

探討智能機械控制 IMC 導入陸軍工兵裝備運用之關鍵因素

陳恩彤少校、呂宗翰上校

提要

- 一、隨著科技的不斷發展，工程機械行業紛紛引進了「智能控制機械系統」，將精密測量、動態感知與坡度控制技術結合於大型機具上，提供高效率也可取代部分危險性工作，以達到良好的智能化輔助，提升施工精度和工作效率，亦發揮工兵部隊戰鬥精神與支援救災等多重能量，達成「平時能救災，戰時能作戰」之目標。
- 二、國軍組織精簡狀況下，朝自動化、快速化、模組化及機動化方向發展，且工兵部隊常暴露於高風險中的環境作業，對人員或裝備於執行任務中，更是莫大的考驗。藉由「智能控制機械系統」的導入運用，有效降低危安發生機率，強化施工安全。
- 三、本篇藉由文獻探討與專家訪談等方法，歸納分析出相關主、次準則，運用 AHP 層級分析法進行權重、一致性分析後，發現「作業安全」為智能機械控制系統導入之關鍵因素，並提出「全面檢視工作危安因素，發展系統功能採購規格」等建議事項。

關鍵字：工作效率、工兵裝備、智能控制機械、作業安全、AHP 層級分析法

前言

近年來，科技快速發展已到人工智慧技術階段，使得人類對自動化的需求有所期待，而我們也該思考如何運用人工智慧技術來創造高科技設備，這也是未來人類有多少事情將會被人工智慧技術與機械來取

代，進而讓人類與機械的智慧發揮有效的整合及應用。尤其以大型機具於自動化方面有著跳躍性成長，特別是在微電子技術結合大型機具的部分更為顯著，就目前民間大型機具(例如：挖土機、推土機及裝土機等等)均可安裝「智能機械控制」，

而其 IMC 的核心是將精密測量、態勢感知與駕駛員的操作結合起來，相較於大家更熟悉的坡度控制，IMC 更進一步，直接用電腦干預駕駛員的操作，使工作裝置始終保持在開挖邊界內，從而降低對駕駛員操作熟練程度的要求，提升施工精準度和工作效率。¹

工兵部隊平時除戰備演訓、疏濬外，最重要的任務就是救災，在面臨科技提升及各項武器效能均朝向自動化的狀況下，工兵部隊針對多數老舊且效能均已降低，甚至裝備零附件商源已有逐漸消失等狀況之工兵機械裝備，亦不斷檢討汰換與翻修，但無論運用何種方式提升裝備效能，均可將「智能機械控制」導入納入整體規劃中，提高工作效率、施工精準度及降低風險因子。

文獻探討

一、工兵機具作業現況

(一)現行作業現況

工兵部隊具有逢山開路、遇水架橋之兵種特性，然工兵機械為工兵最具代表性的裝

備，於戰時可協助打擊部隊暢通機動路線、構築工事、開設便引道等作業，平時可投入災害防救等任務，目前建置於工兵部隊的機具種類甚多，以執行任務較常使用的機具為挖土機、推土機、裝土機、鏟裝機，在執行任務期間，工兵機具對於前方可視範圍不佳，操作手對於鏟刀或挖斗深度及左右傾斜度，僅能憑經驗及感覺實施操作，一來無法得到良好訓練成效，二來施工的品質穩定性也將受影響，工作經驗需要日積月累的訓練及依靠熟手帶領跟車訓練才能逐漸取得成效，若於機具導入人工智慧 AI 自動學習，短時間內成功確保機械人的抓取動作，並透過 IoT 讓多台機械人協調工作，縮短整個學習的時程，² 必能達到事半功倍之效率，也能提供機具操作手在複雜環境中，清楚掌握施工狀況及標準，快速達成所負任務，故將「工作效率」納入主準則之中。

(二)人員作業風險因子

工兵機具除一般作業外，經常於高風險的環境中作

¹ 鐵甲工程機械網，〈小松的智能機械控制 IMT 技術解析〉，<https://www-cehome-com.translate.goog/news/>，檢索日期：西元 2022 年 11 月 20 日。

² 吳柏勳、徐士哲、林孟秋，〈智能 CNC 控制器技術介紹〉，《機械工業》(臺北)，西元 2017 年，頁 69。

業，例如疏濬、救災等等，而這些場地也容易造成機械翻覆，以陸軍八軍團所轄 54 工兵群於 2023 年 3 月 22 日執行曾文水庫清淤任務時，一輛傾卸車車疑轉彎不慎造成側倒，造成駕駛及車長受傷送醫，兩人分別手臂脫臼及挫傷，這些工作上的疏忽，極容易對人員裝備造成重大損傷，對人員本身的危安也是非常大的風險，且操作手作業時的心理層面亦是一大考驗，且於西元 2022 年勞動部提出人工智慧(AI)及影像辨識等在各領域之應用正蓬勃發展，並深入探討作業中人員動作之安全性，提升傳統機具操作的安全防護措施，³因此，作業時講求方法、運用技巧及要領，以最經濟、迅速、安全、有效的手段完成任務，⁴結合視覺辨識技術輔助工地施工安全管理，強化工地之施工安全性，降低營造工地意外事故與職災發生之機率，來改善長久以來的營造職安問題，⁵由上述可得知

職安問題一直都是被關注的，甚至積極設法在改善的安全性問題，因此將「作業安全」納入主準則之中。

二、智能機械控制概述

智能控制科技為目前應用十分廣泛的技術，「智慧型控制」的名詞及概念是 Leondes 等學者於西元 1967 年時提出，這是把自動控制 (automatic control) 和人工智慧 (artificial intelligence; AI) 的概念整合所衍生的一種嶄新控制方式。學者 Albus 也針對智慧型控制提出見解，他認為，智慧型控制是有知識的行為操控手，它把知識和回授加以結合，形成一種感知、對話、環境導向結合的控制系統，在不確定的環境中能產生有效的控制行為，達成既定目標。⁶因此，為了有效去處理物件的複雜性與環境的交互性，可對控制作出如下的通用定義：所謂控制就是驅使物件達到預先設定的目標。於是，智慧控制可以定義為：基於認知

