



提 要：

- 一、傳統式的電力推進系統，主推進與日用電力的發電裝置是分別獨立的，其缺點是裝備數量多、所佔空間大、安全係數低、裝備運用彈性小等；21世紀高性能水面戰艦採用新一代綜合全電力推進(IFEP)系統，是將所有的電力裝置整合在一起(主推進和日用電力)，成為全電力船舶系統(AES)。
- 二、這種系統的優點是：用電纜完全代替機械連接，使原動機在艦上佈置更靈活，推進軸系短；到推進電機的電氣連線有備用電路，當艦艇遭到損壞後能提高艦的持續作戰能力；系統噪音低，與機械推進相比，在寬頻帶可降低15~20分貝，在窄頻帶會降低得更多；整體系統運轉經濟性佳。
- 三、美、英、法等國海軍都製定了他們的綜合全電力推進系統發展計畫。1988年9月美海軍作戰部長特羅斯特曾說：「綜合電力推進將是下一代水面艦隊主力戰艦的推進模式……。」英國海軍也計畫將IFEP技術應用於2010年後的護衛艦和航空母艦。

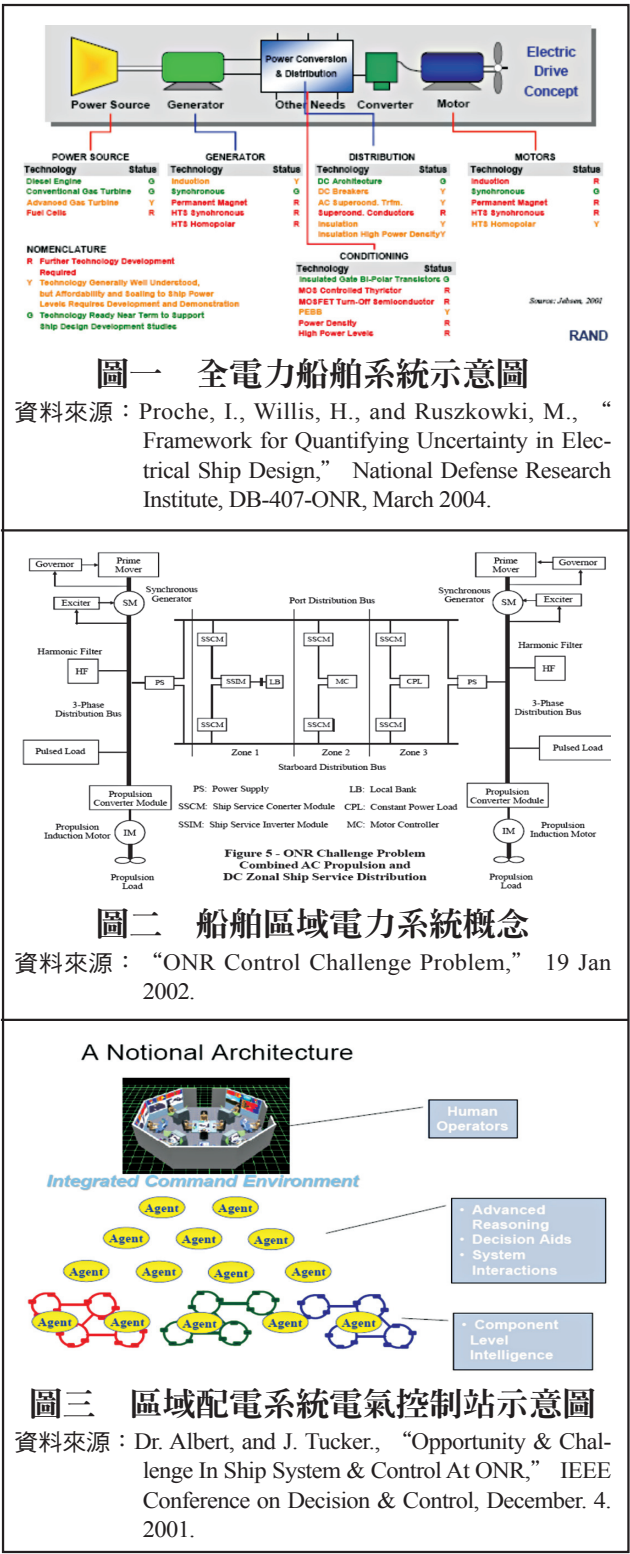
關鍵詞：綜合全電力推進系統、IFEP、全電力船舶、AES

壹、前言

發展全電力系統(AES)的主要目的是開發新的推進系統，將綜合全電力推進系統(IFEP)和電力分配管理系統一體化，使用最新型電動機(超導馬達)和固體電力電子設備，可降低整個系統初期建構成本和整個在壽期內所需的維持費用。

