

# 目錄

第一章 緒論 .....	1
1-1 研究緣起與目的 .....	1
1-2 研究範圍與限制 .....	2
1-3 研究方法 .....	3
1-4 研究步驟與流程 .....	4
第二章 文獻回顧 .....	6
2-1 鐵路運輸系統規劃 .....	6
2-2 鐵路駕駛員排班的概念 .....	7
2-2-1 專有名詞說明 .....	7
2-2-2 鐵路駕駛員排班問題描述 .....	10
2-2-3 台鐵駕駛員排班簡介 .....	13
2-3 人員排班問題相關文獻回顧 .....	15
2-3-1 與工作班產生 ( crew scheduling ) 相關文獻 .....	16
2-3-2 與工作班輪班表產生 ( crew rostering ) 相關文獻 .....	21
2-4 小結 .....	24
第三章 模式構建 .....	27
3-1 工作班產生模式構建 .....	27
3-1-1 模式構建的概念 .....	27
3-1-2 變數說明 .....	28
3-1-3 數學模式 .....	29
3-1-4 工作班成本說明 .....	30
3-1-5 可行工作班產生的步驟與方法 .....	31
3-1-6 可行工作班產生演算法之修改 .....	39
3-2 工作班輪班表產生模式構建 .....	40
3-2-1 網路問題概念 .....	40
3-2-2 變數說明 .....	41
3-2-3 數學模式 .....	42
3-2-4 子迴圈 ( subtour ) 問題之求解 .....	44

第四章 實證結果與分析 .....	45
4-1 資料整理 .....	45
4-1-1 工作班產生投入資料 .....	45
4-1-1-1 資料說明與整理 .....	45
4-1-1-2 可行工作班產生結果 .....	50
4-1-2 工作班輪班表產生投入資料 .....	52
4-2 工作班產生結果 .....	53
4-2-1 第一次求解結果 .....	53
4-2-2 第二次求解結果 .....	54
4-2-3 第三次求解結果 .....	57
4-2-4 第四次求解結果 .....	60
4-2-5 小結 .....	64
4-3 工作班輪班表產生結果 .....	67
4-3-1 第一次求解結果 .....	67
4-3-2 子迴圈問題之啟發式解法 .....	68
4-3-3 第二次求解結果 .....	69
4-3-4 第三次求解結果 .....	69
4-3-5 小結 .....	71
第五章 結論與建議 .....	74
5-1 結論 .....	74
5-2 建議 .....	74
參考文獻 .....	76
附錄 A	
附錄 B	
附錄 C	

## 表目錄

表 2-1	與工作班產生相關文獻彙整表 .....	25
表 2-2	與工作班輪班表產生相關文獻彙整表 .....	26
表 4-1	以人工方式先行處理之乘務 .....	46
表 4-2	工作班產生所投入的乘務資料 .....	48
表 4-3	「具高度可行性工作班」產生結果 .....	51
表 4-4	工作班輪班表產生投入的工作班資料 .....	52
表 4-5	工作班產生第一次求解結果 .....	54
表 4-6	第一次修改可行工作班產生演算法之產生結果 .....	55
表 4-7	工作班產生第二次求解結果 .....	56
表 4-8	第二次修改可行工作班產生演算法之產生結果 .....	58
表 4-9	工作班產生第三次求解結果 .....	59
表 4-10	第三次修改可行工作班產生演算法之產生結果 .....	60
表 4-11	工作班產生第四次求解結果 .....	62
表 4-12	最佳解中 10 號工作班之工作班內容 .....	63
表 4-13	求解結果彙整表 .....	64
表 4-14	工作班輪班表產生結果 - 子迴圈一 .....	67
表 4-15	工作班輪班表產生結果 - 子迴圈二 .....	67
表 4-16	台鐵實務使用之工作班輪班表 .....	68
表 4-17	子迴圈二產生之路徑 .....	68
表 4-18	子迴圈一可供插入之可能位置 .....	69
表 4-19	候選可行工作班輪班表每週工作時間之各項比較 .....	70
表 4-20	最佳工作班輪班表 .....	70
表 4-21	模式求解所得之最佳工作班輪班表與台鐵比較 .....	71
表 4-22	最佳解工作班輪班表每週包含的工作班間之工作時間比較 .....	72
表 4-23	台鐵工作班輪班表每週包含工作班間之工作時間比較 .....	72

## 圖目錄

圖 1-1 研究流程圖 .....	5
圖 2-1 工作班示意圖 .....	9
圖 2-2 列車運行圖 .....	12
圖 2-3 包含所有乘務的工作班 .....	12
圖 2-4 工作輪班班表 .....	13
圖 2-5 可行排班網路圖 .....	18
圖 2-6 變數產生法的求解步驟 .....	19
圖 2-7 Jarrah, Ahmad I. Z. et al.之月值勤組合產生步驟 .....	23
圖 3-1 工作班產生模式構建概念 .....	28
圖 3-2 工作班示意圖 .....	30
圖 3-3 可行工作班產生步驟 .....	33
圖 3-4 「高雄站為始發站的乘務」可行工作班產生步驟 .....	34
圖 3-5 「高雄站為到達站的乘務」可行工作班產生步驟 .....	36
圖 3-6 「始發及到達站均非高雄站的乘務」可行工作班產生步驟 .....	37
圖 3-7 乘務與乘務間連結法規限制的判斷流程圖 .....	38
圖 3-8 「高雄站為始發站乘務」之連結乘務選擇示意圖 .....	39
圖 3-9 「高雄站為到達站乘務」之連結乘務選擇示意圖 .....	39
圖 3-10 「始發及到達站站均非高雄站乘務」之連結乘務選擇示意圖 .....	40
圖 3-11 工作班輪班表產生模式網路圖 .....	41
圖 3-12 解決子迴圈問題之啟發式解法之概念 .....	44
圖 4-1 「高雄站為始發站乘務」之連結乘務選擇示意圖 .....	57
圖 4-2 「高雄站為到達站乘務」之連結乘務選擇示意圖 .....	57
圖 4-3 「始發及到達站均非高雄站乘務」之連結乘務選擇示意圖 .....	58
圖 4-4 最小化人員數與可行工作班數之關係圖 .....	65
圖 4-5 最小化總成本與可行工作班數之關係圖 .....	65

# 第一章 緒論

## 1-1 研究緣起與目的

鐵路運輸系統在城際間的大眾運輸服務中，扮演極為重要的角色。早年，由於公路與航空運輸的不發達，台灣鐵路管理局（台鐵）提供的鐵路運輸服務是城際間運輸唯一也是最好的選擇；但隨著高速公路的興建完成與天空的開放後，更為便捷與舒適的運輸服務產生，因而逐漸瓜分原本台鐵的運輸市場與客源，進而影響收入；近年來，政府又積極規劃興建高速鐵路（High Speed Railway）系統，可以預見，當高速鐵路興建完成正式營運時，客源流失的問題將會更加嚴重。此外，勞基法的通過與實施對於鐵路公司而言，不但增加更多營運的限制，如規定員工一天基本工作時數的上限等，還調漲基本工資，造成公司人事薪資成本支出的大幅增加。因此，面對競爭愈來愈激烈的經營環境，台鐵營運的目標，除了繼續積極改善營運的績效，以保持住原有的客源並試著開發新客源增加收入外，如何設法降低龐大的營運成本並減少支出，亦唯一重要課題；其中，駕駛員薪資成本的降低即為可以努力的目標之一。

良好的駕駛員排班方式除了可以精簡駕駛員的需求數，降低薪資成本外，亦可以減少排班不當產生超出工作時數限制的情形，因而增加的加班費；此外，排班時，若能在成本最小化的考量下，同時兼顧排班的公平性、合理性等，將可以減少駕駛員對於工作不滿與抱怨的因素，提高工作意願。實務上，台鐵的駕駛員排班工作是由專業人員以人工的方式完成，然而排班工作需考量人力資源、工會限制與公司規定等複雜的限制條件外，還需力求薪資的精簡，故若單純以人工的方式來排班，不但費時耗力，且很難評估排班結果的好與壞，並進一

步求取排班的改善。

鐵路駕駛員排班相關之法規限制，除政府單位相關法令外，另一項則為鐵路公司與駕駛員工會共同協商的工作限制。此類的工作限制會因為公司與工會每年定期的協商而有所調整，而這種頻繁的調整動作對於以人工作業的排班方式，將會是極大的困擾與挑戰；根據台鐵排班人員以往實務經驗，任一大幅度的排班變動，所花費的排班時間往往超過三個月。

回顧國內外對於人員排班問題的研究已經行之有年，尤其是應用於航空與公車人員排班方面；然近年來亦開始應用於鐵路人員排班問題。人員排班問題以數學規劃角度來思考，呈現的是一整數規劃的問題，同時亦是組合最佳化的問題（combinatorial optimization problem），此類的問題常具有求解時間隨問題變數的增加，而成指數方式遞增的特性；而觀察實務排班所產生的變數數目均有一定的數量，故可預期求解問題時有相當的困難度。

綜合之，本研究的目的是希望藉由對現有排班問題的研究，以更有系統與效率的方法，建立符合公平性、合理性與總成本最小化的排班，同時亦能縮短排班時間、增加排班的彈性與機動性，而最終的目標則希望能藉此改善營運的績效。

## 1-2 研究範圍與限制

鐵路駕駛員排班的過程中，一般可以分為兩個排班的層次。（1）工作班產生（crew scheduling）：此班排層次為將時刻表上列車班次分割所得之乘務（trip）做為投入資料，然後將這些乘務在相關法規限制下予以連結，而產生一組工作班（duty）；（2）工作班輪班表產生

( crew rostering ) : 此班排層次為將上一排班層次所產生的工作班做為投入資料，同樣在滿足法規限制下予以連結，產生一套輪班的順序，稱為工作班輪班表 ( roster )。本研究的研究範圍，將包含此兩層次的排班問題。

本研究的研究對象為台鐵高雄機務段，其所屬駕駛員共有 231 人，權責劃分的範圍北起台中站，南至枋寮站，東到台東站。研究所採之實證資料為高雄機務段實務排班中，各種與前述排班問題相關、所需的投入資料。此外，構建問題模式過程中，將不考慮列車機車頭排程與列車誤點的情形，並以台鐵「動力車乘務員勤務時間排班須知」上之相關規定為排班的法規限制條件。

### 1-3 研究方法

本研究將就鐵路員排班問題的兩個排班層次，工作班產生與工作班輪班表產生，以最佳化的角度，利用數學規劃的方法，針對問題的特性分別構建適當的數學模式，然後以台鐵的資料進行實證研究，期能降低排班的成本與縮減排班的時間。

#### 1. 工作班產生問題

- (1) 產生具高度可行性之工作班做為投入模式求解的資料集。此部分工作，本研究利用 Fortran 程式語言，以台鐵原始排班資料做為投入資料，在考慮所有法規限制條件下，撰寫可行工作班產生器完成。
- (2) 將上一步驟產生之具高度可行性工作班，投入集合涵蓋問題 ( set covering problem ) 模式中求解。藉由套裝軟體 Lindo 幫助求解，選取兼具最小化人員與最小化總成本雙目標規劃的工作班組合。

- (3) 逐次修改可行工作班產生器，產生更多的可行工作班加入投入資料集並求解。期利用每次增加投入的可行工作班數，逐步改善模式結果，直到模式績效接近無法改善之收斂狀態為止。

## 2. 工作班輪班表產生問題

利用網路問題的概念，構建符合所有限制條件的工作班輪班表產生模式，並以台鐵的資料做為投入資料，藉由套裝軟體 Lindo 並配合適當啟發式解法幫助求解，產生輪班週期時間最小且每週工作量最平均的工作班輪班表。

### 1-4 研究步驟與流程

#### 1. 界定研究主題

針對本研究之研究動機、研究目的、研究方法，做一番說明，並釐清研究範圍。

#### 2. 文獻回顧

回顧國內外有關鐵路駕駛員排班與其他運具駕駛員排班問題之文獻，以瞭解目前國內外對於駕駛員排班問題研究發展之成果，尤其在鐵路駕駛員排班方面。

#### 3. 實務的瞭解與資料蒐集

透過與專業排班人員訪談，瞭解實務上排班的方式與排班的困難，並蒐集排班相關的資料，作為投入模式的準備。

#### 4. 排班模式構建

分別就鐵路駕駛員排班問題的兩個排班層次：工作班產生（crew scheduling）與工作班輪班表產生（crew rostering），構建數學模式。



## 5. 實證結果與分析

利用實務的資料，作為模式投入並求解；之後對模式輸出結果做分析並與實務排班的情形做比較。

## 6. 結論與建議

整理研究經驗與心得，提出具體的結論與建議，並做為爾後相關研究之參考。

本研究之研究流程圖如圖 1-1 所示：

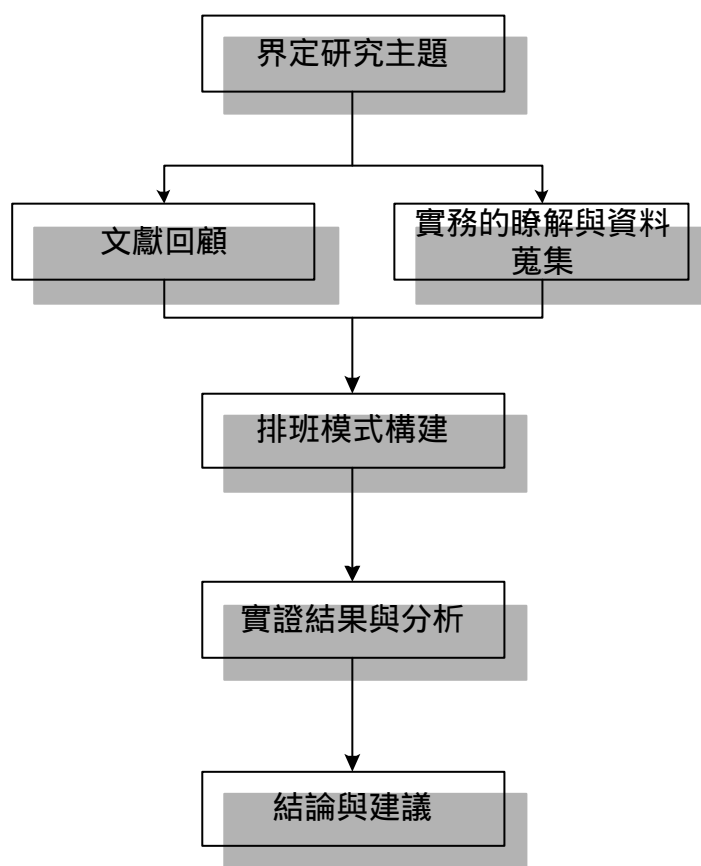


圖 1-1 研究流程圖

## 第二章 文獻回顧

本章節的第一部份，將對鐵路駕駛員排班問題於整體鐵路運輸系統規劃中，所扮演的角色與重要性做說明。第二部份，說明鐵路駕駛員排班的概念；首先對於排班的相關專有名詞做定義後，再說明何謂鐵路駕駛員排班問題與台鐵駕駛員排班的簡介。第三部份，回顧與人員排班問題相關之文獻。第四部份，為對於回顧文獻的心得。

### 2-1 鐵路運輸系統規劃

本研究探討的主題為鐵路駕駛員排班問題。吾人認為欲討論此一問題前，應先回顧鐵路運輸系統規劃的程序以對鐵路運輸系統規劃有整體的瞭解，並清楚駕駛員排班問題在規劃程序中的定位，藉以得知對此問題做規劃的重要性與必要性。

鐵路運輸系統規劃所要考慮的因素極為複雜且多樣，因此一般在探討此問題時，通常會將整體的決策過程以決策的層次與決策規劃時間的長短做為劃分。依此分類方式，鐵路運輸系統規劃可分為三大規劃階段[5,6]。

(1) 策略性規劃( strategic planning )或長期規劃( long-tern planning )

此規劃層次所考量的規劃時間最長，通常為 5 年到 15 年。主要的規劃目標為評估、決定各項資源的最適數量、種類與品質；具體的規劃項目包括：(1) 制訂與評估列車運行實體網路結構；(2) 主要設施區位選擇；(3) 資源的取得；(4) 服務水準的設定等。

(2) 戰術性規劃( tactical planning )或中期規劃( median-tern planning )

此規劃層次所考量的規劃時間通常為 1 年到 5 年。主要的規劃目標為在資源的運用受限下，決定資源的分配與使用，以期能精準有效率的運用有限資源。具體的規劃工作包括：(1) 列車服務計畫的確立；

(2) 調度場調度策略 ; (3) 空車調度計畫等。

(3) 作業性規劃 ( operational planning ) 或短期規劃 ( short-term planning )

此規劃層次所關心的為與每日營運息息相關的人員、車輛與設備等各項活動。具體的規劃工作包括 : (1) 站間運轉時分的推估 ; (2) 理想時刻表的制訂 ; (3) 列車排點 ; (4) 行車人員排班 ; (5) 場站資源調度計畫等。

上述三個規劃階段，雖然彼此間的規劃目標與工作內容不盡相同，但就整體規劃過程而言，三個階段的規劃實為循序漸進、環環相扣；策略性規劃的成果為戰術性規劃的基礎，戰術性規劃的成果則為作業性規劃的基礎；故如有任何一個規劃環節出問題，均會影響到整體規劃的效率與效果。

本研究所關心的鐵路駕駛員排班問題，於整體鐵路運輸系統規劃三階段中的作業性規劃；根據上述，這個問題與每日的鐵路營運息息相關，凸顯問題的重要性。

## 2-2 鐵路駕駛員排班的概念

### 2-2-1 專有名詞說明

由於回顧相關人員排班文獻與本研究之研究對象對於鐵路駕駛員排班問題描述時所使用之專有名詞表述不一，為避免混淆意義與利於對問題的說明與描述，故先說明相關的專有名詞。

始發站：開始乘務的車站。

始發時間：列車於始發站的發車時間。

到達站：結束乘務的車站。

到達時間：列車於到達站的到站時間。

機務段：駕駛員所屬的基地。

乘務：同一駕駛員，中間不予以更換且不休息，將列車由始發站駛至

到達站之駕駛任務。

連續乘務：兩乘務連結，前者之乘務時間結束與後者之乘務時間開始間，若間隔時間小於 1 小時 40 分，則兩乘務視為連續乘務。

工作班：駕駛員由某車站出發，完成若干個乘務後，回到該車站的駕駛任務稱之為一個工作班。

工作班輪班表：將工作班適當的連結，成為一套工作班輪班表，駕駛員每日依此工作班輪班表依序執行各工作班。

列車開車前之整備時間：駕駛員應於乘務的始發時間前若干時間先行報到，此段時間稱為列車開車前之整備時間。而列車開車前之整備，因乘務的特性不同可分為兩種情形：

站接：此類乘務之開車前整備，主要工作是讓駕駛員於發車前充分瞭解乘務內容、行車注意事項等。

出庫：此類乘務之開車前整備除上述內容外，還包括將列車先由車庫駛至月台等候發車。

列車到達後之整備時間：駕駛員於乘務的到達時間後若干時間才准予簽退下班，此段時間稱為列車到達後之整備時間。而列車到達後之整備，因乘務的特性不同可分為兩種情形：

站交：此類乘務之到達後整備，主要工作是讓駕駛員於到達後填寫工作報告、簽退下班。

入庫：此類乘務之到達後整備除上述內容外，還包括將列車先由月台駛入車庫。

乘務時間：由始發站至到達站，列車實際行駛的時間。

一般工作時間：列車開車前之整備時間與到達後之整備時間的加總。

工作時間：乘務時間與一般工作時間之加總。

圖 2-1 為高雄機務段編號 801EA 工作班，舉此例說明上述名詞。此工作班包含兩個乘務，乘務 1 始發站為高雄站，始發時間 6 點 20 分，到達站為彰化站，到達時間 8 點 37 分；乘務時間 2 小時 17 分；開車前之整備屬出庫情形，時間 1 小時，到達後整備屬站交情形，時間 30 分，故一般工作時間 1 小時 30 分。乘務 2 始發站為彰化站，始發時間 12 點 28 分，到達站為高雄站，到達時間 15 點 22 分；乘務時間 2 小時 54 分；開車前之整備屬站接情形，時間 40 分，到達後整備屬入庫情形，時間 40 分，故一般工作時間 1 小時 20 分。因此，此工作班工作時間為 8 小時 1 分。

