

水冷式空調系統實務守則

第三部：冷卻塔水處理方法

2006 年版

水冷式空調系統實務守則
第三部：冷卻塔水處理方法
2006 年版

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水冷式空調系統，同時還適用於冷卻塔設計、安裝、試驗、竣工投用、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。本實務守則是由水冷式空調系統實務守則工作小組及奧雅納工程顧問香港有限公司共同擬定。

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，這部份必須與以下章節同時閱讀並互為參考：

第一部：冷卻塔設計、安裝及竣工投用

第二部：冷卻塔操作及維修

目錄

	頁數
前言	ii
縮寫列表	v
釋義	vii
1. 引言	1
1.1 適用範圍	
1.2 目標	
1.3 應用	
2. 防蝕劑	2
2.1 腐蝕原因	
2.2 防蝕方法	
2.3 化學水處理方法	
3. 防垢劑	5
3.1 水垢生成原因	
3.2 防垢方法	
3.3 化學水處理方法	
3.4 物理水處理方法	
4. 細菌和微生物控制	9
4.1 細菌和微生物問題的原因	
4.2 化學水處理方法	
4.3 物理水處理方法	
5. 水處理系統監控	14
5.1 化學劑投放	
5.2 泄放控制	
5.3 中央監控系統	
5.4 監測裝置	
5.5 控制裝置	
6. 職業安全及衛生	18
7. 參考資料	19

附錄

附錄 3A	常用防蝕劑種類
附錄 3B	常用防垢劑種類
附錄 3C	常用氧化性殺菌劑種類
附錄 3D	常用非氧化性殺菌劑種類
附錄 3E	個人保護設備推薦列表

表格目錄

表 3.1	冷卻水內的常有微生物類型
-------	--------------

縮寫列表

AS	澳洲標準
AP	認可人士
AMP	氨基三甲叉膦酸(亞甲基磷酸)
APCO	空氣污染管制條例
APHA	美國公共健康協會
ARI	美國空調及製冷協會
BCYE	活性碳酵母萃取物
BCDMH	溴-3-氯-5,5-二甲基海因
BO	建築物條例
BOD ₅	五天生化需氧量
BS	英國標準
BTA	苯并三氮唑
CFD	計算流體動力學
CFU	總菌落數
COD	化學需氧量
CoP	實務守則
CTSC	冷卻塔專門承建商
DBNPA	2,2-二溴-3-次氨基丙酰胺
DFA	直接免疫熒光試驗
DNA	脫氧核糖核酸
DSD	渠務處，香港特別行政區政府
EMSD	機電工程署，香港特別行政區政府
EPD	環境保護署，香港特別行政區政府
FRP	玻璃纖維
HCC	異養菌數量
HEDP	羥基乙叉二膦酸
HKPLDC	香港預防退伍軍人病症委員會
HKSAR	中華人民共和國香港特別行政區
HOKLAS	香港實驗所認可計劃
ISO	國際標準化組織
MBT	二硫氨基甲烷

MoO ₄	鉬酸鹽
MSDS	化學品安全資料
NCO	噪音管制條例
NZS	新西蘭標準
O&M	操作及維修
ORP	氧化還原電位
OSHO	職業安全及健康條例
PBTC	2-膦酸丁烷-1,2,4-三羧酸
PCR	聚合酶鏈反應
PO ₄	磷酸鹽
ppm	百萬分之一
PVC	聚氯乙烯
Quats	季銨鹽
RPE	註冊專業工程師
SSO	污水處理服務條例
T&C	測試及校驗
TBC	總細菌量
TCCA	三氯異三聚氰酸
TDS	總溶解物
TTA	甲基笨駢三氮唑
TTPC	季磷鹽(十四烷基三丁基氯化磷)
WACS	水冷式空調系統
WPCO	水污染管制條例
WSD	水務署，香港特別行政區政府
WWO	水務設施條例
Zn	鋅

釋義:

- 微粒 : 於空氣內懸浮的固體顆粒、液體顆粒或固液顆粒，其沉降速度接近零。
- 水藻 : 生長於水或潮濕地面上的多細胞植物，含有葉綠素但無真正的根、莖和葉。
- 公共地方 : 劃定為休憩地點、遊樂場或市民集結活動的地方。
- 細菌 : 微小的單細胞(或極少數為多細胞)有機體。
- 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，用作滲透並分解附著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。
- 竣工投用 : 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。
- 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（制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啓時流動。冷卻塔系統內此部份易積存死水，可導致該系統內滋生及繁殖細菌及積淤，因而污染系統。
- 除污 : 當冷卻塔發現一定細菌數量時所需進行的處理，包括對冷卻塔系統進行一系列的殺菌、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屯積淤泥。
收水器	:	設計置於冷卻塔排氣口前的格柵或格柵式屏障，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。
蒸發式冷凝器	:	通過空氣流動和噴水以冷卻製冷劑的熱交換器。
排氣出口	:	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、緊急發電機（廢氣管）、停車場通風系統、通風櫥、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出口，必須著重考慮出口與冷卻塔之間的分隔間距。
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	:	由於有機物或其他沉積物生長在熱交換器表面上，所以導致其效率下降。
異養菌數量（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。
退伍軍人病症	:	病原體為嗜肺性退伍軍人病菌所感染導致的一種肺炎性疾病。
退伍軍人病菌數量	:	每毫升水樣本內退伍軍人病菌的菌落總數。
維修	:	用以保持設備運行表現及清潔度的例行措施，包括檢查、維修、預防性維修及清潔。
維修程序	:	使用系統維修步驟，以集合相關數據、擬訂計劃及進行有效的記錄。
維修報告	:	提交至建築物擁有人或物業代理人的書面文件，詳細記錄設備於維修時的表面情況及運行狀態。
可	:	表示許可該行為措施並存在其他選擇。
醫療及衛生設施	:	醫院、普通科診所、專科診所；長者社區配套設施，如長者之家及長者社區中心；還包括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。
可操作的窗戶	:	可操作的窗戶是指帶有移動部件如絞鏈，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，則在核查隔離間距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。對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，必須重點考慮入口和冷卻塔の間隔距離。
- 氧化殺菌劑 : 可氧化有機物的製劑，可導致細胞原料酶或蛋白質等微生物的死亡。
- 鈍化作用 : 產生可控制腐蝕可見或不可見的保護膜。
- 行人大街 : 交通頻繁的通道，讓公眾從一處通往另一處。
- 霧氣 : 從冷卻塔排出的空氣及濕氣，因冷凝而形成霧氣。此情況通常在天氣寒冷和潮濕時發生。
- 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（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，通過抑制沉積過程和（或）改變晶體形狀來防止水垢屯積而成沉積。
- 必須 : 表示所述為強制性說明。
- 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需要濃度，以消滅水中大多數的微生物。
- 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，並均勻地分佈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/部件系統不操作，並與主水冷凝器/熱交換器隔離以防止污染。每週運行一次的冷卻塔備用機組並不屬於暫停運作。

