

開放、封閉、乾式冷卻水塔介紹及冷卻水管理

艾麥迦技術股份有限公司 楊怡倩, 0963637136

allieyang@gmail.com

冷卻水塔

- 是現代工業、發電廠以及大型中央空調系統中不可或缺的「隱形功臣」。
- 如果沒有它，現代的高密度的工業生產與舒適的大樓空調將難以運作。
- 已經超過百年的歷史
- 1950年代有機械強制通風和填料料革新
- 發展至今，多種型式的冷卻設計

冷卻

- 冷卻水塔是善用了水的「高比熱」與「高蒸發潛熱」，達到對「熱能轉換效率」與「空間利用率」極致追求的工業設備
- 以質量計算，水的比熱是空氣的約 4 倍；但如果換算成「體積」，1 立方米的水能吸收的熱量，是 1 立方米空氣的 3,000 多倍！
- 水的蒸發潛熱約為 540 cal/g，蒸發 1 公克的水，就能帶走 540 卡的熱量，驚人的「蒸發潛熱」。
- 水的流動性高、成本低、安全無毒、隨手即可取得。
- 台灣的自來水價低，不可因此浪費，要高效利用水資源！

水冷VS氣冷

- 水冷與氣冷核心關鍵差異：乾球溫度 vs. 濕球溫度
- 氣冷（ Air/Dry Cooling ）的極限是**乾球溫度**(Dry-bulb temperature)（也就是氣溫）
 - 如果夏天室外是 35°C ，氣冷設備頂多只能把熱量散到 $38-40^{\circ}\text{C}$ 以上。
- 水冷（ Evaporative Cooling ）的極限是**濕球溫度**(Wet-bulb temperature)（結合溫度與濕度的極限蒸發溫度）
 - 即使夏天氣溫 35°C ，只要相對濕度不是 100%，濕球溫度可能只有 27°C ，水冷系統就能把水溫降到 30°C 左右！

水冷VS氣冷 比較簡覽

比較項目	水冷 (Water Cooling)	氣冷 (Air Cooling)
散熱效率	極高 (熱傳導係數高，利用蒸發潛熱)	中 / 低 (熱傳導係數低)
溫度極限	可冷卻至接近 濕球溫度 (通常低於氣溫)	只能冷卻至接近 乾球溫度 (即環境氣溫)
設備體積	交換器體積小，但需外接水塔與水泵	熱交換器 (散熱片/風扇) 體積龐大
水資源消耗	需 持續補水 (因蒸發與排污損耗)	零水耗
維護成本	較高 (需處理水垢、生物藻類、管道腐蝕)	極低 (僅需定期吹掃灰塵)
運作噪音	主要是水流聲與低速風扇聲，相對較低	大功率散熱時，高速風扇噪音大

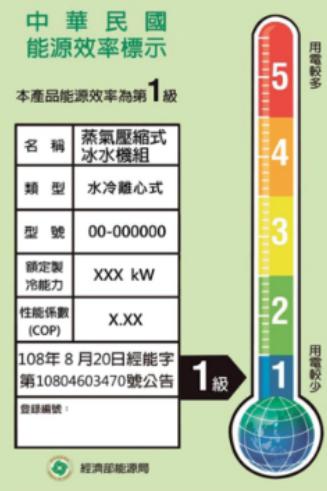
冰水主機 冷卻系統的差異



蒸氣壓縮式冰水機組能源效率分級標示 1 級之冰水機組

依經濟部能源署公告：「蒸氣壓縮式冰水機組容許耗用能源基準與能源效率分級標示事項方法」，其中 1 級能源效率之冰水主機。

類型		標示額定製冷能力		製冷能源效率分級基準					
				性能係數(COP)			效率(kW/RT)		
				3級	2級	1級	3級	2級	1級
水冷式	容積式	< 528kW	< 150 RT	4.45	4.80	5.15	0.79	0.73	0.68
		≥ 528kW <1758kW	≥ 150 RT < 500 RT	4.90	5.30	5.70	0.72	0.66	0.62
		≥ 1758kW	≥ 500 RT	5.50	5.90	6.35	0.64	0.60	0.55
	離心式	<528kW	< 150 RT	5.00	5.40	5.80	0.70	0.65	0.61
		≥ 528kW <1055kW	≥ 150RT < 300 RT	5.55	5.95	6.40	0.63	0.59	0.55
		≥ 1055kW	≥ 300 RT	6.10	6.60	7.10	0.58	0.53	0.50
氣冷式		全機種		2.79	3.00	3.20	1.26	1.17	1.10



