



應用奈米科技股份有限公司
APPLIED NANO TECHNOLOGY SCIENCE, INC.

磁流體軸封

磁封理論與實務



發行版本：V1.00

版權所有 © 2022 All Rights Reserved.



TRUTH

GOODNESS

BEAUTY

磁性流體

磁性流體是由單一磁域(single domain)之超順磁性奈米顆粒，經過界面活性劑修飾後，在載體溶液中進行穩定懸浮的一種膠體溶液。藉由外加磁場的作用，分散於載體溶液中的磁性奈米顆粒，將會沿著磁力線的方向進行移動，並且拉扯載體溶液，最終形成尖錐狀之散射形貌。

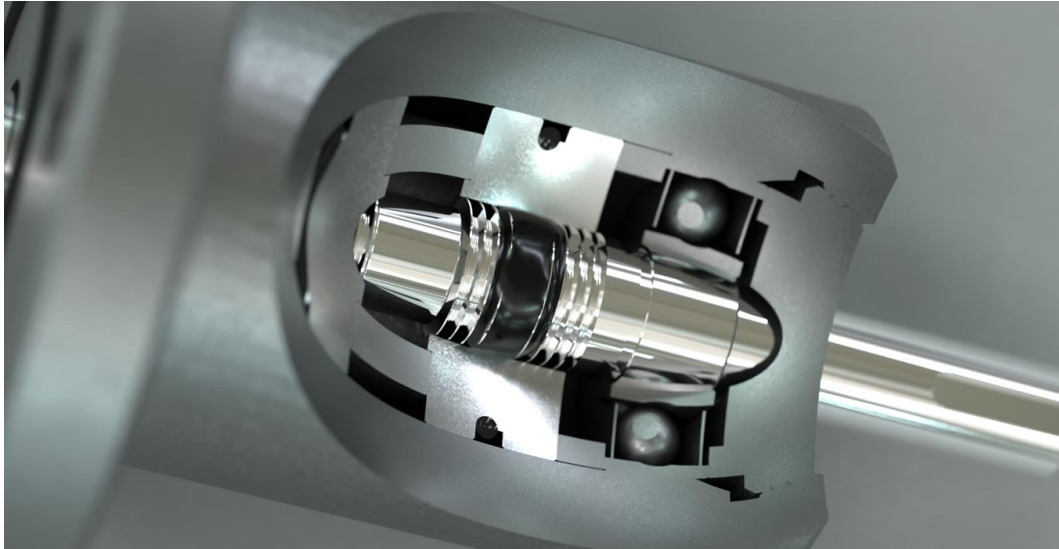


超順磁性(superparamagnetism)是磁性流體非常關鍵的性質，此特性與磁性流體中的奈米顆粒粒徑有關，一般環境條件下，超順磁性只會在 10nm 之顆粒大小下產生。藉由超順磁性這個特性，磁性流體才能夠藉由外加磁場的調整，反覆的變形為想要的形貌。

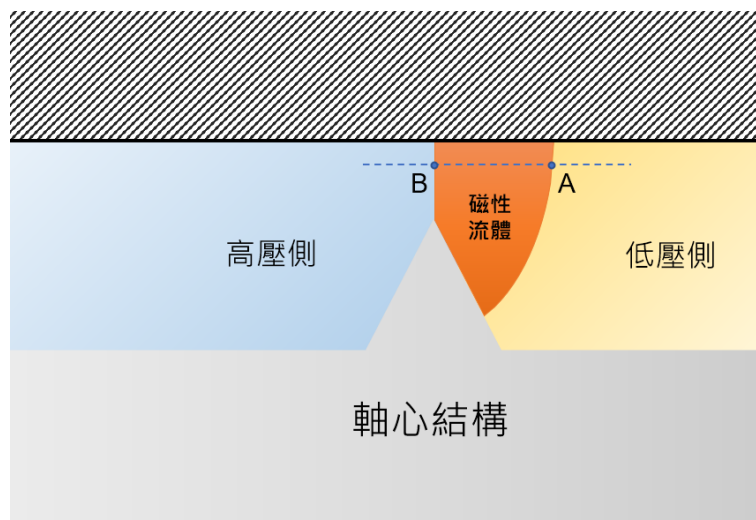
磁性流體的載體溶液，種類可簡單分為水基與油基兩種。油基之磁性流體，常用於工業用途，如真空旋轉軸封之密封需求。近年隨著生醫研究的發展，水基的磁性流體，可以被用於醫療行為的標靶材料，故也成為熱門的研究主題之一。

