



香港特別行政區政府
機電工程署

合約編號：CE 36/2000
香港使用可再生能源的可行性研究

第一階段研究摘要

二零零二年十二月



CDM國際環保顧問工程公司
暨
盈智經濟及管理顧問有限公司

目 錄

1	引言	1
1.1	背景資料	1
1.2	有關政策	1
1.3	研究範圍	2
1.4	第一階段研究目標	2
2	技術檢視	3
2.1	概要	3
2.1.1	關於資源的定義	3
2.1.2	重要的本地特點	3
2.1.3	技術分類	5
2.2	光伏系統	6
2.2.1	潛在資源	6
2.2.2	推行上的問題	7
2.3	風能	8
2.3.1	風力資源	8
2.3.2	直線排列的郊區風力發電場	9
2.3.3	近岸的海上風力發電場	10
2.3.4	在市區個別裝設的風車	12
2.4	附設於建築物的燃料電池	13
2.4.1	資源潛力	14
2.4.2	推行上的問題	14
2.5	廢物轉化能源	14
2.6	適用於其他用途的技術	14
3	有關問題	15
3.1	一般問題	15
3.1.1	傳統電力的定價	15
3.1.2	與電網的連接	15
3.1.3	公眾認知	16
3.2	與技術有關的問題	16
4	可再生能源發展策略	17
4.1	目標與方法.....	17
4.2	促進措施	17
4.2.1	與電網的連接	18

4.2.2	創造市場及電力價格.....	18
4.3	與技術有關的措施	19
4.4	推廣與宣傳活動	19
4.5	具體目標	20
4.5.1	釐定方法	20
4.5.2	建議目標	20
4.6	補充策略	22
5	結論.....	23
6	建議.....	24

圖

- 圖一 香港主要的發展限制(資料來源：香港 2030 網站)
圖二 香港風力資源地圖
圖三 可用來興建海上風力發電場的區域

表

- 表一 採用光伏系統的長遠目標
表二 本地可再生能源發電量預測總覽(百萬千瓦時/年)

1 引言

1.1 背景資料

香港這個小地方本身並沒有石油、天然氣、煤等能源資源，一向主要倚賴入口的化石燃料來滿足本地能源界別¹的需求。在電力供應方面，兩家獨立的電力公司各自提供供電、輸電、配電及零售服務，為特區所有主要的住宅區、商業區、工業區供電。電力公司一直從外地入口煤，近年也開始採用天然氣，供本地三個發電廠發電之用。

公眾近年來越來越關注能源效益和環境保護的問題。例如，香港已經承諾「與世界其他地區一起努力穩定大氣層中的溫室氣體含量」。二氧化碳等排放入大氣層的溫室氣體主要是燃燒化石燃料而產生的副產品。能源界別是本港最大的二氧化碳排放者，佔了二氧化碳總排放量的 97%，其中大部份來自發電過程。現時，能源是免稅的，也沒有「環保稅」（例如二氧化碳稅或氧化硫/氧化氮稅）去反映燃燒化石燃料所造成的本地或全球污染代價。

要減少排放溫室氣體可以有數個途徑，包括使用另類燃料及可再生能源。值得注意的是，本港自 1996 年起啓用的所有發電廠都採用天然氣作燃料，而天然氣排放出來的二氧化碳比煤少 50%。雖然可再生能源在海外一些國家用來大規模發電，但是否同樣適用於香港則仍是未知之數。

1.2 有關政策

現時的能源政策有兩個目標：

- 確保以合理的價格安全有效地滿足社會上的能源需求；以及
- 盡量減少能源生產及使用對環境造成的影響，並提倡善用及節約能源。

增加可再生能源的應用量比重以滿足本地能源需求，能配合政府「盡量減少能源生產對環境造成的影響」及「提倡善用及節約能源」的政策，也能配合世界其他地區，努力減少排放入大氣層的溫室氣體，並有助符合空氣質素指標。

最後，增加可再生能源的應用量比重也會增加能源供應的選擇範圍，從而有助減少倚賴入口的能源或燃料，增加能源供應的可靠性。

政府考慮到上述的政策目標，認為時機成熟，應該探討香港使用可再生能源的可行性。因此，機電工程署委託了顧問公司進行這個《香港使用可再生能源的可行性研究》(下文簡稱為「本研究」)。

¹能源界別包括發電、製造業及建築業、運輸業以及其他使用燃料的行業。

1.3 研究範圍

本研究分為兩個階段，分別為：

第一階段研究

- 以文獻研究及資料分析的方法檢視世界各地可再生能源²技術的最新發展
- 探討適用的可再生能源技術在短期內及長遠來說在本港廣泛³採用的潛力
- 評估在本港較大規模地採用新⁴及可再生能源技術作為另類能源的可行性及潛力；以及
- 制訂推行策略。

第二階段研究

- 進行一個試驗計劃，以展示附設於建築物的光伏系統的應用情況。

本摘要介紹了第一階段研究的主要結果。第二階段研究的「附設於建築物的光伏系統」示範項目將會另備報告。

1.4 第一階段研究目標

第一階段研究是首個有系統地就香港的可再生能源發展潛力所作的評估，主要目標是找出有潛力在香港廣泛採用的新能源技術和可再生能源技術，然後制訂策略促使本港推行這些技術。第一階段研究的主要工作是：

- 技術檢視
- 分析問題及障礙
- 制訂策略

研究結果載於本報告隨後的章節中。

² 「可再生能源」這個詞彙可以有數個定義方式，現時未有普遍接受的定義。一般而言，可再生能源是不會匱乏而用之不竭的，意思是沒有藏量用光的問題。

³ 「廣泛」採用的意思是，以集中或分散的方式在整個社會應用有關技術，即使這些技術位於遠離能源需求的地區也有足夠能量作遠程輸送。

⁴ 新能源技術包括「非傳統」的發電及儲電技術。注意，這些不一定是可再生能源技術。「燃料電池」便是個例子，其中有些類型可以用天然氣等化石燃料來發電。

2 技術檢視

技術檢視旨在以一個有系統的過程進行技術搜羅、基線條件審核、資源評估、方案評估以及分類，從而找出有潛力在香港廣泛採用的新能源技術和可再生能源技術。本節概述了技術檢視的結果，主要集中在技術性的問題上；採用所選出的技術會有什麼非技術性的限制，這會在第三節作進一步討論。

