

國立台灣大學工學院土木工程學系

碩士論文

Department of Civil Engineering

College of Engineering

National Taiwan University

Master Thesis

時間-歷程關係圖在大型工程專案排程之研究

--以台灣高鐵工程為例

Applying Time-Chainage Diagram to Mega-Project

Construction Scheduling: A Lesson Learned from THSRC

陳立翰

Li-Han Chen

指導教授：高聰忠 博士與 曾惠斌 博士

Advisor : Tsung-Chung Kao, Ph.D and

Hui-Ping Tserng, Ph.D

中華民國 99 年 7 月

July, 2010



國立臺灣大學碩士學位論文

口試委員會審定書

時間-歷程關係圖在大型工程專案排程之研究

--以台灣高鐵工程為例

Applying Time-Chainage Diagram to Mega-Project
Construction Scheduling:

A Lesson Learned from THSRC

本論文係陳立翰君 (R97521712) 在國立臺灣大學土木工程學系碩士班完成之碩士學位論文，於民國 99 年 7 月 30 日承下列考試委員審查通過及口試及格，特此證明

口試委員：

曾連興

(指導教授)

高聰忠

黃勇成

李存安

呂良正

系主任

致謝

能完成這份論文，首先要感謝的是曾惠斌老師及高聰忠老師兩位指導教授，經由曾老師的指導與引路，以及高老師豐富的閱歷以及相關實務經驗，和兩位老師對於論文研究的指導以及論文內容的鞭策，在此獻上最由衷的感謝。在口試時，承蒙本系大地組賴勇成教授、明道大學李孝安教授給予本研究諸多寶貴的意見與指正，使得學生的論文能更臻完善。

在研究論文這段期間，感謝兩位指導教授、徐景文學長、李孟學學長、洪五爵學長等，在學生對於論文研究遭遇貧頸與困境時，熱心的提供意見以及協助。在學期間感謝指導教授曾惠斌教授、張陸滿教授、郭斯傑教授、荷世平教授、陳柏翰教授、高聰忠教授、謝尚賢教授等，在課業上讓學生獲益良多；感謝在研究這段路上不吝浪費時間在學生身上的徐景文學長、李孟學學長、洪五爵學長等，時常與學生一起討論研究邏輯、論文寫作以及應該如何正確的蒐集與找尋資料，並感謝周壽榮學長提供的工程會管理系統資料讓學生使用於論文印證，也感謝昇鴻曾一起鑽研於高速鐵路這個領域的陪伴。

感謝在考取研究所路上曾幫助我的人：感謝葉崇熙學長、王中杰學長、秦浩偉帥哥對於研究所考試相關資料的整理以及不吝解答，也感謝曾經一起在總圖地下室唸書為了能在這座學府繼續深造的孝謙、裴騰、博元、志豪等，也感謝商研所好朋友戴余侃的建議與陪伴，重考研究所這條路並不孤獨。

感謝求學於研究所這兩年過程中一起努力的同學：家聖、聖望、昶甫、雅茹、文珮、易鍾、芸竹、涵芳、翊楷、昇鴻、卓翰、葳竹、柏誠以及育陞，讓我在這兩年的碩士班求學生涯，不論是在課堂上或是下課後的研究室裡以及一起出遊的日子，都留下美好的回憶。

最後要感謝我的家人，尤其我的爺爺奶奶，用行動支持讓我能如願進入台大營管組深造，感謝長輩爸媽能供給我一個唸書的環境，也感謝從高中口

琴社至大學以來，許多的好友在需要時提供的協助以及分憂解勞，並增添了我在研究路上許多枯燥日子的繽紛色彩。最重要的要感謝苑翎寶貝，謝謝妳願意走進我的生命裡陪伴我度過一半以上的研究生生活。

再次感謝所有曾經給予我各種幫助的人，有你/妳才能使研究論文圓滿完成。

謹誌 於台灣大學

2010 年 盛夏



摘要

台灣高鐵是一個嶄新而對全台影響甚鉅的重大交通工程，並具有線性排程的工程特性。而要掌握此類重大工程的興建時程，可以藉由幾個常見的排程手法，但是文獻結論顯示，這些早期汎用的規劃手法都有一些缺憾，而想要完好的掌握整體的興建時程，以及能使得規劃的成果在往後的興建過程中能被一貫的使用，這兩個需求必要而急迫，因此藉由比較之後，本研究引進一個新的規劃排程手法：時間－歷程關係圖，來達成這些需求。

本研究之目的在於引進一個新的排程輸出結果，並研究其背景理論及詳細操作步驟，以提供國內外相關大型線性工程專案工程業主，在遭遇相關工程專案時，對於工程之關鍵流程以及時程有整體性的概念及完善的掌握。

因此本研究以台灣高速鐵路工程為範例，經過相關文獻資料蒐集歸納，結合平衡線法與要徑法，建構一個合於規劃相關大型工程的期程模型－LBCPM，並由實際高鐵規劃資料予以實證，以確立能配合規劃結果：時間－歷程關係圖，而能供於世界上大型工程規劃時之使用參考。

本研究可以具體的讓高速鐵路工程的相關大型工程規劃者，藉由研究成果規劃出一個更完善的主計劃時程圖，亦可使各工程業主對高速鐵路興建專案之總體時程特性全盤的瞭解及對規劃時程做有效掌控。

【 關鍵字 】： 台灣高鐵、時間－歷程關係圖、專案排程、彈性

Abstract

Taiwan High Speed Rail Construction (THSRC) is a mega-project of civil engineering which affected whole Taiwan significantly. And the THSCR project has a characteristic of linear scheduling. To control the construction timetable of these major projects, we can approach it by some basic scheduling methods. But from the literature review, these basic methods are not perfect in some aspects.

Though these two requirements are indispensable and urgent: to take good control of timetable and to make the conclusion of planning can be employed through all lifetime of construction, we introduced the Time-Chainage Diagram to accomplish these requirements by comparison in this research.

The purposes of this research are trying to introduce a new scheduling outcome, develop its background theory and set up the operation steps in detail.

In this research, we combined Critical Path Method and Line of Balance to develop a scheduling model – LBCPM in recommendations of literature review. And we certificated the model by real data in planning phase of THSRC. We believe the scheduling outcome : Time-Chainage Diagram can offer a reference in the planning phase to the owners in the world through our model : LBCPM.

We believe this research can offer both construction information to the mega-project owner in the world: integral concept of critical path and perfect control of timetable. And though our research, it always a perfect master-plan could be programmed.

Key Words: THSRC 、 Time-Chainage Diagram 、 project scheduling 、 linear scheduling 、 flexibility

目錄

口試委員審訂書	i
致謝	ii
摘要	iv
Abstract	v
目錄	I
圖目錄	III
表目錄	V
第一章 緒論	1
1.1 研究背景	1
1.2 研究動機	3
1.3 研究目的	7
1.4 研究範圍	8
1.5 研究方法	9
1.6 研究流程	10
第二章 文獻回顧	11
2.1 文獻回顧流程	11
2.2 排程方法概述	12
2.2.1 排程之目的與演進	12
2.2.2 排程方法之分類	13
2.2.3 排程方法探討緣由	16
2.3 排程方法論探討	18
2.3.1 要徑法	18
2.3.2 平衡線法	21

2.4	排程方法論之比較	28
2.5	小結	30
第三章	研究方法論	31
3.1	時間－歷程關係圖簡介	31
3.2	LBCPM 模型方法論背景	36
3.3	LBCPM 操作步驟	40
3.4	小結	44
第四章	LBCPM 排程方法之建立	45
4.1	案例描述	45
4.2	標準步驟初步實證	48
4.3	小結	65
第五章	案例實證	67
5.1	實證案例描述	68
5.2	實證	72
5.3	實證小結	95
第六章	結論與建議	99
6.1	研究結論	99
6.2	建議與後續研究	102
參考文獻		104
附錄		107

圖目錄

圖 1-1 台灣高鐵專案要徑法圖例.....	2
圖 1-2 台灣高鐵 TCD 總圖.....	4
圖 1-3 CIOB 統計排程圖表圓餅圖.....	5
圖 1-4 研究流程圖.....	10
圖 2-1 文獻回顧流程圖.....	11
圖 2-2 專案排程與專案監管階層式分類圖.....	13
圖 2-3 要徑法 PDM 簡圖.....	19
圖 2-4 要徑法計算圖—以 ADM 為例.....	20
圖 2-5 平衡線法圖例—房屋建造.....	24
圖 2-6 甘特圖結合平衡線功率.....	25
圖 3-1 TCD 單直線圖例.....	33
圖 3-2 TCD 歷程斜率線圖例.....	34
圖 3-3 TCD 保護區塊圖例.....	34
圖 3-4 TCD 工項區塊圖例.....	35
圖 3-5 LBCPM 標準操作步驟流程圖.....	43
圖 4-1 初步實證基本資料圖例.....	46
圖 4-2 初步實證案例平衡線圖.....	48
圖 4-3 初步實證案例要徑法圖.....	49
圖 4-4 初步實證案例工項圖 a.....	50
圖 4-5 初步實證案例工項圖 c.....	51
圖 4-6 初步實證案例工項圖 d.....	52
圖 4-7 初步實證案例工項圖 g.....	53
圖 4-8 初步實證案例要徑合成之一.....	54

圖 4-9 初步實證案例要徑合成之二.....	55
圖 4-10 初步實證案例要徑合成之三.....	56
圖 4-11 初步實證案例工項圖 b.....	57
圖 4-12 初步實證案例工項圖 e.....	58
圖 4-13 初步實證案例工項圖 f.....	59
圖 4-14 初步實證案例合成步驟圖之四.....	60
圖 4-15 初步實證案例合成步驟圖之五.....	61
圖 4-16 初步實證案例合成步驟圖之六.....	62
圖 4-17 初步實證案例合成步驟圖之七.....	63
圖 4-18 初步實證案例 TCD 總圖.....	64
圖 5-1 台灣高鐵要徑法 CPM 簡圖.....	70
圖 5-2 台灣高鐵工程 TCD 構圖之一.....	73
圖 5-3 台灣高鐵工程 TCD 構圖之二.....	74
圖 5-4 台灣高鐵工程 TCD 構圖之三.....	75
圖 5-5 台灣高鐵工程 TCD 構圖之四.....	76
圖 5-6 台灣高鐵工程 TCD 構圖之五.....	77
圖 5-7 台灣高鐵工程 TCD 構圖之六.....	78
圖 5-8 台灣高鐵工程 TCD 構圖之七.....	80
圖 5-9 台灣高鐵工程 TCD 構圖之八.....	82
圖 5-10 台灣高鐵工程 TCD 構圖之九.....	83
圖 5-11 台灣高鐵工程 TCD 構圖之十.....	84
圖 5-12 台灣高鐵工程 TCD 構圖之十一.....	86
圖 5-13 土建標 C270TCD 全圖.....	89
圖 5-14 土建標 C260TCD 全圖.....	91
圖 5-15 高鐵實證 TCD 總圖.....	92
圖 5-16 台灣高鐵主計畫 TCD 總圖.....	94

表目錄

表格 2-1 排程方法演進表.....	12
表格 2-2 進度管理技術分類與簡述.....	15
表格 2-3 要徑法與平衡線法特性比較表.....	28
表格 5-1 高鐵土建要項隧道時程整理表.....	69
表格 5-2 高鐵測試營運要項時程整理表.....	69
表格 5-3 高鐵場站時程資料整理.....	85
表格 5-4 規劃排程方法特點與優缺點比較表.....	97



第一章 緒論

1.1 研究背景

臺灣經濟自 80 年代蓬勃的發展，使得西部城際旅運需求快速成長，而在當時陸空交通運能方面皆無法有效提升，因此交通的問題可能造成經濟發展的瓶頸（台灣高速鐵路公司, 2008），此時政府即研擬以高鐵工程此一個嶄新而對全台灣各方面影響甚鉅的重大交通工程來解決此交通課題，也產生了規劃相關資訊的需求。“在我們了解整個高鐵的概略計畫分野後，可以發現高速鐵路在建設的時程上有線性排程的特性”（高聰忠, 2009）。這些類型的大工程，舉高鐵工程來說，它是由許多大計畫案所組成，而這些大計畫案又可以分成許多小的計畫案，如此環環相扣形成一個工程主計畫案；”這些有線性排程特性的工程，因為其環環相扣的特性，所以無法允許某個工程階段上有嚴重的延遲”（Lin, 2004）。為了避免這些進度上可能的延遲，對於許多工程業者來說，首要目標就是以此特性對整體興建時程有所掌握。

而當我們在掌握興建時程時，我們有幾個常用的手法，例如：散佈圖、桿狀圖以及最基本而常用的要徑法網圖(Critical Path Method, CPM)，都是在規劃階段常見的排程圖示方式。但是在相關排程研究文獻上明確的表示：“這些先期的規畫手法雖然能很快的上手以及準備製作，但是像是要徑法無法表達重複性的單元以及資源限制的問題，而桿狀圖則無法表達其中的時程彈性以及施工細部資料”（蘇文彬, 2006），似乎我們在以這些早期的規劃手法操作時都會遭遇一些缺憾。以要徑法為例：在擁有了要徑法所需的構圖資訊後，我們可以很快的依照各工項或是細部工程的先後邏輯，勾勒出整個要徑法網圖，以下是一個台灣高鐵的要徑法網圖圖例（詳第 2 頁圖 1-1 台灣高鐵專案要徑法圖例），我們可以發現，在專案中上千個項目的工程計畫時程都是可變動而

有彈性的，這一切都因為要徑法網圖是由下而上累加而成的方式來堆砌整體的排程架構，其中時程彈性都分散在各個小工項裡，所以讓非要徑項目的時程都是可以變動的，而造成以要徑法規劃時，無法合理的訂定時間上的邏輯順序而遭遇困難，所以也無法具備為整個工程生命週期上能沿用的特性。

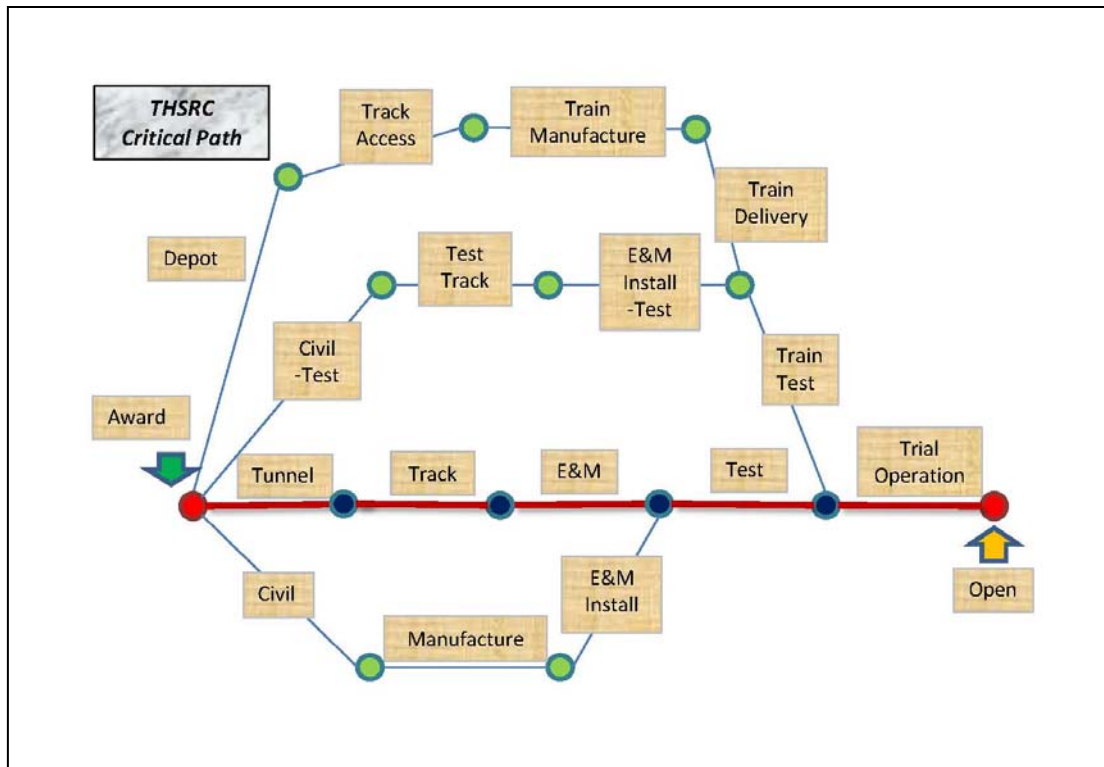


圖 1-1 台灣高鐵專案要徑法圖例

因為這些早期的規劃方法似乎都有一些缺憾，而無法達成我們能完整表達整體時程，以及讓規劃階段所獲得的計劃藍圖能在整體工程的生命週期上沿用這兩個要求，然而這兩個要求卻是必要而急迫，所以我們似乎需要尋找一個規劃排程手法來達成這些要求。

1.2 研究動機

在嘗試過前節所述那些方法之後，台灣高鐵規劃團隊發現國外業界有一種時間－歷程關係圖(Time-Chainage Diagram, TCD)的圖形表示方式，能非常完善的達到掌握整體的興建時程，以及能使得規劃的成果在往後的興建過程中能被一貫的使用這兩個目標。我們可以先一窺時間－歷程關係圖的圖形表示方式(如第4頁圖 1-2 台灣高鐵 TCD 總圖)，而與上一節中我們所舉出的要徑法圖相比較，我們馬上可以發現幾個以時間－歷程關係圖來表達規劃排程最終輸出結果的特點：首先，TCD 是以區塊的圖形方式搭配生產率來表達各個工程專案或是工項；其次，在圖上可以清楚明確知道各個工項的時間以及歷程資料，因此，我們在時間－歷程關係圖上可以清楚的看到各種規劃排程上的詳細資訊融合濃縮其中，而一張高鐵的時間－歷程關係圖就像一個編撰完好的劇本，每一個工程專案以及每一個參與人就如同這齣精采戲碼裡的演員，每個工項內容如同每個演員的動作口白，而高鐵整體的興建時程如同每個演員出場的時間，這一切都在規劃階段也就是劇本的編排時，就如實的呈現在時間－歷程關係圖上，而這個劇本就能在整個工程的生命週期中讓演員們依照內容沿用以如期的完工(高聰忠, 2009)。總結來說，以時間－歷程關係圖這條捷徑讓工程業主及規劃人有效而快速的掌握主計畫時程，那麼當然便能有效的掌控整個台灣高鐵的興建時程了。

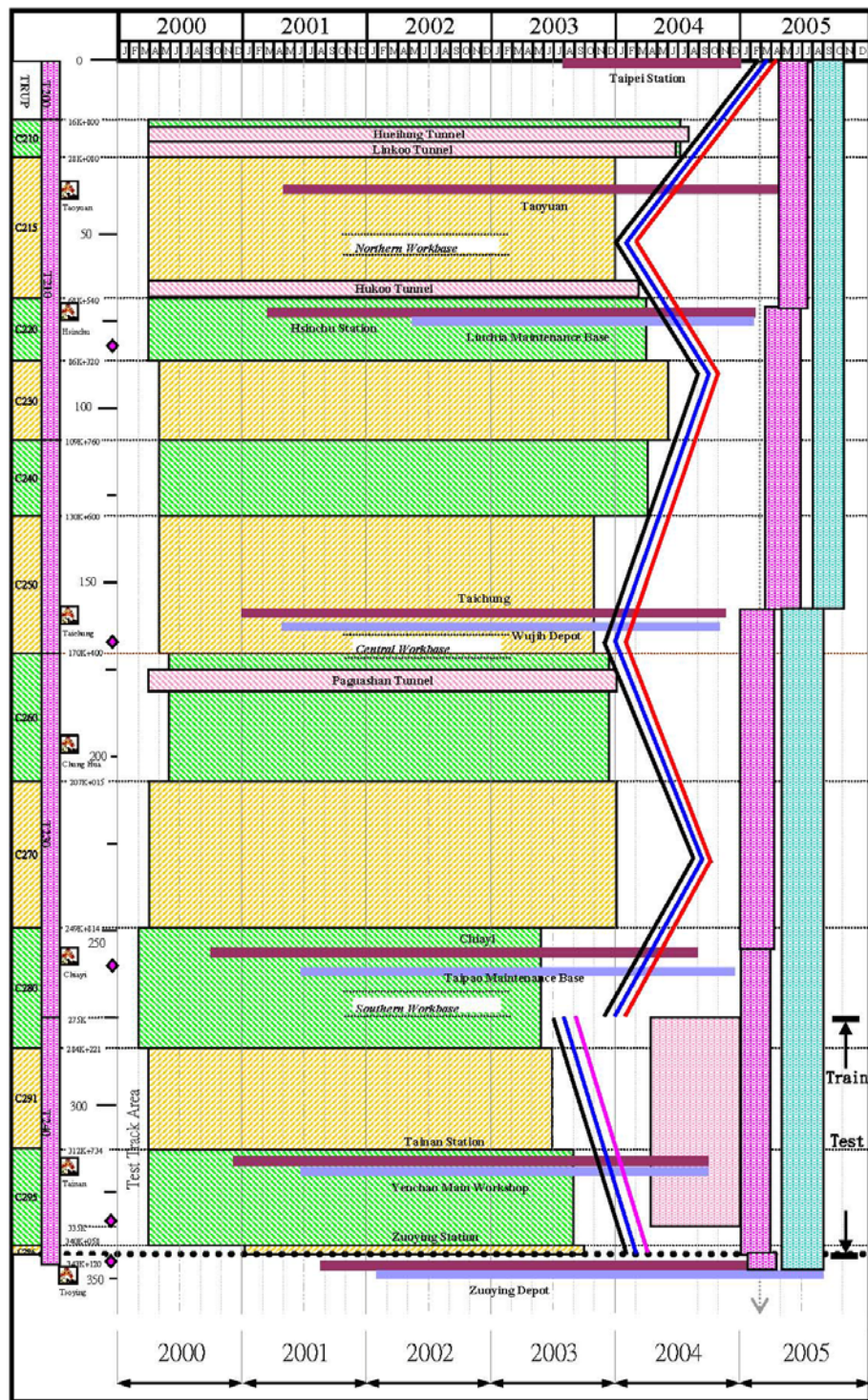


圖 1-2 台灣高鐵 TCD 總圖

時間—歷程關係圖這個主計畫排程結果圖，經過前面所述的比較之後，是清楚明瞭而在規劃排程中非常實用的，但在搜尋過國內的相關文獻後，發現目前使用的情形並不高，而內容僅止於描述 TCD 的結果輸出圖，鮮少對於

其理論背景以及操作步驟做研究及陳述，或是陳述不清；舉例來說，一間美國的 Chartered Institute of Building(CIOB)顧問公司曾在 2007 年對澳洲的 75 名在顧問公司擔任工程專案管理人，其最近接觸的工程專案中所使用的時間管理手法及圖表做統計，總計數量是 1000 筆，而在這 1000 筆使用頻率上，具有清楚明瞭而在規劃排程中非常實用等多項優點的時間－歷程關係圖卻只佔了 1%的使用率 (Chartered Institute of Building(CIOB), 2008)(詳下圖 1-3 CIOB 統計排程圖表圓餅圖)。

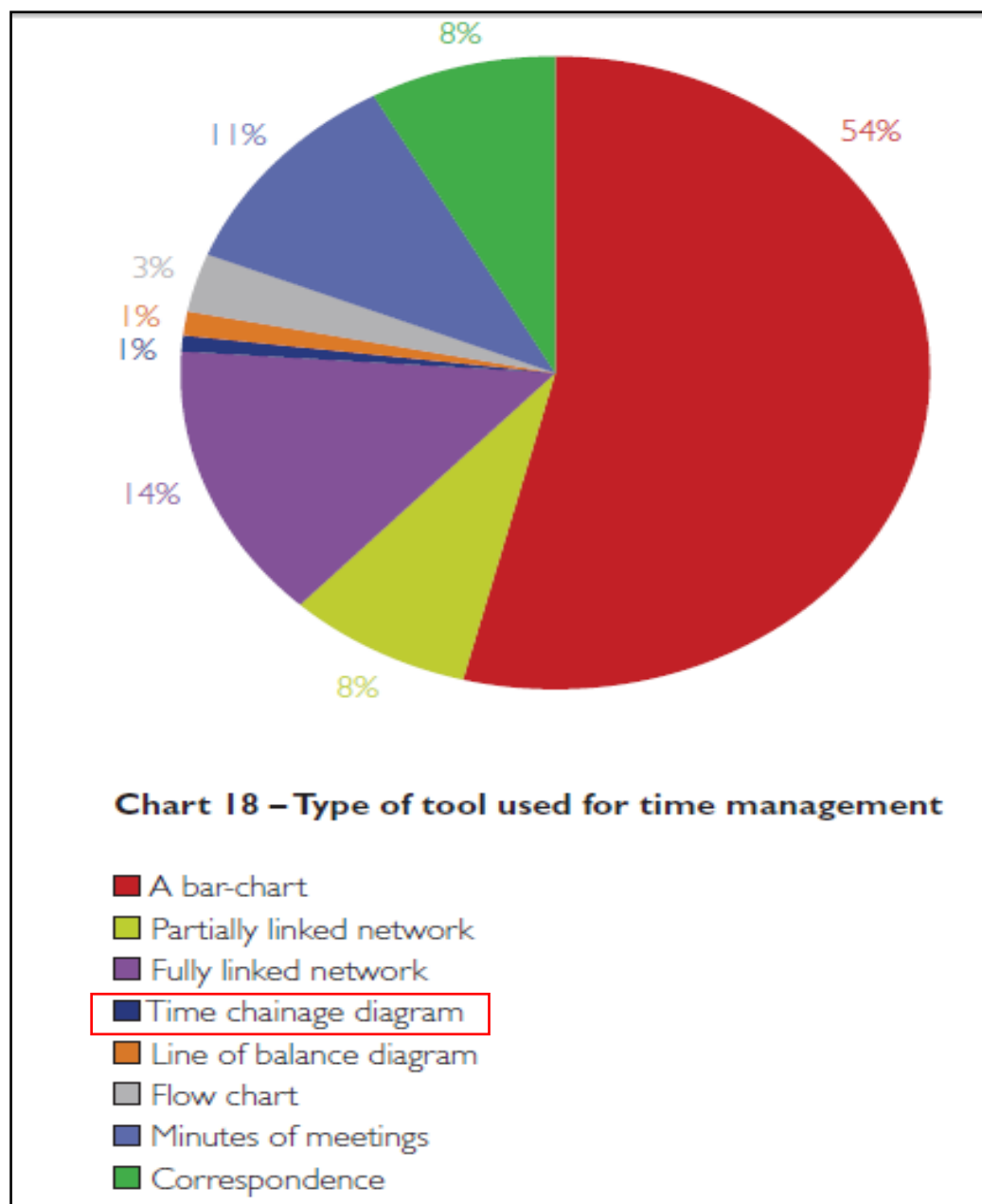


圖 1-3 CIOB 統計排程圖表圓餅圖

這透漏了幾項可能的訊息：一則是因為相關使用上的方法理論以及標準詳細的步驟解說文獻很少，使得很多第一次接觸此寶山的人不得其門而入；再者，時間－歷程關係圖在使用上具有一個圖可以在工程生命週期中一貫使用的能力，當完成規劃階段而能建構時間－歷程關係圖之後，後續的細部規劃及施工階段都能參照此一基準圖，而其它的排程方法圖卻需要拆解成很多次，並於各個次階層的工項中再構圖才能完整的表達一個專案的規劃時程，因而在統計累計次數上其他的排程方法圖比較高；在這方面，這個統計結果也顯示時間－歷程關係圖，在工程專案的規劃排程上有決定性及影響力。

高速鐵路將是全世界未來發展的重要交通建設項目之一，而在建設工程中，對於施工時程的有效預期與掌控各大工項的里程碑是許多工程業主所必須達成的目標，業主也因此才能“針對所得的資訊，對內做工期限定以及有效的時程管理”(林耀煌, 1996)；但是在做過相關文獻搜尋之後，雖然排程的運用文獻在所多有，但對於高速鐵路排程方面的相關研究，尤其時間－歷程關係圖的操作步驟方法以及其文獻依據卻相對的缺乏；此外，現今在世界上營運中的高速鐵路不在少數，興建中的工程亦也不乏，但各國之間的高速鐵路其期程預估之方式以及資料間的差異等，也沒有相關文獻提出可供同業參考，因此有必要選定高速鐵路此一重大工程，建構一個最合適於規劃高速鐵路等相關大型線性工程專案其興建期程的模型，再進一步藉由高鐵工程實際規劃資料予以實證，以期確立最終能供於世界高鐵工程，甚至在其他有線性排程特性的工程中，在其規劃階段規劃估算工程完工期程時，可供參考的排程理論模型。

1.3 研究目的

本研究著眼於高速鐵路工程其規劃階段的排程結果圖：時間－歷程關係圖(Time-chainage Diagram)，針對其構圖上所缺乏的方法論背景及實際規劃操作步驟，以要徑法及平衡線法配合相關進度管理技術，研擬建立一個能合理預估高速鐵路興建的上位規劃期程方法論模型。

本研究目的在於引進一個新的排程輸出結果，以提供國內外高鐵工程等相關大型工程業主及規劃人，藉由瞭解時間－歷程關係圖，能對於高速鐵路工程其關鍵流程以及興建所需的時程有整體性的概念及完善的掌握，而且能讓此規劃排程結果能在工程生命週其中仍然可以被沿用，進一步的讓各類的大型工程都能推廣運用本研究模型及排程結果圖，而使日後如高速鐵路工程此類大型工程的工程業主能藉由本研究，能對其工程專案興建的總體時程做更有效的掌控。

因此本研究目的為：

- a. 詳細介紹及引進時間－歷程關係圖(Time-chainage Diagram)，針對其輸出結果，建立有完整的理論背景及詳細的操作流程的規劃排程模型。
- b. 以本模型對高鐵實際計畫時程資料做實用證明。
- c. 最終預期提出一個可供大型專案工程從規劃到興建都可沿用的規劃排程模型。

1.4 研究範圍

”台灣高速鐵路興建上的要徑是以八卦山為主這四大長隧道、軌道安裝、軌道機電安裝、機電測試及整合測試營運等這三大項工程區塊六大項工項所構成”(高聰忠, 2009) (Lin, 2004)。

在線性工程專案裡，除了絕對要徑項目必然會改變專案時程，階層越高的非要徑項目，其時程以及歷程的規劃也會對著整個工程的興建時程有影響，因此本研究的研究範圍限定於：

- a. 大型線性工程專案排程的方法論。
- b. 建構時間－歷程關係圖所需的線性工程專案簡要時程歷程資料。
- c. 台灣高速鐵路工程總計劃第一階層的時程與歷程資料。



1.5 研究方法

本研究主要運用時間－歷程關係圖(Time-Chainage Diagram)為最終的輸出結果圖，以之建構台灣高鐵工程期程模型。

而為達上述研究目的，本研究採取之研究方法流程如下：

- i. 針對國內外之高速鐵路規劃期程資料以及第一階層的上位排程內容進行搜尋瞭解，提出問題與確立研究背景和動機
- ii. 確認合適的研究主題、範圍以及方向
- iii. 廣泛蒐集閱讀期程相關論文期刊，歸納瞭解排程手法的目的及演進與傳統規劃階段的排程方式
- iv. 藉由文獻回顧，蒐集國內外關於進度管理技術以及一般的要徑法和平衡線法等方法論與步驟之相關文獻，列舉相關文獻案例資料作分析比較研究
- v. 經由方法論的優缺點比較，整合出時間－歷程曲線圖的方法論背景以及實做步驟
- vi. 以一個簡化的線性排程案例印證研究方法論 LBCPM 的建立，並提出初步結論：分辨此理論的結果與其他規劃階段的排程理論有何優劣不同
- vii. 實際台灣高鐵資料驗證，提出結論與建議
- viii. 論文撰寫
- ix. 後續研究工作

