

# 高分子塗層科技提高泵性能

原著 Jérémie Maillard

編者 Xin Chuai, F.Y. CHAN

宇科 (YUKE) 青島服務中心

## 摘要

泵系統中的電力消耗占全世界電力的20%，其能源成本占泵設備運行成本的95%，顯然易見，所有的產業都會想以一些方法提高泵性能，進而從中獲益。

一種新開發的高度抗侵蝕/腐蝕的疏水表面高分子效率塗層可以減少磨擦損失，因此可以降低能源需求。英國國家工程實驗室進行的一項獨立測試表明這種塗層可以提高泵效達6%。本文將會評述泵中流體處理的問題，並介紹改善和保護泵體的高分子效率塗層科技。

## 介紹

在使用流體處理設備時會出現許多物理性和機械性的問題，包含整體和/或局部腐蝕，汽蝕腐蝕，或是與低效率或與性能有關的可靠性問題。所有這些參數都可能影響設備的能量耗損，並大大增加其使用期間的運作成本。而傳統的解決方案是施用耐腐蝕合金；但是現在有一種更有效的方法，就是通過使用耐侵蝕/腐蝕塗層以保護泵系統，在獲得疏水的主要益處外，還可以降低泵體性能的損失。

## 水處理設備的問題根源

實際上，設計出一個可以完全避免運作時老化的泵是不可能的。無論是在重工業（例如：石油天然氣，電力行業）或是一般使用上（例如：水分配與循環），泵體所遇到的問題都很相似。而有些泵系統是針對特定的流量和能頭而設計；然而，由於不同的機械裝置，它們很少能夠全效運作，除非購買了一個現成的泵，而其預期服務又不能完全符合最佳效率點。

泵體效能少的原因可以總結為以下三個主要方面：

- 軸承的摩擦，破損的耐磨環或密封問題所引起的機械損失。
- 耐磨環，密合件和平衡裝置中的再循環時所引起的洩漏損失。
- 能量損失，也可稱作液壓損失，成為效率損失的主因，而這非常依賴表面情況的不同而變。

金屬基底受到侵蝕腐蝕會不斷退化。為了更清楚地理解所要討論的問題，我們先考慮以下幾種不同形式的腐蝕與侵蝕。

## 1. 腐蝕

不同的運作條件會影響泵系統所使用的金屬，例如：不銹鋼，鑄鐵或銅。腐蝕又可分為均勻腐蝕和局部腐蝕（雙金屬腐蝕，沉積腐蝕，點蝕，選擇性溶解腐蝕）。

### a. 均勻腐蝕

均勻腐蝕常被稱為整個表面的氧化；它包含化學品（特別是強酸）的變色，主動溶解和拋光，陽極氧化和鈍化。鈍化，或陽極極化，會與諸如不銹鋼和鋁合金同時發生，因此表面會氧化，穩定氧化膜可預防將來進一步腐蝕。實驗證明，鈍化合金，比如鋁和不銹鋼合金，在一些浸泡狀態下會表現出極佳的抗腐蝕性，但當這個厭氧層接近一個更具惰性的金屬例如銅時，仍然會受到雙金屬腐蝕。

### b. 局部腐蝕

局部腐蝕是指金屬的某些區域腐蝕速度會比其他部分快，在局部腐蝕的區域，可以看到氧化和腐蝕的不同之

處。而在有明顯的陰極與陽級區域時，這個過程是不斷加劇的，受腐蝕的區域相對於鄰近區域會趨於陽極化。這種腐蝕問題最為重要，這種局部腐蝕由於其嚴重性經常會導致元件失效。而這種腐蝕有如下的型態：

i. 雙金屬腐蝕

當不同電位的兩種金屬被放置在溶劑中時會電吸在一起，它們之間會產生電流，而且高電位的金屬會釋放電子，成為陽極。這個原理適用於許多類型的腐蝕，包括均勻腐蝕，結構的不同紋理會出現不同的電位。如果是兩種分開的不同的金屬，則會有劇烈的結果。如果我們比較在流動海水中的鑄鐵和銅的電位，我們會看到鑄鐵的典型電位在-0.61伏，而銅的電位為-0.23伏[1]。由於鑄鐵為陰極，而銅為陽極，所以會發生雙金屬腐蝕的侵害。

