

遺傳演算法於優選雨水下水道管徑之研究

A Study of Applying Genetic Algorithms to Optimizing The Diameters of Storm Sewer System

中華大學土木工程系副教授

陳 莉

Li Chen

中華大學土木工程系碩士

何智超

Zhi-Chao He

摘 要

由於都市過度開發，為了降低洪災損失，雨水下水道的建設就顯得越來越重要。近年來，有許多學者紛紛投入下水道成本優選問題之研究。本文章正是在探討如何在最低成本的考量下，決定下水道初步規劃的最佳管徑尺寸和最佳埋設坡度。我們將使用一個很有效率的模式-遺傳演算法(GA)來解決這個複雜的問題。

GA 是基於達爾文的天擇說，以適合度值來決定是否生存或淘汰，透過 GA，其最後存活下來的即為最佳解。本研究以一數學函數來測試模式的優選效率，並列舉一簡單的下水道系統作為實例測試。由測試結果可證明 GA 的確有能力滿足下水道系統的成本優選問題。最後，我們將本模式應用於實際的複雜下水道系統，由優選成果可得知 GA 確實是一個很有效的優選方法。

關鍵詞：下水道，成本優選，遺傳演算法。

ABSTRACT

Due to over-development of urban, to decrease the damage of flood and make the optimal design of storm sewer become more and more important. In recent years, several studies dealing with the least-cost design of the sewer system have been reported. Therefore, making decisions of the optimal size and slope of sewer on the condition of preliminary layout was considered in this paper; and the objective set to be minimizing the cost of system. An efficient model, genetic algorithm, will be used as a starting point to solve this complex problem.

The GA is essentially a Darwinian natural selection, which combines an artificial survival of the fittest with natural genetic operators. Through the genetic evolution method, an optimal solution can be found and represented by the final winner of the

genetic evolution. To test its effectiveness, an example of mathematic function is presented herein. Then a simplified sewer system is introduced, and the results demonstrate that a genetic algorithm could be satisfactorily used to solve this combinatorial optimization problem. Finally, a more complex real-world sewer system is considered also, showing genetic algorithm to be an excellent method of optimization.

Keywords: Sewer, Optimization, Genetic algorithm.

一、前言

1-1 動機

雨水下水道設計的良窳，嚴重影響都市居民之生命、財產與生活品質，因此對於下水道之施工設計上不得不仔細考量。過去幾十年來世界各國的研究機構開始著手於發展最經濟的規劃設計成本，其經費、時間和人力的節省，將可對財源籌措不易且迫切需要下水道建設的台灣，提供一個可行的良好解決途徑。本研究考慮在固定之下水道配置和已知管線設計流量下，藉由改變管徑和挖深的大小來控制成本，並利用遺傳演算法來優選最經濟成本之設計方案。

1-2 前人研究

由於國內外研究對於下水道成本優選大都以線性規劃、非線性規劃、整數規劃、動態規劃和網路分析等方法來進行優選，而在自來水管網研究中，已有許多位學者利用 GA 優選其最佳成本，其結果均尚不錯。因下水道管網系統和自來水管網系統在成本優選的問題上，有蠻多地方是很相像的，所以我們嘗試利用 GA 來執行下水道設計的優選。以下為本研究中蒐集到的相關文獻，其中國內文獻有：

(1)台灣住都局於民國 74 年印製的雨水下水道模式中，以間斷微分動態規劃(DDDP)法，修改美國 ILSD-1&2 優選設計模式，使其能處理含有管涵、箱涵及抽水站之雨水下水道的優選設計。對於樹枝狀網路的處理，乃用等節點線(isonodal line)將其分為數個區域，每區即代表動態規劃中之階段，可處理大型下水道問題。

(2)林碧亮(民國 79 年)利用最短路徑法求取下水道之最佳配置，再以界限隱式列舉法求取固定配置下的下水道最佳設計，由於視下水道為一多階段多選擇系統，依此所建立之最佳化模式系統可充分考慮各種實務需求。

