

介紹

1. 使用範圍：

預鑄預力節塊吊裝工法係將橋樑上部結構先於預鑄場分段鑄造，再搬運至現場逐節架設，並以結合劑(如環氧樹脂)與預力鋼棒將相鄰節塊加以接合，最後利用縱向預力系統將節塊結合成一體之橋樑上部結構施工方法(見圖1)。依據吊裝方法可區分為吊車逐跨吊裝與平衡懸臂吊裝兩種。因預鑄預力節塊吊裝工法須透過鋼樑桁架吊裝預鑄節塊，因此施工跨徑受限於鋼樑桁架之強度。以吊車逐跨吊裝為例，本工法之基本程序為首先架設臨時支撐塔架，接著移動前跨鋼樑桁架，安置於下一跨之臨時支撐塔架上；再將已鑄造完畢之預鑄節塊吊放至鋼樑桁架；調整節塊定位，並進行粘合；最後進行預力施拉將節塊加以結合成一體。

預鑄預力節塊吊裝工法之特點計有：利用預鑄場完成節塊，施工品質與工期易控制。預鑄場可架設遮雨棚，施工可不受天候影響。利用模組化設計，所使用之系統模板之模具可重複使用，具經濟性。上部結構可分段預先鑄造節塊，再進行吊裝，可縮短主要徑時程，因此可縮短整體工期。另在鋼樑橋架上各預鑄節塊之結合，雖屬高架作業，但作業人數較之場鑄工法甚少，故安全性較高。又較之於傳統現地支撐工法，本工法亦較安全。

2. 解釋名詞

- (1) 平衡懸臂吊裝：此吊裝程序乃是先進行柱頭節塊之吊裝，再利用上部吊裝桁架將節塊由墩柱兩側依序對稱吊裝。俟該跨完成後，再將吊裝桁架移至另一跨進行後續吊裝。
- (2) 吊車逐跨吊裝：本吊裝方式乃是利用吊車將節塊逐節吊放至鋼樑桁架上，並利用滾輪移至定位與結合。俟該跨吊裝完成後，鋼樑桁架移至下一跨，繼續進行下一跨吊裝。
- (3) 臨時支撐塔架：支撐托架係用以支撐鋼樑桁架之荷重以及混凝土節塊與相關人員機具之荷重。目前常用之臨時支撐塔架多為落地式，其設計須依據橋墩型式、高度、地質條件等條件。(見照片3)

危害

1. 潛在危害、災害類型、災害防止對策：

本施工法之潛在危害有(1)倒塌(2)墜落(3)物體飛落(4)感電
(5)被撞與被夾

(1) 倒塌：預鑄預力節塊吊裝施工過程中，可能因施工不當、支撐失敗、預力破壞等因素而致系統模板、臨時支撐塔架與支撐鋼樑桁架倒塌，造成下方之人員之傷亡。

防止對策：

- A. 進行臨時支撐塔架與支撐鋼樑桁架安裝前移時應依據相關施工計畫書之規定執行(如作穩定性檢查等)。
- B. 支撐構造之螺栓鎖固應作例行自動檢查與維護。
- C. 系統模板之組裝應依據施工計畫相關規定執行，並確保所使用之模板繫件具足夠強度，並定期保養。混凝土澆置速度應適中且不宜過度集中。

(2) 墜落：預鑄預力節塊吊裝施工包括許多高空作業(如於預鑄場作業、安置臨時支撐塔架、節塊移動等)，因此可能因施工失慎、安全措施不良等因素發生人員墜落，而致人員傷亡。

防止對策：

- A. 預鑄預力節塊吊裝施工所包含之高空作業之工作面應設置護欄、安全網與警告標誌，並限制非工作人員進入工作範圍。
- B. 若因作業因素無法設置護欄，則應設置安全母索，作業人員確實使用安全帶與安全護具。

(3) 物體飛落：預鑄預力節塊吊裝施工過程中，可能因吊放節塊之鋼筋籠、臨時支撐塔架、支撐鋼樑桁架、混凝土節塊、與橋面作業等因施工失慎、安全措施不良或鋼纜強度不足等因素發生物體飛落，而導致下方之人員之傷亡。

