

電動農用搬運車研製與性能測試

連振昌¹、顏炳郎²、李汪盛³、李旻杰¹、眉君翰¹

¹ 國立嘉義大學生物機電工程學系

² 國立台灣大學生物機電工程學系

³ 農業部桃園區農業改良場

摘要

隨著全球對永續發展、碳排放減量及智慧農業推廣之重視，傳統以內燃機為動力之農業搬運設備面臨轉型挑戰。本研究與順農工業公司合作針對現有柴油農用搬運車進行電動化改良與性能測定。以現行農地搬運車性能測定方法及暫行基準(TS11)規範進行測試，其內容為搬運車規格、速度測試、爬坡能力、剎車測試、迴轉半徑測定、續航力測試等。車體設計沿用原柴油車骨架，動力系統以 6 kW 電動馬達取代傳統引擎，搭配兩顆 36V-120 AH 磷酸鋰鐵電池串聯供應 DC72V 之電源。測試結果顯示，本車於低速檔且無負載時，時速為 18.9 km/h；全負載(500 kg)則為 16.5 km/h。連續作業測試結果顯示，無負載時其續航力為 41.94 公里(行駛時間約 3.29 小時)，全負載時續航力則下降至 26.65 公里(行駛時間約 2.06 小時)。本研究開發之電動農用搬運車於各項性能測試均符合現行規範，具備推廣及量產應用之可行性，可作為國內農民選購電動化農業搬運設備之參考。

關鍵詞：電動化農機、電動搬運車、性能測定

緒論

近年來隨著全球氣候變遷與環境保護意識日益提升，農業生產面臨著轉型與升級的挑戰。傳統以柴油或汽油為動力的農機，雖然在農業生產中扮演重要角色，但內燃機因燃燒化石燃料而產生大量二氧化碳及其他污染物，成為環境保護與永續發展的重要課題。為了達成農業永續發展及減少溫室氣體排放，國際間紛紛制定碳中和與零排放的政策目標^[1]，推動傳統燃油動力系統向電動化轉型已成為必然趨勢。

材料與方法

本研究計畫與順農工業公司配合開發製作完成電動農用搬運車，其車體總重 1080 kg，動力源採用碩陽電機股份有限公司的直流無刷馬達，其額定功率及轉速分別為 6 kW 及 3,600 rpm。本車使用 2 顆 36V-120 Ah 磷酸鐵鋰電池串聯供應 DC 72V 之電源，採用 AC 220V6A 充

電器(HBLHBL-87.6V18A-L)，充電 6-7 小時可充滿。電動農用搬運車以鑰匙式開關控制電源開啟，速度經由加速踏板控制速度增減。電動馬達的動力藉由皮帶傳動至離合器，經變速箱變換檔位轉速，再利用傳動軸傳送至前、後差速器，來驅動前輪與後輪使轉彎順暢，如圖 1 所示為電動農用搬運車的電動馬達的動力配備與輸送。

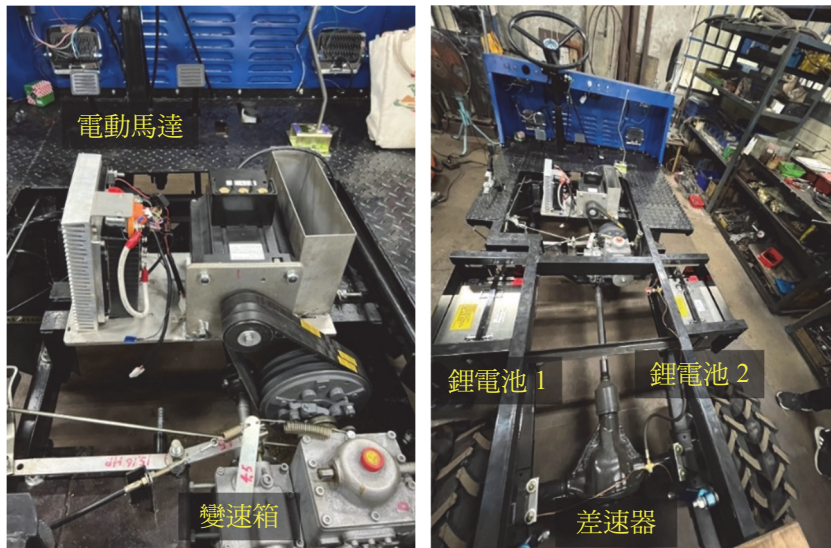


圖 1、電動農用搬運車的電動馬達動力配備與輸送

本車車體尺寸為長度 341 cm、寬度 141 cm 及高度 142 cm，並依據農試所公告農地搬運車性能測定方法及暫行基準(TS11)標準^[2]完成空車及負載性能測定試驗，如表 1 所示。負載測試進行時，以曳引機標準配重塊(500 kg)作為本車於平地試驗負載測試之配重；坡地試驗設置配重目標為 300 kg，採用礦泉水設置於車輛後斗，每箱約 14.4 kg 共放置 21 箱，其總配重約 302.4 kg，如圖 2 所示。