全電力船舶系統是將發電設備、推進系統、日用電力區域配電系統、系統監測和控制等四個次系統共同整合(如圖一)。

此先進系統採用模組化設計，能滿足各種不同船舶的設計要求，且可有效節約初期的購置成本和後續的營運費用。全電力系統的另一優點是採用新型永磁電機和直流區域配電方式(如圖二)，這是與目前一般船舶電



力系統最主要的區別。永磁電機所占空間少、重量輕，是相同功率普通電機所需空間的1/4，而重量僅1/3甚至更少。而區域配電則可代替目前艦船上使用的輻射式配電系統，電力透過左、右舷輸電線送到每個電氣區的負載中心(如圖三)，然後再分配到用電設備，這種直流配電系統不需用的空氣斷路器，而使用電力電子元件和斷開開關，可以有效執行故障保護和隔離作用；並且發電機運轉的頻率不受用電設備對頻率的嚴格限制，使發電機的整流器的成本、尺寸和重量均可做最佳化的設計與配置；另外，區域電力變換裝置能提升各種不同電源需求(如60Hz、400Hz交流電)的品質。

最新資料顯示，美、英、法、德海軍水面艦艇全電力推進系統的研製已取得重大進展。

美海軍自1988年開始進行研製以來，已經取得了重大階段性的成果，完成小比例尺原型船的研發。全尺寸的研發工作第一階段已於1999年7月完成，第二階段正繼續執行中。另外，還發展了許多適用於各種水面艦艇，包括航空母艦在內的各種全電力推進系統模組，如發電機模組，推進電機模組，輸、配電模組，電力變換模組和監控模組。美國海軍將於2013年後服役的31艘中首艦DD-1000級驅逐艦就採用全電力推進系統，總造價估計約250億美元。

美海軍潛艇今後也可能採用全電力推進系統。據瞭解，新建造「維吉尼亞」級核潛艇的後續艦艇將採用此種電力推進，並將在2015年服役。

英國海軍與羅·羅和沃桑公司簽訂了一項電力推進艦艇的設計分析合同，研究有關技術和電力系統的結構。

法國海軍已原則決定在未來艦艇上採用全電力推進系統。相關廠家如熱蒙工業公司已作了有關的技術準備。熱蒙公司還與法國艦艇建造局合作，評估了水面艦艇使用20MW 徑向磁通永磁電機和吊艙推進系統的可行性。

英國國防部在2000年8月與法蘭西簽署了共同開發水面艦艇電力推進技術的協議，將花1, 900萬英鎊建造一艘電力推進試驗艦。如果試驗成功，英國國防部將考慮對英國海軍整個艦隊進行全電力推進系統的換裝。

此外，英、美海軍還決定合作，利用英海軍三體艦的試驗艦「海神」號作全電力推進系統的試驗。「海神」號三體試驗艦已在2000年5月開始海試，已於2000年至2004年作全電力推進系統的試驗。

德國也積極研製全電力推進系統。德國MTG船舶技術公司已為德國國防部建造一艘3, 000公噸，小水線面雙體電力推進試驗艦的設計研究。試驗艦由蒂森北海船廠建造，已於1999年開始興建。該艦採由法國熱蒙工業公司製造的徑向磁通永磁電機推進，試驗未來的全電力推進系統。

全電力船舶系統有如下優點：

一、航行經濟性佳；美海軍估計，在服勤時，營運費用可節約36%～38%。

二、由於推進與日用發電機組發出的電力都由相同發電機組提供，因此，全艦的發電機組的裝機總數可以減少，因此初期建造費用低、可用空間增加，並可改善船員的居



圖四 使用燃料電池全電力船舶系統概念圖

資料來源：Charlie, Zimmerman., “Electrical Warship Brief, ” Machinery R&D Program Manager Ship Systems, Engineering Station Machinery Research & Engineering, 29 Nov 2004.

住條件。

三、裝備配置比較彈性，推進發電機組不一定非要與推進軸相接。因此，推進軸系的傾斜角可以減少，推進軸系可以縮短，從而有利於其他設備的配置。

四、可大幅地減少體積、重量；一台18MW的永磁發電機，其體積僅相當於1.5MW發電機的體積。

五、提升艦船操縱性能，可以較容易地進行加速、倒俾和適應海況變化，瞬間降低負載。

六、適合未來要在艦上裝置的高脈衝功率武器，如電磁炮、高能激光武器等，所需大量電力的需求。

七、便於現代化改裝，較易兼容先進技術，進行改裝工程。如：目前正在研發的新興電力產生裝置燃料電池(如圖四)。

貳、大功率電力電子以及高溫超導馬達的技術應用與發展

一、大功率電力電子元件的重大進展

電力電子學(Power Electronics)的應用已經有多年的歷史，電力電子學組件用於電力驅動、變頻調速、大功率換流已經是日趨成熟的技術。且由於大功率電子組件(High Power Electronics)的快速發展，也帶動了電力系統設計與應用的重大變革，通常稱為矽片引起的第二次革命。近十多年來，可控整流器(SCR)、可關斷的晶閘管(GTO)、MOS控制的晶閘管(MCT)、絕緣門極雙極性三極管(IGBT)等大功率高壓開關元件的開斷能力不斷提升；目前，已經生產出6 kA、6 kV的GTO，單個元件的開斷功率可達到30 MW左右，這無疑是一大躍進。

