



功能型水下遙控載具構型設計 最佳化之研究

Research on Optimal Design of Functional Underwater Remotely Operated Vehicles.

著者／莊旻勳、林聖義、陳建宏

Chuang, Min-Hsun、Lin, Sheng-Yi、Chen, Jian-Hong

莊旻勳 大葉大學電機系、林聖義 大葉大學電機系、陳建宏 玉豐海洋科儀

摘要：

本研究探討具清潔離岸風機海底基樁海牯子能力之功能型水下遙控載具（Remotely operated underwater vehicle, ROV）的構型設計最佳化研究，透過系統工程設計程序設計出符合功能需求之 ROV，最後將設計成果進行拆解組裝與干涉模擬分析，確保後續實體的製造與生產工作能順利推展。

壹、緒論

1.1 研究背景與動機

隨著科技的進步，水下探測和作業需求不斷擴大，尤其在深海環境下。功能型水下遙控載具（ROV）因其靈活性和多功能性成為水下任務中的重要工具。然而，現有的 ROV 在應對不同環境和任務時可能存在效能限制，隨著水下環境的複雜性和

挑戰性增加，需因應各種任務需求而設計不同構型的 ROV。

在 ROV 構型設計的同時，如設計程序不夠周延會導致無法達到預期的功能，如沒有透過拆解組裝模擬的干涉分析會導致後續階段出現組件翻供進而造成工程延宕的議題發生。因此本研究將遵循系統工程設計程序進行最佳化構型設計，並在設計完成後進行組裝拆卸干涉模擬分析，以解

決前述可能會遇到的工程議題。

1.2 研究目的

本研究以功能型 ROV 為研究開發標的，透過嚴謹的設計流程，致力於實現 ROV 的最佳化構型設計。整個過程始於參考目標的研析，隨後進入概念設計階段，逐步收斂至合約設計階段。在合約設計階段，我們必須確保載具完全符合功能需求。隨後我們將設計成果做拆解組裝並進行模擬分析，特別著重於檢查是否存在干涉情形，這是為了確保整個載具在大部和細部拆解層面都沒有問題，這個階段的目的是避免在製造生產階段出現因為組裝干涉而需要進行重工，導致工程的延宕。

為達成本研究 ROV 構型設計最佳化並且完成干涉分析，確保後續生產製造工作順利，制定本研究流程如下：

- 參考目標研析
- 概念設計
- 初步設計
- 合約設計
- 大部拆解組裝模擬
- 細部拆解組裝模擬

確認了合約設計階段的功能性和干涉分析後，我們方可進入後續製造生產階段，

確保載具生產製造過程能順利進行。

貳、參考目標研析

在水下遙控載具的設計中，選擇參考母船的作業至關重要。母船的選擇應該根據特定任務需求和環境條件進行精心考慮。適當的參考母船應根據使用者的功能需求、使用的環境去當參考的依據。

在本研究載具開發初始階段，會先進行載具需求確認，目的為了研製具清掃離岸風機海底基樁以及船艦船殼海纜子功能的 ROV，期能減少人力成本，更能延長風機基樁及船殼之壽命。綜整本載具功能需求如表 2.1。

確認需求後，我們將選擇一艘參考母船作為本研究案的參考依據，基於上述表 2.1 條件，我們找了各國諸多相關類型的 ROV 並從中選擇最接近的當作本研究的參考目標，如表 2.2。

上表列舉各類具不同清掃功能的 ROV，如：刷子清潔、高壓水槍、空蝕技術…等。本研究的主要目標為清掃型載具，我們將刷子清潔功能列為首要考量，按照功能需求表 2.1 的條件下去做篩選，根據需求第

附表2.1 功能型水下遙控載具功能需求表

目的：開發具清潔離岸風機海底基樁海纜子能力之ROV	
功能	可在海水中作業，具水平運動能力
	體積小，重量輕，易攜行，易施放回收
	最大操作深度50米，具深度感測能力
	靠近基樁可用反向水流吸附結構體
	吸附後可啟動刷子進行清潔
	可將清潔前後之影像回傳
	具爬行功能
	具7顆推進器，6自由度
	採定深橫向繞基樁左右半圓方式清潔，清潔速度為每小時20米。完成後回到原吸附點，下降適當距離重複前述動作。沿基樁由上而下依序進行清潔工作

