

工兵部隊道路 爆破路線選擇之研究

鄭子璉

提要

- 一、本文為探討「簡易部隊移動路線之最佳化分析」之應用，利用前研究所得，分析敵方部隊行進道路網中，工兵部隊破壞不同道路在模式中所引起之整體反應。
- 二、本文中運用多時段網流模擬分析來計算道路網的流動情形，並運用調整箭線的上限值模擬當道路遭到破壞無法通過的情形。
- 三、假設一簡單的道路網及狀況來進行模式的運算，並針對其運算結果加以分析討論，當選擇之路線遭到完全破壞後的影響。
- 四、本研究之結果旨在提供為工兵參謀及決策主官一分析參考之最佳化分析數據資料，使工兵參謀及決策主官在擬定計畫及下決策時有多一份資訊可供利用，提高主官決策之正確性與可靠度。

壹、前言

本文為探討「簡易部隊移動路線之最佳化分析」之應用，該篇文稿業已被陸軍工兵學術季刊接受，預定排入第一〇六期，前文乃討論利用多時段網流模擬分析部隊最短時間移動狀況，可針對多起點至多終點進行各時段之所有路線調整及分配人數，在模式中將人員視為一流量之方式，利用電腦程式計算可在短時間內得到分析結果，在本研究中，利用前研究所得，分析敵方行進道路網中，破壞不同道路在模式中所引起之整體反應，並修正自行發展之程式以配合本研究之進行。

爆破是工兵部隊的專長，在一般師級的部隊中，皆至少配屬一工兵連級以上之工兵單位負責該師的戰鬥支援，在工兵部隊執行阻絕任務中，有一項即是採用道路、橋樑爆破、破壞，在敵前進道路上中給予嚴重的阻礙，減低敵之高速前進，但在複雜的道路網中，不是僅有一條或簡單幾條道路即可將敵前進之路線全面封鎖，且不同之道路爆破後所造成敵之時間延滯亦不同，本研究假設一簡單案例及道路網進行分析及討論，並應用前研究所發展出之程式進行修改及計算。

圖(枝)論與網路分析是應用十分廣的作業研究分支，它已廣泛的應用在物理學、化學、控制論、資訊理論、科學管理、電子計算機等各個領域。在實際生活、生產和

科學研究中，有很多問題可以利用圖論的理論和方法來解決。例如：最短工時問題、最短路徑及最大流量等問題，均可簡便的運用網路分析來求解。

常有很多工程上的求最小成本問題能利用線性規畫模式表示來求最佳解，這類的問題皆可用標準方法—簡形法 (Simplex Method) 來求解，但是由於這類問題均為對偶 (Dual) 問題，所以都具有網流 (Network Flow) 的形式，因此傳統上是採用效率較高的網流方法來求解。

網路解法與傳統的線性規劃的簡形法比較，網路解法的電腦記憶容量需求僅為線性規劃的數百分之一，且計算速度來說網路解法較線性規劃快十到數百倍，此種特性讓我們可以利用一般個人電腦輕易的來計算。在複雜的系統最佳化計算處理中，網路解法也提供了較具體的系統簡圖。

一般所謂最佳化路線分析，均以單獨個體行經一道路網來作為分析的命題，對於多數個體同時運作及超出道路網所能負載之容量時，即發生先天的障礙。因此，建立一能具有滯留特性的道路網模式，有助於將此種問題以數學的方式處理。

一般在利用規畫求解時，多採用線性規畫以便於用現成之工具求解，惟利用線性規畫所需之記憶體將大為增加，且計算速度亦較慢，故考慮改採用網流分析 (Network) 來作為模式分析之基本架構。網流分析對於利用於分析此問題有以下幾種優點：

1. 對於問題可以以映射道路網來輸入問題資料，不需經過多重轉換成數學式。
2. 變數需求量是線性規畫的一半以下，計算速度是線性規畫的四倍以上。
3. 問題分析結果亦可以以映射道路網來取得問題解答，不需經過多重轉換。

基於以上的優點，本研究擬採用網流分析模式來進行，並自行發展程式以便於計算分析，另外一併考量未來發展統合型之應用模式，本研究所發展之程式採用 Windows 作業系統為發展環境，便於日後取用系統資源、整合資料庫、連結地理資訊系統 (GIS) 等，在爭取時效上，本程式採用 Visual BASIC 編譯器為發展工具，以縮短程式發展所需時間。

貳、理論基礎

網流分析即為一般作業研究或工程系統分析中的圖論，此方法在工程上常利用來解決工程進度的排定或人力的分配與運用。本研究中將此分析方法運用在人數分配及流量控制上。

2.1 最佳策略計算模式

一具有眾多目標區的道路網內可能包含多個滯留點(如停車場)、標的區、路口、

便道等，此實體系統可簡易且明確地以網路表示。就網路觀點而言，其組成要項包括以滯留設施（如起點）、非滯留設施（如標的區、路口）為網路節點，而節點與節點間之箭線則表示道路、便道或戰壕等。上述之供需網流可以表示成一最小流動成本的線性網流問題如下：

目標函數 (Objective Function)

$$\text{Minimize} \quad \sum_{i=1}^N \sum_{j=1}^N w_{ij} q_{ij} \quad (1)$$

限制式 (subject to)

$$\sum_{i=1}^N q_{ij} - \sum_{i=1}^N q_{ji} = 0; \quad j = 1, \dots, N \quad (2)$$

$$l_{ij} \leq q_{ij} \leq u_{ij}; \quad i, j = 1, \dots, N \quad (3)$$

$$l_{ij} \geq 0 \quad (4)$$

式中，

- N = 網路系統之節點總數，
- q_{ij} = 自節點 i 流至節點 j 的量
- w_{ij} = q_{ij} 每單位的成本
- l_{ij} = q_{ij} 的下限值
- u_{ij} = q_{ij} 的上限值

