

國立交通大學

土木工程學系
碩士論文

營建業多能外籍勞工指派最適化

Assignment optimization of multiskilled foreign labor for construction
industry.



研究生：姜辰

指導教授：曾仁杰 博士

中華民國九十五年六月

營建業多能外籍勞工指派最適化

Assignment optimization of multiskilled foreign labor for construction
industry.

研究生：姜辰

Student : Chen Chiang

指導教授：曾仁杰

Advisor : Ren-Jye Dzung

國立交通大學

土木工程學系

碩士論文

A Thesis

Submitted to Department of Civil Engineering

College of Engineering

National Chiao Tung University

in partial Fulfillment of the Requirements

for the Degree of

Master

In

Civil Engineering

June 2006

Hsinchu, Taiwan, Republic of China

中華民國九十五年六月

國立交通大學

論文口試委員會審定書

本校 土木工程 學系碩士班 姜辰 君

所提論文：營建業多能外籍勞工指派最適化

Assignment optimization of multiskilled foreign labor for construction industry.

合於碩士資格標準、業經本委員會評審認可。

口試委員：王維志 教授 王維志
黃世昌 教授 黃世昌
楊智斌 教授 楊智斌
楊亦東 教授 楊亦東
曾仁杰 教授 曾仁杰

指導教授：曾仁杰 教授 曾仁杰

系主任：張良正 教授

中華民國 九十五年 七月 三日

營建業多能外籍勞工指派最適化

研究生：姜辰

指導教授：曾仁杰 博士

國立交通大學土木工程學系（研究所）碩士班

摘要

面對外勞技術能力的不一致性，管理者通常以直覺或印象來評估每位外籍勞工的能力特質，並根據其技術特性進行指派工作。然隨著工作面與同步作業的增加，具有某些專長的外勞將可能成為限制性資源；某部份的外勞卻因不太擅長該作業或缺乏該作業專長而產生閒置。管理者在面臨外籍勞工與本地技術工工資的差異與趕工加班所招致之額外成本，甚至須考量工作彈性調度的結果所造成之生產力折減，當各項限制條件複雜時，管理者將對於外籍勞工指派及外聘本地技術工人數之模式難以果斷且明確地決策，導致工程人力成本無法有效控制。很明顯地，在分派外勞人力的過程中，缺乏一種具有合理且優化的分派機制。

本研究嘗試以整數規劃針對此問題建立一系統且合理的外勞指派數學模式，在有限的人力下，同時考慮外籍勞工各項生產力之不一致性以及彈性調派所招致之成本，決定整體施工團隊生產力最高且相對成本最低的分派模式。在求解方面，本研究採用遺傳演算法作為模式求解工具，輸入各項參數與限制條件，以求得排班天數內外籍勞工最適當的工作指派，以及當需求工作量超過外勞工班所能負荷時，提供尋求本地技術工支援之數量與類型之決策參考。

關鍵詞：多能工、外籍勞工、指派

Assignment optimization of multiskilled foreign labor for construction industry.

Student : Chen Chiang

Advisor : Ren-Jye Dzung

Department of Civil Engineering
National Chiao Tung University

Abstract

The foreign workers were usually assigned works according to their productivity assessed with the managers' intuition or impression, when facing the inconsistency of foreign worker's productivity. By the way, the foreign workers with some special skills may become restricted resources, and some foreign workers maybe idle because of lacking some special skills with the increase of parallel operations and work faces.

Managers must consider the different salary among the different kind of local technicians and the cost caused of the foreign workers overtime working. Furthermore, managers also have to think over the reduction of productivity due to the flexible assignment. As every limiting condition complicated, It is difficult for managers to make decision resolutely and clearly. Obviously, it seems to lack a kind of rational and systematical mechanism during the process of assignment.

This study develops an integer programming model that consider the cost caused in inconsistency productivity of each foreign worker and the reduction of productivity due to the flexible assignment to facilitate manpower directly on the most economy assignment model. After the model was set up, Genetic Algorithm was applied for searching the optimum solution. The solution calculated by Genetic Algorithm can assistant managers to assign the foreign workers to the suitable tasks that appropriate for the lowest manpower expenditure.

Keywords : Multiskilled workforce, Foreign worker, Assignment

誌謝

不需冗長的辭句，簡單兩句話道盡心聲

「感謝所有幫助過我的人」

「感謝所有默默支持我的人」



目錄

摘要	I
Abstract	II
誌謝	III
目錄	IV
圖目錄	VI
表目錄	VII
第 1 章 緒論	1
1.1 研究背景與動機	1
1.2 研究目的	2
1.3 研究範圍與限制	3
1.4 研究方法與流程	4
1.5 研究架構	5
第 2 章 文獻探討	7
2.1 外籍勞工在台灣營建業之現況	7
2.2 多能工(Multiskilled Workforce)	9
2.2.1 職能彈性 (task or functional flexibility) 之定義	9
2.2.2 營建業的多能工策略	10
2.3 人員排班及指派最佳化相關文獻	13
2.4 人員指派考慮因素	16
2.5 最佳化模式	19
2.5.1 線性規劃概述	20
2.5.2 遺傳演算法概述	22
2.6 小結	23
第 3 章 模式建構及求解方法	28
3.1 現況描述	28
3.1.1 問題描述	28
3.1.2 現況作法	29
3.2 模式建立	32
3.2.1 假設條件	32

3.2.2	決策變數與參數定義	33
3.2.3	數學模式	35
3.3	求解方法與步驟	43
3.3.1	模式求解流程	43
3.3.2	求解範例說明	44
第 4 章	模式評估	59
4.1	案例描述	59
4.2	決策變數擬定	61
4.3	模式輸出結果與成本分析	63
4.3.1	最佳化模式排班表	64
4.3.2	最佳化模式排班成本分析	64
4.4	人工經驗排班結果與成本分析	66
4.4.1	人工經驗排班表	66
4.4.2	人工經驗排班成本分析	66
4.5	比較與分析	67
4.5.1	效益比較	67
4.5.2	成本比例	68
4.5.3	指派決策分析	69
4.6	小結	78
第 5 章	結論與建議	79
5.1	結論	79
5.2	後續研究之建議	80
參考文獻 i		
附錄 A	本研究最佳化模式排班表	- 1 -
附錄 B	人工經驗排班表	- 4 -
附錄 C	口試委員意見與修訂	- 7 -

圖目錄

圖 1-1 研究流程	5
圖 2-1 引進外勞營造廠商與本地勞工之互動關係	8
圖 2-2 遺傳演算法演化流程	23
圖 3-1 模式建構工具與求解工具關係	43
圖 3-2 模式建立與求解流程	44
圖 3-3 輸入已知條件	45
圖 3-4 規劃決策變數	45
圖 3-5 作業量計算	46
圖 3-6 Z 值計算	46
圖 3-7 限制式建立	47
圖 3-8 計算轉換次數	48
圖 3-9 計算目標函數值	48
圖 3-10 Evolver 功能選單	49
圖 3-11 Evolver 目標函數設定	49
圖 3-12 Evolver 決策變數設定	50
圖 3-13 X_{ijd} 變數設定	50
圖 3-14 X'_{ijd} 及 X''_{ijd} 變數設定	51
圖 3-15 Y_{ijd} 變數設定	52
圖 3-16 交配及突變率設定	53
圖 3-17 限制式新增設定	53
圖 3-18 限制式(3-13)(3-14)(3-15)設定	54
圖 3-19 限制式(3-16)設定	54
圖 3-20 限制式(3-2)設定	55
圖 3-21 族群數與搜尋停止條件設定	55
圖 3-22 輸入族群數與搜尋停止條件	56
圖 3-23 完成並儲存設定	56
圖 3-24 Evolver 功能選單	57
圖 3-25 Evolver 搜尋過程	57
圖 3-26 Evolver 停止搜尋方塊	58
圖 3-27 搜尋結果	58
圖 4-1 人工與最佳化模式排班成本比例差異圖	69
圖 4-2 人工與最佳化模式排班外勞工作時數比較	75

