

外骨骼系統簡介與我陸軍運用之探討

作者／劉恩光少校

提 要

- 一、「外骨骼系統」為一種穿附於人類身上的機械結構，藉以增強其防護、運動能力，以提升人體機能。
- 二、所有失去行走能力的身障者，都企盼能再起來行走，這樣的夢想，再也不是不可能！人類為了克服先天限制，想盡辦法利用外力，以增強自身的體力及耐力，因此促成了「外骨骼系統」這種輔助裝置的發明。
- 三、國軍部隊人員不斷精簡，除賡續推動部隊數位化以提升戰力外，更應實施長遠規劃，未來可規劃研製或購置外骨骼系統，協助實施後勤裝載運輸、戰鬥支援、城鎮肅敵掃蕩等戰鬥任務，除可增強部隊作戰能力，並能減少人員傷亡。
- 四、外骨骼系統發展迄今已逾半世紀，隨著世界各國之研究發展，已從學術理論，進展至具有實際功能之成品，為使我軍對「外骨骼系統」有所瞭解，特收集相關資料，並整理歸納成報告，俾提供各部隊參考，期使本軍瞭解其發展概況及未來趨勢，充實軍事科技新知。

關鍵詞：機械外骨骼、機器人、動力服、醫療輔具

前 言

請想像一下，若有一種可以穿戴的機器人，它可以給你超人的能力或是讓肢體殘疾人仕恢復運動機能，這將是人類一大福音，而這種裝置即為「外骨骼系統」(Exoskeleton system)，近幾年來，機器人技術愈來愈純熟，這樣的夢想，再也不是不可能！

人類為了跨越先天限制及克服後天殘缺的強大需求，促成了「外骨骼機器人」這種輔助裝置的發明。「外骨骼機器人」通常泛指一種可穿戴於人身上，藉以增強其防護、運動能力，以提升人體機能的裝置。電影《鋼鐵人》的盔甲服以及《阿凡達》中反派傭兵所駕乘的巨型 AMP 裝甲(Amplified Mobility Platform suit)，就是屬於這種輔助裝置，而他們又被稱為「動力外骨骼」(powered exoskeleton)系統或「動力服」(Power Suit)；為何稱為「外骨骼」？因為它是效法昆蟲及甲殼動物的外骨骼設計而成；牠們的外骨骼包覆在身體外圍，用來

支撐與保護身體組織及器官，因為外骨骼的部分結構附著於肌肉，並富含幾丁質，因此也同時大大增強了這些動物的體能，像獨角仙就能抬起相當於它體重 850 倍的物體。¹

在未來，人類可以藉由「外骨骼」或「動力服」行動輔助裝置，讓殘疾人士及老年人恢復運動機能，更可以讓警察、軍人、救難人員，甚至是一般人可以跑得比豹快，跳得比袋鼠高、走得比駱駝更遠，舉得比大象更重。外骨骼系統發展迄今已逾半世紀，隨著世界各國之研究發展，已從學術理論，進展至具有實際功能之成品，為使我軍對「外骨骼系統」有所瞭解，特收集相關資料，並整理歸納成報告，俾提供各部隊參考，期使本軍瞭解其發展概況及未來趨勢，充實軍事科技新知。

外骨骼系統概述

一、發展沿革

「外骨骼系統」概念的發展，最早是由奇異公司（GE）與美國軍方在 1960 年代所共同發明的，研發之產品取名為「硬頂人」（Hardiman），因為「硬頂人」可幫助使用者加強運動機能，所以美國軍方又稱它為「人類表現增強系統」。硬頂人本身重 680 公斤，全機包含 28 個關節及 2 個可用來抓取的手臂，穿著這套裝備時，使用者可以 6 公斤力量，舉起 150 公斤的物體，而且最高可抬起 680 公斤的重物，其優異的表現引起全世界的關注，後來因為硬頂人本身太過笨重，在執行動作時的穩定性太差，加上過於耗電，因此最終只停留在實驗階段而沒有繼續發展下去。有了硬頂人的經驗，美國軍方之後便致力於其它動力行動輔助裝置的發展，2000 年開始，美國國防部先進研究計畫總署（DARPA）也開始資助類似裝置的研究和發展，其目的就是為了讓士兵可以背負幾百磅的軍用品而不感覺到重，連續行走多日而不感覺到累，而且抬得動通常必須好幾個人才能扛得起來的武器。²目前，這項技術主要被應用在軍事及醫療兩大方面，在軍事方面，主要代表為美國的洛克希德·馬丁及雷神兩家公司；另在醫療方面，主要代表為美國的 Berkeley Bionics 與日本的 Cyberdyne 兩家公司，隨著其實驗的成果展現，對於軍方及許多身障者來說，外骨骼機器人的發明是一個值得期盼的科技！