³ 勞動部全球資訊網中文網，〈運用影像辨識技術輔助高危害機具作業安全〉，mol.gov.tw，檢索日期：西元 2022 年 11 月 20 日。

⁴ 陸軍司令部，〈凱獅 721B 裝土機操作手冊〉(桃園：陸軍司令部，西元 2002 年 10 月 15 日)頁 5-1。

⁵ 林楨中、余文德，〈運用人工智慧視覺辨識技術輔助工地施工安全管理之研究〉，《勞動部勞動及職業安全衛生研究所》，西元 2019 年，頁 2。

⁶ 林俊良，〈智慧型控制分析與設計〉(新北市：全華圖書，西元 2017 年 5 月)，頁 1-1。

⁷ 許力，〈智能控制與智能系統〉(北京：機械工業出版社，西元 2007 年 2 月)，頁 7。

工程系統和現代電腦的強大功能，對不確定環境中的複雜物件進行擬人化的管理。典型的例子是智慧型機械人系統。智慧控制是人工智慧、運籌學和自動控制的交叉學科，用於在結構化或非結構化環境中的自主式決策。⁷

(一)智能控制系統原理

智能控制系統主要是採 IMC(Intelligent Machine Control 智能機械控制)技術，IMC 主要是將精密量測、動態感知、坡度控制與操作手等 4

項控制系統進行整合(如圖 1)，其中坡度控制項目則是由電腦直接干涉操作手的控制，讓機具保持開挖範圍內，從而降低操作手熟練程度的要求提升施工精度與工作效率。⁸ 且吳志鵬、林楨中(2021 年)提出，應用 AI 影像視覺辨識技術來替代人工監看，更可以降低人員不安全行為及設備的缺失，隨時注意潛在的危險。⁹ 配備 IMC 的機械包括 GNSS(Global Navigation Satellite System 全球衛星導航系統)天線，

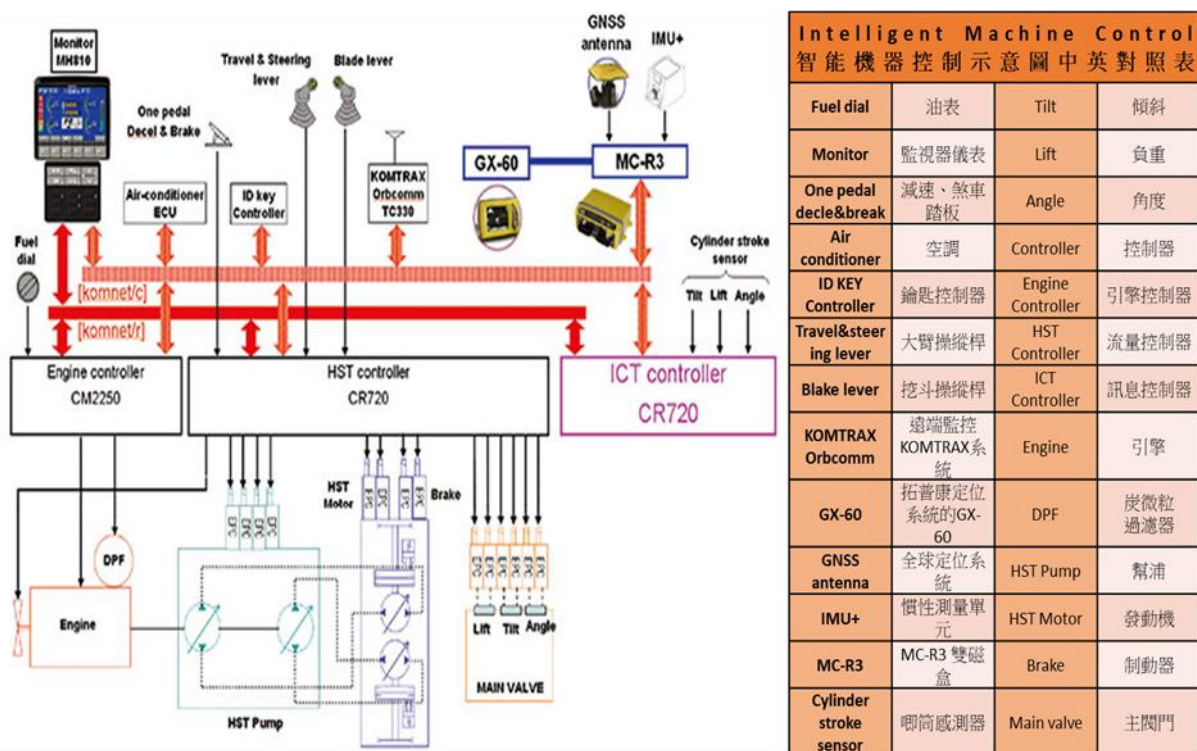


圖1 Intelligent Machine Control智能機器控制示意圖

資料來源：小松的智慧機器控制IMT技術解析，〈鐵甲工程機械網〉，

<https://www.cehome.com/news/20170320/213967.shtml>，檢索日期：西元2022年11月5日。

⁸ 鐵甲工程機械網，〈小松的智能機械控制 IMT 技術解析〉，<https://www-cehome-com.translate.goog/news>，檢索日期：西元 2022 年 10 月 20 日。

⁹ 吳志鵬、林楨中，〈營造業導入智慧科技工安管理有了新的可能〉，《勞動及職業安全衛生研究季刊》，29-1 期，西元 2021 年 4 月，頁 9。

IMU+(Inertial Measurement Unit 慣性測量單元)，行程感應油缸和控制器等，GNSS 天線可以進行機械的定位，結合機械自身的幾何參數，IMU+獲取的機械數據，確保施工過程精準及安全，亦可符合各種應用需求與操作。此外，輔助功能可讓作業進行部分自動化，以提高效率和生產力。

