鐵皮屋之火害與搶救探討

陳純森　2015-2-12

天恩土木結構技師事務所技師、成功大學建研所副教授專家

前言

2015 年 1 月 20 日桃園新屋保齡球館違建鐵皮屋發生大火，造成 6 名年輕消防隊員喪生震撼全台灣，其實鐵皮屋之火害由來已久，且層出不窮，幾乎每次之鐵皮屋火警都造成嚴重的財物損失或人員傷亡。有關鐵皮屋之火害不可不慎重處理。

壹、鐵皮屋火害之回顧

經統計國內歷次之鐵皮屋火害事件如表 1 所示。

表 1 歷年鐵皮屋火害紀錄

案例一	新北市中和區永和路頂樓違建鐵皮屋火警(1 人死亡)
時間	2015 年 1 月 28 日 06：00
案例二	台南市官田區渡頭里鐵皮屋火警 (2 間房屋半毀，無人傷亡)
時間	2015 年 1 月 28 日 09：47~10：28 (40 分)
案例三	苗栗市南苗市場鐵皮屋火警 (2 人遭受濃煙嗆昏喪生)
時間	2015 年 1 月 27 日 21：48~22：18 (30 分)
案例四	桃園中壢違建鐵皮屋粉體塗裝廠火警 5~6 樓違建鐵皮屋全毀，14 人受灼傷嗆傷，有生命危險。
時間	2015 年 1 月 26 日 14：00~19：30 (約 5 小時)
案例五	新北市鶯歌區鐵皮屋磁磚廠火警
時間	2015 年 1 月 22 日 04：00~ (燃燒面積 300 坪，1 人嗆傷)
案例六	桃園新屋鐵皮屋保齡球館火警 二樓鐵架倒塌，6 名消防人員殉職。
時間	2015 年 1 月 20 日 02：00~
案例七	台中市大里區鐵皮屋工廠火警(鐵皮屋全毀，無人傷亡)
時間	2015 年 1 月 2 日 06：30~ (3 小時)
案例八	新北市泰山區鐵皮工廠火警(無人傷亡)
時間	2014 年 10 月 4 日 02：42~03：22 (40 分)
案例九	蘆洲鐵皮屋汽車修車廠火警 燃燒面積 500 坪，5 間全毀，3 間半毀，無人傷亡
時間	2014 年 8 月 23 日 04：00~06：00 (2 小時)

案例十	新北市泰山區鐵皮屋違建工廠火警(2 名消防人員窒息死亡)
時間	2013 年 07 月 06 日 13：14~15：01 (105 分)
案例十一	新竹市明湖路鐵皮屋倉庫火警(建築物半毀、五具焦屍)
時間	2012 年 3 月 12 日 02：45~03：15 (30 分)
案例十二	桃園縣大園鄉鐵皮屋倉庫火警(2 間庫房全毀)
時間	2011 年 8 月 12 日 06：23~07：01 (38 分)
案例十三	台中市大里違建鐵皮屋工廠火警(鐵皮屋全毀，無人傷亡)
時間	2006 年 10 月 14 日 15：45~
案例十四	高雄市博愛路鐵皮屋家具廠火警 二樓之建築全毀，2 死 3 傷(皆為消防人員)
時間	2005 年 3 月 25 日 14：30~15：25 (55 分)
案例十五	台北縣三峽鐵皮屋違建工廠火警(1 名消防人員灼燒死亡)
時間	2004 年 07 月 13 日 00：35~02：10 (100 分)
案例十六	台北市內湖區鐵皮屋火警(無人員傷亡)
時間	2003 年 10 月 28 日 04：34~05：21 (26 分)

貳、鐵皮屋之種類與構造

鐵皮屋乃是用薄鐵皮包覆在鋼架的牆面與屋面所構成的建築，有平房也有夾層或二樓建築，部分鐵皮屋興建在多層建築物之頂樓，形成增建。鐵皮屋之用途包括輕型加工廠與倉庫等之使用。如果僅用鐵皮覆蓋在屋面，牆面並無遮蓋時，稱為「鋼棚架」。

