

國防部 113 年度「補助軍事院校教師（官）從事學術研究」

機動式智慧微電網之軍事應用開發與驗證

結案報告



執 行 單 位：空軍航空技術學院飛機工程系
研究計畫主持人：助理教授 劉建均 中校

中華民國 113 年 12 月 05 日

研究計畫書目錄

提要	4
第一章 計畫內容：	5
第一節 研究緣起與背景：	5
第二節 研究目的及研究重點.....	6
2.1 研究目的：	6
2.2 研究重點：	6
第三節 研究架構.....	8
第四節 研究方法及步驟.....	9
第五節 預期效益與對軍事教育改革潛力	12
5.1 預期完成之工作項目	12
5.2 預期成果.....	12
5.3 軍事教育改革潛力.....	12
第二章 成果內容	14

圖目錄

圖 1：軟式太陽能板.....	7
圖 2：計畫編組架構.....	8
圖 3：實驗架構圖.....	8
圖 4：計劃執行方法與步驟.....	9
圖 5：電源自動切換開關.....	10
圖 6：深循環電池.....	10
圖 7：逆變器.....	11
圖 8：硬體架構配置.....	14
圖 9：儲能架構配置.....	14

提要

智慧電網是透過利用資訊技術，來對電網以更有效的方式提供電力並反應突發事件，在國軍軍事作戰的應用當中，如何避免電力遭受到中斷或支援無電力地區執行作戰任務，都是軍事作戰相當重要的問題考量，因此本計畫以分散式供電設計，來建立電力備源系統，提出機動式微電網系統的設計架構，來達到電網儲能與供電的效果，能源供給則是利用太陽能發電原理來建立微電網系統，取代傳統柴油發電機所造成之巨大聲響與煙霧，來降低暴露我方位置情資，藉以分析與建立妥善的儲能設施，並且符合機動式微電網系統的設計目標。

第一章 計畫內容：

第一節 研究緣起與背景：

國軍在軍事作戰的應用當中，曾設想電力遭受中斷的威脅，因此軍方的重要關鍵設施興建時，都會與台電協調採取分散式供電設計，並建立電力備源系統。目的在於可以立即銜接轉換到儲電系統達到完全不斷電的效果，也能建設備用發電機，並在發電時具有配電功能，來不受電廠分布的「電網」遭受到斷電的影響，導致影響國軍戰術上的運作。

「電網」是指可用於四種操作的可控制電力系統：發電系統、輸電系統、配電系統和電力控制系統。在現今科技發展快速的情況下，可透過利用現代的資訊技術，來對電網以更有效的方式提供電力並回應廣泛的突發事件，因此我們將這類電網稱之為「智慧電網」。而傳統電網通常將電力從幾個中央發電機輸送到大量用戶或使用者，相較之下智慧電網使用電力和資訊的雙向流動來創建自動化、分散式的先進能源傳輸網路，效果上更加具有機動性、分佈性與實用性[1][2]。假設台灣電廠和通信網路遭癱瘓或破壞，可能導致國軍戰術執行上將無法運作，前方部隊可能將無法遂行作戰任務，因此如何在沒有電力情況下遂行作戰任務，將是非常重要的議題。

為了避免國軍「電網」遭受到破壞時影響到作戰任務，我們提出建立機動式微電網系統架構來達到「智慧電網」的效果，以分散式的情況下支援部隊作戰的電力來源。例如前線部隊所使用的偵查型無人機系統，一般而言，每顆電池僅能維持 15 分鐘左右的電量，為了使前線部隊可以延長電力來源的供給，機動式微電網系統架構將可不必透過台電電網所提供的電力來源，是以獨立式的電力供給來彌補電力需求，達到戰力保存的目標。從技術角度可以探討出智慧電網主要有三個系統的組成[3][4]：

1. 智慧基礎設施系統：智慧基礎設施系統是智慧電網底層的能源輸出、資訊與通訊基礎設施，主要所需的技術需求在於支援發電、輸送、先進的資訊計量、監控與管理和通訊技術。
2. 智慧管理系統：智慧管理系統是智慧電網中提供高階管理和控制子系統。
3. 智慧保護系統：智慧保護系統是智慧電網中提供先進的電網可靠性分析、故障保護以及安全和隱私保護服務的子系統。

