

無人駕駛車輛引進 空軍運輸作業之研究

空軍少校 蔡昌儒 空軍中校 何昶逸

空軍中校 羅文成

提 要

隨著少子化導致從軍人力減少的影響，造成空軍在傳統人力運輸方面出現駕駛人員短缺與過勞狀況。然現今無人駕駛車輛已可結合人工智慧(AI)、先進輔助駕駛系統(ADAS)與車聯網技術，廣泛應用於民用領域，如中國香港機場的無人拖車及美國與德國的無人巴士，可有效降低人力需求，提升作業效率與安全性，並在高危險環境中執行任務，顯示其應用潛力。

目前，無人駕駛車輛透過感測、決策與控制技術實現自主行駛與即時應變，逐步發展至Level 4應用，如德國柏林醫院無人小巴、中國香港機場無人拖車等，顯示技術日趨成熟。在軍事領域，空軍後續可望引進無人駕駛車輛技術，用於人員接送、巡邏、裝備拖曳、FOD清潔及裝備運輸等作業，並研議相關軍用無人駕駛車輛運輸標準作業流程，針對基地內車輛應用進行規範，逐步推動技術驗證，確保後勤運輸效率與作戰支援能力，以滿足未來需求。

關鍵詞：無人駕駛車輛、人工智慧(AI)、先進輔助駕駛系統(ADAS)、車聯網

前 言

空軍現行運輸作業多半仰賴傳統人力，然少子化導致人力短缺及過勞問題，導致駕駛人員不足，而隨著人工智慧發展，顯現無人駕駛車輛在後勤運輸上愈發重要，不僅能減少人力投入，同時可在高風險環境執行任務，提升效率與安全性，

¹目前根據美國國家公路交通安全管理局(NHTSA)將自駕車分為六級，多數車輛停留在Level 1與Level 2階段，並具備自動跟車、車道偏移警示等功能，惟少數車輛如特斯拉Model 3和賓士EQS達到Level 3，能在特定條件下自動駕駛，目前全球已有部分地區開始實驗Level 4車輛，如德國柏林醫院的無人小巴、²美國Waymo

1 蘇園展、洪偉智，〈人工智慧導入軍事領域之研析 以智能運輸車輛為例〉，《空軍軍官雙月刊》，第222期，2022年2月，頁17。

2 林育立，〈自駕、共乘和零碳排德國無人車的「無車」革命〉，《中央社全球中央雜誌》，〈<https://www.cmmedia.com.tw/home/articles/18886>〉，(檢索日期：西元2024年9月27日)。

和Cruise的自駕計程車，以及中國香港機場的無人拖車及巡邏車的自駕車已邁步嶄露頭角，而我國自2019年推動沙盒計畫後，引進無人小巴EZ100進行測試其具Level 4技術可於封閉環境透過感測器避開障礙物與行人，並繪製3D地圖自動導航及規劃路線。³

本文透過文獻分析探討美、中、德三國及我國在商業用無人駕駛車輛運用，研究引進空軍運動作業可行性，以減少人力負擔，透過人工智慧的協助有效管理及規劃部隊車輛行車路線，藉以即時掌握交通狀況縮短運輸時間，以提供空軍建軍備戰參考。

無人駕駛車輛的發展與核心技術

一、無人駕駛車輛定義

自動駕駛汽車(Autonomous vehicles、Self-driving automobile)，又稱無人駕駛車輛、電腦駕駛車、無人車、機器人車或無人載具，為一種需要駕駛員輔助或者完全無需駕駛員操控的車輛，目前完全自動駕駛汽車未全面商用化，多數均為原型、樣板車或產品展示系統，部分技術才下放至量產車型，⁴而無人車透過雷達、光學雷

達、感測器、全球定位系統(GPS)和電腦視覺技術感測環境，控制系統將資料轉換為導航路徑、障礙物識別及標誌辨識，並透過同步定位(SLAM)技術更新地圖即時追蹤位置。根據美國國家公路交通安全管理局(NHTSA)區分六個等級(L0-L5)，可分類現行自動駕駛可控程序(如圖1)。⁵

二、無人駕駛車輛核心技術

(一)感測技術

在自動駕駛系統中可透過配置不同類型感測元件，使車輛全面獲取道路資訊，而無人駕駛車輛所搭載的感測元件；如攝像頭、遠距雷達及光學雷達，能夠實現200公尺以上的遠距掃描觀測，使車輛精準辨識行車號誌及障礙物；⁶另透過電

自駕車等級表		
LEVEL 0	完全由駕駛人操控	無人駕駛
LEVEL 1	大部分需要駕駛人操控	駕駛輔助
LEVEL 2	系統有多項駕駛輔助功能 仍須由駕駛人主控車輛	部分自動
LEVEL 3	系統有辨識環境能力 駕駛可適當進行干涉	條件自動
LEVEL 4	在條件許可下可讓系統完全自駕 駕駛人不需要介入操控	高度自動
LEVEL 5	任何情況下皆可由自駕系統完全操控 可被駕駛人接管	完全自動

圖1 自駕車等級表

資料來源：〈看懂自動駕駛「5等級」解放雙手要到這一階段〉《ETtoday新聞雲》，〈<https://esg.ettoday.net/news/2185994>〉(檢索日期：西元2024年9月27日)。

3 蘇佑綸，〈自駕小巴EZ10北市信義路實驗完成，北市府未來將持續測試〉，《U-car》，2017年8月〈<https://news.u-car.com.tw/news/article/38437>〉，(檢索日期：西元2024年12月4日)。

4 〈自動駕駛汽車〉，《維基百科》，〈<https://zh.wikipedia.org/zh-tw/%E8%87%AA%E5%8B%95%E9%A7%95%E9%A7%9B%E6%B1%BD%E8%BB%8A>〉，(檢索日期：西元2024年9月27日)。

5 張克銘、林緯平，〈看懂自動駕駛「5等級」解放雙手要到這一階段〉，《ETtoday新聞雲》，〈<https://esg.ettoday.net/news/2185994>〉，(檢索日期：西元2024年9月27日)。

腦系統深度學習及智能化運用，在動態環境下學習交通規則之意義與不同物體型態判斷，將輔助電腦系統產出決策。⁷如無人駕駛車輛技術上裝有360度環境攝影機，可透過探測激光雷射出光波訊號，反射車輛與物體之間距離，加以繪製出地圖；並透過多個感測元件分工合作構成多功能感測技術，使無人駕駛車輛技術更能準確判斷與行動。⁸

(二)決策技術

無人駕駛車輛可利用雷達、光學雷達及影像等感知元件，分析出自身車輛定位及環境資訊，規劃車輛行徑路徑動態，並對周遭環境的車輛、行人及物體行為做預先判斷，確保電腦即時做出反應，目前無人駕駛車輛所採用決策元件，包括傳統和人工智慧兩種，傳統決策方式是依據事先制定好的規則應付大部分駕駛情況，若超出設定範圍，則有發生錯誤性判斷的風險，故傳統決策相較於人工智能決策缺乏彈性靈活性，⁹故基於車輛行經過程中，易面臨突發狀況，為了使無人駕駛車輛在實際道路安全行駛，需同時運用多重任務的人工智能，並同時獨立思考運作，判斷優先順序，最後才由整體人工智能作出判

斷決策，現階段人工智慧多利用卷積神經網路(convolutional neural network簡稱CNNs)，反覆執行道路模擬訓練和學習大量駕駛行為數據，以效仿駕駛人之行為決策，進而提升決策穩定度。¹⁰

(三)控制技術

自動駕駛系統結合環境感測、決策行為及控制系統操作，透過電腦計算與機器學習，模擬或實際辨識路況與車輛位置，進行自我修正，正確控制方向盤及煞車與油門，確保行車安全；低階控制系統負責車輛內部操控，如煞車、油門及方向盤操作，使車輛沿著計算軌道行駛；高階控制系統則負責路徑規劃、導航及行車時間計算，提升車輛整體運行效率。¹¹

而當多個感測元件獲取資訊後，感知階段將進行物體識別與定位，由車輛電腦系統推算出的距離與位置，繪製即時影像，隨時調整行駛路徑規劃。最後透過車輛控制訊號，精準掌控行進方向與速度，確保動態環境中車輛可穩定運行。¹²

(四)先進輔助駕駛系統(Advanced Driver Assistance Systems, ADAS)

