

國立臺灣大學工學院工業工程學研究所

碩士論文

Institute of Industrial Engineering

College of Engineering

National Taiwan University

Master Thesis



高價值人工鑽石生產及行銷策略研究

Research on High-Value Artificial Diamond Production and  
Marketing Strategy

蔡白井

Pai-Chiang Tsai

指導教授：洪一薰 博士

Advisor: I-Hsuan Ethan Hong, Ph.D.

中華民國 112 年 06 月

June 2023

國立臺灣大學碩士學位論文  
口試委員會審定書



論文中文題目：高價值人工鑽石生產及行銷策略研究  
論文英文題目：Research on High-Value Artificial Diamond

Production and Marketing Strategy

本論文係蔡白井君（學號P10546002）在國立臺灣大學工業工程學  
研究所完成之碩士學位論文，於民國112年6月16日承下列考試委員審  
查通過及口試及格，特此證明

口試委員： 洪一薰

（指導教授）

黃奎隆

陳文智

Three handwritten signatures on a white background, each on a separate line. The first signature is '洪一薰', the second is '黃奎隆', and the third is '陳文智'.

系主任、所長： 洪一薰

A handwritten signature '洪一薰' on a white background, underlined.

## 致謝



時光飛逝，轉眼間，兩年 EMS 的學程就過去，在這期間，感謝系所老師們傾囊授課及同學間各專題的熱烈討論並分享經驗，滿滿的收穫及無限的感謝。

本論文能夠順利完成，最為感念的是指導老師洪一薰教授，從題目訂定、研究方向、章節的陳述，到內容的去蕪存菁，皆能詳盡並毫無保留地教導指正；學生有幸追隨恩師求學，在研究態度及方法上啟發良多，受益匪淺；在為人處事方面，更是多元化面面俱到，也因此認識多屆優秀學長姊並得到指導，在此，向恩師致上我最崇高的敬意及最誠摯的感激。

此外，口試期間，承蒙系上班主任黃奎隆教授及陽明交通大學工業工程與管理學系陳文智教授的細心指正，提供良好寶貴意見，使本論文更臻完備，在此致上最深的感謝。

學海無涯，學而後知不足，感謝 109 學長姊及 110 同學共同走過供應鏈管理、科技法律與智慧管理、數據分析與人文趨勢和跨領域新產品管理，也感謝 110 同學及 111 學長姊在小組討論中，從營收與行銷管理、創意設計與創新管理、到決策分析及賽局管理，讓我能融會這些學程，在論文中得以學以致用，思慮更清晰完整；因為有大家，讓我在學習中增添了許多歡樂與回憶，謝謝您們！

最後，要感謝家人默默支持與鼓勵，給予我持續努力的動力，謹將這份成果獻給所有協助和關心的您們！

蔡白井 謹于

台灣大學工業工程研究所

一一二年六月

## 摘要

隨著天然鑽石開採難度高，價格高昂，所以人工鑽石將大幅增長。現在的人工鑽石生產技術高溫高壓法 (HPHT) 及化學氣相沉積法 (CVD) 已日益成熟，其本來用於製造精密車削、光學透鏡、雷射、航空航太、國防工業、生物醫學及半導體材料。該產品也適用於製作各種等級及不同顏色的珠寶：黃色、藍色、綠色和粉紅色。本研究主要是探討高價值人工鑽石的生產鏈和營銷策略，包括技術開發、市場行銷、產品製造、供應鏈系統、產品延伸。我們透過迴歸分析探索最佳生產參數。

關鍵字：人工鑽石、迴歸分析、風險管理

# Abstract



With the difficulty of mining natural diamonds and the high price, artificial diamond makes popular nowadays. The existing artificial diamond production technologies High Pressure, High Temperature method (HPHT) and Chemical Vapor Deposition (CVD) methods become mature, which are originally used to manufacture precision turning, optical lens, laser, aerospace and defense industry, biomedical tools and semiconductor materials. The methods can also apply to jewelry production making various grades as well as different colorless: yellow, blue, green, and pink. This study investigates the high-value artificial diamond production and marketing strategies including technology development, marketing, product manufacturing, supply chain systems, product extension. We explore the optimal production parameters via regression analysis.

Keywords: Artificial Diamond, Regression Analysis, Risk Management

# 目錄



口試委員審定書 .....	i
致謝 .....	ii
摘要 .....	iii
Abstract.....	iv
目錄 .....	v
圖目錄 .....	vi
表目錄 .....	vii
第一章 緒論.....	1
第二章 天然人工鑽石概論.....	6
2.1 天然鑽石的剖析及形成特性.....	6
2.2 天然鑽石與人工鑽石差異分析.....	8
2.3 人工鑽石的應用.....	10
2.4 大單晶鑽全球需求.....	12
第三章 人工鑽石技術及生產模型之建立.....	14
3.1 全球尖端鑽石製造技術引進.....	14
3.2 生產試驗及參數迴歸模型之建立.....	16
3.3 人工鑽石不同色澤/添加物形成.....	23
3.4 全球人工鑽石技術比較.....	23
第四章 人工鑽石產銷鏈.....	24
4.1 全球人工鑽石主要廠商競爭之比較.....	24
4.2 人工鑽石產業鏈環節.....	25
4.3 產業鏈之 SWOT 分析/五力分析.....	27
第五章 研究結論與建議.....	29
參考文獻列表 .....	31

## 圖目錄



圖 1 HPHT 生產設備及技術.....	14
圖 2 CVD 生產設備及方法.....	16
圖 3 常態概率圖 (96 小時).....	18
圖 4 溫度殘差圖 (96 小時).....	18
圖 5 溫度線擬合圖 (96 小時).....	18
圖 6 壓力殘差圖 (96 小時).....	19
圖 7 壓力線擬合圖 (96 小時).....	19
圖 8 常態概率圖 (120 小時).....	21
圖 9 溫度殘差圖 (120 小時).....	21
圖 10 溫度線擬合圖 (120 小時).....	21
圖 11 壓力殘差圖 (120 小時).....	22
圖 12 壓力線擬合圖 (120 小時).....	22

## 表目錄



表 1 人工鑽石和天然鑽石合成同克拉時之比較表 .....	7
表 2 人工鑽石和天然鑽石產品屬性及其差異表 .....	8
表 3 2019-2025 年全球人工鑽石規模年均增加預計超過 15% .....	12
表 4 人工鑽石/天然鑽石特性比較表 .....	15
表 5 摘要資料 SUMMARY OUTPUT (96 小時).....	17
表 6 方差分析 ANOVA Analysis .....	17
表 7 摘要資料 SUMMARY OUTPUT(120 小時).....	20
表 8 方差分析 ANOVA Analysis .....	20
表 9 國際主要生產人工鑽石廠商.....	24
表 10 中國主要生產人工鑽石廠商.....	25
表 11 人工鑽石上中下游利益關聯表 .....	26
表 12 人工鑽石上中下游環節及企業代表.....	26
表 13 產業鏈之 SWOT 分析.....	27
表 14 產業鏈之五力分析.....	28



# 第一章 緒論



鑽石塑造成永恆的愛情，這是每個愛美女性所期望及想擁有的，它除了身份地位及價值的表徵之外，還具有美學藝術的體現。天然鑽石的需求越來越大，但供給越來越少，所以人工生長鑽石相對有高度需求，另外，由於鑽石是自然界中已知硬度最高的物質，其他物質是無法刮傷鑽石表面的，而且鑽石有許多優異的化學、物理、光學的特性，如高熱傳導率、良好的絕緣體、光折射係數、佳的楊氏模數及聲速，工業用途甚佳且耐用，尤其是高價值（2 克拉）以上的需求量將會急劇增加。據資料所述，2020 年人工鑽石的 700 萬克拉，佔全球需求 7%，到 2025 年將提升到 1656 萬克拉，佔全球需求 15%，達到 142 億美金，因而興起我想研究高價值人工鑽石的應用及產銷供應鏈（香港珠寶製造業，2021）。

所謂高價值就是顧客心中擁有很高的認知價值，願意支付高價來購買該產品，而生產者可獲得高毛利及高獲利的回報，達到產品的價值，在其成本及效益間最佳平衡。為了達到高價值的效益，需具備其成功要素，就是為客戶提供較高的產品價值，創新更是持續成功的訂價基礎，而堅守產品的高品質是必備條件，最後是優質的品牌是能將短期技術優勢化為長期的品牌優勢，這樣才能洞悉客戶/產品間，達到最佳高價值的效益平衡（Nir, E., 2014）。

生產運作是指企業經營戰略的總體框架下，決定如何透過運作達到企業的整體目標，並且在一個合理、高效能的運作系統及投入，產出最大或極大化。所以美國哈佛教授麥可·波特認為，企業要獲得競爭優勢，企業競爭戰略有總成本領先戰略，建立高效能生產設施，加大對成本及管理費用的控制，並節約研發、服務、廣告促銷費用支出，使企業獲得更強的競爭力及更高的邊際利潤。另外，差異化戰略是將產品或企業提供的服務做到差異化，建立企業獨有的一些東西，如設計名牌形象、獨特性能及技術，提供特別顧客服務，一旦差異化戰略獲得成功，將獲得較高利潤水平。最後專一化戰略，就是企業主攻某特定顧客群，讓戰略指導下的每個活動圍繞這一目標群，如勞斯萊斯汽車專門定位於貴族階層。生產運作是根據企業內、外部環境的需求，對於生產管理及運作系統進行判斷和分析，達到生產品質、數量、客戶需求規格的整體經營