2.1 概要

2.1.1 關於資源的定義

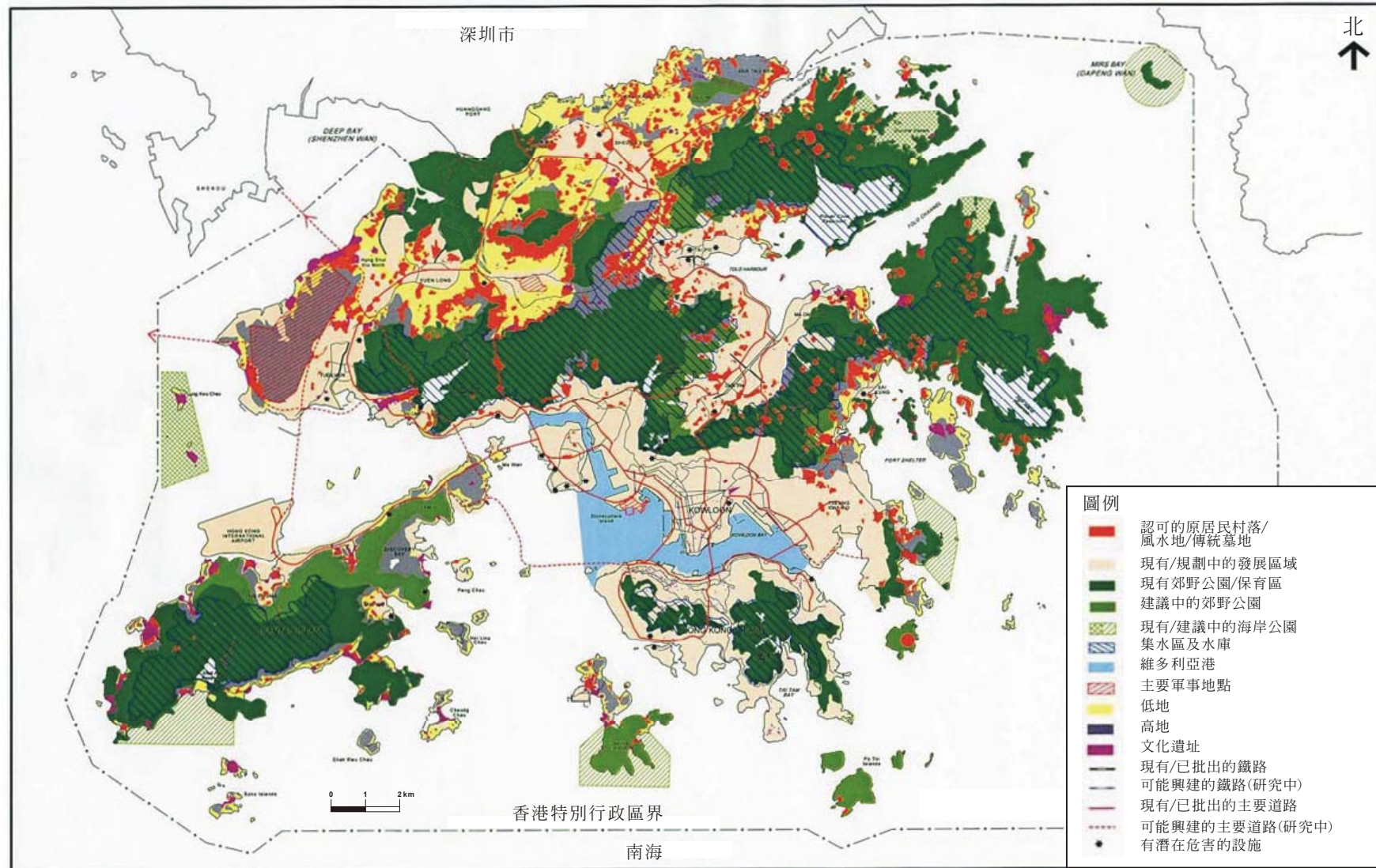
要檢視可再生能源的資源，需要注意的是，某種形式的能源在自然界中所蘊含的總能量是一回事，但是在考慮很多技術性和非技術性的問題之後，實際上能夠取用的能量又是另一回事，兩者通常是不同的。考慮到這點，本研究採用以下各項關於資源的定義：

- **總資源** - 有關的可再生能源在所述時間內的能量總額；
- **技術性資源** - 總資源除去因技術水平不夠（即技術限制）而未能取用的能量；
- **潛在資源** - 技術性資源再除去因基本實際障礙（即一些令獲得有關資源或採用有關技術的機會減少的因素，例如道路）而未能取用的能量；
- **可使用資源** - 潛在資源再除去因制度上的限制（例如郊野公園、具特殊科學價值地點等）而未能取用的能量；
- **可商用資源** - 可使用資源再除去因商業價值不夠（即商界認為財務上不可行）而未能取用的能源；以及
- **可容許資源** - 可商用資源再除去因社會不容許（例如影響景觀、規劃審批等）而未能取用的能量。

首三個資源水平（總資源、技術性資源、潛在資源）主要與技術因素有關，而後三個資源水平（可使用資源、可商用資源、可容許資源）則受非技術性的限制所決定，主要與制度、經濟/財務及社會因素有關。

2.1.2 重要的本地特點

香港總面積約為 2,757 平方公哩，其中 1,098 平方公哩為陸地，1,659 平方公哩為海。土地用途包括多種不同的已發展區域、自然或受管理的棲息地以及市區空地。但是，由於地形和現有發展項目所限，適合用來發展的土地非常有限。香港水域用於多種有益的用途，包括商務航運、漁業、海上廢物棄置、康樂（例如出海遊玩、沙灘）以及保育（例如海岸保護區）。圖一總結了香港主要的發展限制。



圖一 香港主要的發展限制 (資料來源：香港 2030 網站)

香港土地有很大部份（815 平方公哩）是空地、林地、草地及灌木叢，其中剛好超過一半（415 平方公哩）劃為郊野公園或特別地區。已建設區（包括商業區、住宅區、公共房屋區、工業區、空置發展地、公共機構、社區設施、道路、鐵路及機場）只佔 167 平方公哩。在這些人口非常密集及高度城市化的地區，建有很多住宅及商業大樓，用電量非常龐大。

香港地少人多，所以若要在本港採用或選址興建任何新及可再生能源技術系統（尤其那些須興建大型中央發電設施的系統），都必須考慮到土地和水域限制。不過，雖然在市區發展大規模設施很有可能受到很多限制，但仍有可能在個別地點（包括新發展及重建地區）採用分散式或附設式的無污染可再生能源系統。這點尤其切合本港情況，因為高樓大廈是本港最大的電力使用者。

2.1.3 技術分類

以香港基本的本地特點和其他相關的技術、成本及環境因素為考慮基礎，本研究檢視了多種不同的新能源技術及可再生能源技術，並把可供選擇的技術分類如下：

- **有潛力廣泛採用的技術**，包括：
 - 光伏系統；³
 - 風能(郊區風力發電場、近岸風力發電場、在市區個別裝設的風車)；³
 - 附設於建築物的燃料電池；以及³
 - 廢物轉化能源⁵。³
- **適用於其他用途的技術**，這類技術可能適用於特定地點，須個別評估。這類技術包括：
 - 太陽能熱水器；³
 - 小型水力發電系統；以及³
 - 波浪發電系統。³
- **似乎不適合在香港廣泛採用的技術**：
 - 太陽能熱能發電；³
 - 生物質量(能源農作物)；³
 - 地熱能；以及³
 - 潮汐能。³

⁵ 請參考第 2.5 節，該節會進一步討論廢物轉化能源技術。

2.2 光伏系統

光伏裝置能夠無聲無息地把光能直接轉化為電能。光伏發電系統由光伏板或太陽能組件以及輔助設備組成，裝設於日照充足的地方，以盡量增加發電量。本研究發現，光伏技術有潛力在本港以附設於建築物或非附設於建築物的方式裝設為發電系統。光伏系統尤其切合本港情況，因為本港高樓大廈林立，而光伏系統毋須佔用額外的土地資源。

2.2.1 潛在資源

在香港，一個傳統的橫向裝設平面光伏系統的發電量估計為每 1 平方米的光伏板每年可產生 121 千瓦時。如果香港所有土地都裝上橫向光伏板，總發電量便為每年 1,330 億千瓦時⁶，即整個特區 1999 年全年電力需求(355 億千瓦時)的 3.7 倍。顯然，在考慮道路、自然區域、水庫等「基本實際障礙」後，技術上可供裝設光伏板的土地會大大減少。

