

鐳射位移感測器的介紹及產品選型

振聯科技有限公司 / 譚義平

一、鐳射位移感測器的原理、特點及主要參數

(一) 鐳射位移感測器的原理

按照測量原理，鐳射位移感測器分為鐳射三角測量法和鐳射回波分析法，鐳射三角測量法一般適用於高精度、短距離的測量，而鐳射回波分析法則用於遠距離測量，下面分別介紹鐳射三角測量原理和鐳射回波分析原理。

1. 鐳射位移感測器原理之鐳射三角測量法原理

鐳射發射器通過鏡頭將可見紅色鐳射射向被測物體表面，經物體反射的鐳射通過接收器鏡頭，被內部的 CCD 線性相機接收，根據不同的距離，CCD 線性相機可以在不同的角度下“看見”這個光點。根據這個角度及已知的鐳射和相機之間的距離，數位訊號處理器就能計算出感測器和被測物體之間的距離。

同時，光束在接收元件的位置通過類比和數位電路處理，並通過微處理器分析，計算出相應的輸出值，並在用戶設定的類比量視窗內，按比例輸出標準資料信號。如果使用開關量輸出，則在設定的視窗內導通，視窗之外截止。另外，類比量與開關量輸出可獨立設置檢測視窗，如圖 1。

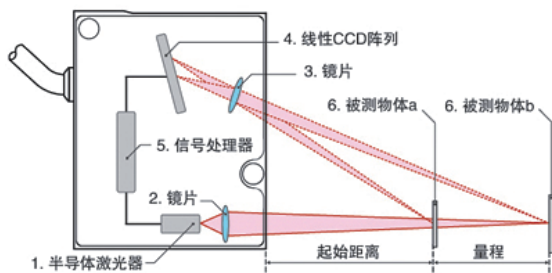


圖 1. 鐳射三角法原理 (<https://is.gd/TTreBC>)

2. 鐳射位移感測器原理之鐳射回波分析原理

鐳射位移感測器採用回波分析原理來測量距離以達到一定程度的精度。感測器內部是由處理器單元、回波處理單元、鐳射發射器、鐳射接收器等部分組成。鐳射位移感測器通過鐳射發射器每秒發射一百萬個鐳射脈衝到檢測物並返回至接收器，處理器計算鐳射脈衝遇到檢測物並返回至接收器所需的時間，以此計算出距離值，該輸出值是將上千次的測量結果進行的平均輸出，即所謂的脈衝時間法測量，如圖 2。鐳射回波分析法適合於長距離檢測，但測量精度相對於鐳射三角測量法要低。

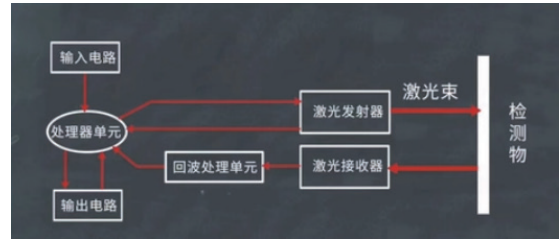


圖 2. 鐳射回波分析原理 (<https://is.gd/2GVKeo>)

(二) 鐳射的主要特點

1. 高方向性：即高定向性，光速發散角小。
2. 高單色性：鐳射的頻率寬度比普通光小 10 倍以上。
3. 高亮度：利用鐳射光束會聚最高可產生達幾百萬度的溫度。

(三) 鐳射位移感測器的主要參數

1. 滿量程 (FSR)：滿量程指鐳射位移感測器的有效測量範圍，如圖 3。

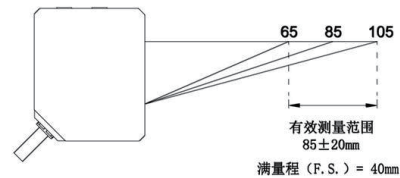


圖 3. 鐳射滿量程範圍圖示 (<https://is.gd/l9RToH>)

2. 分辨率 (Resolution)：指感測器和被測物件都是靜止的情況下，感測器本身的數據波動。鐳射位移感測器最小的刻度，也稱感測器的分辨率，如圖 4。

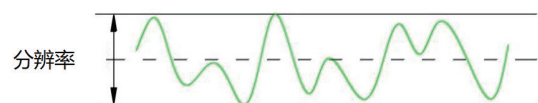


圖 4. 鐳射分辨率圖示 (<https://is.gd/l9RToH>)

