

台灣大學

液體介面之電操控：電濕潤、介電濕潤及反濕潤



研究領域：電濕潤、鋰離子電池、磁性流體力學、顆粒微連續體力學，及顆粒氣體等相關研究

摘要

近年來，液體介面之電操控已廣泛運用在微流體元件的應用上。然而，液體於元件內之動態運動行為無法從實驗中清楚解析。因此，我們開發一個考慮弱介電質模型的電流體力學理論與相場法之間耦合的數值模擬方法來求解液體介面受到外加電場影響後隨時間變形的課題。在電濕潤的研究上，我們成功釐清了電濕潤顯示器在驅動過程中發生如油墨分裂等元件缺陷的現象。在介電濕潤的課題上，我們藉由實驗與數值模型探討了介電液體的非均勻濕潤現象。在反濕潤的課題上，我們藉由模擬地驗證提出了兩個嶄新的法則用以建構出能產生更複雜的介面幾何形狀之元件：(i)回授控制法則—用以適時控制電壓達到液體介面穩定之目的，以及(ii)多重波組合法則—用以架構穩定之非對稱液體介面形狀。

此論文在模擬工作方面的困難點在於—在導電性流體上如何求得電場造成之外力，使得此導電流體(如水)可驅動一個介電流體(此處為油)。經過數年的努力並配合相關研究單位大量實驗工作的驗證，我們成功地採用了一個極為技巧性的方法(假設水中無自由電荷，並提高水之介電系數)，這方法避免了直接求解電場的困難性(如具有難以確定電荷分布之 Poisson 方程)，使得我們可準確地預測三維電濕潤元件內介電流體的運動。此外，在兩相流體之電濕潤的課題上，我們開發了兩種能夠建構更複雜流體介面形狀的電操控方法。第一種電操控方式是藉由電容值感應的回饋控制使得每個控制電極上方之流體厚度能夠被準確掌控；而第二種電操控方式是透過電極產生多個週期性的輸出波形導致流體以傅立葉組合的形式建構出複雜的形狀。如此，過去在電濕潤應用所使用的材料可以直接運用於此開發元件上。此外，因為流體在操控時的反應速度足夠慢(毫秒-微秒)，使得傳統的電子控制元件(微秒-奈秒)足夠匹配。最後，由於此元件中的導電液體不會碰觸電極上方的固態表面，因此介電材料的特性退化議題可以被忽略。