

智慧充電(smart charging)對電動大客車影響之初探

A Preliminary Study of the Impact of Smart Charging on Electric Buses

運輸資訊組 陳國岳、吳東凌、張益城

研究期間：民國109年1月至110年9月

摘要

交通部於107年研擬我國電動大客車推動策略與作法，提出各策略執行工作及部會分工，持續落實電動大客車進展。但當客運業者將車隊逐步改換為電動大客車時，客運業者將面臨停車場空間、充電站數量、台電供電容量、車隊可充電時間等限制條件，若未能早有良好規劃，恐將影響衝擊客運業者營運效能。因此本計畫主要目的在於考量國內電動大客車之營運需求與限制條件下，進行電動大客車智慧充電之研究以提高整體車隊充電效能。

關鍵詞：

電動大客車、智慧充電

智慧充電(smart charging)對電動大客車影響之初探

A Preliminary Study of the Impact of Smart Charging on Electric Buses

一、前言

行政院於103年10月1日修訂第2階段「智慧電動車輛發展策略與行動方案」，並結合經濟部、交通部及環保署推動電動公車，以落實低碳島政策。行政院為改善空氣汙染，已於106年12月21日宣布於2030年前將1萬輛市區公車將全面電動化。為落實此政策目標，交通部於107年研擬我國電動公車推動策略與作法，提出各策略執行工作及部會分工，並接續於109年啟動電動大客車推廣示範計畫，逐步落實市區大客車電動化。

當客運業者將車隊逐步改換為電動大客車時，客運業者將面臨停車場空間、充電站數量、台電供電容量、車隊可充電時間等限制條件若未能早有良好規劃，恐將影響衝擊客運業者營運效能。因此本計畫主要目的在於考量國內電動大客車之營運需求與限制條件下，進行電動大客車智慧充電之研究以提高整體車隊充電效能。

二、電動大客車充電影響因素

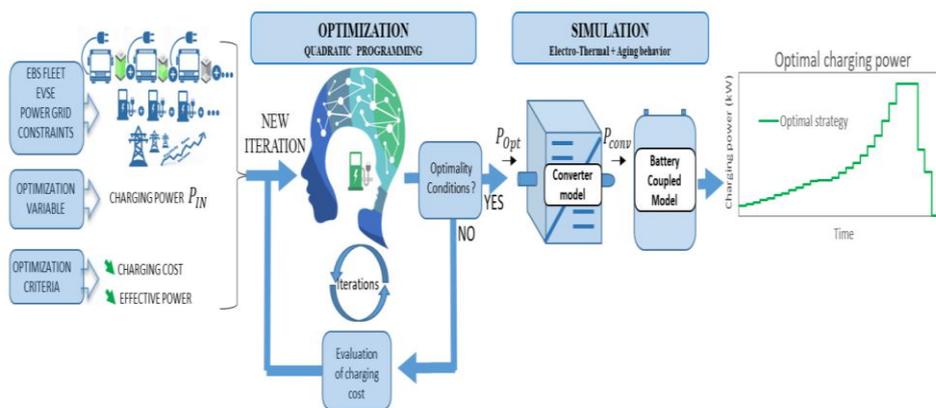
由柴油大客車轉換為電動大客車，其中一項最大不同係能源補充，和柴油比較，電能是一種即產即用且不能大量儲存的特殊能源，且易受到氣候變化、經濟景氣以及客運業者用電習性等因素的影響，導致電動大客車充電的需求隨不同時間、季節及客運班次而變動。和傳統柴油供應比較，電力業者為滿足用戶用電需求，區域備載容量需以用戶最高用電需量為基準投資設置發供電設備，以維持供應穩定充裕之電力。由於供電設備之投資成本受到負載變動影響而增減，客運業者為降低成本，必須積極地推行負載管理方能維持低廉的電價以減輕成本，同時提供用戶正確的價格訊號以提高電能的使用效率。

在電動大客車全面推廣使用後，數量眾多的電動大客車集中於定點場域或於載客離峰時段進行充電時，將衍生包括非營運時間大量電動大客車於定點大量電力需求、充電場域電網備載、營運期間部分車輛快速補電之快充需求、依據營運班表車輛充電次序調整等影響因素，因此必須考量電

網調控、充電設備設置和最有效使用、車隊最佳充電排程等問題。電動大客車充電站電能管理系統根據不同的充電站架構以及調度目標，擬定不同的管理策略，目前已有許多文獻提出各種電能管理策略，例如考慮不同電價方案，利用智慧充電的電能管理策略來降低充電站運轉成本提高營運利潤，或者考慮充電站負載對電網影響，透過電能管理策略來避免造成變壓器過載、電壓變動率過高等問題。