防止對策：

- A. 對於手工具等應繫牢或置於工作袋，以防止脫落，相關材料與零件應集中放置。
- B. 吊掛作業應依據相關規定執行(如禁止與工作無關人員進入吊車作業半徑)，吊掛之鋼纜與鉤環應符合規定強度，並定期保養。
- C. 工作架周邊與開口處應設置安全網或護欄等以防止物體飛落。

- (4) 感電：預鑄預力節塊吊裝施工過程中使用工具機、電銲機、空壓機等，可能因使用不慎與相關保護設施不佳而致人員感電。

防止對策：

- A. 預鑄預力節塊吊裝施工所使用之供電設備應設置漏電斷路器，並定時檢查所使用之電力設備，如有故障或破損應立即檢修。
(有關電氣安全方面可參考安全資料表 SDS-E-0140017 之「電氣開關實務」)

- B. 電動機具與設備周邊應設置明顯之警告標誌。

- (5) 被撞與被夾：預鑄預力節塊吊裝施工時吊掛鋼筋籠、節塊、臨時支撐塔架、支撐鋼樑桁架、與機具設備時，可能因施作不慎與相關保護設施不佳而致人員被撞與被夾。

防止對策：

- A. 進行吊掛時應利用控制索以控制被吊物搖晃，作業人員應聽從指揮，並禁止無關作業人員進入作業範圍。

- B. 進行樑體推進與模板固定等作業時，作業人員應集中注意力，並佩戴安全護具以防被夾。

2. 安全裝置之構造、作動、功能等原理

預鑄預力節塊吊裝施工時於節塊預鑄、臨時支撐塔架與支撐鋼樑桁架設置、節塊吊裝與前移，乃至於設備拆除過程皆可能因人員、設備與管理因素而發生人員受傷，其重要安全裝置與作動陳述如下：

- (1) 預鑄預力節塊吊裝施工包含許多高空作業，因此在支撐鋼樑桁架、已完成橋面與開口周圍，應依據營造安全衛生相關規定設置護欄、安全網或架設水平安全母索供勞工配帶安全帶。
- (2) 進行模板安裝與節塊鑄造時，應確保固定鋼棒等鎖固工作確實執行。安裝支撐塔架、移動支撐鋼樑應確實聯結、固定。並檢查確認後始可吊放節塊。
- (3) 進行節塊單元之預力施拉時，應依據施工計畫書規定分段施力，並確實掌握加壓程序；施拉預力前應確認支撐架之穩定狀態。

3. 相關作業環境之危害：

- (1) 爆炸：節塊之製作大多使用蒸汽養生，通常利用鍋爐來產生足夠之水蒸氣。如鍋爐操作、保養不當，可能發生爆炸事故。

防止對策：

- A. 鍋爐應依勞工安全衛生相關法規之規定製造、安裝與檢查。非

經檢查合格不得使用。

B. 鍋爐應由領有合格證照人員操作。

- (2) 溺水：如橋墩、橋台位於河水中，則作業人員前往進行相關作業(如安置臨時滑動支承墊片、永久承墊)如無妥當之防護，則有發生溺水之虞。另相關高空作業，如未有防墜設施，人員亦有落水之虞。

防止對策：

- A. 以小艇載送作業人員過河，並使每位作業人員著救生衣，並備妥水上作業救生設施。
- B. 有落水之虞的工作台、開放邊緣...等作業前設置防墜設施。

作業程序(流程圖詳圖2)

