

綠色運輸試驗基金  
渡輪的柴油－電力驅動系統試驗 II  
(天星小輪有限公司)  
最終報告

(2022年12月29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）**

機械工程學系  
香港理工大學

**勞偉籌博士（署理小組主任）**

電機工程學系  
香港理工大學

**吳駿博士工程師**

機械工程學系  
香港理工大學

**熊永達博士**

理大科技及顧問有限公司  
香港理工大學

**袁大偉博士**

理大科技及顧問有限公司  
香港理工大學

**綠色運輸試驗基金**  
**渡輪的柴油－電力驅動系統試驗 II**  
**(天星小輪有限公司)**

**最終報告**  
**(試驗時間：2020年6月1日－2022年5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，在一艘現役渡輪（曉星號）上改裝柴油－電力驅動（DEP）系統，並進行試驗。DEP 系統取代了渡輪上原有的柴油發動機，預計主要可減少渡輪的空氣污染物排放。天星小輪依照與政府簽訂的資助協議招標程序，委託梁穩記船廠在曉星安裝 DEP 系統（下稱：DEP 渡輪）作試驗。

1.2 天星小輪指派一艘提供類似服務的傳統渡輪－北星號與 DEP 渡輪作比較；北星號下稱傳統渡輪。

1.3 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，監察試驗並與傳統渡輪作比較，以評估試驗的綠色創新運輸技術的表現。天星小輪另委托香港大學的專業團隊進行空氣污染物排放測量。

1.4 本報告匯報在試驗期的 24 個月中與傳統渡輪比較下 DEP 渡輪的表現。

**2. 試驗渡輪和傳統渡輪**

2.1 DEP 系統包括兩台 275 千瓦 Caterpillar 柴油發電機組，兩台變頻啟動櫃，兩台 350 千瓦電動機和相關的控制設備。兩台 275 千瓦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 3 排放標準。DEP 渡輪設計於正常運作時同時使用兩台發電機組。如其中一台發電機出現故障，另一台發電機可在功率限制模式下運作電動機。DEP 系統取代了渡輪上原有的一台 1990 年前的 357 千瓦柴油發動機。

2.2 DEP 系統、DEP 渡輪和傳統渡輪的主要特點和照片分別載於附錄 1 和附錄 2。DEP 渡輪提供來回尖沙咀碼頭至灣仔或中環的服務。

**3. 試驗資料**

3.1 試驗於 2020 年 6 月 1 日開始，為期 24 個月。天星小輪必須搜集和提供試驗資料包括 DEP 渡輪的運作資料和維修紀錄。DEP 渡輪運作資料包括乘客人數、運作時間、柴油耗油量和費用。維修紀錄包括 DEP 渡輪與 DEP 系統表現有關的定期和非定期維修費及營運時間損失，亦需要提供傳統渡輪的類似資料。除了有關開支的資料外，亦須

提供 DEP 渡輪的維修報告、運作困難紀錄和船長/乘客/天星小輪的意見，以反映 DEP 渡輪的任何問題。

3.2 由於政府在 2014 年將法定燃油含硫量由 0.5%收緊至 0.05%，因此廢氣內的二氧化硫排放（SO<sub>2</sub>）已大幅下降，DEP 系統的 SO<sub>2</sub> 減排作用已不大。因此，DEP 系統主要是要減低氮氧化物（NO<sub>x</sub>）和懸浮粒子（PM）的排放。曉星號在改裝前曾測量了廢氣排放，亦在試驗的第一個月（2020 年 6 月），第 12 個月（2021 年 6 及 7 月間）和第 24 個月（2022 年 5 月）測量了廢氣排放。測量的污染物主要包括 NO<sub>x</sub> 和 PM 的濃度，以及黑煙煙度。同時，是次試驗也測量了一氧化碳（CO）和碳氫化合物（HC）的濃度，以作參考。天星小輪委托香港大學的專業團隊進行上述測量。

#### 4. 試驗結果

4.1 在 2020 年 6 月至 8 月間，天星小輪仍在熟習/測試 DEP 系統和渡輪的表現和特性，因此被視為準備試驗的預備階段，期間雖有提供渡輪服務，唯收集的數據代表性較低。DEP 渡輪從 2020 年 9 月起正常運作，所以評估是從 2020 年 9 月開始。

