

臺北捷運系統工程管理之回顧與展望

張培義¹ 劉秋樑² 黃荻昌³

摘 要

台北捷運工程自籌備處成立，迄今已將近二十年頭了，初期建立的制度，今日看來為達永續經營，各種管理機制，不得不駐足重新思考，所謂好還要更好，不合時宜條款、策略，多應積極改善與調整，本局擔當高雄捷運公司諮詢顧問，高雄捷運規設及施工系統整合事務，不時個案請益案日增，又亞新顧問公司請求技術規範製訂審查、中興顧問公司洽辦中正機場線系統整合與軌道諮詢、亞新顧問公司台中捷運建設土建及機電規設諮詢服務及昭凌顧問公司要求協助台北環狀線1.技術諮詢 2.技術文件審視 3.提供個案訓練 4.價購技術資料之同時，又正逢知識經濟爆發時代，本局早期由ATC美國捷運公司擔當總顧問時提出那一套管理機制，雖然為台北捷運奠定良好的工程管理基礎，但是數位資訊設備、網路與無線傳輸被大量應用之際，確有一些應及時順應時勢調整之必要，否則兩三年後被別人趕上即會被淘汰。因此及時思考今後的路如何走，保持最佳狀態為當務之急。回想台北捷運建設至今，獲得不少掌聲，固然值得讚揚，但是以前瞻與競爭力角度觀之，身為捷運建設的一份子，要如何將捷運建設推向更高的境界，確實值得靜思一番。當今世界先進國家現代化都會區城市都積極建設修築捷運系統，奧運主辦國更是無不積極推動捷運建設，向世界各國展示其現代進步的象徵，但是捷運建設越來越普及化的今天，如何比較哪個城市的捷運建設最安全最便捷呢？對工程技術而言，我們要追求的是什麼？我們應該站在什麼角度看待捷運工程？日本新幹線聞名於世，不僅是其快速與美觀，而是其系統安全與穩定度傲人的性能指數。因此，簡單的說就是在追求別人辦不到的您辦到了，或者說那就是技『藝』。本文筆者企圖以『系統觀』角度回顧台北建設未來之工程管理，以供作為展望未來捷運建設工程管理的思維參考。

關鍵詞：系統觀，管理要素、品質管制（QC）、品質保證（QA）、系統工程、系統工程統一觀念、系統工程領域三個空間、系統工程整體架構、系統工程管理、專案管理（計畫管理、時程管理、成本管理、資源管理、契約管理）、風險管理、型態管理、品質管理、資料管理

1 台北市政府捷運工程局 副局長

pychang@trts.dprts.gov.tw

2 台北市政府捷運工程局 工務管理處 處長

clliu@trts.dorts.gov.tw

3 台北市政府捷運工程局 總工程司室 正工程司

davidhwa@trts.dorts.gov.tw

The Past and Future of Construction Management on the Taipei MRT

Pei-Yi Chang Chiu-Liang Liu Ti-Chang Hwang

Abstract

Although the construction of Taipei MRT has won enormous positive reputation, in the future, the construction management implemented in Taipei MRT shall be even more visionary and competitive. Being members of DORTS, how to further enhance the quality of Taipei MRT construction is an essential mission. Nowadays advanced countries take building MRT system in the metropolitan area as an important public policy of all . That`s why the countries hosted the Olympic Games consider building a complete MRT network as the symbol of modernization and progress. However, as MRT is no more a rare construction around the world, which city has the most safe and convenient MRT construction is hard to tell. What kinds of technique shall be applied to the MRT construction? What are the most important issues in the MRT construction? Shinkansen Lines in Japan wins its reputation not only because of its speedy service and modern design but also because of its outstanding performance factors of system safety and stability. Therefore, to realize the performance other MRT systems not able to accomplish is the meaning of skill of arts. The authors use systemwide point of view to look back the construction management applied in Taipei MRT and discuss the e-management applied in future construction, and hope the results could be the reference for developing in future MRT construction management.

Keywords: systemwide point of view, the elements of management, quality control (QC), quality assurance (QA), system engineering, the integral concept of system engineering, the three dimensions of the field of system engineering, the integral structure of system engineering, system management, project management (plan management, schedule management, budget management, resource management, contract management), risk management, configuration management, quality management, data management

一、前言

早期美國捷運公司(ATC)擔任台北捷運總顧問，為延續英國(BMTC)總顧問，進一步依台北市政府捷運工程局需求而成立，在四期八年的服務契約，在土建、機電、管理上提拱台北捷運局之人力契約服務。最高峰期間，來自美國 160 餘人，結合 Local 顧問公司(約 400 餘人)，在設計方面，提供至 30% 左右之 IP (Invitation Package) / (邀標圖)、規範(GP、SP、PS、PSS、GSS 等)，在規劃方面，提供建立各類模組、統計、分析，另機電系統工程建立功能標所需之規範，並以合署辦公方式與台北捷運局同仁(來自國內外工程人員、管理人員等)，所屬五個工程處(因工地跨省、市、縣)亦以 CMO (總顧問於工程發包後配屬)執行施工技術、管理、整合之服務(該時期外界對 ATC 亦有些怨言)。因北投機廠屬台北捷運最大五級維修廠，後續之細部設計亦歸屬 ATC 契約工作之一部份，這一系列百年大計的工程，總顧問亦為捷運局建立品保(QA)制度(含型態管理 configuration management, QC 等)，近十年多數機關加以引用，近數年已遍及全國知名工程機關，價值工程 Value Engineer (V.E)，在台北捷運局推動下，多年來節省近百億工程款，但亦有其瓶頸，不得不進一步探討，使其能進一步推展，另在公部門人力遇缺不補命令下，必需要在管理上加以有效調整因應。