因此我們提出利用「智慧電網」的架構方式來建立機動式微電網系統，是指無須建立大型的基礎設施系統(如：大型柴油發電機)，並且在無台電電力供給的情況下，來達到電網儲能與供電的效果，建立在獨立式微電網的架構上。能源的供給則是利用太陽能的發電原理來建立微電網系統，能源儲能的裝置則是以可重複充放電的電池裝置，來分析與建立妥善的儲能設施，並且符合機動式微電網系統的目標。

本案計劃執行時間預計為一年，執行內容包含機動式微電網系統製作、電網配電建構、

儲能系統建立以及整體機電系統整合作業，本計畫所得成果，在學術上，可更深入軍事機動式儲能系統的發展應用，並可建構於教學實踐上，使學生具有智慧電網觀念及微電網基本知識，建立機動式軍事能源應用發展目標，微電網製作教學經驗、機電控制整合應用及機動式儲能的設計方法參考。

第二節 研究目的及研究重點

2.1 研究目的：

本計畫目的在於設想軍事作戰應用當中電力遭受中斷的威脅，在台電中斷無法供給的地區或是台電電網遭受到中斷時，可以使前進指揮所和前線部隊遂行作戰任務時，提供電力來源，例如提供無人機偵查裝置等電力來源(電池電力維持僅約 15 分鐘左右)，以建立提供具有機動性和獨立式的電網電力來源，採取分散式供電設計，並建立獨立式電網電力備源系統。

傳統電網本質上是單向的，一般發電裝置通常透過發電機發電，以柴油燃燒為燃料的熱機驅動。但柴油發電機重量重攜帶不易，且發電過程會產生大量煙霧及引擎作動巨大聲響，容易引起周遭環境的注意。與傳統電網相比，智慧電網中的電能產生和流動方式更具彈性，例如配電網可以能夠透過使用太陽能電池板來發電。我們利用儲電系統來達到完全不斷電的效果，也能建設備用發電來源，來解決「電網」遭受到斷電的影響，以機動式微電網為建立概念，避免電網中斷而影響國軍戰術上的運作，增加軍事作戰應用的發展。

2.2 研究重點：

(1)智慧電網基本特性：

廣義來說，智慧電網可以回應電網中任何地方發生的事件，例如發電、輸電、配電和用電等，並採取相應的策略。例如，一旦配電網發生故障事件，智慧電網就可以自動改變配電情況並恢復供電服務；或是在尖峰需求時段平滑化需求，降低整體高峰的總需求情況，減少高峰負載的情況。因此我們可以更具體地說，智慧電網可以被視為一個電力系統，它以整合的方式使用資訊、雙向、網路安全通訊技術和計算智能，跨越發電、輸電、變電站、配電和消費，來實現一個電力系統的安全、可靠、有彈性、高效和永續性。我們可以將能源系統分為發電、輸電網、配電網[5]。

發電是利用其他形式的能源（例如天然氣、煤炭、核電、太陽能和風能）發電的過程。與傳統電網發電相比，智慧電網以電力和資訊的雙向流動，成為智慧發電的優勢。智慧電網所採用的發電模式，即是分散式發電。分散式利用分散式能源系統（例如太陽能電池板 and 小型風力渦輪機），這些系統通常是小型發電機（通常在 3 kW 至 10,000 kW 範圍內），以便提

高電能品質和可靠性。本計畫所提之微電網是發電和負載的分組，可以與大電網斷開連接，以便分散式發電機繼續為該微電網中的用戶供電，而無需從外部獲取電力[6]。

(2)儲電系統之原理與應用

電力系統中的分散式發電方法所提供之電力是有限的，但智慧電網的構想是預計採用大量的分散式發電機，形成更多分散的電力系統。從當前系統演變為 2 個階段：一、適應現有電力系統中的分散式發電。二、電力大部分由分散式發電提供，少量由中央發電提供。因此我們希望能夠部署自己的發電裝置，再以分散式發電的大規模部署構想，來建立多個微型智慧電網的組合，藉以改變傳統的電網設計方法，達到發電裝置連接到所有的分佈式發電，來結合成輸電網。另外，我們為了達到機動性的效果，以電池作為儲電系統，因此在供電上我們以功率逆變器（power inverter）又稱逆變器，將直流電轉換為交流電的電力電子裝置，藉此獲得具有交流頻率的交流電來源，提供給使用者的電能需求[7]。

