

電動農機技術——電池特性及應用

作物環境科 副研究員 吳有恒 分機 343

一、前言

隨著全球氣候變遷加劇，減少碳排放、實現淨零已成為全民共識，農業部門正以積極的手段面對此項挑戰。在農業機械方面，由於傳統農機使用的內燃引擎是以柴油或汽油為燃料，其排放大量的二氧化碳與氮氧化物，直接對大氣環境帶來不良的影響；相比之下，電動農機因使用馬達、電池來驅動，無燃燒過程，因此，無直接碳排放產生，有助於農業機械在淨零碳排放目標上發揮助力。

農機電動化對於促進農機轉型具有重大價值，不但可減少對化石燃料的依賴，也可增強再生能源的應用潛力。如農場中採用太陽能或風能來為電動農機充電，即可形成綠色的循環體系，實現真正的零碳排放。這不僅有助於實現環保目標，還可提升農業生產效益，減少燃料成本支出。

近年由於電池技術的提升，為電動農機的開發提供了更為廣泛的可能性。隨著鋰離子電池和磷酸鐵鋰電池等技術的逐漸成熟，電動農機的續航力和性能顯著提升，使其能夠滿足大規模的農業生產需求。以馬達、電池替代傳統內燃引擎不僅能為農業生產注入可持續的動力，也與淨零排放目標高度契合。隨著電動農機技術的進一步發展，農機綠色轉型將變得更加全面與深入，而提供能量來源的電池，其角色也將更加吃重。

二、電動農機電池所需的特性

(一) 高能量密度：在農業生產中，農機作業通常需要長時間且不間斷的進行，電動農機電池需在有限的空間與重量條件下提供大量的電力。因此，一般電動農機的電池能量密度達200 Wh/kg以上較為理想，以確保電動農機可持續工作數小時甚或更長的時間。電池的能量密度高代表著單位重量下可儲存更多的電力，可減少電池充電頻率，增加工作時間的持續性。

(二) 高循環壽命(註1)：電動農機電池通常需要頻繁地充放電，因此，電池需具備高循環壽命，以確保電池長期使用後仍能保持良好的性能，降低更換與維護的頻率。一般電動農機電池至少要有2,000-3,000次以上的充放電循環壽命，才可支持機械的長期使用。具備高循環壽命的電池可在多次充放電後，仍能維持穩定的性能，如此可確保電動農機高效且持久地運行。

(三) 高安全性和耐用性：農機作業多在戶外且工作環境普遍不佳，需同時承受環境的高溫、低溫、濕氣、塵土和震動。因此，電池必須在嚴苛環境下防止過熱及短路問題發生，以維持穩定、安全的運作。一般電池需符合IP67或以上的防水防塵標準，同時，還需具備過充、過放及短路保護等多重安全機制。透過多項保護措施確保電池在惡劣環境中仍能穩定工作，防

止因環境變化造成的電池損壞或安全事故發生。

(四) 高充電效率：農業作業多為高強度且作業安排緊湊，因此，電動農機需能快速充電以縮短農機停機等待時間。電動農機電池的充電效率一般需可在1-2小時內充滿80%的電量，以支援農機高峰時段的連續作業。具備高充電效率可以讓農機更快速投入使用，有助於提升作業效率並減少等待時間。

(五) 高放電倍率(註2)：農機在耕作時常有高負載需求，因此，電池供電必須穩定且功率充足，以防止電壓快速下降或斷電停機，確保機械運作流暢，尤其是耕作、翻土等需要穩定動力的作業。以割草機這類功率需求較低的農機而言，放電倍率1C-2C可滿足一般需求。小型中耕機通常需要2C-3C的放電倍率，以確保在較重負荷下可穩定輸出電流。而如電動曳引機這類機械因需要瞬間大電流來驅動高負載運作，其放電倍率需求更高，一般需到3C-5C。若須於短時間內提供機械更高功率，則電動農機電池需設計更高的放電倍率來應對。

(六) 良好的低溫性能：為滿足電動農機的低溫作業需求，環境溫度0-15°C時，電池應能保持至少80%以上的額定容量(註3)輸出；而在-20-0°C時，也要能維持70%-80%的額定容量輸出，這樣才能滿足機械的正常運作需求。此外，低溫通常會影響電池的放電效率(註4)，但良好的電動農機電池於

