

以系統動態觀點探討工程專案之時程管理— 以高雄輕軌候車站為例

林宣佑¹ 張揚祺² 潘隆吉³

中文摘要

專案管理學會提出的專案管理知識體系與營建之工程管理有互相呼應的管理方法。近年來，專案管理內的時程管理逐漸被臺灣工程界重視，進一步運用至如輕軌等新興工程專案。其中，管理面的改善多以質性研究為主，若有系統動態的模擬來分析專案進度，或能提供管理者不同思考。本研究以高雄輕軌標準候車站為例，與領域專家討論重要經驗軟變數，建構系統動態學模型，模擬工程專案執行的進度時程。由情境分析得知增派人力趕進度的成效優於超時加班。除了這兩種管理策略，減少遭遇問題的頻率，並改善解決的能力，會是治本之法。然而這需要從專案源頭與團隊程序運作著手，並由各介面成員共同努力來達成。

關鍵字：專案管理、時程管理、系統動態學、輕軌候車站工程

本研究承蒙高雄市政府捷運工程局及台灣世曦工程顧問公司捷運工程部專家們協助，特此致謝。

¹ 中山大學海洋環境及工程學系碩士畢業生。

² 中山大學海洋環境及工程學系教授。E-mail: changyc@mail.nsysu.edu.tw

³ 中山大學海洋環境及工程學系博士生。

1. 前言

1.1 研究背景與動機

工程建設專案為專案管理的其中一種專案類型，在數十年的發展後，管理運作方式已逐步成形。工程專案和許多專案相同，都包含專案管理中的範疇管理、時程管理、成本管理、品質管理……等在內的十大知識領域，並再根據各專案的獨特性，向下決定各項大小專案的細節管理操作。在各項知識領域中，各有一目標是其管理圍繞的主軸，專案前的計劃、專案中的執行與控制，皆是為了將此目標的結果達到最佳，如「品質管理」便是為了將產品或標的物在專案過程及結果產出時符合計畫與設計中的品質門檻，而進行管理的一套知識領域。

舉凡台灣中央或高雄地方政府興建的大小工程專案，其中或包含常見的辦公行政大樓，如高雄市立圖書館總館；或包含造型設計鮮明的大型場館，如高雄展覽館；或包含講究技術統整的新型車站，如新左營三鐵共構車站站體。而不論各專案如何獨特，專案管理始終不脫「如期如質如預算」的基本理念。因為現實環境中，時間、品質及金錢三者常無法同時達至最佳成果，因此專案進行的前中後期攸關業主需求的變動與專案管理者的調度手腕。在許多案例中，在最終驗收轉交時，常有符合標準品質門檻的檢驗，對於成本管理也總是有預算超支的上限，三者權衡之間影響著整體專案時程，也間接或直接造成時間管理的延宕壓力。

對於高雄輕軌的興建而言，工程專案擁有含括軌道路線、輕軌機廠、候車站及愛河高架橋等在內的許多內容，技術上雖不若需地下化施工的捷運複雜，但進行帶狀路廊的工程也是耗時超過數月。其中，軌道施工與候車站的興建更是緊鄰主要道路或是一般社區，如期完工以減少施工過渡期造成的交通黑暗期就成了居民大眾關切的重點。

近年來國內有學者研究工程專案各面向管理或是針對捷運或輕軌的施工時程延誤因素(趙靖安，2011；林慶兒，2016)，然而其中多以如問卷蒐集的質性研究去歸納討論。若能將人員管理、工作快慢及問答效率等影響時程進度之因子建模量化並模擬進行的結果，相信能讓管理者在未來同類型工程的安排上更有把握。本研究嘗試以高雄輕軌為例，模擬討論工程專案中的時程管理。當專案環境中提問頻率增大或釋疑解決能力不佳時，進度曲線會有多少程度的變動。當進度曲線有不同程度的延誤時，如何調整現有的管理策略使之能在固定專案天數下及時完工，而這樣的

調度又會對團隊人員有何影響。

1.2 研究區域

本研究以高雄輕軌一階段的第12個候車站駁二大義站的施工為例。駁二大義站為輕軌一階段14個候車站的其中一個標準車站，車站路線位置位於真愛碼頭站與駁二蓬萊站之間。車站地理位置座落於高雄市鹽埕區駁二藝術特區內，大義街路衝正對著車站南緣。站體施工範圍與高雄港區、大義C6倉庫、大勇P2倉庫、大義街及新化街相鄰，屬於觀光人車密集之處，如圖1所示。



《圖1》 本研究案例區域（圖片摘自環狀輕軌統包工程計畫）

2. 文獻回顧

2.1 專案管理知識體系

二次大戰後，各國的工業與科技開始蓬勃發展，不論在資訊科技或工程建設上都有革命性的邁進。對於冷戰時期的美國與蘇聯兩大強權，國防軍武上互相突破更是彼此競爭的重點。隨著時間進展，一個新名詞「專案」以及它的管理運作模式「專案管理」便慢慢孕育而生。

所謂專案(project)，係指一種暫時性的努力以創造出一項獨一無二的產品、服務或結果(國際專案管理學會，2007)。其中，暫時性表示每個專案都有一個明確的起始和終止，意即各專案皆有一定的期程，並非永無止期地持續進行。而上述所指

的產品、服務或結果，就是專案產生獨特的交付標的，如新式複合型辦公商業大樓建造、虛擬抽象的資訊系統平台或是可以量化的手機產品物件。

專案管理歷經數十年的進化演變，由國際專案管理學會(2007)整理定義如下：「應用知識、技能、工具和技術於專案活動上，以符合專案之需求。」專案管理者（專案經理）的首要任務，就是平衡品質、範疇、時間及成本間相互競爭的需求，同時建立清楚可達成之目標。

