

國立臺灣大學工學院土木工程學系電腦輔助工程組

碩士論文

Department of Civil Engineering

College of Electrical Engineering

National Taiwan University

Master Thesis

下水道工程之施工排程策略研究

A Study on Scheduling Strategy for Pipe-Jack Projects

李美儀

Zoe Lee

指導教授:謝尚賢教授

Advisor: Prof. Shang-Hsien, Hsieh

中華民國 100 年 06 月

June, 2011

摘要

污水下水道新建工程為典型之重複性工程。在實務上此種工程通常使用一般施工網圖進行排程，但一般之施工網圖並不易表達重複性工程之軟邏輯(soft logic)，且此種工程在施工執行過程中常常遭受無法預知因素(例如：路證核准之延遲、民眾陳情、天氣不佳或地下障礙物等)之干擾，致使施工經常出現脫序作業現象，造成施工網圖的失真與現況不符，而此網圖必須仰賴人工修正，十分耗時費力。因此，本研究以風險控管角度，檢核工程之工作分解結構，提出簡化排程的流程與策略。此策略藉由簡化重複性工程排程組合變異，以分析關鍵工項的資源使用來建立軟邏輯作業關係和定義施工之工作面，並且在分析出專案排程策略後，根據關鍵工項的資源與優先順序產生施工排程。如此可以有效地考慮施工排程之軟邏輯，並提高排程的效率。

關鍵詞：重複性工程、排程策略、污水下水道工程、風險管控、排程邏輯

Abstract

The pipe-jack projects are repetitive projects and may often be delayed by some unpredictable factors, such as underground barriers, bad weather condition, etc., while they are under construction. Usually the project network diagrams are used in these projects for their scheduling. However, the project network diagrams cannot easily handle the soft logics in repetitive projects. Also, the editing of them for synchronization with project changes is very time-consuming and labor-intensive. Therefore, this research proposes a scheduling strategy that identifies the key work items in WBS (Work Breakdown Structure) from the perspective of risk control, analyzes the resources associated with the key work items to define the soft logics and concurrent working processes, and then produces the scheduling results based on the resources and priority of the key work items. The proposed scheduling strategy can effectively account for the soft logics and allow for efficient scheduling for pipe-jack projects.

Keywords: Scheduling Strategy, Pipe-Jack Projects, Repetitive Projects, Risk Control, Scheduling Logic

目錄

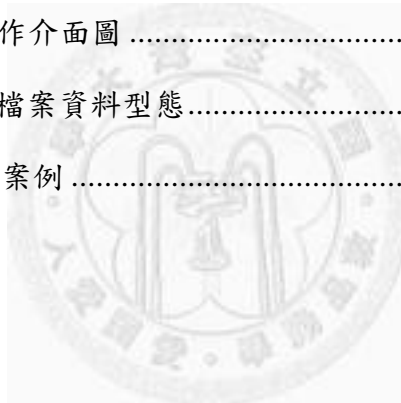
摘要.....	i
Abstract	ii
目錄.....	iii
圖目錄.....	v
表目錄.....	vii
第一章 緒論	1
1.1 研究背景與動機	1
1.2 研究目的.....	2
1.3 研究內容與範圍	4
1.4 論文架構.....	6
第二章 下水道工程特性之探討.....	7
2.1 施工工法簡介	7
2.2 重複性工程.....	10
2.3 工作分解結構.....	12
2.4 施工排程風險	17
第三章 下水道工程之排程邏輯準則與策略	20
3.1 工程時程控管法	20
3.2 排程邏輯準則	23
3.3 排程組合限縮策略	29
第四章 污水下水道工程案例探討.....	34
4.1 研究個案簡介.....	34

4.2	個案之風險與成本分析.....	37
4.2.1	試挖管遷.....	37
4.2.2	工作井沉設.....	40
4.2.3	推進到達口設施.....	42
4.2.4	推進施工.....	43
4.2.5	人孔收築.....	46
4.2.6	小結.....	48
4.3	以排程組合限縮法對污水下水道工程個案排程.....	51
4.4	案例網圖比較說明.....	56
第五章	下水道工程排程系統.....	60
5.1	Excel 資料處理單元.....	61
5.2	CLIPS 自動決策單元.....	65
5.3	Google Earth 人工決策單元.....	69
5.4	MS Project 排程展示單元.....	71
第六章	結論與建議.....	72
6.1	研究成果.....	72
6.2	個案之施工排程建議.....	73
6.3	其他重複性工程排程建議.....	74

圖目錄

圖 1.1 污水下水道管網示意圖.....	1
圖 1.2 污水下水道施工單元示意圖.....	1
圖 1.3 研究對象範圍示意圖.....	5
圖 1.4 研究流程圖.....	6
圖 2.1 污水下水道施工流程與檢驗停留點.....	9
圖 2.2 進度成本的整合概念圖.....	14
圖 2.3 WBS 確立流程圖.....	15
圖 2.4 污水下水道工作分解結構.....	16
圖 2.5 風險分析結構.....	17
圖 3.1 重複性工程工作項目之作業關係表.....	24
圖 3.2 施工單元之子工項作業關係.....	24
圖 3.3 重複性工程作業邏輯示意網圖.....	24
圖 3.4 污水下水道作業邏輯圖(一).....	26
圖 3.5 污水下水道作業邏輯圖(二)_單一施工單元子層作業邏輯圖.....	27
圖 3.6 污水下水道作業邏輯圖(三)_多施工單元子層作業邏輯示意圖.....	28
圖 3.7 排序組合成長曲線.....	30
圖 3.8 排程組合限縮流程圖.....	33
圖 4.1 研究個案工區示意圖.....	36
圖 4.2 試挖管遷作業流程圖.....	37
圖 4.3 工作井沉設作業流程圖.....	40
圖 4.4 推進到達口設施作業流程圖.....	42
圖 4.5 推進法線放樣.....	43
圖 4.6 推進施工作業流程圖.....	44
圖 4.7 人孔收築作業流程圖.....	47

圖 4.8 主要工項工期評估統計圖.....	48
圖 4.9 污水下水道各施工工項成本比較圖	49
圖 4.10 污水下水道主要工項延時與成本比較圖	52
圖 4.11 推進施工脫序作業引發等工風險示意圖	55
圖 4.12 研究個案預定施工網圖第九版	59
圖 5.1 污水下水道施工排程應用軟體資訊傳遞關係圖	60
圖 5.2 SCSS 資料處理流程	61
圖 5.3 Excel 產生 Facts	65
圖 5.4 CLIPS 排程策略程式案例.....	68
圖 5.5 CLIPS 操作畫面與執行結果	69
圖 5.6 Google Earth 操作介面圖	70
圖 5.7 Excel 開啟 kml 檔案資料型態	70
圖 5.8 MS Project 排程案例	71



表目錄

表 2.1 推進工法性能比較表	8
表 3.1 排程作業關係與工期比較表	23
表 3.2 重複性工程作業關係彙整表	25
表 3.3 重複性工程關鍵工項排程組合限縮作業關係表	26
表 3.4 作業類型與關係比較表	29
表 3.5 排序組合分析表	32
表 4.1 研究個案主要工項數量表	35
表 4.2 試挖管遷需用資源與成本	38
表 4.3 各單位管線遷移作業天數說明表	39
表 4.4 工作井沉設需用資源與成本	41
表 4.5 推進到達口設施需用資源與成本	43
表 4.6 推進施工需用資源與成本	44
表 4.7 推進到拉重新施作成本分析表	46
表 4.8 排除障礙成本分析表	46
表 4.9 人孔收築成本分析表	47
表 4.10 主要工項工期評估表	48
表 4.11 污水下水道各施工工項成本比較表	49
表 4.12 風險因子影響工期彙整表	50
表 4.13 研究個案作業關係示意表	54
表 4.14 研究個案與 SCSS 之網圖變更作業流程比較	58
表 5.1 污水下水道工程資料類別	62
表 5.2 工程資料類別工程控制資料說明	63
表 5.3 工程資料與活動作業量、功率之影響因子對照表	64

第一章 緒論

1.1 研究背景與動機

污水下水工程建設為現代評比居住水準、國家競爭力的重要指標之一，臺灣各縣市政府也積極投入污水下水道建設，以提高地區的污水處理率從而改善居民的生活品質和降低廢水對環境的汙染，污水下水道建設主要是佈設地下管網(如圖 1.1)用戶接管與主次幹管部分，以收集家庭污水或工業廢水等，然後銜接至污水處理廠將污水處理後再排放至河川海洋中。

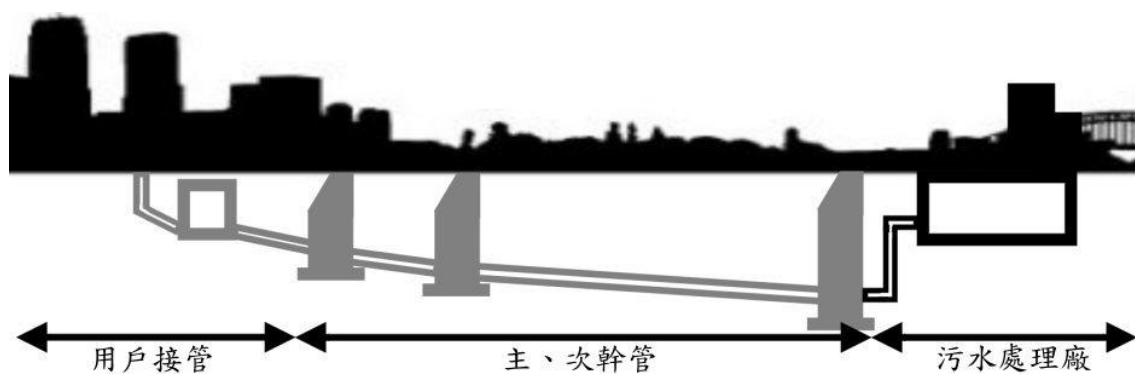


圖 1.1 污水下水道管網示意圖

由於污水建設主要皆從都市中人口稠密的區域開始佈設，為竭力降低施工期間對周邊環境的影響，保持市區交通順暢、減少噪音與降低環境汙染等，因此施工法多採非開挖式的推進工法，推進工法其施工流程為在預定埋設管線的兩端開挖工作井至管線施做工作面高程，然後於發進工作井底部架設推進機械向到達工作井方向鑽掘推進，在推進的同時於推進機的后端接上污水管材，當推進機於到達工作井出坑時污水管材也就埋設完成，如圖 1.2。

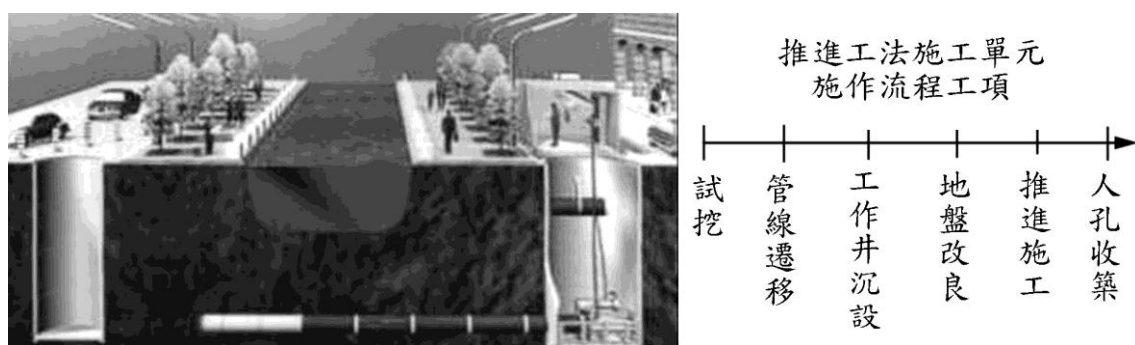


圖 1.2 污水下水道施工單元示意圖

然而污水建設工程推動時屢屢面臨展延工期的問題，因為污水下水道新建工程會有很多外在的因素會干擾工程進行，例如在市區道路中施工必須向不同的路權單位申請路證、地下施做空間不足時則須會同各管線單位協調管線遷移、工區緊鄰民房因而常需與民眾溝通協調等，在臺灣下水道建設相關研究指出造成工期延宕的影響因素有，管線遷移、地質條件、地下障礙、交通維持、路證申請、施工說明等(蘇文哲 2005; 廖碧雲 2006)，工期延遲不僅會造成後續工程銜接介面問題，對於國家政策推動與預算執行也影響甚深，因此如何管理風險與時程控管，對於污水下水道新建工程顯得格外重要。

一般依公共工程規定標案均須提送詳細施工網圖來管控進度，然而下水道工程於實際施工排程規劃上往往以地圖直接作規劃檢討排程而非網圖，而且由於污水下水道建設在市區道路中進行，施工受外在因素影響甚多，以致施工網圖中工作項目(Work Item)排序經常與實際狀況不符，使得施工網圖失去進度管控的功能，也無法有準確的 S-curve 進行實獲值管控。

另外在臺灣污水下水道建設標案規模約一至五億元，多由中型的甲級營造廠承攬，這類廠商通常無法自行開發合適污水下水道的排程應用程式來進行施工排程，而且專案的規劃人員人力資源又經常不夠充足，無法隨時機動性的因應現場實際施作情況調整網圖，因此針對下水道這類工程必須整理一實用的專案分析規劃流程，且套用一般常用之排程軟體進行排程規劃，甚至動態地回饋實際施工進度、風險現況與地圖資訊等然後以簡易的方法異動排程，若這些動作皆能於既有排程軟體或免費的應用程式上完成，則對污水下水道建設的工程管控將有實質幫助。

1.2 研究目的

本研究以污水下水道新建工程為研究對象，分析下水道工程專案特性，找出可大量減少簡化排程組合變化的排程策略，以既有之應用軟體進行有效之排程規劃與管控，而分析流程主要概念是基於風險管控的角度檢視排程變異因子與優化

排程目標函數間的關係，由於風險為一不確定因子，因此研究目標為提供一動態回饋風險與現況之排程方法，使其在符合低風險、低成本與符合工期要求之策略目標下動態變更排程。

首先制定一個容易規劃又不失時間成本控管品質的排程計劃，是專案一開始的最大挑戰，一個專案是否可控管得當往往取決於有沒有一個好的施工排程規劃，在進行排程規劃前我們必須針對專案做工作分解結構(work breakdown structure, WBS)，一般而言一個專案可能有許多種方法去拆解工作分解結構，而 WBS 的好壞也會直接影響專案排程控管的品質，另外 WBS 工作項目間的關係除了先天物理邏輯的作業關係外，還有許多人為定義的作業關係，而這些都會影響專案排程的複雜度，越複雜的作業關係我們越難去維護管理施工排程進度表，因此應用於排程的 WBS 除了拆解專案至工作項目外，還需進一步思考是否要反過來合併部分工作項目以更有利於施工排程規劃。

浮時、作業邏輯、資源配置在實際專案執行時是相互影響的，所以在排程分析時應一併考慮綜合評估(Ibbs and Nguyen 2008)，因此專案的 WBS 是否需要調整，可藉由檢視各工作項目的浮時、作業邏輯與資源配置在此工作分解結構下是否容易進行作業邏輯分析與風險管控來評估，我們亦可藉由分析工作項目的風險與成本找出真正對專案執行有利害關係的關鍵活動，將優化求解專注於關鍵活動上，至於其他無利害關係卻會造成排程變異的因子，則在規劃排程中予以限制或忽略不計，如此方可進一步地簡化重複性工程排程問題的複雜度，也使其爆炸性的排程組合變化得以限縮。

另外關於重複性工程在排程模型的應用，於實務上普遍作業排程都未考慮變動作業邏輯關係，而存在變動作業邏輯的工程又往往經常變更原作業順序，脫序作業頻繁致使預定的施工網圖常與實際狀況不符，面對失真的網圖必須透過變更網圖才可符合現況，但是這樣就會造成網圖經常性的變更，因此面對此一問題應探討兩個層面，(1)檢討脫序作業的原因與影響層面、(2)施工網圖失真的合理管

控範圍，如此才能釐清重複性工程排程風險與管控目標，以便能限制不必要的變更更增管理困擾，且尋求適當的排程原則、控管方法與自動排程工具，使其能在回饋實際作業進度與風險評估後能自動產生新的作業關係與作業時程，既符合實際施作狀況又可達到自動化排程。

綜合以上所言，本研究為透過評估 WBS 下各作業工項的風險與成本，找到關鍵的工作項目，並根據風險與成本的綜合評估來簡化作業關係，衡量脫序作業對進度與成本的影響程度，再決定是否將其變異列入排程考量或如何簡化其變異，因此簡化作業關係與排序變異可使得網圖變得容易維護與管理，但卻不會因此失去專案進度與成本控管的目標，假若透過簡化作業關係後排程分析的複雜度依然超出可人工計算範圍，我們還是可以藉由適合的演算法或程式來求得優化排程解，但是透過簡化作業邏輯關係可大量減少計算量，使得排程解運算可以更快速收斂得到優化解。

1.3 研究內容與範圍

為提高專案排程規劃的可靠度與執行績效，有四個關鍵分別為(1)清楚的定義、(2)選擇正確的工序、(3)選擇適量的工作和(4)選擇實際或合理的作業，然後專案排程規劃者至少須能完成初步規劃或總體計劃、階段排程、超前規劃，並承諾規劃或工作計劃(Gonzalez, et al. 2010)，因為下水道工程為重複性工程，因此本研究透過文獻回顧先界定何謂重複性工程，一般重複性工程又如何規劃施工排程，然後以施工特性、作業時間等探討重複性工程應之 WBS，藉以清楚的定義 WBS 每個工作項目和規劃適量的工作於一個工作項目，並將 WBS 對應排列組合公式中的變數，從變數的角度出發分析排程中各工作項目的變異因子的影響，如此可先得到要如何簡化作業關係的目標與策略，依此選擇適當的施工順序與合理的工作項目，再由風險與成本結構的角度分析各變異因子對專案執行的影響，並由此驗證簡化排程作業關係是可行且不影響管控的目標。

例如若目標是減少作業排程的項目種類，那麼我們就要探討預備要簡化的作

業工項的屬性、工時與成本等，然後決定是直接忽略不列入排程，還是要重新規劃 WBS，將工作項目作合併組合成適當的排程活動。又例如若簡化目標是排序變化，則可能要探討工作項目若變更排序對於成本、工期、前置或後置作業的影響，變更排序於實際的發包、風險因素、作業執行上，是否有變異的脈絡規則可循，如果有則可將變異運算從隨機的變異轉化成有方向、有規則的變異。

在研究範圍的部分本研究局限於最小重複性施工單元的部分如圖 1.3 所示，最小重複性施工單元是指其施工單元內之子工項作業關係皆為固定邏輯，無軟邏輯(soft logic) (Tamimi and Diekmann 1988)作業關係，而其最小的施工單元加上其他的前置或後置作業可能形成更大的施工單元，但這不在本研究的討論範圍，因為如果能確定簡化最內層軟邏輯排序問題，那麼也可依同樣的排程方法向外擴張，對外層的施工單元作施工排程，至於更明確的重複性施工單元定義將於 2.2 節敘述說明。

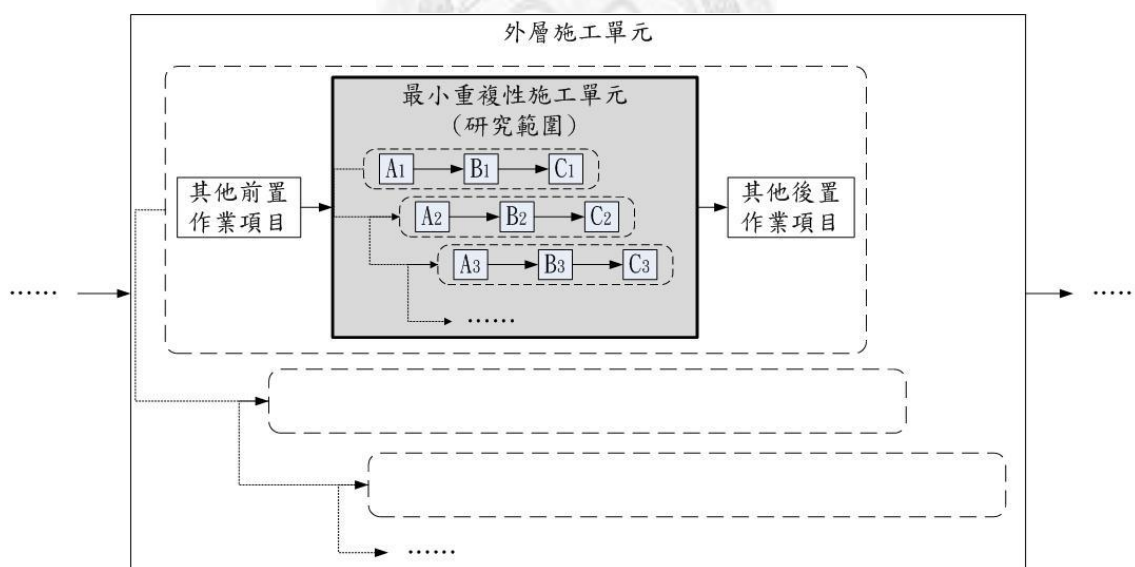


圖 1.3 研究對象範圍示意圖

最後本研究會以新北市某一實際個案作為研究案例，來探討關於一般污水下水新建工程的工程特性，透過找出該工程的變異因子，然後分析變異因子的風險與成本，最後得到關鍵影響因子並建立污水下水道這類工程的排程規則與流程，並以此施工排程規則與原標案的施工網圖的規則作比較，探討其是否能比原排程

方法更簡單快速地完成排程規劃，然後驗證在面對工程脫序作業時，本研究提出方法是否可自動產生新的作業關係與作業時程以符合實際，還有探討面臨工期展延時，本研究的排程方法是否符合邏輯不影響甲乙雙方之權利。

雖然本研究範圍以單一個案為研究案例，而其他之下水道工程亦可依此方法求出其排程的關鍵變異因子，相同工程於不同地方、不同時間、不同單位下，其風險也跟著不同，因此排程策略與方法也應隨之改變，惟分析專案的風險與排程之方法不變可供應用，而其他非污水下水道的重複性工程，或局部含有重複性作業的工程，也可依此簡化的概念去分析工程的作業特性，建立各類工程的建議排程規則與流程。

1.4 論文架構

本研究主要分為理論邏輯研究與案例研究兩大部分，研究流程如圖 1.4。

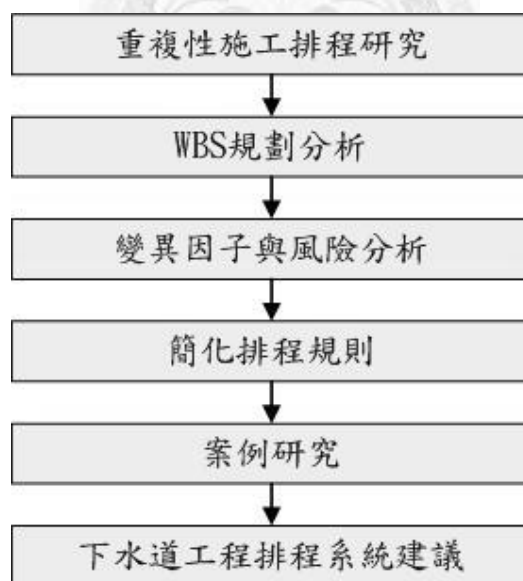


圖 1.4 研究流程圖

第二章 下水道工程特性之探討

2.1 施工工法簡介

由於臺灣污水下水道建設較晚所以其施工位置多位於地狹人稠的市區，因此為減低施工對周邊環境的衝擊，因此施工設計多採非開挖式工法，而非開挖式工法依管徑可分為大管的潛盾工法與小管的推進工法，由於大管徑的潛盾施工單一段距離長且單位造價高，因此大口徑之下水道工程標案其施工單元不會太多，在施工排程上不會有組合爆炸的問題，且下水道管網中有很大的比例是屬於小口徑管段，因此本研究將針對小口徑之施工排程進行探討。

小管推進工法其施工特性為：(1)管徑 700mm 以下、(2)最長推進距離 100m、(3)直線推進轉折點需設工作井，但泥濃工法允許小幅度曲線推進、(4)推進坡度約 0.1~3% (倪至寬 2005)。另外推進工法依鑽掘面穩定特性又可分為土壓平衡工法、泥水加壓式工法和泥濃式工法，各工法說明如下，性能比較如表 2.1。

一、土壓平衡工法

為推進機之切削面盤旋轉切割前方土壤，將土壤掘入面盤後方的土壓倉，藉由元押推進力量平衡開挖面，而土壓倉後接螺旋排土輸送管將土渣排出。

二、泥水加壓式工法

以送泥泵浦將定液(泥水加作泥材)輸送至推進機前端以隔版分割之密閉泥水室，穩定液經切刀盤滲透至掘削面之土壤，形成不透水泥膜，以達切削面穩定之效果，切削之土壤與泥水混合，利用排泥泵浦抽送至坑外脫泥處理設備，經脫泥後之泥水再循環使用。

三、泥濃式工法

為在掘削面及機身周圍注入高比重、高黏性及高流動性之固結滑材，以降低周圍土壤與管材界面間之摩擦力。

表 2.1 推進工法性能比較表

項目 \ 工法	土壓平衡 推進工法	泥水加壓 推進工法	泥濃式 推進工法
機頭長度	最小	中	最大
所需工作平面	最小	中	最大
推進所需耗材	滑材	大量的水、滑材	泥漿(廢報紙)滑材 (泥將加滑材粉)、報 紙渣、AB 劑
對開挖面的安定性	好	較低	最好
排土方式	固態排土(排土輸送 機、臺車)或塑性狀 排土(押送泵或吸入 式泵)	液態排土(葉輪式送 排泥泵)不需人力	塑性狀排土(壓送泵 或吸入式泵)使用人 工將濃泥將推至真 空排土管入口排出
費用	低	中	高
推進效率	普通	快	慢
障礙物處理能力	普通	普通	最好
曲線施工	普通	普通	最好
廢棄泥水處理問題	最好處理	較難處理	較難處理
地下水位較高	不適合	適合	適合

