

鋼結構工程之工地管理（二）

陳純森 高雄市結構技師公會學術委員會主任委員

第五節 安裝方法與技術（續）

5-5 鋼橋之接合型式

橋梁與建築最大的差異是兩者之材料行為不同。橋梁屬於動態結構，隨時都有車輛行駛，橋梁不停的振動與往返變形，且振動之頻率很高，容易造成鋼料與銲道之疲勞破壞，輕微者造成銲道或鋼料的裂損，嚴重者會造成橋梁斷裂倒塌。美國的鋼橋於 2007 年曾經發生鋼橋疲勞破壞的掉落事件。由於工地的電銲較難控制施工品質，如有銲道瑕疵，在高頻率之往返載重下很容易產生疲勞破壞，甚或斷裂倒塌，所以鋼橋不宜在工地電銲。圖 5-9 為鋼橋之工地接頭多採螺栓接頭。



圖 5-9 鋼橋之工地接頭^[1]

鋼橋之另一特性為跨距比較長，垂直向之變位比較大，一般的設計都考慮預拱，安裝時必須將鋼橋微微上揚，待施工完成後其橋梁下垂至設計之高程，工地之安裝必須特別留意。

至於鋼橋的接頭設置位置，由於鋼橋之加工製造屬於板片加工，鋼板切割時，可以將主梁鋼材以切割技巧直接延伸至應力比較小之部位，工地

的結合處無論是栓接或銲接，都是應力較小之部位，自無多層建築鋼結構接頭位置之設置問題。

5-6 工地結合方法

鋼結構之工地接合方法以栓接（bolt connection）與銲接（welding）為主，早期之鋼結構接合還有鉚釘接合（rivet joint）。由於鉚釘之施工技術國內幾乎失傳，善於鉚釘技術的師傅寥寥無幾，設計案件亦甚少，故規範已刪除，惟外國則尚有相關之規範。圖 5-10 為多層建築工地之螺栓結合。螺栓鎖固後之檢查方法詳第九節之說明。

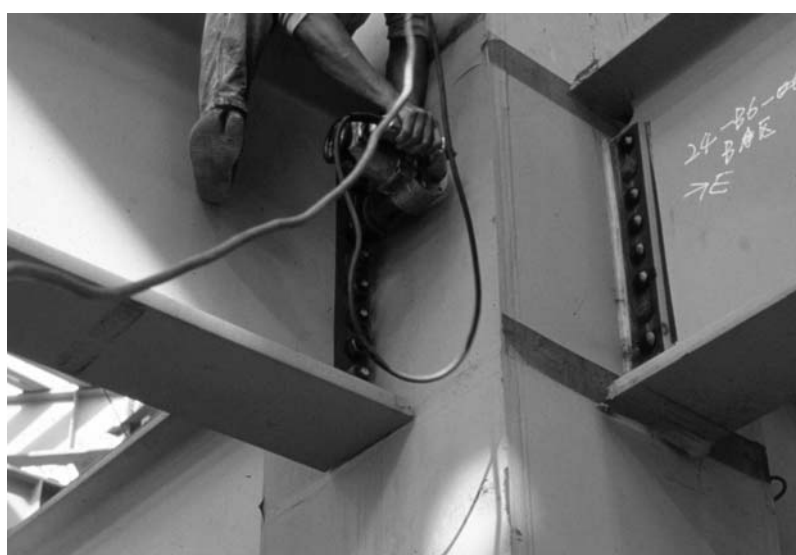


圖 5-10 螺栓接合^[1]

至於電銲之方法，雖然一般鋼結構之銲接方法有七種，但工地常用的方法則僅有兩種，即手銲（shield metal arc welding，簡寫 SMAW）與包藥銲（flux cored arc welding，簡寫 FCAW）。其餘之潛弧銲（submerged arc welding，簡寫 SAW）則因為散裝之砂質助熔劑（flux）容易散落，工地操作不方便，甚少使用；而 CO₂ 電銲（gas metal arc welding，簡寫 GMAW）則怕吹風，工地也無法使用；電渣銲（electro-slag welding，簡寫 ESW）與電氣銲（electro-gas welding，簡寫 EGW）屬於工廠製作箱型柱內隔板所專用之銲接方法，不會在工地使用；剪力釘電銲（stud welding，簡寫 SW）偶或在工地施作。圖 5-11 為