國際專案管理學會(Project Management Institute, PMI)在數十年來的努力下，已把許多前輩經驗彙整出版成書，提出專案管理知識體系(Project Management Body of Knowledge, PMBOK)，建立專案管理的十大知識領域——整合管理、範疇管理、成本管理、品質管理、時程管理、資源管理、溝通管理、風險管理、採購管理及利害關係人管理。各領域皆以「起始、規劃、執行、監視與控制、結束」等五大流程群組做出基礎的規範，以使各類型專案能一般化適用。

2.2 專案時程與工程進度的管理

本研究欲探討專案管理中的時程管理，討論「如期完成」所關聯的要素。在時程管理中，已有不少工具及技術被活絡使用，如時程網圖分析(Schedule Network Analysis)、要徑法(Critical Path Method)、假設情境分析法(What-If Scenario Analysis)或時程壓縮(Schedule Compression)……等約 10 種工具技術（國際專案管理學會，2007）。

Voropajev (1998)提及專案工作的變更會影響結果成功的估計把握，並使專案中活動的為期長短變得緊迫或寬裕。Hamzah et al. (2011)將造成工程建設延宕的原因分為三大類：非情有可原的(non-excusable)常來自承包商的延誤，如施工錯誤造成重做；情有可原但需承擔賠償(compensable)的延誤如合約修改；環境並存的非賠償類型延誤，如風災洪患、勞工糾紛與罷工。許多的延宕情事大多並非科技或技術上的困難所導致，主要還是在於人的互動處理與管理方式。

趙靖安(2011)以系統思考的目標趨近基模探討捷運修繕專案的複雜行為問題。當採取趕工或加班的策略時，專案最害怕的就是忽略或疲勞造成的重作(rework)。由羅靜淑(2013)可知源頭的計畫或設計不佳是造成延誤的根本原因，也導致時程、品質與成本的漣漪效應。林慶兒(2016)問卷調查輕軌整體的統包案，認定在施工

階段影響進度及發生頻率較高的原因有六項：介面整合能力不足、施工管理不良、財務困難、缺乏溝通協調、設計疏失及錯誤及發包作業緩慢。國內的研究較多以質性彙整及問卷分析為主，較少量化模擬。

2.3 系統動態學應用在工程專案

Love et al. (2002) 認為營建專案的管理系統是動態變動的，其中的不確定性 (uncertainties) 能釀成變更及造成重作，而兩者正是造成專案進展緩慢的主因。研究裡的案例（六層樓住宅公寓大樓建案）亦指出一項訊息：在專案溝通部分，單就屋頂設計的90多個提問資訊與釋疑 (Requests for Information, RFIs) 就能造成六星期的延誤，影響程度同樣清楚有感，且此狀況是可以試圖改進的。

Moonseo & Feniosky (2003) 以系統動態學模型將工作導入、執行、品質確認、完成（釋放）、資訊提問請求到變更與否的決策等流程完整模擬。學者認為劣質工作品質、差勁的工作環境及條件、外部範疇改變以及上游工作潛在的變更是造成此刻手頭上工作非期望變更 (unintended change) 的主因，並由此孕生大小問題。研究內更重視上下游工作的連帶影響關係，認定上游工作的潛在變更及錯誤會對下游工作形成骨牌效應的衝擊。除了彈性控制人力能節省時間與成本外，縮短勞動人力招聘耗時及 RFIs 解決回覆耗時，將對專案時程及預算更有貢獻。

經由回顧內容可知，工作速率、提問釋疑、重做或變更是時程進度的重要因素 (Motawa et al., 2007; Han et al., 2013; Nasirzadeh & Nojedehe, 2013)。同時，工作速率快慢更是關乎於所有工程人員本身的互動。

3. 研究方法

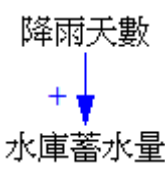
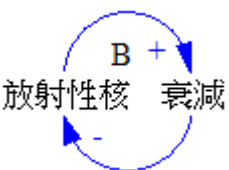
3.1 系統動態學

系統動態學 (System Dynamics) 由美國麻省理工學院的 Jay W. Forrester 教授所提出，透過電腦模擬來理解與應對動態複雜的問題 (Forrester, 1961)，源自於工程或自然科學，應用在管理、社會或跨領域動態複雜的問題。系統動態學建模的工具具有因果環路圖 (Causal Loop Diagram) 與積量流量圖 (Stock-Flow Diagram)。

因果環路圖利用箭頭線表示兩個變量間的因果關係，由因指向果，稱為因果鏈 (causal link)。如果因變量變大（小），果變量就變大（小），因、果變量變化的方向

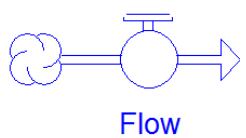
相同，在箭頭線上標示「+」，稱為正因果鏈；如果因變量變大（小），果變量卻變小（大），因、果變量變化的方向相反，在箭頭線上標示「-」，稱為負因果鏈。因果鏈的连接可以形成封閉的正回饋環路(positive feedback loop)與負回饋環路(negative feedback loop)。正回饋環路的行為會有放大的效果，又稱為增強環路(reinforcing loop)；負回饋環路或稱為調節/抵消環路(balancing/counteracting loop)則是一個動態的收斂過程，即其狀態會朝向某種邊界或某個目標前進，不斷地縮小差距，最後成為一個穩定的狀態（屠益民及張良政，2010）。表1整理因果環路圖各元素的例子。

《表1》 因果環路圖各元素的例子

正因果鏈	負因果鏈	正回饋環路	負回饋環路
			

積量流量圖顯示因果環路圖的具體操作模型，經量化方程式可以電腦模擬，變量可以是積量、流量或輔助變量。本研究的積量流量圖是以STELLA軟體建構，表2簡單介紹閱讀積量流量圖的主要元件。

