

國立交通大學

交通運輸研究所

碩士論文

台北捷運班表製作-以板南線為例

Developing a Timetable for Taipei Rapid Transit
-A Case Study of Metro Blue Line



指導教授：汪進財 教授

研究生：邱寶慧

中 華 民 國 九 十 九 年 六 月

台北捷運班表製作-以板南線為例

Developing Timetable of Taipei Rapid Transit
-Case Study of Metro Blue Line

研究生：邱寶慧
指導教授：汪進財

Student: Bao-huei Ciou
Advisor: Jinn-Tsai Wong

國立交通大學
交通運輸研究所
碩士論文

A Thesis
Submitted to Department of Institute of Traffic and Transportation
College of Management
National Chiao Tung University
In Partial Fulfillment of the Requirements
For the Degree of
Mater
In
Engineering
June 2010
Taipei, Taiwan, Republic of China

中華民國九十九年六月

台北捷運班表製作-以板南線為例

學生:邱寶慧

指導教授:汪進財博士

摘 要

隨著捷運路線延伸，捷運系統在台北都會區交通地位倍增，以捷運公司製作班表人員而言，希望能以有效率並且能簡單操作試排出班表，另外以旅客的角度來說希望班距能在捷運公司承諾的範圍之內。本班表中旅運量已反應在每個時段班距的安排，列車可以視為在一個閉鎖區間內反覆行駛，若非必要並不須收發車，所以不似其他研究需使用複雜的演算法，本研究考慮到現實中所面對的困難，包括機廠收發車與終端站的折返，發展啟發式演算法以製作捷運一天班表。

以 C++ 程式語言作為工具，依照啟發式演算法製作班表，使用者輸入每個時段須要班距、終端站折返限制以及上下行基準車站，就可在 3~5 分鐘之內製作完一天的班表，班表當中除了包含所有列車到達各站時間以及離開各站時間之外，還包含機廠收發車時間、終端站使用月台數以及折返時間，此班表當中已考慮到發車衝突以及終端站前後列車時隔衝突，在轉換時段能快速恢復固定班距。

關鍵詞:大眾運輸系統、列車排班、啟發式演算法、機廠收發車、終端站衝突



Developing Timetable of Taipei Rapid Transit -Case Study of Metro Blue Line

Abstract

When the route of Taipei Rapid Transit has been developed, Taipei Rapid Transit has been the important public transport. As the role of timetable maker, the most principal work is scheduling the efficient timetable. Considering the demand reflecting on the headway, the headway has been set and timetable is developed. If headway is constant, the trains run on the route and it is not necessary to add trains from workshops or diminish trains. However, when the headway is changed, it is necessary to change the number of trains. As a result of the characters of the timetable of Taipei Rapid Transit, the heuristic is been developed to schedule the timetable of trains.

In this research we develop the efficient heuristic algorithm to schedule the timetable of the trains. The timetable maker input the headway, dwell time of terminuses and standard station, in the 3~5 minutes, the model can make the timetable of trains. The timetable includes the arrival time of stations、the departure time of station、the time of adding trains from workshops、the time of diminishing train、the number of palants of terminuses and the dwell time in terminus. The timetable has been considered the conflicts of adding trains from workshops and changing headway at terminus.

Key words: Timetable of trains, Public transport, Heuristic, Conflicts, Terminus, Workshop.

誌 謝

能完成一本論文不容易，能遇到一位好的指導教授更不容易，我很幸運能作為汪老師的指導學生，也感謝李宇欣教授推薦汪老師作為我的指導教授，老師在生活處事和指導學生嚴謹的態度讓我受惠許多，也許學校教導的知識會隨著時間淡忘，可是老師教導我認真、勇敢面對問題並解決問題的態度卻會跟隨著我一輩子，雖然在老師眼中我還是有許多不足的地方，但是我會用您教導我的態度去彌補我這麼多的缺陷並且不間斷的去努力學習。感謝口試委員丁慶榮教授和劉德昌教授不吝指導，讓我能將論文中的缺陷修正。

在北交這兩年的生活我過得非常開心，所有老師是那樣的用心教導學生且親切，所有的朋友是那樣的有義氣且在我有困難時幫助我，認識你們真的覺得很幸運、很幸運，在這兩年中因為有你們我學會快樂的生活，我學會正向面思考，我不會忘記在研究室的大笑、大家一起趕報告的辛苦、互相打氣和出去玩時大家開心的笑容；特別感謝士軒學長，在我想逃避的時候適時當頭棒喝，把我拉回現實去面對問題，你和老師把我訓練得更堅強，這樣我才有資格作為汪家的學生。

感謝我的家人，經過那麼多的風風雨雨，有很多歡笑也有很多眼淚，而你們總是在身邊支持著我，從大學到研究所總是無怨無悔的幫助我，希望之後我們能夠團聚在一起，過著更好的生活。

還有在成大教導我的教授-李宇欣教授，謝謝您在大三和大四時的指導，在您的指導之下我學到很多，也很幸運能作為您的學妹，謝謝您推薦我選擇汪老師作為我的指導教授，曾經是您的指導學生讓我覺得很幸運；同一個研究室的瓊文學姐、侑任學長和柏宏學長，謝謝你們在我有困難時不吝指教。

在成大陪伴過我的朋友們，我很開心能夠遇見你們，一直記得夕陽下在自強操場辛苦練球的你們，總是被你們的笑話逗得哈哈大笑，每次練球都拖到晚上八、九點才吃飯，笑著吃著水果，你們占了我大學大部份的回憶，這中間有太多悲歡離合，也許就是有這些分分合合才能真正體會人生。謝謝維盈、婉萍、雅婷和銹這些好姐妹們，總是在我身邊陪伴著我，陪我度過情緒的低潮；在EMBA打工時遇到的夥伴，一起工作、一起合作辦活動和平常在辦公室一起吃飯聊未來，我學到很多工作上的態度，也認識很多很好的朋友；在台南市流浪動物義工隊的義工們，很榮幸能身為你們的一份子，讓我學習去珍惜並幫助每個小生命。

最後，感謝在我生命中經過的人們，因為有你們，我的生命更多采多姿，而我期望自己能在之後遇到困難都能正向思考，不逃避問題，腳踏實地去解決困難，並能充實自己的人生。

目錄

第一章、緒論	1
1.1 研究背景與動機.....	1
1.2 研究目的.....	11
1.3 研究範圍與限制.....	12
1.4 研究架構與方法.....	14
1.5 研究流程.....	16
第二章、文獻回顧	17
2、1 鐵路排班問題.....	17
2.1.1 列車區間議題.....	18
2.1.2 時刻表製作.....	20
2.1.3 車站月台路徑指派.....	22
2.2 軌道排班議題對應方法.....	24
2.2.1 列車區間選擇議題及對應使用方法.....	24
2.2.2 時刻表使用議題及對應使用方法.....	27
2.2.3 路線選擇議題及對應使用方法.....	30
第三章、列車運行邏輯	33
3.1 行駛路線瓶頸點.....	33
3.2 製作班表步驟.....	37
第四章 時刻表演算步驟	42
4.1 產生理想班表.....	42
4.2 列車銜接.....	45
4.3 從機廠收車.....	50
4.4 從機廠加車.....	53
第五章 結果與分析	60
5.1 程式演算步驟.....	60
5.2 實例結果分析.....	66
第六章、結論與建議	81
6.1 結論.....	81
6.2 建議.....	83
參考文獻	84
附表	87

表目錄

表 1.1 南港到永寧(含南港到亞東醫院)基本行車時間.....	5
表 2.1 軌道列車分類.....	23
表 2.2 區位選擇使用方法文獻整理.....	25
表 2.3 路線選擇使用方法文獻整理.....	28
表 2.4 車站路線指派使用方法文獻整理.....	31
表 3.1 比較各站作為基準站的優缺點.....	34
表 3.2 規劃各時段的班距.....	38
表 4.1 列車行駛時間.....	42
表 4.2 列車停靠時間.....	43
表 4.3 每一時段對應班距.....	43
表 4.4 首班車發車車站及時間(以台北車站為基準車站).....	45
表 4.5 各終端站上下行方向行駛時間與停留時間.....	46
表 4.6 各終端站在不同班距下使用列車數及折返時間之和.....	47
表 4.7 使用單雙月台時班距與折返時間關係.....	48
表 4.8 各終端站折返時間與班距之關係.....	49
表 4.9 當台北車站做為基準車站設定班距、使用列車數及折返時間.....	50
表 4.10 轉換時段列車到達和離開終端站.....	51
表 4.11 使用單雙月台折返時間限制.....	51
表 4.12 增加轉換時段折返時間後使用單雙月台折返時間限制.....	51
表 4.13 台北車站做為基準車站土城機廠的收車車狀況.....	52
表 4.15 南港機廠可能產生衝突所需參數與變數.....	54
表 4.16 土城機廠可能產生衝突所需參數與變數.....	56
表 4.17 南港機廠發車.....	58
表 4.18 土城機廠發車.....	59
表 5.1 上行方向各時段基本輸入值.....	64
表 5.2 下行方向各時段基本輸入值.....	64
表 5.3 台北捷運現行班表兩端機廠收發車狀況.....	66
表 5.4 基準車站在南港站和台北車站及台北捷運現行班表兩端機廠收發車狀況.....	67
表 6.1 使用單雙月台時班距與折返時間關係.....	81
表 6.2 轉換時段終端站折返時間限制.....	82
附表一 各時段基本輸入值.....	87
附表二 上行方向基準車站理想班表.....	88
附表三 下行方向基準車站理想班表.....	89
附表四 上行理想班表.....	90
附表五 下行理想班表.....	92
附表五 下行理想班表(續).....	93
附表六 南港站折返時間.....	94
附表七 亞東醫院站及永寧站折返時間.....	96
附表七 亞東醫院站及永寧站折返時間(續).....	97
附表八 南港機廠收發車時間.....	97
附表九 土城機廠收發車時間.....	98

圖目錄

圖 1.1 台北捷運 1998 年至 2008 年延車公里	1
圖 1.2 中運量及高運量平均每天搭乘人次	2
圖 1.3 2009 年八月、九月和十月板南線各車站進出站人次	2
圖 1.4 板南線兩種路線示意圖	3
圖 1.5 模擬列車運行圖	6
圖 1.6 往返南港-亞東醫院列車調整折返時間後運行圖	7
圖 1.7 板南線行駛時間以及終端站停留時間	8
圖 1.8 時刻表製作流程(出處:台北捷運時刻表製作簡報處務報告)	10
圖 1.9 台北捷運初始班表製作(出處:台北捷運時刻表製作簡報處務報告)	10
圖 1.10 台北捷運折返時間調整(出處:台北捷運時刻表製作簡報處務報告)	11
圖 1.11 雙月台終端站，列車使用單月台	12
圖 1.12 雙月台終端站，列車使用雙月台	13
圖 1.13 袋狀軌列車使用單月台	13
圖 1.14 終端站台折返模式	13
圖 1.15 研究架構圖	15
圖 1.16 研究流程	16
圖 3.1 台北捷運板南線路線佈設圖	33
圖 3.2 南港機廠發車的路線	35
圖 3.3 土城機廠發車的路線	36
圖 3.4 完整班表包含元素	36
圖 3.5 產生時刻表步驟	37
圖 3.6 上下行列車在終端站折返	39
圖 3.7 南港機廠收車示意圖	40
圖 3.8 土城機廠收車示意圖	40
圖 4.1 終端站為單月台列車進出狀況	47
圖 4.2 終端站為雙月台列車進出狀況	48
圖 4.3 司機員折返示意圖	48
圖 4.4 板南線收發車圖示(一)	53
圖 4.5 板南線收發車圖示(二)	53
圖 4.6 南港機廠發車示意圖	54
圖 4.7 土城機廠加車路線圖	56
圖 5.1 固定時段列車運行處理	61
圖 5.2 固定時段列車運行處理	61
圖 5.3 程式過程	63
圖 5.4 程式介面輸入上下行基準車站	65
圖 5.5 台北捷運現行班表南港站折返時間	68
圖 5.6 台北捷運現行班表永寧站折返時間	68
圖 5.7 台北捷運現行班表亞東醫院袋形軌折返時間	69
圖 5.8 下行方向南港站班距比較	73
圖 5.9 下行方向台北車站班距比較	74
圖 5.10 下行方向亞東醫院站班距比較	75
圖 5.11 下行方向永寧站班距比較	76
圖 5.12 上行方向永寧站班距比較	77
圖 5.13 上行方向亞東醫院站班距比較	78
圖 5.14 上行方向台北車站班距比較	79
圖 5.15 上行方向南港站班距比較	80
圖 6.1 南港機廠發車的路線	82
圖 6.2 土城機廠發車的路線	83

第一章、緒論

1.1 研究背景與動機

台北捷運建設發展完成通車後，隨著台北都會區的擴張，在捷運和其他大眾運輸的聯結之下，對於台北都會區的大眾運輸幫助極大，縣市間界線逐漸模糊。捷運在台北都會區佔有舉足輕重的地位，效率高、速率快及舒適度佳，每年旅運量逐漸上升，為滿足旅運需求，捷運路線亦不斷的延伸，圖 1.1 為台北捷運自 1998 年至 2008 年中延車公里趨勢圖，十年之間從不到 400 萬車公里增加至 1200 萬車公里，至 2008 年底為止累計搭乘人數高運量達到四億人次，平均每日搭乘人數達到一百萬人以上，圖 1.2 為台北捷運平均每日搭乘人次，中運量每日搭乘人次維持在七到八萬人，高運量隨著捷運線延伸增加服務車站運量逐年上升，從 2006 年開始平均每日的搭乘人數已達到一百萬人以上，儼然成為台北縣及台北市居民日常生活中重要、快速、有效率及安全的交通運輸工具。

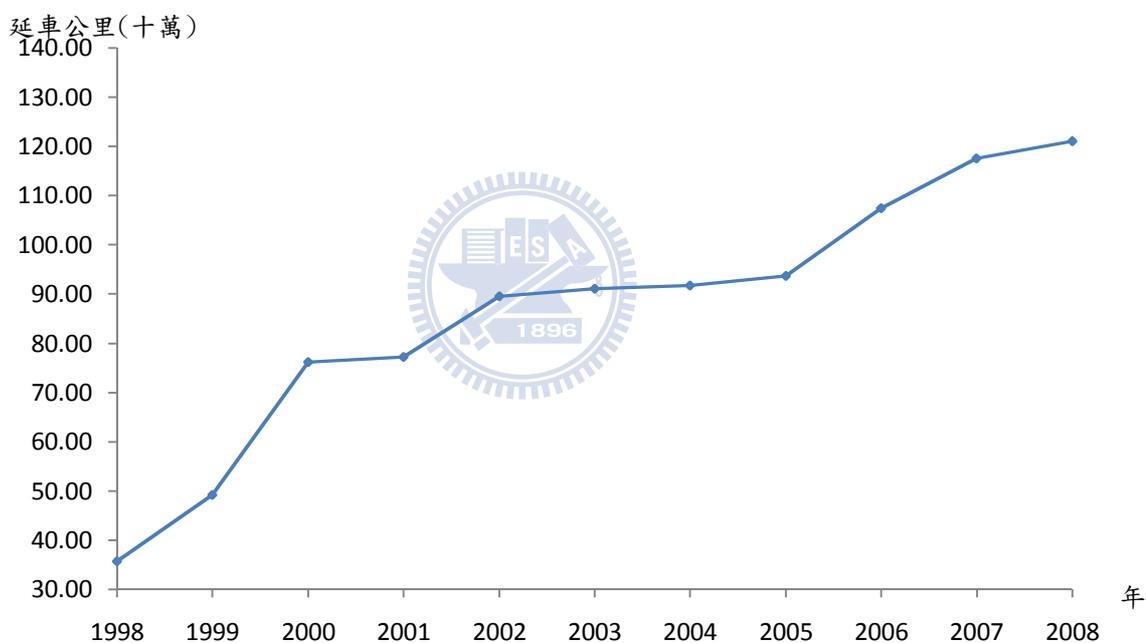


圖 1.1 台北捷運 1998 年至 2008 年延車公里

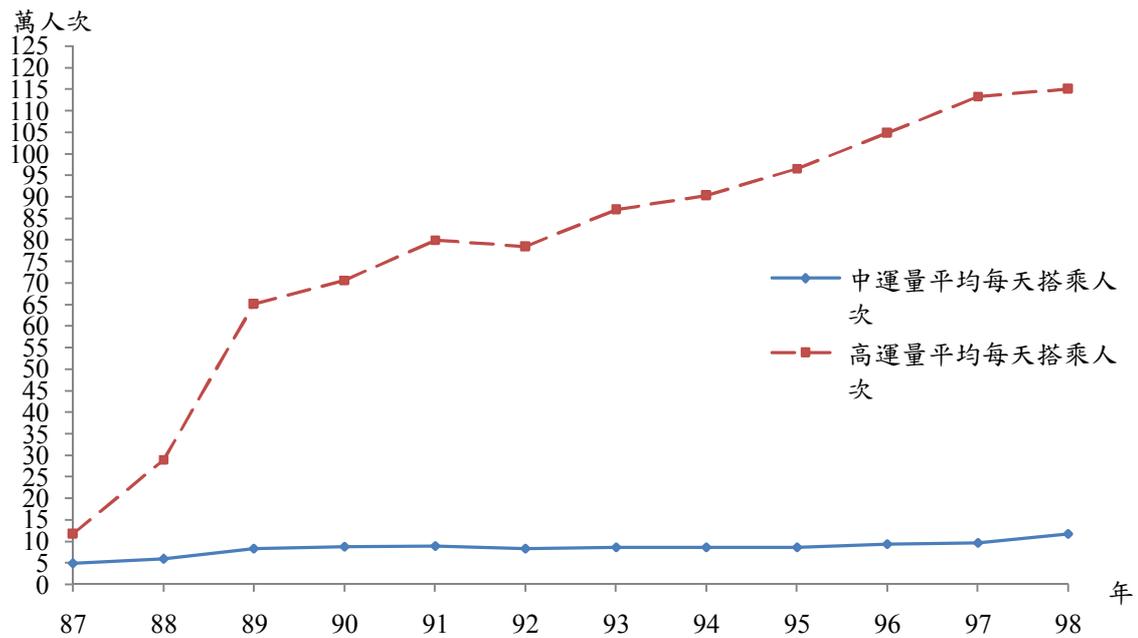


圖 1.2 中運量及高運量平均每天搭乘人次

台北捷運目前有十條通車路線，分別為木柵線、淡水線、中和線、新店線、南港線、板橋線、南港線、小南門線、南港線東延段及內湖線。木柵線及內湖線為中運量，其餘路線為高運量。板南線在所有路線當中進出站人次最多，有三個車站與其他路線交接並貫穿台北都會區商圈，因此相對於其他路線更顯其重要性。圖 1.3 為 2009 年板南線八月、九月和十月各車站進出站人次，進出站人數較多的車站是幾個重要的商圈或工作地點，例如西門站、忠孝復興站或市政府站，轉乘站例如台北車站，每月平均出入站人數超過三十萬人。

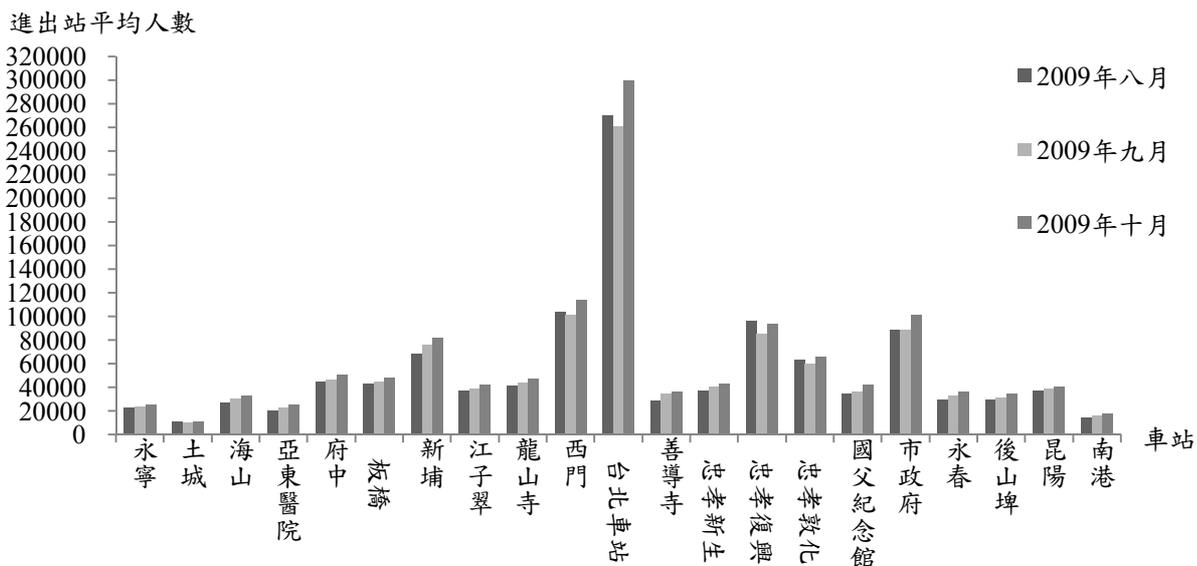


圖 1.3 2009 年八月、九月和十月板南線各車站進出站人次

板南線每日旅運量大，且路線上經過許多轉乘站，貫穿整個台北都會區重要的路線，在班距轉換時列車於終端站為了使前後車列車時隔足夠，列車須於前一站停靠時間延長，機廠的收發車也會使班距增加或減少，而發生延滯將造成民眾搭乘及停等的不方便。

板南線上有三個可折返的車站、兩個機廠連接及兩個袋形軌，三個折返車站分別為亞東醫院站、永寧站及南港站，南港及土城兩個機廠，亞東醫院後方袋形軌及忠孝復興及忠孝敦化站之間的袋形軌，忠孝復興及忠孝敦化之間袋形軌在日常行駛時並不會使用，因此終端站只有亞東醫院站、永寧站與南港站。

三個終端站在下行方向有兩種行駛模式，分別是南港到永寧及南港到亞東醫院，如圖 1.4 所示，實線是南港到永寧路線，虛線是南港到亞東醫院路線，列車在固定班距時行駛尖峰是六分鐘，離峰是八分鐘，在轉換時段班距會因機廠收發車調動。兩條路線會在南港及亞東醫院共用軌道，亞東醫院站後方有袋形軌，只有一個月台提供折返，此袋形軌可視為一個終端站。

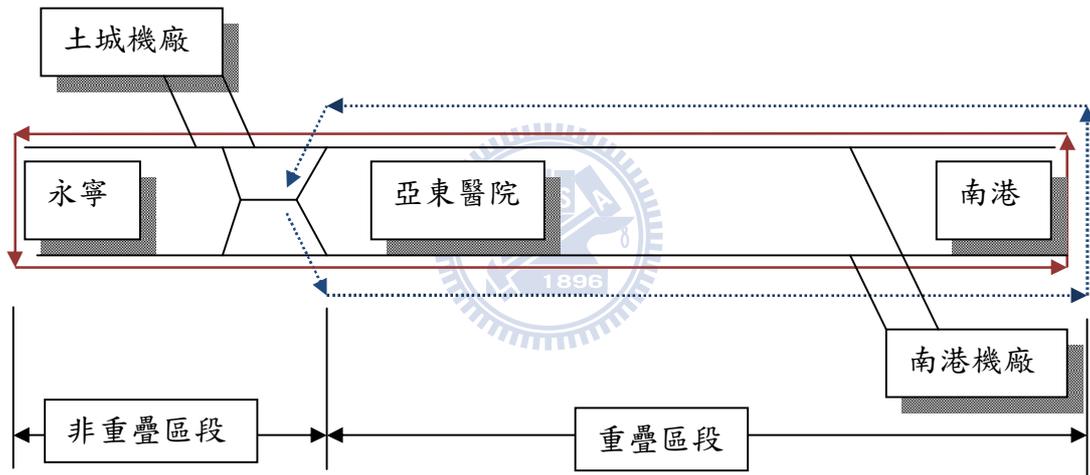


圖 1.4 板南線兩種路線示意圖

捷運公司為了維持服務品質而調整班距，在一時段之內，班距必須具有規律性(regularity)及準時性(punctuality)(Flamini *et al.*,2008)，在一個時段之內會固定班距。一般文獻中對班距的定義是指連續兩班車經過同一個車站的時隔，不管在中間站、發車站或是終端站皆如此。大部份有關排班或解決衝突之文獻都是以到達終端站或發車站的班距做為班距是否準時或規律的標準。但本研究是以捷運為基礎，須在每個車站都能準時且規律，重疊區段的定義是兩條不同路線重疊，板南線兩條路線重疊區段的班距，為了維持規律性，班距在時段內必須固定，在轉換時段班距有波動應在短時間能夠快速恢復到固定的狀況。

首班車發車時依照班距將列車在路線上適當的車站擺放，此擺放車站由列車於站間的行駛時間與停靠時間計算得知，待發車時間一到，每輛列車都從安排位置發車，如表 1.1 行車時間與靠站時間。若個別列車不間斷的運行，則如圖 1.5 所示，1001 列車到 1012 列車是從南港到永寧站折返列車，1104 列車則是南港到亞東醫院折返列車，1001 列車與 1104 列車在折返之後到達亞東醫院站兩輛列車班距過小，因此必須設定終端站折返時間讓列車在折返之後班距仍能固定。

圖 1.6 及圖 1.7 分別利用調整終端站折返時間與靠站時間解決列車在重疊區段班距不固定問題，以圖 1.5 固定班距、固定靠站時間及固定折返時間為基礎，亞東醫院路線列車之服務由永寧路線列車一併服務，永寧路段部分車站卻無法由亞東醫院路段之列車服務，因此在製作班表時必須注意非重疊區段會有班距增加的問題。計算圖 1.5 中每個終端站折返時間皆固定下重疊區段班距發生的變化，折返後重疊區段班距部分由 3:00 改變成 1:22，另一部列車則增長為 4:38，因此利用調整三個終端站的折返時間可讓班距趨於固定狀態。

改變亞東醫院路線列車在袋形軌折返時間後結果如圖 1.6，可以明顯改善之後列車南港重疊區段各站之班距，恢復重疊區段原來三分鐘的班距。至於維持運行所需之列車數則可依圖 1.7 及下列公式計算得到：

$$N_1 = \frac{T_1 + T_2 + \Delta T_1 + \Delta T_2}{h}$$

$$N_2 = \frac{T_3 + T_4 + \Delta T_3 + \Delta T_4}{h}$$



參數解釋：

N_1 南港站到亞東醫院站折返所需列車數(列)

N_2 南港站到永寧站折返所需列車數(列)

T_1 下行方向南港站到亞東醫院站行駛時間和停留時間總和(秒)。

T_2 上行方向亞東醫院站到南港站行駛時間和停留時間總和(秒)。

T_3 下行方向南港站到永寧站行駛時間和停留時間總和(秒)。

T_4 上行方向永寧站到南港站行駛時間和停留時間總和(秒)。

h 班距(秒)。

變數解釋：

ΔT_1 列車行駛於南港站到亞東醫院站，南港站折返時間(秒)。

ΔT_2 列車行駛於南港站到亞東醫院站，重疊區段亞東醫院袋形軌折返時間(秒)。

ΔT_3 列車行駛於南港站到永寧站，南港站折返時間(秒)。

ΔT_4 列車行駛於南港站到永寧站，永寧站折返時間(秒)

表 1.1 南港到永寧(含南港到亞東醫院)基本行車時間

上行	行車時間	停靠時間	停站站名	下行	行車時間	停靠時間	停站站名
永寧-土城	01:28	00:25	土城	南港-昆陽	01:37	00:25	昆陽
土城-海山	01:49	00:25	海山	昆陽-後山埤	01:39	00:25	後山埤
海山-亞東醫院	02:28	00:25	亞東醫院	後山埤-永春	01:12	00:25	永春
亞東醫院-府中	01:34	00:25	府中	永春-市政府	01:22	00:25	市政府
府中-板橋	01:03	00:25	板橋	市政府-國父紀念館	01:12	00:25	國父紀念館
板橋-新埔	01:41	00:25	新埔	國父紀念館-忠孝敦化	01:07	00:25	忠孝敦化
新埔-江子翠	01:14	00:25	江子翠	忠孝敦化-忠孝復興	01:03	00:40	忠孝復興
江子翠-龍山寺	03:10	00:25	龍山寺	忠孝復興-忠孝新生	01:24	00:25	忠孝新生
龍山寺-西門	01:46	00:25	西門	忠孝新生-善導寺	01:16	00:25	善導寺
西門-台北車站	02:13	00:40	台北車站	善導寺-台北車站	01:04	00:40	台北車站
台北車站-善導寺	01:04	00:25	善導寺	台北車站-西門	02:12	00:25	西門
善導寺-忠孝新生	01:15	00:25	忠孝新生	西門-龍山寺	01:40	00:25	龍山寺
忠孝新生-忠孝復興	01:24	00:40	忠孝復興	龍山寺-江子翠	03:10	00:25	江子翠
忠孝復興-忠孝敦化	01:03	00:25	忠孝敦化	江子翠-新埔	01:14	00:25	新埔
忠孝敦化-國父紀念館	01:07	00:25	國父紀念館	新埔-板橋	01:42	00:25	板橋
國父紀念館-市政府	01:13	00:25	市政府	板橋-府中	01:04	00:25	府中
市政府-永春	01:24	00:25	永春	府中-亞東醫院	01:42	00:25	亞東醫院
永春-後山埤	01:14	00:25	後山埤	亞東醫院-海山	02:17	00:25	海山
後山埤-昆陽	01:39	00:25	昆陽	海山-土城	01:44	00:25	土城
昆陽-南港	01:53	00:25	南港	土城-永寧	02:12	00:25	永寧

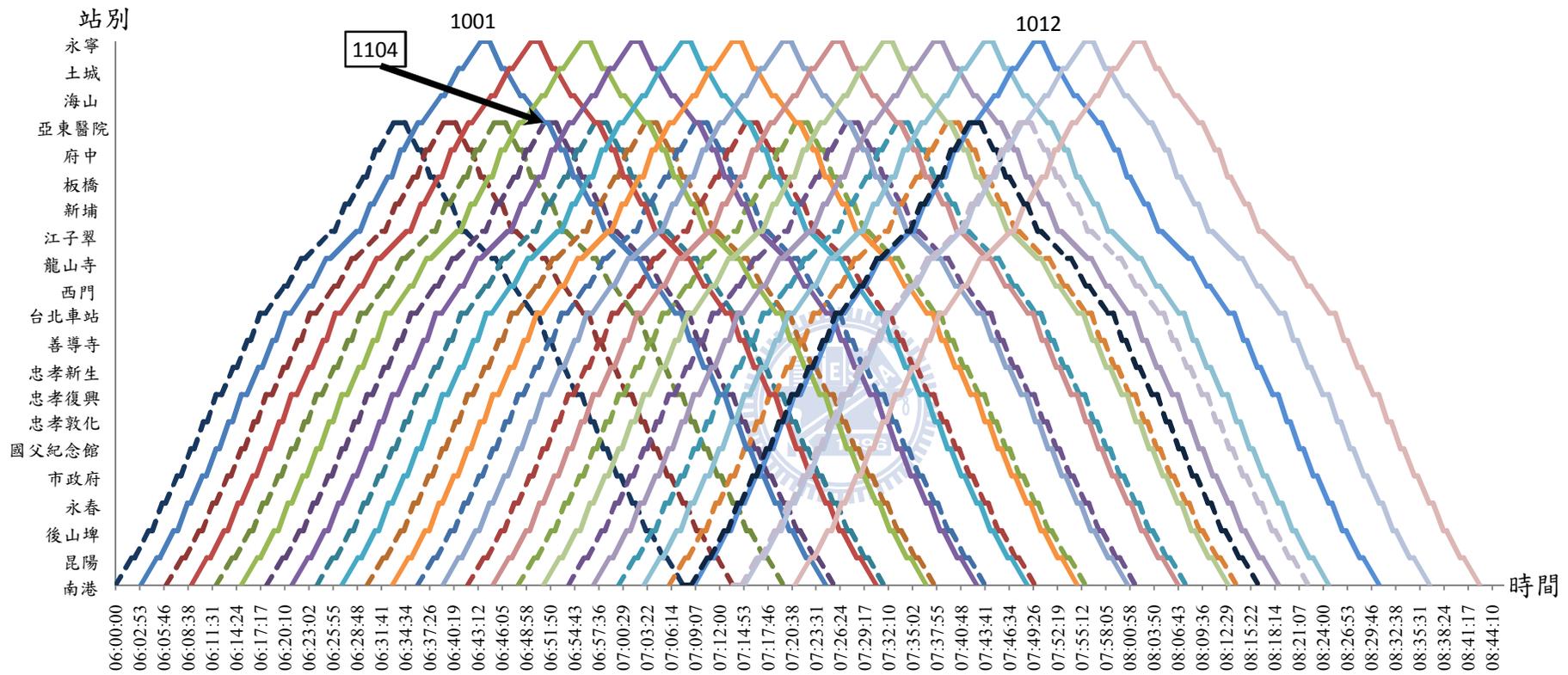


圖 1.5 模擬列車運行圖

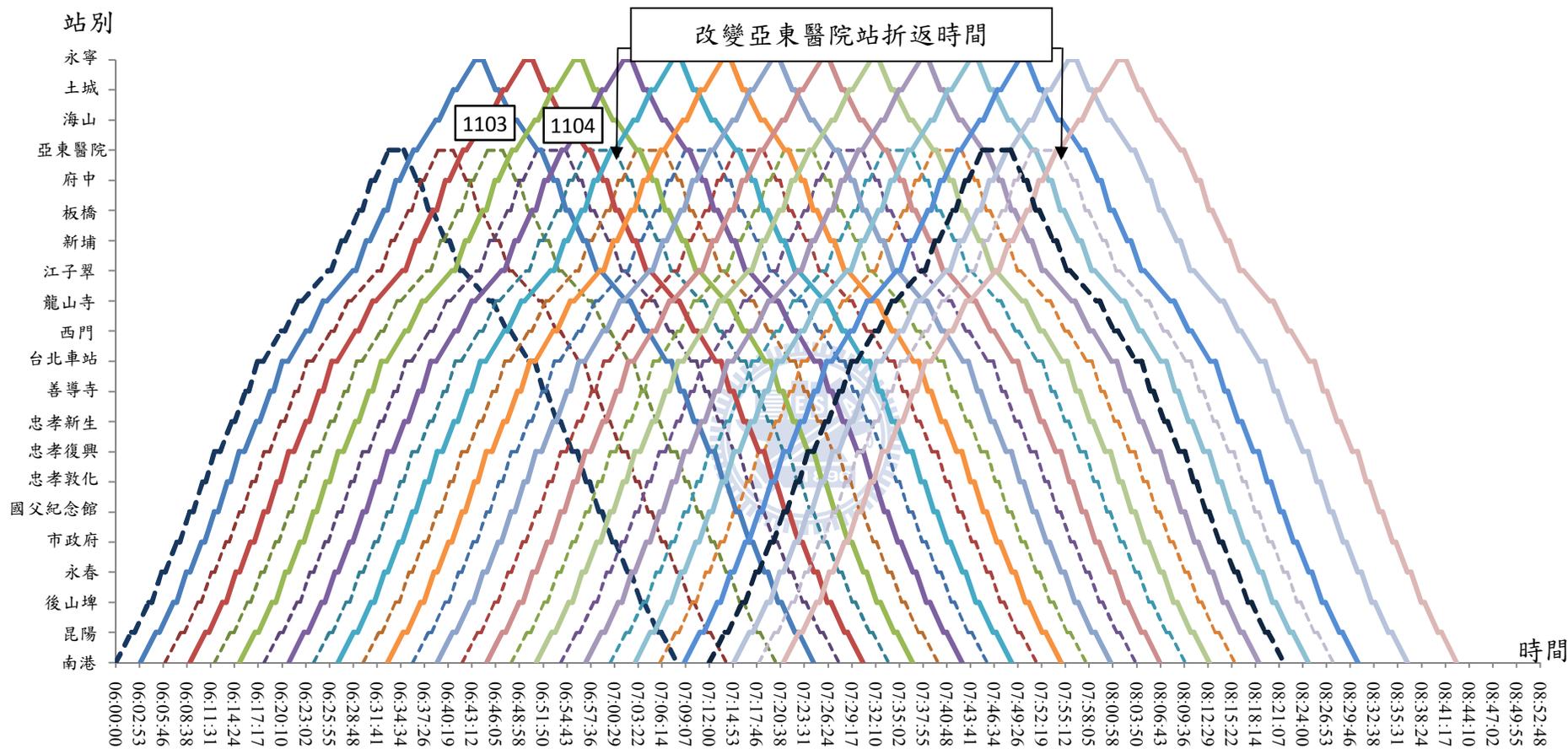


圖 1.6 往返南港-亞東醫院列車調整折返時間後運行圖

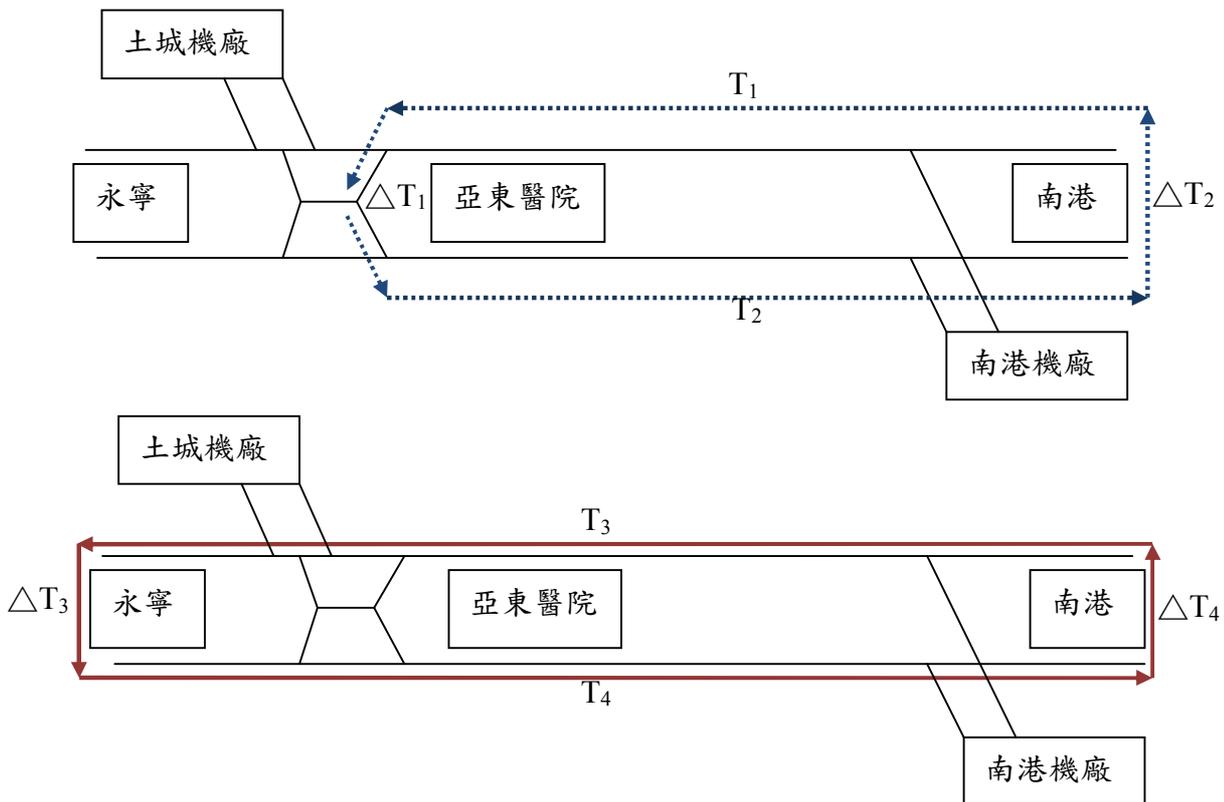


圖 1.7 板南線行駛時間以及終端站停留時間

另一班距不穩定的情況會發生在轉換時段，尖峰班距轉離峰班距或離峰班距轉尖峰班距時都稱為轉換時段。轉換時段班距將會漸變調整，班距的調整意謂著列車的調度也須改變，列車將會從路線上收車到機廠或從機廠發車到路線上。機廠收發車必須有效率的執行，不可因轉換時段使得其與正線銜接處發生前車與後車班距不足產生衝突(Cary,1993)，或未將原本不需要的列車收回機廠，浪費司機員及列車資源。

