



WHITEPAPER • 直接液冷

技嘉與 Castrol 共同驗證混合冷卻液的可靠性

DLC 液冷系統的互溶性與材料相容性分析

重點摘要

技嘉與 Castrol 共同驗證，Castrol ON DLC PG25 冷卻液在技嘉液冷產品組合（G4L3/G4L4、NVIDIA GB300 NVL72、DLC GIGAPOD）中，實現 100% 互溶性、完善的材料相容性及零流體劣化，確保高密度 AI 基礎架構無縫、零停機維護。

1 執行摘要與 AI 散熱危機

生成式 AI、大型語言模型（LLM）及高效能運算（HPC）的快速擴展，將資料中心的電力需求推向前所未有的境界。現代 AI 加速器，包括 NVIDIA Blackwell、Blackwell Ultra 及即將推出的 Rubin 架構，單晶片熱設計功耗（TDP）已超過 1,000 W，機櫃功率密度亦從傳統的 8 至 20 kW 攀升至 100 至 240 kW 甚至更高。

在如此高的功率密度下，氣冷基礎架構面臨難以突破的物理極限。空氣的低導熱係數（約 0.026 W/m·K）與有限的對流熱傳係數（30 至 60 W/m²·K），迫使伺服器風扇以高轉速運行，不僅耗費大量寄生功耗，更面臨熱節流（thermal throttling）的風險。因此，單相水-二醇類直接液冷（DLC）已成為次世代 AI 基礎架構中，工程可行性最高的散熱方案。

表 1. 氣冷與直接液冷：關鍵散熱參數對比

	傳統氣冷	直接液冷
冷卻介質	空氣	Castrol ON DLC PG25 (水-二醇類)
熱傳係數 (W/m ² ·K)	30 - 60	1,000 - 10,000
機櫃功率密度 (kW/機櫃)	8 - 20	100 - 240+
熱節流風險	滿載時熱節流風險高	熱節流風險極低
資料中心 PUE	1.35 - 1.60	1.05 - 1.20

2 冷卻液互溶性與物理化學完整性分析

在資料中心的實際運作中，冷卻液混合是補液、系統維護、更換冷卻液供應商，或殘留廠測液體等情境下不可避免的現實。為確保絕對的操作安全性，技嘉與 Castrol 合作，針對 Castrol ON DLC PG25 與主流商用丙二醇冷卻液，在實際換液（10:90）與等比混合（50:50）情境下進行評估。

表 2. 冷卻液混合分組與模擬情境

現用液體	Castrol ON DLC PG25	模擬操作情境
Group A PG 10 C (50%)	Castrol PG25 (50%)	商用換液相容性敏感測試
Group A PG 10 C (10%)	Castrol PG25 (90%)	實際換液情境（10% 殘留）
Group B LC 25 (50%)	Castrol PG25 (50%)	商用換液相容性敏感測試
Group C PG 25 (50%)	Castrol PG25 (50%)	商用換液相容性敏感測試

所有混合冷卻液樣本均依據國際 ASTM 標準進行物理化學測試。在所有評估比例下，混合液均維持完全的物理穩定性，無相分離、沉澱或霧化現象。

表 3. 混合冷卻液物理化學性質

	方法	Group A (50:50)	Group A (10:90)	Group B (50:50)	Group C (50:50)
外觀	目視	清澈透明	清澈透明	清澈透明	清澈透明
密度 @ 20°C (g/cm ³)	ASTM D1122	1.027	1.028	1.029	1.024
pH 值	ASTM D1287	8.61	8.62	8.87	8.62
導電度 (μS/cm)	ASTM D1125	4420	4310	4800	3380
冰點 (°C)	ASTM D1177	-11.6	-11.9	-12.1	-11.8
沸點 (°C)	ASTM D1120	106.9	105.8	111.1	104.7
儲備鹼度 (mL)	ASTM D1121	2.8	2.8	5.1	4.2
菌落數 (CFU/mL)	Easicult	< 100	< 100	< 100	< 100

3 金屬與非金屬材料相容性

微流道銅製冷板與不鏽鋼流體分配器的防腐蝕至關重要。金屬腐蝕產物的顆粒沉積，可能大幅增加迴路流阻，並導致局部熱點形成。

表 4. 金屬腐蝕測試結果：玻璃器皿測試

測試項目	業界 允收範圍	重量變化 (mg)			
		Group A (50:50)	Group A (10:90)	Group B (50:50)	Group C (50:50)
銅 (ASTM D1384)	±10	0	0	0	1
黃銅 (ASTM D1384)	±10	1	1	0	1
焊料 (ASTM D1384)	±10	1	1	0	5
鋼 (ASTM D1384)	±10	0	0	-1	0
鑄鐵 (ASTM D1384)	±10	2	3	-2	-1
鋁 (ASTM D1384)	±10	0	0	-2	-2

表 5. 金屬腐蝕測試結果：模擬服役測試

測試項目	業界 允收範圍	重量變化 (mg)			
		Group A (50:50)	Group A (10:90)	Group B (50:50)	Group C (50:50)
銅 (ASTM D2570)	±20	3	1	4	3
黃銅 (ASTM D2570)	±20	6	2	0	5
焊料 (ASTM D2570)	±60	0	17	1	9
鋼 (ASTM D2570)	±20	0	4	0	0
鑄鐵 (ASTM D2570)	±20	2	2	3	2
鋁 (ASTM D2570)	±60	3	34	1	84【備註】
pH 變化 (ASTM D1287)	-	-0.5	-0.2	-0.3	-0.1