表目錄

表 2-1 職能彈性之定義	10
表 2-2 營建業多能工策略形成與發展文獻整理	12
表 2-3 影響專案績效與人力運用之人力指派模式考量因素整理	16
表 2-5 常見的巨集演算法適用性與應用限制	19
表 4-1 各任務每日需求工作量	60
表 4-2 外籍勞工各工項之生產效率	60
表 4-3 勞工單位小時薪資	61
表 4-4 加班時間單位小時薪資計算費率	61
表 4-5 外籍勞工 i 於正常工作時間分派狀態變數表示	62
表 4-6 外籍勞工 i 於第一階段加班時間分派狀態變數表示	62
表 4-7 外籍勞工 i 於第二階段加班時間分派狀態變數表示	62
表 4-8 增聘本地技術工人數變數表示	63
表 4-15 最佳化排班各項人力成本彙總表	65
表 4-22 人工經驗排班各項人力成本彙總表	66
表 4-23 人工經驗排班與本研究最佳化模式排班效益比較	68
表 4-24 人工經驗排班與模式排班原則比較	70
表 4-25 人工經驗排班外勞專長工作時數表	71
表 4-26 最佳化模式排班外勞專長工作時數表	72
表 4-27 外勞專長工作時數統計表	74
表 4-28 外勞加班時數統計表	76
表 4-29 外勞加班時數統計表	77
表 A-1 最佳化排班外籍勞工 1~10 任務規劃排班表	- 1 -
表 A-2 最佳化排班外籍勞工 11~20 任務規劃排班表	- 1 -
表 A-3 最佳化排班外籍勞工 21~30 任務規劃排班表	- 2 -
表 A-4 最佳化排班外籍勞工 31~40 任務規劃排班表	- 2 -
表 A-5 最佳化排班外籍勞工 41~50 任務規劃排班表	- 3 -
表 A-6 最佳化排班外部人力聘僱數量表	- 3 -
表 B-1 人工經驗排班外籍勞工 1~10 任務規劃排班表	- 4 -
表 B-2 人工經驗排班外籍勞工 11~20 任務規劃排班表	- 4 -
表 B-3 人工經驗排班外籍勞工 21~30 任務規劃排班表	- 5 -
表 B-4 人工經驗排班外籍勞工 31~40 任務規劃排班表	- 5 -
表 B-5 人工經驗排班外籍勞工 41~50 任務規劃排班表	- 6 -
表 B-6 人工經驗排班外部人力聘僱數量表	- 6 -

第1章 緒論

1.1 研究背景與動機

近十餘年來，由於我國人口成長率明顯趨緩，人口結構及經濟結構的改變，青少年升學比率提高，高等教育學生人數年成長 7.4%，致使我國基層勞力不足現象趨於明顯。因為人口結構的老化，導致以勞力密集和中程技術為主的產業結構失去充裕人事資源的憑恃，另因服務業產能和規模的擴張使人力需求增加，向外尋求人力資源已是解決產業活動人力供給不足而不得不為之方法。

政府有鑑於此，自民國七十八年開始正式引進外籍勞工，依據行政院勞工安全委員會統計，截至民國九十四年十月底外籍勞工在台人數達 320,614 人，從事營建產業類別人數為 13,558 人。依據行政院勞委會於中華民國 94 年 5 月 6 日發布之「民間機構投資重大經建工程及政府機關發包興建之重要建設工程，專案核定聘僱外籍營造工作業規範」，專案核定得聘僱外籍營造工之工程以下列為限：

- 【1】經中央目的事業主管機關認定之民間機構投資重大經建工程，其計畫工程總金額達新台幣一百億元以上，且計畫工程期限達一年六個月以上。
- 【2】經中央目的事業主管機關核定之政府機關發包興建之重要建設工程，其計畫工程總金額達新台幣一百億元以上，且計畫工程期限達一年六個月以上。
- 【3】前二款計畫工程之個別工程，其個別工程合約總金額達新台幣十億元以上，且合約工程期限達一年六個月以上。

對營建業而言，近年來營造公司參與國內各公共工程投標，通常處於非常競爭的環境下以最低標取得工程承攬權利，因此對於營造廠商而言，為了維持競爭優勢，在如此開源不易且利潤壓縮的微利時代下，如何節流演變成首要工作。於此環境下，外籍勞工在國內營建業之使用已為必然的，外勞管理也將演變成人力資源管理的重點。

由於國內勞工缺乏，各項重大工程建設所需勞力大都由本地勞工配合外勞分組作業模式進行，但管理或指揮外勞工作與管理本地勞工有其差異，且外籍勞工來台前工作背景並不一致，朱登子(1996)調查結果顯示大約只有 54.15% 的外勞在來台前有類似工作，尚有近五成的外勞不具有任何從事營造工作的經驗。一般而言，來台從事營建業之外籍

勞工，其專長與工作經驗差異甚鉅，在一般的營建專案中，外籍勞工絕大部分以「多能工」型態被運用著，工地領班在分派工作給外勞時，多憑直覺或印象選擇較為適當的人選，亦即根據外勞專長分派較為合適的任務，但隨著工程專案進行與工作面逐漸增多，同步作業大量進行，工地人力需求急遽增加，管理者若僅憑直覺選擇分派外勞執行工作任務，可能造成分派模式效率不足。

另外，企業在面對微利時代的來臨，為增加市場上的競爭性，必須妥善控制企業之經營成本，在此環境下人力成本之控制亦為企業競爭力之要素之一，故職能彈性 (task or functional flexibility) 之概念因而受到重視。而營建業將外籍勞工視為多能工，並且視工程進度所需彈性指派外籍勞工，此一指派行為與人力管理方式恰與 Atkinson (1984) 彈性企業模式 (the flexible firm model) 的概念相符，亦即將外籍勞工定位為具有多項領域技能之多能工，因此若以職能彈性的觀念導入外籍勞工之指派問題，應可有效解決傳統外籍勞工指派方式無系統及無效率之缺點。

若能做好外勞之工作指派，以達適才適用，不但能確實掌握工作之進行，更能替工程節省成本，相對提供工作效率，進而提升整體工程進度。

1.2 研究目的

營建業為勞力密集產業，就施工作業階段而言，營建專案常需各類專長人員的協調配合及努力，雖有技術層面較高之作業施工項目，但多需勞力完成。在營建業引進外籍勞工後，一般管理者多視外籍勞工為「補充工」，利用本地勞工與外籍勞工混合編組，由本地勞工領導並提供工作技術，外勞負責執行重複性較高且技術性較低的勞力作業。至於外勞本身技術而言，整個外勞工班成員專長及技術程度並不一致，甚至有部份於來台前所未有從事營建相關產業的經驗，面對外勞技術能力的不一致性，管理者通常以直覺或印象來評估每位外籍勞工的能力特質，隨著工作面與同步作業的增加，具有某些專長的外勞將可能成為限制性資源；某部份的外勞卻因不太擅長該作業或缺乏該作業專長而產生閒置。

另外，管理者在彈性分派外籍勞工的過程中，往往希望外籍勞工能降低工作任務的轉換，以避免外籍勞工在任務轉換的同時，必須重新適應工作內容。因此決策者除了考慮外籍勞工的各項任務工作效率之外，尚須考慮彈性指派所造成生產力損失之影響。在如此情況下，管理者很難再以直覺或印象來有效地分派外籍勞工，很明顯地，在分派人

力的過程中，缺乏一種具有合理且優化的分派機制，以有限人力的條件下，決定整體施工團隊生產力最高且相對成本最低的分派模式。

而近來的研究中，雖然逐漸有國外學者將「多能工」的觀念應用於營建業，官明郎(2003)亦針對營建工程設計作業人員之指派決策，建立一系統化模式。然而這些研究並未切入外籍勞工的領域，且營建業外籍勞工分派的型態更符合「多能工」的概念，外勞團隊生產力的提升除代表工程進度的推進外，尚對整體人力成本效益具有極大影響，對於台灣現階段的營建勞工生態來說，外籍勞工應是最符合目前營建產業「多能工」的運用。基於上述理由，本研究之目的為：

1. 希望透過文獻分析綜合前人的研究，並進行專家訪談，找出影響外籍勞工指派問題的考慮因素。
2. 根據所得因素，在滿足營建團隊目標與限制下，建立一個人力資源利用效率最高及人力成本最低的外籍勞工(多能工)最佳化指派模式。
3. 利用模擬案例比較本研究模式與過往人工經驗指派之差異，了解過往人工經驗之指派期望是否與成本之發生有所差距。

1.3 研究範圍與限制

一般工程專案使用外籍勞工規模由數人到百餘人不等，然而該規模係與工程性質有關，外勞人數較少之工程專案，決策者往往以經驗或直覺即可作出最適合的指派模式，故本研究希望針對使用外勞人數規模較大之國內土木、水利、建築、建築等營建工程相關專案為主要探討對象。

本研究所探討之相關問題除限定國內營建業之外籍勞工外，其他限制如下所示：

1. 受指派之人員均為從事基礎作業之外籍勞工，非管理階層之外籍人員。
2. 本研究所指派之工作項目均為不可再分解之工作。
3. 雖然逐漸有學者提出個人心理對於團隊合作的影響，本研究僅就人員生產力及任務轉換所產生之生產力折減為主要因素探討，心理層面對於團隊合作績效的影響本研究不加以討論。
4. 本研究所探討之人員指派模式係以單一專案工程為主，多重專案指派模式不在

