

以系統動力學方法建構動態設計決策模式

許言* 劉立園*,** 霍發仁***

* 大同大學設計科學研究所
d10717015@ms.ttu.edu.tw

** 寧波大學科學技術學院
liuliyuan@nbu.edu.cn

*** 寧波大學潘天壽建築與藝術設計學院
huofaren@nbu.edu.cn

摘要

受到物聯網、雲端運用、大數據等新資訊科技的影響，產品設計公司的管理者在進行決策時，不僅要考慮設計、製造及行銷領域因素的影響變化，並且需要考慮新資訊科技領域因素對設計決策的影響；其中任何一個領域因素的影響程度都會對其他因素產生極大影響，形成牽一髮而動全身之情勢，倘若決策失誤，對產品設計公司的發展極為不利。因此，本研究之目的為建構即時反應因素之間影響程度的模式，用模式計算的數據結果，來協助產品設計公司進行設計決策。透過個案公司實際驗證的結果顯示，動態設計決策模式可呈現達成決策目標之重點因素，有助於提高管理者的決策效率，並為產品設計公司提出具體建議和對策。

關鍵詞：新資訊科技、產品設計公司、系統動力學、設計決策模式、影響因素

論文引用：許言、劉立園、霍發仁（2022）。以系統動力學方法建構動態設計決策模式。《設計學報》，27（3），25-48。

一、前言

由於資訊科技的快速發展，產生了新資訊科技（new information technologies, NIT），主要指物聯網、雲端運用、大數據及其餘資訊科技相關之因素（Tao & Qi, 2017）。在 NIT 的影響下，產品設計過程比過去更加資訊化，例如：使用物聯網技術，能夠從智慧產品中直接收集數據，及時傳輸到雲端伺服器當中，並對這些數據進行消費者喜好分析（Tao et al., 2019），作為產品改良與創新設計時的參考；亦基於這些計算分析的結果，使產品設計公司具備快速反應多變的客戶需求和製造可行性的能力，以設計出適合製造和符合市場的產品，這種能力儼然成為產品設計公司最重要的核心競爭力。透過 NIT 對產品設計的影響，產品設計發生了兩種重大的變化：第一，NIT 使產品設計與製造領域和行銷領域的關係更加緊

密，不同領域的因素彼此相互影響，影響之反應更加即時，形成了「牽一髮而動全身」之情勢；第二，當增加了 NIT 的影響因素後，產品設計不僅要考量設計、製造和行銷領域的因素，還需要考量 NIT 的因素，因素增多使設計決策困難度亦隨之增加。為了能更好因應這兩種變化，產品設計公司的管理者需要全面考量設計、製造、行銷和 NIT 四個領域之因素，並建構因素之間互相影響的動態設計決策模式（dynamic design decision model, 3DM），以協助設計管理者進行決策。

過去，在產品設計領域中，為了能讓產品設計公司的管理者執行正確的決策，已有研究提出設計決策的模式與工具。以設計管理的研究角度而言，主要從組織關係（Van Aken, 2005; Wolff & Amaral, 2016）、設計管理的可持續性（Fargnoli, De Minicis, & Tronci, 2014; Tolio et al., 2017）、設計管理的有效性（Huang, Wang, Yan, & Fang, 2020; Wang et al., 2020）與設計管理的方法（Muto, et al., 2016）進行研究。由於，產品設計公司的管理者常常需要考量「軟性變數」（soft variables）對設計決策的影響，這些「軟性變數」往往沒有量化的數值參考，例如「產品創新」，其並不像「經濟成本」具有量化的數值。然而，上述的決策模式無法即時回饋難以量化的軟性變數之間的動態影響，也無法計算軟性變數之間的影响程度，以進行及時的影響評估；這些決策模式在發展時的科技條件亦缺少對於 NIT 時代背景下的因素的考量，並未將設計決策模式與 NIT 領域的因素整合來建構模式。此外，設計決策的工具大多傾向於設計的某面向、問題或階段的研究，亦或者做預測分析的研究，卻無法探討對於多個領域因素之間的動態影響。

由上可知，現代產品設計決策涉及設計、製造、行銷和 NIT 等因素，回顧過去的研究雖有嘗試進行探討（Hargadon & Sutton, 1997; Sutton & Hargadon, 1996; Wang, Yu, & Xu, 2017），但均沒有在新資訊科技背景下針對產品設計公司的角度對涉及設計、製造、行銷和 NIT 因素關係的設計決策模式進行探討。另外，在產品設計公司中，當管理者進行設計決策時也必需要考慮到軟性變數的影響。McLUCAS (2003) 強調，用軟性變數建立設計決策模式的重點，在於以合適的、可靠的方法和工具來評估軟性變數之間的影响及其關係，並量化軟性變數之間的影响。因此，本研究結合系統動力學之優勢，提供給產品設計公司管理者一個全面考量各個領域因素的 3DM 模式。

二、文獻探討

2-1 設計決策模式與相關因素

以往研究提及的設計決策模式主要有三種類型。第一種是用於設計方案的評價和選擇，例如，王振琿與李穎杰（2006）採用灰關聯分析法（grey relational analysis, GRA）輔助設計方案評價模式，發現可有效協助設計者進行產品設計程式中之設計決策；陳文亮與蘇于倫（2007）應用模糊綜合評價法，建構產品設計方案決策模式，輔助評估產品設計方案。第二種則為新產品開發過程中的設計決策模式，這種模式可以避免產品開發的失敗，正如，Olabanji 與 Mpofu（2019）開發了一種用於產品設計的多準則決策模型，便於設計師在製造之前確定可靠的設計概念。第三種設計決策模式為產品設計公司運營方面的管理決策，例如：何明泉、宋同正、陳國祥與黃東明（2009）提出的設計決策模式，這種決策模式由影響產品設計公司運營的多個因素組成，不同因素對產品設計公司運營產生不同程度的影響。本研究的設計決策模式為第三種，即側重產品設計公司的運營管理層面。

產品設計公司運營管理的設計決策模式呼應了先前關於產品設計及其管理的研究，而這些研究包括設計、製造、行銷等多個領域，例如，Mukhopadhyay 與 Gupta（1998）闡述設計管理是一個產品流程的

管理，產品流程的管理在有效整合企業內部資源的同時，更加注重對企業外部資源的發掘和利用，包括設計、生產、行銷和財務；Bruce 與 Daly (2010) 提出，設計管理模式是從產品設計、產品製造到產品最終銷售的流程；在此基礎上，Schwabe-Neveu、Fuentes-Stuardo 與 Briede-Westermeyer (2016) 強調將產品設計公司的產品設計過程實現於各領域知識的協作，這種協作與產品設計過程之管理緊密相關且至關重要。Gao 與 Bernard (2018) 進一步說明產品設計是涉及公司內部不同領域之人員的複雜業務流程，包括設計、製造和行銷。正如 Ulrich 與 Eppinger (2012) 在《產品設計與開發》(*Product design and development*) 一書中強調，產品開發是一項跨領域的管理活動，相關領域都必須配合，而行銷、設計和製造是產品開發專案的核心。隨著新資訊科技的運用影響產品設計的發展，一些研究者也探討資訊科技或 NIT 的應用，例如：Yassine、Kim、Roemer 與 Holweg (2004) 調查 NIT 在定制產品設計中的作用，以及 Maassen (2018) 分析 NIT 在生產管理模式的應用，而 Zheng 與 Liu (2021) 則對資訊科技在行銷策略的應用進行了研究。不過，這些關於 NIT 的應用研究，主要側重於設計、生產、行銷的其中一個領域，並沒有注重「NIT」在產品設計決策所涉及的多個領域之影響。因此，本研究歸納 3DM 模式涉及設計、製造、行銷和 NIT 四個領域，茲將各領域的特點分述如下：

1. 行銷：行銷領域的職能是調節公司和顧客之間的互動，並有助於確認產品機會，以及定義市場細分與識別客戶需求。公司的行銷部門通常也會協助公司與其客戶之間進行溝通，以設定目標價格，並監督產品的上市和推廣 (Ulrich & Eppinger, 2012)。
2. 設計：設計領域在定義產品的實體形式中起主導作用，以充分滿足客戶需求。設計領域包括工程設計 (機械、電氣、軟體等) 和工業設計 (美學、人機工程學、使用者介面) (Ulrich & Eppinger, 2012)。
3. 製造：製造領域主要負責設計、操作或協調生產系統以生產產品，廣義而言，製造領域還包括採購、分銷和安裝等，這種活動的集合被稱為供應鏈 (Ulrich & Eppinger, 2012)。
4. NIT：NIT 主要為物聯網、雲端運用和大數據 (Tao & Qi, 2017)。NIT 及其相關的因素已經融入產品設計的相關領域中，將各個領域聯繫起來，推動產品設計，製造和行銷變得更加高效、智慧和可持續 (Tao et al., 2018)。

基於以上四個領域的特點，本研究將設計、製造、行銷和 NIT 四個領域相關的因素及其之間的關係，分別討論如下：

1. 在設計領域中，許多學者都曾提到產品設計優化是一種競爭優勢 (González-Maestre & Granero, 2018; Hong, Doll, Revilla, & Nahm, 2011; Jin, Liu, Ji, & Liu, 2016; Marsillac & Roh, 2014)。Trott (2017) 強調了設計優化的管理問題來自於「創新」的過程，而 Zhang (2020) 指出資訊科技工具的使用與溝通合作，實現了設計過程中的靈活性，意即設計的彈性，促進產品的創新 (Gao & Bernard, 2018; Zhang, 2020)，並對設計工具產生影響 (Persico, Pozzi, & Goodyear, 2018)，為設計師提供靈活的創意設計環境 (Pozzi et al., 2020)。此外，Shea、Dow、Chong 和 Ngai (2019) 提出資訊投資會減少設計開發的成本和產品的成本；Li、Tao、Cheng 和 Zhao (2015) 及 Jin 等人 (2016) 強調大數據分析技術促進了產品設計品質的改善，降低產品出現故障的風險。
2. 在製造領域中，Chen (2017) 和 Wang 等人 (2020) 都強調了物聯網和雲端運用的結合，能使創建智慧工廠的過程得以升級製造技術。Tao 與 Qi (2017) 及 Chen (2017) 的研究提出，透過大數據技術驅動智慧製造，降低了生產成本 (Shan, Wen, Wei, Wang, & Chen, 2020)，並提高生產效率 (Chen, 2017; Tao, Zhang, Nee, & Pickl, 2016)；Chen (2017) 和 Li 等人 (2015) 也強調

