

系統工程管理程序與審查

◎黃志文

前言 系統生命週期

幾年前，我第一次接觸到A規格、B規格時，根本搞不清楚大家談論的PDR、CDR是在幹嘛，隨著專案的進行，類似的字眼愈來愈多，也鬧了不少笑話後，才決定弄清楚這些字眼背後的意義。發掘的過程發現，產品本身不只是工程技術而已，需以系統來看待與考量才是一個整體。在獨立系統裡面，所有的改變都不會影響外部狀態。系統工程管理與時下流行的專案管理手法事實上具異曲同工之妙，只是系統工程的概念與發源比較工程與學術罷了。另外，系統工程照顧的範圍也較專案管理要大。

依據McKinsey思維，如果問題夠大或混亂到某一地步時，就必需將問題分割成許多獨立事件，分別處理後形成完整的解決方案。同理可得，如果系統大到某一地步時，我們就需要一套具邏輯、容易管理及可重覆使用的方法，做為分時分工的切割工具及團體共同的溝通語言。以下所整理的系統工程與管理方法，即將經常使用的管理語言，如PDR、CDR等，做整體的

概念介紹；並對每一系統工程階段的輸入與輸出部份，做一完整的整理。

系統工程與管理方法內容主要在訂定產品之生命週期，分為需求確認、概念設計、雛型展示與確認、工程發展、生產、銷售與後勤支援及退出市場等階段。導入系統工程與管理方法的目的則在令產品從研發到退出市場階段皆能具高產品管理效益與高組織管理效率，且所研發生產之產品能在適當的上市時機，依顧客所要求的品質，生產市場所需的數量給顧客，以獲取最大的顧客滿意度為目標。

系統生命週期

對系統工程師而言，在分析產品的生命週期之前，首先需要體認到產品從無到有、再從有到無的流程，是一種從顧客開始到顧客終止的循環，如表1。一切的起源正由顧客對產品的需求開始，再經設計與製造程序產出後，送到顧客手上，接著建立並啟動維護等後勤支援體系，並於顧客的需求消失或被”破壞性創新”取代時結束；即Consumer-to-Consumer Process。

表1：顧客始-顧客終系統流程

系統流程	系統主導者	系統機能
顧客始-顧客終流程 Consumer-to-Consumer Process	顧客	需求確認 (Identification of Need)
	設計與製造者	系統規劃 (System Planning Function)
		系統研究 (System Research Function)
		系統設計 (System Design Function)
	顧客	系統製造與建構 (Production/Construction Function)
		系統評估 (System Evaluation Function)
系統使用與後勤支援 (System Use and Logistic Support Function)		

系統的生命週期起源於未來市場或顧客對產品的需求，並終止於產品退出市場 (Phase out)。系統的需求一旦經確認後，其生命週期全程共可分為需求確認(Identification of Need)、概念發展與設計(Concept Exploration and Definition)、雛型展示與確認(Prototype Demonstration and Validation)、工程與製程發展 (Engineering and Manufacturing Development)、生產與銷售(Production and Deployment)、產品使用與後勤支援 (Product Use and Logistic Support) 及退出市場 (Phase out) 等七個階段。各個階段可依市場與顧客要求調整或縮短期程，以符合實際需要。各階段完成後設定檢核點，以對各階段工作及之結束實施評核，並依評核結果完成修正後進入下一階段，作業流程請參見圖1。

系統工程程序-需求確認階段

本階段主要依據市場的需求，定義需求範圍，提出研發需求之可行性分析、成本與效益初步分析等基本研究，並確定各項系統基本指標、功能與運作需求等。本階段主要產出文件如下：

- 研發需求報告
- 系統分析報告(含系統研發可行性分析、成

- 本與效益分析報告等)
- 系統有效性指標需求報告(含成本效度、系統效度、可靠度等系統有效性指標)
- 系統研發工作計畫
- 初步系統功能分析及系統架構分析報告
- 技術 / 風險項目及不確定性研究報告
- 系統研製分包計畫

系統工程程序-概念發展與設計階段

系統生命進入概念發展與設計階段，此時主要工作內容為專案規劃與系統設計。專案規劃時，包括系統工程規劃、構型管理工作規劃、品質與可靠度等，專業工程規劃、測試與評估作業規劃、可生產性規劃與後勤支援工作規劃等作業之結果，均須具體界定專案計畫系統研製作業之各項工作需求，以及時程與成果要求。

