

國內鋼橋常用之吊裝工法簡介

Introduction of Steel Bridge Construction Methodology in Taiwan.

王炤烈 1 張英發 2 李家順 3

- 1 台灣世曦工程顧問股份有限公司，總經理
- 2 台灣世曦工程顧問股份有限公司，第一結構部技術經理，
ehteo@ceci.com.tw
- 3 交通部公路總局養路組道路工程科，工程司

鋼橋為大跨度、特殊橋型及都市高架橋所常採用之橋梁結構，主要係基於其鋼結構材料強度高、重量輕，可大幅減少自重及主梁深度。另外，鋼橋具有施工快速、品質較容易掌控的施工優點，因此常應用在靜重受限的大跨度橋梁及量體小、施工快的都市高架橋，在快速施工完成及有效降低對交通影響效應下，鋼橋大量地被採用。

傳統的鋼橋大都採用節塊吊裝工法來完成鋼橋的架設，然而近年來由於採用特殊橋型、或施工場地受限、或基於施工安全及經濟考量下，不同的施工工法亦普遍地創新並應用在各相關工程中。基於各工程施工特性的差別，且不同施工廠商有其施工技藝及自有的施工機具設備，特殊施工工法經常不會重覆地使用，然而對於設計工程師來說，各種鋼橋特殊施工工法均有其特殊性，各工法均是設計規劃的施工工法重要參考依據，也是國內施工技藝的增長依循。因此，本文章就鋼橋於國內施工所採用之特殊工法，作吊裝工法介紹及探討，以作為未來鋼橋施工工法之參考。

前言

鋼橋吊裝為一種完成鋼梁施工的技藝，須配合其專業及經驗，始得如質完成其組立作業。特別是鋼橋之施工過程中，亦配合於鋼構廠內先行辦理了假安裝作業，因此於工地的安裝過程中，若配合其廠內假安裝資料及吊裝順序等來吊裝，則可如質完成相關作業。惟若不瞭解假安裝或不依鋼構廠假安裝資料，重新研擬或依工址條件進行相關吊裝作業，其間亦有部分工程是無法如期如質完成的。國內鋼橋吊裝作業，也經常會依結構特性及橋址環境而採用不同的吊裝方式及吊裝工具，如表 1 所列。其中，部分施工設備為配合結構特性特別設計，並實際應用於國內鋼橋吊裝工程。

鋼梁吊裝須配合工址特性、工程特性及施工廠商技藝等條件，可採用不同的施工方式來完成鋼結構的構件閉合。配合各施工步驟及工法的採用，施工工法可分為支撐吊裝工法、懸臂工法、鋼索工法、推進工法、架設梁工法、全跨吊裝工法及旋轉工法等。近期來，配合國內公共工程的推動，及橋梁設計的結構特殊性，鋼構吊裝亦採用不同的施工工法，展現國內鋼構吊裝之技藝。

表 1 不同吊裝工具之鋼橋吊裝工法
吊裝施工相片 工程名稱

吊車	 <p>大型吊車</p>	 <p>洲美快速道路</p>
浮船	 <p>浮船吊裝</p>	 <p>洲美快速道路</p>
浮動平台	 <p>浮動平台</p>	 <p>社子大橋</p>
工作車	 <p>工作車</p>	 <p>高屏溪斜張橋</p>
天車梁	 <p>天車梁</p>	 <p>環東大道雙層鋼拱橋</p>

支撐吊裝工法

支撐吊裝工法為鋼梁的構件下方架設臨時支撐架，用以承受上方構件之重量。然後將主梁構件分節或分段逐步吊裝，俟主梁構件吊裝完成後，拆除其支撐後由完整結構承受構件重量及設計載重。原則上，採用支撐吊裝工法大都採節塊逐步地吊裝，但也可以採用兩側同時吊裝，並於中央節塊完成閉合。



目前這種工法為鋼橋最常使用的吊裝工法，亦為最快速、安全及調整性最強的工法。基本上，支撐吊裝工法大都是配合吊車來完成鋼梁的吊裝，也是一般工地最常看到的鋼構施工方式。惟配合地形、地貌之工址環境、經濟條件及期程等，可搭配不同的吊重機具及方式來完成吊裝作業，如吊車、天車梁、浮船及工作車等來完成鋼梁吊裝。因此，將以較特殊的鋼橋結構施工，介紹其特別的吊裝方式及機具設備。

臺北市環東快速道路，自舊宗路開始往東銜接至南港連絡道及國道3路高速公路。其中跨越基隆河段為跨徑 166m 雙層鋼拱橋，拱高 30m，全寬 13.3m。由於橋面寬度較狹窄，且拱肋高度為 30m，較一般鋼梁寬扁的配置不同。在考量國內的吊車租用大都按日計算租期，成本較高；因此，本橋施工時採用天車梁的吊裝方式，不僅完成主橋的吊裝作業，同時也應用了國內天車梁較為便宜的施工特點。其鋼構施工相片如圖 2 所示。本橋的吊裝方式，改變了國內的鋼橋施工必然採用吊車的工程慣例，也影響日後不少橋梁的採用。



