

自來水輸配水管線抽換評選多評準決策模式之研究

謝定亞¹、王炳鑫²、施昭宇³、盧烽銘⁴

摘要

面對龐大、複雜的自來水管線網路，台灣省自來水公司正面臨管線維護經費不足的嚴苛考驗。在經費逐步縮減、管網日益擴大的情形下，若要維繫以往長時期以來良好的供水品質，必須對現行各種經費分配、運用的制度及執行方式有所深切檢討，以求經費的使用績效能更上一層樓。其中，對於強化現有輸配水管線之抽換業務即是一重要課題。本研究旨在進一步檢討現行管線抽換有關業務的制度及執行現況，並探討運用管路實態定性、定量資料以建立客觀的評估基準，藉以做為管線抽換之排序依據，以達成提升經費使用績效之目標。

影響自來水輸配水管線抽換評選之因素有許多，其中亦有許多因素之間是可轉換的，經過文獻回顧及訪談結果，將其影響因素歸納成「政策」、「成本效益」、「管線條件」及「現場環境」等四個層面，而每一個層面之下各有其相關之評選因子細項。

前述影響自來水輸配水管線抽換評選之因素為一完整的概念，但因紀錄資料的完整性各管線或管網不盡相同，如需有完整的資料紀錄或許須花費龐大的人力資源，在某些情況條件下或許相對的效益不大，因此本文從個別管線(短期考量)、整體管網(長期考量)及資料完整性等不同條件下，建立出不同的決策形態，在評選的過程中可選擇具備的資料利用不同決策形態進行評選的工作，期望在有限的資料中亦能有一相對客觀的評選標準，並對每一個決策型態訂定出不同的評選模式，以解決目前資料紀錄不完整的問題。

¹ 國立中央大學土木系教授，中壢市五權里38號

電話：(03) 4227151轉4137

傳真：(03) 4256944

電子郵件：tingya@cc.ncu.edu.tw

² 台灣省自來水公司供水處工程師兼組長，台中市雙十路二段二號之一

電話：(04) 2244191轉229

傳真：(04) 2210234

電子郵件：hqwspi@mail.water.gov.tw

³ 國立中央大學土木系碩士班研究生

⁴ 台灣省自來水公司供水處工程師

一、前言

隨著國內經濟的成長，民眾對於日常生活需求的要求亦日益增高，而自來水即為日常生活不可或缺的必需品之一，因此如何提昇自來水的供水品質，以及維持良好的服務水準，是自來水公司努力的方向與目標。依據自來水公司最近十年的統計資料，平均每年的總工程費約為 116 億 3 仟萬元，而花費在管線汰換工程的經費平均每年約 13 億 5 仟萬元，約佔每年總工程費 12%，而當自來水普及率提高到一個程度之後，該部份經費將會有逐漸增加的趨勢，因此對於管線汰換經費執行方式必需建立一客觀的評選方式，以提高經費的使用績效。

自來水管線之實態資料項目繁多，而個別管線之定義也並不明確。管線之實態資料包括材質、長度、管徑、埋設位置、深度、施工日期、施工廠商、坡度、水壓、流量、流速、流向、自來水用途、周遭土壤性質、維修情形、維修單位、相關圖說（設計、竣工等）、施工費用、維修費用記錄、漏水情形記錄、路面荷重情形、周遭工商業發展情形、行政區（及／或社區背景）、相關管網編號、產權單位、消防單位、所屬供水區等許多。由於實態資料項目繁多，而且分別屬於定性或定量性質，因此必須針對與管線抽換有最直接關連性的實態資料，研擬資料蒐集、建檔及（或）輸入之執行方式，一方面逐步將現有資料做最妥善之管理、另一方面藉以做為現有自來水管線維護優先次序之依據。