近年來，大功率電子元件已經廣泛應用於電力的一次系統。閘流體(晶閘管)用於高壓直流輸電已經有很長的歷史。大功率電子元件應用於靈活的交流輸電(FACTS)、定質電力技術(Custom Power)以及新一代直流輸電技術則是近10年的事。新的大功率電力電子器件的研究開發和應用，將成為下世紀的電力研究先驅。

二、靈活交流輸電技術(FACTS)

靈活的交流輸電系統(FACTS)是1980年代末期出現的新技術，近年來在世界上迅速蓬勃發展。專家們預估未來這項技術將在電力輸送和配置方面將引起重大變革，對於充分利用現有電網資源和實現電能的高效利用，將會發揮重要作用。

靈活交流輸電技術是指電力電子技術與現代控制技術結合以實現對電力系統電壓、參數(如線路阻抗)、相位角、功率輸出(入)的連續調節控制，從而大幅度提升輸電線路輸送能力和提升電力系統穩定水準，降低輸電損耗。

FACTS技術也在不斷改進，一些新的FACTS裝置被開發出來，例如可轉換靜止補償器(Convertible Static Compensator, CSC)，它由多個同步電壓源逆變器構成，可以同時控制2條以上線路潮流(有功、無功)、電壓、阻抗和相角，並能實現線路之間功率轉換。可轉換靜止補償器具有下列功能：(1)靜止同步補償器的並聯無功補償功能；(2)靜止同步串聯補償器的功能；(3)綜合潮流控制單元功能；(4)控制2條線路以上潮流的線間潮流控制(IPFC)功能；CSC被認為是第3代靈活交流輸電裝置。

電力電子器件的發展趨勢是：一方面研製經濟性能好的元件，以便降低設備造價；另一方面，研製開斷功率更大的高性能器件。目前已研製成功以碳化矽(SiC)為基片的電力電子元件，此種基片的耐壓和熱容量已大幅度提升，而元件的損耗卻大大降低，從而使元件的斷開功率可望有數量級的增加。這代表使用高電子高壓斷路器取代機械的高壓斷路器(油斷路器、六氟化硫斷路器、真空開關等)已成為可能。如果電力系統的高壓機械開關一旦被大功率的電子開關取代，則電力系統完全的靈活調節控制便將成為事實。

而此項用於陸地上各發電廠間調節電力

、配電系統的技術與設計概念，同樣地可以應用在未來全電力系統船舶的電力分配與管制系統。

三、定質電力技術

定質電力(Custom Power)技術是應用現代電力電子技術和控制技術為實現電能質量控制，為用戶提供特定要求的電力供應的技術。現代工業的發展對提升供電的可靠性、改善電能質量提出了越來越高的要求。在現代企業中，由於變頻調速驅動器、機器人、自動生產線、精密的加工工具、可編程控制單元、計算機資訊系統的日益廣泛使用，對電能質量的控制提出了日益嚴格的要求。這些設備對電源的波動和各種干擾十分敏感，任何供電質量的惡化可能會造成這些精密電子設備、系統的損壞或故障，產生重大損失。

部分用戶為保證優質的不間斷供電，往往自己採取因應措施，譬如：安裝不斷電源(UPS)裝置，但是這並不是經濟且合理的解決辦法。根本的解決之道在於供電部門是否能根據用戶的需要，提供可靠和優質的電能供應。因而，便產生了以電力電子技術和現代控制技術為基礎的定質電力技術(Custom Power Technology)。

為提升配電網無功調節的質量，已開發出用於配電網的靜止無功發生器(DSTATCOM)。它由儲能電路、GTO或IGBT變換電路和變壓器組成。它的功能是快速調節電壓，發生和吸收電網的無功功率，同時可以抑制電壓閃變。這是「定質電力」的關鍵設備之一。此外，靜止無功發生器和固態開關配合，可在電網發生故障的暫態過程中保持電壓恆定

。另一關鍵設備是動態電壓恢復器(Dynamic Voltage Restorer)，它由直流儲能電路、變換器和級次串聯在供電線路中的變壓器構成。變換器根據檢測到的線路電壓波形情況，產生補償電壓，使合成的電壓動態保持恆定。無論是短時的電壓低落或過電壓，透過DVR均可以使負載上的電壓保持動態恆定。

