

# 地工技術

## 技術資訊報導

### 台灣履帶起重機之發展與現況

林冠宏\* 嚴文志\*

#### 一、前言

起重機(crane)，指用吊鉤或其他取物裝置吊掛重物，在空間進行升降與運移等循環性作業的機械。起重機有很多分類，「吊車」、「塔吊」、「天車」、「行車」等俗稱指的就是起重機中的一類或幾類。

起重機發明後一直是各種建設不可或缺的機具設備之一，在大地工程中履帶起重機更是重要的機具設備，從基樁、連續壁的基础工程到主體工程都需要履帶起重機，本文分為一、前言敘明起重機及以台灣連續壁工程所使用履帶起重機為主要研究，第二部分續明起重機的歷史從公元前6世紀末的古希臘及中國古代都有起重機的運用原理，第三部份敘明起重機機械原理與分類，依起重機用途分類，第四部份敘明台灣連續壁工程使用之起重機演進以台灣連續壁工程使用的履帶起重機經ICOS、ML、MHL等工法敘明了履帶起重機的演進，第五部份敘明台灣基礎工程全套管工法使用之履帶式起重機演進，最後提出結語。

#### 二、起重機歷史

履帶起重機在台灣基礎工程中是不可或缺的，作為連續壁及基樁工程必備設備之一，但履帶起重機並非憑空誕生，而是經過演進的，作為生產生活中起升重物的需要，古代各個文明中均發展了具有自己特色的起重機械雛形，如中國古代的桔槔、轆轤等，但現代起重機械起源於歐洲，例公元前6世紀古希臘人發明了吊重物的起重機，筆者依維基百科對起重機之發展歷程整理如下：

\* 同豐營造工程股份有限公司

#### 2.1 古希臘

公元前6世紀末，古希臘人發明了用於起吊重物的起重機。考古表明最晚到公元前515年，吊裝夾具和吊楔的痕跡就已經出現在了希臘神廟的石塊上。在這些石塊上，有用於起升的孔，這些孔通常位於重心上方，或者對重心上方的點對稱。考古學家認為這些跡象表明當時已經有了起重機的存在。

不久後，絞車和滑輪組就取代土堆坡道(ramp)成為垂直搬運最主要的方式。滑輪組系統的最早文字記錄出自《力學問題》(Mech. 18, 853a32-853b13)，書中將其歸功於亞里士多德(公元前384-322年)，但其出現可能要稍晚一些。與此同時，希臘神廟的石塊尺寸又逐漸達到了古風時期的水平，這表明複雜的滑輪組系統開始在希臘的建築工地越來越普及。

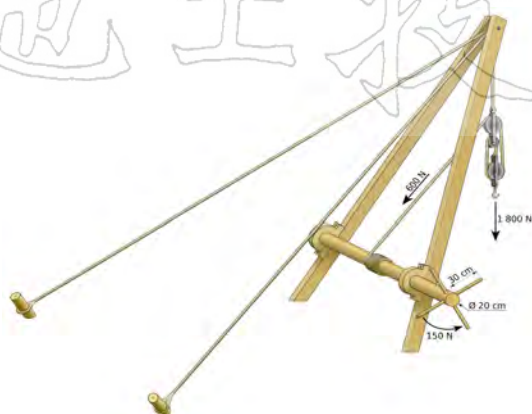
#### 2.2 古羅馬

起重機在古代的全盛時期是羅馬帝國時期，當時施工建設猛增，建築尺寸也相當巨大。羅馬人採用了希臘的起重機並將其進一步發展。多虧維特魯威和希羅等工程師的詳細記錄，我們可以對羅馬人的起重技術了解的比較多。公元一世紀末的昆圖斯·哈特里烏斯的墓石上有兩幅留存下來的浮雕詳細地描繪了當時的踏車起重機。

最簡單的羅馬起重機是「trispastos」(三滑輪起重機，如圖一)，這種起重機由一個單梁吊臂、一個絞車、一根繩和一個包含3個滑輪的滑輪組。該結構的機械利益為3:1，單人操作絞車就起升150公斤左右的重物。