3. 線性度 (Linearity)：理想狀態下，物體實際位移值，與感測器測量值，呈直線變化關係；但實際上感測器的測量值與物體實際位移值會有偏差，該偏差的最大值稱為線性度，如圖 5。

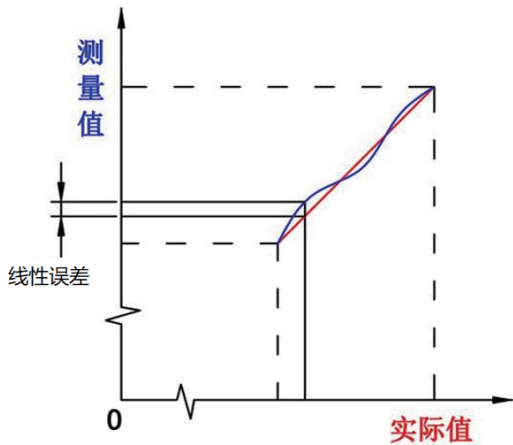


圖 5. 鐳射線性度圖示 (<https://is.gd/l9RTtoH>)

4. 頻率響應 (Frequency Response)：施加規定幅值以正弦變化不同頻率的輸入情況下，監測元件輸出信號的幅值和相位隨輸入量頻率而變化的特性，如圖 6。

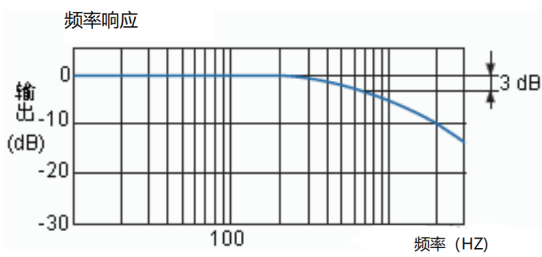


圖 6. 鐳射頻率響應圖示 (<https://is.gd/l9RTtoH>)

二、鐳射位移感測器的運用介紹

(一) 鐳射位移感測器主要運用領域

鐳射位移感測器是一種先進的測量設備，廣泛應用於工業、科研和醫療等領域。它通過激光束的發射和接收，能夠精確測量物體的位移，並將其轉化為電信號輸出。鐳射位移感測器具有高精度、快速響應、非接觸式測量等特點，因此在許多領域中替代了傳統的測量方法，成為一種重要的測量工具。

鐳射位移感測器在工業領域中的應用十分廣泛。它可以用於測量機械設備的運動軌跡、零件的尺寸和形狀等。傳統的測量方法往往需

要接觸被測物體，容易造成誤差和損壞。而鐳射位移感測器可以實現非接觸式測量，不僅提高了測量的精度，還保護了被測物體的完整性。在汽車製造、機械加工和電子製造等行業中，鐳射位移感測器的應用已經成為標配，為生產過程提供了可靠的測量資料。

在科研領域中，鐳射位移感測器的應用也十分重要。科學家們常常需要測量微小物體的位移，如原子的振動、細胞的變形等。鐳射位移感測器具有高靈敏度和高解析度的特點，能夠滿足這些微小尺度的測量需求。同時，鐳射位移感測器還可以即時監測物體的運動狀態，為科學研究提供了重要的資料支援。在物理學、生物學和材料科學等領域，鐳射位移感測器的應用已經成為不可或缺的實驗工具。