方程式 (2) 要求所有進入一節點的量等於所有離開該節點之量，故可保證全系統之平衡。網流規劃 (Network Flow Programming, NFP) 為用以求解此網流問題的技術，本研究之網流計算擬以 Out-of-Kilter 演算法 (OKA) 逐時段求解最小流動成本的流量分佈，OKA 為利用網路特殊構造型態以求解 NFP 問題的主偶單純演算法 (Primal-Dual Simplex Algorithm)，其計算時效較一般 NFP 的計算方法為佳，故有利於分析相當大尺度道路網系統的分析。

應用 NFP 模式的關鍵在於如何以網路適當表示道路網系統之分析要項，流動「成本」係以經過該道路所需之所有時間換算成表示箭線之假想成本，並以此做為計算網路內量及需求量之流動成本，則量在網流系統內循最小成本的原則流動時，能正確反應道路網系統的最佳人員分配要求。

以網流模擬道路網系統之優點包括：

- 一、將系統網路化可以以實體的圖形直接展示系統形態，系統要項（節點或箭線）之增刪均可簡易地自原網路修正而得，再透過修正資料檔即可分析不同的道路利用情況。因道路網系統可直接表示成網流之型態，所以網流可相當程度地展示道路網系統的細節，一般之接受性高。
- 二、網流優選技術相較一般線性規劃或試誤法是相當有效率的演算法。OKA 為利用網路特殊構造型態以求解 NFP 問題的主偶單純演算法 (Primal-Dual Simplex Algorithm)，其計算時效較一般 NFP 的計算方法為佳，故有利於分析大尺度道路網系統的規畫。
- 三、道路網系統之要項在網流上均為一節點，雖因此網流可以較詳細地表示系統細節，但相對的計算量也較大，但網流之分析法一般均具有快速的計算能力，故可有效率地分析大尺度的複雜系統。

2.2 網流模擬模式

原則上分析道路網系統的最佳經營策略以採優選法較為便捷，但由於區域性道路網系統之分析尺度增大，難以應用動態規劃 (Dynamic Programming) 求取動態的最佳經營策略，而線性規劃之單純法 (Simplex Method) 在計算上亦極為耗時，相反地卻可利用較有效率的線性網流模式 (Network Flow Model) 來分析系統之最佳營運策略。網流模式為一極有效率的最小成本解法，尤其對網流上之節點及箭線數量甚多之大尺度系統，將較一般如 HEC-5 之直接迭代分配的模擬模式在計算上要快得多，故在營運或規劃上為極有力的工具。

網流模擬模式是將各階段的輸出根據模擬分析給予分配之預想成本，因此僅能針對已給定之預想成本進行最佳化分析，但因每單一階段即進行最佳化分析，因此在計算尺度上較小，計算速度亦較快。

參、研究方法

一般網路分析直接映射問題之簡圖，因此均為單一時段之網流模擬分析，本研究中所探討的流量因超出網路系統所能負擔的容量，且另需考慮空間滯留與時間成本的交錯關係，所以考量採用多時段網流模擬分析模式來進行本研究之分析與探討。

3.1 多時段網流模擬分析模式

本研究以多時段網流模擬流量在道路網系統間之調配，期以網流快速的計算與簡易的系統更新能力，協助區域道路網的規畫操作。故本研究應用多時段網流模擬分析

模式分析區域性系統之調配。本研究採用之多時段網流模擬分析模式優於一般模擬分析之處是可考慮跨時段之流量調配措施，在網流上流量在時間方向上的流動係蓄流自本時段流至下一時段，而在空間方向的流動，則為自系統的一部份流至另一部份，當流量在動態時空之最佳流動下，可充份發揮系統內蓄流調節功能，再由分析成果據以分析符合區域性規畫特性，尤其對複雜之系統更能發揮其整體之分析成效。

3.2 分析步驟

茲將本研究中之分析步驟簡述如下：

一、最大可能之上限時段數分析。

1. 關鍵路徑分析。根據關鍵路徑的流通量來計算只用關鍵路徑疏通所需之時段數。
2. 所需複製之上限時段數分析。經計算得到複製之上限時段數後，可保證即使其結果時間最長，亦能完全疏通人員，確定計算規模的上限。

二、建立網路系統。

1. 複製成多時段網流模擬模式。根據基本網路資料複製。
2. 調整網路成本。在已複製完成之網路的蓄流箭線上加入時間成本。

三、多時段網流模擬分析。

四、結果輸出。

本研究根據以上之步驟進程式撰寫。

3.3 道路爆破路線選擇

茲利用前小節模組之能力將本研究中針對目標路線的選定之分析步驟簡述如下：

1. 根據前小節之輸出結果進行分析，將所有有效路線也就是有流動發生的路線視為目標分析路線。
2. 將各目標路線進行流量上限更換，在本研究中假定以完全破壞計算，流量上限改為 0。
3. 進行前小節之完整計算。
4. 分析計算結果與前小節之結果之差異。
5. 製表輸出統計各路線遭完全破壞後之影響。

肆、假設案例

假設今有敵方部隊 20,000 人於彰化集結，其位置與附近相關地點之道路網如圖一，若已蒐集到之情報顯示該敵方部隊將採用小單位移動，分別前往至斗南、北港兩

地各重新集結 12,000 與 8,000 人，對我大林駐軍進行圍攻，該駐軍部隊下屬戰鬥工兵部隊已被授權可針對適當之道路加以破壞或阻絕，以便爭取時間進行工事構築與陣形佈置。

