

投標參考編號 16-03633

驗證綠色渡輪技術在本港情況下操作的 可行性研究

摘要報告

提交

香港特別行政區政府環境保護署

作者

吳家穎
林昇陽

創思顧問研究公司
香港

2017年12月

目錄

序言	2
研究目標	2
本地渡輪營運	3
初步技術與環境評估	3
基於本地渡輪營運特點而作出的建議	4
建議選項可達致的環境效益	6
各建議選項的財政評估	7
試驗計劃	7
結論	8
表 1 香港的專營和持牌客運渡輪服務（2015 年）	9
表 2 來往香港和澳門之間的客運渡輪服務（2015 年）	9
表 3 綜述表：各種綠色渡輪技術的技術與環境評估	10

序言

- SR1. 近數十年，由於船舶及港口活動對空氣污染和氣候變化所造成的影響在國際、國家以及城市等層面都日漸受到關注，各種管制措施因而相繼出現，以緩解這些環境影響。就以國際海事組織為例，他們已逐步把所有船舶的船用燃料含硫量，從 2012 年起由百分之 4.5 收緊到百分之 3.5，並將會自 2020 年 1 月 1 日起進一步收緊到百分之 0.5。
- SR2. 香港對這個趨勢作出了積極回應，不但自 2014 年 4 月起，限制本地供應的船用輕質柴油的含硫量不可超過百分之 0.05，更由 2015 年 7 月起，規定遠洋船隻在停泊期間，必須轉用含硫量不超過百分之 0.5 的船用燃料。後者或許不久便會延伸到往來香港水域的船隻，從而配合中國的船舶排放控制區方案，以及自 2019 年起在珠江三角洲符合相關的燃料規定。
- SR3. 為了應對更嚴謹的排放標準和法規，以及船舶排放對空氣污染與氣候變化的影響日益受到關注，應用於船舶上（包括渡輪）的綠色技術因而在過去數十年迅速發展起來。儘管綠色技術在減排方面已顯示出巨大的潛力與成效，但這並不保證技術能成功應用和實施，主要是因為技術、運作、商業和制度上的各種障礙，以及缺乏推進因素、基建、規管和誘因等。

研究目標

- SR4. 2017 年 1 月，前任行政長官梁振英在他的施政報告中指出，政府「正研究提升本地渡輪能源及環保效益的技術。」有見及此，本研究的主要目標如下：
- (a) 在本地渡輪現時的營運特點下，評估全球多種常用綠色渡輪技術在本港操作的技術可行性；
 - (b) 評價建議中的綠色渡輪技術的環境效益和所需成本；以及
 - (c) 評估在全面實施建議中的綠色渡輪技術前，是否需要先推行一個試驗計劃。

本地渡輪營運

- SR5. 根據「標書合約特別條款」，本研究所指的本地客運渡輪，包括港內航線、離島航線，以及前往澳門及珠江三角洲（珠三角）港口的航線。
- SR6. 與其他公共交通工具相比，渡輪（港內航線和離島航線）的市場佔有率十分低。在 2015 年，它維持在百分之 1.1 的水平，平均每天運載 134,000 名乘客，是香港一種輔助交通工具。截至 2015 年底，香港一共有 14 間專營和持牌的渡輪營辦商，經營 21 條定期客運渡輪航線。（表 1）此外，還有 2 條危險品汽車渡輪航線及 2 條特別航線，在海港行駛以及前往各個新市鎮和離島，但這些服務並不包括在本研究之內。
- SR7. 有兩個營辦商提供來回香港和澳門的跨境載客渡輪服務。（表 2）來往香港和珠三角各個港口的客運渡輪服務，則由多個營辦商經營，目的地包括斗門、高明、虎門、江門、蓮花山、南沙、蛇口、深圳、順德、中山、珠海，以及位於福永的深圳機場等。
- SR8. 除了上述的客運渡輪服務外，也有街渡渡輪服務，為香港較偏遠和缺乏固定公共交通的地區服務，提供連接交通。在 2015 年，共有 14 條街渡航線提供固定班次的服務和另外 56 條按需求而定的街渡航線，總共有 89 艘街渡提供服務。街渡渡輪服務也不包括在本研究範圍之內。
- SR9. 香港的渡輪服務基於商業原則運作，由私營公司營辦。根據《渡輪服務規例》（第 104 章）第 6 條或第 28 條列舉的渡輪服務條文，渡輪營辦商可向特區政府申請專營權合約或牌照合約。一切經營細節，包括專營和持牌渡輪服務的航線、時間表、船費、船舶分配等，皆由運輸署審批。
- SR10. 與上述所有情況不同，經營跨境渡輪服務的渡輪公司並沒有就其服務，與特區政府簽署任何專營權或牌照合約。他們的經營純粹是商業活動，因而在調整船費和時間表上擁有完全自主權。