ii. 沉積腐蝕

沉積腐蝕是在金屬表面上不連續的沉積層下面或周圍發生的。海水中，襯墊，配件和海洋附植物是沉積腐蝕的主要原因，最終會造成點蝕。這種腐蝕與縫隙腐蝕有著相似之處。

iii. 點蝕

最有可能造成點蝕的原因是合金表面的損傷，這有可能影響滑順的表面，也可能影響合金的內部構造。在這兩種情況下，會有小範圍的局部腐蝕，導致缺氧。所以儘管是相同的材料，還是為陰極。在局部腐蝕的點蝕區域之外，因為這些區域隨時可獲得氧氣，所以會作大範圍腐蝕擴散。

iv. 選擇性溶解腐蝕

在某些合金中，越活躍的元素越

會受腐蝕，很好的例子就是鐵的石墨化，即鐵比（非腐蝕性）碳更傾向於腐蝕，以及一些黃銅中發生的脫鋁作用。

## 2. 侵蝕

流體處理設備中，高速流動的液體會導致零部件加速的退化。在解決侵蝕問題時，分析侵蝕類別就變得十分重要。

衝擊侵蝕純粹是由高速流體對基底產生的影響所引發的，比如在這個例子中，衝擊侵蝕出現是由於高壓到低壓的洩漏所產生的高流速所造成。



圖1：衝擊侵蝕

衝擊侵蝕純粹是由高速流體對基底產生的影響所引發的，比如在這個例子中，衝擊侵蝕出現是由於高壓到低壓的洩漏所產生的高流速所造成。



圖2：夾帶侵蝕

當淤泥和砂礫被流體卷走，被稱為夾帶。在相同的流速下，這種侵蝕與衝擊侵蝕相比，能夠造成更大的材料損失。

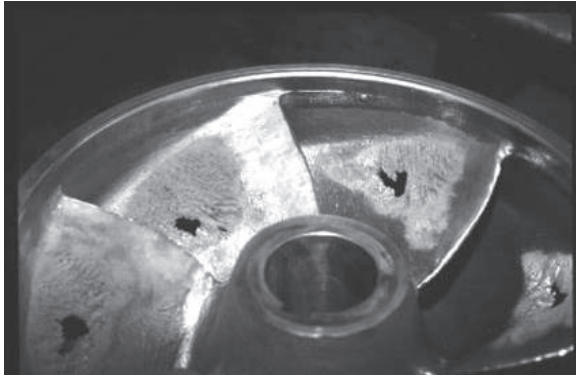


圖3：汽蝕（葉輪）

汽蝕是流體中的壓力差造成的，無論是在泵的主體還是葉輪上都會發生汽蝕，特別是低壓表面上的汽蝕現象最為常見。這張圖片顯示葉片及其周圍表面出現了汽蝕現象。這可以由表面散佈的許多小坑辨識出來，而這些小坑是由蒸氣泡在基底上的破裂所引起的。

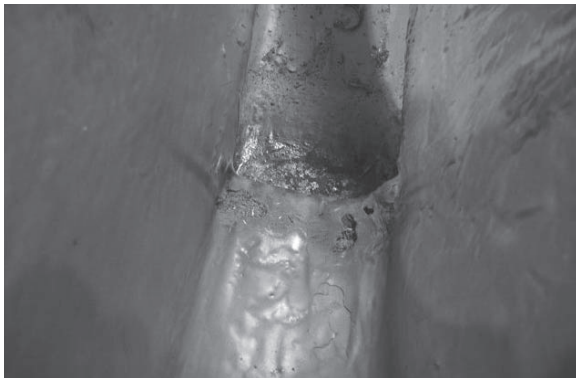


圖4：泵分水角處的汽蝕

### 3. 侵蝕腐蝕

大多數泵系統中，“侵蝕”或“腐蝕”很少單獨發生，通常是“侵蝕腐蝕”同時出現，當“侵蝕腐蝕”同時出現時，保護性的穩定的氧化鈍化層被移除，而後再氧化。這個過程循環往復直到材料完全穩定，但是會加速元件退化，並至最終完全退化。

