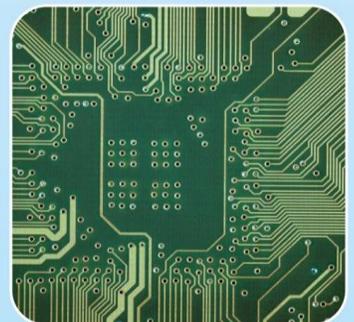
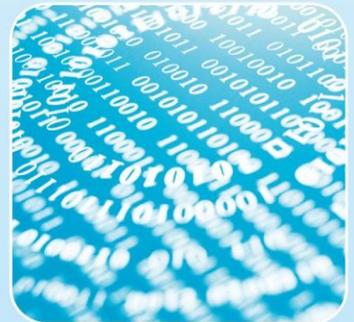


# 國際產業趨勢對我國工具機 產業之影響

CTCI FOUNDATION



財團法人中技社(CTCI Foundation)創立於 1959 年 10 月 12 日，以「引進科技新知，培育科技人才，協助國內外經濟建設及增進我國生產事業之生產能力」為宗旨。初期著力於石化廠之設計與監建，1979 年將工程業務外移轉投資成立中鼎工程後，業務轉型朝向裨益產業發展之觸媒研究、污染防治與清潔生產、節能、及環保技術服務與專業諮詢。2006 年本社因應社會環境變遷的需求，在環境與能源業務方面再次轉型為智庫的型態，藉由專題研究、研討會、論壇、座談會等，以及發行相關推廣刊物與科技新知叢書，朝知識創新服務的里程碑邁進，建構資訊交流與政策研議的平台；協助公共政策之規劃研擬，間接促成產業之升級，達成環保節能與經濟繁榮兼籌並顧之目標。

本著創社初衷，為求對我們所處的環境能有更多的貢獻，本社就國內前瞻性與急迫性的能源、環境、產業、社會及經濟等不同議題，邀集國內外專家進行全面的研究探討，為廣為周知，特將各議題研究成果發行專題報告，提供產官學研各界參考。

本工具機產業專題報告得以出版，要感謝友嘉集團朱志洋總裁擔任議題召集人，臺灣工具機暨零組件工業同業公會陳忠平秘書長擔任顧問，以及精密機械研究發展中心(PMC)姚克昌處長、工研院產科國際所(IEK)黃仲宏經理、臺灣經濟研究院九所譚瑾瑜所長、工研院智慧機械科技中心陳來勝執行長等產業先進擔任特聘專家共同執筆，詳細研討有關工具機之應用、我國及國際工具機產業概況、我國工具機產業面臨之國際趨勢之挑戰、我國工具機整機及關鍵零組件之產業機會、國際工具機未來發展趨勢等面向，並依據研討結論提出臺灣工具機產業應以價值導向發展具差異化、客製化、高精密度之高階工具機之最有利的發展方式及務實作法，以因應當前我國工具機產業所面對的挑戰。特聘專家在此專題報告中提出客觀、切實的工具機產業發展政策建言，提供政府相關單位參考，極具參考價值。

**發行人：潘文炎**

**主編：陳綠蔚、朱志洋、陳忠平**

**作者：姚克昌、黃仲宏、譚瑾瑜、陳來勝、陳忠平、黃鎧輝**

(依本專題報告之章節順序)

**執行編輯：芮嘉瑋、黃鎧輝**

**發行者：財團法人中技社**

地址 / 106 臺北市敦化南路二段 97 號 8 樓

電話 / 886-2-2704-9805

傳真 / 886-2-2705-5044

網址 / [www.ctci.org.tw](http://www.ctci.org.tw)

本社專題報告內容已同步發行於網站中，歡迎下載參考

**發行日期：中華民國 113 年 12 月**

# 序

工具機是現代化國家之工業根本，近代的汽車、航太、軍工、能源、半導體等產業之先進國家如德國、日本、美國等都是工具機技術及產業進步領先的國家，可見工具機無可比擬的重要性。臺灣工具機產業長期以來在全球市場上也有相當的關鍵位置，是高度出口導向的產業，外銷比重高達 72%。臺灣工具機產業曾為全球第七大生產國及第五大出口國，但是，近年來因俄烏戰爭而起的地緣政治、新冠疫情、電動車興起、日幣大幅貶值、中國工具機產業崛起、及自由貿易協定等國際因素的影響，讓臺灣工具機產業遭受相當大的壓力，在 2024 上半年出口排名從 2023 年的第七名再下降到第八。特別是中國低價工具機產業崛起及日圓大幅貶值之價廉高階工具機的衝擊，讓臺灣工具機長期以高 CP 值、高性價比的產業優勢不再，市占受挫，全球出口排名下滑。因此，產業導向高值化來取代既有的高 CP 值、高性價比價值觀，將工具機技術及產業升級以開拓客製化、差異化的高精度、高單價的高階工具機來克服當前的不利狀況或是工具機產業必須要走的路。因此，提升我國工具機的精度與穩定性，縮短或消除國內與國際高品級市場之技術落差，提高工具機產品的可靠度與製程的加工效率，重塑工具機產業生態體系，提升工具機及相關零組件產品之附加價值及國際競爭力，絕對是工具機產業當務之急。

由於台積電先進的科技實力讓臺灣高科技島的形象已被全世界所認同，所以，臺灣的工具機產業也應當利基於此全世界對臺灣產業的高價值認同，朝向提供高階、高精密度、高價位的產品方向提升產業實力，竭力開創具高附加價值之產業領域，如新能源、電動車、航太、生醫、半導體等新興尖端應用產業，建立優質並具價值的工具機產業。政府也必須擬定相關政策，推動工具機產業成功技術升級轉型及產品之高價值定位。

當前國際趨勢及工具機產業環境下的技術、成本、市場需求等競爭激烈，工具機相關業者著實面對相當的產業競爭壓力，故政府該如何提供最佳的政策、辦法、措施來輔助工具機產業克服挑戰，確實是要精準構思，諸如，如何協助或輔導工具

機產業技術升級，並協助產業開發市場，經營獲利，讓臺灣的工具機業者能在國際上勝出，都是需要政府精闢且具前瞻性的政策規劃與實踐落實。

由於工具機對整體產業應用，社會經濟，及國力的強化是如此重要，工具機產業發展及政府政策輔助後獲得的成功果實，更需要有系統、有充足的優秀人力培植來支撐、延展及擴大，促成臺灣工具機技術及產業引領開創新興應用。

基於以上對臺灣工具機產業發展的認識及期許，中技社以公益法人及非官方立場，規劃並執行本「國際產業趨勢對我國工具機產業之影響」議題。有幸得到跨國營運成效卓著之友嘉集團朱志洋總裁首肯，擔任本議題召集人，並邀請工具機暨零組件工業同業公會陳忠平秘書長擔任顧問，精密機械研究發展中心姚克昌處長，工研院產科國際所 IEK 黃仲宏經理，臺灣經濟研究院九所譚瑾瑜所長，工研院智慧機械科技中心陳來勝執行長等工具機技術產學經驗豐富的專家學者擔任特聘專家研析探討本議題，並提出專題報告。

在本專題報告中，特聘專家分別就工具機應用簡介、國際工具機產業概況、我國工具機產業概況、挑戰、我國工具機整機及關鍵零組件之產業機會等六個面向對應探討臺灣工具機產業於各行業之應用狀況及優勢、全球主要競爭國家之工具機產業概況、國際局勢與產業趨勢對臺灣工具機產業之挑戰、臺灣工具機產業技術升級之機會與挑戰、臺灣工具機關鍵零組件技術升級之機會與受市場接納之挑戰等議題。此外，中技社也拜訪七家國內外工具機廠家，蒐集業者的產業心聲及見解，並舉辦座談會邀請國內八家具代表性的工具機整機廠及關鍵零組件廠等代表人、產業專家，藉討論主題：「面對日本、韓國、中國的工具機競爭，臺灣該如何獲得優勢」為國內工具機產業現況把脈，提出建言。特聘專家在詳實研析工具機技術及相關產業議題並彙整工具機業者寶貴見解後，在此專題報告中提出客觀、切實的工具機產業發展政策建言供政府參閱。

在特聘專家精闢研析工具機技術及相關業者的營運意見後，本專題報告最終章，對工具機產業界提出詳實明確的發展建議，並對政府的產業政策在技術開發、產業發展、人才培育、環境建構及市場開拓等面向，提出實務的建言及作法，若得實現，可望提振臺灣的工具機產業發展。在此向召集人及諸位特聘專家群策群力投入此等議題研究並提出寶貴建言的心力，致上最高的謝意。

財團法人中技社 董事長  
潘文炎  
2024 年 12 月

## 目錄

序 .....	I
目錄 .....	III
圖目錄 .....	VII
表目錄 .....	XIII
執行摘要.....	1
一、 問題及目標 .....	1
二、 研究範圍及內容 .....	2
(一) 工具機產業及技術研析工作 .....	2
(二) 臺灣工具機產業概況及廠商意見 .....	3
三、 研究結論 .....	3
四、 產業對策及建言 .....	4
(一) 產業發展建議： .....	4
(二) 政策建言： .....	4
第一章 工具機應用簡介 .....	7
一、 工具機是工業之母 .....	7
二、 工具機主要類別簡介 .....	8
(一) 切削加工工具機 .....	8
(二) 成型加工工具機 .....	22
(三) 其他加工工具機 .....	24
三、 工具機之應用、功能等級分類及加工精密 .....	26
(一) 因應各領域需求技術發展方向 .....	26
(二) 工具機與零組件的技術對策 .....	30
第二章 國際工具機產業概況 .....	41
一、 全球工具機產業現況與產銷數據 .....	41
二、 全球主要競爭國家之工具機產業概況 .....	45
三、 臺灣相對國外工具機產業之優劣勢 .....	53

四、各國之工具機個別所屬之功能及加工精度等級.....	56
五、全球最大工具機市場.....	57
六、未來展望.....	60
七、小結.....	61
第三章 我國工具機產業概況.....	63
一、我國工具機產業現況.....	63
二、我國工具機產業鏈及市場.....	66
三、臺灣工具機之產業結構問題探討.....	70
四、我國工具機產業 SWOT 分析.....	71
五、我國相對國外工具機產業之特質與升級轉型作為.....	72
六、我國工具機南向出口市場研析.....	75
七、國內外市場營運的商業模式與實務做法建議.....	79
八、友嘉集團在印度的商業模式.....	80
九、未來展望.....	81
第四章 我國工具機產業之挑戰.....	85
一、國際經貿變局之挑戰.....	85
(一) 全球政經情勢之挑戰.....	85
(二) 區域貿易協定(RTA)生效下關稅差異之衝擊.....	86
(三) 生產要素及匯率市場競爭之挑戰.....	89
二、全球產業轉型之挑戰.....	91
(一) 晶片與電子產品去庫存之挑戰.....	91
(二) 電動車興起降低傳統工具機設備需求之挑戰.....	92
三、全球綠色轉型趨勢之挑戰.....	94
(一) 打造綠色供應鏈與法規調適之挑戰.....	94
(二) 轉型為綠色市場導向之挑戰.....	96
四、全球數位轉型趨勢之挑戰.....	97
(一) 建構工具機生產線智慧化之挑戰.....	97
(二) 強化數位人才與網路安全之挑戰.....	99
五、我國工具機未來發展趨勢與展望.....	100

(一) 提升產業韌性，強化出口競爭力 .....	100
(二) 推動產業轉型，搶攻國際商機 .....	102
(三) 布局綠色轉型，提升產業永續力 .....	104
(四) 引領數位轉型，驅動技術升級 .....	104
第五章 我國工具機產業機會 .....	109
一、工具機產業技術升級之機會與挑戰 .....	109
(一) 具高階切削加工功能之五軸複合化工具機 .....	109
(二) 大型車床和銑床等精密加工機 .....	113
(三) 適用於難切削材料切削加工之工具機 .....	116
(四) 加減法複合加工機 .....	119
(五) 衝床 .....	121
二、工具機數位轉型 .....	123
(一) 單機智慧化增值軟體 .....	123
(二) 產線智慧化增值軟體 .....	130
三、工具機綠色轉型 .....	136
(一) 綠色工具機運轉技術 .....	137
(二) 綠色切削製造技術 .....	141
四、工具機人才培育 .....	146
(一) 高齡化對人才培育之影響 .....	146
(二) 自動化對人才培育之影響 .....	146
(三) 智慧化對人才培育之影響 .....	147
(四) 少子化對人才培育之影響 .....	147
(五) 全球化對人才培育之影響 .....	147
五、小結 .....	151
第六章 工具機關鍵零組件產業機會 .....	155
一、關鍵零組件開發及市場拓展 .....	155
二、加工單元零組件 .....	155

(一) 切削工具機之加工單元零組件： .....	155
(二) 成型工具機之加工單元零組件： .....	160
(三) 其他工具機之動力零組件： .....	161
三、電控系統零組件 .....	162
四、傳動系統零組件 .....	163
(一) 直線傳動零組件 .....	164
(二) 旋轉方向傳動零組件 .....	169
五、週邊零組件 .....	171
六、關鍵零組件未來發展趨勢 .....	174
(一) 關鍵零組件模組化 .....	174
(二) 關鍵零組件智慧化 .....	175
(三) 以差異化創造市場價值 .....	175
(四) 發展兼顧效率與精度的動態誤差補償技術 .....	176
第七章 結論與建言 .....	177
一、 結論 .....	177
二、 對工具機產業建議 .....	177
三、 對政府建言 .....	178
附錄 1：113 中技社工具機議題座談會會議紀要 .....	181
附錄 2：工具機數位轉型之專利申請建議 .....	191
附錄 3：專有名詞中英文及縮寫對照表 .....	195

## 圖目錄

圖 1.1	工具機主要類別示意圖.....	8
圖 1.2	車床.....	9
圖 1.3	銑床.....	11
圖 1.4	鑽床.....	13
圖 1.5	磨床.....	14
圖 1.6	鋸床.....	16
圖 1.7	臥式搪床中心機.....	17
圖 1.8	刨床.....	19
圖 1.9	轉台式多工站加工機.....	20
圖 1.10	車銑複合式加工機.....	21
圖 1.11	衝床.....	22
圖 1.12	放電加工機.....	24
圖 1.13	水刀切割機.....	25
圖 1.14	工具機設備應用產業.....	26
圖 1.15	工具機功能等級分類及加工精密度.....	30
圖 1.16	機電一體化協同模擬架構.....	34
圖 1.17	工具機產業趨勢與未來展望.....	40
圖 2.1	TruLaser Cell 3000.....	46
圖 2.2	Schuler 液壓成形機.....	46
圖 2.3	HERMLE 加工中心.....	47
圖 2.4	Breton 高動態五軸立式加工中心.....	47
圖 2.5	GF 的銑削設備.....	48
圖 2.6	MAZAK 倒立式 CNC 車床-IVS-300II.....	49
圖 2.7	DMG MORI 視覺引導設計.....	49
圖 2.8	AMADA 的 BREVIS AJ 全方位光纖雷射加工機.....	50

圖 2.9	OKUMA 的臥式加工中心 MA-600HIII .....	50
圖 2.10	Haas VF 系列.....	53
圖 2.11	各國之工具機個別所屬之功能及加工精度等級.....	56
圖 2.12	2022~2026 年中國工具機生產趨勢分析.....	57
圖 2.13	2015~2023 年中國工具機進口總值.....	58
圖 2.14	2015~2023 年中國工具機市場主要進口國家 .....	58
圖 2.15	中國工具機區域聚落分佈圖.....	59
圖 3.1	2020~2024 年臺灣工具機進出口值趨勢分析 .....	65
圖 3.2	2023 年臺灣工具機主要進出口國.....	65
圖 3.3	我國工具機產業鏈.....	67
圖 3.4	台中精機 Vturn-A200 臥式車削中心 .....	68
圖 3.5	永進機械 DCV 系列-龍門型立式加工機.....	69
圖 3.6	金豐機器 SDS4 閉式四點直驅式伺服衝床 .....	69
圖 3.7	2022 年 1 月至 6 月至 2024 年同期臺灣工具機出口金額變化.....	70
圖 4.1	2019 至 2023 年美國進口臺韓工具機占比.....	88
圖 4.2	因應電動車發展設備製造商調整策略及產業整合.....	93
圖 4.3	建立綠色供應鏈之三大層面挑戰.....	95
圖 4.4	綠色供應鏈與法規調適之挑戰.....	97
圖 4.5	製造業各產業數位轉型進程分布.....	98
圖 4.6	控股公司戰略資源整合.....	101
圖 4.7	資源整合提升工具機的出口競爭力.....	102
圖 4.8	韓國工具機市場策略.....	103
圖 4.9	跨產業聯盟數位轉型整合策略.....	105
圖 5.1.1	五軸工具機（含龍門型）國際代表性機型.....	110
圖 5.1.2	車銑複合工具機國際代表性機型.....	111
圖 5.1.3	高階齒輪磨齒機國際代表性機型.....	111

圖 5.1.4	高階齒輪檢測機國際代表性機型.....	112
圖 5.1.5	五軸工具機加工零件.....	113
圖 5.1.6	車銑複合機加工零件.....	113
圖 5.1.7	高階齒輪磨齒機加工零件.....	114
圖 5.1.8	大型立式車床國際代表性機型.....	114
圖 5.1.9	大型臥式搪床國際代表性機型.....	115
圖 5.1.10	適用於鈦及鎳基合金加工國際代表性機型.....	117
圖 5.1.11	適用於硬脆材料加工國際代表性機型.....	117
圖 5.1.12	高速高扭力機械式齒輪頭.....	118
圖 5.1.13	國產超音波驅動模組.....	118
圖 5.1.14	超音波加工應用.....	119
圖 5.1.15	加減法複合加工機國際代表性機型.....	120
圖 5.1.16	雷射熔覆模組.....	121
圖 5.1.17	加減法加工應用加工件.....	121
圖 5.1.18	衝床國際代表性機型.....	122
圖 5.1.19	衝壓應用於動力電池結構件.....	123
圖 5.2.1	工具機數位雙生.....	124
圖 5.2.2	沉浸式遠端製程診斷系統.....	125
圖 5.2.3	五軸工具機智慧精度調適關鍵技術佈局策略圖.....	127
圖 5.2.4	製造業於製程監控技術之需求.....	128
圖 5.2.5	透過切削力學分析建立加工優化技術.....	129
圖 5.2.6	數位雙生技術示意圖.....	130
圖 5.2.7	沉浸式互動進行故障排除與預測性維護.....	132
圖 5.2.8	人機協同彈性生產系統關鍵技術.....	134
圖 5.2.9	智慧產線系統技術.....	135
圖 5.2.10	以 AI 技術建立設備異常預測系統.....	136

圖 5.3.1	金屬異質材料結構輕量化設計分析技術圖.....	138
圖 5.3.2	工具機數位雙生作動.....	140
圖 5.3.3	OKUMA 熱親和功能.....	142
圖 5.3.4	MAZAK 一次性複合製程.....	143
圖 5.3.5	OKUMA ECO 耗電監控器.....	144
圖 5.3.6	製程效率與節能調控技術.....	144
圖 5.3.7	製程效率與節能調控技術.....	145
圖 5.4.1	工具機暨零組件產業人培架構圖.....	146
圖 6.1	工具機主要關鍵零組件.....	155
圖 6.2	GMN HSC 230 主軸.....	157
圖 6.3	Tramec 插式兩軸銑削頭.....	158
圖 6.4	Cytec P12 萬向銑削頭.....	158
圖 6.5	Zimmermann 三軸銑削頭.....	158
圖 6.6	日紳自動 90 度銑頭.....	159
圖 6.7	Sauter 內藏式動力刀塔.....	160
圖 6.8	雷射加工應用效果.....	161
圖 6.9	CNC 工具機運動控制系統架構.....	162
圖 6.10	工具機運動方向.....	163
圖 6.11	外循環滾珠螺桿構造.....	166
圖 6.12	內循環滾珠螺桿構造.....	166
圖 6.13	線性滑軌機構.....	167
圖 6.14	線性滑軌之滑動導引示意.....	168
圖 6.15	線性滑軌之滾動導引示意.....	168
圖 6.16	單臂嵌入式旋轉工作台.....	169
圖 6.17	雙臂搖籃式旋轉工作台.....	169
圖 6.18	蝸桿蝸輪驅動旋轉工作台.....	170

圖 6.19	DD 馬達驅動旋轉工作台 .....	170
圖 6.20	油冷機之冷卻液流向示意圖 .....	171
圖 6.21	斗笠式刀庫 .....	172
圖 6.22	圓盤式刀庫 .....	173
圖 6.23	鏈條式刀庫 .....	173
圖 6.24	矩陣式刀庫 .....	174



## 表目錄

表 1.1	終端產業對工具機的需求一覽表.....	28
表 2.1	全球工具機應用領域與占比.....	41
表 2.2	2023 年全球工具機產值排名前五大國家.....	42
表 2.3	2023 年全球工具機出口排名前五大國家.....	43
表 2.4	2023 年全球工具機進口排名前五大國家.....	44
表 2.5	2023 年全球工具機消費排名前七大國家.....	44
表 3.1	我國工具機應用領域與占比.....	64
表 3.2	臺灣工具機產業特質.....	72
表 3.3	佈局印度之臺灣工具機廠商.....	76
表 3.4	佈局越南之臺灣工具機廠商.....	77
表 3.5	佈局泰國之臺灣工具機廠商.....	77
表 3.6	佈局馬來西亞之臺灣工具機廠商.....	78
表 4.1	RCEP 協定生效下中國進口臺、日、韓之工具機整機關稅概況.....	87
表 4.2	RCEP 協定生效下中國進口臺、日、韓之工具機零組件關稅概況.....	88
表 4.3	工具機業者生產要素漲幅情形.....	90
表 4.4	輕型電池電動車動力系統組件未來市場分析.....	94
表 6.1	面向不同切削材料的高速切削加工範圍.....	156
表 6.2	螺桿適用於各機械設備之精度等級.....	164
表 6.3	線性滑軌的型式與特性.....	167



## 執行摘要

### 一、問題及目標

工具機是現代工業的根本，促成幾乎所有產業的建立及發展，如汽車、航太、軍工、軌道車輛、3C 電子、能源、醫療器材、半導體產業設備等應用產業。然而，近年來因國際局勢，如俄烏戰爭導致的地緣政治阻力、新冠疫情後之經濟低迷不振、晶片及電子產品庫存待銷化等因素，顯著地影響了工具機市場之現時需求；電動車之興起減少了傳統汽車的市場占比，影響了製造引擎及變速箱所需之工具機的相對需求；日圓大幅貶值下，質優價不貴的日製工具機之市場優勢；市場量體大致成本低的中國工具機的低價競爭；享有經濟合作協議下免稅優惠的利基者，如南韓的競爭等挑戰，讓臺灣工具機產業近幾年面臨相當大的衝擊。外銷比重高達 72%，產業高度出口導向的臺灣工具機產業曾為全球第七大生產國及第五大出口國，但在 2024 上半年出口排名從 2023 年的第七名再下降到第八。特別是中國低價工具機產業崛起及日圓大幅貶值之價廉高階工具機，讓臺灣工具機產業同時面臨德、日等先進國家質優價實惠與中國工具機之低價功能可行之高低階工具機產業之上下夾擊，迫使臺灣工具機產業在全球競合中主攻中階市場並長期以高 CP 值、高性價比的產業優勢不再，讓臺灣工具機產業營收、市占皆受挫，全球出口排名下滑。

在此一根本性的產業競爭及市場變化的嚴峻挑戰下，臺灣工具機產業因長期高性價比所致的產業結構性缺失浮現。為有效克服挑戰，需要將產業由原來的高性價比取向改變為高價值取向來引領調整工具機產業結構，也就是在市場經營上或須以高值化之價值導向來取代既有的高 CP 值、高性價比價值觀，將工具機技術及產業升級於開拓客製化、差異化的高精度、高單價的高階工具機來克服當前的不利狀況，這或是工具機產業必須要走的新康莊大道。

為形成價值取向的優質工具機產業，臺灣工具機業亟需提升自主研發能力，加強關鍵零組件技術掌握，踏實及時的達成產業升級，以改善產業鏈結構、聚焦智慧製造、積極布局高附加價值領域，以應對外部環境挑戰，提升全球市場競爭力。為達成產業升級，工具機暨零組件工業同業公會推動臺灣工具機產業未來發展，將以數位轉型、綠色轉型為雙主軸。數位轉型將導入數位、AI 智慧化技術，實現生產流程自動化和數位化來實現工具機的高效生產、更精準加工等，以提高生產效率和品質；而綠色轉型將開發節能省電的相關設備系統、減少耗材浪費、降低碳排放量，達成智慧節能，推動工具機產業革新及升級。

為發展價值取向的優質工具機及關鍵零組件可行的技術對策，同時也是未來的技術發展趨勢，必在數位轉型及綠色轉型的架構下朝向高速化、高負載、大型化、多軸複合同動控制、系統化、控制系統整合、各式能源類的特殊加工方式、新材料機台結構件、新材料加工應用、服務性與附加價值、關鍵零組件開發、3D 列印、綠色工具機與節能加工生產等，發展具差異化、客製化、高精度之高價工具機，以滿足市場之獨特及先進需求。

另外，臺灣先進半導體產業執世界相關產業及市場牛耳，為滿足 AI 晶片製造的相關半導體先進封裝及異質整合技術及設備，臺灣工具機產業有絕佳的地利優勢投入相關生產設備的開發製作，如此不僅可以更穩固臺灣半導體產業全球的領先地位，更是臺灣工具機產業藉此一新興應用而實踐價值取向脫胎換骨的有利契機。

## 二、研究範圍及內容

本研究共分七章及附錄，內容如下：

1. 工具機應用簡介：盤點臺灣工具機產業在各行業之應用狀況。
2. 國際工具機產業概況：分析全球主要競爭國家之工具機產業概況。
3. 我國工具機產業概況：分析臺灣工具機產業於各行業之關聯性及優勢。
4. 我國工具機產業之挑戰：分析國際局勢與產業趨勢對臺灣工具機產業之挑戰。
5. 我國工具機產業機會：臺灣工具機產業技術升級之機會與挑戰。
6. 我國工具機關鍵零組件產業機會：臺灣工具機關鍵零組件技術升級之機會與受市場接納之挑戰。
7. 結論及建議
8. 附錄：
  - (1) 113 中技社工具機議題座談會會議紀要：內容有關與會產業專家建言。
  - (2) 工具機數位轉型之專利申請建議：就數位轉型，對工具機業者建議宜提出專利申請的相關數位技術。
  - (3) 專有名詞中英文及縮寫對照表：工具機產業之英文中文專有名詞對照。

### (一) 工具機產業及技術研析工作

1. 邀聘專精工具機技術及產業的相關單位 - 友嘉集團、臺灣工具機暨零組件工業同業公會、精密機械研究發展中心(PMC)、工研院產科國際所(IEK)、臺灣經濟研究院、工研院智慧機械科技中心等產業及研究單位之產業專家，共同探討本議題。
2. 彙集相關產業文獻所載之國內、外工具機產業、市場現況及發展走向等資訊。
3. 訪談國內、外相關工具機整機及關鍵零組件廠家，有友嘉集團印度 MAG 廠及德國 Witzig & Frank 廠，國內東培工業、盈錫精密、金豐機器、慶鴻機電、永詮機器等七家公司代表人，收集具代表性之廠家對工具機產業的營運見解、給政府之相關意見。
4. 辦理產業專家座談會，邀請友嘉集團、永進機械、東台精機、台中精機、麗馳科技、新代科技、德大機械、上銀科技等八家公司代表人與會討論，以「面對日本、韓國、中國的工具機競爭，台灣該如何獲得優勢」為題，為國內工具機產業現況把脈，提出建言。

5. 綜合受訪及參與座談之產業專家提出的工具機產業發展方向，彙整出產業發展建議及政府制定產業政策之參考。

## (二) 臺灣工具機產業概況及廠商意見

### 1. 產業概況：

近幾年，因俄烏戰爭而起的地緣政治、新冠疫情、電動車興起、日幣大幅貶值、中國工具機產業崛起、及缺乏貿易免關稅協定等國際因素的影響，讓臺灣工具機產業面臨相當大的衝擊。雖然，工具機關鍵零組件，如控制器、精密螺帽等尚有較佳的市場表現，但是以中階工具機為主力產品的工具機整機廠則是受挫顯著，很明顯的臺灣工具機產業長期迎合高性價比市場營運的產業結構已難再有優勢，為有效應對當前工具機產業面對的挑戰及劣勢，以價值導向的高單價化、高階、高精密度工具機的產業升級及轉型勢在必行。

### 2. 受訪及座談廠商對工具機產業的建議及政府的期許：

- (1) 完成數位轉型及綠色轉型，讓工具機具備智慧化 AI 製造功能，可產製少量多樣之產品。
- (2) 臺灣工具機產業或該從高 CP 值之價值習慣，進化到將產品朝向客製化之具差異性、穩定性、可靠性的具高附加價值的高階、高精度工具機發展。
- (3) 提升臺灣工具機產業最重要的技術根本，即品質及穩定度。
- (4) 臺灣工具機產業宜致力於發展，控制器，IIoT，機電感測器，機電整合及 AI 之智慧機器的上、中、下游產業鏈。
- (5) 人才培育，培訓工具機相關知識之專業人才、在職人員培訓相關專業知識、市場開發銷售知識、AI 人工智慧相關職能培訓等。
- (6) 維持並建立友善高齡者工作環境與制度，留任資深專業人才傳承產業智慧及經驗。
- (7) 工具機產業市場開發，或以工具機聯盟的方式海外共同設點，讓工具機業者能夠不需要再經過經銷商而可以直接銷售給終端使用者。
- (8) 緩和因俄烏戰爭之地緣政治所致之俄羅斯、土耳其等地銷售受限，卻讓中國廠商取代了原來臺灣的市場份額的影響。
- (9) 請貿協加大力量，讓政府發揮橋接廠商與新興市場的功能，協助拓展新市場、藍海市場。

## 三、研究結論

因應當前國際趨勢對工具機產業之影響，工具機產業在市場經營上或須以高值化之價值導向來取代既有的高 CP 值、高性價比價值觀，將工具機技術及產業升級於開拓客製化、差異化的高精度、高單價的高階工具機來克服當前的不利狀況，以提升國產工具機的精度與穩定性，縮短或消除國內與國際高品級市場之技術落差，提高工具機產品的可靠度與製程的加工效率，重塑工具機產業生態體系，提升工具機

及相關零組件產品之附加價值及國際競爭力，勢必為工具機產業當務之急。據此，本研究提出如下客觀務實的產業發展建議及政策建言供政府之產業主管機關參閱。

#### 四、產業對策及建言

##### (一) 產業發展建議：

成立產業聯盟，致力技術發展，為工具機產業進行：

##### 1. 高階機型與關鍵零組件研發：

- (1) 開發專用客製化機型並提供整體解決方案，包括技術創新、智能製造、綠色製造及客製化生產；
- (2) 開發高階應用市場的設備機型，包括高階五軸及難削材等複合化工具機、大型車銑床，多樣少量之加減法複合加工機，及高階衝床等；
- (3) 針對高階設備的關鍵組件建立國產化研發能量，包括智能化控制軟體與空間精度量測補償系統、液靜壓主軸、超音波主軸和高扭力機械齒輪頭等關鍵設備組件。

##### 2. 數位轉型技術開發：

- (1) 投入先進感測、人工智慧、機器學習和大數據分析等技術發展，協助業者開發數位雙生、沉浸式互動、製程監控、人機協同彈性生產系統及智慧產線系統等重要技術發展；
- (2) 開發單機智慧化與產線智慧化增值軟體，協助工具機業者從單純提供生產設備轉型升級成提供設備、製造、系統整合等一站式 Turnkey 解決方案與服務；
- (3) 協助業界開發低成本、低門檻智慧產線解決方案，確保資料安全和隱私保護，並提供技術支援和培訓。

##### 3. 綠色轉型技術開發：

- (1) 發展綠色工具機運轉技術，在設計與製造過程，導入更輕量化的運動結構件、使用更節能傳動零組件，並透過工具機運作效能與能耗即時資訊可視化，掌握機台健康狀態進行預測維護與能源優化調控；
- (2) 發展綠色切削製造技術，在加工生產過程導入智慧製造與製程技術、生產流程控制、品質管理或能耗管理來減少加工材料與能源浪費，達到製程節能減碳效果。

##### 4. 供應端與需求端：

- (1) 建立高階工具機之關鍵零組件之供應端；
- (2) 開發高階工具機產品之客戶及需求端。

##### (二) 政策建言：

1. 協助工具機產業整合 3C 軟體產業，形成跨產業聯盟，並建立平台型、解決方案型生態系，促成此工具機跨產業聯盟生態系廠商之數位轉型及綠色轉

型。

2. 推動工具機產業規範之落實應用，建立工具機暨零組件產品驗證中心，協助產業提升產品可靠度與產品附加價值，強化產業整體競爭力。
3. 政府協助廠商建立並實踐標準化、模組化設計、製造、產品。
4. 獎勵或補助企業汰舊換新購買國產綠色工具機及相關生產設備，促成國內產業綠色淨零碳排轉型。
5. 協助廠商進行非傳統加工技術，如放電加工、雷射加工、電化學加工等新技術的開發。
6. 設立機電、AI、資通訊、國際業務及行銷等相關專業課程，培養跨專業領域、智慧化、業務行銷之工具機產業專業人才，並為在職人員提供最新產業相關知識及 AI 知識等之培訓。
7. 推動並輔導工具機產業與半導體產業密切合作。
8. 協助輔導國內工具機產業發展標準機，擴大工具機生產規模降低成本，提高價格競爭力，有利擴大市場規模。
9. 協助取得價格可接受的綠電來源。
10. 政府藉由「台美 21 世紀貿易倡議」促進台美雙邊貿易與投資合作，將工具機產業議題納入雙邊討論範疇，為臺灣業者創造更多的國際商機。
11. 與其他國家 FTA、國際間免關稅優惠之簽訂。
12. 協助媒合日、韓、台等國成立工具機產業聯盟，建立跨國產業聯盟利基。

財團法人中技社



## 第一章 工具機應用簡介

### 一、工具機是工業之母

工具機俗稱工作母機，是工業生產所必須的基礎設備，所有機械的生產都依賴工具機，其應用範圍包括汽車、航太、模具、國防及半導體等產業；由於工具機產業在經濟和技術上都具有戰略重要性。它們不僅是製造業的核心設備，還推動了整個產業鏈的發展，故我國與各工業先進國家無不積極投入資金與人力從事技術開發。臺灣工具機產業發展迄今已超過 60 年，擁有強大的自主研發和製造能力，包括製造各種工具機的關鍵零組件，透過垂直整合，從機台設計、製造、組裝、以及相關的零組件製造，確保生產效率，生產成本降低，機台品質維持，並可滿足客戶特定的需求，而此客製化能力使得臺灣的工具機業者能夠應對不同行業和客戶的多樣化需求。

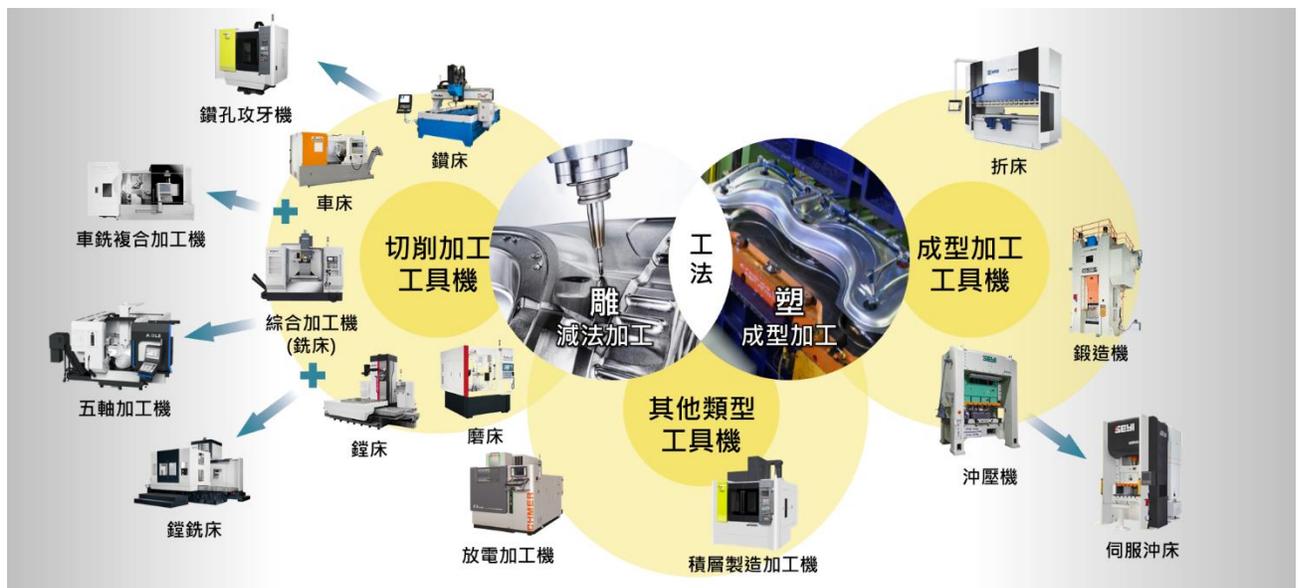
臺灣工具機產業聚落健全、從業人員素質高，以及國內電子資訊技術成熟完整，加上臺灣位於亞太地區優越地理位置，能夠提供快速支援等優勢，促使臺灣成為國際分工體系與產業全球化布局之重要夥伴，臺灣工具機產業在國際工具機市場占有舉足輕重的地位。

面對近年全球經濟受到氣候變遷、人口結構改變、能源及運輸需求迫切、匯率波動、俄烏戰爭、中東地區政治不穩定、中國的紅色供應鏈崛起、各國工業政策...等影響，對於我國產業經營環境已發生極大的變動，並對於臺灣工具機及零組件重要的基本產業產生深遠的影響。臺灣產業結構調整的步伐，尚未能趕上全球經營環境變遷與國際競爭的變化，造成工具機及零組件產業的利潤減少、成本優勢降低、競爭力大幅下降，再加上經濟與環保法規日益嚴苛，所以亟需了解環境變遷對工具機暨零組件產業的影響，才能及早尋求因應環境變遷的產業發展對策，進行未來工具機暨零組件產業經營的佈局及技術與產品的規畫。

2023 年在全球高通膨、高利率、戰爭與中國景氣不振，影響機械與電子設備市場甚鉅，面對愈加嚴峻的產業環境，臺灣工具機產業正值產業升級轉型之際，惟有重視產業人才培育，持續深化工業基礎技術，掌握終端市場需求，建立加工應用與服務能量，提升產品附加價值與品質可靠度；並且導入綠色供應鏈，落實節能減碳才能強化臺灣工具機產業競爭力，使臺灣成為提供客戶完整解決方案之高值設備生產國。總體而言，臺灣的工具機和零組件之間的關係體現了一個相對完整的供應鏈體系，這有助於提升整體競爭力，並滿足不同客戶的需求。同時，這種整合還推動了技術的發展和創新，有助於臺灣在全球工具機市場上的地位。

## 二、工具機主要類別簡介

工具機(Machine Tools)是一種用於製造或加工零件的機械設備，並且基於不同加工需求衍伸各種操作、功能、結構、以及加工工法等特性的工具機設備，依其加工型態分為二大類，一是以移除材料而成型方的「切削工具機」。包括綜合加工機、車床、磨床、放電加工機、鑽床、銑床、搪床、鋸床、刨床、齒輪切削機...等；另一類是以施加壓力使材料變形或截斷方式的「成型工具機」，包括衝床、剪床、鍛造機械、衝孔機械、線材加工機...等。以市場產值佔有率而言，世界各國不同，一般而言，「切削工具機」約佔 75%，「成型工具機」約佔 25%。若以控制方式作區分，則利用數位信號並經電腦作運算來操控工具機者稱為「電腦數值控制工具機」，簡稱 CNC 工具機，反之，稱為非 NC 工具機或稱為傳統工具機，如圖 1.1 所示。



資料來源：精密機械研究發展中心調查、整理

圖 1.1 工具機主要類別示意圖

### (一) 切削加工工具機

切削加工工具機為在工件加工過程透過切削刀具將大部分或部分材料移除，進而形成所需形狀及尺寸。這些切削加工的工法包含車削、銑削、刨削、磨削等，並發展出車床、銑床、搪床、鋸床、鑽床、磨床等單一切削加工工法的工具機機種。而隨著加工外型日趨複雜化，切削加工工具機機種也由單一工法逐漸轉變為混合多種工法的綜合加工機、五軸加工機等。常見的各類切削加工工具機機種如下：

#### 1. 車床 (Lathe)：

車床為針對車削工法之工具機種，主要針對圓棒材類的工件進行加工，為將加

工件固定於車床上轉軸上旋轉，而車刀沿著旋轉工件進行外徑車削、內徑車削、攻牙、鑽孔等加工作業。車床的發展早在西元前即有記載，是所有工具機種最早的機種，1799年由英國發明家 Henry Maudslay 應用床台、螺桿、齒輪等零組件，讓車床上的刀具可以進行高精度移動來獲得精密的加工零件，也是第一台精密車床。直到 1940 年代車床由人工操作控制轉變為 NC (Numerical Control) 數值控制來設定車削刀具的動作，1950 年代更進化為以電腦數值控制 CNC (Computer Numerical Control) 來精確地控制刀具運動，即為當今的 CNC 車床，如圖 1.2 所示。



資料來源：台中精機網站型錄

圖 1.2 車床

以下是為常見的工具機車床類型，這些工具機車床類型都有其獨特的加工特點和適用場合，讓終端應用客戶可以依於加工需求、工件大小、形狀和材料等因素選擇適當的車床機台來進行加工生產作業。近年來，車床更為因應客戶高靈活性的生產需求混合其他加工工法發展複合式車床。各式車床說明如下：

**(1) 傳統車床 (Engine Lathe)：**

- A. 最基本的車床類型，用於加工圓柱形工件。
- B. 工件固定在平行的床上，工具刀沿工件軸向移動。

**(2) 走心式車床 (Swiss Type Turning Center)：**

- A. 是一種特殊的車床設計，常用於高精度和高效率的小徑工件加工。
- B. 在製造精密零件和微型零組件適用於大量生產相對簡單的工件。
- C. 這種車床的名稱源於其起源地瑞士，並以其特殊的機械構造而得名。

**(3) 數控車床 (CNC Lathe) :**

- A. 使用數控技術，可進行自動化控制。
- B. 可實現複雜的刀具路徑和多軸運動，提高生產效率。

**(4) 立式車床 (Vertical Lathe) :**

- A. 工件固定在立式床上，銑刀沿工件的半徑方向移動。
- B. 適用於加工大直徑、短高度的工件。

**(5) 數控立式車床 (CNC Vertical Lathe) :**

- A. 結合立式車床和數控技術，可實現複雜形狀的加工。
- B. 適用於生產複雜、高精度的工件。

**(6) 複合車床 (Combination Lathe/Mill) :**

- A. 同時具備銑床和車床功能。
- B. 可實現多種切削操作，增加加工靈活性。

**(7) 自動車床 (Automatic Lathe) :**

- A. 具有自動進給和換刀功能，適用於大量生產小型工件。
- B. 主要用於加工小徑的圓柱形工件。

**(8) 車削中心 (Turning Center) :**

- A. 整合了車床和加工中心的功能，可實現多軸操作。
- B. 適用於複雜形狀和高精度工件的加工。

**2. 銑床 (Milling Machine) :**

銑床的加工方式有為將刀具放置於主軸進行旋轉，加工工件本身固定於工作台上不旋轉，透過刀具旋轉削減工件來達成所需的外型，通常用來製造平面、曲面、齒輪等工件。為 1818 年美國 Eli Whitney 與多位工程師為因應英國政府禁制刨床銷售至美國，把類似鑽頭的螺旋刀具放置於側面進行平面切削加工的工具機機種，因加工效率高於刨床，已成為當今工具機設備的主要應用機種，如圖 1.3 所示。



資料來源：大立機器網站型錄

圖 1.3 銑床

銑床類型可依刀具擺放位置分為臥式、立式 2 大基本類型。而因切削主軸技術的演進，銑床加工標的早已不僅限於以傳統平面加工，近年來更因旋轉工作台與高精度數值控制技術的導入，發展出可進行複雜曲面加工的五軸加工機。下是常見的銑床類型，說明如下：

**(1) 臥式銑床 (Horizontal Milling Machine)：**

- A. 主軸水平置放，工作臺水平放置。
- B. 適用於大型工件，例如船舶和飛機零件。
- C. 分為普通臥式銑床和臥式龍門銑床。

**(2) 立式銑床 (Vertical Milling Machine)：**

- A. 主軸垂直置放，工作臺水平放置。
- B. 常用於加工平面和複雜的立體形狀。
- C. 適用於小型到中型工件。

**(3) 龍門式銑床 (Gantry Milling Machine)：**

- A. 工作臺由龍門結構支撐，橫梁移動。
- B. 適用於大型、重型工件，例如模具和船殼。
- C. 具有較大的加工範圍。
- D. 基本架構區分：
  - (A) 定柱定樑式龍門型加工機
  - (B) 定柱動樑式龍門型加工機

- (C) 動柱定樑式龍門型加工機
- (D) 動柱動樑式龍門型加工機
- (E) 天車式(高架動樑式)龍門型加工機

**(4) 臥式臂式銑床 (Horizontal Bed-Type Milling Machine) :**

- A. 工作臺水平放置，銑刀水平切削。
- B. 常用於生產簡單平面和複雜立體形狀。
- C. 適用於中型工件。

**(5) 臥式拉刀銑床 (Horizontal Boring Mill) :**

- A. 主要用於加工大型和重型工件，例如引擎缸體。
- B. 具有旋轉和進給能力。
- C. 常用於生產大型齒輪和螺旋槳等工件。

**(6) 臥式台式銑床 (Horizontal Bench-Type Milling Machine) :**

- A. 小型臥式銑床，適用於較小型的工件。
- B. 常用於學術實驗室和小型生產環境。

**(7) 數控銑床 (CNC Milling Machine) :**

- A. 使用數控(Computer Numerical Control)技術，可以自動化控制銑床的運動。
- B. 提高生產效率，適用於複雜形狀和高精度需求的工件。

**(8) 五軸加工機 (5-Axis Machine) :**

五軸加工就是利用五個座標軸 (X、Y、Z、A、B，三個直線座標和兩個旋轉座標) 在電腦數控系統的協調控制下，進行同步運動加工的工藝技術。

**3. 鑽床 (Drilling Machine) :**

鑽床為將螺紋鑽頭裝置於旋轉主軸上，在將鑽頭移動在工件上進行鑽孔加工的工具機，可用於鑽孔、擴孔、鉸孔、攻螺紋及平面銑削等處理零件孔洞處理。鑽床為滿足不同的孔洞加工需求，發展臥式、立式各種類型和尺寸的鑽床機種，如圖 1.4 所示，也是當今最主要的金屬加工設備。以下是一些常見的工具機鑽床類型。



資料來源：益彰機械網站型錄

圖 1.4 鑽床

**(1) 臥式鑽床 (Bench Drill) :**

- A. 是一種小型鑽床，通常用於較小工件的輕型操作。
- B. 工作臺平放，鑽頭垂直下降。

**(2) 立式鑽床 (Upright Drill Press) :**

- A. 工作臺垂直放置，鑽頭垂直下降。
- B. 適用於中小型工件的鑽孔操作。

**(3) 多頭鑽床 (Multiple Spindle Drill Press) :**

- A. 同時具有多個鑽頭，可以在一次操作中同時鑽多個孔。
- B. 提高生產效率，適用於大量生產。

**(4) 數控鑽床 (CNC Drill Press) :**

- A. 使用數控技術，可以實現自動化和精確的鑽孔操作。
- B. 適用於複雜形狀的工件和高精度需求。

**(5) 徑向鑽床 (Radial Drill Press) :**

- A. 鑽頭可以在水平方向上移動，從而擴大加工範圍。
- B. 適用於大型和重型工件的鑽孔操作。

**(6) 龍門鑽床 (Radial Arm Drill Press) :**

- A. 具有伸縮和旋轉的龍門結構，提供更大的靈活性。

B. 適用於需要多方向鑽孔的工件。

**(7) 深孔鑽床 (Deep Hole Drill Press) :**

用於鑽很深的孔，通常應用於特殊的加工需求，如槍管、冷卻管路製造等。

**(8) 摩擦攪拌鑽床 (Friction Stir Drilling) :**

A. 一種特殊的鑽孔技術，通常用於金屬板的鑽孔。

B. 使用高速攪拌而非傳統的切削方式。

**4. 磨床 (Grinding Machine) :**

磨床是一種用於對工件進行磨削加工的工具機，可以實現高精度和高表面品質的研磨、拋光加工，主要用於金屬加工的最後一道表面精度與紋理精修之作業。因此，磨床為因應不同金屬材料的基礎外型研磨加工發展各種型式的磨床，如圖 1.5 所示。以下為常見的工具機磨床類型，說明如下：



資料來源：福裕事業網站型錄

**圖 1.5 磨床**

**(1) 平面磨床 (Surface Grinder) :**

A. 用於磨削工件的平面，提高其平整度和表面品質。

B. 適用於平面和薄片狀工件的磨削。

**(2) 圓柱磨床 (Cylindrical Grinder) :**

A. 用於對圓柱形工件進行外徑和內徑的磨削。

B. 適用於軸狀工件和圓筒形零件的磨削。

**(3) 內外圓磨床 (Universal Cylindrical Grinder) :**

- A. 具有旋轉和進給能力，可實現外徑和內徑的磨削。
- B. 提供更大的加工靈活性。

**(4) 工具磨床 (Tool and Cutter Grinder) :**

- A. 用於磨削和修復刀具，包括銑刀、鑽頭、鉗子等。
- B. 適用於工具製造和維護。

**(5) 中心孔磨床 (Centerless Grinder) :**

- A. 用於磨削長而細的工件，無需使用中心支撐。
- B. 適用於高產量和高精度的磨削。

**(9) 內徑磨床 (Internal Grinder) :**

- A. 用於對內徑進行磨削，例如對孔進行精確的加工。
- B. 適用於需要內部加工的工件。

**(10) 滾子磨床 (Roll Grinder) :**

- A. 用於磨削金屬和非金屬滾子，例如鋼鐵軋輪。
- B. 適用於鋼鐵和金屬製造行業。

**(11) 齒輪磨床 (Gear Grinder) :**

- A. 用於磨削齒輪，提高其精度和表面品質。
- B. 適用於齒輪製造行業。

**(12) 萬能磨床 (Universal Grinder) :**

- A. 具有多功能和多用途的特點，可進行平面、圓柱和工具的磨削。
- B. 提供更大的加工靈活性。

**5. 鋸床 (Bandsaw Machine) :**

工具機鋸床是一種用於進行切割和鋸斷操作的機械設備，通常應用於金屬、木材和其他材料的切割加工，依照不同條狀、柱狀工件架設方向與尺寸，發展各式鋸床，如圖 1.6 所示，說明如下：



資料來源：高聖精密網站型錄

圖 1.6 鋸床

**(1) 臥式鋸床 (Horizontal Bandsaw) :**

- A. 刀條水平切割，工件水平方向放置。
- B. 適用於對較大尺寸和複雜形狀的工件進行切割。

**(2) 立式鋸床 (Vertical Bandsaw) :**

- A. 刀條垂直放置，工件在水平方向上進行切割。
- B. 適用於對較小尺寸的工件進行精細切割。

**(3) 雙頭鋸床 (Double-Column Bandsaw) :**

- A. 具有兩個鋸頭，可同時進行雙面切割，提高效率。
- B. 適用於高產量的切割需求。

**(4) 半自動鋸床 (Semi-Automatic Bandsaw) :**

- A. 具有半自動進給和切割功能，需要操作員進行工件的裝夾和設置。
- B. 適用於中小型批量生產。

**(5) 全自動鋸床 (Automatic Bandsaw) :**

- A. 具有全自動進給、切割和卸料功能，無需操作員介入。
- B. 適用於大規模生產和連續運作。

**(6) 徑向鋸床 (Radial Arm Bandsaw) :**

- A. 具有可調節的臂，鋸頭可以在水平和垂直方向上移動。

B. 適用於加工大型和異形工件。

**(7) 冷鋸床 (Cold Saw) :**

A. 使用冷卻劑降低切削區域的熱量，適用於金屬切割。

B. 提供高精度和表面品質。

**(8) 帶式鋸床 (Belt Saw) :**

A. 使用連續的帶鋸進行切割。

B. 適用於切割較薄的金屬或非金屬材料。

**6. 搪床 (Boring Machine) :**

搪床是一種用於對工件進行圓筒狀工件之內徑進行加工的機械設備，主要用於加工圓孔或圓柱內表面的精度加工。最早為 17 世紀工業革命為進行火車圓筒零件加工所發展之工具機設備，由英國發明家 John Wilkison 於 1764 年發明炮筒搪床，可針對空心圓筒內徑進行引擎汽缸的真圓度加工，讓汽缸內壁活塞可進行精密配合，以達到穩定動力輸出，為影響工業革命發展最關鍵的工具機設備。直至今日搪床仍為大型箱型零件與圓筒零件加工的主要設備，並依不同零件加工方向、外型衍生為各式搪床，如圖 1.7 所示，說明如下：



資料來源：永鉅精密網站型錄

**圖 1.7 臥式搪床中心機**

**(1) 普通搪床 (General Purpose Boring Machine) :**

A. 常用於對較大型工件進行內徑加工。

B. 適用於製造工程機械、汽車零件等。

**(2) 臥式搪床 (Horizontal Boring Machine) :**

- A. 工作臺水平放置，搪刀軸水平置放。
- B. 適用於大型工件和需要橫向搪孔的應用。

**(3) 立式搪床 (Vertical Boring Machine) :**

- A. 工作臺水平放置，搪刀軸垂直置放。
- B. 適用於大直徑、較短高度的工件。

**(4) 數控搪床 (CNC Boring Machine) :**

- A. 配備數控技術，實現高精度和自動化加工。
- B. 適用於複雜形狀和高精度要求的工件。

**(5) 臥式臂式搪床 (Horizontal Bed-Type Boring Machine) :**

- A. 工作臺水平放置，鑽頭水平。
- B. 適用於中大型工件和需求水平搪孔的應用。

**(6) 移動立式搪床 (Moving Column Vertical Boring Machine) :**

- A. 鑽頭在垂直方向上移動，提供更大的加工範圍。
- B. 適用於高工件高度的應用。

**(7) 數控移動臥式搪床 (CNC Moving Column Horizontal Boring Machine) :**

- A. 配備數控技術，具有橫向移動功能。
- B. 提供高精度和高效率的加工。

**7. 刨床 (Shaping Machine) :**

工具機刨床是一種以直線運動方式削除工件表面金屬材料的加工設備，其類似木工雕刻直線時的刨削動作，主要用於對平面、曲面、槽口等工件加工。在 17 世紀工業革命時，為提高火車零部件製造精度更發展可進行大平面加工牛頭刨床。鉋床主要可依刀具運動方向分為臥式、立式 2 大類，如圖 1.8 所示。說明如下：



資料來源：有而順機械網站型錄

圖 1.8 刨床

- (1) 臥式刨床 (Horizontal Shaping Machine) :
  - A. 工作臺水平放置，刀架在水平方向上運動。
  - B. 適用於對平面進行刨削。
- (2) 立式刨床 (Vertical Shaping Machine) :
  - A. 工作臺垂直放置，刀架在垂直方向上運動。
  - B. 適用於對立面進行刨削。
- (3) 臥式臂式刨床 (Horizontal Slotting Machine) :
  - A. 工作臺水平放置，刀座可以水平和垂直方向移動。
  - B. 適用於切削槽口和鍵槽。
- (4) 立式臂式刨床 (Vertical Slotting Machine) :
  - A. 工作臺垂直放置，刀座可以水平和垂直方向移動。
  - B. 適用於切削槽口和鍵槽。
- (5) 臥式臂式自動進給刨床 (Automatic Horizontal Slotting Machine) :
  - A. 自動進給，提高生產效率。
  - B. 適用於批量生產和重復刨削操作。
- (6) 臥式臂式數控刨床 (CNC Horizontal Shaping Machine) :
  - A. 配備數控技術，實現高精度和自動化加工。
  - B. 適用於複雜形狀和高精度要求的工件。

## 8. 複合加工設備與專用設備：

隨著時代的發展，單一加工功能已無法滿足生產需求，如當今電子及汽車零件的快速進化，對於其零件外型的演變也逐漸變得複雜，且對於加工精度的要求也變得更高。此外，這些零件因追求能快速高效率的大量生產，也促進部分工具機朝向快速大量生產的複合加工設備與專用設備發展。

### (1) 轉台式多工站加工機 (Rotary Transfer Machines)：

轉台式多工站加工機為典型針對客戶需求所開發的專用加工設備。其主要將各種加工工序以流水線加工站的方式整合至單一工具機設備上進行生產加工。

整合各種加工技術在單一台工具機上實現工件全套加工工序，例如車削、珩磨、測量、組裝和檢測。且由於工件為透過多個工件轉塔刀架完成 5 軸加工，無需重複定位，也因此確保加工過程中的高精度，並藉由轉台快速進行上下料縮短非生產時間，達到在大批量生產時提升更高的生產效率，如圖 1.9 所示。



資料來源：WITZIG & FRANK 網站型錄

圖 1.9 轉台式多工站加工機

### (2) 車銑/銑車複合機 (Turn-Mill Machine、Mill-Turn Machine)：

隨著終端應用市場對於複雜零件外型的需求增加，以單一加工工法的工具機設備已無法滿足客戶需求，因此催生出將車削、銑削整合的車銑/銑車複合機的開發。早期基本的車銑複合機，是由 X/Z/C 軸組合而成，所謂的 C 軸為主軸搭配編碼器做解析，達到千分之一度的精度，並且搭配動力刀塔做銑削的工作。而到 2000 年，工具機廠商為了提高加工速度，開發 Y 軸的加工應用，可進行側面銑削加工，速度上

較傳統的 3 軸 X/Z/C 的加工時間更快速，可應用汽機車零件加工、航空航天、醫療生物、能源、軍事工程等高精密度領域。

- A. 由於車銑/銑車複合機能夠達到在一次夾持工件後，完成多道加工工序。因此可大幅減少夾鬆的次數，有效避免加工時因夾持位置的基準轉換所導致的錯誤累積，可大幅提升加工成品的精度。
- B. 車銑複合機上的動力刀塔可一次安裝多把刀具，進而減少各道工序更換刀具的時間，從而縮短產品的總加工時間，提高加工效率。
- C. 車銑/銑車複合機為將車削、銑削主軸以緊湊的外形設計整合至單一機台內，因此可大幅節省機台占地空間。
- D. 近年隨著電動車等新興領域的的加工需求，複合加工機除了車削、銑削工法外，已整合齒輪加工、磨削、雷射加工等工法，如圖 1.10 所示。



資料來源：MAZAK 網站型錄

圖 1.10 車銑複合式加工機

## (二) 成型加工工具機

成型加工工具機為以「塑型」為核心的金屬加工工法，工件加工前後的品質近乎不變，透過彎曲、擠壓、抽拉、延伸等方式，配合模具或其他周邊裝置，將原料塑型成所需形狀及尺寸。成型加工設備可依功能分為鍛壓機、衝壓機、壓力折彎機等，而隨著伺服系統、油壓技術的演進，當今成型加工工具機設備發展已逐漸將鍛壓、衝壓等設備功能整合為可進行高效率加工的衝壓床。