初步技術與環境評估

- SR11. 報告驗證了一些可減少廢氣和溫室氣體排放，而又適用於渡輪（包括新造與現役船隻）的綠色技術，尤其在北美和歐盟等環保工作先進的地區所使用的技術。這些技術包括：(a) 液化天然氣；(b) 壓縮天然氣；(c) 電池推進；(d) 混合動力推進；(e) 柴油電力推進；(f) 雙燃料引擎；(g) 輕質物料；(h) 洗滌器；以及(i) 燃料電池技術。
- SR12. 顧問在評估以上技術在本港情況下操作的可行性時，選用了八項準則，包括：(a) 技術成熟程度，(b) 支援配套，(c) 技術能力，(d) 人力資源，(e) 財政資源，(f) 制度能力，(g) 推行時間及 (h) 風險與挑戰。
- SR13. 此外，顧問主要根據國際經驗選取了五項準則，對納入本研究的綠色渡輪技術作出初步環境評估。這些準則是：(a) 廢氣排放，(b) 節省燃料，(c) 燃料效能，(d) 噪音污染及 (e) 廢料的產生。
- SR14. 顧問最後按照一個三分制，對納入本研究的綠色渡輪技術進行評分。技術可行性和環境表現在總分中佔相同比重（各佔百分之 50）。
- SR15. 評估結果顯示，在技術和環境方面，電池推進（75 分）、輕質物料（66 分）、混

合動力推進（65 分）和柴油電力推進（61 分）是得分高的技術。至於得分低的技術（在 45 至 51 分之間），部分需要香港現時欠缺的支援配套，例如燃料儲存、供應與補給、技術能力、人力資源支援和制度能力等，而其他則在改善環境方面的表現有所不足。（表 3）

基於本地渡輪營運特點而作出的建議

SR16. 雖然電池推進、輕質物料、混合動力推進和柴油電力推進在初步的技術與環境評估中脫穎而出，但這並不表示這四種技術全部都應當在香港推行，反而要根據本地渡輪經營的特點和需要，選出最合適的一種或多種技術。

SR17. 因此，本研究對香港的渡輪服務作出了仔細分析，並充分考慮到多項主要營運特徵，因為這些因素會影響渡輪業選擇可行綠色技術的決定。這些營運特徵包括：(a) 船隻大小與承載量，(b) 航行速度，(c) 航行距離，(d) 停泊時間及 (e) 船隊年齡。

SR18. 本研究發現：

- ◆ 服務港內航線的渡輪航行較短距離（來回碼頭之間），速度也較低，而停泊時間也較短；
- ◆ 服務離島航線的渡輪航行中等距離，速度不定（在限制區內較慢，在限制區外則較快），停泊時間較長；
- ◆ 服務澳門航線的渡輪航行距離長，行駛速度高（在航速限制區內除外），停泊時間相對較短；
- ◆ 前往珠三角各個港口的渡輪航行距離長，行駛速度高（在航速限制區內除外），但由於班次並不頻密，停泊時間平均較長；
- ◆ 由於現役渡輪船隊的平均船齡超過 20 年，有些船更在 1950 和 1960 年代建成，因此大多數營辦商在接受訪問時都表示，他們寧願在新船上使用綠色技術，也不想現在現有渡輪上加裝這些技術。

SR19. 基於上述的評估與考慮，顧問作出以下多項建議。

SR20. 新造還是改裝船舶：顧問的首項建議是，**設計和建造新船比改裝現有渡輪更佳**。顧問考慮到老邁的船齡（逾 20 年），以及改裝的空間與靈活性有限，同時亦需要維持最理想的載荷能力和服務環境等因素後，認為這是最佳的選擇。