所謂薄鐵皮俗稱「亞鉛板」，其時是熱浸鍍鋅鋼浪板，早期都採用塗布瀝青之波浪型薄鋼板，表面呈現黑色，浪板厚度 0.6~1.0mm 不等，浪深 18mm，浪距 76.2mm(3 吋)，近來都採用烤漆之鍍鋅槽型鋼板，表面顏色亮麗，俗稱「彩鋼」。一般鐵皮屋之屋頂並無用途，正式設計之載重量僅考慮維修之載重，每平方公尺之載重量為 60 公斤，平常不宜堆置物品，以免發生強度不足而影響結構安全或嚴重損壞。常用之鐵皮斷面如圖 1 所示。

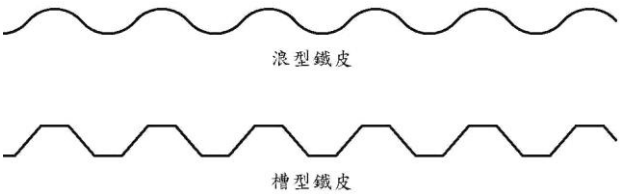

圖 1 常用之鐵皮斷面

用以支撐鐵皮的鋼架有鋼骨、輕量型鋼與鋼桁架等多種，鋼骨以小型之槽型鋼與工型鋼佔多數，輕量型鋼則多半採用以薄鋼片冷軋成型之槽鋼，老外稱為 cold form 或 light gauge，部分斷面顯現微小缺口之輕槽鋼，形狀酷似嘴唇，也有日商稱為 lip channel。至於鋼桁架則

用鋼筋、鋼棒、角鋼、槽鋼與工型鋼等多種鋼料組合而成，如圖 2 所示。輕鋼結構之板厚約 1,2~4.5mm；鋼棒或鋼筋之直徑約 16~19mm。各種支撐鐵皮之鋼構架如圖 3~圖 6 所示。