(二)發展趨勢

電子訊息技術不斷發展，一些測量企業紛紛與工程機械企業合作，引進了機械控制的概念，即為駕駛員提供精確的引導，可為營建工地製作3D視覺化影像，即時顯示作業人員、機具與物件之間的作業情形，能嚴密監視成本高昂的營建設備並確保發揮最佳的效率。¹⁰ 顯見智能機械控制所帶來的好處是越來越多，技術上的應用更是越來越廣泛，且於工地施工中發揮了重要作用，大幅提高工作效率，幫助操作手以更少的工作次數，精準地達到目標，由此可預見，未來機械的智能化水平會越來越高，無人化或自主駕駛機械已不是遙遠的未來，而是近在眼前。

(三)應用層面

智能控制是目前十分廣泛的應用科技，已不再是遙不可及的科幻名詞，也突飛猛進成為目前當下熱門的電子化商品，由日常生活相關用品、工業至國防，例如：冰箱、洗衣機、冷氣機、加工機械、汽車、飛彈、無人機等，而這些商品的關鍵技術都是智能控制的範疇內，於西元2017年3月的美國拉斯維加斯國際工程機械展上，小松機械展現了智能化技術的魅力，透過液壓系統上的各種精準傳感器收集數據，使設備按照設定的參數精準作業，¹¹ 減少施工錯誤，經由文獻探討可知，「智能機械控制」的應用與發展可提升施工的精準度，故將「精準施作」納入主準則之中。

三、準則層面之定義

「智能機械控制」是自動控制發展的必然趨勢，也推動了控制科學與工程研究的不斷深入，依據相關學者針對「智能機械控制」的定義、發展趨勢與應用實施論述，及綜合前述之工兵機具現行作業現況人員作業風險與應用層面因素觀點，

¹⁰ CTIMES 新聞，〈NVIDIA 攜手日本小松製作所導入 AI 提升施工環境安全與效率〉，<https://www.cehome-com.translate.goog/news>，檢索日期：西元2022年11月20日。

¹¹ 同註8。

表1主要準則相關文獻一覽表

學者 (西元)	題目	主準則 歸納
吳柏勳、徐士哲、林孟秋 (2017年)	智能CNC控制器技術介紹	工作效率
勞動部 (2022年)	運用影像辨識技術輔助高危害機具作業安全	作業安全
林楨中、余文德 (2019年)	運用人工智慧視覺辨識技術輔助工地施工安全管理之研究	作業安全
袁瑜 (2017年)	小松的智能機器控制IMT技術解析	精準施工
鐵甲工程機械網 (2017年)	太牛了！這7款小松智能挖掘機，竟然多了N個黑科技！	精準施工

資料來源：作者依研究彙整。

歸納出「工作效率」、「作業安全」及「精準施工」等，為「智能機械控制」導人工兵裝備運用之考量因素(如表 1)。

(一)工作效率

效率所強調的是資源有效的利用，以最少的投入，得到最大的產出，簡單說就是「把事情做好 (doing the thing right)」。¹²而「效率是指運用資源的程度與能力，凡是能夠將人力、物力、財力及時間做最妥善的分配者即是效率。」¹²因應建軍備戰需求，各項的訓練均朝自動化、快速化、模組化及機動化方向發展，以達快速與靈活作戰效能，而近年國軍積極籌購各項裝備，均以機動性佳、快速部署及智能輔助系統等裝

備，其是要有效縮短部署時程，加速機動能力，更是要降低危安風險，而未來的機械將能感知週遭環境並持續保持警戒，同時協助人員發揮更高的工作效率並維護安全。¹³隨著時代演變代表科技發展及生產觀念的變化，部隊執行任務應以安全達成為著眼，透過「智能機械控制」，便可以快速的將現場監測資料即時傳送到伺服器，讓管理人員得以透過遠端的電腦系統，監控機械運行的健康狀況，大幅提升機械故障預測及診斷的精確度與效率，並提升經濟效益。¹⁴

因此，執行任務除經驗分享、運用技巧與要領外，重要的是達迅速、安全、有效圓滿完成，

¹² 張潤書，《組織行為與管理》，(臺北：五南圖書出版公司，西元 1990 年)。

¹³ 同註 10。

¹⁴ 洪哲倫、張志宏、林宛儒，〈工業 4.0 與智慧製造的關鍵技術：工業物聯網與人工智慧〉，《科儀新知》，第 221 期，西元 2019 年，頁 21。

以提升整體效率。由此可延伸出影響「工作效率」的因素傾向於在「施工現場監測」、「資料即時傳輸」及「機械故障預測」，因此納入「工作效率」的次準則作為探討。

(二)作業安全

《孫子兵法》言：「安則靜，動則危」可見安全與危險就如一靜一動，世界各國的安全研究學者，無不對安全做一番闡述：大英百科全書對安全的定義為：「採取各種行動以降低或排除可能傷害身體的危險因素。」¹⁵ 美國學者 Robert J.Fischer 與 Gion Green：在《簡述安全》一書中提到，「安全代表著一個穩定的、可預期的環境，讓個人或團體在追求目標時，不受干擾或傷害，亦不必擔心任何動亂或意外。」¹⁶

隨著工程趨向大型化發展，勞工發生職業災害之風險逐漸增加，可見職安問題之嚴重性。2022年9月22日台灣人工智慧協會舉辦「AI 加值產業應用推動分享活動」，台灣智

能機械人董事長黃國聰指出，以五感感測技術結合 5G、AIoT，研發複合式多樣態監控的巡檢機械人，提升關鍵基礎設施的韌性和工安辨識。¹⁷ 由此得知，視覺辨識技術在辨識能力及速度已有重大突破，如何預測與控制這些不確定的風險因素，進而降低職災發生率，將是運用智慧科技的重要課題。¹⁸ 由此可延伸出影響「作業安全」的因素傾向於在「預測風險因子」及「控制風險因子」，因此納入「作業安全」的次準則作為探討。

