

# 3

## 貓空纜車系統大修作業實務

The Overhaul of Maokong Gondola System



## 摘要

貓空纜車系統維修工作利用平常夜間非營運時段及週一檢修日進行，而貓空纜車共有 6 個車站（包含 2 個轉角站）、47 支塔柱及 147 部車廂，設備數量龐大，夜間及週一檢修日之維修能量無法負荷大修作業，故須額外擇定一段期間暫停營運以進行大修作業。為避免暫停營運過久影響營收及外界觀感，各項大修作業須在最短天數內完成，為確保維修品質，遇有重要維修工作或設備首次拆裝時，會請原廠技師現場指導，此外，本公司亦透過自行開發設計輔助設備（如雙握索器）及改善工法以達到提升維修效率並節省維修成本之目的。

關鍵詞：貓空纜車、大修、索輪組、雙握索器



## Abstract

The maintenance of the Maokong Gondola system takes place overnight, outside operating hours, and on Mondays. The system has 6 stops, including two angle stations, 47 towers and 147 cabins; in other words, a considerable amount of equipment to be maintained, which is often impossible to cover during nighttime and Monday maintenance sessions. Therefore, it is sometimes necessary to arrange extra down time for overhaul. However, to avoid long periods of suspension affecting revenue and public perception, such overhauls need to be completed in as little time as possible. To ensure maintenance quality, we always commission technicians from the original manufacturer to be present whenever significant works or first-time installations or dismounts are being performed. Additionally, auxiliary equipment developed in-house (such as the “double grip”) help improve working methods, and save cost while increasing maintenance efficiency.

Keywords : Maokong Gondola, Overhaul, Sheave Train, Double Grip





## ◎ 前言

貓空纜車自 2007 年 7 月開始營運以來已歷經 7 年餘，各項設備陸續達到原廠 POMA 公司維修手冊建議之大修週期（22,500 營運小時），故於 2012 年 5 月展開首次大修。在纜車系統發達的歐美國家，因很多纜車是設在滑雪場，每年僅在冬天營運，約 15 年才需要大修，而貓空纜車每天營運約 12 ~ 13 小時，除了週一例行性維修日及天候因素外皆正常營運，運轉時間相對較長，故貓空纜車約 4 年就需要進行大修。纜車大修是將整個設備拆下後並拆解，以更換老化或磨損的零件，並進行清潔、檢測、潤滑及調整，使纜車設備得以維持良好狀態，確保整個纜車系統運作安全，也可延長使用年限。

貓空纜車系統共有 6 個車站（其中 2 個為轉角站），且因沿著貓空地區山勢起伏而建，塔柱多達 47 支，由於貓空纜車車站與塔柱數量相較於世界各地大多數纜車系統多，設備的維修保養工作也相對繁重，加上大部分塔柱不在道路旁，更提高了作業難度，此外，纜車大修作業之設備拆裝工作須動員大量人力及維修機具，故僅靠平常夜間及每週一檢修日之維修能量實無法容納貓空纜車所有設備之大修作業，須額外選擇一段時間暫停纜車營運以進行大修作業。貓空纜車於 2012 年進行首次大修時，暫停營運長達 31 天，由於作業前對於所需機具、作業方式及排程已經過長時間規劃準備，且大部分之設備拆裝工作也經過實際試做或模擬，首次大修得以如期如質完成，但長時間的暫停營運對當年度的營收造成不小衝擊，外界也有不少質疑聲浪，近 2 年臺北捷運公司嘗試將部分大修工作調整至週一進行，已使 5 月大修作業所需暫停營運天數減至 15 ~ 20 天，可滿足維修需求，也較易為外界接受。