於鋼拱橋兩側架設臨時支撐架



構件可利用中央部位的施工構台運送



拱肋及橫梁均可利用天車梁吊裝



鋼拱橋吊裝完成後再拆除臨時支撐

圖 2 環東基河快速道路工程雙層跨越橋施工

正氣橋改建工程，為串連臺北市市民大道及環東大道的銜接段高架橋，往南銜接基隆路及市民大道、往西銜接至南京東路、往東銜接至麥帥公路，為臺北市重要的高架橋匯流處。其中，跨越基隆河段為單弦拱肋雙層鋼拱橋，跨徑 170m，拱高 30m，拱肋採拋物線線形，拱肋寬度 3.2，主梁寬 2.0m，上層梁深 1.7m，下層梁深 2.8m，共有 10 線車道。



臺北市正氣橋改建工程

跨河主橋於拆除改建時，除於橋旁增設施工便橋以維車輛改道通行，且緊鄰主橋側，使得無法架設施工構台吊裝，同時配合既有施工環境及雙層結構特殊性，採用天車梁方式施工，其施工相片如圖 3 所示。



臨時支撐架及施工構台



主梁吊裝



主梁採天車梁方式吊裝



主梁吊裝



拱肋吊裝

圖 3 正氣橋改建工程跨越基隆河段主橋施工

臺北市洲美快速道路工程，位於臺北市的西北側，為連接環河北路與大業路、大度路的高架橋梁，疏解原有承德路的交通流量。其中，跨越基隆河段跨河主橋，採用大跨度鋼床板箱型梁橋，主跨徑為 168m，側跨為 126m，合計橋長為 440m，為當時完成後國內最大跨徑橋梁。為



配合水利單位要求，減少架設於河中的施工構台，採船吊施工，僅須於河中打設鋼構件之臨時支撐架，大幅減少阻水支撐。配合本工程工期需求，除採用較為特殊的船吊吊裝外，並採由橋兩端往中央閉合施工，如圖 4 所示。其中上部結構吊裝時，其下方的墩柱尚在施築，配合作臨時支承，於全橋拱度釋放時，主梁作用於橋墩上。



構件運至河岸邊之臨時碼頭



構件利用船吊作為運送工具



運至定位後起吊



構件吊裝定位

圖 4 洲美快速道路工程跨越基隆河段船吊施工

另外，洲美快速道路工程跨磺港溪段高架橋施工，雖同樣採場撐工法吊裝，但由於其橋址大都位於高灘地上，故採用場撐方式施工，由北側往南端逐步吊裝，如圖 5 所示。



主梁吊裝(第一跨)



主梁吊裝(第二跨)



主梁吊裝



主梁吊裝完成

圖 5 洲美快速道路工程跨磺港溪段場撐施工

懸臂工法

主梁吊裝為完成跨越橋下障礙，如河道、車道、鐵路或山谷等，其下方無法架設任何支撐，則可採跨懸臂工法吊裝。本工法施工技藝要求最高，須配合吊裝步驟及各節塊重量計算其拱度及應力檢核等。主梁構件吊裝採懸臂方式時，可由構件本身結構強度承受懸臂段及施工機具重量，將各節塊逐步完成其吊裝作業。此外若為斜張橋時，則可利用其橋塔結構搭配鋼索預力的施拉輔助，完成主梁安裝。因此，一般鋼箱梁結構，亦可利用臨時橋塔概念，進行懸臂工法吊裝。

以新北市十八王公橋為例，其下方為核電廠的排水口，無法架設任何支撐設施。因此，本工程於施工過程中，係採懸臂工法來完成主梁吊裝，即主梁重量於結構整體未閉合前，均由主梁結構承受，其架設相片如圖 6 所示。採這種吊裝方式，在整體結構未完整前，所承受的作用力反而較大，設計階段要納入考量。然而整體結構完成後受力會大幅降低，結構需要減少。因此，雖可以減少支撐架費用，但一般來說，其整體費用及安全贅餘度都較高。



圖 6 十八王公橋懸臂施工

2013 年剛完工通車的五楊拓寬段，其中以泰山跨越橋為例，採三跨連續大跨徑鋼橋，其中跨越中山高速公路主跨徑為 216m。配合施工計畫的研擬，將其自有施工設備及剛完成社子大橋的技巧應用於本工程，自行設計懸臂吊車，並將天車梁再進化，完成了該最大跨度鋼橋之吊裝，如圖 7 所示。本跨鋼橋吊裝在維持現有國道的行車安全下完成，為少數國人自行研究及具創新的吊裝工法。