除了工業和科研領域，鐳射位移感測器還在醫療等其他領域中發揮著重要作用。

(二) 鐳射位移感測器主要運用介紹

1. 測量長度

精密測量長度是精密機械製造工業和光學加工工業的關鍵技術之一。鐳射是最理想的光源。

2. 測量距離

由於鐳射具有高方向性、高單色性和高功率等優點，這些對於測遠距離、判定目標方位、提高接收系統的信噪比、保證測量精度等都是很關鍵的。

3. 測量厚度

上方及下方各安裝一個鐳射測距感測器，通過感測器的輸出信號的加減運算，就可以得到被測物的連續動態厚度值或厚度變化值。

4. 測量振動

通過鐳射位移感測器的高頻率可以測量被測物的振動幅度。

5. 測量速度

鐳射測速是對被測物體進行兩次有特定時間間隔的鐳射測距，取得在該一時段內被測物體的移動距離，從而得到該被測物體的移動速度。

三、如何選擇鐳射位移感測器

(一) 注意被測物結構和材料

通常鐳射位移感測器測量需要完整的三角光路。被測物如果有深槽或複雜表面，可能會導致三角光路被遮擋，從而無法測量。還有一些吸光材料，如黑色橡膠等材料，大部分光強會被吸收，這時需要合理調節曝光時間以獲得足夠測量信號。另外反光很強，或鏡面反射被測物，可能會導致光線垂直返回而沒有形成漫反射，也會導致測量效果不佳。所以使用鐳射位移感測器時，一定要先確認被測物的材料特性。

鐳射漫反射位移感測器正常工作的前提是要求被測物體表面具有漫反射條件，出廠時廠家是用白陶瓷作為標準面。

光亮表面反射係數高，粗糙或黑色表面反射係數低。並不是反射係數愈大愈好，當反射係數 100% 時，例如鏡面時，鐳射成像光斑被 100% 反射回到鐳射光源，而接受漫反射的 CCD 端無成像光，所以鏡面就不能正常工作。反之當反射係數為 0% 時絕對黑體，入射光被百分百吸收，無反射光，感測器也不能工作。只有反射係數 <100%，和 >0% 之間，鐳射漫反射感測器才能可靠工作。鏡面表面需要採用鏡面型鐳射位移感測器才可以測量。

以下為各種材料表面反射係數：

白陶瓷	約 95%	黑紙	約 5%
白紙	約 75-80%	黑橡膠	約 3-5%
金屬材料	約 55-60%	黑絨布	約 0.5%

(二) 根據需要選擇適用的參數指標

常用於選擇鐳射位移感測器的指標包括感測器量程、解析度、線性度、頻率響應等，當然除此以外，還有很多參數可以決定感測器的性能，包括能夠承受環境溫度指標、能夠承受的振動和衝擊指標等。

(三) 品牌的選擇

鐳射位移感測器國內外廠商眾多，產品品質、精度和頻率響應差別也很大。國外知名品牌品質好但價格也高，而國內小廠的價格不高但穩定性方面又不能保證。MTI 為國外知名品牌，主要有一維 / 二維鐳射位移感測器，已經大量用於航太航空、高校、研究所及工業領域，客戶有美國宇航局、通用汽車、福特汽車、豐田汽車、高通等等。

四、MTI 鐳射位移感測器產品選型說明

(一) 一維鐳射位移感測器

1. LTS 系列 (同時帶類比輸出及數位 RS485 介面輸出) 模擬輸出為 0-10V (其中量程範圍內輸出為 1-9V，擴展量程範圍內輸出為 0-10V) 多種量程可選 (從 2mm 到 200mm) 線性度高達 $\pm 0.03\%$ ，頻率響應高達 20kHz 配套的採集軟體，可以通過軟體直接採集資料及波形顯示，資料保存，如圖 7。產品規格型號參考表 1。

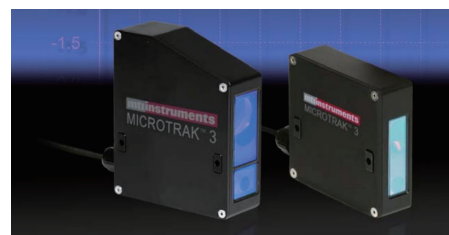


圖 7. LTS 系列鐳射感測器^[1]