(呂守陞 et al. 2007)

下水道施工單元的施工流程為(1)試挖/管線遷移，尋找可以沉設工作井的地點，若與既有地下管線衝突則進行管線遷移；(2)工作井沉設，開挖工作井至管線施作高程；(3)推進到達口設施，於推進口和到達口兩端進行地質改良工程，穩定其土層並加強地盤承载力，以確保施工安全；(4)推進施工；(5)人孔收築、(6)漏水試驗，檢測推進管段與人孔的施工品質是否達到水密性的標準、(7)TV 檢視，檢視推進管段內部狀況是否無殘留物、內壁完整、管線路徑無蛇行等，其施工流程如圖 2.1，在施工流程中我們可以看到施工檢驗停留點有前置作業的試挖管遷與推進到達口設施，主體作業有工作沉設、推進施工和人孔收築，檢測作業有漏水試驗和 TV 檢視。

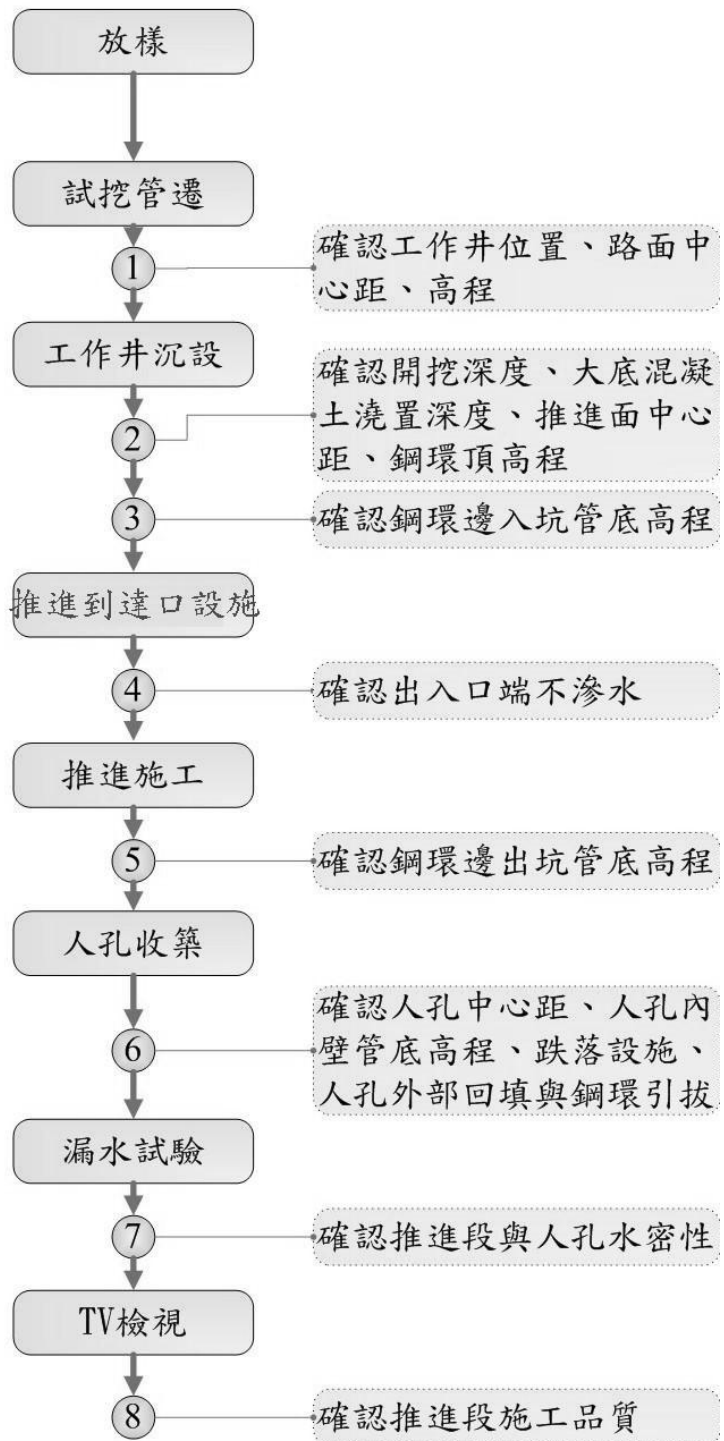
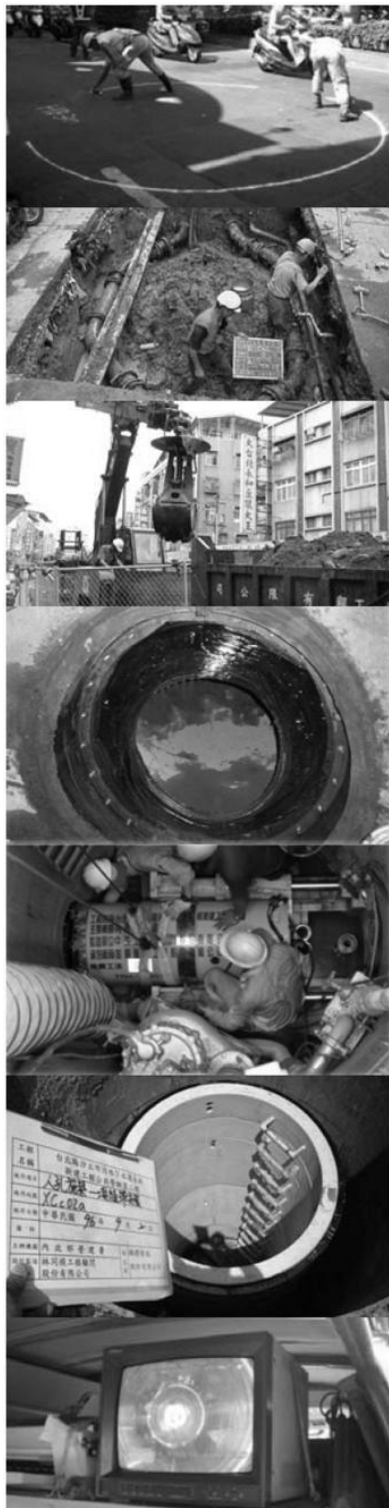


圖 2.1 污水下水道施工流程與檢驗停留點

2.2 重複性工程

由於下水道工程為一個個人孔與管段串接而成的下水道管網，是典型的重複性工程，所以探討下水道施工排程前必須先了解何謂重複性工程，一般重複性工程之定義為在各施工單元中依一定作業順序重複進行相同工作項目(Ammar and Elbeltagi 2001)，而每個施工單元具有相同或類似施工(Wang and Wu 1998)，施工單元可以相同之單元網圖表示(Harris and Ioannou 1998)，另外專案透過工作分解後的工作項目可分成四個類型，分別是一般活動、重複活動、循環活動、和組合活動(Dzeng, et al. 2005)，一般活動是指一個完整進行的活動；重複活動是逐段或一個單位接一個單位離散執行的活動；循環活動為分單位執行的離散活動，其為由數個一般活動或重複活動組合而成的週期性作業；組合活動則是結合上述三項活動而成的活動。

一般活動雖說是一個完整進行的活動，但可能其施作範圍很大、工期很長，而且施作區域可能包含其他的重複活動、循環活動，因此為了更精確地控管活動執行，一般活動可能會被人為地強制劃分若干活動單元，而劃分的關鍵因素在於作業時間，例如基地開挖整地是一個完整進行的一般活動，但若基地現況複雜開挖時間長，通常會將基地開挖整地劃分為若干區域，分區進行以便後續作業能提早進行；但若基地現況良好或區域較小、作業時間短，則我們通常會完整進行完基地開挖整地後再進行後續作業。

離散執行的重複活動可能是各自的獨立設施，例如基樁、墩柱、人孔等獨立設施的施作，也可能是因為配合施工機具、設備或規範必須分次施工的活動，例如混凝土澆置配合模板尺寸規格，分段或分層澆置。而模版組立、鋼筋綁紮、混凝土澆置和模版拆除則可組成一循環活動，若再加上一般活動一起施作就是所謂的組合活動，例如道路側溝施工除了開挖這個一般活動，加上側溝的組模、紮筋、澆置、拆模等循環活動就是一組合活動。

所以由以上的說明可知一般專案在規劃 WBS 時，可將工作拆解至最細的一般

活動或重複活動，或將活動結合成重複活動或組合活動形成施工單元，而下水道重複性工程排程除具施工單元外，其單元間的工作項目還存在軟邏輯的作業關係，並非僅是逐一施作且不能變動作業順序的重複性工程排程類型。

因此進一步地說明下水道之重複性工程排程類型，其施工有三項特性，(1)可劃分施工單元、(2)相同或類似的施工、(3)軟邏輯作業關係，這三種施工特性分別說明如下。

一、可劃分施工單元

在工程的「區域」上可區分為若干的施工單元，而施工區域又分為連續性與不連續性，連續性的區域通常以人為的方法定義施工單元，例如道路會以公里數區分路段，建築會用界線區分區塊；而不連續的區域指的是各個獨立的設施，如橋墩、基樁、人孔等，而下水道的施工單元為不連續性，各個獨立的管段、人孔相互串連組成下水道管網。

二、相同或類似的施工

重複性工程裡每個施工單元皆有相同或類似的子工項、施工步驟，使用相同或類似的機具、材料等，土木建築裡的重複性工程之所以不同於工業化的生產線，是其每個施工單元經常是有不同的長度、面積、體積或外觀等，每個施工單元所處的空間條件也各不相同，因此雖有相同或類似的施工但其所需的工期、成本與承受的風險卻不盡相同，如下水道每段管段的長度、口徑、所處地質條件皆不盡相同。

三、軟邏輯作業關係

軟邏輯意指每個施工單元間不存在必然的施工順序，也不限制同時可展開幾個施工面，如下水道不同位置之試挖、工作井沉設、推進施工、人孔收築等工項可以任意調換施作順序或同時施工，這也是重複性工程特性中最關鍵的一點，因為由此特性大大地增加專案施工排程上，規劃工作面與調度施工順序的自由度，因為這樣的自由度使得施工排程規劃方式有了爆炸性的排列組合變化，也因此使

得排程分析變的困難。

重複性工程的特性在實際施工作業上引發許多施工規劃上的困擾，例如各施工單元在作業時間、空間上會不會相互干擾；相同或類似的施工要如何安排工作面才能使施工機具設備重複、持續地使用，以達到功率高成本低的目標；軟邏輯排序所造成的排程組合爆炸問題要如何求得較佳執行方案？在處理這些施工規劃的問題上，必須先從專案的工作分解結構著手，以了解各工作項目的特性、風險與其活動間的作業邏輯關係，才能進一步地分析成本、時間會如何受影響與變化。

2.3 工作分解結構

「PMBOK 指南」說明工作分解結構(Work Breakdown Structure, WBS)是指以樹狀或圖表格式將專案團隊所要交付的專案成果，階層式的分解成子交付成果與其他組件(何霖 2008)，所以即使同一個專案由於專案執行團隊預定採用的採購發包模式不同，其工作分解結構也會不同，在前節中提到專案工作項目可分成一般活動、重複活動、循環活動、和組合活動等四個類型，雖然循環活動和組合活動往下還可拆分活動，但一般實際執行上可能就是將數個活動規劃成一個分包或工作項目一次執行，所以 WBS 的最底層的交付成果或組件並不一定是最細項的工作項目，所以根據「PMBOK 指南」執行工作分解有下列五個步驟流程。

一、 確認所有主要交付成果及相關工作

此步驟識別出所有主要專案交付成果與相關工作，一般工程可從施工圖說、工程合約、詳細價目表和補充施工說明書中識別專案範圍、交付成果與相關工作。

二、 組織 WBS

此步驟涉及組織專案工作並決定 WBS 結構，而結構分解可依下列幾種方法，(1)依主要交付成果或子專案，如建物的結構、機電、裝修等；(2)依分包執行的子專案，若專案執行部分採外包處理可依分包的介面作分解；(3)依專案階段，如依專案執行的啟動、規劃、設計、建造、檢驗、交付等階段分解工作結構。

三、 定義 WBS 組件(components)

此步驟是將 WBS 階層分解成更低層組件，依交付成果與要求，WBS 組件應明確的定義作業範圍、單位、內容與規範等，使得組件執行的績效能夠容易的衡量與驗證。

四、 指定識別碼

此為指定唯一的識別碼或數字給 WBS 中的每個組件。

五、 驗證 WBS

檢視整個分解動作，以判定是否所有組件都清楚完整，並驗證分解結構是否足以描述整個專案工作。

一般下水道非開挖式工法依施工項目種類主要分成工作井工程、推進工程、人孔工程與雜項工程等四大類，每類工程往下依 1. 前置作業、2. 主體作業、3. 附屬作業等區分細項作業，在工作井工程中的主體工程部分因施作工法與使用材料不同，可分為鋼襯板工作井、場鑄沉箱工作井、預鑄沉箱工作井與鋼環工作井等，而推進施工也可依採用的推進機具工法及施作口徑等區分施工項目，圖 2.4 即是下水道工程之 WBS 架構，此 WBS 架構之最底階為作業工項(施工步驟)，再往下則為各不同位置施工單元的工作項目(Work Item)，而下水道對於每一位置(人孔)會依水系編列序號。

建立完 WBS 我們可以了解整個專案執行的範疇，並依 WBS 最底層的工作項目(組件)預估每個的作業時間與執行成本，然後我們就可以進行施工排程規劃，圖 2.2 是一個 WBS 結合進度與成本的概念圖，從 WBS 最底層的工作任務分析相對應的人、機、料資源經過回饋分析，然後估算資源於不同排程模式下的成本效應，藉以求得時間、成本較優之排程方案。

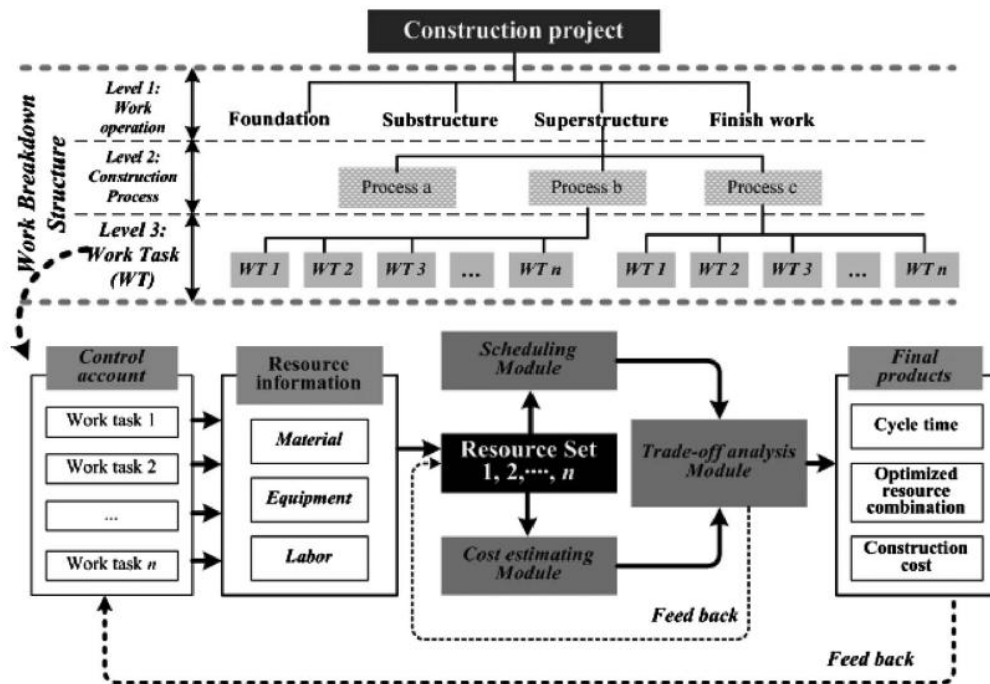


圖 2.2 進度成本的整合概念圖
(Hong, et al. 2010)

因此本研究的概念中下水道工程 WBS 規劃法並非總是固定不變的，尤其重複性工程必須考量這麼多的變異因素，而 WBS 又牽動整個施工排程的工期、成本計算基準，所以我們藉由成本結構與風險結構的分析與回饋，有時會發現調整 WBS 工作項目有助於降低成本、風險或是有助於排程規劃，那我們就應進一步的改變 WBS，因此整個重複性工程 WBS 的確立如圖 2.3 所示，一個 WBS 可經過成本與風險的分析與回饋來檢視 WBS 是否恰當或是應局部修正。當然每個專案團隊所預定要執行專案的模式都不同，所以其伴隨的成本與風險結構也不同，所以在專案期初規劃階段考量的因素應包括時間、資源閒置時間、施工單元完成時間、寬裕時間與施工單元的劃分等各項因素(Ipsilandis 2007)，然後檢視專案所採用的 WBS 與進度控管模型是否適用於新的專案本身。

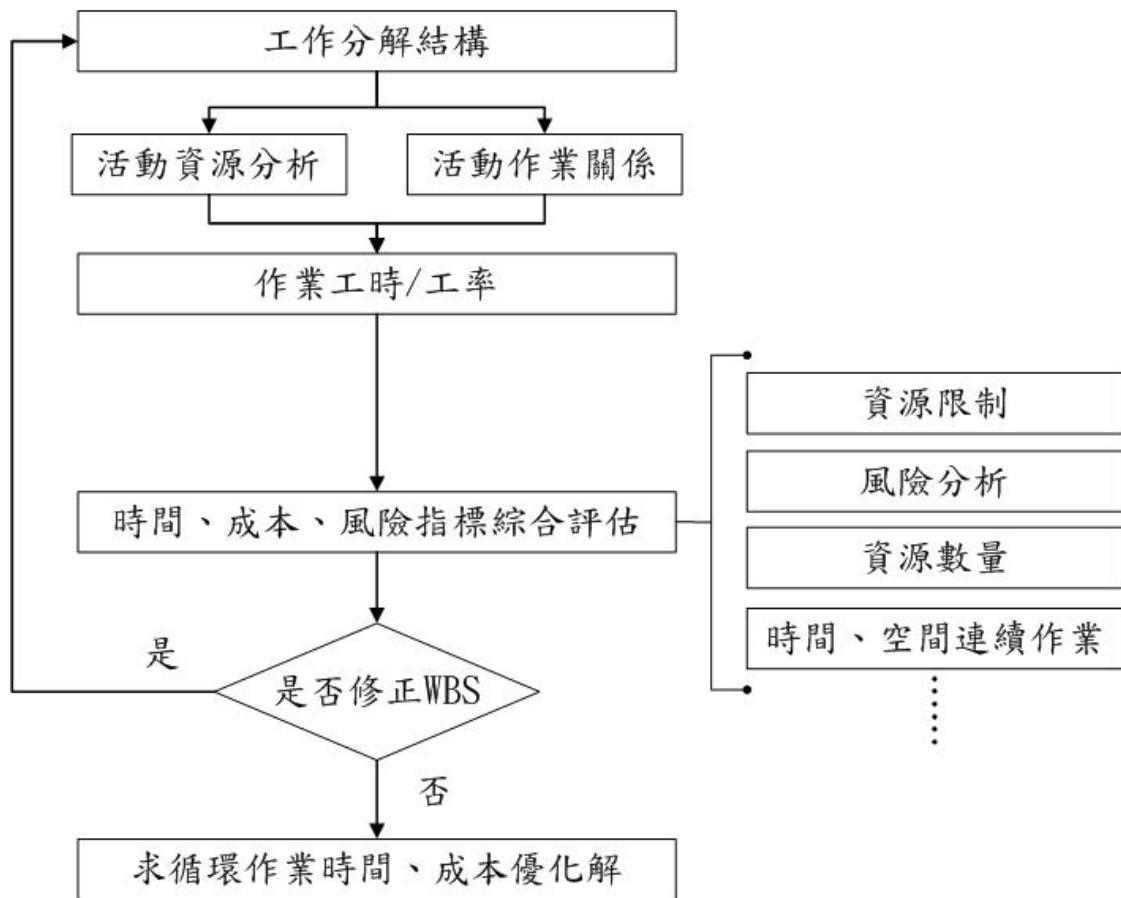


圖 2.3 WBS 確立流程圖

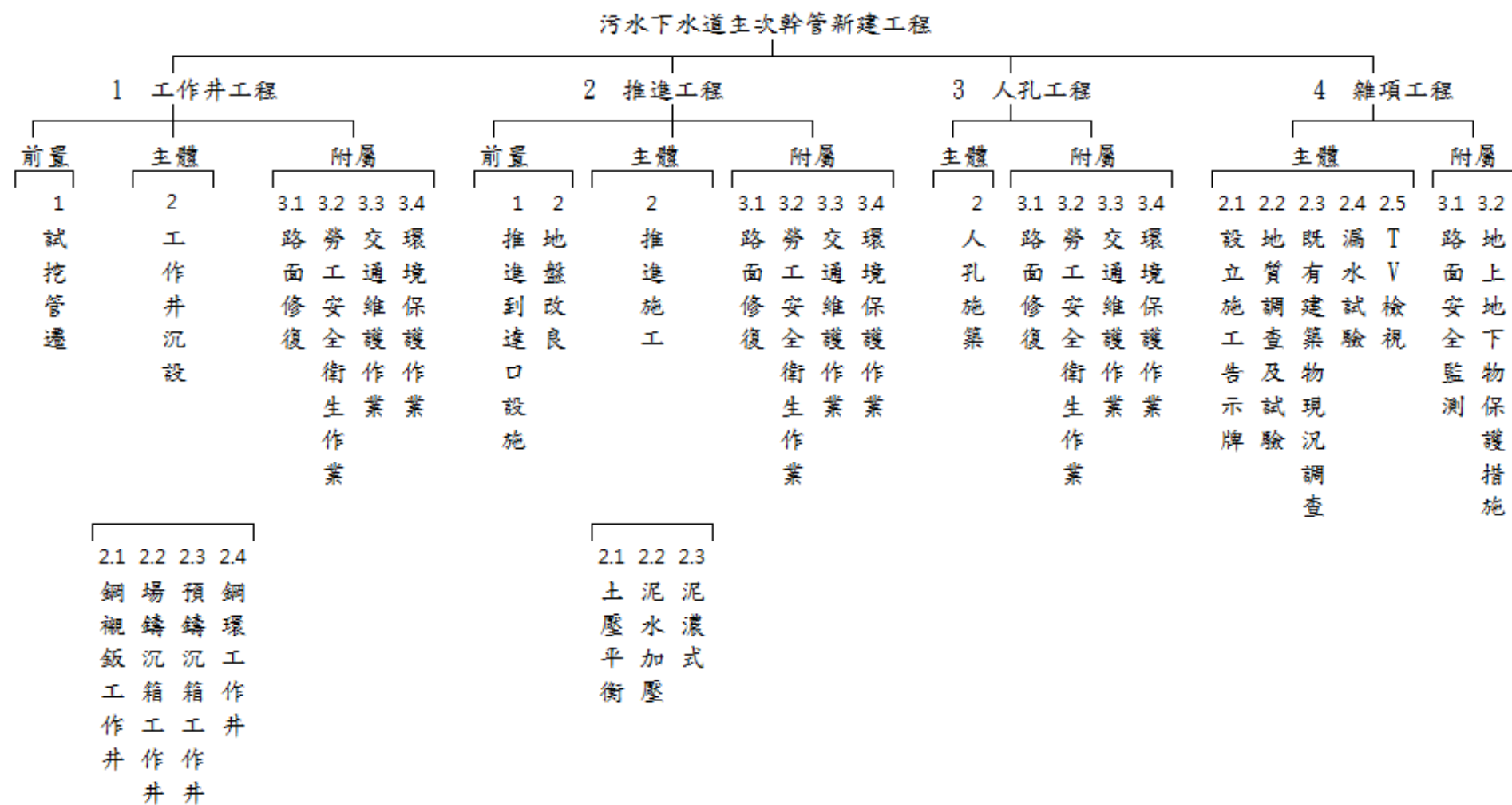


圖 2.4 污水下水道工作分解結構

2.4 施工排程風險

風險為在一定時間內可能發生的不利情況(Warner 1993)，為了控管風險我們必須進行風險分析，風險分析是有系統地評估決策變量所承受的風險和不確定性，然後根據分析建立風險管理體系，進而執行風險管理以一套有系統的方法來處理風險(Edwards and Bowen 1998)，因為在營建專案中沒有兩個工作項目是具有完全相同等質等量的風險因子，所以即使遭受相同風險因子影響，其所產生的不利情況也有程度上的差別，因此為了做好專案排程規劃除了要識別風險、分析風險外，還要進一步地評估風險的發生機率、影響變量、避險可行性與應變處理成本等。

Tah and Carr 有系統將各類風險因子做成風險分析結構，如圖 2.5(Tah and Carr 2001)，在施工排程規劃上須考量與應變的風險通常侷限於專案內部的區域風險，也就是 HRBS 中 Local Risk 的部份，其他外部風險則非施工排程所能掌控，若工程進行遭遇外部風險影響，往往會涉及工程合約的變更或爭議排除，不是單純變更施工排程所能處理的，因此在施工排程的風險分析上就僅對 Local Risk 做探討。