在評估光伏系統在香港採用的潛力時要考慮一個基本問題，就是可供裝設系統的空間有多少。據我們所知，這個考慮因素很視乎具體地點的情況而定，因為系統可以在不同的地理環境裝設，接收到多少陽光也會隨之而不同。另外，光伏系統可以以不同的方式裝設，例如橫向、縱向或斜向。所有這些因素都會影響光伏系統的發電量。

為了估計光伏系統長遠來說的潛在資源⁷，本研究假設了每個土地用途類別的建築物表面面積及土地面積都有一部份可以用來裝設光伏系統，從而假設出光伏系統裝置可以佔用的「相應橫向面積⁸」，並以這些假設為基礎，計算出每個土地用途類別的(發電)潛在資源，得出表一的結果。因此，表一也顯示了採用光伏系統的首要類別，而這些類別在將來可以因應使用比率的調整而有所不同。

整體來說，光伏系統的潛在資源估計約為每年 59.44 億千瓦時，約相等於本港（1999 年）全年電力需求的 17%。這個估計有個假設，就是長遠來說，香港最終會裝設有相應橫向面積約為 4,900 萬平方米的光伏板，其中大部份(超過 90%)很可能會以附設於建築物的方式裝設，而不是獨立於建築物之外。

採用光伏系統的主要機會存在於未來的發展項目之中，因為附設於建築物的光伏系統可以在設計時加在樓宇、設施或新市鎮的基建內。現存的大量樓宇(尤其是

⁶ 1 億千瓦時 = 100 GWh

⁷ 「潛在資源」的定義見於第 2.1 節。

⁸ 光伏板每年的發電量與其裝設角度有關。例如在香港，一塊裝設在南面牆壁的縱向光伏板的發電量約只及橫向光伏板的 58%。換言之，1 平方米的這種縱向光伏板的相應橫向面積便為 0.58 平方米。在表一裡，光伏系統採用量的目標雖然以相應橫向面積列出來，但其實已考慮到有些附設於建築物的光伏板會縱向或斜向裝設。

住宅)和城市基建也可以提供機會，在翻新或改建時加上光伏系統以取用太陽能。

表一 光伏系統採用量的長遠目標

土地用途	面積 (平方公里)	假設的相應橫向光 伏平面面積	可用於光伏發電的相 應橫向面積 (平方公里)	潛在資源 (百萬千瓦 時)
採用附設於建築物的光伏系統				
住宅	45	30%	13.5	1,629
租住公屋	14	30%	4.2	507
商廈	2	50%	1.0	121
工業大廈	11	50%	5.5	664
政府、公共機構及社區設施	21	20%	4.2	507
臨時房屋區	1	0%	0.0	0
空置發展地	27	60%	16.2	1,955
採用非附設於建築物的光伏系統				
道路/鐵路	33	5%	1.7	199
機場	13	10%	1.3	157
空地 (例如市區公園)	17	10%	1.7	205
林地	220	0%	0.0	0
草地及灌木叢	519	0%	0.0	0
劣地、沼澤及紅樹林	44	0%	0.0	0
可耕地	59	0%	0.0	0
魚塘	14	0%	0.0	0
臨時搭建物/禽畜飼養場	11	0%	0.0	0
水庫	26	0%	0.0	0
其他用途	21	0%	0	0
總數	1,098		49	5,944

2.2.2 推行上的問題

長遠來說，光伏系統有潛力每年產生 59.44 億千瓦時的電力，在這 59.44 億千瓦時之中，實際上能夠取用的電量要視乎數個非技術性的限制而定，其中有些一般性的限制關乎所有可再生能源技術（例如市場問題），有些特殊限制則只與光伏技術有關。一般性的限制會在第 3 節詳細討論，這裡先簡述與附設於建築物的光伏系統有關的問題：

2.2.2.1 制度問題

屋宇署根據《建築物條例》及有關法例管制全港所有私人發展項目，任何附設於建築物的新或可再生能源裝置（例如光伏系統）都必須符合作業守則及建築標

準，屋宇署才會批准有關建築項目。雖然附設於建築物的光伏系統不會造成重大的環境、健康及安全問題，但關於光伏系統是有特定標準的，包括風力影響、骨架外牆及幕牆系統的規定，不過這些規定應該不難遵守。

此外，屋宇署近期就新建築項目發出環保指引，列出政府鼓勵設計及興建環保及創新樓宇的措施，其中包括一系列可獲豁免計算入總樓面面積及上蓋面積內的樓宇環保設施。附設於建築物的光伏系統有機會納入這個計劃內。

2.2.2.2 商業價值

本研究估計，光伏系統的發電成本介乎每千瓦時 \$2.2 與每千瓦時\$4.1⁹ 之間，比目前的傳統化石燃料發電技術(介乎每千瓦時 \$0.2¹⁰ 與每千瓦時 \$0.4¹¹ 之間)昂貴。成本高昂主要是因為光伏板的成本很高。雖然特別定製的光伏板可以兼具幕牆及發電的功能，但成本會比傳統的建築材料高。從研究過程收集到的實際應用個案可見，直至現時為止各地的「附設於建築物的光伏系統」項目，回本期通常都太長，遠遠達不到私營公司可以接受的一般水平；如果這個差距持續下去，顯然會大大阻礙私營公司廣泛採用附設於建築物的光伏系統。

2.3 風能

2.3.1 風力資源

風車能利用風的動能推動發電機旋轉，產生電力。由於風所含的動能與風速的立方成正比，所以，個別風車所能取得的動能，與其裝設位置的風速有莫大關係。本研究利用長期的氣象數據和電腦模擬技術，把香港的風力資源描繪於圖二的地圖內。

從圖二可見，在本港，風力資源豐富、有潛力發展風力發電¹²的區域主要是所有高地和大部份離岸海域。圖二也顯示，風力資源最豐富的區域（超過每平方米 600 瓦）一般都位於特區東面的山頂。

開發陸地上的風力資源有兩種方法，即風力發電場或個別裝設的風車。風力發電場由一群大型風車（通常每個風車的發電量為 1 百萬瓦至 2 百萬瓦）組成，通常裝設於郊區或海上。風車也可以個別裝設，這類風車通常比風力發電場所用的較小。個別裝設的風車可以位於郊區或市區。下面列出各種有潛力在香港廣泛採