本研究討論範疇。

1.4 研究方法與流程

為了瞭解目前營建業管理者在面臨中大規模之外籍勞工指派問題可能考慮之因素，本研究將訪談具有外勞指派經驗之專案經理，藉以了解目前國內營建業對於指派外籍勞工的執行方式、考慮因素及可能發生的難題與障礙，加上蒐集國內外相關文獻，希望找出過去有關人員指派文獻所探討的指派模式影響因素。在整理國內現況與相關文獻後，即可找出建構本研究外勞指派模式所需關心的考慮因素。

在建立指派模式之前，首先根據排程及作業需求界定出專案內可能分派給外籍勞工之任務，並以本地技術工之生產力作為基礎，量化前述任務之個別工作量，針對每位外籍勞工對不同工作任務訂定其工作效率因子。

確定外勞指派所需考慮的因素之後，即可根據管理者面臨指派所考慮之因素及目的，建構外籍勞工指派數學模式。在滿足外籍勞工人數、每個工作天任務種類與數量、任務轉換關係等限制條件下，求得目標函數最佳的運算結果。模式建構以整數規劃為主要方式，並根據各項限制與其他條件建立限制函數，以人力成本最低為目標決定最佳的外籍勞工指派模式。

本研究將以圖 1-1 所示之研究流程進行，首先確立研究主題後，便根據主題釐定研究問題與範圍，接著透過現況訪問及調查瞭解目前外勞管理的實務概況，並著手蒐集相關文獻整合國內外於人員指派時所必須考量的相關因素，同時了解過往文獻中所使用之模式建構及求解方法，針對目前研究及實務界所缺乏及不足之處，建立一系統性的數學模式。模式建立完成後即可將模擬案例代入，利用套裝軟體 Evolver 4.0 求得最佳排班表，並與人工經驗排班進行比較與分析，藉以驗證該模式之實際效益。

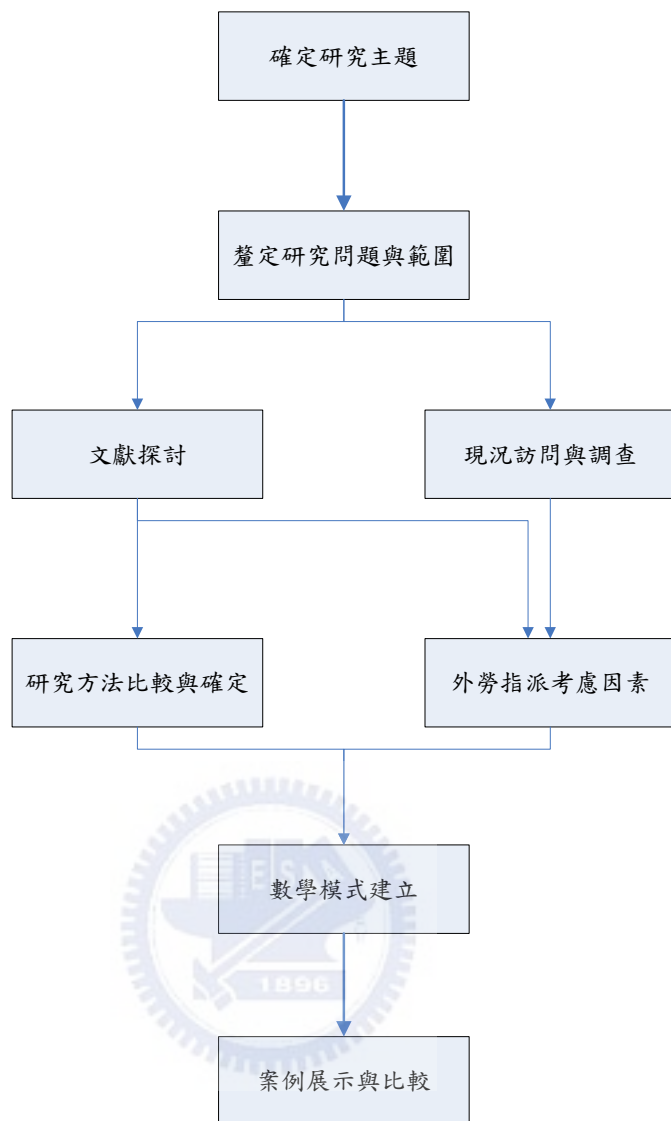


圖 1-1 研究流程

1.5 研究架構

本研究論文共分為五章，各章內容敘述如下：

第一章 緒論

說明本研究之研究動機、目的、方法與流程。

第二章 文獻探討

本章首先就現階段營建業對於外籍勞工之指派行為做一簡單介紹，說明營建業

在分派外籍勞工時可能面臨的困難與障礙，以及在人員指派的決策層面所因考慮之關鍵因素。接著探討歸納國內外相關文獻、理論背景與研究方法，主要為外籍勞工之運用、人力資源規劃，及多能工定義與應用之探討。

第三章 外籍勞工指派模式之建立

以外籍勞工之多能工特性發展本研究之數學規劃模式，定義變數、建立數學模型，及目標函數與限制函數之說明。

第四章 案例展示與比較

以模擬案例套入前章所建立之數學模型，並以求解工具軟體 Evolver 4.0 求得最佳解，並與人工經驗排班所得結果進行比較與分析，藉以驗證指派模型之具體效益，並了解本研究最佳化模式排班結果與人工經驗排班結果之差異。

第五章 結論與建議

針對本研究的模式建構與案例應用結果進行總結，同時提出本研究不足之處與後續研究的方向。



第2章 文獻探討

本章首先就現階段營建業對於外籍勞工之指派行為做一簡單介紹，說明營建業在分派外籍勞工時可能面臨的困難與障礙，以及在人員指派的決策層面所因考慮之關鍵因素。接著探討歸納國內外相關文獻、理論背景與研究方法，主要為外籍勞工之運用、人力資源規劃，及多能工定義與應用之探討。

2.1 外籍勞工在台灣營建業之現況

政府為配合推動十四項重要建設工程及六年國家建設計畫，於民國七十八年首度開放引進外籍勞工，之後未協助產業發展及社會發展需要，陸續核准外勞之引進，截至民國九十四年十月底外籍勞工在台人數達 320,614 人，從事營建產業類別外勞人數為 13,558 人。外勞的引進，一方面紓解基層勞動力不足之困境，使我國各產業能夠順利發展，重大工程得以順利推動；另一方面由於外籍勞工來自經濟、社會、文化等背景不同的國家，僱主所要求的勞動條件違和，亟需加以了解。

徐景文(2003)在探討外籍勞工的引進必需性研究時提及，公共工程進度的開展，人力資源不可或缺，依據行政院主計處的統計數據顯示，86 年營造業引進外勞 42,434 人，仍缺工 16,150 人；87 年引進外勞 42,606 人，仍缺工 16,138 人；88 年引進外勞 47,946 人，仍缺工 15,076 人；89 年引進外勞 45,446 人，仍缺工 15,186 人；90 年引進外勞 37,001 人，仍缺工 14,299；91 年引進外勞 37,001 人，仍缺工 12,558 人；92 年 1 月營造業外勞人數 22,895 人，仍缺工 12,055 人，如此的數據顯示解決公共工程落後的問題在紓解營造業基層勞力短缺的人力資源問題方面，仍未能有效解決。

朱登子(1997)於營造業在外籍勞工管理之研究中指出，在引進外勞之前，國內的營造廠除了極少數的幾家有固定工人的施工技術人員外，營造廠在承攬工程後，多以發包方式來完成承攬之工程；在政府開放引進後，引進外勞的營造廠與實際負責施工的分包商及本地勞工三者的關係，則可由圖 2-1 加以解釋。在外勞進入營造體系後，外勞一向扮演著「補充工」的角色，分包商除可能與原來的本地工體系繼續合作外，還可透過向總包商借調外勞使用。雖然其技術與生產力在一開始時無法達到本地工的程度，且目前外勞甄選方式尚有缺點存在，往往在選工時並無法解決外勞技術參差不齊的問題，但只要引進廠商願意用心進行職前或在職訓練，則可大幅提升其技術能力。此外，該學者亦以中華工程為例描述外勞之調派與控管，其調派與控管方式敘述如下：