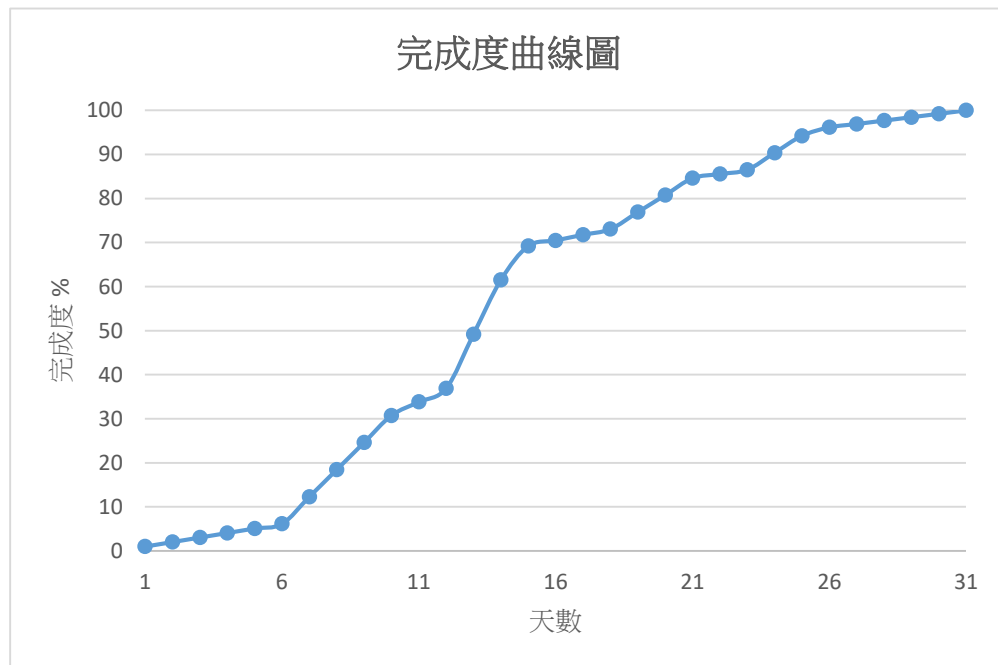
《表2》 積量流量圖主要元件圖例簡介

元件圖示	名稱	數學意義	內容
	積量 Stock/ Level	Y	變量具備可累積特性，藉由另一變量（流量）改變累積的數量
	流量 Flow/ Rate	$\frac{dY}{dt}$	隨模型之時間 dt 變化，根據流入及流出之量，可以累積加減積量
	輔助變量 Auxiliary	C, x, $f(x)$, $f(t)$, ...	建立模型更清晰的中間變量，包含常量及數學函數項目等

3.2 資料蒐集

研究初期我們與高雄市政府捷運工程局及台灣世曦工程顧問公司（於本研究以下內容簡稱：世曦）捷運工程部幾位專家會面討論，表達想研究的主題與可能研究的方式。研究中期，在文獻研究因子蒐羅完成、繪製因果環路圖以及嘗試建立積量流量模型時，二度拜訪兩造專家。仔細解釋想探討輕軌候車站興建進度的模擬後，取得施工日誌。本研究自施工日誌中，截取整理關於工程進度以及施工人力數資料。施工日誌記載自民國105年12月至106年7月，逐日的所有事項紀錄。然而，施工日誌當中除了總體預定進度(%)及總體實際進度(%)之外，並無針對各主要建造目標(如：候車站)有明確的完成進度累計。在電郵及致電詢問世曦的專家後，確知單一車站的進度僅能由完成數量估算而得。

故本研究將C12地坪工程和C12天花工程的工作逐日完成數量抽出整理，並參考複價的換算方式，以單價為參考權重，得出完成度累計的數據。同時參考「重要事項紀錄」將有針對C12駁二大義站施工的工作日抽出列整，C12駁二大義站的地坪工程及天花工程施工天數共計31天。在工程進行中，並不會逐工作日一一記錄完成度，例如：施工前六天都有動工，但僅至第六天方有完成度紀錄。因此，針對空白無紀錄的天數以內插法計算，最終得到如圖2所示的完成進度曲線圖。



《圖 2》 完成進度曲線圖

3.3 因果環路圖

我們以工作執行流程與RFI架構來詮釋工作實體由導入至完成的生命週期。然而，對於專案現場而言，除了會直接影響工作執行流程的「變更」、「重做」及「提問釋疑」之外，尚包含與人員相關的各種因子。因子們會直接或間接的影響勞動生產力的優劣，也就決定了工作速率的快慢。因此整體的因果環路圖如圖3所示。

B1 是超時加班調節環路。環路圖中的方格框變量如最終完成工作(Work done)為積量。當目前專案進行中的完成工作累積量少於預定狀態，管理者可透過換算得知需要多少工作天才能趕上理想完成進度。在管理者拿捏的把握中會有個容忍的上限值，若偏差的工作天數超過容忍值，則會採取超時加班的策略。延長單日的工作時間以提高勞動生產力，加快工作速率，更進一步修正完成工作量進度。

B2 是增派人力調節環路。當管理者同樣身受延誤偏差的壓力時，除了超時加班外，該延誤造成的偏差會使管理者嘗試增派額外的人力至當下團隊。人力總數增加並明顯提升了勞動生產力、加快工作速率，使完成工作的進度量增多至平衡值。相對地，若完成工作進度並無落後或甚至該單位時間是領先的，則無壓力的管理者就不會採取增派人手的策略，以精簡人力成本。

超時加班調節環路B1之所以不能隨意採用，在於頻繁的採用將造成工作人力疲勞(Fatigue)的累積。若工作成員經常處於疲累狀態，將直接使勞動生產力低落，並接著使工作完成進度延誤，形成疲勞增強環路R1。因此，管理者拿捏的容忍偏差天數，也就顯得相當重要，若不是非常時期為了挽救大幅落後的工期，超時加班策略的採用不能泛濫。