四、新型直流輸電技術

直流輸電到目前為止已是發展成熟技術，造價較高是其與交流送電競爭的不利因素。新一代的直流輸電是指進一步改善性能、大幅度簡化設備、減少整流站的占地、降低造價的技術。直流輸電性能創新的典型例子是輕型直流輸電系統(Light HVDC)，它採用GTO、IGBT等可關斷的元件組成整流器，省去了整流變壓器，也就是說整流站可以拆除，使中型的直流輸電工程在較短的輸送距離也具有競爭力，從而使中等容量的輸電在較短的輸送距離也能與交流輸電競爭。此外，可關斷的元件組成整流器，由於採用可關斷的電力電子元件，可以免除換相失敗之虞，對用戶端系統的容量沒有要求，故可用於單向獨立小系統(海上石油平台、海島)的供電，今後還可用於城市配電系統，並用於接入燃料電池、光伏發電等分佈式電源。

五、同步開斷技術

同步開斷(Synchronized Switching)是在電壓或電流的指定相位完成電路的斷開或閉合。在理論上應用同步開斷技術可完全避免電力系統的操作過電壓。這樣，由操作過電壓決定的電力設備絕緣水準可大幅度降低，由於操作引起設備(包括斷路器本身)的損

壞也可大大減少。目前，高壓開關大都是屬於機械開關，斷開的時間長、分散性大，難以實現準確的定相斷開。目前的同步斷開設備是應用一套複雜的電子控制裝置，實時測量各種影響斷開時間分散性的參數變化，對斷開時刻的提前量進行修正。即便採取了這種代價昂貴的措施，由於機械開關特性決定，還不能做到準確的定相斷開，設計人員還不敢貿然降低電氣設備的絕緣水準，以防同步斷開失敗造成設備損毀。因此，同步斷開的優勢沒有發揮出來。

實際應用同步斷開的在於用電子開關來取代現行的機械開關。美國西屋公司已製造出13 kV、600A、由GTO元件組成的固態開關，安裝在新澤西州的變電站中使用。GTO開斷時間可縮短到1/3 ms，這是一般機械開關無法達到的。目前，由固態開關構成的電容器組的配電系統「軟開關」已逐步應用。

參、未來全可控的電力系統

現下的電力系統由於還倚賴高壓機械開關(油斷路器、六氟化硫斷路器、真空開關等)實現線路、設備、負荷的切換，尚不能做到完全可控。這是因為機械的慢過程不可能控制電的快過程。「電網控制」目前只能做到部分控制，本質上仍然是一個調度員的決策支持系統。如果電力系統的高壓機械開關一旦被大功率的電子開關取代，則電力系統真正的靈活調節控制便將能逐步實現。

一、高溫超導馬達 (HTS)

目前與電力推進船舶電動機有關的研發技術有下列幾項：

(一)交流同步馬達：傳統式同步馬達、永磁同步馬達、高溫超導同步馬達。

(二)感應式馬達。

(三)直流高溫超導同極馬達 (DC HTS Homopolar Motor)。

配合未來船舶全電力系統的發展，如何增進推進效率減少損耗、降低在壽期內的維持費用以及減少操作人員，是目前研發人員的另一項重點，而在上述的各類型馬達中以交(直)流高溫超導馬達是最受重視的，但是直流HTS將會逐步取代交流HTS，其主要原因是：

1. 靜音效果佳、體積與重量均小於同類型AC馬達(含冷卻系統約70%)。
2. 運轉效率高於AC HTS馬達約5%。
3. 與AC馬達相比容易控制且系統較為簡單。
4. 構造簡單，符合全電力船舶供電系統的設計要求，且初期建造成本低廉。

一般在計算、比較馬達效率時通常是以 kW/kg 、 V/kg 、 $ft-lbs/kg$ 等來表示，以表一舉例來說明：

從表一可以很明顯的看出DC HTS的效率較佳，從效率來看，普通電動馬達相對來說改變很小。對於超導設備來說，即便將馬達冷卻系統的功率損耗計入，其馬達效率也比普通的要好5%。重要的是，這樣的高效率是常數，與船舶的航行速度無關。事實上，對效率影響最大的是轉子線圈的材料，而那正是超導體發揮作用的地方。同時，引用1991年Simmons等人提出有關船舶推進馬達的設計建議，在特定輸出功率密度 (MW/m^3)