資訊科技管理可以對製造工藝進行合理的改進。此外，製造方法優化可以減少生產成本(Hällgren, Pejryd, & Ekengren, 2016)，進而實現市場競爭力(Clayton, 2009; Guadalupe, 2007)；誠如Tao與Qi(2017)及Chen(2017)所言：「NIT促使製造業更快地發展」。

3. 在行銷領域中，Srivastava(2018)及Jin等人(2016)強調行銷過程中的每個階段使用大數據可以評估客戶的購買行為；Olsiaková、Loucanová和Palus(2016)亦強調大數據可以預測每種產品的市場需求趨勢；Kroh、Luetjen、Globocnik和Schultz(2018)及Jin等人(2016)亦提出IT工具也有助於更完整且即時地了解市場需求。此外，在行銷過程中，Jin等人(2016)及Tao等人(2018)提及客戶的偏好、訂單的位置分佈以及其他資訊資料，可以改善產品銷售的進度。透過分析這些大量的資料，不僅縮短交貨時間(Jin et al., 2016; Li et al., 2015)，也增強市場競爭力(Colin, Galindo, & Hernández, 2015)。
4. 在NIT領域中，Irani、Sharif、Papadopoulos和Love(2017)指出資訊科技管理對資訊科技平台具有積極的作用，Gao與Bernard(2018)進一步指出資訊科技平台在促進知識共用方面的作用已經得到驗證。有些學者在研究中解釋了資訊科技平台在促進知識共用方面的原因，即由於資訊科技平台促進了公司與客戶、供應商的合作(Alalwan, Rana, Dwivedi, & Algharabat, 2017; Ali, Warren, & Mathiassen, 2017; Misirlis & Vlachopoulou, 2018; Sedera, D., Lokuge, S., Grover, V., Sarker, S., & Sarker, S., 2016)。Gao與Bernard(2018)強調知識共享對各個角色的線上合作亦具有重要作用。此外，Ge、Bangui和Buhnova(2018)及Tao等人(2018)之研究說明，大數據分析技術的發展促進物聯網的應用。在本研究中，將以前述提到的物聯網、雲端運用、大數據與其相關的因素，包括知識共用、線上合作、資訊科技工具、資訊科技投資、資訊科技平台 and 資訊科技管理，統稱為「NIT及其相關的因素」。

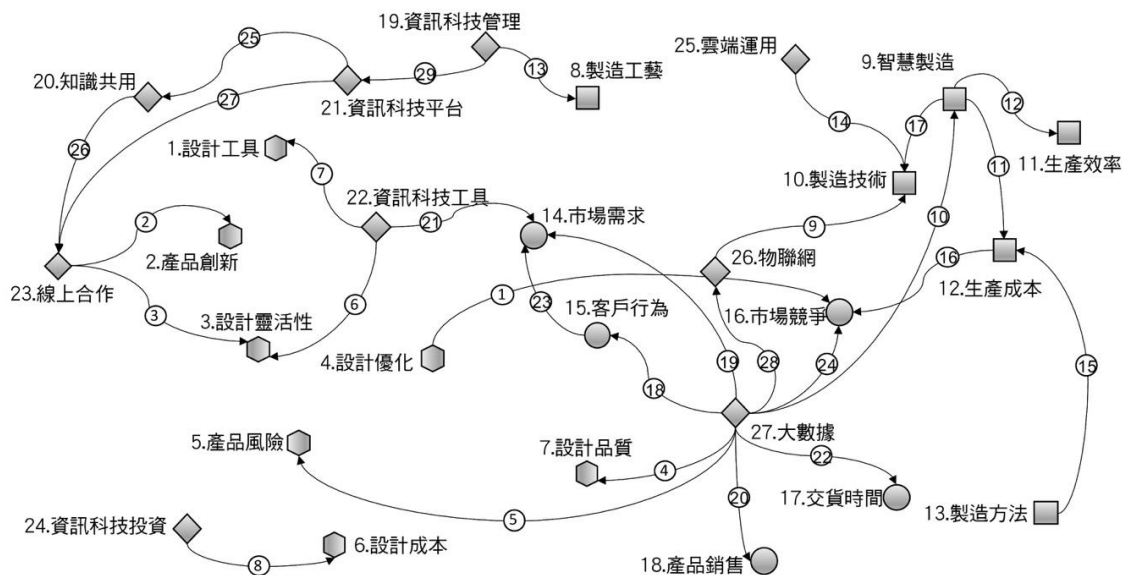


圖 1. 設計決策之相關因素及其關係

本研究收集歸納設計領域、製造領域、行銷領域與NIT領域的因素及其關係，依文獻繪製各領域的因素及其關係圖，如圖1所示：(1)符號「□」代表與製造相關的因素，符號「◡」代表與設計相關的因素，符號「○」代表與行銷相關的因素；符號「◇」代表與NIT相關的因素；(2)帶有箭頭的連接線「→」，表示一個因素影響另一個因素的因果關係，箭頭指向的因素為「果」(受影響因素)，

連接另一端的因素為「因」（影響因素）；（3）因素和因果關係分別用數字和帶有圓圈的編號（如①）表示。

由圖 1 可以看出，透過文獻共收集 27 個因素和 29 組因果關係。然而，過去文獻的因素及其關係可能未涵蓋產品設計決策模式的因素及其關係，例如：設計成本和資訊科技投資沒有與其它因素產生影響關係；另外，亦需要對這些因素之間的影响程度進行量化，因此本研究欲藉由文獻收集的因素及其關係圖，透過專家訪談的方法，確認和補充因素及其關係並確定影響權重。

2-2 系統動力學

2-2.1 系統動力學之應用及優勢

系統動力學由麻省理工學院的 Forrester 教授提出。使用系統動力學，能夠將各個因素集成在一起（Forrester, 1994）。因此，系統動力學廣泛用於分析一系列由多個因素組成的系統問題，例如商業、生態工程和社會系統（Azar, 2012）。系統動力學已經應用於許多領域（Hsieh & Chou, 2018），如供應鏈管理（Chen, Li, Lu, & Yan, 2021; Rebs, Brandenburg, & Seuring, 2019）、專案管理（Alkadeem, Backar, Haddad, & Eldardiry, 2017; Rumeser & Emsley, 2016）、評估製造過程（Gupta, Narayanamurthy, & Acharya, 2018; Qu et al., 2016; Sakhaii, Tavakkoli-Moghaddam, Bagheri, & Vatani, 2016）、策略制定（Cheng, Chang, & Lu, 2015; Gohari, Mirchi, & Madani, 2017）、商業模式（Abdelkafi & Täuscher, 2016）、投資風險評估（Liu & Zeng, 2017）等。

根據前一節的討論可知，建構 3DM 模式需要考量四個領域及其因素之間的關係。採用系統動力學方法建構 3DM 模式具有的優勢包括如：1. 產品設計公司在進行設計決策時，常常考慮不同領域的因素及其複雜的影響關係，透過系統動力學，有助於釐清設計決策中各個因素之間的影响關係，從而可以建立複雜的因果邏輯關係（Hsieh & Chou, 2018）；2. 由於不同領域的因素對設計決策之成功有重要的參考價值，透過系統動力學，不僅可以推斷其因素之間的因果邏輯關係，還可以利用系統動力學之軟體工具運算因素之間的影响，以獲得因素之間因果關係的持續影响程度（Ruutu, Casey, & Kotovirta, 2017），並作為設計決策的參考；3. 在設計決策的因素中，包括如產品創新、設計品質和設計優化等難以量化的因素，這些因素被稱為「軟性變數」，McLUCAS（2003）與 Coyle（2000）提出軟性變數是指未包含客觀數據的因素以及不能被直接測量的因素。系統動力學可以分析各個軟性變數之間的影响程度（Hsieh & Chou, 2018; Luna-Reyes & Andersen, 2003）。

目前學術界缺乏產品設計公司管理決策模式的量化研究，究其原因，主要有兩個難點：第一個是產品公司的管理者進行設計決策時，常常涉及軟性變數，由於這些軟性變數沒有包含客觀的數據，所以造成因素之間複雜關係之影响程度的量化難度較大（Coyle, 2000）；第二個是難以確定由這些軟變量所建構的模式是否具有可靠性（McLUCAS, 2003）。故基於系統動力學的優點和建構設計決策模式的難點，透過系統動力學及其軟體，可以將各個領域的軟性變數及其複雜因果關係建構為 3DM 模式，並透過系統動力學軟體計算出軟性變數之間的影响程度及檢驗 3DM 模式的可靠性，因此，系統動力學適合用於建構由「軟性變數」組成的 3DM 模式。

2-2.2 系統動力學模式之建構步驟

依據 Luna-Reyes 與 Andersen（2003）提出的系統動力學模式的建構過程，可作為建構本研究之 3DM 模式之參考，包括三個步驟：

1. 確定因素及其影響關係：依據模式之目的和範圍確定因素後，梳理因素之間的因果邏輯關係，並繪製成因果關係圖（Abotaleb & El-adaway, 2018; Azar, 2012; Forrester, 1994; Sterman, 2001），以建構邏輯關係模式。
2. 評估影響權重：先評估因素之間的影响權重（Forrester, 1994; Huang, S.-K., Lin, M.-T., Chen, H.-C., Huang, S.-C., & Wu, M.-H., 2013），然後利用 Vensim 軟體將影響權重代入模式的對應因素，以量化因素之間的影响程度（Huang, et al., 2013），實現因果關係模式的量化。
3. 模式建立與檢驗：建立系統動力學模式後，通過主觀評估、運算檢測、敏感度分析和極端值測試（Mehrhojoo & Pasek, 2016）。本研究分別檢測發現問題並進行修正，最後完成模式的正確建構（Forrester, 1994）。

三、研究設計

本研究之目的，在於將設計領域、製造領域、行銷領域和 NIT 領域的因素（軟性變數），透過系統動力學建構因素之間因果關係的 3DM 模式，並採用 3DM 模式再進行因素之間量化的影響分析。研究設計流程分為四個步驟：首先，透過文獻研究收集與研究主題相關的因素及其影響關係；第二，採用專家訪談的方法，確認透過文獻收集的因素和因果關係，並補充因素及其影響關係，評估因素之間的影响權重，建構並檢驗 3DM 模式；第三，應用 3DM 模式於個案公司，計算影響結果並提出對策和建議；最後提出結論和建議。依此，本研究架構與流程如圖 2 所示。