### 1. 衝壓床 (Stamping Press)：

衝床，如圖 1.11 所示，是利用壓力使金屬形變來達到所要求的外形，主要可用在金屬板上衝孔、切割、成型和壓印等。常見的衝床是透過馬達帶動曲軸使滑塊移動，而近年的衝床設備更改以伺服馬達來施以不同速度與壓力將板材進形更精確的塑形，各類衝床說明如下：



資料來源：協易機械網站型錄

圖 1.11 衝床

#### (1) 機械衝床 (Mechanical Punch Press)：

- A. 使用機械駐點來提供衝擊力，通常是通過飛輪、連桿等機械結構驅動。
- B. 適用於中小型生產和一般的衝孔、剪切等工藝。

#### (2) 液壓衝床 (Hydraulic Punch Press)：

- A. 通過液壓系統提供衝擊力，相對於機械衝床更靈活，能夠實現可變衝擊力和加工速度。
- B. 適用於更大尺寸的工件和較為複雜的衝孔操作。

#### (3) CNC 衝床 (CNC Punch Press)：

- A. 配有數控(Computer Numerical Control)系統，可以實現精確控制和自動化操作。
- B. 適用於高精度、大批量和多樣化的衝孔、剪切、成型等操作。

**(4) 衝壓成型機 (Stamping Press) :**

- A. 用於將金屬板材塑形為特定形狀，例如製作車身零件、家電外殼等。
- B. 常用於大型生產線中。

**(5) 多工位衝床 (Multistation Punch Press) :**

- A. 具有多個工作站，可以同時進行不同的衝孔和成型操作。
- B. 提高生產效率，適用於大量生產。

**(6) 伺服衝床 (Servo Punch Press) :**

- A. 使用伺服馬達來提供精確的控制和調整。
- B. 適用於高精度和靈活性要求的加工。

這些衝床類型各自擁有不同的特點，可應對不同形狀、大小和厚度的金屬板加工需求。選擇合適的衝床類型取決於具體的生產要求和加工應用。

**2. 彎管機 (Stamping Press) :**

彎管機是一種專門用於將金屬管材或其他材料管材進行彎曲加工的設備。廣泛應用於汽機車，家具，造船，冷熱交換器，航太業，運動用品，醫療器材等行業。根據不同的需求，彎管機有多種款式和功能，主要可分為以下幾類：

**(1) 傳統彎管機 (Tube Bending Machine) :**

- A. 利用機械傳動原理進行彎曲，適合一些標準化的生產需求。
- B. 結構簡潔，操作及維修容易。

**(2) 半自動彎管機 (Semi-Auto tube bending machine) :**

- A. 操作簡單，透過液壓系統進行管材彎曲，具有較大的彎曲力，適合較大直徑的管。
- B. 提高生產效率，適用於大量生產。

**(3) CNC 彎管機 (CNC Tube Bending Machine) :**

- A. 配有數控(Computer Numerical Control)系統，可以實現所需形狀和曲線的製作。

B. 通過計算機程序控制機械運動，以達到高精度的管材彎曲。

### (三) 其他加工工具機

其他加工工具機為針對有別於單純以「材料移除」及「材料塑型」為核心的金屬加工工法的生產設備，可同時具備「材料移除」、「材料塑型」2種金屬加工工法，目前常見的設備為放電加工機、線切割機、鑽孔放電加工機、水刀切割機。

#### 1. 放電加工機 (Electrical Discharge Machining, EDM)：

是一種非傳統的金屬加工方法，通過在工件和電極之間通過電脈衝放電的方式，來實現精密的切削，如圖 1.12 所示。放電加工機通常用於製造模具、鑄造模型、高精度零件以及具有複雜形狀的工件，近年更有因應複雜造型加工而整合 3D 列印積層製造的複合設備，說明如下。



資料來源：徠通科技網站型錄

圖 1.12 放電加工機

#### (1) 線切割機 (Wire EDM)：

- A. 使用金屬線作為電極，通過控制電脈衝來實現工件的切削。
- B. 適用於製造複雜形狀的零件，如模具和工具。

#### (2) 鑽孔放電加工機 (EDM Hole Drilling)：

- A. 用於在工件中鑽孔，通過電脈衝放電達到切削的目的。
- B. 常用於製造氣孔、冷卻孔等精密孔洞。

#### (3) 沉降式機 (Sinker EDM)：

- A. 使用電極沉降到工件上，通過電脈衝放電進行切削。

B. 適用於加工具有複雜形狀和高精度要求的工件。

**(4) 快速積層製造機 (EDM 3D Printing) :**

A. 將放電加工機與 3D 打印技術結合，逐層製造金屬零件。

B. 可以製造複雜形狀的金屬組件。

**2. 水刀切割機 (Water jet cutter) :**

水刀是一種利用高壓水流切割材料的設備，如圖 1.13 所示，主要通過將水流加壓至極高的壓力(通常在 30,000 到 90,000 psi 之間)，然後通過細小的噴嘴噴出，形成一條細而強勁的水流，從而實現對各種材料的切割。水刀特點在於沒有熱應力，因此可在無高溫的切割過程中使被切割物不會有化學變化，且不會變形。

(1) **高切割精度：**水刀能夠實現非常精細的切割，適合複雜形狀的加工需求。

(2) **多材料適用性：**可以切割金屬、石材、玻璃、陶瓷、塑料等多種材料，幾乎不受材料性質的限制。

(3) **無熱影響區：**由於切割過程中不會產生高溫，因此切割材料的結構和性能不會受到影響，避免了熱變形或熱應力。

(4) **環保性：**水刀切割過程中不產生有害氣體或粉塵，對環境友好。



資料來源：舜格有限公司網站型錄

圖 1.13 水刀切割機

### 三、工具機之應用、功能等級分類及加工精密

#### (一) 因應各領域需求技術發展方向

關於工具機設備廣泛應用在航空、汽車、能源、醫療、3C、金屬加工等相關產業，請參閱圖 1.14。



資料來源：精密機械研究發展中心調查、整理

圖 1.14 工具機設備應用產業

## 1. 航空產業

以航空器市場為例，該市場主要集中於美國與歐洲，終端兩大客戶為波音與空中巴士兩家航空器製造廠商，除了難以公開的軍用機將維持大部份零件在美國與歐洲生產之外，為因應中國大陸與東南亞的機場數量與民航機起降次數的大幅提升，連帶規模逐漸擴大的零件保養維修市場需求，民航機保養維修用零件的訂單也逐漸釋出由亞洲新興國家生產，例如：渦輪引擎扇葉、渦輪軸等。該產業所需求的工具機以行程超過 2 公尺的大型工具機為主，具有很高的專用性，例如：機翼的加工。此外，該產業的需求著重於工具機的加工速度、生產力、製程穩定度與切削移除率，對於複雜構型的零件，例如：渦輪引擎扇葉，則必須使用到具備五軸運動控制功能的工具機。近年來，更由於 CFRP 等複合材料的導入應用，在金屬材料的切削加工之外，也相應產生處理難切削材料的需求，例如：CFRP 材料在加工時容易產生毛邊與材料剝離的現象。

## 2. 汽車產業

汽車產業是目前使用工具機的最大宗產業，該產業的生產量以日本與美國較為突出，但近年來中國、印度、東南亞國協等新興國家的汽車生產量持續提升，是未來的市場所在。而隨著汽車消費者購買意向與汽車基本構型（如：燃油引擎車、油電混合車、電動車）的多樣化，汽車產業的目標是建立靈活度高的生產型態，必要時可以隨時增補或更動生產線。因此該產業所需求的工具機以行程在 2 公尺以內的工具機為主，適用機種多為臥式綜合加工機與具有車銑複合功能的工具機，並需要與汽車生產線高度整合，同時著重於工具機的通用性、彈性生產、加工速度、生產力與循環時間，若能搭配強大的生產管理平台，將受到汽車產業的青睞。

## 3. 能源產業

能源產業的市場主要在中國、歐洲與美國，是新興且成長快速的產業，目前風力發電是綠色能源的選擇之一，為了提高發電效率，有加工大型齒輪與扇葉的需求，該產業所需要的工具機以行程在 2 公尺以上的大型工具機為主，適用機種多為立式工具機與具有車銑複合功能的工具機，同時著重於工具機的生產力、工件表面加工品質、製程穩定度。

## 4. 醫療產業

醫療器材產業的市場主要在日本、美國與歐洲，是新興且成長快速的產業。需要使用工具機進行加工的零件主要有人工關節、骨釘、骨板、牙根、假牙等，其中的膝關節、髖關節、肩關節、肘關節、腕關節等人工關節，需要採用含 B 軸、C 軸之複合加工機，而骨釘、骨板、牙根、假牙等則需使用小型高速加工機台進行加工。

因此，該產業所需求的工具機以行程在 1 公尺以內的小型工具機為主，加工狀態多屬於輕切削，適用機種多為具有五軸運動控制與車銑複合功能的工具機，著重於工具機的工件表面加工品質與製程穩定度。

## 5. 3C 產業

3C 電子產業主要的市場在中國、臺灣，產品主要有液晶電視、筆記型電腦、平板電腦、智慧型手機、數位相機等，市場持續穩定成長。該產業的成長將帶動金屬外殼、玻璃面板等加工需求，因此該產業所需求的工具機以行程在 1 公尺以內的小型工具機為主，加工狀態多屬於輕切削，著重於工具機的彈性生產、加工速度、生產力、工件表面加工品質與製程穩定度。

## 6. 金屬加工產業

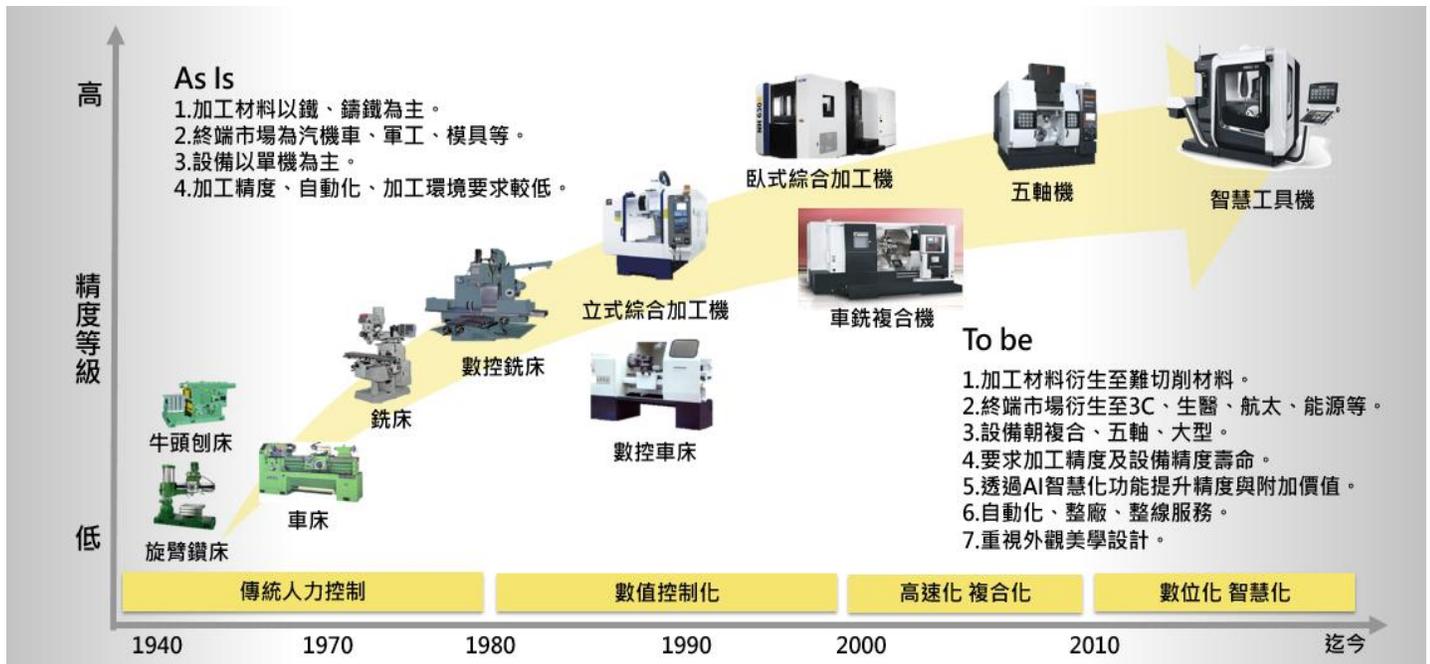
金屬加工產業主要是國內的內需市場，將製造出來的產品零件組裝成機械設備，再出口到世界各地，雖然客戶端皆為國內廠商，但是卻是金屬出口業中不可或缺的重要環節。由於主要的產品多為機械設備的零組件，因此，金屬加工產業中應用最多的加工機，多是屬於行程小於 1 公尺的工具機，以及小行程的多軸加工設備。加工狀態屬於複合的輕重切削模式，且要求工具機可以具有高加工速度與高表面精度的功能，而在多軸加工狀態下，會特別要求多軸同動切削時的切削曲率正確性。

表 1.1 終端產業對工具機的需求一覽表

終端產業 項目	航空	汽車/ 電動車	能源/風電	醫療	3C/ 半導體	金屬加工
工具機應用 機種	五軸綜合加工機、大型龍門加工機、立式車床	臥式綜合加工機、車銑複合機、五軸綜合加工機	複合、大型龍門加工機、搪銑床	小型高速加工機、車銑複合加工機、多軸工具磨床	小型高速加工機	立式銑床 車銑複合機 3+1~2 軸綜合加工機
加工產品 種類	航空器結構零件	車身/車體板金零件 車用零組件	發電機/能源開採設備零組件	骨釘/骨板 人工關節 假牙	機殼 模具 玻璃面板	各式設備金屬零件 汽機車改裝飾品
適用工具機 行程	大於 2 公尺	小於 2 公尺	大於 2 公尺	小於 1 公尺	小於 1 公尺	小於 1 公尺
主要市場	中國、美國、歐洲	中國、印度、東協	中國、美國、歐洲	美國、歐洲	臺灣、中國	臺灣內需市場

終端產業 項目	航空	汽車/ 電動車	能源/風電	醫療	3C/ 半導體	金屬加工
				、日本		
產業特性	<ul style="list-style-type: none"> <li>✓ 專用程度高</li> <li>✓ 複雜曲面加工</li> <li>✓ 高負荷</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>✓ 大量生產</li> <li>✓ 整線生產</li> <li>✓ 逐漸高度自動化</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>✓ 高度客製化</li> <li>✓ 高切削能力</li> <li>✓ 高負荷</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>✓ 少量多樣生產</li> <li>✓ 加工精度高</li> <li>✓ 複雜曲面加工</li> <li>✓ Machin cell 自動化生產</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>✓ 大量生產</li> <li>✓ 設備汰換率高</li> <li>✓ 對工件的表面品質要求高、尺寸精度次之</li> <li>✓ 設備採購以成本為導向</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>✓ 少量多樣生產</li> <li>✓ 複雜曲面加工</li> <li>✓ 表面精度高</li> <li>✓ 客製化需求高</li> </ul>
對工具機的要求	<ul style="list-style-type: none"> <li>✓ 剛性</li> <li>✓ 生產力</li> <li>✓ 製程穩定度</li> <li>✓ 切削移除率</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>✓ 彈性</li> <li>✓ 速度</li> <li>✓ 生產力</li> <li>✓ 循環時間</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>✓ 剛性</li> <li>✓ 乘載力</li> <li>✓ 生產效能</li> <li>✓ 工件品質</li> <li>✓ 製程穩定度</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>✓ 表面品質</li> <li>✓ 製程穩定度</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>✓ 速度</li> <li>✓ 生產力</li> <li>✓ 表面品質</li> <li>✓ 製程穩定度</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>✓ 製成穩定性</li> <li>✓ 一機多用</li> <li>✓ 高速高精功能齊全</li> <li>✓ 表面品質佳</li> </ul>

資料來源：精密機械研究發展中心調查、整理



資料來源：精密機械研究發展中心調查、整理

圖 1.15 工具機功能等級分類及加工精密度

## (二) 工具機與零組件的技術對策

針對航空、汽車、3C 電子、能源、醫療器材等終端產業對工具機的需求與要求，工具機暨零組件有以下可行的技術對策因應，同時也是未來的技術發展趨勢。

### 1. 高速化

要做到工具機的高速化，最直接的方式就是從主軸與旋轉軸著手，提高加減速度與縮短反應時間，或是藉由機械設計讓移動件的結構輕量化，並提高伺服剛性、發展高扭矩馬達，以同時減輕負載與提升驅動能力的方式來達成高速化目標。除了提高主軸與旋轉軸的加減速度之外，縮短非加工時間也是一種提高加工速度的方式，而刀具交換與工件的上下料均是相當耗費時間的非加工程序。

在舊有的觀念中，工件加工到某一步驟後，刀具將會退回到起始位置進行自動更換刀具，換上適合進行下一步驟加工的刀具之後，再次前往工件所在位置進行加工。在工件加工的過程中，可能會面臨數次的刀具交換，如何縮短刀具的交換時間就成為一項重要的課題。發展連動式換刀機構、擺動式換刀機構，藉由多刀塔設計縮短刀塔回轉時間，以及配合多刀庫的管理系統，以上都是確實提升換刀效率的方法，但能夠縮短的時間終有瓶頸，無法無限制地縮短。

較為創新的觀念是同時將多把可進行切削加工的刀具，直線式地固定排列，當有需要更換加工刀具時，承載工件的移動台就將工件移動到目前加工步驟所需要的

刀具位置上進行加工。至於工件的上下料則可以利用工件的排列，以及擴充料件交換台等方式，縮短待料與換料的時間。另外，在單一台工具機中，同時控制多頭、多主軸針對同一工件進行加工，也是另一種提高加工速度的方式，技術上的關鍵在於分度盤以及多軸同時加工的運動控制系統。

## 2. 高負載 (大型化)

為因應大型零件的加工，大型工具機需重視負載能力的提升，以及減低負載對加工精度的不良影響。該項目有五個技術議題：高扭矩轉台、長行程驅動、液靜壓系統、抑制因自體重量而產生的變形，以及不同載重係能與加/減速參數的對應問題。高扭矩轉台與長行程驅動的關鍵在於控制齒輪、齒條的背隙，背隙愈趨近於零，對於提高轉台扭矩與驅動行程則愈有利。而液靜壓系統的負載能力與對加工精度的影響，則取決於軸承零件的設計與加工。至於抑制因自體重量而產生的變形，關鍵在於油壓的配重與油壓變形的調整，以控制油壓的配重與變形，達到抑制與補償工具機因自體重量而產生變形的目的。

## 3. 多軸複合同動控制

為因應汽車、3C 電子、能源、醫療器材等終端產業在加工生產零件方面的彈性需求，強化複合加工應用是必須重視的項目，包括：車削、銑削、磨削、滾齒、銑齒、雷射、超音波、放電、3D 列印、熔接等各種加工方式的複合加工。依據需求的不同，複合加工機有多種不同的型式，例如：雷射/銑削複合加工機、附帶雷射精細切削(Fine Cutting)的 CNC 車床、搭配金屬片磨擦接合功能的綜合加工機(MC, Machine Center)、具備齒輪加工功能的鑽孔攻牙中心機(TC, Tapping Center)、五軸綜合加工機整合積層製造(AM, Additive Manufacturing)功能的複合加工機等。由於複合加工機具備兩種以上加工功能，一般需要控制的軸數較多，要做到精細的加工或規畫較複雜的加工路徑時，多軸同步控制技術就顯得重要。目前的技術趨勢是採用 Ether CAT 通訊方式串連全線控制系統，包含：控制器、驅動器、馬達、編碼器及 I/O 等，各軸、各裝置可以藉由串列式傳輸進行溝通、並行控制與協同作業，Ether CAT 通訊方式具備各軸控制參數與回授變數的透明度，以及即時控制能力，適合搭載於車銑複合這類軸數複雜的工具機，並與其他工具機及自動上下料用的機械手臂整合成一可協同作業的加工站。

## 4. 系統化

為因應終端產業對彈性生產、縮短生產週期的需求，採用系統化方式將生產廠房內不同的工具機加以整合，是提高生產效率的好方法，也是未來的技術發展趨勢。工具機模組化是系統優化技術的其中一個發展方向，實務上的做法有兩種：其一是將不同加工功能模組化後並排排列，另一是在同一工具機上放置多個加工模組，例

如：將各別具有車床、鑽孔、銑床功能的三個模組安裝於同一工具機。工具機模組化的好處是能夠快速因應彈性生產的要求，在最短的時間內完成加工生產線的更動，或是製程工序的改變。

而為了發揮模組化工具機最大效能，快速因應彈性生產的要求，適用於生產線的機器人或機械手臂是必須導入應用的設備。機器人或機械手臂可以應用在加工件的安裝、拆卸與搬運移動，或是進行拋光加工、脫模、量測等輔助工作。證明了除了工具機廠商之外，跨域間的加乘及連動，對於產業鏈及產業經營方面，具有很強的正面效益。

另一個系統優化技術的發展方向是擴增刀具庫的容量。為了能夠加工結構複雜的工件，發展大容量刀庫也是必要的項目，例如：目前刀具的配置層數已經從最多兩層擴增到最多四層，四層配置時可以同時收納高達 453 種刀具。而與刀具有關的加工機附屬組件要如何設計才能讓工具機發揮更大效能，也是未來需要發展的重點項目之一。

另外，為了建立智慧型工廠，工具機的智慧化與工具機之間的系統整合，也是系統優化技術的發展趨勢，其中的關鍵在於 CNC 控制器的創新應用。例如：CNC 控制器整合 CAD/CAM 與工件特徵辨識，能夠模擬、安排、調整、監控加工製程的工序與刀具移動的路徑，而所有相關的製程參數、加工生產訊息也可以在第一時間藉由通訊界面傳送給中央控制站，由中央控制站統一管理、再利用相關資訊，並整合廠房內所有的工具機，視生產狀況統一安排、調整生產流程，形成一個智慧型的生產系統。

做到智慧型的生產系統，需要彙整廠房內所有工具機的相關資訊，例如：使用各種光學尺及感測器的輸出資料、監控各系統稼動狀況的資料，以及量測工件形狀、刀具及表面粗度的資料，由於各類數據的資料量龐大，在雲端建立大容量的資料庫來儲存、整理、分析資料，並將資料轉換成可重複再利用的資訊，諸如：技術資訊、生產資訊、管理資訊，也是一種新興的技術趨勢。

## 5. 控制系統整合

為因應終端產業的加工需求，五軸或車銑複合加工技術倍受重視，例如：航空產業的渦輪葉片、汽車產業的板金、能源產業的風力發電機用葉片、醫療產業的人工關節、3C 產業的弧形機殼等，都需要用到五軸或車銑複合加工機，而其中的控制系統更是直接影響到加工品質與效率。

從目前的加工作業過程來看，CAD、CAM、後處理裝置、CNC 控制器各自所負責的工作仍是壁壘分明，技術也是各自發展，僅只有前後程序串聯而沒有整合。未

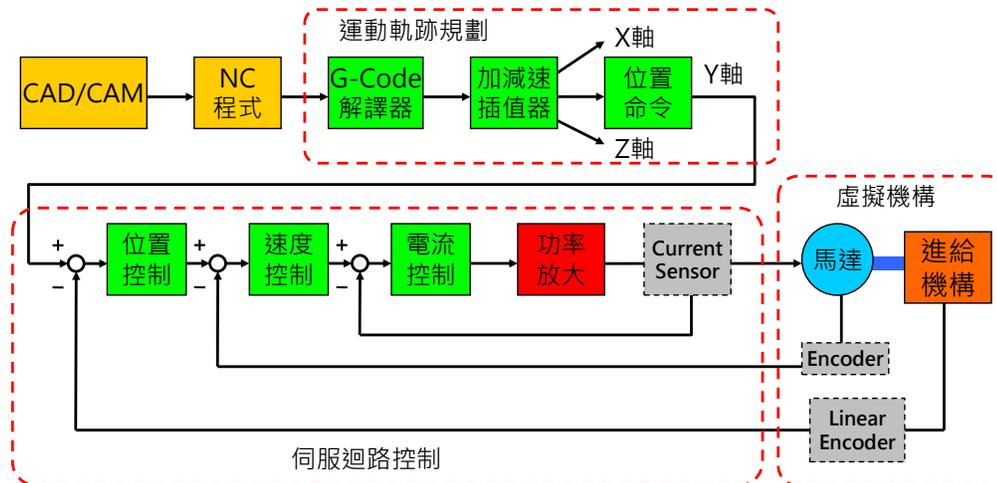
來的控制器技術趨勢是將完整的 CAM 功能整合到 CNC 控制器內，一端將 CAM 當中的製程規畫功能與 CAD 做整合，另一端將 CAM 當中的運動軌跡規畫功能與 CNC 做整合，並以 CNC 控制器做為處理的核心，在統一對驅動器下達控制命令。

這是一種以加工程序做為控制對象的新觀念，也別於現行以工具機為控制對象的方式。採用以加工程序做為控制對象的方式，可以在加工的同時產生伺服回饋資料，例如：切削條件、馬達的扭力、刀具的位置與姿態等，將有助於處理切驅動器/馬達的驅動、削負荷的適應控制、製程規畫無法掌握及預測等問題，也有助於工具機的自動化與智慧化。

要達成上述目標，就必須先做到加工指令用 CL 資料的標準化，並足以取代 G 碼、M 碼。若能夠以標準化的 CL 資料控制工具機或加工程序，CNC 關聯功能的定義、PLC 資訊的定義也能同時標準化，就無須加工路徑規畫的後處理裝置，有助於建立刀尖點控制功能、刀具對於干涉的迴避、加工資料與切削條件資料庫，且檢驗刀具運動路徑的模擬裝置之可性度也會隨之提高。

另外，無論是哪一個產業領域，例如：航空、汽車、能源、醫療、3C 等產業，終端客戶對工具機的要求均朝向高材料移除率、高進給速度、高輪廓精度或低表面粗糙度來發展。但工具機業者在面對新型工具機的開發時，多數的業者僅能參考類似機型規格並利用過往的經驗來進行機械結構開發，再依其生產流程進行發包、組裝、配電、控制參數調整及測試等工作，由於設計過程缺乏分析數據，在新產品測試過程中常常需藉由不斷的測試，將問題回饋至機械設計端或控制端，再經過多次的調整與修正才能達到預期性能，其過程不僅耗時，修改過程也需不斷投入成本，對於新產品的開發更無法掌握開發設計品質。

為了改善新產品開發的品質，透過使用有限元素法(FEM)進行結構分析，FEM 可在產品設計時預測工具機靜剛性、動剛性、模態及熱變形等，但對於進給系統的伺服響應、循跡精度等仍無法在設計時就進行性能預估。未來將可透過機電一體化分析技術來建立虛擬工具機模型，與控制器命令及伺服迴路連結後，即可在虛擬工具機上進行各種性能的測試及參數優化，請參閱圖 1.16。機電一體化協同模擬架構所示，控制系統與機械系統的設計同時並行，在實體工具機完成前即可進行運動軌跡精度預測、控制參數與機械系統的設計優化，除了可大幅縮短新產品開發的測試時程，更可提升設計品質。



資料來源：精密機械研究發展中心整理

圖 1.16 機電一體化協同模擬架構

目前虛擬工具機模型是利用多體動力學分析軟體所建立的機械模型，其機械特性與實機的特性需盡可能的接近，才能將其動態特性真實的表現出來，但目前設定的參數大多由零組件手冊上所提供資料或由公式計算後取得，其數據的準確性仍待驗證，未來工具機業者可與學術或研究單位合作建立與工具機分析所需參數資料庫，如軸承、線性滑軌、螺桿及鎖固面剛性及阻尼等參數，當虛擬工具機與實機的機械特性接近後，才能顯現出機電模擬整合分析的價值。

現階段大部份的 CNC 控制器仍未開放命令輸入與輸出供模擬使用，且各家控制器的運動軌跡規畫、伺服迴路參數、補償功能、參數定義及共振抑制機能等皆有所不同，彼此無法互換，若搭配不同的控制器將可能得到不同的模擬結果，期望未來國內控制器能開放控制命令輸出至虛擬工具機使用，並在同一時脈下進行資料交換，利用實體控制器與虛擬機器進行機電一體化整合分析，將可共同提升機械與控制性能。

## 6. 各式能源類的特殊加工方式

為了應對終端產業的產品需求以及因應各種加工材料的特性，除了傳統的刀具切削加工之外，工具機產業也應該視需求應用各種具有高能量的能源作為加工方式，超音波加工、放電加工、雷射加工、水刀加工是近期內受到注目的領域。

以往的超音波加工大多應用在玻璃或陶瓷材料，未來的超音波加工適合應用於 CFRP、藍寶石玻璃、石英、石墨等材料，可以針對尖銳刀角的部分來進行加工，例如：渦輪、葉片的尖銳處，與傳統的刀具加工相較，不容易產生渦輪、葉片破損的狀況。該技術發展著重於變幅桿的設計與夾持方式，以及超音波頻率的控制。

放電加工適用於小型且形貌複雜的模具加工，該技術發展著重於電流迴路的設

計、放電波形的控制，而若能建立加工件的特性對應選擇放電波形的專家系統，則最能符合終端產業的需求。

雷射加工常應用於鋁、鈦、鎳、銅及非金屬材料的加工，特性是被加工件的邊緣無明顯缺陷，因此應用雷射加工技術對於工具機廠、刀具廠或其他需加工刀刃的廠商均有好處，例如：以一般的加工方式很難進行刀具的斷屑槽加工，但若改以雷射加工方式則很容易做到，因此廠商能夠透過雷射加工做出所想要的刀刃形狀，可作為技術優勢、發展差異化的產品。該技術發展著重於雷射功率及波長設計、氧化氣流及噴嘴設計、透鏡交點位置設計。

水刀加工技術過往都是應用在石材、鈹金等材料的粗糙面加工，未來的水刀加工技術可以應用於 CFRP 複合材料、壓克力、玻璃、塑膠等材料，針對工件的細微部份來進行加工，例如：植入人體的醫療零件、小型的鐘錶零件等，該技術發展著重於高壓水刀噴射壓力的控制。

## 7. 新材料應用於機台結構件

工具機的結構以及組件，例如：底座、立柱、工作台、鞍座、軸承、滾珠螺桿、護罩等均是由機械結構材料所構成，目前常用於工具機的結構材料有：鑄鐵鋼板、合金鋼、軸承鋼與複合材料等。為了因應終端產業對於工具機的高精度、高剛性、高速度、省能源、低成本等要求，如何應用新材料製作工具機的結構件，成為一項必然的技術發展趨勢，未來有可能被廣為使用的新材料將會更多元，包含：高強度混凝土、人造花崗岩、多孔質金屬材料、發泡金填充材料、鋁鎳合金、複合材料、陶瓷材料等。理想的工具機結構材料應具有高剛性、系統線膨脹接近零（高彈性模數），且具有較高的內部能量衰減特性。但是實際上，目前尚未找到適合工具機使用的終極理想材料，主因是高彈性模數與高內部能量衰減特性是難以並存在同一種材料之中的，以鑄鐵材料為主的結構件並不容易得到高剛性、高彈性模數與高內部衰減能三者兼具的最佳結果。未來，在移動零部件上使用輕量化、高剛性的複合材料，也是優先會被討論的技術課題之一，但必須同時注意的是複合材料可能衍生的其他問題，例如：材料連結處因熱傳導率差異產生的斷熱現象，導致複合材料的內部溫度不均，甚至因零件間發生電位差而引起腐蝕等值得探討的反效果。

## 8. 新材料的加工應用

航空器、醫療器材、能源等產業用的相關零件經常使用鎳合金、鈦合金、CFRP，上述材料的特性與一般金屬材料有所差異，是屬於不易進行切削加工的材料。

以鎳合金為例，由於鎳基合金具有超高的耐熱特性，常用於製造火箭或渦輪機用的環形零件、外殼等需要於高溫環境條件下工作的零件。在切削加工時，最常見

的問題是刀具會在開始切削後，短時間內達到高溫，以致於刀具的損耗嚴重且縮短使用壽命，難以順利進行切削加工。藉由開發複合材料的刀具或應用鍍層與改變刀角度的方式，以提高刀具強度、延長刀具壽命，是解決問題的方法之一。此外，採用冷凍硬化吸附法或是應用低溫氣體/液體作為切削冷卻的方式，以降低切削時的瞬間高溫，幫助切削加工作業順利進行，也是另一項可行的解決方案。

而鈦合金的材料特性是質地輕、強度高，常用於製造航空器的核心零件。在切削加工時，最常見的問題是不論切削速度設定為何，皆會產生鋸齒狀的切屑，以致於容易產生週期性的顫振，使得一般工具機無法有效地進行切削。另外，鈦合金也會在開始切削後的短時間內達到高溫，並產生化學反應，於表面形成超硬合金，更是阻礙了工具機順利進行切削加工。與鎳合金加工的解決方案相似，除了前述提高刀具強度、降低切削時的瞬間高溫等方法之外，從工具機動態特性的匹配著手，特別是工具機/主軸/刀具之間的匹配，例如：設計高剛性/高阻尼系統、調整機械特性的匹配，或是以電控方式抑制振動等，皆可以抵銷因鋸齒狀切屑所產生的週期性顫振，而設計更有效率的鋸齒狀切屑排除與回收機制，則是解決鈦合金加工問題的補救方法。

至於 CFRP 常應用於航空器的機體製造上，以鑽孔加工的加工作業最為常見。在切削加工時，最常見的問題是當刀具磨耗後，結構上以層層堆疊方式成形 CFRP 會開始產生剝離現象，如何避免 CFRP 於加工時產生層間剝離現象是一大重點。與鎳合金、鈦合金加工的解決方案相似，除了前述提高刀具強度、降低切削時的瞬間高溫等方法之外，使用鍍有鑽石塗層的刀具進行切削加工是解決問題的方案之一，也可以考量採用超音波加工的方式克服 CFRP 難以切削的問題。

為了因應新材料的加工應用，可以從刀具、夾治具、工具機動態特性的匹配、切削路徑、切削溫度、切屑回收、超音波加工等方面著手。

## 9. 服務性與附加價值

在未來的全球化市場競爭當中，生產優良的工具機或零組件產品已經不具備銷售優勢，僅是應該要做到的基本要求，工具機與零組件廠商未來必須要有辦法提供持續性且快速、細膩的售後服務，以便與客戶建立起密切關係，同時瞭解客戶的潛在需求並進一步開發符合需求的產品，如此客戶才有可能長時間、持續性地下訂產品，工具機與零組件廠商才有可能建立銷售優勢。

而客戶滿意的關鍵在於工具機與零組件廠商如何才能長期不間斷地提供維持該工具機生產能力的技術服務，這同時也是工具機的附加價值之一。以客戶的觀點，只要該工具機仍在生產線上，工具機與零組件廠商就必須半永久性地提供故障排除、零件換修等完整的售後服務，因為客戶最重視的是在生產線上的工具機若遭遇無法

順利運轉的狀況時，從停機到復工所花的時間，該時間的客戶期望值趨近於零，而這是一項專業性的挑戰。

以現況而言，國內市場將售後服務中心要在短時間內回應視為理所當然，因此許多廠商在國內各地設置服務據點，甚至派遣服務人員直接駐在主要客戶的廠房內，以便能夠隨時應對客戶的要求。但對於國外市場，臺灣工具機廠商大都採用代理商提供服務的模式，藉由代理商服務的優點在於可以迅速處理客戶的要求，但相對地，由於代理商技術人員不如工具機廠的技術人員熟悉工具機，相對上較難提供完善的售後服務。

未來的技術趨勢是藉由將工具機廠商的服務據點與客戶的廠房連結成網路，讓客戶能夠隨時掌握生產線上工具機的運作狀況、故障資訊，在有需要工具機與零組件廠商提供服務時，可以及時將相關資訊傳遞到正確的人員手上，如此工具機與零組件便具備可迅速維修的遠端診斷功能。藉由這項功能，工具機與零組件廠商甚至有可能不必派遣服務人員前往，就能夠以網路通訊或遠端操作方式，協助客戶自行處理即可。

另外，工具機或零組件廠商也可以藉由網路通訊方式，在客戶允許的狀況之下，取得生產線上工具機的運作狀況，並依據該資訊制定可事先防止故障的計畫，在零組件臨界更換之前，就先進行對應措施，除了確實降低機械故障頻率與售後服務案件發生的機率之外，也能更有效率地回應客戶對工具機的終極要求：讓生產線上的工具機能夠零故障、持續生產。

當工具機與零組件廠商能夠應用物聯網技術縮短故障機台的停機時間，讓客戶端的工具機盡速地進入正常生產狀況，並提供上述完善的售後服務時，將有助於大幅度提高客戶的生產效率與生產量，如此就有機會維持客戶對該工具機的信賴感，同時工具機與零組件廠商也能夠因此大致瞭解客戶的生產狀況，有助於制定中長期的技術發展方向與市場經營策略。

而除了縮短停機時間之外，未來的工具機也可以發展其他的附加價值，例如：提升生產效率、應用再生能源技術節約能源使用，以及提升周邊裝置的功能與規格等項目。以精密機械產品，諸如：線性滑軌、導螺桿、再生晶圓的研磨等加工生產為例，生產廠房的溫度會直接影響到產品的加工精度，為確保加工區域不受環境溫度影響，視所生產工業產品的不同，加工環境溫度必須控制在 $18^{\circ}\text{C}\sim 20^{\circ}\text{C}$ ，溫度誤差在正負 $0.5^{\circ}\text{C}$ 。

因此，依據經濟部能源署的統計資料，工業產品生產工廠的能耗來源以冷卻空調系統為大宗項目。在恆溫生產製程中，熱源的管理包括場域及生產設備，從生產設備的冷卻機制、隔熱性能、能源管理著手，以提升加工區域內的冷卻效率、有效

阻隔加工區域內外的溫度影響，及從生產設備到廠房整體進行有系統性的能源規畫等方式，讓需要恆溫製程的生產廠房空調溫度得以提升到 25°C 正負 1.0°C，當廠房空調溫度的設定每上升 1 度，將節省 6 % 的能源消耗，若空調溫度的控制能夠從 18°C~20°C 提升至 25°C，預計可以節省 30 %~42 % 的能源消耗，藉此達到改善工業生產恆溫製程能耗的目標。

## 10. 關鍵零組件開發

前述之技術議題談論到高速化、高負載、系統化、多軸複合同動控制、應用非傳統切削的加工技術、新材料的加工應用等，在技術應用與實踐上，均需要零組件規格的同時進步與配合。目前與切削加工以及刀具有直接關聯，且國內業者有需要強化相關技術才得以獲得競爭實力的關鍵零組件有：主軸、旋轉工作台、刀庫等。

在各式工具機當中，多軸、複合及泛用型機種的發展愈來愈重視切削速度、切削深度、進給速率、加工效率，目標是縮短加工時程的總切削時間，而為符合上述之要求，在所有關鍵零組件當中，以主軸的發展最為重要。

臺灣工具機廠商的主軸供應來源主要分為外購與自製兩種，無論是採用哪一種方式，主軸構成零件的尺寸公差、干涉配合、間隙配合，以及軸承止推的預壓量、平衡度等組裝技術與潤滑冷卻技術，都是各家零件供應廠商所各自擁有，也因此零件廠與工具機廠之間必須藉由嚴謹的生產管理，來維持主軸一定的品質水準。

而針對大型零件或大範圍移除材料的加工需求，未來的工具機必須配備高轉矩、高輸出、齒輪減速主軸，以便於使用大直徑搪刀桿、成排式鑽孔頭等大型刀具進行加工，若是針對為了大幅度縮短加工時間的高速切削需求，則以內藏式主軸為主。其他諸如：高速主軸與高扭力主軸的發展是針對工具機高速化、高負載的需求而來，車銑複合主軸的開發是因應多軸複合工具機的需求，低溫切削主軸與超音波主軸技術的研究，則是為了對應新材料的加工應用。

另外，為了實現主軸的高速化，周邊關鍵零件的開發也是未來的趨勢，例如：為了因應高速旋轉造成的主軸熱膨脹，需要主軸內通切削液以便進行冷卻，供應該切削液必備的旋轉接頭就是應該持續發展的重點項目。另一方面，磁浮軸承被視為工具機主軸高速化的解決方案之一，但卻因控制不易與成本過高等問題而遲遲無法普及，這也是應該進行研究並改善的重點項目。

除了上述縮短加工時程的總切削時間之外，加工件表面的高精度、高品質要求，是另一項必須受到重視的課題，例如：發展迴轉共振抑制、避免加工段差的熱變位抑制等技術，可以提高加工件的精度，而工件夾持、定位、分度的旋轉工作台更是支持高精度加工的重要基礎之一。

在分度工作台方面，未來的趨勢是追求提高分割精度與夾持工件後的支撐剛性；而在任意分度工作台方面，則是要求驅動旋轉系統須無背隙，以及可承受旋轉加工的工件支撐剛性。上述工作台的關鍵在於旋轉軸，旋轉軸的構成包含：蝸桿蝸輪、滾子凸輪及 DD 馬達等驅動裝置。其中，如何將蝸輪的齒輪咬合背隙降至最小是設計蝸桿蝸輪的技術要點，至於在可旋削加工的圓形工作台上必須使用到的 DD 馬達，則是須要注重高速旋轉能力，以及設計在高速旋轉下也能保持高剛性的軸承。

其他諸如：高速旋轉軸、高速/多層刀庫等零件的發展，均是為了因應工具機高速化的需求，高扭力旋轉軸的發展是應對工具機高負載的需求，而擺動軸的開發則是針對多軸複合工具機的需求而來。

## 11. 3D 列印

有別於工具機以「移除」材料的方式進行切削加工，3D 列印技術是以「增加」材料的方式進行積層製造。3D 列印技術應用於工具機是未來可能的技術趨勢，也是一項創新，將改變一般對於金屬加工的既有印象。該技術的優點在於能夠以一體成型的方式製作出切削加工不容易製造的產品，且可以立即進行產品的成型，適用於少量多樣的生產模式，又由於是以一體成型的方式生產，能夠大幅降低構型複雜產品的零件數量、減少組裝流程，因此也相當適合應用於各式模具或是複雜產品，例如：引擎的生產。

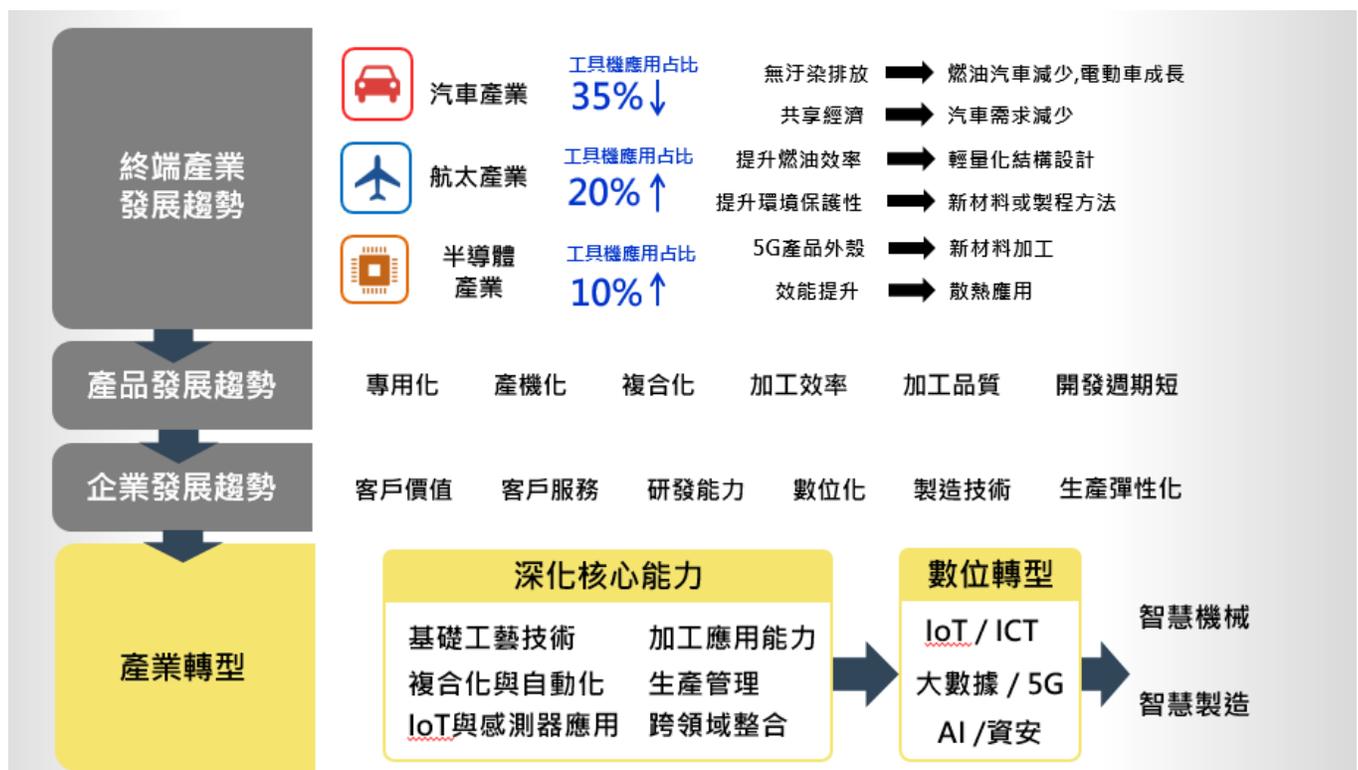
但目前的 3D 列印技術所能使用的材料、材質受到限制，而且所製作的零件強度有方向性，成型方向將決定物件成型的強度，造成不同軸向的結構強度不一，另外加工速度與工具機相比則慢上許多，在精度上也比工具機來得差(差距約 0.1~0.2 mm)，為了達到精度方面的要求，製程中仍然需要以切削加工的方式來彌補與輔助，因此具有 3D 列印功能的複合化綜合加工機也是工具機的發展方向之一。

## 12. 綠色工具機與節能加工生產

舉凡 3C 產業（如：晶圓生產）、精密機械業（如：導螺桿、滑軌、精密螺帽等產品的生產），對於工業用精密機械產品的加工生產，加工環境中細微的溫度變化、工件的熱脹冷縮都會影響到產品的精度，而隨著終端產業對產品精度要求的提升，能夠減低溫度變化對加工造成影響的工具機以及恆溫製程環境的建置已成為產業的發展重點。因此，綠色工具機與節能加工生產的未來技術發展可以從工具機的冷卻機制、隔熱性能、能源管理著手，採用提升加工區域內的冷卻效率、有效阻隔加工區域內外的溫度影響，以及從工具機、周邊支援設備到廠房整體進行有系統性的能源規畫等方式，讓需要恆溫製程的生產廠房提升空調溫度設定，也不會對加工精度造成不良影響，藉此達到工業生產恆溫製程的能耗改善。同時，也將以工業生產恆溫製程能耗改善技術為基礎，從元件、生產線製程到整廠，建立可以依循並驗證的

節能標準，讓技術研究成果得以複製並擴大推展到任何有需要恆溫製程環境的廠房。

綜觀臺灣工具機產業現況，無論在產業聚落、研究發展與服務體系之產業價值鏈經營管理，在上、下游垂直整合，以及差異化水平整合，引領專業分工，同時兼具成本優勢及技術卓越與靈活的生產方式，在全球工具機產業中扮演著關鍵重要的角色。然而，在高階技術被日德寡占、中韓等國家競爭者這幾年工具機技術發展快速竄起，將都成為臺灣工具機未來發展的隱憂。因此，如圖 1.17 所示，提升國產工具機的精度與穩定性，縮短或消除國內與國際高品級市場之技術落差，提高工具機產品的可靠度與製程的加工效率，重塑工具機產業生態體系，提升工具機及相關零組件產品之附加價值及國際競爭力，絕對是工具機產業當務之急。



資料來源：精密機械研究發展中心調查、整理

圖 1.17 工具機產業趨勢與未來展望

## 第二章 國際工具機產業概況

### 一、全球工具機產業現況與產銷數據

工具機是一種藉由動力驅動的機械設備單元，各種不同機種視應用來進行切削、基本成型，或是對有特殊形狀需求的金屬或是其它材料的特殊成型。工具機被應用在製造業，可以自動化製程以生產精細的零件或零組件。工具機種類包括放電/雷射/超音波工具機(HS Code 8456)、綜合加工機(HS Code 8457)、車床(HS Code 8458)、鑽/搪/銑/攻螺紋工具機(HS Code 8459)、磨床(HS Code 8460)、刨/插/拉/鋸/齒削工具機(HS Code 8461)、鍛壓/沖壓/成型工具機(HS Code 8462)、其他成型工具機(HS Code 8463)。

工具機主要應用於重工業包括航太、國防、汽機車等；以及輕工業包括模具、光學零組件、家電、3C 等。工具機應用領域、占比與對應產值大致如表 2.1。

2023 年全球工具機產值約為 853.0 億美元，較 2022 年衰退 1.0%，主因是受到全球景氣下滑與地緣衝突、區域戰爭等因素影響，使銷售市場受到限制。然就全球工具機市場於各類產業應用推估，汽機車產業占比 50%，其產值約為 426.5 億美元；航太占比 20%，其產值約為 170.6 億美元；能源佔比 15%，其產值約為 128.0 億美元；其他產業占比 15%，其產值約為 128.0 億美元。

表 2.1 全球工具機應用領域與占比

應用領域	占比	工具機產值
汽機車	50%	426.5 億美元
航太	20%	170.6 億美元
能源	15%	128.0 億美元
其他產業(電子、3C、家電等)	15%	128.0 億美元

資料來源：工研院產科國際所 (2025/01)

2023 年全球經濟成長從 2022 年的 3.5% 下滑至 3.1%，其中先進國家的經濟成長自 2022 年的 2.6% 下降至 1.6%，下滑原因是歐元區經濟體表現不佳，經濟成長從 2022 年的 3.4% 下滑至 0.5%，而新興市場國家的經濟成長則在中國經濟增長 5.2% 的帶動下，維持 2022 年 4.1% 的水準。2023 年全球 GDP 成長率為 2.6%，主因是美國經濟在強勁的消費者支出撐腰下，表現突出，成長 2.5%。歐元區則較為黯淡，2023 年受制於高昂的能源價格，僅成長 0.4%。

2023 年全球前五大的工具機國家依序為中國、德國、日本、美國、義大利，如表 2.2；其中，中國的全球占比達 32.1%；德國為全球第二大工具機生產國，其在全

球的占比為 13.3%；日本在全球的占比為 11.5%。上述前三大國家工具機產值合計占全球的 56.9%。全球第四、第五大生產國依序為美國與義大利，全球的占比分別為 9.5%、8.8%。

檢視主要工具機生產國，中國方面，2023 年是中國工具機消費市場產業結構調整與轉變的關鍵點；其中雖然汽車產量整體下降，但新能源汽車使用量顯著增加，除了消費市場的變化之外，還包括造成工具機產業前景不確定性的幾個重大挑戰，這些挑戰包含脆弱的經濟復甦、持續的通貨膨脹、金融市場不穩定和不斷增加的債務壓力。

日本方面，2023 年工具機出口額為 66.3 億美元，較 2022 年衰退 9.9%；其中出口機種前三名分別是綜合加工機，占比 36.9%，出口金額為 25.1 億美元(年成長率-9.7%)；第二名為車床，占比 23.6%，出口金額為 16.0 億美元(年成長率-1.4%)；第三名為放電、雷射、超音波工具機，占比 15.5%，出口金額為 10.6 億美元(年成長率-17.0%)。產業趨勢方面，日本強調對綠色、數位和復原力相關領域投資需求影響的正面預期。

美國方面，在消費接近平均水準的 2022 年之後，2023 年美國工具機產業繼續保持穩定狀況，2023 年美國貨幣政策緊縮效應顯現，但由於國內市場需求暢旺，仍帶動工具機消費提升。預期 2024 年由於通膨壓力、地緣政治等不安因素仍在，該國的工具機生產、進口、出口、消費等相關指標，仍具相當程度的不確定性。

表 2.2 2023 年全球工具機產值排名前五大國家

單位：億美元

排名	國家	2023 年	金屬切削 占有率(%)	金屬成型 占有率(%)	2022 年	成長率(%)
1	中國	273.9	70.0	30.0	239.1	14.6
2	德國	113.7	87.0	13.0	129.4	-12.1
3	日本	97.9	78.0	22.0	107.1	-8.6
4	美國	80.9	53.0	47.0	60.0	34.8
5	義大利	74.8	69.0	31.0	67.7	10.5
	其他	211.4	--	--	273.9	-22.8
	合計	852.6	--	--	877.2	-2.8

資料來源：工研院產科國際所 (2024)

表 2.3 是 2023 年全球工具機出口排名前五大國家，依序為德國、中國、日本、義大利、南韓。2023 年全球各國工具機總出口值成長 5.3%。2023 年主要由於中國受惠俄烏戰爭，俄國受到國際制裁，而與俄國交好的中國，其工具機獨占出口俄羅斯，使出口金額大幅成長；此外，美國國內工具機相關應用領域市場旺盛，帶動工具機需求。電動車、新能源等產業暢旺也帶動全球工具機需求。

表 2.3 2023 年全球工具機出口排名前五大國家

單位：億美元

排名	國家	2023 年	2022 年	成長率(%)	出口率(%)
1	德國	82.3	72.5	13.5	72.4
2	中國	77.8	63.1	23.3	28.4
3	日本	66.3	73.9	-10.3	67.7
4	義大利	42.2	33.5	26.0	56.4
5	南韓	29.2	24.0	21.7	58.5

資料來源：工研院產科國際所 (2024)

2023 年全球工具機進口金額前五大進口國分別為美國、中國、德國、墨西哥、義大利，如表 2.4；2023 年全球各國工具機總進口金額衰退 2.3%。

首先是美國現階段的需求趨勢，美國同時也是臺灣的第二大工具機出口市場，2023 年臺灣出口美國的金額為 3.8 億美元，占臺灣整體工具機出口金額 14.9%，較 2022 年衰退 14.9%。後續仍須面對美國製造政策延續、美中貿易角力持續等不確定因素，仍舊影響著未來美國工具機的需求量。

中國的部分，中國是臺灣的第一大工具機出口市場，2023 年臺灣出口中國的金額為 6.5 億美元，占臺灣整體工具機出口金額 25.7%，較 2022 年衰退 11.6%。後續仍需觀察中國的內需狀況，另外中國近幾年工具機與零組件自主能力大幅提升，恐將影響對臺灣工具機的採購量。

德國的部分，由於俄烏戰爭的因素，當地受制於能源以及物價波動，整體工具機產值受到影響，估計進口金額微幅成長 5.3%。

墨西哥的部分，受惠於美國製造業回流以及美中貿易戰，在土地、人力、鄰近美國等多項優勢下，許多美國企業陸續加大在墨西哥的投資，其中又以車廠、電子廠為主要設廠範疇，相較 2022 年進口成長率為 2.1%。土耳其與印度新興市場穩定成長，預期由於供應鏈重塑等效應，外企持續撤出中國的情況下，這兩大國家的工具機需求會持續成長。

表 2.4 2023 年全球工具機進口排名前五大國家

單位：億美元

排名	國家	2023 年	2022 年	成長率(%)	進口率(%)
1	美國	64.9	63.5	2.2	80.2
2	中國	61.0	66.0	-7.6	22.3
3	德國	27.8	26.4	5.3	24.5
4	墨西哥	24.3	23.8	2.1	2,060.2
5	義大利	19.0	17.8	6.7	25.4

資料來源：工研院產科國際所 (2024)

工研院產科國際所統計 2023 年全球工具機消費金額為 790.4 億美元，較 2022 年衰退 5.0%。全球前三大消費市場分別為，中國、美國與德國，消費金額分別為 257.1 億美元、128.3 億美元與 59.1 億美元，分別約占全球工具機消費值的 32.5%、16.2% 與 7.5%，如表 2.5。前七大消費國家的消費金額共計 595.9 億美元，占全球工具機消費金額 75.4%。

表 2.5 2023 年全球工具機消費排名前七大國家

單位：億美元

排名	國家	2023 年	2022 年	成長率(%)
1	中國	257.1	209.8	22.5
2	美國	128.3	97.1	32.1
3	德國	59.1	49.8	18.7
4	義大利	51.6	66.4	-22.3
5	日本	39.6	50.8	-22.0
6	印度	30.6	34.9	-12.3
7	南韓	29.6	26.6	11.3
其他		194.5	278.4	-30.1
合計		790.4	813.8	-2.9

資料來源：工研院產科國際所 (2024)

2024 年工具機市場，受通膨升息影響，加上歐、美各自有大選，以及能源危機尚未解除、歐盟碳邊境調整機制(CBAM)開始課徵碳關稅等影響，而中國也有房地產

市場泡沫化、民眾消費信心不足等問題，導致民間投資需求不振，連帶影響到設備採購意願；另外，地緣政治干擾、俄烏戰爭未平、各國綠色減碳政策等因素，對國內工具機暨零組件業者出口可能帶來程度不一的影響，需關注後續發展。

現階段在工具機應用領域中，汽機車、航太與國防、電子與電機產業應用占比約 3/4，其他產業占 1/4。觀察各類產業發展趨勢，預估未來十年，包括半導體、能源設備（離岸風電、大規模儲能系統）、醫療設備產業，都有顯著成長機會，並衍生新一波工具機市場需求。

全球工具機市場趨勢轉變迅速，目前也正正面臨淨零碳排、電動車的興起、與區域性貿易協定規範等衝擊，企業必須強化其生產線的彈性與韌性，有別於過往專注於單技術或產業技術開發，取而代之的是跨域應用及數位化轉型，尤其重要市場包含歐盟及美國市場越來越重視 ESG 與綠色製造趨勢，各國無不開始積極佈局，例如綠電/憑證採購、電網建置、開發生質能或購置廢水再生系統等，及早做好減碳的準備，超前部署協助供應鏈實現永續價值。

## 二、全球主要競爭國家之工具機產業概況

工具機發展時間已久、產品成熟度高、產品類型眾多的機械設備。因此在全球諸多國家有眾多工具機及零組件製造廠商。如前所述，全球主要工具機生產國包括中國、德國、日本、義大利、美國、南韓、臺灣、瑞士等。而各國也都有許多知名工具機企業。

### （一）歐洲方面

1. 德國擁有非常堅實的科學與工業基礎，在汽車、航空、精密機械、石化等領域等處於全球領導地位。因此德國也孕育出眾多極具創新能力的工具機廠，包括 EMAG、HELLER、TRUMPF，如圖 2.1、Schuler，如圖 2.2、HERMLE，如圖 2.3 等。德國 Siemens、HEIDENHAIN 則是全球 CNC 控制器主要廠商。德國工具機產品普遍具備較佳的加工精度、可靠度、耐用性，在全球中高階工具機市場有較大市占率。



資料來源：TRUMPF (2024)

**圖 2.1 TruLaser Cell 3000**

- 適用於二維與三維切割和焊接、增材製造以及雷射金屬熔覆



資料來源：Schuler (2024)

**圖 2.2 Schuler 液壓成形機**

- 依靠液壓技術，並在其成型機中持續精進開發



資料來源：Hermle (2024)

**圖 2.3 HERMLE 加工中心**

- 藉由密集測試、先進測量系統、獨特精密軟體以提高精度和綜合系統能力；該公司號稱每台 HERMLE 加工中心都具有極高的精度
2. 義大利是歐洲主要工業國家，在汽車、航空、產業機械等領域具有極高的競爭優勢。義大利工具機廠商包括 Breton，如圖 2.4 所示、CMS、JOBS 等。義大利工具機產品線，涵蓋中階與部分中高階機種，並在汽車、航太與國防、軌道車輛、能源等應用市場具有較高競爭力。



資料來源：Breton (2024)