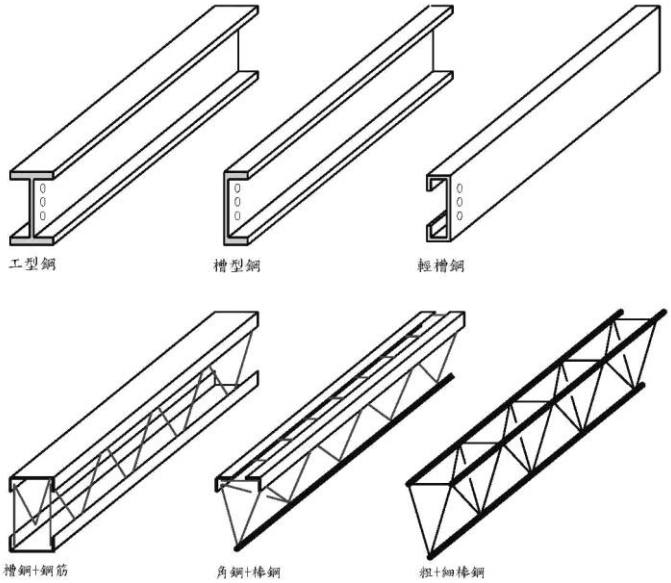

圖 2 鐵皮屋之各種梁與柱構材

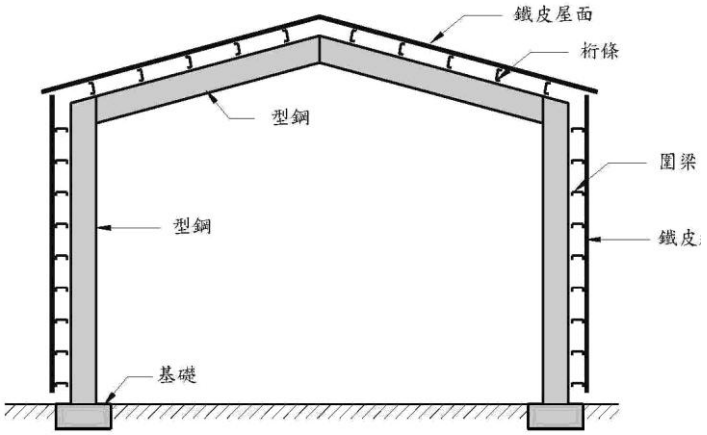

圖 3 山形鋼架鐵皮屋

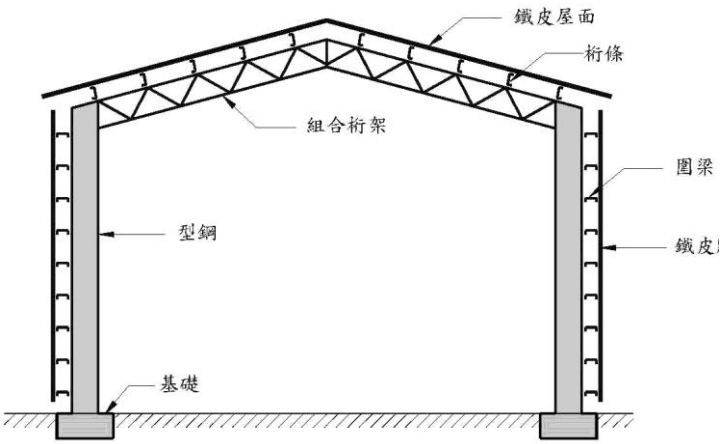

圖 4 屋頂桁架鐵皮屋

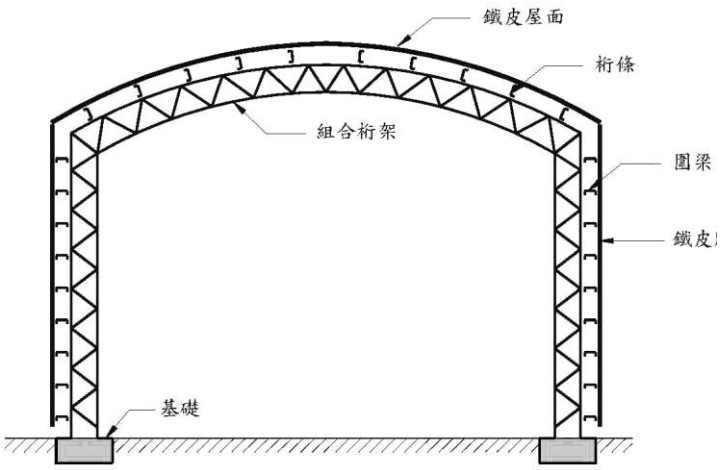

圖 5 拱形桁架鐵皮屋

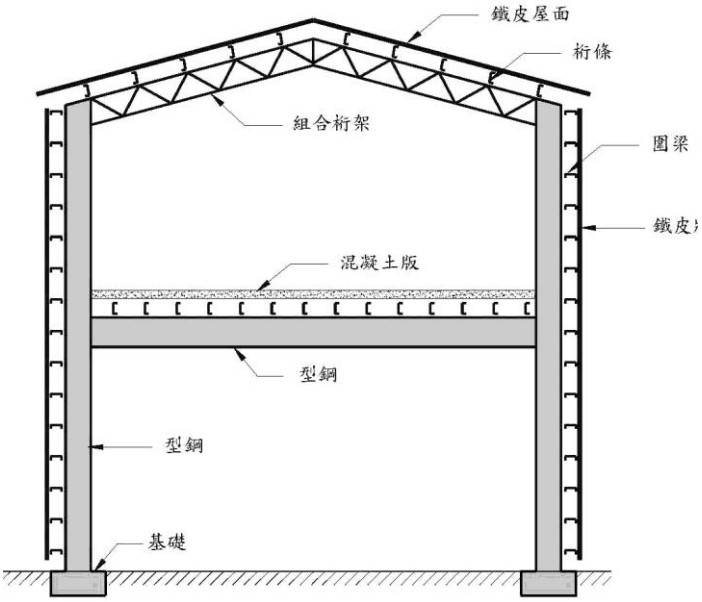

圖 6 夾層或增建鐵皮屋

由於鐵皮屋之鋼構件厚度均很薄，隔熱效果很差，太陽之輻射熱頗高，並不適合居家與工作，有部分鐵皮屋的平頂與牆面採用內襯泡棉隔熱板，雖能隔離輻射熱，但泡棉容易燃燒，並非良好防火材。若採用耐燃之石膏板或矽酸鈣板作內襯材，其隔熱與防火效果會較佳。早期有些輕型加工廠與倉庫使用石棉浪板作為屋面與牆面，由於石棉對人體健康有不良影響，且「賽洛瑪」颱風掀破許多以鉤釘安裝之石棉板屋牆面，近來已經顯少使用。