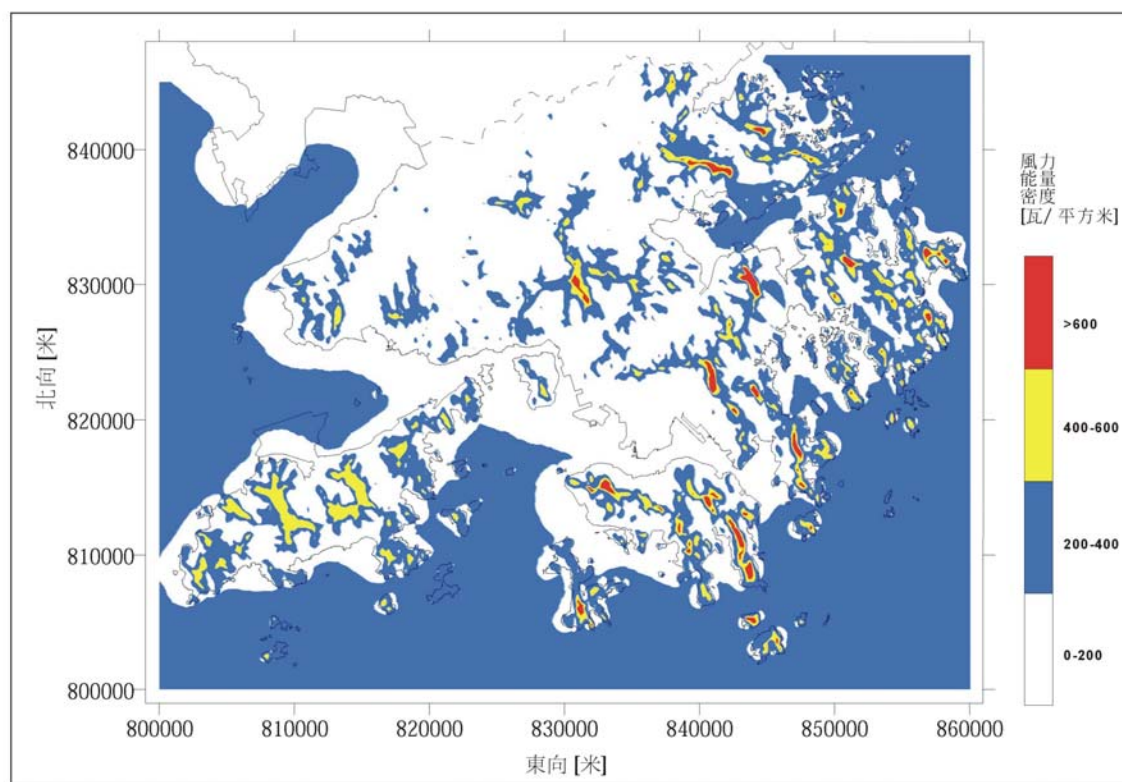
⁹ (這裡和隨後章節所引的)成本包括資本成本和營運及維修成本，只是發電的成本而已(以 2001 年價格水平的 4%貼現率計算)，並未包括任何財務收費、營利及風險等商業因素。

¹⁰ 指「複合循環燃氣渦輪發電廠」。

¹¹ 指「裝有除硫裝置的燃煤發電廠」。

¹² 風力能量密度越高，發電量越高。根據實際經驗，平均風力能量密度低於每平方米 150 瓦的地點很可能不大適合用於風力發電。

用的風力發電技術。



圖二 香港風力資源圖

2.3.2 直線排列的郊區風力發電場

這類發電場位於風力資源豐富的區域，由一列列沿山脊建造的大型風車組成。從很多海外個案得知，這項技術已經發展成熟，十分可靠。大型風車的體積非常龐大，以 1 百萬瓦的風車為例，其旋翼直徑約為 60 米，整個結構的高度約等於 30 層樓。因此，大型郊區風力發電場的選址必須十分小心，以免破壞易受影響的生態系統或保育價值很高的自然區域。此外，建造過程必須適當監控，以免造成任何嚴重的環境影響（例如塵埃、水土流失、水質等）。

2.3.2.1 潛在資源

這項技術的潛在資源估計約為 26.3 億千瓦時（相等於 1999 年全年電力需求的 7.5%），其中的假設是長遠來說約有 1,000 個大型風車（每個發電量為 1 至 2 百萬瓦）裝設於風力資源豐富的區域。在香港，風力資源豐富（即每平方米 200 瓦或以上）的陸地估計約有 393 平方公哩；要裝設 1,000 個風車，即每 1 平方公哩裝設 2.5 個風車，這個密度在技術上是可行的。

2.3.2.2 推行上的問題

很明顯，實際上可以取用多少郊區風能，與最終可以裝設多少風車有關。與光伏系統的情形一樣，這要視乎幾個非技術性的限制而定。與大型郊區風力發電場發展項目有關的限制包括：

商業價值

雖然發展大型風力發電場需要投入龐大資金，發電成本約為每千瓦時\$0.2 至 \$0.35，但這項技術是本研究所確認的可再生能源技術中最便宜的一種。從外國經驗可見，大型的陸上風力發電場在成本上有潛力與傳統的化石燃料發電技術競爭。

制度上的限制

要盡量增加發電量，風車最好設於圖二所示的風力資源豐富區域。值得注意的是，這些地區大多位於郊野公園內，而根據《郊野公園條例》，任何在郊野公園範圍內的發展工程都必須向漁農自然護理署申請批准。

把某些區域劃為郊野公園，主要目標是「保存很有地貌價值、休憩價值或保育價值的地區，並開放郊區讓多些市民享用」。在劃為郊野公園範圍的地區內發展大型風力發電場，可能會被人認為抵觸了上述目標，因而令發展項目不獲批准。如果是這樣的話，郊區風力發電場的採用範圍便會大受限制。

社會認受性

香港社會對大型風力發電場的態度還是未知之數。從外國經驗可見，影響景觀似乎是大型風力發電場最大的規劃問題。這個問題非常主觀，對不同人可以有非常不同的影響。在香港，除了景觀外，風水問題也可能是發展風力發電場的一個主要考慮因素。社會人士的態度似乎有舉足輕重的影響力，可以決定實際上有多少風力資源可以用於發電。

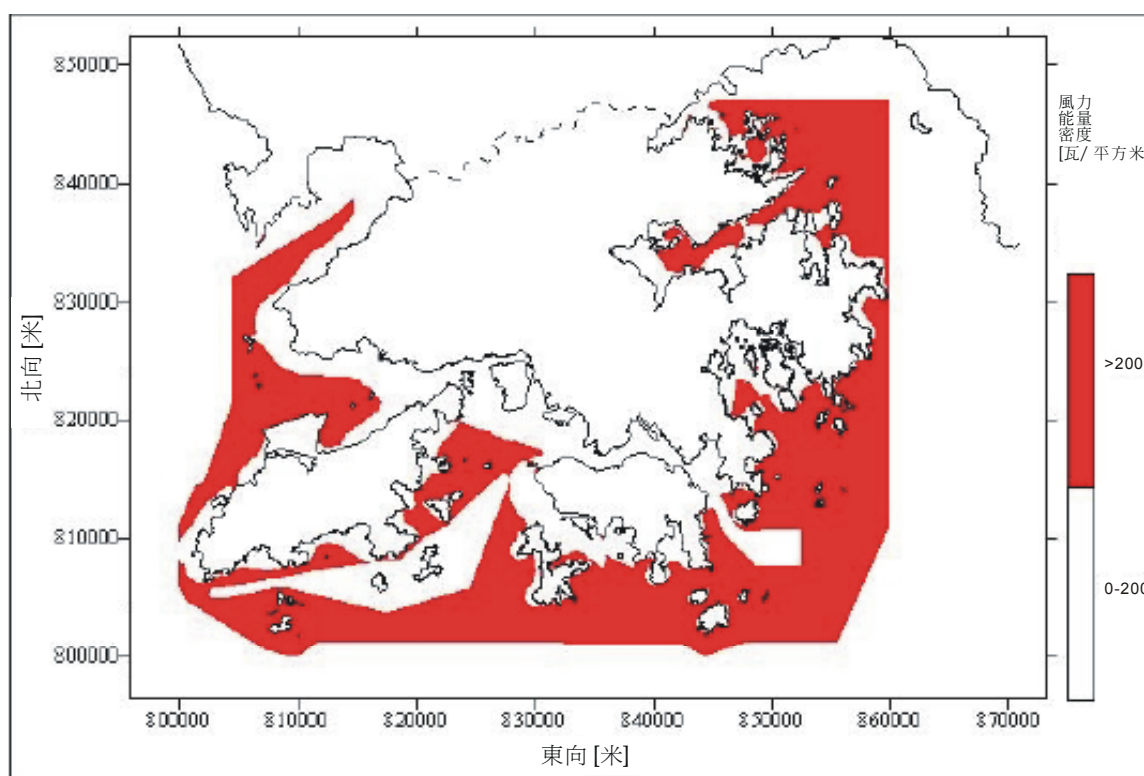
2.3.3 近岸的海上風力發電場

要採用這項技術，須小心選擇在香港哪些淺水區域（深至 30 米）裝設大型風車（通常每個發電量為 1 至 2 百萬瓦）。每個風車可以直接建於插入海床的樁柱上。這些風車雖然很高（1 百萬瓦風車約高於水平面 90 米），卻以整齊勻稱的方式排列，風車之間距離頗遠（1 百萬瓦風車の間距約為 480 米）。從外國經驗可見，海上風力發電場可以與其他有益的海事用途並存，包括漁業。