#### 這些問題的傳統解決方案

所有以上這些腐蝕會使泵運作的效率大大降低。因此尋找消除這些影響並可延長設備使用壽命的解決方法就尤為重要。降低腐蝕和侵蝕對泵系統的危害可

以有不同的方法：

#### 1. 材料的選擇

在處理侵蝕腐蝕問題的時候，首先要考量的是材料。選擇最合適於特定運作條件的材料是降低退化率的其中一種方法。

##### a. 傳統材料

出於成本的考量，像是鑄鐵這樣的傳統材料，通常在任何可能的情況下都會被採用。然而，它們的抗侵蝕腐蝕能力也相對較低，這意味著基底會快速退化。

##### b. 不銹鋼

因為不銹鋼具有保護性的鈍化層，所以被大量廣泛地應用於一般性的耐腐蝕保護。只要鈍化膜不受損，那麼腐蝕的速度就會非常低。但是，如果鈍化膜受損，而環境又不利於膜的快速修復，那麼局部腐蝕就會發生。通過了解氧化/還原過程的原理，可以很清楚地知道金屬有可能防腐蝕，但是沒有金屬可以完全不受侵蝕與腐蝕。

就像之前所介紹的，如果需要材料在某種環境中有足夠的物理特性又需要抵抗以上問題，那麼選擇一種特定材料或材料組合通常是成本很高。而且可能引發的問題甚至比它所能解決的問題還要多，特別是當設備浸泡在電解液中的時候。由此而發生的雙金屬腐蝕，因為使用不同的金屬，會不可避免地導致設備的過早失效。多年來，人們一直致力於在流體領域中挑選出具有耐腐蝕特性，同時又能夠最小化電位差和電偶腐蝕影響的特殊材料[2]。然而，直到最後，當只使用金屬時，無論是在成本方面還是在性能方面也總是取其折衷。



## 2. 塗層技術

降低侵蝕腐蝕影響的唯一方法是使金屬表面與其所處環境隔離。以流體流動的情況來說，有大量廣泛的工廠應用塗層，包括四氟乙烯，單層環氧粉末，橡膠襯裡；但是，對於設計者來說，只有少量的可以作現場施用或修復的選擇。我們現在將會檢視後者：

### a. 玻璃纖維塗層

傳統上來說，玻璃纖維塗層一直用於保護流體處理，加工和儲存容器。這些塗層具有優良的耐腐蝕特性，如果選用正確的粘結劑，還會有良好的耐化學特性。然而，玻璃纖維系統也有很多缺點。通過溶劑以及苯乙烯的揮發性有機化合物水平可能造成嚴重的健康和安全性問題。在玻璃纖維系統固化時的聚合過程會造成收縮，從而使得粘層永久性受壓。粘合力，耐汽蝕和衝擊能力也較弱，而且與傳統的不含溶劑的環氧系統相比，它們的一般性的耐侵蝕能力也較弱。在日常的設備維護過程中，玻璃纖維系統也是出了名的脆弱，非常容易損壞。

玻璃纖維也屬於厚膜塗層，典型厚度為1.5 - 2毫米。這可能會導致關鍵區的流動受限進而影響塗層性能。在性能方面，厚玻璃纖維塗層的效率曲線將往左彎曲。這會使最佳效率點左側運作的泵的效能提高(BEP)，但是會減少在最佳效率點右側運作的泵的效能。

舉例來說，如果100毫米的泵入口處施用2毫米厚的玻璃纖維塗層，我們會看到橫截面會減少大約8%，而且流量也會大大受橫截面面積的影響。

### b. 改良溶劑型環氧塗層

改良溶劑型環氧樹脂已被靈活應用，因為根據選用的粘合劑的不同，它們被設計為許多不同的性能。一般來說，它們具有良好的耐侵蝕腐蝕性。使用苯酚，煤焦油和烴類樹脂，環氧樹脂可被改良以提供特別的屬性，如更好的耐化學性，更好的滲透性及耐水性等。溶劑型環氧塗層的一個缺點是它們含有大量的溶劑，而這會帶來很多健康和安全性問題。溶劑含量也意味著收縮，以及塗層內壓力。改良溶劑型環氧樹脂的弱耐浸泡性可能還會限制它們在流體處理設備中的應用。