參、鋼鐵材料

一般所稱的「鋼料」為碳含量（C）在1.7%以下之鋼鐵材料，俗稱經過煉鋼廠千錘百煉的熟鋼。如果碳含量在1.7%以上稱為「生鐵」，可稱為半生不熟的鐵料。普通土木、建築工程所使用的鋼料其碳含量甚低，約為0.15%~0.3%左右，因為碳含量較少，故俗稱「軟鋼」。碳的含量越高則鋼料的強度越強，但鋼料之性質越脆，且銲接性越差。故規範規定須銲接之鋼料，其碳當量（Ceq）不得超過0.55%。碳當量之公式如下：

$$C.E.\% = \left(C + \frac{M_n}{6} + \frac{C_u}{40} + \frac{N_i}{20} + \frac{C_r}{10} - \frac{M_o}{50} - \frac{V}{10} \right)\%$$

上式中之符號為鋼料內部之非鐵原素化學成分。

許多鐵皮屋之梁與柱構材採用鋼筋或鋼棒組合成桁架，重量輕造價便宜。鐵皮屋多半採用普通鋼筋，其降伏強度應≧280N/mm^2，稱為 SD280 規格。採用銲接結合之鋼筋應使用 SD280W 之規格，W 為 Weld-able 的簡寫。一般鐵皮屋之竹節鋼筋採用#5 與#6 較為普遍。部分鐵皮屋之主要構架採用鋼骨，其型鋼包括角鋼、槽鋼、I 型鋼與細小斷面之鋼管等。如圖 7 所示。

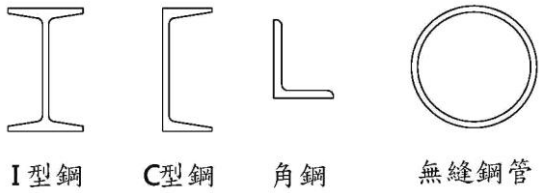

圖 7 各種型鋼斷面之種類

鐵皮屋常用之鋼料為普通強度之鋼料，包括 CNS SS400 及 CNS SM400。其中 SS 為一般結構用鋼料，含碳量沒有規定，不適合電銲接合；而 SM 則為銲接結構用鋼料，含碳量有明確限制。400 則表示其抗拉強度為 400 N/mm^2 以上，降伏強度約為 235N/mm^2 以上。有時，鐵皮屋之型鋼亦採用美規規格，如 ASTM A36 等，其降伏強度最小為 36ksi，約等同於 SM400 之規格。鋼結構材料除了須試驗其物理性質外，尚須檢驗其化學成分。依照 CNS 2608-鋼料之檢驗通則規定，鋼料之化學成分分析，係以煉鋼廠每一盛桶(Ladle)之鋼液於澆鑄前取樣分析。如規定須另作成分之核對分析時，其取樣方法須依 CNS 3158-鋼料之成品分析法及其許可差取樣分析。

肆、物體燃燒

可燃物之燃燒是造成火害最主要之原因，有些不燃物雖然本身不會燃燒，如鋼料與混凝土等，但受到鄰近燃燒物所造成的火焰對流或熱傳導以致於強度降低，則有可能造成構造倒塌或損害的嚴重後果。有關物體的燃燒除了材料本身的易燃性質以外，外在環境的影響溫度尚包括自燃點、著火點與閃火點等，分述如下。

一、自燃點

可燃物雖然未受外來火焰與火花之影響，但受到環境之高溫或本身累積之熱量所發生之自然燃燒，燃燒當時所累積之溫度，稱為自燃點。例如汽油的自然點約為 260℃，當汽油之溫度累積至 260℃時，不需要點火就有可能會自行燃燒。