目標。一般生產管理追求之目標，就是要求高品質、低成本快速反應、交期準確及滿意之服務，如何做到此目標，其在於整體組織型態、人力資源、研發技術、產能掌控、製程控制、設施規劃、供應鏈之充足及績效衡量，如何落實生產運作運用在人工鑽石生產鏈上，是本次研究目的之一 (陳榮秋, 馬士華,2023)。

行銷策略就是企業為了對客戶提供產品技術和服務，依客戶不同購買力需求和偏好，並結合企業本身優勢擬訂行銷計畫，此計畫依企業定位、優勢及劣勢對症下藥，定義問題，並找出核心目標的輪廓，有效運用資源去規劃和利用。一般運用策略有 SWOT 分析與 PEST 分析，STP 模型及五力分析來清楚定位，最後再方案組合，細部規劃 4P，即產品 (Product)-如何將產品特徵、品質、設計、包裝、銷售。渠道(Place)-如何透過物流、店面、庫存送達給客戶。價格(Price)-如何計算成本、銷售、折扣價格打中消費者痛點賣出去。推廣(Promotion)-如何透過宣導、公關媒體，讓客戶注意到您的產品，最後行銷策略 4C，從客戶角度出發，強化消費者需求組合，即顧客(Customer)，就是依客戶需求，來設定產品，並衍生出客戶價值，打造良好客戶忠誠度。成本(Cost)，指的是顧客的購買成本價格，要低於客戶的預期，且企業可以獲利，達到雙贏策略。便利(Convenience)，不論庫存的清點，通路的廣度，線上網站，打造客戶方便的消費體驗。溝通 (Communication)，不單純只是促銷，要聆聽客戶的聲音，創造共同利益的客戶關係 (Lucy,2021)。

消費者購物歷程因選擇變多也更複雜，企業如何隨著科技進展，和活動的廣泛做有效的行銷，個人共整理 9 個現今最常用的行銷手法如下：(1)廣告行銷，價值主張設計，廣告平臺選擇，投放及績效評估；(2)創意行銷，用有趣的方式溝通品牌名稱及產品特色，如洗腦廣告詞及歌和搞笑文案；(3)搜尋引擎優化(SEO)，透過特定網頁在特定關鍵字的排名，增加網站流量；(4)事件故事行銷，透過贊助特殊活動，其注重線下活動；(5)顧客關係管理 (CRM)，透過會員制，滿意度調查，精準行銷及終身價值行銷；(6)社群媒體行銷，透過小編撰寫文案，影片製作和節慶行銷的網路行銷手法；(7)體驗行銷，透過線上/下的試吃、喝、玩、聽、看及試乘，成為產品使用者，提升提袋率及購買率；(8)網紅/KOL 行銷，找有影響力名人合作，採業配、分潤、品牌代言以推廣產品知名度；(9)電子直購，透過 Email/FB 直接行銷，提升顧客終身價值和滿意度。不論實體店面或是電商，大規模或小

創新，傳統產業和科技產業，只要是營運企業一定要做好行銷手法，客戶才會發現產品的存在，所以行銷技巧是很重要的，由於人工鑽石是一種時尚產品，其銷售渠道極其重要，如何行銷該項產品，是切入這行業關鍵所在，所以行銷策略手法亦是本次研究重點所在(Tim,2021)。

所謂奢侈品，它的最高價值，在於人們對該產品的永垂不朽渴望，不會隨著市場趨勢，才能打造出承載無限夢想的品牌，所以必須拋開產品定位，不與其他品牌比較，不需迎合消費者，因為稀有性提高本身價值；不需完美無瑕，有時候缺陷也是一種美，而且必須在原產地生產，讓文化歷史作為夢想的根源。廣告不是促銷，而是要維持品牌的神話，並且不要讓明星光輝大於品牌 (Vincent Bastien, 2014)。

奢侈品的行銷，在業界有 8P 應用在其行銷組合，將奢侈品卓越的真實呈現，並充滿品牌氛圍及神話故事，使其成為許多人渴望的品牌。(1) 功能性 (Performance)，卓越手工的品質，獨特設計產品能力、科技與創新、材質，讓消費者有購買品牌的情感價值超越產品的價值。(2) 系出名門 (Pedigree)，因有非凡歷史和背景，豐富世家及長年神秘感，使得人格及歷史，成為品牌重要部分。(3) 稀少性 (Paucity)，如自然原料產製稀少性，科技導向稀少性，戰術面及特殊專業技術稀少。(4) 品牌人格 (Person)，品牌視覺需掌握品牌個性，神秘與情感價值，是要獨特的投射、凝聚和溝通，所以要更感性與理性的遠離大眾品牌市場，建立不一樣的氛圍世界和差異性，使消費者感到他們發現了靈魂品牌，而產生對產品及品牌的持續性渴望。(5) 公眾人物 (Public Figures)，公眾人物連結品牌價值與人格，需與奢侈品氛圍產生共鳴，若該產品是知名人物生活的一部分，將影響消費者態度品牌價值與購買意願，所以知名人物常使用行銷組合，是持續獲得信任、注意與影響的。(6) 置入性行銷 (Placement)，現今消費者更加挑剔，尋求更具專業與知識性的協助，以提升顧客品牌體驗及氛圍，從選擇店址，銷售展示，每一接觸點都需呈現完美細節及品味。形塑為獨特，令人沉醉的品牌環境。(7) 公共關係 (Public Relations)，主要傳遞品牌形象，如名人論點與設計師談話，流行週、運動事件與主題預告，來維持與消費者對話及趨勢指引。(8) 定價 (Price)，很少奢侈品是透過折扣與促銷，多半是送禮或下次購買折扣，或是可買限定商品等更多忠誠酬賓計劃。總之，奢侈品牌同時需提供體驗，需有實質性和差異性來證明高價值與高價格，並要經

由品牌人格，公眾人物及公共關係，達到關鍵性與持續攸關性及動態，並要有專屬性與身分，達到願意擁有性 (Rohit Arora, 2011)。

最後，我們舉八個奢侈品牌內容行銷典範，它們都是用時間淬煉品牌，以價值開拓眼界，並長存在消費者心目中；如愛馬仕 (Hermes)，是精品業對於設計和品味承諾的代表。蒂芬尼 (Tiffany)，是愛與美的表徵，其不斷奮鬥著，能超越與其同質的其他品牌，它的價值遠遠超過單純產品的價值。香奈兒 (Chanel)，透過多元產品與經典設計，開啟了一種傲慢獨特的風格。博柏利 (Burberry)，其知名行銷計劃，就是“Kiss and Smile by Burberry+ Google”，這個專案很快就成為業界跨界聯名的先鋒，其特性在於與受眾同在。路易士威登 (Louis Vuitton)，是個出色的內容發行商，在官網常揭露最新活動，產品更新和幕後花絮，讓可以完整控制的網站，發揮的淋漓盡致。迪奧 (Dior) 轉譯產品為藝術，其設計精神層面遠大與實體因素，這歸功於產品清晰明確的辨識。勞力士 (Rolex)，其積極並勇敢冒險追求的品牌精神，造成英雄與成就的印象，鼓勵用戶讓自己勇敢追愛。百達翡麗 (Patek Philippe)，在數位世界裡，其不停止創造吸引眼球的畫面，從工藝精緻到產品介紹，到品牌亮點，交叉縱橫的專題內容，讓人真正感受品牌魅力。這八個品牌，在市場均有所成就，是眾人目光聚集之處，是時間發酵品牌，內容養成價值日積月累而來 (Henry,2017)。

本研究主要目的，是在建構高價值人工鑽石之技術，及生產/銷售策略之探討，從全球鑽石之應用和需求，到高價值人工鑽石的需求，去瞭解是否值得切入此產品及投資，進而從投資面建立生產參數及良率模型，透過迴歸分析及實際生產數據，來了解生產設備及品質穩定度，另從不同添加物模型建立珠寶不同色澤參數，以符合客戶要求不同色澤的變化和需求。這是特殊產品，其應用領域除珠寶外，還有工業不同等款產品及高端應用，所以在國際行銷通路的方法及人脈，需要有經驗的渠道，事前打通和學習，才不會造成庫存壓力及產品不對稱的風險。最後是要有吸引力和實質效益，才能爭取新的投資者資金的參與，所以風險評估、SWOT、五力分析及短、中、長期的發展計畫，亦要真實謹慎評估和策劃，以期能永續經營發展。另全球強調 ESG 再生能源，作為製造模式，若我們大量生產高價值的人工鑽石取代天然鑽石，不僅降低對自然環境的破壞影響，還能去除「血鑽石」的惡名，其對社會、經濟、環境必定是

最好的良性選擇(安吉,2022)。

本研究架構如下，在第二章探討天然鑽石和人工鑽石的差異，及人工鑽石在工業上的特性與應用，並了解市場的需求，以確認是否投入該領域。在第三章，從生產技術上，瞭解本身設備技術，是否領先世界其他競爭對手，並實際花三個月時間，投入樣品生產，並以迴歸模型建立在不同溫度及壓力參數下產生之差異，亦確定生產設備是有效率，及產品品質良率是有競爭力的，同時亦實驗加入不同氣體，產生不同色澤的人工鑽石，以符合不同客戶的需求。第四章在知己知彼的理念下，了解競爭對手的市場佔有率及競爭力，並了解整體產業鏈的脈絡，並用 SWOT 及五力分析來分析風險，以為改善方向。最後再針對此研究總結及未來建議，希望能對這產業有所幫助。

## 第二章 天然人工鑽石概論



### 2.1 天然鑽石的剖析及形成特性

#### 2.1.1 形成條件

天然鑽石是在 150-400 公里中，以 4G~5.5G 氣壓及 1300 度 C~1600 度 C 高溫下所形成，因其有稀有性/美觀/堅固性的特點，且其高的折射率 (2.417) 及 9H 的硬度，使其磨光面能達到平滑無痕，稜線尖銳 (八心八箭)，是其他寶石無法比擬的 (科學發展,2014)。