表一 傳統式與直流HTS電動機性能差異表						
馬達型式	功率 (MW)	重量 (kg)	扭力 ($ft-lbs \times 10^6$)	kW/kg	$ft-lbs/kg$	MW/m^3
QE II 同步交流馬達	44	285, 000	2. 15	0. 15	7. 5	0. 1
IPS先進感應馬達	19	121, 000	0. 89	0. 16	7. 4	0. 2
DC HTS	5	26, 000	0. 047	0. 19	1. 8	0. 25

資料來源：作者彙整自製

下，希望能達到 $1kW/kg$ 的目標，不難看出只有DC HTS方可達成此一設計要求。目前 American Superconductor公司已獲得美國海軍700萬美金的合約，積極投入36. 5MW (50, 000 hp)DC HTS的研發工作，其目標是希望達到 $0.5kW/kg$ (包含了轉子、定子、機座以及冷卻裝置等)。

直流高溫超導同極馬達和傳統式交流同步馬達相比，因為少了許多不必要的組件，重量大大的降低許多，而且靜音效果極佳，這對海軍無論是水面艦艇或潛艇而言是極為重要的。為了降低重量，馬達所使用的線圈必須是高溫超導線圈(Superconducting Coils)，這裡所指的高溫是一個相對的名詞，是與1987年以前所提出的要在幾乎接近絕對零度溫度下，方可獲得超導特性來相比而定義的。高溫超導體在高過絕對零度以上100度(100° K)可以完全失去電阻而變為完美的導體，與傳統超導體必須在10° K(-263. 15° C)方可完全失去電阻來比較，是技術研發上的一大突破。在冷卻裝置的設計方面，以這樣的操作環境，溫度狀況下，可以不需要使用液態氮氣來冷卻，可以採用氣態氮、氬或者是液態氮等較為便宜的冷卻

劑(與傳統超導相比冷卻器造價約為其1/10)。美國超導體公司沒有將低溫冷卻器置於轉子本身；如果這些低溫冷卻器是在馬達裡面，將會增加保養與維修的複雜性。相反，冷卻系統是讓低溫的氮氣體圍繞著轉子繞組，通過通向近旁靜止的低溫冷卻器的管道將熱量帶走。目前已經研發出符合海軍震動、衝擊規範的傳導冷卻式超導線圈，可正式安裝在全尺寸的直流高溫超導馬達上使用。

除了在航運界逐漸受到重視外(以美國 MSCL LLC海事諮詢公司估計，目前遊輪及貨輪馬達和發電機的市場已經達到平均每年4億美元)，在其他的工業市場也漸漸受到注目，估計僅以美國為例：工業用電動機馬達就是每年約12億美金的廣大市場。另外相同的技術也可以應用在發電機上，在小體積、重量以及高效率等優點，將使未來在電力供應設備上更具優勢；目前美國通用公司，與美國能源部合作預計投資1, 230萬美元，建造100MW的高溫超導發電機。

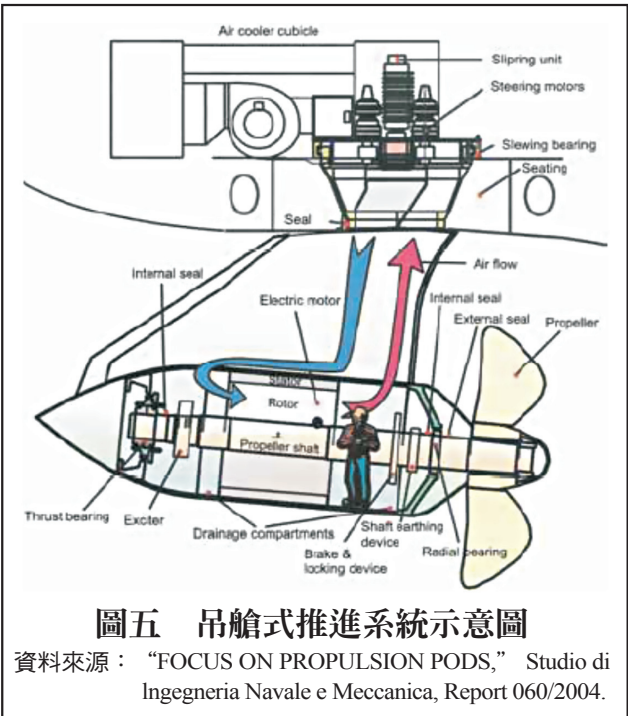
為了更加瞭解電力推進為何逐漸受到海軍以及船運界的歡迎，以美海軍DDG 51型驅逐艦為例，全艦共配置7部燃氣渦輪機，其中4部專責供主推進使用，總輸出功率70～