(3)廖述良與林碧亮等人(民國 87 年)，改進界限隱式列舉法(BIE)來優選管網狀的供水系統，發現列舉法對於問題組合的複雜度，限於現今電腦的處理速度而有一定的上限值。因此處理大型管網系統時，採用遺傳演算法來進行優選，其優選結果相當良好。而水力分析方面乃以 Hardy Cross Method 作為理論基礎。

而國外文獻方面，我們主要收集一些與 GA 成本優選相關的文章，因此大部分都是與自來水管網有關，但由於自來水管網和下水道管網成本優選上有某些程度上的雷同，故可以作為本研究之參考。今列舉一些相關文獻如下：

(1)Simpson et al. (1994)利用遺傳演算法求解管網系統，並與完全列舉法和非線性規劃比較，以探討成效。

(2)Dandy、Simpson 和 Murphy(1996)改良簡單遺傳演算法(simple genetic algorithm)之效率，來優選紐約供水系統的最佳化設計。其中和簡單遺傳演算法不同的地方有(1)適合度函數(fitness function)呈 power 函數排列($f_i = f_i^n$)，以修正適合度函數之值。(2)採用鄰近突變運算元(adjacency mutation)。(3)採用灰階編碼技巧(Gray codes)。

二、模式理論介紹

2-1 模式之基本假設

在建立最佳化模式前，先導出模擬實際狀況的數學模式及成本函數，但由於實際狀況的水文、水理太過於複雜，需根據實際要求予以簡化假設，其簡化假設條件歸納如下：

- (1)本研究只考慮樹枝狀之匯流情況，並不考慮分流的發生。
- (2)僅考慮直接成本，並不考慮間接成本，且為滿足重力流動，所以不考慮迴水(backwater)影響和壓力流況。
- (3)假設下水道的管線皆為管涵(斷面為圓形)，並不考慮箱涵和明渠的情況。
- (4)以曼寧公式計算管渠在進流尖峰量下之水理計算。由於曼寧公式僅適用於明渠流況，因此以水深為 0.938 倍管徑(曼寧公式的計算限制)作為進流尖峰量時的斷面尺寸。
- (5)下水道設置路線須事先決定。
- (6)假設下游出口為起始挖深，由下游往上游推求人孔挖深，以避免在計算挖深時，匯流點處會因上游不同管線之挖深，造成該流點處的挖深有不同值產生。
- (7)在匯流點處管線接合假設為同高程接合，並不考慮其他接合方式。

2-2 模式的水理限制

最佳化模式的目的是為求最經濟之總成本，為了使優選結果滿足實際需要與物理現象或減少一些不必要之計算，必須在模式中加入限制條件(constraints)。以下介紹本模式所考慮的水理限制條件：

- (1)採用商用管徑。
- (2)在尖峰流量下，需有一最小速度以防止固體物沈積於管內，此外，且為避免流速過大造成管壁受到沖蝕磨損，需設定一最高流速限制。
- (3)受限於商用管徑的選擇，管徑必有一管材上限值及管材下限值；且同時受到流速限

制的影響，由連續方程式 $Q=VA$ ，可推得管徑之水理限制範圍。綜合商用管徑和水理的限制，便可得到實際管徑之限制範圍區間。

- (4)為避免地面負重與地表結冰造成的管線破壞或變異，需訂定最小覆土深度，通常定為 0.75 公尺。
- (5)限於埋設能力，需訂立一最大埋設深度，通常定為 10 公尺。

2-3 最佳化模式

下水道工程經費包括了管材費用、挖掘成本和人孔成本，各項成本皆和管徑大小及人孔挖深有關，兩者關係嚴重影響經費的多寡，如何尋求兩者間最佳的配置組合，以求得最經濟之設計規劃方案，正是本研究的主要目的。

