



# 工具機液靜壓 軸承產品設計介紹與分析

Market Product Analysis of  
Hydrostatic Bearings Applied  
in Precision Machine Tools

黃華志

工研院機械所  
智慧機械技術組

## 關鍵詞

- 液靜壓導軌      hydrostatic slideway
- 液靜壓主軸      hydrostatic spindle
- 液靜壓尾座      hydrostatic tail-stock
- 液靜壓導螺桿    hydrostatic lead-screw

## 摘要

液靜壓軸承是高級精密工具機所必備的重要零組件，本文針對工具機所使用的液靜壓軸承零組件技術，概述近年來產業界之產品設計與學界研究成果。首先，由液靜壓軸承的優越性觀點出發，說明液靜壓軸承的工作原理與其在產業的應用領域；接著，就國際高級精密工具機上的液靜壓軸承產品設計作介紹，說明其所採用的液靜壓軸承組件與最終機台精度概況；最後，列舉未來研究方向與發

展建議，以供讀者參考。

Hydrostatic Bearings are one of the most important and necessary components for precision machine tools to achieve higher accuracy. This article is to introduce the academic research results and product developments of machine tool builders in the field of hydrostatic bearings. It first describes the working principle and industrial applications of hydrostatic bearings. Later, it highlights and briefly discusses the precision machine tools developed in recent years using hydrostatic bearing technology. Finally, it concludes some remarks on the research and development trend of hydrostatic bearings in the machine tool applications for the future.

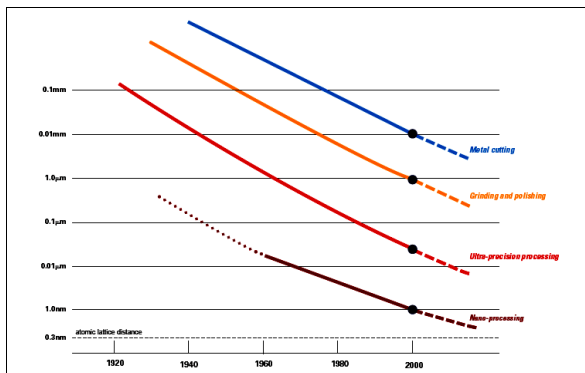
## 前言

最近幾年國內的光電產業在數位相機、手機相機、DVD/VCD 光碟機及投影機等蓬勃的成長下，帶



動了精密光學元件與精密金屬模具的需求快速增加，而精密光學元件成形與模具加工不可或缺的重要設備便是超精密切削工具機。超精密切削工具機設計與製造的關鍵與核心問題是保證超精密加工工藝和目標的實現。就加工工件而言，可達到良好的形狀精度 (form accuracy) 與表面粗糙度 (surface roughness) 的要求，此二項正是評估超精密切削工具機之精微加工品質的重要指標。圖一說明切削工具機之加工製程精度與年代趨勢發展狀況。

超精密切削工具機開發的關鍵技術是必須具有次微米級的精密定位能力和超精密主軸，對於進給系統機構而言，要求重點在於低摩擦阻力、高剛性、高運動解析度，此外環境防震和溫度之控制也是不可忽略。表一為超精密工具機的關鍵技術與要求精度[1]。最終超精密加工機的定位解析度必須達到 0.1  $\mu\text{m}$  是最基本之要求，否則要將無法達到鏡面加工等級加工。就觀察近來國際超精密切削工具機發展趨勢可知：在追求次微米級的單軸精密定位精度、甚至次微米級的整機工件加工形狀精度的訴求下，超精密主軸與超精密導軌系統使用靜壓軸承，特別是使用液靜壓軸承所構成的液靜壓主軸與液靜壓導軌，已成為超精密切削工具機所必備的關鍵零組件。本文嘗試介紹全世界超精密工具機相關之液靜壓軸承產品概況，並討論其液靜壓軸承構型設計差異與其特性比較。



圖一 切削工具機之加工製程精度與年代發展趨勢

表一 超精密加工機精度要求[1]

機械需求	關鍵技術與零組件	精度要求
	超精密主軸	迴轉精度 < 0.1 $\mu\text{m}$
超精密滑軌	運動精度 < 0.1 $\mu\text{m}$	
進給系統	解析度 < 10nm	
結構剛性	> 10 <sup>8</sup> N/m	
位置量測系統	解析度 < 10nm	
閉迴路控制系統	解析度 < 10nm	
環境需求	恆溫控制	$\pm 0.1^\circ\text{C}$
	大氣壓力	1MPa $\pm 0.1\%$
	相對溼度	40% $\pm 10\%$
	防震地基	頻率 < 2 Hz

## 液靜壓軸承的原理與應用

在切削工具機的機構中，軸承的功能在於連結不同的桿件、作相對運動與提供承載之支承。有別於滾動軸承之滾子於兩個軸承面之間運動，流體軸承 (fluid-film bearing) 則是流體在兩個軸承面之間運動。根據壓力發生的原理，傳統上可將流體軸承分成動壓型 (hydrodynamic or self-acting type)、靜壓型 (hydrostatic or externally-pressurized type)、及擠壓膜型 (squeeze-film type) 三種類型。“靜壓軸承”通常是用來描述具有流量控制裝置的外部加壓軸承 (externally-pressurized bearings)。靜壓軸承中的流體可以是液體或是氣體，分別稱為液靜壓軸承和氣靜壓軸承。兩者的基本工作原理類似，但由於流體的性質不同，使得設計準則、計算方法和構型有所不同。靜壓軸承因為具備一些特定的優良性能，例如：高承載能力，油膜厚度小，使用壽命長，高阻尼性等；使得靜壓軸承在各類工作機械之應用日漸廣泛。其應用範圍包含高速渦輪發電機，工具機主軸、尾座、導軌與導螺桿，反應器冷卻泵，液態火箭引擎渦輪泵等[2]。在一些應用於低速、高承載與低摩擦的工具機中，多年來靜壓軸承已成為滾動軸承的優良替