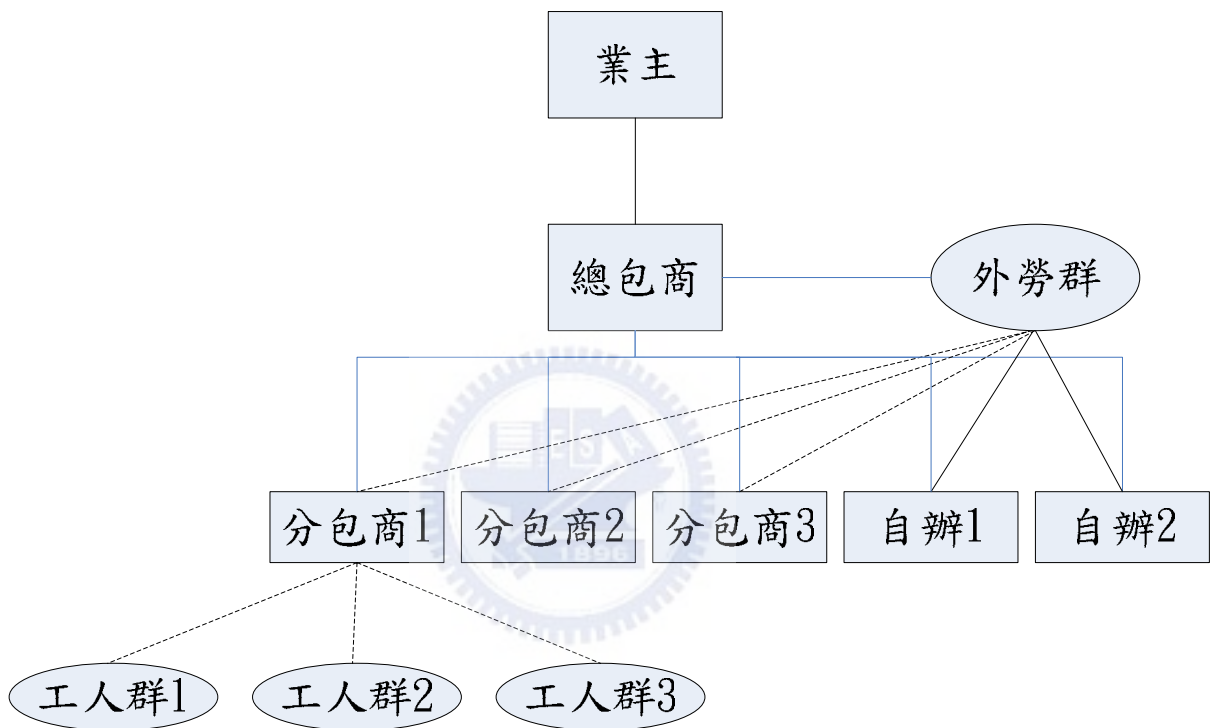
(一) 自辦工程內部調度

由施工所各組、站(或主辦工程施、領班)提出申辦，核准後領用。

(二) 支援其他工地之調度使用

依權宜措施統籌調度使用

(三) 支援分包商



————— 表合約關係(關係密切)

----- 表非合約關係(關係鬆散)

圖 2-1 引進外勞營造廠商與本地勞工之互動關係 (朱登子, 1997)

2.2 多能工(Multiskilled Workforce)

過去數十年台灣經濟之所以能夠蓬勃發展，所憑藉的是充裕的人力資源。近幾年來，中國大陸憑藉其低廉且充裕的勞動人口吸引外資挹注，逐步成為世界的生產工廠，台灣的企業隨著經濟的發展已不再具有勞動人力之競爭優勢，且國民所得的逐步提升加上經濟市場的激烈競爭，人事成本更已成為企業沉重負擔。為求降低勞動人事成本、限制企業員工人數增加及專注於企業專長以發揮競爭優勢，是企業採取「勞動彈性化」(labor flexibility) 策略的目的(成之約、鄭津津，2000)

為了提昇競爭力，有的組織從創造員工具有彈性的能力來著手，透過在職訓練與工作輪調，來增進員工具有「多能工」的能力，使員工可從事多種不同性質的工作，以利企業依工作需要來調整或調度員工的工作內容。其主要原因在於較低的人事成本是企業增加其市場競爭力的要素之一，而過去企業所倡導之組織重組或企業改造，主要的內容又以組織精簡為主，這些理念或做法最基本的出發點，就是希望能充分運用人力資源，降低龐大的人事成本並增加企業的競爭力，可見降低人事成本及提高組織的競爭力實為企業追求人力彈性的主要動機之一。(范夙慧，1996)

「勞動彈性化」的概念源自於 Atkinson (1984) 所提出之彈性企業模式的概念。彈性組織現今已發展為企業廣為使用的人力資源管理措施，本研究係針對營建業之外籍勞工指派模式導入「多能工」(multi-skilled workforce) 的概念，並進行研擬最佳化的外勞人力配置模式，透過有效的人力配置，以因應工作量波動及工程不確定性的影響，達成有效降低工程人力成本的目標。

2.2.1 職能彈性 (task or functional flexibility) 之定義

所謂多能工即為職能彈性理念下的執行策略之一，「職能彈性」是指員工在執行某一範圍內的工作或任務時的可移動性(mobility)、適應性(adaptability)和回應能力(responsiveness)，或是雇用具有多種技能(multi-skill)的員工，以便快速反應工作需求的改變及技術的發展(Blyton and Morris, 1992)。亦即透過教育訓練或組織內部工作輪調，使員工達到「多能工」的目標(成之約，1998)。有關國內外學者對職能彈性之定義，彙整於表 2-1。

表 2-1 職能彈性之定義(游舜傑，2004)

學者	年代	職能彈性的定義
Atkinson	1984	員工可以在不同的活動與任務之間，迅速、順利地重新部署。
Atkinson & Meagher	1986	即「重整才能」之能力，以使工作者具備多種才能，運用於更廣泛的任務。尤指員工在承擔工作任務時能具高移動性及適應力。
Cordery	1989	指增加員工的技能以改善其能力，而使工作不受限於傳統狹隘定義的職業特性。並認為較高度度的職能彈性將減少產業衝突(industrial conflict)。
Morley, Gunnigle & Haraty	1995	為工作力中技能的擴展，或組織本身重組其工作競爭力的能力，藉此工作者願意且有能力跨越較大的技能範圍去施展這種競爭能力。
成之約	2000	企業透過教育訓練或工作輪調，使員工達到「多能工」的目標。
成之約	2000	透過訓練和再訓練的方式，使企業內員工成為多技能工或彈性專家，以配合技術發展和企業因應市場環境需要的壓力。
潘秀貞	2001	員工在執行某一範圍內的工作或任務時的可移動性、適應性和回應能力。

綜合上述各研究對職能彈性的定義可知，職能彈性有五大特色：(1) 工作設計多樣化及擴大工作範圍；(2) 工作具有機動性；(3) 工作範圍更廣泛及具彈性；(4) 大量的訓練及再訓練；(5) 以自主性、自我管理及多職能的工作團隊作為職能彈性的指標。「多能工」的員工具有能力適應新工作並有助於公司迅速調配人力，不僅有助於企業強化因應市場及技術變遷的能力，也使員工增強就業及再就業的專業技能。(游舜傑，2004)

2.2.2 營建業的多能工策略

縱然在過往人力資源管理與組織運作的文獻當中，已提出許多有關多能工策略的效益與優點，由於營建業勞動市場多以技術為導向，且勞工技術往往以經驗累積而成，對於多能工的訓練與養成較為困難，目前國內營建業對於技術人員尚無彈性運用之觀念，唯外籍勞工在營建業上從事較非專業、輔助性的工作，由於這些工作所需技術層度較低且工作替代性較高，較符合職能彈性跨領域特性，是故外籍勞工在國內營建業之調派與

支援實屬多能工之運用概念，若能有效調度多能工將使人事成本大幅降低，將有利於工程成本之控制。本節將介紹有關營建業多能工策略運用之契機與發展，以說明目前營建業對於多能工觀念之執行與落實現況。

以目前營建業現階段所採用之傳統人力資源規劃(single-skilled)在目前研究之文獻探討出幾種不良的缺點：Cass(1992)認為多層級的工地管理組織經常會降低整體團隊之專案執行效率，Thoms(1991)研究發現營建專案執行的過程中技術人員的平均閒置時間高達 20%~45%，Halpin(1992)認為不適當的任務編組分派往往造成工程品質的降低或工期的延宕，尤其在建物日漸複雜的環境下，現有的人員安排若在專案面臨整合性的工作或跨技術層面的工作，可能造成技術人員的不適應，甚至產生工期、成本及品質各方面的不良影響。縱然採用單一技能人力規劃(single-skilled)在諸多文獻已證明具有相當多缺點，但在整體營建產業在此方面卻無太多的因應以及調整措施，Burlson 等(1998)；在William(1992)、Cross(1996)及 Burlson et al.(1998)的多能工策略研究均指出：多能工策略具有增加生產力、提升品質及確保工作的持續性，並提供管理者在於工作指派時擁有較大的彈性選擇。