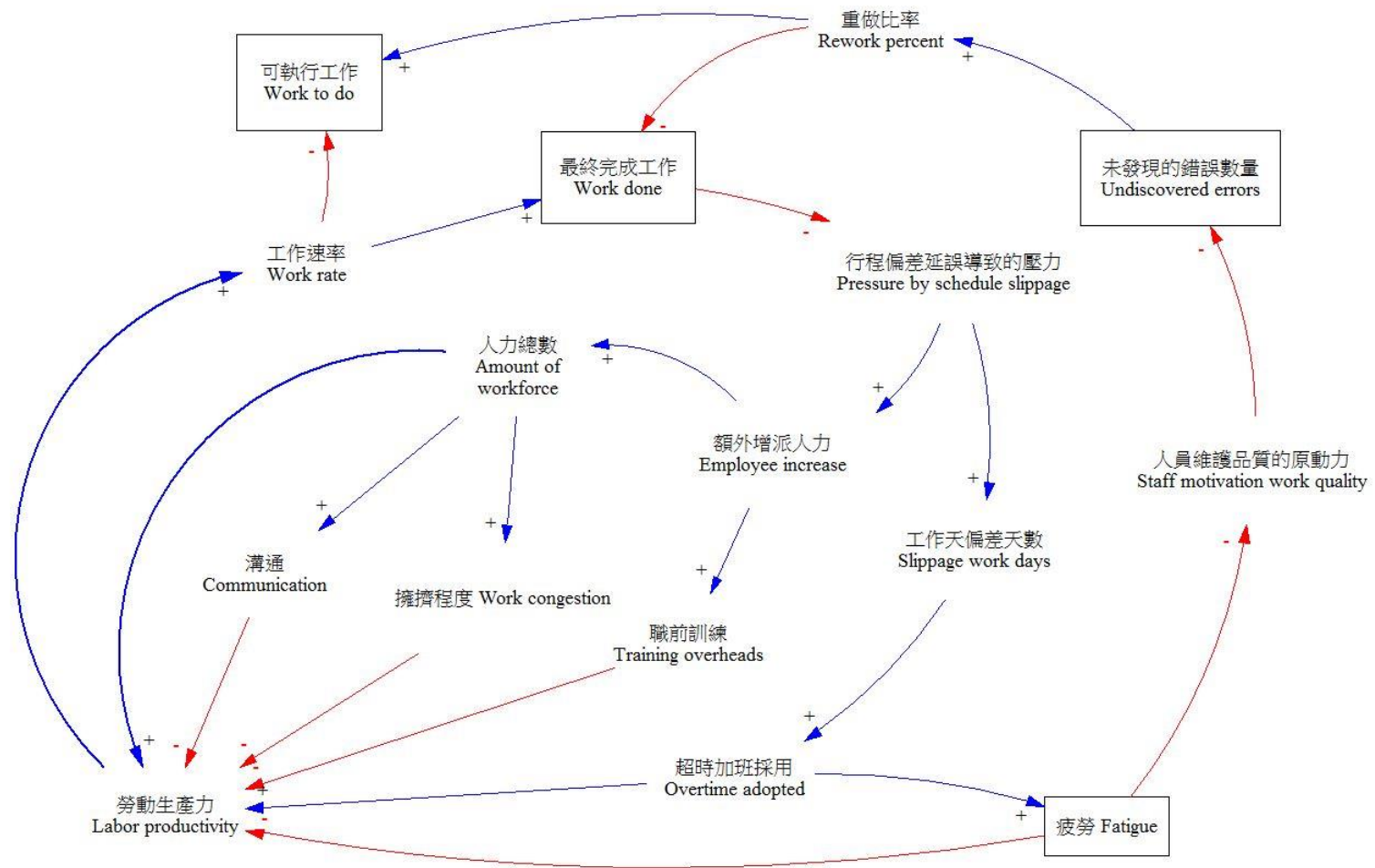
品質與重做增強環路 R2 同是由加班疲勞所引動，並和品質維護與錯誤數量相關。當團隊因超時加班而呈現疲累狀態時，會逐漸喪失對品質維護上的謹慎小心及嚴肅態度，故造成潛在未發現的錯誤數量增加並提高重做比率，因此使得已完成工作的重做情形變多而造成延誤。如此一來，因延誤而採加班盼能改善困境的初衷，卻反而產生更多延誤。

溝通及擁擠增強環路 R3 及 R4 皆為人力總數因子所衍生的負面因素。當管理者感到進度壓力而增派額外人力時，雖然可直接提升勞動生產力，但因專案現場的人數向上攀升，故需花費在團隊合作中順暢溝通或訊息傳達的時間成本便增加許多，因而對勞動生產力產生折減；而具體的施工現場中，空間面積是固定有限的，若現場人數增加超過一約定或經驗的上限值，現場的擁擠將使每個工人所能擁有的面積

非常狹小，導致代表效率的生產力減少。這些牽制效果將使額外增派人手的管理策略成效上有一定程度的折損。

職前訓練增強環路 R5 類似於上一段說明的溝通增強環路，不同在於職前訓練是直接受到額外增派人力影響。當管理者決定額外增派人手至團隊時，這些新人每人雖也是代表著一個人頭數的人力，但他們對工作的熟悉度必不如固定排定的成員。而新人力數量多時，對於固定成員在交代工作細節與初步磨合上都會要多花費心力。因此，大量額外新人力的增派雖可加快工作速率，但背後的職前訓練因素也牽制著這項管理策略的成效。

整體因果環路圖的增強環路在現地的管理中並不會真的產生「完成工作進度領先時而回饋增強並醞生更多領先」，關鍵在於工作進度領先時管理者並無任何偏差壓力；相反地，增強環路只有在偏差壓力存在時，藉由管理者採取加人或加班策略調節，產生副作用般的負面循環增強效果。