ADAS是多種駕駛輔助技術的整合，可透過感測、決策及控制系統，偵測車

6 陳亭誼，2021年1月，〈論無人駕駛車輛技術交通事故之刑事責任與立法爭議〉，頁14。

7 同上註，頁14。

8 王俞芳，〈車輛環境感測技術〉《車輛研測專刊》，2019年，頁42。

9 同上註，頁14。

10 許琮明，〈駕駛決策技術〉《車輛研測專刊》，2019年，頁60。

11 同前註，頁14。

12 同前註，頁14。

輛內外資訊，目前此系統主要應用於 Level 2 輔助駕駛等級，¹³常見的輔助駕駛系統，如周遭路況、車輛狀況及駕駛員情形，提供警告、提示，甚至可在特定條件下控制車輛行駛，¹⁴以協助駕駛應對緊急及異常狀況將提升行車安全，但由於自動駕駛技術與法規尚未成熟，駕駛仍需自行掌控車輛。如表1：

表1 Level 2 自動駕駛輔助駕駛系統

名稱	功用
主動車距控制巡航系統 (ACC)	主動跟車系統能偵測前方車距及車速，並隨之改變行車速度。
主動式智慧煞車輔助系統 (FCM)	當系統判斷與前方車輛或行人有碰撞風險時，將發出警示、提供煞車力輔助，必要時主動介入煞停，避免意外發生。
車道置中輔助系統 (LKA)	透過攝影機於特定道路能維持車輛置中前進，是車道偏移警示系統的進階輔助系統。
交通壅塞輔助系統 (TJA)	會與 ACC 及 LKA 同時啟動，同步控制車輛加速、減速及轉向，使在壅塞時仍能保持於車道中間。
盲區偵測系統 (BSW)	利用毫米波雷達偵測視線盲區，輔助駕駛人判斷視覺死角。
後方交通警示 (RCTA)	倒車時警示車後左右側是否有車輛接近。
車道變換輔助 (LCA)	車道變換時有車輛快速接近，將啟動警示。
後方防追撞警示 (RCW)	系統判斷後方車輛有追撞風險，將立即閃爍警示燈提醒。

下車開門警示 (DOW)	車輛靜止時打開車門，系統偵測後方有車輛接近，將透過聲響及燈光警示乘客及外部車輛。
前車駛離警示 (LVSA)	系統偵測前方車輛駛離，將透過聲音及警示提醒駕駛前進。
智慧型遠光燈系統 (AHB)	依據路況自動切換遠光燈及近光燈。
胎壓偵測系統 (TPMS)	隨時提供胎壓數據。
全景泊車停車輔助系統 (SVC)	完整顯示車輛周遭障礙物協助停車。
前方碰撞警示系統 (FCW)	偵測前方車輛並估算車距，於過近時警示。

資料來源：本表筆者自行整理

(五)車聯網(Internet of Vehicles; IoV)

從物聯網(Internet of Things; IoT)延伸而來的技術，強調車輛透過網路連接，實現車輛與雲端網路串聯，包含車輛資訊上傳、雲端數據處理及管理，IoV運作包含車輛感測器、無線傳輸、電子標籤技術及雲端資料庫，可透過感測器收集外部環境資訊，與周遭環境如行人、車輛及交通設施連結，實現即時資訊交換，提升交通效率與安全性。¹⁵

車聯網以V2X(Vehicle-to-Everything)技術為核心，包括V2V(車對車)、V2I(車對基礎設施)、V2P(車對行人)、V2N(車對網路)及V2G(車對電網)等，將人、車、路、通訊及服務整合為智慧交通生態系統，透過車聯網技術，車輛可實現路徑規

13 三菱汽車官網〈ADAS 是什麼？一篇看懂自動駕駛&先進駕駛輔助系統ADAS〉，〈https://www.mitsubishi-motors.com.tw/knowledge_page.php?id=34〉，(檢索日期：西元2024年10月4日)。

14 徐錦衍，〈無人駕駛車輛技術發展趨勢與關鍵技術〉《工程》，92卷04期，2019年，頁25-26

15 〈什麼是車聯網Internet of Vehicles〉，《iT邦幫忙》，〈<https://ithelp.ithome.com.tw/articles/10156483?sc=rss.iron>〉，(檢索日期：西元2024年10月4日)。

劃、風險預警、預測性維修等功能，減少交通壅塞與故障並支援無人駕駛。無人駕駛車輛運行時，依賴感測器、ADAS系統及車聯網生成周遭環境的模擬地圖，透過即時監控進行決策(如緊急煞車、行人辨識)，提升安全性與穩定性；¹⁶此外，車聯網中的智慧路燈、影像探測設備等基礎設施能提供精準數據支援，透過即時調整交通號誌與動線引導，優化交通資源分配，打造互聯互通的智慧交通系統示意圖(如圖2)。¹⁷

無人駕駛車輛技術發展現況

為發展我國無人駕駛車輛技術，以美國、中國、德國及我國作為主要參考對

象。如美國擁有豐富的科技資源，無人車輛技術發展領先，中國作為龐大的汽車市場和完整的汽車產業鏈，德國是汽車工業大國，率先制定無人車輛法律研究，基於上述考量，將針對各國商用無人駕駛車輛服務的應用現狀，進行分析研究。

一、美國

美國自動駕駛(autopilot)技術，最早可追溯於1912年發展初期，源自於美國Sperry公司開發的飛機自動駕駛系統，在1925年一篇通訊雜誌中，首次提出車輛自動駕駛系統的概念，描述「透過無線通訊進行遠端控制」的自動駕駛車。這與現今無人自動駕駛車(Autonomous Vehicles)依賴車聯網(Connected Vehicles)技術的發展趨勢相吻合，顯示早期構想已奠定現代自駕技術的基礎；而後來至1950年，美國通用汽車才開始真正投入自動駕駛車輛開發，並與通訊公司RCA在1958年合作研發出可在高



圖2 車路協同的車聯網概念示意圖

資料來源：〈車聯網是智慧城市最重要基礎建設5G創造智慧協同運作的新契機〉《天下雜誌》交通部，〈<https://www.cw.com.tw/article/5122137>〉(檢索日期2024年10月4日)

16 陳鈺玟，〈從感知到控制，AI領航自動駕駛系統革新〉，《ARTC》，2024年6月13日，〈<https://www.artc.org.tw/tw/knowledge/articles/13756>〉，(檢索日期113年10月19日)。

17 交通部〈車聯網是智慧城市最重要基礎建設5G創造智慧協同運作的新契機〉《天下雜誌》，〈<https://www.cw.com.tw/article/5122137>〉，(檢索日期2024年11月26日)。

速公路上行駛的原型車(火鳥2號)，該車原定於1978年量產，但最後並未付諸實行。¹⁸

到了2009年由Google公司再次啟動Alphabet的無人駕駛車輛項目，於2016更名為Waymo¹⁹，並於2010年代進行大量道路測試，將無人駕駛車輛帶入公眾視野，隨後特斯拉Tesla也在2014年推出了部分自駕功能的Autopilot系統，加速無人駕駛車輛在商業和消費者市場的應用，而隨著車聯網及人工智慧技術的進步，無人駕駛車輛逐步走向成熟，進一步應用於商業物流、公共交通等領域，成為未來交通系統關鍵。

時至今日，美國開啟無人駕駛車輛的新篇章，成為全球科技先進科技的國家，舊金山擁有如Uber、Google、Tesla等科技公司支持，再加上人工智慧(AI)技術和科技人才匯聚，配合政府積極推動人工智慧運用於車輛技術，如自動倉儲、無人搬運車、自駕卡車等，以提升運輸效率，而公共交通方面上，無人駕駛巴士也逐步應用解決人力不足問題，並提高工作效率。

而美國於2016年9月發布「聯邦自動

駕駛系統安全指引」，作為自動駕駛政策指南，為業界提供發展方向與安全標準。隨後，於2017年9月，眾議院通過「確保車輛發展未來部署和研究安全法案」(SELF DRIVE Act)，成為首部全國性自駕車法律，該法案由聯邦政府建立基本架構與統一名詞標準，確保自駕車在設計、構造與性能上符合安全要求，至於事故責任與肇事處理等細節法規，則由各州自行制定，採取聯邦統一標準與州政府分責執行的模式，確保無人駕駛技術能在安全可控的環境下發展與應用。²⁰