在圖一中以長橢圓形表示敵方部隊目前集結位置，以矩形表示敵方部隊預計將重新集結位置，各聯絡道路均以箭線來表示，各道路交叉口或高速公路交流道以小圓圈之節點表示。在考慮簡化計算之複雜度中，不會產生反向流動之道路均假定為單向道路，以單向箭線表示，不確定是否可能產生反向流動以達到最短時間內集結完成之道路均假定為雙向道路，以雙向箭線表示。其單向道路之每小時最大流通人數及通過該道路所耗時間成本如表二，其雙向道路之每小時最大流通人數及通過該道路所耗時間成本如表三。

在分析計算中，均採用最短時間進行討論分析。首先，先針對原始道路網之案例進行分析計算，根據最短時間計算結果，選擇敵可能採用之路線逐一模擬道路破壞，假定道路進行完整爆破與破壞，則將箭線上限容量更改成 0，代表該箭線已完全無法通過、道路中斷，再針對此修改過後之案例進行分析計算。

分析敵方部隊目前集結位置與外部連結之道路網，由敵方單位目前集結位置向外之聯絡道路在單一網路系統下最多只能輸送 3,400 人，小於敵方部隊目前集結位置之總人數，考慮利用蓄留的觀念引入所分析的命題中，將道路網複製做為下一時段的系統，將本時段未運動之人數以箭線指往下一時段，由於必須控制蓄留的人數為最少且必須，因此考量在蓄留箭線上加上時間成本，所以在最小成本下，可控制將通過蓄留箭線的人數降到最低。

為了簡化及方便研究分析，在此假設案例中做了以下的簡化及假設：

1. 所有人員均視為一單一個體。也就是指在分析中，以最高效率移動為優先，暫時並不探究人與人之間的相互依存關係，如伍、班、排、連、營等戰力單位，亦不考量針對利用不同移動方式有不同的移動能力，均以單一人員及相同移動能力來暫做考量。
2. 假設空間流動為可與時間量成正比。在這裡假定時間與道路進口處及道路出口處之人員通過量成正比，而道路進口處之人員通過量相等於道路出口處之人員通過量。
3. 容許非整數之人員通過量。考慮在時間階段結束之瞬間，可能正有人員正通過道路進口處，基於此理由下，容許非整數之人員通過量於模式中。
4. 根據以上假設調整網路描述方式為單一階段之流量，以避免時空矛盾之結果，並能配合時間成本進行分析。

伍、結果分析與討論

在本研究分析中所使用之個人電腦 (Personal Computer) 配備為：

1. CPU : Pentium 90
2. SVGA Card : S3-868 2MB RAM
3. OS : Windows 95 OSR2 中文版
4. DRAM : 32 MB

以上僅列出可能影響電腦程式執行計算速度較大者。SVGA 會影響對螢幕輸出的速度，若螢幕顯示卡效率慢，則 CPU 會有很多時間處於等待螢幕輸出完成後再進行接下來之計算。

本研究中的原始假設案例經上述配備執行分析約需一分鐘，如圖三，若能改採目前時下約四萬元級配備之電腦，所需時間應可縮減至二十秒以內。

圖四為開啟該假設案例檔的操作情形，開啟後程式將會自動執行運算，其運算完成之結果如圖五與表四，表四中各箭線編號可對應圖一之各箭線編號，箭線 29 至 39 為表三中之各道路的反向流量，由於在分析時採最佳化分析，因此，不必要的人員移動或同時之雙向流量是不會發生的，在同一時刻僅會有單一方向之流動，以減少時間成本，如箭線 26 與其反向之箭線 38。

箭線 40 為模擬集結彰化人員因道路限制而滯留於彰化尚未移動之情形，人員每滯留 1 階段，每名人員即增加 1 小時之時間成本，而最佳化分析中，除無法疏散之情形所造成滯留外，亦有可能因滯留等待後可選走成本較小的路線之情形，如後述之狀況可使整體成本下降，又基於成本最小化的原則下，仍可控制滯留人員為最少。

箭線 41 及 42 為各需求在各階段所進入的人數，各階段分配到的人數均由箭線 43 及 44 的總需求輸出所控制，因此不會超出需求量，又各階段的入流均考慮總體需求的平衡，故在入流表現上會有量的大小起伏變化以適應最佳化的調整。

箭線 43 至 46 其 2 至 7 階段之值均為 0 可經由圖 2 知其原因為僅有一條箭線，該數條箭線均不複製，故其複製部分之箭線值為 0。

在本研究中，需求節點 12 及 13 中因考量實際問題可能需求，以雙向箭線相連，而在多時段的演算中，有可能發生時空衝突的問題，因此改採用如圖 2 的作法，將某一需求節點在任一時段之輸出均拉出該時段的系統並進入該總需求節點，以保證不會產生時空上之錯亂，避免不同時段之流量互相干擾。

表四的結果從滯留箭線開始累算，所有人員至定位需 14.5 小時，其結果詳列於表五，將計算結果之流量代回原道路網路計算分析，所有人員至定位需 14.5 小時，在此假設案例中恰巧兩者沒有誤差，若兩者之間產生誤差，在於本研究中採用 1 小時為單位階段時間，直接累算箭線成本只能求得近似的大於真值之最小整數，若要更精細的計算，可將各階段的單位時間縮小至 30 分鐘或 10 分鐘不等，在本研究中不