每一次班距的變換使列車在終端站產生時隔過小或班距不穩定的現象發生，如何有效率調整列車於適合的時段收發車、適合的時間點收發車、調整中間站靠站時間或是調整終端站折返時間，讓列車之間衝突或是班距不穩定的現象能於短時間之內恢復穩定為引發本研究的動機。圖 1.8~圖 1.10 為目前台北捷運公司製作時刻表之流程。

圖 1.8 為台北捷運公司製作時刻表流程，從製作初始表、車次銜接、衝突檢查到時刻表完成需花費時間約七天，將時刻表輸入號誌電腦及編譯需兩天，其餘後續之簡易時刻表、機廠收發車、運行長條圖、行控收發車表、依車次排序時刻表到依時間排序時刻表需花費兩天，因此完成一份時刻表需 11 天。

以下將從製作初始表、車次銜接、衝突檢查到時刻表完成解釋：

1. 製作初始表:如圖 1.9 台北捷運初始表製作，會先以台北車站時間六點到晚上二十四點之間以班距劃分列車到達台北車站時間，班表當中需要 3 分鐘、3.5 分鐘、4 分鐘與 6 分鐘班距，至於此階段可看成在固定時段折返時間，將列

車數以下列公式計算:

$$\frac{\text{列車來回運行一趟時間} + \text{終端站折返時間}}{\text{所需班距}} = \text{列車數}$$

終端站折返時間會約略估計，並計算得到列車數，在尖峰時間(班距 3 分鐘時南港站到永寧站折返列車數為 16 輛，南港站到亞東醫院站使用列車數為 13 輛；班距 4 分鐘時南港站到永寧站折返使用列車數為 12 輛，南港站到亞東醫院站折返使用列車數為 10 輛)。

在此階段就會分別製作出從早上六點到晚上二十四點班距都是 3 分鐘、3.5 分鐘、4 分鐘與 6 分鐘總共四張時刻表，再依照每個時段需要班距，分別擷取四張班表當中一部分。

2. 初始表是將四張時刻表擷取每個時段需要班距後拼湊而成，在轉換班距時，三個終端站列車可折返時間與固定班距時不相同，因此必須在三個終端站做車次的銜接，並調整折返時間，此折返時間範圍依照單雙月台的使用而定，南港站和永寧站可選擇單月台或雙月台，而亞東醫院只能選擇袋形軌，袋形軌可視為單月台；折返時間調整機制可依照圖 1.10 台北捷運折返時間調整，通常調整可分別讓列車延遲進入終端站，在進入終端站前一站停靠時間增加，另一項是延遲出站，讓列車在終端站停靠時間增加，以及提早離開終端站，讓列車到折返後幾個車站停靠時間增加。
3. 車次銜接雖然有調整三個終端站的時間，但調整過後仍然必須偵測是否還存在衝突，因此此步驟會偵測在三個終端站在此折返時間是否符合單雙月台的使用。
4. 從製作初始表、車次銜接到衝突檢查後便完成時刻表，此三步驟需要七天工作時間，此時刻表尚未包含機廠的收發車，因此後續仍然必須製作機廠收發車時間。

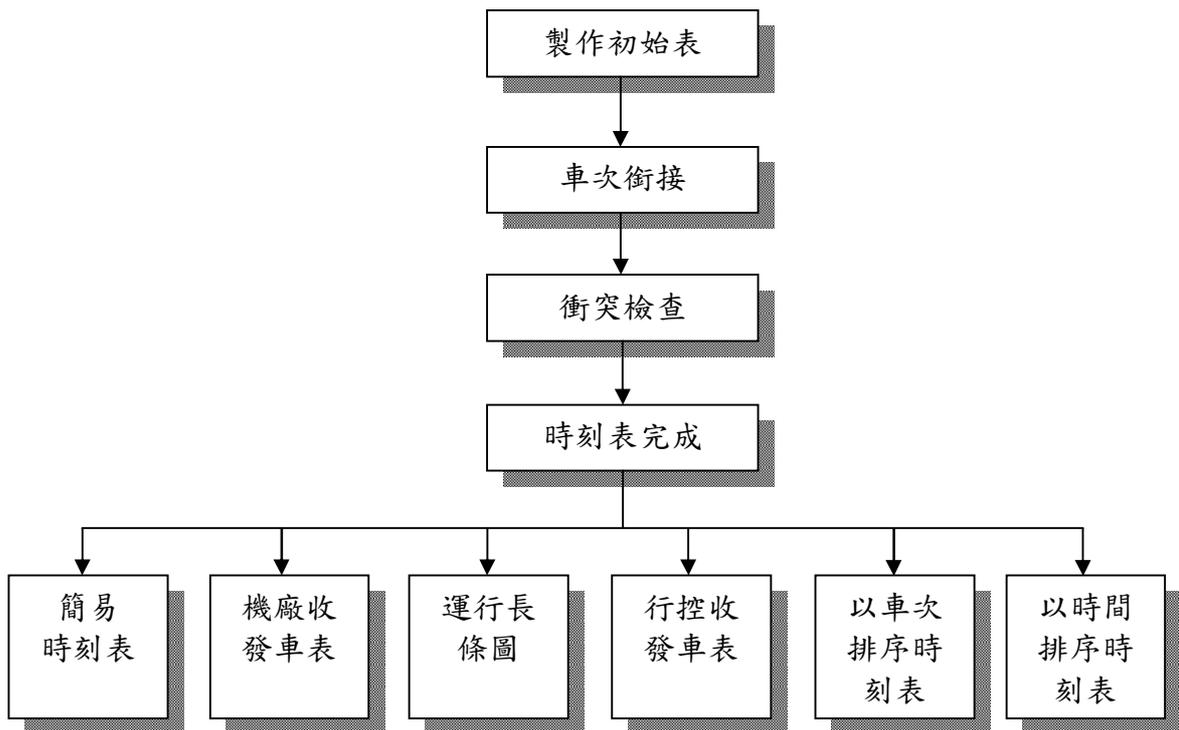


圖 1.8 時刻表製作流程(出處:台北捷運時刻表製作簡報處務報告)

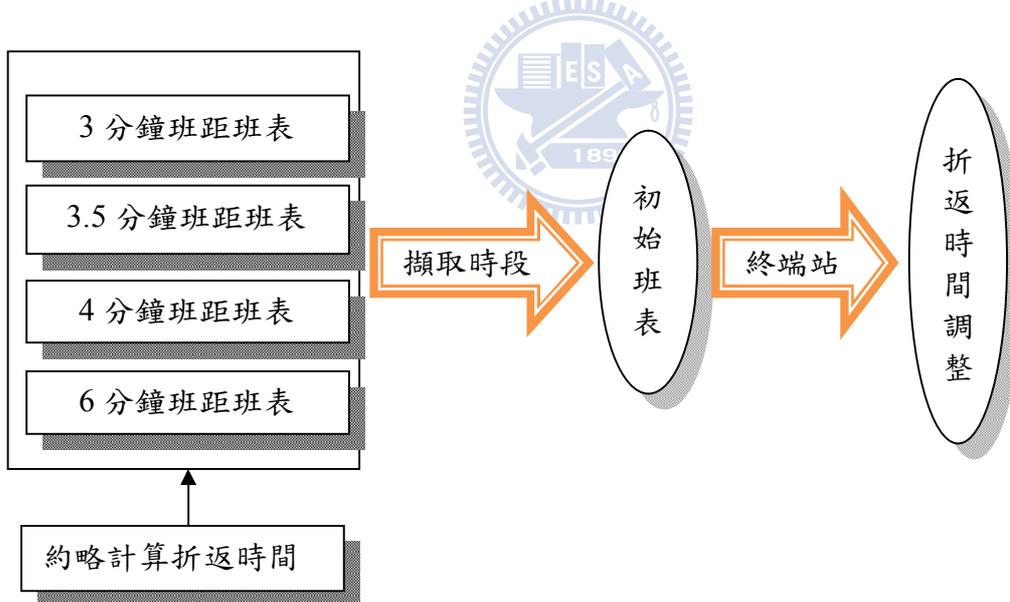


圖 1.9 台北捷運初始班表製作(出處:台北捷運時刻表製作簡報處務報告)

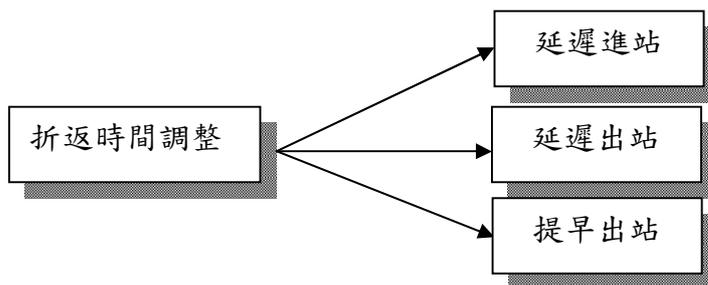


圖 1.10 台北捷運折返時間調整(出處:台北捷運時刻表製作簡報處務報告)

而經過上述步驟完成時刻表之後，便完成時刻表，另外為了讓行控中心和機廠能知道收發車時間，因此必須再製作以下項目：

- 簡易時刻表:提供司機員或終端站站務員列車離開終端站的時間。
- 機廠收發車表:班距改變時須從機廠收發車，離峰時段轉尖峰時段時必須加入列車以滿足班距，相反的，尖峰時段轉為離峰時段時將不需要的列車收回機廠停靠。
- 運行長條圖:讓司機員能知道列車之起始行駛時間到結束行駛時間，相當於標示此列車之執行任務狀態。
- 行控收發車表:提供行控中心列車收發車時間。
- 依車次排序時刻表:依照車次排序時刻表，提供車務人員護行控中心調度。
- 以時間排序時刻表:依照列車離開終端站時間排序時刻表，提供車務人員護行控中心調度。

台北捷運公司已經發展具備成熟經驗之時刻表製作流程，可自動產生初始表、列車銜接以及衝突偵測，但是唯獨在終端站轉換時段時仍然必須以排班人員經驗調整折返時間，此動作需要有經驗之排班人員調整，新進人員必須累積經驗才能將班表調整到完全無衝突，假設需要改變班距、使用列車數、尖離峰時段、靠站時間時就必須將時刻表重做，排班人員將再次花費 11 個工作天。

1.2 研究目的

本研究以板南線為基礎製作班表，希望以簡單有效的啟發式演算法快速製作班表，在製作班表過程中將考慮轉換班距時段產生衝突，因此在時刻表完成後就以解決台北捷運製作時刻表當中車次銜接部分，減少排班人員在列車銜接時調整班表的時間，並且產生時刻表時能同時考慮機廠之收發車衝突，因此在本研究完成班表中除了列車到達各車站時間、離開各車站時間、在三個終端站的折返時間之外，還包含終端站在不同折返時間之下應該使用月台數以及考慮發車衝突後兩端機廠收發車的時間。

總結以上各重要的考慮要素，並以此要素做為此研究的重心製作班表：

- **循環性:**列車在固定三個終端站行駛，同時也代表列車在一個閉鎖區間中循環行駛，因此捷運班表具有循環的特性。
- **折返限制:**終端站的折返限制有兩種，一種是同一輛列車在終端站的最小折返時間，須仰賴人員的執勤，單人執勤最小折返時間是 180 秒，雙人執勤是

60 秒；第二種列車於終端站的折返時間限制是連續兩輛不同列車，因終端站軌道佈設限制，所以列車的折返時間受前一輛列車的離開時間限制。

- **會合點的一致性**:本研究的會合點是指上行方向的亞東醫院站，下行方向會有部分列車往永寧站折返，另一部分列車在亞東醫院折返，這兩部分列車在上行方向的亞東醫院會合，並能維持固定班距不會被更改。
- **收車和加車衝突**:板南線的機廠若要發車到正線上，軌道會與正線上行駛路線有交織，因為路線有交織而且兩輛列車須保持安全時隔，所以在機廠加車時製作衝突時間窗，以避免機廠發車到正線時產生衝突。收車回機廠則是必須考量對於非重疊區段班距是否會不符預期班距。

本研究預期完成時刻表將包含以下項目:

- 各時段列車到達各車站時間及離開各車站時間
- 南港站、永寧站與亞東醫院站之折返時間及使用月台
- 兩端機廠收發車

1.3 研究範圍與限制

本研究要製作台北捷運板南線班表，捷運板南線列車由南港機廠與土城機廠收發，兩端機廠負責板南線一天的收發車，在收車時無軌道的交織，發車時在南港端會與上行方向軌道交織，土城端則是會與下行方向軌道及亞東醫院袋形軌交織，因此在製作班表若須發車，必須考慮軌道交織之衝突。

在固定班距之下列車在此閉鎖區間行駛，於終端站折返時間固定，惟有在轉換時段時為了改變班距而調整終端站折返時間，列車在終端站之折返時間與終端站軌道佈設相關，故在製作時刻表時須先分析各終端站之軌道佈設，如圖 1.11~圖 1.13 是列車進出兩種不同終端站軌道佈設，A 車先到達終端站，而 B 車即將進入終端站，在 A 車停靠時已經有乘客上車，考慮到乘客搭乘感受，讓列車維持先進先出；圖 1.11 和圖 1.12 是終端站月台有兩側可停靠，此為永寧站與南港站終端站月台型式，圖 1.11 是只有使用單側月台，B 車必須等待 A 車離開終端站後 120 秒方可進站，圖 1.12 則是使用雙側月台，A 車須等待 B 車到達後 30 秒方可離開終端站。圖 1.13 則是亞東醫院袋形軌折返型態，A 車與 B 車必須先在亞東醫院站停靠，讓乘客下車後，在到袋形軌內折返，此型態可視為單側月台使用，A 車和 B 車時隔必須為 120 秒。

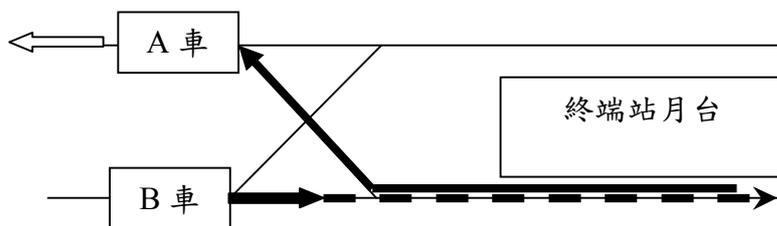


圖 1.11 雙月台終端站，列車使用單月台

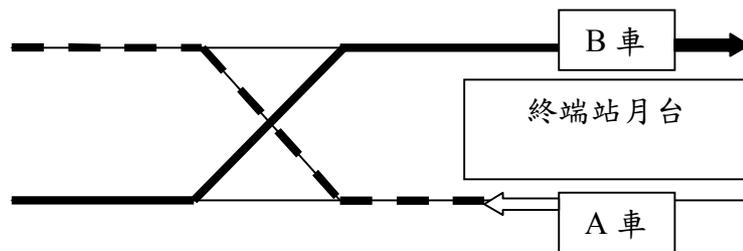


圖 1.12 雙月台終端站，列車使用雙月台

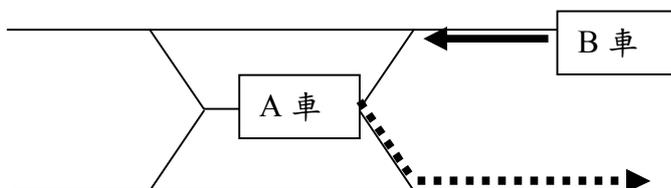


圖 1.13 袋狀軌列車使用單月台

圖 1.14 則是列車進出終端站較詳細的分解圖，在一開始 A 車和 B 車在不同方向月台，因此 A 車和 B 車兩車時隔並無限制，只要限制讓 A 車維持比 B 車早離開終端站即可，B 車停妥之後，經過班距 h 之後 C 車到達終端站，到此階段可分為兩種型式，使用雙月台或使用單月台。

使用雙月台時，C 車經過橫渡線停靠在終端站月台，C 車停妥後 30 秒以上 B 車方能出站；使用單月台則是 B 車先出站，C 車再進站，C 車必須等待 B 車離開終端站 120 秒之後方能進入終端站停靠。

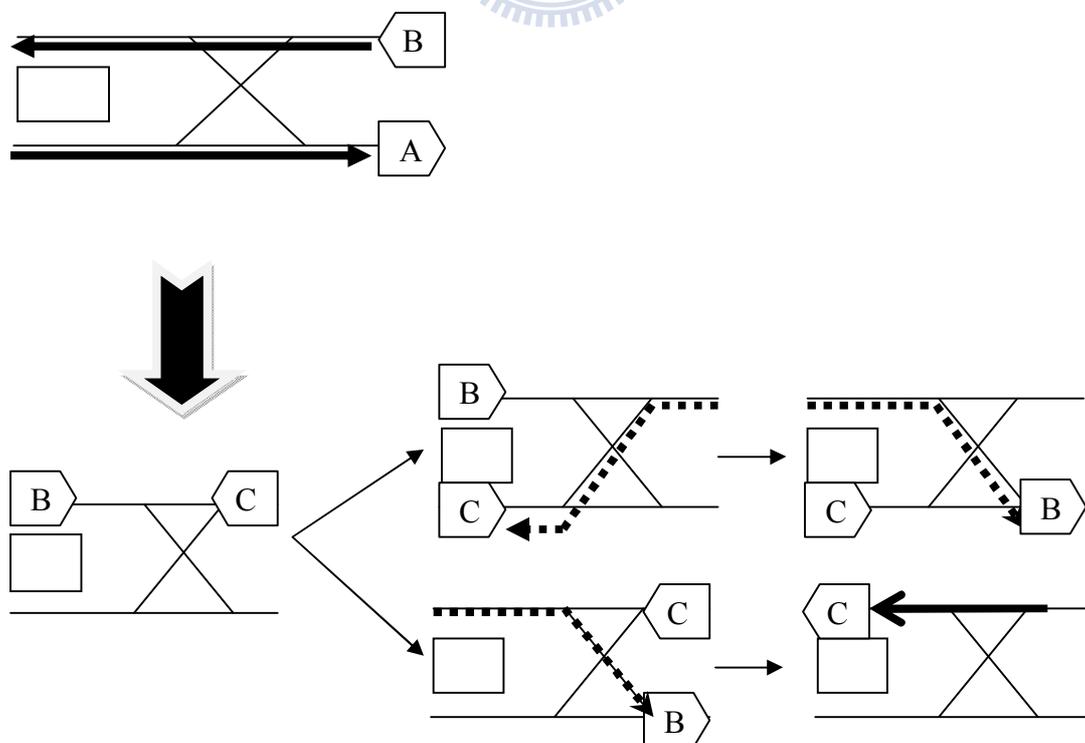


圖 1.14 終端站台折返模式

本研究板南線為例，以調整列車在終端站折返時間為主，以調整中間站靠站時間為輔，使固定時段及轉換時段的重疊區段班距及班距維持準點及規律，假設已知條件如下：

- 列車於站間行駛時間。
- 列車在終端站通過橫渡線所需時間。
- 列車於中間站停靠時間。
- 列車於終端站及袋形軌折返最短及最長時間。
- 機廠收發車須要最短時隔。
- 尖峰與離峰時段及轉換時間。
- 政策上所需要班距。

1.4 研究架構與方法

目前台北捷運排班尚未有一套考慮在尖峰時段與離峰時段轉換時對於機廠收發車及終端站月台路線安排影響的週詳排班，導致台北捷運列車在尖離峰時段轉換時在終端站路線安排及機廠收發車仍會產生不協調狀況，接續過去研究終端站路線指派(Flamini *et al.*,2008;Carey,2003)的方法解決尖離峰時段轉換時所造成的班距及重疊區段班距的改變，並在確保列車行駛安全狀況下有彈性的製作時刻表，讓列車排班人員能在安全範圍下調整時刻表，本研究架構如圖 1.15:



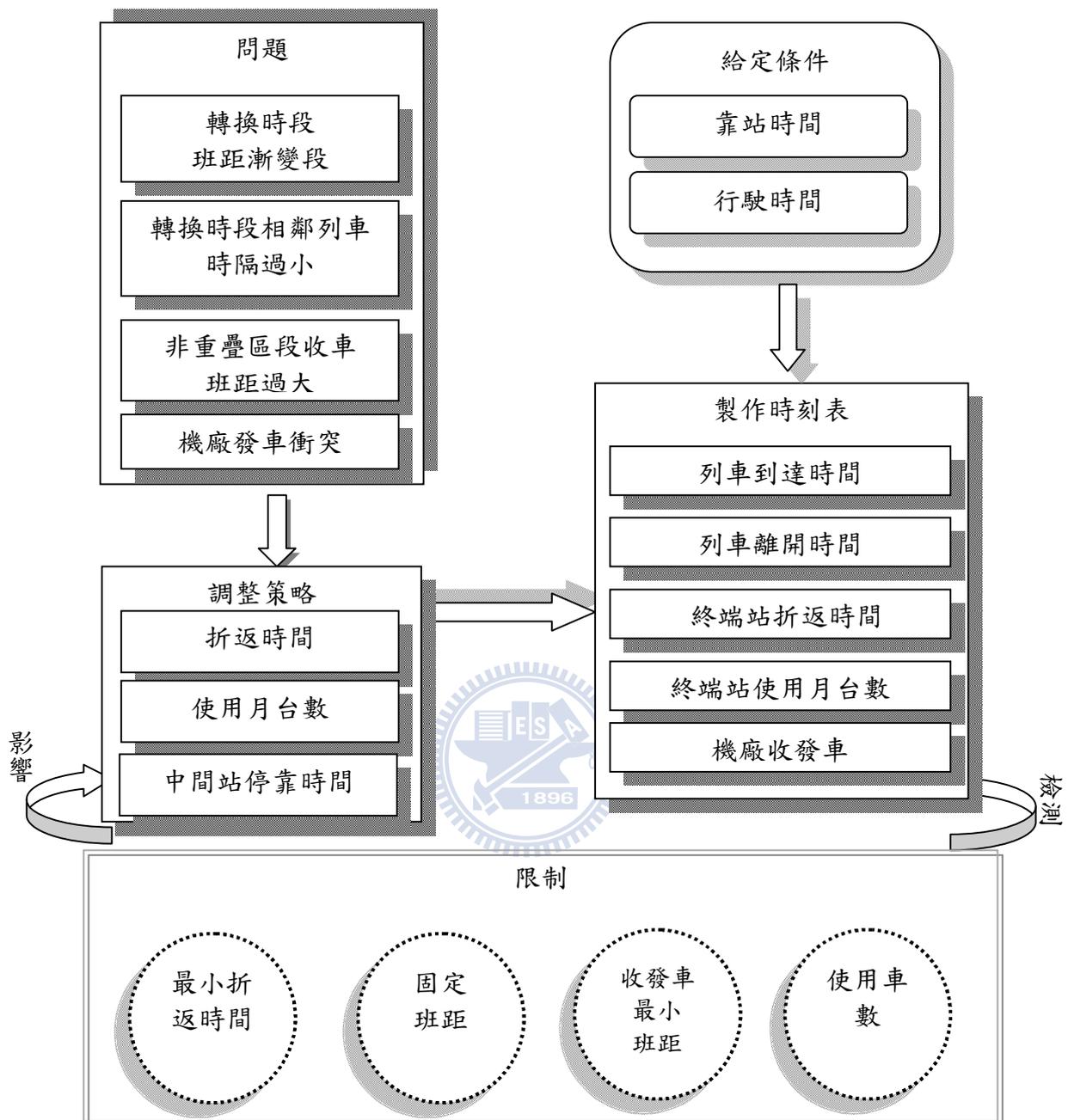


圖 1.15 研究架構圖

國內外對於班表的研究有相當多文獻，最常使用的方法包含線性規畫、整數規畫與混和整數線性規畫。

本研究的問題特性是很基本的閉鎖循環性列車，因此在本研究當中並不會使用複雜的方法，且考慮到現實當中真正的限制與衝突，本研究使用啟發式演算法製作出符合現實狀況並有效率的班表。

1.5 研究流程

本研究流程如圖 1.16 所示，將先界定本研究問題以及要研究之路線，之後在研究文獻中對於軌道相關議題以及使用方法；蒐集板南線路線資料，包含列車於站間的行駛時間及停靠時間，在路線資料蒐集過程中尚須了解在運行過程當中的限制，包含各終端站會因為軌道佈設不同而導致折返時間相異，以及兩車最小時隔，除了運行限制之外，並擬訂可調整策略。

蒐集資料、整理運行限制並擬訂調整策略後以啟發式演算法求解並製作時刻表；時刻表製作之後進行結果之驗證，不同班距之下需要車輛、終端站的折返時間以及班距是否有改善，最後是顯示本研究結果以及後續研究之建議。

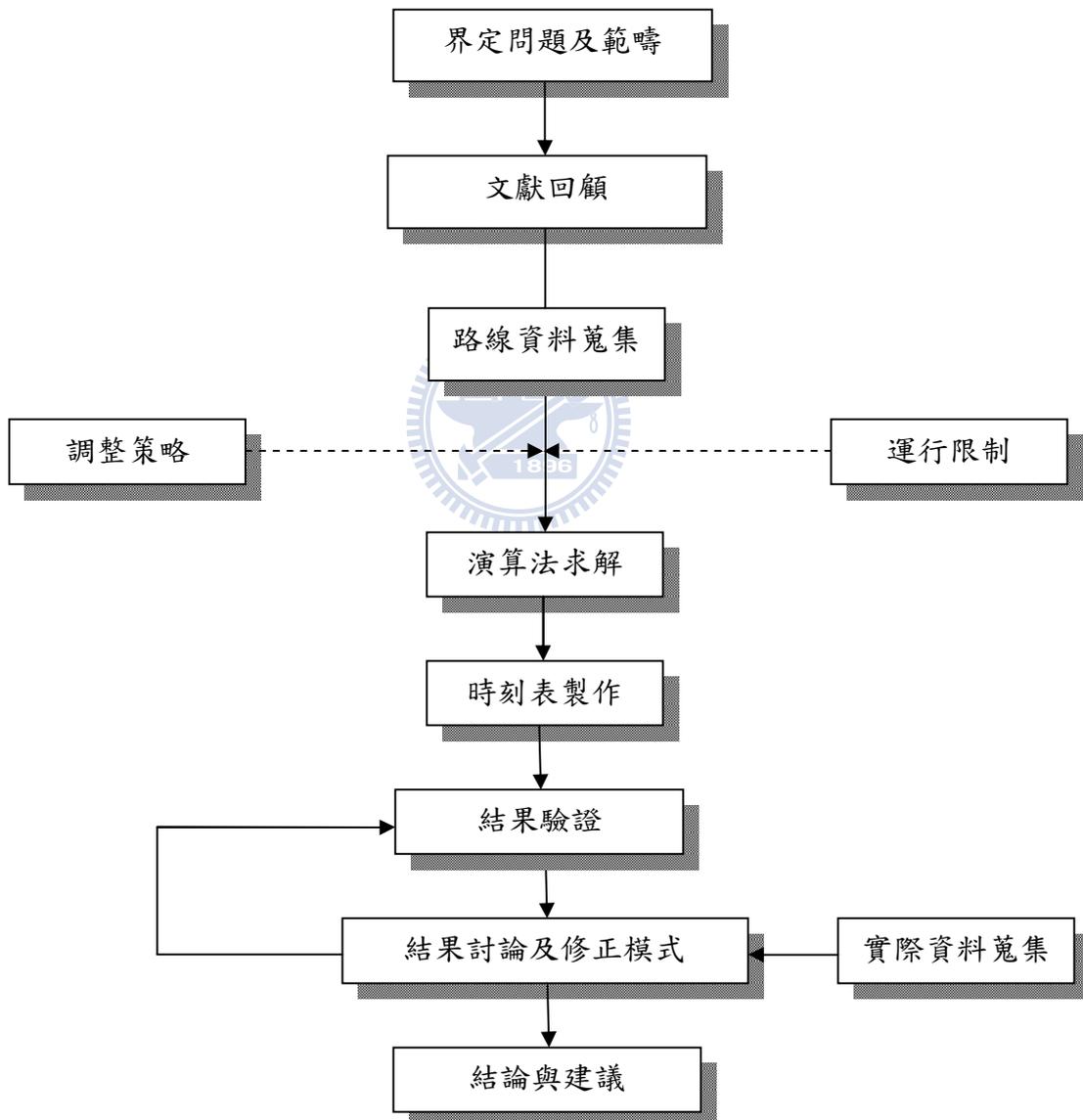


圖 1.16 研究流程

第二章、文獻回顧

2、1 鐵路排班問題

鐵路運輸發展至今已兩百多年，早期需求以貨運為主要目的，至今於客運發展蓬勃，有助於大眾運輸發展，因軌道列車於客運需求增加，為服務客運需求，故列車與其班次隨旅客需求量漸增，而列車數與班次增加隨之而衍生的問題為資源有限卻必須滿足更多的需求，人員、列車數安排、列車路線安排及班表的製作更加複雜。鐵路運輸排程複雜，處理問題的順序可分為：

- 旅客起迄點的調查
- 路線規劃
- 列車排程
- 運輸工具與人員排程

Caprara *et al.*(2006)將客運於軌道上排班議題畫分為六大議題，首先將考慮列車區間，此處路線定義為為軌道上列車進入與離開一區間，因為旅客使用路線頻率不同，因此在使列車服務旅客品質高且使列車運轉成本最小成為此階段最終目標，所以於此階段當中有兩個目標，一為運轉成本最小，二為服務品質最高，若要將兩目標結合通常以權重衡量之，但一般文獻將兩目標分開解決並以不同演算法處理，此階段最後結果將求出列車行駛區間。

第二為時刻表部份，在第一階段以服務品質最佳及旅行成本最小為原則去選擇列車行駛路線，並無交代此列車需要停靠哪一站，列車到達及離開區間時間也無規劃，而製作時刻表可以幫助搭乘無循環列車的乘客了解列車到達及離開時間，可以使循環式列車與無循環式列車操作者在有效率及高安全性下行駛。假設在第一階段就以能服務最多乘客為目標後已經決定路線與設置車站位置，時刻表轉以列車運轉為主，除了將列車行駛路線頻率找出，更進一步為時刻表上列車可為循環或非循環，在非循環通常為重軌或是長距離列車較常出現，在軌道容量資源有限，又必須兼顧服務品質狀況下，非循環列車常有不同等級列車，不管是單線軌道或是雙線軌道都會有不同列車等級，等級較高列車可優先使用軌道，而等級較低列車就必須等待等級較高列車執行完任務後，方能使用軌道，而中間產生問題為等級較低列車也有必須服務的乘客或執行任務，而必須待避或改變列車路線而會使列車無法在原來預定時間到達預定目的地，因此在此階段通常先產理想班表，將所有列車路線排入，而遇到列車需要改變路線或待避時就會有一「使用費」(access fees)，此階段通常要使所有列車的使用費總和最大化，並求出所有列車偏離理想班表最小的時刻表，如下列公式：

$$\pi_i - \phi_i(v_i) - \gamma_i \mu_i, \quad (2.1)$$

π_i 為理想時刻表中列車利潤(ideal profit)，每一等級列車皆有預先設定利潤， ϕ 為列車於時空圖中於車站中延遲停靠時間或提早離開車站會影響原本理想時刻表， μ 為列車可改變列車於站間行駛時間， γ 為一非負參數。