1. 引言

1.1 適用範圍

本部分實務守則內容列舉了適合水冷空調系統的水處理方法，以盡量降低使用冷卻塔的風險，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，以瞭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和因素，以助系統擁有者、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，讓冷卻塔專門承建商或水處理服務供應商可提供適當的服務予不同的冷卻塔系統。

1.2 目標

本部分實務守則的內容主旨是提供指引及技術參考予水冷空調系統水處理計劃之設計及應用，以實現以下目標：

- a) 防止與水冷式空調系統相關的各種潛在風險，確保公共衛生及安全；
- b) 實現/保持水冷式空調系統有較好的能源效益及運作性能；
- c) 將水冷式空調系統對公共環境造成的滋擾降至最低；
- d) 防止自來水的污染及誤用；
- e) 確保員工的職業安全與健康。

1.3 應用

1.3.1 本實務守則是專為負責設計、運作及監測冷卻塔管理計劃等的樓宇擁有人、冷卻塔系統擁有者、冷卻塔系統設計者、樓宇專業人員、建築及維修承建商、冷卻塔專門承建商等而制訂。此實務守則適用於新建系統以及現有的系統。

1.3.2 本實務守則必須與冷卻塔系統服務及設備供應商/水處理化學劑生產商/冷卻塔設備生產商所提供的所有附加建議和任何關聯規格及香港的相關條例和規例同時閱讀。

1.3.3 機電工程署保留解釋此實務守則內容的權利。

1.3.4 如此實務守則內的要求與其他任何相關要求有抵觸時，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) 有關的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熱傳遞降低，及因管道、閥門、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、葉輪及機械密封等的過度磨損會防礙設備的運作。因此降低冷卻塔的熱力與能源效能。

2.2 防蝕方法

水冷式空調系統的防蝕主要方法包括：

- a) 採用適當的構造材料以防止腐蝕；
- b) 使用化學物防腐蝕/控制腐蝕過程；
- c) 控制水垢；
- 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，及確保水冷式空調系統能有效及可靠地運作。選擇特定系統的水處理計劃時需考慮系統的特性，包括：

- a) 系統容量、冷卻塔類型、水盤深度、結構材料、流量、熱傳導率、溫差及相關配件等方面的系統設計；
- b) 補給水的成分和質量，有否預處理及假設濃度循環倍數等；
- c) 污染，包括系統過程泄漏和空氣雜質；
- d) 廢水排放限制；
- e) 周圍環境及空氣質素。

2.3.2 防蝕劑

2.3.2.1 防蝕劑較普遍用來防止水冷式空調系統中的碳鋼及其他合金退化。冷卻塔水處理中所用的防蝕劑可分為四大種類，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、酸鹼值範圍及防蝕劑特性可參考附錄 3A。

2.3.2.2 常見防蝕劑的工作原理如下：

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，未有保護膜覆蓋的部份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差額，並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保護性防蝕膜防止氧離子減少，比陽極防蝕劑更為有效，且所需劑量較少。因此，冷卻水處理系統經常使用這種防蝕劑。

2.3.2.5 混合防蝕劑

混合防蝕劑由兩至三種防蝕劑混合組成，大多數專利防蝕劑產品也是這種類別。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，從而減低運行成本和化學物造成的環境影響。

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，該膜有助防止金屬和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

形成一層由碳酸鋅構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 到 60 天內控制冷卻塔的酸鹼值在 7 到 8 之間，一般可造成鍍鋅表面鈍化的現象。除酸鹼值控制外，碳酸鈣的硬度需控制在 100 到 300 ppm 之間，而總鹼性亦要控制在 100 至 300ppm 之間才可促進鈍化。

2.3.4 海水應用

在海水應用時，適當濃度的亞硝酸鹽及磷酸鹽可提供足夠保護。如亞硝酸鹽未能使用，可使用有機物防蝕劑以提供保護。

2.3.5 其他考慮因素

2.3.5.1

由不銹鋼、聚氯乙烯和玻璃纖維造成的冷卻塔系統一般對腐蝕具有自身的抵抗力。但是，整個冷卻系統一般由多種材料造成，因此必須採用適合冷卻塔系統中所有材料的有效防蝕方法。冷卻塔系統擁有人必須諮詢資深冷卻塔專門承建商/水處理服