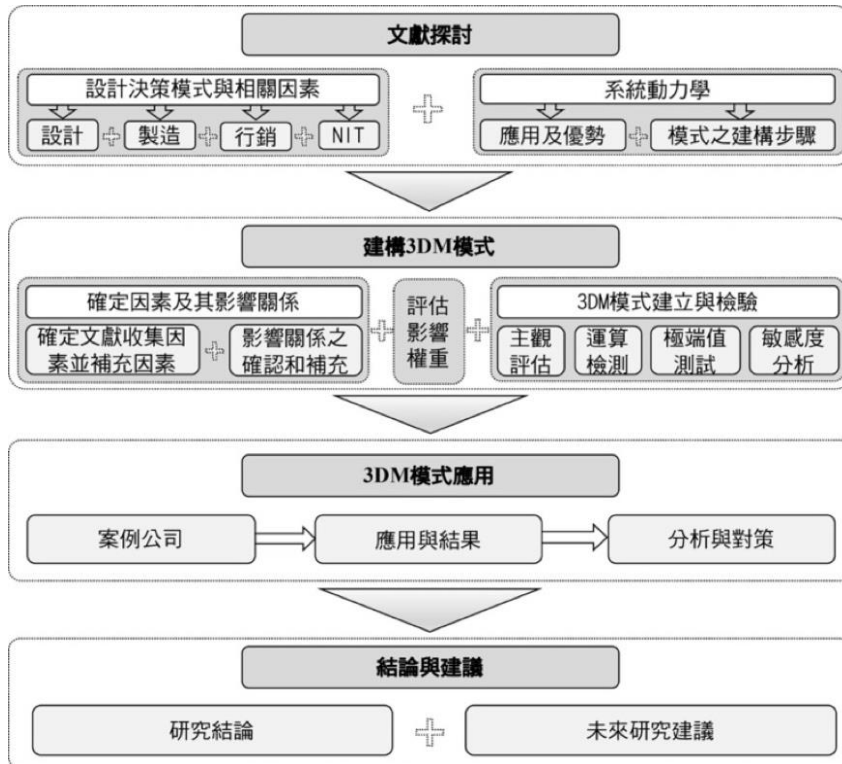


圖 2. 研究架構與流程

3-1 選定受訪對象

本研究的訪談對象選擇在資訊科技較為發達且工業設計與製造業緊密聯繫的浙江省寧波市的「和豐創意廣場」。根據寧波市和豐創意廣場提供的數據，截至 2020 年 1 月，寧波市和豐創意廣場共有 48 家產品設計公司，約占整個寧波市產品設計產值的 80%。因此，本研究從寧波市的「和豐創意廣場」選取的受訪公司及受訪專家，非常具有代表性。

透過電話或「微信」通訊軟體邀約受訪公司的專家，再發送訪談知情同意書，以確認參與訪談的專家。最後同意受邀參加訪談的專家來自 17 家產品設計公司，包含總經理（16 人）、設計師或設計總監（10 人）、工程師（4 人）、業務員或行銷經理（5 人），合計 35 位專家。35 位專家作為公司的主要管理者，參與的產品設計專案涵蓋眾多國際知名公司的新產品開發專案，為設計決策模式的建構提供了豐富的經驗。35 位專家在各自領域中都有超過 5 年的從業經驗，平均經驗水準為 14 年。透過訪談得知，由於 NIT 對產品設計公司的影響時間較短，5 年以上的從業經驗已經足夠了解 NIT 對產品設計公司的影響因素及其關係。因此，35 位專家全程參與了補充因素、補充影響關係和影響權重的確定。

3-2 建立訪談問題

為了確認和補充藉由文獻收集的因素，對 17 家產品設計公司內的不同領域（包括設計領域、製造領域、行銷領域和 NIT 領域）的 35 位專家進行訪談，以建構完整的系統動力學模式，訪談專家的主要問題有兩個：

問項一：這是根據文獻收集得出的模式，詳見「圖 1. 設計決策相關因素及其關係」，您認為是否涵蓋了必要的因素？如果未完全，是否還有其他因素須包涵在研究中？請您補充因素。

問項二：請您參見「圖 1. 設計決策相關因素及其關係」，各個因素之間的影响關係是否完整？如果未完整，請在基於先前研究建立的模式上進行補充。請您直接在「圖 1. 設計決策相關因素及其關係」連線進行確認。

3-3 訪談方法及達成目標

Luna-Reyes 與 Andersen (2003) 指出，透過專家的經驗體會和案例描述，可以說明模式因素及其關係。本研究在建構 3DM 模式之確定因素及其影響關係階段，以三種情況分別採取半結構化訪談、焦點團體法和德爾菲法三種訪談方法，嘗試達成具體的目標。訪談方法及達成目標如圖 3 所示，對圖 3 說明如下：

1. 當產品設計公司的總經理作為專家，單獨接受 NIT、設計、製造和行銷四個領域的訪談時，採用半結構化的訪談方法進行確認並補充因素及其關係。
2. 當同一公司內有 2 位以上的專家一起參與訪談時，採用焦點團體法的訪談方法進行確認並補充因素及其關係。
3. 如果專家意見未達到一致百分比，透過德爾菲法最終確定補充因素及其關係。

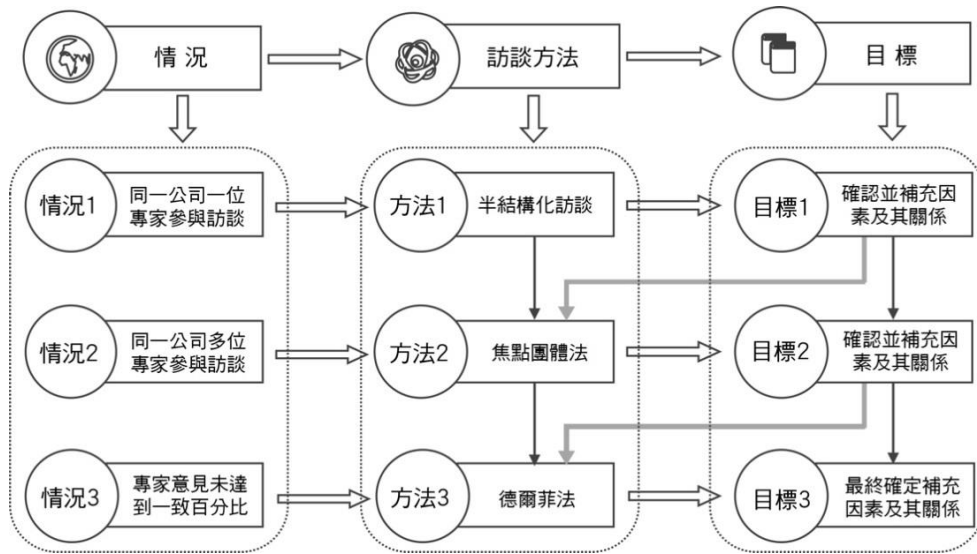


圖 3. 訪談方法及達成目標

本研究透過訪談專家收集並提取資訊，共分為三個階段：1. 首先在訪談 35 位專家的過程中進行錄音，再透過軟體，將 35 位受訪專家回答內容的錄音轉錄成逐字稿，共計 218,496 字；2. 然後經由具有 20 年產品設計經驗的設計管理專家，對轉錄為文字的訪談內容進行分析，剔除無關的文字內容，並合併相近的文字內容，共整理出 49,568 字；3. 最後，由本文作者與設計管理專家依據提取重點分析並提取訪談內容的關鍵資訊。

四、建構 3DM 模式

3DM 模式之建構是根據本文「2-2.2 建構 3DM 系統動力學模式之步驟」來進行。本研究建構 3DM 模式的步驟，主要包括確定因素及其影響關係、評估影響權重、模式建立與檢驗三個步驟，以下小節將詳細闡述這三個步驟。

4-1 確定因素及其影響關係

4-1.1 確定文獻收集因素並補充因素

首先，本研究對於文獻探討收集因素之確定，透過與 35 位專家訪談進行確認，最終 35 位專家確認透過文獻收集的 27 個因素，並對其定義有共識。透過文獻所收集因素都有的定義，例如：「設計成本」是指在產品設計和開發過程中，投入的人員、時間、技術及測試等成本 (Relich & Pawlewski, 2018)。

其次，對於因素之補充，35 位專家以文獻研究收集的因素為基礎，依據自身的專業與實務經驗進行因素補充，並解釋補充因素之原因。例如：針對補充的「設計效率」，C 公司設計總監表示，應該補充「設計效率」，因為在 NIT 的時代，線上合作與線下合作本身及時性不同。線上合作的溝通業務能夠透過一些網絡資訊平台即時收到資訊回饋，極大地提高「設計效率」。此外，G 公司總經理也強調，產品設計公司的核心理念是高效，然後再圍繞高效提供合理的解決方案。然而，如何更有效地給客戶提供解決方案，是我們設計的一項宗旨。所以，我認為必須補充「設計效率」。

補充因素之確定方法採用 Ford 與 Sterman (1998) 的方法，即多位受訪專家確認補充因素時，依據專家意見達成一致的百分比，確定補充因素是否納入到系統中。本研究採用之「一致百分比標準」為 Chaturvedi 與 Shweta (2015) 及 Martinez 與 Richardson (2002) 建議之 75%。因此，本研究之因素補充是以 17 家產品設計公司及其 35 位專家，共同確認的 75% 的一致百分比來決定。為了解專家確定補充因素的一致性，本研究根據 McLUCAS (2003) 的一致百分比之計算方法，彙整成「確認補充因素的次數分配和一致百分比統計表」，如表 1 所示：1. 從左開始的第一列（補充因素）代表需要確認補充的因素；2. 從左開始的第二列代表不同的公司，例如“A”代表公司 A，共有「A 到 Q」17 個字母，代表 17 家公司，每個字母對應的一列數字為 17 家產品設計公司及其專家確認因素的代表數字，「1」代表確認了該因素為 3DM 模式需要補充的因素，「0」代表沒有確認該因素為 3DM 模式需要補充的因素；3. 「一致百分比」是透過評分確認補充因素的公司數量除以 17 家公司總數量進行計算 (McLUCAS, 2003)，例如，確認「設計效率」為補充因素的公司有 13 家，並以「1」表示確認「設計效率」為補充的因素；沒有確認「設計效率」為補充的因素的公司有 4 家，並以「0」表示沒有確認「設計效率」；計算確認設計效率的一致百分比，即 $13/17 \approx 76.47\%$ ，76.47% 是一致百分比；4. 「排序」一列顯示藉由確認補充因素的一致百分比的大小順序。