一步將沒有具備刷子的 ROV 剔除掉，接著依據是否有履帶進一步選擇，最終考慮到 6 自由度的需求，以推進器的數量作為最終參考標準。最終我們選擇 ROVING BAT 來當本研究案的參考目標。

三、構型設計程序與成果

在進行水下無人載具的構型設計時，首先需要明確任務需求以及功能需求，依照這些需求進行設計，整過設計程序包含概念設計階段、初步設計階段以及合約設計階段。

3.1 概念設計階段

ROV 的整體構型設計是由其要完成的任務和預期工作環境所驅動的。它本質上是一輛“卡車”，用於將有效載荷運送到目的地。這可能包括攝像機、傳感器、機械

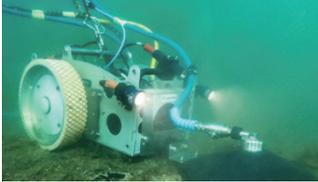
手或工具等任意數量的項目，以及在現場穩定地執行分配任務 [1]。構型應考慮到水下環境的複雜性，包括水流、壓力和溫度等因素，良好的構型應確保載具在水中的航行性能優越，儀器的佈局和結構強度的設計也應該是構型設計中的重要考慮因素，以確保載具在執行任務時穩定可靠。

概念設計階段是在產品設計的一個重要步驟，它是指在開始詳細設計之前，對產品的整體外觀、結構和功能進行概念設計和規劃的過程。選定參考目標後，根據功能需求 (如表 2.1)，我們模仿了參考目標的外型架構，有了最基本的浮材、支架、推進器以及功能需求所提到的履帶及刷子，浮材確保 ROV 有一定的浮力，兩顆垂直向，兩顆水平向的推進器控制方向，

履帶則讓 ROV 有了行走的功能，而最重要的清掃功能在概念設計時加上了清潔模組在 ROV 的正下方，概念設計階段的構型成果如圖 3.1。

概念設計階段是整個設計過程中的重要階段，它確立了載具的整體方向和基本型式，為後續的設計階段奠定了基礎。

表2.2 清掃型ROV種類

清掃型ROV種類			
圖片			
名稱	HullBUG[2]	HullWiper[3]	Magnetic Hull Crawler[4]
大小	1490*1060*732(mm)	330*170*85(cm)	600*500*500(mm)
重量	372kg	1275kg	100kg
最大深度	50公尺	40公尺	50公尺
功能	半自動清潔系統，使用輕型刷子清潔船體	使用可調節的高壓海水去除船體污垢	專用於檢查、清潔和維護鐵磁表面
圖片			
名稱	Fleet Cleaner[5]	Hulltimo[6]	KeelCrab Sail One[7]
大小	1.8*1.8*0.6(m)	47*43*37(cm)	42.5*42.5*32(cm)
重量	412kg	20kg	9.5kg
最大深度	50公尺	10公尺	10公尺
功能	在港口裝卸期間清潔船隻。使用可控的高壓水，在清洗過程中不會損壞塗層	可在碼頭上操作，也可由船上操作。機器人移動方便，易於設置和使用	主要設計用於清潔帆船、遊艇和大型遊艇的船體

圖片



名稱	VertiDrive M3[8]	ROVING BAT [9]	Underwater Hull Cleaning Robot[10]
大小	950*930*620(mm)	1105*1085*646(mm)	130*80*75(cm)
重量	62kg	135kg	250kg
最大深度	無法下水	100公尺	50公尺
功能	通過磁力驅動組件附著在鋼材上，清潔工具是一種手動操作的設備	專用於海上風電場、水力發電廠、鑽井平台，能夠在去除生物污垢的同時進行船體檢查	用於清除液化天然氣運輸船上的污垢，去除的污垢將使用過濾器收集，減少對環境的影響