### c. 熱固性聚氨酯塗層

依據不同的需要，該類型塗料可設計為堅硬或是柔軟，而且塗層還具有低溫下固化良好，抗汽蝕和耐衝擊侵蝕的特性。然而其缺點是當長期處於浸泡狀態時，它們具有潮濕敏感性，會較其他塗層更容易吸收水分。採用厚塗方式有助於解決這一問題，最近，可以幫助系統克服這些不足的阻擴散能力方面也有了一定的發展。

### d. 改良性無溶劑環氧塗層

改良性無溶劑環氧樹脂與溶劑型環氧樹脂塗層可以帶來相似的成效，如抗侵蝕腐蝕能力和耐化學性。無溶劑材料的主要好處是可以消除健康和安全性方面的問題，同時也可以使收縮減少到一個可以被忽略的程度。了解塗層屬性和需要的技術參數，修訂強度，彈性，耐腐蝕，耐侵蝕，耐溫和耐化學性也是很重要的工作內容。耐浸泡性總體來說很好，因此可以為流體處理設備提供長期的保護。

無溶劑環氧塗料，比如作者所屬機構開發的這些，與絕大部分泵所選用的玻璃鱗片塗層相比，只需要施用大約500微米的相對較薄的厚度，而且不會影響液體的流動。

另外，在某些情況下如果相異金屬與高速流動的海水接觸，那麼使用者在噴射泵裝置[3]中只會採用陰極保護，但是，這不是一個徹底的解決方案。使用塗料和陰極保護相結合的方式可以提供防止異物侵入（噴射泵中非常普遍）的最佳保護，但在大多數情況下，選用正確的塗層系統已經可以提供足夠的保護。

### 一種新開發的高分子效率塗層

根據上面的討論，無溶劑型環氧塗層是為泵提供耐侵蝕腐蝕保護的最具相關性以及適應性的系統之一，最新的高分子效率塗層就是依此化學概念開發出來的。

這是一種專門研製的塗層，旨在滿足泵系統的主要服務要求，如耐浸泡，腐蝕，侵蝕和汽蝕能力，優異的附著力和靈活性，以及操作和維護簡單等等。此外，在使用當中，無溶劑塗料還降低了健康和風險，而且最重要的是，塗層不會產生應力。

流體通過液壓通路會受到粘度和摩擦所造成的阻力。液壓損失是效率降低的主因（混合流泵為9%，而徑向流泵為20% [4]），塗層技術將有助於減少這些損失，因此可以提高泵的性能。

#### 1. 表面特性

通過新開發的塗層，不僅可以提供光滑表面，而且能抵抗侵蝕腐蝕影響，因此

可以幫助減少能量損失。此外，該塗層體系需對水分子具有低電子親合力，即屬於疏水性材料，因此可以延緩湍流的侵襲並減少表面摩擦。所以，特別研發的高分子效率塗層不僅具有疏水特性，創建低表面耗能的光滑表面，而且內含耐磨填料。該技術可以創建超光滑的表面，因而減少了泵抽流體的邊界層，降低了流程中的內部動盪，從而提高液力效率。

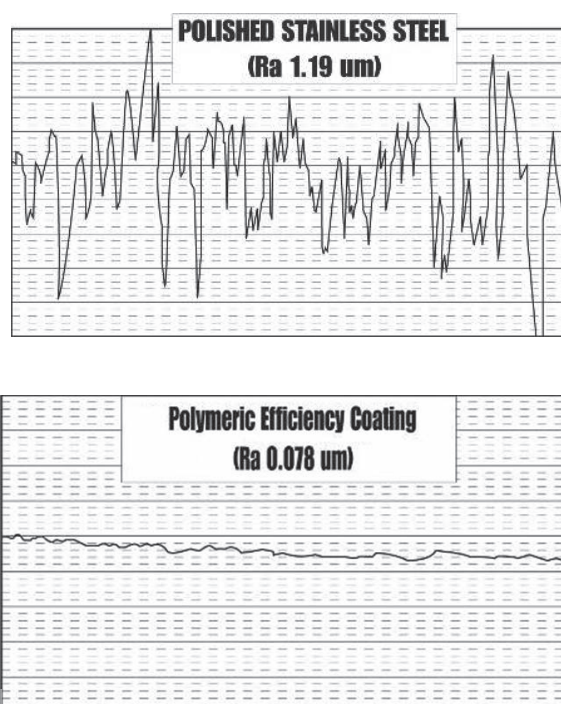


圖5：拋光不銹鋼(上)和新研發的高分子效率塗層(下)的粗糙度比較  
([5]Talysurf Surface Inspection, Leeds University, 1989)