工地鋼柱與鋼柱對接所常用之包藥電銲方法。電銲之檢查方法亦詳列於第九節之說明。



圖 5-11 工地電銲施作^[1]

5-7 鋼承板安裝

鋼結構建築之樓板或橋樑之橋面板雖然亦採用鋼筋混凝土設計，但常用鋼承板作為支撐混凝土的模板。鋼承板的吊裝速度比較快，而且施工後也不拆除，節省許多拆卸的工作。大部分的鋼承板都作為模板用途而非結構性模板，所以也很少噴塗防火被覆。鋼承板的端部收頭有採用壓扁式處理，如圖 5-12 所示。也有採用端部封板方式收尾，如圖 5-13 所示。前者的密閉性能比較優良，澆築混凝土時比較不會漏漿。

鋼承板於鋪設前，工程師必須檢討浪板厚度，斷面強度、浪板跨距與板縫固定方式，預防因灌漿造成爆模或漏漿之現象。一般之木模板即使爆模，拆模後仍可剷修改善，並用水泥砂漿粉刷整平。可是鋼承板爆模，因礙於無法拆模的關係，卻是無法處理，所以只能事前加以防範，事後則是無法治療。



圖 5-12 端部壓扁式鋼承板

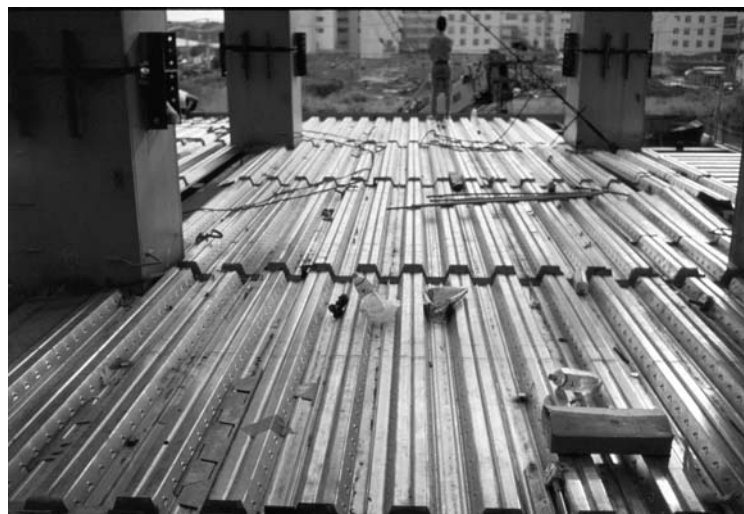


圖 5-13 端部封板式鋼承板

第六節 特殊韌性之接頭^[1]

1994 年於美國加州所發生之北嶺地震，部份建築鋼結構之損壞發生在樑柱接頭的介面，且有的裂損位置恰在電銲道，嚴重喪失鋼結構的韌性特質。其原因不外乎：

1. 樑柱接頭之銲接處理方式不佳，工地所採用之包藥電銲（flux cored arc welding）施工品質太差，造成接頭容易受損。
2. 樑柱接頭有應力集中現象，特別於接頭介面之梁、柱斷面變化太大時，應力集中太明顯，無法發揮韌性功能。
3. 樑柱接頭之介面強度低於梁體本身，形成強梁弱柱之不良系統。

為了提高鋼結構之韌性特質及防止上述類似災害，遂有下列之改善建議：

1. 避免應力集中：

鋼結構之梁與柱接合處，梁與柱的寬度不宜相差太懸殊，避免應力過度集中，而產生構材受力時急速破壞，以致結構系統毫無韌性可言。且接頭之圓弧形「老鼠洞」(rat hole or scallop)、背墊板(back bar)、起弧導板(end tab)亦應妥善設置，宜採用順暢之應力流工法，以減少應力集中現象。圖 6-1 為一般之接頭工法。