再對此時間分段做探討，留待後續研究中分析討論。

據表四之計算結果分析，選擇流量大之箭線作為道路破壞目標進行分析計算，在本研究中選定箭線 1、2、3、6、8、14、17、18、20 及 27 等 10 條箭線，假定該道路被完全破壞，以完全無法通過該道路來加以分析計算，其計算結果統計表如表五，電腦計算時間約需 10 分鐘。

由計算結果可知，當箭線 8 遭受到完全破壞無法通過時，人員總移動成本增加了 42,300 小時，重新集結完成增加了 4 小時，需 18.5 小時方可重新集結完成，而箭線 3、14 及 17 等 3 條箭線雖遭受到完全破壞，人員總移動成本增加，但該遭受到完全破壞之路徑可由其他路徑取代，完全不影響重新集結完成所需時間，因此屬於無效之破壞。

由表五之計算結果統計表可知，箭線 8 遭受到完全破壞無法通過時，重新集結完成時間成本增加最大，而屬同一條幹線的省道 19，其箭線 14 及 17 遭受到完全破壞後，其重新集結完成時間成本完全沒有增加，分析各箭線之計算流量中，是因溪湖以南有多條路線可以替代，當溪湖以南之省道 19 遭受到完全破壞後，仍能主要利用省道 1 及其相關周邊道路加以抒解，因此雖然總時間成本增加，但其重新集結完成時間成本卻沒有增加。

陸、結論與建議

茲將本研究所得之結論與建議分述如下：

6.1 結論：

- 一、電腦具有分析快速的優點，適合作大量的分析運算，本研究之結果可提供為工兵參謀及決策主官一分析參考之數據資料，但尚不足以完全取代人工參謀的作業，在實際運用上並不是直接以計算之結果下決策，例如說本研究中只以純數量進行分析，沒有考量到實際的人員物資狀況，並且對於補給、運輸、反擊所需行經路線或其他戰術、戰略之可能之影響完全未做妥善的考量，在實際運用可能會產生其它的困擾，但仍可提供相當的數據資料供執行規劃的工兵參謀與決策主官參考，因此，研究之成果旨在提供一最佳化分析之數據，使工兵參謀及決策主官在擬定計畫及下決策時有多一份資訊可供利用，減少擬定計畫中對破壞路線效益的估算工作，提高主官決策之正確性與可靠度。
- 二、網流分析方法是高效率的分析工具，網流分析具有直觀的視覺效果；因此網流分析具有明確而易於理解的特性，其資料並且能以網路圖形而非陣列的方式來處

理，所需的記憶量及計算時間均約為一般線性規劃模式的 $1/n$ ， n 為工作數目，因此規模越大的問題越能顯示這個方法的威力。

三、本研究其計算之結果考量到最小時間成本，故能利用最短時間及道路網、滯留等因素加以分析運用，並解決當流量超出道路網所能負荷所造成的困境。

6.2 建議：

- 一、本研究中尚未考慮部隊移動中有關於戰力保持問題及其他相關細節，該部份有待於日後深入探討。
- 二、本研究中尚未考慮部隊移動中有關於不同移動方式具有不同移動速度及其他相關細節，該部份有待於未來研究中深入探討。
- 三、本研究所得之成果，經簡單之變化後，可應用於道路破壞與橋樑破壞之非完全破壞，例如當道路遭到破壞後通過的時間增加，則可調整箭線的時間成本來模擬，又或是當道路遭到破壞後通過的流通量減少，則可調整箭線的上限值來模擬。
- 四、本研究中之模式若適當與地理資訊系統相結合，將可提高其分析信賴度及應用範圍，並可加強其操作界面的親和性及結果輸出的可讀性，常見軟體如 MicroStation 95 即是一操作方便功能強大之軟體，該軟體之基本功能即支援 BASIC 語法及簡易地理資訊系統處理能力，未來可考慮該地理資訊系統與本程式之整合。
- 五、本研究中模式之單位流量可以採用其他單位流量代表分析，例如可以取一班為單位或是一車為單位進行分析，將可提高模式之應用能力與範圍。
- 六、建議增加不同時間階段之切割能力於程式中，以方便進行不同時間階段上之細部分析、探討及比較。
- 七、建議應適時提昇部隊電腦軟硬體層級，以利研究能運用部隊閒餘時間方便進行後續研究分析，並應更新部隊電腦使用觀念，利用電腦代替人腦進行分析運算，勿使電腦淪為中文打字機。

柒、參考文獻

1. 鄭子璉，「簡易部隊移動路線之最佳化分析」，陸軍工兵學術季刊第一〇六期（已接受），燕巢，民國 87 年 2 月。
2. 王文清，「水庫灌溉配水操作之研究」，國立臺灣大學農業工程學研究所碩士論文，民國 80 年 6 月。
3. 朱健行，「自來水配水管理資訊與系統監控之探討」，第五屆水利工程研討會論文

