

綠色運輸試驗基金
用於渡輪的海水簾式廢氣洗滌器試驗
(天星小輪有限公司)
最終報告

(2018年8月1日)

張鎮順博士

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）

理大科技及顧問有限公司

香港理工大學

吳駿博士工程師

高級技術主任

機械工程學系

香港理工大學

綠色運輸試驗基金
用於渡輪的海水簾式廢氣洗滌器試驗
(天星小輪有限公司)

最終報告

(試驗時間：2016年12月1日 - 2017年12月31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。天星小輪有限公司（下稱：天星小輪）獲基金資助試驗一套海水簾式廢氣洗滌器系統（下稱：洗滌器）。該系統包括兩個相同的海水簾式洗滌器水箱和相關的操作系統。洗滌器連接與安裝在一艘名為「世星號」的渡輪上的柴油-電力驅動（DEP）系統，用作降低渡輪排放的空氣污染物（主要是二氧化硫，SO₂）。天星小輪依照與政府簽訂的資助協議招標程序，委託梁穩記船廠在「世星號」上安裝洗滌器作試驗。

1.2 試驗期間，天星小輪每個月需要量度一次在洗滌器水箱入口和出口的污染物排放濃度，以評估洗滌器的表現。這次試驗中沒有相關傳統技術作對比。

1.3 理大科技及顧問有限公司（PolyU）獲環境保護署（EPD）委託為獨立第三方評核者，監察試驗並評估試驗大中的綠色創新技術的表現。

1.4 本報告匯報在 13 個月的試驗期中洗滌器的表現。

2. 試驗產品和渡輪

2.1 「世星號」上的柴油-電力驅動（DEP）系統包括兩台 465 kW (425 kW) Caterpillar 柴油發電機組（一號和二號柴油發電機），一台 118 kW Caterpillar 柴油發電機組，兩台 500 kW 電動機和相關的控制設備。兩台 465 kW 發電機符合國際海事組織（IMO）Tier II 和美國國家環境保護局（USEPA）Tier III 排放標準。一台 465 kW 發電機為電動機提供馬力推動小輪，而那台 118 kW 發電機供電給船上的裝備使用。另一台 465 kW 發電機是應海事處要求為了安全理由作為後備用途。

2.2 洗滌器系統包括兩個洗滌器水箱，海水泵和相關設備。每個洗滌器水箱連接一台主柴油發電機（425 千瓦柴油發電機）服務。每部主柴油發電機的排氣喉連接至洗滌器水箱的入口。柴油機的廢氣進入洗滌器水箱，經洗滌後，由洗滌器水箱的出口經船傍排出。在洗滌器水箱前和後測量廢氣內黑煙濃度和二氧化硫（SO₂）濃度，以評估洗滌器降低這些污染物排放的效果。廢氣內碳氫化合物（HC）在洗滌器水箱前和後的濃度亦在 2017 年

10月測量過一次。

2.3 「世星號」、洗滌器和測量設備的主要特點和照片分別載於附錄 1 和附錄 2。「世星號」每日提供兩次來回尖沙咀碼頭至迪士尼碼頭，一次青馬大橋和一次海港遊服務。「世星號」每日營運大約 11 小時提供以上的服務。

3. 試驗資料

3.1 試驗於 2016 年 12 月開始，2017 年 12 月完結。天星小輪委托香港大學為天星小輪的檢測團隊，由 2016 年 12 月起，每月一次測量黑烟和 SO₂ 排放。因「世星號」在 2017 年 9 月進行維修，所以沒有進行測量，但在 2017 年 12 月進行一次額外測量，以補充至 12 次測量。天星小輪提供 2016 年 12 月至 2017 年 12 月的資料作分析。每次測量，都是在穩定的迨速和巡航狀態時分別記錄三組數據。

3.2 天星小輪必須搜集和提供試驗資料包括「世星號」的運作資料，洗滌器的表現資料和維修紀錄。「世星號」運作資料包括運作時間、柴油耗油量和費用。洗滌器的表現數據包括在洗滌器水箱前和後的 SO₂，黑烟和 HC 排放數據。維修紀錄包括洗滌器的定期和非定期維修費及營運時間損失。除了有關開支的資料外，亦須提供洗滌器的維修報告和運作困難紀錄，以反映洗滌器的任何問題。