註¹ 張力山，〈未來行動輔助裝置—超越人類極限的機器人外骨骼〉《科學月刊》（台北市），43 卷第 2 期，科學月刊雜誌社，2012 年 2 月，頁 1。

註² 同註 1，頁 2。

二、設計概念

外骨骼本指昆蟲或甲殼類動物身體外表的骨骼，具有支撐及保護作用，而「外骨骼系統」之設計概念，主要是以仿生學原理，設計一機械結構穿附於人類身上，藉以增強其防護、運動能力，以提升人體機能。外骨骼系統之組成，主要為外殼(機械結構)、感測器、控制(運算)器、致動器與能源等基本單元，經由各單元適當的運作，提供肢體運動功能強化、運動效能提升與運動功能補償機制。最初主要為軍事用途而研發，用以在戰場上增強士兵們的力量和忍耐力，進而在醫學上，可幫助那些截癱患者恢復運動機能；另在健康領域中，有些康復中心通常利用大型外骨骼系統固定設備，幫助患者實施復健。

三、特性與限制

(一) 特性

外骨骼系統具有自然人與機器人共生且相輔的結構與特性，外骨骼系統所打造的「機械外衣」，通過分布於肩部、腰部和膝蓋、小腿等部位的感測器，對使用者肌肉活動情況進行探測，形成受力、運動等參數輸入到控制系統，再由控制系統中的電腦計算、分析使用者的動作特點，判斷下一步意圖，進而控制機械外衣保持與使用者肢體的同步運作，也就是使用者完全不需要考慮即可隨心所欲的去操縱，讓「機械外衣」提供使用者肢體運動功能強化、提升與補償機制，這種既由人來發揮裝備性能，又由裝備來主動實現人的意圖的無意識操作，縮小了人和機械的隔閡，實現了人與機械在作業層面的初步「融合」，亦為本系統之主要特性。³

(二) 限制

1.耐用性不足

由於「外骨骼系統」，必須在室內及戶外跟隨使用者進行各種形式的活動或任務，因此有輕量化及長續航力的需求。目前所研發出的動力「外骨骼系統」，能源主要以電池為主，但由於一般電池系統的充放電條件及能量密度受到限制，如果要長時間供應能源，電池的體積和重量必然會增加，因此目前採用電池為基礎的大部分系統，其重量、續航力與使用便利性仍有很大的改善空間。

2.可靠性不夠

外骨骼的運行需要「致動系統」來提供它本身移動時所需的機械動力，而多數外骨骼裝備因輸出功率需求，都採用液壓系統，在野戰條件下，液壓油路

註³ 華夏經緯網，〈美軍外骨骼裝備或將改變未來陸戰規則〉，<http://big5.huaxia.com/>

較易發生故障，且故障很難在原地排除。儘管一些外骨骼裝備採用了「冗餘設計」(Redundancy)，但實測中多次發生的液壓系統故障及其現場的低修復率，說明故障頻發部位的可靠性、可維修性仍需進一步提高。

3.控制性不佳

若要真正發揮外骨骼裝備的效能，需要智能化「柔順」控制。要做到這一點，需要高性能的傳感器快速、精準的獲取信息，加以強大運算能力的電腦及靈敏致動系統，創造高效、精準的控制及運作，使人體與機械得以有效率的配合，來達到使用者的活動意願。現有的技術雖然能夠實現相應的功能，但控制性精準度顯然還相對較低。

四、小結

外骨骼機器人的研製是個超級任務，要想製造一種可在需要的時候即時提供幫助，且永遠不會妨礙操作者行動的裝置，用以替代他的手和足，承受貨物背負任務並與人體完全結合，不但要完成其願望，還要經常預判使用者的意圖，研製難度不可謂不大。

用途與效能

一、軍事運用

近年來，美軍面臨的作戰環境和作戰任務日益複雜，這使美軍士兵承擔的負重量和工作量也不斷增大。為了減輕單兵的工作負荷，防止他們受到過勞損傷，並大幅提高其工作效率和作戰效率，美軍一直致力於研發能夠增強單兵能力的機械裝備。這種人體外部機械裝備，將使單兵獲得超人般力量和耐力，既可增強士兵的後勤工作能力，也可增強它們的作戰能力。⁴美軍研制開發的單兵外骨骼裝備，就是根據仿生學的思想，為單兵設計一套體外支架，通過均衡分配外掛物重量，傳導、放大單兵的肢體動感，做到既增強單兵負重能力，又保持單兵的行動靈活性，從而使背負諸如「勇士」數位化系統、大型機具、超標重武器彈藥的單兵，依然具有像普通單兵那樣或更高的徒步機動作戰能力。目前美軍已經研制成型的外骨骼裝備，主要有洛克希德•馬丁公司的高負荷載具和雷神公司開發的外骨骼系統，前者突出負載功能，後者突出負載和防護功能兼備。

