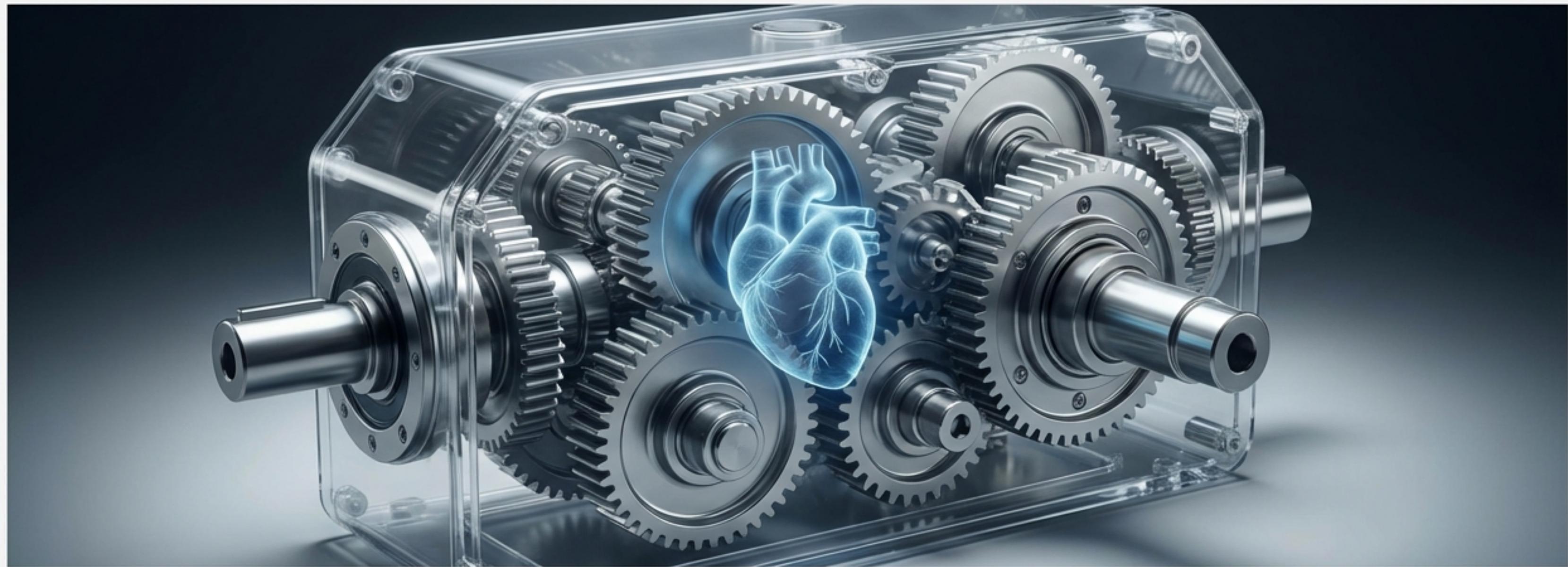


機械的仁心仁術

齒輪箱的預防醫學與精準診斷



這不僅是鋼鐵。這是您企業的心臟。每一次轉動，都關乎效率、安全與利潤。而您，就是守護這顆心臟的頂尖醫師。

卓越醫師的兩大核心技術

預防醫學：血液的科學 潤滑油



如同血液品質決定健康，潤滑油的選擇決定了設備的先天體質與後天耐力。

精準診斷：檢查的藝術 輪檢查



再好的預防也需依賴精準的檢查來驗證，洞察肉眼不可見的早期病灶。

預防醫學(I)：先天體質的基因學 — 基礎油



普通體質 (礦物油)

Noto Sans TC Regular

特性：成本效益高，相容性佳。但黏度 (VI) 較低 (90-100)，高溫下油膜變弱，氧化壽命短。

適用：環境穩定、負載適中的一般工廠。



訓練有素的運動員 (PAO)

Noto Sans TC Regular

特性：高黏度指數 (130-160)，壽命為礦物油 2-3 倍，耐溫差。

適用：戶外溫差大的環境 (如港口起重機)。



極限運動員 (PAG)