「pentaspastos」(五滑輪起重機)是起重量再大些的起重機，在其最能吊的工況，它共有5個滑輪，同時根據起升重量的不同，滑輪可

# 地工技術



圖一 三滑輪起重機(引自維基百科~trispastos)

以調節為3個，臂杆可以調節為2-4根。

「polyspastos」藉助絞車兩邊的四個人可以起升約3000公斤的重物。因為踏車具有更大的機械優勢，所以如果將絞車換成踏車，僅需要一半的工作人員，其最大起重量可以加倍達到6000公斤。這意味著，相比埃及金字塔的建設中利用土堆坡道搬運一塊2.5噸的石塊利用50人，利用羅馬polyspastos，每人可以起升3000公斤，是他們的60倍。

古羅馬工程師們依靠兩種措施吊裝大型物體：一是希羅所建議的提升塔 (lifting tower)，提升塔是由平行的四根桅杆組成的方塔架；二是塔周圍地面的大量絞車，雖然絞車比踏輪的機械利益要小，但它卻可以實現多人甚至牲口同時施力。通過協作起吊如此巨大的重量，需要為絞車提供動力的各個工作組之間大量的精準協作。

## 2.3 中世紀

對踏輪起重機(magna rota)最早的記載發現於約1225年的法國檔案文獻，緊隨其後的是1240年的一份同樣出自法國的記載。在航海行業方面，烏得勒支最早使用岸上起重機是1244年，安特衛普是1263年，布呂赫是1288年，漢堡是1291年，而在英格蘭到1331年才有踏車起重機的記載。

通常，用起重機來完成垂直搬運要被常規的方式更安全、更廉價。因此，在港口、礦山和尤其是建築等領域，踏輪起重機應用廣泛，其在高聳的哥德式教堂的建造中發揮了重要作用。在中世紀新舊方式一直在港口和建築工地共存，如圖二所示。

中世紀的踏輪起重機包括一個或兩個繞著中軸轉動的巨大踏輪，踏輪寬度足夠兩個人並排行走，如圖三所示。雖然早期的「圓規臂」輪(“compass-arm” wheel)是直接插入軸杆之中的，但更先進的「扣臂」型(“clasp-arm” type)則已改為了連接輪輻的弦杆，這為使用更細的軸杆和提供更大的機械利益提供了可能。

相對於現代起重機，中世紀的起重機和更接近它們在古希臘羅馬時期的前輩，主要用以垂直吊裝，而非水平搬移。因此當時吊裝作業的方式與現在是不同的，例如，在建築工地，吊車將石塊從下方直接吊裝就位，或者從牆的中間為兩端吊運石頭。另外，起重機司機在起重機外面向踏輪工人下達命令的同時，還可以用一根細繩控制著吊物的水平移動。



圖二 中世紀港口起重機(引自維基百科~起重機)



圖三 踏輪起重機 (引自維基百科~起重機)

## 2.4 工業革命時期

隨著工業革命的到來，被用來在碼頭裝卸貨物的第一台現代起重機正式產生。1838年，工業家、商人威廉·阿姆斯特朗男爵設計了一台液壓式水力起重機。在他的設計中，用一個在密閉圓柱缸中的柱塞來產生承載能力，而通過閥門調節缸中液體量來賦予柱塞所需的力，如圖四所示。



圖四 1413年德國特里爾內港的塔吊 (引自維基百科~起重機)

液壓起重機的成功讓阿姆斯特朗於1847年在紐卡斯爾成立了阿姆斯特朗-惠特沃斯公司來為起重機和橋樑生產他的液壓機械。阿姆斯特朗不斷提升他的起重機設計；其中最顯著的創新就是液壓蓄壓器的應用。原先在水壓不足以供應液壓起重機使用的時候，阿姆斯特朗常常會建一座高水塔來提供足夠壓力。液壓蓄壓器，一個裝有承重柱塞的鑄鐵缸。柱塞緩緩上升，拉伸缸內的水，直到重物的重力迫使缸下的水在巨大的壓力下進入管線。該發明允許在相同壓力下使用大量的水來驅動，所以明顯地提升了起重機的負載能力。