80MW，另外3部輸出功率7.5MW則負責供戰鬥系統、武器、全艦照明、導航及通信等使用。但是，約有90%時間並非是在高速或全速下航行，也就是說在其服役的生命週期內，大多數的時間並未同時使用到4部主機（通常以17節速率航行僅需使用1部燃氣渦輪機），但是這些閒置或運轉不足的燃氣渦輪機其輸出功率，並不能挪作它用；再者，這些燃氣渦輪機是與減速齒輪、大軸等相聯，在船舶設計上佔用相當大的空間，往往必須遷就軸系（此型艦軸系最長約長60公尺）的位置而做艙間有限制的設計。

美海軍對其下一代驅逐艦已經有了詳細規劃，它被稱為DD(X)，是美國海軍計畫在2011年開始建造全電力化的艦型。在DD(X)驅逐艦上沒有渦輪機會與推進軸直接相連。相反，這些渦輪機是讓發電機旋轉，以便對推進馬達和其他所有需用電的設備提供動力。採用電力推進可以讓渦輪機運行在其燃油效率最高的速度上，並且根據艦隻的全部電力需求來確定運轉的燃氣渦輪機數量。

雖然在機械功率進入推進器之前就把它轉換為電力不可避免地意味著某些損耗，但這些損耗在全速時可以被限制在大約10%。而且這些小損耗能藉由上述轉換帶來的巨大優點得到更大的補償，這個優點就是可以讓艦上操作人員能將電力轉送到高能先進戰鬥系統和武器中—先進的多功能雷達、超強微波防禦系統、致命性的雷射器、電磁砲、飛機的電磁發動和回收裝置等。

在過去傳統的船舶推進方式，推進器的螺旋槳是位於從船艉，而驅動軸則與渦輪機



或發動機直接或通過一個變速箱相連。現在大型商船不僅走向柴油—電力推進系統，而且它們越來越多地以一種稱為吊艙式的結構建造（如圖五）。

在吊艙式的推進中，馬達是安裝在吃水線之下從船艉懸掛出去的吊艙之中的。發電機和渦輪機或發動機可以比懸掛吊艙的最低層高幾個船層。包括推進器螺旋槳在內的吊艙能在較寬的弧形中擺動，從而可以根據需要調整推力的方向。所以吊艙本身也兼顧著船舵的作用。與傳統船體內推進器從船身後端伸出不同，吊艙式的推進器是從吊艙前面伸出的，它與安置在吊艙內的電動馬達的驅動軸連接。

吊艙裝置能把適航性和流體力學效率提高到最大值，並且為乘客、貨物或彈藥騰出更多的空間。例如，英國建造的瑪麗皇后

II號採用有4個推進吊艙後，增加了有15個左右客艙的空間，那裡原設計是瑪麗皇后II號安裝推動器驅動軸的地方。造船廠估計採用吊艙式超導體推進器的貨櫃輪可增加運載2.5%至4%的貨櫃。目前，安裝載伊莉莎白皇后II號上的兩個44MW，使用普通馬達每個重約400噸；而36.5MW的超導體馬達重量僅75噸。

目前美國海軍以及業界所研發的重點是，未來如何再提升馬達的性能以及馬達電流集電裝置(或稱碳刷)，一種替代傳統碳刷的乾式電流集電裝置(Dry Current Collector)正在研發中，將可有效的降低馬達運轉時所產生摩擦損耗，目標是希望在艦艇兩次大修週期內無須額外的保養。

二、區域電力系統配置

對海軍艦艇而言，除了建造以及後續維持的成本之外，另外兩項特殊且非常重要的性能是：戰場存活率(Survivability)及妥善率的維持(Quality of Service)。海軍艦艇「戰場存活率」的提升，有賴於完善的配電系統，當遭受威脅、或因作戰而受損時，艦艇仍然有足夠的能力維持全艦的電力供應，持續的執行作戰任務，而不致因威脅而中斷。「妥善率的維持」則是指在正常操作狀況下，降低因配電系統的損壞而影響全艦系統的運作(Mean Time Between Failure，MTBF)，能夠維持艦艇各系統良好的操作效能，使其戰力能夠充分的發揮。

為了方便說明，對常用到的名詞予以定義如后：

(一) 區域 (Zone)

「區域」係指艦艇的地理位置區塊。一般而言，艦艇「區域」的邊界是可以任意選擇的，但是，為了增加艦艇的最大存活率，通常的配置方式會與損害管制邊界相互結合。常見的配電系統設計方式，是將電纜沿著「區域」的邊界(船殼)及垂直壁的水密艙壁(Watertight Bulkhead)佈置，這些「區域」的艙壁可能會向上延伸至艦體的上層結構(Superstructure)，或者與其他獨立「區域」共用相同的艙壁。

(二) 鄰區 (Adjacent Zone)

「鄰區」係指可能同時受到威脅或損害的區域。在設計的考量上，通常只能夠允許同時兩個「區域」受到威脅或者是損害，但是在某些特殊的情況，必須可以同時承受三個區域的損害程度(如：上層結構)。