0-15°C低溫時，應要能維持接近90%的額定放電效率，以確保能量輸出穩定，滿足農機的高功率需求；同時，也要有80%-90%的充電速率，以避免充電時間過長。低溫性能優良的電池可確保機械在冬季或寒冷氣候中穩定作業，不因低溫而大幅減少電量供應或影響性能。

(七) 良好的重量與體積比：電池的重量與體積直接影響電動農機的機動性和作業效率，過重會導致農機負擔增加，過大則會影響機械結構的設計。較佳的電動農機電池重量與體積比應低於5 kg/kWh，此重量之電池不影響農機結構的設計與機械的運行。更輕的電池則可減少農機的總重、增強機械的機動性，以及減少燃料的消耗。

三、電池的特性

(一)鉛酸電池 (Lead-acid Battery)

鉛酸電池(圖1)的技術成熟且化學反應簡單，被廣泛應用於電動農機中，特別是一些低成本和不需要長時間續航的機械。鉛酸電池主要由鉛和二氧化鉛構成正、負極，以稀硫酸為電解液。放電時，鉛和二氧化鉛與硫酸發生化學反應，產生電流並形成硫酸鉛和水；充電時，反應逆轉，硫酸鉛分解，恢復鉛和二氧化鉛的狀態。此反應的可逆性使得鉛酸電池可以循環的充放電。

在電動農機的應用中，鉛酸電池常用於電動推車、小型電動噴霧機、草坪割草機及小型電動搬運車等。這些機械通常不需要長時間的運行，並且對電池的續航力

和重量要求較低，因此，鉛酸電池成為理想選擇。此外，由於鉛酸電池的價格相對較低，適合應用於總價不高的電動農機。

鉛酸電池的優點主要在於成本低廉、製造技術成熟，並且維護簡單，適合小型電動農機的應用。也由於鉛酸電池的材料普遍且供應穩定，生產成本相對較低，一些小型電動農機的製造商得以採用鉛酸電池來降低產品的整體成本。此外，鉛酸電池的結構簡單，維護和管理容易，電解液可以加水以延長壽命，且回收容易，具有極高的資源再利用性。

然而，鉛酸電池也存在一些明顯的缺點。第一是其能量密度較低，相較於鋰電池等新型電池技術，鉛酸電池儲能能力有限，導致電動農機的續航時間較短，難以應用於需長時間作業的場域。第二是鉛酸電池重量較大，這對需要輕便移動的電動農機會增加許多負擔。第三是鉛酸電池的循環壽命較短，頻繁地充、放電可能導致電池壽命下降。第四是鉛酸電池在放電時電壓較不穩定，放電後期電壓下降快速，大幅影響農機的性能和穩定性。第五是鉛酸電池中的鉛和硫酸對環境和人體有害，使用和回收時需特別注意，避免人員接觸與環境的污染。

整體而言，鉛酸電池在電動農機中雖有價格低廉和結構穩定的優勢，但在能量密度、重量及循環壽命上存在限制。隨著新型電池技術的發展，未來鉛酸電池可能逐漸被其他高性能電池所取代，但對於經濟性需求高且低續航要求的農機應用，鉛酸電池依然是一個可行的選擇。



▲圖 1. 鉛酸電池。

(二)鋰離子電池 (Lithium-ion Battery)

鋰離子電池是一種高效的電池技術，由鋰單電池(圖2)構成，廣泛應用於現代的電動農機中。鋰離子電池的工作原理主要依賴鋰離子在正極和負極間的移動來產生電能。電池內部由正極（通常是含有鋰化合物的金屬氧化物）、負極（通常是石墨）、電解質（允許鋰離子自由移動的有機溶液）和隔膜（防止正負極短路）構成。在充電過程中，鋰離子由正極移動到負極並嵌入石墨中，儲存電能；而放電過程中，鋰離子則從負極移動回正極，釋放電能供機械使用。由於此一迴圈過程高度可逆，讓鋰離子電池可反覆充放電使用而不容易衰減。

鋰離子電池在電動農機中具有廣泛的應用範圍，尤其適用於對續航、重量和效能有較高要求的機械。常見的應用包括電動割草機、自動噴霧機、植保無人機、小型自動化收穫機、電動中耕機等，這些機械通常需要有良好的輸出功率。鋰離子電池的高能量密度可有效延長設備的使用時間，且其重量輕，適合需長時間移動的農機，像是無人機在施肥或噴藥過程中，由