(3)發電傳輸工作原理：

電池儲能系統的基本功能非常簡單，利用可充電鋰離子電池接收和儲存電力，然後在適當情況下傳輸這些電力，為各種使用需求供電。我們以太陽能發電裝置來設計，利用太陽能板產生再生能源，並將必要的電力傳送至耗電裝置，產生的多餘電力則傳送到儲能系統裝置(電池)加以儲存電力。若台電電網無法提供電力時，則自動切換成儲能系統所保存的電力提供，然後依電力需要以自動化方式重複電力供給與消耗的流程。

太陽能能量轉換工作原理：太陽能是目前所有的再生能源中最方便的一種，我們利用收集太陽的熱能或光能，來產生電力能源。常見的裝置包括：太陽能熱水器、太陽熱能發電、太陽電池等三種，主要是利用光能與熱能來產生能量，並以軟式太陽能充電板建立，增加機動性的應用性，如圖 1 所示。



圖1：軟式太陽能板

第三節 研究架構

本專案計畫之研究主題包括：(1)機動式微電網系統架構設計；(2) 電力生成系統設計；(3) 自動配電次系統設計；(4) 微電網系統機電整合開發。各研究主題之執行，由本校一般學科部飛機工程系負責各項設計、分析及實驗工作。編組架構如圖 2 所示。

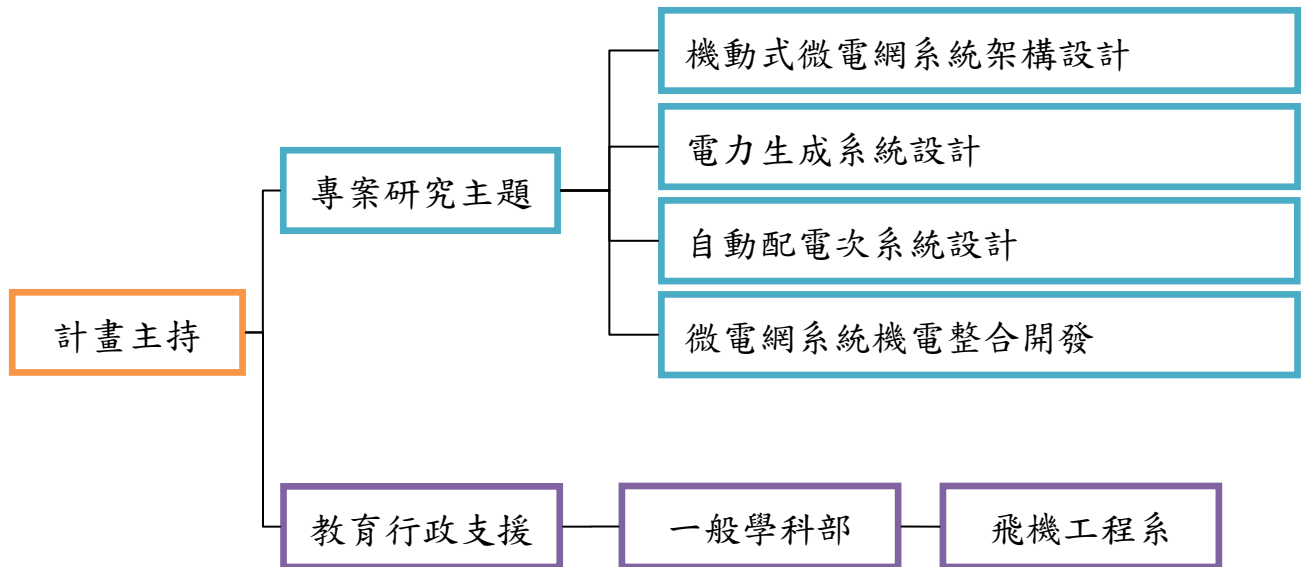


圖2：計畫編組架構

我們以分佈式微電網的設計方式，將備援發電端當作為主要電源供給，台電電網當作為輔助電力來源，並以機動式系統方式進行架設，來避免台電電網遭受到阻斷，或是使用環境在郊外無法進行電力補充的情況下，來建立分佈式的電網設計，實驗架構如圖 3 所示。另外透過電源自動切換開關來建立配電端的智慧切換功能，隨後將可提供負載端的電力提供，達到分佈式微電網架構的設計，進而擴展到大型的分佈式微電網架設。