Noto Sans TC Regular

特性：極高 VI (>150)，極低摩擦係數，卓越抗微點蝕能力。

適用：蝸輪、風電等高滑動比系統。



PAG 與礦物油/PAO 完全不相容。混合將導致災難性膠狀沉澱。

預防醫學(II)：能量供給的營養學 — 黏度

如同選擇合適的登山鞋

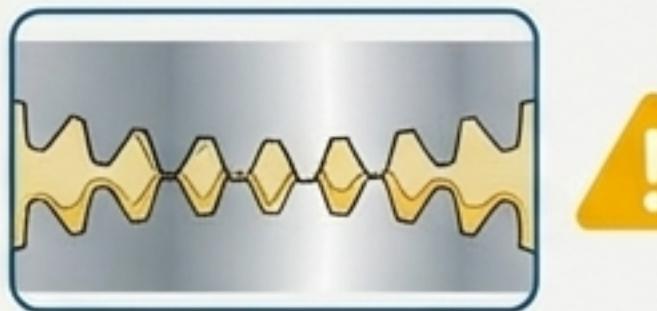
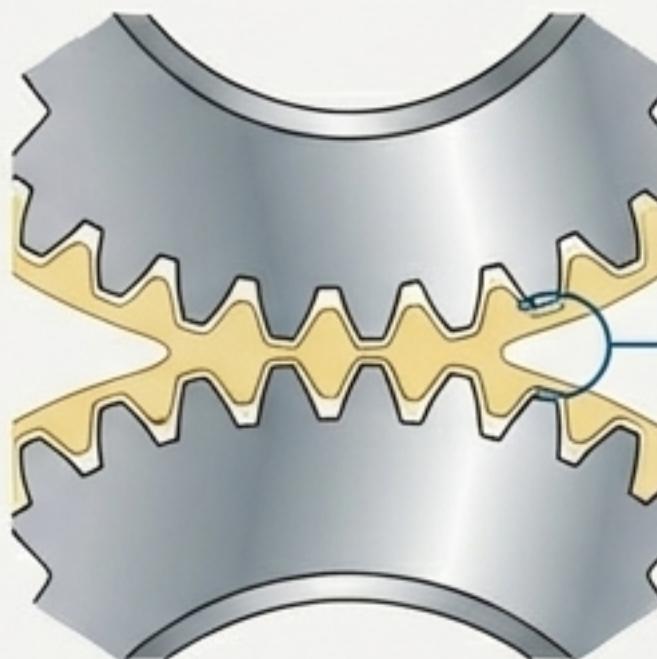


高速輕載：需用「薄底跑鞋」（低黏度），減少攪拌阻力。

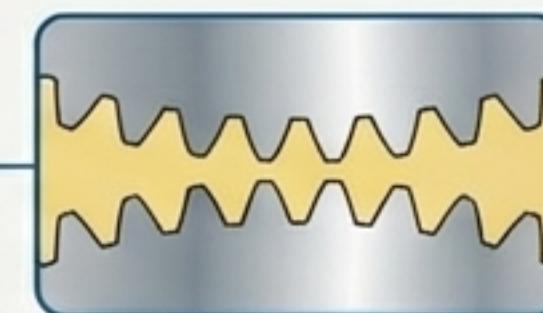


低速重載：必須穿「厚底登山靴」（高黏度），維持緩衝保護。

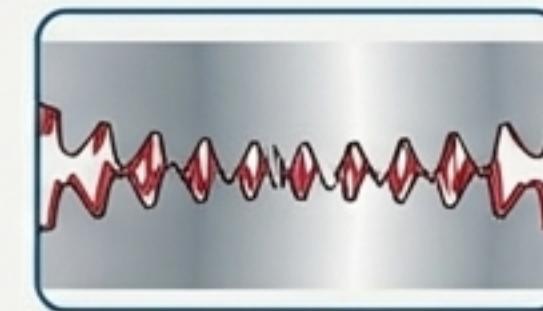
Lambda (λ) 比：潤滑狀態的黃金指標



$1 < \lambda < 3$ (混合潤滑)：偶有接觸，需添加劑保護。



$\lambda > 3$ (全油膜潤滑)：表面完全分離，近乎零磨損，壽命最長。



$\lambda < 1$ (邊界潤滑)：金屬與直接接觸，磨損與膠合風險極高。



預防醫學(III)：特殊補給的處方學 – 添加劑



極壓添加劑 (EP Additives)

如同「關節護具」，在高壓衝擊下生成保護膜，防止金屬熔焊（膠合 Scuffing）。



副作用警示：活性硫可能腐蝕黃色金屬（如青銅蝸輪）。需確認通過 ASTM D130 銅片腐蝕測試。



抗乳化性 (Demulsibility) – 海事應用的生命線

如同運動員的「水分調節能力」。油品必須能迅速與水份離，將水沉降排出。

為何重要：滯留的水分會導致油膜強度降低、添加劑水解失效及嚴重腐蝕。這是 DNV 等船級社的重點要求。

我們開出了最好的處方，但病患的真實狀況如何？



若沒有精準的診斷，再好的預防醫學也只是盲目臆測。
現在，讓我們拿起診斷工具。

精準診斷的藝術：從表徵到病根

第一層：日常問診 (望聞問切)

油位、溫度、異音、呼吸器。

如同醫生觀察病人的氣色、體溫與呼吸。



第二層：定期抽血 (血液分析)

油樣分析 (Oil Analysis)。

最科學的內部檢查，能發現潛在的『病變細胞』與『血液指標異常』。



第三層：影像醫學 (精密儀器)