由此可以預見，隨著外骨骼裝備的不斷發展，以及其與數位化單兵系統在更大範圍、更深程度的結合，這樣的單兵和戰鬥班組，將像「鋼鐵人」一樣，

註⁴ 華夏經緯網，〈解讀美軍單兵外骨骼系統最新進展〉，<http://big5.huaxia.com/>

以小目標、高機動、超靈活、全信息、強火力的優勢，直接攻擊坦克車，甚至直接攻擊低空飛行器，也不是沒有可能。



圖一 美國陸軍對外骨骼裝備進行了加掛“陸地勇士”數位化單兵系統的測試

資料來源:http://bbs.tiexue.net/post_3706611_1.html

二、醫療運用

根據工研院 IEK-ITIS 計畫資料顯示全世界 65 歲以上高齡人口數將在 2011~2029 年邁向高峰，⁵克服老年人行動不便的需求，將日益擴大；另經初步估計，全世界目前大約有 6800 萬輪椅使用者，能讓他們再次行走，將是人類的一大福音，基此，在醫學上，科學家們正在研究外骨骼的另一種用途--即幫助那些行動不便的長者及肢體傷殘的人士恢復行動自由；另在健康領域中，外骨骼的應用不僅僅是向行動不便的長者及肢體傷殘的人士提供機械腿，它還可以教他們如何學習再次行走，目前，康復中心通常利用更大型、更昂貴的固定設備幫助患者暫時實現行走，以學習再次行走，例如日本 Cyberdyne 公司的創立者—筑波大學（University of Tsukuba）山海嘉之（Yoshiyuki Sankai）教授，花費 20

註⁵ 何侑倫、劉喬溫、毛彥傑、王品閔，〈外骨骼機器人輔具發展現況〉《機械工業雜誌》（新竹縣），341 期，工業技術研究院/機械與系統研究所，2011 年 8 月，頁 76。

多年所研發的外骨骼動力服 H A L (H y b r i d Assistive Limb)，目前已經進入第五代，當初它的設計主要是針對照顧病患的看護及醫院護理人員，增進他們的力量，以減輕照顧病人的負擔。

三、其他運用

外骨骼機器人的應用層面不僅是針對軍事及醫療，未來在工作及生活上，人們亦可藉以提升運動能量、增加工作效率及避免職業傷害等，可應用市場相當廣泛，極具發展潛力。例如日本東京農工大學的遠山茂樹教授有感於目前日本有超過三分之二的農夫為超過 65 歲的老年人，為了提升他們的體能及協助他們完成較困難的農事（如拔蘿蔔），而發明農耕機器人服；而 HONDA 公司所開發的步行輔助裝置 WAD，則是用以協助工作人員的腿能確實的減輕負擔，目前 WAD 於 HONDA 公司的汽車生產線測試使用，明顯有效的提升了工作效率及預防工傷；另外神奈川理工學院所研製的動力輔助服，則是用來幫助護士照料體重較大或根本無法行走的病人，如讓他們輕鬆地自輪椅或床上抱起老人和病患。

各國發展現況

各國雖因任務及環境不同，各自發展出不同的「外骨骼系統」，但主要技術還是以美國及日本為領先，本段將以美、日為主，介紹世界現役「外骨骼系統」的發展現況。

一、美國

近年來，美軍面臨的作戰環境和作戰任務日益複雜，這使美軍士兵承擔的負重量和工作量也不斷增大。為了減輕單兵的工作負荷，防止他們受到過勞損傷，並大幅提高其工作效率和作戰效率，美軍一直致力於研發能夠增強單兵能力的機械裝備，這種人體外部機械裝備，將使單兵獲得超人般力量和耐力，既可增強士兵的後勤工作能力，也可增強它們的作戰能力，以前類似的項目，如通用電氣和美國軍方共同研製的「硬頂人」項目，曾因為重量和機動性等方面的重大缺陷而遭到取消，不過隨著新材料和新技術的發展，洛克希德·馬丁公司和雷神公司又重新開始了相關項目的研製。

（一）人類通用負重運輸器(HULC)⁶

全球軍火製造業龍頭——美國洛克希德·馬丁公司（Lockheed Martin），與加州大學柏克萊分校合作研發出的人類負重外骨骼系統「浩克」(HULC)，是目前該公司第三代的動力「外骨骼系統」，是為單兵所研製的外骨骼裝備，HULC 是