冷卻塔 種類

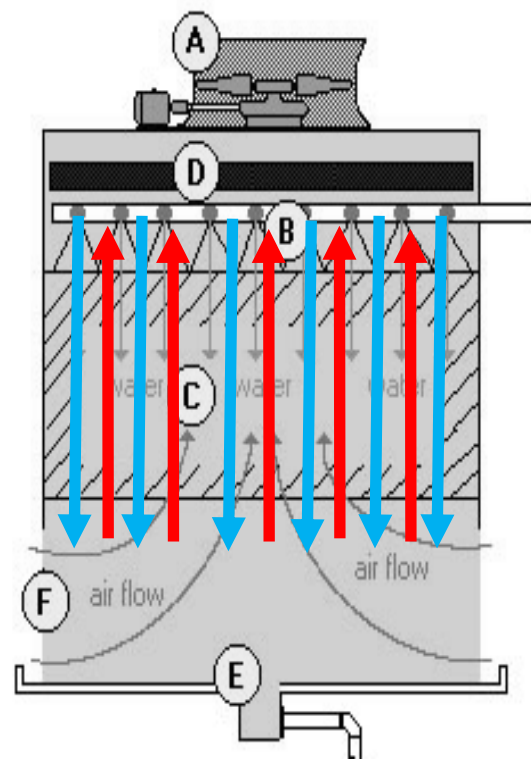
- 逆流式
- 橫流式
- 開放式
- 密閉式
- 氣冷式
- 新型式：複合式

內容冷卻水塔相關資料與
圖片，為太丞股份有限公司
(TECHGO)授權使用。



逆流塔 Counterflow

- 其設計是氣流首先進入一個開放的區域(位於散熱片的下方)，然後垂直向上經過散熱片。冷卻塔水通過加壓噴嘴噴出，並通過散熱片向下流動，與空氣流呈現相反方向。



- A:風機系統 B:散水系統 C:散熱片 D:擋水器 E:冷水盤 F:入風導板

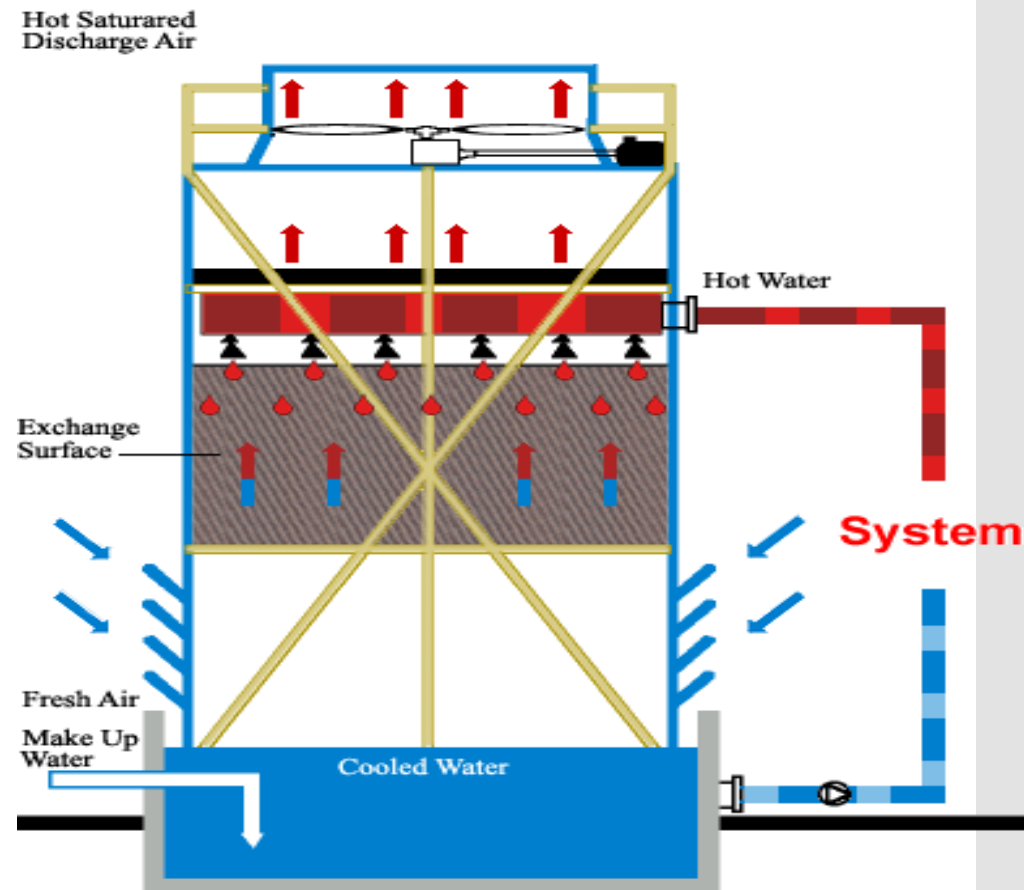
逆流塔 Counterflow

- 優點

1. 水頭(water pumping head)較小
2. 循環水噴灑均勻分佈在散熱片
3. 空氣均勻分佈在散熱片
4. 散熱片使用效率較高
5. 飛濺損失較低
6. 塔體占地面積較小
7. 不易產生熱回流現象