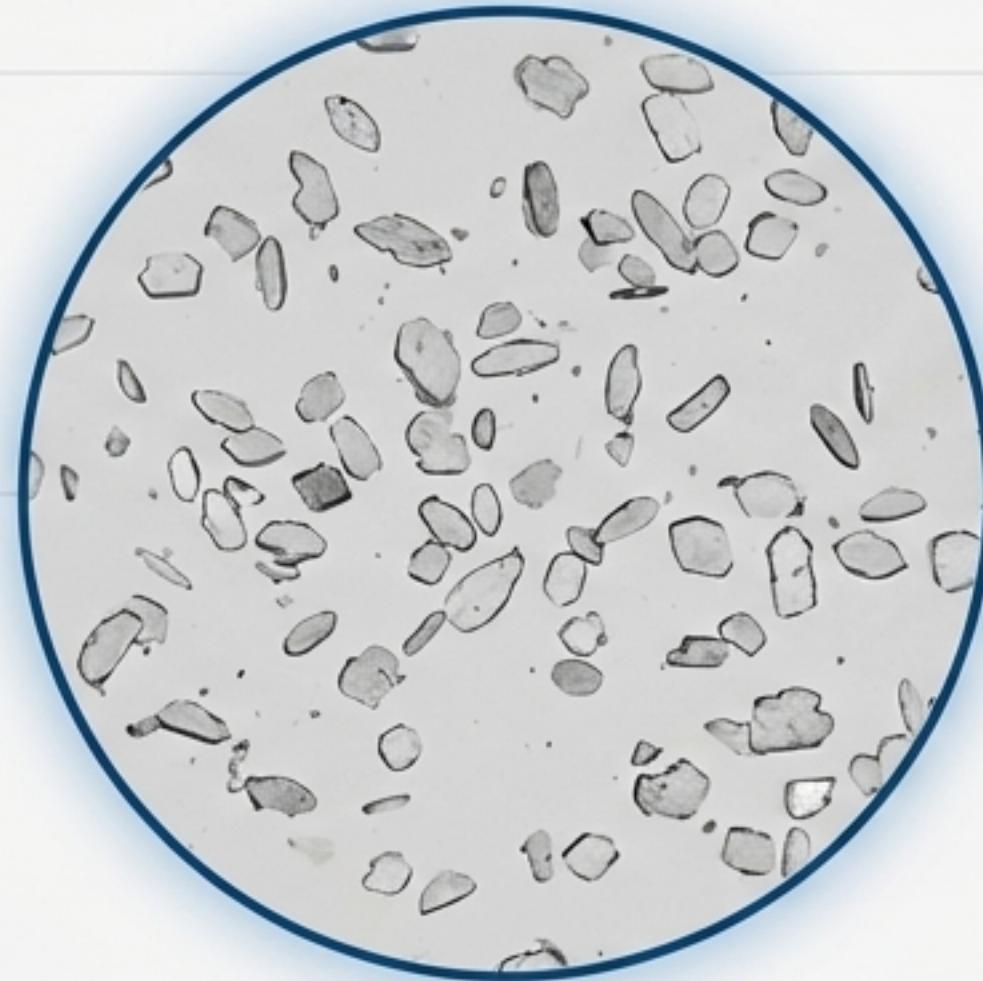
內視鏡 (Borescope) & 振動分析 (Vibration Analysis)。