本模式運算流程主要包含了兩個部分—下水道水理計算和遺傳演算法優選。下水道水理計算是用來計算管徑和挖深間的相對關係，並求得工程的各項成本，對於模式的限制條件也一併在此處理。而遺傳演算法優選是利用隨機產生多組可能解之組合，經由複製、交換和突變使解自動朝向最佳解演化。其詳細介紹如下：

2-3-1 遺傳演算法理論

遺傳演算法(GA)由 John Holland 與其同事於西元 1975 年所發展出來，其理論基礎源於達爾文(Darwin)進化論中『物競天擇，適者生存』的道理，藉由對個體的測驗和評估，以量化方式表現出個體在環境中生存競爭的能力，惟有適合環境條件的個體，才有較大的機會獲得生存與繁衍。天擇不僅扮演淘汰不良子代的角色，更建構出適合生存的群體，而 GA 就是模擬這種生物界演化的機制，應用在解決搜尋最佳解的問題上，讓系統自動朝向最佳解的優選演化。

在利用 GA 求解最佳化問題前，需先決定目標函數(Objective function)、設計變數(Design variables)和搜尋空間。接著將設計變數編碼成類似生物染色體的字串，字串中的各個位元相當於染色體中的基因(Gene)。經由三大運算元—複製(Reproduction)、交換(Crossover)及突變(Mutation)

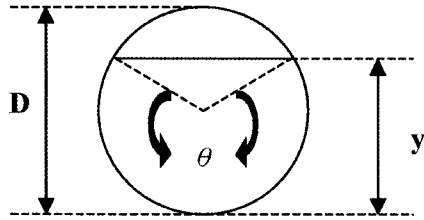


圖 1 尖峰進流斷面圖

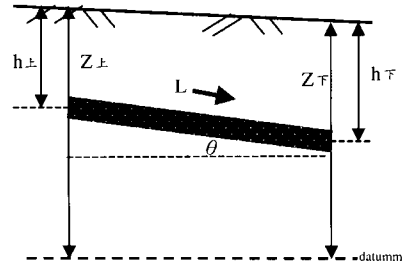


圖 2 管線挖掘埋設圖

過程產生適合度(Fitness)較佳的新群集，直到找到最佳值或達到收斂條件為止。

在解決實際問題時，通常會遇到限制條件的約束，但 GA 只能優選出最佳解，並不能保證其解為合理解，所以許多時候尋找合理解和尋找最佳解一樣困難(Goldberg, 1989)，為了使 GA 可以處理限制條件的約束，可利用下列方法來解決(Yen, 1996；石明輝，民國 88 年)：

- (1)加入處罰函數(penalty function)
- (2)映射關係
- (3)產生合理群集
- (4)將目標函數及限制條件視為獨立

2-3-2 下水道水力計算

下水道水力計算是用來計算管徑和挖深間的相對關係，以求得工程的各項成本，對於模式的限制條件也一併在此處理。由於我們考慮的尖峰進流斷面為 0.938 倍的水深(曼寧公式的最大斷面限制)，如圖 1 所示。

因此尖峰進流斷面面積

$$A = \frac{1}{8}(\theta - \sin\theta) \cdot D^2 \dots\dots\dots(2.1)$$

尖峰進流斷面周長

$$P = \frac{1}{2} \cdot \theta \cdot D \dots\dots\dots(2.2)$$

尖峰進流斷面水力半徑

$$R = \frac{1}{4} \left(1 - \frac{\sin\theta}{\theta}\right) \cdot D \dots\dots\dots(2.3)$$

其中 $y = 0.938D$ ，所以推得 $\theta = 5.808788$

將(2.1)式帶入連續方程式可導出管徑的上下限值為

$$D_{\max} = \sqrt{\frac{8Q}{V_{\min}(\theta - \sin\theta)}} \dots\dots\dots(2.4)$$

$$D_{\min} = \sqrt{\frac{8Q}{V_{\max}(\theta - \sin\theta)}} \dots\dots\dots(2.5)$$