務供應商，選擇適合的防蝕劑供特定系統及材料使用。

- 2.3.5.2** 冷卻塔系統金屬表面的侵蝕一般是由於冷卻水速度過高、砂粒侵入及因壓力改變和系統內存氣泡所造成的氣穴現象。必須保持水速在一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熱傳導面形成堅硬沉積物。最常見的水垢是由水中的碳酸鹽、鈣和鎂的重碳酸鹽和鐵鹽形成。鈣和鎂分別在淡水和海水中佔主宰地位。因此，選擇適當防垢方法時必須考慮補給水的成分。

3.1.2 在熱傳導表面形成隔熱沉積，會降低熱傳導效率；並引致因閥門、隔濾器、喉管和熱交換器等部分或完全堵塞而減少水流量。

3.1.3 硬度被認為是導致水垢形成的主要原因，它聯同蒸發量、鹼性、酸鹼值、總溶解物及溫度等重要因素有鏈鎖反應，這些因素對結垢的速度有很大的影響。

3.1.4 蒸發可導致循環水內的鹽分越來越高，因而增加總溶解物。鈣鹽和鎂鹽的負溶解性及重碳酸鹽的分解是導致結垢的另一個因素。

3.1.5 水冷式空調系統內水垢的控制有賴補給水成分（礦物濃度）、冷卻塔系統運行參數、濃度循環倍數及排放控制。

3.2 防垢方法

3.2.1 水冷式空調系統常用的防垢方法有以下幾種：

- a) 經軟化過程移除補給水中可結垢的礦物；
- b) 經泄放過程限制循環水中可結垢的礦物濃度；
- c) 在循環水中加入防垢劑；
- d) 投入酸以提高可結垢鹽分的溶解度；及
- e) 用物理方法移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

化學方法已廣泛應用在水冷式空調系統中以防止結垢。除防垢劑外，軟化劑和酸也可加強防垢效果。

3.3.2 防垢劑

防垢劑主要分為兩種，名為臨界防垢化學物（防垢劑）和節垢劑。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。節垢劑可改善水垢

的晶體結構，使它形成大塊可流動的泥而不是硬屑。一些常用防垢劑的特性可參考附錄 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，故可添加熟和冷石灰減少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

使用鹽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造成的結垢機會（如碳化鈣和磷酸鈣）的簡便和經濟方法。可結垢的礦物質之溶解度會隨著酸鹼值或鹼度降低而增加。添加酸難以控制由硫化鈣造成的結垢，因為硫化鈣鹽的溶解度不受酸鹼值影響。

酸性環境可降低水垢的形成，但是減少酸鹼值可能增加水的腐蝕性及鈣/防蝕劑鹽的溶解性。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。此技術使用了離子交換處理。離子交換過程含有鈉離子樹脂粒的容器內發生，相同數量的鈉離子將更換原有的鈣離子和鎂離子。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

物理方法亦可應用在水冷式空調系統中以防止結垢，常被認為是水處理過程的有效補充方法。同時，眾多物理方法也有助減少腐蝕、水垢和生物附着來提高水質。

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物的機械處理，全系統過濾和旁通過濾處理均有助降低懸浮物至可接受的水平。

- 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物。
- b) **旁通過濾** – 旁通過濾將一部分(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

通過濾相對於使用同樣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，旁通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

以下介紹了冷卻塔系統中常用的機械過濾裝置。

- a) **隔濾器** – 隔濾器是一種帶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。濾網僅可用作隔離系統內大微粒的預處理。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的過濾器，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物的濃度、需清潔最少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）** – 砂過濾器清除懸浮物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直徑最少為 10 微米的懸浮物。專用細砂介質過濾器的設計可清除直徑少於 1 微米的懸浮微粒。針對低懸浮物，可使用各層含不同大小砂介質的多介質容器。容器已經收集了大量的懸浮物後會形成較大的壓力，此時必須用逆行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物的重力質量；分離器處理直徑為 20 微米到 40 微米的微粒時效能約 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，並置於一個帶入口和出口的封閉箱內。過濾袋可由多種材料造成（棉布、尼龍、聚丙烯和聚脂纖維），過濾效能範圍從 0.01 毫米 到 0.85 毫米，網袋一般較粗糙但可重複使用。但是，需要定期更換的過濾器能確保過濾器的效能。

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物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，進而會堵塞系統。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少水中鈣水平和鹼度的簡單方法，從而減少形成碳酸鈣結垢的可能。但是，這不是一種經濟和節水的方案。泄放增加表示冷卻系統以較低的濃度循環倍數運行，也就要求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。淡水冷卻塔和海水冷卻塔的最少濃度循環倍數應分別維持於 6 倍及 2 倍。泄放控制須參考本實務守則第 5.2 節。

3.4.4 磁性裝置

本方法讓系統的補給水通過強力磁場中，磁場影響溶液中的懸浮微粒或離子，以防止硬化沉澱物的沉積。微粒會形成一種流動懸浮物或完全不會沉澱。同時，系統中的水垢沉澱可轉化至溶液狀態。部份磁性裝置使用永久磁鐵，操作時無須接駁電源至有關設備。

3.4.5 電子除垢裝置

電子除垢技術利用由環繞水管的電線圈隨時間改變所產生的磁場及搖擺電場。水中溶解離子帶電後相互碰撞，正離子和負離子之間的撞擊促使管道內離子的沉澱。電子除垢技術可增強化學水處理的效能。用作防蝕和微生物控制的化學劑的成分必須與此技術相容，防垢劑不宜與此方法同時使用。同時，此除垢程序中所形成的沉澱物應使用過濾器清除。

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。一般於冷卻塔內滋長的微生物包括水藻、真菌（酵母和黴菌）及細菌。