Burlson 等(1998)於營建業的多能工策略之研究首先將「多能工」定義為：「管理者能夠在專案執行的過程中將其彈性分派至多種工作任務的多專長勞工」。該學者認為要解決營建市場基層技術勞力的不足，唯有尋求更好的人力資源運用方式，經由職業訓練培養擁有多樣專長的技術人員，讓具有多項工作專長的技術人員能在專案執行期間被充分運用，如此的多能工策略(Multiskilling)正可解決基層技術人員不足的難題。CII Model Plant 是一種具理論性與代表性的石化處理設備，由九個主要元件所組合而成，在執行組裝的專案中用來建立基準生產力以及多能工應用之相關研究。該學者選擇 CII Model Plant 作為執行專案，並以單一技能人力規劃(single-skilled)模式配置專案人力，藉以建立基準值；再經由討論彙整工程界以及學術界專家的意見，分別制定以下四種多能工策略(Multiskilling)：(1)培養雙重技能的多能工策略(Dualskill Labor Stratege) (2)培養四種技能的多能工策略(Four Skills Labor Sratege) (3)培養四種技能且增設支援工的多能工策略(Four Skills-Helpers Labor Sratege) (4)培養全能的多能工策略(Theoretical Maximum Labor Sratege)，分別運用四種人力規劃策略執行 CII Model Plant 專案，證明多能工策略對於整體專案技術人員的需求量大幅減低，解決專案中後期人力需求暴增的障礙，並提高從業勞工在同一專案工作的時間。

Hass(2001)於研究中歸納出三種採用多能工策略最具效益的專案類型：(1)小規模的

維修工程 (2)小資本額的專案 (3)大資本額的專案，其理由為小規模維修工程在面對維修時所意外發生的問題時，多能工能夠憑藉其多方面的工作技能，能將無法解決的問題發生率降到最低；而小型專案進行時，由於各項工作工期較短，採用多能工策略可使工人數量降低，並減低人員招募以及解雇的頻率；對於大型專案來說，全數採用單一技能勞工(single-skilled)或多能工(multiskilled)可能不盡理想，採用部分多能工(multiskilled)策略可讓工人平均僱用時間提升，並形成較平緩的資源山積圖。

在文獻已證實使用多能工策略能夠帶來實際的效益之後，Hegazy 等(2000) 有感於傳統的 CPM 排程其資源假設為無上限，且實際專案的執行很難避免資源衝突的情形，若忽略上述原因，排定的完成工期將與現實不符，該作者利用多能工跨技術領域的特性，運用多能工的特性來有效排程作業，修正目前的有限資源分派方式，進一步地改善以往不合理以及無效率的排程。

本研究蒐集營建業實施多能工策略研究相關文獻，按其發展背景與階段整理歸納如表 2-2。

表 2-2 營建業多能工策略形成與發展文獻整理

階段	學者	年代	主要論述
動機與背景	Thomas	1991	研究發現營建專案執行的過程中技術人員的平均閒置時間高達 20%~45%。
	Halpin	1992	不適當的任務編組分派往往造成工程品質的降低或工期的延宕，尤其在建物日漸複雜的環境下，現有的人員安排若在專案面臨整合性的工作或跨技術層面的工作，可能造成技術人員的不適應，甚至產生工期、成本及品質各方面的不良影響。
	Burleson et al.	1998	要解決營建市場基層技術勞力的不足，唯有尋求更好的人力資源運用方式，經由職業訓練培養擁有多樣專長的技術人員，讓具有多項工作專長的技術人員能在專案執行期間被充分運用。
	Burleson et al.	1998	多能工策略具有增加生產力、提升品質及確保工作的持續性，並提供管理者在於工作指派時擁有較大的彈性選擇。
定義	Burleson et al.	1998	於營建業的多能工策略之有關研究首先將「多能工」定義為：「管理者能夠在專案執行的過程中將其彈性分派至多種工作任務的多專長勞工」。
	Burleson et al.	1998	制定以下四種多能工策略(Multiskilling)：(1)培養雙重技能的多能工策略(Dualskill Labor Stratege) (2)培養四種技能

al

實施階段			的多能工策略(Four Skills Labor Srategie) (3)培養四種技能且增設支援工的多能工策略(Four Skills-Helpers Labor Srategie) (4)培養全能的多能工策略(Theoretical Maximum Labor Srategie)，分別運用四種人力規劃策略執行 CII Model Plant 專案，證明多能工策略對於技術人員的需求量大幅減低，解決專案中後期人力需求暴增的障礙，並提高從業勞工在同一專案工作的時間。
	Hass	2001	歸納出三種採用多能工策略最具效益的專案類型：(1)小規模的維修工程 (2)小資本額的專案 (3)大資本額的專案，其理由為小規模維修工程在面對維修時所意外發生的問題時，多能工能夠憑藉其多方面的工作技能，能將無法解決的問題發生率降到最低；而小型專案進行時，由於各項工作工期較短，採用多能工策略可使工人數量降低，並減低人員招募以及解雇的頻率；對於大型專案來說，採用部分多能工(multiskilled)策略可讓工人平均僱用時間提升，並形成較平緩的資源山積圖。
	Hegazy et al	2000	有感於傳統的 CPM 排程其資源假設為無上限，且實際專案的執行很難避免資源衝突的情形，若忽略上述原因，排定的完成工期將與現實不符，作者利用多能工跨技術領域的特性，運用多能工的限制來有效排程作業修正目前的有限資源分派方式，進一步地改善不合理以及無效率的排程。
	Gomar	2002	藉線性規劃的手段，在營建產業推動多能工策略的同時，考慮施工人員招募與解雇次數、任務轉換次數、與最大工作時數為基礎，建立營建業多能工指派最佳化模式。
	官明郎	2003	在營建工程生命週期中的規劃設計階段，針對設計作業的個別需求及條件，利用整數規劃最佳化模式，求得工作時間區間內各設計作業人員執行各專案、工作項目之指派工作，提供設計團隊決策者指派人員之參考。

2.3 人員排班及指派最佳化相關文獻

近年來人力資源管理逐漸受到重視，為達適才適用的目的，企業必須妥善安排其人力配置，人員排班與指派方式的良窳，直接地影響企業之人力成本、工作品質及人員的工作效率。人員排班問題可定義為組織在考量所有適當的限制條件之要求下，對可運用人力資源做一最佳組合的問題(Browne, 2000)。Lau(1996)認為所謂的人員排班，即是在

滿足管理者、勞工團體以及政府相關部門的政策、規定及目標，配合作業上的時程需求，對人力資源予以管理的方法。

如何有效率地規劃、排班及指派人力資源一直都是各領域所關心的課題之一，實務上常見的人員排班應用範圍亦相當的廣泛，目前較為常見的人員排班研究多來自於交通管理相關領域，其中包含飛航人員或後勤人員、公車客運之駕駛人員、國道收費站人員，及鐵路等勤務人員之排班問題。此外在醫療體系方面，對於護士及值班醫師的排班模式在過往之文獻亦有相當程度之探討；生產線與製造產業之作業人員排班與指派之研究也為工業管理中被廣泛討論的課題，甚至在學校單位授課教師的安排及課程時段的排序等諸多領域均面臨人員排班與指派之重要問題，足以顯示此一課題之廣泛性及重要性。

Beasley and Cao (1996) 針對人員排班問題依其產業特性概分為三大類：第一類為複雜度較高之航空人員排班問題，第二類為大眾運輸人員排班問題，第三類則為非上述二類之一般人員排班問題。劉鈺鈴 (2003) 認為多數排班問題多假設所有值勤人員能力相同，且人員皆可勝任所有工作，卻忽略人員工作能力程度之差異，故針對人員指派作為主題之研究並不多見。

有關之排班最佳化及指派最佳化著述、文獻相當多，亦有不同之解法，茲舉數例與本研究相關之參考文獻。

宋立夫 (1996) 曾探討一適當方式以安排人力於系統設計之需求。研究中說明設計作業人員對於設計領域之知識、經驗有所不同，設計能力、專長、特性也相異。於是透過對設計作業需求以及對設計工作團隊之描述，將設計工作團隊及設計作業作適當之安排，使得設計工作能夠於較短時間內完成設計需求之排程。