4. 試驗結果

4.1 排放物的測量

4.1.1 表 1 概括 SO₂ 和 HC 濃度及黑烟烟度的測量結果及其減排成效。

表 1：測量濃度、烟度和減排成效結果撮要（2016 年 12 月 – 2017 年 12 月）

		測量結果			
		泊岸時		航行時	
		洗滌器前	洗滌器後	洗滌器前	洗滌器後
SO ₂	幅度	897 – 1,703 ppb	856 – 1,596 ppb	3,653 – 8,617 ppb	3,466 – 5,851 ppb
	平均	1,408 ppb	1,256 ppb	6,014 ppb	4,639 ppb
	減少量	3.2% – 26.2%；平均：10.8%		2.9% – 40.5%；平均：22.9%	
黑烟	幅度	1.6 – 7.8 HSU	1.0 – 7.7 HSU	0.7 – 4.9 HSU	0.6 – 3.8 HSU
	平均	4.7 HSU	4.4 HSU	1.8 HSU	1.6 HSU
	減少量	-18.2% – 71.2%；平均：8.0%		-10% – 35.7%；平均：14.2%	
HC	幅度	22.4 ppm	14.1 ppm	19.3 ppm	14.8 ppm
	減少量	36.9%		23.3%	

4.1.2 結果顯示在泊岸和航行時，經過洗滌器前、後的廢氣中的 SO₂ 和 HC 濃度及黑烟烟度均非常低。在泊岸時，洗滌器減少 SO₂，黑烟和 HC 的排放效益分別約為 11%，8% 和 37%；而在航行時，洗滌器減少 SO₂，黑烟和 HC 的排放效益分別約為 23%，14% 和 23%。

4.1.3 香港大學機械工程學系梁耀彰教授及其團隊曾於 2008 年 9 月在一艘渡輪「日星號」上進行使用同類洗滌器的可行性研究（下稱：HKU 2018 研究）。日星號使用的舊柴油引擎與「世星號」改裝 DEP 系統前使用的柴油引擎屬同一類型。

4.1.4 與 HKU 2018 研究報告內舊柴油引擎的結果比較，在洗滌器前 DEP 引擎廢氣內的 SO₂ 減少了 83%，黑烟減少了 68% 和 HC 減少了 80%。由 DEP 引擎排放的 SO₂ 明顯減少，那是由於柴油的法定含硫量由 0.5% 收緊到 0.05%，而排放的黑烟和 HC 明顯減少則是由於 DEP 系統採用了改進的引擎科技。當廢氣經過洗滌器後，SO₂、黑烟和 HC 的水平可分別進一步減少 4%，5% 和 5%，相比因收緊柴油的含硫量和採用了 DEP 系統的引擎改進科技所獲的減排效益並不顯著。

4.2 運作費用

4.2.1 燃油消耗

洗滌器會增加燃油消耗。洗滌器內有一個海水泵供應海水到洗滌器，而海水泵的燃油消耗大約為每小時 1.1 公升。洗滌器包括有兩個洗滌器水箱、兩個海水泵和管路系統，加上系統內的海水，共重約 2,000 公斤。按照試驗期中「世星號」的每小時平均耗油量 63.2 公升計算，由洗滌器重量引致的耗油量約為每小時 0.35 公升。因此，估計洗滌器相關的總耗油量約為每小時 1.45 公升（包括海水泵運作的每小時燃油消耗 1.1 公升與洗滌器的重量引致的每小時燃油消耗 0.35 公升）。如果減除此耗油量，「世星號」的每小時平均耗油量將會是 61.7 公升，即是洗滌器增加「世星號」耗油量 2.4%。在試驗期，「世星號」總耗油量為 143,810 公升，洗滌器的耗油量（即「世星號」總耗油量的 2.4%）為 3,451 公升。

4.2.2 維修費用

試驗期內（2016 年 12 月至 2017 年 12 月），洗滌器共有一次定期維修和三次非定期維修，共損失 7 小時營運時間。定期維修是為了清理和檢查洗滌器水箱和噴嘴，此次定期維修是在「世星號」於 2017 年 9 月進行法定大修時同時進行的，所以這次定期維修並無引致營運損失時間，但涉及港幣 14,570 元的維修費用。至於兩次非定期維修，均與二號洗滌器水箱箱面上的裂痕有關，共損失 4 小時營運時間。另一次非定期維修是與清理洗滌器的噴嘴有關，引致 3 小時營運時間損失。由於洗滌器仍在保養期內，天星小輪無須支付非定期維修的費用。