1.6 研究流程

依照研究方法，本研究流程如下：

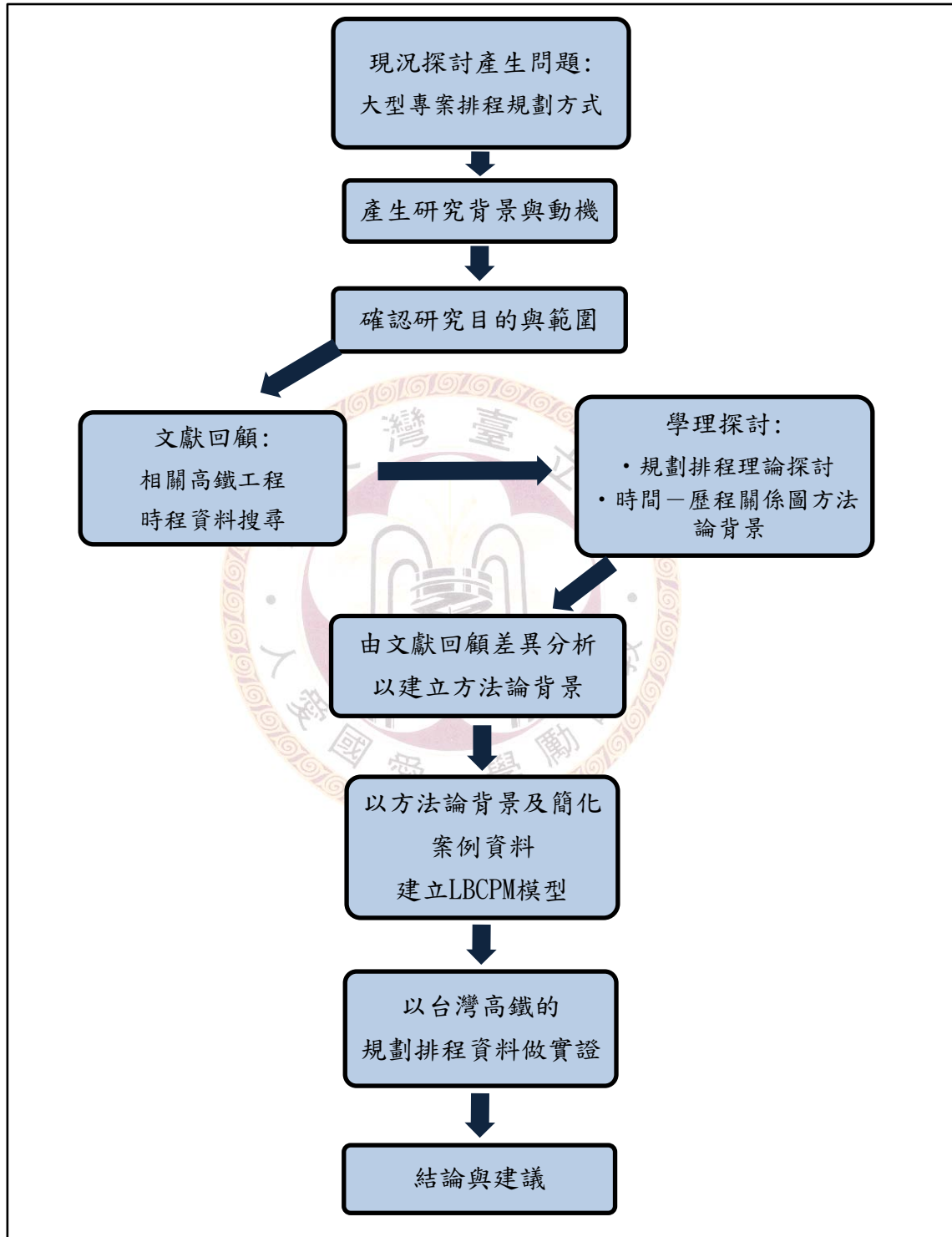


圖 1-4 研究流程圖

第二章 文獻回顧

2.1 文獻回顧流程

針對本研究目的，在文獻回顧部分我們採用以下流程，流程圖表示如下：

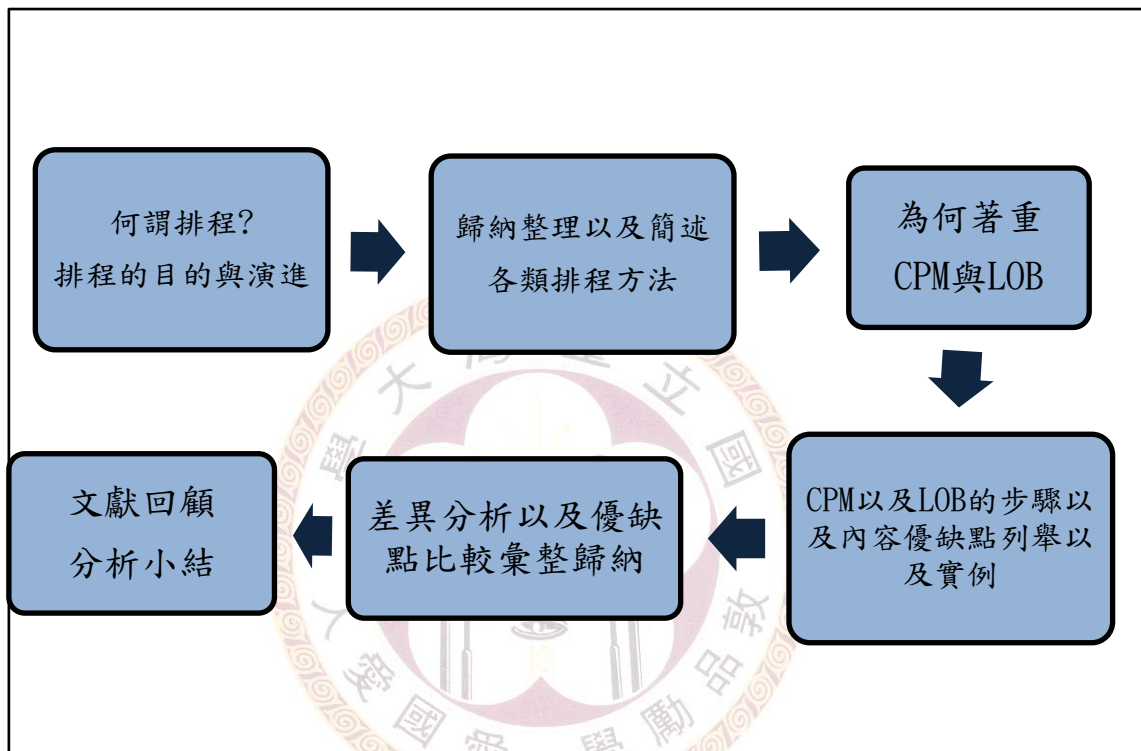


圖 2-1 文獻回顧流程圖

2.2 排程方法概述

2.2.1 排程之目的與演進

“工程進度時程管理對於整體的專案管理而言，是一種重要的綜合管理控制的手段”(蘇文彬, 2006)，而在時間期程上有良好的管理控制，才能有效的對勞動力、機械設備與資金做好控管。所以良好的進度時程管理，不僅能使工程順利的進行，亦有許多額外的效益，黃价成(2006)在研究中闡述：“對業主而言，工期的確定以及縮短能減少投資風險以及避免因物價波動所造成的額外成本；對廠商而言，如期完工能增加商業信譽、避免逾期罰款甚至有完工獎金；而對設計單位來說，時程的控制除了能減少人力的調度以及需求，也能降低成本開支，增加專案靈活度”。

而時程管理技術亦不斷更新演進，其由單純的以監工緊迫釘人來達成進度控制、簡單的圖表，演進到現今的以人工智慧技術為發展方向，根據演進並依文獻及年代，整理如下(表格 2-1 排程方法演進表,資料來源: (張敬廉, 2001), (蘇文彬, 2006)):

表格 2-1 排程方法演進表

資料來源: (張敬廉, 2001), (蘇文彬, 2006)

作者	年代	演進內容
Harris	1978	無特殊方法之時程管理、甘特圖(Bar Chart)、要徑法(CPM)、計畫評核術(PERT)等三階段。
蕭定國	1986	無特殊方法之時程管理、甘特圖、網狀圖、以分工結構圖(WBS)為基礎之整合式成本/進度控制方法、專案管理工程控制系統等五階段。
陳敬寬	1991	甘特圖、CPM&PERT、箭線式(ADM)及節點式(PDM)、分工

		結構圖與階層式作業分解圖、專案工程管理資訊系統(PMIS)、專家系統等七階段。
黃正忻	1997	新增里程碑圖、平衡線圖、目標達成圖等三種手法

2.2.2 排程方法之分類

在上一分節當中，我們認識了排程方法的目的以及發展歷程，但是在眾多排程方法之中，沒經過分類分層而想要找到符合我們研究目的的排程方法猶如大海撈針，因而本分節將從文獻回顧的角度探查過往的文獻是如何將眾多排程方法分門別類。

Ahuja (2004) 在研究中，針對專案排程與專案監管兩大領域之文獻進行歸納，整理出專案排程與專案監管階層式主題分類如下(圖 2-2 專案排程與專案監管階層式分類圖):

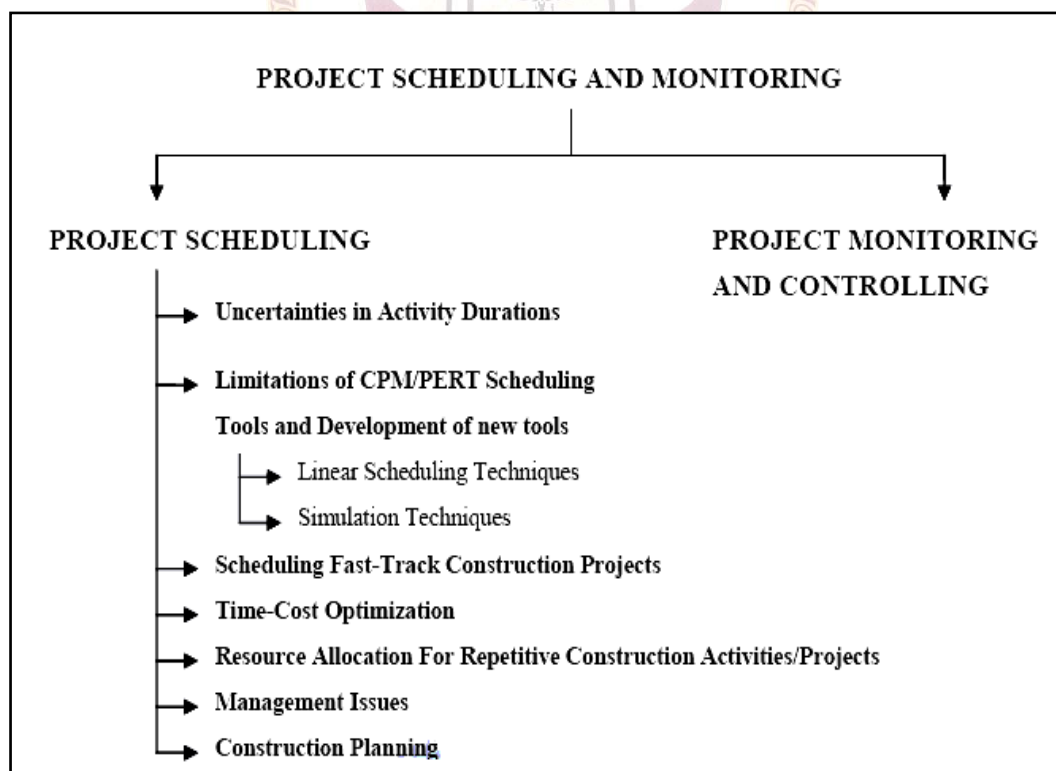


圖 2-2 專案排程與專案監管階層式分類圖(Ahuja, 2004)

蘇文彬 (2006) 在研究中，參考 Ahuja (2004) 針對時程進度管理技術研究之分類方式，將進度管理技術分為六大類：包含要徑法以及計畫評核術之傳統時程進度管理技術、包含平衡線法及其他線性排程技術之重複性工程排程法、時間成本交換類、資源整平類、有限資源排程法以及電腦模擬分析技術等六大類，本研究整理後如 15 頁表格 2-2 進度管理技術分類與簡述。(資料來源: (蘇文彬, 2006)， (Brucker, 1999)， (Harris, 1998)， (Artigues, 2000))



表格 2-2 進度管理技術分類與簡述

資料來源: (蘇文彬, 2006), (Brucker, 1999), (Harris, 1998), (Artigues, 2000)及研究整理

分類	內容	概述
傳統時程 管理技術	要徑法:ADM 與 PDM	現存限定問題，因而 發展後續應對方法
	計畫評核術(PERT)	
重複性工 程排程法	平衡線法(LOB)	偏向最佳化分析模 式，以及結合網圖技 術
	線性排程法(LSM)	
	重複排程法(RSM)	
時間成本 交換法	基因演算法 (Genetic Algorithms)	啟發式解法與數學規 劃模式
	禁忌搜尋法(Tabu Search Algorithm)	
資源整平 法	改良式最小動差法 (Minimum Moment Method)	改良最小動差法之不 足，引用啟發式解法 以及 Packing Method
	基因演算法	
	路徑堆積法 (Path Loading Method)	
有限資源 規劃排程	基因演算法	利用數理模式之最佳 解求法、啟發式解法
	禁忌搜尋法	
	模擬退火法 (Simulated Annealing)	
電腦模擬 技術	現有電腦模擬技術有: CYCLONE、STROBOSCOPE、ABC、 SimCON、SmartLink	應用於替代方案測 試、分析與預測影響 因子

此外，Brucker (1999)在研究中提到，排程方法當然也有對於各個工程階段有不同的適用性，我們可以分為多半只能使用在規劃階段的計畫排程，在興建階段使用的施工排程，以及適合工程專案全生命周期的主計畫排程三種，

而一種排程方法論可以兼具不同的排程特性。

針對我們的研究目的，著眼在規劃階段的計畫排程以及在規劃階段訂定後可以適用於全生命周期的主計畫排程此兩種排程方法論，應該是比較合適的。

2.2.3 排程方法探討緣由

在上一小節當中，我們獲得了所需要的排程方法論基礎分類。在這些分類中和一些文獻當中所提及，有些資訊是值得我們注意的：

1. 根據文獻 TiLoS (2010)，Time-Chainage Diagram (TCD) 在各國間也有相應的不同稱呼，也因此造成在方法交流上可能的困難；而 TCD 在其他國家中有其他的稱呼，例如：Linear-Scheduling Method、Time Distance Diagram、Time Location Diagram、French Diagram、March Chart 等；其中我們可以注意到，比對根據蘇文彬 (2006) 在前一小節的文獻整理之後我們可以發現，Linear-Scheduling Method 是屬於線性排程法的一種，平衡線法(Line Of Balance, LOB)也同屬此類，甚至 Cooke & Williams (2004) 也在書中直接表示平衡線法的原理與 TCD 幾乎是如同表親，所以當我們需要建構 TCD 的方法論時，平衡線法是我們需要先了解的方法論。
2. 而前面提到，根據我們的研究目的，選定規劃階段的計畫排程是比較合適的，而”平衡線法是在規劃階段中，最合適的線性排程手法之一”(PCF(<http://www.pcfltd.co.uk>), 2009)。
3. 在 TCD 的排程結果輸出圖中，我們可以很顯然的看到 TCD 的排程結果中對於各個工項其功率有資訊要求，而”以功率以及圖形化來表達工項的排程手法正是平衡線法(LOB)的特色”(Hons), 2009)。
4. 相對於其他的排程方法，”要徑法 CPM 是以工程的網圖分析做為基礎，而有很強烈的工項前後邏輯，以及時間軸上的時程邏輯概念關係”(Brucker, 1999)，所以在對於工項時間邏輯上的表達非常清楚。

5. Kallantzis, Soldatos, & Lambropoulos (2007) 研究中指出，線性排程法對於重複性專案的排程規劃，相較於泛用的要徑法網圖，提供了一個額外而優異的選擇，然而，”要徑法網圖的理論背景卻也是這些方法的基本要素”，因此，我們在建構時間－歷程關係曲線圖之前，必然也要先對於要徑法網圖的內容及作用有所了解。

綜合以上五點，我們在下一節的文獻回顧方面將針對要徑法(CPM)以及平衡線法(LOB)此兩大排程手法，做詳細的描述，步驟介紹以及優缺點的陳列與比較分析。



2.3 排程方法論探討

在上一節中，我們從文獻回顧將排程手法分為六大類，並經由文獻的指引，將本研究的背景方法論研究範圍縮小到要徑法(Critical Path Method, CPM)以及平衡線法(Line of Balance, LOB)，本節將詳述要徑法及平衡線法的步驟以及優缺點，從中了解及比較，以歸納時間－歷程關係圖其排程輸出結果的方法論背景資訊。

2.3.1 要徑法

在 1957 年美國杜邦(DuPont)公司為管理一間化學工廠，對其維修而停工並且在維修完成時立即復工，而針對此複雜過程的專案管理，發展出要徑法來管理此一專案。

要徑法有以下優點：

1. 將整個專案圖樣化
2. 推估整個專案的預定完成時間
3. 能分辨各個工項的關鍵性，表示出需要持續關注的工項

”要徑法利用網圖分析的原理，是以施工網圖顯示施工內容及流程，並以此為工期計算與進度分析之方法”（蘇文彬, 2006）。”以總浮時為零或最小浮時的工項所連結之最長工項路徑成為網圖上之要徑(Critical Path)，並將工程專案之進度管控焦點集中於要徑上之進度管理技術”（Sherikant, 2006）。

”所謂施工網圖，就是將專案的工作事項表現為網圖的模組，工項以網圖上的節點來表示，而工項的起訖時間以其先後順序即以節點間的弧線或直線做表示”，19 頁圖 2-3 要徑法 PDM 簡圖 即是一要徑法簡明的圖示例子（Project Management Institute, 2004）：

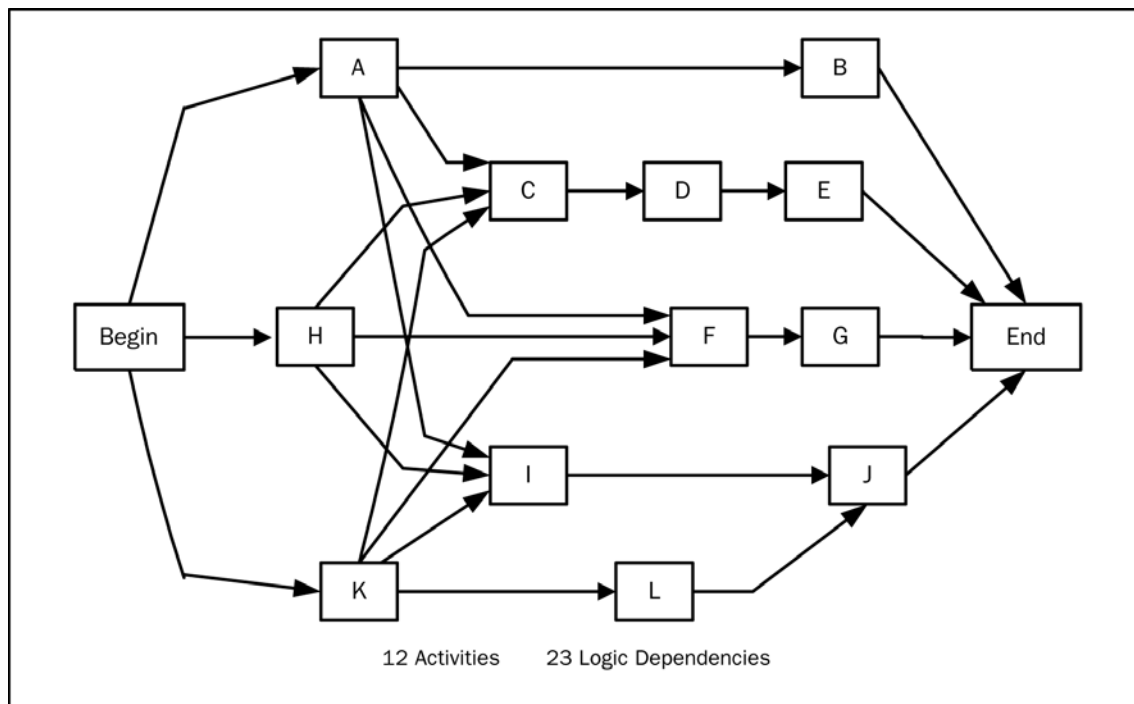


圖 2-3 要徑法 PDM 簡圖 (Project Management Institute, 2004)

要徑法的步驟 (Sherikant, 2006)：

1. 明確分辨出各個工項：

從工作分層結構表我們可以得到專案所有工項的工作表，而這個工項表可以用在下一個步驟中，增加工作序列和估算工項時間所需要的資訊來源。

2. 決定各工項的順序：

工項之間會有可能的先後關聯，所以先建立一張列出各個工項先後順序的關係表在建構要徑網圖是很有用的。

3. 繪出網圖：

當各個工項的先後順序關聯已經決定，就可以依照這個關係劃出要徑圖，而最早期的要徑圖是以節點來表示工項(AON)，而後來許多專案計畫管理人比較偏向使用箭線來表示工項。

4. 估計各工項的完成時間長度：

各工項完成時間長度的估算主要是以有相關經驗的專家配合過去類似工項的完成時間來推估。而要徑法(CPM)並不考慮工項完成時

間上的變異，所以只會估算出一個精確的工項完成時間。

5. 計算出要徑：

所謂要徑也可說是在網圖中所有路徑裡有最長時間的路徑，所以在要徑上的各工項都不能在時間上有所延誤，否則整個專案必定會延遲。由於要徑上的工項對整個專案的影響性，要徑分析在專案計畫上是一個很重要的工作之一。要徑法的計算分為前進計算以及後退計算，以決定各個工項之最早開始(ES)、最早完成(EF)時間以及最晚開始(LS)、最晚完成(LF)時間。計算說明如下 (蘇文彬, 2006):

- a. 前進計算: 於初始工項節點開始計算至最後之節點，藉以求得各個工項的最早開始以及最早完成時間，計算式如下：

$$ES_{JK} = \underset{\forall x}{\text{Max}}(ES_{xJ} + D_{xJ})$$

$$EF_{IJ} = ES_{IJ} + D_{IJ}$$

- b. 後退計算: 由最後的工項節點往初始節點計算，藉以求得各個工項的最晚開始以及最晚完成的時間，計算式如下：

$$LS_{IJ} = LF_{IJ} - D_{IJ}$$

$$LF_{JK} = \underset{\forall y}{\text{Min}}(LS_{Jy} - D_{Jy})$$

利用以上資訊可以得到一個工項的時間資訊，可表示如下

圖 2-4 要徑法計算圖一以 ADM 為例 (蘇文彬, 2006))：

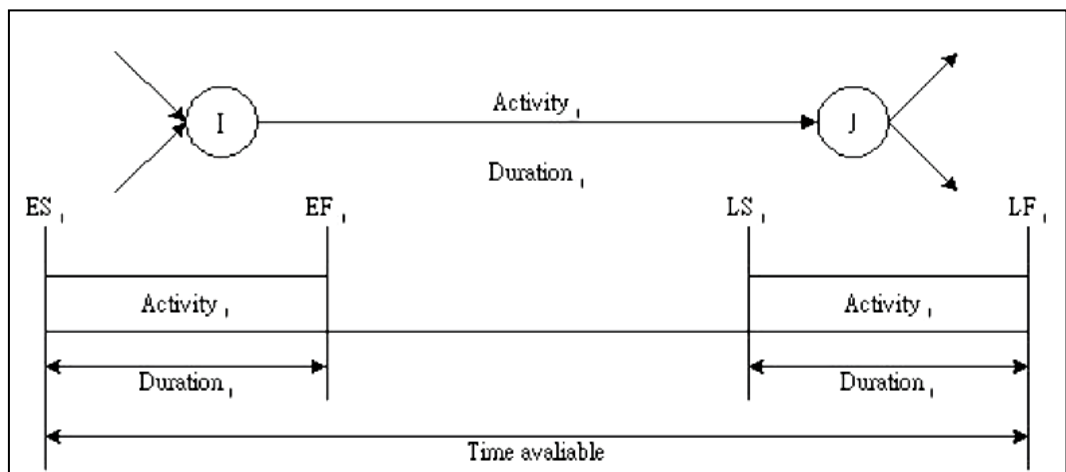


圖 2-4 要徑法計算圖一以 ADM 為例 (蘇文彬, 2006)

6. 可依照實際工程進行對要徑網圖做更新：

當專案開始進行後，可獲知各工項的實際完成時間，而可以加入這些新的資訊以更新要徑圖，可能會浮現新的要徑，甚至當專案需要改變時加入新的工項。

要徑法(CPM)的限制：

“要徑法在使用上主要對於較常態且時程上不確定性較小的專案”(蘇文彬, 2006)，因而”要徑法的使用受到不確定性的限制，所以在某些不確定性較高的專案，就需要結合其他排程方法來補足這個限制”(張敬廉, 2001)，例如：結合平衡線法(LOB)等。

2.3.2 平衡線法

”營建工程中常有包含多單元之重複性工程的專案，所謂重複性工程專案意指專案各單元內有大量相同類型的作業，且各類型作業施工所需要之資源必須在各單元中被重複使用到，主要的類型像：高樓建築、公路建設以及管線鋪設等工程”。而”這類型的工程在其排程規劃當中並不適用於一般工程常用的要徑法或是桿狀圖來規劃”(蘇文彬, 2006)，其整理原因如下：

1. 以要徑法為例，其假設各工項為獨立單位，分析時依據作業間先後關係之限制，以最早或最晚開始時間進行施工規劃，因此”其分析結果僅能確保工項間之先行後續關係，而並未考慮相關資源於先行作業單元之完成後，後續相同之作業單元所需耗費之等候時間。由於無法規劃同一類型作業於不同的作業單元間作連續施工，因而可能規劃出資源使用率極低的排程規劃”(蘇文彬, 2006)。
2. “要徑法僅針對要徑作業增加資源之投入量以分析工程專案最佳工期，可能分析獲得同類型作業在不同單元中之資源投入量不相等”(蘇文彬, 2006)，而導致工程專案施工期間內必須時常對某些工項施

工所需之資源做增減。

3. “要徑法於分析計算時，將各個工項作業視為彼此獨立，也因而造成在計算時所需的資料儲存容量與作業量呈倍數增加”（蘇文彬，2006）。
4. “桿狀圖在圖上無法明確表示各作業間彼此的先後邏輯關係，故無法表現各工項的先後邏輯正確性”（(Hons), 2009），也無法分析表達相同類型作業於不同作業單元間能連續施工。
5. 由於桿狀圖無法明確表達作業間之邏輯關係，不易瞭解若增加某工項的可使用資源對縮短其施工時間對總工期的影響度，故”以桿狀圖來說，比較不適合用作大型專案的整體規劃排程的分析手法”（(Hons), 2009）。

Henry Laurence Gantt 是一個機械工程師及管理顧問，他於 1910 年時研究出第一個甘特圖的簡單範例，之後加入了功率的因子以及對重複性工程排程的考量，發展出平衡線法，是甘特圖的一種延伸（(Hons), 2009）。而甘特圖是一個視覺工具，主要是用來突顯最後項目以及總結項目的起訖時間，即使現在在營建業已被廣泛使用為一個很普遍的表達手法，在當時仍屬於一種世界性的創新原理；而甘特圖也經常被使用在大型的建築計畫，像是 1931 年起造的胡佛(Hoover)大壩以及 1956 年起造的美國洲際高速公路網。

由於傳統營建工程的排程規劃手法不適用於重複性作業工程的排程規劃，因此針對重複性工程的特性，自 1970 年以來許多新的排程規劃手法陸續發展出來，而多半以線性排程技術（Linear Scheduling Techniques）為基礎，其中平衡線法（Line of balance method）是特別針對相同作業重複性高的工程排程手法（Sherikant, 2006）。

平衡線法起源於 1940 年代，由美國 Goodyear 公司所開發，起先是用於工業製造的生產鍊控制，主要目的是在規劃計算製造成品的生產線流量

率。而後於 1950 年代早期為美國海軍發展規劃，使用於非重複性以及重複性的專案排程。其後由於網圖技術的出現大大限制其發展的空間，因而逐漸沒落，直到 1980 年代後期英國國家建設局(National Building Agency)在將其改良發展使用於重複性工程的專案排程，才激使學界對其應用於工程方面排程的相關研究 (Sherikant, 2006)。近年來營建產業的計畫或排程常常用到平衡線法的基本概念，而許多對於平衡線法的技術或是發展的嘗試也在進行，因而有各式各樣的其他分門別類的新名稱。

如同我們前面文獻所提及，TiLoS(2010)在研究中所指出：TCD 的別名 Linear-Scheduling Method，在蘇文彬 (2006) 研究中也有介紹，不過很明顯的兩者是同源於線性排程法，也就是由平衡線法所後續發展出來的新的排程方法，但是在蘇文彬 (2006) 研究中所介紹的排程方法，與我們研究方法所設定的 TCD 是有先後不同的，在蘇文彬 (2006) 研究裡所介紹的僅止於對平衡線法做基本的衍生，其在構圖上以及構圖步驟都與我們在前面所介紹的，以區塊圖形化以及歷程表達是有差異的，而根據 Cooke & Williams (2004) 書中所描述，TCD 最早被使用是在 1990 年代英法海底隧道施工規劃中被大量重用而被其管理公司所開發出來的圖形表達方式，所以在這裡我們可以合理的推論以及重申，在蘇文彬 (2006) 的研究之前，TCD 在國內的使用上的不普及而搜尋之後的相關文獻亦無所獲，因而值得我們詳加研究後加以引進此方法論以及結果圖。

平衡線法的步驟原理：

”平衡線法為一種基於生產線平衡考慮之圖形化製造生產排程手法，主要在發展各個組合元件之排程，以配合最終之組合工作” ((Hons), 2009)。

”構成平衡線法之技術通常可以區分為決定生產目標、決定生產計畫及繪製進度圖三部份” (蘇文彬, 2006)。

平衡線法最原始的表示方式如 24 頁圖 2-5 平衡線法圖例—房屋建造

(資料來源：本研究自行繪製) 所示，橫軸代表時間，縱軸代表累積的生產單位，而直線的斜率則代表專案工項的生產率，甚至可以擴大直線成為區塊來表示工作區域的大小，而圖中各工項預定完成的單元數量折線即為平衡線。值得注意的是：單就平衡線法來說，它並不會表現出各個獨立工項之間的關係，而是展現各個獨立工項的工時以及生產量或生產速度必須以一個特定規劃的預定生產功率來行進，以作為作業趕工或是重點管理的依據。

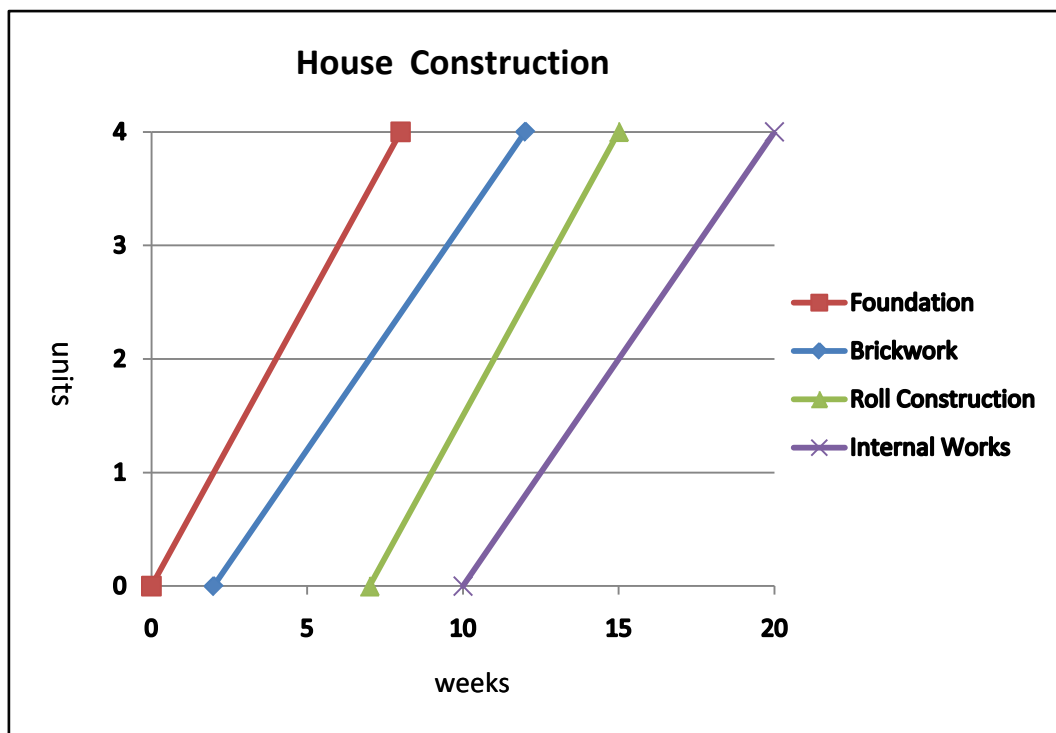


圖 2-5 平衡線法圖例－房屋建造

以 24 頁圖 2-5 平衡線法圖例－房屋建造為例，平衡線法所需之排程資訊如下：首先，依合約內容需求訂立生產目標，並以累計的完成數量表示之，接著決定個別單元的生產計畫與分析單元內各作業所需的工期長度以及前置時間，以進一步決定單元內各作業邏輯與完成時間點之關係，先將其個別繪製成單元生產計劃圖，最後整合繪出進度圖，如上圖所示。

而利用甘特圖呈現專案進度也在現今的營建產業被廣泛使用，25 頁

圖 2-6 甘特圖結合平衡線功率就是利用平衡線法的原理，參考上面文獻中房屋建造的例子並結合甘特圖的一個簡單範例(本研究參考相關時程範例以 Project 2007 重繪)：

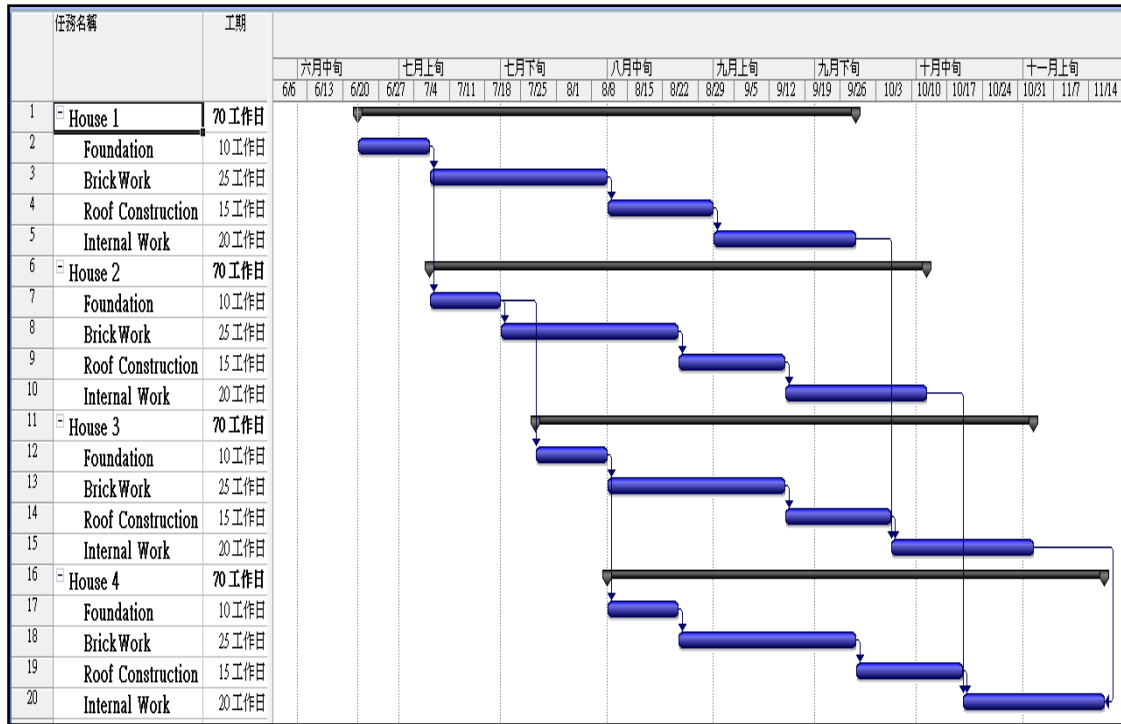


圖 2-6 甘特圖結合平衡線功率

有了上圖的結合例子，我們可以發現，雖然它能表達各工程細項的先後邏輯以及時程功率的概念，然而以規劃和管理的角度而言，我們無法在圖上就斷定哪一條工項鏈結是要徑，因而無法對這些要徑工項做管控；此外，雖然有資源的使用的功率描述，但是卻無法見到時程上的彈性表達，這些規劃及管理上資訊的不足，顯示這個兩個方法論的結合並不是個成功的組合。

在這裡，我們也可以明顯的分辨出時間－歷程關係圖相對於甘特圖或是其他一些傳統的排程方法(如:要徑法網圖)之間的差異：”傳統的排程手法將他們的排程結果以桿狀圖或是網圖來展現，相對於此，時間－歷程

程關係圖卻展現了一個獨特的挑戰—當專案需要重複使用的資源時，時間—歷程關係圖能以圖形化的方式表達，而這是單以桿狀圖或是要徑網圖所不能夠的。” (TiLoS, 2010)時間—歷程關係圖除了能有效的表達重複性的工程，資源的撫平以及資源的使用情形，還能給予這些資源的使用時間以及使用地點這些多元的資訊，並且清楚的將整個專案的細節以及規劃整合於一張一目了然的結果圖上，簡化了整個專案範疇上的溝通，也同時能讓整個結果圖能在專案生命週期中被有效沿用。