本文擬利用「多評準決策」之原理，配合管線實態資料，以建立管線抽換需求程度之評估方式。此評估方式必須配合各區處決策者所給定之權重，配合各管線實態資料之量化評分，分別對所有管線做定期之加權評分。而分析之管線對象，可由決策者主觀決定、基層營業所提供及民間團體反映等方式共同形成。根據此評估方式，各區處可定期（每季、每半年）分析各管線應抽換之需求強度，以做為申請維修預算之基準。

二、現況分析及檢討

依據自來水公司之「管線汰舊換新（抽換）準則」，自來水管線於下列情形應考慮抽換：

1. 有危害人民生命財產之虞。
2. 管線原設計送水能力已不敷實際需求時。
3. 管線內壁因腐蝕或積垢致送水能力不敷需求時，而更生費用超過抽換費用之一定比例時（例如二分之一）。
4. 因漏水頻繁造成各種費用之總和超過管線抽換費用之年息者。

- 5.因管線經常破裂，對公司造成輿論壓力，必須迅速根除問題者。
- 6.管齡已逾該管種之最高使用年限時。

雖然自來水公司目前在執行管線汰舊換新（抽換）時訂定出有以上六項準則，但因其內容過於籠統，且僅為一敘述性的說明，對於執行者而言並無一明確的衡量標準，常容易造成評定標準的偏差，各分區管理處於評選抽換對象時多以主觀印象做為依據，而抽換範圍多以「工程」做為一抽換的單位，如此常會有尚未達抽換標準而抽換所造成的浪費情形。而對於總管理處而言，因各區處對於管線抽換的評選標準不一，以致無法將經費精準的運用在真正必需進行抽換的管線上，因此目前自來水公司輸配水管線維修經費之分配方式，僅以各分區管線的長度為主要依據，此種分配方式相當易於執行，但恐未必能充分發揮經費之績效，因為各分區管線的使用狀態及對民生影響之重要性並不盡相同。

影響自來水輸配水管線抽換評選之因素有許多，但經過數次專家訪談的結果，目前自來水公司在實際運作時，所能紀錄的資料僅以管線自身條件之因素資料較為完整，其紀錄的方式以「案件處理單」紀錄存檔，並在「管網圖」上註記為主，所有資料尚未利用電腦建檔。經過深入了解後發現電腦建檔以目前的條件亦有其困難存在，主要原因為目前維修紀錄記載維修地點係以門牌號碼的方式紀錄，尚未定義出維修的管線的最小單元為何，因此在資訊化的過程中如何以有系統的方式紀錄，以便於日後統計查詢，是目前極待解決的問題。

三、影響自來水管線抽換評選因素

3.1 影響自來水輸配水管線抽換評選因素架構及說明

影響自來水輸配水管線抽換評選之因素有許多，其中亦有許多因素之間是可轉換的，經過文獻回顧及訪談結果，將其影響因素歸納成「政策」、「成本效益」、「管線條件」及「現場環境」等四個層面，而每一個層面之下各有其相關之評選因子細項，各層面與細項的關係如圖 1 所示，以下分別就各層面及評估準則說明如下：

