

# 淡水冷卻塔 實務守則

## 第三部：水處理方法



2023 年版

機電工程署



# 淡水冷卻塔實務守則

## 第三部：水處理方法

2023 年版

(2023 年 10 月)

機電工程署

香港特別行政區政府

## 前言

本實務守則的制訂為促進正確使用淡水冷卻塔，並同時用作冷卻塔設計、安裝、測試、調試、操作及維修的指引，目的在於實現節能目標之餘，並同時考慮環保及健康的問題。本實務守則是由淡水冷卻塔實務守則專責小組擬定。而該專責小組的成員來自八個政府部門、三個專業機構及三個行業公會。

《淡水冷卻塔實務守則》(前版本為《水冷式空調系統實務守則》)的第三部提供了冷卻塔系統水處理方法的詳細資料，這部分必須與以下章節同時閱讀並相互參照：

第一部：設計、安裝及調試；及

第二部：操作及維修

## 目錄

	頁數
前言	ii
釋義	v
1. 引言	1
1.1 適用範圍	1
1.2 目標	1
1.3 應用	1
2. 防蝕劑	2
2.1 腐蝕原因	2
2.2 防蝕方法	2
2.3 化學水處理方法	2
3. 防垢劑	5
3.1 水垢生成原因	5
3.2 防垢方法	5
3.3 化學水處理方法	6
3.4 物理水處理方法	7
4. 細菌和微生物控制	9
4.1 細菌和微生物問題的原因	9
4.2 化學水處理方法	9
4.3 物理水處理方法	13

5.	水處理系統的監控	15
5.1	化學劑投放	15
5.2	泄放控制	16
5.3	綜合控制及監測系統	17
5.4	監測裝置	17
5.5	控制裝置	19
6.	職業安全及健康	20
7.	參考資料	21
<b>附錄</b>		
附錄 3A	常用防蝕劑種類	22
附錄 3B	常用防垢劑種類	25
附錄 3C	常用氧化性殺菌劑種類	26
附錄 3D	常用非氧化性殺菌劑種類	30
附錄 3E	建議的個人防護設備一覽表	32

## 釋義

- 殺菌劑： 用作殺滅細菌或其他微生物的物理或化學劑。
- 生物分散劑： 一種添加至冷卻塔系統內的化學化合物，用作滲透並分解可能附着於冷卻塔系統潮濕表面的生物薄膜。
- 生物膜： 微生物表層，一般與微粒狀的物質、水垢及腐蝕產物結合。
- 泄放（排水）： 冷卻塔系統的排水，用以維持總溶解物和懸浮物的含量至可接受水平。
- 調試： 一個系統化及有步驟的程序，包括系統組件裝置、儀錶校正及控制，然後進行調節和檢查，以確保整個系統運作正常並提供滿意的，性能令人滿意。
- 冷卻塔： 通過蒸發冷卻降低水溫的一種裝置，在該裝置內空氣與流水接觸進行熱交換。本術語還包括設置有水和製冷劑或水和水熱交換器的裝置（蒸發式冷凝器或密閉式冷卻塔）。
- 冷卻塔系統： 一個由產生熱的設備（製冷機冷凝器或熱交換器）、排熱設備（冷卻塔或蒸發式冷凝器）及互聯水循環管道和相應的泵組、閥門和控制器組成的熱交換系統。冷卻塔系統是水冷式空調系統的組成部分。
- 腐蝕試片： 細小的帶狀金屬，一般放置於水路中，易於拆除以用作評估水的腐蝕特性。
- 防蝕劑： 通過以下方式保護金屬部件的化學物質：(a) 產生一層薄金屬氧化層（陽極防蝕劑）鈍化金屬；或(b)以物理方法利用受控沉積物（陰極防蝕劑）形成一層分隔薄層。
- 防蝕性： 在系統一般慣常條件下不易快速腐蝕的特性。

- 濃度循環倍數：因冷卻塔的蒸發作用而造成冷卻水中溶解物濃度與補給水中溶解物濃度的比率。
- 死角：位於管道末端而水管長度等於或大於管道直徑，而水只在該水管配件開啟時流動。冷卻塔系統內此部分易積存死水，可導致循環系統內滋生及繁殖細菌及積淤，因而污染系統。
- 除污：當發現冷卻塔有一定細菌數量時所需進行的工序，包括對冷卻塔系統進行一系列殺菌、清潔及重複殺菌處理。
- 消毒：系統的預防性維修措施，與系統清潔同時進行，用以減少病菌的數量。
- 分散劑：與其他化學處理劑同時添加的試劑以防止積聚淤泥。
- 收水器：設於冷卻塔排氣口前的格柵或格柵式屏障，其設計用以減少由冷卻塔飄出的水點。
- 飄水：經由冷卻塔排出的水液滴或微粒，但不包括受冷凝的水霧。
- 排氣口：機械或自然通風系統的末端，空氣通過該末端排出建築物外。對於廚房、洗手間、排水管通氣管開口、發電機（煙道）、停車場通風系統、抽氣櫃、垃圾收集室及其他含有污染物或提供營養供冷卻塔內微生物生長的排氣口，必須着重考慮排氣口與冷卻塔之間的分隔距離。
- 風扇：一種連續推動氣體的旋轉機器，用於機械通風塔內移動空氣。風扇可為引風式或鼓風式。
- 填料：置於冷卻塔內的物料，用以增加循環水與冷卻塔內流動空氣之間的熱交換及質量傳遞。
- 過濾：採用僅供液體通過的多孔物質將固體從液體中分隔出來的工序。
- 結垢：生長在熱交換器表面上的有機物或其他沉積物，導致熱交換器的效率下降。

- 異養菌濃度 (HCC) : 每毫升水樣本中存在的活細菌單位數目。也可稱為總細菌落量、菌落總數或活菌落量。
- 退伍軍人病 : 是一種由退伍軍人桿菌引起的細菌性肺炎。
- 醫療及衛生護理處所 : 醫院、普通科診所、專科診所；長者社區支援設施，例如安老院舍及長者活動中心；以及為病人和體弱者提供衛生護理及服務的設施。
- 非氧化殺菌劑 : 非氧化殺菌劑是包括干擾細胞新陳代謝及結構的製劑，以非氧化作用殺菌。
- 可開啟的窗戶 : 可開啟的窗戶是指帶有移動部件如鉸鏈，且可以打開的窗戶。如果窗戶被永久鎖上或需要特殊工具才可打開，則在核查分隔距離時將不被視為可操作的窗戶。
- 室外空氣入口 : 機械或自然通風系統的進氣端，室外空氣可通過該末端進入建築物內。就新鮮空氣供樓宇空調系統的入口及任何將室外空氣引入樓宇的入口，必須着重考慮入口與冷卻塔之間的分隔距離。水缸排水過程中通氣管會將室外空氣引入，因此水缸通氣管也被歸類為室外空氣入口。
- 氧化殺菌劑 : 能氧化有機物（例如與微生物數量有關的細胞原料酶或蛋白質）的製劑，導致微生物死亡。
- 鈍化作用 : 產生可控制腐蝕可見或不可見的保護膜。
- 霧氣 : 從冷卻塔排出的空氣及濕氣，因冷凝而形成霧氣。此情況通常可見於在天氣寒冷和潮濕的天氣下冷卻塔排出水氣時發生出現。



- 公眾開放地區：該地區開放予公眾人士或大廈管理人員/保養人員以外的大廈佔用人。例如：行人通道/ 行人徑、人群聚集活動的場所、開放的綠化屋頂/公園。只供大廈管理人員/保養人員進入，並設有進出管制的限制區域，則不視為公眾開放地區。
- 平台天台：樓宇較低部分的天台。
- 水垢：因礦物質累積而形成的一種晶體狀沉積物（一般為碳酸鈣），於冷卻塔設備的表面或管道上形成。
- 防垢劑：用於控制水垢的化學劑，通過抑制沉積過程及 / 或改變晶體形狀來防止水垢積聚而形成堅硬的黏附沉積物。
- 污泥：累積在冷卻塔系統水盤或管道中的沉澱物。
- 加強劑投放：一次過投入高於正常化學殺菌劑使用量的劑量，目的為迅速將水中殺菌劑的含量提高至殺滅水中大部分微生物的預期水平。
- 噴嘴：開放式配水系統內所使用的一種裝置，用作將循環水流打碎成小水點，並均勻地分布在冷卻塔的潮濕表面。
- 死水：冷卻塔系統內靜止不動的水，可導致微生物滋生。
- 暫停運作：冷卻塔暫停運作表示整個 / 部分系統不操作，並與主水冷凝器 / 熱交換器隔離以防止污染。每周運行一次的冷卻塔備用機組並不界定為暫停運作。
- 退伍軍人桿菌總濃度：每毫升水樣本內退伍軍人桿菌的菌落形成單位。