註⁶ 同註 1，頁 4。

由液壓驅動，可使士兵真正做到「舉重若輕」，減少士兵由於負重造成的肌肉和骨骼損傷。目前，HULC 可以舉起 91 公斤的重物，且同時能夠保持時速 10 英里（相當於 16 公里）的行進速度，它不但可以降低行走時的耗氧量達 15%，同時也可以提供像盔甲般的保護。HULC 本身雖然重 24 公斤，卻很容易穿脫，通常只需花 30 秒就可以脫下；因為它本身用的是電池的電力，不需要外接電源線，所以可以穿著它奔跑、跳躍、匍匐爬行、甚至做蹲跪的動作而不受限制。HULC 所附帶的鋰電池可以在正常行走速度下持續用上 1 小時，而目前正在進行測試的燃料電池將可以把電池的壽命延長至 72 小時。HULC 預計在 2014 年量產，預定售價為 2 萬 5000 美元（約 76 萬台幣）。



圖二 美國洛克希德·馬丁公司-人類通用負重運輸器 HULC

資料來源：<http://pansci.tw/archives>

（二）外骨骼裝備第二代(XOS2)⁷

「外骨骼系統」(XOS2)是由世界第六大軍火商—美國雷神公司(Raytheon Sarcos)所製造的第三代的動力「外骨骼」系統，它的原創者是猶他大學的雅各布森(Steve Jacobsen)博士。XOS 是美國國防部先進研究計畫總署為了創造出未來的「超人士兵」，而提供了 1000 萬美元的軍事研究預算，經過 7 年秘密研發出來的，它代表了機械外骨骼領域最尖端的技術，因此被美國時代雜誌列為 2010 年的 50 大發明之一。相較於第一代的 XOS，XOS 2 更輕(自重 68 公斤)、更快且更有力；不但如此，它的電力消耗只有不到 XOS 的一半。當穿上 XOS 2 時，XOS 2 利用附在肌肉上的感測器，可以毫不延遲地反應並配合身體的動作，輸出強大的力量，如舉起 200 磅的重物就好像在舉 20 磅的東西，且連續舉個

註⁷ 同註 1，頁 3。

500 次都沒問題，另可以輕易打穿 3 英吋（約 7.6 公分）厚的木板，攻擊破壞力十足！



圖三 美國雷神公司-XOS 2

資料來源:<http://pansci.tw/archives>

雖然 XOS 2 速度快、力量大，但是目前有一個重大缺陷，就是因為耗電量高，它必須依靠外接電源線來提供所需的電力，所以能夠使用的場所就被限制住，而不能像 HULC 一樣可以穿著到處跑。雷神公司表示因為他們覺得鋰電池會有爆炸的危險，所以 XOS 2 的電力供應目前還是依靠外接電纜，不過相信在 5 至 10 年內這個問題應該就可以獲得解決。未來第三代 XOS 3 將會製成機械盔甲系統，由模組化鋁合金或複合材料製成，且遮蔽現有露出外面的液壓管路，可以有效阻絕沙塵、雨水及外物入侵。此外，上述兩種外骨骼裝備還存在非安全性或無效動作和行動，只有解決的類似問題才能避免士兵遭受意外碰撞傷害，才能確保系統運動不會超出士兵的身體極限。雖然通過關節限制，可以解決部分類似問題，但是只有不斷增強感測器的分辨能力，才能避免打噴嚏和肌肉痙攣等無意動作帶來的風險。雖然目前美軍的外骨骼裝備研製主要針對後勤用途，但是考慮到其潛在的能力巨大，不排除其在將來成為單兵武器平台的可能性。洛克希德·馬丁公司和雷神公司相信，只要能過獲得持續的經費支持，外骨骼裝備將在 5 年內列裝美軍部隊。

二、日本

日本在「外骨骼」動力輔助裝置的研發工作也投注了很多心力，而且在進展上並沒有比美國落後；只不過日本的研發較著重於生活及日常活動上的實際應用，而不是軍事用途。

（一）醫療助手-外骨骼動力服⁸

日本 Cyberdyne 公司的創立者——筑波大學（University of Tsukuba）山海嘉之（Yoshiyuki Sankai）教授，花費二十多年所研發的外骨骼動力服 HAL（Hybrid Assistive Limb），目前已經進入第五代，當初它的設計主要是針對照顧病患的看護及醫院護理人員，增進他們的力量，以減輕照顧病人的負擔；另一方面，就是希望針對行動困難的人提供幫助。因此 HAL 主要被用來輔助日常活動，如從椅子上站起、行走、上下樓梯以及抬重物等動作。在未來，希望 HAL 可以支援工廠內較吃重的工作，或是在災難現場協助救援工作的進行。