各項專案計畫須依系統需求分析之要求，執行壽命週期輪廓與任務輪廓分析，並進行系統機能展開與需求配當，及系統合成、擇優(Trade-off)與整合等系統設計工作；再完成系統規格，作為測試評估之標準。

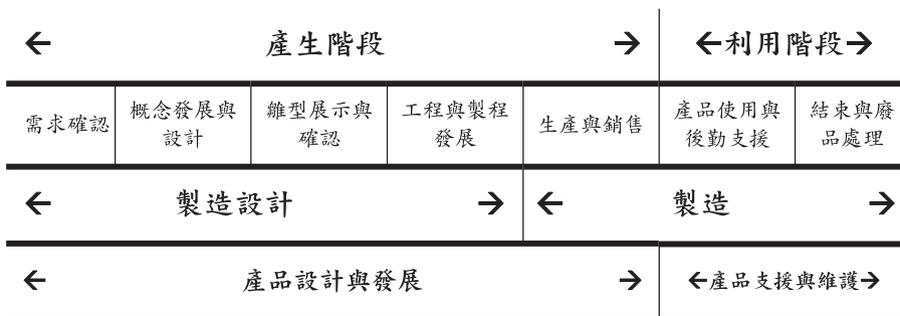


圖 1：系統生命週期



另外還要執行能量研究、成本及效益分析、研擬外包或商源評選計畫及選優評估與風險分析等工作。本階段最重要的產出項目為系統規格(A規格)、工作分工架構(WBS)與測試與評估主計畫(TEMP)等，並經系統需求審查(SRR)後，確認後續系統設計與發展的基礎。本階段主要產出文件如下：

- 系統研發總工作計畫
- 專案管理計畫(PMP)
- 系統工程管理計畫(SEMP)
- 構型管理工作計畫(CMP)
- 軟 / 硬體模組設計準則及軟體發展與編碼準則
- 系統規格(A規格)
- 系統成本效益分析報告
- 系統壽命成本估算報告
- 工作分工架構(WBS)
- 系統/分系統合約資料需求清單(CDRL)
- 功能方塊圖(FBD)、功能流程方塊圖(FFBD)、需求配置單(RAS)
- 測試與評估主計畫(TEMP)
- 整體後勤支援計畫(ILSP)
- 研發測試與評估(DT&E)計畫
- 系統需求審查(SRR)報告
- 概念發展與設計階段工作報告

系統工程程序-雛型展示與確認階段

通過系統需求審查(SRR)之後，本階段主要工作為系統設計驗證與分系統初步設計。

本階段須針對概念設計階段各子系統需求配當的結果，確定各子系統之主要物性特徵與功能，並進行系統設計擇優及分析驗證。經由設計、雛型製作、測試與評估，以展示並確認系統及子系統之發展規格(B規格)，確定各項備案之擇優規劃，期使全案風險降至最低，接著實施系統設計審查(SDR)，以確認研發成果。

此外，本階段之工作成果須以初步設計審查(PDR)予以確認，作為後續工作的依據。本階段主要產出文件如下：

- 系統/子系統之關鍵項目測試與評估報告
- 系統/分系統之關鍵項目製作技術評估報告
- 系統整合測試計畫(ITP)
- 初期操作測試與評估(IOT&E)計畫
- 系統設計審查(SDR)報告
- 軟體規格審查(SSR)報告
- 系統研製成本估計及運作成本與壽命成本重估報告
- 子系統/主裝備發展規格(B規格)
- 後勤支援計畫評估及分析報告
- 軟體發展規劃書
- 初步設計審查(PDR)報告
- 初步研發測試與評估(DT&E)報告
- 雛型展示確認階段工作報告

系統工程程序-工程與製程發展階段

本階段之主要作業為細部設計、子系統測試驗證、系統整合測試驗證及先導生產。工作的重點係各子系統進行細部設計，並透過整合測試驗證，發掘並改進系統及介面設計缺點，並經由關鍵設計審查(CDR)，確認系統可以符合市場及顧客需求。