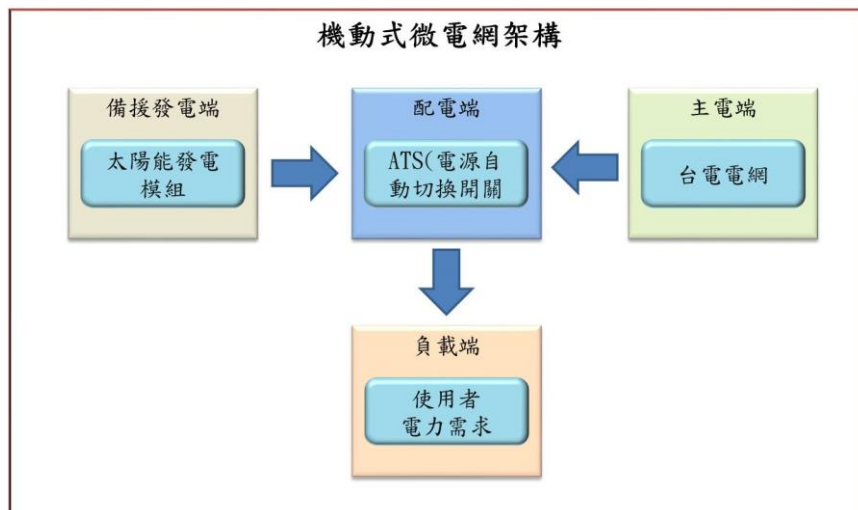


圖3：實驗架構圖

第四節 研究方法及步驟

本計劃之時程預計為一年。第一階段為建立智慧電網及分佈式微電網硬體架構設計，來驗證智慧電網供電的可行性；第二階段執行分佈式電網電力傳輸架構及智慧系統整合設計，為了使電力能順利產生並儲存至儲電系統上，執行電力傳輸時必須確保能符合智慧化配電，並進行微電網的獨立式備援架構設計，了解當微電網接收到太陽能供給電源時，電力的狀態是否符合智慧化的配電性，進而達到自動控制配電給負載端的效果；第三階段則逕行成果報告製作。研究進行步驟如圖 4。