## 2.5 工業革命時期後至今

經工業革命時期阿姆斯特朗所發明的液壓起重機增強起重機能量，並隨著對起重機的重用與應用範圍發明了橋式起重機、門式起重機、半門式起重機、纜索起重機、門式纜索起重機、門座起重機、半門座起重機、桅杆起重機、移動式起重機、塔式起重機、鐵路起重機、懸臂起重機、浮式起重機、甲板起重機、臂架起重機等廣泛的應用在各範圍，其中移動式履帶起重機更是大地工程中

不可或缺的起重機。

## 三、起重機機械原理與分類

起重機設計的三個基本要素是：1. 要能負重；2. 不能翻倒；3. 不能斷裂。筆者依維基百科說明起重機機械原理(詳圖五)及分類整理如下：

### 1. 負載能力

起重機利用一個或多個簡單機械來獲取機械優勢的，分別介紹如下：

(1) 槓桿：一台平衡的起重機包含了一個圍繞「支點」旋轉的橫樑。通過槓桿的原理，可以在較長的一端用相對小的力，來平衡較短的一端的相對大的負載。負載與所施加力的比率就是槓桿較長臂與較短臂的長度比，這就是機械優勢。

(2) 滑輪：一台臂架型起重機會有一個傾斜的支撐(「吊臂」)來支撐一個定滑輪組，由繩索在這個定滑輪組和一套連接重物的動滑輪組之間纏繞。當繩索的自由端被手或卷揚機拉動的時候，滑輪系統會給重物提供一個等於施加力乘以滑輪組之間繩股數的大小的力。這也是機械優勢。

(3) 液壓缸：可直接用於提升負荷，或間接移動承載了另一個提升裝置的起重臂或梁。像所有的機器一樣，起重機也遵循能量守恆定律。這意味著輸出給負載的能量不會超過輸入機器的能量。例如，如果一個滑輪系統能夠提供10倍的施加力，則負載動作的距離就會只有施加力的十分之一。因為能量正比於力和距離的積，輸出能量被保持大致等於輸入能量。



圖五 起重機原理-滑輪及液壓缸的組合 (引自維基百科~起重機)

## 2. 穩定性

對於穩定性，起重系統各個部分的力矩和必須接近於零，才能確保吊車不翻。實踐中，負載被允許的最大值(額定載荷)一定會比導致傾翻的負載要小，從而提供了安全餘量。

根據美國的現代起重機標準，履帶式起重機的額定載荷是傾翻載荷的75%，帶支腿的移動式起重機的是85%。起重機設計的這些要求和安全相關的一些其他方面由美國機械工程師學會在標準 ASME B30.5-2014「mobile and locomotive cranes」(流動式和移動式起重機)中做出規定。

安裝在船舶或海上平台上的起重機的標準由於由於船體運動產生的動態負載而更加嚴格一些。此外，船隻或平台的穩定性也必須加以考慮。

對於固定底座或主梁式起重機，吊杆、臂和負載產生的力矩由底座或主梁抵消。基座內的應力必須小於該材料或起重機被破壞的屈服應力。

## 3. 分類

按結構可分為橋架型起重機、纜索型起重機和臂架型起重機三大類，按取物裝置可分為吊鉤起重機、抓鬥起重機、電磁起重機等十五類，按照移動方式可分為固定式起重機、爬升式起重機、便移式起重機、徑向迴

轉起重機、行走式起重機五大類，按照驅動方式可分為手動起重機、電動起重機、液壓起重機三類。還有按照迴轉能力、支承方式、操作方式等來分類的。共有橋式起重機、門式起重機、半門式起重機、纜索起重機、門式纜索起重機、門座起重機、半門座起重機、桅杆起重機、移動式起重機、塔式起重機、鐵路起重機、懸臂起重機、浮式起重機、甲板起重機、臂架起重機等15項起重機。

