

計畫編號：113 保發-5.1-保-01-06-001(20)

不安定土砂智能與模組化監測站
Intelligent and modular station of
monitoring unstable sediment

執行單位：國立成功大學全球觀測與資料分析中心

執行期間：113 年 2 月 7 日至 113 年 12 月 31 日

計畫主持人：劉正千 兼任教授

行政院農業委員會水土保持局 編印

中華民國 113 年 11 月

不安定土砂智能與模組化監測站

摘要

本計畫擬開發一台智能與模組化監測站，並於目前執行階段設計與製作各功能模組，待後續功能驗證完成後進行實地部署，以減少土砂災害對人們造成的風險。

而監測站則由機庫模組與底座框架模組所組成，透過輕量化材料與磁吸裝置達到減重與快拆效果，同時，具備防塵與防潑水設計，使內部控制元件得以受到保護。此外，其備有一套電力系統，能透過電源管理模組有效提供電力與節省電源，達到監測站自主供電與無人機充電。而本計畫中的自組無人機可依照遠端監控人員透過 Mission Planner 指派的任務，自主進行起飛、飛行路徑規劃及任務執行，並且任務結束後，無人機會根據內建的 GPS 降落到指定位置，實現全程的自主操作與降落。

故本計畫後續將於不安定土砂地區實地部署智能與模組化監測站，並根據各模組進行功能驗證，包含無人機、模組化監測站與電源模組，以期達成現場監測目標，並於未來在預防災害方面發揮作用。

關鍵詞：自組無人機、模組化監測站、自主供電

Intelligent and modular station of monitoring unstable sediment

Abstract

This research aims to develop an intelligent and modular station (IAMS). During the current implementation phase, various functional modules will be designed and manufactured. After finishing functionality verification, the system will be deployed in the field to reduce the risk of sediment-related disasters to people.

IAMS, consisting of a hangar module and a base frame module, utilizing lightweight materials and magnetic attachment devices for weight reduction and quick disassembly. Besides, it features a dust-proof and water-resistant design to protect the internal control components. It is also equipped with a power management system that effectively providing power and saving energy, allowing for autonomous power supply to IAMS and charging of the drone. The DIY drone in this research can not only autonomously take off and execute flight missions assigned by Mission Planner but land at a designated location based on its built-in GPS after completing the flight mission.

Thus, IAMS will be subsequently deployed in unstable sediment areas, carrying out functionality verification for each module to achieve remote on-site monitoring, reducing the occurrence of disasters.

Keywords: DIY drone, Modular station, Autonomous power supply

目次

摘要.....	I
Abstract.....	II
目次.....	III
表次.....	IV
圖次.....	V
第一章 緒論	1-1
第一節 計畫緣起	1-1
第二節 計畫目標	1-6
第二章 工作執行方法與步驟	2-1
第一節 工作執行方法	2-1
第二節 工作執行步驟	2-38
第三章 工作進度與交付項目	3-1
第一節 計畫甘特圖	3-1
第二節 計畫交付項目	3-2
第四章 結論及建議	4-1
第一節 結論	4-1
第二節 建議	4-15
參考文獻.....	參-1
附錄.....	附-1
附錄一、期末審查會議紀錄暨回覆辦理情形	附-1

表次

表 2-1 無人機綜合性能表	2-9
表 2-2 監測站各模組之尺寸與重量表	2-19
表 2-3 監測站電力系統使用的相關元件	2-30
表 2-4 監測站站內部電力系統的材料清單	2-33
表 2-5 監測站電力消耗彙整表	2-35
表 2-6 充電功率計算	2-37
表 3-1 智能與模組化監測站工作預定進度表	3-1
表 3-2 計畫工作項目檢核管制表	3-2

圖次

圖 2-1 無人機整體	2-1
圖 2-2 無人機收納於監測站之設計圖	2-3
圖 2-3 碳纖維機架	2-3
圖 2-4 雙層支架與簍空	2-4
圖 2-5 頂面平台	2-4
圖 2-6 頂面平台設計圖	2-5
圖 2-7 低升力與效率曲線圖	2-6
圖 2-8 高升力與效率曲線圖	2-7
圖 2-9 電源系統佈局	2-8
圖 2-10 電池保護板	2-8
圖 2-11 GNSS 模組	2-10
圖 2-12 PIXHAWK ORANGE CUBE+	2-10
圖 2-13 相機 FIREFLY 8SE	2-12
圖 2-14 兩軸電機雲台	2-13
圖 2-15 類比訊號圖傳與鏡頭	2-14
圖 2-16 遙控訊號接收器	2-15
圖 2-17 數據傳輸模組	2-16
圖 2-18 4G 通訊模組	2-16
圖 2-19 MAVPROXY 轉發架構	2-17
圖 2-20 MISSION PLANNER 操作介面	2-18
圖 2-21 監測站組合圖	2-19
圖 2-22 機庫頂蓋之水平式開合機構俯視圖	2-20
圖 2-23 水平式開合機構局部放大之右側視圖剖面圖	2-21
圖 2-24 頂蓋模組內側定位板與定位塊	2-22

圖 2-25 機庫模組上下夾板固定方式.....	2-22
圖 2-26 底座框架模組組合圖	2-23
圖 2-27 單支角柱組合圖	2-24
圖 2-28 底座框架模組之水流板設計	2-25
圖 2-29 機庫模組與底座框架模組局部放大結合圖.....	2-26
圖 2-30 無人機充電腳位之各方向模擬圖	2-27
圖 2-31 馬達訊號模組之公母磁吸接頭.....	2-28
圖 2-32 電源磁吸模組之公母磁吸接頭.....	2-29
圖 2-33 電池盒內部示意圖	2-31
圖 2-34 監測站電源管理分佈圖	2-32
圖 2-35 太陽能發電系統.....	2-32
圖 2-36 監測站鉛酸電池並聯系統.....	2-34
圖 2-37 監測站內部電源架構圖	2-36
圖 2-38 太陽能板 445W 最大產生 38.5V.....	2-37
圖 2-39 散熱引導設計	2-39
圖 2-40 馬達及槳葉	2-40
圖 2-41 以治具固定 18650 電池組.....	2-41
圖 2-42 18650 電池組擺放順序.....	2-41
圖 2-43 18650 電池組正反面連接方式.....	2-42
圖 2-44 電池平衡板引出線路.....	2-42
圖 2-45 電壓監測點連接位置.....	2-43
圖 2-46 電池組正反面焊接成果.....	2-43
圖 2-47 將平衡板與電池組進行固定並連接輸出端.....	2-44
圖 2-48 電池內部之保護層及散熱板.....	2-44
圖 2-49 電池平衡板連接至電池內部接點.....	2-45

圖 2-50 將保護層及散熱板重新安裝.....	2-45
圖 2-51 絕緣膠帶將電池組進行包覆.....	2-46
圖 2-52 對充電中的鋰聚合物電池進行溫度測量.....	2-46
圖 2-53 18650 單節電池的放電情況.....	2-47
圖 2-54 將充電迴路延伸至無人機支撐腳.....	2-48
圖 2-55 樹莓派與充電迴路控制.....	2-49
圖 2-56 無人機於停機坪充電樁上進行測試.....	2-49
圖 2-57 穩壓板.....	2-50
圖 2-58 BLHELI ESC 的韌體設定介面	2-51
圖 2-59 任務執行時所接收之衛星數.....	2-52
圖 2-60 U-CENTER 2 操作介面	2-52
圖 2-61 加速度計校準介面	2-53
圖 2-62 電子羅盤校準介面	2-54
圖 2-63 ROI 設定	2-54
圖 2-64 輸出通道設定	2-55
圖 2-65 搖控器通道 1 至 10 的上限值分佈.....	2-56
圖 2-66 電池低電壓保護設置.....	2-57
圖 2-67 訊號失聯保護設置.....	2-57
圖 2-68 PID 設定畫面	2-58
圖 2-69 OSD 設定畫面	2-59
圖 2-70 數據傳輸模組設定	2-60
圖 2-71 遙控訊號接收器 S-BUS 通道數據追蹤	2-61
圖 2-72 SIM7600G-H 4G HAT 與樹莓派組裝	2-61
圖 2-73 SIM7600G-H 4G HAT 對應腳位圖	2-62
圖 2-74 RASPBERRY PI 的啟動腳本.....	2-62

圖 2-75 使用 MINICOM 進行訊號強度及 SIM 卡測試	2-63
圖 2-76 將 SIM7600G-H 4G HAT 調整為 RNDIS 上網	2-63
圖 2-77 將 RASPBERRY PI 調整為使用 4G 模組聯網.....	2-63
圖 2-78 方案一使用者控制流程.....	2-64
圖 2-79 SOCKETXP 雲端代理服務管理介面.....	2-65
圖 2-80 方案二使用者控制流程.....	2-66
圖 2-81 REALVNC 雲端代理服務管理介面	2-66
圖 2-82 SIMPLEBGC 設定介面	2-67
圖 2-83 MISSION PLANNER 雲台轉向角度設定	2-67
圖 2-84 任務區域規劃	2-68
圖 2-85 航路圖	2-69
圖 2-86 飛行計畫與航點設定	2-69
圖 2-87 飛行前檢查列表	2-70
圖 2-88 以圖形介面下達 MISSION_START 指令	2-70
圖 2-89 飛行過程中由廣角鏡頭所拍攝的第一視角.....	2-71
圖 2-90 水面反光嚴重	2-71
圖 2-91 使用 MISSION PLANNER 進行地理標計及拼接.....	2-72
圖 2-92 KML 檔案於 GOOGLE EARTH 的預覽	2-72
圖 2-93 機庫模組主體零件	2-74
圖 2-94 機庫模組分段零件	2-75
圖 2-95 軌道凹槽前視圖	2-76
圖 2-96 塑膠抽屜滑軌.....	2-76
圖 2-97 頂蓋水平開合機構.....	2-76
圖 2-98 機庫模組之珍珠板頂蓋	2-77
圖 2-99 珍珠板頂蓋模組之上部	2-78

圖 2-100 珍珠板頂蓋模組之後部	2-78
圖 2-101 頂蓋模組之側邊部件	2-78
圖 2-102 無人機停機坪俯視圖	2-79
圖 2-103 無人機之停機坪充電裝置	2-80
圖 2-104 監測站四支角柱組裝完成圖	2-81
圖 2-105 底座框架模組之橫樑磁吸插銷	2-81
圖 2-106 底座框架模組之橫樑組裝圖	2-82
圖 2-107 底座框架模組之底盤組裝圖	2-83
圖 2-108 樹莓派 4B	2-84
圖 2-109 監測站封板	2-84
圖 2-110 監測站底座框架模組組合	2-85
圖 2-111 機庫模組之訊號磁吸模組腳位規劃圖	2-86
圖 2-112 底座框架模組之訊號磁吸模組腳位規劃圖	2-86
圖 2-113 訊號磁吸公接頭製作流程圖	2-87
圖 2-114 單側訊號磁吸模組完成圖	2-87
圖 2-115 訊號磁吸母接頭製作流程圖	2-88
圖 2-116 電源磁吸模組位置規劃圖	2-89
圖 2-117 底座角柱內置入電源磁吸模組	2-90
圖 2-118 底座電源磁吸模組	2-90
圖 2-119 鋰聚合電池規格	2-91
圖 2-120 銅線芯 14AWG	2-91
圖 2-121 銅石墨烯散熱貼片	2-92
圖 2-122 鋰電池 4S 平衡充電模組	2-93
圖 2-123 未添加與添加散熱片溫度差異	2-93
圖 2-124 電池盒內部佈局	2-94

圖 2-125 溫控設備佈局	2-94
圖 2-126 溫度控制器盒內模擬測試.....	2-95
圖 2-127 溫度控制器盒內散熱測試結果.....	2-95
圖 2-128 PWM 太陽能控制器	2-96
圖 2-129 電源管理流程	2-97
圖 2-130 電池盒內部	2-98
圖 2-131 電池靜置自放電現象.....	2-99
圖 2-132 直流電壓轉換器	2-99
圖 2-133 無人機電池充電測試.....	2-100
圖 2-134 時間計時器控制總電力輸出.....	2-101
圖 2-135 繼電器控制 16.8V 輸出	2-101
圖 2-136 太陽能板支架	2-102
圖 2-137 成品圖	2-103
圖 2-138 太陽能板戶外測試.....	2-103
圖 4-1 充電前無人機初始電壓 14.8V	4-2
圖 4-2 充電後無人機滿電電壓 16.7V	4-3
圖 4-3 監測站組裝完成	4-6
圖 4-4 左右軌道分別測試頂蓋開合.....	4-7
圖 4-5 測試水平滑動單邊頂蓋以修整軌道凹槽公差.....	4-7
圖 4-6 控制步進馬達轉動之片段程式.....	4-8
圖 4-7 停機坪無人機充電導通測試.....	4-9
圖 4-8 磁吸訊號模組導通測試.....	4-11
圖 4-9 馬達電源導通測試.....	4-12
圖 4-10 無人機電池充電時導致過度壓降.....	4-17
圖 4-11 薄板軟式太陽能板	4-18

第一章 緒論

第一節 計畫緣起

臺灣位於歐亞大陸板塊與菲律賓板塊交界上，屬環太平洋地震帶的一部分；且又因地質構造脆弱、地形陡峭，屬於世界高災害風險地區，亦為地震、洪澇及土砂災害等複合災害之好發熱點區域(Dilley, 2005)。近年來在全球暖化氣候異常的影響下，水文極端現象明顯，受災範圍與程度均遠較過去為烈。如何在災害前，先針對其風險進行分析、評估與管理，以提高社會的風險防範能力；並在災害發生時，有效地進行應對與救援，是政府主關機關戮力以赴的重要任務。

「土砂災害」是指陡坡崩塌（坡度三十度以上之坡面崩塌的自然現象。）、土石流（山腹崩塌所產生土石，或溪流內之土石等與雨水混合後流動之自然現象。）以及地滑（土地局部因地下水等原因導致滑動的自然現象或伴隨產生移動的自然現象。）或是河道阻塞形成堰塞湖導致迴水（土石等阻塞河道、造成上游水位昇高的自然現象。）因而造成國民生命或身體的傷害（「土砂災害防止法」）。土砂災害治理的方法可概分為以下五種：

- 一、工程措施：這包括修建防洪壩、擋土牆、地錨、地表排水、地下排水、加固邊坡等工程措施，以減少土砂災害的風險。
- 二、植被恢復：通過植樹種草、修復植被，可以減少水土流失，提高山坡地穩定性。
- 三、土地規劃和管理：規範土地使用，禁止在潛在危險地區興建建築物，確保土地開發的可持續性。

四、早期警報和緊急應對：建立有效的監測和預警系統，以提前通知居民和相關當局，並採取緊急應對措施，如疏散人員。

五、教育和意識提高：提高社區和公眾對土砂災害的認識，教育人們如何在危險情況下行動。

這些方法多數都與「現場監測」有著相當程度的關聯性，例如：土砂災害往往突然發生，若能有持續可靠的「現場監測」資料，可以提供警報，爭取寶貴的應變時間，保護民眾的生命和財產；而再往前追溯土砂災害生成的原因，會發現這些不安定土砂的材料，從生成、運移、堆積到致災，其實還是一個逐漸演變發展的過程，若是能有效評估，及早追蹤，密集監測，可以提供知災、減災、避災的寶貴資訊，防災於未然。只是不安定土砂的材料多出現並活動在地勢陡峭，地質脆弱，交通不便，通訊與電力供應都很少涵蓋的山坡與野溪流域；而土砂災害的發生，更經常是伴隨著颱風豪雨和地震洪澇等複合災害，天候惡劣，調查困難，在在都解釋了為何「現場監測」工作雖如此重要，實施卻也相當困難的特性。

從災害管理的角度來探討「現場監測」工作的重要性，可以參考美國聯邦緊急管理總署 (Federal Emergency Management Agency, FEMA) 所提出的災害管理四階段：

一、減災規劃(mitigation)：透過即時資料的蒐集，監測現場可以提供即時環境資料，以跟蹤潛在的土砂災害風險，包括地質變化、降雨量、地震等，有助於評估預警災害可能發生的時間與空間資訊。

二、災前整備(preparedness)：土砂災害的相關科學與工程研究中，

通過監測資料的分析，可以更好地瞭解土砂災害的機理和特徵，有助於改進治理方法和預測模型。

三、災害應變(response)：環境監測技術的改進，加上過去現場監測的經驗輔助，可提高災點範圍偵測和災害影響程度評估準確性，並在第一時間將災害應變所需的人力與物力做最妥適的調度。

四、災後復原重建(recovery)：監測資料可用於災後評估，幫助確定災害的影響程度和評估需要採取的恢復措施。

總而言之，「現場監測」對於土砂災害治理至關重要，不僅可以提供警報，爭取寶貴的應變時間，所蒐集長時間高頻率的觀察資料，還有助於科學研究和持續改進治理方法，從而降低土砂災害對人們的風險。通過綜合利用工程措施、生態修復、土地規劃和監測預警系統，可以更有效地管理土砂災害的風險。

農業部農村發展及水土保持署（以下簡稱農村水保署），負責推動整體性治山防災及氣候變遷下大規模崩塌防減災，建構社區安全之山坡地防災體系，強化水土保持及防災教育推廣，落實山坡地監督管理，維護山坡地健康安全環境，使人民免於山坡地土石流及大規模崩塌災害之威脅與恐懼。自 1961 年成立以來，就積極投入人力、資源與時間，發展並應用以上所述各種方法，無論是理論或實務上都累積了相當多的經驗。多年來已經建置了各種固定式的土石流觀測站，或可機動部署的土石流觀測車，利用蒐集地聲、地電、影像等手段，發布土砂災害警報，爭取寶貴應變時間，幫助減少損失和拯救生命。同時也透過架設地震儀、傾斜儀、水位計和雨量計等感測器，連續監測

土砂災害的前兆跡象，降低了人員現地調查的風險，有助於制定土砂災害的預警和應急計畫。然而，現有的做法仍受到下列三大限制：

一、監測區域受限：固定式的土石流觀測站僅建置在少數重點地區，且受到電力來源和通訊傳輸的限制；可機動部署的土石流觀測車也還是受到道路交通的限制，無法深入野溪上游的關鍵區域。

二、建置、維護與操作成本高昂：建置一座具有完整配備的土石流觀測站，相當於在偏遠山區蓋一棟配備精密儀器的建築物，經費以數千萬元計。如果儀器故障需要維修或校調，人力與時間的成本負擔沉重。而一部可快速移動，規格特殊的土石流觀測車，造價超過數百萬元，要在災害應變期間駕駛車輛和操作儀器所需要的人事費用，更是驚人。

三、無法快速機動部署：不安定土砂的材料一旦生成，需要及早追蹤，密集監測其運移與堆積演變發展的過程，並根據颱風豪雨預報的路徑和強度，隨時評估其致災的風險，才能滿足監測管理的需求。考量這些災害熱區時間空間的特性，現有的做法無法靈活調度現有的觀測設備，快速機動部署在災害熱區。

科技進步日新月異，新技術、新觀念、新設備和新做法不斷出現，若能善加整合，針對現有限制尋求突破之道，提出創新的想法並加以實踐，正符合農村水保署推動創研計畫的宗旨，也才能滿足氣候變遷下，對於不安定土砂監測管理工作實務上的需求。

無人飛行載具(Unmanned Aerial Vehicle, UAV，以下簡稱無人機)技術快速進步，開發與建置的成本也越發低廉，除了已廣泛應用在對

於時效性要求高的災後緊急應變工作上，其強大的功能與各種可能的潛力，仍不斷被提出和實現。本團隊於 2009 年引進加拿大 MicroPilot 公司的 CropCam 定翼式無人機，並完成兩期飛行與維護訓練後(<https://www.micropilot.com/trainingintegration.htm>)，招募專業飛手組成機隊，成為農村水保署土石流防災中心協力團隊，投入土砂災害後快速獲取災區影像之緊急應變工作。歷年空拍任務除累積厚實的飛行經驗外(2013 至 2023 年累計飛行超過 400 架次)，相關技術應用亦已於國際專業期刊發表(C. C. Liu, Chen, Matsuo, & Chen, 2015)。

本團隊亦持續積極開發無人機的創新應用，於 2016 年執行農村水保署委辦的「無線感測雨量計開發與設置研究」創研計畫，開發無人機的定點佈放與回收技術，並且提升飛行載重量，設計新感測器元件及軟體，建立具經濟效益的無線感測雨量計。在深山地區、人煙罕至的高山進行雨量監測任務。對於自行設計組裝無人機，並使用 Arduino 開源嵌入式硬體平台開發特定控制與通訊功能，已累積實務經驗。2018 年開始執行台北市大地工程處委辦「臺北市無人機空拍套疊水土保持圖說可視化應用委託專業服務案」，獲得「2020 領航盃-無人機創意應用大賽」之優選獎，驗證了空拍成果套疊水保設計圖技術對於工程進度管考與檢核是一項創新而有效的方法。

本計畫擬整合多年來在無人機應用與開發所累積的技術和經驗，設計並建置一套完全由無人機搬運、部署、和維修的「不安定土砂智能與模組化監測站」(Intelligent and modular station, IAMS)，克服現有做法在監測區域受限，建置、維護與操作成本高昂，以及無法快速機動部署的三大限制。滿足全球暖化與極端氣候威脅下，不安定土砂監測與管理工作對於「現場監測」的迫切需求。

第二節 計畫目標

本兩年期計畫預期分年達成以下具體目標：

一、第一年：

(一)、設計並組裝一架無人機，可收納於 IAMS，遠端接受包含飛行路徑與取像坐標的飛航任務，讓 IAMS 監測的空間範圍擴增為無人機之續航與巡弋範圍。

(二)、設計並建造一個機庫模組(hangar module)，結合電源模組(power module)自主供給並管理 IAMS 運作所需的電力，讓 IAMS 監測的時間範圍從過去單次任務，擴增達數週甚至數月的期間，以滿足不安定土砂動態監測的需求。

(三)、設計並建造一個通訊模組(communication module)，使使用者便於規劃上傳飛航任務，並回傳檢視空拍照片，以利比對分析。

(四)、組合完成 IAMS，並實際部署於理想觀測位置，以評估整體性能與可靠性。

二、第二年：

(一)、設計與製作氣象監控模組。

(二)、設計製作可無人機搬運、串接、和維修各模組之智能機構。

(三)、建立由無人機搬運、部署、和維修 IAMS 的標準作業程序。

(四)、應用 IAMS 於不安定土砂監測與管理工作之可行性評估。

第二章 工作執行方法與步驟

第一節 工作執行方法

由於本計畫目標為於高雄市桃源區玉穗溪下游部署 IAMS 進行測試與驗證，且透過整合各功能模組與自主開發之無人機，於未來執行不安定土砂之動態監測任務，故依照欲達成之目標，本計畫相關的開發內容包含：無人機、智能與模組化監測站以及電力系統，其工作執行方法以下將分別敘述之。

一、無人機設計與組裝



圖 2-1 無人機整體

本計畫之無人機需靈活執行多種任務，包括日常巡視以建立基線資料、災前評估以監測潛在崩塌風險，以及災後實時監測以提供救援和應變行動的關鍵信息，故針對任務需求進行設計，並購置合適之元件以組裝一套可持續運行，並且可以收納於監測站之無人機為本計畫

之核心，如圖 2-1。除此之外還要滿足可遠程操作以及具備一定的自主能力，並且在符合以上目標的情況下盡可能縮小體積。為了便於設計，本計畫將無人機之具體架構細分為以下幾個部分，硬體架構、飛行控制系統與韌體、相機與雲台系統、影像傳輸與通訊系統、地面控制站。

(一) 硬體架構

硬體架構是無人機的基本實現部分，其設計直接影響了無人機的性能，其中包括續航能力，可飛行高度，載重能力等性能，這些會直接影響無人機可以巡航的範圍，對於目標區域的監測時間等等，換言之其決定了無人機在執行區域監測或災前評估任務時的效率。為了便於說明，本段將無人機的硬體部份分為以下三個部份做講解；結構框架主要內容包括機架的選用各組件的布局規劃等等，動力系統包括馬達及旋翼的規劃，電源系統的內容則包含電池、電池平衡板、充電樁、電源保護板，ESC 的規劃。

1. 結構框架

為了盡可能使監測站的體積縮小以便於收納及搬運，如圖 2-2 所示，本計畫壓縮無人機之機架大小，並且考量到安裝雲台與相機等設備之需求，且為螺旋槳預留足夠的空間，故最終將機架的大小設計為 380mm，這個大小剛好足夠安裝 10 吋的螺旋槳，同時又不會影響到無人機中央的設備。

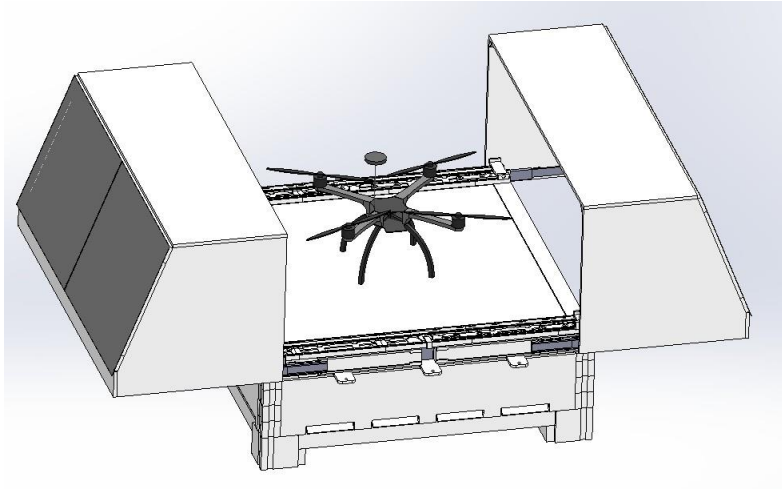


圖 2-2 無人機收納於監測站之設計圖

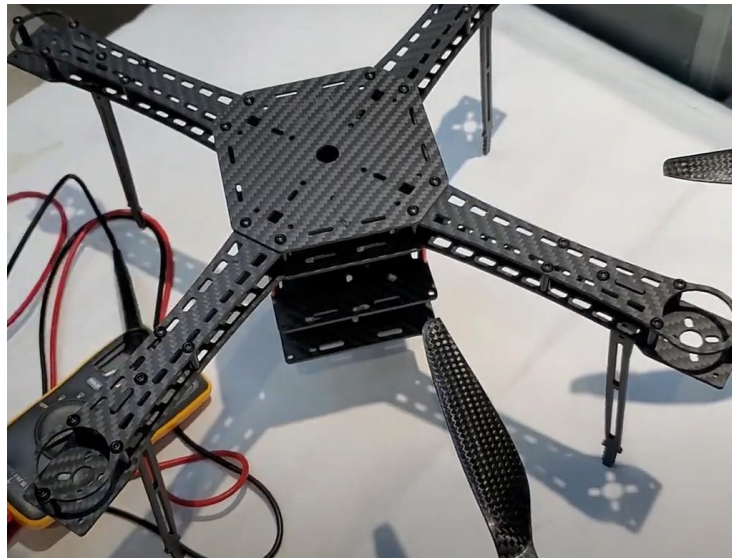


圖 2-3 碳纖維機架

機架材質選用碳纖維，如圖 2-3，其可提供較強的結構強度，同時也能節省較多的重量，以提高無人機的續航能力，故整機重量為 258 克。另外，為了避免馬達與機身產生共振，影響無人機的穩定性及飛行安全，機架採用了雙層結構中間採用鋁合金做連接。另外，機架本身設計了多處簍空，如圖 2-4 所示，在節省重量的同時為下方的設備提供了良好的散熱，讓螺旋槳產生的風流可以得到充分的利用。



圖 2-4 雙層支架與簍空

最後本計畫於無人機最上方安裝一個小型雙層平台，如圖 2-5，用以安放各項設備，讓整體的佈局及走線更加整潔，由於這個部份不需額外受力，因此使用 3D 列印進行製作，其設計圖如圖 2-6，且透過較有韌性之 PLA 材料打印出較薄的板面以節省重量。

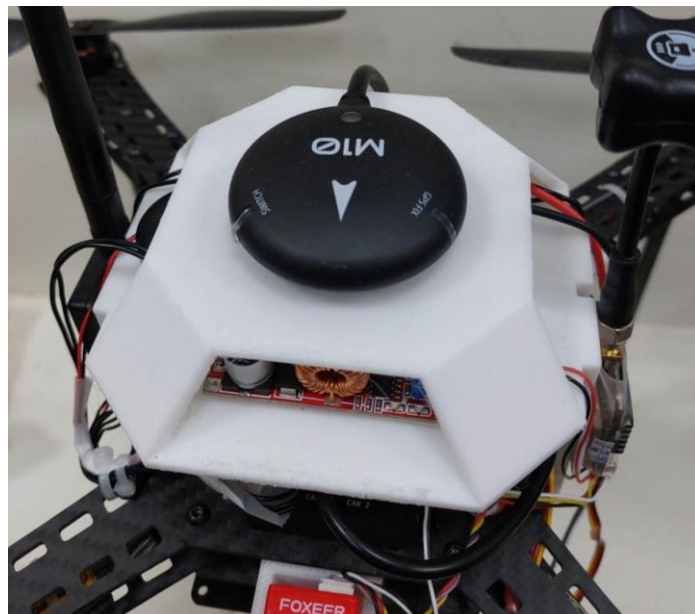


圖 2-5 頂面平台

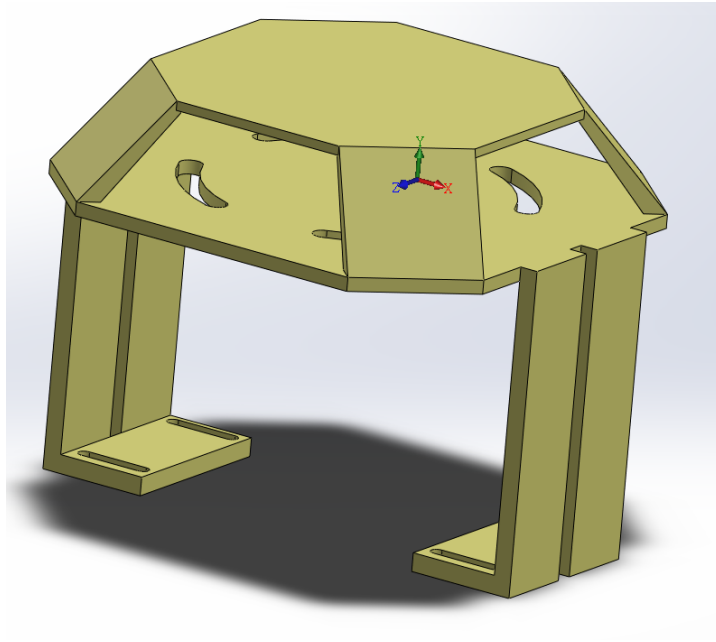


圖 2-6 頂面平台設計圖

2.動力系統

由於需要對目標區域進行長時間的監控及跟蹤，無人機不只需要續航能力還會需要攜帶不少設備，故本計畫盡可能使無人機有更好的續航能力以及確保其能攜帶一定重量之設備。

而透過工程軟體(Himax Calculator v235)及大量的計算，最終決定使用低速高扭矩之馬達配上較長螺距的螺旋槳來設計動力系統，如圖 2-7 可得知，隨著帶動螺旋槳所需的電流增大，其效率會持續向下減少，但這當中存在一個誤區，即當採用最佳效率搭配時可發現，此時單顆馬達提升之升力約 240 克左右，合計四顆馬達載重約 1 公斤，此結果不符本計畫之任務需求。

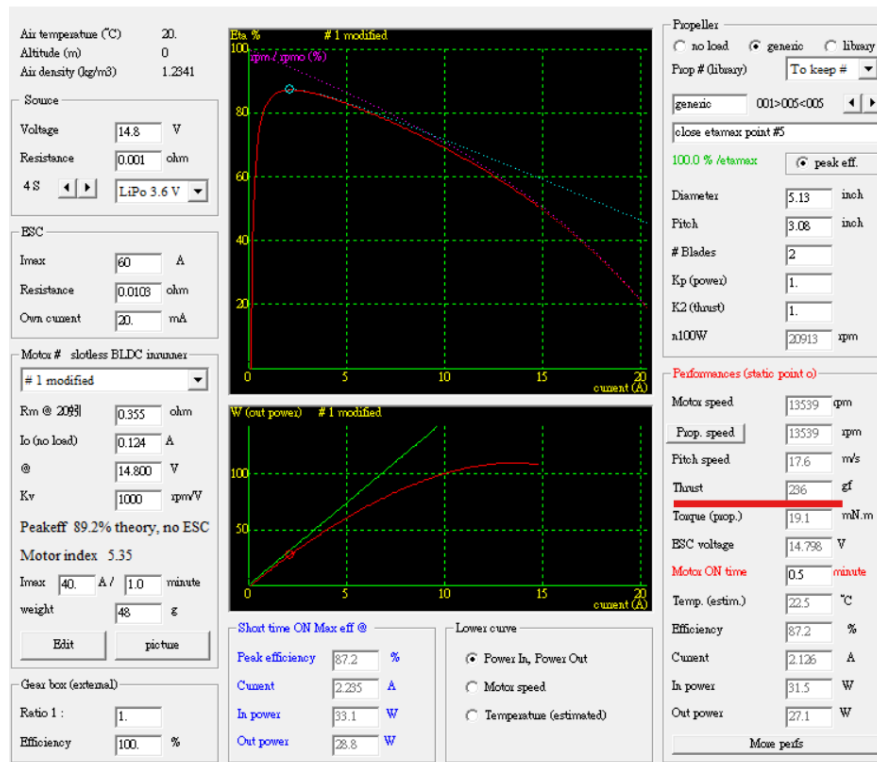


圖 2-7 低升力與效率曲線圖

然而，若使用更長螺距以及更大之螺旋槳，雖會犧牲部份效率但載重則可達到單顆馬達 960 多克，如圖 2-8，最終四顆馬達共可提供近 3.9 公斤之升力，扣除無人機約兩公斤左右之自重，尚能額外再攜帶約 1.9 公斤左右之額外設備或電池，並且能量效率落在 56% 左右，而其懸停時間則達到了 12 分 40 秒，使無人機在執行任務時有更多選擇與靈活性。

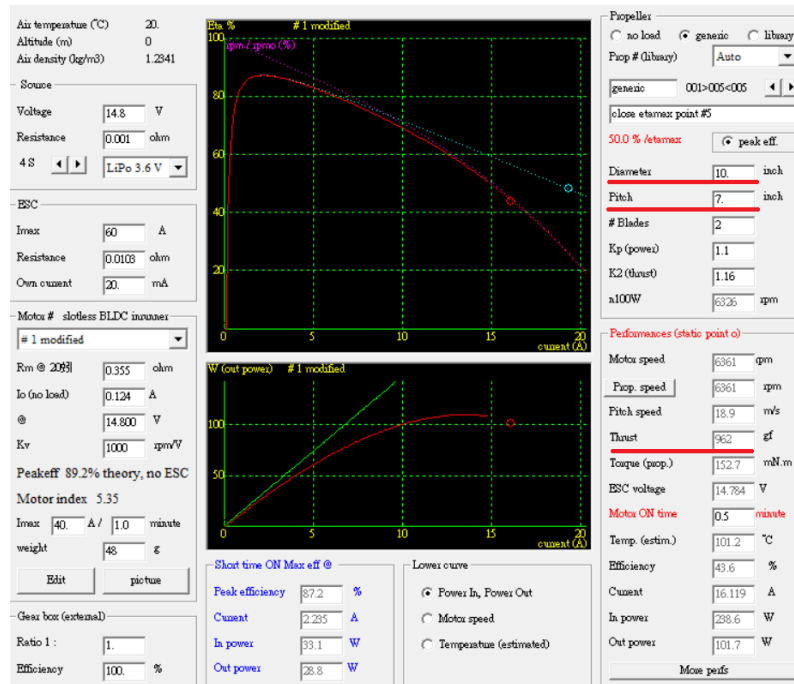


圖 2-8 高升力與效率曲線圖

3. 電源系統

根據動力系統之需求可設計電源系統，如圖 2-9 所示。為滿足馬達所需之電壓，電池採四顆串連之鋰聚合物電池(4s Lipo 電池)，其電壓為 14.8 伏特，電池容量為 4000mah，充放電率為 60c，單顆重量為 360 克，同時為因應長期的任務需求，本計畫為無人機設計了一套充電電路，並為電池裝配了異口充放電之電池平衡板對電池進行電壓再平衡，其規格為 4S 最大電壓 16.8V，異口充放電，最大電流為 80A，具有過充電及過放電保護，如圖 2-9，以及四個 40A 之電子速度控制器(Electronic speed controllers，簡稱 ESC)供動力系統使用，而飛行控制器可透過 ESC 對馬達進行調速以調整飛機的姿態。

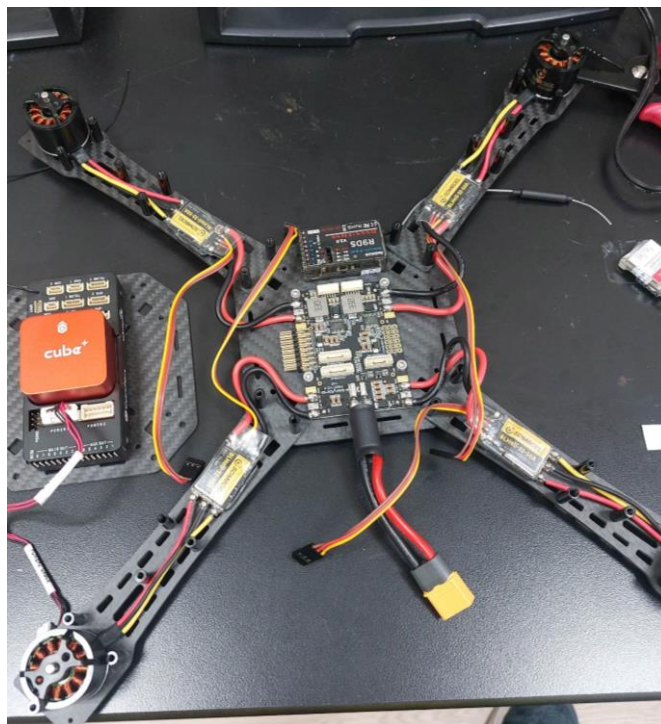


圖 2-9 電源系統佈局

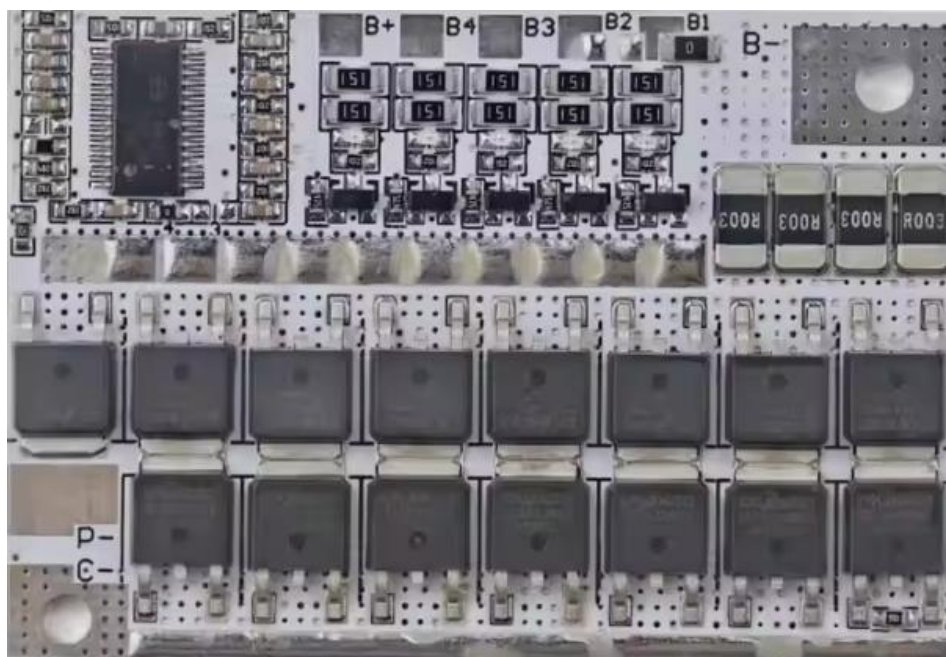


圖 2-10 電池保護板

最後再綜合無人機之結構框架，動力系統以及電源系統等上述資料便可估算出整架無人機之綜合性能，如表 2-1，由此便可得出無人

機之剩餘載重及單程飛行距離。剩餘載重關乎到無人機可額外搭載之設備重量，包含機載電腦，相機及雲台等等，而理論最大單程飛行距離為 8.9 公里，其決定了無人機之巡航覆蓋範圍。