三、智慧充電與智慧電網定義

由於能量補充型式改變，能量補充由加油站改為充電站，充電的特性與現有電網特性並不相同，因此充電與電網都須以新模式互動。在全面電動化之後，客運業者必續藉由智慧充電技術適應停車場空間、充電站數量、台電供電容量、車隊可充電時間等限制條件避免衝擊客運業者營運效能如圖1所示。充電站導入完整智慧充電相關智慧化功能必須供電的智慧電網配合，同時考慮到電力來源更加多元，因此行政院於108年導入智慧電網。和傳統電網相比，智慧電網是資訊技術、感應技術、自動控制技術等技術共同結合的大型電網基礎設施。智慧電網可以接受各式各樣的清潔能源和可再生能源的併入。智慧型電網比傳統電網更有韌性，能承受的干擾幅度更大。



資料來源：[1]

圖1 智慧充電概念圖

智慧電網(Smart Grid)如圖2所示，以雙向資通訊科技建立的輸電網絡，用來傳送電力。和傳統電網不同的是，智慧電網可以偵測電力供應端的電力供應狀況，以及使用端的電力使用狀況，來調整耗電量，透過這些設備

「雙向溝通」能力，讓供電量及用電量的數據數位化、可視化，並對其中資訊加以整合分析，達到電力資源的最佳配置，解決電力業者在電力輸送及個別用戶在電力使用可能出現的問題，提升電力系統運轉效率、供電品質及電網可靠度，並促進再生能源擴大運用與節能減碳。因此行政院開始推動智慧電網(Smart Grid)，希望運用資通訊、人工智慧、自動化與儲能等技術，建立高品質、高效率和環境友善的新世代智慧化電網，對電網改善的需求。



資料來源：[2]

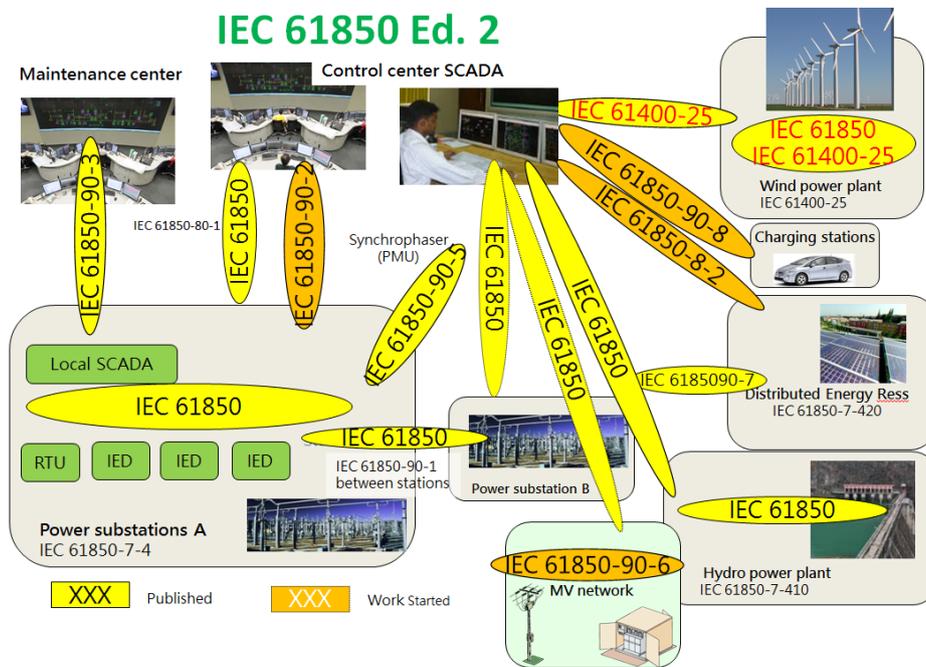
圖2 智慧電網概念圖

圖2所謂促使用戶節能方面，明確規範包括電動車充電場站在內之營業用戶，推動需量反應負載措施，以電費扣減為誘因，引導改變用電習慣，減少尖峰用電或轉移至離峰時間，降低電力系統負載及穩定供電，擴大調度彈性，維持電力系統穩定。另實施用電即時管理、快速偵測電網故障，提升營運效率。行政院宣示智慧電網總體規劃方案，主要架構以電網結構(發、輸、配、用)為主，另有產業及環境建構等，過去以技術導向電網建構為主，未來智慧電網策略規劃以「解決問題」為導向，將著重於系統整合智慧電網功能。發展智慧電網(Smart Grid)是整合發電、輸電、配電及用戶端的現代化電力網路，可降低用電量及提升使用端能源效率。因此，行政院將智慧電網產業納入節能減碳主要政策。

從美國電力研究院 (Electric Power Research Institute, EPRI) 指出，智慧電網是積極使用資訊技術，解決供電端和用戶端間傳輸電力系統的各种問題。從供電端系統透過集中器，蒐集用戶端用電情況；電力公司不但能監控電力品質，還可配合工作流程及供電環境特性，以應用排程與遠端遙控的方式，有效調度用電，減低輸配電負擔與硬體建設，可以達成節能用電的目標。

