



# 系統工程應用於水下無人載具之 電力規劃

Application of Systems Engineering to Power Planning for Remotely Operated Underwater Vehicle.

著者／陳恩斌、林聖義、蔡渙良、黃俊誠

Chen, En-Pin、Lin, Sheng-Yi、Tsai, Huan-Liang、Huang, Chun-Cheng

陳恩斌 大葉大學電機系、林聖義 大葉大學電機系、蔡渙良 大葉大學資工系、黃俊誠 玉豐海洋科儀

## 摘要：

本研究導入系統工程應用於水下遙控載具的電力系統開發，過程從需求確認、概念設計、初步設計到細部設計，逐步規劃完整的電力系統，最後是依據規劃結果加以實現並進行一系列測試驗證。測試的結過證明開發出來的電力系統，能夠滿足之前預設的需求，研究結果非常成功。因為整個開發過程導入系統工程，相關成果也能提供後續專案參考，讓電力系統開發能更有效率地執行。

## Abstract:

This study introduces the application of systems engineering to the development of the power system for underwater remotely operated vehicle (ROV). The process encompasses stages from requirements confirmation, conceptual design, preliminary design, to detailed design, systematically planning a comprehensive power system. Ultimately, the system is realized based on the planned outcomes and undergoes a series of testing and validation. The test results demonstrate that the developed power system meets the pre-established requirements, indicating a highly successful outcome. The incorporation of systems engineering throughout the development process also provides valuable insights for subsequent projects, enhancing the efficiency of power system development.

## 壹、前言

本研究參考海軍軍艦設計建造程序，從需求確認、概念設計、初步設計、細部設計、生產製造以及測試驗證等步驟，導入水下遙控載具（Remotely operated underwater vehicle, ROV）之電力系統規劃與開發，來優化電力系統的開發過程，以提高效率和系統的穩定性。

目前 ROV 電力系統開發沒有既定的法規、規範以及作業程序，導致專案在沒有統一的開發流程之情況下進行作業，後續將會出現各項文件互相干涉，迫使技術文件需要變更與改動，專案執行至組裝過程時，出現返工的情況，進而延長開發時間並增加成本，最嚴重可能導致專案失敗，為了避免這些風險，在專案開發過程中導入系統工程，能夠有效規劃並執行後續作業，減少風險並提高工作效率，以此達成預期目標。

本研究之目標為開發具有清潔離岸風機海底基樁海轆子能力之 ROV，經過需求確認後，決定使用：七顆推進器、兩顆 LED、兩顆 IP Camera 及一顆 PCG（深度計、指南針和陀螺儀），本研究會導入系統工程應用於水下無人載具之電力規劃，

能夠有效地整合各個系統，確保系統的協同運作和高效運行。

## 貳、研究方法

### 1.1 系統工程

系統工程是一個跨學科領域，是為了解決複雜系統面臨的眾多問題，提供了整合的方法，策畫解決設計、開發、整合、驗證和運營，結合了工程、管理和科學的概念，以確保系統能夠符合既定的目標及需求 [1]，需要整合與組成系統相關的人員和流程，執行系統工程需要經驗豐富的系統工程師 [2]，系統工程的過程通常包括需求確認、概念設計、初步設計、細部設計、測試和驗收等階段，確保每個階段滿足他人的需求，在進入下個階段都會有對應的測試與驗證，以確保系統符合需求，互相測試與驗證的方法可以提升各階段的品質。

在系統工程最具有的代表就是 V 模型，V 模型結合了瀑布模型和螺旋模型的主要特點，強調與利益相關者的驗證過程，以及定義出產品開發與生產的各階段 [3]，如圖 1 V 型開發流程圖左側斜線為開發階段，右側斜線為測試階段，V 型流程圖強

調的是在開發過程中，各個不同階段有不同的測試，有助於提早發現並解決問題 [4]。

### ● 運作概念 (Concept of Operations)

操作概念文件是基於利益關係者對正在開發系統操作的看法而產生的，確定系統將如何使用，有助於確保在系統開發過程中考慮到各種利害關係人的需求和觀點，並以清晰的方式記錄和溝通系統的運作方式和特性 [4][5]。

### ● 系統需求 (System Requirements)

確認系統的需求，再根據系統的需求，確定功能、性能和環境條件，對每個系統進行綜合分析並評估相關的可行性，以利後續的設計及開發作業 [4]。

### ● 子系統需求 (Subsystem Requirements Project Arch)

細化系統的功能需求和設計方案，為後續的開發工作奠定基礎，主要目標是確定子系統的整體架構和功能性需求等，為後續的設計打下基礎 [4][6]。

### ● 細部設計 (Component Level Design)

詳細規劃各個組件的功能和操作流程並撰寫從設計開始到結束的開發過程，開發中需考慮性能、安全性、可靠性等方面，確保組件設計符合要求並符合預期目的，同時提供良好的用戶體驗和操作性 [4]。