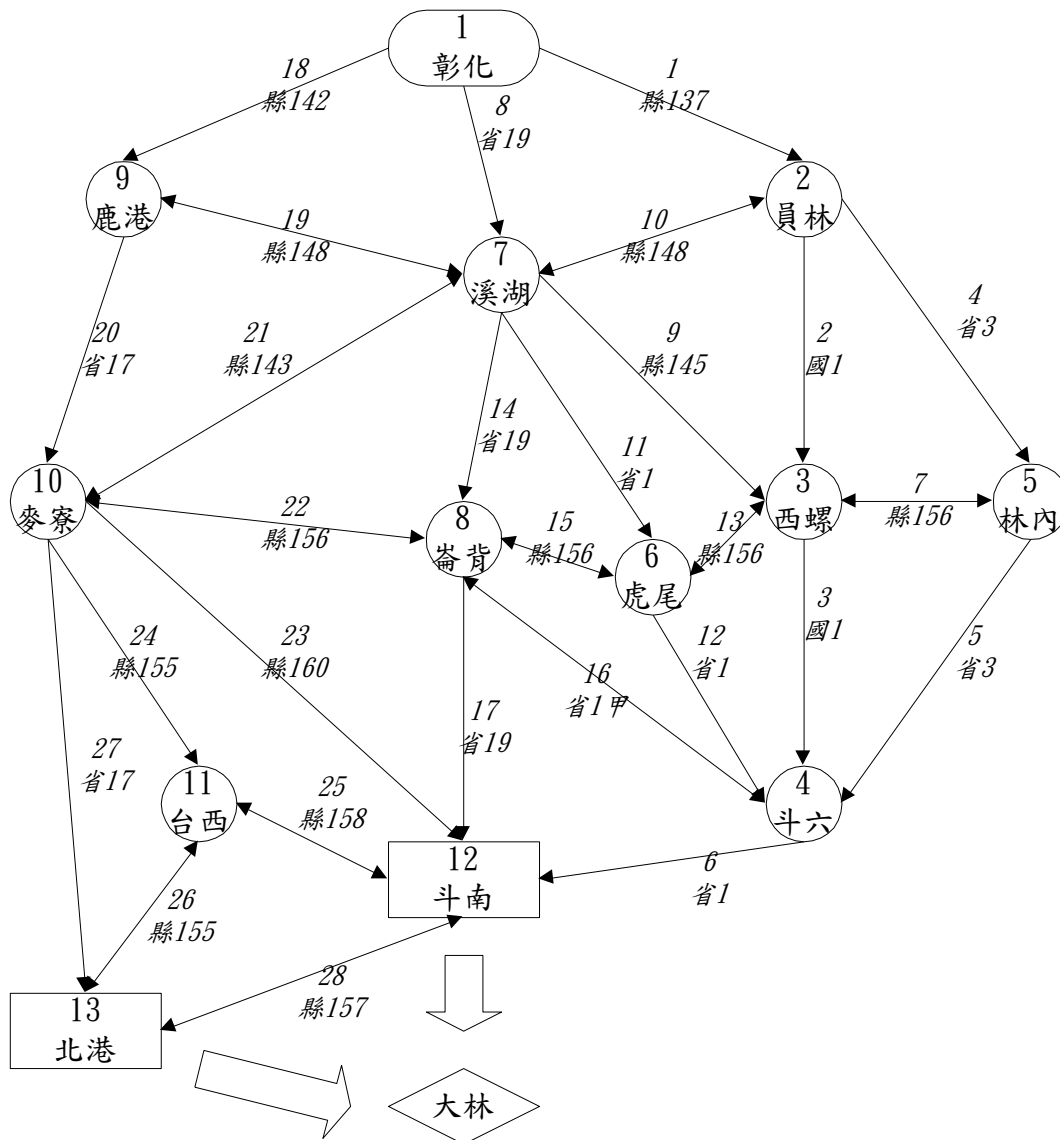
- 集，國立成功大學，台南，第 149~159 頁，民國 79 年。
4. 吳建民，「水資源綱領計畫」，水資源經營管理研討會，台北市，民國 83 年。
 5. 周乃昉，「區域性地面水量調配之網流模擬」，第六屆水利工程研討會論文集，國立交通大學，新竹，第 850~862 頁，民國 81 年。
 6. 周乃昉、林挺生，「地面水庫對調節河溪涵容流量之貢獻」，水資源技術評估與推廣研討會論文集，國立成功大學，台南，民國 82 年。
 7. 周乃昉、鄭子璉，「臺灣地區水資源供需情勢分析（一） 供水潛能分析與成果」，台南，民國 85 年。
 8. 林挺生，「區域性水資源系統之最佳營運特性分析」，國立成功大學水利及海洋工程學研究所碩士論文，民國 84 年 6 月。
 9. 徐享崑、葉陳萼、劉長齡，「高屏河流域水資源規劃系統分析之研究」，國立成功大學台南水工試驗所，研究試驗報告第七十七號，民國 74 年。
 10. 清華大學作業研究教材編寫組，「作業研究」，儒林，第 427~523 頁，民國 81 年 7 月。
 11. 雷萬清譯，「工程系統設計與規畫」，中國土木水利工程學會，第 36~75 頁，民國 67 年 6 月。
 12. 劉佳明，「計畫網路時程成本問題之切割解法」，農業工程學報 第 41 卷第 2 期，民國 84 年 6 月。
 13. 謝東明，「水庫線性放水規則與標的規劃模式網路解法之比較研究」，國立臺灣大學農業工程學研究所碩士論文，民國 79 年 6 月。
 14. Ernest Hinton and Roland W. Lewis, "Civil Engineering Systems Analysis and Design", Department of Civil Engineering, McMaster University, Hamilton, Ontario, 1983.
 15. Larry W. Mays and Yeou-Koung Tung, "Hydrosystems Engineering and Management", McGraw-Hill, Inc., 1992.