表 2-1 無人機綜合性能表

懸停效能		最大油門效能		整體效能	
懸停時間	12.68分鐘	飛行時間	3分鐘	正常使用	9.9分鐘
油門百分比	0.506	總升力	47 N	整機重量	2 公斤
電調電流	3.9安培	電調電流	17.1安培	剩餘載重	1.91 公斤
電機轉速	5296.4轉/分	電機轉速	8198.2轉/分	最大起飛海拔	5.48公里
電機輸出功率	36.7瓦	電機輸出功率	136.2瓦	最大傾斜角度	59.2°
電池輸出電壓	16V	電池輸出電壓	15.3V	最大平飛速度	24.2米/秒
電池輸出電流	16.1安培	電池輸出電流	68.4安培	單程飛行距離	8.93公里
能量效率	0.565	能量效率	0.493	抗風等級	7級

(二) 飛行控制系統與韌體

飛行控制系統可說是無人機核心部份，其影響無人機之姿態控制、定位還有導航，以及接收使用者的指令並解讀，這些直接影響了無人機的可操作性以及能否完成任務，另外飛行控制器的選擇也會直接影響後續韌體的選擇以及硬體的開發，本段將飛行控制系統分為兩個部份作介紹，一個是無人機的導航系統，其包括 IMU 以及 GNSS 之規劃，另一個則是飛行控制器，其內容包括飛行控制器以及韌體的選用。

1. 導航系統

為達成無人機自動化執行之區域監測及跟蹤等任務需求，故導航系統是不可或缺的，其主要由三個部份所組成，包含慣性測量單元(以下簡稱 IMU)、全球導航系統(以下簡稱 GNSS)以及電子羅盤。IMU 主要告知飛行控制器無人機現在的姿態，而 GNSS 用以獲取無人機之具體位置，電子羅盤則提供無人機的朝向，三者相結合便可以組成一

套導航系統，本計畫之無人機共配備兩組 IMU 以及一個 GNSS 和三個電子羅盤，其中兩組 IMU 和一個電子羅盤內置於飛行控制器中，一個電子羅盤內置於 GNSS 模組，如圖 2-11，另外再加上一組外置電子羅盤。



圖 2-11 GNSS 模組

2.飛行控制器 Pixhawk

本計畫採用 Pixhawk 作為無人機之飛控系統，如圖 2-12 所示，該開源飛控系統具有多項關鍵功能和優勢，對實現監測和預防目標至關重要，Pixhawk 系統的主要特性包括：



圖 2-12 Pixhawk Orange Cube+

(1)姿態控制：Pixhawk 飛控系統能實現高精度姿態控制，確保無人機在不安定土砂區域的穩定性，有利於獲取高質量的監測數據。這一功能對於在複雜地形和環境條件下進行精確觀測至關重要。

(2)PID 控制：搭載比例-積分-微分（PID）控制算法，能自動調整飛行載具的姿態和行為，提高執行飛行任務時的響應性和穩定性。這種精確的控制機制使無人機能夠適應不同的飛行條件，保證數據採集的準確性。

(3)MavLink 通訊協定：通過此協定 Pixhawk 可與地面站或其他設備進行數據通信，實現飛行任務的設定、監控和實時參數更新。這種實時通信能力對於動態調整飛行計劃和即時回傳關鍵數據至關重要。

(4)開源系統優勢：Pixhawk 的開源特性提供了高度的可客製化能力，使計畫團隊能根據土砂研究的特殊需求進行修改和優化，以達到最佳性能。這種靈活性使得系統可以不斷升級，適應新的計畫需求和技術發展。

採用 Pixhawk 系統不僅提高無人機的飛行性能和數據採集能力，還為未來的系統擴展和功能升級提供了廣闊的空間，有助於本計畫在長期監測和災害預防方面取得更好的成果。

(三) 相機與雲台系統

相機是無人機執行監測任務之重要部份，其會直接影響航拍圖片的解析度、曝光等等數值，進而影響後續的套圖及分析，而雲台系統則是用於相機之穩定，進而確保圖片的品質，避免畫面產生晃動、殘影等情形使的後續分析難以進行，以下將各別說明。

1.相機

考量到本計畫對於地面影像有較高之解析度需求，故採用 1600 萬畫素之相機，其型號為 FireFly 8se，支援之記憶卡容量為 128G，其重量為 76 克，而規劃無人機之飛行高度約 100 公尺左右，除此之外，也盡可能選用較輕型之相機以提升續航能力，如圖 2-13。



圖 2-13 相機 FireFly 8se

2.雲台

本計畫之影像預計皆採用俯視角拍攝，故選用之雲台為兩軸電機，型號為 Hac H2，定位馬達則採用 2206 160KV，使用 SimpleBGC 韌體，重量 145 克，如圖 2-14，雖與一般三軸雲台相比缺少部分之自由度，但由於任務特性，實務上僅兩軸便可達到需求，同時兼具雲台本身之可維護性，並且省下部份重量以延長無人機之滯空時間。



圖 2-14 兩軸電機雲台

雲台的韌體採用 SimpleBGC，其優點在於可直接連接至飛行控制器，並且支援兩種控制模式，一是直接使用 PWM 訊號進行控制，此種方法較簡易，而另一個則是 SimpleBGC 較為強大之部份，其可支援 Mavlink 通訊協議，對雲台之操作上有更大的靈活性。

(四) 影像傳輸與通訊系統

影像傳輸對於操作者來說非常重要，不僅提供使用者無人機前方之影像，還能透過 OSD 顯示其各種關鍵數據。通訊系統則是傳達操作指令之重要部份，其功能包含數據傳輸模組負責將地面站訊號傳送，遙控器之訊號則由 2.4G 之訊號接收器負責收發。

1.影像傳輸

為使操作者可遠程查看無人機之任務執行狀況，故其額外加裝一套 FPV 系統，可及時回傳無人機之第一視角影像，此部份由兩個部件所實現，如圖 2-15，一個為廣角鏡頭，型號為 Foxxer Cat 3，分辨率 1200TVL，搭配 125 度廣角，重量為 12.2 克；而另一個則為類比訊號圖傳，型號為 VT5801 V2，工作頻率 5.8G，最大功率 600mw，重量為 19 克。廣角鏡頭及類比訊號圖傳所回傳之畫面雖會產生形變及雜訊，但由於此部份不需參與圖像辨別，而是以盡可能快速地提供資訊給操作者做參考，故本計畫盡可能追求更廣更全面之畫面，以及更低的延遲，在這兩點上廣角鏡頭與類比訊號圖傳是不二之選。

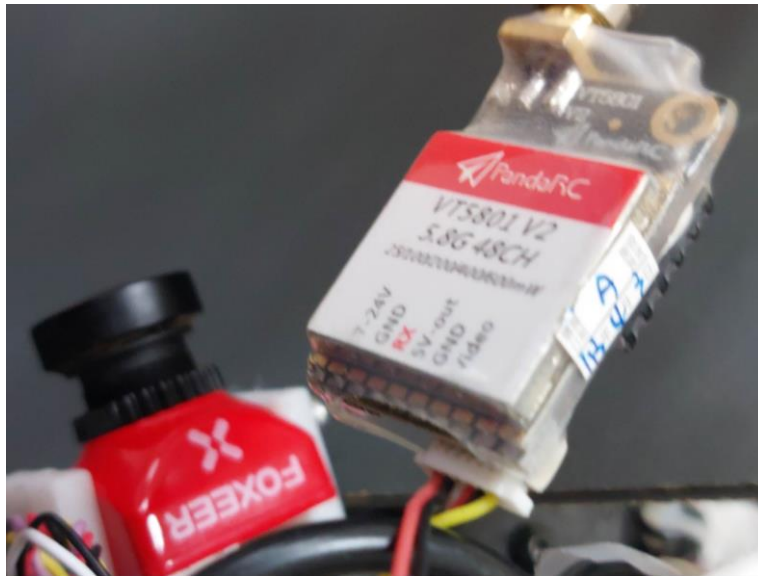


圖 2-15 類比訊號圖傳與鏡頭

2.通訊系統

通訊系統主要負責將飛行控制器的資訊傳達給使用者，同時也將地面站及操作者之指令傳達給飛行控制器，其包含三個部份，一個為 2.4G 遙控訊號接收器，型號為 R9DS，工作頻率為 2.4G，通道數量為

9 個，重量為 10.5 克，如圖 2-16；另一個則是數據傳輸模組，型號為 SiK Telemetry Radio V3，工作頻率為 915Mhz，最大功率 500mW，重量為 23.5 克，如圖 2-17。最後一個則是 4G 通訊模組，型號為 SIM7600G-H 4G HAT，工作電壓為 5V，最大 Baudrate 為 4Mbps，如圖 2-18，其具有 GPS 定位、遠程控制和數據傳輸等功能。應用範圍包括無人機、物聯網設備、智能車輛等。

其中遙控訊號接收器在後期執行任務時為非必要，主要是為了在各項測試中確保安全性，故會由專業的無人機飛手來輔助，避免出現意外情況，由於其主要是接收遙控器訊號，遙控距離僅 1 至 3 公里，故在實際部署於觀測區域後，無人機將由數據傳輸模組來傳遞訊號，而遙控訊號接收器則會做為一套備源系統存在。數據傳輸模組則是傳達地面站資訊之主要部件，安裝於監測站後，其將具備一個小型地面站的功能，可透過數據傳輸模組實現與無人機的溝通，而 4G 通訊模組則負責將 Raspberry Pi 上的所有資訊以 4G 訊號轉達給使用者，同時以同樣的方式接收使用者的操作訊號，以此達成遠端操作監測站的功能。



圖 2-16 遙控訊號接收器



圖 2-17 數據傳輸模組



圖 2-18 4G 通訊模組

(五) 地面控制站及其架設硬體

地面控制站是直接面向操作者的操作介面，其可顯示無人機現在位置、姿態、高度以及各種詳細資料，使用者還可透過其下達各項指令給無人機，除此之外也能透過地面站預先規劃飛行路徑使無人機按既定路線執行任務，對於區域監測任務來說是非常重要的環。

1.地面控制站

本計畫之地面控制站使用的是開源軟體 Mavporxy 及 Mission Planner，這兩者在功能上各有優點。首先是Mavproxy，其占用的容量較小且可適應多種平台，如Windows，MacOS，以及 Linux base 等各種系統，同時亦兼具轉發功能，能夠將其他地面站之指令以Mavlink消息轉發至飛行控制器或其他地面站，如圖 2-19 所示，進一步可讓任務跨系統運行，提升開發之靈活性及效率。

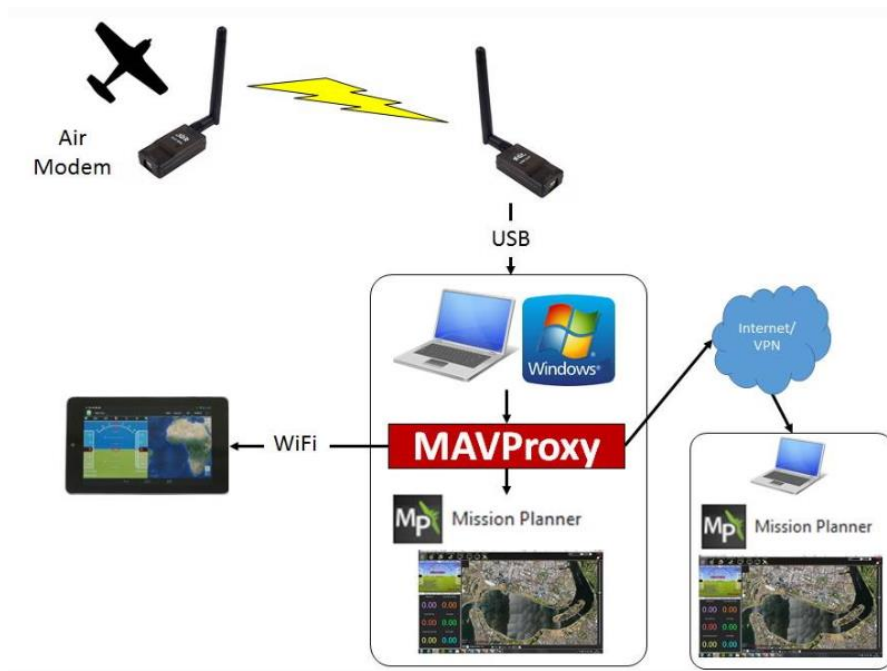


圖 2-19 Mavproxy 轉發架構

而 Mission Planner 則具備良好之圖形化界面及全面的功能，如圖 2-20。透過它使用者能更便捷地規劃任務路徑及無人機的各项參數，再者，其介面可高度自定義，充分顯示使用者需要的各項訊息，同時提供各種校準方案，大量簡化校準無人機的步驟及時間。

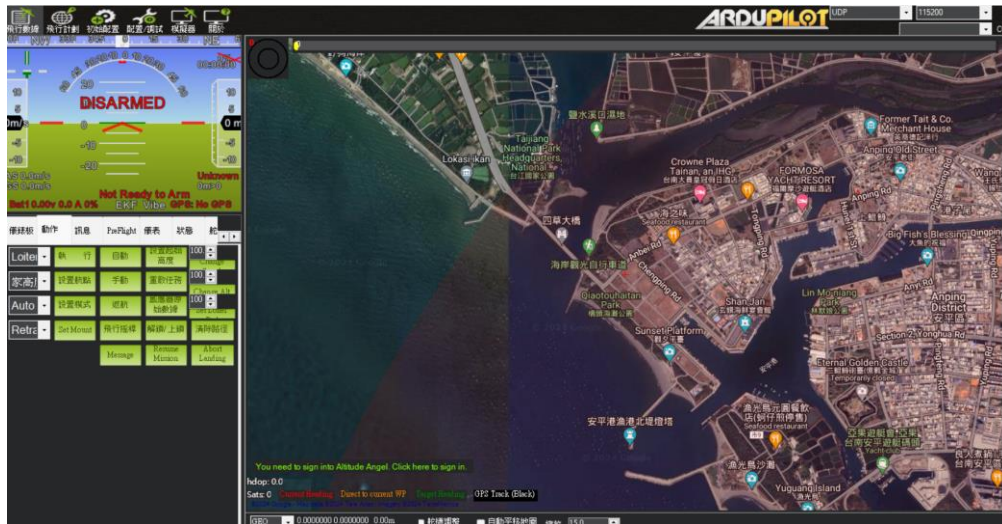


圖 2-20 Mission Planner 操作介面

2.架設之硬體

本計畫之地面控制站共有三個部份，其中使用者直接操作的介面為架設在 Windows11 作業系統的筆記型電腦之 Mission Planner，而另一個則是安裝了 Mavproxy 做消息轉發的 Raspberry Pi，其作業系統為 Debian GNU，而兩者之間透過 SIM7600G-H 4G HAT 通訊模組進行溝通。

二、智能與模組化監測站開發

本計畫之智能與模組化監測站(以下以 IAMS 或監測站簡稱)主要透過整合各不同模組，包含：機庫模組、底座框架模組、通訊模組、電力系統，以及搭配無人機來實現於災害熱區做實地空拍任務與現場監測。為了能達到於野外地區能進行快速且方便地零件更換與後續的維護，故各模組的設計核心理念為：輕量化、快拆性，同時在開發階段亦要確保設備的可靠性，因此本計畫將監測站本體拆分成機庫模

組、底座框架模組、停機坪模組與快拆接頭的設計，其組合圖如圖 2-21，各模組之尺寸與重量，如表 2-2 所示，以下將分別說明其設計方法：

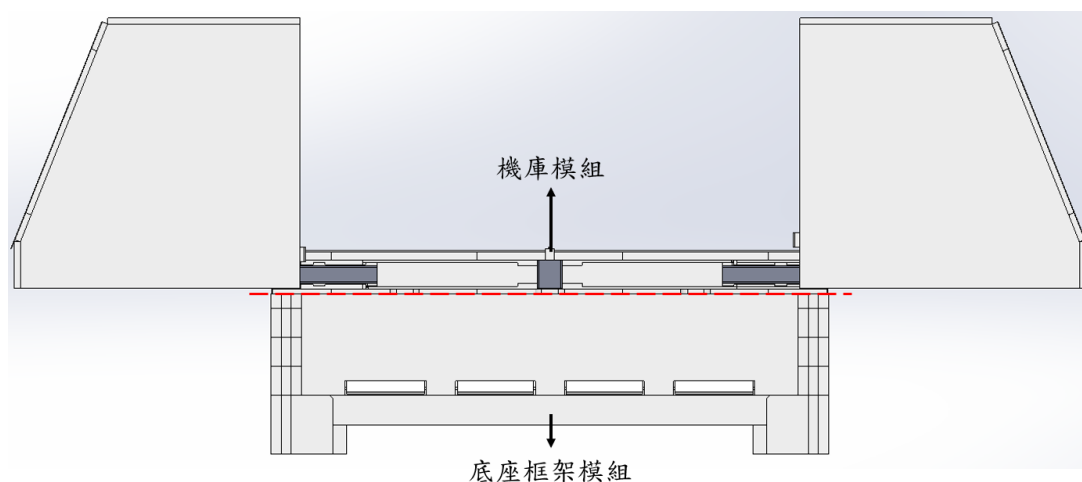


圖 2-21 監測站組合圖

表 2-2 監測站各模組之尺寸與重量表

模組名稱	最大尺寸(長*寬*高, 單位:mm)	重量估算(g)
機庫模組	1134*954.3*87	3101
頂蓋模組	1072*490*464	600
底座框架模組	1034*958*275	4468
停機坪	850*850*58	474
馬達訊號磁吸模組(公接頭)	160*50*21.2	84
馬達訊號磁吸模組(母接頭)	160*41.9*25	67
電源磁吸模組(公接頭)	32*32*13.2	13
電源磁吸模組(母接頭)	31.5*31.5*6	6

(一) 機庫模組設計

考慮到監測站將會放置於山坡地形上，因此在此種環境下的耐候性和機動性變得尤為關鍵，故本計畫開發出輕量化與防潑水的結構設計，並備有開合功能之機庫頂蓋模組，使無人機外出空拍任務時更加方便快速，每當需執行飛行任務時，即打開機庫頂蓋，使無人機起飛升到預定拍照高度，再關閉頂蓋；而當任務結束時，頂蓋將會打開，使無人機降落至機庫內，再將頂蓋關閉，以保護其免受環境因素的影響。而頂蓋開合模組可使用防潑水材質，如此可保護內部各元件免受潮損壞，同時有助於減輕整體重量。

為了確保操作的簡便性、穩定性與後續設備之維修保養，頂蓋開合的機構動作原理應盡可能簡單而可靠，確保其元件在長時間運行中能夠保持高效運作，減少故障和維修成本，故本計畫採用水平式橫向開合，透過兩顆步進馬達搭配齒輪齒條機構來驅動頂蓋模組，如圖 2-22 所示。

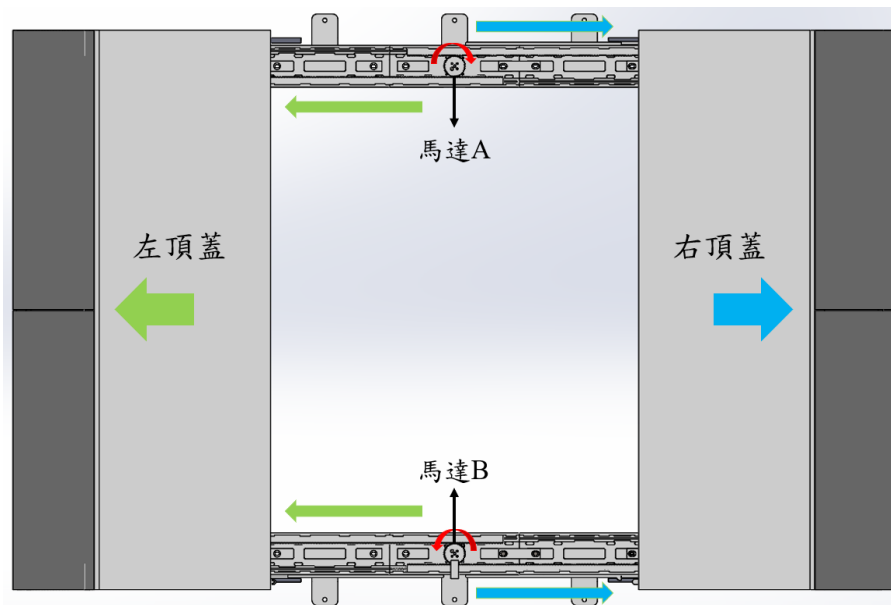


圖 2-22 機庫頂蓋之水平式開合機構俯視圖

馬達軸上套上齒輪，而一個齒輪會連接兩個齒條，如此當馬達 A 順時針旋轉、馬達 B 逆時針旋轉時，頂蓋會因齒輪帶動齒條的緣故而打開，反之，則會關上。再者，為減輕馬達負擔，於此機構當中設計鋼珠槽，如圖 2-23 所示，利用鋼珠滾動優點減少齒條在滑動時的摩擦阻力。

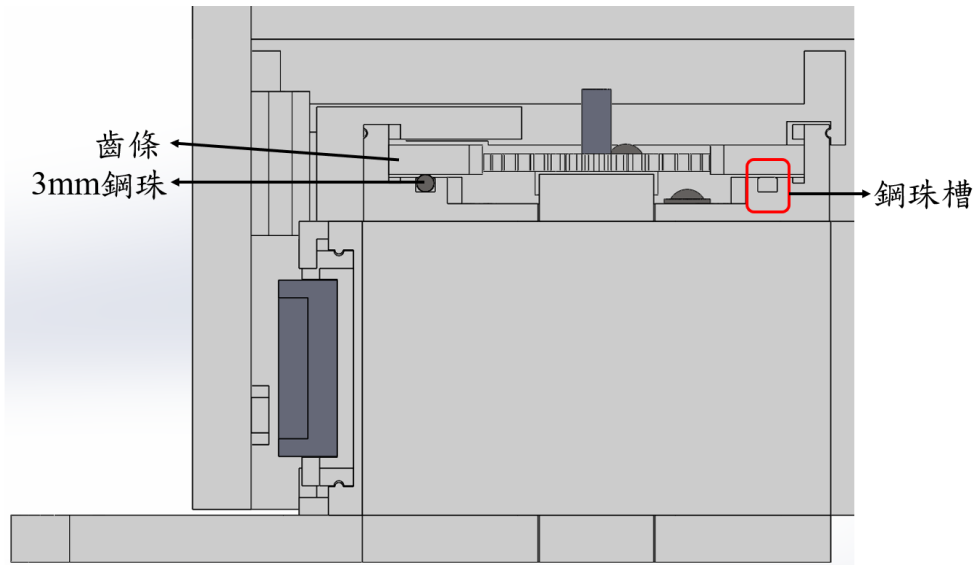


圖 2-23 水平式開合機構局部放大之右側視圖剖面圖

而頂蓋之高度需高於無人機最大高度，以免在開合過程中產生干涉，此外，考量到組裝方便性與簡易更換零件，於頂蓋中加入磁吸設計。再者，於內側設計定位塊與定位板，使其在水平開合過程中能與齒條保持平行，減少馬達負擔，如圖 2-24。

而在機庫模組結構上，考量到未來可能有無人機吊掛的需求，因此為確保機庫模組整體的強度，採用上下夾板之設計方法，將機庫模組主體材料夾於其中，並透過安裝插銷於主體內使其上下板能透過螺絲鎖固，如圖 2-25 所示，減少在吊掛時會產生變形之風險。

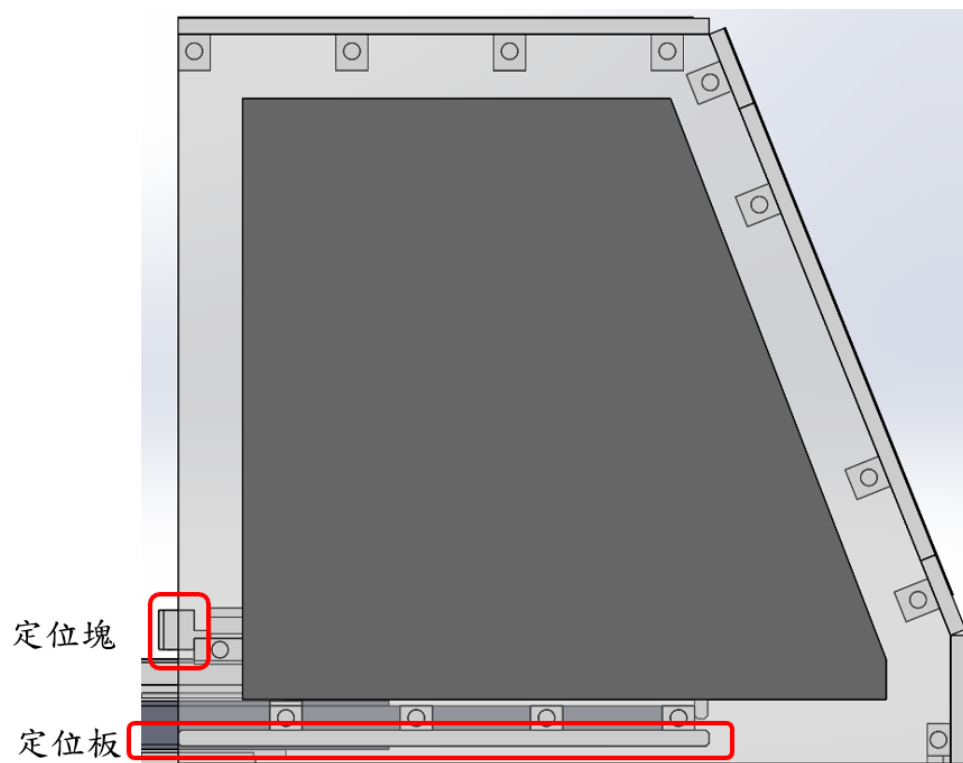


圖 2-24 頂蓋模組內側定位板與定位塊

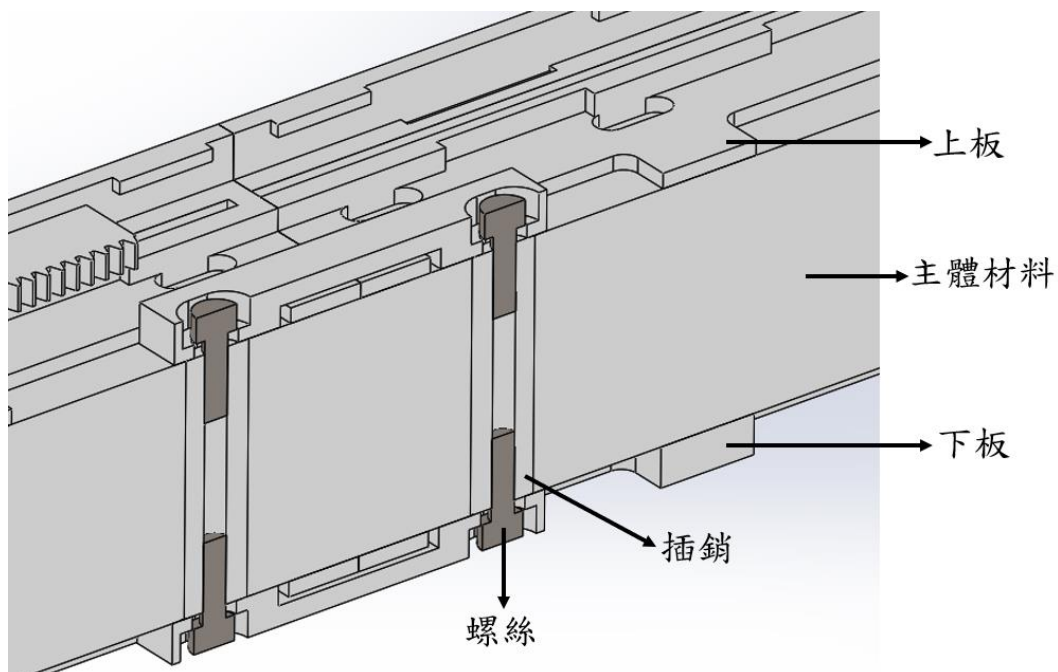


圖 2-25 機庫模組上下夾板固定方式

(二) 底座框架模組設計

由於底座框架模組包含停機坪為整個監測站的結構核心，其將會與機庫模組做結合，故需承受來自上方機庫模組與無人機的重量，因此其設計重點包含：**結構強度**、**整體水密性**以及**跟機庫模組的對位**，以下將分別說明。

結構強度：考量底座框架為受力最多的部分，因此整體設計由四支角柱與諸多橫樑所形成一方型結構體，如圖 2-26 所示。另外，由於停機坪體積較大，為避免其向下凹陷，底下設計多支橫樑做為支撐，而監測站之控制器、電池盒……等核心零件由於置於底盤上，故為避免底盤變形，於其下方亦設計多支橫樑用以增加支撐力。而框架的四支角柱，透過類似樂高的組合式概念，將單支角柱拆成好幾塊零件，如圖 2-27 所示，提高未來若有底座高度增加需求的可行性。在整體組裝框架上，考量其方便性、零件易更換與後續可能的吊掛作業，故採用大量的磁吸設計，簡化組裝難易度。

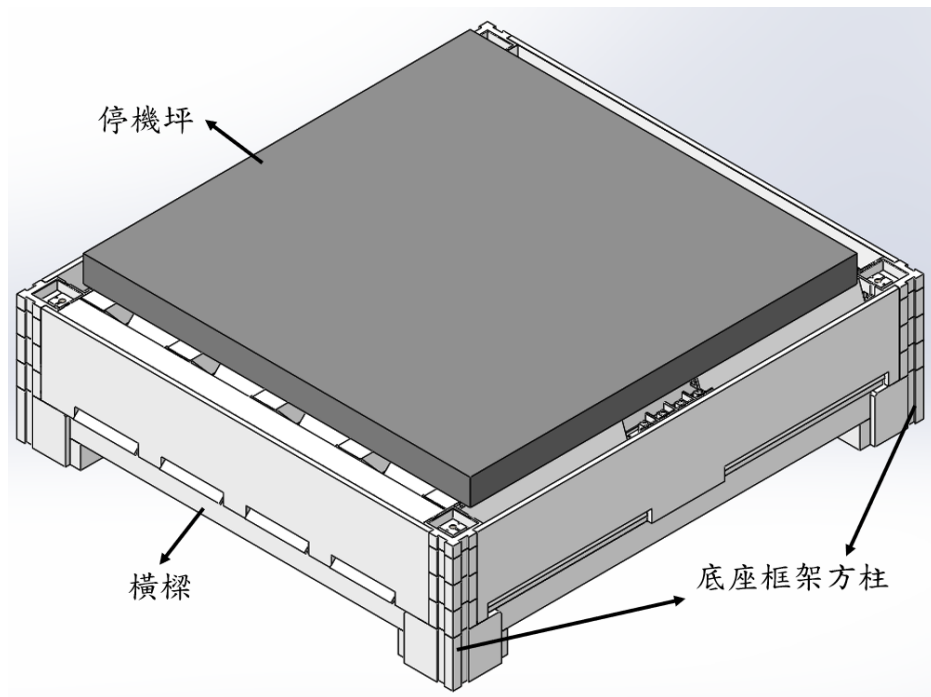


圖 2-26 底座框架模組組合圖

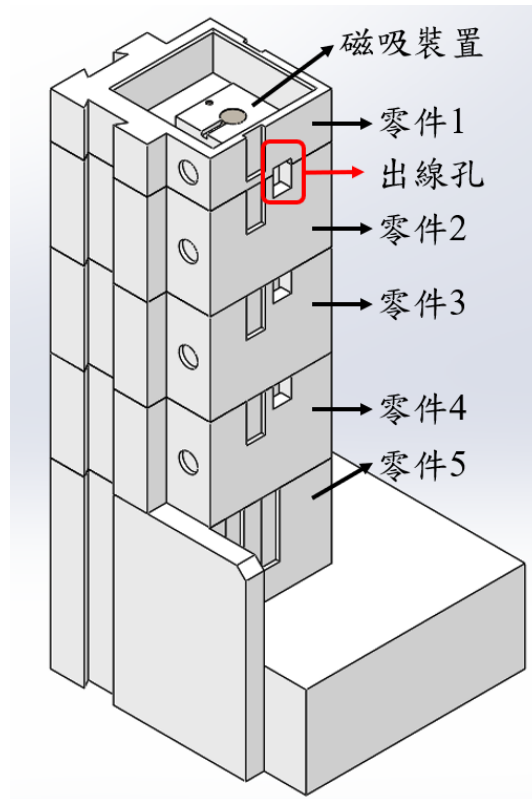


圖 2-27 單支角柱組合圖

整體水密性：由於本計畫之監測站部署區域大多為野外崩塌地附近，為確保設備能在野外長時間運行，故設備之水密性相對重要。因此本計畫主要針對防潮與防潑水的部分來做設計，透過安裝擋板於機庫頂蓋以及設計控制模組外蓋來阻擋雨水的噴入，而底座框架則是備有水流板使不慎流入監測站內部的水能夠透過水流板斜面將其排至出水孔排出，如圖 2-28。另外，底盤各控制元件與電池盒均設計外蓋以阻擋水的滴入，底盤亦增高與地面距離，達到防朝露水的效果。

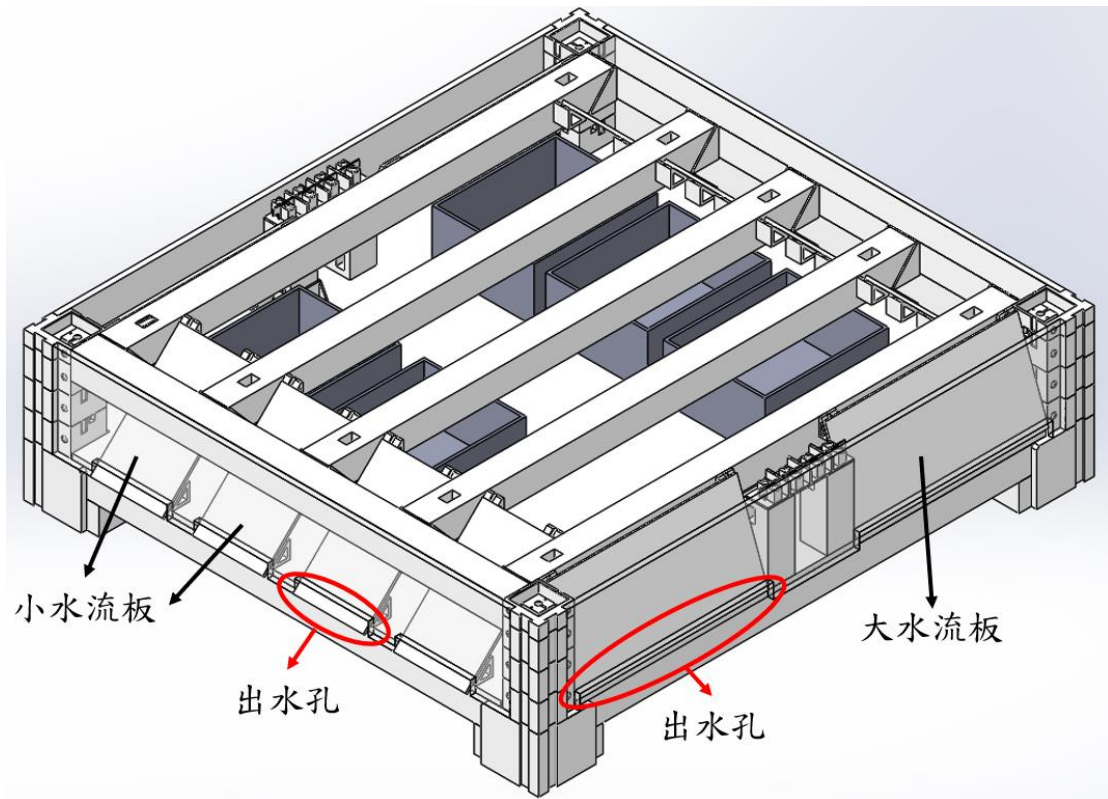


圖 2-28 底座框架模組之水流板設計

與機庫模組之對位：考量監測站主要拆分成機庫模組與底座框架模組，因此二組之對位結合就顯得重要，如此才能確保馬達訊號與其驅動電源能與底座控制器與監測站電池電源相連，使機庫頂蓋開合能照預期指令動作。綜合上述，將插槽概念與磁吸原理結合，於各自模組設計結合裝置，其安裝位置分別在機庫模組下方與底座框架模組之角柱內，如圖 2-29。此外，為增加對位成功率，角柱內的開槽尺寸需大於機庫模組之磁吸公頭尺寸，增加容錯空間，同時機庫模組與底座框架模組之停機坪需保有一定之公差範圍，以利二者在上下組裝時，得以順利結合。

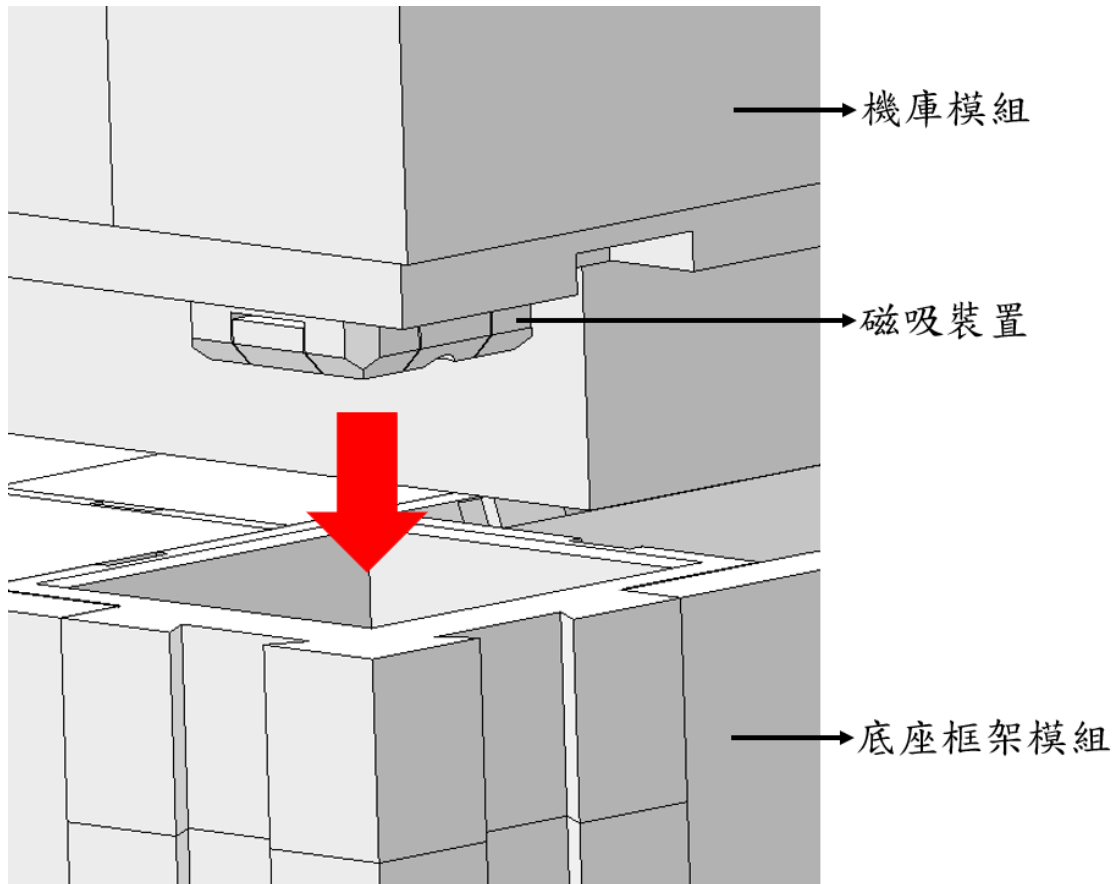


圖 2-29 機庫模組與底座框架模組局部放大結合圖

(三) 停機坪模組設計

考量到本計畫之無人機於野外執行完空拍任務後需進行自主充電，故停機坪之設計需包含無人機充電裝置，使其降落後能於其表面進行充電。此外，設計時需考慮搬運方便，易於維修等前提，故本計畫採用磁吸原理，於停機坪表面貼覆帶磁性薄片，並焊接正負電源線作為無人機電池之電源輸入，同時考慮降落時因周圍環境風的因素可能造成的飛機位置偏轉，故於設計時針對每 90 度的方向進行模擬討論，如圖 2-30 所示。將飛機降落之四種可能繪製出來，分別為 0 度、90 度、180 度與 270 度，而本計畫選用 0 度方案之充電腳位，亦即停機坪充電接腳做於對腳線之位置，如此一來可最大化降低無人機降落