捷運工程興建過程經由規劃、設計、施工、測試、履勘等過程後才投入營運服務，目前台北都會區已通車營運路段長達約七十公里，工程單位仍然持續加速的推行捷運路網建設。事實上，早期捷運建設確實是在總顧問的指導下完成，但是歷經初期建設之施工經驗以後，在台灣已累積相當實戰經驗，後續路網的建設已經脫胎換骨，可完全脫離總顧問之指導階段。營運公司也持續累積營運服務及系統操作經驗，歷史的滾輪隨著時空前進，科技進步、人文思想發達、管理思維持續創新，捷運工程施工管理理念自不能停滯不前。回憶過去台北捷運建設『從無到有』累積了太多成功、失敗的經驗及各階段的轉型範例，打從木柵線建設期間外界所稱的「十億仲裁案」、「火燒車意外」，「馬特拉不拉自己拉」、「電聯車出軌意外」、「總顧問爭議仲裁」等等，經過了四面八方的批評及冷酷的責任檢討，台北捷運局也都虛心承受及不斷的自我修正、改進，漸漸完成木柵線、淡水線、新店線、中和線、南港線、板橋線等初期路網「六箭齊發」的工程路線營運服務後，重建台北捷運『安全、舒適、便捷』新形象、新風貌。歷經多年之「破繭成蛹化蝶」的蛻變過程，目前已經進入了全新的里程碑。近年來台北捷運局更是取得了 ISO 9001 的國際品質認證及全面推行知識經濟理念，讓台北捷運局的體質產生了重大的質量變化，尤其在工程管理制度面，產生了全新的改革，乃由僵化的專家式工務管理制度，逐步調整導引進入人性化顧客導向服務式的管理制度，台北捷運早已練就患難與共的團隊凝聚力，透過緊密聯繫、相互關愛、全員參與的合作精神，同舟共濟、甘苦與共，主動、積極、進取之服務態度及管理制度，標準化之作業程序等工程管理的思維，配合台北市「網路新都」概念，全力導入工程 e 化管理，讓台北捷運局為捷運工程建設由草創的成蛹破繭，經由歷經萃練期的浴火鳳凰轉化為成熟期的振翅高飛，不但完全擺脫總顧問的依託，更逐步成為捷運工程建設的新寵。

台北捷運建設陸續完工通車後，於二00二年舉行台北國際捷運研討會，廣受媒體及國際捷運人士之讚譽，美國舊金山市捷運首長 Mrs. Willie B. Kennedy 更盛讚台北捷運為”Big Plus”(比好更好)。然而台北捷運建設的過程中，究竟是有什麼無形力量使台北捷運系統被建設成為舒適、安全、便捷之交通工具呢？它與一般公共建設有何不同呢？一場納莉風災為什麼會癱瘓捷運路網呢？相信為一般工程界所好奇的問題。簡單的說，捷運建設基本上是一種系統性工程，不但工程專業介面複雜，而且整個系統是以路網型態延伸擴張，透過路線交會的節點將運輸動線連結，甚至與捷運以外之台鐵、高鐵等運輸系統間接連結。捷運工程並非一般專案性之獨立工程而是一種系統化之工程。因此，自規劃、設計、施工、驗收、運轉至更新，與系統工程概念息息相關。捷運建設初期在總顧問指導下，慢慢形成具台北捷運特色之系統

工程管理。台北捷運近年來為因應知識經濟時代的來臨，開始著手進行知識管理的工作。其中有關土木、機電專業知識外，更進一步將工程發展之系統工程管理整理成系統工程專書，作為員工訓練之教材。此外，為了加強系統工程有關理論及實務經驗，更前往中山科學研究院參訪萃取經驗。台北捷運建設路網就在這無形的系統工程管理架構下運轉，日漸茁壯發展成形。因此，系統工程逐漸成為台北捷運核心能力之主軸，業界已紛紛注意到這點而主動邀請合作或尋求諮詢。然而台北捷運的以往所謂系統工程大多著重在機電系統工程，並沒有太多人思考系統工程上具有非常結構性與循環性之管理邏輯及方法可全面應用於捷運建設之工程管理上，面對未來國際競爭力及遠程努力目標，本文藉此一隅極力主張系統工程不僅應用於捷運建設，更應廣泛應用於國內大型公共工程。本文首先以台北捷運工程建設之工程管理為背景做歷史性回顧，並轉以「系統工程」之系統性思維引導創新工程管理理念，以創造更安全、更優質的捷運系統與公共工程。

二、管理要素

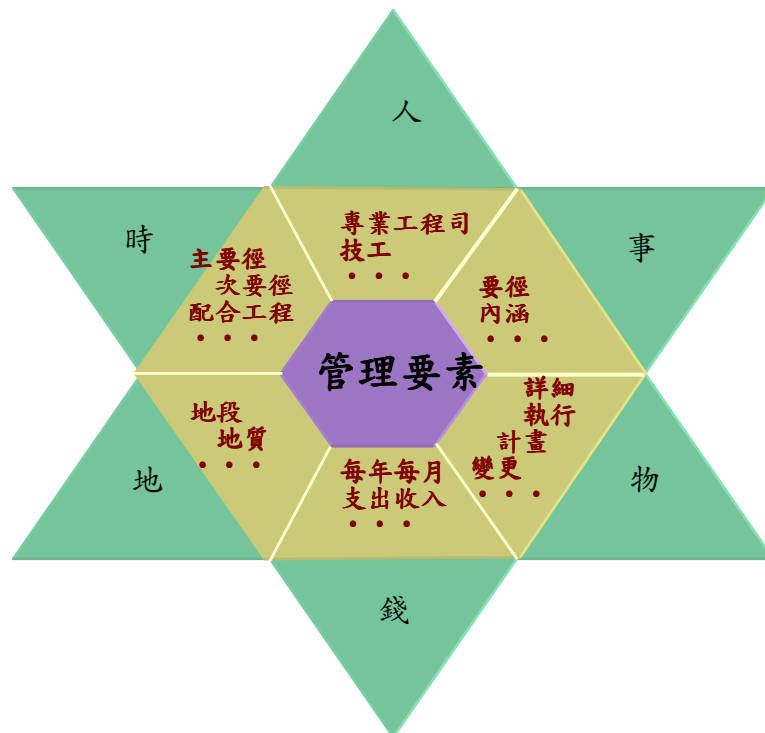
管理科學發展至今各家學說不一而足，管理的知識表達很難用簡單言語來表達。本文以筆者多年工程管理實務經驗，將工程管理做簡單而有系統的圖像表達。工程管理的目標的共有人、時、事、地、物、錢等六大要素，要做好完美而成功的工程，上述之要素缺一不可。在談系統工程管理之前，先對管理之對象做簡單的探討與說明。

(一) 人

臺北捷運工程局創始之初，亦即招兵買馬階段最為重要；要多少人，何種人才，高階多少，低階多少，行政人員多少，工程人員多少，比例又如何，需引進國外顧問多少，國內顧問公司配合多少？是美國人，英國人，法國人，德國人，日本人？如何要這些人即有才能人力能分工又能合作...，試看捷運人一轉眼近二十年過去了，人的變遷，首長的領導作風，各業務單位彼此間競合，等等均顯現「人」的重要性。

所有管理決策都是人所做的，難免有人的複雜因素，從管理者與被管理者都是佔有決定性角色。

(二) 時



圖一 管理要素

完成初期路網 75 公里需多少時程，那一線先動工？那一條先完工？同一時間動工，還是南北線先動工？六線同時齊發可行否？要不要訂中間里程碑 (Milestone)。如期如質完工是本局的極終目標，唯如「期」，外人常以自己期望之「期」解讀，如何克服外界誤解，今後應予重視。推動計畫的「時」機，與要如何管理「時」程，與計畫推動之成功與否是相當重要的。