**圖 2.4 Breton 高動態五軸立式加工中心**

- 採用龍門模組化設計與可擴充配置

3. 瑞士向來以精密製造享譽全球，瑞士工具機也是全球高階、高價值工具機品牌代表。主要廠商包括，如圖 2.5 所示的 Georg Fischer(GF)、Precitrame Machines、Schaublin Machines 等。瑞士工具機產品以高階、特殊設計應用市場為主。



資料來源：GF (2024)

圖 2.5 GF 的銑削設備

- GF 支援機台操作者進行機器設定、刀具管理並提供相關功能，進而為客戶建置精密加工產線

歐洲其他工具機生產國家，還包括西班牙、奧地利、法國、英國、捷克、波蘭等；這些國家廠商生產的工具機產品，在歐洲及本國市場都具有競爭力。

## (二)亞洲方面

1. 中國是全球最大工具機生產國，也擁有數量龐大的工具機企業，包括瀋陽工具機及大連工具機、秦川機床等眾多企業，以及近年來逐漸興起的創世紀、南通國盛智科、寧波海天精工、北京精雕等公司。由於中國也是全球最大工具機消費市場，因此歐洲、日本、臺灣、南韓等許多工具機廠也在中國設立生產基地。目前中國工具機產品主要競爭優勢是價格，但在性能、品質上，普遍仍有極大改善空間；然而在中國政府持續投資自主技術研發，以及國內龐大市場需求激勵下，中國工具機產品性能、品質進步相當迅速。
2. 日本與德國類似，擁有眾多極具競爭力的工具機廠，包括 AIDA、Makino、Mazak，如圖 2.6、DMG MORI，如圖 2.7、AMADA，如圖 2.8、OKUMA，如圖 2.9 等。日本 Fanuc、Mitsubishi Electric 則是全球 CNC 控制器主要廠商。日本工具機產品位階與德國相同，普遍具備較佳的加工精度、可靠度、耐用性，在全球中階工

具機市場有較大市占率。



資料來源：MAZAK (2024)

圖 2.6 MAZAK 倒立式 CNC 車床-IVS-300II

- 汽車產業的代表機種中，針對少樣品項的量產零件加工需求開發的



資料來源：DMG MORI (2024)

圖 2.7 DMG MORI 視覺引導設計

- 提出「Identify the chances, Shape the future」的品牌訴求，並運用視覺引導的設計手法引領觀者至重點訊息



資料來源：AMADA (2024)

圖 2.8 AMADA 的 BREVIS AJ 全方位光纖雷射加工機



資料來源：OKUMA (2024)

圖 2.9 OKUMA 的臥式加工中心 MA-600HIII

- 具備全新設計之主軸，主軸內擁有切削液抽吸機構，縮短使用主軸中心出水時的換刀時間

3. 南韓因為汽車、航太與國防、半導體、3C 產業發展迅速，自 1980 年代末期開

始，工具機產值出現快速成長。主要廠商包括 DN Solutions、Hyundai WIA、Hwacheon 等。南韓工具機產品線及市場定位與臺灣產品重疊度極高，在許多國際市場上都是臺灣廠商主要競爭者。南韓工具機代表性廠商主要包括 DN Solutions、現代 WIA、Hwacheon、SMEC、以及 HNX 等五家；其中，DN Solutions 於 2023 年之銷售額為 12.4 億歐元、2024 年第一季之銷售額為 3.2 億歐元，為南韓最大工具機廠商；現代 WIA 在 2023 年的銷售額為 3.0 億歐元、2024 年第一季之銷售額為 6 千 2 百萬歐元，為南韓第二大工具機廠商。DN Solutions 與現代 WIA，這兩大南韓工具機廠商國內、外市場份額之占比變化為，2023 年 DN Solutions 銷售額為 12.4 億歐元，歐洲地區為 4.2 億歐元，占比 34.0%，為所有海外地區中最高者，也勝過國內的 19.0%，其 2024 年第一季歐洲地區占比更成長到 37.1%(1.2 億歐元)，顯示 DN Solutions 在歐洲銷售暢旺，國內銷售占比則小幅成長至 23.2%。在全球最大工具機消費市場-中國的部分，DN Solutions 則有兩家 OEM 廠商。相對的，2023 年現代 WIA 銷售額為 3.0 億歐元，其中國內銷售額為 1.6 億歐元，占比達到 55.8%，為所有銷售地區中最高者(歐洲為 17.0%，為海外地區最高者)，2024 年第一季銷售額為 6 千 2 百萬歐元，占比 51.6%，顯示現代 WIA 較著重國內市場。至於在全球最大工具機消費市場-中國的部分，現代 WIA 則有一家 OEM 廠商。

4. 臺灣工具機整體產業特色是中小型企業居多，並形成完整的產業鏈，涵蓋上游零組件供應到下游整機製造，產品以出口為導向，高度依賴國際市場，約七成以上的產品出口，主要市場包括中國、美國、歐洲及東南亞等地。臺灣以中階工具機產品為主，具有良好的性價比，適合中小型製造業者需求，主要產品，如綜合加工機、車床、鍛壓/沖壓成型工具機則為出口前三大機種，這些產品在中階市場上具有競爭力。臺灣在高端技術領域如五軸加工中心及自動化系統已有發展，但與德國、日本等國相比仍有差距。目前，臺灣知名廠商，如友嘉集團(Fair Friend Group, FFG)，在全球工具機市場中集團規模名列前茅，產品涵蓋車床、銑床及綜合加工機，並在全球併購多家工具機公司，台中精機(Victor Taichung)，則專注於 CNC 車床、綜合加工機、五軸機及自動化生產線等，東台精機(Tongtai Machine & Tool)，主力產品則包括 CNC 車床、綜合加工機及智慧製造解決方案，並積極布局智慧工廠領域，此等較大規模的廠商在國際上仍具有相當的競爭力。
5. 雖然臺韓工具機同質性高，但仔細研究仍有部分差異，從機種型態、加工精度、廠商營運模式、國內下游市場規模等四大面向進行分析與比較如下：

#### (1) 機種型態

- A. 臺灣的工具機產品多以中小型設備為主，在多功能、彈性加工方面表現突出；

此外，臺灣企業強調客製化設計，因此能夠針對不同客戶需求進行調整，使臺灣工具機具備很強的靈活性。

- B. 南韓則較專注於大型設備的開發，特別是在汽車、輪船、重工業相關的製造業領域中表現優異。南韓廠商注重穩定性與高生產率，往往在大批量與標準生產中具競爭力。

#### (2) 加工精度

- A. 臺灣工具機廠商在精密加工上投入很多。然而，由於製造技術與關鍵零組件（例如控制器）仰賴進口，部分精度仍有提升的空間。
- B. 南韓在整體加工精度方面與臺灣接近，但由於南韓企業規模較大，透過投入大量資源，相關零組件與技術較有機會自主化，在加工精度提升上具有高度競爭力。

#### (3) 廠商營運模式

- A. 臺灣的工具機廠商多數為中小型企業，強調彈性生產與快速響應市場需求。這些企業多採取家族經營模式，並且依賴參加國際展會與當地代理商拓展海外市場。
- B. 南韓的工具機廠商則多數為大型企業集團的子公司，這些企業有強大的財力與技術研發能力，能夠進行大規模的技術升級與設備投資，且由於集團內部或國內擁有重要工具機應用產業（例如汽車），因此較能直接對應下游用戶的需求。

#### (4) 國內下游市場規模

- A. 臺灣國內下游市場規模相對較小，主要集中於電子、汽機車零組件等領域。臺灣製造業對工具機的需求雖然穩定，但由於內需市場有限，臺灣工具機業者更依賴外銷，約 75% 以上的產品出口國外。
- B. 南韓擁有相對較大的國內下游市場，主要服務於其汽車、造船、鋼鐵與重工業。這使得南韓工具機業者能夠較大幅度依賴國內需求，外銷壓力較小。

亞洲其他國家，包括印度、泰國、新加坡也是亞洲地區主要工具機生產國。特別是印度，因為國內汽車及其他製造業興起，工具機市場需求增加，有利於本土工具機企業發展。

### (三) 美洲方面

美國具有堅實的工業基礎，與龐大的汽車、航太與國防、能源、工業設備等產

業，也是全球第二大工具機消費市場。主要工具機廠商包括 Haas，如圖 2.10、Hurco、Ingersoll 等。其產品位階位於德國、日本之間，在中高階市場具有競爭力。



資料來源：HAAS Automation (2024)

圖 2.10 Haas VF 系列

- 號稱擁有業界領先的同類型高性價比

### 三、臺灣相對國外工具機產業之優劣勢

#### (一) 產業優勢

##### 1. 完整的產業分工體系

- (1) 完善的零組件供應與外包製造網絡，使臺灣工具機整機廠有更大機會降低總體生產成本、加速產品研發進程，以滿足客戶多樣性產品需求。
- (2) 整機廠規模化零組件外購與結構件外包製造需求，促使相關零組件廠逐漸成長，並在性能與品質上持續提升，進而爭取更廣大國際市場。

##### 2. 具有競爭力的人力成本與較高的成本控制意識

- (1) 相較於美國、日本、西歐國家，臺灣具有顯著人力成本優勢。

- (2) 臺灣廠商在成本控制上具有極高意識，也持續透過多種策略與途徑來控制總體生產及營運成本。
3. 持續提升品質與產品創新研發
  - (1) 許多廠商願意在能力所及範圍內，持續努力提升產品品質。無論是內製或外購，都會確保零組件與整機品質；並透過管理制度來持續提升品質。
  - (2) 許多廠商會依據市場發展趨勢及客戶需求，持續進行產品創新研發；包括內部自主研發，或是透過產學、產研合作研發，以及由國外引進新技術。
  - (3) 部份零組件廠，藉由承接國際工具機廠商訂單，引進新技術與改善品質，進而提升產品價值與市場競爭力。
4. 客戶關係經營與合作
  - (1) 許多工具機廠商在營運上非常重視與客戶建立及維繫良好關係。包括在品質、交期及售後服務方面，均盡可能即時滿足客戶需求，並以誠信態度進行商務交易。
  - (2) 多家歷史悠久的工具機業者，與其部分客戶（包含代理商、貿易商）已維持二、三十年以上的交易關係，對穩定公司營收具有重大價值。
  - (3) 部分零組件廠商近年來持續擴大與日本及其他國家工具機企業合作，並逐漸成為國際客戶在開發新產品時的合作夥伴。
5. 中國市場開發與生產投資，受惠於同文同種，臺灣工具機廠商在中國市場開發上具有先天優勢。業者除了透過工具機與零組件出口，持續爭取中國經濟發展衍生的商機外，部分廠商也在中國設置生產基地與分(子)公司，強化區域性客戶連結。
6. 政府政策支持

政府部門持續透過各類政策措施協助工具機產業發展、成長。包括資助研發法人與廠商進行新技術研發與創新產品開發，協助進行海外市場拓展，提供投資獎勵與融資，以及提供人才培育、教育訓練經費補助等。

## (二) 產業劣勢

### 1. 技術能力有限，產品定位與價值難提升

- (1) 臺灣在材料、冶金、熱處理技術，精密機械與系統設計、分析，以及精密機電控制能力上仍有不足，導致中高階工具機與部分零組件在性能、品質、可靠度、耐性上，仍落後美國、日本、西歐先進國家。

- (2) 臺灣工具機產品在國際市場的定位僵化，即使部分廠商已推出總體效能、品質足以與國際領導廠商相同位階機台競爭產品，但實際銷售價格卻無法適度提升，成為臺灣工具機產品價格天花板障礙。

## 2. 企業營運規模及可用資源有限

- (1) 臺灣工具機廠商多屬於中小企業；較大型的整機廠商，年營收也未超過新臺幣百億。此外，絕大多數廠商未公開上市、上櫃，也使營運資金籌措受限。
- (2) 投入在技術與產品研發、市場行銷、商業模式創新的人力、財務資源都有限。
- (3) 營收規模較小，也導致不容易透過大規模生產與採購來降低零組件成本。

## 3. 部分關鍵零組件仍仰賴進口

- (1) 部分關鍵零組件仍仰賴國外進口。包括控制器、伺服馬達、驅動器，以及光學尺、編碼器、感測器等，進而增加總體成本。
- (2) 無法採購到高性能零組件，進而使工具機效能提升更為困難。

## 4. 對下游客戶需求掌握度有限

- (1) 臺灣在汽車、航太與國防、工程機械、能源設備等重要工具機下游應用產業，缺乏國際級 OEM、Tier 1 廠商。這使國內工具機廠商不容易透過與下游廠商合作，即時掌握最新的生產加工需求與製造技術，並配合發展創新性工具機產品。
- (2) 工具機廠商大多透過海外經銷商、貿易商銷售工具機產品，因此在與最終使用客戶接觸上容易受到限制，增加掌握客戶最新需求與產品使用回饋資訊困難度；在維修服務上也容易產生疏漏。
- (3) 部分廠商在對下游客戶應用需求、市場規模及競爭狀態瞭解仍不夠充分情形下，往往會以直接複製國內外其他領導廠商熱銷機種作為新機台研發策略，進而使產品研發與後續行銷風險增加。

## 5. 國際貿易條件不敵競爭國

- (1) 受限於政治因素，我國目前已簽訂自由貿易協定 FTA 的國家十分有限，也未加入國際地區自由貿易協定。目前臺灣在主要工具機出口國家中，只有與新加坡簽署台新經濟夥伴協定(ASTEP)，以及與中國簽訂海峽兩岸經濟合作架構協議(ECFA)。
- (2) 與主要出口市場，包括美國、歐洲、東協國家，缺乏雙邊貿易協定，使臺灣工具機產品在這些國家進口關稅高於其他競爭國家。

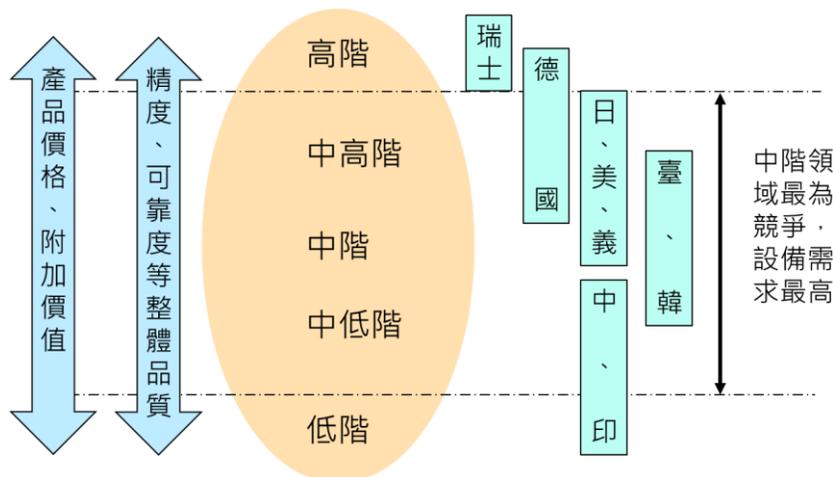
## 6. 人才招聘與留用不易

- (1) 由於少子化與人口老化，臺灣 15~64 歲工作年齡人口數已持續減少；預估到 2030 年，將較現有人數減少 10% 以上。可工作人口數減少，工具機廠商要與其他產業競爭有限工作人力，人員招聘留用會更困難。
- (2) 相較於電子及半導體、資通訊產業，工具機業者提供的薪資、獎金、紅利等，普遍較低，對專業求職人員吸引力不足。特別是面對工業 4.0、智慧製造、數位轉型發展，工具機產業需要具備更多資通訊與智慧科技專業，以及具有跨域整合、營運創新能力人才；但實際上卻很難招募。

## 7. 工業用地取得不易且價格持續攀升

- (1) 工具機廠商希望投資興建更自動化、智慧化生產工廠，以提高生產力；或是為滿足市場客戶成長需求，需要建新廠來擴充產能。
- (2) 各產業群聚（例如中部地區）內工業區、產業園區可租售的適合土地日愈缺乏、土地銷售價格持續攀升，工具機廠商要搬遷或新建廠區的成本越來越高。

## 四、各國之工具機個別所屬之功能及加工精度等級



各國產品位階為總體綜合評估結果、不代表該國個別廠商表現

資料來源：工研院產科國際所 (2024)

圖 2.11 各國之工具機個別所屬之功能及加工精度等級

圖 2.11 是全球主要各國的工具機個別所屬之功能及加工精度等級區別；與德國類似，擁有眾多極具競爭力的工具機廠，日本工具機產品位階與德國相同，普遍具備較佳的加工精度、可靠度、耐用性，在全球中階工具機市場有較大市占率。

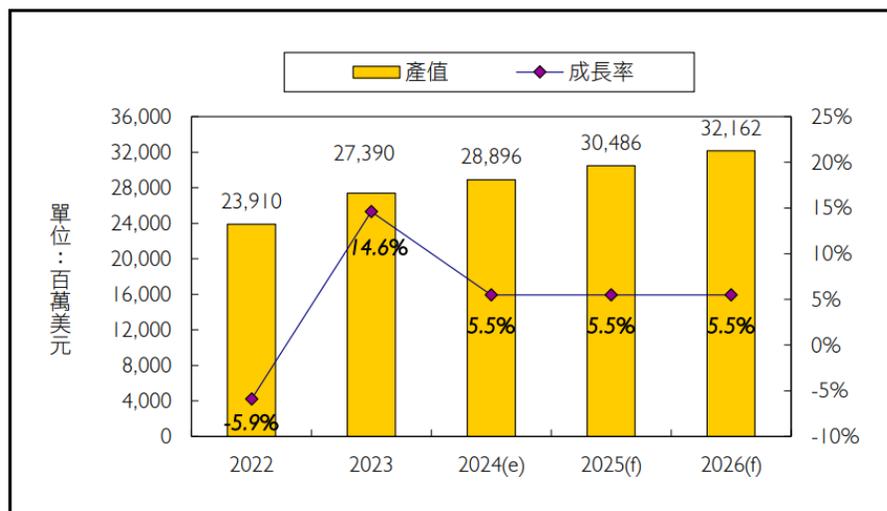
南韓工具機產品線及市場定位與臺灣產品重疊度極高，在許多國際市場上都是臺灣廠商主要競爭者。

中國工具機產品主要競爭優勢是價格，在性能、品質上，普遍仍有改善空間；但是在中國政府持續投資自主技術研發，以及國內龐大市場需求激勵下，中國工具機產品性能、品質仍在持續進步。

印度因為國內汽車及其他製造業興起，工具機市場需求增加，有利於本土工具機企業發展。

## 五、全球最大工具機市場

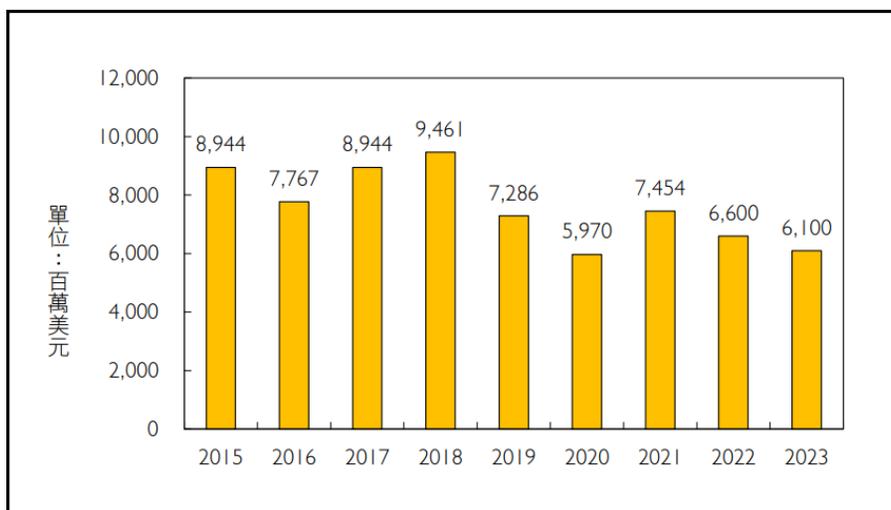
圖 2.12 是 2022 年~2026 年中國工具機生產趨勢的分析。自 2009 年起，中國即躍居世界第一大生產國，國內市場是支撐當地生產的最大動力，使中國長期成為世界最大之工具機消費國與進口國，另由於近年中國工具機自主化已逐步呈現效果，並能自行開發高階的五軸控制器與工具機，因此已大量出口至包括俄羅斯、東南亞、歐洲、北美等全球市場，對臺灣產業的威脅逐步擴大；2023 年出口值達 77.8 億美元，較 2022 年成長 23.3%，已超越日本位居世界第二大工具機出口國僅次於德國。預估在美中關係尚未平緩前，中國仍會繼續力求自主化並拓銷全球，值得我國持續專注對岸的技術及市場佈局。



資料來源：工研院產科國際所(2024)

圖 2.12 2022~2026 年中國工具機生產趨勢分析

分析中國的工具機消費市場發現，消費金額占比七成以上屬於當地生產的部分，包含國外廠商在中國當地設廠生產後直接於當地銷售。接近消費總值約二成五是進口部分，主要進口國為日本、德國與臺灣。比較 2023 年中國工具機進口與消費金額比重，觀察前三大進口國家與比重，2023 年從日本進口值為 20.4 億美元，衰退 18.6%；從德國進口值為 15.4 億美元，衰退 0.7%；從臺灣進口值為 6.7 億美元，衰退 10.9%。另外，前十大進口國家中，從奧地利進口的增加幅度最大，進口額為 1.1 億美元，年增率為 66.4%。

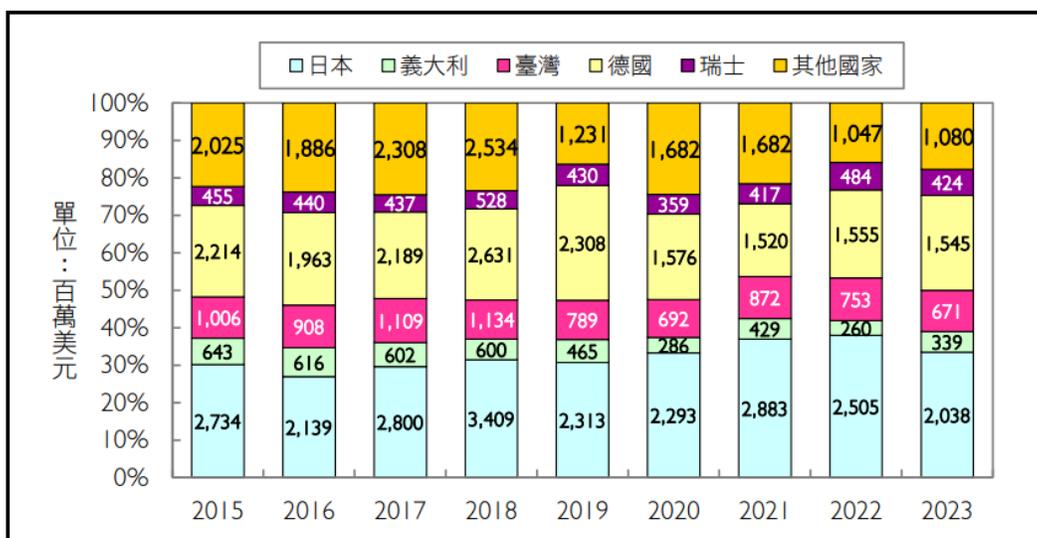


資料來源：工研院產科國際所 (2024)

圖 2.13 2015~2023 年中國工具機進口總值

圖 2.13 是 2015 年~2023 年中國工具機進口總值。進一步分析 2023 年中國進口金額，中國擁有龐大的汽車/電動車、國防航太及 3C 相關電子產業支撐著工具機消費需求，自 2002 年起，即超越美國成為全球最大工具機消費國與進口國。中國汽車工業協會統計，2023 年中國汽車產銷量首次雙雙突破 3,000 萬輛，分別是 3,016.1 萬輛和 3,009.4 萬輛，分別較 2022 年成長 11.6% 和 12.0%，創下歷史新高；其中汽車出口 491 萬輛，較去年同期成長 58.0%，有望成為世界第一大汽車出口國。

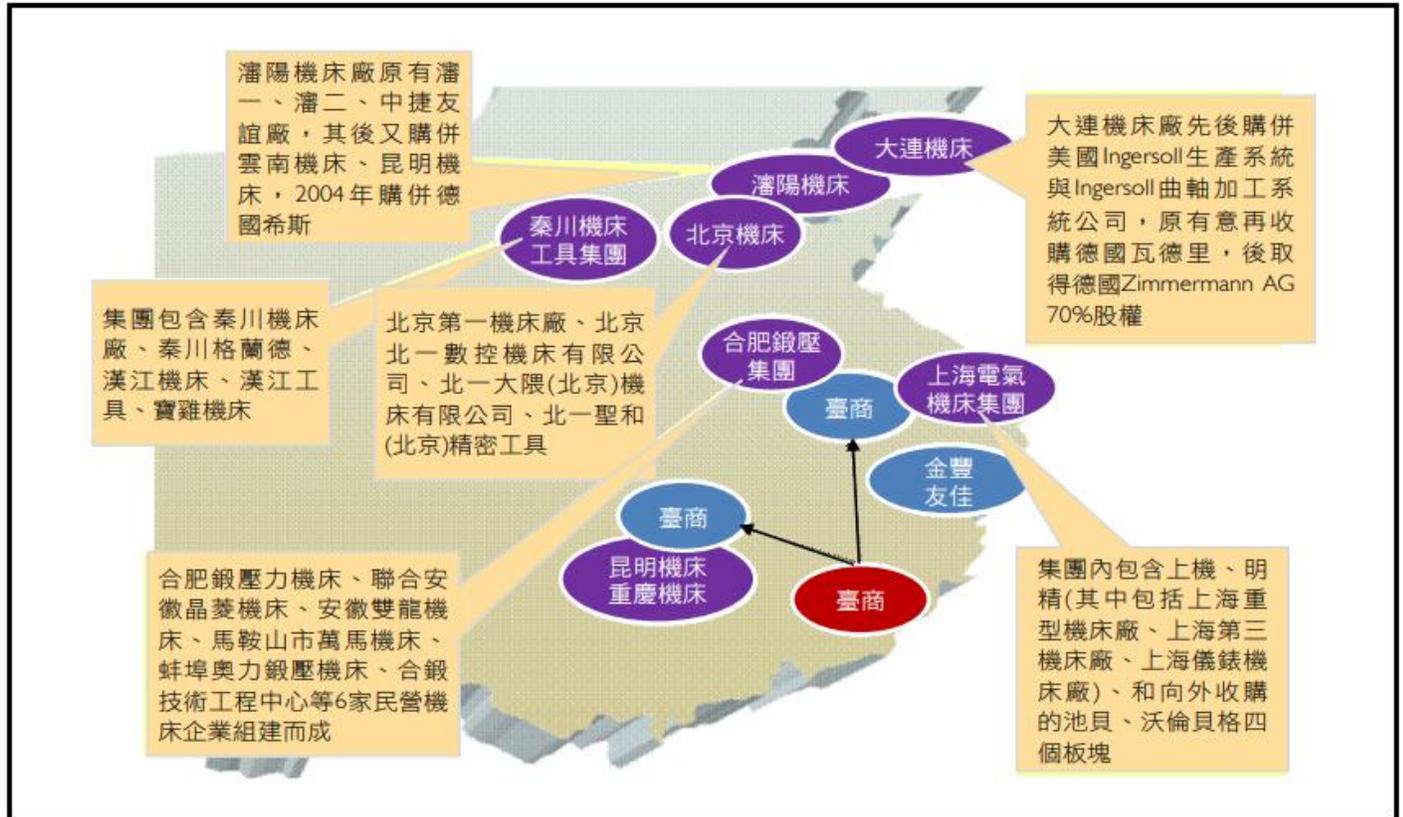
2023 年中國主要進口國家依序為日本(占比 33.4%)、德國(占比 25.3%)、臺灣(占比 11.0%)、瑞士(占比 7.0%)、義大利(占比 5.6%)，如圖 2.14 所示。



資料來源：工研院產科國際所 (2024)

圖 2.14 2015~2023 年中國工具機市場主要進口國家

目前中國的工具機產業是以區域聚落的方式發展，目前中國幾家大型的工具機集團包含瀋陽機床集團、大連機床集團、北京機床集團、秦川機床集團、合肥鍛壓集團與上海電氣機床集團等。



資料來源：工研院產科國際所(2024)

圖 2.15 中國工具機區域聚落分佈圖

圖 2.15 是中國工具機區域聚落分佈圖，中國是全球最大工具機生產國，也擁有數量龐大的工具機企業，包括瀋陽工具機及大連工具機（均在 2019 年由中國通用技術集團進行重組）、秦川機床...等眾多國營企業，以及近年來逐漸興起的創世紀、南通國盛智科、寧波海天精工、北京精雕...等民營公司。由於中國也是全球最大工具機消費市場，因此歐洲、日本、臺灣、南韓等許多工具機廠也在中國設立生產基地。在中國政府持續投資自主技術研發，以及國內龐大市場需求激勵下，工具機產品性能、品質仍在持續進步。

2023 年中國北京機床展(CIMT)與德國漢諾威 EMO 展到 2024 年中國數控機床展(CCMT)，其機台品質與技術的成長有目共睹。中國產官學界高度重視工具機發展，尤其在關鍵零組件如軟體及控制器也急起直追，中國北中南都有廠商開發電腦數控軟體，並自行開發泛用型控制器，已取代日本發那科、德國西門子及海德漢控制器。

尤其中國近年大力發展電動車及綠能產業，廠商都會使用本土國內廠商開發的設備，這點值得臺灣政府與業界借鏡。

中國工具機業已成為臺灣業者的新對手，但由於臺灣工具機市場規模太小，因此業界可積極思考與國際大廠深度合作或進行國內產品線等相關整併，並進一步檢視自身優勢、開發高值化、高立基、高競爭力產品機種，並聚焦未來應用領域。

## 六、未來展望

近年工具機產業表現受到全球高通膨、高利率、地緣政治衝突與臺灣工具機最大出口市場-中國疫後復甦不如預期等影響。這些因素致使全球各主要市場需求不一定穩定；中國與美國的消費與投資是景氣好壞優劣的主因，美國、中國的 GDP 占全球達 4 成，若這 2 個國家其中一個經濟表現不佳，全球主要外銷國家的表現都會受到拖累。

各國政府競相推出製造業振興政策，以「綠色轉型」、「數位轉型」為目標，推動國內製造業永續發展。從近年的許多工具機國際展會上我們看到工具機產品主要聚焦在「智動化」、「數位化」和「永續性」等元素；幫客戶從第一個製程到最終製程的需求都提擬解決方案是國際工具機業者的重要發展趨勢。此外因應電費高漲問題，我們也看到國外內大廠展示品多以綠色轉型為主，提供歐洲市場客戶更節能的綠色工具機產品，同時也針對近年來明顯成長的新興產業，例如電動車、新能源、航太等提出各式智慧化解決方案，單機自動化的比例亦偏高不少。

全球淨零排放與再生能源投資風潮，可望推升製造風力發電機組及儲能設備的工具機需求。而半導體產業則因為美國、歐洲、日本擴大本土產業投資，將帶動相關設備與零組件製造工具機需求市場轉移。此外，電動車滲透率持續增加，也使加工引擎、變速箱，以及電動馬達與電池模組的工具機產品互有消長。

全球工具機產業主要發展趨勢如下：

- (一) 疫後全球經濟復甦速度不如預期，IMF 數據顯示 2023 年經濟成長率下滑至 3.1%，區域性政經因素和強國間角力持續影響工具機市場需求。
- (二) 綠色意識興起，能源轉型的重要性不言而喻，其中離岸風電的成長更是迅速。全球風能協會(GWEC)預測離岸風電年均複合成長率達 15%。工具機產業可以生產離岸風電需要的結構鋼材、旋轉葉片、塔架鑄件等。由於結構尺寸與發電效率有很大的關係，例如葉片動輒就數十公尺，需要符合相對應需求的工具機才能進行生產，長行程、高精度、硬脆材料加工技術是研發關鍵。
- (三) 自解封以來，航空業景氣復甦，2023 年全球航空客運量增長近 37%，不管是空運貨機或是商旅機均加大訂單需求，空中巴士(Airbus)年訂單數成長高達 155%。

飛機機體製造如結構件、引擎件等對工具機皆有不同需求，工具機產業需增強處理複合材料的能力、包括切削粉塵、熱處理；加工面需能滿足多維度、大體積的複雜結構等。

(四) 新能源車需求會持續帶起工具機生產馬達、電芯模組、外殼結構的商機。

## 七、小結

首先在全球主要競爭國家之工具機產業概況方面，瑞士以精密製造享譽全球，工具機產品以高階、特殊設計應用市場為主；德國與日本皆擁有眾多極具競爭力的工具機廠，普遍具有較佳的加工精度、可靠度和耐用性，在全球中高階工具機市場有較大市占率；義大利是歐洲主要工業國家，工具機產品線涵蓋中階與部分中高階機種，在汽車、航太、國防等市場具有較高競爭力；南韓工具機產品線及市場定位與臺灣產品重疊度高，是臺灣在許多國際市場的主要競爭者；中國是全球最大工具機生產國，擁有數量龐大的工具機企業，主要競爭優勢是價格，性能和品質仍有待提升，但在政府支持和龐大市場需求帶動下，正在快速進步。

臺灣工具機產業的優劣勢方面，優勢包括完整的產業分工體系和零組件供應網絡、具有競爭力的人力成本和成本控制意識、持續提升品質和進行產品創新研發、重視客戶關係經營與合作、在中國市場開發和生產投資方面具有先天優勢、政府提供政策支持；劣勢包括技術能力有限，產品定位和價值難以提升、企業規模和可用資源有限、部分關鍵零組件仍需進口、對下游客戶需求掌握度有限、國際貿易條件不如競爭國、人才招聘和留用不易、工業用地取得不易且價格持續上升。

各國工具機的功能和加工精度等級方面，日本和德國的工具機產品位階相當，普遍具有較佳的加工精度、可靠度和耐用性；南韓工具機產品線和市場定位與臺灣高度重疊；中國工具機主要競爭優勢在價格，性能和品質仍有待提升，但正在快速進步；印度工具機市場需求增加，有利於本土企業發展。



### 第三章 我國工具機產業概況

#### 一、我國工具機產業現況

相對於全球，臺灣地狹人稠，中央山脈以西的中部地區經過了產業的演進與人口結構群落變化，孕育了許多工具機的中小企業。中小企業雖然受限於資金、人才的相對不足，在技術規格與國際競爭對手呈相對弱勢；中小型的結構卻也帶來生產靈活、交期短、供應鏈完整等優勢，能快速滿足客戶需求，創造低交易成本與彈性客製化等利多。

根據經濟部統計處，臺灣現有工具機家廠商 1,935 家，其中有 1,153 家位於中部地區，占總廠商數 60%，中小企業家數占整體工具機的九成五以上，可見我國工具機之產業結構。中部地區除了交通方便，地理位置亦鄰近許多產、學、研等機構，如產業面的台中精密園區、中部科學園區、聚集許多加工廠及零組件周邊供應商；學術機構如中興大學、逢甲大學等，提供了許多寶貴人才挹注的能量；研發機構如工研院智慧機械科技中心、精密機械研究發展中心等，是工具機新穎技術開發的搖籃。產業、學術、研發，上述三者均能以任何排列組合方式進行合作，產業界完整供應體系滿足客戶需求，與研發單位合作可以開發出更高附加價值的產品以提升競爭力，與學術單位合作可以培訓更專業的技術人才，持續為我國工具機產業帶來正向的助益。

臺灣工具機業者面臨的問題主要有二，其一為國際地位形勢特殊，業者常因為政經關係的動盪而配合其交易機制的更動，例如 2023 年政府禁止臺灣工具機銷往俄羅斯，對於以往輸出大宗的業者影響甚大。其二為產品市場定位不明朗，往年臺灣工具機在中階規格占有優勢，靠著出色的性價比與穩定的效能一直能維持中國、美國、土耳其等主要銷售地區的主力，但如今中國工具機產業力求革新，在市場定位已逐步擺脫傳統中低規格的印象，日本也因為匯率的變動、市場的決策等因素誘因下，開始與中階的競爭對手角力。如此內憂外患下，國內工具機業者須謹慎審時度勢，例如研發主軸著眼於新興技術或議題，如低碳製造以及 AI 智慧化；行銷傾向打團體戰、完整供應鏈服務的模式，提高客戶品牌黏著度；營運方面則從廠務端到製程端實現精實管理，打造高效率、低成本的生產能量。在研發、行銷、營運上有著與以往不同的創新思維，是臺灣下一個工具機破繭重生的機會。

此外，許多與貿易出口關稅相關的協定如兩岸經濟合作架構協議(ECFA)、跨太平洋夥伴全面進步協定(CPTPP)，前者主要受益為多達百項機械業產品輸出中國可享零關稅優惠，後者為日本主導，會員國人口數達五億、占全球 GDP 達 10% 以上的區域性協定。另外，區域全面經濟夥伴協定(RECP)，也是我國工具機業需特別注意其

影響的協定，因東南亞市場近幾年強勢崛起，有些東協成員如越南亦早已與許多國家簽訂自由貿易協定(FTA)，因此須持續追蹤 RECP 造成的影響以便未來能及時因應；我國工具機業出口占比近八成，是否順利簽定或仍持續保有協議，皆對工具機競爭力影響甚劇。

2023 年臺灣工具機出口值為新臺幣 780 億元，2023 年臺灣為全球第六大出口國，大約七成五至八成的工具機為出口至其他國家，因此國際間的經濟動盪都會影響我國出口貿易的表現，例如像是中國經濟疲軟、美國製造業動能不足等；另外年底政府因美國的要求下對土耳其出口的工具機皆須管制，大大地削弱了該地區的銷量。受上述因素影響之下，與 2022 年相比，主要的出口地區金額皆下降。

臺灣國內製造業使用工具機的需求情況，國外進口與國內機種約各占五成左右，進口國外機種主要是終端用戶用來生產較高階的產品規格為主。2023 年臺灣工具機進口金額相較於 2022 年減少 38.0%，位居全球第 19 名；出口金額也較 2022 年減少 20.0%，位居全球第 6 名。

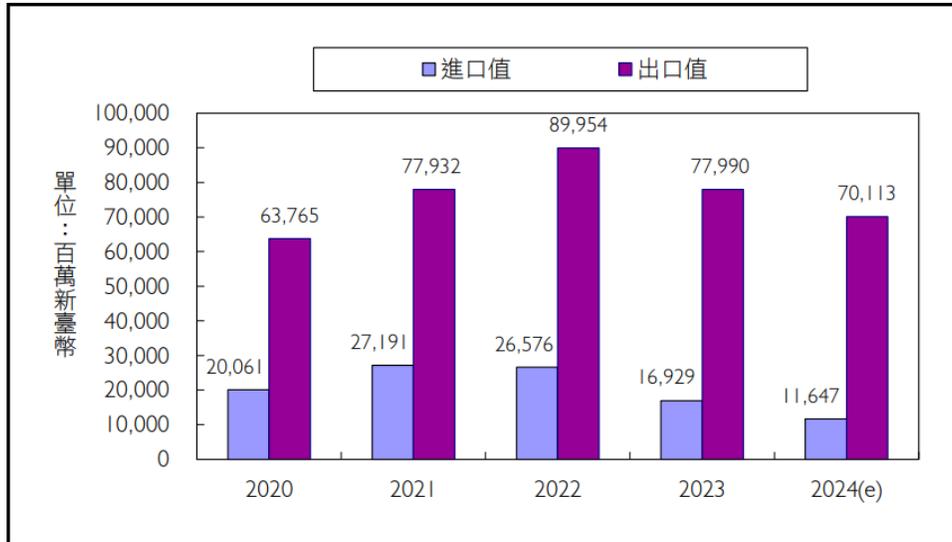
表 3.1 是我國工具機應用領域與占比的比較。臺灣工具機於全球市場之各類應用領域上的佔比分別是，汽機車 40%，航太 12%，能源 4%，其他產業（電子、3C、家電等）44%。

表 3.1 我國工具機應用領域與占比

應用領域	占比	工具機產值 (NT\$)
汽機車	40%	312.0 億元
航太	12%	93.6 億元
能源	4%	31.2 億元
其他產業(電子、3C、家電等)	44%	343.2 億元

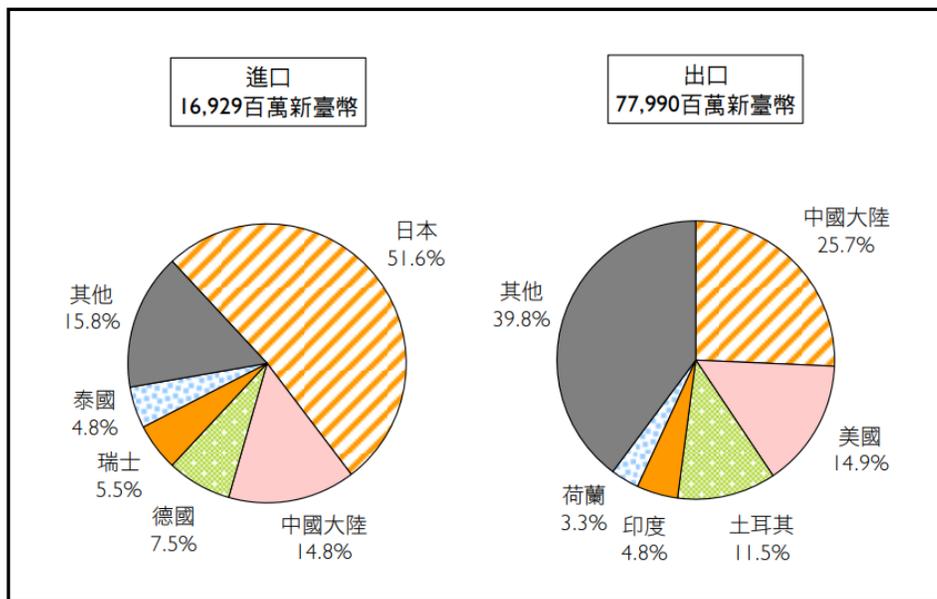
資料來源：工研院產科國際所 (2025/01)

圖 3.1 是 2020~2024 年臺灣工具機進出口值趨勢分析。2023 年臺灣工具機出口值為新臺幣 780 億元，相較於 2022 年減少 13.3%，最大出口市場為中國（含香港地區），出口值為新臺幣 200 億元，占整體出口值比重的 25.7%。第二大出口國為美國，其出口金額為新臺幣 116 億元，占整體出口比重的 14.9%。第三大出口國則為土耳其，2022 年出口金額為新臺幣 90 億元，占整體出口比重的 11.5%。臺灣第四大出口與五大出口國為印度、荷蘭，然而在政府輸俄禁令愈加嚴格之下，未來對土耳其的出口值可能會下滑。2022 年臺灣工具機出口的前十大國家依出口金額排名分別為中國（含香港地區）、美國、土耳其、印度、荷蘭、德國、義大利、越南、日本、泰國。



資料來源：工研院產科國際所 (2024)

圖 3.1 2020~2024 年臺灣工具機進出口值趨勢分析



資料來源：工研院產科國際所 (2024)

圖 3.2 2023 年臺灣工具機主要進出口國

請參閱圖 3.2，2023 年臺灣工具機進口值為新臺幣 169 億元，相較於 2022 年大幅下滑 36.3%，最大進口國為日本，進口值為新臺幣 88 億元，占整體進口值比重的 52%。第二大進口國為中國，其進口金額為新臺幣 25 億元，占整體進口比重的 15%。而第三大進口國為德國，進口金額為新臺幣 14 億元，占整體進口比重的 8%。受到全球景氣不佳影響，許多製造業的訂單皆有所減少，部分業者使用原有設備即可應付減少的訂單數量，因此設備採購保守，是進口值減少的主要原因。臺灣工具機進

口的前五大國家依進口金額排名分別為日本、中國（含香港地區）、德國、瑞士、泰國。

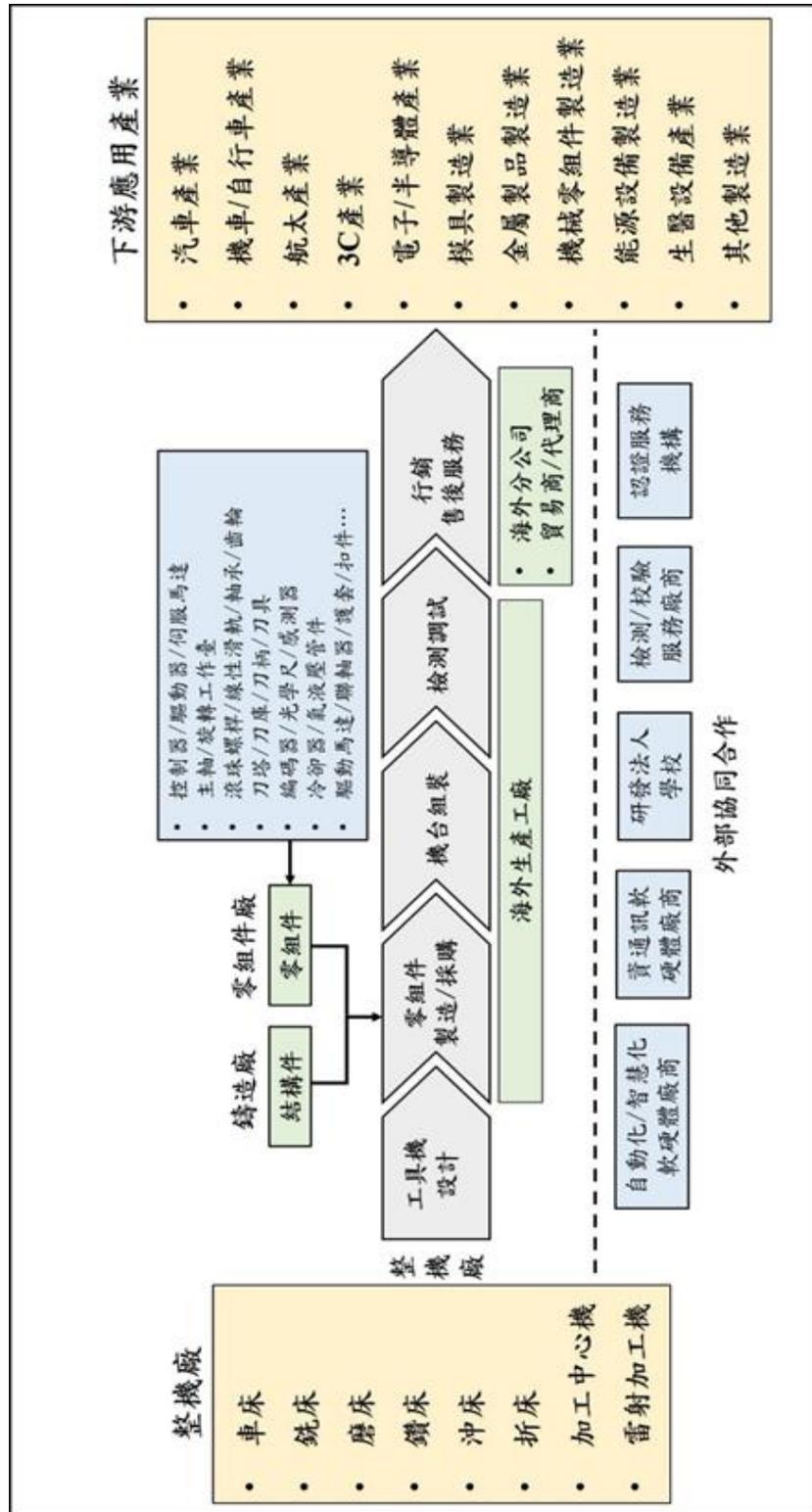
## 二、我國工具機產業鏈及市場

全球產業結構變化迅速，臺灣工具機從早期大量接單的密集型生產，不斷革新相關技術跨入精密型製造，最後搭配一些新興技術結合邁向智慧製造。臺灣工具業者已經有能力向客戶提供完整的智慧工具機解決方案，針對以往在產線棘手的問題都能朝最佳化進行改善，如：智慧加工溫升補償、主軸智慧預兆診斷、生成式 AI 生產製程優化等，進一步強化以往強調臺灣擁有的彈性化、客製化、等關鍵優勢能力。

不同於其他國際業者從下單到交期需要大量的時間，過程還可能衍生許多成本費用；臺灣工具機業者首先可以滿足客戶技術規格需求，接著不論是使用上的穩定性、機種的價格實惠、整機與零組件的客製化等。上述優勢使臺灣工具機在全球獲得許多用戶的青睞，在中階市場上占有極大比重的市場。

放眼望去全球擁有眾多、遍布各地的工具機產業，臺灣工具機產業聚落仍然是當中極具特色的存在。依據經濟部的統計資料，臺灣現有工具機廠商有 1,935 家，就有 1,153 家位於中部地區。主要坐落在台中精密園區、中部科學園區的工具機業者，逢甲大學、勤益科技大學、中興大學等大學院校，及工研院智慧機械科技中心、精密機械研究發展中心等之產、學、研等各單位的熱絡互動合作之下，彼此互補不足並施展專業長才，法人單位有研發能量開發提供關鍵技術、學術單位持續提供工具機相關人才，產業單位經過實際的驗證讓最終成果落地。在供應鏈方面，一套完整的工具機整機係由許多零組件、模組、系統構成，完整的生產供應鏈體系下由各個負責的業者各司其職，專業分工一直以來是臺灣的強項所在。以下為臺灣的工具機產業鏈，如圖 3.3 所示，包含以下幾部分：

- (一) 整機廠，進行設計、製造、組裝、檢測、銷售等工具機產品價值活動。部分廠商也在海外設置生產基地。海外市場拓銷，則透過分公司，或當地經銷商、代理商進行。
- (二) 零組件廠，提供各類組裝工具機所需之零組件；部分整機廠會依其營運策略，自行生產某些零組件。
- (三) 鑄件廠，提供大型結構件鑄造外包服務；部分整機廠會自行製造結構件。
- (四) 外部協同合作企業、組織、機構，提供自動化、智慧化、資通訊軟硬體，以及技術研發合作，檢測、校驗、認證服務。
- (五) 下游應用產業，例如汽車、航太、3C、模具等產業客戶。



資料來源：工研院產科國際所 (2021)

圖 3.3 我國工具機產業鏈

圖 3.4~圖 3.6 分別是台中精機、永進機械、金豐機器的產品。以供應鏈完整度而言，臺灣工具機產業有很好的成熟度，上中下游彼此鏈結度強、群體營利創造度高，也因如此，當景氣好壞變化時，整體生態均會受連帶性影響。

在不同時期的環境產業特質可能是優勢亦可能是劣勢。以臺灣工具機業為例，因早期加工需求精度並不要求太高，強調快速出貨與客製化，因此臺灣以中小型企業的性質非常適合市場的口味，但如今許多特定產業均已往高精度的品質方向去走，加上越來越多物美且價廉的商品在市場出售，這間接稀釋了臺灣工具機的優勢，也顯現出臺灣工具機產業特質發展的瓶頸。



資料來源：台中精機 (2024)

圖 3.4 台中精機 Vturn-A200 臥式車削中心

- 台中精機主要產品為 CNC 電腦車床、加工中心機及塑膠射出成型機等



資料來源：永進機械 (2024)

圖 3.5 永進機械 DCV 系列-龍門型立式加工機

- 永進機械提供五軸、立式、臥式、龍門及車床等全方位解決方案

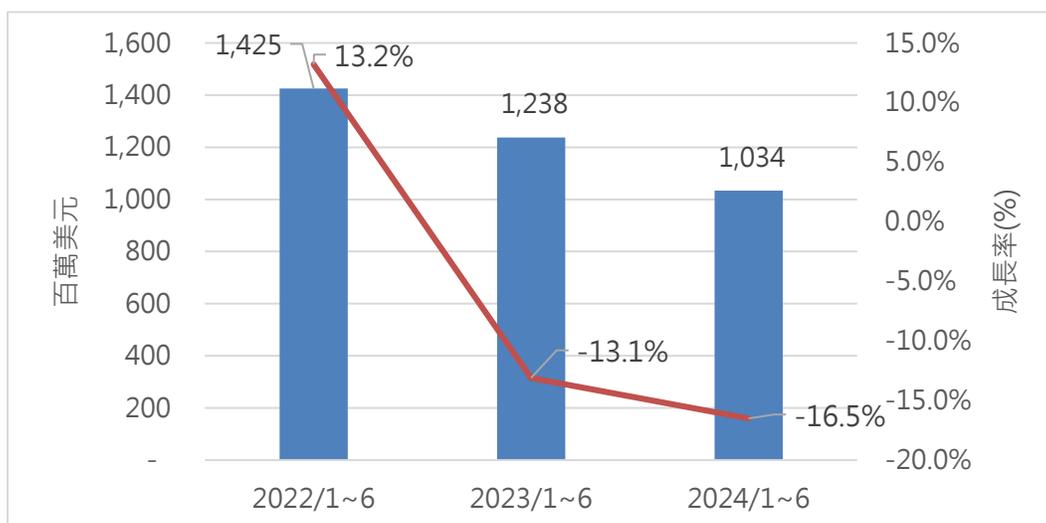


資料來源：金豐機器 (2024)

圖 3.6 金豐機器 SDS4 閉式四點直驅式伺服衝床

### 三、臺灣工具機之產業結構問題探討

依據 Global Trade Atlas，2024 年 1 月至 6 月臺灣工具機出口金額為 10.3 億美元，較 2023 年同期衰退 16.5%，排名更從 2022 年同期的全球第 5 名下滑至第 8 名，如圖 3.7 所示，而前 7 名依序是中國、德國、日本、義大利、南韓、美國、瑞士。



資料來源：Global Trade Atlas (2024/9)

圖 3.7 2022 年 1 月至 6 月至 2024 年同期臺灣工具機出口金額變化

造成出口排名退步之可能臺灣工具機產業結構問題，主要如下：

#### (一) 市場集中度過高

中國長期為臺灣工具機最大出口市場，以 2024 年 1~6 月為例，占比達 27.3%。日前中國中止 ECFA 關稅減讓，加上中韓廠商市場競爭，嚴重影響臺灣工具機在中國市場的競爭力。過度依賴中國市場，使臺灣工具機產業容易受到外部經濟環境劇烈波動，當中國經濟放緩時，臺灣工具機出口也會隨之下滑。

#### (二) 產品機種過於單一

臺灣工具機主要出口機種集中在綜合加工機、車床、鍛壓/沖壓成型工具機等三種機型，以 2024 年 1~6 月為例，占出口總額的 70.0%。產品結構單一，缺乏多元化發展，難以滿足不同市場的需求，而當主力機種需求下滑時，便難以即時調整產品組合。

#### (三) 技術創新不足

臺灣工具機廠商以中小企業為主，普遍規模偏小，研發資源不足，且缺乏自主研發能力，多仰賴代工接單。長期以來產品技術含量偏低，附加價值有限，因此也就難以在國際市場上與德日等先進國家工具機廠競爭。

#### (四) 專業人才短缺

目前臺灣工具機產業正面臨轉型升級，需要大量具備智慧製造、數位轉型、AI 應用等新興技術的專業人才。然而，臺灣在這些領域的人才培育速度相對較慢，導致產業升級的進程受到限制，尤其中小企業在技術人才的招募與培養上面臨資源不足的挑戰，進一步削弱了產業競爭力。

#### 四、我國工具機產業 SWOT 分析

臺灣工具機產業之 SWOT 分析：

##### (一) 產業發展優勢

1. 完整的產業分工體系。
2. 具有競爭力的人力成本與較高的成本控制意識。
3. 持續提升品質與產品創新研發。
4. 客戶關係經營與合作。
5. 中國市場開發與生產投資。
6. 政府政策支持。

##### (二) 產業發展劣勢

1. 技術能力有限，產品定位與價值難提升。
2. 企業營運規模相對小及可用資源有限。
3. 部分關鍵零組件仍仰賴進口。
4. 對下游客戶需求掌握度有限。
5. 國際貿易條件不敵競爭國。
6. 人才招聘與留用不易。
7. 工業用地取得不易且價格持續攀升。

##### (三) 產業發展機會

1. 國際製造基地變化引發新市場需求。
2. 製造體系演變衍生產品與服務創新需求。
3. 部分下游應用產業相關需求持續成長。

##### (四) 產業發展威脅

1. 國際市場競爭日益激烈。
2. 車輛載具電動化或油電複合化，使部分機種需求減少。
3. 臺灣工具機主要出口市場如東協國家與中日韓簽署 RCEP 貿易優惠協定。

## 五、我國相對國外工具機產業之特質與升級轉型作為

臺灣工具機產業特質包括：零組件供應鏈完整、以中小企業為主、產品出口占比高，如表 3.2 所示。

表 3.2 臺灣工具機產業特質

產業特質	對產業發展影響
零組件供應鏈完整	<ol style="list-style-type: none"> <li>1. 眾多各類零組件與製程外包廠商，可提供絕大多數生產工具機所需零組件、結構件、模組；並在台中地區形成緊密產業聚落。</li> <li>2. 整機廠可降低總體生產成本、加速產品研發進程，以滿足客戶多樣性產品需求。</li> <li>3. 部分整機廠過於仰賴零組件廠，導致對關鍵零組件性能掌握能力不足、產品同質性高，產品競爭力降低。</li> </ol>
以中小企業為主	<ol style="list-style-type: none"> <li>1. 企業組織較單純與扁平化，對市場及外部環境變化應對彈性更大、更快速。</li> <li>2. 資金與專業人力資源較為不足，在產品研發創新、國際市場開發、售後服務上容易受限。</li> <li>3. 多以家族企業模式經營，部分成立時間較長企業，逐漸面臨二代、甚至三代接班問題。</li> </ol>
產品出口占比高	<ol style="list-style-type: none"> <li>1. 透過持續拓展國際市場，支持企業與產業發展，彌補國內市場規模較小之發展限制。</li> <li>2. 容易受到國際經濟循環及景氣榮枯變化，使企業營收與總體產值出現較大幅度振盪。</li> <li>3. 當新台幣兌美元匯率在短期內出現較大幅度升值時，會對企業國際市場競爭力及獲利率造成顯著衝擊。</li> </ol>

資料來源：工研院產科國際所 (2024)

臺灣工具機產業升級轉型作為主要包括以下幾個面向：

### (一) 工具機關鍵技術開發與應用推廣

#### 1. 研發法人高階工具機相關技術

在經濟部科技專案計畫支持下，國內研發法人結合 AI 改善精度，使過去調機時間大大縮短，同時讓工具機精度同步追趕至國際大廠的水準。該專業已協助國內進行國防軍事相關設備生產。針對工具機加工的震動磨耗開發出感測晶片，提供預先診斷進行保養，已成功導入國際航空業者。

#### 2. 學界工具機加值軟體研發

在科技部專案計畫支持下，學界單位針對工具機控制器進行增值軟體模組技術，如遠端虛實整合調機、AI 自動生成報價系統、整合市售控制器進行最佳化控制等。

### 3. 業界控制器開發與市場推廣

為避免國外控制器斷鏈危機，多家業者透過產學研合作及自主研發，推出多種國產智慧型控制器，導入許多高階、複合型的工具機應用；在控制器相關技術使用於車/銑/鑽/磨等機床，可以提供高速高精度的加工品質。

#### (二) 綠色工具機與智慧製造應用方案

##### 1. 綠色工具機

因應國際 ESG 與淨零意識抬頭，在工具機製造與實際投入生產均需達到節能、低碳的效果。國內業者針對機種進行輕量化設計，以減少不必要的原料浪費；在加工的過程中使用低污染的耗材與最佳的製程工法，工具機整機廠可以增大產值；加工製造商能減少碳排放與降低能源成本；用戶端可確保產品在碳關稅貿易上游刃有餘，達到三贏的效果。