如同腸胃鏡與心電圖，直視病灶、監聽心跳。



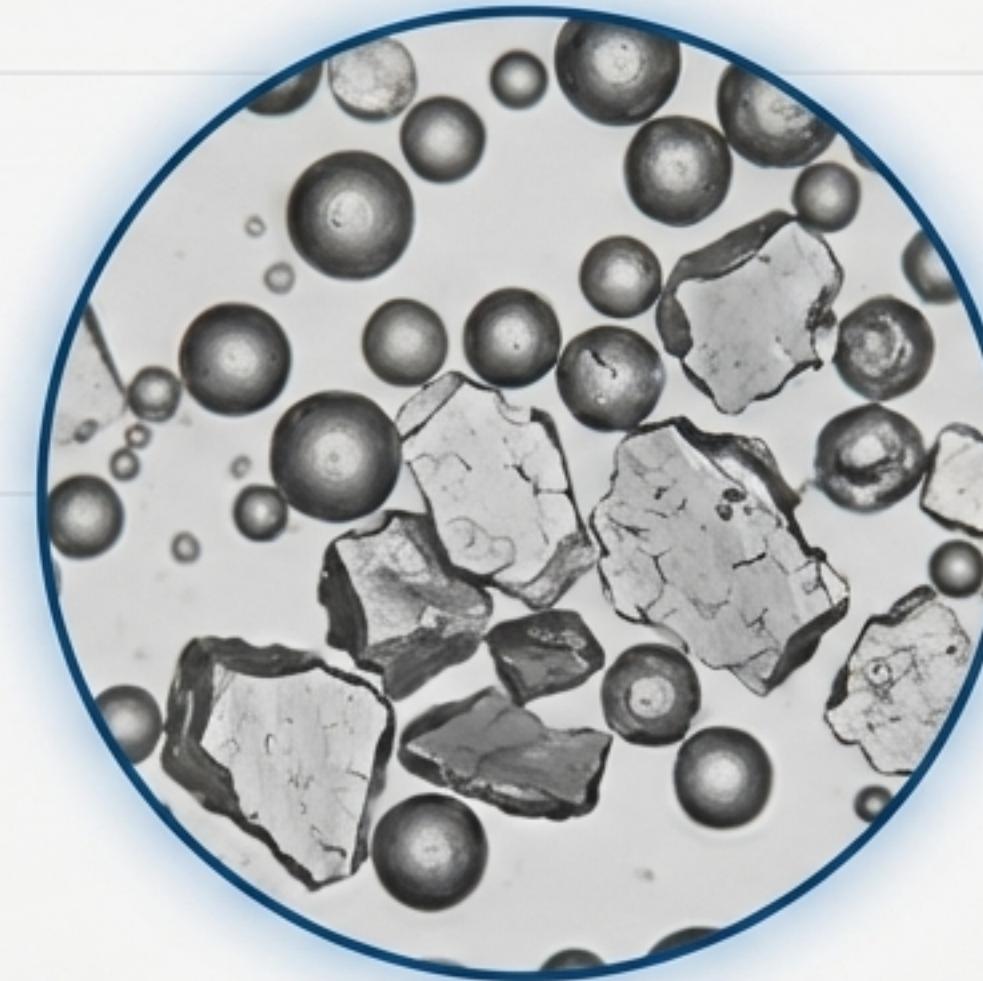
血液報告解讀：油樣中的磨損密碼

鐵譜分析 (Ferrography) 讓我們看見磨損的「細胞形態」



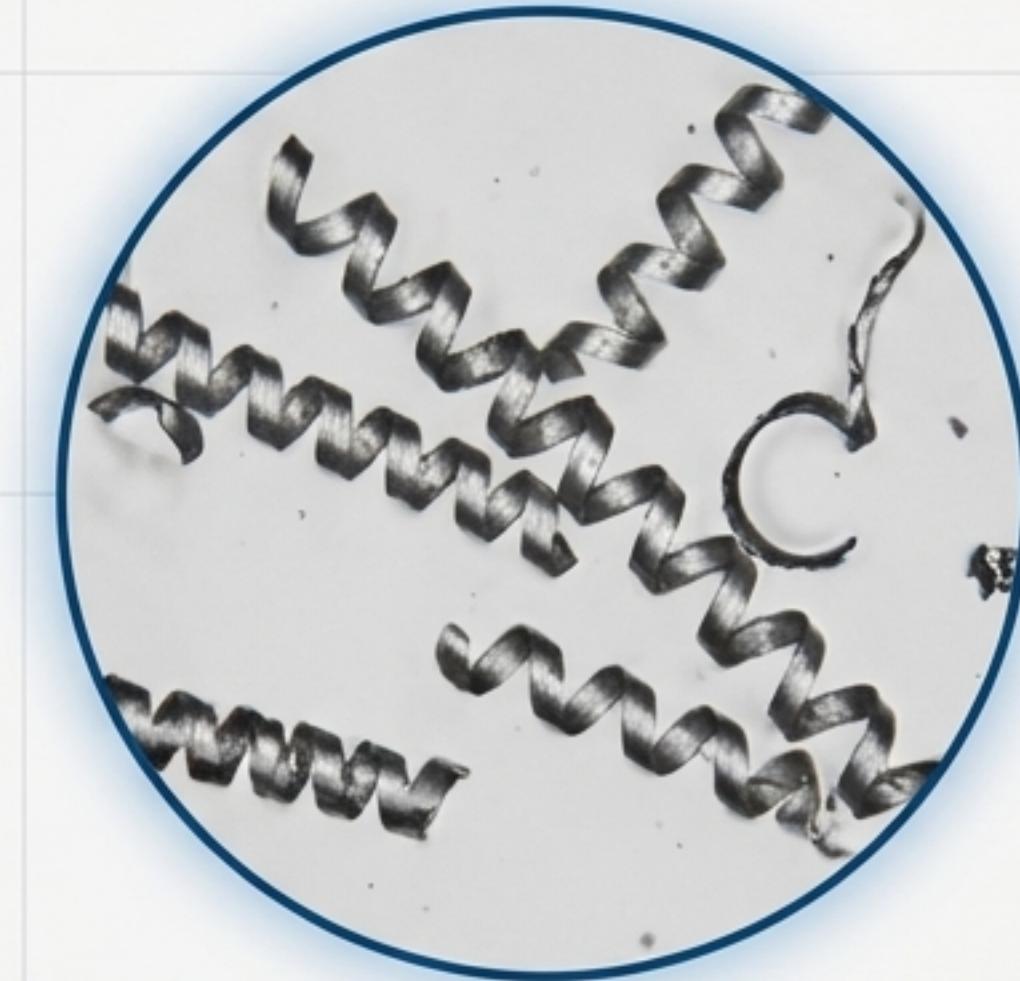
正常磨損 (Rubbing Wear)

診斷: 設備處於健康磨合或正常運轉狀態。



疲勞磨損 (Fatigue Wear)

