

第一章 緒論

梁是重要的結構元件、它廣泛地應用在各類結構物上，有些結構如飛機、人造衛星、船舶等，為了整體重量能夠更輕而使用薄壁斷面的梁構件，而挫屈是開口薄壁梁常見的破壞原因，因此文獻上梁的挫屈研究很多[2-9]，梁的挫屈一般可分為側向挫屈、扭轉挫屈、側向扭轉挫屈，而開口薄壁短梁因扭轉剛度遠小於側向撓曲剛度，故在軸力作用下容易產生扭轉挫屈的現象，附錄A為文獻[3]中對開口薄壁梁之扭轉挫屈之統御方程式的推導說明。由附錄A可見梁的扭轉挫屈是由軸向變形與扭轉造成之側向位移間的耦合造成的。為了使應力的分佈較均勻並節省材料、減輕重量，變斷面梁已被廣泛的應用在各種結構上，文獻上也有不少變斷面薄壁梁的挫屈研究[10-30]。

在Cywiński發表了變斷面薄壁梁微分方程的研究後[10-13]，變斷面薄壁梁的穩定性開始引起了注意；隨後Cywiński在變斷面薄壁開口 I 型梁受軸力的扭轉挫屈研究中[14,15,19,24,27,31]，更發現一有趣的『詭論』(Cywiński Paradox)，即將 I 型梁兩側翼板上下邊削去一些時，其扭轉挫屈負荷反而增加，如圖一中C梁之挫屈負荷大於F梁；且當兩側翼板上下邊增加一些時，扭轉挫屈負荷卻又降低，如圖一中D梁之挫屈負荷小於A梁；Lind[16]、Szymczak[17,20]、Yang[21]的研究中亦驗證了此詭論。但還是有研究者因為物理上的直覺而抱持著懷疑甚至反對的意見[22,25]。

文獻上[10-17,20,21,29]對變斷面開口薄壁梁的變形假設都是沿用Vlasov[2]對等斷面開口薄壁梁的變形假設，即假設梁的斷面在斷面平面上為剛性，且在斷面中心線的切線方向之剪應變為零，由上述的變形假設，即可決定雙對稱開口薄壁梁受軸向扭轉(及/或)斷面上均勻的軸向位移後的位置向量、斷面的翹曲以及應變。上述的變形假設在等斷面梁中都能滿足

梁的側表面為自由表面(free surface)的邊界條件，但在變斷面梁中，上述的變形假設並無法考慮在均勻軸向力及自由邊界下梁斷面上面內剪力(in plane shear)，但對漸變斷面(slowly varying cross section)梁而言，其對分析結果的影響也許不大，故文獻[14-17,19-21,29,32]中都將其忽略。Kanok-Nukulchai 及Sivakumar [1]提出一個退化元素(Degenerate element)以探討薄壁梁結構在撓曲及扭曲變形的線性分析。[1]中假設薄壁梁斷面在面內(in plane)變形可以忽略，即視斷面在面內為一剛體，故每一斷面的自由度僅有3個，即一個扭轉角及兩個側向位移。[1]將梁沿其軸向分割成許多層(Layer)，再將每一層分成數個退化元素，每個退化元素僅考慮其在梁之軸向的位移。[1]的方法可以應用在等斷面及變斷面的薄壁梁結構。由[1]中變斷面梁的例題可以發現其結果與文獻上的實驗結果[4]、有限差分法[33]、解析解[34]或殼元素[4]分析結果都很接近。因文獻[33]中採用Vlasov的假設，故在線性的撓曲及扭轉分析中，Vlasov的假設似乎可以用在變斷面薄壁梁。

Kanok-Nukulchai 及Susumpow [25]對變斷面梁受軸力的扭轉挫屈分析中沿用Vlasov的假設提出了質疑，他認為應考慮面內剪應力所造成的影響。Kanok-Nukulchai [25]將Kanok-Nukulchai 及Sivakumar [1]提出的6節點退化薄壁元素加以擴充，推導出該元素的幾何剛度矩陣，使其能分析梁在軸力作用下的扭轉挫屈負荷。文獻[25]中發現若在其元素的幾何剛度矩陣中考慮與面內剪力有關的項，則無詭論的現象；若不考慮面內剪力，則有詭論的現象。文獻[25]中亦發現若將文獻[21]中的幾何剛度矩陣中加入面內剪力的效應，則用[21]的元素分析的結果亦無詭論的現象，故[25]中認為文獻[15]的詭論是因為沒有考慮面內剪力造成的虛假詭論，但文獻[25]中並非用一致性的非線性理論推導其元素的幾何剛度矩陣，故其結論值得懷疑。文獻[30]以殼元素探討變斷面梁的扭轉挫屈負荷，文獻[30]中的結

果肯定了詭論的存在，但文獻[30]中的挫屈負荷對應的挫屈模態有些為梁翼的局部挫屈及梁整體挫屈造成的，而一般梁元素假設梁斷面不會變形，故僅能考慮梁的整體挫屈，所以[30]中的詭論現象有些不是梁元素所能得到的，但由其結果似乎顯示詭論的存在是正確的。文獻[35]中再以文獻[30]中使用的殼元素探討了不同尺寸的變斷面梁之扭轉挫屈負荷，[35]中發現變斷面梁的尺寸改變時，會影響詭論現象的出現與否，而且負載的形態，如集中載重或均佈載重，對扭轉挫屈負荷的大小有很大的影響，但[35]中並未探討各種不同尺寸的變斷面梁在不同負載形態下的扭轉挫屈負荷，故本研究擬在這方面做進一步的探討。因用殼元素分析梁的問題，太花費計算時間，似乎沒有必要，但梁元素又無法探討不同負載形態對扭轉挫屈負荷的影響。文獻[25]中的結論雖然可能不正確，但文獻[25]中採用之退化元素[1]的計算量較殼元素少，又能考慮變斷面梁在均佈軸力下的剪應力及不同形態之軸向力對扭轉挫屈負荷的影響，故本研究採用文獻[1]中6節點退化薄壁元素的觀念，用共旋轉法提出一6節點20個自由度的退化薄壁元素以分析變斷面薄壁梁在軸力作用下的扭轉挫屈負荷及在軸力及扭矩作用下的軸向及扭轉變形。

本文中亦和文獻[1]一樣假設斷面在斷面平面上為剛性且斷面平內之應變可以忽略不計。本研究將梁分成若干層(Layer)與每層若干元素，本文使用固定總體座標與元素座標兩個座標系統來描述梁元素及整個系統的變形。本文中分析了不同變斷面開口薄壁梁在各種邊界條件下受軸向集中力、均佈載重作用下的軸向位移、變形、面內應力分佈與扭轉挫屈負荷，本文中亦探討變斷面薄壁梁在軸力及扭矩作用下之扭矩與扭轉角的關係。