接著利用映射公式將 GA 隨機選取的管徑映射至 D_{\max} 和 D_{\min} 區間，得到合理的管徑值 D ，再利用曼寧公式導出管線坡度 S 和管徑 D 的關係式為(2.6)式

$$S = \frac{406.37 \cdot n^2 \cdot Q^2}{D^{\frac{16}{3}} (\theta - \sin\theta)^2 \left(1 - \frac{\sin\theta}{\theta}\right)^{\frac{4}{3}}} \dots\dots\dots(2.6)$$

若管線挖掘埋設圖如圖 2 所示，且已知下游挖深、管線坡度和管線長度，則上游挖深為

$$h_{\text{上}} = z_{\text{上}} - z_{\text{下}} + h_{\text{下}} - L \cdot \sin[\tan^{-1}(S)] \dots\dots\dots(2.7)$$

假設下游出口起始挖深為最大覆土深度，利用(2.7)式可求出上游各個人孔的挖深。若得到的挖深低於最低覆土深度則給一懲罰函數值使其得到合理最佳解。因為本模式為求最低成本之優選問題，因此懲罰函數給一極大值(本研究給定為 10^8)，使其產生極大的目標函數值，淘汰不合理解，以保證最佳解必為合理解。

三、案例分析

3-1 模式之驗證案例

當模式發展完畢後，為了瞭解系統程式是否能達到預期之目標，必須經過測試和驗證，以確

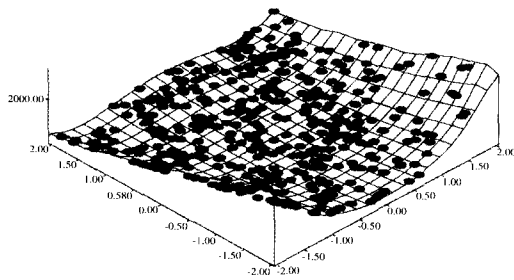


圖 3 遺傳演算法之初始群集分佈圖

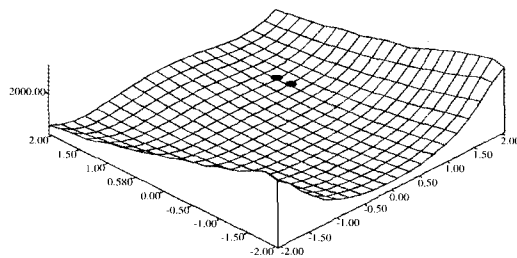


圖 4 遺傳演算法之收斂群集分佈圖(第 2000 代)

保程式的正確性與可靠度。我們在優選模式驗證部分，分為兩個方向來驗證分析。一是確定遺傳演算法對多參數複雜函數的搜尋能力，二是以簡單下水道實例來驗證本模式是否能求得最佳設計之方案。

3-1-1 遺傳演算法搜尋能力之驗證

假設一多參數單目標函數如下

$$\text{Minimize } (F(x_1, x_2)) = 100 * (x_1^2 - x_2)^2 + (1 - x_1)^2$$

$$\text{其中 } -2.048 \leq x_1 \leq 2.048$$

$$-2.048 \leq x_2 \leq 2.048$$

這個函數是由 De Jong 的五大測試函數之中挑選出來的，是典型的優選特性測試函數，最小值 0 發生在 $x_1=1$ 、 $x_2=1$ 時，最大值 3905.93 發生在 $x_1=-2.048$ 、 $x_2=-2.048$ 時。今以本模式對此函數進行優選，發現本模式的確能正確無誤的尋找到最佳值。我們將本模式的初始群集分佈和收斂群集分佈繪於圖 3 和圖 4 上，收斂群集幾乎都落在 $x_1=1$ 、 $x_2=1$ 處，僅一點落於其他地方，可見遺傳演算法的確有朝著最佳解演化的趨勢。