四、智慧充電與智慧電網國際標準

目前世界先進各國尤其以歐美日為首的國家，均積極推動電動車輛，依據美國電力研究院研究，可預期的在一定數量的電動車輛使用充電時，在未有相當智慧充電與智慧電網管理的情況下，勢必會衝擊到現有電力網路。若有相當的因應措施，則可使用電安全之衝擊降到最低，因此建構電動車與電網間之通訊介面即為首要工作。此外，國內相關單位亦正展開智慧電網總體規劃，其中在智慧用戶端部分，配合行政院核定智慧電網總體規劃，台電公司智慧電網規劃引進IEC 61850標準。IEC 61850利用先進通訊技術，滿足電力設備、監控系統、管理系統、及用戶間大量資料交換需求，並以標準化及模組化軟體，提供電力系統自動化、管理及服務等各種功能，由圖3中可以看出資料交換的重要性及複雜度。

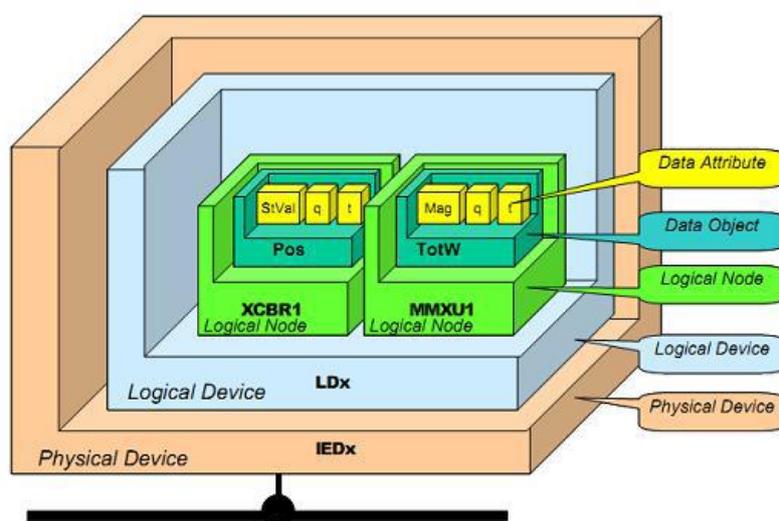


資料來源：[4]

圖3 IEC 61850概念圖

IEC 61850標準制定了一套新的資料分類方式與以往的通訊協定是完全的不同。如圖4所示IEC 61850將設備資料數據分為五層，第一層為伺服器(Server)，也就是控制電腦，第二層為邏輯裝置(Logical Device, LD)代表著 IED，第三層為邏輯節點(Logical Node, LN)代表著設備的某些功能，例如圖4中XCBR的邏輯節點1，其第一個字母X代表著開關類，CBR則表示為斷路器(Circuit breaker);名稱為MMXU的邏輯節點2，第一個字母M代表著

計量與測量類，MXU則表示為測量(Measuring)。第四層為設備功能的資料(Data)，以圖4為例，邏輯節點1的資料為Pos，表示開關的位置(Position);邏輯節點2的資料為 A，表示電流。第五層為屬性(Attribute)的描述，以圖4為例:資料Pos裡的屬性StV，表示為狀態值(Status Value)，當開關位置為close時值為1，位置為open時值為2。而資料Pos裡的屬性q，表示為品質 (Quality)。而資料A的屬性PhA及PhB，分別表示為A相電流及B相電流。由前述可知只要是系統或設備支援IEC 61850標準，其邏輯節點的命名就必須遵循此標準中規定之邏輯節點名稱。所以在此標準中，資料模型已規定的非常明確且詳細，使得設備製造廠家在此通訊協定自由發展的空間相對的變小，意謂著智慧充電使用這個通訊協定之後，系統的整合變得容易許多，在充電設備將有更多廠家的設備可做為選擇。



資料來源：[4]

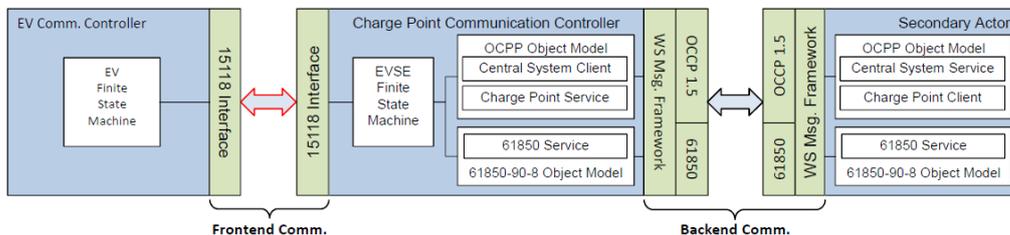
圖4 IEC 61850通訊結構

IEC 61850配合電動車充電係主要因電動車輛與電網間通訊涉及道路車輛、電力設備與通訊等。道路車輛相關國際標準目前由道路車輛技術委員會(ISO TC22 road vehicles)進行標準制修訂，技術層面涉及車輛上之電子電機設備技術者，由該委員會下轄之分組委員會 (ISO TC22/SC 03)進行相關標準工作。另外電動車輛與電網間通訊電器設備，諸如充電系統及配電設備，則由電動車輛及電動貨車技術委員會(IEC TC69 Electric road vehicles and electric industrial trucks)下轄之電源供應及充電器工作組(IEC TC69/WG4 Power supplies and chargers)進行標準修訂。因此上述國際標準