## 1. 引言

### 1.1 適用範圍

本部分實務守則載述適用於冷卻塔系統的水處理方法，以盡量降低使用冷卻塔時對公共健康造成的風險，並透過水處理過程優化系統的運作性能。重點包括以下幾點：

- a) 為使用者提供技術資料，以了解一般水處理方法的操作原理、應用、優點和限制；
- b) 介紹選擇水處理方法的主要考慮因素，以協助系統擁有者、設計者及操作人員設計、監察、控制和維修水處理系統；
- c) 說明水處理程序的基本要求和效能，讓操作及維修冷卻塔的承建商或水處理服務供應商可提供適當的服務予各種冷卻塔系統。

### 1.2 目標

本部分實務守則旨在提供技術指引予參予冷卻塔系統水處理計劃之設計及應用的有關人士，以實現以下目標：

- a) 防止與冷卻塔系統相關的各種潛在風險，確保公共衛生及安全；
- b) 實現 / 保持冷卻塔系統有較佳的能源效益及運行性能；
- c) 把冷卻塔系統對公眾造成的滋擾降至最低；
- d) 防止水的污染及誤用；
- e) 確保相關員工的職業安全及健康。

### 1.3 應用

1.3.1 本實務守則是專為負責冷卻塔系統水處理的人員等而制訂。本實務守則適用於新建系統及現有系統。

1.3.2 本實務守則必須與冷卻塔的水處理化學劑 / 冷卻塔設備的供應商及生產商所提供的的所有附加建議和任何相關規格及香港的相關條例和規例一併閱讀。

1.3.3 機電工程署保留解釋本實務守則內容的權利。

1.3.4 如本實務守則內的要求與其他任何相關要求有分歧時，應採用以下的先後次序：

- a) 所有現行的法例及其他附屬法例。
- b) 相關實務守則及技術標準。
- c) 本實務守則。

## 2. 防蝕劑

### 2.1 腐蝕原因

2.1.1 腐蝕是金屬與周圍環境發生化學或電化反應而造成的金屬破壞或損失。

2.1.2 腐蝕所引致的問題一般包括以下幾種：因熱交換裝置表面沉積腐蝕產物以致傳熱降低，以及因管道、閘門、隔濾器等部分或完全堵塞以致水流減少。另外，活動部件如水泵、軸、葉輪及機械密封裝置等的過度磨損會防礙設備的運作，令冷卻塔的熱力與能源效能降低。

### 2.2 防蝕方法

冷卻塔系統的主要防蝕方法包括：

- a) 採用適當的構造材料以防止腐蝕；
- b) 使用化學防腐蝕 / 控制腐蝕過程；
- c) 控制水垢；及
- d) 控制微生物滋長。

### 2.3 化學水處理方法

#### 2.3.1 概述

有數大類化學處理方法能盡量減少因腐蝕而導致的運行問題，以及確保冷卻塔系統能有效及可靠地運作。為某一系統選擇水處理程序時需考慮系統的特性，包括：

- a) 系統設計，包括系統容量、冷卻塔類型、水盤深度、結構物料、流量、傳熱率、溫差及相關配件；
- b) 水，包括補給水的成分 / 質量及有否預處理及假設濃度循環倍數；
- c) 污染物，包括系統過程泄漏物和空氣雜質；
- d) 廢水排放限制；及
- e) 周圍環境及空氣質素。

## 2.3.2 防蝕劑

2.3.2.1 防蝕劑較普遍用作防止冷卻塔系統中的碳鋼及其他合金退化。冷卻塔水處理中常用的防蝕劑一般可分為 4 類，包括陽極式、陰極式、混合式及吸附式。防蝕劑的典型劑量濃度、酸鹼值範圍及特性載述於附錄 3A，以供參考。

2.3.2.2 常用防蝕劑的工作原理載述如下：

### 2.3.2.3 陽極防蝕劑

陽極防蝕劑使冷卻塔水循環系統內的陽極腐蝕點上形成一層保護性氧化防蝕膜。當所有陽極防蝕點均被覆蓋且與腐蝕源隔離時，這種方法便有效，否則，未有保護膜有效覆蓋的部分可能出現嚴重的局部腐蝕。因此，使用陽極防蝕方法必須具備充分安全容差，一般須使用高劑量的陽極防蝕劑（數百毫克 / 公升）。同時，陽極防蝕劑可與其他防蝕劑混合使用，減少所需投放量而達至相同效果。

### 2.3.2.4 陰極防蝕劑

陰極防蝕劑通過在陰極腐蝕位置形成一層保護性防蝕膜，防止氧還原出現。它比陽極防蝕劑更為有效，且所需劑量較少，因此常用於冷卻水處理。

### 2.3.2.5 混合防蝕劑

混合防蝕劑由 2 至 3 種防蝕劑組成，大多數專利防蝕劑產品屬這種類別。具有不同特性的防蝕劑可互補不足，所以混合防蝕劑可提升其功效。因此，投藥濃度可顯著降低，從而減低營運成本和化學物對環境造成的影響。

### 2.3.2.6 吸附式防蝕劑

如使用吸附式防蝕劑，整個金屬表面將形成一層吸附式保護膜，該膜有助防止金屬與水溶離子之間發生電化學反應。一些有機化合物適合用作吸附式防蝕劑。

### 2.3.3 鈍化

以碳酸鋅為主形成的無孔表層來防止鍍鋅鋼冷卻塔及關聯管道腐蝕（一般統稱為白銹），是有效方法之一。碳酸鋅層是可防止鍍鋅鋼受到腐蝕的保護層，它一般可保護金屬多年。碳酸鋅層的形成稱為鈍化，形成時必須控制冷卻塔最初運行的酸鹼值。在 45 至 60 天內控制冷卻水的酸鹼值在 7 至 8 之間，一般可造成鍍鋅表面出現鈍化的現象。除酸鹼值控制外，碳酸鈣的硬度需控制在百萬分之一百(100 ppm)至百萬分之三百 (300ppm) 之間，而總鹼度亦要控制在百萬分之一百至百萬分之三百之間才可促進鈍化。

### 2.3.4 其他考慮因素

**2.3.4.1** 由不銹鋼、聚氯乙烯和玻璃纖維造成的冷卻塔系統本身一般有防蝕作用。但是，整個冷卻系統一般由多種物料建成，因此必須採用適合冷卻塔系統中所有物料的有效防蝕方法。冷卻塔系統擁有人必須諮詢資深操作及維修冷卻塔的承建商 / 水處理服務供應商，就不同系統和所使用的物料，選擇適合的防蝕劑。

**2.3.4.2** 冷卻塔系統金屬表面的侵蝕一般是由冷卻水速度過高、砂粒侵入及因壓力改變和系統內存有氣泡而造成的氣穴現象所引致。循環水速度必須保持在合理範圍內以盡量降低侵蝕。最低水速必須為 0.9 米 / 秒，而對於每年運行 6 000 小時的系統和每年運行 3 000 小時的系統，最大水速應分別為 3 米 / 秒和 4 米 / 秒。

## 3. 防垢劑

### 3.1 水垢生成原因

- 3.1.1 水垢是由於水內礦物微粒沉積以致傳熱表面形成堅硬沉積物。最常見的水垢是由水中鈣和鎂的碳酸鹽和重碳酸鹽，及鐵鹽形成。鈣在淡水中佔主宰地位。因此，選擇適當防垢方法時必須考慮補給水的成分。
- 3.1.2 在傳熱表面形成隔熱沉積，會降低傳熱效率，並引致閥門、隔濾器、喉管和熱交換器等部分或完全淤塞而令水流量減少。
- 3.1.3 硬度被認為是導致水垢形成的主要原因，它與蒸發量、鹼度、酸鹼值、總溶解物及環境溫度等重要因素產生連鎖效應，影響結垢的形成速度。
- 3.1.4 蒸發可導致循環水內的鹽分越來越高，令總溶解物增加。鈣鹽和鎂鹽的負溶解性及重碳酸鹽的分解是導致水垢的另一個因素。
- 3.1.5 冷卻塔系統的最適當水垢控制取決於補給水成分（礦物濃度）、冷卻塔系統運行參數、採用的濃度循環倍數及排放控制。

### 3.2 防垢方法

- 3.2.1 冷卻塔系統的常用防垢方法有以下幾種：
- 經軟化過程清除補給水中可結垢的礦物；
  - 經泄放過程限制循環水中可結垢的礦物濃度；
  - 在循環水中加入防垢劑；
  - 投入酸以提高可結垢鹽分的溶解度；及
  - 用物理方法清除可結垢的礦物及防止形成硬塊沉積物。

### 3.3 化學水處理方法

#### 3.3.1 概述

化學劑已被廣泛應用於冷卻塔系統中以防止結垢。除防垢劑外，亦可使用軟化劑和酸來提高防垢效果。

#### 3.3.2 防垢劑

防垢劑主要分為兩種，即臨界防垢化學物（防垢劑）和水垢調節劑。臨界防垢化學物可分散沉澱物質，使結垢礦物保持溶解，令水垢無法形成。水垢調節劑可改善水垢的晶體結構，使它形成大塊可流動的泥而不是硬塊沉積物。一些常用防垢劑的特性載述於附錄 3B。

