

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

第二階段「附設於建築物的光伏系統」示範項目

研究摘要

二零零四年十二月

CDM 國際環保顧問工程公司

暨

日本設計株式會社

科技環保（香港）有限公司

香港理工大學

## 目 錄

1. 引言 .....	1
1.1 背景資料 .....	1
1.2 第二階段「附設於建築物的光伏系統」示範項目之 研究目標 .....	1
2. 項目描述 .....	3
2.1 安裝地點 .....	3
2.2 系統細節 .....	3
2.3 與電網的連接 .....	4
3. 操作經驗 .....	5
3.1 系統表現 .....	5
3.1.1 太陽光度 .....	5
3.1.2 電力輸出 .....	6
3.1.3 表現比率 .....	6
3.2 維修 .....	7
3.3 成本及效益 .....	7
4. 總結與建議 .....	8

# 1. 引言

## 1.1 背景資料

香港特別行政區政府機電工程署委託了 CDM 國際環保顧問工程公司進行此《香港使用可再生能源的可行性研究》(下文簡稱「本研究」)的項目。

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技術的最新發展；
- 探討在本港短期及長期採用廣泛的可再生能源技術之潛力；
- 評估在本港較大規模地採用嶄新及可再生能源技術作為另類能源的可行性及潛力；以及
- 制訂推行之策略。

### 第二階段研究

- 進行一個以展示附設於建築物的光伏系統的應用情況之試驗計劃。

## 1.2 第二階段「附設於建築物的光伏系統」示範項目之研究目標

第二階段「附設於建築物的光伏系統」(以下簡稱「此系統」)示範項目是香港一個與電網連接的光伏系統。此項目的初步目標為：

- 擷取此系統在本地特有的環境下，運作和維修的經驗；
- 向公眾示範此系統就光伏科技成為樓宇設計和建造過程不可缺少的部份之可應用性；
- 設計一個能夠與現有政府建築物的供電系統結合的光伏能源系統；
- 設計一個容許此系統與現有的建築物供電系統並聯的電力系統；
- 透過設計和安裝光伏系統和其他有關的電力系統，擷取直接而實用的經驗；和
- 監察與分析此系統在為期十二個月監測期內的表現。

於二零零三年四月一日至二零零四年三月三十日監測期內系統表現的分析結果於第二階段報告中總結。本摘要介紹了第二階段「附設於建築物的光伏系統」示範項目中的主要研究結果。第一階段的研究已另備報告。

## 2. 項目描述

### 2.1 安裝地點

試驗的光伏系統安裝地點為灣仔港灣道 12 號灣仔政府大樓。此大樓樓高二十四層，樓內有數個政府部門的辦公室及一個位於地面的咖啡店。大樓的座標為北緯 22 度 16 分 50 秒和東經 114 度 10 分 30 秒，而大廈向南表面的方向為正南偏東 5 度。

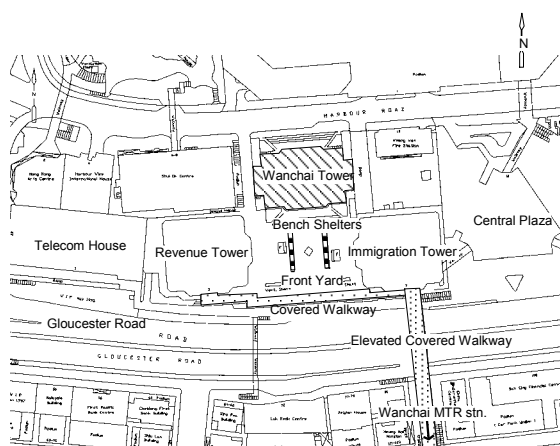


圖 2-1: 灣仔大樓之位置

### 2.2 系統細節

整套系統包括 3 套光伏能源系統，包括：

- 在大廈天台的支架式光伏系統（見圖 2-2）；
- 於一樓至到十二樓向南表面上的遮陽蓬式光伏系統（見圖 2-3）；和
- 在地面入口向南玻璃門的天窗式光伏系統（見圖 2-4）。