二、中國

中國自駕車的發展起源於2000年代末期，最初主要集中於學術界和一些科研機構，2009年起，中國工程院等機構開始關注智能汽車，並進行初步技術探索，隨著國家對科技創新加大支持，自駕車技術的發展逐漸加快，並在商業化應用方面獲得了新的機會，²¹在中國國防科技大學致力於無人駕駛技術研究下。研製出第一輛無人駕駛車輛「紅旗HQ3」2003年無人駕駛轎車創造了時速170公里的時速；2011年首次完成286公里高速全程無人駕駛實驗。²²

18 李 綱，〈國際車輛自動駕駛技術發展〉《土木水利》，46卷02期，2019年，頁12。

19 〈Intel自2009年開始與Google合作，Waymo無人駕駛車已路試300萬英里〉，《每日頭條》，〈<https://kknews.cc/zh-tw/tech/kabl9g8.html>〉，(檢索日期：西元2025年1月4日)。

20 張凱喬，〈美國各州自駕車測試法規訂定現況〉，《ARTC》，2017年07月17日，〈<https://www.artc.org.tw/tw/knowledge/articles/3173>〉，(檢索日期：西元2024年11月15日)。

21 〈中國自主研製的無人車—由國防科技大學自主研製的紅旗HQ3無人車〉2018年5月，《kknews》，〈<https://kknews.cc/zh-tw/car/28j8nyy.html>〉，(檢索日期：西元2024年10月22日)。

而隨著人工智慧、機器學習及車聯網技術的進步，中國自駕車技術持續突破，並已實現車輛與基礎設施協同運作，如香港國際機場(以下簡稱：機管局)自2019年起引入無人駕駛拖車進行行李拖運，至今已行駛7萬公里，²³隨後，2021年在機場禁區內啟用無人駕駛巡邏車，負責跑道周邊巡檢，目前共有4輛巡邏車於全天候24小時運作，執行機場內外巡邏任務，即時偵測跑道邊界的異常情況，並發出警告同時將影像傳送至控制中心，以便相關人員迅速處理，確保機場安全，²⁴此外，2023年5月也投入無人駕駛巴士運行，用於接載員工往返機場各區域，巴士可依照預設路線及速度行駛，²⁵各車輛如

下表所示。

目前在法規限制方面，機場無人駕駛巴士初期需要配備隨車安全員，以因應突發狀況，車輛如在行進間發生事故或造成人員受傷，中國所採取責任界定，先確認是否有人員參與操控，若無則是由該車製造商負責，企業必須在車輛上路前提供充足的保險保障；而對巡邏車及拖車則是由控制員遠端監控。²⁶

三、德國

德國汽車工業認為，自駕車、共享及電動車技術的全面應用將大幅減少私人車輛數量，改善城市空氣品質，為交通方式帶來革命性變革。²⁷而在2020年全球疫情重創德國汽車產業下，傳統車輛製造商

表2 機場無人駕駛拖車、巡邏車及無人巴士圖

		
機場無人駕駛拖車	機場無人駕駛巡邏車	機場無人駕駛巴士

資料來源：〈機管局引無人車巡邏跑道 明年禁區測試無人駕駛巴士〉《東網》，〈https://hk.on.cc/hk/bkn/cnt/news/20211102/bkn-20211102060050307-1102_00822_001.html〉（檢索日期：西元2024年10月25日）

22 〈無人駕駛汽車「上路」了！瞅瞅我國正在開展無人駕駛車研發的大學〉，2018年3月，《kknews》，〈<https://kknews.cc/car/3ey8vk8.html>〉，（檢索日期：西元2024年10月22日）。

23 姚兆聰，〈機管局引無人車巡邏跑道 明年禁區測試無人駕駛巴士〉《東網》2021年11月2日〈https://hk.on.cc/hk/bkn/cnt/news/20211102/bkn-20211102060050307-1102_00822_001.html〉，（檢索日期：西元2024年10月25日）。

24 同上註。

25 同上註。

26 同前註。

27 於下頁。

面臨困境，疫情加速產業數位化、智慧化及電動車轉型，為協助汽車業克服挑戰，德國政府於2020年6月推出「永續交通發展計畫」，支持數位轉型、技術創新及零碳交通，提升產業競爭力、降低碳排放，推動綠色交通和可持續發展。

德國繼2017年通過Level 3自駕車法案後，於2021年7月28日生效Level 4自駕車法案，成為全球首個允許無人駕駛車輛日常上路的國家。此法案依據SAE標準，允許車輛在特定環境下全自動運行，只有系統故障時才需人員介入，²⁸同時也實際應用場域中測試無人車技術，例如柏林夏里特醫院於2017年試營運無人巴士，提供醫師、學生和患者的接駁服務，顯示無人駕駛車輛可以在封閉且高需求場域，且具高度實用性(如圖3)。²⁹

德國於2021年通過Level 4無人駕駛法案，並自2022年起允許無人接駁巴士、物流貨車、短程運送等車輛上路，同時開放全自動泊車功能，在法規上，德國對於無人駕駛車輛管理較為嚴格，且要求所有達到三級及以上的無人駕駛車輛安裝“黑盒子”(事件數據記錄器，EDR)以記錄事



圖3 德 柏林夏里特醫院(Charité)院區 無人電動巴士

資料來源：〈德國允許第四級無人駕駛車輛技術上路〉《TREND》，〈https://www.trendmicro.com/zh_tw/research/21/i/level-4-autonomous-cars-allowed-on-german-roads-.html〉(檢索日期：2024年10月4日)

故數據，事故責任視情況由製造商或車輛所有者承擔。此外，無人車需投保強制責任險，確保即使責任不明時受害者也可獲賠償。³⁰

四、中華民國

我國自2015年由工業技術研究院(以下簡稱工研院)投入無人駕駛車輛研究，並於2017年8月於臺北市信義區進行無人駕駛小巴(EZ100)道路測試，揭開臺灣自駕序幕，該測試為期4天涵蓋系統整合測試和圖資與路徑規劃，由喜門史塔

27 林育立，〈自駕、共乘和零碳排 德國無人車的「無車」革命〉，《全球中央》，2019年11月29日，〈<https://www.cna.com.tw/topic/newsworld/133/201911290004.aspx>〉，(檢索日期：西元2024年10月4日)。

28 Ericka Pingol，〈德國允許第四級無人駕駛車輛技術上路〉，《TREND》，2021年9月14日，〈https://www.trendmicro.com/zh_tw/research/21/i/level-4-autonomous-cars-allowed-on-german-roads-.html〉，(檢索日期：西元2024年10月4日)。

29 同上註。

30 〈L4自動駕駛在2022上路! 德國成為世界上第一個通過立法的國家〉，《CA汽車》，2021年6月，〈<https://channel-auto.com/2021/06/01/germany-gives-greenlight-to-driverless-vehicles-on-public-roads/>〉，(檢索日期：西元2024年10月4日)。

克(7Starlake)與法國Easymile公司合作開發，採用Level 4自駕技術，在封閉環境內依照指定路線自動行駛。透過3D地圖規劃路徑，使用感測器避開障礙物及行人，展現高精度導航與安全性。³¹

隨著EZ100試驗成功後，我國於2018年4月推出首輛國產無人小巴，並在桃園農業博覽園區試營運，該小巴連續運行40多天，共完成約660趟，接載超過4千名乘客，順利穿越人潮密集的道路抵達綠色方舟館，³²同年11月，立法院通過「無人載具科技創新實驗條例」，即「沙盒實驗計畫」，為我國無人駕駛車輛發展提供法律基礎，法案通過後，政府以無人巴士為重點推動項目，期望解決人少車多的交通問題，藉此促進智慧交通的落實與發展。

2020年，勤威國際與車輛研究測試中心(ARTC)及彰化縣政府，成功開發國內首輛自製電動自駕小巴(WinBus)，並通過沙盒計畫，推動「自駕巴士彰濱鹿港觀光接駁運行計畫」(彰濱沙盒實驗)。WinBus為純電動無人車，車內無方向盤與剎車踏板，³³該計畫結合彰化縣彰北一

軸通專案，打造彰濱智慧觀光接駁線，串聯鹿港小鎮與彰濱觀光工廠，³⁴為實現自駕車於開放道路行駛，彰化縣府向交通部申請建置智慧交通系統(ITS)，形成人、車、路、雲端平台的完整自駕車規劃(如圖4)。³⁵