診斷: 警訊！疲勞裂紋正在生成或已發生嚴重剝落 (Spalling)。

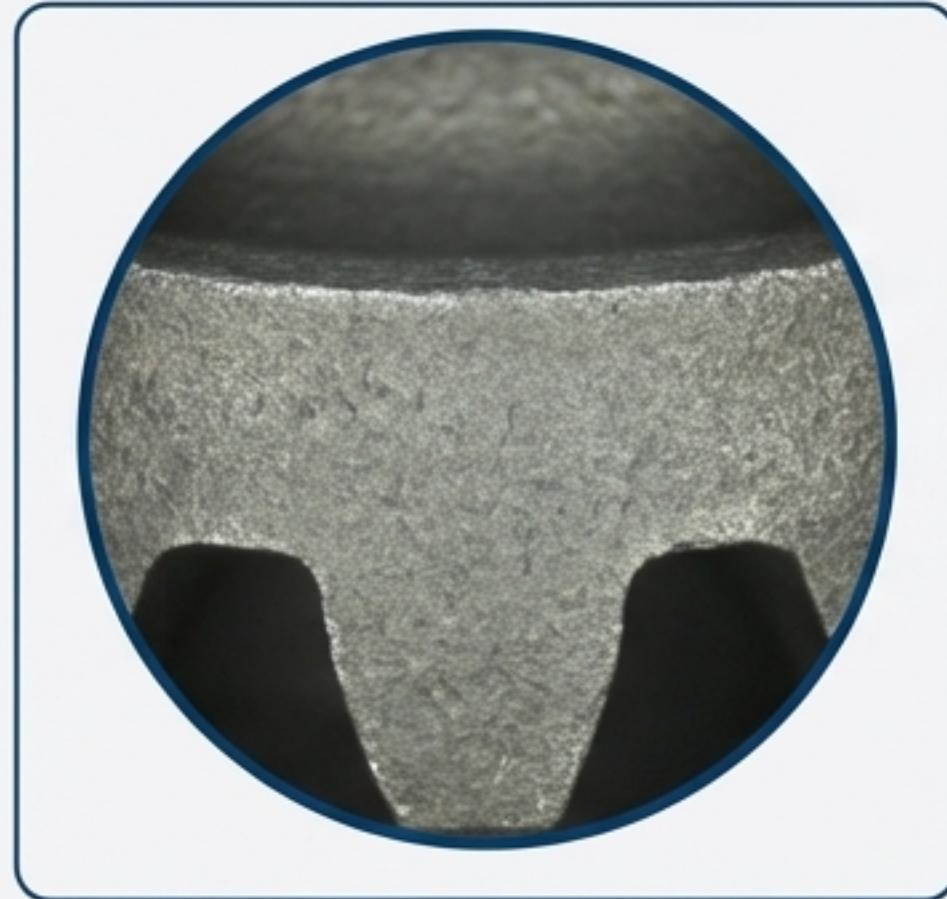


切削磨損 (Cutting Wear)