側跨場撐主梁吊裝



安裝工作車，組裝主梁



以工作車由兩側懸臂吊裝



中央節塊閉合

圖 7 五楊拓寬段泰山跨越橋懸臂施工

斜張橋常應用於受地形限制之較大跨徑鋼梁，如跨越河川、山谷等，因此，懸臂施工是往往是必要的施工方法。採懸臂施工時，其施工技藝要求較高，須配合吊裝步驟、各節塊重量及鋼索拉力，來計算主梁線形、拱度及主梁應力檢核。國內也設計不少的斜張橋，惟部分斜張橋或位於疏洪道、或鋼索拉力不大等因素，主梁吊裝採用支撐工法辦理。對於構件運輸部分，基本上可採用鋼索運送、工作車或浮船等方式，必要時懸臂主梁可輔以鋼索來支承其構件重量。

1989 年完工後之臺北市重陽大橋為國內首座鋼斜張橋，採三跨連續開放式鋼梁，其跨徑配置為 92.5+200+92.5，全長為 385m，其橋塔為 H 型鋼筋混凝土結構。本橋為懸浮體系，其主梁施工係採懸臂工法，利用鋼棒旋轉提升工法，將主梁由河中提至定位，如圖 8 所示。



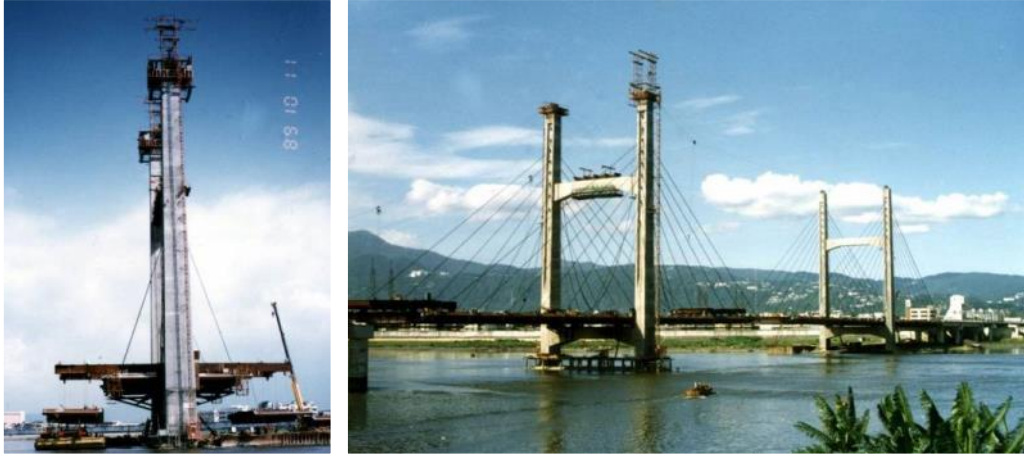


圖 8 重陽大橋懸臂施工

高屏溪橋為二跨連續不對稱斜張橋，跨越高屏溪，主跨 330m，側跨 180m，為國內最大跨徑斜張橋。為平衡長短跨載重所造成之不對稱效應，短跨採用預力混凝土箱型梁橋，長跨則採用鋼床板箱型梁結構。[相關資料摘自國工局的高屏溪橋專輯]

主梁吊裝係利用橋下設置地組場所，於主梁完成地組後利用鋼梁節塊運搬軌道，將箱型鋼梁節塊往外推，再以懸掛工作車將節塊運至主梁端部，利用主梁上的吊上工作車將箱型鋼梁節塊吊上，其中間設計了節塊轉換裝置，此為本工程之關鍵因素。高屏溪斜張橋吊裝示意圖及現場吊裝如圖 9 所示，本工程主梁施工相片如圖 10 所示。