而2020年新冠疫情導致的物流人力短缺與需求激增，自動駕駛成為物流數位轉型的關鍵，工研院攜手新竹物流與新竹市政府，推出臺灣首部自駕物流車(如

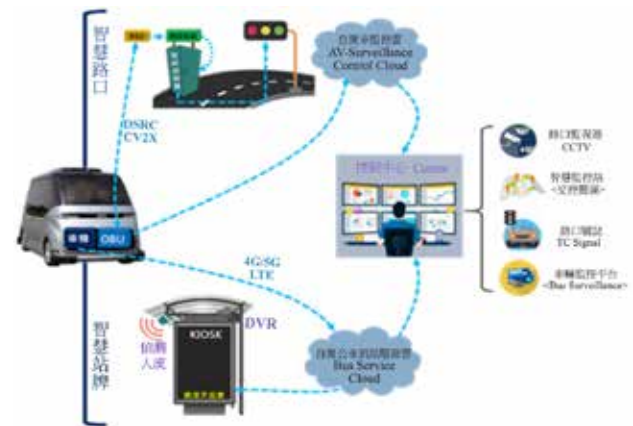


圖4 自駕電動小巴(WinBus)聯繫圖

資料來源：〈自駕車沙盒實驗第1案 自駕巴士彰濱鹿港觀光接駁運行〉《ARTC》，〈<https://www.artc.org.tw/tw/knowledge/articles/13446>〉(檢索日期：2024年12月4日)。

31 蘇佑綸，〈自駕小巴EZ10北市信義路實驗完成，北市府未來將持續測試〉，《U-car》，2017年8月，〈<https://news.u-car.com.tw/news/article/38437>〉，(檢索日期：西元2024年12月4日)。

32 余至浩，〈【不只人才吸引國際大廠，臺灣也邁出AI產業化關鍵一步】國產自駕車的誕生〉，《ITHome》，2018年9月18日，〈<https://www.ithome.com.tw/news/125890>〉，(檢索日期：西元2024年12月4日)。

33 褚政怡，〈自駕車沙盒實驗第1案 自駕巴士彰濱鹿港觀光接駁運行〉，《ARTC》，〈<https://www.artc.org.tw/tw/knowledge/articles/13446>〉，(檢索日期：西元2024年12月4日)。

34 蘇文彬，〈【臺灣無人載具沙盒實驗上路兩年成果】國產無人駕駛車輛技術駛入多元開放場域實驗〉，《ITHome》，2021年11月，〈<https://www.ithome.com.tw/news/148071>〉，(檢索日期：西元2024年10月4日)。

35 同前註。

圖5)，測試當日以兩處物流營業所為據點，進行1.9公里的混合一般道路測試，該車輛配備5顆感應雷達，確保行駛過程



圖5 全臺第一部自駕物流車

資料來源：〈機管局引無人車巡邏跑道 明年禁區測試無人駕駛巴士〉《東網》，〈https://hk.on.cc/hk/bkn/cnt/news/20211102/bkn-20211102060050307-1102_00822_001.html〉(檢索日期：西元2024年10月25日)

無死角偵測，提升安全性及穩定性，為未來智慧物流發展奠定基礎。³⁶

除了物流車及無人巴士的研發外，工研院也積極探索無人駕駛技術於城市公共服務，特別是無人駕駛清潔車的開發，目前環保署與桃園市環保局合作，於2021年在桃園虎頭山創新園區舉辦「智能化、自動化(無人)駕駛環境清運及清潔車輛管理專題成果展示」活動，推動「智能垃圾車」試辦計畫，提升收運效率與用戶體驗，相較傳統街道清掃工作，無人駕駛清潔車可有效應對危險地段(如高架橋底)的清掃需求。此技術發展有助於降低人員風險，提升清潔作業的安全性與效率(如圖6)。³⁷



圖6 無人自駕掃街車於桃園虎頭山創新園區實境場域運行

資料來源：〈打造科技環保新願景 環保署於桃園試辦自駕掃街車和智能垃圾車 串聯行控中心專題運行展示〉《新新聞》〈<https://www.storm.mg/stylish/4100018>〉(檢索日期2024年12月15日)。

36 劉映蘭，〈全臺第一部自駕物流車上路〉《工業技術與資訊月刊》，359期，2022年2月。

37 唐可欣，〈打造科技環保新願景 環保署於桃園試辦自駕掃街車和智能垃圾車 串聯行控中心專題運行展示〉《新新聞》，2021年12月7日，〈<https://www.storm.mg/stylish/4100018>〉，(檢索日期：西元2024年12月15日)。



而自2019年沙盒實驗計畫推動至今，無人自駕車目前僅在澎湖、彰濱工業區、屏東科大及桃園虎頭山創新園區等地進行運行測試，廠商評估無人自駕車上路仍有技術門檻。³⁸交通部表示，我國車輛安全法規接軌國際，與歐盟、日本及澳洲等地或國家相同，皆導入聯合國歐洲經濟委員會(UN/ECE)車輛安全法規，確保無人駕駛技術的合規性與安全性。³⁹目前針對無人載具，於2018年制定了「無人載具科技創新實驗條例」，規範業者須在特定區域或範圍內進行無人車相關技術測試。讓企業能夠集中於技術驗證，以加速商業化進程，然而，現行法規僅規定一般車輛發生故障後，廠商應立即召回停止試驗，但並未明確規範事故責任的權責劃分，導致無人駕駛車輛在商業應用上的進程仍受限於法規。⁴⁰

無人駕駛車輛引進空軍部隊探討

一、國軍運輸車輛使用及作業探討

(一)國軍運輸車輛使用情況

國軍自1998年建構「聯合後勤資訊系統」，整合「補給」、「保修」、「運

輸」、「衛勤」、「彈藥」等作業，以提升後勤管理效能，其運輸管理資訊系統包括「運輸與集用場管理資訊系統」及「駕照管理系統」，負責處理運輸申請、車輛調度、控制與集用場管理，實現標準化與資訊化作業，⁴¹在車輛調度派遣上，建立「汽車集用場作業程序」，明確分工並強化作業程序，降低行車風險。然軍車外勤期間仍需依靠駕駛人員回報動態，未充分運用現代技術，影響運輸效能與即時掌控能力，然在空軍的運輸作業中，主要運輸載具為中型戰術輪車，為國軍運輸部隊主力車輛裝備，並於2004年起陸續採購獲得，目前國軍數量約4,788餘輛。

參考民間物流模式執行人員、物資運輸。然隨著國防政策推動部隊精簡化及人力縮編，運輸任務負擔加重。為應對挑戰，陸軍司令部奉國防部命令，由所屬陸勤部於108年與中華電信合作開發「智慧型運輸系統」(ITS)，整合現有系統，增強車輛動態管控、軍品運輸追蹤及事故預警等功能，並利用五油三水管理降低運輸成本與行安風險。⁴²

該套系統具備衛星GPS定位、導航、網路通話、無線網路及車況監控等功能，

38 胡瑞玲，〈無人車上路遙遙無期？交通部坦言還在技術驗證〉，《聯合新聞網》，2024年5月，（檢索日期：西元2024年10月4日）。

39 同前註。

40 〈經濟部自駕小巴WinBus勇闖澎湖、搶攻國旅新據點〉，《ARTC》，2021年2月14日，〈<https://www.artc.org.tw/tw/information/media/10125>〉，（檢索日期：西元2024年10月4日）。

41 劉吉祥、許博堯，〈運用智慧型運輸系統(ITS)導入國軍運輸作業之研究〉，《空軍雙月刊》，第697期，2023年12月。

42 同上註。

至110年底已完成292輛3.5噸軍用卡車升級，新增車道偏移警示、疲勞預警等功能，並設置監控中心進行即時數據管理，提升了運輸效能及駕駛安全。⁴³然該系統與車輛升級智能化等級僅達Level 1，仍需人力駕駛，無法有助於解決少子化導致的長期人力短缺問題，如未來引進無人駕駛技術，將成為國軍運輸作業現代化與解決人力困境的關鍵方向。⁴⁴

(二)運輸(勤)作業探討

國軍目前仍以人員駕駛中型戰術輪車或民用車輛執行運輸任務為主，存在耗時、耗力及駕駛風險高等問題，即使已針對車輛派遣模式及輔助系統進行優化，如整合車輛監控及車聯網架構提升效率與安全性，但此系統仍屬輔助性，無法根本解決人力短缺問題。目前，無論平時或戰時，運輸作業依賴人員駕駛，面臨人力不足及作業風險增加的挑戰。

