

CITY UNIVERSITY OF HONG KONG
香港城市大學

**Evaluation Model and Application Research on
the Introduction of Smart Manufacturing in
Small and Medium-sized Traditional
Manufacturing Enterprises: Sports Shoe
Manufacturing Companies as Examples**
中小型傳統製造企業導入智能製造之評估模型
和應用：以運動鞋製造企業為例

Submitted to
College of Business
商學院
in Partial Fulfillment of the Requirements
for the Degree of Doctor of Business Administration
工商管理博士學位

by

Wang Yi-Hsien
王逸賢

February 2024
二零二四年二月

摘要

智能製造的觀念，早年由歐美等製造業先進國家所提出，時至今日已成顯學，而廣受全球製造業所關注；不論是德國倡導的工業 4.0，或是美國之先進製造夥伴計劃與日本工業 4.1J，以及中國製造 2025，皆是和智能製造相關的重要規劃。

智能製造，在網路及 IoT 的環境基礎上，透過自動化設備，實現與產品相關參數、數據與資料，由設計理念開始至量產和銷售之整體價值鏈，得以無縫傳遞及整合，而從事高效率之生產。配合先進的邊緣計算和人工智慧等技術，擁有智能製造之企業其管理與決策系統，將可以完整呈現智能製造為組織所帶來之營運優勢。

運動鞋製造業屬於傳統製造業，其產品生產過程，普遍仰賴大量技術純熟的勞工，分工協力完成。因此，運動鞋製造業之產業鏈一向主要集中落腳於，勞動力供給充足的國家和地區。該產業隨著時代步伐，國際品牌商扮演著關鍵角色，積極地推動產業升級。其中，智能製造被寄予厚望，國際品牌商希望藉此帶動產業鏈，往產品設計新穎和生產技術創新方向發展，以滿足終端市場，目前求新求變與個性化的消費傾向。

不若其他製程較為先進的產業，參考與智能製造相關的國際標準及其等級劃分，絕大多數的運動鞋製造業的智能製造程度，尚處於非常初級之階段。對於這些業者而言，除發現品牌商過去推動智能製造的失敗經驗，來自於外部的產業變化和競爭壓力，評估是否導入智能製造，當審視內部的生產技術與財務支持，恐怕將顯得徬徨不已。

我們觀察到以上的現象，也發現今尚無關於本研究主題的相關研究，於是著手從事本研究。我們期待提供一套決策框架，協助運動鞋製造業企業，能夠清晰地分析公司於討論是否導入智能製造當下，了解是否具備條件或足夠成熟，可以進行導入智能製造。在此一論文中，將詳細闡述及討論於 AHP 決策模型中，經由成本效益分析(Benefit-Cost Analysis)之正向與負向兩個角度分別探討，來自 TOE 理論框架加上成本維度下，相關文獻和產業專家所提供之各項關鍵因素。本研究追求調研數據的準確性，摒棄傳統廣發問卷的方式，而是針對性地向相關學者與產業專家，進行以上內容的訪談和問卷調查。同

時，為了印證本研究所發展的“導入智能製造決策評估模型”，特別引用實際案例公司與項目，進行驗證。並且，根據驗證結果與公司狀態和項目情形，提供近一步的分析與策略建議，以求本研究成果的可行性與有效性。

關鍵字: 智能製造、工業 4.0、先進製造夥伴計劃、工業 4.1J、中國製造 2025、IoT、價值鏈、邊緣計算、人工智慧、AHP、成本效益分析、TOE 理論框架

Abstract

Many years ago, the concept of smart manufacturing was proposed by the United States and Europe being leading in advanced manufacturing. Today, to implement smart manufacturing has attracted widespread attention from the global manufacturing and gradually becomes the trend of industry. For example, Industry 4.0 advocated by Germany, the Advanced Manufacturing Partnership Program of the United States, Japan Industry 4.1J and Made in China 2025, all the them are important plans related to smart manufacturing.

Smart manufacturing, based on the environment of intranet/internet and IoT, was equipped with automated machines to utilize product-related parameters and data in high performance production. By the system about Smart manufacturing, the information of value chain, from design to mass production as well as marketing and sales, can be seamlessly transmitted and integrated. Coupled with advanced edge computing and artificial intelligence technologies, the management and decision-making systems of enterprises with smart manufacturing will be able to fully demonstrate the operational advantages that smart manufacturing brings to the organization.