#### 3.3.3 軟化劑

因為石灰處理可有效地減低水的硬度、鹼度及固體含量，故可添加熱和冷石灰，以減低冷卻水源的硬度和水中高重碳酸鹼值。香港自來水的硬度相對較低，因此在一般情況下無必要使用軟化劑。

#### 3.3.4 酸鹼值控制

使用無機酸是一種減低冷卻水的酸鹼值 / 鹼度，從而降低由多種水垢成分（例如碳酸鈣和磷酸鈣）造成的結垢機會的簡便和具成本效益的方法。可結垢的礦物質的溶解度會隨着酸鹼值或鹼度降低而增加。添加酸難以控制由硫酸鈣造成的結垢，因為硫酸鈣鹽的溶解度幾乎不受酸鹼值影響。

酸性環境可降低水垢的形成，但是減少酸鹼值可能增加由水引致的腐蝕及鈣 / 防蝕劑鹽的溶解度。因此，必須適當地控制酸鹼值以提供適合防垢劑和防蝕劑同時有效工作的環境。

#### 3.3.5 離子交換樹脂處理

離子交換樹脂處理是一種適合處理含溶解鹽補給水的軟化程序。此技術使用離子交換處理。離子交換過程會把鈣離子和鎂離子清除，它們會被相同數量的鈉離子取代，而過程在含有鈉離子樹脂粒的容器內進行。鈉離子會形成高溶性鹽，因此不會沉澱及結垢。

## 3.4 物理水處理方法

### 3.4.1 概述

物理處理方法亦可應用於冷卻塔系統中以防止結垢，常被認為是水處理過程的有效補充方法。此外，眾多物理方法能同時減少腐蝕、水垢形成和生物附着，令水質改善。

### 3.4.2 過濾系統及設備

#### 3.4.2.1 過濾系統

過濾是一種清除水中懸浮固體的機械處理，藉多孔介質收集固體物質。全系統過濾和旁流過濾處理均有助降低懸浮固體至可接受的水平。

- a) 全系統過濾 – 全系統過濾容許所有冷卻水通過隔濾器或過濾器，從而清除雜質和懸浮固體。
- b) 旁流過濾 – 旁流過濾將一部分（最少 5%）的循環冷卻水中通過置有過濾器的旁路，較多的旁路水流量可保證較好的水質，但需增加過濾裝置的容量。旁流過濾相對於使用相同過濾方法的全系統過濾較優勝的地方是可以降低成本和設備空間的要求。另外，旁流過濾還可於再循環系統中加入清除程序，處理冷卻塔吸入的垃圾及水中的沉澱雜質。

#### 3.4.2.2 過濾設備

冷卻塔系統中常用的多種機械過濾裝置載述如下。

- a) 隔濾器 – 隔濾器是一種附有可清潔濾網的封閉容器，可清除及阻隔冷卻水內直徑小至 25 微米的雜質。濾網僅可用作隔除系統內大微粒的過濾前處理。必需進行例行檢查和清潔，以確保隔濾器處於良好的工作狀態並運作正常。
- b) 筒式過濾器 – 筒式過濾器可用作清除所有直徑由 100 微米至 1 微米或更小的懸浮微粒，筒式過濾器一般是用完即棄的，需要時必須更換。更換頻率取決於水中懸浮固體的濃度、需清除最細小微粒的尺寸及所選筒式過濾器的清除效率。
- c) 砂過濾器（永久介質過濾器） – 砂過濾器清除懸浮固體的效能取決於容器內所用介質的組合和等級。典型的砂過濾器可清除小至 10 微米的懸浮固體。專用細砂介質過濾器的設計可清除小於 1 微米的懸浮微粒。針對低懸浮固體，可使用各層含不同尺寸介質的多介質容器。當容器已收集大量懸浮固體後，會令壓力顯著下降，此時必須用逆水流進行人手或自動反沖洗。
- d) 離心重力分離器 – 冷卻水通過切向槽並加速進入分離室，離心作用將比液體重的微粒拋向分離室的外圍。離心重力分離器的效率取決於懸浮固體的重力質量。性能數據顯示，分離器處理介乎 20 微米至 40 微米的微粒，效能約為 40%。



- e) **袋式過濾器** – 袋式過濾器由一個網袋或可拆卸及有穿孔的金屬桶所支撐的毛布所組成，並置於一個設有入口和出口的封閉箱內。過濾袋可由多種材料（棉布、尼龍、聚丙烯和聚脂纖維）製成，過濾效能範圍由 0.01 毫米至 0.85 毫米，網袋一般較粗糙但可重複使用。然而，須定期更換過濾器，以確保過濾器的效能。

### 3.4.3 泄放

3.4.3.1 冷卻塔系統的蒸發損失導致系統水內的溶解物或懸浮固體濃度相對補給水為高。此類雜質濃度過高會導致結垢和腐蝕，繼而令系統受損。因此，必須通過排放系統水（泄放）及注入補給水來控制雜質濃度。為控制系統內的總溶解物，可通過以下公式計算泄放量：

$$B = \frac{E - [(C - 1) \times D]}{(C - 1)}$$

公式中的	B – 泄放率（公升／秒）
	E – 設計蒸發率（公升／秒）
	C – 濃度循環倍數
	D – 設計飄水損耗率（公升／秒）

3.4.3.2 增加冷卻塔系統的泄放率是減低水中鈣水平和鹼值的簡單方法，從而減少形成碳酸鈣結垢的可能。但是，這不是一種具成本效益和節水的方法。泄放增加表示冷卻塔系統以較低的濃度循環倍數運行，也就需要更多的補給水及產生更多廢水。增加補給水會增加化學投藥量。淡水冷卻塔的最少濃度循環倍數應維持於 6 倍。泄放控制須參考本實務守則第 5.2 節。

### 3.4.4 磁性裝置

此方法讓循環水暴露於磁場中。磁場影響溶液中的懸浮固體或離子，令帶電的微粒或離子分開，以防止出現硬化沉積物。微粒會形成一種流動懸浮固體或完全不會沉澱。同時，系統中的水垢沉澱可轉化至溶液狀態。可能需要就由高壓電所產生的電磁場，為有關裝置提供保護。

### 3.4.5 電磁技術

電磁技術通過產生感應形成電場。水中溶解離子帶電後互相碰撞，正離子和負離子之間的撞擊促使離子在管道內沉澱。此技術在水中產生非黏附的礦物粉末而可避免堅硬石灰垢出現，可應用於循環水。

## 4. 細菌和微生物控制

### 4.1 細菌和微生物問題的原因

4.1.1 微生物有機物從補給水和冷卻塔流通空氣內的微粒狀物質進入冷卻塔系統。一般於冷卻水系統內滋長的微生物包括水藻、真菌（酵母和黴菌）及細菌。

表 3.1：冷卻水內可能存在的微生物類型

微生物	對冷卻塔系統的影響
水藻	<ul style="list-style-type: none"><li>為細菌生長提供養料</li><li>沉積於表面促進局部腐蝕過程</li><li>鬆脫的沉積物會阻塞和弄髒管道及其他熱交換表面</li></ul>
真菌	<ul style="list-style-type: none"><li>大量滋長及弄髒熱交換表面</li></ul>
細菌	<ul style="list-style-type: none"><li>某些類型為致病菌，如退伍軍人桿菌，可危害健康</li><li>嗜硫酸菌可還原硫酸鹽為腐蝕性硫化氫</li><li>從腐蝕元件的陰極部分移除氫離子致陰極性消除</li><li>產生酸的細菌產生有機酸，它引致布滿沉積物的水管局部腐蝕，並且令熱交換器表面可能出現嚴重的洞孔式腐蝕</li></ul>

4.1.2 為有效控制冷卻水內微生物的滋長，應採用化學和物理水處理方法。

### 4.2 化學水處理方法

#### 4.2.1 概述

化學殺菌劑是控制微生物滋長的最常用方法。一同使用不同種類的殺菌劑以互補不足。交替使用兩種類型的殺菌劑可避免微生物對特定種類的殺菌劑產生耐藥性。殺菌劑的選擇取決於所需投放率及接觸時間、實地調查及水處理服務供應商以往的經驗。

#### 4.2.2 氧化性殺菌劑

4.2.2.1 氧化性殺菌劑是強力的化學氧化劑，幾乎可殺盡所有微生物，包括細菌、水藻、真菌及酵母菌。氧化殺菌劑還可與廣泛有機物質（包括細菌胞的多種成分）產生反應，因此可非常有效地殺滅細菌。下述為 6 種常用氧化性殺菌劑。

#### 4.2.2.2 氯

氯是一種被廣泛應用的氧化性殺菌劑，藉氯化過程來控制微生物。投入氯後水中會產生易於檢測的殘餘殺菌劑。所需劑量一般低於 1 毫克 / 公升的殘餘游離氯。它既便宜又可以純氣體、液體和固體化合物形式儲存，並可以採用次氯酸鈉的形式投放，還可通過電解鹽水作用即場生產。如與其他非氧化性殺菌劑和生物分散劑同時使用，更可增加其效能。