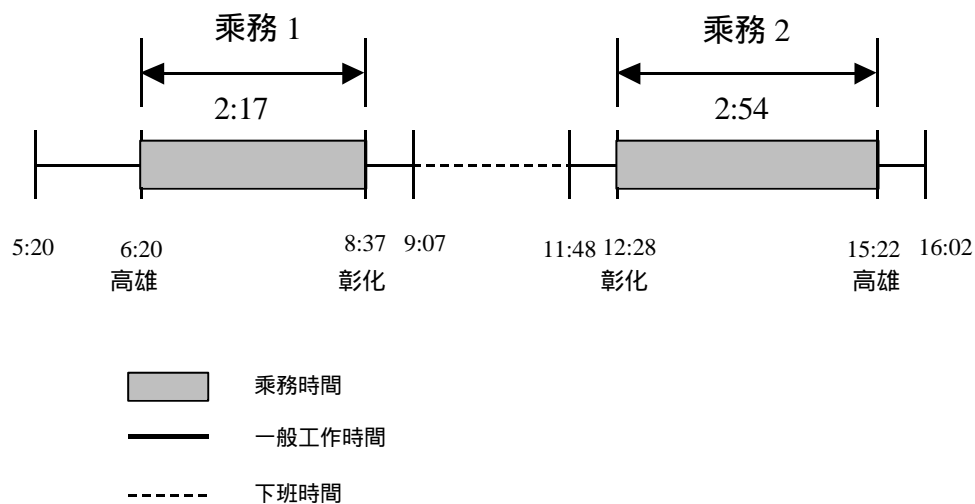


圖 2-1 工作班示意圖

## 2-2-2 鐵路駕駛員排班問題描述

鐵路駕駛員排班之投入資料是滿足列車服務所產生的計畫時刻表與人力資源的資料。計畫時刻表上任一列車班次，每天均需要有駕駛員服務，才不至影響整體營運。每一列車班次均可單獨為一乘務或分割成幾個乘務，每個乘務均有各自的始發站、到達站、始發時間、到達時間等屬性，且還可以依乘務的工作時間長短或工作時段而有不同的分類。圖 2-2 為一列車運行圖，橫軸為時間，是為一連續量；縱軸為空間，以離散的方式表達車站的位置，每一條運行圖上的斜線表示對應列車在時空中移動的軌跡；根據假設的計畫時刻表，一天必須被服務的乘務，如圖所示有  $T_1$ 、 $T_2$ 、 $T_3$ 、 $T_{13}$ 、 $T_{14}$ ，共 14 個乘務。

對每一個駕駛員而言，每天工作的任務稱為工作班，定義工作班為一連串乘務的連結。其中，每一工作班乘務數目的多寡、排列的順序與連結乘務間的休息時間等，均需考量各乘務的屬性且滿足鐵路公司與工會之各項規定。圖 2-3 為將圖 2-2 一天 14 個乘務，考量乘務的屬性、連結的限制條件與往返為同一機務段等，產生 6 個工作班。

工作班輪班表則為將包含一天所有乘務的所有工作班，考量各工作班間連結的適當性，如休息時間是否充分等，成為一套工作班輪班表。圖 2-4 為此 6 組工作班適當的連結而成的工作班輪班表；此例假設一星期為 6 天，每星期的第 6 天為休假日，故可得知此工作班輪班表共需 12 個駕駛員。依據此工作班輪班表，如駕駛員 1 於第  $d$  天服務工作班  $T_5$  與  $T_6$ ；第  $d+1$  天，則服務工作班  $T_7$  與  $T_8$ ；第  $d+2$  天，服務工作班  $T_{11}$  與  $T_{12}$ ；依序類推，第  $d+11$  天，沒有排定工作班；第  $d+12$  天，又輪迴服務工作班  $T_5$  與  $T_6$ 。同一工作班輪班表，駕駛員 2 則於第  $d+1$  天服務工作班 與 ；第  $d+2$  天，服務工作班 與 ；第  $d+3$  天，服務工作班  $T_{11}$  與  $T_{12}$ ；其餘依序類推。換言之，若以工作班  $T_5$  與  $T_6$  為例，

第  $d+2$  天由駕駛員 3 服務，第  $d+3$  天由駕駛員 4 服務，依序至第  $d+11$  天由駕駛員 12 服務；而第  $d+12$  天，則又輪迴駕駛員 1 服務。建立此輪班方式的目的是在於因每一個工作班的屬性不盡相同，且駕駛員對於工作班的偏好程度亦不相同，故為求公平，需要建立以此工作班輪班表做為輪班依據的排班方式。

綜合之，鐵路駕駛員排班可分為兩個排班層次，第一個層次稱為工作班產生 ( crew scheduling )：此層次投入資料為列車運行圖，輸出則為一套工作班。這套工作班不僅要包含列車運行圖上所有的乘務，且每個工作班還需滿足最長工作時間、最長連續工作時間、最短休息時間等與安全有關之法規限制。第二層次稱為工作班輪班表產生 ( crew rostering )：此層次投入資料為一套工作班與人力資源的資料，輸出則為工作班輪班表。考量的因素有工作班與工作班間連結的適當性、每個工作班平均的工作量、一週與一月內工作量的平衡等。

分此兩層次規劃的原因有下列原因：一、每個駕駛員均有所屬的機務段，因此每工作班的產生需額外考量完成該工作班後是否回到原本出發的機務段；產生工作班輪班表時，由於投入的工作班均屬同一機務段，故只需考量彼此間排列的順序與限制。二、產生工作班與工作班輪班表所考量的限制條件與規劃時間長短不同。

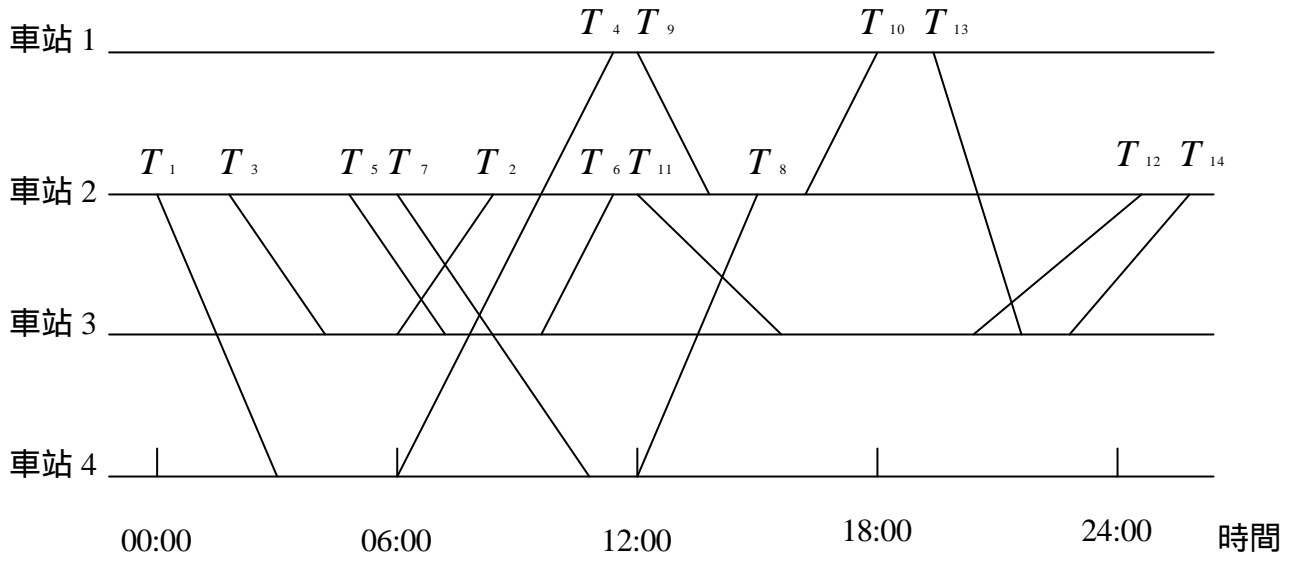


圖 2-2 列車運行圖

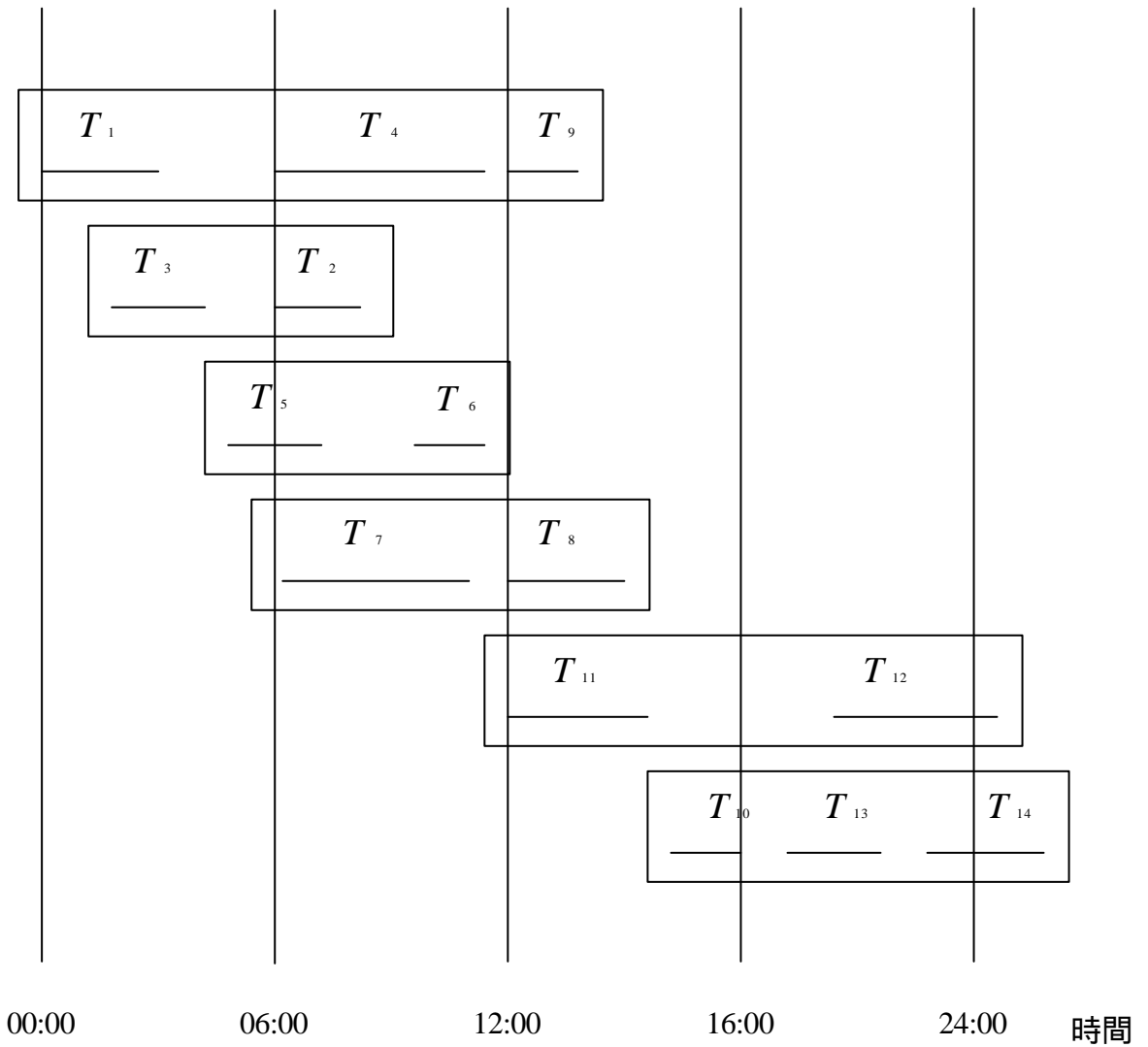


圖 2-3 包含所有乘務的工作班



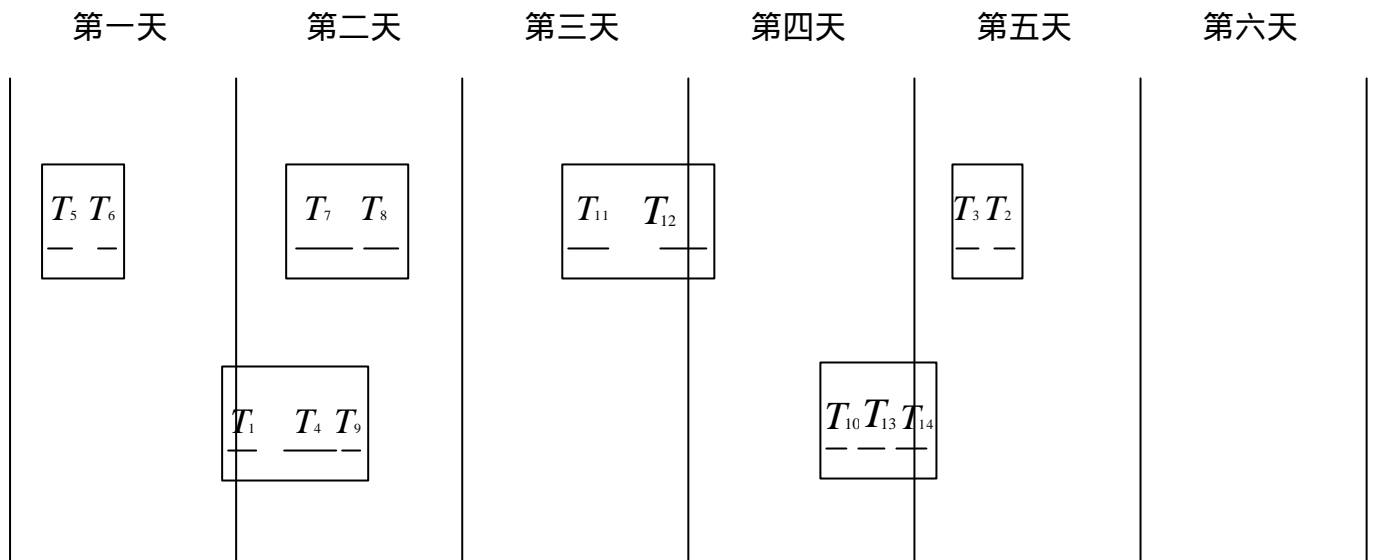


圖 2-4 工作輪班班表

### 2-2-3 台鐵駕駛員排班簡介

台鐵駕駛員排班工作由「機務處」負責統籌規劃，由專業排班人員以人工的方式完成，整個排班的概念如前述，先將時刻表上的列車班次切割為乘務，乘務產生工作班，工作班產生工作班輪班表。

實務上，駕駛員排班以分工方式處理，其作法是以幾個重要機務段為中心進行權責的劃分，以高雄機務段為例，其負責的範圍北至台中站，南到枋寮站，再延伸至台東站；如此規劃的主要原因是基於行車安全考量。由於列車行駛期間，駕駛員必須牢記每個行車號誌與特殊路段的位置，並即時做出適當且正確反應才得以確保行車安全，因此對於行駛路線需相當熟悉；過長的行駛路線將不利於駕駛員對於號誌與路況的記憶，間接將影響到行車的安全。所以，劃分列車班次成為乘務時，除考量連續行駛時間、距離等限制外，也需參照各機務段權責區域的劃分。舉例說明，列車編號 PP1004 自強號列車依時刻表，6 點 20 分由高雄站發車，預計 11 點 7 分到達終點松山站，台鐵實際排班的方式為將此一系列車班次分為 2 個乘務，先由高雄機務段駕駛員

需負責將列車依預定時間於高雄站發車，駛抵彰化站後更換駕駛員，由台北機務段駕駛員接手，繼續駛往松山站。建立工作班輪班表制度的目的除前述之力求公平性外，週期性的輪班將有助於駕駛員對於機務段負責之所有行駛路線的熟稔，以避免調度時發生駕駛員不適任的情形，造成排班的困難。

此外，台鐵現行客貨運列車計有自強號、莒光號、復興號、電聯車、平快車與貨運列車等六種車種，由於各車種的行駛速率、操作原理、所需駕駛員數等屬性不盡相同，故公司對於駕駛員訂有嚴格的資格限制，例如：平快車駕駛員如未接受自強號駕駛訓練且取得資格者不得駕駛自強號等。因此，如某駕駛員被指派至某一工作班服務，其一定符合此工作班中所有乘務對於駕駛員資格的要求與限制；而被指派入某一工作班輪班表服務時，其一定符合工作班輪班表上任一工作班的對於駕駛資格的要求與限制。

台鐵現行排班的各項辦法與限制條件均遵照「動力車乘務員勤務時間排班須知」(附錄 C)辦理。排班的辦法與限制條件可分為兩大類，一類為規範「工作班」的產生，一類為規範「工作班輪班表」的產生。由於此排班須知的訂定除遵守政府對相關法另外，最主要的部分是由公司與工會共同協商產生，且雙方每年均會定期開會針對排班須知的內容做若干修改。此舉對於排班作業而言將產生不確定性，因為無法預知排班限制調整的內容與幅度大小，故本研究考量使用的相關限制條件，將會選擇對此兩層次排班作業而言，最主要、最基本同時也是變動幅度最小的幾項重要限制條件。以下即為限制條件說明。

(1) 以下為「工作班」產生的主要限制條件：

- (1) 連續乘務距離不得超過 250 公里。
- (2) 6:00 至 22:00，連續乘務時間不得超過 6 小時。

- (3) 若有連續乘務於時段 22:00 至翌晨 6:00 內，有乘務時間 2 小時以上者，則連續乘務時間不得超過 5 小時。
  - (4) 22:00 至翌晨 6:00，若有乘務連結不為連續乘務，則休息時間不得少於 4 小時。
  - (5) 一個工作班之排定，其工作時間不得超過 12 小時，但若其中有 4 小時以上之休息時間時，則可增加至 14 小時。
  - (6) 列車開車前之整備若為出庫情形，計一般工作時間 1 小時；若為站接情形，計一般工作時間 40 分鐘。
  - (7) 列車到達後之整備若為入庫情形，計一般工作時間 40 分鐘；若為站交情形，計一般工作時間 30 分鐘。
- (2) 以下為「工作班輪班表」產生的限制條件：
- (1) 每組工作班輪班表每日平均乘務時間以 6 小時 40 分為上限。
  - (2) 每週應排定一次 24 小時以上之休息時間做為例假，每月 4 次例假中應有二次為 40 小時以上之休息。
  - (3) 於 22:00 至翌晨 6:00 有乘務時間 2 小時以上之工作班，不得連續排定 2 次以上，且每月此類工作班不得超過 10 個。
  - (4) 每工作班反段後給予之休息時間應相當於該工作時間以上，但於工作班中曾在折返站或候班站休息時間相當於前程之乘務時間以上者，其工作時間應指末段工作時間而言。

### 2-3 人員排班問題相關文獻回顧

根據上述說明，鐵路駕駛員排班問題可以分為兩個排班的層次，分別為工作班產生 ( crew scheduling ) 與工作班輪班表產生 ( crew rostering )，且由於兩層次排班所要求的各項排班的投入資料與考量的

法規限制完全不同，因此於回顧相關人員排班文獻時，將針對此兩種不同排班層次，來做分類說明。

### 2-3-1 與工作班產生 ( crew scheduling ) 相關文獻

此類排班問題共同的特性為投入的每一個活動 ( 乘務 ) 在符合限制條件下，可以重複存在於任何一個可行組合 ( 工作班 ) 中，且每一個活動均需指派人員服務。若以數學規劃的概念來看此一問題，可將之定式為一集合分割問題 ( set partitioning problem )，其目標式為求總成本最低；然而部分人員排班可以允許兩個人員或以上同時服務一活動，因此可以再將集合分割問題模式中的等式鬆弛為不等式，而變成為一集合涵蓋問題 ( set covering problem )。以下即為兩問題的數學模式：

$\begin{aligned} & \text{Min} \quad \sum_{j \in D} c_j x_j \\ & \text{subject to} \\ & \sum_{j \in D} a_{ij} x_j = 1 \quad \forall i \in T \\ & x_j \in \{0,1\} \quad \forall j \in D \end{aligned}$ <p>( 集合分割問題模式 )</p>	$\begin{aligned} & \text{Min} \quad \sum_{j \in D} c_j x_j \\ & \text{subject to} \\ & \sum_{j \in D} a_{ij} x_j \geq 1 \quad \forall i \in T \\ & x_j \in \{0,1\} \quad \forall j \in D \end{aligned}$ <p>( 集合涵蓋問題模式 )</p>
--	---

$D$  : 可行組合的集合       $T$  : 活動的集合  
 $i$  : 第  $i$  個活動       $j$  : 第  $j$  個可行組合  
 $c_j$  : 可行組合  $j$  的成本

$$a_{ij} = \begin{cases} 1, & \text{活動 } i \text{ 存在於可行組合 } j \\ 0, & \text{其他} \end{cases}$$

$$x_j = \begin{cases} 1, & \text{可行組合 } j \text{ 存在於最後結果中} \\ 0, & \text{其他} \end{cases}$$

(1) 沈志展[1]在求解「空勤隨機人員排程問題」時，將問題視為集合涵蓋問題處理，目標函數為求成本最小化，利用套裝軟體 ( Xpress-MP ) 求解。此研究的實證投入資料與排班的法規限制均以國內某一家航空公司為例，但為了減低問題的規模，實際投入的資料只選擇 68 個班次。求解過程中，第一步驟為利用自行發展的演算法並將其撰寫為電腦程式，適當定義成本後，產生所有可行的組合，來做為集合涵蓋問題模式的投入資料。第二步驟則將產生的所有可行組合，投入集合涵蓋問題模式中，利用專業軟體求解，求取成本最小的可行排班組合。由於此模式為一 0-1 整數規劃問題，求解原理是利用分枝定限法 ( branch and bound ) 求解，在每一次的分枝 ( branching ) 後，利用單體法 ( simplex method ) 解一線性規劃問題，若所得的解為整數且比目前的最佳解還好，則予以取代成為最佳解；若否，則不予以取代。經過反覆求解過程，逐漸將目前的解改善為最佳。