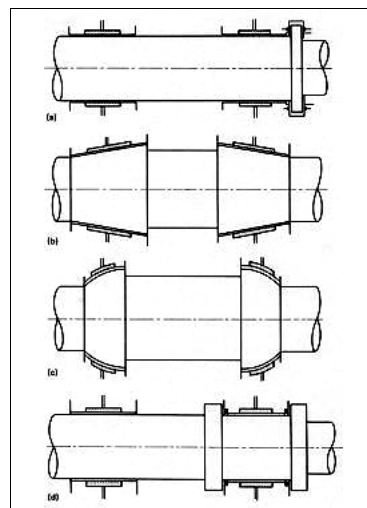
代選擇。

靜壓軸承中的流體可以是液體或是氣體，分別稱為液靜壓軸承和氣靜壓軸承。兩者的基本工作原理類似，但由於流體的性質不同，使得設計準則、計算方法和構形有所不同。氣體的黏度小(約為油類的幾百分之一至千分之一)，且具有可壓縮性，在設計時不得不取較低的供氣壓力，以避免流量過大。所以氣靜壓軸承與同尺寸的液靜壓軸承相比較，承載能力要小得多。在高速運轉時之氣靜壓軸承的摩擦功率很小，近似無摩擦運轉。此外，由於氣體的可壓縮性使氣靜壓軸承更容易出現不穩定現象，在設計中應予考慮。本文著重於討論以潤滑油為流體介質的液靜壓軸承。

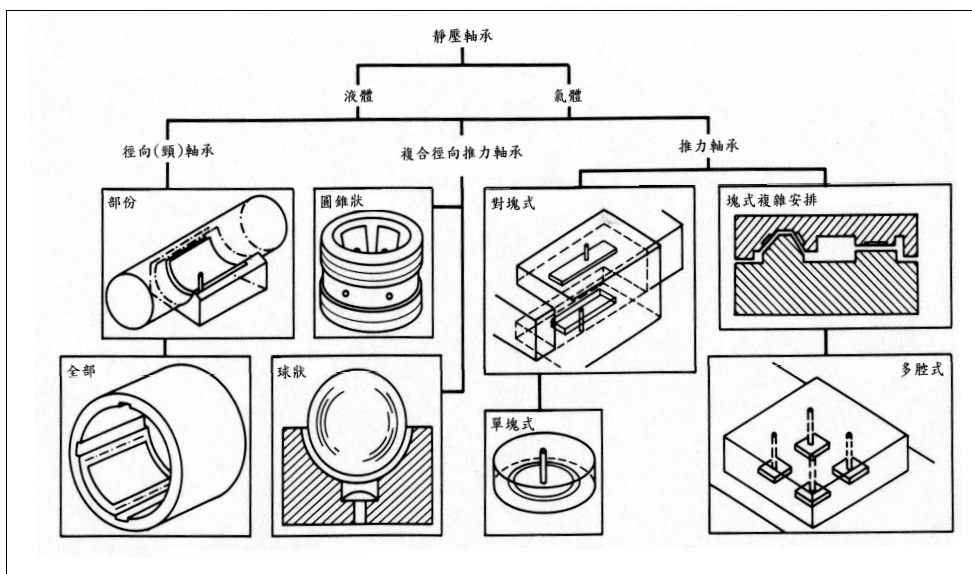
### 一、液靜壓軸承的構型

若以所支承的承載力不同來區分，液體靜壓軸承可分為徑向軸承(journal bearing)、推力軸承(thrust bearing)和徑向推力軸承(combined journal and thrust bearing)，圖二所示為常見之液體靜壓軸承的類型[3]。其中徑向軸承可分為全徑向軸承(full journal bearing)與部分徑向軸承(partial journal bearing)；徑向推力軸承可分為錐軸承(conical bearing)與球軸承

(spherical bearing)；推力軸承又可分為單塊推力軸承(single pad)、對塊推力軸承(opposed pads)、多腔式推力軸承(multiple recess)與複雜導軌之推力軸承。圖三說明其他可能的液體靜壓徑向推力軸承構形組合[3]。此外，常見應用於液靜壓導軌之油腔結構型式如表二所示[4,5]，液靜壓導軌之油腔結構型式除了表二所示之形狀外，如圖四之平行三溝槽式(三字形)與圖五之網格式(田字形)也是商品化的導軌油腔構型設計。由於油腔構型上的不同，其影響造成軸承之性能特性上將有顯著的差異[6]。



圖三  
其他可能的徑向  
推力軸承構形



圖二  
常見之液體靜壓軸承  
的分類



更完整的內容

請參考紙本【機械工業雜誌】300期・97年3月號

每期220元・一年12期2200元

劃撥帳號：07188562 工業技術研究院機械所

訂書專線：03-591-9342

傳真訂購：03-582-2011