二、著火點

當可燃物與空氣共同存在，在某特定溫度下遇到火源而產生燃燒，所能產生燃燒之最低溫度稱為著火點，又稱「燃點」。一般紙張的燃點非常低，大約攝氏 130 度即可能燃燒。

三、閃燃點

於可燃性之液體，當其揮發性氣體與空氣混合成可燃氣體後，遇到火源所產生之燃燒，其產生燃燒之最低溫度稱為閃燃點，又稱「閃火點」。例如汽油之閃燃點約-43℃，當環境溫度高於-43℃時，汽油之揮發油氣即有可能閃燃。汽油的「閃燃」是油氣在燃燒並非汽油液體燃燒，而且必須與空氣混合才會持續閃燃。發生閃燃時如果溫度持續失控或上升，則有可能全面發生大火，造成嚴重火害。燃燒氣體(即丙烯、乙烯、丙烷、氫氣、天然瓦斯等)與助燃之氧氣混合後遇火也容易閃爆，均必須留意處理。高雄氣爆即是丙烯與空氣混合所惹的閃爆禍害

除了自燃現象外，著火與閃燃都必須具有火源或火種。但無論哪一種燃燒現象，燃燒之三個必要條件，包括可燃物、燃點與助燃物(或稱氧化劑)都必須具備，才會持續燃燒，且缺一不可。必須滅火時，只要去除其中的一個條件即可滅火，以天然氣燃燒為例可採取之滅火方式如下：

1. 將天然氣關閉，移除燃料。
2. 將火焰覆蓋，隔絕助燃物(氧氣)。
3. 沖水降低溫度或減少熱量。
4. 噴灑阻燃劑(如海龍等)減緩劇烈之氧化反應。

伍、高溫熱量對鋼料之影響

鐵皮屋遭受火害時，其高溫之熱量傳遞方式有 3 種，包括熱對流，熱輻射與熱傳導等。

熱對流乃氣體與液體之主要傳熱方式，溫度較高之氣體與液體由於體積膨漲，密度降低比重也減少，故向上漂浮或竄升；反之溫度較低者則向下流動，形成對流。熱對流之方向僅有向上之方向。於失火的地方，如遇刮風除有促成劇烈氧化外，亦容易助長火勢與氣燄，乃是熱對流之現象。

熱輻射為熱量傳遞之主要方式，所有之物質當它的溫度超過攝氏-273℃時，就會向四面八方散發出輻射熱，熱輻射之傳播速度與光速相同，約為 3×10^8m/s。熱輻射之傳遞並不需要借重任何媒介物質，所以太陽之輻射熱能直接透過真空層傳遞至各個星球。當熱輻射受到物體之阻擋時其輻射熱部分被物體表面吸收，其餘熱能則會反射。物理學稱熱能吸收之比率為「射入率」。一般物質之射入率如表 2 所示。熱能被反射之比率則稱為「反射率」。射入率與反射率之和等於 1.0。白色、淡色或光滑之物體表面不易吸收幅射熱，卻容易反射輻射熱。反之，黑色、深色或粗糙之物體表面則容易吸收幅射熱。易於吸收輻射熱之物體亦容易放射輻射熱。

表 2 一般物質表面之射入率【2】

物質	射入率	物質	射入率
粗鋼	0.12	玻璃	0.95
光鐵	0.06	瀝青	0.90~0.98

混凝土	0.85~0.95	紙	0.92
木材	0.9	鋁箔	0.03~0.05

熱傳導係高溫之熱量藉由物體逐漸傳遞給低溫的物體，是固體材料主要的導熱方式。高密度之材料，其熱量傳遞之速度愈快，即熱傳導率愈高。一般言之，金屬的熱傳導效果較好，而非金屬之熱傳導效果較差。熱傳導率之排序為：金屬>液體>氣體。熱傳導之特性以熱傳導率表示，熱傳導率係指單位時間內通過某物體之熱流，以熱傳導係數 k 表示。若有某物體，其斷面為 A，長度為 L，兩端之溫度差為▵T，則單位時間通過該物體的熱能 dQ/dt，與斷面積 A、溫度差▵T 成正比，而與長度 L 成反比，以數學式表示如下：

$$\frac{dQ}{dt} \alpha \frac{A \cdot \Delta T}{L}$$

或另書寫為

$$\frac{dQ}{dt} = k \frac{A}{L} \Delta T$$

移位後可得

$$k = \frac{dQ}{dt} \cdot \frac{L}{A \cdot \Delta T}$$

上式中：

k：熱傳導係數，單位為 W/(m · K)