SR21. 造船物料：此外，顧問亦**建議新造船隻應考慮選用輕質物料，例如碳纖維複合材料或鋁合金，以節省燃料的使用**。行駛長途、高速航線的渡輪（例如離島渡輪、澳門渡輪及珠三角渡輪），節省燃料的效益最高。港內航線因班次頻密，同樣可以受惠。

SR22. 推進系統：為了善用設計和建造新船的機會，並達致額外的環境效益，顧問極力建議考慮選用傳統柴油引擎以外的推進系統。根據本研究的結果，顧問建議以碳纖維複合材料建造電動渡輪和混合動力電動渡輪，行駛以下指定航線：

- ◆ 港內航線：建議行駛港內航線的渡輪，應考慮選用電池推進系統。

- (a) 電動渡輪是最佳選擇，因為短途的港內航線每程的能源需求較低，因而可減低船上電動系統的功率與電池需求。若班次頻密，更可充分減少燃料的耗用量及其他營運成本。
 - (b) 對於這些短途的港內航線而言，在渡輪碼頭通宵充電，並輔以在日間靠泊時的快速充電，便可滿足充電需要。因此，在渡輪停泊位置，必須興建岸上充電設施。
 - (c) 建議採用輕質物料建造新船，而並非改裝現有渡輪。這樣，在相同的操作環境下（例如相同的速度模式），便可進一步降低船舶的動力需求。
 - (d) 推進系統方面，建議船舶可以由兩個電動機驅動，兩者都使用鋰電池組，並以一個超級電容器儲存能量。此外，燃料電池技術有潛力被考慮用作提供輔助動力來源以應付任何突發事件。
- ◆ **離島航線：建議行駛離島航線的渡輪，應考慮採用結合了發電機和柴油引擎配置 (CODLOD)(使用電動或柴油模式)的混合動力推進系統。**
- (a) 離島航線以較高速航行較長距離，推進動力要求也較高，混合動力渡輪最為合適。
 - (b) 以輕質物料建造新船，並由柴油引擎電動機以 CODLOD 配置驅動。它能以柴油或電池模式運作。
 - (c) 在維多利亞港外的穩定高速環境中，柴油引擎將會作為主要驅動器。
 - (d) 在海港內低速行駛（在速度管制區內），以及在引擎負荷差別很大的環境下（例如船隻在泊岸行駛時），電動機則會成為主要推進器，從而在近岸區達致零排放，並減少煙霧和空氣污染對大眾造成的滋擾。
 - (e) 因應不同的操作模式，包括船速、引擎負荷、停泊時間等，混合動力推進系統可以度身訂造和改良，以配合電池的充電需要，因此毋需在渡輪碼頭通宵充電。
 - (f) 混合動力渡輪可以減少燃料的耗用量，提高能源效能。以電池模式作低速航行，更可提高節省燃料、空氣污染、減少噪音等方面的效益。

SR23. 其他考慮：

- ◆ 對於服務跨境航線的渡輪，混合動力推進在技術和環境兩方面同樣被視為最適合的技術來節省燃料和減少排放。然而，是否轉用綠色渡輪，應由私營營辦商以商業角度作出決定。
- ◆ 至於街渡渡輪服務方面，由於經營規模較小，只有少數街渡渡輪服務是固定的。基於規模潛力有限，因此在街渡渡輪推行綠色技術並非優先的建議項目，而應按個別情況作出考慮。
- ◆ 除了建議離島航線採用混合動力電動推進系統外，還有應長期密切留意其他的混

合動力推進系統。假如將來香港的液化天然氣供應變得更穩定，便可以考慮燃氣電動混合動力推進這個選擇。

- ◆ 柴油電力推進在綜合評估中的得分很高，在技術上被視為一項在香港可行的綠色渡輪技術。然而柴油電力渡輪的環境表現，在港內航線不及電動渡輪，而在離島航線又不及混合動力電動渡輪，所以並沒有獲選取為本地渡輪最可取的技術。

SR24. 試驗計劃：由於現時只有有限的綠色渡輪在類似香港的環境下運作，因此在現階段要求本地渡輪營運商以建議中的技術取代所有現役渡輪是過於倉促的。顧問**建議現階段必須推行試驗計劃**，以測試綠色渡輪在本港的運作情況，以確定它們是否適用於本地，方作長期廣泛應用。