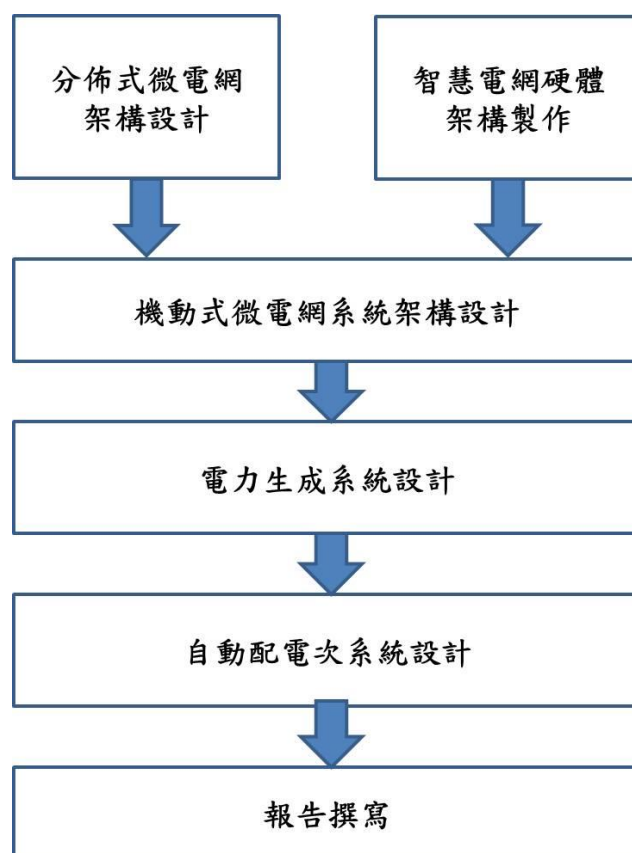


圖4：計劃執行方法與步驟

本研究預劃於空軍航空技術學院進行相關實驗，所使用各項實驗硬體設備目說明如下：

◆ 電源自動切換開關

配電端的部分我們採用斷路器，來保護電路免受過電流（過載及短路）損害的安全裝置；其基本功能是啟斷（闔上和斷開）迴路、自動切斷故障迴路，以保護設備（迴路中的電器）和防止火災風險，同時我們利用電源自動切換開關(ATS：automatic transfer switch)來達到自動切換主力電源及備源電源的調節作用，自動切換開關是配電設備中，

很重要的一種器材之一，能在電源中斷或電路欠相時，將負載切換到另一替代電源，而在正常電源恢復供電後自動再切回原電源，達到具有自動配電功能的智慧電網建立，如圖 5 所示。



圖5：電源自動切換開關

◆ 儲能系統

一般而言電力儲能裝置可以泛指為電池，通常都是使用鉛酸蓄電池，並且依照電氣性能來區分，鉛酸蓄電池可以分兩類(1)動力電池(2)深循環電池。電池內部構造最大的不同是鉛板的裝設方式。動力電池的鉛板是以海綿狀，而深循環電池則採用密實的鉛板。因為動力電池的鉛板呈海綿狀，它的有效表面積比密實的鉛板大很多，因此起動電池後的 10 秒或 20 秒內，起動電流很大，適合當作起動汽車馬達使用，所以稱為動力電池。但是蓄電池用久之後，鉛板表面會脫落，因此海綿狀鉛板的隙洞會越來越大，有效表面積越來越小，不久後動力電池就報廢了。而深循環電池所使用密實鉛板而言，蓄電池用久之後，它只是表面脫落而已，有效表面積不會因此減小，所以深循環電池比動力電池壽命長。電池的容量是用安培小時(Amp-Hour)來計算。若以 100 安培小時的電池為例，動力電池用到剩下 50 安培小時，則必須進行再充電，不然電池會造成損壞。而深循環電池則可以用到剩下 25 安培小時，在進行充電，如圖 6 所示。

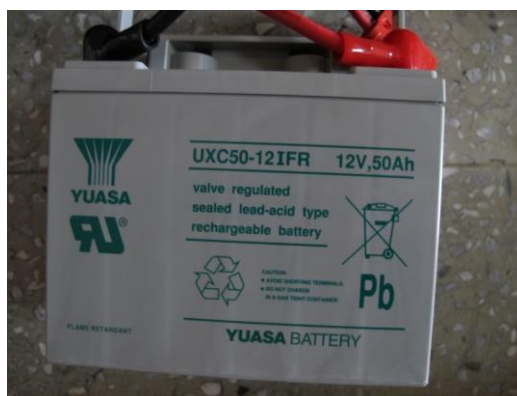


圖6：深循環電池

◆ 逆變器

功率逆變器（power inverter）又稱逆變器、逆變流器、逆換流器、反相器，是將直流電轉換為交流電的電力電子裝置，藉此所得的交流頻率取決於使用的特定器件。逆變器的作用與整流器相反，整流器是將交流電轉換為直流電的機電設備。而逆變器則是相反，是將直流電轉換為交流電的機電設備，並且逆變器本身並不產生任何功率，其功率或電源由直流電源提供。逆變器可以是完全電子式的，也可為機械效應（如旋轉裝置）和電子電路的組合，其中靜態逆變器在轉換過程中，不使用任何運動部件；逆變器主要應用於大電流、高電壓的場合，如圖 7 所示。



圖7：逆變器

◆ 可能遭遇之困難及解決途徑：

我們利用具太陽能發電來連接機動式微電網系統，並以自動切換開關來進行自動電力控制的配電方式，以配電方式將電力傳遞給負載端，將直流電轉變成交流電來進行電力的提供，因此負載端的電力消耗太多則可能導致逆變器的負載過大而產生斷電的現象，即無法進行正常的電力供給(造成負載性斷電)。