### ● 軟體編碼與硬體製造 (Software Coding Hardware Fabrication)

確認開發過程中細部設計的文件有符合需求，如果同系統有多個開發正在進行

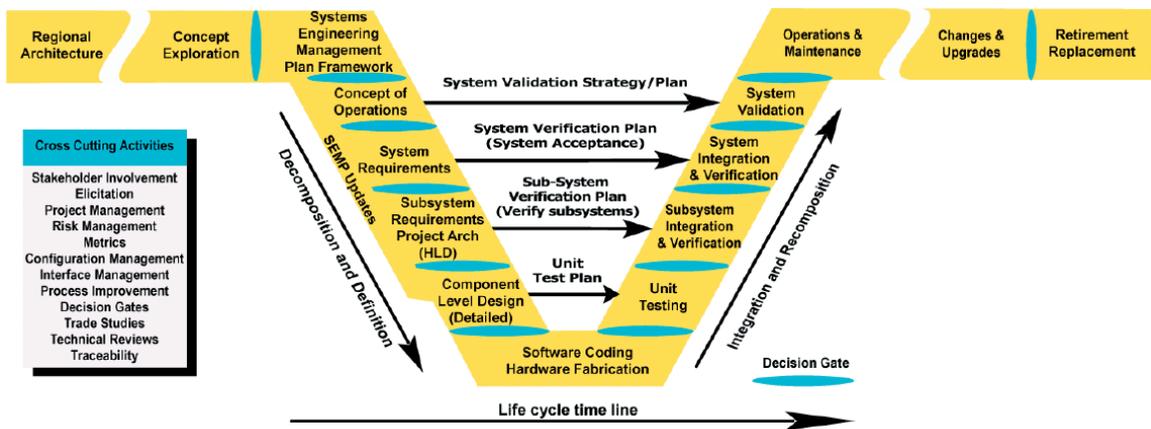


圖1：V型流程圖[4]

中，需要進行協調，以確保項目能夠整合在一起 [4]。

● 單元測試 (Unit Testing)

測試組件是否符合要求，對於設計電路板的人來說，完成電路板的設計、佈局和製造，可以提前發現問題，避免重新評估需求 [4]。

● 子系統整合與驗證 (Subsystem Integration And Verification)

子系統測試並整合，驗證確保子系統是符合到需求 [4]。

● 系統整合與驗證 (System Integration And Verification)

統合所有子系統進行測試，驗證確保系統是符合到需求 [4]。

● 系統驗證 (System Verification)

結束系統與子系統測試，將產品放入預期的還進之中測試，定義測試時的步驟說明以及該誰來執行 [4]。

參、以系統工程導入 ROV 電力規劃

本研究使用 V 型流程圖導入於電力系統的規劃，取 V 型流程圖的精神，規劃出清潔型水下遙控無人載具電力規劃的開發過程有四種，分別為需求確認、概念設計、初步設計和細部設計階段；在測試階段也有四種，分別為零件測試、各部件測試、功能測試和整合測試，詳如下圖 2 本研