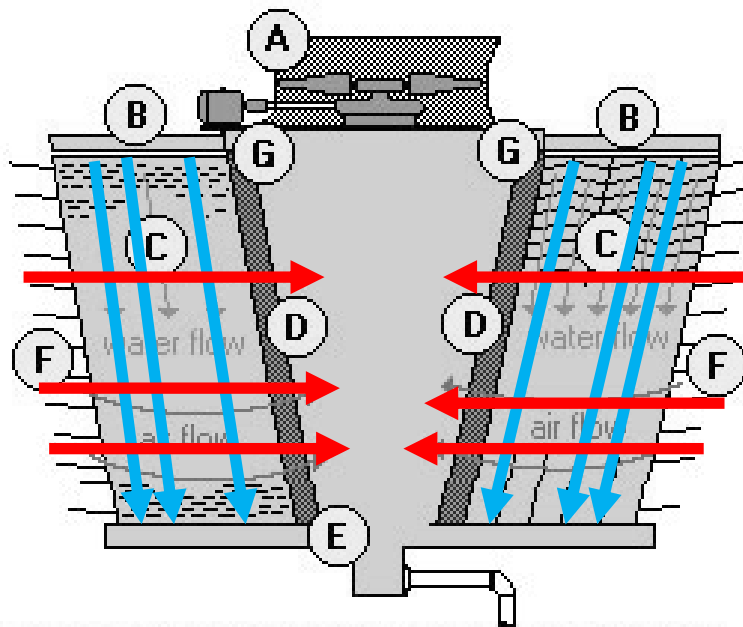
- 缺點

1. 水塔阻力較大
2. 淋水噪音較大



橫流塔 Crossflow

- 是一個冷卻塔系統的設計，其中空氣流被導向垂直於重力向下之冷卻水流，進入一個開放的氣室區域後往外排出。



- A:風機系統 B:散水系統 C:散熱片 D:擋水器 E:冷水盤 F:入風導板 G:風室頂板

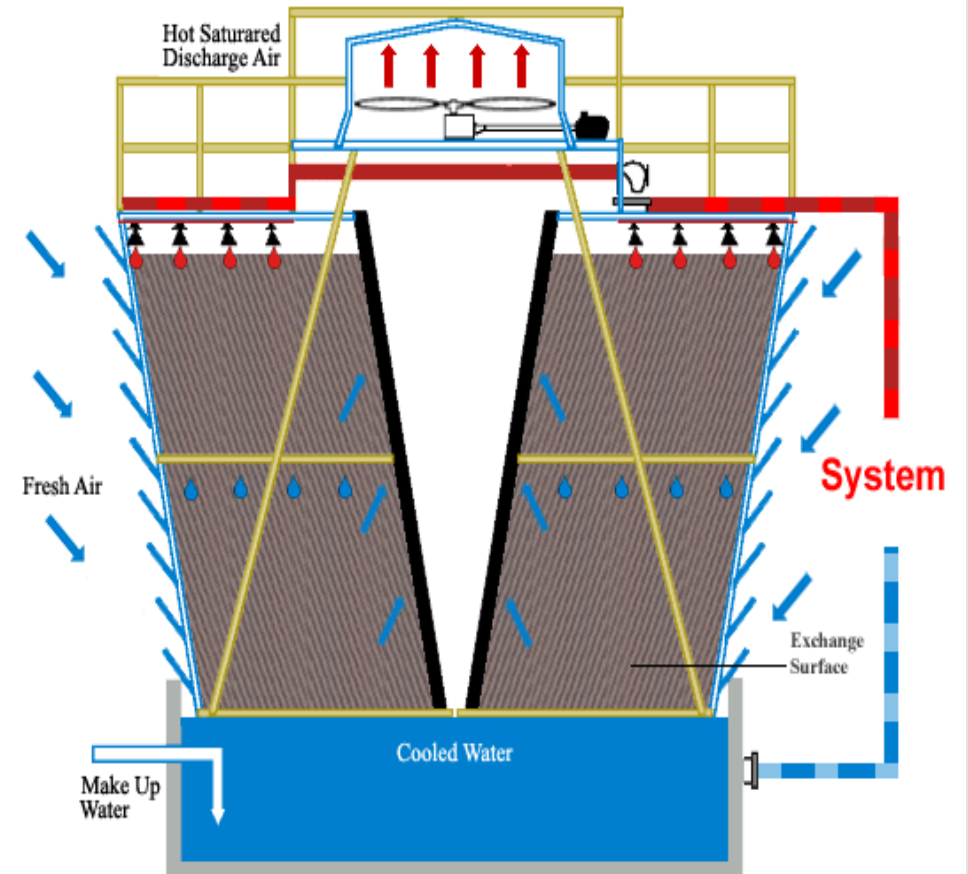
橫流塔 Crossflow

- 優點

1. 空氣流動阻力較小
2. 方便清潔與維修保養
3. 噴濺損失較低
4. 可使用較為髒汙的循環水
5. 淋水噪音小

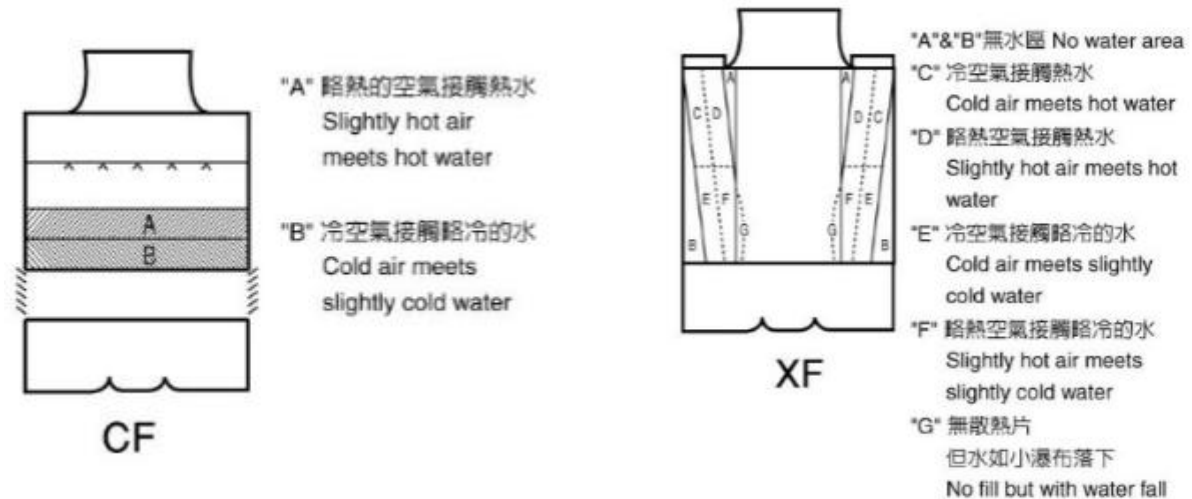
- 缺點

1. 水頭(water pumping head)較大
2. 飛濺損失較大
3. 占地面積較大
4. 散熱片使用效率較低
5. 空氣分佈較不均勻
6. 較容易產生熱回流現象



橫流及逆流換熱比較

- 相同佔地面積逆流冷卻塔冷卻性能較好
- 逆流塔分三個冷卻段：
- ①散水系統到散熱片頂這一空間，此段的水溫較高，所以仍可將熱量傳給空氣。
- 橫流塔此空間太小
- ②散熱片中，水與空氣熱交換段較均勻。
- 橫流塔此段有不均勻現象
- ③填料至集水池空間淋水段，水在此段被冷卻稱之為「尾效」。