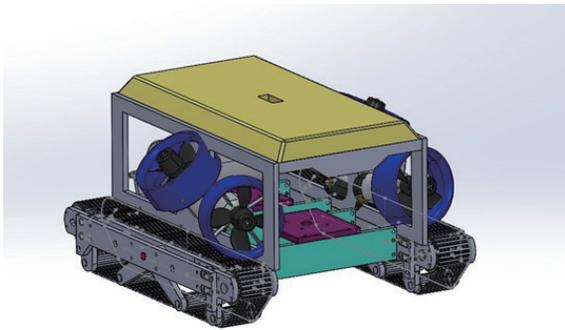


圖3.1 概念設計階段之構型設計成果

3.2 初步設計階段

在初步設計階段，會根據概念設計的基本方向和設計概念，進一步發展和細化產品或模型的外觀和結構，以及相關的功能和性能特徵。

在這階段我們精簡了浮材，提高了他的浮力，新增了固鎖推進器的結構，設置成

這樣的角度的角度能讓我們更好的去做翻轉及吸附的功能，整體的結構中也新增了支架使其更加穩固，另外也增加了其他電子配備以及液壓補償器的位置。此階段的構型成果如圖 3.2。

初步設計階段涉及概念的篩選，進一步分析 ROV 的整體系統，包括機械結構、

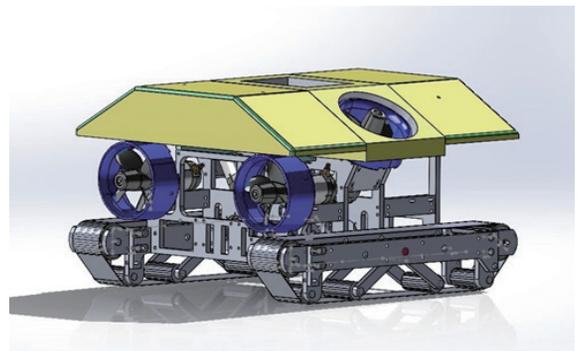


圖3.2 初步設計階段之構型設計成果

動力系統和電子設備等，同時對性能進行優化。

3.3 合約設計階段

在此階段我們將確認 ROV 的整體外形及各部件的擺放位置，確認了最終浮材的外型以及放置地方，另新增了吊掛設備，讓 ROV 能正常的施放，推進器則延續初步設計的概念和架設位置，履帶部分則做了許多細節的修改，包括皮帶、支撐軸、皮帶輪的軸承等等，刷子部分增加了彈簧及刷頭，另外還新增帶動刷子的動力輪軸，最後確認其他電控配備的位置，如：電動推進系統艙 (Electric Propulsion System Pod, E-Pod)、纜線連接盒 (Tether Junction Box, TJB)、LED 燈…等。E-POD 給載具提供了攝影機及 LED 燈所需的電力讓載具在運行時可讓岸上的操控者更清楚的了解到水下的狀況，TJB 提供推進器、刷子以及履帶所需要的電力，讓載具維持最基本的運作。最終合約設計構型成果如圖 3.3。

合約設計確保載具的各部件都符合本研究案的需求，從概念設計收斂到合約設計階段，並確認了載具的最終構型。

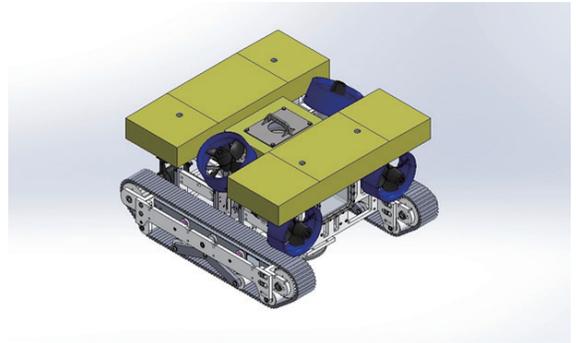


圖3.3 合約設計階段之構型設計成果

四、拆解組裝模擬與干涉分析

本章節將探討 ROV 的拆解組裝與干涉分析，利用工程繪圖軟體模擬拆解以及組裝的順序 [11]。透過這個階段，我們要將本研究的設計成果做最後確認，避免後續的製造與組裝階段因干涉問題而造成重工導致工程的延宕。