當研製之系統經過子系統測試驗證與系統整合測試驗證，並依照發展規格(B規格)執行系統所有軟硬體之設計與製作後，應完成原型試產並進行研發與測試評估工作(DE&T)，以驗證確認系統功能是否符合原訂之功能需求標準。如有必要，仿效微軟在市場直接試用驗證Beta版的方法，由顧客執行初期操作測試與評估(IOT&E)，以驗證系統性能及介面是否功能需求與正常運作。本階段主要產出文件如下：

- 子系統及系統設施細部設計報告
- 軟體製作現況與單元測試報告



- 關鍵設計審查(CDR)報告
- 子系統軟體測試驗證規劃書與報告
- 功能構型稽核(FCA)工作計畫與報告
- 生產規格(C規格)、製程規格(D規格)與材料規格(E規格)
- 先導生產構型文件
- 研發測試與評估(DT&E)報告
- 初期操作測試與評估(IOT&E)報告
- 研發轉生產評估報告
- 生產備便審查(PRR)工作計畫與報告
- 實體構型稽核(PCA)工作計畫與報告
- 製程評鑑問題分析與改善報告
- 後勤支援計畫
- 生產前可靠度設計審查(PRDR)報告
- 工程與製程發展總結報告
- 生產計畫

系統工程程序-生產與銷售階段

經由生產備便審查(PRR)確認製程與各項物料之完備性後，系統生命進入生產階段。此階段主要的作業為批量生產與銷售部署，其重點除了落實生產製造之品管檢測作業，嚴格執行不符合件管制，確保量產系統之品質水準與穩定性之外，亦需執行系統出廠及系統使用品質與可靠度監測。

此外，如有需求，可持續執行後續操作測試與評估(FOT&E)，以作為後續性能提昇或工程修改的依據。本階段主要產出文件如下：

- 生產計畫書
- 生產總工作計畫
- 後勤支援計畫
- 後續操作測試與評估(FOT&E)計畫與報告
- 生產程序與構型文件
- 品質監測計畫書
- 產品後續性能改進計畫
- 系統銷售佈署、運作及訓練計畫

- 產品使用及市場反應報告

系統工程程序-產品使用與後勤支援階段

本階主要進行產品之品質與可靠度監測，以及完善的銷售與使用者支援服務，並據市場反應持續進行產品功能修正與升級等動作。本階段主要產出文件如下：

- 系統操作手冊及系統維修手冊
- 系統料件及備份件
- 訓練教材
- 品質監測執行現況
- 品質問題分析與改善報告
- 部署品質問題趨勢分析報告
- 顧客滿意度調查報告
- 產品後續性能改進計畫與現況報告
- 產品退出市場計畫

系統工程管理與審查

系統工程管理為目標導向，包括成本、技術與性能、後勤等，主要範疇包括進度管制、工程管理、構型管理、生產製造及後勤支援等。其首要工作為界定系統需求範圍，以減少不確定性與風險，以增進作業效率，提供作業項目管制的基礎。

系統工程管理是一項管制系統發展過程中各項作業的管理功能，其目的在促使組成系統之各要項均能達到最佳的平衡。實施系統工程管理則屬於一種程序，其目的在將各項操作需求轉換為描述系統之各項參數，並整合各系統參數以達到全系統的最佳效益。主要作業內容與目標如下：

1. 確保系統的定義與設計均可反映顧客對系統的需求。
2. 整合各項專業技術成為設計團隊，以期作最佳的系統設計。
3. 提供基本資訊作為專案管理與技術

方案之規劃依據。

4. 就系統各層次需求，提供一套有條不紊的架構，據以作為系統設計、測試、製造與支援等各項作業的準則。

5. 確保系統需求與成本在系統整體壽命週期各研製階段中均經完善的考量且得以滿足。

工程管理審查於系統生命週期各階段完成前執行，以作為此階段執行成效之具體量測結果，以及是否可進入下一個階段之決策重要依據。系統成效之評量方法主要以召開技術審查會議或稽核的方式實施成效評量。

系統生命週期源起於市場或顧客需求，此為第一個評核點。在需求確認階段，主要工作為系統需求與專案之建立，其目的在確認系統各項功能需求。

通過第一個評核點後，進入概念發展與設計階段，主要工作為系統工程管理規劃與系統設計。此階段需進行專案管理規劃、構型管理工作規劃、品質與可靠度工作規劃、測試與評估作業規劃、可生產性規劃與後勤支援工作規劃等作業，其結果將具體界定系統工程之各項作業需求及時程要求。此階段最重要的輸出項目為系統規格（A規格）、工作分項架構（WBS）與測試與評估主計畫（TEMP），並經系統需求審查（SRR）後，對後續系統之設計與發展具關鍵性的影響。