- 綜上所述，逆流塔比橫流塔在相同的情況下，散熱片體積小20%左右，逆流塔熱交換過程更合理冷卻效果好。



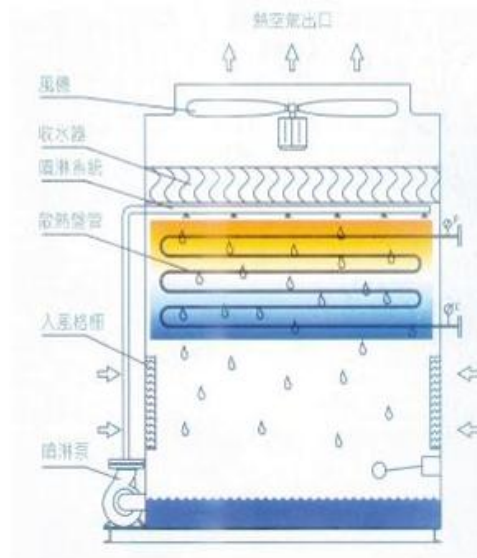
橫流及逆流換熱比較

	橫流塔	逆流塔
熱交換型式	交叉式(Cross type)	逆向式(Counter type)
配水型式	重力配水	低壓噴頭配水
占地面積	大	小
填料使用率	小	大
適用循環水類型	較髒汙	較乾淨
空氣分佈均勻性	低	高
空氣阻力	小	大
噴濺損失	小	大
飛濺損失	大	有單獨擋水器較小
淋水噪音	小	大
熱回流現象	較易	較不易
散熱材青苔	陽光直射	陽光無法照射
維修、保養、清潔	易(較常保養)	難(較少保養)

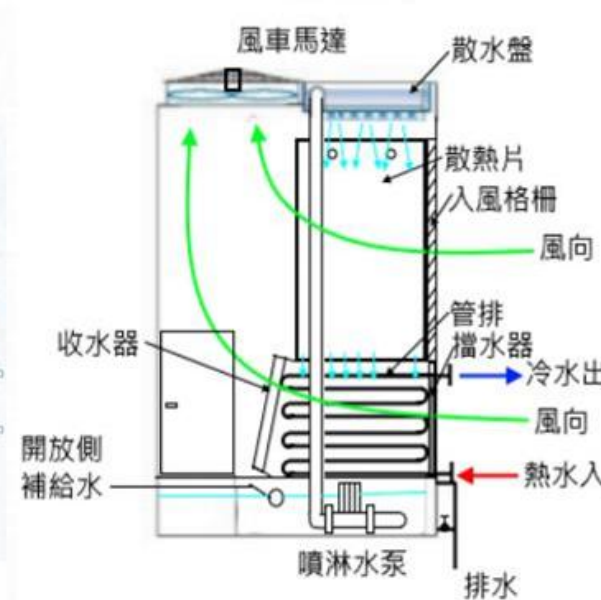
密閉式 冷卻水塔 CLOSED CIRCUIT COOLER

- 利用兩次冷卻方式：
- 一次側冷卻採用**顯熱傳遞**，依靠冷卻器盤管進行冷卻並保持一次側冷卻流體乾淨。
- 二次側冷卻採用風冷和噴淋進行**顯熱及潛熱傳遞**，噴淋系統將水淋到冷卻器盤管表面上，在水蒸發時能夠帶走盤管的熱量，從而達到強大冷卻效果。
- 優勢：
 1. 冷卻水系統使用密閉循環，沒有雜質進入，保證了冷卻流體的純淨。
 2. 密閉循環的水使用軟水，無蒸發濃縮，不結垢，不堵塞管路
- 缺點：
- 造價昂貴，為開放式的4~6倍。