(三) 區域承受災害的能力 (Zonal Survivability)

「區域承受災害的能力」係指當區域內的配電系統損壞，或者是某一裝備故障，而不會中斷鄰區的供電及裝備的正常運作。目前，大多數艦艇無論是因內部損壞，或者是遭受因外來威脅而造成配電系統的損害時，為了提升戰場存活率，所採用的方式，是配合艦上的損害管制編組人員，以人力的方式恢復、維持所有鄰區電源的正常供應。

(四) 艙間承受災害的能力 (Compartment Survivability)

前述的設計方式只能夠確保鄰區不受影響，但是，在某些狀況之下，要以人工方式將電源跨接經過災區，維持艦艇系統的正常操作，經過驗證是不可行的。所以，必須在

受損的「區域」內要能夠提供足夠執行損害管制的必要電源，以防止災害的持續擴大。

「艙間承受災害的能力」的最基本需求是，該艙間內每一個特定的裝備必須要配置兩組電源：正常(Normal source)以及緊急(Alternate source)。

(五) 任務系統(Mission System)

「任務系統」係指能夠使艦艇達成主要或者是次要任務的相關軟、硬體設備所組成的特定系統，如推進系統、航空母艦的起降系統、戰鬥系統、C4ISR系統等等。理想的設計，是希望所有的「任務系統」不致因鄰區的受損，而造成「任務系統」無法正常操作，使艦艇的操作性能受到限制；不幸的是，現實的狀況往往無法達成此項目標，因此，設計上就必須針對在受到外來威脅(Desired Threat Outcome)之後，如何提升災害恢復能力予以考量。

(六) 設計預想威脅(Design Threat)

「設計預想威脅」係指艦艇在設計時即已考量可能來自外在的威脅，包含攻船飛彈、魚雷、艦砲、爆炸以及其他非武器所造成的損害，如：主要艙間失火、直升機墜艦、碰船或者是擱淺等。

(七) 設計外來威脅(Design Threat Outcome)

「設計外來威脅」係指艦艇暴露在「設計預想威脅」下時，其可能遭受的損害種類、影響艦艇操作性能的參數以及恢復的能力等。包括下列：

1. 當艦艇上人員傷亡超過25%時，將影響艦艇正常航行。

2. 艦艇仍能維持航行，但是超過一天以上的時間，其執行主要任務的相關系統無法正常操作。

3. 艦艇仍能維持航行，所有執行主要任務的所需的相關系統，在經過技術人員有計畫的協助檢修之後，能夠在一天之內完全恢復原有的性能。

4. 艦艇仍能維持航行，所有執行主要任務的所需的相關系統，相關設備經過模組化後，能夠在二小時內完全恢復原有的性能。

5. 艦艇仍能維持航行，所有執行主要任務的所需的相關系統，相關設備經過模組化後，能夠在二分鐘內完全恢復原有的性能。

6. 艦艇仍能維持航行，並且在遭受外來威脅時，仍能持續維持艦艇的正常運作，不致中斷。

7. 有關其他武器的攻擊並不考慮，因為大部分武器對艦艇的攻擊行動，有98%的機率在對艦艇造成損壞前被摧毀。

(八) 高度威脅(Over-Matching Threat)

「高度威脅」係指在設計時已考量在受到何種外來威脅的狀況下，將導致艦艇完全無法遂行任務。

(九) 妥善率(Quality of Service)

「妥善率」係指艦艇人員在標準操作規範下使用裝備的可靠度，其計算的方式是以單一裝備在兩次故障(Failure)之間所使用的平均時間(MTBF)；故障的定義為：裝備無法繼續使用或者是其操作參數超出標準規範。