表 1 驗證實例輸入之管線上下游邊界條件

管線編號	上游人孔編號	下游人孔編號	上游人孔地面高程	下游人孔地面高程	管線長度	設計流量
0	1	0	1.2	1.2	0	6.4
1	2	1	1.2	1.2	150	5.3
2	3	2	1.2	1.2	120	4.5
3	4	3	1.2	1.2	180	4.1
4	5	4	1.2	1.2	130	3.5
5	6	5	1.2	1.2	100	2.8

3-1-2 簡單下水道實例驗證

我們自行假設一簡單直線下水道系統，以列舉法和隨機搜尋法之優選結果和本模式的優選結果比較，並探討其效率和精確度。該直線狀下水道系統涵括了 5 根管線和 6 個人孔，最大挖深限制為 10 公尺，最小挖深限制為 0.75 公尺。將其人孔和管線編號，標示於配置圖上，再依編號輸入各管線的上下游邊界條件，如表 1 所示，若每根管線有 16 種商用管徑可選擇，則可能的設計方案共有 $16^5=1,048,576$ 組。

由於本案例的可能解組合不大，因此我們以列舉法對此案例進行優選，並和隨機搜尋結果及本模式做為比較。由列舉法得到的最佳解為 6,263,910 元，我們發現，本模式的優選結果和列舉法完全一樣，而隨機搜尋法卻只能逼近列舉法的值，但速度比列舉法快許多。因此綜合而言，本模式擁有列舉法的準確性和隨機搜尋速度。由 3-1 節和 3-2 節的驗證結果良好，於是我們將其應用於實際案例以探討其實用性。

3-2 應用實例

3-2-1 排水系統概述

本研究以臺北縣蘆洲鄉雨水下水道系統之水滴排水區之 B、C 幹線和 B4、B6、B6'、B8、C6 支線，作為優選模式的應用實例。這些幹、支線所組成的下水道系統為一單獨的樹枝狀網路，系統出口流入明溝，整個系統代表著一個典型的下水道設計(台灣住都局於民國 74 年印製的雨水下水道模式)。

蘆洲鄉雨水下水道系統之排水總面積約為 1118 公頃，排水區域地表平坦而低窪，地勢由東向西北逐漸降低，全境地面標高介於 0.5 公尺至 2.5 公尺之間，平均地面坡度 0.04%，由於自然地形關係，全區分為水滴、洲尾及鴨母等三個排水分區。

水滴排水分區集水面積約為 260 公頃，區內排水幹線以水滴溝為排水主幹線，另設有 B、C、E、H 四條幹線，B、C、E 三條幹線係將本區都市計劃區域內之雨水逕流匯集排入水滴溝，水滴溝下游並設有蘆洲抽水站以排除區域內之雨水，其中 B、C、E 幹線為下水道幹管，而水滴溝及 H 幹線則為梯形明溝，整個下水道系統之幹線有明溝、圓管、單孔箱涵及雙孔箱涵。

限於模式的優選能力，我們僅以圓管管渠作為優選設計，設計流量、人孔地面高程資料及管長資料仍延用原設計之值，並將優選結果與隨機搜尋的結果比較之。

3-2-2 成本分析

本案例的目標函數為

$$\begin{aligned} \min(\text{總成本}) &= \min(\text{管線成本} + \text{人孔成本}) \\ &= \min[(\text{管材成本} + \text{挖掘成本}) + \text{人孔成本}] \end{aligned}$$