組織ISO及國際電工組織IEC兩工作組針對電動車輛與電網間之通訊介面進行合作，並組成聯合工作組(Joint Working Group, JWG)進行國際標準制定。目前該聯合工作組已完成ISO/IEC 15118-1~ISO/IEC 15118-8 8種電動車輛與電網間通訊標準OCPP (Open Charge Point Protocol) 應用層通訊協定進行研擬工作如圖5所示。

我國智慧電網建設在台電公司提出以IEC 61850為通訊骨幹，運用先進資通訊技術，優先推動包括提升再生能源穩定度、提升用戶供電品質及促使用戶節能等推動方向，而在未來電動車輛充電方面，IEC 61850希望透過智慧預測，應用人工智慧及大數據，結合電動車輛需求預估，以最佳備載推估滿足充電需求。其次為智慧調度，透過建置智慧電網與智慧充電，提供快速升降載能力調配電網備載量，達成系統穩定。最後是健全法規：與時俱進修訂複合能源併聯相關法規及儲能系統設置規範性，營造友善再生能源併網環境，並平衡區域發電量與用電量間的落差。

- Combined approaches of OCPP and IEC 61850-90-8 would offer:
 - Added value in terms of functional coverage (short, mid and long-term use cases for operations, maintenance tasks, and grid services)
 - Consideration of EVSE- and Grid-Operator's business focus'
- Integration options:
 1. Leverage IEC 61850-90-8 E-Mobility Object Model as Meta Model for Smart Charging in OCPP
 2. Integrated approach with separate OCPP and IEC 61850-90-8 services and unified WS-based binding mechanism



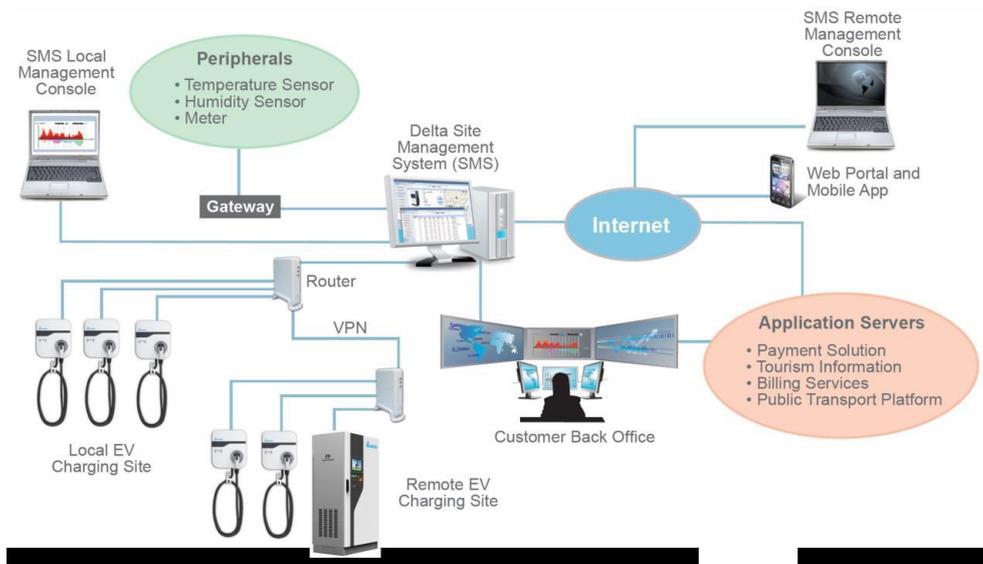
資料來源：[7]

圖5 OCPP (Open Charge Point Protocol)

五、電動大客車智慧充電系統考慮因素

電動大客車充電站設置在第一階段目標考慮客運業者付出價格、時間電價、客運業者充電需求、契約容量等因素來進行電動大客車充電時間排程以及充電功率控制，希望在滿足電動車用戶充電需求並符合配電變壓器容量限制下達到充電站營運利潤最大。第二階段目標為抑制充電站造成的負載尖峰，希望在同樣滿足電動車用戶充電需求及客運業者充電站營運利

潤最大的條件下來降低充電網尖峰負載，降低契約容量。



資料來源：[8]

圖6 智慧充電系統

充電站電能管理除了考慮降低運轉成本、減少對電網影響之目標，亦有比較特殊的管理方式。必須根據充電站實際狀況，透過資通訊系統來進行電能管理(如圖6所示)，而當充電站發生下列三種狀況需要進行重新設計。

- 1.電網資訊變化時，例如電價、可提供給充電站之契約容量變化時。
- 2.電動車數量變化幅度較大時。
- 3.營運班表大幅更動。

目前設計智慧充電系統，納入設計因素概述如後

一、時間電價

所謂時間電價(Time of use price, TOU)是電力公司以季節或一天為周期，制定不一樣的用電價格如圖7所示，而之所以需要有這樣特殊的電價方案，除了為反應不同季節供電成本差異外，主要是希望透過不同電價來影響消費者的用電行為，降低因季節及生活習慣所造成的尖離峰負載差距，如此電力公司可延緩電力發電、變電等設施的建置以及空污嚴重的火力機組負載，藉由尖離峰的電費差價，使用戶為了節省電費主動將一些可控制運轉時間之負載，轉移至離峰時段在運作，而在尖峰時段高電價時，除了一些必要性負載，消費者將會盡量避免在此時段用電。透過時間電價方案將促使消費者主動改變生活習慣，幫助降低電力系統之尖峰負載。