輸具管理上，國軍面臨車輛數量不足、維修設備缺乏、技術人才短缺等問題，導致裝備妥善率降低，增加故障風險。此外，傳統的運輸編制及作業流程限制運輸效率，無法應對日益增長的軍事需求；⁴⁵此外駕駛人員負擔過重，由於人力

短缺，駕駛人員常需多項勤務，導致疲勞駕駛風險升高，研究顯示，睡眠不足4小時的駕駛，事故風險高達15倍，儘管國軍規定駕駛人員需充分休息，但實際執行上仍存隱患，因此，未來國軍引進無人駕駛技術與人工智慧系統，減輕駕駛人力負擔，提升運輸效率與安全性，將可應對人力短缺及軍事運輸需求的挑戰，實現智慧化後勤運輸的發展目標。⁴⁶

二、無人駕駛車輛運用場景說明

若空軍基地內的各類型車輛都配備無人駕駛車輛的技術，將徹底改變基地運作的效率、安全性和人員配置，如基地內各勤務(場面飛行員接送、長官接送、裝備拖曳、場面巡場、驅鳥、查哨及場面清掃FOD等勤務)，搭配各型車運用無人駕駛車輛使用方式(如表3)。⁴⁷

三、運用分析與未來規劃建議

(一)目前空軍運輸作業窒礙

我國空軍目前在運輸作業上，主要仍是依靠人力駕駛車輛，並搭配部分電腦輔助系統(如環景影像、左右轉彎影像及警示音)執行物資補給、物資運輸及人員載運等任務，然而人力、運輸安全及裝備故障率等問題，這些挑戰隊軍事運輸作業

43 同上註。

44 同上註。

45 黃培欽，2017年8月〈國軍運輸車隊管理導入智慧型運輸系統之研究〉，頁25、26。

46 〈疲勞駕駛危險程度＝酒駕！ 研究：睡不到4小時「車禍風險增15倍」〉，《ETtoday新聞雲》，2023年4月，〈<https://health.ettoday.net/news/2474317>〉，(檢索日期：西元2024年10月25日)。

47 姚兆聰，〈機管局引無人車巡邏跑道 明年禁區測試無人駕駛巴士〉，《東網》，2021年11月2日，〈https://hk.on.cc/hk/bkn/cnt/news/20211102/bkn-20211102060050307-1102_00822_001.html〉，(檢索日期：西元2024年10月25日)。

表3 各類型車輛功用及案例

項目	功用	預期效果
人員接送車	負責接送飛行員上下場勤務及所運用車輛，主要負責將飛行員從基地宿舍、行政區或集結區快速運送戰機附近。	無人駕駛接送車輛的引進，使得飛行員接送車不再需要駕駛來控制，自駕車輛能夠透過車聯網的構聯，預先完成路徑規劃，並能動態調整路線，注意機場跑道周遭。
牽引車 (俗稱拖車)	無人駕駛拖車是空軍基地內關鍵的運輸裝備，負責將飛機、航空設備及重型裝備從機庫、維修區等地牽引至指定位置，提升基地運輸作業的效率與精度。	無人駕駛拖車引進，使得裝備拖曳不再需要駕駛來控制，並可與基地內車聯網互聯，實現自動化調度，且具備全天候運作能力，有效提升作業能量、效率與安全性。
查哨巡邏車	查哨車在空軍基地的主要任務是進行巡邏，確保基地的安全性，尤其是飛行區域和機庫週邊的監控。	無人駕駛查哨車輛的引進，能夠根據事先所設定的巡邏路線進行自動巡檢或即時遠端介入操作，無需人員駕駛車輛，依靠的感測器進行自動駕駛，並透過電子圍籬即時偵測異常情況，會迅速發出警報，回報指揮中心。
物流運輸車	物流運輸車在基地運作中發揮關鍵作用，負責將物資從倉庫運送至機庫、辦公室或維修車間等地，確保日常需求的即時滿足。	無人駕駛物流車引進，可運輸關鍵物資(危險品或易碎物品)或零配件至指定地點，提高任務反應效率，以大幅提升基地運作效率與物流安全性。
FOD 清掃車	FOD 清掃車負責基地內機場跑道的清潔和維護工作，尤其是在飛行區域和機庫週邊飛行跑道及滑行道，這些區域需要保持清潔，以確保飛行器的良好運行狀態。	無人清掃車能夠自動完成指定區域的清潔任務，並能根據路況及地面情況調整工作清掃方式；可以透過車上雷達偵測地面上不平之物或損壞處，並立即回傳跑道損壞地點，供後續相關單位進行修繕維護。

資料來源：本表筆者自行整理

產生顯著影響，極需深入探討並尋求具體的改進策略，以確保軍事運輸系統能適應現代化戰爭與應急需求，以下列出幾項面臨之問題(如表4)。

(二)無人駕駛車輛引進於空軍運輸可期優勢

1.減少人力依賴，緩解人力短缺

無人駕駛車輛引進可有效取代部分人工駕駛的任務，特別是重複性、長時間或高風險的運輸工作，這不僅能減少對駕駛人力的依賴，還能緩解由少子化造成的兵源短缺壓力，將人力資源分配至其他更具關鍵性的軍事任務。此外，無人駕駛車輛可實現24小時持續運作，避免因人員疲勞或排班限制導致的效率下降。

2.提升運輸效率，實現動態路線規劃

結合車聯網技術的無人駕駛車輛可接收即時交通資訊、氣象數據及任務需求，進行動態路線規劃與調整。如在軍事行動或災害救援過程中，無人車輛可根據現場情況選擇最佳運輸路徑，避開交通擁堵或受損路段，確保物資能最快速度抵達指定地點，相較傳統人工駕駛，無人駕駛技術能顯著提高運輸的準確性與時效性。

3.強化安全性，降低事故風險

無人駕駛車輛搭載了先進的感測器、雷達與人工智慧技術，能即時監測周圍環境並進行快速反應，有效降低交通事故發生率，相比於人工駕駛，無人車輛能避免疲勞駕駛或人為操作失誤事故。此外，車聯網技術的應用可實現車輛間及車輛與基礎設施的即時通信，進一步提升運

表4 空軍運輸作業窒礙

1. 人力問題	1. 兵源不足：服役人力不足，現役人員無法填補退伍或離職所流失的人力缺口，導致空軍運輸人力短缺。 2. 職務過度負荷：部隊駕駛人員因人力短缺需兼任其他職務（如日常哨勤、裝備檢查、武器維護等）壓縮休息與專業訓練的時間。 3. 專業技術人員流失：除駕駛人員外，原先負責維修及後勤專業人員逐漸流失，使得現役人員需肩負更多專業性任務。
2. 運輸安全性	1. 疲勞駕駛導致事故風險增加：駕駛人員長時間執勤、無法獲得充足的休息時間，導致疲勞駕駛的問題頻繁發生。 2. 車輛老舊與安全設備不足：許多運輸車輛因服役年限過久，機械故障率高且維修成本昂貴；車輛僅配備基礎輔助系統（如倒車雷達、警示音），缺乏先進的駕駛輔助技術（如自動煞車系統或駕駛員狀態監測系統），增加風險。 3. 缺乏標準化安全檢測與流程：現行作業中運輸車輛的安全檢測依賴人工與經驗，缺乏標準化的程序與數位化工具，無法有效監控車輛性能與駕駛員狀態。
3. 效率問題	1. 任務路線不靈活：現行運輸作業依賴駕駛員人工記憶與經驗進行路線規劃，缺乏即時路況更新與交通數據支持，一旦遇到突發情況，難以即時改變路線，影響任務時效。 2. 手動化流程冗長：任務排程、車輛調度與運輸物資記錄多為手動作業，數位化程度低，導致任務執行慢，難以有效追蹤物資實時位置或狀態。
4. 即時性問題	1. 即時數據不足：現行作業缺乏整合即時車輛資訊能力，如交通狀況及車輛資料，難以應對任務執行中的變數，導致整體反應速度緩慢。 2. 智慧化技術應用不足：部分車輛雖配備基礎電腦輔助系統，但整體智慧化程度不足，未廣泛採用智能調度、即時追蹤與自動化導航等技術，作業模式停留在傳統人工運作階段，限制效率提升。