4.2 在試驗期初期，天星小輪使用一部發電機操作 DEP 渡輪，以減少油耗。但是，在使用一部發電機操作時會有困難。在高馬力運作或後車運作時，會觸動變頻器警報，變頻器或電動機停機。在使用兩部發電機操作時，上述情況很少發生。因此，從 2021 年 9 月起 DEP 渡輪通常使用兩部發電機操作。

4.3 表 1 概括 DEP 渡輪和傳統渡輪由 2020 年 9 月 1 日至 2022 年 5 月 31 日的統計數據。DEP 渡輪的每小時平均燃油費用較傳統渡輪少港幣 20 元（2.7%），而每小時平均總營運費用則較傳統渡輪少港幣 171 元（16.4%）。

表 1：各渡輪的主要運作統計（2020 年 9 月 1 日至 2022 年 5 月 31 日）<sup>[1]</sup>

	DEP 渡輪	傳統渡輪
總行駛時間（小時）	6,604	6,373
平均油耗（公升／小時）	34.2	35.0
平均燃油費用（港幣／小時） <sup>[2]</sup>	711	731
平均總營運費用（港幣／小時）	874	1,045
營運損失時間（工作日） <sup>[3]</sup>	78	103

<sup>[1]</sup> 2020 年 6 月至 8 月是準備試驗階段，期間收集的數據代表性較低，所以評估是從 2020 年 9 月至 2022 年 5 月。

<sup>[2]</sup> 按照公佈的油價。

<sup>[3]</sup> 營運損失時間是由渡輪不能營運的日期起計，至渡輪回復營運的日期為止。

4.4 從 2020 年 9 月 1 日至 2022 年 5 月 31 日，DEP 渡輪有 8 次定期維修和 22 次非定期維修，共有 78 天營運損失時間；傳統渡輪則有 8 次定期維修和 28 次非定期維修，共有 103 天營運損失時間。DEP 渡輪的可使用率是 87.8%，而傳統渡輪的可使用率是 83.9%。

4.5 在 2020 年 9 月至 2022 年 5 月期間，部分船長表示當使用一部發電機在高馬力運作或後車運作時，會觸發 DEP 系統停機，他們認為 DEP 渡輪操作較傳統渡輪操作新穎及複雜，需要時間適應。天星小輪表示，針對這問題，從 2021 年 9 月起，DEP 渡輪通常同時使用兩部發電機。另有意見均表示 DEP 渡輪的噪音較傳統渡輪高。天星小輪認同綠色渡輪可幫助改善空氣質素，但對以 DEP 系統取代所有現時傳統渡輪的柴油引擎則有保留，因為 DEP 渡輪節省燃料成本不大，維修亦非預期中容易，而且 DEP 渡輪不能使用一部發電機穩定地操作。乘客們的意見普遍正面，認為 DEP 渡輪排放較少污染物，而且比較寧靜，支持現有傳統渡輪改裝 DEP 系統。

4.6 DEP 渡輪的 12 個月移動平均燃料效益由每小時 34.3 公升上升至每小時 34.7 公升，大約是 1%。在 24 個月試驗期內 DEP 渡輪的燃料效益幾乎沒有變化。

4.7 在試驗期間，DEP 渡輪的二氧化碳當量 (CO<sub>2e</sub>) 排放是 591,216 公斤，而在與 DEP 渡輪相同的里程下傳統渡輪的 CO<sub>2e</sub> 排放是 605,645 公斤。相比傳統渡輪，在試驗期間使用 DEP 渡輪共減少了 14,429 公斤 (2.4%) 的 CO<sub>2e</sub> 排放。

## 5. 空氣污染物減排

5.1 對比原有的柴油發動機，DEP 系統主要是要減低氮氧化物和懸浮粒子的排放。原渡輪 (即改裝前) 的排放是在 2019 年 3 月和 4 月間測量的，而 DEP 渡輪的排放是在 2020 年 6 月 (即改裝後)，2021 年 6/7 月 (改裝後大約 12 個月) 及 2022 年 5 月 (改裝後大約 24 個月) 間測量的。