然而，使用氯化處理有多種限制，包括：

- 於鹼性水中失去效能（即酸鹼值為 8 或以上）；
- 若系統存有污染物如氯、甲醇及乙二醇等，氯會失去效能；
- 對冷卻塔設備一般所用的物料造成腐蝕；
- 可形成較難符合環境標準的產品；
- 在熱和光下快速降解。

氯的存放和處理必須符合《危險品條例》。

#### 4.2.2.3 二氧化氯

二氧化氯是另一種與游離氯相似但有相對好處的的殺菌劑。在高酸鹼值和含有氨氣的情況下，它比游離氯更為有效。同時，二氧化氯對消滅退伍軍人桿菌非常有效，其相對較長的半衰期可使殘餘氯保持在冷卻塔水路中相對較長的時間。二氧化氯可通過把加氯器中的氯水與氯化鈉溶液混合而產生。該化學反應非常迅速，但這種程序比簡單的加氯處理較昂貴。

#### 4.2.2.4 溴

溴可由次氯酸鈉與溴化鈉的化學反應即場產生，或以藥丸形式存放。與氯相比，溴具有以下優點：

- 在酸鹼值高時更為有效；
- 低投藥量即可有效殺菌；
- 在氮化合物及有機物如甲醇和乙二醇存在時仍然有效；
- 可快速地殺滅微生物；
- 降低系統腐蝕的潛在可能；
- 對環境影響較微。

#### 4.2.2.5 碘

與氯和溴相似，碘是一種良好的氧化性殺菌劑，但相對較昂貴。

#### 4.2.2.6 臭氧

臭氧是一種能氧化多種有機及無機化合物的強力殺菌劑及病毒抑制劑。臭氧通過破壞細胞壁殺滅細菌，此方法使微生物不能產生耐藥性。臭氧可瞬間殺滅以控制微生物。大過或等於 0.4 毫克 / 公升的殘餘臭氧含量可在 2 至 3 分鐘內消滅生物膜內百分之百的熒光假單胞菌 ( 產生生物膜的媒介 )。臭氧的效能比氯強 100 至 300 倍。

由於臭氧的半衰期較短 ( 一般少於 10 分鐘 )，氧化後會輕易分解成氧。但是，臭氧可能會導致不想遇到的鐵和錳沉積出現，並破壞常用的防蝕劑、防垢劑和分散劑。同時，臭氧噴注設備的設計應能使臭氧充分接觸循環水，而大型系統應設置多個噴注點。

臭氧不宜在以下情況使用，因為水中含有過量有機物或運行溫度太高會大量損耗臭氧：

- 空氣、水或工業程序含有大量有機物，故需要高化學需氧量( COD )，因臭氧會氧化有機物，致殘餘臭氧量不足供水處理之用。
- 水溫超過 43.3°C，高溫會減少臭氧殘留時間並降低臭氧處理的整體效能。
- 補給水較硬 ( 大於 500 毫克 / 公升碳酸鈣 ) 或補給水骯髒，建議軟化及 / 或預先過濾補給水。
- 系統管道較長時臭氧需要較長的殘留時間，以覆蓋整個系統。
- 灰塵或煙塵較多的環境及溫度較高的位置，如鍋爐、廚房及其煙囪和排氣出。

#### 4.2.2.7 氫過氧化物

氫過氧化物 (  $H_2O_2$  ) 是一種強力的氧化劑，其威力比氯和二氧化碳強但遜於臭氧。但是，它可催化成比臭氧更強力用來控制微生物的羥基(  $OH^-$  )。添加催化劑，如鐵、銅或其他過渡金屬化合物至氫過氧化物中，可以產生羥基，以進行更強氧化作用。此為破壞微生物及追蹤水中有機物的最有效方法。

氫過氧化物易於分解成氧氣和水。與傳統水處理化學劑相比，這是一種簡單有效的水處理技術，而且不會產生任何氣體或化學殘留問題。但是，氫過氧化物可完全溶於水中，使用高濃度 ( 氫過氧化物重量 > 8% ) 時會產生安全問題。存放、運輸、搬運及處理氫過氧化物時必須考慮安全防範措施，並必須符合相關的指引、《工廠及工業經營條例》及《危險品條例》。

#### 4.2.3 氧化性殺菌劑的應用

4.2.3.1 氧化性殺菌劑最有效的使用方法是於系統內維持固定的殘留水平。氧化性殺菌劑一般在系統內保持一個連續水平。投放量可根據定期測試結果作調節，但建議使用可靠和耐用的氧化還原測量系統作全自動控制，因為過多投放量可能會增加腐蝕並對水處理的效用有負面影響。加強劑投放可加快殺滅細菌從而提高水處理的效能。

4.2.3.2 因氧化性殺菌劑有時可能呈腐蝕性，必須選擇添加相容的防蝕劑。常用的各種氧化性殺菌劑的特性載列於附錄 3C，以供參考。

#### 4.2.4 非氧化性殺菌劑

4.2.4.1 非氧化性殺菌劑是有機化合物，殺滅微生物的原理主要針對細胞結構的特定原素、新陳代謝或繁殖過程。但是，當有機物構造和細胞程序稍有不同時，它可能不能發揮殺菌功效。

4.2.4.2 雖然部分非氧化性殺菌劑，例如季銨鹽或二胺類是有毒的，低濃度的使用也能符合排放許可水平的限制。異塞唑啉酮可進行生物分解，因此對環境造成較小的負面影響。戊二醛是一種有效及快速的殺菌劑，其反應性可減少對環境造成持續破壞。非氧化殺菌劑通過多種物理過程殺滅微生物，長期使用特定的氧化劑可令微生物對化學劑產生抗藥性，因此需透過交替使用不同的殺菌劑來避免這情況。附錄 3D 表列了一些常用非氧化性殺菌劑的特性。

4.2.4.3 為有效地控制微生物的生長，必須讓足夠濃度的非氧化性殺菌劑有充足時間保留在系統水中。計算投藥濃度和頻率時，則必須考慮系統容量、蒸發率、泄放及補給水量。另外，殺菌劑水解（化學分解）率會影響冷卻塔系統內殺菌劑的殘餘含量。殺菌劑必須在所需接觸時間內保持有效殺滅微生物的最低濃度。非氧化性殺菌劑投放的時間間隔必須考慮化學劑的半衰期，並於定時持續投放以防止水中細菌再次生長。為確保非氧化性殺菌劑的效能，必須監察冷卻塔系統內的化學含量。

#### 4.2.5 生物分散劑

生物分散劑用於鬆解微生物沉積物，然後可使用殺菌劑殺滅或沖走，同時還可暴露微生物或水藻的新層於殺菌劑中以便殺滅。生物分散劑是一種有效的預防措施，目的是防止微生物附在設備及 / 或管道表面而形成沉積物。生物分散劑（特別是氧化性殺菌劑）可大大提高殺菌劑的效能。可用的生物分散劑包括丙烯酸鹽、木素磺酸鹽、甲基丙烯酸鹽和多羧酸等。

### 4.3 物理水處理方法

#### 4.3.1 紫外光消毒

4.3.1.1 紫外光輻射通常用於殺滅食水內的細菌，亦可應用於冷卻水系統。可利用特定的電磁輻射波長使微生物的脫氧核糖核酸變質，從而減低微生物的活動能力。波長範圍在 250 納米至 270 納米之間的紫外光可有效地減低水中某些致病細菌的活動能力。

4.3.1.2 如紫外光燈光的波長和強度正確，可穿透細菌的細胞壁從而破壞及殺滅細菌。此方法的效能會因微粒懸浮固體或水混濁度的阻礙效應及紫外光燈上的固體沉積而被削弱。為使紫外光燈覆蓋更廣範的範圍，必須在紫外光燈的上游位置安裝過濾器。

4.3.1.3 紫外光輻射系統可藉紫外光強度和水流量而作控制。紫外光的射綫劑量是由強度和暴露時間相乘所得，計算單位為毫瓦秒每平方厘米 ( $\text{mW/s} \times \text{cm}^2$ )。最小紫外光射綫劑量應為 20 毫瓦秒每平方厘米。建議安裝全面的監察儀錶器，以確保燈光性能沒有降低。同時，需要定期清潔石英燈盤表面及紫外光感應器以防止微粒阻礙紫外光。

#### 4.3.2 銅和銀電離作用

4.3.2.1 電離作用是指在冷卻塔水中利用電解產生銅和銀離子。適當地控制銅離子濃度於 20 至 30 微克 / 公升和銀離子於 10 至 15 微克 / 公升可有效殺滅系統內的細菌。當殘餘游離氯含量最少為 0.2 毫克 / 公斤時，離子有助控制細菌數量。