(三)精準施作

在統計學與量測學的領域中，是用來評估量測品質的指標稱為「精準施作」，亦可代表：精確度 (Precision) 與準確度 (Trueness) 兩部分。¹⁹ 於施工中力求品質、安全、工期準時，與高效益之經濟為原則，然經驗豐富的操作手於執行任務時能快速做出判斷，但並非每位操作手都能如此，施工品質不一而產生差距性，甚至延

¹⁵ 黃讚松，《安全導論》，(台北：三民出版公司，西元 2014 年)。

¹⁶ 李如霞，《國家安全與國土安全精粹》(台中市：新士明文化，西元 2018 年)，頁 1-2。

¹⁷ 經濟日報，〈AI 加值智慧製造加速推動製造業智慧化〉，<https://www.udn.com>，檢索日期：西元 2022 年 11 月 20 日。

¹⁸ 同註 9，頁 9。

¹⁹ 賀全慶，〈量測精確度的統計推論〉，《中華民國品質學會第 43 屆年會暨第 13 屆全國品質管理研討會》，2007 年 11 月。

宕工作時間與效率就是這樣形成的。例如：日本知名重型工程機具製造大廠 **Komatsu**，為讓施工環境更加安全有效率，透過視覺化監測與分析建築工地，加上無人機與攝影機的搭配使用，提高感知周圍環境的能力，不僅可以辨識現場人員及設備使用的正確性以減少意外事故，彙整出來的數據也能促進自動化作業流程。²⁰

智慧機械是延續過去精密機械成果逐步邁進的技術，在生產製造過程導入智慧化技術，兩者相輔相成，以精進可靠度工程技術、強化精實管理、量測技術與標準追溯為目標，²¹由此可延伸出影響「精準施作」的因素傾向於在「精實管理方式」、「工具量測技術」及「標準數據追溯」，因此納入「精準施作」的次準則作為探討。

四、導入智能機械控制系統相關因素

經彙整相關期刊、文獻歸納出「智能機械控制」導人工兵機具相關因素整合獲得，可歸納「工作效率」、「作業安全」、「精準施作」等 3 項主要準則及「施工現場監測」、「資料即時傳輸」、「機械故障預測」、「預測風險因子」、「控制風險因子」、「精實管理方式」、「工具量測技術」及「標準數據追溯」等 8 個次準則，共計 11 個準則要領(如表 2)。

(一)智能技術已興起多年，智能控制應用在營造工地之需求日漸成熟，於機械設備中結合「智能機械控制」來提升裝備性能，可預測與診斷故障，透過收集機械的數據、溫度、電流、振動等運作的資訊，進而預測與診斷來判別設備是否產生異

表2 智能控制系統導人工兵機具關鍵主、次準則評估要項

項次	主要準則	次準則
1	工作效率	施工現場監測
2		資料即時傳輸
3		機械故障預測
4	作業安全	預測風險因子
5		控制風險因子
6		精實管理方式
7	精準施作	工具量測技術
8		標準數據追溯

資料來源：作者依研究彙整。

²⁰ 同註 9，頁 9。

²¹ 林嵩荃(工具機與零件雜誌)，〈慧機械 2.0 (上)扎穩根基、整合服務、連結在地〉，<https://www.maonline.com.tw>，檢索日期：西元 2022 年 11 月 20 日。。

常，避免無預警的故障、損壞或是停機，造成時間延宕而無法如期完成任務，在另一方面，亦可透過無人機和機具設備鏈結，將工地機具接收之數據立即自動傳輸，協助作業人員追溯每日、每週至每月數據資料實施比對，除提高工地作業進度，更有效的控制與了解運作，並能善用數據達到提升效率目的，進而縮短作業時程，顯見，影響「工作效率」的主要是「施工現場監測」、「資料即時傳輸」及「機械故障預測」，故將這3項歸納於效率性之次準則。(如表3)。

(二)就工兵部隊於演訓、救災中重型機具是不可缺的，作業過程中經常處於高風險的環境中，人員容易產生平時不易發生的失誤、誤判等狀況，而這種情況於民間施工場地也是容易發生的，例如：2021年5月3日，竹科寶山一期擴建案，疑似

委外廠商施工時，怪手不慎勾到電線，導致電線杆攔腰倒塌，砸中一名28歲的女性駐廠醫護人員，導致這名女子頭部重傷，一度失去呼吸心跳之案件。為預防及降低危安事件，近年來各種大型機械的防撞、防夾設計已普及化，而這類機械的設計多是在機械內加裝感測技術，系統感應偵測到時，即會啟動一連串的防護措施，來達到「預測風險因子」，除了感測技術外，於機具導入視覺化監測分析工地施工狀況，運用AI平台作為施工環境中機具的大腦，來協助提升安全性，監控運作是否異常，同時透過數據分析了解工作環節有無需要作調整，可將現場作業人員與作業機具實施連結，來「管控風險因子」，藉此避免工安事故發生，以達到保障安全之目標。依上述文獻探討可知，影響「作業安全」的主要是「預測風險因子」

表3 「工作效率」次準則評估要項說明表

項次	次準則	定義說明
工作效率	施工現場監測	施工監測可整合各類感測器並將資訊、數據傳輸至雲端收集平台，以供現場作業人員快速掌握施工狀況。
	資料即時傳輸	即時傳輸是一種不用將文件掃描至機器記憶體，便能直接傳送的方式，運用定位功能監控作業狀況，預先判斷施工作業及機具的耗損狀況。
	機械故障預測	機械故障預測是一種主動維護策略，透過監測設備，察覺劣化或異常情況，來預判設備可能發生故障，以便在故障或停機發生前，執行保養維護或故障排除工作。

資料來源：作者依研究彙整。

及「控制風險因子」，故將兩項歸納於效率性之次準則。(如表 4)。

(三)智能化隨著趨勢發展不斷的進步，而在施工領域，透過無人機進行航空測繪，產製高精度的施工現場數據，通過科學的工程規劃、優化資源配置和精實的施工管理方式，將施工過程中的誤差和浪費來降至最低，提高品質來實現成本節約和效率。「精實管理方式」可提升「精準施工」的原因包括：