## 4. 履帶式起重機

履帶式起重機(crawler crane，簡稱履帶吊)，一種利用履帶行走的移動式起重機，具有較強的吊裝能力，起重量大，防滑性能好，對路面要求低，可以吊重行走。適合大型工廠如石化、電力、冶金、化工、核能建設作業，在廠區內工作，更是台灣基礎工程必備的機具。

例如利勃海爾(德語：Liebherr)集團公司靠塔式起重機起家，已成為世界領先的建築機械製造商之一。利勃海爾所生產的「LR」系列桁架臂履帶吊最大起重量已達到3000噸(LR 13000)，「LTR」系列伸縮臂履帶吊最大起重量也已達到了1200噸(LTR 11200)。

履帶式起重機吊臂形式依不同模式區有主桿(crane boom)、副桿(fixed jib)、延伸桿(luffing jib)等形式如圖六(民昌企業有限公司，2016)；其中延伸桿(luffing jib)形式依長度需再增加捲揚機的數量及鋼索長度來配合。



圖六 履帶式起重機吊臂形式 (引自日本KOBELCO CKE-2500型錄)

## 四、台灣連續壁工程使用之起重機

有關台灣地下連續壁施工法除建築物地下室採用外，諸如土木工程、交通工程、立體地下車道、地下鐵及海岸工程之護岸、防坡堤等，皆因連續壁工法發揮上述特性，而使其應用日廣。

### 4.1 地下連續壁不同施工法簡介

連續壁工法於國內採用期間，由於不同工法之施工品質控制不一，致有時欠缺經驗，如接頭處理不當造成漏水、混凝土灌注不當影響強度、壁體剛性不足、撓度增加，影響鄰近地盤下陷，造成鄰房傾斜龜裂損害，壁體施作垂直度不足，開挖後影響地下結構物之施工，預留筋位置不正確，增加工程費用，壁體鋼筋保護層不足，增加鋼筋銹蝕等缺失，亦值得再深入研究解決方法。

依林(2001)研究指出台灣常用連續壁工法有以下數種：1. ICOS工法、2. BW工法、3. SHB工法、4. ELSE工法、5. KCC工法、6. OWS工法、7. ELSK-KELLY工法、8. KB工法、9. K-W工法、10. 深井或連續壁開挖工法。

第1、2及3三個工法為國人最常使用，大體上來說，ICOS工法因其機具較簡，施工費用較低的原因，不會在台灣國內市場上被淘汰的，但其施工精度不高，故僅被限用於開挖深度較淺的工程上運用。

BW工法具有相當之開挖精度，其開挖深可達地下30~50m左右，但其施工機具繁多且價昂，施工進度緩慢，相對提高了工程單價，想必會逐漸地在國內市場消失。

第9種K-W工法是相當短暫的一種工法，因為其P.C版長受限制，且其版與版間之漏水現象無法克服，因此無法普遍被國內市場接受，若其能在P.C版長及接縫處有進一步改善方法，則其預鑄觀念之快捷優點將使此工法佔優勢。

第8種工法KELLY BAR工法是由ICOS工法機具所做更進一步發展而來的，其運用KELLY BAR將抓屨貫入土層中，再以油壓

力量關閉抓屨取土的觀念，在諸方法中是屬相當新的，其改革了ICOS工法之缺點，利用自重抓土有限取土方式，再運用KELLY BAR將抓屨貫入土中的特點，其發展前途應相當可觀，但其精度稍嫌不足，若其精度方面可以改良，相信具相當發展潛力。