##### 2. 智慧製造應用方案

為實現高精度與高效率的加工，許多整機業者在機構設計上符合一站式解決方案，可進行銑削、鑽孔、攻牙等複合式加工，搭配五軸控制器打造一機多用，可廣泛應用於航太、汽車、能源等產業，另一方面，也建置許多感測器與相關數據處理軟體技術，提高每次加工的效率，避免不良品。

#### (三) 拓展國際市場與打入供應鏈

##### 1. 塑造臺灣產品形象拓展國際市場

在國際品牌的供應鏈裡透過終端產品，讓客戶肯定由臺灣工具機加工的產品優越；在許多新興市場如東協、印度、墨西哥等增加媒體曝光度，在國際展覽會上將自身優勢充分表現出來，強化客戶在投資設備時，臺灣是不二選擇的產品形象。

##### 2. 企業海內外專業分工佈局

針對不同地區各自有相對應的機種需求，工具機整機廠與零組件廠商持續在海外新增銷售基地、生產基地，大部分工具機整機廠會將研發中心設於本國。銷售基地會設立在現在或未來有潛力買主的地區，如美國；生產基地大多都會瞄準標準機需求量大大的地區，如中國，選擇就近生產以降低整機的製造成本；研發中心會視銷售基地回饋的市場情報來選擇具有潛力的新技術來開發提高淨利潤。另一方面，也會積極收購對自身企業有利的國際品牌，以彌補相對薄弱的技術環節或是銷售通路。

#### (四) 工具機雙軸轉型

為跳脫傳統臺灣工具機市場競爭採用的價格競爭，最直觀的就是附加價值的提升，雙軸轉型(DX & GX)是我國產官學研致力研究的核心關鍵。其主要內容為：

1. 智慧化能源管理與製程，在使用設備機台生產時，減少能源的使用與時間，且數位化的管理有助於再回饋至決策端以進行驗證與改善。
2. 數位雙生的虛實整合系統，有別以往需先一條龍的生產營運才能了解問題加以檢討，如今可以先在模擬端驗證設計理念、原料使用、加工製造、組裝、配貨運輸等是否達到預期效益，事先就能佐以改良缺點。
3. 綠色工具機節能標章評鑑，透過開發的零組件、模組給予認證的綠色轉型，提高買主採購誘因。
4. 智慧深度學習主動介入生產流程的把關監控，經過數據學習與模型建立做出判斷、預測、輔助決策等各項能優化的關鍵指標。

#### (五) 跨領域合作

##### 1. 跨產業公協會合作

近幾年新議題與新技術的發源點均大多來自航太、新能源、半導體的產業。協助工具機業者爭取半導體生產設備國產化商機，臺灣工具機暨零組件公會在 2020 年 12 月邀集臺灣智慧自動化與機器人協會(TAIROA)、國際半導體產業協會(SEMI)、臺灣電子設備協會(TEEIA)、光電科技工業協進會(PIDA)，以及多家研發法人，共同簽署「推動半導體設備在地化跨產業聯盟合作備忘錄」，合作推動半導體及電子相關設備生產在地化。

##### 2. 企業跨域合作

工具機核心的控制器軟體、相關介面、周邊零組件等感測資料皆須要互相傳遞資訊，因此要讓工具機賦予數位化、智慧化，必須要靠軟體為核心打造服務。工具機暨零組件公會推動「智慧製造 SaaS 微服務聯盟」，主旨為打造一個共同規格介面，依使用者需要角度出發，擬定需要的服務及規格於平台進而促進跨領域、多元產業的相關應用。

臺灣工具機產業未來發展，將以數位轉型、綠色轉型為雙主軸。

- (1) 「數位轉型」方面，導入數位、智慧化技術，實現生產流程自動化和數位化來實現工具機的高效生產、更精準的加工以提高生產效率和品質，期能迎接科技進步所帶來的挑戰與機會，相關具體案例與做法包括：

- A. 智慧製造解決方案：企業導入數位化設備、系統和 AI 新技術，以提高生產效率、節省工時和節能省電。例如，使用 AI 助理進行生產流程監控、數據分析和即時調整。
  - B. 數位雙生：透過 CNC 軟硬體開發，建立數位雙生系統，讓操作員在系統上進行干涉檢查，預先排除切削誤差、參數值或刀具校正問題，提高加工精度。
  - C. AI 視覺技術：機器視覺和 AI 深度學習應用於倉儲、物流業，例如自動規劃最優化的路徑、減少碰撞、精準揀料。
- (2) 「綠色轉型」方面，推動臺灣工具機暨零組件業者辦理「工具機節能標章」評鑑，相關具體案例與做法包括：
- A. 產品碳足跡計算：建立產品類別規則，作為臺灣工具機產業計算產品碳足跡的業界標準，達到淨零減排的目標。
  - B. 智慧節能：導入智慧化、節能省電的相關設備系統，減少耗材浪費，降低碳排放量。

## 六、我國工具機南向出口市場研析

關於臺灣工具機的功能和加工精度等級方面，如圖 2.11 所示，臺灣工具機產品定位大約位於中階範圍，與南韓工具機產品的功能和加工精度等級重疊度極高，是臺灣在許多國際市場的主要競爭者。

2023 年臺灣工具機主要東南亞出口市場（印度、越南、泰國、馬來西亞），占臺灣整體出口比重的 11.7%，出口金額為 3.0 億美元，其出口金額較 2022 年衰退 20.9%。雖然比起去年有較大幅的衰退，但近年我國政府大力支持產業前進東南亞，此區的戰略位置尤其重要；因此，以下將針對印度、越南、泰國、馬來西亞等四國進行當地產業近況分析。

2023 年臺灣出口至印度的工具機金額為 1.2 億美元，較 2022 年成長 30.1%。印度躍升為臺灣工具機在東南亞第一大出口市場，同時也是臺灣的全球第四大市場。前三大出口機種項目依序為綜合加工機(40.3 百萬美元)、車床(22.2 百萬美元)、鍛壓、沖壓、成型工具機(20.8 百萬美元)。印度於 2023 年已經正式人口數超過中國，成為世界上人口最多的國家。工具機產業產值有非常大的份額是歸功於汽車製造業，臺灣為印度工具機第五大進口國，印度汽車製造業非常發達，受惠於政策與人口紅利等條件，汽車製造產值占 GDP 比重超過 7.0%，預計將成為全球第三大汽車市場。我國對於印度出口貿易的相關協定上略顯弱勢，主要是在關稅的協定上競爭對手日本及韓國均能享有減免，此景除了工具機業者本身須自立自強外，也是政府須積極正視的問題。當地佈局之臺灣工具機廠商主要包括協易機械、東台精機、百德機械、

臺灣瀧澤、福裕科技、穎漢科技、邁鑫機械等，如表 3.3 所示。

表 3.3 佈局印度之臺灣工具機廠商

廠商	性質	營運內容
協易機械	經銷商	代理產品銷售與售後服務
東台精機		
百德機械		
臺灣瀧澤		
福裕科技		
穎漢科技	子公司	產品銷售、諮詢與售後服務
邁鑫機械	合資公司	代理各式工具機與輔助設備

註：本表僅列出部分臺灣廠商，友嘉集團佈局印度的商業模式敘述於後

資料來源：工研院產科國際所 (2024)

2023 年臺灣出口至越南的工具機金額為 0.7 億美元，較 2022 年衰退 40.3%。越南為臺灣工具機在東南亞第二大出口市場，同時也是臺灣的全球第八大市場。前三大出口機種項目依序為鍛壓/沖壓成型工具機(23.9 百萬美元)、綜合加工機(12.2 百萬美元)、車床(10.9 百萬美元)。越南屬於發展中國家，金屬加工和工業產品自給率不足 10%，因此需仰賴進口設備以滿足國內製造業需求，臺灣為越南工具機第四大進口國。由於越南富有充沛年輕人力，未來製造業深具發展潛力，工具機需求可望持續攀升。因中美貿易戰的緣故，當許多外資移出中國並尋找據點時，越南成為了他們的選項之一。不但韓國、美國、甚至中國本身也有企業進駐越南，越南的大城市如胡志明市以及河內都在這幾年出現巨大變化，2023 年更是亞洲經濟成長率第一名。南韓現代汽車和越南綜合企業在越南北部寧平省汽車投產；日本 TOYOTA 汽車公司也於越南永福省持續擴大規模；相關產業鏈有持續性的工具機需求，當地主要競爭對手名單為中國、韓國、日本。當地佈局之臺灣工具機廠商主要包括協易機械、東台精機、永進機械、臺灣瀧澤、福裕科技、與穎漢科技等，如表 3.4 所示。

2023 年臺灣出口至泰國的工具機金額為 0.6 億美元，較 2022 年衰退 25.8%。泰國為臺灣的第十大出口市場；前三大出口機種項目依序為綜合加工機(16.8 百萬美元)、車床(16.4 百萬美元)、鍛壓/沖壓成型工具機(13.2 百萬美元)。臺灣為泰國工具機第三大進口國，泰國的工具機市場主要競爭者為日本品牌且都深根已久，可以說等同於泰國汽車製造大國的原推動力。近期泰國也看好電動車市場的趨勢，為東南亞最積

極佈局的國家。如何與日本企業競爭、搭上電動車製造趨勢，臺灣工具機產業需謹慎且靈活佈局、結合自身優勢，才能進一步深化泰國市場。當地佈局之臺灣工具機廠商主要包括協易機械、亞崴機電、東台精機、臺灣瀧澤、福裕科技、穎漢科技等，如表 3.5 所示。

表 3.4 佈局越南之臺灣工具機廠商

廠商	性質	營運內容
協易機械	貿易商	進出口與銷售各國工具機
東台精機	分公司	產品銷售、諮詢與售後服務
永進機械		
臺灣瀧澤	經銷商	代理產品銷售、諮詢與售後服務
福裕科技		
穎漢科技		

註：本表僅列出部分臺灣廠商

資料來源：工研院產科國際所 (2024)

表 3.5 佈局泰國之臺灣工具機廠商

廠商	性質	營運內容
協易機械	子公司	機械零配件之銷售
亞崴機電	經銷商	代理產品銷售、諮詢與售後服務
東台精機	分公司	產品銷售、諮詢與售後服務、技術支援
臺灣瀧澤	子公司	
福裕科技	經銷商	代理產品銷售、諮詢與售後服務
穎漢科技		

註：本表僅列出部分臺灣廠商

資料來源：工研院產科國際所 (2024)

2023 年臺灣出口至馬來西亞的工具機金額為 0.4 億美元，較 2022 年衰退 46.4%。馬來西亞為臺灣的第十三大出口市場；前三大出口機種項目依序為綜合加工機(14.6 百萬美元)、鍛壓/沖壓成型工具機(10.6 百萬美元)、車床(7.5 百萬美元)。馬來西亞在東南亞算是經濟較發達國家，地理位置優越，適合轉口貿易，亦生產石油等天然資源。近年來內需持續擴張，製造業在國內生產總值 GDP 占 20% 以上。馬來西亞與臺灣製造業性質相似，中小企業比例非常高，馬來西亞政府積極推動中小企業的發展，

如“2030年新工業大藍圖”，裡就有一項為加強製造業的競爭力。馬來西亞本地沒有工具機整機製造能量，需要向國際工具機業者採買設備以加工出口。Metaltech 為馬來西亞非常重要的工具機展，許多區域買家均藉由此平台獲得供應商的相關設備及服務。主要競爭對手有中國、日本、德國、新加坡、南韓等。當地佈局之臺灣工具機廠商主要包括協易機械、亞崴機電、東台精機、永進機械、百德機械、臺灣瀧澤、福裕科技、穎漢科技等，如表 3.6 所示。

表 3.6 佈局馬來西亞之臺灣工具機廠商

廠商	性質	營運內容
協易機械	經銷商	代理產品銷售、諮詢與售後服務
亞崴機電		
東台精機	分公司	產品製造、銷售與售後服務
永進機械		產品銷售、售後服務、技術支援
百德機械	經銷商	產品銷售與售後服務
臺灣瀧澤		代理產品銷售與售後服務
福裕科技		代理產品銷售、諮詢與售後服務
穎漢科技		

註：本表僅列出部分臺灣廠商

資料來源：工研院產科國際所 (2024)

隨著東南亞的製造業的龐大成長機會，外資型企業逐漸在東南亞設立工具機製造據點，也由於製造/人力/運輸等相關成本較低，使東南亞獲得市場上更佳的地位以及變得容易出口到其他地區，另外也由於東南亞各國的營運成本低，造成全球工具機企業轉移產能到該地區。因此，隨著東南亞的製造業不斷發展，對東南亞的工具機需求也將日趨擴大。東南亞的工具機市場規模，預估 2023 年至 2030 年將維持成長。

東南亞多數國家屬於開發中國家，有著人口充沛的優勢、地理位置也鄰近各大經濟體系，吸引許多外資企業紛紛投入資金打造生產基地，拜這幾年供應鏈重組以及貿易路線改變等，東南亞無疑是首波受惠的對象。在一些標竿產業如汽車業帶動下，東南亞的工具機市場規模預估 2030 年前都將維持正成長。

2024年5月中國國務院關稅稅則委員會公告第2批中止「海峽兩岸經濟合作框架協議」(ECFA)部分產品關稅減讓清單，中止適用該協定之關稅減讓，與之相關的工具機產品包括：切削金屬的立式數控車床(84589110)、切削金屬的數控臥式車床(84581100)、數控平面磨床(84601210)、其他閉式鍛造機(模鍛機)(84621190)以及工件夾具與零組件類(稅號 84.62-84.63 機器用其他零附件)(84662000)(84669400)等六類。此出口中國的六個受影響產品共占臺灣工具機近五年出口中國比重平均約42.4%，約3.0億美元，共占臺灣工具機產值比重平均約11.4%、約4.3億美元，對我國工具機產值影響估計約0.6~0.8%。中止關稅減讓將對臺灣工具機產業帶來挑戰，但也提供了調整和轉型的契機。臺灣工具機業者應密切關注市場變化，採取合適的策略以應對不確定性。

## 七、國內外市場營運的商業模式與實務做法建議

透過找到合適的國外代理商來進行市場布局，是公司國際化擴展的重要策略，也是臺灣工具機業者常見的市場營銷方式，以下是幾個可能的實際做法，協助企業選擇和管理國外代理商：

### (一) 市場調查與分析

1. 鑑別潛力市場：深入研究目標國家的市場需求、競爭環境及行業趨勢，特別是東歐、中南美、與東南亞等潛力市場，並利用相關數據與市場報告來評估這些市場的成長潛力和進入障礙。
2. 了解當地文化與商業習慣：不同國家有不同的商業文化，洞悉當地的商業習慣和消費者偏好，有助於選擇合適的代理商。

### (二) 尋找合適的代理商

1. 參加國際展覽：多參加工具機相關的國際展覽會，這些場合是尋找潛在代理商和建立聯繫的理想平台。
2. 利用專業平台：透過專業貿易平台尋找具備良好信譽和經驗的代理商，並查看其過往案例和客戶評價。

### (三) 建立合作關係

1. 進行實地考察：選定潛在代理商後，進行實地考察以評估其經營狀況及市場影響力，確保其具備足夠的資源和能力來推廣臺灣工具機產品。
2. 提供支持與培訓：對於選定的代理商，提供必要的產品知識、銷售技巧及售後服務培訓，以增強其推廣能力和信心。

### (四) 建立長期合作機制

1. 簽訂明確的合約：與代理商簽訂詳細的合約，明訂雙方的權利與義務，包括銷售目標、佣金結構及市場開發計劃等。
2. 定期評估與反饋：建立定期評估機制，檢討代理商的表現及市場反應，並根據市場變化及需求調整策略。

#### (五) 利用數位行銷

1. 強化線上存在感：透過社交媒體、網站及電子郵件行銷等數位管道，加強品牌曝光率，以吸引更多潛在客戶和合作夥伴。
2. 數位內容行銷：提供有價值的內容（如技術文章、應用案例）來吸引目標市場中的注目度，提高品牌知名度等。

### 八、友嘉集團在印度的商業模式

友嘉集團看好印度人口紅利、經濟持續成長實力，尤其是印度汽車及醫療等產業對工具機設備需求的成長，董事會通過在班加羅爾擴建二期新廠，生產德國 MAG、臺灣友嘉 FEELER 等品牌車床及加工中心等工具機，鎖定汽車、航太、醫療及模具等產業，目標是五年內躋身印度前五大機械廠。

友嘉集團在印度市場的商業模式具有獨特性的戰略佈局，可借鏡參考之處為：

#### (一) 商業模式之特色

1. 多品牌經營：友嘉集團透過其龐大的併購網絡，整合多個品牌的產品線，涵蓋從中低階到中高階的工具機，這使其能夠靈活應對不同層次的市場需求，從一般製造業到精密加工行業皆能覆蓋。
2. 垂直整合供應鏈：友嘉集團的垂直整合策略，在印度亦得以延伸。透過併購零件供應商、工具機製造廠和售後服務網絡，友嘉可建立完整的供應鏈，減少對外部資源的依賴，提升市場應對速度和供應穩定性。

#### (二) 臺灣廠商可借鏡參考之處

1. 併購與合作模式的靈活應用：臺灣其他工具機廠商，可參考借鑒友嘉的併購策略，但不一定需要大規模的併購，更小規模的收購或策略合作，亦有機會取得市場進入門票和資源，例如透過與當地的經銷商或合作夥伴成立合資企業，降低風險，分享資源。
2. 品牌多元化與差異化策略：臺灣廠商可以學習友嘉多品牌經營的靈活策略，特別是根據不同國家的市場需求來調整產品組合。這樣能避免單一產品線無法覆蓋不同市場需求的問題，並透過品牌差異化來提高市場占有率。

3. 本土化與技術轉移：臺灣廠商可學習友嘉的本土化策略，將部分生產設施移至當地，降低運營成本並提升市場響應速度；同時，本土化不僅限於生產，還應包括技術轉移與人才培訓，確保當地業務的可持續發展。
4. 全球佈局與區域化管理：友嘉的全球化經營經驗和多國市場佈局，提供了臺灣廠商一個值得借鑒的藍圖。其他臺灣廠商也可以考慮以區域化管理的方式來擴展市場，逐步滲透全球市場，並根據各區域特性調整策略。

## 九、未來展望

臺灣工具機產業鏈及市場方面，可區分為整機廠，其負責設計、製造、組裝、檢測、銷售等工具機產品價值活動，部分廠商在海外設有生產基地；零組件廠則提供各類組裝工具機所需零組件與部分整機廠自行生產某些零組件；鑄件廠提供大型結構件鑄造外包服務與部分整機廠自行製造結構件；外部協同合作企業、組織、機構則提供自動化、智慧化、資通訊軟硬體，以及技術研發、檢測、校驗、認證服務；下游應用產業則如汽車、航太、3C、模具等產業客戶。

臺灣工具機產業優勢方面，零組件供應鏈完整，可降低整機廠生產成本、加速產品研發，但也可能導致對關鍵零組件性能掌握不足；以中小企業為主，靈活應對市場變化，但資金和專業人力較缺乏，部分則面臨接班問題；產品出口占比高，拓展國際市場，但易受國際經濟變化影響，匯率波動也會影響競爭力。

展望未來，全球經濟面臨氣候變遷干擾供應鏈、新能源、政治及綠色貿易戰，人口結構改變帶動企業營運模式調整、政治緊張局勢影響市場機會，將帶來新的安全風險；意識形態與經濟分歧，全球貿易重新洗牌，地緣政治干擾、俄烏戰爭未平、各國綠色減碳政策等因素，對國內工具機暨零組件業者出口都可能帶來程度不一的影響。

### (一) 以終端應用市場需求持續深耕技術，聚焦工具機智慧加值應用

我們應持續關注新興市場經營與拓銷。墨西哥與美國同屬於具關稅優惠的北美自由貿易區，其鄰近美國消費市場加上美國電動車市場需求，有地利之便。電動車大廠 Tesla 墨西哥工廠預計 2024 年投產，將超越目前中國上海工廠規模，台系供應鏈已啟動墨西哥市場布局。在東協國家的發展上，泰國政府提供電動車價格補貼，帶動泰國電動車市場蓬勃發展，日系、中系車商大舉投資，2022 年 4 月 Tesla 也在泰國成立經銷商。印尼為東協最大汽車市場；印尼國營電池公司(IBC)與韓國現代汽車集團和 LG 新能源共同合資 11 億美元，在西爪哇(KNIC, Karawang New Industry City)成立東協最大電動車電池工廠，預計 2024 年 4 月開始營運。印度是全球第三大汽車市場，德國 BMW 計畫在印度生產電動車，即使目前 BMW 電動車銷量僅佔印

度總銷量 8%-9%。印度總理莫迪執政後推動「印度製造」，挾人口紅利及國家政策扶植，有機會取代中國成為全球新製造中心，惟需注意印度貧富差距、基礎建設不足、無足夠的技術勞工、種姓制度等問題。

而位於歐亞的土耳其，宣布在 2030 年前投資 10 億美元強化電動車基礎設置及投入再生能源科技約 20 億美金。2022 年土耳其的電動車銷量成長約 2 倍(7,733 輛)，至 2023 年為止，土耳其電動車上路數目攀升至近 33,000 輛，其充電站網絡已擴張逾 4,200 座，充電站網絡已分布至 81 個省份，包括 2,228 座 DC 及 6,633 座 AC(慢充)充電站點，土耳其每 14 輛汽車約有一座 DC 充電站點，此為全歐洲國家中最高數量。

電動車、新能源、航太等產業仍是未來幾年工具機暨零組件產業的主要應用市場，建議國內業者應著重在相關產業及週邊需求開發相對應產品，例如：電動車電池殼加工、新能源製造設備等。有業者提到，面對日元匯率的競爭問題，除了思考如何建立自己產品的不可取代性，還有搶進非日系車廠主導的電動車市場，例如美國的特斯拉或是中國的比亞迪。美國汽車產業轉向電動車發展，為確保鋰鎳、石墨等電池關鍵材料供應，汽車業者競相與礦業公司合作，於各地興建新的電池廠，目前國內工具機大廠皆有加工電池殼設計的相關工具機產品或可作為參考。

## (二)從政策、產業、技術方面做一貫性的連結，創造出新的價值鏈

國內工具機業者多半規模不大，若缺少一些整合的元素未來可能會遇到中國的強勢競爭還有東協國家體系切入的問題。臺灣的工具機業者至今仍有同質性高的問題，應該思考如何把這麼多不同的製程拆解出不同的項目做成各自專長的微服務，以服務為導向的 IT 服務管理(ARCIModel, 阿喜法則)或許要成為企業重視的管理概念。臺灣每年生產的工具機暨零組件產品高達 8 成以上外銷出口，因此有遍佈全球的許多通路商、代理商，他們在前線的資訊回饋很重要。面對國際強敵環伺，亦亟需政府加速推動與各國洽簽自由貿易協定，協助國內業者爭取關稅優惠措施，提升產業出口競爭力。

未來臺灣工具機產業將面臨商業價值、互聯性和生產可持續性等三大全球趨勢。生產可持續性則與淨零碳排相依，目前在全球大行其道，它影響的不只是單一產業，而是整個社會，包括永續生產、能源效率、電動車應用、節能/綠色工具機、設備/零組件的回收再利用，以及高效切削液的開發等。商業價值涉及生產和業務流程組織方面的翻轉變革，包含創新業務、合約和銷售模式、新銷售市場、銷售融資方式、新工作概念帶來的機會等。互聯性是指人與機器間的互動更加緊密與無縫，含括新應用、自動化流程、智慧生產、機器學習、預測性維護、工業物聯網等資通訊技術。大環境不佳時，大廠不應只是獨善其身，而要發揮母雞的影響力，帶領小雞廠一起

突圍才更有勝算，小雞廠不該把小當做無法轉型的理由，認為導入新一代資通訊技術的數位轉型和自身無關，認為既花錢又沒立即效益，其實只要投入就會有收獲。臺灣的工具機產業規範近年在產官學研的努力下，產業應用成果已逐漸顯現，為加速工具機產業規範落實與引用，應該可以有更多的工具機暨零組件產品驗證中心，協助產業提升產品可靠度與產品附加價值，強化產業整體競爭力。



## 第四章 我國工具機產業之挑戰

全球製造業正加速邁向智慧化與數位化轉型，我國工具機產業作為全球製造供應鏈的關鍵一環，在此趨勢下面臨諸多挑戰。工具機業者當前發展深受國際局勢影響，包括國際經貿變化、地緣政治風險升高、貿易保護主義抬頭，以及後疫情時代供應鏈失衡等因素。同時，汽車電動化與綠色轉型對設備升級的需求，亦對產業競爭力形成新的壓力與挑戰。

我國工具機產業對內則面臨結構性問題，亟待正視與解決。產業核心零組件高度依賴進口，導致本土企業在關鍵技術上處於被動地位，進而影響整體營收能力，反映出臺灣工具機產業亟需提升自主研發能力，加強關鍵零組件技術掌握。此外，我國工具機業者面臨產業升級的迫切性，包括改善產業鏈結構、聚焦智慧製造、積極布局高附加價值領域，成為應對外部環境挑戰、提升全球市場競爭力的關鍵策略。基於此，本章將深入探討國際經貿變化對於臺灣工具機產業的挑戰，檢視產業在結構與雙軸轉型中面臨的技術創新與市場需求變化壓力，最後提出強化產業競爭力與實現永續發展的策略建議。

### 一、國際經貿變局之挑戰

新冠疫情雖已緩解，然受到俄烏衝突持續、地緣政治緊張及供應鏈重組等國際經貿變局之衝擊，全球經貿復甦步伐放緩，加以貿易保護主義抬頭、區域經濟整合協定相繼生效，進一步加劇關稅差異化，而全球產業競爭日益激烈，影響我國產品出口競爭力，尤以工具機產業首當其衝，使得我國工具機產業面臨全球政經情勢、區域貿易協定、市場競爭等層面之挑戰。

#### (一) 全球政經情勢之挑戰

##### 1. 全球疫後經濟復甦疲軟影響工具機需求

世界衛生組織(WHO)雖於 2023 年 5 月 5 日正式宣布終止新冠疫情全球公共衛生緊急狀態，然而全球經濟復甦步伐緩慢。世界銀行預估 2024 年全球經濟成長率將衰退至 2.4%，較前幾年持續下修(World Bank, 2024)，另國際貨幣基金(IMF)雖略微上調 2024 年全球經濟成長預測至 3.2%，但中期前景仍處於數十年來最疲弱水準，主要受生產率低迷和全球貿易緊張局勢影響(IMF, 2024)。

經濟復甦乏力衝擊影響產業發展，尤其是工具機行業，作為全球工具機技術領先國家與主要出口大國，德國和日本的訂單需求在 2023 年均出現顯著衰退。德國工具機 2023 年訂單總量較前年減少 12%，2024 年產值預估將進一步衰退 3%至 148 億歐元，遠低於 2018-2019 年間約 170 億歐元的高峰(VDW, 2024)；日本工具機 2023 年

訂單總額較 2022 年減少 15%，為疫情以來首次出現同期衰退(日經中文，2024)。上述數據反映出全球製造業資本開銷意願減弱，工具機作為製造業核心資本設備，其需求衰退凸顯經濟復甦的脆弱性。

## 2. 全球供應鏈重組之調整

地緣政治局勢緊張，特別是美中關係的不確定性，促使跨國企業重新評估其投資策略和供應鏈布局。2023 年 5 月，G7 領導人發表經濟韌性和安全聲明，日本倡議供應鏈多元化，以降低對中國的依賴。這標誌著全球供應鏈策略從追求低成本、以中國為中心的模式，轉向更注重風險分散和管控。美國積極推動製造業回流和供應鏈重組，包括將生產基地從中國轉移至亞太其他低成本國家、組裝線遷至鄰近的墨西哥和加拿大、關鍵物資和核心技術相關供應鏈回流美國本土等，使得中國在美國進口製成品中的占比，從 2018 年的 24.3% 降至 2023 年的 15.4%，墨西哥及加拿大占美國進口占比則依序上升至 15.8%、10.4% (Kearney, 2024)。

隨著跨國企業將生產基地轉移至亞太其他低成本國家及美墨加區域，工具機產業的市場需求將隨之改變，新興市場對設備升級的需求提供工具機製造商進入新市場的機會，但區域競爭壓力也將增加。此外，供應鏈重組將影響工具機產業的零組件和原材料供應，導致成本上升及供應不穩定，製造商需調整採購策略以應對這些挑戰。美國供應鏈回流後，區域內對自動化設備的需求將增加，要求工具機廠商具備更高的生產靈活性和快速應變能力，以適應市場變化。

## 3. 俄烏戰爭加劇地緣政治風險

2022 年 2 月 24 日，俄羅斯全面入侵鄰國烏克蘭，引發國際社會的廣泛關注與譴責，美國、歐盟、英國、加拿大、日本等國家採取超過 16,500 項以上的嚴厲制裁措施，俄烏戰爭不但加劇地緣政治風險，亦使得經貿活動受到衝擊。以我國工具機為例，隨著歐盟、美國及日本等出口管制緊縮，2024 年 2 月 7 日我國經濟部亦進一步擴大輸往俄羅斯及白俄羅斯出口管制範圍，其中新增 77 項工具機貨品不得輸出至俄羅斯或白俄羅斯，包括放電加工機、金屬加工中心機、車床、銑床、磨床等，影響層面遍及國內所有工具機產品。

### (二) 區域貿易協定(RTA)生效下關稅差異之衝擊

#### 1. 區域全面經濟夥伴協定(RCEP)生效下擴大關稅差異之衝擊

區域全面經濟夥伴協定(RCEP)將東協 10 國、中國、日本、韓國、澳洲及紐西蘭等 15 個成員國整合為龐大單一市場，自 2022 年 1 月 1 日正式實施以來，RCEP 逾六成的貨品立即享有零關稅待遇，預計十年內將有九成以上的貨品實現關稅豁免，區域內區域價值含量(RVC)須達標準符合原產地規則，才可享受關稅優惠。

就工具機產業整機產品方面，中國對日本和韓國的關稅減讓政策相對保守。對日本僅開放 9 項整機產品的關稅減讓，其中 8 項需 11 年才能完成降稅，1 項甚至需要 21 年。對韓國則在 15 項整機產品中，7 項可在 10 年內實現零關稅，其餘 8 項則需 15 年才開始降稅。這種情況下，臺灣工具機整機產品在中國市場的競爭優勢暫時未受到重大影響；然而在零組件領域上，中國對日本、韓國開放的 4 項工具機零組件關稅減讓，雖然降稅期較長，但長期仍對我國工具機產業產生衝擊。加以 2024 年中國宣布中止 ECFA 部分品項優惠後，我國部分工具機零組件的出口關稅將回升至 6% 至 8%，將進一步削弱臺灣工具機產品在中國市場的競爭力，如表 4.1、表 4.2 所示。

整體而言，RCEP 的生效對工具機產業影響相對有限，主要原因在於臺灣對中國出口的主要產品（如綜合加工機），中方並未在 RCEP 中開放與日韓產品所致(譚瑾瑜，2021)，然在有 RCEP 基礎上，仍須注意未來中國、日本、韓國工具機品項的開放趨勢。

表 4.1 RCEP 協定生效下中國進口臺、日、韓之工具機整機關稅概況

類別稅號	國家	關稅	類別稅號	國家	關稅
8456 放電、雷射、 超音波 工具機	臺灣、 日本、 韓國	0%-10%	8460 磨床	臺灣	0%-12%
				日本	9%-12%
				韓國	0%-12%
8457 綜合加工機		5%-9%	8461 刨/插/拉/齒 削工具機	臺灣	0%-12%
				日本	8.7%-12%
				韓國	0%-12%
8458 車床	5%-9%	8462 鍛 壓、沖壓成 型工具機	臺灣	0%-9%	
			日本	7%-9%	
			韓國	6.3%-9%	
8459 鑽/搪/銑/攻 螺紋工具機	臺灣	0%-9%	8463 其他 成型工具機	臺灣	0%-9%
	日本、 韓國	5%-9%		日本	7.3%-9%
				韓國	5%-9%

註 1：2024 年為 RCEP 生效第 3 年；稅率以貿易協定最低稅率為主；最高稅率以 WTO 最惠國(MFN) 關稅稅率為主。

資料來源：中國商務部、《區域全面經濟夥伴關係協定》(RCEP)關稅承諾表、ECFA 早收清單中國方面減讓稅號對照臺灣方面稅號(2024-2024 對照表)。

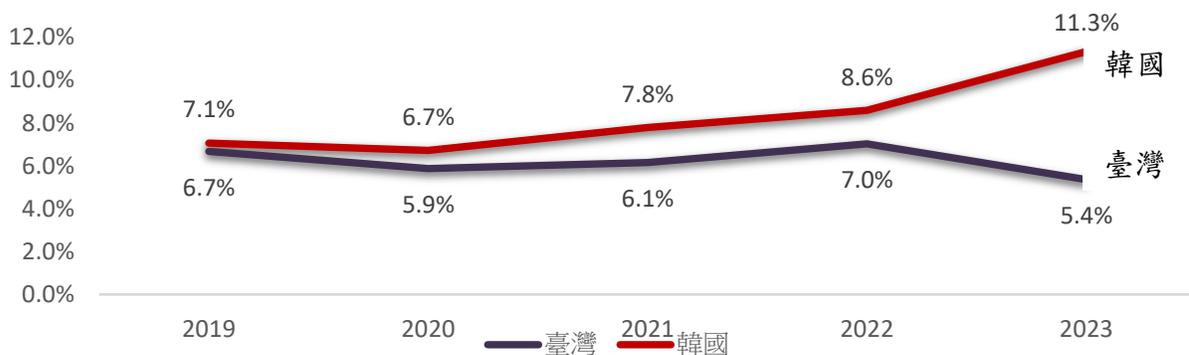
表 4.2 RCEP 協定生效下中國進口臺、日、韓之工具機零組件關稅概況

類別稅號	國家	關稅	類別稅號	國家	關稅
846620 工作物夾持器	臺灣	7.0%	846694 金屬成型工 具機零件及 其附件	臺灣	6.0%
	日本	5.1%		日本	4.4%
	韓國	0.0%		韓國	0.0%
846630 分度頭或其他工具 機特殊配件	臺灣	7.0%	84834040 線性滑軌	臺灣	8.0%
	日本	5.7%		日本	6.5%
	韓國	2.3%		韓國	2.6%
846693 金屬切削工具機零 件及其附件	臺灣、日 本、韓國	0.0%	84834020 滾珠螺桿	臺灣、日	8.0%
				本、韓國	6.5%
				本、韓國	2.6%

資料來源：中國商務部、《區域全面經濟夥伴關係協定》(RCEP)關稅承諾表、ECFA 早收清單中國方面減讓稅號對照臺灣方面稅號(2024-2024 對照表)。

## 2. 美韓自由貿易協定及美墨加自由貿易協定擴大輸美工具機關稅差異

美國工具機進口市場主要來源國包括臺灣、日本、中國、韓國及墨西哥，而美國對不同國家進口工具機的關稅差異，反映出各國在貿易協定中的優勢與挑戰，而韓國憑藉美韓自由貿易協定(KORUS)獲得顯著優勢。該協定自 2012 年生效，2019 年修訂採取四階段降稅模式，涵蓋 99.5%工業產品。截至 2021 年，韓國對美出口的絕大多數工業產品已實現零關稅。相較之下，我國在美國市場的關稅待遇較不具有優勢。臺灣對美出口的電機設備(HS85)及機械設備(HS84)中，僅 58.20%享有零關稅待遇。尤其是工具機產品，平均關稅率高達 4.02%，關稅優惠較低。關稅變化使得臺韓在美國工具機進口市場份額變化顯著，韓國占比穩步上升，從 2019 年的 7.1%成長至 2023 年的 11.3%；反之臺灣占比呈衰退趨勢，從 2019 年的 6.7%降至 2023 年的 5.4%，如圖 4.1 所示。



資料來源：ITC Trade Map、本研究整理

圖 4.1 2019 至 2023 年美國進口臺韓工具機占比

墨西哥則受益於美墨加自由貿易協定(USMCA)，在所有類別的工具機產品上享有零關稅待遇。作為全球第七大汽車生產國和第五大汽車零件生產國，墨西哥的汽車產業是工具機的重要需求來源，而隨著電動車產業的發展，各大車廠紛紛在墨西哥設立電動車產線，藉此享受零關稅的優惠，充分顯示簽署 USMCA 為墨西哥工具機產品所帶來的優勢。

雖然 USMCA 實施後預期將推動墨西哥與加拿大市場對工具機需求的成長，為我國業者開拓新興市場提供機會，然而 USMCA 的新規定將促使北美企業供應商更加傾向於區域內採購，這對臺灣工具機出口構成潛在挑戰。面對韓國及墨西哥在美國市場的競爭壓力，我國工具機業者不僅需應對來自北美本土廠商日益增強的競爭，更須積極因應自由貿易協定帶來的市場格局變化及競爭優勢轉移。

### 3. 中止海峽兩岸經濟合作架構協議(ECFA)關稅優惠之衝擊

海峽兩岸經濟合作架構協議(ECFA)於 2010 年 9 月生效，早期收穫清單涵蓋 107 項機械產品，其中工具機有 17 項，主要為車床及部分特殊機型，但不包括出口金額較高的綜合加工機。2024 年 5 月底，中國宣布中止對 134 個臺灣進口商品的關稅減讓，涉及多項工具機及零組件恢復課徵 5%至 10%不等的關稅，部分零組件恢復 8%關稅。檢視 ECFA 中止關稅減讓對於工具機的衝擊，整機方面，由於 2016 年的落日條款中，採用非兩岸生產控制器的車床產品已無法享受零關稅優惠，實際出口至中國時已課徵 9.7%的關稅(經濟日報，2024)；零組件方面，2020 年中國海關調整產品編碼後，部分零組件已恢復課徵關稅，如線性滑軌、滾珠螺桿、伺服閥等。恢復課徵關稅對不同規模的企業影響不一，大型企業因已有跨國佈局，能透過生產地轉移來緩解衝擊，然而中小型零組件製造商則面臨更大壓力。

#### (三) 生產要素及匯率市場競爭之挑戰

##### 1. 面對生產要素市場的變動

生產要素市場的劇烈變動對工具機產業造成重大影響，尤其在原物料、勞動力及物流成本等關鍵環節的影響尤為明顯。剖析工具機產業成本結構可看出，原物料成本在 CNC 綜合加工機及 CNC 車床的總成本中占比高達 60%至 70%(財政部,2017)，這一比例反映出原材料價格波動對產業利潤的顯著影響，而俄烏衝突引發的鋼材及鑄件價格上漲進一步加劇這一情況，導致生產成本再次攀升。此外，控制器成本約占總成本的 20%至 35%，我國在此關鍵零組件的自製率僅約 10%，高度依賴日本和德國的進口，因而壓縮業者的利潤空間(機械產業年鑑，2023)。

生產要素的不斷變動加劇產業所面臨的挑戰。過去五年基本金屬價格指數呈現 34.31%的顯著上漲，同期間電機機械行業員工薪資亦上升 19.35%，而全球貨櫃運價

指數(WCI)較十年前增加 1,205 美元，加以 2020 至 2022 年間受新冠疫情影響，該指數呈現急劇上升趨勢。上述數據體現工具機業者當前面臨嚴峻的生產成本壓力，反映出產業在成本管控和效率提升方面的迫切需求，如表 4.3 所示。

表 4.3 工具機業者生產要素漲幅情形

項目	原物料	勞動成本	運輸成本(航運)
	倫敦金屬交易所(LME)基本金屬指數	電機機械同業員工薪資(年)	Drewry 世界貨櫃運價指數 (WCI)
2019 年至 2023 年近五年平均	3,572.4 點	\$727,500	今(2024)年 9 月 WCI 綜合指數平均為每 40 英尺貨櫃 3,996 美元。比 10 年平均價格 2,791 美元,(受 2020-22 年疫情期間的特殊情況影響而抬高)高出 1,205 美元。
2019 年至 2023 年近五年漲跌	+34.31%	+19.35%	

資料來源：本研究整理自 investing.com、公開資訊觀測站、Drewry。

## 2. 日幣貶值加劇高階工具機之市場競爭

臺灣為全球第七大工具機生產國及第五大出口國，外銷比重高達 72%，凸顯產業高度依賴出口。其中主力產品綜合加工機(HS 8457)和車床(HS 8458)，2023 年外銷比重分別為 33.5%和 25.1%，合計近六成。上述兩項主力出口產品與日本工具機出口產品雷同，在全球工具機市場中亦競爭激烈，而匯率成為影響機械設備廠商競爭力的關鍵因素。

近三年來，日圓兌美元匯率持續貶值，累計貶值幅度高達 28.01%，同期間新台幣兌美元匯率則貶值 11.16%，低於日圓兌美元匯率貶值幅度，日圓的大幅貶值顯著提升日本工具機產品在全球市場的價格競爭力。過去臺灣工具機產品與日本廠商存在 2 至 3 成的價格差距，然隨著日圓貶值，日本高階機種的價格已與臺灣品牌接近，此對我國業者主打性能相近但價格較優的傳統策略構成挑戰(經濟日報，2024)。面對日廠設備因匯率效應實現的高階機種平價化，臺廠工具機產業面臨客戶轉向日廠採購，訂單流失的嚴峻局面。

## 3. 面對中國工具機低價競爭

中國工具機產業憑藉其龐大的生產規模，實現顯著的規模經濟效應。不僅有效降低單位成本，還藉由供應鏈整合提升運營效率。此優勢使中國業者能迅速滿足國際市場的大宗採購需求，以相對低廉的價格提供滿足基本需求的產品，從而在中低階機種取得市場重要地位。

為提升本土工具機產業的國際競爭力，中國政府推出一系列激勵政策，包括稅收優惠、財政補貼及研發支持等。這些政策有效降低企業運營成本，並促進技術水準的持續提升，顯著增強中國工具機產品在全球市場的競爭優勢。同時，電動車產業的蓬勃發展為中國工具機企業開拓更廣闊的應用空間。近年來，中國亦受益於歐美日等先進工具機廠商在當地設廠，引入先進技術、專業製程與發展經驗。當地企業透過與國際大廠的合作，不斷提升產品品質和服務水準，逐步縮小與國際先進技術的差距。

中國工具機產業的迅速崛起，特別是在中低階機種與臺灣產品的高度重疊，對臺灣工具機產業構成嚴峻挑戰。機械工業同業公會的調查數據顯示，2023年中國進口的切削中心機平均單價約為每台16萬美元，但其出口的平均單價僅為每台4萬美元，遠低於臺灣同類產品11萬至12萬美元的價格，凸顯中國工具機在國際市場上採取的低價策略，對臺灣產品形成巨大的價格壓力。此外，中國經濟景氣不佳導致的工具機產能過剩，促使中國企業以低價將過剩產品傾銷至國際市場，進一步加劇對臺灣工具機產品的衝擊。

### 二、全球產業轉型之挑戰

後疫情時代，晶片與電子產品需求的劇烈波動引發供應鏈失衡，從上游原材料供應商到下游製造商均面臨嚴重衝擊，導致工具機需求大幅下滑；與此同時，汽車產業正加速向電動化轉型，這一變革正在重塑汽車產業鏈的結構，要求工具機業者迅速提升設備的多功能性、精度及適應性，以滿足電動車製造的特殊需求。有鑑於工具機面臨上述雙重挑戰之背景下，本節將深入分析晶片與電子產品去庫存對工具機產業的影響，以及電動車興起如何改變傳統工具機設備需求這兩個關鍵議題。

#### (一) 晶片與電子產品去庫存之挑戰

##### 1. 疫後晶片與電子產品需求下降

晶片與電子產品的動態牽動全球供應鏈發展，其產業鏈上下游高度聯動的特性，使得終端需求波動直接影響整體產業生態，疫後晶片與電子產品面臨需求萎縮及去庫存的雙重挑戰。首先，晶片與電子產品需求的顯著下降。疫情期間，遠端工作、線上教育及娛樂需求激增，推動電子設備銷量攀升；然而隨著疫情緩解及經濟活動常態化，電子產品需求隨之減少，消費者購置頻率降低，導致半導體需求量相應下滑。

其次，供需失衡加劇行業困境。疫情期間，全球供應鏈受到嚴重衝擊，面臨工廠停工、物流受阻及原材料短缺等問題，導致晶片供應緊缺。為應對短缺，企業普遍選擇過度囤積庫存。然而，當供應鏈瓶頸緩解後，市場反而出現晶片供應過剩的

情況，加劇產業調整壓力。加以全球經濟復甦進程受阻，面臨高通膨、貨幣緊縮政策及地緣政治風險等多重挑戰，導致消費者信心指數下滑，對非必須消費品的支出趨於保守，進而抑制晶片與電子產品需求。

## 2. 晶片與電子產品去庫存調整生產計畫

新冠疫情引發的全球經濟動盪，導致晶片與電子產品供應鏈中斷和庫存水位劇烈波動。遠程辦公和數位轉型加速推動相關產品需求，同時關鍵組件短缺造成供需失衡，使企業面臨前所未有的庫存管理挑戰。

電子元件產業對供應鏈韌性的依賴在此次危機中尤為突出。2021年 IHS Markit 全球電子採購經理人指數(PMI)調查結果顯示，電子業投入成本和產出價格均大幅上漲，主要源於關鍵原材料供應鏈的中斷，其中汽車製造商和智慧型手機生產商成為半導體短缺影響最為嚴重的領域，2021年上半年汽車業半導體供應持續惡化，至第三季度進一步加劇，導致全球汽車產量銳減約 400 萬輛。

這一供應鏈危機引發製造業的多米諾骨牌效應。面對電子產品需求降低或庫存積壓，製造商紛紛採取減產或暫停生產的策略，直接衝擊上游工具機和機械設備的需求，電子產品產業鏈上下游均受波及，原材料供應商和裝配廠商相應調整生產計畫，最終導致整個供應鏈的工具機需求全面下滑。

### (二) 電動車興起降低傳統工具機設備需求之挑戰

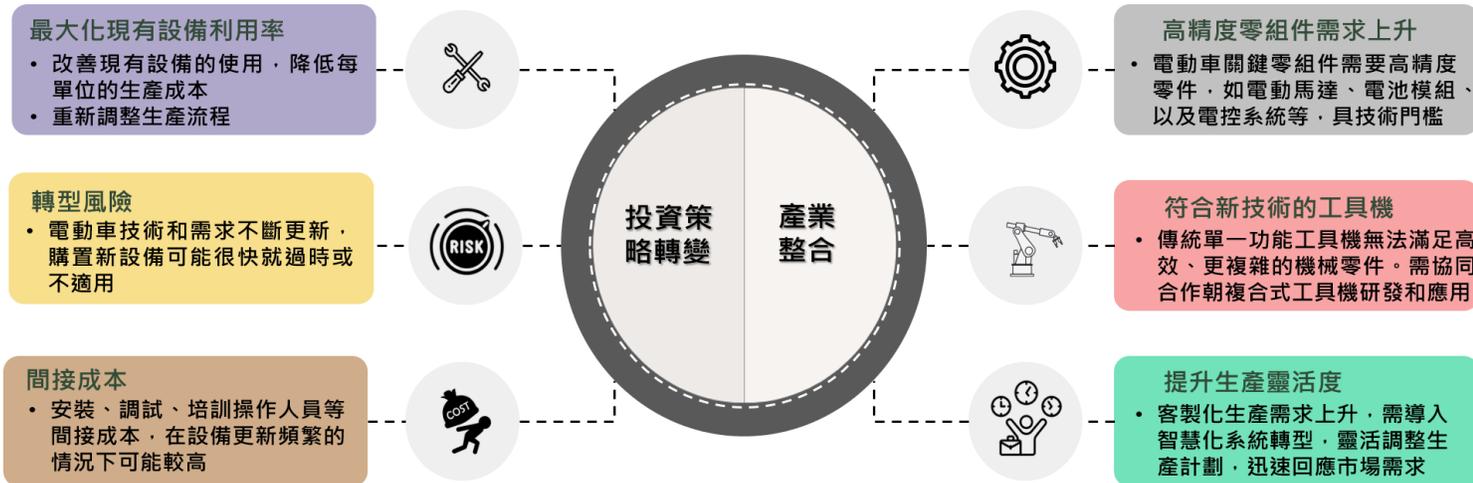
#### 1. 燃油汽車製造設備需求下降

全球電動車市場的快速成長引發汽車製造設備需求結構的改變。據 EV-Volumes 的統計，2023 年全球電動車銷量達 1,418 萬輛，較去年同期成長 35%，其中純電動車(BEV)和插電式混合動力車(PHEV)分別佔據 70.4%和 29.6%的市場份額(財團法人車輛研究測試中心，2024)。這一趨勢不僅重塑汽車產業鏈，也對相關製造設備和工具機市場產生影響。

麥肯錫公司(McKinsey & Company)2021年發布的《電動車對動力系統機械的影響》(Electromobility's impact on powertrain machinery)報告揭示，2019 年全球工具機需求總額達 770 億美元，其中運輸設備領域占比約 50% (380 億美元)。在運輸設備需求中，汽車行業占 50% (190 億美元)，而汽車動力系統相關設備工具機需求高達 80 億美元，隨著動力電氣化浪潮席捲全球汽車產業，市場分布面臨重大調整。

麥肯錫研究指出，內燃機動力系統機械需求將受到最直接且顯著的衝擊。預計未來新的內燃機開發項目將逐步減少，導致內燃機動力系統的產量下降，進而引發相關生產線和機床需求的萎縮。這一趨勢將對整個汽車製造設備行業產生結構性影響，促使相關企業需要積極調整戰略方向，以適應電動化時代的新需求。

這種結構性變化主要體現在三個方面，請參閱圖 4.2。首先，在投資策略上，OEM 和供應商採取更為謹慎的態度，傾向於重複利用現有設備以降低間接成本；其次，產業整合趨勢日益明顯，特別是在動力系統領域，OEM 和關鍵零組件供應商之間的機型整合具有複合式功能，可能導致機床需求的進一步減少；再者，生產的地理分布也正在發生變化，乘用車需求模式的轉變引發工具機需求的地域性轉移，尤其在受內燃機相關法規影響的歐洲地區表現明顯。



資料來源：本研究整理

圖 4.2 因應電動車發展設備製造商調整策略及產業整合

## 2. 工具機廠商須因應電動車製程升級

汽車產業正經歷從內燃機驅動向電動化的重大轉型。2023 年 11 月，BMW 在慕尼黑引擎工廠停止 V8 引擎生產，象徵性地標誌著內燃機時代的終結和電動化時代的全面來臨。這座曾經生產強大引擎的工廠轉型為電動車型的裝配中心，反映整個行業的重大轉變。根據全球銀行 ING 的分析，電動車動力系統的零件數量較傳統四缸內燃機大幅減少 86%，從約 1,400 個降至僅需約 200 個，傳統的排氣系統、變速箱和引擎零件被電動馬達、電池組和電力電子設備所取代。麥肯錫 2023 年 3 月的調查報告深入分析動力系統電氣化的趨勢、市場規模和成長預測，該報告指出，電動車動力系統的核心組件包括電力驅動單元(EDU)、電池組、電力電子和熱管理系統等，這些核心組件大多已形成超過 10 億美元的市場規模，預計在未來五年內將保持每年 40% 或更高的成長率，如表 4.4 所示。

儘管電動車製造過程中所需的工具機種類和加工需求相對較少，但仍然衍生出一些與傳統汽車零組件製造不同的商機。主要包括高效電動馬達加工技術、高精度減速齒輪製造、輕量化電池零組件加工以及車身輕量化零組件製造。其中，減速齒輪加工技術最為關鍵，因為電動車對減速齒輪的製造精度要求遠高於傳統燃油車變速箱齒輪。

表 4.4 輕型電池電動車動力系統組件未來市場分析

供應鏈元素	產品領域	市場規模(2022年)	5年成長率	10年成長率	前十大公司市場佔有率
評分級距		5億美元到 >20億美元	20 - 40%	20 - 40%	60 - 70%
電力驅動單元	電動馬達	高	高	中	高
	減速器	中	高	中	中
	逆變器	高	中	低	高
電力電子	車載充電器	中	中	中	中
	DC-DC 轉換器	低	高	中	中
電池	電池單元	高	高	高	高
	電池外殼	中	中	中	中
	電池管理系統	中	高	高	低

\*分析指標：低 中 高

註：前十大公司市場佔有率，表示產品領域的市場份額在前十大公司的集中程度。

資料來源：McKinsey & Company, Automotive powertrain suppliers face a rapidly electrifying future

### 三、全球綠色轉型趨勢之挑戰

全球氣候政策法規的擴大、科技的進步及社會態度的轉變，共同驅動綠色轉型。在此背景下，永續製造不僅意味著採用環保的方法和流程進行生產，更強調在產出與投入的過程中實現企業、經濟、生態及社會的協調發展。其核心目標在於，最大化資源利用效率的同時，將環境影響降至最低。

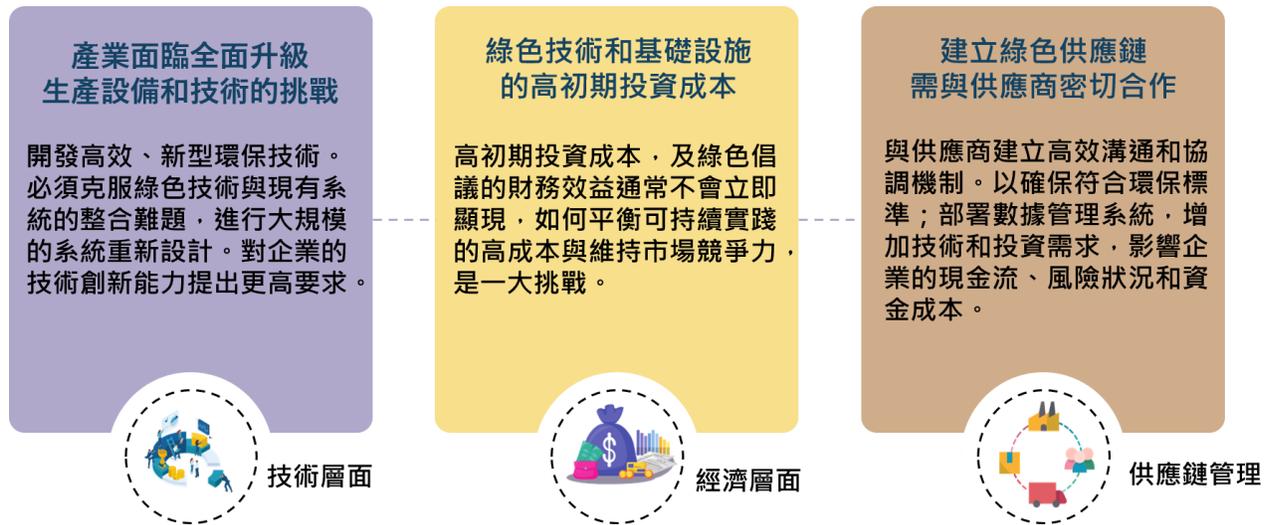
#### (一) 打造綠色供應鏈與法規調適之挑戰

##### 1. 建立綠色供應鏈生產環節之作法

建立綠色供應鏈對工具機業者而言，意味著需轉向使用高效節能工具機、優化零件管理以及實施定期維護等綠色生產實踐，在技術、經濟和供應鏈管理三個層面面臨挑戰。在技術層面，企業需全面升級現有生產設備和技術工藝，以減少能源消耗和廢物排放，此涉及到開發及應用新型環保技術，如高效能源管理系統等，同時需克服綠色技術與現有系統及流程整合的挑戰，此類整合需要進行廣泛的系統重新設計，對企業的技术能力和創新能力有較高的要求(Gaurav Bawa, 2022)。

另綠色技術和基礎設施的初期投資成本較高，特別對中小型製造商亦構成重大財務壓力及進入門檻，由於滿足綠色倡議對於企業運營的效益通常不會立即顯現，如何平衡可持續實踐的高成本及維持市場競爭力，是企業面臨的一大挑戰。

請參閱圖 4.3，在供應鏈管理方面，確保供應商採用環保措施需建立高效的溝通和協調機制。這不僅要求企業與供應商須保持密切合作，還需在整個供應鏈中推廣環保理念及實踐。為追蹤及監控供應鏈各環節以確保符合環保標準，企業需部署數據管理系統，進一步增加技術和投資需求，上述需求將影響企業未來幾年的現金流、風險狀況和資金成本，企業必須前瞻性地應對綠色供應鏈轉型，重新評估和調整營運策略及投資組合，以確保在可持續發展的方式下保持競爭優勢。



資料來源：本研究整理

圖 4.3 建立綠色供應鏈之三大層面挑戰

## 2. 遵循國內外環保法規標準規範

全球淨零碳排趨勢與環保法規的迅速演進正深刻重塑臺灣工具機產業的競爭格局。這一轉變不僅考驗著企業的適應能力，更挑戰整個產業在全球價值鏈中的定位。

在國內政策層面，國家發展委員會的淨零轉型目標與金融監督管理委員會對上市櫃公司的永續發展要求，正推動工具機製造商重新審視其長期發展戰略。尤其值得關注的是，環境部預計於 2025 年實施的碳費徵收機制，將顯著提高產業的營運成本，促使企業加速投入節能減碳技術的研發與應用，並積極推進綠色轉型進程。

國際環保法規的影響更為深遠，歐盟的碳邊境調整機制(CBAM)進一步壓縮臺灣工具機的出口競爭力。有鑑於工具機製造過程中的高能耗特性，若無法有效降低碳排放，臺灣業者將面臨額外的碳稅負擔，可能削弱其在國際市場的價格優勢。

此外，歐盟推動《永續產品生態設計規範》(ESPR)，對產品全生命週期的永續性提出更為嚴格的要求。這一規範涵蓋產品的耐用性、能源效率等多個方面，迫使臺灣工具機製造商從根本上重新思考其產品設計理念和生產流程。ESPR 引入的產品數位護照制度，進一步提高對產品環境影響資訊透明度的要求；同時，歐洲強制

性綠色公共採購政策的實施，可能引導市場需求向更環保的產品傾斜，這對臺灣工具機產品在歐洲市場的競爭地位構成潛在威脅。

## (二) 轉型為綠色市場導向之挑戰

### 1. 企業取得綠色憑證的困境

全球企業紛紛宣示淨零目標並要求供應鏈配合減碳，這對以出口為導向的臺灣工具機業者帶來不小的壓力。再生能源憑證(REC)作為國際公認的綠電證明，成為企業實現減碳目標的關鍵工具，但臺灣業者在取得這些憑證的過程中面臨諸多困難。

首先，市場供需失衡是一大障礙，大型企業吸納大部分綠電供應，導致綠電市場供不應求，價格居高不下(今周刊，2023)，資金與規模有限的中小型工具機製造商因而大幅提高取得綠電的成本，進而削弱其在國際供應鏈中的競爭力；其次，現行的電證合一模式較適合大型企業，因其要求較高的電力消費需求與專業管理能力，對許多中小企業工具機業者而言門檻過高，增加採購難度；再者，多元化的憑證體系如國際再生能源憑證(I-REC)，雖提供靈活選擇，卻也增加採購決策的複雜性。工具機業者需投入大量資源研究不同地區的法規，確保所購買的憑證符合國際要求並獲得買主認可，這對中小型企業的人力與技術資源造成沉重負擔。

綜上所述，臺灣工具機業者在應對再生能源憑證問題時，面臨供需失衡、採購流程複雜化等多項挑戰，這對其在國際市場的競爭力產生顯著影響。隨著國際市場對綠電憑證的要求日益嚴格，加大臺灣業者的壓力，跨國公司不僅要求提供綠電憑證，還對其來源和品質提出更高標準，這使得業者在選擇和取得憑證過程中受到更多限制。