與表面拋光的金屬相比，在高倍率下檢視時發現泵表面相對粗糙。侵蝕腐蝕或汽蝕影響會導致進一步表面粗化，進而造成系統的效率下降。

這種類型塗層的表面光滑度比拋光不銹鋼的15倍還要高（圖五）。當應用于流體設備時，這類塗料已被證明可降低能耗，增加流體流速或壓力，進而改善流體動力性能。

## 2. 獨立測試

隸屬於英國工貿部的英國國家工程實驗室，通過其流體測試設施，在嚴格獨立的實驗條件下進行了一項測試，而其所使用的流體測試設施代表了世界上任何可能找到的最為複雜的同種類型的泵測試設施[6]。測試選用的工具是一個吸入和排出支流為10英寸的單級端吸離心泵。泵測試選用了一個典型的閉合回路系統，而且從該系統的10%到125%的全流量範圍內讀取了一系列的流量/壓頭/功率讀數，以期通過一個符合國家級標準的校準測試儀器繪製一個準備的性能曲線。

轉速為1300轉/分的未作塗層保護的泵在26.5米壓頭時可以每小時輸送875立方米，綜合峰值效率為83.5%（見圖6）。

對作了塗層保護的泵進行的測試結果表明最大可使峰值效率提高6%。而且，與未作塗層保護的泵相比，泵壓頭/流量特點沒有變動，與峰值效率相符。同時，在峰值效率點，測量出的責任分界點的功率損失為5.1千瓦。假設每年每

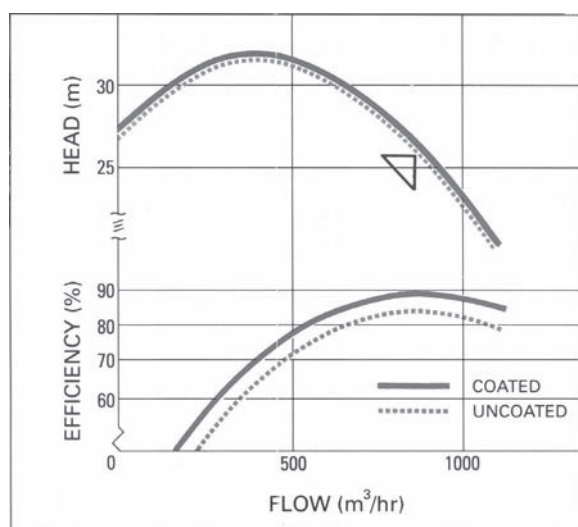


圖6:N.E.L.性能曲線

個運作循環為5000小時，那麼這段時間內節省的能量可達到25,400千瓦時。

該圖顯示這種高分子效率塗層可以帶來各種不同的可能性：

- 增加泵壓頭
- 增加流量
- 減少能耗
- 改善在整個工作範圍內的效率

此外，在鐵或鋼上使用該塗層的主要優勢是泵不會因為受到腐蝕而惡化，因此可以保證原計劃的輸送量。

### 案例：

#### a. KSB Omega泵-1994

1994年，凱士比（KSB）的不來梅工程對四個尺寸為250至480的歐米茄（Omega）泵進行了測試，製造商表示效率從84%提高至86.9 - 87.5% [7]。

#### b. ITT Lowara泵-2008

最近，英國泵供應和修復組織對新的ITT公司生產的150-250單級羅瓦拉（Lowara）泵進行了塗層測試。結果顯示在最佳效率點的能耗減少7%（1.1千瓦）。在整個工作範圍內都得出了相似的測量結果。