第3種工法為最新引進的地下連續壁施工法，其特點在其抓屨為長7m之油壓控制挖掘機，X、Y方向共有12片校正版，故其精度可達到1/500~1/2000，精度相當高，且在深開挖工程中，其長壁式抓屨可減少壁體崩坍的可能性，其挖掘原理是改良ICOS工法取土方式，除利用本身高達7m的開挖機自重外，在抓屨部份，再利用油壓控制開閉，使挖土效果更達充實，且其機動性良好，為一具有相當潛力的方法，其施工速度快捷，但抓屨每抓一刀，導溝旁需要專人重新校對位置，此為BW挖掘式工法的缺點。

連續壁工法已發展到具有鑽入岩層中約2公尺以增加抵抗上揚力的能力。另一方面，依國內發展趨勢已推動營造施工自動化，挖掘機器會逐漸走向僅需操作員一人即可施工的新境界，校正每刀開挖位置的人員，將被操作室內的螢光幕取替，直接由操作員自行對點校正，而無需旁人指導了。

從上述分析，最佳連續壁施工法首推SHB工法，SHB (San-Ching hydraulic bucket)係利用MHL(Masago hydraulic long bucket)油壓長壁挖掘機掘連壁的一種工法，MHL之裝置是要配合目前興起的超高層建築物或大型基礎工程而設計，主要在利用此種挖掘裝置達到較高精度及效率，而其挖掘的深度也較其他工法深，可達地下55公尺，設備機器如圖七所示。



圖七 MHL工法設備機器

SHB工法適用於地下鐵路、地下室、公共地下水道、污水處理場、防護壁或擋土牆、防坡堤之護岸工程、鐵塔基礎工程、橋墩工程、地下貯油槽及地下抽水站等各項工程。

SHB工法所使用MHL油壓長壁挖掘機之特徵，因有一種含傾斜計及修正裝置的精密組合掘挖機，其施工作業不需作導孔，採用油壓式，其挖掘能力甚強，操作容易，挖掘深度可達55公尺，頗適用於深開挖工程。

#### 4.2 台灣連續壁工法使用起重機之演變

隨著連續壁工法不同，隨之搭配的起重機也有所演變，分別介紹如下：

##### 4.2.1 ML工法使用之履帶式起重機

由義大利Impresa Costruzioni Opere Specializzate公司所開發，為機械式蛤形抓斗，稱為ICOS工法。經日本真砂工業株式會社改良該機械式蛤形抓斗並以履帶起重機懸調該抓斗，稱為ML工法，如圖八所示，利用履帶起重機之鋼索操作抓斗進行挖掘動作。

##### 4.2.2 MHL工法使用之履帶式起重機

MHL是日本真砂工業株式會社改良，抓斗機身前後左右之上下部設置油壓驅動之修正傾度較正導板，抓斗啟閉的方式為油壓式稱為SHB工法，如圖九所示，於履帶起重機後方放置油壓動力箱，利用外接發電機驅動油壓動力箱操作抓斗進行挖掘動作。

##### 4.2.3 國內業者使用改良式MHL工法履帶起重機

有國內業者依據實務經驗，將改良式MHL工法所需使用引擎式油壓動力源置入於履帶起重機內部裝置，也就是利用履帶起重機原有的引擎油壓動力源改變原本油壓配管並增加控制閥，讓國內業者使用MHL工法履帶起重機不須要在履帶起重機後方放置任何的動力源，如圖十至十二所示，除了外型不再放置油壓動力箱改變外，也是履帶起重機演進的一大改變。

台灣連續壁工程施工用的履帶式起重機由於同步系統的因素常用Hitachi品牌，除了上述的Hitachi SCX-900HD-2型外(永日建



圖八 ML工法履帶起重機形式



圖九 MHL工法履帶起重機形式-後方放置油壓動力箱

設機械股份有限公司，2016)，還有Hitachi SCX-800、SCX-900、SCX-800HD等配合連續壁工程設計口徑需求選擇吊車及吊臂長度來配合施工。

## 五、台灣全套管工程使用之起重機

套管鑽掘工法係以套管鑽掘機帶動足夠勁度之鑽掘套管(底部有切削齒)切削土層，並搭配錘式抓斗或取土桶等工具進行套管內取土，鑽掘套管亦可成為防止壁體坍塌之保護措施，無需再另行使用穩定液，並可克服堅硬之岩盤、礫石層或易坍塌等較特殊地層。若基樁全部深度均使用套管鑽掘並作為孔壁保護稱為全套管工法如圖十三，部分深度使用套管鑽掘或孔壁保護則稱為半套管工法。