- 1.優化生產流程：通過對施工過程進行優化和改進，可以縮短工期，減少施工風險，提高品質。
- 2.提高資源利用率：優化資源使每一個資源都得到最大限度的利用，減少浪費和資源的重複使用。
- 3.促進協作：提高團隊成員之間的協作和溝通，減少施工過程中的誤差和失誤，從而提高工程的準確性和品質。

因此，「精實管理方式」

是實現「精準施工」的有效成因，可幫助施工降低誤差和浪費，進而提高效率和品質。除有效提高效率和降低誤差外，利用全球定位系統(GPS)和安裝在工程機械上的感測器，隨時掌握機械的位置，將機械作業過程、狀態及地面情況等數據，自動傳送到控制盒，便於作業人員校對及追蹤，在施工過程中使用各種工具和技術進行精準的測量，是穩定施工的精準度和保證品質，利用「工具量測技術」來提升「精準施工」的原因包括：

- 1.減少誤差：工具量測技術可減少施工過程中的誤差和偏差，確保施工的精準度。
- 2.提高品質：運用工具量測技術更好掌握施工過程中的品質控制，從而提高品質。
- 3.提高安全性：工具量測技術可以幫助施工團隊減少意外事故的發生，提高工作安全性。

所以，「工具量測技術」是協助「精準施工」的有效原因

表4 「作業安全」次準則評估要項說明表

項次	次準則	定義說明
作業安全	預測風險因子	所謂的「預測風險因子」指的是，將作業過程中的每一項危安因子進行風險評估，了解其嚴重性後，透過安全的防護機制，即時掌握施工的危險動作或環境，使人員有更安全的作業環境，讓危安發生的機率降低。
	控制風險因子	「控制風險因子」是採取各種措施和機制，減少或消滅風險事件之發生的可能性及損失，或控制發生率於容許的風險範圍內，以達到控制之效果，避免工安事故發生。

資料來源：作者依研究彙整。

之一，改善施工時的偏差和減少誤差，提高品質和工作效率，更有效達到要求。

在 AI 圖像發展的進步，使得精密量測有大幅地進步，可隨時掌握機械的位置，將作業過程、狀態及施工數據，傳送到控制盒，且所傳送之數據亦可記錄追溯，便於作業人員校對及追蹤，另於作業流程上供作業人員維持各項程序，減少數據輸入錯誤，加快工作速度並降低人力運用，達到精準施工還能擁有完整的紀錄作業軌跡，若需要時，讓作業過程有跡可循，可供改善與管理。藉由「標準數據追溯」進而提升「精準施工」之原因：

- 1.提高數據準確性：確保數據的可靠性和精準度，提高數據的準確性。
- 2.降低誤差：通過標準數據追溯，可發現和紀錄數據中存在的誤差和偏差，從而降低

誤差的發生率，提高施工的精準度。

3.數據管理及維護：對施工數據進行儲存、維護和管理，以確保數據的準確性、完整性、可靠性及追溯性，提高數據的運用和管理。

經由「標準數據追溯」是可實現「精準施工」的重要環節之一，來提高數據準確性和品質，降低誤差的發生率。依上述探討分析可知，提升「精準施工」的主要是「精實管理方式」、「工具量測技術」及「標準數據追溯」，故將這 3 項歸納於精準施工之次準則。(如表 5)。

研究方法與設計

本研究採用層級分析法 (Analytic Hierarchy Process, AHP)作為評估並選定智能控制機械 IMC 導入工兵裝備關鍵因素之研究工具，以層級分析法(AHP)之基本原理、分析程式

表5 「精準施工」次準則評估要項說明表

項次	次準則	定義說明
精準施工	精實管理方式	主要利用優化流程創造更佳價值，透過精實管理方式進行流程改善，以提升作業品質、效率，減少資源重覆的浪費。
	工具量測技術	使用工具測量所得的結果數值化，可提高施工精準度，降低人力成本，運用上更佳彈性。
	標準數據追溯	供作業人員維持各項流程，加快工作速度並降低成本，即可達到工作精準度，亦有完整的紀錄及作業過程，可供改善與管理。

資料來源：作者依研究彙整。

與步驟加以探討，作為本研究之結論。

一、層級架構之建立

本研究目的之評估準則層級架構，係以文獻探討及研究者的實務經驗，歸納出初步層級架構的組成因素(如圖 2)。

(一)第一層級「評選主準則」：「工作效率」、「作業安全」及「精準施作」等 3 項。

(二)第二層級「評估次準則」：「施工現場監測」、「資料即時傳輸」、「機械故障預測」、「預測風險因子」、「控制風險因子」、「精實管理方式」、「工具量測技術」、「標準數據追溯」等 8 項。

二、問卷設計

為確保本研究各構面能符合本研究需求，區分專家問卷及正式問卷 2 個部分，專家問卷主要是確認所有評估主準則及次準則的正確性、可行性及關聯性，由專家針對所提出的評估主、次準則提出意見，據以修正評估準則，以本研究而言，將影響智能機械控制導入工兵裝備運用關鍵因素以文獻探討實施歸納，研擬「工作效率」、「作業安全」及「精準施作」等 3 項主準則，各項再細分為 2-3 個關鍵因素，藉由專家們豐富的經驗對各層級架構及因素做確認，以作為第二階段設計層