李兆元 (2002) 說明在專案計畫中，人力資源的充分運用已成為專案人力規劃的重要要求，傳統以單一專案之規劃模式已不符需求，繼之而來的是考量充分運用現有人力資源同時執行多個專案之線性規劃問題。研究多個專業功能單位同時執行多個專案計畫時，如何掌握各專業功能單位對所分配到人力數滿意程度的問題。

林俊儀 (2002) 曾研究對於一多功能團隊 (Multi-functional Team) 人員工作指派模式，藉由量化每位團隊成員的特性，以分析層級程序法 (Analytic Hierarchy Process) 與整數線性規劃 (Integer Linear Programming) 數學模式，將組織內成員依更合理的工作流程來加以整合，在團隊工作績效最佳化的目標下，架構出一多功能團隊的人員工作指派

模式。

陳玉菁 (2001) 研究一般航空公司維修部門對於停機線上的修護工作，即起飛前檢查 (Preflight Check)、轉機檢查 (Trinsit Check) 以及過夜檢查 (Daily Check) 等三大項短期留滯修護的工作部分進行修護人員供給計畫。因具有混合類別人員的特性，較一般針對單一類別的人員供給來的複雜。利用數學規劃與電腦演算技巧，構建合適的模式與求解方法，以期幫助航空公司的修護部門有效率地規劃修護人員之排班及班次，提供下游修護人員指派之參考。

翁偉棟 (1999) 提出將航空公司空勤組員班表指派問題分成長勤務組合、差勤及短勤務組合行程指派模組等三個模組來構建。從組員之觀點出發，依組員對不同行程之偏好，構建一明確、整體性、公平性的成本函數；並在總公平性成本最小之目標下，構建一公平性排班模式。

賴世若 (1996) 整數規劃及模擬技術求解服務業人員多重班別排程問題，推算服務人員需求量並建立電腦化班別排程系統以求得最佳班別配置。建立一線性規劃模式，推算出符合最低成本之人力配置，並以此人力配置作為模擬之系統起始參數，執行物件導向模擬以驗證此配置之可行性。

楊光宗 (2002) 利用 0-1 整數規劃 (0-1 Integer Programming) 方法，考慮警察人員動、靜態與日、夜間之勤務配合，以及合理的休息與休假方式、地方治安特性需求，建立一套工作班表，來滿足警察勤務分配表上的各項勤務。

張緯杰 (2002) 說明根據過去國內外的文獻中發現，醫院內病人嚴重程度、身體功能狀況等因素皆會影響護理時間分配和人力運用。故認為目前國內以傳統病床數作為護理人力配置標準之護理人員配置，並不全適用於長期照護之人力需求。因此藉觀測各項護理活動其標準程序工時與實際工時之間的差距，作為各項護理活動工時校正的依據，進而探討住民實際所接受的照護工時之差異，評估機構現行人力配置是否合宜。

呂佩勳 (1997) 考量國際觀光旅館之人力資源配置深受淡、旺季之影響，故採用多目標規劃中之「權重法」以及「模糊多目標規劃法」，以建立一人力源多目標最適配置模式。該模式考慮的目標有 1. 每月營收為最大，2. 服務人員人數為最大，3. 服務人員總薪資成本為最低等三個互有衝突的目標。然在這些目標的考量之下，在決定人力資源配置的同時，亦需考慮各部門之薪資預算、各部門之最低需求人數及正職與兼職員工之比

例等限制因素對人力配置之影響。結果顯示出旅館中每個月餐飲部及客房部最佳配置的員工人數，特別是淡旺季時之人力需求，此結果可供旅館人力資源決策者在配置人力時作參考。

蔡智豪 (2002) 提出醫院護理工作具備每日 24 小時且全年無休之特性，在進行護理人員排班研究時，除滿足人力需求外，亦需符合相關法令規定。故排班與僱用問題應整合探討。不能且只單方面處理僱用或排班問題。研究中根據病患人數、嚴重程度及工作日的不同，所需要的護理時數多寡亦不同。在節省成本及滿足人力需求的條件下，求得最佳之僱用人數。進而對排班問題，建立數學規劃模型，以得到護理人員最佳之工作滿意度。

2.4 人員指派考慮因素

在管理者的心中，如何在眾多足以影響專案績效的各項影響因素中做出最佳的分派模式，往往是人力指派的重點。然因專案目的、類型及指派對象等性質不盡相同，對於人力指派的決策考量也具有其相異性。在官明郎(2003)的研究中亦說明以往的文獻通常基於公平性之考量，著重平衡供給面與需求面之最佳解，而多未能充分利用數學模式輸出之資料，表達決策者對各專案管理及人力資源做不均質性的運用、指派之期望；本研究蒐集以量化數學模式處理人力指派問題相關研究，並找出以往研究在建構人力指派數學模式的同時，可能影響專案績效或人力資源運用的考量因素，有關人力指派量化數學模式研究之考慮因素整理如表 2-3。

表 2-3 影響專案績效與人力運用之人力指派模式考量因素整理

學者	年份	指派對象	人員指派考慮因素
謝瓊嬉	1999	高科技製程人員	1. 考慮產品複雜度 2. 人員工作負荷 3. 整體製程產能
Bassett	2000	專案人員	1. 人員的專業技能 2. 考慮人員工時限制
林俊儀	2002	多功能團隊成員	1. 人員的專業技能 2. 人員的溝通技巧 3. 人員工作指派的彈性 4. 人員的團隊工作經驗

			5. 人員的人格特性
Gomar et al.	2002	營建業施工技術人員	<ol style="list-style-type: none"> 1. 考慮總出工人次 2. 人員的專業技能 3. 降低同一專案內人員招募與解雇次數 4. 考慮人員任務調動次數 5. 考慮專案期間人員平均工作時間
洪英傑	2002	電腦組裝人員	<ol style="list-style-type: none"> 1. 考慮人員對任務之熟練度 2. 考慮人員工作學習曲線
李兆元	2002	跨專案計畫人員	<ol style="list-style-type: none"> 1. 控制分配到各專案單位人力不會集中於特定專業類別。
Yen-Zen Wang	2002	大學授課教師	<ol style="list-style-type: none"> 1. 考慮教師的每項課程的教學能力 2. 考慮教師對於每項課程的偏好性 3. 考慮每位教師的授課時數與超時教學的公平性
邱元泰	2002	國中授課教師	<ol style="list-style-type: none"> 1. 考慮教師的每項課程的教學能力 2. 考慮教師配課偏好 3. 考慮教師授課時段偏好
傅國成	2002	晶圓代工廠作業員	<ol style="list-style-type: none"> 1. 考慮人員任務調動所衍生之額外成本
官明郎	2003	設計作業人員	<ol style="list-style-type: none"> 1. 考慮人員單位工資、專長及工作效率 2. 避免人員工作量分配不均 3. 依勞動基準法考慮人員工作時數限制 4. 考慮作業間彼此之關係
賴奕維	2003	飛機維修人員	<ol style="list-style-type: none"> 1. 考慮人員專業技能 2. 考慮人員工時限制
劉鈺鈴	2003	飛安查核人員	<ol style="list-style-type: none"> 1. 人員之專業技能及專業知識 2. 強調多人指派與固定指派之彈性平衡點 3. 強調人員工時差異的公平性 4. 避免任務地點的過度分散造成額外工作負擔 5. 避免工作時間過於集中，希望將工作任務分散於每個時間單位。
劉書韜	2004	國軍基層軍官	<ol style="list-style-type: none"> 1. 年資、學歷、經歷、體格狀況等四項基本資歷 2. 思想、品德、學識、績效、才能等五項考評資料
孫士雄	2004	專案人員	<ol style="list-style-type: none"> 1. 考慮人員任務執行效率將受到學習效應的影響而提升

表 2-3 所列舉相關研究均以數學模式解決人力分派問題，本研究將上述相關文獻之指派對象依其工作性質略作以下分類：(1)專案人員(2)技術人員(3)職務人員；並就其人員指派考量因素歸納為 7 種類型：(1)人員專業能力(2)人員偏好性(3)任務複雜度(4)任務調動(5)工時限制與公平性(6)團隊工作能力(7)人員學習效應。根據過去相關研究之指派對象及考慮因素之分類，可歸納如表 2-4。