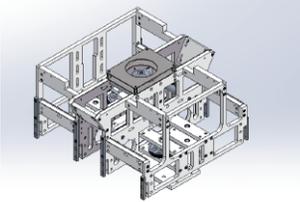
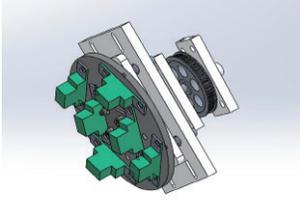
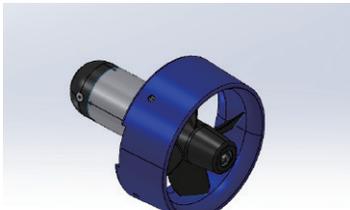
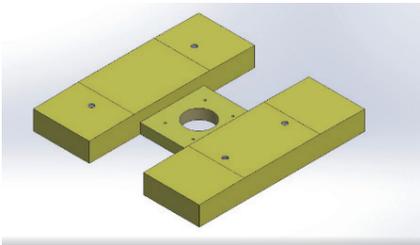
在本章節我們將先進行大部件拆解組裝模擬，接著進一步執行細部拆解組裝模擬。

4.1 大部拆解組裝

大部件拆解在產品設計和製造的過程中發揮著重要作用，使設計師和工程師能夠詳細了解每個元件的功能和相互關係。這有助於改進產品的設計、製造和維護流程，提高整體效能和可維護性。首先將本研究之 ROV 分成五大部件：主支架、履帶、清潔模組、推進器以及浮材。如圖 4.1。

接著針對主支架、履帶及清潔模組下

圖4.1 載具主要部件示意圖

架構	主支架	履帶	清潔模組
圖片			
架構	推進器	浮材	
圖片			

去做部件的拆解，因為它有許多的細部結構，推進器為現貨產品不需特別做處理，浮材則為單一元件，固不用逐一下去做拆解。

4.1.1 主支架大部拆解組裝

主支架部分將分為三個部件，分別為中間支架、右邊支架、左邊支架，依序進行各部件功能說明。

1. 中間支架：做為主結構的一部分，必須支撐起載具整體的強度，所以我們在中間支架的部分加上白鐵板來彌補強度上的不足。支架中段位置則安裝驅動刷子的馬達。如圖 4.2。