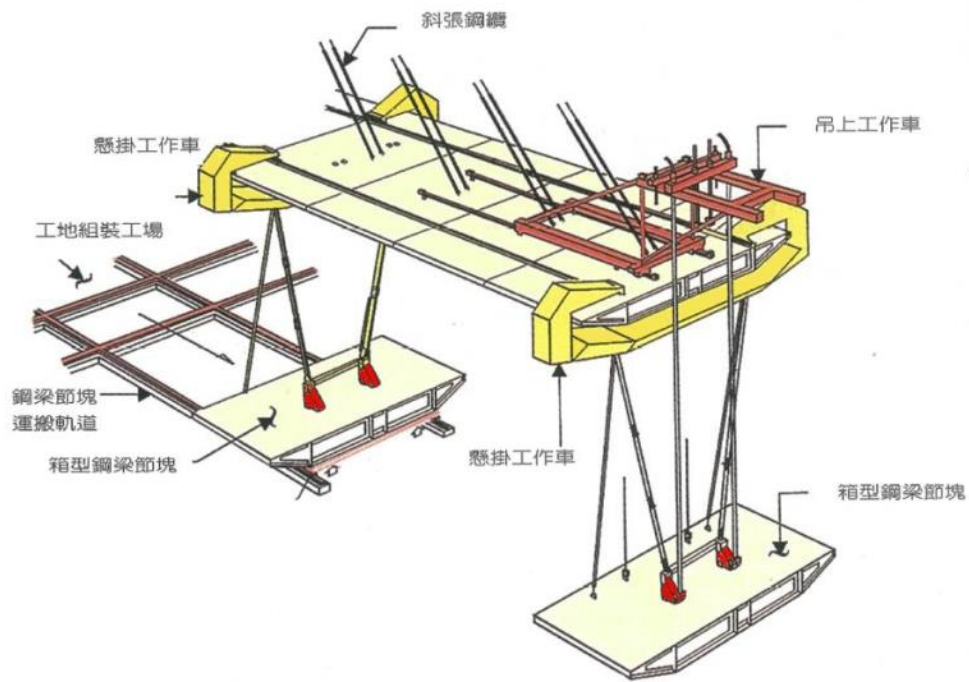


圖 9 高屏溪斜張橋主梁吊裝示意圖及現場吊裝



圖 10 高屏溪橋斜張橋主梁施工相片

新北大橋為新北市第一座斜張橋，跨越二重疏洪道聯結三重市與新莊市之交通，並可串聯八里新店線及縣側環河快速道路系統，形成台北縣快速道路網。本工程主線長達 1055m，其中主橋採對稱式單塔複合式斜張橋，採 2 跨對稱鋼箱型梁，跨徑為 2@200m，橋面寬 42~45m，雙向配置 6 車道、1 機車道、人行及自行車道。本橋橋塔為混凝土結構，採爬模工法施築。主梁為鋼箱型梁結構，採懸臂工法吊裝，其施工相片如圖 11 所示。



新北大橋



圖 11 新北大橋施工相片(摘自新北大橋專輯)

社子大橋為臺北市政府 2010 年重要建設計畫，主要係配合社子島細部計畫案的開發計畫，同時增進社子島與北投、淡水間之交通便利性，規劃了社子大橋新建工程，並藉由新橋梁特色與周邊環境整合，來促進社子島地區的區域發展。由於橋址鄰近關渡平原及水鳥保護區，考量橋址環境及橋梁意象下，配合河道深河槽位置，跨河主橋配置了具斜塔柱非對稱跨徑鋼斜張橋。主梁橋面寬 38m，雙向配設有各一車道大眾運輸、二車道快車道及機車道外，亦配設各 4m 淨寬之人行道及自行車道。



本橋採非對稱跨徑配置，主跨長達 180m，側跨為 70m，為國內目前最大長短跨比之斜張橋。橋梁上部結構採斜塔柱鋼斜張橋，塔柱、底梁、繫梁及主梁則採用鋼箱型梁，下部結構為混凝土墩柱，為國內首座塔梁固接體系自錨式斜張橋。斜張橋主跨配設有 6 對 73 股鋼纜，側跨有 3 對 121 股鋼纜。塔柱高 105 公尺，與塔柱底梁構成 78° 傾角，同時塔柱採鋼箱型結構且於四周作截角處理，大幅增加耐風穩定。本橋之結構配置及型式如圖 12 所示。

本橋跨河段主梁於設計階段，都市設計審議委員要求於河道中不得架設計任何支撐，因此依規定於設計圖中規定採用懸臂工法施築。因此，主梁吊裝在側跨完成吊裝後，構件於北投側橋面上組立完成後，再利用 400t 天車，將主梁構件