平衡線法的優點：

網圖分析法在大型專案工程非常受到重用，但在表示複雜而大量的重複性專案工程時卻會遭遇困難，也因此要徑法在面對重複性專案時常為人所詬病，其主要原因有兩個 ((Hons), 2009)：

1. 首先，要徑法在表達重複性工程時，他將各個相似卻在不同工作單元的工項視為獨立，因此產生大量卻又相同性質的重複工項，而造成網圖的高複雜度以及管理上的困難，也同時造成了營建管理團隊在使用此一工具時溝通上的困難，並且由於網圖上的複雜度，很容易隱藏住可能的進度延遲。
2. 其次就是要徑法是假設單一的專案時程，而在遭遇重複性專案排程裡特別的資源限制時，正確性會打折扣。實際上，網圖要徑法技術也無法有效的針對資源衝突以及閒置做規劃，而會造成勞力和資源採購上的困難等擾人問題。

相較於要徑法的網圖分析以及甘特圖，平衡線法似乎本來就是為重複性專案排程而生，其主要的優點 (Sherikant, 2006)：

1. 生產率和時程上的資訊在圖上就可以表達，因而可以撫平資源的使用且確保資源使用上的效率，而如何撫平資源的使用，我們會在下面一段以相關文獻回顧的方式提及。

2. 平衡線法可以很簡明的表達專案工項的功率，因此在進度延遲或中斷時，利用平衡線法的比較可以很快就發現。
3. 最後，平衡線法相對於其他進度管理技術，在準備時間以及效率上最優異，並且配合電腦軟體的計算，例如：excel 即可產生平衡線法圖。

在第一點中，我們提到了資源整平是平衡線法的優點之一，而圖形化表達簡單的平衡線法做資源整平所需的工作是不多的，本研究在文獻蒐集時，對於蘇文彬（2006）在其線性排程法中所提及的 Linear-Scheduling Methods 做更多的文獻搜尋，發現 Mattila & Abraham (1998) 文獻研究中，對於此 Linear-scheduling Methods 的資源整平有更多的描述，而此 Linear-scheduling Methods 如同前面所提及的，與（蘇文彬, 2006）研究中所使用的同屬於平衡線法的初步發展衍生，在研究中只適用於單純以平衡線作圖形表達的方法論，而不能證明能對於本研究中的區塊圖形有同理的適用性，因而對於時間—歷程關係圖這個屬於平衡線法的近代發展，其區塊圖形如何正確的做資源整平，仍需本研究以及後續研究做進一步的探討。

”現實上存在的工程專案中，很少有不能夠套用平衡線法來規劃專案排程並從中獲得良好收益的情況” ((Hons), 2009)，回到平衡線法，如前面所述，就複雜的專案來說，或許平衡線法所表達的只是總計畫的階層，但普遍來說這已足夠為整個專案的管理做良善的使用。

但當平衡線法在處理已由分工結構圖整理出眾多細項的專案，就會變得非常複雜，當許多眾多細項的相互關係以及其他限制都表現在平衡線法圖上，會讓平衡線法圖將各工項資訊雜亂的散佈在輸出結果圖上而難以閱讀，唯有此時以甘特圖來表示才會是比較好的選擇 ((Hons), 2009)。

2.4 排程方法論之比較

在前一節裡，我們完整的從文獻上了解要徑法以及平衡線法的理論背景、所需要的排程資訊、結果輸出步驟以及其排程方法的特性以及優缺點，而在本節中，本研究藉由上一小結通篇的文獻的整理以及探討，整理出下表(表格 2-3 要徑法與平衡線法特性比較表)比較其中的優缺點以及差異：

表格 2-3 要徑法與平衡線法特性比較表

特性比較	要徑法	平衡線法
圖表特性	能表現出先後邏輯 計算出要徑工項 管理者可以聚焦於 要徑工項之進度管理 無法顯示資源的特性及 彈性	工項圖形化表達生產率 以及資源使用率等資訊 有資源限制時 只要調整斜率即可 但時程上沒有彈性
對於 重複性工程 專案	重複工項造成網圖的 高複雜度 完全無法使用於 重複性工程專案	以平衡線來表達各工項 對重複性的單元能 很簡單的以生產率表達
時程特性	假設單一專案時程 在時程上僅能顯示 非要徑項目的 時程彈性	以平衡線斜率表達生產率 先後邏輯表達 僅限於時間軸上 時程上無彈性表達
資源特性	幾乎無法在要徑法網圖 上表達資源 可能造成採購上困難	生產率在圖上就可以表達 可以撫平資源的使用且確保資源 使用上的效率

工程 適用性	除了重複性工程專案 幾乎各基本工程類型 都可以用要徑法表達	能廣泛的使用在各個工程 惟工程項目過多時會有 計算上及圖形複雜的問題
階段 適用性	適用於施工排程 適合於低階規劃排程	適用於規劃排程階段

從以上的比較我們可以整理出以下三點特性:

1. 圖形化是在規劃排程階段，不論對規劃管理者或是後期施工管理而言，都是很好的排程結果輸出方式。
2. 除了圖形化，將生產率或是資源使用率表達在圖上，除了可以增加對於有重複性工程特性的專案之規劃能力，也能讓更多有用的資訊在規劃排程階段就訂立，而增加該結果輸出圖在建築生命週期中的使用長度。
3. 單以要徑法或是平衡線法來規劃工程專案，存在著一個對於表達時程特色或是透漏資源特色的平衡交換—如果以要徑法來規劃，能表達要徑項目以及時程彈性，但資源的使用以及生產率等資源彈性似乎就無法顯現甚至受限制；反之，以平衡線法來規劃，能展現生產率等資源彈性特色，但是對於工項的前後邏輯以及要徑非要徑等時程彈性的特色也相對缺乏。

2.5 小結

透過上一節的整理以及歸納，我們可以獲得幾點文獻探討上的小結論：

1. 在平衡線法當中，我們雖然能獲得各個工項的生產率以及時間軸上生產的先後邏輯，但對於工項間的前後生產邏輯卻無法掌握，此外，我們也無法在結果輸出上獲得時程彈性的特色供施工管理者做為依據。
2. 而在要徑法當中，要徑工項的時間單一，而非要徑工項的時間以最早開始(ES)作為開始的時間點並以最晚開始(LS)與最早開始(ES)中間的時間差做為浮時來表達其中的時程彈性，但在前一小節有提到，如此方法的表達方式對於資源上的特色卻缺乏展現的能力。
3. 因而本研究在發展時間－歷程關係圖的方法論背景時，主要在於融合彈性表達的優點，以彌補這些方法論上的不足。

在下一個章節，我們可以預期在方法論背景的建立上，不能單獨偏向使用某個特定的方法論；在平衡線法的發展中，有人嘗試結合甘特圖來達成規劃上的需求，雖然這個結合不盡完善，但似乎告訴我們可以嘗試將一些平衡線法的特性結合其他的方法論，如此或許會有一個全面的排程方法結果可供使用。

第三章 研究方法論

在上一個章節中，我們探討了幾個規劃排程的方法論，為了能建立時間－歷程關係圖(Time-Chainage Diagram)的背景方法論以及操作步驟，我們詳細了解要徑法以及平衡線法的特性以及優缺點；在本章中，我們先回到時間－歷程關係圖在發展上的歷史，並介紹其在結果輸出圖上的類型及圖形表達方式。在第二小節我們將結合要徑法以及平衡線法產生本研究的方法論背景以及歸納 TCD 在排程資訊上的要素。而有了排程資訊的要素，在第三小節將建立標準化的 TCD 操作步驟，並在小結中闡述本方法論與操作步驟的整合建立期望達到的核心價值。

3.1 時間－歷程關係圖簡介

在文獻回顧裡，Cooke & Williams (2004)在書中表示，一般來說 Time-Chainage Diagram(或是有人稱為 Location-Time chart) 從圖形上就可以很明確的知道他是一個將桿狀圖以及平衡線法的圖形表示形式做結合，並以此為基礎作發展。而其他兩個文獻也分別支持這種說法：TiLoS (2010) 在研究中指出時間－歷程關係圖與現在規劃系統中常被使用的甘特圖非常相似(可參考 33 頁圖 3-1 TCD 單直線圖例)，而我們觀察之後也可以發現，以圖形表達的觀點而言，TCD 的確擷取了以圖形區塊來表達工項某些特性－這個本來在早期規劃方法中，特別屬於甘特圖的優點；除此之外，Kallantzis, Soldatos, & Lambropoulos (2007) 也在研究中表示，以理論背景的角度出發，TCD 也能在圖上以斜率表達施工的產率(參考 34 頁圖 3-2 TCD 歷程斜率線圖例)就像是他的表親平衡線法一般，但是在單位軸上的單位有所轉換，這部分我們在下一節以及後續的特點探討中會再討論。

而近年在營建市場上，也有少數的商用軟體，可以提供專門對於 TCD 的

規劃製圖，例如英國的 PCF 公司開發的 QEI Eexc；而我們實地探訪該公司的網站，可以更進一步的了解一些時間－歷程關係圖的起源 (Northwest Controlling Corporation, 2008)：QEI Exec 軟體原本為 PCF 公司所進一步開發的，在當時主要是為了在英法海峽隧道的施工規劃中能夠使用，而在該重大工程專案規劃時，率先有一個法國專案管理規劃團隊提倡使用此一結果圖形來表現規劃結果，因而時間－歷程關係圖如同在前面文獻回顧所述，也有 French Diagram 之稱；此外，時間－歷程關係圖的結果圖在國外的專案管理中，主要是使用在線性工程的專案中，像是道路、管線、大型高速公路土建工程、鐵路軌道工程和隧道這種大型的線性工程專案，這些專案都有一個共通的特性，就是這些專案都可視為在長距離工區上的線性施工，換句話說，就是從一端的工作起始點開始，而有系統的甚至重複同樣的工序到達工程或區段的另一個端點；而時間－歷程關係圖明顯而主要的優點我們也可以很快的發現，並在本研究中一再被提倡，就是其在工程管理上被使用時，它可以同步的確認工項時間以及工作位置（歷程），而這是其他傳統手法無法體現的。

而許多人第一次接觸到 TCD 時，就會注意到它以圖形表達工項的特性，但是每種不同的圖形，各自有不同的表達涵意，但其實我們大概可以將在 TCD 上的圖形分為以下幾種 (PCF(<http://www.pcf ltd.co.uk>), 2009):

1. 單直線(single location):

(參考 33 頁圖 3-1 TCD 單直線圖例)這是最基本而簡單的工項圖形表達方式，即是將一個工項表示在歷程軸(即是一個線性工程其整體所想表現的里程空間長度)上的一個位置點，再根據工項所需的工時繪出時間長度；像是一個節塊的完成或是設立一個幫浦。

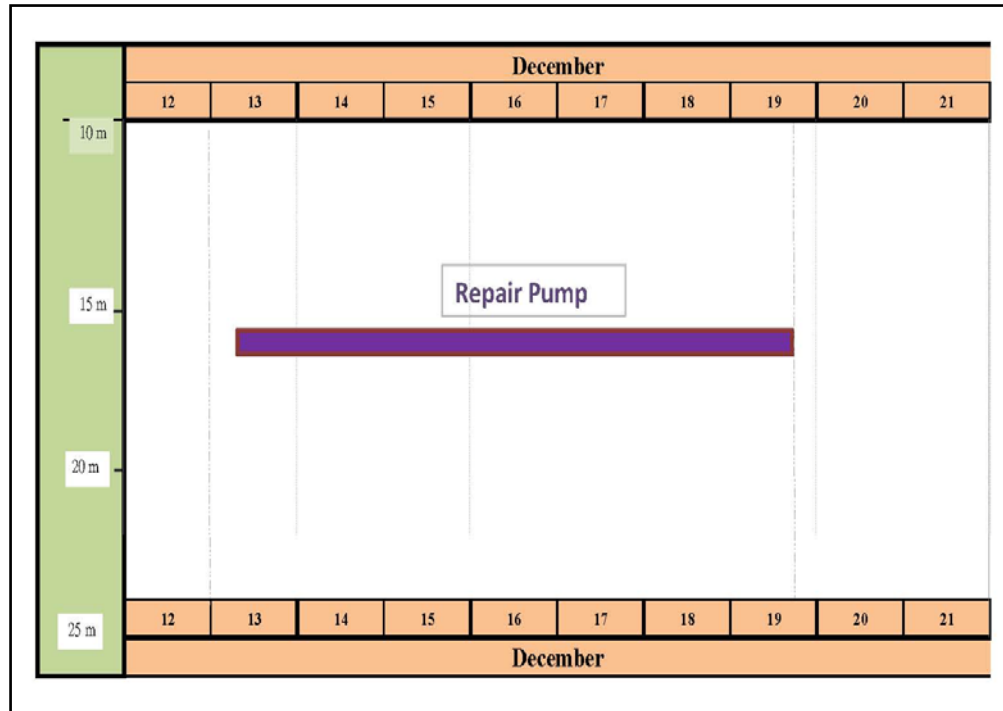


圖 3-1 TCD 單直線圖例

2. 歷程斜率線(Activity between chainage point):

這是常見的工項表示方式之一(如 34 頁圖 3-2 TCD 歷程斜率線圖例)，也是將平衡線法原理運用在 TCD 圖中的最佳例證；先規劃或蒐集各個工項的先後順序、工項歷程、施工工率或是規劃完工日期等資訊，再將各個工項表現於圖上，而不同的斜率代表不同工項其各自的歷程工率。常見的類似圖形表示的工項如：隧道鑽掘前進或是道路鋪設進度。值得再次注意的是：TCD 與平衡線法雖然都是以工率來表達其工項為特色，但是有別於平衡線法的完工數量，TCD 是以歷程軸為其單位。

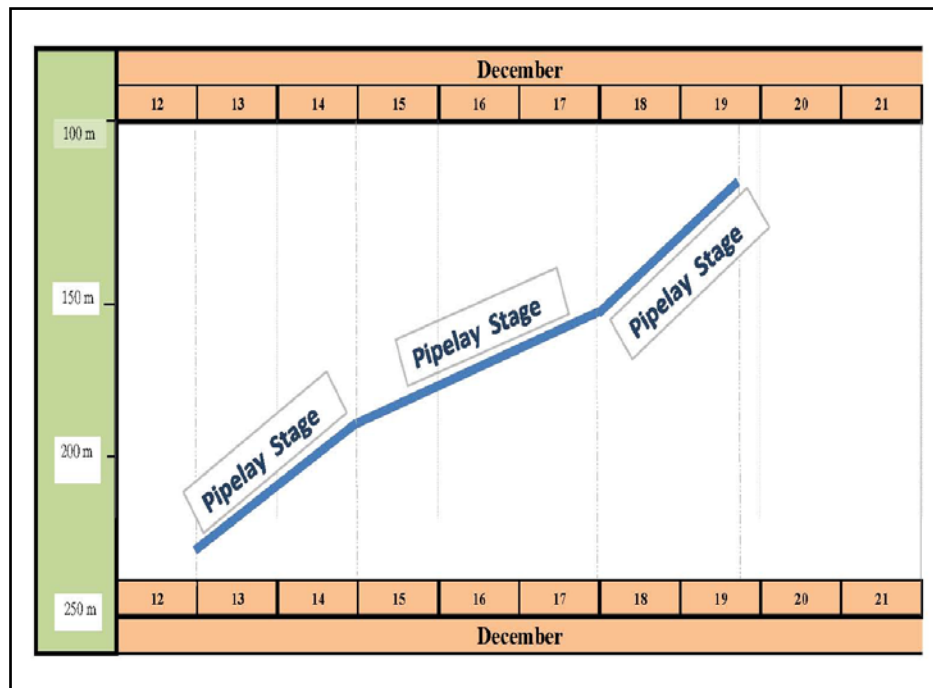


圖 3-2 TCD 歷程斜率線圖例

3. 保護區塊 (Protected Activity):

相同於上一個歷程斜率線圖形，本圖形（見圖 3-3 TCD 保護區塊圖例）是用於有需要對整個工項給予一個保護區的斜率工項所建立的表示方式，像是臨時的電線埋設。

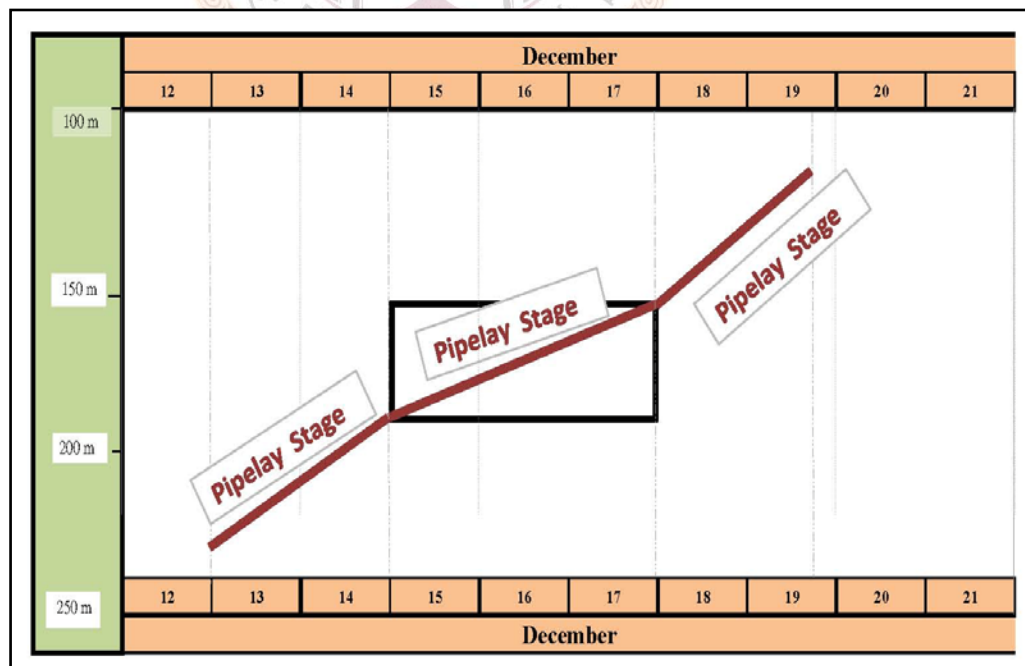


圖 3-3 TCD 保護區塊圖例

4. 工項區塊(Permanently Activity):

對於在歷程線性的長距離上有同時施工，或是將這細部的空間彈性保留給後續施工者的工項，我們在圖形上會以區塊來表達這種工項(如下圖 3-4 TCD 工項區塊圖例)，像是一個橋垮的完成或是一個土建包的時程－歷程區塊。除此之外，若圖上有許多工項區塊時，我們就需要以不同顏色區塊來表達不同的工項關係。而當我們需要對某個有風險的工項設置永久性的防護區，也可以以此圖形來表達，像是歷程直線上的電纜設置工程。

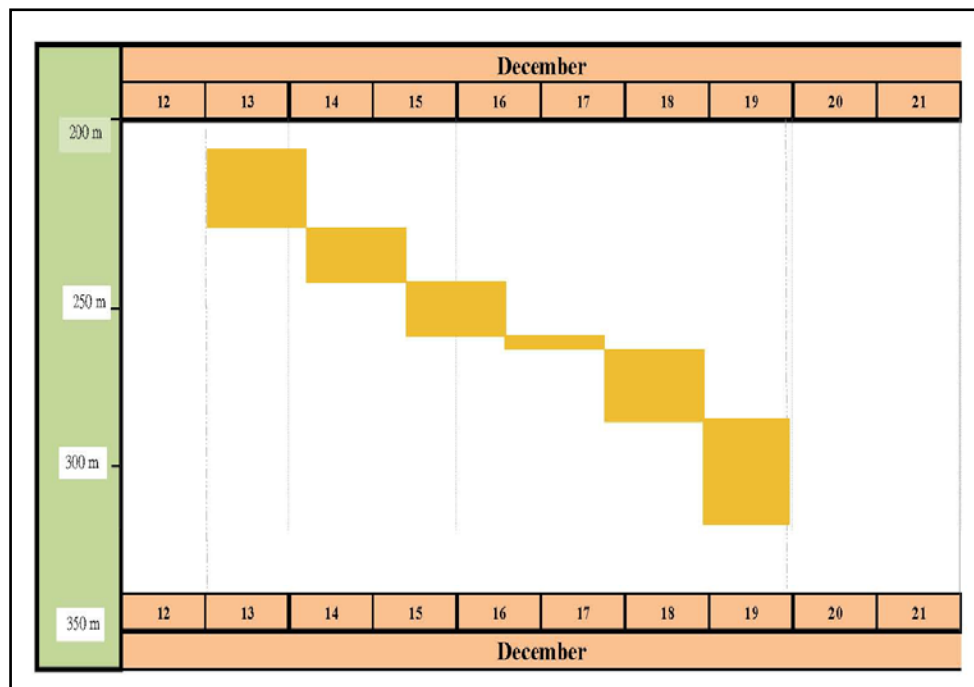


圖 3-4 TCD 工項區塊圖例

在我們認識了 TCD 的基本歷史背景以及用來表示各種工項的圖形，下一節我們開始在 LOB 這個理論基礎上，融合要徑法以及其他細部的元素，來建構我們的 TCD 背景方法論－LBCPM。

3.2 LBCPM 模型方法論背景

在建構出整個時間－歷程關係圖之前，我們需要將各個工項的內部資訊如時間、工項前後的作業關係、工率、歷程等正確的歸納蒐集後，轉換成合適的表達圖形，然後正確的連結排列在圖上。而如我們在文獻回顧結尾所歸納，單從平衡線法，雖然有個工項的功率展現，但是遺憾的是，工項之間的時間關係以及工項的歷程空間關係和各自的彈性，卻被犧牲而無法表達。Cooke & Williams (2004) 也在書中提到：“從傳統的排程手法中，沒有一個方式能同時表現時間以及工作位置（歷程）的關係。舉例來說，從平衡線圖以及甘特圖上我們無法獲得工項位置的資訊，同時在要徑法網圖上也無法反映時間跟工項位置的關係。”這與我們在上一章文獻回顧中最後的推論不謀而合。因此，延續本研究在文獻回顧的小結，在接下來我們要建構的，是在平衡線法的基礎上，保留其工率以及圖形化的表達優勢，擷取其他資訊，來彌補平衡線法(Line of Balance, LOB)的不足，而其中我們由最簡明的 CPM 方法論以及工項表達方式中，獲得補足的資訊，使此兩個方法論的結合，而能讓我們獲得時間－歷程關係圖的輸出結果，LBCPM 的命名精神正源於此，此後文中我們都以 LBCPM 為本研究方法論名稱。

要建構一個時間－歷程關係圖並不像它表面上所表達的看起來這麼的淺顯容易，所以首先我們可以先歸納出，要建構一個這樣的輸出結果圖，其所需的要素資訊大致可以分為以下四個區項：

A. 工項目標內容－分工項目表：

要規劃一個工程，首先我們要明確的分辨出各個工項，並訂立生產施工的目標以及其規劃上或經驗上應有的施工工率，以及在歷程長度軸上的哪個點或哪個長度區段上施工執行此工項，並大致的規劃整理出要徑項目。

所以我們可以從規劃所構成的分工項目表，獲得本類型中各個

工項的基本資訊。並就這些基本資訊依照方法論做進一步的分析以及準備作業，例如將經驗上或是規劃上的功率結合歷程的資訊，構成細部各基本工項的時間－歷程關係圖，而這個方法論特性就替我們解決了重複性工程工項的表達問題。此外，在下一項的內容我們可以進一步知道，這些基本工項大部分都是彈性上有限制的工項或是要徑工項，而其圖形多是以歷程斜率線來表示。規劃各個工項內容的要徑，理所當然，我們要向要徑法求援以獲得工項的要徑關係。

B. 要徑工項所需的時間：

同樣的，有了施工工率以及工項在歷程長度上的施工點之後，我們可以估算或分析各個工項或工程包所需的時程長度，在有里程碑的要求時，也應該將里程碑的時間考慮進去。

在工項所需的時間這部分，如果工項是沒有時程彈性的，例如絕對要徑上的工項，我們可以從工項個別的時間－歷程關係圖或是平衡線法圖上就能估算工項所需的時程長度；但是在有時程彈性的工項上，由於平衡線法(LOB)無法表達浮時等時間彈性的特性，所以我們在這裡就需要有要徑法(CPM)的幫助－我們需要先將各個有時程彈性的工項獨立出來，計算分析這些工項的最早開始時間(ES)以及最晚完工的時間(LF)，並將之記錄起來，以之構成這些非要徑工項的時間－歷程曲線圖，值得注意的是，因為這些非要徑項目都包含著浮時的時程彈性，這些工項多以區塊來表達，而在這時他們時程上是有彈性而未訂死的，所以倘若這些工項在分工項目表中的階層較高，我們可以直接進入該工項的下一層，對此工項專案的下一階層各個工項作一時間－歷程關係圖，即可獲得此專案工項準確的前後時間點，我們會在實證案例中更進一步的說明這個過程。

C. 各別工項的先後邏輯：

有了個別工項的時間－歷程關係圖，我們還需要決定各個工項的先後順序，我們需要從各個工項基本的內容邏輯順序以及計畫上的工項先後順序來決定個別工項的先後邏輯關係。

在這個部分，平衡線法(LOB)建構的整體專案總圖是能表達計畫上的施工順序，但是我們很輕易的可以發現到，它並不能表示各個工項之間絕對的先後邏輯關係，所以這方面我們又需要要徑法(CPM)的協助－從要徑法的排程方法以及構圖上，我們可以很明確的知道各個要徑工項的先後關係；對於要徑法構圖上有困難的重複性工程，我們則從分工項目表來知道這些特別的工項它們的工項先後邏輯關係。

D. 彈性工項完成時間點的限制關係：

在建構出各個工項的時間－歷程關係圖，以及歸納整理出各個工項的先後邏輯關係，就可以將各個工項依其時間上的先後邏輯一個一個依照歷程點，規劃排出各個工項在時間－歷程專案總圖上的位置。但是，我們會發現這樣只能合理的規劃出要徑工項總圖，而在非要徑項目上會有時程或是歷程上可能的衝突，所以這個資訊要素，就是要我們合宜的規劃及修正這些非要徑項目的時程以及歷程彈性。

在這個要素資訊中，我們要將平衡線法(LOB)的生產率，配合要徑法(CPM)所獲得的最終完工時間(LF)，規劃並整合式的依照相關的時程點限制，或是更進一步的，由各個非要徑工項下一階層的時間－歷程關係圖建構該工項的時間歷程資訊，回饋調整要徑項目以及非要徑項目之間的時間點關係－從各工項的完成時間點依邏輯連結各個要徑項目的開始時間點。

另一方面，在歷程上我們也需要依照相同的邏輯，以各工項完工的歷程點規劃調整至各要徑工項開始的歷程點，不過由於在分工

項目中階層較高，以及大型專案多半會在歷程上做分包，歷程上的規劃調整多半被分包策略的邏輯取代。

至此，我們從建構 TCD 所需的資訊，詳細的建立了其資訊來源所需的方法論背景，在下一節當中，我們會先由過去國外的文獻的整合建議，再結合本節中所獲得的資訊，依照方法論邏輯條列建立時間－歷程關係圖的構圖操作步驟。



3.3 LBCPM 操作步驟

在上一小節，我們從 TCD 的構成要素資訊中，整理建構 LBCPM 方法論背景，在這一小節裡，本研究會先以國外的文獻的整合建議，再結合要素資訊，以此進一步推演出時間－歷程關係圖製圖的標準操作步驟。

Cooke & Williams (2004) 在書中簡述 Time-chainage Diagram 時，將其步驟分為以下六項：

1. 首先，要獲知各個工項的工作資訊，紀錄各工項的歷程位置並確認其圖形表達方式。
2. 選用合適於該專案的歷程尺規大小，草擬這份時間－歷程關係圖的基本軸向。
3. 條列工項及邏輯順序，並估算各個工項的時間。
4. 將絕對要徑工項的時間及歷程以區塊或是斜率做圖形表示繪於圖上。
5. 規劃協調各個工項的起訖時間以及歷程上的前後銜接。
6. 完成清單上全部的工項繪製，並確認及更正各個工項完成的時間及歷程點的關係。

我們將根據以上文獻的步驟做為基底，配合要素資訊的支持，我們能進一步推演擴充，建構以下更完整而全面的 LBCPM 時間－歷程關係圖製圖的標準操作步驟：

1. 先從分工項目表獲得我們在後續製圖所需要的各項基本資訊。

在現代，各個工程專案管理都要求分工階層化的管理，分工項目表可以很清楚而快速的讓人理解整個工程專案的組織架構，以及各個工項的基本資訊－包括各個工項的工作資訊、歷程位置等，並幫助我們正確的判斷各工項合適的圖形表示方式。

2. 歸納各個工項的功率，畫出個別工項的平衡線圖。

在之前的文獻及研究推論，我們證明要構成時間－歷程關係圖，需要以平衡線法做圖為基底，而這也是當我們以時間－歷程的直線斜率來表示工項時最快速的參考。

3. 由要徑法估算整個專案工程的要徑，獲得絕對要徑上的工項及其時間。

TiLoS (2010) 在研究中提到，後期的 Linear Scheduling Method 的基本工項資訊仍是由要徑法網圖來獲得，而文獻回顧裡(Kallantzis, Soldatos, & Lambropoulos (2007) 也在研究中聲明網圖以及線性排程手法皆是以要徑法網圖為基礎作發展；上一小節中本研究從歸納要素中也同樣獲得此一結果：以要徑法網圖來獲得絕對要徑工項的時間和邏輯關係。

4. 將要徑工項的平衡線圖轉換為以歷程為橫軸單位的個別單位時間－歷程關係圖。

接著，我們將平衡線圖選定合適的單位尺規，轉換為個別的時間－歷程關係圖。

5. 先將要徑步驟依照工項先後邏輯順序一個一個規劃在總體專案的時間－歷程關係圖上。
6. 對非要徑項目的起迄時間做歸納，計算分析非要徑工項的最早開始時間(ES)以及最晚完工的時間(LF)，構成非要徑工項個別的時間－歷程關係圖。

接著我們對非要徑項目的起迄時間做歸納，在這裡我們將文獻回顧中的步驟六拆成以下步驟進行，先將有時程彈性的工項獨立出來，計算分析這些工項的最早開始時間(ES)以及最晚完工的時間(LF)，並將之記錄起來，注意需依照工項前後邏輯，以構成這些非要徑工項個別的時間－歷程關係圖。

7. 將非要徑工項的時間－歷程曲線，依照工項先後邏輯，依序繪入總專

案要徑項目時間－歷程關係圖上。

8. 考量前後工項限制，依照工項前後邏輯關係以及施工規範，調整非要徑工項至其合理的起迄時間。

最後，針對這些非要徑項目，由於在一開始製作其時間－歷程關係圖時，我們沒有去考量前後工項間相關的合理限制。因此，在套入總專案時間－歷程關係圖之後，我們需要對這些給予過多彈性而有衝突的非要徑工項，依照工項前後邏輯關係以及施工規範，調整非要徑工項至其合理的起迄時間。

在這裡我們已將 LBCPM 的標準操作步驟建立完成，並在下一章中以一個簡略的線性工程例證本步驟的可用性，並詳細解釋與驗證在本章所述的方法論背景及操作步驟，以及再一次呈現將 LBCPM 模型以及時間－歷程關係圖使用在規劃工程專案的優點；最後附上本研究方法論模型－LBCPM 之操作流程圖如 43 頁 圖 3-5 LBCPM 標準操作步驟流程圖。

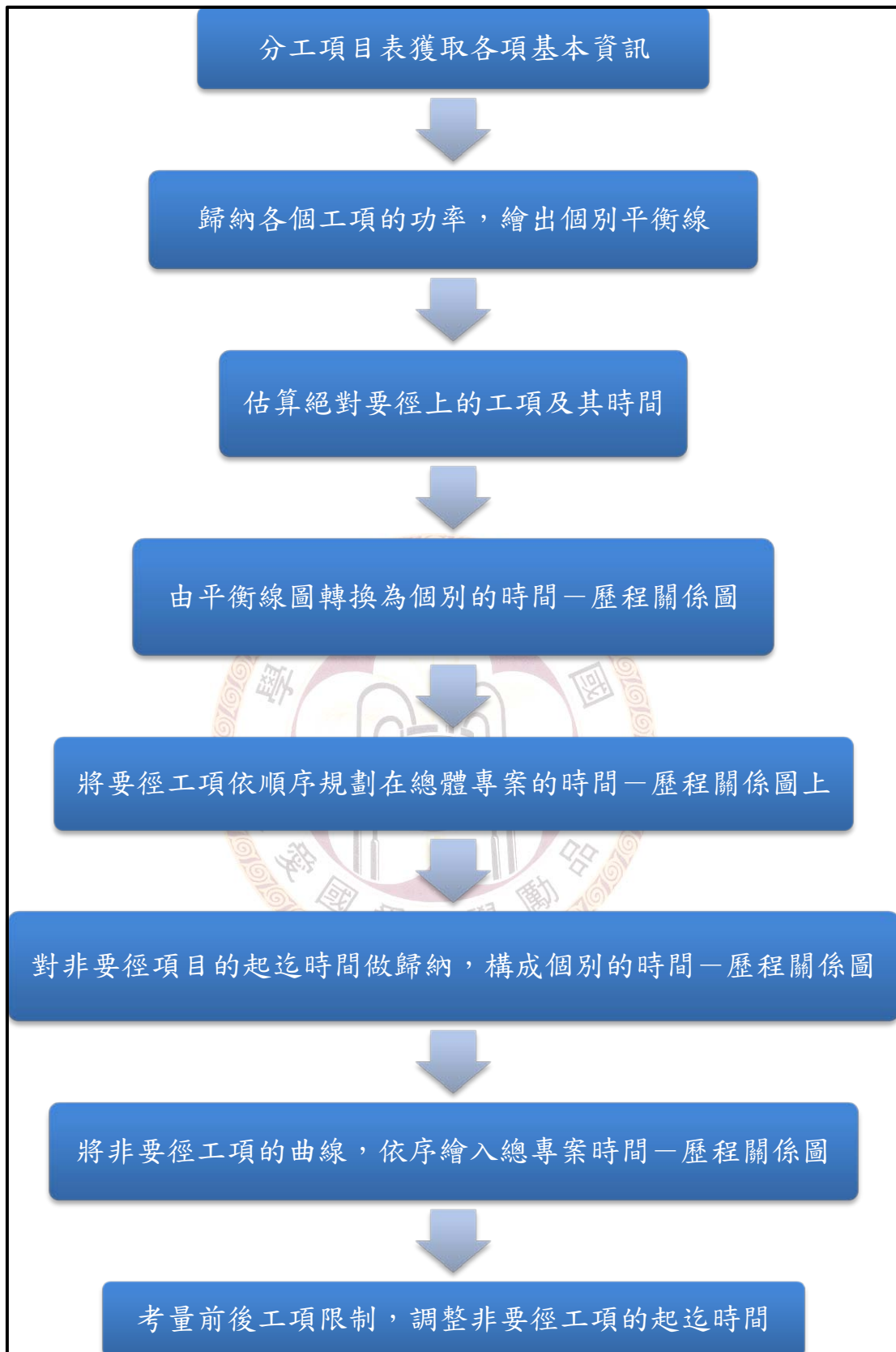


圖 3-5 LBCPM 標準操作步驟流程圖

3.4 小結

總體來說，專案時程管理上已有許多的方法可供使用，而本研究在平衡線法(LOB)的背景中，時間－歷程關係圖擷取了要徑法(CPM)的先後順序邏輯關係的表達，並在圖上以區塊的形式表達規劃時程上的彈性，同時保留平衡線法針對資源效率的圖形描述以及對於重複性工程的排程效率優勢，而且以里程歷程的資訊關係取代生產單位量橫軸來表達歷程上的彈性，更能在圖上明確的表達工程的規模以及資源的使用量，再以區塊來表達工項的特性而不是只有平衡線法(LOB)中的生產斜率；TiLoS (2010) 在研究中也一再肯定時間－歷程關係圖的優點：由於可以同時展現時間以及歷程的關係資訊於圖上，規劃上的錯誤可以很快的就被發現；此外，由於是以平衡線法做為基底，我們仍然很快的依照圖上的歷程資訊，將之轉換回資源施工單位量，而這些資訊都只需要一張時間－歷程關係圖即可全然包含於其中。以上這些優點就是綜合擷取要徑法(CPM)以及平衡線法(LOB)的長處，而有 LBCPM 模型這個完美的果實。