微生物	對冷卻塔系統的影響
水藻	<ul style="list-style-type: none">• 為細菌生長提供養料• 沉積於表面促進局部腐蝕• 鬆脫的沉澱可堵塞和附着管道及其他熱交換表面
真菌	<ul style="list-style-type: none">• 大量滋長及附着熱交換表面
細菌	<ul style="list-style-type: none">• 某些類型為致病菌，如退伍軍人病菌，可危害健康• 嗜硫酸菌可還原硫酸鹽為硫化氫• 從腐蝕單元的陰極部分移除氫離子致陰極性消除• 生菌的酸製造有機酸，它引致佈滿沉積物的水管局部腐蝕，並且令熱交換器表面可能出現洞孔式腐蝕

表 3.1：冷卻水內的常有微生物類型

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最常用的方法。同時使用不同種類的殺菌劑以互補不足是必須的。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。氧化殺菌劑還可與包括細菌胞的多種成分的多種有機物質進行反應。因此，可非常有效地滅殺細菌。以下是六種常用氧化性殺菌劑的說明。

4.2.2.2 氯

氯是一種被廣泛應用的氧化性殺菌劑。它進行氯化來控制微生物。投入氯後水中會產生易於檢測的殘餘殺菌劑。所需劑量大概低於 1 毫克/公升的游離氯。它即便

宜且又可以純氣體、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：

- 於鹼性水中喪失效能（即酸鹼值為 8 或以上）；
- 若系統存在污染物如氯、甲醇及乙二醇等，氯將失去效能；
- 對一般冷卻塔設備所用的材料造成腐蝕；
- 可形成環境較難接納的產品；
- 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病菌非常有效，其相對較長的半衰期可使殘氯保持在冷卻塔水路中相對較長的時間。二氧化氯可通過加入氯水和氯化鈉溶液的混合而產生。該化學反應非常迅速，但這種程序比簡單的加氯處理成本較高。

4.2.2.4 溴

溴可由次氯酸鈉與溴化鈉之化學反應產生，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；
- 存在氮化合物及有機物如甲醇和乙二醇時仍然有效；
- 可快速地滅殺微生物；
- 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物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滅殺細菌，此方法使微生物不能產生耐藥性。臭氧可瞬間滅殺以控制微生物。大過或等於 0.4 毫克/公升臭氧殘餘含量可在 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 100-300 倍。

因臭氧的半衰期較短（一般少於 10 分鐘），氧化後會輕易分解成氧。但是，臭氧可能導致鐵和錳沉積，並破壞防蝕劑、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，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，致殘留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，建議軟化和（或）預過濾補給水。
- 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下，如鍋爐、廚房及其煙囪和排氣處。

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差於臭氧。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更加有效的氧化物羥基。此為破壞微生物及追蹤水中有機物的最有效的方法。

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，使用濃度過高（氫過氧化物重量>8%）會導致安全問題。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。氧化殺菌劑一般在系統內保持一個連續水平。可根據定期測試結果調節所需劑量，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增加腐蝕並對水處理的效用有負面影響。間隔式投放可加快殺滅細菌從而增強水處理的效能。

4.2.3.2 因氧化性殺菌劑有時呈腐蝕性，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可參考附錄 3C。

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，滅殺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，對於有機物構造和細胞程序有些不同時，它可以不能發揮殺菌功效。

4.2.4.2 雖然部份非氧化性殺菌劑，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，其迅速的反應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滅殺微生物，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 中總括了一些普遍的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滅殺微生物的最低濃度。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澱，然後可使用殺菌劑滅殺或沖走。同時還可暴露微生物或水藻的新層於殺菌劑中以便滅殺。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和（或）管道表面而形成沉澱。生物分散劑可大大增強殺菌劑的效能，特別是氧化性殺菌劑。可用的生物分散劑包括丙烯酸鹽、硫磺鎂、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滅殺食水內的細菌，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凡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至270毫米之間的紫外光可有效地消滅水中某些致病細菌。

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。其效能會因懸浮物或水混濁度的阻礙及紫外光燈上的固體沉積而削減。為使紫外光燈可覆蓋更廣範的範圍，必須在紫外光燈的上游位置安裝過濾器。

4.3.1.3 利用紫外光強度和水流量控制紫外光輻射系統時，紫外光的射線劑量是由強度和暴露時間相乘所得，計算單位為毫瓦每秒平方厘米 ($\text{mW/s}\cdot\text{cm}^2$)。最小紫外光射線劑量應為20毫瓦每秒平方厘米。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 電離作用是利用電解產生銅和銀離子供冷卻塔水。適當地控制銅離子濃度為20至30 微克/公升和銀離子為10 至 15 微克/公升可有效滅殺系統內的細菌。當殘餘游離氨含量最少為0.2毫克/公斤時，離子有助控制細菌數量。

4.3.2.2 因電極積垢使銀離子的濃度在硬水系統內難以維持。無論是硬水或軟水，電離過程受酸鹼值影響，當酸鹼值高於 7.6 時，銀離子含量便難以保持。系統內具有銅或鋁熱交換器時，不建議採用電離作用，因這會導致嚴重的銅離子沉澱及電鍍腐蝕。

5. 水處理系統監控

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佈。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。防蝕劑、防垢劑和殺菌劑及其他化學劑的劑量濃度計算必須根據系統的總水量、補給水量及放水率。

5.1.2 多數化學處理控制程序（除特殊殺菌劑外）是為保證循環水長期維持固定的濃度。為保持冷卻水內的固定化學濃度，必須採用以下應用方法，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) 感應器控制投藥。

5.1.3 加強劑投放

化學劑定時作手動投放。加強劑投放是最經濟有效的方法，適用於小型冷卻塔系統。但是，這種方法難以控制化學劑的濃度且化學劑含量常有大波動，因此並不建議採用此方法。

5.1.4 連續/間歇投藥

連續/間歇投藥使用機械裝置，如計時器及投藥泵，此為最簡單的自動投藥方式。因化學劑投放頻率及劑量受預設閥門控制，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