W：瓦，熱流單位，1W=1 J/sec，英制單位 1 Btu=1,055 J

m：公尺，長度單位

K：為絕對溫度=℃+273°

一般建材之熱傳導率如表 3 所示。

表 3 一般物質之熱傳導率

物質	熱傳導率 k W/(m · K)	物質	熱傳導率 k W/(m · K)
銅	400	玻璃	1.05
鋁	205	水	0.60
鋅	116	混凝土	0.4~0.7
鑄鐵	55	鐵氟龍	0.25
碳鋼	43	土壤	0.15
不銹鋼	16	木材	0.07~0.17
磚	1.31	空氣	0.025

鐵皮屋之失火並非鐵皮本身在燃燒，而是屋內所堆積之物質在燃燒，其燃燒時之溫度、燃燒歷時與鋼料厚度都是鋼料強度降低之敏感因素。鐵皮屋之輕鋼結構之鋼料板厚約 1.2~4.5

mm，鐵皮之厚度則僅有 0.5~1.0mm，鋼棒或鋼筋之直徑約 16~19mm，均甚容易導熱。復由於鋼料之熱傳導性高，對於溫度十分敏感。依照 ECCS 規範建議，若以 0℃的鋼料降伏強度為基準，可計算各種溫度下之鋼料降伏強度與基準降伏強度之比值如圖 8 所示。

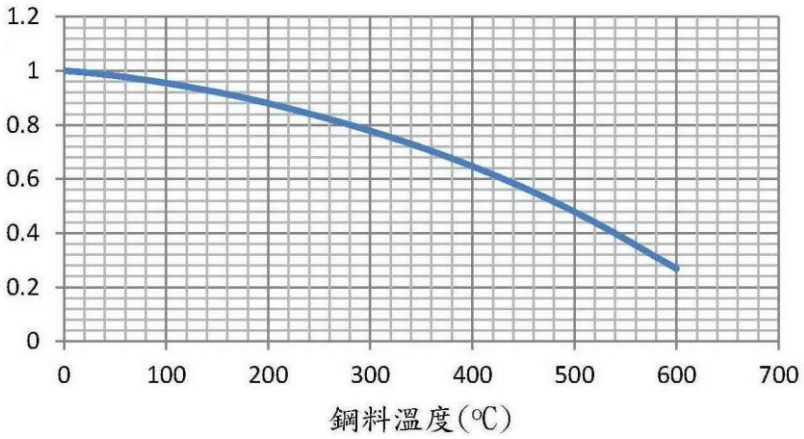

圖 8 一般鋼料之強度與溫度之關係【1】

由圖 8 顯示，當整塊鋼料之溫度達到 300℃時，其降伏強度降低約 22%，剩餘 78%之強度；若達到 500℃時，強度降低約 52%，僅剩 48%之強度，已低於一般設計之容許強度，鋼料隨時有破壞或斷裂之危險。若鋼料溫度達到 600℃，強度降低約 73%，只剩約 27%之強度。一般冶金學另定義當溫度達到 723℃時，鋼料內部之金相顆粒與材質均已明顯變質，稱為「變態點」。到達 1,100℃時，則成為半固體半液體，1,400℃時成為液體，俗稱「鋼水」或「鋼液」。

通常火警現場，在 5~10 鐘內溫度就會竄升到 500~600℃，是鋼料保全的關鍵，有關材料之防止火害試驗，ISO 834 與 CNS 12514 都規定雷同之升溫曲線，如圖 9。圖中顯示於 5 分鐘時，溫度已達 576℃；於 10 分鐘時，溫度更高達 678℃。如此的高溫鋼料均甚容易降低強度甚至軟化。