有鑑於本章內所述的方法論背景以及操作步驟僅以文字方式表達，本研究在第四章中，會先以一個簡略的線性工程做為本研究排程方法建立的例證，以詳細解釋與驗證在本章所述的方法論背景及操作步驟，並再一次呈現將 LBCPM 模型以及時間－歷程關係圖使用在規劃工程專案的優點。

第四章 LBCPM 排程方法之建立

在第三章中，本研究從方法論歷史發展的觀點以及時間－歷程關係圖 (Time-chainage Diagram) 的圖形表達特色這兩個角度，透過整合方法論的優點及缺陷補足，建立起 LBCPM 模型的方法論背景以及完整的標準操作步驟。但是，就像金礦的真偽需要試金石來辨認，千里良駒也需要伯樂來實現它馳騁的夢想，僅以文字的方式來表達我們所建立的理論及方法是不足夠的，所以本章中，我們將以一個線性工程案例為例證，根據我們在上一章中所研究的方法論背景和建立的標準操作步驟，一步一步的將上一章中我們所得到的理論及方法套用在本案例中，以詳細解釋並驗證在第三章中所述的方法論背景及操作步驟，確立本研究方法 LBCPM 的步驟過程。

4.1 案例描述

本案例乃隨機篩選自中華民國工程會標案資料管理系統之線性工程案例，並將其中之歷程定位資料以及雜項工程簡化。而欲對本案例工程建立時間－歷程曲線圖，其所需的資訊，經整理條列後描述如下：

- a. 本工程為一橋梁工程，含聯外道路合計共全長 30KM，可將整體工程概分為聯外道路施築(工項代碼 F)、橋體施工及整體公路雜項完工(工項代碼 G)三大部分。
- b. 橋體施工部分分為基樁施作(工項代碼 A)、施工便橋搭設(工項代碼 B)、橋台箱涵施作(工項代碼 C)、鋼構吊裝(工項代碼 D)及橋面版安裝(工項代碼 E)等五項。
- c. 其中基樁施作(工項代碼 A)、施工便橋搭設(工項代碼 B)、橋台箱涵施作(工項代碼 C)、鋼構吊裝(工項代碼 D)四項在歷程上規劃分為 5K~9K、9K~15K、15K~20K 及 20K~27.5K 四段同時同工項對向施工。

- d. 依作業邏輯關係及標準作業功率建議：基樁施作(工項代碼 A)需 24 個月、施工便橋搭設(工項代碼 B)需 26 個月、橋台箱涵施作(工項代碼 C)需 28 個月、鋼構吊裝(工項代碼 D)需 24 個月等之要徑完工時間長度。
- e. 橋面版安裝(工項代碼 E)需待橋台箱涵施作(工項代碼 C)完工後 4 個月方可完工，功率建議全橋體完成橋面版安裝需施作 8 個月。
- f. 聯外道路施築(工項代碼 F)歷程上分為 0K~5K 及 27.5K~30K 兩部分，而整體公路雜項完工(工項代碼 G)需待聯外道路施築(工項代碼 F)完工 6 個月之後方可完成其相關的接續施工工作，而聯外道路施築(工項代碼 F)開工日期方面交由施工廠商自行決定，依照里程條件，一般建議以 15~18 個月為宜。
- g. 整體公路雜項(工項代碼 G)統合全線雜項安裝施作，依照安全要求，需待鋼構吊裝(工項代碼 D)完工後一個月方可開始施工，而在橋面版安裝(工項代碼 E)完成後即可開始施作。

另外，我們依照以上時程以及歷程資訊，整理出能讓本研究中主要的三個方法論所需要使用的資訊，其簡圖如第 46 頁圖如下(圖 4-1 初步實證基本資料圖例):

基本資料						
圖例	工項代碼	工項	時程長度	開工時間	完工時間	前置作業關係
	A	基樁施作	24	Mar-95	Feb-97	-
	B	施工便橋搭設	26	May-95	Jun-97	-
	C	橋臺箱涵施做	28	Sep-95	Dec-97	A-SS6; (B-SS4)
	D	鋼構吊裝	24	Apr-96	Mar-98	C-SS8
	E	橋面板安裝	8	Aug-97	Apr-98	C-FF4
	F	聯外道路施工	[15]	-	Jun-98	-
	G	公路雜項完工	8	May-98	Dec-98	D-FS1; E-FS0; F-FF6

圖 4-1 初步實證基本資料圖例

有了這些時程以及歷程的資料，在下一小節裡，我們會根據在第三章第三小節中所建立的標準操作步驟，建立時間－歷程關係圖的輸出結果圖。



4.2 標準步驟初步實證

在上一小節中，我們已經將本案例所需的各個基本資料做整理條列的描述，在這裡我們將依照在上一章所建立的標準步驟，建立本案例工程的時間－歷程規劃排程結果圖。

首先，第一步驟就是我們在上一個小節，針對分工項目表整理歸納，獲得我們在後續步驟中所需要的各項基本資訊。

根據第二個步驟：歸納各個工項的功率，繪出個別的平衡線圖。所以我們先將這些工項依照功率繪出個別的平衡線圖如下(圖 4-2 初步實證案例平衡線圖)。

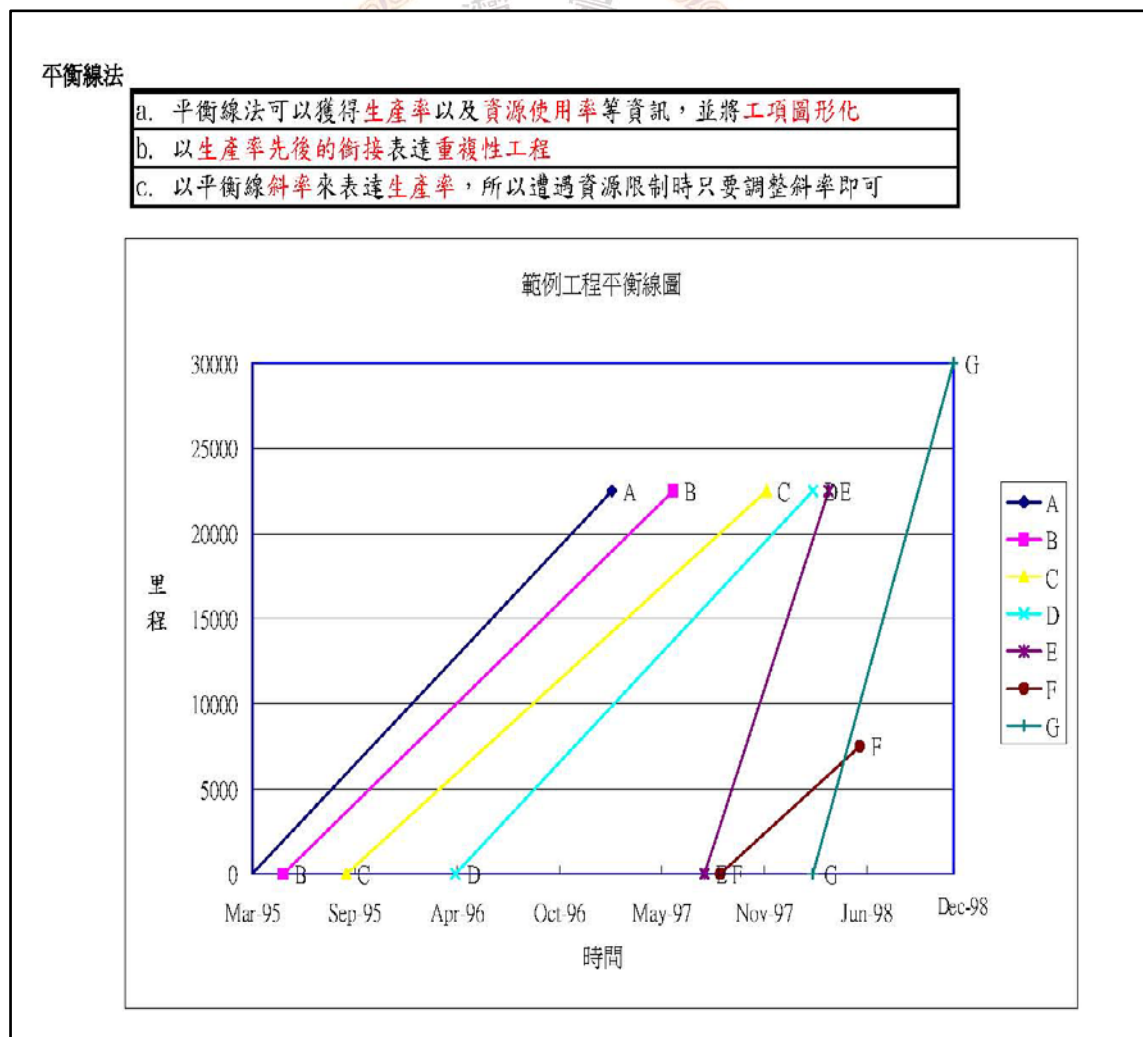


圖 4-2 初步實證案例平衡線圖

第三個步驟是：由要徑法估算整個專案工程的要徑，獲得要徑上的工項時間。因此我們可以使用已經從第一個步驟裡整理出來的專案資訊，依照要徑法方法論的估算，歸納出本案立專案的要徑：(A)－(C)－(D)－(G)，詳見下圖 4-3 初步實證案例要徑法圖。

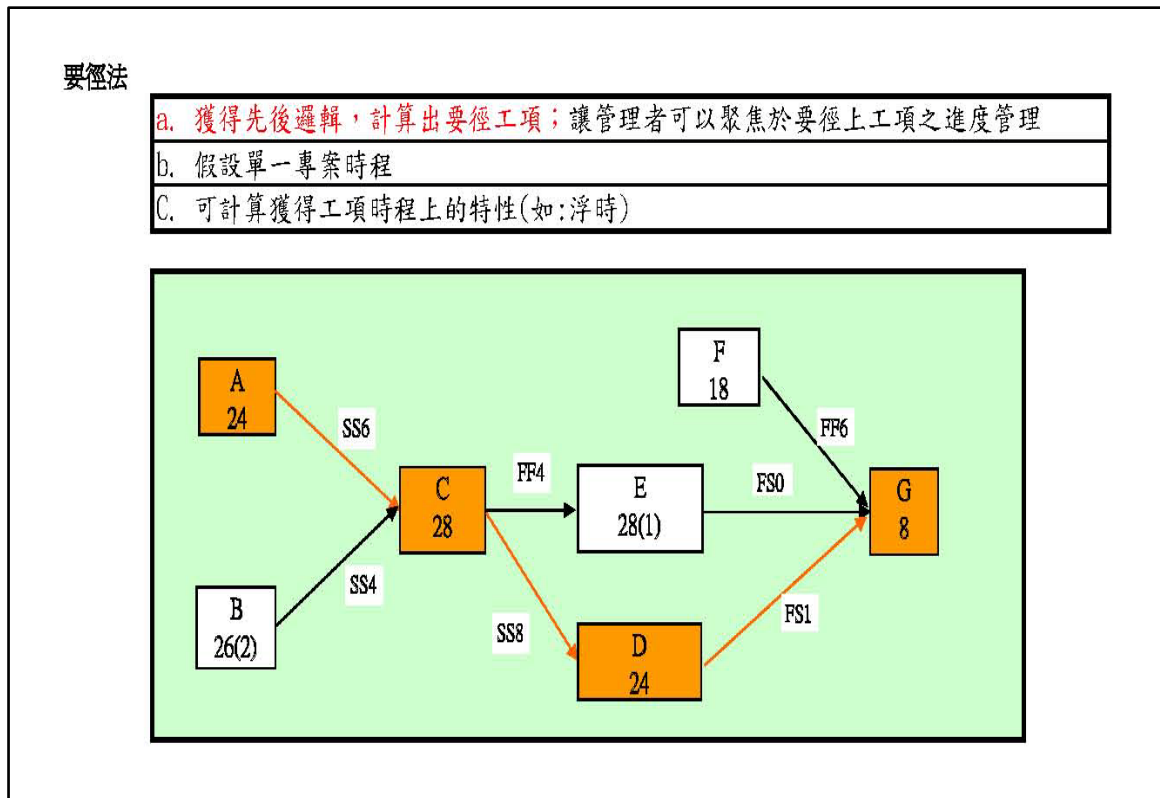


圖 4-3 初步實證案例要徑法圖

接著依照第四個步驟的要求，我們再將要徑項目的平衡線圖，依照其功率，轉換成個別工項的時間－歷程關係圖如以下 50 頁圖 4-4 初步實證案例工項圖 a、51 頁圖 4-5 初步實證案例工項圖 c、52 頁圖 4-6 初步實證案例工項圖 d、53 頁圖 4-7 初步實證案例工項圖 g。

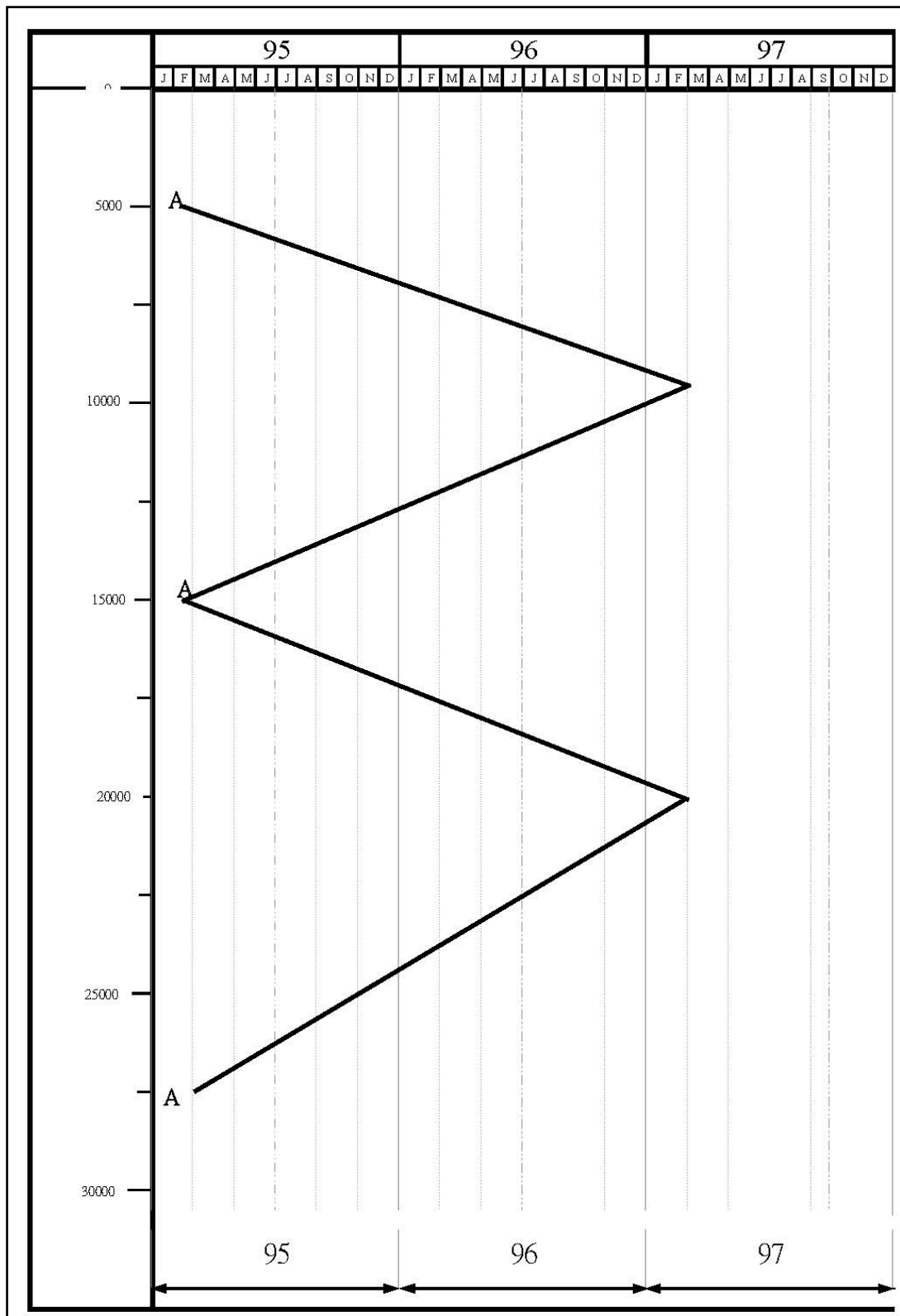


圖 4-4 初步實證案例工項圖 a

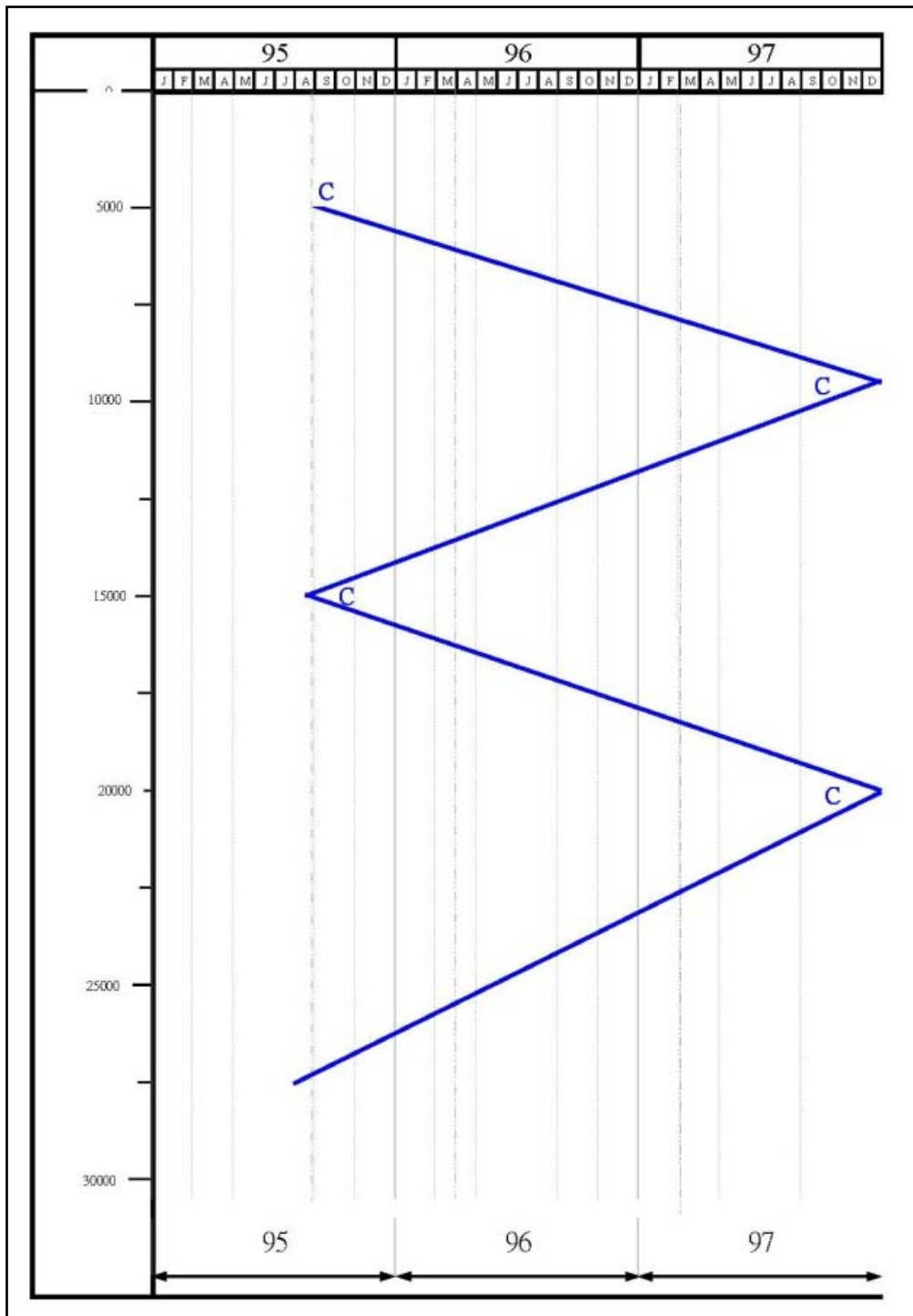


圖 4-5 初步實證案例工項圖 c

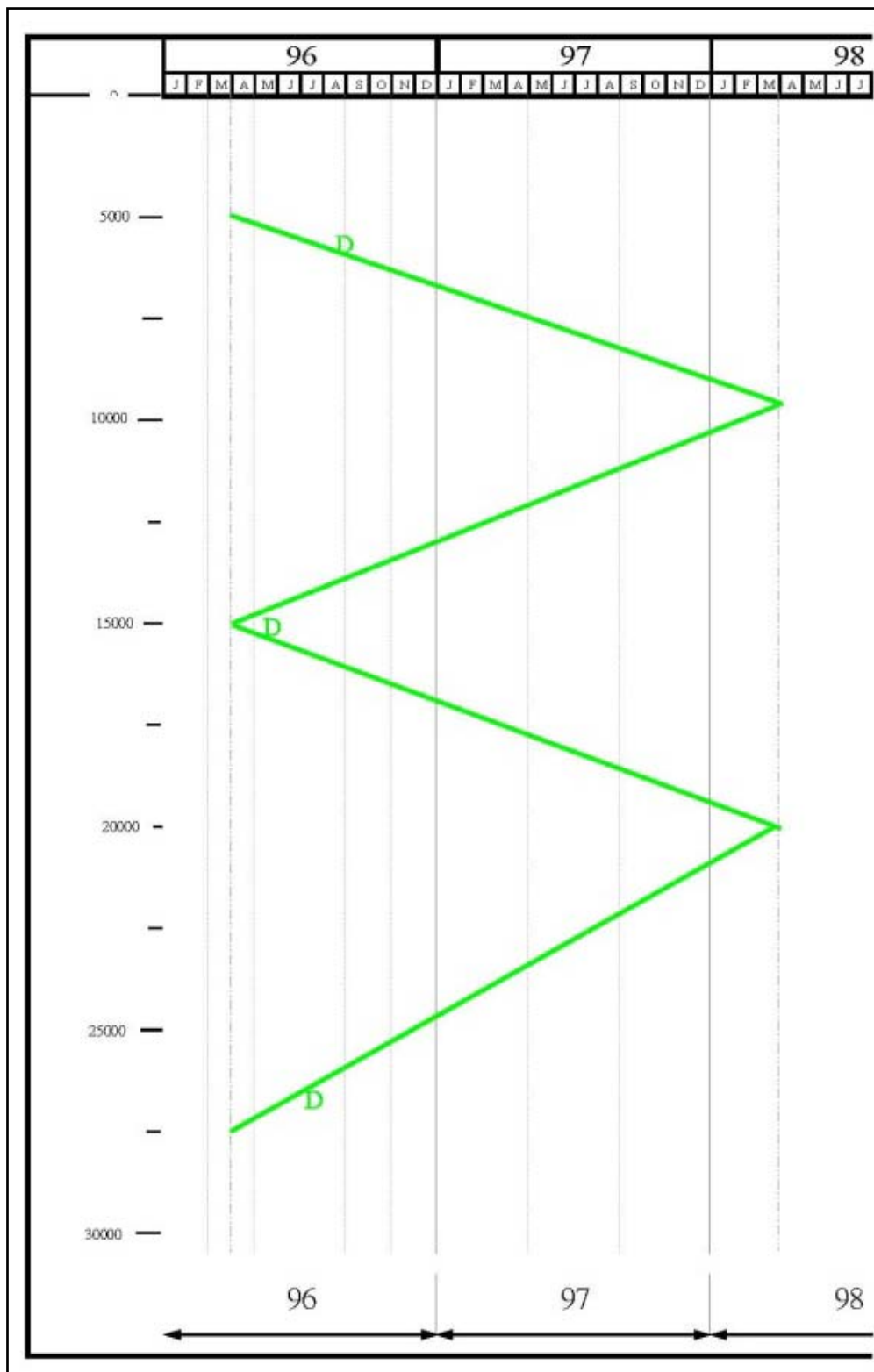


圖 4-6 初步實證案例工項圖 d

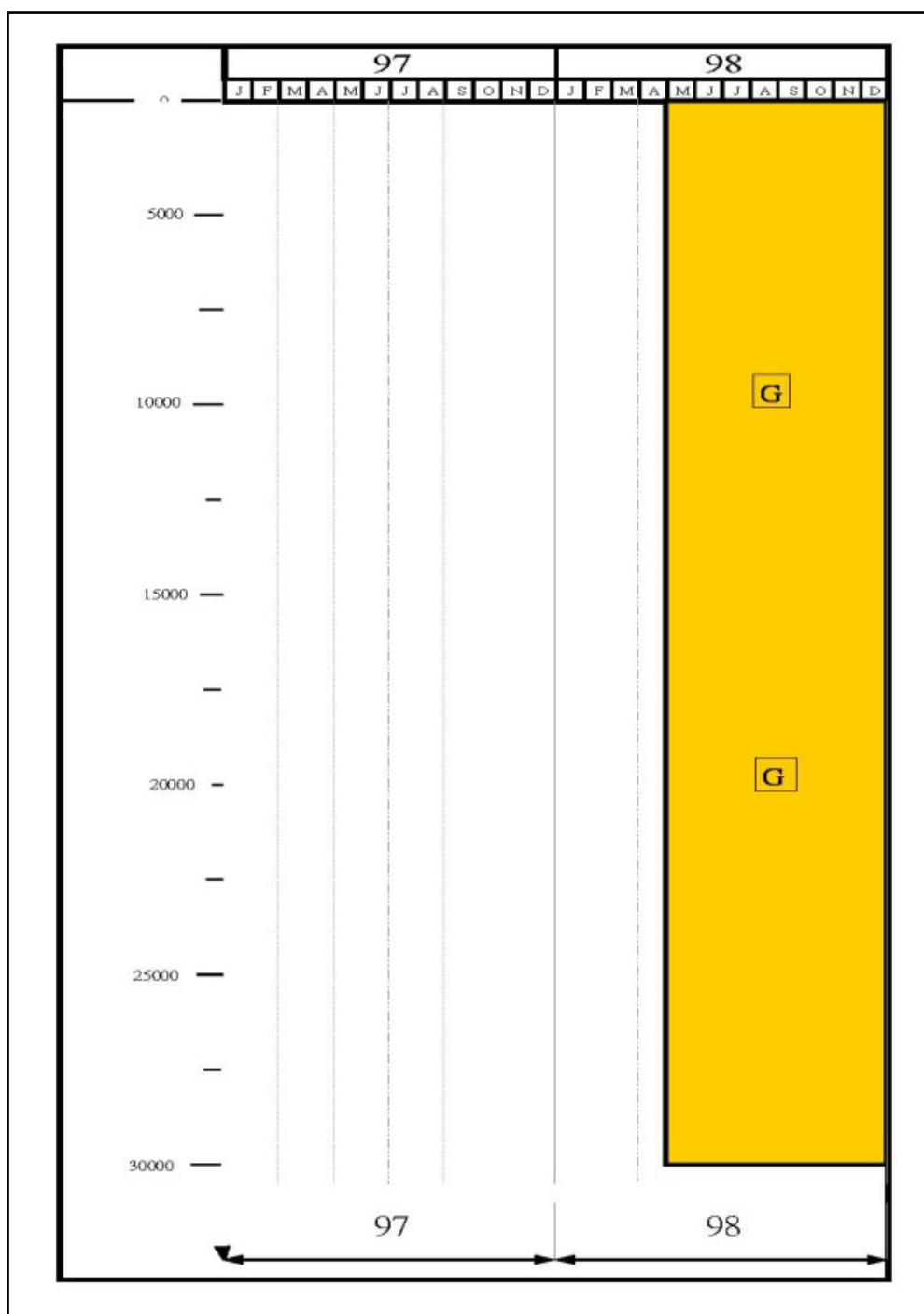


圖 4-7 初步實證案例工項圖 g

緊接著第五步是將要徑步驟依照工項先後邏輯順序一個一個規劃在總體專案的時間－歷程關係圖上。所以我們從上面第 50 頁的圖 4-4 初步實證案例工項圖 a 開始，依照從要徑法所獲得的要徑順序：(A)－(C)－(D)－(G)依序繪入總專案的時間－歷程關係圖裡。所以我們將圖 4-4 初步實證案例工項圖 a 作為基底，依照施工邏輯的要求在(A)工項後六個月的位置開始(C)工項，而構成圖 4-8 初步實證案例要徑合成之一；緊接著再將工項(D) 依施工邏輯的要求繪在(C)工項後八個月的位置構成 55 頁圖 4-9 初步實證案例要徑合成之二。