## ◎ 纜車大修作業規劃

由於國內目前對纜車大修尚無明確的相關規範，所以貓空纜車的大修週期與工作項目皆依照原廠 POMA 的維修手冊建議，而 POMA 維修手冊的相關規定則大多比照歐盟的規範。貓空纜車各項設備的大修週期自 10,000 至 25,000 運轉小時不等，臺北捷運公司為了維修管理便利，將貓空纜車運轉時數換算為時間週期，訂定各設備大修週期為 2～4 年。至於大修的重點工作，有一大部分為非破壞檢測工作，由於纜車系統有很多大型設備，如塔柱、索輪組、驅動大輪、張緊臺車等，這些大型設備有許多焊接接合處，非破壞檢測主要目的就是要確認這些焊接處沒有裂痕及缺陷，以確保纜車設備的結構安全，除此之外，軸承、襯套、密封件等零件的更新、磨耗件的尺寸量測及設備重新組裝後的功能測試也是重要工作項目。少部分的設備（例如各式小馬達）POMA 的維修手冊並未提出建議之大修週期及維修項目，臺北捷運公司則參考電聯車的維修經驗，並考量該設備的使用情形及故障率訂出適當的維修週期及維修方式。由於纜車大修工作須在暫停營運期間進行，為使維修作業對纜車營運的衝擊降到最低，須有適當的規劃以使大修作業能有效率進行，以下針對貓空纜車在大修時間、排程及人力上的規劃經驗做一簡單介紹。



## ◎ 大修時間選擇

為確保大修作業順利如期完成，並降低因大修作業暫停營運對營收的影響，大修作業時間之選擇，以天候穩定且運量相對較低之時段為原則。

冬天因日照時間較短，適合的工作時間較短，且冬天貓空山區寒冷，易影響人員作業效率，此時段又會遇到跨年及春節假期之纜車運量高峰期，故貓空纜車在選擇大修作業的暫停營運期間會避開冬天。

至於夏天 6～8 月為梅雨、颱風及落雷頻繁季節，由於大修作業皆在戶外進行，梅雨易影響作業效率，遇有颱風及落雷時，維修作業須暫停以確保人員安全，如此一來將影響作業進度，增加無法如期完工的風險，且 7、8 月為暑假，運量較高，此段時間暫停營運進行大修，會造成旅客不便，對營收也有較大影響，故 6～8 月也是貓空纜車大修作業會避開的期間。

排除以上時段，貓空纜車最後選擇以 5 月份暫停營運進行大修作業，因為此時已接近夏天，白天日照時間較長，有較長的工作時間，且氣候沒有冬天的寒冷，亦不如夏天酷熱，戶外作業環境較為舒適，有助於提升人員工作效率。此外，依據 2010 年貓纜復駛以來運量統計，5 月份平均運量相對較低，對於營收衝擊較小。

## ◎ 排程計畫

貓空纜車系統由兩段組成，維修時可分別獨立運作，故大修作業時會儘可能安排 2 組人員同時於不同區間工作，以縮短系統停機天數，例如：第 1 段進行索輪組大修、第 2 段進行剪纜；或第 1 段進行設備非破壞檢測、第 2 段更換張緊液壓缸。然而，排程也須考慮各項工作所需人力，若 2 項工作皆需要大量人力，即使不會互相干擾，也無法安排同時進行。除了纜車設備外，場站亦有水電、消防、空調、供電、電梯及土建等設施設備，為使大修暫停營運時段能充分有效利用，當纜車大修作業日期決定後，各單位也會將上述設備維護保養工作安排於此時段執行。



## ◎ 人力運用

為使纜車大修暫停營運期間能充分安排工作，大修期間工作通常從早上 7 點即開始，直至晚上 11 點為止，分早、午兩班接力作業。此外，纜車大修作業通常會拆裝體積大、重量重之設備，須在短期間內集中大量人力，故一些費工夫且技術門檻低的作業，或是某些設備非破壞檢測作業就會採取外包方式，以將節省的人力投入設備拆裝工作。目前貓空纜車大修工作中的索輪組更換、張緊臺車及大輪非破壞檢測等項目即是採外包方式進行。