表 1. 確認補充因素的次數分配和一致百分比統計表

補充因素	公司																	次數 統計	一致百分比 (%)	排 序
	A	B	C	D	E	F	G	H	I	J	K	L	M	N	O	P	Q			
設計效率	1	1	1	1	0	1	1	1	0	0	1	1	1	1	0	1	1	13	76.47	1
製造品質	1	1	1	1	1	1	1	0	0	0	1	1	1	1	1	0	1	13	76.47	1
行銷資訊	1	1	1	1	1	1	1	0	0	1	0	1	1	1	0	1	1	13	76.47	1
製造時間	1	1	1	1	0	1	1	1	0	0	1	1	1	1	1	0	1	13	76.47	1
商業機會	0	1	1	0	1	1	0	1	0	0	1	1	1	1	1	1	1	12	70.59	2
利潤	1	1	1	0	0	0	0	1	0	1	0	1	1	1	1	1	1	11	64.71	3
設計保護	1	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	2	11.76	4
設計投資	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	5.88	5
區塊鏈技術	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	5.88	5
產品庫存	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	5.88	5
設計定位	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	5.88	5
設計管理	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	1	5.88	5
運輸成本	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0	1	5.88	5
使用場景	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	1	5.88	5
生產供應鏈	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	1	5.88	5

由表 1 發現，符合 75% 的一致百分比的因素有四個，分別為設計效率、製造品質、行銷資訊和製造時間；此外，「商業機會」和「利潤」接近於 75% 的一致百分比，因此接著透過德爾菲法，讓公司針對「商業機會」和「利潤」兩個補充因素進行訪談，經訪談此兩項因素之一致百分比達到 75%，故將「商業機會」和「利潤」列入補充因素。由上可知，基於專家訪談，最終補充的因素有設計效率、製造品質、行銷資訊、製造時間、商業機會和利潤六個因素。

4-1.2 影響關係之確認和補充

為了確認和補充因素之間的關係，以下分為三個步驟進行確認：1. 首先將「圖 1. 設計決策相關因素及其關係」輸出為 A3 圖面；2. 然後請專家根據圖面內容，評估因素間之因果關係是否合理；3. 最後

請 35 位專家直接用筆在圖面上將相關因素連線，線的箭頭指向受影響因素，以此確認和補充因素之間的關係。

在「4-2 評估影響權重」章節中，基於因素之間影響權重的評估，進一步確立因素之間的關係：從 0.1 到 1 的數值顯示關係存在與影響程度不同，而「0」顯示因素之間沒有關係；如果產品設計公司及其專家確認了因素關係之間的影响權重，而公司專家並未給出「0」的影響程度值，顯示因素之間存在關係，並確認了因果影響關係。而在某一組因果關係有爭議時，則採用德爾菲法進行修正（Luna-Reyes & Andersen, 2003）。例如，在設計的靈活性與設計效率的影響關係中，有位專家主張設計的靈活性影響設計效率，而另一位專家認為設計效率影響設計的靈活性，本研究將兩位專家的建議分別發送給對方重新確認，最終選擇了設計的靈活性影響設計效率。依此，補充因素之間的關係共 32 組，如表 2 所示。

表 2. 透過專家訪談補充的影響關係

序號	影響因素 (因)	受影響因素 (果)	受訪專家的 領域	序號	影響因素 (因)	受影響因素 (果)	受訪專家的 領域
1	設計的靈活性	設計效率	設計	17	客戶行為	行銷資訊	行銷
2	設計效率	設計成本	設計	18	行銷資訊	產品銷售	行銷
3	設計效率	設計優化	設計	19	利潤	產品銷售	行銷
4	產品風險	設計優化	設計	20	交貨時間	產品銷售	行銷
5	設計優化	設計品質	設計	21	商業機會	市場競爭	行銷
6	設計優化	產品創新	設計	22	市場競爭	產品銷售	行銷
7	設計的靈活性	產品創新	設計	23	設計成本	利潤	設計、行銷
8	設計工具	設計效率	設計	24	設計優化	產品銷售	設計、行銷
9	製造技術	製造品質	製造	25	產品創新	商業機會	設計、行銷
10	製造工藝	製造品質	製造	26	行銷資訊	設計優化	行銷、設計
11	製造技術	生產成本	製造	27	市場需求	設計優化	行銷、設計
12	製造技術	製造時間	製造	28	大數據	設計優化	NIT、設計
13	製造方法	製造時間	製造	29	大數據	設計品質	NIT、設計
14	製造時間	生產效率	製造	30	線上合作	設計效率	NIT、設計
15	製造時間	市場競爭	製造、行銷	31	製造品質	市場競爭	製造、行銷
16	生產效率	生產成本	製造	32	市場競爭	大數據	NIT、行銷

根據表 2，本研究繪製了透過專家訪談補充的影響關係圖，如圖 4 所示。為了清楚呈現差異，「透過專家訪談補充的影響關係圖」以深色呈現，而淺灰色部分呈現的則是之前透過文獻收集的因素及其關係。帶有箭頭的連接線（ \longrightarrow ）表示由專家補充的影響關係，其他符號說明與「圖 1. 設計決策相關因素及其關係」相同，此處不再贅述。由圖 4 可知，專家確定補充的影響關係，與文獻收集的影響關係相互聯繫，同時，設計領域、製造領域、行銷領域、NIT 領域的因素之間相互影響，並形成由各個領域之因素組成的因果影響關係模式。

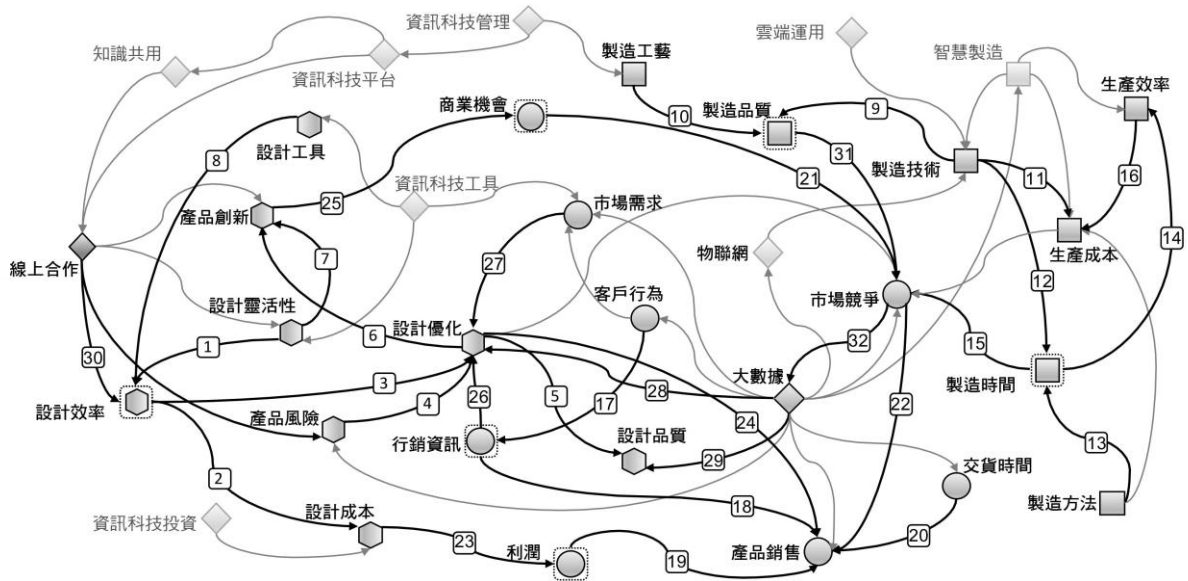


圖 4. 透過訪談 35 位專家補充的影響關係圖

4-2 評估影響權重

為了計算因素之間影響程度的大小，因此要評估因素之間的影响權重。本研究在評估影響權重時，遵循以下三個方面的規則：






1. 在探討因素之間的影响程度時，採用的因素皆為軟性變數。為了評估軟性變數之間的影响權重，McLUCAS (2003) 建議將軟性變數進行無量綱處理 (dimensionless)，意即各因素不設置單位。
2. 任何因素受其他因素之影响程度應該在規定的範圍內，即從 0 到 1 (McLUCAS, 2003)。「0」代表因素之間沒有關係，其他數值 (0.1、0.2、0.3、0.4、0.5、0.6、0.7、0.8、0.9、1) 代表存在影响關係，數值越大，影响程度越大。
3. 根據 McLUCAS (2003) 的建議，多個因素對一個因素的影响權重數值之和大於 1，需要對數據進行歸一化 (Normalization) 處理。因此，在本研究中，歸一化計算僅用於多個因素對一個因素的影响，而單一因素對另一個因素影响值皆為 1，無須進行歸一化。

根據以上三個方面的規則，將 EXCEL 格式的電子檔案評分表，透過電子郵件或微信平台寄送給 35 位專家填寫。在 EXCEL 表格中，由 35 位專家依據因素之間對應的因果影响關係，從 0、0.1、0.2、0.3、0.4、0.5、0.6、0.7、0.8、0.9 和 1 之間選擇影响權重填入數值，數值越大表示影响越大，最大值為 1。之後，透過研究者計算 35 位專家所評分數的平均數，並對平均數進行歸一化處理，以作為因素之間的影响權重。因素之間影响關係的權重計算詳見表 3 所示，影响權重為歸一化數值。

表 3. 因素之間影響權重表

影響關係		權重計算		影響關係		權重計算	
影響因素 (因)	受影響因素 (果)	平均數	歸一化 數值	影響因素 (因)	受影響因素 (果)	平均數	歸一化 數值
設計效率	設計成本	0.838	0.588	線上合作	設計靈活性	0.575	0.469
資訊科技投資		0.588	0.412	資訊科技工具		0.649	0.531
大數據	設計品質	0.743	0.515	線上合作	產品風險	0.512	0.440
設計優化		0.700	0.485	大數據		0.650	0.560
製造技術	製造時間	0.681	0.484	製造技術	製造品質	0.837	0.500
製造方法		0.725	0.516	製造工藝		0.837	0.500
製造時間	生產效率	0.749	0.502	雲端運用	製造技術	0.657	0.487
智慧製造		0.743	0.498	物聯網		0.693	0.513
製造技術	製造品質	0.837	0.500	知識共用	線上合作	0.706	0.521
製造工藝		0.837	0.500	資訊科技平台		0.651	0.479
線上合作	設計效率	0.588	0.294	設計優化	產品創新	0.663	0.322
設計靈活性		0.655	0.328	設計靈活性		0.794	0.386
設計工具	產品銷售	0.755	0.378	線上合作	市場競爭	0.600	0.292
行銷資訊		0.756	0.172	設計優化		0.805	0.176
利潤	市場競爭	0.694	0.158	製造時間	市場競爭	0.718	0.157
交貨時間		0.651	0.148	製造品質		0.769	0.168
市場競爭	生產成本	0.757	0.172	商業機會	生產成本	0.781	0.171
設計優化		0.762	0.173	生產成本		0.781	0.171
大數據	生產效率	0.776	0.177	大數據	生產效率	0.719	0.157
設計效率		0.725	0.202	製造技術		0.756	0.252
產品風險	設計優化	0.570	0.158	製造方法	生產成本	0.744	0.247
行銷資訊		0.756	0.210	智慧製造		0.700	0.233
市場需求	市場需求	0.794	0.221	生產效率	市場需求	0.806	0.268
大數據		0.750	0.209	生產效率		0.806	0.268
客戶行為	市場需求	0.794	0.367	生產效率	市場需求	0.806	0.268
資訊科技工具		0.650	0.301	生產效率		0.806	0.268
大數據	市場需求	0.719	0.332	生產效率	市場需求	0.806	0.268
大數據		0.719	0.332	生產效率		0.806	0.268