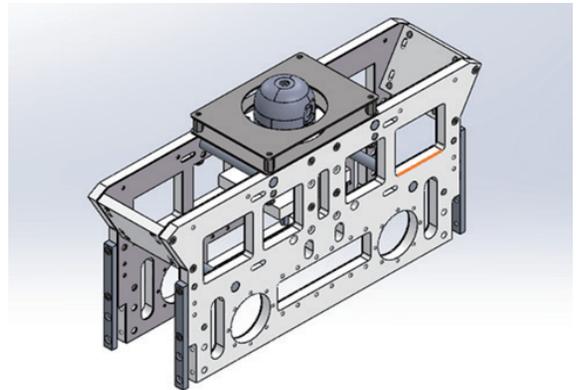


圖4.2 中間支架

2. 右邊支架：右邊支架主要功能安裝 TJB，以及兩側則用來安裝水平向的推進器，如圖 4.3。

3. 左邊支架：左邊支架主要功能安裝 E-POD、LED 燈以及攝影機的位置，如圖 4.4。

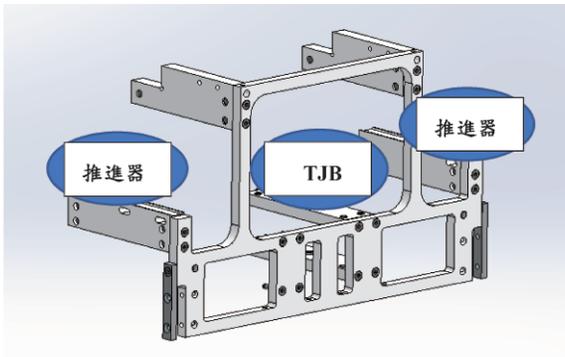


圖4.3 右邊支架

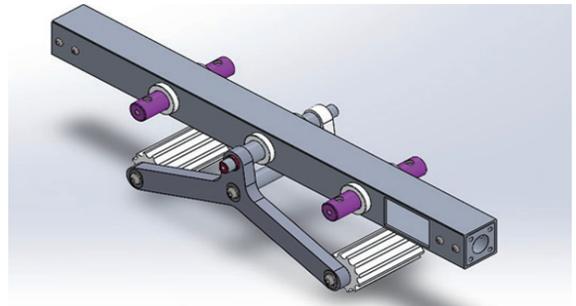


圖4.5 履帶支撐架

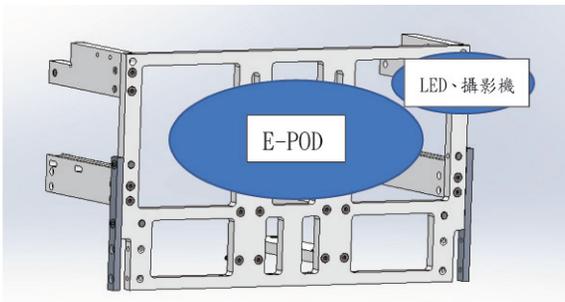


圖4.4 左邊支架

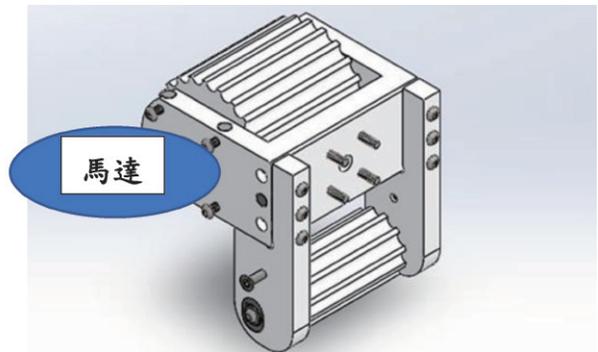


圖4.6 主動輪

4.1.2 履帶大部拆解組裝

履帶部分將分為三個部件，分別為履帶支撐架、主動輪、被動輪，依序進行各部件功能說明。

1. 履帶支撐架：履帶支撐架是撐起整座履帶及載具的主要結構，中間設有彈性支撐軸的部分，可讓皮帶繃緊，防止脫落，並設有幾根被動輪軸，來帶動履帶爬行，如圖 4.5。

2. 主動輪：帶動載具爬行功能的主要部件，配有一顆馬達，如圖 4.6。

3. 被動輪：履帶的一部分，以滾動或轉

