

鋼結構銲接接合『開槽銲與填角銲』之選用原則探討

陳正平技師

一、前言

鋼結構接頭同一接合銲道之型式選用原則可依其力量傳遞之效果、冷縮變形嚴重性、入熱量、施工條件、維護保養方便性、邊界束制剛度、經濟性及安全性等考量，選用不同的銲道形式-全滲透開槽銲(見圖 1)或填角銲(或部分滲透開槽銲+填角銲)(見圖 2 及圖 3)。全滲透開槽銲與填角銲之銲道尺寸，均可以經妥善設計，使之達到銲接部位母材之全強度，但二者之耐震性能並不相同，其製作所需工時與費用亦不同，因此二者各適用於那些位置？其優劣點為何？及選用原則之考量因素為何？頗為繁複。為讓鋼結構設計者能有進一步的認識，筆者嘗試探討並比較二者之結構性能及優劣點供設計者參考，不當之處亦請工程先進不吝指正。

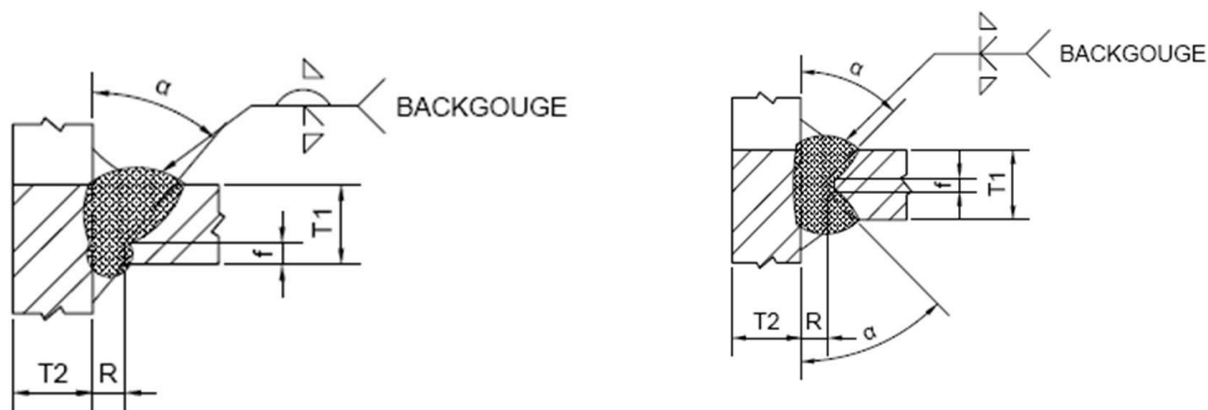


圖 1(a) 單邊全滲透開槽銲 T 型接合

圖 1(b) 雙邊全滲透開槽銲 T 型接合

圖 1 全滲透開槽銲 T 型接合示意圖[6]

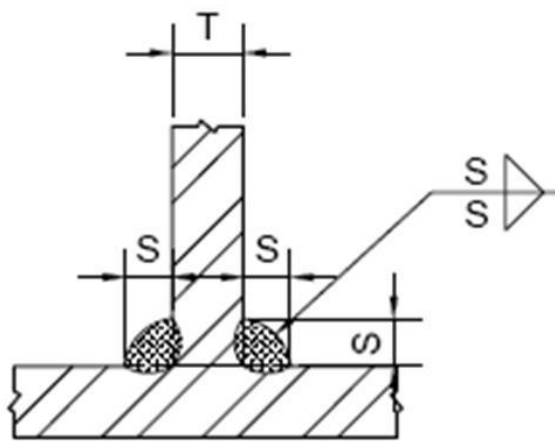


圖 2 填角銲 T 型接合示意圖[6]

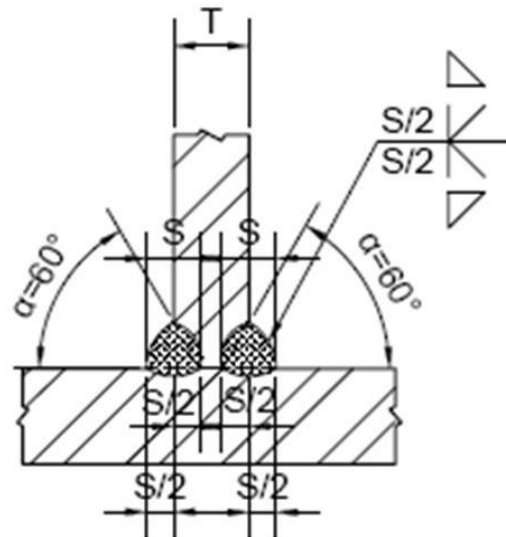


圖 3 部分滲透開槽銲+填角銲之 T 型接合示意圖[6]