1. 作業前準備：支撐鋼樑桁架設置乃是預鑄預力節塊吊裝施工成敗之關鍵，其承載節塊、施工機具、與人員等全部重量。因此由臨時支撐塔架之組裝與設置、支撐鋼架之組設、移動、拆除程序皆應透過事先模擬，確認作業程序無誤，乃是防止危害之重點。另節塊鑄造過程之安全控管(包括設備、材料、機具與作業空間動線等)亦是預鑄節塊吊裝之安全管理重點之一。
2. 建造節塊預鑄場：預鑄場設備(包括預鑄床、系統模板、水電設備、照明、蒸汽養生、電焊、氧氣乙炔設備、與空壓機等等)以及機具材料儲存與作業場所應依據所選擇之預鑄預力節塊吊裝施工加以配置。為防止模板倒蹋，預鑄床應設置於堅實之地基上。於預鑄場應注意設備之使用與保養，以及人員機具之使用與管理，以防止人員墜落、感電、被撞，物體飛落，或系統模板與工作架倒塌，或養生蒸汽鍋爐爆炸。。
3. 預鑄場鑄作節塊作業：包括檢視與校正預鑄床高程、清潔外模、綁紮鋼筋籠、吊放鋼筋籠、安裝內模與校正、配置預力套管與鋼腱、混凝土澆置、混凝土養生、與施拉橫向預力與預力管灌漿等作業。進行澆置時應保持模板受力平均並且保持左右平衡。澆注時採交互灌注至底完成，長度以不超過施工計畫書相關規定為原則。澆注時應注意預力錨頭處，須振動以免產生蜂窩，以及預埋件位置是否移動。澆置混凝土前，應檢查套管是否因紮筋及模板拉桿，造成套管破孔或破裂現象，並檢查續接處是否有脫落、鬆動或包紮不實等現象。進行預力施

拉時，應依據施工計畫書規定分段施力，嚴禁人員位於千斤頂後方，並注意端頭是否有破壞現象。

4. 進行支撐鋼樑桁架組裝：見照片1，其主要作業包括墩柱臨時支撐塔架組裝與架設、支撐鋼樑桁架地面組裝、與鋼樑桁架吊放等。進行臨時支撐塔架應架設於堅實之基礎上，並於塔架周圍設置工作平台與上下設備時，應配置護欄、安全母索與安全網等安全措施，作業人員應佩戴安全護具。吊放塔架之桿件時應遵守吊掛作業相關規定。支撐鋼樑桁架地面組裝與鋼樑桁架吊放作業相關之安全規定同上述。
5. 進行節塊吊裝與定位：見照片2，以吊車逐跨吊裝為例，本階段作業流程為首先利用吊車將節塊吊至支撐鋼樑桁架上，利用鋼樑桁架上之調整架與滾輪，並以動力機械或車輛將節塊拖至定位。吊放節塊時應遵守吊掛作業相關規定(如鋼纜定時檢查與保養，利用控制索穩定節塊，與吊掛作業人員應聽從指揮等等)。進行節塊移動定位時，施拉力量應注意平衡，且移動速度不宜過快。
6. 節塊結合與施拉預力：其主要作業包括測量節塊高程位置、節塊調整與固定(此稱乾接合)、環氧樹脂結合、施拉臨時預力鋼棒、合攏段混凝土澆置、施拉縱向預力以結合吊放之節塊與預力管灌漿等。本作業環境包括支撐鋼樑桁架與節塊翼版上，其應架設護欄與安全網等安全措施，若人員有墜落之虞且無適當安全措施，則作業人員應佩戴安全帶與相關護具。另有關施工材料與機具應集中管理，以防飛落、被割與被夾。施加預力時嚴禁人員位於千斤頂後方，並注意端頭是否有破壞現象。預鑄預力節塊吊裝工法係分跨施工，其預力亦採用分跨施拉，不同跨之鋼絞線以續接器連接，其應注意固定良好，以防滑線。
7. 進行支撐鋼樑桁架移動。利用橋墩與臨時支撐塔架之千斤頂將鋼樑桁架降下，支承於支撐塔架之滾輪上，利用機動車輛等方式將鋼樑桁架移動至下一跨，再調整高程與位置，最後利用千斤頂將桁架頂起與定位。本階段之作業應依據施工計畫書之相關規定執行，基本上包括桁架移動之試車、移動速度控制、千斤頂使用、桁架定位等。若於高空作業應配(或設)置相關安全措施，以防止人員墜落與感電、物體飛落等。
8. 循環施工：透過上述節塊鑄造、吊裝、定位與結合，以及支撐鋼樑桁架移動組架等循環完成橋樑上部結構。
9. 鋼樑桁架等之拆除：當所有節塊吊裝完成後，即可進行支撐塔架、支