診斷: 嚴重異常！硬質污染物進入或發生嚴重不當接觸。

影像醫學(I)：用內視鏡直擊病灶表面

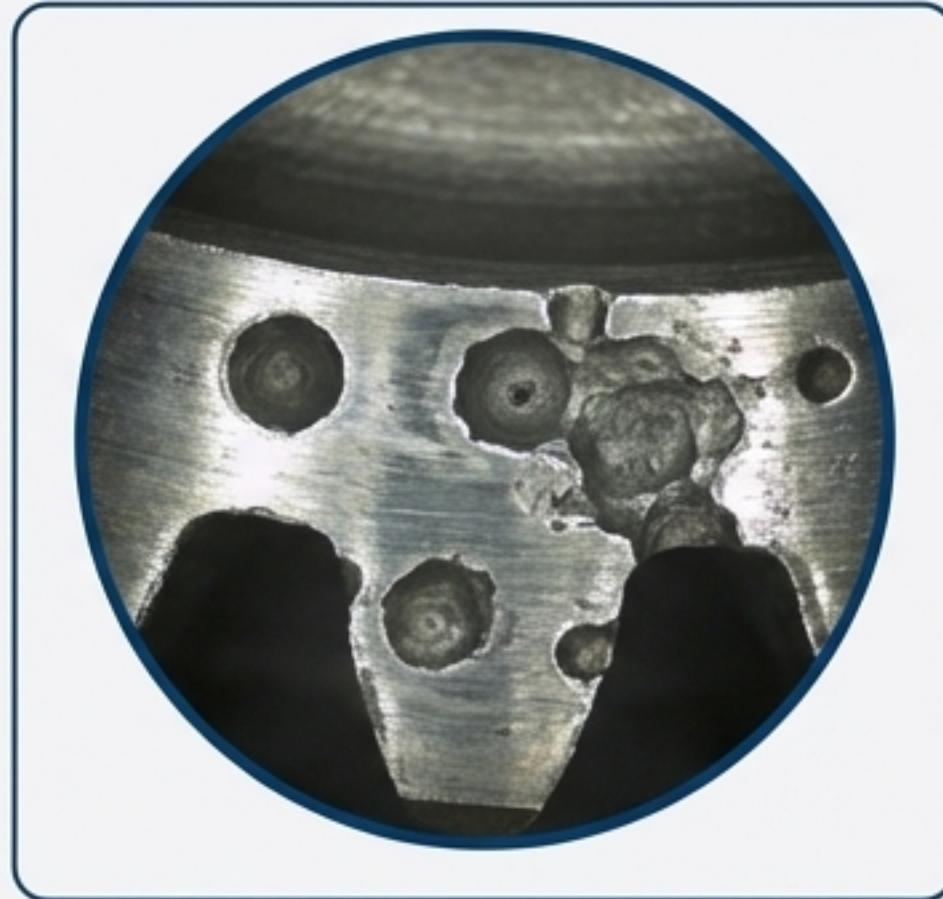
依據 AGMA 1010-F14 標準，識別關鍵失效模式



微點蝕 (Micropitting)

特徵: 齒面呈現灰暗、無光澤的磨砂狀斑塊。

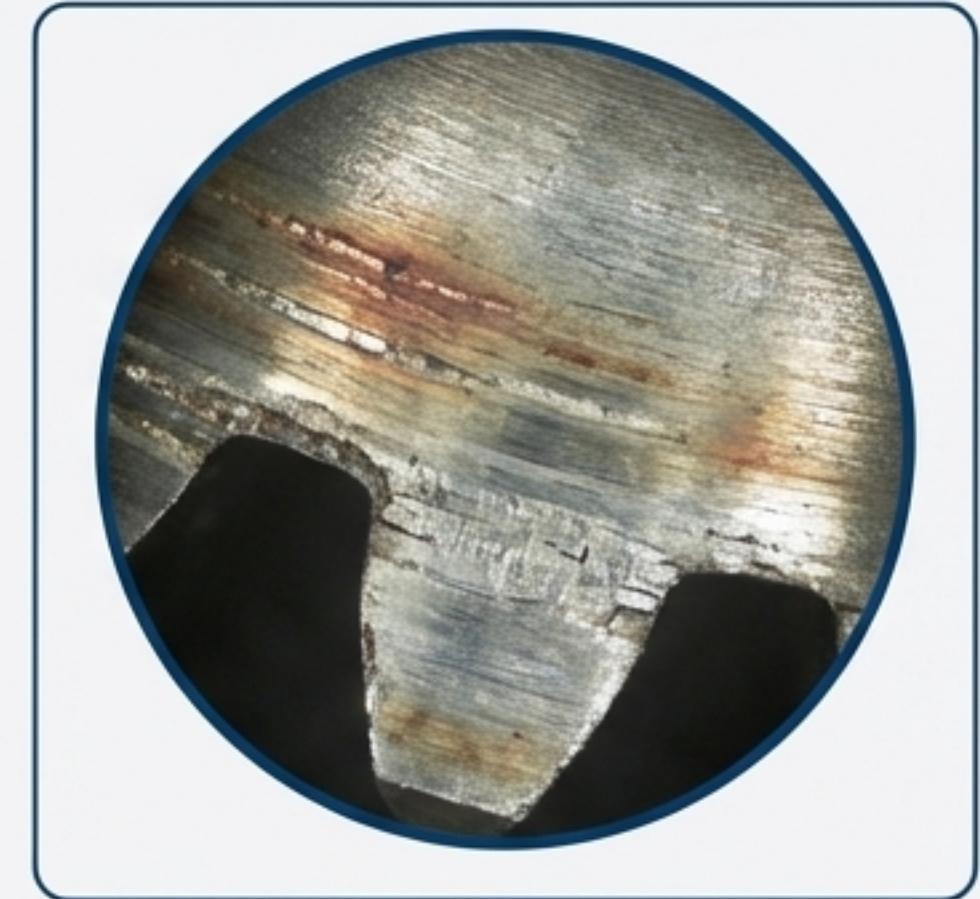
成因: 油膜厚度不足 ($\lambda < 1$) 的早期徵兆。



破壞性點蝕 (Progressive Pitting)