表 2-4 相關研究指派對象與指派考慮因素關係表

	學者	年份	指派對象	人員專業能力	人員偏好性	任務複雜度	任務調動	工時限制	團隊工作能力	人員學習效應
專案人員	Bassett	2000	專案人員	○				○		
	李兆元	2002	跨專案計畫人員					○		
	林俊儀	2002	多功能團隊成員	○			○		○	
	官明郎	2003	設計作業人員	○				○		
	孫士雄	2004	專案人員							○
技術人員	謝瓊嬉	1999	高科技製程人員	○		○		○		
	Gomar et al.	2002	營建業施工技術人員	○			○	○		
	洪英傑	2002	電腦組裝人員	○						○
	傅國成	2002	晶圓代工廠作業員				○			
	賴奕維	2003	飛機維修人員	○				○		
	劉鈺鈴	2003	飛安查核人員	○	○		○	○		
職務人員	Yen-Zen Wang	2002	大學授課教師	○	○			○		
	邱元泰	2002	國中授課教師	○	○			○		
	劉書韜	2004	國軍基層軍官	○						

由表 2-4 約可看出指派人員類型與指派考慮因素之關係，對於專案人員而言，人員專業能力與工時限制之考量似乎為各專案決策者所共同關心的考慮因素；而多數決策者對於技術人員的指派問題除人員專業技能之外，尚有任務調動及工時限制等考量；因職務人員選派較偏向於專業性質的考量，因此除專業能力為主的指派導向外，還需考慮受派人員對於職務或任務的偏好程度，甚至須考量受派人員於該職務之工時限制。

本研究所欲探討之營建業外籍勞工指派問題，外勞負責執行重複性較高且技術性較低的勞力作業，受指派之外籍勞工係屬技術人員分類，因此本研究亦以「人員專業技

能」、「任務調動」及「工時限制」三個考量因素為建構數學模式之主要考量條件。

2.5 最佳化模式

最佳化(optimization)的目的在尋找一個或一個以上的解，使得欲求解的數學規劃問題能夠獲得最佳的答案，傳統數學規劃針對不同問題設計有許多不同的解法，例如，求解線性規劃問題(Linear Programming)的單形法(Simplex Method)、求解整數規劃問題(Integer Programming)的分支定限法(Branch and bound method)、求解混合整數規劃問題(Mixed Integer Programming)的 Bender composition 等。但由於當問題以為數學規劃的方式描述時，若該問題屬於 NP-hard 或 NP-complete 時，一般的求解方式可能面臨無法有效地處理。傳統作業研究的啟發式解法大多利用貪心解法(Greedy Approach)在短時間內先獲得一個近似解，再利用鄰域交換法(Neighborhood Exchange)或局部搜尋法(Local Search)進行該近似解之改善。但由於此類方法的演算邏輯為確定性，且並無跳出局部最佳解的機制，故在搜尋的過程中很容易收斂於局部最佳解(Local Optimum)而結束搜尋過程，如此一來不僅無法找到最佳解，甚至可能與最佳解的差距很大。

近數十年來逐漸有學者利用人工智慧(Artificial Intelligence)設計更具彈性之啟發式解法，使搜尋過程中避免收斂於局部最佳解，此種以人工智慧為基礎設計的啟發式解法又稱為巨集演算法(Metaheuristic Algorithm)。最常用的巨集演算法包括遺傳演算法(Genetic Algorithm)、模擬退火法(Simulated Annealing)、禁忌搜尋法(Tabu Search)、螞蟻演算法(Ant System)等。有關常見的巨集演算法適用性與應用限制如表 2-5

表 2-5 常見的巨集演算法適用性與應用限制

求解方法	提出學者	適用性應用限制	保證求得最佳解
遺傳演算法 (Genetic Algorithms)	Holland (1975)	<ol style="list-style-type: none"> 1. 難以求解連續變數問題。 2. 必須先對 crossover、mutation 等參數加以設定，設定值可能影響解的品質。 3. 決策變數過多及問題規模太大可能造成染色體長度過長，超過電腦記憶體容量限制，而問題規模大時解的品質亦不佳。 4. 限制條件及懲罰函數之設計將影響解的品質。 	否

模擬退火法 (Simulated Annealing)	Kirpatrick 等 (1983)	<ol style="list-style-type: none"> 1. 必須先找到一組可行解方能進行優選程序。 2. 鄰域搜尋機制必須針對問題性質來設計。 3. 冷卻時程將影響求解績效，但目前並無準則可供依循，僅能以試誤法進行嘗試。 4. 因為單點搜尋，故解算時間較長。 	否
禁忌搜尋法 (Tabu Search)	Glover (1986)	因採用記憶方式來引導尋優方向，故需要大量電腦記憶體空間。	否
螞蟻演算法 (Ant System)	Dorigo (1996)	<ol style="list-style-type: none"> 1. 問題必須轉換成 TSP (Traveling Salesman Problem) 形式方能進行求解。 2. 原則上較適合用於組合最佳化問題，較不適合用於求解其他數學規劃問題。 	否

本研究欲利用線性規劃模式以營建業外籍勞工為背景，建構多能工指派數學模式，但由於研究問題決策變數規模較大，若運用一般的求解方式，例如單形法，可能無法有效地求解，因此本研究擬採巨集演算法求解，經表 2-5 的整理與分析各求解方式的特性及缺點，由以上優點中，我們可得知遺傳演算法有很強大的優選能力，當傳統的最佳化方法遇到瓶頸時，尤其是遇到非凸函數且多變數及較複雜之優選問題時，遺傳演算法可加以替代，且應可得到滿意的結果。但在處理一些簡單或是僅有少量變數的優選問題時，一般傳統以微積分為基礎的搜尋方法，即可比遺傳演算法較快得到最佳解。因此基於上述優點，本研究選定遺傳演算法(Genetic Algorithm)作為模式之求解方式。

2.5.1 線性規劃概述

線性規劃(Linear Programming)是用來解決各種變數、限制式及目標函數都具有線性關係的最佳化問題，且所有的決策變數需滿足具有比例性、可相加性、可分割性與確定性四個基本假設。線性規劃的目的是在求取一個線性目標函數的最佳化，透過線性規劃可讓我們從部份來看整體，將部份組合起來得到全體。一般而言，線性規劃期望在最小的成本或最大的利益下，滿足某些限制條件，對資源的規劃及分配，得到最佳配置。線性規劃基本表示方式如下：

Min

$$f(x) = c_1x_1 + c_2x_2 + c_3x_3 + \dots + c_nx_n$$

Subject to

$$a_{11}x_1 + a_{12}x_2 + a_{13}x_3 + \dots + a_{1n}x_n \geq b_1$$

$$a_{21}x_1 + a_{22}x_2 + a_{23}x_3 + \dots + a_{2n}x_n \geq b_2$$

.

.

$$a_{m1}x_1 + a_{m2}x_2 + a_{m3}x_3 + \dots + a_{mn}x_n \geq b_m$$

$$x_1 \geq 0, x_2 \geq 0, x_3 \geq 0, \dots, x_n \geq 0$$

或者以另一種型式表示：

Min

$$f(x) = \sum_{i=1}^n c_i x_j$$

Subject to

$$\sum_{i=1}^n a_{ij}x_j \geq b_i$$

$$\forall j = 1, 2, 3, \dots, n$$



由於線性規劃問題之可行解多為凸集合(convex set)，且目標函數為線性，故最佳解必存在於可行解區之邊緣角點。線性規劃是數學規劃的基礎，應用領域十分廣泛。而且數學規劃中其他較複雜難解問題，例如整數規劃之求解方法經長纖簡化為線性規劃問題，在逐一加入限制條件控制變數範圍來加以求解。

應用於人員指派(Staff Assignment)的線性規劃問題，通常以整數規劃方式建構數學模式，例如楊光宗(2002)在考慮警力動靜態與日夜勤務配合，以及合理的休息與休假方式與地方治安特性需求建構完整勤務排班表，來滿足警務人員工作分配之規劃。另外，Gomar(2002)也藉線性規劃的手段，在營建產業推動多能工策略的同時，考慮施工人員

招募與解雇次數、任務轉換次數、與最大工作時數為基礎，建立營建業多能工指派最佳化數學模型。

2.5.2 遺傳演算法概述

遺傳演算法(Genetic Algorithm)最早由 John Holland 於 1975 年提出，主要為模擬自然生物系統的進化過程基因組合的重要機制，而其基本精神在於模仿生物界中物競天擇，以及適者生存自然進化過程所建構出之優選理論。從物種中篩選出適應外在環境能力較強的母代，並透過基因的複製、選取、交配及突變凡演出更優秀的子代，再繼續篩選下一批適應能力較佳的母代，持續交配、突變繁衍，如此重複演化出適應能力最強之物種，以達進化的作用。遺傳演算法是一個計算簡單，卻具有強大搜尋能力，而且也不會受限於搜尋空間假設的演算法。遺傳演算法雖無法保證解的收斂在最佳的狀態，但依其演化及優選的機制將改善解的品質，儘可能演化出最佳品質的解。