於鋰電池重量較輕、電能輸出穩定，使其能夠高效的完成任務。

鋰離子電池的優點多，第一是其能量密度高，相較於鉛酸電池，鋰離子電池能夠在更小體積和重量下儲存更多電能。這對於需要輕便的農業機械是一大優勢，不僅可提升農機的續航力，也降低了操作負擔。第二是鋰離子電池的自放電率低，使其能在長期間置後依然保持大部分的電量，對於農業工作者可更靈活的應用。第三是鋰離子電池的壽命長，通常可達到數千次的充放電，此意味著在長期的農業操作中，鋰離子電池不僅穩定耐用，還可降低電池更換成本。第四是鋰離子電池具有高電能轉化效率，其放電過程穩定且電壓下降較緩，可使農機在操作中持續保持穩定的功率。

鋰離子電池的主要缺點在於製造成本較高，儘管其價格已隨技術的進步有所下降，但相較於傳統鉛酸電池，鋰離子電池仍然昂貴。其次，安全性也是鋰離子電池的一大挑戰，鋰離子電池在過度充放電或短路時可能產生過熱或起火的風險。為避免此問題，鋰離子電池通常需要搭配精密的電池管理系統來監控電池狀況，以增強安全性。再者，鋰離子電池在極端溫度下的表現不如鉛酸電池，耐高溫和低溫性能較差，當氣溫過高或過低時，鋰離子電池的性能和壽命都會受到影響。因此，在應用鋰離子電池的電動農機於操作中需特別注意電池溫度的管理。另外，鋰離子電池的材料和製程較複雜，回收技術要求嚴格且成本高，尤其是電池中的鋰、鈷等金屬

材料在處理上具有挑戰性，因此，需要完善的回收機制。

鋰離子電池在電動農機中的應用優勢明顯，尤其在需要高效能、長續航、輕量化的農業機械中尤為適合。雖然鋰離子電池的價格高且存在安全性挑戰，但隨著電池管理技術和電池回收技術的進步，鋰離子電池在農業中的應用潛力巨大，未來有望成為電動農機的主流電源。



▲圖 2. 鋰單電池。

(三)磷酸鐵鋰電池 (Lithium Iron Phosphate Battery)

磷酸鐵鋰電池(圖3)以其穩定性和安全性特點，在電動農機中越來越受歡迎。磷酸鐵鋰電池的工作原理與其他鋰離子電池相似，依賴鋰離子在正極和負極之間移動來存儲和釋放電能。此類電池的正極材料為磷酸鐵鋰，負極材料通常為石墨或碳。當電池充電時，鋰離子從正極磷酸鐵鋰中移動到負極的石墨層內並嵌入其中；放電時，鋰離子則從石墨中釋放，返回正極磷酸鐵鋰。此一過程高度穩定，使得磷酸鐵鋰電池在反覆充放電中仍能保持良好性能和安全性。

磷酸鐵鋰電池的特性使其適合應用於多種電動農機，尤其是對安全性和穩定性要求較高的設備。常見的應用包括電動割

草機、電動管理作業車、電動搬運車、植保無人機及電動曳引機等。這些農機通常需要穩定的電力輸出，並且需長時間暴露在室外環境中，因而電池需要具備良好的耐熱性、耐用性和安全性。磷酸鐵鋰電池的穩定特性和高循環壽命，相當適合應用於對續航力、耐用性和操作安全有要求的農業場域。

磷酸鐵鋰電池的優點顯著，安全性高是其一大亮點。相較於其他鋰離子電池，磷酸鐵鋰電池的結構更穩定，即使在高溫或過充電狀態下也不易發生過熱或爆炸，此對於電動農機的安全運行相當重要。其次，磷酸鐵鋰電池具有較長的循環壽命，通常可達數千次以上的充放電循環，遠高於傳統鋰離子電池或鉛酸電池，此意味著在農業中可長期使用而無需頻繁更換電池，降低了運營成本。再者，磷酸鐵鋰電池的耐高溫性能良好，在戶外的高溫環境下依然能保持穩定性能。此外，該種電池的自放電率低，即便長期間置，電量損失也少，這使得農業工作者可更靈活地使用電動農機，無需擔心電池在非使用期間大量放電。最後，磷酸鐵鋰電池的充電速度相對較快，可在較短時間內補充電量，有助於提升農機的工作效率。