第五代的 HAL-5 本身重 23 公斤，能增加使用者 10 倍的力量；利用充電電池產生動能，在充滿電的狀況下可連續使用 2 小時 40 分鐘。HAL 外骨骼動力服的控制系统有 2 種，一種是利用肌電訊號作偵測的「意志控制系统」（Cybernetic Voluntary Control System），另一種則是機器人「自動控制系统」（Robotic Autonomous Control System）；HAL 是目前世界上第一個同時採用混合控制系统（Hybrid Control System）的「外骨骼」動力輔助裝置。



圖四 日本 Cyberdyne 公司-外骨骼動力服 HAL

資料來源:<http://pansci.tw/archives>

註⁸ 同註 1，頁 5。

（二）走路輔助裝置-機器人腿⁹

日本的汽車製造大廠本田（Honda）公司，在 2008 年推出了一款可以輔助行走及上下樓梯的「機器人腿」(Walking AssistDevice)，它除了可以幫助支撐身體，還可以減少體能消耗及降低疲勞，可用於汽車裝配生產線上，幫助裝配技師維持長時間的半蹲姿勢，以減緩膝蓋的老化；而對於長時間久站的工作者而言，它也是減少雙腳遭受職業傷害的好幫手。機器人腿還可以在觀光及遊覽時使用，因為它的特點是能夠控制走路時跨步的頻率以及距離（走路的快慢和步伐大小）。第二代的機器人腿體積小、易操作，整個輔助裝置重 6.5 公斤，使用充電式鋰電池可連續使用 2 小時；使用時只需將機器人腿上的鞋子穿上，再坐上如腳踏車的座墊即可使用，相較於第一代的陽春版，第二代的機器人腿能更有效及精準地協助分散雙腿肌肉與膝蓋在行進間的壓力，甚至還能透過機器人腿的幫忙，矯正不正確的站姿，雖然對虛弱老人而言，機器人腿仍顯得有些過重，但已投入 12 年研究心血的本田公司表示，希望在不久的將來能將它改良，使它更輕和更容易穿用。



圖五 日本本田公司-機器人腿

資料來源:<http://pansci.tw/archives>

（三）工作運用-動力輔助服¹⁰

除了 Cyberdyne HAL 和本田公司所研發的機器人腿，日本在動力行動輔助裝置的成就還包括在工作運用的動力輔助服；其中包括東京農工大學的農耕機器人服 (agriculture robot suit)，以及神奈川理工學院為照護人員所研製的動力輔

註⁹ 同註 1，頁 6。

註¹⁰ 同註 1，頁 7。

助服（Power Assist Suit）。

1. 農耕機器人服

東京農工大學遠山茂樹教授有感於目前日本有超過三分之二的農夫為超過 65 歲的老年人，為了提升他們的體能及協助他們完成較困難的農事（如拔蘿蔔）而有此發明。農耕機器人服本身重 30 公斤，在它的金屬與塑膠材質的外殼上有 8 個電動馬達，可增強穿戴者四肢的力量，減輕他們體力上的負擔達 62%；也有能夠偵測動作的感測器，還可透過聲音辨識系統回應指令。農耕機器人服預計於今年（2012 年）上市，預定售價為 1 萬 1000 美元（約 33 萬 5 千元台幣）。



圖六 農耕機器人服協助完成較困難的農事

資料來源：http://www.amobbs.com/thread_3991009_1_1.html

2. 動力輔助服

神奈川理工學院所研製的動力輔助服可使穿戴者的力量增加 0.5 至 1 倍，它利用肌肉壓力感測器分析穿戴者的運動狀況，通過複雜的氣壓傳動裝置增加人的力量。事實上，這種裝置最初是為護士研製的，用來幫助他們照料體重較大或根本無法行走的病人，如讓他們輕鬆地自輪椅或床上抱起老人和病患。這套動力輔助服重 30 公斤，得花 10 分鐘穿上；目前只依訂購生產，主要顧客是養老院和醫院，但未來希望能普及到一般家庭。由於年輕人口不斷減少，日本將越來越仰賴類似的 機器人輔助裝置從事醫院和養老院的基本照護工作。研究人員目前也著力於改善動力輔助服，希望在未來供年長者本身穿用，以提高他們的自主能力，而非仰賴照護者或子女。



圖七 神奈川理工學院-動力輔助服

資料來源:<http://big5.cri.cn>

三、其他國家

從上世紀 70 年代美國首次提出「外骨骼」的概念至今，全球約有 20 個國家正在積極研究單兵外骨骼裝備。雖然名稱各有不同，功能各有增減，但基本結構和原理多與美國相似，簡介如下：