(三) 事 (事由, 主旨)

主要由業主應辦的項目為何？未辦妥如何補救？對民眾之期望時程，面對施工時噪音，可能的污染，何項目可由業主供料？防震之標準係數如何訂定，防洪之標準如何訂定？若及早訂定防蝕之標準，許多因材料之爭議定會減少，連續壁 (D.W) 採半半施工 (道岔區/車站區)，交維計劃如何規劃？潛盾機 (TBM) 安全通過建築物下方速率？古蹟之保護？公共藝術如何配置？

捷運線發包策略為何？機電系統採統包或專業項目發包 (電聯車、號誌、電力、通訊、自動收費、機廠設施、環控、水電, ...)，合約是否應含仲裁條款以符國際標之精神，每一標應否有預付款？如何扣回？合約條款可容價工 (V.E) 之條款？施工中變更合約之適用性？總價決標或實做實算？品質如何掌握？品保制度推動？大約可容納多少種系統？與高鐵、臺鐵、機場捷運、都市共同管道如何整合？工程介面如何整合？月台門要還是不要？法規變更如何因應 (消防法規)？民眾意見與專業衝突如何平衡？

事實上捷運工程所涉專業種類繁多介面複雜，可說是一個跨域管理的環境，如何做「事」是很現實的挑戰因素。

(四) 地

包括了捷運走廊、地段與地質等主要項目，選錯了路線、車站，選錯了地段、地質惡劣區，造成了工期延誤，意外發生不斷 (不論大小)，不得不謹慎；捷運通過沿線或在道路中央或靠道路一方 (偏東、偏南、偏西或偏北)，或需徵用側方作為出入口或以聯開方式 (J.D.) 共同開發為通風井，或需拆除大量民宅 (中華商場)；限於系統 (高運量迴轉半徑 $R=200^M$ MIN) 安全，通過民宅時已無可避免！捷運地下車站以 $R \geq 1000^M$ 為限制站體之位置，是否均可滿足系統工程需求之安全度；在運輸走廊已訂定後，沿線之地質 (不同深度) 究採何種施工法，以求達最安全的狀態，通過地下多深作為補償費率之依據，通過區段兩側寬度多少為爾後限、禁建之標準，多應依據過去面臨民眾、民代的質疑處作一檢討。

捷運建設涵蓋整個都會區，路線經過的地，決定了工程困難度與溝通介面的複雜度。

(五) 物

所謂言之有物，即對事由主旨後續執行之細節內容發展而言，要達成任務或目標，要有完整的配套之措施，在系統工程管理上，書面之合約圖說、條款等有必要因時空改變，或相對新法令修改，或因地質條件極巨變化，或因新工法發展 (省錢又省時) 作一變更；捷運工程為百年大計工程，過去建立了 SOP，甚至推動 QSOP (全面品質管制流程) 即在好制度可持續延伸，不合時宜條款、產品及時更正。

捷運建設的成果，最終需要有「物」的呈現。「物」的呈現涉及「質」好不好與「量」夠不夠？用什麼工具與方法產生出來？

(六) 錢

台北捷運多由政府編列預算推動，政府預算近數年來借貸到了上限，不可不思換一種方式推動；捷運工程所費不貲，不久前中正機場捷運所推 BOT 案子，虛耗了五年又回到規劃原點，再回頭看台北捷運高運量系統，研擬以 BOT、BOO、BRT...，最後分析之自償率遠低於 50%，也就是不容易由民間參與投資，所謂不賺錢的生意沒人做，即是此意，又每條捷運線的財務計劃，每月的支出在政府公款有限狀況，仍需執行機關重新思考。

捷運建設的根本就是「錢」，錢的來源與錢的流向就涉及主動靈活的尋覓手段與精打細算的控制方法。

三、回顧捷運建設理念與技術生根

捷運工程是屬於複雜巨大兼具科技與人文之系統性工程，其所需的計畫管理作業及業務推動，在當時國內尚屬首創毫無經驗下，乃由美、英、德、日等先進國家逐步導入人才及技術，透過聘請國外顧問方式，經過學習、消化、吸收來自捷運大國先進技術，逐步移植、生根，經歷組織多年有系統累積知識、經驗和技能，轉化為適應本土環境，培育並發展為本局特殊技術與能力。

本局於民國七十七年一月二十二日成立「經營策略委員會」，並於十二月完成草創期捷運策略，充分反應以策略領導全局，落實執行方位的整體成長構思。以引進新科技、新觀念、建設世界第一流捷運系統為目標，開創政府與國家之新形象。以科學方法、縝密規劃建立科學化、合理化制度以激發同仁潛能，結合全體上下之智慧與力量，使工作推動快捷有效。以多線齊頭並進的精神（六線齊發）全力展開工作：對於各路線之施工，採時間重疊之多頭方式進行，全面趕工，加速工進，以求縮短工期早日完工。以嚴謹的品質管理，保證工程品質：將傳統上對工程品質的管制（QC），擴充並提昇到工程品質保證（QA）的層次。

總顧問除了須提供專業化、國際標準之技術服務外，合約中並明定總顧問必須經由「技術移轉計畫」將各項知識技術能夠在捷運系統之規劃、設計、施工及維修階段逐步移轉給本局同仁及與總顧問合作之本地顧問公司人員，期使本局同仁及早具備獨立規劃、設計與計畫管理之能力。整體觀之，美國捷運顧問公司第二、三期對計畫管理工作及文件、成果，自成一套可供參考之資源。該期計畫管理工作條列如下：

計畫管理與督導

- 計畫行政與服務(會計、人事、辦公服務、計畫文件管制中心、受託合約管理)