循環性時刻表代表列車每天或是每週到達時間與離開時間為固定，因此假設沒有發

生延滯狀況，列車必須於固定時間內到達停靠站，在此班表會設計有到達或離開時間的上下限，而列車在實際上運行時就必須在此時間範圍內。

Caprara *et al.*(2006)指出第三階段為列車於車站內路徑指派，第二階段只是列車於軌道上的路線指派，車站與路線上多了列車指派到不同月台所產生的路線指派問題，車站中若軌道佈設簡單能通過及停靠的列車數少，則路線指派較為簡單，規模較大的車站軌道佈設複雜，軌道容量較規模小的車站大，能讓較多列車通過，因為列車數多且列車之間有等級之間差別，列車分等級則會影響列車於車站內軌道使用優先順序，在軌道容量有限之下，等級較低列車需讓等級較高列車優先使用月台及軌道，列車不論是否停靠都需經過車站，都會佔用軌道，除了軌道容量資的限制，前後列車因為安全上考量，前一系列車離開時間與後一系列車到達時間不可過於接近，而第一個因素為為服務乘客，列車必須準時且停靠於預定月台，故基於服務水準此項考慮，列車須於正確時間到達預定停靠月台，而此車站內路徑又與 Caprara *et al.*(2006)第二階段時刻表有密切關係，若為循環式的時刻表在列車於車站內路徑指派服務水準除了準點性也須考慮其規律性，最後一因素為使列車指派路線後運作能更有效率使用車站內軌道資源。第四到第六階段分別為列車運具的運轉、列車於軌道上轉軌問題及列車人員排班問題，但若針對列車路線排班問題則以第一到第三階段為主。

列車於軌道路線及路徑排班問題皆有幾個基本元素，分別為列車方向、列車等級及軌道佈設等，同軌道可讓列車單方向行駛或雙方向皆可行駛，單方向行駛考量是否因為列車同時須通過軌道而於側線待避，等級較低列車讓等級較高列車優先通過，而雙方向除了列車待避尚須考慮是否有衝突及側線位置；而軌道的佈設包含站與站間軌道佈設及車站內軌道佈設，站與站軌道佈設若為單線軌道則側線位置將影響待避時間，待避時間影響列車是否能在預定時間到達目的地，若為雙線軌道則須考慮不同方向列車有交會點，以避免產生衝突；而車站內的軌道佈設又分為一般中間站與終端站，在捷運路線問題當中部份中間站因運量低而當做部份列車的折返站，列車通過一般中間站路徑可分為進入路徑與離開路徑，而中間站為列車通常於中間站通過，故在問題限制式當中會加入流量守恆，而終端站為列車折返地或列車進入機廠地點，因為所有列車於執行完任務將到終端站折返，而終端站在有限的軌道容量下必須處理相較於中間站龐大的交通量，在處理終端站列車指派問題與中間站最大不同為終端站軌道佈設交錯複雜，在需處理龐大交通量的終端站橫渡線交錯，在安全考量下列車若佔用終端站月台則在前列車離開終端站月台前，後方列車不可進入終端站月台區間，為求列車折返或進入機廠順利，另一方面也避免後方列車被擋在連鎖區外而造成列車延滯，因此(Flamini *et al.*,2008)研究捷運列車於終端站為維持班表準點性其規律性而以工作站安排工業機具與工作排程方法處理列車終端站軌道指派問題。

2.1.1 列車區間議題

列車選擇區間其中一目標為服務品質最高，依照 TCQSM(Transit Capacity and Quality of Service Manual)2003 年第二版中定義列車服務品質為「從乘客觀點去衡量與感知整體的運輸服務」，整體運輸系統評估 TCQSM 從乘客角度略分為五個觀點：

1. 可及性(accessibility):乘客是否可以很容易搭乘運輸系統。

2. 服務監督系統(Service Monitoring):衡量乘客每天使用運輸系統的感受。
3. 旅行時間(Travel time):乘客在列車上的時間，包含列車的行駛時間及停靠各站時間。
4. 安全性與保全性(Safety and Security):系統是否安全及環境治安是否安全無疑。
5. 維持及建造(Maintenance and Construction):是否有維持運輸系統及建造使乘客搭程運輸系統更方便舒適。

可及性在規劃軌道場站時就必須考慮能服務範圍最大，通常為覆蓋率問題，在建造成本最小下能服務最多乘客，設置新沿線最主要關鍵為需辨別主要旅次產生吸引地點，而旅次產生與吸引目的則是要知道建設車站以後能服務的旅客最多，例如 Loport *et al.*(2002).以三角幾何圖形分析方法提出解決捷運路線覆蓋率問題，之後又於 2007 年整理決定捷運路線方法，目的在於解決捷運選線問題，包括先選擇旅次發生地點、核心網路選擇次要車站，最後以選擇最大服務覆蓋率為主選擇出捷運路線，相較於 2002 年提出方法更趨完整及詳細。在 Marín *et al.*(2008).研究中提出為增加服務品質而必須擴大容量研究中設置多個目標函數，其中順序為先了解旅次起訖點，也就是旅次發生階段，第二目標為能滿足大眾需求，第三則為乘客搭乘大眾運輸成本相較搭乘私人運具成本小，第四為建造成本最小；了解旅次發生是為了使運輸系統發揮最大功能與效率，能服務最多需求，其次，搭乘大眾運輸成本太過昂貴會使乘客轉搭私人運具，因此需考量之到旅次發生後比較大眾運輸與私人運具在價錢與時間上成本，而此部份因為問題較於繁複詳細，故多數研究者將此階段獨立討論。

列車選擇服務區間的第二個目標為運轉成本最小，運轉成本又可分為兩種，一種為價錢上，另一種為時間成本，一般而言價錢成本用於軌道需要建設新車站、路線的擴張及軌道資源並使用更有效率。除了上一段以覆蓋率決定捷運沿線 Bruno *et al.*於 1998 年將捷運路線的選擇加入旅客以私人運具及行走的旅行時間成本做為考量，因為需考量到私人運具旅行時間成本與旅客到車站距離，故限制條件增多，使問題更加貼近現實中狀況。作者結合大眾運輸網路、行走網路、私人運具網路及行走和大眾運輸網路的混合型網路，並求出大眾運輸使用的頻率以決定捷運路線。此外，Higgins *et al.*(1997)提出單線軌道的時刻表演算法當中也以旅行時間成本做為目標，但在排程當中有一些限制整理如下：

- 衝突造成的延滯；
- 最小班距設定；
- 策略上的預先設定；
- 解決衝突以確保列車安全運作；
- 側線的位置；
- 旅行時間的權重(與列車等級有關)；
- 同向與反向列車衝突；

Higgins *et al.*(1997)提出問題當中考慮到列車等級問題而會有旅行時間權重產生，Bruno *et al.*在問題當中因為主要為捷運列車路線，捷運同一路線列車不分等級，因此旅行時間權重只使用於同一路線上有不同等級列車；Higgins *et al.*(1997)除了提出於旅行時間中加上權重之外，於 1996 年也提出以延滯時間及運轉時間最小為解決問題，既然問題當中有將延滯時間考慮進目標函數中，就必須將列車的延滯定義清楚，Higgins *et al.*(1997)提出可能影響列車延滯發生機率原因分別為：

- 列車可行駛主要軌道最高速率

- 軌道的水平及垂直幾何
- 側線長度
- 是否有先進設備控制與聯繫可有效縮短班距

而 Lee *et al.* (2009) 提出延滯種類分為兩種，分別為：

- 排程延滯(scheduled delay): 為了使班表更有彈性與效率，或是因為政策考量或規劃者的偏好，讓列車有足夠的班距及優先順序。
- 操作延滯(operational delay): 因為偶發機械故障而引起的列車延滯。

Higgins *et al.* (1996) 將列車延滯時間列入解決問題當中，非所有列車延滯時間都是等價，等級高列車到達目的地時間的延滯給予權重越高，但列車的運轉成本並無分權重，最後求出 14 條側線，四種不同等級列車共 31 輛再使用演算法求出列車旅行時間。

Carey (1994) 提出的方法則是將列車到達車站的到達時間、離開時間與停留時間和車站間列車行駛時間都列入時間成本，雖無像 Higgins *et al.* 考慮每種列車權重，但排出時刻表及路線將會非常詳細明瞭，Carey 研究中也有考慮到等級較高列車超車及會車問題，不過 Carey 的研究重點著重於列車路線有共用軌道路線處理，並非製作不同等級列車的時刻表，故 Carey 研究中雖然以旅行時間最小為目標，將放在路徑指派中說明。

此外，列車的運轉時間依照 Lee *et al.* (2009) 將列車的運轉時間分為三種，分別為：

- 超額時間(excess time): 指的就是排程延滯，因為排程上需要而預留的時間。
- 最小運轉時間(minimum operation time): 指列車於車站停留時間及橫渡軌道的時間。
- 延展運轉時間(extend operation time): 指政策或規劃者偏好所導致運轉時間改變。

2.1.2 時刻表製作

列車時刻表的製作通常假設列車路線已決定，Caprara *et al.* (2006) 提出列車時刻表問題為「在不違反軌道容量及安全下決定最佳列車班表。」，軌道系統及列車系統較為複雜，且軌道運輸有限，卻又必須滿足乘客需求下製作班表為一重要議題，Caprara *et al.* (2006) 提出製作時刻表可能遇到以下議題：

1. 連續車站間用以管理列車在區間內行駛的手動號誌。
2. 車站容量。
3. 列車行駛順序，不可能有列車隨意插入兩連續列車中。
4. 軌道需依照列車等級指派，且要維持正常運作。

依照 Caprara *et al.* (2006) 將列車時刻表分為非循環式與循環式，非循環式多為運輸系統較為複雜且列車有等級之分。非循環式時刻表又如單線軌道，單線軌道系統為一條軌道系統需雙方向列車行駛，因為軌道同時間在同一區間內只能提供一輛列車通過，其中會有許多衝突產生，當加入列車等級時，時刻表製作將會相當複雜且難處理。單線軌道系統通常會有側線提供列車在會車與超車時使用，側線依照長度可提供一到三輛不等列車停靠，另外有調度場(yard)可提供列車與機車的調度；而另

外一個非循環系統為歐洲軌道系統，歐洲軌道系統依照 Bussieck 於 1997 年研究當中列車依照服務種類可分為城際運輸(InterCity)、區間運輸(InterRegio)及區間聚集運輸(AgglorRegio)，此歐洲城際運輸為重軌運輸系統，且城際運輸有時為跨國長途行駛，又如台灣西半部台鐵軌道系統為雙線軌道系統，且軌道佈設複雜，列車於行駛時有許多交織與分岔，但台鐵時刻表中非循環列車與循環列車都混合在一起，故列車時刻表製作相當複雜；非循環軌道運輸系統製作時刻表目的為：

- 讓運輸系統操作者能清楚掌控列車於區間內行駛情形。
- 讓乘客能了解列車到達及離開時間與區間

要製作一份可用於現實中的時刻表必須先有一份假設理想狀況下列車行駛的時刻表，理想時刻表中所有列車皆以不低於最小班距行駛，若列車有等級之分就必須安排列車於側線或是車站內讓等級較高列車超車，理想班表產生之後會發現有許多區間內會產生衝突，因為軌道容量的限制，有些列車勢必延遲使用軌道時間，但一列車不能時常被擋在區間外，被擋在區間外會造成列車走走停停，使服務品質降低，另一方面若有另一條軌道資源可使用則可以使用第二順位軌道，不過使用第二順位軌道會因為橫渡軌道時花費較多時間，使列車到達目的地與離開目的地的時間與理想班表有所差異，因此必須要調理想班表列車行駛時間與停靠時間，而理想班表產生中假設參數與條件如下：

1. 列車最小班距
2. 列車靠站時間
3. 列車站間行駛時間
4. 列車橫渡軌道時間

從產生理想班表中加入現實狀況中所遇到狀況會使原本預定的時刻表改變，不管是單線軌道、雙線軌道及捷運列車軌道都會因為列車停靠、轉軌或是折返而需要共用軌道，一軌道若必須讓雙方向使用，在安全考量及資源有限使原本理想班表內產生許多衝突，而通常衝突有幾點特性(Carey, 1993):

1. 普及性。
2. 衝突間依賴性。
3. 造成區間阻塞。
4. 路線上速率及停等時間限制。
5. 交叉點較常發生。
6. 政策上或提高效率而有期望的到達及離開時間。

列車在製作初始班表，從列車運行圖中會見到衝突普遍在圖中，而因為列車會有共用或交織軌道，所以衝突互有關聯，彼此間具有依賴性，衝突互相影響會造成部分列車無法正常進出站，而調整衝突時並不能任意調整列車到達時間與離開時間，因為列車在軌道上有速率限制及在車站有停靠時間的限制，若任意調整到達時離開時間會導致列車和軌道速率限制無法完成或是造成安全上顧慮，故在調整列車運行時產生衝突到達時間、離開時間、行駛時間與停靠時間都必須考慮，Carey(1993)探討製作列車時刻表問題時，就以列車到達時間、離開時間、行駛時間與停靠時間個別設定時間成本，而 Carey(1994)提出在製作時刻表當中會有共用軌道情況，因此探討列車軌道在只提供單一方向列車行駛與提供雙方向列車行駛時的限制。

接續在 Carey 的研究之後，Lee *et al.*(2009)研究探討更為複雜的軌道佈設，Carey

的研究當中將只提供單方向列車行駛與提供雙方向行駛的軌道分開探討，但在現實生活當中，不管是單線軌道、雙線軌道亦或是捷運列車都會有軌道單向軌道與雙向軌道的連接並用，例如在單線軌道會有相鄰 a 車站與 b 車站，而 a 車站有兩條側線可讓列車停靠或超車，b 車站為單線而且無側線，當列車從 a 車站要開往 b 車站，而 b 車站也有反方向的列車要開往 a 車站，此時若交通量龐大就會產生衝突或是等級較低的列車必須停等上幾個小時 (Zhou *et al.*, 2007)；而雙線軌道如台鐵車站會有單方向軌道，有副線讓雙向軌道都可以停靠；捷運車站則是會發生於終端站或機廠非終端站要收發車時會產生此問題，因為捷運列車為循環式時刻表，在終端站或折返站 (蘇昭銘, 2001) 月台列車折返時就會像是一軌道卻要提供雙方向列車行駛，因此 Lee *et al.* (2009) 將 Carey (1994) 研究當中單方向與雙方向軌道連接部份提出探討，將多條軌道之交叉點分解成兩組或兩組以上軌道組合 (因為 Carey (1993) 的研究中提出衝突點多發生於軌道交叉點上，但並無做深入探討與研究。)，將列車等級分成 A、B 及 C 三種，列車運轉時間分成兩種：最小運轉時間與延伸運轉時間，最小運轉時間為依照列車性能，在安全情況下列車與軌道能使用的效率最高，延伸時間則是因為政策上及規劃者偏好考量所期望的運轉時間。與 Carey (1994) 研究相異的為 Lee 等人將理想班表列車中有衝突點先於車站預先調整，讓部份列車延遲離開車站，這些部份列車雖延遲離開車站，卻可使列車免於之後車站產生衝突而產生延滯或被擋在連鎖區外，且提出的目標希望為整體列車都能完成任務，可避免僅部分列車能快速及準時到達，而有部分列車延滯嚴重的狀況發生。

相對於 Carey (1994) 將列車到達時間、離開時間、停留時間與站間行駛時間都列入問題考量，也有學者直接以列車完整的路線為單位，將每一列車當成一離散事件，找出列車合適的行駛路線，此種方法可以與 Caprara *et al.* (2006) 第一階段中的服務最大旅客數及最小運具使用成本結合，算出每一次列車行駛可服務乘客數及運轉成本 (Bussieck *et al.*, 1997)，之後研究接續 Bussieck *et al.* (1997) 的研究 Caprara *et al.* (2006) 探討在軌道容量及列車運轉限制下製作歐洲鐵路運輸客運時刻表，將每一種列車依照等級先制定使用費，並以使用費總合最大為目標，為了避免設定使用費小的列車沒有行駛路線，所以會有限制部份列車的路線是必須行駛 (Caprara *et al.*, 2001)。以 Caprara *et al.* (2001) 的研究為基礎，Cacchiani *et al.* (2007) 將列車到達及離開區間時間設定上下限，製作出的時刻表更加穩定，不會因為使用費而太早到達或太晚離開等問題出現。

2.1.3 車站月台路徑指派

在製作列車時刻表部份已決定列車必須行駛的路線、到達及離開區間的時間 (車站也算是一個區間)，將車站內月台路徑指派問題獨立出研究，是因車站內軌道佈設過於複雜或是車站必須處理交通量龐大造成車站內容量不足讓列車未能如時刻表時間內到達或離開，所以許多研究會將列車於車站內列車路線安排做較深入探討，事先給定以下條件如下 (Kroon *et al.*, 1997):

1. 車站軌道佈設
2. 到達車站及離開車站時間
3. 列車在車站內可能行駛路線
4. 進入區間及離開區間

因為單線、雙線及捷運列車的車站軌道佈設會依照其功能所需所以會有差別，軌道佈設可以依照貨運及客運、循環列車或非循環列車及此車站是終點、起點及中間站(Gocyla,1995)，整理如下表：

表 2.1 軌道列車分類

分類標準	分類項目
路線	單線
	雙線
	捷運列車
列車功能	客運
	貨運
列車任務	循環任務
	非循環任務
車站功能	起點
	終點
	中間站

列車在車站內相關研究，首先面對是假設列車可以經由兩條以上的軌道進入車站或可經由兩條以上軌道離開車站，在此種情形下就必須區分列車進入車站的路線與離開車站的路線，而所關心的議題不外乎是希望列車在安全行駛不產生衝突的路線下能將車站的效能發揮到最大，通常為站容量不能負荷過大的交通量。機於以上原因，研究中所關心議題的目標可為(Gocyla *et al.*, 1995):

- 最小旅行時間
- 最少列車數
- 最低成本
- 最大覆蓋率(能服務最多乘客)

要達到以上目標通常限制有列車從起點離開時間、末班車時間與若是有貨車則需要的裝備等，不過為配合列車已經安排好的時刻表，在安排列車在車站內的路線都會以時間為主軸，分別為需要的最小班距、停留時間、運轉時間與行駛時間(Carey, 2003)，為了安排以上列車行駛在車站內路線的時間，會產生以下問題：

- 列車通過車站產生的衝突
- 終端站路線安排
- 子月台(第二順位的月台)
- 基礎建設本身的限制
- 安全及商業的政策

簡單介紹列車於月台路線指派的目標及限制後所要解決的是如何安排列車停靠在適當的月台，並且清楚的知道列車到達的時間、停留的時間與離開的時間，但通常在實際情況列車運行會因為各種限制，列車無法依照原來排出的最佳時刻表相同。

指派路線給列車目前已經有許多研究，例如解決車站內部份軌道提供雙方向列

車都可使用，但此共用軌道會有衝突，因此有學者提出單方向與雙方向軌道之差別及利用數學模式表達(Carey,1994)，在單線軌道列車當中這種型式常常使用，通常會加上車站內可使用側線作考量(Higgins *et al.*,1997)，雖 Carey(1994)研究當中提出此通式，但對於歐洲雙線鐵路及台灣鐵路有軌道佈設較為複雜車站就無法使用，當列車已經安排好的路線中有通過多種軌道佈設的車站時就無法以 Carey 的模式表示列車在每一個車站內路線狀況，必須把路線的軌道佈設分類後，每一種軌道佈設列車被指派的路線不同，指派路線不同就會決定列車停靠的月台(Lee *et al.*,2009)。

多數研究車站路線指派都指中間站，至於起點與終點的限制就以流量守恆分別，在起點列車只出不進，而在終點只進不出，此種模式在單線軌道列車與雙線軌道列車都可以使用。大眾運輸會出現單方向使用軌道成為雙方向軌道使用的地方為終端站，且捷運列車為循環式班表，每輛列車都有可能到終端站折返後再次循環，因此在終端站只有兩至三個月台，卻必須應付龐大的交通量(Flamini *et al.*,2008)，為了保持列車循環的規律性(如班距穩定)與準時性，在列車進入終端站的路線、停靠月台及離開終端站的路線指派就非常重要。

另外一項考慮原因就是不同班距下，列車收發車的情況，因為機廠並沒有與終端站連接，因此在機廠收車與發車時就必須注意是否會與前一班列車或後一班列車過於接近產生衝突，除了基於安全避免產生衝突，政策上需要列車的班距會影響到列車到達車站的頻率及需要多少輛列車，國內也有學者製作捷運列車時刻表，考慮非常詳細，但都未加入收發車與機廠聯接關係(蘇昭銘等人，1993)。

2.2 軌道排班議題對應方法

在 1.1 節當中整理了軌道問題，並找出相關研究，但要解決每一階段的問題所適用的方法不同，軌道排程問題已經被探討許多，同樣的議題被學者用許多方法討論解決過，因此將三階段問題會使用的方法獨立出整理，以下三小節分別針對 1.1 節當中問題所使用過方法作一整理。

2.2.1 列車區間選擇議題及對應使用方法

區間選擇是軌道運輸排程所面對的第一個問題，車站該設在哪一個區位，路線該如何設置，為什麼設置在此區位，設置此車站的目標是什麼，有了車站及路線才會有之後將列車分派到各路線上。

單線軌道較常出現在北美及澳洲地區，而特性是在車站間的軌道佈設為單線，除了設有側線的地方外都不可超車或會車，否則會產生衝突，因此所處理問題都是解決衝突為主，而且列車有分等級及以貨運為主，在區位選擇時因為要讓貨物能在預定時間之內到達目的地卻不產生衝突及安全考量下，因此為以延滯最小及運轉成本最低為目的(Higgins *et al.*, 1994; Higgins *et al.*, 1997)，在區位選擇方面使用的是混合整數規劃(Higgins *et al.*, 1994)，決策變數為是否選擇此區間，限制為不產生衝突及列車安全行駛，演算法多使用 Branch-and-bound(Higgins *et al.*, 1994)或混合整數規劃

(Higgins *et al.*, 1997)。

而雙線軌道列車行駛區間的選擇又有分長途及都會區內捷運，雙線軌道列車主要以客運為主，既然以客運為主，目標函數通常設定為列車通過區位時能服務的旅客最多，且能達到便利性，例如可通往主要城市、醫院、學校或是其他轉運站等 (Laporte *et al.*, 2004)，因此在以服務乘客為目標下，就必須先調查乘客的起迄點其旅次分佈，有了乘客的起訖矩陣再決定路網，除了乘客的起迄點，其他例如公共設施也必須列為列車會通過的主要節點(Laporte *et al.*, 2004)，近年來為配合地理資訊系統，在設計路網時也會將人口重心以三角形劃分後計算旅次分佈(Laporte *et al.*, 2004)，除了希望捷運設計路網時能有最大覆蓋率服務最多乘客外，因為減少路上交通混亂，並推廣大眾運輸系統，因此將行人路網、私人運具及大眾運輸網路一併考慮，並以演算法最短路徑法(K-sortest path)比較行人網路、大眾運輸網路、私人運具網路及混合型網路成本，求出最少成本做為設計捷運列車路線的參考(Bruno *et al.*, 1996)；文獻方法如表 2.2:

表 2.2 區位選擇使用方法文獻整理

文獻	問題	方法
Higgins <i>et al.</i> ,1994	建立單線軌道的排班做為決策及計畫使用，單線上有不同等級的列車，單線鐵路運輸在沒有側線的情況一個區間內就無法容納兩輛列車，必須考慮到區間內列車是否有衝突；目標為行駛列車到達目的地時延滯最小及運轉成本最低，並決定不同等級列車需要使用的區間，依照不同等級列車延滯所造成嚴重性的權重設定不同值，將所有列車的延滯及運轉成本最小。	因為有不同等級的列車，所以進入與離開區間會有進入區間與離開區間是否需要超車，另外此種方法也可以控制列車進入區間與離開區間的時間，方法使用 Branch-and-bound 及混合整數規劃。
Higgins <i>et al.</i> ,1997	以混合演算法解決單線列車排班問題，因為單線的排單問題多為 NP-Hard 型態問題，但此類型問題太過複雜以致難以解決，故以啟發式演算法來解決列車排班問題；讓排班人員可以在突發事件時可快的重新更新班表，其最終目標為列車旅行時間最小，在旅行時間上也會依照不同等級列車設權重值。	使用基因演算法，每一條染色體代表列車的排程，每一個基因代表每一輛列車，包括列車的延滯、列車的等級及列車要使用的區間。作者使用基因演算法解決列車運行時產生衝突問題，最後將結果與鄰近搜尋法、禁忌搜尋法、Branch-and-bound 及混合式演算法比較結果。
Bruno <i>et al.</i> ,1996	決定捷運線設站位置，以往捷運線設站問題以最短路徑最大覆蓋率模式或最短路徑中位數模式，這兩種模式在過去研究當中	設定四種網路，分別如下： 1. 行人網路 2. 大眾運輸網路 3. 私人運具網路

	<p>使用非常多，而此篇利用 K-shortest path 的方法來求出最短路徑。</p>	<p>4. 混合型(行走+大眾運輸混合使用)</p> <p>使用演算法 k-shortest path 求出最短路徑，但每一條路徑會加上成本計算，最後求出最佳路線。</p>
Laporte <i>et al.</i> ,2002	<p>隨著捷運路線延伸，新的路線或新的一段區域路線都將面對設站的問題，該如何設定車站位置，使車站能服務的範圍涵蓋最大，為求新的車站服務的範圍最大，而人口是分散的，因此將每個區域切割成三角形去計算每個三角型面積中的人口數，而若是要計算車站服務區域範圍就以每個區域都有一個人口重心(即為三角形的重心)為主，假設附近搭乘旅客都會選擇最近的車站搭乘，而必須考量如果設置車站後，該地居的旅運型式將會改變。</p> 	<p>求解方法為最長路徑演算法，以兩種邏輯決定車站設置位置，第一、是以能涵蓋最多旅次，而非最多居住人口；第二、站間距離必須有限制，一個區域內的車站個數有限制。</p> <ol style="list-style-type: none"> 1. 設定路線經過範圍。 2. 將路線經過範圍切割成三角形並計算其面積 3. 計算每一三角形區域的人口密度 4. 決定合理車站服務範圍 5. 設定車站的位置及距離多遠 6. 將兩車站重疊區域的中心點算出 7. 分別計算中心與兩車站之間有多少三角形區域在內，並計算其面積(如此就能知道中心點兩邊車站的服務範圍)。 <p>將中心點左右可服務範圍相加即為捷運路線可服務範圍。</p>
Laporte <i>et al.</i> ,2004	<p>利用運輸規劃方式預測需求，並求出起訖矩陣、場站設置、路線設置的成本，並依此建置捷運路網。當都市面積擴大，工作通勤的距離變遠，而人口多及都市化造成都市的交通量增加，在路上的平均速率下降，所以建置捷運路線的運輸走廊是非常重要的。</p>	<p>將已選擇的主要車站連接，在前面就以選定一些主要節點，但是還要看運量的指派，因此要建置路網首先除了這些主要節點當作路網節點的候選點外，要計算這些主要節點之間的距離，之後計算起訖點的矩陣。</p> <p>在建置路網模型之前，會先有民眾私人運具的成本(假如相同的兩車站)，並給定建置車站和路線的成</p>

		<p>本上下限，所有決策變數都是雙元變數：</p> <ol style="list-style-type: none"> 1. 要選此主要車站或不選 2. 要選此路線或不選 3. 在起迄點路線上選擇節線 4. 搭乘大眾運輸是否有比私人運具成本還要低 <p>使用混合整數規劃方法建立模式，並使用套裝軟體 CPLEX9.0 求解。</p>
Caprara <i>et al.</i> ,2006	<p>整合與歸納近年文獻中模型，包括服務乘客最多及系統運轉成本最小，既然有兩個目標就會有權重之選擇；區間的選擇就用雙元變數，決策變數也為區間的選擇。</p>	<p>決策變數為雙元變數，模式使用混合整數規劃，方法使用 Branch-and-Cut.</p>
Marín <i>et al.</i> ,2008	<p>目標在於擴充多週期性捷運容量，因為擴充捷運網路的路網容量規模大且在市區內，故必須非常慎重的規劃，文章中先建立路網模式，之後以演算法降低計算時間。</p>	<p>目標函數依照不同性質列出數個，再依照作者希望的權重去將每個限制式加總，每一期間旅客的起訖矩陣都不一樣。</p> <p>作者使用的目標有：</p> <ol style="list-style-type: none"> 1. 最大化大眾運輸需求，表示希望整個路網能有最多人搭乘。 2. 希望路線的成本最小。 3. 某路段的車站與路線建造成本。 4. 使用私人運具最少。 <p>求解使用方法為 Branch-and-bound 及啟發式演算法。</p>

2.2.2 時刻表使用議題及對應使用方法

因為製作時刻表階段皆假設都已決定列車必須行駛哪一個區間，而時刻表的目的是為了讓列車在安全及不產生衝突狀況下，讓乘客及排班人員能明白列車的到達時間、離開時間及停留時間，所以此階段目的都在處理如何產生節省路線成本卻又能使每輛列車都能順利完成任務，列車路線目標通常以時間成本為主，因此必須設有列車到達區間的時間、離開區間的時間、在區間的行駛時間及在區間內的停留時間，而車站也算是一個區間，但是因為車站內軌道佈設較車站間軌道佈設複雜，所以在第三階段另外處理車站內路線指派問題。一個區間內有許多路線，就算是單線軌道也會有路線選擇的問題(側線停靠)，列車路線的選擇建立數學模式大多以混合

整數規劃(Carey,1993)，而為了考慮到軌道在單線軌道、雙線軌道副線或終端站折返月台會有共用情況發生，因此必須處理軌道共用狀態，而每輛列車必須加入軌道及列車方向的限制，以避免衝突產生(Carey,1994)。

Bussieck *et al.* (1997)的研究當中提出了列車排班為離散事件，因此設定了每一輛列車都有使用費，並處理更複雜的狀況，包括發車、收車及折返的限制，而演算法使用 Branch-and-bound(Bussieck,1997;Zhou,2007)、啟發式演算法(Cacchiani *et al.*, 2007)或 Lagrangian 啟發式演算法(Caprara *et al.*,2006)，而因為路線的選擇限制更多，必須考慮到列車收發車、列車出發、到達、停留及折返時間，因此在求解時通常會使用拉式鬆弛法(Lagrangian relaxation)或線性鬆弛法(Linear relaxation)以簡化模式求解。

表 2.3 路線選擇使用方法文獻整理

文獻	問題	方法
Carey,1993	處理在有不同方向的運輸網路當中，列車有不同的速率且有多種路線下，列車路線與停靠車站月台的路線選擇。	將每輛列車設定行駛時間、停靠時間、到達時間與離開時間設定時間成本，並以這些時間成本總合最小化為目標，數學模式使用混合整數線性規畫，決策變數為列車的離開、到達車站的時間及列車是否有需要在區間內超車，設定不同路線類型，在將現實當中較為複雜的路線依照作者已設定的路線類型分解，此複雜路線分解後變得較為簡化，之後將路線以模式求解。
Carey,1994	探討列車軌道在只提供單一方 向列車行駛與提供雙方向列車 行駛時的限制	使用雙元混合整數規劃模 式，將原本只可讓單方向列車 通過的軌道變成共用軌道時 可讓雙方向列車通過，為表示 有雙方向列車可通過，因此將 列車分為兩個方向，不過因為 共用軌道超車的限制式也將 分為雙方向。
Bussieck <i>et al.</i> ,1997	將列車為一離散事件，因為列 車在軌道上行走並非連續性， 是在某一個時間點發車、收 車、折返等，作者想要建立最 佳化模式將排班時可以將成本 達到最低。	目標為讓使用費(access fees) 最小，從路線規劃、循環式班 表到運具的使用都以混合整 數規劃建立模式，使用的演算 法為 Branch-and-bound，並使 用線性鬆弛法(LP relaxation) 簡化模式。
Caprara <i>et</i>	在不違反軌道容量與操作上的 限制這兩種條件下決定週期性	設定路線的軌道佈設，雙線， 每一線單一方向，因為與單線

<p><i>al.</i>,2001</p>	<p>的列車班表。</p>	<p>排班與雙線排班捷運(或地鐵)的交通量通常為客運較多，因應交通量龐大，所以軌道容量相較之下變得非常有限，作者利用整數規劃方法與 Lagrangian relaxation 方法解決排班問題，Lagrangian relaxation 主要用於鬆弛節點上的限制式(也就是車站)，藉由節點上的 shift 與節線上的 stretch 讓列車的效益最大。(同樣也是使用使用費計算方法。)</p>
<p>Caprara <i>et al.</i>,2006 a</p>	<p>綜合以往時刻表所使用方法，並歸納出一般會使用的數學模式。</p>	<p>非循環班表使用的是使用費，而循環班表使用的是歸納出在兩車站之間列車行駛的上下限，無明確目標函數(重點放在非循環式班表。)</p>
<p>Caprara <i>et al.</i>,2006 b</p>	<p>在軌道容量能負荷之下使獲利最大，因為目標式使列車公司獲利最大(但是文章中並沒有提到貨運還是客運)，所以最後排班不一定會與原本排出來的理想班表相同，而且若是路線沒有獲利就不行駛。</p>	<p>所使用的是 Bussieck <i>et al.</i> 所提出美量列車都有使用費的方式，所有路線的接近籌最大為目標，使用的方法為 Lagrangian 啟發式演算法，以整數線性規劃建立模式，求解時以 Lagrangian relaxation 簡化模式以求解。</p>
<p>Cacchiani <i>et al.</i>,2007</p>	<p>求解鐵路運輸走廊時刻表，並提出啟發式及精準的演算法，以此演算法解決單線鐵路運輸上有不同等級列車的路線指派。</p>	<p>利用 Column generation 的方法應用於不同等級列車的路線安排，至於目標為列車的使用費最大，因此利用整數線性規劃建立模式，並以線性鬆弛法(Linear relaxation)來做為簡化模式方法，演算法部份分為啟發式演算法(Constructive heuristic)及精準的演算法(branch-and-cut-and-price)。</p>
<p>Zhou <i>et al.</i>,2007</p>	<p>求解單線鐵路運輸的時刻表，因為軌道容量有限、安全及操作上限制，故會產生許多衝突，因此在不產生衝突情況下以列車旅行時間最小化為目標，製作出單線列車時刻表。</p>	<p>以雙元混合整數數學規劃建立數學模式，目標為旅行時間最小，以時間為主軸(進出區間時間及區間是否有被列車使用。)，使用演算法為 Branch-and-bound，此外，第二階段為求解列車進入區間的時間最小化，此階段加入了</p>

		列車行駛在路線上的成本限制，再次確認列車是否行駛在最佳路線上。
Lee <i>et al.</i> ,2009	在軌道佈設及列車等及複雜狀況下，求解列車延滯時間最小。	依照列車等級分派路線，為了下一階段列車在車站內月台的指派，因此先將列車在車站有重疊路線做調整，使列車的衝突降低。

2.2.3 路線選擇議題及對應使用方法

從第一階段到第二階段都已經將鐵路區位選擇問題、列車路線都已決定，另一個議題為在軌道佈設較為複雜車站的路線指派，因為在車站部份列車會有交織情況產生，包括停靠、超車、會車、折返或收發車等，既然為路線的指派，因此延續製作時刻表的混合整數規劃，而目標為列車運行時間成本最小(Carey,1993;Carey,2003)、軌道資源使用效能發揮到最大(Higgins *et al.*,1997)、可有最多列車通過車站(Kroon *et al.*,1997)或是延滯時間最小(Lee *et al.*,2009)，而大眾捷運因為式循環式班表，所以目標則為維持列車的準時性與規律性(Flamini *et al.*,2008)，雖然在製作時刻表階段路線指派就有處理過衝突問題，但是在車站內軌道佈設或列車行駛會有等級之分也會導致衝突，因此列車在車站內路線的安排也必須將衝突問題列入考慮。利用混合整數建立數學模式，再以限制式解決衝突是較為基本(Carey,1993)，而限制將會包括列車通過橫渡線最小時間、在車站停留最小時間及最小班距等問題，在列車折返月台或是共用月台的軌道的指派則必須增加列車及軌道的方向限制式，且列車等級會影響使用共用軌道的優先順序(Carey,1994)。而單線軌道列車因為在車站為重要的會車、超車或調車的重要地點，因此車站的軌道資源有效利用非常重要，Higgins *et al.*(1997)研究當中以 Branch-and-bound 及禁忌演算法解決單線軌道列車於車站內路線安排。而其於解決列車於車站內軌道指派有將塗色問題利用在解決軌道指派(Billionnet *et al.*,2003)，可使軌道指派問題更加有效率解決衝突問題；另外也有利用工作站觀念將列車的通過當做一件件工作，而車站為機台，同一個機台在同一時間不可給兩個工作使用，作用在終端站月台就表示同一時間，一個月台不可給一輛車以上使用(Flamini *et al.*,2008)。