4.3.2.2 請注意，在硬水系統內難以維持銀離子濃度，這是因為電極積垢及高濃度的溶解物使溶液中的銀離子沉澱。無論是硬水或軟水，電離過程會受酸鹼值影響，當酸鹼值高於 7.6 時，銀離子濃度便難以維持。系統內具有銅或鋁熱交換器時，不建議採用電離作用，因為這會導致嚴重的銅離子沉積及電鍍腐蝕。

#### 4.3.3 磁性裝置

此方法讓循環水暴露於磁場中。磁場令水、溶解物及懸浮固體產生穩定互動反應，以令至在水流中產生電流，此電流能在生物內產生生物活動，可以破壞能量流動和細胞膜。可能需要就由高壓電所生的電磁場，為有關裝置提供保護。

#### 4.3.4 電磁技術

電磁技術對於控制水垢（參考第 3.4.5 條）及細菌均有效。此技術在水中會生成非黏附的礦物粉末而避免堅硬石灰垢出現。細菌會被困在礦物粉末中而不能繁殖，導致細菌數目下降。此技術亦可控制微生物腐蝕，但對於其他類型的腐蝕，須應用其他處理方法。

## 5. 水處理的監控

### 5.1 化學劑投放

5.1.1 水處理化學劑必須投放在冷卻塔水系統中的湍流區，以助化學劑快速混合和平均分布。同時，必須設置不同的投藥點，以確保在投入第二種化學劑前，某種可能有反應性的化學劑已經稀釋，各化學劑之間不會出現化學反應而令效能下降。防蝕劑、防垢劑和殺菌劑及其他化學劑的劑量濃度必須根據系統的總水量、補給水量及放水率作出計算。

5.1.2 多數化學處理控制程序（除特殊殺菌劑外）是為保證循環水在任何時間均維持固定的濃度。為保持冷卻水內的固定化學濃度，可採用以下應用方法，包括：

- a) 注射式；
- b) 連續 / 間歇投藥；
- c) 根據泄放量按比例投藥；
- d) 根據補給水量按比例投藥；
- e) 以感應器控制投藥。

#### 5.1.3 加強劑投放

以人手定時把化學劑添加入系統。加強劑投放是最經濟有效的應用方法，可適用於小型冷卻塔系統。但是，此方法難以控制化學劑的濃度且化學劑含量常有大波動，因此並不建議採用。

#### 5.1.4 連續 / 間歇投藥

使用機械裝置（例如計時器及投藥泵）連續 / 間歇投藥，此為最簡單的自動投藥方式。由於化學劑投放頻率及劑量受預設值控制，冷卻水內的化學劑濃度仍然會有波動。

#### 5.1.5 根據泄放量按比例投藥

系統泄放可以透過電傳導數計或補給水流量作出控制。此設施發出的信號亦可用以展開投放化學劑。當系統水的電傳導數達到預定值，計時器便會啟動，投藥泵會按時運作並根據系統內的補給水量添加所需的化學劑量。應安裝延遲計時器以防止泄放時投放化學劑而造成浪費。



#### 5.1.6 根據補給水量按比例投藥

根據補給水量的變化按比例投藥可維持一個接近固定的化學劑含量。此處理方法是以補給水量為依據，而投藥速度會因應補給水量改變作出調節。安裝於補水管道內的脈衝水錶用作啟動投藥泵。按比例投藥可持續應用於各種冷卻塔系統，此方法尤其適用於工作水量有較大變化的系統。

#### 5.1.7 以感應器控制投藥

以感應器控制投藥是控制系統內化學劑含量的最理想方式。根據運作參數釐定投放速度和頻率後，向系統持續地投入正確數量的化學劑。因此，冷卻塔內的化學劑含量可維持在一個指定範圍內。酸鹼值感應器和氧化還原電位 ( ORP ) 常用來分別控制酸及氧化性殺菌劑的劑量。

## 5.2 泄放控制

5.2.1 就精確的泄放控制系統而言，建議使用電傳導數計來自動調節所需的泄放量。電傳導數是測量水中總離子濃度，即總溶解物 ( TDS ) 濃度的指標。泄放控制是預防冷卻塔系統結垢的主要方法。

5.2.2 泄放率與濃度循環倍數相關之外，也取決於所採用的水處理方法。如採用全面的水處理程序 ( 包括化學和物理方法 ) 來有效地控制結垢、腐蝕和微生物生長，泄放量便可大大減少。

5.2.3 使用電傳導數控制時，連續監測冷卻水電傳導數，當達到預設的電傳導數值時，則開啟泄放閥。

5.2.4 就泄放系統而言，必須考慮以下因素：

- a) 確保泄放組件可與系統隔離以方便維修；
- b) 確保電傳導數計探頭頂部放置於主水流中，並不是位於易產生氣泡的位置上；
- c) 放置電傳導數計探頭於泄放系統電磁閥的上流；
- d) 定期清潔電傳導數計探頭；
- e) 用泄放管路內的閥門調節泄放量，以確保泄放量不會超過系統的補水量；
- f) 當泄放管路內的電磁閥和流量開關信號不協調時，需提供警報信號。

## 5.3 綜合控制及監察系統

5.3.1 建議把水處理系統整合至：

- a) 結合了雲端水處理管理軟件的物聯網水處理控制器\*；及 / 或
  - b) 基於中央伺服器的中央控制及監察系統 ( CCMS ) /樓宇管理系統 ( BMS ) ；
- \*須注意使用雲端管理軟件時的網絡安全。

5.3.2 樓宇的技術人員和水處理服務供應商可以透過綜合監察及 / 或控制系統實時遙距控制和監察水處理系統。此控制方式有以下優點：

- a) 可確保精確投藥控制，優化化學劑的使用量；
- b) 泄放和化學劑投放不會同時發生，應考慮到投放化學劑後延遲泄放水的時間，以避免排放時浪費化學劑；
- c) 在中央控制系統內可根據冷卻塔系統的運行情況調節水處理程序；
- d) 可盡量減低操作人員接觸化學劑，從而降低操作人員的健康和安全風險；
- e) 可精確記錄耗水量、耗電量和化學劑消耗量；
- f) 可立即報告水處理設備的任何故障；及
- g) 可透過網頁介面實時控制和監察水處理系統和接收實時警報。

## 5.4 監測裝置

5.4.1 水冷空調系統內常利用感應器作為監測裝置。控制指令通過測量的數值與設定值之比較來進行。因應控制策略而揀選不同類型的感應器。下述為幾種常用的感應器。

### 5.4.2 流量計

化學劑投放量與補給水量成比例，多種投藥系統的設計均以此為基礎，最簡單的是自動投藥系統。可使用的流量計包括孔式文氏裏管、流量管及氣輪計，以適應不同設計。

### 5.4.3 水位感應器

冷卻塔補給水量取決於冷卻塔水盤的水面高度。因此，可通過監測水面高度來控制化學劑投放量。但是，這種投藥方式不夠精確，且不能準確地控制冷卻塔系統的化學劑含量。

#### 5.4.4 電傳導數計

水的電傳導數取決於水中的總離子濃度，即顯示水中的總溶解物 ( TDS ) 濃度。任何系統的腐蝕率和結垢速度一般均與水的電傳導數成比例。電傳導數計經常用作化學劑的探測裝置。此感應器一般用於泄放系統的濃度循環倍數控制。

#### 5.4.5 酸鹼值感應器

當酸鹼值升高時，碳鋼的腐蝕率會降低，而形成結垢化合物的機會會增加。另外，水處理化學劑的效能受制於特定的酸鹼值範圍內。因此，酸鹼值測量往往是控制投酸的基本原則，以維持有效的水處理程序。

#### 5.4.6 氧化還原電位探頭

氧化還原電位探頭用於持續監測和記錄氧化物分解電位，可用於監測冷卻塔系統內的殘餘氯含量。氧化還原電位探頭測量冷卻水內的有機物和無機物微粒，以控制化學劑投放量。氧化還原電位探頭必須與酸鹼值感應器同時使用，因為氧化還原值會隨着酸鹼值而改變。

#### 5.4.7 殘餘氯含量感應器

氯是冷卻塔系統普遍採用的殺菌劑。市場上有提供持續測量殘餘氯含量分析儀，以測量游離氯或總氯的殘餘含量。

#### 5.4.8 渾濁度感應器

測量渾濁度可顯示冷卻水中懸浮固體的含量，對確定沉澱的程度十分有用，因此渾濁度感應器適合用於泄放控制。

#### 5.4.9 腐蝕率感應器

市場上有提供腐蝕率感應器供持續及瞬時測量各種合金的腐蝕率。此類感應器的工作原理一般是量度電極之間的線性極化電阻。腐蝕試片測試同樣可用來確定腐蝕率。

#### 5.4.10 特定離子和化合物感應器

市場上有提供測量水中離子濃度的感應器，亦有不少可測量化合物、化合物類別或水中溶解化合物類別的分析儀。

- 5.4.11 在冷卻塔水系統內正確安裝感應器的位置尤為重要。測量水處理化學劑的感應器必須位於化學劑已經完全混合的位置。腐蝕率會隨着溫度上升而增加，因此腐蝕監測裝置必須安裝於熱交換器的出口處，這處的水流溫度最高。選擇適當的裝置時，同時還必須考慮感應器的測量要求和可靠性。