通過第二個評核點，系統進入雛型展示與確認階段，主要工作為系統設計驗證與分系統初步設計，包括針對概念設計階段所執行之各子系統進行需求配當、確認各子系統之主要功能，並進行系統設計驗證。此階段之工作成果需通過系統設計審查（SDR）與初步設計審查（PDR），以

為後續工作的依據。

通過第三個評核點，研製作業進入工程與製程發展階段。此階段之主要作業為細部設計、子系統測試驗證與系統整合測試驗證。主要工作為各子系統之細部設計及介面設計，並透過整合測試驗證發掘系統之設計缺點，並進而執行改善動作。此階段之工作成果需通過關鍵設計審查（CDR），以確保系統可符合顧客對功能品質的要求。

經由生產備便審查（PRR）確認製程與物料之完備性後，即通過第四個評核點，系統開始進入生產與銷售階段。此階段主要的作業為生產、銷售佈署與後勤支援服務，其重點除了落實生產製造之品管作業外，還需執行產品於使用者市場之品質與可靠度監測，以及完善的整體後勤支援服務，並檢討是否需再進行功能研改或工程修改計畫。

綜整以上技術審查部份，包括設計審查（Design Reviews）及技術稽核（Technical Audits），如表2。其目的在評量重要系統構型在各檢核點，其技術設計或性能是否已滿足系統需求，俾決定後續之工程作為。技術審查之範圍不僅要涵蓋所有系統功能需求，亦需審查確認與驗證系統開發的每一階段是否符合需求規格，並具備可追溯性。

表 2：設計審計及技術稽核分類表

設計審計	技術稽核
系統需求審計(SRR)	功能構型稽核(FCA)
系統設計審計(SDR)	實體構型稽核(PCA)
初步設計審計(PDR)	正式鑑定審計(FQR)
軟體規格審計(SSR)	生產前可靠度設計審計(PRDR)
關鍵設計審計(CDR)	生產備便審計(PRR)
測試備便審計(TRR)	

系統工程管理與審查

系統工程的概念是將產品以全系統的觀點，取捨考量整體效益，並著重於全系統的平衡。對於產品從無到有、再從有到無的循環中，透過具系統有組織的方法論，以確保產品從概念到退出市場，即顧客始-顧客終的流程中，都能具備一定的品質。

系統工程管理的生命週期包括需求確認(Identification of Need)、概念發展與設計(Concept Exploration and Definition)、雛型展示與確認(Prototype Demonstration and Validation)、工程與製程發展(Engineering and Manufacturing Development)、生產與銷售(Production and Deployment)、產品使用與後勤支援(Product Use and Logistic Support)及退出市場(Phase out)等七個階段。產品的研製透過這樣的分割與分工，可將全系統展成有重點且容易管理的階段單元，其管理經驗也較容易以知識管理手法保留傳承。

此外系統工程管理思維最大的貢獻應該是，建立了團隊共同的溝通語言與管理平台。無論計畫管理或技術工程，由不同階段的審查與稽核手段，不但確保了系統的產出品質，也讓系統內的管理與工程人員能具備清楚的工作重點與目標。

系統工程平台需時時保持彈性，以面對不同的產品型態。系統工程管理應依據系統特性，調整系統生命週期內的工作重點，例如軟體系統的開發與維護就與家電製品有相當大的差異。另外，在資源有限的情形下，依據外在市場與系統內部的實際狀況與互動，進行系統動態調整，甚至中止系統，將決定一個成功系統是否能達成目標。

參考文獻

- [1] ISO/IEC, “Quality Management Systems-Fundamentals and Vocabulary”.
- [2] ISO/IEC, “Quality Management Systems – Requirements”.
- [3] ISO/IEC, “Life Cycle Management - System Life Cycle Processes”.
- [4] DoD Directive 5000.1, “Defense Acquisition System”.
- [5] DoD Instruction 5000.2, “Operation of the Defense Acquisition System”.
- [6] Ethan Rasiel, “The McKinsey mind (麥肯錫的專業思維)”, 2002.
- [7] B. S. Blanchard, W. J. Fabrycky, “Systems engineering and analysis”, 2nd ed., 1990.