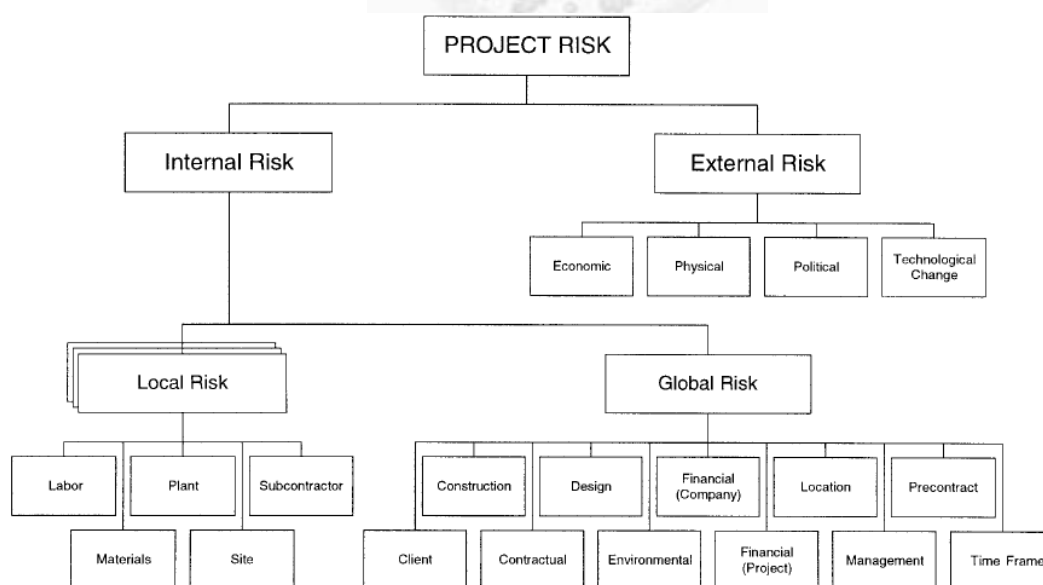


FIG. 1. HRBS

圖 2.5 風險分析結構
(Tah and Carr 2001)

HRBS 的區域風險分別為人力、材料、機具設備、施工現場與分包合約等，風險所造成的影響主要有時間、成本、品質等三項，下面就依序探討五種風險因子所造成的時間、成本、品質之影響。

一、人力 Labor

重複性工程對於施工者來說，工作項目是相對單純且重複動作，作業效率會隨著學習曲線而增加，所以在功率這方面是比較佔優勢的，在不利的影響方面則有三點，(1)於循環活動的人員配置上則容易會有功率不均，造成等工現象的發生；(2)重複性的作業也容易使施工者分心、疏忽標準作業流程，造成勞工安全意外或品質缺失等影響；(3)專業技術人員缺乏影響調度，若循環作業中有某項作業仰賴專業技術工，如潛盾機操作手、吊車作業手等較缺乏的技術人員，也容易因個人狀況影響整體作業。

二、材料 Materials

營建工程的施工材料有分重複性或一次性材料、現場生產或工廠生產材料、是否為高物價波動材料等。重複性材料若重複使用率高則其相對成本就低，但若要高重複使用率就不能開展太多工作面，則施工進度就會降低，在此成本與時間成反比關係；現場生產的材料亦受天候、場地因素影響限制其施工效率或工作面開展，而工廠生產材料則需考慮配合的生產工廠是否能依約定生產、材料進場的庫存管理也是一大問題；至於高物價波動材料則嚴重影響專案的現金流量控制與利潤空間。

三、機具設備 Equipment

機具設備在工程中往往是限制工作面開展的關鍵因素，尤其是仰賴某些特殊、昂貴且無替代品的機具設備才能施作的工程，例如推進工法中的推進機造價高通用性又低，其佔施工成本的比例高，所以此類工程的機具設備絕對會是影響工程進度成本的關鍵風險因子。而機具設備的風險有，(1)工或機具故障時有無備援，或是可否容易找到支援替代的機具設備；(2)機具設備的維修保養是否容易迅

速，比方說進口機具的維修或零件國內是否供應等。

四、 施工現場 Site

施工現場的風險因子可謂包羅萬象，每種工程、每個地區都有其獨特的風險因子，此類風險也是期初專案開始時最需要特別分析規劃的，因為每個案子的狀況都不同，不可直接套用歷史分析資料；施工現場的風險類別有，(1)施工地質，土木工程中地質條件會影響工法、機具的選擇也直接影響施工的難易度；(2)道路交通，施工過程中不論工區內外維持道路交通的服務水準，是施工能否流暢作業的關鍵之一；(3)氣候條件，工程中會有某些工項的施作品質、施作效率甚至能否施工深受天氣狀況影響，考量氣候因素為特定工項制定里程碑，可減低天氣不佳影響施工的機率；(4)風土民情，現今民眾自我意識較高申訴管道齊全，良好的施工前說明和里民溝通有助於減少施工抗爭或其他阻礙、(5)跨單位協同作業，在同一施工區域內常有多種工項或單位須配合施工，例如水、電、瓦斯、結構物的施作，良好的圖面與施工溝通有助於排除介面衝突。

五、 分包合約

專案的分包規劃不僅只因應建造需求，其也可是一種風險分擔與轉嫁的手段，所以好的分包規劃包括選商、發包型式與合約管理等，若專案未做好分包規劃與管理，則分包商不僅無法分擔風險，工程反因其執行狀況不良而造成進度延誤或成本損失，所以分包合約管理好則風險備分單與轉嫁，管理不好則施工風險又多一來源。

雖然各下水道工程的作業型態都很類似，但每個專案的施工現場都有其特殊的條件，有的是地質困難、有的是交通複雜、有的是既有管線眾多等，況且每家承攬廠商對於人員、機具、材料、施工現場與分包等，因為公司的資源或經營型態、策略不同，其所處之風險因子也會跟著不同，因在下水道工程期初需依排程的分析流程分析風險因子，而排程策略必須配合分析結果來訂定。

第三章 下水道工程之排程邏輯準則與策略

3.1 工程時程控管法

對於目前普遍的專案時程控管法主要有網圖、甘特圖、S 曲線與線性平衡法等幾類控管法表達專案之時間、進度與工作項目的關係，而網圖對於進度的管理上使用要徑法 Critical Path Method (CPM)，有利於縮短趕工期，然而傳統網圖無法規劃作業資源使用的連續性、多重資源使用策略、和有效表示重複性工程 (Adeli and Karim 1997)，而下水道新建工程施工單元間並無固定的作業關係，亦可使用多重資源同步多工作業，因而此類工程無法僅以傳統網圖得到良好的時程控管成效。

相對於網圖，線性排程法 Linear Scheduling Method(LSM)可快速地進行重複性工程的作業進度，資源分配和進度變化的管控(Edmund N. Chrzanowski and Johnston 1986)，而 LSM 與 RSM(Repetitive Scheduling Method)皆可找到專案之控制路徑(controlling path)以決定在專案中哪些活動項目不可被延遲否則專案工期亦會被延遲(Mattila and Park 2003)，因此重複性工程的時程管控上僅須掌握控制路徑之工項的施工功率，只要功率符合進度要求，則工程進度就會符合要求。然而土木建築工程畢竟不同於工業產品生產線製造般的均質等量，施工單元的可施工與否或施工難易度受風險因素干擾甚重，施工單元間的施工功率也各不相同，且施工單元間的施工順序也可能相互干擾影響施工，或相互排擠機械人員等資源的投入，如何維持施工單元間流暢無間斷施工、使資源持續利用無等工現象發生，針對施工單元間的排序問題還是有必要探討並妥善規劃，而 LSM 或 RSM 可進行各工項進度比例的規劃，卻無法針對施工單元間的各工作項目作業關係做規劃與管理。

另外因應單一的工期評估對於排程規劃不符需求則有計畫評核術 Program Evaluation and Review Technique(PERT)以樂觀、正常與悲觀三時來進行作業工期估算，因為我們不能不考量風險因子對施工造成的影響，因此考量風險作業工期

就產生了不確定性，除了 PERT 也可以用蒙地卡羅模擬法 Monte Carlo Simulation Approach (MCSA)來分析專案工期，用大量的測試模擬結果可統計求出預測完工工期之信賴水準，我們就可以取所需求的信賴水準(如 95%信賴水準)當作規劃的工期基準。

在改進重複性專案之網圖排程作業上，Suhail and Neale 提出將 CPM/LOB 結合使用以施工功率、浮時的調動，透過資源撫平調整要徑作業(1994)；或以 WBS 工作項目的優先權排序(Hassanein and Moselhi 2004)；或者開發物件導向排程系統來輔助因軟邏輯所造成網圖變異方面的自動重新排程(Fan and Tserng 2006)。但是在求最短工期或最佳成本的排程解時，由於重複性工程軟邏輯特性，造成其排程有爆炸性的組合變化，使得求最佳工期或成本變得複雜且運算量龐大，因此基於資源的限制與不確定調度下，以基因演算法來模擬重複性工程排序變異並求得排程的尋優解(孫國勛 2005; Long and Ohsato 2008; Huang and Sun 2009)；或以模糊重複排程法 Fuzzy Repetitive Scheduling Method (F-RSM)結合模糊理論與重複排程法，以確保不同功率的類似施工單元其資源為持續不間斷的使用，其排程法為找出優先限制條件、然後位移活動作業時間消除等工使作業連續、評估控制點(功率不同的活動)，最後評估控制順序(Maravas and Pantouvakis 2010)。

在重複性工程的排程決策上比一般排程更複雜，相關的決策因子可能涉及更多的控制變量，不僅僅是縮短工期或實現資源的連續性所以施工管理人員在整個專案的決策方面考量的因素包括下列各項(Ipsilandis 2007)：

一、時間

專案各工作項目的作業時間是一關鍵變量。

二、資源閒置時間

執行每個專案的工作項目都需要使用某些資源，在重複性工程中具有許多相同或類似的工作項目，他們使用相同的資源，然而在施工單元中往往為配合前後置作業而產生等工現象也就是資源閒置，資源的閒置時間越長就越耗費施工成本。

三、 施工單元完成時間

在專案施工過程中施工單元完成的循環時間，對於專案的現金流量可能會有嚴重的影響，例如假設施工單元有五個步驟，而必須五個步驟皆完成後才可向業主請款，那麼就縮短施工單元循環作業時間有助於專案的資金提早流入。

四、 寬裕時間

對於施工單元內的各作業工項，若能連續施工沒有等待空閒時間，將有助於縮短施工單元或整個專案的完成時間，但是維持作業工項連續施工也伴隨著高風險，因未為連續施工也意味無時間餘裕去處理風險狀況的發生。

五、 施工單元的劃分

此為專案的作業工項具有非離散的物理特性所要考量的因素，非離散特性如道路施工他是一個整體而連續的構造物，但是在施工的時候我們通常會人為定義施工單元大小，也就是將整體道路劃分為若干小段，施工單元劃分的越小也許會提高某些成本的支出，但是卻有助於縮短施工單元完成時間提升資金的流入速度，所以對於非離散的專案項目必須考量如何劃分施工單元的大小才是對專案較有利的狀態。

簡言之施工排程之重要元素為時間、資源與施工單元，其中時間與資源存在(時間=工作量/資源功率)的函數關係，但資源功率受許多風險因子影響並非固定值於是時間也跟著變化，所以在排程上對於時間的假設有固定值、三時估計(樂觀、正常、悲觀)、亂數統計與模糊假設等，另外施工單元的作業關係探討主要分成三類，一種為網圖排程，探討每個工作項目的關係，另一種為線性排程，探討作業工項(類別)的關係，最後一種為將網圖排程與線性排程結合應用，所以各排程法在時間假設與作業關係的設定上如表 3.1 所示。

表 3.1 排程作業關係與工期比較表

作業 關係 工期		作業關係		
		各活動間關係 Network Scheduling	各工項間關係 Linear Scheduling	混合關係
工 期	固定	CPM	LOB、LSM、RSM	CPM/LOB
	三時估計	PERT		
	統計	MCSA		
	不確定	SCSS	F-RSM	

SCSS, Sewer Construction Scheduling System 為本研究提出之排程系統，其排程著重於動態回饋而非求得最佳解，因為影響下水道工程之工作項目工期的風險因子太多且難以預測，所以多數下水道工程工作項目之施工功率變異都很大，尤其是在困難地質的推進施工，以本研究之個案其推進施工扣除障礙排除或其他因素影響的無工作進度日曆天，其推進施工平均功率為 6.67m/日，標準差為 2.82，因此在此類施工排程中其工期參數值的正確值是未知的，如此最佳化的目標函數值將是模糊的，要計算模糊值的排序組合最佳解非常困難，所以 SCSS 為在規劃初期給定一排序準則，此原則為 WBS 下各作業工項風險成本綜合評估的最佳化可能性最高的排程準則，隨著工程進展資訊的明朗化，隨時異動基本參數的估計值，帶入排序原則即時更新施工排程。

3.2 排程邏輯準則

在重複性工程一節提到重複性工程可能是局部或全部的施工項目是具有軟邏輯作業關係的施工單元，由於最小重複施工單元的作業邏輯是重複施工單元間的作業關係為軟邏輯，而施工單元內的各個活動作業關係為固定邏輯不再有軟邏輯的作業關係，施工單元間為軟邏輯也意味施工單元間相同之工作項目亦是軟邏輯關係，將施工單元的各作業工項與施工位置繪製成二維的表，表中每一橫列代表一個施工單元，每一直行代表施工單元內的某一作業工項(施工步驟)，所以一個網格就代表一個工作項目 (Work Item)，那麼每個工作項目與其他工作項目之

間的作業關係就如圖 3.1 所示，橫向為固定邏輯關係，直向為軟邏輯作業關係。

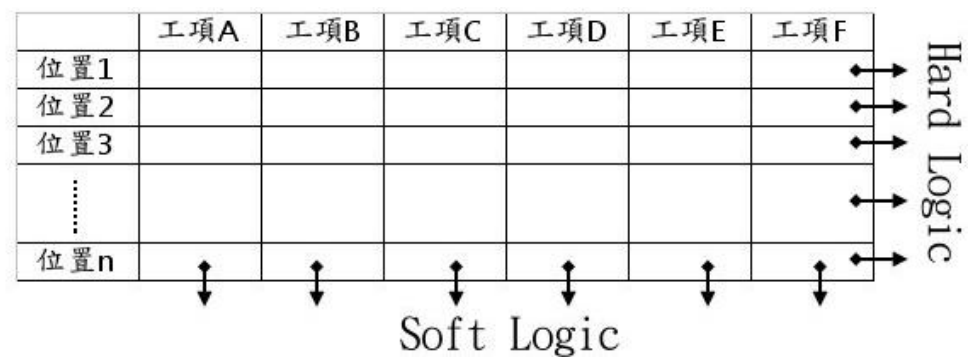


圖 3.1 重複性工程工作項目之作業關係表

假設有一個施工單元內有 A~F 六個工作項目，六個工作項目的作業關係如圖 3.2，而其施工單元間的作業關係示意圖如圖 3.3 所示，並將其作業關係彙整如表 3.2。

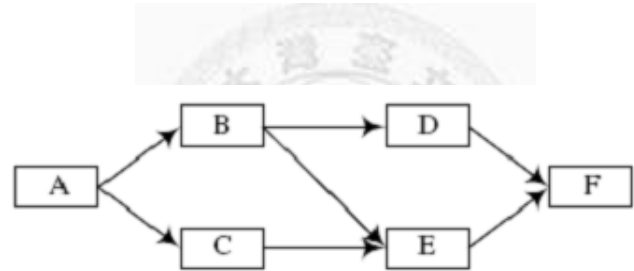


圖 3.2 施工單元之子工項作業關係

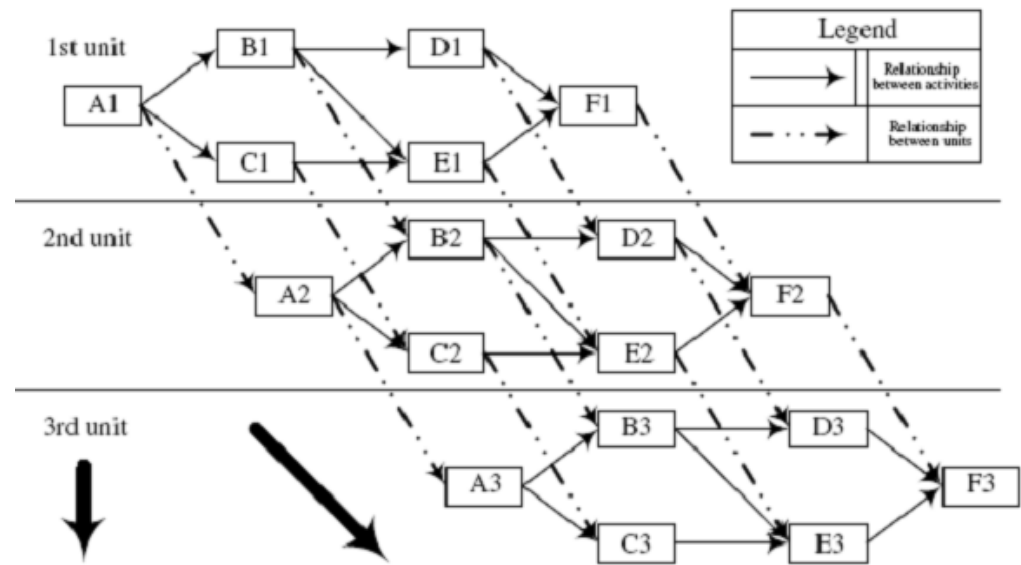


圖 3.3 重複性工程作業邏輯示意網圖
(Huang and Sun 2009)

表 3.2 重複性工程作業關係彙整表

工項編號	活動	固定邏輯前置作業	軟邏輯前置作業
1	A1		
2	B1	1 FS	
3	C1	1 FS	
4	D1	2 FS	
5	E1	2 FS,3 FS	
6	F1	4 FS,5 FS	
7	A2		1 FS
8	B2	7 FS	2 FS
9	C2	7 FS	3 FS
10	D2	8 FS	4 FS
11	E2	8 FS,9 FS	5 FS
12	F2	10 FS,11 FS	6 FS
13	A3		7 FS
14	B3	13 FS	8 FS
15	C3	13 FS	9 FS
16	D3	14 FS	10 FS
17	E3	14 FS,15 FS	11 FS
18	F3	16 FS,17 FS	12 FS

由於表 3.2 之軟邏輯前置作業欄位表示的為非固定關係，因此其作業順序是很可能變動的，若作業順序有所更動時，將很難重新安排作業順序且計算各活動之作業時程，況且如果要找出成本或工期最佳的排序方式就更加困難，因為六個作業工項間軟邏輯的排序組合方式太多根本無法逐一計算，才會以基因演算法等的特殊演算法來計算排程之最佳解，而本研究的方法是用關鍵工項來作排程組合限縮，首先簡述關鍵工項排程組合限縮的排程邏輯為：(1)先找出施工單元之關鍵工項、(2)指定資源編號來區分工作面，然後(3)將重複性工程的軟邏輯前置作業關係替換成施作優先排序，則重複性工程之活動改變作業順序，僅需更新優先排序編號再依資源分工作面進行排程，因為優先排序編號可以是不連續的編號，所以有異動的工作項目很容易穿插於任一的優先排序位置，那麼假設上述重複性工

程案例其關鍵工項為 E 工項，則依關鍵工項排程組合限縮的排程概念重新設定其作業關係將如表 3.3 所示。

表 3.3 重複性工程關鍵工項排程組合限縮作業關係表

工項編號	活動	前置作業	優先排序	資源
1	A1			
2	B1	1 FS		
3	C1	1 FS		
4	D1	2 FS		
5	E1	2 FS,3 FS	1	資源 a
6	F1	4 FS,5 FS		
7	A2			
8	B2	7 FS		
9	C2	7 FS		
10	D2	8 FS		
11	E2	8 FS,9 FS	2	資源 a
12	F2	10 FS,11 FS		
13	A3			
14	B3	13 FS		
15	C3	13 FS		
16	D3	14 FS		
17	E3	14 FS,15 FS	1	資源 b
18	F3	16 FS,17 FS		

彙整下水道工程之作業關係邏輯依作業工項、單元施工與單元間作業邏輯將如圖 3.4～圖 3.6 所示。

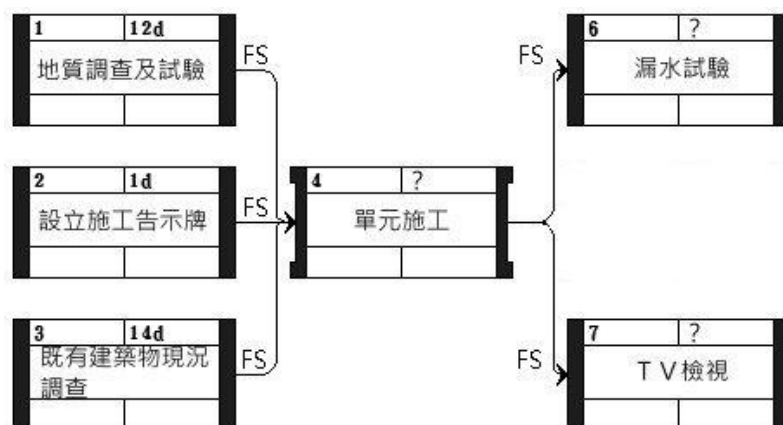


圖 3.4 污水下水道作業邏輯圖(一)

地質調查及試驗、設立施工告示牌與既有建築物現況調查等雜項工程需在所有單元施工開始前完成，且這三者間無其他作業關係，而漏水試驗與 TV 檢視通常為數個單元施工完成後而開始分區局部進行，所以數個單元施工加上漏水試驗與 TV 檢視則為一組合作業。

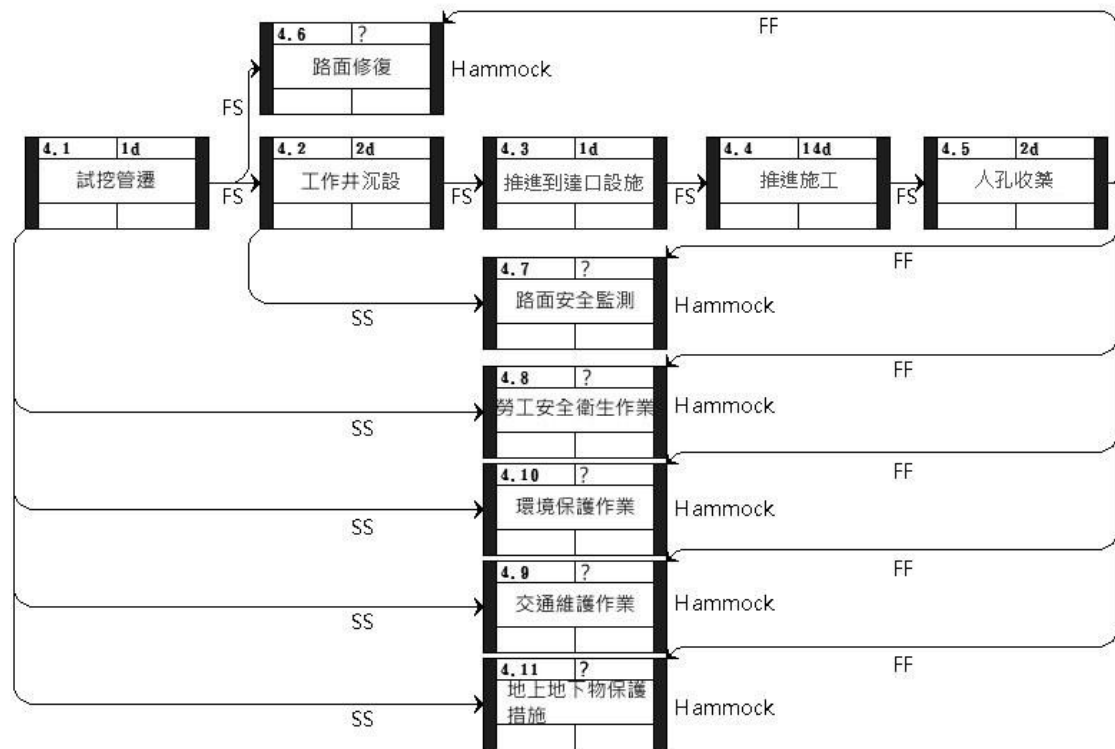


圖 3.5 污水下水道作業邏輯圖(二)_單一施工單元子層作業邏輯圖

單元施工內的試挖管遷、工作井沉設、推進到達口設施、推進施工與人孔施築等皆是結束後開始的作業關係，而其他的附屬活動如路面修復、路面安全監測、勞工安全衛生作業……等皆是屬於吊床作業(Hammock)，所謂吊床作業通常是因為其他作業進行而衍生的作業工項，無一定工期，隨著其依附的工作項目開始而開始、結束而結束，例如交通維持作業隨著試挖管遷活動開始就必須開始，一直到人孔收築完成路面回復機具設備撤場後才結束。