系統泄放可以簡單利用計時器、電傳導數計或補給水流量控制。這類設施將發出信號以控制投放化學劑。當系統水的電傳導數達到預定值，計時器和投藥泵便會啓動，並根據系統內的補給水量添加所需的化學劑量。可安裝延遲計時器以防止泄放及化學劑投放同時發生所導致的浪費。

5.1.6 根據補給水量按比例投藥

根據補給水量的變化比例投藥可維持一個接近固定的化學劑含量。此方法是按實際補給水量來調節投藥速度，安裝於補水管道內的脈衝水錶用作啓動投藥泵。比例投藥可持續應用於各種冷卻塔系統，此類投藥方法尤其適用於工作水量有較大變化的系統。

5.1.7 感應器控制投藥

感應器控制投藥是控制系統內化學劑含量的最理想方式。投放速度和頻率可透過工作參數來控制，並使系統持續地維持正確的藥劑濃度。因此，冷卻塔內的化學劑含量可維持在一個指定範圍內。一般會使用酸鹼值感應器和氧化還原探頭（ORP）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 對於精確的泄放控制系統，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。泄放控制是預防水冷空調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，也取決於水處理的方法。如採用全面的水處理程序（包括化學和物理方法）可有效控制結垢、腐蝕和微生物生長，泄放量便可大大減少。

5.2.3 以下是常用控制泄放的方法，其中包括：

- a) 手動控制：泄放閥根據測試結果作手動開關
- b) 定時/間歇控制：設置一個簡單的計時器，間歇性地開啓和關閉泄放閥門
- c) 連續泄放：設置一個孔板或預置閥門連續泄放
- d) 比例控制：安裝脈衝水錶於補給水管路內以啓動泄放閥門
- e) 電傳導數控制：連續監測冷卻水電傳導數，當達到預設的電傳導數值時，則開啓泄放閥。

5.2.4 泄放系統必須考慮以下的因素：

- 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) 用閥門調節泄放量，以確保泄放量不會大過系統的補水量；
- 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 中央監控系統

水處理系統可通過樓宇管理系統（BMS）控制，以協調整個系統的運作及水處理程序。其優點如下：

- 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，以避免浪費化學劑；
- 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) 可盡量減低工作人員接觸化學劑，從而降低操作人員健康和安全的危險；
- e) 可精確記錄耗水量、耗電量和化學劑消耗量；及
- f) 可立即報告水處理設備的任何故障。

5.4 監測裝置

5.4.1 水冷空調系統內的監測裝置常利用感應器。控制指令通過測量的數值與設定值之比較來進行。不同的控制策略需配置不同種類的感應器。以下是幾種常用感應器的說明。

5.4.2 流量計

化學劑投放量與補給水量成比例，多種簡單的自動投藥系統的設計均以此為基礎，可使用孔式文氏裏管、流量管或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，從而顯示水中的總溶解物（TDS）的濃度。任何系統的腐蝕率和結垢速度一般均與水的電傳導數有關。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，而結垢可能會增加。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，酸鹼值測量經常用作控制投酸，以確保有效的水處理程序。

5.4.6 氧化還原探頭

氧化還原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。並測量冷卻水內的有機物和無機物微粒，以控制化學劑投入量。氧化還原探頭必須與酸鹼值感應器同時使用，因氧化還原值會隨酸鹼值改變。

5.4.7 殘餘氯含量感應器

氯是普遍的水冷空調系統殺菌劑。市面上提供有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物的含量，並可確定沉澱的程度，因此渾濁度感應器適合用作泄放控制。

5.4.9 腐蝕率感應器

市場上提供有腐蝕率感應器供連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綫性極化電阻。腐蝕試片方法同樣可用來確定腐蝕率。

5.4.10 特定離子和化合物感應器

測量水中離子濃度的感應器均很普遍。許多分析儀還可以測量化合物、化合物等級或水中溶解化合物的等級。

5.4.11 在水冷空調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。腐蝕率會隨溫度上升而增加，腐蝕監測裝置必須安裝於熱交換器的出口處，因此處的水流溫度最高。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。因化學劑的搬運存有危險，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投放化學劑。

5.5.2 計時器

計時器是一種簡易裝置容許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

投藥泵可採用機械或手動操作。自動控制的投藥泵之開關是根據計時器或感應器所發出的信號而定。投藥泵啟動後會運行一段時間，並注入化學劑於冷卻塔水路中。

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，如水錶和電傳導數計的信號後便會切換至開啓/關閉位置。

6. 職業安全及衛生

- 6.1 必須提供足夠的個人保護設備予負責冷卻塔系統操作及維修的人員。建議供各工種所需的個人保護裝置見附錄 3E。
- 6.2 職業安全須提供培訓予負責冷卻塔系統竣工投用的人員，包括保護性裝備的使用和維修方法。
- 6.3 水處理可能會使用難以控制的及對環境有相對侵蝕性和毒性的化學劑，因此必須關注設備和個人的安全問題。
- 6.4 水處理化學劑的化學品安全資料（MSDS）及有關的認可資料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化學品安全資料及相關警告/安全標籤，必須確保化學品安全資料及標籤不會被水和化學劑損壞。
- 6.5 水處理的化學劑儲存箱或其他適當位置必須提供洗眼瓶或淡水龍頭洗臉盤。而洗眼瓶內的水必須定期更換。
- 6.6 水處理的化學劑必須存放於適當位置以便於搬運。
- 6.7 完全/部分用作水處理的化學劑所存放的房間必須安裝機械/自動通風系統。
- 6.8 水處理的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通往冷卻塔。
- 6.11 負責進行清潔及消毒和水處理的工人常接觸危險物質，必須由醫護人員為工人進行例行衛生檢查。如工人因長期暴露於危險化學劑而引致出現呼吸、皮膚和其他症狀的情況，必須立即尋求醫治。