由橋面吊運至臨橋墩處之浮船上，再拖運至限定位置後以工作車吊上定位。主梁的吊裝工法示意圖如圖 13 所示，施工相片如圖 14 所示。

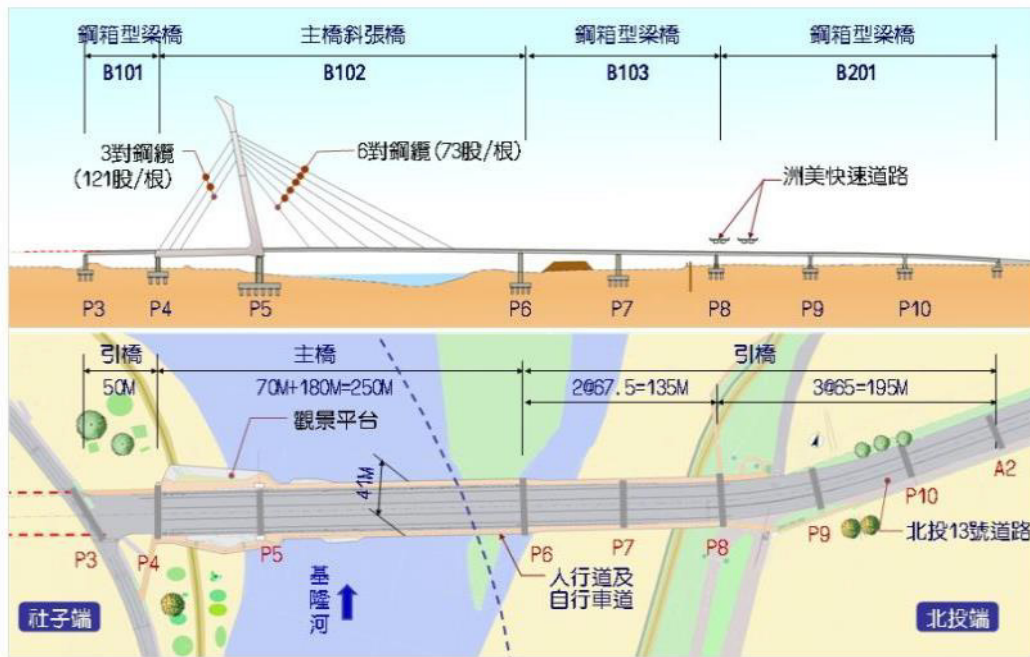


圖 12 社子大橋結構配置及型式

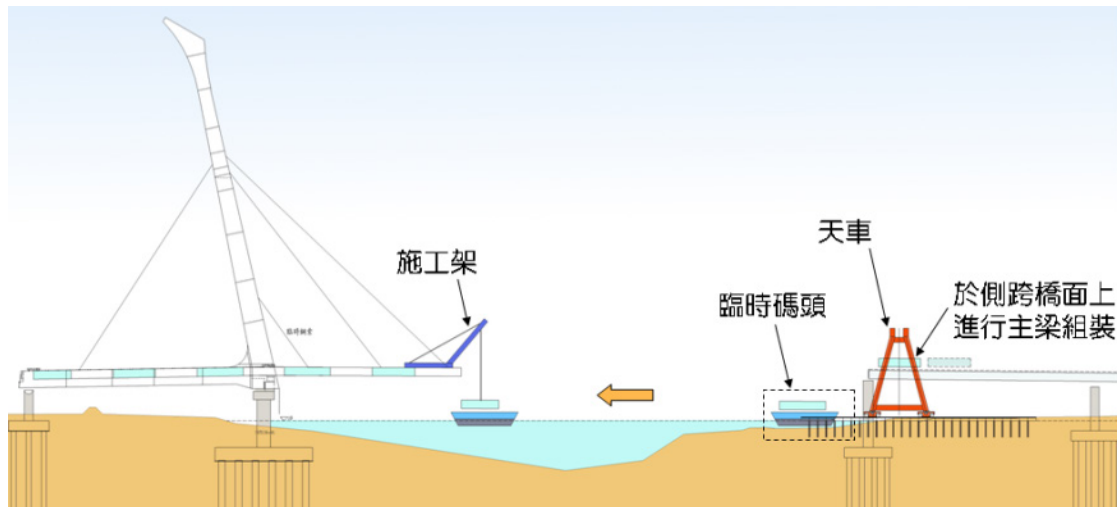


圖 13 社子大橋主梁吊裝施工示意圖





圖 14 社子大橋主梁吊裝施工

鋼索工法

鋼索工法，顧名思義即為利用鋼索來完成鋼梁吊裝作業的工法。依其鋼索之應用，可分為懸吊或斜拉方式來吊掛或拉升鋼梁重量，使構成一體後再將鋼索拆除。本工法原則上應用於大跨徑橋梁、或是跨越山谷、河川等較為特殊的地形橋梁所使用的施工技藝。台灣因地理環境因素，採超大跨徑橋梁機會不多，因此，採用懸吊鋼工法吊裝方式不多。然而，對於 π 型橋而言，則採用斜拉鋼索作為輔助工具，進行吊裝。

彩虹橋位於汐止市汐萬路，為汐止通往內湖、萬里鄉的山區連絡要道，採用全長 180 公尺跨徑之 π 型鋼橋，以替代原坍塌之路堤。上部結構採鋼橋面鈹箱形梁，並採鋼箱型柱，其施工相片如圖 15 所示。