資料來源：本表筆者自行整理

輸安全性，如在多車輛協同運輸任務中，無人車輛可通過網絡共享路況，將可避免

碰撞風險並優化車輛隊列的運行效率。

4.降低運輸成本，提高資源利用率

無人駕駛車輛可實現自動化操作，減少人力成本也可通過即時監測與車聯網技術，實現車輛健康管理與維修預警，降低車輛故障率與維修成本，此外，無人駕駛車輛的高度精準性能最大程度降低能源消耗，將可實現更加環保與經濟的運輸作業。

5.提升軍事行動靈活性與可持續性

在高風險或敵對環境中，無人駕駛車輛可執行危險的運輸任務，如穿越戰區進行物資補給或傷員後送，降低人員暴露在危險可能性，此外，無人車輛具備長時間運行的能力，能夠支持長工時、多波次的軍事行動，提升持續作戰能力。

6.促進數位化與智慧化國防體系建構

引進無人駕駛車輛不僅僅是運輸技術的升級，更是國防數位化與智慧化的重要一步。如結合車聯網技術，可構建高效的軍事物資運輸與管理網絡，實現物資的即時定位與追蹤，並通過數據分析進一步優化資源配置，為未來的智慧國防體系奠定基礎。

(三)未來應用策略規劃

為實現智慧化運輸，未來的規劃目標包括全面取代傳統車輛，實現基地運輸無人駕駛化，提升物資運輸與人員調度的效率與安全性，由智慧化接駁方式滿足人員上移動需求，打造現代化、智慧化的空軍基地運輸模式，樹立軍用運輸的新標準，以達預期達成目標，如淘汰傳統車

輛、減少人力負擔、提升運輸效率、增強基礎，逐步實現全軍智慧化運輸體系故提
 作業安全性及為全面支援無人化技術奠定出，三階段實施策略(如表5)。

表5 三階段實施策略

階段	執行年度	策略
第一階段：基礎建設與車輛技術測試	1-3 年	1. 加強人員技術培訓，並針對維修人員及運輸操作人員轉型。 2. 引進等級 Level 4 自駕車輛，測試基地內特定區域行駛能力及環境感知；或以現有車輛改裝，如加裝光達、攝像頭等感測設備以及電子控制單元 (ECU) 等及配備軍用加密通信設備，支持遠程操控與數據實時回傳。 3. 建立營內無人駕駛車輛初步安全規定，律定安全標準。 4. 測試無人駕駛拖車，逐步淘汰傳統車輛，實現單一化運作管理。 5. 部署智慧感測系統，安裝前置攝影機、雷達與 V2I(車對基礎設施) 通訊設備，實現即時交通監控、路線最佳化及突發問題回應。 6. 建立車輛監管控制平台，並整合現有國軍運輸管理系統，建立車聯網路與車輛實施構聯，以隨時掌握車輛行駛狀況。 7. 強化網絡安全防護，發展自主獨立網路系統，防止駭客入侵或干擾。 8. 模擬車輛在各種狀況 (夜間、雨天、緊急情況) 下，驗證系統穩定性與安全性，並加入車輛強制保險。 9. 以空軍基地試行，先以人員接送、場面清整及場面裝備拖運為主；試行區域設置通信基站，支持 V2X 技術，用於實時任務分派與監控；另查哨路徑、跑道及裝備調度區設置專屬充電站與臨時維修點。
第二階段：擴大局部應用範圍與系統優化整合	3-5 年	1. 無人駕駛車輛應用： (1) 物資運輸及裝備拖運：在基地內部設置固定路線，執行運送補給物品、器材及非危險物資或拖曳裝備。 (2) 人員接駁：在內部重要地點設置無人基地接駁站，並在基地外通勤入口設置接駁樞紐站點，並提供彈性調度支援特殊任務需求，實現無人化接駁。 (3) 在可控範圍內，試行遠端監控與部分自主決策能力，逐步提升無人車輛的獨立作業能力。 2. 系統優化整合： (1) 優化車輛監管控制平台，實現車輛動態監控、路線規劃及即時調度，並整合其他資訊系統 (如後勤管理系統) 或三軍共用系統，提升效率。 (2) 與其它無人系統構聯，實現跨部門資料共享及智慧化運輸管理，未來支援三軍聯合作戰。 3. 網路駕構： (1) 增強及優化獨立網路系統及增加遠端連線範圍，作為未來獨立軍事區域網路的前置階段。 (2) 透過數據收集與模擬測試，評估全基地無人駕駛技術的適應性，確保第三階段的技術部署更加順利。
第三階段：全面部署與系統優化	5 年以上	1. 擴大車輛應用範圍，跨縣市營外運輸，涵蓋危險物資 (如彈藥) 運輸及演習期間的緊急支援。 2. 配備高階感測器及人工智慧安全系統，確保車輛在惡劣複雜環境下穩定運作。 3. 應用人工智慧技術進行動態調度與路徑優化，提升運輸效率。 4. 設定緊急應變模式，快速調整任務配置應對突發需求。 5. 完善原有獨立軍事區域網路，以提升無人駕駛車輛運行安全性與保密性，將無人駕駛車輛與其他無人系統 (如無人機、無人艦艇等) 連接在同一處網路，實現各系統間的無縫連動和即時通訊。

資料來源：本表筆者自行整理

四、無人駕駛車輛引進單一基地與效益分析

空軍松山基地指揮部(松指部)，採路線規劃、人員與車輛協同作業模式，並結合國內外廠商的技術支援，實現無人化與人力資源最佳化，並以基地內查哨、FOD及裝備拖曳等任務作為試驗範疇，區分三階段試驗，其成效將供未來建軍備戰之參考運用。

(一)地點與路線規劃

1.試行地點為松山指揮部內特定重點區域

(1)經理庫房：作為物資裝載的起點。

(2)裝備區與停機坪：測試定點拖車拖曳與地面作業整合能力。

(3)跑道維修區：模擬戰時緊急物資配送情境。

(4)指揮中心：作為人員與車輛協同操作的管理點。

(5)跑道區域：作為FOD清理與裝備

曳引作業的主要場景。

(6)機棚及機坪周邊：測試查哨任務自動化路線的穩定性與效率。

2.路線規劃

(1)查哨路線：設定繞行機棚與停機坪或是機場外環的固定路線，用於巡檢區域狀態(如停放裝備位置、異常活動偵測)。

(2)FOD清理路線：跑道中心線搭配兩側清理區域，測試無人車自動檢測與清除異物的能力(測試初期可搭配人力偕同驗證)。

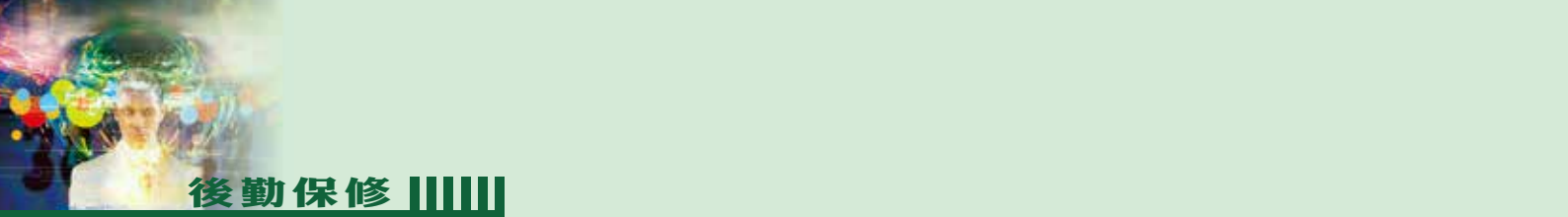
(3)裝備拖曳路線：從裝備區至停機坪或機庫堡的固定路線，用於模擬運輸拖曳飛機裝備或維修裝備的拖曳作業。

(4)人員運輸路線：從飛行員寢室或作戰隊至機庫堡與停機坪的固定路線，用於模擬運輸車輛載運人員至飛行線。

(二)作法以階段性區分為三階段實施(如表6)