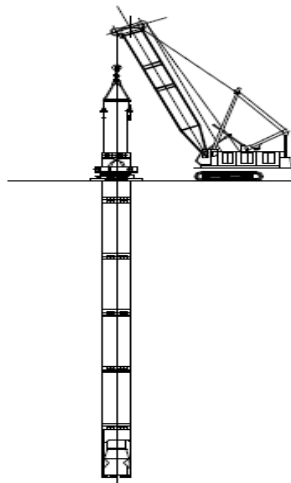
圖十 履帶起重機SCX-900HD-2 增加控制閥位置



圖十一 履帶起重機SCX-900HD-2 增加控制閥及油管



圖十二 履帶起重機SCX-900HD-2 駕駛室中加裝MHL控制箱



圖十三 全套管工法示意圖

台灣全套管使用履帶起重機大都以日本廠牌Kobelco、Hatachi、Sumitomo及後續合併的Hitachi-Sumitomo等廠牌機具。履帶起重機也從早期的機械式起重機進而演進為油壓式起重機，再進而演變電控油壓式起重機。

如圖十三全套管工法中抓斗使用了履帶起重機的單線拉力，另外搖管機可利用聯結座與履帶起重機結合，以Kobelco BMS1000為例，單線拉力為13~26(ton)(民昌企業有限公司，2016)可以讓全套管工法中抓斗使用如圖十四規格表，並且BMS1000又有獨立工法使用的合流切換裝置，可說專為連續壁及基樁工法而設計多功能履帶起重機，以上皆為台灣的履帶起重機配合全套管工法施工的演進。

## 六、結語

起重機發明後一直是各種建設不可或缺的機具設備之一，在大地工程中移動式履帶起重機更是重要的機具設備，從基樁、連續壁的基礎工程到主體工程都需要移動式履帶起重機，本文僅以台灣基礎工程之基樁及連續壁所使用履帶起重機為主要研究，並以敘明台灣基礎工程使用的履帶起重機經ICOS、ML、MHL及全套管等工法，使台灣的履帶起重機，從機械式使用後演進為外型的改變，並藉由國內業者等使用者實務經驗，進而讓履帶起重機內部的動力源的改變，相信這是履帶起重機一大演進。

## 參考文獻

- 民昌企業有限公司 (2016)，<http://www.mangchong.com.tw/>(2016年11月3日)。
- 永日建設機械股份有限公司 (2016)，<http://www.hitachi-c-m.com/tw/>(2016年11月3日)。
- 林傳鏗 (2001)，「地下連續壁施工法—應用於深開挖工程簡介」，台灣省土木技師公會，第218期第四版。
- 維基百科(2010)，「trispastos」，[https://zh.wikipedia.org/wiki/File:Trispastos\\_scheme.svg](https://zh.wikipedia.org/wiki/File:Trispastos_scheme.svg) (2016年11月4日)。
- 維基百科(2010)，「起重機」，<https://zh.wikipedia.org/wiki/%E8%B5%B7%E9%87%8D%E6%9C%BA>(2016年11月4日)。

