液兩種。但氣體的二氧化氯在商業上不被使用，因其極不穩定且具有爆炸性。在水及廢水處理操作中，一般僅使用水溶液的二氧化氯，其係在操作現場以亞氯酸鈉溶液，加入氯氣而生成者。其反應為：



二氧化氯氣體為深黃綠色並帶有強烈味道，其較氯氣更具刺激性及毒性。其溶解度在室溫和 30 mmHg壓力為 2.9公克 ClO_2 /公升，密度為2.4，沸點為11°C，熔點為 -59°C。當溫度升高，曝露於光中，或與有機物質接觸時，皆會產生爆炸。

二氧化氯在水溶液中完全無害。雖然其易溶於水，但不與水產生化學反應，故只要在水中通入小量之空氣，即可將其從溶液中脫除，因之，在開放式容器 (open vessel)，其性不穩定且強度會減弱。如果適當的儲存在暗處，二氧化氯水溶液可保持其強度至數個月以上。

2.2.4 臭氧 (Ozone)

臭氧 O_3 ，分子量為48，是氧之同素異形體。其特性為具有刺激性臭味之不穩定藍色氣體。在大氣層之上層（等溫層），約海平面60,000至90,000呎以上，臭氧自然發生，其濃度為10至12PPM(體積比)。在地面上，臭氧之濃度少於0.01PPM時，通常完全無害。若臭氧之含量在大氣層中超過0.25PPM，則被認為對人體有害。當濃度在1.0PPM時，則相當地有害於健康。

臭氧在一般溫度和壓力，其沸點為-111.9°C，密度大約為0.1351b/ft³。由於它為不穩定氣體，故很容易分解成正常氧

(normal oxygen)和初生氧(nascent oxygen)。而後者是很強的氧化劑，同時亦具有殺菌作用。臭氧在水中之溶解度主要地決定於溫度和 O_3 在氣態的分壓(partial pressure)。表四⁽⁵⁾為臭氧在不同溫度下之溶解度。

臭氧之製造，最普遍的方法乃是應用電暈放電原理(corona discharge principle)，即在兩固定電極間，藉電介體(dielectric)高壓電流(4,000至30,000V)，將空氣(air)中之氧(O_2)轉化成臭氧(O_3)，如圖一所示。若以空氣為原料製造臭氧時，在溫暖或潮濕的環境下，臭氧會迅速分解成氧分子，而減少臭氧的產生量，同時，若有水分存在，會與氮化合物作用，轉變成硝酸而腐蝕電極。因此，為增加產量和防止腐蝕，在臭氧器(ozonator)之前，通常設有空氣過濾器(air filter)，空氣壓縮器(compressor)，冷凍和乾燥器(cooler and drier)，以防止灰塵進入及吸收水分。同時臭氧器本身亦需裝設冷卻系統，以減少放電時產生之高熱。圖二為利用空氣製造臭氧的流程圖。

表一 理想與常用化學消毒藥劑特性之比較

特 性	理想消毒劑	氯 Cl ₂	氣 NaOCl	次氯酸鈉 NaOCl	次氯酸鈣 Ca(OCl) ₂	二氧化氯 ClCO ₂	臭 氧 O ₃
對微生物 毒 性	在高稀釋度下 應仍具高毒性	高	高	高	高	高	高
溶 解 度	必須溶於水或 細胞組織	微量	高	高	高	高	高
穩 定 度	儲存時殺菌力 損失少	穩定	稍不穩定	相當穩定	不穩定，使 用時才可生產	不穩定，使 同時才可生產	
對高等動 物毒性	對微生物應具 毒性而對人類 及其他動物則 無毒性	對高等動物 甚毒	毒	毒	毒	毒	毒
均 勻 性	溶液成份應設 均勻	均勻	均勻	均勻	均勻	均勻	均勻
其他物質 之作用	除細菌細胞外 應不被其他有 機質吸收	會氧化有機物	活性氧化劑	活性氧化劑	高	高	會氧化有機物
在周圍溫度 下之毒性	於周圍溫度範 圍內應有	高	高	高	高	高	甚高
滲透力	應具有滲透表 面能力	高	高	高	高	高	高
腐蝕性/ 沾染性	不應損毀金屬 及沾染衣物	高腐蝕性	腐蝕	腐蝕	腐蝕	高腐蝕性	高腐蝕性
除臭能力	於殺菌時應能除臭	高	中等	中等	中等	高	高
供應情況	應可大量供應 而具合理價格	價廉	價格中下	價格中下	價格中下	價格中等	昂貴

表 二 氯氣之性質

分子式	Cl_2
分子量	35.457
原子序	17
同位素	33,34,35,36,37,38,39
密度 (於32°F, 1 atm)	0.2006 lb/ft ³
比重 (於32°F, 1 atm)	2.482 (空氣=1)
液化點 (於1 atm)	-30.1°F (-34.5°C)
粘度 (於68°F)	0.01325cP
(近似飽合蒸氣 1至10大氣壓之間)	
比熱 (定壓力, 於 1atm, 59°F)	0.115 Btu/lb/°F
比熱 (定體積, 於 1atm, 59°F)	0.085 Btu/lb/°F
熱導度 (於32°F)	0.0042 Btu/hr/ft ² /°F/ft
與NaOH之反應熱	626 Btu/lb/ Cl_2 氣體
溶解度 (於68°F)	60.84 lbs/1000gal=7mg/l

表 三 液氯之性質

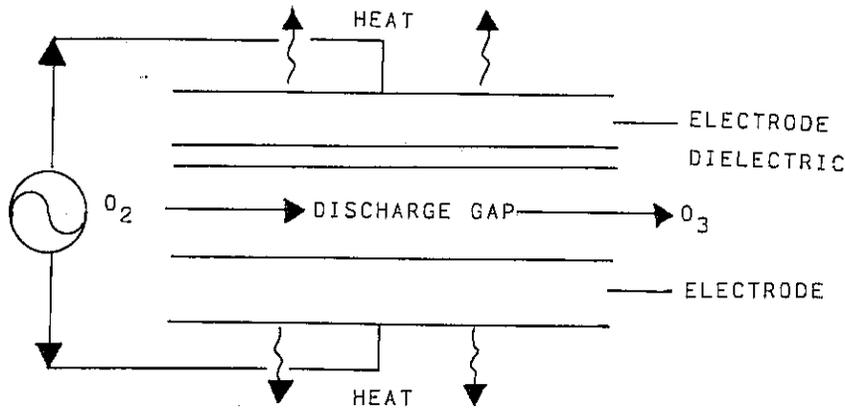
臨界溫度	144°C (291.2°F)
臨界壓力	1118.36 psia
臨界密度	573 g/l(35.77 lbs/ft ³)
可壓縮性	0.0118%/單位體積/atm (於68°F時增大)
密度(於32°F)	91.67 lbs/ft ³
比重(於68°F)	1.41 (水=1)
沸點(於1 atm)	-34.5°C(-30.1°F)
凝固點	-100.98°C(-149.76°F)
粘度(於68°F)	0.342 cP(約為水於68°F之0.35倍)
1 單位體積液體於32°F，1 atm=457.6 單位體積氣體	
1 lb液體於32°F，1 atm=4.98 ft ³ 氣體	
比熱	0.226 Btu/lb/°F
氣化潛熱(於-29.3°F)	123.8 Btu/lb
熔解熱(於-150.7°F)	41.2 Btu/lb

表 四 臭氧在水中之溶解度

溫度(°C)	本生係數(α_B)	亨利係數 ($K_H \times 10^{-4}$)
0	0.49	3.95
5	0.44	3.55
10	0.375	3.0
20	0.285	2.29
30	0.2	1.61
40	0.145	1.17
50	0.105	0.85

$$\alpha_B = \frac{O_3 \text{ 在水中之濃度}}{O_3 \text{ 在氣體之濃度}}$$

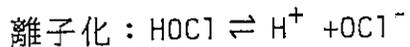
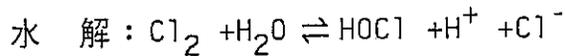
$$K_H = \frac{O_3 \text{ 在液體中之摩爾數}}{O_3 \text{ 在氣體之分壓}}$$



圖一 臭氧器之基本構造(6)

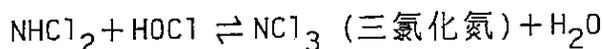
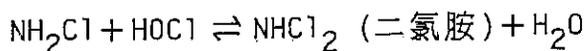
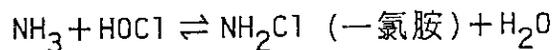
2.3 處理效果

當氯加入水中，由於水解(hydrolysis)和離子化(ionization)作用，形成次氯酸(hypochlorous acid)和次氯酸根(hypochlorite ions)：



由於HOCl分子較易滲透細胞壁（一般表面帶負電），而OCl⁻易受到細胞壁表面之負電排斥，故HOCl之消毒效果較OCl⁻為強。HOCl和OCl⁻又稱為自由有效氯(free available chlorine)，其分佈之百分比依據水中之pH值而定，如圖三所示。在實際操作時，pH值非常重要，因pH值愈低，HOCl所佔百分率愈高，消毒的效果愈佳。

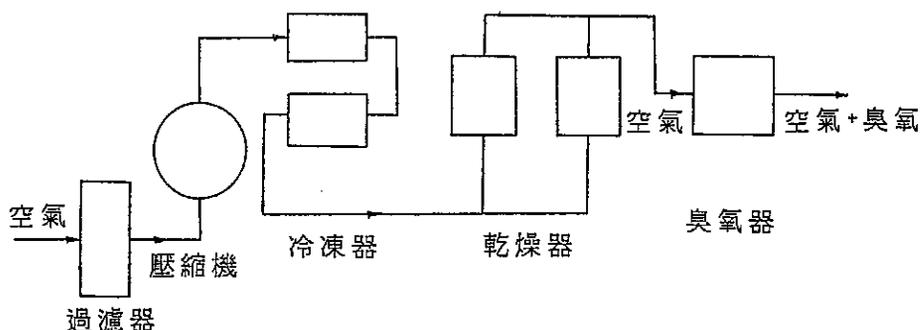
廢水中經常含有氨氮(ammonia nitrogen)，而次氯酸又為強氧化劑，能很快地與氨氮反應生成氯胺(chloramines)：



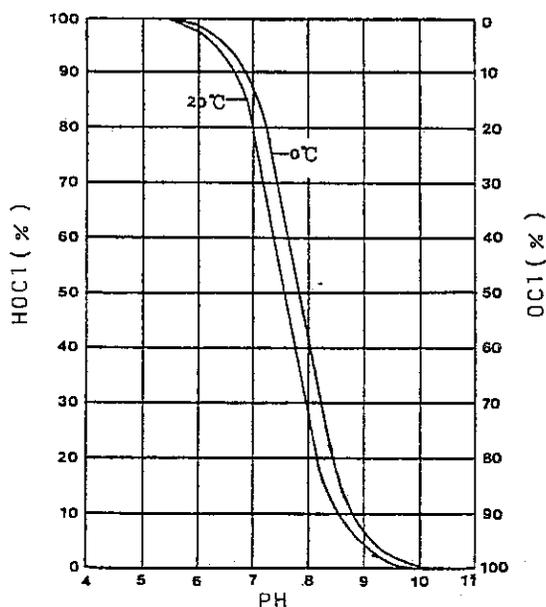
上列各反應之生成，依據於pH值，溫度，接觸時間和氯量對氨量的比率。通常一氯胺和二氯胺為主要的生成物（三氯化氮僅