4.3 性能表現和可靠性

4.3.1 試驗期內洗滌器共有一次定期維修和三次非定期維修，共引致一日營運時間損失；因此，它的可使用率是 99.7%。

4.3.2 洗滌器的噴嘴需要定期清理，以確保能維持減排效率。天星小輪表示每年會清理洗滌器一次。

4.3.3 總括而言，天星小輪認同洗滌器符合運作要求，而且表現亦無隨著時間變差。但是，天星小輪對洗滌器能否協助節省營運成本有所保留。同時，由於法定採用低硫柴油，洗滌器原來設計作為降低 SO₂ 的作用變得不明顯。

5. 總結

5.1 天星小輪表示操作洗滌器並無問題。洗滌器在少量維修下能夠應付所需的任務，而且運作暢順，可使用率達 99.7%。

5.2 「世星號」的洗滌器導致增加耗油量 3,451 公升（即總耗油量的 2.4%），相等於排放 9,031 公斤二氧化碳當量 (CO₂e)。

5.3 本試驗顯示由於「世星號」採用了低硫柴油和 DEP 系統的引擎改進科技，相比其舊柴油機，廢氣中的 SO₂、黑烟和 HC 水平都已分別減少了 83%，68% 和 80%。經過洗滌器後的 SO₂，黑烟和 HC 分別進一步減少了 4%至 5%。雖然洗滌器可以減少廢氣內的 SO₂，黑烟和 HC，但是，相對收緊柴油的含硫量和採用 DEP 系統的引擎改進科技而言，洗滌器在整體減排效果方面的貢獻並不顯著。換言之，如果「世星號」沒有安裝洗滌器，「世星號」將節省 2.4% 耗油量而亦減少每類污染物的排放。相對使用 DEP 系統及收緊法定柴油的含硫量，在這試驗中的洗滌器的環境效益是非常微小。

附錄 1：試驗產品和渡輪的主要特點

1. 採用柴油-電力驅動系統的世星號

改裝渡輪

船名：	世星號 (World Star)
類別：	第 1 類別渡輪船隻
註冊港：	香港
總長度：	46.00 米
最大寬度：	9.3 米
輕載排水量：	337,880 公斤
總噸位：	364,000 公斤
淨噸位：	109,000 公斤
載客量：	408 人
製造日期：	1989；2016 年改裝柴油-電力驅動系統

主發電機組

發電機組數目：	2
廠名：	Caterpillar
型號：	C18 船用發電機組
功率：	425 千瓦 (531 KVA) @1800 rpm, 60 Hz
引擎：	直列六缸柴油引擎
排放標準：	符合國際海事組織 IMO Tier II / 美國國家環境保護局 EPA Tier III

輔助發電機組

發電機組數目：	1
廠名：	Caterpillar
型號：	C7.1 船用發電機組
功率：	118 千瓦 (148 KVA) @1800 rpm, 60 Hz
引擎：	直列六缸柴油引擎
排放標準：	符合國際海事組織 IMO Tier II / 美國國家環境保護局 EPA Tier III

驅動電動機 (兩組)

電動機數目：	2
廠名：	Dezhou Hengli
型號：	YVF2-4503-8-H
功率：	500 千瓦，440 V，60 Hz

2. 洗滌器系統 (兩組，每部主發電機各一組)

每組洗滌器

不銹鋼洗滌器水箱：	2 個 (連噴嘴和百葉窗板)
海水泵：	2 個
管路系統：	1 套
製造廠：	Environmental Care Limited

3. 測量設備：氣體分析儀和煙度錶

二氧化硫 (SO₂)

生產商和型號： Model 100 UV 螢光二氧化硫分析儀，Teledyne Advanced Pollution Instrumentation
測量方法： UV 螢光二氧化硫分析
測量範圍： 0 至 20,000 ppb
分辨率： 0.1 ppb

黑煙煙度

生產商和型號： YDA309 煙度計 4，Hartridge
測量方法： 光度吸收法
測量範圍： 0 至 100%
分辨率： 0.1 %

碳氫化合物 (HC)

生產商和型號： 300 HFID，CAI Inc.
測量方法： Heated flame ionization detection
測量範圍： 0 – 30,000 ppm of carbon
分辨率： 1 ppm

附錄 2：世星號、洗滌器和測量設備的照片



渡輪—正面



渡輪—側面



洗滌器和排氣管



洗滌器的水泵



煙度計



SO₂ 氣體化析儀



HC 氣體化析儀