（一）法國

「協同可穿戴式外骨骼-大力神」(HERCULE)，是法國多家公司目前正在研製一種能夠幫助穿戴者運送較重載荷的外骨骼，是基於法國武器裝備總署制定的「可穿戴式外骨骼項目」而研發出來的外骨骼裝備，主要由機械腿和背部支撐架組成，不久還將配裝機械臂，以使穿戴者能夠負載及搬運重物。「大力神」外骨骼的獨特之處在於能夠自動探測到肢體運動，隨後根據支持意圖代替穿戴者執行這一動作。「大力神」外骨骼的性能主要可負載 100 公斤重物，其電池可使穿戴者以 4 公里/小時的速度行進大約 20 公里，應用範圍包括幫助消防隊員、特種部隊和步兵將重物運送至作業地區，在醫療領域為殘疾患者提供幫助，及在建築和後勤領域用於運送重物。¹¹

註¹¹ 動力服-維基百科 <http://www.wiki.com.tw/>



圖八 法國-大力神外骨骼機器人

資料來源:<http://mil.huanqia.com/gt/2012-07>

（二）俄國

士兵-21，是第二代外骨骼裝備，已經初步實現與數字化單兵系統的結合，具有減負、防護、控制、攻擊和生命保障等功能。

（三）以色列

ReWalk 裝置是 Argo Medical Technologies 公司所研發之產品，專門設計給下半身癱瘓的人使用。該公司企業家 Amit Goffer 博士在經歷一場車禍癱瘓後，即決定幫助其他受害者能再次行走。ReWalk 外骨骼裝備是透過腿部電動支架、腰間的身體感應器、裝有電腦控制盒和充電式電池的背包以及手腕上的遙控器組成，使用者只需借助拐杖施少許力量以及設定手腕上的遙控器，即可方便行走、站立、坐、爬台階以即升/降坡等動作；此裝置整體重達 18 公斤，電力最長可維持 8 小時，已被 FDA 單位認可，預計售價為 10 萬美金，近期會在全球各地復健中心販售。¹²

註¹² 何侑倫、劉喬溫、毛彥傑、王品閔，〈外骨骼機器人輔具發展現況〉《機械工業雜誌》（新竹縣），341 期，工業技術研究院/機械與系統研究所，2011 年 8 月，頁 80。



圖九 ReWalk-II 機器外骨骼行走裝備

資料來源:<http://walkingparalytic.blogspot.tw/ReWalk-II.html>

三、小結

外骨骼系統發展迄今已逾半世紀，隨著世界各國之研究發展，已從學術理論進展至具有實際功能之成品，而各國因任務及環境不同，更是各自發展出不同的「外骨骼系統」。綜觀而論，外骨骼機械人對於肢體殘疾、高齡、勞工及軍事方面均有潛在利基，無論產品運用於何種用途，其技術整合及安全規範均是不可或缺的要素，而價格則是攸關產品是否普及的關鍵。¹³

未來發展趨勢

一、材質機能極致化

美軍研發外骨骼裝備的主要目的是減少從事繁重體力工作的人數，因此，只有不斷的提高其效能，外骨骼裝備才能獲得更多的研究經費。目前，HULC 和 XOS 兩種外骨骼裝備都已經通過概念驗證，開始進行試驗和研製。洛克希德•馬丁公司由於已經開始在納提克士兵研究中心進行 HULC 試驗，可以說暫時領先競爭對手「雷神」公司。雖然兩種外骨骼裝備將主要用於後勤用途，但是也需要進行大量的防護設計工作以確保使用者的安全，而這些防護措施又難免會

註¹³ 同註 12，頁 82。

增加系統的重量，從而給整個系統研製帶來障礙。採用鈦金屬材料和鑄造碳纖維裝甲板可以減輕系統的重量併為使用者提供輕型防護，不過這兩種材料相對比較昂貴，經濟可承受性不高。未來，外骨骼裝備系統都將擺脫電纜的束縛以實現完整的能力，不過屆時電源供應問題仍需得到解決，氣化學和固態氧化物燃料電池可能成為合適的選擇。