### 2. 開發綠色產品競爭力

隨著國際社會對綠色產品的重視，環保設計已成為全球各國的基本要求。許多政府制定相關法規，鼓勵企業在產品開發中融入環保設計和節能理念。歐盟的《永續產品生態設計規範》(ESPR)便是一個典型案例，該規範要求企業在設計和生產過程中全面考慮可持續性和環保標準。

對於工具機製造商而言，這些新規定要求企業在多個關鍵方面進行調整和創新。首先，在生態設計與材料優化方面，企業應優先使用環保且可回收的材料，並在設計階段全面考慮產品的耐用性、可維修性以及可回收性。此外，還應建立綠色產品全程管理體系，確保從零組件到成品的所有材料均符合國際綠色法規標準，從而有效降低有害物質的使用。

能源效率的提升亦是關鍵議題。請參閱圖 4.4，製造商需要採用高效電機和先進控制系統，以顯著降低運行能耗，滿足日益嚴格的國際和國內能效標準；同時，在產品設計階段，就應考慮回收與再利用策略，包括簡化拆解流程和提高零組件的回收性，以促進循環經濟的發展。



資料來源：本研究整理

圖 4.4 綠色供應鏈與法規調適之挑戰

#### 四、全球數位轉型趨勢之挑戰

工具機產業在轉型智慧製造的過程中，建構智慧生產線需克服技術整合、資金投入與組織變革等問題。同時，數位人才的培育與網路安全的強化亦至關重要。

##### (一) 建構工具機生產線智慧化之挑戰

###### 1. 落實數位整合系統之效能

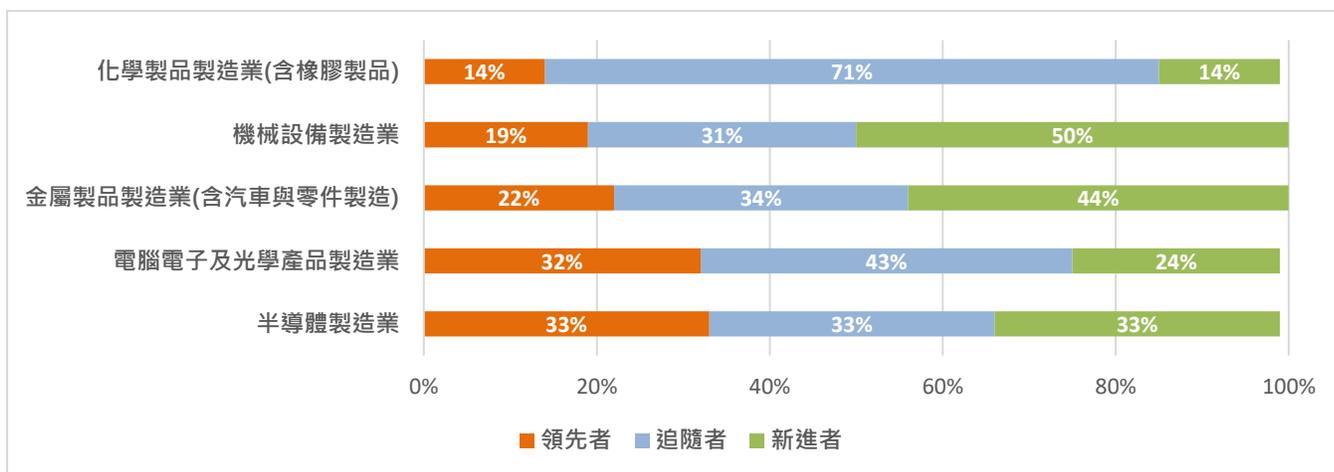
工具機產業在推動數位整合系統時，面臨技術、財務、組織文化、供應鏈整合及市場需求等挑戰，其中，技術基礎薄弱被視為最關鍵的障礙之一。許多加工廠及中小企業缺乏現代化的技術基礎設施，導致在實現生產數據可視化與透明化之前，需投入大量時間和資源建立標準化生產流程。這類基礎建設的複雜性和耗時性常成為數位轉型的主要瓶頸。

根據《臺灣智慧製造關鍵能力調查報告》，從策略、組織與流程三個面向評估臺灣製造業的數位轉型準備程度，結果顯示金屬製造業與機械設備製造業中約有 50% 的受訪企業屬於數位轉型新進者。儘管這些廠商展現推動數位轉型的意願，但既有的廠房機台設施與根深蒂固的企業文化卻成為轉型過程中難以逾越的障礙，請參閱圖 4.5。

轉型成本的高昂對中小企業構成重大挑戰。製造業數位轉型領先群體中，約 42% 的受訪企業資本額達新台幣 100 億元以上(臺灣智慧製造關鍵能力調查報告, 2020)，反映出數位轉型涉及大規模資本投入，包括硬體升級、軟體開發及人才培育等多個層面，這對財務資源有限的企業形成沉重負擔，使轉型進程面臨諸多困難。

數位轉型不僅是技術層面的變革，更需要企業文化和管理模式的調整。員工對新技術的接受程度以及管理層的支持力度，直接影響轉型的成敗。因此，在推進技術創新的同時，企業必須同步關注組織文化的調適及人員能力的提升。

供應鏈整合的複雜性同樣不容忽視。工具機產業通常涉及高度複雜的供應鏈體系，數位化需要上下游合作夥伴的緊密協作。然而，標準化與數據共享等問題常成為阻礙，需要整個產業鏈的協同努力才能克服。



資料來源：Deloitte、人工智慧製造系統研究中心《臺灣智慧製造關鍵能力調查》

圖 4.5 製造業各產業數位轉型進程分布

## 2. 推動新興數位技術之應用

工具機業者在導入新興數位技術過程中，面臨技術整合、系統相容性、數據處理與分析，以及經濟效益等困難。在技術整合層面，異質系統的融合是一大難題。新興數位技術諸如物聯網、人工智慧、大數據及數位孿生等，需要與現有工具機系統進行整合。然由於這些系統往往採用不同的協定、數據格式及通訊方式，導致整合過程中需要大量的客製化開發與技術調適，進而延長實施時程並顯著增加成本。

其中遺留系統的相容性問題也為技術應用增添複雜性。許多工具機企業仍在使用的老舊的控制系統或軟硬體，這些系統與新興技術之間的相容性問題，不僅增加技術應用的困難，還可能導致整體系統運行的不穩定。

在數據處理與分析方面，數據品質與一致性是關鍵因素。工具機產業產生的數據來源多元，包括感測器、機器和操作員等，確保這些異質數據的品質和一致性是

一大難題。數據品質不足將直接影響後續分析與決策的準確性。其次，即時收集及分析數據需要強大的計算能力和優化的數據流處理技術，這對於傳統製造業企業而言，涉及跨越技術門檻的挑戰。

此外，投資規模與經濟效益的不確定性也是企業數位轉型決策的關鍵考量因素。臺灣智慧製造關鍵能力調查顯示，70%的數位轉型領先企業認為投資數位轉型帶來顯著或中等回報，而新進企業中僅33%認為數位轉型獲得中等回報，推進新興技術應用需大規模資本投入，短期內經濟效益難以量化，以致數位轉型投資回報率(ROI)具有高度的不確定性，增加企業技術創新的風險評估難度。

## (二) 強化數位人才與網路安全之挑戰

### 1. 數位專業人才短缺

當前工具機產業正處於升級轉型的關鍵時刻，卻面臨著嚴重的人才短缺困境。據經濟部2023-2025年智慧機械產業專業人才需求推估調查，高達72%的廠商表示人才供應不足，突顯出此問題的嚴峻性。人才不足的主因包括：人才供給不足(48%)、現有從業人員技能不符(30%)、以及因應新興職務需求的能力缺口(20%)。

在導入智慧製造的過程中將面臨許多人才不足的挑戰。第一，技術工人老齡化問題日益嚴重，一方面經驗豐富的員工即將退休，另一方面年輕一代對傳統製造業興趣不足，導致新進人力匱乏，形成潛在的人才斷層；第二，隨著產業朝智慧化及自動化方向發展，對從業者的技術要求不斷提高。諸如智慧製造、物聯網、人工智慧等新興技術的應用，使現有技能人員難以迅速適應，加以學校學理教學與產業需求技能之間常有不匹配之現象，導致技職教育難以及時因應工具機產業的新需求，進一步加劇人才供需之間的落差。

第三，工具機產業在人才爭奪戰中處於劣勢。相較於半導體等高科技產業，工具機行業的工作環境、薪資水準及職涯發展前景相對不具吸引力，難以吸引並留住年輕人才，這使得該產業在人力資源競爭中處於不利地位；第四，全球化競爭的加劇進一步放大人才短缺的問題。隨著全球工具機產業競爭日益激烈，國際人才流動性增強可能導致本土技術人才外流，進一步削弱本地的競爭力。

### 2. 防範網路威脅與資訊安全

在數位轉型過程中，數據安全與隱私保護已成為企業的核心關注點，隨著數據收集、傳輸和存儲量的成長，數據洩露和網絡攻擊的風險亦顯著增加。工具機業者在應對這些威脅並保障資訊安全時，面臨工業控制系統的安全、端點設備的脆弱性，以及內部人員的安全意識等問題。

首先，工業控制系統的安全性是數據保護的首要挑戰。許多工具機仍使用基於

過時標準設計的控制系統，這些系統普遍缺乏現代化的安全防護措施，例如防火牆和入侵檢測系統，因而這些控制系統容易成為網絡攻擊的目標，加以工業控制系統通常由多家不同廠商的設備組成，這種複雜性可能導致系統內部不兼容或存在安全漏洞，進一步增加整體系統的風險，並使得系統漏洞的修補難度大幅提升。

其次，端點設備有其脆弱性，隨著工業物聯網技術在工具機領域的廣泛應用，連接到生產系統的感測器、控制器及其他設備數量急劇增加，這些設備的安全性因此成為關鍵問題。若物聯網設備遭受入侵，攻擊者可能獲取敏感數據或惡意干擾生產過程，造成嚴重後果，若再加上許多工具機設備的軟體更新不及時或難以管理，導致已知漏洞無法及時修補，便成為網絡攻擊的潛在突破口。

最後，儘管技術防護措施至關重要，但內部人員的安全意識同樣是確保整體訊息安全的關鍵因素。即使部署最先進的安全系統，員工的疏忽或不當操作仍可能導致嚴重的安全事件。因此，建立全面的安全意識培訓計劃、制定嚴格的安全操作規程，以及培養積極的安全文化，對於降低人為風險、增強整體安全態勢至關重要。

## 五、我國工具機未來發展趨勢與展望

我國工具機產業作為全球供應鏈中的重要一環，長期以來憑藉高 CP 值產品及產業聚落專業分工在國際市場中占有一席之地。隨著全球競爭日趨激烈，特別是韓國等競爭國家工具機業者憑藉規模化與品牌效應迅速崛起，我國業者正面臨重大挑戰。韓國工具機大廠透過深耕海外市場與代理商合作，擴大市場佈局並提升服務能力，展示強大的國際競爭力，相比之下，臺灣工具機業者的國際拓展尚有提升空間。若要成功進軍美國市場，我國業者應借鑒韓國的成功策略，強化全球市場的品牌知名度與服務體系，並結合政府推動的資源整合與聯盟策略，實現產業的雙軸升級。

### (一) 提升產業韌性，強化出口競爭力

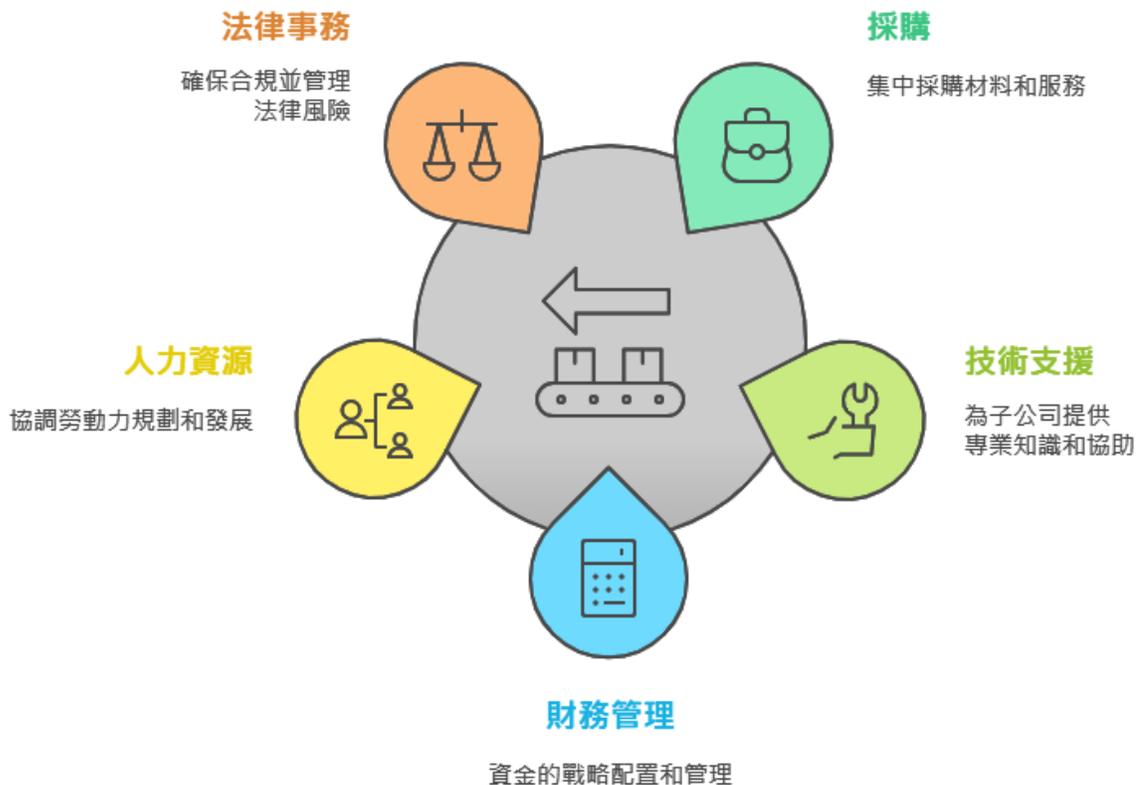
臺灣作為高度依賴對外貿易的開放型小型經濟體，深受國際供應鏈波動影響，近期，隨著國際航運價格大幅上漲，企業運輸成本增加，對於我國以出口為主的工具機業者產生顯著衝擊。為減緩此影響並提升產業韌性，政府可參考韓國政府推出的「三階段出口企業物流支援」緊急方案，包括緊急擴大出口憑證物流費用限額加大物流補貼力度、緊急支援海外聯合物流中心（投入 36 億韓元）並為中小型企業提供專用艙位及資金援助等，減少因航運波動帶來的出口訂單延誤風險，透過這些措施減輕工具機業者因國際運費波動帶來的衝擊。

在產業結構方面，臺灣工具機產業以生產通用機種為主，產品同質性較高，需要透過規模經濟效益來提升市場競爭力。有鑑於此，建議政府攜手企業以「以大帶小」模式推動工具機產業整合，協助大型與中小型企業成立產業控股公司，並建置

通用機開發平台，此舉不僅有助於將零組件設計和規格標準化並推向國際市場，更能夠開拓美國及其他潛力市場奠定堅實基礎。

在產業控股的營運模式設計上，建議採取各企業在前端保持獨立接單彈性，而後端則由控股公司統籌提供採購、技術支援等後勤資源。透過此類資源整合模式，控股公司可有效管理集團資源，將資金、人力及技術等要素策略性配置至重點領域，避免重複投資，提高資本運用效率，並以一致的發展策略協調各業務單位行動，實現更高的協同效益。

在技術創新層面，控股公司扮演關鍵推手角色，在其統籌規劃下，不同領域的子公司共享技術成果、研發資源及市場情報，加速創新成果的轉化與應用。透過跨領域合作機制，預期將能促進產業鏈上下游整合，更能強化整體競爭優勢，隨著企業規模擴大，控股公司的專業化管理可簡化組織架構，透過專責部門統籌處理財務、人事、法律等事務，有效降低營運成本，使各子公司得以專注發展核心業務，如圖 4.6 所示。



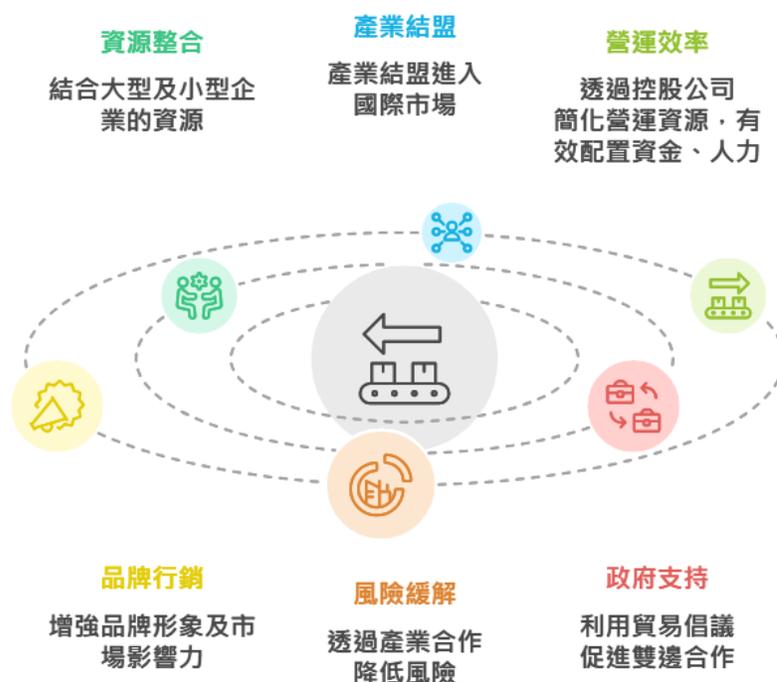
資料來源：本研究整理

圖 4.6 控股公司戰略資源整合

品牌行銷方面，控股公司可統一整合旗下品牌資源，增強集團整體品牌形象，進而提升市場影響力。當集團各子公司品牌達成一致性時，將有助於鞏固消費者對

企業的認知與信任。這種品牌綜效在開拓國際市場時特別重要，尤其面對競爭激烈的美國市場，產業聯合體所帶來的集體品牌效應，可大幅提升市場認可度。請參閱圖 4.7，產業聯盟的另一重要效益在於風險分散，中小企業單獨進軍國際市場往往面臨較高風險，透過與大型企業聯合，不僅能有效降低風險，更可提升市場進入的成功機率。在規模經濟效應下，控股公司得以優化共同採購、技術開發及行銷活動，進一步降低生產及營運成本。

在對外合作層面，政府亦可藉「台美 21 世紀貿易倡議」促進台美雙邊貿易與投資合作，並將工具機產業議題納入雙邊討論範疇。利用現有台美經濟合作框架「台美經濟繁榮夥伴對話」(EPPD)及「台美科技貿易暨投資合作架構」(TTIC)，可將工具機產業供應鏈納入更廣泛的雙邊合作討論，為臺灣業者創造更多的國際商機。



資料來源：本研究整理

圖 4.7 資源整合提升工具機的出口競爭力

## (二) 推動產業轉型，搶攻國際商機

我國工具機產業的傳統競爭優勢正逐漸消失，過去產業聚落集中、高 CP 值產品及專業分工曾是成功的關鍵，但現今已不足以支撐國際市場競爭力。多數臺灣業者規模較小，將資源集中於研發與生產，銷售與服務則透過經銷商與代理商，這樣的模式雖然提高資源運用效率，但也使業者與終端客戶脫節，難以即時掌握市場需求及新興產業趨勢。

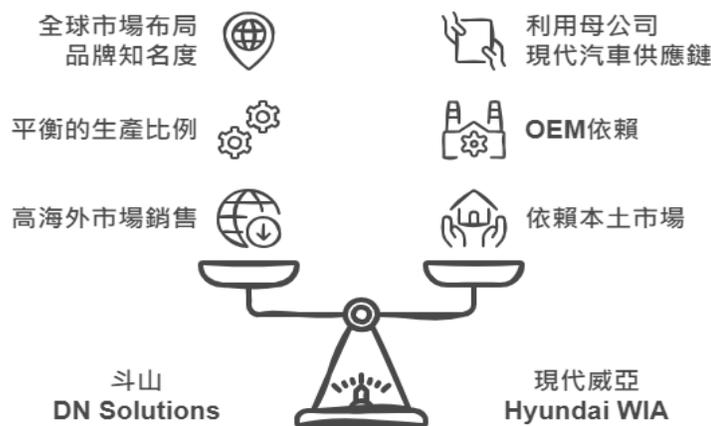
韓國工具機產業採取截然不同的發展策略，以斗山(DN Solutions)和現代威亞

(Hyundai WIA)為例，這兩家大型企業具有不同的市場佈局和生產模式。DN Solutions 的海外市場銷售占比高達 81%，顯示其在國際市場的深厚根基，尤其在 2023 年歐洲市場的銷售表現亮眼。其自產與 OEM 生產的比例為 45:55，顯示出採取平衡的生產策略

DN Solutions 的業務遍及亞洲、美洲和歐洲等主要市場，透過建立全球代理商網絡來強化品牌知名度並提供完善的技術服務。公司與全球各地的代理商合作，特別是在歐洲、美洲和亞洲等重點市場，利用代理商的當地市場知識和客戶關係，更有效的進入這些市場。代理商網絡的建立幫助 DN Solutions 覆蓋難以直接觸及的區域和產業，擴大其銷售範圍。此外，為進一步增強歐洲市場的服務支持，DN Solutions 於 2023 年在德國設立首個技術中心，專注於售前服務，提供顧客一站式解決方案，包括加工流程測試、時間研究與加工測試等。該公司同時計劃在漢諾威 EMO 設立研發中心，以更貼近歐洲市場的需求。

相比之下，請參閱圖 4.8，Hyundai WIA 相對依賴本土市場，海外市場銷售占比為 44.2%。其自產與 OEM 生產的比例為 10:90，顯示其大部分產品依賴外部製造。Hyundai WIA 充分利用母公司現代汽車的全球供應鏈，將工具機業務拓展至汽車製造領域，並進一步進軍航空等高階製造市場，提供高附加價值的設備與解決方案。Hyundai WIA 也積極拓展新興市場，特別是亞太和拉丁美洲地區，透過參與國際展覽和展會提升品牌曝光度，吸引更多潛在客戶。

臺灣工具機業者若欲突破現狀，應可借鑑韓國的成功經驗，特別是透過代理商強化全球市場佈局。除布局代理商外，臺灣業者亟需建立直接面向終端客戶的銷售與服務體系，以提升品牌價值和市場反應速度。政府方面亦可協助工具機產業聯盟，在海外集體設立銷售據點，推動設備銷售至終端客戶，拓展國際市場。



資料來源：DN Solutions 及 Hyundai WIA 2023 年營運報告、本研究整理

圖 4.8 韓國工具機市場策略

### (三) 布局綠色轉型，提升產業永續力

綠色轉型趨勢體現在全球環保法規、技術進步及市場需求變化等。面對這一轉變，企業亟需積極調整策略，以適應新的競爭環境並實現可持續發展。綠色高效節能產品的開發儼然已成為行業焦點。工具機製造商提升設備的能源效率，減少運行過程中的能耗。不僅降低客戶的運營成本，更能減少碳排放，符合全球減碳趨勢。

隨著歐盟《永續產品生態設計規範》(ESPR)等法規的實施，製造商正面臨更嚴格的要求，必須自產品概念階段即納入綠色設計理念。這不僅需要進一步優化產品結構，提升能源效率，還要在整個產品生命週期內大幅減少碳排放。在製造過程中，企業需導入低碳技術，包括識別主要碳排放源、實施精細化的能源管理、建立實時碳排監控系統，以及採取有效的去碳化措施。根據 2024 年德國漢諾威工具機展(EMO Hannover)的數據顯示，若企業自產品設計階段即採用永續發展概念，最多可減少 8 成碳排放。

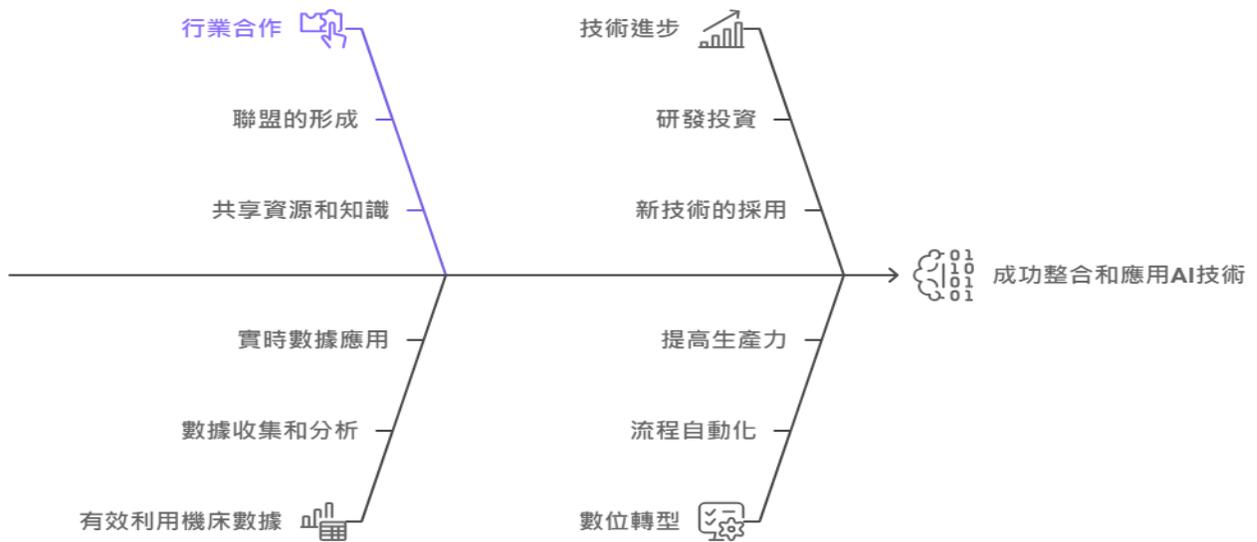
未來智慧製造技術與循環經濟理念的深度融合將為工具機產業的綠色轉型帶來新商機。透過導入智慧化生產系統，企業可以更精準地控制資源使用，減少浪費。同時，循環經濟模式的應用將促進廢舊設備的再利用和回收，進一步提升資源利用效率。整體來說，綠色轉型是一個多層面及系統性的過程，轉型不僅展現企業的環保責任，更是提升國際競爭力的必然選擇。

### (四) 引領數位轉型，驅動技術升級

工具機產業正從傳統的單機自動化逐步邁向工業 4.0，此演進顯示在機器聯網技術的廣泛應用，更延伸至人工智慧(AI)的深度整合，最終目標是實現全方位智慧工廠。數位轉型的核心價值不僅在於提升人機協作效率，更在於透過自動化和智慧化的數據分析與輔助決策，進一步提升加工品質與精密度，從而推升產品價值。這一轉型過程並非單純的技術升級，而是對整個產業生態系統的全面重構。

在 2024 年 9 月舉行的第一次行政院經濟發展委員會顧問會議中，提倡鼓勵不同行業的企業組成聯盟，如圖 4.9 所示，共同推動 AI 技術的研發與應用。未來若整合資通訊產業與工具機產業之跨產業聯盟，有效善用機床數據提升技術進而改善加工方式，並為工具機產業建立平台型、解決方案及價值核心型生態系，促進產業數位轉型。

然而，數位轉型重點在於人力，臺灣工具機根基深厚，高階人才的養成、培育皆已累積相當實力。但相較於半導體等高科技，留才卻相對不易，面對人才短缺，



資料來源：行政院經濟發展委員會、本研究整理

圖 4.9 跨產業聯盟數位轉型整合策略

除政府預計提出協助企業媒合國際優秀人才，產業界和學界可考慮採取多項策略，包括強化產學合作、建立清晰的職業發展路徑、提升行業形象、優化薪酬結構及工作環境等。透過這些措施，有望在人才競爭中取得優勢，為數位轉型和長期發展奠定堅實的人力資源基礎。

## 參考文獻

- CSRone。(2024)。【碳權系列 20】綠電推手—國際再生能源憑證。檢自 <https://csrone.com/topics/8353>
- Deloitte、人工智慧製造系統研究中心。(2020)。《臺灣智慧製造關鍵能力調查報告》。檢自 <https://www2.deloitte.com/tw/tc/pages/energy-and-resources/articles/rp201201-tw-intelligent-manufacturing-survey.html>
- ECFA 兩岸經濟合作架構協議。(2024)。ECFA 早收清單降稅查詢。檢自 <https://www.ecfa.org.tw/EHList.aspx?nid=5>
- 工具機與零組件雜誌。(2023)。Gardner 2022 World Machine Tool Survey 全球工具機產銷報告。檢自 [https://www.maonline.com.tw/market\\_inside.php?i=420](https://www.maonline.com.tw/market_inside.php?i=420)
- 中國商務部。(2024)。《區域全面經濟夥伴關係協定》關稅承諾表 (RCEP)。檢自 [http://fta.mofcom.gov.cn/rcep/rcep\\_new.shtml](http://fta.mofcom.gov.cn/rcep/rcep_new.shtml)
- 今周刊。(2023)。每一千度綠電 只剩一度讓所有中小企業搶 綠電供需失衡 兩大困境或將緩解。檢自 <https://www.businesstoday.com.tw/article/category/183027/post/202308300026/>
- 公開資訊觀測站。(2024)。財務報告附註揭露之員工福利(薪資)資訊。檢自 <https://mops.twse.com.tw/mops/web/t100sb14>
- 日經中文。(2024)。日本 2023 年度工具機訂單額減少 15%，受中國需求影響。檢自 <https://zh.cn.nikkei.com/industry/manufacturing/55310-2024-04-10-10-41-20.html>
- 臺灣工具機暨零組件工業同業公會。(2022)。工具機產業因應減碳永續經營參考手冊。檢自 <https://www.tmts.tw/storage/tmba/files/2022%E5%8D%81%E6%9C%88/TMBA%E5%B7%A5%E5%85%B7%E6%A9%9F%E7%94%A2%E6%A5%AD%E5%9B%A0%E6%87%89%E6%B8%9B%E7%A2%B3%E6%B0%B8%E7%BA%8C%E7%B6%93%E7%87%9F%E5%8F%83%E8%80%83%E6%89%8B%E5%86%8A.pdf>
- 行政院經濟發展委員會。(2024)。第一次顧問會議(113.9.3) 創新經濟分組\_總結簡報。檢自 [https://www.ndc.gov.tw/Content\\_List.aspx?n=7D878AB01C0C0E87](https://www.ndc.gov.tw/Content_List.aspx?n=7D878AB01C0C0E87)
- 呂建興、周暉程、張雯琪、陳佳盟、陳侑成、黃仲宏、熊治民。(2023)。機械產業年鑑。
- 財政部。(2017)。工業機械業原物料耗用通常水準調查報告。檢自

<https://www.ntbsa.gov.tw/singlehtml/090f42aebcdc4785a6227b012db9951a?cntId=cb7cf9f083a343eba1622433265e27b6>

財團法人車輛研究測試中心。(2024)。2023年主要電動車銷售國家市場概況。檢自 <https://www.artc.org.tw/tw/knowledge/articles/13750>

國家發展委員會。(2024)。國家發展計畫簡報(114至117年)。檢自 [https://www.ndc.gov.tw/Content\\_List.aspx?n=47DCFAA810766902](https://www.ndc.gov.tw/Content_List.aspx?n=47DCFAA810766902)

經濟日報。(2024)。ECFA 砍優惠因應 多家工具機業擬加速陸廠投資。檢自 <https://www.ctee.com.tw/news/20240624700053-439901>

經濟日報。(2024)。日圓持續貶值 機械公會理事長表示...高階訂單都被日商搶光。檢自 <https://money.udn.com/money/story/5612/7997263>

經濟部國際貿易署。(2024)。經濟部擴大輸往兩俄工具機管制範圍。檢自 [https://www.moea.gov.tw/Mns/populace/news/News.aspx?kind=1&menu\\_id=40&news\\_id=113843](https://www.moea.gov.tw/Mns/populace/news/News.aspx?kind=1&menu_id=40&news_id=113843)

經濟部產業發展署。(2023)。經濟部產業發展署 2023-2025 智慧機械產業專業人才需求推估調查(2022/12)。檢自 <https://www.italent.org.tw/ePaperD/12/ePaper20230500003>

賴樹鑫。(2024)。TASS2024 與您一起「建構永續供應網絡應從風險管理的思維來規劃」。檢自 <https://tassasiaexpo.com/tass2024%E8%88%87%E6%82%A%E4%B8%80%E8%B5%B7%E3%80%8C%E5%BB%BA%E6%A7%8B%E6%B0%B8%E7%BA%8C%E4%BE%9B%E6%87%89%E7%B6%B2%E7%B5%A1%E6%87%89%E5%BE%9E%E9%A2%A8%E9%9A%AA%E7%AE%A1%E7%90%86%E7%9A%84%E6%80%9D/>

譚瑾瑜。(2021)。RCEP 生效後對兩岸經貿的影響。檢自 <https://www.sef.org.tw/files/12743/0E77319C-281B-4865-912E-3AC002F6B70E.pdf>

Drewry. (2024). World container index. Retrieved from <https://www.drewry.co.uk/supply-chain-advisors/supply-chain-expertise/world-container-index-assessed-by-drewry>

Gaurav, B. (2022). Quality machine tools are imperative to green manufacturing. The Times of India. Retrieved from <https://timesofindia.indiatimes.com/blogs/voices/quality-machine-tools-is-imperative-to-green-manufacturing/>

Gardner. (2023). 2022 World machine tool survey. Retrieved from [https://www.maonline.com.tw/market\\_inside.php?i=420](https://www.maonline.com.tw/market_inside.php?i=420)

Investing.com. (2024). London Metal Exchange Index (.LMEX). Retrieved from <https://hk.investing.com/indices/lme-daily>

Kearney. (2024). Made in America: Here to stay?\* Retrieved from <https://www.kearney.com/service/operations-performance/us-reshoring-index>

McKinsey & Company. (2021). Electromobility's impact on powertrain machinery. Retrieved from <https://www.mckinsey.com/industries/automotive-and-assembly/our-insights/electromobilitys-impact-on-powertrain-machinery>

McKinsey & Company. (2023). Automotive powertrain suppliers face a rapidly electrifying future. Retrieved from <https://www.mckinsey.com/industries/automotive-and-assembly/our-insights/automotive-powertrain-suppliers-face-a-rapidly-electrifying-future>

VDW. (2024). Machine tool industry expecting decline in production. Retrieved from <https://vdw.de/en/machine-tool-industry-expecting-decline-in-production/>

World Bank. (2024). Global economic prospects. Retrieved from <https://openknowledge.worldbank.org/server/api/core/bitstreams/7fe97e0a-52c5-4655-9207-c176eb9fb66a/content>

World Economic Outlook. (2024). International Monetary Fund. Retrieved from <https://www.imf.org/en/Publications/WEO/Issues/2024/04/16/world-economic-outlook-april-2024>

## 第五章 我國工具機產業機會

### 一、工具機產業技術升級之機會與挑戰

面對眾多現實因素的挑戰，臺灣工具機製造廠商必須積極應對以脫離泛用型三軸工具機低價競爭的困境，除了針對三軸工具機需因應產業需求開發專用客製化機型及提供整體解決方案提高附加價值外；更應面對世界趨勢，投入包括技術創新、智能製造、綠色製造以及客製化生產等面向，開發出更具競爭力和高附加價值的產品，特別是在高階應用市場上，開發具備高階切削加工功能的五軸複合化工具機、大型車床、銑床等精密加工機，適用於難切削材料之切削加工的工具機，及快速成型的高階衝床都是有利的發展方向；另外智能與綠色製造的結合亦是不可或缺的重點，透過自動化生產及智能監控提高生產效率及品質，同時再順應國際 ESG 發展趨勢，投入節能減碳、資源利用效率提升等綠色製造技術，減少對環境的影響提升企業社會責任和競爭力，臺灣工具機製造廠應該把握此時的機會，提升產品應用的附加價值走向更高階的產品市場。此外，也因應國內人口老化趨勢及工具機業人才需求，如何規劃妥善的人才培育機制，強化工具機產業的研發與製造能量，將更有助於保持臺灣工具機產業在全球市場的競爭力，也能維持產業持續的健康發展。

#### (一) 具高階切削加工功能之五軸複合化工具機

##### 1. 功能特點

五軸工具機(含龍門型)，如圖 5.1.1 所示，為一種高精度及高效率的加工設備，結合高剛性、高穩定性且能夠承受高速運動和高負載特點的結構機型，同時又有五軸同動的加工主軸頭部，提供平面、曲面及斜面等各種形式的加工銑削。車銑複合機，如圖 5.1.2 所示，結合五軸加工、車銑複合刀具主軸(車銑功能自動切換)及刀庫系統等功能模組，能將車削、銑削、鑽孔及攻牙等不同製程於同一部機台上完成，具有加工精度高、加工效率高及佔地面積相對小等優勢。車銑複合工具機具有多功能及複合化的加工處理能力，可實現一次裝夾完成所有加工工序的特點。

隨著新能源產業及電動車產業等興起，齒輪加工精度與表面粗糙度更為要求，需要齒輪研磨製程提升齒輪接觸面精度；因此高階齒輪磨齒機，如圖 5.1.3 所示，其開發是以連續生成磨削技術搭配可自動修整螺旋砂輪(齒輪研磨砂輪)的多軸高性能齒輪磨床，透過多軸運動與砂輪之間的結合，方能確保在短循環時間磨削出高品質齒輪；並同時透過齒輪量測機，如圖 5.1.4 所示，進行完全自動化檢驗量測，如齒輪量測、光學量測、一般三次元量測、形狀和位置量測及輪廓粗糙度量測等，可為業者確認生產的齒輪零件合乎所需的重要加工指標。

## 2. 國際代表性機型

五軸工具機（含龍門型）機型的市場佔有率相對高之廠牌目前以 DMG 所推出 DMU 系列及 MAZAK 所推出 VERSATECH 系列等在市場的接受度佔最大客群應用。

DMG DMU 系列



MAZAK VERSATECH 系列



資料來源：DMG 與 MAZAK 公司

圖 5.1.1 五軸工具機（含龍門型）國際代表性機型

車銑複合工具機機型的市場佔有率相對高廠牌包括 DMG CLX 與 NTX 系列及 MAZAK INTEGRIX 系列等，其性能穩定性及加工精度皆處於龍頭地位，也成為全球製造廠商學習對象。



DMG CLX 與 NTX 系列



MAZAK INTEGREX 系列

資料來源：DMG 與 MAZAK 公司

圖 5.1.2 車銑複合工具機國際代表性機型

高階齒輪磨齒機機型的市場佔有率相對高之廠牌為 LIEBHERR LGG 與 LCS 系列及 KLINGELNBERG SPEED VIPER 與 G 系列等。



LIEBHERR LGG 與 LCS 系列



KLINGELNBERG SPEED VIPER 與 G 系列

資料來源：LIEBHERR 公司與 KLINGELNBERG 公司

圖 5.1.3 高階齒輪磨齒機國際代表性機型

齒輪磨齒機之檢測機型市場佔有率相對高的廠牌為 KLINGELNBERG P 系列等。



KLINGELNBERG P 系列

資料來源：KLINGELNBERG 公司

圖 5.1.4 高階齒輪檢測機國際代表性機型

### 3. 技術發展方向

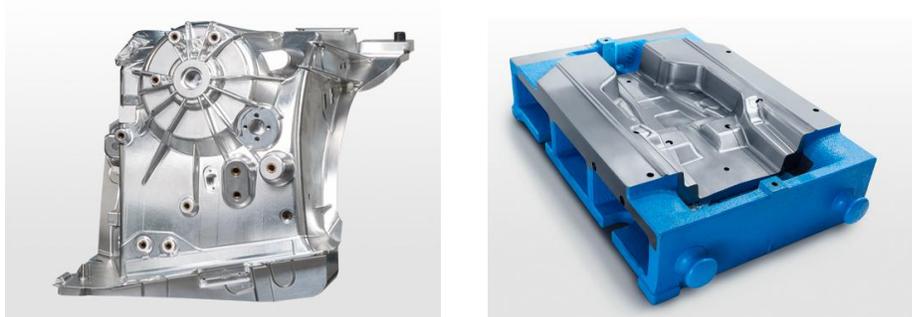
對於五軸複合化工具機設備的發展前景，為實現更高速化運動及高精度加工能力須發展出高速高精度控制軟體系統，其中包含精確伺服控制、動態響應快速控制運算法、先進機械學習技術及優化加工路徑；複合化工具機進行高速運轉會面臨著振動及結構變形影響加工精度及表面粗糙度，可發展在結構設計中使用拓樸優化分析及加入主動式振動抑制技術和智能結構監控系統，亦可加入長時間高精度穩定性之空間精度補償技術及自適應控制演算法，及發展高效多軸偕同控制技術在複雜製程實現高效率與高品質加工。

高階齒輪磨齒機在硬體方面可結合快速拆換附加主軸功能，能在齒輪加工外齒研磨完成後直接進行內齒研磨，另外結合軟體面智慧化及即時監控的功能，透過感測器即時監控磨削過程中所產出振動、熱溫升及關鍵機器零組件運行狀態，即時發現和預測維護問題進行有效生產規劃，降低停機時間；例如，透過結合 KLINGELNBERG P 系列多種量測探針可實現最大應用潛力如座標、齒輪、粗糙度及研磨燒傷探測等，圓柱齒的波紋/噪音分析和生產監控提升齒輪檢測的檢驗能量。

此外，智能化製造已成為製造業的一個重要發展方向，五軸複合化工具機作為高階數控加工設備加入智能控制系統，實現自動化生產、數據分析和預測性維護，可提高生產效率，降低生產成本，進一步滿足市場需求。

#### 4. 在地加工產業連結

五軸工具機以其能夠同時在多個方向進行加工的特性及廣大應用範圍而能應用於各式製造業中，例如航太工業的機體結構件（機翼、機身框架）、起落架及無人機載具零組件；汽車製造業的車身模具、車燈模具及電動車零組件；電子設備零件業的半導體真空腔體；模具業的注塑模具及壓鑄模具；醫療器材業的人工髖關節、人工膝關節、輔助器具及醫療設備支架等，如圖 5.1.5 所示。



資料來源：DMG MORI 公司

圖 5.1.5 五軸工具機加工零件

車銑複合機擁有複雜零件加工能力、高精度加工、批量生產及快速切換等特性，可應用於如航太產業、醫療器材、精密模具業、水泵浦閥體零件、3C 零件及車輛輪圈車削加工等，如圖 5.1.6 所示。



資料來源：DMG MORI 公司

圖 5.1.6 車銑複合機加工零件

高階齒輪磨齒機因為汽車電動化逐漸被重視，為進化齒輪在高速運轉時的承載能力和噪音控制，齒輪表面精加工為製造高品質齒輪的核心技術，透過齒輪磨齒機本身多軸高性能特性結合，可大量被應用於製造電動馬達加工、減速齒輪加工、變速齒輪箱加工及轉向器等關鍵零組件加工，如圖 5.1.7 所示。

#### (二) 大型車床和銑床等精密加工機

##### 1. 功能特點

大型立式車床具有強壯高剛性的水平支撐能力，使主軸頭部滑枕在加工切削時能夠提供所需高精度和表面粗糙度。大型立式車床通常備有標準配置的重型變速箱，使主軸在高速轉動下仍能保持所需切削扭矩，此設計確保高速切削過程的穩定性和可靠性。



電動車變速齒輪箱模組



減速機齒輪箱模組

資料來源：DIGITIMES 電子時報與利苕機械公司

### 圖 5.1.7 高階齒輪磨齒機加工零件

大型臥式搪床是一種常見落地式機台，通常用於加工超大型工件，其結構設計可根據需要在主軸頭部滑枕上增加搖擺旋轉軸，使得搪床不僅可用於搪孔加工，還能夠靈活按照所需的切削角度進行加工。

## 2. 國際代表性機型

知名大型立式車床製造商包括美商 AMERA SEIKI 和德商 GMW MACHINES 等能夠提供高品質產品和專業技術支援，如圖 5.1.8 所示。



AMERA SEIKI VT 系列



GMW MACHINES GMBH SVTM 系列

資料來源：AMERA 公司與 GMW 公司

### 圖 5.1.8 大型立式車床國際代表性機型

義大利商 PAMA 為一家知名生產大型臥式搪床廠商，以生產大型臥式加工機為主，如圖 5.1.9 所示，主要應用包含離岸風機機箱、半導體設備腔體等。



PAMA SPEEDRAM 系列

資料來源：PAMA 公司

圖 5.1.9 大型臥式搪床國際代表性機型

### 3. 技術發展方向

隨著能源產業及航太產業需求漸增，加工件大小及重量也隨之增加，目前在大型車床及臥式搪床加工機的旋轉工作台大部分都使用機械式軸承，最大承受載重、最大轉速範圍都受到機械式軸承的物理特性限制，為滿足產業趨勢需加入發展液靜壓軸承關鍵技術，液靜壓軸承擁有液靜壓的物理機械特性，經計算分析及機械設計液靜壓形成穩定的油膜間隙，可提供較大軸徑向負載支撐力、低摩擦力、高精度運動、無磨耗運行及減振等，能提供加工產業需要高速運轉、高負載能力及維持高精度需求。

夾治具設計投入在大型加工機上的應用極為重要，不僅可降低工件加工重複拆裝的時間浪費，關鍵點為保持加工過程中高精度的夾持不受加工切削力影響、可快速安裝更換夾治具提高生產效率（如：模組化設計、自動對中等）及夾治具結合自動化技術，透過自動夾持及釋放與機械手臂和自動化系統配合實現自動化生產，同時也可加入智能監控元素滿足即時監控系統確保加工過程的安全與可靠性。

### 4. 在地加工產業連結

大型立式車床及大型臥式搪床應用在機械製造加工，特別在加工大型鑄件、大型精密腔體和大型齒輪等方面，可應用在汽車製造業中汽車渦輪殼、煞車盤、煞車鼓和輪圈等零組件，能源產業中油閥和油管件，軌道業中的車輪以及風力發電產業中的軸承環、行星支架和發電機框架等零組件。

### (三) 適用於難切削材料切削加工之工具機

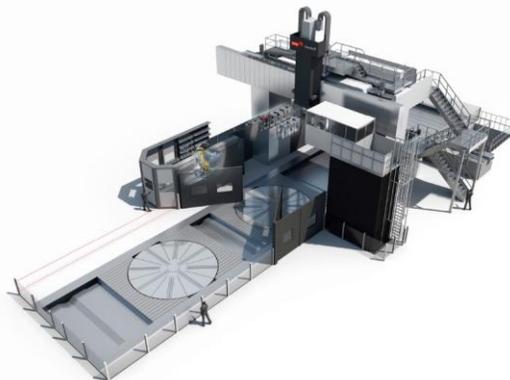
#### 1. 功能特點

鈦及鎳基合金因其卓越的強度密度比，及質量輕、耐腐蝕、耐高溫、疲勞強度大、熱膨脹係數小等金屬材料特性優勢，廣泛被應用於航太工業、車輛工業與運動器材等產業中。這些材料在航太工業應用尤其突出，例如用於製造發動機部件、結構零件和機身等。但在零件切削加工時會面臨一些挑戰，即加工過程中容易產生高溫導致刀具快速磨耗，縮短刀具壽命，對於加工鈦及鎳基合金等難加工材料的加工機及刀具需要更高的要求，一般而言加工鈦及鎳基合金的加工機除了需要有超大型的加工範圍，對應龍門型結構還能夠提供足夠的穩定性和剛性，以應對加工過程中產生的切削力和振動，確保加工精度和表面品質。

隨著科技進步，硬脆材料（陶瓷、氧化鎢、氧化鋯、藍寶石、玻璃及矽晶圓）與複合材料等先進材料被廣泛應用在各產業中，如半導體、光電及 3C 電子等，針對這些先進應用材料的發展需要有一定可靠且具有成本效益的製程，超音波加工是一種複合式加工，切削過程中加入含有鑽石材料的刀具，配合軸向刀具高頻振動及高迴轉速度的雙重運動之下，形成一種表面拋光研磨及衝擊破壞材料加工的複合技術，可讓刀具在接觸硬脆材料時降低切削應力而避免直接造成材料損壞及破裂，超音波加工切削應用上包括鑽孔、銑削及表面拋光等，其中透過超音波振動可改善鑽孔中毛邊的產生，可減去鑽削硬脆材料時所造成的材料邊緣崩裂及破損現象。

#### 2. 國際代表性機型

為了滿足航太、能源和船舶等大型複雜工件需求，可應對鈦及鎳基合金等難加工材料的加工需求設備如 STARRAG、JOBS 等公司產品，可充分利用龍門式 CNC 加工機的大加工範圍和高精度，配合高速高扭力的機械齒輪頭，提供給客戶更加完整和高效加工解決方案，如圖 5.1.10 所示。



STARRAG DROOP 與 REIN AEROSPACE MACHINE

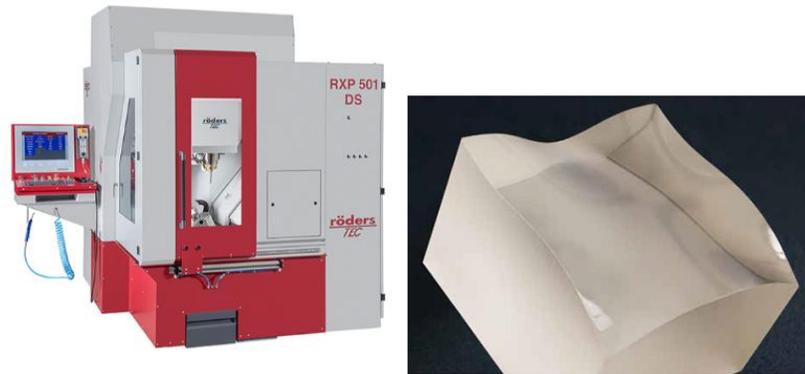


JOBS TARKUS

資料來源：STARRAG 公司與 JOBS 公司

**圖 5.1.10 適用於鈦及鎳基合金加工國際代表性機型**

目前正在研發硬脆材料加工機的廠商有與德國 SHAPEFAB 合作的 RÖDERS TEC、臺灣東台精機及嵩富機械等，如圖 5.1.11 所示。



RÖDERS TEC 五軸高速硬脆切削加工機及其石英曲面切削



東台 VU-5 系列超音波輔助加工機

資料來源：RÖDERS 公司與東台精機公司

**圖 5.1.11 適用於硬脆材料加工國際代表性機型**

### 3. 技術發展方向

建立高扭力傳動模組設計技術，進行高速高扭力機械齒輪頭開發，此機械齒輪頭具有高速旋轉和強大的扭力輸出，如圖 5.1.12 所示，其可應對鈦及鎳基合金等難加工材料加工需求，並與龍門工具機廠商一同合作技術導入旋轉模組，提升工具機性能表現，搶攻國際高性能工具機應用市場，同時也可帶動國內旋轉軸模組產品技術升級。新開發高扭力傳動模組在設計和製造過程中運用了先進工程技術，如有限元素分析(FEA)和電腦輔助設計(CAD)，確保齒輪頭在高速運轉時能保持穩定和高效



性能。

STARRAG 機械式齒輪頭

JOBS 機械式齒輪頭

資料來源：STARRAG 公司與 JOBS 公司

圖 5.1.12 高速高扭力機械式齒輪頭

基於科技進步，硬脆材料與複合材料等大量導入各產業應用，其中碳化矽陶瓷因第三代化合物半導體及電動車行業迅速崛起成為廣泛被應用的先進材料，結合超音波本身高頻率振動及非接觸式電力傳輸技術進行超音波驅動模組開發，可提高主軸轉速至 38,000 rpm，應用超音波高頻率微振動讓刀具在加工過程以高速間斷接觸工件，可降低磨削阻力、延長刀具壽命並提升表面精度，針對超音波模組部分，目前漢鼎智慧科技已開發國產化的超音波驅動模組產品，可直接於原設備上安裝應用，如圖 5.1.13 所示。



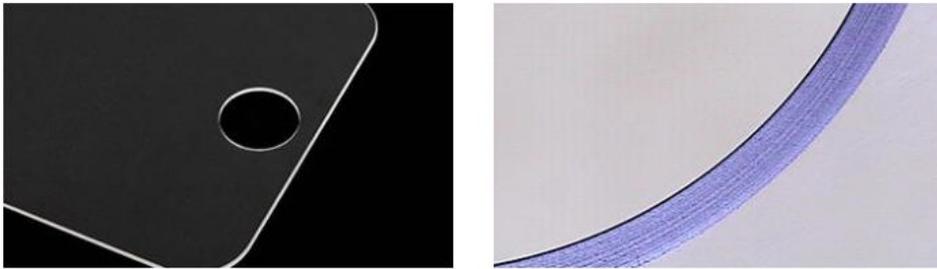
資料來源：漢鼎智慧科技公司

圖 5.1.13 國產超音波驅動模組

#### 4. 在地加工產業連結

高速高扭力機械齒輪頭的創新技術應用不僅限於導入工具機設備開發，還可擴展到其他需要高精度和高效率加工領域，如航太、汽車製造和能源設備等。透過推廣先進傳動模組技術，促進整個製造業的技術升級和產業升值帶動相關產業鏈的發展。

另外超音波模組應用，如圖 5.1.14 所示，在市場逐漸擴大的電子與半導體產業中，可應用超音波高頻率微振動的輔助加工技術提供刀具在加工過程中間接性的接觸工件，可有效降低磨削阻力並順利排除陶瓷等硬脆材料粉屑避免阻塞研磨刀具，提升更好的加工工件品質並同時延長刀具壽命。



資料來源：東台精機公司

圖 5.1.14 超音波加工應用

#### (四) 加減法複合加工機

##### 1. 功能特點

近年來不管是塑膠或是金屬積層製造（3D 列印）逐漸變成適用於快速製造市場產品及小批量打樣的生產應用，相對於過往的傳統製程更加快速有效率，在 2014 年全球 3D 列印的市場總產值已達 41 億美金，目前估計到了 2025 年將會突破高達 200 億美金的市場總價值，由於歐美日韓不斷推出不同機型與設備，其中市場快速成長為雷射金屬積層製造（加法），包括粉床熔融成型技術與直接能量沈積技術，可直接一次成型複雜的樣貌外型與特殊結構之金屬元件，再透過機台複合銑削主軸及旋轉軸進行精加工（減法），即為加減法複合加工機。

##### 2. 國際代表性機型

日本知名品牌 SODICK 集團所產出 OPM 系列機台設備為業界首推出一站式解決方案的機台，如圖 5.1.15 所示，透過雷射金屬積層堆疊加工與高速銑削加工的結合，讓以往無法實現的複雜、自由度高的造型加工變為可能。



SODICK OPM 系列

資料來源：SODICK 公司

圖 5.1.15 加減法複合加工機國際代表性機型

### 3. 技術發展方向

隨著積層製造方式（加法）設備快速成長，雷射披覆積層製造所需關鍵零組件，如雷射頭和雷射熔覆送粉模組，長期依賴國外供應商提供，對於加法智慧製造的關鍵技術掌握形成了挑戰，因此未來加法製造產業發展的關鍵技術方向為加強與國外雷射技術源的技術配合，並與國內產業界、政府和學術界進行技術合作有助於自主研發國產化雷射源模組，及自主開發雷射熔覆模組；關鍵零組件製程不僅是加法製造就能完成所有工序，可結合車削、銑、磨及鑽孔等傳統製造方式（減法），並整合自動化、高速運算及網路系統等方式，將加速製造業向更高值化應用發展。

雷射熔覆模組，如圖 5.1.16 所示，亦為加減法複合加工重要一環，為滿足嚴苛熔覆生產環境，設計時須將模組內部線路及冷卻水和氣體管線整合於堅固加工頭內，同時也須考慮雷射源模組上的玻璃保護鏡片因長期雷射高功率加工所產生的熱能與熔覆殘渣需定期更換操作便利性，可幫助延長內部光學元件壽命，另外也需考量設計對於不同熔覆材質選配不同種粉末噴頭、攝影機鏡頭及焊接監測儀。



資料來源：吾福精密

圖 5.1.16 雷射熔覆模組

#### 4. 在地加工產業連結

目前市面機種可供醫療、航太、汽機車等多種行業用途，透過各種雷射金屬積層製造專用的金屬粉體配合製程中調控不同雷射光學與材料之間的作用機制改變金屬材料的結晶結構，產生不同強度、硬度、韌性等機械性質，以符合產品使用或運作需要，例如在機械製造加工業中輕量化結構設計（蜂巢式結構、晶格結構）加工零件、汽機車渦輪引擎葉片、模具產業中具功能性水路冷卻流道模具及客製化生物醫療術前術後輔具和醫療器材開發打樣等，如圖 5.1.17 所示。



資料來源：工研院 (2024)

65 圖 5.1.17 加減法加工應用加工件

#### (五) 衝床

##### 1. 功能特點

工具機依據加工型態共可分為兩大類型，一是透過刀具/刀片結合主軸高速旋轉移除原料為加工方式的切削加工機，另一種則是透過施加外力方式對於金屬材料施以剪應力使材料永久變形或是截斷的成型加工機，成型加工機包括衝床、剪床、鍛

造機械及線切割加工等，其中又以衝床作為成型工具機最大宗，其對於鈹金件的快速成型為最大特色足以提供應用於汽車產業、家電產業及 3C 消費型產品等。

## 2. 國際代表性機型

目前知名品牌金豐機器及協易機械擁有多多年豐富開發經驗，對於傳統式衝床及伺服衝床都具備相當專業實力，可為國內外客戶針對開發產品所需加工應用製程提供完整解決方案，如圖 5.1.18 所示。



金豐 iS 系列伺服衝床

協易 SD 系列伺服衝床

資料來源：金豐機器與協易機械工業股份有限公司

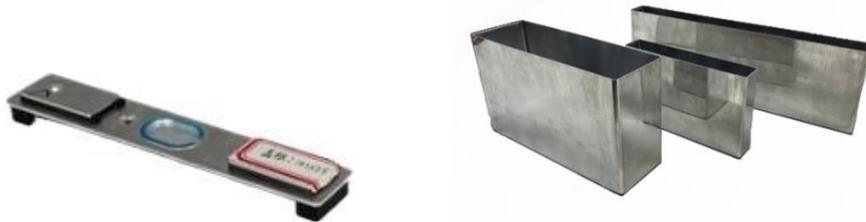
圖 5.1.18 衝床國際代表性機型

## 3. 技術發展方向

隨著工業產品日益進步，衝床逐漸從傳統式機械連桿系統來控制滑塊運動變成透過伺服馬達直接驅動，能實現對滑塊更精準控制與使工業工藝技術更完美，未來技術發展方向有(1)、視精密控制與靈活性提高滑塊的運動控制精度及同時開發多軸控制技術使伺服衝床可應對不同產品及需求；(2)加入智能化與智能製造的應用導入自動診斷與預測性維護功能減少設備故障與停機時間、整合物聯網技術，使衝床設備與其他設備進行互聯溝通實現即時監控與分析、針對加工大數據與自適應控制技術能使伺服衝床自主學習調整製程參數以優化生產效益提高生產效率及品質；(3)透過伺服馬達系統與驅動系統的高響應特性可靈活控制運動曲線使沖壓與其他製程(如彎曲、拉伸、切割等)結合在一起，實現一次性多工序完成的複合加工，提升生產效率；(4)加入節能減碳排應用，開發低耗能模式在衝床未加工應用時透過伺服馬達的特性進入低轉速低功耗的待機模式，符合減少待機空耗能量及噪音的現代工業發展重要趨勢。