圖 2-2: 支架式光伏系統



圖 2-3: 遮陽篷式光伏系統

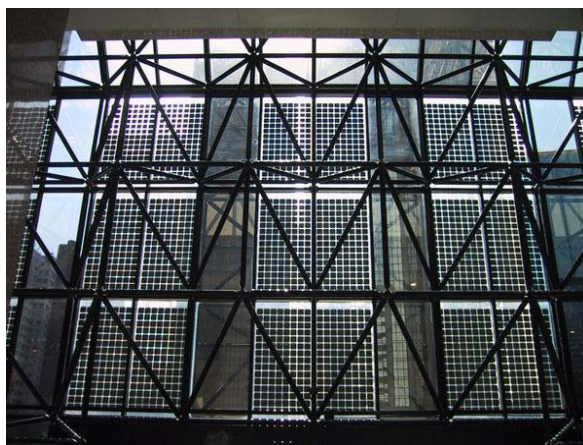


圖 2-4: 天窗式光伏系統

光伏板的總伸展面積約為 493 平方米，而系統裝置的總產電量是 56 千瓦。  
表 2-1 總結了本系統的細節。

表 2-1：附設於建築物的光伏系統之細節

	支架式	太陽簾式	天窗式
預計最高規定功率	20.16 千瓦	25.80 千瓦	10.08 千瓦
光伏伸展面積	164.70 平方米	231.84 平方米	95.98 平方米
光伏組件	252 x 80 瓦組件	336 x 76.8 瓦組件	35 x 288 瓦組件
電池種類	多晶體	單晶體	單晶體
光伏組件的連接	<ul style="list-style-type: none"> <li>▪ 兩列</li> <li>▪ 每列有 7 條並聯</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>▪ 兩列</li> <li>▪ 每列有 8 條並聯</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>▪ 一列</li> <li>▪ 每列有 7 條並聯</li> </ul>

	支架式	太陽簾式	天窗式
	的組件線 ▪ 每組有 17 個串聯的組件	的組件線 ▪ 每組有 21 個串聯的組件	的組件線 ▪ 每組有 5 個串聯的組件
伸展方向	向南傾斜 10 度	垂直，面向南方	垂直，面向南方
特徵	安裝在大廈天台作為發電裝置	是一項實用的建築特徵： ▪ 產生電力 ▪ 減少從窗戶吸收太陽熱力	成為向南玻璃入口整體設計的一部份： ▪ 產生電力 ▪ 減少從天窗吸收太陽熱力
電力調節器	20 千瓦	20 千瓦	10 千瓦

光伏組件是以串聯的方式連接，組成光伏列。光伏列的輸出直接連接到電力調節器，以將電力轉化成交流電。光伏列的一般輸出是 300 伏特直流電，這與電力調節器的伏特值相匹配。

## 2.3 與電網的連接

這三組與電網連接的光伏系統產生的能量，會在電力產生時被使用。因此，這項目不需要電池來貯存電力。另一方面，電力調節器需要把光伏電池生產的直流電轉化成交流電，使到大廈中的電力設備能夠使用這些能量。因為生產出來的電力會流經電力調節器，所以這些調節器需要有較高的轉化功率。這項目訂明電力調節器的轉化功率需有百分之九十或以上的預計規定功率。

在這示範項目中，電力調節器的交流電輸出是三位相 50 赫 380 伏特，和香港電燈公司對電力質素的要求相容。這輸出直接供進灣仔政府大樓現有的配電盤（見圖 2-5）。由於電力調節器的交流電輸出和電力網絡是並聯的，每台電力調節器都加上自動保護的儀器來保護光伏能源系統、大廈的電力系統和其連接的電網，以防止任何其他可能的損害：例如漏電和伏特或頻率的變化。另外，每台電力調節器亦配有絕緣變壓器來防止因直接電的供入而導致的損害。這些保護儀器符合「*IEC 61727: Photovoltaic (PV) systems – Characteristics of the utility interface*」和「*Electricity Association (UK) Engineering Recommendations*」的要求。而我們在與電網連結之前，已向香港電燈公司示範了這些儀器的用途。