二、人機界面高度融和化

若要真正發揮外骨骼裝備的效能，需要「人機一體」的控制。要做到這一點，人類就可以利用人機界面技術 BMI (Brain-machine Interface) 的神經輔助裝置 (neuroprosthetic device)，靠著穿戴者的自主意志來控制「外骨骼」系統。人類在思考時，腦部會產生微弱的電流，同時血流也會發生相應的變化，而 BMI 技術的原理，就是在準確地測定和解析這些變化，讓人與機械作最直接的連接。目前 BMI 技術已有重大的突破，未來將可運用 BMI 技術，達到「人機一體」的控制。例如「再次行走計劃」(The Walk Again Project) 的跨國科學家們，正在開發可以從大腦接收指令的外骨骼「神經輔助」裝置；他們在猴子的頭骨植入晶片及電極，將電子訊號輸入猴子大腦皮層，還「教導」猴子用意志（腦波活動）來移動及控制電腦螢幕上的游標。研究人員繼而測試患有嚴重巴金森病的病人，發現他們同樣能控制游標移動。「再次行走計劃」的首席科學家，美國杜克大學 (Duke University) 神經科學教授尼可萊利斯 (Miguel Nicolelis) 表示：「未來希望使用者在經過數週練習後，能夠使腦部與外骨骼系統完全融合，讓外骨骼成為身體的一部分」。但他承認，有關的電極設計還需要改良，使每個植入大腦的晶片上裝的電極由數百個增加至數千個。此外，2009 年本田公司亦公布其全球首例 BMI 技術，該技術不僅結合了腦波儀 (EEG) 和近紅外線光譜儀 (NIRS)，還採用了新一代的訊息篩選技術，因此不需要按鈕操作，僅靠人腦思考即可操控機器人。相較早先在 2006 年推出的 BMI 技術，其所使用的功能型核磁共振圖像裝置 (fMRI) 由於其體積較大，而且還會產生很強的磁場，因此使用環境受到很大的限制，而新開發的測定裝置，則使用較小型的 EEG 和 NIRS，因此充分的提高了使用 BMI 的便利性及可行性。

三、小結

未來的外骨骼行動輔助裝置在材質上，應該極為貼身、並具有高強度、伸縮性佳、輕量、耐磨損等特質；在操控系統上，希望能結合「BMI 技術」控制系統，並加上自動機器人控制系統；在動力來源上，希望能使用輕質量的奈米電池，並結合太陽能、人體動能等；最後還要擁有自動學習功能，來適應使用者習慣及喜好動作，並配合正常關節活動的方向及範圍，增加平順及流暢度，

進而更接近人體自然的動作。

對我陸軍運用之探討

國軍部隊人員不斷精簡，除陸續推動部隊數位化以提升戰力外，更應實施長遠規劃，建議未來可規劃研製或購置外骨骼系統，協助實施後勤裝載輸運、戰鬥支援、城鎮肅敵掃蕩等戰鬥任務，除可增強部隊作戰能力，並能減少人員傷亡。根據敵情研析，現今共軍建有 2 個兩棲機械化步兵師，其海軍陸戰隊亦已機械化，並積極推動步兵部隊機械化，顯見其部隊已全面朝機械化發展。未來我軍防衛作戰將面對的是共軍機械化部隊，其火力凶猛、行動快速，且具備防護輕兵器射擊能力，對我地面部隊形成重大威脅。就我地面部隊而言，除機動打擊部隊已機械化外，其餘部隊監偵力、機動力、防護力與火力、反裝甲能力皆不足，是為未來建軍備戰極須補強之重點，茲將「外骨骼系統」於防衛作戰中對我陸軍運用之探討說明如後：

一、減少單兵負重，增進部隊戰力

美國陸軍作戰發展中心曾蒐集與分析第二次世界大戰與韓戰中，有關步兵負重的統計數值，其結論是：負荷量對士兵作戰的表現有直接影響，在規定的負荷量下，他們機動力降至令人無法接受的程度。¹⁴如何減少單兵負重，已為各國研究重點，高科技的確能將裝備重量減輕，但為增強步兵戰力，提升存活率，又增加新式裝備，如夜視裝備、單兵通信裝備等，重量不減反增，使現代士兵負荷過重。美軍發展之戰鬥型「外骨骼系統」，能為士兵增強戰力。¹⁵士兵們的裝備重量可全由外骨骼系統承受，不會浪費士兵寶貴體力；在戰術行動時，可增進基層部隊行動速度及作戰的持久度，並確保交戰時能即時、正確的支援至部隊。為減輕單兵裝備負擔，以因應未來複雜作戰需求，建議國軍亦能研發或購置基層部隊所需的外骨骼系統，協助步兵班、排單兵酬載裝備，減少單兵負重，可快速的、連續的提供戰鬥資源，增進部隊戰力。

二、彌補基層部隊反裝甲能力之不足

地面部隊現行之反裝甲武器不足，須仰賴作戰區反裝甲部隊支援，然現共軍部隊已大量機械化，反裝甲部隊之支援力，已無法滿足地面部隊之需求，「外骨骼系統」可以讓士兵酬載單人或多人反裝甲武器，可對共軍海軍陸戰隊與兩棲機械化步兵師之主力登陸裝備 M63A1 式水陸坦克、86B 式兩棲步兵戰鬥車；機械化部隊之 96 式戰車、92 式輪型步兵戰車實施摧毀性攻擊，有效達成防衛作