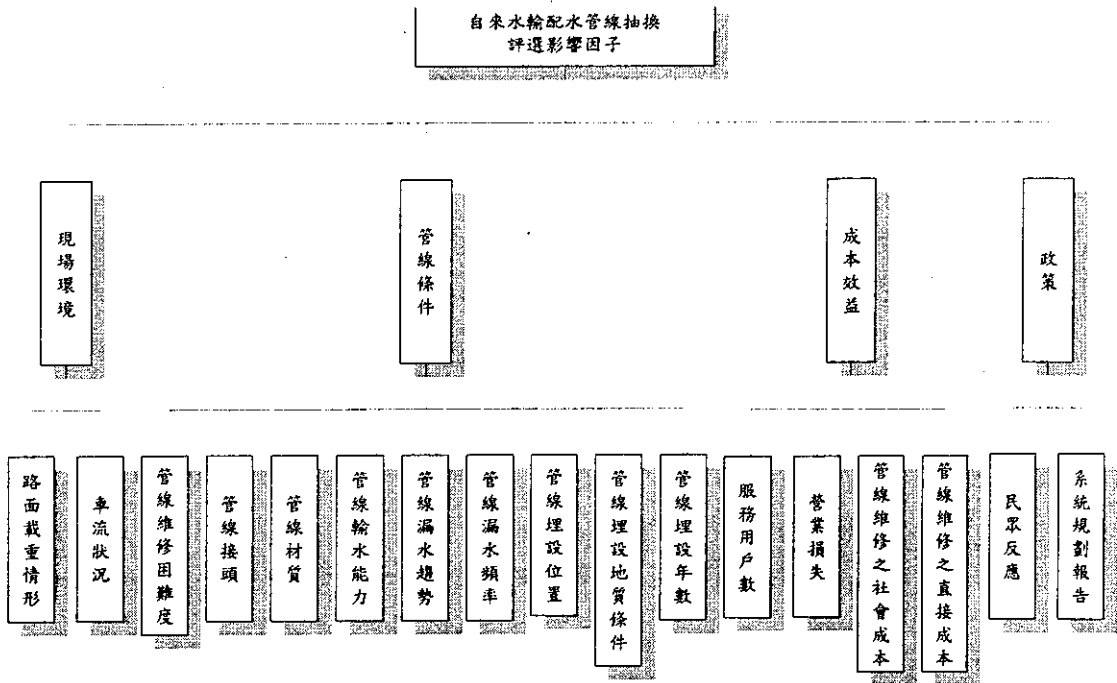


圖 1 影響自來水輸配水管線抽換評選之因素層級架構圖

(1) 政策層面

自來水為一服務民眾性質的公共事業，在自來水管線選擇處理方式時，常需顧及整體性的考量，以提高服務品質，因此系統規劃及民眾的反應為其評選時不可忽略的因素。

1. 系統規劃報告

系統規劃報告為台灣省自來水公司為提高其供水服務品質所做的整體性規劃，因此如待處理的管線在系統規劃報告中已有週延的規劃時，處理的方式則傾向於依系統規劃的結果，進行抽換的工作。

2. 民眾反應

自來水為一服務民眾性質的公共事業，對於民眾的反應需有相對的回應，以減少民眾的抱怨，因此若待處理的管線常有民眾反應常出狀況時，自來水公司就必須做適當的處置，以滿足民眾的需求，一般而言，民眾反應較強烈時，則必需進行管線抽換，以改善目前的情況。

(2) 成本效益層面

台灣省自來水公司為一營利事業單位，業務執行的績效亦為其必需考量的因素之一，對於成本效益層面，可從維修的直接成本、維修的社會成本、營業損失及服務用戶數等四個方向來考慮，茲分別說明如下。

1. 管線維修之直接施工成本

如管線每年需花費龐大的維修費用方能維持管線正常運作時，待處理管線對於此項因素的處理方式為：如每年維修的總金額或單位長度維修金額超過某一不可容許的範圍時，則必需以抽換的方式處理，以達一勞永逸的效果。

2. 管線維修之社會成本

社會成本在實務上是非常難準確估算的，但一般而言可以對環境衝擊、工商業影響及社會民眾的衝擊等三個方向考量。如待處理管線在維修過程對前述三個方向影響很大時，則必需以抽換的方式處理，以減少其影響程度。

3. 營業損失

對於一個營利事業單位而言，賺錢為其最終的目標，而對自來水管線而言，其營業的損失包含有漏水的損失及維修過程中的停水損失，因此若待處理管線每年營業損失超過某一不可容許的範圍時，則必需進行抽換，以減少營業損失。

4. 服務用戶數

如待處理的管線所服務的用戶較多時，發生破管時對於民眾的影響亦較大，且所付出成本代價亦較高，因此在評選的過程中，管線服務用戶數較多時，可能會考慮優先抽換，發揮較大的效益。