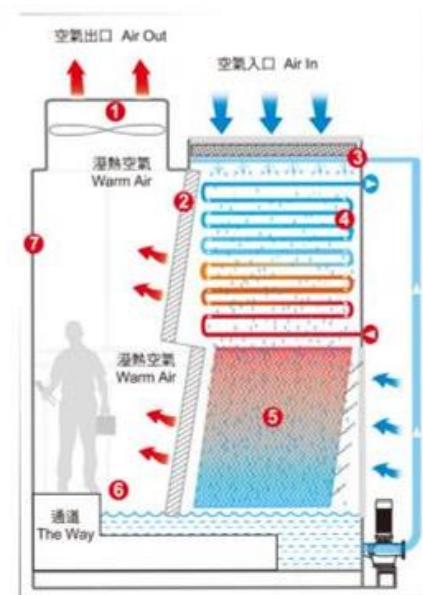
密閉式 冷卻水塔 種類



逆流型



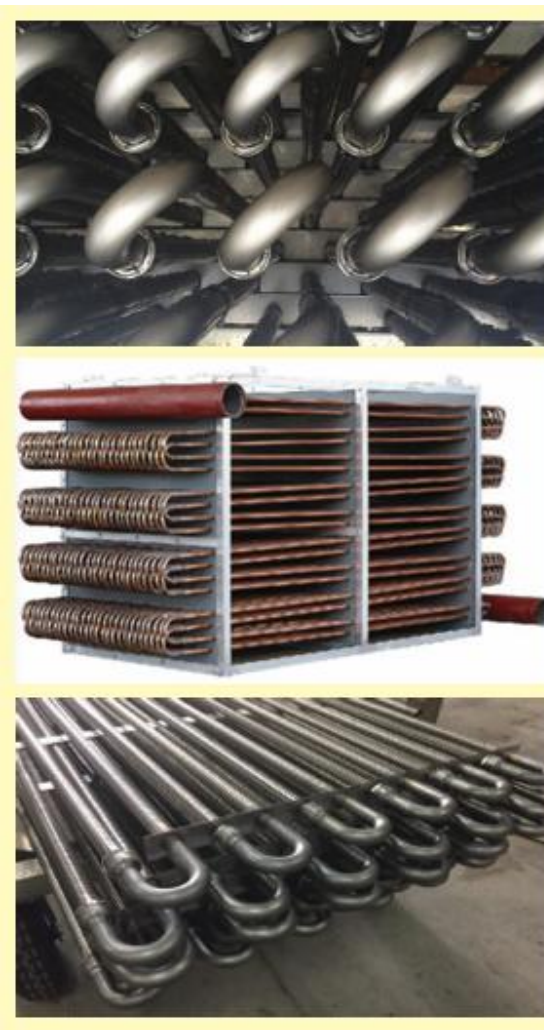
橫流型



複合流型(順流型)

密閉式 冷卻水塔 常見應用

- 需要一次側冷卻流體乾淨要求：
- 空壓機冷卻壓縮空氣，尤其是要熱回收冷卻水至空調箱
- 加熱爐(高週波、中週波、高爐)爐壁與爐門冷卻
- 大型水冷變壓器冷卻
- 射出成型機、模溫機與模具冷卻
- 長晶爐冷卻
- 熱處理行業冷卻
- 串聯冰水做分段冷卻



ACC 空氣冷卻器 ACC-Air cooled condenser

- 為顯熱熱交換 (Sensible Heat Transfer)
- 常見應用：
 1. 在商業空調與工業小噸數冰水主機 (如 5~100 RT) 熱負載小，氣冷式的風扇與鰭片體積尚在可接受範圍 (可直接整合在主機頂部或外殼上) 。
 2. 大型發電廠 (Thermal & Geothermal Power Plants)
 3. 石化、化學與重工業的高溫製程冷卻
 4. 新一代 AI 資料中心與高科技廠房 (Data Centers & High-Tech Plants)
 5. 嚴重缺水或乾旱地區 (Deserts & Arid Regions)
 6. 寒冷地區與防凍需求場景
- 缺點：