《圖 3》 整體的因果環路

3.4 積量流量圖

整體系統動力學模型如圖4所示，模型無明確切分不同子系統，然可依模型因子的性質面向不同，粗略概分成上半部及下半部。

模型的上半部主要講述工作量的生命週期，由等待完成、遇到疑問並提問請示資訊、問題解決釋放回到待做狀態、已做完但等待檢查確認至最後已確定完成，待完成的工作量由 100% 下降至 0%，而已確定完成的工作量由 0% 上升至 100%。同時，已確定完成的工作量即是代表著進度完成量，而進度累積完成的快慢，則受著許多因素影響。工作流動進行的過程，便是系統模型中的實體流，藉由如工作速率或問題解決速率的流量，來控制模擬進行時的流動。下半部講述因應進度累積完成的情形，所做的兩大管理策略，策略的激進或寬鬆取決於偏差的壓力程度。

本研究的模型著重在於工作量累積完成的進度，而進度的進展趨勢主要由勞動生產力所驅動。勞動生產力在專案管理與營建管理中的定義及計算相當精細與複雜，並包含了許多實際面的突發事故干擾或細節考量，確切的生產力數值會細分至「單一個人」的生產力大小，並再總合得知專案現場的總體勞動生產力能量。

在本研究建立的模型中，針對勞動生產力的各項軟變數並無實際觀察資料，僅由專家經驗給定相對大小（在第三次拜訪世曦顧問公司時，請專家以過去的專業經驗，來相對給定不同因子對勞動生產力的衝擊大小的軟變數參數）。針對此一研究限制，本研究將勞動生產力的計算由「單一個人」精簡至直接估算「現場團隊」。此項假設可包含人力數增減情形，故與原定義中的計算個人再總合至整體無明顯偏誤。模型中的勞動生產力會受到總人力數、溝通、擁擠程度、新人職前訓練、超時加班、疲勞等因子影響而產生變動。

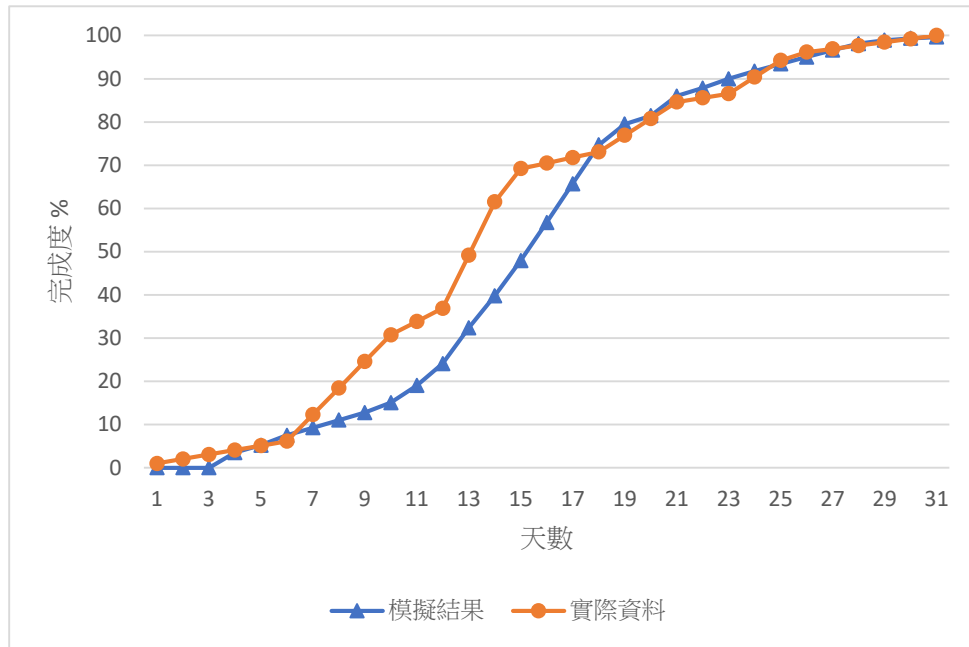
4. 結果與討論

4.1 模型檢測

在文獻回顧時，發現不論是針對專案管理中的哪一領域，專案工程的系統動態學研究有不少吻合的共通點。本研究的模型由文獻中的幾種工作流程模型修改精簡、聚焦重點架構，模擬工作的生命週期。因此檢視模型的結構（Sterman, 2000）應為工程專案管理之學界業界所能接受之假設。

本研究的模擬以專案固定天數為底，各積量或流量的單位皆為「%工作量」，其它包含人力數、錯誤個數、超時加班次數等，在各函數計算式當中皆有相當明確的單位。而勞動生產力受到諸多因子與軟變數參數相乘轉換，是較為複雜一環，本研究檢查了各變數的具體單位，確保單位一致性的成立。

行為再造測試主要檢測模型行為是否與現實世界的變化趨勢符合。本研究模型對應歷史數據資料的部分為「最終完成工作Work finally done」積量，完成工作量代表的便是模擬進行的專案進度情形。本研究加入了PEST(Parameter ESTimation)這套輔助程式來協助校正模型中的參數，PEST軟體可以建立模型參數並讀取STELLA軟體每次計算之輸出值與歷史資料的數值距離差距，找出最小誤差距離的參數值組合。模擬結果如圖5所示，三角形點標曲線為模型結構模擬的行為，圓形點標曲線為案例資料進度。整體趨勢貼近實際案例，尤以專案中段天數之後的吻合能達到模型檢驗的效果，對於情境模擬時的數種延誤偏差比較程度，能給予一個參考標準。