4-3 3DM 模式建立與檢驗

利用 Vensim 軟體先建構因素之間的因果關係模式，然後將影響權重代入因果關係模式中的對應因素，最後建構為 3DM 模式，如圖 5 所示。對圖 5 進行以下說明：1. 不同顏色和形狀的符號代表不同領域的因素。NIT 領域的因素用符號「」表示，設計領域的因素用符號「」表示，製造領域的因素用符號「」表示，行銷領域的因素用符號「」表示；2. 帶有箭頭的連接線「」，表示一個因素影響另一個因素的因果影響關係，箭頭指向的因素為受影響因素（果），連接另一端的因素為影響因素（因）；3. 3DM 模式包括透過文獻收集的 27 個因素及其 29 組因果關係，加上透過專家訪談補充的 6 個因素和 32 組因果關係，3DM 模式共由 33 個因素及其 61 組因果關係組成。

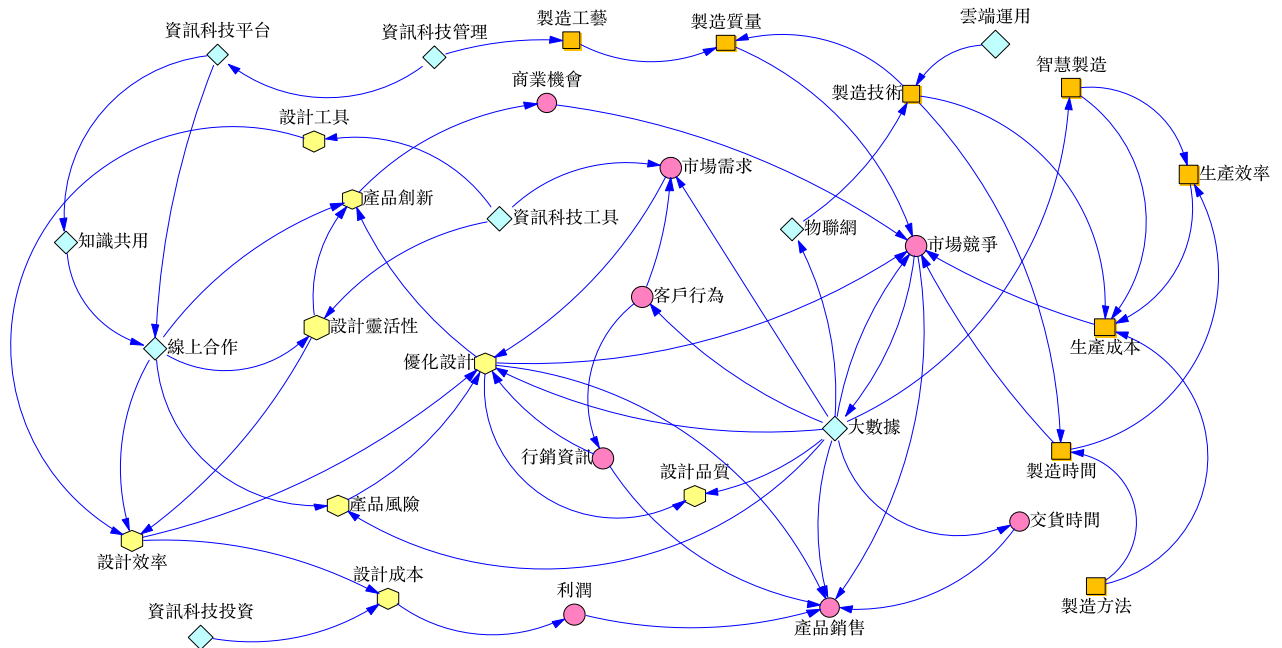


圖 5. 3DM 模式

對建構的模式進行檢驗是為了驗證所建立之模式的合理性和有效性 (Barlas, 1996; Georgiadis & Besiou, 2008)。常用的系統動力學模式檢驗方法包括主觀評估、運算檢測、極端值測試，以及敏感度分析 (Mehrjoo & Pasek, 2016)。本研究對圖 5 的 3DM 模式檢驗分別如下：

1. 主觀評估：主觀評估可以評估模式是否合理 (Schwaninger & Groesser, 2020)，本研究邀請受訪的 35 位專家，檢驗因果邏輯關係是否合理。
2. 運算檢測：本研究採用系統動力學 Vensim 軟體的「Check Model」，檢驗 3DM 模式的正確性，當顯示「Model is OK」，即通過運算檢測。
3. 極端值測試：由於系統動力學模式的因素之間相互聯繫，其中任何因素的變化都會影響其他因素的變化，依據 Liu, H.、Liu, Y.、Wang, H.、Yang, J.與 Zhou, X. (2019) 的建議，從 3DM 模式的因素中僅選定一個因素，即可進行極端值測試。本研究選取因素「資訊科技投資」，當「資訊科技投資」的影響係數設定為極端值，即影響的最小值 (0) 和影響的最大值 (1) 時，模式中其他因素的影響並未產生異常，顯示通過了極端值測試。
4. 敏感度分析：敏感度分析主要檢測模式中的因素對其它因素的影響程度是否穩定 (Rihan, 2003)。與極端值測試一樣，從 3DM 模式中僅選取一個因素對另一個因素的影響，以檢測 3DM 模式敏感度。本研究透過 Vensim 軟體的「Monte Carlo」指令和「Sensitivity Graph」指令，選取因素「雲端運用」對「設計優化」的影響，以檢測 3DM 模式的敏感度。結果顯示，「雲端運用」對「設計優化」具有穩定的影響。因此，本研究的 3DM 模式通過了敏感度分析。

五、3DM 模式應用

5-1 案例公司

研究以 X 公司為例，說明 3DM 模式的在產品設計公司運營管理中的應用。透過與 X 公司管理者的訪談得知，X 公司的前身是 2015 年的設計工作室，X 公司的實際成立時間是 2019 年 4 月。X 公司規模在 10 人以下，公司坐落於資訊科技應用較為發達的杭州雲棲小鎮內。X 公司服務的內容包括產品外觀設計、產品結構設計、產品交互設計、產品包裝設計、模具樣機製作、產品批量化生產管理諮詢等一站式、全方位服務。X 公司在專注產品設計領域的同時，不斷向其他領域拓展，建構了以創新設計為核心的企業，從品牌策略到產品策略、結構技術開發、使用者體驗設計多方位的服務支援，說明企業的產品與品牌創造更大的商業價值。由此可見，X 公司不僅注重設計領域，還擴展到製作領域和行銷領域。

X 公司主要問題是：「在 NIT 時代背景下，市場的競爭力受到主要因素的持續影響程度如何？公司管理者希望透過對比主要因素對市場競爭的影響程度，以達成提升公司在市場競爭力之重點因素。」我們將 3DM 模式提供給公司管理者，公司管理者依據 3DM 模式中的因素，選擇產品風險、設計工具、設計靈活性、設計效率和資訊科技平台，確定為影響公司市場競爭的五個主要因素。公司管理者希望合理利用資源，依據產品風險、設計工具、設計靈活性、設計效率和資訊科技平台五個影響市場競爭力的程度之因素，合理規劃公司未來工作之重點。因此，公司管理者需要清楚產品風險、設計工具、設計靈活性、設計效率、資訊科技平台五個因素對市場競爭的影響程度，為公司管理者提供決策參考。

5-2 應用與結果

利用 Vensim 軟體運行 3DM 模式，透過 Vensim 軟體的「Simulate」指令，運算產品風險、設計工具、設計靈活性、設計效率、資訊科技平台對市場競爭的影響程度，再選擇「市場競爭」為受影響因素，最後利用 Vensim 軟體中的「Table」指令，產生產品風險、設計工具、設計靈活性、設計效率、資訊科技平台對市場競爭的影響數據，影響數據結果如表 4 所示。

表 4. 各因素影響市場競爭之數據

時間 (月)	0	12	24	36	48	60	72	84	96	108	120
產品風險	0	0.01	0.04	0.07	0.12	0.21	0.34	0.57	0.95	1.58	2.62
設計工具	0	0.02	0.05	0.1	0.18	0.31	0.51	0.85	1.41	2.34	3.89
設計靈活性	0	0.04	0.09	0.16	0.27	0.44	0.71	1.18	1.94	3.22	5.35
設計效率	0	0.03	0.08	0.16	0.28	0.47	0.78	1.31	2.17	3.6	5.98
資訊科技平台	0	0.01	0.08	0.23	0.48	0.91	1.61	2.77	4.68	7.84	13.1

為了直觀地顯示產品風險、設計工具、設計靈活性、設計效率、資訊科技平台 5 個因素對市場競爭的持續影響程度，首先將表 4 拷貝至 Microsoft Excel 軟體中，然後利用 Microsoft Excel 軟體的「插入——平面折線圖」指令，製作 5 個因素持續影響市場競爭之曲線圖，如圖 6 所示：1. 橫軸 (X 軸) 為產品風險、設計工具、設計靈活性、設計效率、資訊科技平台對市場競爭的持續影響的時間 (0-120 個月)；2. 縱軸 (Y 軸) 為產品風險、設計工具、設計靈活性、設計效率、資訊科技平台對市場競爭的影響程度的數值；3. 結合橫軸 (X 軸) 和縱軸 (Y 軸)，觀察 5 條不同線型的影響曲線，隨著時間 (0-120 月) 推移，持續影響的程度越來越大，直觀地顯示了產品風險、設計工具、設計靈活性、設計效率、資訊科