以下分別針對各個成本討論其計算公式。本研究資料來源取自住都局台灣省都市雨水下水道數學模式〈民國 74 年 7 月〉之案例資料。

(1) 管材成本

將管徑和單位成本利用指數迴歸，得到管徑和單位成本的關係式為

$$u_c = 4082.4 * D^{1.7464}$$

其中 u_c 為單位成本(元/m)， D 為管徑尺寸(m)。因此管材成本為

$$d_c = \sum (4082.4 * D_i^{1.7464} * L_i)$$

其中 d_c 為管材成本(元)， D_i 為第 i 管線之管徑(m)， L_i 為第 i 管線之管長(m)。

(2) 挖掘成本

本案例採用明挖法施工，其挖掘成本和挖掘體積成正比，由資料得到本案例之單位挖方成本為 45 元/m³，單位填方成本為 42 元/m³，單位填粗砂成本為 300 元/m³ 和

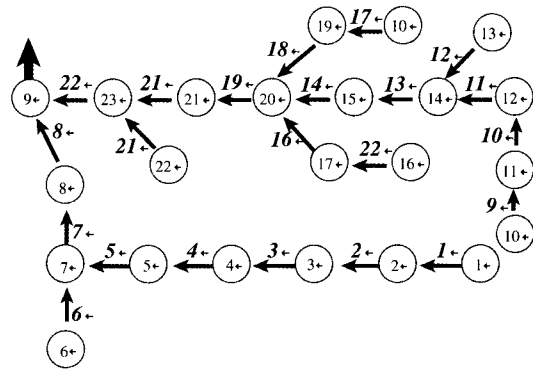


圖 5 蘆洲鄉水滴計劃排水區域之 B、C 幹支線雨水下水道

單位棄方成本 40 元/m³，因此挖掘成本 m_c 為

$$m_c = 45 * V_{\text{挖方}} + 42 * V_{\text{填方}} + 40 * V_{\text{棄方}} + 300 * V_{\text{填粗砂}}$$

(3) 人孔成本

由住都局資料得知，人孔成本和連接之管徑及挖深有關，其關係式如下：

$$m_c = 16840 + 2900 * h, D \leq 1.0$$

$$m_c = 21150 + 2900 * h, 1.0 < D \leq 1.5$$

$$m_c = 25970 + 2900 * h, D > 1.5$$

其中 m_c 為人孔成本(元)， h 為挖深(m)， D 為與人孔連接之管徑(m)。

3-2-3 模式輸入之邊界條件和控制參數

下水道配置圖如圖 5 所示，我們將管線和人孔依次編號，其中管線編號 1~8 和人孔編號 1~9 屬於 B 幹支線雨水下水道，管線編號 9~22 和人孔編號 10~23 屬於 C 幹支線雨水下水道，由住都局資料(民國 74 年 7 月)得到有關管線之邊界條件詳列於表 2。而控制參數的選擇敘述如下：

(1) 水理參數；本案例的各管線之曼寧粗糙係數皆假設為 0.015，最大流速限制採用 3m/s，最小流速採用 0.75m/s，由圖 5 中可得知下游出口的人孔編號為 9，且假設下游出口起始挖深等於最大挖深。

(2) GA 參數；本案例共有 22 根管線，分別以

表 2 蘆洲鄉水涵計劃排水區域之 B、C 幹支線之上下游邊界條件

管線編號	上游人孔編號	下游人孔編號	上游人孔 地面高程(m)	下游人孔 地面高程(m)	管線長度 (m)	設計流量 (cms)
1	1	2	1.28	1.2	160	1.13
2	2	3	1.2	1.2	95	1.58
3	3	4	1.2	1.15	310	1.95
4	4	5	1.15	1.15	260	4.05
5	5	7	1.15	1.15	150	5.63
6	6	7	1.15	1.15	150	0.44
7	7	8	1.15	1.15	200	6.5
8	8	9	1.15	1.15	100	7.68
0	9	0	1.15	1.6	0	18.68
9	10	11	1.6	1.48	105	0.7
10	11	12	1.48	1.4	135	1.16
11	12	14	1.4	1.3	190	2.14
12	13	14	1.57	1.3	180	0.84
13	14	15	1.3	1.5	180	4.21
14	15	20	1.5	1.36	115	4.92
15	16	17	1.25	1.12	145	0.4
16	17	20	1.12	1.36	185	1.46
17	18	19	1.58	1.3	185	0.63
18	19	20	1.3	1.36	160	1.35
19	20	21	1.36	1.31	230	8.52
20	21	23	1.31	1.15	130	9.68
21	22	23	1.15	1.15	120	0.4
22	23	9	1.15	1.15	130	10.76