捌、註釋

文中所假設之道路網為了命名及說明方便，採用現有之地名及道路名代替，其鄉鎮互相連接情形、道路流通量及時間成本等資料與實地情況不符，請注意。

為尊重智慧財產權，特將本文所提及之各項軟體、商標及所屬公司名稱列出，以示尊重。如下：

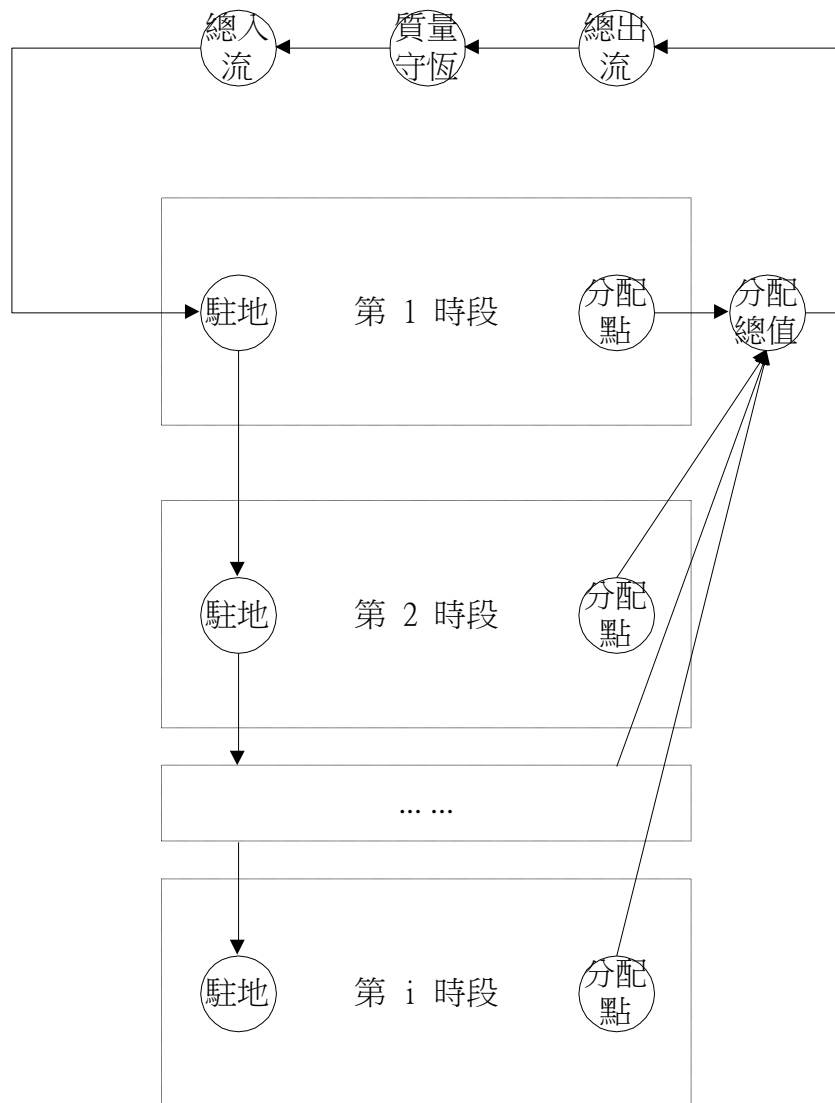
1. Windows 95 中文版， Visual BASIC 為 Microsoft 公司產品。
2. MicroStation 95 為 Bentley 公司產品。



圖一 道路網假設案例圖

表一 各戰術位置目的地區之需求人數

地點	節點編號	最大需求量	最小需求量	成本
斗南	12	12,000	0	0
北港	13	8,000	0	0



圖二 道路網假設案例圖

表二 各單向聯絡道路之通行人數及耗時數

道路代稱	道路編號	上限流量	下限流量	所耗時數	成本
縣137	1	950	0	3.1	0
國1	2	1,000	0	1.7	0
國1	3	1,050	0	2.1	0
省3	4	1,250	0	2.2	0
省3	5	1,300	0	2.7	0
省1	6	1,450	0	1.3	0
省19	8	1,500	0	2.6	0
縣137	9	650	0	2.2	0
省1	11	1,300	0	3.2	0
省1	12	1,350	0	1.8	0
省19	14	1,150	0	2.8	0
省19	17	1,050	0	3.1	0
縣142	18	950	0	2.9	0
省17	20	1,050	0	2.5	0
縣160	23	750	0	3.2	0
縣155	24	900	0	2.6	0
省17	27	1,000	0	3.1	0

表三 各雙向聯絡道路之通行人數及耗時數

道路代稱	道路編號	上限流量	下限流量	所耗時數	成本
縣137	7	700	0	0.7	0
縣148	10	750	0	1.4	0
縣156	13	600	0	2.6	0
縣156	15	650	0	1.7	0
省1甲	16	1,150	0	2.2	0
縣148	19	850	0	3.3	0
縣143	21	800	0	3.8	0
縣156	22	700	0	2.2	0
縣158	25	650	0	1.4	0
縣155	26	600	0	1.1	0
縣157	28	700	0	1.3	0

表四 計算結果

箭線編號	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
箭線名稱	縣137	國1	國1	省3	省3	省1	縣137	省19	縣137	縣148	省1	省1
來自節點	1	2	3	2	5	4	3	1	7	7	7	6
前往節點	2	3	4	5	4	12	5	7	3	2	6	4
箭線最大容量	950	1,000	1,050	1,250	1,300	1,450	700	1,500	650	750	1,300	1,350
箭線最小容量	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
箭線成本	3.1	1.7	2.1	2.2	2.7	1.3	0.7	2.6	2.2	1.4	3.2	1.8
1階段	950	950	1,050	0	0	1,050	0	1,500	100	0	0	0
2階段	950	950	1,050	0	0	1,050	0	1,500	100	0	0	0
3階段	950	950	1,050	0	0	1,200	0	1,500	100	0	150	150
4階段	950	950	1,050	0	0	1,350	0	1,500	100	0	300	300
5階段	950	950	1,050	0	0	1,050	0	1,500	100	0	0	0
6階段	400	400	1,050	0	0	1,050	0	700	650	0	0	0
7階段	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0