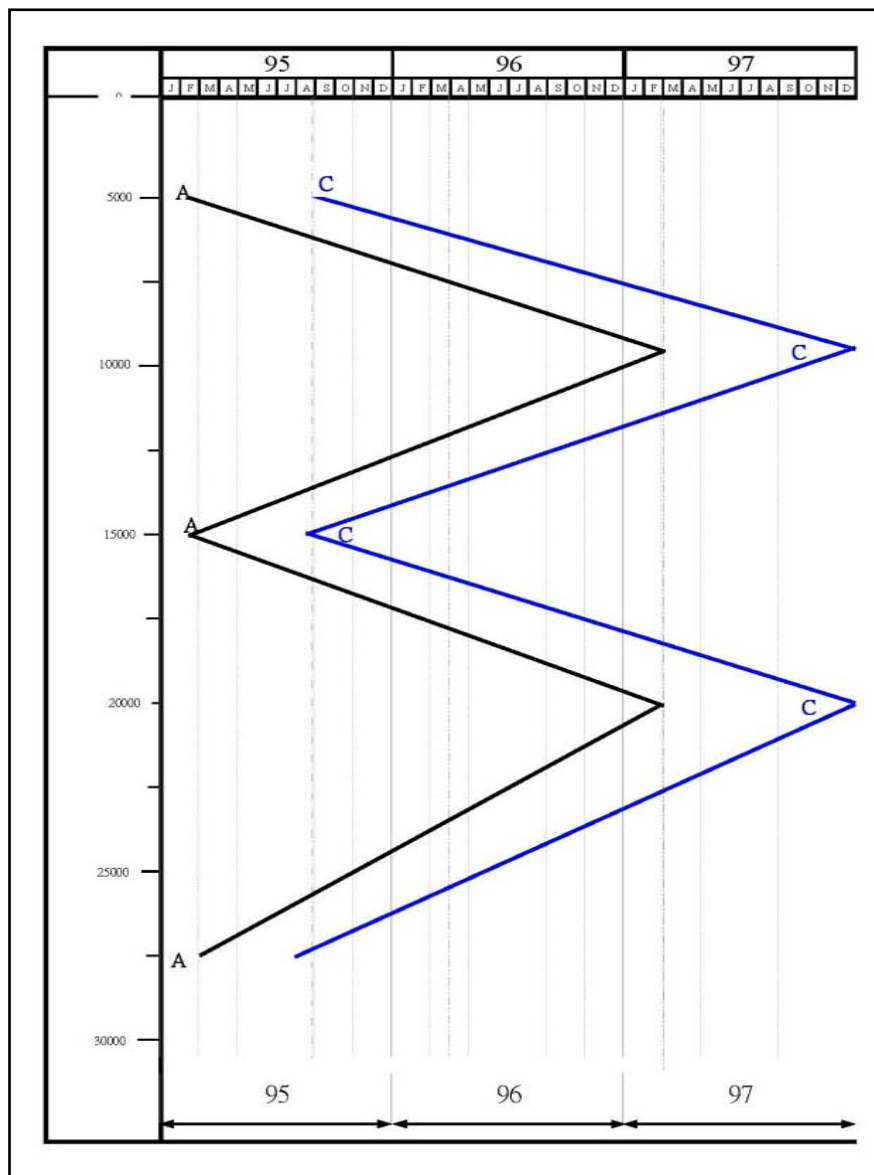


圖 4-8 初步實證案例要徑合成之一

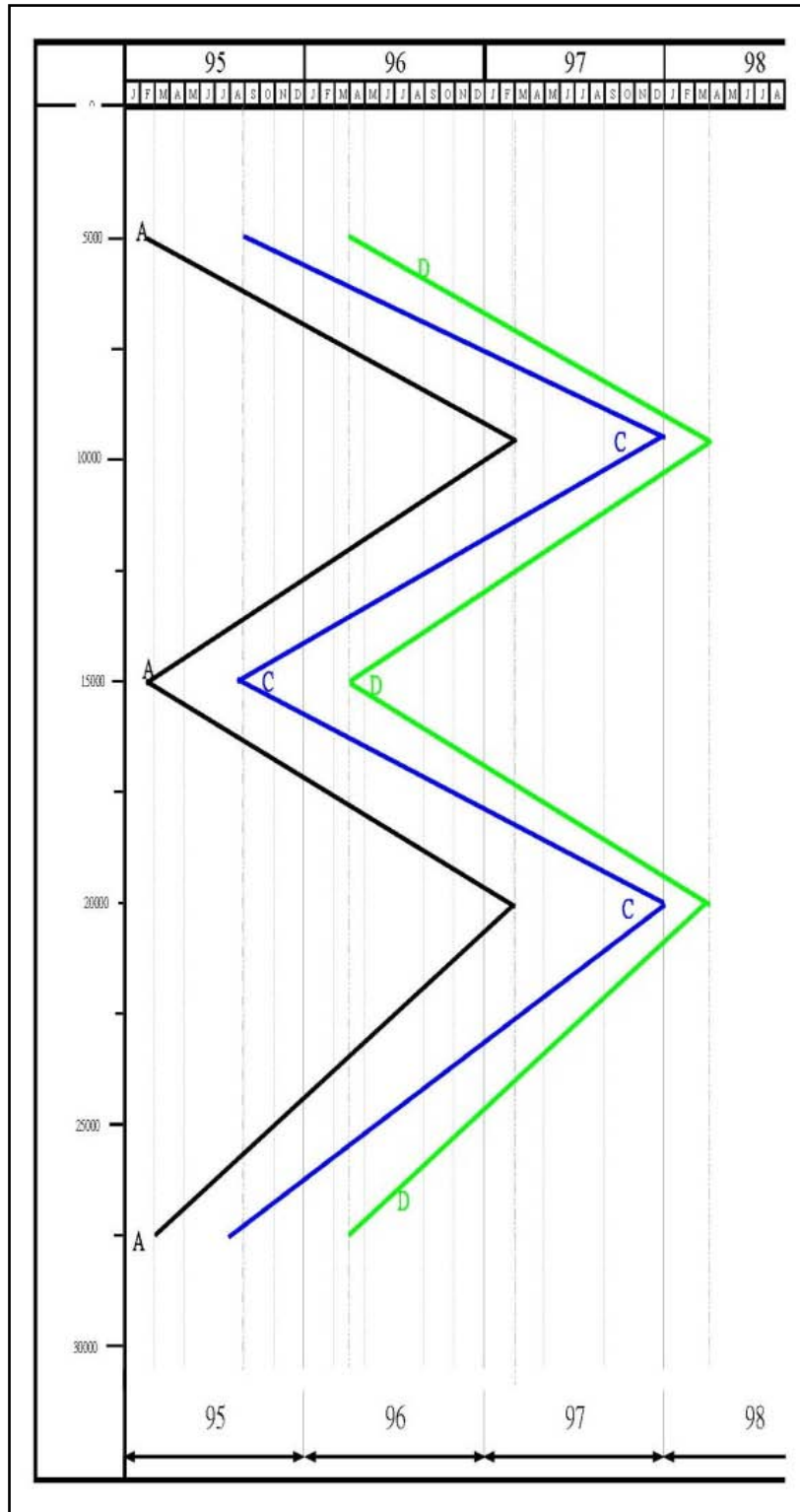


圖 4-9 初步實證案例要徑合成之二

最後，我們將一個統合的工項(G)依照施工邏輯的要求繪在(D)工項完工後一個月的位置開始，如 56 頁圖 4-10 初步實證案例要徑合成之三。

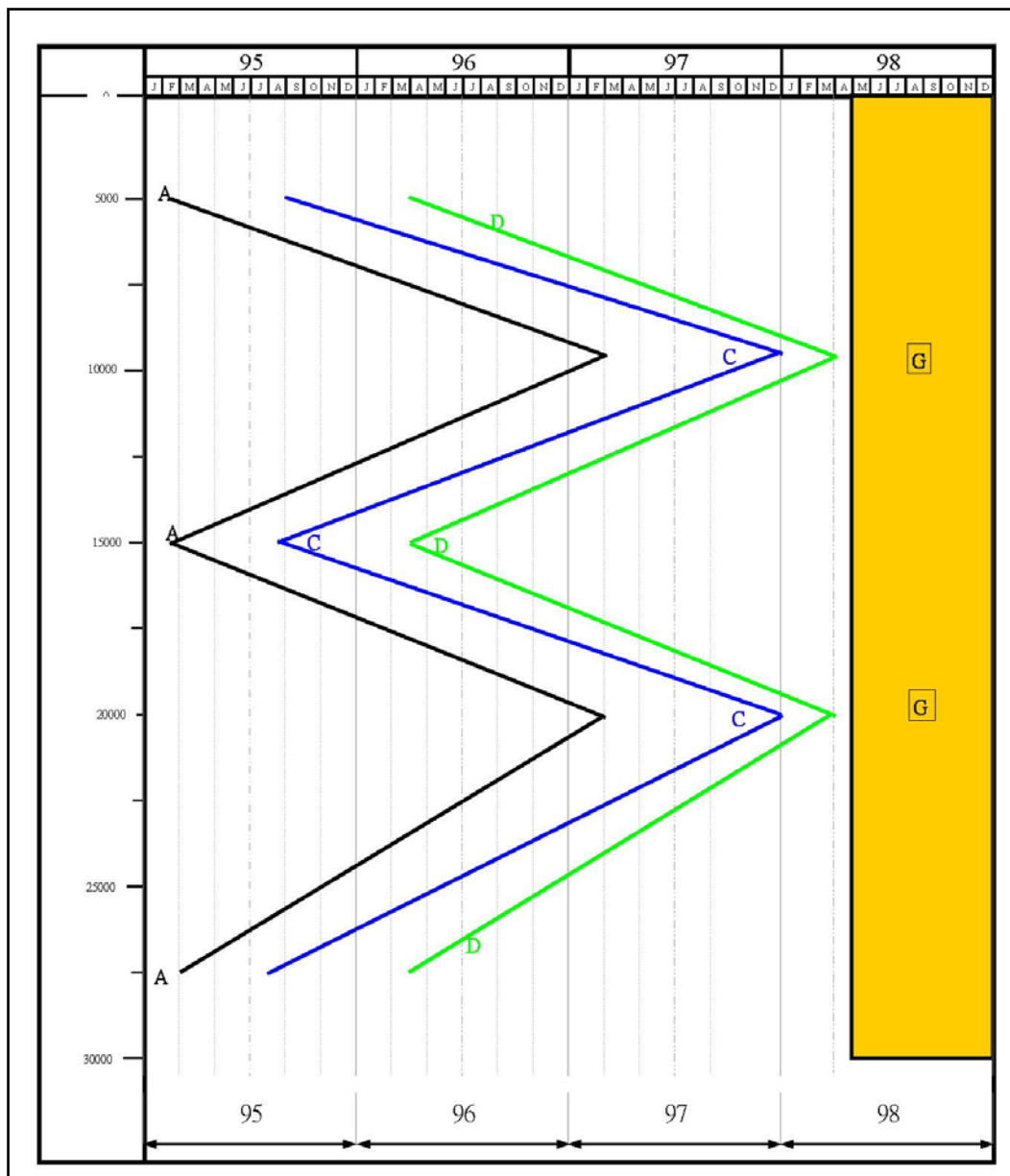


圖 4-10 初步實證案例要徑合成之三

接著第六個步驟，我們將非要徑項目這些有時程彈性的工項獨立出來，計算分析這些工項的最早開始時間(ES)以及最晚完工的時間(LF)，並將之記錄起來，注意需依照工項前後邏輯，以構成這些非要徑工項的時間－歷程關係圖。所以首先我們先將這些非要徑的工項，依照規範的功率以及要徑法在最早開始時間(ES)以及最晚完工的時間(LF)的建議，繪出他們各自的時間－歷程曲線圖，如 57 頁圖 4-11 初步實證案例工項圖 b～59 頁圖 4-13 初步實證案例工項圖 f：

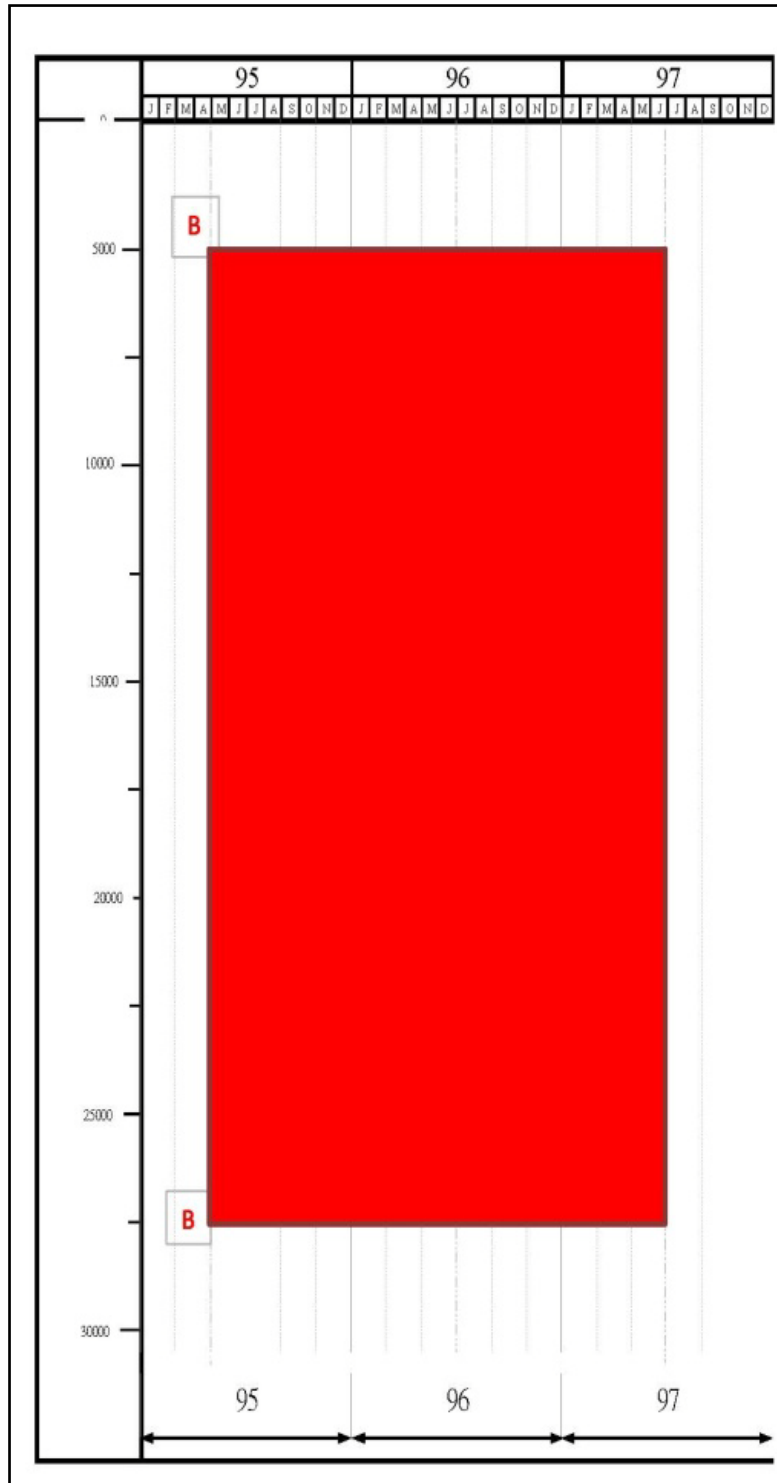


圖 4-11 初步實證案例工項圖 b

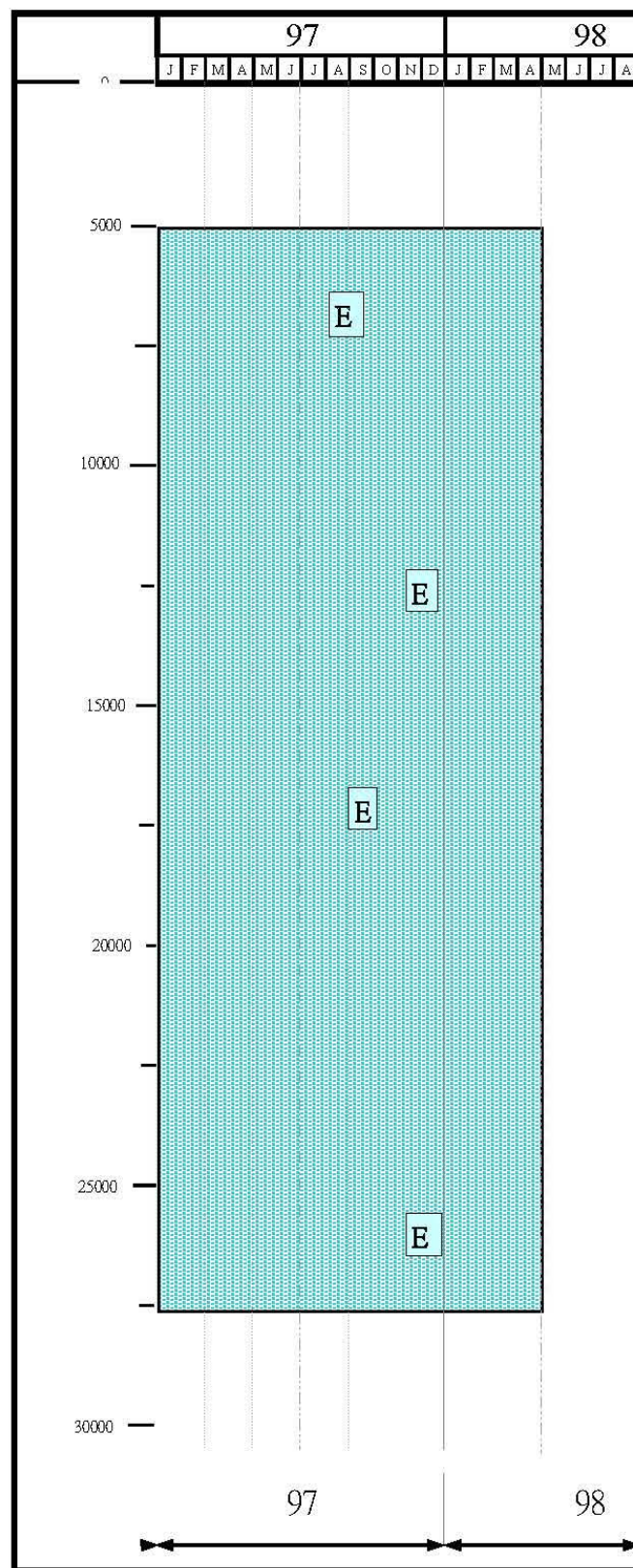


圖 4-12 初步實證案例工項圖 e

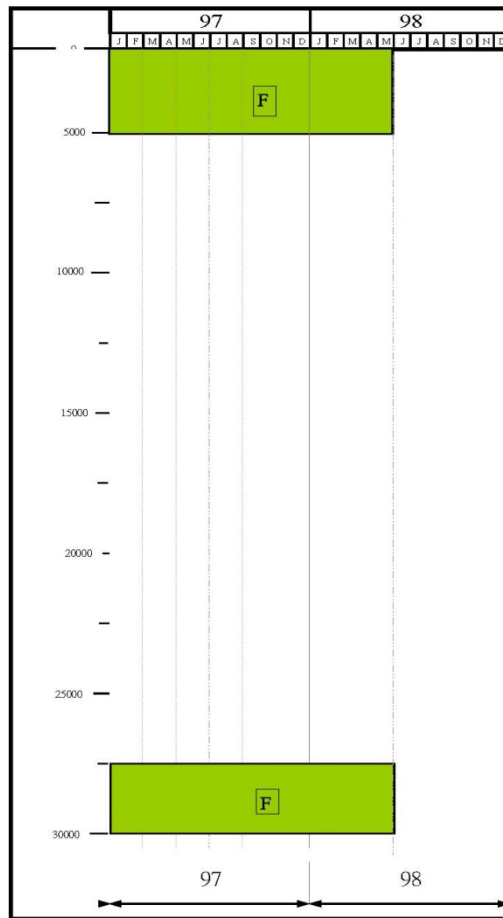


圖 4-13 初步實證案例工項圖 f

值得注意的是，這些在時程上有彈性的工項，我們一開始都依照最早開始時間(ES)以及最晚完工的時間(LF)的時間點，給予整個時程一歷程的區塊，在後續的步驟將這些工項套入到總專案的時間—歷程關係圖時，才考慮前後的邏輯關係，對這些過多而有衝突的彈性予以修改。

第七個步驟與第八個步驟主要就是將這些非要徑工項的時間—歷程關係圖，依照工項先後邏輯，依序繪入在步驟 5 中我們所製成的總專案要徑項目時間—歷程關係圖上，並對這些給予過多彈性而有衝突的非要徑工項，依照工項前後邏輯關係以及施工規範，調整非要徑工項其合理的起迄時間。舉例來說，當我們依步驟將工項(B)套入總專案圖時，會先如同 60 頁圖 4-14 初步實證案例合成步驟圖之四 所示。

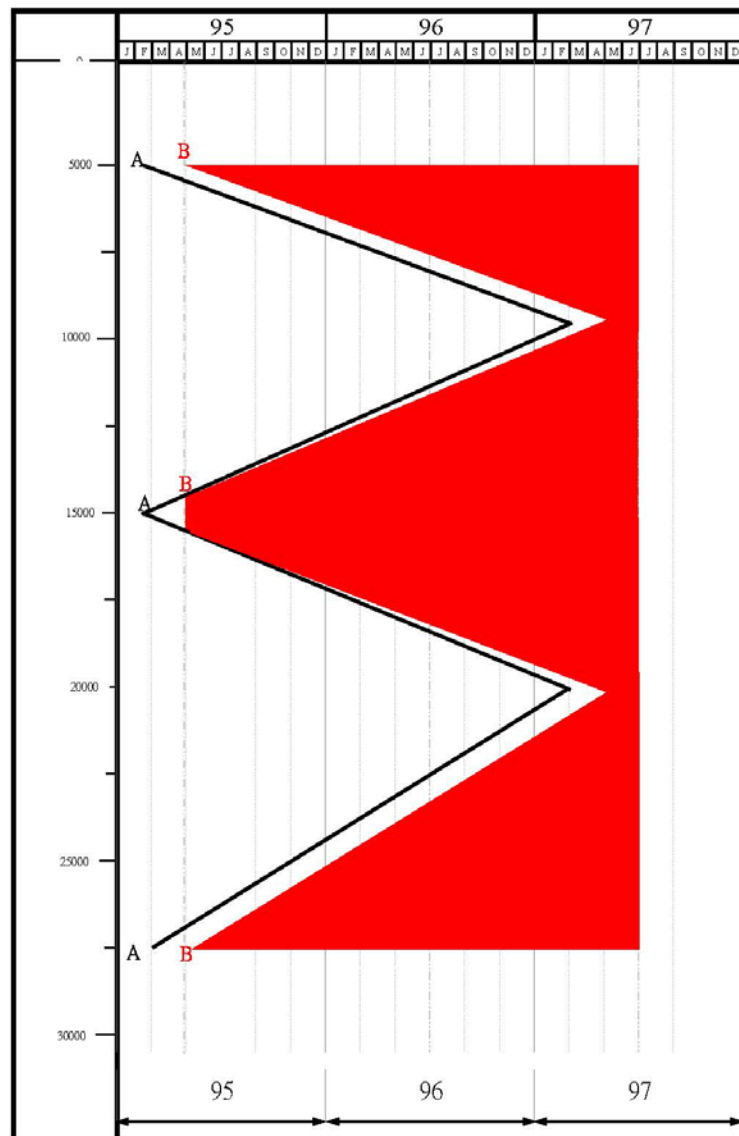


圖 4-14 初步實證案例合成步驟圖之四

而考慮下一個工項(C)在施工邏輯上對於工項(B)有 SS-4(即 B 工項開始後 4 個月 C 工項即需開始)的限制，在總專案要徑項目時間—歷程曲線圖上，我們需要對工項(B)做彈性上的調整，所以調整之後構成如 61 頁圖 4-15 初步實證案例合成步驟圖之五。此時會有疑惑的是，為什麼工項(B)緊接著在工項(A)後面施作？從之前的要徑法以及分工項目資訊中，無法看出這種關係，甚至在要徑法中我們很單純的認為這應該是平行作業。我們可以發現，在時間—歷程關係圖上，可以透漏這個在要徑法網圖上無法透露的資訊，即是工項(B)緊接著在工項(A)當下的歷程施工結束後即緊接著施作，而這個關係我們當回

顧到工項內容：施工便橋搭設在基樁施作之後便緊接著執行，就自然的容易理解了，而這種關係也是一種線性工程的施工邏輯概念，這也是為什麼時間－歷程關係圖特別適合用於規劃體現大型的線性工程。

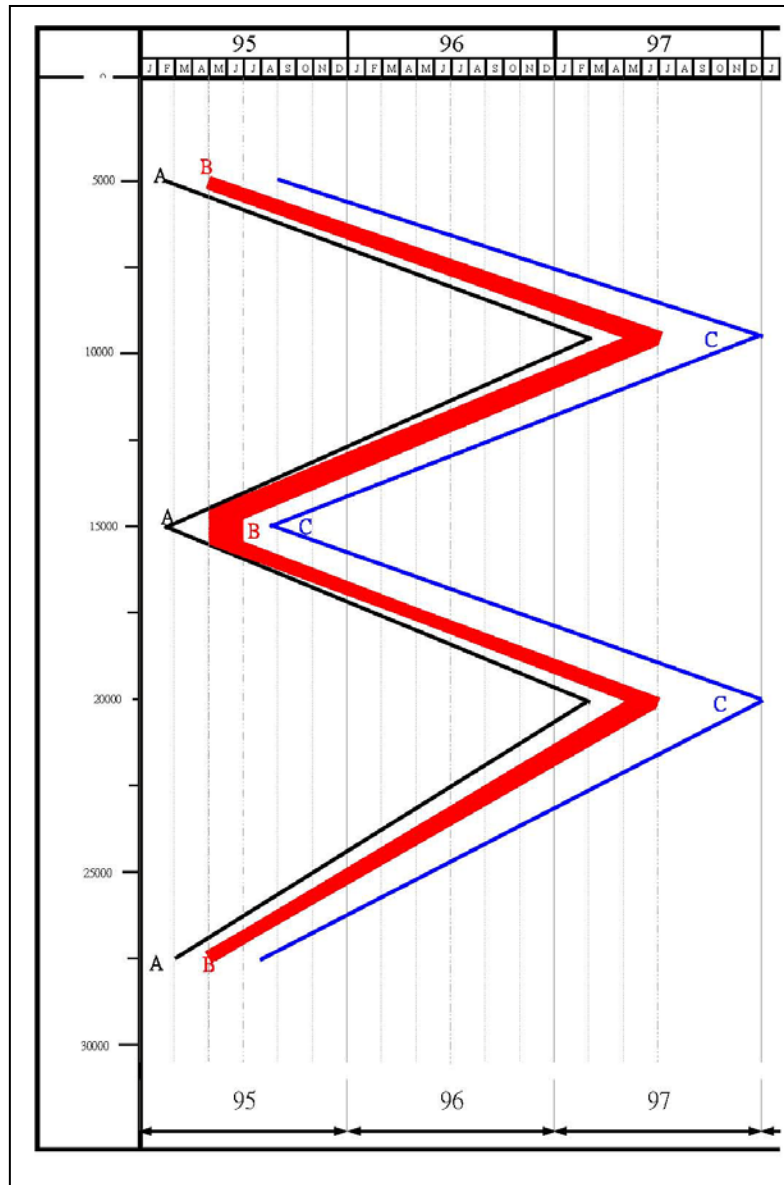


圖 4-15 初步實證案例合成步驟圖之五

同樣的，我們在插入工項(E)(如第 62 頁圖 4-16 初步實證案例合成步驟圖之六)以及工項(F)時也需要做調整，另外我們可以發現，工項(E)需要在工項(C)完成後 4 個月才能完成，而對於其開始的時間並沒有一個明顯的限制，所以這部分我們只要合理的調整使其在施工的時歷程上不會對其他工項造成衝突，而將剩餘的彈性保留給施工包商做調配即可，這也是我們以 LBCPM 模

型來規劃工程專案時的特點之一，這部份我們在後續小結中會再詳細討論。

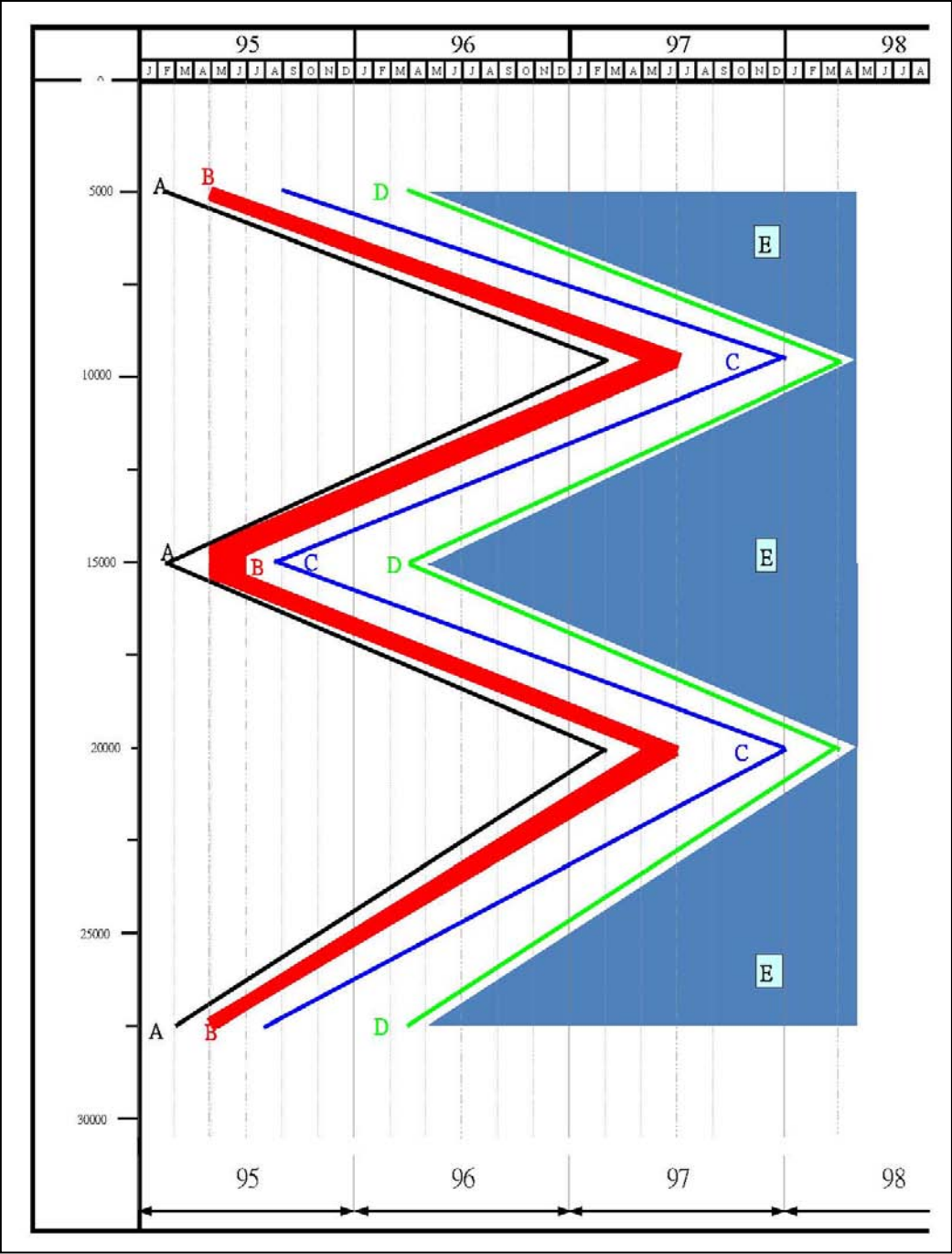


圖 4-16 初步實證案例合成步驟圖之六

接著我們再將非要徑工項(F)套入上圖中，這裡要注意的是，我們的規範資料並沒有工項(F)起始的時間限制，所以我們只有初步訂定一個起始的工期，而套入之後的情形會如 63 頁圖 4-17 初步實證案例合成步驟圖之七。

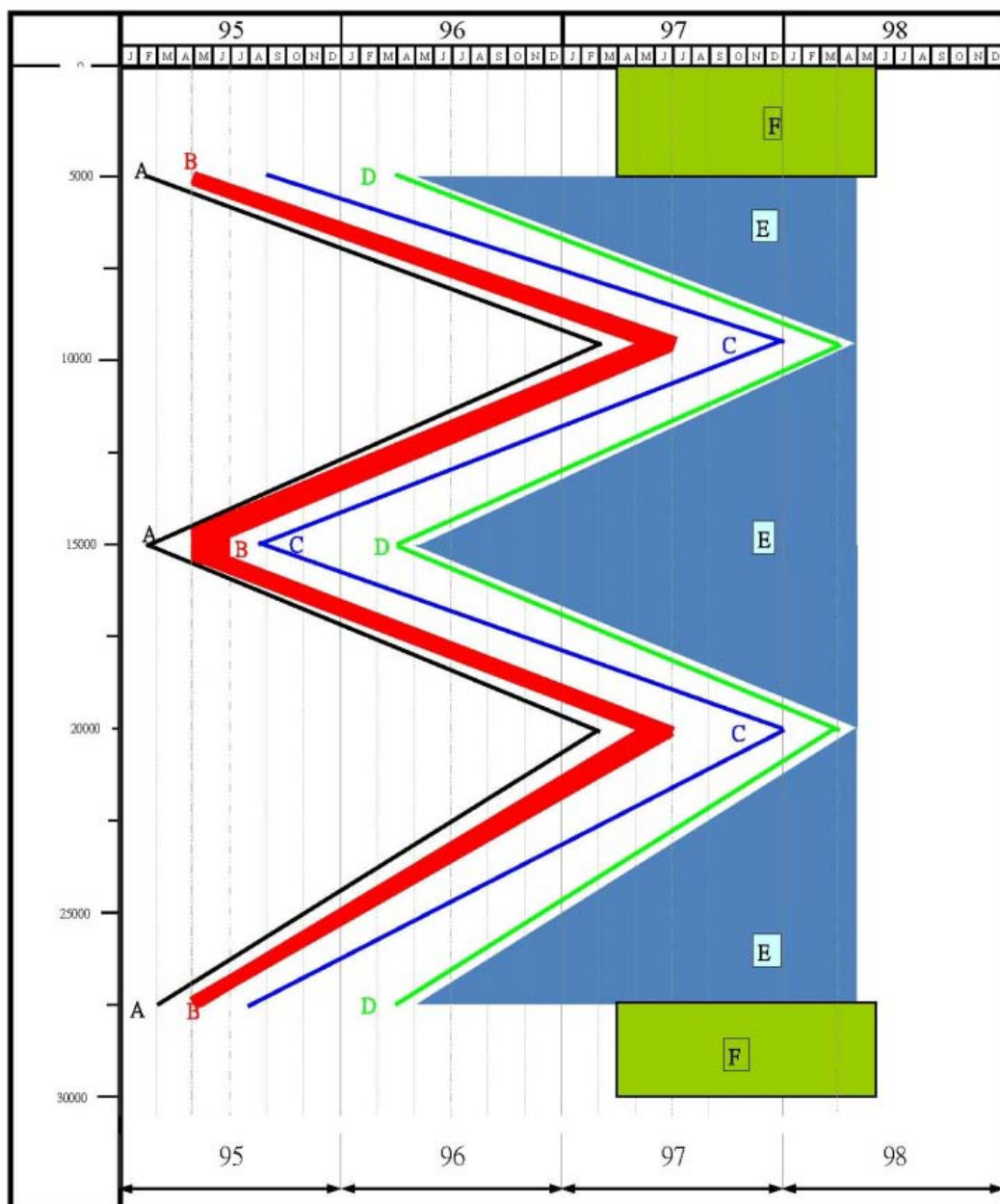


圖 4-17 初步實證案例合成步驟圖之七

最後，我們將要徑工項(G) 套入上圖 4-17 初步實證案例合成步驟圖之七，並依照彈性所造成的衝突，對工項(F)調整至合適的時程長度，我們在這裡可以注意到，由於工項(F)並沒有明定開始的時間，我們在總圖中只做最初步的最佳化，而將剩餘的自由調整彈性空間保留給廠商；最終整體專案規劃的時間—歷程關係結果圖將如 64 頁圖(圖 4-18 初步實證案例 TCD 總圖)所示。至此，基本案例依照本研究的標準操作步驟建立時間—歷程關係圖的初步實證