建議選項可達致的環境效益

SR25. 空氣污染減少：假若七條港內航線的渡輪全都以電動渡輪替代，最大的環境效益是令**這些渡輪在維多利亞港內會達致零排放**。估計二氧化硫（SO₂）、氮氧化物（NO_x）、可吸入懸浮粒子（PM₁₀）、微細懸浮粒子（PM_{2.5}）、碳氫化合物（HC）和一氧化碳（CO）將會分別減排 1.3 公噸、79.4 公噸、1.6 公噸、1.5 公噸、1.1 公噸和 14.3 公噸。假若服務離島航線的所有渡輪都以混合動力電動渡輪替代，估計再可減排 8.2 公噸 SO₂、485.9 公噸 NO_x、9.2 公噸 PM₁₀、8.4 公噸 PM_{2.5}、6.8 公噸 HC 和 87.1 公噸 CO。

SR26. 空氣質素改善：利用電動渡輪行駛港內航線和混合動力電動渡輪行駛離島航線，將會為維港及其鄰近區域的空氣質素帶來顯著改善。預計 SO₂ 和 NO_x 的濃度都會大幅下降，尤其是離島渡輪造成的部分。此外，在微風或無風的高空氣污染日，空氣質素的改善會更為顯著，因為港口區域的主要空氣污染源將會消失了。

SR27. 溫室氣體減少：若香港全面實施所有的綠色渡輪建議，基準年（2015 年）將會一共減少 30,139 公噸二氧化碳（CO₂）、0.8 公噸氧化亞氮（N₂O）和 2.9 公噸甲烷（CH₄），相等於減少了 30,458 公噸二氧化碳當量（CO₂-e）。

SR28. 燃料節省與燃料效能：假若所有行駛港內航線和離島航線的渡輪都分別以電動渡輪和混合動力渡輪取代，估計將會節省 1,140 萬公升船用輕質柴油，相當於較基準年節省了百分之 33.3 燃料。除了減少空氣污染和溫室氣體外，節省燃料亦可降低營運成本。

SR29. 噪音污染減少：電動渡輪和混合動力渡輪，將會為乘客和船員提供更安靜的環境。根據國際與本港經驗，電動和混合動力渡輪的噪音水平是由低於 60 分貝以下至 70 分貝左右，而柴油渡輪則是 80 至 90 分貝。

SR30. 廢物減少及其他環境考慮：與柴油推進器相比，混合動力電動推進系統將耗用較少潤滑油，而全電動系統將會減省絕大多數潤滑油，主因是需要潤滑的配件大幅減少了。但在使用電動渡輪和混合動力渡輪時，則需要更妥善處理廢舊電池。

各建議選項的財政評估

- SR31. 根據海外造船設計師、造船工程師，以至綠色渡輪技術供應者及其他專家的意見，設計、建造和營運一艘由碳纖維複合材料製成的電動渡輪行駛港內航線（船舶規格與接載約 525 名乘客的現役渡輪相若），所涉及的主要成本項目包括下列各點：
- ◆ 一艘電動渡輪的成本：7,500 萬港元
 - ◆ 岸邊自動繫泊與感應充電設施的成本：1,750 萬港元
 - ◆ 每年維修成本：更換電池，每 6 年 5 百萬港元
 - ◆ 電費：根據非住宅收費，每年 90 萬港元
- SR32. 另一方面，為離島航線設計和建造一艘以碳纖維複合材料製成的混合動力電動渡輪（船舶規格與接載約 500 名乘客的現役快速渡輪相若），估計成本是 1 億港元。根據報告假設，燃料成本因減少消耗船用輕質柴油，可以節省百分之 30。
- SR33. 渡輪營運商在受訪時已指出，在現時的財政與營運環境下，建造一艘綠色渡輪的財政開支是他們難以承擔的。因此報告建議香港應考慮使用一種嶄新的商業模式去經營本地渡輪，既可以促進綠色渡輪在本港推行，又可以確保營運商的業務得以持續，並能建立一個由政府管理的優質監管制度，讓營運商可以向乘客提供高質素的渡輪服務。