The sports shoe manufacturing is traditional. Its production generally relies on a large number of skilled laborers collaborating to complete the tasks. Therefore, the industrial chain of the sports shoe manufacturing has always been located at the countries or regions with sufficient labor supply. The industry keeps pace with the times, and the principal brands, such as NIKE and adidas, play key roles in actively promoting industrial upgrading. To meet the needs of end consumers, these international brands hope to implement smart manufacturing to drive the supply chain to develop in the direction of novel product design and production technology innovation.

Unlike other industries with more advanced processes, referring to the international standards and their classifications related to smart manufacturing, the levels of smart manufacturing in most of sports shoe manufacturing are still at very early stages. These industry players had been witnessing the failure of brands in executing smart manufacturing in the past. Today, they are facing the challenges from external industrial changes and competitive pressures. When reviewing internal production technology and financial support, they may be hesitant about

whether to carry out smart manufacturing.

We observed the above phenomenon and found that there is no relevant research on this research topic, so we embarked on this research. We look forward to providing a decision-making framework to assist sports shoe manufacturing companies to clearly analyze their current discussion on whether to perform smart manufacturing and understand whether it is qualified or mature enough to promote the project about smart manufacturing. In this paper, the AHP decision-making model will be elaborated and discussed in detail, from both benefit/positive and cost/negative perspectives of Benefit-Cost Analysis. Meanwhile, the key factors in AHP, under TOE theoretical framework plus cost aspect, are collected from related literature and provided by industry experts. This study pursues the accuracy of survey data and abandons the traditional method of issuing questionnaires. Instead, it conducts interviews and questionnaires on the above content with relevant scholars and industry experts. At the same time, in order to verify the "Introduction of Smart Manufacturing Decision Evaluation Model" developed by this research, actual cases and projects will be introduced for verification. Moreover, according to the results of verification, further analysis and strategic suggestions are provided to ensure the feasibility and effectiveness of this research.

Keywords: Smart Manufacturing, Industry 4.0, Advanced Manufacturing Partnership Program, Industry 4.1J, Made in China 2025, IoT, Value Chain, Edge Computing, Artificial Intelligence, AHP, Benefit-Cost Analysis, TOE Framework

致 謝

歲月如梭，轉眼間研讀 DBA 已近尾聲。值此即將完成論文之際，藉此篇幅，特別感謝於此求學階段，多位長年指導與協助我的師長、摯友、長輩和家人。

首先，由衷感謝我的兩位導師，郝剛教授及王有為教授。自從接受我成為門下學生開始，郝老師便一路提攜，傾囊相授；百忙之中，郝老師總是耐心聆聽我訴說著各類不甚成熟的觀念與想法，並且不厭其煩地逐一討論與不斷解惑。不論在發現研究問題、探討調研方式、設計論文框架、撰寫文章內容等各方面，郝老師無一不是悉心指導。郝老師嚴謹治學、實事求是的精神，深深影響我從事學習和研究的態度。猶記得和王老師初次見面，在學校辦公室討論智能製造課題的那天。王老師深入淺出傳授我，關於智能製造的知識和產業應用情形，有如醍醐灌頂一般，至今依然記憶猶新。在研究過程之中，王老師開放敏捷的思維，靈活且充滿創意，往往給予我非常重要的啟發。在幾個關鍵的瓶頸中，王老師的指導，總能為我指點迷津，發現正確的研究方向。

回顧從事研究的幾年時光，事實上是個相當崎嶇的過程，蔓延將近三年的 Covid-19 嚴重疫情和伴隨而來之世界各地封控，直接影響著本研究所有相關工作之進行。所幸郝老師與王老師，在那段最艱困的時期，依然不斷鼓勵，且未曾停止指導，而終於柳暗花明，有了今天的成果。

同時，感謝參與答辯口試的指導教授們，鄭煦老師、張誠老師和方鈺麟老師。由於諸位老師的指導，讓本論文內容更加豐富而完整。

謝謝班主任陳彩霞老師和崔婷婷老師，因為兩位班主任的協助，讓整個學習過程，更加順暢。尤其是陳老師，每每提醒著按時提交各項所需資料與文件之外，更在答辯準備與論文完成的最重要階段，提供了最大的協助。謝謝學校辦公室顧丹老師，在學校行政事務方面，給予相當的幫助，而處理不少問題。

特別謝謝推薦我就讀學校 DBA 的台灣花旗銀行前董事長，管國霖先生。國霖與我是種角之交，人生轉折處，往往給予我最真摯的建議與扶持。更要

感謝國霖的父親，管晏如伯伯。當年若不是管伯伯，年少輕狂的我，恐怕早已迷失方向。

最後感謝太太的陪伴，讓我可以無後顧之憂，專心從事研究，完成論文。把這份論文的成果，獻給我親愛的父親與天上的母親，他們從未放棄曾經浪蕩的我，一路栽培、支持著我，終於走到現在！