(3) 管線條件層面

自來水管線長期埋設於地下，其老化情形、漏水情形及其管線材質均會導致事故發生，因此管線條件即為決定管線抽換的一個重要指標，以下就對管線條件所需考慮的因素逐一說明。

1. 管線埋設年數

管線如超過使用年限，管體經老化而降低管體強度，容易造成管線破裂，影響供水品質及安全，一般而言，如管線埋設年數超過其所使用年限時即以抽換的方式處理，以提高供水品質及避免公安事故的發生。

2. 管線埋設地質條件

如果管線埋設地質條件太差時，常容易因路面車輛輾壓而造成破管的情形，因此如管線破管的原因為其埋設處地質條件太差時，則必需考慮抽換，採用抗壓強度較大之管種並於施工時加以保護，以避免日後破管頻繁，增加金錢人力的付出及保障用路人的安全。

3. 管線埋設位置

一般而言管線埋設位置在道路管理規則中有規定其埋設之位置及深度，但常因道路拓寬或路面加封而改變其位置，致使自來水管線位於車

輪的位置，而易造成管線漏水之情形，或者使管線位置埋設深度加深，增加維修的困難，因此為解決類似的問題，必需進行抽換的工作，重新埋設新的管線。

4. 管線漏水頻率

自來水管線漏水常會造成路面塌陷的情形，因此很容易引起事故的發生，且會導致營業的損失及供水的品質，所以當管線漏水頻率過高時就必需將其抽換，以維持供水品質及防止事故的發生。

5. 管線漏水趨勢

管線最近三年的統計資料如顯示管線漏水情形有遞增的趨勢則必需將其抽換，以避免管線漏水情形日益嚴重，影響供水品質及不必要的事務發生。

6. 管線輸水能力

造成管線輸水能力不足的原因有二，一為因用戶的增加造成輸水能力不足，另一為管線內壁污垢淤積造成管徑變小，如造成管線輸水能力不足的原因為前者時，則應以抽換處理，但如為後者，則可以抽換或更生的方式處理，需視管線的情況而定。

7. 管線材質

部份老舊自來水管線使用的材質會影響水質危害人體健康，因此不同的管材會有不同的處理方式，一般而言，鉛管、鑄鐵管、石棉管等材質其埋設年數較長，且會影響水質，評選過程中多會考慮優先抽換，以維持良好的供水品質。

8. 管線接頭

管線接頭的防漏機制及材質不同其使用的年限亦不相同，如所使用的材質無法負荷自來水的水壓或外部的荷重時，容易造成漏水的情形，則必需進行抽換。

9. 管線維修困難度

管線埋設位置如有其他管線在其上方穿越時，常會造成維修的困擾，因此為減少維修成本的支出，則考慮將管線抽換重新埋設。

(4) 現場環境層面

管線埋設位置的現場環境常會影響管線處理的方式，以下就針對現場環境層面車流狀況及路面載重情形等兩個因素做一說明。

1. 車流狀況

當管線埋設位置車流量非常繁忙時，待處理管線如採抽換方式處理則會造成許多民眾的不便，因此在評選時必須考慮其是否可行。

2. 路面載重情形

隨著社會的進步，使得道路的交通負載量增加，造成路面載重超過原管線設計所能負荷，而導致管線破裂情形，因此當待處理管線埋設位置的路面載重超過負荷時，則必需考慮將其抽換，以免時常發生管線破裂的情形，而衍生危害民眾安全的種種問題。

