

## E.1 柔性鋪面厚度設計法簡介

### 2.5 柔性路面設計法之演進

最早出現的柔性路面設計方法，應為1901年美國麻省道路委員會提出的以靜力平衡理論為基礎的設計法。其特點係將車輪荷載視為集中載重，並初步考慮了路面的強度，使載重呈一定的形狀分佈於路基表面，然後依據力學平衡理論決定路面的厚度，此等設計方法稱為古典設計法。然古典設計法中對路面結構受力情形之考量較不符實際，同時亦未考慮路基承载力、重複載重作用等因素之影響，所以未能得到進一步的發展，於是路面設計就逐漸趨向依經驗判斷[4]。

到了1940年左右，隨著土壤力學理論的發展，已能充份掌握路基土壤及路面材料之特性，故能將其於實驗室或現場所得之物理力學性質與實際路面的耐久性比較，從而得出路面的經驗厚度值，這就是通常所稱的經驗法。一般經驗法之設計原則，即在一定強度之路基上，求得路面於使用年限內之交通量條件下，不致產生永久變形或破壞所需之厚度。它已考慮了路基土壤和路面材料的強度、交通量及車輪荷重之影響，較之古典法進步了許多。到了1960年代，隨著AASHTO大型試驗道路的鋪設及試驗結果的發表，使經驗法更趨完善，並得到廣泛的應用[4]。

但隨著採用新型的路面結構或新材料、交通量增加、車輛載重變大、多層路面的應用等等，經驗法的使用將受到一定的限制，故需發展更合理的設計方法，於是遂有以多層彈性理論為基礎的理論法出現。理論法是運用結構分析原理，詳細計算路面結構中各層所承受由設計載重所生之應力、應變大小及位移量，然後依各層材料之容許強度及變形量來決定所需之厚度[4]。

故柔性路面設計理論和方法基本上是依古典法、經驗法(或半經驗法)、理論法之順序發展起來的，目前各國所採用之設計方法大體為後面兩種[4]。其中尤以美國公路工程界財力和人力雄厚，較能從事基本研究，故亦發展出較多設計方法，其他各國常參考美國之設計法，直接加以引用或修正後應用。Yoder在1959年所著之「路面設計原理」一書中即列有下列九種設計法[5]：

- (1) 三軸試驗設計法(Design using the Triaxial Test)。
- (2) 加州威氏穩定儀設計法(Hveem's Stabilometer Method-California)。
- (3) McLeod設計法(McLeod Method)。

- (4)加洲承載比設計法(California Bearing Ratio Design)。
- (5)分類指數法(Group-Index Method)。
- (6)密西根州土壤學分類設計法(Design by Pedological Class-Michigan)。
- (7)北卡羅那州承載設計法(North Carolina Bearing Method)。
- (8)北達克達錐設計法(North Dakota Cone Method)。
- (9)瀝青學會設計法(The Asphalt Institute Method)。

由於各項研究發展和理論逐漸成熟，二十年來設計方法已有相當轉變，舊有設計法也經相當幅度修正，Yoder和Witczak在1975年合著「路面設計原理」二版所列之柔性路面設計法已縮減為以下五種〔5,6〕：

- (1)AASHO設計(AASHO Interim Design Guide)。
- (2)肯達基州設計法-多層彈性分析法(Kentucky Method-Multilayer Elastic Analysis)。
- (3)瀝青學會(AI)設計法(The Asphalt Institute Method)。
- (4)國家碎石協會(NSCA)設計法(National Crushed Stone Association Method)。
- (5)加州設計法(California Method of Design)。

以上所提的方法皆侷限於美國一地，如根據美國公路研究部(Highway Research Board)DB-6鋪面設計理論委員會在1970年所提出的報告，則將柔性路面之設計方法分為下列四大類〔1,5〕：

- (1)彈性原理法(Elasticity Methods)。
- (2)極限強度原理(Ultimate Strength Methods)。
- (3)半經驗及統計法(Semi-Empirical and Statistical Methods)。
- (4)經驗及環境法(Empirical and Environmental Methods)。

目前因電腦之普遍使用，且能提供強大的計算功能，使理論法漸受到重視，故亦有發展以有限元素法、粘-彈性層狀理論、非線性層狀理論及破壞力學等為基礎之設計方法，惟尚未見完備〔4〕。