與停機坪接觸時造成的正負短路，避免電池的損壞，因此停機坪充電設計將會根據此位置做規劃。

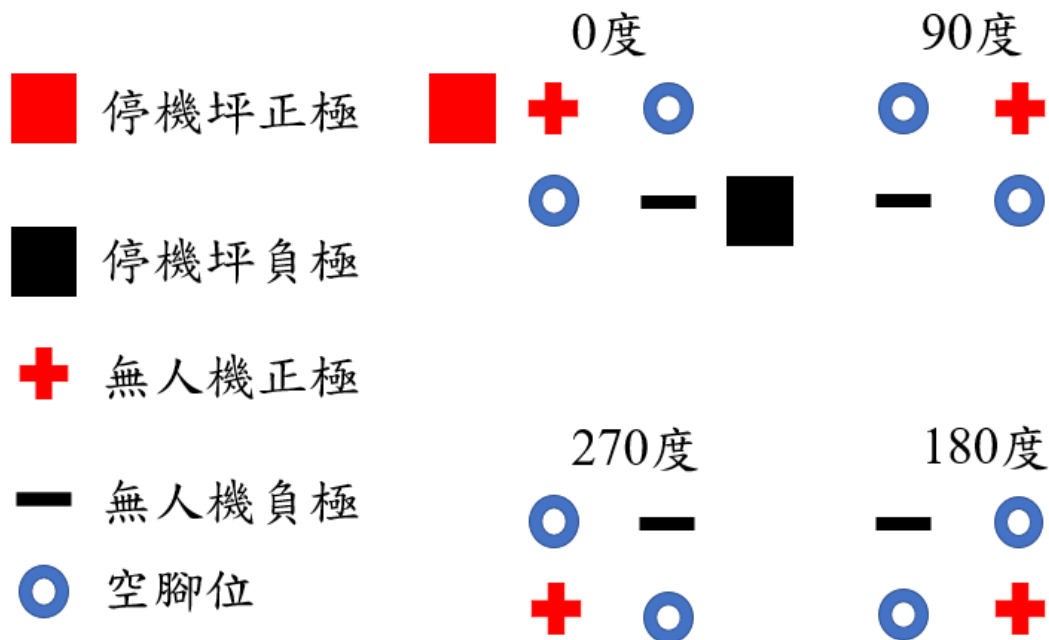


圖 2-30 無人機充電腳位之各方向模擬圖

(四) 快拆接頭設計

考量到能於野外地區達到快速部署之機動性需求，故監測站之設計需規劃多處快拆結構，故本計畫使用磁吸原理，設計不同的磁吸快拆裝置以符合不同安裝部位的需求，其中以馬達訊號磁吸模組與電源磁吸模組尤為重要，以下將針對其設計原理逐一介紹：

馬達訊號磁吸模組：考量到監測站由機庫模組與底座框架模組組裝緣故，將馬達之訊號線按照二組結合方式一分為二，中間的连接透過磁吸結構來完成，如圖 2-31 所示。於機庫模組下方是為訊號模組之公接頭；母接頭則是固定於底座框架模組，接頭將會使用導電性佳且可鍍焊錫之材質包覆，使訊號線能固定於接頭上，再者，各接頭間設計隔板以避免不同訊號線接觸造成短路或訊號錯誤。

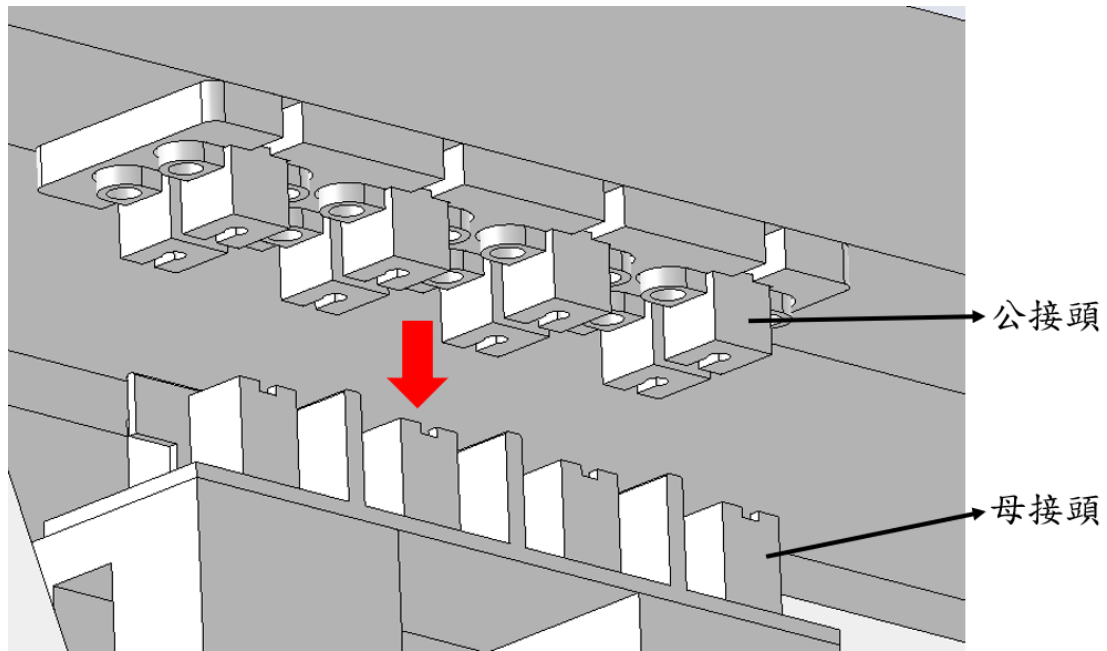


圖 2-31 馬達訊號模組之公母磁吸接頭

電源磁吸模組：如同馬達訊號磁吸模組，驅動馬達之電源亦拆分為二，上方的機庫模組磁吸裝置設計成公接頭；下方的底座框架模組之角柱內開槽孔，並於內部安裝磁吸裝置形成母接頭，如圖 2-32。公母接頭均會使用導電性佳且可鍍焊錫之材質包覆，使電源線能固定，故公母接頭皆會有相對應之電源線，如此當上下模組透過磁吸公母頭結合時，對應的線將會導通，便能確保馬達電源正常供應。

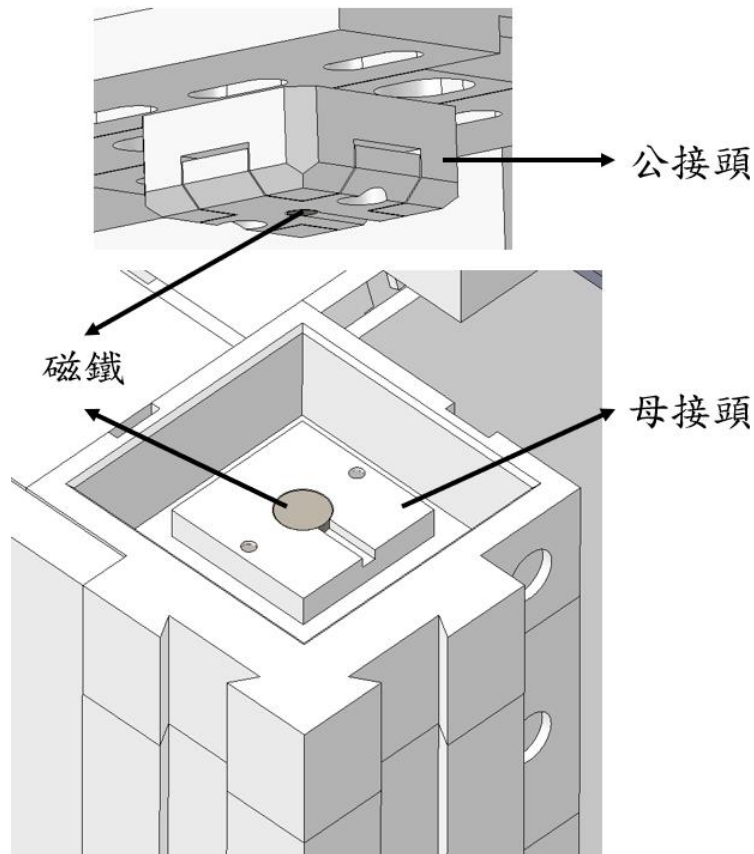


圖 2-32 電源磁吸模組之公母磁吸接頭

三、電力系統開發

本計畫之監測站主旨在針對野外地區進行實地空拍任務和現場監測。由於野外主要電力來源十分珍貴，監測站的電力系統需要具備輕量化、模組化和功能化的特性，以適應各種環境需求並提高作業效率。為實現這一目標，設計工作分為三個部分：模組化電池盒設計、電源管理模組設計和太陽能發電模組設計，這些部分共同組成了一個高效、靈活的電力系統。表 2-3 列出了電力系統中使用的相關元件，詳細展示了每個組件的規格和功能，確保系統能夠穩定運行並滿足監測站的需求。

表 2-3 監測站電力系統使用的相關元件

元件名稱	操作規格	操作電流	尺寸 (L*W*H)cm	重量	功能
鋰電池 KLD 1260110	DC-3.7V	電容量 10Ah	11*6*1.2	180g	蓄電池 4S 模組
4S40A 16.8V 鋰電池保護板	DC-16.8~18.1V	放電 Max40A 充電 Max20A	6*4.6*0.34	10.3g	鋰電池平衡 充電保護
鋁散熱片	NA	NA	0.9*0.9*0.5	1g	充電保護板散熱
14AWG 銅心線	耐電壓 600V	耐電流 15A	NA	NA	蓄電池串聯
DC to DC 降壓模組 B0314	DC in:4.5V~38V DC out:1.25V~35V	8A	6*5.5*1.8	86.5g	供風扇 12V 使用
W1209 溫度控制模組	DC-12V	Out 20A	4.85*4*1.5	21.5g	啟動風扇
風扇	DC-12V	0.36A	5.5*1.5*5.5	4.9g	散熱
太陽能 PWM 控制器	DC-12V	40A	19.5*8.2*4.5	210g	太陽能電流控制
Raspberry Pi 4B 8G	DC-5V	3A	8.5*5.6*1.7	46g	控制馬達
定時開關控制器	DC-12V	10A	12.1*7.5*5	25g	電源節流

(一) 模組化電池盒設計

如圖 2-33，設計電池盒內部的原型圖，包含四顆鋰電池，平衡充電晶片、溫度監控風扇和防過度充放電裝置，並且測試各項性能指標，包括電池容量和溫度控制效果。

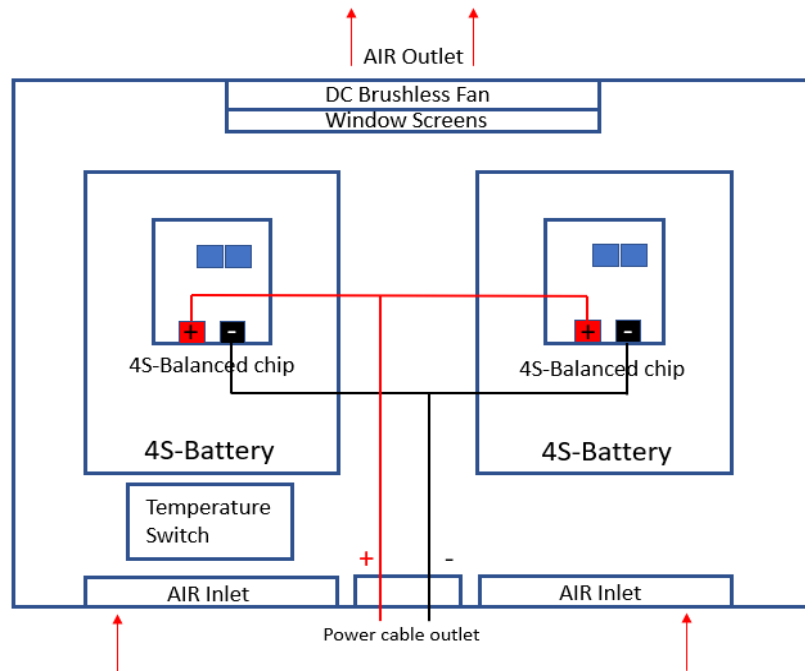


圖 2-33 電池盒內部示意圖

(二) 電源管理模組設計

設計電源管理模組，保證系統在各種運行條件下的穩定供電。蓄電池的前端設置定時開關控制器，設定相應的時間可讓樹莓派在設定的時間內工作和休眠。

樹莓派在前端設置了電源定時開關器，按照設定的時間範圍供應電源。開始供應電源時，樹莓派啟動並開始為監測站工作。在電源定時開關器再次關閉電源前，樹莓派將會被關閉，依圖 2-34 表示監測站電源管理分佈。

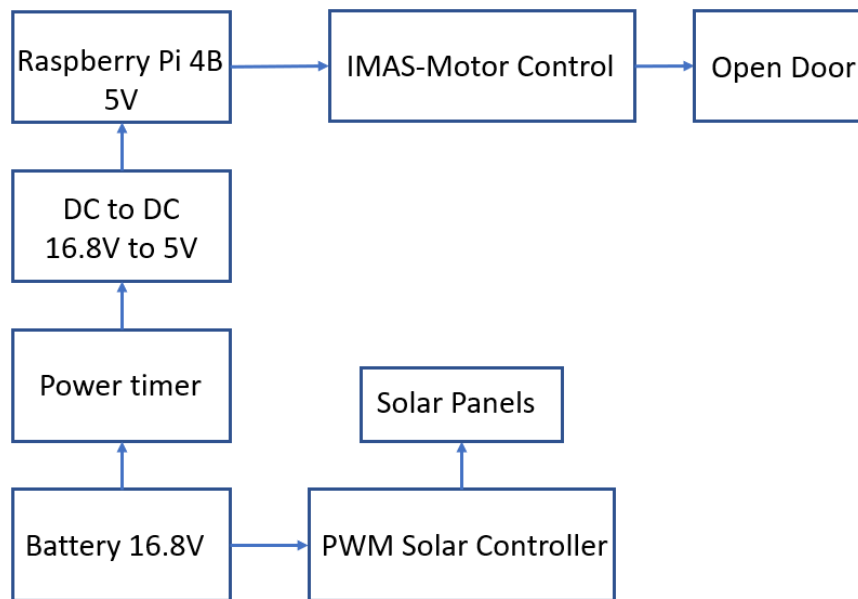


圖 2-34 監測站電源管理分佈圖

(三) 太陽能發電模組設計

太陽能發電系統，如圖 2-35，提供無人機和監測站持續的電力。該模組集成了太陽能板和電源管理系統，內部元件包括太陽能板、太陽能控制器、開關器、保險絲等。太陽能控制器確保能量轉換效率，並有效供應能量給蓄電池作為主要能源來源。

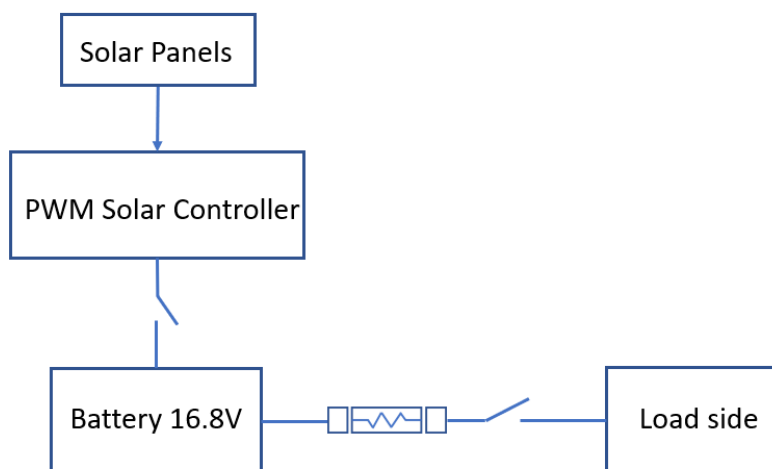


圖 2-35 太陽能發電系統

(四) 監測站電力系統開發與鉛酸電池應用

考量到專案經費的使用效率及現有設備的成熟度，決定沿用先前預實驗階段中使用的鉛酸電池，作為監測站的主要電力儲存方案。雖然鋰電池系統在能量密度和重量上具有一定優勢，但基於成本控制以及現有鉛酸電池系統的穩定性，將其作為此次專案中最合適的解決方案。鉛酸電池系統與現有的太陽能發電系統配合運行，並經過預實驗階段的驗證，具備足夠的可靠性和兼容性。透過對鉛酸電池配置的進一步調整與優化，能夠在現有條件下滿足監測站的運行需求，確保電力供應的穩定性，同時保持專案的經濟可行性，表 2-4 為電力系統所需材料。

表 2-4 監測站站內部電力系統的材料清單

元件名稱	操作規格	尺寸 (L*W*H)cm	重量	功能
鉛酸電池 ZEBRA NP4-24E 24V-4Ah	DC-24V / 電容量 4Ah	18*7*10	2.43kg	IAMS 蓄電供應
太陽能板 TS60-BMH-440 H1	440W / Voc40.9V / Isc13.45A	190.7*112.3*4	24.5kg	電力來源
太陽能控制器 LB-24V-40A	工作電壓 24V / 耐受電流 40A	19.5*8.2*3.6	410g	控制充電系統
Converter SKA15B-05	Input: DC 18~36V Output: DC5V 3A	5.08*2.54*1.127	32.2g	電壓電流控制器
降壓模組 B0314	38~4.5V to 1.25V~35V /8A	6*5.3*1.8	120g	電壓控制器
Relay 2 ports	In: 5V / 3.5V signal switch	4.1*5*1.85	40g	電壓電流開關
Raspberry Pi 4B	5V / 3A	8.5*5.6*2.8	46g	主要系統控制
機庫模組馬達	12V / 1.2A	4.9*4.2*7	367g	驅動門開合
UAV 電池	14.8V / 4Ah	15*4.6*2.6	360g	供應無人機電力

下列則各項說明鉛酸電池應用:1.鉛酸電池內部設計、2.鉛酸電池供應蓄電量計算、3.鉛酸電池與監測站結合、4.太陽能板應用

1. 鉛酸電池內部設計

圖 2-36 顯示監測站電力系統由 14 顆鉛酸電池並聯組成，工作電壓為 24V，總電池容量為 56Ah。考量避免電池過度放電，實際可使用總電量為 50%，因此可用的蓄電量為 28Ah。

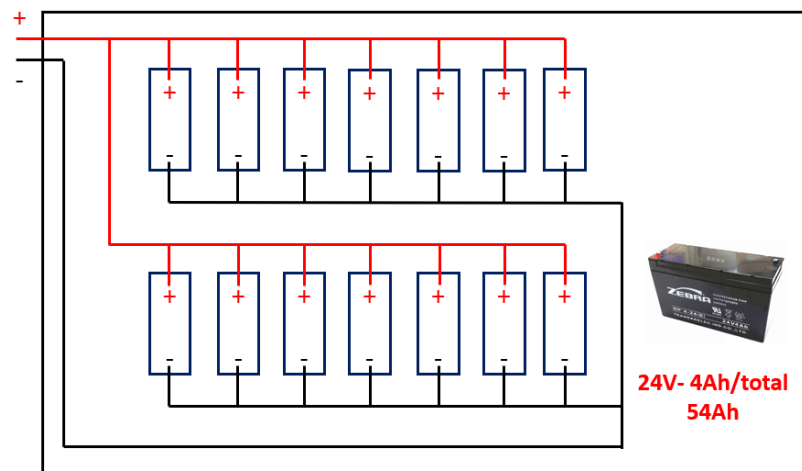


圖 2-36 監測站鉛酸電池並聯系統

2. 鉛酸電池供應蓄電量計算

監測站內部電力整理成以下四點，分別為：IAMS 鉛酸電池總電力、樹莓派耗電需求、機庫模組馬達耗電量，以及 UAV 電池。

(1)IAMS 鉛酸電池總電力，額定電壓：24V(滿電量約 25.9V)，總容量：56Ah，當電壓降至 24V 時，剩餘容量為 28Ah。

(2)樹莓派耗電需求，每日開機 4 小時，耗電量為 12Ah。

(3)機庫模組馬達耗電量，額定電壓：12V，工作電流：0.5A(最大 1.2A)。

(4)UAV 電池，規格：4S -4Ah，16.8V，每日使用量：2Ah。

表 2-5 整理電力管理與配置需求。依據鉛酸電池的可用容量 28Ah，支援監測站內部的電力使用。後續若搭配太陽能板作補充電源，可實現電力循環供應，保持系統穩定運行。

表 2-5 監測站電力消耗彙整表

元件名稱	可用電量	使用時間	消耗電量 Ah
鉛酸電池	28Ah		
Raspberry Pi	12Ah	4hr	12Ah
監測站馬達	2Ah	60s	0.024Ah
UAV 電池	2Ah	4hr	2Ah

3. 鉛酸電池與監測站結合

鉛酸電池的電力補充主要依靠太陽能板產生的電力，過程中需要透過太陽能控制器來調節電壓與電流，確保電池能夠安全充滿。根據圖 2-37 監測站內部電源架構圖可知，其內部以樹莓派為核心設備，用於控制機庫模組馬達和無人機電池的充電開關。因此，電池需要搭配直流轉換器，將 24V 轉換為 5V、12V、16.8V，為整體設備提供穩定且完整的電源供應。

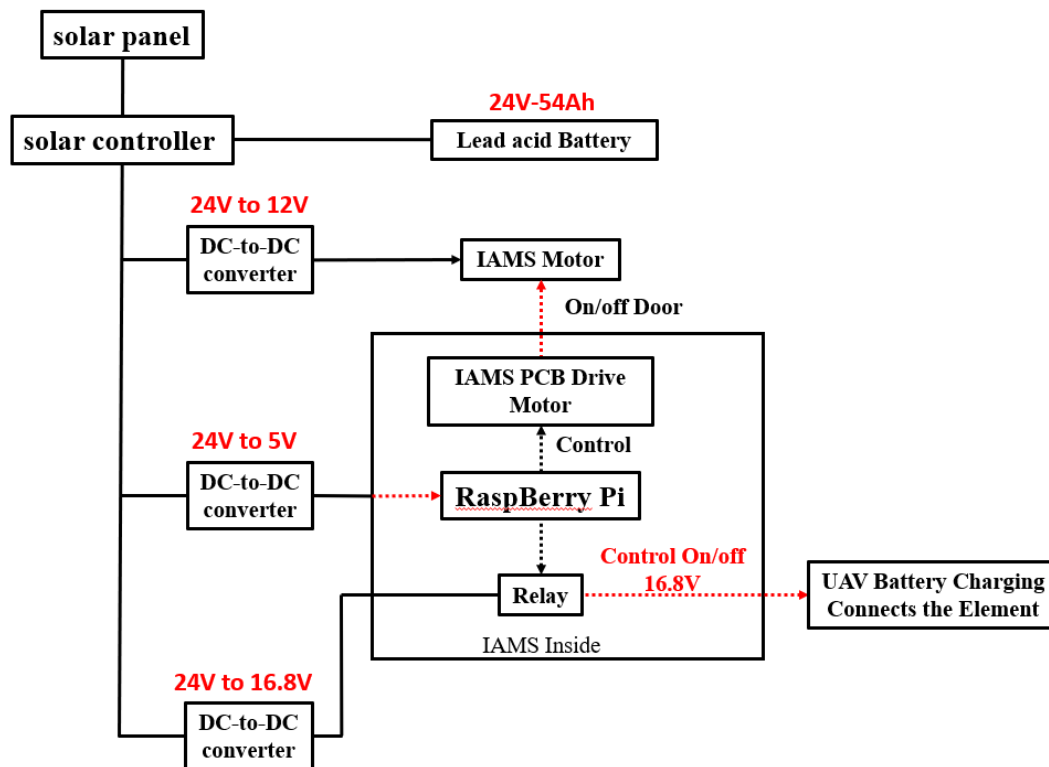


圖 2-37 監測站內部電源架構圖

4. 太陽能板功率計算

根據預算考量，太陽能板採用先前預實驗階段中的 440 W 太陽能板。該太陽能板在理想條件下可產生 40.9V，但在實際陽光照射下約可達到 38.5V，如圖 2-38。透過太陽能控制器，電壓可調節至 27V，為鉛酸電池進行充電。

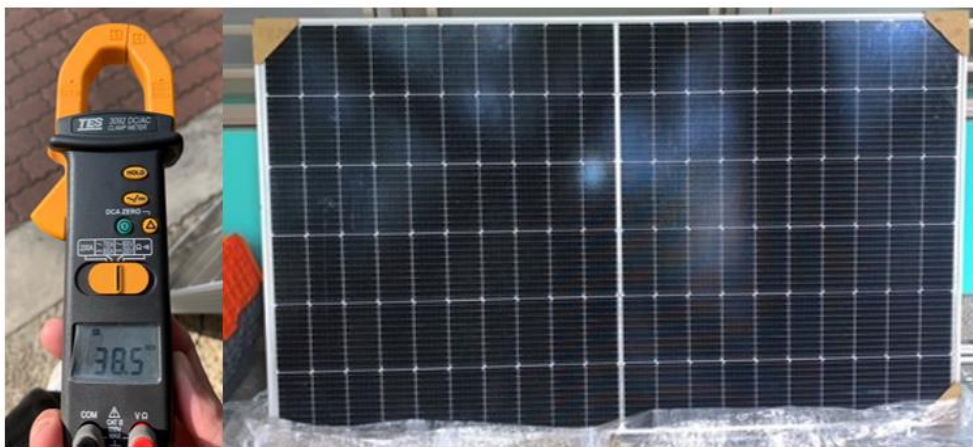


圖 2-38 太陽能板 445W 最大產生 38.5V

太陽能供電時間則為每天上午 07:00 至下午 5:00，以陰天日照可產生 352W 的功率。由表 2-6 得知電池需要補充的電容量為 672Wh。根據充電功率計算，約需 1.9 小時即可充滿電池，確保系統在白天補充足夠的電量以後續使用。

表 2-6 充電功率計算

	電池	太陽能
設備需求	$56\text{Ah}/2=28\text{Ah}$ (放電效率 50%)	352W (440W 轉換效率 80%)
產生電功率	$28\text{Ah}\times 24\text{V}=672\text{Wh}$	352W
電池需要充電時間	$672\text{Wh}/352\text{W}=1.9\text{h}$	

第二節 工作執行步驟

於上一節介紹本計畫之工作執行方法後，本節將說明其相關的執行步驟，如同上一節亦可分成無人機、智能與模組化監測站以及電力系統，以下將分別敘述之。

一、無人機設計與組裝

由於無人機涉及內容較多，本計畫將無人機之開發過程區分為以下幾個部分，硬體組裝與設定、飛行控制器安裝與軟體校準、影像傳輸與通訊系統、雲台的安裝與設定、可依設定任務路徑取像。

(一) 硬體組裝與設定

硬體架構是無人機最底層的實現部分，為便於說明，本段將無人機之硬體部份分為：硬體框架的設計與組裝、動力系統安裝與調整，電源系統的安裝與 ESC 調整。

1. 硬體框架設計與組裝

本計畫之無人機框架主體採用碳纖維材質以及鋁合金柱做連接，碳纖維板的厚度為 3mm，並且以雙層的架構進行組裝，以最大限度減少共振現象。另外，在上層板上預留了馬達的安裝位置，使馬達固定在兩層板之間，並將易發熱的電子調速器安裝在機臂下方的通風孔處，以便充分散熱。再者，加裝一組以 PLA 材質所列印的底座用以安放數據傳輸模組以及模擬訊號圖傳。另外，在頂部亦提供 GNSS 安裝位置，盡可能避免三者的訊號互相干擾，且螺旋槳產生的氣流被引導至易發熱的模擬信號圖傳模組和數據傳輸模組上，以幫助散熱，如圖 2-39 所示。

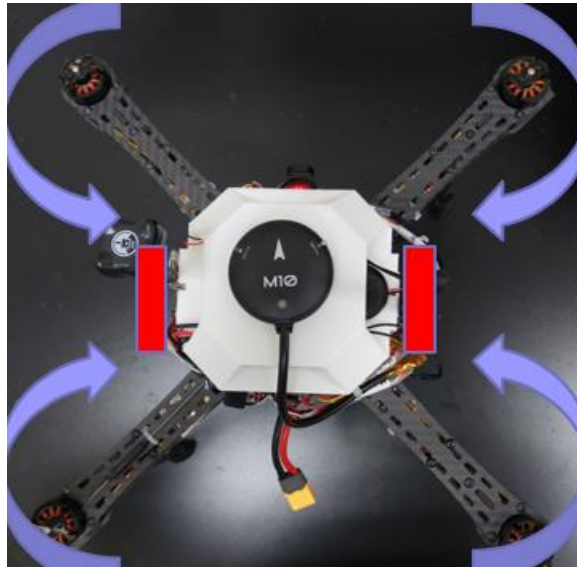


圖 2-39 散熱引導設計

2.動力系統安裝與調整

本計畫之無人機採用四旋翼配置，馬達直徑為 23mm，每伏特轉速為 1000KV，其意思為電池每提供 1 伏特電壓變提供 1000rpm 的轉速，以電池電壓為 14.8v 伏特來舉例，在最大供電的情況下其轉速約為 14800rpm。

螺旋槳則採用直徑 10 英吋，螺距為 6 英吋的碳纖維槳葉，如圖 2-40，採用較高的螺距及螺旋槳直徑是為了提供更多的升力，而螺距代表的是螺旋槳每轉一圈所前進的距離，假設轉速為 1000rpm 螺距為 6 英吋且無任何外部阻力的理想情況下可以得出前進速度的理論值為： $6 \times 2.54 \times 1000 = 152.4$ 公尺/分鐘。而其碳纖維本身的強度及耐用性較高，較契合本計畫於野外執行的任務目標。



圖 2-40 馬達及槳葉

3.電源系統安裝與 ESC 調整

本計畫為因應無人機的充電及續航需求設計了兩套電池充電方案，第一套方案採用 18650 鋰離子電池來製作電池組，採用的型號為 Sony VTC6 動力電池，其最大放電電流為 30A 電池容量為 3000 mAh，電池組則採用 2 顆並聯再以 4 組進行串聯的方式組成(2P4S)經合併後整個電池組的容量為 6000mAh，電壓為 16.8V，最大放電電流為 60A，具體製作步驟如下：

1. 利用治具將 8 顆 18650 電池對齊排列，如圖 2-41；並將正、負極交錯擺放，每兩顆為一組並聯，如圖 2-42。



圖 2-41 以治具固定 18650 電池組

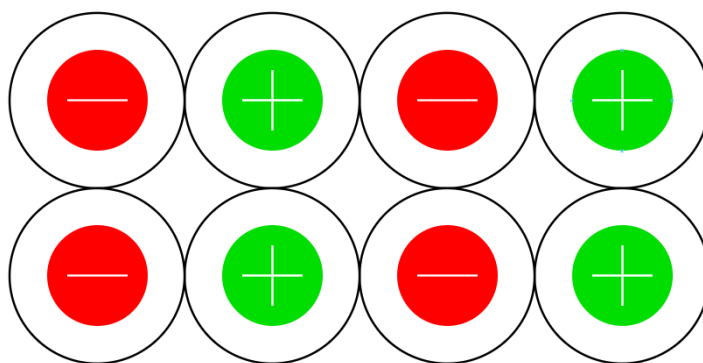


圖 2-42 18650 電池組擺放順序

2. 使用鎳片以及點焊的方式將 18650 電池組兩個一組進行並聯而後再以口字型連接方法進行串聯，其正反面連接方式如圖 2-43。

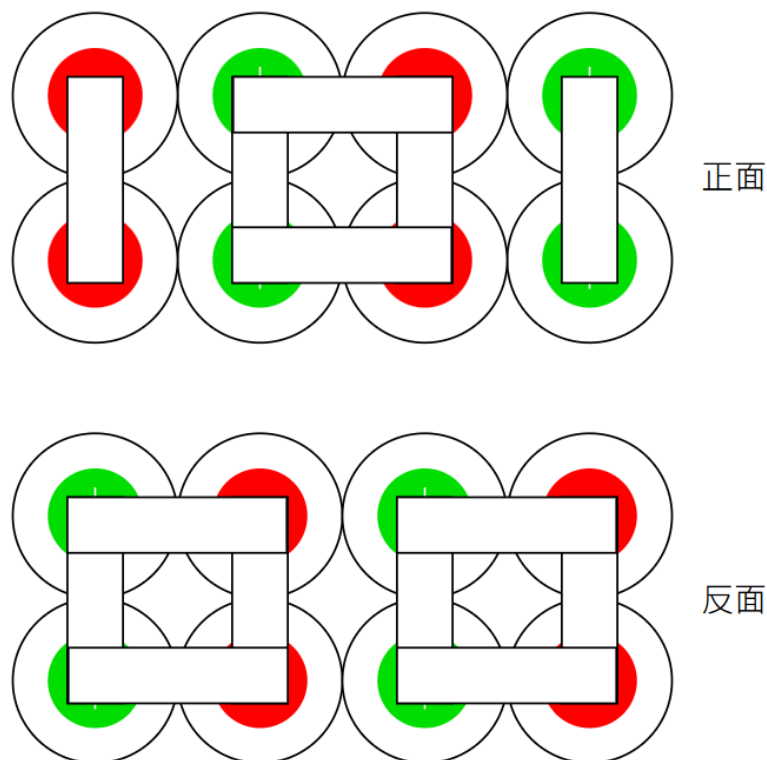


圖 2-43 18650 電池組正反面連接方式

3. 將電池平衡板的電壓監測點、輸出端口以及充電的正負極分別引出，以便於連接電池充電設備，如圖 2-44。

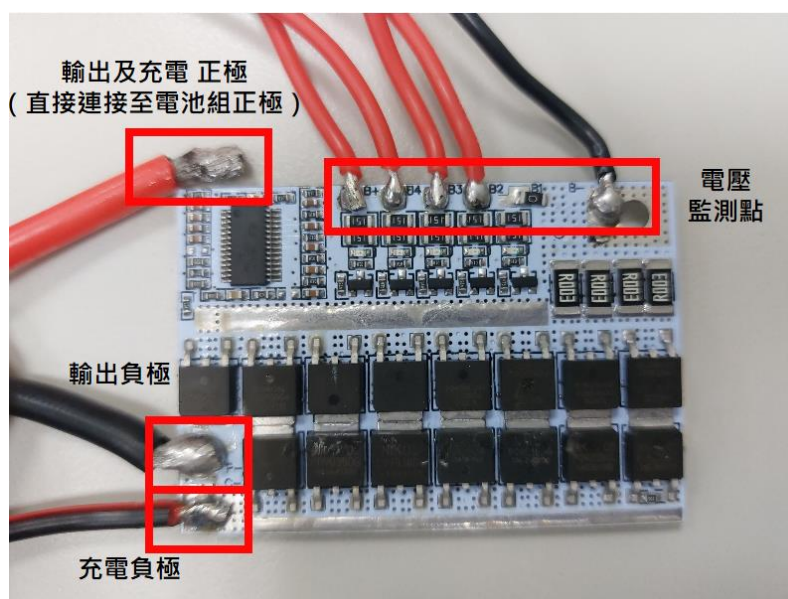


圖 2-44 電池平衡板引出線路

4. 將電池平衡板與電池組進行連接，電壓監測點連接至電池組的正負極以及電池組串聯處，如圖 2-45 為電池極性的擺放方式；圖 2-46 則為焊接成果。

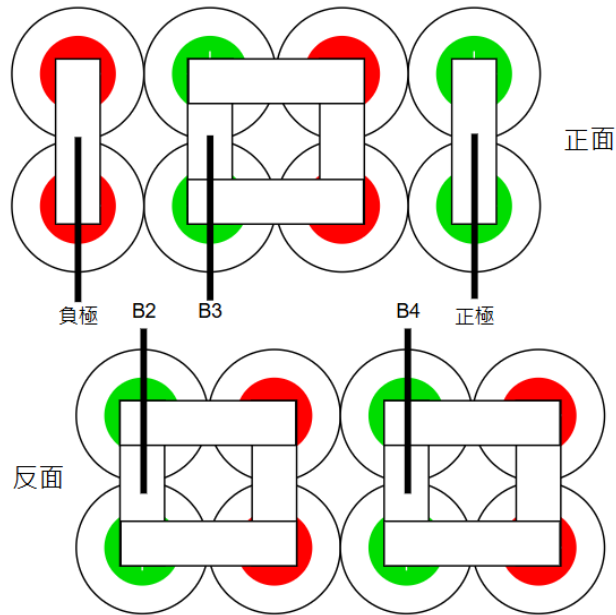


圖 2-45 電壓監測點連接位置

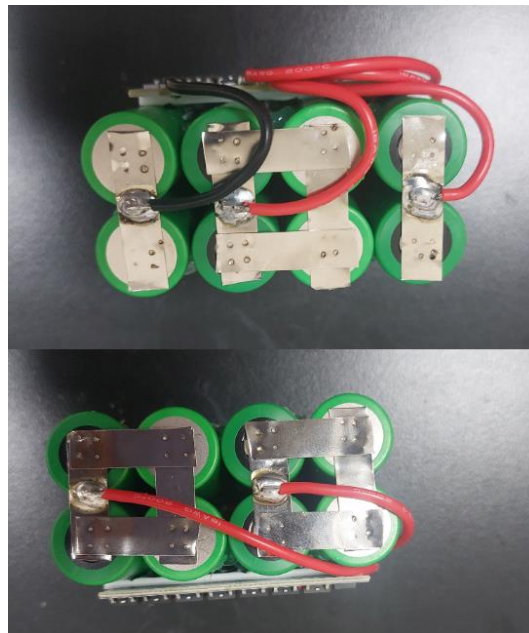


圖 2-46 電池組正反面焊接成果

5. 而後將電池平衡板固定至電池組上，並將正極輸出端與電池組連接，如圖 2-47。

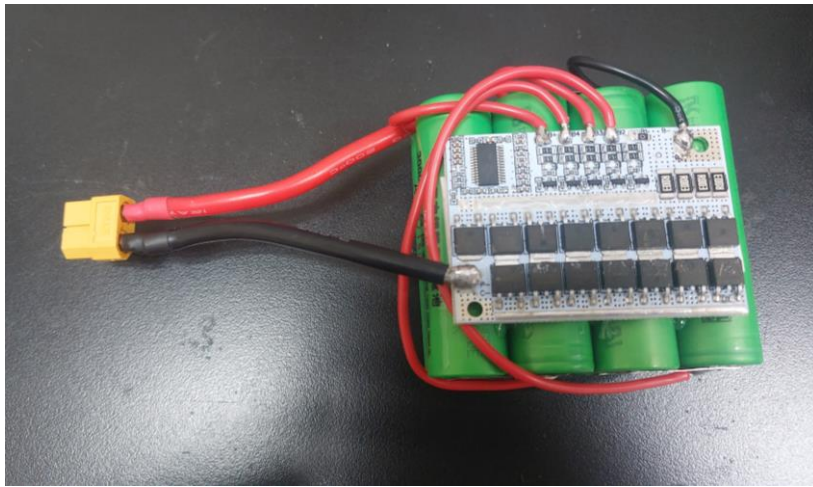


圖 2-47 將平衡板與電池組進行固定並連接輸出端

而方案二則是採用了 4000mAh 的鋰聚合物電池進行組裝，其充放電率(C-rate)為 60C，電壓為 16.8V，其使用的電池保護板與方案一相同，其最大輸出電流為 80A 同時具有過載保護過充保護等功能，具體製作步驟如下：