進行步驟與執行進度如下：

第一階段

- 1.設計機動式微電網系統架構，以太陽能發電做為電力提供進行電力供給，藉此建立備源式的電力提供設備與可機動式的驗證。

- 2.太陽能發電板藉以接收到太陽光的光能來進行電力供給，因此電力的供給則提供給儲能系統來進行電力的補給與填充，以便提供給微電網的自動控制器，進而電力控制的分配。另外可以裝設多組太陽能發電模組來增加電力，來增快儲能系統的電力補充。

第二階段

- 1.在完成第一階段的實驗工作後，可獲得完整的充電系統的硬體結構，第二階段則進行電力傳輸的配電架構設計，確保使操作者能夠得到電力的來源，確保電力安全的傳輸至負載端來進行電力實驗。
- 2.測試自動切換開關與逆變器的裝設，以自動切換開關來達到電力分配的控制，進行微電網電力供給控制的基本整合，以利逆變器後續提供交流電源給負載端進行使用與測試。

第三階段

- 1.進行機動式智慧微電網的開發，在第二階段所建立的配電系統架構以及電力來源，我們進行電力負載的使用，直流電在進行交流電的轉變後，能夠使我們在負載端進行各種電子裝置的運用，並進行電力的可視化，藉以驗證機動式智慧微電網的可行性。
- 2.完成成果報告製作。

第五節 預期效益與對軍事教育改革潛力

5.1 預期完成之工作項目

- 1.設計並製作完成可以穩定操作的機動式智慧微電網系統裝置。
- 2.設置太陽能發電裝置及可視化設備來驗證與測試。
- 3.建立自動化配電系統的輸電架構及機電整合控制。
- 4.完成機動式智慧微電網系統實驗，包括自動化控制配電功能及機動性的負載端驗證。

5.2 預期成果

- 1.International conference paper*1。
- 2.獲得實用化獨立式電力提供設備、控制裝置及機動特性，包括發電系統架設、自動化配電結構架設、程式設計、儲電系統、分佈式微電網等技術，以上特性分析可做為學術研究及工程應用之參考。
- 3.獲得機動式智慧微電網之研究，包含發電系統、可視化技術、機電整合控制及自動配電設計、機動式設計及智慧化微電網軍事應用開發等。

5.3 軍事教育改革潛力

參與人員可獲得微電網控制技術、自動化技術、機電整合技術、獨立式電力提供系統、

微電網架設技術及儲能系統選用方法。

第二章 成果內容：

一、研究成果

在現代軍事作戰環境中，電力系統的穩定性與可靠性直接影響著作戰效能。國軍在規劃軍事設施時，一直高度重視電力中斷的潛在威脅，採取可移動供電設計並建立完善的備援系統。然而，隨著戰場環境的複雜化，傳統電網系統容易成為攻擊目標，一旦電廠或通訊網路遭到破壞，將嚴重影響前線部隊的作戰能力。在這樣的背景下，「智慧電網」的概念應運而生。有別於傳統電網僅能單向供電，智慧電網透過現代資訊技術實現電力與資訊的雙向流動，建立起自動化、可以動式的能源傳輸網路，在硬體架構配置，如圖 8 所示、儲能裝置配置，如圖 9 所示。電網系統涵蓋了發電、輸電、配電和電力控制等四大核心功能，不僅具備更高的機動性，更提供了更靈活的分佈性與實用性。

本研究的核心目標，在於解決前線作戰單位的急迫電力需求。以偵查型無人機系統為例，一般電池的供電時間僅能維持約 15 分鐘，嚴重限制了作戰效能。為此，我們提出建立機動式微電網系統的創新方案，讓前線部隊能夠在不依賴台電電網的情況下，獲得獨立且穩定的電力供應，有效提升戰力保存能力。