表 1. LTS 系列高精度鐳射位移感應器的 8 種型號和規格

規格	單位	LTS-25-02	LTS-25-04	LTS-50-10	LTS-50-20	LTS-120-20	LTS-120-40	LTS-200-100	LTS-300-200
		可做鏡面型激光探頭 (用ND濾光片的激光探頭) 訂貨時須註明							
線性度	FSR	±0.03%							
量程	mm	2	4	10	20	40	100	200	
擴展量程 ¹	mm	2.5	5.0	12.5	25.0	50.0	125.0	250.0	
線性中點	mm	25		50		120		200	300
量程起點	mm	24	23	45	40	110	100	150	200
擴展量程起點	mm	23.75	22.50	43.75	37.50	107.50	95.00	137.50	175.00
量程終點	mm	26	27	55	60	130	140	250	400
擴展量程終點	mm	26.25	27.50	56.25	62.50	132.50	145.00	262.50	425.00
噪聲 ²	µm	0.325	0.650	1.625	3.250	6.500	16.500	32.500	
模擬信號輸出 ³	µm/mV	0.250	0.500	1.250	2.500	5.000	12.500	25.000	
數字分辨率 ¹	µm	0.038	0.076	0.191	0.382	0.382	0.763	1.907	3.815
激光夾角	θ	45°	45°	30°	30°	20°	20°	12°	8°
光點大小	µm	30		25	36	100		130	

備註：擴展量程可以正常測量，但是擴展量程的線性度會差一些。

2. DTS 系列 (高速數位介面 USB 輸出，USB 供電，帶軟體)；多種量程可選 (從 2mm ~ 200mm)。

線性度高達 ±0.03%，採樣頻率高達 40kHz。

配套的採集軟體，可以通過軟體直接採集資料及波形顯示，資料保存，如圖 8。

產品規格型號參考表 2。

表 2. DTS 系列高精度鐳射位移感應器的 8 種型號和規格

型號		DTS-025-02	DTS-025-04	DTS-050-10	DTS-050-20	DTS-120-20	DTS-120-40	DTS-200-100	DTS-300-200
產品編號		8000-7040	8000-7032	8000-7033	8000-7034	8000-7035	8000-7036	8000-7037	8000-7038
測量範圍	mm	2	4	10	20	20	40	100	200
基準距離	mm	25	25	50	50	120		200	300
測量位移									
擴展量程近端	mm	23.75	22.5	43.75	37.5	107.5	95	137.5	175
量程近端	mm	24	23	45	40	110	100	150	200
量程遠端	mm	26	27	55	60	130	140	250	400
擴展量程遠端	mm	26.25	27.5	56.25	62.5	132.5	145	262.5	425
線性度(標準量程內)									
1倍曝光時間,20kHz	%FSO	0.0375%							
2倍曝光時間,5kHz	%FSO	0.0300%							
1倍曝光時間,20kHz	µm	0.75	1.50	3.75	7.50	7.50	15.00	37.50	75.00
2倍曝光時間,5kHz	µm	0.6	1.2	3	6	6	12	30	60
噪聲(2倍曝光時間,500kHz)									
白色被測物在線性中點位置	µm RMS	0.125	0.25	0.625	1.25	1.25	2.5	6.25	12.5
光點大小									
線性中點最大直徑	µm	30	30	25	25	100		130	
最高分辨率	nm	38	76	191	381	381	763	1,907	3,815

備註：擴展量程可以正常測量，但是擴展量程的線性度會差一些。USB 供電，無需額外提供供電電源。

3. TGS 鐳射測厚系統主要特性：

- (1) 通過 RS485 或者 USB (可選) Modbus 輸出 (RTU)。
- (2) 分離式可程式設計的 I/O (4 個輸入，3 個輸出)。
- (3) 通過按鍵和電腦設定公差和過程。
- (4) 可用多個公式 (A+B, A-B, etc.)。
- (5) DIN 導軌安裝。

多種量程可選 (厚度從 4mm ~ 40mm) 。系統線性度高達 $\pm 0.06\%$ ，控制器可在 0.00025 秒內檢測出厚度是否滿足條件，並且通過數字輸出引腳提供顯示，彩色 LCD 顯示，跟蹤波峰 / 波谷，如圖 9。產品規格型號參考表 3。



圖 8. DTS 系列鐳射感測器 [1]



圖 9. TGS 鐳射感測器測厚系統 [1]