圖 2、電動農用搬運車其負載試驗配重

表 1、電動農用搬運車空車及全負載性能測定試驗項目表

類別	測試項目	無負載試驗	負載試驗*
平地試驗	打滑率	○	○
	各檔速度量測	○	○
	最小轉彎半徑	○	無需測試
	連續作業時間	○	○
	靜態側面翻覆角	○	無需測試
煞車試驗	平地拖動距離	○	○
	坡地停駐測試	無需測試	○
坡地試驗	打滑率及行進速度	○	○
	爬坡能力試驗	○	○

* 負載試驗於平地試驗設置配重 500 kg、坡地試驗設置配重 300 kg

結果與討論

一、最小轉彎半徑

利用滴水壓印痕跡來量測電動搬運車的最小轉彎半徑，將電動農用搬運車方向盤轉至極限位置，在迴轉方向的外側引流水滴於前輪輪胎行駛軌跡的後方，得到電動搬運車繞行兩圈的水滴軌跡，右轉及左轉各進行 3 次測試。以皮尺量測滴水壓印痕跡的最大直徑距離除以二以計算最小轉彎半徑，如圖 3 所示。電動搬運車的最小轉彎半徑在左轉及右轉時，其平均值分別為 5.26 公尺及 5.30 公尺，如表 2 所示。



圖 3、利用滴水壓印法量測電動搬運車轉彎繞行的軌跡及量測

表 2、平地試驗下電動農用搬運車其最小轉彎半徑

方向	最小轉彎半徑 (m)			
	第一次測試	第二次測試	第三次測試	平均值
左轉彎	5.28	5.24	5.27	5.26
右轉彎	5.30	5.31	5.30	5.30

二、靜態側面翻覆角

電動農用搬運車於空載狀態下，使用龍門式起重機來掛吊電動農用搬運車的側面以進行靜態側面翻覆角測試，逐漸提升起重機以使電動農用搬運車產生側面傾斜，直至即將翻覆時停止，由放置在載台後方角度儀讀取傾斜角度並記錄；在電動農用搬運車掛吊側使用強力繩懸接曳引機，以避免電動農用搬運車在測試過程翻覆，如圖 4 所示。電動農用搬運車空載下，在左傾斜及右傾斜的靜態側面翻覆角分別為 35.7 度及 36.5 度，顯示本車符合農用搬運車安全性能的要求(空車靜態時側面翻覆角應達 35 度以上)。



圖 4、電動農用搬運車在空車靜態時進行側面翻覆角測定

三、打滑率測試

平地試驗打滑率測試以人力方式搬運車前進及後退，分別以量測人力推動及動力驅動方式前進及後退 6 圈時，車輪平均轉一圈行走之距離並分別紀錄為 N_0 及 N ，將 N_0 及 N 代入打滑率公式(式 3-1)計算其打滑率(%)。

$$\frac{N_0 - N}{N_0} \times 100\% \quad (3-1)$$

試驗結果如表 3 所示，由表中可知電動農用搬運車於載重 500 kg 時，其前進及後退打滑率分別為 0.58%及 1.56%，負載狀態打滑率均較空車狀態高。

表 3、平地試驗下電動農用搬運車其打滑率測試結果

狀態	項目	前進		後退	
		人力(N ₀)	動力(N)	人力(N ₀)	動力(N)
空車	每圈距離(m)	1.742	1.738	1.730	1.725
	行進速度(km/h)	---	1.98	---	1.98
	打滑率(%)	0.19		0.29	
負載	每圈距離(m)	1.733	1.712	1.712	1.685
	行進速度(km/h)	---	1.97	---	1.95
	打滑率(%)	0.58		1.56	

四、最高速度測試

各檔位最高速度測試在平地進行試驗，在空車及載重 500 kg 兩種情況下，以全速行駛測定其各檔位最高速度。試驗過程以全油門方式衝刺，經過 10 公尺起始位置以碼表開始計時至結束位置停止計時，紀錄時間並計算出各檔位速度以作為最高速度，如表 4 所示。由表中可知，在低速第 3 檔下，空車及載重 500 kg 其最大時速分別為 19.94 km/h 及 16.50 km/h；倒車 R 檔時，其最大時速差異不大，分別為 5.92 km/h 及 5.72 km/h。

表 4、電動農用搬運車低速檔(L)各檔位最大時速測試結果比較

狀態	低速檔(L)各檔位最大時速(km/h)			
	1 檔	2 檔	3 檔	R 檔
空車	5.98±0.06*	12.22±0.08	19.94±0.20	5.92±0.10
負載	5.15±0.05	12.07±0.07	16.50±0.21	5.72±0.07

* 平均值±標準差，共實驗 3 次

五、連續作業試驗

使用 GPS 軌跡紀錄儀來紀錄電動農用搬運車在低速 3 檔下其電池續航力測試，連續作業試驗及電池續航力是以電動農用搬運車於空車及載重 500 kg 兩種情況下進行連續性測試，測試結果如表 5 所示，可知空車狀態下行駛時間約 3 小時 17 分 26 秒，總行駛距離為 41.94 公里，及載重 500 kg 狀態下的行駛時間約為 2 小時 3 分 37 秒，總行駛距離為 26.65 公里。