(107年4月1日起適用)

低壓電力時間電價表(二段式)

單位：元

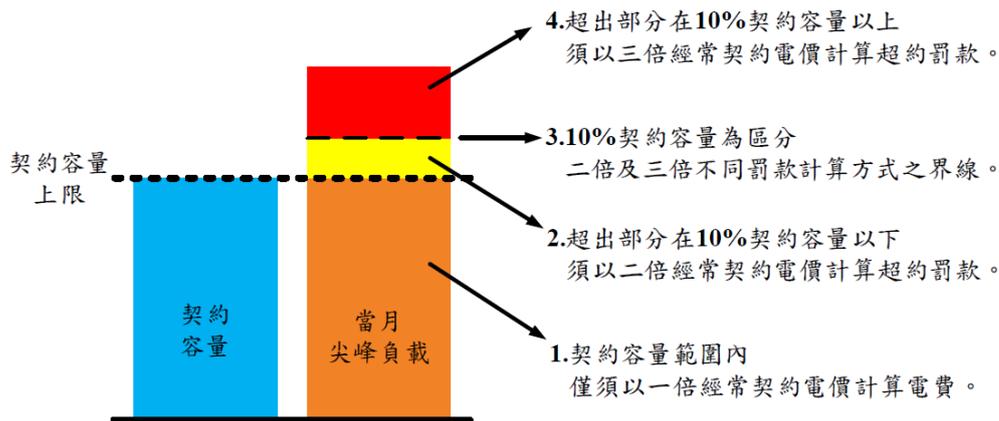
分 類				夏月 (6/1~9/30)	非夏月 (夏月以外時間)	
基本 電費	裝置 契約	按戶計收	每戶每月	105.00		
		裝置契約	每戶每月	137.50		
	需量 契約	按戶計收	每戶每月	262.50		
		經常契約	每戶每月	236.20	173.20	
		非夏月契約		—	173.20	
		週六半尖峰契約		47.20	34.60	
		離峰契約		47.20	34.60	
離峰契約	47.20	34.60				
流動 電費	週一 至 週五	尖峰 時間	07:30~22:30	每度	3.42	3.33
		離峰 時間	00:00~07:30 22:30~24:00		1.46	1.39
	週六	半尖峰 時間	07:30~22:30		2.14	2.06
		離峰 時間	00:00~07:30 22:30~24:00		1.46	1.39
	週日及 離峰日	離峰 時間	全日		1.46	1.39

資料來源：[5]

圖7 時間電價

二、契約容量

由台電所制定之時間電價方案，除根據時間分段對應不同價格之流動電費外，還須根據用戶與電力公司所申請之供電容量，每月須付出一筆相應的契約電費，且若用戶當月之尖峰負載超出其所申請之供電容量，根據其超出供電容量之需量，會需要付出一筆相應的超約罰款，故一般稱此供電容量為契約容量。而一般契約容量之訂定會根據不同季節及時段有著不同的供電容量及計費方式如圖8所示。若在一個月內發生超約之情況，則在當月結算電費時，除了契約容量每月電費外，還須根據超出契約容量之需量，額外付出一筆超約罰款給電力公司。以台電公司規定為例，超約用電的計費方式為當月用電最高需量超出契約容量時，其超出部分在契約容量10%以下以2倍經常契約電價來計算罰款，超出部分大於契約容量10%以上則以3倍經常契約電價來計算罰款。

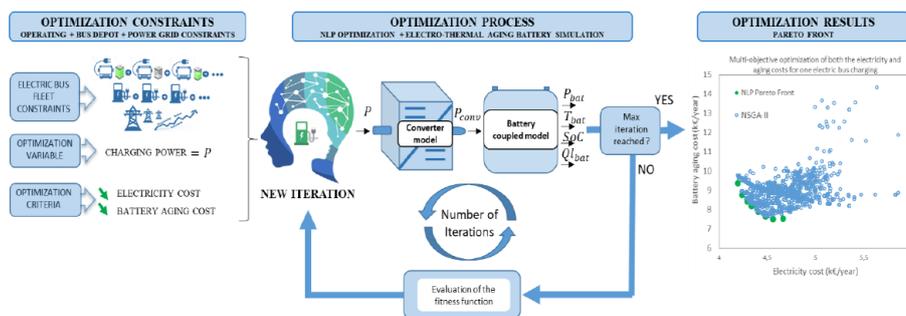


資料來源：[5]

圖8 契約容量

六、電動大客車智慧充電系統充電策略

智慧充電系統可藉由規劃性或強迫性的方式來控制需量以控制用電成本，藉由控制電動大客車之充電程序，管理電動大客車之充電時間與充電站供給之電量，用以對電動大客車充電站的需量進行最佳化管理 (optimization Process) 如圖9所示。目前在歐美研究充電管理方式有先到先得分配充電容量方法以及總體充電時間最小化方法。