#### 4. 在地加工產業連結

目前市面上的機種主要提供自行車、汽機車零組件為大宗，透過冷、熱及冷熱間鍛造方式進行沖壓成型，提供自行車組成結構中的轉向系統、驅動系統及制動系統進行製造，另外在汽車整車生產線中，沖壓機械可將金屬板材沖壓製造成所需的車身覆蓋件、車身結構件及中小型沖壓件，近年來隨著 LCD 面板及新能源產業的興起，綠色環保節能減碳逐漸成為世界各國間的重要議題，衝床機械也加入鋁合金車身鈹金件與混合動力電動汽車及純電動汽車的動力電池結構件的生產，對於殼體、蓋板和防爆片等電池結構件對精度及設備穩定度要求甚高，目前也逐漸啟用國產化的設備進行取代，如圖 5.1.19 所示。



資料來源：金豐機器工業股份有限公司

圖 5.1.19 衝壓應用於動力電池結構件

#### 二、工具機數位轉型

當前臺灣工具機在全球經貿市場下所面臨之最大問題，除了貿易匯率及價格戰之影響壓低利潤空間外，還有高獲利之高階智能加值機型其自主技術仍有瓶頸。工具機智慧化技術與物聯網(Internet of Things, IoT)無疑是未來工具機發展趨勢。工具機產業不斷利用硬體及軟體創新或排列組合的方式朝自動化、智慧化以及加工效能提升的大方向在前進，目前國際上產業發展策略已從過去單機規格提升的研發思維，逐漸朝向提供應用端解決方案及售後服務系統等，以貼近客戶需求並有效解決生產上實際問題，透過單機智慧化與產線智慧化加值輔助機能，由單純提供生產設備轉向提供產品製造、系統整合、軟體加值等一站式Turnkey解決方案與服務。

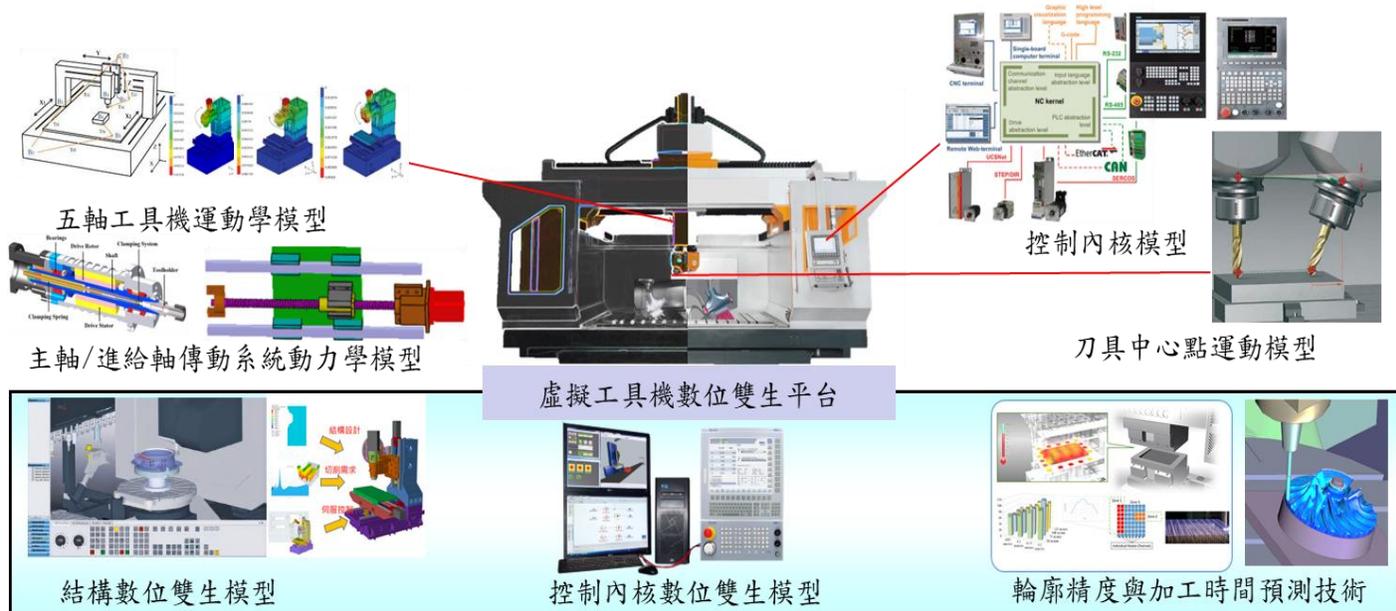
##### (一) 單機智慧化加值軟體

臺灣受到日、德高階工具機降價競爭，以及中、韓中低階工具機逐漸進逼，已嚴重壓縮臺灣工具機在國際市場的生存空間，我國工具機傳統單機銷售的獲利模式將逐漸變得困難。為突破困局，業者發展趨勢不再以朝單機功能精進化方向發展，而是轉為提供客戶軟性服務，以扮演好支援客戶端生產工廠的稱職角色為發展主軸。設備加值軟體服務的配套讓臺灣工具機於銷售市場上可與競爭對手繼續維持有差異化的競爭優勢。簡言之，效率、品質、產能彈性以及供應力是工具機終端用戶成功的基礎，惟有透過工具機廠商提供智慧加值模組才能達成。總括而言，單機智慧型

工具機的核心項目包含數位雙生技術、沉浸式互動技術、智慧精度調適技術、加工製程監控技術與加工優化技術等創新增值趨勢與研發方向。

## 1. 數位雙生技術

數位雙生是以建立數位軟體模型與實體設備進行可相互模擬與驗證的技術，如圖5.2.1所示，是近年來工具機、控制器業者積極投入的研發領域；國外以西門子、DMG為主要領頭羊，國內則有東台、友嘉、永進等公司積極投入。西門子作為全球工業控制器大廠，再加上透過併購方式整合從物聯網、電腦輔助設計、電腦輔助製造、產品生命週期管理等垂直應用體系，在數位雙生應用可說是如虎添翼。以2023年漢諾威工具機展EMO2023為例，西門子、DMG展出的數位雙生技術已可準確模擬從加工品質到工具機結構等過程，並透過專屬高速通訊介面採集來自控制器、感測器的生產數據，用於建立數位雙生模型並與真實系統比對分析。



資料來源：工研院 (2024)

圖 5.2.1 工具機數位雙生

### (1) 數位雙生技術之需求

數位雙生的核心技術需求是針對各種製程、設備物理特性開發的解析模型、數據模型以及設備物聯網技術，其中設備物聯網在近年來政府專案大力推廣機聯網、設備感測相關技術協助已相對普及，而物理模型與數據模型是國內工具機業與製造業相對比較欠缺的，反倒是學術界有很多在工具機相關製程、設備的理論研發成果，如果能結合學研團隊與法人團隊將理論研究成果快速轉換為數位雙生模組，將使國內工具機業可趕上這一波數位雙生的技術趨勢，甚至有機會超越國際水準。

## (2) 未來發展方向

目前國際大廠推出的數位雙生主要偏重在控制器性能模擬與機台運動學模擬，尚未結合力學、熱流、磨潤、能耗等其他製程物理現象模擬。未來國內學研單位可針對上述製程物理現象研發，並且與控制器大廠數位雙生的軟體介面結合，形成加值軟體的商業模式，不但可快速將研發成果推向產業應用，也可與國際大廠接軌，面向更大的市場機會。

## 2. 沉浸式互動技術

沉浸式互動技術為人們透過虛擬實境電子設備（如VR頭盔）如身歷其境般進行遠端虛擬互動，如圖5.2.2所示。疫情過後遠端會議接受度大增，供應鏈重組、製造基地遷移的需求使得製造業、設備業希望強化遠距協同工程技術，以節省技術服務體系的工時成本與差旅成本。新南向政策鼓勵台商在東南亞建立新基地或升級產線，為因應高階技術人力短缺、減少遠端技術施作的交通成本，利用沉浸式互動技術進行遠距協同工程的需求大幅度增加。



資料來源：工研院 (2024)

圖 5.2.2 沉浸式遠端製程診斷系統

### (1) 沉浸式互動技術之需求

隨著工業4.0和智慧製造的浪潮不斷崛起，遠距協同工程應用服務成為一個關鍵領域，它將重塑製造業的運作方式，使跨地域的多個利益相關者能夠實現更有效的協作。目前，傳統遠端會議系統主要依賴於視訊、語音、文字和標註記號等方式，來實現不同地點的使用者之間的連結。然而，這種傳統方式存在一些限制：

- A. 有限 3D 顯示能力：現有行動裝置和頭戴式裝置在呈現精細 3D 模型資訊方面受到限制，這對於虛擬工程環境的需求是不足。

- B. 人與軟體連結缺乏：傳統遠端協同工程系統通常缺乏人與軟體、數位雙生之間有效連結，例如感測物理量、溫度場、振動量、設備性能和健康狀況等。

為克服這些限制，可利用通用場景描述語言(Universal Scene Description, USD)定義可多人互動、動態編輯的3D場景。這使得具有不同身份、角色和權限的使用者能夠進入虛擬場景，並進行各種互動討論。USD作為一種動態、即時、多人編輯的幾何資料格式，非常適合在遠距協同工程中應用，可以實現更高效的協作和溝通。此外，利用物聯網(IoT)核心技術來連接虛擬和實體設備也是未來的重要方向。這包括機連網、資訊模型和標準智慧機上盒(Smart Machine Box, SMB)等技術，將現實世界的設備數據與虛擬環境相結合，實現更全面的虛實整合。在智慧製造領域，建立製程、設備和控制器的數位雙生也是關鍵一環。這將大幅縮短製程規劃的時程，並提高生產的效率和穩定性。同時，也為設備製造商提供機會，透過遠端技術服務和控制即服務(Control as a Service, CaaS)創造新營運模式，提升其設備附加價值。

## (2) 未來發展方向

沉浸式互動優勢是提供較好使用者體驗且可在遠端解決實際產線問題，然而對工具機產業來說，使用沉浸式互動技術發揮價值的關鍵在於利用物聯網將數據感測、製程診斷分析的結果投射在虛擬場景中讓設備操作員、原廠技術人員、製程專家可以在各種數據圖表的輔助下完成診斷、故障排除任務。因此，通用場景描述語言以及共通性設備資訊流通介面是未來沉浸式互動技術發展的重要方向。

## 3. 智慧精度調適技術

智慧精度調適技術即透過智慧化軟體針對工具機精度進行量測與分析，準確地分析出精度產生的原因以進行補償或提供設計變更建議。工具機產業升級的關鍵在於五軸工具機產業應用，我國產業聚落完整，專業人才既充裕素質又高，量產能力已具相當大經濟規模，非常適合發展高階五軸加工機。唯目前國內五軸工具機發展導向均著重於生產製造與市場銷售，於性能及精度確保上欠缺有系統的配套解決方案。簡言之，精度維持在容許區間越久越符合經濟效益，具有高精度壽命的國產五軸工具機就不會落入價格競爭的局面。

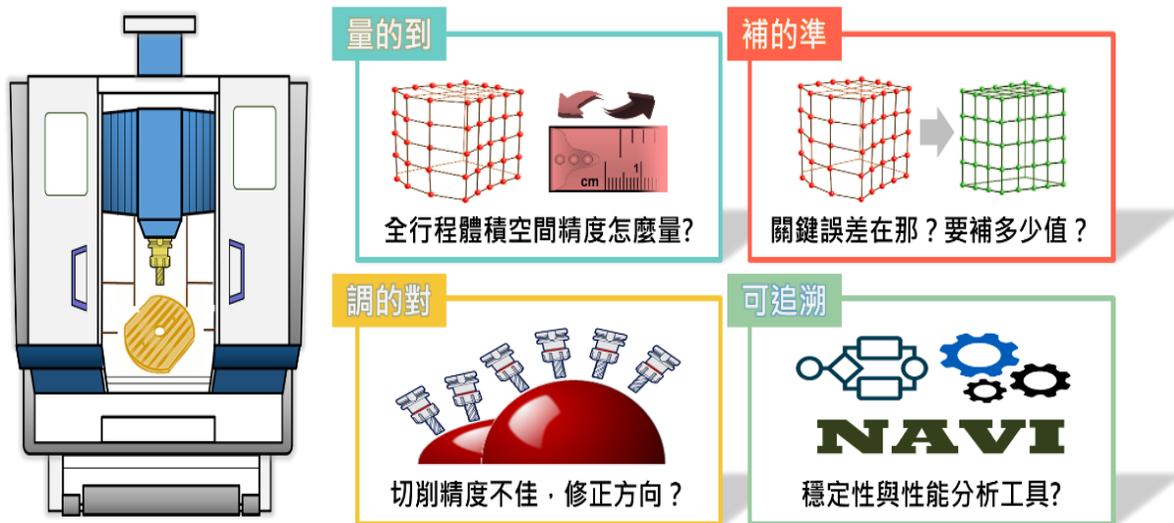
### (1) 智慧精度調適技術之需求

過去十年，臺灣五軸工具機主要著重在從無到有、由小到大、提高CP值以及尋找市場，並已打造C型、小龍門、大型龍門等各種架構的高階設備產品規格。但目前國內均是以取得國外大宗OEM訂單為主，後續交由當地代理商進一步優化機械精度並完成體積空間精度補償，故國內業者僅掌握整合關鍵模組與機台組裝成本優勢。長久以來國內幾乎無五軸加工機設備廠熟悉體積空間精度的量測與補償，業者對此

深感困擾，且在缺乏體積空間精度檢驗規範輔助的情況下，幾乎沒有系統化修配體積空間精度之遵循原則，協助業者提升技術量能。

## (2) 未來發展方向

關於五軸工具機空間精度調適，如圖 5.2.3 所示，其發展之主要方向，包含有：空間精度量測配套，需有國產量測模組滿足自動完成整機 43 項之體積空間精度誤差項目量測（量的到），透過精度變異趨勢可視化介面協助定義關鍵誤差補償數值（補的準）；於設備精度管理配套上，提供一解析誤差來源之分析工具，支援切削性能的精準調校（調的對），並建構可追溯之監管資料庫技術，滿足穩定性分析與示警應用（可追溯）。依此一策略產品定位原則「高階客製化設備解決方案」，透過智慧精度調適技術配套，業者將可轉型為高階五軸加工應用解決方案的提供者，強化全球市場上的競爭力。



資料來源：工研院 (2024)

圖 5.2.3 五軸工具機智慧精度調適關鍵技術佈局策略圖

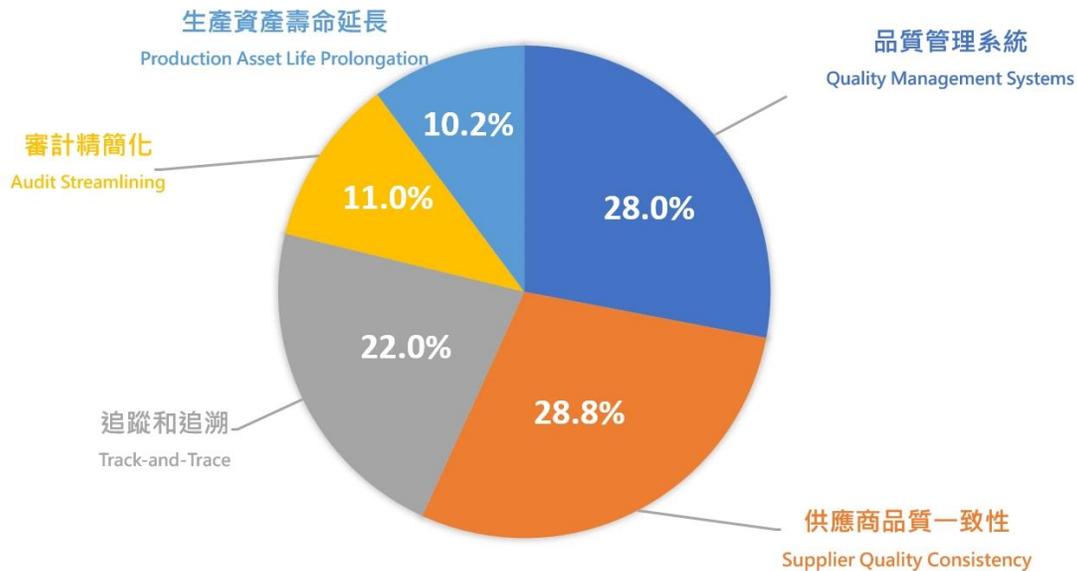
## 4. 加工製程監控技術

加工製程監控技術為加工過程中各加工設備以及相關週邊系統的參數與狀態數據（切削速度、壓力、溫度...等）進行監控以掌握加工製程是否發生異常的技術。臺灣工具機產業於全球製造業中具有舉足輕重的地位，尤其在精密加工設備和自動化解決方案方面具有競爭力，隨著工業4.0與智慧製造的趨勢，應用在工具機製程監控技術(Process Monitoring Technology)對於高效率生產自動化工廠需求日益增長。

### (1) 製程監控技術之需求

於高競爭的市場中，品質和效率是企業生存的關鍵。透過製程監控技術，企業

能夠即時監控生產過程，如圖5.2.4所示，確保產品品質達到國際標準，進而降低廢品率和提升品質保證。這不僅幫助業者調整產線配置，最大化設備運用率和提升生產速度，還能達到精準生產佈局。隨著大數據和分析技術進步，製程監控已經超越了單純的實時監控，能夠提供歷史數據分析來支持企業的戰略規劃和持續改進，實現數據驅動的決策制定。因此，面對現今市場客戶訂單的多樣性，企業為了快速調整生產線且有效掌握高效加工製造，利用製程監控技術輔助生產線已是重要的應用需求。



資料來源：工研院 (2024)

圖 5.2.4 製造業於製程監控技術之需求

## (2) 未來發展方向

透過人工智慧(AI)與機器學習(Machine Learning, ML)技術，企業能夠對數據進行深度分析和模式識別，以預測生產過程中可能發生的問題，實施預測性維護和生產優化，從而提高生產效率和產品品質。同時利用虛擬實境(VR)和擴增實境(AR)技術，獲得實時監控數據和操作指導，不僅提高操作的精確度，也增強安全性。企業與國際技術供應商和學術機構持續合作，推動技術的標準化和模組化，促進不同廠商設備之間的互操作性，確保各種工具機設備和監控系統能無縫協同工作，提升整體生產效能。最終整合製程監控技術與全面品質管理(Total Quality Management, TQM)，實現從供應鏈管理到產品交付的每一個環節的品質監控，進而強化整體生產鏈的競爭力。

製程監控技術持續演進不僅顯著提升了生產效率和產品品質，同時為企業帶來了無可比擬的競爭力和廣闊的市場前景，使企業在激烈的市場競爭中占據有利地位，

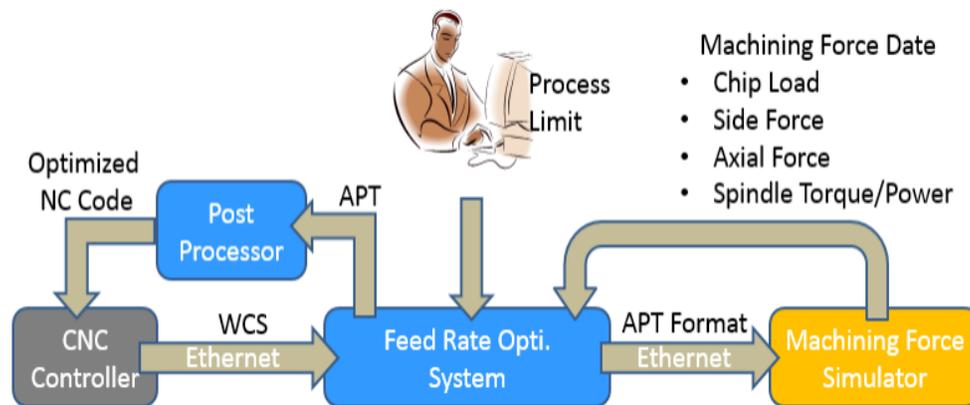
迅速應對市場需求的變化。對於臺灣工具機產業而言，這不僅是一次技術升級的機會，更是一個策略性全面佈局，透過持續的技術創新和應用，有效應對全球市場的挑戰，進一步鞏固其作為國際領先製造業基地的地位。因此，透過人工智慧與機器學習技術，針對數據進行深度分析和模式識別是未來可以積極投入研發和技術創新的方向，以確保在未來的工業競爭中保持領先。

## 5. 加工優化技術

加工優化技術為加工進行過程中，透過製程優化、程式優化或設備參數優化等方式，使得加工製程效率提升之手段。面對全球走向低碳化及數位化趨勢，如何在有限時間、技術、資金資源下，提升加工效率、同時保有穩定的加工品質，並減少碳排放量愈受重視，如圖5.2.5所示。

### (1) 加工優化技術之需求

臺灣工具機產業以中小企業為主，因產品同質性高、技術難以累積，加上面臨勞動力供給不足、產品生命週期縮短及客製化需求增加的挑戰，導致企業在財力、人力、物力及技術上突破受限，面臨生產成本增加、產線效率難以提升的困境。加工優化技術能提高加工作業生產效率、提升加工品質和一致性，節省企業大量生產時間成本，減少不必要的能源浪費，有效提升加工設備稼動率與穩定性。透過最佳化技術導入，可協助企業在勞動力不足情況下，同時提高生產效率，更好地滿足客製化需求，加速進入量產階段，從而提升產能，增強市場競爭力。透過導入加工優化技術，能幫助企業快速調整生產線，提高市場反應速度，應對產品生命週期縮短的挑戰。優化技術的應用不僅有助於提高產品競爭力，也能夠幫助企業在面對技術累積不足的情況下取得突破，實現企業的持續發展。



資料來源：工研院 (2024)

圖 5.2.5 透過切削力學分析建立加工優化技術

## (2) 未來發展方向

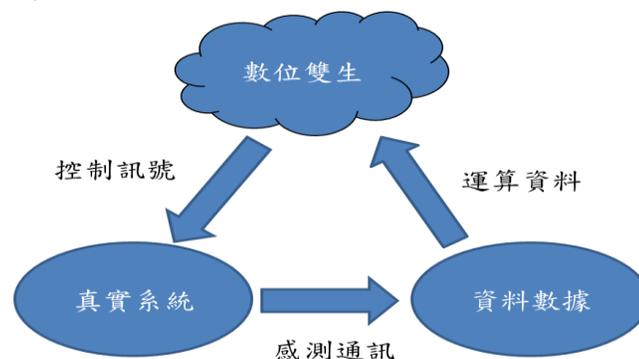
透過導入人工智慧製程分析技術，在製程開始前，即可模擬並分析大量的歷史數據，提供最有效的製程優化方案與參數建議。有效縮短製造生產週期，提升生產效率。同時整合雲端計算資源，導入彈性多元化運算服務，降低對機邊運算設備的效能需求，將可有效加速技術落地與產業應用擴散。加工優化技術的導入對臺灣工具機產業面臨的挑戰至關重要，藉由持續的技術革新和智慧化升級，臺灣工具機產業將能夠提升產品的國際競爭力，促進整體產業鏈的升級和發展，為產業注入新的活力，使其在國際市場中脫穎而出。

### (二) 產線智慧化加值軟體

隨著全球製造業進入數位化和智慧化時代，產線智慧化加值軟體成為提升工業生產效率與競爭力的關鍵要素。這類軟體整合了先進的感測設備、人工智慧、機器學習和大數據分析等技術，提供對生產流程的即時監控，協助建立以資料驅動的決策與管理方式。在當前市場環境下，產線智慧化加值軟體不僅能夠幫助企業應對日益嚴峻的市場競爭和多變的客戶需求，亦能推動產業整體共同邁向智慧化、高效率和永續發展的目標。其中針對產線智慧化加值軟體的發展有數位雙生技術、沉浸式互動技術、人機協同彈性生產系統及智慧產線系統技術等四個重要技術，以下將針對這幾項技術探討當前需求與未來發展。

#### 1. 數位雙生技術

數位雙生是以建立數位軟體模型與實體設備進行可相互模擬與驗證的技術，如圖5.2.6所示。製造業者為尋求在不斷發展趨勢下保持領先地位，對於產線的敏捷性和靈活性需求，顯得格外重要，數位雙生是滿足此一需求的答案。數位雙生可以在不中斷現有操作的情況下，協助產線快速進行調整，使其保持靈活並回應市場需求，將數位雙生引入智慧製造產線不僅是採用新技術，更提供營運模式轉變的協助，以實現前所未有的效率水準。



資料來源：工研院 (2024)

圖 5.2.6 數位雙生技術示意圖

## (1) 數位雙生技術之需求

產線數位雙生需要提供製程規劃、生產管理、營運管理等功能：

- A. 動態即時監控設備和流程：為產線智慧製造運作提供完整檢知視窗。即時監控可以快速檢測和解決問題，能節省大量時間和資源。
- B. 預測性維護：利用數位雙生的預測功能可以透過預測機器可能發生故障的時間和地點來減少停機時間，使用數位雙生運行模擬並識別故障發生前的模式，可以在非高峰時段安排維護，以保持生產力並延長機器的使用壽命。
- C. 品管監控：製造過程中最高標準的品質控制是不可或缺的。數位雙生可協助導入每種產品的詳細規格和容差級別，並可透過提供即時追蹤和分析功能來完善品質控制。
- D. 節能減碳：以生產效率帶動節能減碳才有可能共創零碳生態系。例如德國西門子公司也提出採用數位雙生的協助，提供產線運作的虛擬測試與調校，加速綠色節能的整合製造流程發展。
- E. 數位雙生協作：當今的智慧製造需要所有部門之間的緊密協作，透過產線數位雙生所具備之共享介面，可使不同部門可以直觀地看到其生產行為的改變對其他部門的影響，從而促進跨職能理解。

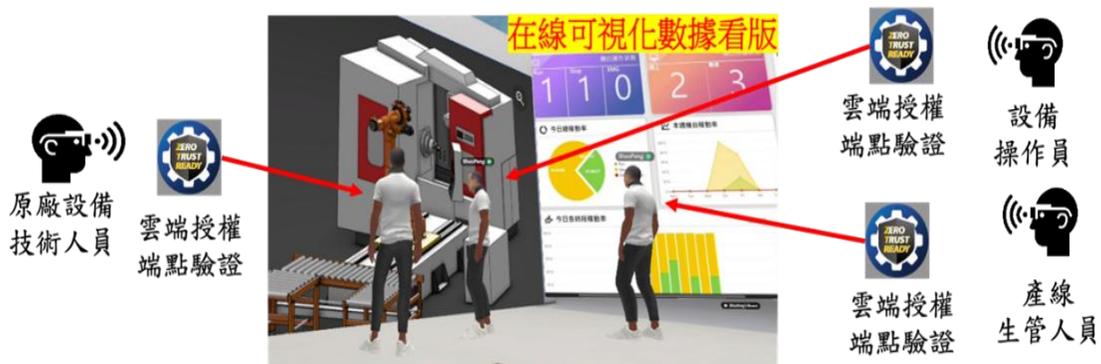
## (2) 未來發展方向

數位雙生模組可能來自任何開發者，彼此間並無預先制定好的通訊協定與互動機制，無法將各種數位雙生模組結合起來進行製程與能耗優化任務。現有做法僅能將各種不同的演算法重新結合成一個功能更複雜的數位雙生模組來進行更多目標的優化任務，然而這樣將無法適應未來新的模擬分析任務與製程優化目標。為因應各種生產情境下製程效率與節能的目標，需朝下列方向發展：

- A. 開發具有共通靈活的平台，使製造業者能夠隨著時間的推移整合額外的機械和流程，而無須修改整個系統。產線應用上，數位雙生技術的可擴展性將確保數位雙生能夠隨著產線製造需求而發展。
- B. 利用工程最佳化與日漸成熟的人工智慧軟體套件集結多個數位雙生模組，在軟體環境中產生大量實驗數據用於訓練多目標最佳化模型。
- C. 將軟體環境中訓練好的最佳化模型部署在真實產線，以實際生產數據進行模型校正，趨近特定產線的真實生產特性。

## 2. 沉浸式互動技術

沉浸式互動技術為人們透過虛擬實境電子設備（如VR頭盔）如身歷其境般進行遠端虛擬互動，如圖5.2.7所示。數位雙生可視為智慧製造轉型的基石，製造產線上實體系統透過虛擬副本使製造業者能夠即時監控、模擬和優化其營運；而沉浸式互動透過擴增實境、虛擬實境與混合實境等技術，為數位雙生提供了一種身臨其境的體驗，製造業者可以跟虛擬模型進行互動及分析，此功能增強了故障排除、預測性維護和營運效率，最終減少停機時間和成本。



資料來源：工研院 (2024)

圖 5.2.7 沉浸式互動進行故障排除與預測性維護

### (1) 沉浸式互動技術之需求

透過可視化特性與機台3D模型進行串接互動，將設備、產品、製程相關資訊彙整，以物理特性疊加在真實畫面，經過後端計算處理，即時呈現製程優化相關數據，讓使用者透過隨身電子裝置，以直覺方式存取跨領域數位雙生資訊，達到縮短製程規劃及遠距教導智慧機械之目的。沉浸式互動可將數位資訊疊加到自然物體上，即時數據和智慧型裝置的使用可幫助用戶與物件互動，並透過語音、訊息或手勢發送命令，管理人員無須親臨產線即可監控營運情況並管理員工。除此之外，對應未來虛擬操作、虛擬教育訓練、虛擬維護保養等需求，都得必須透過沉浸式互動技術為基礎。

### (2) 未來發展方向

因應供應鏈遷移，製造業營運海外產線的需求也增加，為保留有限的核心技術人力，同時又能支援海外產線技術服務，整廠整線虛擬化在產線佈局、生產管理、製程診斷上都有其優勢。沉浸式互動可以幫助工具機業者進行諸如指導操作人員處理複雜流程、為另一個國家的使用者提供遠端協助等活動(如培訓、調校及維護等)，最終提高企業的利潤。於相關技術開發的技術能量培育上，工具機業者及系統服務業者將可受惠於近年來在軟體、GPU、3D 運算軟體以及雲端運算的普及，建立虛擬

產線並匯入沉浸式互動場景的技術門檻已大幅降低。目前已可利用開放套件匯入機台、廠房 3D 模型建立虛擬產線，開發自主產線佈局、生產管理、製程診斷等沉浸式互動技術模組應用，增強故障排除、預測性維護和營運效率提升的產線智慧化目標。

### 3. 人機協同彈性生產系統

人機協同彈性生產系統意即透過人與機器協同作業，彼此以近距離針對生產作業流程相互交疊以達到高效率生產作業。當談到臺灣的工具機產業時，人機協同彈性生產系統扮演著關鍵角色。這個系統具有高度適應性和靈活性，能夠讓人、機器人以及工具機設備共同協作，提高生產效率並確保產品品質。在面對不斷變化的市場需求和技術進步時，人機協同彈性生產系統使臺灣的工具機產業更具韌性。

#### (1) 人機協同彈性生產系統之需求

人機協同彈性生產系統是一種結合人工智慧、機器學習、機器人技術和自動化控制等先進技術的生產模式。這種系統可以在多變的市場環境中保持高效和靈活，並在勞動力短缺問題產生助益。首先，能夠提高生產效率，透過引入協同機器人，可以代替重複性和危險性較高的工作，減少對勞動力的依賴；此外，這種系統需要員工具備基本的技術知識和操作技能，所以企業會投資於員工的培訓和技能提升，縮小技能缺口；附加價值還有工作環境的改善，使得更多人願意從事製造業工作；最後是讓企業敏捷應對市場變化，快速調整生產計畫以適應市場需求的變化，從而減少人力需求波動帶來的影響。

#### (2) 未來發展方向

人機協同彈性生產系統需要包含多種關鍵技術，其中以感測器、機器視覺、智慧夾爪、人機互動介面、協同作業安全機制以及 AI 運算學習為主要元素。以下是須要重點開發的關鍵技術：

- A. 人工智慧與機器學習：強化 AI 技術來預測性維護、品質控制和流程優化；開發智能調度和資源管理系統，以提升生產效率。
- B. 實時物聯網技術：持續開發智能感測器和連接技術，實現設備和系統之間的無縫通信，提高數據收集和分析能力，以實時監控和優化生產流程。
- C. 視覺檢測與感知技術：開發高精度的視覺檢測系統，用於品質控制和生產監控，增強機器視覺系統的智能分析能力，能夠識別並解決生產過程中的異常情況。
- D. 通用的人機界面(Human Machine Interface, HMI)技術：開發直觀和友善使用 HMI，提升互動效果。

- E. 人機協同作業安全技術：動態避障技術，確保即時避開移動中的人員或障礙物；人機交互安全技術，能夠感知人員的存在並做出即時反應；虛擬圍欄技術，限制機器人的運動範圍，以防止人員進入危險區域，如圖 5.2.8 所示。



資料來源：工研院 (2024)

圖 5.2.8 人機協同彈性生產系統關鍵技術

臺灣工具機產業也面臨著勞動力短缺和營運成本的壓力。通過人機協同彈性生產系統可以減少人工依賴，降低勞動成本。同時，代替高強度和高危險的工作，保持工具機的操作穩定與提高稼動率，緩解用人壓力，吸引年輕勞動力進入這一行業。

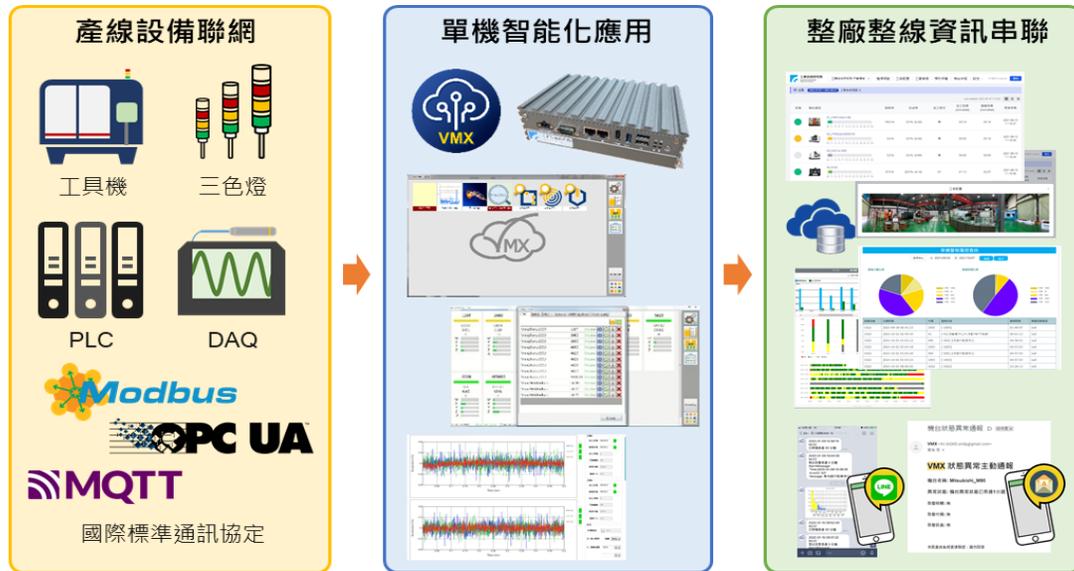
#### 4. 智慧產線系統技術

智慧產線系統技術為於產線系統中，透過設備與製程參數資訊收集即時進行分析，再透過類似專家系統的決策單位進行智慧化決策使得產線可自我調整系統參數而維持高度產線強健性。臺灣製造業目前面臨勞動人口減少、勞動成本增加以及少量多樣生產需求的多重挑戰，多數業者已意識到必須在製程和管理技術上投入更多資源，提升數位化能力，以保持供應鏈中的競爭力。此外，臺灣多數製造業者承接大量客製化訂單，零組件加工亦以客製化作業為主，相關廠商多為中小企業，智慧化設備成本高昂，加上對不熟悉生產模式的保守態度，導致機台設備多以單機運轉生產，加工資訊和派工資料以人工紙本管理，無法有效提升機台設備稼動率。

#### 5. 智慧產線系統技術之需求

智慧產線系統相關技術能有效提升生產效率和良率，透過即時監控和反饋機制，生產過程中的任何異常都能被即時檢測和修正，減少不良品率和生產浪費，如圖5.2.9所示。然而，智慧產線涉及多種先進技術，包括機聯網、人工智能、大數據和自動化技術，這些技術的整合和不同系統間的協同運作需要高度的專業知識和經驗，以應對技術的複雜性和整合難度。其次，智慧產線的基礎依賴於大量的資料收集和傳輸通訊，這些資料可能包括公司的機密生產數據和設備運行狀況，因此資料安全和

隱私問題更為重要。最後，高度智慧化的產線同時也需要較高的建設與維護成本，相關資訊技術和先進設備導入都需要投入大量資金和時間，才能與產線達成良好的合作模式。



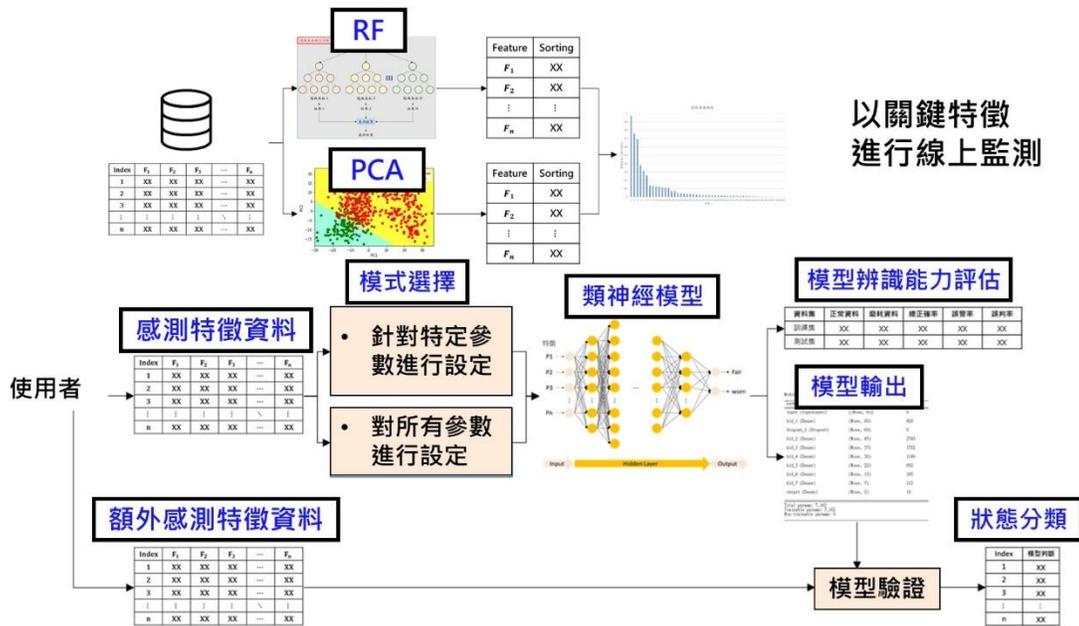
資料來源：工研院 (2024)

圖 5.2.9 智慧產線系統技術

## 6. 未來發展方向

目前的人工智慧和機器學習技術正處於高速發展階段。這些技術可以從生產歷程資料中學習並預測設備運行狀況，如圖 5.2.10 所示，達成預測性維護的目標，有助於減少非計畫停機時間和維護成本，也能應用於製程優化、品質管理和異常檢測等需求，協助產線提高整體生產效能。除此之外，也能在生產規劃階段導入智慧排程系統，該系統能夠綜合評估訂單需求和生產量能，自動提供最佳化的生產計劃，可協助業者快速響應市場變化，滿足少量多樣化的生產需求，提升企業的競爭力。最後是資訊安全與隱私保護技術，隨著智慧產線依賴大量資料的收集和傳輸，確保資料的安全和隱私變得至關重要，可透過開發資料加密、身份驗證和訪問控制等技術，提前阻擋未授權的可疑訪問，以防止機密資料外洩。

臺灣的工具機產業擁有豐富的機械製造經驗和技術基礎，是推動智慧產線技術應用的重要環節。工具機業者可結合機聯網、人工智慧、大數據和自動化技術，打造彈性生產線，提升生產效率和產品品質。同時，針對中小企業的數位轉型挑戰，政府和產業界應該合作推動低成本、低門檻智慧產線解決方案，確保資料安全和隱私保護，並提供技術支援和培訓。透過這些努力，臺灣工具機產業將能抓住智慧製造的契機，進一步提升在全球市場中的競爭力。



資料來源：工研院 (2024)

圖 5.2.10 以 AI 技術建立設備異常預測系統

### 三、工具機綠色轉型

鑑於全球淨零排放浪潮與歐盟碳邊境調整機制趨勢，企業減碳已勢在必行。2030 歐洲製造策略採用關鍵節能新技術、數位轉型新商模、彈性製造新型態以因應優化能源、高效製程與低碳精準製造進而使工具機永續發展循環製造。國際工具機領導廠商 DMG MORI 提出自動化、數位化、AI 及節能減碳方案，在工具機全生命週期，從原料採購到工具機製造、組裝再到產品包裝運輸之工具機產品價值鏈實現碳中和，DMG MORI 在綠色轉型方面已於 2021 年交貨全球客戶綠色工具機並提出三個綠色轉型具體措施如下：

- (一)、**綠色工具機**：對準工具機全生命週期（從原料採購、工具機製造組裝到產品包裝輸出等）的產品價值鏈碳中和供應鏈所發生碳排放（如上游端鑄鐵等原物料生產）補償以提供碳中和工具機；
- (二)、**綠色模式**：透過自主控制系統 CELOS APP 應用軟體與低能耗組件(如 FEM 優化機台結構、高效率馬達、液壓續能器增壓迴路和 LED 照明等)提高能源效率。
- (三)、**綠色技術**：以複合化、3D 列印、AI、數位化、製程自動化等製造創新綠色領域應用，如風力發電設備、水力發電設備、燃料電池與電動車零組件等。

臺灣工具機暨零組件工業同業公會近年積極推動工具機綠色轉型，在 2023 年發起綠色工具機產品評鑑且於 2024 年臺灣國際工具機展以「雙軸智造、永續未來」為主題，臺灣工具機業者與零組件業者也紛紛加速研製綠色工具機以進行數位與綠色

雙軸轉型，使綠色工具機設備在全生命週期中具有低能源消耗與低碳排放特性。由於工具機使用周期長，因此減少在使用者長期使用過程中的能源消耗與碳排放量，是實現綠色工具機的關鍵點。

為實現綠色工具機設備具有在全生命週期中降低能源消耗與碳排放需求，落實碳中和措施與高效高品質綠色工具機製造，並將工具機傳統應用於汽機車產業透過綠色轉型以應用於航太、醫療器械、能源、高鐵、新能源汽車等應用產業。未來發展方向首先建議可採用綠色工具機運轉技術，在設計與製造過程，在不影響機台運作效能前提下，使用更輕量化的運動結構件。如以碳纖維複合材料取代金屬材料製作結構件；或使用更節能傳動零組件，例如驅動/伺服馬達、液壓與油壓設備、冷卻系統、螺桿，並透過工具機運作效能與能耗即時資訊可視化，掌握機台健康狀態進行預測維護與能源優化調控，避免因機台不預期故障導致半成品材料與能源浪費。其次建議可透過綠色切削製造技術，如在工具機加工生產過程導入智慧製造與製程技術、生產流程控制、品質管理或能耗管理來減少加工材料與能源浪費，達到製程節能減碳效果。

### (一) 綠色工具機運轉技術

工具機在客戶使用階段耗能的碳排放量約佔 97%，可藉由新材料導入設計、數位雙生機台設計、可回收模組化與生態化設計等綠色設計技術；與節能零組件採用、設備數位雙生調控、周邊智慧節能運轉等綠色節能技術，以提升工具機運轉時能源使用效率並降低加工業者能源使用量，是減少碳排放最有效直接方法。

#### 1. 綠色設計技術

工具機綠色設計可依循 ISO 綠色工具機規範、新材料導入進行輕量化、機台設計端數位雙生設計與可回收模組化與生態化設計以降低傳動能耗、加速原型機台開發時間和實現工具機永續產品設計。

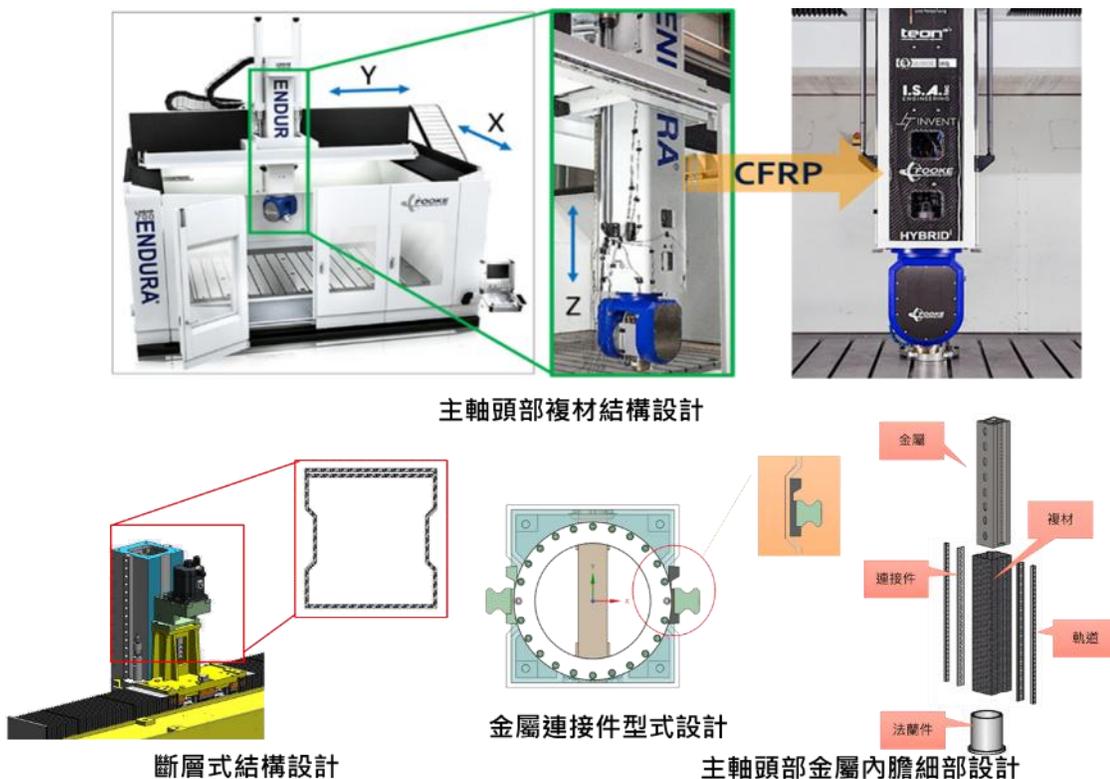
##### (1) 綠色設計技術之需求

為降低工具機能耗與減少溫室氣體排放，綠色工具機設計未來發展關鍵技術可遵循國際ISO標準組織制定工具機專用之能耗量測及設計改善標準ISO 14955 系列；傳統工具機結構材料大都以均質化鑄鐵、鑄鋼為主，導致使傳統結構件設計可輕量化有限；傳統工具機機械設計只在結構動態以實驗模態分析與有線元素分析進行工具機結構等效動態分析與模擬，欠缺在數位環境下整合CAD、CAE、CNC、伺服驅動、柔性多體動力分析與機台測試的數位雙生設計以先建立一個數位化虛擬工具機原型機台進行動態模擬評估優化後再製作實體工具機。

##### (2) 未來發展方向

過往工具機設計向來以高精度、高效率為設計主軸，臺灣工具機產業以外銷為主，為因應淨零排放浪潮，工具機設計更應加入標準、節能、低碳與可回收等綠色設計，可朝下列方向發展：

- A. ISO 14955 系列準則與新材料導入設計：ISO 14955-1 標準已提供 13 個工具機能源效率設計方法，分別為：整體機台概念、驅動單元、液壓系統、氣壓系統、真空系統、電氣系統、製程加熱系統、冷卻/潤滑系統、切屑及粉塵抽取罩、其他泵浦系統、其他周邊相關裝置、節省能源效率使用之指引及控制系統，此 13 項設計方法涵蓋工具機廠商能自主進行設計優化以及延伸至外部協力廠商外購件。在不影響工具機機台運作效能前提下，綠色工具機另一設計未來發展關鍵技術可參考如日本 MAKINO 公司導入鋁鑄造合金 (ATHIUM) 材料取代金屬材料製作結構件，大幅減輕工具機運動組件和機械本身重量。MAKINO 公司也於主軸導入碳纖維強化聚合物 (Carbon Fiber Reinforced Polymer, CFRP) 複合材料達成低重量與低慣性、增加材料自然共振頻率而提高阻尼進而減少主軸旋轉所需能量。透過導入結構輕量化與異質材結合設計，建立複材與金屬異質結合等效分析模型與進行可回收碳纖維金屬異質結合關鍵零組件 (如主軸水套、頭座、鞍座與橫樑等主要結構件) 設計，如圖 5.3.1 所示。



資料來源：ENDURA 公司與工研院

圖 5.3.1 金屬異質材料結構輕量化設計分析技術圖

- B. 數位雙生設計：數位雙生設計不僅能提早改善工具機設計缺失、優化設備性能，也能透過數位模擬縮短原型機開發時程，如 AUTODESK 公司生成式設計人工智慧軟體(Generative Design AI Software)，結合 3D 列印與生成式人工智慧(Generative AI, GAI)，以人工智慧物聯網(The Artificial Intelligence of Things, AIoT)連接工具機零組件數位模型，透過軟體在虛擬環境模擬分析，提供零件設計開發者不同於原有既定框架設計思維，探索以前設計未曾考慮可能性，從而獲得更有效率、更具創意的解決方案。並透過圖文提示縮短產品設計工程圖生成時間並即時對照修正以加速原型機產品開發效率。
- C. 可回收模組化與生態化設計：工具機屬於耐久財，若能將老舊機台提供維修、翻新、再製造、再使用以保留產品價值的循環路徑，如日本 MAZAK 公司不僅在工具機製造過程中，且在產品開發中也採用可回收材料和考慮節能新機種和新功能開發。使用低環境衝擊的可再生材質與耐久性與易回收拆卸之模組化設計，透過永續產品設計和採用綠色科技(如風力發電與生質能等)以確保整個生產過程中達到碳中和，推動綠色工具機產品製造。

## 2. 綠色節能技術

工具機綠色節能可透過採用高效節能零組件降低能耗、主軸/傳動/製程/周邊輔助裝置等節能調控優化與導入馬達可變加減速/停機預防/多數指令重疊等智慧節能運轉技術，以智慧加值與智慧控制避免機台不必要運轉時間與降低運轉能耗。

### (1) 綠色節能技術之需求

根據 ISO 14955-1 標準分析工具機生命週期對於環境的衝擊，得知工具機在使用過程階段相較於原料取得、生產製造、運輸、安裝、回收報廢等階段對於環境衝擊最為顯著；以工具機使用時能耗比例分析，100%使用總功率只有 25%用於加工，其餘 30%、20%、15%、10%分別用於周邊輔助、空轉、馬達損耗、加工損耗。如何有效針對工具機使用階段進行運轉調控優化，將有助於大幅度降低終端使用者在機台使用過程的能源消耗，並以數位雙生進行預測性維護以確保工具機在最佳狀態運行以達運轉節能減碳目的。

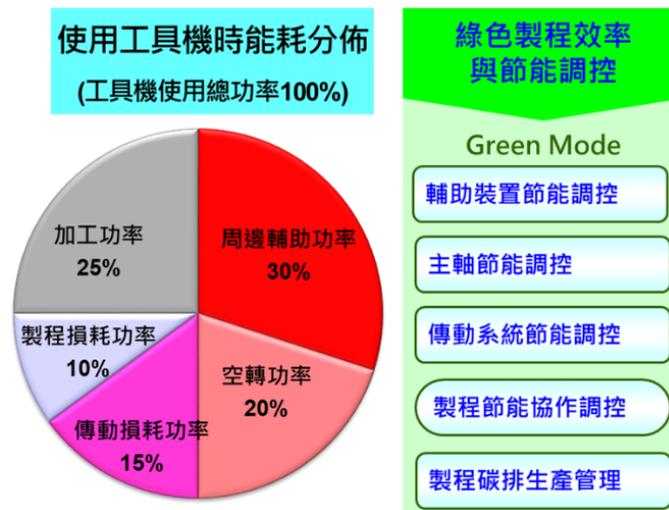
### (2) 未來發展方向

工具機設計時若採用高效節能零組件或是工具機運轉能縮短暖機時間、降低傳動系統與周邊輔助系統不必要運轉時，導入工具機使用能耗監控與採取對應硬體設備控制優化，方能實現工具機運轉高效化與節能化，可朝下列方向發展：

- A. 採用節能零組件：如 DMG MORI 公司根據加工負載調整冷卻液排放量，以抑制待機時不必要的冷卻液排放，節省電力功能使用變頻器控制冷卻液排

放量；提供電源切斷功能，切斷系統待機時的電源，並採用低功耗產品 LED 照明和最新低功耗高效率機器設備；採用無油壓工具機，從油壓驅動和夾持的動力源改成電氣化和機械化來降低電力的消耗。MAZAK 公司藉由人體感測器自動開啟燈與不操作時自動關閉以減少電力浪費；採用油脂潤滑主軸、滾輪導軌和滾珠螺桿以少潤滑油消耗；採用排屑器自動停止，當工具機加工結束並經過一定時間，以減少排屑器電力消耗。透過高效主軸與進給軸馬達、冷卻系統、氣壓組件、除霧裝置、線軌滑軌油氣潤滑、LED 照明等高效節能組件，以減少工具機本體硬體部分之能耗。

- B. 數位雙生調控：未來發展關鍵技術可導入數位雙生技術於實際工具機作動進行調控優化，如主軸運轉、進給軸定位、刀庫旋轉、交換臂換刀、油壓/空壓/氣壓等周邊單元虛實作動模擬，進行工具機產品開發前虛擬調試與試打樣加工前品質模擬，可降低機台干涉與避免加工程式錯誤而導致工具機撞機與加工品質不良，可透過工具機數位雙生作動以進行輔助裝置/主軸系統/傳動系統/製程等節能調控及製程碳排生產管理，如圖 5.3.2 所示。



資料來源：工研院 (2024)

圖 5.3.2 工具機數位雙生作動

- C. 智慧節能運轉：工具機周邊大都由軟體 PLC 控制，其傳統只考慮邏輯與時序動作，如 DMG MORI 公司縮短循環時間以降低功耗，優化 M 碼(M Code)與無需等待 M 碼完成進行重疊多數操作指令來縮短整體循環時間；開發獨創主軸及其伺服加減速優化自動調整定位速度與進行最佳加減速控制；監控自動換刀交換臂與主軸分離同時自動進行主軸開始加速，縮短等待操作時間與自動換刀時間；透過自動控制深孔鑽孔循環中的啄孔動作次數來縮短加工時間與減少固定循環運行時間。MAZAK 公司在待機模式下，各次系

統自行斷電以節省週邊設備能源消耗，較以往設備降低功耗減少 CO<sub>2</sub>排放量 23%。透過導入智慧致動調控，如優化主軸/伺服馬達加減速控制/自動換刀裝置刀具更換、變頻冷卻控制、停機預防等智慧控制技術以降低致動元件（如馬達、油壓、液壓、氣壓等）運轉時間與提升運轉效率。

## (二) 綠色切削製造技術

工具機加工切削時可藉由效率與節能調控系統、數位雙生製造、一次性複合製程等加工專家系統導入；並進行工廠能源監控管理、數位雙生能耗預測、AIoT 製程能源優化等整合，以提升工具機加工時切削能源使用效率並維持加工精度品質。

### 1. 綠色製程專家

工具機加工時綠色製程可導入速度優先/精度優先/節能優先之加工專家系統進行製程參數優化、以數位雙生切削提供精準製造，透過複合工序一次性加工生產 (Done in One)，進行複雜形狀零件製造和局部結構強化，以加減法混合製造減少能源消耗和降低加工廢料。

#### (1) 綠色製程專家之需求

智慧製造除要滿足高精度工件與低加工時間外，也要同時判斷工具機異常、刀具磨耗等情況，透過工單與製程參數優化以避免加工中出現斷刀、主軸負載過大和機台顫振等問題；以數位雙生製造預先在虛擬環境中模擬並評估路徑與參數以實驗高效精準加工；以複合加工生產在一台工具機上同時或依次進行多種加工工藝，以完成零件的多道工序，實現工具機高度自動化和靈活性。

#### (2) 未來發展方向

工具機加工生產若採用自適應調配智慧專家系統進行單機生產效能優化、以製造數位雙生縮短製程時間與提高加工精度、以一台工具機取代多台機械設備進行彈性複合工序生產，方能實現工具機綠色製造與低碳製造，可朝下列方向發展：

- A. 效率與節能調控專家系統：如 OKUMA 公司提出熱親和概念 (Thermo-Friendly Concept) 機能，如圖 5.3.3 所示，透過監測熱位移自動判斷工具機是否需要冷卻，確保工具機維持高精度與自行決定是否需要冷卻和怠速停止，即使在加工操作時也可使用 ECO 按鈕進行怠速停止，藉由實現高精度和高品質加工，達成產品的節能化。依照加工需求提供高速度/高精度/高平滑/高節能之加工專家系統，提供智慧製造功能。

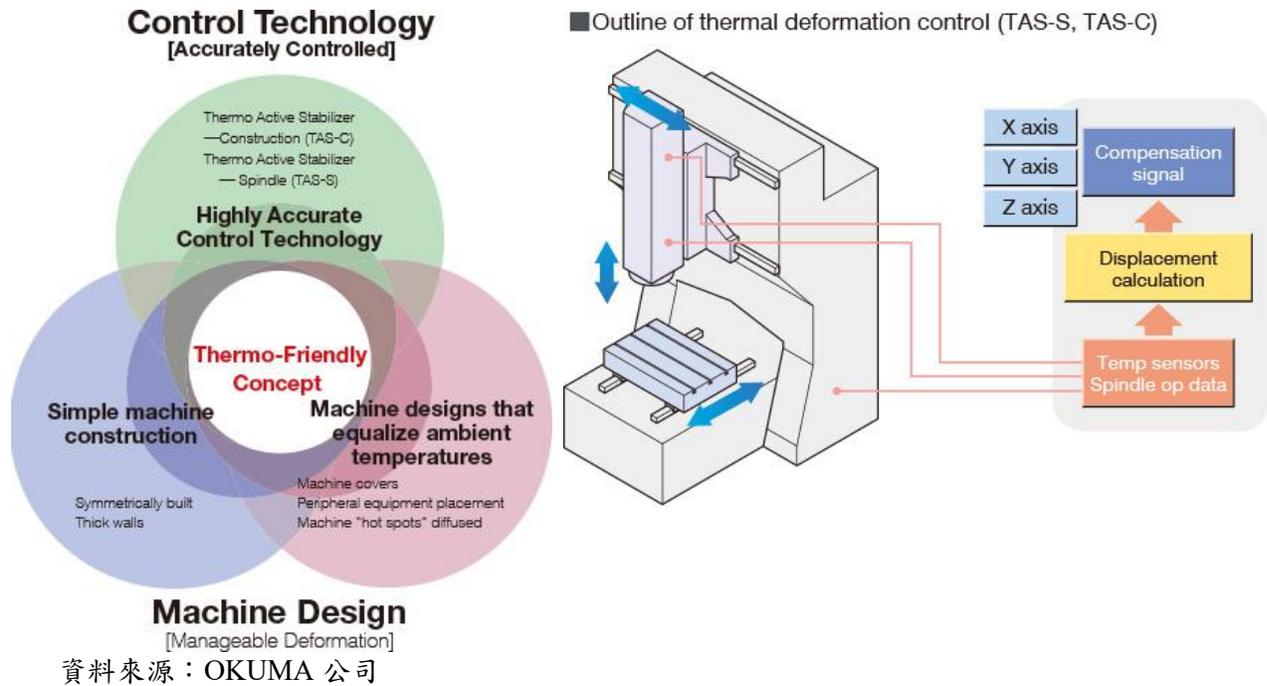


圖 5.3.3 OKUMA 熱親和功能

- B. 數位雙生製造：數位雙生製造除可縮短加工時間外，也能提升加工品質，如 BMW 與 NVIDIA 公司在加工製造流程規劃前先運用虛擬分身模擬確認高效率的備料、步驟、人機協作後，再投入實際工具機生產加工提升產能與達交率，並透過製程數位雙生進行精準製造以降低產品不良率。
- C. 一次性複合生產：單一機台同時進行不同工序加工除能節省機台佔地面積外也能提升複合工序的加工精度，如 MAZAK 公司以綠色化產品設計在 2022 年推出立式五軸加工中心 VARIAXIS i-800 NEO，工件夾裝僅需一次即可完成多面銑削加工程序而減少多次反覆安裝時間，亦可用於具備積層製造的多工複合加工，以往由多台機械進行多工程加工整合到單一工具機以減少設備數量來節約能源，大幅減少總生產時間、成本和 CO<sub>2</sub> 排放。透過多軸同動、車/銑/鑽/搪/刨/磨、積層製造等複合工序一次性加工生產 (Done in One)，進行複雜形狀零件製造和局部結構強化，以加減法混合製造減少能源消耗和降低加工廢料，如圖 5.3.4 所示。