#### 2.1.2 鑽石價值評估標準

鑽石價值評估一直有不小阻礙，常會造成不小損失，所以有一個統一而且被認可的評估標準是非常重要的。目前前四大機構或學院有：美國寶石學院(GIA)、歐洲寶石學院(EGE)、比利時鑽石高等評議會(HRD)、國際寶石學院(IGZ)。

鑽石評估標準主要以下列進行專業分析和鑒定：顏色(color)、淨度(clarity)、切工(cutting)、克拉重量(carat weight)。

- (1) 顏色(color)：第一影響鑽石價值的是色澤，通常一顆完美的鑽石是沒有任何色彩的，GIA對於鑽石分為D到Z顏色，在等同照明和觀測條件下進行對比鑒定。
- (2) 淨度(clarity)：GIA一般在10倍放大鏡下進行觀察，由特徵數量、大小、可見度、類型、位置和對外觀影響進行鑒定，其共分六個類別和11個等級。
- (3) 切工(cutting)：鑽石本身不會發出光芒，主要是依據光線在鑽石內部的折射和反射，其在於比例和磨工，正確的比例與角度產出最完美與最大光芒，一般比例的評定包括冠部、底部刻面角度、桌面及底部大小，我們最常見的就是八心八箭，為鑽石車工的極致表現。
- (4) 克拉重量(carat weight)：克拉是寶石的計算重，每200毫克等於1克拉，也可換算成100分，重量越大的寶石，它的價值自然越加珍貴。



### 2.1.3 人工鑽石與天然鑽石優點比較

性價比遠高於天然鑽石：由裸鑽來比較，在相同 4C 標準下，以一克拉較好的 E 色/VS2 為準，約是天然鑽石的 20-40%，若以一克拉顏色的 H 色/VS2 來比較，約天然鑽石的 10-20%，若克拉數越高則差異就越大。可持續性更佳，尤其在人道、環境保護及社會友好觀念下，人工鑽石將可望成為消費者優先選擇 (樊俊豪,2021)。

人工鑽石在合成鑽石時，不會面臨環境破壞及人道問題，在土地使用、用水用電量、碳排放優於天然鑽，符合消費者主張。

表 1 人工鑽石和天然鑽石合成同克拉時之比較表 (王馮, 2021)

項目(克拉)	人工鑽石	天然鑽石	比例%
土地使用(米平方)	0.0071	9.1	0.081
用水量(升)	70	480	14.56
用電量(千瓦)	69.8	149.6	46.52
開採廢物處理(噸)	0.006	2.63	0.02
二氧化碳排放(克)	0.028	57000	0.01
環境破壞事件(件)	0	4.5	0



## 2.2 天然鑽石與人工鑽石差異分析

### 2.2.1 市面人工鑽石分類如下：

石英(Quartz)、鋯石(Zircon)、蘇聯鑽/二氧化鋯石 (Syn.Cubic Zirconia)、合成莫桑石/摩星石(Synthetic Moissanite)、實驗室合成鑽石(LGD)。

表 2 人工鑽石和天然鑽石產品屬性及其差異表 (百曉生, 2022)

	鑽石		鑽石仿品	
	天然鑽石	培育鑽石	莫桑石	鑽石(水鑽)
圖示				
化學成分	碳 C	碳 C	碳化硅SiC	立方氧化鋯ZrO2
折射率	2.42	2.42	2.65	2.17
相對密度	3.52g/cm <sup>3</sup>	3.52g/cm <sup>3</sup>	3.22g/cm <sup>3</sup>	3.22g/cm <sup>3</sup>
色散	0.044	0.044	0.104	0.066
硬度值	10	10	9.25	8.25
導熱性	2X10 <sup>3</sup> W/m/K	2X10 <sup>3</sup> W/m/K	比較高	非常低
熱脹性	0.8X 10 <sup>-6</sup> K	0.8X 10 <sup>-6</sup> K		
透光度	deep uv to far tr	deep uv to far tr		
電阻率	1016 0hm-cm	1016 0hm-cm		
可壓縮性	8.3X 10 <sup>-13</sup> m <sup>2</sup> /n	8.3X 10 <sup>-13</sup> m <sup>2</sup> /n		
肉眼感受	高貴冷豔、璀璨閃亮		過度火彩	表面朦朧、稜線圓鈍

### 2.2.2 人工鑽石發展歷程

人工鑽石自 20 世紀 1952 年美國成功培育世界首顆人工鑽石，同時瑞典、蘇聯、中國陸續掌握此技術，只是顆粒較小，外觀成色差，成本高於天然鑽石，直到 80 年代美國通用合成大顆粒人工鑽石，日本住友電氣工業合成黃色人工鑽石，其技術在各方面日益成熟，現今人工鑽石已可達 2.5-4 克拉，成本亦降至天然鑽石 10 至 15%，未來展望進入新紀元 (樊俊豪, 2021)。

### 2.2.3 人工鑽石培育技術

培育技術主要有 HTHP(高溫高壓法)及 CVD 法(化學氣相沉積法)兩種，針對此製造做一簡述：

- (1) HTHP法，是以一小塊鑽石為晶種，再以石墨為碳源，經金屬觸媒(鎳、鈷、鐵等金屬)及氮氣加速反應速度，經高溫高壓生長成等軸晶系體，其合成時間約4至6天，產生2.5至4克拉人工鑽石。
- (2) CVD法，乃需以一小塊鑽石為晶種，以甲烷為碳源，經氫氣抑制石墨行



成，氮氣加速反應速度，在約900度C高溫下，分解氣體形成離子雲，讓碳原子吸附在扁平鑽石中，生長成等軸晶系品質體，其合成時間較長，約3至4週，但可長出品質較佳，純度較好鑽石 (樊俊豪,2021)。



#### 2.2.4 如何鑑定天然鑽及人工鑽石

常用來鑑定鑽石的儀器有拉曼光譜儀、UV 紫外-可見光吸收光譜儀、紅外線吸收光譜儀，其主要鑑別特徵如下：

(1)晶形及表面樣式：人工鑽石常以八面體和立方體為主體，並且可長成三角三八面體或四角三八面體及菱形十二面體的晶面；(2)顏色：大部分人工鑽石大多數成褐黃色或黃色，且具沙漏狀色帶；(3)發光特徵：在陰極發光儀電子激發下，人工鑽石成黃色，天然鑽石成藍色，在紫外螢光下，人工鑽石在長波紫外光下成橢形，在短波紫外光下顯示黃綠色螢光；(4)吸收譜線：人工鑽石主要為 IB 型，少數為雙原子集合體氮存在，其具有 415nm 譜線，而天然鑽為 Ia 型，很容易在譜線上做區別；(5)異常雙折射：人工鑽石異常雙折射表現較弱，呈現十字型交叉的亮帶，天然鑽石則呈現複雜的異常雙折射；(6)內含物：人工鑽石是沒辦法去除氮等物質，雖然看起來無雜質，但在光譜儀下能仍可測出氮存在。



## 2.3 人工鑽石的應用

人工鑽石因生產成本低，製造時間快速，品質良好，美觀又兼具有保存紀念價值，及醫學工業及高科技的運用，所以未來成長性及實用性甚高；茲將其應用詳細說明如下(曾永華,2014)：

### 2.3.1 光學類

可利用鑽石其高透光率及高導熱，和摩擦係數，做為飛彈導航及雷達的光罩，並利用其高折射率的功能，在紅外線感測器 (IR SENSOR) 及太陽能電池上鍍上一層鑽石薄膜，以提高其效率，其應用如下：光學鏡頭(optical lens)、隱形眼鏡切割(contact lens)：需用在精密之切割隱形眼鏡角度、非球面透鏡及 Fresnel 透鏡模、光學儲存讀寫頭(optical storage reading head)、太陽能集光板(solar plate)、國防工業(Defensive industry)。

### 2.3.2 精密切削刀具材料

由於鑽石刀具其特性，擁有超光潔表面和無缺陷切削刀，可以加工出原子尺寸級的平直度和鋒利度，達成加工表面粗糙度到 Ra0.02 微米的鏡面加工，所以隱形眼鏡模具，特殊精密規格刀削及冶具皆可使用。另外機械製造之切削刀具，其佔有機械加工之 90%加工量，一般切削刀具會在其表面沉積一層鑽石薄膜，不但可延長壽命還可增加其使用壽命。其應用在機床工具、工程機械、汽車、摩托車、通用機械、航空器等領域，預計 2026 年切削工具規模將達到 300 億元美金，成長快速。

### 2.3.3 生物醫學及檢測

在生物醫學上，利用奈米級鑽石粉末，其表面上可作為藥品載體，吸附很多生物分子，長時間植入人體無副作用。在生物檢測上，因鑽石能發出強烈螢光，歷時很長，所以可作為多元化感測器及生物細胞標示器，它可透過奈米級鑽石粉與細胞的相互作用，將異常變化的信息傳遞出來，且不會對細胞代謝機制產生負面作用，未來甚至可成為矯正細胞成分的治療工具。



#### 2.3.4 工業及雷射用途

用在半導體、高端電子、汽車自動駕駛、感測器、外太空飛行器、通訊衛星等人工鑽石擁有目前最高的聲速，因而可應用在表面聲波元件及喇叭薄膜，即在音響的振動器上，鍍一層鑽石薄膜後，可改善音質，減少聲音失真並可增加音響耐用度，並可使聲波維持高速度，達到元件工作頻率提升之目的。