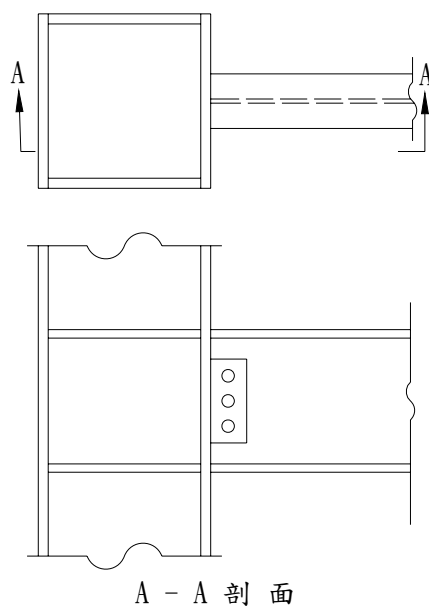
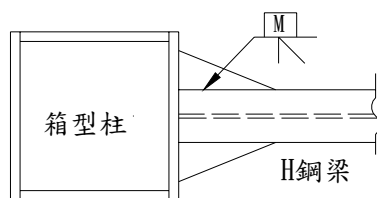


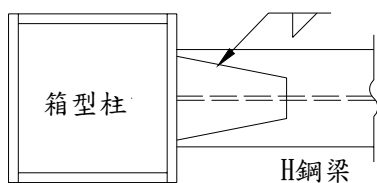
圖 6-1 一般常用接頭^[1]

2. 加強工法：

一般的翼板加強工法，在鋼梁與鋼柱的接合介面，儘量將鋼梁的翼板放寬或加厚，使翼板能傳遞比較多的彎矩應力到箱型鋼柱橫隔板，而減少鋼梁腹板的彎矩分配，因為鋼梁腹板在箱型鋼柱內的相對位置，並無連續板接續腹板所傳遞之應力，故容易導致箱型鋼柱的面板被急速撕裂。加強工法之處理如圖 6-2 所示。



翼板加寬工法



翼板加厚工法

圖 6-2 加強工法^[1]

3. 減弱工法：

建築結構的設計應儘量採用強柱弱梁原則，如結構體在受力時損壞，應該先從鋼梁破壞，而非柱子先破壞，始免於倒塌。基於此項原則，施工應如何誘導受力時鋼梁先降伏十分重要，所以部分設計將鋼梁之翼板事先削減，或鑽孔以減少其斷面慣性矩（或減少斷面模數），使梁本體於大地震時先發生塑性鉸，而不致於在梁柱界面損壞，稱為減弱工法。如圖 6-3 即為典型之減弱工法。

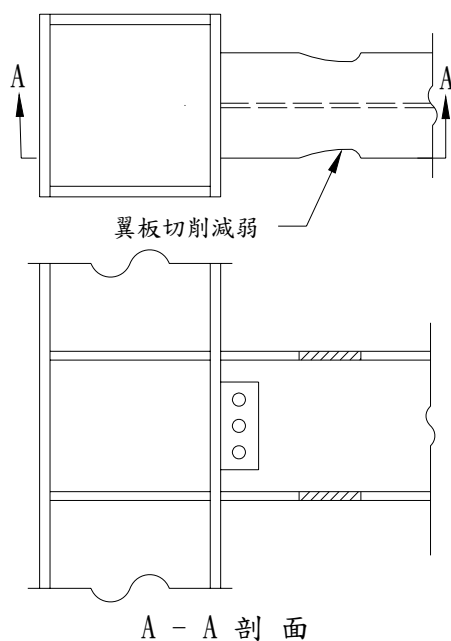


圖 6-3 減弱工法^[1]

無論施工時梁柱接頭採用何種特別處理措施，均應事先調查有無涉專利之問題，避免無謂之紛爭與困擾。

近來日本之多層建築比較重視牆體抗震或消能，萬一發生大地震而造成損壞時，修復牆體顯然比修復梁柱容易許多。

第七節 工地電銲符號之識別

國內曾經發生三樓鋼結構建築於施工中完全倒塌之意外事故，且倒塌之時間甚為短暫，事故發生時並無任何地震或颱風之侵襲，而是受鋼架本身之靜重所壓垮，十分不可思議。究觀其原因不外乎接頭之螺栓與電銲品質不良。其中電銲品質與施工標準相去甚遠，尤其是應該全滲透之電銲施作不盡確實。謹將與工地全滲透電銲之相關符號作一介紹，以便識別管理。