箭線編號	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24
箭線名稱	縣156	省19	縣156	省1甲	省19	縣142	縣148	省17	縣143	縣156	縣160	縣155
來自節點	3	7	6	8	8	1	7	9	7	10	10	10
前往節點	6	8	8	4	12	9	9	10	10	8	12	11
箭線最大容量	600	1,150	650	1,150	1,050	950	850	1,050	800	700	750	900
箭線最小容量	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
箭線成本	2.6	2.8	1.7	2.2	3.1	2.9	3.3	2.5	3.8	2.2	3.2	2.6
1階段	0	1,050	0	0	1,050	950	0	950	350	0	0	300
2階段	0	1,050	0	0	1,050	950	0	950	350	0	0	300
3階段	0	1,050	0	0	1,050	950	0	950	200	0	0	150
4階段	0	1,050	0	0	1,050	950	0	950	50	0	0	0
5階段	0	1,050	0	0	1,050	950	0	950	350	0	0	300
6階段	0	0	0	0	0	950	0	950	50	0	0	0
7階段	0	0	0	0	0	950	0	950	0	0	0	0

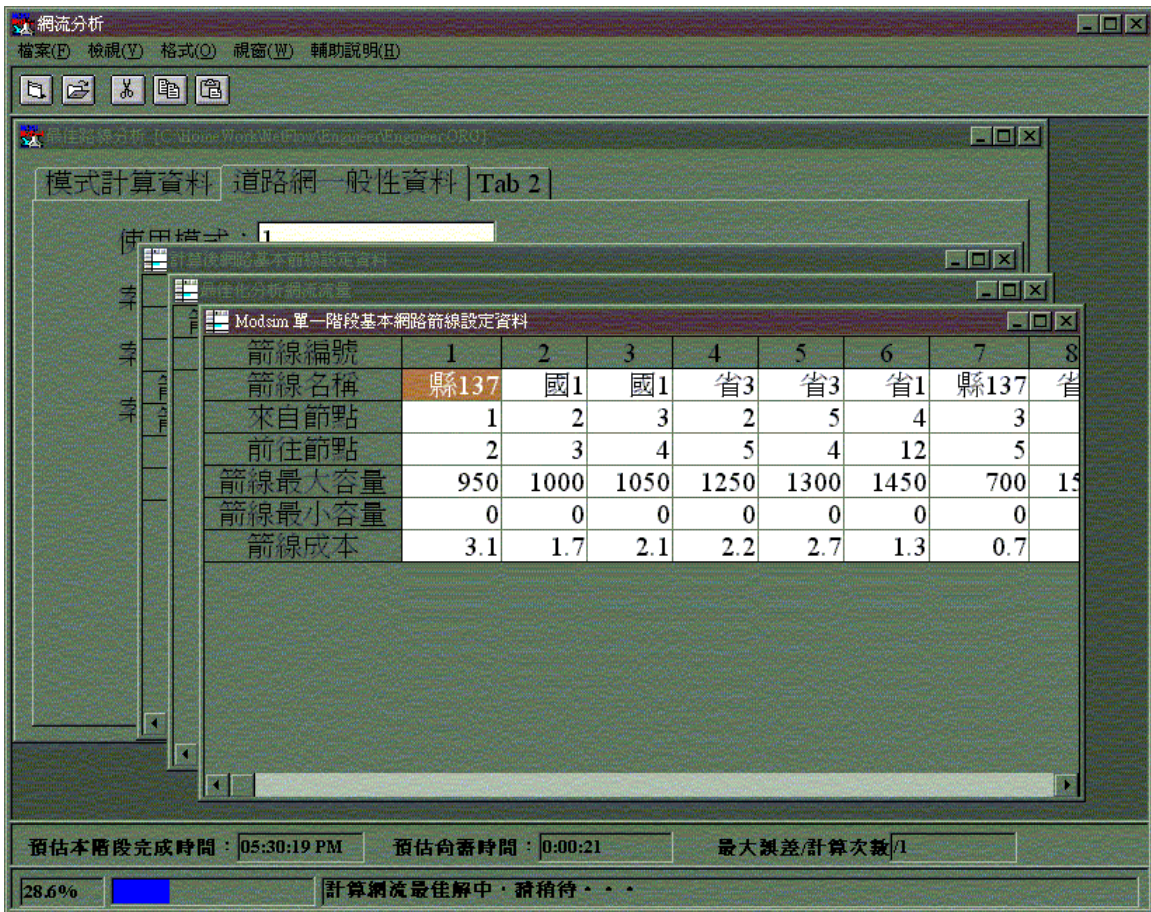
續表四 計算結果

箭線編號	25	26	27	28	29	30	31	32	33	34	35	36
箭線名稱	縣158	縣155	省17	縣157	縣137 [反向]	縣148 [反向]	縣156 [反向]	縣156 [反向]	省1甲 [反向]	縣148 [反向]	縣143 [反向]	縣156 [反向]
來自節點	11	13	10	12	5	2	6	8	4	9	10	8
前往節點	12	11	13	13	3	7	3	6	8	7	7	10
箭線最大容量	650	600	1,000	700	700	750	600	650	1,150	850	800	700
箭線最小容量	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
箭線成本	1.4	1.1	3.1	1.3	0.7	1.4	2.6	1.7	2.2	3.3	3.8	2.2
1階段	0	0	1,000	0	0	0	0	0	0	0	0	0
2階段	0	0	1,000	0	0	0	0	0	0	0	0	0
3階段	0	0	1,000	0	0	0	0	0	0	0	0	0
4階段	0	0	1,000	0	0	0	0	0	0	0	0	0
5階段	0	0	1,000	0	0	0	0	0	0	0	0	0
6階段	0	0	1,000	0	0	0	0	0	0	0	0	0
7階段	0	0	950	0	0	0	0	0	0	0	0	0