## 2.6 柔性路面設計原理

路面設計之目的係提供一經濟的路面結構，並保證其於預期的設計期間內，雖承受交通荷載及環境因素的作用而仍能維持一定程度的使用性能。一般而言路面設計的內容應包括以下四部份〔3〕：

### 1. 路面型態及結構之選擇

依據道路使用需求、環境因素、路基土壤特性、材料供應、施工及養護條件、經費等選擇擬採用之路面型式及結構組合方案。

### 2. 瀝青混合料配合設計

依據可用材料性質及規範要求，並考量環境因素(溫度及水)之影響，進行適當的配合設計。

### 3. 路面結構設計

依據經驗法或假設之路面模型進行力學分析的結果，來確定滿足交通量、環境因素和使用年限需求的路面結構各層材料尺寸。

### 4. 經濟分析

對各種可能的路面結構組成進行成本效益分析後決定較佳方案。

今將各柔性路面設計法依前節所述分為經驗法及理論法兩大類，並分別概述其設計原理如下〔3,7,8〕：

#### 1. 經驗法

係將試驗道路實際行車試驗或調查所得有關路面結構型式、材料性質、交通荷載大小及作用次數、使用性能等之大量資料經統計分析得各參數間之關係，以作為路面設計之依據。這類方法於使用時較為簡便，然受試驗道路所在環境及材料條件之限制，並不一定適用於其他地區。

#### 2. 理論法

理論法係運用力學理論分析路基土壤及路面材料於承受荷重時之力學特性，由此可以計算在某種環境及交通荷載下之路面結構系統其各層之臨界應力(Critical Stresses)、應變及變形量等數據。一般柔性路面大

多是以路基土壤和瀝青材料之應變限度來擬訂設計準則 (Design Criteria)。其中路基土壤是以其頂面之壓應變限度為依據，亦即在某一環境及交通荷載作用下，當路基發生應變時需設法使路基頂部維持一致。路基應變之大小受環境因素影響甚劇，尤其是溫度及含水量。另瀝青材料則是以其底部之張應變限度為依據，故瀝青材料的勁度及抗疲勞特性遂成為控制的重點，尤需注意這兩種性質隨溫度變化將產生相當大的變異性，會直接影響路面的使用性能。理論設計法具有下列之特徵：

- (1) 建立路面結構的力學模型，並能以適當的力學理論分析該路面模型中各點的應力、應變值及變形量。
- (2) 分析路面結構各層材料在特定環境及荷載條件下的力學性質。
- (3) 以路面結構中特定點之應力、應變值或變形量定義設計準則。
- (4) 用簡便的方法表示設計系統。

柔性路面的設計程序，可大致依下列步驟進行：

1. 蒐集資料：包括交通量(軸重、軸次、車輛橫向分佈情形、年平均成長率等)、環境(年降雨量、月平均氣溫等)、材料(性質、單價、運距等)、地質(土壤性質、地下水位等)、經濟(預算、利率變動等)及當地的施工技術和設備條件等相關資訊與路面實際的使用經驗。
2. 路面結構初擬：包括路面型態、結構組合、路面各層大致厚度及材料組成。
3. 路面材料配合設計及力學性質試驗。
4. 確定相關設計參數：如分析期限、可靠度、環境影響因素、材料性質等。
5. 進行結構分析：分析所擬訂之各路面結構方案在交通荷載作用及環境因素之條件下的應力、應變值及變形量，並預估其損壞情形或使用效能。
6. 針對各路面結構方案進行生命週期成本分析。
7. 選擇較佳方案。

## 6.3 國內常用柔性鋪面設計法

台灣地區柔性路面厚度設計方法使用因道路主管單位不同而異。本節概略將常用各方法再次說明如下，其細節詳見報告前文。

### 6.3.1 CBR設計法

公路局在民國54年參考美國科羅拉多州公路局的加州承載比(CBR)曲線設計法，在本省各地試驗，根據本省氣候狀況，修正科州原有的設計曲線，制訂了公路局現行的CBR設計法。設計步驟包括【13】：

1. 求路基土壤的不擾動CBR值。
2. 由設計表求出年降雨量及交通量對應指定值之總和。
3. 依總指定值大小決定設計曲線。
4. 由CBR值及設計曲線求路面之總厚度。