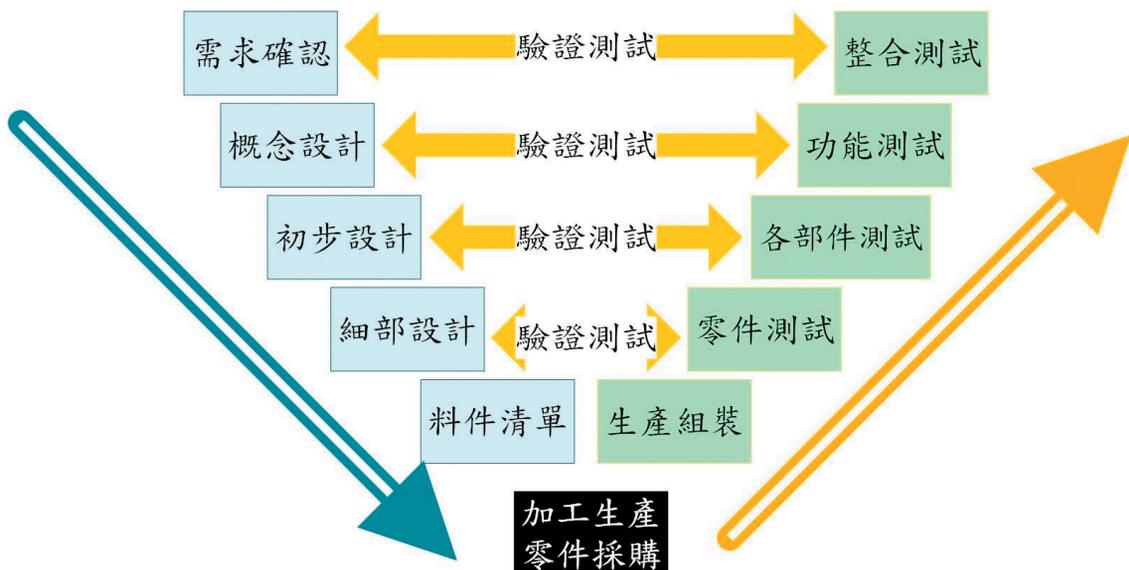


圖2：本研究V型流程圖

究 V 型流程圖。根據圖 2 本研究 V 型流程圖，產生了一系列的文件，製作各階段應該要完成的文件清單，確認規格和料件，規劃各個階段所需的文件和後續組裝與測

試作業流程，各階段分為需求確認、概念設計、初步設計與細部設計和製造與測試階段，每個階段須完成文件，詳如下表 1 全圖說清單。

表1：全圖說清單

各階段		文件名稱	描述
準備階段	需求確認	電力規格清單	各設備電力規格清單
		電力系統需求方塊圖	水上到水下的電力需求系統
設計階段	概念設計	電力負載分析	依照電力系統需求做負載分析
		電力訊號系統圖	電力與訊號的系統圖
	初步設計	電纜總表	各電纜的品號與數量
		電纜功能表	各電纜腳位功能圖
		電纜配置圖	各電纜接置電力系統配置圖
		系統配置圖	各設備連接電纜到電力系統的配置圖
	細部設計	電力系統流程圖	從開始設計到完成組裝TJB和E-pod流程圖
		總材料清單	各材料清單
		24V <sub>DC</sub> to 15V <sub>DC</sub> 電路圖	24V <sub>DC</sub> to 15V <sub>DC</sub> 電路板
		TJB配線圖	TJB的配線圖
		E-Pod 配線圖	E-Pod的配線圖
		TJB配置圖	TJB的配置圖
		E-Pod 配置圖	E-Pod的配置圖
		TJB接線圖	TJB的接線圖
		E-Pod接線圖	E-Pod的接線圖
		測試清單	各測試清單
		零件測試清單	各零件測試項目
		各部件測試清單	各部件測試項目
		TJB功能測試檢驗項目	TJB功能測試清單
		E-pod 功能測試檢驗項目	E-pod功能性測試清單
功能整合測試清單	廠前測試		
製造與測試階段	UCROV 電力開發程序書	從開始設計到結束的電力程序書	
	附錄1-UCROV TJB開發程序書	TJB組裝SOP程序書	
	附錄2UCROV E-Pod開發程序書	E-Pod組裝SOP程序書	
	零件測試結果	零件測試結果	
	各部件測試結果	各部件測試結果	
	TJB功能測試結果	TJB功能測試結果	
	E-Pod功能測試結果	E-Pod功能測試結果	
	功能整合測試結果	功能整合測試結果	

### 3.1 需求確認

根據表 1 全圖說清單，此階段須完成文件為電力規格清單和電力系統需求方塊圖，詳如下表 2 需求確認階段文件清單。

表2：需求確認階段文件清單

各階段		文件名稱	描述
準備階段	需求確認	電力規格清單	各設備電力規格清單
		電力系統需求方塊圖	水上到水下的電力需求系統

#### 3.1.1 電力規格清單的成果展示

確認各部件的功率和電壓，以利後續工程發展，詳如下表 3 電力規格清單。

表3：電力規格清單

各部件	數量	功率(W)	電壓(V <sub>DC</sub> )
300V			
Thruster k14	1	1000	300
Thruster k10	6	500	300
300V to 24V			
IP Camera	2	12	12
LED	2	23	24
PCG	1	5	24
24V <sub>DC</sub> to 15V <sub>DC</sub>	4	7.35	15
Hub	1	5	5
Ethernet to series	1	2.7	30

#### 3.1.2 電力需求方塊圖的成果展示

電力需求方塊圖，經過初步討論的結果，決定出載具的電力需求，電力系統分為水上以及水下，水上的電力系統為艦電，水下的電力系統經過不同的變壓器供電給各部件，使載具能正常工作，詳如下圖 3 電力需求方塊圖。