因為纜車大修期間暫停營運，此時則會安排營運相關人員進行訓練、文件修訂、車站環境整理等平日較難進行的工作。

## ◎ 技術指導

貓空纜車重要設備如齒輪箱、張緊液壓缸，原廠 POMA 所建議之大修程序是須由原廠派技師指導、送回原廠大修或交由本地專業廠商執行，加上設備首次拆裝時，有可能因為技術不熟練造成設備損壞或影響其他設備，故遇上述情形時，會請原廠派遣技師至現場指導，技師指導有助於維修人員建立標準作業程序，累積維修經驗與知識，該次整個大修工作過程亦可得到原廠的認證，確保大修品質。

## ◎ 索輪組大修

索輪組位於纜車沿線的塔柱上，用於支撐纜索，貓空纜車索輪組依支撐纜索的方式及索輪數量，可分為 8S、8C、10S、12S、12C、8S / 8C 等 6 種型式。索輪組大修週期分為 4 年、7 年，4 年大修須進行磁粒非破壞檢測並更新襯套，7 年大修則須再更換所有軸心，索輪組大修工作當中，拆解及翻修工作雖然需要不少工時，但真正困難之處在於索輪組的更換作業。

## ◎ 遭遇困難

貓空纜車索輪組共有 94 組，其數量是所有纜車設備中最多的，故需要最多時間完成大修，由於大多數的索輪組位於一般道路無法接近之塔柱上，塔柱上的維修工作僅能搭維修車到達或步行山路再爬上塔柱，而每組索輪組又重達 800 ~ 2,500 公斤，索輪組更換作業時無法以維修車運送也難以用人力搬運，租用吊車則因距離太遠而不可行，若仿照國外以直升機來吊運索輪組，要完成這麼多組索輪組更換將是一大筆花費，維修人員經探訪日本、澳洲、韓國、越南及大陸等地區，也未有其他合適方法。

## 雙握索器運具開發

就在苦於不知如何將拆卸的索輪組運送到維修地點之際，維修同仁突發奇想 – 「既然握索器能將車廂運至各站，應可利用握索器來吊運索輪組」，於是著手研究打造雙握索器運具。

由於每組握索器可負荷重量上限為 1.3 公噸，而最重的索輪組達 2.5 公噸左右，超過單組握索器最大負荷，因此設計以 H 型鋼並聯組合 2 組握索器以提高吊具負載能力，另外貓空纜車進出轉角二站的水平轉彎角度約達 80 度，且纜車係依附山勢坡度建造，最大垂直斜度約達 38 度，以單組握索器可順利通過場站水平轉彎及纜線垂直斜度區

域，但 2 組握索器並聯後通過上述區域時將產生相互推擠拉扯無法運行，於是參考電聯車連結器概念，在 2 握索器間安裝 1 組可水平及垂直轉動之連結器，以克服纜車之特殊線型。圖 1 為雙握索器吊運索輪組通過場站水平轉彎區域。

臺北捷運公司自行開發雙握索器，成功克服索輪組大修難題，並獲得以下成效：

### ▶ 大幅降低索輪組大修作業成本

若無成功開發雙握索器，索輪組大修作業須以直升機吊運方式進行，全線索輪組預估需花費 930 萬元，而雙握索器運具研發製作成本僅 21,975 元，且僅需花費 1 次研發費用，即可重複使用，節省約 920 萬之搬運費。雙握索器自開發成功以來已出動約 100 餘次，成功幫助貓空纜車於 2013 年底完成索輪組首次大修。

### ▶ 外界肯定，公司形象提升

原廠 POMA 亦派員前來了解本公司開發之雙握索器，事後並來信表達敬佩及合作之意，除提升自我研發能力外，更令參與作業人員深感榮譽，雙握索器運具更於 2012 年取得中華民國專利證書。此外，各家媒體也分別於 2012 年 5 月及 12 月大幅正面報導纜車雙握索器運具，成功行銷公司形象，同時亦榮獲行政院「創新經濟與科技發展類榮譽獎」及臺北市政府創意提案「創新獎」。