目 錄

摘 要	i
Abstract.....	iii
Qualifying Panel and Examination Panel.....	v
致 謝	vi
目 錄	viii
圖片目錄	xi
表格目錄	xii
附件目錄	xiii
第一章 緒論	1
1.1 研究背景	1
1.2 研究動機	8
1.3 研究方向	9
1.3.1 廠商關於導入智能製造之疑惑	9
1.3.2 廠商關於導入智能製造之潛在痛點	12
1.3.3 探討問題重點	14
1.4 研究意義與預期貢獻	15
1.5 研究框架	19
1.6 研究方法	20
1.6.1 定性研究	21
1.6.2 TOE 理論框架結合 C 維度	21
1.6.3 層次分析法	23
1.6.4 效益成本分析	24
1.6.5 TOE 框架結合 C 維度與 AHP 及其效益成本分析	25
1.7 調研工作	26
第二章 智能製造在運動鞋製造業	34
2.1 關於智能製造	34
2.2 關於工業 4.0	35
2.3 智能製造在傳統運動鞋製造業上的運用	37
2.3.1 品牌商的實踐	38
2.3.2 運動鞋產業鏈與其傳統製程	42
2.3.3 智能製造之於運動鞋傳統製程	48
2.3.4 智能製造相關國際標準	52
2.3.5 運動鞋製造業之智能製造	58
2.3.6 主要研究對象	60
第三章 文獻綜述	63
3.1 與關鍵決策因素分類相關	63
3.1.1 技術採納相關之模型與理論	63
3.1.2 制度理論	65
3.1.3 TOE 框架	66
3.2 與組織決策相關	68
3.2.1 資料包絡分析	68
3.2.2 模糊集合理論	69
3.2.3 優劣解距離法	70

3.2.4	目標規劃	71
3.2.5	層次分析法	72
第四章	關鍵決策因素來源與特性	76
4.1	匯集文獻之關鍵因素	76
4.2	來自產業專家之關鍵因素	82
4.3	確認關鍵因素	94
4.3.1	問卷 1 之設計	95
4.3.2	問卷 1 之執行結果	95
4.3.3	問卷 1 之問題與調整	96
4.4	關鍵決策因素之分析	99
第五章	關鍵決策因素權重關係	107
5.1	關鍵決策因素屬性	107
5.2	建立 AHP 架構	113
5.2.1	問卷 2 和問卷 3 之設計	116
5.2.2	問卷 2 和問卷 3 之執行結果	117
5.2.3	問卷 2 和問卷 3 之問題與調整	118
5.3	關鍵因素權重計算	120
第六章	案例驗證前期工作	129
6.1	案例驗證之目的	129
6.2	案例驗證之前期相關工作內容	130
6.2.1	問卷 4 之設計與執行結果	130
6.2.2	策略建議之發展	130
6.2.3	案例驗證之模擬	131
6.2.4	案例驗證之預期實際概況	134
第七章	案例驗證	136
7.1	案例公司 1	136
7.1.1	背景簡介	136
7.1.2	驗證結果	137
7.1.3	策略建議	140
7.1.4	預期調整結果	143
7.2	案例公司 2	145
7.2.1	背景簡介	145
7.2.2	驗證結果	145
7.2.3	策略建議	149
7.2.4	預期調整結果	153
7.3	案例公司 3	154
7.3.1	背景簡介	154
7.3.2	驗證結果	155
7.3.3	策略建議	160
7.4	NIKE	161
7.4.1	背景簡介	161
7.4.2	驗證結果	162
7.4.3	策略建議	167
第八章	結論與展望	169