二、開槽銲與填角銲之有效面積

2.1、開槽銲

2.1.1 有效面積

- 開槽銲之有效面積為其有效銲長與有效喉厚之乘積。
- 開槽銲之有效銲長為其接合部份銲道之長度。
- 全滲透開槽銲之有效喉厚為其接合部較薄板之厚度。
- 部份滲透開槽銲之有效喉厚見表1：

表1：部份滲透開槽銲之有效喉厚

銲接方法	銲接位置	槽根處之角度	有效喉厚
被覆電弧銲接	所有位置	J 或 U 接頭	槽深
潛弧銲接		單斜或 V 接頭 $\geq 60^\circ$	
氣體被覆電弧銲接 包覆溶接劑電弧銲接		單斜或 V 接頭 $< 60^\circ$ 但 $\geq 45^\circ$	槽深減 3mm

喇叭形開槽銲，若為與實心圓桿或 90° 彎折之斷面之表面齊平時，其有效喉厚，如上表2。唯須由各銲接程序之銲接成品中抽取樣品，或依設計規定所製作之試驗樣品，以證實可獲得均勻一致之有效喉厚。如製造廠商能提供可信之試驗資料，證明有效喉厚大於表2所列之值時，亦可採用，但試驗樣品應採取與構材軸垂直，位於銲道中部及端部之斷面。此試驗樣品須能涵蓋製造所使用範圍之各種尺寸組合，或設計者之要求。

表 2：喇叭形開槽銲之有效喉厚

銲接類型	有效喉厚
單斜喇叭形開槽銲	5R/16
喇叭形開槽銲	R/2 *
* 當 $R \geq 25 \text{ mm}$ 時使用氣體被覆電弧銲接（短電弧銲接方法除外）之有效喉厚為 $3R/8$ 。R 為鋼棒或彎板之半徑。	

(2) 限制

部份滲透開槽銲之有效喉厚之最小尺寸如表3。銲接最小尺寸係由接合部之較厚板決定，惟銲接尺寸不須超過接頭之最薄板厚，但在此情形下應有充分之預熱，以得到良好之銲接品質。

表 3：部份滲透開槽銲有效喉厚之最小尺寸

接合部之較厚板 t (mm)	有效喉厚最小尺寸 (mm)
$t \leq 6$	3
$6 < t \leq 12$	5
$12 < t \leq 19$	6
$19 < t \leq 38$	8
$38 < t \leq 57$	10
$57 < t \leq 150$	12
$t > 150$	16

2.2 填角銲

2.2.1 有效面積

- a. 填角銲之有效面積為有效銲長與有效喉厚之乘積。
- b. 除在圓孔與槽孔中作填角銲外，填角銲之有效銲長得包括端彎在內之全部填角銲總長。
- c. 填角銲之有效喉厚為自接合根部至銲道表面之最短距離。
- d. 如使用潛弧銲接，腳長等於或小於 10mm 時，以腳長為其有效喉厚；大於 10mm 時，有效喉厚可取理論喉厚加 3.0mm。
- e. 圓孔及槽形孔之填角銲有效銲長，為通過喉厚平面中心線之長度。填角銲重疊時之有效面積，不得大於接觸面之圓孔或槽形孔之標稱斷面積。

2.2.2 限制

a. 填角銲之最小尺寸

填角銲之最小尺寸如表3所示，最小銲接尺寸由接合部之較厚板決定，惟不須大於較薄板之厚度，若超出則應有充分之預熱，以確保銲接之品質。如應力計算需要，銲接尺寸可大於接合部之薄板厚度，若銲接尺寸可以確實掌握，母材之邊緣與銲道趾端間之距離，可小於 1.5mm。

b. 填角銲之最大尺寸

鋼板厚度小於 6mm 時，沿鋼板端面之填角銲最大尺寸不得大於鋼板厚度。鋼板厚度 6mm 以上時，除圖上特別註明須滿銲外，沿鋼板邊緣之填角銲最大尺寸，不得大於該板厚減 1.5mm（見圖4）。