▲ 圖 1 雙握索器運具通過場站水平轉彎區域

### ◎ 索輪組大修作業方式

索輪組依其所在位置，大修更換方式可分為吊車吊掛及雙握索器吊運 2 種，其中 32 組索輪組位於車站附近臨近道路之塔柱，以吊車吊掛作業方式更換索輪組（如圖 4），並將更換下來的索輪組載運至維修地點翻修；另 62 組索輪組位於遠離道路之塔柱，更換時就以雙握索器將索輪組備品運送至塔柱，完成安裝再利用雙握索器將拆下的索輪組吊運至維修地點翻修，作業情形如圖 2、圖 3 所示。



▲ 圖 2 雙握索器吊運索輪組抵達塔柱



▲ 圖 3 將拆下之索輪組掛上雙握索器



▲ 圖 4 以吊車吊掛方式更換索輪組

## ◎ 索輪組大修策略

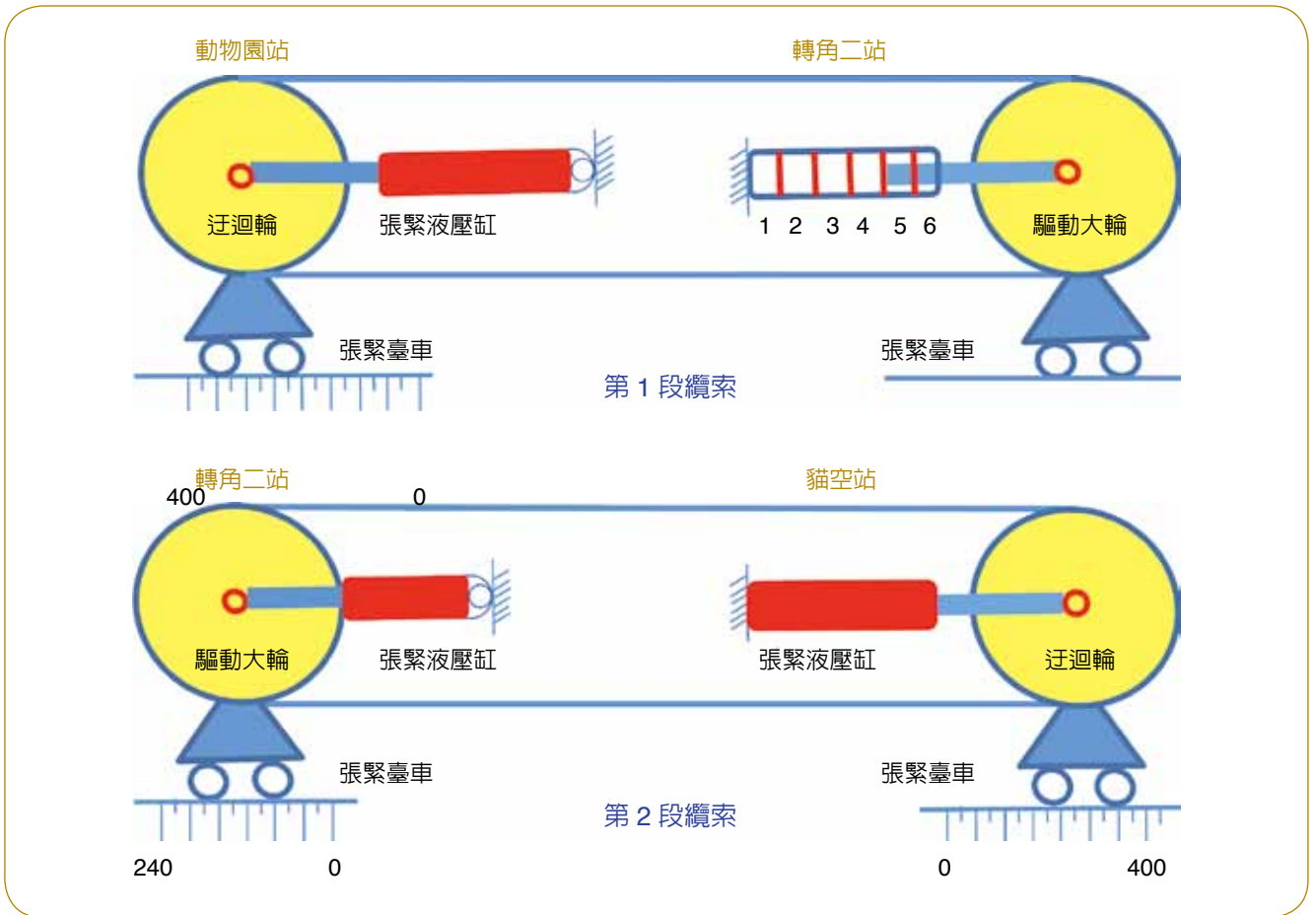
貓空纜車於 2012 年 5 月開始索輪組首次大修，由於索輪組數量龐大，1 次完成需要暫停營運約 2 個月，時間過長，故當時規劃分 2 年各暫停營運約 1 個月以完成全部 94 組索輪組大修。惟 2013 年為了再降低暫停營運天數，僅保留體積大、重量重、難度較高之索輪組在暫停營運期間執行大修，其餘索輪組則安排在週一檢修日進行大修。經過 2013 年試行採分散於週一進行索輪組大修後，維修人員已有能力在 1 天內完成更換索輪組並將系統復歸，此外，經評估索輪組大修於週一執行較集中於暫停營運期間執行可增加營運天數約 40 天，增加營收約 1,300 萬元，減少虧損並均攤維修成本，並避免纜車經常停駛造成外界觀感不佳，故貓空纜車索輪組第 2 次大修（即 7 年大修）將改採分散於各年度週一執行。