在低pH值時生成)，稱之為結合有效氯 (combined available chlorine)，其仍具有消毒能力，但反應相當慢，故消毒效果較自由有效氯差。

液氯或氯氣注入水中，趨於降低水中之pH值，但次氯酸鹽，例如次氯酸鈉和次氯酸鈣，趨於升高pH值，故在緩衝能力較差之水中，液氯或氯氣所生成之有效氯(available chlorine residue)具有較強的消毒效果。



圖二 利用空氣製造臭氧之流程圖(7)



圖三 HOCl, OCl⁻和pH間之關係

下列四項因素，對於加氯消毒的效果有減小的趨勢：

- a. 當水中含有氨或有機氮時：因氨氮能被氯氧化生成一氯胺，二氯

胺或三氯胺和氮氣(N₂)，消耗氯的使用量。同時，一氯胺和二氯胺等結合有效氯，其殺菌效率低。

- b. 高pH值 (大於7.5)：因pH值愈高，OCl⁻所佔的百分率愈高。如前所述，OCl⁻之殺菌能力較HOCl小，故pH值愈高，殺菌效果愈差。
- c. 低水溫：消毒藥劑經由細胞壁的滲透，或消毒劑與細胞酵素的化學反應為速率控制(rate controlling)時，溫度影響消毒速率的程度將因滲透或化學反應速率的程度而異。其反應常數與溫度間之關係，可依亞罕尼丁方程式(Arrhenius Equation)表示。

$$K_T = K_{20} \beta^{(T-20)}$$

此處K_T = 在某溫度T 時之反應速率常數

K₂₀ = 在溫度20°C時反應速率常數

β = 常數

因此，在溫度愈高時，消毒劑之滲透或與細胞酵素之化學反應速率愈快，則殺菌消毒的速率愈快。反之，溫度愈低時，效果愈差。

- d. 不足夠的加藥量和接觸時間：消毒劑濃度與殺死某一百分比數量細菌所需時間的關係，一般可用一經驗公式表示：

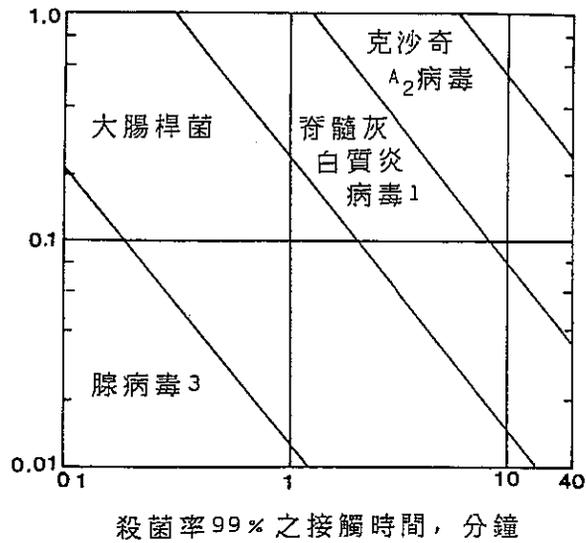
$$C^n t = \text{常數}$$

此處 t = 殺死某一百分比數量細菌所需時間

C = 消毒劑濃度

n = 消毒劑之特性常數

上述為一經驗式，如使用雙對數座標，在固定消毒效率時，繪濃度對接觸時間之關係可得一直線，其坡度為(1/n)。圖四為HOCl消毒劑在0-6 °C，99%殺菌率之濃度對時間關係曲線。此圖明顯指出，消毒劑HOCl，對於不同種類之細菌，有不同的濃度對時間關係曲線。換言之，有許多病毒，其對於消毒劑

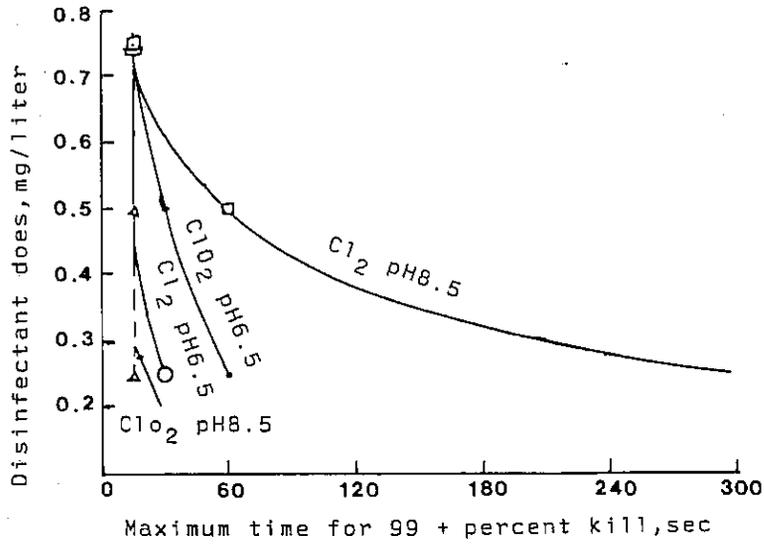


圖四 消毒時間與濃度關係 (3)

抵抗的能力較作為污染指標之大腸菌 (E.Coli) 為強，故消毒劑藥量或接觸時間必需增大。

二氧化氯不與水中之氨氮或氮化物反應，包括最簡單的胺基酸，故二氧化氯用在消毒廢水處理廠之放流水時，較氯之消毒效果佳。一般實際操作顯示，二氧化氯在中性pH值時，大約與氯有相同的殺菌效率，但當pH值升高至8.5時，二氧化氯的殺菌效率大大地增加。圖五說明二氧化氯與氯在不同的pH值時，其相對的殺菌效果。在pH值為6.5時，顯然氯較為有效，當pH升至8.5時，氯的效果減低，因為在此pH值時，僅有8.72%的HOCl自由氯，而在pH=6.5時，HOCl自由氯佔89.2%。當氯的處理效果隨pH增高而降低，可是二氧化氯的消毒效果卻增加。如圖在PH8.5，二氧化氯0.25mg/l時，殺死99%大腸菌所需時間僅15秒。因此在高鹼度廢水或高pH之石灰軟化水的消毒，使用二氧化氯較為有效。

臭氧是非常強的氧化劑，做為消毒劑，其氧化的能力為氯兩倍，能夠殺死一般細菌及病毒，且相當不受溫度和pH的影響。摩利氏 (Morris) 用致命係數 (specific lethality coefficient) A



圖五 氯和二氧化氯相對地殺菌效率⁽⁴⁾

，來比較各種消毒劑的效果，其值如表五所示。

表中數值顯示，A 值愈大，殺菌效果愈佳，即所需藥量或接觸時間愈少。故對同一型態之細菌，臭氧之殺菌效果最佳。

表五 各種消毒劑之致命係數⁽⁹⁾

試 劑	腸 菌	變形蟲胞囊	濾過性病毒	孢 子
O ₃	500	0.5	5	2
HOCl as Cl ₂	20	0.05	1.0 up	0.05
OCl as Cl ₂	0.2	0.0005	<0.02	<0.0005
NH ₂ Cl as Cl ₂	0.1	0.02	0.005	0.001

第三章 化學氧化還原劑

3.1 化學氧化還原原理

氧化還原最早之狹義定義為一物質與氧的反應及另一物質失去氧的反應，至原子結構學說昌明後，廣義的氧化為一物質失去電子，即物質的氧化狀態 (Oxidation state) 增加，相反地，還原為另一物質獲得電子，即物質的氧化狀態減少。氧化與還原在一反應中必同時發生，獲得電子之物質稱為氧化劑，失去電子的物質稱為還原劑。利用氧化還原之原理以處理廢水，其目的在於使廢水中有害之污染物質轉變成另一種無害之物質，這些污染物質包括無機物與有機物；無機物中以 Mn^{2+} 、 Fe^{2+} 、 S^{2-} 、 CN^- 、 SO_4^{2-} 之氧化及 CrO_4^{2-} 、 CrO_7^{2-} 之還原最常見，有機物則以去除酚、臭、味、色度、毒性有機物及有機物之生物氧化為主要。

3.2 常用氧化劑與還原劑之特性

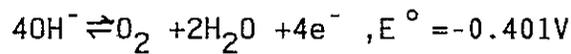
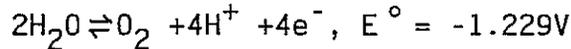
除了生物氧化 (biological oxidation) 外，氧化還原反應在目前因經濟的關係，僅應用於飲用水處理，特殊工業用水及特殊廢水之三級處理。此外，因考慮到餘毒 (residual toxic) 或其他有害的影響，氧化還原反應應用於廢水處理時，其理想是當氧化還原處理完成後，沒有任何殘餘的氧化物 (oxidant) 存在為最佳。故廢水處理常用的氧化劑與還原劑種類不多。

氧化還原處理廢水，以氧化劑被使用的機會較多，常用之氧化劑有氯系氧化劑 (如液氯、氯氣、漂白粉、漂白水)、臭氧、過氧化氫、高錳酸鉀、空氣或氧等。還原劑為二氧化硫、亞硫酸鹽、硫酸亞鐵等。氯系氧化劑和臭氧之特性已於 2.2 節中討論過，其餘的氧化劑和還原劑之特性分述於后。

3.2.1 氧 (Oxygen)

氧微溶於水，其在水中之溶解度因溫度而異，如在 $0^{\circ}C$ 時為 14.6mg/l ，在 $35^{\circ}C$ 時為 7mg/l 。氧在水中之溶液可以 $O_2 \cdot H_2O$ 或 $O_2 \cdot 2H_2O$ 表示。氧之陰電性標 (electronegativity)

，即對於電子的親和性，為 3.5；在酸性和鹼性溶液中，其標準氧化電位分別是 -1.229 和 -0.401 伏特。



儘管元素氧有傾向於較低氧化狀態的趨勢，但在一般溫度和壓力下，氧之反應性還是相當慢，這可由氧化反應之反應速率相當緩慢證明。氧化反應常須較高的活化能(activation energy)，主要係因破壞氧原子與氧原子之間的鍵(oxygen-oxygen bond)所需之能量(118.9Kcal/mole)相當高，此表示分子狀態的氧是相當無化學活性，故反應是相當緩慢。如果有某種觸媒協助，降低破壞鍵所需能量，則氧化反應將能進行很快。雖然氧化作用之反應緩慢，但從經濟觀點而論，如果氧是有效的氧化劑，則可直接經由曝氣(aeration)將氧以空氣(air)的形式注入溶液中，以進行氧化反應。

3.2.2 過氧化氫 (hydrogen peroxide)

過氧化氫 H_2O_2 ，俗稱雙氧水，分子量為 34.016，是弱酸性，純淨無色液體，易與水混合成任何比例。在商業上，一般可買到不同濃度之水溶液。高濃度之過氧化氫，為高能量之材料和強氧化劑，為了安全因素，在處理時必須小心。一般而言，過氧化氫對於皮膚、眼睛黏膜有刺激性。然而，低濃度之過氧化氫(3-6%)常在醫學和化妝品上使用。當使用高強度之過氧化氫，必須格外注意，避免吸入蒸氣或直接和溶液接觸。如果意外地接觸到過氧化氫，應立刻以大量清水沖洗患部。純過氧化氫之物理特性列於表六。水溶液之過氧化氫，為市面上所常見，其物理特性列於表七。