(2) Caprara, Alberto et al. [8]求解「鐵路駕駛員排班問題」，將問題模式定式為集合涵蓋問題，求解時則使用拉氏鬆弛法暨次梯度法 ( lagrangian relaxation with subgradient method ) 求解。求解過程中，第一步驟為利用符合法規限制的排班網路圖產生所有可行的工作班組合；其假設節點代表乘務，節線代表乘務的接續。如圖 2-5 所示之網路結構中，任一由基地出發最後又回到基地的路徑其乘務時間、工作時間與休息時間均需滿足排班之法規限制，故為一可行的組合；進一步則可發展成為排班網路，藉此網路圖產生所有可行的組合；第二步驟則為集合涵蓋問題的求解，使用方式則為拉氏鬆弛法暨次梯度法；此方法已應用於實務排班，且成效卓著。

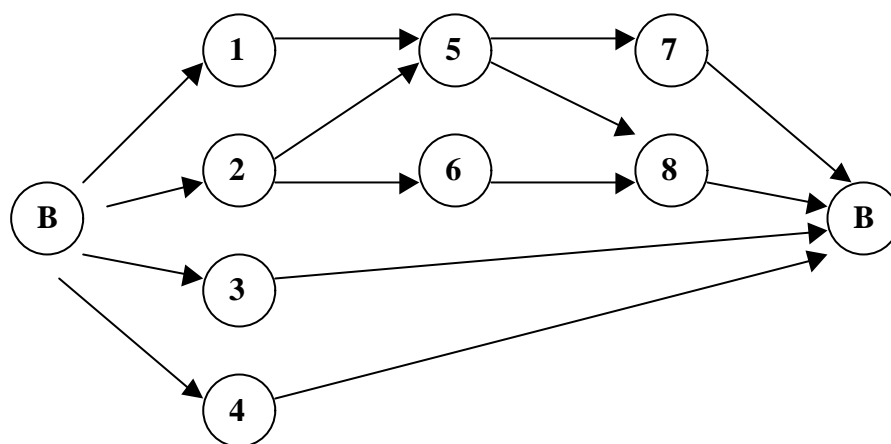


圖 2-5 可行排班網路圖

文獻 (1) 與 (2), 在求解集合涵蓋問題前均假設：所有可能包含最佳解的可行組合已完全產生，之後再針對這些變數進行求解、挑選的動作。然而，隨著問題變大時，變數數目將亦變的相當龐大，可能造成求解時間過長，甚至無法求解的情形。

(3) 顏上堯、林錦翌[4]求解「空服員排班組合之最佳化問題」時，將問題模式定式為集合涵蓋問題，求解方法則利用變數產生法 (column generation) 求解。此研究中，假設草擬班次表及空服員排班網路為已知進行求解，首先以人工方式產生足夠數量的可行值勤航班 (pairing) 組合，獲得問題的起始變數。之後，將求解過程分為對主問題與子問題的求解 (圖 2-6)；主問題為集合涵蓋問題，只考慮已產生的部分變數，以單體法求解，找出此部分變數的最佳解，利用求解主問題所得的資訊，加入次問題，修正次問題的參數；次問題則為最短路徑問題 (shortest path problem)，並利用標籤設定演算法 (label setting algorithm) 求解，產生有助於改善主問題目前解的變數，再加入主問題中，

重新求解。以此程序逐漸改善目前解，一直到無法改善為止。

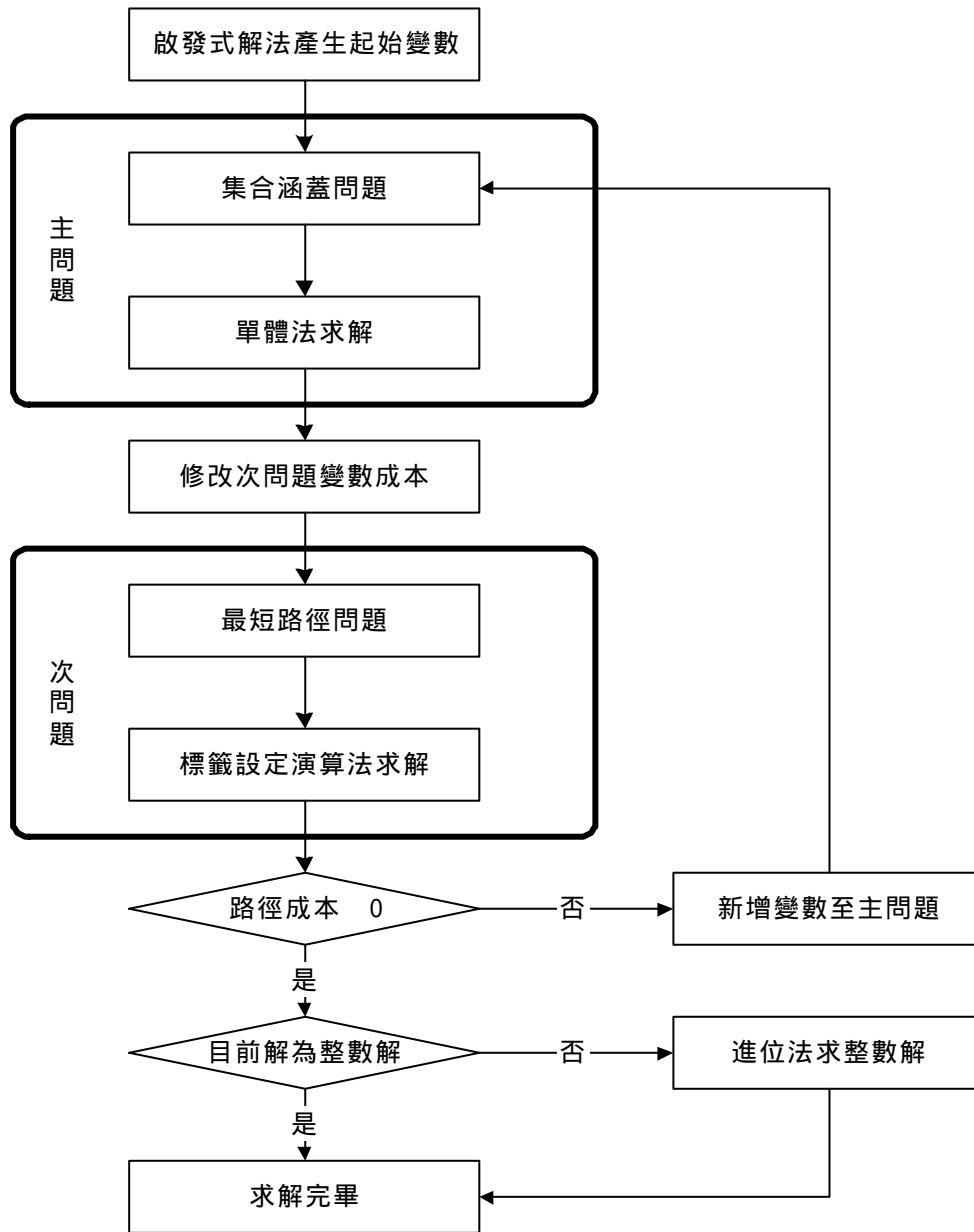


圖 2-6 變數產生法的求解步驟

(4) 何盈芬[2]在求解「飛行員排班問題」時，亦將問題視為集合涵蓋問題，且仍利用變數產生法求解。然在主問題的求解時，此研究於問題求解時不再使用單體法，而採用內部點法 (interior point method)。所謂的內部點法與常用的單體法求解法最大的不同處，在於單體法在求解的過程中，只能允許於可行解區域邊界上的點移動，來尋求解改善，而內部點法則將可搜尋的點延伸到可行解區域內。

(5) Desrochers, M. et al. [10,11,12]求解「都市公車駕駛員排班問題」時，採用變數產生法求解問題；主問題為利用單體法求解集合涵蓋問題，次問題為利用動態規劃演算法 (dynamic programming algorithm) 求解最短路徑問題。其中，文獻[12]針對次問題 (最短路徑問題) 求解，做深入討論。由於可行路徑的產生需考慮許多的限制，如每一排班 (piece) 的時間限制、休息時間限制、每天工作時間的限制、每天排班數的限制等；換言之，任一可行路徑的產生均需要檢查是否符合上述限制條件，而此動作往往需要耗費大量的求解時間，因此可以瞭解求解次問題時，排班網路設計與可行路徑尋找的重要性與困難度。

文獻 (3) (4) (5)，在求解集合涵蓋問題時，並不要求產生所有可行的組合，而只需一定數量的部分可行組合，然後藉由求解此部分變數過程中產生的資訊做判斷，再引進可以改善目標值的變數；如此反覆求解，一直到不能改善目標直為止。



(6) Kataoka, K. et al. [16]使用模擬進化法 ( simulated evolution technique ) 求解鐵路駕駛員排班問題。所謂的模擬進化法有四個演算步驟：(1) 起始解產生：使用簡單的演算法產生所有可行的工作班，如存在任一乘務不屬於任何可行工作班，則將之單獨視為一虛擬工作班 ( dummy duty )。(2) 評估：利用成本公式評估並得到可行工作班的成本。如果沒有任何虛擬工作班存在，則獲得一可行解，求解結束；如否，則目前之解，只能是為暫時的解。(3) 挑選：選取所有虛擬工作班與具高成本的可行工作班，將其所涵蓋的乘務予以釋放。(4) 改善：將上步驟釋放的乘務做為新的投入資料，利用產生演算法再次求解。依此四產生步驟運算求解，直到沒有任何虛擬工作班存在為止。

(7) Wren, A. et al. [17]使用基因法 ( genetic algorithm ) 求解公車駕駛員排班問題。所謂的基因法有下列演算步驟：(1) 建立許多有潛力的排班 ( potential shift )。(2) 隨機挑選步驟 1 之部分排班，形成許多可行的基本組合 ( basic cover )，此基本組合之所有排班必須能涵蓋所有時段 ( unit )。(3) 隨機選取基本組合，並擷取其中的排班予以配對，利用交換組合 ( cross cover operation ) 的動作產生新解；此外，另設計以隨機的方式產生突變的機制。重複上述步驟，直到滿足停止條件為止。

### 2-3-2 與工作班輪班表產生 ( crew rostering ) 相關文獻

(8) Caprara, Alberto et al. [8,9]求解「鐵路駕駛員排班問題」時，將第一排班層次所得之工作班，做為工作班輪班表產生的投入資料，而整個求解的概念亦利用網路問題，求解的目標函數為輪班週期最小化。假設節點代表工作班，節線代表工作班的接續，

任兩節點有節線連結，即表示兩工作班的連結符合法規限制。故將所有可連結的節點均予以連結，可以發展為一網路結構。利用此網路結構，工作班輪班表產生問題則可視為於此網路中，找尋一成本最低且有方向性的迴圈，而此迴圈必須包含所有的節點。求解的方法，則為作者自行發展的啟發式方法。

(9) Jarrah, Ahmad I. Z. et al. [15]求解類似於工作班輪班表產生的航空組員的月值勤組合 (crew bidlines) 時，採用下列方法，求解的目標為以最少的月值勤組合涵蓋所需被服務的全部值勤航班。此方法共有三步驟 (圖 2-7)：第一步驟，假設所需服務的值勤航班為已知，從所有的值勤航班中選取部分；第二步驟，利用第一步驟選取的值勤航班產生符合所有法規限制的可行月值勤組合；第三步驟，將第二步驟產生的所有可行的月值勤組合當作投入資料，解一集合分割問題。依此步驟，利用每次疊代時於第一步驟選取不同的值勤航班來改善目標值，直到不能改善為止。

(8) Gamache, Micheal et al. [13]利用「變數產生法」求取航空組員的月值勤組合，目標函數為最小化未被任何月值勤組合涵蓋之值勤航班的時段。本研究以法國航空公司 1993 年 4 月與 6 月的值勤航班為投入資料，利用 CADET 程式產生可行的月值勤組合；之後，投入集合涵蓋問題模式以變數產生法求解。

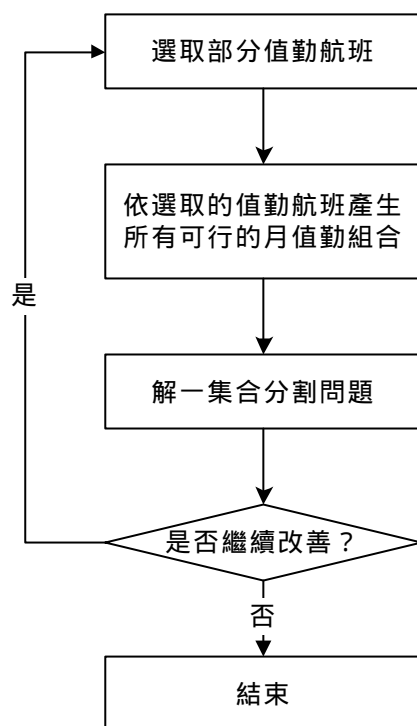


圖 2-7 Jarrah, Ahmad I. Z. et al. 之月值勤組合產生步驟

(9) Campbell, Kevin W. et al. [7] 利用模擬退火法 (simulated annealing) 求解航空組員的月值勤組合問題。模擬退火法的原理源自熱力學，由於物質在形成某種規則狀態時 (如結晶) 時，所有的分子需要調整其相對位置或狀態使得整體的某種指標達到某種最佳值 (如總能量最小)，而這些分子的個別位置或狀態互相獨立，但又受到某些規則的約束；相較於求解航空組員的月值勤組合問題，目的為求解許多決策變數的值，使得目標函數的值最大或最小，而決策變數的值亦為相互獨立同時又受到限制條件所限制。

模擬退火法有四個演算步驟：(1) 產生一組可行月值勤組合。(2) 任意選取目前之可行月值勤組合中任兩組合上的一個值勤航班做交換，若交換前與交換後之成本差符合式 2-1 或式 2-2 則予以交換；否則放棄，並重新選取。(3) 適當降低參數  $T$  值。(4)

若演算回合數達到預定或未能繼續有效改善目標函數則停止，否則回到步驟 2。

$$IF(\text{交換前與交換後之成本差}) < 0 \quad (\text{式 2-1})$$

$$IF(\text{某設定之任意數}) < \left( e^{-(\text{交換前與交換後之成本差})/\Gamma} \right) \quad (\text{式 2-2})$$

## 2-4 小結

回顧上述人員排班問題相關之文獻後，有下列幾點心得。

1. 人員排班問題為數學規劃領域一重要問題，且因其亦為 NP-complete 問題，具求解時間會隨著變數的增加而以指數方式成長的特性；實務上，人員排班問題具有一定的規模，故求解時有其一定的困難度，同時排班問題又是營運管理的重要課題之一。因此，此問題有其研究的必要性與研究的價值。
2. 根據回顧之文獻，對於模式求解的方法可以概分為兩類：若模式本身可容許的求解時間較長，則可以使用複雜度較高的演算法求取模式之正確解，如上述之變數產生法；若模式本身屬於即時性問題，或模式規模過大而無法求模式之正確解，為能在有效時間內獲得較佳解，則必須採用複雜度較低的啟發式解法，如上述之模擬退火法、基因法。
3. 回顧文獻對於集合分割問題或集合涵蓋問題正確解之求解方法，如前述可以分為兩類，一為先利用啟發式的方法產生所有可行的組合，投入模式進行挑選的動作，此方法的優點為處理的概念簡單，但最大的缺點為產生所有可行的組合數目與所費的時間往往會隨著問題規模的增加，而變的過於龐大與冗長，因而降低了求解的效率；第二類的處理方式為使用變數產生法的概念，由於此種方式並不需要事先產生所有的可行組合，即可透過求解過程中

一些運算訊息的傳播來進行求解，因此對於大型問題的求解，會有較出色的表現。

4. 變數產生法的次問題為求解最短路徑問題，概念上極為簡單，然產生求解時所需之排班網路與可行路徑過程中，由於每一步驟均需檢查是否符合法規限制，所以產生的過程將會變的繁雜且耗時，因此在使用變數產生法求解時，需要對此動作的影響作評估。
5. 上述提及關於鐵路駕駛員的工作班輪班表與航空組員的月值勤組合，輪班的方式略有不同。鐵路駕駛員的工作班輪班表投入的資料為涵蓋所有乘務的工作班，產生一套工作班輪班表，駕駛員每天依照輪班表執行駕駛任務；航空組員的月值勤組合則是每個航空組員有自己一套的月值勤組合，而所有航空組員月值勤組合必須涵蓋所有值勤航班。

表 2-1 與工作班產生相關文獻彙整表

與工作班產生 ( crew scheduling ) 相關文獻			
正確解法			
作者	求解問題	數學模式	求解方法
1.沈志展[1]	空勤隨機人員排程問題	集合涵蓋問題	套裝軟體
2.Caprara, Alberto et al.[8]	鐵路駕駛員排班問題	集合涵蓋問題	拉氏鬆弛法暨次梯度法
3.顏上堯、林錦翌[4]	空服員排班組合之最佳化問題	集合涵蓋問題	變數產生法
4.何盈芬[2]	飛行員排班問題	集合涵蓋問題	變數產生法
5.Desrochers, M. et al. [10,11,12]	都市公車駕駛員排班問題	集合涵蓋問題	變數產生法
啟發式解法			
作者	求解問題	求解方法	
1.Kataoka, K. et al. [16]	鐵路駕駛員排班問題	模擬進化法	
2.Wren, A. et al. [17]	公車駕駛員排班問題	基因法	

【資料來源：本研究整理】

表 2-2 與工作班輪班表產生相關文獻彙整表

與工作班輪班表產生 ( crew rostering ) 相關文獻		
作者	求解問題	求解方法
1.Caprara, Alberto et al.[8,9]	鐵路駕駛員排班問題	啟發式解法
2.Jarrah, Ahmad I. Z. et al.[15]	航空組員的月值勤組合問題	啟發式解法
3.Gamache, Micheal et al. [13]	航空組員的月值勤組合問題	變數產生法
4.Campbell, Kevin W. et al. [7]	航空組員的月值勤組合問題	模擬退火法

【資料來源：本研究整理】

## 第三章 模式構建

經由第二章對於鐵路駕駛員排班問題描述得知，可分為工作班產生與工作班輪班表產生兩個排班層次。因此，本章所探討之鐵路駕駛員排班模式構建，亦針對此兩排班層次，分別建立排班之數學模式。

### 3-1 工作班產生模式構建

#### 3-1-1 模式構建的概念

本研究於工作班產生問題之模式構建，擬採用程式語言撰寫一可行工作班的產生器，產生可行工作班做為投入資料集；而投入的求解模式則為一多目標的集合涵蓋模式，目標函數分別為最小化人員數與總成本。觀察可行工作班的產生過程，如欲窮舉產生所有可行工作班，將需對每一乘務做「是與否」的判斷；假設若有  $n$  個乘務，窮舉所有可行工作班就需要做  $2^n$  次的判斷，判斷次數與乘務的數目呈指數關係。故只要乘務的數目有一定的規模，窮舉所有可行工作班的動作，將會變的相當費力耗時，沒有效率與效果。因此，本研究撰寫的可行工作班產生器產生步驟設計，將不採取一次窮舉產生所有可行工作班的方式，而是依據求解結果的優劣，逐次產生並增加可行工作班的投入數量以求解的改善。

詳細的處理方式為：將工作班產生層次的排班問題分割為「主問題」與「次問題」來處理（圖 3-1）。首先，定義「主問題」為求解一多目標的集合涵蓋問題；「次問題」則使用啟發式的工作班產生演算法產生某些具高度可行性的工作班做為主問題的投入資料。每一次疊代中，在主問題求解後，逐步修改次問題中啟發式的產生演算法，產生更多可行工作班做為投入資料，以求模式結果之繼續改善，直到模式績效接近無法改善之為止。