磁封結構原理

磁流體軸封，是靠著磁性流體的特性，在特定的幾何外型、與磁路設計的條件下，讓磁流體變形為我們想要的形狀，並藉此產生真空密封的效果。在一般的情境中，我們會透過設計錐形的磁齒，使磁流體凝聚在磁齒上的間隙。



將磁流體填充入軸封後，理想狀況下，磁流體會隨著磁路移動，並且停留在預定的位置。軸封的複雜設計與組裝方式，此處暫不討論，本章節僅就磁性流體的磁封機制，描述其結構概念與原理說明。



透過特定的磁路設計，可將磁流體固定在軸心結構的尖端。當軸封兩端產生壓力差時，磁流體會被推向低壓的一邊，形貌概念如上圖所示。透過力學的推導，我們可得知磁封兩端的壓力差，會與磁流體所受的磁力形成力平衡。其中磁流體所受的磁力，可以用其磁場強度（ H 場）與磁化量（ M 場）之乘積來表示，即磁流體在此系統中所得之磁能積。故經過簡化後，磁封強度的算式可表示如下：

$$\Delta p = p(B) - p(A) \approx \int_{H(A)}^{H(B)} M dH$$

由此算式亦可以發現，磁封的壓差抵抗強度，會與系統的磁場強度、與磁性流體被磁化的程度成正比。在一般典型的條件下，一段磁齒結構大約可以達成 0.1 大氣壓的耐壓程度；故透過多段磁齒結構的設計，最終可得到足以真空密封之磁流體軸封。



磁封設計實務

透過理解磁封之物理基礎後，我們可以簡易的條列出幾個影響磁封能力的關鍵因子，並且分析其影響的面向。

磁性流體的選用

影響磁封強度的關鍵之一，就屬於磁性流體的被磁化程度。此部份會受其材料限制，而存在著所謂「磁飽和」的現象，即材料被磁化的程度有其上限。磁飽和上限越高的磁性流體，可以提高磁封的密封能力。

此外，磁流體軸封多應用於真空腔體的密封，而當前真空腔體的環境，則常見於科技產業的製程設備中。故除了磁飽和上限之外，磁性流體能否適應製程環境的溫度、腐蝕性製程氣體等，也變成了磁性流體選用參考依據。

磁齒幾何形狀的影響

從理論分析可知，磁場的強度大小，會直接的影響磁封的強度；而磁場的強度，則會受軸封的機械設計影響，例如磁齒的幾何形狀、或磁齒的間隙大小。一般而言，間隙越小、能夠形成越強的磁場；然而越小的間隙，即代表有越高的加工難度、與組合公差的掌控。磁齒的形貌，會影響細微的磁場強度變化，亦同時會反映在加工成本上，是在實務設計中需要取捨的項目。

齒數的影響

為了能夠抵禦真空產生的氣壓差，多段數的磁齒設計是必要的。然而在齒數的挑選上，就如同工程設計的安全係數概念一樣，不會挑選剛好的磁齒數量，而安全係數的選用，也是設計實務需要妥協的項目。籠統來說，齒數越多，會有更好的密封性與磁封壽命，但會使機構結構變大、磁性流體需求量變高、加工成本上升等影響。一般會以實際使用的情境條件，來調整磁齒數量，使其維持在均衡的狀態。



參考資料

- [1] 磁性流體理論應用，黃忠良編著，1999，台南市，復漢出版社



Terms of Use

應用奈米科技股份有限公司 (以下簡稱應用奈米科技) 對此文件內所有內容，包含但不限於文字、圖形、表格等資訊，持有最終解釋權力。此文件內容有所更新異動時，應用奈米科技將不會主動告知；請用戶自行確認持有的產品與文件版本之適配性。

應用奈米科技將秉持善良企業人之責任，盡力維護此文件之完整性。若對此文件之內容有任何疑問，可透過以下方式進行聯繫。

地址：30743 新竹縣芎林鄉文華街 306 號

電話：03-5921999

傳真：03-5927599

服務信箱：info@ants-inc.com.tw

應用奈米科技股份有限公司

APPLIED NANO TECHNOLOGY SCIENCE, INC.

No. 306, Wenhua St., Qionglin Township,
Hsinchu County 30743, Taiwan

| 30743 新竹縣芎林鄉文華街306號 (台灣)
TEL : 03-5921999 FAX : 03-5927599

| 0511 江苏省镇江市润洲民营开发区润兴路70号(南京)
TEL : +86 159-5284-8715