

# 壓電陶瓷驅動器的位移測量

振聯科技有限公司 / 從建華

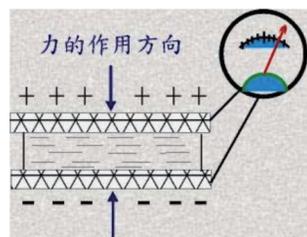


近年來，在光學、精密機械、小型電機等方面，加工精度不斷提高，要求微小位移精度控制在1um以下，甚至達到納米級別。這樣的超精度定位控制，使用一般的電磁式驅動器是不能滿足要求的，因為電磁驅動器是電流驅動的，需消耗大的電力、發熱並產生電磁雜訊等。不同于傳統的電磁式驅動器由電磁力驅動轉子的機理，壓電驅動器是利用壓電陶瓷材料的逆壓電效應產生的振動或形變，將電能耦合成機械能輸出。壓電陶瓷具有品質輕、機電耦合係數高、回應電場速度快、沒有發熱問題等優點，在微小型驅動中是主流材料。利用壓電陶瓷作為核心驅動部件的壓電驅動器具有低速大轉矩、動態回應快、無電磁干擾、定位精度高、功率密度大、結構簡單且設計靈活等突出特點，已經在航太技術、微電子工程、精密工程、生物工程等領域得到了實際應用。

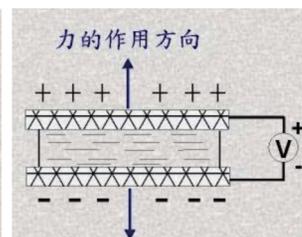
## 一、壓電陶瓷驅動器的工作原理

壓電陶瓷驅動器是利用壓電陶瓷的壓電效應來進行控制和驅動的。壓電效應是材料中一種機械能與電能互換的現象，壓電材料會有壓電效應是因晶格內原子間特殊排列方式，使得材料有應力場與電場耦合的效應。壓電效應有兩種，正壓電效應及逆壓電效應。正壓電效應是將機械能轉換為電能，當對壓電材料施以物理壓力時，材料體內的電偶極矩會因壓縮而變

短，此時壓電材料為抵抗這個變化會在材料表面產生正負電荷以保持原狀，如圖1所示；逆壓電效應是將電能轉換為機械能，當壓電晶體受到外電場作用時，晶體會沿著外部電場的方向發生極化變形，其變形量正比於外電場的強弱，如圖2所示，壓電陶瓷驅動器則是應用了逆壓電效應。



▲ 圖1 壓電材料正壓電效應



▲ 圖2 壓電材料逆壓電效應

## 二、壓電陶瓷驅動器的結構

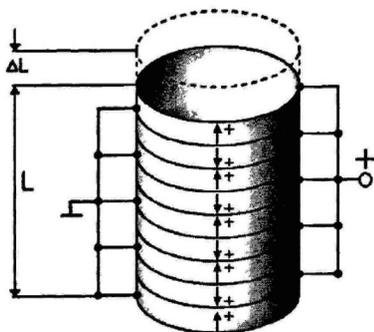
壓電陶瓷驅動器按原理可分為電壓控制型、電流控制型和電荷控制型。下面簡單介紹一下電壓控制型和電流控制型的驅動器：

1. 電壓控制型驅動器是根據壓電陶瓷位移與其兩端電壓呈近似線性關係的原理，通過控制電壓來控制位移。電壓控制型驅動器具有較好的穩定性，但壓電陶瓷驅動器的位移與控制電壓之間存在著非線性的滯滯、蠕變現象。
2. 電流控制型驅動器是根據壓電陶瓷的位移與其所帶的電荷量呈線性關係的原理，通



過精確地控制壓電陶瓷的充電電流及時間來控制壓電陶瓷的充電量，實現線性驅動。但由於靜態時壓電陶瓷與電路器件存在複雜的漏電現象，導致壓電陶瓷兩端所帶電荷無法保持，從而使電流驅動方式難以應用於壓電陶瓷驅動器靜態定位。

從結構上看，市場上的壓電陶瓷驅動器分為下面幾種類型：堆疊型、薄板型、管型和雙晶片型。當壓電陶瓷驅動器作為納米級的微位移驅動器使用時，一般由多層陶瓷片經串聯形成的，為堆疊型壓電陶瓷驅動器，其輸出位移線性疊加在一起，使得總位移量增大，如圖3所示，這是一種電壓控制型的壓電陶瓷驅動器，常用於靜態定位場合，如光學研究中。本文重點要介紹的就是這種堆疊型的壓電陶瓷驅動器。