## 5.5 控制裝置

- 5.5.1 為盡量提高水處理程序的效能，必須定期投入適量的化學劑。由於處理化學劑存有危險，建議使用自動監測和控制方法來投放化學劑，可使用各種控制裝置協助投放化學劑。

### 5.5.2 計時器

計時器是一種簡易裝置，讓操作人員利用投藥閥門在設定的時間內投藥。另外，計時器還可控制系統在暫停運作期間間歇循環冷卻水。

### 5.5.3 投藥泵

投藥泵可採用手動或自動操作。就自動控制方式而言，投藥泵接收到計時器或感應器發出的信號後便會啟動。它會運行一段時間，把化學劑注入冷卻塔水路。

### 5.5.4 電動閥門

電動閥門是化學劑投放和泄放自動控制的重要部分。在接收到監測裝置，例如水錶和電傳導數計的信號後，便會切換至開啟 / 關閉位置。

## 6. 職業安全及健康

- 6.1 必須提供足夠的個人防護設備予負責進行冷卻塔系統操作及維修工作的人員。建議供各工種所需的個人防護設備一覽表載於附錄 3E。
- 6.2 須提供有關安全工作程序的培訓予負責進行冷卻塔系統調試工作的人員，包括防護設備的使用和維修方法。
- 6.3 水處理可能會涉及使用難以控制的及對環境有相對侵蝕性和毒性的化學劑，這是主要關注項目。所有工作人員必須完全熟悉安全處理有關物品。
- 6.4 物料安全資料表( MSDS )及相關的認可資料表必須由水處理服務供應商提供並包括在操作和維修手冊內。水處理化學劑桶的表面必須貼有物料安全資料表及相關警告 / 安全標籤。必須確保物料安全資料表及標籤不會被水和化學劑損壞。
- 6.5 水處理化學劑儲存箱旁或其他適當位置必須提供洗眼瓶或淡水龍頭洗臉盤作應急之用。洗眼瓶內的水必須定期更換。
- 6.6 水處理化學劑必須存放於適當位置以便利搬運。
- 6.7 完全 / 部分用作存放水處理化學劑的房間必須安裝機械 / 自動通風系統。
- 6.8 水處理化學劑存放區域內的電氣配件及照明設施必須為防水及耐腐蝕型。
- 6.9 必須豎立警告標誌以提醒操作及維修人員有關冷卻塔的潛在危險。
- 6.10 必須豎立警告標誌限制非工作人員前往冷卻塔。
- 6.11 負責進行清潔、消毒和水處理的工人常接觸危險物質，必須由醫生定期監察其健康狀況。如工人因暴露於危險化學劑而出現呼吸、皮膚和其它症狀，必須立即求醫。

## 7. 參考資料

為冷卻塔選擇水處理方法，必須符合以下條例、技術備忘錄及實務守則：

- 《水務設施條例》( 第 102 章 )
- 《建築物條例》( 第 123 章 )
- 《污水處理服務條例》( 第 463 章 )
- 《水污染管制條例》( 第 358 章 )
- 《空氣污染管制條例》( 第 311 章 )
- 《噪音管制條例》 ( 第 400 章 )
- 《職業安全及健康條例》( 第 509 章 )
- 《公眾衛生及市政條例》( 第 132 章 )
- 《建築物能源效益條例》( 第 610 章 )
- 《技術備忘錄：排放入排水及排污系統、內陸及海岸水域的流出物的標準》
- 環境保護署《管制非住用處所、非公眾地方或非建築地盤噪音技術備忘錄》
- 機電工程署《淡水冷卻塔計劃》
- 香港預防退伍軍人病委員會《預防退伍軍人病工作守則》

附錄 3A 常用防蝕劑種類

防蝕劑	常用劑量 (毫克 / 公升)	適用酸鹼 值範圍	工作原理	優點	限制	備註
陽極型						
正磷酸鹽	5 至 20 ( $\text{PO}_4$ )	6.5 至 8.5	促使陽極上形成馬氏氧化鐵膜	<ul style="list-style-type: none"> <li>適用但沒有特殊優點</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>需要仔細控制系統水內有充分的溶氧量以形成氧化膜</li> <li>如腐蝕發生，陽極可形成磷酸鐵沉積，並加速沉積下層腐蝕。</li> <li>磷酸鹽垢的形成可導致磷酸鈣沉澱</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>磷酸鈣防垢劑通常包含在磷酸基防蝕劑內</li> </ul>
鉬鹽	50 至 150 ( $\text{MoO}_4$ )	7.0 至 8.5	形成混有氧化鐵的正鉬離子保護膜	<ul style="list-style-type: none"> <li>與氯相比毒性較低</li> <li>可防止洞蝕和沉積下層腐蝕裂縫</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>昂貴</li> <li>與氧和硫酸鹽有化學反應</li> </ul>	
亞硝酸鹽	250 至 1000	9 至 9.5	促使陽極上形成馬氏氧化鐵膜	<ul style="list-style-type: none"> <li>適用但沒有特殊優點</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>容易生化分解，可導致防蝕劑流失及生物附着問題。</li> <li>需緊密控制開放式循環系統內的應用，因在開放式系統內易於氧化成硝酸鹽。</li> </ul>	
陰極型						
多磷酸鹽 (分子脫水、冷凝聚合物、聚乙烯及偏磷酸鹽)	10 至 20	6.5 至 8.5	在金屬的陰極表面形成多磷酸鈣膜或重金屬多磷酸鹽膜	<ul style="list-style-type: none"> <li>不受水質影響</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>某些生物酶會增加多磷酸鹽的逆轉反應速度</li> <li>正磷酸鹽的形成可導致磷酸鈣沉澱</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>磷酸鈣防垢劑通常包含在磷酸基防蝕劑內</li> </ul>
有機磷化合物 (磷酸酯)	10 至 20	7 至 9	在金屬離子的金屬表面形成保護膜	<ul style="list-style-type: none"> <li>不受水質影響</li> <li>磷酸酯不會逆轉為正磷酸鹽，因此不會產生正磷酸鈣沉積。</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>無特殊限制。</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>需要鈣或金屬離子 (例如鋅)，以有效防蝕。</li> </ul>
鋅鹽	0.5 至 2	6.5 至 7.5	形成氫氧化鋅或其他微溶鹽	<ul style="list-style-type: none"> <li>沒有特殊優點</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>當酸鹼值在 7.5 以上，氫氧化鋅會以氫氧化物或其他有機鋅鹽的形式沉澱。</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>加入穩定劑可稍微調高酸鹼值並防止鋅沉澱</li> </ul>

防蝕劑	常用劑量 (毫克 / 公升)	適用酸鹼 值範圍	工作原理	優點	限制	備註
混合型						
鋅 / 磷酸脂	1至5 (Zn)	7至8.5	在帶金屬離子的金屬表面形成保護膜	<ul style="list-style-type: none"> <li>添加鋅後可形成黏着性和保護性更強的薄膜</li> <li>比使用磷酸脂可投放較少濃度的藥劑</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>容易受硬度影響</li> <li>形成保護膜的速度下降</li> </ul>	
鋅 / 多磷酸鹽	7至20 (PO <sub>4</sub> )	6至7.5	在金屬的陰極表面形成多磷酸鈣膜或重金屬多磷酸鹽膜	<ul style="list-style-type: none"> <li>添加鋅後可形成黏着性和保護性更強的薄膜</li> <li>比使用多磷酸鹽可投放較少濃度的藥劑</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>為微生物提供養分</li> <li>形成保護膜的速度下降</li> </ul>	
鋅 / 多磷酸羧酸鹽	2至5 (Zn)	7至8.5	在帶金屬離子的金屬表面形成保護膜	<ul style="list-style-type: none"> <li>添加鋅後可形成黏着性和保護性更強的薄膜</li> <li>比使用多磷酸羧酸鹽可投放較少濃度的藥劑</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>對魚類有毒</li> <li>形成保護膜的速度下降</li> </ul>	
鋅 / 磷酸脂	4至10 (Zn)	7至8.0	在帶金屬離子的金屬表面形成保護膜	<ul style="list-style-type: none"> <li>添加鋅後可形成黏着性和保護性更強的薄膜</li> <li>比使用磷酸脂可投放較少濃度的藥劑</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>對魚類有毒</li> <li>可能增加生化需氧量</li> <li>形成保護膜的速度下降</li> </ul>	
磷酸鹽 / 多磷酸鹽	5至15 (PO <sub>4</sub> )	7至9.0	在帶金屬離子的金屬表面形成保護膜	<ul style="list-style-type: none"> <li>防止水解作用</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>為微生物提供養分</li> <li>可能形成磷酸鈣污泥</li> </ul>	
鉬酸鹽 / 磷酸鹽	5至20 (MoO <sub>4</sub> )	7至8.5	在帶金屬離子的金屬表面形成保護膜	<ul style="list-style-type: none"> <li>當與有機抑制劑混合時，較低的鉬酸鹽含量亦可達致良好的防蝕保護。</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>保護膜形成速度相對較差，且在腐蝕環境下保護效能較差。</li> </ul>	