至此完成。我們將在下一小節中討論整理藉由本章實證所得的心得，並在下一章中以整合的方式實證台灣高速鐵路規劃階段的資料。

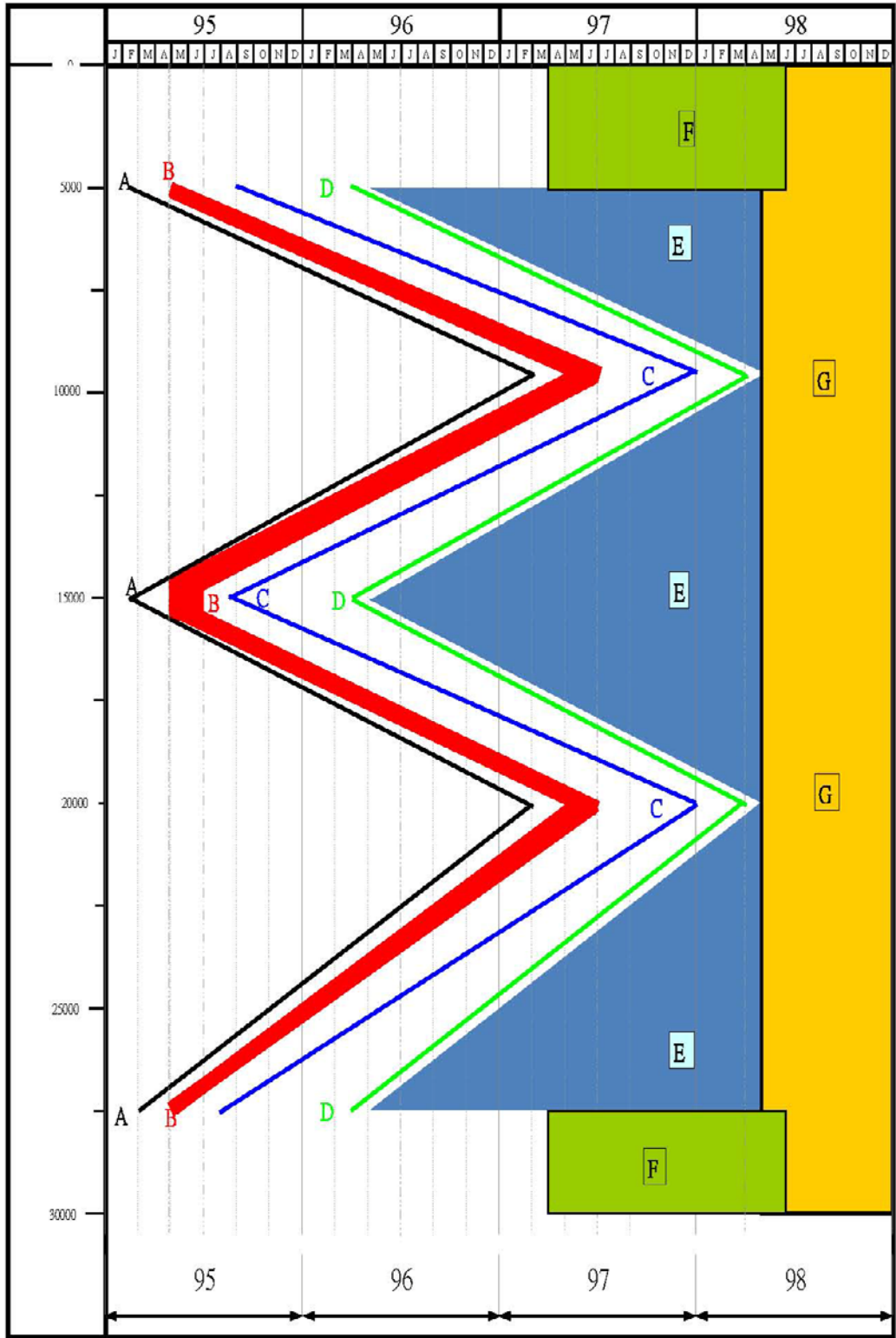


圖 4-18 初步實證案例 TCD 總圖

4.3 小結

在本章中，我們將在第三章所建立的方法論背景以及標準操作步驟，套入一個簡化的線性工程案例，證實了我們所建立的方法論的可用性。

從圖表型式上，我們可以發現 LBCPM 模型承襲了平衡線法(LOB)的優點——以圖形表達各種工項，以及能在圖上清楚展示各個工項其在時間—歷程上規劃的施工速率。並且以更多元的圖形表達，而能針對不同的工項內容，不同的時程彈性，以不同的圖形來清楚表達工項的時程—歷程特性，而將這些重要的資訊，一次性的將它們都濃縮統整，全部在一張時間—歷程關係圖(Time-chainage Diagram)來表達。除了承襲優點，我們更改進了平衡線法(LOB)無法明確表現工項之間時程關聯的缺憾，舉例來說，我們以平衡線法來表現各個工項時，即使經過了製圖的過程，我們仍然不能明確的知道這個工程專案它的要徑項目，以及各個工項它們之前的先後邏輯關係。但是在時間—歷程關係圖裡，我們很簡單的以歷程的單位取代施工生產單位，並且以更全面的圖形：圖塊的斜線以及區塊的圖形展現，取代了原本各自為政無法連結關係的線性斜率。另外，各個工項的圖形在時間以及歷程上可相連結這個突破式的表達方式，讓我們能在平衡線法所衍生出的方法論基底當中，改善舊有無法明確表現工項之間時程關聯的缺點，以時間點或里程點的資訊表達工項之間的先後邏輯關聯，展現其在時間以及歷程上兩方面的彈性。這些優點，我們也在 Cooke & Williams (2004) 文中發現有簡要而相同的推崇。

而重要的是，我們能合理的規劃進而掌握調配這些彈性，以時程上的彈性來說，我們可以給予包商於該工項中足夠的自由度，讓廠商能夠在合理不妨礙其他項目施工的限制條件之下，自由的條配資源的使用率，使其在資源使用上的效率最佳化，而不會讓資源在短時間內的使用量過大造成資源累積上過度的集中，而達到資源整平的作用。所以，在資源使用上，雖然平衡線法在構圖上各個工項就有簡單的施工率表達，而能快速的達成某方面的資源

控制與整平，但相對於時間－歷程關係圖面面俱到的規劃排程總圖，我們在資源調配及使用的考量上，仍然會傾向以時間－歷程關係圖來做總規劃；相同的，在這方面，TiLoS (2010) 也在研究中提出：“要徑法以及傳統的桿狀圖規劃方式，無法呈現任何與專案有關的圖像連結”，完全無法表達資源的使用，也就無法像 LBCPM 模型如此全面的，兼顧趕工的要徑而又能調配出合理的彈性了。另一方面，TiLoS (2010) 也提到，“在其他的排程規畫手法當中，都沒有辦法表達其里程點上的資訊，尤其是歷程的彈性，然而時間－歷程關係圖將圖上的資訊多融合了一度的空間－距離軸，而能直接表示各個工項的地理位置”並將這些有用的資訊融合在圖中；而歷程的彈性之所以重要，其原因在於，即使是絕對要徑項目(如本章中案例的工項(G)，請參考第 64 頁圖 4-18 初步實證案例 TCD 總圖)，仍然在歷程上有彈性，而這所謂歷程上的彈性，所要表達的涵義則是能讓包商選擇合適的開工地點，讓包商可以自行規劃讓自己能在讓資源分配最有效率的點開工，而能達到預期的要徑預估工期，甚至超前，所以相同的，如果我們在規劃中限制了開工地點，例如工作基地，那麼這種歷程上的彈性也就會遷就於這些規劃而有折扣。

在這一章裡，我們用一個簡化的實際案例依照本研究的標準操作步驟建構時間－歷程關係圖以確立本研究方法 LBCPM 的步驟過程，證明 LBCPM 配合時間－歷程關係圖可以有效的使用在實際工程上，甚至給予許多以其他方法來規劃而無法獲得的資訊及優點。接著我們將在下一章中以整合的方式但不同的觀點，以台灣高速鐵路規劃階段的資料作研究實證，並在下一章的結尾統整包含本章以及下一章中的實證過程裡，所獲得的心得以及優缺點比較。

第五章 案例實證

本研究在第三章中介紹時間－歷程關係圖(Time-chainage Diagram)，並建立了以時間－歷程關係圖為規劃輸出結果的方法論背景以及標準的操作步驟。接著在第四章中以一個線性工程的簡化案例做第一階段的初步實證，證明本研究的方法論及操作步驟能妥善運用在實際工程專案的規劃階段上，並且展現以 LBCPM 模型規劃工程專案的特點，像是整理工項的時程歷程彈性並表達於圖上，以及保留早期方法論的特色並補足缺陷。而最重要的是，雖然我們以 LBCPM 模型能規劃工程專案，但是我們在之前的分法論介紹時有提到，有些方法論當面臨大型重複的工程項目時，會造成規劃上的困難，規劃結果無法提供業主及包商在工程生命週期中長久使用，或是在結果輸出圖上會出現問題，因而我們在本章中，首先要證明當 LBCPM 模型遭遇大型工程此類的工程專案時，是否還能保持其在規劃排程上的優勢；此外，以 LBCPM 模型的規劃排程方式，其規劃結果：時間－歷程關係圖是不是能提供使用者在工程專案的整個生命週期當中，持續的被使用，這也是本研究的重點之一，而我們經過本章的實證，會在實證結果中就這些目的詳細陳述討論。

在本研究的背景及動機中有提到，關於世界上林林總總的大型工程，高速鐵路工程是隨著科技發展在近年來被研究發展出來符合未來人類生活方式所需的交通工具之一，而高鐵工程相關的資料，尤其與此工程的規劃階段相關的資料所見不多，所以本研究以高速鐵路的規劃資料來做實證，想必是最合適而最符合學術及業界需求的。

5.1 實證案例描述

依照我們在第三章所建立的標準操作流程，我們在這一個小節中要先將之後實證上所需要的時程歷程資料都整理出來。

相關的時程歷程資料整理如下：

1. 整個台灣高速鐵路工程全長 343.12Km，全程工程大致可以分為土建、軌道機電、測試營運三大區塊
2. 土建部分，我們在要徑法的歸納結論(參照第 70 頁圖 5-1 台灣高鐵要徑法 CPM 簡圖)中可以發現，對於全專案總時程有影響的是四大長隧道的完成時間，其他土建部分的工程分包都有時程上的彈性。
3. 土建部分四大長隧道分別為：迴龍隧道(起歷程點:19.5Km，長 2.2Km)、林口隧道(起歷程點:21.6Km，長 6.5Km)、湖口隧道(起歷程點:64.2Km，長 4.3Km)以及八卦山隧道(起歷程點:175.4Km，長 7.4Km)，而隧道的平均功率在規劃階段預估每個月開挖進展為 50 公尺(50m /month)，隧道線性工程每個月為 120 公尺(120m/month)。
4. 土建部分其他非要徑項目而有彈性的土木分標專案，應配合下一個要徑：軌道鋪設的起始時間點完成。
5. 軌道及機電部分可以分為軌道鋪設、軌道機電鋪設、軌道機電測試三個部分。
6. 根據軌道鋪設，規劃於 57Km、166Km、275Km 三點設立工作基地，推估與軌道完成時間點相接，由工作基地發進，每日依照道板或道渣分別有 150m 或 350m 的建議功率(道板: 150m/day；道渣:350m/day)。
7. 軌道鋪設完成後接續著軌道機電鋪設及軌道機電線路測試，其時程上相繼於軌道鋪設完成一個月後可以開始。
8. 測試營運階段可以分為分段整合測試以及分段試營運。
9. 分段整合測試依據軌道機電及車站場完工一個月後可以開始，分為北

部段、中部段、南部段、機電測試段四個分段整合測試區，每個區段的測試時間依歷程長度需 3~4 個月。

10. 分段式營運分為南北兩段試營運區段，試營運於整合測試約一個月後可以執行，而試營運約需 7 個月，此外，車輛測試約需 8 個月。
11. 另有各個車站及車站機場等非要徑的彈性區塊。

另外依照土建、軌道機電及測試營運三部分，歸納其所需的時程時間點如下列表(表格 5-1 高鐵土建要項隧道時程整理表、表格 5-2 高鐵測試營運要項時程整理表)：

表格 5-1 高鐵土建要項隧道時程整理表

項目	分類	月數	起始時間
土建	總體起迄	52 個月	2000 年 3 月
	迴龍隧道	51 個月	2000 年 4 月
	林口隧道	50 個月	2000 年 4 月
	湖口隧道	46 個月	2000 年 4 月
	八卦山隧道	44 個月	2000 年 4 月

表格 5-2 高鐵測試營運要項時程整理表

項目	分類	月數	起
測試營運	總體起迄	12 個月	2004 年 10 月
	北部段系統整合測試	3 個月	2005 年 4 月
	中部系統整合測試	4 個月	2005 年 3 月
	南部系統整合測試	4 個月	2004 年 12 月
	北部段試營運	3 個月	2005 年 8 月
	南部段試營運	4 個月	2005 年 5 月

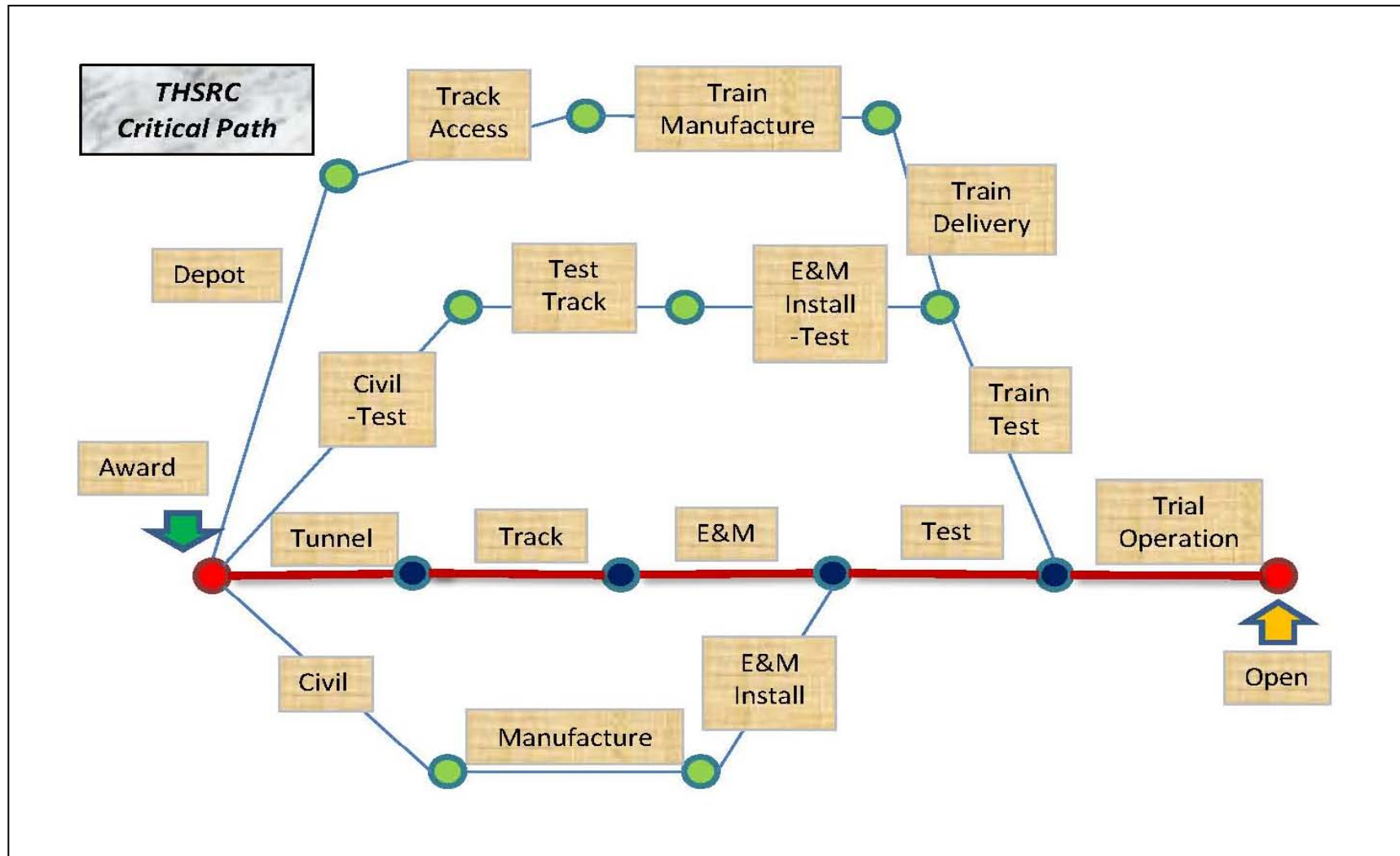


圖 5-1 台灣高鐵要徑法 CPM 簡圖

並參考相關時程資料，繪有要徑法簡圖如第 70 頁圖 5-1 台灣高鐵要徑法 CPM 簡圖。從要徑法簡圖中，我們可以將台灣高鐵的要徑簡化成：“長隧道工程—軌道—軌道機電—機電測試—試營運”這樣的形式(如圖 5-1 台灣高鐵要徑法 CPM 簡圖內紅線串連所示)。而我們可以從上面的時程點整理中發現，由於我們是由上而下的方式先以第一階層做規劃，是以大的專案項目來做為要徑，因而在要徑項目中，還是可能存在可拆解出來的彈性時間，這方面我們不一定能以浮時稱之，因為這依然是在這個高階專案項目中某個小工項所必須的施工時程，這種彈性的規劃排程，也是要徑法對於大型專案工程規劃困難的理由之一。

而有了這些案例資料的整理，我們便可以開始下一小節的實證構圖工作。



5.2 實證

在有了上一小節的資料整理，對照我們在第三章中所建立的標準操作構圖步驟，我們已經從分工項目表獲得我們所需要的各項基本資訊，而且我們所需的資訊其實是很少的。接著我們也在整理各工項的時程及規劃的功率時，獲得了各個工項的平衡線。下一步我們就從要徑法簡圖上分析獲得整個專案工程的要徑，並由建議工率估算出各個要徑項目的時間。所以我們在本節的實證步驟中，將會從第四個步驟開始，將研究中在上一節所蒐集的時歷程資料，依照後續的 LBCPM 步驟，匯入規劃結果輸出圖一屬於台灣高鐵總工程的時間－歷程關係圖，由於我們在第四章中已經將整體的步驟做詳細的套入動作，所以在本章的實際案例實證當中，我們會對於其中步驟目標相近的部分做合併化，以加快我們在實證構圖上的速度。

再一次的，我們接下來的工作是：將要徑工項的由平衡線所獲得的功率以歷程為橫軸單位的個別單位時間－歷程關係圖，並且將要徑步驟依照工項先後邏輯順序一個一個規劃在總體專案的時間－歷程關係圖上。我們將這兩個工作合併於以下的篇幅中：

1. 首先，依照台灣高鐵的要徑，我們需要先針對台灣高鐵四大長隧道，經由我們在第一節中所估算的工期工率，以及歷程長度及位置，匯入TCD總圖中，如下圖 5-2 台灣高鐵工程 TCD 構圖之一。

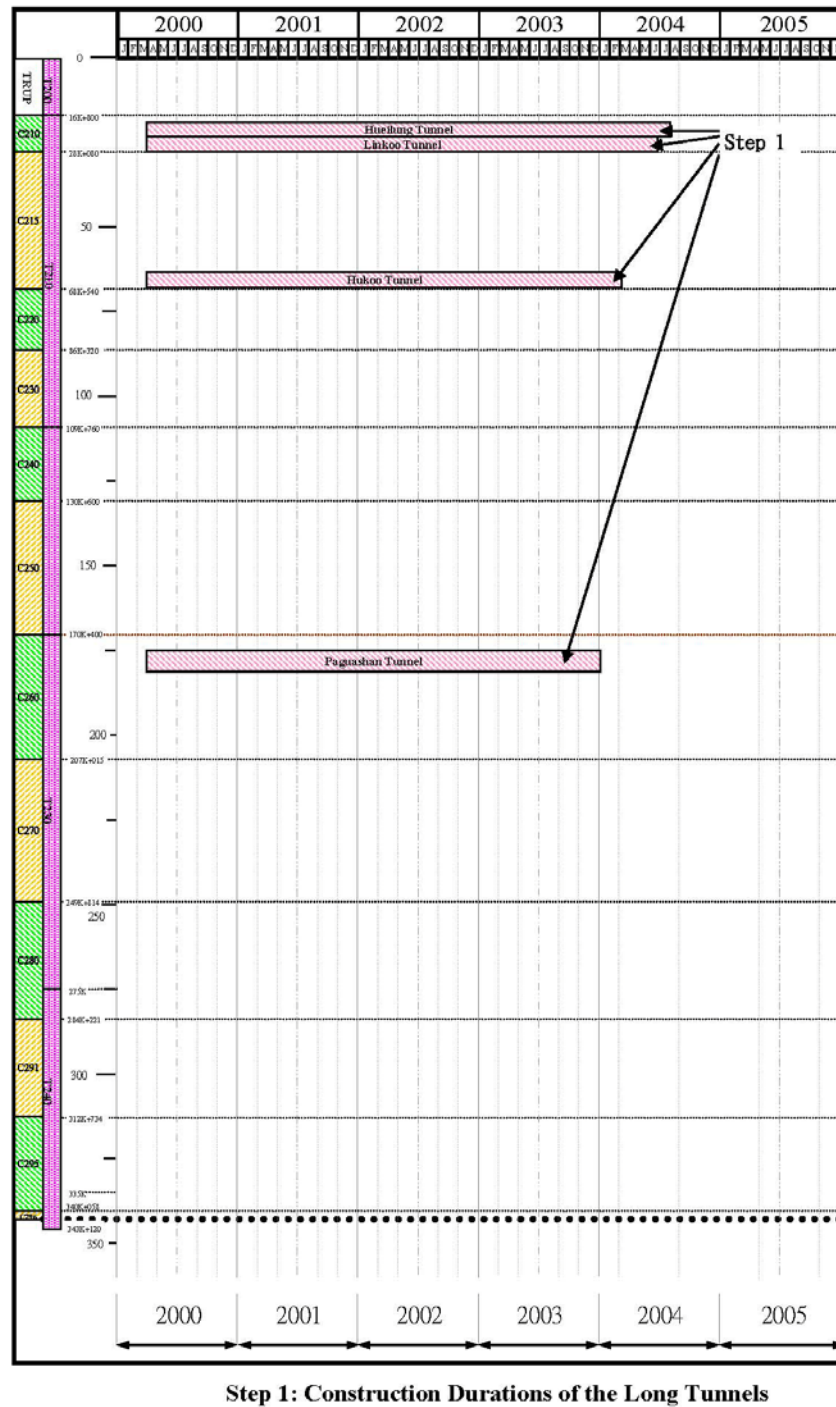


圖 5-2 台灣高鐵工程 TCD 構圖之一

2. 在接著長隧道之後的絕對要徑是軌道鋪設，但是在此之前，我們需要知道發進基地位置(如我們在上一節所描述，發進工作基地為 57Km、166Km 以及 279Km)，以及規劃測試線區間，構圖如下圖 5-3 台灣高鐵工程 TCD 構圖之二。值得注意的是，雖然依前後邏輯而言，這些項目是決定軌道鋪設細部的前置作業，但由於這個項目並不是絕對要徑項目，我們在時程上只要調整讓其依照工作項目表裡的需求，能在軌道鋪設時程之前安置發進基地即可，保留的彈性在之後再作調整。另外在這裡也可以依照軌道鋪設往前推算各個土建工程完工時間，我們依照研究需求，將這部分在後面會再詳細敘述。

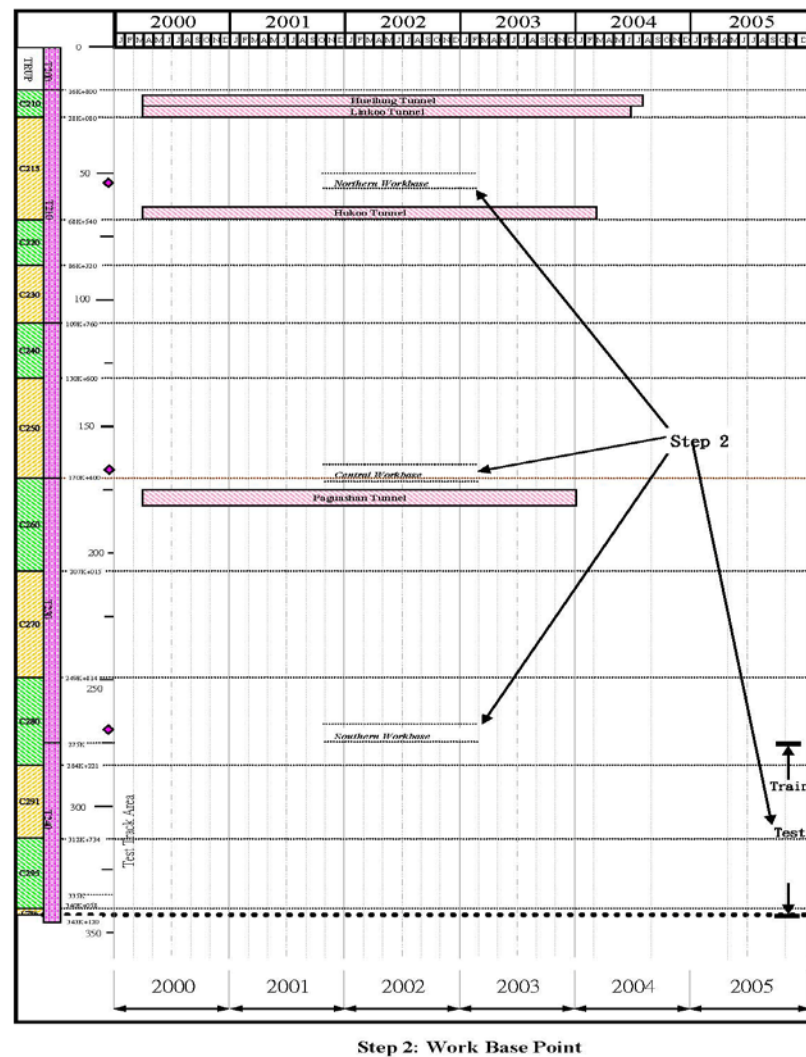


圖 5-3 台灣高鐵工程 TCD 構圖之二

3. 接著，依照要徑，我們從軌道的鋪設工率：北部 150m/day、南部 350m/day，並比照三個軌道鋪設發進工作基地點：57Km、166Km 以及 279Km，依照要徑需求，我們需要在隧道施工完成後才能鋪設軌道經過隧道歷程點；依照這些原則，估算出各段的軌道鋪設時間－歷程進度，並將這些進度規劃套入到總圖中，如下圖 5-4 台灣高鐵工程 TCD 構圖之三。

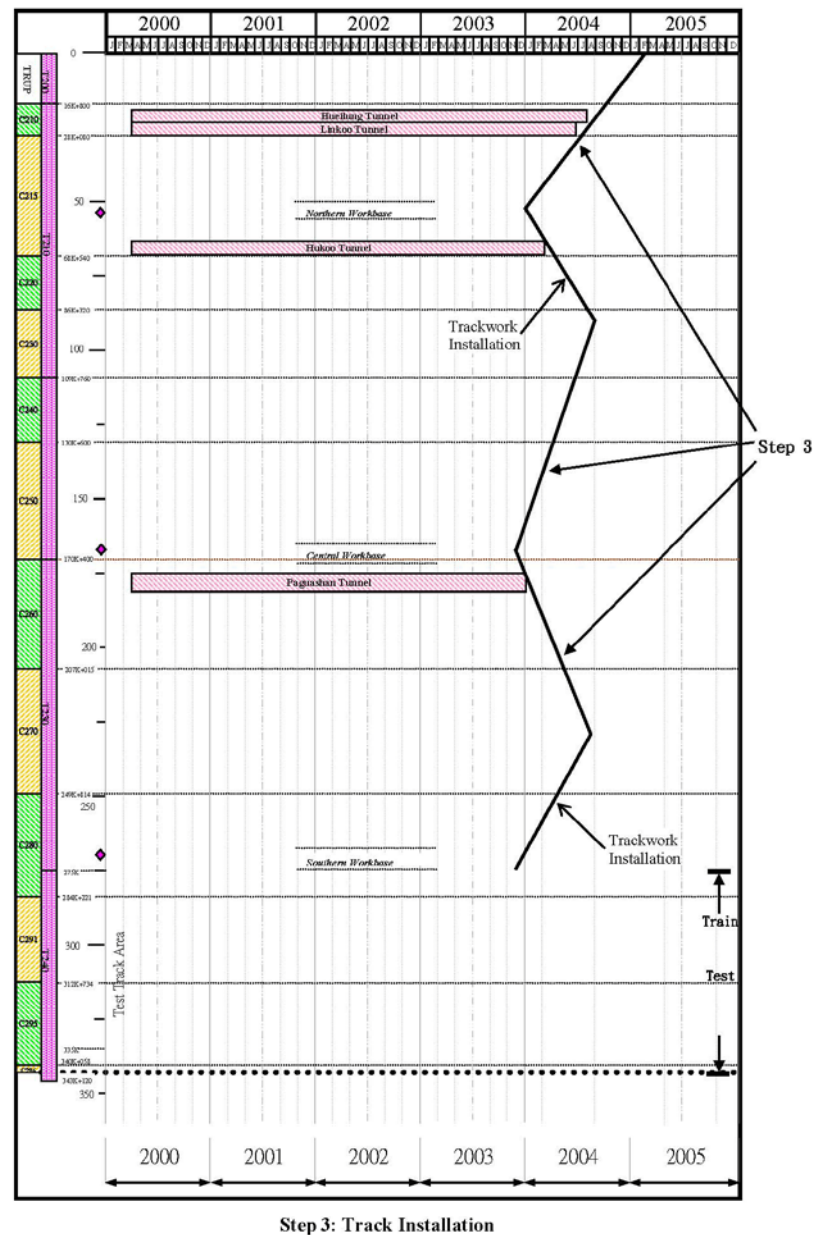


圖 5-4 台灣高鐵工程 TCD 構圖之三

4. 而在軌道鋪設之後，依照施工建議規劃，於軌道鋪設後一個月即可再由發進基地依照工率推進軌道的機電系統安裝建置，然而相較之下軌道機電安裝的施工速率比軌道鋪設為快，所以我們以軌道鋪設的速率為基準，在軌道鋪設施工後一個月接著鋪設軌道機電系統，如下圖 5-5 台灣高鐵工程 TCD 構圖之四。

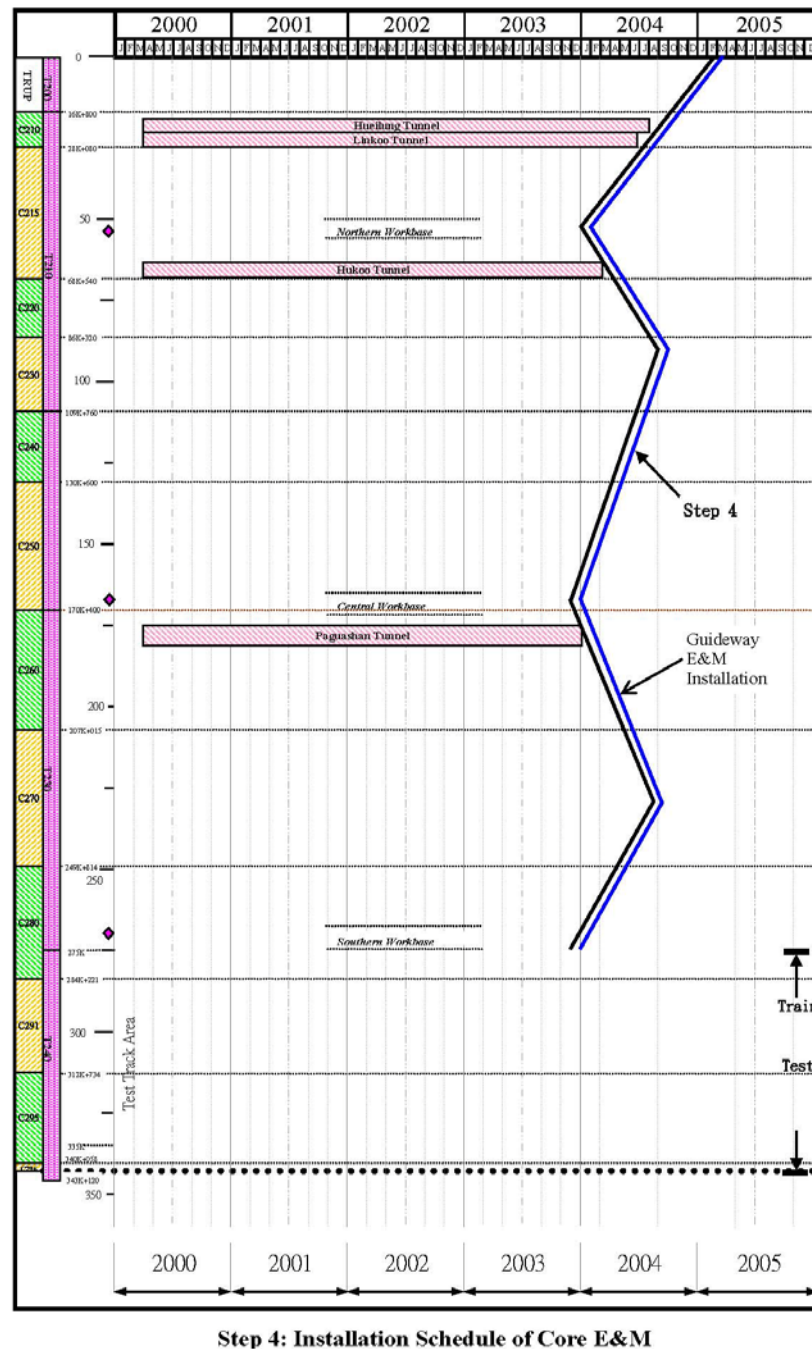
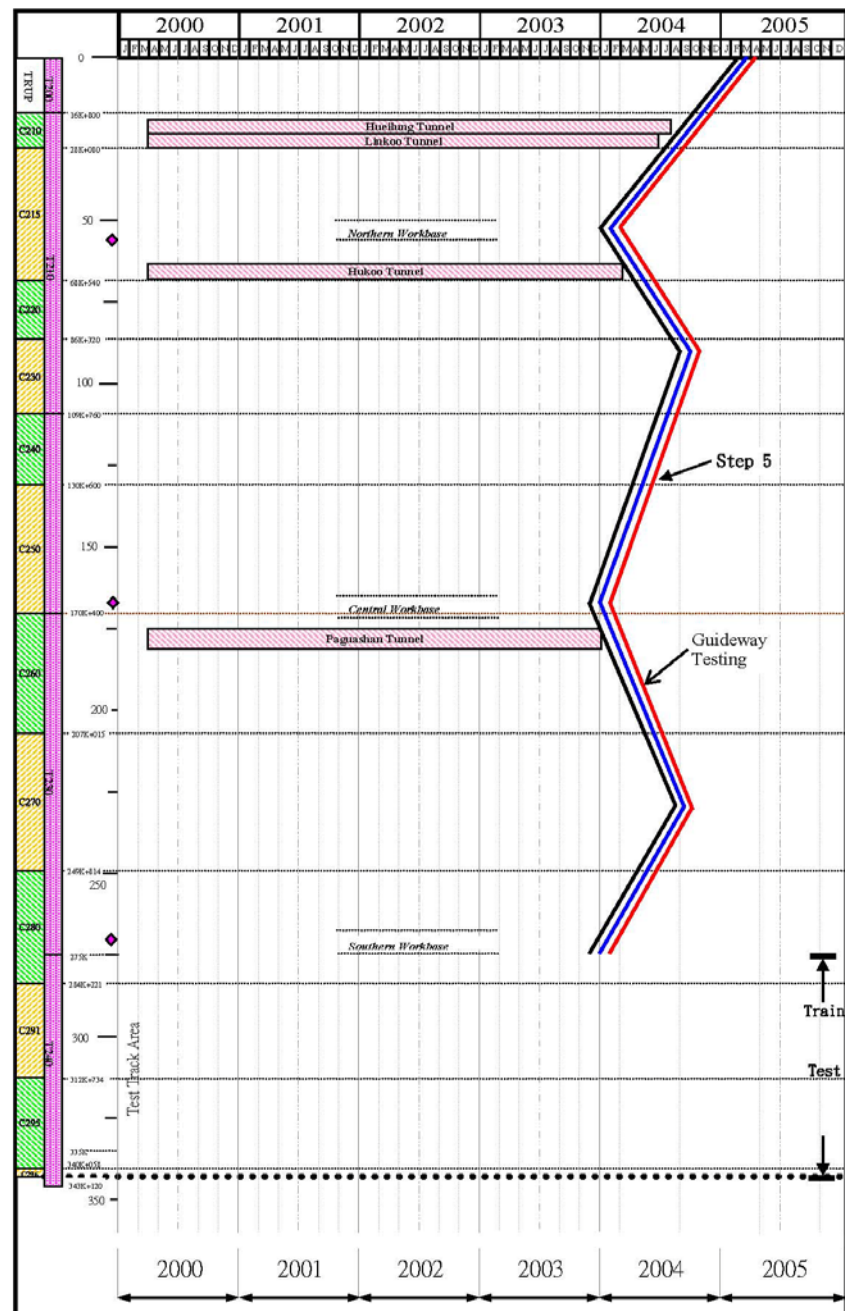