若是遇到多種車站軌道佈設，一輛列車通過的幾個車站，車站內的軌道佈設皆不同，就必須先將每個車站的軌道佈設型態先分類處理，並將每個方向的軌道歸類，有南向、北向或雙向共用等月台，將月台分類處理、並分割後再決定列車在路線中的車站內路線的指派(Lee *et al.*,2009)。

表 2.4 車站路線指派使用方法文獻整理

文獻	問題	方法
Carey,1993	解決鐵路運輸列車選擇路線、月台及路線問題。	利用混合整數規劃，利用列車到達、離開及停留時間成本做為基礎，使這些列車運行時間成本最低，其中已知參數為通過橫渡線最小時間、在車站最小停留時間、最小班距(列車間到達月台的最小班距即離開月台的最小班距。)
Carey,1994	分別建立單方向使用軌道及軌道給雙向使用兩者限制不同。	使用混合整數規劃建立模式。
Higgins <i>et al.</i> ,1997	在排單線班表的過程當中，車站中側線使用的安排，因為列車有等級之分，所以在車站會有會車與超車的發生，在不產生衝突且可以將車站內軌道資源使用效能最大化路線的安排。	以混合整數規劃建立模式，且在車站內軌道使用會有兩個方向，是為了區別列車方向，區別列車方向是為了在車站內是否需要會車及超車。
Kroon <i>et al.</i> ,1997	列車通過複雜的車站時的運作，先給定軌道佈設已知，列車已經有時刻表有預訂的到達時間與離開時間，目標在於求解有最多列車可以通過車站。	因為已知車站的軌道佈設，所以會知道列車在雙方向進入車站即離開車站的軌道，找出列車所有可行的路線，在排除所有衝突後達到能通過車站的列車數最大。
Carey,2003	在複雜車站車站列車停靠月台排程問題，將不同等級列車給與不同時間權重，最後目標再求解所花費時間成本最小。	使用混合整數規劃表示列車到達車站、離開車站、停留車站的時間，不過為了減少整體的延滯，會刻意將某些列車到達車站的時間延後或提早離開車站。
Billionnet <i>et al.</i> ,2003	解決列車於車站分派軌道之問題，解決問題為列車進到車站內月台時該如何分派軌道給即將進站的列車使用，假設已知每天的時刻表、建造及操作的限制前提下，利用著色問題解決列車於月台分派軌道的問題。	延續 Dorotea 1998 年塗色問題的方法，利用 k L-list τ colouring 方法將列車於車站軌道分派之問題以更加有效率及嚴謹清楚的方式求出可行解。
Flamini <i>et al.</i> ,2008	發展列車於終端站排班的演算法，並求列車準時與規律為目標，先將目標放在列車必須準時，有了使列車準時的演算法之後在使列車的時刻表有規律	利用工作站(job shop)的觀念將列車當作一個一個的工作，而這些工作必須經過一續列的機台才算完成，而這些路線為機台資源，列車必須經過這些

	性。	機台後才算完成工作，同一個 block 不可以同時給兩輛列車使用，就像機台不會同一時間做兩件工作一樣。
Lee et al.,2009	<p>在雙線雙方向軌道情況下，且車站內軌道佈設相異，在滿足需求、高效率及高安全性要求下製作列車班表，列車須應需求行駛指派路線外，車站內可用軌道佈設相異，複雜在於在車站內的軌道並非依照方向獨立(一個方向、一個軌道，兩個方向的軌道無交織)，現實當中車站內的軌道有些提供列車在需要時(前方列車延滯或後方列車等級高必須優先使用主要軌道)的第二順位軌道，列車若是不使用第一順位軌道而使用第二順位軌道將會多浪費時間。</p> 	<ol style="list-style-type: none"> 1. 列車有不同等級則使用軌道的優先順序 2. 車站內軌道佈設不同 3. 車站內月台有優先使用順序，且車站內若非停靠第一優先使用軌道將不須橫渡另一方向軌道，會有衝突產生 4. 先處理列車於站間的路線安排 5. 處理列車於車站內軌道使用權重，希望每列車權重的差距最小，因為權重差距過大會導致有些列車被延滯過久，服務品質反而下降，此階段使用的為混合整數規劃，決策變數為列車是否要使用車站內軌道。 6. 處理列車延滯情形，延滯的定義為與預期到達或離開時間有差異，決策變數為總延滯時間、各個區間發生延滯時間，原預計離開與到達時間，及與預期時間的差距，其中的限制為列車離開時間與到達時間在怎麼快速，中間都還夾著最小運轉時間，還有若前一區間被占用，下班列車要使用此區間就須等待。 7. 利用求出的延滯利用門檻接受法的迭代計算。

本研究將先界定問題之範疇後，並回顧列車排程及演算法文獻，參考回顧文獻當中所使用參數、變數、限制式及不同議題使用方法之後依照本研究問題選擇變數、蒐集列車及路線基本資料並整理及分類，但本研究對象是都會區捷運班表的製作，其問題性質相較於一般捷運選線、多交織衝突或單線鐵路排班較為單純，故使用啟發式演算法製作班表。

第三章、列車運行邏輯

本章將台北捷運板南線的軌道佈設及機廠收發車時會與正線行駛列車可能會產生狀況一一詳細列出，列出所有可能路線，說明路線上可能產生瓶頸點，第四章則依照本章所列之邏輯及限制發展啟發式演算法。

3.1 行駛路線瓶頸點

要討論機廠收發車所遇到瓶頸必須先了解目前台北捷運板南線列車行駛狀況以及各項硬體軟體的限制。本節將總和所有列車可能行駛路線及收發車的限制，首先在軌道佈設台北捷運板南線除了兩個機廠(南港機廠及土城機廠)、三個終端站(南港站、永寧站以及亞東醫院站)和兩個袋形軌(亞東醫院袋形軌及忠孝復興袋形軌)。整條路線初始軌道佈設如圖 3.1:

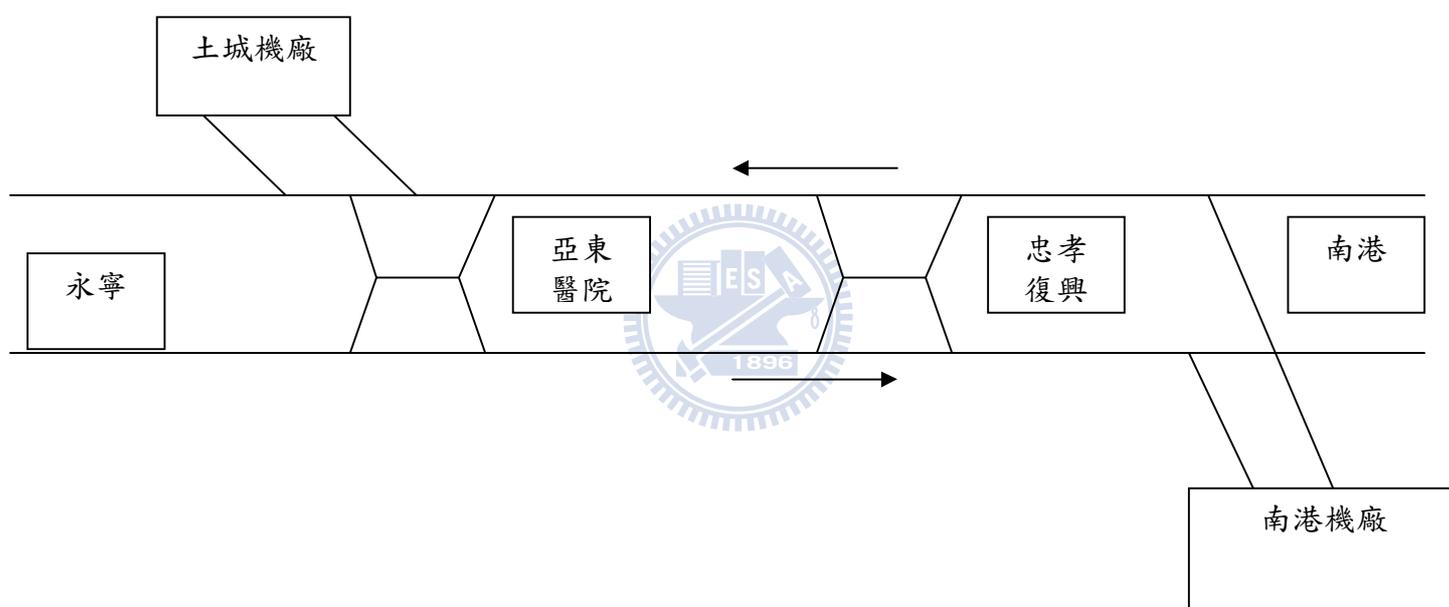


圖 3.1 台北捷運板南線路線佈設圖

本節將詳細說明機廠收發車路線以及目前技術上的限制，機廠的收發車功用在於轉換時段時(尖峰轉離峰以及離峰轉尖峰)為了滿足捷運公司依照旅運需求規劃出的班距，尖峰時需要列車數多，離峰時需要列車數較少。在機廠收發車到正線上時將會遇到列車時隔不足或班距過大的狀況發車，適當的收發車使列車能在不產生衝突下發車到正線上，並能快速恢復固定班距。

尖離峰班距的轉換時段是依據一個固定的基準站時間，此基準站的時間作為轉換班距的標準，在終端站部分，若將基準車站設定在南港站，可以藉由控制南港站的折返時間，讓在各時段南港站到亞東醫院站與南港站到永寧站的列車在南港站的折返時間皆相同，到達南港站列車 80~90%的列車都可以折返，不過缺點是因為要讓南港站皆能符合班距，在南港站的收發車將會大幅減少，大量列車就須從土城機廠收發。

至於另一端終端站永寧站和亞東醫院站若是做為基準車站，永寧站因為在非重疊區段，所以只能控制南港站到永寧站之列車，南港站到亞東醫院站循環列車則無法評估班距，不適合做為基準車站，亞東醫院站因為有袋形軌，又必須處理土城機廠發車衝突，因此也不適合做為基準車站。

若將基準車站設置於中間站，中間站分為重疊區段與非重疊區段，非重疊區段土城機廠發車並不會直接通過，因此不適合做為基準站。表 3.1 為比較各站作為基準站的優缺點：

表 3.1 比較各站作為基準站的優缺點

基準車站設置點	優點	缺點	適合否
南港	直接調整往永寧和亞東醫院列車的折返時間	在南港站的收發車將會大幅減少，需要列車就須從土城機廠收發。	中
永寧	可調整往南港列車的折返時間	可調整要往上行列車的時間，但對於土城機廠和南港機廠的收發車難以掌握，而且也難推算在亞東醫院袋形軌的折返時間。	不適合
亞東醫院	連接機廠軌道，機廠發車經過袋形軌進入正線行駛	在亞東醫院有三個可能的衝突點，包括機廠的發車，與下行方向列車可能會產生衝突；發車後通過袋形軌會與要折返的列車可能會產生衝突；從袋形軌出來之後必須避免與後方從永寧來的列車產生衝突。	不適合
重疊區段中間站	由到達基準車站的時間推算三個終端站需要的折返時間，但是推算後可同步更新正線上的班距(轉換班距)。	需推算三個終端站的折返時間，而且必須注意終端站折返時間是否合理。	適合
非重疊區段中間站	可掌握永寧站及南港站折返時間	非重疊區段占全正線只有 1/7，難以掌握其他中間站班距轉換。	不適合

若要挑選重疊區段的中間站作為基準車站，須將從位置上和到達終端站時間來分析，因為考慮必須推算終端站的折返與收發車在上下行都能掌控，所以挑選距離兩端終端站在位置上的中間站或是時間上的中間站：

- 以亞東醫院到南港站來看：
位置的中間站：善導寺站、忠孝新生站
時間的中間站：台北車站、善導寺站
- 以永寧站到南港站來看：
位置的中間站：西門站
時間的中間站：台北車站、西門站(西門站較接近)

- 以南港站到亞東醫院站來看:
位置的中間站:善導寺、忠孝新生站
時間的中間站: 台北車站、善導寺
- 以南港站到永寧站來看:
位置的中間站:西門站
時間的中間站:台北車站、西門站(西門站較接近)

綜合以上原因故選擇台北車站作為本研究中轉換班距的基準車站。決定基準車站後便可決定理想班表，以基準車站為中心可計算早上首班車必須停靠的車站以及發車時間，計算列車的行駛時間及停靠時間得知在理想狀況下列車到達各個車站的時間。

在固定時段的班距不相同，當班距縮小時，使用列車數較多，反之，班距增加時使用列車數較少，因此在班距轉換時就會有收發車，在收發車之前可以先設定各個終端站在不同班距之下，使用單雙月台折返時間之上下限，在轉換時段可調整列車折返時間，若在此時間上下限之內就無須收發車，但是無法折返就必須將多餘列車收回機廠或是缺少列車從機廠發車。

圖 3.2 顯示南港機廠發車的路線，在機廠發車時會產生 A 衝突與 B 衝突，A 衝突是發車到正線上必須與南港站下行方向列車避免產生衝突；B 衝突則是為了避免發車時與上行方向列車產生衝突。從南港機廠發車會計算需要班距，調整南港終端站的折返時間後才發車，所以 A 衝突在調整南港站折返時間就可解決。從機廠發車到正線上時間只要 97 秒，要避免上行方向列車可提前將列車停靠到昆陽站，在昆陽站停留時間延長即可解決。

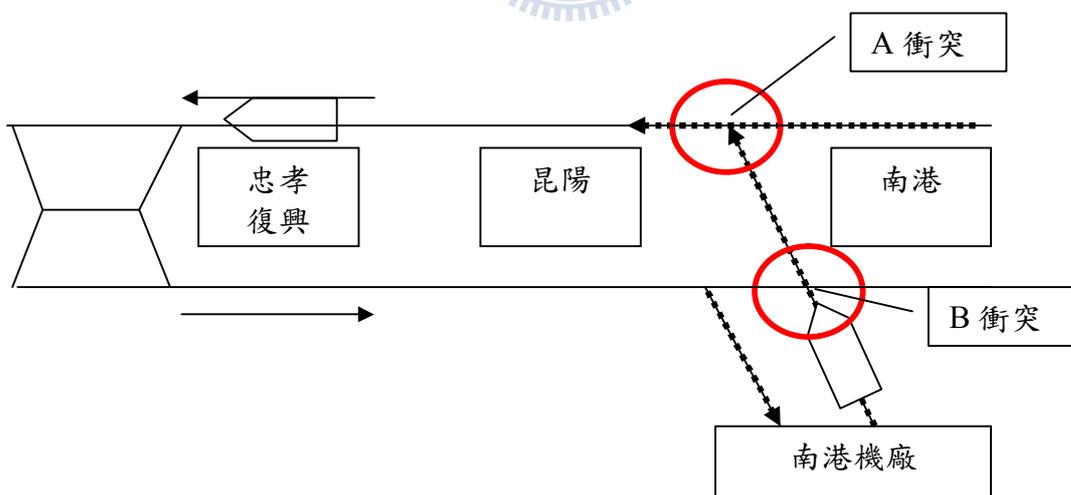


圖 3.2 南港機廠發車的路線

在土城機廠部分會有三個衝突，圖 3.3 中標示 C 衝突、D 衝突以及 E 衝突，C 衝突在機廠出車時會與下行列車產生衝突，因為非重疊區段班距是重疊區段的兩倍，所以發車較為容易，C 衝突也可以藉由原本要在亞東醫院折返的列車改往永寧折返使班距變大後可解決，而且連續兩班列車往永寧方向可解決在袋形軌太過擁擠的情況發生，因此 D 衝突也可藉由將列車改往永寧再折返；E 衝突是在亞東醫院袋形軌

到正線上的列車會與從永寧出發的列車產生衝突，可藉由調整亞東醫院和永寧終端站的折返時間改善。

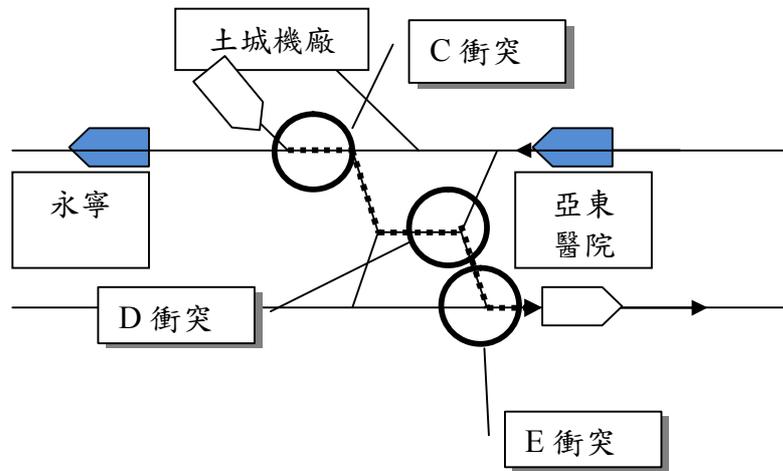


圖 3.3 土城機廠發車的路線

在完成列車銜接以及機廠收發車後，班表的製作是將所有在終端站的銜接以及兩端機廠收發車結合成一個完整的結果，最後完成的銜接、收發車已考慮在不同班距以及終端站軌道佈設下的限制，如圖 3.4 一份完整的班表包括三個終端站的銜接以及兩個機廠的收發車。

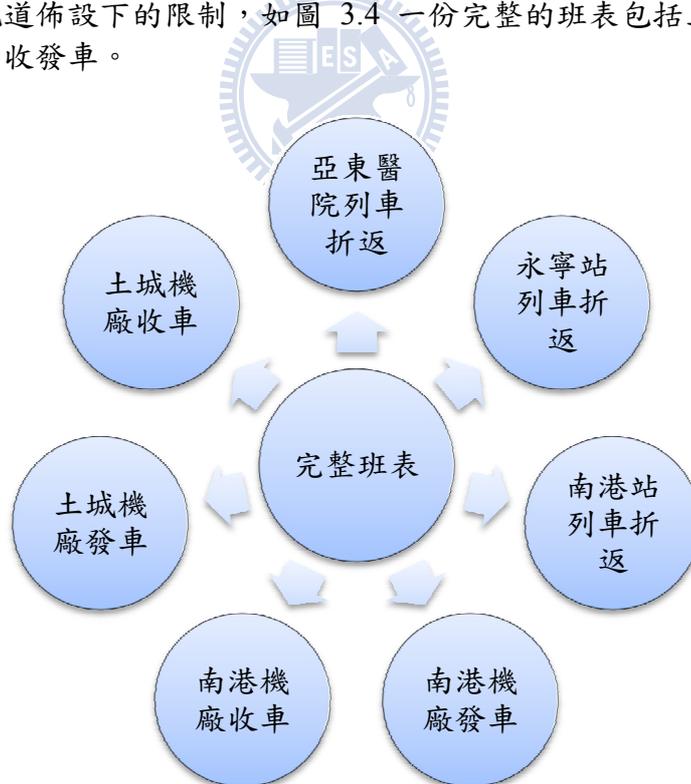


圖 3.4 完整班表包含元素

3.2 製作班表步驟

在第一小節說明列車收發車的瓶頸點後，3.2 節將說明製作班表的步驟，包含一開始開始給定一天各時段所需班距，產生理想班表以及首班車擺放車站以及發車時間，計算理想班表當中列車是否可在終端站銜接，並與理想班表對照後是否需要收車或發車，依照 3.1 收發車的時間窗計算收車和發車時間，最後則是測試列車在終端站折返時間和班距是否滿足，產生時刻表步驟如圖 3.5。

茲就圖 3.5 步驟內容說明如下：



圖 3.5 產生時刻表步驟

- Step 1. 站間行駛時間與停靠時間

在製作班表之前，須先有各站的行駛時間與停靠時間，有了行駛時間與停靠時間才能有基準車站與班距推算理想班表，本研究行駛時間與停靠時間由台北捷運公司提供。

- Step 2. 一天各時段所需班距

捷運公司依照各個時段旅運量以及服務的承諾設計出每個時段的班表，旅運量已經隱含在班距當中，例如表 3.2 各時段規劃的班距，尖峰時段設定為三分鐘一班，離峰時間設定為四分鐘一班，深夜時段班車是五分鐘一班，時間從早上六點到晚上 24 點從終端站出發。

表 3.2 規劃各時段的班距

時段起時時間	時段結束時間	班距	南港折返時間下限	亞東醫院折返時間下限	永寧折返時間下限
05:00:00	09:30:00	00:03:00	60	60	60
09:30:00	17:30:00	00:04:00	60	60	60
17:30:00	19:30:00	00:03:00	60	60	60
19:30:00	23:00:00	00:03:30	60	60	60
23:00:00	24:00:00	00:06:00	60	60	60

● Step 3. 折返時間設定與使用列車數

設定在不同班距之下所需列車數，取整數之後便可知兩端終端站可折返時間，若有共同終端站，在此共同終端站折返時間必須相同；設定折返時間時必須考慮到是否符合最小折返時間與使用單雙月台軌道折返時間上下限。

由此步驟可知若是班距較短時，需要列車數多，反之，班距較長時需要列車數較少，因此在本步驟也可初步了解每個時段結束應該收回多少輛列車或從機廠發出多少輛列車。

● Step 4. 產生理想班表

依據基準車站之設定配合 Step 2. 中一天所需班距，先產生基準車站一天當中所有列車的到達時間與離開時間，由基準車站時間依照各站行駛時間與停靠時間推算出列車預計從終端站離開時間與列車到達終端站時間，此階段產生的在理想狀況下，一天當中所有列車到達與離開各車站的時間，因此稱之為理想班表。

理想班表產生之後截去早上 6:00:00 之前時間就可得首班車的擺放位置及發車時間，捷運公司在早上 6:00:00 之前就會依照班距將列車行駛到適當的車站，待 6:00:00 一到開始營運時就可依此擺放位置與發車時間開始運行。

● Step 5. 循環運行

將列車循環分為南港站到亞東醫院站與南港站到永寧站兩種循環，在南港站部分將會是一班列車往亞東醫院站，一班列車往永寧站交錯行駛，只要以行駛時間與停留時間可計算出在這兩種循環中需使用列車數，取整數之後便可得到兩端折返時間總和，再依各終端站軌道佈設特性分配此折返時間。

在固定時段之下以分配的折返時間，列車在此閉鎖區間循環運行，而在轉換時段時，將會有班距的改變，班距的改變將會影響兩端折返時間的總和，因此必須設定在轉換時段列車在終端站可變動折返時間的範圍，只要在此限定範圍內改變折返時間，此列車就可以繼續在路線上行駛，並且能達到下一時段的班距要求，若是沒有在此限定範圍內之列車，就必須從機廠收發車，圖 3.6 為列車在三個終端站折返情況，計算 Δt 之後，在固定班距下列車不產生衝突，並循環運行。

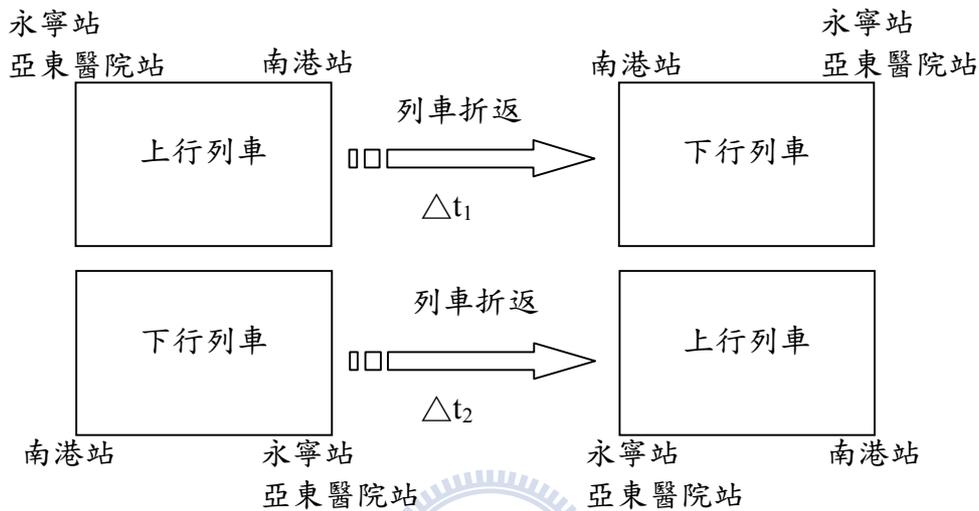


圖 3.6 上下行列車在終端站折返

● Step 6. 離峰時將多餘列車收回機廠

在 Step5. 中已說明依照行駛時間、停靠時間以及班距計算出兩端終端站折返時間總和，當尖峰時路線上會較多列車，離峰時會較少列車，因此在轉換時段將有收發車的必要。

收車部分並無考慮到是否有衝突，發車則需考慮到衝突，因此 Step 6 將先說明收車部分，圖 3.7 是南港機廠收車，上行方向列車收回南港機廠，列車在行駛到昆陽站之後直接收回南港機廠，南港站的班距就會因此增加，捷運公司允諾南港站的班距是 3~4 分鐘一班，假設收車太過頻繁，南港站的班距將會增加到 6~8 分鐘。

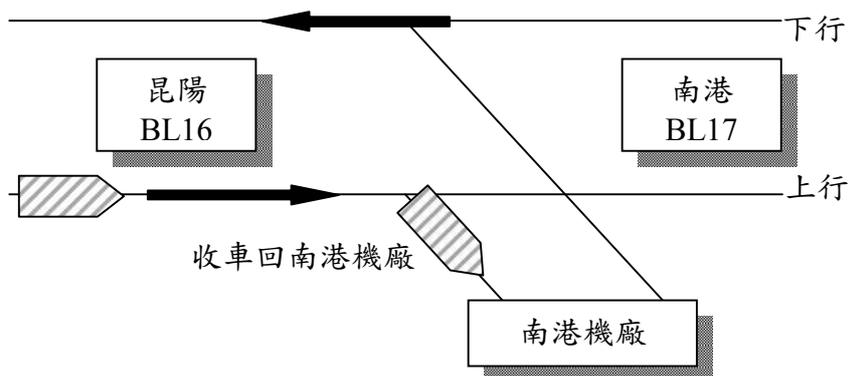


圖 3.7 南港機廠收車示意圖

土城機廠的收車如圖 3.8，與南港機廠收車相反，通常是由下行方向列車收回，列車在亞東醫院站之後直接收回土城機廠，因此當列車收回土城機廠時，在海山站、土城站與永寧站上下行的班距都會增加，假如是收回南港站到亞東醫院站之間的循環運行列車影響則較小，若收回南港站到永寧站之間循環運行的列車就會讓海山站、土城站和永寧站的班距增加。

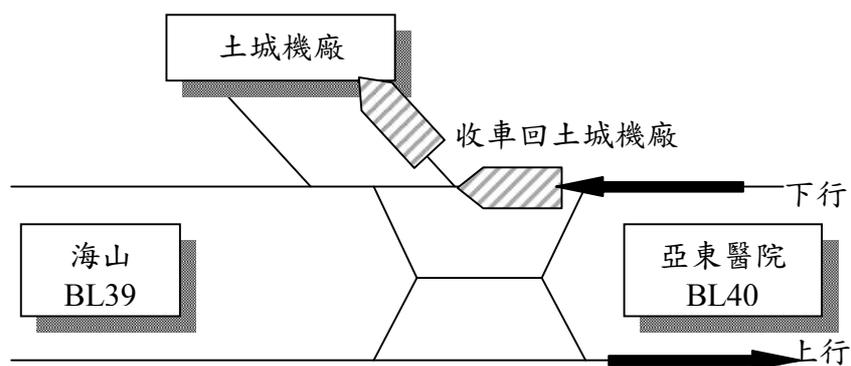


圖 3.8 土城機廠收車示意圖

- Step 7. 尖峰時段發車

在 3.1 節已說明兩端機廠發車的衝突，Step 5 中計算列車數及兩端終端站折返時間，並依照終端站軌道佈設限制分配折返時間，列車在閉鎖區間循環運行，但在離峰時使用列車相對於尖峰使用列車數少，有時甚至相差至 6~8 輛列車，因此在無法藉由調節終端站折返時間來滿足班距的情況之下就必須從機廠發車。

由 Step 5 中將會知道需要發車到正線上的時間，在南港機廠發車部分，列車由南港機廠發車後會直接行使到昆陽站，而不會返回南港站，由南港機廠到昆陽站最小時間為 97 秒，為了避免衝突必須考慮上行方向在昆陽站和南港站的列車；土城機廠發車如圖 3.3，土城機廠發車將經過袋形軌後直接到上行方向行駛，並不會折返回永寧站行駛，因此一開始發車永寧站、土城站和海山站的班距並不會增加，將會等到列車上行行駛到南港站折返，再往下行方向行駛，此時海山站、土城站與永寧站的班距才會縮短。

- Step 8. 最終班表

完成 Step 1.~Step 7.後即為最終班表，可再微調終端站收發車時間讓收發車減少或是更改往永寧站折返和往亞東醫院站折返列車的比例來改善列車的收發車狀況或是減少終端站衝突。



第四章 時刻表演算步驟

接續第三章列車行車邏輯步驟作為第四章時刻表演算步驟的基礎，從基礎資料包括行車時間和停靠時間，利用基礎資料依照規劃班距產生上下行的理想班表。但實際上若沒有排定列車銜接和收發車而就使用理想班表會導致在三個終端站產生衝突及使用過多輛列車，故以理想班表作為目標，利用列車銜接、從機廠發車和收車來達到無衝突之班表。

4.1 產生理想班表

在產生理想班表之前必須具備幾項不可或缺的基礎資料，包括表 4.1 上下行列車在各站的行駛時間、表 4.2 的靠站時間，只要給予其中一站的時間，就可推算各站的到達時間和離開時間。

表 4.3 是每一時段對應班距，分別從時段一到時段八，時段中間有尖峰班距轉離峰也有離峰轉尖峰班距，也因為有這兩種轉換，在轉換過程當中必會產生列車收車與發車的問題產生，為避免在三個終端站產生衝突以及減少列車使用數量，因此在 4.2 節處理調整終端站折返時間之步驟。

表 4.1 列車行駛時間

起訖車站	行駛時間		起訖車站	行駛時間	
	上行	下行		上行	下行
永寧-土城	01:28	2:12	台北車站-善導寺	01:04	1:04
土城-海山	01:49	1:44	善導寺-忠孝新生	01:15	1:16
海山-亞東醫院	02:28	2:17	忠孝新生-忠孝復興	01:24	1:24
亞東醫院-府中	01:34	1:42	忠孝復興-忠孝敦化	01:03	1:03
府中-板橋	01:03	1:04	忠孝敦化-國父紀念館	01:07	1:07
板橋-新埔	01:41	1:42	國父紀念館-市政府	01:13	1:12
新埔-江子翠	01:14	1:14	市政府-永春	01:24	1:22
江子翠-龍山寺	03:10	3:10	永春-後山埤	01:14	1:12
龍山寺-西門	01:46	1:40	後山埤-昆陽	01:39	1:39
西門-台北車站	02:13	2:12	昆陽-南港	01:53	1:37

上下行的行駛時間會受坡度和列車啟動煞車等因素影響，在相同車站之間上下行方向行駛時間也會不同；停靠時間除了台北車站和忠孝復興站因為旅客量多，所以比其他時間多 15 秒。

表 4.2 列車停靠時間

車站	靠站時間		車站	靠站時間	
	上行	下行		上行	下行
土城	0:00:25	0:00:25	善導寺	0:00:25	0:00:25
海山	0:00:25	0:00:25	忠孝新生	0:00:25	0:00:25
亞東醫院	0:00:25	0:00:25	忠孝復興	0:00:40	0:00:40
府中	0:00:25	0:00:25	忠孝敦化	0:00:25	0:00:25
板橋	0:00:25	0:00:25	國父紀念館	0:00:25	0:00:25
新埔	0:00:25	0:00:25	市政府	0:00:25	0:00:25
江子翠	0:00:25	0:00:25	永春	0:00:25	0:00:25
龍山寺	0:00:25	0:00:25	後山埤	0:00:25	0:00:25
西門	0:00:25	0:00:25	昆陽	0:00:25	0:00:25
台北車站	0:00:40	0:00:40			

表 4.3 每一時段對應班距

時段	時段一	時段二	時段三	時段四	時段五
班距(分)	00:03:00	00:04:00	00:03:00	00:03:30	00:06:00
上行方向					
基準車站起始時間	05:00:00	09:30:00	17:30:00	19:30:00	23:00:00
基準車站結束時間	09:30:00	17:30:00	19:30:00	23:00:00	00:24:00
南港站起始時間	06:02:56	09:47:56	17:47:56	19:47:56	23:17:56
南港站結束時間	09:47:56	17:47:56	19:47:56	23:17:56	00:41:56
永寧起始時間	06:01:49	09:07:49	17:07:49	19:07:49	22:37:49
永寧結束時間	09:07:49	17:07:49	19:07:49	22:37:49	00:01:49
亞東醫院起始時間	06:02:24	09:14:24	17:14:24	19:14:24	22:44:24
亞東醫院結束時間	09:14:24	17:14:24	19:14:24	22:44:24	00:08:24
下行方向					
基準車站起始時間	05:00:22	09:30:22	17:30:22	19:30:22	23:00:22
基準車站結束時間	09:30:22	17:30:22	19:30:22	23:00:22	00:18:22
南港站起始時間	06:02:44	09:53:44	17:53:44	19:53:44	23:23:44
南港站結束時間	09:53:44	17:53:44	19:53:44	23:23:44	00:41:44
永寧起始時間	06:01:26	09:13:26	17:13:26	19:13:26	22:43:26
永寧結束時間	09:13:26	17:13:26	19:13:26	22:43:26	00:01:26
亞東醫院起始時間	06:00:44	09:18:44	17:18:44	19:18:44	22:48:44
亞東醫院結束時間	09:18:44	17:18:44	19:18:44	22:48:44	00:06:44

為了避免尖峰時段在車站和月台壅塞，因此若是上下行方向基準車站都是同一車站，在上下行理想班表的設置兩方向在基準車站設置時隔，避免月台過於擁擠，理想班表形式可以如下表示：

$$T_{i,j+1,y} = T_{ij,y} + \Delta T_{j,j+1} \quad i = 0,1 \quad , \quad j = 1,2,3\dots J \quad , y = 1,2,3\dots Y \quad (4.1)$$

$$T_{ij,y+1} = T_{ij,y} + h \quad i = 0,1 \quad , \quad j = 1,2,3\dots J \quad , y = 1,2,3\dots Y \quad (4.2)$$

其中

$T_{ij,y}$: y 車次在 i 方向到達 j 車站時間，單位:秒。

$\Delta T_{j,j+1}$: 從 j 車站到 $j+1$ 車站時間，包含站間行駛時間以及在 j 車站停留時間，單位:秒。

h : 所需班距，單位:秒。

i : 列車方向，上行方向 i 為 1，下行方向 i 為 0。

j : 車站，由南港站到永寧站共有 21 個站，從南港站為 1 開始編號，到永寧站為 21。

y : 車次。

式(4.1)計算出 y 車次到達各站的時間，如附表二和附表三，代表上下行兩方向基準車站一天的班表，以基準車站為中心向兩側終端站延伸計算得到從一端終端站的離開時間以及到達另一端終端站的時間。式(4.2)計算出根據需要班距，在同一車站各車次的到達時間。在捷運首班車是發車時間為已知條件下，可根據此等計算式所得之理想班表擷取首班車擺放位置以及發車時間，如表 4.4 是首班車發車車站以及時間，總共 28 班列車。



表 4.4 首班車發車車站及時間(以台北車站為基準車站)

首班車			
下行方向		上行方向	
擺放車站	發車時間	擺放車站	發車時間
南港	06:01:26	土城	06:00:17
昆陽	06:00:03	亞東醫院	06:02:24
永春	06:00:44	府中	06:01:23
國父紀念館	06:01:08	板橋	06:00:16
忠孝敦化	06:00:05	江子翠	06:00:36
忠孝新生	06:00:12	龍山寺	06:01:11
台北車站	06:00:22	西門	06:00:22
西門	06:00:14	台北車站	06:00:00
江子翠	06:02:54	忠孝新生	06:00:24
新埔	06:01:33	忠孝敦化	06:00:56
板橋	06:00:40	市政府	06:01:06
亞東醫院	06:01:16	永春	06:00:20
南港機廠發車時間	06:06:52	昆陽	06:00:38
		土城機廠發車時間	06:14:49
		土城機廠發車時間	06:20:49