技平台 5 個因素對市場競爭的持續影響程度。

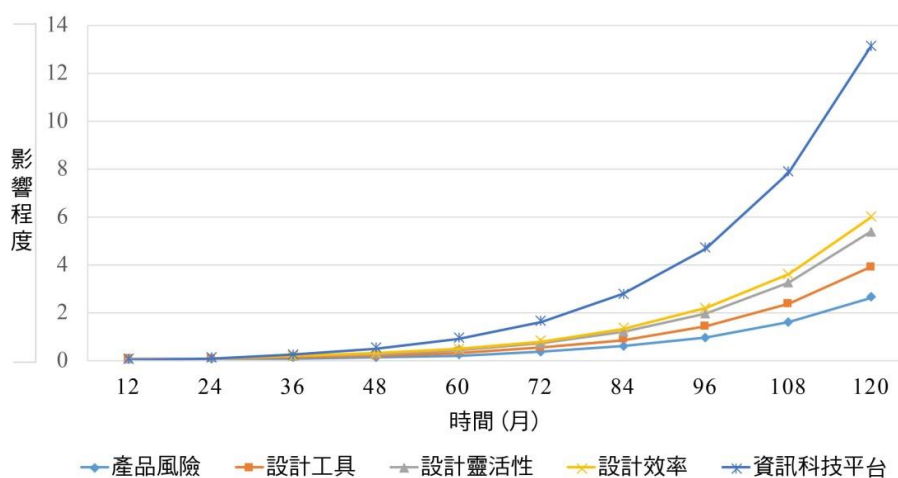


圖 6. 各因素持續影響市場競爭之曲線圖

由圖 6 可以發現，對於 X 公司而言：1. 產品風險、設計工具、設計靈活性、設計效率、資訊科技平台對市場競爭的影響持續增強；2. 資訊科技平台對市場競爭的持續影響程度最大；其餘對市場競爭的影響因素，影響程度從大到小依次是設計效率、設計靈活性、設計工具、產品風險。

以上結果顯示：1. 應用 3DM 模式，並透過系統動力學，可算出產品風險、設計工具、設計靈活性、設計效率、資訊科技平台 5 個因素（軟性變數）對市場競爭的影響程度，解決了產品設計公司運營管理中，常常需要考量的軟性變數之間影響程度的量化問題；2. 對市場競爭持續影響的 5 個因素中，資訊科技平台是對市場競爭持續影響最強的因素，這也說明了在 NIT 時代背景下，資訊科技平台的作用對於 X 公司發展的重要性。

5-3 分析與建議

透過 3DM 模式應用於 X 公司之結果，提供給 X 公司管理者的建議如下：

1. 在 NIT 影響下，改變了傳統的設計合作模式，即透過資訊科技平台，可以快速實現與客戶及合作夥伴的即時溝通，X 公司管理者不可忽視資訊科技平台。因此，資訊科技平台對 X 公司越來越重要，與設計效率、設計靈活性、設計工具、產品風險相比，X 公司更應該關注資訊科技平台的重要性。此外，重視資訊科技平台的建設，可以提高 X 公司內部人員及外部客戶的溝通效率，資訊分享也更容易，從整體上提高 X 公司的運營效率。
2. 相比設計工具、設計靈活性、設計效率和資訊科技平台對市場競爭的影響程度，產品風險對市場競爭的影響程度比較低，這是因為在 NIT 的影響下，產品風險的資訊比較透明，並且可以快速將產品風險資訊回饋給 X 公司管理者，X 公司管理者可以利用 NIT 降低產品風險。例如：X 公司管理者可以透過諸如「大數據」之資訊科技，精準判斷和獲取客戶的需求資訊，從而在設計階段時就降低產品風險，以滿足消費者真正的需求。
3. 在影響市場競爭的 5 個因素中，包括設計領域的 3 個因素，即設計工具、設計靈活性和設計效率，這 3 個因素對市場競爭的持續影響曲線介於產品風險和資訊科技平台之間，且相對於資訊科技平台，影響趨勢較為平緩。因此，建議 X 公司繼續穩步推進設計領域內的設計工具、設計靈活性

和設計效率 3 個因素。此外，在設計領域的 3 個因素中，設計效率和設計靈活性的影響程度比較相近，顯示設計效率和設計靈活性都是為了適應市場競爭並作出的快速反應。X 公司應該多加利用 NIT，提高 X 公司的設計效率和設計靈活性，這將對提高市場競爭力產生積極的影響。

六、結論與建議

6-1 研究結論

本研究以「軟性變數」作為觀察因素，並採用系統動力學，建構了 3DM 模式。本研究的結論包括以下四點：

1. 由於 NIT 的快速發展，且影響了產品設計，產品設計公司的管理者需面對和整合不同領域的資訊。因此，產品設計公司的管理者在做決策時，須比以往更需要較為全面的設計決策模式。本研究建構 3DM 模式之因素，所考量的領域除了設計領域、製造領域和行銷領域的因素外，還需要考量 NIT 領域的因素。本研究透過文獻研究收集了 27 個因素及 32 組因果關係。
2. 透過訪談產品設計公司不同領域專家，確認了基於文獻收集的因素及其關係，並補充了 6 個因素及 32 組因果關係。何明泉、宋同正、陳國祥、黃東明（2009）指出產品設計公司做決策時，所要面對與整合日益龐雜之因素，鄧成連（2009）進一步強調設計決策模式側重不同專業領域的角度，可以由不同領域人員參與設計決策之因素界定，確立建構設計決策模式之因素，有助於完善設計決策模式的因素及其關係。
3. 本研究解決了設計決策中軟性變數之間影響關係複雜且難以量化的問題，這亦是本研究之重要貢獻。基於產品設計公司的管理者需要協調各個領域的關係，本研究提出了一個 3DM 模式，實現了 NIT、設計、製造、行銷四個領域軟性變數相互影響的動態關係。3DM 模式不同於之前研究（Ding, Zhu, Tam, Yi, & Tran, 2018; Fan, C., Fan, S.-K. S., Wang, C.-S., & Tsai, W.-P., 2018; Nazari-Sharabian, Taheriyoun, Ahmad, Karakouzian, & Ahmadi, 2019）的系統動力學模式，這些系統動力學模式由包含客觀數據的定量因素構成，而 3DM 模式是一種完全由軟性變數建構的系統動力學模式。
4. 針對個案公司進行實際驗證，結果顯示 3DM 模式有效協助設計管理者進行決策，可以使設計管理者抓住決策重點，避免錯誤的決策方向，這是 3DM 模式重要的價值。本研究的 3DM 模式可以計算不同領域因素之間複雜關係的影響程度。產品設計公司根據需要，透過 3DM 模式即時分析並比較多個因素對目標因素影響程度，以作為產品設計公司管理者的決策參考。

6-2 未來研究建議

未來研究建議主要有以下三點：

1. 3DM 模式是公司及其專家的經驗模式。在未來的研究中，由於實際情況的變化，模式可能需要改進，可繼續與專家進行探討，以修正 3DM 模式，並保證較高的信度和效度。同時，可以進行更多的專家訪談，獲取不同的經驗與數據，完善 3DM 模式及其可信度。
2. 透過分析數據獲得的結果必不可少，但是，如果操作簡易，並可將結果轉換為直觀的表達更為重

要，因為這將有利於 3DM 模式在產品設計公司的普及與應用。未來應考量將 3DM 模式開發為應用程式，使應用程式操作簡易，並強化分析結果的視覺化呈現。

3. 為了優先考慮 3DM 模式在產品設計公司的應用，本研究僅考慮與產品設計公司在設計決策過程中的相關因素。未來的研究可以加入其他外部因素的影響，如政策法規、政府支援、宏觀環境等相關因素。

誌謝

本研究感謝浙江省哲學社會科學規劃課題的經費補助（項目編號：19NDJC293YB）。本文感謝參與訪談的 17 家公司及其 35 位專家，感謝評審委員的寶貴意見。

參考文獻

1. Abdelkafi, N., & Täuscher, K. (2016). Business models for sustainability from a system dynamics perspective. *Organization & Environment*, 29(1), 74-96. <https://doi.org/10.1177/1086026615592930>
2. Abotaleb, I. S., & El-adaway, I. H. (2018). First attempt toward a holistic understanding of the interdependent rippled impacts associated with out-of-sequence work in construction projects: System dynamics modeling approach. *Journal of Construction Engineering and Management*, 144(9), 04018084. [https://doi.org/10.1061/\(ASCE\)CO.1943-7862.0001539](https://doi.org/10.1061/(ASCE)CO.1943-7862.0001539)
3. Alalwan, A. A., Rana, N. P., Dwivedi, Y. K., & Algharabat, R. (2017). Social media in marketing: A review and analysis of the existing literature. *Telematics and Informatics*, 34(7), 1177-1190. <https://doi.org/10.1016/j.tele.2017.05.008>
4. Ali, A., Warren, D., & Mathiassen, L. (2017). Cloud-based business services innovation: A risk management model. *International Journal of Information Management*, 37(6), 639-649. <https://doi.org/10.1016/j.ijinfomgt.2017.05.008>
5. Alkadeem, R., Backar, S., Haddad, H., & Eldardiry, M. (2017). NPD projects simulation model incorporating managerial aspects using system dynamics approach. *International Journal of System Dynamics Applications*, 6(3), 38-58. <https://doi.org/10.4018/IJSDA.2017070103>
6. Azar, A. T. (2012). System dynamics as a useful technique for complex systems. *International Journal of Industrial and Systems Engineering*, 10(4), 377-410. <https://doi.org/10.1504/IJISE.2012.046298>
7. Barlas, Y. (1996). Formal aspects of model validity and validation in system dynamics. *System Dynamics Review*, 12(3), 183-210. [https://doi.org/10.1002/\(SICI\)1099-1727\(199623\)12:3<183::AID-SDR103>3.0.CO;2-4](https://doi.org/10.1002/(SICI)1099-1727(199623)12:3<183::AID-SDR103>3.0.CO;2-4)
8. Bruce, M., & Daly, L. (2010). Design and marketing connections: Creating added value. *Journal of Marketing Management*, 23(9-10), 929-953. <https://doi.org/10.1362/026725707X250403>
9. Chaturvedi, S., & Shweta, R. (2015). Evaluation of inter-rater agreement and inter-rater reliability for observational data: An overview of concepts and methods. *Journal of the Indian Academy of Applied Psychology*, 41(3), 20-27.