鋼結構之電銲符號包括基本符號與加工符號，其標示位置如圖 7-1 所示：

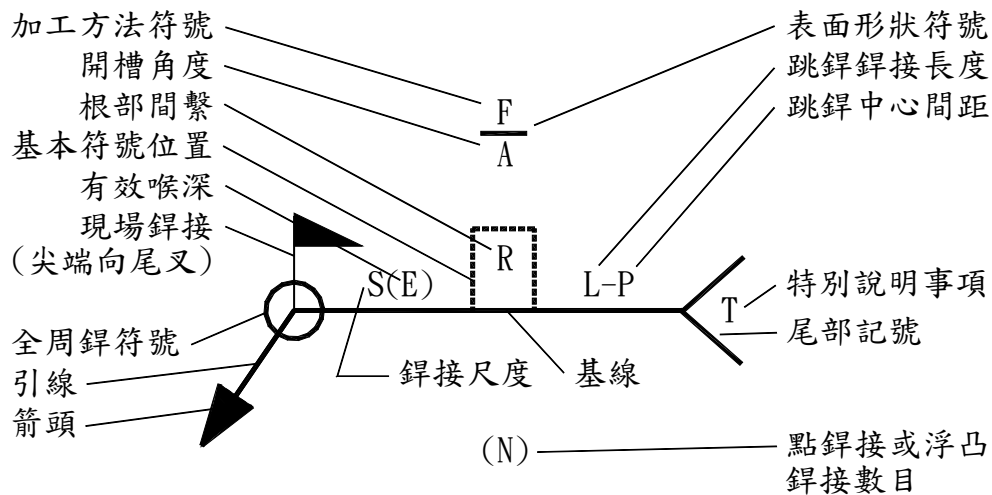


圖 7-1 電銲符號

常用之基本符號如表 7-1 所示，而加工符號則如表 7-2 所示，無論施工人員或管理人員都應該熟諳標示，以管控工地電銲品質。

表 7-1 電銲基本符號表

















種類	符號	種類	符號		
填角銲接		背剷銲接			
塞孔銲接		堆積銲接			
開槽銲接	方形槽		開槽銲接	V形槽	
	U形槽			X形槽	
	雙U形槽		單斜槽		
	喇叭槽		K形槽		
	雙喇叭		斜喇叭		

表 7-2 銲道加工符號表

名稱	符號	名稱	符號		
背面墊板		銲接部位加工方法	鑿平	C	
全周銲接			研磨	G	
現場銲接			切削	M	
銲道表面形狀	平面			鎚擊	H
	凸面			不指定加工法	F
	凹面				

第八節 鋼構件之防護

從工廠運送到工地的鋼架多半已經塗裝，工地的防蝕工作僅為最後的面漆工作。鋼結構之工地防蝕工作約可分為三大類型說明。

8-1 多層建築鋼結構：

按照鋼結構之施工規範，有四種場合不得塗裝油漆，即：

1. 須灌注混凝土之鋼結構表面
2. 須噴覆防火被覆之鋼結構表面
3. 須電銲之部位

4. 須鎖螺栓之部位

依此規範，多層建築根本不得塗裝油漆。因為建築法規規定三樓以上之多層建築必須防火時效至少二小時以上，均須噴覆防火被覆，地上層部分自然無法塗裝油漆。而地下層則必須灌注混凝土，也不得塗裝油漆。所以多層建築依規定是不可塗裝油漆。坊間的多層建築如果塗裝油漆實是違規的權宜措施。因為多層建築之鋼構架，從工廠製造直到工地樓板灌注混凝土完成，最快須要六個月的工期才能噴覆防火被覆，可是鋼料露天閒置達六個月以上勢必銹蝕非常嚴重，造成工地無法善後的嚴重問題。因此，許多的多層建築在甲、乙雙方的協商之下，勉強塗抹超薄之預塗底漆，其厚度酷似水膜，外國慣稱為 wash primer，乾膜厚度約為 10~15 μm 。採用此種超薄之預塗底漆必須事先施作粘著性試驗，其閒置外露之有效時間僅約一年至一年半，如果超過太久仍會嚴重腐蝕。圖 8-1 為國內某 34 層超高層建築之鋼架閒置八年後之嚴重銹蝕情形，財務損失十分嚴重。