1. 依序移除電池的熱塑保護膜，以及散熱板，絕緣保護層，如圖 2-48，直至其露出內部接點。



圖 2-48 電池內部之保護層及散熱板

2. 將電池平衡板的電壓監測點，輸出以及充電正負極引出，如圖 2-44 (同方案一)，並將其連接至電池組內部接點，如圖 2-49。

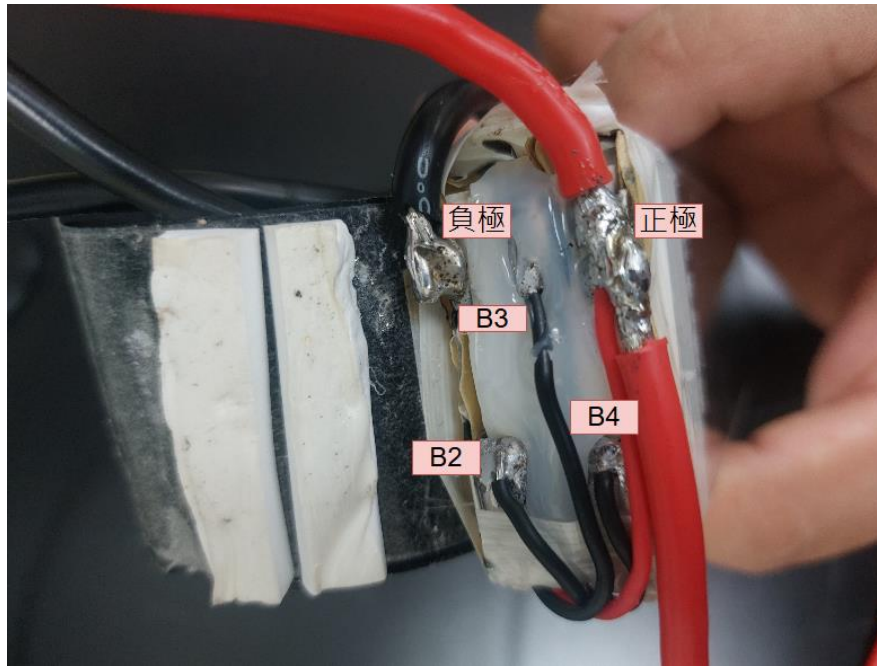


圖 2-49 電池平衡板連接至電池內部接點

3. 按相反順序將絕緣保護層，散熱板重新裝回，如圖 2-50，並以絕緣膠帶將電池組以及電池平衡板進行包裹固定，如圖 2-51。

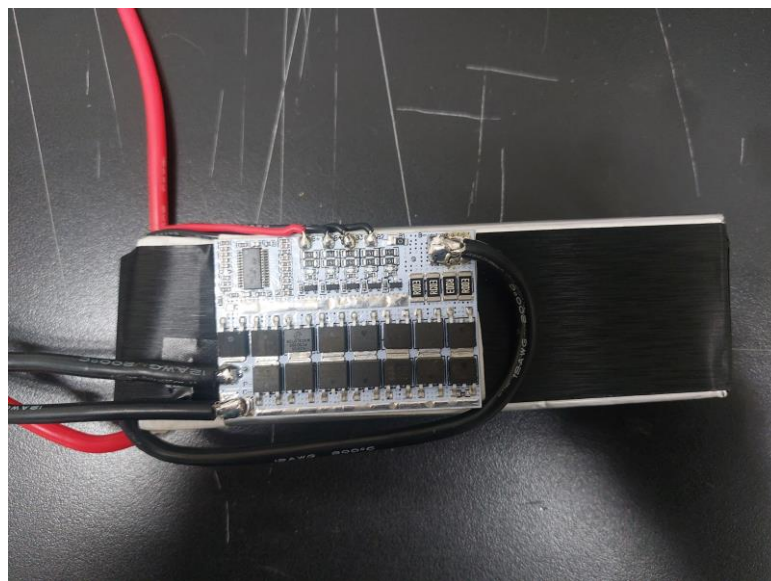


圖 2-50 將保護層及散熱板重新安裝

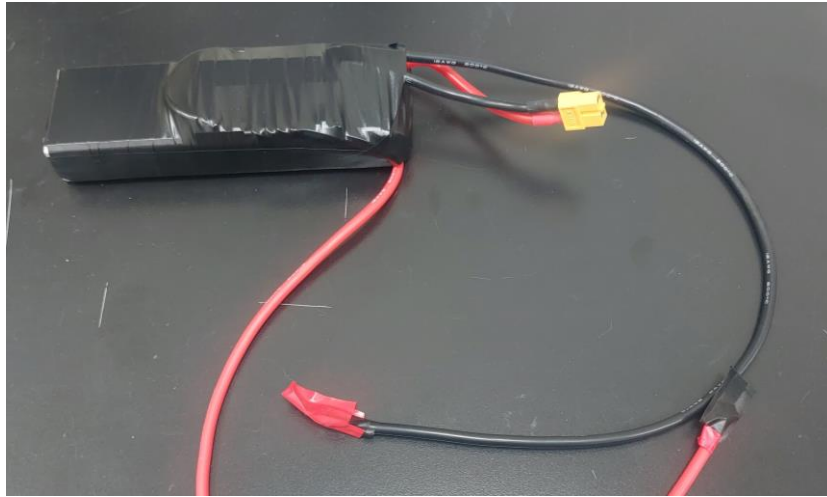


圖 2-51 絕緣膠帶將電池組進行包覆

在電池組製作完後便要進行放電及充電測試，測試主要是確認電池組的充放電功能是否合乎任務需求以及評估其安全性和可靠度，如圖 2-52 便是在測試方案二的鋰聚合物電池組充電過程中，是否會出現過熱的情況。測試結果顯示，平均溫度維持在 27 到 28 度之間。



圖 2-52 對充電中的鋰聚合物電池進行溫度測量

在測試後本計畫依實驗結果對方案一與方案二進行了比較，首先是性能方面：

1. 在重量上兩個方案並沒有太明顯的差異，使用 18650 的重量約 400g 而使用鋰聚合物電池的重量則在 380g。

2. 在續航力上 18650 電池組因為有更大的容量其飛行時間約為鋰聚合物電池的 1.3 倍。

3. 在抗風能力及爬升能力上鋰聚合物電池因其有更大的輸出電流而較有優勢。

而在安全性上兩者在充電測試中均無異狀，但在放電測試中卻發現方案一的 18650 電池組存在較為明顯的電壓波動，如圖 2-53，其具體表現為在大電流放電時會出現大幅度的壓降，在實際操作中由於這部分的電壓波動導致無人機在控制時有時會出現較為不穩定的狀況。

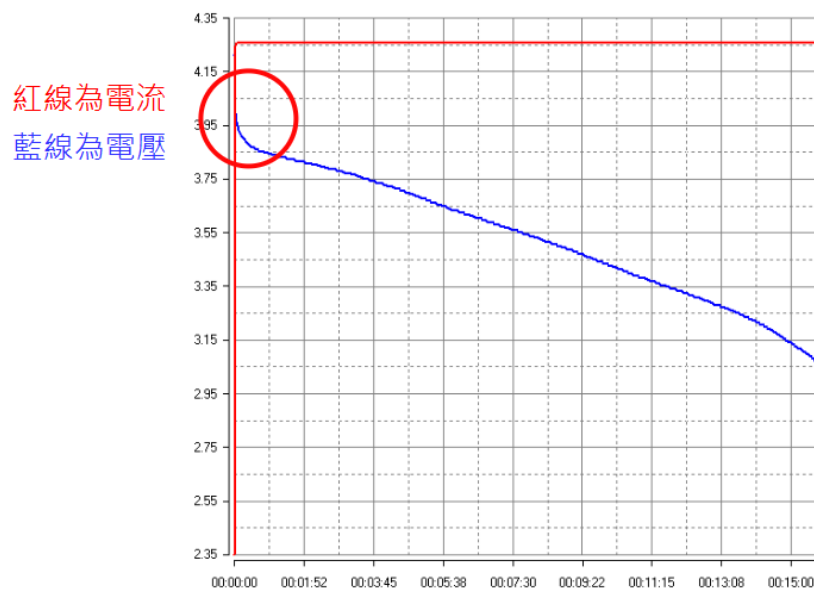


圖 2-53 18650 單節電池的放電情況

在綜合考量了功能性及安全性後，本計畫決定採用方案二的鋰聚合物電池組作為無人機的電源供應，方案一的 18650 電池組雖然有續航力較高的優勢，但由於在大電流放電時會產生較大的電壓波動導致無人機產生不穩，而本計畫的無人機因應任務目標將頻繁於山中及溪谷等區域活動，這些區域天氣多變，使得任務過程中有可能會遭遇強風，這時較大的電壓波動會帶來額外的危險及不確定性，所以經安全性考量，本計畫決定採用鋰聚合物電池作為無人機的供電方案。

在確認無人機的供電方案後便是製作與監測站的停機坪充電樁對接部分，無人機的部分使用鎳片作為接點並將電池平衡板的充電口引出至無人機的支撐腳，如圖 2-54。

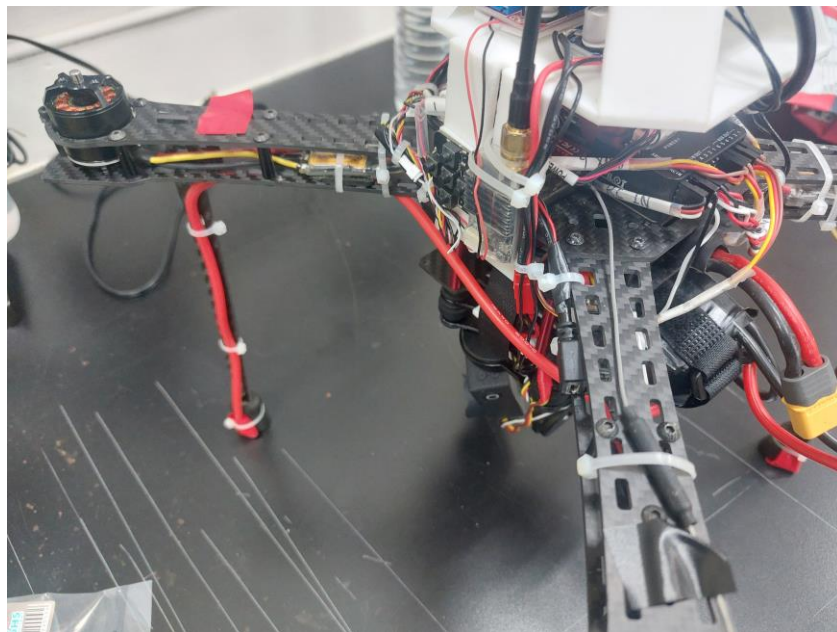


圖 2-54 將充電迴路延伸至無人機支撐腳

而監測站的充電樁部分則由樹莓派及光耦合繼電器進行控制，整體電路如圖 2-55，透過這套系統便可以讓使用者遠程控制無人機的充電，如圖 2-56。

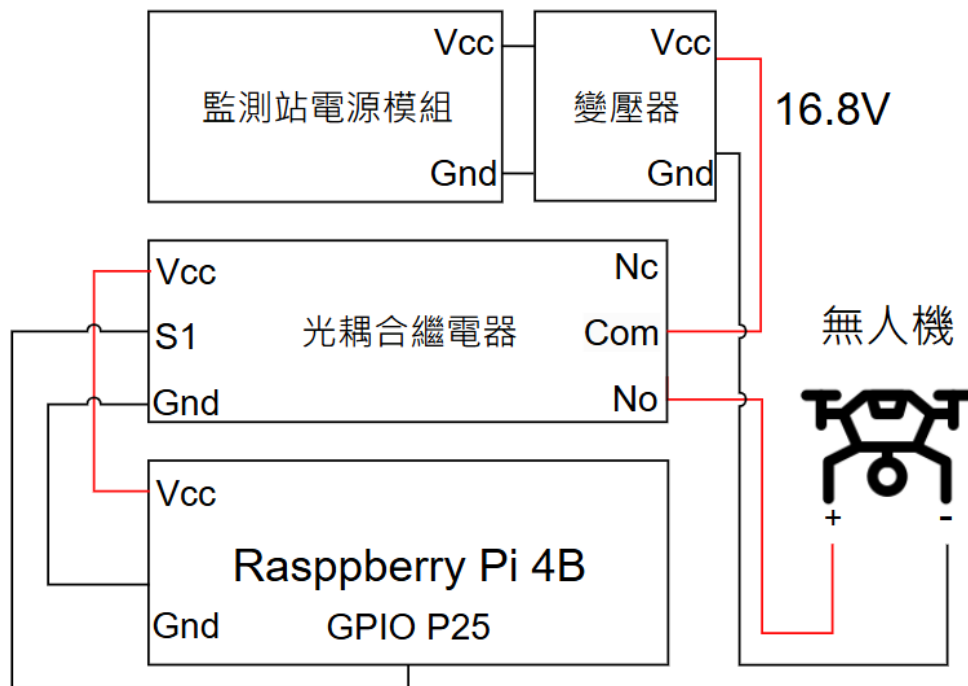


圖 2-55 樹莓派與充電迴路控制

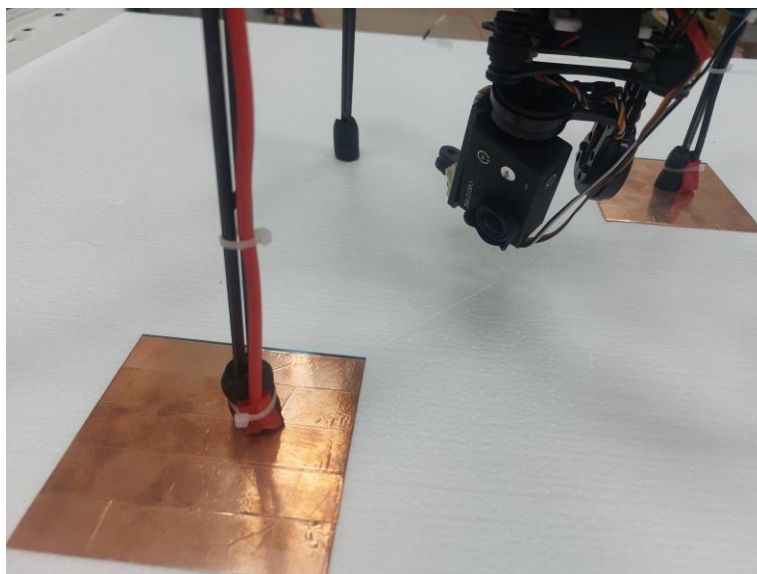


圖 2-56 無人機於停機坪充電樁上進行測試

另外，無人機上還安裝了一塊電源穩壓板，如圖 2-57。其使用 XT60 接頭與電池做連接，除了能提供穩定的電流給馬達及飛行控制器以外，還能額外監測馬達與電池的電壓，以提高無人機的飛行安全。

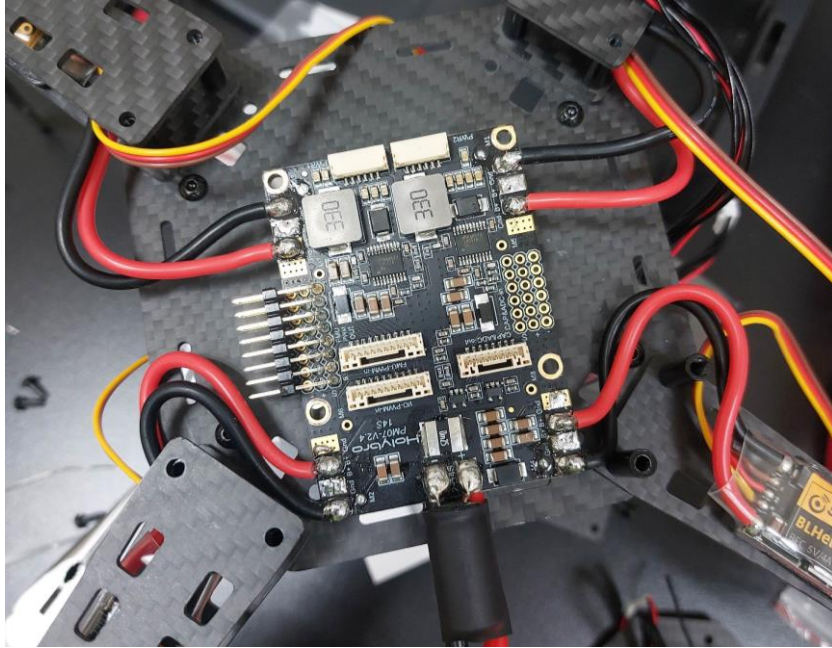


圖 2-57 穩壓板

ESC 則是以焊接的方式連接至穩壓板，其訊號線另外接入飛行控制器的 AUX 端口，接入 AUX 端口的主要原因在於本計畫使用之 ESC 具有 BLHeli 韌體，如圖 2-58。而在本計畫使用的飛行控制器上必須使用 AUX 端口才能支援此功能。具有 BLHeli 的 ESC 其相較於傳統 ESC 相比，使用起來更加靈活，僅需使用軟體與其連接便能改變其各項設定，如：溫度保護、過載保護以及轉速的上下限，而其最重要的功能便是 Dshot，使用 Dshot 有幾樣優點，一是在 ESC 與飛行控制器之間建立雙向連接，使到 ESC 之控制值可進行校驗及保護，另一個則是自動校準功能，由於每個 ESC 出廠時都存在一些差異，自動校

準可針對這些部份進行調整，從而避免人為誤差。另外，對於雙向 ESC 來說，則可為其開啟反推功能，透過此功能可輕易使馬達進行反轉功能，在進行調試以及更改無人機配置時非常實用。

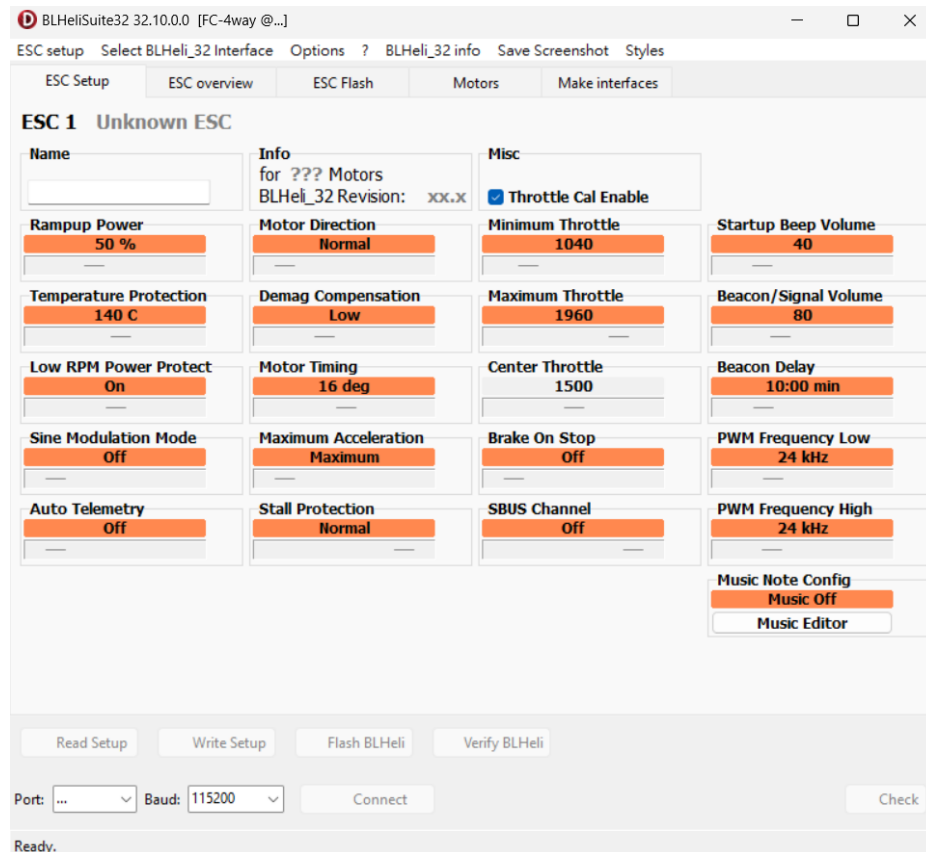


圖 2-58 BLHeli ESC 的韌體設定介面

(二) 飛行控制器安裝與韌體校準

本段將飛行控制系統分為兩個部份作介紹，一個是無人機的導航系統，其包括 IMU 以及 GNSS 還有電子羅盤的安裝校準，另一個則是飛行控制器的安裝與韌體設定。

1. 導航系統

本計畫之無人機採用的 GNSS 使用 U-blox M10 晶片其能夠接收

的衛星星系共有 GPS、伽利略、GLONASS 和北斗，這讓無人機在執行任務時平均可收到 20 至 30 顆左右之衛星進行定位，如圖 2-59，定位誤差約在 30cm 左右，而在正式起飛前通常會使用 U-blox 廠商所提供的工具軟體 U-Center 2，如圖 2-60，對 GPS 做檢測，確認所接收的星系及其訊號強度等等。

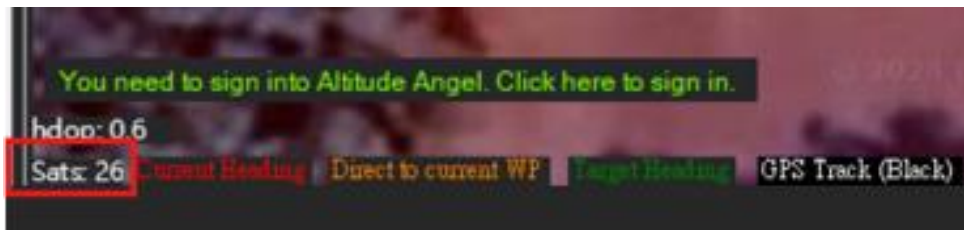


圖 2-59 任務執行時所接收之衛星數

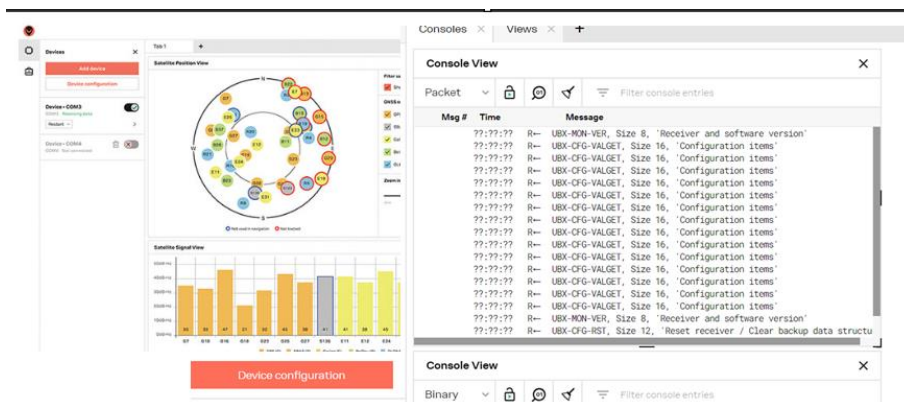


圖 2-60 U-center 2 操作介面

本計畫使用之 IMU 共有兩個，兩個皆為飛行控制器內置之 IMU，其分別為：ICM-42688 及 ICM-20948，兩者皆具三軸陀螺儀與三軸加速度計，而其中 ICM-20948 還具備一組三軸霍爾傳感器，另外，電子羅盤則有三個。除了飛行控制器內置的 AK099916 以外，還有一個是 GNSS 模組自帶之 IST8310 以及一組低功耗羅盤 HMC

5883L，後兩者皆使用 IIC 通訊協議與飛行控制器溝通。

在安裝完 IMU 及電子羅盤後，需要對其進行校準，校準過程使用地面控制站 Mission Planner 進行，以下將分為兩個部份做講解，一個為 IMU 的加速度計校準，另一個為電子羅盤校準。

(1)加速度計校準：先將無人機放置於水平面後開啟校準程序，如圖 2-61，依照水平、右側、左側、機頭向下、機頭向上及其背面(機腹朝上)的順序進行確認即可完成加速度計的校準。



圖 2-61 加速度計校準介面

(2)電子羅盤校準：先將無人機拿起後開啟校準程序，如圖 2-62 所示，將無人機朝向各面向，以水平、右側、左側、機頭向下、機頭向上及其背面(機腹朝上)的順序進行旋轉即可完成電子羅盤之校準。

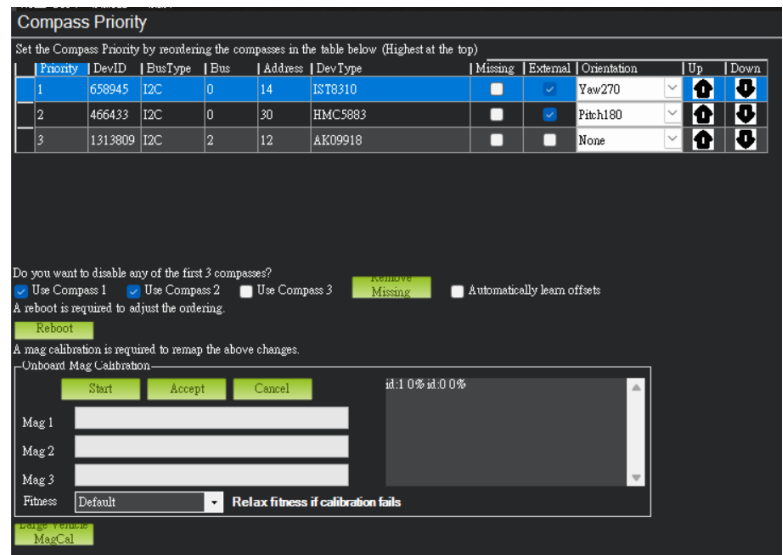


圖 2-62 電子羅盤校準介面

2.飛行控制器安裝與韌體設定

本計畫使用之飛行控制器為 Pixhawk Orange Cube +，韌體使用 Ardupilot。使用 Ardupilot 的好處在於其開源的特性使得要對其做變更會更加容易，且在地面站控制的功能上也更加全面，像是可以於飛行路徑上規劃出 ROI(region of interest)，如圖 2-63，使雲台與相機自動追蹤該區域等等。

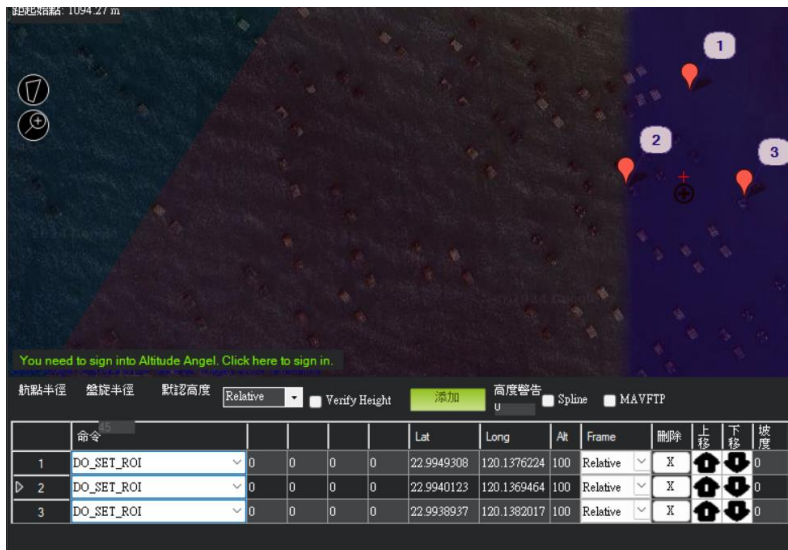


圖 2-63 ROI 設定

當於 Pixhawk 硬體上刷新 Ardupilot 後便要對無人機進行設定，以下將分為四個部分做介紹，首先是輸出接口的設定以及遙控器通道校準，再來是設定失控保護如低電壓或訊號丟失等，最後則是設定 PID 值以盡可能優化操作的靈敏度及飛行的穩定性。

(1)輸出接口設定：在設定輸出接口時需要為各個馬達及雲台還有相機指定輸出位置，且需要正確區分 Main 接口及 AUX 接口，兩者之差別在於 Main 接口是由 IOmcu 協助負責，其主要功能為提供馬達控制訊號但無法實現更複雜的功能，而 AUX 接口則直接由飛行控制器之 CPU 控制，可用作 GPIO 以及 PWM 或 Dshot，像是本計畫之馬達由於要使用 Dshot 與飛行控制器做連接，故需要安裝在 AUX 接口上，安裝完後便是指定該接口之功能及設定其輸出之上下限值，如圖 2-64 所示。

#	Position	Reverse	Function	Min	Trim	Max
1	0	☐	Disabled	1000	1500	2000
2	0	☐	Disabled	1000	1500	2000
3	0	☐	Disabled	1000	1500	2000
4	0	☐	Disabled	1000	1500	2000
5	1497	☐	MountPitch	1000	1500	2000
6	0	☐	Disabled	1000	1500	2000
7	1500	☐	CameraTrigger	1000	1300	2000
8	0	☐	Disabled	1000	1500	2000
9	0	☐	Disabled	1000	1500	2000
10	1000	☐	Motor1	1000	1000	2000
11	1000	☐	Motor2	1000	1000	2000
12	0	☐	Disabled	1000	1500	2000
13	1000	☐	Motor4	1000	1000	2000
14	1000	☐	Motor3	1000	1000	2000

圖 2-64 輸出通道設定

(2)搖控器通道校準：本計畫於試飛期間為避免發生意外，以遙控器為主設立一套備援系統，以防在與地面站失聯的情況下發生意外，為此需先於地面站對遙控器的接收通道進行設定，設定時需將遙控器與無人機做連接，再透過飛行控制器及數傳將訊號傳給地面站，而後遙控器需將各通道之搖桿分別推桿至上下限，此時便可於地面站上確認出各通道之上下限數值。而本計畫使用的是十通道之遙控器，故可從圖 2-65 可確認到通道 1 至 10 的上下限值。

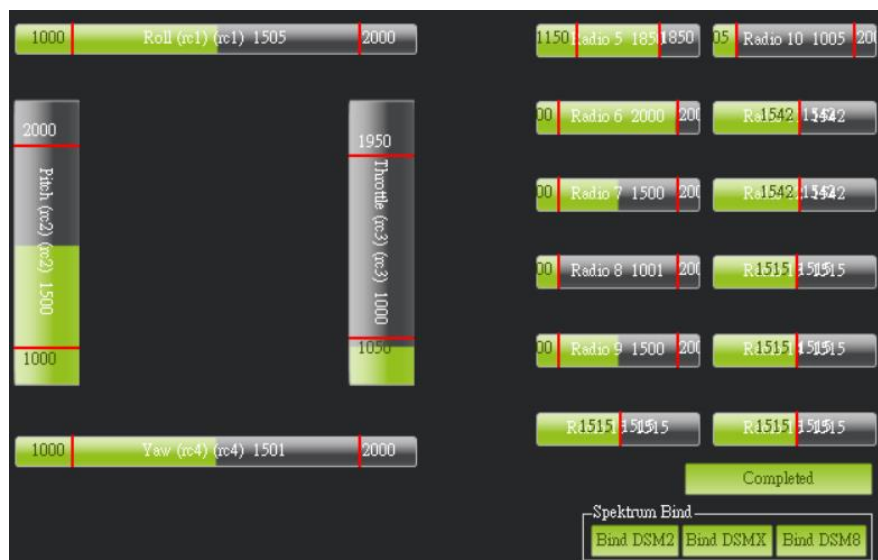


圖 2-65 搖控器通道 1 至 10 的上限值分佈

(3)失控保護：基於安全因素，本計畫對無人機共設定兩種失控保護模式，一種為低電壓保護，雖無人機於設計上以考量到任務的續航電力需求，但電池仍可能因舊化或其他外部因素導致於飛行任務中低於保護電壓，此時就會觸發失控保護，當電壓低於一定程度時任務便會中斷並觸發 RTL(Return to Launch)指令返回至監測站，如圖 2-66；另一個保護則是避免訊號失聯，當與地面站的訊號中斷一定秒數時便會觸發 RTL 返回至監測站，而此處的中斷秒數可以依任務環

境的訊號強度來設置，如圖 2-67，目前本計畫將中斷秒數定為 10 秒，之後於任務區域執行時會在依照環境對此時間進行微調。



圖 2-66 電池低電壓保護設置

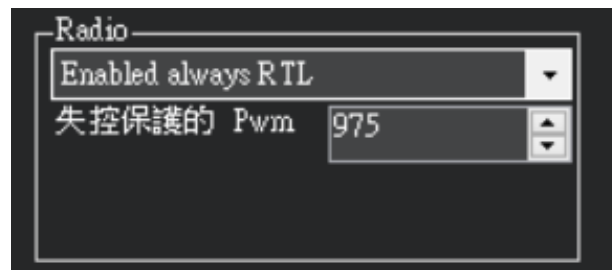


圖 2-67 訊號失聯保護設置

(4)PID 設定：當所有安全性設置都設置完後便可進行 PID 設定，如圖 2-68。PID 設置對於每一台無人機都不相同，且會大幅影響無人機之操作性能，是最需要謹慎對待的步驟，故本計畫參考 Ardupilot 所提供之官方文檔，依照槳葉大小、轉速、無人機重量等進行初步設置，而後透過多次試飛及修正，調適出操作起來流暢穩定之 PID 數值。

Stabilize Roll P 4.500 ACCEL MA 110000	Stabilize Pitch P 4.500 ACCEL MA 110000	Stabilize Yaw P 4.500 ACCEL MA 27000	Loiter PID P 1.000 INPUT TC 0.150
☒ Lock Pitch and Roll Values			
Rate Roll P 0.135 I 0.135 D 0.00360 IMAX 0.5 FLTE 0 FLTD 20 FLTT 20	Rate Pitch P 0.135 I 0.135 D 0.00360 IMAX 0.5 FLTE 0 FLTD 20 FLTT 20	Rate Yaw P 0.180 I 0.018 D 0.00000 IMAX 0.5 FLTE 2.500 FLTD 20 FLTT 20	Rate Loiter P 2.000 I 1.000 D 0.500 IMAX 100
Throttle Accel P 0.500 I 1.000 D 0.000 IMAX 80	Throttle Rate P 5.000 RC6 Opt None Min 0.000 0.000	Altitude Hold P 1.000 RC6 Opt Do Nothing RC7 Opt Camera Trigger RC8 Opt Do Nothing RC9 Opt Mount Pitch RC10 Opt Do Nothing	WPNav (cm/s) Speed 1000 Radius 200 Speed Up 250 Speed Dn 150 Loiter Speed 1250
Filter Logs Mask [] Options 0		Static Notch Filter Enabled [] Frequency 10 Band Width 5 Attenuation 5	
		Harmonic Notch Filter Enabled Disabled Mode 0 Reference 0 Frequency 10 Attenuation 5 Bandwidth 5 Options 0 Harmonics 0	

圖 2-68 PID 設定畫面

(三) 影像傳輸與通訊系統

本段將分為兩個部份，影像傳輸與 OSD 的設定，以及通訊系統的安裝與調整。

1. 影像傳輸與 OSD 的設定

本計畫之無人機使用的模擬訊號圖傳為 VT5801 V2，其功率為 600mW，鏡頭使用 Foxxer Cat 3 其具有 125 度的廣視角，以及 OSD 的功能可以直接顯示電壓等資訊於螢幕之上，如圖 2-69。



圖 2-69 OSD 設定畫面

2.通訊系統的安裝與調整

本計畫之無人機通訊系統分為三個部份，一個為數據傳輸模組其負責與地面站進行溝通，而另一個部份為遙控訊號接收器其負責遙控器的訊號接收，而第三個部分為 4G 通訊模組其雖然安裝於地面站中，但鑑於其主要功能為將無人機及地面站的資訊以 4G 訊號傳送給使用者並接收其操作數據便在此章節一併說明。數據傳輸模組主要需設定接入地面站之 Com port 以及 Baud Rate，同時亦能於 Mission Planner 做更詳細的設定包括最大發射功率等等，如圖 2-70。

Local

韌體版本

FD SIK 2.0 on HM-TRP

FREQ_915

DEVICE_ID

HM_TRP

L/R RSSI: 55/0 L/R noise: 54/0 pkts: 0 tx=0 rx=0

信號強/sbx=0 srx=0 ecc=0/0 temp=-276 dco=0

格式版本

26

跳頻 起始頻率

915000

速率

57600

跳頻 終止頻率

928000

速率(空中)

64

跳頻 頻道數

50

網路 ID

25

允許發射時間%

100

發射功率

20

避開已用頻率

0

ECC 校檢

☐

流量管制

☐

Mavlink 協議

Mavlink

最大窗口 (ms)

131

伺機重送

☐

AES Encryption

☐

GPI1_1R/CIN

☐

AES Key

Random

GPI1_1R/COUT

☐

重設為標準 Mavlink 協議

重設為標準 Mavlink 協議

Done

複製設定至機上端

圖 2-70 數據傳輸模組設定

而遙控訊號接收器則需注意使用的是 S-bus 訊號或 PPM 訊號，如圖 2-71。PPM 訊號可理解為將多個 PWM 通道的數值合併進一個通道，用 2 個高電平之間的寬度來表示一個 PWM 通道的值，而 S-BUS 則是一個串行通信協議，全稱為全數位化接口總線，與 PPM 相比提供了更高的資料傳輸速率、更穩定的訊號品質以及更好的抗干擾能力。

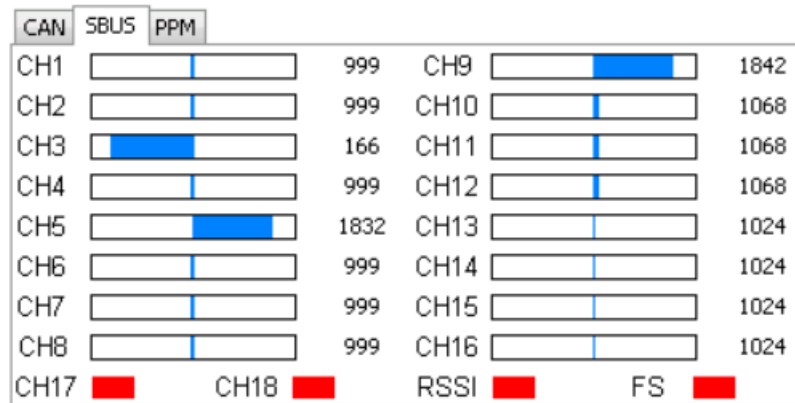


圖 2-71 遙控訊號接收器 S-bus 通道數據追蹤

本計畫使用的 4G 傳輸模組為 SIM7600G-H 4G HAT，其為 Raspberry Pi 的 4G 擴展模組，要使用這個模組首先要先對 Raspberry Pi 進行一系列設定其具體步驟如下：

1. 將 SIM7600G-H 4G HAT 與 Raspberry Pi 的 GPIO 已完全重合的方式組裝，並以 USB 線相連接，如圖 2-72。



圖 2-72 SIM7600G-H 4G HAT 與樹莓派組裝

2. 將 Raspberry Pi 的 GPIO 4 及 GPIO 6 設定為低電平，其主要原因為 SIM7600G-H 4G HAT 的對應腳位為飛行模式設定及開關機設定，如圖 2-73。

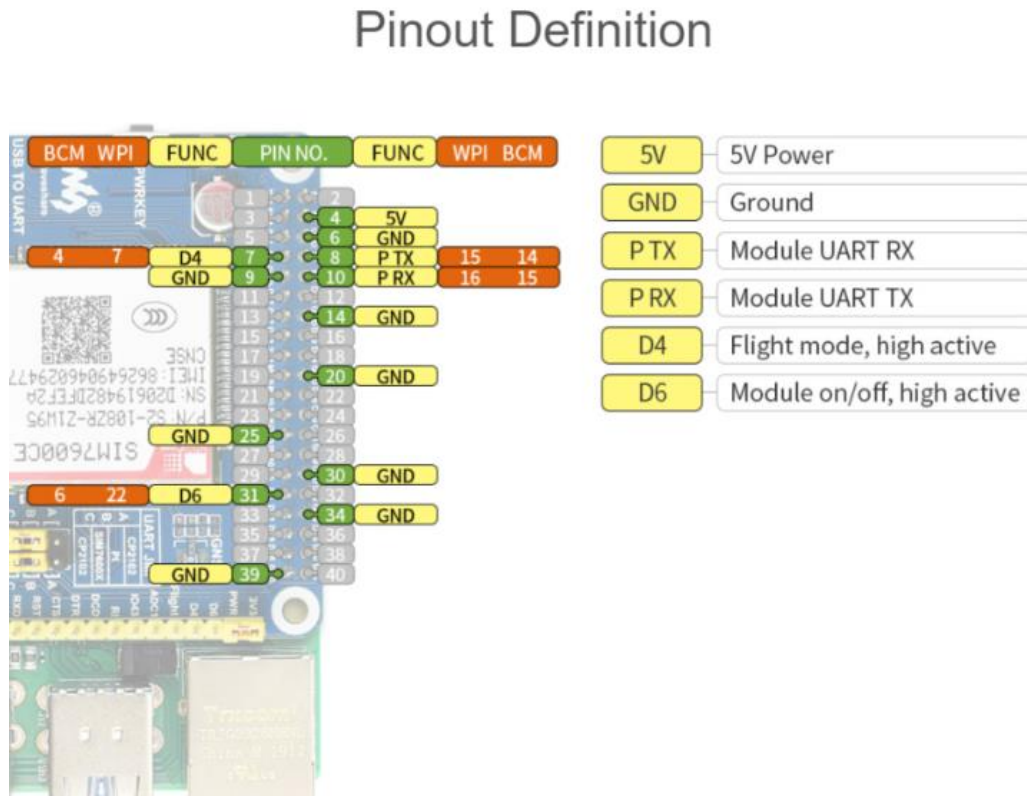


圖 2-73 SIM7600G-H 4G HAT 對應腳位圖

3. 設定 Raspberry Pi 的啟動腳本，使其每次開機後便自動搜尋 4G 訊號及聯網，如圖 2-74。

```
# Print the IP address
_IP=$(hostname -I) || true
if [ "$_IP" ]; then
    printf "My IP address is %s\n" "$_IP"
fi
sudo python /home/IAMS/SIM7600X/gpio.py &
exit 0
```