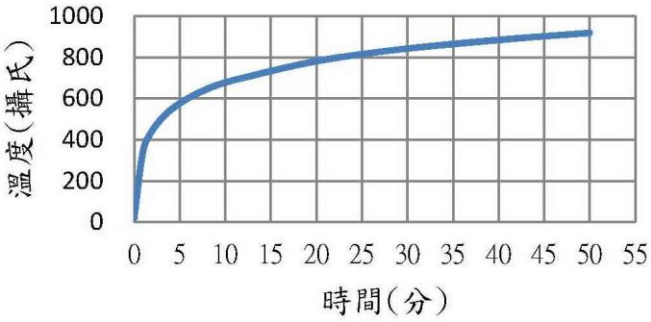

圖 9 CNS12514 之升溫曲線

有關鋼料溫度之計測，可用溫度計或其他精密儀器精確測出，但在緊要關鍵之時刻，鋼料之溫度亦可依其表面所顯現之顏色作概略判斷，鋼料之溫度與顏色之關係大致如表 4 所示：

表 4 鋼料溫度與呈現之顏色

加熱溫度℃	顏色	加熱溫度℃	顏色
500	暗褐	900	正紅

600	褐紅	1,000	橘紅
700	暗紅	1,100	黃
800	櫻桃紅	1,300 以上	黃白

陸、鐵皮屋與汐止東科大樓及美國雙子星火害之綜和探討

2001 年（民國 90 年）5 月 12 日(週六)下午四時，台北縣汐止鎮之東方科學園區，東○士某 26 層大樓之第 3 層因電線走火發生大火，雖及早發現未造成嚴重損害，但因火災高溫所殘留之火花未能有效撲滅，造成第 16 樓發生二度火災，並猶如煙囪效應竄燒至頂樓，火勢無法控制，現場雖出動全台最高的雲梯車，但其高度僅達 22 層樓高，且受密閉玻璃帷幕阻擋，搶救十分困難，迄至 13 日(週日)下午才完成撲滅。14 日(週一)上午筆者應台北縣工務局邀請率同數位結構技師前往火害現場緊急鑑定，該大樓遭火勢延燒 40 餘小時，適值休假期間，幸無人傷亡受害，雖然有少部分鋼構件受損，但整體結構並未嚴重破壞，可稱為超高層建築火害歷時最久之案例。主要原因為該大樓採用厚重型之鋼骨構件且噴塗防火被覆材料。

反觀同年(2001 年)的 9 月 11 日，位於美國紐約的 100 層雙子星超高層大樓，兩棟建築分別遭受自殺式飛機的攻擊，飛機撞進大樓爆炸起火燃燒，其中一棟遭受大火燃燒約 50 分鐘後整棟崩塌，另外一棟也於 100 分鐘後完全倒塌，大樓崩塌後現場一片廢墟。雙子星大樓亦為鋼結構大樓，於瞬間完全毀滅，人員死亡近 3,000 人，財產損失約 100 億美金，十分慘重。該等大樓之所以起火燃燒後快速倒塌，乃是鋼結構系統有別於國內之耐震結構。早期紐約地區之建築結構設計並無耐震之需求，建築結構以承受垂直載重為主，結構系統採用筒中筒之構造，建築物外圍採用小斷面之方管圍成大筒，內部則以小斷面之方管圍成小筒，大筒與小筒間採用格柵梁作為聯繫之大梁，其結構配置如圖 10 所示。格柵梁實為輕型桁架，宛如國內早期之力霸鋼架，桿件均為斷面細小之 2 力桿件，如圖 11 所示。該等輕型桁架失火後僅能維持數十分鐘，如無法及時撲滅勢必會快速斷裂或崩塌。