## ◎ 剪纜

### ◎ 纜索張力調節原理說明

纜車的纜索為金屬材質，具有延展性，經過纜車系統持續運轉下，纜索會因其自身及掛載車廂之重量而延伸，並使纜索張力降低，為維持一定之纜索張力，貓空纜車於端點站及轉角二站設有液壓張緊系統，藉由張緊液壓缸來調節纜索張力，當纜索延伸超過張緊液壓缸所能調整之範圍時，液壓缸所帶動之張緊臺車會碰觸極限開關，造成系統強制停機，故在張緊臺車即將到達極限開關位置前，就必須剪纜。

貓空纜車纜索張力調節之示意圖如圖 5 所示，第 1 段於動物園站、第 2 段於轉角二站與貓空站設有張緊液壓缸，另在動物園站及轉角二站之液壓缸末端另設有測力銷，藉由承受液壓缸之反作用力而測得纜索張力，並將纜索張力訊號傳至控制中心 PLC 以調控張緊液壓缸伸縮，當液壓缸伸縮時會帶動固定於張緊臺車上的迂迴輪 / 驅動大輪移動，使纜索張緊或放鬆，以達成纜索張力之調節。



▲ 圖 5 貓空纜車纜索張力調節示意圖

### 剪纜時機

剪纜並非定期性的作業，而是依據纜索實際伸長的狀況決定，動物園站、轉角二站及貓空站維修平臺上皆設有表尺，可監測張緊臺車位置，以得知纜索延伸狀況，目前貓空纜車每 2 週會記錄一次表尺數據，觀察纜索延伸趨勢，以預估剪纜時程。

由於剪纜約需 6 ~ 7 個工作天，必須暫停營運才能進行，為避免暫停營運次數太頻繁，原則上會配合大修作業期間進行。



## 剪纜經驗

貓空纜車自營運至 2014 年 5 月底共剪纜 3 次，第 1 次剪纜是在通車後 3 個月，第 2 段纜索因營運初期之初始延伸 (initial elongation)，所以通車後幾個月即剪纜，之後纜索進入穩定期，直至 2013 年第 2 段才再次剪纜，第 1 段則於 2014 年剪纜，3 次剪纜長度約 3 ~ 6m 不等 (如表 1)。