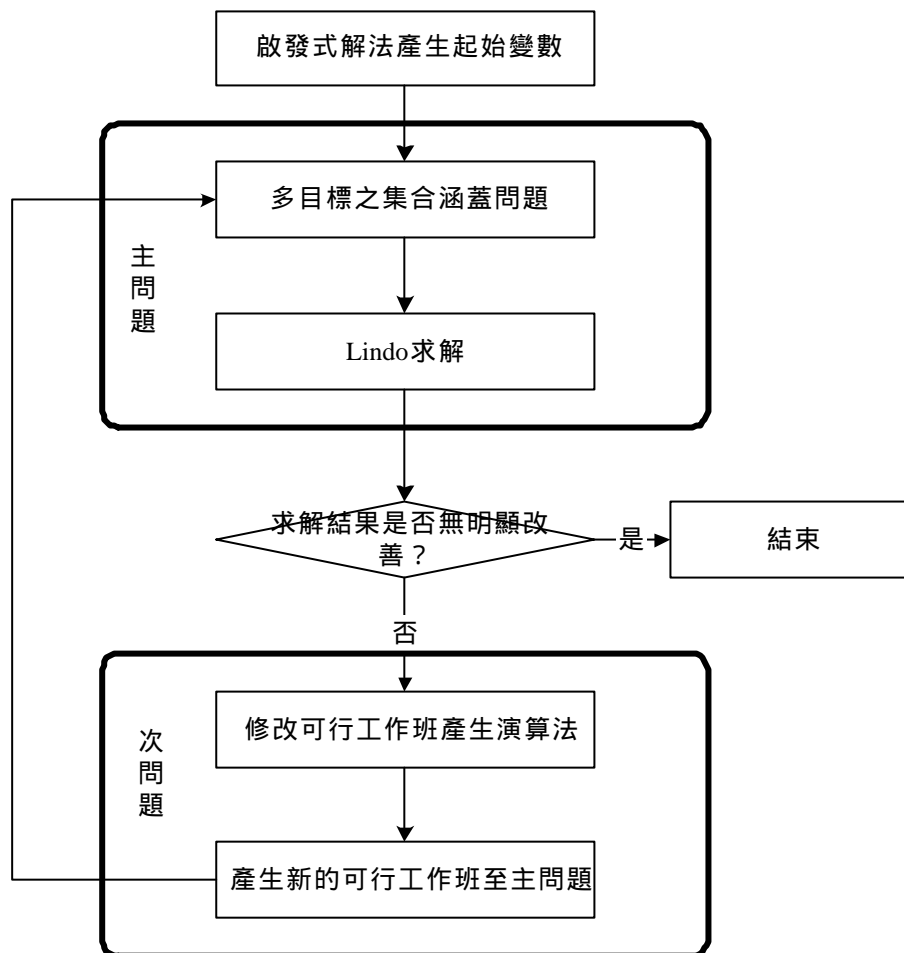


圖 3-1 工作班產生模式構建概念

### 3-1-2 變數說明

$x_j$ : 決策變數, 0-1 變數;  $x_j = 1$ , 表  $j$  出現於最佳解中;  $x_j = 0$ , 則否。

$c_j$ : 可行工作班  $j$  的成本

$i$ : 第  $i$  個乘務

$j$ : 第  $j$  個可行工作班

$T$ : 乘務的集合

$D$ : 可行工作班的集合



### 3-1-3 數學模式

$$\text{Min} \quad \sum_{j \in D} x_j \quad (\text{式 3-1})$$

$$\text{Min} \quad \sum_{j \in D} c_j x_j \quad (\text{式 3-2})$$

subject to

$$\sum_{j \in D} a_{ij} x_j \geq 1 \quad \forall i \in T \quad (\text{式 3-3})$$

$$x_j \in \{0,1\} \quad \forall j \in D \quad (\text{式 3-4})$$

本研究於工作班產生層次構建之數學模式為一多目標之集合涵蓋問題數學模式，目標函數式 (3-1) 表示求人員最小化；而目標函數式 (3-2)，表示求總成本最小化。限制式 (3-3) 表示每一乘務至少要被一個或以上的可行工作班涵蓋；因此，若  $x_j = 1$ ，則可行工作班  $j$  涵蓋於最後產生的工作班輪班表中，若  $x_j = 0$ ，則否；若  $a_{ij} = 1$ ，則表乘務  $i$  涵蓋於工作班  $j$  中，若  $a_{ij} = 0$ ，則否。限制式 (3-4) 表示工作班  $j$  是否被選取。

一般處理上述多目標規劃問題的方式有兩種，一為將不同的目標函數分開處理，二為將不同的目標函數一起處理。方式一，處理方式為先針對最重要的目標函數進行求解，然後再依序對次要的目標函數求解，直到所有目標函數均求解完畢為止；其中，每對一目標函數求解的結果，會成為對下一次要目標函數求解時的一限制式。由於以此方式求解多目標規劃問題，於每一次求解時均多一限制式，故會逐漸增加求解的難度與時間；因此，並不適用於求解時間長的問題。方式二，處理的方式為先將各目標函數乘以一適當的權數，然後予以加總，並以此目標函數的線性組合為新的目標函數，進行求解。此方式

已獲得證明可處理具下列三特性之多目標規劃問題：(1) 所有的目標函數與限制式均需為線性，(2) 所有決策變數均需限定為整數，(3) 規劃的目標具優先順序[14]。

### 3-1-4 工作班成本說明

可行工作班產生後，每個工作班均有一對應工作時間、休息時間與成本。經由實務訪談經驗得知，鐵路駕駛員薪資的計算方式為：基本工資加上實際工作時間乘以工作的津貼，而休息時間則不給予任何津貼；又工作時間可分為「乘務時間」與「一般工作時間」，且其各自對應不同的津貼，一般而言，對應的比例為 4：3，乘務時間的津貼高於一般工作時間的津貼。

由於駕駛員的基本工資因年資的不同而有不同的計算基數，故計算工作班成本時將不將基本工資納入計算。因此，本研究定義工作班成本計算方式為：「乘務時間」每分鐘 4 單位成本；「一般工作時間」每分鐘 3 單位成本。茲舉例說明成本計算的方式。

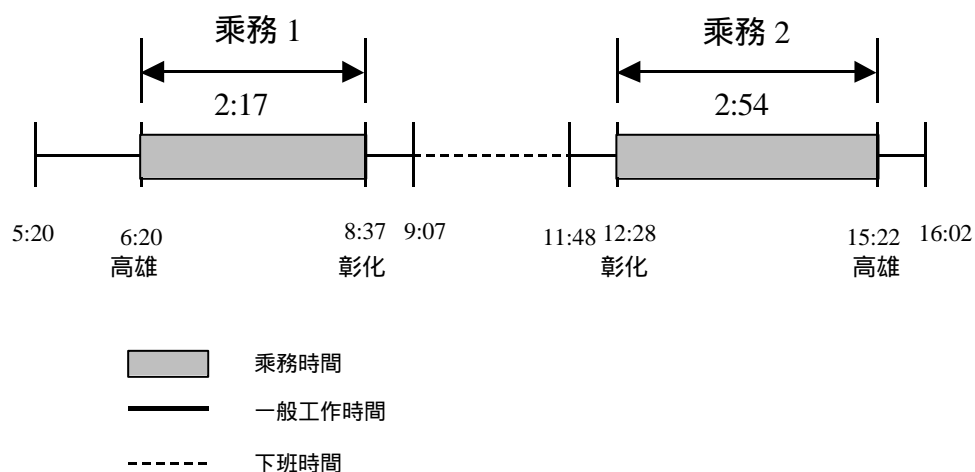


圖 3-2 工作班示意圖

由圖 3-2 所示工作班觀察得知，此工作班之：

- 乘務時間津貼（成本）：

$(2 \text{ 小時 } 17 \text{ 分鐘} + 2 \text{ 小時 } 54 \text{ 分鐘}) * 4 \text{ 單位成本 / 分鐘} = 1244 \text{ 單位成本}$

- 一般工作時間津貼（成本）：

$(1 \text{ 小時 } 30 \text{ 分鐘} + 1 \text{ 小時 } 20 \text{ 分鐘}) * 3 \text{ 單位成本 / 分鐘} = 510 \text{ 單位成本}$

- 總津貼（成本）：

$1244 + 510 = 1754 \text{ 單位成本}$

### 3-1-5 可行工作班產生的步驟與方法

產生可行工作班的概念為將投入的乘務在符合連結的限制條件下予以連結。而本研究設計產生之「具高度可行性的工作班」則會在符合連結的限制條件下，儘可能的減少每個工作班內乘務與乘務間除休息時間外之間置時間，且增加乘務連結的數量，及減少便乘乘務（deadhead）產生。產生「具高度可行性的工作班」之目的在於避免如採用窮舉方式產生可行工作班時，重複產生過多間置時間太長、工作量太少或為其他工作班涵蓋的工作班，因為此類的工作班對於模式求解的結果非但沒有幫助且會造成求解時間與成本的浪費；此外，減少便乘乘務產生可以降低成本，因為所謂便乘的情形為駕駛員因為法規限制的因素，累加的工作時間或乘務時間已經超過規定的上限，故不適合繼續駕駛，但因其人未回到所屬機務段的車站，故需搭乘其他駕駛員的乘務回車站，而這段時間仍屬工作時間，需支付薪資。

工作班產生投入的乘務資料可以分為四類，分別為「始發站是高雄站，到達站非高雄站的乘務」；「到達站是高雄站，始發站非高雄站的乘務」；「始發及到達站均非高雄站的乘務」；「始發及到達站均為高雄站的乘務」。為求簡化資料結構與方便產生可行工作班演算法設

計，將「始發站是高雄站到達站非高雄站的乘務」與「始發及到達站均為高雄站的乘務」併為一類，定義為以「高雄站為始發站的乘務」，因此僅剩三類乘務。

可行工作班產生演算法的基本概念為，是分別以投入資料之每一個乘務為「主乘務」產生一個工作班，其目的在於使得每個乘務在所有產生的可行工作班中至少出現過一次，避免有乘務於產生過程中，沒有被任何工作班所選擇。具體的產生方法則因乘務類型的不同而有所差異；如以「高雄站為始發站的乘務」為主乘務，則限制其為工作班中的第一個乘務，然再依時間序列往後選擇適當的乘務連結，發展成為一工作班；如以「高雄站為到達站的乘務」為主乘務，則限制其為工作班中的最後一乘務，然再依時間序列往前選擇適當的乘務連結，發展成為一工作班；如以「始發及到達站均非高雄站的乘務」為主乘務，限制其為工作班中間的乘務，然再依時間序列分別往前與往後選擇適當乘務連結，發展成為一工作班。

以下為產生可行工作班演算法的步驟與流程（圖 3-3）。

1. 輸入乘務資料。
2. 依各乘務工作時間開始的前後順序予以排列。
3. 選擇排列後的第一個乘務。
4. 判斷為何類型之乘務？依乘務類型不同產生工作班並計算成本。
5. 選擇下一個乘務，執行步驟 4；如下一個乘務不存在，則演算法結束。

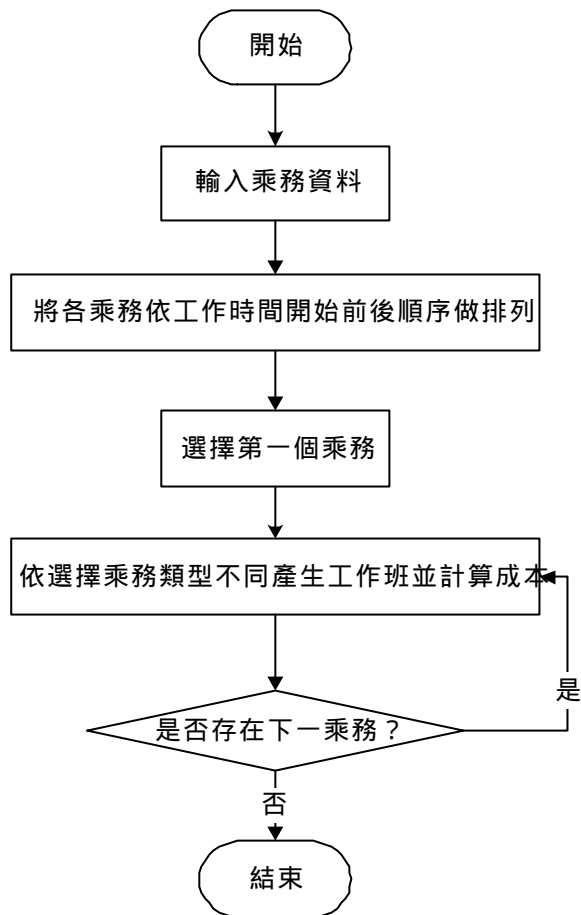


圖 3-3 可行工作班產生步驟

上述步驟 4 中，又可以因乘務類型的不同有不同可行工作班的產生步驟，以下分別說明各類乘務產生演算法的步驟與流程。

(1) 高雄站為始發站的乘務 (圖 3-4)

1. 紀錄選擇乘務的到達站與結束工作時間。
2. 依時間序列往後選擇一乘務連結。
3. 檢查此一連結是否符合法規限制，如是，進行下一步驟；如否，放棄該選擇之乘務，執行步驟 2，繼續選擇下一乘務連結。
4. 紀錄連結乘務的到達站與結束工作時間。

5. 依時間序列往後再選擇一到達站為高雄站之乘務連結。
6. 判斷：若上一乘務的到達站為高雄站且與此選擇之乘務間休息時間大於 3 小時者，放棄選擇之乘務，結束；若否，進行下一步驟。
7. 檢查此一連結是否符合法規限制，如是，結束；如否，執行步驟 5。

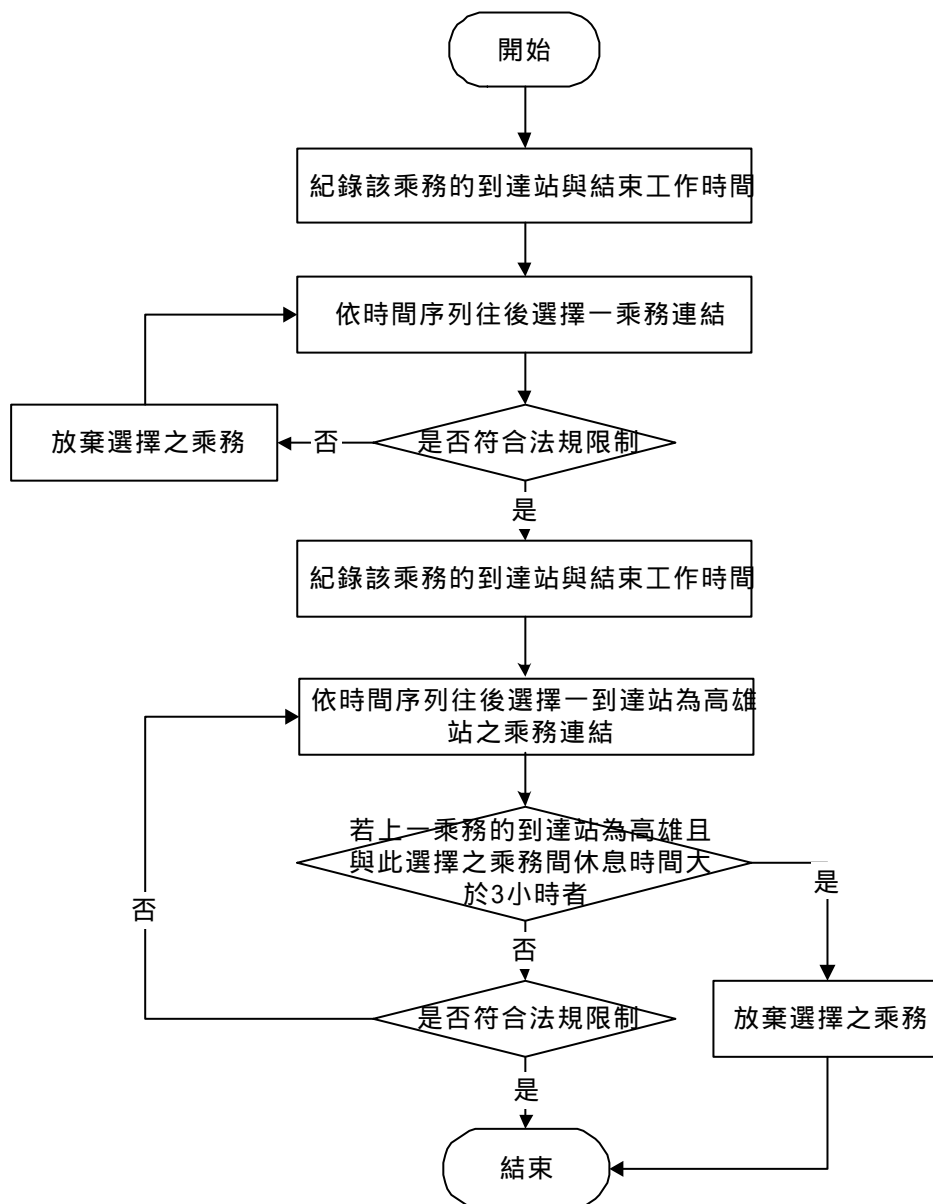


圖 3-4 「高雄站為始發站的乘務」可行工作班產生步驟

(2) 高雄站為到達站的乘務 (圖 3-5)

1. 紀錄選擇乘務的始發站與開始工作時間。
2. 依時間序列往前選擇一乘務連結。
3. 檢查此一連結是否符合法規限制，如是，進行下一步驟；如否，放棄該選擇之乘務，執行步驟 2，繼續選擇下一乘務連結。
4. 紀錄連結乘務的始發站與開始工作時間。
5. 依時間序列往前再選擇一始發站為高雄站之乘務連結。
6. 判斷：若上一乘務的始發站為高雄站且與此選擇之乘務間休息時間大於 3 小時者，放棄選擇之乘務，結束；若否，進行下一步驟。
7. 檢查此一連結是否符合法規限制，如是，結束；如否，執行步驟 5。

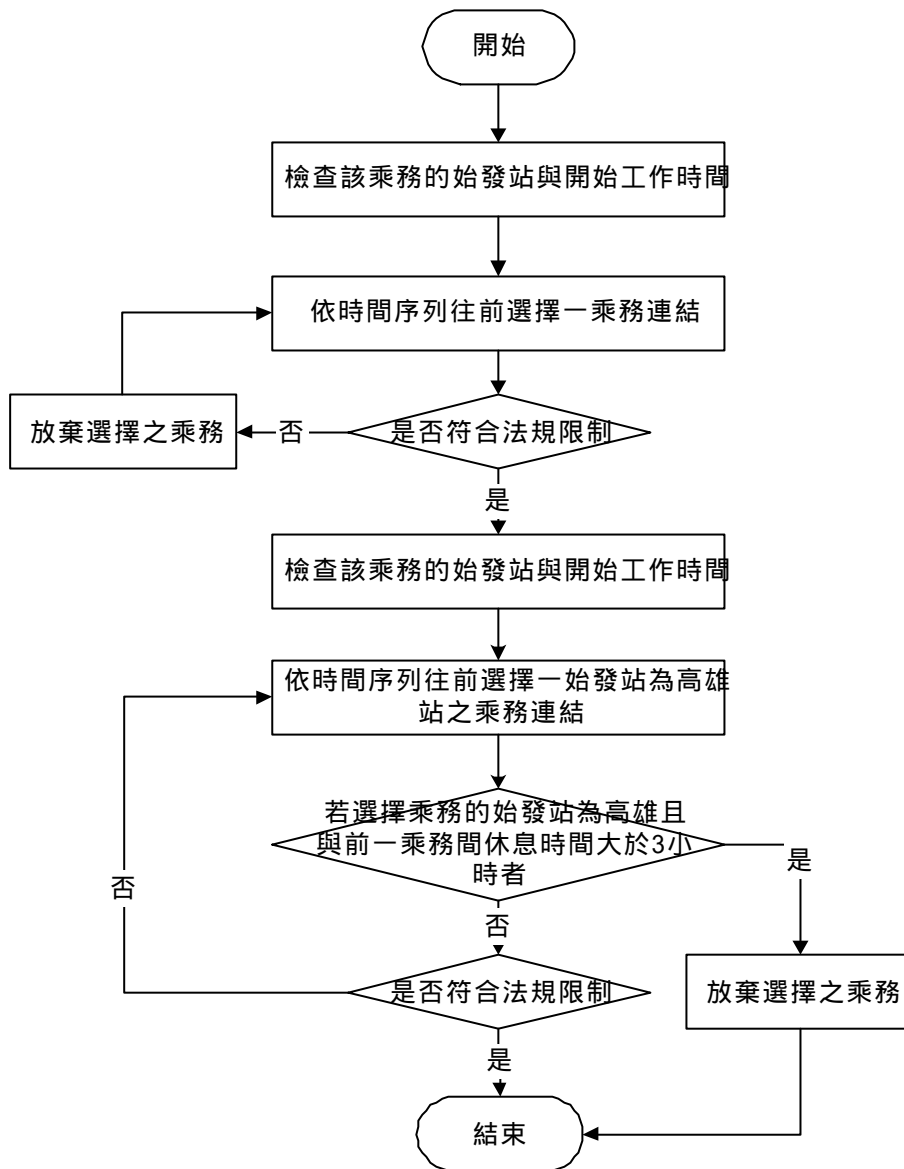


圖 3-5 「高雄站為到達站的乘務」可行工作班產生步驟

(3) 始發及到達站均非高雄站的乘務 (圖 3-6)

1. 紀錄選擇乘務的到達站 (始發站) 與結束工作時間 (開始工作時間)。
2. 依時間序列往後 (往前) 選擇一到達站 (始發站) 為高雄站之乘務連結。
3. 檢查此一連結是否符合法規限制, 如是, 結束; 如否, 執行