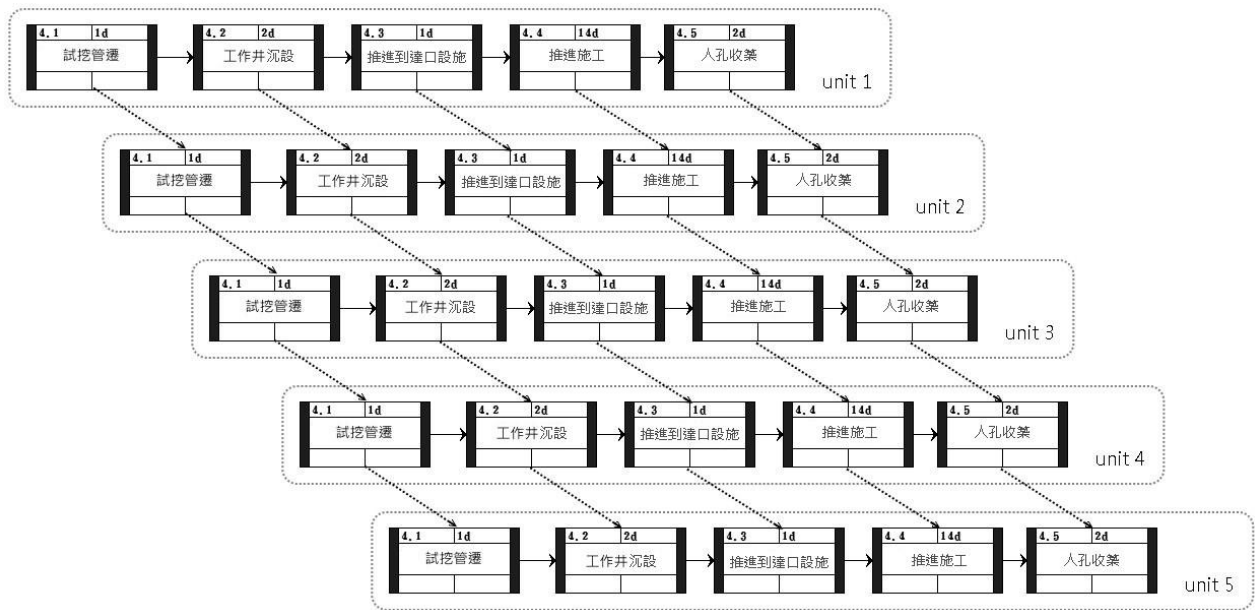


圖 3.6 污水下水道作業邏輯圖(三)_多施工單元子層作業邏輯示意圖

在多個單元施工的作業邏輯關係上，單元內的各項作業維持固定邏輯的作業關係，單元外的相同作業間為軟邏輯作業關係，為使圖面不至於太複雜圖 3.6 為簡化的示意圖，虛線的軟邏輯作業關係是可以隨時配合現況施作需求而更改關聯對象，亦即圖中單元一的試挖作業結束後可以是單元二的試挖作業開始或是任一單元的試挖作業開始，而單元中的其他作業不會因前置作業與其他單元的軟邏輯關係改變就必須跟著改變，也就是說若單元三的工作井沉設提前施做，單元三的推進到達口設施還是可以維持原順序施作不需要跟著提前。

將活動項目的類型與關係等整合比較，如表 3.4，我們可看到編號 1~3 的作業工項為主體施工單元的前置作業，彼此間又無作業關係，在排程上不致產生變異或干擾，而編號 11~16 的作業工項為吊床作業多屬附屬工程，其為因應其他工作項目而衍生必須執行的作業，並非工程本身的工程項目，漏水試驗與 TV 檢視屬於施工品質的檢測作業非主體工程，以上這些項目在排程上不需列入規劃安排，所以關於下水道工程就可以針對試挖管遷、工作井沉設、推進到達口設施、推進施工、人孔收築、等作業工項，分析其相關的資源、功率、風險等，以助於進行施工排程規劃。

表 3.4 作業類型與關係比較表

編號	作業工項	作業類型			作業關係	檢驗停留
1	設立施工告示牌	一般作業			4SF	
2	地質調查及試驗	一般作業			4SF	
3	既有建築物現況調查	一般作業			4SF	
4	試挖管遷	重複作業	循環作業	組合作業		●
5	工作井沉設	重複作業			4FS	●
6	推進到達口設施	重複作業			5FS	●
7	推進施工	重複作業			6FS	●
8	人孔收築	重複作業			7FS	●
9	漏水試驗	一般作業、檢測作業			7FS	●
10	TV 檢視	一般作業、檢測作業			7FS	●
11	路面修復	一般作業、Hammock			4FS,8FF	
12	勞工安全衛生作業	一般作業、Hammock			4SS,8FF	
13	交通維護作業	一般作業、Hammock			4SS,8FF	
14	環境保護作業	一般作業、Hammock			4SS,8FF	
15	路面安全監測	一般作業、Hammock			4SS,8FF	
16	地上地下物保護措施	一般作業、Hammock			4SS,8FF	

了解各下水道之作業工項邏輯關係後，下節將繼續探討如後將排程組合限縮，而限縮後的作業工項優先排序的決定方法，仍可以透過專家系統綜合評估、GIS 路徑演算、BIM 空間衝突分析、基因演算……等等的輔助演算來幫助決定優先排序，或是以經驗法則給予直觀的排序。

3.3 排程組合限縮策略

對於重複性工程之作業關係不固定的軟邏輯特性，首先分析它會造成多大的排程組合變異，所以若重複性工程有 r 項工種、每個工種有 n 個活動、每次展開 m 個工作面、分 k 次展開工作面 ($1 < m < n$, $1 < k < n$)，假設每個工作面的功率、施作

條件都一樣下，則有 $\left[n! \times \left(\sum_{k=1}^n \frac{(n-1)!}{(n-k)!(k-1)!} \right) \right]^r$ 的排序方式，試算其變化曲線如圖

3.7 所示，當中 r (作業工項) 為 1 時其組變化約為每增加一個 n (單元施工) 則排

列組合數就會多兩位數。

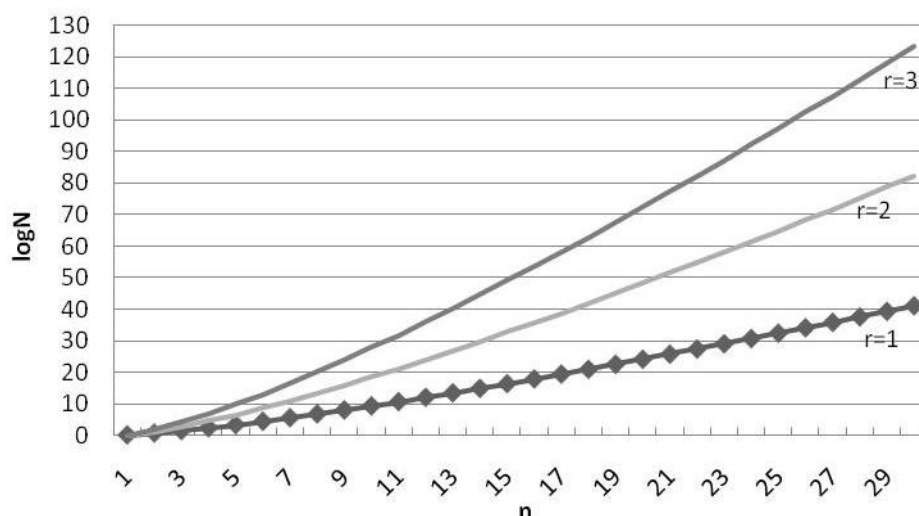


圖 3.7 排序組合成長曲線

這樣的爆炸性成長的組合變化，使得我們不得不採用像基因演算法、退火演算法、類神經演算法…等的特殊演算法，來找出對工期或成本的最佳解，但這些演算法可以數學邏輯驗證但較難以工程之排程邏輯去說明，所以個人認為可以進一步分析排程組合變化公式中的 n 、 k 、 r ，並縮限這些參數的變化範圍，使得排程的組合變化可以大幅減少以縮小演算範圍。

本研究將縮限 n 、 k 、 r 參數的條件稱為排程組局限縮關鍵因子，而限縮的條件不一定是針對工期最長的工項，它可以依工程特性以風險、成本或工期等來定義關鍵工項，因為如果是工期長成本低的工項，在重複性工程中可藉由增加其工作面(資源)來縮短其總工期，所以工期因素在重複性工程的排程考量上未必是第一順位考量。

所以排程組局限縮為透過風險與成本效用評估選出值得被分析的排程組合排序，在專案中的總成本為直接成本、間接成本、提早完工獎金、違約金和場地租金的總合，間接成本為每日成本費率乘上工期(Hyari, et al. 2009)，在施工排程的觀點上，我們關注的是排程變異所帶來的工期成本影響，因此可透過分析 n 、 k 、 r 等排程組合變異因子對工期成本的影響特性與程度，以及各項施工所承受的工序變異風險值，帶入成本公式分析其差異，依此評估進一步去限縮 n 、 k 、 r 的組

合變數來達到大幅減少運算量的目標，關於如何減少 n 、 k 、 r 之依據條件與概念分述如下：

- 一、 n ：空間之於土木工程施作是很重要的一環，各施工的空間邏輯關係到整個施工的動線、也隱含衝突的風險，而重複性工程往往會將整個施工範圍區分成若干區域，以方便控管或分析，而分組的依據可能為相同空間特性、可能為配合展開工作面、可能為不同施工規格等，所以依分組原則將 n 個活動轉換成 n' 個群組，如下水道可以依水系將數個人孔與管段劃分成一個工作群組。
- 二、 k ：重複性工程的其中一項特色就是能夠同時投入多組資源，同時展開工作面進行施工，但是要投入多少資源進行施工才可以兼顧進度與成本，其實可以透過線性平衡法先求得各作業工項的最佳施工功率，然後算出各作業工項的資源投入量，所以在計算施工排程優化時是沒有必要把 k 定義在 $1 \sim n$ 的範圍，而且為求資源能夠穩定的持續性施工，理論上我們是會盡力維持每次展開相同的工作面，不會讓工作面呈現不穩定的變化，因為工作面不穩定也就意味工項資源需求數量是呈不穩定的變化，因此其實組合公式大可化簡為一固定常數。
- 三、 r ：下水道的每個施工單元可分成試挖管遷、工作井沉設、推進施工、人孔收築等若干的施工步驟，這些施工步驟在單元內是有固定的作業順序，是所謂的物理邏輯關係或固定邏輯，然而這些施工步驟分別針對工期、成本、風險作評估，或許可以發現某些施工步驟對於工期、成本的影響甚小，因此於排程分析時亦可以忽略這些施工步驟的影響，因為當風險發生影響排程時一定是施工單元內各工作項目會相互影響，我們必定是選擇處理影響層面大的，例如工作井沉設趕工成本若低於推進施工等工成本，則當工作井沉設進度落後時，我們必定會選擇增加工作井沉設資源，而非降低推進施工功率或減少其資源。

依據上述三項的縮限施工排程變異的概念，將其公式推導與限制條件彙整於

表 3.5，排程組合限縮分析流程如圖 3.8。

表 3.5 排序組合分析表

	公式推導	有限條件排程
排序方法	第一次開展工作面有 $\frac{n!}{(n-m)!}$ 種	將 n 個活動轉換成 n' 個群組，以 n' 代替 n 排程，且忽略群組內排序之問題， $n \rightarrow n'$ ， $n'! \ll n!$
	第二次開展工作面有 $\frac{(n-m)!}{(n-2m)!}$ 種	只推導第 1 次開展工作面， $\frac{n!}{(n-m)!} \times \frac{(n-m)!}{(n-2m)!} \times \dots \times \frac{(n-(l-1) \times m)!}{(n-l \times m)!}$
	第三次開展工作面有 $\frac{(n-2m)!}{(n-3m)!}$ 種	排除空間衝突的排序 $n \rightarrow n-x$
	全部的組合排列為 $\frac{n!}{(n-m)!} \times \frac{(n-m)!}{(n-2m)!} \times \frac{(n-2m)!}{(n-3m)!} \times \dots \times \frac{(n-\text{mod}(n/m) \times m)!}{0!} = n!$	
組合方法	$m_1 + m_2 + m_3 + \dots + m_k = n$ ， $H_{n-k}^k = \frac{[k + (n-k-1)]!}{(n-k)!(k-1)!} = \frac{(n-1)!}{(n-k)!(k-1)!}$ k 可為 1、2、3……、 n ，則組合組數為 $\sum_{k=1}^n \frac{(n-1)!}{(n-k)!(k-1)!}$	計算合理工作面，限制 k 的範圍， $(1 < k < n) \rightarrow (p < k < q)$ ， $q-p \leq 3$ 穩定資源需求，將組合變化化為常數 $\sum_{k=1}^n \frac{(n-1)!}{(n-k)!(k-1)!} \rightarrow K$
加乘	$\left[n! \times \left(\sum_{k=1}^n \frac{(n-1)!}{(n-k)!(k-1)!} \right) \right]^r$	計算主關鍵工項與成本高工項，忽略次要工項排程以降低 r 值， $r \rightarrow r'$ ， $r' < r$

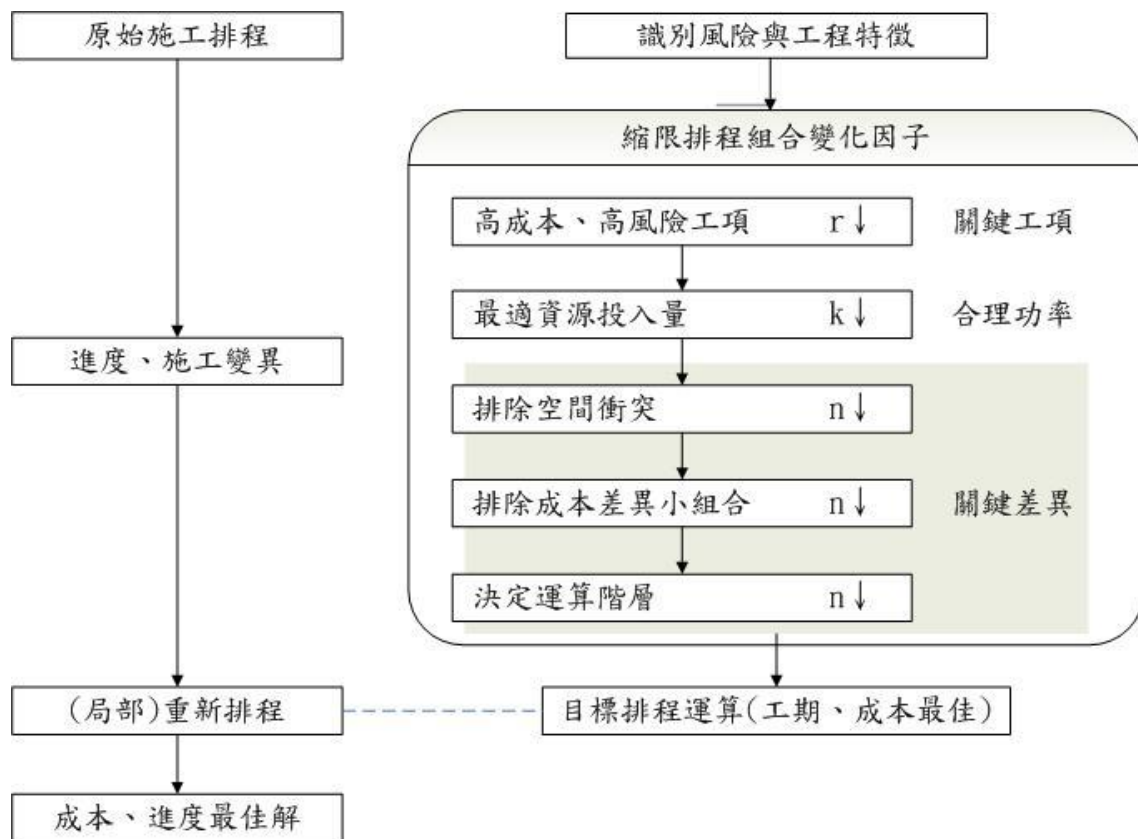


圖 3.8 排程組合限縮流程圖

針對重複性工程進行分析探討是否可依這上述三項概念有效地縮減排程變異因子時，亦應遵循二項原則：(1)限制條件為容易進行辨別與制約操作；(2)限制條件後仍可進行排程。

第四章 污水下水道工程案例探討

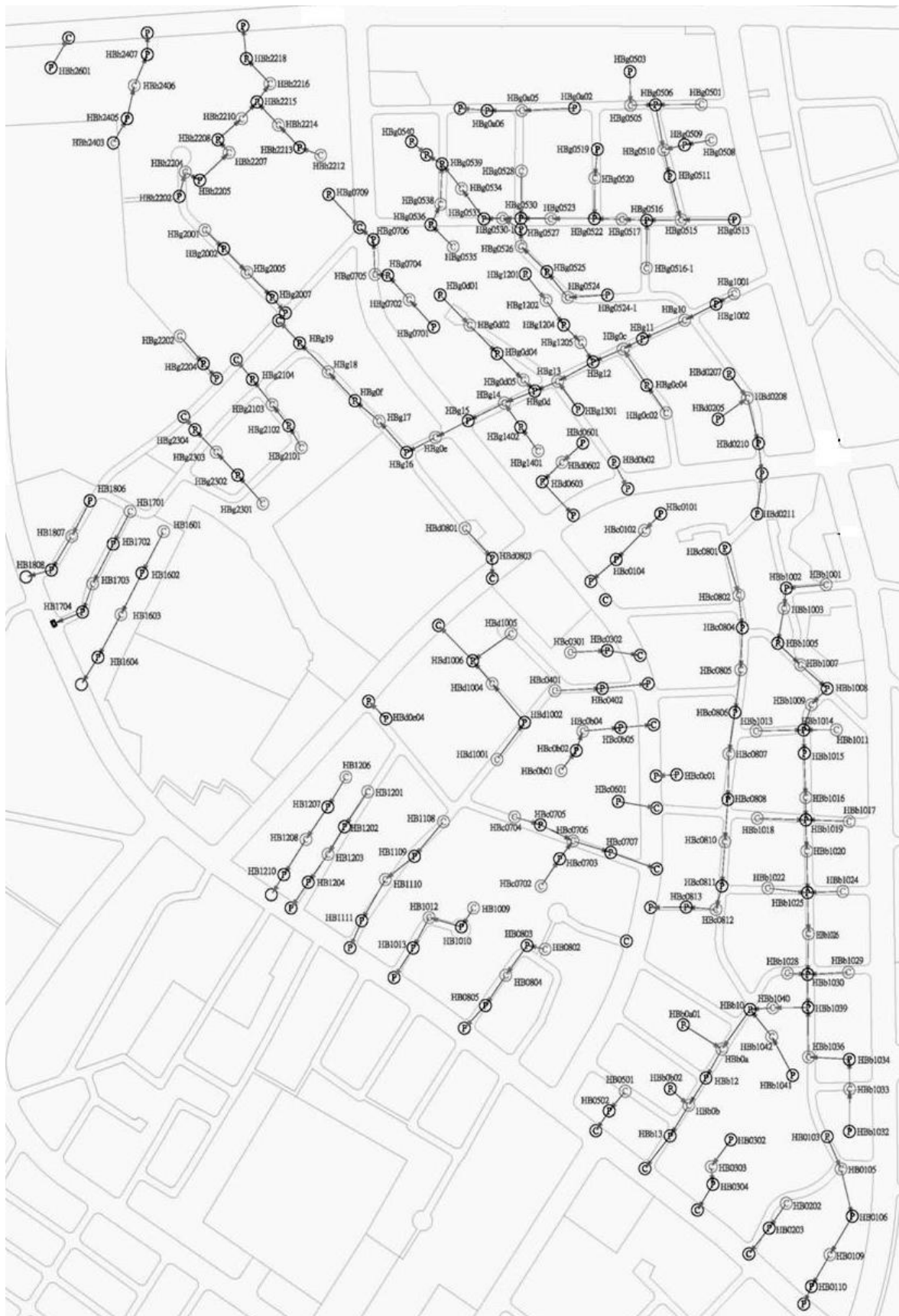
4.1 研究個案簡介

本研究的施工案例是以新北市某實際個案為研究案例，以其實際施做的紀錄來計算施工成本、功率、風險等分析的基礎資料，當中紀錄缺漏或不詳實的部分則以工程慣例或工程驗值估算，工程概要如下：

- 一、工區範圍：詳圖 4.1。
- 二、施工工期：原工期為 761 日曆天經六次展延工期，合計工期 1113 日曆天，96 年 03 月 18 日開工，99 年 8 月 04 日竣工
- 三、工項數量：全案 400mm 小管推進計 7531m、圓形工作井 229 座、人孔 229 座，詳細施作數量如表 4.1。
- 四、施工地質：該區地質屬卵礫石層(礫石最大粒徑大於推進管內徑之 1/3，含有率超過 60%之礫質土)為主的複合型地質。
- 五、採用工法：施工廠商採泥水加壓式工法。
- 六、標案銜接：原設計共 41 條水系全數接入該地區污水下水道系統第一標，竣工實際接入 34 條水系，(註：一標於 97 年 12 月 30 竣工)。

表 4.1 研究個案主要工項數量表

項次	項目名稱及說明	單位	原契約數量	竣工結算數量
一	推進管線工程			
1	φ 400mm 短管推進施工費	M	7,531.00	6,674.15
二	推進井及到達井工程			
1	圓形工作井 1.9M<D≤2.2M，2.5M<H≤5M	座	42.00	34.00
2	圓型工作井 1.9M<D≤2.2M，5M<H≤7.5M	座	33.00	36.00
3	圓型工作井 1.9M<D≤2.2M，7.5M<H≤10M	座	30.00	27.00
4	圓型工作井 1.9M<D≤2.2M，10M<H≤12.5M	座	3.00	0.00
5	圓型工作井 2.2M<D≤2.6M，2.5M<H≤5M	座	32.00	24.00
6	圓型工作井 2.2M<D≤2.6M，5M<H≤7.5M	座	45.00	47.00
7	圓型工作井 2.2M<D≤2.6M，7.5M<H≤10M	座	39.00	31.00
8	圓型工作井 2.2M<D≤2.6M，10M<H≤12.5M	座	5.00	2.00
9	圓形鋼襯板工作井(D=2.0M，含地盤改良)	M	1.00	0.00
10	圓形鋼襯板工作井(D=2.5M，含地盤改良)	M	1.00	0.00
11	推進(到達)口設施(D≤600mm)	處	458.00	368.00
12	既有人孔銜接費	處	1.00	0.00
13	新設人孔銜接費	處	0.00	34.00
三	人孔工程			
1	人孔蓋及蓋座，球狀石墨鑄鐵，開口直徑 750mm	組	229.00	201.00
2	圓型預鑄人孔短管，內徑 120CM，H=120CM	個	444.00	368.00
3	圓型預鑄人孔短管，內徑 120CM，H=90CM	個	45.00	35.00
4	圓型預鑄人孔短管，內徑 120CM，H=60CM	個	47.00	48.00
5	圓型預鑄人孔短管，內徑 120CM，H=30CM	個	39.00	61.00
6	圓型預鑄人孔大小頭，內徑 120x75CM	個	229.00	201.00
7	圓型預鑄人孔底座，內徑 120CM	個	229.00	201.00
8	內徑 400mm 人孔跌落設施及安裝(含固定五金及配件)	處	46.00	42.00



4.2 個案之風險與成本分析

本節針對研究個案的試挖管遷、工作井沉設、推進到達口設施、推進施工與人孔收築等工項，將分別簡述其施工流程、使用資源、分包模式與施作環境對施工的影響等，並列出各工項的成本分析，成本的估算方法是以研究個案實際發包與執行的成本等作為估算依據，另外關於風險所造成的延時成本，是藉由彙整各風險因子可能造成的延時時間乘上各工項延時的施工單位成本，延時施工單位成本為風險因子對施工造成的功率降低、人員、機具、耗材等支出增加的費用。

4.2.1 試挖管遷

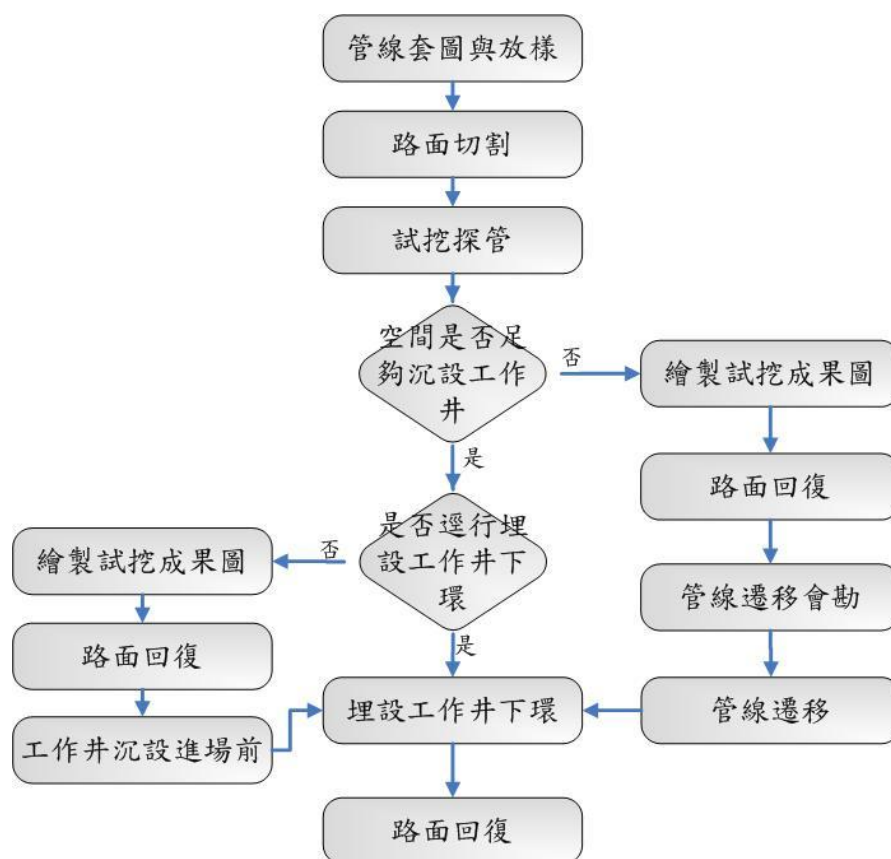


圖 4.2 試挖管遷作業流程圖

早年施作的既有地下管線沒有精準的定位系統，而有些管線圖資僅有紙本甚至缺漏不全，因此管線套圖僅能參考，於現地試挖時放樣點位必須考慮週邊空間環境是否足夠工作井沉設空間、推進佈場空間，還有推進路徑可行性、既有管線

位置與遷移可行性等。工作井經過試挖確認施工位置後，若需管遷則回復路面後俟管線會勘遷移後再開挖放置工作井下環，若不需管遷則可立即埋設下環或先行放樣繪製圖面紀錄，待後續作業要進行前再開挖埋設下環，作業流程詳圖 4.2。

試挖管遷作業的資源需求屬於市場供應充足的人機料，價格平穩易於尋求備援，試挖工程一般有兩種發包模式，(1)機具人員以天計價，此種發包模式現地應變彈性大，但功率會較低落；(2)以試挖一處為單位計價，此種發包模式功率高，但現地應變彈性低，若需擴大試挖範圍則需另外計價，研究個案採第一種發包模式機具人員以天計價。