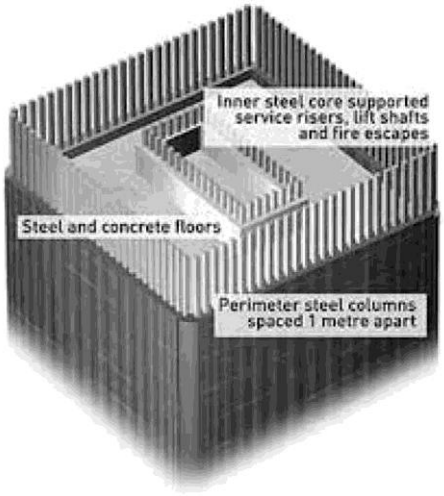

圖 10 筒中筒構造示意【3】

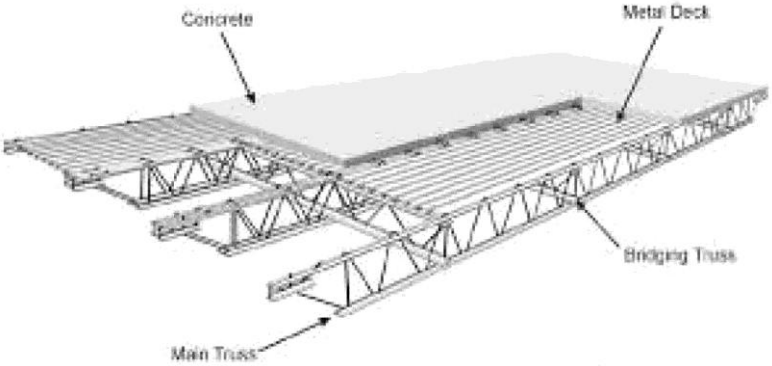

圖 11 格柵梁構造【4】

國內一般之鐵皮屋，大部分作為輕型加工廠或倉庫使用，常堆置易燃之固體材料、容易閃

燃之液體或化學材料，以及容易氣爆之氣體瓦斯等，失火之火勢控制遠比其他建物困難，所造成之財物損失極其嚴重。尤其國內之鐵皮屋絕大多數為違章建築，建築結構多半未符合法規要求，鋼骨骨架既未噴塗防火被覆也無噴塗防火油漆，消防設施更是附之闕如，使用者常常超重堆置，加上鋼構件之斷面細小，熱傳導十分快速，失火時幾乎都是一發不可收拾，鋼料很快就變軟甚或倒塌，除了造成使用者的傷亡外，還常常殃及無辜的消防人員，防火與救火均不可不慎。

柒、鐵皮屋火害之搶救

由於鐵皮屋於失火後容易熔解甚至崩塌，綜觀前述諸多案例之火災歷時與損傷，建議救火之要領如下：

一、除非屋內有人待救，否則不宜進入火場救火。

二、進入火場盡量從背風面進入，避免火勢與氣焰增長。

三、滅火之順序大致如下：

1. 應先斷絕電源

2. 降溫或覆蓋容易閃燃之化工材料或氣體，防止全面閃燃與氣爆。

3. 如鋼料已呈現暗紅色，應對柱與梁之鋼骨結構射水，避免鋼料軟化而倒塌。

4. 消滅易燃或可燃固體材料之火勢，如木料、紙張與塑膠等。

四、非閃燃時，起火點如局限於某部分區域，最遲約 30 分鐘應退出火場；如果全面燃燒，可能 15 分鐘就應該退場。實際撤離之時間應視火場之現況與鋼料之變質審慎判斷決定。閃燃時應即刻退出火場，有易爆氣體者應保持警戒之安全距離。

五、盡量安排數組人員同時救火，人力不宜過度單薄。

六、入內或上樓必須先將鋼架射水降溫，否則不應貿然進入火場。因為鋼架顏色尚未變紅時，強度有可能已降低不到一半，隨時有倒塌顧慮，非常危險。

結語

綜上所述，鐵皮屋火害之結構安全風險頗大，所有鐵皮屋之設計與施工均應委請專業之建築師或結構技師與廠商確實依法規辦理，並作必要之防火與消防工安設施，容易閃燃之液體必須具備充分之安全防範與警戒措施，不合法之違章建築應列為第一優先拆除或補辦審查與許可，建築使用之管理應從嚴認定，以避免無謂之災害與犧牲。

【參考文獻】

1. 陳純森，鐵皮屋之火害與搶救，台南市政府消防局，2015 年 2 月 13 日

2. 反射隔熱製造商協會手冊

3. www.newscientist.com/data

4. 維基百科 Wikipedia, the free encyclopedia
5. 陳純森，鋼結構工程實務(第四版)，科技圖書公司，2012 年 3 月。