5.2 在改裝 24 個月後，氮氧化物的排放量減少了 63%，懸浮粒子的排放量減少了 75%。

5.3 同時，是次試驗也測量了一氧化碳和碳氫化合物的排放量，以作參考。改裝 24 個月後一氧化碳和碳氫化合物的排放量分別減少了 6% 和 57%。

## 6. 總結

6.1 在試驗期首 3 個月 (2020 年 6 月至 8 月間)，天星小輪仍在熟習 / 測試 DEP 系統和渡輪的表現和特性，因此被視為準備試驗階段，期間收集的數據代表性較低，所以本報告的評估是從 2020 年 9 月至 2022 年 5 月。

6.2 在 24 個月試驗期內，DEP 渡輪的可使用率是 87.8%，而傳統渡輪的可使用率是 83.9%。DEP 渡輪的每小時平均燃油費用較傳統渡輪少港幣 20 元 (2.7%)，而每小時平均總營運費用則較傳統渡輪少港幣 171 元 (16.5%)。

6.3 本測試顯示，在本地運作情況下 DEP 系統使用兩部發電機操作時可符合使用者的營運要求和能夠應付需要的任務。DEP 渡輪的船長們對 DEP 渡輪的運作有不同的意見，部分認為操作 DEP 渡輪較傳統渡輪新穎及複雜，需要時間適應。但整體都表示 DEP 渡輪的噪音較傳統渡輪高。

6.4 天星小輪認同綠色渡輪可幫助改善空氣質素，但對以 DEP 系統取代所有現時傳統渡輪的柴油引擎則有保留，因為 DEP 渡輪節省燃料成本不大，維修亦非預期中容易，而且 DEP 渡輪不能使用一部發電機穩定地操作。

6.5 乘客們的意見普遍正面，認為 DEP 渡輪排放較少污染物，而且比較寧靜，支持現有傳統渡輪改裝 DEP 系統。

6.6 DEP 渡輪的 12 個月移動平均燃料效益由每小時 34.3 公升上升至每小時 34.7 公升，大約是 1%。在 24 個月試驗期內 DEP 渡輪的燃料效益幾乎沒有變化。

6.7 改裝後 24 個月的測量結果顯示，以 DEP 系統取代原有的柴油發動機可分別減少氮氧化物和懸浮粒子排放 63%和 75%。同時一氧化碳和碳氫化合物的排放量亦分別減少了 6%和 57%。

## 附錄 1：試驗涉及的渡輪的主要特點

### 1. DEP 渡輪的柴油-電力驅動系統

#### 主發電機組（兩組）

廠名：	Caterpillar
型號：	C9.3 船用發電機組
功率：	275 千瓦 @1800 rpm, 60 Hz
引擎：	直列六缸柴油引擎
排放標準：	EPA Tier 3/IMO II

#### 輔助發電機組（兩組）

廠名：	Perkins
型號：	1004TGM
功率：	52 千瓦 @1500 rpm

#### 驅動電動機（兩組）

廠名：	Dezhou Hengli
型號：	YVF2-4003-6-H
功率：	350 千瓦 @ 1190 rpm

### 2. DEP 渡輪

船名：	曉星
類別：	第 1 類別渡輪船隻
註冊港：	香港
總長度：	35.61 公尺
最大寬度：	8.57 公尺
輕載排水量：	235.47 / 250.17 公噸（有壓艙 / 沒有壓艙）
總噸位：	206 / 164.01 公噸（改裝後 / 改裝前）
淨噸位：	100 / 39.69 公噸（改裝後 / 改裝前）
載客量：	399 / 540 人（改裝後 / 改裝前）
製造日期：	1965；2020 年改裝柴油－電力驅動系統

### 3. 比對用的傳統渡輪

船名：	北星
類別：	第 1 類別渡輪船隻
註冊港：	香港
總長度：	35.63 公尺
最大寬度：	8.57 公尺
輕載排水量：	248.55 公噸
總噸位：	164.01 公噸
淨噸位：	39.69 公噸
載客量：	547 人
製造日期：	1958
主機：	Crossly/6HRN; 340 rpm, 357.33 千瓦
發電機組：	2*Perkins 1004TM; 52 千瓦@ 1500 rpm



附錄 2：渡輪和柴油-電力驅動系統的照片

(a) DEP 渡輪和 DEP 系統



DEP 渡輪曉星號 - 前方



DEP 渡輪曉星號 - 側面



1 號主發電機組 (驅動用)



2 號主發電機組 (驅動用)



輔助發電機組



驅動電動機

(b) 傳統渡輪



北星號