防蝕劑	常用劑量 (毫克 / 公升)	適用酸鹼 值範圍	工作原理	優點	限制	備註
吸附式						
苯并三氮唑 (BTA)	1 至 5 ppm	6 至 9	在金屬表面與 多孔氧化物直 接結合形成保 護層	<ul style="list-style-type: none"> <li>• 適用但沒有特殊優點</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• 有毒</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• 可作為銅防蝕劑</li> </ul>
甲基苯并三氮唑 (TTA)	1 至 5 ppm	6 至 9	在金屬表面與 多孔氧化物直 接結合形成保 護層	<ul style="list-style-type: none"> <li>• 適用但沒有特殊優點</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• 無特殊限制</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• 可作為銅防蝕劑</li> </ul>

附錄 3B 常用防垢劑種類

防垢劑	常用劑量 (毫克 / 公升)	適用酸鹼 值範圍	工作原理	優點	限制	備註
多磷酸鹽 (非有機物)	1 至 5	6.8 至 7.5	與鐵和錳離子 形成化合物並 防止鐵和錳鹽 的沉澱	<ul style="list-style-type: none"> <li>• 成本效率高</li> <li>• 水溶解度高，因此需要較低含量</li> <li>• 毒性低</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• 易於水解和逆轉至正磷酸鹽，並形成不可溶解的正磷酸鈣。</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• 可用作碳酸鈣和硫酸鈣防垢劑</li> </ul>
有機聚合物	10 至 15	沒有特定	調節水垢微粒 的形態和大小	<ul style="list-style-type: none"> <li>• 與多磷酸鹽相比無水解問題</li> <li>• 在高鹼性環境下水解穩定性較高</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• 鈣含量較高的情況下效能較低</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• 必須與負離子或非離子非氧化性殺菌劑同時使用</li> </ul>
多磷酸鈉	2 至 3	沒有特定	增加磷酸鈣的 溶解性，防止 磷酸鈣晶體產 生，並形成非 黏性沉澱物。	<ul style="list-style-type: none"> <li>• 適用但無特殊優點</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• 無特殊限制</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• 可用作碳酸鈣和磷酸鈣防垢劑</li> </ul>
有機磷化合物 (例如：磷酸酯、有機磷酸)						
氨基三甲叉磷酸 (亞甲基磷酸) (AMP)	10 至 20	7 至 9	隔離離子以減 低沉澱速度並 穩定鐵和錳	<ul style="list-style-type: none"> <li>• 與多磷酸鹽相比無水解問題</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• 會被氧化性殺菌劑急速破壞</li> <li>• 必須小心控制劑量以防止沉澱</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• 可用作碳酸鈣防垢劑</li> </ul>
羧基乙叉二磷酸 (HEDP)	5 至 40	7 至 9	隔離離子以減 低沉澱速度並 穩定鐵和錳	<ul style="list-style-type: none"> <li>• 與多磷酸鹽相比無水解問題</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• 必須小心控制劑量以防止沉澱</li> <li>• 會被氧化性殺菌劑緩慢地破壞</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• 可用作碳酸鈣防垢劑</li> </ul>
2-膦酸丁烷-1,2,4- 三羧酸 (PBTC)	20 至 40	7 至 9	隔離離子以減 低沉澱速度並 穩定鐵和錳	<ul style="list-style-type: none"> <li>• 與多磷酸鹽相比無水解問題</li> <li>• 不會與氧化性殺菌劑產生化學反應</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• 必須小心控制劑量以防止沉澱</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• 可用作碳酸鈣防垢劑</li> </ul>

附錄 3C 常用氧化性殺菌劑種類

氧化性殺菌劑	常用劑量 (毫克 / 公升)	適用酸鹼 值範圍	工作原理	優點	限制	備註
氯	2 至 20	6 至 8	與水發生化學反應產生次氯酸，並通過氧化作用破壞細菌結構。	<ul style="list-style-type: none"> <li>● 經濟及普遍</li> <li>● 對廣泛的細菌種類也有殺菌效能</li> <li>● 易於監測劑量和殘留量</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>● 在鹼性水中喪失效用（即酸鹼值為 8 或更高）</li> <li>● 次氯酸是反應的副產品並會降低系統酸鹼值</li> <li>● 以下污染物會減低其效能： <ul style="list-style-type: none"> <li>❖ 氮化合物</li> <li>❖ 氨</li> <li>❖ 烴類</li> <li>❖ 甲醇</li> <li>❖ 乙二醇</li> <li>❖ 鐵</li> <li>❖ 錳</li> <li>❖ 硫化物</li> </ul> </li> <li>● 在熱和紫外光下快速耗損</li> <li>● 可能導致腐蝕問題</li> <li>● 可能造成影響環境的分解</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>● 游離氯殘餘量：0.2 至 1 毫克 / 公升（持續）</li> <li>● 0.5 至 2 毫克 / 公升（定期投入）</li> <li>● 與非氧化性殺菌劑和生物分散劑同時使用可提高其效能</li> </ul>

氧化性殺菌劑	常用劑量 (毫克 / 公升)	適用酸鹼 值範圍	工作原理	優點	限制	備註
次氯酸鈉溶液 (漂 白劑)	1 至 3	6 至 7.5	與水發生化學反應產生次氯酸，並通過氧化作用破壞細菌結構。	<ul style="list-style-type: none"> <li>對廣泛的細菌種類也有殺菌效能</li> <li>易於監測劑量和殘留量</li> <li>與氯氣相比更容易處理</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>在鹼性水中喪失效用 (酸鹼值為 7.5 或更高)</li> <li>可能導致水垢問題</li> <li>昂貴</li> <li>氯氧化鈉是反應的副產品，並會增加系統酸鹼值。</li> <li>因次氯酸會轉化成次氯酸離子，導致殺菌劑在高酸鹼值的環境下失去效能。</li> <li>以下污染物會減低其效能： <ul style="list-style-type: none"> <li>❖ 氮化合物</li> <li>❖ 烴類</li> <li>❖ 鐵</li> <li>❖ 錳</li> <li>❖ 硫化物</li> </ul> </li> <li>在熱和紫外光下快速耗損</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>游離氯殘餘量： 0.2 至 1 毫克 / 公升 (持續)</li> <li>0.5 至 2 毫克 / 公升 (定期投入)</li> </ul>
次氯酸鈣 (Cal Hypo)	沒有特定	6 至 7.5	與水發生化學反應產生次氯酸，並通過氧化作用破壞細菌結構。	<ul style="list-style-type: none"> <li>對廣泛的細菌種類也有殺菌效能</li> <li>易於監測劑量和殘留量</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>在鹼性水中喪失效用 (酸鹼值為 7.5 或更高)</li> <li>氯氧化鈉是反應的副產品，並會增加系統酸鹼值</li> <li>因次氯酸會轉化成次氯酸離子，導致殺菌劑在高酸鹼值的環境下失去效能。</li> <li>以下污染物會減低其效能： <ul style="list-style-type: none"> <li>❖ 氮化合物</li> <li>❖ 烴類</li> <li>❖ 鐵</li> <li>❖ 錳</li> <li>❖ 硫化物</li> </ul> </li> <li>在熱和紫外光下快速耗損</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>游離氯殘餘量： 0.2 至 1 毫克 / 公升 (持續)</li> <li>0.5 至 2 毫克 / 公升 (定期投入)</li> </ul>