#### 2.3.5 用在第三代半導體

主要用在 5G 通信、電動車新能源車，由於碳化矽材料硬度大，在晶片切割、晶片研磨、拋光上均需使用鑽石粉進行加工，預計到 2025 年將超過 15 億美金。

#### 2.3.6 寶石及飾品

由於我們生產的大單晶鑽超過 2.5 克拉，潔淨度好，可達 VVS 等級珠寶，並能依據市場需求生產無色、黃、藍、綠、粉紅等顏色寶石，物美價廉，（約天然鑽價錢 15-20%），利潤頗高。

#### 2.3.7 用骨灰製成紀念價值的鑽石

由於人體火化後的骨灰具有碳化矽成分，可將長輩火化骨灰，製成多顆 2.5 克拉鑽石，約 20 到 30 萬台幣（現市場是 50 萬），分給家屬配戴，終身紀念，更可傳承世代代做保存和紀念，深具意義也是個很好商機。



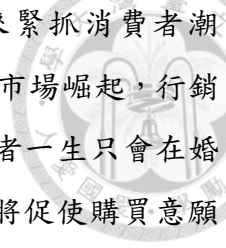
## 2.4 大單晶鑽全球需求

依照貝恩報告可知，全球天然鑽石供給日益減少，而全球人工鑽石產量在增長中，其分析如下：

表 32019-2025 年全球人工鑽石規模年均增加預計超過 15% (香港珠寶製造業廠商, 2022)

	2019A	2020A	2021A	2022E	2023E	2024E	2025E
天然鑽石毛坯產量(萬克拉)	9,600	10,000	10,234	10,469	10,608	10,849	11,292
人工鑽石毛坯產量(萬克拉)	600	720	877	1,061	1,252	1,450	1,688
YOY		20.00%	21.80%	21.00%	18.00%	15.80%	14.95%
人工鑽石滲透率	6.25%	7.20%	8.57%	10.13%	11.80%	13.36%	14.95%
毛坯單價(元/克拉)	470	450	430	400	390	390	360
人工鑽石規模(億)	28	32	38	42	49	57	61
人工裸鑽產量(萬克拉)	300	360	439	531	626	725	844
人工裸鑽銷量(萬克拉)	300	360	439	531	626	725	844
裸鑽單價(元/克拉)	3,012	2,990	2,900	2,820	2,730	2,630	2,580
人工裸鑽規模	90	108	124	150	165	191	218

人工鑽石由於生產技術日益進步，品質和質量提升，整體市場接受度越來越高，所以產量自 2019 年開始以雙位數成長，價格也不斷走低，預計 2025 年人工鑽石將占全球鑽石市場 15 % 以上，市場總值也將從 2019 年的 90.36 億美金，到 2025 年的 217.8 億美金。國際市場在環保意識及血鑽石人權考量下，世界最大的珠寶商戴比兒斯(DE BEERS)在 2018 年推出人造珠寶 Lightbox，接著潘多拉(Pandora)也將停止使用開採的鑽石製作寶石，將新產品轉向人造鑽石，接續著李奧納多狄卡皮歐的 DIAMOND FOUNDRY 及「道德鑽石」號召的 Brilliant Earth 也以人工鑽石為主打，並成功 IPO，市值達 11 億美金。



未來因疫情大流行後，品牌商更訂定下列三策略，來緊抓消費者潮流，拓展珠寶市場，希望爭取更多客源。個人化的時尚珠寶市場崛起，行銷方式及策略需求更多樣化，由於傳統上價格高昂，一般消費者一生只會在婚禮場合買一次，但隨著社交場合增加，品味的個人時尚化，將促使購買意願提高，需求量增加。新一代的客戶群在線上銷售購買及瀏覽珠寶，以成新的顯學，已從 2019 年的 7% 躍升到現在 15%，人工鑽石的需求將快速成長。永續經營及環保意識 ESG 議題，尤其「血鑽石」被消費者排斥，美國、印度、中國三大消費市場的消費者，更在乎鑽石供應鏈的碳足跡，及環境、社會安全，迫使天然鑽石供應鏈來源，因而人工鑽石更顯得供應鏈環保的價值及需求的增長。

## 第三章 人工鑽石技術及生產模型之建立



### 3.1 全球尖端鑽石製造技術引進

#### 3.1.1 技術選擇

ZD是全世界LASER近視手術、飛秒雷射技術的領導者，他們技術及生產設備，深深吸引我的目光和勾起我的企圖心，所以向其索取資料及規格書，生產歷史和戰績，並親自飛到瑞士實驗、測試、驗證、比較並實作後，而深覺可行，其設備技術說明如圖1：



圖 1HPHT 生產設備及技術 (Robert,2020)

註：\*2.5 克拉已成熟量產，4 克拉技術已可量產，6 克拉在實驗已可達成，再生級鑽種核芯盒，應可產出 9 克拉。

ZD技術設備生產優點如下：用在低於5.5GP壓力和1600度C條件下，生長96小時，產出鑽石重量平均為2.75克拉以上；長鑽核芯良率高達85%以上，人工成本低，50台設備只需（8-10名），一、三班操作員各兩名，管理維修1名，品管檢驗1名；設備用電成低，每台設備相當於一台家用空調，符合綠色環保條件；在不改變設備主體，通過核芯原材料的升級，可將產品重量提升至4到6克拉；設備佔地面積小，平均每台5m平方，易於擴充再生產，惟重量較重，需放於一樓平面，承載重量方可負荷；大尺寸(7\*7\*1mm以上)，精密車削應用，在中國沒有競爭對手，市場需求可觀；品質達VVS珠寶等級，潔淨度高，未來在珠寶市場值得期待；尤其中國、印度中產階級興起，歐美人道、環保消費新觀念成熟，世界市場快速成長中。



### 3.1.2 ZD鑽核及核製程/特性

該公司生產人工鑽石和天然鑽石特性比較表：

表 4 人工鑽石/天然鑽石特性比較表 (Robert, 2020)

參數指標	Ziemer 鑽石檢驗值	天然鑽石參數值
硬度	9.86	9.8-10
比重	3.54	3.52
折射率	2.417	2.417
色散值	0.043	0.044

可見其檢驗報告，該公司 ZD 所生產人工鑽石之硬度/比重/折射率/色散值，皆不遜於天然鑽石，唯一缺點是無雜質/氣泡，太澄澈，致使專業人士較無法相信。

可見其檢驗報告，該公司 ZD 所生產人工鑽石之硬度/比重/折射率/色散值，皆不遜於天然鑽石，唯一缺點是無雜質/氣泡，太澄澈，致使專業人士較無法相信。

### 3.1.3 微波CVD生長技術

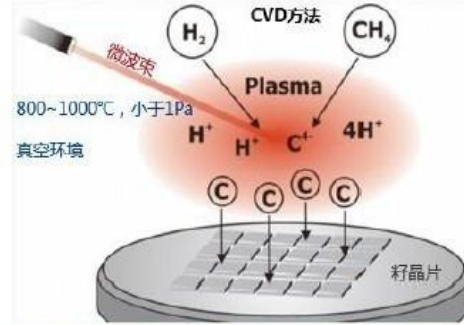
其原理為： $\text{CH}_4/\text{H}_2$  混合氣體中的  $\text{CH}_4$  吸收電子，轉為  $\text{CH}_3$  和原子氫。等離子體將中間產物  $\text{C}_2\text{H}_6$  中的六個氫原子去除後，六個  $\text{CH}_3$  佔據  $\text{C}_2\text{H}_6$  中的 6 個氫原子位，而形成八個碳原子的鑽石結構，再重複形成鑽石膜。CVD 生產設備及方法如圖 2，其沉積速率為  $0.1\sim 34(\mu\text{m}/\text{h})$ ，其優勢由於離子體密度高，沒有放電污染，生產中的品質可控制，純度高；其劣勢為，成本較高、腔體空間有限、較難有大晶體產生。

CVD方法所用的微波等離子反應爐



資料來源:深圳優管家等離子技術有限公司官網,華金證券研究所

CVD方法示意圖



資料來源:廣州鑽石交易中心,華金證券研究所

圖 2 CVD 生產設備及方法 (王馮 2021)

## 3.2 生產試驗及參數迴歸模型之建立

### 3.2.1 生產試驗之建立

為了確認 HTHP 設備生產之參數及品質是否符合生產鏈之需求，特依照天然鑽石在地殼產生之經驗溫度及壓力為參數，其溫度為 1300°C 至 1600°C，壓力在 4Gpa 至 5.5Gpa，在生產設備可耐用的溫度/壓力範疇下及鑽核成長盒設計經驗中，期望在 96 小時產生 2.75 克拉，120 小時產生 3.3 克拉之人工鑽石，超過此生產 120 小時，由於鑽核成長盒的極限，是無效的，需再研發更有效之鑽核成長盒。所以實驗自 2022 年 10 月 3 日至 2023 年 1 月 14 日，歷程約百天及三部固定設備來生產，希望建立一多項式迴歸分析函數，其應變數為  $y$ (人工鑽石產生克拉數)、自變數為  $x_1$ (溫度)及  $x_2$ (壓力)，並將  $c$  定義為誤差，此多項式的迴歸模式為  $y=ax_1+bx_2+c$ 。

本文採用均方根誤差及決定係數的檢定指標來評估迴歸模式的適配度，當  $R^2$  值越接近 1 時，表示所計算出的迴歸模式的適配度越好(唐麗英, 2015)。

### 3.2.2 以迴歸分析建立模型參數

假設此線性迴歸之模型為

$$y=ax_1+bx_2+c \quad (y \text{ 為克拉數、} x_1 \text{ 為溫度、} x_2 \text{ 為壓力)}$$

(1) 由 Excel 迴歸分析輸出內容如下(96小時)：





由表 5 可以看見，在 96 小時的生產時數下，樣本所求出的迴歸模型  $R^2=0.98$ ，代表溫度與壓力能解釋 98% 的克拉數變化量，模型適配度高。

表 5 摘要資料 SUMMARY OUTPUT (96 小時)