計畫管制中心

- 時程管制
- 成本預算管制
- 管制程序修正
- 計畫工作架構發展
- 對受託合約工作管理

技術移轉

- 技術移轉規劃與協調
- 營運維修訓練

品質與系統保證

- 品質與系統保證
- 系統安全
- 系統保全
- 系統可靠度
- 系統保證與社區協調

計畫合約辦公室 型態管理

- 型態管理計劃及界面管理計畫
- 計畫文件體系發展(基準、設計、參考)分類與控管系統
- 基準型態管理
- 設計型態管理

由於總顧問將計畫管理制度的導入，使本局在專案工程管理上奠定了良好的基礎。此外，台北捷運建設在軌道工業方面為配合政府政策，相關機電系統招標文件內明訂得標國外廠商

應提出「工業合作計劃書」，經審核通過後由廠商與經濟部工業局簽訂工業合作協議（目前以契約金額之 30% 為下限），透過「工業合作」的方式，部份材料設備在國內採購、製造、組裝及技術轉移，引進新技術，協助國內產業提昇專業技術。然而台北捷運歷經籌備、成長、茁壯、受創、復甦、成熟，經歷規劃、設計、發包、施工、通車、營運、維修回饋。透過一系列由無到有的摸索、檢討，捷運核心技術於焉累積成器。在捷運技術發展中，隨時代進步有不同的重點，過去的核心技術在今天看來，可能已由另外高附加價值的新核心價值發展出的新核心技術取代；世界各國新興都會區也建設現代化捷運系統，昔日的優勢可能成為今日的包袱。這是個動態的過程，也是演進的過程，不斷盤整不斷配合市場不斷創新是永續成長的條件。盤整的層面，一方面就技術創新方向，諸如人文精神需求導向、e 時代新科技發展導向加以闡述，另一方面則就整體技術流程，諸如整體的技術流程全貌與階層，（整合性）全局層級核心能力以及本局各部門專有的必備能力加以闡述。工程管理技術是否能作劃時代得更新與提昇，是我們急於審思的重要課題。

四、展望持續推動營建管理新思維－系統工程

（一）、系統觀

探討捷運系統是否可稱之為系統工程或系統化工程之前，讓我們對『系統』一詞先做了解。「系統」一詞應用廣泛，關於「系統」的意義，各種文獻上各有不同的說法。高孔廉教授提出「系統三要件」為「組件或元素、相互關係及共同目的。」系統的要件還可以加上「環境、時間、性能及人員」等等要件。【1】日本工業標準稱『系統』的定義：許多組成部份保持有機的秩序，向同一目標願景行動，即謂之系統。（日本工業標準 JISZ8121—出處：秋山穰，西川智：系統工程，中譯本，機械工程出版社（大陸），1983）。【3】筆者認為可將系統更詳盡的說明「系統」是什麼？基本上，系統可說是由一群元素建構一個有組織且能按一定程序運作，而能產生一定價值功能之體系者均可稱為「系統」。舉凡無形之社會性、經濟性抽象型之元素至有型之生物性、機械性具體型之元素均可建構一個完整的『系統』。因此，系統有的是一直自然地存在於宇宙間，有的卻是必須經由外在力量型塑後才出現。當然系統出現後隨著時空衍化與變換後其型態會發生質與量的改變，同時系統有其一定生命期，由於外在環境力量與系統內在循環力量之變化可決定其生命期之長短。同樣地，系統元素之建構鏈鍵之結構性與邏輯性強度也決定了其生命力。系統之成型過程至系統之退化、解構、消長過程都是有一定之循環與交互運作發生。所以，總體而言系統是一個有生命期、相依性、循環性之抽象概念。

所謂「系統工程」就是要找出一套有效的方法，將任務需求轉換成實際系統。然而，所謂「系統工程」，實務上與學術上存在著各式各樣不同的定義。【1】既然『系統』與『工程』發生一定的連結關係，則系統性化思考則不可免。因此，系統思考是一種思考的方式，其重點在於藉由連接各組成部位之間的關係，形成一個包含目的的整體。系統方法唯一不變的定義，乃為將整體區分為元素及結構，並加以處理之方法，其特色乃指非直接思考，而是一種反饋循環式思考，思考對象可為加強型循環，亦可為平衡型循環，此即整體觀照之方法，其特色乃特別注意“反饋”及“反饋之結果”，在系統思考下能夠將你與你的感覺結合在一起，因為那就是你唯一獲得回饋的憑藉。系統方法是跨學域改善生活系統的思辯分析綜合的過程，所謂系統方法是對社會各種不同心態之一個不斷分析綜合的辯解突破之整個過程，這不是一個驚人的說法，但應可幫助讀者接受它操練它，將它視為協助判斷決策的一種生活習慣與工具，系統方法常常被認定為思考如何解決問題及創造未來之途徑。

系統方法可以處理各類問題，惟複雜性問題則須有較嚴謹之供養方式（a way of feeding），當一個問題的複雜性導致許多目的時，新的複雜性隨之衍生興起。為分享達成這許多目的，相關思想行動將隨之產生，此皆再次產生其它的複雜性問題，此種反覆複雜現象之

求解過程，則需要產生一套有效之型式 (format) 供團隊及團隊外成員運用，此亦即「統一系統工程」觀念，統一系統工程是跨專業間進行團隊學習，共同解決複雜問題，達成團隊共同願景之思維工具架構。【3】

(二) 系統工程與系統性思維

系統工程統一之觀念 (a united systems engineering concept)，主要以整體元素及整體價值目標為運作對象，目的乃解決改善問題，趨近目標，其特色有五：

第一、一個統一系統工程觀念該被用來解決適宜大規模問題。

第二、系統整體之元素所包含的內容成分應具較自由的內容，換言之，其內容不該局限於任何特殊的專門學科。

第三、元素所包含的成份應該包含能用於解答問題的特殊元素，並非只是用於所有或太一般性問題，亦即萬萬不可忽視須運用使用有意義之結構及結構元素。

第四、在科際間的交流傳遞重心是元素及其內涵，不必限制只供有專業背景使用而限制一般人之使用。

第五、系統分析乃跨學域之共同論述，其分析中每一元素之研究發展則不必劃入系統工程之重點，系統工程領域有三個空間，分別是：知識空間、時間空間、邏輯空間：

1 知識空間：包括從學科中或職業中得來的專業化知識，此部份須以各專業領域之智庫為重點。

2 時間空間：指系統工程中總體性之順序性論述，亦即如何從原始觀念開始伸展，經過了系統之建立使用、收回或修正之概括過程體驗。

3 邏輯空間：指系統工程中執行的步驟。【3】

一般而言，系統工程是一種形成系統之方法，此方法用工程之原理實現。因此，系統工程是被使用於實現特定系統之工具罷了。沒有系統工程實現的系統並不一定不是系統，只是經由系統工程之方法實現之系統，由於有良好之邏輯性平台使得系統生命期合理化。系統工程之實現首要在於如何訂定系統定義、系統規範，系統之定義是一種主觀「系統」意念之格式化 (Formalization)，而系統規範係經由系統分析後之客觀「系統」圖像之表達 (Presentation)。有了這些才經由「分解過程」(Decomposition) 將系統設計成形。而系統實現只是系統設計之「組合過程」(Combination)，其真正的意義在於按概念化、抽象化之系統描述做具象化呈現。至於系統之效益價值與型態調整尚須經由系統評估過程決定。因此系統環境決定了系統命運，因此系統之運作方法與系統效能係建構在現實系統之上。