圖 2-74 Raspberry Pi 的啟動腳本

4. 使用 minicom 調適工具進行設定及檢測，如圖 2-75。



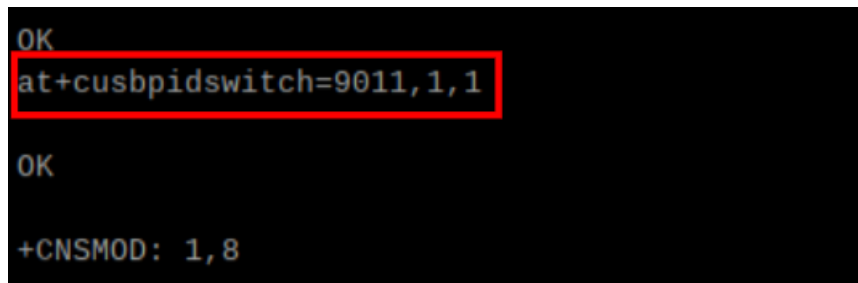
```

at+cpin?
按 CTRL-A Z 說明特殊鍵
+CPIN: READY
at
OK
at+creg?
+CREG: 2,1,FFFE,95B3B17
+CSQ: 20,99
OK
at+cops?
+COPS: 0,0,"Chunghwa Telecom",7
OK
+CNSMOD: 1,8
+CNSMOD: 1,8
OK
OK

```

圖 2-75 使用 minicom 進行訊號強度及 Sim 卡測試

5. 將 SIM7600G-H 4G HAT 調整為 RNDIS 上網，如圖 2-76。



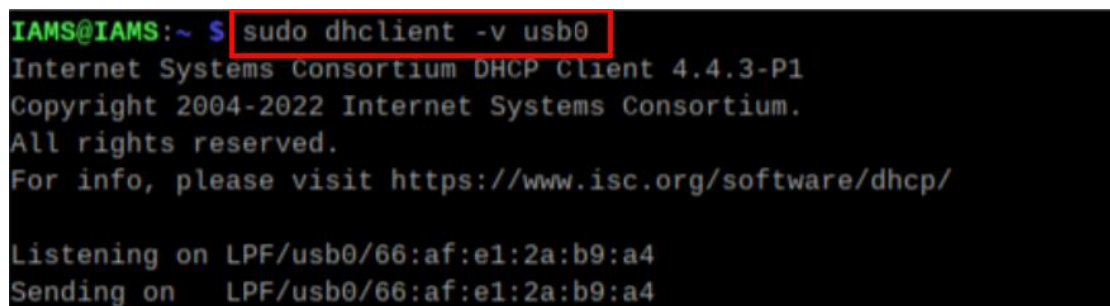
```

OK
at+cusbpidswitch=9011,1,1
OK
+CNSMOD: 1,8

```

圖 2-76 將 SIM7600G-H 4G HAT 調整為 RNDIS 上網

6. 將 Raspberry Pi 調整為指定使用 SIM7600G-H 4G HAT 進行聯網，如圖 2-77。



```

IAMS@IAMS:~$ sudo dhclient -v usb0
Internet Systems Consortium DHCP Client 4.4.3-P1
Copyright 2004-2022 Internet Systems Consortium.
All rights reserved.
For info, please visit https://www.isc.org/software/dhcp/

Listening on LPF/usb0/66:af:e1:2a:b9:a4
Sending on   LPF/usb0/66:af:e1:2a:b9:a4

```

圖 2-77 將 Raspberry Pi 調整為使用 4G 模組聯網

到此步驟後 Raspberry Pi 便可以使用 4G 進行聯網了，但由於本計畫需要讓使用者進行遠端操作，所以還要再進行一部份設置，使得使用者可以遠程對無人機進行操作，本計畫嘗試了兩套方案來完善此功能。

方案一是使用 TightVNC 以及 SocketXp 來完成遠端操作的功能，如圖 2-78，TightVNC 是一個跨平台和開源的遠端桌面軟體，SocketXP 則是一個基於雲端的 IoT 遠端訪問和管理平臺，在此方案中使用者透過 TightVNC 客戶端來訪問 Raspberry Pi，並且兩者的消息均由 SocketXP 的雲端代理服務進行轉發，如圖 2-79。

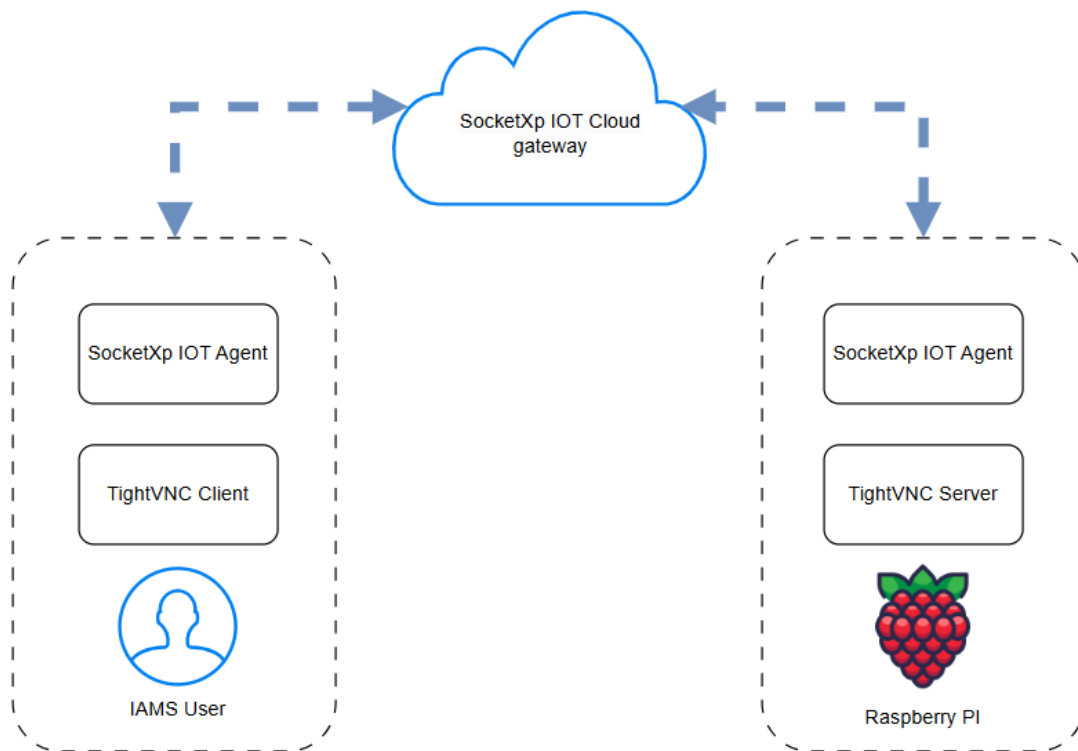


圖 2-78 方案一使用者控制流程

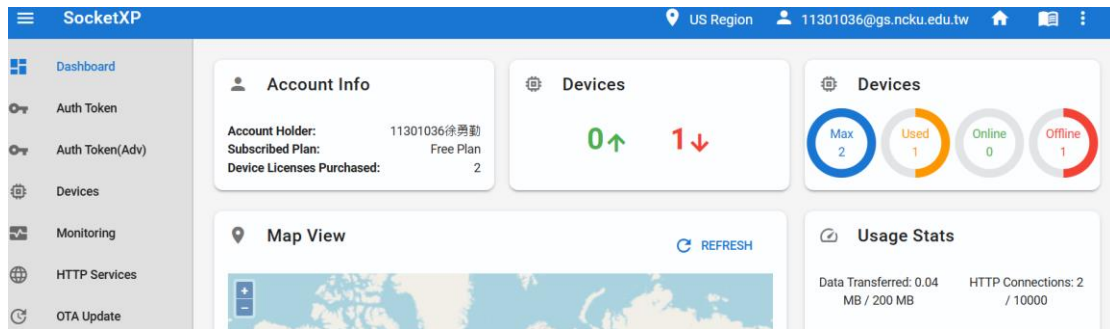


圖 2-79 SocketXP 雲端代理服務管理介面

但在實際使用後發現，在使用 SocketXP 及 TightVNC 的組合時，每次 Raspberry Pi 重啟就需要重新開啟 TightVNC 以及連接至 SocketXP 的代理服務，由於本計畫之監測站預計架設於山區溪谷等人員較難抵達之區域，重啟後需人員重新設定這點與本計畫的任務目標不符，所以本計畫最終採用方案二來完善此功能。

方案二是採用 RealVNC 及 RealVNC Cloud 代理服務，如圖 2-80，RealVNC 是一個跨平台的遠端桌面軟體，RealVNC Cloud 則是其提供的雲端代理服務，在此方案中使用者的控制流程整體與方案一相同，先透過 RealVNC 客戶端來訪問 Raspberry Pi，並且兩者的消息均由 RealVNC Cloud 的雲端代理服務進行轉發，如圖 2-81，而與方案一不同的是，在 Raspberry Pi 重啟後若無網路異常的情況，便會自動連接至 RealVNC Cloud 的雲端代理。

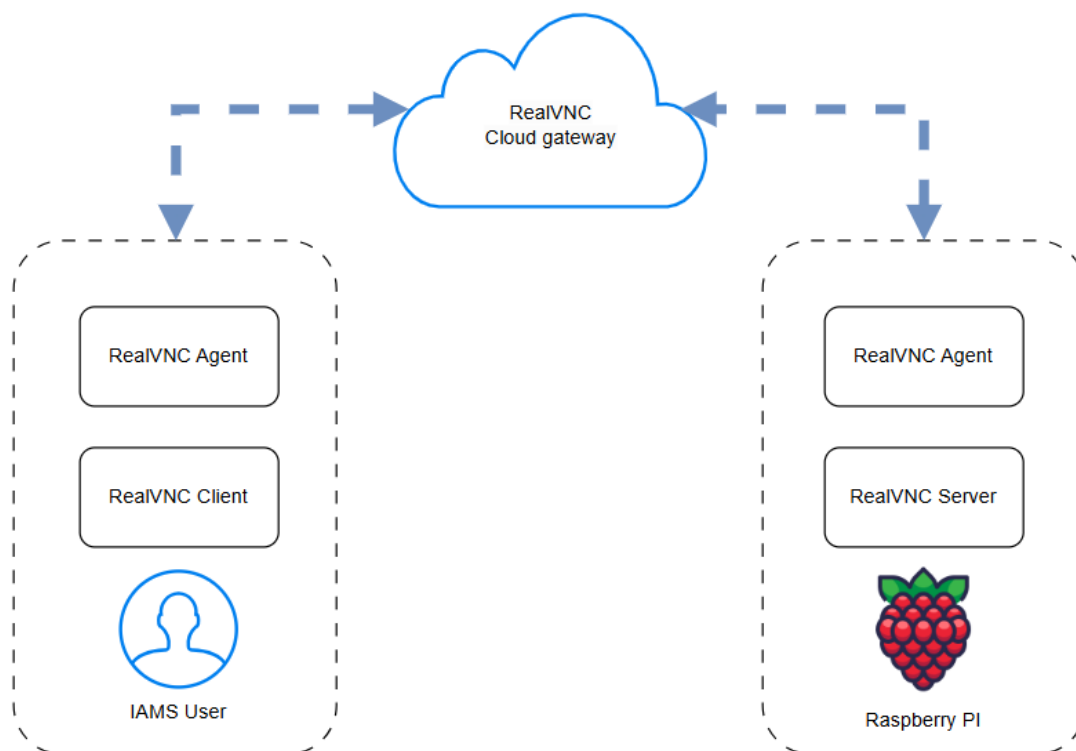


圖 2-80 方案二使用者控制流程

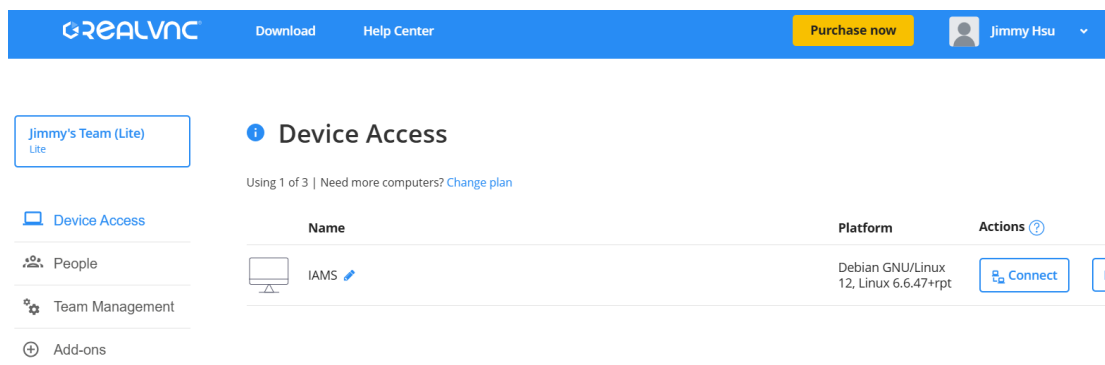


圖 2-81 RealVNC 雲端代理服務管理介面

(四) 雲台安裝與設定

本計畫之雲台帶有 SimpleBGC 的韌體，如圖 2-82。於安裝完成後可透過軟體對雲台 PID 值與 RC 通道等參數進行設定，同時亦可於此下達模擬訊號對雲台進行測試，此外，亦需於 Mission Planner 內設

定其轉向速率，最大轉向角度等等，如圖 2-83。

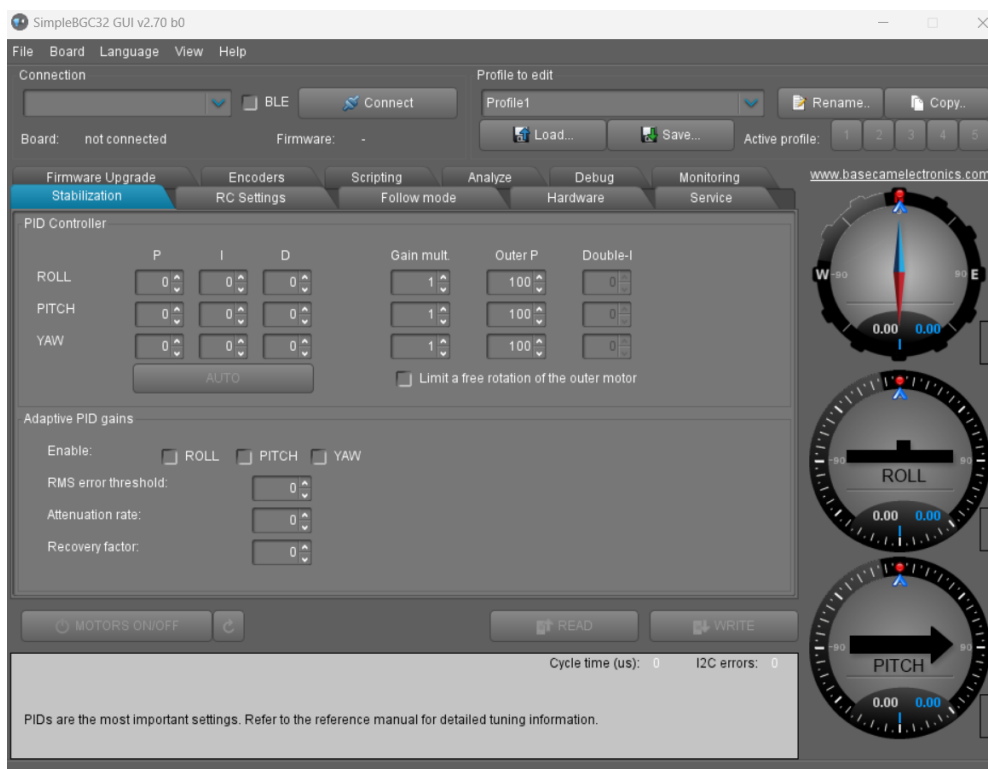


圖 2-82 SimpleBGC 設定介面

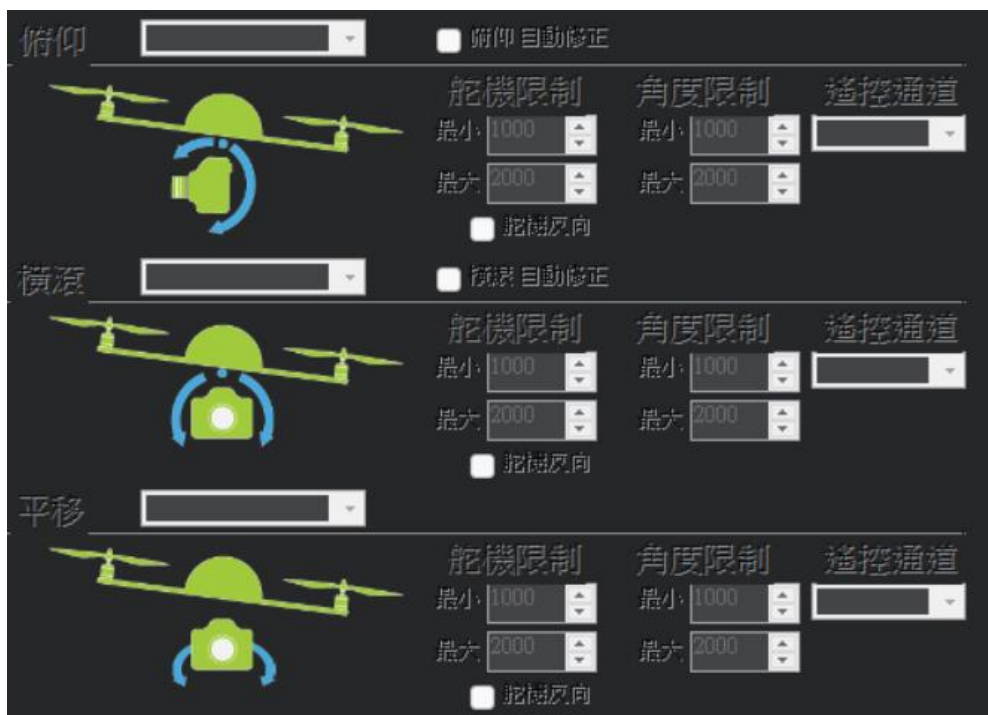


圖 2-83 Mission Planner 雲台轉向角度設定

(五) 可依設定任務路徑取像

本計畫小組於六月進行無人機之試飛測試且仿照實際任務做規劃及取像，以下分為兩點各別說明，一是無人機的程式化飛行與起降，二是依照任務路徑進行取像。

1. 程式化飛行與起降

首先透過地面站進行任務及目標區域的設定，如圖 2-84，而後透過需要的畫面重疊率及相機鏡頭焦距等參數變可推導出初步的航路圖，如圖 2-85，之後便是對飛行計畫的各個航點的高度以及取像間隔等等進行微調，如圖 2-86。

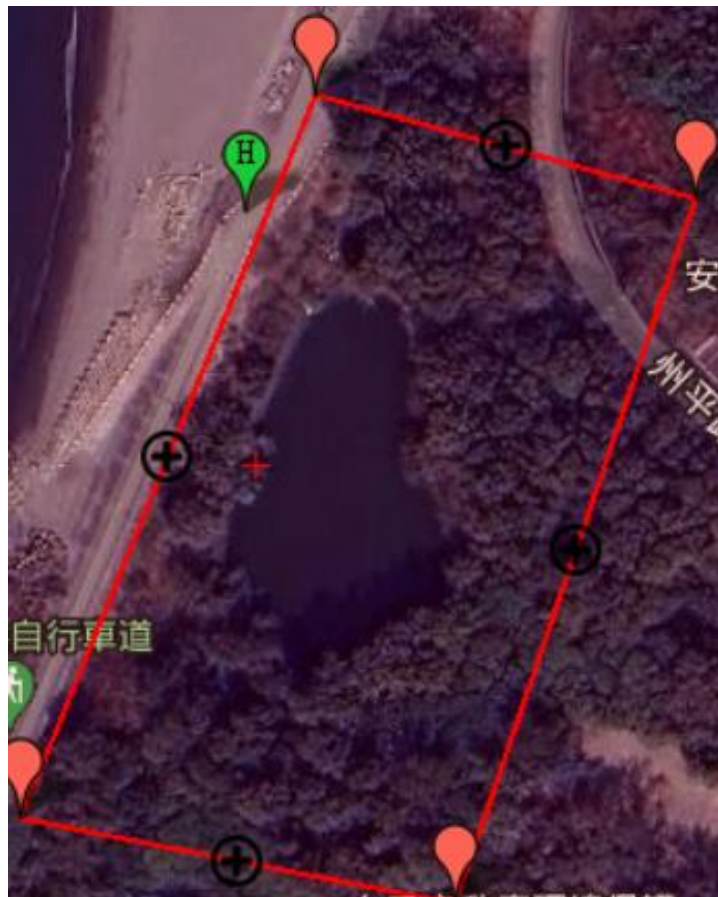


圖 2-84 任務區域規劃

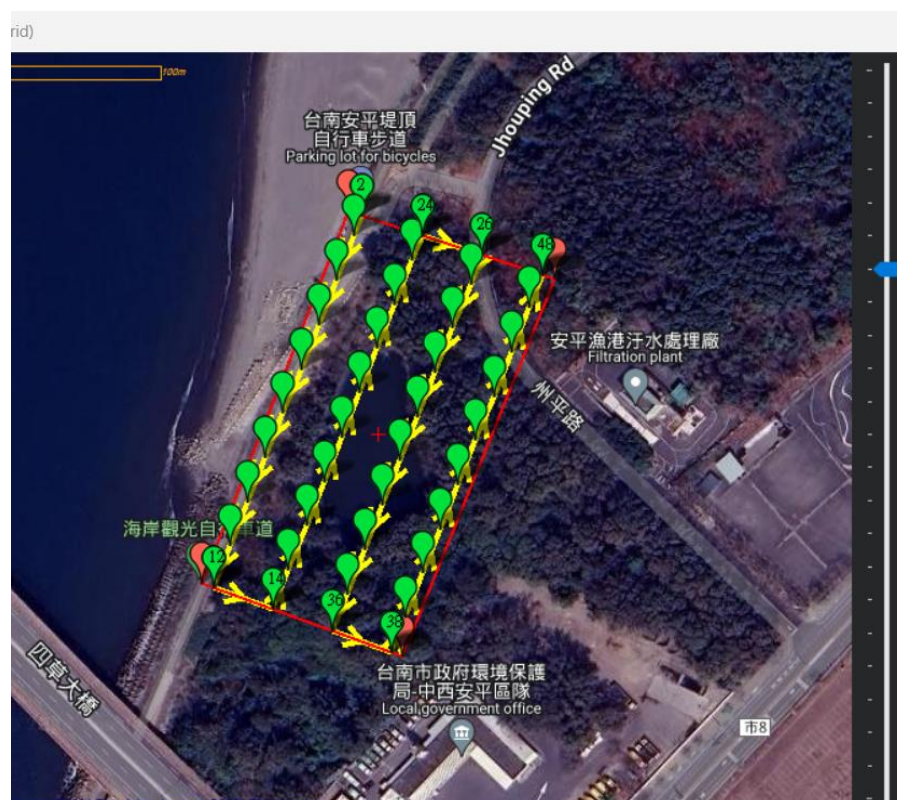


圖 2-85 航路圖

	命令	Delay				Lat	Long	Alt	Frame	刪除	上移	下移	坡度	Angle	距離	角度
1	TAKEOFF	20	0	0	0	0	0	30	Relative	X			0	0	0	0
2	DO_CHANGE_SPEED	0	2	0	0	0	0	0	Relative	X			0	0	0	0
3	WAYPOINT	0	0	0	0	22.99767	120.1426706	100	Relative	X			274.9	70.0	106.4	25
4	DO_SET_CAM_TRIGG_DIST	19.3	0	1	0	0	0	0	Relative	X			0	0	0	0
5	WAYPOINT	0	0	0	0	22.9963126	120.1420787	100	Relative	X			0.0	0.0	162.6	202
6	DO_SET_CAM_TRIGG_DIST	0	0	1	0	0	0	0	Relative	X			0	0	0	0
7	WAYPOINT	0	0	0	0	22.996234	120.1423146	100	Relative	X			0.0	0.0	25.7	110
8	DO_SET_CAM_TRIGG_DIST	19.3	0	1	0	0	0	0	Relative	X			0	0	0	0
9	WAYPOINT	0	0	0	0	22.9975981	120.1429094	100	Relative	X			0.0	0.0	163.4	22
10	DO_SET_CAM_TRIGG_DIST	0	0	1	0	0	0	0	Relative	X			0	0	0	0
11	WAYPOINT	0	0	0	0	22.9975263	120.1431482	100	Relative	X			0.0	0.0	25.7	108
12	DO_SET_CAM_TRIGG_DIST	19.3	0	1	0	0	0	0	Relative	X			0	0	0	0
13	WAYPOINT	0	0	0	0	22.9961553	120.1425504	100	Relative	X			0.0	0.0	164.3	202
14	DO_SET_CAM_TRIGG_DIST	0	0	1	0	0	0	0	Relative	X			0	0	0	0
15	WAYPOINT	0	0	0	0	22.9960766	120.1427862	100	Relative	X			0.0	0.0	25.7	110
16	DO_SET_CAM_TRIGG_DIST	19.3	0	1	0	0	0	0	Relative	X			0	0	0	0
17	WAYPOINT	0	0	0	0	22.9974545	120.143387	100	Relative	X			0.0	0.0	165.1	22
18	DO_SET_CAM_TRIGG_DIST	0	0	1	0	0	0	0	Relative	X			0	0	0	0
19	DO_SET_CAM_TRIGG_DIST	0	0	1	0	0	0	0	Relative	X			0	0	0	0
20	RETURN_TO_LAUNCH	0	0	0	0	0	0	0	Relative	X			0	0	0	0

圖 2-86 飛行計畫與航點設定

進行起飛前的各項檢包括：當前所接收的衛星數量電池電壓、與地面站的訊號強度、是否水平放置與飛行模式等等，圖 2-87 為檢查列表，需滿足條件後飛機才能解鎖及起飛。

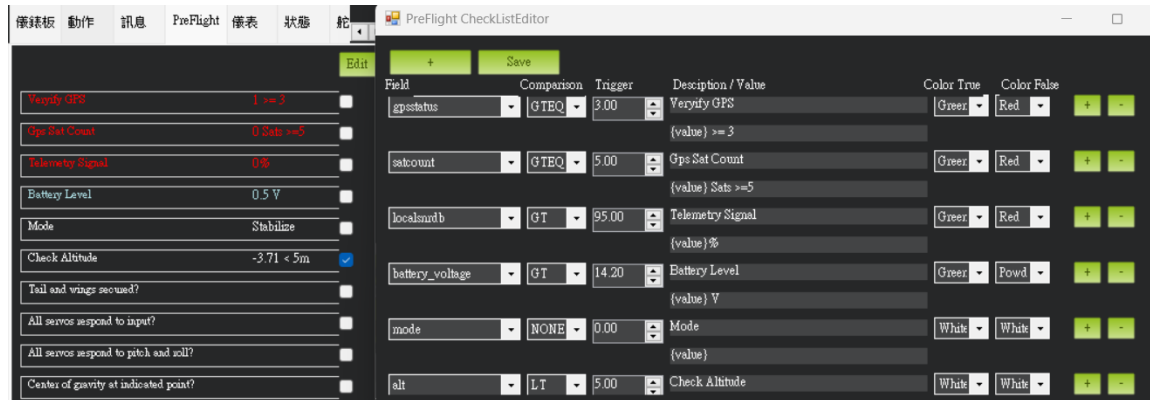


圖 2-87 飛行前檢查列表

在檢查完畢後，便可於地面站下達 Arm 指令以解鎖無人機，再將無人機調整為自動模式，並下達 Mission_Start 指令，如圖 2-88，無人機便會起飛並依照路徑執行預先規畫好的任務，如圖 2-89。



圖 2-88 以圖形介面下達 Mission_Start 指令



圖 2-89 飛行過程中由廣角鏡頭所拍攝的第一視角

2. 依照任務路徑取像

當無人機起飛後其便會前往航點進行影像的拍攝，而此部份需要注意的是對相機鏡頭的設置，如曝光、焦距等等，若曝光時間過長有時會導致水面的反光過強而造成後續的照片不易解析，如圖 2-90。



圖 2-90 水面反光嚴重

在拍攝完成後便要對圖像進行地理標計及拼接，這部分使用 Mission Planner 的拼接功能來實現，如圖 2-91，再導入圖象與座標後便會產出 kml 檔案，最後導入 Google Earth 後便可察看結果，如圖 2-92 所示。

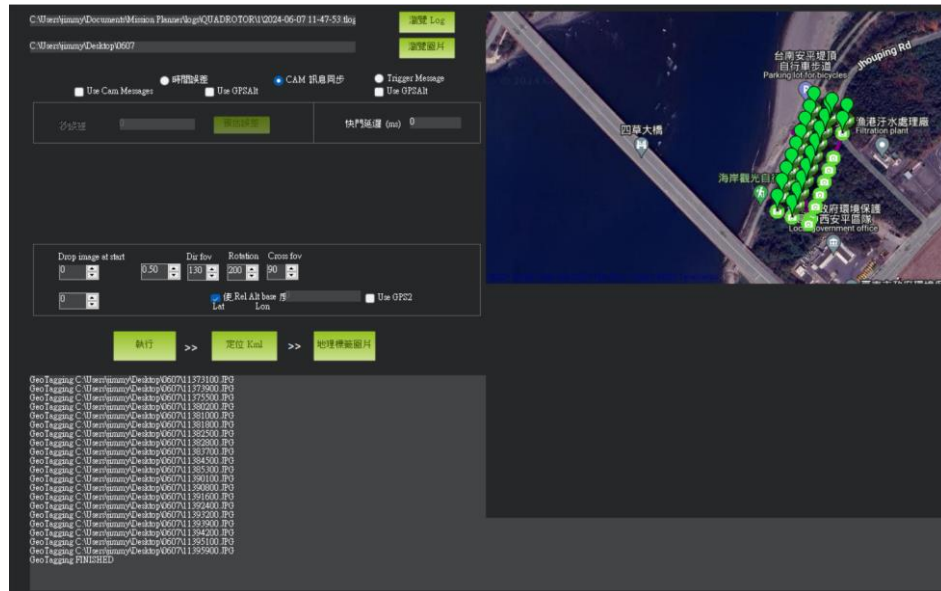


圖 2-91 使用 Mission Planner 進行地理標計及拼接

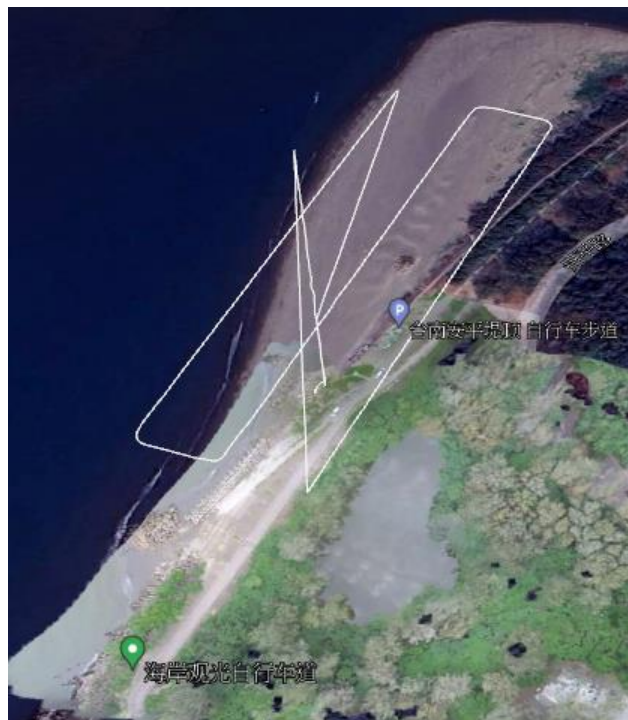


圖 2-92 kml 檔案於 Google Earth 的預覽

二、智能與模組化監測站開發

為了能實現於野外地區機動部署、維修與替換零件，故本計畫之監測站設計核心為**輕量化與模組化**，並以此為基礎做防塵防潑水處理，提高機器的使用壽命與穩定性，以達有效的戶外監測。故於計畫執行期間，透過 3D 列印技術與加工廠商協力製作，逐步生產出監測站所需之零件，再由本計畫相關人員一同組裝。而監測站主要由機庫模組與底座框架模組搭配各式快拆接頭所組成，因此其相關的執行步驟與實作方法以下將各別敘述之：

(一) 機庫模組製作

考慮到本計畫之無人機尺寸與其需要的停機坪大小，故整體機庫模組的尺寸約為長 1135mm、寬 954mm、頂蓋高度 464mm，如此大的物件需拆成諸多零件以便得以加工，而後再將各零件組裝成所需之機庫模組。因此在機庫模組的製造生產上可分成主體與水平開合頂蓋兩個部分。首先，考量輕量化與方便組裝之需求，故主體材料主要使用高密度聚苯乙烯，其具有結構較為強固與重量較輕的優點，且根據材料特性，與其他零件之固定黏合主要透過保麗龍膠或 AB 劑，更進一步減少螺絲鎖固數量達到減重效果，然而，考量到其加工方式為電熱線加熱裁切從開始到結束一筆劃完成，對外型尺寸上會產生一定的公差，因此在長度設計上為原長再多加 1 至 2mm，而在主體上的任何貫穿孔，其加工路徑上會留下縫隙，此縫隙需事後用膠進行填補，故最終加工後之主體零件將會如圖 2-93 所示。

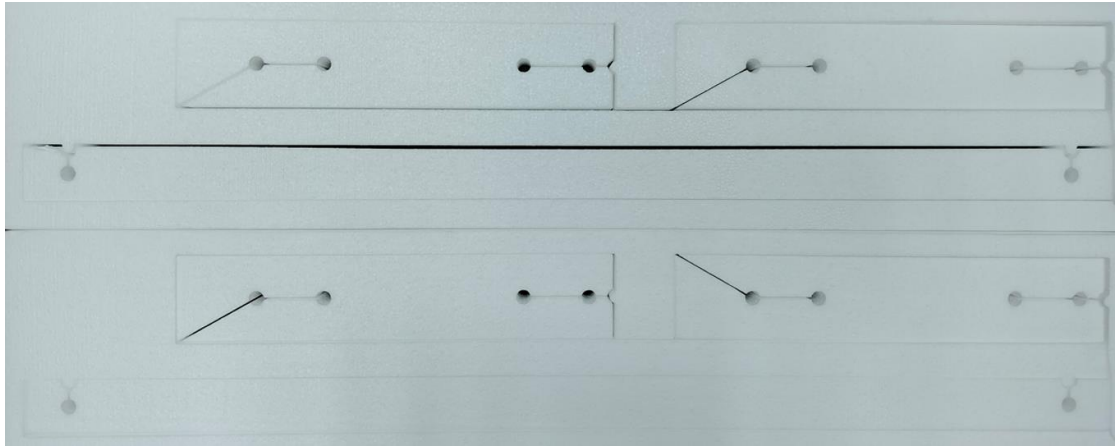


圖 2-93 機庫模組主體零件

考量無人機在起降時需保有一定的空間，故頂蓋水平開合之最大行程距離為 429mm，其相對應之零件，如：軌道座、滑軌，也因開合距離與 3D 列印機加工面積限制而需要進行分段以利生產，如圖 2-94。因此在製作頂蓋水平開合機構之零組件上，本計畫藉由 3D 繪圖軟體，如：SOLIDWORKS 做設計，並將檔案匯出成 3D 列印所需之格式來進行生產。此外，於計畫開發階段，透過 3D 列印能快速驗證設計的可行性，不僅縮短研發時程亦節省生產成本。然而，在生產過程中，列印材料會經過加熱、擠出再層層堆疊的過程，故會產生約 0.3mm 的尺寸公差，因此若有互相配合之零件則於設計時需將公差一併考慮。為確保頂蓋在開合時能動作順暢，故軌道座與滑軌需再組合完成後確認其滑順度。



圖 2-94 機庫模組分段零件

而頂蓋水平開合機構之驅動採用步進馬達連接齒輪與齒條組的方式，由於步進馬達之輸入信號為角度脈衝信號，透過設定步級角，亦即步進馬達之解析度，設定馬達旋轉一圈之最小分割角度，在控制上相對較為容易且能實現高精度的控制，以達頂蓋開合所需之位置。另外，考量頂蓋移動時，馬達驅動齒輪與齒條需要承受其力矩，故齒輪與齒條各使用 3mm 厚度與 5mm 厚度之壓克力板作為材料，其具有表面光滑且一定剛性之優點，並且透過精密度高、速度快之雷射切割來加工，確保每齒外型尺寸正確且均能聶合。

而所有相關零件均列印完成後，需再進一步使用銼刀進行後處理，將毛邊去除，並用保麗龍膠將各零件依序固定至機庫模組主體零件以及放入 3mm 不銹鋼鋼珠。在黏合過程中需注意軌道三個部件之平行度，確保齒條頂蓋轉接板能滑行無阻，減少接觸面之摩擦力，確認方式為安裝齒條頂蓋轉接板於軌道部件之凹槽處並做滑動確認，若有阻力較大之處則用銼刀將槽徑慢慢拓寬，再繼續做滑順度測試。如圖 2-95。

另外，與頂蓋模組連接之滑行軌道採用市售塑膠抽屜滑軌，如圖 2-96，相較市售滑軌在重量上亦減輕不少，而其功能如同抽拉抽屜般，能在水平方向上延伸長度，並配合齒條移動達到所需之開合效果，最終頂蓋水平開合機構組裝完成後如圖 2-97 所示。

軌道凹槽

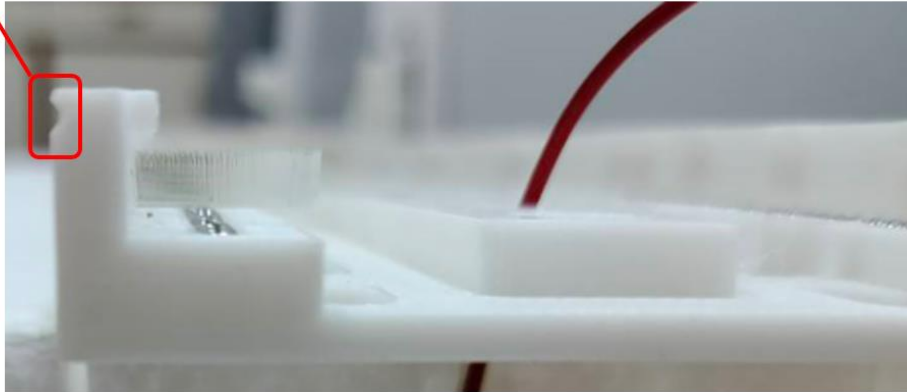


圖 2-95 軌道凹槽前視圖

水平方向延伸長度



圖 2-96 塑膠抽屜滑軌

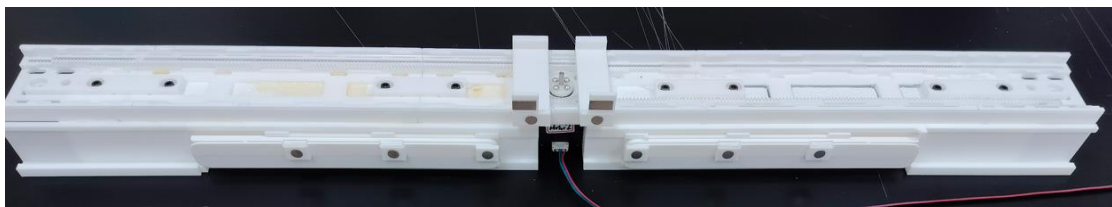


圖 2-97 頂蓋水平開合機構

頂蓋模組部分，考量主要作為無人機的遮蔽物以及防塵防潑水用，故選用重量較輕的珍珠板作為材料，如圖 2-98，而其尺寸為長 1072mm、寬 490mm、高 464mm，共左右兩組，由於其體積大之緣故，故頂蓋亦拆分成幾個部件便於加工，可分成上部、側邊以及後部，共三個部分，其中，上部與後部均做減重處理，將中間部分挖空再用透明塑膠板做防潑水，再者，為達到快拆性與搬運方便性，故內側均黏有磁性鐵片，如圖 2-99 與圖 2-100 所示。頂蓋之核心部件為側邊之梯形部分，如圖 2-101，中間部分同樣挖空為減少頂蓋重量，並用塑膠板做防塵防潑水，而周圍邊長上均黏有 3D 列印之三角磁鐵座以供頂蓋模組方便組裝與快速更換用，再者內側亦黏上磁性鐵片作為與機庫連接用，並用壓克力板做定位用，使其在運動過程中能與水平機構保持平行。