圖 8-1 多層建築之嚴重銹蝕^[1]

一旦多層建築事先預塗底漆，工地就無須再塗裝油漆了。反觀多層建築鋼架未預塗部分，固然是符合一般規範之規定，但是必須確保於噴覆防火被覆時，鋼架不得有明顯銹蝕，否則依規範仍應設法除銹乾淨才能噴防火被覆。

8-2 工廠建築鋼結構：

一般工廠建築之鋼結構均塗裝油漆，其油漆層數除契約另有規定外，約二至四層不等，每層油漆膜厚約為 25~40 μm ，視油漆之材質而定，漆膜總厚度約為 100~150 μm 。一般工廠建築之油漆約可分為三層特性，底漆層必須良好之黏著性，中漆層應與底漆及面漆確實相容，這兩層油漆於工廠製造時已噴塗完畢，非屬工地之工作範圍。面漆層因為直接與大氣外界接觸，防蝕效果須比較好，工地施作完後整體外觀較佳。坊間最佳防銹效果之無機鋅粉漆，因本身相容性太差，所以施工時必須噴足厚度，萬一檢查厚度不足而須要補塗時，只能採用有機鋅粉漆補塗，其防銹效果大為降低。表 8-1 為油漆相容性比較表，幾乎各種相同油漆均能相容，惟獨無機鋅粉底漆本身卻無法相容，工地施工時必須謹慎。圖 8-2 則為工廠建築於面漆噴塗完成之情形。

表 8-1 油漆相容性對照表

上層塗料 底層塗料	油性樹脂塗料	氯化橡膠塗料	聚氯乙 烯塗料	環氧樹 脂塗料	無機鋅 粉底漆	苯酚樹脂 塗料	硝化纖維 塗料	聚氨基甲 酸酯塗料
油性樹脂塗料	○	○--△	X	X	X	○--△	X	X
氯化橡膠塗料	○	○	△	X	X--△	○	X	X
聚氯乙 烯塗料	○	○	○	X	X	△	X	X
環氧樹 脂塗料	○	○	○	○	X	○	△--X	○
無機鋅 粉底漆	X	○	○	○	X	△	△--X	○
苯酚樹 脂塗料	○	○	X	X	X	○	X	X
硝化纖 維塗料	△	△	△	△	X	△	○	X
聚氨基 甲酸酯塗料	△	△--○	△--○	○	X	△--○	X	○