氧化性殺菌劑	常用劑量 (毫克 / 公升)	適用酸鹼 值範圍	工作原理	優點	限制	備註
二氧化氯	0.1 至 5	4 至 10	中斷通過細菌細胞壁的養分供應及清除系統中的生物薄膜	<ul style="list-style-type: none"> <li>不受酸鹼值影響</li> <li>有效的氧化劑</li> <li>與漂白劑或氯不同，可在含有氮和有機化合物的系統內使用。</li> <li>溶解性高</li> <li>可溶解硫化鐵</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>在陽光和紫外綫下分解</li> <li>較昂貴</li> <li>需要使用專用設備作現場生產</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>殘餘量：0.2 毫克 / 公升 (持續)</li> <li>0.5 至 1 毫克 / 公升 (定期投入)</li> </ul>
三氯異二聚氰酸 (TCCA)	0.5	7 至 8	與水發生化學反應產生次氯酸，並通過氧化作用破壞細菌結構。	<ul style="list-style-type: none"> <li>對廣泛的細菌種類也有殺菌效能</li> <li>容易管理</li> <li>與其他普遍使用的氯殺菌劑相比，比較安全且易於處理。</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>因次氯酸會轉化成次氯酸離子，導致殺菌劑在高酸鹼值的環境下失去效能。</li> <li>以下污染物會減低其效能： <ul style="list-style-type: none"> <li>❖ 氮化合物</li> <li>❖ 烴類</li> <li>❖ 鐵</li> <li>❖ 錳</li> <li>❖ 硫化物</li> </ul> </li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>游離氯殘餘量：0.2 至 1 毫克 / 公升 (持續)</li> <li>0.5 至 2 毫克 / 公升 (投入)</li> </ul>
鹵代乙內酰脲 如： 溴-3-氯-5, 5-二 甲基海因 (BCDMH)；溴- 3-氯-5, 5 二甲基 乙內酰脲	沒有特定	7 至 10	與水發生化學反應產生次氯酸和及 / 或次氯酸，並通過氧化作用殺死細菌。	<ul style="list-style-type: none"> <li>在鹼性環境下可保持其效能</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>以下污染物會減低其效能： <ul style="list-style-type: none"> <li>❖ 烴類</li> <li>❖ 鐵</li> <li>❖ 錳</li> </ul> </li> </ul>	

氧化性殺菌劑	常用劑量 (毫克 / 公升)	適用酸鹼 值範圍	工作原理	優點	限制	備註
溴化鈉	沒有特定	7 至 10	與水發生化學反應產生次氯酸，並通過氧化作用破壞細菌結構。	<ul style="list-style-type: none"> <li>增加系統酸鹼值可增加活性溴化鈉的效能</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>需要添加活化劑（如氯氣和漂白劑）</li> <li>以下污染物會減低其效能： <ul style="list-style-type: none"> <li>❖ 煙類</li> <li>❖ 鐵</li> <li>❖ 錳</li> </ul> </li> <li>在熱和紫外光下快速耗損</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>游離鹵化物殘餘量： 0.2 至 0.5 毫克 / 公升（持續） 0.5 至 2 毫克 / 公升（定期投入）</li> </ul>
過氧化氫	沒有特定	7 至 9	分解及釋放游離氧分子，並通過氧化作用破壞微生物的蛋白質。	<ul style="list-style-type: none"> <li>不會產生殘餘物和引起排污問題</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>需要較高濃度</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>存放和搬運過氧化氫時需特別注意安全 全措施</li> </ul>
臭氧	1 至 5	7 至 9	分解及釋放羥（基）氧氣，並氧化細菌組織造成直接破壞。	<ul style="list-style-type: none"> <li>有效的氧化劑</li> <li>不會產生殘餘物和引起污水問題</li> <li>微生物不會再生長</li> <li>快速殺滅細菌</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>不穩定，必須於使用前在現場生產。</li> <li>不會在水中留下殘餘量，使其難以檢測。</li> <li>非常活躍和高腐蝕性，不適用於低耐腐蝕材料結構的冷卻塔系統。</li> <li>可能產生鐵和錳沉澱</li> <li>可能破壞防蝕劑、防垢劑和分散劑。</li> <li>不適用於硬水質補給水（碳酸鈣 &gt; 500 毫克 / 公升）</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>大型系統需要設置多個投放點，以確保完全保護整個系統。</li> <li>冷卻塔水空氣預處理和旁通過濾器可提升臭氧性能</li> <li>需要安裝空調系統或機械通風系統供臭氧產生設備散熱</li> </ul>

附錄 3D 常用非氧化性殺菌劑種類

非氧化性殺菌劑	常用劑量 (毫克/公升)	適用酸鹼 值範圍	工作原理	優點	限制	備註
氨基甲酸鹽 例如：二甲基二硫 代氨基甲酸鈉、 二甲基二硫代氨基 甲酸鉀	12 至 18	7 至 8.5	透過吸走金屬 離子，阻礙微 生物的細胞新 陳代謝，以進 行殺滅。	<ul style="list-style-type: none"> <li>對發酵微生物非常有效</li> <li>在低酸鹼值或存有重金 屬的環境下非常有效</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>與金屬發生化學反應及可能導致腐蝕問 題</li> </ul>	
2,2-二溴-3-次氮基 丙酰胺 (DBNPA)	1 至 2	6 至 8.5	<ul style="list-style-type: none"> <li>攻擊細菌細胞 壁來干擾物料 輸送</li> <li>與蛋白質結合 來干擾細菌新 陳代謝。</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>快速殺菌</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>對水藻無效</li> <li>酸鹼值 <math>\geq 8.0</math> 時快速水解 容易被光分解</li> <li>不能與硫化氫、有機污染物或強力還原 劑相容。</li> </ul>	
異噻唑啉	0.5 至 2	6.5 至 9.0	抑制細胞壁養 分輸送及微生 物呼吸	<ul style="list-style-type: none"> <li>有效殺滅一般需氧及杆 式細菌</li> <li>在廣寬的酸鹼值範圍內 有效</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>對水藻有一定殺滅效能</li> </ul>	
亞硫氧基甲烷 (MBT)	0.5 至 1	6 至 7.5	<ul style="list-style-type: none"> <li>阻礙微生物的 電子傳輸以防 止氧化還原反 應發生</li> <li>減低酶的活 性</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>快速殺滅</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>受酸鹼值影響，且在酸鹼值 <math>\geq 7.5</math> 時快 速水解。</li> <li>水溶性較低</li> <li>滲透性差</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>與季銨鹽混合使用 可將效能發揮至最 高</li> </ul>
季銨鹽 (Quats)	5 至 10	6.5 至 8.5	與細菌的細胞 壁形成靜電結 合，令蛋白質 的性質改變並 影響細胞壁的 滲透性。	<ul style="list-style-type: none"> <li>對水藻和細菌有效</li> <li>低成本</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>高硬度、氯化物、油脂、灰塵、游泥及 雜質會降低其效能。</li> </ul>	

非氧化性殺菌劑	常用劑量 (毫克 / 公升)	適用酸鹼 值範圍	工作原理	優點	限制	備註
聚季銨鹽 ( Polyquat )	3 至 6	7.5 至 9.0	與細菌的細胞壁形成靜電結合，令蛋白質的性質改變並影響細胞壁的滲透性。	<ul style="list-style-type: none"> <li>● 安全</li> <li>● 對廣泛的細菌種類也有殺菌效能</li> <li>● 嚴重刺激皮膚的危險很微</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>● 沒有特殊限制</li> </ul>	
三嗪群	沒有特定	0 至 14	<ul style="list-style-type: none"> <li>● 抑制水藻的光合作用。</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>● 良好的水藻殺滅性能</li> <li>● 可在全酸鹼值範圍內工作</li> <li>● 不發泡</li> <li>● 不受硬度影響</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>● 沒有特殊限制</li> </ul>	
季磷鹽 ( TTPC )	5 至 20	2 至 12	<ul style="list-style-type: none"> <li>● 表面作用性能對微生物細胞膜造成嚴重損壞</li> <li>● 降低細胞酶化處理活躍性</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>● 對廣泛的細菌種類也有殺菌效能</li> <li>● 良好的水藻殺滅性能</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>● 沒有特殊限制</li> </ul>	
戊二醛	45 至 56	6.5 至 9.0	與細胞外部蛋白質結合，減低細胞的滲透性。	<ul style="list-style-type: none"> <li>● 快速的殺菌劑</li> <li>● 有效處理硫磺還原細菌和生物膜</li> <li>● 半衰期短，對環境造成的影響輕微。</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>● 殺滅水藻和真菌的效能較低</li> </ul>	



## 附錄 3E

### 建議的個人防護設備一覽表

工種	潛在危險	呼吸器及衣物
測試及運作	微粒 / 霧氣	半臉式，能過濾少於 5 微米的微粒， 一般工作衣物
檢查	微粒 / 霧氣	半臉式，能過濾少於 5 微米的微粒， 一般工作衣物
取水樣本	微粒 / 霧氣	半臉式，能過濾少於 5 微米的微粒， 一般工作衣物
高壓噴霧	微粒 / 霧氣	上述呼吸器、防水衣服、手套、靴子、 護目鏡或面罩
在通風空間內使用帶次氯酸鈉溶液的化學劑處理工作	噴霧及非常低濃度的氯	半臉式、酸性氣體及微粒呼吸器，護目鏡或面罩、衣服、手套及靴子
在密閉空間內進行如上的工作	未知氯濃度、高含量霧滴、有缺氧可能	符合《工廠及工業經營（密閉空間）規例》的規定。

能源效益事務  機電工程署

機電工程署 能源效益事務處

香港九龍灣啟成街三號

**Energy Efficiency Office**

**Electrical and Mechanical Services Department**

3 Kai Shing Street, Kowloon Bay, Hong Kong

電話 Tel: (852) 3912 0642

傳真 Fax: (852) 2890 6081

網址 Website: <https://www.emsd.gov.hk>

電郵 Email: [info@emsd.gov.hk](mailto:info@emsd.gov.hk)