用以上簡單的公式計算出理想班表，理想班表包含首班車的擺放位置和發車時間及列車在每個時段到達各車站的時間，如附表四和附表五所示，中間站可依照每個時段的班距推估時間。

理想班表只是依照規劃班距以基準車站為中心向三個終端站延伸，假設沒有處理列車於終端站的折返，台北捷運公司需要兩、三百輛列車去實行理想班表，實際上當理想班表當中部分列車行駛到終端站折返後可再利用，不需從機廠發車。

4.2 列車銜接

板南線是一個閉鎖區間，因此列車在固定時段時在各終端站的行駛時間也將會相同，延續 1.1 中計算列車數並決定折返時間公式，如下所示：

$$N_1 = \frac{T_1 + T_2 + \Delta T_1 + \Delta T_2}{h_1} \dots\dots\dots(4.3)$$

$$N_2 = \frac{T_3 + T_4 + \Delta T_3 + \Delta T_4}{h_2} \dots\dots\dots(4.4)$$

參數解釋：

N_1 南港站到亞東醫院站折返所需列車數(列)

- N_2 南港站到永寧站折返所需列車數(列)
 T_1 上行方向永寧站到南港站行駛時間和停留時間總和(秒)。
 T_2 下行方向南港站到永寧站行駛時間和停留時間總和(秒)。
 T_3 上行方向亞東醫院站到南港站行駛時間和停留時間總和(秒)。
 T_4 下行方向南港站到亞東醫院站行駛時間和停留時間總和(秒)。
 h_1 往返南港站和永寧站列車班距(秒)。
 h_2 往返南港站和亞東醫院站列車班距(秒)。
 t 雙人執勤最小折返時間，台北捷運現階段為 60 秒。

變數解釋:

- ΔT_1 列車行駛於南港站到亞東醫院站，南港站折返時間(秒)。
 ΔT_2 列車行駛於南港站到亞東醫院站，重疊區段亞東醫院袋形軌折返時間(秒)。
 ΔT_3 列車行駛於南港站到永寧站，南港站折返時間(秒)。
 ΔT_4 列車行駛於南港站到永寧站，永寧站折返時間(秒)。

限制式:

- $\Delta T_1 \geq t$ 雙人執勤時最小折返時間為 t 秒。
 $\Delta T_2 \geq t$ 雙人執勤時最小折返時間為 t 秒。
 $\Delta T_3 \geq t$ 雙人執勤時最小折返時間為 t 秒。
 $\Delta T_4 \geq t$ 雙人執勤時最小折返時間為 t 秒。

T_1 和 T_2 是往返於南港站及永寧站上行和下行方向之行駛時間與停留時間總和， T_3 和 T_4 則是往返於南港站和亞東醫院站上下行方向之時間總和，此外，在南港站到亞東醫院站往返列車還必須考慮列車進出袋形軌的時間，從亞東醫院站進入袋形軌的行駛時間是 65 秒，從袋形軌到亞東醫院站需 125 秒，總計南港站到永寧站列車在不考慮折返時間完成一趟任務至少需 4825 秒，南港站到亞東醫院站則需 4197 秒，整理如表 4.5 所示。

表 4.5 各終端站上下行方向行駛時間與停留時間

區間	南港-永寧		南港-亞東醫院	
	上行	下行	上行	下行
時間代號	T_1	T_2	T_3	T_4
行駛時間 與停留時間	2407 秒	2418 秒	2012 秒	1995 秒
袋形軌行駛時間			65 秒	125 秒
上下行總時間	4825 秒		4197 秒	

整理各終端站上下行方向行駛時間與停留時間並將整理之時間以(4.3)式及(4.4)式計算所需列車數及折返時間之和，列車數一定為整數，經過計算之後可得終端站折返時間之和，在非轉換時段，各終端站以固定之時間折返就不會產生衝突且班距呈現穩定不變動，在不同行駛區間及班距之下，使用列車數及折返時間整理如表 4.6，所需列車數以(4.3)式及(4.4)式計算，但並不會剛好為整數，因此真正使用的列車數會無條件進位之後計算，便可知兩個終端站可折返時間之和。

表 4.6 各終端站在不同班距下使用列車數及折返時間之和

行駛區間	南港-永寧		南港-亞東醫院	
班距	360 秒			
需要列車	13.40277778 輛		11.65833333 輛	
列車數	14 輛	15 輛	12 輛	13 輛
折返時間	215 秒	575 秒	123 秒	483 秒
班距	420 秒			
需要列車	11.48809524 輛		9.992857143 輛	
列車數	12 輛	13 輛	11 輛	12 輛
折返時間	215 秒	635 秒	423 秒	843 秒
班距	480 秒			
需要列車	10.05208333 輛		8.74375 輛	
列車數	11 輛		9 輛	10 輛
折返時間	455 秒		123 秒	603 秒
班距	720 秒			
需要列車	6.701388889		5.829166667	
列車數	7 輛	8 輛	6 輛	7 輛
折返時間	215 秒	935 秒	123 秒	843 秒

表 4.6 中雖有列出使用列車數，列車數可決定折返時間之和，但折返時間受終端站的月台佈設影響，如圖 4.7 為使用單月台列車進出終端站狀況，前後車時隔必須相差 120 秒以上，假設 A 車和 B 車班距原來是 h ，A 車停留在終端站的時間最長只能停留 $h-120$ 秒，若超過 $h-120$ 秒，在班距不變之下，A 車與 B 車的時隔就會小於 120 秒，會有衝突的可能性，此限制對所有終端站皆是，尤其是亞東醫院終端站是袋形軌型式折返，不管在任何狀況都是必須有此限制。

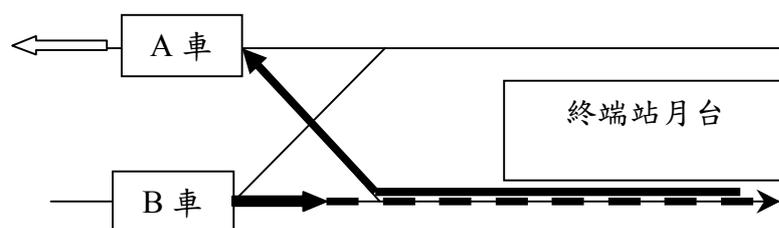


圖 4.1 終端站為單月台列車進出狀況

在終端站為雙月台的使用如圖 4.2，B 車先到達終端站停妥，A 車由終端站離開，兩車同時停靠在終端站月台的時隔須大於 30 秒，因此 A 車和 B 車班距若為 h ，A 車停靠時間必須大於 $h+30$ 秒才能離開， h 是 A 車和 B 車的班距，30 秒是等待 B 車到達終端站時與 A 車同時停靠在終端站至少 30 秒。使用雙月台折返時間 A 車停留時間上限是當 C 車到達終端站時，C 車必須停靠在 A 車所在位置，A 車與 C 車原本相差兩倍班距 ($2h$)，且若是 A 車和 C 車使用同一個月台，兩車時隔必須相差 120 秒以上，因此當使用雙月台時，A 車停靠時間下限為 $30+h$ 秒(與 B 車班距為 h ，須共同

停在終端站月台至少 30 秒)，上限為 $2h-120$ 秒(與 C 車班距為 $2h$ ，兩車時隔必須至少相差 120 秒。)

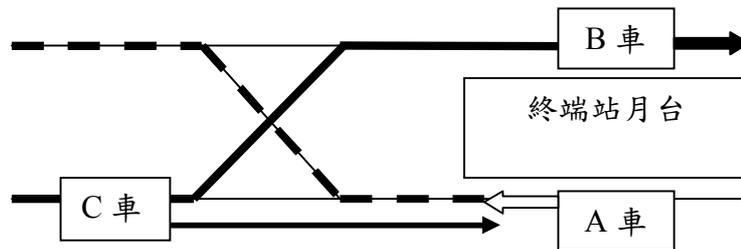


圖 4.2 終端站為雙月台列車進出狀況

依據以上單雙月台使用限制，可整理使用不同月台時，班距與折返時間之關係如表 4.7 所示， h 表示班距， t 則是各別終端站的折返時間，對應(4.3)式和(4.4)式中的 ΔT_1 、 ΔT_2 、 ΔT_3 和 ΔT_4 ，南港站和永寧站可使用單月台或雙月台，亞東醫院站因為是袋形軌，故只能使用單月台。

單月台在最多有兩位司機員值勤之下，在折返時兩端都有駕駛員或是另一位駕駛員替換之後將列車折返，如圖 4.3 所示，當行駛到終端站時， x 司機員自 A 駕駛室下車， y 司機員到 B 駕駛室之後列車才駛離終端站，此折返時間至少要 60 秒，若只有 x 司機員從 A 駕駛室走到 B 駕駛室則折返時間至少必須 180 秒：



圖 4.3 司機員折返示意圖

表 4.7 使用單雙月台時班距與折返時間關係

單月台條件	$h-120 \geq t \geq 60$
雙月台條件	$2h-120 \geq t \geq 30+h$

終端站除了前後車時隔的限制之外，尚有捷運司機人員執勤的最小折返時間，本研究不考慮人員的排班，但是捷運公司可以依照列車的折返時間決定執勤的人數，若列車折返時間在 60 秒以上以及 180 秒以下，就必須由雙人值勤；若列車於終端站折返時間大於 180 秒以上，可由單人值勤即可。

台北捷運目前使用班距有 6 分鐘、7 分鐘、8 分鐘與 12 分鐘，南港站班距是重疊區段，因此班距只有 $h/2$ ，各班距整理終端站的折返時間限制如表 4.8 所示，依照表 4.7 計算出各終端站折返時間之限制，亞東醫院站折返時間還必須計算進出袋形軌的時間，分別為 65 秒及 125 秒，亞東醫院站折返時間只能使用單月台，對於任何終端站雙人值勤最小折返時間是 60 秒，因此在班距 3 分鐘時，南港站必須使用雙月台折返。

表 4.8 各終端站折返時間與班距之關係

南港站班距	折返時間上限 (單月台)	折返時間下限 (單月台)	折返時間上限 (雙月台)	折返時間下限 (雙月台)
180 秒	60 秒	60 秒	240 秒	210 秒
210 秒	90 秒	60 秒	300 秒	240 秒
240 秒	120 秒	60 秒	360 秒	270 秒
360 秒	240 秒	60 秒	600 秒	390 秒
永寧站班距	折返時間上限 (單月台)	折返時間下限 (單月台)	折返時間上限 (雙月台)	折返時間下限 (雙月台)
360 秒	240 秒	60 秒	600 秒	390 秒
420 秒	300 秒	60 秒	720 秒	450 秒
480 秒	360 秒	60 秒	840 秒	510 秒
720 秒	600 秒	60 秒	1320 秒	750 秒
亞東醫院站班距	折返時間上限 (單月台)	折返時間下限 (單月台)		
360 秒	240 秒	60 秒		
420 秒	300 秒	60 秒		
480 秒	360 秒	60 秒		
720 秒	600 秒	60 秒		

表 4.9 則是當台北車站做為基準車站時，在不同班距之下安排之列車，在固定班距著情況之下，分配列車在終端站的停靠時間，不過在南港站，當班距為 3 分鐘時，設定折返時間是 270 秒，計算在班距 3 分鐘時南港站若是使用單月台，折返時間是 60 秒，使用雙月台是 210~240 秒，不使用 240 秒是因為從南港站到基準車站台北車站是 1016 秒，從基準車站台北車站到南港站時間是 1076 秒，相差 60 秒，在班距只有 3 分鐘的情況之下必須使用雙月台，使用雙月台折返時間最小為 210 秒，還要在加上上下行理想班表，就算基準車站上下行所有時段之班距皆相同，仍然會在南港站相差 60 秒，因此折返時間將此 60 秒加入，讓下行列車在預期時間之內到達基準車站，故折返時間設定為 270 秒，折返時間依舊是 240 秒，但會提前 30 秒到下行昆陽站停靠。

在班距為 6 分鐘時，永寧站計算折返時間為 575 秒減去 270 秒，但式不符合在永寧站單雙月台折返時間限制，因此設定折返時間為 240 秒，提早 65 秒到土城站停靠，同理，在班距為 7 分鐘時使用單月台為 60~300 秒，使用雙月台為 450~720 秒，因此讓列車提早 95 秒到土城站停靠。

表 4.9 當台北車站做為基準車站設定班距、使用列車數及折返時間

區間	班距	使用列車數	折返時間	終端站	折返時間	備註
南港-永寧	360 秒	15 輛	575 秒	南港	270 秒	南港真正折返時間為 240 秒，提早 30 秒到下行昆陽站停靠。 永寧站真正折返時間為 240 秒，提早 65 秒到土城站停靠。
				永寧	305 秒	
南港-亞東醫院		13 輛	483 秒	南港	270 秒	
				亞東醫院	213 秒	
南港-永寧	420 秒	13 輛	635 秒	南港	240 秒	永寧站真正折返時間為 300 秒，提早 95 秒到土城站停靠。
				永寧	395 秒	
南港-亞東醫院		11 輛	423 秒	南港	240 秒	
				亞東醫院	183 秒	
南港-永寧	480 秒	11 輛	455 秒	南港	330 秒	
				永寧	125 秒	
南港-亞東醫院		10 輛	603 秒	南港	330 秒	
				亞東醫院	273 秒	
南港-永寧	720 秒	8 輛	935 秒	南港	440 秒	
				永寧	495 秒	
南港-亞東醫院		7 輛	843 秒	南港	440 秒	
				亞東醫院	403 秒	

4.3 從機廠收車

在固定班距之下在終端站的折返時間如本研究表 4.9 所示，設定適當折返時間之後，列車在此閉鎖區間之內不斷行駛，本節將說明並舉例當線上列車從尖峰時段轉為離峰時段時收車的處理方式。

表 4.10 中為轉換時段列車到達和離開終端站的項目，列車到達終端站的時間 T 及班距 h_1 ，折返時間在班距 h_1 時為 Δt ，在離開終端站時轉為離峰班距 h_2 ，故 h_2 會大於 h_1 ，折返時間改變為 $\Delta t'$ ，在終端站的離開時間應該比 Δt 增加 $h_2 - h_1$ 才能讓列車離開終端站班距成為 h_2 ，所以折返時間 $\Delta t'$ 應該為 $\Delta t + (h_2 - h_1)$ ，但是進入終端站的列車班距還是 h_1 ，故列車的折返時間應該還是如表 4.11 在班距 h_1 之下使用單雙月台折返時間的限制，因此若是列車在終端站停靠時間增加可能會讓後方列車無法進入。

但是若是只有依照表 4.11 在班距 h_1 之下使用單雙月台折返時間限制會產生收發車次數過多，如表 4.13 為了要滿足 4.11 中限制將列車收回土城機廠，同時為了滿足上行方向的班距卻又從土城機廠不斷加車，此現象不符合現實狀況；因此，本研究將表 4.11 中限制放寬，讓列車停靠時間可超出表 4.11 限制，但此超出限制範圍不可大於 $h_2 - 120$ 秒，此限制是讓列車可以提早到下一站停靠，但是必須與下一站列車相距時隔至少 120 秒(捷運列車最小安全時隔)，因此折返時間改變成表 4.12，單雙月台

上限可增加 h_2-120 ，若是折返時間大於表 4.11 折返時間上限，就讓列車提早到下一站停靠，結果如表 4.14 在轉換時段時只有收回 09:13:41、09:25:41、09:37:41 及 09:50:41 此四班列車，而且在下行方向從班距 3 分鐘轉為 4 分鐘，不用再從土城機廠發車。

表 4.10 轉換時段列車到達和離開終端站

列車到達終端站時間	列車到達終端站班距	折返時間	列車離開終端站時間	列車離開終端站班距
T	h_1	Δt	$T+\Delta t$	h_2
$T+h_1$	h_1	$\Delta t'$	$T+\Delta t+h_2$	h_2

表 4.11 使用單雙月台折返時間限制

單月台條件	$h_1 - 120 \geq \Delta t \geq 60$
雙月台條件	$2h_1 - 120 \geq \Delta t \geq 30 + h_1$

表 4.12 增加轉換時段折返時間後使用單雙月台折返時間限制

單月台條件	$h_1 - 120 + (h_2 - 120) \geq \Delta t \geq 60$
雙月台條件	$2h_1 - 120 + (h_2 - 120) \geq \Delta t \geq 30 + h_1$

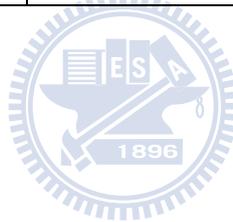


表 4.13 台北車站做為基準車站土城機廠的收車車狀況

下行方向						土城機廠 收車	折返 時間	使用 月台數	上行方向					
到達台北車站 時間	到達台北車 站班距	亞東醫院	永寧	到達袋形 軌班距	到達永寧站 班距				永寧	離開永寧 站班距	離開袋形 軌時間	亞東醫院	到達台北車站 時間	台北車站 班距
08:42:22		08:58:41	09:05:44				365	1	09:11:49			09:18:24	09:24:00	
08:45:22	00:03:00	09:01:41					213	1				09:08:24	09:30:00	00:06:00
08:48:22	00:03:00	09:04:41	09:11:44		00:06:00		245	1	09:15:49	00:04:00		09:22:24	09:34:00	00:04:00
08:51:22	00:03:00	09:07:41		00:06:00			213	1			00:06:00	09:14:24	09:38:00	00:04:00
08:54:22	00:03:00	09:10:41	09:17:44		00:06:00		125	1	09:19:49	00:04:00		09:26:24	09:42:00	00:04:00
08:57:22	00:03:00	09:13:41		00:06:00		09:13:41								
09:00:22	00:03:00	09:16:41	09:23:44		00:06:00		245	1	09:27:49	00:08:00		09:34:24	09:46:00	00:04:00
09:03:22	00:03:00	09:19:41		00:06:00			453	1			00:16:00	09:30:24	09:50:00	00:04:00
09:06:22	00:03:00	09:22:41	09:29:44		00:06:00		125	1	09:31:49	00:04:00		09:38:24	09:54:00	00:04:00
09:09:22	00:03:00	09:25:41		00:06:00		09:25:41								
09:12:22	00:03:00	09:28:41	09:35:44		00:06:00		245	1	09:39:49	00:08:00		09:46:24	09:58:00	00:04:00
09:15:22	00:03:00	09:31:41		00:06:00			453	1			00:12:00	09:42:24	10:02:00	00:04:00
09:18:22	00:03:00	09:34:41	09:41:44		00:06:00		125	1	09:43:49	00:04:00		09:50:24	10:06:00	00:04:00
09:21:22	00:03:00	09:37:41		00:06:00		09:37:41								
09:24:22	00:03:00	09:40:41	09:47:44		00:06:00		245	1	09:51:49	00:08:00		09:58:24	10:10:00	00:04:00
09:27:22	00:03:00	09:43:41		00:06:00			453	1			00:12:00	09:54:24	10:14:00	00:04:00
09:30:22	00:03:00	09:46:41	09:53:44		00:06:00		125	1	09:55:49	00:04:00		10:02:24	10:18:00	00:04:00
09:34:22	00:04:00	09:50:41		00:07:00		09:50:41								
09:38:22	00:04:00	09:54:41	10:01:44		00:08:00		125	1	10:03:49	00:08:00		10:10:24	10:26:00	00:08:00

4.4 從機廠加車

捷運班表的製作不管是各個時段的班距、終端站折返時間上下限、收發車到列車編號都是環環相扣，為了確保行車安全又必須考慮到列車服務品質，所以限制重重，尤其是發車時更是需要考慮更多影響因素，套用第三章所描述的發車衝突時間窗，讓整個班表能在安全不產生衝突的狀況之下發車。

圖 4.4 是整個板南線須要收發車的狀況，收車的狀況已在 4.3 節說明，發車則必須配合第三章中所提到的發車時間窗，其中又以土城機廠發車的時間窗最為複雜，須面對三個衝突點的考慮，本節將會針對南港機廠發車和土城機廠發車分別說明。

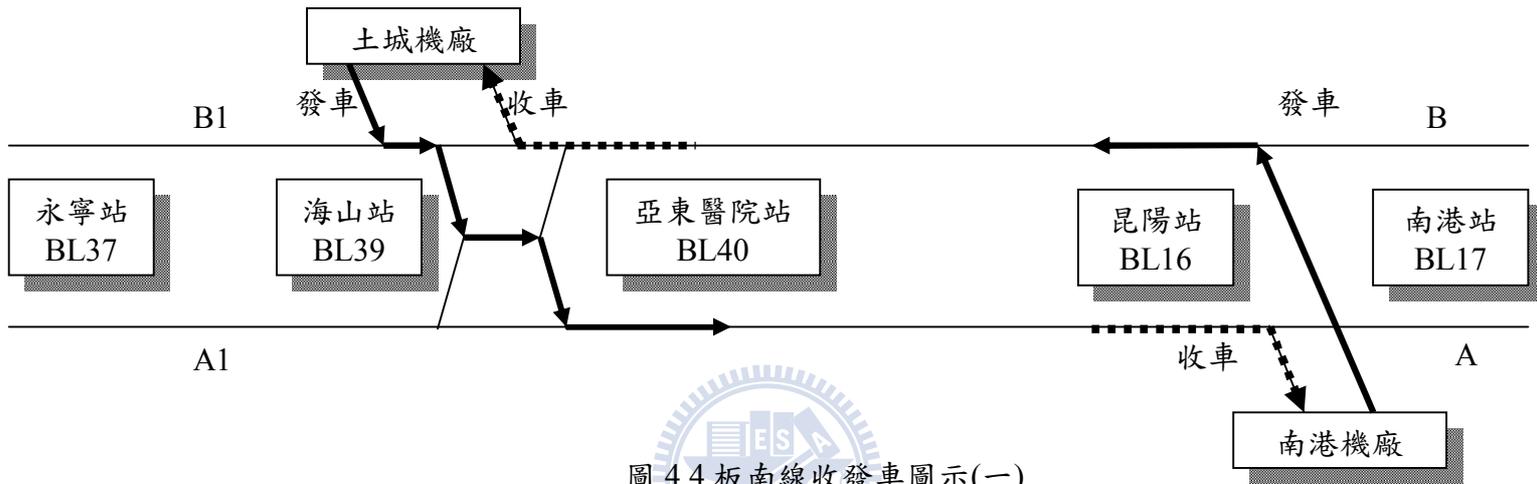


圖 4.4 板南線收發車圖示(一)

為了承接 4.1 節到 4.3 節的結果，先以圖 45 說明從列車折返、收車和發車之間環環相扣的關係，A 到 B 是在南港站折返的列車，而 B1 到 A1 是在亞東醫院站和永寧站折返的列車，中間代表機廠，A 和 B 在南港站處理收發車，而 B1 和 A1 在土城機廠處理收發車。

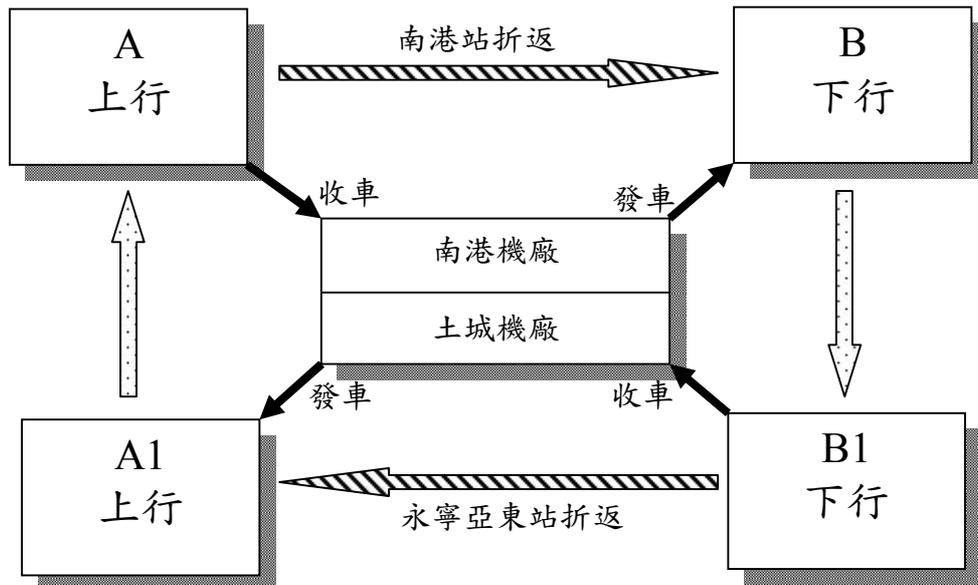


圖 4.5 板南線收發車圖示(二)

在 4.3 節已處理收車，本節從南港機廠發車開始處理；南港機廠依照第三章衝突時間窗的說明總共有兩個衝突點，如圖 4.6 所示，上行方向有 B 車和 A 車，下行方向則有 C 車和 D 車，為方便說明發車邏輯，因此將所有列車都標明離開時間與到達時間，整理如表 4.15，此外在求解時若有列車在南港機廠收回的列車因為不會和發車路線產生衝突，所以就不多加考慮。

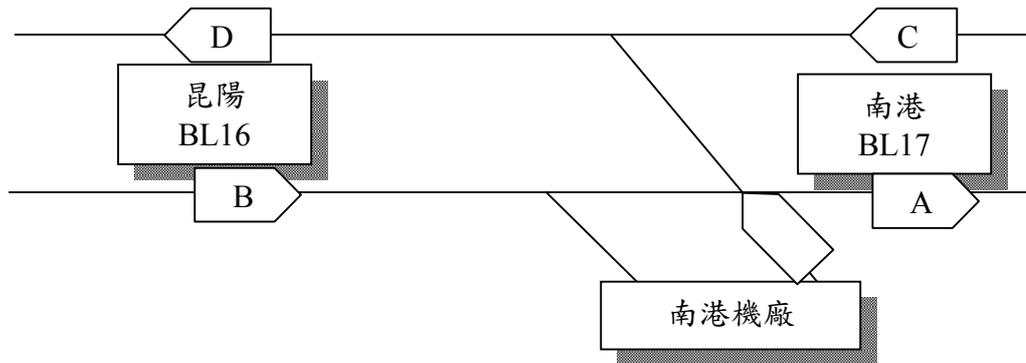


圖 4.6 南港機廠發車示意圖

表 4.15 南港機廠可能產生衝突所需參數與變數

參數和變數代號	意義	用途
A_a	上行方向 A 列車到達南港站時間	避免機廠發車與 A 車產生衝突，所以會限制 A 車到達南港站之後再從機廠發車，所以需要 A 車到達南港站的時間。
B_d	上行方向 B 列車離開昆陽站時間	避免發車時與昆陽站的 B 車產生衝突，所以限制 B 車需要在機廠發車後才可離開。
D_a	下行方向 D 列車到達昆陽站時間	避免與原本停靠在昆陽站的 D 車產生衝突，所以限制發車到昆陽站時必須與 D 車時隔至少 2 分鐘。
D_d	下行方向 D 列車離開昆陽站時間	為了保持固定班距，所以限制 D 車的離開時間不可變動。
t	發車離開南港機廠時間	從機廠離開的時間點，可以提早離開到昆陽站等候，但是不可以延遲。
$T_{1,2,y}$	新加入列車到達昆陽站時間	因為可能會提早發車，所以將新加入列車到昆陽站的時間改為可變動。
$T_{1,2,y}$	新加入列車離開昆陽站時間	新加入列車的離開時間不可變動，一旦變動此離開時間就會影響到 C 車。
97	南港機廠到昆陽站需要時間	依照捷運公司所測試從南港機廠到正線上最小需要 97 秒。
25	昆陽站最小停留時間	昆陽站停留時間必須是最小 25

		秒，若提早從機廠加車，停留時間就會比 25 秒還長，不過最小停留時間設定為 25 秒。
h	此時段的班距	需要此時段的班距，因為如果要提早發車就必須與 D 車時隔至少 2 分鐘，不同班距可提早的時間也會相異，例如班距三分鐘，新加入列車可提早時間最多就只能 360 秒(三分鐘)-120 秒(兩分鐘)=60 秒，超過這段時間就可能與 D 車產生衝突。在希望班表有彈性的狀況且避免衝突，所以讓南港機廠列車可提早出發的時間隨班距變動。

以上限制可寫成下列數學式:

$$T_{1,2,y} - 97 - (h_k - 120) \leq t \leq T_{1,2,y} - 97 - 25 \dots\dots\dots(4.10)$$

$$A_a \leq t \leq B_d \dots\dots\dots(4.11)$$

式(4.10)為從南港機廠發車的時間，從機廠到昆陽站至少要 97 秒，到昆陽站的停靠時間是 25 秒；為了將限制列車提早從機廠發車的時間， $h - 120$ 就是代表必須與前車最小時隔為 2 分鐘，因此用班距減去 120 秒，表示列車提早抵達昆陽站最早的時間；(4.11)是避免與 B 車的衝突，讓列車比 B 車提早發出及等 A 車到達南港站之後再發車。

沒有使用到 C 車的離開時間是因已經限制不管是新加入的列車或是原本在正線上的列車都必須遵守準時離開車站，此方法可讓班距固定，到此階段南港終端站折返列車所有列車銜接和收發車都已處理完畢，表 4.17 為南港機廠發車範例，下行方向必須在台北車站 17:30:22 以後由 4 分鐘班距轉換為 3 分鐘班距，先將在南港站折返時間從 330 秒縮短為 270 秒，在 17:18:52 從南港機廠開始發車到正線上，到達台北車站 17:36:22，讓台北車站班距能順利轉為 3 分鐘，依此類推，以改變折返時間以及發車讓上行方向維持 4 分鐘班距，折返之後在下行方向轉為 3 分鐘班距。

如圖 4.7 所示，在土城機廠加車須要面對的衝突時間窗比南港廠更為複雜，為了方便說明將所有可能產生衝突的列車到達時間、離開時間還有各個參數的意義和用途以表 4.16 詳細說明，與南港機廠發車相同，若是有列車收回土城機廠因為不可能產生衝突，所以就不多加考慮。

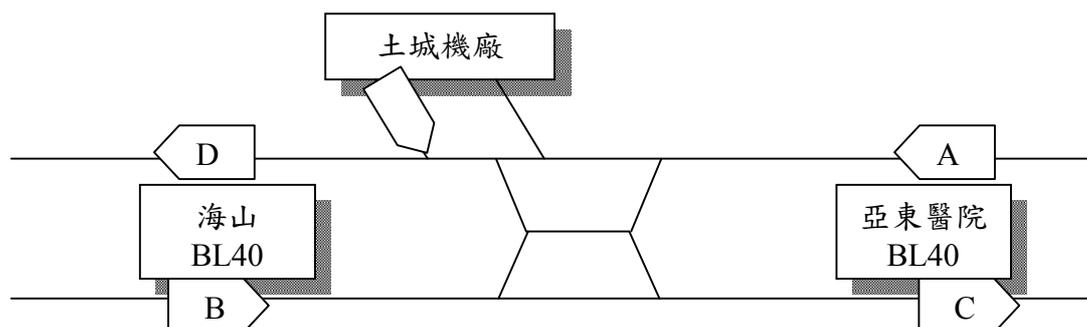


圖 4.7 土城機廠加車路線圖

表 4.16 土城機廠可能產生衝突所需參數與變數

參數和變數代號	意義	用途
B_d	B 車離開海山站時間	避免新加入列車與上行方向海山站的 B 車產生衝突，因此等到新加入列車到達亞東醫院時才讓 B 車從海山站離開。
A_d	A 車離開亞東醫院站時間	避免 A 車在袋形軌與新加入列車產生衝突，因此讓 A 車等到土城機廠發車到亞東醫院站後才可離開。
C_a	C 車到達亞東醫院站時間	土城機廠可以提早發車，故 C 車在土城機廠發車時就必須到達亞東醫院站，確保新加入列車在到達亞東醫院站時 C 車就已離開亞東醫院站。
C_d	C 車離開亞東醫院站時間	C 車離開時間不能更改，必須比新加入列車還要早離開，而新加入列車可提早發車的時間也必須依照班距而定。
t	新加入列車從土城機廠發車時間	若達到理想班表需要從土城機廠發車之時間點，若需要提早發車也必須計算需要提早的時間。
95	從土城機廠到達亞東醫院站(上行方向)最小時間	捷運公司檢測從土城機廠發車到亞東醫院站至少需要 95 秒
25	停靠在亞東醫院最小時間	設定停靠在亞東醫院站最小時間是 25 秒
h	上行方向此時段班距	若提早發車必須先檢測當時的班距，必須與 C 車保持至少 120 秒，故原本的班距會比 120 秒還要大，用班距減去 120 秒最小時隔就是土城機廠可提早的餘裕時間。
$T_{0,18,y}$	新加入列車到達亞東醫院站時間	計算新加入列車到達亞東醫院站的時間，因為可能會因為衝突產生而提早到達亞東醫院站，所以會影響

		新加入列車在亞東醫院站的停留時間。
$T_{0,18,y}$	新加入列車離開亞東醫院站時間	新加入列車離開亞東醫院站的時間不能更改，必須與理想班表相同，一旦改變就必須依賴其他站的停靠時間來更正，如果延滯就會影響到上行方向非重疊區段的列車。

以上限制可寫成下列數學式：

$$T_{0,18,y} - 95 - 25 - (h - 120) \leq t \leq T_{0,18,y} - 95 \dots \dots \dots (4.12)$$

$$A_d \geq t + 97 \geq D_a \dots \dots \dots (4.13)$$

$$t + 97 \leq B_d \dots \dots \dots (4.14)$$

$$T_{0,18,y} - C_d \geq 120 \dots \dots \dots (4.15)$$

限制式(4.12)是代表土城機廠發車時間，到達亞東醫院站至少需要 95 秒，停留時間至少需要 25 秒，可提早時間不可超過班距(h)減去 120 秒，避免與 C 車相撞；限制式(4.13)是表示土城機廠必須等待 D 車到達海山站，才可從機廠出發及限制，A 車必須等待機廠發車到正線上後方可進入袋形軌或是到海山站；(4.14)是限制 B 車須等待土城機廠發車後才從海山站出發；限制式(4.15)則是與 C 車必須時隔 120 秒，土城機廠發車範例如表 4.17，藉由改變折返時間以及收發車，讓上行方向在台北車站時間 17:30:00 開始由 4 分鐘班距轉換為 3 分鐘班距。

表 4.17 南港機廠發車

列車到達南港站時間	到達班距	折返時間	使用月台	列車離開南港站時間	南港機廠發車時間	到達台北車站時間	到達台北車站班距
17:03:56		330	2	17:09:26		17:26:22	
17:07:56	00:04:00	330	2	17:13:26		17:30:22	00:04:00
17:11:56	00:04:00	270	2	17:16:26		17:33:22	00:03:00
					17:18:52	17:36:22	00:03:00
17:15:56	00:04:00	360	2	17:21:56		17:39:22	00:03:00
17:19:56	00:04:00	330	2	17:25:26		17:42:22	00:03:00
17:23:56	00:04:00	270	2	17:28:26		17:45:22	00:03:00
					17:30:52	17:48:22	00:03:00
17:27:56	00:04:00	360	2	17:33:56		17:51:22	00:03:00
17:31:56	00:04:00	330	2	17:37:26		17:54:22	00:03:00
17:35:56	00:04:00	270	2	17:40:26		17:57:22	00:03:00
					17:42:52	18:00:22	00:03:00
17:39:56	00:04:00	360	2	17:45:56		18:03:22	00:03:00
17:43:56	00:04:00	330	2	17:49:26		18:06:22	00:03:00
17:47:56	00:04:00	270	2	17:52:26		18:09:22	00:03:00