迴歸統計	
R	0.99
R 平方	0.98
調整的 R 平方	0.978
標準誤差	0.007
觀察值個數	33

表 6 方差分析 ANOVA Analysis

	自由度	SS	MS	F	顯著值
迴歸	2	0.08	0.04	722.66	$4.20 \times 10^{-26}$
殘差	30	$1.7 \times 10^{-2}$	$5.51 \times 10^{-5}$		
總和	32	0.08			

	係數	標準誤差	t 統計	P-值
截距	2.19	$3.42 \times 10^{-2}$	64.13	$1.15 \times 10^{-33}$
溫度(°C)	$6.16 \times 10^{-4}$	$1.90 \times 10^{-5}$	32.42	$6.51 \times 10^{-25}$
壓力(Gpa)	$-6.78 \times 10^{-3}$	$3.81 \times 10^{-4}$	-17.77	$1.79 \times 10^{-17}$

圖 3 為常態概率圖，可以看見在 96 小時的生產時數下，克拉數的觀測值大致呈現一條直線，這代表克拉數的分佈近似常態分配，因此大多數所生產的鑽石克拉數集中在均值附近。

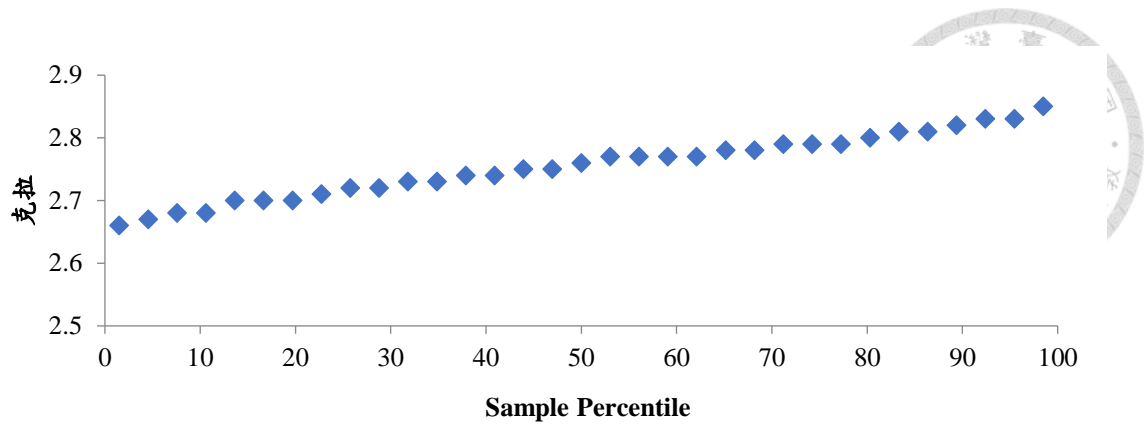


圖 3 常態概率圖 (96 小時)

由圖 4 可知，在 96 小時的生產時數模型下，殘差值的偏離程度相對均衡且沒有明顯的模式，這通常表示迴歸模型對資料的擬合效果較好，並且沒有明顯的系統性誤差，同時圖 5 中擬合圖中的資料點（實驗值）與擬合線（預測值）非常接近或幾乎重合，表明迴歸模型能夠較準確地解釋和預測克拉與溫度之間的關係。

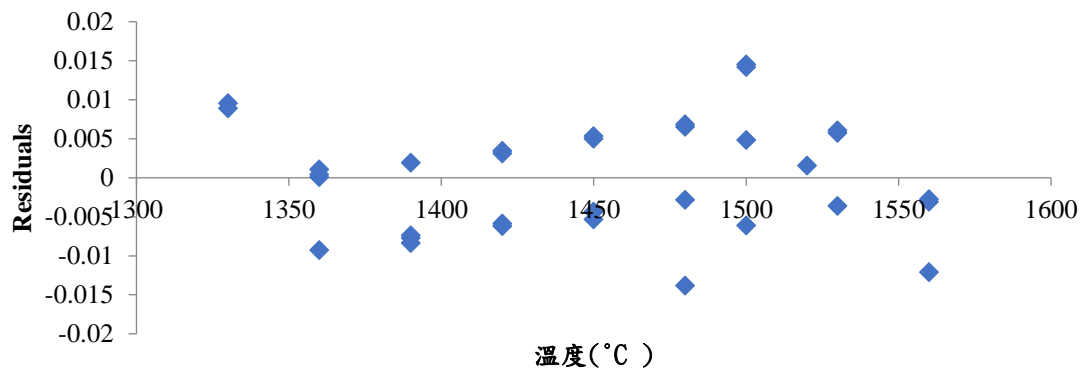


圖 4 溫度殘差圖 (96 小時)

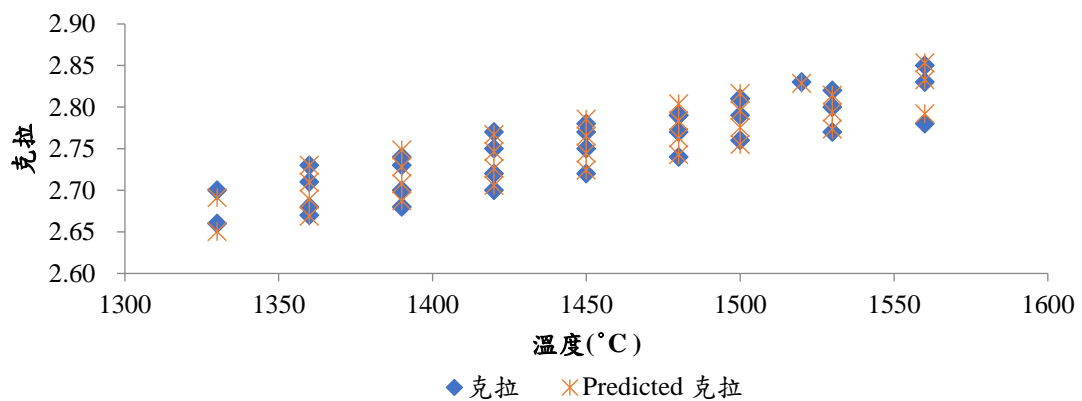


圖 5 溫度線擬合圖 (96 小時)

圖 6 的殘差值偏離程度相對均衡且沒有明顯的模式，與以溫度為橫軸畫出的殘差圖結論相同，代表 96 小時的生產時數下，該模型的擬合效果好，沒有明顯的系統性誤差。圖 7 中擬合圖中的資料點與擬合線重合度高，表明迴歸模型能夠較準確地解釋和預測克拉與壓力之間的關係。從統計結果的來看，在 96 小時的生產時數下，溫度與壓力的 p 值皆近似於 0，這說明在 95% 的顯著水準之下，溫度對鑽石克拉數有顯著的正面影響，而壓力則有顯著的負面影響。

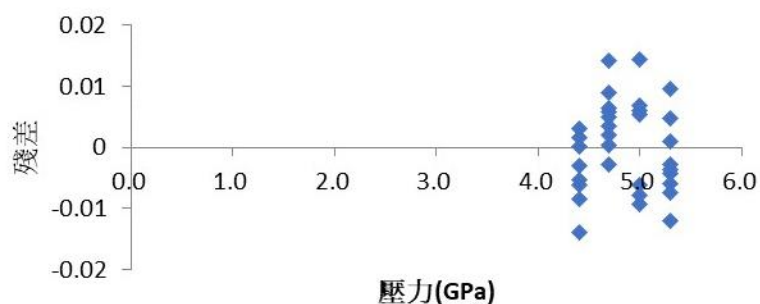


圖 6 壓力殘差圖 (96 小時)

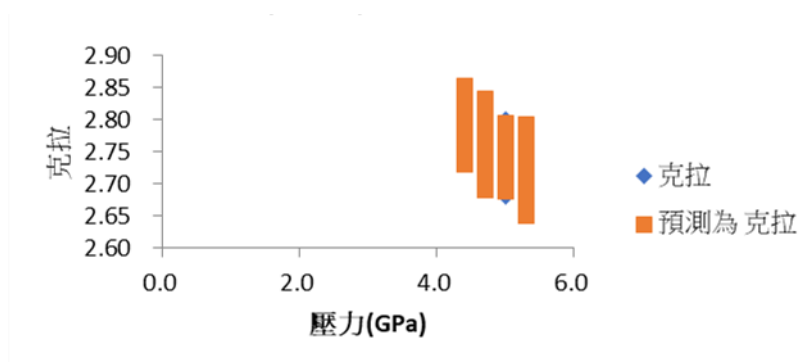


圖 7 壓力線擬合圖 (96 小時)

得到數據為  $y=6.16*10^{-4}x_1-6.789*10^{-3}x_2+2.19$

(2) 經由Excel迴歸分析輸出內容如下(120小時)

在 120 小時的生產時數下，樣本所求出的迴歸模型  $R^2$  約為 0.84，與 96 小

時生產時數的結果比較可以知道，當生產時數為 96 小時的時候，溫度與壓力對於所生產的鑽石克拉數變化量解釋能力較高，線性關係較明顯，這可能是因為在 120 小時的生產時數下有除了溫度與壓力的重要變數未被觀測。標準誤差在 120 小時的生產時數下為 0.021，相較前一組(96 小時)的標準誤差 0.007 更高，代表在該線性模型中 120 小時的預測值與實際值差異較大，模型預測能力較差。