表 4.2 試挖管遷需用資源與成本

項目	單位	數量	單價	複價	備註
小工	人	2	1,200	2,400	
挖土機	天	1	8,000	8,000	
挖土機運費	趟	1	2,000	2,000	機具運入工區時計算
土車	天	1	5,000	5,000	
水車	小時	1	1,000	1,000	
瀝青混凝土	T	1.5	2,800	4,200	2.5 長*2.5 寬*0.1 深 *2.3tf/m ³
施工成本：20600 元/處（不含運費）					
延時成本：15400 元/天（小工+挖土機+土車）					

在試挖管遷施作的環境風險因子有鄰里抗爭、交通維持、管遷延時、天候不良等，分別說明如下：

一、鄰里抗爭

因工區鄰近住家，易影響居民生活引起抗爭，由其在試挖階段偶爾會遭遇民眾極力要求移動施工位置，而一般較常是配合鄰里每週末不施工，但因試挖發包模式為採天計價，所以就成本而言較無影響，惟若民眾堅持要求移動施工位置，就必須更進一步溝通協調甚至協同業主與相關人員辦理會勘，如此則會耽誤工期。

二、交通維持

試挖管遷由於機具、施作範圍較小，機動性高，對於交通的衝擊是相對低的，

且施挖管遷作業較少同時開展多個工作面，所以施工單元間相互影響交通動線的機率也較低。

三、管遷延時

各種管線因不同單位或管線規格不同，管遷時程 1 日至半年不等，此一風險於不同標案或不同地區差異甚大，各單位管線遷移作業天數如表 4.3，關於管遷延時必須特別注意的是，通常試挖達一定數量後即局部進行管線遷移會勘，然後安排後續的管遷作業，所以在等待管線單位遷移的同時後續的試挖作業仍可持續進行，因此試挖管遷作業的延時不可以直接累加計算。

表 4.3 各單位管線遷移作業天數說明表

管線單位	管線類別	作業天	備註
臺電		3~6 個月	需經其內部設計發包流程。
自來水	高壓管	7 天	需先發停水公告給住戶，同依區段一個月內不得停水超過 2 次。
	一般低壓	1 天	自來水處管遷與修漏皆同一發包，且管轄區域範圍大，常需等待施工。
中華電信	光纖	--	無法局部管遷，只能整段挖除重設。
	一般電纜	0 天	一般直接敲除外 PVC 管，拉出纜線作臨時遷移吊掛。
民營電信	光纖	--	無法局部管遷，只能整段挖除重設。
	一般電纜	0 天	一般直接敲除外 PVC 管，拉出纜線作臨時遷移吊掛。
天然瓦斯	高壓管	2 天	較危險，能不管遷就不管遷。
	低壓管	1 天	
雨水涵管		2 天	

四、天候不良

試挖管遷屬於露天小面積的開挖作業，原本道路回復的施工品質就不易達成，若遇雨天造成開挖面積水，不僅開挖時視線不良易造成既有管線毀損，道路回復時的回填土含水量太高又容易造成失敗，因此雨天通常會停止施工，若不得已仍須施工則會增加後續道路維護成本。

4.2.2 工作井沉設

工作井沉設在施工品管上最重要的步驟就是控管高程，高程控管不當不僅直接影響鋼環與混凝土耗量的成本、甚至可能必須進行敲除大底混凝土或再度進行沉設施工補救，所以進行工作井沉設時必須重新量測工作井相對於該水系最下游端的距離並重新計算流水面高程，因為下水道工作井的位置是允許因應現地狀況作適當位移，因此下水道管段路徑總長也會改變，在不變更原設計水理的原則下，每處工作井的流水面高程會重新計算調整，調整優先原則依序為，(1)坡度固定、(2)最下游管段不可低於接入既設人孔高程、(3)最上游管段之覆土深不可小於規範或設計，此一因距離而產生變異的風險與設計坡度成正比，坡度越陡距離影響高程就越大，例如研究個案 HB17 水系上有四處工作井編號 HB1701~HB1704，管段設計坡度為 2.56%，則 1 公尺的坡降為 2.56 公分，該水系原設計總管長為 138.5 公尺，而實作總管長為 149.56 公尺，二者相差 11.06 公尺，也就是說最上游端人孔的流水面高程與原設計相差 28.31 公分，一般推進機台的架設空間約 70 公分，28.31 公分的差距很可能導致施作空間不足，必須敲除大底混凝土，假若在一般地下水位高的地區，則敲除大底混凝土則可能造成封底失敗。因此在測量核算工作井沉設高程後，即可進行工作井沉設，施作流程如圖 4.3。

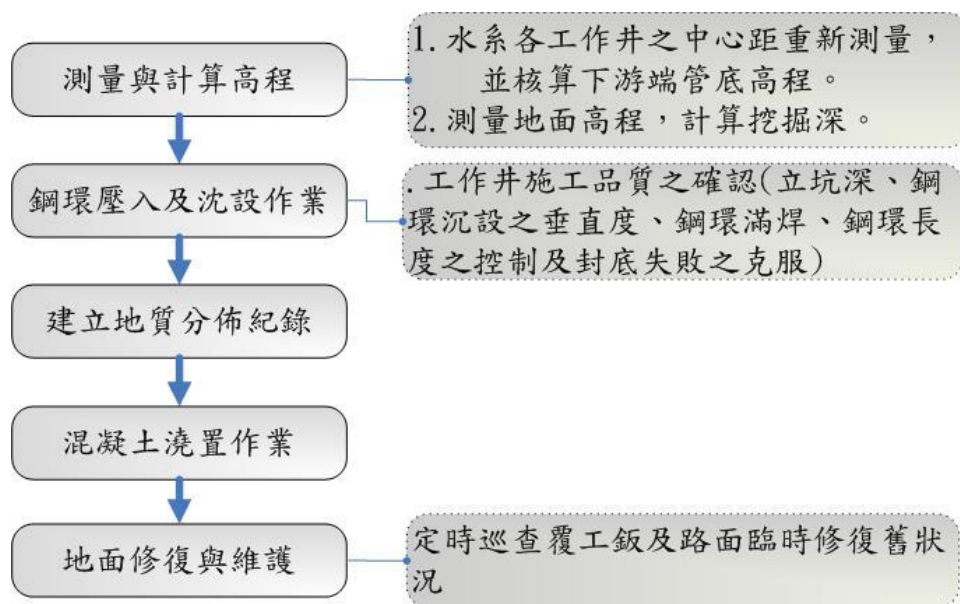


圖 4.3 工作井沉設作業流程圖

研究個案的工作井沉設採施工發包，下包商帶機具不帶鋼環與混凝土，由於鋼環於人孔收築完成後可引拔回收再利用，但損料約 1.5m(一般鋼環會沿人孔底座上緣切除，大底混凝土包覆鋼環約 0.2m 加上人孔底座高 1.2m，與切割整修鋼環損料 0.1m 共 1.5m)，而鋼環利用率受單元施工週期影響，也因此工作井沉設特別不同於其他工作項目之成本優化特性，一般施工皆力求人員、機具能穩定、持續不間斷的施工以減少等工成本，然而採圓形鋼環作擋土支撐的工作井沉設施工，卻因為鋼環可回收利用之特性而其成本優化之關鍵為提高鋼環重複利用率而非持續施工，在本研究中工作井沉設成本估算鋼環數量以重複利用率約 50%來概估，此外由於工作井沉設開挖深度深但路面切割開挖範圍小，因此在道路路面回復時回填夯實成效有限，路面容易有二次沉陷，且工作井之覆工板與道路瀝青鋪面材質不同，雨天時容易造成危險，因此為提高鋼環重複利用率與減少路面維護成本，工作井沉設應盡量縮短其沉設至引拔的期間，也就是於推進施工前進行工作井沉設，推進施工完成後即進行人孔收築引拔鋼環，對工作井沉設之成本將是最有利之情況。

表 4.4 工作井沉設需用資源與成本

項目	單位	數量	單價	複價	備註
工作井沉設	處	1	45,000	45,000	責任施工
立坑機運費	趟	1	6,000	6,000	
鋼環	kg	2619.2	20	52,384	平均立坑深 6.4m，重複利用率約 50%。 \$ 2090mm-16mm(厚)-1m(高)：約 818.5kg
210kg/cm ² 水中 混凝土	m ³	3.5	2,200	7,700	\$ 2090mm 鋼環，澆置 1m 深
施工成本：105084 元/處 (不含運費)					
延時成本：0 元/天 (責任施工)					

在工作井沉設的施工環境風險因子有鄰里抗爭、交通維持、天候不良等，分別說明如下：

一、鄰里抗爭

進行工作井沉設時因位置已確定，所以不會有試挖時要民眾求移位問題，而且因為工作井沉設的施作時間短，約 1 至 2 個工作天，所以鄰里抗爭在此一階段影響是較低的。

二、交通維持

因為立坑機所需的施作空間較大，在巷弄施工可能會封閉道路通車須考量施作動線，在重要幹道施工則須避免於交通尖峰流量時刻施工。

三、天候不良

工作井沉設若採用鋼環擋土支撐，則需使用電焊將鋼環焊接，遇雨天則有感電危險無法施作。

4.2.3 推進到達口設施

推進到達口設施主要是針對推進施工的推進口與到達口端進行地盤改良，其主要目的有二，(1)提高土層的整體性與均質性並加強其承载力，(2)減少地下水的滲流，以確保施工的安全與品質，由於研究個案的施工高程無地下水，故推進到達口設施於此研究個案因地下水而施作失敗的風險也較低，推進到達口設施的施作流程如圖 4.4。

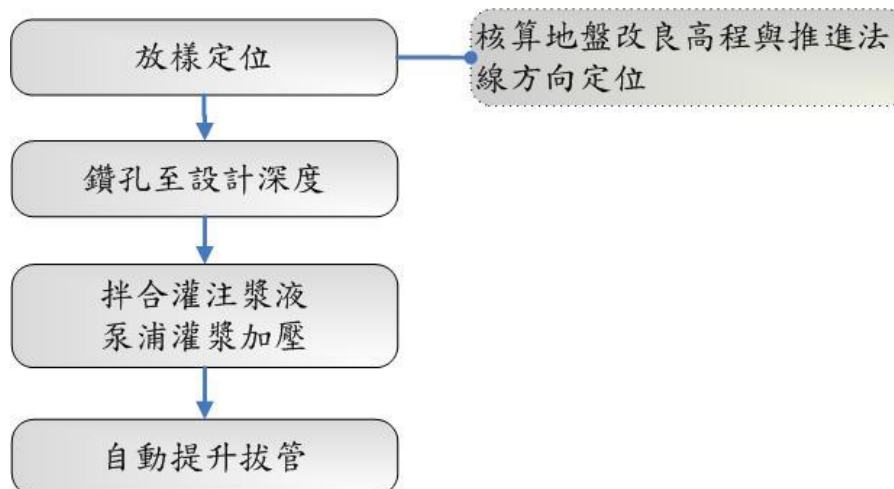


圖 4.4 推進到達口設施作業流程圖

研究個案之推進到達口設施分包以處計量，連工帶料責任施工。

表 4.5 推進到達口設施需用資源與成本

項目	單位	數量	單價	複價	備註
推進到達口設施	處	1	30000	30000	責任施工
施工成本：30000 元/處（不含運費）					
延時成本：0 元/天（責任施工）					

4.2.4 推進施工

推進施工為藉由工作井架設推進機臺用推進機穿越地底達另一端工作井，所以施工前須將經緯儀架設於出發井與到達井中心點延線，定出推管中心位置，拉出連接兩點之法線，並利用垂線與捲尺定出鏡面工與推進機設備位置，然後架設推進設備及雷射測量儀器，利用雷射測量儀器定出推進計畫軸線如圖 4.5，在發進口安裝鏡面框後，吊入推進機並調整機床之傾斜角度以符合推進之設計坡度，之後開始推進施工，當推進作業進行時利用裝在推進機內之雷射標靶測量方向，如有偏差利用推進機內的千斤頂調整方向，當推進至到達工作井時，安裝到達井鏡面框安裝推進機本體後收回推進機，排泥管、送泥管及油壓管等，施作流程如圖 4.6。

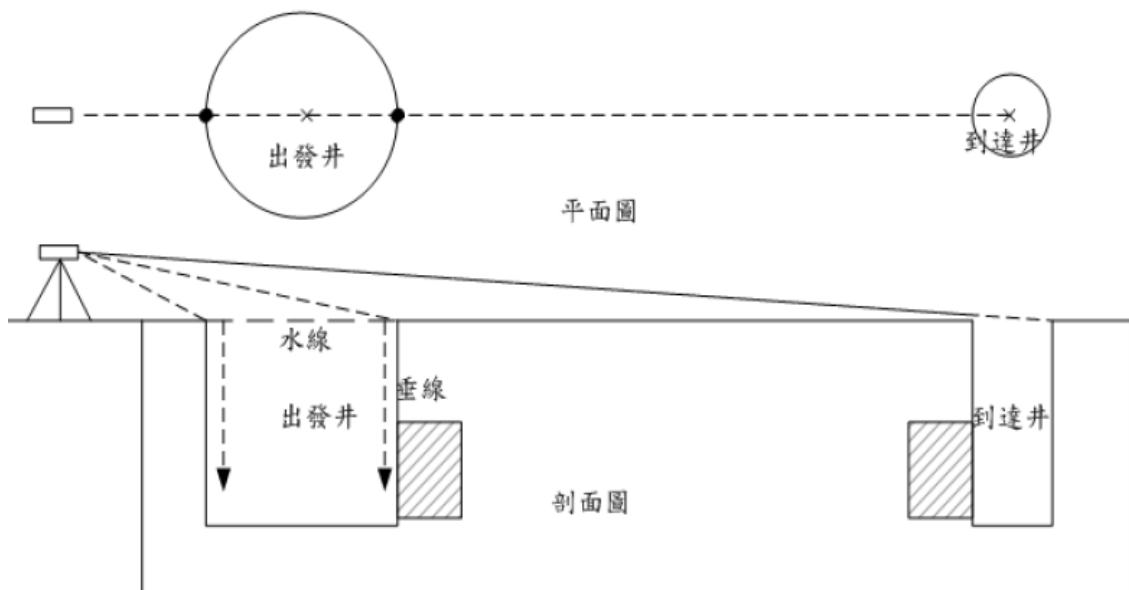


圖 4.5 推進法線放樣

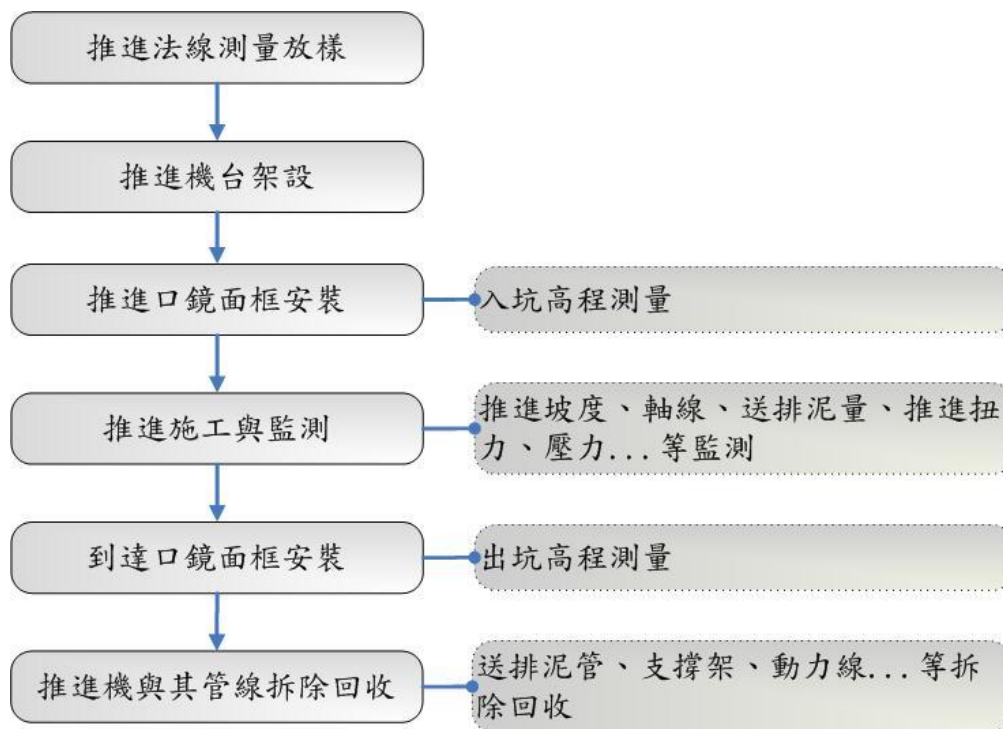


圖 4.6 推進施工作業流程圖

研究個案承攬廠商在推進施工發包上之推進機全部為自有，推進施工工班部分自有、部分發包，其推進施工成本如表 4.6。

表 4.6 推進施工需用資源與成本

項目	單位	數量	單價	複價	備註
推進工資	月	1	230,000	230,000	以一個月推進 80m 估算 成本
發電機租金	月	1	27,500	27,500	
零星工料	m	80	425	34,000	
泥作處理(滑材)	m	80	725	58,000	
運輸費用(含起重、水車)	月	1	96,500	96,500	
棄土處理	m3	18.32	525	9,618	
bit 磨耗(組/350m)	組	0.2286	387,188	88,500	
3S 四級推進 RCP ϕ 400mm *1M	m	80	2000	160,000	
施工成本：352059 元/處 (每段 40m 估算)					
延時成本：11800 元/天 (推進工資+發電機租金+運輸費用)/30					

在推進施工的環境風險因子有鄰里抗爭、交通維持、機具性能、人員素質、困難地質、地下障礙物與資源缺乏，分別說明如下：

一、 鄰里抗爭

由於推進施工的作業期間長(一處工作井雙向施工約 1 個月)，而且施工佈場範圍又大(約 3m 寬、18m 長)，容易影響居民的出入交通與生活作息，而一般民眾最常反映的有停車位的問題、每日施工時間不可過早或過晚、假日不可施工、影響商家店面生意等，所以為了溝通協調或配合民眾作息，往往會延誤工期。

二、 交通維持

為維持交通順暢在交通壅塞路段可能採取的措施有，(1)增加交通指揮人員、(2)交通尖峰時間停止施作、(3)夜間施作、(4)機具不落地施工，關於機具不落地將歸類在變更工法範疇，不在此討論。

三、 機具性能、人員素質、困難地質

一般污水下水道主次幹管的設計口徑為 300mm 至 1200mm，口徑越小則推進機械的掘削能量越小、越難克服堅硬或不均質的地質，由於推進機械的侷限性，每種推進機型有其適合施作的地質條件，依機型性能、地質條件的不同，推進機因應的推進操作也不盡相同，因此面對複合地質、軟弱地質、堅硬地質等的困難地質，必須仰賴操作機械人員的專業素養，調整推進機的推進速率、送排泥流量、作泥濃度、角度修正量等，假若推進機操作控制不當，就會造成推進施工功率嚴重下滑或推進軸線方向失控，若推進角度偏離軸線超過規範無法修正時，則須將推進機倒拉出坑重新推進，因此在推進施工上面對困難地質，機具性能與人員素質是影響施工成敗的重要因素。

若推進施工因受機具性能、人員素質、困難地質影響，會有兩種直接成本增加，一是施工功率下降人員、機具成本增加，第二為推進失敗推進機倒拉重新施工，除了人員、機具成本增加外，還必須背填灌漿重新安裝鏡面等，則此衍生的費用表 4.7。

表 4.7 推進到拉重新施作成本分析表

工項	單位	數量	單價	複價	說明
推進機倒拉	m	10	10000	100000	約略取推進施工平均單價
背填灌漿	m	10	500	5000	
機具整備維修	工	2	1500	3000	
推進鏡面	個	1	3000	3000	
合計				111000	

四、地下障礙物

在推進過程中可能有遭遇流木、巨石、地下廢棄物等推進機械無法克服的地下障礙物等，解決方法通常為豎立中間工作井，排除推進機前方障礙物後，再引拔回填中間工作井，則此衍生的費用如表 4.8。

表 4.8 排除障礙成本分析表

工項	單位	數量	單價	複價	說明
管遷遷移費用	式	1	11400	11400	
中間工作井沉設費用	式	1	15800	15800	
障礙排除	工	2	1500	3000	4 工 0.5 天
推進機械整備維修	工	2	1500	3000	
合計				33200	

五、資源缺乏

臺灣目前的推進機多仰賴進口成本昂貴，推進機械的備品與維修技術等也當匱乏，所以要維持機具性能是一大挑戰，而人員方面有經驗和專業素養的推進操作手在市場上是相當匱乏的，要培養一名推進操作手也相當費時耗力，所以推進施工的機具與人員資源取得，是下水道工程所有需用資源中最難取得的部分。

4.2.5 人孔收築

目前污水管線之人孔多採預鑄混凝土製品設計，其施作相對於其他工項較無外在無可避免的風險，因此人孔收築為風險較低的施作工項，其施作流程如圖 4.7。



圖 4.7 人孔收築作業流程圖

研究個案的人孔收築採施工發包，提供預鑄人孔材料與混凝土材料給分包商，分包商連同人孔收築完成後，並負責引拔鋼環回收再利用，其每座人孔收築成本如表 4.9。

表 4.9 人孔收築成本分析表

項目	單位	數量	單價	複價	備註
人孔收築	處	1	45,000	45,000	含機具五金與油料
D 型人孔底座 120*120*15(含 PVC)	個	1	11,800	11,800	
D 型人孔大小頭 120*90*15-75(含 PVC)	個	1	7,600	7,600	
D 型人孔短管 120*30*15(含 PVC)	個	1	3,250	3,250	
D 型人孔短管 120*60*15(含 PVC)	個	1	5,600	5,600	
D 型人孔短管 120*90*15(含 PVC)	個	1	8,050	8,050	
D 型人孔短管 120*120*15(含 PVC)	個	1	10,300	10,300	
210kg/cm ² 預拌混凝土	m ³	0.15	2200	330	
CLSM	m ³	10	1900	19,000	
施工成本：110930 元/處（每處人孔 5.4m 估算）					
延時成本：0 元/天（責任施工）					

4.2.6 小結

了解污水下水道工程自試挖管遷到人孔收集各工項的成本結構與風險說明後，我們可以彙整評估各風險因子可能造成的工期延誤天數估計(表 4.12)，由工期延誤天數估計換算各工項之樂觀、正常、悲觀工期(如表 4.10、圖 4.8)，本研究案例與蘇文哲以「模糊德菲法」(Fuzzy Delphi Method)針對台南縣市及高雄市進行專家問卷調查(2005)，所得之風險值換算工期延誤天數雖有不同，此乃因為專家問卷為一主觀之認定，且相同工工程於不同區域其各風險因子所佔比例也會不同，但其研究列入比較之風險因子依影響程度依序為地下障礙、地下管線、地質條件，與本研究案例造成工期延誤的主因一致。

表 4.10 主要工項工期評估表

工項	樂觀工期	正常工期	悲觀工期
試挖管遷	0.5	1	32 (等待時間約 27 日)
工作井沉設	1	2	5
推進到達口設施	0.5	0.5	1
推進施工	7	15	37
人孔施築	2	2	3

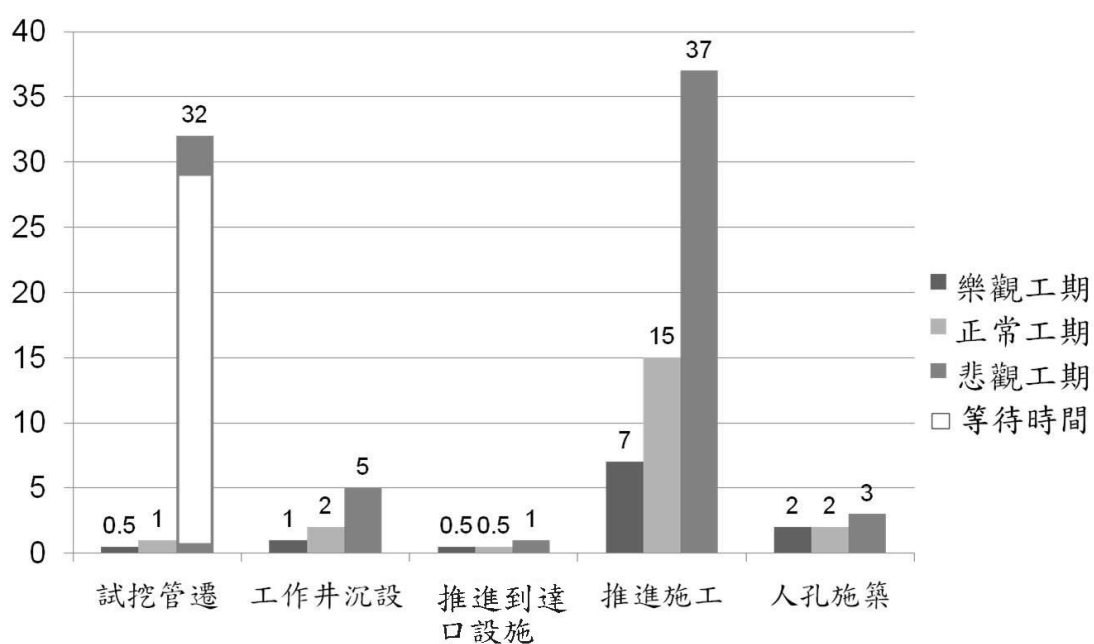


圖 4.8 主要工項工期評估統計圖

連同施工成本與延時程本彙整出作業工項的成本比較 如表 4.11、圖 4.9。

表 4.11 污水下水道各施工工項成本比較表

工項	單位	施工成本	延時成本	機具移場 運輸成本	障礙處理
試挖管遷	1 處	20,600	15,400	2,000	0
工作井沉設	1 處(6.4m)	105,084	0	6,000	0
推進到達口 設施	1 處	30,000	0	0	0
推進施工	1 段(40m)	364,809	12,267	2,800	144,200
人孔收築	1 處(5.4m)	110,930	0	0	0