表6 試行作法階段操作方式統計表

階段	勤務區分	操作方式
第一階段 無人駕駛車輛與 人員分工測試 (3-6 個月)	查哨巡邏作業	1. 操作模式：事先設定多條巡邏路徑，如 A 繞行機棚、B 停機坪與 C 指揮中心及 D 機場外環或 BCDA、CDAB 等構成多重巡檢路徑；車輛自動行駛並記錄環境影像。 2. 人員：1 名控制人員遠端監控，查看巡邏區域狀態；1 名駕駛人員或查哨官隨車監測。 3. 車輛裝備需求：中型電動車輛配備紅外線攝影機、環境感測器及通信模組，支援即時監控，另測試日間和夜間巡檢能力，特別是異常檢測。
	FOD 清理作業	1. 操作模式：無人清掃車輛預設跑道長度及寬度自動巡檢跑道，如覆蓋跑道中心線及兩側清理區域，全長 1.8 公里，進行異物檢測與清理效率測試；另通過 AI 分析檢測異物，發現異物後，自動啟動清理模組，清除或吸附異物，完成後記錄清理結果。 2. 人員：初期搭配人力偕同上場面執行 FOD，原可搭配車輛減少 8 人，並由 1 人隨車執行作業。 3. 車輛配置：具高速攝像頭與真空清理裝置。



後勤保修

第一階段 無人駕駛車輛與 人員分工測試 (3-6 個月)	裝備拖曳作業	1. 操作模式：駕駛人員或需載運人員在裝備區預設目的地（如跑道末端、倉庫、維修棚廠或機庫等），由人員隨車至目標點，待車輛拖曳裝備至指定目的地後，由目標人員卸下裝備。 2. 人員：初期由駕駛人員及載運裝備隨車人員，偕同無人駕駛車輛執行拖曳作業，觀察車輛自動運行的情況。 3. 車輛配置：拖曳能力達 2 噸的無人車，配備精準導航系統與自動掛鉤設備。
	人員載運 (飛行員接送)	1. 操作模式：飛行員致電控制中心派遣無人駕駛車輛至指定地點（如飛官寢室、作戰隊部），再由飛行員操作設定車輛目標地或透過車輛語音與控制中心聯繫告知指定地點。 2. 人員：初期 1 名操作人員偕同無人駕駛車輛執行運輸，觀察車輛行進，發生狀況介入車輛控制。 3. 車輛配置：小型無人巴士 (EZ100)，配備精準導航系統與攝影機、環境感測器及實時通信模組，支援即實監控。
第二階段：人車 協同作業優化 (6-12 個月)	查哨與人員巡 檢結合	白天由人員輔助無人駕駛車輛巡檢，處理車輛標記的疑似異常點；夜間全賴無人車輛自動巡檢，減少人員參與，並優化車輛導航路徑、行駛行為及突發情況應處。
	FOD 清理作業 優化	逐步減少人員的清理參與比例，測試無人駕駛清掃車全自動執行能力；增強跑道突發狀況處理能力，如大型障礙物的識別與繞行。
	裝備拖曳 任務分工	無人駕駛車輛完成常規裝備運輸由遠端操作人員監控，使用單位人員隨車執行裝備拖曳，狀況發生透過車輛回報遠端控制人員協處。
	人員運送 (飛行員接送)	飛行員致電控制中心派遣無人駕駛車輛至指定地點，再由飛行員操作設定車輛目標地或透過車輛語音與控制中心聯繫告知指定地點。
第三階段：全自 動運行測試 (12-18 個月)	全自動查哨 與記錄	無人駕駛車輛在夜間及惡劣天候下完成查哨任務，同步生成巡檢報告。
	FOD 作業模擬 戰時應用	測試多車同時協同跑道快速清理，確保跑道短時間恢復。
	裝備拖曳作業 標準化	建立標準固定拖曳模式與緊急支援模式，應用於例行作業及大型演習場景，測試多車運輸協調性。
	人員運送 (飛行員接送)	平時建立固定人員運送模式，戰時或演訓可考慮演訓緊急，恢復人力運輸執行飛行員接送。
風險與應對 措施	強化法規與標 準制定	制定基地無人駕駛運行規範，包含行駛速度限制、路線優先權及事故責任標準。排定車輛定期維護檢查及系統更新，確保運作安全與穩定性。
	教育與訓練	提供無人駕駛車輛操作及管理系統的專業訓練，確保接駁系統，可立即使用。成立專業技術維護團隊負責車輛及基礎設施保養與維修
	資安防護與通 訊保護	對車聯網平台進行加密與防護，防止資料外洩及外部攻擊。建立資源和緊急應變計劃，以因應網路攻擊和技術故障。
預期成 果效益	1. 減少 50% 以上的查哨人力，提升夜間巡檢效率。 例：現行部隊為每 2 小時一班，計 12 班，駕駛 1 員及查哨官員 1 員，如使用無人巡檢車替代人力查哨，可由車輛自行巡檢偵測替代原駕駛任務，或是搭配人力（查哨官）。 2. 跑道清理作業時間縮短 30%，提高任務執行效率。 例：現行部隊執行跑道清理作業，以主跑道為例，南北跑道依規定需派遣各 12 員，計 24 員，傳統以人力執行平均約為 30 分鐘，如引進無人車輛執行，可不再透過人力確認異物，由車輛即時偵測確認並清除，並透過 AI 控制自動規劃路線，且可同時運用多台執行，使清理作業更高效。 3. 降低人員暴露高風險環境比例，提升作業安全性。	

資料來源：本表筆者自行整理

(三)效益分析

本分析假設進行無人駕駛車輛引進，配置裝備拖曳車2輛、機場查哨車2輛、機場接駁小巴(EZ100)2輛、FOD清掃車2輛，並針對直購成本、車輛升級成本、間接成本、年度運行成本及裝備年限與每月維護成本詳細分過，參考特斯拉近

期推出無人計程車售價(新台幣約96萬，以下幣值為新台幣)為依據假設金額，⁴⁸ 摘述如下：

- 1.車輛、基礎建設及人員訓練成本(如表7)。
- 2.長期效益成本(如表8)。
- 3.成本效益量化總結統計(如表9)。

表7 車輛、基礎建設及人員訓練成本統計

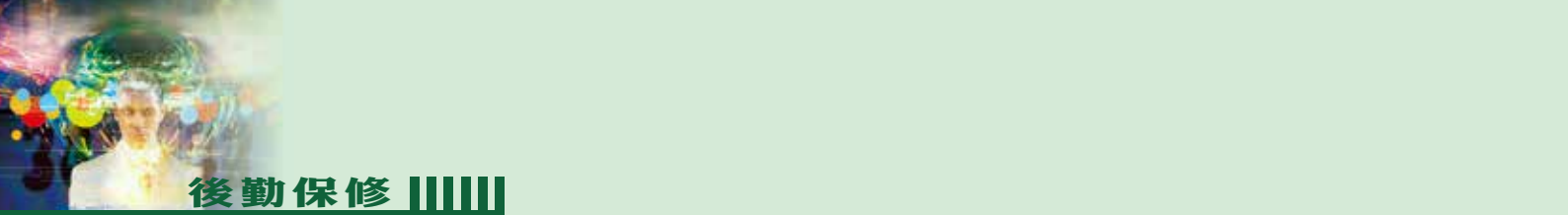
項目	細分	成本
車輛購置	1. 裝備拖曳車：2 輛，每輛購置費用 250 萬。 2. 機場巡檢車：2 輛，每輛購置費用 200 萬。 3. 機場接駁小巴 (EZ100)：2 輛，每輛購置費用 300 萬。 4.FOD 清掃車：2 輛，每輛購置費用 150 萬。	1,800 萬
現有車型升級改裝	依上述車型，初估每輛技術升級 (軍事等級) 成本：100 萬。	800 萬
間接成本	1. 車聯網基礎設施：1,000 萬 (包括 5G 通訊設施、智能監控設備、智慧停車場)。 2. 道路與環境改造：2,000 萬 (提升道路標誌清晰度、建設電子圍欄、智能信號燈等)。 3. 數據中心與控制系統：2,000 萬 (運行監控中心及數據分析設施)。 4. 人員培訓成本：每年 200 萬。 5. 車輛日常維護：每輛車 10 萬 / 年，8 輛車合計 80 萬 / 年，年度總維護與培訓成本：280 萬 / 年。	5,280 萬
折舊成本	假設裝備使用年限 10 年，購置成本與升級成本攤提至每年總購置成本 1,800 萬、升級成本 800 萬，每年折舊成本：260 萬 (成本 / 年)	260 萬