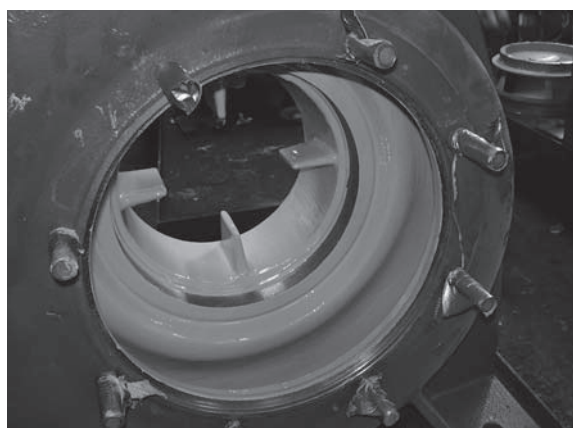


圖7a：ITT Lowara泵測試前



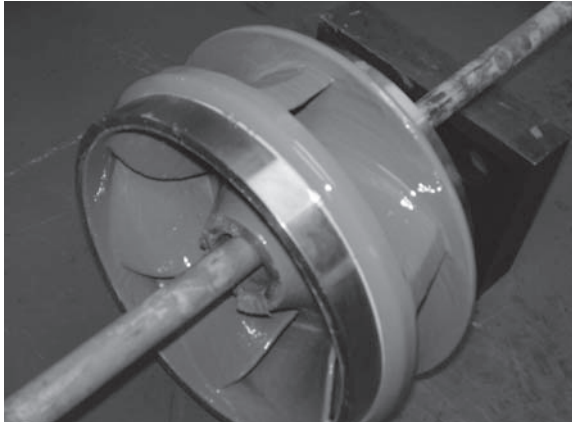


圖7b：ITT Lowara泵測試前

## 結論

我們已經了解到操作中的設備退化有可能是由機械，洩漏和液壓的損失所引發。其中，滲漏和液壓損失可以通過選擇合適的材料或使用高性能塗層來解決，或以高性能塗層可以為泵提供耐雙金屬或一般腐蝕，耐侵蝕侵害，比如汽蝕的保護。

使用正確的高性能塗料不僅證明可以改善提高泵的性能至全新水平，而且可以保證在設備的整個使用期內將維護工作控制在最低水平。預防耐磨環底座的雙金屬腐蝕可以防止從高壓面到低壓面的洩漏（例如分離護套泵），以及避免發生在泵和葉輪主體上的一般腐蝕。

而一種專門研製的高分子效率塗層能夠滿足泵系統的主要服務要求，如耐浸泡，抗腐蝕，抗侵蝕和抗汽蝕能力，優異的附著力和靈活性，以及施用和維護簡單等等要求。此外，在使用當中，無溶劑塗料還降低了健康和 safety 風險，而且最重要的是，塗層不會受應力影響。

除此以外，對作了塗層保護的泵與未作塗層保護的泵進行比較，得出的測試結果表明最高效率提高6%。而且，泵壓頭/流量特點沒有變動。同時，在最高效率點，測量出的責任分界點的功率損失只為5.1千瓦。假設每年每個運作循環為5000小時，那麼節省的能量可達25,400千瓦時。

## 參考文獻

- [1] FW FINK et al, "The Corrosion of Metals in Marine Environment", Battelle Memorial Institute, DMIC Report 254, Distributed by NTIS AD-712 pp713 (1970)
- [2] H TIETGEN, "Experience gained with plastic materials in hull repairs", Germanischer Lloyd, 1982
- [3] G BOWERS, "Theoretical and Practical Aspects of Erosion-Corrosion Control and Repair in Waterjet Installations", Waterjet Propulsion III, RINA 2001
- [4] J HOWARTH, "Pump efficiency/power consumption", ESR Technology, 2007
- [5] "Talysurf Surface Inspection of Steel, Belzona<sup>®</sup> Ceramic S-Metal and Belzona<sup>®</sup> Supermetalglide", Leeds University, 1989
- [6] Dr DA BEL, "Efficiency Tests on a 10-inch centrifugal pump before and after the application of a coating", Report Ref 432/88 BEMO/01, National Engineering Laboratory, 1989
- [7] EVERMANN, "Innenbeschichtung von OMEGA Pumpengehaeusen mit Belzona<sup>®</sup> SUPERMETALGLIDE" (Internal coating of OMEGA Pump casings with Belzona<sup>®</sup> SUPERMETALGLIDE), KSB, 1994