表 7 摘要資料 SUMMARY OUTPUT(120 小時)

迴歸統計	
R	0.92
R 平方	0.84
調整的 R 平方	0.83
標準誤差	0.02
觀察值個數	34

表 8 方差分析 ANOVA Analysis

	自由度	SS	MS	F	顯著值
迴歸	2	0.07	0.03	82.31	$3.97 \times 10^{-13}$
殘差	31	0.013	$4 \times 10^{-4}$		
總和	33	0.08			

	係數	標準誤差	t 統計	P-值
截距	2.57	0.08	30.35	$1.27 \times 10^{-24}$
溫度(°C)	$5 \times 10^{-4}$	$4.59 \times 10^{-5}$	12.64	$9.14 \times 10^{-14}$
壓力(Gpa)	-0.02	0.01	-1.89	0.07

圖 8 為常態概率圖，可以看見克拉數的觀測值大致呈現一條直線，這代表克拉數的分佈近似常態分配，與 96 小時的結果相同，在 120 小時的生產時數下，大多數鑽石的克拉數集中在均值附近。

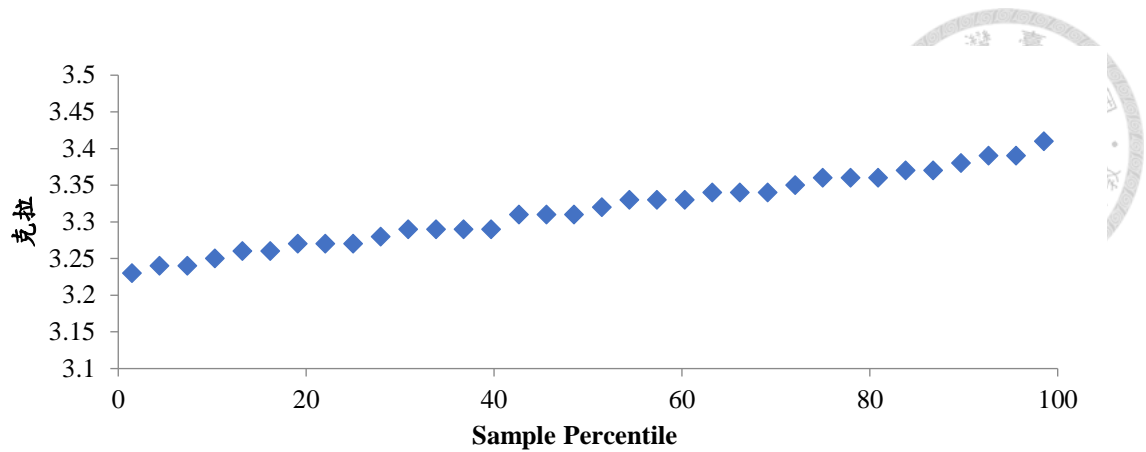


圖 8 常態概率圖 (120 小時)

從圖 9 來看，120 小時生產時數模型的殘差值偏離程度相對均衡且沒有明顯的模式，代表迴歸模型對資料的擬合效果較好，並且沒有明顯的系統性誤差。

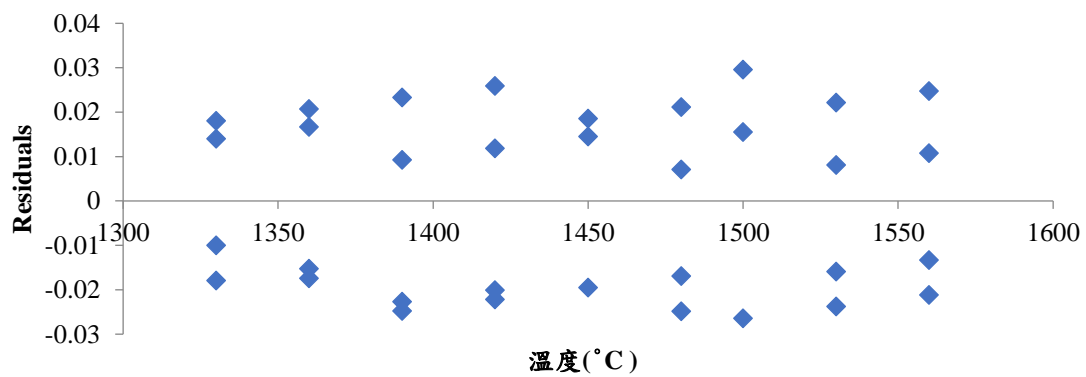


圖 9 溫度殘差圖 (120 小時)

由圖 10 的擬合圖中可見，預測值與觀測值大致吻合，但預測能力低於 96 小時的生產時數模型。

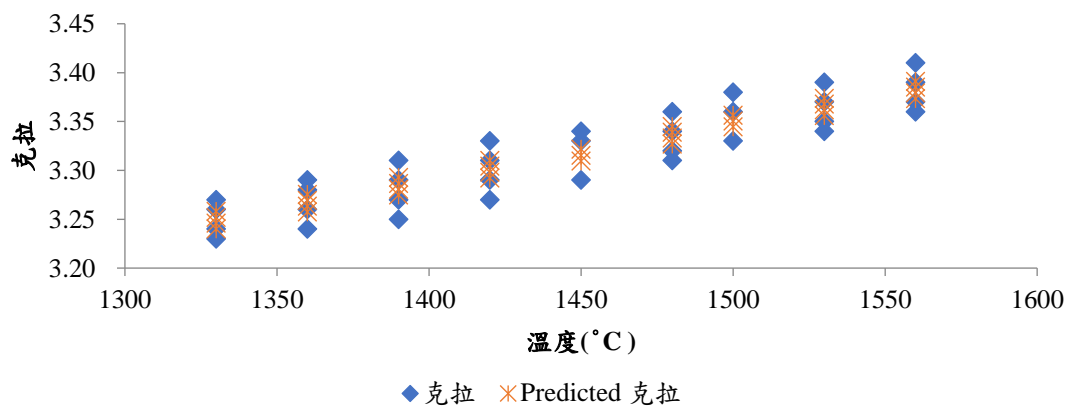


圖 10 溫度線擬合圖 (120 小時)

圖 11 中可以看出殘差值以壓力為 x 軸畫圖時相較於溫度有更明顯的傾向，在壓力為 4.4 GPa 與 5.3 GPa 時預測值皆高於觀察值，而壓力為 4.7GPa 與 5.0 GPa 時則相反。圖 12 中擬合圖中的資料點（實驗值）與擬合線（預測值）大致吻合，但預測能力低於 96 小時的生產時數模型。從統計結果的來看，溫度的 p 值非常小近似於 0，壓力的 p 值為 0.07，這說明若是在 95% 的顯著水準之下，溫度對鑽石克拉數有顯著的正向影響，而壓力則不具有顯著性的影響。

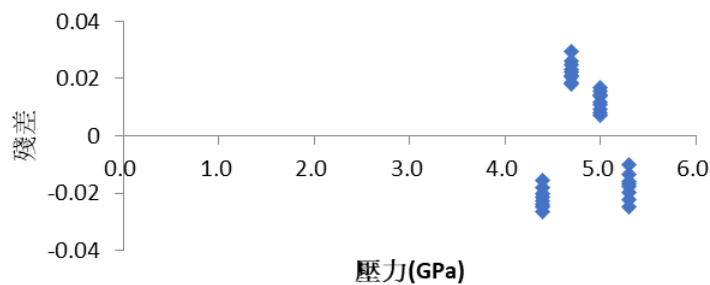


圖 11 壓力殘差圖 (120 小時)

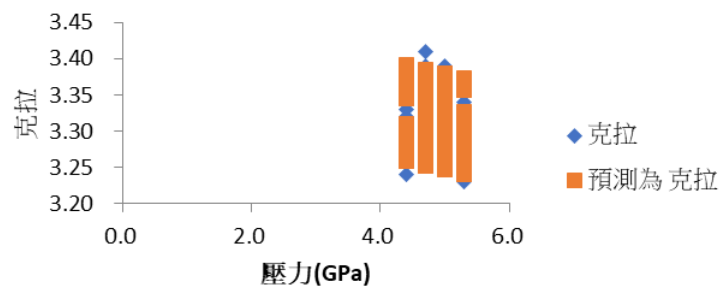
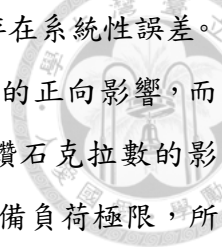


圖 12 壓力線擬合圖 (120 小時)

得到數據  $y=5.79*10^{-4}x_1-0.02x_2+2.57$

### 3.2.3 迴歸分析結論

由兩組資料來看，的相關係數，絕對值皆接近於 1，其相關性是很強的；由迴歸分析中，了解應變數(y)，其圖形為正向線性相關，也就是受  $x_1$  溫度有正向關係及  $x_2$  壓力有負向影響，但影響不大；綜合兩組資料分析，在 96 小時生產時數下，模型預測準確性較高，而較低的預測準確性可能與未將重要變數納入模型有關。在 120 小時生產時數模型中發現在不同的壓力下殘差值有明顯傾向，非為隨機分佈，另外該模型中壓力的 p 值較高，對應變數無顯著性影響，