試驗計劃

- SR34. 本報告強烈建議，政府在香港引進建議中的綠色渡輪技術時，必須採取漸進與務實的方式。第一個步驟，應當是推行一個試驗計劃，為選取了技術提供試驗場地，以吸取寶貴經驗，然後再考慮將來作全面推行。推行試驗計劃的理據包括：
- ◆ 在本港使用綠色渡輪技術上，建立一個證明可行的實例，以建立營運商以至乘客的信心；
 - ◆ 在全面實施前進行試驗，從而減低技術失誤的風險，並可藉經驗優化船隻和系統的設計；
 - ◆ 找出無法預料的問題與機遇；以及
 - ◆ 監測和量化所選技術的效益。
- SR35. 試驗計劃的主要工作，應當包括但不限於下列各項：(a) 取得政府撥款，(b) 制訂船隻規格，(c) 研究在現有碼頭安裝充電設施的可行性，(d) 預備標書及招標，(e) 預備渡輪和充電設施的詳細設計與建造工作，(f) 船隻級別審批，(g) 渡輪試驗航行，(h) 測試、監測、數據分析及評估。為了加快進程，上述某些工作可以同時進行。預計試驗計劃需時 4 至 5 年完成。
- SR36. 整個試驗計劃可分為三個階段：試驗前階段、試驗階段、試驗後階段。

- SR37. 試驗前階段，包括設計、建造、試行及營運新綠色渡輪，以及建造其他基建配套前的一切準備工作。政府應當成立一個跨政策局的工作小組，制定試驗計劃的實施方案，包括：(a) 確定參與試驗計劃的服務航線和渡輪營運商，(b) 試驗計劃的範圍和條款，(c) 試驗期間的財務安排，(d) 渡輪班次，(e) 維修支援與安排，(f) 試驗計劃完成後的渡輪擁有權，以及 (g) 充電設施的要求。
- SR38. 試驗階段包括設計、建造、調試與營運綠色渡輪，以及其他基建配套如岸上充電設施。此外也應留意船級審批，並收集技術、環境、財務等數據以及監測綠色渡輪的試驗表現。政府應成立一個跨行業的專責小組，成員包括但不限於相關政府決策局與部門的代表，以及在船舶工程、船舶建造、船級審批、渡輪營運及其他技術支援方面擁有專業相關知識的外界專家，從而提供完成各項工作所需的特別專業知識。
- SR39. 試驗後階段的主要工作是總結和匯集在試驗階段期間收集到的數據和資料，並就技術可行性、環境效益和財務表現等方面全面評估試驗計劃的成效。工作小組要提交評估報告予政府並向公眾公開，就港內與離島航線全面採用綠色渡輪技術提出建議。若建議正面，工作小組亦應當制訂全面推行綠色渡輪的路線圖和時間表。

結論

- SR40. 結論認為，把在港內航線及離島航線行駛的柴油推進渡輪，分別改用以碳纖維複合材料等輕質物料建造的新電動渡輪及混合動力電動渡輪，不但在技術上可行，對環境也有莫大裨益。若這些建議得以全面實施，將會是香港長遠邁向「零排放」的維多利亞港的重要一步。試驗計劃獲得的寶貴經驗，更有助香港其他船隊，包括政府船隊的綠化。

表 1 香港的專營和持牌客運渡輪服務（2015 年）

	營辦商	航線
專營	天星小輪有限公司	中環 ↔ 尖沙咀
專營	天星小輪有限公司	灣仔 ↔ 尖沙咀
持牌	全記渡有限公司	香港仔 ↔ 索罟灣（經模達）
持牌	珊瑚海船務有限公司	西灣河 ↔ 三家村
持牌	珊瑚海船務有限公司	西灣河 ↔ 觀塘
持牌	愉景灣航運服務有限公司	中環 ↔ 愉景灣
持牌	富裕小輪有限公司	北角 ↔ 觀塘
持牌	富裕小輪有限公司	屯門 → 東涌 → 沙螺灣 → 大澳
持牌	港九小輪有限公司	中環 ↔ 坪洲 （包括特別航班來往坪洲及喜靈洲）
持牌	Islands Ferry Company Limited （只有英文名稱）	中環 ↔ 榕樹灣
持牌	翠盈船務有限公司	香港仔 ↔ 長洲
持牌	新世界第一渡輪服務有限公司	中環 ↔ 長洲
持牌	新世界第一渡輪服務有限公司	中環 ↔ 梅窩
持牌	新世界第一渡輪服務有限公司	坪洲 → 梅窩 → 芝麻灣 → 長洲
持牌	新世界第一渡輪服務有限公司	北角 ↔ 紅磡
持牌	新世界第一渡輪服務有限公司	北角 ↔ 九龍城
持牌	珀麗灣客運有限公司	馬灣 ↔ 荃灣
持牌	珀麗灣客運有限公司	馬灣 ↔ 中環
持牌	坪洲街渡有限公司	愉景灣 ↔ 梅窩
持牌	翠華船務(香港)有限公司	香港仔 → 北角村 → 榕樹灣
持牌	城永有限公司	中環 ↔ 索罟灣