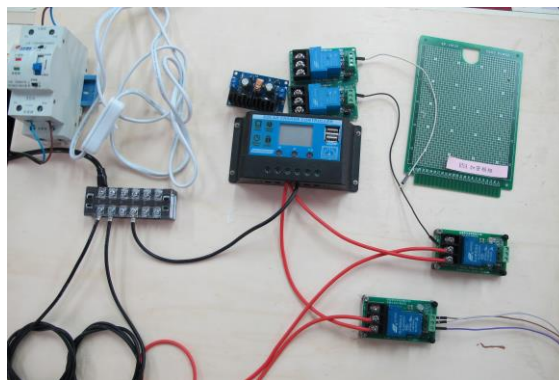


圖 8：硬體架構配置



圖 9：儲能架構配置

二、結論

在技術層面，我們的研究重點涵蓋三個關鍵面向。首先是智慧電網的基本特性，包括自動故障應對、需求平衡調節等功能，透過整合先進的資訊與通訊技術，建立安全可靠的電力供應系統。其次是儲電系統的設計，我們採用分散式發電方式，結合太陽能發電系統與可充放電池裝置，建立完整的電力轉換機制。第三是發電傳輸機制的創新，採用軟式太陽能充電板提升機動性，並建立智慧型電力調配系統，實現自動化的電力供給流程。

在實際執行層面，本研究計畫分為四大主題：機動式微電網系統架構設計、電力生成系統設計、自動配電系統設計，以及微電網系統機電整合開發。我們採用分佈式微電網設計方法，建立可靠的備援發電系統，並整合智慧型電源切換機制，實現負載端的動態配電功能。這樣的設計不僅確保了系統的可靠性，更大幅提升了其實用性與適應性。在軍事應用上，該系統能有效提升前線作戰單位的電力自主性，增強作戰裝備的持續運作能力，並降低對固定電力設施的依賴。在學術研究方面，本研究深化了軍事機動式儲能系統的研究基礎，為相關教學實踐提供了寶貴參考，同時也累積了豐富的微電網系統整合經驗。

三、未來改進方向

首先是系統效能的提升。建議導入更先進的能源管理系統，優化電力配置演算法，提高系統的整體運作效率。同時，可以考慮採用新型的儲能設備，如高效能鋰電池或超級電容，以增加系統的儲能容量和供電時間。此外，透過導入人工智慧技術，可以實現更智能化的電力調度和預測，進一步提升系統的自主性和適應能力。其次是系統可靠性的增強。在惡劣的戰場環境中，設備的耐用性和穩定性至關重要。我們建議強化設備的防護設計，提升其抗震、防水、防塵等性能。同時，可以建立更完善的故障診斷和預警機制，及時發現和處理潛在的系統問題。另外，也可以考慮增加備援系統的冗餘度，確保在關鍵時刻的供電穩定性。第三是整合能力的提升，可以加強系統與其他軍事裝備的整合性，實現協同運作，促進不同設備間的電力互通性。透過這些改進方向的持續改進，機動式微電網系統可以更加適用於軍事作戰需求。

参考文献

- [1] Y. Li and C. Tan, A survey of the consensus for multi-agent systems. *Systems Science & Control Engineering*, 7(1), 468-482, 2019.
- [2] R. C. Cavalcante, I. I. Bittencourt, A. P. da Silva, M. Silva, E. Costa, and R. Santos, A survey of security in multi-agent systems. *Expert Systems with Applications*, 39(5), 4835-4846, 2012.
- [3] C. Fontaine and F. Galand, “A Survey of Homomorphic Encryption for Nonspecialists,” *EURASIP Journal on Information Security*, vol. 2007, pp. 1–10, 2007.
- [4] R. C. Cavalcante, I. I. Bittencourt, A. P. da Silva, M. Silva, E. Costa, and R. Santos, “A survey of security in multi-agent systems,” *Expert Systems with Applications*, vol. 39, no. 5, pp. 4835–4846, 2012.
- [5] T. ElGamal, A public key cryptosystem and a signature scheme based on discrete logarithms. *IEEE transactions on information theory*, 31(4), 469-472, 1985.
- [6] P. Paillier, *Public-key cryptosystems based on composite degree residuosity classes*. Springer Verlag Berlin, 1999.
- [7] X. Zhou and X. Tang, Research and implementation of RSA algorithm for encryption and decryption. In *Proceedings of 2011 6th international forum on strategic technology*, Vol. 2, pp. 1118-1121, IEEE, 2011.