圖 5-5 台灣高鐵工程 TCD 構圖之四

5. 在軌道機電系統安裝之後我們要做軌道系統的整體測試，其測試時程歷程區段，也需配合軌道機電系統安裝的時程，所以我們同樣的以軌道鋪設的速率並由各個發進工作基地為起點，在軌道機電系統安裝之後一個月，開始進行軌道系統的整體測試，將這項時間歷程資訊匯入總圖如下圖 5-6 台灣高鐵工程 TCD 構圖之五。



Step 5: Testing and Commissioning Schedule of the Core E&M

圖 5-6 台灣高鐵工程 TCD 構圖之五

6. 完成了軌道區塊，依照要徑我們需要排定分段整合測試的時間歷程，而由我們在上一小節中整理出的資料，並配合車輛測試段額外的時程需求，我們將整合測試分為四個區段：北區(以北發進基地為分界)、中區(以中發進基地為分界往北)、南區(以南發進基地為分界往北)及車輛測試段。依照長度比對時程需求，推估其時程歷程曲線，匯入總圖如下圖 5-7 台灣高鐵工程 TCD 構圖之六。

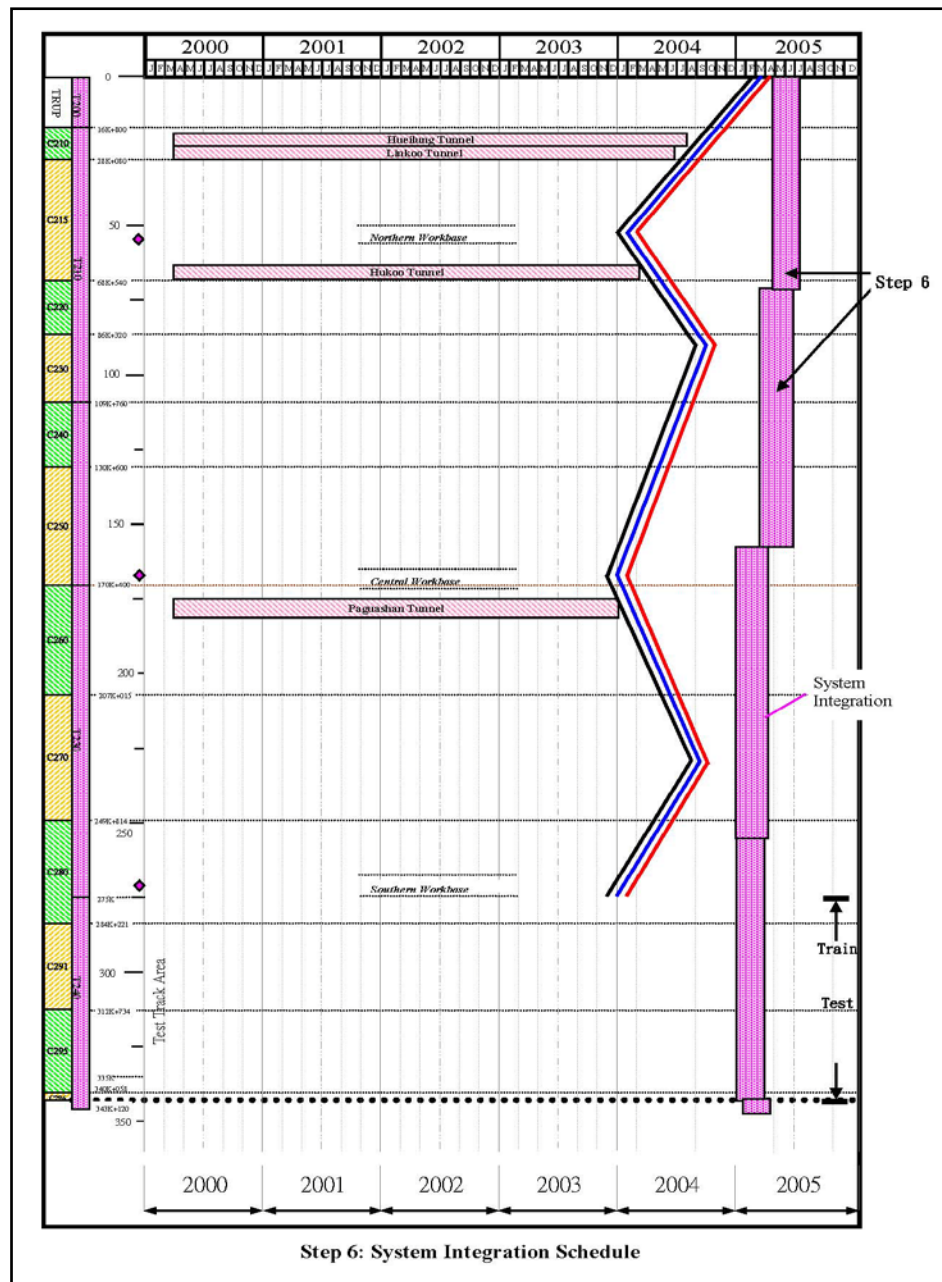


圖 5-7 台灣高鐵工程 TCD 構圖之六

7. 排定分段測試時間後，接下來就是對整條高速鐵路線試營運測試，而我們在上一步中已經訂定細部系統測試的分段，所以我們只要將試營運分為兩段試營運時程歷程(同樣的以中部發進為分界分南北兩段)即可，試營運時程約 3~4 個月，依時程歷程資料匯入總圖，如第 80 頁圖 5-8 台灣高鐵工程 TCD 構圖之七。

而到了這個部分，我們就完成了整個台灣高鐵工程其時程上絕對要徑的時間—歷程關係圖，所以我們可以很快的就圖上看出整體的台灣高鐵工程規劃階段興建時程：2000 年 3 月至 2004 年 10 月，共 56 個月。到這個部分我們可以證明：LBCPM 能有效的對高速鐵路工程等大型工程時程做有效的規劃及預估，而達成本研究的第二個研究目的：以本模型對高鐵實際計畫時程資料做實用證明。此外本研究也在後續建議，在適當的蒐集各國資料之後，可以進一步以相關規劃時程做比對參考。



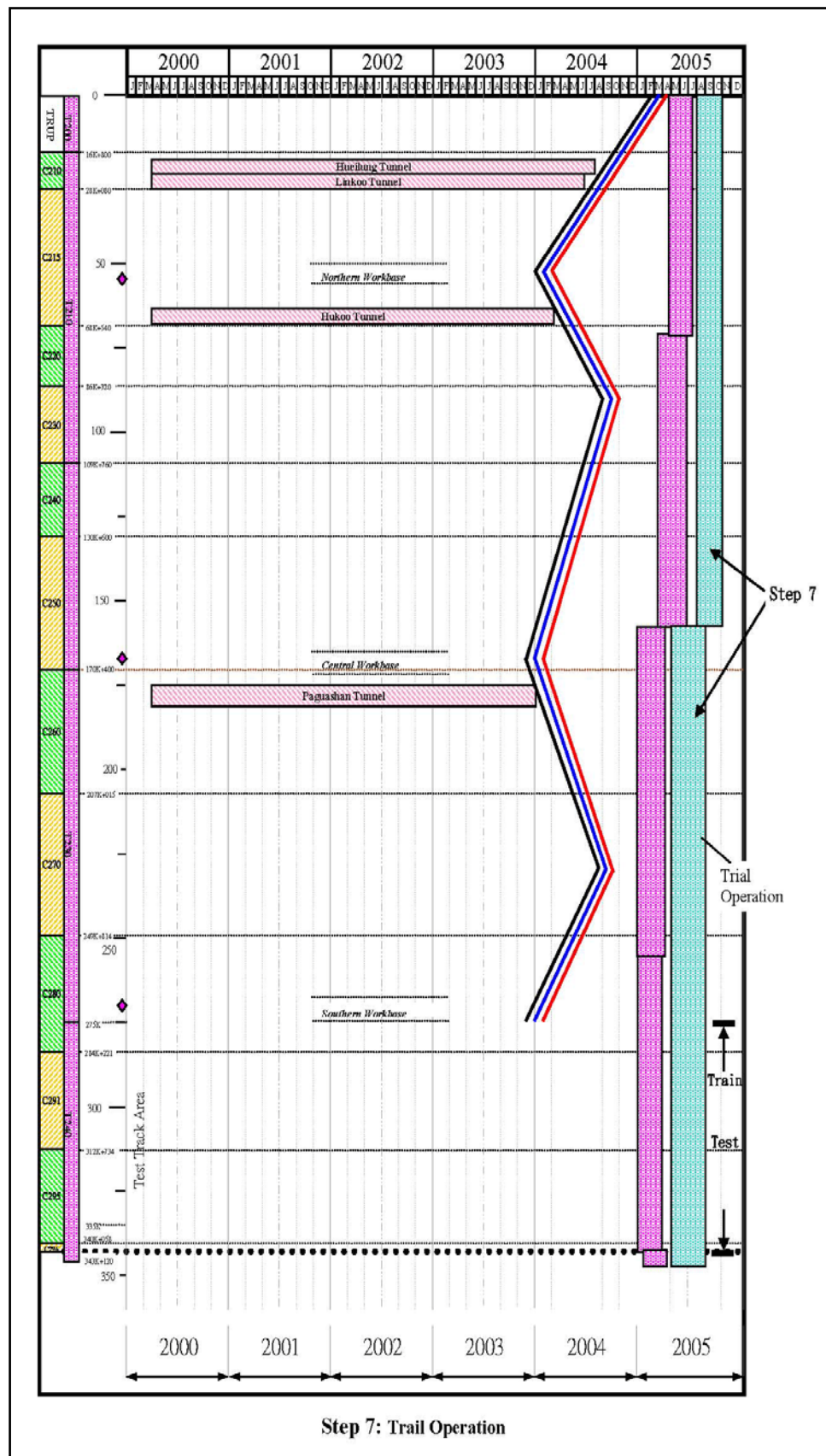


圖 5-8 台灣高鐵工程 TCD 構圖之七

在將要徑步驟依照工項先後邏輯順序一個一個規劃在總體專案的時間－歷程曲線圖上，以獲得整體的工程專案時程之後，我們證明了本研究 LBCPM 可實用於高鐵工程等相關大型工程專案，然而依照本研究模型步驟，我們還需要接著對非要徑項目的起迄時間做歸納，將這些有時程彈性的工項獨立出來，計算分析這些工項的最早開始時間(ES)以及最晚完工的時間(LF)，以構成這些非要徑工項的時間－歷程曲線圖。接著將這些非要徑工項的時間－歷程曲線，依照工項先後邏輯，依序繪入我們之前所建構的總專案要徑項目時間－歷程曲線圖(見第 80 頁圖 5-8 台灣高鐵工程 TCD 構圖之七)圖上。在套入總專案時間－歷程曲線圖之後，我們還需要對這些給予過多彈性而有可能衝突的非要徑工項，依照工項前後邏輯關係以及施工規範，調整非要徑工項其合理的起迄時間。我們將在以下的篇幅中完成這些步驟：

1. 在建構完成整體高速鐵路絕對要徑的時間－歷程關係圖之後，我們首先要匯入的非要徑項目是測試段的”要徑項目”，就是測試段的土建時間及軌道鋪設、軌道機電系統裝設、軌道機電系統測試和車輛測試段的重點－車輛測試。而要將這些項目匯入，除了考慮之前整理出的資料，還需要參照在要徑項目規畫中我們後續要徑作業的時程起點。所以我們需要依照邏輯，從分段測試的車輛測試段其時程起點依序倒推。我們從規劃圖中知道，分段測試的車輛測試段時程起點為 2005 年一月，考量車輛測試約 8 個月的時程需求，將所得的時程歷程資料匯入圖中，如 82 頁圖 5-9 台灣高鐵工程 TCD 構圖之八。

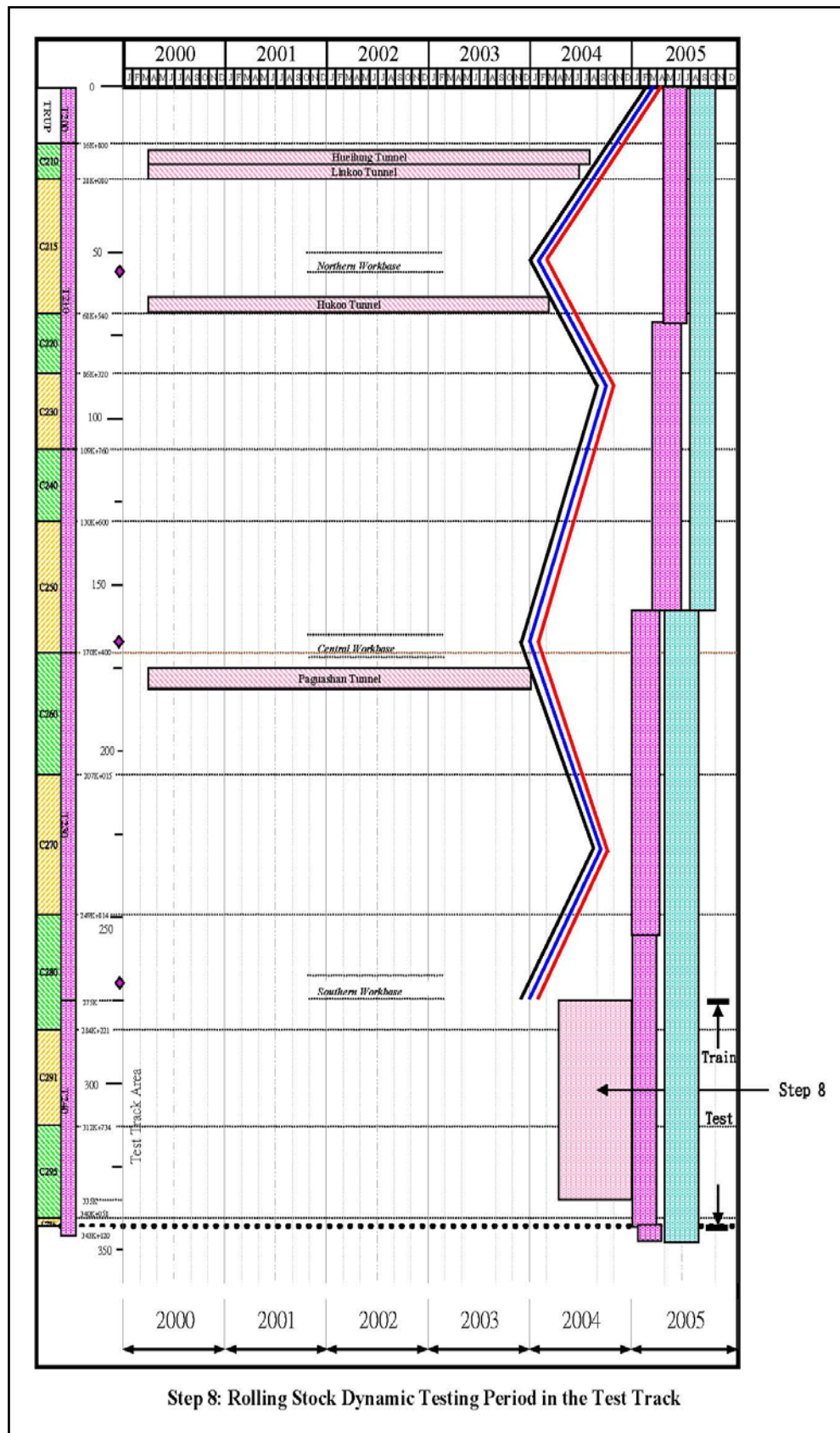


圖 5-9 台灣高鐵工程 TCD 構圖之八

2. 接著再往前回推，我們可以獲得的車輛測試段的軌道系統整合測試以及軌道機電系統安裝的時間—歷程資料，並依照先後相差一個月的規範，繼續匯入總圖中，如下圖 5-10 台灣高鐵工程 TCD 構圖之九。

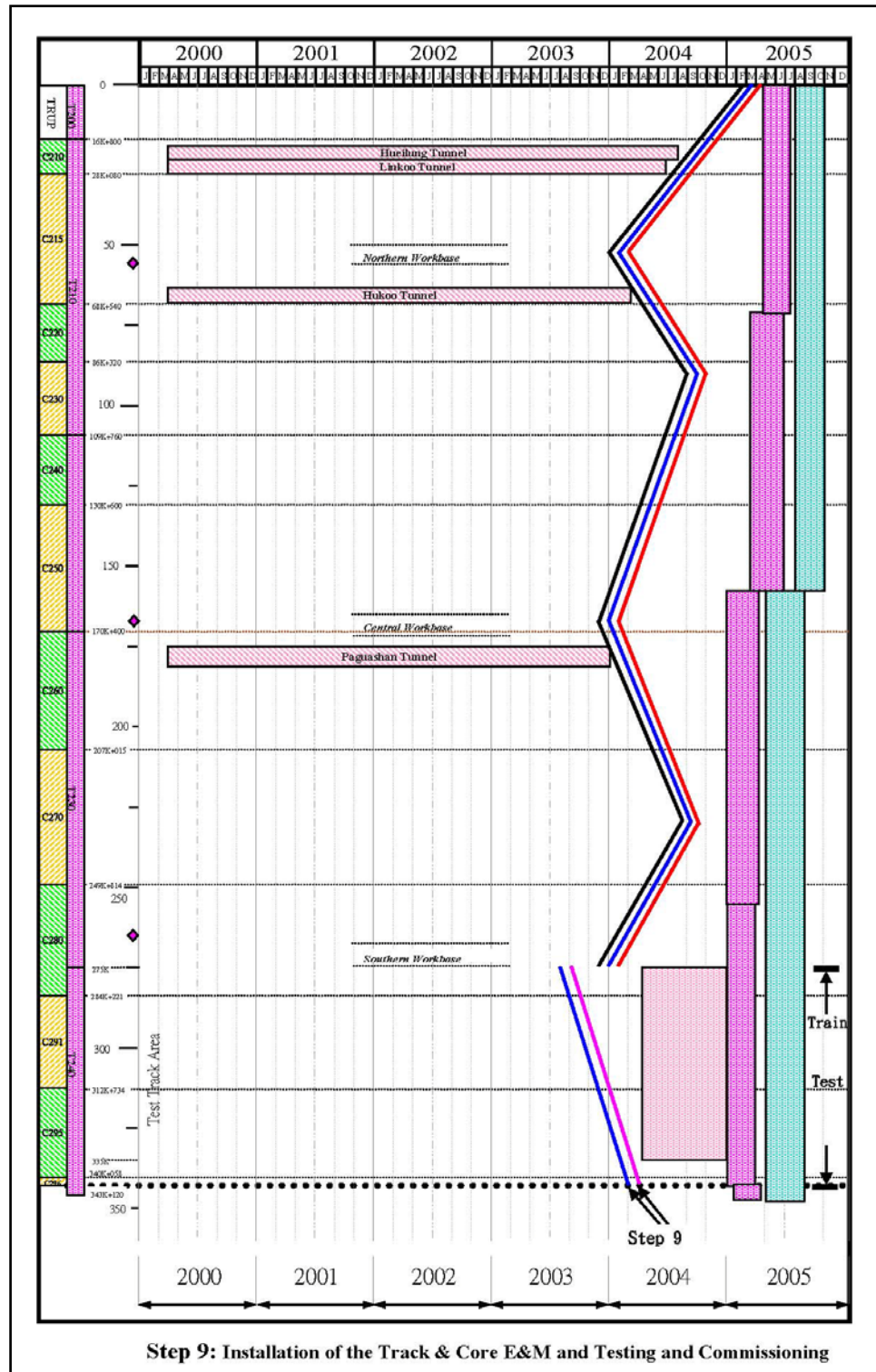


圖 5-10 台灣高鐵工程 TCD 構圖之九

3. 最後一個車輛測試段的”要徑項目”就是車輛測試段上的軌道鋪設，有了軌道鋪設時程我們可以再回推車輛測試段所需的土建完工時間。所以，依照我們從測試段軌道機電系統安裝所得的起始時程，以及施工建議規範中相隔一個月的時程規定，我們將規劃所得的時程－歷程線匯入總圖中，並接著倒推車輛測試段所需的土建完工時間。而依本研究需求，我們先不匯入有彈性的土建標圖區。本步驟所得結果圖如下圖 5-11 台灣高鐵工程 TCD 構圖之十。

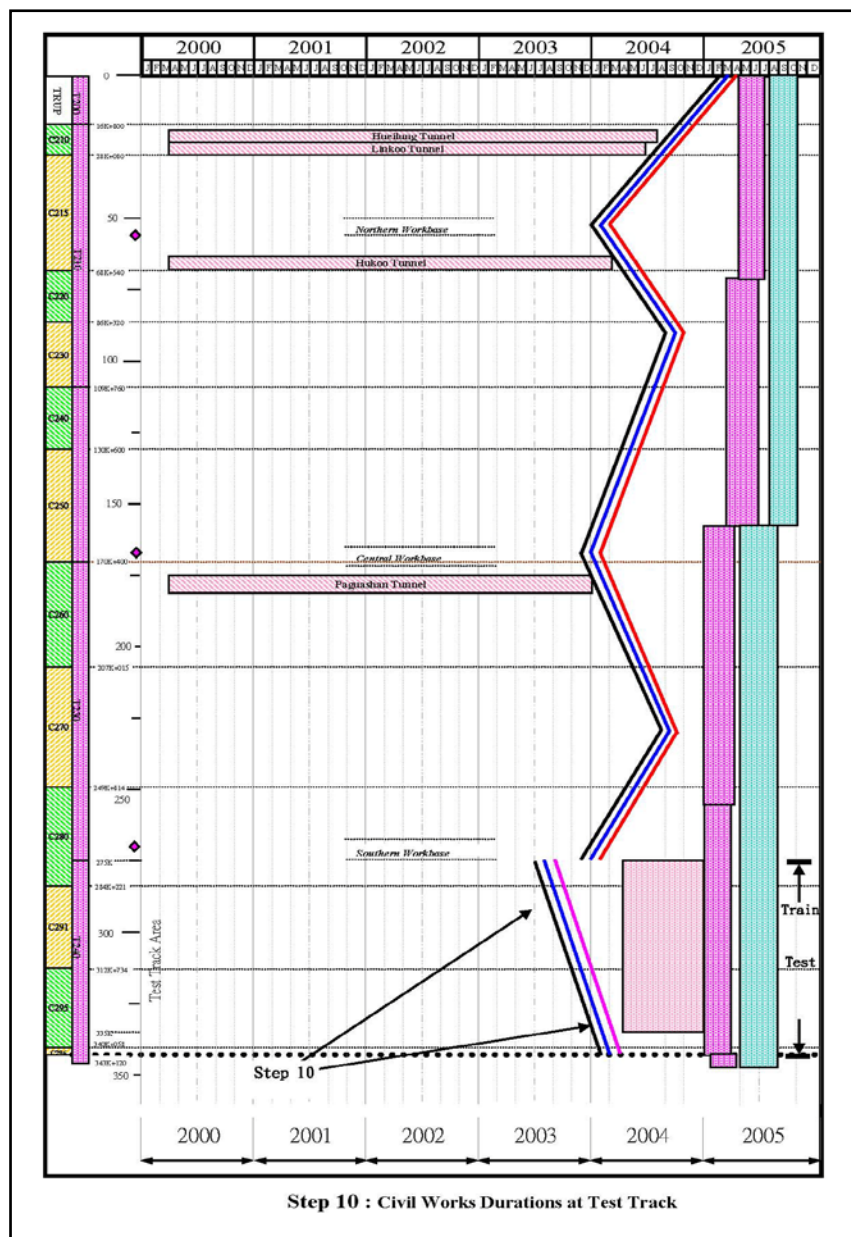


圖 5-11 台灣高鐵工程 TCD 構圖之十

4. 在這個步驟中，我們最後要匯入的是對於各個已知的車站場站的時程歷程資料圖，而我們將各個車站場站在規劃上的時程－歷程資料整理於下表格 5-3 高鐵場站時程資料整理，並將這些資料匯入總圖中以調整至合適的時間歷程點上，如 86 頁圖 5-12 台灣高鐵工程 TCD 構圖之十一。
5. 除了各個土建標的時程歷程資料，依照本模型 LBCPM 建立台灣高速鐵路工程的規劃總圖時間－歷程關係圖已全部完成。

表格 5-3 高鐵場站時程資料整理

項目	分類	月數	起
場站	台北站	17 個月	2003 年 8 月
	桃園站	47 個月	2001 年 5 月
	新竹站	47 個月	2001 年 3 月
	台中站	46 個月	2001 年 1 月
	嘉義站	47 個月	2000 年 10 月
	台南站	45 個月	2001 年 2 月
	左營站	41 個月	2001 年 9 月

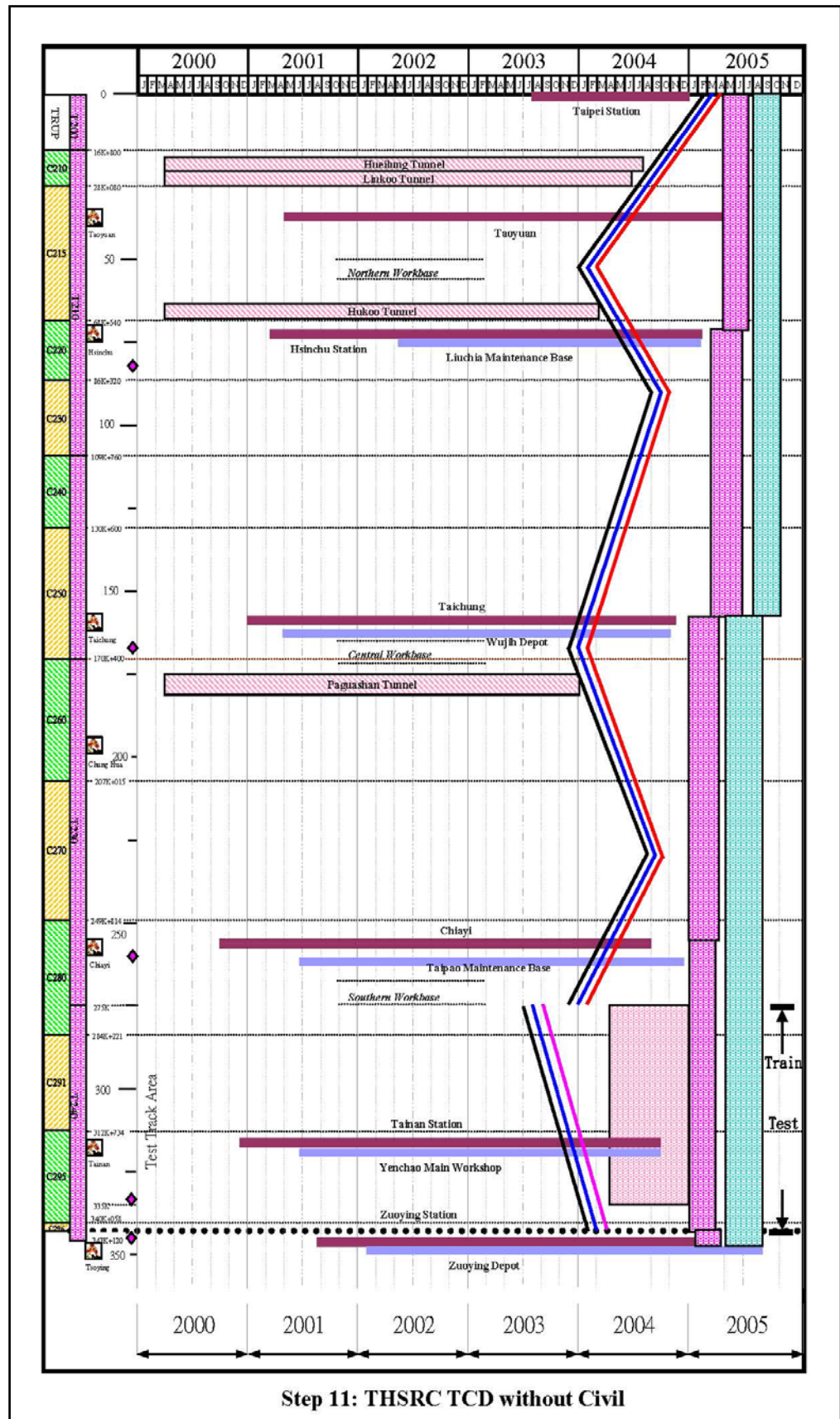


圖 5-12 台灣高鐵工程 TCD 構圖之十一

在之前的實證內容中，我們特別將土建標分包的時歷程內容獨立出來，先不將其匯入總規劃時間－歷程關係圖，其原因有二：

1. 主要因為，土建標在我們以時間－歷程關係圖作總規劃時，是屬於土建下的第二階層，而這個高階層同樣的裡面包含很多的專案細項，而每個土建標其歷程內的工項專案細項未必相同，相較於其他施工上重複性較高的工程項，例如：車輛測試或是軌道機電系統裝設，我們很難在總專案時程裡以幾乎同化的估算手法推估出其合理的“非要徑項目”的時程點。
2. 雖然我們無法以同化的估算手法推估出土建標分包專案其合理的時程長度，但是當我們在規劃時，依舊可以先以其後所接續的要徑項目：軌道鋪設，其起始時間點當作土建標的參考時程結束點，繪出含有概略的土建標分包專案的台灣高鐵專案時間－歷程總圖。雖然，我們依此解決方法，可以獲得規劃階段的台灣高鐵專案時間－歷程總圖，但卻犧牲了這個規劃圖在建設專案生命週期中所能夠有效使用的時間長度，而這種犧牲也與本研究的最終目的：提出一個可供大型專案工程“從規劃到興建都可沿用”的規劃排程模型，不相符合。

所以，為了達到本研究的目的，我們在第二部分的案例實證，將依序以土建標分包專案：C270 以及 C260 為例，分析整理其下一階層內部的細部工項資料，構成兩個專案的時間－歷程關係圖，並將這兩個土建標分包專案的時程資料再匯入到上一層的台灣高鐵專案時間－歷程總圖(如第 86 頁圖 5-12 台灣高鐵工程 TCD 構圖之十一)，以此證明總圖在專案生命週期中從規劃到興建都可參考沿用的研究目的。

首先，依照步驟，我們先對土建標 C270 的時程歷程資料做分析整理：

1. C270 土建標全線皆以高架鐵路為主體所構成，而選用的工法為全垮預鑄懸臂吊裝。
2. 因而在 C270 標專案於 2000 年 4 月開始，首先先依照歷程開始逐垮預鑄節塊並依施工需求，對全線做其他吊裝準備的雜項工作。
3. 先由中心 228K 處，在可以開始吊裝節塊前一個月分南北開始先行施作吊裝的橋柱及橋頭。
4. 橋柱施作時間依地形以及當時氣候(考量雨季)約 3~5 個月不等。
5. 橋頭接合施作約在橋柱完成後一個月，施工時程約 1~2 個月不等。
6. 在完成中心的施工起點準備作業之後，專案預計於 2001 年 11 月起，分南北向逐垮依序吊裝節塊
7. 在節塊吊裝之後約一個月，依序在橋底施加預力鋼筋及節塊接合工作。
8. 最後再依序安裝橋體雜項等完工工作。

經過以上的資訊整理，我們可以很快的建構起整個 C270 標的時間－歷程關係圖如第 89 頁圖 5-13 土建標 C270TCD 全圖。而值得我們注意的是，我們可以將更細的雜項歸類到一個區塊裡，做為其在時程上的彈性，而且在一些非要徑工項表現上，保留了其時程的彈性於區塊內給予這一階層的工作包商自由調配資源的空間。在時間－歷程關係圖配合 LBCPM 模型規劃藍圖之下，我們能獲得合理的工程起訖時間：2000 年 4 月至 2003 年 12 月。所以我們可以再將這個正確的時程資訊匯回上一層總計劃的時間－歷程關係圖，構成 C270 標在圖上的時程歷程資料區塊。

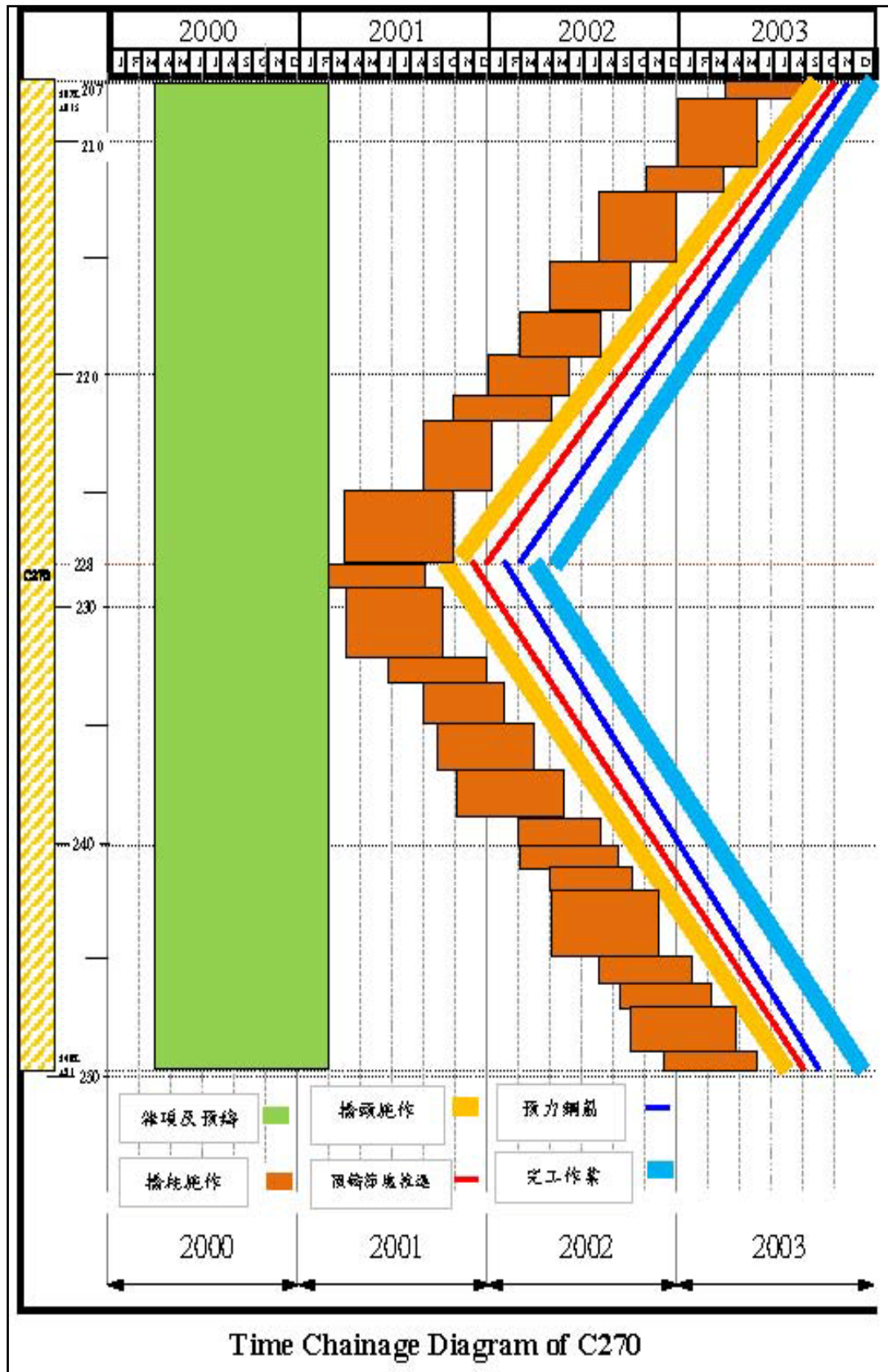


圖 5-13 土建標 C270TCD 全圖

依照相關時間歷程資料，我們可以以同樣的步驟，建構出高鐵 C260 標的時間—歷程關係圖。而依照研究的需求，以台灣高鐵規劃團隊所提供的資料，高聰忠 博士建構提供了土建標 C260 的時間—歷程關係圖如下 91 頁圖 5-14 土建標 C260TCD 全圖。