表 1 貓空纜車歷次剪纜資料一覽表

次數	日期	天數	區段	剪纜長度
第 1 次	2007 年 10 月 22 ~ 28 日	7 天	第 2 段	5.53m
第 2 次	2013 年 5 月 13 ~ 18 日	6 天	第 2 段	3.31m
第 3 次	2014 年 5 月 5 ~ 11 日	7 天	第 1 段	6.45m

由於剪纜為一相當專業之工作，需持有執照的纜索專業技師才能執行，故每次剪纜皆會由原廠 POMA 特別委請專業纜索公司指派技師至現場，並與本地的配合廠商合作完成。剪纜完成後皆取得專業纜索公司所出俱符合纜索裁剪品質之認證文件，確認結果安全無虞後才開放營運。

## 剪纜之執行

剪纜工作的流程如下：

- 一、脫索：在工作地點附近架設捲揚機，並放鬆纜索張力後，將纜索由塔柱上卸至地面。
- 二、緊索：使用夾線器將纜索固定，並將夾線器兩側纜索對拉，使捻接處纜索放鬆。
- 三、架設工作平臺（如圖 6）。
- 四、纜索捻接處解編：纜索的構造是由 6 股鋼索捻接而成，此步驟是要依序將纜索捻接處的索股拆開（如圖 7）。
- 五、纜索編接：將拆開之索股兩端拉緊並重新捻接（如圖 8）。
- 六、裁切多餘索心。
- 七、鬆索：將夾線器放鬆，釋放纜索捻接處張力。
- 八、修整捻接處：以油壓工具搭配熱風槍將捻接處壓實，並確認捻接處尺寸。
- 九、復纜：將纜索掛回塔柱上。
- 十、運轉確認。

## 主馬達大修

貓空纜車主馬達有 4 組（系統第 1 段與第 2 段各 2 組），為額定功率 530kW 之直流馬達，每 2 年需大修一次，主馬達大修主要工作是更換軸承、轉子與定子清潔保養及換向片車修。由於國內不乏翻修直流馬達技術佳與品質穩定之廠商，考慮翻修主馬達需要不少專門的機器設備，故貓空纜車主馬達拆下後，委由專業馬達廠商執行大修，但關鍵的軸承用料由臺北捷運公司提供。



▲ 圖 6 架設剪纜工作平臺



▲ 圖 7 纜索捻接處解編



▲ 圖 8 將索股重新捻接

貓空纜車主馬達大修工作內容如下：

- 清洗主馬達定子、轉子及零組件並烘乾。
- 轉子及定子浸泡凡立水（若絕緣電阻小於 100MΩ）。
- 車修換向片。
- 極性換向測試。
- 動平衡校正。
- 更換軸承及碳刷。
- 電檢測試（量測絕緣電阻及運轉時軸承部位之溫升）。
- 振動值量測。



## ● 齒輪箱大修

貓空纜車 2 段各有 1 組齒輪箱，齒輪箱將主馬達之動力傳遞至驅動大輪，驅動大輪再帶動纜索運行。齒輪箱的減速比為 1：50，由 2 層行星齒輪及 1 層傘齒輪組成。貓空纜車齒輪箱每 4 年大修一次，大修時需更換軸承及密封件，並對齒輪於軸心做非破壞檢測。

### ○ 齒輪箱更換作業

貓空纜車齒輪箱重達 6,000 公斤，在更換時須使用吊車將齒輪箱由地面吊至設備平臺，由於齒輪箱體積、重量龐大，安裝過程中亦須注意定位以避免安裝不當造成內部零件損壞，故 2012 年首次更換齒輪箱時請 POMA 技師到現場指導拆裝作業。該次作業在安裝過程中，由於吊車吊臂過長，使齒輪箱晃動程度較大，不利於精細的軸心定位調整，導致作業時間較長，因此技師建議於齒輪箱上方位置安裝吊掛鋼樑，並配合鍊條吊車緩慢調整軸心位置。隔年更換另一組齒輪箱時，採用了技師建議，吊車將齒輪箱吊至定位後即靠鋼樑上之鍊條吊車吊掛（如圖 9），使軸心定位調整更容易，且因事前已先將飛輪安裝完成，故整體作業時間較前一次節省約 6 小時。