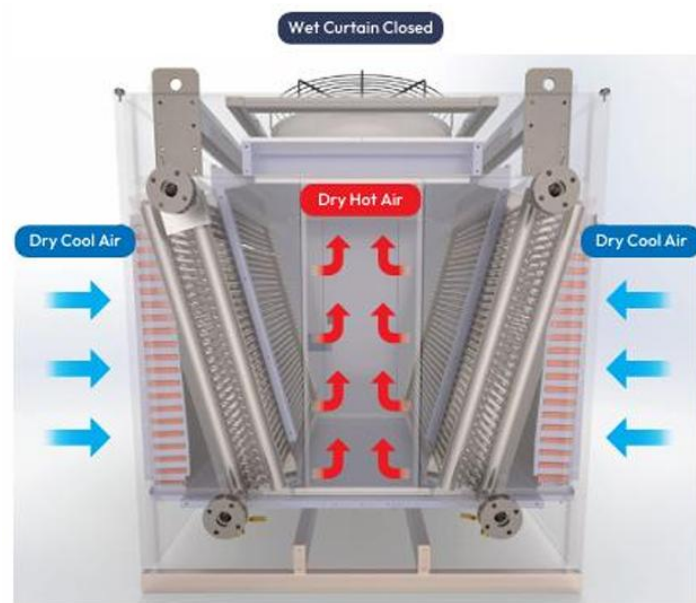
體積龐大、造價昂貴

ACC 空氣冷卻器

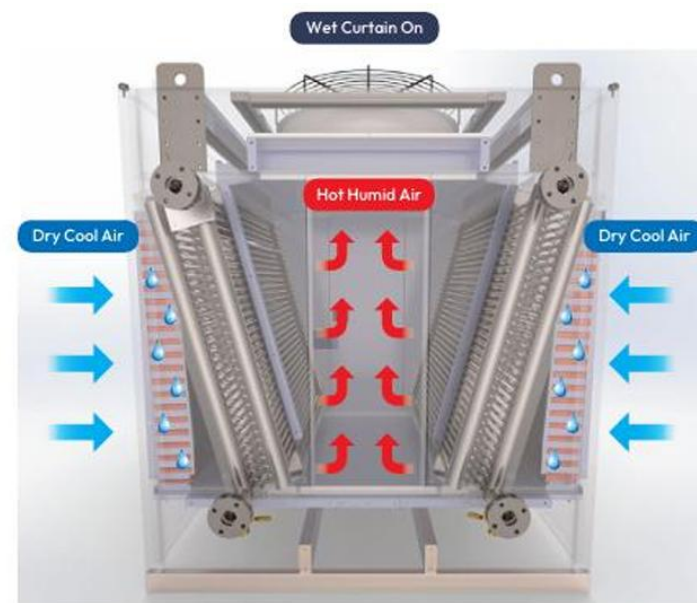


絕熱式冷卻塔 Truliquid Series Adiabatic Cooling Tower

- 創新且高效的冷卻裝置，它結合了乾式冷卻和濕式冷卻的優點。
- 智慧控制系統可根據環境濕球溫度自動切換運轉模式，確保最佳冷卻性能，
- 最大限度地節約用水和能源。



[Diagram: Dry Mode Operation]



[Diagram: Adiabatic Pre-cooling Mode Operation]

冷卻水塔 設備優化

- 冷卻水塔高效率風機(節能)，翼型葉片設計，達到最佳的風機效率，將提升風扇效率15%~30%。
- 使用IE5外轉子馬達的EC FAN，多台並聯控制，風場均勻高效。
- 冷卻水塔節水消霧設計，節水效果，也可減少視覺不佳。
- 調節式佈水系統，以利整體冷卻水塔佈水均勻性。
- 智能化監測運轉控制：控轉速、控流量，最佳化冷卻運轉條件。
- 改變對冷卻水管理的觀念。

冷卻水塔 耗水量

- 冷卻水塔的耗水主要由三部分組成：
- **蒸發損失**：熱交換帶走熱量所蒸發的水分，佔約 75% ~ 85%
- **飛散損失**：風扇帶走的小水滴，約少於1%
- **定期排放（濃縮排水）**：為防止水質礦物質濃度過高造成結垢而必須排掉的廢水，佔約 15% ~ 24%
- 在辦公大樓或商業建築中，夏季空調冷卻水耗水佔總用水量可高達 50% 至 60%。
- 舉例：冷卻能力 1,000RT CT，循環水量12,600LPM~
 - 蒸發損失： $12,600 \times (5^{\circ}\text{C}/600) = 105 \text{ LPM}$
 - 定期排放（以4倍濃縮COC）： $105 / (4-1) = 35 \text{ LPM}$
 - 0.02%飛散損失： $12,600 \times 0.02\% = 2.52 \text{ LPM}$
 - 總補水量142.52 LPM（205度/天）

冷卻補充水

- 台灣自來水平均水質：總硬度180ppm，導電度600 $\mu\text{S}/\text{cm}$
- <2倍的濃縮倍數，會使定期排放水量大增，浪費水資源
- 以為使用水處理化學藥劑就不會結垢、腐蝕
- 長期使用化學殺菌藥劑，會有抗藥性
- 常見誤區：使用軟水、純水、PCW、.....
- 以為不結垢，但讓系統趨向腐蝕，是為不可逆的危害
- 還是會有細菌、微生物、藻類的危害

冷卻水管理的重要性

- 讓冷卻水塔變身高效的節電節水關鍵角色
- 可讓冷卻水塔維持高效冷卻效能
- 空調總水側系統維持高效製冷能力
- 高能效的系統，必需有高效可靠的冷卻水管理
- 提高冷卻水濃縮倍數，高效水資源利用
- 以前頁為例，定期排放（以4倍濃縮COC）： $105 / (4-1) = 35$ LPM，
- 若提高到10倍COC：11.7 LPM（-67%），每天減少排放33.5噸
- 若提高到15倍COC：7.5 LPM（-79%），每天減少排放39.6噸
- 大量減少排放的效益更好！

冷卻水管理在國際上的重視

➤ ISO 46001 (水資源效率管理系統)