3.2 自來水輸配水管線抽換評選因素表達方式

前述自來水輸配水管線抽換評選因素以文字方式敘述或許過於抽象，因此在實際運作時必需將其量化或質化，使其有明確的表達方式，如表一所示，以做為評選的依據。

表一 自來水輸配水管線抽換評選因素表達方式

層面	影響因素	表達方式
政策	系統規劃報告	週延與否
	民眾反應	民眾陳情案件數(分析出原因及找出節點)
成本效益	管線維修之直接成本	元/年
	管線維修之社會成本	元/年
	營業損失	元/年
	服務用戶數	用戶數
管線條件	管線埋設年數	迄今埋設年數，及是否達該管種使用年限
	管線埋設地質條件	易沈陷與否(是否屬軟弱地層)
	管線埋設位置	管線埋設深度、外部環境(是否在輪壓位置)
	管線漏水頻率	件/年
	管線漏水趨勢	統計圖表
	管線輸水能力	滿足、不滿足(需述明原因)
	管線材質	石棉、鑄鐵、PVC、DIP.....
	管線接頭	接頭材質及型式
現場環境	管線維修困難度	有無其他管線在上方穿越
	車流狀況	主要道路、次要道路
	路面載重情形	超載、正常

四、決策形態及流程之建立

本文中定義節點至節點間為管線處理評選的最小單元，以目前自來水公司資料紀錄的方式或許尚無法配合，但以此方式紀錄方可完整的反應出管線的狀況，並可配合自來水公司管網資訊系統整體的規劃，而且是資料資訊化最合理的紀錄方式，但因紀錄資料量的增加對執行人員而言，定會造成相當的衝擊。

4.1 決策形態的建立

前述影響自來水輸配水管線抽換評選之因素為一完整的概念，但因目前紀錄資料的完整性各管線或管網不盡相同，如需有完整的資料紀錄或許須花費龐大的人力資源，在某些情況條件下或許相對的效益不大，因此本文從個別管線(短期考量)、整體管網(長期考量)及資料完整性等不同條件下，建立出六種不同的決策形態，如表二、三所示，在評選的過程中可選擇具備的資料利用不同決策形態進行評選的工作，期望在有限的資料中亦能有一相對客觀的評選標準，並期望對每一個決策形態訂定出不同的評選模式，以解決目前自來水公司資料紀錄不完整的問題。

表二 決策形態一覽表

整體管網 (長期考量)	決策形態 A	決策形態 B	
個別管線 (短期考量)		決策形態 E	決策形態 F
	資料(1)	資料(1)+(2)	資料(1)+(2)+(3)

表三 資料分類表

資料類別	影響因素
資料(1)	系統規劃報告、民眾反應、管線埋設年數、管線埋設地質條件、管線埋設位置、管線漏水頻率、管線材質、管線接頭、管線維修困難度。
資料(2)	管線維修之直接成本、營業損失、服務用戶數、管線漏水趨勢、管線輸水能力。
資料(3)	管線維修之社會成本、車流狀況、路面載重情形。

註：

資料(1)：現有資料或紀錄完整可供查詢運用。

資料(2)：現有資料或紀錄部份不完整，或須大量人力、物力投入整理始可運用。

資料(3)：現有資料或紀錄欠缺或不明確，無法運用。

以下就針對前列六種決策形態所應考量的方向做一說明：

1. 決策形態 A

資料(1)所紀錄的資料多為對個別管線紀錄較片段的資料，以該部份有限的資料對整體管網做長期考量，做法上似乎太過於草率。

2. 決策形態 B

資料(1)+(2)所紀錄的資料為個別管線資料、成本效益及整體規劃等為考量，以此資料對整體管網做長期考量已可滿足自來水公司基本的需求，但對於社會的影響並未考慮，因此如需提昇自來水公司的整體社會形象，仍必需考慮與社會大眾互動的關係。

3. 決策形態 C

資料(1)+(2)+(3)所紀錄的資料為最完整，從各個角度對整體管網做長期考量，應為最終的目標，但在實務上部份因素欲量化實有其困難存在，因此本決策形態 C 為一理想之決策形態。