表 4.18 土城機廠發車

亞東醫院	亞東醫院班距	永寧	折返時間	使用月台數	土城機廠發車時間	永寧	亞東醫院	台北車站	台北車站班距
16:58:16		17:05:44	125	1		17:07:49	17:14:24	17:30:00	00:04:00
17:02:16	00:04:00		273	1			17:10:24	17:26:00	
17:06:16	00:04:00	17:13:44	185	1		17:16:49	17:23:24	17:39:00	00:03:00
17:10:16	00:04:00		213	1			17:17:24	17:33:00	00:03:00
					17:17:49		17:19:24	17:36:00	00:03:00
17:14:16	00:04:00	17:21:44	65	1		17:22:49	17:29:24	17:45:00	00:03:00
17:18:16	00:04:00		273	1			17:26:24	17:42:00	00:03:00
					17:32:49		17:34:24	17:51:00	00:03:00
17:22:16	00:04:00	17:29:44	125	1		17:31:49	17:38:24	17:54:00	00:03:00
17:26:16	00:04:00		153	1			17:32:24	17:48:00	00:03:00
17:30:16	00:04:00	17:37:44	185	1		17:40:49	17:47:24	18:03:00	00:03:00
17:34:16	00:04:00		213	1			17:41:24	17:57:00	00:03:00
					17:41:49		17:43:24	18:00:00	00:03:00
17:38:16	00:04:00	17:45:44	65	1		17:46:49	17:53:24	18:09:00	00:03:00
17:42:16	00:04:00		273	1			17:50:24	18:06:00	00:03:00
17:46:16	00:04:00	17:53:44	125	1		17:55:49	18:02:24	18:18:00	00:06:00
17:49:16	00:03:00		213	1			17:56:24	18:12:00	00:03:00

第五章 結果與分析

5.1 程式演算步驟

本研究使用 C++ 語言建構，編譯器使用 DEV-C++4.9.9.2，作業環境為 Windows XP Professional。根據第三章以及第四章邏輯與限制建構程式製作班表，為了讓使用者能更有彈性應用班表，所以在製作過程當中讓使用者可以選擇需要模式以及自行輸入部分項目。

整個程式細部流程如圖 5.3，使用者先輸入資料做為程式開始的基礎，在圖 5.3 中依照第四章和第三章中的邏輯撰寫程式，整理如下：

➤ Step1. 使用者輸入資料

使用者輸入資料，包含上下行基準車站以及時段對應班表，如表 5.1 為上行方向各時段時段起始時間、時段結束時間以及班距，表 5.2 為下行方向之資料，輸入之後進入程式介面。

板南線總共有 21 個車站，從永寧站到南港站，括號內為車站代號，因為理想班表將會根據基準車站時間產生，基準車站設置位置也就會影響班表中列車預定從終端站出發或到達的時間，同時也會影響到列車在終端站的折返時間調整以及機廠收發車，故在選擇基準車站時可以選擇重疊區段中的車站，可讓上下行的班表轉換班距時間不會差異過大而造成收發車過多。

➤ Step2. 產生基準車站一天班表

在 Step1 中根據使用者輸入基準車站，產生基準車站一天班表，將起始時間 T_{ij} 加上班距 h ，在不同時段加上此時段之班距，直到末班車時間，如附表二上行方向基準車站理想班表及附表三下行方向基準車站理想班表。

➤ Step3. 由基準車站向終端站延伸產生所有車站一天班表

由基準車站的時間 T_{ij} 加上行駛時間與停留時間 ($\Delta T_{j,j+1}$) 後可以得到列車從一端終端站出發時間以及到達另一端終端站時間 ($T_{i,j+1,y}$)，製作出班表如附表四上行方向理想班表和附表五下行方向理想班表。

➤ Step4. 依照班距計算列車數

依照班距計算需要列車數 (N_1 及 N_2)，為了讓每一個站的班距皆固定，所以讓列車在站間的行駛時間與車站內的停留時間都相同 (T_1 、 T_2 、 T_3 、 T_4)，由班距、行駛時間與停留時間就可算出所需列車數，在四捨五入之後得到整數值，再由列車數推估終端站停留時間總和 ($\Delta T_1 + \Delta T_2$ 和 $\Delta T_3 + \Delta T_4$)。

➤ Step5. 設定折返時間

得到兩端終端站停留時間總和並依照個終端站在不同班距時，使用單雙月台折返時間有上下限值(如表 4.8 所示)，依此上下限值設定兩終端站的折返時間，分別為 $\Delta T_1, \Delta T_2, \Delta T_3, \Delta T_4$ ，在設定時為了使南港站班距固定，最好讓兩區間在南港站的折返時間是相同的，這也是本研究中選擇南港站作為製作班表之範例原因，藉由控制南港站折返時間，讓重疊區段車站班距都能固定。

➤ Step6. 固定時段與轉換時段

在固定時段表示在此一時段之內，上下行方向列車的班距皆相同，到達終端站時間和離開終端站列車的班距皆相同，只要設定 Step 4.和 Step 5.後列車就在此區間內不斷運行，如圖 5.1 所示，不用從機廠收發車，也不會有任何衝突。

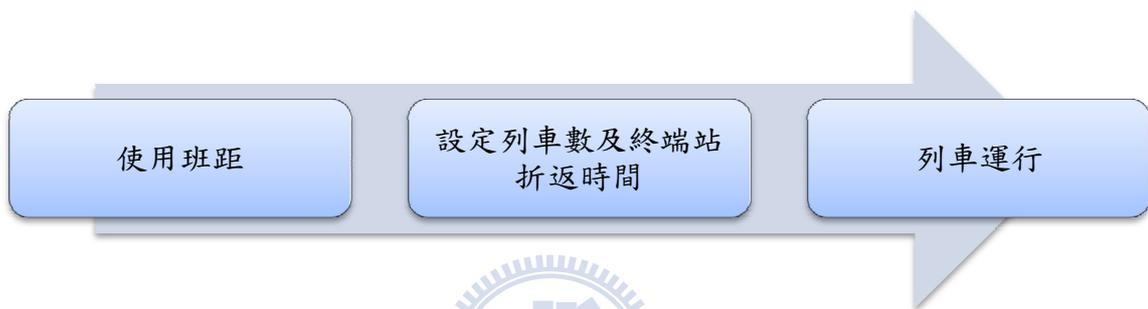


圖 5.1 固定時段列車運行處理

必須注意的惟有在轉換時段，列車到達終端站的班距與列車離開終端站班距不相同，故折返時間就可能縮短或是增長，但此折返時間必須在前一段班距折返限制之內，本研究讓折返時間可增加至折返後班距減去 120 秒，如第四章所述，圖 5.12 是轉換時段時處理步驟，轉換班距後開始改變終端站折返時間，有多餘列車或不足列車就必須從兩端機廠發車。

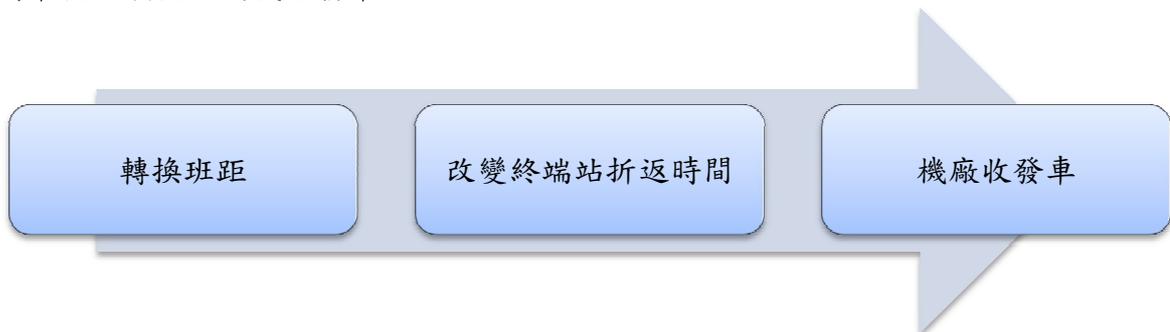


圖 5.2 固定時段列車運行處理

為了詳細說明處理步驟，表 5.3 本研究製作班表部分程式，以程式來說明處理步驟以及限制，A 是列車進入終端站班距，B 則是離開終端站班距，choose 是代表固定時段或是轉換時段，choose 若值為 0 則代表固定時段，進出終端站的班距皆相同，反之，若值為 1 則代表轉換時段；n 是使用月台數；在固定時段時 count 代表設定之折返時間，在轉換時段時分別設定四個值，分別為 count1、count2、count3 及 count4，count1 是使用單月台折返時間之下限，count2 是使用單月台折返時間上

限，count3 則是使用雙月台折返時間之下限，count4 是使用雙月台折返時間上限。

表 5.3 處理固定時段與轉換時段折返時間上下限部分程式

程式碼	代表意義
if(A==180&&B==180) {choose=0;count=270;n=2;}	在固定時段列車進出單雙月台班距皆為 180 秒時，折返時間設定為 270 秒，使用雙月台(n=2)
else if(A==210&&B==210) {choose=0;count=240;n=2;}	在固定時段列車進出單雙月台班距皆為 210 秒時，折返時間設定為 240 秒，使用雙月台(n=2)
else if(A==240&&B==240) {choose=0;count=330;n=2;}	在固定時段列車進出單雙月台班距皆為 240 秒時，折返時間設定為 330 秒，使用雙月台(n=2)
else if(A==360&&B==360) {choose=0;count=440;n=2;}	在固定時段列車進出單雙月台班距皆為 360 秒時，折返時間設定為 440 秒，使用雙月台(n=2)
else if(A!=B) {choose=1; count1=60; count2=A-(120-(B-120)); count3=30+A; count4=2*A-(120-(B-120));}	在轉換時段列車進出，列車進入終端站班距為 A 秒，離開終端站折返班距改為 B 秒，若使用單月台折返時間下限為 60 秒；折返時間上限為 A-120(再加上可提早到下一站停靠時間最長時間為 B-120 秒)；若使用雙月台折返時間下限為 30+A 秒，折返時間上限為 2*A-120 秒(再加上可提早到下一站停靠最長時間為 B-120 秒)。

➤ Step7.完整班表

將列車在終端站銜接、使用月台數以及機廠收發車彙整後可得到最後完整班表，此班表當中包含亞東醫院站列車折返、永寧站列車折返、南港站列車折返、土城機廠收發車及南港機廠收發車。



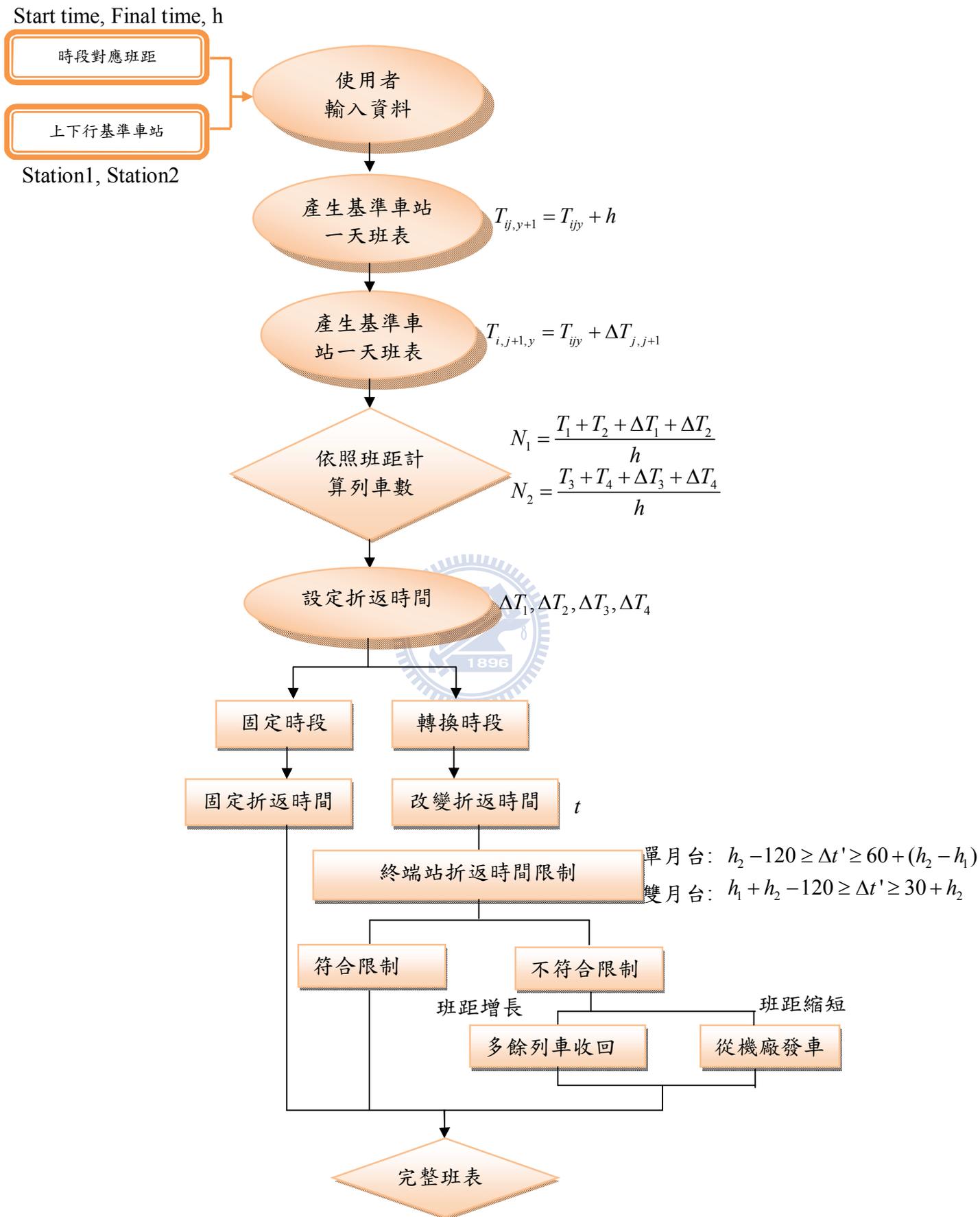


圖 5.3 程式過程

表 5.1 上行方向各時段基本輸入值

時段	時段一	時段二	時段三	時段四	時段五
班距(分)	00:03:00	00:04:00	00:03:00	00:03:30	00:06:00
基準車站起始時間	05:00:00	09:30:00	17:30:00	19:30:00	23:00:00
基準車站結束時間	09:30:00	17:30:00	19:30:00	23:00:00	00:24:00
南港站起始時間	06:02:56	09:47:56	17:47:56	19:47:56	23:17:56
南港站結束時間	09:47:56	17:47:56	19:47:56	23:17:56	00:41:56
永寧起始時間	06:01:49	09:07:49	17:07:49	19:07:49	22:37:49
永寧結束時間	09:07:49	17:07:49	19:07:49	22:37:49	00:01:49
亞東醫院起始時間	06:02:24	09:14:24	17:14:24	19:14:24	22:44:24
亞東醫院結束時間	09:14:24	17:14:24	19:14:24	22:44:24	00:08:24

表 5.2 下行方向各時段基本輸入值

時段	時段一	時段二	時段三	時段四	時段五
班距(分)	00:03:00	00:04:00	00:03:00	00:03:30	00:06:00
基準車站起始時間	05:00:22	09:30:22	17:30:22	19:30:22	23:00:22
基準車站結束時間	09:30:22	17:30:22	19:30:22	23:00:22	00:18:22
南港站起始時間	06:02:44	09:53:44	17:53:44	19:53:44	23:23:44
南港站結束時間	09:53:44	17:53:44	19:53:44	23:23:44	00:41:44
永寧起始時間	06:01:26	09:13:26	17:13:26	19:13:26	22:43:26
永寧結束時間	09:13:26	17:13:26	19:13:26	22:43:26	00:01:26
亞東醫院起始時間	06:00:44	09:18:44	17:18:44	19:18:44	22:48:44
亞東醫院結束時間	09:18:44	17:18:44	19:18:44	22:48:44	00:06:44

請輸入「上行」方向班距轉換基準車站(請輸入1、2、3、4...):
選項:

1. 永寧(BL37)
2. 土城(BL38)
3. 海山(BL39)
4. 亞東醫院(BL40)
5. 府中(BL01)
6. 板橋(BL02)
7. 新埔(BL03)
8. 江子翠(BL04)
9. 龍山寺(BL05)
10. 西門(BL06)
11. 台北車站(BL07)
12. 善導寺(BL08)
13. 忠孝新生(BL09)
14. 忠孝復興(BL10)
15. 忠孝敦化(BL11)
16. 國父紀念館(BL12)
17. 市政府(BL13)
18. 永春(BL14)
19. 後山埤(BL15)
20. 昆陽(BL16)
21. 南港(BL17)

請輸入「上行」基準車站代碼:11

確認是否輸入:

1. 確認輸入
2. 重新輸入
3. 離開程式

請輸入是否確認:1

請輸入「下行」方向班距轉換基準車站(請輸入1、2、3、4...):
選項:

1. 南港(BL17)
2. 昆陽(BL16)
3. 後山埤(BL15)
4. 永春(BL14)
5. 市政府(BL13)
6. 國父紀念館(BL12)
7. 忠孝敦化(BL11)
8. 忠孝復興(BL10)
9. 忠孝新生(BL09)
10. 善導寺(BL08)
11. 台北車站(BL07)
12. 西門(BL06)
13. 龍山寺(BL05)
14. 江子翠(BL04)
15. 新埔(BL03)
16. 板橋(BL02)
17. 府中(BL01)
18. 亞東醫院(BL40)
19. 海山(BL39)
20. 土城(BL38)
21. 永寧(BL37)

請輸入「下行」基準車站代碼:12

確認是否輸入:

1. 確認輸入
2. 重新輸入
3. 離開程式

圖 5.4 程式介面輸入上下行基準車站

5.2 實例結果分析

本節將與台北捷運公司製作班表在南港站、亞東醫院站與永寧站班距比較，選擇測試基準車站設定在台北車站時在各終端站每個時段對應之班距，選擇台北車站做為測試基準車站是因台北車站位於兩端終端站的中間站，可以讓兩端終端站在相近的時間轉換班距，並調整列車在終端站的折返時間。

首先先將分析台北捷運現行班表的狀況，並在之後將本研究在各終端站各時段對應班距與台北捷運現行班表比較。如表 5.3 分別是台北捷運現行班表兩端機廠收發車時間，不包含首班車，總共收發車次數是 78 次，表 5.4 則是本研究將基準車站設置在台北車站及台北捷運現行班表兩端機廠收發車數比較。

表 5.3 台北捷運現行班表兩端機廠收發車狀況

南港機廠發車時間	南港機廠收車時間	土城機廠發車時間	土城機廠收車
06:00:30	20:14:50	05:32:49	09:12:48
06:04:46	20:35:45	05:42:32	09:18:07
06:08:30	23:10:53	05:47:38	09:30:48
06:17:30	23:17:48	05:53:06	09:42:48
06:25:30	23:28:18	05:56:06	09:48:48
06:35:57	23:36:07	06:00:30	10:06:48
06:41:57	00:34:18	06:07:00	10:24:59
06:47:57	00:40:19	06:15:21	18:40:17
07:00:57	00:43:48	06:23:21	18:50:17
07:12:57	00:46:48	06:30:21	19:47:47
16:59:27	00:57:48	06:37:31	20:23:47
17:11:27	01:00:48	06:44:01	20:47:59
17:23:27		07:02:01	23:14:37
17:35:27		07:14:01	23:21:37
18:01:27		07:32:46	23:28:37
18:16:27		07:41:46	23:35:37
		07:50:46	00:04:45
		07:59:46	00:28:45
		08:08:46	00:29:27
		08:17:46	00:40:45
		08:26:46	00:45:45
		17:01:14	00:53:29
		17:19:14	00:58:29
		17:37:14	01:03:14

01:00:56
01:06:56

表 5.4 基準車站在南港站和台北車站及台北捷運現行班表兩端機廠收發車狀況

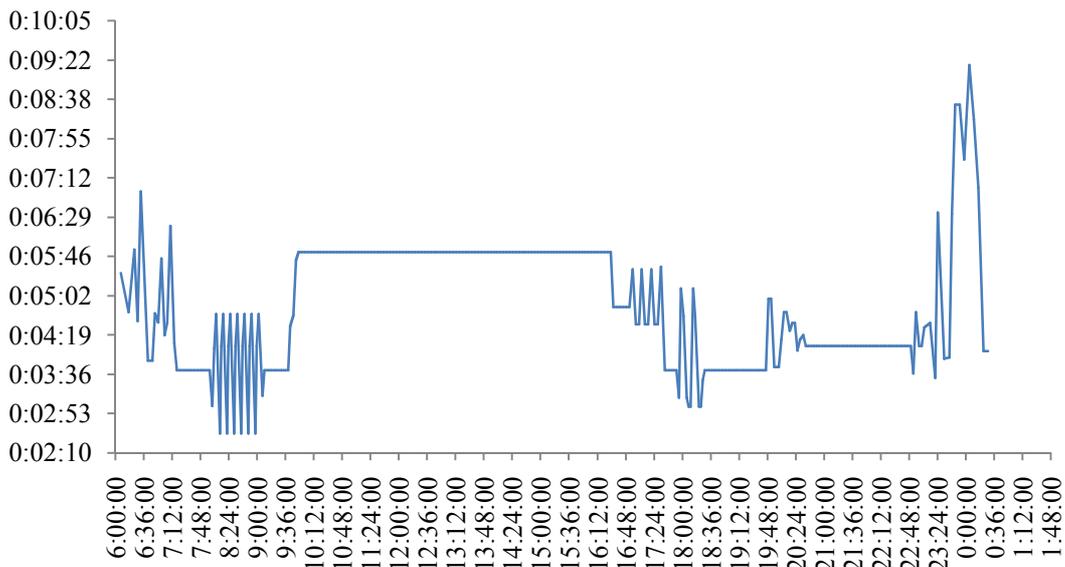
	南港機廠發 車次數	南港機廠收車 次數	土城機廠發車 次數	土城機廠收車 次數
本研究基準車站在 台北車站	4	20	7	17
台北捷運現行班表	17	12	24	26

而圖 5.5 到圖 5.7 分別是台北捷運現行班表在南港終端站、永寧終端站及亞東醫院袋形軌折返時間，圖 5.5 中在 7:48:00~9:00:00 之間發出七輛加班車，故南港站折返時間縮短，在 9:30:00 到 16:48:00 之間皆為 4 分鐘班距，因此折返時間固定為 0:05:50，總共 350 秒，使用單月台，在 17:30:00 之後開始轉換班距為 3 分鐘，為了讓班距從 4 分鐘轉換成 3 分鐘班距，因此在 16:37:30 就必須開始調整南港站的折返時間，到 18:26:11 才能恢復固定 3 分鐘班距，但是到了 19:54:30 開始轉換成 3.5 分鐘班距，到 20:06:30 成為固定 3.5 分鐘班距，直到 23:00:00 轉換成 6 分鐘班距。

在永寧站折返時間部分，除了在 10:45:18 到 16:45:18 之間維持折返時間為 0:11:01 之外，其他折返時間在轉換時段多為不固定，表示假設在沒有調整中間站停靠時間的狀況之下，永寧站的班距在上述這段時間之外的班距皆會呈現不固定，若在永寧站有班距固定應是以調整中間車站的靠站時間以滿足在列車到達永寧站的班距。

袋形軌的折返時間狀態與永寧終端站相似，除了在 10:38:40 到 16:54:40 此段時間之外，其餘班距皆會呈現不固定，因此在完成班表之後尚須依照經驗調整列車在中間站的靠站時間。

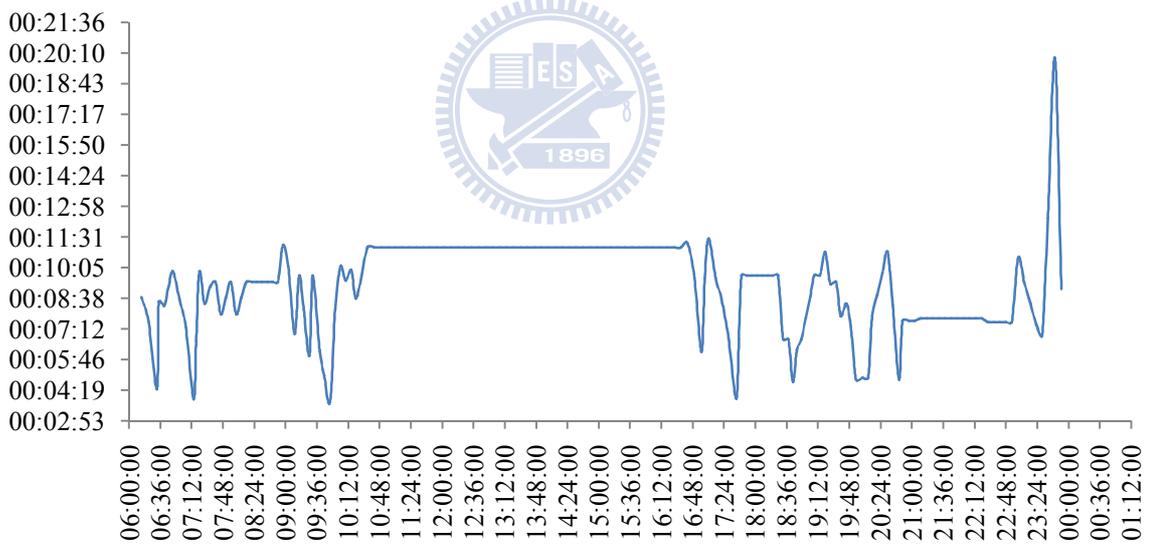
南港站折返時間



列車到達南港站時間

圖 5.5 台北捷運現行班表南港站折返時間

折返時間



列車到達永寧站時間

圖 5.6 台北捷運現行班表永寧站折返時間

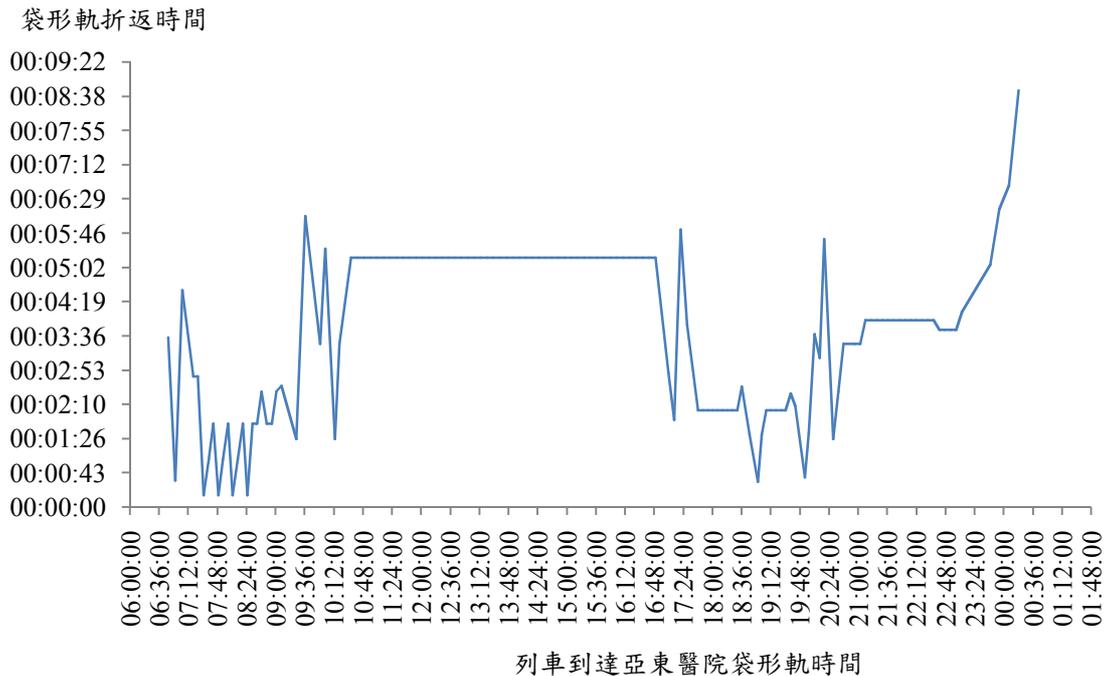


圖 5.7 台北捷運現行班表亞東醫院袋形軌折返時間

至於本研究在各終端站的折返時間已顯示在表 4.9 當中，若是遇到轉換時段則是依照表 4.8 中各終端站在使用單雙月台折返時間的限制範圍，因為折返時間在不同班距之下皆是已經固定，所以只要不是在轉換時段，列車就在此閉鎖區間之內不斷運行，且不產生衝突，不用再以人工調整中間站時間。

圖 5.8~圖 5.15 則是本研究班表及台北捷運現行班表在南港站、台北車站、亞東醫院站與永寧站班距之比較，除了在轉換時段因為收發車以及折返時間限制，班距有所變動之外，其餘時段皆呈現固定，台北捷運現行班表中有班距小於 120 秒是因為收車或是發車到中間站而過站不停，但本班表中未考慮加班車，因此所有列車時隔都必須滿足 120 秒以上。

分析車站	台北捷運	本研究
下行方向南港站	首班車班距在 3~6 分鐘，在早上 08:00:00~09:00:00 有加班車，班距成為 0:02:15，在 9:30:00~16:12:00 維持固定班距 4 分鐘，之後開始調整成 3 分鐘班距並從南港機廠發車，總共需要 10~12 輛列車改變折返時間方能將班距改為 3 分鐘班距，末班車開始收回機廠，且最後一個時段只有短短一小時，因此班距不固定。	無考慮加班車，在首班車就已經擺放在適當車站，在 9:30:00 開始轉為離峰班距 4 分鐘時，南港機廠收回 3 班列車，因此班距增加，到 09:45:26 之後開始恢復 4 分鐘班距；到 17:00:00 從班距 4 分鐘轉換成 3 分鐘，調整南港站折返時間，並從南港機廠發出 3 輛列車，從 17:16:26 開始漸變為 3 分鐘班距，19:30:00 開始轉為 3.5 分鐘班距，南港機廠收回一班列車，因此班距增加。

		末班車是 6 分鐘班距，但時段只有一小時，從 3.5 分鐘班距增加為 6 分鐘班距，因此班距變動較大並開始將列車收回機廠。
下行方向台北車站	在台北車站首班車班距在 3~6 分鐘，在 08:24:17 開始加入 7 輛加班車，班距分別為 0:03:41 和 0:02:19，在 18:17:28~18:44:58 加班車，班距縮短為 2.5 分鐘，其餘時段皆維持固定班距。末班車因為開始收車，班距變動在 3~7.5 分鐘。	本研究因為以台北車站的時間做為調整班距的基準，因此在台北車站之班距在調整終端站折返時間以及收發車後班距皆可順利轉換，唯有在末班車時因為將列車收回機廠而班距增加。
下行方向亞東醫院站	在亞東醫院站台北捷運首班車班距較為不固定，在 0:02:13~0:09:25 皆有，在 8:40:32 開始有加班車，班距在 0:02:19 到 0:04:00 之間變動，班距 0:01:30 則是過站不停的列車，在 09:44:13 開始維持固定班距 4 分鐘，在 17:10:24 之後在轉換時段雖只有 3~5 班收發車，但班距多為不固定，尤其是 20:27:24~21:03:24 是班距從 3 分鐘改為 3.5 分鐘，只有收回 2 班列車，班距只有 30 秒的增加，卻必區花 36 分鐘轉換班距。	本研究在早上 3 分鐘班距轉為 4 分鐘班距時收回土城機廠 4 輛列車，但是因為收車過程中仍會經過亞東醫院站，因此亞東醫院站之班距受影響小；土城機廠發車到亞東醫院站也因沒有與任何列車有衝突，所以可以在預期時間之內到達亞東醫院站並發車，班距則可以順利轉換，唯有在末班車時因為收車，故班距增加。
下行方向永寧站	在首班車永寧站之班距在 2~9.5 分鐘 5 之間，在 9:10:20~10:34:17 之間也因為有加班車以班距改變(此時土城機廠並未收車)，在下午 17:01:14~18:16:27 從南港機廠發出 5 輛列車，從土城機廠發出 3 輛列車，從 4 分鐘班距改為 3 分鐘班距需要多發出 8 輛列車，因此在 17:01:23~18:16:23 在永寧站班距有 3 分鐘、4 分鐘、6 分鐘與 8 分鐘參差不齊。	本研究在下行方向南港站轉換時段時並無太多變化，主要是因為讓列車可以提早到下一站停靠，如此一來調節班距就不只是依靠調整永寧站折返時間，而是連土城站也視為調整班距的終端站，因此在永寧站之轉換時段班距多能順利轉換。

	<p>在 18:40:17~20:47:59 開始將列車收回兩端機廠，南港機廠收回 2 輛，土城機廠收回 5 輛，因此在 18:43:10~21:10:17 開始永寧站班距在 0:04:15~7 分鐘之間，之後開始恢復班距 7 分鐘直到 23:00:00 之後最後一個時段開始收回末班車。</p>	
上行方向永寧站	<p>下行方向永寧站受到列車收回土城機廠影響，因此班距在部分時間會不固定，台北捷運在 9:12:48~10:24:17 收回 7 班列車因此班距在 4~10 分鐘之間，之後班距恢復成固定 4 分鐘。</p> <p>在其餘轉換時段則是因為有收發車而使班距縮短或增加，在 18:38:53 和 18:47:53 因為南港機廠加車，因此班距縮短為 3 分鐘，19:30:59 之後轉換班距為 7 分鐘，分鐘有列車收回機廠，先前南港機廠加車剛好彌補此收車造成班距過大問題。</p>	<p>本研究在上行方向永寧站班距變化與台北捷運相似，只是在 9:11:19 之前列車都能維持在 6 分鐘，經過修改永寧站折返時間之後有 5 班列車班距改變為 4 分鐘，之後班距恢復固定 8 分鐘到 17:16:49，因為有 5 班列車準備從土城機廠發出，因此有 4 班列車班距增加為 9 分鐘，1 班列車班距縮短為 0:07:55，之後則是恢復固定 6 分鐘一班，直到 19:11:19 要從班距 6 分鐘轉為 7 分鐘，有列車收回土城機廠，故班距又再次調整成 7 分鐘一班。</p>
上行方向亞東醫院站	<p>台北捷運在 9:00:00 因為要轉換班距因此會改變在亞東醫院袋形軌的折返時間，所以在 9:00:00~10:32:07 之間有班距的變動，其餘時段的班距變動也是因為收車後必須調整班距，較少會因為發車衝突而受影響。</p>	<p>本研究在亞東醫院的班距變動與台北捷運班距變動的原因相反，在收車後可以藉由調整終端站折返時間與下一站的停靠時間而恢復固定班距，真正造成班距不固定的原因是發車到正線上必須考慮到與上下行列車是否有衝突以及是否有列車停靠在袋形軌，因此在離峰轉尖峰要從土城機廠發車時班距會在 2~6 分鐘之間。</p>
上行方向台北車站	<p>上行方向在台北車站班距相對於其他車站穩定，除了首班車班距變動較大之外，就只有在轉換時段 1~3 班列車需要調整。</p>	<p>因為已經利用終端站折返時間與收發車調整轉換時段班距的差異，本研究台北車站班距幾乎可以符合預期，只有首班車有 1 個班次需要調整，其餘列車都能順利轉換成固定班距。</p>
上行方向南港站	<p>上行方向南港站受南港站收發車影響，因此在離峰轉尖峰</p>	<p>本研究中為有南港站收車時班距增加，在 9:17:56 及 9:29:56</p>

	<p>時，列車收回南港機廠使南港站班距增加，在離峰時段轉為尖峰時段時因為避免南港機廠加車會與正線上列車有衝突，延後離開南港站使南港站班距縮短。</p>	<p>因為要調整班距為 4 分鐘，因此將列車收回機廠並開始調整終端站折返時間，在南港站停靠時間增加，相對的離開南港站的班距就會增長(因為前車在南港站停留時間較短，後車停留時間較長，因此離開班距會顯得增加)，不過此現象在轉換時段只有 2~3 班列車調整即可恢復固定班距。</p>
--	---	--