圖 15 彩虹橋鋼構施工

南投區台 14 線著名的雲龍橋，所採用之鋼橋為上承式鋼拱橋，其吊裝即採用龍門架吊裝工法，為最早使用龍門架的橋梁吊裝，如圖 16 所示。

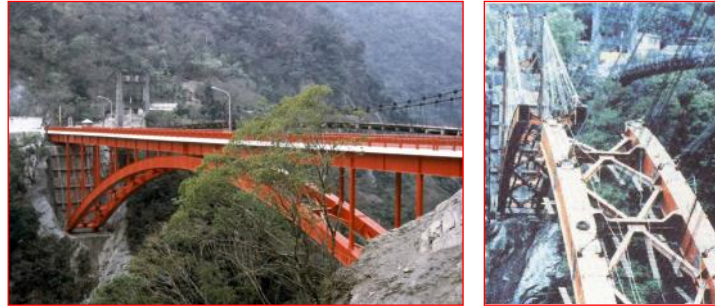


圖 16 雲龍橋鋼構吊裝施工

推進工法

推進工法則是利用鋼梁的一端作為組裝區，在完成鋼梁組裝後將鋼梁往前推進，完成該鋼梁之吊裝。本工法為跨越河川、山谷，或跨越高速公路、鐵路等且須維持現有交通營運時所採用。另為配合採用本工法，或可於鋼梁結構前端輔以推進梁或架設梁等，作為推進工法輔助工具。

台 64 線八里新店線 805 標工程，於鋼箱梁吊裝時，由於所採用之鋼箱梁造型較為特殊，故採用推進工法辦理。本工程採單柱式橋墩及單箱梁配置，推進時前端並輔以架設梁方式辦理，如圖 17 所示。



圖 17 台 64 線八里新店線 805 標工程鋼梁施工

臺北市中山橋改建工程，河中主橋設計為六線車道加兩側人行道，總寬為 30.2 公尺。為考慮防汛水流，設計為主跨度 90m，側跨 37.7m，總長 127.7m 之兩跨連續鋼箱型梁橋。上部結構主要由 7 根鋼梁組成，每根鋼梁分為 12 節，共計 84 節鋼箱型梁節塊。

本工程鋼箱型梁吊裝，係採單向推進工法，即利用本身鋼箱型梁的勁度來承受懸臂的載重，其施工相片如圖 18 所示。相關的資料及相片，摘自”跨河大跨度鋼橋推進、橫移、下降吊裝工法之施工規劃與控制”。



圖 18 臺北市中山橋改建工程鋼梁施工

側推工法

此外，配合工址環境及施工步驟的採用，鋼梁吊裝也可採用側推工法。採用側推工法，先在鋼梁預定位置旁完成組立，再利用側推方式，將構件推至定位。

機場捷運系統 CE01C 標工程，位於中山路段部分係採雙層高架橋設計，底層為公路高架橋，上層為機場捷運。由於本路段為著名的傢俱街，鋼梁的另一側鄰近商店，吊車無法將鋼梁吊至定位。因此，配合另一側較大的施工空間，將鋼梁吊至帽梁後，再將鋼梁側推到位，其施工相片圖 19 所示。



圖 19 機場捷運系統 CE01C 標工程鋼梁施工

五楊拓寬段校前路跨越橋施工，亦為側推工法之一。本跨越橋採下路式鋼管桁架拱橋，在利用舊橋維持交通動線下，於旁邊先行施作跨越橋。利用新橋維持交通動線下，拆除舊橋並施作新建永久橋台。俟新橋台施築完成後，利用短暫的交通封閉及管制，再將上構側移至定位，完成新橋施工，如圖 20 所示。(相關資料摘自國工局網站及國工局提供。)



圖 20 五楊拓寬段校前路跨越橋施工

架設梁工法

架設梁工法概略可分為懸吊工法及搬運工法，前者利用架設梁作為構件懸吊構架，將各構件逐一吊至定位組裝，完成鋼梁吊裝作業；後者則利用構架作為構件之搬運支撐，將各構件逐一運送定位後組裝，完成鋼梁吊裝作業。本工法為配合工址環境或其下方須配合維持交通需求等條件而運用之吊梁工法。

五楊拓寬段 C903 標於 2013 年完工通車，所採用之吊裝工法，即採用了懸吊工法。本工程為避開土砂災害敏感區及用地等因素，配置為雙層高架橋結構，上部結構為鋼梁，利用架設梁的方式，將鋼梁各節塊吊至定位後組裝，其施工相片如圖 21 所示(相片由蔡益成提供)，為國內首次所採用之鋼梁吊裝工法。





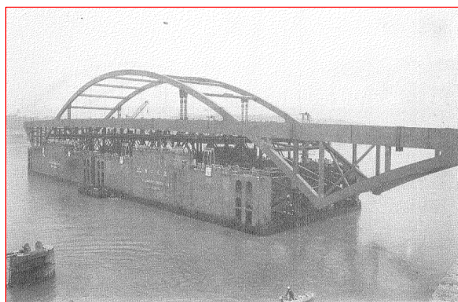
圖 21 五楊拓寬段 C903 標雙層高架橋施工

全跨吊裝工法

相對於各種吊裝工法，全跨吊裝工法為於地面上完成支距間的構件組裝後，一次完成其吊裝作業，故也被稱為大構件吊裝工法。原則上，本工法配合先行組裝完成後，採大型吊具或利用潮差等條件來完成其吊裝作業。相關的吊裝工法如圖 22 所示。