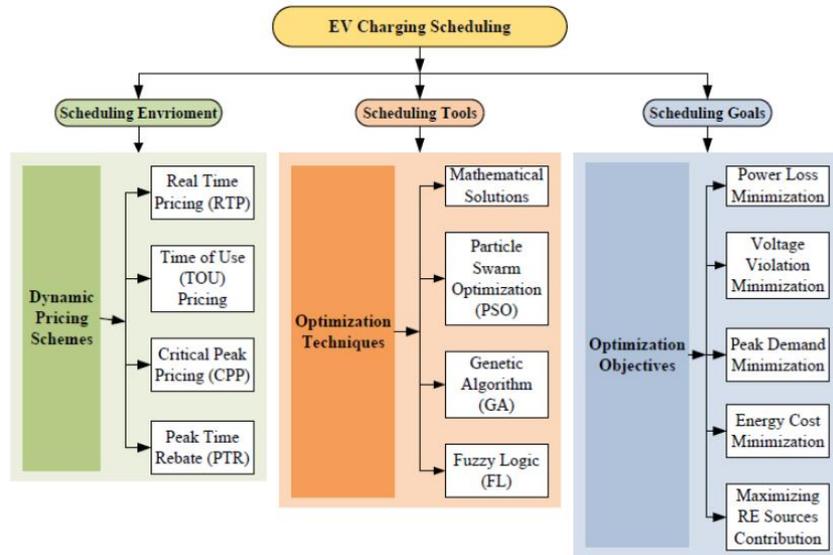
資料來源：[9]

圖9 充電系統最佳化管理(optimization Process)

先到先得分配充電容量方法(First come first charged method ; FCFCM)

此為簡單的功率分配方式，依據電動車進入停車場順序，先來的電動車即提供其最大上限功率進行充電，之後按照先後順序持續分配契約容量，直到完全分配完畢為止，而後來的電動車則須等待先來的電動車充電完成後有多餘契約容量時才可進行充電。此流程還須配合客運業者營運排程如

圖10所示，進行充電狀態轉換及停車場內電動大客車資料更新。此方法重新分配功率的時機同樣為充電狀態轉換時機，功率分配邏輯單純以進入先後順序作充電功率分配的標準。



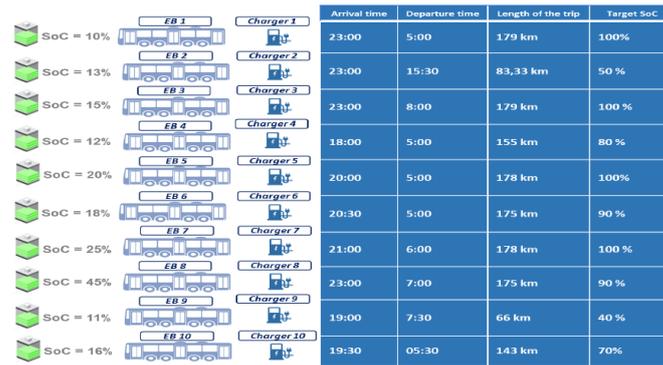
資料來源：[9]

圖10 First come first charged method

總體充電時間最小化方法(Total charging time minimization method ; TCTMM)

此方法考慮在同一時間所有在停車場內充電之電動車，希望在契約容量的限制下，讓所有電動車得到充電，並透過降低停車場所有電動車的總體充電時間，提升停車場充電營運效益。

在總體充電時間最小化方法所擬定的問題，考慮每台電動車需求之能量及客運業者選擇付出的供電價格，在供電契約容量不足以供應所有電動大客車做最大功率充電時，需使用最佳化方法來求解需分配給每台使用中充電柱之功率。由於環境限制，建立包含電動車大客車能量、契約容量使用率、平均充電時間等各項效能指標如圖11所示，藉以分析比較使用不同充電策略之影響。分析結果顯示充電場所特性對於充電策略在各項效能指標的表現有很大的影響。在供電限制、時間價格、營運班表、充電性能等因素或限制下求其最佳解。