特徵: 明顯的凹坑不斷擴大並融合。

診斷: 齒形已遭破壞，必須立即採取行動。



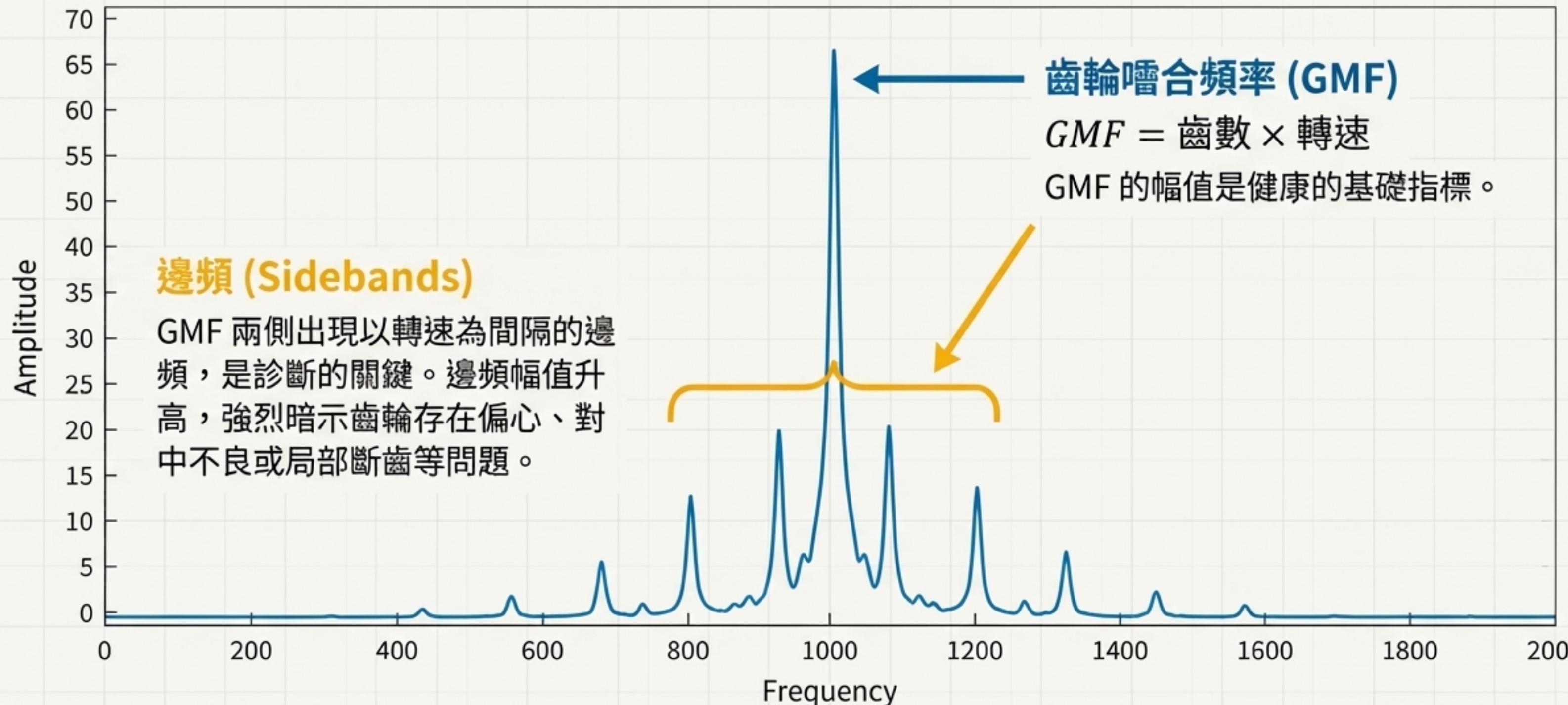
膠合 (Scuffing)

特徵: 沿滑動方向的粗糙、撕裂狀條紋，常伴隨過熱變色。

成因: 油膜在高溫高壓下瞬間崩潰。

影像醫學(II)：聆聽機械心跳的頻譜

振動分析如同「心電圖 (ECG)」，能預知「心律不整」



整合會診：從診斷到處方

診斷 (Diagnosis)

-  心電圖 (振動分析)：GMF 兩側出現異常邊頻，顯示心律不整。
-  血液報告 (油樣分析)：發現疲勞磨損顆粒，且計算顯示 λ 值偏低。
-  內視鏡 (Borescope)：確認齒面存在早期微點蝕。



病因分析 (Root Cause Analysis)