洲美快速道路工程



關渡大橋吊裝



(圖片摘自「關渡大橋工程專輯」)

圖 22 全跨吊裝工法案例施工

旋轉工法

大直橋位於臺北市，跨越基隆河連接大直地區至復興北路，採釣竿式橋塔造型，鄰近松山機場。該橋橋塔吊裝係採利用龍門架方式，以旋轉方式將橋塔旋轉到位後，再以全焊接方式固定橋塔，配合鋼索施拉，完成本橋的吊裝，其吊裝相片如圖 23 所示(相片由春原營造提供)，而其主梁則採全場撐方式安裝。

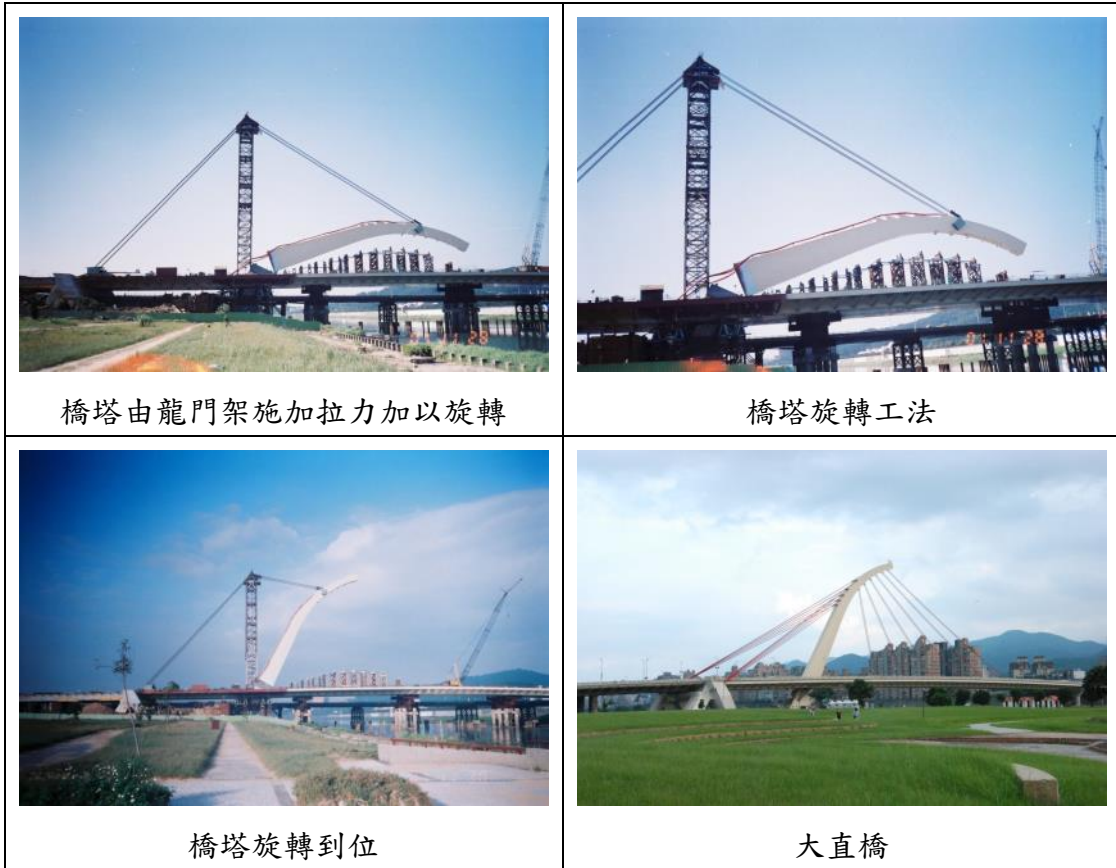


圖 23 大直橋橋塔旋轉吊裝

五楊拓寬段 C904A 標林口跨越橋，採三跨連續大跨徑鋼箱型梁橋，側跨越為 135m，主跨為 216m，為國內最大跨徑鋼床板箱型梁橋。其中跨越中山高速公路主梁係採旋轉工法的施作，其施作方式是在不影響交通的地方先把橋梁於道路邊先行組立好，然後再用旋轉的方式將兩端橋梁接合，其主梁旋轉施工相片如圖 24 所示。本工法為國內首次採用之旋轉工法，在維持現有高速公路的正常通行下，完成了跨越橋的施工。