3.2.3 高錳酸鉀 (Potassium Permanganate)

高錳酸鉀 KMnO_4 ，為黑色或紫色結晶體並帶有藍色金屬光澤，其味帶甜澀味，但嗅其無臭。同時，它非常易溶於水，故容易使用。高錳酸鉀之水溶液，依其濃度，呈現粉紅至紫色的外觀。

由於含有微量之鹼，其水溶液的pH值大約在 8左右。如高錳酸鉀之含量相當高，可能放出相當高之熱量，而易造成火災之危險，同時當其與有機物或易氧化物質接觸，不論在溶液或乾燥狀態，皆易發生爆炸現象，故一般使用時，皆配置成稀溶液(1-4%)。高錳酸鉀之特性列於表八。將高錳酸鉀儲存在乾冷且黑暗環境，可保持其性質。水溶液若遇光線，二氧化錳或其他雜質，可能產生輕微觸媒分解。對於鋼鐵不具腐蝕性，但會破壞橡膠或某些塑膠。使用高錳酸鉀，做為氧化劑，在操作上較其他氧化劑有一主要缺點，即是必須分離所產生之不溶於水之二氧化錳。但如果使用高錳酸鉀於含有混凝、沉澱和過濾等操作單元之系統，通常將不構成問題。

表 六 過氧化氫之特性⁽¹⁰⁾

特 性	數 值
熔點 °C	-0.41
沸點 °C	150.2
密度 (於25°C) g/ml	1.4425
粘度 (於20°C) mPas(=cP)	1.245
表面張力(於20°C)mN/m(=dyn/cm)	80.4
電導係數(於25°C) per Ω .cm	4×10^{-7}
溶解熱 J/g	367.52
比熱(於25°C) J/g	2.628
蒸發熱(於25°C) KJ/g	1.517
解離常數(於20°C)	1.78×10^{-12}
解離熱 KJ/mol	34.3

表 七 水溶液過氧化氫之物理性質⁽¹⁰⁾

液體組成 wt%H ₂ O ₂	凝固點 °C	沸 點 °C	氣體組成 wt%H ₂ O ₂	密 度 於25°Cg/ml	蒸 發 熱 於25°CkJ/g
10	-6.4	101.7	0.9	1.0324	2.357
20	-14.6	103.6	2.1	1.0694	2.274
30	-25.7	106.2	4.2	1.1081	2.192
40	-41.4	109.6	7.6	1.1487	2.105
50	-52.2	113.8	13.0	1.1914	2.017
60	-55.5	119.0	20.8	1.2364	1.926
70	-40.3	125.5	33.4	1.2839	1.832
80	-24.8	132.9	51.5	1.3339	1.733
90	-11.5	141.3	75.0	1.3867	1.627

表 八 高錳酸鉀之性質⁽⁵⁾

分子式： KMnO_4			
分子量： 158.03 g/mole			
結晶形態：斜方晶系			
比 重： 2.073 g/cm ³			
溶解熱： 10.2 Kcal/mole in 700 moels of water at 16°C			
KMnO ₄ 在水中溶解度：			
溫 度		溶 解 度	
(°F)	(°C)	(g/100ml)	(OZ/gal)
32	0	2.8	3.75
50	10	4.4	5.85
68	20	6.5	8.6
86	30	9.0	12.0
104	40	12.5	16.7

3.2.4 二氧化硫 (sulfur dioxide)

二氧化硫為無色但具有刺激性味道之氣體，它可被冷卻和壓縮成無色液體。氣體之二氧化硫較空氣重2.26倍；液體之二氧化硫較水重1.44倍。此外，液體之二氧化硫若無封閉會很快地蒸發成氣體。

二氧化硫微溶於水，在60°F時，其溶解度大約為1磅/加侖，此約為11%強度之溶液。同時它的溶解度隨水溫之增高而減少。當二氧化硫溶解在水中時，它形成亞硫酸(H_2SO_3)之弱溶液。

二氧化硫，不論氣體或液體，不具燃燒性或爆炸性。乾燥的二氧化硫對於鋼鐵或普通金屬不具腐蝕性，但若有水分存在則腐蝕力甚強。二氧化硫與氯一樣，同為刺激性氣體，若接觸或吸入，因水分之故生成亞硫酸，對於眼睛、鼻子、喉嚨和肺之黏膜可造成不同程度的刺激。二氧化硫之其他物理性質示於表九。

3.2.5 亞硫酸鹽

亞硫酸鹽主要的成分有亞硫酸氫鈉(sodium pyrosulfite, $NaHSO_3$)，硫代硫酸鈉(sodium metabisulfite, $Na_2S_2O_3$)和亞硫酸鈉(sodium sulfite, Na_2SO_3)，它們皆為白色結晶狀粉末，非常易溶於水。因它們對眼睛、皮膚和呼吸系統有刺激性，故在加藥處理時，應穿戴保護衣物。貯存在乾冷且封閉之容器內可保存至六個月。

表 九 二氧化硫之物理性質

分子式	SO ₂
分子量	64.06
沸點(在1atm)	14°F
溶點(在1atm)	-103.9°F
臨界溫度	314.82°F
臨界壓力	1141.5psia
蒸發之潛熱(在32°F)	161.77BTU/lb
蒸氣對乾空氣之相對密度(在32°F, 1atm)	2.2636
蒸氣密度(在32°F, 1 atm)	0.1827 lb/ft ³
液體比重(在32°F比水在4°C)	1.486
液體密度(在32°F)	89.58 lb/ft ³
蒸氣比容(在32°F, 1atm)	5.47 ft ³ /lb

3.3 處理效果

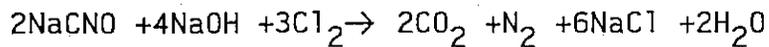
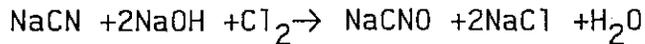
3.3.1 氧化作用

空氣為最廉價之氧化劑，故在可能處理之範圍內常被使用。但由於大氣氧不是很強之氧化劑，除用於幫助好氧性微生物分解有機物外，一般僅用於經由汽提(air stripping)去除揮發性氣體，例如二氧化碳，硫化氫，甲烷和其他低沸點有機化合物；或由化學氧化作用去除二價鐵、錳，如果反應時間足夠，亦可分解某些造成味與臭之有機化合物。

3.3.2 氯化作用

氯化作用很早就被應用於廢水之消毒及臭味之去除，亦可用於氧化硫化氫、亞硝酸鹽、錳、鐵等，現更被廣泛應用於工業廢水處理，如電鍍廠廢水氰化物氧化，染整廢水色度之去除。現以含氰化物廢水之氯化處理為例說明之。

含氰化物廢水具很強毒性，其處理方法甚多，其中以在鹼性狀況加氯氧化最為普遍，其反應分為兩個階段：



第一階段係將氰化物轉變成毒性較低之NaCNO，第二階段加氯繼續氧化，最終生成無毒的CO₂和N₂氣。此等反應需在鹼性溶液進行，若pH在8.5以下，將產生CNCI，與CN⁻同俱毒性。分解反應所需時間亦因pH值而異，pH值高反應速度快。

3.3.3 臭氧之氧化

臭氧為一強氧化劑，使用時不生臭味，可以直接由大氣之氧在高壓電下產生。其缺點為使用費用高，臭氧生產效率及臭氧氣體注入廢液之問題發生。一般利用臭氧處理廢水之污染物有：

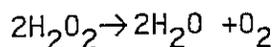
- a. 色度之去除
- b. 味與臭之去除
- c. 消毒
- d. 鐵錳之去除
- e. 酚廢水之氧化
- f. 氰化物之氧化

3.3.4 高錳酸鉀之氧化

高錳酸鉀為強氧化劑，可用以分解有機物，如酚類，及一些有毒之無機物，如氰鹽等；亦可用於氧化鐵、錳、硫化氫，控制味與臭和殺死藻類。但因此藥劑費用比其他氧化劑高出很多，故應用於廢水處理並不經濟。

3.3.5 過氧化氫之氧化

過氧化氫，近年來，其使用於處理家庭污水和工業廢水的數量正逐漸的增加，因過氧化氫分解 (decomposition)時，僅生成水和氧：



故適合於做為污染控制的藥劑。

從文獻資料顯示，過氧化氫應用於處理都市污水時，可以

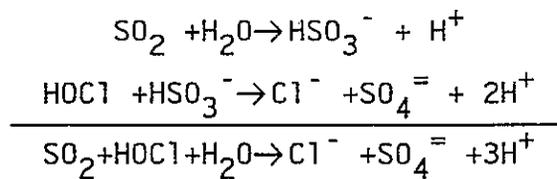
氧化污水管線內因厭氣反應所生成之硫化氫；做為過度負荷(overloader) 活性污泥廠所需氧之補充來源；控制二級沉澱池內之脫氮(denitrification)和膨化現象(bulking condition)。在處理工業廢水時，可將毒性物質轉變成無毒之物質，例如處理含氰化物，酚類等廢水。

3.3.6 還原作用

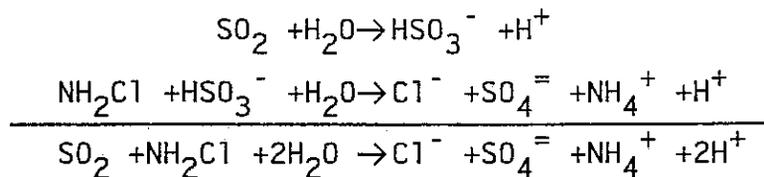
還原作用應用於廢水處理單元中，最主要的是脫氯(dechlorination) 和處理含鉻之工業廢水，例如染料製造，鉻鞣處理，和電鍍工廠之廢水均含有鉻。

脫氯作用較常使用的還原劑是二氧化硫，其與自由有效氯和結合有效氯之反應如下：

與自由有效氯之作用：



與結合有效氯之作用



從上式之關係大約去除 1PPM 的氯，需0.9PPM的二氧化硫。

含鉻金屬廢水，一般以 Cr^{3+} ， Cr^{6+} 存在，其中 Cr^{6+} 溶解度高且毒性大，故處理含鉻金屬廢水時，需先將水中之 Cr^{6+} ，用還原劑還原為 Cr^{3+} ，再利用 Cr^{3+} 之低溶解性加鹼提高pH值，使產生 $\text{Cr}(\text{OH})_3$ 沉澱而去除。還原反應，pH需在 3以下才可進行，當還原終了進行沉澱反應時，pH宜在7.5-8.5 間。還原劑 SO_2 ， FeSO_4 ， Na_2SO_3 ， $\text{Na}_2\text{S}_2\text{O}_3$ ， NaHSO_3 等均可使用，在規模小的處理廠，為了使用方便和安全起見，以使用固態之鈉鹽為佳，於規模很大