資料來源：運輸署

表 2 來往香港和澳門之間的客運渡輪服務（2015 年）

營辦商	航線
噴射飛航	香港上環港澳碼頭 ↔ 澳門外港客運碼頭
噴射飛航	香港上環港澳碼頭 ↔ 澳門氹仔客運碼頭
噴射飛航	尖沙咀中國客運碼頭 ↔ 澳門外港客運碼頭
噴射飛航	香港國際機場（海天客運碼頭）↔ 澳門外港客運碼頭
金光飛航	香港上環港澳碼頭 ↔ 澳門外港客運碼頭
金光飛航	香港上環港澳碼頭 ↔ 澳門氹仔客運碼頭
金光飛航	尖沙咀中國客運碼頭 ↔ 澳門外港客運碼頭
金光飛航	尖沙咀中國客運碼頭 ↔ 澳門氹仔客運碼頭
金光飛航	香港國際機場（海天客運碼頭）↔ 澳門外港客運碼頭
金光飛航	香港國際機場（海天客運碼頭）↔ 澳門氹仔客運碼頭

資料來源：噴射飛航、金光飛航

表 3 綜述表：各種綠色渡輪技術的技術與環境評估

3 分制 (3-2-1-0) / (高-中-低-無)	液化 天然氣	壓縮 天然氣	電池推進	混合動力 推進	柴油電力 推進	雙燃料 引擎	輕質物料	洗滌器	燃料電池
技術可行性									
技術成熟程度	●●○	●○○	●●○	●●○	●●○	●●○	●●●	●●○	●○○
支援配套	○○○	○○○	●●○	●●●	●●●	○○○	●●●	●●●	○○○
技術能力	○○○	○○○	●●○	●●○	●●○	●○○	●●○	●●○	○○○
人力資源	○○○	○○○	●○○	●●○	●●○	○○○	●●○	●●○	○○○
財政資源	●●○	●○○	●●○	●●○	●●○	●●○	●●○	●●○	●○○
制度能力	●○○	○○○	●●○	●●○	●●○	●○○	●●○	●●○	○○○
推行時間	●○○	●○○	●●○	●●○	●●●	●●○	●●●	●●●	○○○
風險與挑戰	●○○	●○○	●●○	●●○	●●○	●○○	●●○	●●○	●○○
小計，技術可行性（最高 24）	7	4	15	17	18	9	19	18	3
環境考慮									
廢氣排放	●●○	●●○	●●●	●●○	●○○	●●○	●●○	●○○	●●●
節省燃料	●●●	●●●	●●●	●●○	●●○	●●○	●●○	○○○	●●●
燃料效能	●●○	●●○	●●●	●●○	●○○	●●○	●○○	●○○	●●●
噪音污染	●●○	●●○	●●●	●●○	●○○	●○○	●○○	○○○	●●●
廢料的產生	●●○	●●○	●○○	●○○	●●○	●●○	●●○	●○○	●○○
小計，環境考慮（最高 15）	11	11	13	9	7	9	8	3	13
綜合評估 （技術可行性+環境考慮）									
技術可行性的加權得分（最高 50）	14.6	8.3	31.3	35.4	37.5	18.8	39.6	37.5	6.3
環境考慮的加權得分（最高 50）	36.7	36.7	43.3	30.0	23.3	30.0	26.7	10.0	43.3
總分（最高 100）	51	45	75	65	61	49	66	48	50
排名	5	9	1	3	4	7	2	8	6

●●● = 高潛力 ●●○ = 中潛力 ●○○ = 低潛力 ○○○ = 無潛力