2.3.3.1 潛在資源

這項技術的長遠潛在資源為 80.58 億千瓦時（約為全年電力需求的 23%），其中的假設是我們的海域有 744 平方公哩（即 45%）可以用於發電，如圖三所示。

這個估計數字假設了大型海上風力發電場位於主要航道以外的風力資源豐富水域(超過每平方米 200 瓦)。雖然發電場內的風車會相距數百米，但評估過程中假設了這些風車由於運作及安全上的考慮因素，不能與主要航道並存。換言之，主要航道被認為是海上風力發電場的基本實際障礙。



圖三 可用來興建海上風力發電場的區域

2.3.3.2 推行上的問題

和陸上風力發電場的情形一樣，實際上最終可以裝設多少海上風車，會受到幾個非技術性的限制所影響。與大型海上風力發電場發展項目有關的限制包括：

制度上的限制

海上風車的裝設包括風車本身以及連接風車與主要電網的電纜，兩者都顯然會涉及海床的發展及「佔用」問題。在特區範圍內，海床是政府擁有的，所以發展權由政府批出。地政總署或將之視作填海工程，因而根據《前濱及海床(填海工程)條例》為有關發展項目刊憲。刊憲期間會收集公眾意見。所有問題必須全部解決，

才會根據《前濱及海床(填海工程)條例》批出發展權。據了解，在一些先例中，電力公司爲了在海床鋪設海底電纜，曾向政府繳付一筆款項。

《海岸公園條例》規定了有關海岸公園及海岸保護區的規劃、監控及管理事宜。在海岸公園，政府採取了多用途的政策，容許進行不違反海岸公園目標及不破壞海洋環境的活動。在海岸保護區，監控比較嚴格，只容許進行科學研究及教育活動。根據條例，發展的批核權在漁農自然護理署署長手上，署長可能接受也可能不接受在海岸公園/海岸保護區內發展海上風力發電場。

商業價值

海上風能發電成本約爲每千瓦時\$0.36 至\$0.64，比郊區風能發電昂貴，這是因爲要進行海上建築工程。因此，海上風力發電場現時不大可能在成本上與傳統的化石燃料發電廠競爭，除非政府向工程發展商提供特別的支持措施。

社會認受性

在外國，海上風力發電場得以發展，主要是因爲他們希望風力發電場遠離人口密集的地區，以盡量減少影響景觀及避免受到規劃上的反對。但是，香港和外國很多地方相比是十分小的，所以如果風車對景觀的影響是公眾的主要關注所在，那麼很可能只有偏遠的東部水域才會是「景觀上」可以接受的區域，這就大大減少了可以裝設風車的水域範圍。

此外，雖然海上風力發電場在「技術上」可以與其他有益的用途(例如捕魚和出海遊玩)並存，但社會大眾在這方面的態度仍是未知之數。

2.3.4 在市區個別裝設的風車

在市區高樓大廈的屋頂裝設風車會引起發展商的興趣，因爲這類設施可以附設於建築物內，與電力使用者更接近。這項技術目前正在發展之中，很可能比其他風能技術昂貴。關於安全、穩定性、噪音、振動等方面的技術問題，雖然不是難以克服，卻是必須解決的，這樣才能在未來真正在屋頂裝設風車。由於市區環境限制，這些風車很可能會比較小型，例如發電量爲 40 千瓦的風車，其旋翼直徑爲 10 至 15 米。

2.3.4.1 潛在資源

假設屋頂風車的技術問題可以解決，未來的新市鎮發展或舊區重建便會爲裝設屋頂風車提供機會。

假設香港約有 30,000 座高樓大廈，而平均每座大廈的屋頂都裝設一個小型風車，

那麼便可裝設約 30,000 個風車。必須注意，這個估計是基於一般情況的，個別地點的情況未必相同，某些大廈或不適合裝設風車，而有些則可以容納多個風車。

根據上述假設，這項技術的長遠潛在資源估計約為 30 億千瓦時（約為全年電力需求的 8%），其中的假設是最終可以裝設 30,000 個小型風車。

2.3.4.2 推行上的問題

任何附設於建築物的新或可再生能源設施(例如在屋頂裝設的風車)都必須符合建築作業守則及標準，這樣屋宇署才會批准有關項目。由於這項技術仍在發展階段，所以目前還沒有既定的技術標準供屋頂裝設的風車遵循。因此，要在大廈翻新或改建時在屋頂加上小型風車，這類機會暫時仍然十分有限。但是，長遠來說，隨著這項技術將來進一步發展，在設計大廈結構時或能加入小型風車。

在人口密集的市區，屋頂裝設的風車非常顯眼，所以比其他風車對景觀造成更大的影響，因而可能更為受人關注。社會是否接受這項技術，對於這項技術能否推行會有關鍵影響，從而也決定了實際上有多少這方面的資源可以取用得到。

2.4 附設於建築物的燃料電池

燃料電池是新能源技術，並非可再生能源技術。燃料電池從燃料（例如氫）和氧化劑（例如氧）之間的電化位能產生直流電，結構和操作原理類似普通電池，但燃料電池的設計可以盡量減少消耗電極，而且反應物會不斷補充。燃料電池以電解質來劃分，主要種類有：鹼性的(AFC)、質子交換膜(PEM)、磷酸(PAFC)、溶化碳酸鹽(MCFC)以及固體氧化物(SOFC)。每個燃料電池都用特定的電化反應來產生電力，所需的溫度會各不相同，所用的催化劑也有不同。

附設於建築物的燃料電池會引起發展商的興趣，因為位於建築物內。這項技術的優點是可以減少對電網的電力需求，改善大廈電力服務的可靠性，而且比傳統的化石燃料發電機產生較少空氣污染物。從外國經驗得知，以產生相同千瓦時的電量計算，燃料電池排放出來的空氣污染物總量(例如氧化氮、一氧化碳、氧化硫、碳氫化合物及粒子)只是化石燃料發電廠的十五分之一至六百分之一。

2.4.1 資源潛力

燃料電池的資源潛力只受燃料供應限制。有數種適用於燃料電池的燃料在香港是有供應的，不過現時只有煤氣及石油氣供應到市區，天然氣則只供應給發電廠。在各種的燃料電池之中，由於天然氣及石油氣的能量值較高，所以比煤氣可取。但考慮到燃料電池的效率會下降，煤氣也是可以採用的。

2.4.2 推行上的問題

附設於建築物的燃料電池的最大問題應該是空間限制。燃料電池比相同發電量的內燃發電機和燃氣渦輪發電機佔用較多空間，因此，裝設燃料電池之前必須先小心考慮裝設位置。

燃料電池發電機組除了需要足夠空間外，還必須能夠連接燃料氣體、大廈電力系統以及有熱能需求的部份(如果是同時發熱發電¹³的話)。分析不同種類的燃料電池後發現，平均來說，燃料電池需要的面積約為每千瓦 0.42 平方米。因此，一個 200 千瓦的燃料電池便需要 84 平方米的空間。在擁擠的地方裝設燃料電池，最適當的地方可能是地庫停車場或安裝機械設備的區域，又或是屋頂。應該注意的是，燃料電池是頗為沉重的裝置，所以若在屋頂裝設，便需要特別考慮結構上的因素。