的處理廠可考慮使用 SO_2 做為還原劑。二氧化硫之優點為在水中水解為 H_2SO_3 ，故用二氧化硫時，常不需另加酸，且污泥量較少，較為經濟。

第四章 混凝劑

4.1 混凝原理

混凝乃是藉加入某些化學混凝藥品，使原本散佈在水溶液中帶靜電荷之膠體粒子的穩定性質，藉壓縮粒子擴散層(double layer compression)，吸附及電價中和(adsorption and charge neutralization)，沈澱物掃曳作用(enmeshment in a precipitate)，或吸附及架橋作用(adsorption and interparticle bridging)，以破壞粒子間穩定性質，減低彼此間互相排斥的力量而傾向聚合在一起，最終使粒子凝結成較大之顆粒，而易於沈降去除之。

4.2 常用混凝劑之特性

混凝劑通常使用於廢水處理和污泥化學調理者有：無機類的石灰 $\text{Ca}(\text{OH})_2$ 、硫酸鋁 $\text{Al}_2(\text{SO}_4)_3 \cdot 14\text{H}_2\text{O}$ 、氯化鐵 FeCl_3 、硫酸亞鐵 FeSO_4 、硫酸鐵 $\text{Fe}_2(\text{SO}_4)_3$ 和鋁酸鈉 $\text{Na}_2\text{Al}_2\text{O}_4 \cdot 3\text{H}_2\text{O}$ 及有機類的聚合物(polymer)。此類混凝劑之特性分述於后。

4.2.1 硫酸鋁 (Aluminum sulfate)

硫酸鋁俗稱明礬，有固體和液體狀兩種。市面上之固體狀硫酸鋁，用於廢水處理者，常稱之為過濾明礬(filter alum)，其化學式為 $\text{Al}_2(\text{SO}_4)_3 \cdot 14\text{H}_2\text{O}$ ，分子量約為600。明礬之顏色為白色至乳白色，1%溶液之pH值約為3.5。固體明礬依其顆粒大小有如下之等級。

等級(Grade)	靜止角(Angle of repose)	體密度(bulk density) lb/ft ³
塊狀(Lump)	—	62至68
粒狀(Ground)	43°	60至71
米狀(rice)	38°	57至71
粉狀(Powdery)	65°	38至45

以上每一等級最少含鋁量為27% Al_2O_3 ，最大三氧化鐵 (Fe_2O_3)含量為0.75 %。

固體明礬在不同溫度之溶解度如下：

溫 度		溶 解 度	
°F	°C	lb/gal	kg/l
32	0	6.03	0.72
50	10	6.56	0.79
68	20	7.28	0.87
86	30	8.45	1.01
104	40	10.16	1.22

固體明礬本身不具腐蝕性，但如吸附空氣中之水氣，長期置放於潮濕環境則具腐蝕性。所以，貯存時必須注意儲存空間不能含有水分。粒狀及米狀級的明礬，較為普遍被使用，因其具有較佳之流動特性(flow characteristics)。加藥時，粒狀級明礬會產生明礬灰塵(alum dust)，易對眼睛和鼻子造成輕微刺激，故操作時必須戴口罩和手套以保護之。

液狀硫酸鋁的比重視濃度和溫度而定，當濃度超過 8.3-8.4 % Al_2O_3 時容易析出結晶而阻塞加藥設備，因此大約8.3% Al_2O_3 或49% $Al_2(SO_4)_3 \cdot 14H_2O$ 之濃度最適合搬運和貯存。另外，此溶液在30°F之溫度會析出結晶，在18°F之溫度則結凍。

4.2.2 氯化鐵 (Ferric chloride)

氯化鐵在市面上有三種主要型式：液態(liquid)，水合結晶(hydrated crystal)和無水(anhydrous)固體。無水的氯化鐵為顆粒狀，而水合結晶為不規則塊狀。液態氯化鐵為 $FeCl_3$ 溶在水中之暗棕色液體(20-45% $FeCl_3$)。以上三種型式氯化鐵的特性示於表十。無水氯化鐵較少使用於廢水處理，因其非常容易吸濕，

具腐蝕特性，且溶於水中時釋出大量熱。液態氯化鐵之輸送和貯存濃度一般為35至45% FeCl₃，因其析出結晶的趨勢和溫度成反比，所以較高強度的溶液，必須貯存於較高之溫度。表十一顯示不同強度氯化鐵溶液之析出結晶的平均溫度。晶體狀氯化鐵必須貯存在乾冷的地方，且保持溫度小於38°C (100°F)，以防止其熔解。氯化鐵在 1% 濃度時，其pH值大約為2.0，故甚具腐蝕性，處理時必須穿戴橡皮手套，圍裙以保護之，如與皮膚、眼睛接觸，須立刻以大量清水沖洗患部並就醫。

表十 氯化鐵的特性⁽¹²⁾

特 性	氣 化 鐵 型 式		
	無 水	晶 體	液 體
成分	FeCl ₃	FeCl ₃ ·6H ₂ O	30-46° Be'
FeCl ₃ 含量	96-97%	60%	20-45%
Fe含量	33-33.3%	20.5%	7-15.4%
形狀	顆粒狀	塊狀	溶液
顏色	黑綠色	黃色	黃棕色
重量	85-90 lb/ft ³	60-64 lb/ft ³	11.2-12.4 lb/gal
吸濕性	易	易	—
熔點	577°F	98.6-102.2°F	±14°F
水解熱量	353BTU/lb	38.2BTU/lb	—

註：BTU/lb × 2.326 = KJ/kg；lb/ft³ × 16 = kg/m³。

表 十一 氯化鐵在各種強度溶液時之
析出結晶的平均溫度⁽¹²⁾

FeCl ₃ , %	析出結晶之平均溫度, °F
39	7
40	14
41	21
42	28
43	36
44	42
45	48
46	55

4.2.3 硫酸鐵 (Ferric sulfate)

市面上出售的硫酸鐵為含有結晶水之固體顆粒，其分子式為 $Fe_2(SO_4)_3 \cdot xH_2O$ 。表十二顯示兩種商用硫酸鐵之物理性質。因為此兩種硫酸鐵為部分水合，僅具輕微的吸濕性，故輸送，加藥和溶解較易，但是在潮濕環境仍會結成塊狀(caking)，硫酸鐵溶於水中時，呈酸性，故亦具腐蝕性。操作使用硫酸鐵之注意事項與硫酸鋁相同。

表 十二 硫酸鐵之特性 (12)

特 性	$\text{Fe}_2(\text{SO}_4)_3 \cdot 3\text{H}_2\text{O}$	$\text{Fe}_2(\text{SO}_4)_3 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$
$\text{Fe}_2(\text{SO}_4)_3$ 含量	68%	最少76%
Fe^{3+} 含量	18.5%	21%
Fe^{2+}	最大3.0%	3.3%
礬土(alumina)	1.0%	—
不溶份	有	有
重量(lb/ft ³)	60-74	78-90
顏色	紅灰色	灰白色
吸濕性	輕微	輕微
形狀	顆粒狀	顆粒狀

4.2.4 硫酸亞鐵 (Ferrous sulfate)

硫酸亞鐵俗稱綠礬(copperas)，為浸酸鋼鐵(pickling steel)之副產品。市面上常用硫酸亞鐵($\text{FeSO}_4 \cdot 7\text{H}_2\text{O}$)為顆粒狀，分子量為278，含有55至58% FeSO_4 和20至21% Fe，體密度大約 $1,000\text{g/m}^3$ (62至66 lb/ft³) 乾燥之硫酸亞鐵在貯存溫度大於20°C (68°F)時會成塊狀，在潮濕空氣會進一步氧化和水合，故必須貯存在乾燥地方。當溶解在水中時，硫酸亞鐵亦具酸性。綠礬之加藥操作所需注意事項與明礬相同。

4.2.5 鋁酸鈉 (Sodium aluminate)

鋁酸鈉 $\text{Na}_2\text{Al}_2\text{O}_4$ ，市面上亦有固態和液態兩種。固態鋁酸鈉為白色或棕色粉末， Al_2O_3 之含量大約41至46%，不具腐蝕性(noncorrosive)，1% 溶液之pH值約為11.9，故鋁酸鈉為鹼性化合物。使用鋁酸鈉時，必須避免與皮膚、眼睛和衣服接觸，同時避免吸入其灰塵。固態鋁酸鈉宜貯存於60°F至90°F之溫度和乾燥之處所，貯存期限不宜超過六個月。液態鋁酸鈉之成

分依製造廠商而不同，其 Al_2O_3 含量約從4.9 至26.7%，貯存時必須避免吸入二氧化碳，貯存期限為二至三個月。液態鋁酸鈉非常黏滯且抗流動，低溫時需加熱至 $21^{\circ}C$ ($70^{\circ}F$)以確保其在加藥管線內之流動。

4.2.6 石灰 (Lime)

做為化學目的使用的石灰是在高溫下鍛燒(calcination) 高品質之石灰石而製成，其產品稱為生石灰(quicklime)，主要成分為氧化鈣(CaO) 和少量的氧化鎂(MgO)。高鈣生石灰含0.5 至2.5% 氧化鎂，含鎂生石灰(dolomitic quicklime) 含35至40% 氧化鎂。生石灰加藥時，一般配製成漿狀體(slurry)又稱為石灰乳(milk of lime)，因石灰是微溶於水，固體含量可高至45%。又因石灰灰塵(dust)和漿體都具鹼性，在飽和溶液時其pH值約為12.4，故操作時必須穿戴保護衣物和護目鏡，以防止皮膚和眼睛灼傷，如與石灰接觸，須立刻以清水沖洗。

市面上之生石灰，其 CaO 含量大約在70至96%，若含量在88% 下，通常被認為低於廢水處理可使用標準，若含量低於75% 以下，必須避免使用，因含有過多粗砂(grit)且水化(slake) 困難。石灰之貯存，必須置於乾燥之處，避免吸入水份，貯存期限可長至一年而不變質。

為了廢水處理之目的，生石灰必須轉化成水合形式 $[Ca(OH)_2]$ ，即熟石灰(hydrated lime)。熟石灰可從市面上購得，亦可在廢水處理廠直接將生石灰加水而得。熟石灰之灰塵和漿體亦具鹼性，飽和溶液之pH值與生石灰相同。因熟石灰為水合石灰，所以僅需足夠水量即可形成石灰乳之型態，一般調配時，在溶解槽中之停留時間通常為五分鐘，在最大加藥率下，配成6% 之漿體。表十三為各種石灰之特性。

4.2.7 聚合物 (polymers)

聚合物之混凝劑為高分子量、長鏈型有機化合物，其亦稱為聚電解質(polyelectrolyte)，所謂聚電解質者，就是構成高分

子的單體(monomer)、含有可以離子化的官能基(functional group)，故沿其長鏈每隔一定間距此有機化合物帶有電荷。聚電解質依其所帶電荷性質分成非離子(nonionic)，正離子(cationic)，負離子(anionic)和兩性離子(ampholytic)四種。聚合物有液體和固體兩種。固體聚合物依其種類和包裝，其體密度從130至980kg/m³(8至61 lb/ft³)；其流動特性受顆粒大小，型狀和密度影響。在使用前，一般皆先將固體聚合物溶解，溶解所需時間隨化合物分子量大小而異，通常分子量愈大，所需時間愈長。液體聚合物溶液，在室溫時其比重為 1至1.25，稀釋率從4:1 至10:1，pH值範圍從3 至11.5。