▲ 圖3 堆疊型壓電陶瓷結構圖

由電壓控制型驅動器的原理上可以看出，壓電陶瓷驅動器的微位移與施加在其兩端的電壓呈近似的線性變化，但實際上壓電陶瓷驅動器會存在遲滯、蠕變、非線性特徵以及容性負載特性等特點：

1. 遲滯。由於壓電陶瓷驅動器的特殊材料構成和其構造等原因，其輸出位移與輸入電

壓之間並不是理論中的線性關係，而是存在一定的遲滯現象。主要表現為：壓電陶瓷驅動器的下一時刻的位移與當前和過去的電壓、位移狀態都有關，而且上升曲線和下降曲線是非對稱的，遲滯現象可通過壓電陶瓷驅動電源的閉環控制來消除。

2. 蠕變。蠕變是描述壓電陶瓷驅動器的輸出位移隨時間的變化快慢。當外部電壓加于驅動器兩端時，相應的形變會在瞬間完成百分之九十左右，而另外的百分之十則要經過很長一段時間才能緩慢完成，表現出時間上的滯後特性。這是因為壓電陶瓷在外部電場的作用下，其內部極化過程不能在短時間內完成，表現出一定的滯後性，而且對於不同的外電壓，其蠕變特性也有所差異。壓電陶瓷驅動器的蠕變特性可通過開環的形式加以修正或者閉環的形式來即時檢測並消除。

3. 容性負載。由圖3可知，壓電陶瓷是由很多壓電片構成的，而壓電片之間間隔是在即時變化的，因此，壓電堆疊型驅動器可等效為許多平板電容器並聯在一起的大電容，其容量一般在 $\mu\text{F}$ 級。所以，對於電壓控制型的壓電陶瓷驅動器，一定要考慮到其容性負載的特性，為其提供放電回路。壓電陶瓷驅動器在靜態工作時需要的靜態維持功耗較小，但是為了實現對其快速準確的動態控制和驅動，需要的動態峰值電量較大，而且隨著動態驅動頻率的升高而加大。此外，我們還需要注意其非線性特性、溫度特性對壓電陶瓷驅動器控制時產生的影響。

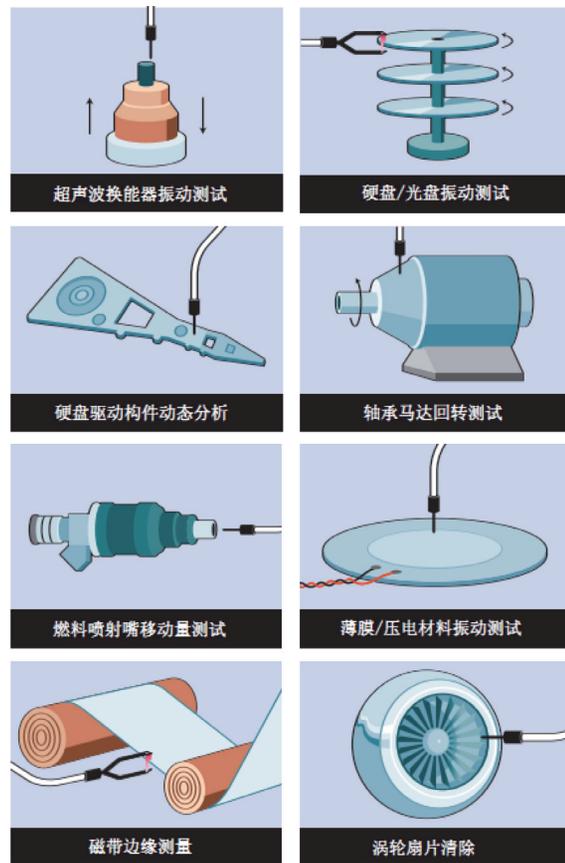
綜上所述，在設計製作和實際使用中，我們除了要在壓電陶瓷驅動電源及其驅動電路中進行補償和規避，還需要一種高精度、高解析度、高回應頻率的微位移感測器來進行驅動器位移的監控和分析。

### 三、MTI-2100光纖位移感測器簡介



▲ 圖4 MTI-2100光纖位移感測器

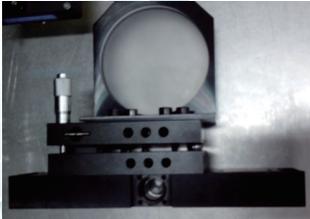
MTI-2100光纖位移感測器（如圖4所示）是美國MTI公司致力於高精度非接觸位移測量行業的一款代表性產品，它代表著精密位移、振動、位置測量的先進光纖和光電技術，其解析度高達2.5納米，頻率回應高達500kHz，雙通道的結構設計可以同時進行結構力學與形態分析研究測量，從更多功能上，所有探頭模組有兩種獨特的操作範圍優勢：一種是高解析，另一種是大量程。MTI-2100的元件設計適應於大範圍量程及光纖探頭定制的特殊要求，探頭具備抗電磁干擾能力，適用於各種物質材料表面測量：如金屬、合成物、顏料、玻璃、陶瓷、液體等等。廣泛應用於如圖5所示各項研究開發、品質和程序控制應用方案之中。