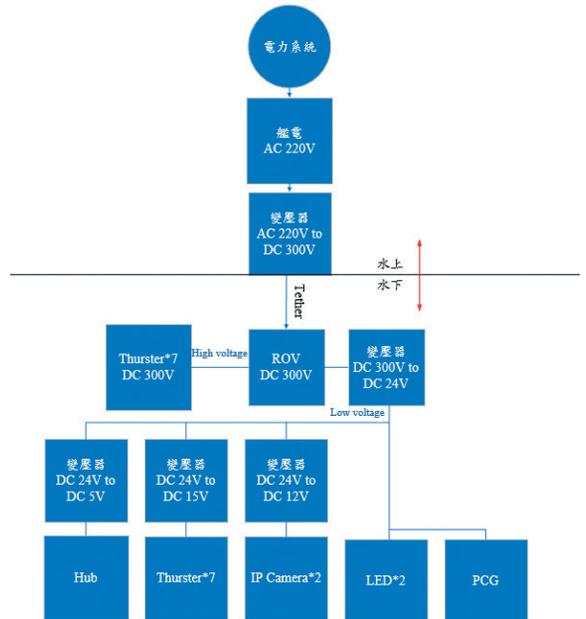


圖3：電力需求方塊圖

### 3.2 概念設計

依據根據表 1 全圖說清單，此階段須完成文件為電力訊號系統圖及電力負載分析，詳如下表 4 概念設計階段文件清單。

表 4：概念設計階段文件清單

各階段		文件名稱	描述
設計階段	概念設計	電力負載分析	依照電力系統需求做負載分析
		電力訊號系統圖	電力與訊號的系統圖

#### 3.2.1 電力負載分析的成果展示

把目前規劃出來的各部件進行負載分析，假設全系統啟動的狀況下，分析設備的各數值，確保載具執行任務時有足夠的電力，根據電力負載分析的結果，電纜在

水中電壓會衰退至 271.28VDC，仍可讓全系統搭載的各設備正常運作，詳如下表 5 電力負載分析。

表5：電力負載分析

各部件	數量	功率(W)	電壓(V <sub>DC</sub> )	負載電流(A)
300V				
Thruster k14	1	1000	300	3.33
Thruster k10	6	500	300	1.67
300V to 24V				
IP Camera	2	12	12	1
LED	2	23	24	0.96
PCG	1	5	24	0.21
24V <sub>DC</sub> to 15V <sub>DC</sub>	4	7.35	15	0.49
Hub	1	5	5	1
Ethernet to series	1	2.7	30	0.09
		總瓦數: 4112.1	電壓: 300	總電流: 13.71

NEC data	Estimated resistance	Other
Wire material	Copper	
Wire size	18 AWG (1.62 kcmil)	
Voltage	300	
Phase	DC	
Number of conductors	2 conductors per phase in parallel	
Distance (one-way)	100 meters	
Load current	13.707 Amps	
<input type="button" value="Calculate"/> <input type="button" value="Clear"/>		
		Voltage drop: 28.72 Voltage drop percentage: 9.57% Voltage at the end: 271.28

壓降(V)	28.72
壓降百分比	9.57%
末端電壓(V)	271.28

### 3.2.2 電力訊號系統圖的成果展示

電力系統分為 (Tether Junction Box ,TJB) 和 (Electric pod ,E-Pod) 系統，設計各部件與 TJB 和 E-Pod 電力及訊號的關聯性，詳如下圖 4 電力訊號系統圖。

### 3.3 初步設計

根據表 1 全圖說清單，初步設計要做的文件有電纜功能表、電纜總表、電纜配置圖和系統配置圖，詳如下表 6 初步設計階段文件清單。

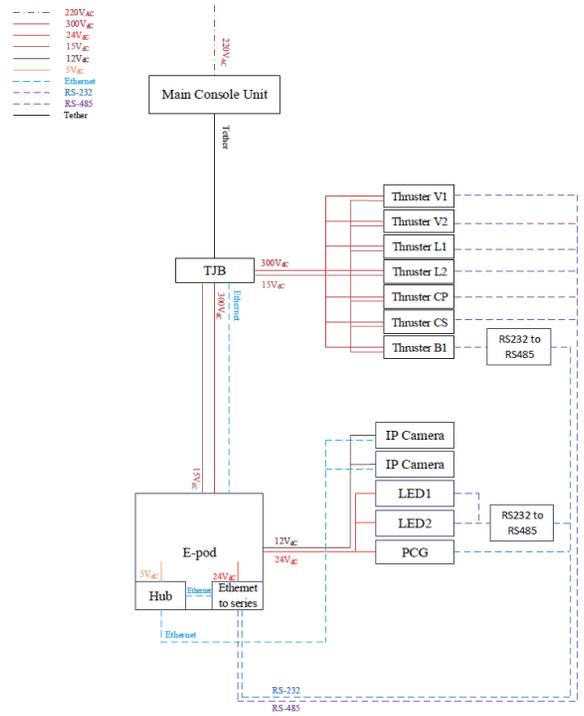


圖4：電力訊號系統圖

表6：初步設計階段文件清單

各階段	文件名稱	描述	
設計階段	初步設計	電纜總表	各電纜的品號與數量
		電纜功能表	各電纜腳位功能圖
		電纜配置圖	各電纜接置電力系統配置圖
		系統配置圖	各設備連接電纜到電力系統的配置圖