▲ 圖 9 以吊掛鋼樑配合鍊條吊車進行齒輪箱拆裝作業

### 齒輪箱翻修作業

由於齒輪箱內部有許多齒輪與軸承，彼此間有精準的定位，翻修過程中拆卸與組裝的品質很重要，若因拆裝品質不良，會導致齒輪受損而影響運轉，故原廠提供的翻修程序建議，齒輪箱翻修需送回原廠進行或由原廠技師指導。貓空纜車齒輪箱首次翻修時，為使維修人員能更深入了解齒輪箱內部構造，建立維修技能，且公司之電聯車機廠亦有足夠設備可因應，遂請原廠技師至捷運土城機廠內指導纜車維修人員進行齒輪箱翻修，翻修作業情形如圖 10、11 所示。2014 年臺北捷運公司也嘗試將另一齒輪箱送回原廠翻修，待翻修完成後，將就兩種翻修方式的成本、風險及實際作業情形評估，選擇較佳之方案做為爾後翻修策略。



▲ 圖 10 拆卸行星齒輪



▲ 圖 11 齒輪非破壞檢測



▲ 圖 12 拆解張緊液壓缸

### ◉ 張緊液壓缸大修

貓空纜車共有 3 支張緊液壓缸，其中 1 支為長度 2.4m，2 支為 4m，張緊液壓缸每 4 年須做非破壞檢測，若有漏油情形則須拆下並更換油封件。由於張緊液壓缸是調節纜索張力的設備，故在拆卸張緊液壓缸時，須先釋放纜索張力，並在大輪附近固定纜索位置，以免纜索彈開而造成人員傷害。此外張緊液壓缸長度較長，在更換時須注意液壓缸在吊掛過程中的平衡。

張緊液壓缸構造並不像齒輪箱那麼複雜，翻修重點主要在更換油封，首次翻修時仿照首次齒輪箱翻修做法，利用捷運電聯車機廠的機具設備資源，並請技師至現場指導，翻修作業情形如圖 12、13 所示。雖然機廠設備可因應翻修工作，但畢竟非專用設備，在技師協助下尚可執行，未來考量將委由國內專業液壓缸製造廠進行翻修。



▲ 圖 13 安裝張緊液壓缸油封

## ● 結語

貓空纜車從營運通車初期停機狀況頻繁，到近幾年平均可用度皆穩定維持在 99.90 % 以上之高水準，這是纜車全體維修同仁平日落實維修工作並不斷進行改善方案所得到的成果。纜車系統設備在運轉而逐漸老化下，透過定期大修，可以使系統恢復穩定的狀態，進而延長纜車系統使用壽命，貓空纜車的大修作業，因為設備數量多及地處偏遠等因素，難度原本就高，且既要兼顧維修品質，又要將對營運面的影響降至最低，但透過維修同仁的努力，已成功克服了大修工作各項難題，順利完成首次大修。

臺北捷運公司在規劃貓空纜車大修時，借助電聯車維修經驗，使大修作業能快速進入狀況，但纜車系統與電聯車系統畢竟不同，仍有新的問題須面對，而貓空纜車經過首次大修作業後，未來在大修的規劃上仍須繼續尋求更好的做法，因為貓空纜車受限於低票價且運量難以再大幅成長，營運勢必將面臨更多挑戰，大修工作將朝增加分攤至週一檢修日進行的作業量及精進工法二方面努力，使維修工時縮短，減少年度停機天數，以增加營運天數。