表 3. TGS 系列高精度鐳射測厚系統的 4 種型號和規格

產品型號	Microtrak 3 TGS 25-02	Microtrak 3 TGS 25-04	Microtrak 3 TGS 50-10	Microtrak 3 TGS 50-20
產品序列號	8000-6851	8000-6852	8000-6853	8000-6854
厚度測量範圍 (mm)	4	8	20	40
噪聲 ¹ (μm)	0.600	1.200	3.600	6.500
非線性度	$\pm 0.06\%$			
激光探頭規格				
標準距離 (mm)	25	25	50	50
測量範圍 (mm)	2	4	10	20
擴展測量範圍 (mm)	2.5	5.0	12.5	25.0
光點大小 ² (μm)	30	30	25	36
LSB分辨率 ¹ (μm)	0.038	0.076	0.191	0.382

(二) 二維鐳射位移感測器

1. PT-G 系列二維鐳射位移感測器

多種量程可選 (X: 34mm ~ 280mm Z: 36mm ~ 400mm)。採樣頻率高達 4kHz。配套的採集軟體，可以通過軟體直接採集資料及波形顯示，資料保存，如圖 10。產品規格型號參考表 4。

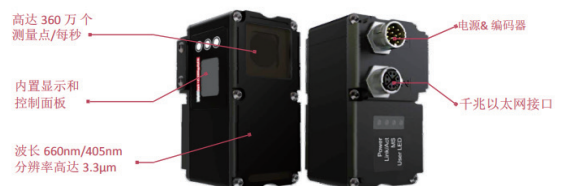


圖 10. PT-G 系列二維鐳射位移感測器 [1]

表 4. PT-G 系列二維鐳射位移感測器的 4 種型號和規格

產品型號	PT-G 36/27/34		PT-G 60/40/58		PT-G 190/62/145		PT-G 400/70/280	
Z向起始距離 (mm)	72		65		90		100	
Z向範圍 (mm)	36		60		190		400	
Z向分辨率 (μm)	3.3 to 5.2 μm		4.8 to 9.6 μm		9.4 to 49 μm		12.4 to 160 μm	
X向起始距離 (mm)	27		40		62		70	
X最大範圍 (mm)	34		58		145		280	
X向分辨率 (μm)	22 to 28 μm		33 to 47 μm		54 to 123 μm		68 to 246 μm	
Z向線性度 (μm)	18 μm		30 μm		95 μm		200 μm	
激光顏色	RED	BLUE	RED	BLUE	RED	BLUE	RED	BLUE
波長	660 nm	405 nm	660 nm	405 nm	660 nm	405 nm	660 nm	405 nm
激光等級								
1M 產品	8000-1065-001		8000-1065-002		8000-1065-003		8000-1065-004	
2M 產品	8000-1066-001	8000-1067-001	8000-1066-002	8000-1067-002	8000-1066-003	8000-1067-003	8000-1066-004	8000-1067-004

2. PT-HD 系列高解析度二維鐳射位移感測器

多種量程可選 (X: 30mm ~ 450mm Z: 60mm ~ 800mm)。採樣頻率高達 6kHz。

配套的採集軟體，可以通過軟體直接採集資料及波形顯示，資料保存，如圖 11。產品規格型號參考表 5。

表 5. PT-HD 系列二維鐳射位移感測器的 5 種型號和規格

型號	PT-HD 60/30/52		PT-HD 130/50/110		PT-HD 260/150/230		PT-HD 520/290/455		PT-HD 800/450/720	
Z向起始距離 (mm)	70		83		215		390		600	
Z範圍 (mm)	60		130		260		520		800	
Z向分辨率 (μm)	2 to 4.9 μm		3.2 to 14 μm		9.6 to 22 μm		17.8 to 43 μm		28 to 67 μm	
X向起始範圍 (mm)	30		50		150		290		450	
X向終點範圍 (mm)	52		110		230		455		720	
X向分辨率 (μm)	17 to 26 μm		9.6 to 22 μm		79 to 120 μm		151 to 238 μm		235 to 361 μm	
Z向線性度 (μm)	9 μm		13 μm		26 μm		52 μm		80 μm	
激光顏色	RED	BLUE	RED	BLUE	RED	BLUE	RED	BLUE	RED	BLUE
波長	660 nm	405 nm	660 nm	405 nm	660 nm	405 nm	660 nm	405 nm	660 nm	405 nm
激光等級										
2M 產品	8000-1034-060	8000-1035-060	8000-1034-130	8000-1035-130	8000-1034-260	8000-1035-260	8000-1034-520	8000-1035-520	8000-1034-800	8000-1035-800
3R 產品	8000-1036-060	8000-1037-060	8000-1036-130	8000-1037-130	8000-1036-260	8000-1037-260	8000-1036-520	8000-1037-520	8000-1036-800	8000-1036-800
3B 產品	N/A	8000-1039-060	N/A	8000-1039-130	N/A	8000-1039-260	N/A	8000-1039-520	N/A	8000-1039-800