10. Chen, Y. (2017). Integrated and intelligent manufacturing: Perspectives and enablers. *Engineering*, 3(5), 588-595. <https://doi.org/10.1016/J.ENG.2017.04.009>
11. Chen, Y., Li, J., Lu, H., & Yan, P. (2021). Coupling system dynamics analysis and risk aversion programming for optimizing the mixed noise-driven shale gas-water supply chains. *Journal of Cleaner Production*, 278, 123209. <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2020.123209>
12. Cheng, Y.-H., Chang, Y.-H., & Lu, I. J. (2015). Urban transportation energy and carbon dioxide emission reduction strategies. *Applied Energy*, 157, 953-973. <https://doi.org/10.1016/j.apenergy.2015.01.126>
13. Clayton, M. J. (2009). Debt, investment, and product market competition: A note on the limited liability effect. *Journal of Banking & Finance*, 33(4), 694-700. <https://doi.org/10.1016/j.jbankfin.2008.11.006>
14. Colin, M., Galindo, R., & Hernández, O. (2015). Information and communication technology as a key strategy for efficient supply chain management in manufacturing SMEs. *Procedia Computer Science*, 55, 833-842. <https://doi.org/10.1016/j.procs.2015.07.152>
15. Coyle, G. (2000). Qualitative and quantitative modelling in system dynamics: Some research questions. *System Dynamics Review*, 16(3), 225-244. [https://doi.org/10.1002/1099-1727\(200023\)16:3<225::AID-SDR195>3.0.CO;2-D](https://doi.org/10.1002/1099-1727(200023)16:3<225::AID-SDR195>3.0.CO;2-D)
16. Ding, Z., Zhu, M., Tam, V. W. Y., Yi, G., & Tran, C. N. N. (2018). A system dynamics-based environmental benefit assessment model of construction waste reduction management at the design and construction stages. *Journal of Cleaner Production*, 176, 676-692. <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2017.12.101>
17. Fan, C., Fan, S.-K. S., Wang, C.-S., & Tsai, W.-P. (2018). Modeling computer recycling in Taiwan using system dynamics. *Resources, Conservation and Recycling*, 128, 167-175. <https://doi.org/10.1016/j.resconrec.2016.09.006>
18. Ford, D. N., & Serman, J. D. (1998). Expert knowledge elicitation to improve formal and mental models. *System Dynamics Review: The Journal of the System Dynamics Society*, 14(4), 309-340. [https://doi.org/10.1002/\(SICI\)1099-1727\(199824\)14:4<309::AID-SDR154>3.0.CO;2-5](https://doi.org/10.1002/(SICI)1099-1727(199824)14:4<309::AID-SDR154>3.0.CO;2-5)
19. Fargnoli, M., De Minicis, M., & Tronci, M. (2014). Design management for sustainability: An integrated approach for the development of sustainable products. *Journal of Engineering and Technology Management*, 34, 29-45. <https://doi.org/10.1016/j.jengtecman.2013.09.005>
20. Forrester, J. W. (1994). System dynamics, systems thinking, and soft OR. *System Dynamics Review*, 10(2-3), 245-256. <https://doi.org/10.1002/sdr.4260100211>
21. Gao, J., & Bernard, A. (2018). An overview of knowledge sharing in new product development. *The International Journal of Advanced Manufacturing Technology*, 94(5), 1545-1550. <https://doi.org/10.1007/s00170-017-0140-5>
22. Ge, M., Bangui, H., & Buhnova, B. (2018). Big data for internet of things: A survey. *Future Generation Computer Systems*, 87, 601-614. <https://doi.org/10.1016/j.future.2018.04.053>
23. Georgiadis, P., & Besiou, M. (2008). Sustainability in electrical and electronic equipment closed-loop supply chains: A system dynamics approach. *Journal of Cleaner Production*, 16(15), 1665-1678. <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2008.04.019>
24. Gohari, A., Mirchi, A., & Madani, K. (2017). System dynamics evaluation of climate change adaptation strategies for water resources management in central Iran. *Water Resources Management*, 31(5),

- 1413-1434. <https://doi.org/10.1007/s11269-017-1575-z>
25. González-Maestre, M., & Granero, L. M. (2018). Competition with targeted product design: Price, variety, and welfare. *International Journal of Industrial Organization*, 59, 406-428. <https://doi.org/10.1016/j.ijindorg.2018.02.009>
26. Guadalupe, M. (2007). Product market competition, returns to skill, and wage inequality. *Journal of Labor Economics*, 25(3), 439-474. <https://doi.org/10.1086/513299>
27. Gupta, V., Narayanamurthy, G., & Acharya, P. (2018). Can lean lead to green? Assessment of radial tyre manufacturing processes using system dynamics modelling. *Computers & Operations Research*, 89, 284-306. <https://doi.org/10.1016/j.cor.2017.03.015>
28. Hällgren, S., Pejryd, L., & Ekengren, J. (2016). (Re)Design for additive manufacturing. *Procedia CIRP*, 50, 246-251. <https://doi.org/10.1016/j.procir.2016.04.150>
29. Hargadon, A., & Sutton, R. I. (1997). Technology brokering and innovation in a product development firm. *Administrative Science Quarterly*, 42(4), 716-749. <https://doi.org/10.2307/2393655>
30. Hong, P., Doll, W. J., Revilla, E., & Nahm, A. Y. (2011). Knowledge sharing and strategic fit in integrated product development projects: An empirical study. *International Journal of Production Economics*, 132(2), 186-196. <https://doi.org/10.1016/j.ijpe.2011.04.004>
31. Hsieh, Y.-H., & Chou, Y.-H. (2018). Modeling the impact of service innovation for small and medium enterprises: A system dynamics approach. *Simulation Modelling Practice and Theory*, 82, 84-102. <https://doi.org/10.1016/j.simpat.2017.12.004>
32. Huang, S., Wang, G., Yan, Y., & Fang, X. (2020). Blockchain-based data management for digital twin of product. *Journal of Manufacturing Systems*, 54, 361-371. <https://doi.org/10.1016/j.jmsy.2020.01.009>
33. Huang, S.-K., Lin, M.-T., Chen, H.-C., Huang, S.-C., & Wu, M.-H. (2013). Epidemiology of kawasaki disease: Prevalence from national database and future trends projection by system dynamics modeling. *The Journal of Pediatrics*, 163(1), 126-131. <https://doi.org/10.1016/j.jpeds.2012.12.011>
34. Irani, Z., Sharif, A. M., Papadopoulos, T., & Love, P. E. (2017). Social media and web 2.0 for knowledge sharing in product design. *Production Planning & Control*, 28(13), 1047-1065. <https://doi.org/10.1080/09537287.2017.1329955>
35. Jin, J., Liu, Y., Ji, P., & Liu, H. (2016). Understanding big consumer opinion data for market-driven product design. *International Journal of Production Research*, 54(10), 3019-3041. <https://doi.org/10.1080/00207543.2016.1154208>
36. Kroh, J., Luetjen, H., Globocnik, D., & Schultz, C. (2018). Use and efficacy of information technology in innovation processes: The specific role of servitization. *Journal of Product Innovation Management*, 35(5), 720-741. <https://doi.org/10.1111/jpim.12445>
37. Li, J., Tao, F., Cheng, Y., & Zhao, L. (2015). Big data in product lifecycle management. *The International Journal of Advanced Manufacturing Technology*, 81(1), 667-684. <https://doi.org/10.1007/s00170-015-7151-x>
38. Liu, H., Liu, Y., Wang, H., Yang, J., & Zhou, X. (2019). Research on the coordinated development of greenization and urbanization based on system dynamics and data envelopment analysis- A case study of Tianjin. *Journal of Cleaner Production*, 214, 195-208. <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2018.12.046>

39. Liu, X., & Zeng, M. (2017). Renewable energy investment risk evaluation model based on system dynamics. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 73, 782-788. <https://doi.org/10.1016/j.rser.2017.02.019>
40. Luna-Reyes, L. F., & Andersen, D. L. (2003). Collecting and analyzing qualitative data for system dynamics: Methods and models. *System Dynamics Review: The Journal of the System Dynamics Society*, 19(4), 271-296.
41. Maassen, M. A. (2018). Product development models in the IT sector-from waterfall to agile project management models in the case of AVIRA soft S.R.L. *Proceedings of the International Conference on Business Excellence*, 12(1), 568-578. <https://doi.org/10.2478/picbe-2018-0051>
42. Marsillac, E., & Roh, J. J. (2014). Connecting product design, process and supply chain decisions to strengthen global supply chain capabilities. *International Journal of Production Economics*, 147, 317-329. <https://doi.org/10.1016/j.ijpe.2013.04.011>
43. Martinez, I. J., & Richardson, G. P. (2002, July 28 - August 1). An expert view of the system dynamics modeling process: Concurrences and divergences searching for best practices in system dynamics modeling. *The 20th International Conference of the System Dynamics Society*, Palermo, Italy. Retrieved from <https://citeseerx.ist.psu.edu/viewdoc/download?doi=10.1.1.379.7755&rep=rep1&type=pdf>
44. McLUCAS, A. C. (2003). Incorporating soft variables into system dynamics models: A suggested method and basis for ongoing research. In *Proceedings of the 21st International Conference of the System Dynamics Society* (pp. 20-24). New York, NY: System Dynamics Society.
45. Mehrjoo, M., & Pasek, Z. J. (2016). Risk assessment for the supply chain of fast fashion apparel industry: A system dynamics framework. *International Journal of Production Research*, 54(1), 28-48. <https://doi.org/10.1080/00207543.2014.997405>
46. Misirlis, N., & Vlachopoulou, M. (2018). Social media metrics and analytics in marketing– S3M: A mapping literature review. *International Journal of Information Management*, 38(1), 270-276. <https://doi.org/10.1016/j.ijinfomgt.2017.10.005>
47. Mukhopadhyay, S. K., & Gupta, A. V. (1998). Interfaces for resolving marketing, manufacturing and design conflicts. *European Journal of Marketing*, 32(1/2), 101-124. <https://doi.org/10.1108/03090569810197499>
48. Muto, K., Kimita, K., Tanaka, H., Numata, E., Hosono, S., Izukura, S., & Shimomura, Y. (2016). A task management method for product service systems design. *Procedia CIRP*, 47, 537-542. <https://doi.org/10.1016/j.procir.2016.03.053>
49. Nazari-Sharabian, M., Taheriyoun, M., Ahmad, S., Karakouzian, M., & Ahmadi, A. (2019). Water quality modeling of mahabad dam watershed–reservoir system under climate change conditions, using swat and system dynamics. *Water*, 11(2), 394. <https://doi.org/10.3390/w11020394>
50. Olabanji, O. M., & Mpofo, K. (2019). Adopting hybridized multicriteria decision model as a decision tool in engineering design. *Journal of Engineering, Design and Technology*, 18(2), 451-479. <https://doi.org/10.1108/JEDT-06-2019-0150>
51. Olsiaková, M., Loucanová, E., & Palus, H. (2016). Monitoring changes in consumer requirements for wood products in terms of consumer behavior. *Acta Facultatis Xylogiae Zvolen res Publica Slovaca*, 58(1), 137-147. <https://doi.org/10.17423/afx.2016.58.1.15>