7. 參考資料

冷卻塔的水處理方法的選擇必須符合以下的條例、技術備忘及實務守則：

- 水務設施條例 (WWO) (Cap.102)
- 建築物條例 (BO) (Cap.123)
- 污水處理服務條例 (SSO) (Cap.463)
- 水污染管制條例 (WPCO) (Cap.358)
- 空氣污染管制條例 (APCO) (Cap.311)
- 噪音管制條例 (NCO) (Cap. 400)
- 職業安全及健康條例 (OSHO) (Cap.509)
- 環境保護署《排入去水渠及污水渠系統，內陸及海岸水域的污水標準技術備忘錄》
- 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《水冷式空調系統廣泛使用淡水冷卻塔的先行性計劃》
- 香港預防退伍軍人病症委員會《預防退伍軍人病症工作守則 2000》

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	5-20 (PO ₄)	6.5-8.5	促使陽極上形成加馬氧化鐵膜	<ul style="list-style-type: none"> 沒有特殊優點 	<ul style="list-style-type: none"> 需要仔細控制系統水內有充分的溶氧量以形成氧化膜 如腐蝕發生，陽極可形成磷化鐵沉積，並加速沉積下層腐蝕 磷酸鹽垢的形成可導致磷酸鈣沉澱 	<ul style="list-style-type: none"> 磷酸鈣防垢劑通常包含在磷酸基防蝕劑內。
鉬酸鹽	50-150 (MoO ₄)	7.0-8.5	形成混有氧化鐵的正鉬離子保護膜	<ul style="list-style-type: none"> 與氨相比毒性較低 可防止洞蝕和沉積下層腐蝕裂縫 	<ul style="list-style-type: none"> 昂貴 與氨和硫酸鹽有化學反應 	
亞硝酸鹽	250-1000	9-9.5	促使陽極上形成加馬氧化鐵膜	<ul style="list-style-type: none"> 沒有特殊優點 	<ul style="list-style-type: none"> 容易生化分解，可導致防蝕劑流失及生物附着問題 需緊密控制開放式循環系統內之應用，因在開放式系統內易於氧化成氨 	
陰極型						
多磷酸鹽（分子脫水、冷凝聚合物、聚乙烯及偏磷酸鹽）	10-20	6.5-8.5	在金屬的陰極表面形成金屬離子膜	<ul style="list-style-type: none"> 不受水質影響 	<ul style="list-style-type: none"> 某些生物酶會增加多磷酸鹽的逆轉反應速度 正磷酸鹽的形成可導致磷酸鈣沉澱 	<ul style="list-style-type: none"> 磷酸鈣防垢劑通常包含在磷酸基防蝕劑內。

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
有機磷化合物（磷酸酯）	10-20	7-9	在帶金屬離子的金屬表面形成保護膜	<ul style="list-style-type: none"> 不受水質影響 磷酸酯不會逆轉為正磷酸鹽，因此不會產生正磷酸鈣沉積。 	<ul style="list-style-type: none"> 無特殊限制 	<ul style="list-style-type: none"> 需要鈣或金屬離子（如鋅），以有效防蝕。
鋅鹽	0.5-2	6.5-7.5	形成氫氧化鋅或其他微溶鋅鹽	<ul style="list-style-type: none"> 沒有特殊優點 	<ul style="list-style-type: none"> 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 	<ul style="list-style-type: none"> 加入穩定劑可稍微調高酸鹼值並防止鋅沉澱
混合型						
鋅/磷酸脂	1-5 (Zn)	7-8.5	在帶金屬離子的金屬表面形成保護膜	<ul style="list-style-type: none"> 添加鋅後可形成粘著性或保護性更強的薄膜 比只使用磷酸鹽可投放較少濃度的藥劑 	<ul style="list-style-type: none"> 容易受硬度影響 形成保護膜的速度下降 	
鋅/多磷酸鹽	7-20 (PO ₄)	6-7.5	在金屬的陰極表面形成金屬離子膜	<ul style="list-style-type: none"> 添加鋅後可形成粘著性或保護性更強的薄膜 比只使用多磷酸鹽可投放較少濃度的藥劑 	<ul style="list-style-type: none"> 為微生物提供養分 形成保護膜的速度下降 	
鋅/多磷酸羧酸鹽	2-5 (Zn)	7-8.5	在帶金屬離子的金屬表面形成保護膜	<ul style="list-style-type: none"> 添加鋅後可形成粘著性或保護性更強的薄膜 比只使用多磷酸鹽可投放較少濃度的藥劑 	<ul style="list-style-type: none"> 對魚類有毒 形成保護膜的速度下降 	
鋅/磷酸酯	4-10 (Zn)	7-8.0	在帶金屬離子的金屬表面形成保護膜	<ul style="list-style-type: none"> 添加鋅後可形成粘著性或保護性更強的薄膜 	<ul style="list-style-type: none"> 對魚類有毒 可能增加生化需氧量 形成保護膜的速度下降 	