輪盤法和競爭選取法來進行複製，其設計變數為管徑，因此設計變數共有 22 個，將變數以二位元碼編碼，其字串長度為 5，交換率採用 0.8，突變率採用初始群集數的倒數。至於初始群集數的選用，我們分別以 100、200、400 和 500 來探討初始群集對最佳值得影響。

- (3)收斂參數：由於程式的運算時間並不長，所以最小疊代次數我們採用 2000 次以觀察解的收斂情形，而收斂次數以最佳值連續 100 代未改變時即收斂。

四、應用實例優選結果

4-1 隨機搜尋法優選結果

由於本案例的搜尋空間過大，無法以列舉法

將其可能解逐一列出比較，故以隨機搜尋法的優選結果和遺傳演算法做對照，每次搜尋 500 個點，疊代 2000 代，共搜尋了 $500 \times 2000 = 10^6$ 個點。由於純粹以隨機搜尋，所以每次得到的解皆不同，故我們共執行十次，以求得平均值，得到的最佳成本統計表如表 3 所示，其平均成本為 43,909,508 元，最低成本為 42,544,620 元。

4-2 遺傳演算法優選結果

輪盤法和競爭選取法的優選結果分表列於表 4 和表 5 間，由結果顯示競爭選取法的優選效率的確優於輪盤法。在十次的實驗中，輪盤法優選出來之最佳值的變動較大，當初始群時數目為 400 時，可得到最佳的優選值，即使將初始群集數提高至 500 時，也不見得可得到較佳的優選

表 3 隨機搜尋法優選結果統計表

初始群集數	200	400	500
平均數	45,256,820	44,382,808	43,909,508
範圍	3,320,910	4,178,520	3,596,930
最小值	43,781,730	42,967,120	42,544,620
最大值	47,102,640	47,145,640	46,141,550
實驗次數	10	10	10

表 4 不同初始群集之統計變數表(以輪盤法)

初始群集	200	400	500
平均數	41,701,250	40,519,557	40,749,269
範圍	2,423,300	2,291,510	2,560,780
最小值	40,325,220	39,310,940	39,310,940
最大值	42,748,520	41,602,450	41,871,720
實驗次數	10	10	10

表 5 不同初始群集之統計變數表(以競爭法)

初始群集	200	400	500	600
平均數	40,335,713	39,930,212	39,534,891	39,891,262
範圍	2,296,770	970,780	824,830	889,680
最小值	39,310,940	39,310,940	39,310,940	39,310,940
最大值	41,607,710	40,281,720	40,135,770	40,200,620
實驗次數	10	10	10	10

值，因此初始群集數 400 為本案例輪盤法之最佳初始群集數。而競爭選取法隨著初始群集數目的增加，其最佳值的跳動趨於平緩，且得到的優選值越佳，但當初始群集數目高達 600 時，其優選效果卻沒有較佳的表現，可見初始群集數為 500 時，即為本案例之最佳初始群集數目。由上述分析，我們決定採用競爭選取法初始群集數為 500 的優選值作為我們的最佳設計成本，即最經濟的設計成本 39,310,940 元，表 6 即為該成本下的最佳設計。