圖 2-98 機庫模組之珍珠板頂蓋



圖 2-99 珍珠板頂蓋模組之上部



圖 2-100 珍珠板頂蓋模組之後部

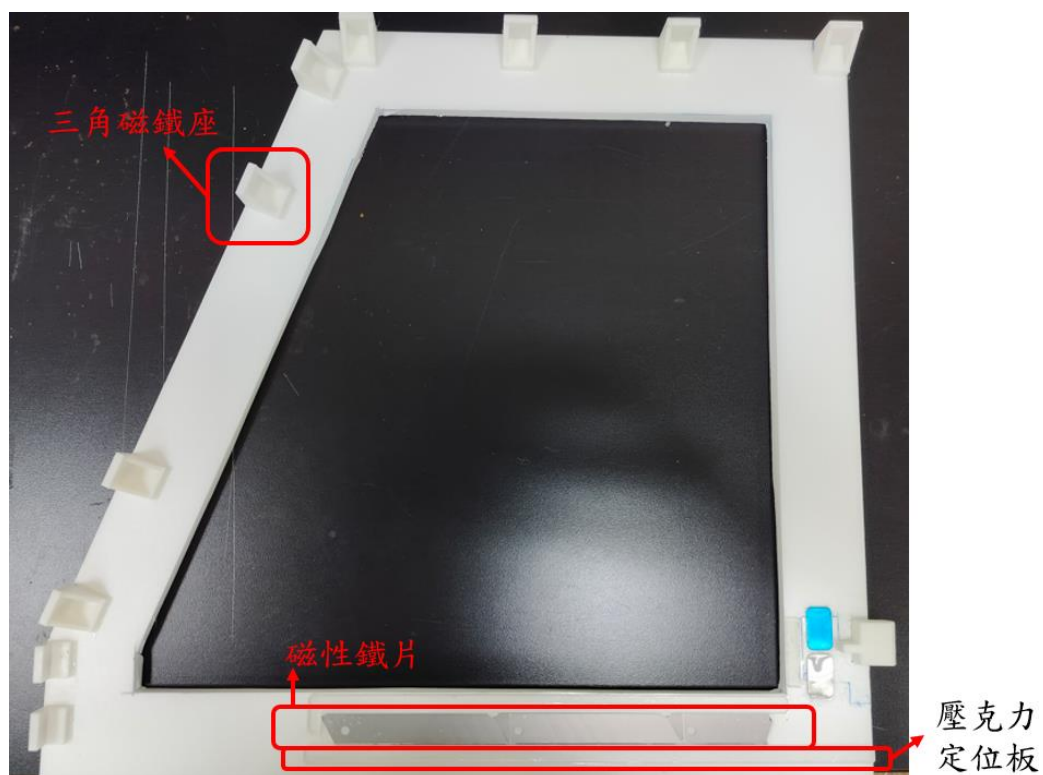


圖 2-101 頂蓋模組之側邊部件

(二) 底座框架模組製作

底座框架模組由停機坪、底盤、角柱與各橫樑所組成，尺寸大小為長 1034mm、寬 958mm、高 275mm，其中停機坪尺寸根據無人機大小加上預留安全降落空間，可得長 850mm、寬 850mm，為承受無人機之重量以及達到輕量化的需求，以及無人機降落平台之平整度要求，故選擇整塊大平面且厚度 58mm 之高密度聚苯乙烯作為材料，並且黏貼磁性材質於停機坪底部來達到快速組裝與易拆效果。

而根據停機坪模組的設計，備有安裝無人機接腳之充電裝置，固定於對角線之相對位置，如圖 2-102 所示。並且透過磁吸薄片使其達到與飛機腳對接，進而將充電迴路串起，已達對無人機電池充電效果。



圖 2-102 無人機停機坪俯視圖

其中，充電裝置由磁性薄片與 3D 列印固定座所組成，先於薄片表面貼覆銅箔膠帶，並將正負線焊接於背面，再穿過固定座，最終完成無人機充電裝置，如圖 2-103 所示，並將此裝置置入於停機坪之對腳線凹槽處，便完成停機坪模組充電設計。

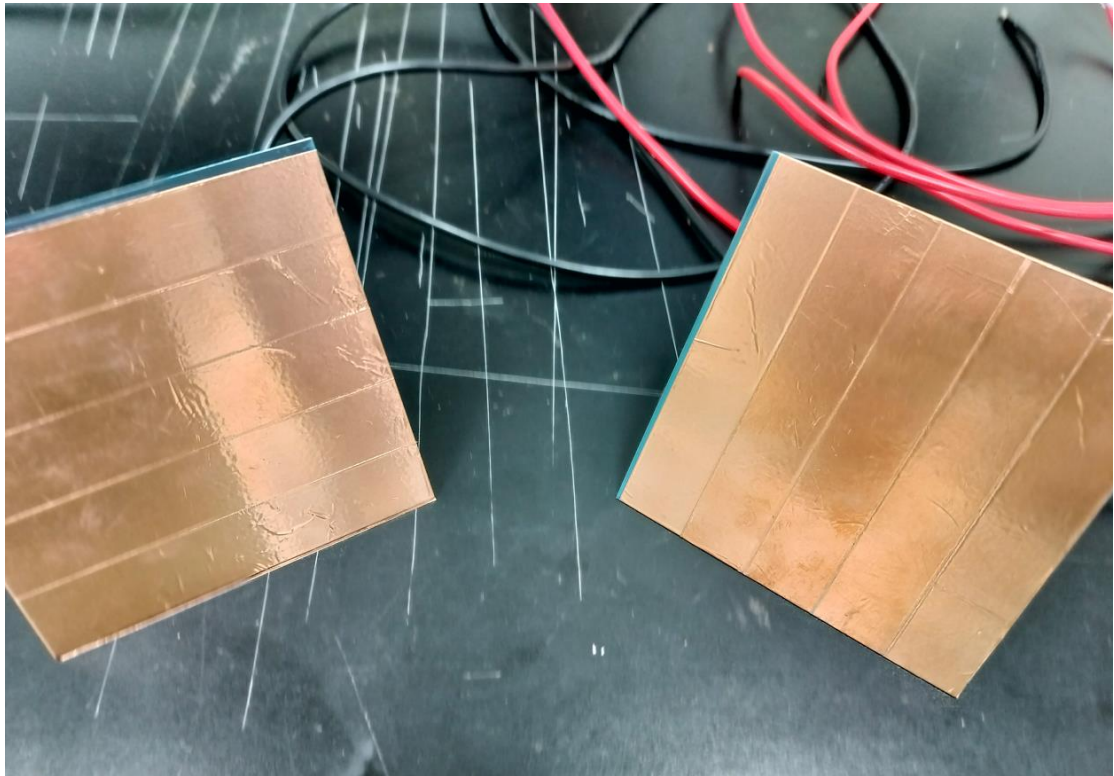


圖 2-103 無人機之停機坪充電裝置

在角柱部分，各角柱均透過 3D 列印自行生產其各自零件，並於列印完成後測試每塊之配合緊度，確保能易於拆裝，再者，於角柱表面鑲入強力圓形磁鐵使監測站封板得以吸附，而最下層方形塊表面則貼上引磁片，使底座框架橫樑能快速吸附，達到快拆效果。若在組裝過程中有過度緊配合情形，可用銼刀或砂紙打磨將四周導角角度加大，使其較好拼接，故最終完成的監測站四支角柱將如圖 2-104 所示。

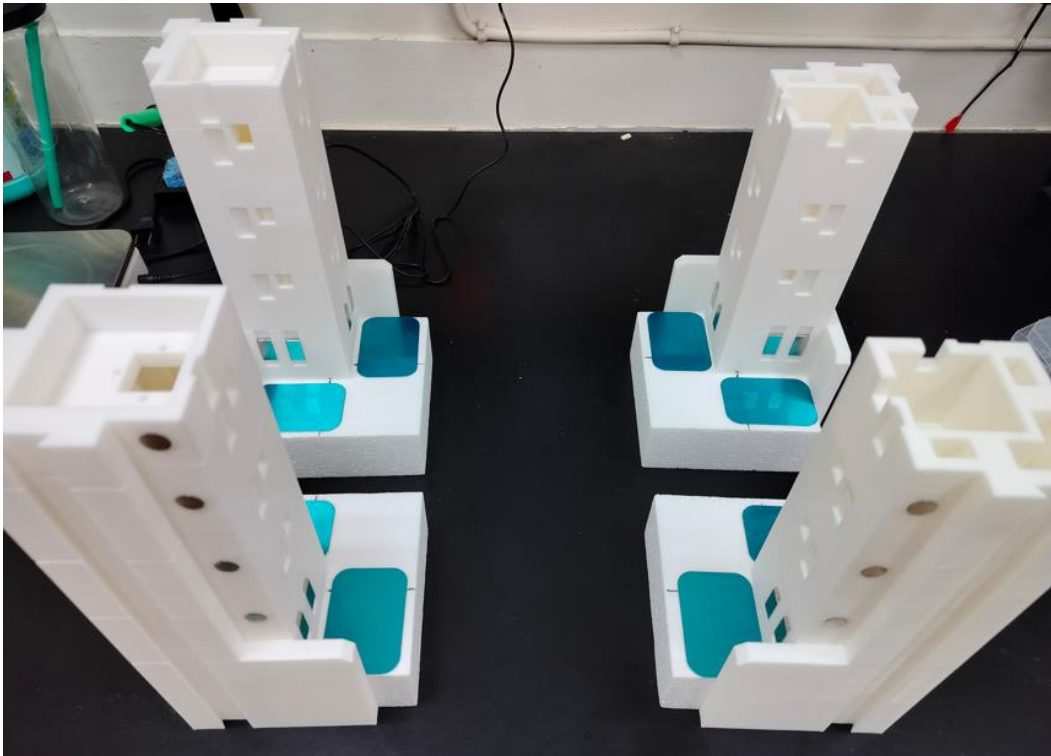
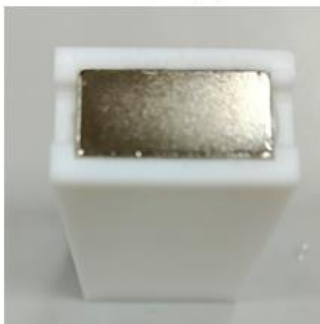


圖 2-104 監測站四支角柱組裝完成圖

而在監測站底盤部分，主要由各橫樑所組成，橫樑上均備有磁吸插銷固定位置，磁吸插銷由 3D 列印磁吸座與方形強力磁鐵所構成，如圖 2-105。藉由磁吸插銷使得每支橫樑帶有磁性，達到方便拆裝，與其他零件做結合的優點。

上視圖



右側視圖



圖 2-105 底座框架模組之橫樑磁吸插銷

而橫樑在置入磁吸插銷後，再藉由保麗龍膠彼此做固定，且於黏合過程中需用治具輔助以確保每支橫樑的平行與等間距，如圖 2-106，橫樑上方則有大面積珍珠板可作為擺放各控制元件之處，其尺寸為長 938mm、寬 1014mm、厚度 10mm，如圖 2-107 所示。



圖 2-106 底座框架模組之橫樑組裝圖

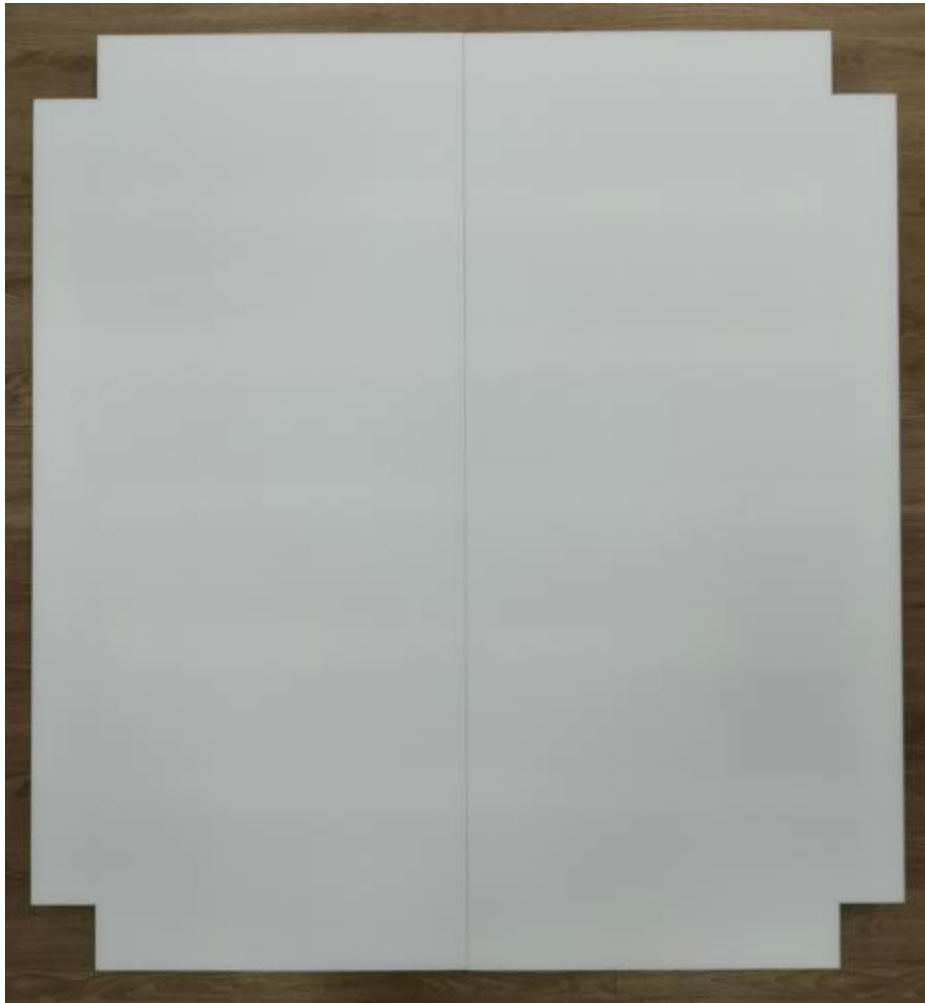


圖 2-107 底座框架模組之底盤組裝圖

而本計畫之監測站控制器為樹莓派 4B，如圖 2-108，將會置於靠近底盤邊緣，以利維修更換。樹莓派為現行常見之微型電腦，其相關的資源較易從網路上取得，於計畫開發中能迅速排除問題，此外，其運算速度快，並備有乙太網路、USB 插口、支援藍牙 5.0 等多種功能，符合未來遠端控制與數據影像傳輸之需求，再者，透過多個通用輸入輸出接口(General Purpose Input Output，簡稱 GPIO)，可實現與周邊硬體設施之整合，例如：執行機庫頂蓋開合動作，提供各功能所需之腳位。



圖 2-108 樹莓派 4B

另外，底座內部使用多片厚度 5mm 之珍珠板作為排水斜面，降低內部滲水之可能性，而外部封板為防塵防潑水，使用厚度 10mm 珍珠板，如圖 2-109，同時考量組裝與維修方便性，封板內側亦黏貼磁性鐵片。



圖 2-109 監測站封板

綜合上述，在所有底座框架模組零件全數生產完且各部件均組裝後，即可完成監測站之底座框架模組合，如圖 2-110 所示。



圖 2-110 監測站底座框架模組組合

(三) 快拆接頭製作

本計畫之快拆原理採用磁吸方式，根據不同需求，監測站備有不同外形之快拆接頭，故可分成訊號磁吸模組與電源磁吸模組，以下將分別說明：

1. 訊號磁吸模組

由於監測站控制器置於下層之底座框架模組內，與上層負責頂蓋開合之機庫模組分開，因此中間的訊號傳輸需藉由磁吸接頭來達成，基於如此，磁吸訊號模組亦分成機庫模組部分與底座框架部分。為避

免上下層模組在放置時，因擺放方向與正確方向相差 180 度之問題，造成訊號錯誤，故於上層磁吸模組規劃各訊號腳位，以及在對稱方向規劃相反腳位，分別如圖 2-111 與圖 2-112 所示。

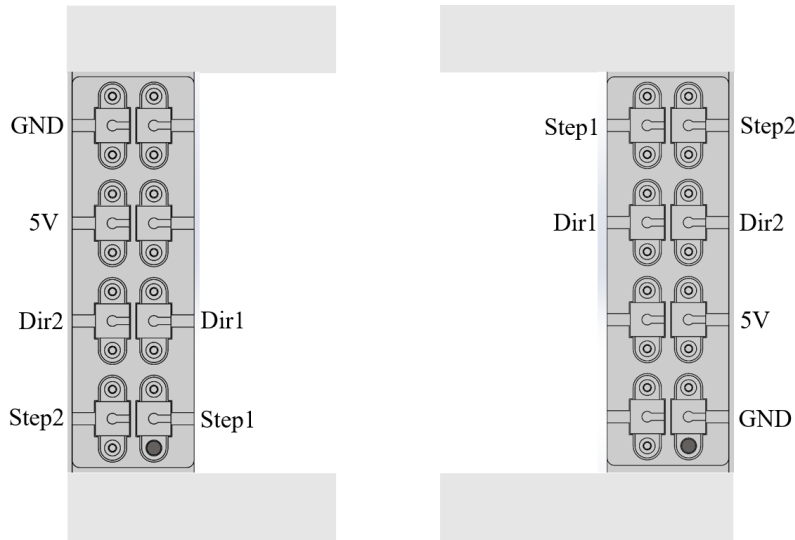


圖 2-111 機庫模組之訊號磁吸模組腳位規劃圖

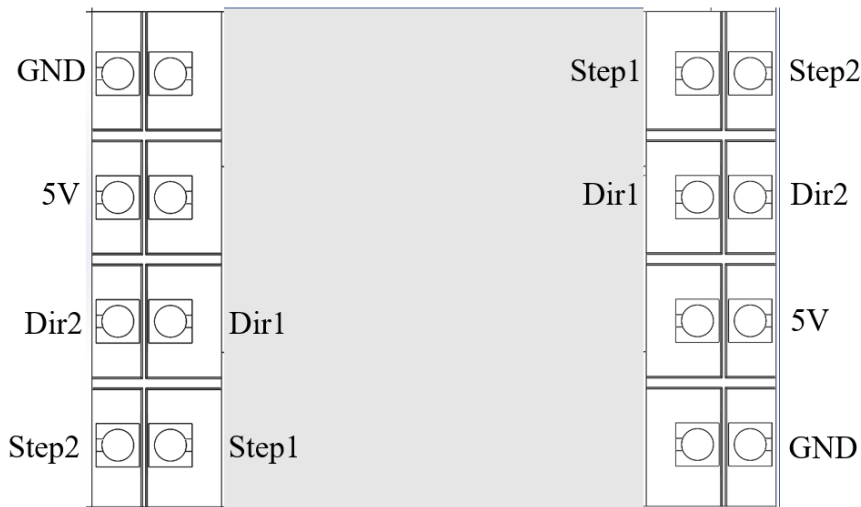


圖 2-112 底座框架模組之訊號磁吸模組腳位規劃圖

根據上層腳位規劃，下層底座框架之磁吸訊號模組亦規畫相對應的腳位，而其公母接頭透過 3D 列印來製造，並於凹槽處放置強力磁鐵，再用銅箔膠帶包覆。而上層之訊號磁吸模組，將會黏於機庫模組

下方，其公接頭製作方法如圖 2-113 所示，並於焊訊號線過程中需考慮之後的走線規劃，而空腳位則可不必要置入磁鐵，故最終完成的訊號磁吸模組將如圖 2-114 所示，共左右兩組。

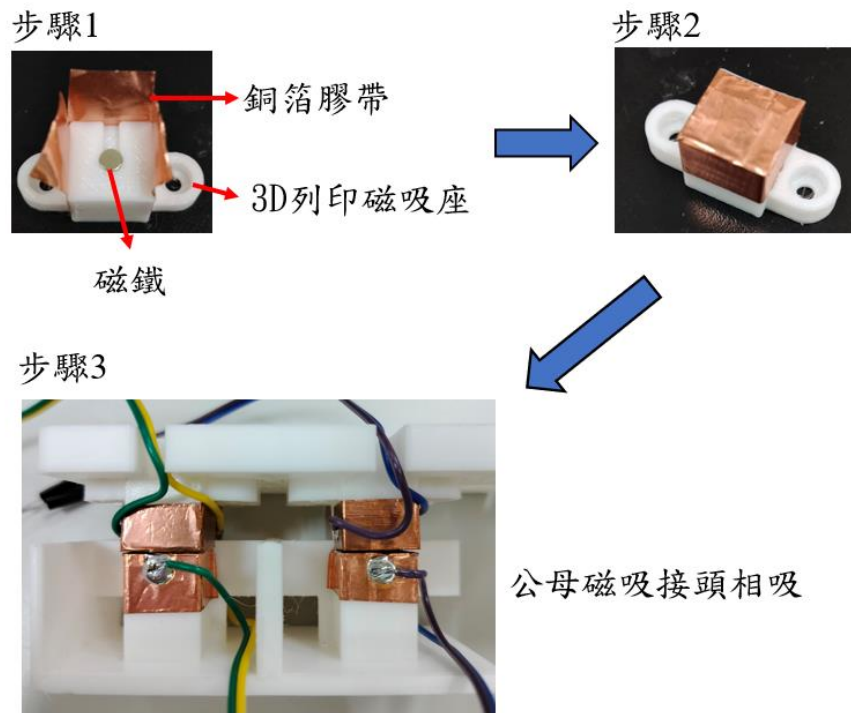


圖 2-113 訊號磁吸公接頭製作流程圖

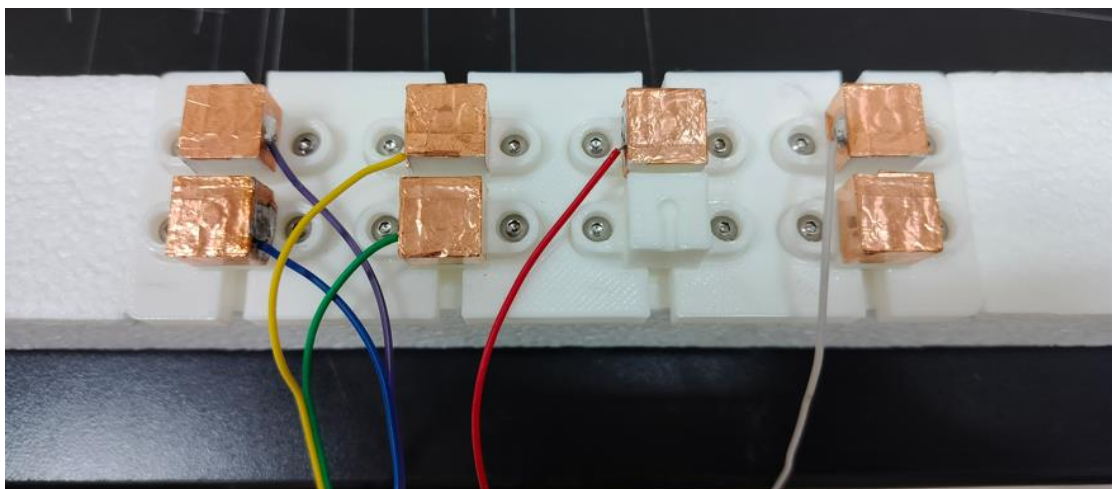


圖 2-114 單側訊號磁吸模組完成圖

底座框架模組則為訊號磁吸模組之母接頭，其製作方法如圖 2-115，如同公接頭製作，先將強力磁鐵放入 3D 列印磁吸座內，再用銅箔膠帶包覆，並參考腳位規劃圖焊上訊號線。當上下層訊號模組接製作完成後，需再將二者相吸，並量測訊號線是否導通。

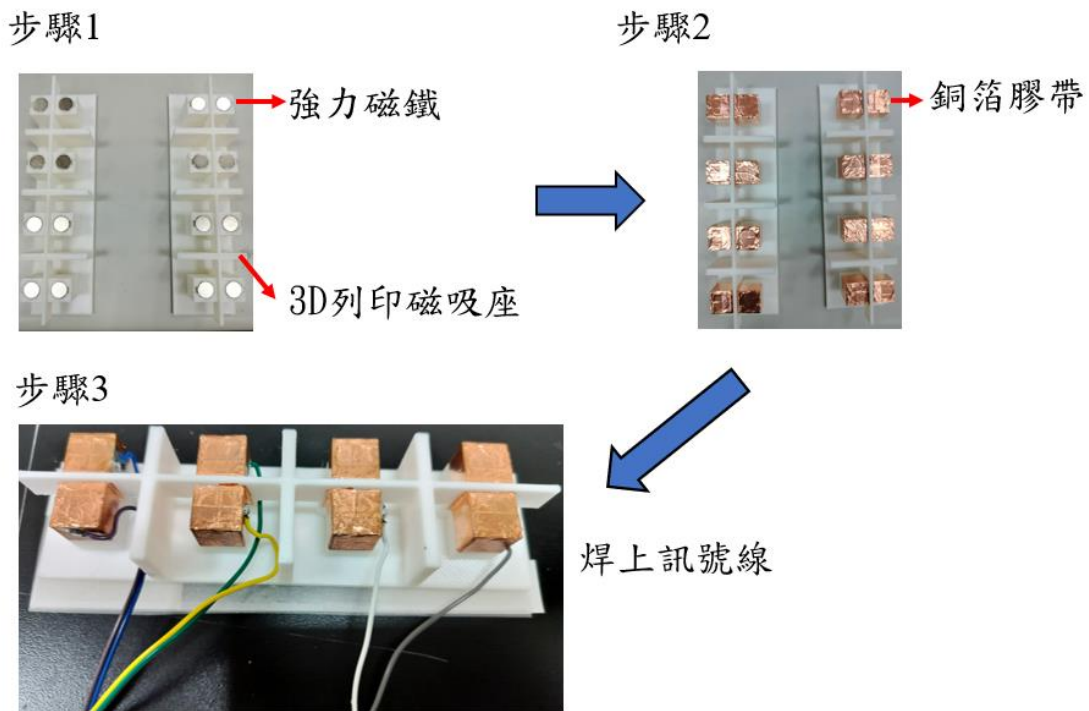


圖 2-115 訊號磁吸母接頭製作流程圖

2. 電源磁吸模組

由於馬達其驅動器需電源供電，才能使馬達運轉，故如同訊號磁吸模組，驅動器之電源線亦需要藉由磁吸方式將機庫模組馬達電源線連接至底座框架模組內之電池盒，當中透過走線規劃將其安裝在機庫模組之四邊角，同樣考量上下層模組在放置時，可能產生因擺放方向與正確方向相差 180 度之問題，造成無法供電，故電源之正負線安裝位置規劃圖，如圖 2-116 所示。

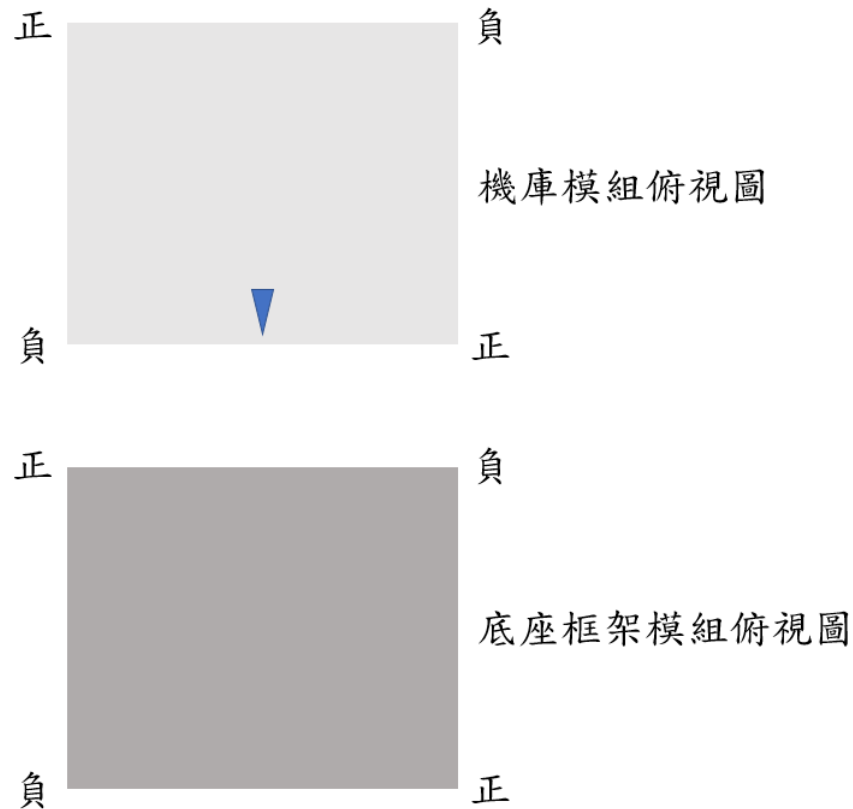


圖 2-116 電源磁吸模組位置規劃圖

而底座之電源磁吸模組將會置於四支角柱內，如圖 2-117，並透過其出線孔將電源線拉至電池盒，而接頭使用 3D 列印來製作，並置入強力磁鐵，再用銅箔膠帶包覆，外層再用焊錫將線固定，如同訊號磁吸接頭之作法，如圖 2-118 所示，如此便可於上下層組裝時，將電源從底座提供至機庫模組馬達。

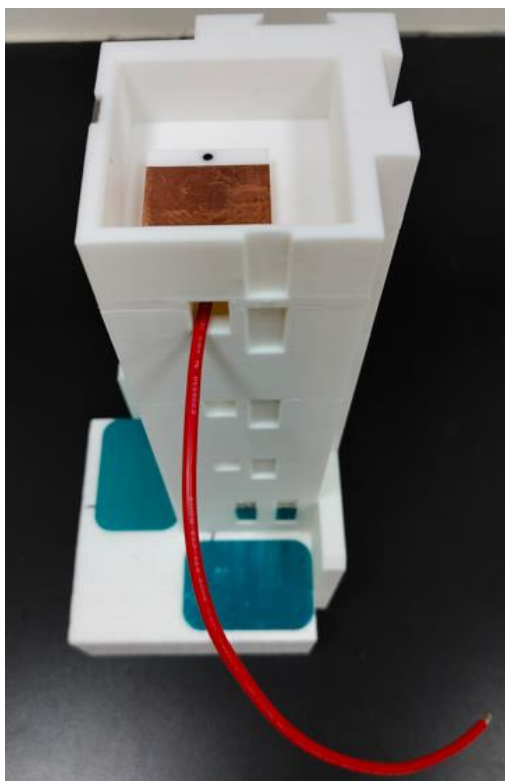


圖 2-117 底座角柱內置入電源磁吸模組

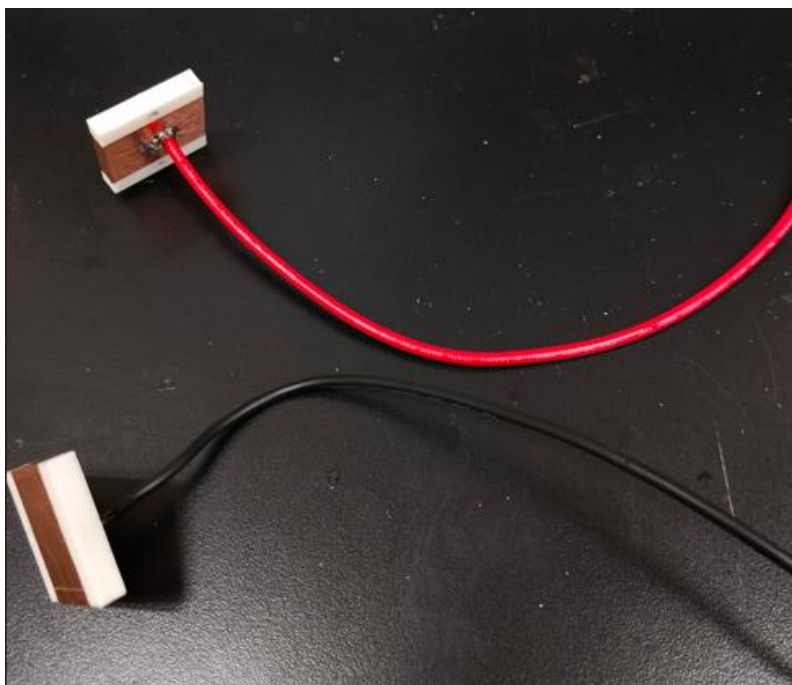


圖 2-118 底座電源磁吸模組

三、電力系統開發

電源模組化的具體步驟，包括：模組化電池盒設計、電源管理模組設計、太陽能板模組設計，以及鉛酸電池系統，這些步驟構成完善的電源解決方案，確保系統運行高效且具備良好的擴展性。

(一) 模組化電池盒設計

1. 監測站電力系統使用電壓為 12V，圖 2-119 為蓄電池模組化以單片鋰聚合電池，規格為 3.7V-10Ah，圖 2-120 顯示蓄電池連接電線使用 14AWG，以適應 15A 的電流。



圖 2-119 鋰聚合電池規格

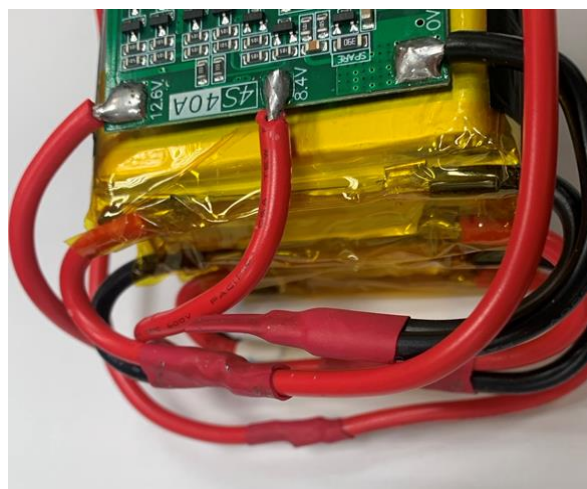


圖 2-120 銅線芯 14AWG

2. 蓄電池模組化使用四顆 3.7V 鋰聚合電池，進行串聯提高工作電壓至 14.8V，總電容量為 10Ah。每個模組使用平衡充電保護板組成 4S 蓄電池，為確保電池之間散熱影響，以疊層間隔擺放，如圖 2-121 所示，相對為蓄電池側邊貼上石墨烯散熱貼片。

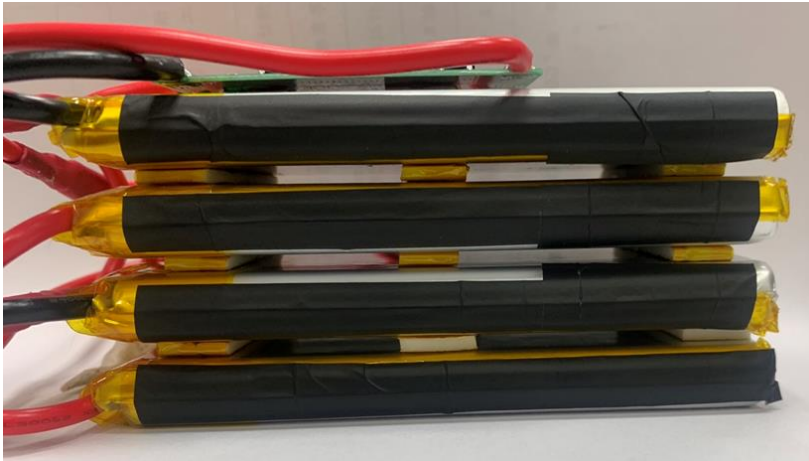


圖 2-121 銅石墨烯散熱貼片

3. 蓄電池模組內部裝置平衡充電保護板，以工作電壓 16.8V 進行充電，且內部 430 電阻會發熱，因此貼上鋁散熱片為 430 電阻降溫，如圖 2-122。圖 2-123 顯示了測試平衡充電保護板在未添加與添加散熱片時的差異。在 16.8V 電源下，充電電流平均為 3 至 4.5A，充電過程約 10 分鐘。未添加散熱片時，平衡充電保護板的最高溫度達到 37.3 度，而添加散熱片後，最高溫度降低至 28.4 度。

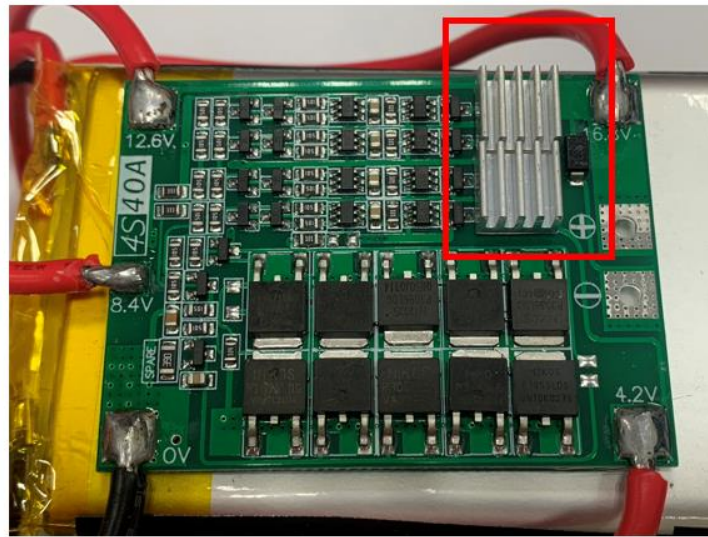


圖 2-122 鋰電池 4S 平衡充電模組



圖 2-123 未添加與添加散熱片溫度差異

4. 為了更有效地散發充放電過程中產生的熱量，在電池盒側邊安裝風扇工作電壓為 12V、電流為 0.2 至 0.4A 的風扇，風扇尺寸為 5 公分。盒子另一側設有孔洞以增加對流效率。依圖 2-124 所示，A 為電池、B 為散熱鋁片、C 為風扇排風、D 為冷空氣進風口。

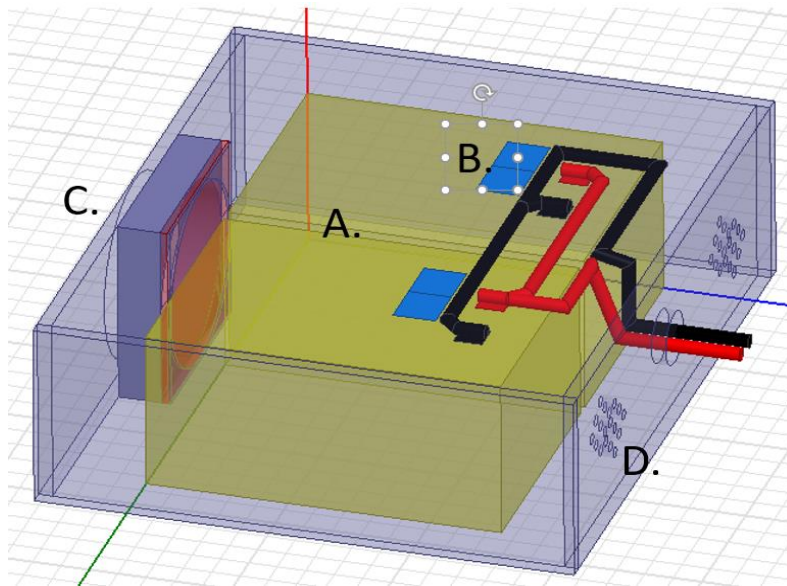


圖 2-124 電池盒內部佈局

5. 依圖 2-125 為電池內部使用溫控設備佈局圖，當溫度達到 30 度時啟動風扇運轉，低於 29.5 度時關閉風扇。

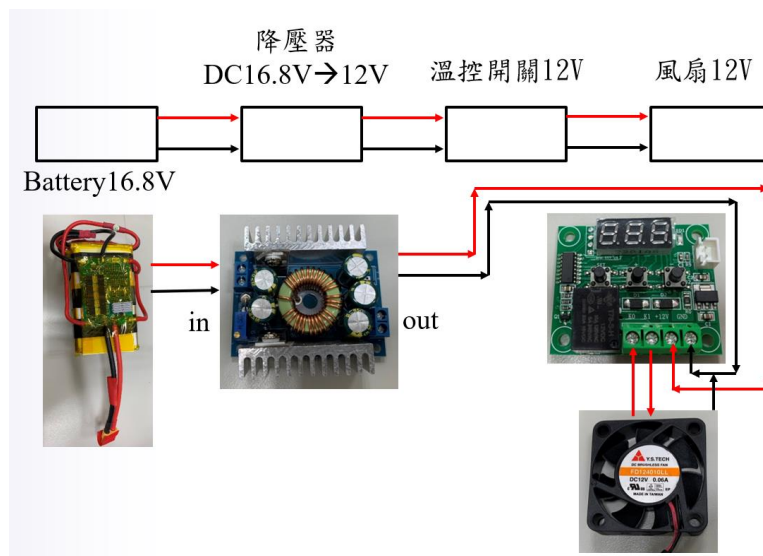


圖 2-125 溫控設備佈局

圖 2-126 顯示了實際模擬測試，其中電池被放置在封閉盒子內充電。盒內安裝了溫度控制器，用於測量平衡充電模組在充電時所發出

的最高溫度，並用膠帶封住盒外的孔洞部分。雖然電池在充電初期會達到 60 度，但在電流穩定後，控制電流之電阻的溫度會逐漸下降。測得最高溫度為 52 度，最低溫度為 42 度，與室外溫度相比約有 ± 5 度的差異。