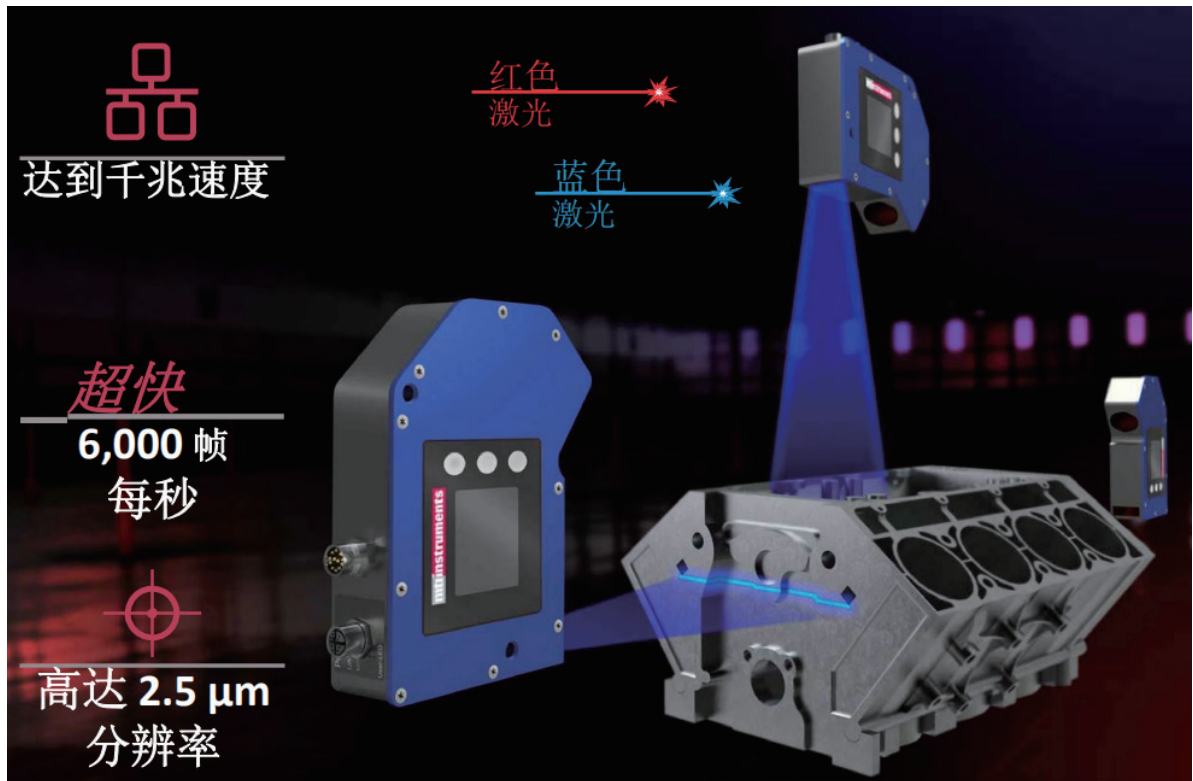


圖 11. PT-HD 系列二維鐳射位移感測器^[1]

五、結語

目前鐳射位移感測器已廣泛應用汽車工業、航空航太和軍事、工業製造、電子和光伏等，鐳射位移感測器從發展至今已有幾十年的歷史，經過不斷的升級改進，其應用的範圍和領域也越來越廣，市場規模不斷增長，近年來，在其應用領域快速發展帶動下，我國已成為全球鐳射位移感測器最大消費國之一。但目前中國企業仍主要集中在鐳射位移感測器低端市場領域，高端市場國產化水準還比較低，未來中國企業還需不斷提升技術水準，爭取成為全球鐳射位移感測器製造強國。

參考資料

[1] MTI 產品資料，網址 <https://vitrek.com/mti-instruments/>。