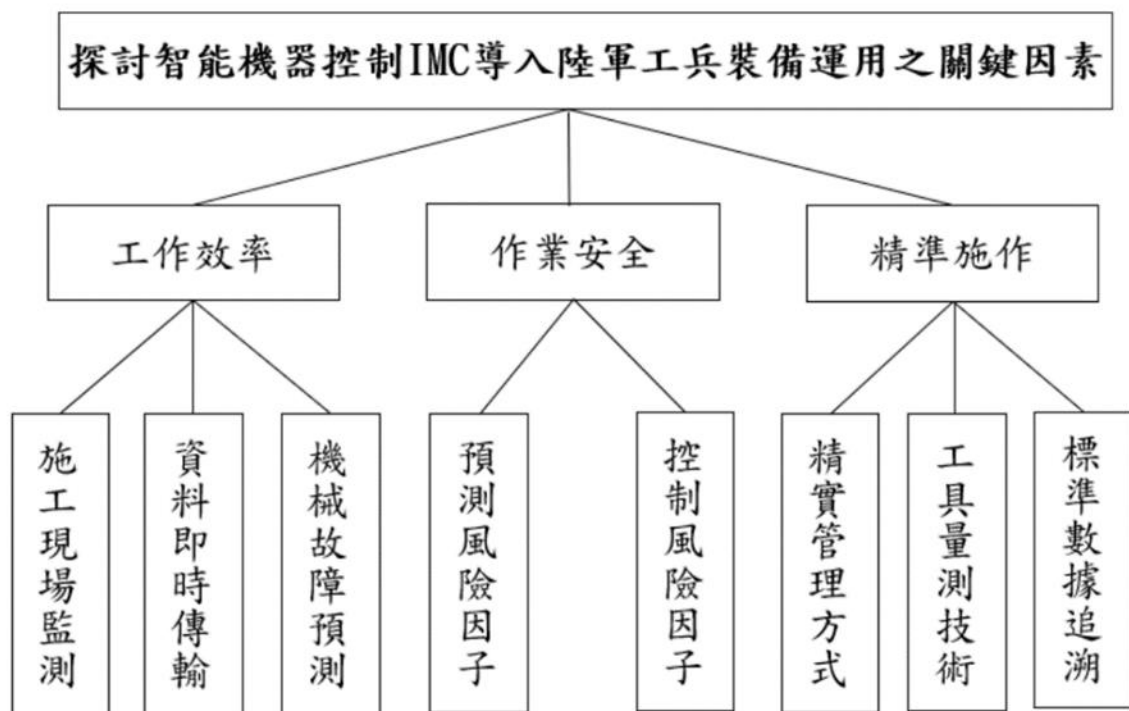


圖2 影響維修工作績效關鍵因素之層級結構圖
資料來源：本研究整繪製。

級分析程序(AHP)法問卷的層級架構。

正式問卷則是依據專家意見所制定，由受測者就工作經驗針對各準則重要性程度進行兩兩比對，在認為較重要的評估準則上勾選出最適數值，數值越大表示重要程度越高。問卷中的相對重要強度共區分 9 項尺度，分別給予 1 至 9 的比重，其目的著重在客觀選取出影響維修工作績效主要因素，提供後續評選結果分析運用及參考。

三、專家選擇方式及正式問卷

(一)專家選擇方式

本研究藉由司令部督管階層、教學單位及執行單位等專家問卷填寫方式，確認影響「智能機械控制」導人工兵裝備運用關鍵因素，以利獲得最切合現況及最重要之關鍵因素，故問卷對象為陸軍司令部工兵處、陸軍工兵訓練中心及

使用單位等主官管、相關業管參謀與教官等，以發放紙本問卷向受訪者進行資料蒐集。

專家條件設定為曾任或現任陸軍司令部工兵處相關業務督考參謀及擔任陸軍工兵訓練中心教官，且年資 10 年以上之人員，總計受訪專家共 12 員(如表 6)。

(二)正式問卷

依據專家問卷整合觀點評估準則及層級架構實施製作，並配合 Expert Choice11 軟體模式，採 9 尺度評估設計，數字所代表的強度(如表 7)。

研究結果與分析

一、問卷統計結果

回收問卷經 Expert Choice 11 軟體進行權重值分析，綜合分析結果依序為「工作效率」權重比 9.9%、「作業

表6 受訪專家資料表

軍種	陸軍【12人】
階級	上校【1人】、中校【5人】、少校【5人】、士官長【1人】
民間學歷	專科、大學【9人】、研究所以上【3人】
軍事學歷	戰院【1人】、陸院【5人】、正規班【5人】、士正班【1人】
工作單位	陸軍司令部【3人】、六軍團【1人】、陸軍工兵訓練中心【6人】、52工兵群【2人】
工作年資	10-15年【2人】、16-20年以上【8人】、21年以上【2人】

資料來源：作者依研究彙整。

表7 評估尺度劃分定義及說明表

重要性強度	定義	說明
9	絕對重要	重要性絕強於另一準則
7	極重要	重要性極強於另一準則
5	重要	重要性頗強於另一準則
3	稍重要	重要性稍強於另一準則
1	相等	兩準則重要性相等
3	稍不重要	重要性稍弱於另一準則
5	不重要	重要性頗弱於另一準則
7	極不重要	重要性極弱於另一準則
9	絕對不重要	重要性絕弱於另一準則
2、4、6、8	重要性介於兩者之間	介於以上說明之間

資料來源：資料來源：鄧振源，《多準則決策分析-方法與應用》臺北市：鼎茂圖書，民國 101 年，頁 63。

安全」權重比 69.1%、「精準施作」權重比 21%，分析結果(如圖 3)。

二、整體評估權重及一致性分析

(一)主準則評估之權重及一致性比率

本研究發放之問卷共發放 12 份問卷，進行權重結果加總後分析，所得一致性的指標

分析結果中，IMC 導入工兵裝備運用之關鍵因素之主準則一致性指標 C.I.值為 0.01(如圖 4)。準則權重分配值，分別為工作效率(9.9%)、作業安全(69.1%)與精準施作(21.0%)；上述權重分配的結果顯示，受訪的各單位人員認為「IMC 導入工兵裝備運用之關鍵因素」