表 5、電動農用搬運車連續作業的電池續航力

狀 態	行駛時間 (h : m : s)	行駛公里 (km)	平均速度 (km/hr)
空車	3:17:26	41.94	12.7
負載(500 kg)	2:03:37	26.65	13.3

六、拖動距離試驗

平地煞車試驗中的拖動距離測試為電動農用搬運車在空車及載重 500 kg 兩種情況下，以低速 3 檔全速行駛於路面上，突然緊急煞車以觀察其煞車功能，同時測量其各輪胎之拖動距離，如圖 5 所示。搬運車以全油門方式衝刺，經過石灰粉區前 10 公尺起始位置開始計時至結束位置，並計算出緊急煞車前的速度，作為最高速度並記錄，依規範煞車拖動距離(m)必須不大於時速(km/h)值之 15%，測試結果如表 6 所示，在空車及載重 500 kg 兩種情況下其煞車拖動距離均符合規範。



圖 5、電動農用搬運車其拖動距離測試現場圖照

表 6、電動農用搬運車煞車拖動距離試驗結果

狀態	車輪位置	拖行距離(m)	速度(km/hr)	規範值*	是否符合規範
空車	左前	1.58±0.02**	19.16	2.87	符合
	右前	1.60±0.02			符合
	左後	1.62±0.02			符合
	右後	1.63±0.03			符合
負載	左前	1.35±0.02	12.50	1.88	符合
	右前	1.35±0.04			符合
	左後	1.44±0.04			符合
	右後	1.43±0.02			符合

* 平地之煞車拖動距離(m)必須不大於時速(km/h)值之 15%。

** 平均值±標準差，共實驗 3 次

七、坡地停駐測試

在載重 300 kg 下，於上坡與下坡中煞車，固定手煞車並關閉動力源十分鐘，以觀察其在坡面上是否能停駐，於坡度傾斜 16 度(規範至少 15 度)的坡地進行煞車停駐測試，試驗結果顯示符合測試規範，如圖 6 所示。在空車及載重 300 kg 情況下，當車行進至坡面上時，令其煞車並關閉動力源，然後再令其發動前進，以觀察其爬坡能力與安全性能。由爬坡能力試驗結果顯示其測試結果符合規範。



圖 6、電動農用搬運車其坡地煞車停駐測試現場圖照

八、坡地打滑率測試

在空車及載重 300 kg 下，於上坡與下坡中進行坡地打滑率測試，標記輪胎起始位置，以動力方式上坡及下坡搬運車，並計算輪胎標記圈數 6 圈，量測動力上坡及下坡時，車輪回轉一圈行走之距離並紀錄為 N。將結果代入打滑率公式(式 3-1)，計算上坡及下坡的打滑率(%)，同時以碼表量測行進 10 m 的時間並計算其行進速度，試驗結果如表 7 所示。由表中可知空車狀態下，上坡及下坡的打滑率分別為 3.44%及-4.24%，而載重 300 kg 情況下，上坡及下坡的打滑率則分別為 3.58%及-4.48%，顯示其打滑率結果相近。

表 7、電動農用搬運車坡地打滑率測試結果

狀態	項目	上坡		下坡	
		人力(N ₀)	動力(N)	人力(N ₀)	動力(N)
空車	每圈距離(m)	1.742*	1.682	1.730	1.803
	行進速度(km/h)	---	5.16	---	11.20
	打滑率(%)		3.44		-4.24
負載	每圈距離(m)	1.733	1.672	1.712	1.788
	行進速度(km/h)	---	5.22	---	7.24
	打滑率(%)		3.58		-4.48

* 負載 300 kg 進行測試並計算打滑率

結 論

本研究開發之電動農用搬運車於各項性能測試均符合現行規範，測試結果顯示，本車於低速 3 檔且無負載時，時速為 19.94 km/h；負載(500 kg)則為 16.50 km/h。連續作業測試結果顯示，無負載時其續航力為 41.94 公里(行駛時間約 3.29 小時)，負載(500 kg)時續航力則下降至 26.65 公里(行駛時間約 2.06 小時)。本車除了永續及減碳效益外，更具備推廣及量產應用之潛力，能作為國內農民選購電動化農業搬運設備之參考依據。

誌 謝

本研究感謝農業部計畫經費支持(計畫編號 114 農科-11.2.2-科-01(1))，以及順農工業公司協助，謹此致謝。

參考文獻

1. IEA. 2023. CO2 Emissions in 2022. Available at
<https://iea.blob.core.windows.net/assets/3c8fa115-35c4-4474-b237-1b00424c8844/CO2Emissionsin2022.pdf>
2. 農業部農業試驗所農業工程組(2025)。農機(具)性能測定。2025年8月12日，取自
<https://www.tari.gov.tw/sub/content/index.asp?Parser=1,30,416,386,404>