#### 3.3.1 電纜功能表之技術文件說明

定義出各部件的腳位，以便後續設計電路。

#### 3.3.2 電纜總表之技術文件說明

依據上述電纜功能表，規劃各電纜的品號、數量和長度。

表7：細步設計階段文件清單

各階段	文件名稱	描述	
設計階段	細部設計	電力系統流程圖	從開始設計到完成組裝TJB和E-pod 流程圖
		總材料清單	各材料清單
		24V <sub>DC</sub> to 15V <sub>DC</sub> 電路圖	24V <sub>DC</sub> to 15V <sub>DC</sub> 電路板
		TJB配線圖	TJB的配線圖
		E-Pod 配線圖	E-Pod的配線圖
		TJB配置圖	TJB的配置圖
		E-Pod 配置圖	E-Pod的配置圖
		TJB 接線圖	TJB的接線圖
		E-Pod 接線圖	E-Pod的接線圖
		測試清單	各測試清單
		零件測試清單	各零件測試項目
		各部件測試清單	各部件測試項目
		TJB 功能試驗項目	TJB功能測試清單
		E-pod 功能試驗項目	E-pod功能性測試清單
功能整合測試清單	廠前測試		

### 3.3.3 電纜配置圖之技術文件說明

將規劃完成之電纜總表，與電纜功能表結合，規劃出 ROV 電纜和部件的初步配置，設計出電纜配置圖。

### 3.3.4 系統配置圖之技術文件說明

將上述電纜配置圖完成後，考慮 ROV 的空間及各部件擺放之位置，設計出系統配置圖，同時也確認 TJB 及 E-Pod 的開孔位置，以利後續專案執行進度。

## 3.4 細步設計

根據表 1 全圖說清單，細部設計要做

的文件有總材料清單、電力系統流程圖、測試清單、TJB 配線圖、TJB 配置圖、24VDC to 15VDC 電路圖、E-Pod 配線圖、E-Pod 配置圖、零件測試項目及各部件測試項目，詳如下表 7 細步設計階段文件清單。

### 3.4.1 電力系統流程圖的成果展示

製作流程圖來展示目前所做的部分及未來的規劃，清楚地規劃 TJB 及 E-Pod 的組裝步驟該如何進行，這個流程圖將包括組裝及測試過程中的各個步驟和檢查點，

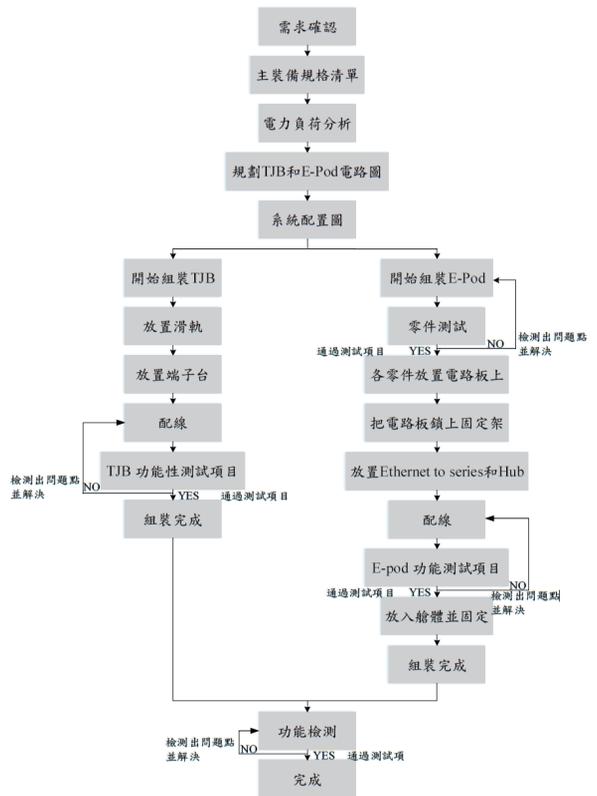


圖5：電力系統流程圖



確認檢查點為通過，繼續進行下一個階段，完成 TJB 及 E-Pod 的組裝，詳如下圖 5 電力系統流程圖。

#### 3.4.2 總材料清單之技術文件說明

總材料清單分為 TJB、E-Pod 和 24VDC to 15VDC，把各材料準備好，以利後續的組裝作業。

#### 3.4.3 24VDC to 15VDC 電路圖之技術文件說明

設計 E-Pod 內的電路板，加入各零件到 24VDC to 15VDC 的電路板，規劃電路板的電壓、接地和訊號，主要設計 Thruster 的開關。

#### 3.4.4 配線圖之技術文件說明

TJB 配線圖參考上述電力訊號系統圖設計出 TJB 的配線圖，規劃出每個所需的端子台，規劃電壓、接地、外殼接地和訊號等。

E-Pod 配線圖參考上述電力訊號系統圖和 24VDC to 15VDC 電路圖，規劃各零件及各部件相關配置，設計出 E-Pod 配線圖。

#### 3.4.5 配置圖之技術文件說明

TJB 配置圖參考 TJB 配線圖和系統配置圖，規劃出各部件位置及如何配線，設計出 TJB 配置圖。

E-Pod 配置圖參考 E-Pod 配線圖及系統配置圖，規劃出各部件位置及如何配線，設計出 E-Pod 配置圖。

#### 3.4.6 接線圖之技術文件說明

TJB 接線圖參考 TJB 配置圖做出更詳細的接線圖，確定所需的端子台數量，並根據電纜功能表標示每條顏色該接到哪個端子台上，設計出 TJB 接線圖。

E-Pod 接線圖參考 E-Pod 配置圖做出更詳細的接線圖，並根據電纜功能表標示每條的顏色該接到哪個接點上，設計出 E-Pod 接線圖。

#### 3.4.7 測試清單之技術文件說明

把各階段所需測試的項目列為清單，分為零件測試清單、各部件測試清單、TJB 功能測試項目和 E-Pod 功能測試項目和功能整合測試清單，後續的測試項目與結果，詳如下一章節製造與測試階段的相關測試結果。