參考文獻	175
附件	189

圖片目錄

圖 1-1: 美國 CPI 與核心 CPI 年增率變化.....	3
圖 1-2: 美國 PCE 與核心 PCE 年增率變化	4
圖 1-3: NIKE 季度淨利變化(Unaudited)	5
圖 1-4: 寶成工業季度淨利變化	6
圖 1-5: 整體分析框架	25
圖 2-1: NIKE Flyknit 編織鞋示意圖	39
圖 2-2: adidas Futurecraft 4D 產品示意圖	40
圖 2-3: adidas FUTURECRAFT.STRUNG 產品示意圖	41
圖 2-4: 運動鞋製造業產業關聯圖	43
圖 2-5: 運動鞋大底之化工原料製造流程	44
圖 2-6: 運動鞋中底製造流程	45
圖 2-7: 運動鞋大底製造流程	47
圖 2-8: 運動鞋整鞋製造流程	48
圖 2-9: 運動鞋業智能製造相關框架, 以整鞋廠為例	50
圖 2-10: 運動鞋業智能製造應用場景, 以整鞋廠為例	52
圖 2-11: ISA-95 架構下功能模型與相對之金字塔結構	53
圖 2-12: RAMI 4.0 架構.....	54
圖 2-13: RAMI4.0 工廠層次結構軸之工業 4.0 應用示意圖	55
圖 2-14: 企業與控制系統整合架構	56
圖 5-1: AHP 效益成本分析框架	113
圖 6-1: 效益成本分析圖	133
圖 6-2: TOEC 雷達圖	134
圖 7-1: 效益成本分析圖/驗證案例公司 1	141
圖 7-2: 效益成本分析圖/驗證案例公司 1(策略調整後)	144
圖 7-3: 效益成本分析圖/驗證案例公司 2	149
圖 7-4: 效益成本分析圖/驗證案例公司 2(策略調整後)	153
圖 7-5: 效益成本分析圖/驗證案例公司 3(導入 ERP)	159
圖 7-6: 效益成本分析圖/驗證案例公司 3(導入 ERP 策略調整後)	161
圖 7-7: 效益成本分析圖/NIKE	164
圖 7-8: TOEC 雷達圖/NIKE	167
圖 8-1: 評估模型應用之重要步驟	169

表格目錄

表 1-1: 調研工作概況	27
表 1-2: 專家簡介(1)	28
表 1-3: 專家簡介(2)	29
表 1-4: 專家簡介(3)	30
表 1-5: 專家簡介(4)	31
表 1-6: 專家簡介(5)	33
表 4-1: 關鍵因素匯總	98
表 5-1: 關鍵決策因素屬性傾向	112
表 5-2: 關鍵決策因素分類	115
表 5-3: RI 值對照表	122
表 5-4: 關鍵決策因素權重	128
表 6-1: 案例公司評分後計算說明	132
表 6-2: 策略調整表	134
表 7-1: E 公司參與案例驗證調研之專家簡介	138
表 7-2A: 案例 E 公司評分後結果	139
表 7-2B: 案例 E 公司評分後結果之重要數字匯總	140
表 7-3: 案例 E 公司評分後結果之重要數字匯總(策略調整後)	144
表 7-4: T 公司參與案例驗證調研之專家簡介	146
表 7-5A: 案例 T 公司評分後結果	148
表 7-5B: 案例 T 公司評分後結果之重要數字匯總	149
表 7-6: 案例 T 公司評分後結果之重要數字匯總(策略調整後)	153
表 7-7A: 模擬 S 公司導入機器自動化評分後結果	156
表 7-7B: 模擬 S 公司導入機器自動化評分後結果之重要數字匯總	157
表 7-8A: 模擬 S 公司導入 ERP 評分後結果	158
表 7-8B: 模擬 S 公司導入 ERP 評分後結果之重要數字匯總	159
表 7-9A: 模擬 NIKE 評分後結果	163
表 7-9B: 模擬 NIKE 評分後結果之重要數字匯總	164

附件目錄

附件 1：研究框架	189
附件 2-1：專家訪談摘要(1)	190
附件 2-2：專家訪談摘要(2)	192
附件 2-3：專家訪談摘要(3)	193
附件 2-4：專家訪談摘要(4)	194
附件 2-5：專家訪談摘要(5)	195
附件 2-6：專家訪談摘要(6)	196
附件 3A：問卷 1.....	197
附件 3B：調整後問卷 1.....	202
附件 4A：問卷 2.....	207
附件 4B：調整後電子版問卷 2.....	209
附件 5A-1：問卷 3(技術維度).....	210
附件 5A-2：問卷 3(組織維度).....	212
附件 5A-3：問卷 3(環境維度).....	214
附件 5A-4：問卷 3(成本維度).....	216
附件 5B-1：調整後電子版問卷 3(技術維度).....	217
附件 5B-2：調整後電子版問卷 3(組織維度).....	218
附件 5B-3：調整後電子版問卷 3(環境維度).....	219
附件 5B-4：調整後電子版問卷 3(成本維度).....	220
附件 6-1：問卷 4(技術維度)	221
附件 6-2：問卷 4(組織維度)	223
附件 6-3：問卷 4(環境維度)	225
附件 6-4：問卷 4(成本維度)	227