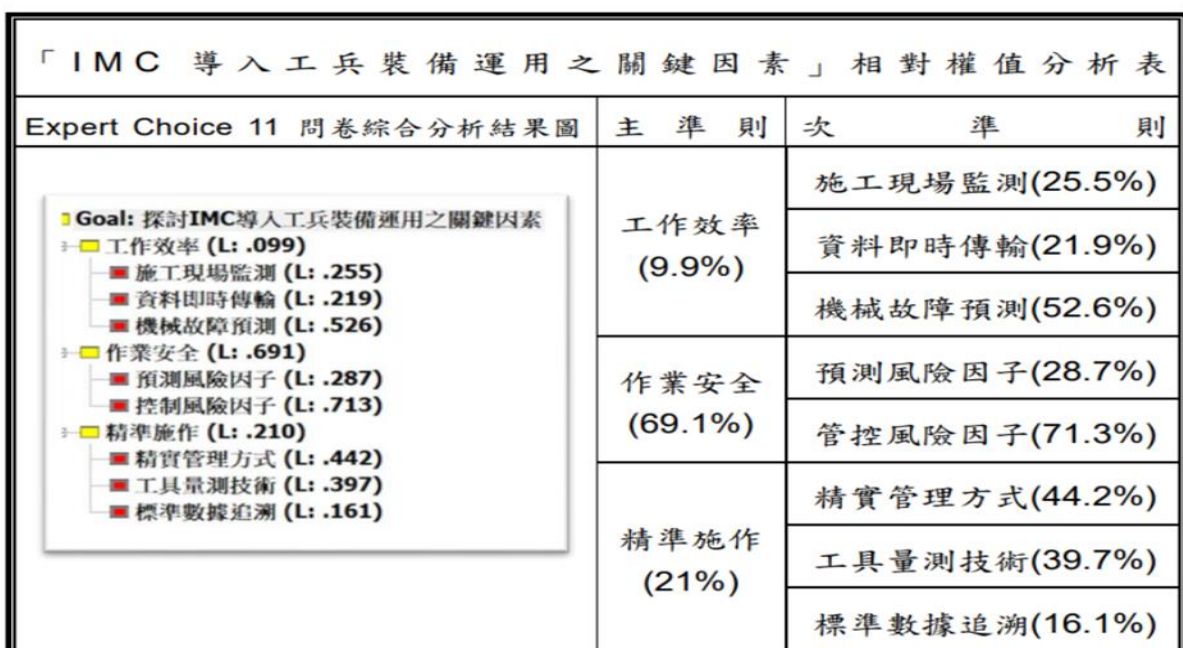


圖3 IMC導入工兵裝備運用之關鍵因素相對權值分析圖

資料來源：本研究整繪製。



圖4 主準則一致性指標C.I.值
資料來源：本研究整繪製。

首應考量「作業安全」，次為「精準施作」，其次才是「工作效率」；顯示對於影響「IMC 導入工兵裝備運用之關鍵因素」的「作業安全」認為是絕對重要的，主準則評估的一致性比率為 $0.01 < 0.1$ ，故主準則評估的一致性是可以接受的。

(二)次準則評估之權重及一致性比率

綜整 12 個施測對象對次準則進行相對權重評估，經軟體加以計算，所得之權重及一致性比率如下所示：

1.經檢測後，「工作效率」項下的次準則權重分配及一致性比率，(如圖 5)，「工作效率」準則項下的次準則權重分配，由高至低依序為「機械故障預

測」(52.6%)、「施工現場監測」(25.5%)、「資料即時傳輸」(21.9%)，由上述結果顯示，受訪的各單位人員認為工作效率中以機械故障預測之重要程度最高；另此一致性為 $0.05 < 0.1$ ，其一致性是可以接受的。

2.經軟體檢測後，「作業安全」項下的次準則權重分配及一致性比率，(如圖 6)，「作業安全」準則項下的次準則權重分配，由高至低依序為「控制風險因子」(71.3%)、「預測風險因子」(2.87%)，由上述結果顯示，受訪的各單位人員認為作業安全中以控制風險因子之重要程度最高；另此一致性為 $0.01 < 0$ ，所以其一致性是可以接受的。



圖5 工作效率一致性指標C.I.值
資料來源：本研究整繪製。



圖6 作業安全一致性指標C.I.值
資料來源：本研究整繪製。

3.經軟體檢測後，「精準施作」項下的次準則權重分配及一致性比率(如圖 7)，由高至低依序為「精實管理方式」(44.2%)、「工具量測技術」(39.7%)、「標準數據追溯」(16.1%)，由上述結果顯示，受訪的各單位人員認為精準施作中以精實管理方式的重要程度最高；另此一致性為 $0.06 < 0.1$ ，所以其一致性是可以接受的。

4.綜合評估 3 個主準則構面權重及 8 個次準則評估主準則構面權重，所得之整體權重分配，依準則層級彙整(如表 8)。

結語與建議

一、結語

(一)須以安全為首要導入考量因素

近年工兵部隊因組織結構調整，人員數量逐年精簡，亦汰換老舊不適用裝備，以能達量小、質精和戰力強之目標。因此，每位官兵或每部裝備都是不可缺少之戰力，然近年在機械操作過程中不慎發生的工安意外，其肇因概以「人為」缺失為主，「機械故障」因素次之。故本篇在「智能控制系統導入陸軍工兵裝備運用之關鍵因素」之目標下，透過專家賦予「工作效率」、「作業安全」及「精準施作」等 3 個主準則權重中，發現其中權重值排序第