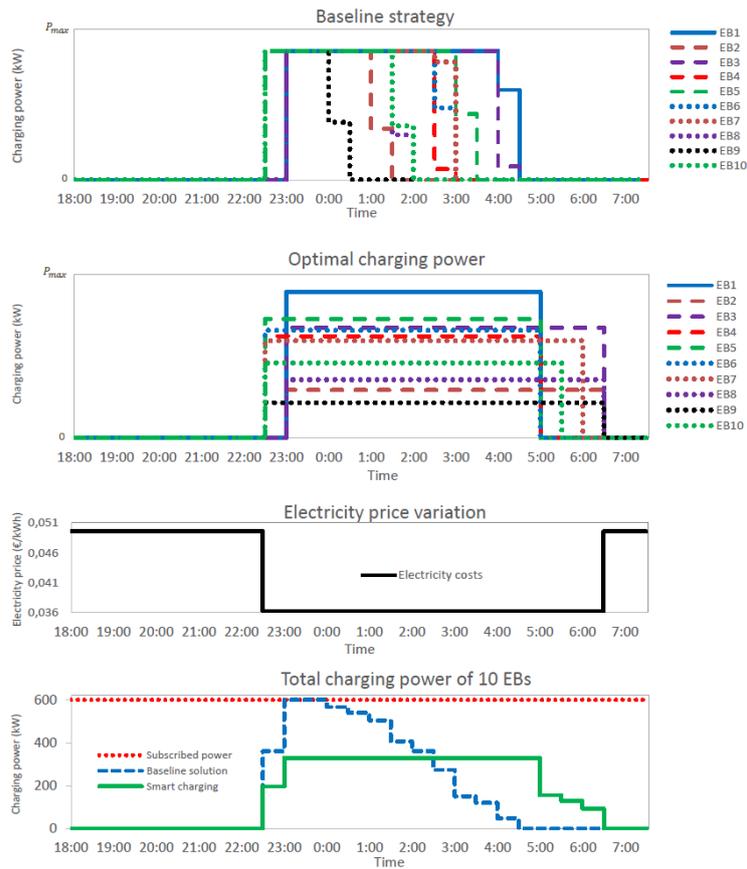


資料來源：[9]

圖 11 Total charging time minimization method

七、電動大客車智慧充電系統效益

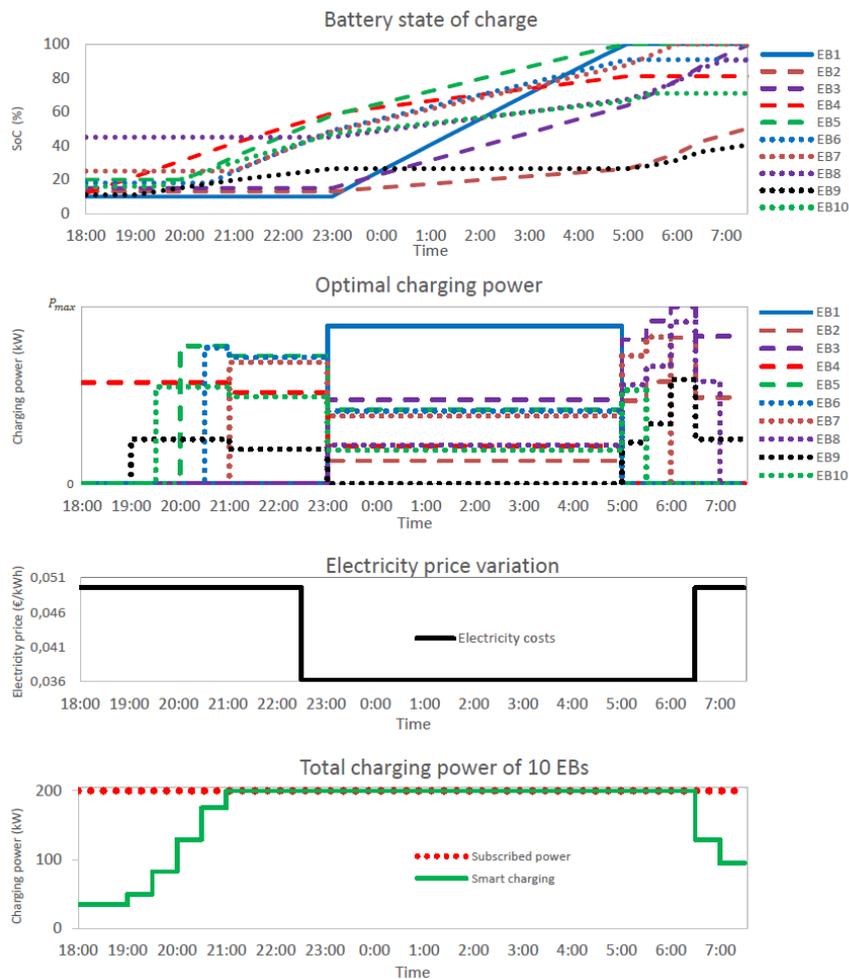
依據瑞典在電動大客車示範案中針對智慧充電效益進行分析，在不同總容量限制、時段選擇以及電價，具有智慧充電及不具備兩者的各時段用電最大值最大的差值約277KW，這將會影響客運業者與電力公司所簽定的契約容量值，就會影響基本電費的高低。各時段用電量的差異，會影響流動電費的高低。因為最大功率影響所簽定的契約容量值，會影響基本電費的高低。而整體效益將可使充電成本下降50%以上，如圖12所示。



資料來源：[12]

圖12 智慧充電系統效益

若進一步考慮可能限制，如在備載容量不足情況下，降低契約容量，重新進行時段選擇，具有智慧充電系統考慮不同車輛實際殘餘電量情況，並考慮第二天車輛營運班次，透過最佳化營運管理運算，雖然無法完全在電價優惠時段進行充電，但仍能夠配合營運，完成充電並降低充電成本30%如圖13所示。



資料來源：[12]