燃料電池與傳統發電技術相比是很昂貴的。燃料電池的發電成本可以高達每千瓦時\$2.4，比傳統的化石燃料技術高昂得多。成本是影響燃料電池技術在香港多大範圍內採用的重要因素。

2.5 廢物轉化能源

廢物轉化能源技術也在本研究檢視之列，其中包括堆填區沼氣的應用和其他熱能及生物反應技術，這些技術有潛力可以滿足全年電力需求的數個百分點（約 3%¹⁴）。堆填區沼氣現時是就地應用的，但其實是有餘的。由於政府已經有意在「減少廢物綱要計劃」中獨立推行綜合廢物管理設施，所以雖然廢物轉化能源技術可以視為可再生能源資源或技術，但本研究並沒有詳細考慮。

2.6 適用於其他用途的技術

本研究發現，下列技術可能在特定地點適用，須由有意發展的人士個別評估：

- 太陽能熱水器可用於樓宇發展項目內，尤其適合設有大型中央熱水系統的建築物（例如酒店、醫院、體育中心）。
- 小型水力發電系統尤其適合瀘水廠的改建項目，因為這類設施有剩餘的水力能可資取用。
- 波浪能發電系統適用於偏遠區域，尤其適合本港南部的離島。

¹³ 同時發熱發電的意思是既產生電力也產生熱能。

¹⁴ 廢物轉化能源的估計發電量被列為潛在資源，因為從廢棄物料中取用其蘊含的能量在技術上是可行的。

3 有關問題

「技術檢視」一節提到，技術上能夠在本地採用的可再生能源可以滿足香港一部份的電力需求，所以有助減少發電過程造成的空氣污染及排出的溫室氣體。但是，上節也清楚顯示，能否克服數個非技術性的限制是十分關鍵的，因為這會決定實際上有多少潛在資源可以取用。從國際經驗可知，要讓本地的可再生能源市場和能源供應業發展起來，必須消除一些非技術性的障礙，其中包括一般問題和與技術有關的問題。

3.1 一般問題

「一般」的市場障礙所影響的是整個可再生能源界別，而非個別種類的可再生能源。整體而言，這些障礙降低了可再生能源項目在財務上的可行性，令投資者卻步。以下試加以闡釋。

3.1.1 傳統電力的定價

目前，能源是免稅的，也沒有「環保稅」（例如二氧化碳稅或氧化硫/氧化氮稅）去反映燃燒化石燃料所造成的本地或全球污染代價。這會對可再生能源發電不利，因為可再生能源雖然不會產生空氣污染物或排放溫室氣體，但通常比傳統電力昂貴。再者，管制計劃協議¹⁵要求電力公司以最低成本提供電力，這會令資金投入傳統發電技術（而非可再生能源），因為這是成本最低的方案。

3.1.2 與電網的連接

兩家電力公司在不同的區域各自提供發電、輸電、供電及零售服務。除了發電廠外，每家電力公司都擁有自己電力供應範圍內的輸電及供電設施。

管制計劃協議為政府與電力公司之間的關係定位。大體上，政府承認電力公司及其股東有權賺取與所涉風險、資金投資及持有量相應的合理回報，而政府倒過來會要求電力公司確保市民的電力需求得到滿足，而且效率要高、質素要好，而發電成本在財務及其他方面上也必須是最低的。

管制計劃協議並非特許專營權，並不保證在電力公司的供應地區內不會有其他供應商提供發電、配電或供電的服務。原則上，只要通過適當程序，便可以讓第三家電力公司建造發電廠，並配電給用戶。實際上，由於供電過程的所有環節都由電力公司一手包辦，所以現時要進入電力供應市場是有重大障礙的，例如，建立另外一個可行的供電系統便需要極高成本。

¹⁵ 香港兩家電力公司都各自與政府訂立了管制計劃協議，其營運受計劃管制。最近的管制計劃協議訂立於 1993/1994 年，將於 2008 年到期。中期檢討定於 2003 年進行。

因此，如果政府想鼓勵多些投資者加入，其他電力供應商的可再生能源項目能否與電網連接(配電給用戶)便是個必須解決的重要問題。若要推廣可再生能源項目，接駁電網所涉及的標準及收費問題、向可再生能源項目購電所涉及的購電價格、這類購電協議的達成機會等重要問題也是必須解決的。

2003 年的管制計劃協議中期檢討會提供機會，讓政府就發展可再生能源的問題與兩家電力公司磋商。很明顯，如果未來要探討能源市場的結構和規管應該有何轉變，不管是就管制計劃協議進行討論還是作較廣泛的探討，可再生能源市場的需要都必須考慮在內。

3.1.3 公眾認知

這個問題有兩方面：

- 商界（作為可能投資者）對可再生能源技術的認知與了解；以及
- 社會對可再生能源的優點的認知與了解。

3.2 與技術有關的問題

與技術有關的問題前面已討論過。總括而言，問題包括：

- 能否覓得適當的地點，這對大型風力發電場尤其重要；
- 風車（發電場）造成的景觀影響、噪音及可能帶來的安全問題所引起的社會關注；以及
- 建築發展商及專業人士（例如建築師、工程師）對附設於建築物的光伏系統的陌生。

這裡所指出的問題在性質上涉及多個範疇，牽涉到很多社會、經濟、財務、法律、規管及制度上的考慮因素。換言之，如果香港想發揮本身在可再生能源方面的潛力，不但政府和業界需要出力，市民也必須參與其中。

4 可再生能源發展策略

4.1 目標與方法

為了確保可再生能源在香港得到廣泛的採用，現提出一個策略和行動計劃。具體來說，這個可再生能源發展策略旨在：

- 增加市民對可再生能源技術的認識和支持；
- 促進制定有關可再生能源的政策、制度安排和技術標準以提倡可再生能源；
- 創造適當環境以鼓勵投資可再生能源技術；以及
- 創造市場，讓消費者可以選購可再生能源。

本地人應用可再生能源方面沒有什麼經驗，需要一段時間去學習，以便累積經驗並發展政策。因此，建議採取循序漸進的方法，以配合這個學習過程並反映環保和能源政策的相應發展及現有規管機制的重要轉變。重要的是，可再生能源發展策略應該促進現有規管制度改善，提倡電力公司和其他人士都要參與其中。

本研究進行期間諮詢了一些與可再生能源有關的重要機構，發現可再生能源的發展已在某程度上獲得這些機構的關注和支持，包括政府、電力公司、民間團體和某些企業。但是，必須有適當的誘因才可望有在可再生能源方面的重大投資。可再生能源發展策略旨在創造這些誘因，並克服所發現的不同障礙。這個策略尤其著重找出能滿足上述機構的需要的「雙贏」方案，並加以善用。總括而言，可再生能源發展策略提供：

- *推廣與宣傳*方面的活動建議，以提高新及可再生能源的形象，並提倡學習本地及國際可再生能源項目的發展經驗；
- *促進措施*方面的建議，以克服能源供應及需求對可再生能源發展所造成的障礙；以及
- *與技術有關*的行動建議，以支持發展可再生能源項目。