我們可以看到，C260 在資料上更為齊全，除了原本應有的時程歷程點及關係，更能在圖上結合以及表達更多的資訊，例如歷程上的地形高度以及歷程上的工程架構，讓我們在閱讀圖形上的涵意時更加容易了解。

在 C260 標案中，全線經過了 3 個隧道，並且其中包含了台灣高鐵工程全線裡最長的八卦山隧道；因而以 C260 標案來說，其時程上的彈性以及整體的專案興建時程長度，主要以八卦山隧道所需的時程長度做為要徑項目，而與其他土建標的接續以及興建的時程，則以隧道施工所提供的時程限制，在這時間限制內依照資源使用最有效率的原則做時程上的分配規劃。而在圖上我們也能將工程中主要的大項做拆解並顯示於圖上，例如在隧道工程中，將隧道鑽掘以及隧道線性工程分別出來作為獨立的工項，詳細的將其每個時間歷程點的規劃結果繪製於圖上。在隧道之後的橋梁工程與前頁我們所建構的 C270 標在歷程上接續，這部分的土件內容則以橋臺以及橋基礎為主要工作項目，其施工上所需注意的時程歷程規劃以及工項前後邏輯限制也於圖上呈現。而在圖上我們可以清楚的標出整個 C260 標案的時程：從 2000 年 5 月至 2003 年 12 月，同樣的，我們會在將這個時程資訊匯回上一層總計劃的時間—歷程關係圖，以證明總圖的正確性及可沿用的特性。

Time Chainage Diagram for C260

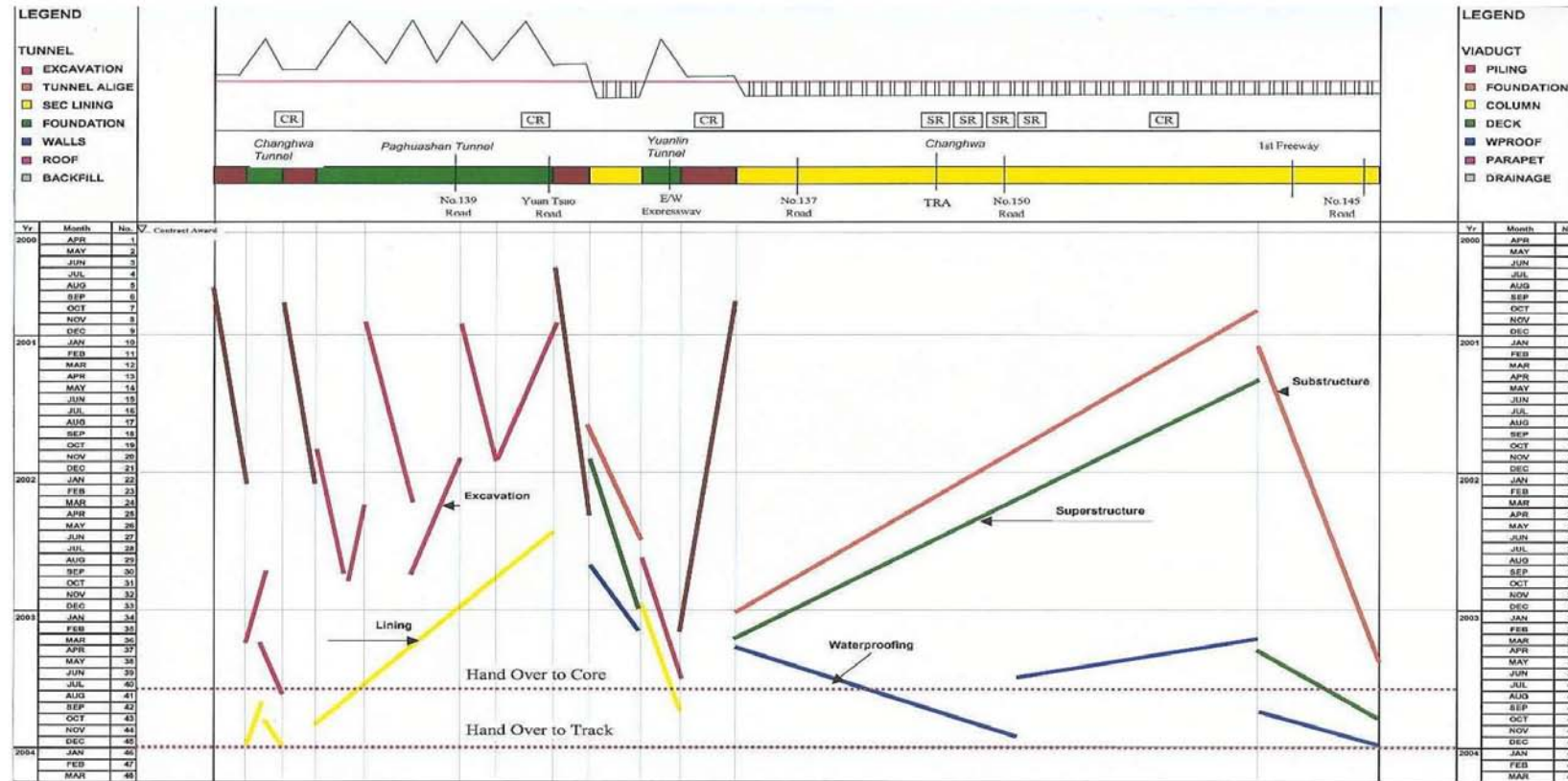


圖 5-14 土建標 C260TCD 全圖(資料來源: 高聰忠 博士)

獲得了以上 C260 以及 C270 的時間－歷程資訊，我們可以將其依照次階的時間－歷程關係圖規劃所獲得的時程點，匯入第 86 頁的圖 5-12 台灣高鐵工程 TCD 構圖之十一，進而構成本研究在台灣高鐵工程實證上的規劃結果圖如下：

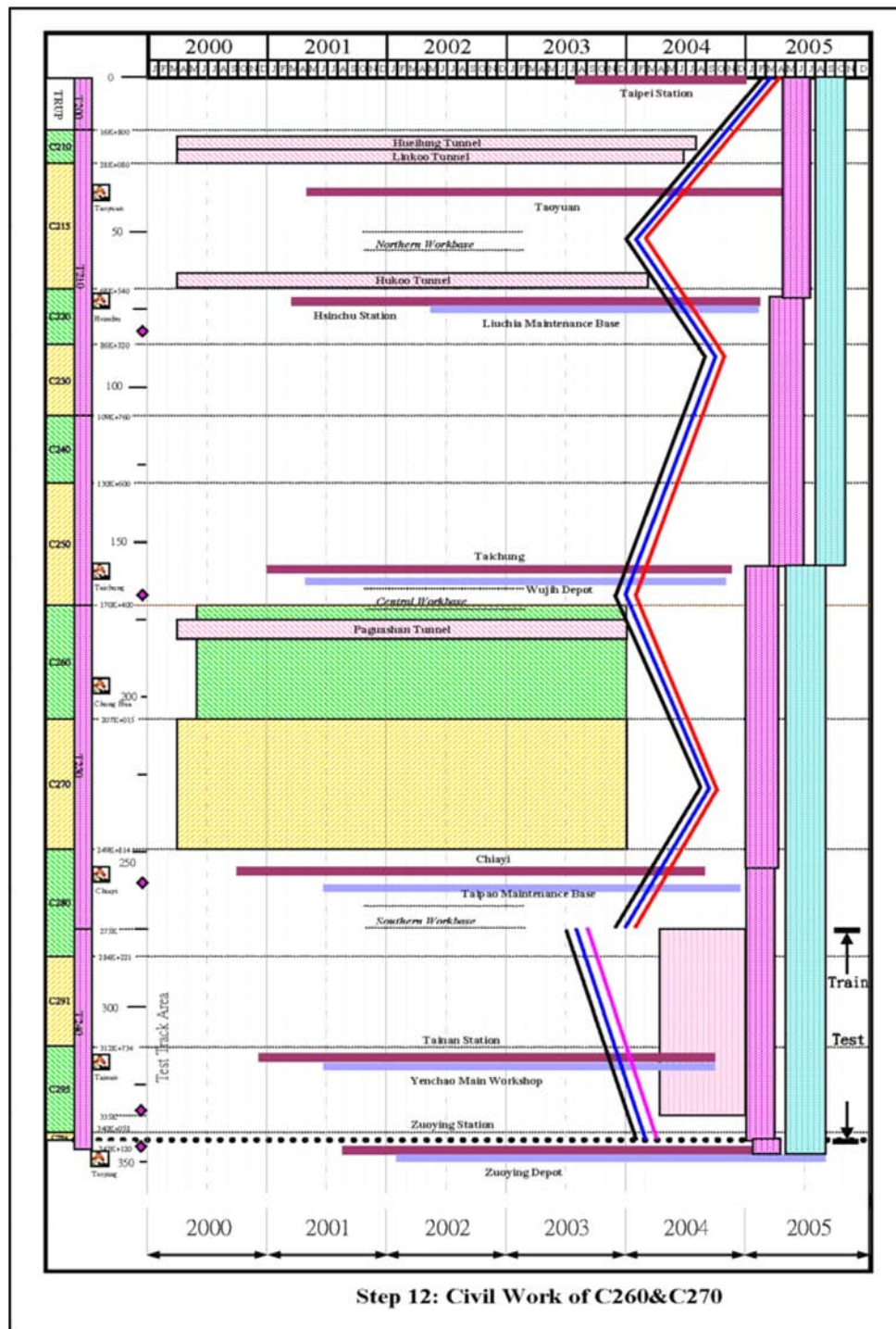


圖 5-15 高鐵實證 TCD 總圖

配合 C260 以及 C270 兩個標案經過時間－歷程關係圖配合 LBCPM 模型規劃，我們可以證實，如果以時間－歷程關係圖配合 LBCPM 模型規劃這些次一階的標案，再將這些細部標案的時程歷程資料匯回總計劃的時間－歷程關係圖，那總計劃時程的時間－歷程關係圖在使用上就會非常的準確。換句話說，我們在規劃總計劃時程歷程時，是由上而下(Top-Down)的方式規劃出總計劃上的要徑，但是在配合細部標案由下而上(Bottom-Up)的時程歷程資料匯合，我們的總計劃時程時間－歷程關係圖就可以在整個專案興建的生命周期裡每個階段都能被延續使用：因為每個時程歷程資料都已經準確的融合在圖上，達成許多規劃者從規劃到施工一致的夢想要求。

本研究在實證的最後，以 C260 以及 C270 的時程歷程資料套入計畫總圖的方法為基礎，我們依照同樣的邏輯，參考土建相關規劃資料，將其他土建標的時程歷程規劃資料匯入 92 頁圖 5-15 高鐵實證 TCD 總圖，而有下頁包含全高鐵各個工程大項時程歷程資料的主計畫時間－歷程關係圖，請見 94 頁圖 5-16 台灣高鐵主計畫 TCD 總圖。

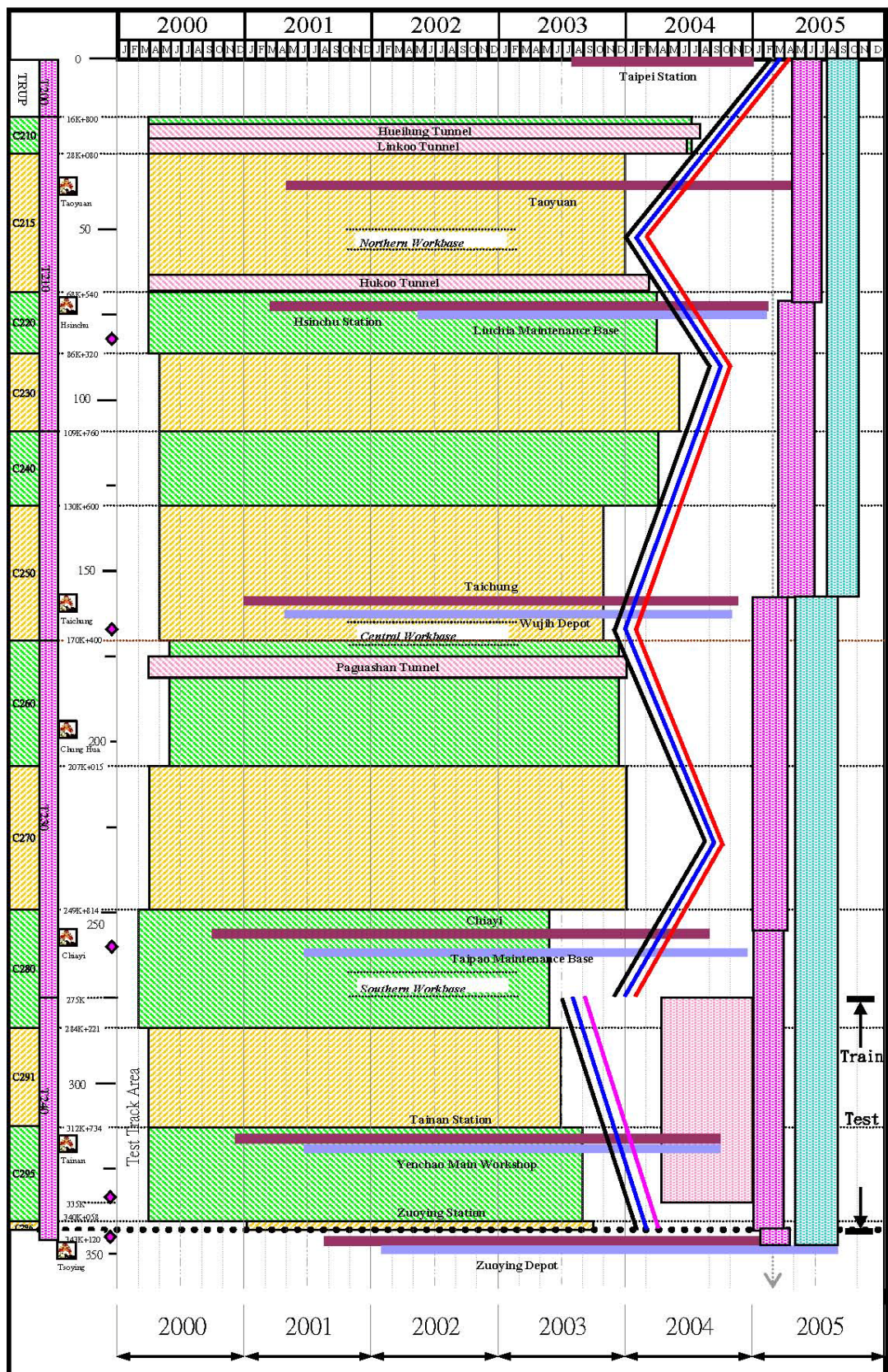


圖 5-16 台灣高鐵主計畫 TCD 總圖

5.3 實證小結

在本章中，我們將台灣高速鐵路專案的總體規劃資料整理後，以本研究所訂定的 LBCPM 模型步驟，將這些散落的文字資料，一個一個的融合在時間－歷程關係圖計畫總圖上，在本章上半部分的驗證，實際證明本研究所建立的方法背景以及操作步驟在實際的大型工程案例中可以被實用，也達成了本研究目的第二項：以本模型對高鐵實際計畫時程資料做實用證明。接著，我們在第二部分的驗證中，以台灣高鐵的 C260 標以及 C270 標的土建規劃資料，再次以研究提出的方法論背景以及步驟建構所屬標案的時間－歷程關係圖，並且將規劃所得的時程歷程結論匯回台灣高鐵時間－歷程計畫總圖，證明以本研究步驟所得的時間－歷程關係圖除了能在規劃階段統合各種規劃的詳細時程歷程資料，其在規劃上的合理性也能讓規劃階段所得的總圖能夠在施工等後續階段持續被沿用，而達成本研究的第三項目的：提出一個可供大型專案工程從規劃到興建都可沿用的規劃排程模型。

在這一章裡，我們能獲得以下幾點結論：

1. 經由實際證明，我們發現本研究的結果不僅能適用在一般的工程案例，在大型的工程專案中也能使用。而且我們在大型專案中，藉由由上而下(Top-Down)的方式規劃總計畫，可以快速而明確的知道整個專案的要徑以及時程彈性，讓工程業主能夠很快速的對整體工程的時程做有效的掌握；而這個掌握不同於要徑法只能知道時間軸上的資訊，在時間－歷程關係圖裡，即使只有要徑的構圖，我們仍然可以從圖上就看出各個要徑項目的時間與歷程的關係，這讓獲得本圖所融合全部資訊的人，能對整體專案有立體的全專案概念。

2. 除了證明各種大小專案的可用性，我們也以由下而上(Bottom-Up)的方式，獲得下一階層專案的時間歷程資訊，並以此更新整個台灣高鐵計劃案的時間－歷程關係總圖，證明了除了能在規劃階段的結果可以使用，如果再以由下而上的方式回饋時間歷程的準確規劃資訊，整個台灣高鐵計劃案的時間－歷程關係總圖能融合更多這些資訊在一張圖上，而這張圖也理所當然的能從規劃階段的輸出，一直在後續的施工甚至完工維護階段能被參照沿用。
3. 相較於其他的排程方法，時間－歷程關係圖由上而下的規劃方式突破了其他方法論在規劃上的癥結點。如同我們在文獻回顧所陳述，以要徑法(CPM)完全無法瞭解個工項時程的時間，因為要徑法在面對大型專案時，要先假設各個工項的時程，而使得各項的工程在還無法確認其是否為要徑時，其時程上的定位會一直相互干擾變動，使得規劃者一直無法有效的找出專案時程的邏輯。但是以本研究所建立的模型做出時間－歷程關係圖時，由上而下的方式快速的整理出要徑項目以及非要徑項目的時程彈性，接著參照時程以及歷程資料對相關聯的工項做調整，將整體的時程做最完善的規劃，也同時取代了只能表現工項生產率的平衡線法(LOB)規劃。此外，如同我們在文獻回顧的比較以及上一章結尾的結論中所述，能表現相關工項以及時程上長度資訊的甘特圖，因為無法規劃歷程以及資源資訊，以及對於大型而有重複性工項的規劃困難，專案管理人選擇以本模型配合時間－歷程關係圖做為規劃工具是最完善的了。

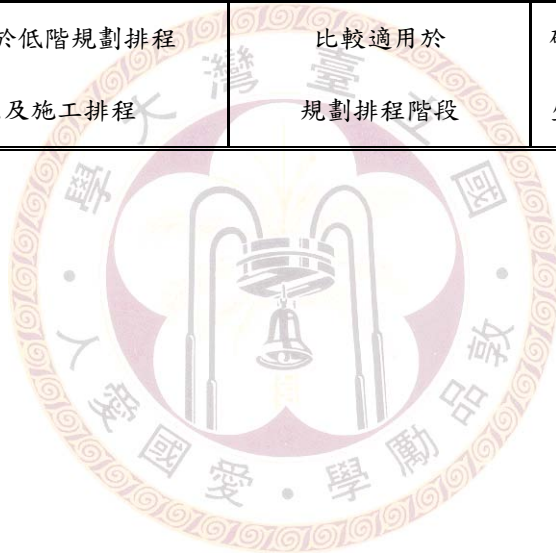
經過本小節的分析結論，綜合我們在文獻回顧獲得的支持以及第四章的時間－歷程關係圖優缺點結論，統合整個時間－歷程關係圖的特點，詳述如

97 頁起表格 5-4 規劃排程方法特點與優缺點比較表:

表格 5-4 規劃排程方法特點與優缺點比較表

特性 比較	要徑法	平衡線法	LBCPM
圖表 特性	<ol style="list-style-type: none"> 1. 能表現出工項先後邏輯 2. 計算出要徑工項讓管理者可聚焦於要徑工項之進度管理 3. 無法顯示資源特性及彈性 	<ol style="list-style-type: none"> 1. 從平衡線可以獲得生產率以及資源使用率等資訊 2. 工項圖形化先後邏輯表達僅限於時間軸上 	<ol style="list-style-type: none"> 1. 以時間-里程的生產率前後銜接表達先後邏輯 2. 屬於規劃階段的排程方法 3. 各種資訊皆清楚在圖上呈現
對於 重複 性工 程專 案	<ol style="list-style-type: none"> 1. 重複工項造成網圖的高複雜度 2. 完全無法使用於重複性工程專案 	<ol style="list-style-type: none"> 1. 以平衡線表達各工項 2. 重複性的單元可以很簡單的以生產率線銜接表達 	<p>以時間-里程的斜率銜接表達重複性工項的各單元</p>
時程 特性	<p>假設單一工項時程。僅能顯示非要徑項目的時程彈性</p>	<ol style="list-style-type: none"> 1. 以平衡線斜率來表達生產率 2. 先後邏輯表達僅限於時間軸上 3. 時間上表達無彈性 	<ol style="list-style-type: none"> 1. 各工項的時程資訊能在圖上清楚表達 2. 以時程軸的延伸區塊來表達時程彈性 3. 以里程斜率來表達資源使用率
資源 特性	<p>幾乎無法在要徑法網圖上表達資源 會造成採購上等困難</p>	<ol style="list-style-type: none"> 1. 生產率在圖上就可以表達 2. 可以撫平資源的使用且確保 	<ol style="list-style-type: none"> 1. 各工項的時程歷程資訊能在圖上清楚表達 2. 以時程區塊表達時

		資源使用上的 效率	間彈性以里程斜率 來表達資源使用
工程 適用性	除了重複性工程，幾乎各類型的工程都可以用要徑法表達	1. 能廣泛的被使用在各個工程 2. 惟工程項目過多時會有計算上及圖形複雜的問題	1. 在各個工程的規劃階段都能使用 2. 透過將專案工項分階層的方法，對各種大小的工程專案都可以有效的規劃使用
階段適用 性	適用於低階規劃排程以及施工排程	比較適用於 規劃排程階段	研究證明能沿用於工程生命週期中的各個階段



第六章 結論與建議

6.1 研究結論

要追求一個工程專案的成功，時程進度上的管控往往占了很大的影響力，而對於時程進度上的管控，規劃時所提出的排程結果也常常作為在後續施工時程，甚至爭議時的尺規，所以在規劃專案上不可不謂慎重。”隨著現今工程規模日益龐大且複雜，對於無專業之工程業主，面對龐大的工程專案，唯有仰賴承包商或專案管理團隊，針對可能遭遇的施工過程與風險，詳細規劃以提出防堵之道，輔助業主順利完工。”（洪五爵，2006）而面對台灣高速鐵路工程此等大型的工程專案，在國內尚無相關經驗的情況下，相關的規劃方式對於許多專案管理人來說都是很陌生的，而本研究在經過文獻的描述以及實例證明，許多的傳統規劃排程手法，在用於規劃高鐵工程時都會遭遇困難。本研究嘗試以一個全新的規劃排程結果，針對其所缺乏的方法論背景及操作步驟，經由相關文獻的累積，建立起一套適於規劃此類大型專案工程的排程方法，並將研究結果對照研究目的條列如下，以供未來國內以及世界各國工程業主及專案規劃人，在遭遇此等大型專案工程時，能以本研究的相關方法背景及操作步驟做參考，而能完善的規劃工程專案的主計畫藍圖。

本研究結論整理如下：

1. 本研究詳細介紹及引進時間－歷程關係圖(Time-Chainage Diagram)，並針對其輸出結果的特性，依照傳統的規劃排程方法論比較，結合要徑法以及平衡線法的排程方法優勢，建立 LBCPM 規劃排程模型方法論背景，並詳細的對應方法論訂定標準操作流程如下：
 - i. 先從分工項目表獲得我們在後續步驟中所需要的各項基本資訊。
 - ii. 歸納各個工項的功率，劃出個別工項的平衡線圖。

- iii. 由要徑法估算整個專案工程的要徑，獲得要徑上的工項及其時間
- iv. 將要徑工項的平衡線圖轉換為以歷程為橫軸單位的個別單位時間－歷程關係圖。
- v. 先將要徑步驟依照工項先後邏輯順序一個一個規劃在總體專案的時間－歷程關係圖上。
- vi. 對非要徑項目的起迄時間做歸納，將計算分析非要徑工項的最早開始時間(ES)以及最晚完工的時間(LF)，構成非要徑工項個別的時間－歷程關係圖。
- vii. 將非要徑工項的時間－歷程曲線，依照工項先後邏輯，依序繪入總專案要徑項目時間－歷程關係圖上。
- viii. 考量前後工項限制，依照工項前後邏輯關係以及施工規範，調整非要徑工項至其合理的起迄時間。

2. 其次，我們除了透過第四章的案例建立本研究的方法論 LBCPM 及並確立操作步驟的可用性，更進一步在第五章以本模型對高鐵實際計畫時程資料做實用證明。除此之外，林以恆 (2009) 在研究中曾建議：“CPM 結合 LOB 的排程確實能提供重複性工程一個較好的分析方式，但是由於所有專案都包含重複性與非重複性工程，因此 CPM 結合 LOB 方法的分析結果僅能提供排程計算時一個資源合理使用的建議去調整部分重複性作業之邏輯，並不能完全取代要徑法之排程結果”，但本研究所提出的排程方法論，除了結合 LOB 與 CPM 的特點，特別的是以圖形配合時程－歷程生產率的表達特性，打破了只能以要徑法來獲得單一時程的排程結果的限制，而取代了無法展現資源而且面對大型專案工程無法施展的要徑法排程結果，而提供各個專案規劃人一個更好的排程方法。

3. 最後，我們在以高鐵規劃資料實證結果的後半部分，證明了除了以由上而下的方式規劃，在配合本研究的操作步驟以及由下而上的細部次階專案規

劃，我們所引進的規劃結果是能讓各大型專案工程從規劃階段到興建時都可沿用的。

因此我們建議，未來國內以及世界各國工程業主及專案規劃人，在遭遇此等大型專案工程時，能以本研究的相關方法背景及操作步驟做參考，而能完善的規劃工程專案的主計畫藍圖。



6.2 建議與後續研究

本研究之成果為引進全新的排程結果圖：時間－歷程關係圖，針對其特性，建立有完整的理論背景及詳細的操作流程的 LBCPM 模型，經實用證明而提出一個可供大型專案工程從規劃到興建都可沿用的規劃排程模型。但是規劃排程上仍然有許多值得探討的議題，而本研究所提出的 LBCPM 模型僅針對規劃階段的資料作實證，而其結果雖然能為後期的施工等階段所參考，在範圍上似乎也需要有線性歷程特色的工程才能以本研究方法妥善表達，為使時間－歷程關係圖及 LBCPM 模型更為完善，茲提出以下幾點建議：

1. 蘇文彬 (2006) 在研究中歸納排程方法論可以概分為六大類，而本研究中僅以文獻支持挑選傳統的規劃排程手法－要徑法以及平衡線法做結合，建議後續研究可以將本研究做為參考，進一步探討以時間－歷程關係圖為結果其他可能的方法結合或發展。
2. 在規劃階段，除了時程以及歷程上的資訊，尚有成本、品質、地質環境甚至安全等因素需要考量，而本研究中所選用的時間－歷程關係圖結果僅特別針對時程及歷程資訊作表達，雖然在實證的 C270 圖中我們還能加入一些地形標高的資訊於圖上，但能否融合其他重要的規劃考量資訊，例如能將時間－歷程關係圖結合其資源上的成本而以 S-Curve 的形式表達，皆為值得研究的議題。
3. Kallantzis, Soldatos, & Lambropoulo (2007) 在研究中以線性排程對於要徑法網圖以規劃所得的時間為基準做比較；而 (Mattila & Abraham, 1998) 也以早期的 LSM 配合相關演算技術建構其資源整平的最佳方程解。本研究以新生的 LSM－時間－歷程關係圖為研究目標，而對此與傳統的 CPM 已規劃時間為基準做比較，或是建構時間－歷程關係圖的資源整平方法，都是可以再深入研究的方向。
4. 本研究於實證部分，多以基本的 Excel 軟體或是計算方式來獲得時間－歷程

關係的結果圖，受此限制許多諸如彈性的區塊尚無法完美而合乎規劃內容的調整與呈獻，在製圖及工項的調整上也曠日廢時。本研究在緒論中曾提到，CIOB (2008) 的調查中指出，時間－歷程關係圖在規劃上的使用仍不夠廣泛，經過本研究的深入了解可以發現另一個原因在於，時間－歷程關係圖的建構需要電腦資料庫系統等的輔助，才可以更快速的提供完善的圖表訊息，這也是時間－歷程關係圖在近幾年隨著科技的進步與之蓬勃發展的原因。因此，建議後續研究可以以本研究的步驟模型為基礎，借助現今的高科技能力而更深入的研究開發計算機軟體，能讓專案規劃人能更快跟有效率的使用相關研究成果。



參考文獻

期刊論文：

1. Ahuja, V. a. (2004). Project Scheduling and Mornitoring: current research status. *Construction Innovation* 4 , pp. 19-31.
2. Artigues, C. a. (2000). A polynomial activity insertion algorithm in a multi-resource schedule with cumulative constraints and multiple mode. *Elsevier Science Bv.*, 127 , pp. 394-407.
3. Artigues, C. (2003). Insertion techniques for static and dynamic resource-constrained project scheduling. *European Journal of Operation Research* , pp. 249–267.
4. Briand, C. (2009). A New Any-Order Schedule Generation Scheme for Resource-Constrained Project Scheduling. *RAIRO Operation Research* , pp. 297-308.
5. Brucker, P. A. (1999). Resource-constrained project scheduling: Notation, classification, models, and methods. *European Journal of Operational Research*, 112(1) , pp. 3-41.
6. Harris, R. B. (1998). Scheduling projects with repeating activities. *Journal of Construction Engineering and Management-Asce* 124(4) , pp. 269-278.
7. KallantzisAlexandros, SoldatosJohn, & LambropoulosSergios. (July, 2007). Linear versus Network Scheduling: A Critical Path Comparison. *Journal of Construction Engineering and Management*, pp. 483-491.
8. Lin, P. H. (2004). Automated construction of the Paghuashan tunnel for Taiwan high speed rail(THSR) project. *21st International Symposium on Automation and Robotic in Construction* .

9. Mattila.G.Kris, & Abraham.M.Dulcy. (June, 1998). Resource Leveling of Linear Schedules Using Integer Linear Programming. *Journal of Construction Engineering and Management*, pp. 232-244.
10. 林以恆、王隆昌等. (2009). 改良 CPM/LOB 工程進度管理方法之研究. 營建工程與管理學術研討會, (頁 8)
11. 傅子仁、許建宏. (1997). 長隧道鑽炸工法施工技術之探討. 隧道工程技術、機具與工法研討會, (頁 3-1 ~ 3-21).
12. 洪五爵. (2006). 建築工程施工計畫書章節探討之研究. 台灣大學土木工程學研究所碩士論文.
13. 孫國勛. (2005). 工作群組式重複性專案排程與最佳化模式之研究. 國立中央大學土木工程學研究所博士論文.
14. 張敬廉. (2001). 網圖模組於大型公共工程主辦機關進度管理之應用. 國立交通大學土木工程研究所碩士論文.
15. 趙福國. (2007). 重複性排程法應用於營建工程之探討. 中華大學土木與工程資訊學系碩士論文.
16. 黃价成. (2006). 時程管理體系整合作法. 國立成功大學土木工程學研究所碩士論文.
17. 藍啟榮. (2004). 橋梁施工支撐先進工法與全垮預祝掉裝工法成本之比較 --以台灣高鐵為例. 朝陽科技大學營建工程系碩士論文.
18. 蘇文彬. (2006). 進度管理技術彙整之研究. 國立交通大學土木工程所碩士論文.

書籍部分:

19. Cooke, B., & Williams, P. (2004). *Construction planning, programming, and control*.
20. Korea Development Institute. (2008). *Standard Guild-Line for Pre-feasibility of road and rail-way construction*.

21. Project Management Institute. (2004). *A Guide to the Project Management Body of Knowledge*. Four Campus Boulevard, Newtown Square, USA.
22. 呂芳森等. (2006). 北宜高速公路興建專及技術版 III 隧道工程篇. 台灣國道工程局.
23. 林耀煌. (1996). 營建工程施工規劃與管理控制. 長松出版社.
24. 高聰忠. (2009). 高速鐵路工程案例研討(1)-主計畫時程.

研究報告:

25. (Hons)Ollis. BEngStephen. (November, 2009). LINE OF BALANCE PROGRAMME
26. Sherikant, D. R. (2006). *Different Type of Construction Management Technique*.

網路資料:

27. Chartered Institute of Building(CIOB). (2008). Managing the Risk of Delayed Completion of 21st Centur. America.
28. Northwest Controlling Corporation. (2008). *QEI Exec Project Management Software: Time Chainage Diagram*. Retrieved 10 2009, from Project Management Software - Time Chainage Diagram :
<http://www.noweco.com/qei/qeie08.htm>
29. PCF(<http://www.pcf ltd.co.uk>). (November, 2009). Time Chianage Charts- A Management Guild.
30. TiLoS. (May, 2010). *Linear scheduling*. Retrieved 6 2010, from Linear project-TILOS: http://www.tilos.org/tilos_overview.htm
31. 台灣高速鐵路公司. (2008 年 12 月). 台灣高鐵. 2008 年 12 月 擷取自
<http://thsrc.com.tw>

附錄