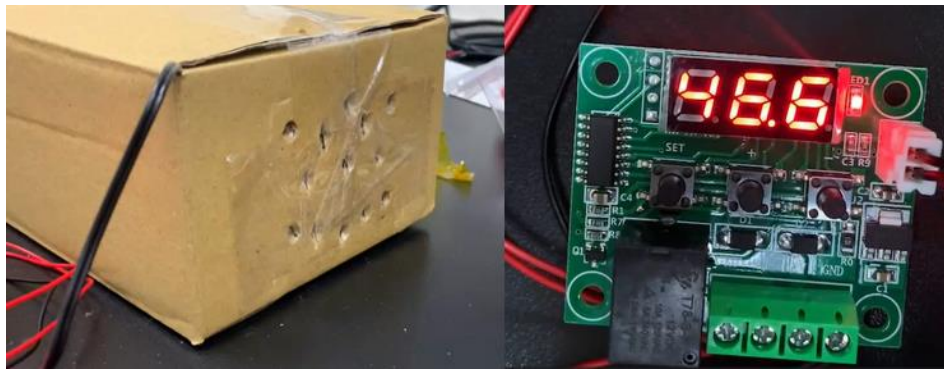


圖 2-126 溫度控制器盒內模擬測試

隨後，將溫度控制器連接到散熱風扇，當溫度達到 30 度時啟動風扇運轉。測試結果，如圖 2-127，溫度控制器啟動風扇，透過進口吸入冷空氣，可將內部溫度降至 31.5 度。



圖 2-127 溫度控制器盒內散熱測試結果

6. 為了方便監測站增加電池容量，前述設計可通過並聯方式擴充到 20Ah，形成更大電容量模組化蓄電池。

(二) 電源管理模組設計

主要能量來自太陽能板，產生的電力儲存於蓄電池中。透過 PWM 太陽能控制器，可將太陽能高效轉換並儲存到蓄電池。圖 2-128 中，PWM 太陽能控制器之右端連接負載，中間連接蓄電池，左端連接太陽能板。太陽能控制器設置為 16.8V 的輸入電壓來給蓄電池充電，這樣可以保護蓄電池不會過度充電。同時，控制器設置了最高截止充電電壓為 16.8V，最低開始充電電壓為 15.6V，此充電範圍約可使用 45% 的電量。



圖 2-128 PWM 太陽能控制器

依據圖 2-129，樹莓派於前端設置電源定時開關器，按照設定的時間範圍供應電源。開始供應電源時，樹莓派啟動並開始為監測站工作，在電源定時開關器再次關閉電源前，樹莓派將會被關閉。

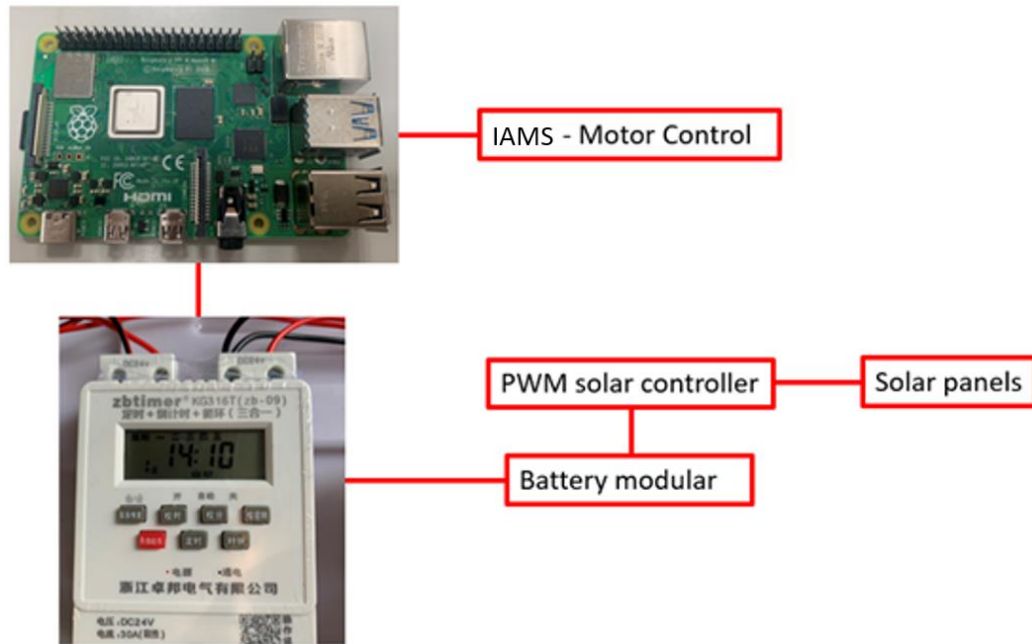


圖 2-129 電源管理流程

(三) 太陽能發電模組設計

預計使用硬面板或軟面板的太陽能板，硬面板規格為：開路電壓 18V、電流 3.4A、功率 60W、尺寸 700×540×2.5mm。軟面板規格為：電壓 18V、電流 2.9A、功率 50W、尺寸 1050×350×3mm。

太陽能板規格設計是基於目前預計使用的電池容量為 20Ah 到 40Ah，考慮過度充放電的影響，實際可使用的電量範圍為 10Ah 到 20Ah。樹莓派 4B 的使用工作電壓為 5V，電流 3A。監測站馬達的工作電壓為 12V，電流約 2A。無人機電池的工作電壓為 14.8V，電容量 6.5Ah，並且充滿電量需要 16.8V。

(四) 鉛酸電池系統

本次監測站電力系統的開發基於先前的預實驗結果，該預實驗以鉛酸電池作為主要儲能方案。預實驗在考量安全性的基礎上，為現有

系統的設計提供了重要的參考依據。同時，預實驗所揭示鉛酸電池在充放電過程中的安全性，以及其與太陽能發電系統的兼容性，均成為此次電力系統整合的重要依據。

1. 鉛酸電池系統的內部設計：如圖 2-130，系統由 14 顆鉛酸電池以並聯方式連接。透過並聯配置使總電容量達到了 56Ah，工作電壓為 24V，此設計大幅提升了系統的儲能能力，能有效延長監測站的供電時間。並聯方式不僅可以增加系統的總電量，還能確保單顆電池在高負載下的壽命，因為電流負荷分散到每顆電池。這種設計提供了更穩定的電力輸出，特別適合長時間運行的設備，確保電池部分失效的情況下，系統仍然能夠繼續運行。

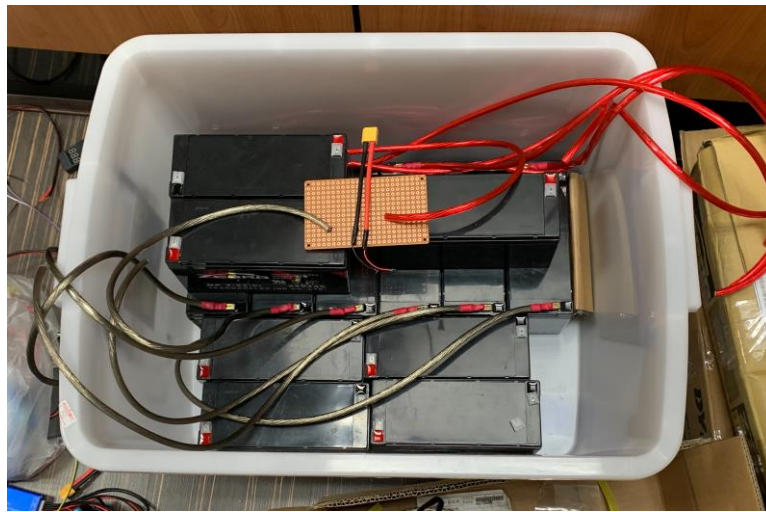


圖 2-130 電池盒內部

2. 電池鉛酸電池自放電測試：鉛酸電池在長時間靜置時會發生自放電現象，因此電池未充電時，電池的電量也會隨著時間逐漸下降。這種現象通常是由電池內部的化學反應導致的，尤其在高溫環境下更為明顯。圖 2-131 以測試為例，電池最高電壓為 26V，經過靜置兩週後，

電壓降至 25.6V。因此，長時間未使用的電池，在使用前可能需要重新充電，以確保其能夠提供穩定的電力支持。



圖 2-131 電池靜置自放電現象

3. 鉛酸電池盒內部電力分配：鉛酸電池為監測站分配多種電壓，包括 12V、5V 和 16.8V，這些電壓分別供應給樹莓派、機庫模組馬達以及無人機電池充電。為了確保提供穩定的直流電，各電壓需經過直流電轉換器進行轉換，從而滿足不同設備的需求，如圖 2-132 所示。轉換器在分配過程中，能有效穩定電壓，確保系統的可靠運行與各設備的持續運轉。

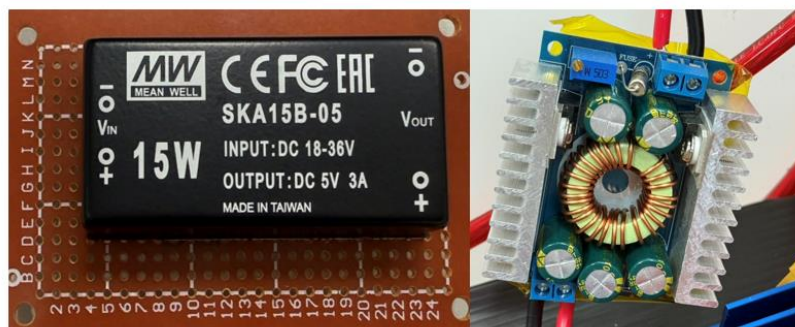


圖 2-132 直流電壓轉換器

4. 無人機電池的鉛酸電池充電管理：圖 2-133 所示，無人機電池內部配有平衡晶片板，鉛酸電池提供 16.8V 的電壓進行充電。當無人機電池電壓接近 16.2V 時，平衡晶片開始啟動，調整內部 4 顆電池的電壓以達到均衡狀態。當電壓達到 16.75V 時，無人機電池中的 4 顆電池已經全部充滿，充電過程結束。因此，鉛酸電池能夠穩定地為無人機電池提供充電，確保每次充電都能達到最佳的電池平衡和充滿狀態。



圖 2-133 無人機電池充電測試

5. 電池輸出時間管理：電池利用時間控制閥進行電力輸出，設定每週一至週五每天上午 10:00 至下午 2:00 自動開機，為樹莓派等設備提供穩定的電力供應。這種定時控制的方式能有效管理能源使用，確保在特定時間段內供電充足，並避免不必要的電量浪費，如圖 2-134。



圖 2-134 時間計時器控制總電力輸出

圖 2-135 繼電器安裝在監測站內，由樹莓派控制電池輸出的 16.8V 電壓進行開關操作，防止監測站持續為無人機電池充電。此機制能有效管理充電過程，避免過度充電，從而延長電池壽命並確保系統的穩定運行。

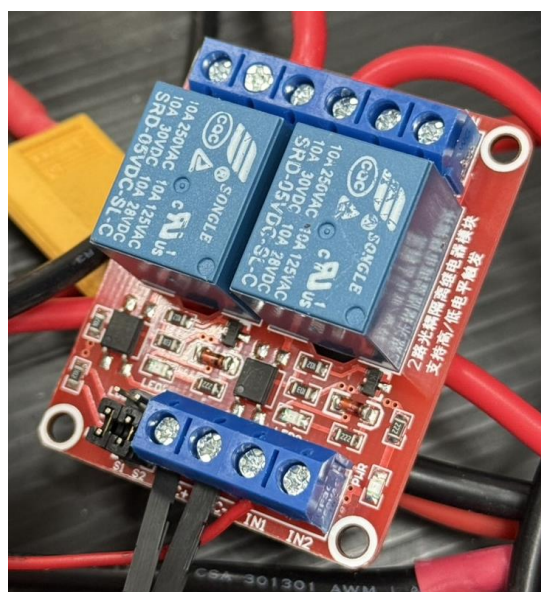


圖 2-135 繼電器控制 16.8V 輸出

6. 太陽能板固定腳架設計：為了確保太陽能板能夠有效吸收陽光並保持穩定運行，設計專門的固定架子，圖 2-136 與圖 2-137。該腳架主要使用角鋼作為材料，角鋼具有高強度和耐用性，能夠有效支撐太陽能板，並抵抗外部環境的影響。角鋼以多段支撐的設計，確保太陽能板在強風條件下仍能保持穩固。腳架的設計充分考慮了太陽能板的最佳安裝角度，根據當地的緯度和太陽運行軌跡確定最佳傾斜角度，以最大化日間光照利用率，確保太陽能板在各種氣候條件下穩定運行。安裝過程簡便，且架子具有靈活調整的功能，方便未來系統的維護。

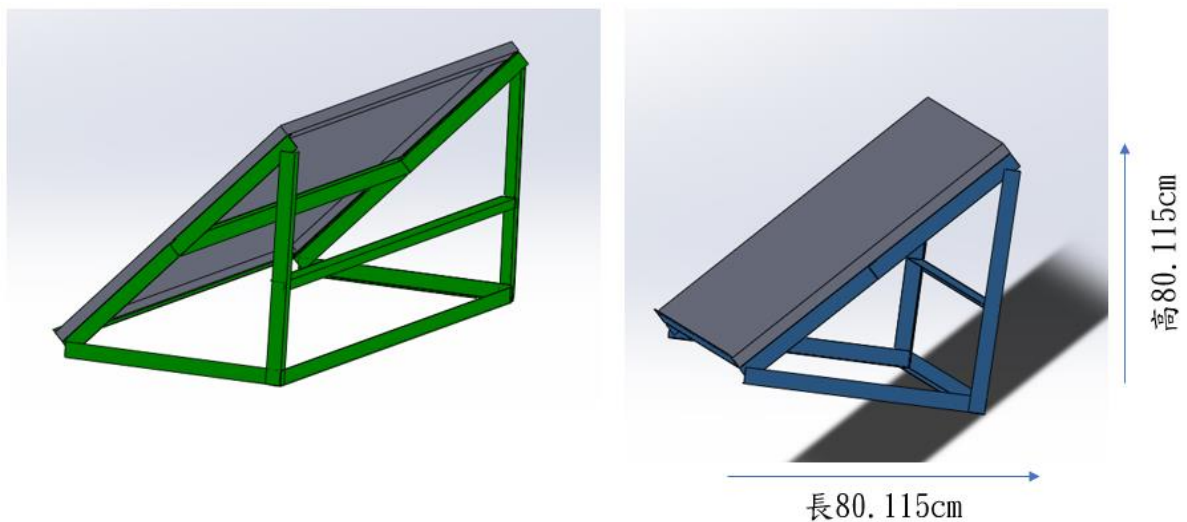


圖 2-136 太陽能板支架

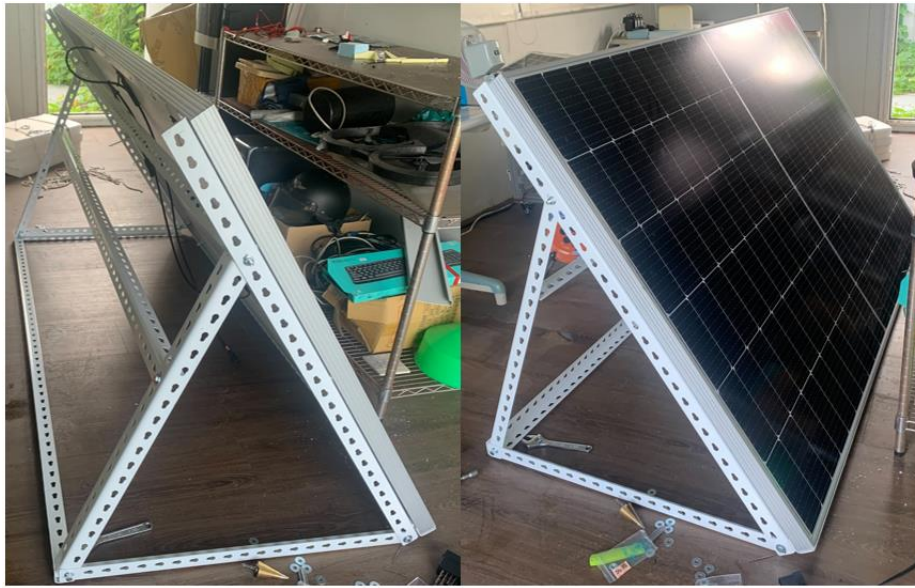


圖 2-137 成品圖

7. 太陽能板發電測試：圖 2-138 顯示太陽能板安裝於戶外，與鉛酸電池系統連接，並進行了三個月期的充電測試。在此期間，系統經歷了凱米颱風與山陀兒颱風等惡劣天氣條件的考驗，驗證了太陽能板的充電效率及鉛酸電池在極端環境下的穩定性和耐用性。



圖 2-138 太陽能板戶外測試

第三章 工作進度與交付項目

第一節 計畫甘特圖

依據本計畫之計畫期程，各項開發工作項目之預期進度與實際進度，如表 3-1 所示。表中紅線代表實際進度；橘色框底則為預期進度；綠色框底則為測試進度，各工項進度百分比如表中所示，可得目前進度皆有達預期進度。

表 3-1 智能與模組化監測站工作預定進度表

工作項目		113 年度												工作進度		備註
		1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	預期進度	實際進度	
UAV 系統																
1	自組無人機													100%	100%	
2	可程式化控制飛行與起降													100%	100%	
3	可依任務設定路徑取像													100%	100%	
4	自動充電													100%	100%	
智能與模組化監測站																
1	機庫模組設計													100%	100%	
2	底座框架模組設計													100%	100%	
3	通訊模組設計													100%	100%	
4	快拆接頭設計													100%	100%	
電力系統(鉛酸電池為主體)																
1	鉛酸電池設計													100%	100%	
2	電源管理模組設計													100%	100%	
3	太陽能發電模組設計													100%	100%	
4	監測站線路配線與整合													100%	100%	
提送報告								期中				期末	成果			

第二節 計畫交付項目

本計畫之計畫交付項目包含：智能與模組化監測站一台與自組無人機一架，其中監測站需達到無人機收納與充電、頂蓋開合功能與長時間於野外自主穩定運行；無人機需達到依任務設定自動飛行、起降與空拍影像回傳，而其各自之工作項目檢核，如表 3-2 所示。

表 3-2 計畫工作項目檢核管制表

No.	工作項目	章節	頁碼	進度	備註
一	UAV 系統				
(一)	自組無人機	2.1.1 2.2.1	2-1 2-38	100%	已完成自組無人機與試飛測試。
(二)	可程式化控制飛行與起降	2.1.1 2.2.1	2-9 2-51	100%	已完成可程式化控制飛行與起降，待後續與監測站於山區做整體測試。
(三)	可依任務設定路徑取像	2.2.1	2-68	100%	該功能已完成且以於平地實地測試，待後續於山區進行功能驗證。
二	智能與模組化監測站				
(一)	機庫模組設計	2.1.2 2.2.2	2-20 2-73	100%	設計與組裝均已完成，待後續於山區與無人機做整體測試。
(二)	底座框架模組設計	2.1.2 2.2.2	2-23 2-79	100%	設計與組裝均已完成，且停機坪充電測試已確認，待實際山區測試。
(三)	快拆接頭設計	2.1.2	2-27	100%	設計與組裝均已完成設計，並確

		2.2.2	2-85		認各訊號線均有導通，待實際山區測試。
三	電力系統(以鉛酸電池為主)				
(一)	鉛酸電池設計	2.1.3 2.2.3	2-33 2-97	100%	目前鉛酸電池設計已經完成，並成功與監測站進行了連接測試，系統運行穩定，後續將進行實際山區測試以驗證其在惡劣環境下的性能。
(二)	電源管理模組設計	2.1.3 2.2.3	2-31 2-96	100%	電源管理模組與監測站完成測試，系統運行正常。
(三)	太陽能發電模組設計	2.1.3 2.2.3	2-32 2-97	100%	太陽能板已通過颱風測試，功能正常，接下來將進行山區測試驗證。

第四章 結論及建議

第一節 結論

由於本計畫目標為於高雄市桃源區玉穗溪下游部署 IAMS 進行測試與驗證，故於計畫執行階段，完成各功能模組之設計與組裝，並於實作與測試過程中獲得以下結論及建議，可區分成無人機、監測站以及電力系統三個部分，將各別敘述之：

一、無人機

無人機之具體目標為以下兩點：遠端執行包含飛行路徑與取像坐標的飛航任務以及於目標區域長時間的監測，並基於功能需求，本計畫於後期完成了無人機電力系統及遠端控制的設計，且將所獲得之結論分別說明如下：

(一) 電力系統

在設計充電系統時，為確保無人機的飛行安全，在保有足夠續航力的前提下，盡可能的提升其安全性，最終確定電池組的規格為電池工作電壓為 16.8V，電池容量為 4000 mAh，並得出以下結論：

1. 自動充電的遠程控制：由於任務需求本計畫之無人機需盡可能的讓使用者遠程控制每項功能，對此部分本計畫使用監測站內的 Raspberry Pi 搭配光耦合繼電器作為解決方案，使用者可以遠端讀取地面站的資料以獲取無人機的當前電壓，並透過遠端控制 Raspberry

Pi 以啟用或中斷無人機的充電。

此外，本計畫對無人機的充電亦進行測試，以評估其充電時間，以下為充電測試的參數，此參數為本計畫預期每次無人機返回時的常規電量，其初始電壓為 14.8V(約為總電量 50%)，如圖 4-1，而監測站提供之充電電壓為 16.8V，平均充電電流為 2A，經測試，在一小時內即可將無人機的電池充滿，如圖 4-2，由於電表精度的限制，最終測量的電壓約有 0.1V 的誤差。

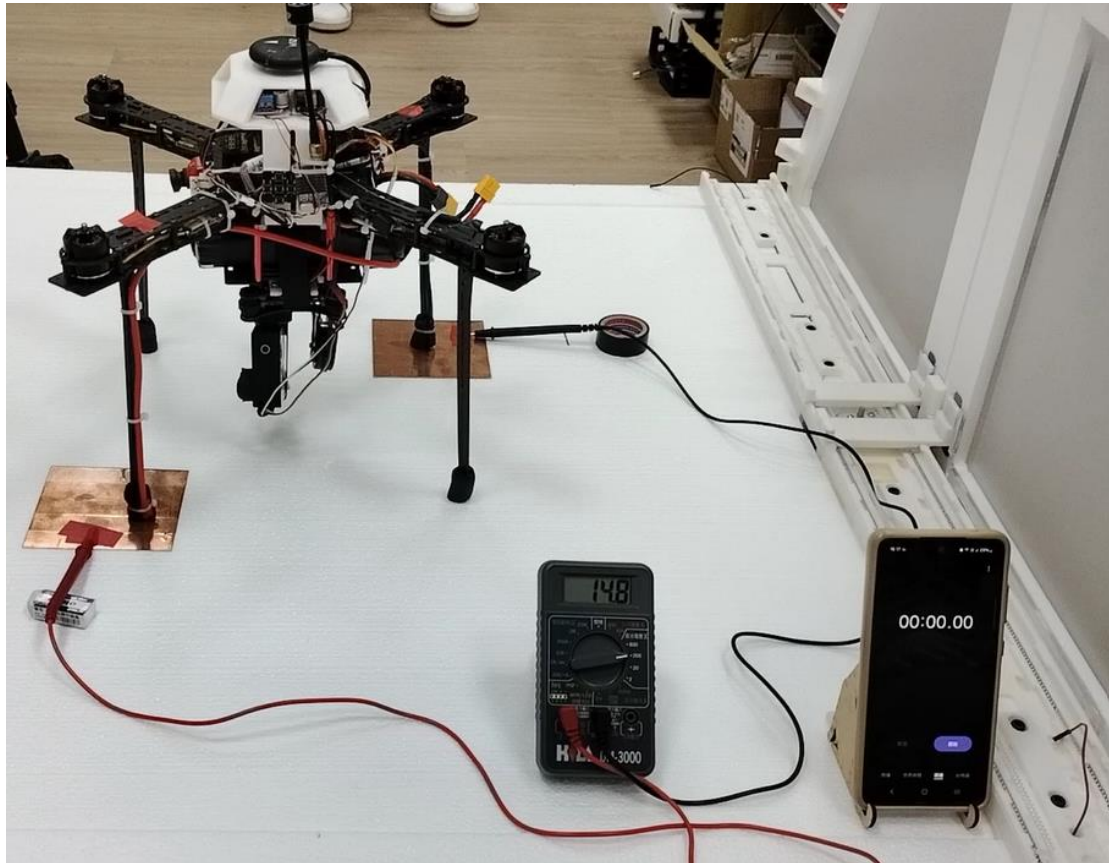


圖 4-1 充電前無人機初始電壓 14.8V

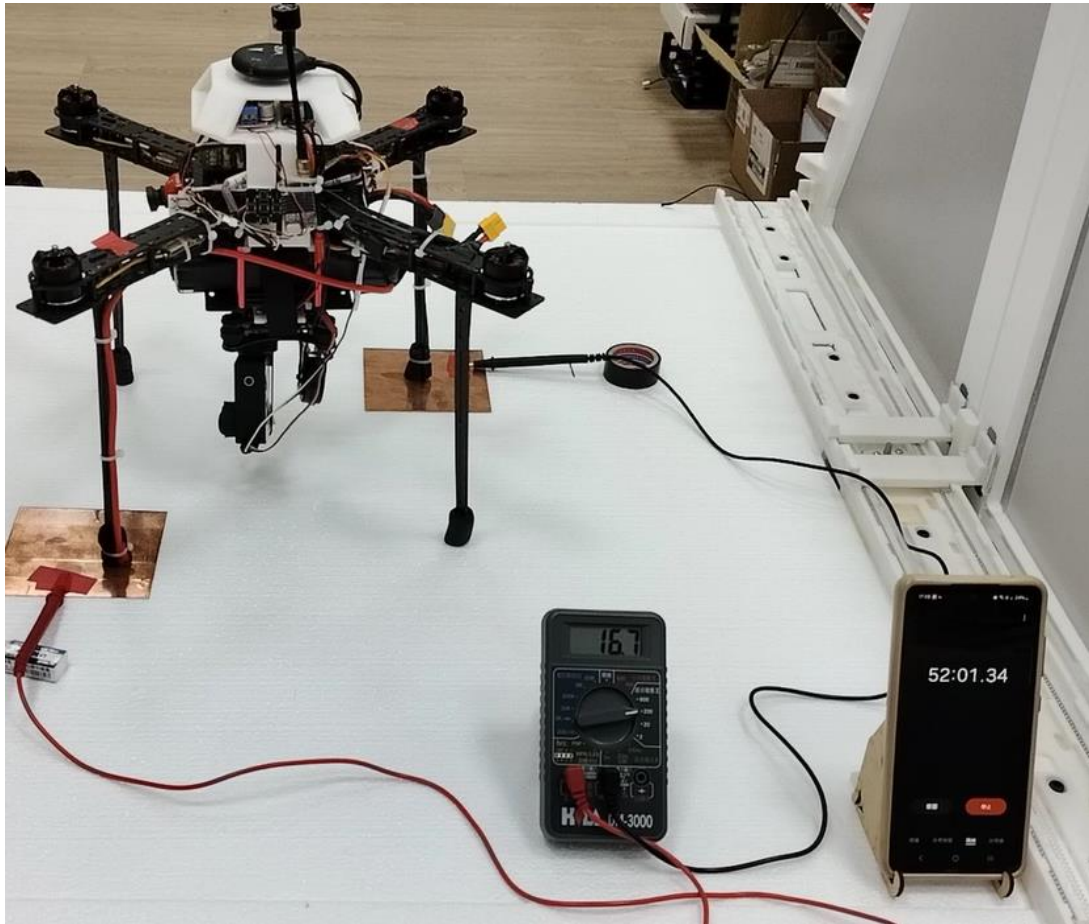


圖 4-2 充電後無人機滿電電壓 16.7V

2. 電池的過充電及過放電保護：考量到本計畫之無人機需較頻繁地巡邏目標區域，電池組將面臨較多的充放電次數，為延長電池組的壽命，本計畫採用了電池平衡板來平衡每節電池的電壓，確保每次充放電，電池電壓一致，同時在充電電壓達到 **16.8V** 時便會自動停止充電以避免過充電導致電池損壞，而當整體電壓低於 **15.2V** 便會讓無人機返航，以確保電池至少有 **30%** 以上的餘量以避免過放電導致電池損壞。

3. 馬達的過載及短路保護：為預防無人機於野外發生事故，本計畫為電力系統及動力系統設定了多重保護，當出現過載或短路情況時，電力系統的主電源保護板將觸發熔斷機制，以保護飛控及其他元件不受損壞，同時電池組之電池平衡板也自帶一組過載及短路保護，ESC 亦透過 BLHeli 的韌體設定了過載斷電，軟體方面則設有訊號丟失及低電壓等失效保護，在無法接受到監測站訊號或是電壓過低時便會觸發無人機的返航，最大程度上防止無人機發生意外事故。

(二) 遠端控制

由於本計畫目標區域人員不易抵達，且缺乏如光纖等固定式網路設備，所以為滿足遠程操作之需求，本計畫使用 4G 通訊模組以及透過雲端代理服務使得使用者可以遠程對監測站進行操作，並得出以下結論及經驗：

1. 遠端控制的安全性：由於近年來資安事件不斷增多，且本計畫之無人機均使用遠端控制，對於整體的通訊安全需要更多的保障，所以本計畫在通訊過程中使用 128AES 位元加密，並且在透過雲端代理時使用雙因素帳號認證，盡可能的確保遠端控制的資料安全。

2. 雲端代理與內網穿透：鑒於本計畫之監測站需使用 4G 網路進行控制，而 4G 網路設備通常位於內網內，導致使用者無法透過一個確切的 IP 來訪問，所以本計畫使用雲端代理服務來實現內網穿透

(NAT Traversal)，這使得使用者可以透過代理雲來操作監測站內的 Raspberry Pi 以及其上的其他服務，如 Mission Planner.....等。

3. 監測站自動化：由於本計畫之監測站將部署於人員不易抵達之處，故可藉由聯網功能讓使用者可進行遠端更新及維護，達到遠端排除故障的效果，因此本研發小組透過程式設定來讓其在遭遇突發狀況導致無法連接網路時，也會在訊號恢復後自動聯網。

二、智能與模組化監測站

透過第二章工作執行方法與步驟，本計畫藉由大量的 3D 列印零件與高密度聚苯乙烯材料來製作各模組，以達輕量化與快拆需求，並於計畫執行階段**完成監測站之組裝與設計**，包含機庫模組、底座框架模組以及磁吸接頭模組，如圖 4-5。而實作過程中遇到之困難與解決方法，整理成經驗法則與相關結論，並按照各模組分別說明如下：



圖 4-3 監測站組裝完成

(一) 機庫模組

在設計機庫模組時，考量本計畫之無人機尺寸以及為避免頂蓋於開合時與其產生干涉，故設計出輕量化且水平橫向開合之機庫模組，其尺寸約為：長 1134mm、寬 954mm、頂蓋高度 464mm，而相關之經驗法則與結論有：

1. **人工修整軌道凹槽公差：**由於本計畫之水平開合機構大多為 3D 列印零件，於列印過程中定會產生公差，不僅於設計階段時需將此部分考慮進去，組裝完畢後仍需透過與頂蓋相接來確認開合順暢度，如圖 4-4。一旦在平移過程中遇到卡頓，則在該處使用銼刀將軌道凹槽之直徑磨寬，減少接觸面阻力。



圖 4-4 左右軌道分別測試頂蓋開合

2. 人工修整機庫模組之軌道平行度：由於左右兩側軌道會經由頂蓋模組將其耦合，如圖 4-5 所示。故兩邊之平行度亦是影響其開合的關鍵因素。

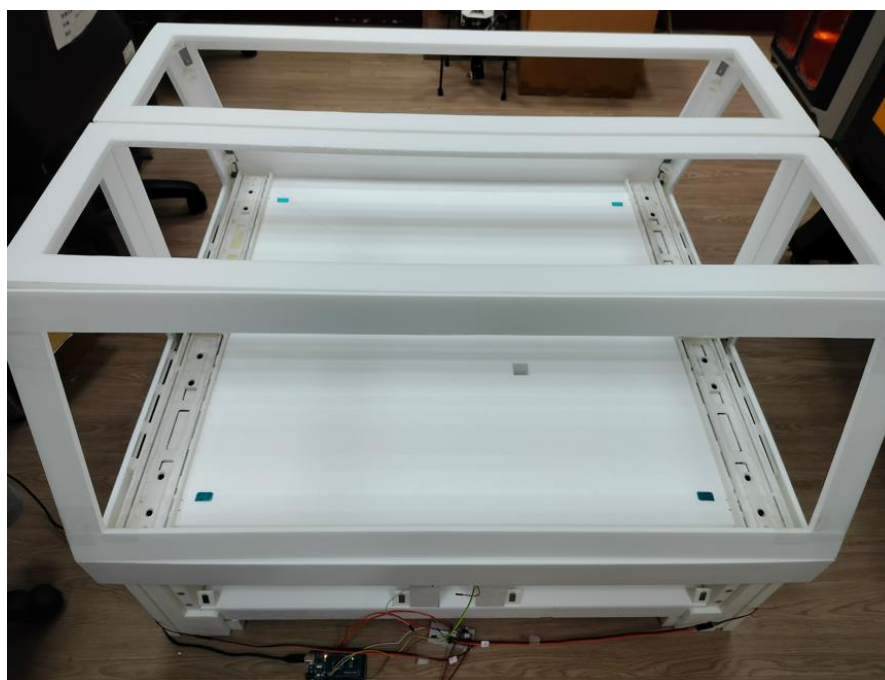


圖 4-5 測試水平滑動單邊頂蓋以修整軌道凹槽公差

而透過組裝好的頂蓋模組做開合測試，亦可得知其所產生的力矩是否會對馬達造成負擔，因此可藉由單晶片控制器，例如：Arduino 撰寫步進馬達程式來驅動監測站之頂蓋開合，如圖 4-6，同時一併檢查水平移動中是否有阻力較大之處，再以銼刀慢慢修整，不斷重複上述動作直到頂蓋模組能順打開至理想位置。

```
if(command=='a') {
    // a means Motor1 clockwise but Motor2 counterclockwise
    digitalWrite(dirPin1,HIGH); // Enables the motor to move in a particular direction
    digitalWrite(dirPin2,LOW); // Enables the motor to move in a particular direction
    // Makes 200 pulses for making one full cycle rotation
    for(int x = 0; x < 600; x++) { //int x = 0; x < 650; x++ ; 750 is the largest angle
        digitalWrite(stepPin1,HIGH);
        delayMicroseconds(40000); // by changing this time delay between the steps we c
        digitalWrite(stepPin1,LOW);
        delayMicroseconds(40000);
        digitalWrite(stepPin2,HIGH);
        delayMicroseconds(40000); // by changing this time delay between the steps we c
        digitalWrite(stepPin2,LOW);
        delayMicroseconds(40000);
    }
}

if(command=='b') {
    // b means counterclockwise
    digitalWrite(dirPin1,LOW); //Changes the rotations direction
    digitalWrite(dirPin2,HIGH); //Changes the rotations direction
    // Makes 400 pulses for making two full cycle rotation
    for(int x = 0; x < 600; x++) { //int x = 0; x < 650; x++ ; 750 is the largest angle
        digitalWrite(stepPin1,HIGH);
        delayMicroseconds(40000); //delayMicroseconds(40000);
        digitalWrite(stepPin1,LOW);
        delayMicroseconds(40000);
        digitalWrite(stepPin2,HIGH);
        delayMicroseconds(40000);
        digitalWrite(stepPin2,LOW);
        delayMicroseconds(40000);
    }
}
```

圖 4-6 控制步進馬達轉動之片段程式

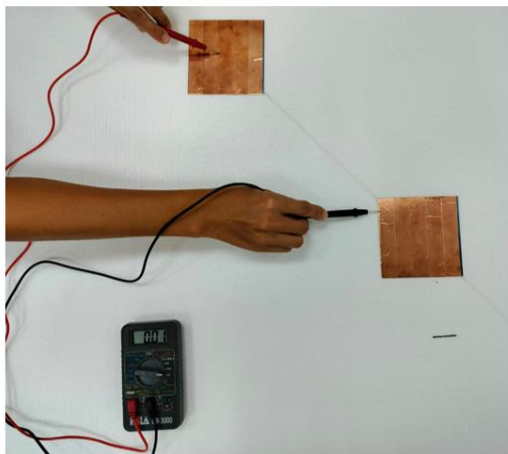
3. 頂蓋模組之密合性：本計畫之頂蓋防塵與防潑水均採用透明塑膠板，其厚度 0.8mm，由於頂蓋開合方式為左右水平移動，故其關閉之密合度將成為防潑水之關鍵，因此於組裝以及開合測試中需確保

雙蓋能夠盡量密合，或在其中一頂蓋外側加裝塑膠板，使其覆蓋面積能蓋過縫隙。

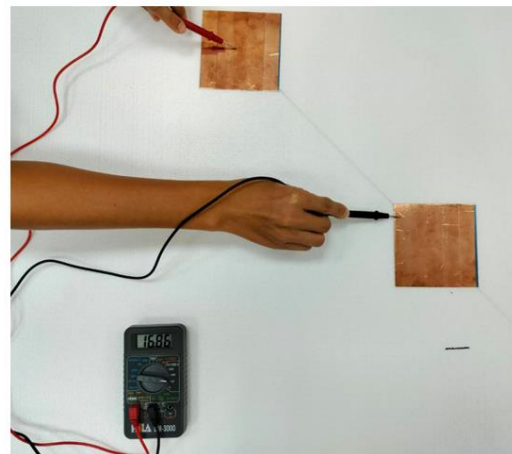
(二) 底座框架模組

由於底座框架模組相當於整個監測站之穩固核心，為達到結構剛性與輕量化同時兼具，且考量停機坪與機庫模組大小，故本計畫之底座框架模組尺寸為：長 1034mm、寬 958mm、高 275mm，而過程中所獲得之結論與經驗如下：

1. 停機坪無人機充電之接點導通確認：由於無人機會於任務執行完成後降落至停機坪，故可利用其表面來設計無人機電池充電。透過飛機起落架與平台的接觸，使電池之正負線與停機坪之正負線相接，再由監測站之電池盒進行供電，而實地測試結果如圖 4-7 所示。



導通前電壓為0伏



導通後電壓為16.8伏

圖 4-7 停機坪無人機充電導通測試

2. 整體快拆性與水密性：考量搬運之便利性與野外防塵防潑水之需求，故整體設計於橫樑組裝上多處採用磁吸方式；水密設計則藉

由珍珠板斜面排水與塑膠板封裝來達到效果。而珍珠板亦有加工上的公差，故設計時需要預留尺寸，以免與周圍零件產生干涉。

3. 底盤電控元件配置與走線規劃：由於監測站之電控元件置於底盤上，各元件之走線需於設計時就一併考慮，故底座框架模組之角柱備有出線孔以及預留底盤整線空間以利後續更換維修。