撐鋼樑桁架及預鑄場拆除工作。支撐鋼樑桁架拆除方式主要有二：直接拆除與前移後再拆除。以前移後再拆除為例，其基本流程包括：架設臨時支撐塔架、支撐鋼樑桁架之千斤頂降下、鋼樑桁架前移、鋼樑桁架吊放至地面、鋼樑桁架拆卸。進行支撐鋼樑桁架與預鑄場拆除時應依據吊掛作業相關安全規定執行，相關作業人員應佩戴安全防護具，拆除時亦應留意周邊環境(如有無高壓電、天候因素)，以防止人員墜落、感電、被撞、被切割。

10. 進行橋面附屬工作，包括胸牆鋼筋綁紮、胸牆模板組立、混凝土澆置，瀝青鋪面工程、橋面伸縮縫安裝、與標誌標線工程。此等作業特別採取防墜設施。

相關法令標準

1. 營造安全衛生設施標準：
 - (1) 第十條：開口、階梯、樓梯、坡道、及工作臺設置護欄或護蓋等相關安全規定。
 - (2) 第一一五條：鋼筋混凝土作業之相關安全規定。
 - (3) 第一五三、一五四條：瀝青作業之相關安全規定。
2. 勞工安全衛生設施規則：
 - (1) 第三十六與三十七條：通道與固定梯設置相關規定。
 - (2) 第八十七~一百零三條：起重升降機具相關安全規定。
 - (3) 第二百二十四~二百三十四條：人體墜落防止之相關安全規定。
 - (4) 第二百三十五~二百三十八條：物體飛落防止之相關安全規定。
 - (5) 第二百三十九~二百五十三條：電氣危害防止中電氣設備及線路之相關安全規定。
 - (6) 第二百七十七~二百八十一條：個人防護具或防護器具之相關安全規定。
 - (7) 第三百十三~三百十四條：採光及照明之相關安全規定。
3. 起重升降機具安全規則：
 - (1) 第五十一、五十二條：使用起重機之相關安全規定。
4. 勞工安全衛生教育訓練規則：
 - (1) 第二、六條：模板支撐安全衛生作業主管之相關安全衛生教育訓練之規定。

災害案例

1. 災害發生經過：

預鑄預力節塊吊裝橋樑施工營造廠商將該橋樑新建工程所需鋼筋交由某貨運公司載運，八十二年三月四日下午，該貨運公司駕駛員甲駕駛車載型移動式起重機在工地載運鋼筋及吊卸，由隨車助理乙從事吊掛作業，於吊舉一捆重約五公噸鋼筋時，乙站在載貨台上將鋼索繫掛於吊鉤後由甲操作起重機吊升，因吊鉤鬆脫，整捆鋼筋下墜，乙被壓當場死亡。

2. 災害發生原因：

- (1) 移動式起重機之吊鉤上原裝設螺帽並以電銲銲固，其銲點因承受經久使用之振動，致銲點破裂，於吊重時吊鉤之螺帽與銲點間產生鬆動，銲點瞬間破壞螺帽脫落。
- (2) 吊舉鋼筋使用之吊具構造不良。
- (3) 罹災者安全衛生知識不足，進入吊舉物下方作業。
- (4) 未設置勞工安全衛生管理人員、實施自動檢查。

3. 災害防止對策：

- (1) 對於起重機具之吊掛用鋼索、吊鏈、纖維索、或吊鉤、吊索、鏈環等用具，於每日作業前應先實施檢點，如有異狀時，應即換修。
- (2) 對於移動式起重機之使用，應規定於作業時禁止人員進入吊舉物下方。
- (3) 對勞工應實施從事工作所必要之安全衛生教育、訓練，並將本案列列入訓練教材，提高勞工安全衛生知識，防止類似災害發生。