¹⁴ 黃偉傑著，〈21 世紀的步兵-數位化戰士〉《全球防衛雜誌》，第 213 期，2002 年 5 月，32-39 頁。

¹⁵ 同註 14，頁 33。

戰使命。

三、提升戰鬥及後勤支援能力

隨時代進步及科技發展，戰鬥及後勤支援單位各項作業中的運搬方式，已由人力運搬取代為機械運搬(如吊車、堆高機..等)，惟部分作業中的運搬方式宥於諸多條件(如需精密動作、環境地形受限、安全因素..等)欠缺或影響，尚須以人力方式運搬，影響作業效率，「外骨骼系統」可以讓士兵在各種環境地形下運搬軍用品，而且抬得動通常必須好幾個人才能扛得起來的裝備並能精準的控制，若用於軍用橋樑架設、後勤物資裝載、協助掛載(裝填)彈藥具及野戰工事阻絕構築，將有利於戰鬥及後勤支援單位能力提升，為部隊提供持續戰力。

四、強化班、排戰鬥單位監偵能力及通信力

現行部隊缺乏監偵能力，當面敵情掌握不易，易處於被動狀態，此情形在與敵人最接近的班、排戰鬥單位更是嚴重，戰鬥型「外骨骼系統」可酬載偵察、監視與目標獲得系統，可強化班、排戰鬥單位的監偵能力；另臺灣城鎮密布，建築物密集，本不利無線電使用，又礙於單兵負載能力限制無法背負過重的通信裝備，致班、排戰鬥單位通連能力常受限制，影響部隊指揮與掌握，戰鬥型「外骨骼系統」可裝載高功率通信裝備，可作為通信中繼臺，提升城鎮作戰時之班、排戰鬥單位之通信力，以有效發揮統合戰力，摧破敵之攻勢。

綜上所述，以臺澎防衛作戰而言，「外骨骼系統」若能研配於基層地面部隊，可提升其監偵力、機動力、作戰持續力、反裝甲能力、火力與通信力，這樣的單兵及其作戰小隊，將像「鋼鐵人」一樣，以小目標、高機動、超靈活、全信息、強火力，以及小群多路的優勢，直接攻擊坦克車，甚至直接攻擊低空飛行器，有利於對預期或不預期突入之敵，實施突擊，使其戰力前後分離，難以統合，癱瘓敵作戰節奏，為打擊部隊創造有利之態勢。

結 論

外骨骼系統的發展，對於人類來說，是相當令人振奮的一項科技！除了醫療的貢獻，在軍事上的發展也是許多國家關切的領域，而隨著科技的進步，外骨骼系統發展已日漸成型，雖然目前科學家們仍有許多待解決的問題，但其未來的前景依然無可限量。依本研究判斷，外骨骼系統未來將成為地面部隊基本配賦裝備，有效支援基層部隊個人作戰裝備籌載、後勤支援、監偵、反裝甲作戰、城鎮戰鬥、通信中繼等任務，使部隊能於少傷亡狀況下達成作戰任務。反觀我國之發展，依現今我國之科技與國防經費，雖在短期內尚無法達成此類建案構想，但仍應列入未來建軍發展要項，實施中、長期規劃及早準備及因應，

以有效減輕單兵負重，並能協助執行各種戰鬥、術任務，達成我防衛作戰的國軍使命。

作者簡介

劉恩光少校，現為工兵學校渡河組教官

學歷：陸軍官校正 69 期(八十九年班)、工校正規班 153 期(九七年班)。

經歷：排長、副連長、連長、人事官、教官。

參考資料

- 一、張力山，〈未來行動輔助裝置—超越人類極限的機器人外骨骼〉《科學月刊》(台北市)，43 卷第 2 期，科學月刊雜誌社，2012 年 2 月，頁 1。
- 二、華夏經緯網，〈美軍外骨骼裝備或將改變未來陸戰規則〉，
<http://big5.huaxia.com/>
- 三、華夏經緯網，〈解讀美軍單兵外骨骼系統最新進展〉，<http://big5.huaxia.com/>
- 四、動力服-維基百科
- 五、何侑倫、劉喬溫、毛彥傑、王品閔，〈外骨骼機器人輔具發展現況〉《機械工業雜誌》(新竹縣)，341 期，工業技術研究院/機械與系統研究所，2011 年 8 月，頁 75-82。
- 六、黃偉傑著，〈21 世紀的步兵-數位化戰士〉《全球防衛雜誌》，第 213 期，2002 年 5 月，頁 32-39。
- 七、鳴海裕著，〈淺談現在戰術背心設計〉《全球防衛雜誌》，第 250 期，2005 年 6 月，頁 102-109。