4. 決策形態 D

資料(1)所紀錄的資料多為對個別管線紀錄較片段的資料，該部份的資料是最容易取得，以現況而言並不會增加目前執行人員額外的工作量，因而以此資料對個別管線做短期考量，是非常有效益的一種做法。

5. 決策形態 E

資料(1)+(2)所紀錄的資料為個別管線資料、成本效益及整體規劃等為考量，以此資料對個別管線做短期考量已可充份滿足自來水公司的需求。

6. 決策形態 F

資料(1)+(2)+(3)所紀錄的資料為最完整，從各個角度做考量，但如僅針對個別管線從短期角度做如此多元的考量，似乎有點小題大作，太過於浪費人力，而沒有實質的效益。

綜上所述，在以上六種決策形態中，決策形態 A 太過於草率，應儘量避免，而決策形態 F 則太過於勞師動眾，沒有實質的效益，因此 A 與 F 這兩種決策形態，在決策的過程中是較不用考量的。決策形態 C、D 為最合理的做法，而決策形態 B 則為整體管網長期考量下較為折中的做法，至於 E 則可做為個別管線短、中期考量下的選擇。因此在決策形態 B、C、D、E 的選擇時，可由決策者視其需求及管線、管網的重要性不同，依實際的需要做適當的選擇。

4.2 決策形態之簡化

前述之決策形態，經與自來水公司主管單位討論後，發現決策形態種類過

多在實際執行時容易造成混淆，為使本文之構想能落實及避免混淆，及基於本文所討論之管線維護經費的用途為考量，透過資料分類簡化的方式，將前述六種決策形態濃縮成兩種，以利在實務上執行。如表四、五所示。

表四 簡化後之決策形態

個別管線	決策形態 A	決策形態 B
	資料(1)	資料(1)+(2)

表五 簡化後之資料分類表

資料類別	影響因素
資料(1)	系統規劃報告、管線維修之直接成本、營業損失、服務用戶數、管線埋設年數、管線埋設地質條件、管線埋設位置、管線漏水頻率、管線材質、管線接頭、管線維修困難度。
資料(2)	民眾反應、管線維修之社會成本、管線漏水趨勢、管線輸水能力、車流狀況、路面載重情形。

註：

資料(1)：現有資料或紀錄完整可供查詢運用。

資料(2)：參考性資料

將決策形態簡化後，在執行時各分區管理處或總管理處可依待處理管線所在位置，考慮其重要性及對民眾影響程度的大小，做不同的考量選擇適當的決策形態。

4.3 決策流程

在決策形態建立後，透過專家問卷及訪談的方式，取得在評選過程中各影響管線抽換因素間之相對重要性之資訊。在取得各因素的相對重要性後，即進入評選決策過程，決策流程如圖二。

本文所討論的問題係屬多評準決策(Multi-Criteria Decision Making Method MCDM)領域中之多屬性決策(Multiple Attribute Decision Making Methods MADM)的範疇，在此分成兩個階段完成決策過程。

1. 計算各屬性權重

在多屬性決策(MADM)計算求取權重的方法有許多，其中較常用且發展較為成熟的方法有特徵向量法、極大商法及最小平方法，本文於後續發展將選擇一種最適當的方法進行權重的計算，以達到相對客觀的原則。

2. 計算待處理管線總績效值

在多屬性決策(MADM)中利用各屬性的權重計算總績效值方法亦有許多，其中較常用且發展較為成熟的方法有簡單加權平均法、層級分析法及TOPSIS，在取得各屬性的權重值後，利用前述的方法計算求得待處理管線的總績效值，將各待處理管線進行排序的工作，決定其優先順序，即完成整個管線抽換的決策過程。