52. Persico, D., Pozzi, F., & Goodyear, P. (2018). Teachers as designers of TEL interventions. *British Journal of Educational Technology*, 49(6), 975-980. <https://doi.org/10.1111/bjet.12706>
53. Pozzi, F., Asensio-Perez, J. I., Ceregini, A., Dagnino, F. M., Dimitriadis, Y., & Earp, J. (2020). Supporting and representing learning design with digital tools: In between guidance and flexibility. *Technology, Pedagogy and Education*, 29(1), 109-128. <https://doi.org/10.1080/1475939X.2020.1714708>
54. Qu, T., Lei, S., Wang, Z., Nie, D., Chen, X., & Huang, G. Q. (2016). IoT-based real-time production logistics synchronization system under smart cloud manufacturing. *The International Journal of Advanced Manufacturing Technology*, 84(1), 147-164. <https://doi.org/10.1007/s00170-015-7220-1>
55. Rebs, T., Brandenburg, M., & Seuring, S. (2019). System dynamics modeling for sustainable supply chain management: A literature review and systems thinking approach. *Journal of Cleaner Production*, 208, 1265-1280. <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2018.10.100>
56. Relich, M., & Pawlewski, P. (2018). A case-based reasoning approach to cost estimation of new product development. *Neurocomputing*, 272, 40-45. <https://doi.org/10.1016/j.neucom.2017.05.092>
57. Rihan, F. A. (2003). Sensitivity analysis for dynamic systems with time-lags. *Journal of Computational and Applied Mathematics*, 151(2), 445-462. [https://doi.org/10.1016/S0377-0427\(02\)00659-3](https://doi.org/10.1016/S0377-0427(02)00659-3)
58. Rumeser, D., & Emsley, M. (2016). Key challenges of system dynamics implementation in project management. *Procedia-Social and Behavioral Sciences*, 230, 22-30. <https://doi.org/10.1016/j.sbspro.2016.09.004>
59. Ruutu, S., Casey, T., & Kotovirta, V. (2017). Development and competition of digital service platforms: A system dynamics approach. *Technological Forecasting and Social Change*, 117, 119-130. <https://doi.org/10.1016/j.techfore.2016.12.011>
60. Sakhaii, M., Tavakkoli-Moghaddam, R., Bagheri, M., & Vatani, B. (2016). A robust optimization approach for an integrated dynamic cellular manufacturing system and production planning with unreliable machines. *Applied Mathematical Modelling*, 40(1), 169-191. <https://doi.org/10.1016/j.apm.2015.05.005>
61. Neveu, J. S., Stuardo, P. F., & Westermeyer, J. C. B. (2016). Characterization of product design process of a company that provides design services: Proposal based on a process approach. *DYNA*, 83(199), 148-156. <http://dx.doi.org/10.15446/dyna.v83n199.55840>
62. Schwaninger, M., & Groesser, S. (2020). System dynamics modeling: Validation for quality assurance. In B. Dangerfield (Eds.), *System dynamics: Theory and applications* (pp. 119-138). New York, NY: Springer. https://doi.org/10.1007/978-1-4939-8790-0_540
63. Sedera, D., Lokuge, S., Grover, V., Sarker, S., & Sarker, S. (2016). Innovating with enterprise systems and digital platforms: A contingent resource-based theory view. *Information & Management*, 53(3), 366-379. <https://doi.org/10.1016/j.im.2016.01.001>
64. Shan, S., Wen, X., Wei, Y., Wang, Z., & Chen, Y. (2020). Intelligent manufacturing in industry 4.0: A case study of Sany heavy industry. *Systems Research and Behavioral Science*, 37(4), 679-690. <https://doi.org/10.1002/sres.2709>
65. Shea, V. J., Dow, K. E., Chong, A. Y.-L., & Ngai, E. W. T. (2019). An examination of the long-term business value of investments in information technology. *Information Systems Frontiers*, 21(1), 213-227. <https://doi.org/10.1007/s10796-017-9735-5>
66. Srivastava, R. (2018). Big data retail analysis and product distribution (BREAD) model for sales pred

- iction. *Indian Journal of Computer Science*, 3(1), 7-16. <https://doi.org/10.17010/ijcs/2018/v3/i1/121853>
67. Sterman, J. D. (2001). System dynamics modeling: Tools for learning in a complex world. *California Management Review*, 43(4), 8-25. <https://doi.org/10.2307/41166098>
68. Sutton, R. I., & Hargadon, A. (1996). Brainstorming groups in context: Effectiveness in a product design firm. *Administrative Science Quarterly*, 41(4), 685-718. <https://doi.org/10.2307/2393872>
69. Tao, F., Cheng, J., Qi, Q., Zhang, M., Zhang, H., & Sui, F. (2018). Digital twin-driven product design, manufacturing and service with big data. *The International Journal of Advanced Manufacturing Technology*, 94(9), 3563-3576. <https://doi.org/10.1007/s00170-017-0233-1>
70. Tao, F., & Qi, Q. (2017). New IT driven service-oriented smart manufacturing: Framework and characteristics. *IEEE Transactions on Systems, Man, and Cybernetics: Systems*, 49(1), 81-91. <https://doi.org/10.1109/TSMC.2017.2723764>
71. Tao, F., Sui, F., Liu, A., Qi, Q., Zhang, M., Song, B., Guo, Z., Lu, S. C. Y., & Nee, A. Y. C. (2019). Digital twin-driven product design framework. *International Journal of Production Research*, 57(12), 3935-3953. <https://doi.org/10.1080/00207543.2018.1443229>
72. Tao, F., Zhang, L., Nee, A., & Pickl, S. W. (2016). Editorial for the special issue on big data and cloud technology for manufacturing. *The International Journal of Advanced Manufacturing Technology*, 84(1-3), 1-3. <https://doi.org/10.1007/s00170-016-8495-6>
73. Tolio, T., Bernard, A., Colledani, M., Kara, S., Seliger, G., Dufloy, J., Battaia, O., & Takata, S. (2017). Design, management and control of demanufacturing and remanufacturing systems. *CIRP Annals*, 66(2), 585-609. <https://doi.org/10.1016/j.cirp.2017.05.001>
74. Trott, P. (2017). *Innovation management and new product development* (6th ed.). London: Pearson Education.
75. Ulrich, K. T., & Eppinger, S. D. (2012). *Product design and development* (5th ed.). New York, NY: McGraw Hill.
76. Van Aken, J. E. (2005). Management research as a design science: Articulating the research products of mode 2 knowledge production in management. *British Journal of Management*, 16(1), 19-36. <https://doi.org/10.1111/j.1467-8551.2005.00437.x>
77. Wang, K., Tan, R., Peng, Q., Sun, Y., Li, H., & Sun, J. (2020). Radical innovation of product design using an effect solving method. *Computers & Industrial Engineering*, 151, 106970. <https://doi.org/10.1016/j.cie.2020.106970>
78. Wang, Y., Yu, S., & Xu, T. (2017). A user requirement driven framework for collaborative design knowledge management. *Advanced Engineering Informatics*, 33, 16-28. <https://doi.org/10.1016/j.aei.2017.04.002>
79. Wolff, F., & Amaral, F. G. (2016). Design management competencies, process and strategy: A multidimensional approach to a conceptual model. *Strategic Design Research Journal*, 9(3), 145-154. <https://doi.org/10.4013/sdrj.2016.93.02>
80. Yassine, A., Kim, K.-C., Roemer, T., & Holweg, M. (2004). Investigating the role of IT in customized product design. *Production Planning & Control*, 15(4), 422-434. <https://doi.org/10.1080/0953728042000238782>
81. Zhang, Z. (2020). Development of online collaboration tools (OCT) for collaborative innovation design.

- International Journal of Systematic Innovation*, 6(1), 55-70.
[https://doi.org/10.6977/IJoSI.202003_6\(1\).0005](https://doi.org/10.6977/IJoSI.202003_6(1).0005)
82. Zheng, L., & Liu, S. (2021). Research on the strategy of mobile short video in product sales based on 5G network and embedded system. *Microprocessors and Microsystems*, 82, 103831.
<https://doi.org/10.1016/j.micpro.2021.103831>
83. 王振琿、李穎杰 (2006)。灰關聯分析法輔助設計方案評價模式之建構。《設計學研究》，9(1)，43-62。
Wang, C. C., & Lee, Y. J. (2006). Establishing an evaluation model for design alternatives using grey relational analysis. *Journal of Design Science*, 9(1), 43-62. [in Chinese, semantic translation]
84. 何明泉、宋同正、陳國祥、黃東明 (1997)。影響設計策略之要素分析研究。《設計學報》，2(1)，79-92。
Ho, M. C., Sung, T. J., Chen, K. H., & Huang, D. M. (1997). A study of the effecting factors on design strategy. *Journal of Design*, 2(1), 79-92. [in Chinese, semantic translation]
85. 陳文亮、蘇于倫 (2007)。應用模糊綜合評價法輔助產品設計方案決選模式之研究。《設計學研究》，10(2)，73-94。
Chen, W. L., & Su, Y. L. (1999). Application of fuzzy synthetic evaluation method to selecting the product design schemes. *Journal of Design Science*, 10(2), 73-94. [in Chinese, semantic translation]
86. 鄧成連 (1999)。產品設計評價模式研究-側重不同專業角度之設計評價決策。《設計學報》，4(2)，89-98。
Teng, C. L. (1999). A study of product design evaluation: Emphasizing on the viewpoints of multi-disciplinary professional involving in design evaluating decision-making. *Journal of Design*, 4(2), 89-98. [in Chinese, semantic translation]

Constructing the Dynamic Design Decision Model in Light of the System Dynamics Method

Yen Hsu* Liyuan Liu*,** Faren Huo* **

* The Graduate Institute of Design Science, Tatung University
d10717015@ms.ttu.edu.tw

** College of Science & Technology, Ningbo University
liuliyuan@nbu.edu.cn

*** Pan Tianshou College of Architecture and Art Design, Ningbo University
huofaren@nbu.edu.cn

Abstract

Influenced by new information technologies such as the Internet of Things, cloud application and big data, the manager of product design companies should consider not only the factors that influence the design, manufacturing and marketing fields, but also the factors of the new information technology that has an impact on the design decisions. The influence degree of any factor has a great impact on each other, forming a situation that affects the body as a whole, and the wrong decision will be extremely unfavorable. Therefore, the study aims to construct a dynamic design decision model (3DM) which assesses the degree of being influenced by real-time response factors and assists in design decision-makings by employing the data from the model. The actual verification of the case company shows that the dynamic design decision-making model can present the key factors to achieve the decision-making objectives, helping improve the decision-making efficiency by putting forward specific suggestions and countermeasures for product design companies.

Keywords: New Information Technology, Product Design Company, System Dynamics, Design Decision Model, Influencing Factors.