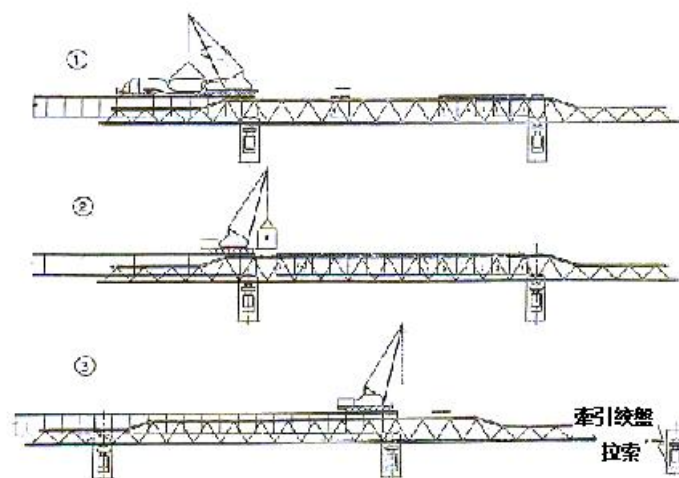


圖1 節塊吊裝工法－吊車逐跨吊裝工法範例

(圖片來源：陳泓德著，"橋樑節塊逐跨吊裝工法")

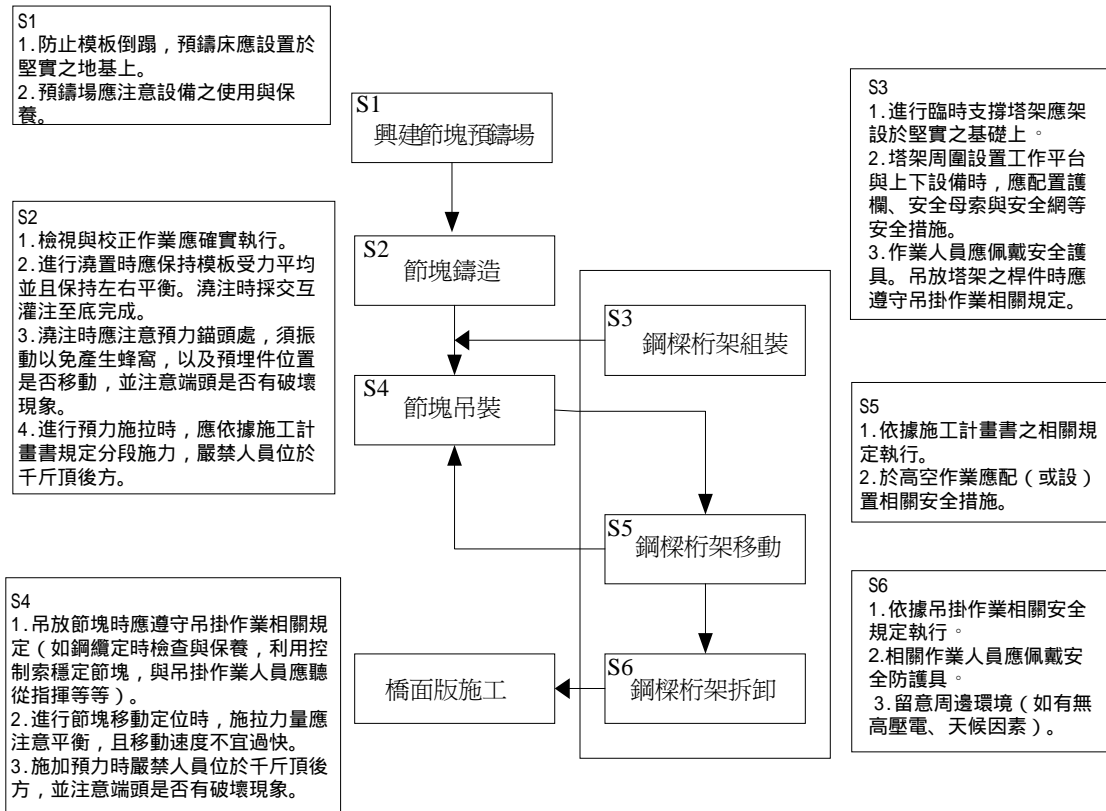


圖2 預鑄預力節塊吊裝工法作業流程圖



照片1 預鑄預力節塊吊裝工法支撐鋼樑吊放
(資料來源：本計劃參與人員自行拍攝)



照片2 預鑄預力節塊吊裝
(資料來源：本計劃參與人員自行拍攝)



照片3 預鑄預力節塊吊裝工法之臨時支撐塔架設置
(資料來源：本計劃參與人員自行拍攝)