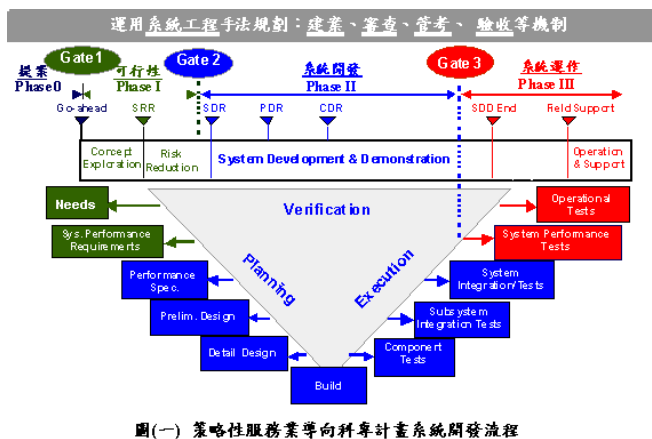
基本上系統工程技術被廣泛應用於計畫系統性工程或產品之開發與使用，從計畫構想提出、系統需求分析、系統可行性分析、系統設計、系統開發或製造、系統驗證與測試、系統運轉與使用，無一不涉及系統工程之活動。為使工程或產品具有良好生命週期與存在價值，工程或產品之產出過程必須以系統工程管理之手段達成不可，所以系統工程管理也可說是合理管理產品品質之最佳工具。當然良好的系統性工程或產品，必須建構在完整的系統工程規範之上，引導產品產製過程達到令人滿意的結果。一個完整之系統工程規範將可藉由完整之系統描述、系統功能規範、系統標準、系統可靠度、系統可維修度、系統測試與驗證給予明確化。系統工程設計就是按照一定之系統工程規範，將其落實於產品產出過程，並得到保證與確認。當然系統性工程與產品的形成階段與系統工程環境有絕對相依性，鬆弛的系統工程環境不可能建構強韌的系統工程，系統工程師必須充分掌握系統工程環境特色與條件才能充分做好系統工程設計。

系統工程的實現過程，許多有關系統工程的敘述文章，有大同小異的敘述。台北捷運工程局黎煥霖工程司於捷運技術期刊為文介紹有關捷運系統工程專文中，以 V-Model 的概念描述系統工程之系統整合與系統設計過程，清楚描述系統工程之活動過程與精神。工研院系統

與航太發展中心，更以系統工程手法運用於策略性服務業導向科專計畫系統開發流程說明更加透徹。整體而言它利用規劃、執行、驗證作為三個軸向敘述系統工程活動內容。筆者認為系統工程的活動描述更可進一步解釋為規劃、執行、驗證、考核等四個軸向，因為系統建構完成後進入到系統運作時首重系統之考核，透過系統考核機制取得系統有效生命期之回饋資訊，作為系統規劃及執行階段之作業參考。

系統思考最重要的部分，莫過於，觀察各種關係，並成為那些關係當中的一份子(因自己就在系統中)，以及運用循環式的思考方式思考。此種既簡單又深奧的改良思考方式，會將你原來單純由因果關係建構成的靜態世界，轉變成一個持續進行動態、自我發展的過程，讓你成為中心舞台，並了解制衡點。由於所有科學的學門皆可包含在系統工程內運用，其中在哲學、心理學、數學以及各類工程學之引用皆日趨顯著，故系統工程形成一輔佐品質持續改善中 PDCA (plan do check accessment：計畫、執行、檢核、評估) 環狀改善中之工具。

筆者認為系統工程管理基本上是建構在系統觀概念下執行管理工程的專案計畫，所以在管理上之行為必須是有系統循環性，在管理之本體上是衍生性、結構式的型態。所謂管理行為之循環性就是認為被管理的本體是有一定的生命期，例如：時程會隨著計畫結束而結束，又如預算成本會隨著計畫結束而結算。所以管理行為是屬於動態行為，也可說是物理上的液態 (Liquid)。然而管理之本體是結構性很強的實體，例如：基準契約時程網圖是許多作業項目之集合體，每個作業項目是由許多作業活動組成，每個作業項目之關聯作業項目有一定之先後邏輯性與協調性。管理的本體在規劃設計活動中常常是從粗轉細，或者說是系統性的解構 (Systemized decomposition)，但是在執行階段卻是由分散而轉整合收斂，或者說是系統性的整合 (System Integration)，所以其管理本體是屬於靜態實體，也可說是物理上的固態 (Solid)。所以筆者參考林啓良博士對於系統工程架構之定義 (參考圖三)，敘述系統工程管理不外乎下列各項管理行為與本體。系統工程管理的範疇分為專案管理、風險管理、型態管理、品質管理、資料管理五大部分，分別說明如下：



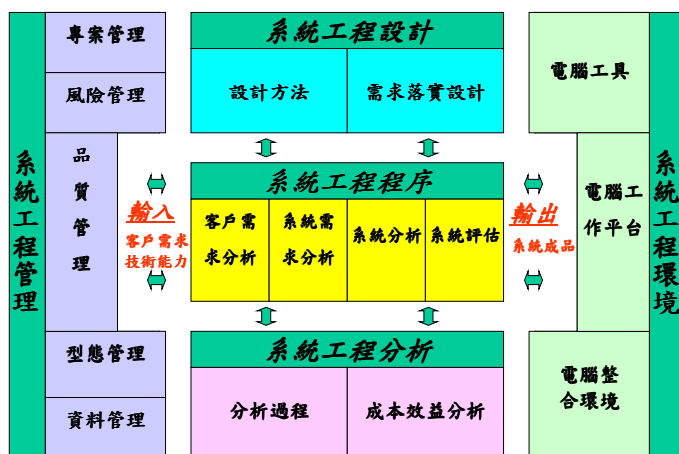
圖二 系統工程形成一輔佐品質持續改善中 PDCA 管理要素圖【4】

(本圖引用自工研院系統與航太技術發展中心網頁)

(一) 專案管理

(1) 計畫管理

捷運建設計畫首要在於路網規劃，路網規劃初期必須進行都會區整體運輸研究藉以確定人、車、路等相關內容及運輸系統，再進行捷運系統可行性研究、走廊研究等需求



圖三 林啓良的系統工程整體架構 (資料來源：林啓良博士提供)