4.2 促進措施

可再生能源要得到廣泛採用，有兩個關鍵問題必須解決，就是(1)可再生能源項目能否與電網連接；以及(2)可再生能源項目的投資者能否從項目所產生的電力賺取合理（或合理地吸引）的回報。

4.2.1 與電網的連接

為了解決與電網的接連問題，建議政府：

- 採取措施，確保如果電網擁有者（即現有的兩家電力公司）必須讓第三者接駁電網，政府能夠維持電力供應市場有公平的競爭環境；
- 促進制定與接駁電網有關的技術和安全標準，並確保所定標準適合預計的發電規模；
- 在長遠來說可行的情況下，協助清除制度及技術上的障礙，以促進可再生能源項目與電網連接；以及
- 鼓勵電力公司全面提高在收費方面的透明度。

關於提供可再生能源的其他電力供應商接駁電網的問題，建議政府盡快與現有的電力公司進行對話。2003年的管制計劃協議中期檢討為雙方對話提供機會。

4.2.2 創造市場及電力價格

可再生能源項目的投資者可以包括現有的兩家電力公司及獨立的電力生產商。這兩種投資者各有其特別的市場及價格問題要解決。

香港的電力公司一向把資金投在成本效益高的傳統能源上，以「最低的合理價格」提供電力。但是，以每千瓦時計算，可再生能源所生產的電力往往較為昂貴。直至現時為止，管制計劃協議所准許的發電方式並未包括可再生能源發電項目，所以電力公司並沒有投資發展可再生能源。總之，即使電力公司本身有意發展可再生能源項目，現時還未有議定好的機制讓電力公司從用戶身上收回可再生能源的額外成本。

至於獨立的電力生產商，即使現有的電力公司（作為電網擁有者）真的容許其他電力生產商與電網連接，現時仍未有機制讓這些生產商把電力賣出去。目前，現有的兩家電力公司沒有義務要購買其他電力生產商的電力。

要解決上述問題，有一些財務工具可供運用，以鼓勵現有的兩家電力公司參與可再生能源市場，並為未來的獨立電力生產商提供一個中介市場。主要方案包括：

- **方案甲** - 檢討現有規管機制，如有需要則加以修改，以鼓勵現有的兩家電力公司投資發展可再生能源發電設施。這個方法只限於現有兩家電力公司的發展項目；
- **方案乙** - 在電費之外開徵一項普遍收費，用來成立一個可再生能源基金或戶

口，並在指定的基本電力需求的邊際成本之上議定一個差額，再根據這個差額購買可再生能源。這個方法的優點是，所成立的基金可以用來購買可再生能源項目所生產的電力，從而支持未來的獨立電力生產商（假設可以與電網連接）及電力公司「內部」的可再生能源項目。但是，其中涉及的普遍收費不是自願參加的，換句話說，個別電力用戶不能選擇是否資助可再生能源發電項目。

- **方案丙** - 自願性質的環保電力計劃，讓用戶可以選擇與電力供應商簽約購買由認可的可再生能源供應商所生產的電力。環保電力計劃的收費可以由電力供應商（即現有電力公司或未來的獨立電力生產商〔假設可以與電網連接〕）自由釐定，又或按一條議定好的方程式計算。如果沒有確定的需求量是個障礙，又或在初期是個障礙的話，便可由政府承擔一個購電保證¹⁶，因為政府是最大的電力用戶，電力需求極大，要吸納短期內發展起來的所有可再生能源項目的電力，可謂綽綽有餘。

這些方案當然必須由政府、業界及市民作進一步考慮，其中涉及電費的部份尤須詳加探討。

4.3 與技術有關的措施

除了上述適用於所有可再生能源技術的促進措施外，另有一些特定措施適用於：

- **風能**。考慮到風能發電系統的性質和可能規模，政府若要推動風能發展，可以委託顧問公司進行研究，按議定好的選址標準找出可能發展風能項目的地點，並對可行性較大的地點進行較詳細的評估。要鼓勵市民接受風能，便必須制定、頒佈有關的規劃政策及裝設風車的指引，並為與土地用途規劃機制有關的各界人士提供資料，讓他們認識到風能的優點和風力發電場的發展在國際上產生的不同影響。
- **附設於建築物的可再生能源系統**。附設於建築物的光伏系統和燃料電池以及在屋頂裝設的風車，雖然基本上只是小型發電機，但能夠減少建築物的淨能源需求。要安裝這類附設式系統，必須建立一個機制，讓小型發電機能直接滿足所在大廈的電力需求。建議實行的措施包括，為小型發電機接駁大廈電力系統制定技術及安全標準，以及鑒定或證明個別產品及/或供應商/工程承辦商合乎規格。

4.4 推廣與宣傳活動

若公眾能多些認識可再生能源，知道可再生能源可以為香港的環保和能源目標做

¹⁶ 個別政府部門或機構現時是分開買電的。如果決定推行政府購電保證，便需要檢討現時的買電政策。

出多大貢獻，一定能大大促進可再生能源的採用。因此，本節介紹的推廣策略及行動計劃是整個可再生能源發展策略不可缺少的一環，包括一般的提高意識活動，以及由整體策略行動的成功施行而引發的特定推廣行動。建議的推廣策略包括：

- **短期**(由現在至引入促進措施以解決接駁電網及價格的問題)行動，旨在為可再生能源發展策略取得政治上和制度上的支持，並加強市民對可再生能源優點的認識。行動包括向立法會議員和決策者作介紹，進行示範項目以提高公眾意識，調查商界及工業界的看法，設立可再生能源網站，以及與內地及海外的有興趣人士或機構聯繫。
- **中期**(在上一階段之後開始，約為期五至七年)行動，旨在善用促進措施(或創造可再生能源市場)及風能、太陽能等特定技術項目的推行成果，可以包括可再生能源展覽會等基礎開展活動，其他學校教育活動，提高消費者意識的宣傳活動，部門簡介會，以及公佈已推行的示範項目的結果。
- **長期**行動。推廣計劃無可避免會隨情況改變而修改，策略的焦點和內容會定期檢討，以確保沒有與現實脫節。

4.5 具體目標

4.5.1 釐定方法

為可再生能源技術釐定發電量目標，以滿足某個百分比的總電力需求，這在可再生能源發展策略中是很常見的做法。這些目標可以用作參考數字，量度發展進度，並能發揮刺激作用，以免發展策略變得因循守舊。

目標可以以「自上而下」或「自下而上」的方法釐定。在還未發展成熟的市場，最適當的做法通常是，按那些很可能在特定時期內會得到市場支持而實行的項目，來釐定目標（自下而上的方法）。隨著市場逐漸成熟，便能(及更適合)釐定整體目標，即採取自上而下的方法，留待市場去決定怎樣達到目標。

香港地方小，可再生能源的發展又只是處於早期階段，所以開始釐定目標時應該採取「自下而上」的方法，即計算個別技術（短期而言也要把個別項目計算在內）實際上可望生產多少電力。這個方法很受所作的假設影響，因為（例如）一個主要的項目若延期或取消，會對達成整體目標的進度造成顯著甚至不可挽回的影響。