《圖5》 工程專案進度之歷史值與模擬值

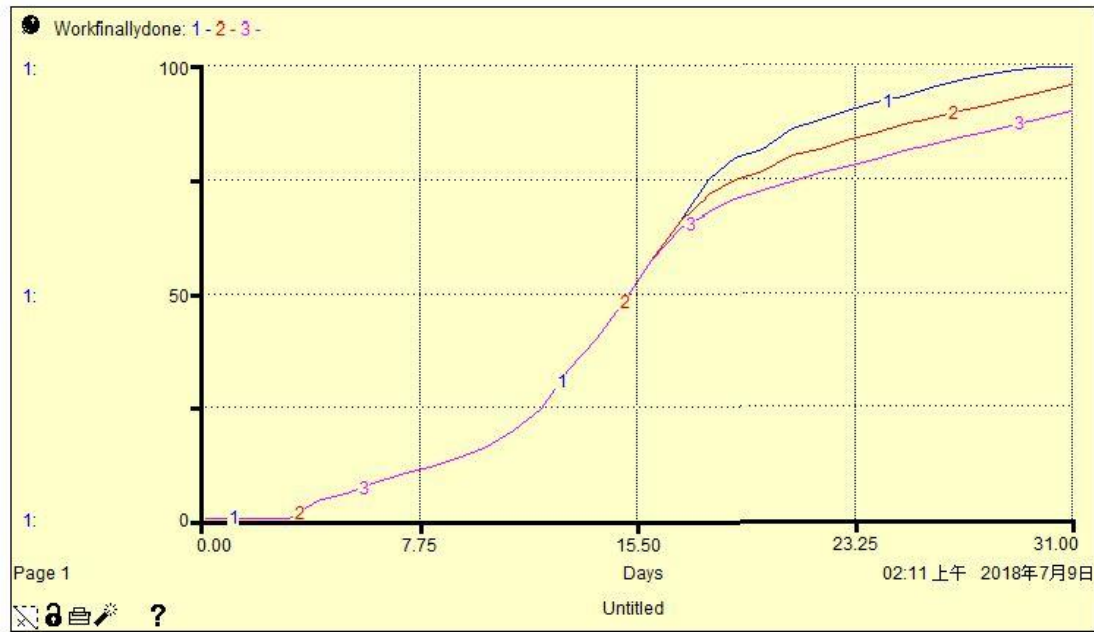
4.2 情境模擬與分析

情境模擬是想探討如果進度延誤是由於問題(RFI)的提問比率增加或問題解決能力變差，對進度完成有多大程度的偏誤？當面臨此情此況，管理者採取加派人力或超時加班的策略能修正到什麼程度？

因此情境模擬共調整設定四個參數因子，分別為「提問比率questionper」、「解決能力fixresolve」、「偏差加派人力參數employee coe」與「工作天偏差容忍上限toleratelimi」。

4.2.1 不同提問比率(questionper)的情境

不同的提問比率分別形成準時完成、輕微落後及嚴重落後的狀況，如圖6所示。仔細觀察可以發現專案在第17天以前，模擬2與模擬3是能跟上預期進度的，但因兩者停滯在RFI的工作量慢慢累積增多，終於在第17天開始出現延誤。



《圖 6》 問題率多寡的進度比較圖

單獨增派人力的策略可以修改「偏差加派人力參數」來測試。修正後的管理策略對專案現場是相當敏感的，若開始有延誤出現便會動用更多人力來阻止傷害擴大。在較多落後的情況下，不解決「遭遇問題率太高」的根本因素並從源頭化解，而只一味增派人手是無法解決的。

單獨採取超時加班的策略可以修改「工作天偏差容忍上限」來測試。超時加班造成的影響效果有限，畢竟原班底人馬在工程額外時間（如：夜晚）加班趕工，也僅能多獲得「0.5個工作天的成果」，效益上遠不如管理者不顧預算超支，直接額外加派3倍或4倍的人力來趕工。疲憊(Fatigue)恢復的快慢（流量）已是相當快速，因此疲勞造成的潛在錯誤產生的負面影響相對微小。

4.2.2 不同提問比率與不同解決能力的組合情境

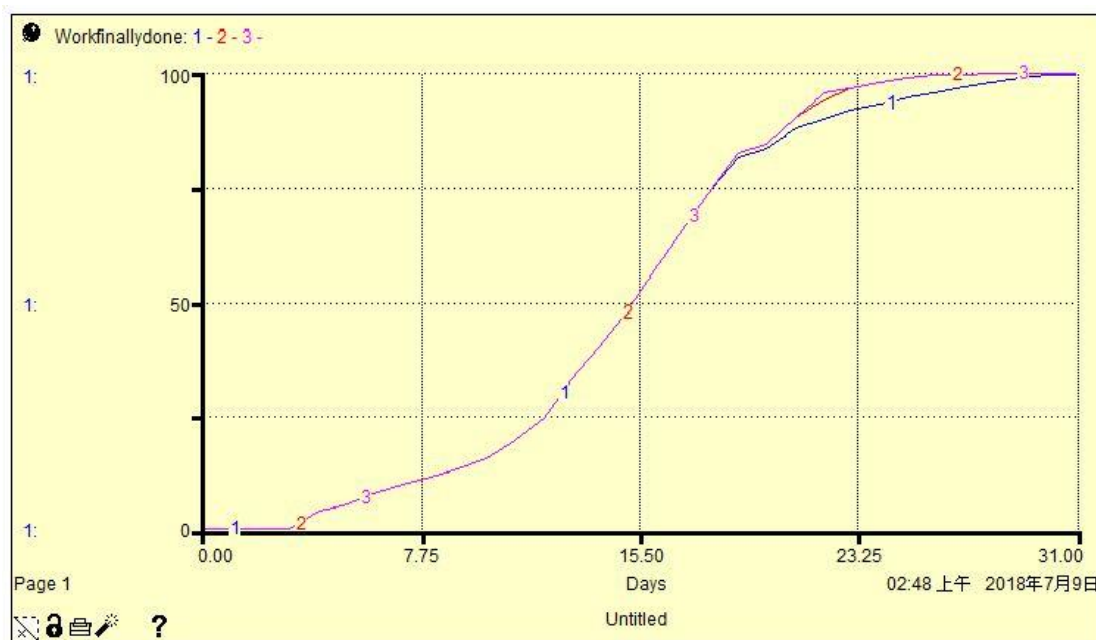
對於系統內的待做工作而言，兩個流入(inflow)與流出(outflow)的流量「提問速率question」及「釋疑解決速率resolve」一起控制著工作量在RFI積量停滯的情形。在專案現場中，正是對應了問題處理的效率一環，若設計及規劃安排妥當，則提問比率可能較低（狀況佳）；反之則可能提問比率較高（狀況糟）。同理可證，若解釋疑問及解決問題的角色人員（如：業主或設計單位）效率或能力出色，則解決能力參數較高（狀況佳）；反之則解決能力參數較低（狀況糟）。工作流程源頭的這兩個