因此在 120 小時的模型中壓力對於克拉數的影響不顯著，可能存在系統性誤差。另外在兩組實驗數據中都可以發現溫度對鑽石克拉數有顯著的正向影響，而壓力則有負向影響，以 95% 的信心水準來看，壓力對所產鑽石克拉數的影響在 96 小時的生產時數下顯著，120 小時則不顯著。由於設備負荷極限，所以雖然是正向線性相關，溫度越高，效果越好，但還是建議在 1300 度 C 至 1600 度 C，及壓力 4Gpa-5.5Gpa 裡找出最佳組合；由整體數據來看，平均良率有 93%，高於一般生產競爭者良率 85%，可見這設備/製程是具有競爭性/品質穩定/效益良好之產出，是為值得投入之生產鏈。

### 3.3 人工鑽石不同色澤/添加物形成

一般人工鑽石改色處理方法，是使用高速離子束或放射源衝擊鑽石，產生輻照而呈不同色澤，其方式有(1)電子處理：用加速的電子束來衝擊，再加上硼氣，產生藍到藍綠色，若再加熱處理(400°C)，可加氮氣，使得氮空位色心而形成紅色或紫色；(2)用迴旋加速器處理加上鎳可使鑽石呈綠色或暗綠色，若加熱到 500-900 °C，可使綠色轉變為黃色，橙色或褐色，其可加氮氣變成琥珀色，若氮濃度越高，則黃色會越深；(3)其他可用  $\gamma$  射線處理/中子處理/鐳處理，但處理時間較久，成本也較高，較不建議。

### 3.4 全球人工鑽石技術比較

#### 3.4.1 中國六面頂壓機之比較

該設備體積大，約 ZD 的 3.4 倍，佔地大；ZD 設備成本約六面頂壓機的 40% 成本，所需資金少；相關耗材維修和營運成本皆較六面頂壓機低，品質穩定；ZD 的技術更具成本效益，由於耐高溫和高低，所以專注在生產大鑽石（2.5 克拉以上）；中國六面頂壓機主要生產 1.5 克拉以下，其技術對於磨料應用的小顆粒金鋼石材料，更具成本效益(Robert,2020)。

#### 3.4.2 與蘇俄(Russian)/美國(USA)技術比較

設備體積較 Russian/USA 尺寸小，佔地面積及空間利用較佳；ZD 設備可遠端監控及全自動化生產；ZD 設備通過自動液壓閥系統開關，而蘇俄、美國通過電子設備，人工開關，安全性較不佳；ZD 在耗材、耗電及營運成本相對較低，所以更具成本效益(Robert, 2020)。

## 第四章 人工鑽石產銷鏈



### 4.1 全球人工鑽石主要廠商競爭之比較

我們欲切入此行業，亦需分析國際及中國大陸主要競爭對手的使用技術產能，市況及應用，以便採取對的策略，避開他們的優勢，甚至可為其代工，讓產能達到最大效益，所以國際以 Gemesis/Element6/Scio，Apollo 為代表，大陸以上市公司中南鑽石/黃河旋風/鄭州華晶金剛石為代表。

#### 4.1.1 國際主要生產人工鑽石廠商

表 9 國際主要生產人工鑽石廠商 (產業信息網、國海證券研究所, 2021)

廠商	使用技術和產品	市況及應用
Gemesis	1. HPHT 及 CVD 鑽石生長技術同步進行 2. 約有 250-300 台 HPHT / 100-150CVD 設備	主要鑽飾品牌，小部分為工業鑽石
Element 6	1. CVD 生產技術，用在大單晶鑽適 2. HPHT 產 2 克拉以上黃色鑽石，工業用	1. 100% De Beers 投資 2. 大尺寸 CVD 市場鑽飾高 3. HPHT 以工業鑽飾應用
Scio/Apollo	1. 以 CVD 鑽石生長技術 2. 以工業用 (6-10*1.2mm) 為主	營收中已授權收入代工為主，有向純技術研發公司可能

#### 4.1.2 中國主要生產人工鑽石廠商

中國人造鑽石產量已達 151 億克拉，占全世界 90% 以上人工鑽石，但以一克拉以下及磨沙為主，在工業用人工鑽石有一定份量之佔有率。



表 10 中國主要生產人工鑽石廠商 (產業信息網、國海證券研究所, 2021)

公司名稱	業務範圍	主要產品	產能克拉
中南鑽石	人工鑽石/鑽砂	1. 人工金剛單品 2. 立方氮化硼單晶	約 60 億
黃河旋風	<ul style="list-style-type: none"> <li>• 超硬材料</li> <li>• 金剛石製品</li> <li>• HPHT 生長黃色鑽石 (3-6mm)</li> </ul>	1. 人造金剛石 2. 金屬粉末	約 30 億
鄭州華晶金剛石	<ul style="list-style-type: none"> <li>• 人造金剛石</li> <li>• HPHT 生長黃色鑽石 (3-6mm) 及 &lt;1 克拉塔砂黃鑽</li> </ul>	1. 人造金剛石單晶 2. 原輔材料	約 22 億
河南金渠黃金	<ul style="list-style-type: none"> <li>• 人造金剛石製造</li> </ul>	1. 人造金剛石 2. 原輔材料	約 15 億
安徽宏晶新材料	<ul style="list-style-type: none"> <li>• 超硬材料及製品</li> </ul>	1. 人造金剛石 2. 立方氮化硼單晶	
河南四方達超硬材料	<ul style="list-style-type: none"> <li>• 人造聚晶金剛石燒結</li> <li>• 人造金剛石復合法</li> <li>• 立方氮化硼燒結體</li> </ul>	1 聚. 晶金剛石 2. 砂輪及模具	
博深工具	<ul style="list-style-type: none"> <li>• 金剛石工具</li> <li>• 合金工具</li> </ul>	1. 金剛石圓鋸法 2. 金剛石鑽頭 3. 金剛石磨盤 4. 金剛石軟磨法	

## 4.2 人工鑽石產業鏈環節

一般人造鑽石產業鏈，在上游提供生產設備及技術，產出毛坯，因技術/投資較高相對毛利率有約 60 % 利潤，在中游因 95% 是集中在印度，競爭激烈，負責切割、打磨、附加價值較低，毛利率相對低約 10 %，下游負責產品推銷及終端零售，有積壓資金及通路管道，相對毛利率約 60 至 70 %，其上下游關聯圖

如下表：

表 11 人工鑽石上中下游利益關聯表 (Rapaport、中金研究所, 2020)

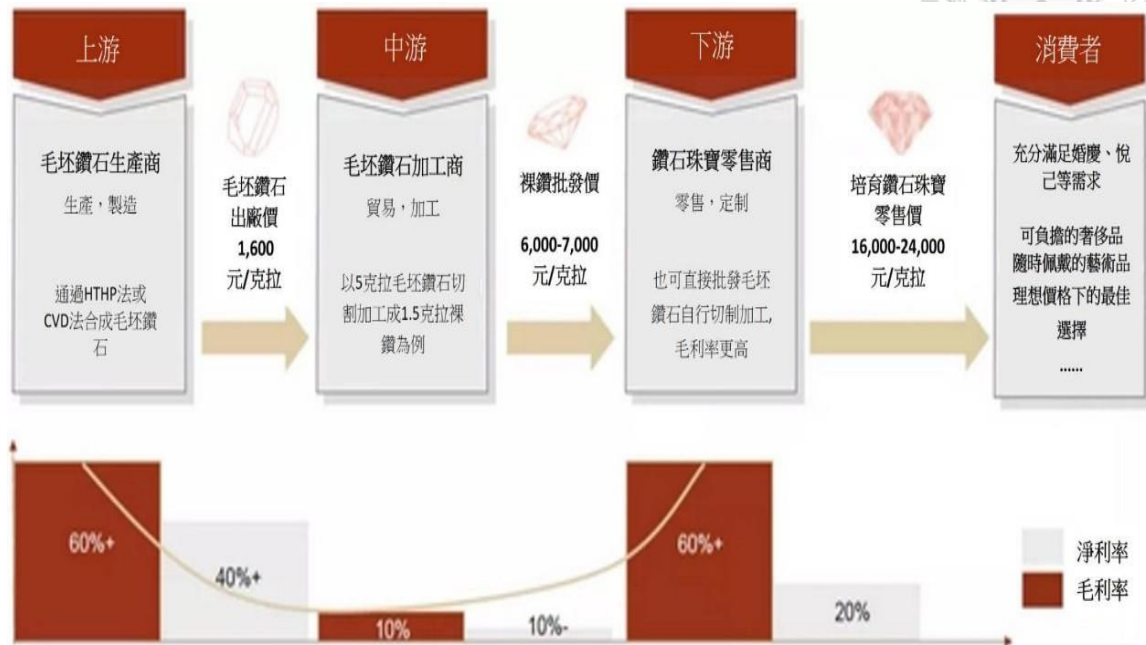


表 12 人工鑽石上中下游環節及企業代表 (趙玲, 2020)

項目	上游	中游	下游
環節	鑽核成長盒 生產技術及設備人工毛 坯生產	毛坯切割研磨加工 設計鑲嵌 成品貿易	產品推銷 終端零售
國家	中國(40%) 印度(20%) 美國(14%) 新加坡(12%)	印度 95% 中國 3% 其他 2%	美國 80% 印度 10% 中國 10%
代表企業	中南鑽石 黃河炫風 力量鑽石 SCIO Diamond Gemosis Element6	印度蘇拉特	VRAI Lightbox 潘多拉 施華洛世奇



### 4.3 產業鏈之 SWOT 分析/五力分析

我們的設備及生產技術優勢，遠優於中國的高價值人工鑽石，所以為了避免價格及產量的競爭，乃人工鑽石的機會，使用者將大量增加，所以我們選用高價值高克拉的產品，我們從 SWOP 及五力分析，可了解我們的競爭優勢，及產業內競爭力有足夠優勢和切入良機。