資料來源：MAZAK 公司

圖 5.3.4 MAZAK 一次性複合製程

## 2. 綠色能耗管理

### (1) 綠色能耗管理之需求

要進行能源管理，首先須進行單機與整廠整線設備之能源監控，雖可透過電表進行工具機設備能耗監控，但工廠廠房內若有數百台機台，其電表安裝費用不容小覷，故需提供能耗預測技術降低電錶成本。為避免工具機長時間加工過程中所產生不必要耗電與減少工具機加工停機時間，需針對工具機加工時進行製程優化與設備調控以降低生產過程能耗。

### (2) 未來發展方向

製造業現場透過能源管理進行能源盤查與監控耗能以進行節能技術導入與製程參數優化，降低用電費用、能耗消耗與碳費支出，可朝下列方向發展：

- A. 工廠能源監控管理：如 OKUMA 公司進行輔助設備、主軸和進給軸等功率可視化開發與記錄管理每個程式和運行狀態的 CO<sub>2</sub>排放量，於控制系統 OSP 內提供 ECO 電力監視器進行工具機運轉狀態分析確保節能效果與分析減排熱點，透過 ECO suite plus 檢查每台工具機功耗、記錄管理運行狀態和二氧化碳排放量、分析二氧化碳排放量和改善工具機運轉情況，如圖 5.3.5 所示。

MAZAK 公司於 MAZATROL 控制系統內開發能源儀表以 Smooth Monitor AX 進行工廠內多台工具機監控，透過可視化顯示實際運轉結果、統計每個工件電力消耗量、並將電力消耗量轉換成 CO<sub>2</sub>排放量與電費數據。透過工廠整廠整線中機台設備數據結合感測器/PLC/SCADA 與企業營運軟體(MES、ERP)進行 OT 與 IT 整合與追蹤能耗狀況。



資料來源：OKUMA 公司

圖 5.3.5 OKUMA ECO 耗電監控器

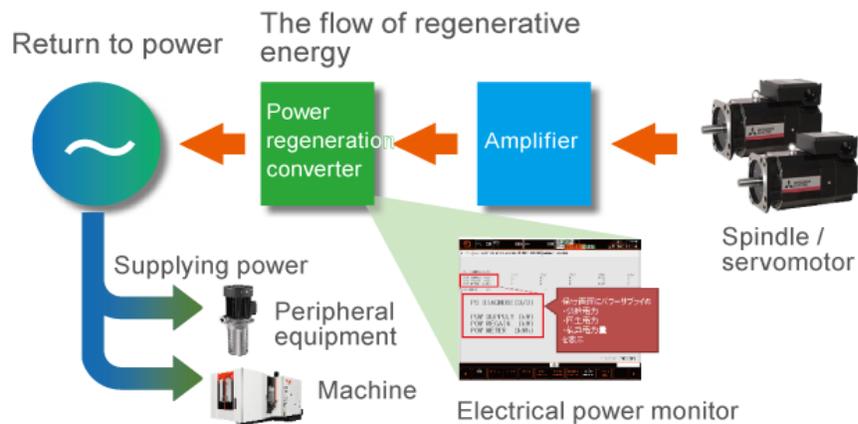
B. 數位雙生能耗預測：透過工具機功率數位雙生模型（如待機/主軸空轉/進給軸/銑削材料移除/鑽削材料移除/車削材料移除等功率模型）與能耗目標函數，在工廠機台之進給軸、主軸、總電源安裝電表收集能耗數據，配合機聯網收集進給軸、主軸負載、轉速、進給等數據，以數據驅動與數位雙生能耗預測模型進行碳排預測，依照加工材料與加工工法與機台運動特性進行加工條件優化以降低加工能耗，如圖 5.3.6 所示。



資料來源：工研院 (2024)

圖 5.3.6 製程效率與節能調控技術

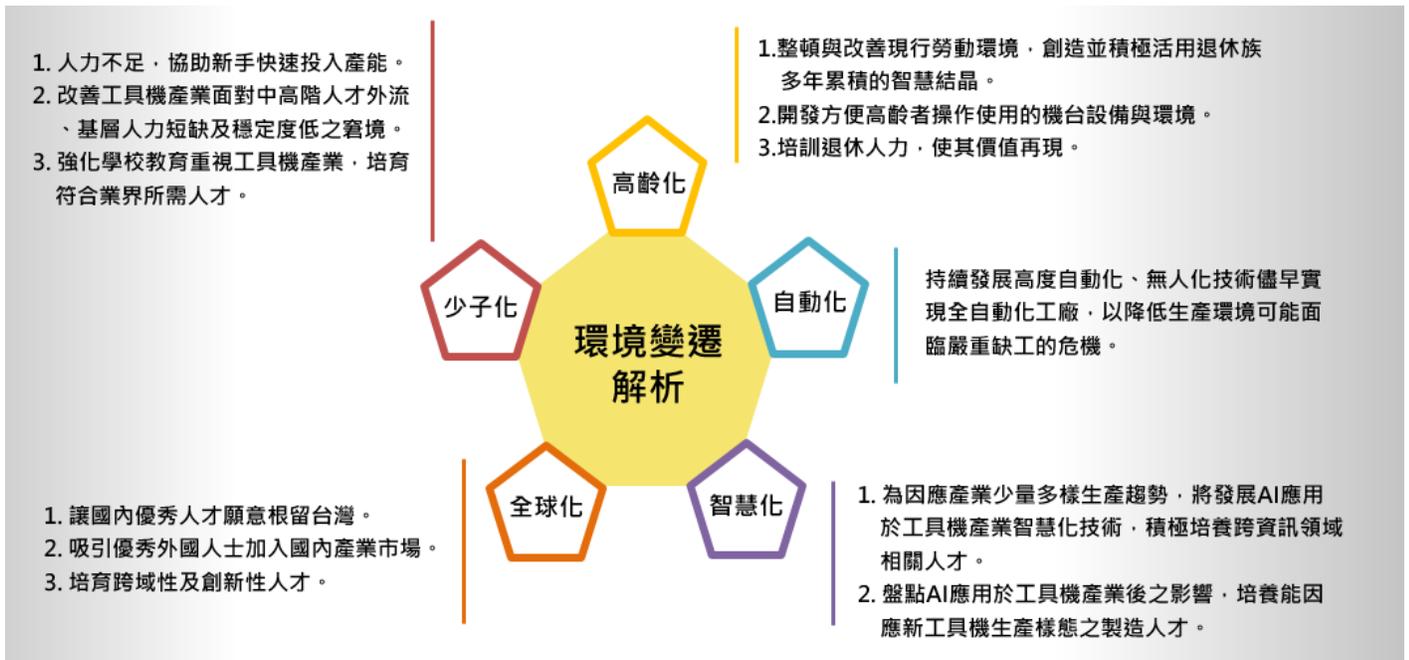
- C. 加工能源優化：如 OKUMA 公司採用電源再生轉換器回收主軸馬達和伺服馬達加減速時產生能量以供給其他設備。OKUMA ECO 怠速停止機能提供加工完成後將不需要的冷卻機組依次執行怠速停止，確保工具機加工時保持高精度同時能自動決定冷卻和怠速停止時機，OKUMA ECO 運作在加工過程中控制周圍機器設備（如油霧收集器、排屑器等）運轉功能，在每個機器設備設定與程式連動動作和運轉間隔，實現高生產能力和節能運轉。透過導入加工過程主軸/進給軸減速之再生電源功能、加工完成時冷卻怠速停止、加工過程周圍機器設備運轉優化（如油霧收集器、排屑器等）、智慧待機、自動休眠或暫停周邊不必要耗電以符合 ISO 50001 規範，如圖 5.3.7 所示。



資料來源：OKUMA 公司

圖 5.3.7 製程效率與節能調控技術

#### 四、工具機人才培育



資料來源：精密機械研究發展中心調查、整理

圖 5.4.1 工具機暨零組件產業人培架構圖

產業人才良窳及充足與否，為產業競爭的決勝關鍵，工具機暨零組件產業近年來出現專業人才供不應求的現象，主要原因是科學園區，電子、資通等產業相繼祭出優渥薪資福利攬才，對機械產業產生人才磁吸效應，導致重疊性較高的機電整合、電控方面的優秀人才易被其他行業吸收。在工業 4.0 的浪潮崛起，未來產業將朝向工具機智慧製造以及製造服務化發展，然而臺灣目前卻也有生育率低，新生代減少的問題，因此，臺灣工具機暨零組件產業環境將面臨高齡化、自動化、智慧化、少子化、全球化等五大變遷趨勢，如圖 5.4.1 所示。

##### (一) 高齡化對人才培育之影響

超高齡社會，活用退休人力變潮流 - 高齡者由於年紀較長，體力上難免有些衰退，因此勞動環境條件應有所調整，透過整頓與改善現行勞動環境，創造並積極活用資深工作人員多年累積的智慧結晶，經由職務再設計、工時彈性化、改善作業設施等以因應資深員工的需要，留住技術老手指導年輕員工，讓他們做出更有成效之貢獻。著重知識傳承力之養成、工作指導力之提升，使其成為產業界的傳家之寶。

##### (二) 自動化對人才培育之影響

“智”動化發展加速，無人化工廠崛起 - 少子化、人才外流、畢業生朝服務業移動發展等社會結構的轉變，造成缺工問題加劇，因而提高企業主以機器人取代人

力的意願。當人力資源越來越珍貴，就不能浪費在重複和知識技術含量低的工作上，結合智慧機器人、物聯網 (Internet of Things)、大數據 (Big Data)，讓人從機械的操作者變成生產流程的決策者和管理者，工廠智慧化、系統虛實化的工業 4.0 趨勢已成為產業升級的解決之道。培養跨域整合的綜合性人才，臺灣在個別領域並不缺乏優秀「專才」，但「跨域整合力」表現相對較弱，這也是為何高階控制器技術多半掌握在國外廠商手中的原因。因此，若要發展出足以媲美歐美、耀眼全球的國產控制器，對人才的要求必須由傳統的專才，轉為跨領域、跨專業的綜合性人才，方能健全跨機、電產業之體系，填補產業技術缺口。

### (三) 智慧化對人才培育之影響

市場機制變化，彈性用人成趨勢 - 「製造業服務化」的產業趨勢，原先訴求標準製程、大量製造，在市場需求多樣化及不確定性的刺激下，不得不重視顧客的需求，朝少量多樣、精密製造的生產模式發展。建構彈性用人制度，透過工作水平與垂直整合，深耕核心技術，發展 AI 應用於工具機產業智慧化技術，積極培養跨資訊領域相關人才。提高人才價值，增進企業本身競爭優勢。

### (四) 少子化對人才培育之影響

社會文化轉變，人力供需不平衡 - 在 3K 產業中因勞動環境較差及員工工作價值觀影響，導致面臨招募的困境，造成工具機產業專業人才斷層問題惡化，除了強化學校教育重視工具機產業，培育符合業界所需人才，亦可透過政府資源建置工具機暨零組件產業人才供需調節機制、製造教育向下紮根、擴大工具機教育資源、推動產學研聯盟、落實教考訓用合一等方向來著手，致力於提升實務經驗、充實製造方面的教育研究內容，協助大量新手快速投入產能，展現價值。

### (五) 全球化對人才培育之影響

競逐國際人才，決勝全球市場 - 臺灣是以出口為導向的海島型經濟體，近年來新興國家的崛起，加上已開發國家的高階機台低價化等發展策略，都嚴重影響臺灣工具機產業的出口，對臺灣高度仰賴對外貿易生態產生極大衝擊，因此若要追求高價值化及服務化，就必須透過優化現行研發與製造管理、強化生產供應鏈與客戶服務，以增加附加價值並保持競爭力，這些都需要仰賴培育具「創新力」的高素質人才，協助產業創新發展或將研究能量加以知識擴散與轉移。

隨著終端應用產品多元化的需求，工具機應用產業對於產品加工的效能與效率之提升具有強烈的需求，因此工具機廠商應強化客戶之加工應用服務，以提高產品附加價值，未來工具機產業將朝向工具機智慧製造以及製造服務化發展，人才將重新定位為技術整合應用的設計者，及生產流程之控制者與管理者，因此對智慧設計、

巨量資料、虛實整合、機器人、機間通訊、機電整合、整廠規畫、精實管理等跨領域之專業人才需求增加，在關鍵職務的需求上，軟體應用、機電資通工程師的需求將會提升。另外，因應設備智動化以及製造服務化發展趨勢，將著重提升新產品開發能力，強化整機關鍵零組件之搭配測試，使產品之性能、品質穩定性、關鍵技術迎頭趕上國外水準，因此對機電整合、電控、機械設計、加工、材料、產品驗證檢測能量與規範等各方面的知識都要能掌握，在關鍵職務的需求上，AI 應用工程師、電控工程師、機械設計工程師、品管工程師的需求會提升。綜合上述，未來十年，工具機暨零組件產業為因應製造業服務化及智慧製造的發展趨勢，講求全方位及高附加價值的服務，持續培養跨領域整合及智慧化技術人才需求更是殷切，再加上社會結構的轉變，包含全球化、高齡少子化、智慧化、自動化等因素影響，人才培育之重點也應著重於機電系統整合、AI 資通訊及國際業務、行銷等人才養成，方能帶動產業的升級；同時，強化新手投入機械產業之能力，建立讓國內優秀人才願意根留臺灣，及友善高齡者的工作環境與制度也為核心環節之一，掌握人才良窳及充足，創造工具機暨零組件產業競爭之決勝關鍵。

#### 1. 人才培育案例-友嘉集團與虎尾科技大學產學合作：

友嘉集團與虎尾科技大學推動產學合作，共創人才培育平台，推進智慧機械、工業 4.0 與工具機產業技術的新發展。

友嘉實業集團與虎尾科技大學於 2014 年簽定合作意願書，雙方共同成立「友嘉集團國際先進裝備製造產業學院」，由友嘉集團投入產業學院基金，進行人才培育與技術研發，主要發展工具機相關領域、開發產品及技術升級。

該產業學院專班課程及教材由雙方共同規劃，且投入校內與業界師資協同教學，讓修習學程的同學在學期間即與企業環境互相銜接。同時，友嘉集團為厚植同學具備國際移動力，與虎尾科大進一步規劃英文及第二外語課程，另開設相關學術性社團，修習產業學院的同學都能從專業領域走向全球化。

友嘉集團長久深耕工具機與機械領域，開發技術，享譽市場，虎尾科大的「工業基礎技術人才培育」教育方針，重視務實致用及產學合作，並致力於實務研究與教學結合，在工具機與機械領域上藉此產業學院和友嘉集團一起致力於技術研發與人才培育。

友嘉實業集團於 2015 年始與虎尾科大合作辦理「友嘉實業集團國際先進裝備製造產業學院」，共同培養工具機產業專職人才及產學合作，執行至今 2016 已共有近 50 名學生加入產業學院；其中 20 名大四學生現已進入友嘉實業集團臺灣各公司進行實習，5 名學生赴友嘉實業集團德國廠實習，未來產業學院之學生們畢業後均將留任於友嘉實業集團。友嘉實業集團與虎尾科大所合作之「國際先進裝備製造技術研

發」計畫，著重於工具機產業技術的研究與開發，透過此一企業與學術界共同合作，雙方在產學與研發技術層面上皆有顯著提升。

虎尾科大學生赴友嘉集團德國廠、義大利廠實習的相關規範 (2019.8.5)

德國實習一年、義大利實習半年申請資格：

- (1) 基本條件：工程學院、電資學院學生、就讀虎科大研究所者優先考慮。
- (2) 成績條件：學業成績優良(取前三年學業成績)、操行成績(取前三年操性成績)，另須符合學校之各項資格規定。
- (3) 技能條件：具與車床、銑床加工相關證照、工具機實作競賽得獎(須檢附證明文件)。
- (4) 語言條件：英文程度佳(須附多益成績)，第二外語成績，如德語、義大利語、日語(須檢附證明文件)。
- (5) 實習時間：可至海外實習至少 1 年、半年者(可保留學籍或延畢者)。
- (6) 友嘉任職：須與友嘉集團簽訂畢業後 2 年、1 年留任集團之工作服務協議書(有兵役身分者可先行服完兵役)。

友嘉集團與虎尾科技大學執行的產學合作方式及人才培育辦法，成效顯著，讓學生基於在校所學的基本專業知識及內容背景可以在企業的國外先進事業單位接受進一步的專業訓練，學得先進的專業能力，也讓受訓完成的學生可以將他們的所學在企業內施展，企業也因此等新血的投入而讓技術發展、市場營運更有成效。因此，此類企業與學校的合作方案，或可由政府規劃主導，訂立辦法，提供經費補助，輔導國內大學院校與產業界之產學相關合作，培育優秀人才，促成學生光明未來，更推動產業發展。

## 2. 人才培育案例-高職學生進入科技大學的產學攜手專班 2.0

臺灣機械工業同業公會(TAMI)及臺灣工具機暨關鍵零組件工業同業公會(TMBA)推動高職學生進入科技大學的產學攜手專班 2.0，讓高職工程學科的學生除了在高職就讀時學習實際的機械相關工作技能畢業後有能力進入職場工作之外，再以產學合作的方式，以 421 學制，於每周一~四在合作的企業依正職員工敘薪，譬如上銀機械、大立機器、台中精機、永詮機器等，以正職員工的身份工作，薪資約每月三萬多元，每周五、六則在科技大學，例如雲林科大、虎尾科大、勤益科大等學校上課修得學分及學位。

目前在 TAMI 機械公會及 TMBA 工具機公會兩會推動在花東地區即東區的國教署東區教學技術中心花蓮高工辦理，由產業界業師排定符合產業職能課程，培訓花

蓮高工及台東的公東高工學生銜接就學的產學攜手專班 2.0，讓這兩個東部學校的高職學生畢業後可以到西部廠商就業並在雲林科大、虎尾科大、勤益科大等學校接受產學攜手合作計畫課程學習，目前每年花蓮高工約有 40 名學生、公東高工約有 20 名學生進入產學攜手專班就讀。

未來將持續的推動中區教學技術中心的台中高工及南區教學技術中心的新營高工，培育中南部工科學群學生與高一、二暑假職能精進課程及職涯探索的課程，並銜接產學攜手專班 2.0(第三類就業及產學合作實習方案)。

TAMI 及 TMBA 兩公協會目前計劃推動機械產業技術升級轉型所需產業研發及應用技術的人才培育，整合由教育部從 105 學年度推動「技專校院技優領航計畫」，輔助推動台北科大、雲林科大、彰師大工業教育與技術學系、虎尾科大及勤益科大技優專班。

培育第四類高職工科學群符合技優申請入學資格畢業生與機械產業廠商簽定產學合作及人才培育計畫，並依機械產業在北中南不同產業屬性培育重點高工，確保專班學生生源來源穩定。學生在科技大學的二年半的課程時間中須修滿 100 個學分的課程，其中包括機械元件設計、精密機械導論、機械製造等相關課程的 9~12 學分，學生分階段在寒暑假進行合作廠商實習課程。學生完成 100 學分後，以學生實習身份至合作廠商公司進行 1 年半專題研究及校外實習。廠商在學生學校修課期間提供每個月生活津貼 8000 元補助，寒暑假及全年實習領取正式員工的薪資。關於產學技優專班請參閱雲林科大網頁設計技優領航專班：<https://yuntechtved.wixsite.com/tved>。

教育部於從 99 年至 111 年間推動「三期的技職教育再造方案」、及 109 年疫情時間提出的 30 億元「工具機實習設備採購案」。國內技高端到科大端的學校實習場域，建置工具機產業及智慧機械發展所需基礎技術、金屬切削應用技術及高階多軸複合切削技術提升。面臨困境問題：專業實作技術師資短缺及學生實作課程時數的不足，此為學生實作教育長期的隱憂。

從系統結構面討論永續發展工業技職教育，技高端工業教育師資培育到科大端訂定合理的學術型師資與實作技術師資的比例，落實教師至產業端進行技術深化與教師升等關聯的法制化。

少子化的趨勢及高中高職端就讀率的失衡及工科就讀率的下滑，如何從引導、培育及扎根來有系統推動工業技職教育的復興。技高端升學就業的管道，從第三類產學攜手專班就業能力的提升，平台的整合，每年廠商端真實的需求人數及就業同學媒合的最佳化。從 2024 年漸進式的推動第四類技優專班同學與產業技術銜接及人才的培育，完成職場核心能力課程將產業技術與實習整合，在科技大學端就完成進入職場的準備，以降低學用落差的問題。將臺灣北、中、南三區之重點高工技優選

手引導進入台北科大、雲林科大、彰師大工業教育與技術學系、虎尾科大及勤益科大等技優專班就讀。則估計 3~5 年後培養出來的機械及工具機產業人才應可滿足產業界所需。

### 3. 工具機暨零組件工業同業公會推動產學人才培育

工具機暨零組件工業同業公會成立了產學委員會及社會責任委員會，產學委員會主力推動產學人才培育相關工作，社會責任委員會則推動交流人才資訊、人才適性探究等工作。

#### (1) 產學委員會之產學人才培育工作：

- A. 持續推動工具機機械設計 iPAS 人力鑑定，做為產業人才評核機制。
- B. 持續推動產學合作，建立產學夥伴關係：
- C. 中興、中正、正修基地計畫合作連結。
- D. 虎科、彰師大產攜專班合作，包括教案課程規劃，以符合產業用人所需。
- E. 搭配花蓮高工、埔里高中辦理東部和中部智慧機械實務體驗研習營。
- F. 加強產業形象廣宣，提升產攜專班生源。
- G. 推動在職人員賦能，協助企業強化員工價值。

#### (2) 社會責任委員會之產學工作：

- A. 分享育才與留才交流資訊，做為企業人才管理之參考。
- B. 媒合辦理國高中生企業參訪，進行適性探索。

高職及科技大學的人才培育銜接，基於政府規劃及執行的基礎上，及 TAMI 與 TMBA 兩公協會的長期推動運作成效上，也見產業實作人才的培育成果，目前更需政府持續輔助推動全國所有科技大學與技職學校銜接合作，培育專業知識充分、技術優異的專業技職人才，讓產業界重用，振興國家工具機及機械產業。

## 五、小結

因應工具機轉型需求、產業朝向高值化與臺灣工具機產業人才缺口及老化等問題，建議政府支持工具機產業發展，投入相關技術發展支援，同時培育高階工具機專業人才，包括：

1. 高階機型與關鍵組件研發：(1)開發專用客製化機型並提供整體解決方案，包括技術創新、智能製造、綠色製造及客製化生產；(2)開發高階應用市場的設備機型，包括高階五軸及難削材等複合化工具機、大型車銑床，多樣少量

- 之加減法複合加工機，及高階衝床等；(3)針對高階設備的關鍵組件建立國產化研發能量，包括智能化控制軟體與空間精度量測補償系統、液靜壓主軸、超音波主軸和高扭力機械齒輪頭等關鍵設備組件。
2. 數位轉型技術開發：(1)投入先進感測、人工智慧、機器學習和大數據分析等技術發展，協助業者開發數位雙生、沉浸式互動、製程監控、人機協同彈性生產系統及智慧產線系統等重要技術發展；(2)開發單機智慧化與產線智慧化增值軟體，協助工具機業者從單純提供生產設備轉型升級成提供設備、製造、系統整合等一站式 Turnkey 解決方案與服務；(3)協助業界開發低成本、低門檻智慧產線解決方案，確保資料安全和隱私保護，並提供技術支援和培訓。
  3. 綠色轉型技術開發：(1)發展綠色工具機運轉技術，在設計與製造過程，導入更輕量化的運動結構件、使用更節能傳動零組件，並透過工具機運作效能與能耗即時資訊可視化，掌握機台健康狀態進行預測維護與能源優化調控；(2)發展綠色切削製造技術，在加工生產過程導入智慧製造與製程技術、生產流程控制、品質管理或能耗管理來減少加工材料與能源浪費，達到製程節能減碳效果。
  4. 工具機產業人才培育：(1)持續支持臺灣工具機暨零組件工業同業公會所成立「產學委員會」和「社會責任委員會」以促進產學研人才培育接軌與緩解產業人力需求；(2)積極推動知識管理以系統化導入工具機生產、製造、銷售、服務等多面向之方法論與其數位平台工具以因應高階工具機設計、智慧製造和數位暨綠色轉型所需技術創新和人才培育；(3)加強國際合作與機電、軟體、加工、資通訊等跨領域多元人才養成，以提升臺灣工具機產業技術水平，厚植工具機產業未來競爭力。

## 參考文獻

製造業於製程監控技術之需求

<https://manufacturing.report/articles/real-time-data-collection-in-manufacturing-benefits-and-techniques>

綠色轉型 (GX-Green Transformation)

<https://en.dmgmori.com/company/sustainability>

Machine tools — Environmental evaluation of machine tools — Part 1: Design methodology for energy-efficient machine tools, INTERNATIONAL STANDARD ISO 14955-1.

熱親和概念

<https://www.okuma.co.jp/chinese/onlyone/thermo/>

節能方案

<https://www.okuma.com/eco-suite-energy-saving-cnc-control-applications>

平滑技術

<https://www.mazakusa.com/machines/technology/smooth-technology/>

虎尾科大產學合作 培育人才研發機械技術，中央社 – 2016 年 5 月 11 日。

友嘉、虎科大產學合作，中時電子報作者張朝欣／雲林報導 | 中時電子報 – 2016 年 5 月 12 日。

虎尾科大與友嘉集團 建置技術交流平台，臺灣新生報作者【記者劉春生／雲林報導】 2016 年 5 月 12 日。

本校與友嘉實業集團成立「友嘉集團國際先進裝備製造產業學院」，虎科大電子報第八十九期 (2014.09.01~2014.09.30)。

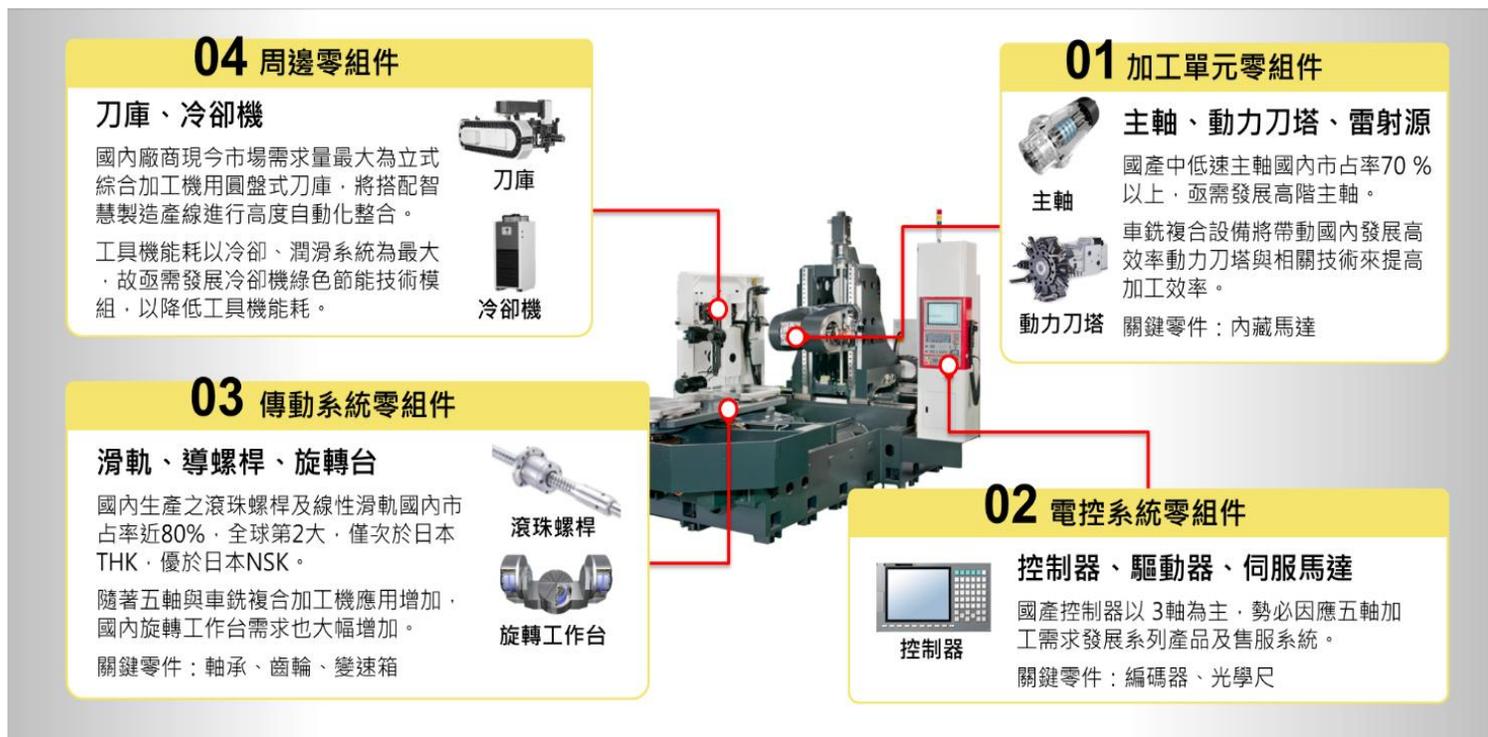
標題： 本校為培育具備開發關鍵技術能力之學生，109 年選送學生赴友嘉集團義大利與德國公司海外實習 公告日期：2019-08-05。



## 第六章 工具機關鍵零組件產業機會

### 一、關鍵零組件開發及市場拓展

工具機的基本構成主要有：影響工具機設備基礎特性的「結構鑄件」；進行加工工法的「動力零組件」；讓工具機設備進行穩定作動的「傳動系統零組件」；命令與調整工具機運動樣態的「電控系統零組件」；以及讓工具機設備能有穩定進行生產加工的「周邊零組件」共 5 大部分，以下將針對「加工單元零組件」、「電控系統零組件」、「傳動系統零組件」、「周邊零組件」4 個部分的工具機零組件發展趨勢進行說明如圖 6.1 所示。



資料來源：精密機械研究發展中心調查、整理

圖 6.1 工具機主要關鍵零組件

### 二、加工單元零組件

加工單元零組件是與加工成品精度極為相關的關鍵零組件，尤其在切削工具機中，如主軸、動力刀塔等動力零組件的轉速、馬力性能與剛性更是決定加工成品精度與效能的關鍵。而成型工具機中的液油壓系統則決定可加工成品的產品的尺寸偏差和形狀變形。

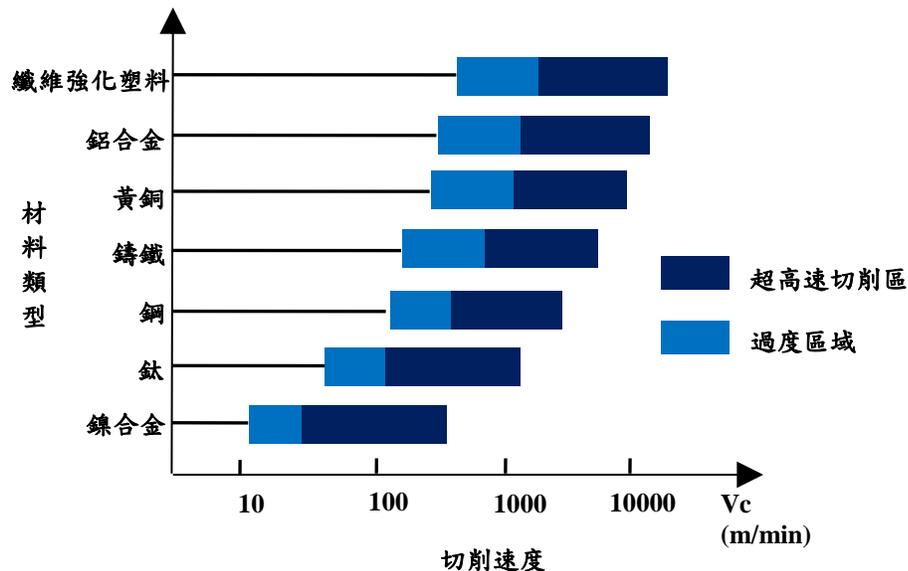
#### (一) 切削工具機之加工單元零組件：

## 1. 高速主軸

主軸過去以來為工具機之心臟部分，未來亦是如此。以驅動方式的發展來看，過去主要為齒輪式與皮帶式，特色為高扭力，缺點為低轉速（低於 8,000 轉/分鐘）；現況來看，主要生產主力為直結式主軸，特點為轉速較高（相較於齒輪式與皮帶式，轉速可達高於 10,000 轉/分鐘）；未來主軸發展趨勢為高於 20,000 轉/分鐘，主要原因為未來對於新的切削材料與切削刀具的使用將不斷的改變，並對應新的切削理論的應用，改變了對於主軸轉速提高之需求，表 6.1 顯示出切削速度呈倍數增加，舉例來說，航太材料使用鈦合金與複合碳纖維材料，在切削條件上需要較高之線速度，依物理原則推得，需要更高轉速的主軸。

未來的主軸發展重要趨勢：高轉速與高功率，如圖 6.2 所示。要達到高轉速，相關的元件與技術也必須同時提升，如具高轉速高剛性之軸承、高轉速馬達、潤滑技術及冷卻技術等；為達到高功率更必須發展高功率馬達。此外，由於航太、電動車模具等產品造型越來越複雜，加工精度需求增加，使得主軸必須滿足長時間高精度的加工，為此，國外部份高階主軸廠更內置軸心冷系統來滿足上述需求。

表 6.1 面向不同切削材料的高速切削加工範圍



資料來源：精密機械研究發展中心調查、整理



資料來源：GMN HSC 230 網站型錄

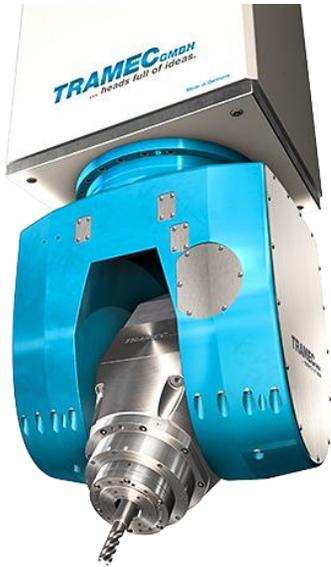
圖 6.2 GMN HSC 230 主軸 (最高轉速 30,000rpm，功率 80kW)

### (1) 多軸頭

主要配置於大型龍門立式加工中心機及臥式綜合加工中心機，達到具複雜曲面銑削加工、多面加工銑削及鑽孔攻牙加工等功能目的，可提升零件加工能力、加工範圍及尺寸精度，主要用於加工大型尺寸零件，如航太產業與汽車模具產業之應用。

目前發展現況：配置於歐洲高階生產設備，可加工航太零件、汽車零件及風力發電設備之零件等，以德國為主要生產製造國家，意大利及西班牙次之，發展產品樣式、規格及尺寸繁多，且非常齊全，可針對不同產業之應用條件而有對應之規格產品可使用，因此，此關鍵零組件可說是歐洲一支獨秀；日本發展則晚於歐洲許多，市面上幾乎不見其產品，也因此，日本在使用多軸頭的五軸機技術能力上也較歐洲來的薄弱；而臺灣發展也較晚，產品規格及尺寸極少，況且尚有許多技術問題，如精度、性能及可靠度等待突破。

未來的多軸頭，如圖 6.3, 6.4, 6.5 所示，其發展之重要趨勢為高轉速、高功率、高扭矩與高精度。要達到高轉速，相關的元件如具高轉速高剛性之軸承、高轉速馬達、潤滑模組及冷卻模組等；達到高功率必須發展高功率馬達；高扭矩部份則需要高扭矩馬達、高扭矩煞車模組、精密齒輪及凸輪之設計與加工技術能力等；高精度部份則需要有精密煞車技術、精密量測儀器、精密組裝技術與精湛加工等技術能力。



資料來源：Tramec 網站型錄  
圖 6.3 Tramec 插式兩軸銑削頭



資料來源：Cytec 網站型錄  
圖 6.4 Cytec P12 萬向銑削頭



資料來源：Zimmermann 網站型錄  
圖 6.5 Zimmermann 三軸銑削頭

## (2) 90 度銑頭

90 度銑頭，如圖 6.6 所示，一般配置於龍門五面加工中心機。達到具多面銑削加工及鑽孔攻牙加工功能目的，可加工大型尺寸零件，提升零件加工範圍及效率，主要可應用於航太產業與能源產業。

目前發展現況：歐洲高階生產設備皆會配置全自動型 90 度銑頭，其中也包含多軸頭的配置，形成多功能加工設備。主要針對航太零件及風力發電設備之零件加工，並無獨立模組生產製造廠，多以整機廠自製為主，臺灣與日本之 90 度銑頭發展狀況相類似。

90 度頭的發展較多軸頭早，無法如多軸頭做連續角度加工，但是，其剛性佳，

適合用於重切削加工，且生產成本低，可提升機台的附加價值，故有其獨特存在之必要性。



資料來源：日紳網站型錄

圖 6.6 日紳自動 90 度銑頭

## 2. 動力刀塔

動力刀塔主要配置於車銑複合機。可以對於圓型零件或軸類進行平面銑削、側向鑽孔、攻牙等加工，應用於汽車零件或是軸類零件之量產。

目前發展現況：依刀具系統區分為 VDI 及 BMT。歐系動力刀塔以 VDI 系統為主，並依照德國 DIN 規範。動力刀塔及動力刀座生產製造以德國為主要，義大利次之，歐系之動力刀塔產品之樣式、規格及尺寸發展非常齊全，其技術優勢讓定位精度、高銑削轉速及刀具快速安裝系統不斷精進，也因為如此，其產品價值之定位屬於高階產品。日系動力刀塔以 BMT 系統為主，但是沒有統一之規範，各家整機廠持有不同規格尺寸，生產設計製造以整機廠為主，樣式、規格及尺寸不如歐系來得多。臺灣近幾年來才開始發展，系統部份則承襲德國與日本，即 BMT 與 VDI 皆有，技術仍有待提升。

未來的動力刀塔發展重要趨勢：高剛性、高精度、高轉速，及高可靠度，如圖 6.7 所示。達到高剛性及高精度必須發展高精密離合器，高轉速部份則需要開發內藏式馬達，高可靠度部份則有與離合器加工技術及設計技術有關。



資料來源：Sauter 霄特網站型錄

圖 6.7 Sauter 內藏式動力刀塔 (銑削軸轉速達 12,000rpm)

## (二)成型工具機之加工單元零組件：

### 3. 油壓系統

衝壓工具機的動力主要以驅動衝壓機的油壓系統來完成各種衝壓作業，因此油壓系統的設計和性能將直接影響衝壓機的工作效率、精度和產品品質。目前衝床主要分為機械式及油壓式兩種。其中機械式衝床優點是生產效率高，但運行過程中滑塊的速度及加速度大，合模時衝擊力大，易降低模具的使用壽命，且因為使用飛輪與離合器驅動滑塊系統，所以滑塊工作曲線不可調整。油壓式衝床的優點是可以根據模具需求，客製化設計滑塊的工作曲線與行程，缺點是因為滑塊驅動系統使用流體技術，所以生產效率低且控制精度也不高，目前這兩種衝床皆已不能滿足現今市場發展的需要。

### 4. 伺服系統

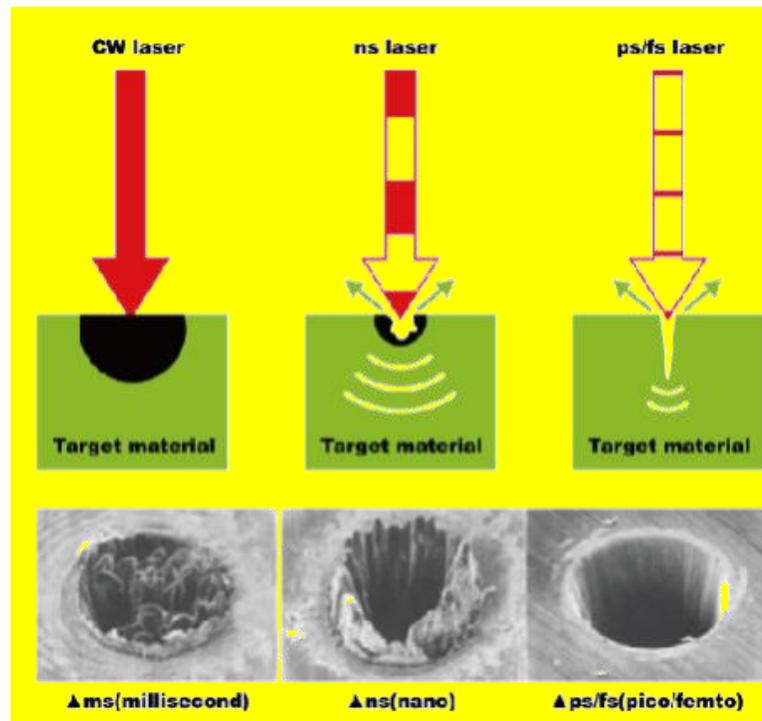
伺服衝床為兼具油壓衝床與機械衝床的優點，除了滑塊工作曲線不再是固定不可調外，也能擁有高生產效率。這是因為伺服衝床採用交流伺服馬達作為主要動力來源，透過伺服功能可根據製程要求進行滑塊工作曲線最佳化，這就大大提高了衝床智慧化程度和適用範圍。伺服衝床一般均裝有滑塊位移檢測裝置和行程調節裝置，滑塊的任意位置可以準確控制，因此伺服衝床可以得到更好品質的成品以提高產品

的合格率。另外，伺服衝床從馬達直接驅動滑塊作動，省去飛輪、離合器等裝置，因此傳動過程中的耗損大大減少，所以維護較容易且無飛輪、離合器等零件，簡化了機械傳動，從而可大大降低噪音。

### (三)其他工具機之動力零組件：

#### 5. 雷射源：

雷射加工是利用雷射聚焦產生的高功率能量密度來進行加工作業，如圖 6.8 所示，雷射頭內的雷射器產生的特定能量密度的光束，通過光路傳導及反射並經過聚焦透鏡組聚焦在生產物體的外表上，形成高能量密度光斑，以瞬時高溫融化或氣化受加工之材料。當雷射以皮秒、飛秒量級的脈衝時間作用到材料上時，會使加工效果發生顯著變化。飛秒雷射能聚焦到比頭髮直徑還要小的空間區域內，隨著脈衝能量急劇上升，高功率能量密度的雷射脈衝能輕易地剝離外層電子，使電子脫離原子的束縛，形成等離子體。由於雷射與材料相互作用的時間極短，等離子體還沒來得及將能量傳遞給周圍材料，就已經從材料表面被燒蝕掉，不會給周圍的材料帶來熱影響。同時，超快雷射幾乎可加工所有的材料，包括金屬、半導體、鑽石、藍寶石、陶瓷、聚合物、複合材料和樹脂、光阻材料、薄膜、ITO 膜、玻璃、太陽能電池片等等。在材料加工領域，雷射技術的應用主要有三種形式，分別是雷射打標、雷射切割、雷射焊接，其所使用的雷射源均不相同。



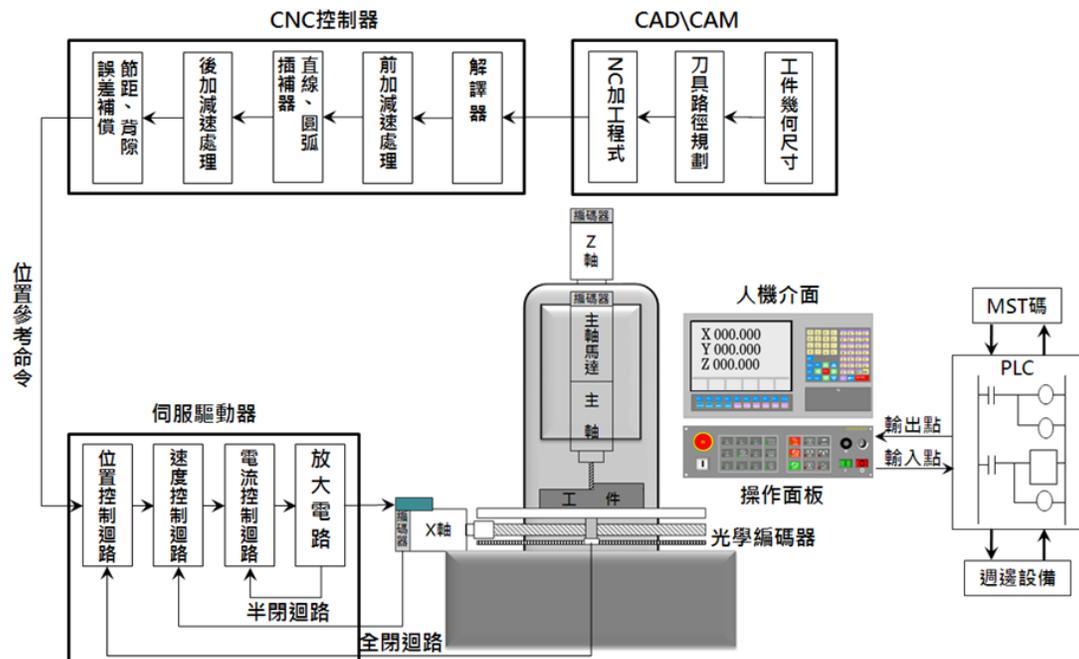
資料來源：PMC (2024)

圖 6.8 雷射加工應用效果

雷射頭除了用於材料移除的場合外，也因其可快速使材料熔融的特性廣泛應用於 3D 列印設備中，且近年來 3D 列印的材料技術發展已由塑膠轉變為金屬材料。金屬 3D 列印主要使用「選擇性雷射熔融技術」，是指在加工過程中用雷射的能量轉化為熱能，使金屬粉末成型粉體完全熔化，透過設備在金屬粉末薄層上掃描精確的雷射光，以選擇性熔融並堆積逐層生產零件。與雷射燒結不同，選擇性雷射熔化將每一層完全熔化到前一層以獲得完全緻密的金屬部件。其製造的零件通常具超過 99.6% 的高密度，以及超過鑄件性能的高機械性能，並且在熱處理後可以與機械加工零件性能相當。與傳統製造方法相比，增材製造能夠生產具有複雜幾何形狀和中空結構的零件，並用於航空航太、汽車、能源、模具、醫療保健以及研發等多個產業。而金屬 3D 列印後之成品可再藉由切削工具機進行高精密的表面處理。

### 三、電控系統零組件

綜觀整個 CNC 工具機運動控制系統架構，如圖 6.9 所示，一個加工工件的生產流程，是從 CAD\CAM 系統開始，經 CNC 控制器，然後到伺服驅動器與伺服馬達、進給動力傳動系統，以及主軸馬達、主軸動力傳動機構與切削刀具，最後因切削刀具作用切削力矩在被加工工件上而達成材料移除的切削加工目的。整個系統與 CNC 控制系統有關的部份，可分成 CAD\CAM、CNC 控制器、伺服驅動器與伺服馬達等三個部份。過去國內控制器發展大都以 CNC 控制器為主，並搭配日系伺服驅動器與伺服馬達，現在則以自主開發垂直整合控制器、主軸馬達、伺服驅動器與伺服馬達的控制系統為主，並導入工具機市場。



資料來源：PMC (2024)

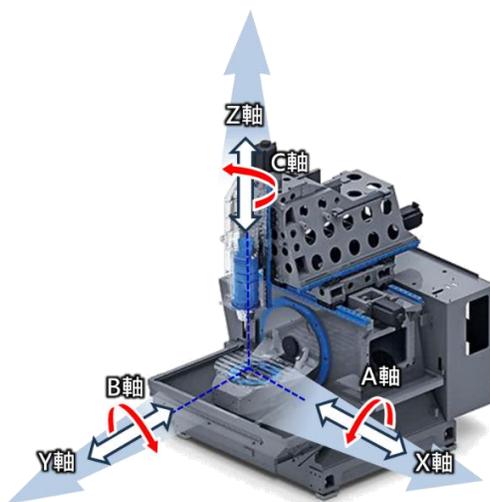
圖 6.9 CNC 工具機運動控制系統架構

隨著當今工具機設備加工效率與加工精度需求提高，尤其在智慧製造的生產樣態下，CNC 控制器已從單純的運動控制功能擴增多項功能，從串聯多種生產資訊的連網功能，到準確掌握工具機設備內的零組件狀態資訊，到協助客戶端進行高效率自動程式加工等多樣的智慧化功能。而這些智慧化功能模組，可大致歸納為以下 6 個應用目的：

1. 產品設計改善優化：可根據完成成品提供材料、匹配形狀與製程資料。
2. 自動化製程：可自動設計生產規劃，配合各式自主設備進行高度自動化作業，如搭配 AGV/AMR、協作機器人，建立最佳生產效能。
3. 加工控制補償優化：分析加工生產資訊，進行設備加工控制參數補償優化，以提升加工產品精度。
4. 成品品質檢測：建立檢測規則，降低瑕疵誤判率並提供瑕疵肇因分析。
5. 設備自動補償：透過溫度感測器與 AI 即時查覺環境溫度、機器各部位的溫度值並回饋至控制器。
6. 設備預防性維護：即時監測系統與生產運作磨耗狀態，以 AI 學習與提供系統故障警示與保養建議。

#### 四、傳動系統零組件

工具機中的傳動系統用來將待加工工件移動至指定加工點來進行各種工法之加工，其傳動系統的移動方向分為 X、Y、Z 軸的直線運動，以及 A、B、C 軸的旋轉運動，如圖 6.10 所示。工具機直線軸的傳動零組件主要由滾珠導螺桿、線性滑軌為主，而旋轉運動主要是透過可進行 A/B/C 軸運動之旋轉工作台或多軸頭所達成。



資料來源：PMC (2024)

圖 6.10 工具機運動方向

## (一) 直線傳動零組件

### 1. 滾珠導螺桿

滾珠導螺桿為將傳統螺桿之滑動接觸轉換成滾動接觸然後再將螺帽內的鋼珠迴轉運動轉為直線運動的傳動機械組件。滾珠螺桿具有定位精度高、高壽命、低污染和可做高速正逆向的傳動及變換傳動等特性。滾珠導螺桿的應用可依照螺桿精密等級進行分類：

#### (1) 轉造滾珠螺桿：

轉造滾珠螺桿為螺桿外牙是透過滾牙方式製成，在輸送過程中能夠有效地將旋轉運動轉換為直線運動，適用於輸送應用，如機械手臂、自動化設備等。

#### (2) 研磨級滾珠螺桿：

研磨級滾珠螺桿為螺桿外牙再透過研磨將螺桿精度提高，因具有優越的精密度和穩定性，適用於需要高精度定位的應用，如工具機、電子設備等。惟此種方式的螺桿成本較高。表 6.2 為螺桿適用於各工具機設備之精度等級。

表 6.2 螺桿適用於各機械設備之精度等級

用途	軸別	精密等級											
		0	1	2	3	4	5	7	PR1	PR2	PR3		
CNC 工具機	車床	X	●	●	●	●	●						
		Z				●	●	●					
	銑床、搪床	X		●	●	●	●	●					
		Y		●	●	●	●	●					
		Z			●	●	●	●					
	綜合加工機	X		●	●	●	●						
		Y		●	●	●	●						
		Z			●	●	●						
	治具搪床	X	●	●									
		Y	●	●									
		Z	●	●									
	鑽床	X				●	●	●					
		Y				●	●	●					
		Z					●	●	●				
	磨床	X	●	●	●								
		Y		●	●	●							
	放電加工機	X		●	●	●							
		Y		●	●	●							

用途	軸別	精密等級										
		0	1	2	3	4	5	7	PR1	PR2	PR3	
線切割，放電加工機	Z			●	●	●	●					
	X		●	●	●							
	Y		●	●	●							
	U		●	●	●	●						
	V		●	●	●	●						
電射加工機	X			●	●	●						
	Y			●	●	●						
	Z			●	●	●						
一般機械	高速衝床	X				●	●	●				
		Y				●	●	●				
	專用機		●	●	●	●	●	●				
	木工機								●	●	●	●
	機械手臂 (精密級)		●	●	●	●						
	機械手臂 (一般級)							●	●	●	●	
	三次元量測機		●	●	●							
	傳統機械					●	●	●				
	搬送裝置						●	●	●	●	●	●
	X-Y 平台		●	●	●	●	●					
	線性致動器							●	●	●	●	
	航空負載齒輪							●	●	●	●	
	翼面控制器							●	●	●	●	
	閘門								●	●	●	●
	動力轉向器								●	●	●	
	玻璃研磨機				●	●	●	●	●			
	表面研磨機						●	●				
	感應熱處理								●	●	●	●
	半導體設備		●	●	●	●	●	●	●			

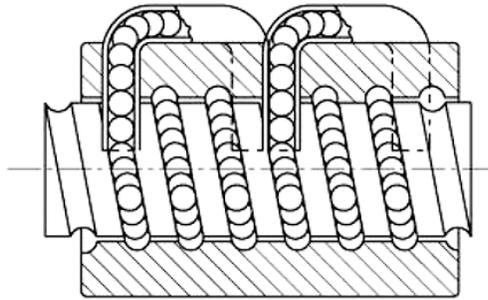
資料來源：PMC (2024)

滾珠螺桿的滾珠循環方式有「外循環」和「內循環」兩種，說明如下：

(3) 外循環滾珠螺桿：

外循環是滾珠在循環過程結束後，通過螺母外表面的螺旋槽或插管來返回螺桿

槽重新進入循環如圖 6.11 所示。此種外循環結構和製造工藝簡單使用廣泛，但螺旋槽的接縫處很難做到平滑，會影響傳動精度。

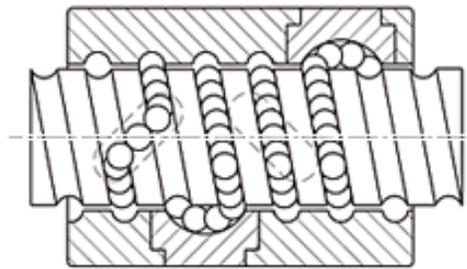


資料來源：工具機與零組件雜誌

圖 6.11 外循環滾珠螺桿構造

#### (4) 內循環滾珠螺桿：

內循環滾珠螺桿中的滾珠與螺桿直接接觸過反向器實現滾珠循環，由於滾珠螺桿的螺桿軸與螺母之間有很多滾珠在做滾動運動，所以能得到較高的運動效率，如圖 6.12 所示。其性能與傳統滑動螺桿相比下，驅動力矩為  $1/3$ ，即達到同樣運動結果所需的動力為使用螺桿的  $1/3$ ，直線驅動時較為省力。

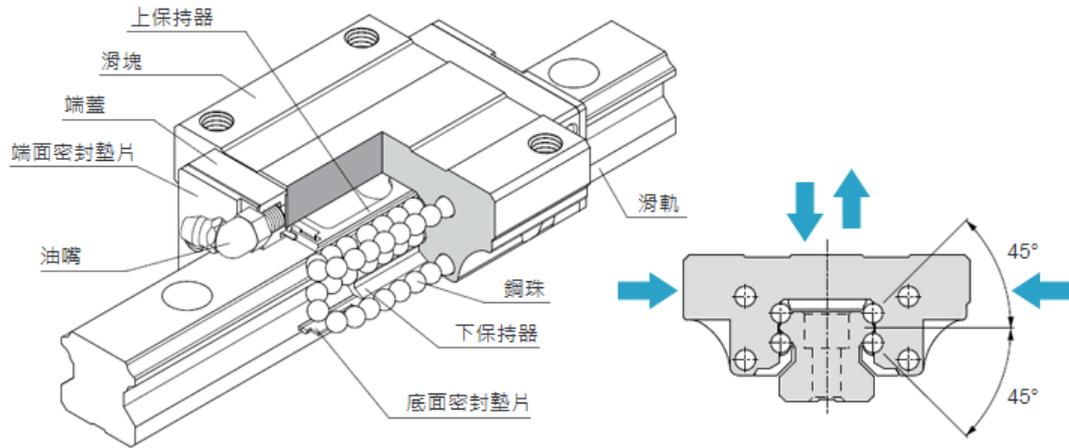


資料來源：工具機與零組件雜誌

圖 6.12 內循環滾珠螺桿構造

## 2. 線性滑軌

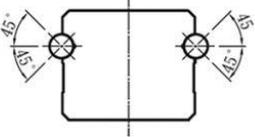
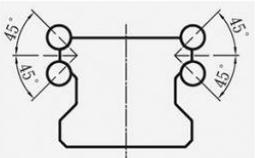
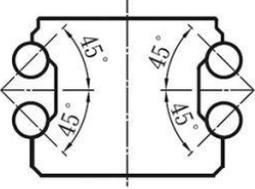
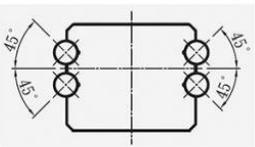
線性滑軌主要用於支撐和引導運動部件，使其按照給定的方向進行往復直線運動。在相同運動零件體積下，線性滑軌具有比直線軸承更高的額定負載和運動精度，可達到高速、高精度的直線運動，且可在較小空間內可靠運作，如圖 6.13 所示。線性滑軌的型式與特性如表 6.3 所示。