箭線編號	37	38	39	40	41	42	43	44	45	46
箭線名稱	縣158 [反向]	縣155 [反向]	縣157 [反向]	彰化 蓄水	斗南 需求	北港 需求	斗南需求 總出流	北港需求 總出流	質量守恆 ->總入流	總出流-> 質量守恆
來自節點	12	11	13	1	12	13	14	15	18	17
前往節點	11	13	12	17	14	15	17	17	16	18
箭線最大容量	650	600	700	20,000	12,000	8,000	12,000	8,000	1.0E+07	1.0E+07
箭線最小容量	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
箭線成本	1.4	1.1	1.3	0	0	0	0	0	0	0
1階段	0	300	0	16,600	2,100	1,300	12,000	8,000	20,000	20,000
2階段	0	300	0	13,200	2,100	1,300	0	0	0	0
3階段	0	150	0	9,800	2,250	1,150	0	0	0	0
4階段	0	0	0	6,400	2,400	1,000	0	0	0	0
5階段	0	300	0	3,000	2,100	1,300	0	0	0	0
6階段	0	0	0	950	1,050	1,000	0	0	0	0
7階段	0	0	0	0	0	950	0	0	0	0

表五 各計算案例之結果統計表

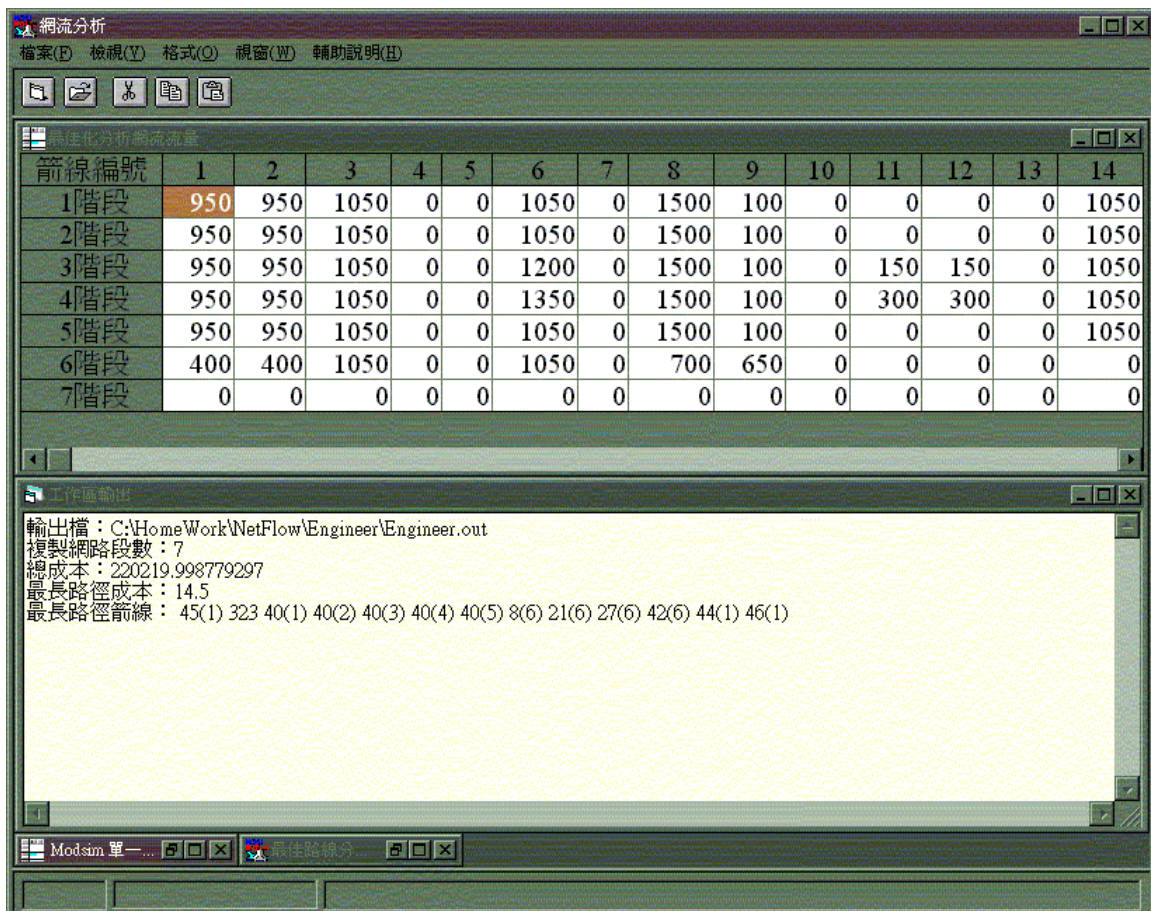
計算案例	複製網路段數	總移動成本	最長路徑成本
原假設案例	7	220,220	14.5
箭線 1 破壞	9	240,240	16.5
箭線 2 破壞	7	224,455	14.8
箭線 3 破壞	7	226,110	14.5
箭線 6 破壞	8	240,500	15.5
箭線 8 破壞	11	262,520	18.5
箭線 14 破壞	7	225,750	14.5
箭線 17 破壞	7	225,910	14.5
箭線 18 破壞	9	247,640	17.5
箭線 20 破壞	7	242,155	16.4
箭線 27 破壞	7	225,935	15.1



圖三 程式執行假設案例圖



圖四 程式執行開啟假設案例檔圖



圖五 程式執行完成運算結果顯示圖