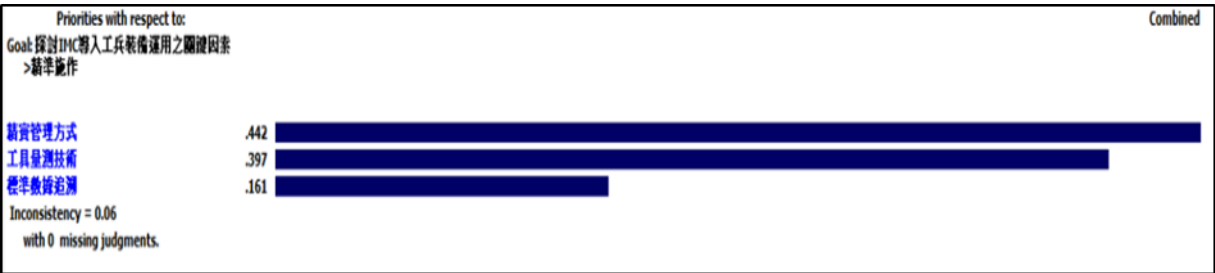


圖7 精準施作一致性指標C.I.值
資料來源：本研究整繪製。

表8 主、次準則整體層級分析結果排序表

主、次準則整體層級分析結果排序表					
主準則			次準則		
項目	權重	排序	項目(%)	整體 權重	排序
作業安全	69.1%	1	預測風險因子(28.7%)	19.8%	2
			控制風險因子(71.3%)	49.2%	1
精準施作	21.0%	2	精實管理方式(44.2%)	9.2%	3
			工具量測技術(39.7%)	8.3%	4
			標準數據追溯(16.1%)	3.3%	6
工作效率	9.9%	3	施工現場監測(25.5%)	2.5%	7
			資料即時傳輸(21.9%)	2.1%	8
			機械故障預測(52.6%)	5.2%	5
備註：次準則整體權重計算方式為原始分項權重乘以主準則百分比，例：預測風險因子為 69.1%*28.7%=19.8%					

資料來源：作者依研究彙整。

一為「作業安全」(69.1%)，且次準則整體權重值排序中，以「控制風險因子」(49.2%)最高，顯見專家認為智能控制系統導入機具操作，應可有效預測、分析與控制相關危安事件，並能大幅提升機具操作安全性，故在決定導入的思維過程中，首重智能控制系統在故障警示、偵錯感知及環境安全辨識等功能。

(二)應結合系統趨向精準施作發展

AI 圖像發展的進步，使得精密量測有大幅地進步，將機械作業過程、狀態及地面情況等數據，自動傳送到控制盒，且所傳送之數據亦可記錄追溯，便於作業人員校對及追蹤，減少數據輸入錯誤，達到精準施作還能擁有完整的紀錄作業軌跡，亦可讓作業過程有跡可

循，可供改善與管理。本篇主準則權重值排序第二為「精準施作」(21%)，而其所屬次準則以「精實管理方式」(44.2%)最高，「工具量測技術」(39.7%)次之。顯然，專家認為透過智能機械控制的導入，可使工兵機械操作趨向「精準施作」發展，改善作業流程、品質與效率，有效避免資源的浪費。故智能機械控制導入工兵裝備運用，將有利於工兵部隊實務工作推動。

(三)工作效率相關功能應逐次強化

本篇主準則權重值最低為「工作效率」(僅達 9.9%)，且次準則整體權重值中，以「施工現場監測」(2.5%)與「即時資料傳輸」(2.1%)分列倒數排序，顯然專家在進行智能機械控制導入決策考量中，其「效益」相對於「效率」更具重要性，也呼

應「作業安全」及「精實管理方式」權重值排序第一的現象。工地畢竟佈滿重型機具、地形崎嶇，為充滿危險的工作環境，在全天候不間斷進行作業的狀況下，一味追求智能控制系統的施工現場監測、資料即時傳輸或機械故障預測等功能，雖可適時下達工作指示或替換預備機械，以大幅提升工作效率，仍應「安全首要」的原則下，逐次強化其他輔助功能。

二、建議

(一)全面檢視工作危安因素，發展系統功能採購規格

工地常見危害概可區分機具操作時產生的視覺死角、機具零件鬆脫或發生機具性能故障，造成夾傷、壓傷、砸傷或擠壓；工兵部隊每年常態性執行重型機具任務中，「作業安全」為首重考量，該如何預測與控制不確定風險因子，進而降低職災發生率，將是運用智能控制系統的重要課題。故工兵部隊應蒐整重型機具在投入訓練或任務危安事件，進行肇案態樣深度解析，並結合風險管控措施，發展智能控制系統必要功能的採購規格，例如：運用「感知技術」主動啟動危安防護措施，或「視覺辨識技術」分析施工環境，自動判定機械運作異常狀況進行工作環節適切

調整，以有效減少各種可能發生的風險程度，達到「零危安、高效能」之作業目標。

(二)強化專業技術人才培養，鏈結系統精準施作功能

隨著科技日新月異，藉由建構智能控制提升裝備效能已是時代趨勢，智能機械控制系統的導入，雖能提升工兵裝備施作效能，但仍須仰賴專業技術人員對系統鏈結裝備操作的熟稔程度。因此，國軍無論透過採購或研發途徑獲取系統後，應重視技術轉移的工作，可透過契約協議相關廠商進行操作人員普訓，並協力工兵訓練中心建立師資教育能量，後續實兵單位可依任務需求與班隊流路等，薦派合適人員接受操作、保養訓練。所謂適當教育訓練的人力資源管理措施，可有效的提升人員的工作技能，進而增進工作績效。故透過工兵訓練中心相關專業科目整合訓練，將有利於系統有效與裝備整合運用，提升人員施工精準與效率。

(三)審視系統功能需求排序，等措預算逐年提升功能

因應智能機械控制系統運用範圍廣泛，其功能種類也不停發展與進步，然而在國家財政資源有限下，國防預算顯難增賦之際，恐難以一次性全面建

置系統功能。許多工地意外事故發生，多為人為操作不當所引起，加強設備安全設施與正確操作方法是必須正視之課題，在「作業安全重於一切」原則下，建議應將「感知技術」及「辨識系統」之智能機械控制系統導入優先功能納入選項，視編列預算餘裕情況，再依序添置「坡度控制器控追蹤器」等其他功能。因此，建議業管單位可統合全軍裝備需求項量與排序，完成相關商情研析後，適切編列系統建置預算，逐年進行功能建置或升級，以能充分發揮國防預算投資效益。