因各廠商生產製造之聚合物種類型式甚多，在選擇使用聚合物於廢水處理前，必須從廠商之處獲得資料以瞭解其特性，包括：聚合物名稱、型式，物理和化學性質，溶解所需時間，加藥控制方式和所需濃度及數量等。

表 十三 各種石灰之特性 (12)

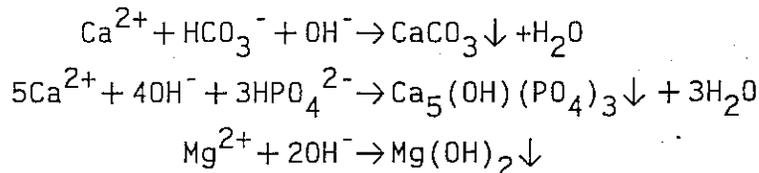
名稱和化學分子式	物理和化學特性			
	外觀和性質	重量(lb/ft)	商品強度	水中溶解度 (g/100ml @25°C)
生石灰 Quick lime CaO	1. 白色, 塊狀至粉末 2. 不穩定, 鹼性刺激 3. 水化成氫氧化物凝體釋熱 4. 空氣水化成CaCO ₃ 飽和溶液pH值為12.4	55至75	70至96 x CaO (低於88 x 為低品質)	1. 反應生成Ca(OH) ₂ 2. 每磅生石灰形成1.16至1.32磅的Ca(OH) ₂ , 依其純度含2至12 x 粗砂
回收石灰 Recovered Lime CaO	1. 淺灰色, 茶色 2. 和生石灰同性質		75至90 x CaO	同生石灰
含鎂石灰 Dolomitic lime CaO.MgO	1. 除了MgO 水化緩慢 外觀和性質與生石灰相同	圓石, 60-65 粒狀, 50-75 塊狀, 50-65 粉末, 37-63 平均60	CaO 55至57.5 x MgO 37.6至 40.5 x	水化形成Ca(OH) ₂ 凝體及水化緩慢的MgO
熟石灰 Hydrated lime Ca(OH) ₂	1. 白色, 通過300-400mesh粉末, 無塊狀 2. 鹼性, 粉塵具刺激性 3. 從空氣中吸收H ₂ O和CO ₂ 形成Ca(HCO ₃) ₂ 4. 飽和溶液pH=12.4	35至50	Ca(OH) ₂ 82-98 x CaO 62-74 x	0.18@0°C 0.16@20°C 0.15@30°C 0.077@100°C
碳化石灰 Carbide lime Ca(OH) ₂	1. 粗顆粒, 灰色粉末 2. 灰色凝體(35 x 固體)	30至55	95 x, Ca(OH) ₂	同Ca(OH) ₂
含鎂水化石灰 Dolomitic hydrated lime Ca(OH) ₂ +Mg(OH) ₂	1. 茶色至白色粉末, 無塊狀, 200mesh 2. 鹼性, 粉塵具刺激性 3. 飽和溶液, pH=12.4	單水分子, 25-37 雙水分子, 27-43	單水分子 Ca(OH) ₂ , 62 x MgO, 34 x 雙水分子 Ca(OH) ₂ , 54 x Mg(OH) ₂ , 42 x	同Ca(OH) ₂
石灰石 limestone CaCO ₃	1. 白色非結晶形粉末 2. 飽和溶液pH=9-9.5	粉末, 35至60 顆粒, 100至115	96至99 x	0.0013@20°C 0.002@100°C
白雲石 Dolomite CaCO ₃ .MgCO ₃	1. 白色灰色茶色 2. 飽和溶液pH=9-9.5	85至95	不定	約和石灰石相同

4.3 處理效果

4.3.1 混凝沉澱作用

4.3.1.1 石灰

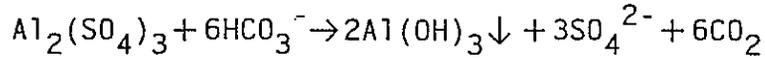
石灰由於其價格便宜，所以很早就被使用於軟化硬水，倘水中加入石灰，升高其pH值，形成碳酸鈣(CaCO₃)和氫氧化鎂[Mg(OH)₂]沉澱物，而去除構成硬度之鈣、鎂等離子，不過鎂要完全沉降，pH值必須升至11.0。石灰被作為混凝劑，使用於廢水處理者，乃因石灰能和溶解於廢水之鹼度(alkalinity)和磷反應生成碳酸鈣，氫氧磷灰鈣(calcium hydroxyapatite)和氫氧化鎂之沉澱物：



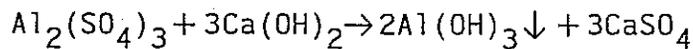
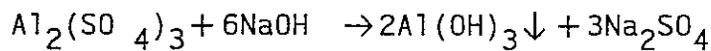
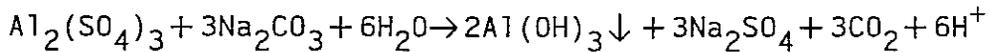
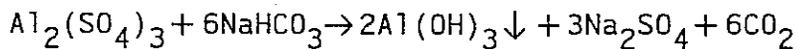
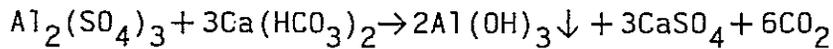
此等沉澱化合物的生成，當其沉降時，藉掃曳作用可同時去除水中之濁度；而氫氧化鎂為凝膠狀(gelatinous)沉澱物，沉降時可同時去除水中微細膠體粒子(colloidal solids)，但因凝膠狀性質，污泥濃縮(thickening)和脫水(dewatering)較為困難；上式中之第二個反應結果可從廢水中除磷，一般而言，磷之去除隨pH值升高而增加，大約在pH>9.5時，主要的正磷酸鹽(orthophosphate)可以完全轉化成不溶解形式而沉降。但沉降一定數量之磷，所要求的真正pH值和所需加入之石灰量以提升pH值，將隨廢水的成分而異。以石灰除磷最主要的影響因素是廢水的鹼度，在低鹼度(150mg/l或更少)時，除非調整至高pH，否則所形成的可沉降顆粒，由於較濃密的CaCO₃沉澱物所佔比率較少，導至混凝效果不佳，如果有足夠數量的CaCO₃做為助凝劑(coagulant aid)，將大大地增進氫氧磷灰鈣沉降。在高鹼度時，pH在9.5至10將可有效地去除磷。

4.3.1.2 鋁鹽

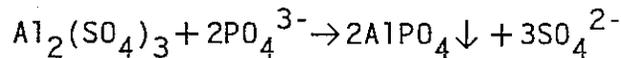
當明礬加入含鹼度的廢水中時，下面的水解反應發生：



由於形成大而且凝結狀的氫氧化鋁沉澱物，所以在沉澱物生成過程中，經由掃曳和吸附作用可去除膠體粒子以澄清水質。又由於消耗水中之氫氧離子，導至鹼度降低，若廢水中所含之鹼度量不夠和所加入之明礬作用，則必須另加入次碳酸鈉或鈣，蘇打灰，苛性鈉，或熟石灰以升高pH，當加入上述之各化合物，其所發生之反應如下：

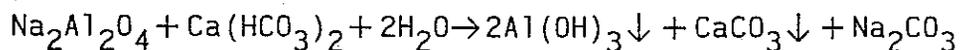


明礬亦能和溶解於水的磷反應生成磷酸鋁，其反應如下：



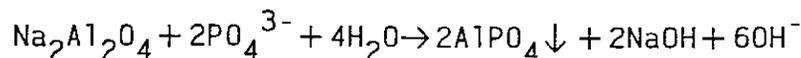
通常以明礬作為混凝劑，其最好的混凝效果是在pH 5.5至8.0間，但若使用明礬以沉降去除磷，其最好的pH範圍是在5.5至6.5間，因在此pH範圍磷酸鋁之溶解度為最小。

以鋁酸鈉做為混凝劑，其混凝的反應機構和前述之明礬水解反應相同，因水解的結果形成凝結狀和易沉降的氫氧化鋁沉澱物而將周圍之膠體顆粒一同掃曳，其反應如下：



鋁酸鈉是鹼性物質，倘加入廢水中會使pH值升高，其升高的程度隨廢水性質而異，同時如果鋁酸鈉之加藥點是位於生物處理前之初步沉澱池，則pH值升高對生物處理程序會造成影響，故pH值改變的大小，在決定使用鋁酸鈉於流程前必須先行決定。

以鋁酸鈉將磷沉澱的反應為：

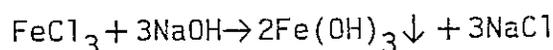
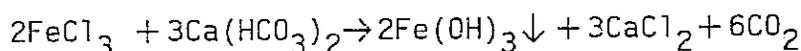


和使用明礬相反，加鋁酸鈉將造成輕微的pH值升高，故一般可用於原廢水之pH值較低之情況。

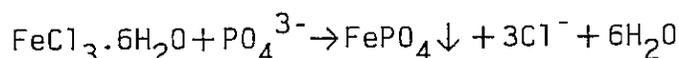
4.3.1.3 鐵鹽

前4.2節已述，可做為混凝劑的鐵鹽有氯化鐵，硫酸鐵和硫酸亞鐵三種，除了硫酸亞鐵在反應過程中須將二價鐵氧化成三價鐵外，其餘三者之混凝反應機構皆相同，故在此僅以氯化鐵為例說明。

理論上，氯化鐵的混凝反應類似於明礬（硫酸鋁），由於鐵鹽和廢水中之鹼度反應生成氫氧化鐵沉澱物而混凝懸浮固體和膠體粒子一同沉降，下面為兩個代表的反應式：



同樣地，以氯化鐵去除磷，其反應和明礬相似：



而鐵鹽沉澱磷之最適pH值範圍介於4.5和5.0間。

不論以鋁鹽或鐵鹽將磷沉澱去除，都將增加出水口之溶解固體量，例如，硫酸鹽，氯化物。同時，在某些情況下，如果使用鐵鹽，而沉澱池之截獲固體效果不佳，有部份懸浮固體溢流，則出水口水流將因三價鐵而帶輕微紅色。

4.3.1.4 聚合物

有機高分子聚電解質混凝劑，因其分子量大，故具有前述之無機混凝劑所未具有的架橋混凝作用；同時，高分子混凝劑本身的官能基，亦具有吸附及電價中和的混凝反應；此外，一般的高分子混凝劑不具酸性，加入水中時不會降低pH值（消耗鹼度），故適用於處理含低鹼度之廢水；並且不會增加水中之溶解固體量；其污泥產生量較使用無機混凝劑為少，且污泥濃液和脫水性質較佳。

正離子聚電解質一般可單獨使用，藉吸附和電價中和及架橋作用將懸浮膠體粒子（一般表面帶負電）去除，但所加

藥量需控制於適當範圍，以免過多的使用量界面附著超量的正電，造成粒子電價由負變正的現象 (charge reversal)，而恢復到同電價粒子相斥和膠體粒子懸浮的局面。

負離子和非離子聚電解質使用於混凝沉澱時，通常甚少單獨使用，一般是先在水中加入無機類的混凝劑，藉吸附和電價中和反應，生成氫氧化物（例如氫氧化鋁，氫氧化鐵），再加入聚電解質，藉架橋作用形成更大之顆粒，以增加沉降速度。不論以何種型式之聚合物做為混凝劑，操作時均不能過度攪拌，以免所形成之膠羽受剪力影響而破裂，使粒子在水溶液中再穩定。