c. 填角銲之最小有效長度

計算所需之填角銲有效長度不得小於填角銲尺寸之 4 倍，否則銲接尺寸僅能為有效長度之 1/4。受拉扁鋼之端部接合僅使用軸向填角銲時，各填角銲長度不得小於銲接線之間距（見圖5）。用於受拉構材端部接合之軸向填角銲之橫向間距，除構材係依有效淨面積所設計者外，不得大於 200mm。

d. 斷續填角銲

斷續填角銲中任何一段之有效長度，不得小於銲接尺寸之 4 倍，亦不得小於 40mm。

e. 搭接接合

搭接接頭之最小搭接長度不得小於接合部較薄板厚之5倍，亦不得小於 25mm。承受軸應力之搭接接合板或棒條，除非搭接部份之變形受到充分束制外，應在搭接處之兩端作填角銲，以防止連接處承受最大載重時張開。（見圖6）

f. 側面或端部之填角銲

在構材端部或側面終止之填角銲，應儘可能繼續圍繞轉角銲接，其長度不得小於銲接尺寸之 2 倍。

此項規定適用於承受彎矩之托架、梁座與類似接合之頂面與側邊填角銲。對於接合角鋼及簡支端板等賴外伸肢之非彈性變形提供柔度，其轉角銲接長度不得超過銲接尺寸之 4 倍（見圖7）填角銲存在於同一平面之對邊時，兩者在轉至同一邊時須在轉角處中斷。填角銲之轉角銲接應在設計圖與製造圖上註明。