遺傳演算法族群中的個體數能夠經由演化的方式，在世代交替的過程中進行改善。在世代交替的過程中，根據每個染色體適合度的大小，選擇繼續繁殖的個體。每個染色體生存的機率與其適合度的大小成正比，演化過程將依循著最適者生存的原則。被選擇繁殖的染色體，遺傳演算法利用其特有的三個運算單元，包括：複製(reproduction)、交配(crossover)、以及突變(mutation)，來進行基因的重組，重組的過程包括交配與突變以產生新的子代，反覆進行世代基因演算。遺傳演算法之演算流程如圖 2-2 所示。

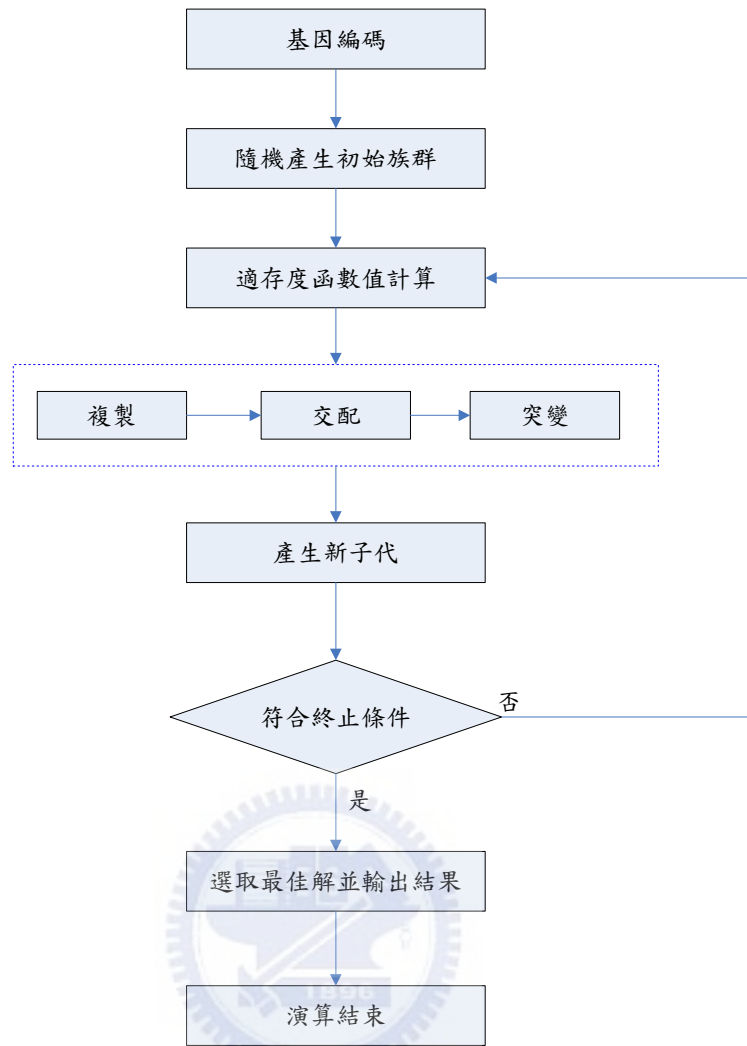


圖 2-2 遺傳演算法演化流程

2.6 小結

多能工之運用首在人員的多樣化技能訓練，營建業為勞力密集與技術導向之產業，工作技能與經驗難以在短時間養成，甚少企業願意對施工人員投入教育訓練的成本，在如此環境下，要將多能工的概念落實於營建施工人員的調度，存在著相當的障礙與困難。然而外籍勞工於台灣營建業負責執行重複性較高且技術性較低的勞力作業，其角色與本地技術工有別，因此外籍勞工在國內營建業的彈性調派而言，係為多能工的一種運用。

回顧有關人員指派與排班相關文獻之後，並無相關研究對於外籍勞工的指派與排班問題作一定量的探討，經由訪談與文獻分類蒐集，受指派之外籍勞工係屬技術人員分類，因此本研究之模式建構以「人員專業技能」、「任務調動」及「工時限制」三個考

量因素為建構數學模式之主要考量條件。

求解方面，由於研究問題決策變數規模較大，因此選用遺傳演算法做為求解工具，藉由其強大的優選能力，當傳統的最佳化方法遇到瓶頸時，尤其是遇到非凸函數且多變數及較複雜之優選問題時，遺傳演算法之優選機制將突破搜尋瓶頸，應可得到不錯的近似解。

第二章 原文附註

[2-1] Cass (1992)

Multiple tiers of field supervision that reduce overall crew efficiency.

[2-2] Thomas (1991)

Worker idle times from 20-45%.

[2-3] Halpin (1991)

Unassigned labor costs from nonworking supervisors, difficult crew coordination leading to construction delays and rework.

[2-4] Williamson (1992) ; Cross (1996) ; Burleson et al. (1998)

Research results indicate that multiskilling can increase the productivity, quality, and continuity of work, while providing for a safer site and providing managers more flexibility in assigning tasks.

[2-5] Burleson et al. (1998)

Multiskilling is a labor utilization strategy in which workers possess a range of skills that are appropriate for more than one work process and that are used flexibly on a project or within an organization.

[2-6] Burleson et al. (1998)

Fall numbers of new craft entrants and reports of record low construction unemployment indicate that there will not likely be enough skilled workers to meet rising demand for

construction service.

Increased recruiting and image development efforts will help draw additional workers into the industry. Another possible solution is to look at methods that optimize or better utilize the skilled workers already in the industry. If a smaller number of diversely trained individuals could be used on a project for longer periods, the demand for new craft entrants can be reduced. Multiskilling may provide this benefit.

[2-7] Burleson et al. (1998)

Four multiskilling labor strategies (Dualskill labor strategy, Four skills labor strategy, Four skills-helpers labor strategy, and Theoretical maximum labor strategy) were defined and evaluate in this study.

These strategies were developed cooperatively by reachers and industry partners to reflect a spectrum of multiskilling possibilities.

The CII Model Plant was chosen as the basis for analysis because of the availability of appropriate detailed project level data.

Benefit of multiskilled labor utilization strategies were demonstrated including potentially a 5-20% labor cost savings, a 35% reduction in required workforce, a 47% increase in average employment duration, and an increase in earning potential for multiskilled construction workers.

[2-8] Burleson et al. (1998)

The CII Model Plant is a theoretical, representative petrochemical processing facility. Nine major components of a typical plant (a refractionation unit, tank farm, compressor unit, two turbine generators, underground piping, pipe bridge, and a complete civil site package) were assembled to form the model plant. The model plant was developed over a 3-year period and has since been used in two productivity benchmarking studies and one multifunctional equipment utilization study.

[2-9]Hass et al. (2001)

Strategies for multiskilling vary significantly for: (1)small maintenance projects, (2) small

capital projects, and (3) large capital projects.

Multiskilling provides the ability to perform more unforeseen maintenance activities, because multiskilled workers and crews have a broader variety of skills.

Multiskilling was considered especially useful for developing varied small capital projects that involve activities with relatively short duration.

Maintaining a large workforce composed solely of multiskilled workers is unfeasible and unnecessary, because the peak workforce phase of construction allows almost all workers to perform tasks in the craft in which they are specialized, and even requires the addition of many single-skilled workers to meet demand.

[2-10]Hegazy et al. (2000)

Because of its basic assumption of unlimited resources, the traditional critical path method (CPM) of network scheduling often results in a project duration that is unrealistically short. When a resource is limited, however, the daily demand of the resource by the various activities may exceed its availability limit, and thus some activities have to be delayed, causing a delay in project duration.

An attempt is made in this paper to modify existing resource-scheduling heuristics that deal with limited resources, to incorporate the multiskills of available labor, and, accordingly, to improve the schedule.

[2-11]Gomar et al. (2002)

This research investigated the mechanics of allocating a multiskilled workforce and developed a linear programming model to help optimize the multiskilled workforce assignment and allocation process in a construction project, or between the projects of one company.

One of every four companies encountered labor shortages that resulted in serious project impacts in terms of cost overruns and/or schedule delays. Because of these shortages, minimizing the total number of worker-days used in a project is one objective of the model developed.

Turnover also creates learning costs. Multiskilling reduces turnover by providing a workforce

with broader skill sets. Thus, it is clearly desirable for the model developed here to seek to minimize the number of hires and thus fires in the allocation and scheduling process.

[2-12]Beasley and Cao (1996)

In order to structure our literature survey we consider airline crew scheduling, mass transit crew scheduling and generic crew scheduling separately.