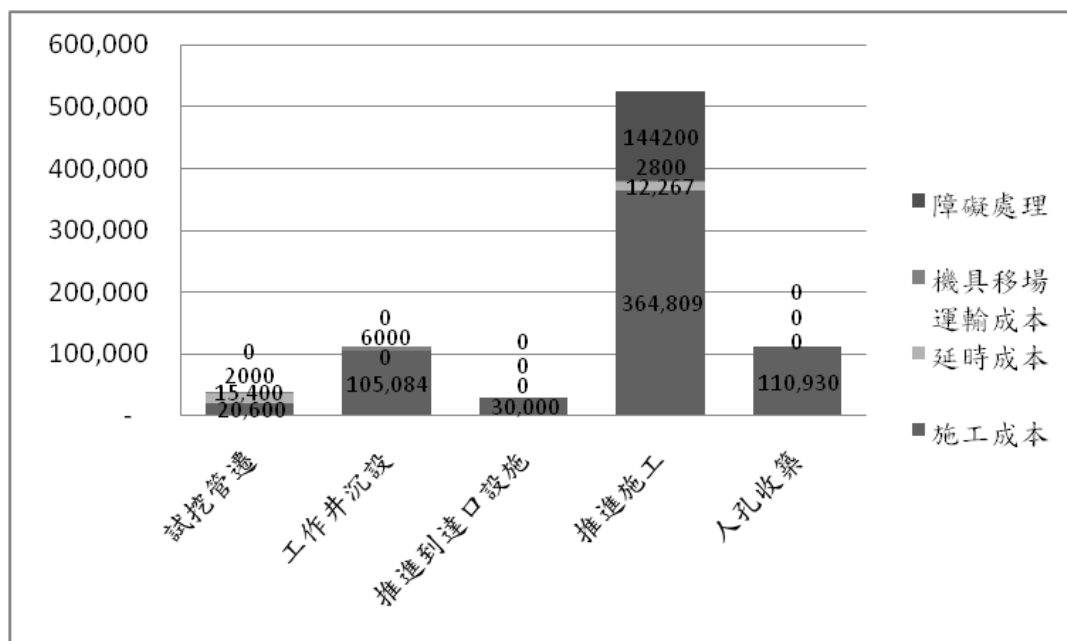


圖 4.9 污水下水道各施工工項成本比較圖

表 4.12 風險因子影響工期彙整表

項次	風險因子	說明	活動項目	影響評估	評估說明
1	鄰里抗爭	工區鄰近住家，易影響居民生活引起抗爭。	推進	4	為配合鄰里每日工時縮短 2 小時或週末不施工，以正常 15 天作業天計算工期延長 4 日
2	管線遷移	地下管線因所屬單位不同、或因管徑大小、道路路幅，管線遷移難易差距極大。	試挖	30	辦理管線會勘、管線遷移套圖設計、安排管遷約 30 天
3	不良天候	為施工品質與安全考量，雨天不適合做開挖與焊接動作。	試挖、工作井沉設	2	預估因雨延長工期 2 天
4	機具性能	推進機械維護不易，難以穩定其性能。	推進	6	假設推進至第 25m 無法繼續施工，倒拉推進機需 2 天，出場維修 3 天，機具整備重新入坑 1 天
5	人員素質	推進機械操作手需要較高的機械與地質知識，又少有高教育水平人力投入此項工作，所以人員素質水平不足。	推進	6	正常推進速率(5m/日)減至 3(m/日)，以 40m 推進段推算，工期延長 6 日
6	困難地質	推進機械試用地質各不相同，小口徑之堆進機械在複合地質會增加施做難度。	推進	6	正常推進速率(5m/日)減至 3(m/日)，以 40m 推進段推算，工期延長 6 日
7	地下障礙物	推進機械較難克服流木、鋼筋等的地下廢棄物。	推進	4	開立中間工作井排除障礙 3 天，機具整備重新入坑 1 天
8	變更設計	常因施工中遭遇 2、3、7 的風險無法克服，而變更設計。	試挖、工作井沉設、人孔	75	從遭遇困難、辦理現地會勘、辦理變更設計、送審核准約 75 工作天

4.3 以排程組合限縮法對污水下水道工程個案排程

綜合分析完研究個案主要工項的風險與成本，擬定其施工排程最佳化目標有五點，依重要性分述如下：

- 一、維持道路交通：應保持路網之任意點可對外連結。
- 二、避免推進機組閒置：推進機組為下水道施工中成本最高的資源，應盡力維持推進機組持續施工。
- 三、提高鋼環利用率與縮短其埋設期間：因鋼環為可重複使用之大宗物料，提高其重複利用率可降低其購置成本，而縮短其埋設期間則有助於降低道路維護成本。
- 四、連續施工：試挖管遷、推進施工之機組等資源若跨街道(區域)則需另外支出運輸費用，因此同一街道(區域)的施工單元最好能連續施工，減少資源運輸的費用。
- 五、分散施工：此為呼應第一點，除了保持道路交通的對外連結，應盡量分散工作面的距離，以降低對道路服務品質的影響，但是此點會與第四點有部分衝突，需小心安排。

因此在施工排程上我們依排程組合限縮原則找出研究個案的排程關鍵因子，先降低其排程組合變化再套用其他工具輔助排程優化，首先由圖 4.10 得知推進施工為下水道施工單元中高風險、高成本的關鍵工項，因此施工排程首要關注與控制的變異因子將以推進施工為主，其他工項則以不干擾推進施工為原則配合排程。

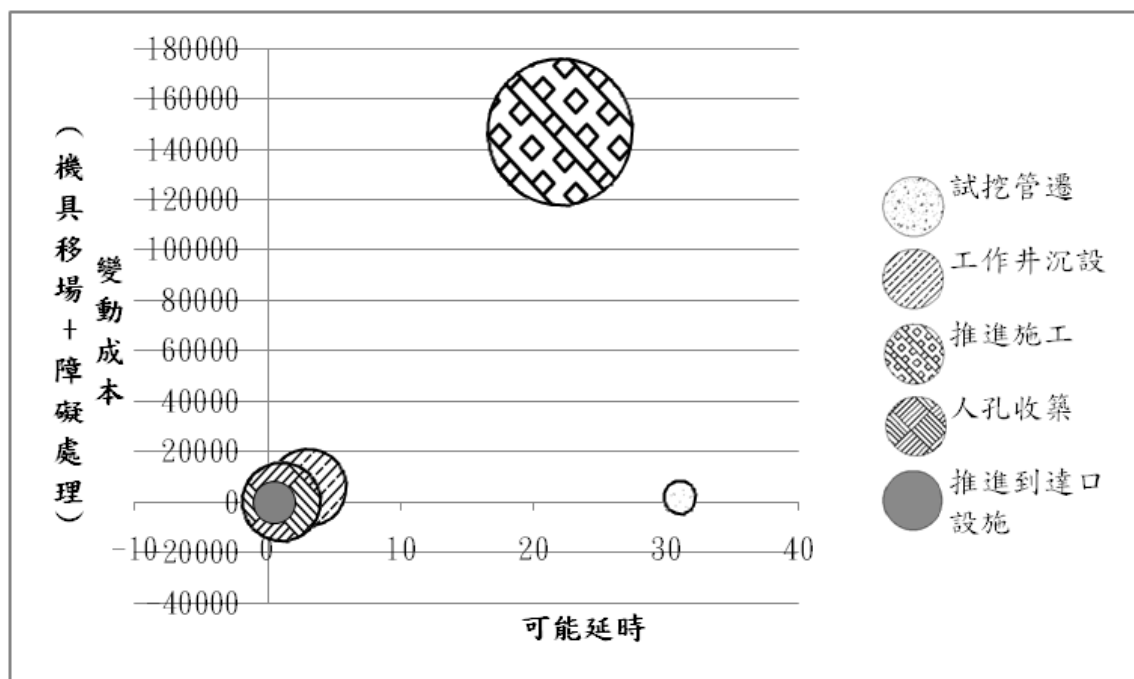


圖 4.10 污水下水道主要工項延時與成本比較圖

從時間的角度來看單元施工中是推進施工的工期最長，所以整體工程的合理工作面是由推進施工的施工功率來推算，以研究個案為例，其原設計總工期為 761 日曆天，推進長度為 7531 公尺，扣除標案起始的前置作業時間與結束時的竣工作業時間約 60 日曆天，則實際可執行推進施工的工期約為 700 日曆天，以每月 80 公尺的推進功率計算，合理的工作面應至少維持 4 個工作面(計算式③)，由線性平衡法推算試挖管遷、工作井沉設、推進到達口設施等推進前置作業最佳功率為 10~15(處/月)，亦即除推進施工須四組機組外其餘工項均須一組機組即可維持工進，以正常工期試挖管遷 1 日、工作井沉設 2 日計算。

$$\text{每日推進進度：} 7531\text{m}/700 \text{ 日}=10.76 \text{ (m/日)} \dots\dots\dots \text{①}$$

$$\text{推進日進量：} 80/30=2.67 \text{ (m/日)} \dots\dots\dots \text{②}$$

工作面需求[①/②]：10.76/2.67=4.03..... ③

從空間的角度來看污水下水道工程其施工多在市區巷道，不論其佈場施工後影響的是單一線道還是全面封閉道路，皆會影響一般民眾的車行交通，所以為將影響減至最低，一般會盡量分散工作機組以降低民眾不良觀感，而研究個案之管線大多分佈於七米巷道甚至位於三米以下巷道更多達 57 處，因此施工原則為單一巷道不多重施工，此原則也大致符合研究個案水系分佈，研究個案共 41 條水系，平均每條水系約 4~5 處工作井，幾乎是一條巷道一條水系，所以進一步說研究個案的排序可以針對水系排序，以水系排序也較能符合下水道流水面高程品質的控管，而路徑較長的水系則建議仍以 4~5 處工作井為一段落的原則分段排程，但劃分段落時仍須注意街道段落最好要有雙邊出入口，以維持交通順暢。

從成本的角度來看污水下水道工程其各工項之位移僅試挖管遷、工作井沉設、推進施工之機具中長距離(跨巷道的位移稱之中長距離)的移入或移出需以吊卡車或拖板車運輸，而這三項工項之鄰近工區的位移或推進到達口設施及人孔收築的機具位移皆可靠其自身動力或堆高機位移。另外研究個案全部工區仍集中於市區同一區塊，況且由工項的成本分析表中得知機具的運輸以半天或一天計價，所以在施工機具的移動運輸上無須考慮路徑效應，僅需考慮機具中長距離的移入或移出的次數即可，也就是說在同一巷道上的施工排序狀況在運輸成本上並無差異，所以無須在意同一巷道內施工排序的變化。

總結上述各點則研究個案的排程組合變化可簡化成 $\frac{(55-12)!}{(55-16)!} = \frac{43!}{39!}$ ，其限縮

方式說明如下：

- 一、作業工項排程以推進施工為主，則 $r=5$ 縮減至 $r=1$ 。
- 二、維持推進機組穩定持續工作，除非進度落需增加工作面，否則工作面維持固

定，因此工作面組合方式由 $\sum_{k=1}^n \frac{(n-1)!}{(n-k)!(k-1)!}$ 縮減為 1。

- 三、以水系和街道為工作群組作為排序調整單位，則 $n=229$ 縮減至 $n=55$ 。

$$\frac{(n-3m)!}{(n-4m)!}$$

四、排序方式可只考慮 2 個月的排程變化，即排序組合由 $n!$ 降為 $(n-4m)!$ 。

那麼將研究個案的作業工項關係表將如表 4.13 所示。

表 4.13 研究個案作業關係示意表

編號	施工單元	前置任務	水系	優先順序	資源
1	HBg0a06 管線試挖	2SF			
2	HBg0a06 工作井沉設	3SF			
3	HBg0a06 推進施工		HBg0a	1	1 號推進機
4	HBg0a06 人孔施築	3FS			
5	HBg0a05 管線試挖	6SF			
6	HBg0a05 工作井沉設	7SF			
7	HBg0a05 推進施工		HBg0a	1	1 號推進機
8	HBg0a05 人孔施築	7FS			
⋮					
51	HBg0526 管線試挖	52SF			
52	HBg0526 工作井沉設	53SF			
53	HBg0526 推進施工		HBg0530-1	8	1 號推進機
54	HBg0526 人孔施築	53FS			
⋮					
201	HBc0402 管線試挖	202SF			
202	HBc0402 工作井沉設	203SF			
203	HBc0402 推進施工		HBc04	3	2 號推進機
204	HBc0402 人孔施築	203FS			
⋮					

簡化過排程組合方式後我們可以發現以水系或路段來將施工單元分組，可解決排程目標的第一項原則與部分第四項原則，因為若一個水系或路段只安排一個工作面，那麼原道路就可維持與外界路網連結，而部分符合第四項原則是因為某些水系、路段相當鄰近可以接著連續施工而不需花費運輸費用，但是若完全符合第四項就會衝突到第五項分散施工的原則，也有機會衝突第一項維持路網交通原則，況且運輸費用佔工程成本比例並不高，因此個人認為以水系或路段分群組排

程已達成維持道路交通與連續施工兩項排程目標。

至於推進機組閒置與排程的關係起源於在下水道的施工單元中，推進施工式作業工期異動最大的工項，以研究個案為例期單位推進施工最短工期為 1 天，最長工期為 42 天，而其他工項施工單元工期相對差距不超過 6 天，因此若推進施工產生排序異動，就有等工的風險產生如圖 4.11，本研究對於推進機組閒置與離散施工將採用 CLIPS 執行演算或由 Google Earth 直觀判斷，相關操作於第五章節中說明。

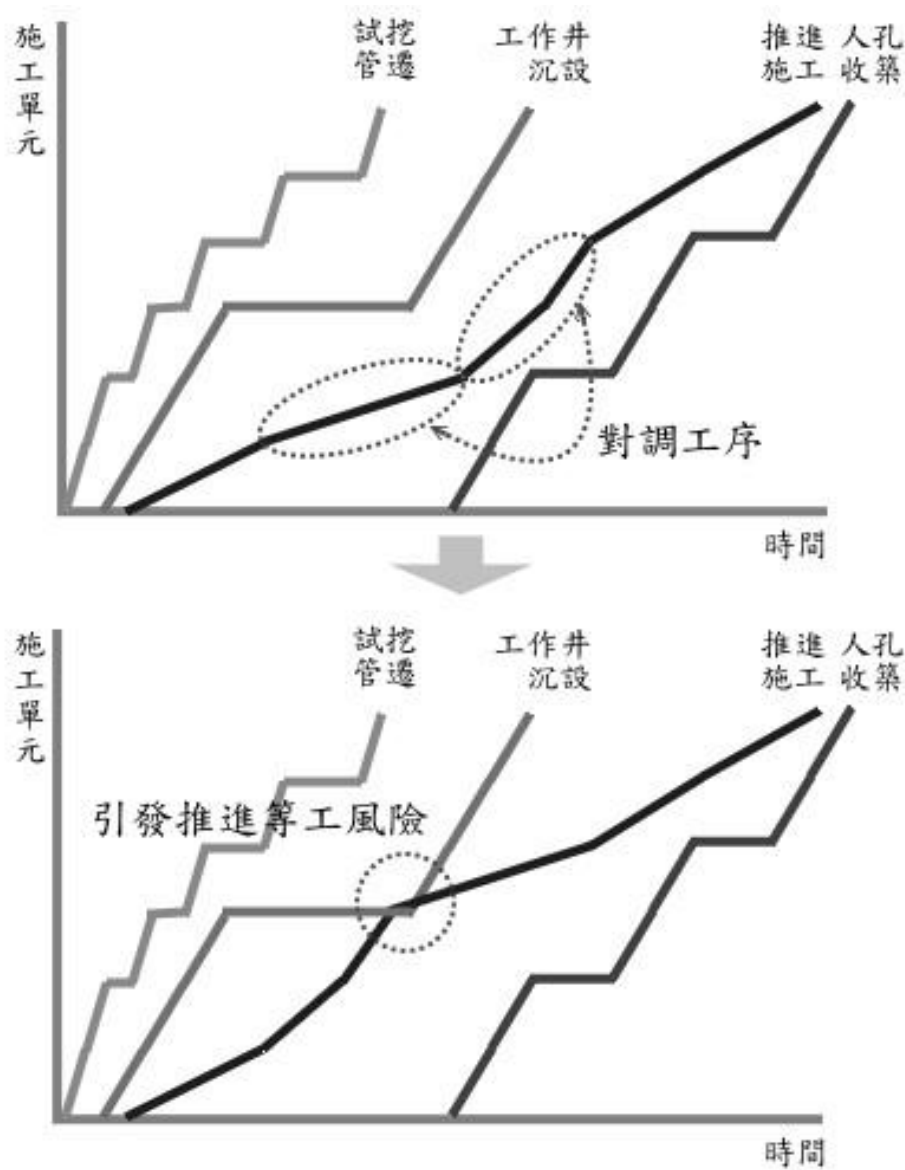


圖 4.11 推進施工脫序作業引發等工風險示意圖

4.4 案例網圖比較說明

原研究個案之施工網圖如圖 4.12，其排程原則與特性為：

一、使用箭線式網圖

因下水道工程之施工網圖在實務上多採較簡潔易懂的箭線式網圖，但是現今市面上所有排程軟體如 Microsoft Project、Primavera Project Planner、Open Plan Professional 等都無法產生箭線式網圖，因此，此種網圖僅能人工產生，建議應改變舊有習慣，改採市面上排程軟體可產生的節點式網圖或甘特圖。

二、以空間區分四個工作面

如同本研究所推算研究個案推進施工的合理功率，研究個案在施工排程上也規劃四個工作面，而這四個工作面是以地理位置來作區分，由地理位置區分工作面的好處是，若依此規劃施工可以杜絕大部分的工作面彼此間交通運輸的相互干擾，然而研究個案竣工後重新檢視實際的施工狀況發現，有時候因為管線遷移因素未必每個工作面都能順利展開，但為維持施工進度仍需維持四組機組執行推進施工，所以此時有些工作面就會同時會有兩組推進機組在施工。

本研究將是由使用的資源來定義工作面，也就是由推進機組來區分工作面，這麼定義工作面的好處是即使作業工項改變由非原預定的推進機組施作，整體網圖中可推算各工作面的功率，以地理位置區分工作面就會像更新後的研究個案網圖，無法推算其工作面的施工功率；而壞處是作業工項預定所屬的工作面與實際計施作的工作面出入較大。

另外以合約工期展延的公平性來說，以資源來區分工作面較符合實際作業情況與當初設計之功率計算，以地理位置區分工作面則容易有工作面不足的假象產生，然而重複性工程實際遭遇的施工障礙雖然可能不會造成整體工作面不足，但承攬廠商由於障礙於空間安排上受限，且仍然需多花時間與成本處理障礙，所以是否需另外折算工期或成本則需另外討論。

三、僅將工作井沉設與推進施工列入排程

研究個案之所以僅將工作井沉設與推進施工列入排程是因為這二者是施工單元中施工風險與成本最高的兩個工項，並且以這兩個工項的完成率估算進度或實獲值，誤差也在可接受範圍內。

本研究建議保留施工單元內各工項的固定邏輯關係，但僅針對推進施工排序，如此不僅可降低排程複雜度，也保留了各工作項目的時程資訊。

四、網圖的工作項目依月份作區分

由於研究個案之該區污水下水道新建工程的管控方式為每週由監造單位召開工程執行檢討會，每月由業主召開月會檢討進度、品質與工程障礙排除，因此污水的施工網圖工作項目都是將每月預定施作項目合併成單一活動，此一合併準則除時間上的關係外並無其他關係準則，此一作法一旦施工產生脫序作業或進度落後時，更難去調整更新施工網圖。

本研究建議以水系和路段來組合工作群組，一方面可以有效簡化工作項目，另一方面工作群組的施工條件和環境因素也較高度雷同，擺在一起檢討進度與成本也較符合實際狀況，也才有比較意義。

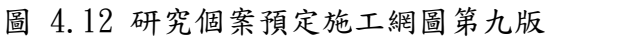
五、作業關係僅有固定關係

關於僅有固定邏輯這點與專案本身特性不符，因此研究個案於辦理展延工期時，主要還是核算工區內因障礙不可施作的施工單元所佔比例與排除障礙的耗費時間，為避免網圖與工期計算基準不一，建議還是要將網圖的作業邏輯符合實際的工程特性，這樣標準才會一致才能避免工程糾紛。

綜合原研究個案與本研究之 SCSS 之網圖變更作業流程比較，如表 4.14 所示。

表 4.14 研究個案與 SCSS 之網圖變更作業流程比較

	作業流程	研究個案	SCSS
1	工期展延之網圖檢討	1. 以地理位置區分工作面 2. 核算各工作面可施工比率 3. 忽略脫序作業之網圖矛盾	1. 以資源區分工作面 2. 計算總體可施工比率 3. 以優先順序取代作業關係無網圖矛盾現象
2	更新實際進度	1. 逐一更新各工作項目進度	1. 由日報回饋轉入
3	後續工作項目策略規劃	1. 手動更新施工現況於地圖後 進行人工策略規劃	1. 日報回饋轉入 Google Earth 後進行人工策略規劃 2. 日報回饋轉入 CLIPS 後進行自動策略規劃
4	排程變更作業	1. Excel 人工修改工作項目關係 2. 無更新工作項目工期預測	1. Excel 彙整工作項目之資源、功率、工期、優先順序後匯出至 MS Project 排程 2. 僅需更新水系優先順序即可



第五章 下水道工程排程系統

本研究將下水道排程之邏輯與操作工具組成一下水道工程排程系統(Sewer Construction Scheduling System, SCSS)，SCSS 由四種應用程式組成，分別為 Excel、Google Earth、CLIPS、MS Project，SCSS 是基於不確定因子的風險考量，如工作項目的工作量與資源的作業功率為非確定狀態，隨工程進展影響因子的明朗化，而不斷更新排程基本假設，使得排程系統能隨時更新保持符合實際狀態。

SCSS 之組成應用程式各自之功能為，(1)Excel，用來儲存、運算與轉換資料型式，為工程基本資料的處理中心；(2)Google Earth，用來展示、編輯下水道工程各人孔的地理分佈與執行狀態，亦可直接指定施工優先排序回饋至 Excel；(3)CLIPS，輸入人孔狀態的點位資訊運算分析目標排程，然後輸出孔位施工的優先排序建議；(4)MS Project，依給定資源與優先順序，推算作業時程與產出施工網圖，其資訊傳遞關係如圖 5.1。



圖 5.1 污水下水道施工排程應用軟體資訊傳遞關係圖

簡言之 SCSS 的四個組成單元為(1) Excel 資料處理單元，用來回饋與處理影響因子資訊，首先為工作量與功率的影響因子，因為工作量與功率直接影響工作項目工期，其次為施工進度與優先排序，此為施工排程更新之基本條件；(2) CLIPS

自動決策單元，此單元為利用電腦自動產生排序方案並經評估篩選，自動產生出一排序方案；(3) Google Earth 人工決策單元，此單元為利用地理資訊系統充分展示實際工程進展狀況，可供決策團隊了解現狀經討論後直接回饋排序方案；(4) MS Project 排程展示單元，此單元接收各工作項目之指派資源與優先順序後，依此計算時程與產出施工網圖，則 SCSS 的資料處理運作流程如圖 5.2。

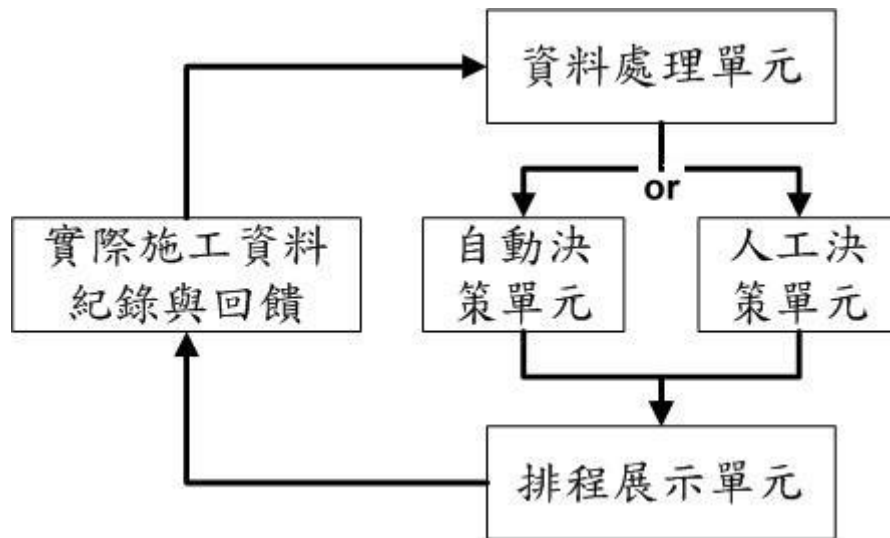


圖 5.2 SCSS 資料處理流程

接下來分別詳述各單元於污水下水道新建工程應用上的設定。

5.1 Excel 資料處理單元

Excel 在整個污水下水道新建工程專案管理中可視為一小型資料庫，他可以記錄整個下水道專案的孔位、水理資訊，包括人孔編號、工作井尺寸、推進管段高程、坡度、距離長度、人孔型式……等資訊，這些資料主要分成四類分別是工程控制資料、屬性資料、檢驗停留點日期、其他事項等(如表 5.1)，這些資料含括整個專案的品質、進度與成本之基礎資料。