4.5.2 建議目標

由於很易受所作的假設影響，也考慮到前述的許多未解決的問題和障礙，因此建

議採用謹慎的方式來釐定目標。表二按「自下而上」的方法集中計算已知的及可行的個別項目，總結出各種本地可再生能源的發電量。

表二 本地可再生能源發電量預測總覽（百萬千瓦時/年）

能源	2012	2017	2022
大型系統			
向岸風	6	43	116
離岸風	7	84	245
廢物轉化能源（堆填區沼氣）	231-184	254-161	273-178
廢物轉化能源（熱能處理 ¹⁷ ）	0-472	0-932	0-932
光伏發電站	6	12	17
小計:	250 - 675	393 - 1,232	651 - 1,488
小型(分散式)系統			
附設於建築物的光伏系統	7	16	32
附設於建築物的燃料電池	4	8	16
小計	11	24	48
總數	261 - 686	417 - 1,256	699 - 1,536
佔 1999 年電力消耗量百分比	0.735% - 1.932%	1.175% - 3.538%	1.969% - 4.327%

根據計算結果，建議至少應該在初期把本地可再生能源(包括廢物轉化能源)的發電量目標，定為可以滿足以下百分比的全年電力需求（以 1999 年為基準）：

- 到了 2012 年可以滿足 1%
- 到了 2017 年可以滿足 2%
- 到了 2022 年可以滿足 3%

以前文所估計的本地可再生能源潛在資源來說，這些目標似乎略嫌保守，但我們認為是適當審慎的，因為考慮到前文所述的許多限制和障礙。釐定可信的目標總勝於定出達不到的目標，而且即使是這個水平的本地可再生能源供電量，能否達到也要看上述障礙可否清除而定，這件事本身可能需要比本研究所估計的時間更長。

香港的可再生能源發展處於極早期階段，主要技術還須證明是否可靠無誤。可再生能源項目需要時間去發展出成果，尤其如果項目會在審批及諮詢上受到質疑便會更為費時。若有大筆資金可以運用，發展進度可能會好些、快些，但是同樣的

¹⁷ 我們注意到，另一個獨立的研究仍在探討廢物轉化能源技術的發展，而這項技術會否在將來推行，現時未有決定。

環保進展很可能可以用其他方法以較低的成本做到。此外，也必須逐漸提高公眾意識，爭取支持。選擇可行的示範項目並能成功實行的話，便能為可再生能源的發展打好基礎，過了早期階段便能開始較大規模的擴展。可再生能源技術的成本可望會進一步下降，有助開發更多可以取用的資源而不用增加成本。

4.6 補充策略

上面數節列出了促進可再生能源廣泛採用的策略重點，即以一套促進措施來創造基本條件，讓可再生能源市場得以運作，加上一些特定行動以集中清除風能、光伏板等技術所遇到的障礙。接駁電網和創造市場被確認為主要問題，需要政府採取適當行動並給予支持，以促進可再生能源在香港廣泛採用。

但是，在與電網的連接方面，考慮到與現行規管架構有關的問題和限制，建議政府也應該探討以社區為本的或特定的獨立可再生能源發電項目是否可行。提出這個補充策略，是因為政府本身是個耗電量很大的用戶，也是規劃中的廢物處理設施的採購機構。

正如前述，政府正為興建大型綜合廢物處理設施而評估各種技術方案，包括可能用熱能處理技術加上發電技術，以產生數以千萬瓦至數以億瓦的電力。由於廢物轉化能源（一種生物質能技術）所產生的電力比較穩定，所以在某些特定用途上，可能可以與其他發電量會波動的可再生能源（例如太陽能、風能）一起使用。舉例來說，一個新的發展項目（例如工業邨）可以採用這類社區為本的綜合式可再生能源發電系統。另一個方案是，讓綜合式可再生能源發電系統與耗電量很大的（政府）設施（例如瀘水廠）一起發展，那麼可再生能源系統的電力便不愁沒有用戶了。

此外，本研究雖然集中探討本地的可再生能源，但如果政府認為情況理想的話，可能要求電力供應商（例如從內地）入口可再生能源所產生的電力。這個及上述的補充策略都可以作進一步探討。

5 結論

本研究發現，可再生能源可滿足香港長遠電力需求中一個不小的部份。如果本研究所指出的那些（主要是）非技術性的問題得到解決，可再生能源技術便可以為香港帶來不俗的環保進展，並提供另類能源。

在現行的電力規管制度內，可再生能源項目是有機會發展的，某些人士或機構對有關技術的廣泛採用也不無興趣。這些發展機會可能涉及連接電網的或獨立的系統，包括一些很快見成效的項目，例如善用堆填區產生的大量沼氣；現時這些沼氣收集起來後便經燃燒排放，因為沒有市場。本研究也發現，**政府**可以對可再生能源市場發揮有力的正面影響力，因為政府本身是香港耗電量**最高**的電力用戶，也是主要廢物管理設施的採購機構，而這些設施是可以用來提取能源的。

但是，若要大規模推行上述構思，尤其是涉及連接電網者，都必須先要政府、電力公司及工程發展商同心協力，採取**促進**可再生能源市場發展的行動，創造出一個支持可再生能源發展、有利可圖的營商環境，可再生能源項目才能得以開展。這些行動著重界定第三者接駁電網的條件，並集中創造一個機制，讓電力公司和可再生能源倡導者可以收回可再生能源的額外成本。相同的問題在其他很多國家都出現過，其經驗及技術指引都可以供我們借鑒。

如果短期內可以實行一個促進可再生能源發展的機制及提供適當的誘因，我們可以善用此後一段時間來：

- 示範多種不同的另類能源技術；
- 教育市民認識這些技術的優點；以及
- 爭取社會支持，以便將來擴大發展。

沒有這樣一個機制或方法讓可再生能源供應商售賣所生產的電力，可再生能源便很難在香港發展蓬勃，而只能開展少數連接電網的小型項目，又或一、兩個社區為本的獨立供電項目。因此，政府在**創造**可再生能源市場方面必須發揮重要作用。上文介紹了一個可再生能源發展策略，包括不同方案，其中有些**毋須**與現有的規管機制接軌（例如自願性質的環保電力計劃）。政府如果想履行承諾，支持發展可再生能源或另類能源，也可以購買由可再生能源產生的電力，而且可以選擇所購電量。

如果商業環境理想，另類的**本地**能源到了 2012 年便可以滿足相等於 1999 年電力需求的 1%，到了 2017 年是 2%，到了 2022 年便是 3%了。

6 建議

建議包括：

- 政府應該就可再生能源或另類能源採取正式的政策立場。具體來說，建議把本地可再生能源發電量的目標定為到 2012 年時可滿足 1% 的電力需求(以 1999 年為基準)，2017 年時是 2%，2022 年時是 3%。
- 提議在短期內進行的提高意識推廣活動須盡快實行。主要行動包括：
 - 向立法會議員和其他決策者作介紹，以取得政治上和制度上的支持；
 - 進行示範項目(例如風能、附設於建築物的光伏系統等)以提高公眾意識；
 - 調查商界及工業界作為可能投資者的看法。
- 與技術有關的支持措施應該盡早開展，措施包括：
 - 進行全面的研究，以找出可能發展風能項目的地點，並對可行性較大的地點進行較詳細的評估；
 - 為可再生能源發展項目制定技術及規劃指引，包括風能和附設於建築物的系統。
- 關於創造可再生能源市場必需的有利條件，政府與電力公司應該盡快展開對話（其中一個方法是利用 2003 年管制計劃協議中期檢討的機會）。須解決的主要問題包括：
 - 接駁電網；以及
 - 購電協議。
- 政府應該就所提議的財務方案（例如普遍收費、自願性質的環保電力計劃）進行廣泛諮詢（包括電力用戶及電力公司），以：
 - 決定採用較為接受的方案；
 - 訂立資助機制去彌補可再生能源的額外成本。
- 可再生能源發展策略及行動計劃應該定期更新，以反映條件及情況的變化。