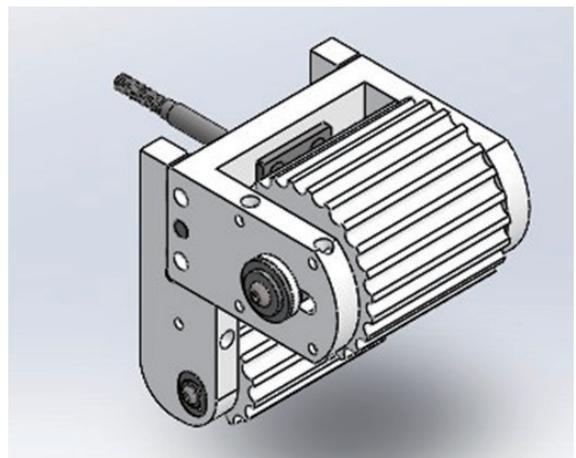


圖4.7 被動輪

動的方式傳遞運動，如圖 4.7。

4.1.3 清潔模組大部拆解組裝

清潔模組將分為兩個部件，分別為模組

支架、刷盤，依序進行各部件功能說明。

1. 模組支架：模組支架是一種用來固定和支撐刷子的裝置，設有時規皮帶輪來帶動刷子清潔，如圖 4.8。

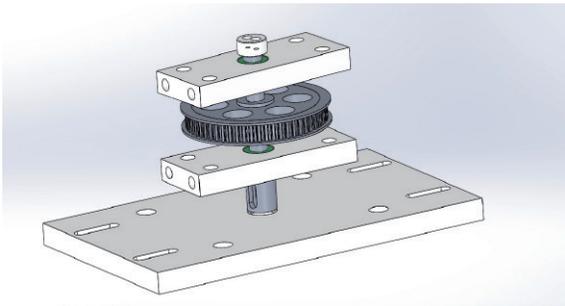


圖4.8 模組支架

2. 刷盤：清潔工作重要的一個結構，設置了橡膠刷頭，並搭配了彈簧讓載具在清潔運行時能夠適應不同起伏的地形，如圖 4.9。

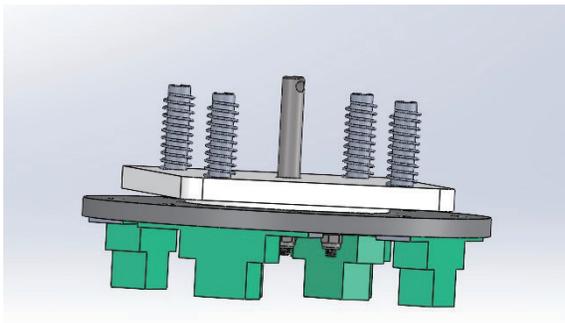


圖4.9 刷盤

此階段為載具的大部件拆解，這樣的模擬為組裝和干涉提供了重要的作用，有助於發現元件上的錯誤並及早做修正，通過大部件拆解，在組裝的過程能夠更有效地進行工作。

4.2 細部拆解組裝

細部拆解是建立在大部件拆解的基礎上，進一步將每個主要部分或元件細化為更小的結構或單元的過程。組裝上的細部拆解通常需要根據裝置的組裝圖或技術文件進行操作，以確保在拆解和重新組裝過程中不會遺漏任何重要的步驟或元件。這也有助於確保在重新組裝時，每個細部都能夠被正確地放回其應有的位置，確保整個系統的正常運作。