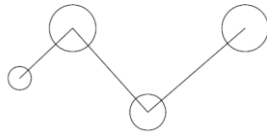
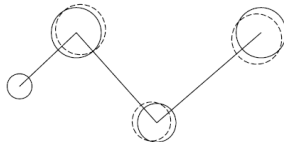
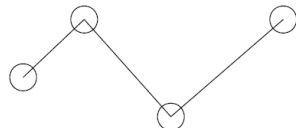
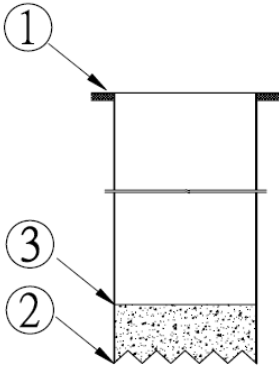
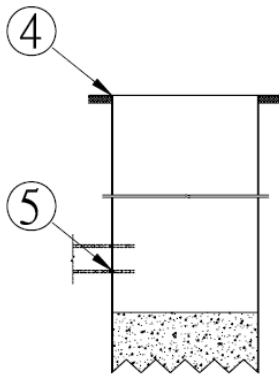
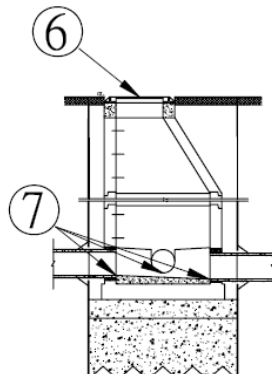
表 5.1 污水下水道工程資料類別

資料類別	工程控制資料		屬性資料		檢驗停留點日期 (活動進度)	其他事項 (日報回饋)
說明	品質控管		規格、位置、資源……等說明		進度控管	事件記錄
細項	推進距離	工作井路面中心距	工作井直徑		試挖完成	天氣
		工作井推進面中心距	接入型式		立坑完成	工期
		人孔中心距	人孔型式	1.2 短管數量	澆置完成	人員
		鋼環壁至鋼環壁		0.9 短管數量	推進開始	機具
		人孔內壁至內壁		0.6 短管數量	推進完成	勞工安全衛生事項
	推進坡度	0.3 短管數量		導槽完成	取樣試驗	
	立坑深	人孔型式	底座	CLSM 澆置完成	通知分包廠商事項	
	鋼環邊管底高程		大小頭	跌落設施完成	重要事項紀錄	
	人孔內壁管底高程		跌落設施	TV 檢視完成		
	地面高程		立坑土方量	漏水試驗完成		
			推進土方量			
			工作井位置			

一、工程控制資料

由於污水下水道多採重力流設計模式，所以其施工以坡度與高程來控制，而實務上由於經常要閃避地下管線所以工作井位置往往會作適當位移，因此於試挖後、工作井沉設後與人孔收集後須更新工程屬性資料(如表 5.2)，由於坡度與高程是施工管控的標準，所以在施工前必須準確的測量與回報，而且由於管線遷移必須透過多方管線單會勘，甚至多次試挖才會決定工作井施作位置，因此各工作井施作位置與管線推進距離是在工程進行中才陸續被確定，而在施工排程上推進施工的工期預估以推進距離除上推進功率求出，因此隨著推進距離的被確定，推進施工的工期預估也同步更新。

表 5.2 工程資料類別工程控制資料說明

時機		試挖後	工作井沉設後	人孔收築後
距離測量	圖例			
	說明	工作井確定位置後，路面中心點之相對距離 (L1)	工作井沉設完成後，推進面中心點之相對距離 (L2)	人孔收築完成後，人孔中心點之相對距離 (L3)
高程測量	圖例			
	說明	依 L1 與坡度推算工作井管底高程，測量 ①地面高程 ②開挖深度 ③大底完成面深度	依 L2 與坡度推算工作井管底高程，測量 ④鋼環頂高程 ⑤鋼環邊管底高程	依 L3 與坡度推算人孔管底高程，測量 ④框蓋邊高程 ⑤人孔內壁管底高程

二、屬性資料

屬性資料為每個施工位置或工作項目相關之規格、資源、施作條件等資料，例如編號 HBg0709 工作井需哪些單位配合管遷與需用日期、工作井沉設深度、經推進高程面的地質條件、或 HBg0709 這個工作井進行人孔收築時須採用哪些規格之預鑄人孔等。這些屬性資料是推算施工功率與實獲值的基本條件，例如地質條件與執行機組影響推進施工功率，推進距離影響計價計量結果。

三、檢驗停留點日期

在污水下水道中有幾個重要的施工檢驗停留點，如工作井沉設後高程檢測，

推進進入與到達口高程檢測、人孔 CLSM 澆置檢測等，這些檢驗停留點不僅檢查施工品質，也意味施工排程中某項工作項目完成且合核可，因此記錄這些檢驗停留點的完成日期，即完成工作項目實際進度回饋，也可依此配合屬性資料計算專案的 ACWP 或 BCWP (即 Actual Cost for Work Performed, ACWP; Budgeted Cost of Work Performed, BCWP)。

四、其他事項

其他事項為紀錄施工日報之各類資訊，例如天氣、人員、機具、材料、重要事項紀錄、檢試驗取樣紀錄、通知分包商事項……等，此部分結合屬性資料與檢驗停留點日期自動換算每日完成之契約項目，並計算實獲值(Earned Value)，即可產生每日的施工日誌。

在污水下水道工程中利用 Excel 整合資訊至施工排程上，除了工作項目的進度外，就是作業量與功率，由於污水下水道之每一處工作井施作位置的管線遷移，皆須會同各管線單位會勘協商管遷方案與時程，且工作井位置允許適當位移，甚至將兩處推進井和到達井對調，加上地質變化影響，致使污水下水道之施工工作項目之作業量與功率呈變動狀態，因此結合工程資訊回饋系統，可使工程後續的作業依工程進展逐漸明朗化，工期預估也更貼近實際，而回饋資訊與其對活動之影響對照如表 5.3，其為試挖後經各管線單位會勘決定工作井位置與管線遷移日程，則可得到較明確之等待管遷工期，而工作井施作位置確定後，可量測出推進距離並依水理計算出工作井沉設深度，此二項為工作井沉設與推進施工之作業量，而工作井尺寸、推進面地質與推進機組則是評估施工功率之依據。

表 5.3 工程資料與活動作業量、功率之影響因子對照表

工作項目 \ 資訊	工程控制資料	屬性資料
	作業量	功率
試挖管遷	—	配合管遷作業需用日期
工作井沉設	沉設深度	工作井尺寸
推進施工	推進距離	推進面地質、推進機組

5.2 CLIPS 自動決策單元

由於污水下水道工程屬於重複性工程，我們可以依重複排程法 RSM 或線性排程法 LSM 找到控制路徑與資源分配較優目標方程，然後我們可以在工程進行中的任一階段，利用 Excel 自動產生 CLIPS 的事實 Facts(如圖 5.3)，而這產生的 Facts 是依現況計算出資源功率、依現況風險評估預估活動前置作業期與作業工期等，將產生的 Facts 直接複製貼到程式碼的 deffacts work 即可進行排程目標的檢核運算，CLIPS 中可設定深度優先、廣度優先或隨機等模式依序挑出符合目標排程的作業作活動，然後將得出的依序工作項目結果匯入 Excel，進行排程資訊彙整與轉換再匯出至 MS Project。

	A	B	C	D	E	F	G	H	I	J	K	L
1			資源編號	1	2	3	4					
2			功率	2.4	2.7	2.7	2.3					
3			作業期	642	633	624	722					
4	計數 - 推進距											
5	水糸	<input checked="" type="checkbox"/>	合計	前置期	推進距離	資源	推進工期	Facts				優先序號
6	HB01	5	10	175.1	1	73	(WS "HB01" 1 10 73)		HB01		50	
7	HB04-1	4	10	129	1	54	(WS "HB04-1" 1 10 54)		HB08		49	
8	HB04-2	6	12	231.3	1	97	(WS "HB04-2" 1 12 97)		HB16		48	
9	HB04-3	6	12	220.1	1	92	(WS "HB04-3" 1 12 92)		HBd02		47	
10	HB04-4	7	13	212.4	1	89	(WS "HB04-4" 1 13 89)		HB09-1		46	
11	HB04-5	6	14	197.7	1	83	(WS "HB04-5" 1 14 83)		HB04-1		45	
12	HB04-6	5	10	146.2	1	61	(WS "HB04-6" 1 10 61)		HB17&HBg2		44	
13	HB04-7	4	4	125.9	1	53	(WS "HB04-7" 1 4 53)		HB10-1		43	
14	HB08	4	8	118.5	2	44	(WS "HB08" 2 8 44)		HBd0b&HBc		42	
15	HB09-1	4	5	113.1	2	42	(WS "HB09-1" 2 5 42)		HB04-2		41	
16	HB0a-2&HB05	3	4	94.3	1	40	(WS "HB0a-2&HB05" 1 4 40)		HBg07		40	
17	HB10-1	5	11	155.8	2	58	(WS "HB10-1" 2 11 58)		HB11-1		39	
18	HB11-1	4	8	141.3	2	53	(WS "HB11-1" 2 8 53)		HBg0g-1		38	
19	HB12&HBd0e	5	10	134.2	2	50	(WS "HB12&HBd0e" 2 10 50)		HBd10		37	
20	HB16	4	9	169.5	3	63	(WS "HB16" 3 9 63)		HB12&HBdC		36	
21	HB17&HBg25	5	10	164.6	3	61	(WS "HB17&HBg25" 3 10 61)		HB04-3		35	
22	HBc01&HBc03&HBc04	7	8	246.9	2	92	(WS "HBc01&HBc03&HBc04" 2 8 92)		HBc01&HBc		34	
23	HBc05&HBc0c&HBc06	6	8	172.7	2	64	(WS "HBc05&HBc0c&HBc06" 2 8 64)		HBc05-1		33	

圖 5.3 Excel 產生 Facts

在本研究案例中 CLIPS 之第一類 fact 定義為(WS ?SN ?R ?RD ?Q)，WS 為 fact 變數代號，?SN(System Name)為前文 WBS 分析後工作項目分組的水系代號，?R (Resource)為指派執行此一工作項目分組的推進機組代號，?RD (Reserve Duration)為執行此一工作項目分組的推進作業之所有前置作業的工期總合，?Q (Quantity)為此一工作項目分組可提供所分派之推進機組多少日的工作量，即為該工作項目分組的推進總長除以指派推進機組的施工功率。第二類 fact 定義為

(RD ?a1 ?a2 ?a3 ?a4)，RD 為 fact 變數代號，?a1～?a4 為第 1 組至第 4 組推進機組各自於目前作業分組水系的剩餘作業工期。

而 CLIPS 運算原則為以維持四組推進機組、一組試挖管遷機組、一組工作井沉設機組比例原則進行運算，CLIPS 會先挑選剩餘作業工期最少的工作面，再從該工作面挑選前置作業期小於另外三組工作面剩餘工期減 15 工作日之作業分組，減 15 日為假設本工作面前置作業完成後至少剩餘 15 工作日(約六處工作井沉設工期)，進行下一組工作面之前置作業。

本研究所撰寫之 CLIPS 程式為簡易篩選工作項目之程式，基於 4.3 節結論所推算之試挖管遷、工作井沉設與推進施工之資源需求設定，如果專案資源需求改變或應用於其他污水下水道專案，在推進施工上則須重新評推進機組需求組數修改 CLIPS 程式中的 RD fact 參數與增加或減少工作項目篩選迴圈，若為試挖管遷或工作井沉設資源需求改變，則直接於 Excel 改變功率設定換算相對應工期即可。而 WS fact 中的資源參數 R 可限定也可不限定，限定意味工作面有預設區塊，工作面之工作項目篩選會自原預定相同工作面中篩選；不限定意味工作面無預設區塊，工作面之工作項目篩選會由全區域篩選，選擇限定 R 則可避免工作面相互干擾增加交通維持障礙，但卻會減少工作項目篩選自由度有可能會造成符合排程目標檢核的工作項目組合方式減少。最後檢核其他三組工作面剩餘工期減 15 工作日之 15 日參數設定也可依需求改變而增減。

研究個案污水下水道施工排程之 CLIPS 自動決策單元程式如圖 5.4、圖 5.5 所示。

;本程式為推論優先施工解

;本程式使用了以下之述詞(predicate)

;(WaterSystem X1 X2 X3 X4)，X1 為水系代號，X2 為資源代號，X3 為前置作業期，X4 為供給量

```
(deffacts work
```

```
(WS "HB01" 1 30 71)
```

```
(WS "HB04-1" 1 23 52)
```

```
(WS "HB04-2" 1 23 93)
```

```
(WS "HB04-3" 1 27 89)
```

```
(WS "HB04-4" 1 35 85)
```

```
(WS "HB04-5" 1 31 80)
```

```
(WS "HB04-6" 1 15 59)
```

```
(WS "HB04-7" 1 15 51)
```

```
(WS "HB08" 2 18 40)
```

```
(WS "HB09-1" 2 17 38)
```

```
(WS "HB0a-2&HB05" 1 18 38)
```

```
(WS "HB10-1" 2 21 52)
```

```
(WS "HB11-1" 2 16 48)
```

```
(WS "HB12&HBd0e" 2 20 45)
```

```
(WS "HB16" 3 12 57)
```

```
(WS "HB17&HBg25" 3 19 55)
```

```
(WS "HBc01&HBc03&HBc04" 2 31 83)
```

```
.....
```

```
(RD 25 35 45 55))
```

→ 定義水系現況資料

```
(defrule +select1
```

```
?f9 <- (RD ?a1 ?a2 ?a3 ?a4)
```

```
(test (and (< ?a1 ?a2) (< ?a1 ?a3) (< ?a1 ?a4)))
```

```
?f1 <- (WS ?SN 1 ?RD ?Q)
```

```
(test (and (< ?RD (- ?a2 15)) (< ?RD (- ?a3 15)) (< ?RD (- ?a4 15))))
```

```
=>
```

```
(assert(select1 ?SN))
```

```
(printout t ?SN crlf)
```

```
(assert(RD (+ (- ?a1 ?RD) ?Q) (- ?a2 ?RD) (- ?a3 ?RD) (- ?a4 ?RD)))
```

```
(retract ?f1)
```

```
(retract ?f9))
```

```

(defrule +select2
?f9 <- (RD ?a2 ?a1 ?a3 ?a4)
(test (and (< ?a1 ?a2) (< ?a1 ?a3) (< ?a1 ?a4)))
?f1 <- (WS ?SN 2 ?RD ?Q)
(test (and (< ?RD (- ?a2 15)) (< ?RD (- ?a3 15)) (< ?RD (- ?a4 15))))
=>
(retract ?f1)
(retract ?f9)
(assert(select2 ?SN))
(printout t ?SN crlf)
(assert(RD (- ?a2 ?RD) (+ (- ?a1 ?RD) ?Q) (- ?a3 ?RD) (- ?a4 ?RD))))

(defrule +select3
?f9 <- (RD ?a3 ?a2 ?a1 ?a4)
(test (and (< ?a1 ?a2) (< ?a1 ?a3) (< ?a1 ?a4)))
?f1 <- (WS ?SN 3 ?RD ?Q)
(test (and (< ?RD (- ?a2 15)) (< ?RD (- ?a3 15)) (< ?RD (- ?a4 15))))
=>
(retract ?f1)
(retract ?f9)
(assert(select3 ?SN))
(printout t ?SN crlf)
(assert(RD (- ?a3 ?RD) (- ?a2 ?RD) (+ (- ?a1 ?RD) ?Q) (- ?a4 ?RD))))

(defrule +select4
?f9 <- (RD ?a4 ?a2 ?a3 ?a1)
(test (and (< ?a1 ?a2) (< ?a1 ?a3) (< ?a1 ?a4)))
?f1 <- (WS ?SN 4 ?RD ?Q)
(test (and (< ?RD (- ?a2 15)) (< ?RD (- ?a3 15)) (< ?RD (- ?a4 15))))
=>
(retract ?f1)
(retract ?f9)
(assert(select4 ?SN))
(printout t ?SN crlf)
(assert(RD (- ?a4 ?RD) (- ?a2 ?RD) (- ?a3 ?RD) (+ (- ?a1 ?RD) ?Q))))

```

圖 5.4 CLIPS 排程策略程式案例

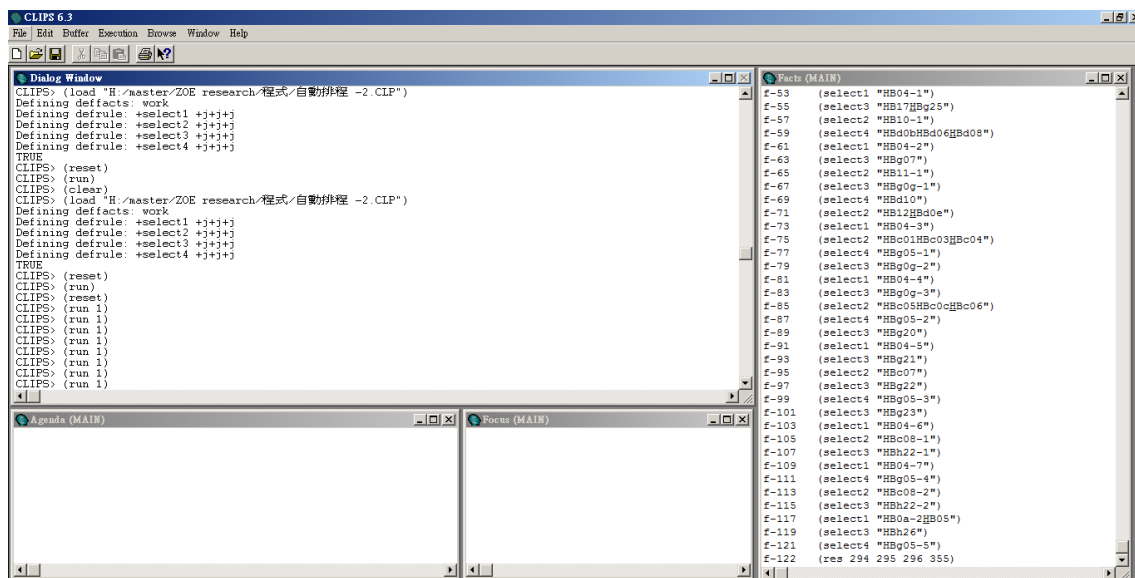


圖 5.5 CLIPS 操作畫面與執行結果

5.3 Google Earth 人工決策單元

Google Earth 的點位資訊包括經緯度、地址、名稱、描述、代表圖形等，在點位資料的處理上可以用 Excel 建立，再將這些資訊轉換成 KML 檔案匯入 Google Earth，轉換的工具可參閱 Google 文件裡的地圖小工具、或中研院 Web GIS 網站 <http://www.earthpoint.us/ExcelToKml.aspx>。

在 Google Earth 的介面上，我們可以直接在其界面上操作改變人孔的代表圖形(Icon)、直接編輯工作井點位的狀態及屬性，例如我們可以指定不同的顏色代表不同的施工單元進度，可以在說明欄中註記使用資源與優先順序等資訊，因此透過地圖與圖標顏色的視覺化進度呈現，我們可以輕易的掌控污水下水道工程施工進度與現況，因此不論是決策成員或協同管線遷移之外單位成員，皆可透過 Google Earth 介面進行有效率的溝通，然後得到後續工作項目的優先順序並直接將優先順序直接輸入 Google Earth 屬性，再將屬性資訊儲存後回饋至 Excel，可進一步分析管控工程執行狀況，操作畫面如圖 5.6。

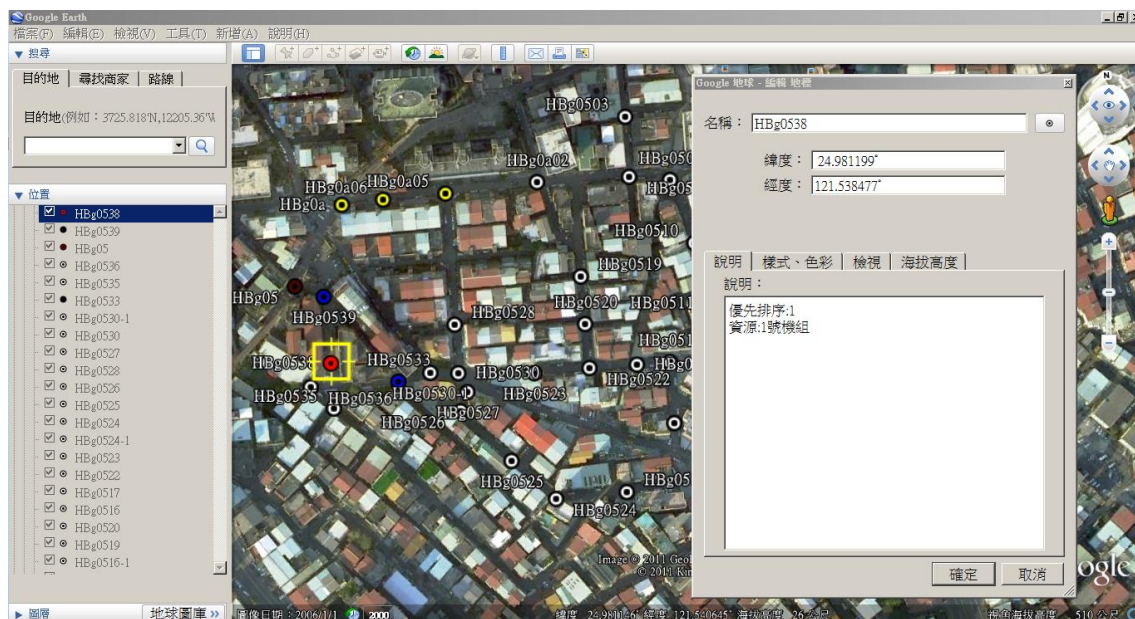


圖 5.6 Google Earth 操作介面圖

在 Google Earth 由人工直接輸入點位資訊並指定其施工順序後，我們可以將點位資訊可存成 kml 檔，然後直接由 Excel 開啟，Excel 會以 xml 表格資料型態展開如圖 5.7，kml 中的每個屬性標籤資料分行條列出，因此我們可以輕易地擷取在 Google Earth 上指定點位的優先順序或顏色屬性，再由 Excel 解析轉換成相對應的排程資訊，然後後再匯入 Project 排程。

	ns1:name6	ns1:description	ns2:altitudeMode7	ns1:longitude8	ns1:latitude9	ns1:altitude10	ns1:heading11	ns1:tilt12
35	HBg0538	優先排序:1 資源:1號機組	relativeToSeaFloor	121.5386981	24.98117596	0	5.233344685	0
36	HBg0539	優先排序:2 資源:1號機組	relativeToSeaFloor	121.5386981	24.98117596	0	5.233344685	0
37	HBg05	優先排序:1 資源:1號機組	relativeToSeaFloor	121.5384943	24.98114789	0	5.233258637	0
38	HBg0536	優先排序:3 資源:1號機組	relativeToSeaFloor	121.5386981	24.98117596	0	5.233344685	0
39	HBg0535	優先排序:4 資源:1號機組	relativeToSeaFloor	121.5386981	24.98117596	0	5.233344685	0
40	HBg0533	優先排序:5 資源:1號機組	relativeToSeaFloor	121.5386981	24.98117596	0	5.233344685	0
41	HBg0530-1	優先排序:6 資源:1號機組	relativeToSeaFloor	121.5386981	24.98117596	0	5.233344685	0
42	HBg0530	優先排序:7 資源:1號機組	relativeToSeaFloor	121.5386981	24.98117596	0	5.233344685	0
43	HBg0527	優先排序:8 資源:1號機組	relativeToSeaFloor	121.5386981	24.98117596	0	5.233344685	0
44	HBg0528	優先排序:9 資源:1號機組	relativeToSeaFloor	121.5386981	24.98117596	0	5.233344685	0

圖 5.7 Excel 開啟 kml 檔案資料型態

5.4 MS Project 排程展示單元

在 MS Project 中工作項目依水系、街道與作業量分組，是為父層作業工項，而子層之項目則為實際執行的各項工作項目，為簡化排程運算其 SCSS 之決策單元僅決策父層工作項目之作業順序，而子層則依原預定相對順序排序，因此透過 Excel 資料處理將父層工作項目優先順序匯入，然後藉 MS Project 的資源撫平功能，將各工作項目依資源與優先排序推算作業時程，即產生新的施工進度甘特圖。

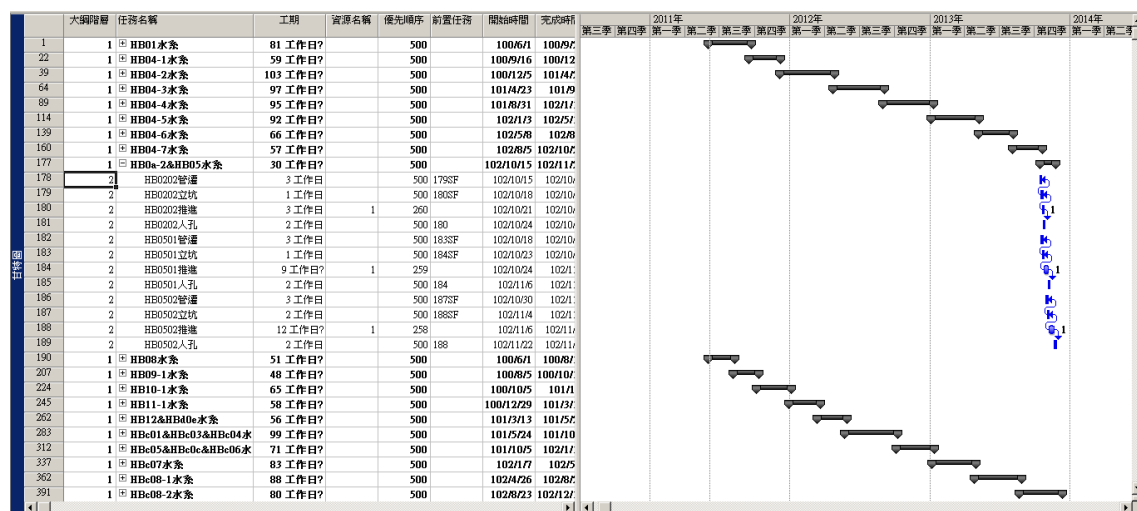


圖 5.8 MS Project 排程案例

第六章 結論與建議

6.1 研究成果

本研究對於國內屢遭變更進度的下水道工程，首先提出以綜觀影響整體進度風險的思維角度，來檢視工程專案中的工作項目，從中我們可以得到對專案之成本進度有高度影響的作業、資源與風險，進而以此將低影響的變異加以限制或忽略其排程組合變化，如此不僅可以簡化重複性工程排程問題亦能切中管理要害。