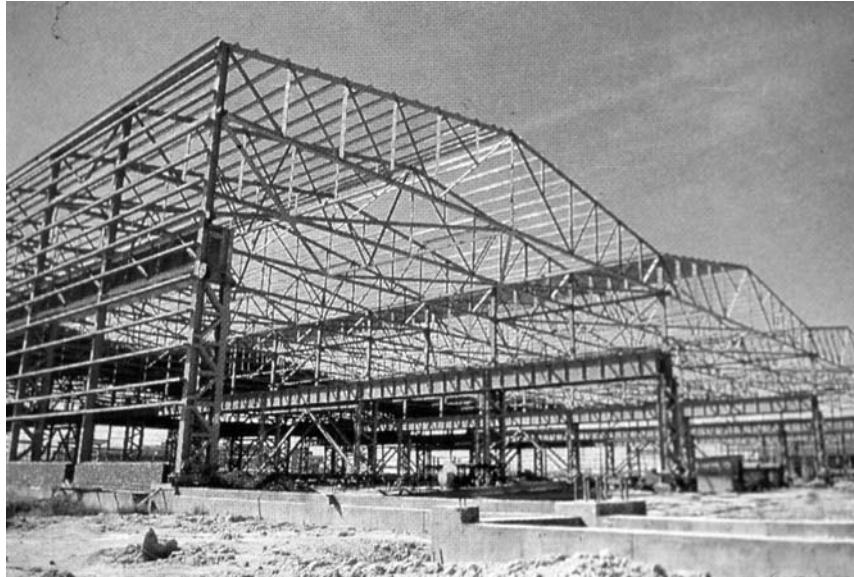


圖 8-2 工廠建築之塗裝完成^{【1】}

部分鋼結構工程採用熱浸鍍鋅作為防蝕處理者，若於施工中鍍鋅剝落者，也只能採用有機鋅粉漆予以補漆，因為無機鋅粉漆不易附著。另外，熱浸鍍鋅鋼構件於工地鎖螺栓時，應先在接合部位以手動鋼刷將其刮刷，讓鍍鋅面略顯粗糙，螺栓方能鎖緊。有關熱浸鍍鋅之技術因屬於工廠製造之範圍，非屬工地權責，其施工要領與管理參閱文獻【1】。

8-3 橋梁鋼結構：

一般鋼結構橋梁都採用厚塗型油漆，盼望完工之後儘量減少油漆之保養工作。油漆之層數須依契約規定辦理，一般包括底漆、中漆、面漆各兩層。每層之厚度約 $50 \mu\text{m}$ ，故鋼橋之總膜厚約為 $300 \mu\text{m}$ ，約為廠房建築之二~三倍。由於厚塗型油漆工地噴塗比較難掌控品質，故橋梁鋼結構常在工廠製造時，就噴塗所有的油漆；或是工廠噴塗五層僅留一層面漆在工地噴塗。有關油漆之膜厚檢查，一般在每平方公尺的表面積量測 5 點的厚度平均，作為該處的膜厚值，不得低於規範的規定值。噴漆時必須採用無氣噴塗 (airless spray) 施工，避免塗裝表面夾雜氣泡。圖 8-3 為正在塗裝油漆之情形，油漆之溶劑屬於神經性之有害物質，作業時必須慎戴防護面罩，圖 8-3 之作業員噴塗時並未完全符合塗裝標準作業程序。



圖 8-3 鋼結構之噴塗油漆^{【1】}

一般鋼橋的工程，工地的塗裝工作常常局限於接頭之處理或鋼料運輸刮傷部分之整修與補漆（touch up）。工地之除銹整修工法稱為 St 工法，為利用手工具或電動工具作局部除銹處理。一般鋼料表面之除銹處理程度可分為 0 級、1 級、2 級、2½級與 3 級共五級，其中與 St 工法有關者僅為 2 級與 3 級。各級數之定義分別如下：

- 0 級：未處理之表面
- 1 級：輕度之處理表面
- 2 級：中度之處理表面
- 2½級：幾近完整之處理表面
- 3 級：完整之處理表面

圖 8-4 為鋼橋完成塗裝之情形。有關其他鋼結構油漆數量之估算等詳細資料可參考文獻【1】。



圖 8-4 鋼橋完成塗裝^{【1】}

8-4 防火被覆

多層建築之鋼結構因為建築法規規定三樓以上必須為防火構造物，所以多半在工地安裝完成後必須噴塗防火被覆。防火被覆之材料由耐熱材、粘著材與抗裂材三種材料依專業配比混合後施作，防火材以岩棉為主，近期之蛭石耐熱材則有增加之趨勢。防火被覆之施工有乾式工法（Sprayed Fiber）與濕式工法（Cementitious Mixture）兩種，施工前必須事先規劃並安排必要之機具，防火被覆之厚度應依規定之防火時效妥善計算。一般之防火被覆厚度視型鋼斷面之大小、束制與非束制系統而有不同，其厚度約為 7mm~45mm 不等。噴完後亦應比照油漆之厚度檢測檢查防火被覆之厚度。在噴塗前必須依規定將鋼料表面清理乾淨，否則防火材粘著不佳會降低防火效果。國內曾有 26 層之超高樓鋼架建築，經大火延燒約 40 小時後，整棟大樓仍然屹立不搖之實際經驗，實歸功於防火被覆施作確實，發揮防火效果。圖 8-5 為噴塗防火被覆之多層建築。詳細之防火被覆設計與其他內容可參考文獻【1】。



圖 8-5 多層建築之防火被覆^[1]

(待續)