步驟 2。

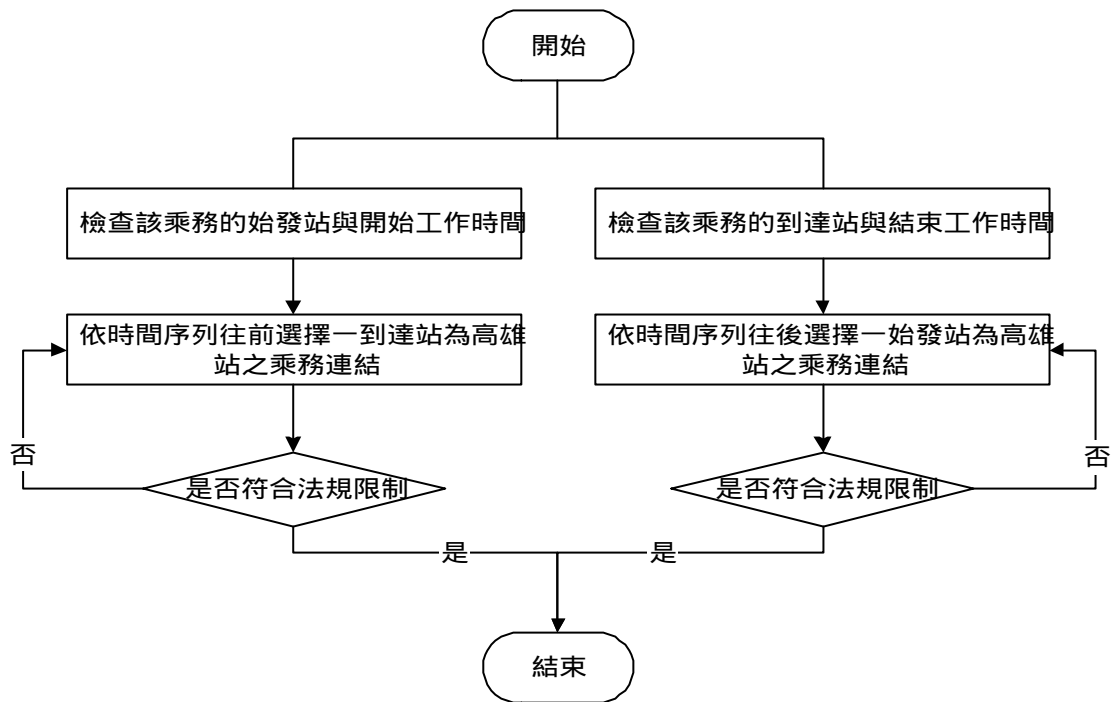


圖 3-6 「始發及到達站均非高雄站的乘務」可行工作班產生步驟

此外，關於乘務與乘務連結是否符合法規限制的判斷流程，如圖 3-7 所示。可行工作班產生演算法之實際操作，本研究採用 Fortran 程式語言撰寫產生器程式（附錄 A），於個人電腦編譯、執行，產生所需的工作班。

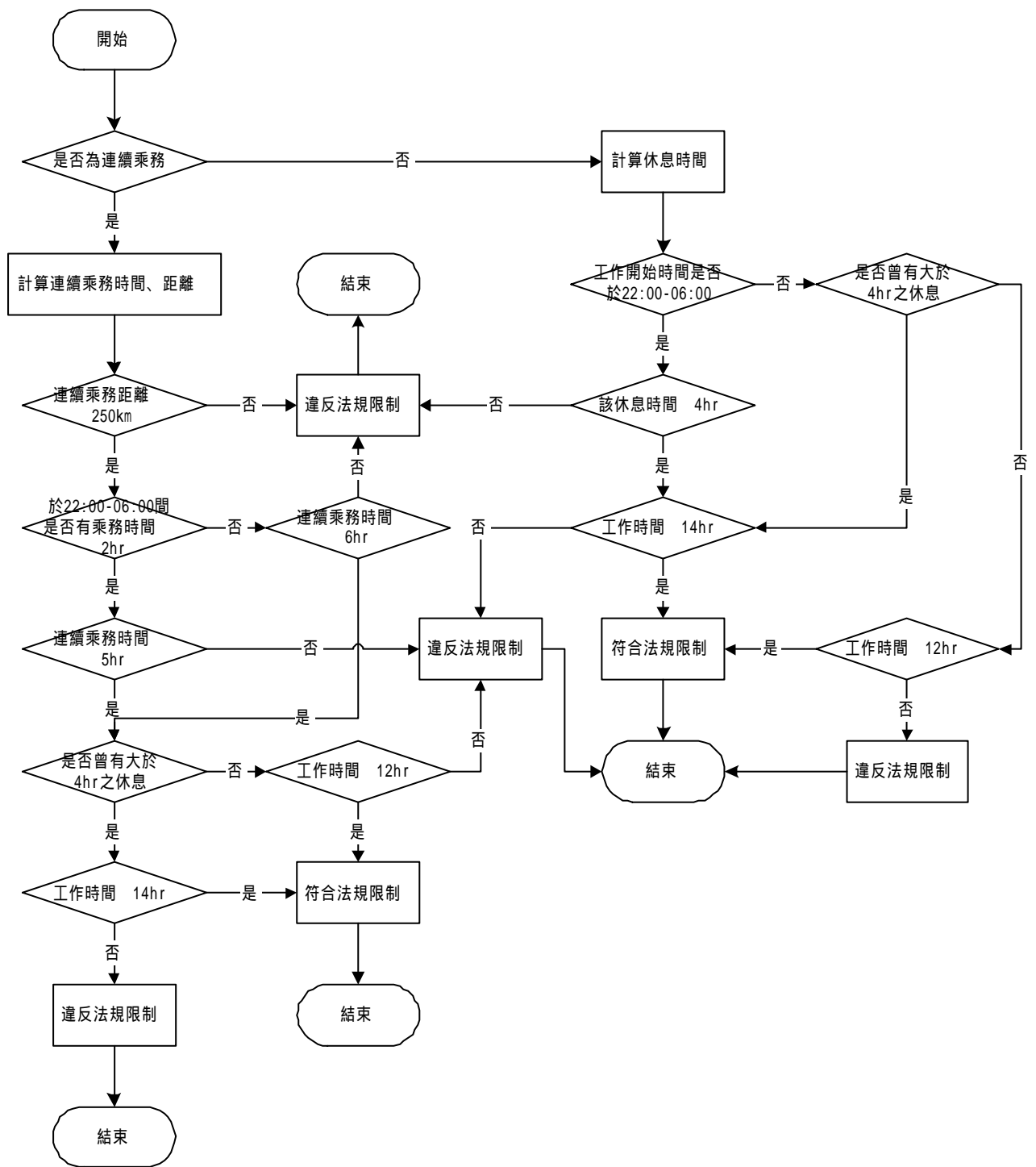


圖 3-7 乘務與乘務間連結法規限制的判斷流程圖

### 3-1-6 可行工作班產生演算法之修改

上述可行工作班產生演算法的步驟與方法說明，產生演算法依主乘務類型之不同可以分為三類，分別為「高雄站為始發站的乘務」、「高雄站為到達站的乘務」、「始發及到達站均非高雄站乘務」。而本研究研擬之可行工作班產生演算法的修改方式為：在符合各項法規限制下，依三種不同類型的主乘務分類，且於每次連結下一乘務時，利用可連結乘務與該乘務間休息時間的多寡做不同的選擇變化，來產生不同的組合方式。

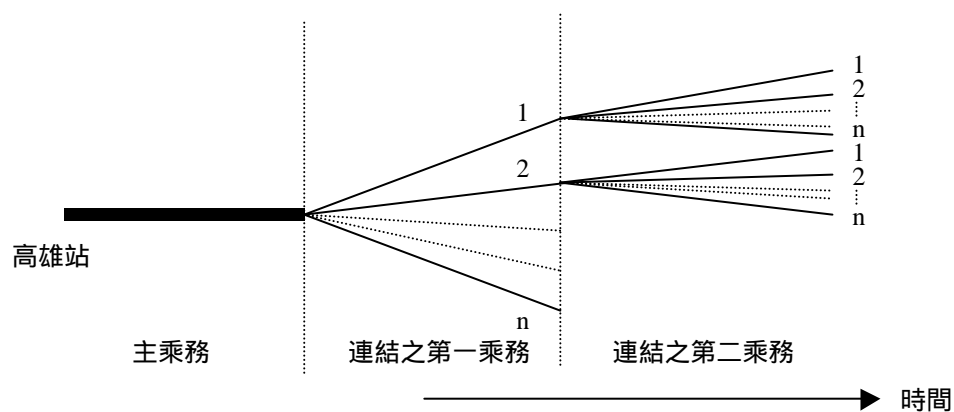


圖 3-8 「高雄站為始發站乘務」之連結乘務選擇示意圖

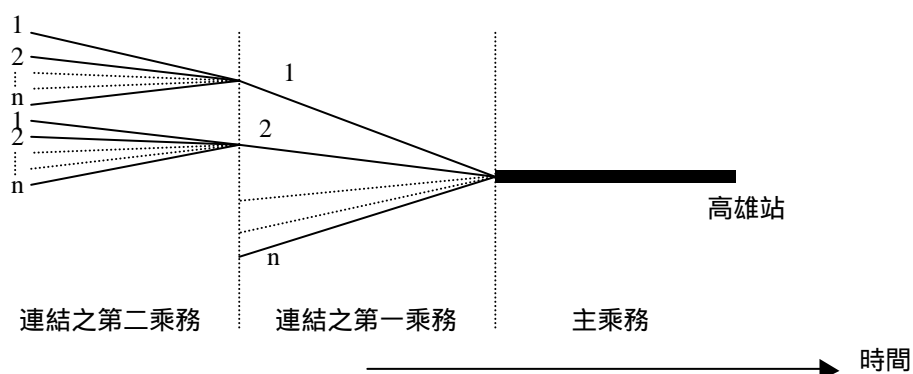


圖 3-9 「高雄站為到達站乘務」之連結乘務選擇示意圖

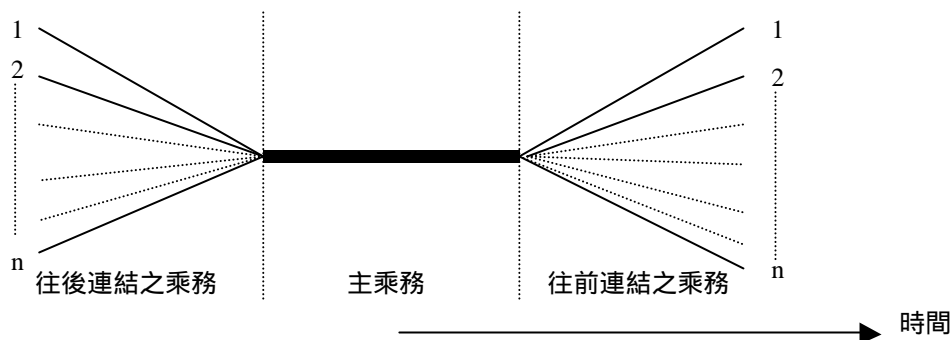


圖 3-10 「始發及到達站站均非高雄站乘務」之連結乘務選擇示意圖

## 3-2 工作班輪班表產生模式構建

### 3-2-1 網路問題概念

本研究嘗試以網路問題的概念來說明如何求解工作班輪班表產生。假設，定義圖型  $G = (V, A)$ ，其中集合  $V$  為所有節點的集合，每一節點代表一工作班；集合  $A$  為所有節線的集合，每一節線代表兩工作班的接續性；因此，任兩節點若存在節線連結，即表示此兩工作班的連結符合法規限制。

進一步對問題做描述。由於法規限制規定每週需排定至少一天的休假，因此可以再將節線的集合分為兩類， $A_1$  與  $A_2$ ；其中，若任兩工作班  $i$  與工作班  $j$  間，有節線  $(i, j) \in A_1$  連接，則表兩工作班直接連結，中間沒有休假；若任兩工作班  $i$  與工作班  $j$  間，有節線  $(i, j) \in A_2$  連接，則表兩工作班連結中間存在一天的休假。此外，定義  $d_{ij}^1$  為節線  $(i, j) \in A_1$  的成本，表示直接連結的兩工作班中，工作班  $i$  開始工作時間到工作班  $j$  開始工作時間的最小時間間隔（假設以分鐘為單位）；同理， $d_{ij}^2$  為節線  $(i, j) \in A_2$  的成本，工作班  $i$  開始工作時間到工作班  $j$  開始

工作時間的最小時間間隔，但需再加上一天的休假時間。應用上述概念，連結所有符合限制條件的任兩節點，將會形成一個網路結構。

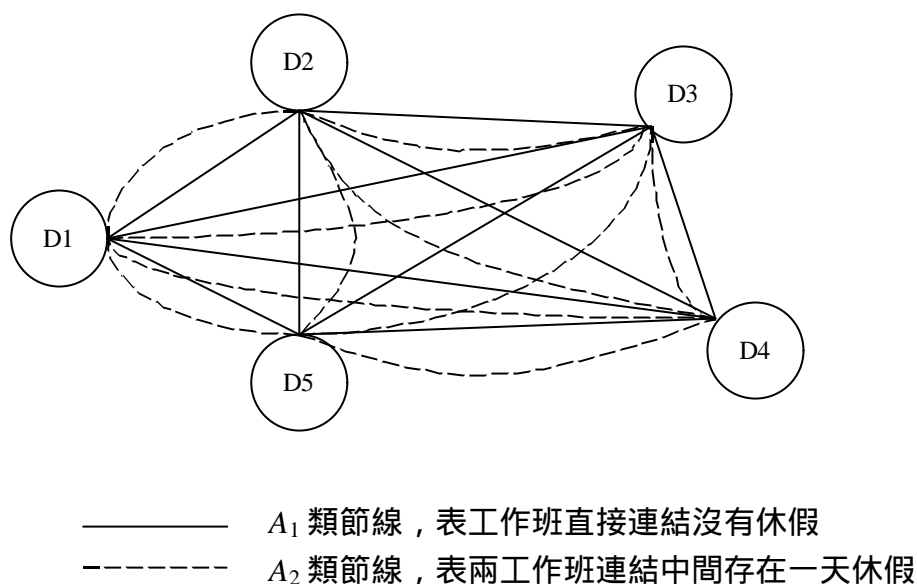


圖 3-11 工作班輪班表產生模式網路圖

本研究探討的工作班輪班表產生問題，其目的為產生可行且週期時間最短的工作班輪班表；利用上述的網路結構，工作班輪班表產生問題將可以視為於此網路中尋找一成本最小化且涵蓋所有節點的方向性迴圈問題。

### 3-2-2 變數說明

$x_{ij}^1, x_{ij}^2$ : 工作班流量變數。

$d_{ij}^1$ : 工作班  $i$  開始至工作班  $j$  開始之最小時間間距。

$d_{ij}^2$ : 工作班  $i$  開始至工作班  $j$  開始間有「單日休息」之最小時間間距。

$t_k$ : 工作班  $k$  之總乘務時間。

$w_i$ : 工作班  $i$  之工作時間。

$r_{ij}^1$ : 工作班  $i$  至工作班  $j$  間的休息時間。

$r_{ij}^2$ :工作班  $i$  至工作班  $j$  間有「單日休息」的休息時間。

$y_{ij}$ :具休息時間大於 40 小時之工作班流量變數。

$B$ :於 22:00 至翌晨 6:00 有乘務時間 2 小時以上工作班之集合。

$N$ :所有工作班的集合。

$H$ :常數, 一小時的分鐘數 (60 分鐘)。

$D$ :常數, 一天的分鐘數 (60\*24=1440 分鐘)。

$W$ :常數, 一星期的分鐘數 (60\*24\*7=10080 分鐘)。

$R$ :常數, 一個月的分鐘數 (60\*24\*30=43200 分鐘)。

$T$ :每組工作班順序每日平均乘務時間上限。

$a$ :每週「單日休息」個數的下限。

$b$ :每月「大於 40 小時休息」個數的下限。

$g$ :每月「於 22:00 至翌晨 6:00 有乘務時間 2 小時以上工作班」個數的上限。

$M$ :一極大值。

### 3-2-3 數學模式

本研究參考 Caprara, Alberto et al. [8]發展之工作班輪班表產生數學模式, 考量相關法規限制的不同, 給予模式做適度的修改, 成為本研究使用之工作班輪班表產生數學模式。

$$\text{Min} \quad \sum_{i \in N} \sum_{j \in N} (d_{ij}^1 x_{ij}^1 + d_{ij}^2 x_{ij}^2) \quad (\text{式 3-5})$$

subject to

$$\sum_{i \in N} (x_{ij}^1 + x_{ij}^2) = 1 \quad \forall j \in N \quad (\text{式 3-6})$$

$$\sum_{j \in N} (x_{ij}^1 + x_{ij}^2) = 1 \quad \forall i \in N \quad (\text{式 3-7})$$

$$\frac{\sum_{k \in N} t_k}{\sum_{i \in N} \sum_{j \in N} (d_{ij}^1 x_{ij}^1 + d_{ij}^2 x_{ij}^2) / D} \leq T \quad (\text{式 3-8})$$

$$\frac{\sum_{i \in N} \sum_{j \in N} x_{ij}^2}{\sum_{i \in N} \sum_{j \in N} (d_{ij}^1 x_{ij}^1 + d_{ij}^2 x_{ij}^2) / W} \geq a \quad \forall (i, j) \quad (\text{式 3-9})$$

$$r_{ij}^2 x_{ij}^2 - 40H \leq M y_{ij} \quad \forall (i, j) \quad (\text{式 3-10})$$

$$40H - r_{ij}^2 x_{ij}^2 \leq M(1 - y_{ij}) \quad \forall (i, j) \quad (\text{式 3-11})$$

$$\frac{\sum_{i \in N} \sum_{j \in N} y_{ij}}{\sum_{i \in N} \sum_{j \in N} (d_{ij}^1 x_{ij}^1 + d_{ij}^2 x_{ij}^2) / R} \geq b \quad \forall (i, j) \quad (\text{式 3-12})$$

$$1 - x_{jk}^1 = x_{ij}^1 \quad \forall (i, j, k) \quad i, j, k \in B \quad (\text{式 3-13})$$

$$\frac{\sum_{i \in B} \sum_{j \in B} x_{ij}^1}{\sum_{i \in N} \sum_{j \in N} (d_{ij}^1 x_{ij}^1 + d_{ij}^2 x_{ij}^2) / R} \leq g \quad \forall (i, j) \quad (\text{式 3-14})$$

$$(r_{ij}^1 - w_i) x_{ij}^1 \geq 0 \quad \forall (i, j) \in N \quad (\text{式 3-15})$$

$$x_{ij}^1, x_{ij}^2, y_{ij} \in \{0, 1\} \quad \forall (i, j) \in N \quad (\text{式 3-16})$$

目標函數式 (3-5)，表示求成本最小化。限制式 (3-6) 與限制式 (3-7) 表示為每個節點只允許一種節線流入與流出，且流量為 1；限制式 (3-8) 表示限制每組工作班輪班表每日平均乘務時間；限制式 (3-9) 表示限制每週應排定「24 小時以上之休假」的個數；限制式 (3-10) 與 (3-11) 與 (3-12) 表示限制每月「40 小時以上之休假」的個數；限制式 (3-13) 表示限制「於 22:00 至翌晨 6:00 有乘務時

間 2 小時以上工作班」，不得連續排定 2 次以上；限制式 (3-14) 表示限制每月「於 22:00 至翌晨 6:00 有乘務時間 2 小時以上工作班」的個數；限制式 (3-15) 表示每工作班返段後給予的休息時間應相當於該工作班工作時間以上；限制式 (3-16) 為工作班流量的 0-1 變數。

### 3-2-4 子迴圈 (subtour) 問題之求解

前述提及，此工作班輪班表產生數學模式利用網路概念產生，其目的為尋找一成本最小化且涵蓋所有節點的有方向性迴圈；然求解問題時，求解的結果可能不是單獨一個迴圈，而是出現為由幾個子迴圈 (subtour) 組合而成的解，此類的解雖符合所有的限制條件，但並非正確解；故本研究如於求解時出現如上述情形，將發展啟發式的解法予以解決。

本研究的啟發式解法，敘述如下：求解問題時，為如發生出現子迴圈情形時，首先選擇小迴圈，移除小迴圈上任一節線形成一候選路徑；之後，將產生的所有候選路徑依序插入大迴圈中所有可能的位置，並檢查其是否符合所有限制條件。如果符合，計算其週期時間，產生一可行解，如果不符合，則予以捨棄；如此，一直重複嘗試與檢查，直到所有路徑均試過所有可能位置後停止。