圖 13 限制契約容量智慧充電系統效益

八、結論

為了全面推動電動大客車，電力的管理就顯得相當重要，對於電力業者來說，用電戶的需量管理影響了電力業者對設備的投資情形，電力業者必須需考量用電戶之用電需量，以提供符合用電戶需量之電力。我國透過智慧電網推動，積極使用資訊技術，解決供電端和用戶端間傳輸電力系統的各種問題。而智慧充電技術可藉由資通訊來控制需量以控制用電成本，由控制電動大客車之充電程序，管理電動大客車之充電時間與充電站供給之電量，用以對電動大客車充電站的需量進行有效地管理，並與智慧充電進行控制前之成本比對，說明智慧充電適用於電動大客車充電。

本研究主要之研究成果說明如下：

1. 充電模式比較

本研究透過國外針對電動大客車充電站進行兩種模式的探討，第一種為依據電動大客車回站次序充電模式，電動大客車完成班次任務回站，立即對電動大客車進行充電，第二種方式透過智慧充電，在適當的時段對電動大客車進行充電程序，並於充電期間控制電動大客車充電站所供給電動大客車之電量，使得充電站之最大需量得以控制。兩者比較差異如後：

- (一)透過實際的案例研究，可以證明依照回站時間為依據之充電程序易造成充電站電力需量過大，因而影響契約容量之訂定，使得總電費攀高；而控制充電程序能使需量得到有效的控制，因而影響契約容量之訂定，使得總電費下降。
- (二)智慧充電將充電時間大都規劃於半尖峰時段或離峰時段，以減緩尖峰時段的用電需量，以減少電動大客車負載對電力系統的影響，而這兩時段的時間電價會少於尖峰時段之時間電價，使得用電的成本有效地降低。且智慧充電的曲線較非控制性充電程序的曲線平緩，這樣能降低進行充電程序時，電動大客車負載對電力系統所造成之衝擊。

2.智慧充電與電網

考量未來充電站若大量興建，其所需要的能量對於電力公司而言將是沉重的負擔，故在電力公司的角度，不單希望充電站自行做電能管理，更希望充電站在適當時機可以來配合電力公司用電策略。而目前較常被討論的制度有需量反應、V2G等，而為促使充電站加入這些制度，電力公司亦須規劃完善的方案。對於客運業者而言，透過與電力公司的通訊連結加入這些制度，思考如何在配合電力公司的要求下進行適當的電能管理是未來可以研究的課題。

本研究考慮單純的充電站環境，在僅裝設充電設備的情形下來進行電能管理。而現今結合分散式能源之充電站是熱門話題，其配合太陽能發電及儲能系統來幫助降低電動大客車充電站負載，進一步甚至希望達到自給自足或者電能回送電網的功效。而在電動大客車充電站加入再生能源的狀況下如何進行電能管理亦是研究的目標。其它例如考量各種不同的充電場所擁有之負載特性，其對於電力系統又會造成何種影響及衝擊，這些都是未來可以研究思考的方向。

參考文獻

1. Energy Trading with Electric Vehicles in Smart Campus Parking Lots
Mohamed A. Ahmed 1,2,* and Young-Chon Kim
2. 電動車充電對電力品質及電力供應影響之研究 台灣電力股份有限公司。
3. Optimal Charging Strategy to Minimize Electricity Cost and Prolong Battery Life of Electric Bus Fleet Adnane Houbbadi, Eduardo Redondo-Iglesias, Rochdi Trigui, Serge Pelissier, Tanguy Bouton ,
<https://hal.archives-ouvertes.fr/hal-02476452> 。
4. 智慧電網總體規劃方案核定本 經濟部能源局 2019 。
5. 智慧電網全球發展現況及趨勢，NEP-II 智慧電網主軸，2018 。
6. IEC 61850 標準與新示範應用案例簡介 TCA 智慧電網核心標準應用研討會廖政立 (Jen Li Liao) Associate Researcher TPRI, TPC
October 24, 2018
7. Evaluation of OCPP and IEC 61850 for Smart Charging Electric Vehicles Jens Schmutzler¹, Claus Amtrup Andersen², Christian Wietfeld¹ ¹Dortmund University of Technology, Communication Networks Institute, Dortmund, Germany
8. Overview of Electric Buses deployment and its challenges related to the charging-the case study of TRANSDEV Adnane Houbbadi, Serge Pelissier, Rochdi Trigui, Eduardo Redondo-Iglesias, Tanguy Bouton
9. Optimal Scheduling to Manage an Electric Bus Fleet Overnight Charging Adnane Houbbadi, Rochdi Trigui , Serge Pelissier , Eduardo Redondo-Iglesias ¹ and Tanguy Bouton
10. A Research on Intelligent Battery Control Techniques for Electric Vehicles (2/2) NSC90-2213-E009-166
11. HANDBOOK ON BATTERY ENERGY STORAGE SYSTEM
12. Safety Management of Automotive Rechargeable Energy Storage Systems: The Application of Functional Safety Principles to Generic Rechargeable Energy Storage Systems NHTSA's Automotive Electronics Reliability Research Program