在本小節會依序將上階段所討論的部件做細部拆解組裝，檢查是否出現干涉情形或組裝上的困難。

4.2.1 主支架細部拆解組裝

1. 中間支架：將所有細小的零件做拆解，檢查是否能安裝到相對應的位置上，並整理出拆解組裝的先後順序，如圖 4.10。

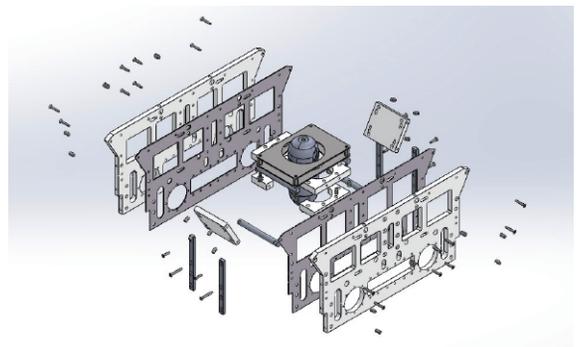


圖4.10 中間支架-細部拆解

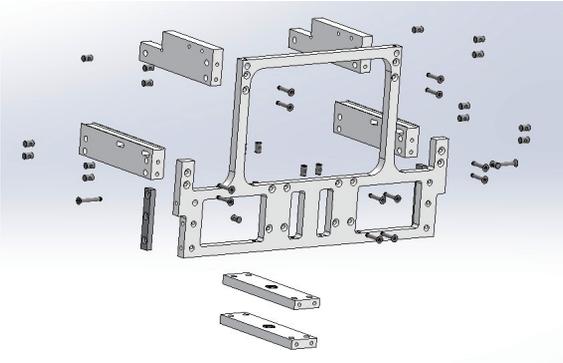


圖4.11 右邊支架-細部拆解

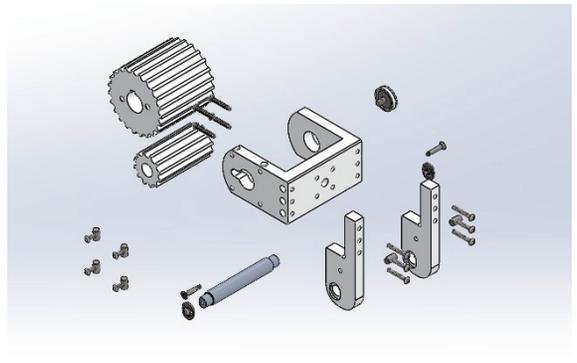


圖4.14 主動輪-細部拆解

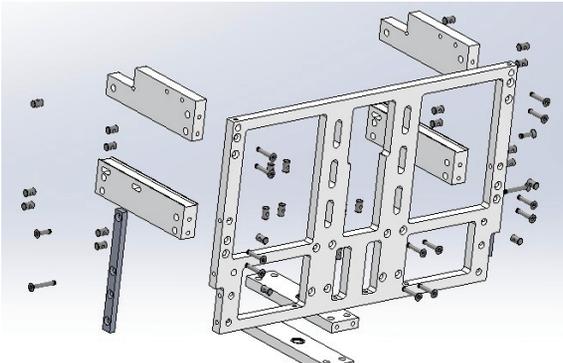


圖4.12 左邊支架-細部拆解

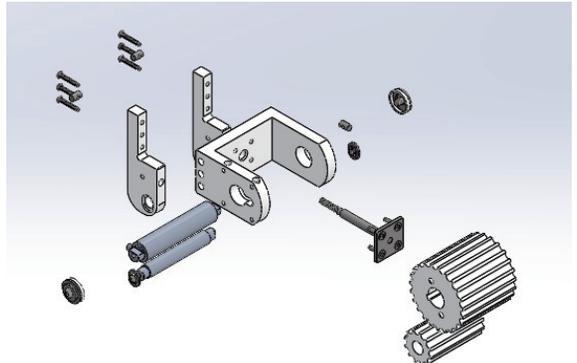


圖4.15 被動輪-細部拆解

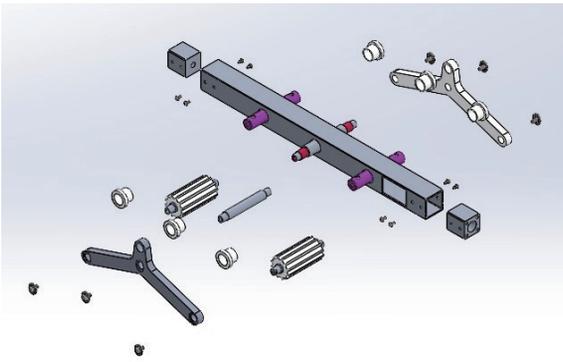


圖4.13 履帶支撐軸-細部拆解

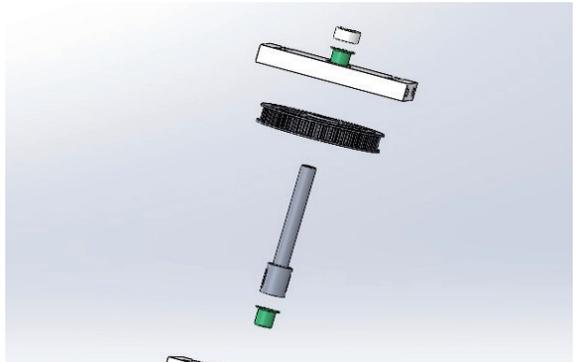


圖4.16 模組支架-細部拆解

2. 右邊支架：確認是否每個 PIN 都有相對應的位置及固鎖的螺絲，如圖 4.11。

3. 左邊支架：確認是否每個 PIN 都有相對應的位置及固鎖的螺絲，如圖 4.12。

4.2.2 履帶細部拆解組裝

1. 履帶支撐架：檢查是否出現孔位有大小不適及干涉情形，並確保每根輪軸都螺絲固鎖防止鬆脫，如圖 4.13。

2. 主動輪：確認主動輪的位置以及放置輪軸的地方，是否有公差的議題出現，確保在後續行進的過程中不會發生鬆脫的情況，如圖 4.14。

3. 被動輪：確認被動輪的位置以及放置輪軸的地方，是否有公差的議題出現，確保在後續行進的過程中不會發鬆脫的情況，如圖 4.15。

4.2.3 清潔模組細部拆解組裝

1. 模組支架：檢查軸承是否出現公差的議題，如圖 4.16。

2. 刷盤：檢查橡膠刷頭及刷盤的地方固鎖時是否會出現干涉的情況，如圖 4.17。

至此本研究 ROV 的主要部件都已使用 Solidworks 模擬拆解組裝完畢，此過程可幫助我們進入後續組裝製造階段時，確認載具是否符合功能需求，各部件是否在

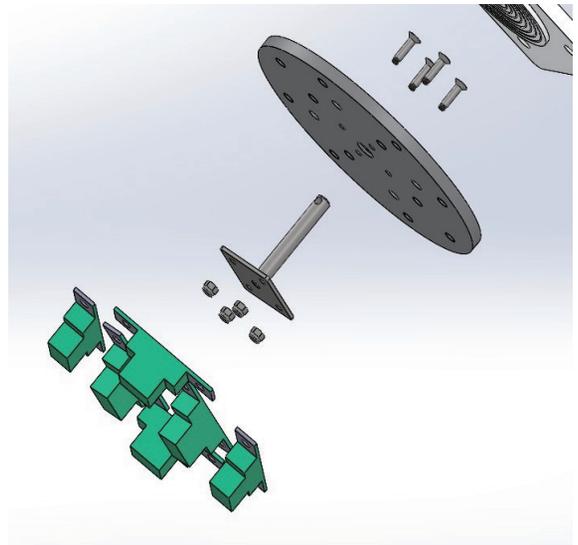


圖4.17 刷盤-細部拆解

該安裝的位置，避免因干涉問題而造成重工導致工程的延宕。

五、結論

本研究成功實現具清潔離岸風機海底基樁海纜子能力之功能型 ROV 的最佳化構型設計，並藉由拆解組裝模擬與干涉分析，確保載具在後續製造和組裝過程中能夠順利進行。經過概念設計階段、初步設計階段和合約設計階段的設計流程，我們成功地設計出符合功能需求的 ROV 最佳構型；在大部件拆解組裝模擬中，進一步驗證了各部件的正確組裝順序和位置，並解決了可能存在的干涉問題；在細部拆解組裝模擬中，我們更仔細地檢查每個部件的結構，確保其在組裝過程中的正確性