- 推動內容：國際標準化組織 (ISO) 發布的專門標準，協助企業以系統化方式檢視廠區與大樓的重大用水設施 (如冷卻水系統) 。
- 節水核心策略原則：要求企業透過「**減少 (Reduce)**、**取代 (Replace)**、**再利用 (Reuse)**」的框架，鑑別冷卻塔的節水潛力，並設定量化的水資源績效指標 (EPIs) 。

➤ 美國綠建築認證 LEED (v4 / v4.1)

- LEED 在「水資源效率 (WE)」評分模組中，特別設立了針對冷卻塔用水 (Cooling Tower Water Use) 的專門加分項目：
- **高濃縮倍數獎勵**：要求冷卻塔進行水質分析，在不引發結垢與腐蝕的前提下極大化「濃縮倍數, CoC」。達到 **10 倍 CoC 以上** 可獲得最高積分。
- **替代水源應用**：若無法達到高 CoC，若能在補給水中混合至少 **20% 以上** 的非潛在飲用水 (如回收水、冷凝水)，亦可獲得綠建築認證加分。

冷卻水管理的 三大危害

1. 結垢 (Scaling) —— 熱效率的隱形殺手

- 「蒸發濃縮效應」會讓水質迅速惡化
- 失控過高的總硬度在受熱濃縮後會形成結垢。
- 數據顯示：熱交換器管壁只要累積僅 0.1 mm 厚度的水垢，就會導致熱傳導效率下降，使冰水主機或製程設備多消耗 3% ~ 5% 的電能。在長期高負載運轉下，這會累積成極為龐大的電費浪費。

2. 腐蝕 (Corrosion) —— 設備穿孔與壽命驟減

- 若不進行水質穩定（如建立鈍化保護膜或控制微鹼性 pH），金屬管路（碳鋼、銅管）會迅速發生均勻腐蝕或局部點蝕，輕則漏水，重則導致昂貴的製程真空/冷凝設備報廢。

3. 生物黏膜與退伍軍人菌 (Biofilm & Legionella) 滋生

- 冷卻水塔的溫度（25°C ~ 40°C）加上台灣濕熱的氣候，以及水中的礦物質養分，是細菌、藻類與退伍軍人菌的極佳溫床。
- 若不加管控，生物黏膜會包覆在管壁內，其熱阻效應比水垢更嚴重，甚至會引發嚴重的公共衛生與法律責任風險。

冷卻水質要求

- 日本冷凍空調工業会標準規格，冷凍空調機器用冷却水水質基準（JRA GL-02-1994）

[illegible]

冷卻水處理

- 常見的方法：
 - 未使用任何水處理，只有強制補水+強制排水，相當浪費水資源。
 - 傳統化學加藥法：
 - 需持續投入抑垢劑、緩蝕劑與殺菌劑。
 - 少部份會搭配導電度做排換水控制。
 - **缺點：**受限於藥劑化學性質，濃縮倍數（CoC）通常只能拉到3～5倍，必須大量排水（Blowdown）以維持水質，造成極大的水資源浪費，且廢水帶有化學殘留。

相關冷卻水處理比較

評比項目	傳統化學加藥法	DeCalon (DCI)	觸媒陶瓷球 / 高頻網	高強度磁能器	電抗器 / 電解機
工作原理	化學添加劑	電化學 + 生物法	表面活性 / 電極吸附	磁化水質 / 磁場效應	電化學電解
化學藥劑需求	100% 依賴化學藥劑	100% 免藥劑	部分仍需配合藥劑	部分仍需配合藥劑	需少量藥劑配合
濃縮倍數 (CoC)	約 3 ~ 5 倍	高達 30 倍以上	約 4 ~ 6 倍	不確定 / 偏低	約 4 ~ 6 倍
舊水垢清除能力	需另外酸洗	可完全清除舊有硬垢	效果有限/不穩定	無法清除硬垢	局部清除
生物膜與抗藥性	易產生抗藥性	打破生物突變，無抗藥性	無法有效抑制	管道易沉積金屬形成溫床	需定期清理
自動排垢 / 排污	依電導度定時排污	自動化排垢與導電度監測	無（需人工停機清洗）	無（金屬污垢留在管內）	有（需人工定期清理渣滓）
排水廢液處理	含化學毒性，需處理	無有害物質，可直接回收/排放	需視投藥狀況而定	需視投藥狀況而定	需視投藥狀況而定
設備體積與保養	加藥桶+幫浦，保養頻繁	體積小 (約55kg)，運轉免停機	需停機或耗人力更換	管道易吸附污垢需清洗	體積龐大 (300kg+)
國際綠建築認證	無	SGBP 3116 (新加坡綠建築標章)	無 / 僅部分 CE	無	無 / 僅部分 CE

DeCalon

ULTIMATE SOLUTIONS
FOR COOLING WATER
MANAGEMENT

DCI 定可安

- 完全免用藥劑的冷卻水處理方案
- 一機就可處理冷卻水的三大危害
- 獲得新加坡SGBP標章，為綠建築加分
- 300+成功應用實績，冷卻水管理之完美解決方案

SINGAPORE GREEN BUILDING PRODUCT CERTIFICATE

AWARDED TO

Innovative Polymers Pte Ltd

5 Yishun Industrial Street 1, #07-02
North Spring Bizhub
Singapore 768161

FOR THE PRODUCT

Cooling Tower Water Treatment

PRODUCT BRAND

DeCalon

PRODUCT MODEL

DCI-15A

THE PRODUCT HAS BEEN ASSESSED ACCORDING
TO THE ASSESSMENT CRITERIA OF SINGAPORE
GREEN BUILDING PRODUCT CERTIFICATION SCHEME.
IT HAS BEEN AWARDED THE RATING:



Director
SGBC Pte Ltd

Certificate Number
SGBP 3116

Original Issue Date
06 May 2022

Revised Date
-



Valid Till
05 May 2024



DCI 定可安 實績一

實績解析一：Keppel Bay Tower (商業指標)

打造 Green Mark Platinum Zero Energy 零能耗綠建築



- 濃縮倍數8倍（投藥系統）提升到39倍
- 原冰機性能0.619kw/RT，提升到0.575kw/RT
- 2020年12月獲得第一座BCA 零能耗認證標誌金獎
- 2023年8月獲得東協能源獎 優勝 節能建築項目

DCI 定可安 實績二

實績解析二：A*STAR 國家級無塵室 (工業/研發)

嚴苛環境的能效躍升與穩定度優化

能效改善



提升 17.5%

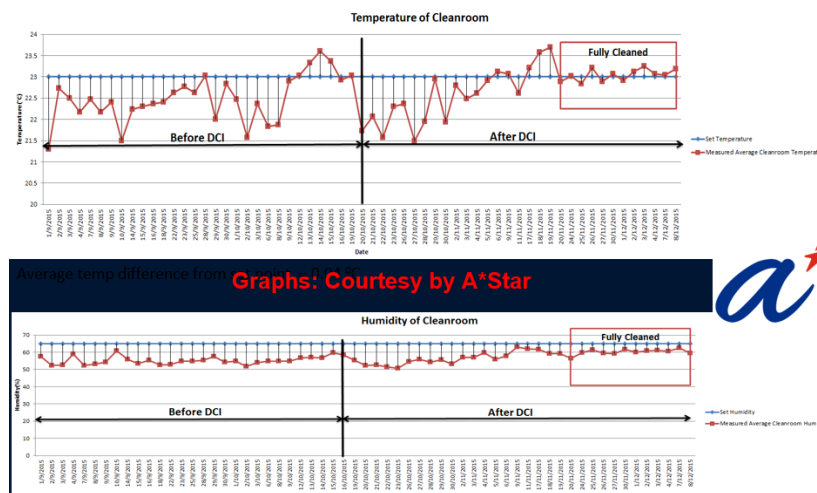
設備耗電從 52.62 kW
降至 43.41 kW

溫濕度控制能力 (標準差)



關鍵洞察：DCI 不僅帶來顯著的節能效果，更名為高精密無塵室提供極度穩定的製程溫濕度環境。

NotebookLM



Singapore Institute
of Manufacturing
Technology
A*STAR SIMTech

DCI 定可安 資料中心實績



**DIGITAL
REALTY™**



- Digital Realty 位於新加坡的 SIN10 資料中心
- 每月節水達1240度
- 每月冷卻設備的排污水量大幅減少了 90%
- 整體用水效率 (WUE) 提升了 15%
- 獲新加坡環境理事會 (SEC) 第 24 屆新加坡環境成就獎 (SEAA) 的首屆「綠色創新：水解決方案」大獎

台北捷運車站
空調系統
100%無加藥
冷卻水質控制
測試計劃



2025/03/19 14:40

項次	水質項目	DCI 控制基準	3/19 補充水	3/19 CT冷卻水	9/11 CT冷卻水
1	pH	8.3~8.8	6.7	6.6	8.61
2	總溶解固體TDS (ppm)	< 1,200	63	59	572
3	導電度μS/cm	< 2,500	232		868
4	鈣 (Ca, mg/L CaCO ₃)	< 200	15	22	202
5	鎂 (Mg, mg/L CaCO ₃)	< 100	94	115	67
6	總硬度 (mg/L CaCO ₃)	< 300	109	137	269
7	二氧化矽 (SiO ₂ , mg/L)	< 100	>5	>5	72
8	M鹼度 (mg/L ,CaCO ₃)	< 300	11	33	174
9	氯鹽(Cl ⁻ , mg/L)	< 300	3.6	4	60

日期區間	平均補充水量 (度/天)	DCI平均排水量 (度/天)	用水量計算 CoC
3月19日~6月6日 約2.5個月	17.9	0.9	19.9
6月6日~9月5日 累計使用約5.5個月	35.8	1.64	21.8

冷卻水管理~
也是深度節能
重要的關鍵



工業用水現況及可回收性

行業別	用水量(Mm ³)	占比
化材業	332.77	24.12%
電子業	322.89	23.41%
食品業	101.86	7.38%
金屬製造業	92.56	6.71%
紡織業	73.19	5.31%
非金屬礦物業	61.60	4.47%
石油業	57.40	4.16%
塑膠業	52.39	3.80%
基本金屬業	48.74	3.53%
造紙業	36.17	2.62%
小計	1179.6	85.51%

(經濟部水利署，112年水利統計)

全球正面臨水資源短缺風險，台灣產業須持續提高用水重複利用率，降低總用水量，不但符合循環經濟概念，更將帶來龐大商機。