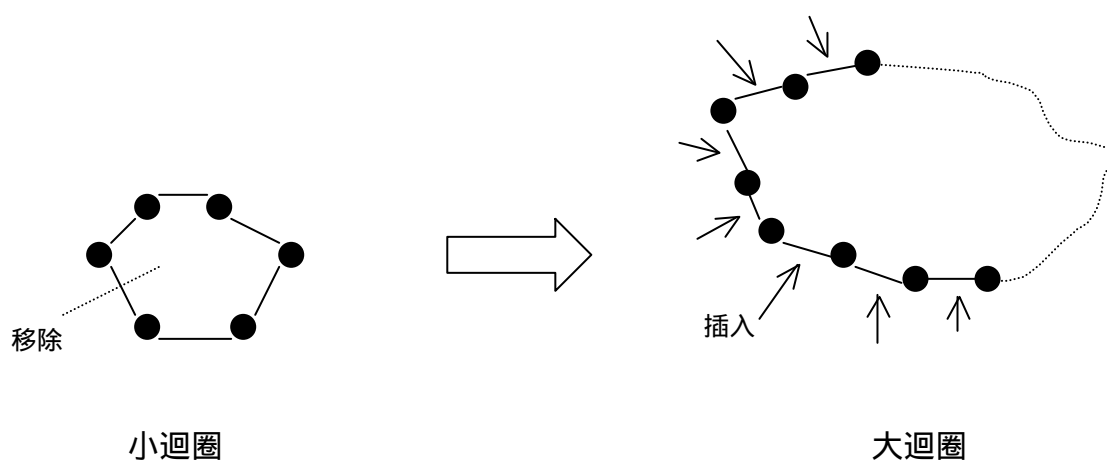


圖 3-12 解決子迴圈問題之啟發式解法之概念



## 第四章 實證結果與分析

### 4-1 資料整理

#### 4-1-1 工作班產生投入資料

##### 4-1-1-1 資料說明與整理

工作班產生的投入資料為列車運行圖上之列車班次所分割出的乘務，因此資料整理的工作即為整理產生工作班所需要的乘務資料。由於本研究欲比較工作班產生模式所求得之工作班組合與台鐵實務上經由專業人員靠人力完成之工作班組合間在使用人員與總成本上的差異，故模式投入的乘務資料將視為已知，即不自行分割列車班次產生乘務，而以與現行實務上排班相同的乘務分割方式作為投入的資料。本研究使用台鐵高雄機務段負責之駕駛員排班資料，選擇自強號、莒光號、復興號、電聯車等四種列車行駛之乘務作為投入的乘務。

資料整理第一步驟為將投入之部分具有特殊性質的乘務，先行以人工方式予以相連結（表 4-1）。觀察部分列車，如往返於高雄-屏東、高雄-台南、高雄-嘉義等電聯車與少數自強號、莒光號、復興號列車，具以下特性：列車駛抵到達站完成一乘務後，僅作短暫停留，隨即以同一列車但變更列車車次折返，開始另一乘務；實務上對於此類特性列車所產生的乘務排班處理方式，通常不考慮乘務的開車前、到達後之整備時間即予以優先連結。故本研究為滿足此類排班的特例，因此仿效實務做法將此類乘務先行處理。

表 4-1 以人工方式先行處理之乘務

車次編號	3001		
內容	(1) PP1049	0815 (高雄)	0835 (屏東)
	(2) PP1012 山	0858 (屏東)	1134 (彰化)
車次編號	3002		
內容	(1) PP1031 山	1837 (彰化)	2115 (屏東)
	(2) PP1048	2150 (屏東)	2211 (高雄)
車次編號	3003		
內容	(1) 2056A	1532 (台東新站)	1540 (台東)
	(2) 2056	1600 (台東新站)	1845 (高雄)
車次編號	3004		
內容	(1) 2053	1115 (高雄)	1224 (枋寮)
	(2) 2054	1239 (枋寮)	1347 (高雄)
車次編號	3005		
內容	(1) 16	0806 (屏東)	0829 (高雄)
	(2) 16 海	0833 (高雄)	1108 (彰化)
車次編號	3006		
內容	(1) 24	1132 (屏東)	1156 (高雄)
	(2) 24 山	1200 (高雄)	1426 (彰化)
車次編號	3007		
內容	(1) 34	1058 (屏東)	1120 (高雄)
	(2) 34 海	1125 (高雄)	1415 (彰化)
車次編號	3008		
內容	(1) 93	1806 (台東新站)	1814 (台東)
	(2) 96	1915 (台東新站)	2225 (高雄)
車次編號	3009		
內容	(1) 88	0537 (高雄)	0624 (台南)
	(2) 91	0637 (台南)	0725 (高雄)
車次編號	3010		
內容	(1) 31	0610 (高雄)	0637 (屏東)
	(2) 104	0706 (屏東)	0729 (高雄)
	(3) 104 山	0734 (高雄)	1032 (彰化)
車次編號	3011		
內容	(1) 101 山	1044 (嘉義)	1308 (屏東)
	(2) 142	1318 (屏東)	1340 (高雄)
車次編號	3012		
內容	(1) 2664	0630 (屏東)	0655 (高雄)
	(2) 2667	0720 (高雄)	0745 (屏東)
	(3) 2670	0758 (屏東)	0823 (高雄)
車次編號	3013		
內容	(1) 2636	1420 (高雄)	1507 (台南)
	(2) 2651	1717 (台南)	1835 (屏東)

	( 3 ) 2694	1845 ( 屏東 )	1910 ( 高雄 )
	( 4 ) 2695	1930 ( 高雄 )	1955 ( 屏東 )
	( 5 ) 2696	2005 ( 屏東 )	2030 ( 高雄 )
車次編號	3014		
內容	( 1 ) 2679	1305 ( 高雄 )	1330 ( 屏東 )
	( 2 ) 2680	1355 ( 屏東 )	1420 ( 高雄 )
	( 3 ) 2681	1428 ( 高雄 )	1453 ( 屏東 )
	( 4 ) 2682	1500 ( 屏東 )	1525 ( 高雄 )
車次編號	3015		
內容	( 1 ) 2665	0642 ( 高雄 )	0708 ( 屏東 )
	( 2 ) 2666	0715 ( 屏東 )	0740 ( 高雄 )
	( 3 ) 2669	0750 ( 高雄 )	0815 ( 屏東 )
	( 4 ) 2672	0825 ( 屏東 )	0850 ( 高雄 )
	( 5 ) 2673	0927 ( 高雄 )	0952 ( 屏東 )
	( 6 ) 2674	1000 ( 屏東 )	1025 ( 高雄 )
車次編號	3016		
內容	( 1 ) 2608	0510 ( 嘉義 )	0536 ( 斗六 )
	( 2 ) 2615	0600 ( 斗六 )	0817 ( 嘉義 )
車次編號	3017		
內容	( 1 ) 2611	0505 ( 嘉義 )	0728 ( 屏東 )
	( 2 ) 2668	0734 ( 屏東 )	0800 ( 高雄 )
車次編號	3018		
內容	( 1 ) 2697	2041 ( 高雄 )	2106 ( 屏東 )
	( 2 ) 2698	2125 ( 屏東 )	2150 ( 高雄 )
	( 3 ) 2678	2215 ( 高雄 )	2409 ( 嘉義 )
車次編號	3019		
內容	( 1 ) 2700	1905 ( 高雄 )	1958 ( 台南 )
	( 2 ) 2699	2008 ( 台南 )	2104 ( 高雄 )
車次編號	3020		
內容	( 1 ) 2670	0836 ( 高雄 )	0923 ( 台南 )
	( 2 ) 2623	0933 ( 台南 )	1020 ( 高雄 )
	( 3 ) 2628	1050 ( 高雄 )	1143 ( 台南 )
	( 4 ) 2633	1245 ( 台南 )	1333 ( 高雄 )
車次編號	3021		
內容	( 1 ) 2685	1625 ( 高雄 )	1650 ( 屏東 )
	( 2 ) 2686	1703 ( 屏東 )	1729 ( 高雄 )
	( 3 ) 2691	1736 ( 高雄 )	1800 ( 屏東 )
	( 4 ) 2692	1808 ( 屏東 )	1834 ( 高雄 )
車次編號	3022		
內容	( 1 ) 2683	1540 ( 高雄 )	1605 ( 屏東 )
	( 2 ) 2684	1615 ( 屏東 )	1640 ( 高雄 )
	( 3 ) 2687	1701 ( 高雄 )	1726 ( 屏東 )
	( 4 ) 2688	1732 ( 屏東 )	1757 ( 高雄 )

車次編號	3023		
內容	(1) 2690	2231 (高雄)	2317 (台南)
	(2) 29	2358 (台南)	2439 (高雄)

【資料來源：台鐵高雄機務運轉股】

表 4-2 為經過整理後，工作班產生所投入的乘務資料，共有 97 個乘務。觀察投入的乘務資料可依各乘務始發與到達站之不同做分類；第一類乘務為始發站是高雄站，到達站非高雄站，共 41 個；第二類乘務為到達站是高雄站，始發站非高雄站，共 40 個；第三類乘務為始發及到達站均非高雄站，共 6 個；第四類乘務為始發及到達站均為高雄站，共 10 個。

表 4-2 工作班產生所投入的乘務資料

編號	車次編號	始發站	始發時間	到達站	到達時間	開車前整備		到達後整備	
						出庫	站接	入庫	站交
1	PP1004山	高雄	0620	彰化	0837	*			*
2	PP1006海	高雄	0725	彰化	0934	*			*
3	1008山	高雄	0800	台中	1014	*			*
4	PP1010山	高雄	0830	彰化	1040	*			*
5	PP1016山	高雄	1100	台中	1328	*			*
6	PP1020山	高雄	1230	彰化	1430		*		*
7	PP1022山	高雄	1300	彰化	1500	*			*
8	1028海	高雄	1400	彰化	1611	*			*
9	PP1032山	高雄	1520	彰化	1726	*			*
10	PP1036山	高雄	1700	台中	1931	*			*
11	2051	高雄	0908	台東新站	1133	*			*
12	1011山	彰化	1132	高雄	1337		*	*	
13	PP1019山	彰化	1446	高雄	1651		*	*	
14	PP1025山	彰化	1617	高雄	1815		*	*	
15	1027山	彰化	1705	高雄	1911		*	*	
16	PP1033山	彰化	1902	高雄	2108		*	*	
17	PP1035山	彰化	2007	高雄	2214		*		*
18	PP1037山	彰化	2047	高雄	2256		*	*	
19	PP1043海	彰化	2236	高雄	2444		*	*	
20	PP1013山	台中	1206	高雄	1422		*	*	
21	PP1029山	台中	1714	高雄	1944		*	*	
22	PP1041山	台中	2132	高雄	2355		*	*	
23	3001	高雄	0815	彰化	1134				

24	3002	彰化	1837	高雄	2211				
25	3003	台東新站	1532	高雄	1845				
26	3004	高雄	1115	高雄	1347				
27	18 山	高雄	1000	彰化	1235	*			*
28	26 海	高雄	1612	彰化	1855	*			*
29	28 山	高雄	1725	彰化	2004	*			*
30	50 山	高雄	1922	台中	2239	*		*	
31	81	高雄	1015	台東新站	1302	*		*	
32	27海	彰化	2057	高雄	2339		*	*	
33	21山	彰化	1552	屏東	1916		*	*	
34	19	彰化	1327	高雄	1606		*	*	
35	35海	彰化	1535	高雄	1844		*	*	
36	5山	彰化	1504	屏東	1814		*	*	
37	81山	台中	0655	高雄	1001	*			*
38	30山	屏東	2217	嘉義	2436	*			*
39	94	台東新站	1431	高雄	1715		*		*
40	82	台東新站	1703	高雄	1954	*		*	
41	31山	彰化	0258	高雄	0610		*		*
42	3005	屏東	0806	彰化	1108				
43	3006	屏東	1132	彰化	1426				
44	3007	屏東	1058	彰化	1415				
45	3008	台東新站	1806	高雄	2225				
46	3009	高雄	0537	高雄	0725				
47	120海	高雄	1543	彰化	1841	*			*
48	106山	高雄	0905	彰化	1153	*			*
49	108海	高雄	0940	彰化	1227	*			*
50	112海	高雄	1245	彰化	1541	*			*
51	116海	高雄	1415	彰化	1716	*			*
52	122山	高雄	1650	彰化	1937	*			*
53	146	高雄	2140	嘉義	2322	*		*	
54	115海	彰化	1707	高雄	2003		*	*	
55	105海	彰化	1228	高雄	1522		*	*	
56	119海	彰化	1924	高雄	2211		*	*	
57	121海	彰化	2012	高雄	2312		*	*	
58	125海	彰化	0230	高雄	0550		*	*	
59	145	嘉義	0609	高雄	0753	*		*	
60	113山	彰化	1637	高雄	1952		*	*	
61	3010	高雄	0610	彰化	1032				
62	3011	嘉義	1044	高雄	1340				
63	2605	高雄	0833	屏東	0858	*			*
64	2483	嘉義	2120	高雄	2324		*		*
65	2620	高雄	1005	嘉義	1155	*			*
66	2632	高雄	1240	嘉義	1446	*			*

67	2644	高雄	1620	嘉義	1835	*			*
68	2614	高雄	0643	嘉義	0832	*			*
69	2642	高雄	1538	嘉義	1735	*			*
70	2652	高雄	1843	嘉義	2049	*			*
71	2676	高雄	2120	嘉義	2311	*		*	
72	2660	高雄	2038	嘉義	2231	*		*	
73	2656	高雄	2004	嘉義	2159	*		*	
74	2638	高雄	1443	嘉義	1650		*		*
75	2662	屏東	0509	高雄	0534	*		*	
76	2645	嘉義	1518	高雄	1723		*		*
77	2659	嘉義	2027	高雄	2235		*	*	
78	2629	嘉義	1010	高雄	1219		*	*	
79	2489	嘉義	0708	高雄	0908		*	*	
80	2619	嘉義	0758	高雄	0948	*		*	
81	2675	嘉義	2045	高雄	2250	*		*	
82	3012	屏東	0630	高雄	0823				
83	3013	高雄	1420	高雄	2030				
84	3014	高雄	1305	高雄	1525				
85	2661	高雄	2345	屏東	2411		*	*	
86	3015	高雄	0642	高雄	1025				
87	3016	嘉義	0510	高雄	0817				
88	3017	嘉義	0505	高雄	0800				
89	3018	高雄	2041	嘉義	2409				
90	3019	高雄	1905	高雄	2104				
91	3020	高雄	0836	高雄	1333				
92	3021	高雄	1625	高雄	1834				
93	3022	高雄	1540	高雄	1757				
94	3023	高雄	2231	高雄	2439				
95	91	高雄	0730	台東新站	1030		*	*	
96	2663	高雄	0555	屏東	0622	*			*
97	113	高雄	1956	屏東	2018		*		*

【資料來源：台鐵高雄機務運轉股】

#### 4-1-1-2 可行工作班產生結果

表 4-3 為利用上述可行工作班產生器所產生的「具高度可行性工作班」。根據演算法的設計，共可以產生 97 個工作班，平均每個工作班約 2.6 個乘務，平均成本約 2090 單位成本；且工作班不會有便乘乘務的產生。

表 4-3 「具高度可行性工作班」產生結果

工作班 編號	組合的乘務編號			成本	工作班 編號	組合的乘務編號			成本
1	84	29	58	2781	2	84	29	41	2719
3	97	38	88	2140	4	92	97	75	1487
5	97	38	87	2164	6	46	11	39	2405
7	96	42	34	2252	8	97	38	59	1856
9	61	55		2255	10	1	12	93	2385
11	86	6	14	2557	12	68	78	93	2289
13	90	85	82	1714	14	84	30	37	2937
15	2	12	93	2353	16	97	38	79	1860
17	95	39	90	2542	18	97	38	80	1880
19	3	20	92	2363	20	85	42	34	2218
21	23	34		1931	22	4	55	90	2472
23	63	44	14	2080	24	91	9	16	2512
25	48	13	90	2428	26	11	39	90	2432
27	49	13	90	2424	28	27	13	90	2376
29	65	76	90	2166	30	31	25		1952
31	68	78		1462	32	5	21	94	2383
33	97	38	62	2084	34	26	69	81	2409
35	63	44	14	2080	36	63	43	14	2048
37	2	12		1526	38	3	20		1590
39	6	14	94	2083	40	66	81		1574
41	50	24		2035	42	4	55		1726
43	7	15	94	2175	44	84	29	19	2493
45	4	34		1666	46	8	24		1855
47	51	16		1738	48	83	94		2311
49	74	79	26	2309	50	11	39		1686
51	27	13		1630	52	9	56		1682
53	27	36	75	2290	54	69	81		1538
55	65	76		1420	56	93	70	88	2601
57	47	18		1738	58	31	25		1952
59	27	35		1886	60	27	33	75	2346
61	28	18		1678	62	67	81		1610
63	92	97	75	1487	64	6	14		1402
65	52	19		1690	66	6	60		1710
67	10	22		1686	68	31	40		1952
69	7	15		1494	70	29	19		1658
71	7	54		1694	72	5	21		1702
73	31	45		2183	74	70	88	26	2645
75	8	24		1855	76	90	94	91	2787
77	51	16		1783	78	30	37	84	2937

79	9	56		1682	80	73	88	26	2631
81	97	38	79	1860	82	9	17		1492
83	9	57		1734	84	72	88	26	2623
85	89	59	26	2675	86	26	67	81	2481
87	26	67	77	2433	88	26	28	18	2549
89	28	32		1810	90	71	88	26	2615
91	53	88	26	2579	92	26	67	64	2387
93	26	10	22	2557	94	97	38	79	1860
95	94	2	12	2207	96	84	29	19	2493
97	85	82	26	1839					

#### 4-1-2 工作班輪班表產生投入資料

本研究於工作班輪班表產生排班層次投入的工作班資料（表 4-4），為台鐵高雄機務段實務排班中，EA 與 EB 兩組工作班輪班表，共 36 的工作班，平均每工作班的工作時間約為 510.36 分鐘，平均乘務時間約為 287.3 分鐘。

表 4-4 工作班輪班表產生投入的工作班資料

編號	工作班名稱	開始工作時間	結束工作時間	工作時間	乘務時間	2200-0600 之乘務時間
1	801EA	0520	1602	481	331	0
2	802EB	0625	1417	424	254	0
3	803EA	0700	1502	440	270	0
4	804EA	0715	1855	490	297	0
5	805EB	0730	1731	425	255	0
6	807EB	1120	1951	422	272	0
7	808EA	1000	2024	410	298	0
8	809EB	1130	2148	416	246	0
9	810EA	1200	0853*	707	401	5
10	811EA	1300	2348	468	264	20
11	812EB	1600	2435	464	294	115
12	813EA	1420	2336	425	255	56
13	814EB	1512	1145*	671	341	128
14	821EB	1320	0859*	690	270	52
15	822EA	0905	1803	395	235	0
16	823EB	1140	2327	500	195	28
17	824EB	0900	1605	456	161	0
18	825EB	1520	1259*	408	501	35
19	826EA	1438	0759*	550	290	110
20	827EA	1443	1105*	833	256	99



21	828EA	1743	0857*	503	289	26
22	829EB	0450	1356	441	271	10
23	830EA	2020	0948*	411	231	71
24	831EB	1938	0817*	434	254	31
25	832EB	1904	0840*	490	290	55
26	833EA	1941	1028*	618	374	114
27	834EA	1805	1413*	799	402	46
28	836EA	1343	2330	422	252	50
29	837EB	1525	0728*	673	253	30
30	847EB	1025	2043	496	346	0
31	857EB	1822	1041*	632	406	62
32	861EA	0630	1755	514	344	0
33	866EA	1110	1625	315	189	0
34	867EB	0925	1732	461	201	0
35	881EB	0808	1925	608	310	0
36	882EA	1015	1837	481	255	0

1. (\*)表第二天時間
2. 時間單位：分鐘
3. 【資料來源：台鐵高雄機務運轉股】

## 4-2 工作班產生結果

工作班產生的求解方式如第三章所述，不採用一次窮舉產生所有可行工作班投入模式求解，而為逐次修改可行工作班產生演算法產生新的可行工作班，增加投入資料的數量加以求解。

### 4-2-1 第一次求解結果

將上述經本研究設計演算法產生之 97 個可行工作班，做為投入資料，投入多目標規劃之集合涵蓋問題數學模式求解工作班產生。藉由套裝軟體 Lindo 幫助求解，第一步驟將目標函數定式為求人員最小化，求解結果為 **56** (人)；第二步驟將目標函數定式為求總成本最小化，並加入人員限制式，限制人員數目為 56，求解結果為 **117480** (單位成本)。

表 4-5 工作班產生第一次求解結果

	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
工作班編號	1	2	5	6	7	9	10	11	13	17
成本	2781	2719	2164	2405	2252	2255	2385	2557	1714	2542
	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20
工作班編號	18	19	21	23	24	25	27	31	33	36
成本	1880	2363	1931	2080	2512	2428	2424	1462	2084	2048
	21	22	23	24	25	26	27	28	29	30
工作班編號	37	40	41	45	46	47	48	49	52	53
成本	1526	1574	2035	1666	1855	1738	2311	2309	1682	2290
	31	32	33	34	35	36	37	38	39	40
工作班編號	54	55	56	57	58	59	60	65	66	67
成本	1538	1420	2601	1738	1952	1886	2346	1690	1710	1686
	41	42	43	44	45	46	47	48	49	50
工作班編號	68	69	71	72	73	78	80	82	83	84
成本	1952	1494	1694	1702	2183	2937	2631	1492	1734	2623
	51	52	53	54	55	56				
工作班編號	85	87	89	90	91	92				
成本	2675	2433	1810	2615	2579	2387				