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
				<ul style="list-style-type: none"> 比只使用多磷酸鹽可投放較少濃度的藥劑 		
磷酸鹽/多磷酸鹽	5-15 (PO ₄)	7-9.0	在帶金屬離子的金屬表面形成保護膜	<ul style="list-style-type: none"> 防止水解作用 	<ul style="list-style-type: none"> 為微生物提供養分 可能形成磷酸鈣污泥 	
鉬酸鹽/磷酸鹽	5-20 (MoO ₄)	7-8.5	在帶金屬離子的金屬表面形成保護膜	<ul style="list-style-type: none"> 當與有機抑制劑混合時，較低的含量亦可達致良好的防蝕保護 	<ul style="list-style-type: none"> 保護膜形成速度相對較差，且在腐蝕環境下保護效能較差 	
吸附式						
苯并三氮唑 (BTA)	1-5 ppm	6-9	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"> 沒有特殊優點 	<ul style="list-style-type: none"> 有毒 	<ul style="list-style-type: none"> 可作為銅防蝕劑
甲基苯駢三氮唑 (TTA)	1-5 ppm	6-9	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"> 沒有特殊優點 	<ul style="list-style-type: none"> 無特殊限制 	<ul style="list-style-type: none"> 可作為銅防蝕劑

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

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	2-20	6-8	與水反應產生次氯酸，並通過氧化作用破壞細菌結構	<ul style="list-style-type: none"> 經濟及普遍 對廣泛的細菌種類也有殺菌效能 易於監測劑量和殘留量 	<ul style="list-style-type: none"> 在鹼性水中喪失效用（即酸鹼值為 8 或更高） 次氯酸是反應的副產品並會降低系統酸鹼值 以下污染物會減低其效能： <ul style="list-style-type: none"> ❖ 氮化合物 ❖ 氨 ❖ 烴類 ❖ 甲醇 ❖ 乙二醇 ❖ 鐵 ❖ 錳 ❖ 硫化物 在熱和紫外光下快速耗損 可能導致腐蝕問題 可能造成影響環境的分解 	<ul style="list-style-type: none"> 游離氯殘餘量：0.2-1 毫克/公升（持續） 0.5-2 毫克/公升（定期投入） 與非氧化性殺菌劑和生物分散劑同時使用可提高其效能
次氯酸鈉溶液（漂白劑）	1-3	6-7.5	與水反應產生次氯酸，並通過氧化作用破壞細菌結構。	<ul style="list-style-type: none"> 對廣泛的細菌種類也有殺菌效能 易於監測劑量和殘留量 與氯氣相比更容易處理 	<ul style="list-style-type: none"> 在鹼性水中喪失效用（酸鹼值為 7.5 或更高） 可能導致水垢問題 較昂貴 氫氧化鈉是反應的副產品，並會增加系統酸鹼值 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 	<ul style="list-style-type: none"> 游離氯殘餘量：0.2-1 毫克/公升（持續） 0.5-2 毫克/公升（定期投入）

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
					<ul style="list-style-type: none"> • 以下污染物會減低其效能： <ul style="list-style-type: none"> ❖ 氮化合物 ❖ 烴類 ❖ 鐵 ❖ 錳 ❖ 硫化物 • 在熱和紫外光下快速耗損 	
次氯酸鈣 (Cal Hypo)	沒有特定	6-7.5	與水反應產生次氯酸，並通過氧化作用破壞細菌結構。	<ul style="list-style-type: none"> • 對廣泛的細菌種類也有殺菌效能 • 易於監測劑量和殘留量 	<ul style="list-style-type: none"> • 在鹼性水中喪失效用（酸鹼值為 7.5 或更高） • 氫氧化鈉是反應的副產品，並會增加系統酸鹼值 • 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 • 以下污染物會減低其效能： <ul style="list-style-type: none"> ❖ 氮化合物 ❖ 烴類 ❖ 鐵 ❖ 錳 ❖ 硫化物 • 在熱和紫外光下快速耗損 	<ul style="list-style-type: none"> • 游離氯殘餘量：0.2-1 毫克/公升（持續） • 0.5-2 毫克/公升（定期投入）
二氧化氯	0.1-5	4-10	中斷細菌的養分供應及清除系統中的生物薄膜	<ul style="list-style-type: none"> • 不受酸鹼值影響 • 有效的氧化劑 • 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 • 溶解性高 • 可溶解硫化鐵 	<ul style="list-style-type: none"> • 在陽光和紫外綫下分解 • 較昂貴 • 需要使用專用設備作現 • 場生產 	<ul style="list-style-type: none"> • 游離氯殘餘量：0.2-1 毫克/公升（持續） • 0.5-2 毫克/公升（定期投入）

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
三氯異二聚氰酸 (TCCA)	0.5	7-8	與水反應產生次氯酸，並通過氧化作用破壞細菌結構。	<ul style="list-style-type: none"> 對廣泛的細菌種類也有殺菌效能 容易管理 與其他普遍使用的氯殺菌劑相比，比較安全且易於處理。 	<ul style="list-style-type: none"> 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。 以下污染物會減低其效能： <ul style="list-style-type: none"> ❖ 氮化合物 ❖ 烴類 ❖ 鐵 ❖ 錳 ❖ 硫化物 	<ul style="list-style-type: none"> 游離氯殘餘量：0.2-1 毫克/公升（持續） 0.5-2 毫克/公升（定期投入）
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	7-10	與水反應產生次溴酸和（或）次氯酸，並通過氧化作用殺死細菌	<ul style="list-style-type: none"> 在鹼性環境下可保持其效能 	<ul style="list-style-type: none"> 以下污染物會減低其效能： <ul style="list-style-type: none"> ❖ 烴類 ❖ 鐵 ❖ 錳 	
溴化鈉	沒有特定	7-10	與水反應產生次氯酸，並通過氧化作用破壞細菌結構	<ul style="list-style-type: none"> 增加系統酸鹼值可增加活躍溴化鈉的效能 	<ul style="list-style-type: none"> 需要添加活化劑（如氯氣和漂白劑） 以下污染物會減低其效能： <ul style="list-style-type: none"> ❖ 烴類 ❖ 鐵 ❖ 錳 在熱和紫外光下快速耗損 	<ul style="list-style-type: none"> 游離鹵化物殘餘量：0.2-1 毫克/公升（持續） 0.5-2 毫克/公升（定期投入）
過氧化氫	沒有特定	7-9	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"> 不會產生殘餘物和 引起排污問題 	<ul style="list-style-type: none"> 需要較高濃度 	<ul style="list-style-type: none"> 存放和搬運過氧化 氫時需特別注意安全 措施
臭氧	1-5	7-9	分解及釋放羥（基）氫氧基，並氧化細菌	<ul style="list-style-type: none"> 有效的氧化劑 不會產生殘餘物和 	<ul style="list-style-type: none"> 不穩定，必須於使用前在現場生產 	<ul style="list-style-type: none"> 大型系統需要設置多個投放點，以確保完

