

綠色運輸試驗基金
校園的電動穿梭巴士試驗 (中文大學)
最終試驗報告行政摘要

(2017年7月7日)

張鎮順博士
熊永達博士
袁大偉博士

本報告內監察及評估小組的意見並不一定反映香港特區政府環境保護署的意見

監察評估小組成員

張鎮順博士（小組主任）

教授

機械工程學系

香港理工大學

熊永達博士（署理小組主任）

副教授

土木及環境工程學系

香港理工大學

袁大偉博士（項目行政主任）

專任導師

機械工程學系

香港理工大學

綠色運輸試驗基金
校園的電動穿梭巴士試驗（中文大學）

最終試驗報告
（試驗時間：2014年3月1日 - 2016年2月29日）

行政摘要

1. 介紹

1.1 綠色運輸試驗基金（下稱：基金）旨在鼓勵運輸業界試驗各類綠色創新運輸技術，為改善香港的空氣質素及公眾健康作出貢獻。香港中文大學（下稱：中大）獲基金資助試驗兩輛穿梭電動巴士及安裝相關充電設備，在兩條穿梭路線上為員工和學生提供服務。中大依照與政府簽訂的資助協議招標程序，購置了兩輛五洲龍電動巴士（下稱：EV-1 和 EV-2）作試驗。

1.2 理大科技及顧問有限公司獲環境保護署委託為獨立第三方評核者，監察試驗並評估試驗的綠色創新運輸技術，並與傳統車輛作比較。中大指派兩輛柴油巴士（下稱：DV-1 和 DV-2，統稱柴油巴士）與兩輛電動巴士作對比。

1.3 本報告匯報在 24 個月的試驗中電動巴士的表現，並與相應的傳統柴油車輛比較。

2. 試驗車輛

2.1 電動巴士和柴油巴士的主要特點和照片分別載於附錄 1 和錄附 2。他們在校內兩條穿梭巴士路線接載員工和學生。每部巴士每日行程一般少於 100 公里。每輛電動巴士可載 60 人，當中包括 40 個站立乘客。電動巴士供應商聲稱在電池充滿電後，在滿載和使用空調時，地面上的續航力為 280 公里。

2.2 中大在校園內安裝了兩個 125 千瓦充電站，為電動巴士電池充電及記錄每輛電動巴士的用電量。試驗期間，兩輛電動巴士只在這些充電站充電。每輛電動巴士的電池可於 5 小時內充滿。充電設施的照片載於錄附 2。

2.3 兩輛電動巴士在 2014 年 3 月 5 日開始投入常規穿梭服務，不久便因上斜坡時牽引電動機在高負荷運作下，電動機負載過大，導致過熱而間歇性停止運作/失去動力，電動機冷卻之後能正常運作。為免同類事件再次發生，EV-1 及 EV-2 在 2014 年 3 月交回供應商重裝比較合適的電動機和相關系統及再進行車輛類型評定。兩輛電動巴士在 2014 年 9 月初才返回中大並投入正常服務。

3. 試驗資料

3.1 試驗於 2014 年 3 月開始，為期 24 個月。中大必須搜集和提供的資料包括電動巴士充電前的行車里數讀數、每次充電量、充電時間及因充電損失的營運時間；電動巴士及充電設施的定期和非定期維修費及營運時間損失。同時，需提供傳統柴油車的類似資料。除了開支數據外，也要提供電動巴士的維修報告、運作困難紀錄和司機及受領者的意見，以反映電動巴士在試驗期所遇到的任何問題。

4. 試驗結果

4.1 營運費用

4.1.1 表 1 概括電動巴士和柴油巴士的統計數據。每公里燃料費比較如下：EV-1 比 DV-1 少 4.06 元（71%），EV-2 比 DV-2 少 3.73 元（69%）。

表 1：各車輛的主要運作統計

		電動巴士		柴油巴士 ^[1]	
		EV-1	EV-2	DV-1	DV-2
總里程/公里		19,779	20,618	48,432	52,189
平均燃料效益/	公里/千瓦時	0.609	0.583		
	公里/公升			1.95	2.04
	公里/百萬焦耳	0.169	0.162	0.054 ^[2]	0.056 ^[2]
平均燃料費用/(\$/公里)		1.62	1.69	5.68	5.42

^[1] 由於電動巴士主要在 2014 年 9 月開始提供服務，柴油巴士的資料搜集亦同樣由該月開始。

^[2] 假設柴油的低熱值是 36.13 百萬焦耳/公升

4.1.2 表 2 概括電動巴士和柴油巴士的營運費用成本數據。EV-1 的總營運費用是每公里 1.62 元，EV-2 的總營運費用是每公里 1.69 元。與對比柴油巴士比較，EV-1 的總營運費用比 DV-1 低 75%，EV-2 的總營運費用比 DV-2 低 70%。

表 2：各車輛的總營運費用及營運損失時間

		EV-1	EV-2	DV-1	DV-2
燃料費用/\$		32,116	34,910	275,292	282,929
維修費用/\$ ^{[2][3]}		0	0	34,084	14,799
其他費用/\$		0	0	0	0
總營運費用/\$		32,116	34,910	309,376	297,728
平均總營運費用/(\$/公里)		1.62	1.69	6.39	5.70
營運損失時間/ 工作日 ^[1]		323	318	0	0
按車輛總類	平均總營運費用/(\$/公里)	1.66		6.05	
	平均營運損失時間/ 工作日	321		0	