### 3.5 製造與測試階段

根據表 1 全圖說清單，組裝階段要做的文件有 UCROV TJB 開發程序書和 UCROV E-Pod 開發程序書，根據圖 5 電力系統流程圖，依照流程進行後續組裝與測試，詳如下表 8 製造與測試階段文件清單。

表8：製造與測試階段文件清單

各階段	文件名稱	描述
製造與測試階段	UCROV電力開發程序書	從開始設計到結束的電力程序書
	附錄1-UCROV TJB開發程序書	TJB組裝SOP程序書
	附錄2-UCROV E-Pod開發程序書	E-Pod組裝SOP程序書
	零件測試結果	零件測試結果
	各部件測試結果	各部件測試結果
	TJB功能測試結果	TJB功能測試結果
	E-Pod功能測試結果	E-Pod功能測試結果
	功能整合測試結果	功能整合測試結果

### 3.5.1 零件測試清單與結果

電力系統所使用到的變壓器有四種，正式拿來使用前需進行檢測，確保取得的零件沒有問題，詳如下表 9 零件測試清單與結果。

表9：零件測試清單與結果

項目	各測試	品名	數量	功能	測試結果	日期
1	零件測試	DC300V to DC24V	1	輸入DC300V輸出為DC24V	通過	2023/05/24
2		DC24V to DC15V	1	輸入DC24V輸出為DC15V	通過	2023/05/31
3		DC24V to DC12V	1	輸入DC24V輸出為DC12V	通過	2023/05/24
4		DC24V to DC5V	1	輸入DC24V輸出為DC5V	通過	2023/04/26

表10：各部件測試清單與結果

項目	各測試	品名	數量	功能	測試結果	日期
1	各部件測試	Thruster	7	輸入DC300V及輸入DC15V，要能發送訊號	通過	2023/04/24
2		LED	2	輸入DC24V，要能發送訊號	通過	2023/04/10
3		PCG	1	輸入DC24V，要能接收訊號	通過	2023/04/06
4		Ethernet to series	1	輸入DC24V，要能接收訊號	通過	2023/04/06
5		IP Camera	2	輸入DC12V，要有影像	通過	2023/07/24
6		Hub	1	輸入DC5V，要能接收訊號	通過	2023/07/24
7		On/Off Switch	1	輸入DC24V，要能接收訊號	通過	2023/07/24

### 3.5.2 各部件測試清單與結果

電力系統所使用到的各部件，正式拿來使用前需進行檢測，確保取得的各部件沒有問題，詳如下表 10 各部件測試清單與結果。

### 3.5.3 UCROV 電力開發程序書

從需求確認開始到最後的測試，電力系統將會分為兩個子系統，分別為 TJB 及 E-Pod，因此將會產出兩本開發程序書，分別為 UCROV TJB 開發程序書以及 UCROV E-Pod 開發程序書，後續作業人員可以參考流程，以利後續作業。