五、結論與建議

5-1 結論

(1)若初始群集中有一個字串的適合度值特別高，以輪盤法進行複製時，該字串被複製機會很大，造成被複製後產生的字串組合

表 6 GA 優選之最佳管徑和最佳挖深

管線編號	管徑尺寸(m)	人孔編號	人孔挖深(m)
8	1.900	9	10.00
22	2.200	8	9.59
7	1.800	23	9.53
20	2.100	7	8.82
21	.500	21	9.19
5	1.650	22	7.9
6	.500	5	8.12
19	2.000	6	6.36
4	1.350	20	8.37
14	1.50	4	6.31
16	.800	15	7.83
18	.800	17	5.4
3	1.000	19	6.29
13	1.350	3	3.88
15	.500	14	6.28
17	.600	16	3.57
2	.900	18	4.22
11	1.000	2	3.00
12	.600	12	4.54
1	.800	13	2.48
10	.800	1	1.67
9	.600	11	3.37
		10	1.84

過於類似，導致搜尋空間過小，搜尋效果不佳。但競爭選取法則不會有此問題，由案例分析結果，可證明競爭選取法的優選結果的確優於輪盤法。

- (2)下水道優選設計只考慮匯流設計，與自來水管網的分流設計不同。因此下水道設計在推求挖深時，由下游往上游推求，以避免匯流點挖深計算時造成錯誤；而自來水管網則由上游往下游推求，以避免分流點的挖深計算錯誤。
- (3)由測試函數的測試結果和自行假設案例之優選結果，發現本模式的確具有找到合理最佳解之能力。其中對於管徑限制的處理，是以映射公式將各優選出來的管徑映射至模式的限制範圍。而挖深的限制是採用處罰函數來處理，不合理的會因處罰函

數的給定造成目標函數值變大。這樣在優選時，這些不合理的解就會被淘汰掉，使得優選出的最佳值必為合理解。

5-2 建議

- (1)由於模式只能考慮管渠設計，也沒考量抽水站成本，將來可將這些水理計算考慮進去，以更符合實務設計的需求。
- (2)可考慮加入設計流量或將相關的流量推估模式外掛進來，使本模式更適合下水道規劃工作者使用。
- (3)建造成本並不完全代表下水道的總成本，可將洪水造成的損害成本、頻率問題與下水道的操作維護成本一併考慮。

參考文獻

1. De Jong, K. A., "An analysis of the behavior of a class of genetic adaptive systems", Ph.D. Dissertation, University of Michigan, Ann Arbor, Mich.
2. Holland, J.H., "Adaptation in Nature and Artificial System. MIT Press, Cambridge, 1975.
3. Holland, J.H., "Adaptation in Nature and Artificial System. MIT Press, Cambridge, 1975.
4. Goldberg, D.E., "Computer-aided Gas Pipeline Operation Using Genetic Algorithms and Rule Learning", Ph.D. Dissertation, University of Michigan, Dissertation Abstracts International, 44(10), 3174B (1983).
5. Simpson, A. R., G. C. Dandy, and L. J. Murphy, "Genetic Algorithms compared to other techniques for pipe optimization", Journal of water resources planning and management, ASCE, Vol. 120, No. 7, pp.2437~2443, 1994.
6. Yen, Chao-Hsien, "Multiobjective planning of regional detention system", Ph. D . dissertation, Colorado State University, Fort Collins, Colorado, USA, 1996.
7. 石明輝，『基因演算法在多水庫多目標規劃之應用』，交通大學土木研究所碩士論文，民國 88 年 6 月。
8. 台灣省住宅及都市發展局，『台灣省都市雨水下水道數學模式』，台灣省住宅及都市發展局印製，民國 74 年 7 月。
9. 林碧亮，『污水下水道最佳系統配置與最佳水力設計模式之建立』，淡江大學水資源及環境工程研究所碩士論文，民國 79 年 6 月。
10. 林碧亮，『自來水管網系統設計之最佳化之發展與研究』，中央大學土木工程研究所博士論文，民國 87 年。

收稿日期：民國 91 年 2 月 1 日

修正日期：民國 91 年 5 月 13 日

接受日期：民國 91 年 5 月 30 日