# 地工技術

## LIFTING CAPACITIES

| Crane Boom Lifting Capacities |                 |            |            |            |           |           |           |           |           |           | Counterweight: 37.1 t<br>Carbody Weight: 14.6 t<br>Unit: metric ton |                 |                    |
|-------------------------------|-----------------|------------|------------|------------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|---|-----------------|--------------------|
| Working radius (m)            | Boom length (m) | 13.8       | 16.9       | 19.9       | 23.0      | 26.0      | 29.1      | 32.1      | 35.2      | 38.2      | 41.2  | Boom length (m) | Working radius (m) |
| 3.8                           | 100.0           |            |            |            |           |           |           |           |           |           |   |                 | 3.8                |
| 4.3                           | 4.3m/90.0       | 4.3m/87.5  | 4.8m/78.0  |            |           |           |           |           |           |           |   |                 | 4.3                |
| 5.0                           | 74.0            | 74.0       | 73.5       | 5.4m/70.0  | 5.9m/61.5 |           |           |           |           |           |   |                 | 5.0                |
| 6.0                           | 61.5            | 61.5       | 61.5       | 61.5       | 61.0      | 6.4m/56.8 |           |           |           |           |   |                 | 6.0                |
| 7.0                           | 51.3            | 51.1       | 51.0       | 50.9       | 50.8      | 50.8      | 50.0      | 7.5m/45.0 |           |           |   |                 | 7.0                |
| 8.0                           | 42.4            | 42.2       | 42.1       | 42.0       | 41.9      | 41.8      | 41.8      | 41.7      | 41.3      | 8.5m/37.5 |   |                 | 8.0                |
| 9.0                           | 36.0            | 35.9       | 35.7       | 35.6       | 35.5      | 35.5      | 35.4      | 35.3      | 35.2      | 35.1      |   |                 | 9.0                |
| 10.0                          | 31.3            | 31.1       | 31.0       | 30.9       | 30.8      | 30.7      | 30.6      | 30.5      | 30.4      | 30.3      |   |                 | 10.0               |
| 12.0                          | 22.0            | 24.5       | 24.3       | 24.2       | 24.1      | 24.0      | 24.0      | 23.8      | 23.7      | 23.6      |   |                 | 12.0               |
| 14.0                          | 13.2m/18.7      | 20.1       | 19.9       | 19.8       | 19.7      | 19.6      | 19.5      | 19.4      | 19.2      | 19.2      |   |                 | 14.0               |
| 16.0                          |                 | 15.8m/14.9 | 16.8       | 16.7       | 16.5      | 16.5      | 16.4      | 16.2      | 16.1      | 16.0      |   |                 | 16.0               |
| 18.0                          |                 |            | 13.6       | 14.3       | 14.2      | 14.1      | 14.0      | 13.8      | 13.7      | 13.7      |   |                 | 18.0               |
| 20.0                          |                 |            | 18.5m/12.5 | 12.5       | 12.4      | 12.3      | 12.2      | 12.0      | 11.9      | 11.8      |   |                 | 20.0               |
| 22.0                          |                 |            |            | 21.1m/11.1 | 10.9      | 10.8      | 10.7      | 10.5      | 10.4      | 10.3      |   |                 | 22.0               |
| 24.0                          |                 |            |            |            | 23.8m/9.8 | 9.6       | 9.5       | 9.3       | 9.2       | 9.1       |   |                 | 24.0               |
| 26.0                          |                 |            |            |            |           | 8.7       | 8.5       | 8.3       | 8.2       | 8.1       |   |                 | 26.0               |
| 28.0                          |                 |            |            |            |           | 26.4m/8.2 | 7.7       | 7.5       | 7.4       | 7.3       |   |                 | 28.0               |
| 30.0                          |                 |            |            |            |           |           | 29.0m/7.3 | 6.8       | 6.7       | 6.6       |   |                 | 30.0               |
| 32.0                          |                 |            |            |            |           |           |           | 31.7m/6.3 | 6.1       | 6.0       |   |                 | 32.0               |
| 34.0                          |                 |            |            |            |           |           |           |           | 5.5       | 5.4       |   |                 | 34.0               |
| 36.0                          |                 |            |            |            |           |           |           |           | 34.3m/5.5 | 4.9       |   |                 | 36.0               |
| 38.0                          |                 |            |            |            |           |           |           |           |           | 37.0m/4.7 | 3   |                 | 38.0               |
| Reeves                        |                 | 8          | 7          | 7          | 6         | 5         | 5         | 4         | 4         | 4         |   |                 | Reeves             |