g. 圓孔或槽孔中之填角銲

可用於傳遞搭接接頭之剪力，或防止搭接部份之挫屈或分離，並可用於銲接組合構材之各構件。此種填角銲可以重疊銲接，但不得視為塞孔銲或塞槽銲。

- h. 當作用力平行於銲道方向時（如搭接），填角銲計算應力之有效長度，不得大於填角銲尺寸之 70 倍。在此長度內之應力可視為均佈。

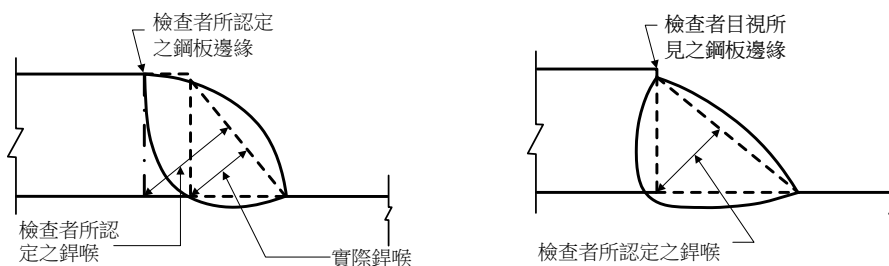


圖 4：填角銲尺寸之認定

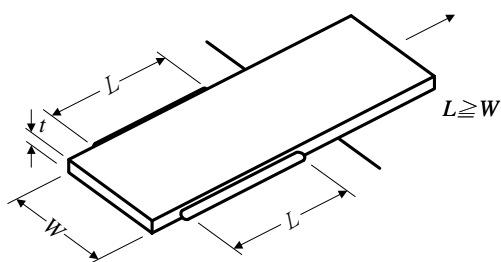


圖 5：縱向填角銲

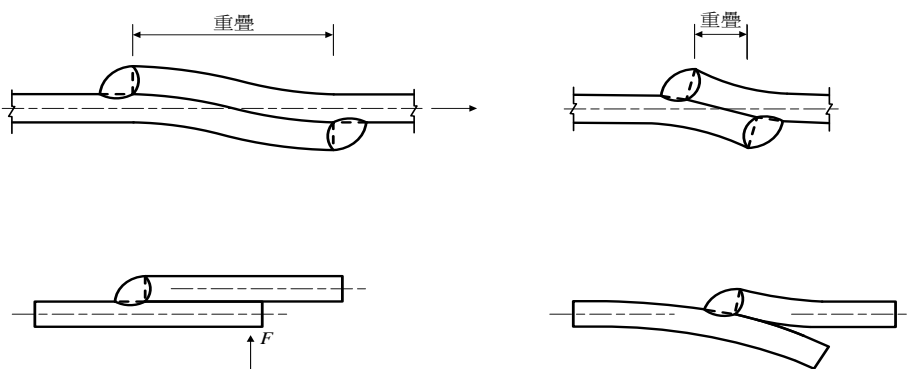


圖 6：疊接接頭之束制

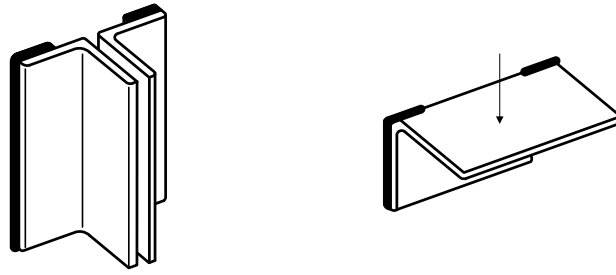


圖 7：轉角銲接

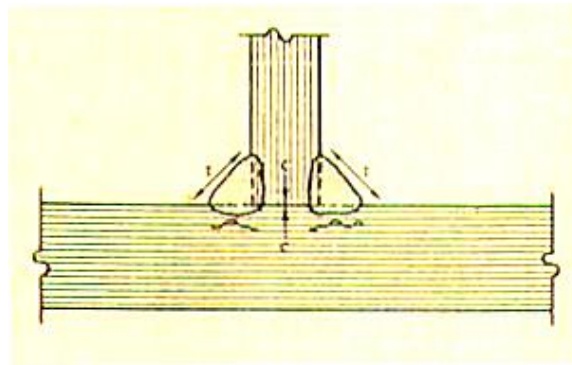


圖8：層狀撕裂現象示意圖

表3：填角銲最小尺寸

接合部較厚板之厚度 t (mm)	填角銲最小尺寸 * (mm)
$t \leq 6$	3
$6 < t \leq 12$	5
$12 < t \leq 19$	6
$19 < t \leq 38$	8
* 填角銲之銲腳尺寸	

三、開槽銲與填角銲之結構性能

有關全滲透開槽銲與填角銲(或部分滲透開槽銲+填角銲)之結構性能大致可分為 1、強度，2、韌性，3、抗疲勞性，茲分別說明如下：

3.1 全滲透開槽銲接

全滲透開槽銲接不論是用在鋼板間之對接接頭，還是 T 形或 L 形接頭，由於與母材相稱之銲材，其強度均高於母材，銲材金屬經均勻填滿被連接構件邊緣之開槽銲口處，全滲透開槽銲便可視為構件母材的延續部份，因此銲道中的應力可分佈均勻、傳力路徑簡捷直接。

故在一般情況下，當全滲透開槽銲之銲接施工品質控管良好，銲道之內部沒有嚴重缺陷，並經以非破壞檢測方法檢驗合格後，因全滲透開槽銲所熔填之相稱銲材金屬之強度均高於母材，其強度基本上可視為與原有構件相同。且若銲道表面經機械加工成平順外形，與母材原樣差異不大，應力集中現象不顯著，因此其承受反復載重的性能亦較好，抗疲勞性明顯較填角銲為佳，其銲材的耗用量也較少。

但全滲透開槽銲於銲接前，對於銲口處須開槽加工，其開槽尺寸及組裝精度須較準確，且對銲接合之起、收弧處須有導銲板，且起始銲層亦須背剷重銲，重銲時若須用到仰銲之銲姿，因銲接技藝需求較高，較易產生銲接瑕疵。銲接起始銲層背剷時亦易產生母材燒蝕凹痕，而易產生應力集中現象，容易引發裂縫產生於該處而影響抗疲勞性，因此須特別小心施作。

導銲板於銲接完成須切除並須磨成平順之圓弧形，以避免應力集中。全滲透開槽銲須以射線檢測法(RT)或超音波檢測法(UT)作全數(100%)檢測。全滲透開槽銲除製造較費工費時外，銲接技藝等級要求需較高，品質檢驗費用亦較高，但其各項結構安全性能均較佳，故全滲透開槽銲適用於耐震韌性需求較高之梁柱構架接頭處。

3.2 填角銲 (或部分滲透開槽銲 + 填角銲)

填角銲不論用於那一種型式的連接，由於銲道熔填之銲材金屬都是填充在被接合構件相互組成的直角或斜角部位，故傳力路徑不直接，會有繞道現象。對中繼板之二側，若為不同之銲道型式，則對中繼板會產生偏心彎矩，且因雙邊填角銲之二側填角銲間，因未銲接而形同存在一道初始裂縫，故應力集中現象較嚴重，容易引發疲勞裂縫。

因填角銲銲道內的應力傳遞行為極為複雜，因此有效喉厚之容許強度比全滲透開槽銲為低。單邊填角銲亦易產生冷縮變形，而雙邊填角銲之冷縮變形易致接合鋼板產生層狀撕裂現象(見圖 8)，且填角銲銲道之熔填金屬之截面積與腳長之平方有關，因此銲材消耗量亦較全滲透開槽銲為多。