上述兩本開發程序書將會以附錄，收錄於 UCROV 電力開發程序書中。



3.5.3.1 附錄 1-UCROV TJB 開發程序書

從準備材料到完成組裝 TJB，目的是主要教導組裝 TJB 流程，因內容較多，另以附錄 1 撰寫。

3.5.3.2 附錄 2-UCROV E-Pod 開發程序書

從準備材料到完成組裝 E-Pod，目的是主要教導組裝 TJB 流程，因內容較多，另以附錄 2 撰寫。

表11：TJB功能試檢驗項目清單與結果

	檢驗項目	測試日期
電源設備	<input checked="" type="checkbox"/> AKE-3000	2023/10/24
電路板部件組裝	<input checked="" type="checkbox"/> 確認接地線已連接	2023/10/6
	<input checked="" type="checkbox"/> 確認電源線與訊號線已固定	
	<input checked="" type="checkbox"/> 螺絲與銅柱螺絲膠	
電性測試	<input checked="" type="checkbox"/> 標定電壓測試 300 V 5 A	2023/10/24
Network Power Cable	<input checked="" type="checkbox"/> 確認電壓Pin 1-Pin3-&Pin12 +Pin13+輸出為DC 300V	2023/10/6
	<input checked="" type="checkbox"/> 訊號測試	2023/10/24
ETMCIL13M	<input checked="" type="checkbox"/> 確認電壓Pin 1-Pin3-&Pin12 +Pin13+輸出為DC 300V	2023/10/6
	<input checked="" type="checkbox"/> 訊號測試	2023/10/18
Thruster V1	<input checked="" type="checkbox"/> 確認電壓Pin1-&Pin3+輸出為DC 300V	2023/10/6
	<input checked="" type="checkbox"/> 確認電壓Pin4+&Pin7-輸出為DC 15V	2023/10/6
	<input checked="" type="checkbox"/> 訊號測試	2023/10/18
Thruster V2	<input checked="" type="checkbox"/> 確認電壓Pin1-&Pin3+輸出為DC 300V	2023/10/6
	<input checked="" type="checkbox"/> 確認電壓Pin4+&Pin7-輸出為DC 15V	2023/10/6
	<input checked="" type="checkbox"/> 訊號測試	2023/10/18
Thruster L1	<input checked="" type="checkbox"/> 確認電壓Pin1-&Pin3+輸出為DC 300V	2023/10/6
	<input checked="" type="checkbox"/> 確認電壓Pin4+&Pin7-輸出為DC 15V	2023/10/6
	<input checked="" type="checkbox"/> 訊號測試	2023/10/18
Thruster L2	<input checked="" type="checkbox"/> 確認電壓Pin1-&Pin3+輸出為DC 300V	2023/10/6
	<input checked="" type="checkbox"/> 確認電壓Pin4+&Pin7-輸出為DC 15V	2023/10/6
	<input checked="" type="checkbox"/> 訊號測試	2023/10/18
Thruster SP	<input checked="" type="checkbox"/> 確認電壓Pin1-&Pin3+輸出為DC 300V	2023/10/6
	<input checked="" type="checkbox"/> 確認電壓Pin4+&Pin7-輸出為DC 15V	2023/10/6
	<input checked="" type="checkbox"/> 訊號測試	2023/10/18
Thruster CP	<input checked="" type="checkbox"/> 確認電壓Pin1-&Pin3+輸出為DC 300V	2023/10/6
	<input checked="" type="checkbox"/> 確認電壓Pin4+&Pin7-輸出為DC 15V	2023/10/6
	<input checked="" type="checkbox"/> 訊號測試	2023/10/18
Thruster B	<input checked="" type="checkbox"/> 確認電壓Pin1- &Pin3+輸出為DC 300V	2023/10/6
	<input checked="" type="checkbox"/> 確認電壓Pin4+ &Pin7-輸出為DC 15V	2023/10/6
	<input checked="" type="checkbox"/> 訊號測試	2023/10/24

### 3.5.4 TJB 功能測試

TJB 完成組裝後的測試結果，先從電源供應器 300VDC 開始送，經由電纜送至 TJB，測量每個電壓和接地是否正常，詳如下表 11 TJB 功能試檢驗項目。

### 3.5.5 E-Pod 功能測試

E-Pod 完成組裝後的測試結果，先從電

源供應器 300VDC 開始送電至 E-Pod，測量每個電壓和接地是否正常，詳如下表 12 E-Pod 功能測試結果。

### 3.5.6 功能整合測試

ROV 組裝完成後進行功能整合測試，功能整合測試為廠內測試 (Factory Acceptance Test, FAT)，將 TJB 及 E-Pod

表12：E-Pod功能測試清單與結果

	檢驗項目	測試日期
電源設備	<input checked="" type="checkbox"/> AKE-3000	2023/10/18
電路板部件組裝	<input checked="" type="checkbox"/> 電路板編號：_____ ( E-pod-1)	2023/9/26
	<input checked="" type="checkbox"/> 電路板編號：_____ ( E-pod-2)	
	<input checked="" type="checkbox"/> 確認接地線已連接	
	<input checked="" type="checkbox"/> 確認電源線與訊號線已固定	
	<input checked="" type="checkbox"/> 螺絲與銅柱螺絲膠	
電性測試	<input checked="" type="checkbox"/> 標定電壓測試 <u>300</u> V <u>5</u> A	2023/10/18
LED1	<input checked="" type="checkbox"/> 確認電壓Pin1&Pin2輸出為DC 24V	2023/9/26
	<input checked="" type="checkbox"/> 訊號測試	
LED2	<input checked="" type="checkbox"/> 確認電壓Pin1&Pin2輸出為DC 24V	2023/9/26
	<input checked="" type="checkbox"/> 訊號測試	
PCG	<input checked="" type="checkbox"/> 確認電壓Pin1&Pin3輸出為DC 24V	2023/10/18
	<input checked="" type="checkbox"/> 訊號測試	
IP Camera1	<input checked="" type="checkbox"/> 確認電壓Pin5 or Pin6&Pin7 or Pin8輸出為DC 12V	2023/9/26
	<input checked="" type="checkbox"/> 訊號測試	
IP Camera2	<input checked="" type="checkbox"/> 確認電壓Pin5 or Pin6&Pin7 or Pin8輸出為DC 12V	2023/9/26
	<input checked="" type="checkbox"/> 訊號測試	
Ethernet to series	<input checked="" type="checkbox"/> 確認電壓Pin8&Pin9(com2)輸出為DC 24V	2023/9/26
	<input checked="" type="checkbox"/> 訊號測試	
Hub	<input checked="" type="checkbox"/> 確認電壓輸出為DC 5V	2023/9/26
	<input checked="" type="checkbox"/> 訊號測試	
E-Pod to TJB1	<input checked="" type="checkbox"/> 確認電壓Pin1&Pin3和Pin2&Pin4輸出為DC 15V	2023/10/18
	<input checked="" type="checkbox"/> 訊號測試	
E-Pod to TJB2	<input checked="" type="checkbox"/> 確認電壓Pin1&Pin3和Pin2&Pin4輸出為DC 15V	2023/10/6
	<input checked="" type="checkbox"/> 訊號測試	