由於上述求解結果與台鐵實務上以相同投入資料，利用人工方式求解而得的結果，人員數目 **48**，總成本 **87465** 單位成本，相較來的差。

#### 4-2-2 第二次求解結果

第二次求解時，為改善求解結果，決定對於可行工作班產生演算法略做修改，產生多一倍可行工作班（表 4-6）加入投入集合涵蓋問題求解之資料集中，再次進行求解。

可行工作班產生演算法修改方式如下：原可行工作班產生時，對於連結乘務的選擇設計，是在符合各項法規限制下，選擇休息時間最少之可連結乘務予以連結；而修改之可行工作班產生演算法，其連結乘務的選擇設計，將是在符合各項法規限制下，選擇休息時間次少之可連結乘務予以連結。

表 4-6 第一次修改可行工作班產生演算法之產生結果

工作班 編號	組合的乘務編號	成本	工作班 編號	組合的乘務編號	成本
98	52 58	1978	99	52 41	1916
100	53 88	1708	101	49 33 75	2394
102	53 87	1732	103	46 49 14	2369
104	96 44 60	2396	105	53 59	1424
106	61 34	2195	107	1 55	1754
108	86 66 77	2681	109	68 62 92	2423
110	93 97 82	1765	111	10 37	1888
112	2 55	1722	113	53 79	1428
114	95 25	1944	115	53 80	1448
116	3 21	1646	117	97 42 13	2052
118	23 13	1795	119	4 34	1666
120	63 43 60	2356	121	91 69 77	2482
122	48 36 82	2566	123	11 25	1834
124	49 36 82	2562	125	27 36 82	2514
126	65 81	1510	127	31 40	1952
128	63 38 78	1952	129	5 22	1674
130	53 62	1652	131	26 93 94	2379
132	85 44 60	2362	133	85 43 60	2330
134	26 29 12	2517	135	30 20	1872
136	6 60	1710	137	66 77	1526
138	50 16	1718	139	2 55	1722
140	7 54	1694	141	84 70 87	2633
142	23 34	1931	143	8 16	1538
144	51 56	1902	145	83 46	2349
146	74 80	1458	147	95 39	1796
148	49 13	1678	149	9 17	1492
150	49 36 82	2562	151	69 77	1490
152	68 76	1416	153	93 90 86	2728
154	47 32	1870	155	11 25	1834
156	49 35	1934	157	49 33 82	2618
158	28 32	1810	159	67 77	1562
160	92 72 87	2549	161	85 43 14	2022
162	52 58	1978	163	85 43 60	2330
164	10 37	1888	165	11 40	1834
166	6 15	1434	167	29 58	1946
168	6 54	1634	169	3 21	1646
170	11 45	2065	171	70 87	1798
172	7 24	1811	173	80 46 84	2300
174	8 16	1538	175	30 20	1872

176	51	56		1902	177	73	87		1784
178	97	75		714	179	51	17		1712
180	51	57		1954	181	72	87		1776
182	89	79	84	2643	183	69	81		1538
184	69	77		1490	185	47	18		1738
186	47	32		1870	187	71	87		1768
188	53	87		1732	189	69	64		1444
190	5	22		1674	191	63	38	80	1936
192	94	95	25	2625	193	52	19		1690
194	85	42	13	2082					

利用上述修改過知可行工作班演算法產生的可行工作班，共 97 個，嘗試將其與第一次求解時所使用的可行工作班加總，做為投入數學模式的資料，故第二次求解投入的資料集共有 194 個工作班。同理，第一步驟將目標函數定式為求人員最小化，求解結果為 **46**；第二步驟將目標函數定式為求總成本最小化，限制人員數目為 46，求解結果為 **88032**。

表 4-7 工作班產生第二次求解結果

	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
工作班編號	31	36	37	41	45	50	55	56	59	61
成本	1462	2048	1526	2035	1666	1686	1420	2601	1886	1678
	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20
工作班編號	62	68	69	70	76	83	85	94	99	101
成本	1610	1952	1494	1658	2787	1734	2675	1860	1916	2394
	21	22	23	24	25	26	27	28	29	30
工作班編號	104	106	107	108	114	118	122	129	130	144
成本	2396	2195	1754	2681	1944	1795	2566	1674	1652	1902
	31	32	33	34	35	36	37	38	39	40
工作班編號	145	146	149	154	160	164	167	168	169	170
成本	2349	1458	1492	1870	2549	1888	1946	1634	1646	2065
	41	42	43	44	45	46				
工作班編號	174	175	177	187	189	194				
成本	1538	1872	1784	1768	1444	2082				

第二次的求解結果，在人員最小化方面的結果，已經比台鐵現行排班人數來的優良，然在總成本最小化方面的結果，仍較台鐵差。

### 4-2-3 第三次求解結果

第三次求解時，決定再次修改可行工作班產生演算法，產生另外 97 個工作班（表 4-8），並加入原本的 194 個工作班，期望利用增加可行工作班的數目可以繼續改善解的品質。

可行工作班產生演算法第二次修改方式如下：「高雄站為始發站」與「高雄站為到達站」兩類型乘務，在符合各項法規限制下，連結的第一個乘務，選擇休息時間最少的乘務予以連結；連結的第二個乘務，選擇休息時間次少的乘務予以連結（圖 4-1、圖 4-2）。而「始發及到達站均非高雄站」類型的乘務，在符合各項法規限制下，依時間序列往前連結的乘務，選擇休息時間最少的乘務；依時間序列往後連結的乘務，選擇休息時間次少的乘務（圖 4-3）。

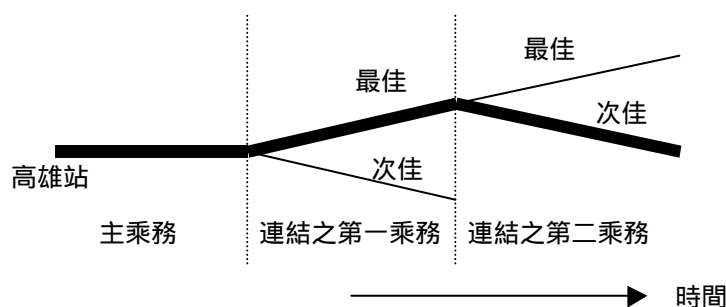


圖 4-1 「高雄站為始發站乘務」之連結乘務選擇示意圖

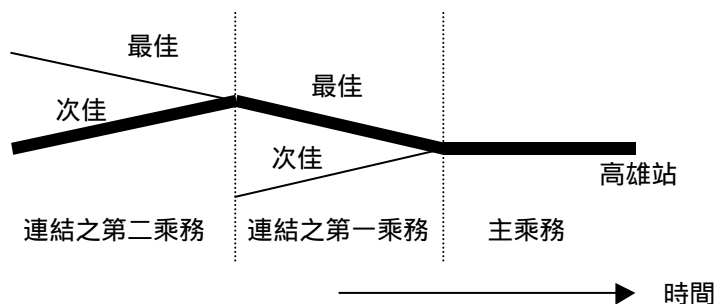


圖 4-2 「高雄站為到達站乘務」之連結乘務選擇示意圖

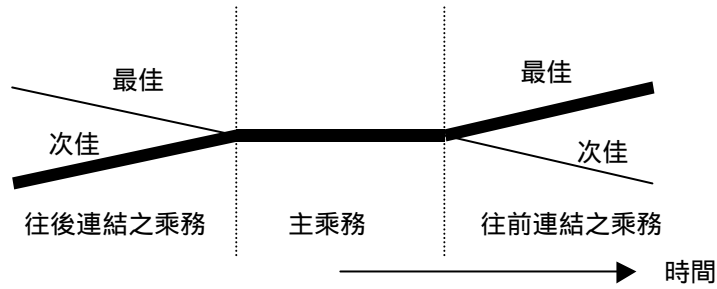


圖 4-3 「始發及到達站均非高雄站乘務」之連結乘務選擇示意圖

表 4-8 第二次修改可行工作班產生演算法之產生結果

工作班 編號	組合的乘務編號			成本	工作班 編號	組合的乘務編號			成本
195	26	29	58	2817	196	26	29	41	2755
197	63	38	88	2196	198	93	97	75	1541
199	63	38	87	2220	200	46	11	25	2553
201	96	42	13	2116	202	63	38	59	1912
203	61	55		2255	204	1	12	92	2331
205	86	6	15	2589	206	68	78	92	2235
207	92	85	82	1741	208	26	30	37	2973
209	2	12	92	2299	210	63	38	79	1916
211	95	39	94	2477	212	63	38	80	1936
213	3	20	90	2336	214	85	42	13	2082
215	23	34		1931	216	4	55	94	2407
217	63	44	60	2388	218	91	9	16	2512
219	48	13	94	2363	220	11	39	94	2367
221	49	13	94	2359	222	27	13	94	2311
223	65	76	94	2101	224	31	25		1952
225	63	38	78	1952	226	5	21		1702
227	93	53	62	2479	228	26	69	77	2361
229	63	44	60	2388	230	63	43	60	2356
231	2	12		1526	232	3	20		1590
233	6	60		1710	234	66	77	86	2681
235	50	16	86	2873	236	4	55		1726
237	7	54	46	2413	238	84	70	87	2633
239	4	34		1666	240	8	16	86	2693
241	51	56		1902	242	83	46		2349
243	74	80	93	2285	244	11	39		1686
245	27	13		1630	246	9	17	86	2647
247	49	36	82	2562	248	69	77	86	2645

249	65	76		1420	250	93	90	86	2728
251	47	32	86	3025	252	31	25		1952
253	27	35		1886	254	49	33	82	2618
255	28	32	86	2965	256	67	77	86	2717
257	92	72	87	2549	258	6	14		1402
259	52	58	84	2813	260	6	60		1710
261	10	37	93	2715	262	31	40		1952
263	7	15		1494	264	29	58	84	2781
265	7	54		1694	266	5	21		1702
267	31	45		2183	268	70	87	84	2633
269	8	24		1855	270	90	46	84	2300
271	51	16		1738	272	30	20	90	2618
273	9	56		1682	274	73	87	84	2619
275	97	75	26	1585	276	9	17		1492
277	9	57		1734	278	72	87	84	2611
279	89	79	84	2643	280	86	67	81	2765
281	86	67	77	2717	282	86	28	18	2833
283	46	28	32	2529	284	71	88	84	2579
285	53	88	84	2543	286	86	67	64	2671
287	86	10	22	2841	288	97	38	80	1880
289	94	2	55	2403	290	26	29	19	2529
291	85	82	84	1803					

第三次求解的投入資料如前述，資料集中共有 291 個可行工作班。同理，第一步驟將目標函數定式為求人員最小化，求解結果為 **45**；第二步驟將目標函數定式為求總成本最小化，限制人員數目為 45，求解結果為 **87339**。

表 4-9 工作班產生第三次求解結果

	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
工作班編號	17	31	40	56	61	70	73	83	84	99
成本	2542	1462	1574	2601	1678	1658	2183	1734	2623	1916
	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20
工作班編號	101	104	106	111	117	118	121	122	123	130
成本	2394	2396	2195	1888	2052	1795	2482	2566	1834	1652
	21	22	23	24	25	26	27	28	29	30
工作班編號	135	138	140	144	145	146	149	154	161	165
成本	1872	1718	1694	1902	2349	1458	1492	1870	2022	1834

	31	32	33	34	35	36	37	38	39	40
工作班編號	166	167	169	177	187	190	202	204	216	231
成本	1434	1946	1646	1784	1768	1674	1912	2331	2407	1526
	41	42	43	44	45					
工作班編號	249	253	269	279	286					
成本	1420	1886	1855	1643	2671					

第三次的求解結果，在人員最小化方面的結果，較第二次略有改善但幅度不大，總成本最小化方面的結果亦持續呈現下降的趨勢，且以較台鐵略好。

#### 4-2-4 第四次求解結果

欲知道若繼續增加可行工作班數目對結果的影響，因此決定第三次修改可行工作班產生演算法，產生另外 97 個工作班（表 4-10），並加入原本的 291 個工作班，期望利用增加可行工作班的數目可以繼續改善解的品質。

可行工作班產生演算法第三次修改方式如下：「高雄站為始發站」與「高雄站為到達站」兩類型乘務，在符合各項法規限制下，連結的第一個乘務，選擇休息時間次少的乘務予以連結；連結的第二個乘務，選擇休息時間最少的乘務予以連結。而「始發及到達站均非高雄站」類型的乘務，在符合各項法規限制下，依時間序列往前連結的乘務，選擇休息時間次少的乘務；依時間序列往後連結的乘務，選擇休息時間最少的乘務。

表 4-10 第三次修改可行工作班產生演算法之產生結果

工作班編號	組合的乘務編號			成本	工作班編號	組合的乘務編號			成本
292	26	52	58	2849	293	26	52	41	2787
294	92	53	88	2481	295	27	33	75	2346
296	92	53	87	2505	297	46	49	13	2397
298	96	44	14	2088	299	92	53	59	2197



300	61	34		2195	301	1	55	90	2500
302	86	66	81	2729	303	68	62	93	2477
304	92	97	82	1711	305	26	10	37	2759
306	2	55	90	2468	307	92	53	79	2201
308	95	25		1944	309	92	53	80	2221
310	3	21	94	2327	311	97	42	34	2188
312	23	13	90	2541	313	4	34	90	2412
314	63	43	14	2048	315	91	69	81	2473
316	48	36	75	2342	317	11	25	94	2515
318	49	36	75	2338	319	27	36	75	2290
320	65	81		1510	321	31	40		1952
322	97	38	78	1896	323	5	22		1674
324	92	53	62	2425	325	26	93	90	2444
326	85	44	14	2054	327	85	43	14	2022
328	84	29	12	2481	329	84	30	20	2707
330	6	60	94	2391	331	66	77		1526
332	50	16		1718	333	2	55		1722
334	7	54	94	2375	335	84	70	88	2609
336	23	34		1931	337	8	16		1538
338	51	56		1902	339	83	46		2349
340	74	80	84	2293	341	95	39		1796
342	49	13		1678	343	9	17		1492
344	49	36	75	2338	345	69	77		1490
346	68	76		1416	347	93	90	46	2292
348	47	32		1870	349	11	25		1834
350	49	35		1934	351	49	33	75	2394
352	28	32		1810	353	67	77		1562
354	92	72	88	2525	355	63	43	14	2048
356	52	58		1978	357	63	43	60	2356
358	10	37	84	2723	359	11	40		1834
360	6	15		1434	361	29	58		1946
362	6	54		1634	363	3	21		1646
364	11	45		2065	365	70	87	26	2669
366	7	24		1811	367	90	46	26	2336
368	8	16		1538	369	30	20	92	2645
370	51	56		1902	371	73	87	26	2655
372	97	75	91	2074	373	51	17		1712
374	51	57		1954	375	72	87	26	2647
376	89	79	26	2679	377	26	69	81	2409
378	26	69	77	2361	379	47	18		1738
380	47	32		1870	381	71	87	26	2639
382	53	87	26	2603	383	26	69	64	2315
384	5	22		1674	385	63	38	79	1916

386	94	95	39	2477	387	26	52	19	2561
388	85	42	34	2218					

第四次求解的投入資料如前述，資料集中共有 388 個可行工作班。同理，第一步驟將目標函數定式為求人員最小化，求解結果為 **45**；第二步驟將目標函數定式為求總成本最小化，限制人員數目為 45，求解結果為 **86306**。

表 4-11 工作班產生第四次求解結果

	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
工作班編號	10	22	31	33	36	37	41	59	61	70
成本	2385	2472	1462	2084	2048	1526	2035	1886	1678	1658
	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20
工作班編號	79	80	99	101	104	105	116	118	122	137
成本	1682	2631	1916	2394	2396	1424	1646	1795	2566	1526
	21	22	23	24	25	26	27	28	29	30
工作班編號	143	146	164	165	166	167	171	181	187	190
成本	1538	1458	1888	1834	1434	1946	1798	1776	1768	1674
	31	32	33	34	35	36	37	38	39	40
工作班編號	194	220	242	249	265	267	277	279	286	300
成本	2082	2367	2349	1420	1694	2183	1734	1643	2671	2195
	41	42	43	44	45					
工作班編號	308	315	369	373	380					
成本	1944	2473	1645	1712	1870					

第四次的求解結果，在人員最小化方面的結果，與第三次相同，總成本最小化方面的結果則持續下降的趨勢。由於第三與第四次各多增加 97 個可行工作班加入資料集中求解，但對於求解結果改善的幅度有限，因此研判即使再多增加可行工作班的投入，所得之求解結果可能相差無幾，故為避免浪費求解時間，增加求解效率，因此於第四次求解結束後，即停止繼續求解動作，第四次求解結果即為本研究所求得之最佳解。

表 4-12 為將最佳解中編號 10 的工作班，利用台鐵實務上對於工作班的表示方式予以還原表現；而最佳解中的其餘工作班亦能做相同方式的表現，且每個工作班均有其不同之屬性，如乘務時間、乘務距離、一般工作時間等。

表 4-12 最佳解中 10 號工作班之工作班內容

工作班內容 ( 10 號工作班 )			開始工作時間	結束工作時間
彰化	高雄	屏東	05:20	18:37
08:37	PP1004	⊙ 06:20	2200-0600 之乘務時間	
11:32	1011 山	13:37	0	797
	15:40	2683	乘務時間	乘務距離
	16:40	2684	378	462
	17:01	2687	工作時間	休息時間
	17:57	2688	669	128
			*時間單位：分鐘	
			一般工作時間	成本
			16:05	2385
			16:15	
			17:26	
			17:32	

#### 4-2-5 小結

整理四次求解結果如下表 4-13。觀察下表，可以發現整個求解過程中，「最小化人員數」與「最小化總成本」兩數值的變化趨勢與意義，以下說明。

- (1) 「最小化人員數」與「最小化總成本」，會隨著投入的可行工作班數目增加，而有隨之下降的趨勢。
- (2) 「最小化人員數」與「最小化總成本」下降的幅度，會隨著可行工作班數目增加而漸緩。換言之，當可行工作班數目少時，每增加一定量的數量，對於解將有顯著的改善；但可行工作班到達一定數量後，即使再增加，對於解改善的效果就變的遲緩與不顯著。
- (3) 台鐵現行排班狀況需要的人員數為 48 人，本研究在第二次求解時，使用 194 個可行工作班做為投入資料，所得的解已經較其優良；總成本方面，台鐵為 87465 單位成本，本研究在第三次求解時，使用 291 個可行工作班做為投入資料，所得的解已經較其優良。換言之，投入 291 個可行工作班，模式所規劃的兩個目標，人員數與總成本，均可以低於現行台鐵排班的情況。

表 4-13 求解結果彙整表

	最小化人員數	減量	最小化總成本	減量
第一次求解結果 (97 工作班)	56	-	117480	-
第二次求解結果 (194 工作班)	46	10	88032	29448
第三次求解結果 (291 工作班)	45	1	87339	693
第四次求解結果 (388 工作班)	45	0	86306	1033
台鐵現行排班狀況	48		87465	