和順利性。本研究所提出的設計流程以及干涉模擬分析方法，未來更可以運用到各類新型 ROV 之研發製造工作，提供詳細的指引參考，使研製專案能順利推展。



參考文獻

- [1.] Robert D. Christ and Robert L. Wernli, Sr. “The ROV Manual” A User Guide for Remotely Operated Vehicles Book ,Second Edition, 2014,PAGE : 107-120
- [2.] HullBUG:)<https://geo-matching.com/products/hullbug>
- [3.] HullWiper:<https://www.hullwiper.co/news/hullwiper-announces-first-americas-operations-base-for-the-panama-canal>
- [4.] MagneticHullCrawler(MHC):<chrome-extension://efaidnbmnfnbpaajpcgplefindmkaj/https://www.cybernetix.fr/sites/cybernetix/files/2021-07/MRS-Magnetic-Hull-Crawler.pdf>
- [5.] Fleet Cleaner:<https://le-chartier.com/HulltimoMauritius/pro.html>
- [6.] Hulltimo:<https://le-chartier.com/HulltimoMauritius/pro.html>
- [7.] KeelCrab Sail One:<http://www.keelcrab.eu/keelcrab-sail-one/>
- [8.] VertiDrive M3:<https://www.jjei.com/new-equipment/vertidrive-m3/>
- [9.] ROVING BAT:)<https://www.ecagroup.com/en/business/rov-planet-roving-bat-rov-the-right-solution-for-hull-cleaning-and-other-uwild-applications>
- [10.] Underwater Hull Cleaning Robot:<https://gcaptain.com/samsung-heavy-develops-self-guided-hull-cleaning-robot/>