#### 4.3.1 產業鏈之SWOT分析

在 SWOT 分析中，可了解我們優勢是擁有新進的生產設備技術和行銷保障，雖有起步較慢的劣勢，但技術可彌補落後進入的缺失，而且人工鑽石在 ESG 的趨勢下發展可期。我們研發發展的是大單晶（2.5 克拉以上），隨著科技日益發達，層次高的高價值人工鑽石將水漲船高，這是我們發展的利基和機會，我們將投入更多研發去發展更高的鑽石核和生產設備，讓我們在這領域遙遙領先，就不會有 CVD 和中國六面頂技術的提升，而造成的威脅。

表 13 產業鏈之 SWOT 分析

優勢	劣勢
<ul style="list-style-type: none"> <li>● Ziemer公司的人工鑽石設備，是現今最新進技術，無論機台體積、自動化、電力使用及品質，皆為最佳。</li> <li>● 鑽石行銷特殊，初期六年附買回的 OEM 模式，可建立產銷一體的低風險切入點。</li> <li>● 經營團隊經驗豐富，可降低學習曲線。</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>● 起步較晚，其他國際競爭對手已設廠 (E6, Gemesis)。</li> <li>● 鑽石為封閉市場，切入市場需時間建立信任關係。</li> <li>● 珠寶市場較易，但中國已佔據工業市場 90%，需更高品質及優勢切入。</li> </ul>
機會	威脅
<ul style="list-style-type: none"> <li>● 人工鑽石屬材料產業，技術門檻高，應用廣，可掌握較長之產業週期。</li> <li>● 大單晶人工鑽石需求日益擴大，但供應面低，是切入最佳時機。</li> <li>● 產業往高科技技術發展，需要高單晶供應鏈，且在「血鑽石」風潮下，及天然鑽石日益昂貴，人工鑽石發展可期。</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>● HPHT及CVD技術各有擅長，就看成本及品質及大小長成，何者優勢佳。</li> <li>● 中國六面頂壓技術亦在進步，若其有突破，在生產效率上有所威脅。</li> </ul>



#### 4.3.2 五力分析

在波特五力分析中，由於我們生產的是高價值的人工鑽石，要求的技術門檻高，產品差異化、品牌忠誠度強，所以產業內競爭者及新進者競爭低，由於使用 H P H T 技術，生產成本低，品質穩定且設備壽命長，所以替代品的威脅小，由於我們初期前六年是以代工回銷給合作廠商，由於他們有長期市場經驗及議價能力，在供應商議價力及消費者議價力上，應可達到最佳市場趨勢及議價力。

表 14 產業鏈之五力分析

波特五力	影響因素	人工鑽石案例	影響程度
產業內競爭者	競爭者規模大小 數量多寡 產品差異化程度 線上或線下業務	高價值鑽石競爭少且規模不大 95%以 2 克拉以下，本產品以 2.75 至 4 克拉為主 以線下為主，線上為輔	4 顆星
產業內新進者	經濟規模 資本投入 產品差異化 通路 品牌忠誠度 政策影響	大多以中國大陸新進者多，但在 2 克拉以下 高價值天然鑽石進入門檻高，要求生產技術設備高，品質確認及專業性高 投資金額大，通路特殊管道，相對品牌忠誠度高	3 顆半
替代品的威脅	轉換成本 替代品數量 替代品偏好 替代品價格 替代期間	MPCVD 生產單晶人工鑽，技術培育黑鑽，粉鑽及白鑽，可產出 4 至 5 克拉（毛坯切割成 1 到 1.5 克拉） 高價值的人工鑽石替代品產出數量少，質量控制不易，被威脅機會不大	3 顆半
供應商議價力	供應商規模大小 數量多寡 替代供應商 供應商轉換成本	供應商數量日益增加但大多於 2 克拉以下，對我們相對壓力小 我們以 HPHT 製造，品質穩定，成本低，競爭優勢佳	2 顆半
消費者議價能力	消費者規模大小 數量多寡 消費者偏好 消費者的需求彈性	消費者將依供給量的增加/品質優劣，提出殺價降價要求 本身產品因規格化極高，要求克拉數 產品不易，所以消費者議價不易	4 顆星

## 第五章 研究結論與建議



### 5.1 研究結論

人工鑽石的成分和天然鑽石是完全一樣的，兩者所綻放出的璀璨光芒是相同的，而它最大的魅力，是其價格只有天然鑽石的 10-15%，幾乎是壓倒性的高 CP 值，是值得我們去推廣和發展的。人工鑽石無論從地表環境的保護，減少碳排放到降低能源消耗，及節約水資源都遠優於天然鑽石的開採，尤其天然鑽石一直有「血鑽石」的罵名，所以在道德倫理上有極負面的評價，天然鑽石在稀有珍貴、美麗印象中，其大量開採以致環境破壞，到勞工壓榨，使得人工鑽石更得人心，願意長期使用。

數位時代雜誌在 2022 年 9 月發表，未來腦機介面、細胞編碼到人工鑽石，是 2022 年最值得關注的九種新技術，我們知道鑽石不只有光鮮亮麗的佩戴或收藏功能，同時也是人類最好的製造材料之一，其具有良好的硬度、導熱能力、電絕緣性及折射率，所以這些特點，用在半導體、光學、醫療、再生能源設備上極具價值，對全世界的科技製造和使用有極大的貢獻。而在我們生產技術上，透過這次的試驗和研究分析，可了解，現生產高價值高克拉數的技術是沒問題的，生產良率亦甚高，2.75 克拉約在 98%，3.3 克拉在 84%，惟要更高克拉數，需更加努力和克服技術，期望未來能往 4-6 克拉，高價值高良率來發展。

另外從 SWOT 及五力風險分析上來看，這項產出和產業，雖現是中國領先，市佔率亦在 80% 以上，但中國只是在 2 克拉以下獨佔鰲頭，我們技術在高價值的 2.75 克拉以上，趨吉避凶，市場區隔在高克拉數，和多樣不同色彩的珠寶，及高科技工業用途發展，發展相對好，風險甚低，惟技術需更加努力往更高克拉數發展。此項技術來自瑞士，設備來自德國，品質穩定，然其設備昂貴，惟投資效益甚佳，毛利率平均有 40-50%，淨利率有 25-35%，若銷售衝道能穩定成長，雖要投資金額較大，務必謹慎，但回收尚佳，是值得投資的產業。

### 5.2 未來研究建議

由於天然鑽石的礦產，將於未來十多、二十多年內礦源殆盡，人工鑽石將

逐步大幅增長。人工鑽石將引爆人類對鑽石需求之改變，人工鑽石也將像電動自駕車一樣，顛覆了汽車模式，慢慢取代了天然鑽石。

人工鑽石在銷售提升上，2025 年應占市場 15%，2035 年達到 30%，2050 年達到 50%，可想而知，需求將增速甚快，我們如何在大克拉數上努力提昇，如何在繽紛五光色彩中，研發更燦爛奪目的彩鑽，更有顏值的人工鑽石，及形狀多元化的鑽石，讓整體有更高附加價值和高毛利的產品。

## 參考文獻列表



- 王馮. (2021, December). 人工鑽石，契機已至，向新而動. 華金證券研究室.  
[http://stock.finance.sina.com.cn/stock/go.php/vReport\\_Show/kind/industry/rptid/691658817758/index.phtml](http://stock.finance.sina.com.cn/stock/go.php/vReport_Show/kind/industry/rptid/691658817758/index.phtml)
- 安吉. (2022, August). 愛情與幸福的象徵？挖掘鑽石產業背後的血淚與傷痕. 地球圖書館/  
台灣商務印書館. <https://dq.yam.com/post/15042>
- 百曉生. (2016. December). 天然鑽石與人工鑽石的種類與差異. 時尚雜誌
- 香港珠寶製造業廠商會. (2021). 人工鑽石行業市場發展趨勢
- 香港珠寶製造業廠商會. (2022, August). 鑽石市場現況及未來發展趨勢科學發展 493 期.  
(2014, January)
- 唐麗英. (2015). 簡單迴歸分析與相關分析. 國立交通大學工業工程與管理學系講義教材  
陳榮秋, 馬士華. (2023). 生產運作管理
- 曾永華, 陳柏穎, 鄭宇明, 游銘永. (2014, May). 人工鑽石的合成及應用.  
<https://scitechvista.nat.gov.tw/Article/C000003/c>
- 趙玲. (2022, January). 2021 年全球及中國人工鑽石行業發展現況及未來發展趨勢分析.  
<https://www.chyxx.com/industry/202201/993910.html>
- 樊俊豪, 戎姜斌. (2021, November). 人工鑽石專題：璨若天成，輕奢新寵. 新浪財經.  
<https://finance.sina.com.cn/stock/hyyj/2021-11-24/doc-iktzscyy7397422.shtml>
- Lucy, C. (2021, May). 數位行銷方法. <https://www.marketersgo.com/marketing-strate>
- Henry, H. (2017, May) 8 個史詩級奢侈精品牌，內容行銷典範.   
<https://medium.com/chigyosha/eight-luxary-brands-contents-marketing-326d312a238>
- Nir, E. (2014, November). How to build habit-forming products?. *HOOKED*.
- Robert, C. (2020, June). How to operate Artificial Diamond of Ziemer.
- Rohit, A. (2011, December). The 8p's - Pillars of Luxury Brand Marketing.

<https://readers.ctee.com.tw/cm/20120113/a64a>

Tim, K. (2021). Online Marketing. <https://glints.tw/blog/the-new-digital-mar>

Vincent, B., Jean-Noel, K. (2014,October), The Luxury Strategy: Break the Rule of Marketing to Build Luxury Brands. <https://www.books.com.tw/Products/0010651329>