連接環節，若模擬同現實情況一樣分別有「較好、普通、較差」，則專案的模擬進行會有對應不同的景況。

《表3》 提問解決的情境組合表

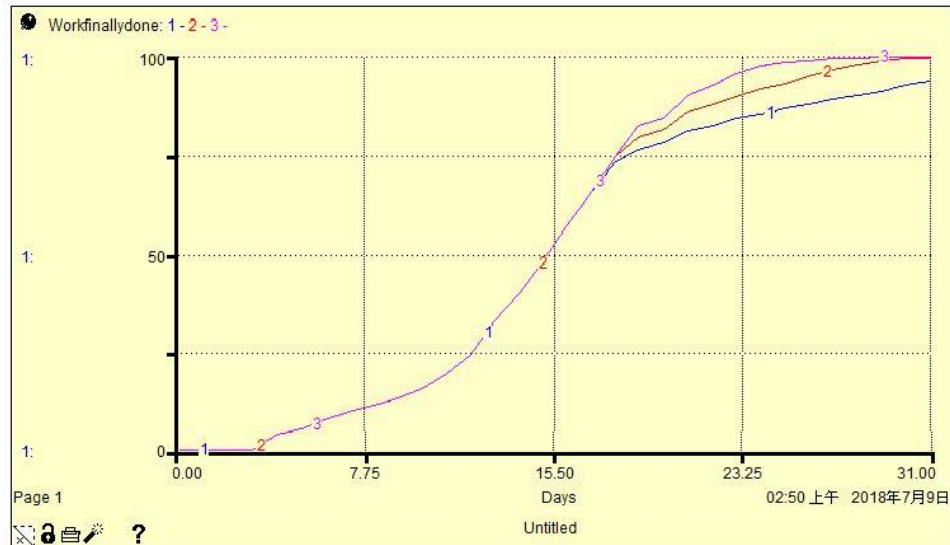
參數名稱	說明	對專案較好	對專案普通	對專案較差
questionper	提問比率	0.02705	0.03705	0.05705
fixresolve	解決能力	1.98525	1.58525	1.18525

本小節依序模擬表3九種組合的進度曲線結果，比較其間的好壞變化程度。首先，當「提問比率」較少(0.02705)，解決能力較差(1.18525)、普通(1.58525) 及較好(1.98525)的進度圖如圖7所示。由結果可見，三者皆在第31天專案模擬結束前完成100%，即使是解決能力較差的模擬1在中後段過程微微落後，也能如期完工，由此顯見「提問比率」反而在這組模擬扮演關鍵因素。



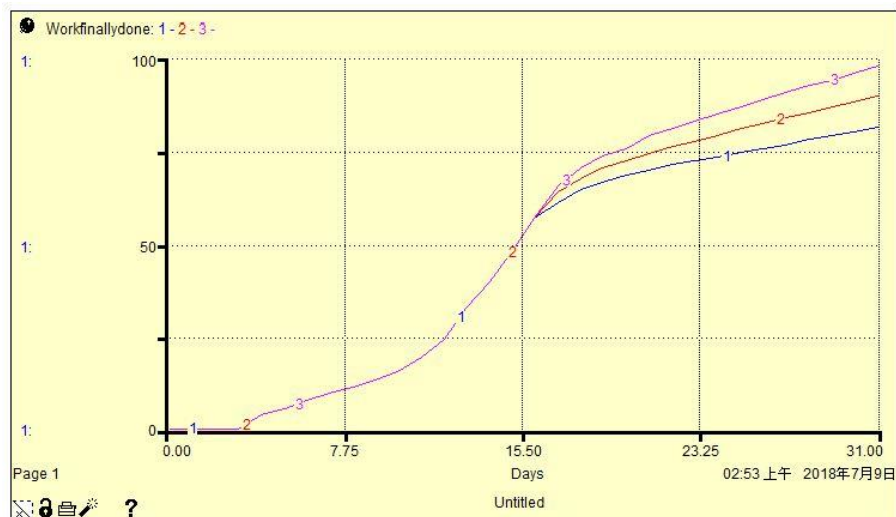
《圖7》 問題少，不同解決能力的進度圖

當「提問比率」正常大小(0.03705)，解決能力較差(1.18525)、普通(1.58525) 及較好(1.98525)的進度圖如圖8所示。其中，僅有解決能力較差的模擬1最終完成94%工作量，另外兩者皆如期完成100%。模擬1的延誤產生於專案進行的第18天，肇因於釋疑解決成員無法化解最多累積至峰值20%的RFI停滯工作量。



《圖8》 問題正常，不同解決能力的進度圖

第三組「提問比率」較多(0.05705)組合三種解決能力的進度圖如圖9所示。由模擬結果發現最極端（問題多解決差）的模擬1在專案中後段天數延誤時，確實有偏差壓力產生策略效果的回饋，使勞動生產力增加。然而，中後段天數延誤的癥結點在於RFI的大量工作停滯，故形成「空有巨大做事能量卻無工作可做」的狀態。



《圖9》 問題多，不同解決能力的進度圖

在九種組合的模擬進度中，共有5種組合是如期完成工作，其餘4種組合各有不同大小程度的延誤偏差。本節最後進行的偏差修正，是以模型檢測時使用過的優化程式PEST來調整兩種管理策略參數（加人與加班）進行組合管理策略，尋求修正未如期完工4種組合的最佳解。統整數值製成一可交叉比對的表格，如表4所示。