資料來源：本表筆者自行整理

表8 長期效益成本

項目	細分	人力 (成本)
現行人員裝備需求	1. 人員需求 (剔除勤務性質的成本影響)： (1) 全職人員： 裝備拖曳車：每輛 1 名駕駛人員，2 輛共需 2 名人員。 接駁小巴：每輛 1 名駕駛人員，2 輛共需 2 員。 機場查哨車：每輛 1 名駕駛人員，2 輛共需 2 名駕駛人員。 全職人員計 6 員。 (2) 勤務性質 (本研究計算勤務人力成本，考量此類勤務並非正職額外兼職，而是現職軍人於本職工作外之勤務，因此未引用國軍相關薪資條例，而是依據實際執行時間進行工時成本計算)： A. 機場查哨 (巡查人員)：由各單位輪流，每 2 小時一班，巡查人員多為其他勤務人員兼任人員計 12 員。 B. FOD 清掃：由各單位派員至指定地點打掃，以主跑道為例，南北跑道各 12 名人員，共 24 員。	42 員 /1,044 萬

48 中天新聞〈特斯拉無人駕駛計程車首登場！售價料97萬台幣〉，《雅虎新聞》，2024年10月11日，〈<https://tw.news.yahoo.com/%E7%89%B9%E6%96%AF%E6%8B%89%E7%84%A1%E4%BA%BA%E9%A7%95%E9%A7%9B%E8%A8%88%E7%A8%8B%E8%BB%8A%E9%A6%96%E7%99%BB%E5%A0%B4-%E5%94%AE%E5%83%B9%E6%96%9997%E8%90%AC%E5%8F%B0%E5%B9%A3-094958374.html>〉，(檢索日期2025年1月3日)。



後勤保修

現行人員 裝備需求	總計上述勤務人力計 36 員。 2. 人力工時成本 (假設每人年薪 60 萬) : (1) 全職工時成本計算：6 人 ×60 萬 =360 萬 / 年。 例：假設全職人員 (含查哨駕駛) 一天上班 12 小時 (早上 5 點至下午 5 點，查哨駕駛分為日間及夜間)，一個月 30 天，月休 10 天，每月薪資五萬，日薪為 2,500 元，時薪約為 208 元。 (2) 勤務工時成本計算： 例：假設此兩項勤務，佔一天工時的 2.5 小時 (FOD 清掃每日清掃時數短約為 30 分鐘，查哨 (巡查) 人員亦為支援性職務時數 2 小時)。 2.5 小時 ×208 (時薪)×365 天 (年)=189,800 元 (略計 19 萬)。 36 員 ×19 萬 =684 萬 / 年。	42 員 /1,044 萬
無人駕駛 車輛引進 後 人力需求	1. 人員需求： 裝備拖曳車：每 2 輛 1 名遠端監控員。 接駁小巴：每 2 輛 1 名遠端監控員。 機場查哨車：每 2 輛 1 名遠端監控員，引進初期可能再搭配一名駕駛或巡查人員，如有異常狀況隨時介入車輛操控或情況回報。 FOD 清掃車：每 2 輛 1 名遠端監控員，引進初期可能再搭配一名隨車人員隨時監測裝備清掃情況。 總人力需求：6 員。 2. 人力成本：每人年薪 60 萬：6 員 ×60 萬 =360 萬新台幣 / 年。	4 員 /240 萬
	每年節省人力成本 1,044 萬 -360 萬元 =684 萬	
其他 成本	1. 運輸效率提升 (效率提高 30%)：每年增值約 1,095 萬新台幣。 例：裝備拖曳車每日有 10 趟任務，傳統運輸 (平均工作時間 120 分鐘)，駕駛人員有休息時間與換班限制，無法 24 小時不間斷作業；如無人駕駛車輛引進後，僅需一名監控員透過系統來監控車輛作業情況，且裝備可 24 小時運作，亦可增加 3 趟運輸作業 (效率提升 30%)。假設單次運輸的成本效益 (燃油、人力、時間等) 為 10,000 元 / 趟，則：每日增加 3 趟 → 每日增值 3 萬元，一年就是 1095 萬。 2. 事故率 (疲勞駕駛與人為失誤) 降低：節省事故處理成本 160 萬 / 年。 例：假設傳統模式下，每年因疲勞駕駛或人為失誤導致 10 起事故單次事故維修與人員醫療成本：每起 20 萬元，年度 10 起就是 200 萬；如引進無人駕駛車輛，疲勞駕駛及人為失誤起碼減少 80%，事故降至 2 起為一年 40 萬。 3. 設備壽命延長：智能管理延長設備壽命，節省 160 萬 / 年。 例：傳統軍用車輛報廢年限為 15 年，但因駕駛行為不當、維護不足，實際壽命為 12 年，軍方每年報廢 1 至 2 輛車，每輛成本 80 萬，每年報廢成本就是 160 萬，假設引進無人車輛由 AI 監測車況，減少急加速、急剎車，提升維修精準度車輛壽命延長 20%，從 12 年提升至 14 年，年報廢數量減少至 1 輛，將節省 80 萬維修或報廢成本。	1,415 萬

資料來源：本表筆者自行整理

表9 效益量化總結統計

	項目	成本
初期 投入 成本	車輛購置	1,800 萬
	車輛升級	800 萬
	基礎設施改造	5,000 萬
	總計	7,600 萬
年度 運行 成本	車輛日常維護	80 萬
	人員培訓成本	200 萬
	折舊成本 (10 年攤提)	260 萬
	總計	540 萬

年度 效益	人力成本節省	684 萬
	運輸效率提升	1,095 萬
	事故率降低	160 萬
	設備壽命延長	160 萬
	總計	2,099 萬
回本週期 計算	初期投入：7,600 萬。 年度淨效益：2,099 萬 (效益) -540 萬 (成本) =1,559 萬。 回本週期：7,600 萬 ÷1,679 萬 (年)= 約 4.9 年。	

資料來源：本表筆者自行整理

結 論

無人駕駛車輛技術的應用，為空軍運輸作業提供了一條可行的發展路徑，在面對少子化與兵力縮減，導致的人力資源短缺壓力下，無人駕駛車輛不僅可以有效降低人力依賴，顯著提升運輸效率、操作精準度及整體安全性，透過引進此項裝備技術，空軍運輸作業將逐步邁向自動化與智慧化，解決傳統作業諸多瓶頸，並在政策支持與技術進步的雙重助力下，無人駕駛車輛之技術運用，不再是未來遠景，而是可以即刻實踐的解決方案。然在空軍運輸需求中，短距離、高頻次及多場景的特點與這項裝備技術高度契合，例如文獻內提到中國香港機場內運用無人接駁巴士、無人拖車、無人巡檢車以及我國桃園虎頭山運用的無人清掃車，均是符合我空軍機場運輸作業上的運用，然引進無人駕駛車輛需要審慎規劃，初期雖需較高的資本投入，但其運行與維護成本穩定，且能在一定期間內回收投資成本，如以空軍基地作為技術試驗場，政府可逐步測試無人駕駛技術實用性，從基礎物資配送到模擬戰場演訓運輸作業，逐步累積實際應用經驗，為未來大規模的推廣奠定基礎。

綜上所述，引進無人駕駛車輛深具意涵，不僅能直接解決現階段空軍運輸作業面臨的困境，更名為台灣國防現代化帶來深遠影響，在未來，隨著技術的不斷突破與政策的持續推進，無人駕駛技術勢必

成為國防領域的重要推動力量，為國家安全與科技發展注入新的動能。

作者簡介

蔡昌儒少校，國防大學空軍學院114年班少校學員。空軍航空技術學院101年班、大漢技術學院物流與企業管理109年碩士專班，曾任輪型車輛修護官、五聯隊後勤科運輸官、空軍司令部戰訓處戰整組作戰官、空軍基訓部副中隊長。

何昶逸中校，國防大學空軍學院作戰支援組教官。陸軍官校93年班，空軍指揮參謀學院105年班、戰爭學院112年班、政治大學外交系戰略與國際事務學院碩士，曾任防空飛彈部隊連、營長、飛彈預警中心管制長、防空旅作戰科長。

羅文成中校，國防大學空軍學院作戰支援組教官。空軍官校88年班，空軍指揮參謀學院103年班、大葉大學資訊管理所碩士，曾任飛行官、攔管官、領航官、訓參官、教官、隊長、研究教官。