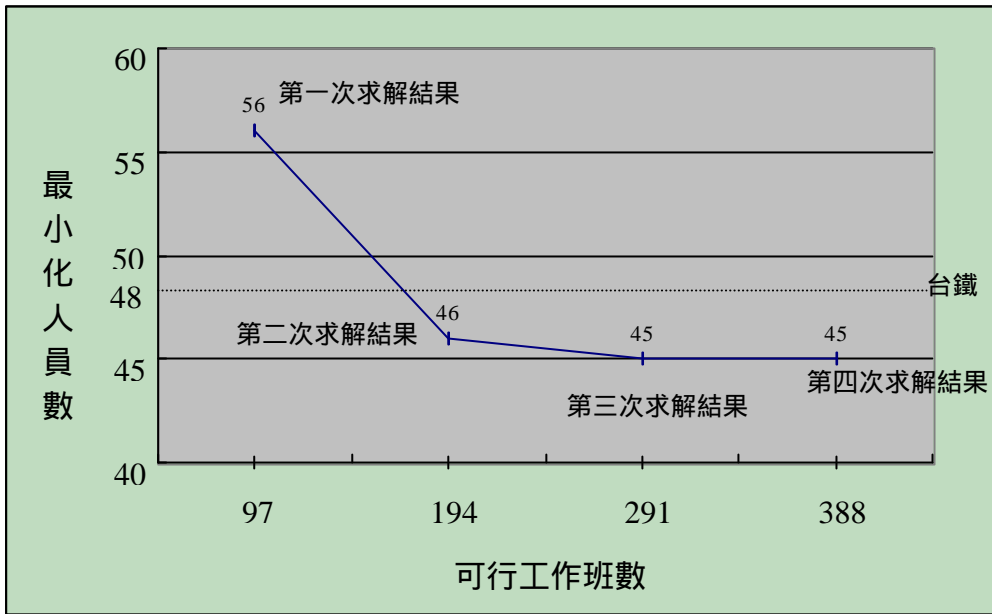


圖 4-4 最小化人員數與可行工作班數之關係圖

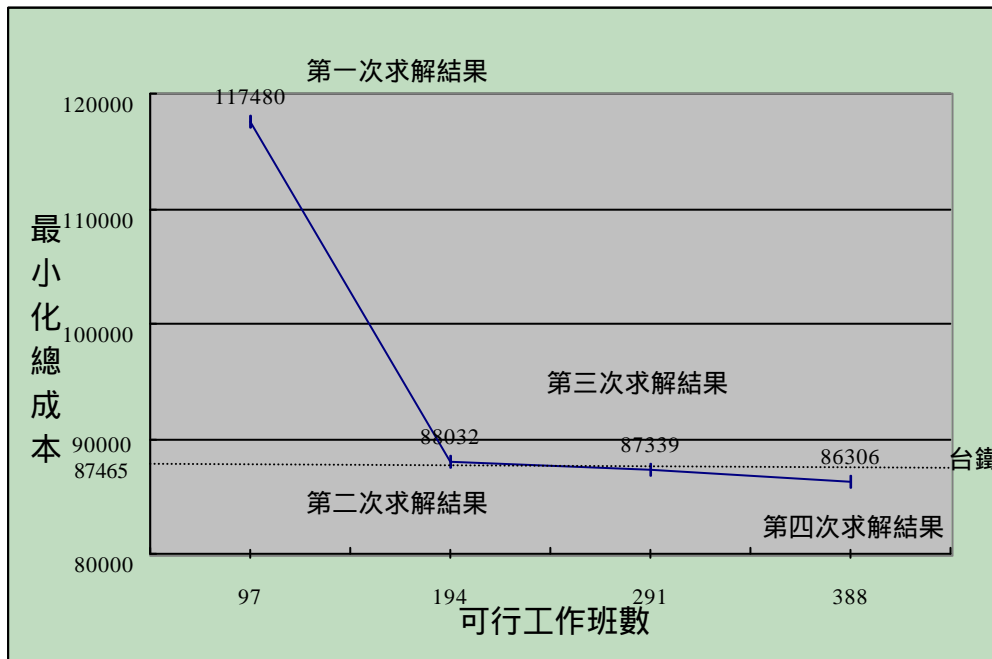


圖 4-5 最小化總成本與可行工作班數之關係圖

觀察整個求解過程與求解結果，本研究整理下列幾點心得：

- (1) 本研究的目的是為發展一有系統與效率的排班方式，然經由理論的推導、模式的設計，及相同的投入資料基礎下，本研究所求得的排班解，就人員數的使用與總成本方面，均較台鐵以人工處理的排班方式相覷不遠，但排班所費的時間與成本較之減少。
- (2) 本研究利用逐次增加的方式將產生之 388 個可行工作班投入模式並進行求解，即可獲得一不錯的解。故根據以上，可以得到一推論：產生可行工作的階段，採用一次窮舉產生所有的可行工作班（需 $2^{97}$ 次判斷）做為投入資料的方式不可行且不需要，因為根據研究的結果發現：採用的模式具有「最小化人員數」與「最小化總成本」的下降幅度會隨著可行工作班數目增加而漸緩的特性，因此只需投入部分具高度可行性的工作班予以求解，所得之結果應與窮舉的方式相差不大。

### 4-3 工作班輪班表產生結果

#### 4-3-1 第一次求解結果

工作班輪班表產生所採之投入資料，為上述提及之台鐵實務排班中 EA 與 EB 兩組工作班輪班表，共 36 個工作班。將資料經整理後，投入第三章說明之工作班輪班表產生數學模式進行求解；藉由套裝軟體 Lindo 於配備 K7-650 處理器與 128 ram 記憶體之個人電腦實際求解，所得之解如下（表 4-14、4-15），存在兩個子迴圈，求解的 CPU 時間為 35 分 40 秒。求得解的週期時間為 59 天，其中，子迴圈一週期時間 51 天，子迴圈二週期時間 8 天。

表 4-16 為台鐵以相同投入資料，利以人工方式處理所得之工作班輪班表，其週期時間為 58 天。觀察台鐵實務使用之工作班輪班表，其實並不為一可行工作班，因為工作班 11 與工作班 2 之連結，並不符合「每工作班反段後給予之休息時間應相當於該工作時間以上」之法規限制。

表 4-14 工作班輪班表產生結果 - 子迴圈一

休	26	-	22	29	-	
休	15	4	19	-	21	-
休	8	3	25	-	10	
休	9	-	31	-	12	30
休	11	27	-	7	6	
休	18	-	20	-	34	
休	32	16	23	-	17	
休	1	14	-	13	-	2

表 4-15 工作班輪班表產生結果 - 子迴圈二

5	36	33	休	28	35	24	-
---	----	----	---	----	----	----	---

表 4-16 台鐵實務使用之工作班輪班表

								總工作時間
休	28	1	15	26	-			31.93
休	20	-	10	3	9	-		40.80
休	23	-	7	36	33	19	-	36.12
休	21	-	12	32	4	27	-	45.52
休	11	2	34	24	-			29.72
休	31	-	8	22	18	-		31.62
休	13	-	16	5	30	14	-	46.37
休	25	-	35	17	6	29	-	44.15

時間單位：小時

#### 4-3-2 子迴圈問題之啟發式解法

由於求得之解中存在兩個子迴圈，並不可行，故需使用第三章所敘述之啟發式解法進行修正，以求得可行解。啟發式解法之操作方式如下：選擇子迴圈二，任意移除迴圈上之一節線可以形成一路徑，故可以產生 7 條路徑，表 4-17 示之。之後將產生的 7 個路徑依序插入迴圈一中所有可能的位置（表 4-18），共 38 個，並檢查其是否符合所有法規限制條件。如果符合條件，則得到一可行解，計算其週期時間；如果不符合條件，則予以捨棄。此動作一直重複，直到 7 個路徑均試驗完畢為止。

表 4-17 子迴圈二產生之路徑

1.	5	36	33	休	28	35	24	-
2.	36	33	休	28	35	24	-	5
3.	33	休	28	35	24	-	5	36
4.	休	28	35	24	-	5	36	33
5.	28	35	24	-	5	36	33	休
6.	35	24	-	5	36	33	休	28
7.	24	-	5	36	33	休	28	35



表 4-18 子迴圈一可供插入之可能位置

休	(1)	26	-	(2)	22	(3)	29	-	(4)		
休	(5)	15	(6)	4	(7)	19	-	(8)	21	-	(9)
休	(10)	8	(11)	3	(12)	25	-	(13)	10	(14)	
休	(15)	9	-	(16)	31	-	(17)	12	(18)	30	(19)
休	(20)	11	(21)	27	-	(22)	7	(23)	6	(24)	
休	(25)	18	-	(26)	20	-	(27)	34	(28)		
休	(29)	32	(30)	16	(31)	23	-	(32)	17	(33)	
休	(34)	1	(35)	14	-	(36)	13	-	(37)	2	(38)

### 4-3-3 第二次求解結果

利用啟發式解法修正第一次求解結果，所得之可行工作班輪班表，附錄 B 示之。可行工作班輪班表共 19 組，每組的週期時間均為 59 天。

### 4-3-4 第三次求解結果

經第二次求解，本研究得到 19 個週期時間同為 59 天的可行工作班輪班表，然如欲在其中選取最佳的可行工作班輪班表，需利用另一評估指標。由於工作班輪班表所規畫的時間較長，因此若工作班的工作量分佈不均勻，容易造成駕駛員於某段時間太過勞累而影響安全，或太過輕鬆而造成閒置，因此工作班輪班表每週的工作量是否平衡，將是評估一工作班輪班表優劣的重要參考指標。

本研究擬以各可行工作班輪班表每週工作量的變異大小做為挑選最佳工作班輪班表的依據。標準差的平方為變異數，是衡量一群數值變異程度的指標，故計算各可行工作班輪班表每週工作時間的標準差，作為衡量的標準，標準差之公式為： $s = \sqrt{\frac{\sum(x-\bar{x})^2}{n-1}}$ ；換言之， $s$  值愈小的可行工作班輪班表，其品質愈佳。

計算 19 個可行工作班輪班表每週工作時間之最大值、最小值、最大與最小工作量差與標準差等，結果於下表，表 4-19。由表中觀察得之，編號 15 的可行工作班其  $s$  值最小，所以為最佳工作班輪班表（表 4-20），週期時間為 59 天。

表 4-19 候選可行工作班輪班表每週工作時間之各項比較

可行工作班輪班表編號	1	2	3	4	5	6	7
一週最大工作量	38.00	41.40	39.28	41.15	39.17	39.08	39.5
一週最小工作量	28.37	28.37	28.37	28.37	28.87	28.37	28.37
最大與最小工作量差	9.63	13.03	10.91	12.78	10.3	10.71	11.13
$s$ 值	3.587635	4.780272	3.987747	4.761408	3.634832	4.161818	3.784987
可行工作班輪班表編號	8	9	10	11	12	13	14
一週最大工作量	39.5	40.17	39.50	37.77	37.77	37.77	41.95
一週最小工作量	28.37	28.37	28.87	28.37	28.37	28.37	28.37
最大與最小工作量差	11.13	11.8	10.63	9.4	9.4	9.4	13.58
$s$ 值	4.013867	4.718766	3.69728	4.192986	3.573596	3.888756	4.832908
可行工作班輪班表編號	15	16	17	18	19		
一週最大工作量	37.77	38.38	40.47	44.35	39.95		
一週最小工作量	28.87	28.37	28.37	28.87	28.37		
最大與最小工作量差	8.9	10.01	12.1	15.48	11.58		
$s$ 值	3.448454	4.133126	4.162022	5.228289	4.237688		

表 4-20 最佳工作班輪班表

休	26	-	22	29	-	
休	15	4	19	-	21	-
休	8	3	25	-	10	
休	9	-	31	-	12	30
休	11	27	-	7	6	
休	35	24	-	5	36	33
休	28	18	-	20	-	34
休	32	16	23	-	17	
休	1	14	-	13	-	2

#### 4-3-5 小結

觀察整個求解過程與求解結果，本研究整理下列幾點心得：

- (1) 表 4-21 為本研究利用模式求解所得之最佳解與台鐵各項數值比較。由表中可以觀察出，雖然台鐵以相同投入資料，以人工方式處理所得工作班輪班表的週期時間較本研究求得解短少 1 天，為 58 天；但就每週工作量平衡與否的評估標準來衡量，如一週最大最小工作量差、每週工作時間標準差等，本研究求得的解就相較來的優良許多；況且前述提及，台鐵現行的工作班輪班表並不符合所有法規限制。

表 4-21 模式求解所得之最佳工作班輪班表與台鐵比較

	編號 15 之可行工作班輪班表	台鐵現況
週期時間	59	58
一週最大工作量	37.77	45.52
一週最小工作量	28.87	29.72
最大與最小工作量差	8.9	15.8
每週工作時間標準差 $s$ 值	3.448454	6.774851
是否符合所有法規限制	是	否

- (2) 更仔細觀察工作班輪班表每週所包含之工作班間的工作量差異發現 (表 4-22、4-23)，本研究求得之工作班輪班表每週包含之工作班彼此間的工作量差異較台鐵來的小；換言之，即為每週包含之工作班與工作班間的工作量較為平衡；但若就整體而言，兩工作班輪班表中每個工作班與工作班間工作量的差異大小極微接近 ( $s_{all} = 2.000886 ; 2.000817$ )。

表 4-22 最佳解工作班輪班表每週包含的工作班間之工作時間比較

週數	包含之工作班內容與工作時間						總工作時間與標準差	
第一週	休	26	22	29			總工作時間	標準差
	-	10.3	7.35	11.217			28.867	2.021
第二週	休	15	4	19	21		總工作時間	標準差
	-	6.583	8.167	9.167	8.383		32.3	1.083
第三週	休	8	3	25	10		總工作時間	標準差
	-	6.933	7.333	8.167	7.8		30.233	0.539
第四週	休	9	31	12	30		總工作時間	標準差
	-	11.783	10.533	7.083	8.267		37.667	2.13
第五週	休	11	27	7	6		總工作時間	標準差
	-	7.733	13.317	6.833	7.033		34.917	3.083
第六週	休	35	24	5	36	33	總工作時間	標準差
	-	10.133	7.233	7.083	8.017	5.25	37.717	1.768
第七週	休	28	18	20	34		總工作時間	標準差
	-	7.03	6.8	13.883	7.683		35.4	3.377
第八週	休	32	16	23	17		總工作時間	標準差
	-	8.567	8.33	6.85	7.6		31.35	0.776
第九週	休	1	14	13	2		總工作時間	標準差
	-	8.017	11.5	11.183	7.067		37.767	2.231
時間單位：小時							$S_{all} = 2.000886$	

表 4-23 台鐵工作班輪班表每週包含工作班間之工作時間比較

週數	包含之工作班內容與工作時間						總工作時間與標準差	
第一週	休	28	1	15	26		總工作時間	標準差
	-	7.033	8.017	6.583	10.3		31.933	1.657
第二週	休	20	10	3	9		總工作時間	標準差
	-	13.883	7.8	7.333	11.783		40.8	3.165
第三週	休	23	7	36	33	19	總工作時間	標準差
	-	6.85	6.833	8.0167	5.25	9.167	36.117	1.466
第四週	休	21	12	32	4	27	總工作時間	標準差
	-	8.383	7.083	8.567	8.167	13.317	45.51667	2.425
第五週	休	11	2	34	24		總工作時間	標準差
	-	7.733	7.067	7.683	7.233		29.71667	0.330
第六週	休	31	8	22	18		總工作時間	標準差
	-	10.533	6.933	7.35	6.8		31.617	1.768
第七週	休	13	16	5	30	14	總工作時間	標準差
	-	11.183	8.333	7.083	8.267	11.5	46.367	1.956
第八週	休	25	35	17	6	29	總工作時間	標準差
	-	8.167	10.133	7.6	7.033	11.217	44.15	1.773
							$S_{all} = 2.000817$	

- (3) 由求解的結果與過程可以得之，求解工作班輪班表排班問題若單純以最小週期時間為目標函數，可能出現多重最佳解的情形；因此，如出現多重最佳解的情形，需再利用其他衡量的指標，如每週工作量間的多寡、平衡與否等，從中選出最佳的工作班輪班表。
- (4) 由求解的經驗得之，模式求解的過程中很難避免有子迴圈的情形發生，然一般可以在模式構建時就加入防子迴圈發生的限制式，但此動作會增加模式求解的難度與時間；因此，發展適當的啟發式解法，將是解決子迴圈問題最方便也最迅速的方式。

## 第五章 結論與建議

### 5-1 結論

1. 本研究研究駕駛員排班問題並回顧人員排班相關文獻，瞭解鐵路駕駛員排班問題與其他人員排班問題間之異同；同時，藉由實務的訪談獲悉台鐵處理駕駛員排班問題的作業方式，並以此為基礎發展本研究之駕駛員排班問題模式並研擬求解的方法。
2. 本研究仿照台鐵實務處理排班問題的方式，將問題分為工作班產生（crew scheduling）與工作班輪班表產生（crew rostering）兩排班層次，分別建立一套有系統的排班方式，且經由實證研究證實其排班的結果已與人工的排班相當。故本研究最大的貢獻在於提供一個可以於容許的規劃時間內，對於任何變動均可以「即時」予以反應的方法，取代原本人工排班的方式。
3. 本研究是以問題導向為出發，針對目前實務上鐵路駕駛員的排班方式，研擬有系統與效率的方法來取代原本單靠人力完成排班的方式。故研究的過程中並沒有專研於各項排班技術的應用，而致力於發展一套適合問題的求解方式。

### 5-2 建議

1. 台鐵現行的排班作業，均由專業且有經驗的排班人員以人工的方式完成，姑且不論人工的作業成效如何，其最為人詬病的就是整個排班的過程是個「黑盒子」，沒有一套標準的作業程序與評估的標準。然經由本研究之經驗得之，以科學、有系統、最佳化的方式來從事排班作業，同樣可以做好排班工作且大大縮短規劃的時間；因此，本研究建議實務的單位應該儘早思考並著手研究如何

利用新的排班技巧，來取代現有人工的排班方式。

2. 根據回顧之文獻瞭解，鐵路駕駛員排班問題是可以應用很多的求解理論予以應用與求解，故本研究建議爾後如有相關研究可以多比較幾種求解方式的求解效率與效果，以更確切掌握各種求解方式的使用對象與時機。
3. 由於資料選取與分組方式不明確的因素，本研究在兩排班層次的作業上並沒有依原本的設計方式，即將工作班產生的結果，做為工作班表產生的投入資料進行求解；因此，很難看出整體規劃的效果，但就個別而言，本研究的結果說明了成效。故建議爾後如有相關研究可以考慮採用上述本研究不足之處，做進一步研究。
4. 本研究因時間因素，並沒有對模式做相關的敏感度分析，故建議爾後如有相關研究可以進一步對模式做敏感度的測試。敏感度分析對於排班而言相當重要且實用，因為台鐵目前的排班法規限制，每年均會透過勞資兩方的協商做某種程度的修改，因此若可以利用敏感度分析事先瞭解法規限制變動的幅度對於營運的衝擊大小，將可以更確切掌握協商的籌碼與底線。
5. 本研究將排班分為兩個產生步驟，產生「工作班」再產生「工作班輪班表」；建議爾後研究可以嘗試是否可以利用一個步驟即可產生「工作班」與「工作班輪班表」？

## 參考文獻

1. 沈志展,「民航空運排程分析模式之應用」, 國立交通大學交通運輸研究所碩士論文, 民國 80 年 6 月。
2. 何盈芬,「飛行員排班問題之模擬與探討」, 國立成功大學應用數學研究所碩士論文, 民國 84 年 6 月。
3. 廖學昌,「公車客運業人員排班問題之研究」, 國立交通大學交通運輸研究所碩士論文, 民國 87 年 6 月。
4. 顏上堯、林錦翌,「空服員排班組合最佳化之研究」, 中國土木水利工程學刊, 第 9 卷 2 期, 頁 303-313, 民國 86 年。
5. Assad, Arjang A., “Models for Rail Transportation”, *Transportation Research A*, Vol. 14A, pp.205-220, 1980.
6. Bussieck, M.R., Winter, T. and Zimmermann, U.T., “Discrete Optimization in Public Rail Transport”, *Mathematical Programming*, Vol. 79, pp.415-444, 1997.
7. Campbell, Kevin W., Durfee, R. Bret and Hines, Gail S., “FedEx Generates Bid Lines Using Simulated Annealing”, *Interfaces*, Vol. 27, No. 1, pp.1-16, 1997.
8. Caprara, Alberto, Fischetti, Matteo, Toth, Paolo and Vigo, Daniele, “Algorithms for Railway Crew Management”, *Mathematical Programming*, Vol. 79, pp.125-141, 1997.
9. Caprara, Alberto, Fischetti, Matteo, Toth, Paolo and Vigo, Daniele, “Modeling and Solving the Crew Rostering Problem”, *Technical Report OR-95-6*, DEIS University of Bologna, 1995.
10. Desrochers, Martin and Soumis, Francois, “A Column Generation Approach to the Urban Transit Crew Scheduling Problem”, *Transportation Science*, Vol. 23, No. 1, pp.1-13, 1989.
11. Desrochers, Martin and Soumis, Francois, “Crew-Opt: Crew Scheduling by Column Generation” in *Computer-Aided Transit Scheduling*, pp.83-90. Lecture Notes in Economics and Mathematical System 308. Springer-Verlag, Berlin,



1988.

12. Desrochers, M., Gilbert, J., Sauve, M. and Soumis, F., "Crew-Opt: Subproblem Modeling in a Column Generation Approach to Urban Crew Scheduling" in *Computer-Aided Transit Scheduling*, pp.395-406. Lecture Notes in Economics and Mathematical System 386. Springer-Verlag, Berlin, 1992.
13. Gamache, Micheal, Soumis, Francois, Marquis, Gerald and Desrosiers, Jacques, "A Column Generation Approach for Large-scale Aircrew Rostering Problem", *Operations Research*, Vol. 47, No. 2, 1999.
14. Ignizio, James P. and Thomas, Lyn C., "An Enhanced Conversion Scheme for Lexicographic Multiobjective Integer Program", *European Journal of Operational Research*, 18, pp.57-61, 1984.
15. Jarrah, Ahmad I. Z. and Diamond, James T., "The Problem of Generating Crew Bidlines", *Interfaces*, Vol. 27, No. 4, pp.49-64, 1997.
16. Kataoka, K. and Komaya, K., "Crew Operation Scheduling Based on Simulated Evolution Technique", *Computers in Railways* , pp.287-297, 1998.
17. Wren, Anthony and Wren, David O., "A Genetic Algorithm for Public Transport Driver Scheduling", *Computers and Operations Research*, Vol. 22, No. 1, pp.101-110, 1995.