評估，最後完成路網規劃工作計畫書。不管如何，對於計畫方案分析過程中規劃工程師，對於人口與產業、運輸需求相關重大計畫及都市發展與土地利用情形掌握多清楚，無論對於運量分析、財經分析、工程可行性分析及環境影響評估多精細，事實上從系統觀的角度觀之，系統要素組件或元素、相互關係及共同目的一直在隨著時間、環境、空間改變。例如都市發展隨著運輸系統的改變造成人的居住密度發生改變；又如政府財務能力及民間投資意願隨著法令的變更而發生變化；又如道路系統開發及公共建設之分散使運輸效率上升等，都會造成規劃系統的基礎發生變化。捷運系統建設完成投入營運後，發現許多車站旅客需求量與規劃階段之運量預測有相當距離與差距；系統運轉服務後，對於鄰近建物之震動噪音影響環境品質，鄰近建物開發對捷運系統之安全影響；工程技術的改變使得運輸服務票證之人機介面等發生改變等等，對於規劃系統提供系統循環回饋資訊。但是回饋資訊對規劃系統之影響程度是否必然存在？那倒不一定，因為其中包含兩大決定性因子，一個是時間另一個是人。所謂時間因素是指當回饋資訊於適當時間進入規劃系統，對系統會發生即時改變的效果。如果以非時變線性系統的觀念，若以 $F(x,t)$ 表達系統的輸出效能，則 $F(x,t-T) = F(x,t)$ x :表輸入系統;
 t :表時間;
 T :表延遲時間

相反的,如果一個系統是時變系統，則 $F(x,t)$ 就不一定相等於 $F(x,t-T)$ 。如果對規劃系統的回饋資訊發生延遲以後，其最後的結果就好像時變系統，系統效能與原先預期的不一定相同。在此簡單舉個例子，假設震動噪音防制法早在捷運系統規劃之前已非常齊備，則市民對噪音震動之防治要求之意識就相當高，捷運系統規劃過程對於減震制噪的考量就會相對提高。反之，振動噪音法規通過時間延遲一段時間，捷運系統完成系統評估規劃設計後，已經開始施工了才通過，已經不容易產生效果。另外一個因子是人，因為環境因數的改變所發生之成因有的是可控的，有的是不可控的，可控的是規劃者專業知識的進步及經驗的累積即主動接收訊息，產生自發性系統思考後對於系統規劃做適度及時之調整或修正，另一種不可控的是非規劃者所能預測或能力可改變的政策改變或相關計畫之變化，使系統規劃被動強迫修正或調整。所以由以上說明可知，一個良好成功的規劃系統，必須是在適當的時間，加上投入適當的可控回饋資訊，否則在好的點子在不適當的時機提出是很難對規劃系統發生良好的效能。台北捷運系統工程建設規劃，一直主動辦理各項民意調查、民眾說明會、捷運局與捷運公司之雙首長會議、適時邀請世界各國相關捷運機電大廠辦座談會、舉行新材料新工法討論會、適時派員到世界各國進行捷運系統考察等等，都是對規劃系統提供可控之回饋資訊，以期使系統規劃於適當即時發生影響，以滿足都會居民對於捷運系統需求。

(2)時程管理

台北捷運計畫發展初期，基本上是參酌總顧問之建議，草擬計畫時程，近年來台北捷運局已經累積有相當建設實際經驗。因此對於新的路線規劃都是參考過去施工經驗，並考慮施工困難度、介面複雜度、社會期望、相鄰工程建設時程及財務規劃等因素作綜合考量作規劃。事實上時程規劃所面臨的問題時常不是工程師居於專業技術考量即可確定，而是需要多面向考量與協調。一旦初步主要時程規劃確定基本上何時完成建設計畫之可行性評估報告、土地徵收、都市計畫變更、細部設計完成、工程施工、實質完工與目標通車時程等都已經相當明確。設計單位根據工程特性及以往施工發包經驗作細部設計分標規劃，細部設計階段就必須按初步計畫時程安排各施工標期契約主里程碑及參考里程碑供作時程管制之用。里程碑之規劃必需要有充分邏輯思考，例如：甲標的工作井完成時間與乙標潛盾機到達或發進的時程是否吻合？鏡面可破除之時程是否會造成潛盾機等候太久增加風險之可能？車站結構頂板施作與管線箱涵改建完成時程或相鄰建物結構是否完成？電聯車交車時之運輸動線與機廠及供電、軌道及環廠

動線完成條件是否吻合？基本上里程碑的訂定是循環性的，只要相關作業時程發生變動就會衝擊到里程碑，例如招標時程變動將造成衝擊開工日中間里程碑甚至完工里程碑，因此里程碑的規劃在定案之前必須審慎周密太多的樂觀評估及不確定因素往往造成里程碑一改再改，此時里程碑出現矛盾與錯誤之機率將增加。例如：甲標招標時程提前或中間里程碑提前，將與乙標中間時程出現矛盾，最明顯的例子就是甲標提前完成工作井要交給乙標，乙標卻還未能將潛盾隧道完成破除鏡面，造成工作井必須等候封口。所以時程的管理每個子施工標與每個區段標之時程控管都是由粗而細、由上而下的系統化結構化發展完成，彼此之間必須建立在一定的邏輯關係架構下，才能做好合理之時程管控基礎。然而細部時程發展完成並不能保證里程碑能準時達成完工通車任務，因為施工過程各層面遭遇外在干擾因素影響，將造成時程受阻，例如民眾抗議、管線遷移、契約變更、天然災害等因素，使原定時程發生變化，已系統化的概念就必須不斷地進行檢討、評估、規劃、行動等PDCA動作，追蹤目標時程，在過程當中難免有些工程標會發生不可預期之延遲，相關時程必須及時辦理時程展延或更新時程，適時採取補救措施，否則將會使時程發生延遲後造成介面標損失而發生求償。台北捷運在每一條線完工通車前，適當時間開始發動介面工程處之CIP（Civil Installation Package）會議，協調介面施工時程，使時程上各施工標能準時進場，在實體上不發生技術衝突、在文件上達到整合確認，已達到整合管控目標。最後的完工階段對里程碑時程管控將由粗轉細，例如對於軌道何時完成道岔施工？何時完成供電第三軌，將管控方式由全面單一里程碑變成分區段、分上、下行軌管控。號誌工程施工也由軌旁施工、機房施工、道岔段與非道岔段施工等。以及如全線高壓供電系統、第一列電聯車進入動態測試作業等重要里程碑管控，最終將里程碑管控收斂至單一達成完工通車之目標時程。

(3) 成本管理

成本的管理對於捷運系統而言，是一個龐大的管控系統，理由是台北捷運系統建設成本是由中央及縣、市共同按一定之分擔比例分配，而且是跨年度的建設計畫。因此預算來源之規劃涉及各級政府年度預算分配與財務能力之配合度，儘管時程規劃是從技術面出發，但是也不得不以多少錢可做多少事考量。因此成本規劃支出計畫必須以捷運建設計畫為藍圖向相關各級政府提出，各級政府可以作好較長期之財務規劃。建設計畫一經核定，每一年尚需按各級政府當年度預算規劃提出預算需求。預算執行時則按照工程計畫申請現金需求分配，使預算執行績效達成預期之管控目標。由於台北捷運建設之工程預算來自政府部門，因此並不能完全以成本管理達到收支平衡之目標，所以稱預算管理或財務管理較成本管理較為恰當。至於工程預算成本結構也是依循一定系統建構，各工程標之預算也是由上而下解構分配進行規劃設計。而預算執行之管控則是定期循環性由下而上系統性的追蹤管控。