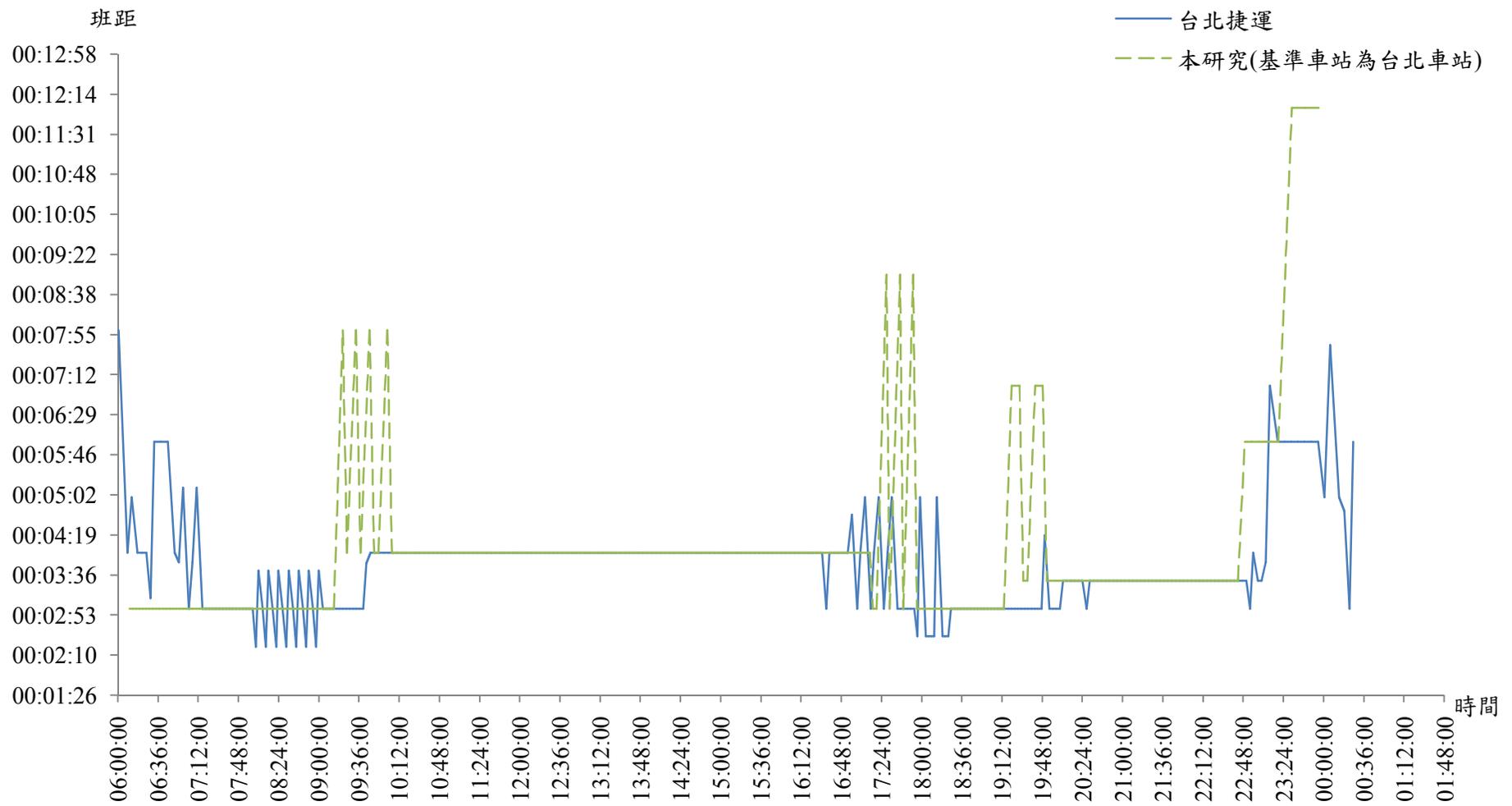


圖 5.8 下行方向南港站班距比較

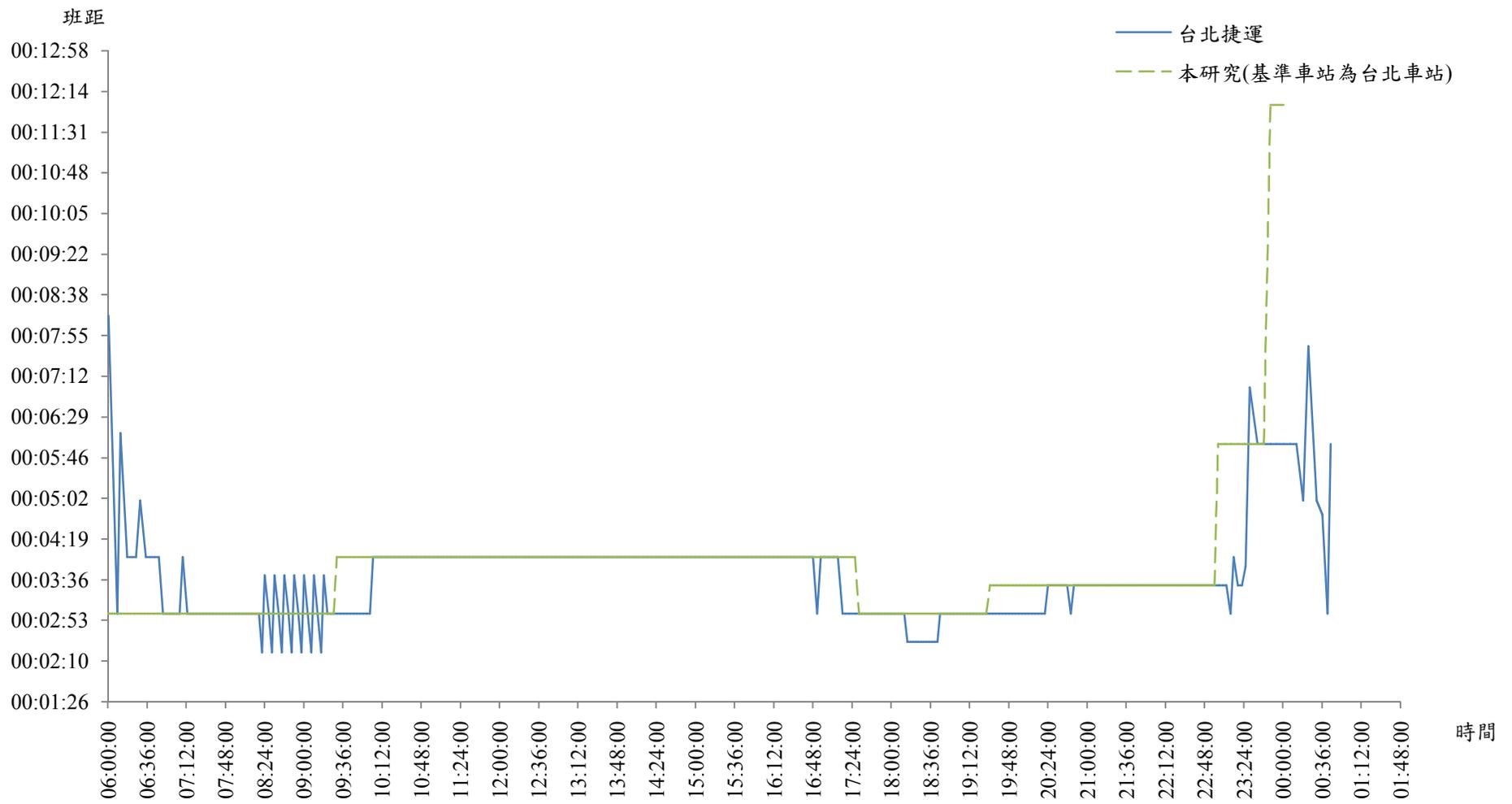


圖 5.9 下行方向台北車站班距比較

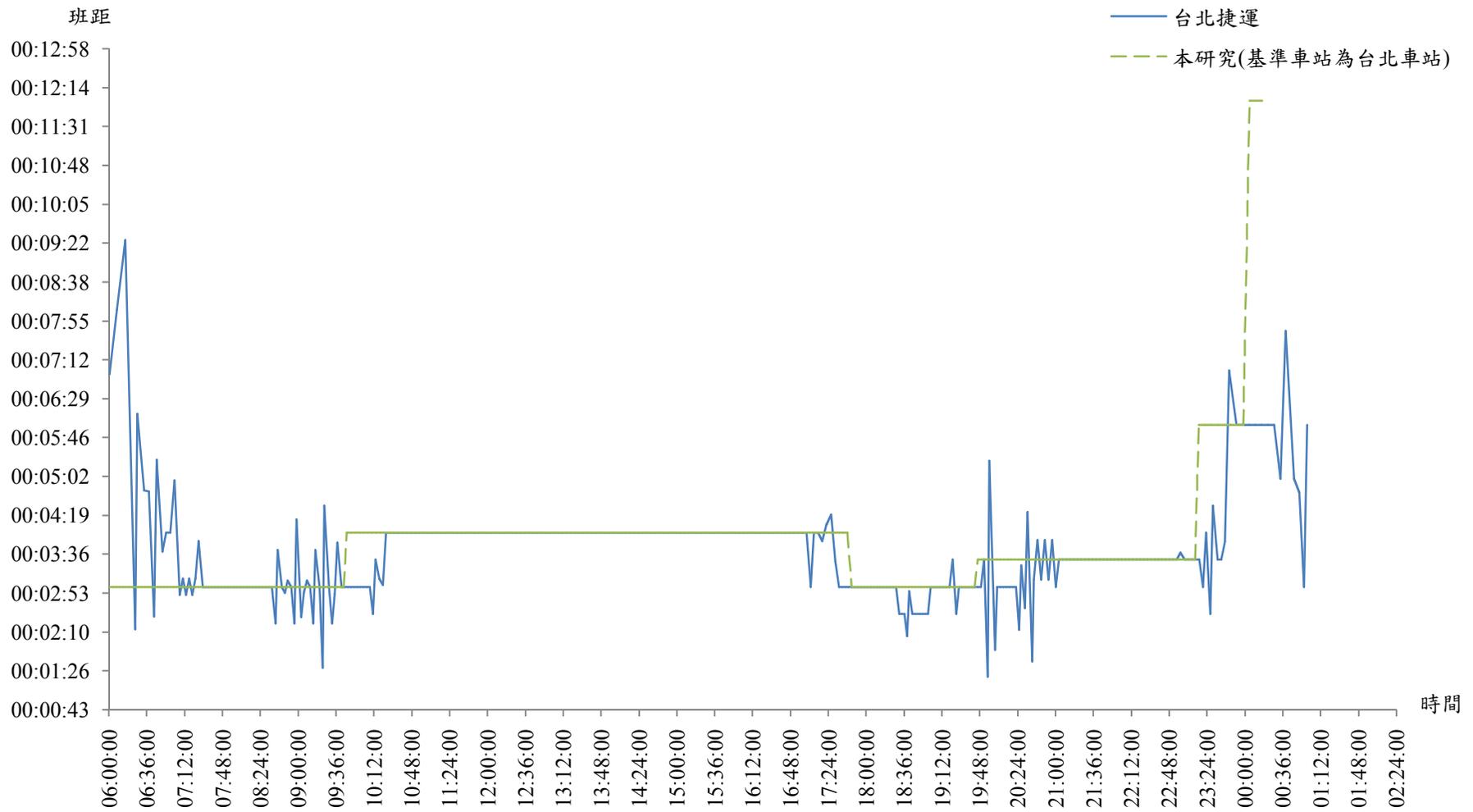


圖 5.10 下行方向亞東醫院站班距比較

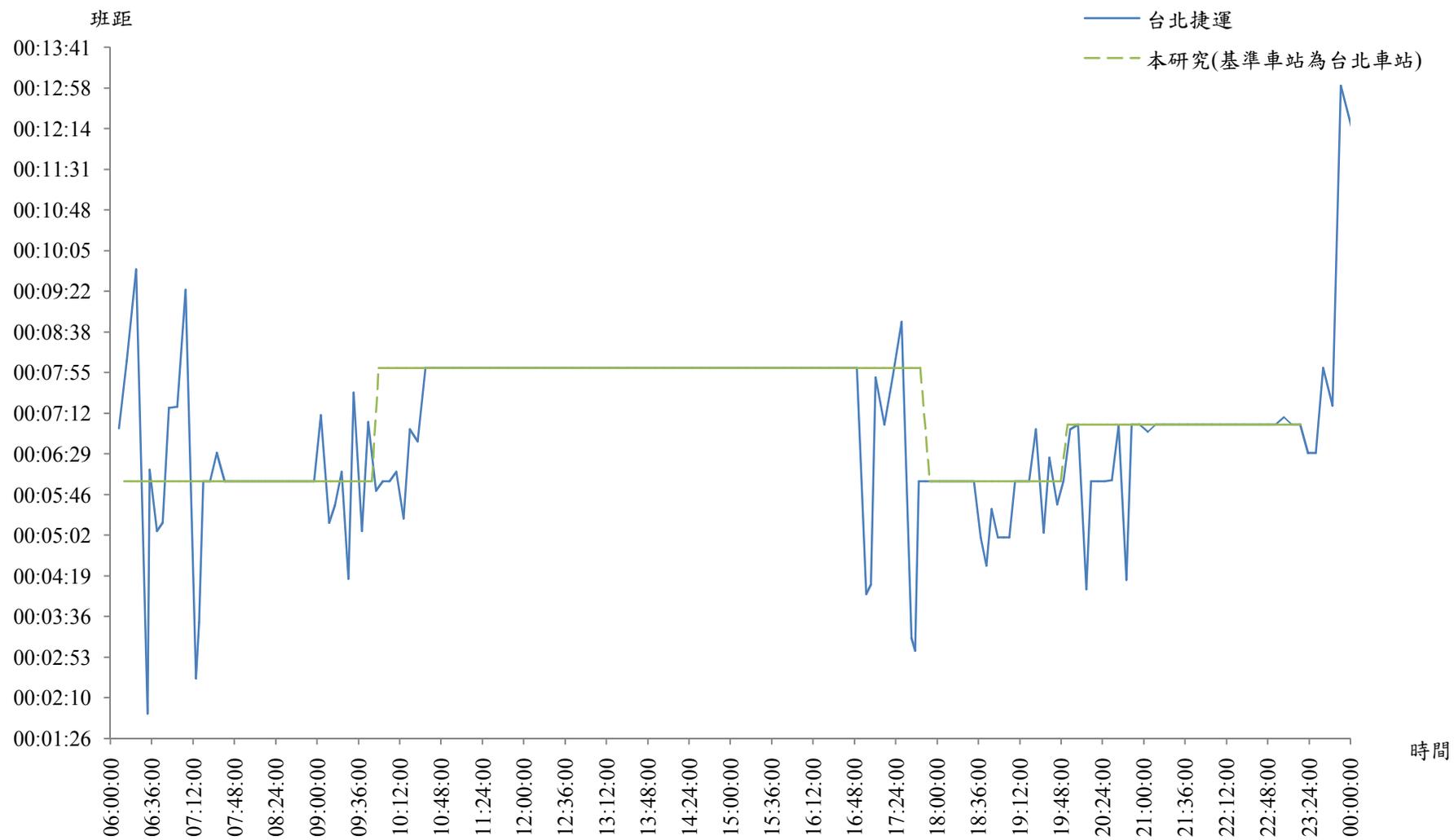


圖 5.11 下行方向永寧站班距比較

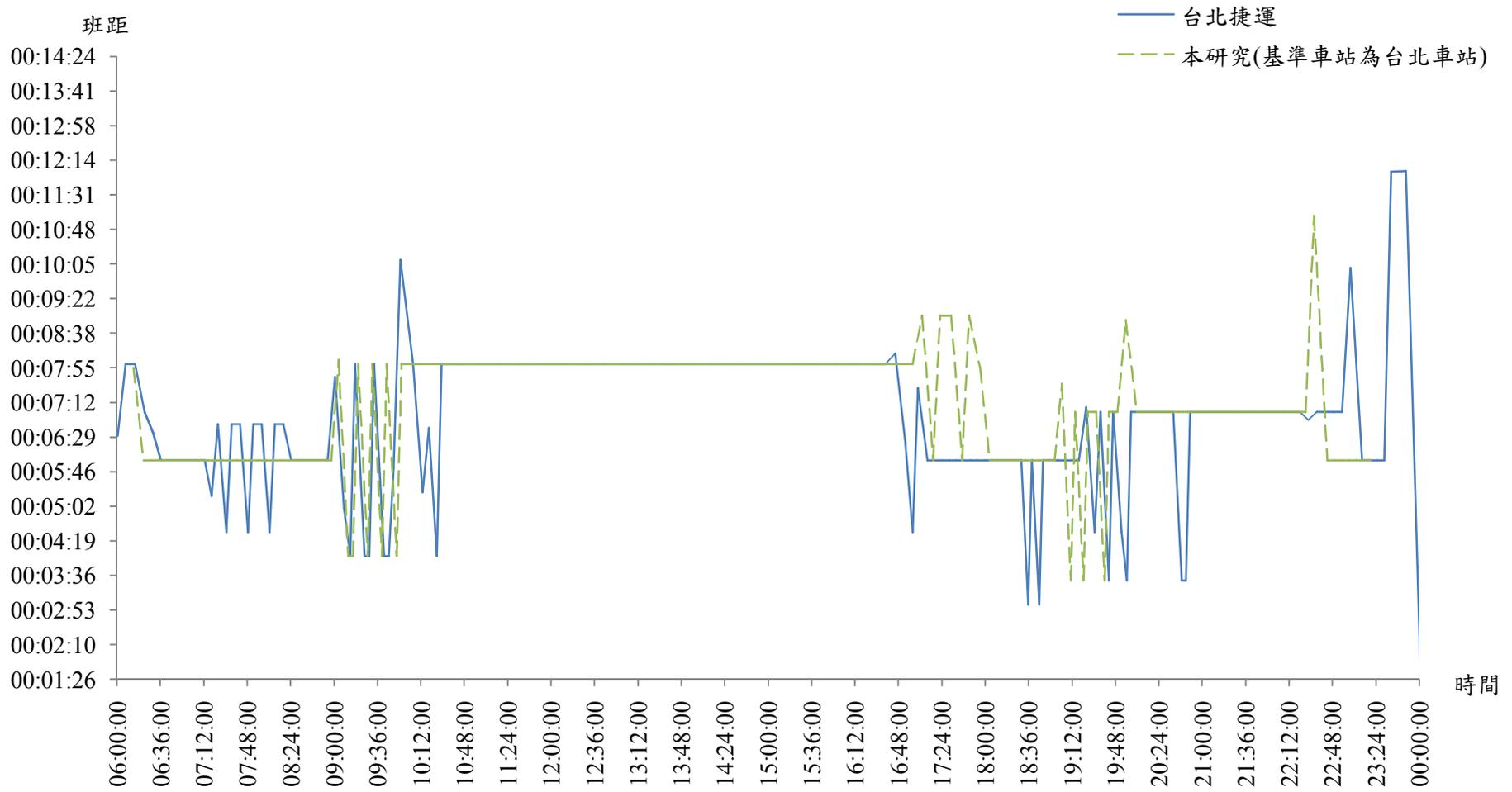


圖 5.12 上行方向永寧站班距比較

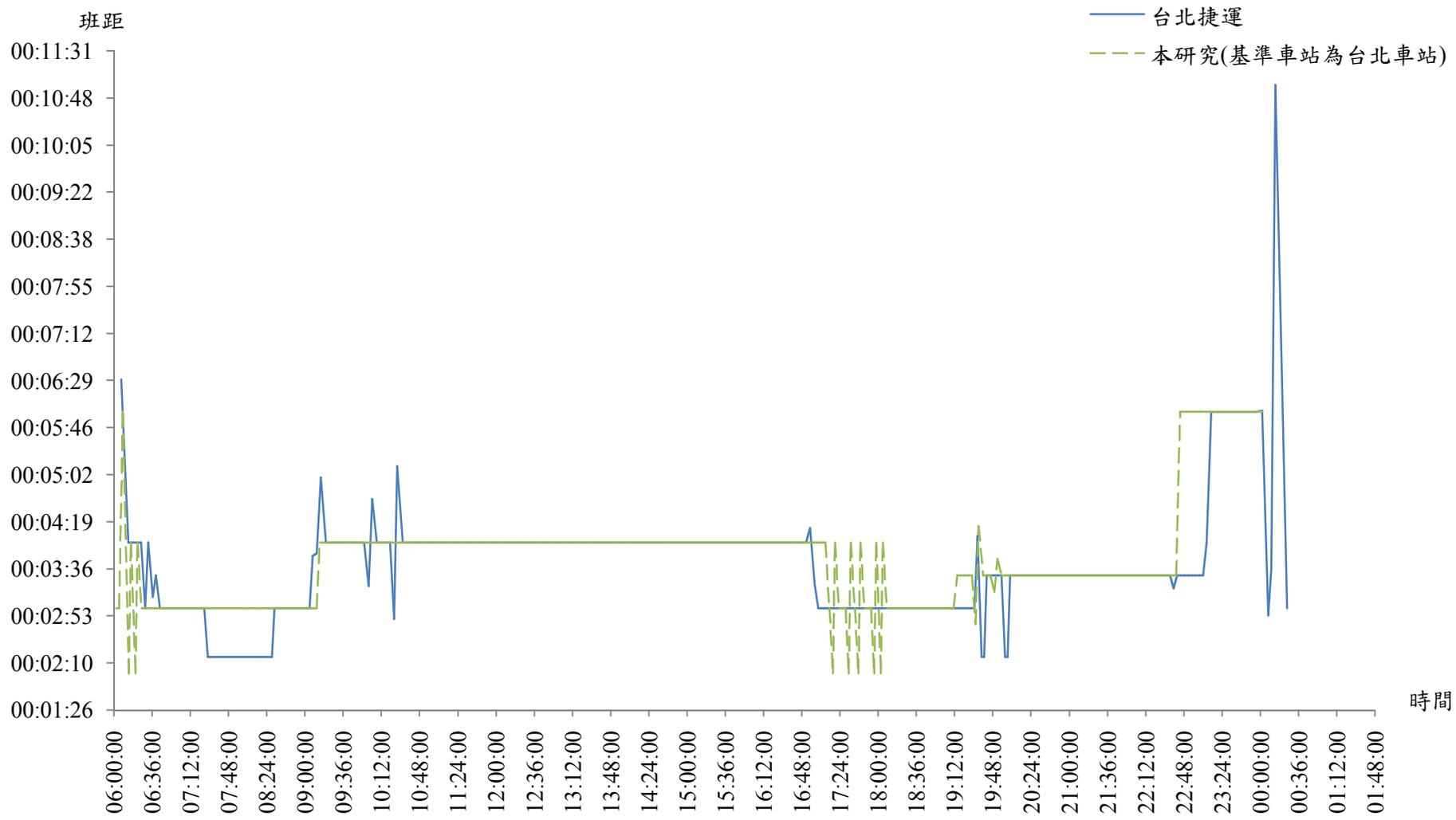


圖 5.13 上行方向亞東醫院站班距比較

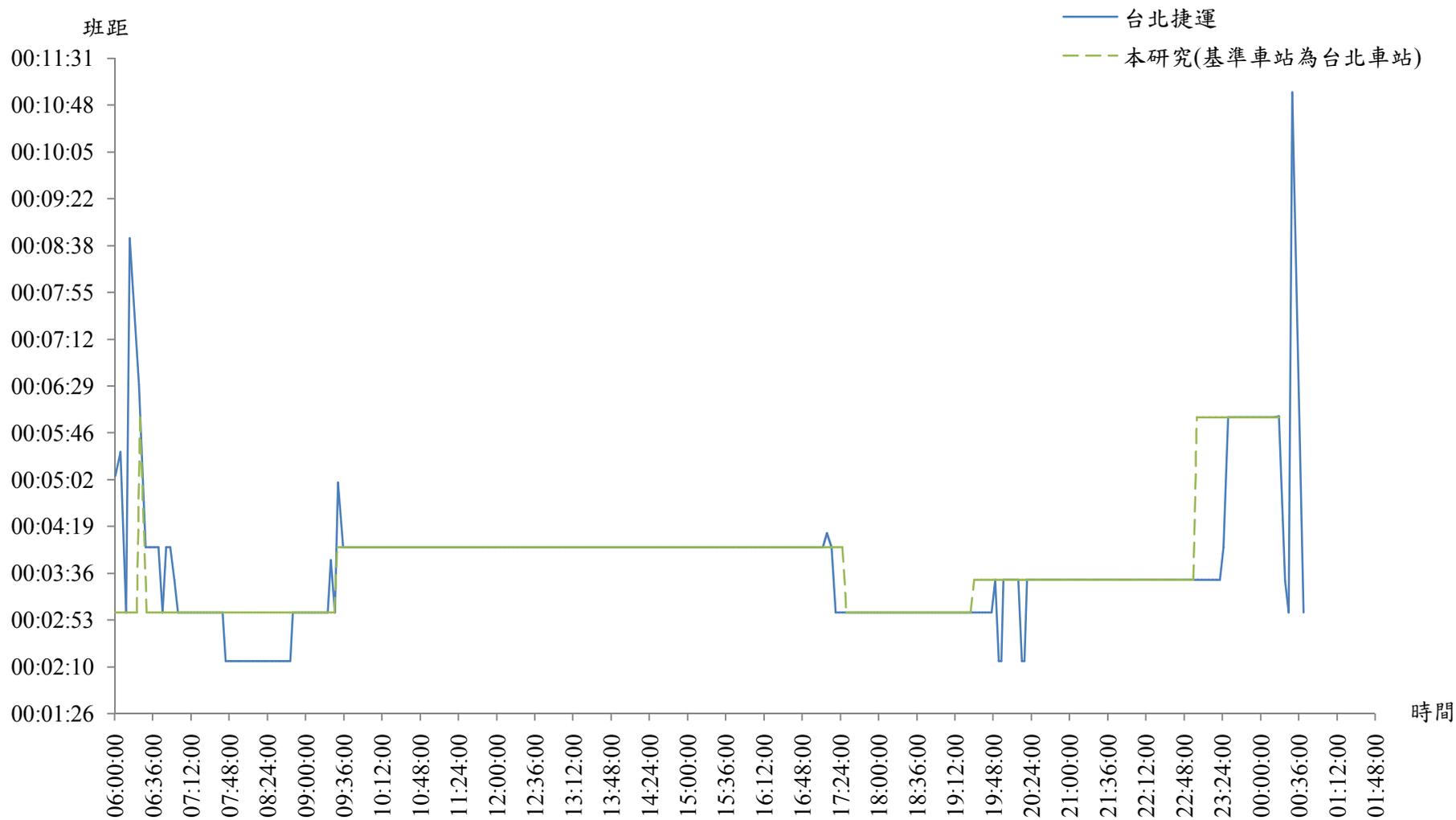


圖 5.14 上行方向台北車站班距比較

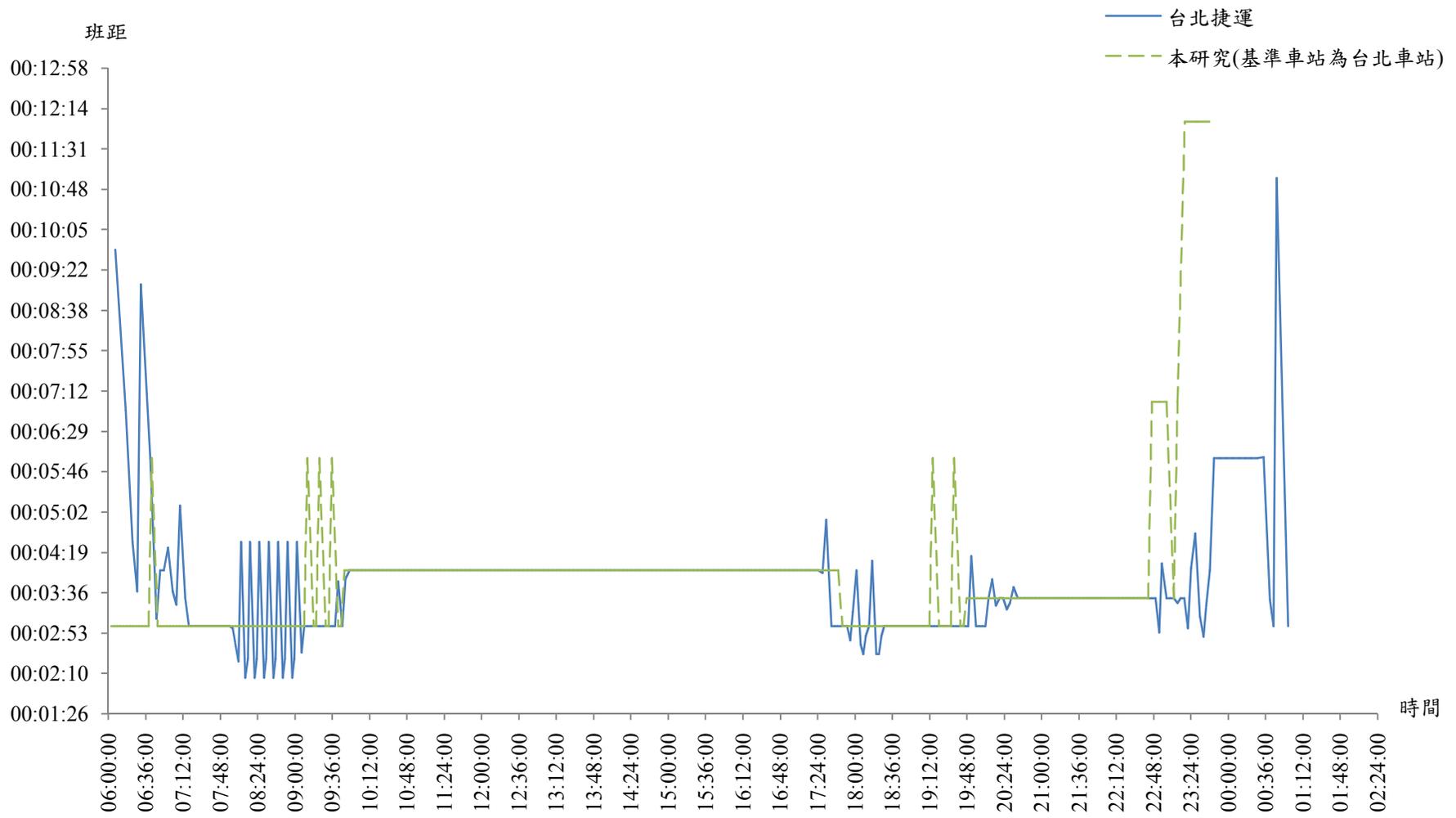


圖 5.15 上行方向南港站班距比較

第六章、結論與建議

6.1 結論

1. 本研究考慮板南線上有三個終端站及兩端機廠，在不產生衝突之下並達到服務班距，本研究以啟發式演算法製作台北捷運板南線一天班表。
2. 在使用者輸入一天各時段所需班距及上下行基準車站，程式會依照使用者輸入班距先產生基準車站的一天班表，如以下公式：

$$T_{ij,y+1} = T_{ijy} + h$$

3. 依照捷運公司提供之列車在站間行駛時間與停靠時間，由基準車站時間推算各班次在各站的到達時間和離開時間，同時也可以知道列車從離開終端站的時間與到達終端站的時間，可依此時間計算各車次在終端站的折返時間。

$$T_{i,j+1,y} = T_{ijy} + \Delta T_{j,j+1}$$

4. 將列車分成南港站到亞東醫院站和南港站到永寧站之間行駛，由捷運公司提供上下行方向列車行駛時間與停留時間，依照一天所需班距計算每一時段所需列車數，如下所示：

南港站到永寧站循環運行所需列車數 $: N_1 = \frac{T_1 + T_2 + \Delta T_1 + \Delta T_2}{h}$

南港站到亞東醫院站循環運行所需列車數 $: N_2 = \frac{T_3 + T_4 + \Delta T_3 + \Delta T_4}{h}$

四捨五入取列車數為整數之後，並分析各終端站在使用單雙月台之折返時間限制，如表 6.1 所示，使用單月台時前後車時隔至少必須 120 秒，使用雙月台則是必須在終端站共同停留 30 秒以上，可得到兩端終端站可折返時間總和：

表 6.1 使用單雙月台時班距與折返時間關係

單月台條件	$h - 120 \geq t \geq 60$
雙月台條件	$2h - 120 \geq t \geq 30 + h$

南港站和永寧站可折返時間總和 $: \Delta T_1 + \Delta T_2 = N_1 h - T_1 + T_2$

南港站和亞東醫院站可折返時間總和 $: \Delta T_3 + \Delta T_4 = N_2 h - T_3 + T_4$

依據此折返時間在班距之下，列車在閉鎖區間之內不斷運行，本研究發現基準車站設置在南港站可控制南港站到亞東醫院站之間班距是固定，因此南港站的折返時間在每個時段的折返時間皆固定，結果顯示南港站到亞東醫院站之間班距皆呈現穩定狀況(轉換時段時也可以即時改變班距)，此外，若有超過折返時間可以微調列車在終端站前一站的靠站時間為輔，讓列車在固定時段都能順利運行，在此階段也會知道首班車的停靠位置與發車時間，也知道需使用多少輛列車並將

列車編號。

- 班距的轉換稱為轉換時段，由計算使用列車數公式可以得知在不同班距之下使用列車數也會不同，尖峰時段時使用列車數較多，離峰時段時使用列車數較少，如表 4.8 所示各班距之下使用列車數，尖峰時段轉離峰時段時必須收車回機廠，離峰時段轉尖峰時段時必須從機廠發車。

轉換時段因為兩側終端站折返時間改變，故可以使用前一輛列車班距並依照每個終端站軌道佈設設定折返時間範圍，只要在此折返時間範圍之內就表示可在此終端站折返並且可改變成需要班距，如表 6.2，從班距 h_1 轉為班距 h_2 終端站可折返時間範圍 $\Delta t'$ ，反之，假設無法在此時間範圍之內就必須收發車。

表 6.2 轉換時段終端站折返時間限制

單月台條件	$h_1 - 120 + (h_2 - 120) \geq \Delta t \geq 60$
雙月台條件	$2h_1 - 120 + (h_2 - 120) \geq \Delta t \geq 30 + h_1$

- 當機廠收發車時必須考慮到是否會與線上列車產生衝突，如圖 3.2 南港機廠發車和圖 3.3 土城機廠發車衝突，因此設定發車衝突時間窗，讓列車在不產生衝突之下提早從機廠發車到正線上車站停靠，等待時間一到再從車站發車，土城機廠發車會提早到上行亞東醫院站停靠，南港機廠發車會提早到下行方向昆陽站停靠。

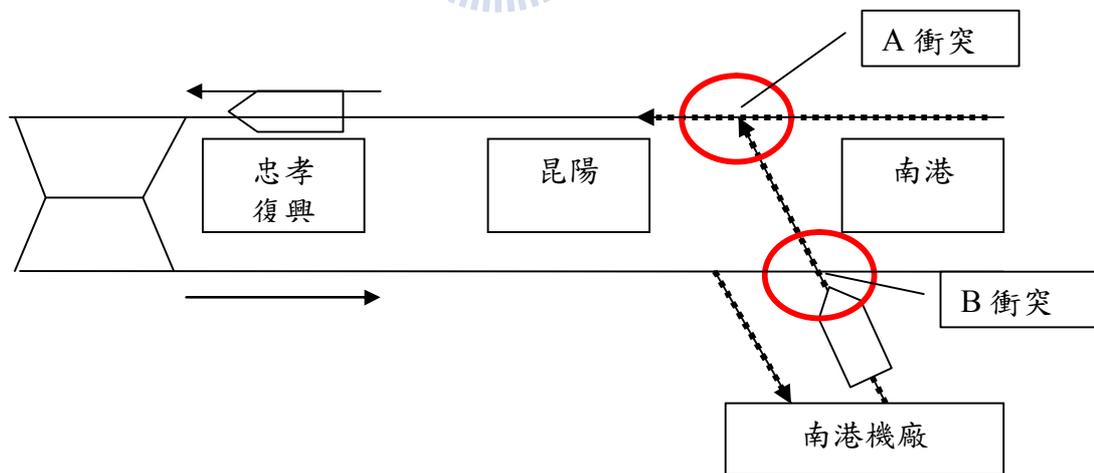


圖 6.1 南港機廠發車的路線

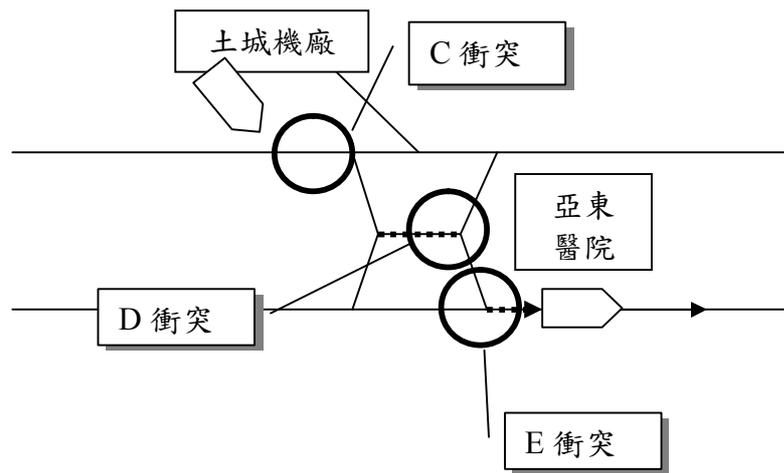


圖 6.2 土城機廠發車的路線

7. 程式在 20 秒之內能快速產生，班表中顯示首班車發車時間及位置、各班次在終端站的停靠時間、使用月台數及從機廠收發車時間。

6.2 建議

1. 本研究的班表適於捷運長期行駛，並未考慮臨時突發延滯狀況，可根據本研究製作班表邏輯發展若遇突發狀況，如列車延滯時，能在最短時間恢復固定班距。
2. 永寧站、海山站和土城站的班距增加狀況可以使用加班車改善，不過本研究尚未考慮到加班車，後續研就可依照本研究啟發式演算法並加上加班車行駛，讓整份班表更加完整。
3. 製作出班表示不考慮捷運公司司機員的排班，只要折返時間小於 180 秒就必須雙人值勤，大於 180 秒就可單人值勤，因此司機員需求人數可能過多或過少，後續研究可加上司機員排班，並且增加或減少各時段在終端站的折返時間，讓班表更加完整。
4. 本研究使用啟發式演算法，只有求出可行解，列車可以依照此班表在沒有衝突之下滿足各時段班距，本研究有整理各終端站在不同班距之下，使用單雙月台折返時間之限制，若後續研究可以依照此限制使用嚴謹的演算法求出最佳解。

參考文獻

- Alberto Caprara, Matteo Fishetti, Paolo Toth, (2002), “Modeling and Solving the Train Timetabling Problem.” , Operation Research, Vol. 50, No5, pp. 851-861.
- Alain Billionnet, (2003), “Using Integer Programming to Solve the train-platforming problem.”, Transportation Science, Vol. 37, pp. 213-222.
- Alberto Caprara, Michele Monaci, Paolo Toth, Pier Luigi Guida, (2006), “A Lagrangian Heuristic Algorithm for a Real-world Train Timetabling Problem”, Discrete Applied Mathematics 154, pp. 738-753.
- Alberto Caprara, L. Kroon, M. Monaci, M. Peeters, P. Toth, (2006), “Rassenger Railway Optimization.” ,ARRIVAL-TR-0035.
- Ángel Marín, Patricia Jaramillo, (2008),” Urban Rapid Transit Network Capacity Expansion”, European Journal of Operational Research 191, pp. 45-60.
- George Kozanidis, Emanuel Melachrinoudis, (2004),” A Branch and Bound Algorithm for the 0-1 Mixed Integer Knapsack Problem with Linear Multiple Choice Constraints. ”, Computers & Operations Research 31, pp. 695–711.
- Gilber Lopore, Juan A. Mesa, Francisco A. Ortega, (2002), “Locating Stations on Rapid Transit Lines. ”, Computers & Operations Research, No. 29, pp. 741-759.
- Gilbert Laport, Ángel Marín, Juan A. Mesa, and Francisco A. Ortega, (2007), “An Integrated Methodology for the Rapid Transit Network Design Problem”, Algorithmic Methods for Railway Optimization, pp. 187-199.
- Giuseppe Bruno, Gianpaolo Ghiani, Gennaro Improta, (1998), “A multi-modal approach to the location of a rapid transit line. ”, Europe Journal of Operation Research Vol. 104, pp. 321-332.
- Higgins A., Kozan E. and Ferreira L., (1996),” Optimal Scheduling of Trains on a Single Line Track.”, Transportation Research Part B, Vol. 30, pp. 147-161.
- Higgins A., Kozan E., Ferreira L., (1997), “Heuristic Techniques for Single Line Train Scheduling.”, Journal of Heuristics, Vol. 3, pp. 43-62.
- İsmail Şashin, (1999), ”Railway traffic control and train scheduling based on inter-train conflict management”, Transportation Research Part B, Vol. 33, pp. 511-534.
- Krzysztof Goczyła, Janusz Cielątkowski, (1995), “Case Study: Optimal Routing in a Transportation Network. ”, European Journal of Operational Research, Vol. 87, pp. 214-222.