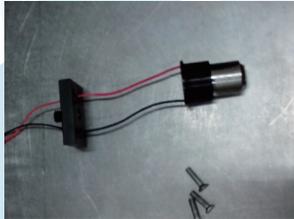
▲ 圖5 MTI-2100應用案例

### 四、基於MTI-2100的壓電陶瓷驅動器位移測量實例

光學實驗室透鏡移動台（如圖6所示），用於光學干涉、衍射等相關方面的研究，利用壓電陶瓷驅動器（如圖7所示）進行精密移動，伸縮位移在30um之內，解析度可達納米級別。選擇MTI-2100光纖位移感測器搭配MTI-2032RX光纖探頭進行透鏡位移的測量及監控，使用該型號光纖探頭的前段量程進行測量，量程為36um，解析度為10nm，頻率回應為100kHz。

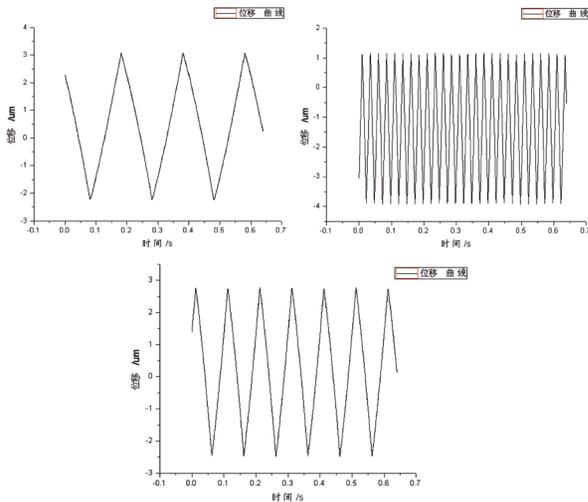


▲ 圖6 透鏡移動台



▲ 圖7 壓電陶瓷驅動器

以下是用MTI-2100光纖位移感測器進行光學實驗室透鏡移動台位移的幾組位移曲線，根據實際測得的位移信號與控制端輸入的信號作對比，從而去解決壓電陶瓷驅動器存在的滯滯、蠕變、非線性特徵以及容性負載特性等問題，輔助移動台微位移驅動設計；也可以用作對透鏡移動台實際位移的監控。圖8所示為使用MTI-2100來測量壓電陶瓷驅動透鏡移動台伸縮移動的幾組位移曲線：



▲ 圖8 測量位移曲線

由圖8所示幾組資料，我們可以清晰的看出透鏡移動台實際的位移量，前進和後退的最大位移值，移動的線性度以及往復運動的週期和速度。在設備製作階段提供理論依據，更能

在後續的測量中充當校準功能，保證壓電陶瓷驅動器的可靠性和穩定性。

## 五、壓電陶瓷驅動器技術的發展

由於壓電陶瓷驅動器具備位移精度高、響應快、耐熱、無雜訊、剛度大等特點，已經在諸多領域取得了廣泛的使用。壓電陶瓷的發展與應用主要是利用其正壓電效應和逆壓電效應，基本上集中在以下兩個方面：

一是基於其逆壓電效應的特點，利用壓電陶瓷驅動器實現微納米級精密定位，廣泛應用於生物醫療、精確調焦、微創外科手術、精密加工等方面。

二是基於正壓電效應的特點，把機械能轉換為電能，可製造出壓電打火器、速度變化較快的X光電源、壓電變壓器等。在不同的應用場合，對壓電陶瓷的具體性能要求也會有所差異。

總之，壓電陶瓷驅動器的出現使得人類可以更加深入地瞭解微觀世界，加速了社會工業的進步和人民生活水準的提高。伴隨著壓電陶瓷驅動器技術的日新月異，適用於壓電陶瓷驅動器位移測量的精密感測器也與日俱進，相互促進，共同發展。

### ☒ 參考文獻

1. 《壓電陶瓷物鏡驅動器驅動電源技術研究》，廣西大學，賀斌
2. 《壓電陶瓷驅動器》，華南理工大學，葉至善
3. 《MTI產品手冊》