雖然磷酸鐵鋰電池有安全上的優勢，但其能量密度低於其他鋰離子電池（如鋰鈷氧化物電池），在相同體積或重量下儲存的電量較少，這對於需輕量化和高續航力的農機設備而言仍是個限制。其次，磷酸鐵鋰電池的製造成本相對較高，會提高電動農機整體的成本。此外，磷酸鐵鋰電

池的低溫性能較差，在低於 0°C 的環境下，電池的放電性能和充電效率會明顯下降，這使得磷酸鐵鋰電池在寒冷地區使用時需加強保溫措施。另外，磷酸鐵鋰電池的回收技術也相對複雜，回收過程中難以達到鋰回收的高效性和低成本處理，在大規模的使用情況下可能會帶來環境負擔。

磷酸鐵鋰電池在電動農機中的應用已日益普及，特別適合安全性和穩定性要求較高的農機設備。儘管在能量密度和低溫性能上存在一定限制，但其安全性高、耐用性強和良好的環境適應性，使其成為許多電動農業機械的理想電源選擇。



▲圖 3. 磷酸鐵鋰電池。

四、未來發展

隨著電池技術的提升，電動農機電池的發展方向集中於提高電池效能、穩定性及智慧化管理，以滿足農業對續航、穩定性和安全性的需求。未來電池發展將不僅限於單純提高能量密度，應更聚焦於改善電池管理系統（Battery Management System, BMS），特別是在能量控制管理、電池電量狀態(State of Charge, SOC)估算及先進通訊技術上，如BMS的控制器區域網路(Controller Area Network, CAN)通訊技術，以實現智慧化管理和系統整合。

BMS的進步將是電動農機電池的核心。BMS是通過監控電壓、電流、溫度等參數來保障電池安全，並且提供電量平衡、故障診斷等功能。隨著電動農機的電池需求增加，BMS的精度和可靠性變得更為重要。未來BMS將朝著更高精度的電量預測方向發展，利用先進的演算法和感測技術提高電池狀態預測的準確度，減少過度放電或充電所引起的損害，延長電池壽命並提高電池的整體效率。

其次，能量控制管理將成為重要的發展方向之一。電動農機往往需要長時間、連續工作的電力支援，能量管理技術的改善有助於提高電池效率。智慧能量控制系統可以根據農機不同的操作模式，改善電池的能量輸出。這包括在工作負載高時提供穩定電力的輸出，在低負載狀態下節省電量。隨著智慧農業技術的普及，能量管理系統可以與電動農機同步運作，如根據預設作業進行電力分配，以適應多樣化的農業生產並降低能源消耗。

BMS的CAN通訊技術將在智慧農業中發揮重要作用。CAN是一種穩定的工業通訊協議，能夠在不依賴主控設備情況下，讓電池模組、控制系統等不同元件之間進行即時的資料交換。BMS導入CAN通訊技術後，電動農機可以實現更高效的資料通訊，並能在多電池模組中實現同步控制與監測。這使得電動農機在作業中可即時取得電池狀態，包括電壓、電流、溫度等資訊，以支援決策系統作業。此外，CAN技術的應用可使多電池系統平行作業，透過

BMS系統實現不同電池模組之間的動態電量調配，提升系統的穩定性和電池使用壽命。

五、結論

在電動農機應用中，選擇電池類型需綜合考量成本、續航力、充放電效率、安全性和使用壽命。若是低成本、短時間的作業，鉛酸電池能滿足基本需求，但需注意其重量較大。在中等成本、長時間作業需求下，可選擇磷酸鐵鋰電池，具備高安全性和耐用性。針對高性能、靈活性較高的作業需求，鋰離子電池因其高能量密度和快速充電特性成為理想選擇。選擇適合的電池技術，不僅可提升電動農機的作業效率與經濟性，亦有助於推動智慧農業的發展。

註1：循環壽命：指電池在經歷多次充放電後，依然能夠保持一定容量的次數。即電池經歷完全充放電循環後，容量下降到初始容量的百分比（如80%或70%）時所能達到的循環次數。

註2：放電倍率：指電池在短時間內能夠提供的最大電流量。通常以倍率「C-rate」表示，衡量電池放電速度。

註3：額定容量：指電池在標準條件（如溫度為25°C、一定放電速率）下能夠儲存的電量，通常以安培小時（Ah）為單位。

註4：放電效率：指電池在放電過程中，實際提供的電量與在充電過程中儲存的電量之比，以百分比表示。