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
			組織造成直接破壞。	<ul style="list-style-type: none"> • 引起排污流問題 • 微生物不會再生長 • 快速滅殺細菌 	<ul style="list-style-type: none"> • 不會在水中留下殘餘量，使其難以檢測 • 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 • 可能產生鐵和錳沉澱。 • 可能破壞防蝕劑，防垢和分散劑 • 不適用於硬水質補給水 (CaCO₃>500 毫克/公升) 	<p>全保護整個系統。</p> <ul style="list-style-type: none"> • 冷卻塔空氣預處理和旁通過濾器可增加臭氧性能 • 需要安裝空調系統或機械通風系統供臭氧產生設備散熱。

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 如：多磷酸鈉 多磷酸鉀	12-18	7-8.5	阻礙微生物的細胞 新陳代謝以進行滅 殺	<ul style="list-style-type: none"> 對發酵微生物非常有效 低酸鹼值或存有重金屬的環境下非常有效 	<ul style="list-style-type: none"> 與金屬發生化學反應及可能導致腐蝕問題 	
2,2-二溴-3-次氨基丙酰胺 (DBNPA)	1-2	6-8.5	<ul style="list-style-type: none"> 攻擊細菌細胞壁來干擾物料輸送 與蛋白質結合來干擾細菌新陳代謝 	<ul style="list-style-type: none"> 快速殺菌 	<ul style="list-style-type: none"> 對水藻無效 酸鹼值 ≥ 8.0 時快速水解 容易被光分解 不能與含硫化氫、有機污染物或強力還原劑相容 	
異噻唑啉	0.5-2	6.5-9.0	抑制細胞壁養分輸 送及微生物呼吸	<ul style="list-style-type: none"> 有效殺滅一般需氧及杆式菌 在廣寬的酸鹼值範圍內有效 	<ul style="list-style-type: none"> 對水藻有一定殺滅效能 	
亞硫氰基甲烷 (MBT)	0.5-1	6-7.5	<ul style="list-style-type: none"> 阻礙微生物的電子傳輸以防止氧化還原反應發生 減低酶的活性 	<ul style="list-style-type: none"> 快速滅殺 	<ul style="list-style-type: none"> 受酸鹼值影響，且在酸鹼值≥ 7.5 時快速水解 水溶性較低 參透性差 	<ul style="list-style-type: none"> 與季銨鹽混合使用可將效能提至最高
季銨鹽 (Quats)	5-10	6.5-8.5	與細菌的細胞壁形 成靜電結合，消除蛋 白質活躍性並影響 其滲透性	<ul style="list-style-type: none"> 對水藻和細菌有效 低成本 	<ul style="list-style-type: none"> 高硬度、氯化物、油脂、灰塵、游泥及雜質會降低其效能 	

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
酯 (Polyquat)	3-6	7.5-9.0	與細菌的細胞壁形成靜電結合，消除蛋白質活躍性並影響其滲透性	<ul style="list-style-type: none"> 安全 對廣泛的細菌種類也有殺菌效能 刺激皮膚的危險很微 	<ul style="list-style-type: none"> 沒有特殊限制 	
三嗪群	沒有特定	0-14	抑制水藻的光合作用	<ul style="list-style-type: none"> 良好的水藻滅殺性能 可在全酸鹼值範圍內工作 不發泡 不受硬度影響 	<ul style="list-style-type: none"> 沒有特殊限制 	
季磷鹽 (TTPC)	5-20	2-12	<ul style="list-style-type: none"> 表面作用性能對微生物細胞膜造成嚴重損壞 降低細胞酶化處理活躍性 	<ul style="list-style-type: none"> 對廣泛的細菌種類也有殺菌效能 良好的水藻滅殺性能 	<ul style="list-style-type: none"> 沒有特殊限制 	
戊二醛	45-56	6.5-9.0	與細胞外部蛋白質結合，減低細胞的滲透性。	<ul style="list-style-type: none"> 快速的殺菌劑 有效處理低硫化物減少細菌和生物膜 半衰期短，對環境造成微量影響。 	<ul style="list-style-type: none"> 滅殺水藻和真菌的能力較低 	

個人保護設備建議列表

工種	潛在危險	呼吸器及衣物
測試及投用	微粒	半臉式，可過濾少於 5 微米的微粒，一般工作衣物
檢查	微粒	半臉式，可過濾少於 5 微米的微粒，一般工作衣物
取水樣本	微粒	半臉式，可過濾少於 5 微米的微粒，一般工作衣物
高壓噴霧	微粒	呼吸器同上，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的化學劑處理	噴霧及非常低濃度的氯	半臉式、酸氣及微粒呼吸器，護目鏡或面罩、衣服、手套及靴子
如上，在密閉空間內	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

香港九龍灣啓成街三號

Energy Efficiency Office

Electrical and Mechanical Services Department

3 Kai Shing Street, Kowloon Bay, Hong Kong

電話 Tel: (852) 2808 3465 傳真 Fax: (852) 2890 6081

網址 Website: www.emsd.gov.hk

電郵 Email: info@emsd.gov.hk