艦艇「區域」空間的規劃選擇是非常複雜的，必須同時兼顧增加存活率以及建造的成本。一般而言，大部分可能影響艦艇

表二 艦艇區域電力配置方式分析		
電力系統配置方式	單一電力配電系統	雙電力配電系統
建置方式及成本分析	1. 在區域內設置電力儲存裝置(電瓶)。 2. 各獨立區間內安裝發電設備。 3. 在相同的安全操作係數下，如果上述兩種建置方式之花費均低於配電系統的建置時，則可採用單一電力供應系統設計。	如果各區域內安裝發電設備的建置成本太高，則可採用雙電力供應系統。
系統配置方式	1. 每一獨立區域內均有發電設備，以備在遭受損害時能持續供應該區域內各系統、裝備之所需電力。 2. 如果每一區域的電力儲存裝置能夠提供該區域足夠的電力需求時，則不需要在各區域內配置發電設備。 3. 發電設備盡可能安裝在艙、艙的輪機區域內；如果區域位置無法達成此一需求時，則可採用混合配置方式(Hybrid Architecture)。	1. 只有在部分區域配置獨立發電設備。 2. 設計上必須防止因區域內裝備的損害，而導致日用電力系統故障。 3. 當日用電力供應受損時，裝置於區域的發電設備要有足夠的發電量供應該區域及鄰區的系統以及設備，不致因過在而導致該發電設備跳脫。
區域發電設備供電量	每一獨立發電設備，供電能力均須滿足該區域內的系統、裝備使用，以及必要時供應鄰區使用。	視不同區域的電力負荷需求而定，最少供電容量為該區域總負荷的1.5倍。
操作方式	災害發生時，控制系統會自動將各個區域日用電力供應系統隔離，並啟動所有的發電設備；如果某一區域內的發電設備無法啟動時，則由鄰區負責供電。	1. 兩組日用電力供應系統必須盡量分散配置，以避免同時受損。 2. 為了增加存活率，設計時必須將區域的發電設備(或電力儲存設備)作適度的分散配置，並且預留足夠的供電容量(在最差的狀況之下)，以備供應鄰區所需。

資料來源：Greig, A., Boyes, M., “Fuel cells and how they will impact on warship design,” Institute of Marine Engineering Science and Technology 6th International Naval Engineering Conference, pp.217-227, 2002.

安全的威脅，不太可能達到「高度威脅」的程度，因此，在設計時可以預估艦艇在服役期間可能同時發生損害限制在1～2個區間內。對大多數的作戰艦艇，設計上大都將其分隔成6～7個區間，每一個區間大約為艦艇全長的15%。「區域」的邊界必須配合水密艙壁(Watertight Bulkhead)，如此方可建立完整的損害管制邊界；每一個「區域」可視實際的需求再分成數個水密艙間(Multiple watertight Subdivisions)。

有關艦艇區域電力配置設計方式可概分

：單一電力配電系統、雙電力配電系統及複合式電力系統等，相關差異分析如表二。

肆、結語

以目前的技術水準，船舶使用全電力系統還存在著動力裝置(電動機)過重與體積過於龐大等問題。因此，21世紀水面戰艦實現全電力推進的關鍵是開發新的高功率比發電機和電動機，以及可靠的電子電力設備。未來如能應用在陸上供(配)電系統、電力管制等概念以及持續在高溫超導馬達(HTS)的研

究能有突破的發展，在整合相關的技術後，將可衍生應用在未來全電力船舶系統的研發上。

此種全新的設計概念，應用在未來海軍艦艇上，當受到海(戰)損狀態下，只要受損的區域內的電力系統一旦喪失電壓或不足時，電力監控系統將立即偵測到此種狀態，立即會依據所建立的地理特性資料判斷受損部位，並且將電力系統的故障部位自動、迅速隔離，同時會立即重新選擇替代供電迴路維持區域中未受損裝備以及系統繼續運作，增加海軍艦艇之存活率。

<參考文獻>

一、Proche, I., Willis, H., and Ruszkowki, M., “Framework for Quantifying Uncertainty in Electrical Ship Design,” National Defense Research Institute, DB-407-ONR, March 2004.

二、“ONR Control Challenge Problem,” 19 Jan 2002.

三、Dr. Albert, and J. Tucker., “Opportunity & Challenge In Ship System & Control At ONR,” IEEE Conference on Decision & Control, December. 4. 2001.

四、Charlie, Zimmerman., “Electrical Warship Brief,” Machinery R&D Program Manager Ship Systems, Engineering Station Machinery Research & Engineering , 29 Nov 2004.

五、Scott, Littlefield., “Navy Power and Energy Strategy,” July 20 2005.

六、“FOCUS ON PROPULSION PODS,” Studio di Ingegneria Navale e Meccanica, Report 060/2004.

七、Charlie, Zimmerman., “Electrical Warship Brief,” Machinery R&D Program Manager Ship Systems, Engineering Station Machinery Research & Engineering , 29 Nov 2004.

八、“The U.S Navy Ship Service Fuel Cell Program,” U.S. ONR, 25 Jan 2005.

九、Greig, A., Boyes, M., “Fuel cells and how they will impact on warship design,” Institute of Marine Engineering Science and Technology 6th International Naval Engineering Conference, pp.217-227, 2002.

十、“Electric Warship Technology Overview,” U.S. ONR, 2 May 2001.

十一、“PEM Fuel Cell System Evaluation for Navy Surface Ship Applications,” Presented at the 34th Intersociety Energy Conversion Engineering Conference, August 1-5, 1999, Vancouver, B.C., Canada. 

作者簡介：

施武樵上校，海軍官校79年班，國防大學管理學院94年班碩士，現服務於168艦隊。
黃自強中校，海軍官校專80年班，國防大學中正理工學院造船研究所95年班碩士，現服務於海軍技術學校。