至於工程中不可預期或變化極大的排程基本條件，如下水道的每一施工管段距離、地質條件、管遷日期……等，本研究捨棄以往用複雜的預測排程模型，改以時異動基礎資訊動態更新排程的方式來控管，如此方能對變異的基本條件作即時且適當的預測及應變，工程成本進度管控才不致失真失控。

因此從排序組合公式
$$\left[n! \times \left(\sum_{k=1}^n \frac{(n-1)!}{(n-k)!(k-1)!} \right) \right]^r$$
 我們了解對於簡化排程有三大方向分別是，(1)關鍵工項(r)、(2)排序變異影響(n!)與(3)工作面展開

$$\sum_{k=1}^n \frac{(n-1)!}{(n-k)!(k-1)!}$$
，而這三大方向從工程本質去追求最適工期、最佳成本之目標，其簡化與執行方法如下：

一、 關鍵工項

找出施工單元內工期、成本、風險最高的工項，以他作為排程目標，其於子工項則維持與關鍵工項的固定作業邏輯關係，依循關鍵工項排程推算相對時程。

二、 排序變異影響

辨別排序變異對於工程的影響究竟是數學邏輯上的改變，還是會對工期、成本有本質上的改變，而此一變異影響分析的過程可能會改變專案的 WBS 結構，因此這個步驟是排程分析中最複雜的部分，但是卻對工程專案排程的問題盲點釐清和簡化排程有最大的幫助。

三、 工作面展開

雖然這一部分組合公式看起來最複雜但是卻很容易簡化，因為對於資源需求我們總是希望其穩定、持續的供給，這樣才會符合最佳成本的目標，資源供給的數量也就是工作面開展的數量，因此工作數量往往是固定或變化很小的，多數情況下工作面展開組合數大可簡化為 1，除非進度落後或其他外力影響，我們才會考慮變動工作面數量。

6.2 個案之施工排程建議

透過研究個案案例研究對於在下水道新建工程的排程分析有下列幾項建議：

一、 納入軟邏輯排程

施工網圖為施工廠商提送監造審查業主核可，現地據以施工之文件，其作業邏輯應符合實際狀況，方可保障甲乙雙方之權利義務。

二、 捨棄箭線式網圖

由於市面普遍使用的排程應用程式沒有支援箭線式網圖輸出，為求自動化作業與避免人工疏漏，建議採用排程應用程式可支援輸出的節點式邏輯網圖，或甘特圖來控管專案。

三、 以推進機組資源區分工作面

推進機組為下水道工程成本最高的資源，也是工程進度推展的關鍵工項，所以應以現地執行施工的推進機組數量，來代表工作面數量，而地理空間僅需維持交通運輸暢通即可。

四、 以推進施工為關鍵工項進行排程

施工排程時指定推進施工之作業資源與優先順序，其他施工單元內作業工項維持與推進施工之固定作業邏輯，進行排程時僅須對推進施工作資源撫平即可，而脫序作業發生時則修改其作業優先順序與使用資源然後重新資源撫平。

五、 以水系、路段區分工作群組

為配合推進施工著重於水系高程控制以符合水理的工程屬性，以及減少施工

機具中遠距離搬運次數，建議以水系、路段區分工作群組，不但可以達到上述兩項要求，也可達到簡化施工排程和減少空間衝突的風險。

六、脫序作業時檢核推進施工之前置作業時間是否足夠

由於推進施工作業工期差異極大，所以變異作業順序時需小心檢核前置作業時間是否足夠，否則可能會造成成推進施工發生等工的風險。

6.3 其他重複性工程排程建議

針對不同類型的工程，未來可建立成本結構與風險結構資料庫，以助於針對不同類型的重複性工程產生不同排程模型或樣板，而這些樣版可整合專家系統、排程系統或者專案管理系統等進行自動化管理，然後依本研究之(1)由風險角度檢視施工排程各項影響因子、(2)動態更新工程現況，來進行排程如此我們才可精準地管控工程專案的成本、進度與風險。



參考文獻

- Adeli, H., and A. Karim, (1997). "Scheduling/Cost Optimization and Neural Dynamics Model for Construction." Journal of Construction Engineering and Management **123**(4): 450-458.
- Ammar, M. A., and E. Elbeltagi, (2001). "Algorithm for Determining Controlling Path Considering Resource Continuity." Journal of Computing in Civil Engineering **15**(4): 292-298.
- Dzeng, R. J., H. P. Tserng, and W. C. Wang, (2005). "Automating schedule review for expressway construction." Journal of Construction Engineering and Management-Asce **131**(1): 127-136.
- Edmund, N., J. Chrzanowski, and D. W. Johnston, (1986). "Application of Linear Scheduling." Journal of Construction Engineering and Management **112**(4): 476-491.
- Edwards, P. J. and P. A. Bowen, (1998). "Risk and risk management in construction: a review and future directions for research." Engineering Construction and Architectural Management **5**(4): 339-349.
- Fan, S. L. and H. P. Tserng, (2006). "Object-oriented scheduling for repetitive projects with soft logics." Asce- Journal of Construction Engineering and Management **132**(1): 35-48.
- Gonzalez, V., L. F. Alarcon, S. Maturana, F. Mundaca, and J. Bustamante, (2010). "Improving Planning Reliability and Project Performance Using the Reliable Commitment Model." Asce- Journal of Construction Engineering and Management **136**(10): 1129-1139.
- Harris, R. B. and P. G. Ioannou, (1998). "Scheduling Projects with Repeating Activities." Journal of Construction Engineering and Management **124**(4):

269-278.

- Hassanein, A. and O. Moselhi, (2004). "Planning and scheduling highway construction." Asce- Journal of Construction Engineering and Management **130**(5): 638-646.
- Hong, T., K. Cho, and C. Hyun, (2010). "Integrated Schedule and Cost Model for Repetitive Construction Process." Journal of Management in Engineering **26**(2): 78-88.
- Huang, R.-y., and K.-S. Sun, (2009). "A GA optimization model for workgroup-based repetitive scheduling (WoRSM)." Advances in Engineering Software **40**(3): 212-228.
- Hyari, K. H., K. El-Rayes, and Mohammad El-Mashaleh, (2009). "Automated trade-off between time and cost in planning repetitive construction projects." Construction Management and Economics **27**(8): 749 - 761.
- Ibbs, W., and L. D. Nguyen, (2008). "FLORA: New forensic schedule analysis technique." Asce- Journal of Construction Engineering and Management **134**(7): 483-491.
- Ipsilandis, P. G., (2007). "Multiobjective linear programming model for scheduling linear repetitive projects." Asce- Journal of Construction Engineering and Management **133**(6): 417-424.
- Long, L. D., and A. Ohsato, (2008). "Fuzzy critical chain method for project scheduling under resource constraints and uncertainty." International Journal of Project Management **26**(6): 688-698.
- Maravas, A., and J. P. Pantouvakis, (2010). "A Fuzzy Repetitive Scheduling Method for Projects with Repeating Activities." Journal of Construction Engineering and Management
- Mattila, K. G., and A. Park, (2003). "Comparison of Linear Scheduling Model and

- Repetitive Scheduling Method." Journal of Construction Engineering and Management **129**(1): 56-64.
- Suhail, S. A., and R. H. Neale, (1994). "Cpm/Lob - New Methodology to Integrate Cpm and Line of Balance." Asce- Journal of Construction Engineering and Management **120**(3): 667-684.
- Tah, J. H. M., and V. Carr, (2001). "Knowledge-based approach to construction project risk management." Journal of Computing in Civil Engineering **15**(3): 170-177.
- Tamimi, S., and J. Diekmann, (1988). "Soft Logic in Network Analysis." Journal of Computing in Civil Engineering **2**(3): 289-300.
- Wang, C.-H., and M.-C. Wu, (1998). "A multistage recursive algorithm for scheduling repetitive construction projects." Journal of Chinese Institute of Civil and Hydraulic Engineering **10**(1): 17-30.
- Warner, F., (1993). "Risk Analysis, Perception and Management - Royal-Soc-Grp." Interdisciplinary Science Reviews **18**(4): 397-397.
- 何霖(譯) K. Heldman(著) (2008). "PMP 專案管理認證指南 第四版." 基峰資訊股份有限公司.
- 呂守陞, 官良民, 歐陽偉, (2007). "污水下水道工程推進工法評估模式之研究." 中華技術.
- 倪至寬 (2005). "衛生下水道施工與標準作業程序(上)" 詹氏書局.
- 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." 國立中央大學博士論文.
- 廖碧雲 (2006). "影響污水下水道管線工程工期因素與成本結構之分析." 中華大學碩士論文.
- 蘇文哲 (2005). "應用 MS Project 於污水下水道專案管理-以台南市污水下水道管網工程為例." 國立成功大學碩士論文.

附錄一、工作井沉設作業天數統計表

工作井編號	尺寸	深度	作業天數
HB0103	2230	4.67	1
HB0105	2090	5.138	1
HB0106	2230	5.595	2
HB0109	2090	7.897	2
HB0110	2230	8.496	2
HB0202	2090	1.3	1
HB0802	2090	4.791	1
HB0803	2230	5.82	2
HB0804	2090	7.452	2
HB0805	2230	8.005	2
HB1009	2090	4.83	1
HB1010	2230	5.171	1
HB1012	2090	5.184	1
HB1013	2230	5.843	2
HB1108	2230	5.06	2
HB1109	2090	5.771	2
HB1110	2230	7.163	3
HB1111	2090	7.709	4
HB1112	2230	8.181	2
HB1201	2090	4.933	2
HB1202	2230	5.538	2
HB1203	2090	7.237	2
HB1204	2230	8.196	7
HB1206	2090	5.511	1
HB1207	2230	5.852	2
HB1208	2090	7.319	2
HB1210	2230	7.994	4
HB1806	2230	4.716	1
HBb0a	2090	9.404	2
HBb0a01	2230	4.741	1
HBb0b	2090	9.822	2
HBb0b02	2230	4.887	1
HBb10	2230	8.962	1

工作井編號	尺寸	深度	作業天數
HBb1001	2090	4.408	2
HBb1002	2230	4.642	1
HBb1003	2090	4.955	1
HBb1005	2230	5.359	2
HBb1007	2090	7.152	1
HBb1008	2230	7.55	5
HBb1009	2090	7.824	1
HBb1011	2090	4.638	1
HBb1013	2090	4.82	1
HBb1014	2230	7.854	3
HBb1015	2230	7.851	2
HBb1016	2090	7.938	3
HBb1017	2090	4.848	2
HBb1018	2090	4.728	1
HBb1019	2230	7.944	3
HBb1020	2090	8.552	3
HBb1024	2090	4.66	1
HBb1025	2230	8.86	3
HBb1026	2090	9.194	2
HBb1028	2090	4.624	2
HBb1029	2090	4.909	1
HBb1030	2230	9.38	2
HBb1032	2230	4.622	2
HBb1033	2090	5.41	2
HBb1034	2230	5.768	2
HBb1036	2090	7.112	2
HBb1039	2230	9.468	2
HBb1040	2090	9.462	2
HBb1041	2230	4.953	1
HBb1042	2090	4.79	2
HBb12	2230	9.527	2
HBb13	2230	10.01	3
HBc0702	2090	4.482	1

工作井編號	尺寸	深度	作業天數
HBc0703	2230	5.266	1
HBc0704	2090	4.035	1
HBc0705	2230	4.288	1
HBc0706	2090	4.993	1
HBc0707	2230	7.169	1
HBc0b01	2090	4.1	2
HBc0b02	2230	5.04	2
HBc0b04	2090	5.06	1
HBc0b05	2230	5.815	3
HBd0205	2230	4.674	2
HBd0210	2230	5.671	2
HBd0601	2230	4.896	2
HBd0602	2090	5.448	2
HBd0603	2230	5.686	3
HBd0801	2090	5.62	1
HBd0803	2230	7.415	3
HBd0b02	2230	3.851	2
HBd1001	2090	4.775	2
HBd1002	2230	5.24	2
HBd1004	2090	7.059	2
HBd1006	2230	7.481	2
HBg0501	2090	5.028	2
HBg0503	2230	4.578	1
HBg0505	2090	5.154	1
HBg0506	2230	5.832	1
HBg0508	2090	4.891	2
HBg0509	2230	5.154	1
HBg0510	2090	7.379	2
HBg0511	2230	7.512	2
HBg0513	2230	4.693	1
HBg0515	2090	7.75	1
HBg0516	2230	7.945	2
HBg0516-1	2090	4.82	2

工作井編號	尺寸	深度	作業天數
HBg0517	2090	8.041	2
HBg0519	2230	4.523	2
HBg0520	2090	5.155	2
HBg0522	2230	8.266	4
HBg0523	2090	8.319	1
HBg0524	2090	4.97	1
HBg0524-1	2230	4.472	1
HBg0525	2230	5.512	1
HBg0526	2090	7.018	1
HBg0527	2230	5.856	1
HBg0528	2090	4.615	1
HBg0530	2230	7.819	3
HBg0530-1	2090	8.187	1
HBg0533	2230	8.527	2
HBg0534	2090	9.028	2
HBg0535	2090	4.837	1
HBg0536	2230	5.143	1
HBg0538	2090	5.355	1
HBg0539	2230	9.178	4
HBg0701	2090	5.082	1
HBg0702	2230	5.378	1
HBg0704	2090	5.957	2
HBg0705	2230	7.383	2

工作井編號	尺寸	深度	作業天數
HBg0708	2230	8.885	6
HBg0708-1	2090	9.539	4
HBg0709	2230	1.3	4
HBg0a02	2230	4.877	1
HBg0a05	2090	5.392	2
HBg0a06	2230	5.613	2
HBg0d	2230	8.059	2
HBg0d01	2090	4.927	3
HBg0d02	2230	5.234	2
HBg0d04	2090	5.838	2
HBg0d05	2230	7.599	2
HBg0e	2090	8.408	6
HBg0f	2230	9.011	3
HBg14	2090	8.255	5
HBg1401	2090	5.41	2
HBg1402	2230	5.679	1
HBg15	2230	8.409	2
HBg16	2230	8.878	3
HBg17	2090	8.935	6
HBg18	2090	9.151	1
HBg19	2230	9.49	2
HBg2001	2090	4.708	3
HBg2002	2230	5.126	2

工作井編號	尺寸	深度	作業天數
HBg2005	2090	5.572	2
HBg2007	2230	7.115	1
HBg2101	2090	4.499	1
HBg2102	2230	4.882	2
HBg2103	2090	5.226	3
HBg2104	2230	5.884	3
HBg2202	2230	4.839	2
HBg2301	2090	4.715	1
HBg2302	2230	5.203	1
HBg2303	2090	5.888	2
HBg2304	2230	7.454	3
HBh2202	2090	4.582	1
HBh2204	2230	5.035	2
HBh2205	2090	5.185	3
HBh2207	2230	5.679	1
HBh2208	2090	5.958	4
HBh2210	2230	5.905	3
HBh2212	2230	8.45	4
HBh2213	2090	8.603	6
HBh2214	2230	7.925	3
HBh2215	2090	5.839	3

工作井深度最小值：1.3m

工作井深度最大值：10.01m

工作井作業天數		1	2	3	4	5	6	7
個數統計	2090	33	33	7	3	1	3	
	2230	25	38	15	5	1	1	1

附錄二、推進施工作業天數統計表

推進段	推進長度	最大日進量	作業天數	平均日進量
HB0103-HB0105	38.8	11	5	7.8
HB0106-HB0105	39.8	13	5	8
HB0106-HB0109	34.2	13.2	5	6.8
HB0110-HB0109	40.7	14	5	8.1
HB0110-HB01	21.7	7	4	5.4
HB0202-HB0a-2	47.8	10	9	5.3
HB0502-HB0501	20	10	9	2.2
HB0502-HB05	26.5	5	42	0.6
HB0803-HB0802	20.8	9.8	3	6.9
HB0803-HB0804	34.4	8	6	5.7
HB0805-HB0804	33.5	10	5	6.7
HB0805-HB08	29.8	12	10	3
HB1010-HB1009	20.8	12	3	6.9
HB1010-HB1012	25.6	10	3	8.5
HB1013-HB1012	38.7	15	4	9.7
HB1013-HB09-1	28	13	3	9.3
HB1109-HB1110	7	4	2	3.5
HB1202-HB1201	45.8	6	36	1.3
HB1202-HB1203	31	7	8	3.9
HB1204-HB11-1	15.1	5	5	3
HB1207-HB1206	23.3	8	8	2.9
HB1207-HB1208	25.9	11	3	8.6
HB1210-HB1208	34.1	9	7	4.9
HB1210-HB12	32.4	9.4	5	6.5
HB1702-HB1701	48	11	6	8
HB1702-HB1703	46	8	11	4.2
HB1704-HB1703	13	6	3	4.3
HB1704-HB17	30	14	4	7.5
HB1806-HBg25	25.1	6	8	3.1
HBb1014-HBb1013	42.7	16	4	10.7
HBb1014-HBb1011	30.6	10	4	7.7
HBb1019-HBb1017	41.4	12.4	9	4.6
HBb1019-HBb1018	49.9	16	5	10

推進段	推進長度	最大日進量	作業天數	平均日進量
HBb1025-HBb1024	35.5	10.5	5	7.1
HBb1030-HBb1028	22.5	15	3	7.5
HBb1030-HBb1029	36	19	3	12
HBb1032-HBb1033	44.8	8	12	3.7
HBb1034-HBb1033	27.8	10	7	4
HBb1034-HBb1036	35.3	7	16	2.2
HBb1039-HBb1036	50	12	12	4.2
HBb1041-HBb1042	39.1	9	9	4.3
HBb10-HBb1042	36.1	11	9	4
HBb0a01-HBb0a	42.2	14	4	10.6
HBb0b02-HBb0b	21	7	4	5.3
HBb1002-HBb1001	37.9	18.9	4	9.5
HBb1002-HBb1003	22.8	10	3	7.6
HBb1005-HBb1003	26.8	11.8	4	6.7
HBb1005-HBb1007	38.4	12	4	9.6
HBb1008-HBb1007	27.3	14	4	6.8
HBb1008-HBb1009	21	11	2	10.5
HBb1014-HBb1009	24.6	12.6	2	12.3
HBb1014-HBb1015	20.6	20.6	1	20.6
HBb1015-HBb1016	39.1	12	4	9.8
HBb1019-HBb1016	22.2	20.2	2	11.1
HBb1019-HBb1020	24.5	10	3	8.2
HBb1025-HBb1020	40	15	5	8
HBb1025-HBb1026	31.7	12	4	7.9
HBb1030-HBb1026	48.9	13	6	8.2
HBb1039-HBb1030	33.1	8	13	2.5
HBb1039-HBb1040	29.1	13	4	7.3
HBb10-HBb1040	29.6	12	3	9.9
HBb10-HBb0a	51.1	10	8	6.4
HBb12-HBb0a	33.2	10.2	5	6.6
HBb12-HBb0b	23.8	6	6	4
HBb13-HBb0b	29.3	7	8	3.7
HBb13-HB04	54.9	12	6	9.2

推進段	推進 長度	最大 日進 量	作業 天數	平均 日進 量
HBc0104-HBc0102	52.4	13.4	7	7.5
HBc0104-HBc01	10	7	2	5
HBc0302-HBc0301	28.5	11	8	3.6
HBc0302-HBc03	28.5	10	6	4.8
HBc0402-HBc0401	46	12	12	3.8
HBc0402-HBc04	48	12	8	6
HBc0b02-HBc0b01	27.5	7	17	1.6
HBc0b02-HBc0b04	10	6	2	5
HBc0b05-HBc0b04	32.8	12.8	13	2.5
HBc0b05-HBc05	37.9	9.9	6	6.3
HBc0703-HBc0702	43	11	7	6.1
HBc0703-HBc0706	16	7	6	2.7
HBc0705-HBc0704	29.5	17	3	9.8
HBc0705-HBc0706	31.5	16	5	6.3
HBc0707-HBc0706	36	12	12	3
HBc0707-HBc07	51	12	8	6.4
HBd0205-HBd0208	41	10	6	6.8
HBd0207-HBd0208	34.5	11.5	4	8.6
HBd0210-HBd0208	32.5	10	4	8.1
HBd0210-HBd02	39.5	12	5	7.9
HBd0211-HBd02	26	15	4	6.5
HBd0b02-HBd0b	44	11	6	7.3
HBd0601-HBd0602	36	8	9	4
HBd0603-HBd0602	17.5	12	2	8.8
HBd0603-HBd06	45	17	4	11.3
HBd0803-HBd0801	37.5	11	7	5.4
HBd0803-HBd08	26.5	18.5	2	13.3
HBd1002-HBd1001	44.7	11	11	4.1
HBd1002-HBd1004	50.3	11	15	3.4
HBd1006-HBd1004	18.1	9	3	6
HBd1006-HBd10	57.2	13	8	7.2
HBg0a02-HBg0a05	47	12	6	7.8
HBg0a06-HBg0a05	28	12	3	9.3
HBg0a06-HBg0a	36.5	5	14	2.6
HBg0509-HBg0508	23.8	12	2	11.9

推進段	推進 長度	最大 日進 量	作業 天數	平均 日進 量
HBg0509-HBg0510	22.8	12.8	3	7.6
HBg0513-HBg0515	53.7	15	6	9
HBg0516-HBg0516-1	41.6	11	6	6.9
HBg0519-HBg0520	41.5	13	5	8.3
HBg0520-HBg0522	32.5	14.5	4	8.1
HBg0524-1-HBg0524	39.5	16.5	4	9.9
HBg0525-HBg0524	34.5	19.5	3	11.5
HBg0525-HBg0526	37.5	11.5	5	7.5
HBg0527-HBg0526	10.5	8.5	2	5.3
HBg0527-HBg0530-1	25	11	3	8.3
HBg0530-HBg0528	45.8	13	6	7.6
HBg0536-HBg0535	28.5	17.5	4	7.1
HBg0536-HBg0538	19.5	11.5	2	9.8
HBg0539-HBg0538	42.1	12	5	8.4
HBg0506-HBg0501	44.8	17	4	11.2
HBg0503-HBg0505	40.8	14	5	8.2
HBg0506-HBg0505	20.8	10	3	6.9
HBg0506-HBg0510	38.7	20.7	3	12.9
HBg0511-HBg0510	34.7	20	3	11.6
HBg0511-HBg0515	37	23	3	12.3
HBg0516-HBg0515	31.5	11.5	3	10.5
HBg0516-HBg0517	29.5	9	4	7.4
HBg0522-HBg0517	17	9	2	8.5
HBg0522-HBg0523	41.5	11	5	8.3
HBg0530-HBg0523	37	9	5	7.4
HBg0530-HBg0530-1	18.5	7	3	6.2
HBg0533-HBg0530-1	14.5	6	3	4.8
HBg0533-HBg0534	41.6	9	7	5.9
HBg0539-HBg0534	29.4	9	5	5.9
HBg0539-HBg05	16	12	2	8
HBg0701-HBg0702	13.9	10	2	7
HBg0704-HBg0702	29.5	9	4	7.4
HBg0704-HBg0705	25.7	16	3	8.6
HBg0706-HBg07	48.2	10.2	10	4.8
HBg2002-HBg2001	25.4	10	4	6.4

推進段	推進 長度	最大 日進 量	作業 天數	平均 日進 量
HBg2002-HBg2005	32.9	8	14	2.4
HBg2005-HBg2007	39.5	9	7	5.6
HBg2007-HBg0g	13.4	8	2	6.7
HBg0d01-HBg0d02	20.6	10	3	6.9
HBg0d04-HBg0d02	42.2	7	7	6
HBg0d04-HBg0d05	38	11	8	4.8
HBg0d-HBg0d05	22.6	14	3	7.5
HBg1402-HBg1401	17	10	3	5.7
HBg1402-HBg14	14.5	8	2	7.3
HBg0d-HBg14	34.5	11.5	5	6.9
HBg15-HBg14	33	10	7	4.7
HBg15-HBg0e	22	12	4	5.5
HBg16-HBg0e	50	10	15	3.3
HBg16-HBg17	47	12	7	6.7
HBg0f-HBg17	20.5	10	3	6.8
HBg0f-HBg18	35.5	10	5	7.1
HBg19-HBg18	36	10	6	6
HBg19-HBg0g	39	10	5	7.8
HBg2102-HBg2101	27	8	5	5.4
HBg2102-HBg2103	28	10	7	4
HBg2104-HBg2103	41.1	9	21	2
HBg2104-HBg21	21.7	8	4	5.4
HBg2202-HBg22	53.2	10	11	4.8
HBg2302-HBg2301	30.3	10	5	6.1
HBg2302-HBg2303	31.6	6	21	1.5
HBg2304-HBg2303	23.7	7	6	4
HBg2304-HBg23	20.3	9	8	2.5
HBh2207-HBh2208	21.3	10	5	4.3
HBh2208-HBh2210	25.5	12	3	8.5
HBh2210-HBh2215	24.5	11	18	1.4
HBh2215-HBh2214	39.7	11	8	5
HBg0708-HBg0708-1	41.4	9	8	5.2
HBg0708-1-HBg0709	38.4	13	6	6.4
HBg0709-HBg07	12.7	8	2	6.4