但填角銲對銲口邊緣不須開槽加工，製造較省工省時，對組裝之精度要求亦不高，一般銲工之銲接技藝等級即可滿足需求，且無起始銲層須背剝重銲的問題。主要構件及其接合處之填角銲道至少應施予 5% 以上的磁粒檢測法(MT)。填角銲之施工簡便快速，因此雖然所需銲條用量較高，考量經濟性，填角銲仍然是最常用之一種銲道型式。

四、全滲透開槽銲與填角銲(或部分滲透開槽銲 + 填角銲)優劣點比較

綜上分析可見，工程師在作銲道設計選用時，究竟是應該採用全滲透開槽銲或是填角銲，亦或與部分滲透開槽銲組合應用，須針對接合部位之受力情況、耐震需求、接合銲接之施工性、構件安裝方便性、保養可行性、經濟性及耐久性、抗疲勞性及安全性等條件來選擇決定選用何種銲道型式，全滲透開槽銲與填角銲之優劣點比較如下。

項目	全滲透開槽銲。	填角銲或 (部分滲透開槽銲 + 填角銲) 。
加工成本	需開槽加工，成本較高。	不需開槽加工或局部開槽加工，成本較低。
傳力路徑力學行為	簡捷直接。	傳力路徑不直接，會有繞道現象。
抗疲勞性	銲接完成面平整，形同母材的延續，應力集中現象不顯著，抗疲勞性較佳。	形同存在一道初始裂縫，故應力集中現象較嚴重，容易引發疲勞裂縫。
銲材用量	較少。	與銲腳尺寸之平方成正比，銲材用量較多。
銲道熱影響區入熱量	銲層疊置次數較多，銲道熱影響區入熱量較高。	銲層疊置次數較多，但可分布在接合板二側，銲道熱影響區入熱量較低。
施工品質控管及銲道檢測費用	較高。	較低。
組裝精度及銲工銲接技藝等級	較高。	較低。
安全性	較佳。	較低。
經濟性	綜合成本較高。	綜合成本較低。

五、結語與建議

在一般情況下，若韌性及抗疲勞需求不高之接合部位，為節省工時及製造費用，可採用填角銲，例如需要大量銲接之組合 H 型鋼，其翼板與腹板間之接合銲道或工地安裝用之銲道等。但在鋼板工廠續接、梁或柱等有耐震韌性需求之重要受力構件之連接、承受吊車軌條集中輪重之天車道梁腹板與上翼板之連接位置、錨栓與錨板間之銲接 (大部分已採摩擦銲)、銲道兼有承受繞銲軸之彎矩、有耐疲勞需求者，及鋼板厚度大於 20mm 以上之鋼板全應力傳遞接合等接合部位，則建議採用全滲透開槽銲。

韌性立體剛構架於梁-柱接頭之螺栓接合用剪力連接板，因承受剪力外尚有剪力螺栓組偏心接合產生之彎矩，及腹板分擔一部分梁之總彎矩，以及梁之軸力

等多種力量之組合，受力行為頗為複雜，設計考量不易周全含蓋，且此部位悠關梁-柱接頭是否能發展塑性鉸，故建議此部位之剪力連接板與柱面間之接合銲道儘可能採用全滲透開槽銲或可達剪力連接板之全張力強度的接合銲道〔填角銲(或部分滲透開槽銲+填角銲)〕，以滿足多種力量之組合應力需求。

填角銲不論用於那一種型式的連接，由於銲道熔填之銲材金屬都是填充在被接合構件相互組成的直角或斜角部位，故傳力路徑不直接，會有繞道現象。對中繼板之二側，若為不同之銲道型式，則對中繼板會產生偏心彎矩，且因填角銲銲道內的應力傳遞行為極為複雜，因此建議中繼板之二側宜選用相同接合型式之銲道。

【參考資料】

- [1]中國工程師學會。中國工程師手冊，土木類，鋼結構篇。
- [2]劉聲揚（2000年3月）。鋼結構疑難釋義，中國建築工業出版社。
- [3]內政部營建署。鋼結構建築物鋼結構技術設計規範，容許應力設計法及鋼結構極限設計法設計規範。
- [4]陳正誠、陳正平（2003年2月），中華民國結構工程學會。鋼結構設計手冊容許應力設計法。
- [5]結構技師公會及土木技師公會。鋼結構設計常用接合參考圖。
- [6]中華民國鋼結構協會。鋼結構接合設計手冊。