(4) 資源管理

捷運建設資源管理是一個多面向的資源管控，由於工程建設涉及政府政策之變化、法令之變更、工程進行負荷量高低變化，有關建設之工程人力紓解、分散、調度必須在正確的時機（Timing）採取必要管理手段，例如工程量低時必須以增加人員訓練及第二專長訓練、增加代辦工程、引導同仁辦理優退等；工程量高時則必須加強機動人力之調整、降低代辦工程量等。藉由主動而前瞻性規劃管理手段，達到動態人力資源運用。建設成本資源調度，也必須適時動態檢討。例如內湖線由於實際建設時程與原先計畫時程相距長達數年之久，預算規劃必須適度動態調整。此外有關施工之棄土與填土也是一項資源管理，各土木工程標之棄土與棄土場供需有很大關係，因此在工程規劃設計之初究竟有多少餘土場、土資源場等可容許收納，出土時間及需土時間與數量可達成挖填平衡之目標等皆需考量。從上述相關資源管理，有關資源調查、資源平衡、

資源調度管理可說是系統性問題而不是單一問題。

(5) 契約管理

契約管理及工程監造是工程建設單位的主要業務，而機電系統工程之發包契約性質上屬於「功能規範(performance specification)」，發包後廠商必須再進行細部設計，細部設計的工作成果必須提送給業主進行細部設計審查，經審查定案以後，才能開始生產製造及安裝使用，因此機電系統工程的履約管理，與傳統營建工程有很大的不同。自從1999年5月27日正式施行《政府採購法》以後，各項契約管理之實務運作均必須配合因應調整，而台北捷運自推動品質系統標準化並於2002年年初取得認證以後，各項作業流程均已建立標準作業程序及相關書表，因此既有作業模式，都必須配合新的法規制度及作業程序進一步檢討與釐清，才能繼續推動各項工程業務。台北捷運系統契約架構很複雜，所有規定也很細膩而清楚，各工程介面規定規範不僅規範技術規範及標準。而且有詳細之施工介面進場時程與完工時程。因此儘管一個名詞用語變更，就必須將契約文件由上而下作全面檢討而修正，為了區隔每次變動內容及避免引用錯誤，各種契約文件必須以版本序號管理。為了因應時代潮流及商業交易改變，台北捷運不斷的檢討契約內容，除參照政府採購法之規定外，廠商反應之意見及FIDIC (the International Federation of Consulting Engineers, 即國際諮詢工程師聯合會) 相關條文的變化都是我們修正之重要參考指標，惟並非照章全收，而是以系統性的檢索與修正現有之契約範本，仍然按照PDCA之品質管理循環行為檢討修正。

(二) 風險管理：

捷運系統工程建設特性不僅工期長，而且介面工程繁多。例如：路線穿越河川、穿越機場、穿越古蹟建物、穿越民房、穿越敏感地層帶、與其他鐵路建設共構等，涉及許多大地工程、水土保持、水利工程之相關施工技術、法令與介面工程，甚至從防災的角度觀之，如何在施工階段發生災害時避免衝擊已營運路網？捷運、台鐵、高鐵共構、地下街等多重連通車站除乘坐之便利性外，如何在設施規劃上能充分考量防災、抗災需求，以發揮統合而有系統化之功能？如何避免類似三重因封水牆倒塌導致淹水事件的風險出現？事實上必須在系統規劃設計之活動，經由風險定義與等級分類及風險評估界定風險本質，於施工管理上廠商及業主能共同落實彰顯防治之機制，一旦發生風險出現時危機處理機制就必須啟動。台北捷運為防範重大災害事件發生，將潛在風險性高之工程施工項目詳列訂定為高危險工項，並規範各種管控機制；各項作業必須定期評估施工風險等級，列入工務會報列管追蹤管理；對於淡水河域兩側介面工程標同時施工需要採取祛水處理時，立即建立橫向協調機制之『祛水專案管理小組』；又如內湖線穿越松山機場段工程，為了掌握施工對機場之安全風險，與飛航管理單位建立『穿越松山機場施工安全專案小組』定期監測施工對機場跑道之安全條件。當然沒有一個風險管理能保證做到滴水不漏，不可控之風險則要透過工程保險涵蓋，減低風險承擔量。台北捷運之保險並非一成不變，每一條線施工前，均會從施工困難度、介面複雜度，由規劃設計施工者角度評估保險額度，做為實際施工保險要保條件。

(三) 型態管理

雖然系統工程管理的概念仍依循一般工程概念先訂定系統需求、系統可行性分析、系統設計、系統實現、系統評估等手段，但是如何確保系統管理的品質呢？事實上以上的每一個環節都必須有規範作為依循，例如系統需求之提出有沒有一定的「需求」規範，作為描述需求之共同語言，如何讓系統分析時確定各項需求？所有需求哪些是可定性敘述？哪些是量化敘述？描述需求之因子有哪些？因為抽象化的需求敘述，會導致系統分析的基礎不穩定也不可靠，就好像醫師問診時病患主訴不明無從下手診斷。而系統可行性分析也需要分析之準則與方法作為分析之依循，例如系統分析應涵蓋哪些範圍？哪些項目？方案的比較時應以哪一個指標性數據最為優先？權重比率如何分配？有無客觀調查數據佐證其分析可信度及客觀

性？系統計畫品質標準如何？至於系統設計涉及許多設計基準與標準規範，例如設計時的度量衡標準採用英制還是美制？工程標準應參考 CNS 或 DIN 之標準？震動噪音防治採用美國法規還是日本法規？捷運旅客乘坐動線標誌設計的色系與大小之標準如何？再來就是系統實現，施工過程中對產品或材料之檢驗基準、結構體鋼筋防蝕接地系統施工規範、潛盾隧道之環片安裝合格標準、土方回填之土壤品質標準等都必須明確而有系統的規範。再來就是資訊與資料儲存、傳遞、規格大小等管理規範標準，都必須做鉅細靡遺的規範。當然型態管理內容也會隨著工程內容及各種目的發生變化，型態內容之更新、刪除、替換必須隨時做即時之調整，藉以引導系統工程管理行為發生變化，確保工程管理品質能被有效而系統化管理。