《表4》 組合管理調整交叉比對表

次序	fixed resolve	question percent	完成進度	增派人力的 參數	toleratelim (工作天)	額外增 派人力 總數	超時加 班總次 數
1.	1.18525	0.02705	100				
2.	1.58525	0.02705	100				
3.	1.98525	0.02705	100				
4.	1.18525	0.03705	94→98	1.976	2	161	0
5. (base run)	1.58525	0.03705	100	0.5	2	68	7
6.	1.98525	0.03705	100				
7.	1.18525	0.05705	81→92	10	2	1364	2
8.	1.58525	0.05705	90→97	3.545	0.727	349	9
9.	1.98525	0.05705	98→100	1.227	0.631	91	7

表4中的留白列代表未進行PEST校正。綜合比較而言，在提問比率多的狀態下，不論解決能力好壞皆有偏差需校正管理策略。值得注意的是，表格次序7的模擬中，校正完的增派人力參數已達上限值(10)，且增派的31天加總人力數突破1000人，是實際現場不可能真正採行的策略。問題癥結點根源即當RFI停滯工作量失控，管理策略採激進極端也無法真正解決問題。

5. 結論與建議

本研究以輕軌標準候車站的施工資料建構包含工作流程執行及人員管理策略的系統動態學模型，模擬工作進度完成情形，並在情境分析改變對時程有影響的因子數值，模擬出因子可能造成的偏差程度。接著調整對應策略的因子數值，嘗試修正

偏差的進度量。

通過情境分析結果得知，超時加班的效果有限，原因在於一次加班所產生的額外生產力僅半個正常工作天，相對整體進度而言不大。而額外增派人力是比較有效的管理策略，但除了數個負面因子造成的折減影響外，「如預算」的壓迫也是管理者運用此策略的限制。認清進度偏差的主因，避免勞動生產力提供的能量在現場空轉，「人力充沛卻無事可做」會傷及資源運用的效率。若專案進度延誤問題是由於過多的 RFI 工作量停滯，則需針對問題癥結點去做根源性的改進。

若未來的管理者擔憂 RFI 的流量造成的影響，有心想做出改變或改進，也許需由更整體的專案配合著手，包含如廠商遴選或單位介面之間的互動，都是更根源的關鍵要素。

在與專家幾次的會談討論中，提及對於人員管理的專案調度的許多面向，皆與金錢相關。且金錢預算成本原就屬於專案管理宗旨中，「在範疇內如期如質如預算」的元素之一，故專家建議往後的相關延續研究應當包含金錢在內。若系統中能有專案預算支出的設定，則管理者不同調度的運用將會產生更多回饋影響，使研究模型能更全面系統性的探討，並能更貼近現實專案現場的運行。

6. 參考文獻

林慶兒(2016)，統包工程施工階段影響進度原因之探討-以高雄輕軌為例，國立高雄應用科技大學土木工程與防災科技研究所碩士論文，高雄市。

國際專案管理學會(2007)，*專案管理知識體系指南(第三版)*，臺北市：博鴻國際專案管理顧問股份有限公司。

屠益民、張良政(2010)，*系統動態學：理論與應用*，臺北市：智勝文化事業有限公司。

趙靖安(2011)，系統思考在捷運修繕專案管理之應用，中華大學土木工程學系碩士論文，新竹市。

羅靜淑(2013)，以系統思考探討營建工程設計與施工之介面問題，國立高雄第一科技大學營建工程研究所碩士論文，高雄市。

Forrester, J. W. (1961), *Industry dynamics*, Cambridge, MA: Productivity Press.

Hamzah, N., Khoiry, M. A., Arshad, I., Tawil, N. M., & Che Ani, A. I. (2011), "Cause of

- Construction Delay - Theoretical Framework,” *Procedia Engineering*, 20, 490-495.
- Han, S., Love, P., & Peña-Mora, F. (2013), “A system dynamics model for assessing the impacts of design errors in construction projects,” *Mathematical and Computer Modelling*, 57(9), 2044-2053.
- Love, P. E. D., Holt, G. D., Shen, L. Y., Li, H., & Irani, Z. (2002), “Using systems dynamics to better understand change and rework in construction project management systems,” *International Journal of Project Management*, 20(6), 425-436.
- Moonseo, P., & Feniosky, P.-M. (2003), “Dynamic change management for construction: introducing the change cycle into model-based project management,” *System Dynamics Review*, 19(3), 213-242.
- Motawa, I. A., Anumba, C. J., Lee, S., & Peña-Mora, F. (2007), “An integrated system for change management in construction,” *Automation in Construction*, 16(3), 368-377.
- Nasirzadeh, F., & Nojedehe, P. (2013), “Dynamic modeling of labor productivity in construction projects,” *International Journal of Project Management*, 31(6), 903-911.
- Sterman, J. D. (2000), *Business Dynamics: Systems Thinking and Modeling for a Complex World*, Boston: Irwin McGraw-Hill.
- Voropajev, V. (1998). “Change management—A key integrative function of PM in transition economies,” *International Journal of Project Management*, 16(1), 15-19.

Schedule Management of Construction Project using System Dynamics— A case study of Kaohsiung Light Rail Station

Syuan-You Lin¹ Yang-Chi Chang² Tony L. K. Phuah³

ABSTRACT

The Project Management Body of Knowledge (PMBok) proposed by Project Management Institute (PMI) is similar to conventional construction management. Recently, schedule management gets more attention in the engineering field in Taiwan, and then be used in emerging construction projects such as light rail. There are many qualitative studies for management improvement. If we can simulate dynamic behavior to analyze project schedule dynamics, managers can have different views. We build a System Dynamics model to simulate the project schedule for the construction of Kaohsiung Light Rail Station, after discuss soft parameters with domain experts. Scenario analysis shows that the effect of increasing manpower to meet project schedule is better than working overtime. Reducing the RFI (Requests for Information) percentage of the question asked and improving the solving ability are the most important of all. Therefore, a project manager should improve teamwork process in the beginning of the project for better schedule management.

Keywords : Project Management, Schedule Management, System Dynamics, Construction of Light Rail Station