^[1] 營運損失時間是由車輛不能營運的日期起計，至車輛供應商把車輛交還車輛營運商的日期為止。

^[2] 電動巴士在試驗期間仍在保養期內，無需支付維修費。

^[3] 與車輛表現無關的維修並不包括在車輛表現的比較內。

4.1.3 除燃料費用外，表中所示的平均總營運費用亦包括維修保養費用及因車輛發生故障導致的其他費用，如拖車費及租賃替代車輛的費用。在這次試驗期間，電動巴士的開支只有燃料費，而柴油巴士的開支包括燃料費和維修保養費。電動巴士的平均總營運費是每公里 1.66 元，相比柴油巴士的少 73%，但中大無需支付仍於保養期內電動巴士的維修費。

4.1.4 試驗期間，每部電動巴士各有三次定期維修，而非定期維修方面，EV-1 有 10 次，EV-2 有 12 次，導致損失大量營運時間。每部柴油巴士各有二次定期維修，而非定期維修方面，DV-1 有 17 次，DV-2 有 11 次。至於營運損失時間方面，EV-1 有 323 日，EV-2 有 318 日。兩部柴油巴士都沒有報告營運損失時間，這是因為所有維修工作都是由中大維修部在非運作時間內進行。電動巴士主要是在試驗初期(2014 年 3 月- 9 月)發生故障以致損失大量營運時間；電動巴士於 3 月初首次試用於中文大學山多、路斜，頻密起動-停泊的營運模式。供應商報稱事故原因為上斜坡時牽引電動機在高負荷運作下，電動機負載過大，導致過熱而自行啟動安全制式，暫停運作。電動機在冷卻後可以正常運作。解決相關問題的主要方法是將使用中的牽引電動機由 100kW 更換為 170kW 以加強動力，同時改善冷卻系統。更換電動機及後電動巴士須進行車輛類型評定以致損失大量營運時間。

4.1.5 電動車的定期維修較柴油車簡單，因為後者需要更換濾芯和潤滑油及通過煙度測試。

4.2 表現和可靠性

4.2.1 兩部電動巴士的司機表示操作上並無遇到任何問題，但電動巴士上斜坡時動力不足，而且其表現會影響正常運作。乘客的意見普遍正面，但部份乘客對巴士的上斜坡動力和以電動車全面取締現有傳統車輛有所保留。

4.2.2 總括來說，中大認同使用電動車是好的概念，可提供較綠色和寧靜的環境，而且燃料費用亦低很多，但不會以環保車輛取締全部的傳統車輛，因為電動車 (a) 價格太高；(b) 維修費用和營運損失時間都比較柴油車高，而且柴油車現時可由中大維修部維修，而電動車必須由車輛供應商維修；(c) 發生故障次數頻密，其充電系統亦然。

4.2.3 為了撇除季節性波動的影響，現報告使用 12 個月移動平均值評估各車輛的燃料效益趨勢。結果顯示 EV-1 和 EV-2 的 12 個月移動平均值在試驗期內分別下降了 8% 和 5%。

4.2.4 在試驗期內電池管理系統和充電系統多次發生故障，未能正常為電動巴士的電池充電。因此，難以為電池有沒有退化作評估。

4.2.5 電動巴士和柴油巴士的二氧化碳當量排放分別為 38,343 公斤和 56,140 公斤。試驗結果顯示電動巴士的二氧化碳當量排放比柴油巴士平均減少了 17,797 公斤，即減少 32%。

5. 總結

5.1 試驗顯示電動巴士的燃料費比對比柴油巴士平均每公里低 3.89 元或 70%，總營運費亦低了 73%，但中大無需支付仍於保養期內電動巴士的修理費。

5.2 電動巴士的司機對車輛操作並無問題，但電動巴士的運作並不順利。電動巴士和柴油巴士的可使用率分是 56% 和 100%。

5.3 結果顯示電動巴士的燃料效益在試驗期內有下降。但充電系統經常發生故障，故未能評估電池的充電量有沒有退化。

5.4 試驗顯示，中大的校園環境為山多、路斜的操作情況下，五洲龍電動巴士未能滿足使用者每日行駛里程的要求。而且，經常發生故障和過多營運損失時間亦令人關注。建議車輛生產商應為電動巴士提供更好的技術支援。

附錄 1：試驗涉及車輛的主要特點

1. 試驗的電動車

登記號碼：	SM5263, SM5323
廠名：	五洲龍
型號：	FDG6102EVG
類別：	公共巴士
車輛總重：	18 公噸
乘客限額：	司機 + 60 乘客（包括 40 站立乘客）
額定功率：	170 千瓦（在早期故障後，由 100 千瓦升級至現水平）
行駛里程：	~ 280 公里（使用空調，平地，全負載）
最高車速：	超過每小時 70 公里
電池物料：	鋰鐵磷電池
電池容量：	324 千瓦時
充電時間：	~ 4-5 小時 [125 千瓦]
製造日期：	2013

2. 對比的柴油車

登記號碼：	LN2016	RA5606
廠名：	Isuzu	Isuzu
型號：	LT134LR	LT134L-6S-V
類別：	公共巴士	公共巴士
車輛總重：	14.5 公噸	14.5 公噸
座位限額：	司機 +68 位乘客 (包括 22 站立乘客)	司機 +62 位乘客 (包括 22 站立乘客)
汽缸容量：	7790 立方厘米	7790 立方厘米
製造日期：	2004	2010

附錄 2：車輛和充電設施的照片

1. 試驗的電動車和充電設施





EV-2 – 側面 1



EV-2 – 側面 2



帶有充電綫的充電站 – 外觀



充電站 – 內觀



電動巴士接駁充電綫

2. 對比的柴油車



DV-1 前方



DV-2 前方