(四) 品質管理

台北捷運品質管理系統，基本上以建構與運行良好的管理制度為目的。在制度上設有品保中心專司品管業務，在契約設計上也有完善之品管契約條文，在文件流程上也有完整之標準作業程序書籍及基準文件，也獲得通過 ISO 品質認證，在政策上訂有品質管理之品質政策，相關事宜不在贅敘。然而捷運工程建設的品質如何獲得保證呢？產品之查證與確認是經常被引用之專有名詞，逢甲大學李明賢教授與中科院林俊雄研究員做了以下淺顯易懂的比較【7】：

查證 (Verification)：經由客觀證據之提供證實，業已達成規定之要求。

確認 (Validation)：經由客觀證據之提供證實，業已達成意圖或應用之要求。

依據上述定義，工程品質按照契約規範實現並經過相關檢測數據證實，表示工程品質獲得查證，例如測試、驗收之行爲。而確認則是工程品質獲得經營管理者或使用者應用需求之證實符合其要求。例如工程檢查、模擬營運通車等之行爲。也就是成功的確認追隨著成功的查證與審查，可以確保使用者需求獲得滿足。而工程建設過程中之查證與確認經驗與過程，對規劃設計者而言往往是一個非常珍貴的回饋資訊。

(五) 資料管理

工程資料在台北捷運建設過程中確實累積相當多資源，也有專責單位技術發展處負責，技術文件管制中心 (PDCC) 一直是工程契約、規範、圖說的儲存、輸出、輸入的管理單位。然而資料管理的層次距離知識管理尚有一段差距，因為有資料並不等於有知識，知識管理可將資料轉化為有價值輸出之經濟性產品。台北捷運利用工程建設過程之經驗與知識轉化為有系統之圖說文件及訓練教材，協助相關業界提供技術性諮詢服務就是一個很好的資料管理。當然資料管理並非靜態而是動態的，資料的更新與應用的創新必須是與時俱進，否則資料管理之效益將會喪失。

五、系統工程之 e 化

工程管理技術之演進過程，由早期的書面資料之製作與書信之傳遞，慢慢拜賜電子化器材之廣泛應用，逐漸將工程文件電子化，例如：AutoCAD 的出現將手繪工程圖變成具電子座標之繪圖板，進而變成由滑鼠直接輸入；工程資料由打字機表格進而改為 PE II 經由單機版生硬的文書輸入，其後改為具有千變萬化樣式之文書編輯軟體；工程計價方式由傳統繪製表報方式進而由資料庫應用系統所取代。如今網路時代，由早期的區域網路發展為網際網路，近年來更推向無線網路傳輸，徹底打破空間與時間限制。系統工程管理的環境發生劇烈變動，究竟從工程管理角度如何提升管理效能是一件值得沈思的課題。首先必須探討的是系統工程管理之循環與資料的回饋，捷運工程自規劃設計到施工，每個作業環節之經驗累積不但具有量的成長而且經由 PDCA 管理行為之經驗回饋更快速更廣泛，例如：設計審查業主可在相同 e 化平台上平行審查，設計顧問可在網路平台上快速修正設計，同時設計者可以經由網路收集審查意見分析，以提升設計品質等；又如施工廠商對於設計之施工材料或施工法之缺點及

地質數據資料庫，經由網路平台作為經驗交換與資料分析之工具，提供設計、規劃單位後續作業參考，以便快速反應在設計成果上。其次是系統工程管理環境條件的建構，以往工程管理上，受限於廠商與業主電腦化程度不一很難建構一個完整之資料交換與作業平台，但是在網際網路發達以後，e 化文件交換格式幾乎是國際性標準，因此網路介面設施成本低廉的環境下，『網網相連』已經不構成困難。廠商與業主之間可以有更多資源整合，例如：施工過程照片可透過資料庫管理與計價系統做良好結合，廠商省去處理實體照片之成本，業主也可做照片之有效管理等；又如廠商經由工程計價系統輸入施工成果獲得工程款，業主可經由該系統分析與統計施工成果，因此計價越正常，施工成果統計越貼近實際工進。所以，經由以上分析得知未來系統工程管理之精進有賴開發更多有效之 e 化工具與環境，使廠商與業主間建立一個團結合作之透通性作業平台，對於捷運工程之技術管理、計畫評估、系統設計與產品實現將可邁向更高之管理效能。

六、結語

管理科學總是不斷被創新與開發，但是科學化的管理一向是高品質與高效率的必要條件。系統工程管理一詞在武器發展上並不是一種新名詞，系統工程在科技產品研發上更是經常被應用，只是在大型工程實務應用上並未受到太大重視。然而捷運建設也好其他公共工程也好，只要是連續性且具有延展性之工程建設，自然就存在系統性，因此為了建設更強健的系統化工程，系統工程管理的概念必須在每個工程管理作為上被應用，透過一定之由上而下、由粗而細的循環性系統化過程，以工程的原理先規劃後實現，先驗證後評估，一定是一個建構成良好之工程管理的基本法則。本文藉由台北捷運工程管理回顧歷史，省思未來建設之管理新思維，展望以系統工程概念進一步強化工程管理。事實上，許多大型計畫推動由於時間與成本資源有限及工程管理者認知之不同，常常在工程管理作為上最容易被忽略的就是形而上的最上位之型態管理，就好像教練忽視了打籃球之基本動作沒有規範好，很難訓練出具一定水準之球員。同樣的道理要做好一定水準的工程品質，要有健全而有系統化之基準施工程序管理文件做引導才能創造出令人驚歎之工程品質。許多經由施工經驗、工程變更、工程檢查、營運管理等經由確認過程產生之回饋資訊經由系統性分析得到的知識庫做有系統、有效率的管理，可以使得下一條捷運路線及時而快速地調整。早期資訊工具尚未發達，確實不易將龐大而無形的型態管理做好，當今網路發達資訊傳遞快速，管理行為之一致性與透通性提升；龐大而多樣資料庫資源，提供了各種即時的標準資訊為工程管理建立了良好的系統化管理工具平台，使工程管理的系統反應更有效率更具及時性。

參考文獻

1. 土木水利雙月刊第三十一卷第二期「台北捷運建設中的系統工程」，中華民國九十三年四月，黎煥霖、許臨國研撰
2. 「捷運工程建設管理札記」，民國八十九年十二月 張培義 著
3. 「系統思考與系統工程學」，黃荻昌 博士 著
4. 工研院系統與航太技術發展中心網站之「系統工程」網頁
5. 捷運技術期刊 第三十一期，「系統整合在捷運工程建設中的架構與運作」黎煥霖 撰
6. 林啓良博士 2001 年 10 月 29 日「系統工程架構」於台北捷運局演講 補充資料
7. 2004 年 5 月份品質月刊「ISO 9000:2000 標準中查證與確認的差異」
8. 營建知訊第 269 期，「《回顧與前瞻》系統工程管理創造優質捷運」，中華民國九十四年六月二十三日，張培義著