【備註】Group C (50:50) 中，鋁重量損失達 84 mg，超過 60 mg 上限。技嘉標準化液冷接液面設計規範嚴格要求採用銅、不鏽鋼與鍍鎳黃銅，在高密度 DLC 迴路中完全避免接液面使用鋁材，以消除電偶腐蝕與點蝕風險。

非金屬材料相容性依據 ASTM D471、ISO 1817 及 ISO 527，在加速熱老化條件下（88℃，336 小時）進行評估。維持密封件彈性，可防止快速接頭（QDC）與流體分配器接點處發生微量液體滲漏。

表 6. 彈性體相容性測試結果：Group A 10:90（ASTM D471）

彈性體材料	體積變化（%）	硬度變化	抗拉強度變化（%）
EPDM（三元乙丙橡膠）	-1.0	0	-6
VMQ（矽橡膠）	-0.3	2	-2
NBR（丁腈橡膠）	3.0	-1	-7
FKM（氟彈性體）	1.4	1	-24

表 7. 塑膠相容性測試結果：Group A 10:90（ISO 1817 & ISO 527）

塑膠材料	質量變化（%）	硬度變化	抗拉強度變化（%）
聚丙烯（PP）	0.1	-1	5.5
氟化乙烯丙烯（FEP）	0.1	1	-12.6
聚四氟乙烯（PTFE）	0	0	-13.6
聚醯胺 12（PA12）	8.1	-14	-23.8

4 封閉冷卻迴路三個月實地測試

為銜接實驗室測試與實際資料中心運作，混合冷卻液（Group A 10:90 混合液）被注入模擬 NVIDIA GB300 Grace Blackwell Ultra 的迴路，以六個熱測試載具（TTV）作為穩定熱源。系統在冷卻液入口溫度約 45°C、出口溫度約 55°C 的條件下，以 2.5 至 3 L/min 的循環流量持續運行 12 週。

表 8. 三個月冷卻迴路測試期間冷卻液狀態

	第 2 週	第 4 週	第 8 週	最終（第 12 週）
外觀	清澈透明	清澈透明	清澈透明	清澈透明
pH 值	8.70	8.69	8.58	8.58
鐵（ppm）	< 1	< 1	< 1	< 1
銅（ppm）	< 1	< 1	< 1	< 1
氯化物（ppm）	< 5	< 5	< 5	< 5
硫酸鹽（ppm）	< 5	< 5	< 5	< 5
菌落數（CFU/mL）	< 100	< 100	< 100	< 100

5 全面導入技嘉液冷產品組合

技嘉不將冷卻液驗證視為單一實驗。而是將流體互溶性、防腐蝕及材料相容性標準強制要求於其整個液冷產品組合。無論是部署單台 DLC 伺服器，還是大規模 GIGAPOD AI 工廠，企業客戶均可獲得有保障的流體可靠性。

表 9. PG25 在技嘉液冷產品組合中的導入範疇

類別	代表產品	DLC 導入範疇	目標 AI 工作負載
直接液冷伺服器	技嘉 G4L3/G4L4 系列	伺服器層級：PG25 驗證冷板與流體分配器	高密度 8-GPU 節點
機櫃級 AI 解決方案	NVIDIA GB300/GB200 NVL72	機櫃層級：與 CDU 整合的封閉迴路	百萬兆次規模 LLM 訓練與推論
橫向擴展 AI 基礎架構	技嘉加速部署單元 (GADU)	叢集層級：設施到機櫃的整合冷卻液配送	超大規模 AI 雲端資料中心

技嘉直接液體冷卻解決方案核心優勢

01

輕鬆維護（零停機）

與商用丙二醇迴路 100% 互溶，可輕鬆補液與更換供應商，確保 AI 運算持續不中斷。

02

廣泛材料相容性

依據 ASTM D1384/D2570 驗證，有效防止金屬腐蝕並將腐蝕副產品降至最低。與銅製冷板、不鏽鋼流體分配器、CDU 及 QDC 相容，維持最佳散熱效能。

03

毫不妥協的熱穩定性

在 9 kW 迴路中進行長達三個月的實地測試，確認流體劣化極低，可在 100% 工作負載下支援 1,000 W 以上 GPU 運行而不發生熱節流。

04

防滲漏與資產保護

依據 ASTM D471 及 ISO 1817，針對主要密封件（EPDM、VMQ、FKM）與塑膠（PP、FEP、PTFE）進行測試，膨脹與硬度變化極小，確保零滲漏運行。

6 結論

隨著 AI 運算規模突破每晶片千瓦的門檻，技嘉與 Castrol 的聯合驗證證明，ON DLC PG25 在混合流體環境中提供卓越的互溶性、防腐蝕性、密封件壽命及熱穩定性。這些標準全面導入技嘉液冷產品組合，包含 DLC 伺服器與 NVIDIA GB300 NVL72，使企業能以最高效能、零維護摩擦及最佳化長期整體持有成本（TCO），部署高密度 AI 基礎架構。

7 保固與冷卻液替換免責聲明

本白皮書所呈現的互溶性、材料相容性與可靠性驗證，適用於依技嘉與 Castrol 聯合規範供應並維護的 Castrol ON DLC PG25 冷卻液。技嘉液冷迴路在完成部署後，可能殘留少量 Castrol ON DLC PG25。若客戶事後自行引入或替換其自行採購之冷卻液，該替換行為由客戶自行決定；技嘉不將本驗證結果或任何相關冷卻液保固延伸適用於替換後的流體。在此情況下，與冷卻液相關的維護及問題處理責任，由客戶自行洽其供應商負責，與技嘉無涉。