4.3.2 污泥之化學調理

污泥化學調理的目的乃是藉加入化學藥劑產生混凝現象，以改變污泥的物理和化學性質，使污泥顆粒表面之電荷穩定性破壞，而致改良排水性和減少表面水份，促使污泥易濃縮或脫水。

4.3.2.1 鐵鹽或鋁鹽

污泥脫水較常使用的混凝劑是鐵鹽，尤以氯化鐵最普遍。當氯化鐵加入污泥中時，形成帶正電的鐵複合體(iron complexes) 而能中和帶負電的污泥顆粒，同時氯化鐵和鹼度的反應亦形成不溶解的氫氧化鐵而使得穩定性破壞的污泥顆粒被膠凝。雖然鐵鹽混凝劑可單獨使用於污泥脫水，但通常與石灰同時使用，特別是調理已消化污泥 (digested sludge)，因金屬鹽類單獨使用而不加石灰將使得污泥pH值降低而具腐蝕性。

4.3.2.2 石灰

當石灰和氫氧化鈣加入污泥中，氫氧化鈣與次碳酸鈣反應生成不溶解的碳酸鈣(CaCO_3)。在高pH值情況下亦有助於從已消化污泥中釋出氨。同時使用石灰作為污泥的調理劑，可達到以下之目的：

- a、增加污泥的孔隙率
- b、減少污泥組織的壓縮性

- c、使污泥脫水
- d、升高pH值
- e、幫助控制臭味
- f、提供消毒
- g、膠凝微細顆粒

如前節所述，通常石灰和氯化鐵同時使用於真空過濾 (va-cuum filter) 或壓濾 (filter press) 污泥脫水。在某些情況，當污泥是非常難脫水時，單獨使用高藥量的石灰可有助於過濾 (filtration)。

4.3.2.3 聚合物

聚合物用於污泥調理甚受歡迎，因它們通常易於操作，貯存和加藥，同時所增加的額外污泥量較少。最常用於污泥調理的聚合物是正離子聚電解質，其和帶負電的污泥顆粒反應，使顆粒穩定性破壞，經由吸附和架橋作用生成較大顆粒的污泥。負離子和非離子聚電解質亦可使用於污泥調理，但通常和無機鹽類的調理劑同時使用。

聚合物較常用於帶式壓濾 (belt filter press) 和離心式脫水 (centrifuge)。應用於真空過濾和乾燥床 (drying bed) 的機會較少。表十四為各種污泥脫水方式和其所常用的化學調理劑。

表 十四 各種污泥脫水方式常用之化學調理劑

脫水方式	石灰 (lime*)	氯化鐵 (ferric chloride)*	聚合物 (polymer)
籃式離心機			C
固體承杯離心機			C
帶式壓濾機			C
真空過濾機	C	C	C
壓濾機	C	C	P
乾燥床			P
污泥塘			
重力/低壓設備			C

註：C—經常使用。

P—可能使用；使用於某些情況，但不經常。

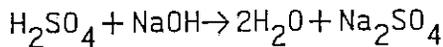
*—石灰和氯化鐵通常同時使用。

第五章 中和劑

5.1 中和原理

相當多的廢水，特別是工業廢水，含有酸性和鹼性物質，在排入承受水體或予以化學、生物處理前，必須先加以中和。例如廢水排放前需使pH值維持在5至9間，生物處理時，需使pH值維持在6.5至8.5間以保證微生物活性正常。中和有時又稱為pH值調整，例如混凝沉澱或去除磷，重金屬等物質時，需將pH值上升或下降至某一適當範圍，使物質的溶解度為最小而達到處理目的。

中和反應是指水中酸性物質的氫離子與鹼性物質的氫氧離子反應生成水和鹽類，例如苛性鈉(NaOH)和硫酸(H₂SO₄)的反應：



而中和的程度，可以用pH值來測量。所謂pH，是指水中所含氫離子濃度的大小，其定義為：

$$\text{pH} = -\log[\text{H}^+]$$

當pH=7 時為中性，pH>7 為鹼性，而pH<7 為酸性。中和處理型式甚多，主要可有：

- a. 將酸、鹼廢水予以混合。這種方法需有足夠的調勻容量以達到所需中和之程度。
- b. 利用各種化學藥劑使酸性或鹼性的廢水起中和反應，調節pH值於適宜範圍。

5.2 常用中和藥劑之特性

5.2.1 中和酸性廢水之藥劑（或升高pH值）

中和酸性廢水的方法包括將酸性廢水與鹼性廢水混合，其結果使pH值接近中性範圍；將酸性廢水流經石灰石層(lime stone beds)；將酸性廢水與石灰乳(lime slurry) 或含鎂石灰乳(dolomitic lime slurry) 混合；和在酸性廢水中加入適量的苛性鈉 (caustic soda) 或蘇打灰(Soda ash)。以上之方法除第一種不需使用化學藥品，其他皆藉助鹼性藥劑來中和

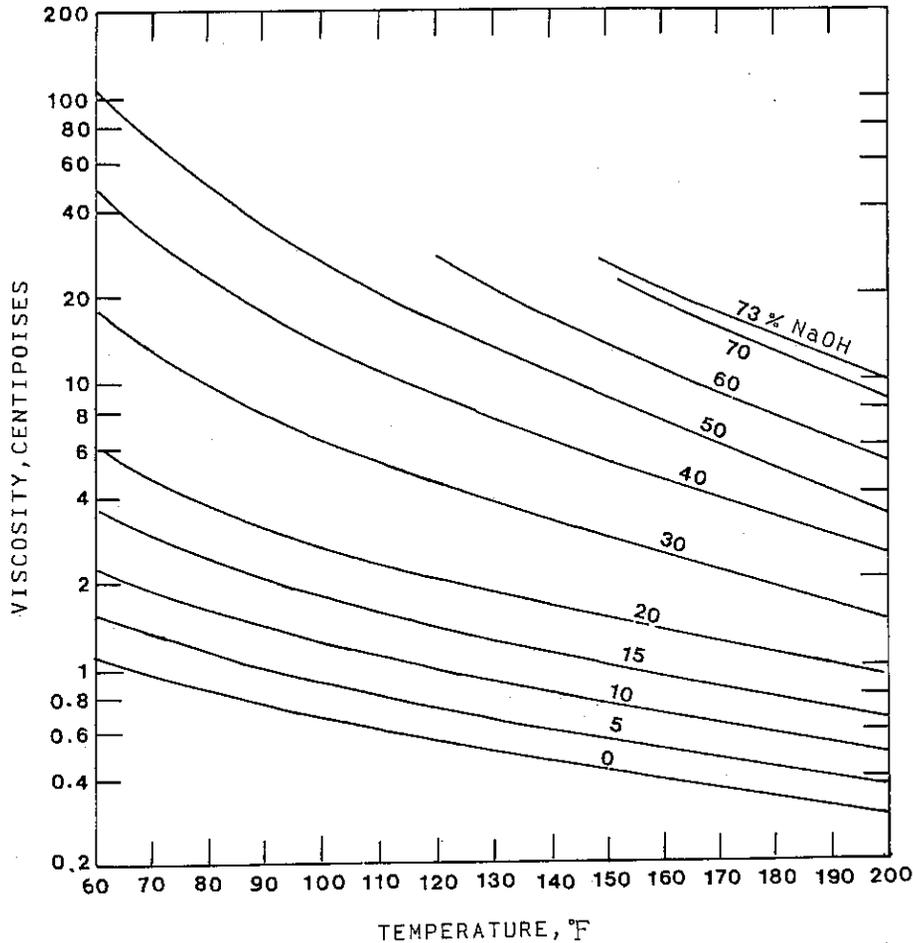
酸液。鹼性藥劑之特性如石灰已於4.2.6 節中討論過，其餘之苛性鈉和蘇打灰分述如下。

5.2.1.1 苛性鈉 (caustic soda)

苛性鈉(NaOH)有兩種主要形式，一為無水氫氧化鈉(anhydrous sodium hydroxide)，另一為配製成各種濃度的水溶液氫氧化鈉。無水氫氧化鈉市面上雖可購得，但一般而言，在水和廢水處理方面並不實用（因溶解時，產生高熱）。故在此僅討論液體氫氧化鈉。

液體氫氧化鈉一般製成兩種濃度出售，一為50% NaOH，另一為73% NaOH。50% NaOH開始析出結晶的溫度大約在12°C (54°F)，而73% NaOH析出結晶的溫度約在62°C (144°F)，故在輸送、貯存時必須保持溫度大於其析出結晶的溫度。一般較常使用的NaOH濃度為50%，但其成品濃度可能於48至52%之間，此溶液大約較水重50%，在溫度從10°C至100 °C間，其比重為1.53至1.47。因為市面上真正50% NaOH等級的成品，濃度可能高至52%，故如有必須貯存時，最好保持溫度在21°C (70°F)以上或稀釋成20%濃度（結晶溫度為-20°F）。在16°C (60°F)時，50%等級的苛性鈉溶液每一公升含0.78公斤NaOH(6.54lb/gal)

。苛性鈉的分子量為40，在不同濃度液體時其黏滯度如圖六所示。而1%濃度苛性鈉液體其pH值為12.9，故苛性鈉具相當強之鹼性，對皮膚甚具腐蝕性，在加藥操作時必須格外小心，以免灼傷。



圖六 苛性鈉溶液之黏滯度 (11)

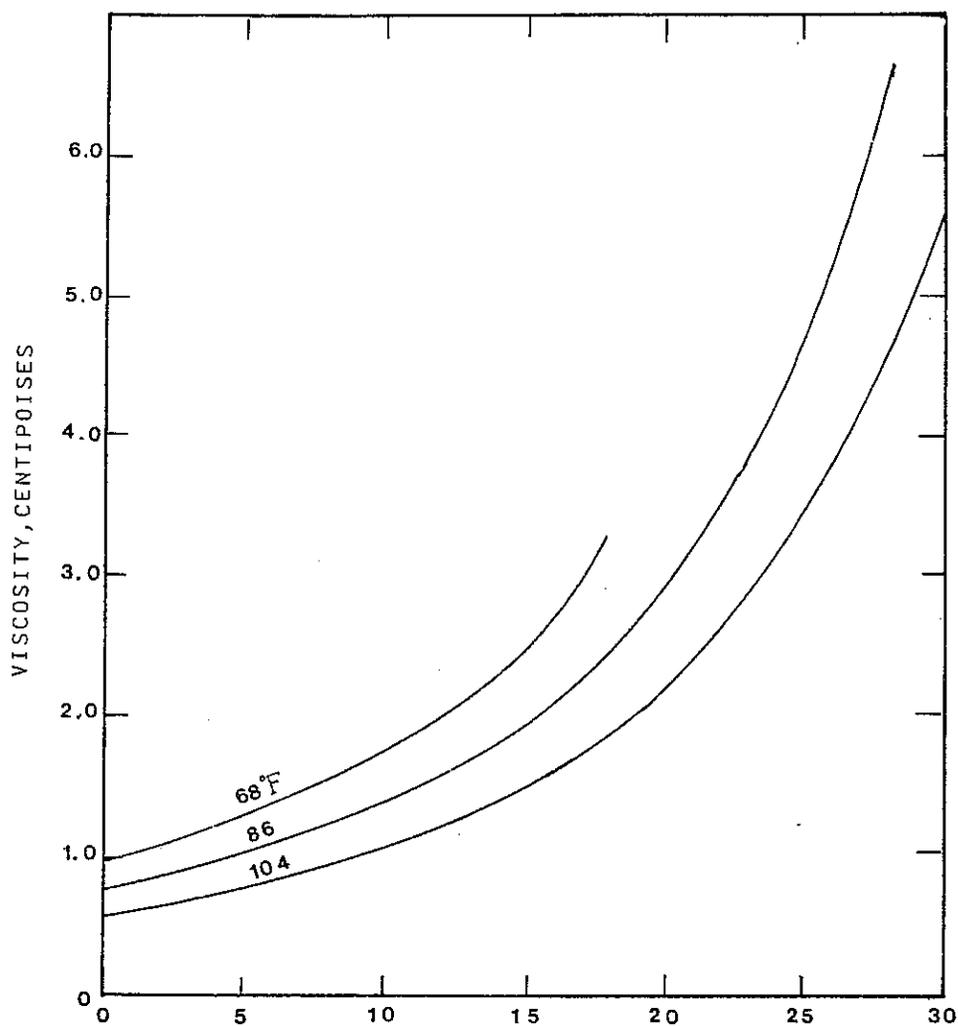
5.2.1.2 蘇打灰 (soda ash)