資料來源：NSK 網站型錄

圖 6.13 線性滑軌機構

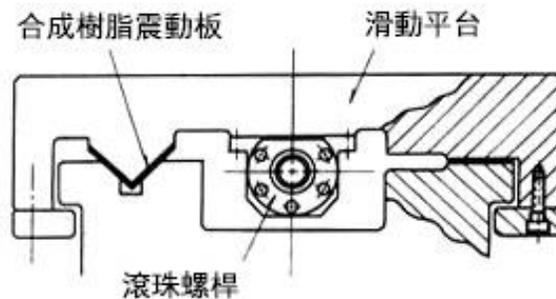
表 6.3 線性滑軌的型式與特性

滑軌簡圖	特性、功能性	代表性製造廠
	<ul style="list-style-type: none"> <li>• 二列式鋼珠。</li> <li>• 歌德式四點 45° - 45°接觸。</li> <li>• 鋼珠與牙型接觸點能保持不變，剛性穩定性高</li> <li>• 二列設計便能四方向等負荷。</li> </ul>	HIWIN (台灣) IKO (日本) INA (德國) SCHNEEBERGER (瑞士)
	<ul style="list-style-type: none"> <li>• 四列式鋼珠。</li> <li>• 圓弧式兩點 45° - 45°接觸 (DF 組合結構)。</li> <li>• 四列的排列結構，具四方向等負荷、高剛性。</li> <li>• 自動調心能力，可吸收安裝誤差</li> </ul>	HIWIN (台灣) TBI (台灣) PMI (台灣) ABBA (台灣) OME (台灣) THK (日本)
	<ul style="list-style-type: none"> <li>• 四列式鋼珠</li> <li>• 圓弧式兩點 45° - 45°接觸 (DB 組合結構)</li> <li>• 四列的排列結構，具四方向等負荷、高剛性</li> <li>• 低摩擦阻力，運行順暢度佳。</li> </ul>	Bosch Rexroth (德國) SCHNEEBERGER (瑞士) INA (德國)
	<ul style="list-style-type: none"> <li>• 四列式鋼珠</li> <li>• 歌德式兩點 (四點) 45° - 45°接觸；輕預壓 - 兩點接觸，重預壓 - 四點接觸。</li> <li>• 相較於傳統 DB 型式的結構，抵抗力矩的剛性更佳。</li> </ul>	NSK (日本)

工具機設計者根據工具機的類型和用途選用各種不同形式的導引導軌，其不同形式的導引導軌主要分為滑動導引、滾動導引和靜壓導引等形式說明如下：

**(1) 滑動導引：**

滑動導引具有優異衰減能量，因此，對於工具機之顫振具有抑制效果，為歷來最被廣泛使用的導引方式，如圖 6.14 所示，目前滑動導引主要用於中小型的工具機。

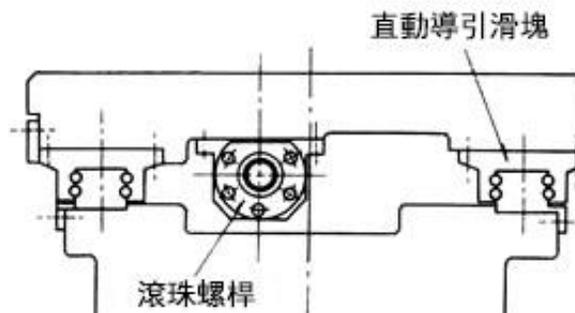


資料來源：NSK 網站型錄

**圖 6.14 線性滑軌之滑動導引示意**

**(2) 滾動導引：**

滾動導引又分為直線滾柱導引和滾珠導引，如圖 6.15 所示，其摩擦係數小，有利高加減速及高速度進給系統設計，當重量大的物體也可能以較小力量移動，故可簡潔地建構驅動系統，結構體中導引結構對於傳動特性的影響很大，各家廠商無不致力於技術上的改善。



資料來源：NSK 網站型錄

**圖 6.15 線性滑軌之滾動導引示意**

國內工具機廠商常用的導引導軌有滑動導引與滾動導引，兩者各有優劣，若期待在衰減性上有所表現時，大多會選擇滑動導引，但是，若考慮成本與保養維修性，則會選用滾動導引；若就其高速性能與高反應性看來，隨著工具機的高速化，採用滾動導引的情況日漸增多，為目前國內工具機業者最被廣泛使用的導引方式。

## (二) 旋轉方向傳動零組件

### 旋轉工作台

工具機之工作台的未來趨勢是追求提高分割精度與夾持工件後的支撐剛性；而在任意分度工作台方面，主要以要求驅動旋轉系統須無背隙，以及可承受旋轉加工的工件支撐剛性為主。隨著生產製品的外型越來越複雜，多軸工具機的應用也越廣泛，因此多軸工具機所搭配的工作台將具備可使加工件進行不同軸向之旋轉運動，以配合刀具的三軸直線運動方向，讓工作台上的工件進行 5 軸同動加工。目前五軸加工機常用的旋轉工作台有單臂嵌入式旋轉工作台，如圖 6.16 所示，與雙臂搖籃式旋轉工作台，如圖 6.17 所示。



資料來源：潭興網站型錄

圖 6.16 單臂嵌入式旋轉工作台



資料來源：潭興網站型錄

圖 6.17 雙臂搖籃式旋轉工作台

旋轉軸的構成包含：蝸桿蝸輪、滾子凸輪及 DD 馬達等驅動裝置。目前旋轉工作台設計開發主要考量以下幾點特性：

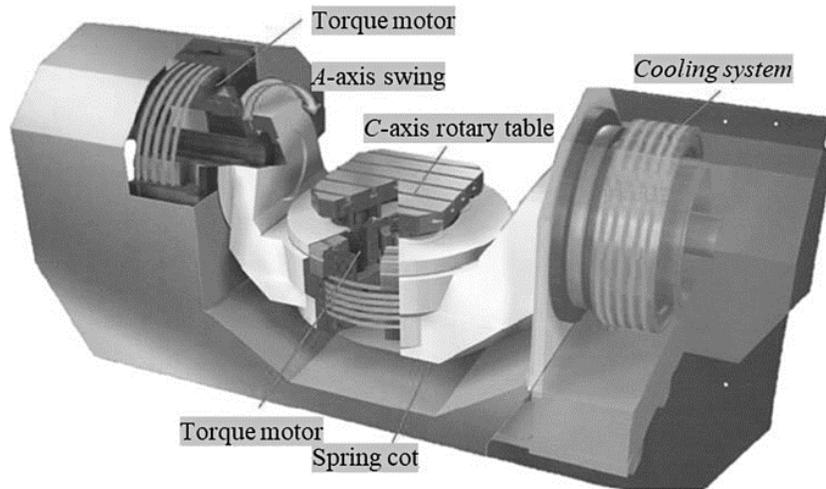
### (1) 旋轉工作台傳輸動力：

「蝸桿蝸輪驅動」的旋轉工作台可進行高負載的重切削加工，其蝸輪的齒輪咬合背隙降至最小是此種設計的技術要點，如圖 6.18 所示。而「DD 馬達驅動」可提供更高轉速的旋轉能力，因此將用於更複雜的旋削加工，但設計上需要採用能在高速旋轉過程中保持高剛性的軸承來配合高速運動，如圖 6.19 所示。



資料來源：Springer 論文圖示

圖 6.18 蝸桿蝸輪驅動旋轉工作台



資料來源：Springer 論文圖示

圖 6.19 DD 馬達驅動旋轉工作台

### (2) 剎車機構：

以「DD 馬達驅動」的旋轉工作台因高速運轉摩擦下容易生熱，故需要額外的剎車和冷卻機構來進行搭配，以維持穩定的高效率的高速運轉。

### (3) 防水設計：

未避免切削液在旋轉工作台加工運轉時滲漏，旋轉工作台的設計需要具有防水

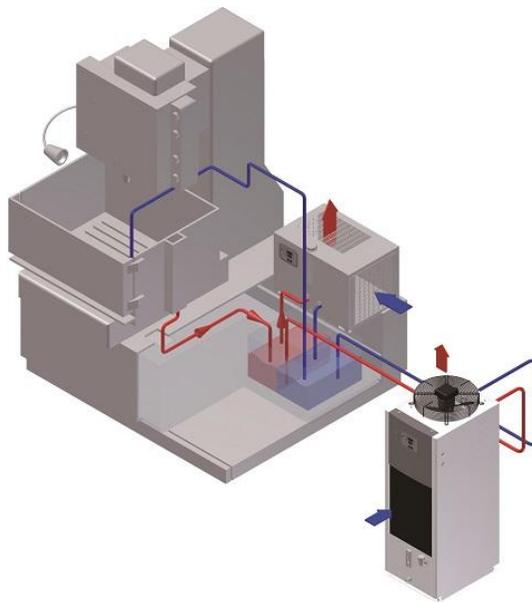
功能，以保護內部的馬達、軸承等元件因切削液滲漏而損壞。尤其在特定的大量使用切削液的加工工法工法上，防水設計更為重要。

## 五、週邊零組件

近年來，隨著生產製品的精度與效率要求提高，工具機的週邊零組件於加工生產中的技術重點大致可分為確保零組件精度與提供高生產效率等兩大功用。如為達到高精度生產製品，切削主軸的轉速性能要求也越來越高，但主軸在高速旋轉下將造成主軸熱膨脹，因此需要搭配適當的冷卻液來進行冷卻，也使得供應主軸冷卻的油冷機性能越來越重要。此外，近年生產製造趨勢為因少子化工廠均紛紛轉為自動化高效率生產模式，因此工具機加工製程中的刀具能否即時提供給工具機，刀庫能否減少換刀停機時間，協助生產設備進行高效率自動化的加工工序為一大要點。

### (一) 油冷機

工具機在加工過程中，主軸的高速旋轉會產生大量的摩擦熱，這些熱量將導致主軸在運轉過程中產生熱變位，影響加工工件的精度。因此，在主軸內設置冷卻系統，如圖 6.20 所示，來有效帶走主軸內軸承高速旋轉摩擦熱，使主軸維持在最佳的加工溫度下，確保主軸熱形變維持在一定範圍內，使加工精度不受主軸熱變形影響。



資料來源：哈伯精密網站型錄

圖 6.20 油冷機之冷卻液流向示意圖

為了讓主軸在加工時維持在一定溫度範圍內，冷卻機大多隨著加工持續運轉。但近年隨著節能環保意識的提高和能源成本的上升，使得冷卻機越來越注重高效節能，因此新型冷卻機採用更高效的壓縮機、熱交換器及控制技術，藉由準確調控冷

卻機運轉效能，在低能耗下進行更精確的溫度控制，藉此降低能耗和運轉成本。並使用如 R-134a、R-410A 等低 GWP（全球變暖潛能值）的環保冷媒，減少對環境的影響。

## (二) 刀庫系統

刀庫系統是提供自動化加工過程中所需之儲刀及換刀需求的一種裝置，主要包含「自動換刀機構」以及可以儲放多把刀具的「刀庫」兩大部分，並針對加工工序所需的刀具與工具機的機種特性來規劃可裝置的刀具數量、換刀機構取放方式。刀庫主要分為搭載於單一工具機加工單元內的刀庫系統，以及近年來隨著自動化產線需求增高而衍伸的機邊刀庫系統，說明如下：

### 1. 內置刀庫系統：

#### (1) 斗笠式刀庫：

一般只能存 16~24 把刀具，斗笠式刀庫在換刀時整個刀庫向主軸移動。當主軸上的刀具進入刀庫的卡槽時，主軸向上移動脫離刀具，這時刀庫轉動，當要更換的刀具對正主軸正下方時主軸下移，使刀具進入主軸錐孔內，夾緊刀具後，刀庫退回原來的位罝，如圖 6.21 所示。



資料來源：吉輔網站與型錄

圖 6.21 斗笠式刀庫

#### (2) 圓盤式刀庫：

圓盤式刀庫通常應用在小型立式綜合加工機上。「圓盤刀庫」一般俗稱「盤式刀庫」，以便和「斗笠式刀庫」、「鏈條式刀庫」相區分。圓盤式的刀庫容量不大，頂多 20、30 把刀，需搭配自動換刀機構 ATC(Auto Tools Change)進行刀具交換，如圖 6.22 所示。



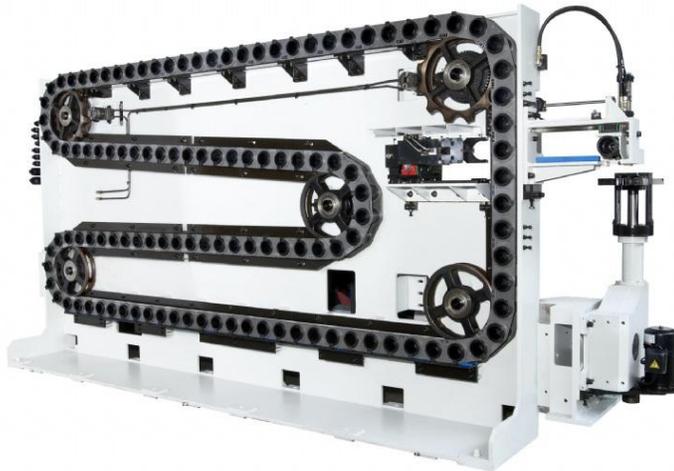
資料來源：吉輔網站與型錄

圖 6.22 圓盤式刀庫

## 2. 機邊刀庫系統：

### (1) 鏈條式刀庫：

鏈條式刀庫的特點是可儲放較多數量之刀具，一般都在 20 把以上，有些可儲放 120 把以上。它是藉由鏈條將要更換的刀具傳到指定位置，由機械手將刀具裝到主軸上。換刀動作均採用馬達加機械凸輪的結構，此設計之結構簡單、動作快速、確實、可靠，但是價格較高，通常為客製化產品，如圖 6.23 所示。



資料來源：吉輔網站與型錄

圖 6.23 鏈條式刀庫

### (2) 矩陣式刀庫

隨著生產製程樣態逐步轉型為全自動化生產，製程工序須將多台工具機設備整

合到單一產線來進行不間斷生產，因此生產流程所需的刀具、工件等物料均需在生產階段準確配合供應。矩陣式刀庫主要透過移動式機械手臂進行刀具交換作業，可以存儲大量的刀具，且並可依照製程工序需求擴增刀具數量，甚至可配置超過 200 把的刀具，以滿足複雜加工任務的需求，如圖 6.24 所示。



資料來源：吉輔網站與型錄

圖 6.24 矩陣式刀庫

## 六、關鍵零組件未來發展趨勢

關鍵零組件為工具機最重要的一環，而工具機的價值核心也有賴於關鍵零組件的加持，近年來，中國紅色供應鏈崛起，我國在零組件供應廠的全球地位備受威脅，現今我國工具機產業在全球競合關係中主攻中階市場，惟隨著中國品牌的壯大，將直接或間接提升其產業鏈主導能力，促使國內工具機產業面臨德、日等先進國家與中資企業上下夾擊，因此中國紅色供應鏈對我國工具機產業之影響，亦將是未來觀察重點之一。工具機與零組件廠商未來必須要有辦法提供持續性且快速、細膩的售後服務，以便與客戶建立起密切關係，同時瞭解客戶的潛在需求並進一步開發符合需求的產品，有助於制定中長期的技術發展方向與市場經營。因此臺灣關鍵零組件的發展趨勢也是影響未來工具機走向的重要關鍵。茲提出以下觀點：

### (一) 關鍵零組件模組化

臺灣工具機暨零組件工業同業公會(TMBA)參照國際工具機減碳趨勢議題為藍圖所制訂、公告之產業規範及品質規範，以提升機台可靠度及附加價值，同時帶領零組件廠商協同合作，實現工具機產業鏈互利共生，共同落實節能減碳，重新形塑工具機產業生態體系，提升我國工具機之品質形象與國際競爭力。將關鍵零組件模組化則可以使客戶容易針對應用條件做出快速選擇與容易裝配於機台上，並保持良好的穩定性與互換性。針對要達到讓使用客戶容易挑選所需適當之產品的前提下，

必須提供多樣式、及各式規格與尺寸之產品，製造廠必須明確掌握產品特性設計、零件生產及快速之組裝流程，並且須同時考量到維修時效性，於此具互換性加工製造的技術則可以達到目標。

## (二) 關鍵零組件智慧化

搭配應用軟體的開發與結合感測元件及控制器的使用，以實現工業 4.0 概念，將關鍵零組件智慧化，達到具高效率化目的與預警之功能。零組件智慧化之相關應用功能模組大致可依使用的大數據與 AI 應用程度多寡分為「感測基礎資訊應用」、「資料分析進階應用」、「工具機整合應用」3 階段。

### 1. 感測基礎資訊應用

零組件進行智慧化升級的基礎為透過裝置感測元件來蒐集產品關鍵資料，即時於製造過程中進行零組件狀態回報，並針對零組件的異常狀態進行偵測、警示與管控。

### 2. 資料分析進階應用

智慧零組件進行長時間的資料數據蒐集後，可藉由 AI 技術將資料進行分析判斷，發展與狀態診斷相關之智慧化功能模組，藉此協助終端應用廠提早安排零組件異常維護與保養。此外對於零組件廠而言，可藉由資料分析診斷結果，評估零組件於生產端之各種狀態現象，找出在加工應用端發生異常之真實原因，並針對問題進行改善。由於資料分析牽涉 AI 資訊領域技術與人才的導入，因此國內目前僅有部分大型零組件廠著手進行資料分析之應用。

### 3. 工具機整合應用

終端應用廠對於導入機械設備的重點為高生產效率與高加工品質，如何有效協助終端應用廠提升製程效率與加工品質，為智慧零組件與功能模組的最終發展目標。

## (三) 以差異化創造市場價值

想要以差異化創造工具機的市場價值，首先要取回工具機對控制系統的自主權，因為只要控制系統對於一些特殊功能的需求不開放，要讓工具機具備差異化的功能就很難達成；其次要注重機電整合應用技術人才的培訓，提昇電控應用人員的技術能力，具備發展獨具特色的差異化機能，再者要貼近客戶的需求，透過各種手段儘可能取得客戶第一手真正的需求，以生產出符合客戶需求的產品，最後要將部份影響產品品質的外包工作收回來自己做，從流程、技術和零組件的創新著手，進而從內部去創造產品的優越性和獨特性，並讓母廠能在核心競爭力上聚焦並專注，從而做出差異化的產品。

#### (四) 發展兼顧效率與精度的動態誤差補償技術

愈來愈多客戶端的加工應用需求，其希望可以提供同時兼顧加工效率與加工精度的工具機，而有關加工的速度、精度、表面粗糙度的運動控制是取決於控制系統的能力。因此控制系統如何在加工過程中，提昇加工速度並同時兼顧加工精度與表面粗糙度是未來需克服的主要課題。因為位置、速度、加速度、切削力及進給驅動力矩等的變化，都會對機械動態的行為造成影響，並引起位置的偏差或機械的振動，形成所謂的動態誤差，要兼顧加工效率與加工精度並不容易，未來控制器需要能夠針對不同的加工應用場合提供不同的解決方案，讓客戶可以針對不同的加工應用需求，選擇合適的選配功能，並藉以縮短加工時間，同時又提高加工精度，以及更好的表面粗糙度。

## 第七章 結論與建言

### 一、結論

近年來因俄烏戰爭而起的地緣政治、新冠疫情、電動車興起、日幣大幅貶值、中國工具機產業崛起、及自由貿易協定等國際因素的影響，讓臺灣工具機產業面臨相當大的衝擊。外銷比重高達 72%，產業高度出口導向的臺灣工具機產業曾為全球第七大生產國及第五大出口國，但在 2024 上半年出口排名從 2023 年的第七名再下降到第八。特別是中國低價工具機產業崛起及日圓大幅貶值之價廉高階工具機讓臺灣工具機長期以高 CP 值、高性價比的產業優勢不再，進而讓臺灣工具機市占受挫，全球出口排名下滑。因此，工具機產業在市場經營上或須以高值化之價值導向來取代既有的高 CP 值、高性價比價值觀及作法，將工具機技術及產業升級於開拓客製化、差異化的高精度、高單價的高階工具機來克服當前的不利狀況或是工具機產業必須要走的路。在高階技術被日德寡占、中韓等國家競爭者這幾年工具機技術的快速發展，將都成為主力中高階、中階市場之臺灣工具機產業未來發展的隱憂。因此，提升國產工具機的精度與穩定性，縮短或消除國內與國際高品級市場之技術落差，提高工具機產品的可靠度與製程的加工效率，重塑工具機產業生態體系，提升工具機及相關零組件產品之附加價值及國際競爭力，絕對是工具機產業當務之急。

由於台積電先進的科技實力讓臺灣高科技島的形象已被全世界所認同，所以，臺灣的工具機產業也應當利基於此全世界對臺灣產業的價值認同，朝向提供高階、高精密度、高價位的產品方向提升產業實力，竭力開創具高附加價值之產業領域，如新能源、電動車、航太、生醫等新興尖端應用產業，建立優質並具價值的工具機產業。政府也必須擬定相關政策，推動工具機產業成功技術升級轉型及產品價值定位。

此外，臺灣是全球半導體高階晶片的最大生產國，臺灣工具機產業若能跨入供應半導體相關設備，工具機業本身不僅可與因 AI 而前景極好的半導體產業共同發展，臺灣半導體產業也會因工具機的助力而更具競爭力，於全球半導體產業在滿足 AI 需求的競逐上持續擴大領先。另外，基於臺灣現有的半導體產業之全球優勢，政府應制定務實政策與措施，積極扶植臺灣工具機產業，研發並生產符合半導體產業最新市場需求的異質整合技術所需高階精密設備。臺灣工具機產業憑藉優秀的技術、製造能力及應變靈活度，當可提供臺灣半導體所需的生產解決方案，如此不僅可將工具機產業導向半導體生產設備之利基應用，亦可提升本地半導體生產設備供應鏈的韌性，還能促進臺灣護國神山之半導體產業之全球龍頭地位的長期穩健及發展。

### 二、對工具機產業建議

(一)完成數位轉型及綠色轉型，讓工具機具備智慧化 AI 製造功能，可接單產製少量

多樣之產品。

- (二)臺灣工具機產業或該從高 CP 值之價值習慣，進化到將產品朝向客製化之具差異性、穩定性、可靠性的具高附加價值的高品質工具機發展。
- (三)提升臺灣工具機產業最重要的技術根本，即品質及穩定度。
- (四)臺灣工具機產業宜致力於發展，控制器，IIoT，機電感測器，機電整合及 AI 之智慧機器的上、中、下游產業鏈。
- (五)鼓勵業界提高薪資待遇，為工具機產業爭取、保有優秀人才，並建立友善高齡者工作環境與制度，留任資深專業人才傳承產業智慧及經驗。
- (六)工具機與零組件廠商宜提供持續性且快速、細膩的售後服務，與客戶建立密切關係，瞭解客戶潛在需求以開發符合需求的產品，並據此制定中長期的技術發展方向與市場經營策略。

### 三、對政府建言

#### (一)關於技術升級及產業轉型

##### 1. 成立產業聯盟：

- (1) 致力技術發展，為工具機產業進行高階機型與關鍵零組件研發；
- (2) 開發專用客製化機型並提供整體解決方案，包括技術創新、智能製造、綠色製造及客製化生產；
- (3) 開發高階應用市場的設備機型，包括高階五軸及難削材等複合化工具機、大型車銑床，多樣少量之加減法複合加工機，及高階衝床等；
- (4) 針對高階設備的關鍵零組件建立國產化研發能量，包括智能化控制軟體與空間精度量測補償系統、液靜壓主軸、超音波主軸和高扭力機械齒輪頭等關鍵設備組件。

##### 2. 數位轉型技術開發：

- (1) 投入先進感測、人工智慧、機器學習和大數據分析等技術發展，協助業者開發數位雙生、沉浸式互動、製程監控、人機協同彈性生產系統及智慧產線系統等重要技術發展；
- (2) 開發單機智慧化與產線智慧化增值軟體，協助工具機業者從單純提供生產設備轉型升級成提供設備、製造、系統整合等一站式 Turnkey 解決方案與服務；
- (3) 協助業界開發低成本、低門檻智慧產線解決方案，確保資料安全和隱私保護，並提供技術支援和培訓。

##### 3. 綠色轉型技術開發：

- (1) 發展綠色工具機運轉技術，在設計與製造過程，導入更輕量化的運動結構件、使用更節能的傳動零組件，並透過工具機運作效能與能耗即時資訊可視化，掌握機台健康狀態進行預測維護與能源優化調控；
  - (2) 發展綠色切削製造技術，在加工生產過程導入智慧製造與製程技術、生產流程控制、品質管理或能耗管理來減少加工材料與能源浪費，達到製程節能減碳效果。
4. 高階工具機營運行銷：
    - (1) 建立此等高階工具機之關鍵零組件之供應端；
    - (2) 開發此等高階工具機產品之客戶及需求端。
  5. 產業跨域聯盟：

推動資通訊與工具機產業跨域結盟，運用相關數據優化加工技術，建構平台型解決方案與價值核心生態系，打造智慧製造服務體系，強化產業創新動能，促成工具機產業之數位轉型及綠色轉型。
  6. 產業標準化建立：
    - (1) 推動工具機產業規範之落實應用，建立工具機暨零組件產品驗證中心，協助產業提升產品可靠度與產品附加價值，強化產業整體競爭力；
    - (2) 政府協助廠商建立並實踐標準化、模組化設計、製造、產品。
  7. 與最具競爭力之產業合作：

推動並輔導工具機產業與半導體產業密切合作。
  8. 獎勵補助措施：
    - (1) 獎勵或補助企業汰舊換新購買國產綠色工具機及相關生產設備，促成國內產業綠色淨零碳排轉型；
    - (2) 協助廠商進行非傳統加工技術，即放電加工、雷射加工、電化學加工等新技術的開發。
  9. 人才培育：

設立機電、AI、資通訊、國際業務及行銷等相關專業課程，培養跨專業領域、智慧化、業務行銷之工具機產業專業人才，並為在職人員提供最新產業相關知識及 AI 知識等之培訓。
  10. 協助降低相關成本：

協助輔導國內工具機產業發展標準機，擴大工具機生產規模降低成本，提高價格競爭力，有利擴大市場規模。

## (二)關於市場開發及營運

1. 協助工具機產業市場開發，或以工具機聯盟的方式海外共同設點，讓工具機業者可以不需要再經過經銷商而可以直接銷售給終端使用者。
2. 協助緩和，因俄烏戰爭之地緣政治所致之俄羅斯、土耳其等地銷售受限卻讓中國廠商接收了原來臺灣的市場份額的影響。
3. 請貿協加大力量，讓政府發揮橋接廠商與新興市場的功能，協助拓展新市場、藍海市場。
4. 協助台中工具機黃金規模產業聚落之營運模式，即學習韓國引入金融方案來促進銷售業務的做法。
5. 建議政府可參考韓國「三階段出口企業物流支援」緊急方案，包括擴大出口憑證物流費用限額以加大物流補貼力度、緊急支援海外聯合物流中心，並為中小型企業提供專用艙位及資金援助等，減少因航運波動帶來的出口訂單延誤風險，透過這些措施減輕工具機業者因國際運費波動帶來的衝擊。

## (三)關於專業知識管理及運用

協助建構相關的產業知識於法人機構如 ITRI 或 PMC 中，讓工具機產業能共享知識管理。

## (四)合理價格之綠色電力

協助取得價格相對較低的綠電來源。

## (五)國際貿易協定洽簽及跨國產業聯盟建立

1. 政府藉由「台美 21 世紀貿易倡議」促進台美雙邊貿易與投資合作，將工具機產業議題納入雙邊討論範疇，為臺灣業者創造更多的國際商機。
2. 與其他國家 FTA、國際間免關稅優惠之簽訂。
3. 協助媒合日、韓、台等國成立工具機產業聯盟，建立跨國產業聯盟利基。

## 附錄 1：113 中技社工具機議題座談會會議紀要

一、時間：民國 113 年 8 月 5 日(一)，10:00~12:00

二、地點：財團法人中技社大會議室 (台北市敦化南路二段 97 號 8 樓)

三、主席：

潘文炎董事長 財團法人中技社

朱志洋召集人 友嘉集團總裁

四、出席專家

### 【產業代表】

陳伯佳 總經理	永進機械/工具機暨零組件公會理事長
邱鳳輝 副總經理	東台精機
許文治 副總經理	台中精機
胡偉華 董事長	麗馳科技
蔡尤鏗 董事長	新代科技
黃耀德 董事長	德大機械
廖克皇 助理總經理	上銀科技

### 【議題專家】

陳忠平秘書長	臺灣工具機暨零組件工業同業公會
林成興副處長	精密機械研究發展中心工具機產業發展處
黃仲宏經理	工業技術研究院產科國際所
譚瑾瑜所長	臺灣經濟研究院九所
陳來勝執行長	工業技術研究院智慧機械科技研究中心

### 【列席】

陳綠蔚 執行長	中技社
芮嘉瑋 主任	中技社科工中心
陳世海 研究員	中技社科工中心
郭華軒 研究員	中技社科工中心
黃鐙輝 研究員	中技社科工中心

五、緣起與目的

因應工具機產業正面對的地緣政治影響、新冠疫情後之經濟低迷、電動車興起、日圓匯率持續貶低、中國工具機的低價競售、具國際經濟協議免稅優惠之南韓等國家的競爭等市況，中技社今年提出「國際產業趨勢對我國工具機產業之影響」議題進行研究，致力於獲得有效應對策略，所以舉行此專家座談會，直接聽見業界寶貴意見，以提出實質建言與政府擬定推動相關政策促進工具機產業進展。

## 六、討論主題

「面對日本、韓國、中國的工具機競爭，臺灣該如何獲得優勢」

## 七、會議紀要重點

(一) 工具機產業自力：

1. 工具機產業各廠家完成數位轉型及綠色轉型，讓工具機具備智慧化 AI 製造功能，可接單產製少量多樣之產品。
2. 臺灣工具機產業或該從高 CP 值之價值習慣，進化到將產品朝向客製化之具差異性、穩定性、可靠性的具高附加價值的高品質工具機發展。
3. 提升臺灣工具機產業最重要的技術根本，即品質及穩定度。
4. 臺灣工具機產業之未來，控制器，IIoT，機電感測器，機電整合及 AI 之智慧機器的上、中、游產業鏈。

(二) 政府政策及協助：

1. 整合國內工具機產業發展標準機，擴大工具機生產規模降低成本。
2. 滿足綠色淨零碳排之要求，獎勵或補助企業汰舊換新購買國產工具機及相關生產設備。
3. 政府協助工具機產業市場開發，讓工具機業者可以不需要再經過經銷商而可以直接銷售給終端使用者。
4. 政府協助整合產業成立產業聯盟，擴大產業及市場規模，降低生產成本，提高價格競爭力。
5. 政府協助整合 3C 軟體產業與工具機產業之跨產業聯盟，協助工具機業數位轉型及綠色轉型。
6. 政府協助銜接工具機產業與半導體產業。
7. 政府協助培養工具機產業專業人才。
8. 政府協助台中的工具機黃金規模產業聚落之營運模式，即學習韓國引入金融方案來促進銷售業務的做法。
9. 政府協助將相關的產業知識建構於法人機構如 ITRI 或 PMC 中，讓工具機產業能共享知識管理。

10. 政府協助為工具機產業建立平台型、解決方案型生態系，針對工具機產業建構生態系廠商之數位轉型及綠色轉型。
11. 政府協助廠商建立並實踐標準化、模組化設計、製造、產品。
12. 政府協助工具機產業獲得所需人才，及在職人才之教育訓練，包括 AI 知識之培訓。
13. 政府協助媒合日、韓、台等國成立工具機產業聯盟。
14. 政府協助臺灣廠商在中國的工廠，僅可能採用臺灣廠商生產的零組件，避免臺灣零組件廠業務萎縮。
15. 政府協助取得達成節能減碳要求之用於生產低碳產品之具可接受價格的綠電來源。
16. 與其他國家 FTA 之簽訂，ECFA 之持續，國際間免關稅優惠之獲取。

## 八、會議紀要

### (一) 主席致詞：

#### 1. 潘董事長致詞：

- (1) 簡介中技社歷史，金開英先生，李國鼎先生創辦起始...(略)
- (2) 關於本工具機議題起始緣由，工具機是工業之母，雖然相對於石化產業或半導體產業之營業額規模來看不大，但卻極為重要。像中國大陸近年發展太空科技、發動機、電動車等等產業，都需要工具機。
- (3) 臺灣工具機產業目前面對的困境，上有德、日之高階工具機，下有低價中國工具機之競爭。
- (4) 中國 14 億人口的概念，以東協東南亞國家 6 億人口，大歐洲，包含俄羅斯及土耳其算 7 億人口，中國是如此大的市場，不可忽視。
- (5) 中國每年從學校畢業的理工人才有 430~470 萬人。
- (6) 美國與中國的高科技禁運，促成中國發展自己的技術及產業。
- (7) 產業界、學界、政府官員等願意進入中技社參與所作的相關產業議題研究，中技社作為產業界與政府之溝通，讓政府聽到產業界的聲音，也讓產業知道政府在做甚麼。

#### 2. 友嘉集團，朱志洋總裁：

- (1) 工具機對國家經濟、國防、安全、食衣住行等都重要。
- (2) 臺灣工具機產業這兩年很辛苦，內外交迫，且大陸市場這兩年也不好，內捲競爭嚴重，還有，中國大陸工具機產業水平已追上來，對臺灣有壓力。
- (3) 目前臺灣的工具機產業，是上肥下瘦的情況，即零組件非常不錯，但是整機

廠很辛苦。

- (4) 臺灣工具機一直具高 CP 值，但目前相對於中國工具機，成本上已無優勢，若以 CP 值與中國工具機在國際競爭，很辛苦。

(二) 引言：

工研院 IEK，黃仲宏經理：

座談主題引言，內容請參閱引言投影片。

(三) 產業專家建言

1. 麗馳科技，胡偉華董事長：

- (1) 日本、德國、瑞士知名高階工具機廠皆在中國設廠，生產成本低的高階機種。使用中國零組件 Cost down。
- (2) 五軸車銑高階機，控制器成本高，零組件與大陸廠商配合，成本低。
- (3) 臺灣產商沒有掌握通路，所以要依賴代理商來進口如此多的庫存機器販售。
- (4) 臺灣的公司賣的工具機量不多，所以中小企業無能開拓新市場，需要政府輔導協助市場開拓。

2. 台中精機，許文治副總：

- (1) 工具機產業是工業發展的關鍵性產業，目前在國內少子化、半導體人才磁吸效應下，產業對人才需求和人才的升級有缺，對產業的影響已經到了嚴重的人才斷層。有人才，創新、轉型才有能量。
- (2) 目前面臨地緣政治，日圓的驟貶，嚴重影響臺灣工具機產業的接單競爭力，此狀況並非個別公司可以因應，需要政府伸出有力的手，扶持產業，比如，刺激獎勵國內舊機換新機的獎勵辦法，學校、職訓中心添購高階設備，用來作為學生訓練、教導高階、智慧化設備的操作，為產業儲備人才。
- (3) 強化軟體的應用，引進資通訊的人才及跨產業的結盟，共同打群架的整合，專注客製化的業務發展。

3. 東台精機，邱鳳輝副總：

- (1) 需要政府的力量介入，以獲取人才，整合各家公司及資源。其實中國工具機業的產業並非基於技術發展，而是政府政策的資本運作導向，所謂的拎包入住。
- (2) 臺灣工具機若要往低成本走，必須臺灣政府與公司一起整合產業開發公用機開創平台，並將臺灣的零組件業帶入，之後再走向客製化，臺灣工具機廠商，單打獨鬥難成氣候。
- (3) 不易為客戶申請人才交流，因為東台有在進行半導體設備開發。

4. 新代科技，蔡允鏗董事長：

- (1) 中國大陸不是競爭對手而是生產基地出口歐美，臺灣工具機的發展非挑戰中國低價。
  - (2) 工具機產業是可以做別人沒有但是我有的差異化，但可能經濟規模小。
  - (3) 臺灣的優勢，強大先進的半導體產業。
  - (4) 臺灣工具機之未來，控制器，IIoT，機電感應器，機電整合及 AI 之智慧機器的上、中、下游產業鏈。
  - (5) 工業互連軟體，例如自動上下機、上下料的軟體方案，即未來應用之 IIoT+AI 等數據上傳雲端上下之整合趨勢。新代可與工具機廠一起投資 AI、IoT 技術及產業，一起打群架。
  - (6) 智慧製造的軟體開發。
  - (7) 工業用生產機器非常重要，例如半導體、封裝設備、車輛、電子五哥所需的生產設備等。
  - (8) 臺灣市場經濟規模不大，單一公司自己營運市場，有困難，必須整合產業打群架，成立產業聯盟，如此相對中國工具機業者才有優勢。
  - (9) 經濟部投入很多心力，藉工研院及 PMC 推動臺灣工具機產業發展，前行政院沈榮津副院長，推動國產工具機不遺餘力，但國產的 PC Based 控制器還是少被國內工具機廠採用。
  - (10) 營運困難處，經濟規模不夠，另外，不易招募人才。
  - (11) 不認為中國大陸工具機業對臺灣有威脅，聯合臺灣的工具機產業會有很好的發展。
  - (12) 臺灣產業未來，工廠自動化，自動上下料，一機一手(機械手臂)，使用機械手臂成本低於操作人員。
5. 德大機械，黃耀德董事長
- (1) 中國大陸工具機產業興起，規模已定。
  - (2) 臺灣最重要該做的是技術品質及穩定度，就提供 Solution 來說，品質及穩定度也是臺灣技術的根本。
  - (3) 機器穩定最重要，相對於 IoT，投資報酬率最大的是自動化。
  - (4) 關於工具機之規模經濟，臺灣做整合並不看好，但政府可以推出一公司臺灣聯大，建議，資本額 10 億做立加(立式加工機)，單一機種就好，如此投資報酬率高。大陸贏在經濟規模，我們就應該在經濟規模著手。
  - (5) 要為臺灣聯大，成立供應鏈，再做高階發展，高階發展要做技術研發，目前各廠研發太分散，工研院及 PMC 的研究科專工作審查者都是學校老師，學

者，但學者就產業界及 End User 所需之認知似有落差，所以認為此等科專研究工作之評審應該由 End User 來擔任較適合。

- (6) 教育部評鑑學校養成的學生，譬如機械系畢業生有多少投入機械業，薪水多少等等，建議評鑑校友在產業界的人數，了解學以致用的情形，不然教育體系對產業界沒有實際效果。為獲得所需的專業人才，目前自編教材自己訓練人才。

6. 上銀科技，廖克皇助理總經理：

- (1) 上銀是零組件廠商，很致力於發展產品差異化、智慧製造、ESG。專注於節能減碳，產品這部份減碳的作法，是以相同的價格，相同的品質，讓產品的碳含量做差異化，但是，臺灣綠電，除節能之外，還需要創能，現在綠電價格太貴了，台電一度電 3.5 元，綠電 6 元，甚至找不到綠電來源，這是目前淨零方向最大的問題。
- (2) 關稅部分，ECFA 取消衝擊大，因為上銀以臺灣為主要生產中心，往外銷售有中國大陸、美國、歐洲、甚至東南亞。由於主要生產基地在臺灣，銷往中國的產品，因 ECFA 關係，目前必須補貼此關稅差額給經銷商，如此，在低迷市場下，價格才有競爭力。如果要打世界盃，無 FTA，無任何關稅優惠措施，會是未來發展全球化必須克服的問題。

7. 永進機械，陳伯佳總經理，工具機暨零組件公會理事長

- (1) 因應數位轉型及綠色轉型，舊機設備更換新機設備，日、韓、中等的補助金額約 30~60%。
- (2) 將工具機之產業之經濟規模變大，是臺灣發展此產業的重點。
- (3) 工具機生態系，營運模式及競爭力於產製少量多樣產品。
- (4) 台中的工具機之黃金規模產業聚落之營運模式可以學習韓國做法即引入金融方案來促進銷售業務。
- (5) 請政府協助將相關的產業知識建構於法人機構如 ITRI 或 PMC 中，讓工具機產業能共享知識管理。
- (6) 為工具機產業建立平台型、解決方案型生態系，針對工具機產業建構生態系廠商之數位轉型及綠色轉型。
- (7) 協助廠商建立並實踐標準化、模組化設計、製造、產品。
- (8) 請政府協助工具機產業所需人才、在職人才之教育訓練，包括 AI 知識之培訓。
- (9) 政府媒合日、韓、台等國成立工具機產業聯盟。
- (10) 中國零組件與臺灣零組件之價差可達 30%，希望政府協助臺灣廠商在中國

的工具機廠，盡可能採用臺灣廠商生產的零組件，避免臺灣零組件廠業務萎縮。

#### (四) 特聘專家建言

##### 1. 工研院智慧機械科技中心 陳來勝執行長

- (1) 工具機產業規模要如何擴大，供應鏈及整機廠如何整合。
- (2) 當前工具機不看 CP 值，而是要看附加價值，如何從不同的角度看見價值，以 3 軸工具機為例，如何客製化，工具機廠需投入協助 User 作 Total Solution。
- (3) 加工前、後，引入 3C 技術，單機智慧化，滿足客戶群，產線智慧化於運轉加工、綠能及專家系統等。
- (4) 工研院目前專注的是，如何促成工具機產業規模之擴大、迎合 End User 需求之專用機之技術開發、工具機之 DX 及 GX 轉型的導入。

##### 2. 精密機械研究發展中心 林長興副處長

- (1) 依 DMG MORRI 半年財報趨勢，2055 年工具機數量只有目前的 1/5，主要是因為複合機增加。工具機複合化會愈來愈高，傳統工具機數量會減少。
- (2) 人工、土地成本也會造成工具機產業減少投資。
- (3) 臺灣工具機產業擴大規模化後，需要有國外或中國的應用市場，畢竟臺灣本地並無可練兵之場所，相對的中國大陸則是有一省一汽車廠之應用市場。
- (4) 臺灣工具機產業升級必須達成 DX、GX 轉型，將工具機建構成數位及綠色設備，以全世界市場行銷。

##### 3. 臺灣經濟研究院九所 譚瑾瑜所長

- (1) 工具機發展歷史長久，現階段因應工具機產業所受的衝擊，將會影響未來將面對的挑戰，及工具機產業未來的發展方向。
- (2) 衝擊部分，就目前的美中科技戰、俄烏戰爭對工具機產業之影響、川普若當選美國總統，是否會影響上述專家建議的工具機產業方向？由於臺灣工具機廠家大都在中國設廠，面對俄烏及以巴戰爭影響下的市場面，若川普當選會有甚麼變化？

##### 4. 工具機暨零組件工業同業公會 陳忠平秘書長

- (1) 加拿大鋁材業來問有無合作機會，目前有中國及韓國業者競爭。
- (2) 工研院切入、推動工具機產業於半導體產業之應用。
- (3) 工具機產業人才來源有缺，早先有台、清、交、成畢業學生投入、之後變成僅從中字輩大學之畢業生投入，之後是僅起於科大畢業學生，目前大概僅有產業合作班的學生。

(4) 知識庫、產業知識庫要建立補充並建構專業雲端。

## (五) 結語及互動

### 1. 朱志洋總裁結語：

- (1) 臺灣工具機海外出口量降，大陸價格降。臺灣皆是由代理商出口，雖然相對上較有保險，但無法直接接觸客戶。
- (2) 臺灣優勢在智慧製造 AI，但這個優勢卻無法直接讓客戶了解，僅能讓客戶了解臺灣工具機的優惠價格。
- (3) 台中精機許文治副總提到的人才問題，臺灣半導體及 IT 產業吸收很多人才，人才進入機械產業受影響，此點需要學校及政府協助。
- (4) 大陸工具機崛起是在 2008 年全球金融風暴時，而川普對華為等公司的制裁，及關鍵 GPU 及相關半導體設備之禁運，推動中國工具機產業興起。
- (5) 東台精機邱副總提到的申請人員進來的困難度，事涉政府對人才引進困難該如何處理及解決。
- (6) 關於協助設廠中國大陸工具機廠商，友嘉分享了在大陸及海外的營運案例給大家參考。
- (7) 新代蔡董事長，如此詳細的介紹零組件廠如何面對大陸的競爭，臺灣的優勢如何保持值得探討。中國大陸工具機產業的優勢就是它龐大的市場。
- (8) 蔡董事長也提到臺灣工具機產業的挑戰及機會，即對臺灣半導體產業，零組件該如何進入，優勢如何發展，機會很大。
- (9) 德大黃董事長看法，大陸是市場規模取勝。在全球市場上臺灣工具機的差異性、穩定性、可靠性皆要下功夫，不然與中國工具機，不論在軟體、自動化上的差異及優勢將越來越少。
- (10) 上銀所提的內容，理事長也有提到。
- (11) 永進，陳伯佳總經理做了很詳盡的分析。
- (12) 臺灣工具機出口，2022 全球第 5 名，2024 第 7 名，出口排名每年都掉，要思考原因何在？
- (13) 關於 PMC 及 ITRI 擔任知識管理發言平台的建議，很好的建議。
- (14) 基本上，因為複合化，2055 工具機數量為現在的 1/5，但電動車的崛起也是原因之一，畢竟電動車所用的工具機也少了。
- (15) 友嘉故事：

沈副院長任經濟部長時，參觀友嘉德國、瑞士及義大利廠。參觀德國 MAG 廠時，沈副院長問價格，一條生產線共 30 台臥加，價格一億一千萬歐元，平均

每台約 300 多萬歐元，對應當時臺灣生產的臥加一台約 600 萬台幣。參觀的義大利廠則是製造 F35 相關組件，沈副院長提醒要與美國歐巴馬總統介紹此廠是臺灣公司。另外，瑞士廠則生產一台一百多萬瑞士法郎的機台，當時光陽工業一家公司便訂製了 6 台。

(16) 在座談會前，友嘉集團安排了友嘉印度 MAG 廠及友嘉德國 Witzig & Frank 廠的訪談，為何選這兩家，主要是臺灣工具機的中小型規模與此兩家類似，他們的營運或可為臺灣廠家借鏡。

(17) 臺灣在製造上的優勢，超過德國及美國廠家。

## 2. 中技社 潘董事長結語：

(1) 各位專家考慮周到，各位董事長的建議都很好，重要的是要如何去實踐。對政府的建議要有具體的內容，如培育人才要具體建議政府怎麼做，各大學、教授、經濟部及工研院等該如何協助。

(2) 推動南向方面，臺灣因與許多國家沒有正式邦交，所以政府不易見到對方的對口官員，反而企業容易與相關官員見面，所以政府可結合企業的力量來推動。

(3) 貿協沒有多少人，各國大多只有一個辦公室及派駐主任一人，以提供臺灣的投資資料為主，若要貿協推廣我國產業並不容易，要具體說明要貿協幫忙聯絡那些當地相關業者，由國內企業派員前往洽談才行。

(4) 臺灣近年來因高端半導體晶片的生產，在國際上已建立高科技島的名聲，各國均邀台積電前往投資，可利用此機會提高工具機的品質，進入國際高端產品的行列，提高獲利能力。

(5) 對於工具機的關鍵技術，建議由政府領導，大學及研究機構和產業通力合作一起攻關。



## 附錄 2：工具機數位轉型之專利申請建議

### 一、關於工具機數位轉型：

工具機產業數位轉型 DX 大致上包括了工廠智慧化、數據分析與雲端計算、AIoT、數位雙生與人機協作及區塊鏈技術等五大元素。工廠智慧化係透過智慧化技術，實現生產流程自動化和數位化，提高生產效率和品質。數據分析與雲端計算則是應用大數據、AI 人工智慧等技術，對生產過程和產品品質進行數據分析，優化生產製程，或透過雲端計算技術實現生產數據管理與應用。智慧聯網、AIoT 智慧聯網，用來融合 AI 人工智慧和 IoT 物聯網技術，將工業的人、機、料、法、環等各個要素轉化為數據資源。數位雙生及人機協作，是透過數位雙生技術實現生產過程的模擬和優化，應用機器人或 AI 人工智慧技術實現人機協作。區塊鏈技術則是用來實現產品追溯和品質控制，提高產品的可靠性和信任度。

其中，數位雙生及人機協作將會引入人機介面技術，人機介面可以在人機之間傳達訊息以及指令，即透過設計的介面，使用者可以對機器下指令，機器則是可以透過此介面，將作業執行進度與系統狀況回報給使用者。數位轉型引入的人機介面技術，除了可呈現上述數位轉型五大元素運作所生的相關資料，讓操作者接收並回應此最新的系統狀態，更在數位雙生技術的發展下，擴大應用的人機介面技術更可提供使用者沉浸式的虛擬操作方式或體驗搭配現實世界的實際操作情狀，達成可因應及時狀態的人機互動操作。

在應用上，除了消費性電子產品已廣泛的使用人機介面之外，在工業應用上，特別是工業 4.0 的發展上，人機介面也逐漸擴大應用面。

### 二、人機介面技術之操作方便性、互動性、外顯性：

工具機數位轉型之五大元素中的數位雙生與人機協作包含了人機介面技術，而人機介面技術還可關連到人機操作介面、VR-虛擬實境/AR-擴充實境、數位雙生等技術之開發及應用。其中，人機操作介面技術的特點具有呈現多樣性、變化性、操作方便性、人機互動性、資訊傳遞之即時性及資訊直接可觸及性、使用者浸入性、最重要的是上述諸操作特性皆具有非隱蔽之外顯明示性及易辨識性。由於人機操作介面之外顯明示性，新發明之人機介面的新技術特徵，便極容易被學習、模仿，甚而抄襲。因此，人機介面技術在專利上的重要就在於易識別，易鑑別，無秘密，有明確外顯的獨佔性，區隔性及排他性等之具有公示特質之技術。

### 三、相關之專利申請統計：

由於數位轉型與工業 4.0 有相當的關連性，在此以當前產業界對工業 4.0 所作的

專利佈局為參考來了解與數位轉型相關之各類專利佈局狀況。若以國際專利分類號 IPC G05B19/00 來看，現今與工業 4.0 相關的專利申請技術有工件製造 (Work Piece) 技術，數值控制設備 (Numerical Control Devices) 技術，即時控制 (Real Time) 技術，運用數值指令操控工具機動作的技術，以及人機介面相關技術等。其中，人機介面技術的專利申請量約佔全部專利申請技術的 14%。雖然人機介面技術及操作相對於工具機之加工、控制等技術功能非直接相關，但人機介面於即時訊息呈現，擷取及傳輸等互動操作上，讓操作者可即時掌握及操控工具機之運作，有其新穎的方便操作優勢，故在專利佈局上有其相當的占比。

#### 四、專利侵權鑑定之考量：

就專利權的保護來看，若專利遭受侵權，訴訟前，要對疑似侵權物進行蒐證、提出鑑定報告，向法院聲請證據保全取得侵權證據、調查證據、鑑定侵權與否，故技術特徵隱蔽之不具外顯性的專利技術，譬如密封燒錄在電腦微控制單元 (MCU: Micro Control Unit) 中的運算法程式碼，經法院鑑定後若未侵權，則專利權人便需對相對人承擔相關的賠償責任。然而，相對的外顯性的專利技術，譬如人機操作介面相關技術，原則上不需特別拆解便可直接觀察比對，降低因誤判侵權所需承擔的法律責任風險。因此，人機介面相關專利的侵權及被侵權都相對容易檢視，需謹慎應對。

#### 五、結語：

在此建議，鑒於人機操作介面帶來的新穎人機操作互動優勢，人機介面操作的外顯特性，以及相對低的侵權標的物誤判性所會遭致的法律承擔，所以，在工具機產業數位轉型中，若相關聯地開發新的人機介面技術，或可考慮為此等技術優先提出申請專利。

## 參考文獻

TMTS 2024 數位轉型 5 大元素 開啟產業升級之路，TMTS, 2024.03.18。

沈美杏，工具機公會理事長陳伯佳 工具機業雙轉型 臺灣就位！工商時報，2024.01.29。

人機介面概念及定義分析與基本原則，DIGITIMES 企劃，2009.12.22。

盧傑瑞，人機介面 4.0 的未來主流，智動化，2021.06.30。

陳庭弘、楊耀瑜、董子儀，工具機工業 4.0 專利趨勢分析，智慧財產權月刊 VOL.229, 107(2018).01。

林育輝，淺談臺灣專利侵權訴訟之提起訴訟前的取證困難問題，專利師，第五十一期，2022 年 10 月。

專利侵害案件之訴訟對策，2018 智慧財產論壇，臺灣國際專利法律事務所。



附錄 3：專有名詞中英文及縮寫對照表

專有名詞	英文名稱	中文名稱
AGV	Autonomous Guided Vehicles	自動導引載具-無人搬運車
AI	Artificial Intelligence	人工智慧
AIoT	The Artificial Intelligence of Things	人工智慧物聯網
AM	Additive Manufacturing	整合積層製造
AMR	Autonomous Mobile Robot	自主移動機器人
AR	Augmented Reality	擴增實境
ATHIUM	Aluminum Trihydrate (ATH)	鋁鑄造合金
	Automatic Bandsaw	全自動鋸床
	Automatic Horizontal Slotting Machine	臥式臂式自動進給刨床
	Automatic Lathe	自動車床
BEV	Battery Electric Vehicle	純電動車
	Bandsaw Machine	鋸床
	Belt Saw	帶式鋸床
	Bench Drill	臥式鑽床
	Big Data	大數據
	Boring Machine	搪床
CaaS	Control as a Service	控制即服務
CAD	Computer-Aided Design	電腦輔助設計
CBAM	Carbon Border Adjustment Mechanism	碳邊境調整機制
CFRP	Carbon Fiber Reinforced Polymer	碳纖維強化聚合物
CNC	Computer Numerical Control	電腦數值控制
	CNC Boring Machine	數控搪床
	CNC Drill Press	數控鑽床
	CNC Horizontal Shaping Machine	臥式臂式數控刨床
	CNC Lathe	數控車床
	CNC Milling Machine	數控銑床
	CNC Moving Column Horizontal Boring Machine	數控移動臥式搪床

專有名詞	英文名稱	中文名稱
	CNC Punch Press	衝床
	CNC Tube Bending Machine	CNC 彎管機
	CNC Vertical Lathe	數控立式車床
	Centerless Grinder	中心孔磨床
	Cold Saw	冷鋸床
	Combination Lathe/Mill	複合車床
	Cylindrical Grinder	圓柱磨床
	Deep Hole Drill Press	深孔鑽床
	DN Solutions	斗山
	Double-Column Bandsaw	雙頭鋸床
	Drilling Machine	鑽床
	Done in One	一次性加工生產
ECFA	Cross-Strait Economic Cooperation Framework Agreement	海峽兩岸經濟合作架構協議
EDM	Electrical Discharge Machining	放電加工機
	EDM Hole Drilling	鑽孔放電加工機
	EDM 3D Printing	快速積層製造機
EDU	Electric Drive Units	電力驅動單元
EPPD	Economic Prosperity Partnership Dialogue	台美經濟繁榮夥伴對話
ERP	Enterprise resource planning	企業資源規劃
ESPR	Ecodesign for Sustainable Products Regulation	永續產品生態設計規範
Ether CAT	Ethernet Control Automation Technology	乙太網路工業通訊
	Electromobility's impact on powertrain machinery	電動車對動力系統機械的影響
	EMO Hannover	德國漢諾威工具機展
	Engine Lathe	傳統車床
FEA	Finite element Analysis	有限元素分析
FEM	Finite Element Method	有限元素法
	Fine Cutting	精細切削
	Friction Stir Drilling	摩擦攪拌鑽床
	5-Axis Machine	五軸加工機
GAI	Generative AI	生成式人工智慧
	Gantry Milling Machine	龍門式銑床
	Gear Grinder	齒輪磨床

附錄 3：專有名詞中英文及縮寫對照表

專有名詞	英文名稱	中文名稱
	General Purpose Boring Machine	普通搪床
	Grinding Machine	磨床
HMI	Human Machine Interface	人機界面
	Horizontal Bandsaw	臥式鋸床
	Horizontal Bed-Type Boring Machine	臥式臂式搪床
	Horizontal Bed-Type Milling Machine	臥式臂式銑床
	Horizontal Bench-Type Milling Machine	臥式台式銑床
	Horizontal Boring Machine	臥式搪床
	Horizontal Boring Mill	臥式拉刀銑床
	Horizontal Milling Machine	臥式銑床
	Horizontal Shaping Machine	臥式刨床
	Horizontal Slotting Machine	臥式臂式刨床
	Hydraulic Punch Press	液壓衝床
	Hyundai WIA	現代威亞
IT	Information Technology	資訊技術
IoT	Internet of Things	物聯網
I-REC	International Renewable Energy Certificate	國際再生能源憑證
	Internal Grinder	內徑磨床
KORUS	Korea Free Trade Agreement	美韓自由貿易協定
LME	London Metal Exchange	倫敦金屬交易所
MC	Machine Center	綜合加工機、加工中心
M Code		M 碼
MES	Manufacturing Execution System	製造執行系統
ML	Machine Learning	機器學習
	Machine Tools	工具機
	McKinsey & Company	麥肯錫公司
	Mechanical Punch Press	機械衝床
	Milling Machine	銑床
	Moving Column Vertical Boring Machine	移動立式搪床
	Multiple Spindle Drill	多頭鑽床

專有名詞	英文名稱	中文名稱
	Press	
	Multi-station Punch Press	多工位衝床
NC	Numerical Control	數值控制
OT	Operational Technology	操作技術
PHEV	Plug-in Hybrid Electric Vehicle	插電式混合動力車
PLC	Programmable Logic Controller	可程式邏輯控制器
PMI	Purchasing Managers' Index	採購經理人指數
	Process Monitoring Technology	製程監控技術
RTA	Regional Trade Agreement	區域貿易協定
RCEP	Regional Comprehensive Economic Partnership	區域全面經濟夥伴協定
REC	Renewable Energy Certificates	再生能源憑證
ROI	Return on Investment	投資回報率
RVC	Regional Value Content	區域價值含量
	Radial Arm Bandsaw	徑向鋸床
	Radial Arm Drill Press	龍門鑽床
	Radial Drill Press	徑向鑽床
	Roll Grinder	滾子磨床
	Rotary Transfer Machines	轉台式多工站加工機
SCADA	Supervisory Control and Data Acquisition	資料採集與監控系統
SMB	Smart Machine Box	標準智慧機上盒
	Semi-Automatic Bandsaw	半自動鋸床
	Semi-Auto tube bending machine	半自動彎管機
	Servo Punch Press	伺服衝床
	Shaping Machine	刨床
	Sinker EDM	沉降式機
	Stamping Press	衝壓床、衝壓成型機
	Surface Grinder	平面磨床
	Swiss Type Turning Center	走心式車床
TC	Tapping Center	鑽孔攻牙中心機
TMBA	Taiwan Machine Tool & Accessory Builders' Association	臺灣工具機暨零組件工業同業公會

附錄 3：專有名詞中英文及縮寫對照表

專有名詞	英文名稱	中文名稱
TQM	Total Quality Management	全面品質管理
TTIC	Technology, Trade and Investment Collaboration	台美科技貿易暨投資合作架構
	Thermo-Friendly Concept	熱親和概念
	Tool and Cutter Grinder	工具磨床
	Tube Bending Machine	傳統彎管機
	Turning Center	車削中心
	Turn-Mill Machine、 Mill-Turn Machine	車銑/銑車複合機
USD	Universal Scene Description	場景描述語言
USMCA	United States-Mexico-Canada Agreement	美墨加自由貿易協定
	Universal Cylindrical Grinder	內外圓磨床
	Universal Grinder	萬能磨床
	Upright Drill Press	立式鑽床
VR	Virtual reality	虛擬實境
	Vertical Bandsaw	立式鋸床
	Vertical Boring Machine	立式搪床
	Vertical Lathe	立式車床
	Vertical Milling Machine	立式銑床
	Vertical Shaping Machine	立式刨床
	Vertical Slotting Machine	立式臂式刨床
WCI	World Container Index	全球貨櫃運價指數
	Water jet cutter	水刀切割機
	Wire EDM	線切割機

國家圖書館出版品預行編目(CIP)資料

國際產業趨勢對我國工具機產業之影響/姚克昌,黃仲宏,譚瑾瑜,陳來勝,陳忠平,黃鐙輝等作. -- 初版. -- 臺北市:財團法人中技社, 民 113.12

200 面 ; 21x29.7 公分. -- (專題報告 ; 2024-09)

ISBN 978-626-98882-7-6(平裝)

1.CST: 工具機 2.CST: 製造業 3.CST: 機械製造 4.CST: 產業發展

487.1

113020010