由於該法難因應重要路段交通量日增的需求，因此目前所採行者僅限於一般交通量較少的縣鄉道路。

### 5.3.2 R值設計法

公路局另於民國53年左右，參照美國加州設計法，將該法改良引入國內。此法將路基土壤採樣試驗計算出土壤阻力值R值，再參酌交通成長量所計算出的交通量指數(TI)，設計鋪面厚度。對於環境因子的考量則間接由路基土壤試驗值反應之。該法之設計步驟如下：

1. 依據設計年限內車道之累積 $18kip$ 單軸荷重當量數( $EAL$ )、 $5000$ 磅車軸荷重當量數( $EWL$ )、或車輪荷重( $W$ )，計算交通量指數 $TI$ 。
2. 根據 $TI$ 值，路基土壤 $R$ 值及路面材料凝聚值求設計厚度，以路面卵石當量厚度推算真實材料所需之真實厚度。
3. 配合加州 $R$ 值設計法尚需引用一常數項 $k'$ ，陳式毅等人【5】建議以表6.3選定各地區設計所需的 $k'$ 值。該法詳細步驟請見【5,13】。採用該法之工務單位尚包括國道高速公路局及國道新建工程局。

### 6.3.3 瀝青協會設計法

美國瀝青協會(*Asphalt Institute, AI*)自1955年發表柔性路面厚度設計手冊(*MS-1*)以來，經多次修訂而成爲廣爲流行的設計法之一。該法的最新版本發表於1991年【31】。國內採行AI設計法的工務單位包括國道高速公路局、國道新建工程局、台灣省住都局以及台北市政府工務局新工處。其基本設計步驟如下：

1. 決定設計所得資料；包括設計交通量 $EAL$ ，路基土壤回彈模數 $M_R$ 值，面層和底層形式，年平均溫度( $MMAT$ )。
2. 以適當的設計圖表，或電腦設計程式 $DAMA$ 決定路面各層厚度。
3. 如有必要可採分期施工設計，並進行最終方案評估。

該設計法建議以年平均氣溫 $7^{\circ}C$ ， $15^{\circ}C$ 和 $24^{\circ}C$ 考慮溫度對瀝青面層強度之影響；而對於路基土壤受含水量或是飽和度影響，僅考慮凍融作用。該法在本地的應用多以路基土壤的 $R$ 值及 $CBR$ 值爲基礎，近來亦有使用 $M_R$ 值進行設計者。其間各強度值的轉換應特別謹慎，以免有誤。

### 6.3.4 美國州公路及運輸官員協會設計法

美國州公路及運輸官員協會(AASHTO)設計法系依據1960年初期AASHO試驗道路之大規模試驗結果所訂定出的經驗設計法。該法幾經修訂，其最近之版本發表於1993年【8】。AASHTO目前在國內僅二高部份路段採用。該法係根據交通量、服務年限、服務指標、可靠性及標準偏差，配合現地土壤的回彈模數值求取鋪面所需的結構數(Structural Number, SN)，該結構數表示如下：

$$SN = \sum_{i=1}^n a_i d_i \quad (6.1)$$

其中  $a_i$  為鋪面結構之材料係數(與材料模數有關)； $d$  為鋪面結構之厚度； $i$  為鋪面的第  $i$  成層。如以面層、底層和基層區分鋪面結構層次，另考慮基、底層之排水性，則上式可寫為：

$$SN = a_1 d_1 + a_2 d_2 m_2 + a_3 d_3 m_3 \quad (6.2)$$

其中  $m_2$ 、 $m_3$  由鋪面結構曝於近似飽和狀態之高含水量沉浸時間百分率決定(如表6.4)，其決定尚需配合排水品質(Quality of Drainage)選取。至於溫度對鋪面之影響則可以  $a_1$  處理之，以面層AC材料為例：

$$a_1 = 0.394 \log E_{AC} - 1.7877 \quad (6.3)$$

其中  $E_{AC}$  為瀝青混凝土動彈性模數(單位： $psi$ )，其材料規格由ASTM D3515 決定，壓實度需達最大理論密度92%以上，利用ASTM D4123 試驗評估  $E_{AC}$ 。由工地年平均溫度(MAAT)，參考圖6.6 求出其值，再代入上式計算  $a_1$  值。而該法亦於每年中各月份實施週期性試驗求取路基土壤的回彈模數值，藉此推求相對損壞(Relative Damage)和有效回彈模數(Effective Resilient Modulus)，做為設計之用。