- Leo Kroon G., Edwin Romeijn H., Peter Zwaneveld J., (1997), "Routing trains through stations: complexity issue.", *European Journal of Operation Research* 98, pp. 485-489.
- Malachy Carey, (1993), "A Model and Strategy for Train Pathing with Choice of Lines, Platforms, and Routes.", *Transportation Research Part B*, Vol. 28, pp. 333-353.
- Malachy Carey, (1994), "Extending a Train Pathing Model from One-way to Two-way Track.", *Transportation Research Part B*, Vol. 28, pp. 395-400.
- Malachy Carey, Sinead Carville, (2003), "Scheduling and platforming trains at busy complex station.", *Transportation Research Part A*, Vol. 37, pp. 195-224.
- Malachy Carey, Ivan Crawford, (2007), "Scheduling trains on a network of busy complex station.", *Transportation Research Part B*, Vol. 41, pp. 159-178.
- Marshall Fisher L., (1981), "Lagrange Relaxation for Solving Integer Programming", *Management Science*, Vol. 27, No. 1, pp. 1-18
- Bussieck M.R., Winter T., Zimmermann U.T., (1997), "Discrete Optimization in Public Rail Transport.", *Mathematical Programming*, Vol. 79, pp. 415-444.
- Marta Flamini, Dario Pacciarelli, (2007), "Real Time Management of a Metro Rail Terminus", *European Journal of Operational Research* 189, pp. 746-761.
- McMullen P.R., Peter Tarasewich, (2005), "A Beam Search Heuristic Method for Mixed-model Scheduling with Setups", *International journal of production economics* 96, pp. 273-283".
- Te-Wei Chiang, Ha&Yen Haua, Hwan-Ming Chiangb, Su-Yun Kob, Chao-Ho Hsiehb, (1997), "Knowledge Based System for Railway Scheduling", *Data & Knowledge Engineering*, No. 27, pp.289-312.
- Valentina Cacchiani, Alberto Caprara, Paolo Toth, (2008), "A Column Generation Approach to Train Timetabling on a Corridor", *4OR: A Quarterly Journal of Operations Research* 6, pp. 125-142.
- Xuesong Zhou, Ming Zhong,(2007), "Single-track Train Timetabling with Guaranteed Optimality: Branch-and-bound Algorithms with Enhanced Lower Bounds", *Transportation Research Part B* 41, pp. 320-341.
- Yusin Lee, Chuen-Yih Chen, (2009), "A heuristic for the train pathing and timetabling problem.", *Transportation Research Part B*.
- 王總守、劉丞厚、沈淑華、陳朝輝、李治綱，「應用基因演算法於捷運列車運行計畫之研究」，*運輸季刊*第三十六卷第一期，民國九十六年三月，pp.115-145。
- 蘇昭銘、程培倫、郭旻鑫，「捷運系統列車排程決策支援系統」，*運輸季刊*第三十卷第二期，民國九十二年六月，pp.409-437。

蘇昭銘、黃嘉隆、黃玉真，「多機廠捷運路網兩階段列車排點分析方法」，運輸學刊，民國九十一年，pp.83-102。

黃任由，「應用平行螞蟻演算法求解捷運列車班表問題之研究」，中華大學科學管理研究所碩士論文，民國九十五年。

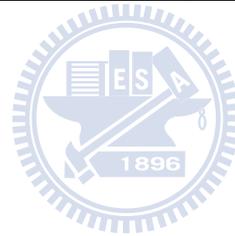
周義華，運輸工程第四版，民國八十五年八月。



附表

附表一各時段基本輸入值

時段起時時間	時段結束時間	班距	南港折返時間下限	亞東醫院折返時間下限	永寧折返時間下限
05:00:00	09:30:00	00:03:00	60	60	60
09:30:00	17:30:00	00:04:00	60	60	60
17:30:00	19:30:00	00:03:00	60	60	60
19:30:00	23:00:00	00:03:30	60	60	60
23:00:00	24:00:00	00:06:00	60	60	60



附表二 上行方向基準車站理想班表

5:00:00	5:54:00	6:48:00	7:42:00	8:36:00	9:30:00	10:42:00	11:54:00	13:06:00	14:18:00	15:30:00	16:42:00	17:48:00	18:42:00	19:37:00	20:40:00	21:43:00	22:46:00	0:24:00
5:03:00	5:57:00	6:51:00	7:45:00	8:39:00	9:34:00	10:46:00	11:58:00	13:10:00	14:22:00	15:34:00	16:46:00	17:51:00	18:45:00	19:40:30	20:43:30	21:46:30	22:49:30	0:30:00
5:06:00	6:00:00	6:54:00	7:48:00	8:42:00	9:38:00	10:50:00	12:02:00	13:14:00	14:26:00	15:38:00	16:50:00	17:54:00	18:48:00	19:44:00	20:47:00	21:50:00	22:53:00	0:36:00
5:09:00	6:03:00	6:57:00	7:51:00	8:45:00	9:42:00	10:54:00	12:06:00	13:18:00	14:30:00	15:42:00	16:54:00	17:57:00	18:51:00	19:47:30	20:50:30	21:53:30	22:56:30	0:42:00
5:12:00	6:06:00	7:00:00	7:54:00	8:48:00	9:46:00	10:58:00	12:10:00	13:22:00	14:34:00	15:46:00	16:58:00	18:00:00	18:54:00	19:51:00	20:54:00	21:57:00	23:00:00	0:48:00
5:15:00	6:09:00	7:03:00	7:57:00	8:51:00	9:50:00	11:02:00	12:14:00	13:26:00	14:38:00	15:50:00	17:02:00	18:03:00	18:57:00	19:54:30	20:57:30	22:00:30	23:06:00	0:54:00
5:18:00	6:12:00	7:06:00	8:00:00	8:54:00	9:54:00	11:06:00	12:18:00	13:30:00	14:42:00	15:54:00	17:06:00	18:06:00	19:00:00	19:58:00	21:01:00	22:04:00	23:12:00	1:00:00
5:21:00	6:15:00	7:09:00	8:03:00	8:57:00	9:58:00	11:10:00	12:22:00	13:34:00	14:46:00	15:58:00	17:10:00	18:09:00	19:03:00	20:01:30	21:04:30	22:07:30	23:18:00	1:06:00
5:24:00	6:18:00	7:12:00	8:06:00	9:00:00	10:02:00	11:14:00	12:26:00	13:38:00	14:50:00	16:02:00	17:14:00	18:12:00	19:06:00	20:05:00	21:08:00	22:11:00	23:24:00	1:12:00
5:27:00	6:21:00	7:15:00	8:09:00	9:03:00	10:06:00	11:18:00	12:30:00	13:42:00	14:54:00	16:06:00	17:18:00	18:15:00	19:09:00	20:08:30	21:11:30	22:14:30	23:30:00	1:18:00
5:30:00	6:24:00	7:18:00	8:12:00	9:06:00	10:10:00	11:22:00	12:34:00	13:46:00	14:58:00	16:10:00	17:22:00	18:18:00	19:12:00	20:12:00	21:15:00	22:18:00	23:36:00	1:24:00
5:33:00	6:27:00	7:21:00	8:15:00	9:09:00	10:14:00	11:26:00	12:38:00	13:50:00	15:02:00	16:14:00	17:26:00	18:21:00	19:15:00	20:15:30	21:18:30	22:21:30	23:42:00	1:30:00
5:36:00	6:30:00	7:24:00	8:18:00	9:12:00	10:18:00	11:30:00	12:42:00	13:54:00	15:06:00	16:18:00	17:30:00	18:24:00	19:18:00	20:19:00	21:22:00	22:25:00	23:48:00	1:36:00
5:39:00	6:33:00	7:27:00	8:21:00	9:15:00	10:22:00	11:34:00	12:46:00	13:58:00	15:10:00	16:22:00	17:33:00	18:27:00	19:21:00	20:22:30	21:25:30	22:28:30	23:54:00	1:42:00
5:42:00	6:36:00	7:30:00	8:24:00	9:18:00	10:26:00	11:38:00	12:50:00	14:02:00	15:14:00	16:26:00	17:36:00	18:30:00	19:24:00	20:26:00	21:29:00	22:32:00	0:00:00	1:48:00
5:45:00	6:39:00	7:33:00	8:27:00	9:21:00	10:30:00	11:42:00	12:54:00	14:06:00	15:18:00	16:30:00	17:39:00	18:33:00	19:27:00	20:29:30	21:32:30	22:35:30	0:06:00	1:54:00
5:48:00	6:42:00	7:36:00	8:30:00	9:24:00	10:34:00	11:46:00	12:58:00	14:10:00	15:22:00	16:34:00	17:42:00	18:36:00	19:30:00	20:33:00	21:36:00	22:39:00	0:12:00	2:00:00
5:51:00	6:45:00	7:39:00	8:33:00	9:27:00	10:38:00	11:50:00	13:02:00	14:14:00	15:26:00	16:38:00	17:45:00	18:39:00	19:33:30	20:36:30	21:39:30	22:42:30	0:18:00	

附表三 下行方向基準車站理想班表

5:00:22	6:03:22	7:06:22	8:09:22	9:12:22	10:30:22	11:54:22	13:18:22	14:42:22	16:06:22	17:30:22	18:33:22	19:37:22	20:50:52	22:04:22	23:30:22	1:36:22
5:03:22	6:06:22	7:09:22	8:12:22	9:15:22	10:34:22	11:58:22	13:22:22	14:46:22	16:10:22	17:33:22	18:36:22	19:40:52	20:54:22	22:07:52	23:36:22	1:42:22
5:06:22	6:09:22	7:12:22	8:15:22	9:18:22	10:38:22	12:02:22	13:26:22	14:50:22	16:14:22	17:36:22	18:39:22	19:44:22	20:57:52	22:11:22	23:42:22	1:48:22
5:09:22	6:12:22	7:15:22	8:18:22	9:21:22	10:42:22	12:06:22	13:30:22	14:54:22	16:18:22	17:39:22	18:42:22	19:47:52	21:01:22	22:14:52	23:48:22	1:54:22
5:12:22	6:15:22	7:18:22	8:21:22	9:24:22	10:46:22	12:10:22	13:34:22	14:58:22	16:22:22	17:42:22	18:45:22	19:51:22	21:04:52	22:18:22	23:54:22	2:00:22
5:15:22	6:18:22	7:21:22	8:24:22	9:27:22	10:50:22	12:14:22	13:38:22	15:02:22	16:26:22	17:45:22	18:48:22	19:54:52	21:08:22	22:21:52	0:00:22	
5:18:22	6:21:22	7:24:22	8:27:22	9:30:22	10:54:22	12:18:22	13:42:22	15:06:22	16:30:22	17:48:22	18:51:22	19:58:22	21:11:52	22:25:22	0:06:22	
5:21:22	6:24:22	7:27:22	8:30:22	9:34:22	10:58:22	12:22:22	13:46:22	15:10:22	16:34:22	17:51:22	18:54:22	20:01:52	21:15:22	22:28:52	0:12:22	
5:24:22	6:27:22	7:30:22	8:33:22	9:38:22	11:02:22	12:26:22	13:50:22	15:14:22	16:38:22	17:54:22	18:57:22	20:05:22	21:18:52	22:32:22	0:18:22	
5:27:22	6:30:22	7:33:22	8:36:22	9:42:22	11:06:22	12:30:22	13:54:22	15:18:22	16:42:22	17:57:22	19:00:22	20:08:52	21:22:22	22:35:52	0:24:22	
5:30:22	6:33:22	7:36:22	8:39:22	9:46:22	11:10:22	12:34:22	13:58:22	15:22:22	16:46:22	18:00:22	19:03:22	20:12:22	21:25:52	22:39:22	0:30:22	
5:33:22	6:36:22	7:39:22	8:42:22	9:50:22	11:14:22	12:38:22	14:02:22	15:26:22	16:50:22	18:03:22	19:06:22	20:15:52	21:29:22	22:42:52	0:36:22	
5:36:22	6:39:22	7:42:22	8:45:22	9:54:22	11:18:22	12:42:22	14:06:22	15:30:22	16:54:22	18:06:22	19:09:22	20:19:22	21:32:52	22:46:22	0:42:22	
5:39:22	6:42:22	7:45:22	8:48:22	9:58:22	11:22:22	12:46:22	14:10:22	15:34:22	16:58:22	18:09:22	19:12:22	20:22:52	21:36:22	22:49:52	0:48:22	
5:42:22	6:45:22	7:48:22	8:51:22	10:02:22	11:26:22	12:50:22	14:14:22	15:38:22	17:02:22	18:12:22	19:15:22	20:26:22	21:39:52	22:53:22	0:54:22	
5:45:22	6:48:22	7:51:22	8:54:22	10:06:22	11:30:22	12:54:22	14:18:22	15:42:22	17:06:22	18:15:22	19:18:22	20:29:52	21:43:22	22:56:52	1:00:22	
5:48:22	6:51:22	7:54:22	8:57:22	10:10:22	11:34:22	12:58:22	14:22:22	15:46:22	17:10:22	18:18:22	19:21:22	20:33:22	21:46:52	23:00:22	1:06:22	
5:51:22	6:54:22	7:57:22	9:00:22	10:14:22	11:38:22	13:02:22	14:26:22	15:50:22	17:14:22	18:21:22	19:24:22	20:36:52	21:50:22	23:06:22	1:12:22	
5:54:22	6:57:22	8:00:22	9:03:22	10:18:22	11:42:22	13:06:22	14:30:22	15:54:22	17:18:22	18:24:22	19:27:22	20:40:22	21:53:52	23:12:22	1:18:22	
5:57:22	7:00:22	8:03:22	9:06:22	10:22:22	11:46:22	13:10:22	14:34:22	15:58:22	17:22:22	18:27:22	19:30:22	20:43:52	21:57:22	23:18:22	1:24:22	
6:00:22	7:03:22	8:06:22	9:09:22	10:26:22	11:50:22	13:14:22	14:38:22	16:02:22	17:26:22	18:30:22	19:33:52	20:47:22	22:00:52	23:24:22	1:30:22	

附表四 上行理想班表

永寧	土城	土城	海山	海山	亞東醫院	亞東醫院	府中	府中	板橋	板橋	新埔	新埔	江子翠	江子翠	龍山寺	龍山寺	西門	西門	台北車站			
																				06:00:00		
																				06:00:22	06:00:47	06:03:00
																06:01:11	06:01:36	06:03:22	06:03:47	06:06:00		
													06:00:36	06:01:01	06:04:11	06:04:36	06:06:22	06:06:47	06:09:00			
										06:00:16	06:01:57	06:02:22	06:03:36	06:04:01	06:07:11	06:07:36	06:09:22	06:09:47	06:12:00			
							06:01:23	06:01:48	06:02:51	06:03:16	06:04:57	06:05:22	06:06:36	06:07:01	06:10:11	06:10:36	06:12:22	06:12:47	06:15:00			
					06:02:24	06:02:49	06:04:23	06:04:48	06:05:51	06:06:16	06:07:57	06:08:22	06:09:36	06:10:01	06:13:11	06:13:36	06:15:22	06:15:47	06:18:00			
	06:00:17	06:00:42	06:02:31	06:02:56	06:05:24	06:05:49	06:07:23	06:07:48	06:08:51	06:09:16	06:10:57	06:11:22	06:12:36	06:13:01	06:16:11	06:16:36	06:18:22	06:18:47	06:21:00			
06:01:49	06:03:17	06:03:42	06:05:31	06:05:56	06:08:24	06:08:49	06:10:23	06:10:48	06:11:51	06:12:16	06:13:57	06:14:22	06:15:36	06:16:01	06:19:11	06:19:36	06:21:22	06:21:47	06:24:00			
...
...
23:49:49	23:51:17	23:51:42	23:53:31	23:53:56	23:56:24	23:56:49	23:58:23	23:58:48	23:59:51	24:00:16	24:01:57	24:02:22	24:03:36	24:04:01	24:07:11	24:07:36	24:09:22	24:09:47	24:12:00			
23:55:49	23:57:17	23:57:42	23:59:31	23:59:56	24:02:24	24:02:49	24:04:23	24:04:48	24:05:51	24:06:16	24:07:57	24:08:22	24:09:36	24:10:01	24:13:11	24:13:36	24:15:22	24:15:47	24:18:00			
24:01:49	24:03:17	24:03:42	24:05:31	24:05:56	24:08:24	24:08:49	24:10:23	24:10:48	24:11:51	24:12:16	24:13:57	24:14:22	24:15:36	24:16:01	24:19:11	24:19:36	24:21:22	24:21:47	24:24:00			

附表四 上行理想班表(續)

台北車站	善導寺	善導寺	忠孝新生	忠孝新生	忠孝復興	忠孝復興	忠孝敦化	忠孝敦化	國父紀念館	國父紀念館	市政府	市政府	永春	永春	後山埤	後山埤	昆陽	昆陽	南港
																	06:00:38	06:01:03	06:02:56
														06:00:20	06:01:34	06:01:59	06:03:38	06:04:03	06:05:56
											06:01:06	06:01:31	06:02:55	06:03:20	06:04:34	06:04:59	06:06:38	06:07:03	06:08:56
							06:00:56	06:01:21	06:02:28	06:02:53	06:04:06	06:04:31	06:05:55	06:06:20	06:07:34	06:07:59	06:09:38	06:10:03	06:11:56
			06:00:24	06:00:49	06:02:13	06:02:53	06:03:56	06:04:21	06:05:28	06:05:53	06:07:06	06:07:31	06:08:55	06:09:20	06:10:34	06:10:59	06:12:38	06:13:03	06:14:56
06:00:40	06:01:44	06:02:09	06:03:24	06:03:49	06:05:13	06:05:53	06:06:56	06:07:21	06:08:28	06:08:53	06:10:06	06:10:31	06:11:55	06:12:20	06:13:34	06:13:59	06:15:38	06:16:03	06:17:56
06:03:40	06:04:44	06:05:09	06:06:24	06:06:49	06:08:13	06:08:53	06:09:56	06:10:21	06:11:28	06:11:53	06:13:06	06:13:31	06:14:55	06:15:20	06:16:34	06:16:59	06:18:38	06:19:03	06:20:56
06:06:40	06:07:44	06:08:09	06:09:24	06:09:49	06:11:13	06:11:53	06:12:56	06:13:21	06:14:28	06:14:53	06:16:06	06:16:31	06:17:55	06:18:20	06:19:34	06:19:59	06:21:38	06:22:03	06:23:56
06:09:40	06:10:44	06:11:09	06:12:24	06:12:49	06:14:13	06:14:53	06:15:56	06:16:21	06:17:28	06:17:53	06:19:06	06:19:31	06:20:55	06:21:20	06:22:34	06:22:59	06:24:38	06:25:03	06:26:56
06:12:40	06:13:44	06:14:09	06:15:24	06:15:49	06:17:13	06:17:53	06:18:56	06:19:21	06:20:28	06:20:53	06:22:06	06:22:31	06:23:55	06:24:20	06:25:34	06:25:59	06:27:38	06:28:03	06:29:56
06:15:40	06:16:44	06:17:09	06:18:24	06:18:49	06:20:13	06:20:53	06:21:56	06:22:21	06:23:28	06:23:53	06:25:06	06:25:31	06:26:55	06:27:20	06:28:34	06:28:59	06:30:38	06:31:03	06:32:56
06:18:40	06:19:44	06:20:09	06:21:24	06:21:49	06:23:13	06:23:53	06:24:56	06:25:21	06:26:28	06:26:53	06:28:06	06:28:31	06:29:55	06:30:20	06:31:34	06:31:59	06:33:38	06:34:03	06:35:56
06:21:40	06:22:44	06:23:09	06:24:24	06:24:49	06:26:13	06:26:53	06:27:56	06:28:21	06:29:28	06:29:53	06:31:06	06:31:31	06:32:55	06:33:20	06:34:34	06:34:59	06:36:38	06:37:03	06:38:56
06:24:40	06:25:44	06:26:09	06:27:24	06:27:49	06:29:13	06:29:53	06:30:56	06:31:21	06:32:28	06:32:53	06:34:06	06:34:31	06:35:55	06:36:20	06:37:34	06:37:59	06:39:38	06:40:03	06:41:56
...
...
24:12:40	24:13:44	24:14:09	24:15:24	24:15:49	24:17:13	24:17:53	24:18:56	24:19:21	24:20:28	24:20:53	24:22:06	24:22:31	24:23:55	24:24:20	24:25:34	24:25:59	24:27:38	24:28:03	24:29:56
24:18:40	24:19:44	24:20:09	24:21:24	24:21:49	24:23:13	24:23:53	24:24:56	24:25:21	24:26:28	24:26:53	24:28:06	24:28:31	24:29:55	24:30:20	24:31:34	24:31:59	24:33:38	24:34:03	24:35:56
24:24:40	24:25:44	24:26:09	24:27:24	24:27:49	24:29:13	24:29:53	24:30:56	24:31:21	24:32:28	24:32:53	24:34:06	24:34:31	24:35:55	24:36:20	24:37:34	24:37:59	24:39:38	24:40:03	24:41:56

附表五 下行理想班表(續)

台北車站	台北車站	西門	西門	龍山寺	龍山寺	江子翠	江子翠	新埔	新埔	板橋	板橋	府中	府中	亞東醫院	亞東醫院	海山	海山	土城	土城	永寧	
																			06:00:07	06:00:32	06:02:44
																	06:00:58	06:01:23	06:03:07	06:03:32	06:05:44
														06:01:16	06:01:41	06:03:58	06:04:23	06:06:07	06:06:32	06:08:44	
										06:00:40	06:01:05	06:02:09	06:02:34	06:04:16	06:04:41	06:06:58	06:07:23	06:09:07	06:09:32	06:11:44	
								06:01:33	06:01:58	06:03:40	06:04:05	06:05:09	06:05:34	06:07:16	06:07:41	06:09:58	06:10:23	06:12:07	06:12:32	06:14:44	
						06:02:54	06:03:19	06:04:33	06:04:58	06:06:40	06:07:05	06:08:09	06:08:34	06:10:16	06:10:41	06:12:58	06:13:23	06:15:07	06:15:32	06:17:44	
		06:00:14	06:00:39	06:02:19	06:02:44	06:05:54	06:06:19	06:07:33	06:07:58	06:09:40	06:10:05	06:11:09	06:11:34	06:13:16	06:13:41	06:15:58	06:16:23	06:18:07	06:18:32	06:20:44	
06:00:22	06:01:02	06:03:14	06:03:39	06:05:19	06:05:44	06:08:54	06:09:19	06:10:33	06:10:58	06:12:40	06:13:05	06:14:09	06:14:34	06:16:16	06:16:41	06:18:58	06:19:23	06:21:07	06:21:32	06:23:44	
06:03:22	06:04:02	06:06:14	06:06:39	06:08:19	06:08:44	06:11:54	06:12:19	06:13:33	06:13:58	06:15:40	06:16:05	06:17:09	06:17:34	06:19:16	06:19:41	06:21:58	06:22:23	06:24:07	06:24:32	06:26:44	
06:06:22	06:07:02	06:09:14	06:09:39	06:11:19	06:11:44	06:14:54	06:15:19	06:16:33	06:16:58	06:18:40	06:19:05	06:20:09	06:20:34	06:22:16	06:22:41	06:24:58	06:25:23	06:27:07	06:27:32	06:29:44	
06:09:22	06:10:02	06:12:14	06:12:39	06:14:19	06:14:44	06:17:54	06:18:19	06:19:33	06:19:58	06:21:40	06:22:05	06:23:09	06:23:34	06:25:16	06:25:41	06:27:58	06:28:23	06:30:07	06:30:32	06:32:44	
06:12:22	06:13:02	06:15:14	06:15:39	06:17:19	06:17:44	06:20:54	06:21:19	06:22:33	06:22:58	06:24:40	06:25:05	06:26:09	06:26:34	06:28:16	06:28:41	06:30:58	06:31:23	06:33:07	06:33:32	06:35:44	
06:15:22	06:16:02	06:18:14	06:18:39	06:20:19	06:20:44	06:23:54	06:24:19	06:25:33	06:25:58	06:27:40	06:28:05	06:29:09	06:29:34	06:31:16	06:31:41	06:33:58	06:34:23	06:36:07	06:36:32	06:38:44	
06:18:22	06:19:02	06:21:14	06:21:39	06:23:19	06:23:44	06:26:54	06:27:19	06:28:33	06:28:58	06:30:40	06:31:05	06:32:09	06:32:34	06:34:16	06:34:41	06:36:58	06:37:23	06:39:07	06:39:32	06:41:44	
...	
...	
24:06:22	24:07:02	24:09:14	24:09:39	24:11:19	24:11:44	24:14:54	24:15:19	24:16:33	24:16:58	24:18:40	24:19:05	24:20:09	24:20:34	24:22:16	24:22:41	24:24:58	24:25:23	24:27:07	24:27:32	24:29:44	
24:12:22	24:13:02	24:15:14	24:15:39	24:17:19	24:17:44	24:20:54	24:21:19	24:22:33	24:22:58	24:24:40	24:25:05	24:26:09	24:26:34	24:28:16	24:28:41	24:30:58	24:31:23	24:33:07	24:33:32	24:35:44	
24:18:22	24:19:02	24:21:14	24:21:39	24:23:19	24:23:44	24:26:54	24:27:19	24:28:33	24:28:58	24:30:40	24:31:05	24:32:09	24:32:34	24:34:16	24:34:41	24:36:58	24:37:23	24:39:07	24:39:32	24:41:44	

附表六 南港站折返時間

到達南港站時間	南港站折返時間(秒)	南港站使用月台數	離開南港站時間	到達南港站時間	南港站折返時間(秒)	南港站使用月台數	離開南港站時間
06:02:56	90	1	06:04:26	17:23:56	270	2	17:28:26
06:05:56	240	2	06:09:56	17:27:56	360	2	17:33:56
...	...	...	...	17:31:56	330	2	17:37:26
09:11:56	240	2	09:15:56	17:35:56	270	2	17:40:26
09:17:56	210	1	09:21:26	17:39:56	360	2	17:45:56
09:20:56	240	2	09:24:56	17:43:56	330	2	17:49:26
09:23:56	240	2	09:27:56	17:47:56	270	2	17:52:26
09:29:56	210	1	09:33:26	17:50:56	240	2	17:54:56
09:32:56	240	2	09:36:56	...	...	...	...
09:35:56	240	2	09:39:56	19:14:56	240	2	19:18:56
09:41:56	210	1	09:45:26	19:20:56	180	1	19:23:56
09:44:56	240	2	09:48:56	19:23:56	210	2	19:27:26
09:47:56	240	2	09:51:56	19:26:56	240	2	19:30:56
09:51:56	330	2	09:57:26	...	...	...	...
...	...	...	...	19:35:56	240	2	19:39:56
17:07:56	330	2	17:13:26	19:41:56	180	1	19:44:56
17:11:56	270	2	17:16:26	19:44:56	210	2	19:48:26
17:15:56	360	2	17:21:56	19:47:56	240	2	19:51:56
17:19:56	330	2	17:25:26	...	...	...	...

附表六 南港站折返時間(續)

到達南港站時間	南港站折返時間 (秒)	南港站使用月台數	離開南港站時間	到達南港站時間	南港站折返時間 (秒)	南港站使用月台數	離開南港站時間
22:39:26	240	2	22:43:26	23:29:56	90	1	23:31:26
22:42:56	300	2	22:47:56	23:41:56	90	1	23:43:26
...	...	...	...	23:53:56	90	1	23:55:26
23:17:56	300	1	23:22:56				



附表七 亞東醫院站及永寧站折返時間

到達永寧站 時間	折返 時間	使用月 台數	離開永寧站 時間	到達永寧站 時間	折返 時間	使用月 台數	離開永寧站 時間
06:11:44	125	1	06:13:49	18:59:44	240	1	19:03:44
06:17:44	240	1	06:21:44	19:05:44	335	1	19:11:19
...	...	...	...	19:11:44	185	1	19:14:49
08:59:44	240	1	09:03:44	19:17:44	245	1	19:21:49
09:05:44	365	1	09:11:49	19:23:44	95	1	19:25:19
09:11:44	245	1	09:15:49	19:29:44	155	1	19:32:19
09:17:44	125	1	09:19:49	19:35:44	215	1	19:39:19
09:23:44	245	1	09:27:49	19:41:44	65	1	19:42:49
09:29:44	125	1	09:31:49	19:47:44	125	1	19:49:49
09:35:44	245	1	09:39:49	19:53:44	185	1	19:56:49
09:41:44	125	1	09:43:49	20:00:44	300	1	20:05:44
09:47:44	245	1	09:51:49	...	...	...	...
09:53:44	125	1	09:55:49	22:27:44	300	1	22:32:44
...	...	...	...	22:34:44	545	1	22:43:49
17:05:44	125	1	17:07:49	22:41:44	485	1	22:49:49
17:13:44	185	1	17:16:49	22:48:44	425	1	22:55:49
17:21:44	65	1	17:22:49	22:55:44	365	1	23:01:49
17:29:44	125	1	17:31:49	23:02:44	305	1	23:07:49
17:37:44	185	1	17:40:49	23:09:44	245	1	23:13:49
17:45:44	65	1	17:46:49	23:16:44	185	1	23:19:49
17:53:44	125	1	17:55:49	23:23:44	125	1	23:25:49
17:59:44	240	1	18:03:44	23:47:44	125	1	23:49:49
...				

附表七 亞東醫院站及永寧站折返時間(續)

到達亞東醫院 站時間	折返時 間	離開亞東醫院 站時間	到達亞東醫院 站時間	折返時 間	離開亞東醫院 站時間
06:01:41	213	06:08:24	19:07:41	213	19:14:24
...	...	...	19:19:41	123	19:24:54
09:07:41	213	09:14:24	19:25:41	114	19:34:39
09:19:41	453	09:30:24	19:37:41	93	19:42:24
09:31:41	453	09:42:24	19:43:41	114	19:52:39
09:43:41	453	09:54:24	19:50:11	393	19:59:54
09:58:41	273	10:06:24	19:57:11	393	20:06:54
...	...	...	20:04:11	183	20:10:24
17:02:41	273	17:10:24	...	...	...
17:10:41	213	17:17:24	22:38:11	183	22:44:24
17:18:41	273	17:26:24	23:06:11	1743	23:38:24
17:26:41	153	17:32:24	23:22:41	1113	23:44:24
17:34:41	213	17:41:24	23:34:41	753	23:50:24
17:42:41	273	17:50:24	23:46:41	753	24:02:24
17:49:41	213	17:56:24	23:58:41	393	24:08:24
...			

附表八 南港機廠收發車時間

南港機廠發車時間	
06:06:52	17:30:52
17:18:52	17:42:52
南港機廠收車時間	
09:14:56	24:29:56
09:26:56	19:17:56
09:38:56	22:49:56
19:38:56	22:56:56
23:14:26	23:03:56
23:23:56	24:11:56
23:35:56	24:17:56
23:47:56	24:23:56
23:59:56	24:35:56
24:05:56	24:41:56

附表九 土城機廠收發車時間

土城機廠發車時間	
06:14:49	17:41:49
06:20:49	17:56:49
17:17:49	18:02:49
17:32:49	
土城機廠收車	
06:20:44	22:52:11
09:13:41	22:59:11
09:25:41	23:13:11
09:37:41	23:28:41
09:50:41	23:52:41
17:55:41	24:04:41
19:13:41	24:16:41
19:31:41	24:28:41
22:45:11	