蘇打灰， Na_2CO_3 ，分子量為106，為白色固體粉末，其商用純度含 Na_2CO_3 至少98%。市面上有兩種型式蘇打灰，輕蘇打灰體密度從560至800 kg/m^3 (35至50 lb/ft^3)，工作密度為656 kg/m^3 (41 lb/ft^3)；重蘇打灰之體密度範圍為960至1216 kg/m^3 (60至76 lb/ft^3)，工作密度為1008 kg/m^3 (63 lb/ft^3)。蘇打灰水溶液之黏滯度如圖七所示。在1%水溶液中其pH值為11.2。蘇打灰本身不具特別腐蝕性，但若存在於水和石灰中生成苛性鈉，則具腐蝕性。

重蘇打灰較常使用，因加藥時灰塵較少且流動性佳，處理較易，但溶解較為困難，需較大容量之溶解池，通常溶解0.06kg重蘇打灰於每公升水中(或6%溶液)，溶解停留時間

需20分鐘。

蘇打灰之灰塵和溶液對於眼睛、鼻子、肺和皮膚有刺激性，所以使用時需注意，接觸部位需立刻以水沖洗。又蘇打灰易吸收空氣中之二氧化碳和水分，生成較不具活性的次碳酸鈉（ NaHCO_3 ），所以貯存時需位於緊密且乾燥之處。



圖七 蘇打灰溶液之黏滯度(11)

5.2.2 中和鹼性廢水之藥劑（或降低pH值）

在某些情況，必須將廢水的pH值降低，例如以石灰法處理廢水或某些鹼性工業廢水其放流水超過pH 9.0之排放標準時。降低pH值的方法有使用二氧化碳使廢水再碳化(recarbonation) 或使

用酸性藥劑。硫酸(H_2SO_4)，鹽酸(HCl)和硝酸(HNO_3)皆可用於中和鹼性廢液，但其中以硫酸最為普遍使用；若鹽酸其市價在當地便宜且易取得，亦常被考慮使用；硝酸則常被限制使用，因會增加放流水之營養劑(nutrient)氮的含量。以下將針對二氧化碳，硫酸和鹽酸的特性加以討論。

5.2.2.1 二氧化碳 (carbon dioxide)

二氧化碳， CO_2 ，分子量為44，使用於廢水處理廠有氣體和液體兩種。乾燥的 CO_2 在普通溫度下沒有化學活性且為無毒安全的化學藥品，但是其氣體會取代氧氣，故在關閉的空間必須要有適當的通風。二氧化碳溶液在水中甚具化學活性且易形成碳酸(carbonic acid)，其飽和溶液的pH值在20℃ (68°F)時為4.0。

氣體形式的二氧化碳可在廢水處理廠現址製造，其法是經由刮洗(scrub)和壓縮(compress)石灰再生火爐(lime recalcining furnace)或污泥焚化爐(sludge furnace)所產生之廢氣而得；或由二氧化碳製造器(generator)直接燃燒可燃氣體，燃油或焦炭而得，其產生量如表十五所示。

通常氣體型式的二氧化碳製造於處理廠現址，依其來源和生產系統的效率，二氧化碳的含量介於6至18%。

液體型式的二氧化碳，市面上通常是裝運在9至23公斤(20至50磅)的鋼瓶(cylinder)內或由10至20噸的卡車運送，其純度至少含二氧化碳99.5%。

表 十五 一般燃料之二氧化碳產生量⁽¹¹⁾

燃 料	數 量	二氧化碳產生量，磅
天然氣	1,000立方呎	115
焦 碳	1 磅	3
煤 油	1 加侖	20
燃油(二號)	1 加侖	23
丙 烷	1,000立方呎	141
丁 烷	1,000立方呎	142

5.2.2.2 硫酸 (sulfuric acid)

硫酸， H_2SO_4 ，為強烈腐蝕性，濃密，油性液體，依其純度，顏色為清晰或暗棕色，使用於廢水處理的通常有60°波美 (Baume') 77.7% 濃度或66°波美93.2% 濃度 (比重大約1.83)。當以水稀釋時，會產生相當高之熱量，必須格外小心，特別是要記住加硫酸於水，而非加水於硫酸。同時，硫酸易造成灼傷和分解衣服、皮鞋，故在處理硫酸時，必須穿著保護裝備。濃度93.2% 等級之硫酸對鐵不具腐蝕性，所以可以貯存在鋼鐵製之桶、槽內，但硫酸濃度若稀釋少於93.2%，則腐蝕力甚強，必須貯存在有橡膠、玻璃或塑膠襯裡的容器內。

5.2.2.3 鹽酸 (Hydrochloric acid)

鹽酸， HCl ，為顏色清晰或帶輕微黃煙及刺激性味道液體，同時具有毒性和可能含鐵或砷。通常裝運於玻璃瓶、橡膠襯裡鋼鐵製桶、槽，其濃度大約為35% HCl (22°波美，比重1.17)。為了減少臭煙氣味可以將鹽酸稀釋(加酸於水)至大約20% HCl 濃度。與硫酸一樣，鹽酸能造成灼傷之傷害，必須避免與皮膚接觸，加藥使用處置時，對於眼、臉和手必須穿戴保護裝備。

5.3 處理效果

5.3.1 中和酸性廢水

酸性廢水常來自於電鍍、有機食品工廠等工業廢水。若水中pH值太低，引起魚類及其他生物之死亡、腐蝕污水管等。一般而言，河水之pH值低於 5便不適於魚類之生存及游泳之用，所以酸性工業廢水於排放之前，先以鹼性藥劑中和再排放。

5.3.1.1 鹽基性鈉化合物 (sodium alkalis)

苛性鈉和蘇打灰等屬之，為使用最廣之藥劑，此等化合物之優點是溶解度高，所以處理及供應非常方便，且所生的污泥量少，但價格較高為其缺點。

5.3.1.2 鹽基性鹼土類化合物 (lime bases)

生石灰、熟石灰、含鎂石灰、白雲石等屬之。比前項藥劑便宜，使用範圍相當廣，唯此藥劑有溶解度不高，反應時間長之缺點。因溶解度有限，需裝置攪拌機攪拌以維持其反應速度。況且中和反應產生不溶性之鹼土金屬鹽，增加污泥處理之問題。

5.3.1.3 石灰石

石灰石為最便宜之中和藥劑。將酸性廢水流經石灰石層，可有下向流和上向流兩種處理系統，在下向流系統中，最大水力負荷為40公升 /分鐘 /平方公尺，若採用向上流型式系統，則水力負荷率可較大，因其反應生成物欲沉積前已被沖刷掉，而無阻塞之弊。同時亦可避免過量之二氧化碳而限制了完全中和之可能。石灰石層應用在硫酸濃度在百分之0.3至0.6以下，也可有效地避免過多硫酸鈣沉積物及二氧化碳氣體之缺點。

5.3.2 中和鹼性廢水

鹼性廢水一般來自化學品、製革、染整、紙漿，洗毛等工業廢水，廢水若鹼性不大，排入河川可由河川之酸性（如所產生之CO₂）中和，但鹼度太高，對水中生物之危害甚於酸性廢水

。

5.3.2.1 強酸

反應速度快，欲作完全之中和者應選用強酸，硫酸為最便宜而且最廣使用之藥劑，其次為鹽酸。

5.3.2.2 二氧化碳

煙道氣(flue gases)中含有百分之十四的二氧化碳，可用以中和鹼性廢水，當以氣泡打入廢水中後，二氧化碳即生成碳酸，碳酸再與鹼作用而致中和，反應速度較慢但如pH值不需調到7.0或8.0以下，此速率已足夠。

第六章 廢水處理所需加藥量之決定

在規劃設計任何廢水處理程序時，必須預估所需的化學藥量。雖然化學藥量常常可以直接由理論計算而得，但因各種操作條件的影響，例如反應時間、攪拌程度、pH值、溫度、廢水中所含其他雜質等等，使得實際所需加藥量與理論數值不符，故最適當的加藥量，必須根據操作條件在實驗室內，經由試驗求得。一般常用之決定最佳加藥量的試驗方法示於表十六。此表列出試驗名稱，試驗目的，及描述試驗步驟的參考文獻。此外，附錄二收集了一些廢水處理所需典型之加藥量，可做為實際操作之參考。

表 十六 決定化學加藥量之試驗方法

試驗名稱	試驗目的	參考文獻
杯瓶試驗	選擇適當混凝劑和最佳加藥量	14, 15
Buchner漏斗試驗	污泥脫水最適加藥量	14, 16
過濾葉片試驗	量測加藥量，濾布和乾燥時間	14, 16
	對真空脫水濾布機之影響	14, 16
pH (或滴定曲線)	量測中和時廢水的酸度與鹼度	14, 17
	和控制加藥量	14, 16
餘氯	適當控制加氯量	17
MPN大腸菌	控制消毒所需加氯量	14, 16
		18

第七章 結論

只要水質標準和廢水處理的要求愈來愈嚴格，化學藥劑使用於廢水處理的角色也就愈來愈重要。由附錄一和前面章節所述可知，有許多種類和型式的化學藥劑，可實際地應用於廢水處理之各操作單元，而且針對某一特殊之廢水處理目的，經常可能有多種化學藥劑可供使用。因每一種類之化學藥劑，本身都具有其優點和缺點，所以在最終決定選用某一化學藥劑時，必須經由適當的考慮。下列為選用化學藥劑時所常考慮的因素：

- a. 化學藥劑之有效性。
- b. 費用（包括藥品和加藥設備的成本和維護費用）。
- c. 供給源的信賴性。
- d. 污泥的產生量和處置。
- e. 與其他處理程序的適合性。
- f. 對環境的影響（例如加氯增加放流水之總溶解固體，過高餘氯對水生物有毒）。