圖 24 五楊拓寬段主梁旋轉工法

社子大橋斜塔高達 105m，吊裝上有其困難度也具有特殊性。考量運輸及吊裝能力，將橋塔由與底梁接合處至塔頂分為 11 個節塊。施工考量若採單一節塊吊裝、焊接之工序時，斜塔柱需架設相當高度之臨時支撐，對工期及成本均不利。經考量國內吊車舉重能量、現場吊車作業空間及增進施工效率後，將第 2 至 5 節塊共 4 節先於地面組立焊接成一體後，藉由旋轉機制以舉升工法吊起整個節塊，而後再個別吊裝第 6 至 11 節塊，吊裝示意圖如圖 25 所示，橋塔旋轉工法的施工相片如圖 26 所示。



社子大橋斜塔高達 105m，吊裝上有其困難度也具有特殊性。考量運輸及吊裝能力，將橋塔由與底梁接合處至塔頂分為 11 個節塊。施工考量若採單一節塊吊裝、焊接之工序時，斜塔柱需架設相當高度之臨時支撐，對工期及成本均不利。經考量國內吊車舉重能量、現場吊車作業空間及增進施工效率後，將第 2 至 5 節塊共 4 節先於地面組立焊接成一體後，藉由旋轉機制以舉升工法吊起整個節塊，而後再個別吊裝第 6 至 11 節塊，吊裝示意圖如圖 25 所示，橋塔旋轉工法的施工相片如圖 26 所示。

- 第 2~5 節塊平面組立後舉升(左圖)
- 第 2~5 節塊舉升後再行吊裝其餘 6~11 節塊(右圖)

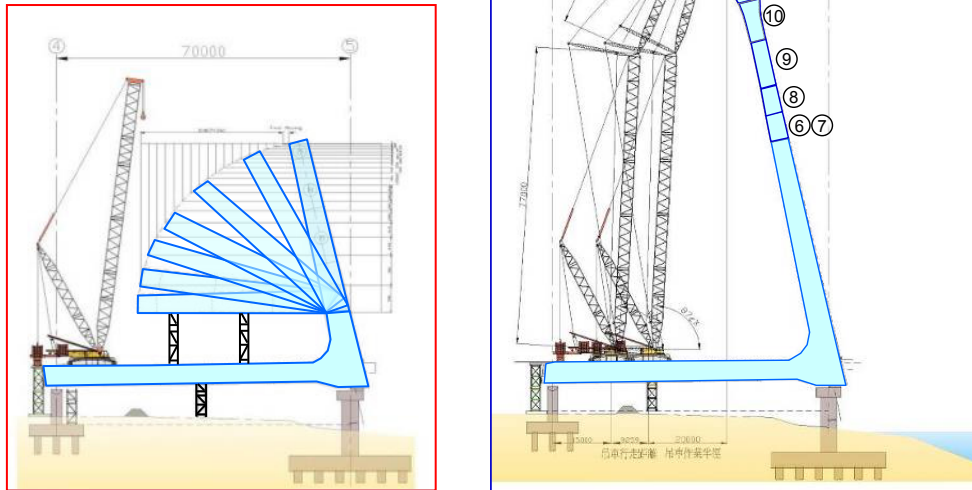


圖 25 社子大橋橋塔吊裝示意圖



圖 26 社子大橋橋塔旋轉施工

誌謝

本文章於編排及撰寫過程中，公路總局、國道新建工程局、內政部營建署、春原營造股份有限公司、中國鋼鐵結構股份有限公司及華光公司蔡益成等提供相關的相片及資料，謹致謝忱。

- [1] 財團法人中華顧問工程司，「社子島東側聯外橋樑新建工程委託規劃設計工作技術服務」工作計畫書，2003年5月。
- [2] 台灣世曦工程顧問股份有限公司，社子大橋新建工程第一期第一標細部設計圖，2008年10月。
- [3] 宋裕祺、張菽薇，「斜張橋之最佳化設計」，中國土木水利工程學刊，第十卷，第二期，1998。
- [4] 交通部台灣區國道新建工程局，「高屏溪橋」專輯。
- [5] 內政部營建署，「新北大橋」專輯，2001年11月。
- [6] 臺灣省公路局，「關渡大橋工程專輯」，1983。
- [7] 中華民國鋼結構協會，「跨河大跨度鋼橋推進、橫移、下降吊裝工法」，李健成、林志榮、王家謹、蕭興臺，2007年。
- [8] 財團法人中華顧問工程司，「基隆路正氣橋改建工程-跨越基隆河段」細部設計圖，1997年9月。
- [9] 財團法人中華顧問工程司，「環東基河快速道路工程-跨越成功路—基隆河段」跨越基隆河部份細部設計圖，1995年6月。
- [10] 財團法人中華顧問工程司，「臺十四號線雲龍橋改建工程」細部設計圖，1982年11月。