油膜厚度不足，無法應對當前負載，導致接觸疲勞。

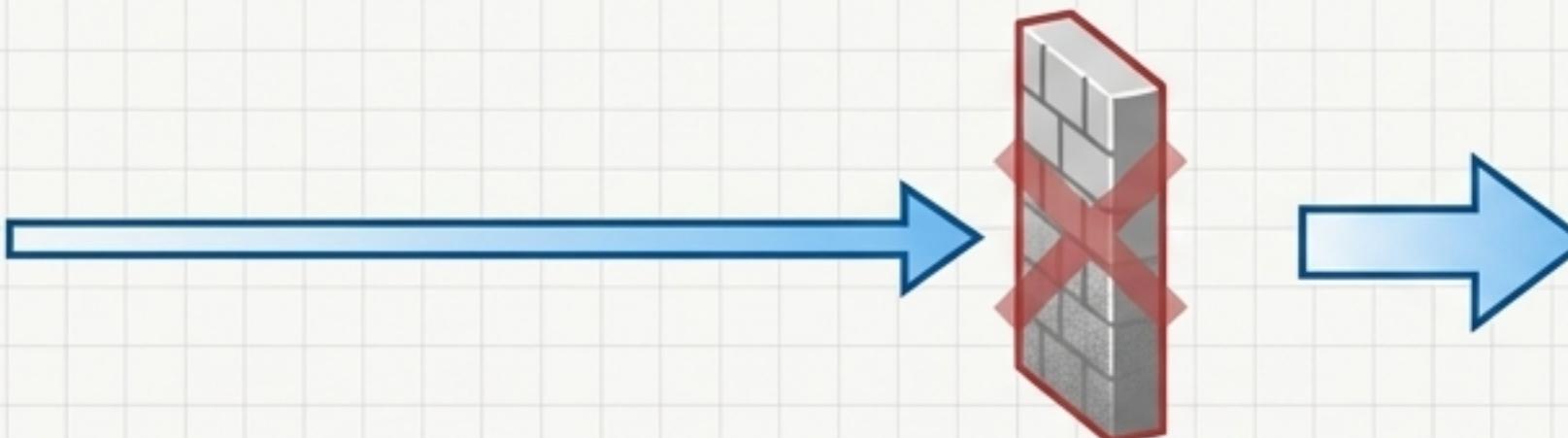


開立處方 (Prescription)

- 調整營養方案 (潤滑策略)：更換為更高黏度或抗微點蝕能力更強的 PAG 油品。
- 加強監控 (檢查策略)：縮短油樣分析與振動監測的週期，追蹤改善效果。

從傳統預防到精準醫療的思維躍遷

舊模式 (From) : 定期換油/故障維修



基於時間，而非實際狀態。可能過早更換，或太晚發現問題。

新模式 (To) : 狀態基礎維護 (CBM)



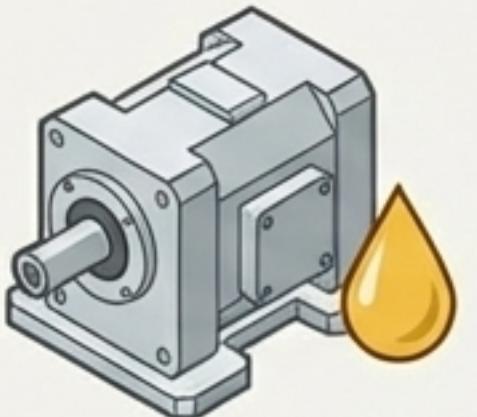
一個智慧的良性循環。

CBM 不僅治癒疾病，更能實現『健康長壽』（延長設備壽命），
並滿足船級社對延長檢驗週期的嚴格要求。

權威醫囑：來自設備製造商 (OEM) 的關鍵建議



關鍵的「首次換油」

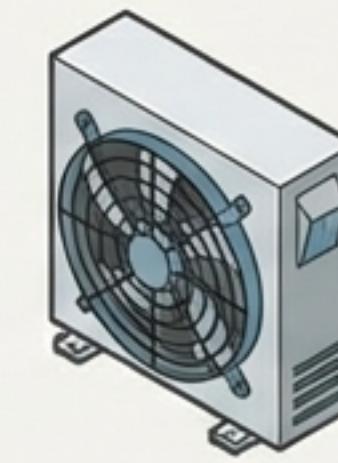
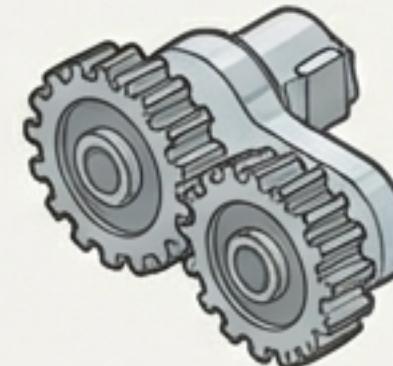
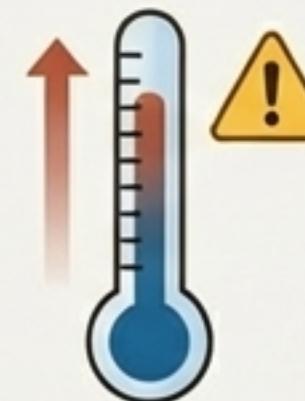


0 → 500-1000h


關鍵的「首次換油」

Flender 明確建議在運行最初 **500-1000 小時**後進行首次換油並清洗內部。目的是徹底去除製造與磨合期產生的金屬微粒，為地建議製造與磨合期產生的金屬微粒，為設備的長壽奠定基礎。

超越黏度的「熱容量校核」



超越黏度的「熱容量校核」

若實際環境溫度超過設計值（如通風不良的機艙），必須加裝強制冷卻系統。

僅僅提高黏度無法解決根本的過熱問題，過熱會加速油品氧化，導致**壽命驟減**。

您不僅是工程師，更是工業心臟的守護者



- 今天，我們探討的不是冰冷的技術，而是守護資產健康的仁心仁術。
- 潤滑油是您的『預防醫學』，決定了設備的潛力。
- 精密的檢查是您的『診斷工具』，賦予您洞察未來的能力。
- 將兩者結合，您就能將維護從成本中心，轉變為創造價值的核心競爭力。



卓越的維護，始於精準的洞察力。