此外，在做最終決定前，除可參考本文有關該化學藥劑之特性和效果並應向供應商洽詢有關該化學藥劑之確實資料，如：

- a. 大約成本費用。
- b. 可用的型式(available form)。
- c. 商品的強度(commercial strength)。
- d. 貯存方式和設備。
- e. 處理材料和費用。
- f. 安全性之考慮。
- g. 主要製造商。

參考文獻

- (1) "Chemicals Used in the Treatment of Water and Wastewater", Water & Sewage Works, Reference Number , R-240, 1974.
- (2) Metcalf and Eddy, "Wastewater Engineering", 2nd Ed., McGraw-Hill Book Co., 1979.
- (3) Weber, W.J., "Physicochemical Processes for Water Quality Control", in Chap. 9 "Disinfection", PP.413-456, Wiley-Interscience, 1972.
- (4) White, G.C., "Handbook of Chlorination", Van Nostrand Reinhold Co., PP.20-21, PP.611, PP.344, 1972.
- (5) Weber, W.J., "Physicochemical Processes for Water Quality Control", in Chap.8 "Chemical Oxidation", PP. 381, Wiley-Interscience, 1972.
- (6) "Odor Control for Wastewater Facilities", MP No.22, Water Pollution Control Federation, PP.20, 1979.
- (7) Nobel, C., et al. "Industrial Odor Control by Oxidation with Ozone", Proceedings of the 30th Purdue Industrial Waste Conference, PP.1027, Ann Arbor Science, 1975.
- (8) Clark, J.W., et al., "Water Supply and Pollution Control", 3rd Ed PP. 448, IEP-A Dun-Donnelley Publisher, 1977.
- (9) Morris, J.C., "Aspects of the Quantitative Assessment of Germicidal Efficiency", PP.1-10 in Disinfection: Water and Waste Water, edited by J.D. Johnson, Ann Arbor Science, 1975.
- (10) "Hydrogen Peroxide" in Encyclopedia of Chemical Technology, 3rd Ed., vol.13, PP.12-13 John Wiley & Sons, 1979.
- (11) U.S. EPA, "Process Design Manual for Suspended Solids

- Removal, in Chap. 5, Storage and Feeding of Chemicals, EPA 625/1-75-003a, 1975.
- (12) "Wastewater Treatment Plant Design", in Chap. 11, Chemical Treatment, Water Pollution Control Federation, 1977.
- (13) U.S. EPA, "Process Design Manual for Dewatering Municipal Wastewater Sludges", in Chap 5, Chemicals Used in Dewatering, EPA 625/1.82-014, 1982.
- (14) Adams, C.E., et. al., "Development of Design and Operational Criteria for Wastewater Treatment", Enviro Press, Inc., 1981.
- (15) 高肇藩, "衛生工程", 第十一章, 混凝與膠凝, 第388頁, 民國六十九年。
- (16) 歐陽嶠暉 "下水道工程學", 第十三章, 污泥之處理與處分, 第487和493頁, 民國七十二年。
- (17) Sawyer C.N. and McCarty P.L., "Chemistry for Environmental Engineering", 3rd Ed., McGraw-Hill book Co., 1978.
- (18) "Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater", 15th Ed., American Public Health Association, 1981.
- (19) "Chlorination Sizing Guide", Water Engineering & Management, Reference Handbook, R-54, 1983.
- (20) U.S. EPA, "Chemical Aids Manual for Wastewater Treatment Facilities, EPA 430/9-79-018, 1979.
- (21) Churchill, R.J. and Rybacki, R.L., "Polymer Addition Improves Wastewater Treatment Process", Water & Sewage Works, Reference Number ,R-10, 1977.

附表1-1-1 化學藥劑於水和廢水處理之應用*(1)

化學藥劑	水處理										污水處理										工業廢水處理				
	藻類控制	鍋爐水處理	混凝*	色度去除	腐蝕和鍋垢控制	脫氯作用	消毒作用	加氟作用	鐵及錳去除	pH之控制	軟化	味及臭控制	其他處理	BOD之去除	混凝*	氯化作用	污泥脫水之化學調理	去氯作用	浮除作用	中和酸作用	中和鹼作用	氯化作用	PH控制	還原作用	
活性炭	X			X		X					X														
活性炭			X											X											
硫酸鋁			X			1				1															
氯化鋁溶液			X											(X)		X									
硫酸鉀鋁			X																						
硫酸鋁			X					X				2		X											
明礬(液態)			X											X											
胺類(Amines Neutr.)		X							X																
氨(無水)						1				1															
氨(含水)						1				1															
氯化胺						1																			
氟化鈣							X																		
硫酸鈉						1				1			2												
碳酸鋇		X																							
白陶土(Bentonite)			X	X																				X	
溴	X																								

附表 2-1 廢水處理氯化作用之目的和所需之加氯量⁽¹⁹⁾

處 理 目 的	加氯量(mg/l)
消毒：	
原污水 (Raw Sewage)	6-12
腐化原污水 (Septic Raw Sewage)	12-25
初級沉澱後污水(Settled Sewage)	5-10
腐化初級沉澱後污水	12-40
化學沉降放流水	3-10
滴濾法放流水	3-10
活性污泥法放流水	2-8
砂濾後放流水	1-5
控制臭味：	
下水管線	1-10
處理廠放流水	1-10
滴濾法放流水	1-5
消化槽上層液	200-300
減少生化需氧量：	
原過柵污水(Raw Screened Sewage)	5-12
活性污泥法放流水	5-12
控制：	
滴濾池之圍水 (Ponding)	7-20
滴濾池之蒼蠅	3-10
迴流活性污泥之膨化(bulking)	40-100
剩餘活性污泥之濃縮(Thickening)	不定(varies)
英霍夫槽之泡沫(Imhoff Tank Foaming)	3-15
破壞氰化物：	
成氰酸鹽(cyanate)	3.2× 氰化物含量
至完全破壞	8.0× 氰化物含量

附表 2-2 水處理氯化作用之目的和所需之加氯量 (19)

處 理 目 的	加 氯 量 mg/l
消毒：	
自由有效餘氯	1-10
結合有效餘氯	1-5
控制味與臭	$8.4 \times \text{NH}_3$ 含量或 $10 \times \text{NH}_3\text{-N}$ 含量加超量
控制藻類	1-10
控制黏泥	1-10
控制鐵細菌和硫磺菌	1-10
去除氨氮($\text{NH}_3\text{-N}$)	$10 \times \text{NH}_3\text{-N}$ 含量
去除鐵	$0.64 \times$ 鐵含量
去除錳	$1.3 \times$ 錳含量
去除色度	1-10
去除硫化氫：	
氧化至硫	$2.1 \times \text{H}_2\text{S}$ 含量或 $2.22 \times \text{S}$ 含量
氧化至硫酸鹽	$8.4 \times \text{H}_2\text{S}$ 含量或 $8.9 \times \text{S}$ 含量

附表 2-3 典型之除磷所需混凝劑藥量 (20)

混 凝 劑	藥 量, mg/l
硫酸鋁	75-250
氯化鐵	45-90
石 灰	200-400
鋁酸鈉	75-150

附表 2-4 聚合物應用於廢水處理和所需藥量 (21)

加藥點	使用目的	加藥量
1.預處理	1.去除工業廢水之油脂和懸浮顆粒	依處理程序而定： 浮除，0.5-5PPM 沉澱，1-10PPM
2.初級沉澱池	1.去除BOD和懸浮顆粒 2.減低生物處理系統之負荷 3.控制迴流 4.增加污泥沉降速度 5.增加底污泥濃度	1-10 PPM
3.二級沉澱池	1.控制放流水懸浮固體 2.增加污泥沉降速度 3.增加底污泥濃度	0.2-5PPM
4.高級處理(過濾)	1.增加固體之截獲 2.延長濾床之使用時間	0.1-2PPM

附表 2-5 典型之污泥濃縮所需加藥量 (12)

污 泥	污 泥 性 質 和 化 學 藥 量			
	新 鮮		厭 氧 消 化	
	氯化鐵 (mg/l)	生石灰 (mg/l)	氯化鐵 (mg/l)	生石灰 (mg/l)
初級沉澱池	1-2	6-8	1.5-3.5	6-10
初級沉澱池與滴濾池	2-3	6-8	1.5-3.5	6-10
初級沉澱池與活性污泥	1.5-2.5	7-9	1.5-4.0	6-12
活性污泥	4-6	—	—	—

附表 2-6 污泥化學調理所需藥量 (12)

污泥型式	氯化鐵 (lb/Ton乾污泥)	熟石灰 (lb/Ton乾污泥)	聚合物 (lb/Ton乾污泥)
RP	20-60	0-100	3-5
RP	20-60	0-100	3-5
R(P+TF)	60-120	0-300	4-10
R(P+AS)	80-160	0-300	6-15
AS	120-200	100-300	8-25
DP	40-60	60-160	3-8
D(P+TF)	80-160	100-300	6-15
D(P+AS)	120-200	100-300	6-20

註：1b/Ton × 0.5 = 公斤/公噸

R=raw(原); P=primary(初級); TF=trickling filter(滴濾)

AS=activated sludge(活性污泥); D=digested(消化)

附表 2-7 聚合物應用於污泥處理和所需藥量 (21)

加藥量	使用目的	加藥量
1.濃縮 a.重力 b.浮除	1.增加污泥濃度 2.減少放流水固體濃度 3.增加污泥沉降速率	5-50PPM 或2-0 lb/Ton
2.消化 a.喜氧 b.厭氧	1.減少消化槽上層液BOD和懸浮固體 2.增加污泥沉降速率 3.增加污泥濃度	5-50PPM 或2-10 lb/Ton
3.清洗	1.污泥調理 2.控制微細顆粒 3.污泥濃縮	1-5 lb/Ton
4.脫水 a.離心機 b.真空濾布機 c.壓濾機	1.增加固體濃度 2.增加固體截獲 3.減少污泥質量和體積 (與無機混凝劑比較) 4.改良系統之操作 (如真空濾布機之污泥餅剝落)	5-50 lb/Ton

附表 2-8 常用鹼性和酸性藥劑之中和因素(Neutralization Factors)(12,20)

中和劑	分子式	中和1 mg/l(以CaCO ₃ 表示)之 酸度或鹼度所需藥量:(mg/l)	中和因素,以CaO為底假設所 有化合物為100%純度
碳酸鈣	CaCO ₃	1.0	鹼度(Basicity) 1.0/0.56=1.786
氧化鈣	CaO	0.560	0.56/0.56=1.000
氫氧化鈣	Ca(OH) ₂	0.740	0.74/0.56=1.321
氧化鎂	MgO	0.403	0.403/0.56=0.720
氫氧化鎂	Mg(OH) ₂	0.583	0.583/0.56=1.041
含鎂生石灰	[(CaO) _{0.6} (MgO) _{0.4}]	0.497	0.497/0.56=0.888
含鎂熟石灰	{[Ca(OH) ₂] _{0.6} [Mg(OH) ₂] _{0.4} }	0.677	0.677/0.56=1.209
氫氧化鈉	NaOH	0.799	0.799/0.56=1.427
碳酸鈉	Na ₂ CO ₃	1.059	1.059/0.56=1.891
			酸度(Acidity)
硫酸	H ₂ SO ₄	0.98	0.98/0.56=1.750
鹽酸	HCl	0.72	0.72/0.56=1.285
硝酸	HNO ₃	1.26	1.26/0.56=2.250