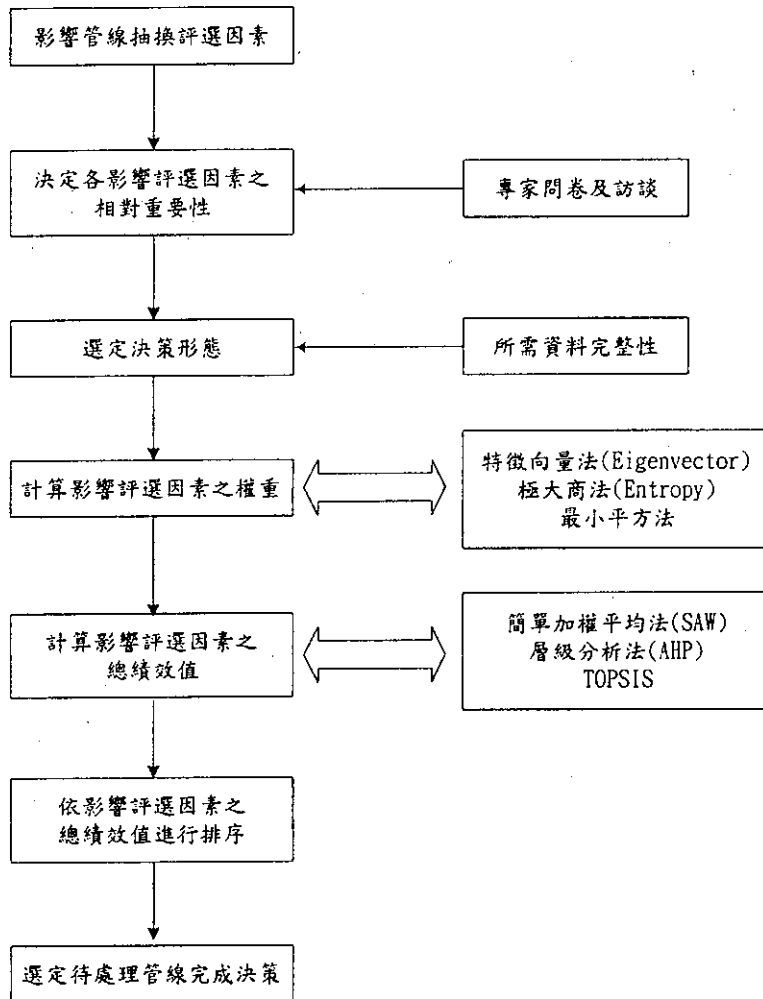


圖 2 自來水輸配水管線抽換評選之決策流程圖

五、結論

一般人對於現行的制度多因為習以為常，缺乏由內部自我挑戰的精神，而抱持得過且過的心態，不願意配合太大的改變，因此對於一個新制度的推動多會存有某種排斥的心理。但因社會的變遷，自來水公司不得不以更科學的方法

對現行的管線抽換評選制度做必要的更新，以使日益短絀的經費能充份發揮最佳的績效。惟其施行的手段必須循序漸進，以求落實。本文提供不同輸配水管線抽換評選的決策形態，以解決目前因資料紀錄不足、方法過於主觀的根本問題，就長遠來看，只要確立方向，訂定短、中、長期的目標，此部份的業務必定會日趨完整。

本文於現階段僅完成確立影響自來水輸配水管線抽換評選因素與決策形態及流程建立兩部份，在未來仍將繼續利用前述多評準決策的方法，建立各決策形態中所有影響自來水輸配水管線抽換評選因素間之權重關係，並針對各個待處理管線節點進行評分的工作，提供決策者做為未來評估、選擇抽換管線之的參考。

參考文獻

1. 朱健行，民國八十三年，自來水管線設施之診斷與更新論，自來水會刊雜誌，第五十期，P56~P78。
2. 陳耀仁、蔡彌、柳朝彰，民國八十五年，非開挖式輸配水管線修復技術運用之探討，自來水會刊雜誌，第十五卷第二期，P101~P114。
3. Ching-Lai Hwang、Kwangsun Yoon, 1981, Multiple Attribute Decision Making Methods and Application。