| Working radius (m) | Boom length (m) | 44.3      | 47.3       | 50.4       | 53.4       | 56.5       | 59.5       | 62.6 | Boom length (m) | Working radius (m) |
|--------------------|-----------------|-----------|------------|------------|------------|------------|------------|------|-----------------|--------------------|
| 9.0                | 9.1m/34.6       | 9.6m/31.8 |            |            |            |            |            |      |                 | 9.0                |
| 10.0               | 30.2            | 30.1      | 10.1m/25.0 | 10.7m/25.0 | 11.2m/21.6 | 11.7m/20.1 |            |      |                 | 10.0               |
| 12.0               | 23.5            | 23.4      | 23.3       | 23.2       | 19.5       | 19.4       | 12.2m/18.0 |      |                 | 12.0               |
| 14.0               | 19.0            | 18.9      | 18.9       | 18.7       | 18.6       | 18.0       | 15.4       |      |                 | 14.0               |
| 16.0               | 15.9            | 15.7      | 15.7       | 15.5       | 15.4       | 15.0       | 14.5       |      |                 | 16.0               |
| 18.0               | 13.5            | 13.4      | 13.3       | 13.2       | 13.0       | 12.9       | 12.7       |      |                 | 18.0               |
| 20.0               | 11.6            | 11.5      | 11.5       | 11.3       | 11.2       | 11.0       | 10.9       |      |                 | 20.0               |
| 22.0               | 10.2            | 10.0      | 10.0       | 9.8        | 9.7        | 9.6        | 9.4        |      |                 | 22.0               |
| 24.0               | 9.0             | 8.8       | 8.8        | 8.6        | 8.5        | 8.4        | 8.2        |      |                 | 24.0               |
| 26.0               | 8.0             | 7.8       | 7.8        | 7.6        | 7.5        | 7.3        | 7.2        |      |                 | 26.0               |
| 28.0               | 7.1             | 7.0       | 6.9        | 6.8        | 6.6        | 6.5        | 6.3        |      |                 | 28.0               |
| 30.0               | 6.4             | 6.3       | 6.2        | 6.0        | 5.9        | 5.8        | 5.6        |      |                 | 30.0               |
| 32.0               | 5.8             | 5.6       | 5.6        | 5.4        | 5.3        | 5.1        | 5.0        |      |                 | 32.0               |
| 34.0               | 5.2             | 5.1       | 5.0        | 4.8        | 4.7        | 4.6        | 4.4        |      |                 | 34.0               |
| 36.0               | 4.8             | 4.6       | 4.5        | 4.4        | 4.2        | 4.1        | 3.9        |      |                 | 36.0               |
| 38.0               | 4.3             | 4.2       | 4.1        | 3.9        | 3.8        | 3.7        | 3.5        |      |                 | 38.0               |
| 40.0               | 39.6m/4.0       | 3.8       | 3.7        | 3.6        | 3.4        | 3.3        | 3.0        |      |                 | 40.0               |
| 42.0               |                 | 3.5       | 3.4        | 3.2        | 3.0        | 2.9        | 2.6        |      |                 | 42.0               |
| 44.0               |                 | 42.2m/3.5 | 3.1        | 2.9        | 2.7        | 2.5        |            |      |                 | 44.0               |
| 46.0               |                 |           | 44.9m/3.0  | 2.5        |            |            |            |      |                 | 46.0               |
| Reeves             |                 | 3         | 3          | 2          | 2          | 2          | 2          |      |                 | Reeves             |

Note:  
 Ratings according to Japanese Construction Codes for Mobile Cranes and Japanese Safety Ordinance on Cranes, etc.  
 Ratings shown in [ ] are determined by the strength of the boom or other structural components.  
 Refer to notes P8.  
 Lifting capacities may vary depending on hook used or with/without auxiliary sheave.  
 Please refer rated chart in operator's cabin.

圖十四 全套管工法中抓斗使用規格表 (引自日本KOBELCO BMS-1000型錄)