(三) 磁吸接頭模組

為達到模組化與快拆性，故本計畫設計出磁吸接頭裝置，分別應用於馬達訊號模組與驅動電源中。並於機庫與底座框架模組規劃相對應位置，相連接之訊號線做上相同的標籤，以避免接線錯誤，而在計畫執行期間所獲得之結論與經驗為：

1. 磁吸訊號模組之導通確認：由於馬達訊號線依據機庫與底座分成兩段，中間相接方式透過磁吸原理來達成，故為確保馬達運轉中訊號不會中斷，因此於磁吸訊號模組組裝完成後做導通測試，如圖 4-8。當公母接頭接觸時量測各訊號線其頭尾兩端是否導通，若有接觸不良的部分，可能是中間有縫隙導致磁鐵沒有完全接觸，解決方法可透過於磁吸模組底部加入塑膠墊片，使其密合，或是，將圖 2-31 中固定公接頭的螺絲稍微放鬆，亦能縮減磁鐵間的縫隙，達到訊號保持暢通。

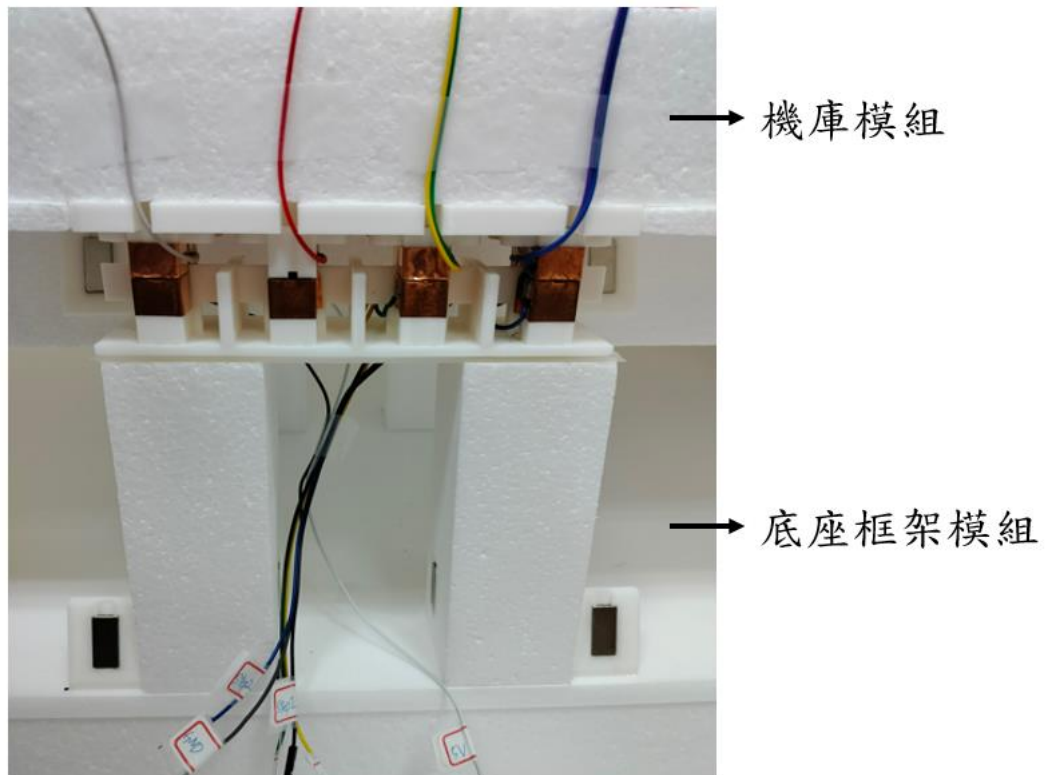


圖 4-8 磁吸訊號模組導通測試

2. 馬達電源磁吸模組之導通確認：如同磁吸訊號模組，馬達電源亦區分成兩段，透過走線規劃分別從監測站四支角柱出線，再與電池盒串接，為確保馬達能正常運轉，故角柱組裝完成後，亦需做馬達電源線的導通確認，如圖 4-9 所示。

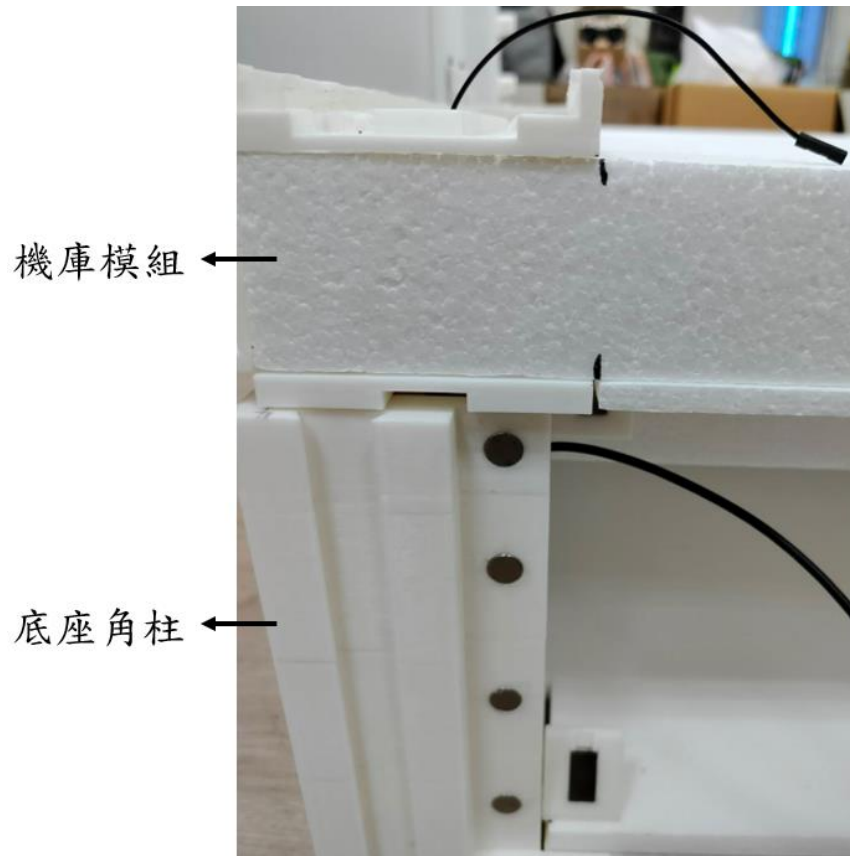


圖 4-9 馬達電源導通測試

三、電力系統

本計畫主要針對監測站電力系統的模組化電池盒、電源管理模組以及太陽能發電模組進行詳細規劃，並採用了多種技術以確保系統的穩定性和高效性。雖然初期設計中原計劃使用鋰電池，但目前已使用預實驗中表現穩定的鉛酸電池系統。這更改仍能維持整體系統的效能，並兼顧經濟效益。

(一) 預實驗鉛酸電池

1. **電池主要架構：**電池的主要架構採用 14 顆鉛酸電池進行並聯，每顆電池工作電壓為 24V，電容量為 4Ah，並聯後總容量提升至 56Ah。考量到放電率和過度放電的影響，實際可使用的電量約為 28Ah。

2. **電池轉換分壓供應電源：**電池透過轉換器輸出不同電壓，分別提供應 5V、12V 和 16.8V 的電力，對應相關設備的需求。5V 電壓供應給樹莓派，12V 則驅動機庫模組馬達，16.8V 則用於為無人機電池充電。轉換器的使用確保每個設備都能獲得穩定且適合的電壓，從而保障系統整體的高效運行與設備的長期穩定性。

(二) 電源管理模組

1. **太陽能結合控制器：**利用 PWM 太陽能控制器高效轉換並儲存太陽能電力，設置輸入電壓為 26.2V 以防止過度充電，充電範圍在 24.2V 至 26.2V 之間，約充電 45% 的電量。

2. **時間控制電源管理：**在電源定時開關器的控制下，樹莓派根據預先設定的時間範圍自動啟動和關閉，有效優化了監測站的能源管理。具體設定為每週一至週五，上午 10:00 至下午 2:00 自動開機運行，確保設備在需要時正常工作，同時減少不必要的能耗。

(三) 鉛酸電池與太陽能供電系統應用

本次監測站電力系統的設計與實施結合鉛酸電池與太陽能發電技術，充分考慮了經濟性和可靠性。透過太陽能板每天上午 07:00 至下午 5:00 的充電過程，系統在陰天日照條件下可產生 352W 的功率，約 1.9 小時即可將電池充滿。配合時間控制閥，有效管理能源輸出，確保在每週一至週五上午 10:00 至下午 2:00 為監測站提供穩定電力。鉛酸電池的並聯設計不僅提高了總電容量，配合繼電器及樹莓派進行精確的電壓管理，防止過度充電，延長了電池的使用壽命。

太陽能供電系統經過長期測試，包括經歷凱米和山陀兒颱風等惡劣環境，依然保持穩定運行，驗證了系統的可靠性與耐用性。本系統不僅優化了現有資源的使用，還具備未來擴展與升級的潛力，為監測站的持續運行提供了穩定的電力支持。

第二節 建議

根據計畫開發過程與執行至目前所獲之結論，可依無人飛、智能與模組化監測站以及電力系統，分別提出後續工作項目之執行建議，以下將各別說明：

一、無人機

目前本計畫之無人機現階段皆依甘特圖順利完成，並於計畫執行階段得出以下執行建議及修正。

1. 監測站內置鏡頭：為確保無人機起飛前及降落後監測站頂蓋正確開啟及關閉，將於監測站之停機坪安置一組鏡頭，於無人機起飛及降落時供使用者查看及引導。

2. 無人機實地測試：本計畫現階段僅於平地環境對無人機做測試，後續將實際放置於山區進行實地測試，以確保遠程控制及飛行時間等功能性需求符合預期。

二、智能與模組化監測站

按照計畫甘特圖執行進度可得目前監測站之機庫模組、底座框架模組與磁吸快拆接頭均已完成組裝，且有做部分的相關測試，包含：停機坪充電與磁吸訊號導通，故後續之工作項目與建議如下：

1. 機庫模組之頂蓋開合測試：由於機庫與頂蓋模組皆已組裝完成，且針對摩擦阻力較大之處有進行人工修整，故為確定頂蓋能順利開合，需透過監測站控制器逐步測試其開合大小，以及水平移動之穩定性，若有卡頓之處，則需再人工修整。

2. 馬達磁吸訊號模組與磁吸電源模組之測試：馬達磁吸訊號模組與磁吸電源模組完成組裝與導通測試後，即可接上電池盒電源，在進行開合測試時，同時測試馬達旋轉功能，來確認水平開合的過程中，磁吸模組之穩定性。

3. 監測站實地測試：在確認監測站功能性與整體組裝完成後，可進行實地測試，配合無人機空拍任務，遠端遙控監測站頂蓋開合，並同時測試設備穩定性。

三、電力系統

根據本計畫之計畫執行進度，可得監測站之電力系統之後續工作項目與建議如下：

1. 升級轉換器效率：確保轉換器的效率高且穩定，避免在多電壓轉換過程中損耗過多能量。可以考慮採用高效轉換器來減少電力損耗，提高整體系統的能源利用率。

2. **定期檢測電池健康狀況：**鉛酸電池隨著時間會出現容量衰減，自放電率高，因此應定期檢查電池的電壓水平和健康狀況，特別是在長期靜置或頻繁充放電後，確保電池性能穩定。

3. **電池品牌替換考量：**計劃將目前使用的鉛酸電池預升級為湯淺電池，這種電池具備更高效的放電性能和優異的循環充電能力。湯淺電池不僅在能量密度和使用壽命方面表現更佳，還能提高整體系統的穩定性與效率，有助於更好地滿足監測站的長期電力需求。

4. **鉛酸電池系統穩定性與設備優化：**在使用鉛酸電池為無人機電池充電的過程中，由圖 4-10 發現電池在負載下會產生約 1.3V 的電壓下降，這可能導致樹莓派開機時電壓不穩定，影響系統運行。為了避免此問題，建議將樹莓派的工作時段安排在日間上午期間充電，以確保系統擁有充足且穩定的電力供應。此外，建議考慮更換電池品牌或型號，選擇具備更穩定輸出特性的電池系統，進一步減少電壓波動對設備性能的影響。

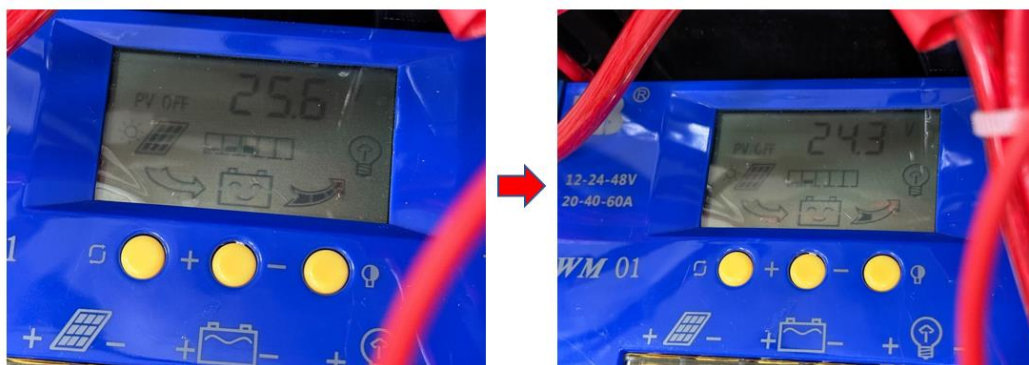


圖 4-10 無人機電池充電時導致過度壓降

5. 太陽能板尺寸考量：目前預實驗的太陽能板尺寸較大且重量較重，可能對系統安裝和運輸帶來挑戰，如圖 4-11 採用輕量化太陽能板材料，以減輕結構負擔並提高發電效率，進一步優化整體系統設計。



圖 4-11 薄板軟式太陽能板

參考文獻

1. 周毓嘉，碩士論文，東沙島土地覆蓋變遷之研究，國立台灣海洋大學，基隆市，2005。
2. 洪瑞鄉，碩士論文，衛星影像應用於桃園海岸林植生監測，國立台灣大學，台北市，2005。
3. Chang, C.-H., Liu, C.-C., Wen, C.-G., Cheng, I.-F., Tam, C.-K. and Huang, C.-S., “Monitoring reservoir water quality with Formosat-2 high spatiotemporal imagery,” *Journal of Environmental Monitoring*, 11(11), 1982-1992. doi:10.1039/b912897b, 2009.
4. Cheng, K. S., Wei, C. and Chang, S. C., “Locating landslides using multi-temporal satellite images,” In *Monitoring of Changes Related to Natural and Manmade Hazards Using Space Technology*, Vol. 33, pp. 296-301. Kidlington, Oxford, U.K.: Elsevier, 2004.
5. Dilley, M., *Natural disaster hotspots: a global risk analysis*, Vol. 5: World Bank Publications, 2005.
6. Dymond, J. R., Ausseil, A. G., Shepherd, J. D. and Buettner, L., “Validation of a region-wide model of landslide susceptibility in the Manawatu-Wanganui region of New Zealand,” *Geomorphology*, 74(1-4), 70-79. doi:10.1016/j.geomorph.2005.08.005, 2006.
7. Liu, C.-C., “Processing of FORMOSAT-2 daily revisit imagery for site surveillance,” *IEEE Transactions on Geoscience and Remote*

- Sensing, 44(11), 3206-3214, 2006.
8. Liu, C.-C. and Chen, P.-L., “ Automatic extraction of ground control regions and orthorectification of Formosat-2 imagery,” Optics express, 17(10), 7970-7984, 2009.
 9. Liu, C.-C., Kamei, A., Hsu, K. H., Tsuchida, S., Huang, H. M., Kato, S., Nakamura, R., Wu, A. M., “Vicarious Calibration of the Formosat-2 Remote Sensing Instrument,” IEEE Transactions on Geoscience and Remote Sensing, 48(4), 2162-2169. doi:10.1109/tgrs.2009.2033179, 2010.
 10. Liu, C.-C., Ko, M.-H., Lin, Y.-T., Huang, C.-S. and Chen, C.-Y., “ Nowcasting of landslides,” SPIE Newsroom. doi:10.1117/2.1201505.005986, 2015.
 11. Liu, C.-C., Liu, J.-G., Lin, C.-W., Wu, A.-M., Liu, S.-H. and Shieh, C.-L., “Image processing of FORMOSAT-2 data for monitoring South Asia tsunami,” International Journal of Remote Sensing, 28(13), 3093-3111, 2007.
 12. Liu, C.-C., Nakamura, R., Ko, M.-H., Matsuo, T., Kato, S., Yin, H.-Y. and Huang, C.-S., “Near Real-Time Browsable Landsat-8 Imagery,” Remote Sensing, 9(1), 79. Retrieved from <http://www.mdpi.com/2072-4292/9/1/79>, 2017.
 13. Liu, C.-C., Wu, C.-A., Shieh, M.-L., Liu, J.-G., Lin, C.-W. and Shieh, C.-L., “Monitoring the illegal quarry mining of gravel on the

- riverbed using daily revisit FORMOSAT-2 imagery,” Paper presented at the IGARSS, Seoul, Korea, 2005, 25-29 July.
14. Liu, C. C., Chen, P. L., Matsuo, T. and Chen, C. Y., “Rapidly responding to landslides and debris flow events using a low-cost unmanned aerial vehicle,” *Journal of Applied Remote Sensing*, 9. doi:10.1117/1.jrs.9.096016, 2015.
 15. Liu, C. C., Luo, W., Chen, M. C., Lin, Y. T. and Wen, H. L., “A new region-based preparatory factor for landslide susceptibility models: the total flux,” *Landslides*, 13(5), 1049-1056. doi:10.1007/s10346-015-0620-3, 2016.
 16. Luo, W. and Liu, C.-C., “Innovative landslide susceptibility mapping supported by geomorphon and geographical detector methods,” *Landslides*. doi:10.1007/s10346-017-0893-9, 2017.
 17. Nichol, J. and Wong, M. S., “Satellite remote sensing for detailed landslide inventories using change detection and image fusion,” *International Journal of Remote Sensing*, 26(9), 1913-1926. Retrieved from <Go to ISI>://000229988900009, 2005.

附錄

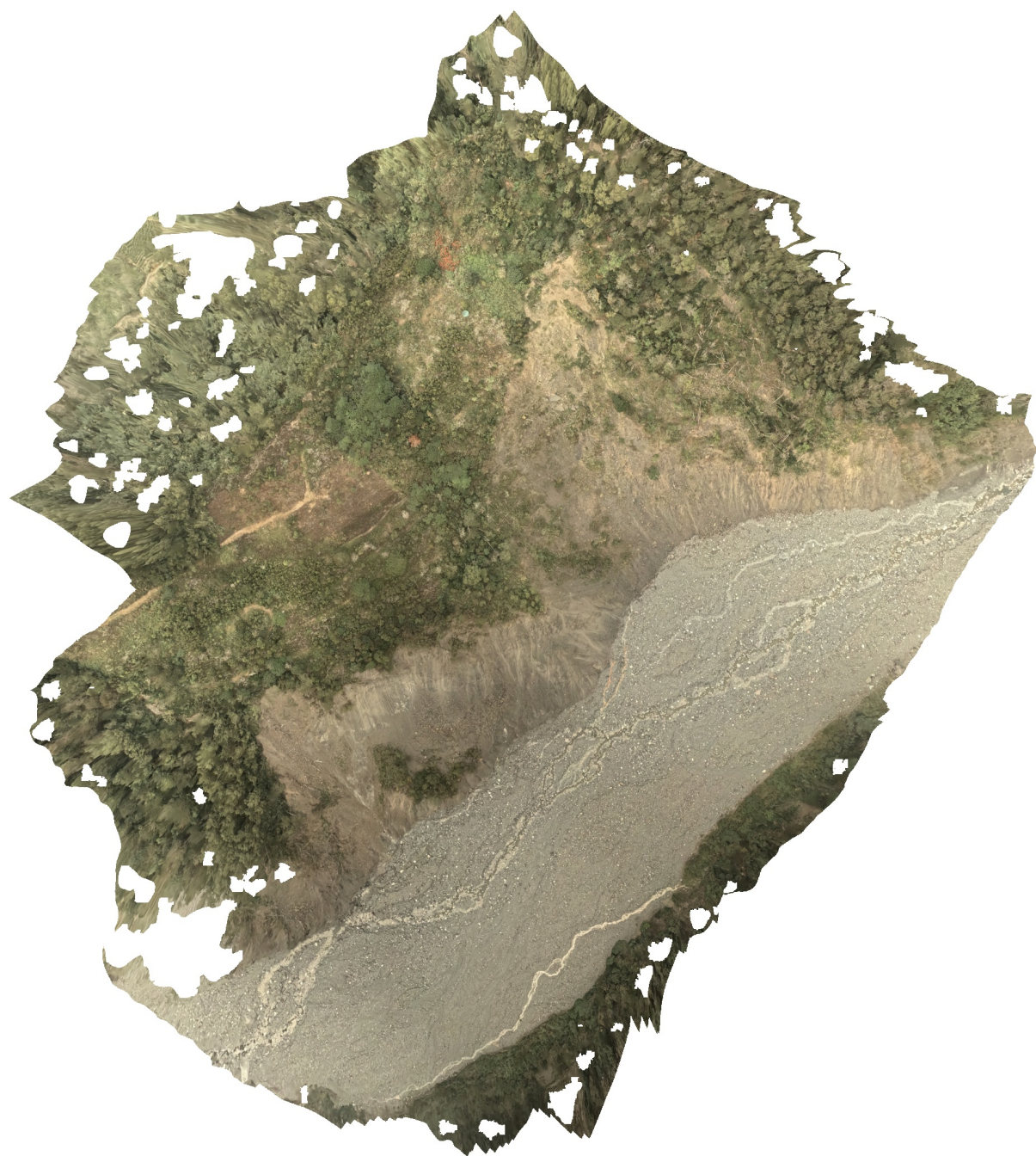
附錄一、期末審查會議紀錄暨回覆辦理情形

項次	審查意見	回覆辦理情形
報告內容審查意見：		
一	創新度高有很大的擴充性。	未來可將雨量計、角反射器等感測器做成其餘模組，並與監測站做結合，達到擴充效果。
二	系統在惡劣環境下的耐久性與可靠性為何？	現階段已完成功能性驗證，預計未來將於實地進行耐久性與可靠性驗證。
三	建議補充說明資料如何回傳。	無人機執行任務返航後，監測站會透過 Wifi 與相機進行連線，使用者可使用監測站所提供之 UI 介面下載照片，而後使用 4G 通訊進行照片回傳。
四	建議與市面空拍機設備進行拍攝成果的比較。	由於本計畫之無人機皆採用自組生產，故現階段無市售空拍機之空拍紀錄進行比較，不過本計畫之無人機已於玉穗溪下游完成實地拍攝，其

項次	審查意見	回覆辦理情形
		空拍成果如附件所示。
五	架設多組多處充電站的可能性？	若要架設多組多處充電站，可能需考量地形與網路訊號強度以達各處充電站可互相串聯溝通。然而，目前因經費有限，故僅開發一組。

20241219_玉穗溪最終測試

Made by GEODAC
20 December 2024



Survey Data

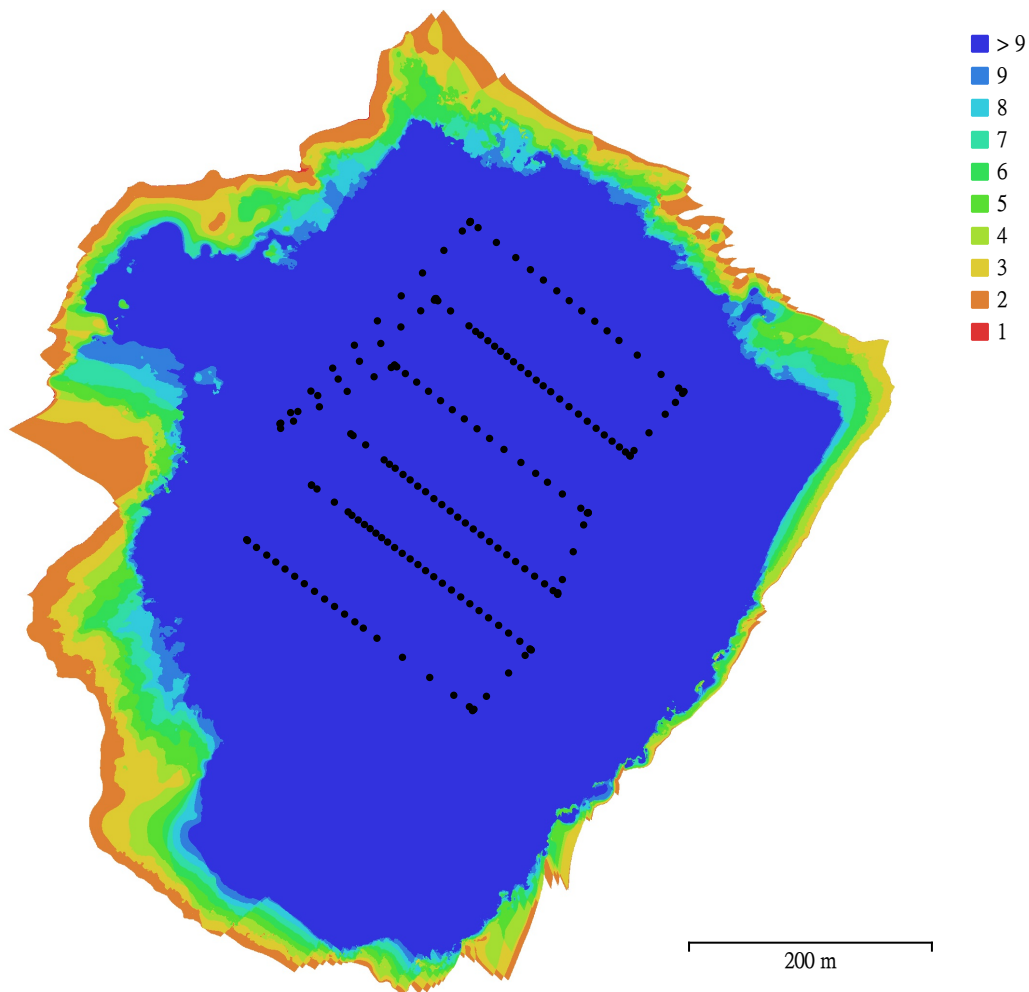


Fig. 1. Camera locations and image overlap.

Number of images:	184	Camera stations:	184
Flying altitude:	141 m	Tie points:	227,421
Ground resolution:	5.85 cm/pix	Projections:	1,399,441
Coverage area:	0.361 km ²	Reprojection error:	1.5 pix

Camera Model	Resolution	Focal Length	Pixel Size	Precalibrated
HERO11 Black (2.71mm)	5568 x 4872	2.71 mm	1.06 x 1.06 μ m	No

Table 1. Cameras.

Camera Calibration

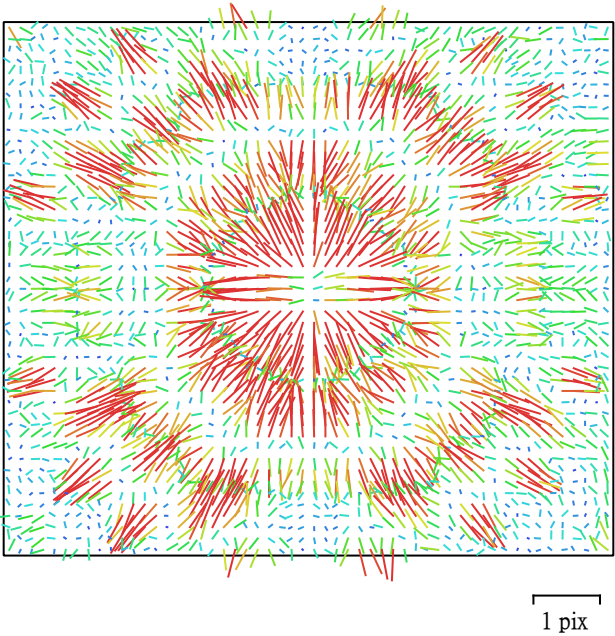


Fig. 2. Image residuals for HERO11 Black (2.71mm).

HERO11 Black (2.71mm)

184 images

Type	Resolution	Focal Length	Pixel Size
Frame	5568 x 4872	2.71 mm	1.06 x 1.06 μ m

	Value	Error	F	Cx	Cy	B1	B2	K1	K2	K3	P1	P2
F	2662.44	0.12	1.00	-0.42	-0.62	-0.26	-0.40	-0.03	0.16	-0.15	-0.13	-0.08
Cx	8.09718	0.024		1.00	0.32	0.58	0.02	-0.03	-0.06	0.06	0.63	0.13
Cy	-3.03455	0.021			1.00	0.20	0.47	-0.00	-0.04	0.05	0.19	0.47
B1	-0.374115	0.0092				1.00	-0.04	-0.03	-0.05	0.05	0.33	0.09
B2	-0.188864	0.0092					1.00	-0.03	-0.02	0.03	0.01	0.06
K1	-0.00395136	1.8e-05						1.00	-0.87	0.82	-0.07	-0.06
K2	0.00595445	2e-05							1.00	-0.98	-0.01	-0.01
K3	-0.00179939	7.5e-06								1.00	0.01	0.00
P1	0.000499965	1.9e-06									1.00	0.16
P2	-0.000533547	1.9e-06										1.00

Table 2. Calibration coefficients and correlation matrix.

Camera Locations

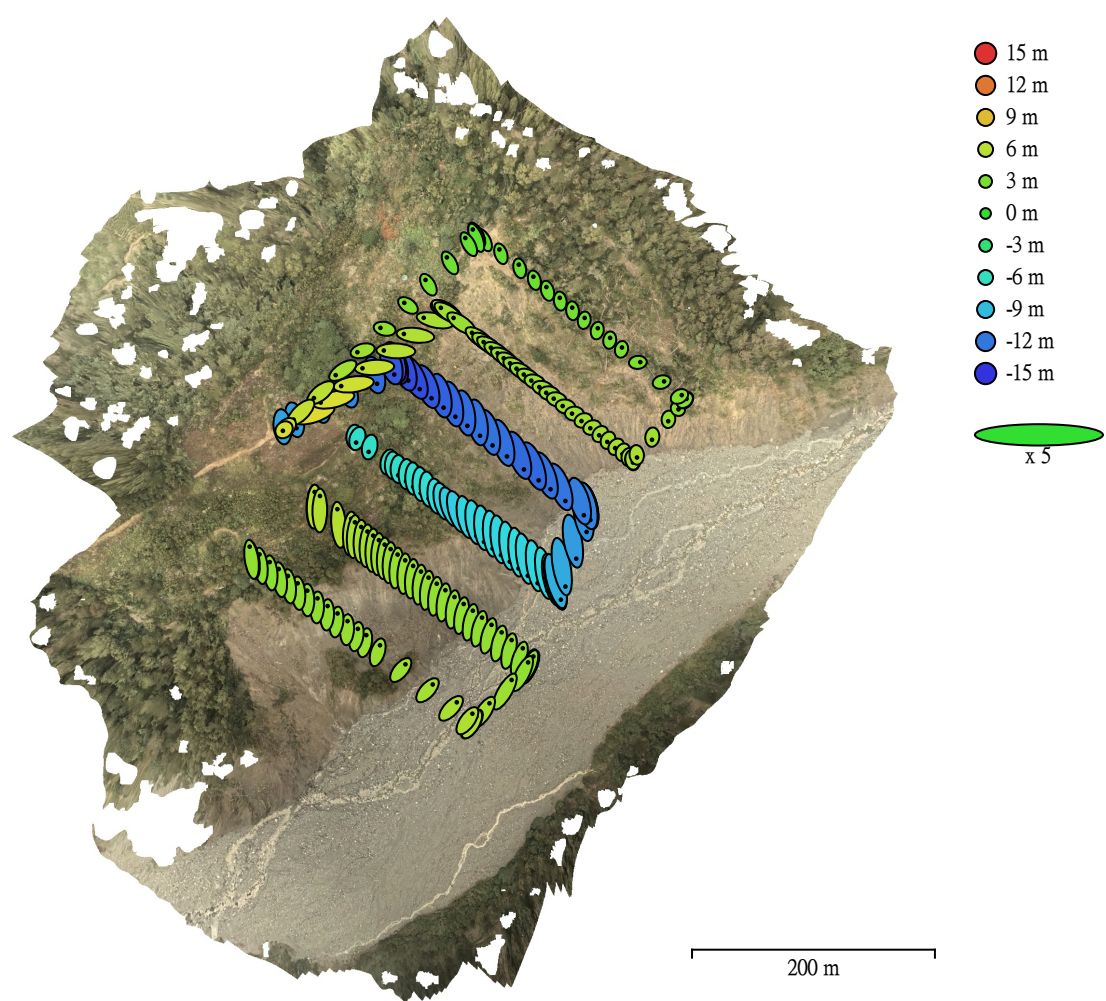


Fig. 3. Camera locations and error estimates.
Z error is represented by ellipse color. X,Y errors are represented by ellipse shape.
Estimated camera locations are marked with a black dot.

X error (m)	Y error (m)	Z error (m)	XY error (m)	Total error (m)
1.33713	3.19037	6.83659	3.45925	7.66194

Table 3. Average camera location error.
X - Longitude, Y - Latitude, Z - Altitude.

Digital Elevation Model

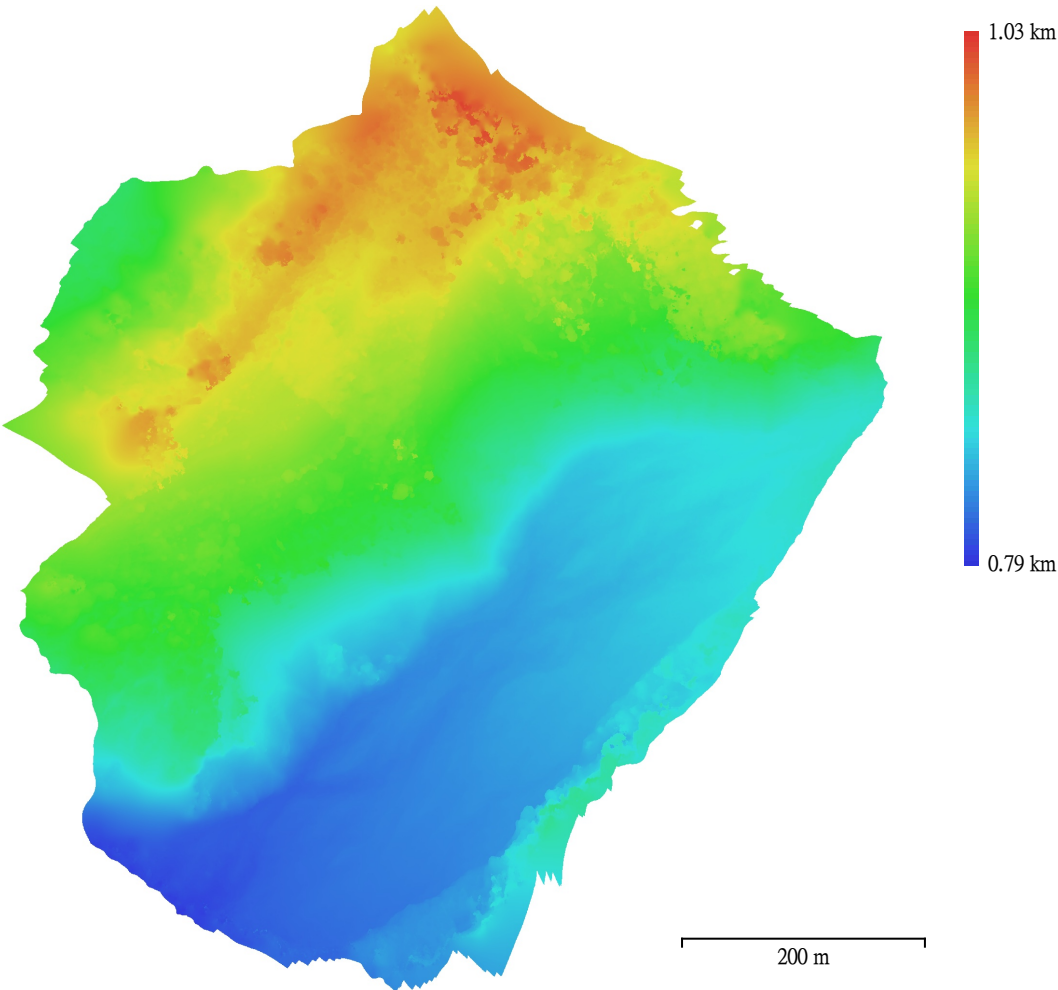


Fig. 4. Reconstructed digital elevation model.

Resolution: 23.4 cm/pix
Point density: 18.2 points/m²

Processing Parameters

General

Cameras	184
Aligned cameras	184
Coordinate system	WGS 84 (EPSG::4326)
Rotation angles	Yaw, Pitch, Roll

Point Cloud

Points	227,421 of 266,549
RMS reprojection error	0.192074 (1.49955 pix)
Max reprojection error	0.72937 (62.6847 pix)
Mean key point size	6.82365 pix
Point colors	3 bands, uint8
Key points	No
Average tie point multiplicity	7.31721

Alignment parameters

Accuracy	Medium
Generic preselection	Yes
Reference preselection	Source
Key point limit	40,000
Key point limit per Mpx	1,000
Tie point limit	10,000
Exclude stationary tie points	Yes
Guided image matching	No
Adaptive camera model fitting	No
Matching time	2 minutes 25 seconds
Matching memory usage	742.23 MB
Alignment time	3 minutes 7 seconds
Alignment memory usage	202.45 MB

Optimization parameters

Parameters	f, cx, cy, k1-k3, p1, p2
Adaptive camera model fitting	Yes
Optimization time	28 seconds
Date created	2024:12:20 01:11:22
Software version	1.8.3.0
File size	50.61 MB

Depth Maps

Count	184
Depth maps generation parameters	
Quality	Medium
Filtering mode	Mild
Max neighbors	16
Processing time	35 minutes 16 seconds
Memory usage	2.25 GB
Date created	2024:12:20 01:50:20
Software version	1.8.3.0
File size	583.74 MB

Dense Point Cloud

Points	10,124,857
Point colors	3 bands, uint8
Depth maps generation parameters	
Quality	Medium
Filtering mode	Mild

Max neighbors	16
Processing time	35 minutes 16 seconds
Memory usage	2.25 GB
Dense cloud generation parameters	
Processing time	41 minutes 7 seconds
Memory usage	4.40 GB
Date created	2024:12:20 02:31:28
Software version	1.8.3.0
File size	131.66 MB
Model	
Faces	1,182,066
Vertices	591,450
Vertex colors	3 bands, uint8
Texture	8,192 x 8,192, 4 bands, uint8
Depth maps generation parameters	
Quality	Medium
Filtering mode	Mild
Max neighbors	16
Processing time	35 minutes 16 seconds
Memory usage	2.25 GB
Reconstruction parameters	
Surface type	Arbitrary
Source data	Dense cloud
Interpolation	Enabled
Strict volumetric masks	No
Processing time	4 minutes 21 seconds
Memory usage	2.75 GB
Texturing parameters	
Mapping mode	Generic
Blending mode	Mosaic
Texture size	8,192
Enable hole filling	Yes
Enable ghosting filter	Yes
UV mapping time	4 minutes 1 seconds
UV mapping memory usage	2.37 GB
Blending time	3 minutes 24 seconds
Blending memory usage	3.73 GB
Blending GPU memory usage	2.38 GB
Date created	2024:12:20 02:35:46
Software version	1.8.3.0
File size	143.69 MB
DEM	
Size	4,981 x 5,046
Coordinate system	TWD97 / TM2 zone 121 (EPSG::3826)
Reconstruction parameters	
Source data	Dense cloud
Interpolation	Enabled
Processing time	21 seconds
Memory usage	903.29 MB
Date created	2024:12:20 02:43:48
Software version	1.8.3.0
File size	28.25 MB
Orthomosaic	
Size	12,447 x 13,863
Coordinate system	TWD97 / TM2 zone 121 (EPSG::3826)
Colors	3 bands, uint8

Reconstruction parameters

Blending mode	Mosaic
Surface	DEM
Enable hole filling	Yes
Enable ghosting filter	No
Processing time	11 minutes 2 seconds
Memory usage	2.07 GB
Date created	2024:12:20 02:51:12
Software version	1.8.3.0
File size	4.36 GB

System

Software name	Agisoft Metashape Professional
Software version	1.8.3 build 14147
OS	Windows 64 bit
RAM	31.88 GB
CPU	Intel(R) Core(TM) i7-7700 CPU @ 3.60GHz
GPU(s)	NVIDIA GeForce RTX 3060