表13：功能整合測試結果

測試項目	測試結果敘述
推進器開關	可以開啟/關閉"垂直"、"水平"、"履帶"、"刷子"的推進器。
各軸向推進器的轉速	可以使用滑桿調節推進器的轉速。
推進器（飛行模式）	1.以人機介面鼠標操控載具前進後退、上升下降、左轉右轉、左翻轉右翻轉之移動方式。 2.控制轉速。 3.鬆開按鍵時，推進器即時停止運動。
推進器（履帶模式）	1.以人機介面鼠標操控前進後退以及左右轉之移動。 2.控制轉速。 3.鬆開按鍵時，推進器即時停止運動。
推進器（清潔模式）	1.以人機介面鼠標操控刷子轉動。 2.控制轉速。
IP CAMERA	按下"啟動"，可以看到畫面，並且具備錄影功能。
23W LED	可以使用滑桿調節燈光的亮度。
介面數值顯示	顯示水下無人載具航向、深度、姿態的相關數值。
載具姿態展示	1.人機介面的螢幕顯示之深度、艏向（heading）、俯仰（pitch）以及左右搖擺（roll）數值。 2.利用3D圖展示即時性的姿態。
Auto Heading定向	水池測試：啟動auto heading功能後，操作ROV轉向，ROV會自動轉回原本設定的方向。
Auto Depth定深	水池測試：啟動 auto depth 功能後，外部推動ROV，會自動移動回原本設定的深度（公差：± 0.2 meter）。
Auto roll自動翻轉	水池測試：啟動auto roll功能後，設定翻轉的角度(+/-45°，ROV會自動轉到設定的角度（公差：± 5）。
吸附	關閉Auto roll功能，並以最大推力吸附結構體。

電路結合，此測試會與專案編組中人機介面的程式控制，測試各項目皆為通過，詳如下表 13 功能整合測試結果。

本專案是完整的 ROV 開發，從無到最後開發出產品，本研究主要負責電力系統的規劃，電力系統的規劃從需求設計開始到後續的 FAT，電力系統開發完後仍需配合整個專案的開發，未來還會有後續的測試岸邊測試（Harbor Acceptance Test,

HAT）以及海上測試（Sea Acceptance Test, SAT），還有後續的精進與總結報告等。

## 肆、結論與未來展望

本文成功將系統工程導入於電力系統的規劃，順利開發出具有清潔功能的 ROV，採用的 V 型流程圖及其精神，為後續類似

開發的項目提供有效的參考模型，不僅減少了返工和成本增加的風險，還能夠提升開發過程的效率和穩定性，實際的測試結果證明，開發出的電力系統完全符合預設需求，開發過程從需求確認到最後組裝完成後的測試，本研究證明了系統工程在電力系統的開發上有重大的影響力。

本研究所使用的系統工程方法，也可以應用於其他領域，隨著技術的不斷進步和應用範圍的擴大，系統工程在更多領域發揮其重要性，通過不斷的探索與應用，使專案提高效率及穩定性。👑

## 參考文獻

- [1] INCOSE Systems Engineering Handbook: A Guide for System Life Cycle Processes and Activities
- [2] J. Dalman, "The state of systems of systems engineering knowledge sources," 2015 10th System of Systems Engineering Conference (SoSE), San Antonio, TX, USA, 2015, pp. 476
- [3] Luis M. Aristizábal, Carlos A. Zuluaga, Santiago Rúa, Rafael E. Vásquez, "Modular Hardware Architecture for the Development of Underwater Vehicles Based on Systems Engineering," Journal of Marine Science and Engineering 9, no. 5: 516.
- [4] Federal Highway Administration California Division. Systems Engineering Guidebook for Intelligent Transportation Systems, 3rd ed.; US Department of Transportation: Washington, DC, USA, 2009, pp. 20-73
- [5] ISO/IEC Standard for Systems Engineering - Application and Management of the Systems Engineering Process, In ISO/IEC 26702, 2007, pp.37-52
- [6] Mohammad H. SadraeyA" comprehensive approach to the air vehicle design process using the principles of systems engineering",2012,pp.29-30