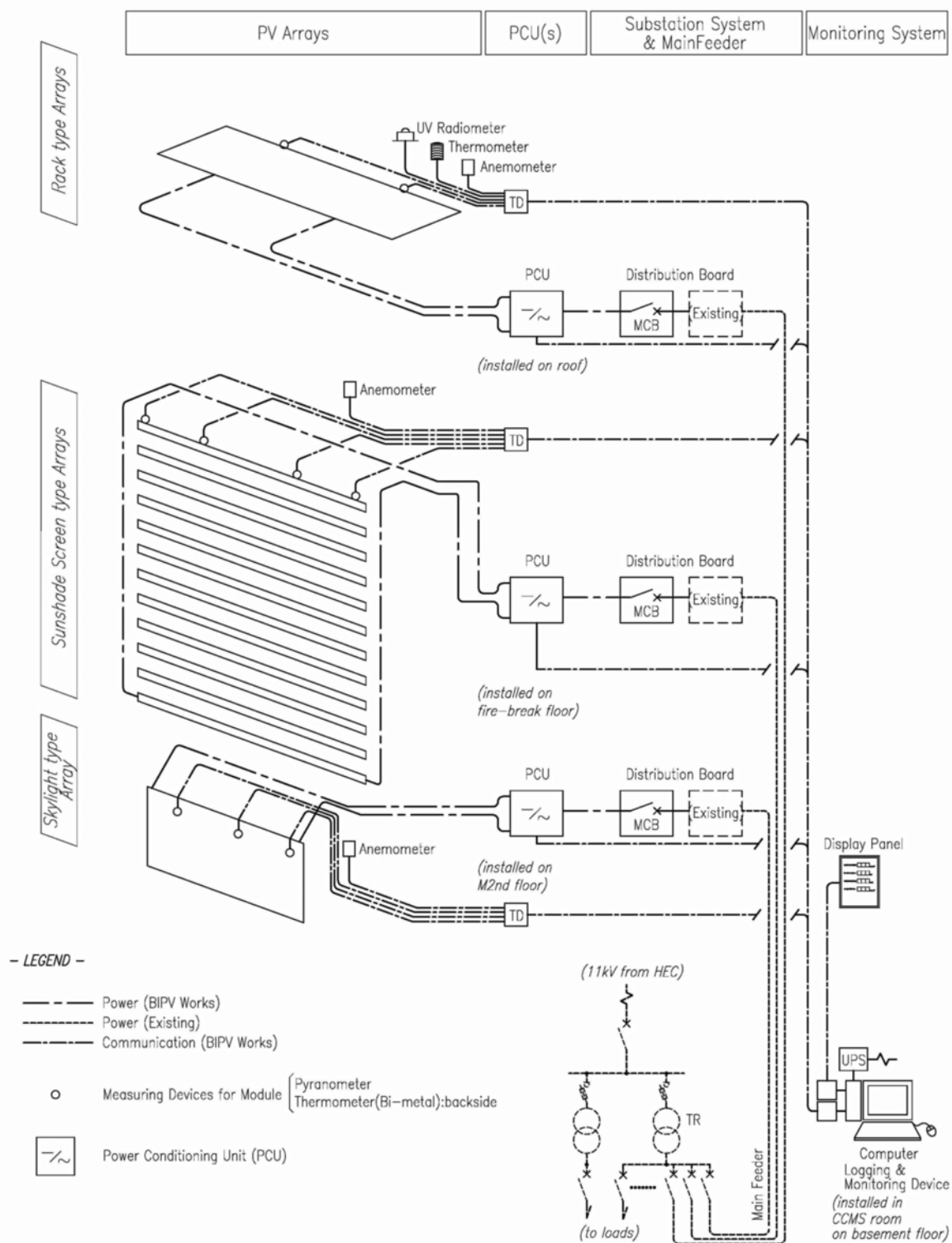


圖 2-5: 系統配置



### 3. 操作經驗

本系統自二零零三年一月開始運作，而為期十二個月的監測期則為二零零三年四月至二零零四年三月。全數三組光伏電力系統的表現皆極為可靠。在監測期內，並沒有發生任何組件故障或與電網連接的問題。於監測期的十二個月內，光伏系統共生產了超過二萬一千九百度電，這些電力由灣仔政府大樓直接消耗。

#### 3.1 系統表現

系統表現的監測是根據國際標準「*IEC 61724: Photovoltaic System Performance Monitoring – Guidelines for Measurement, data exchange and analysis*」而進行的。我們安裝了一套監測系統來收集表現數據：包括環境溫度、光伏板溫度、太陽光度、光伏列的直流電輸出和電力調節器的交流電輸出。這系統是由一台專為此項目而設的個人電腦所控制，並儲存從感應器收集到的有關數據。以下是每月收集的數項表現數值之摘要：

##### 3.1.1 太陽光度

光伏系統的電力輸出是和太陽光度成正比例的。我們安裝了一套測光儀來量度光伏列上的平面太陽光度，以評估光伏系統的表現。圖 3-1 顯示了平面傾斜度（支架式）和與平面垂直（太陽簾式和天窗式）的每月總太陽光度的量度結果。

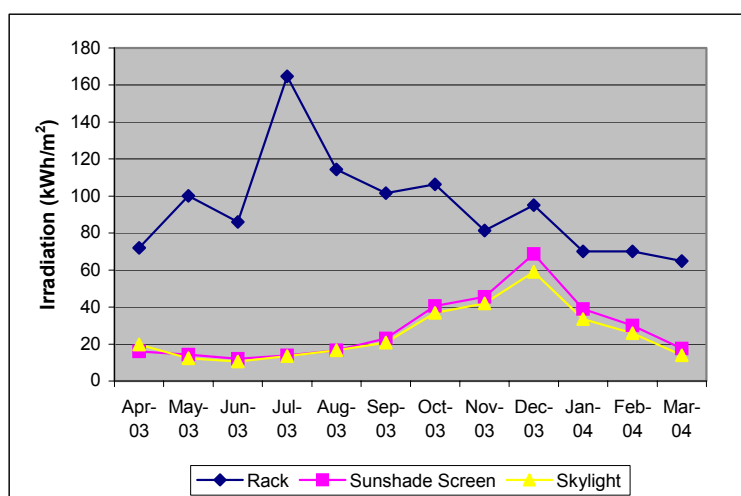


圖3-1: 每月總太陽光度 (2003年4月至2004年3月)

如上圖所示，支架式光伏列的每月總太陽光度由每平方米 65 千瓦時至每平方米 165 千瓦時，全年總數是每平方米 1,127 千瓦時。遮陽蓬式和天窗式的光伏列全年總數則較低（分別為每平方米 303 和 338 千瓦時）。另外，數據顯示出傾斜的表面在夏季能收集到更多的太陽資源，而面向南方的大廈表面則有相反的傾向。

若比較兩種不同的表面的全年總光度，向南方的表面比輕微傾斜的表面少很多。這顯示出大廈頂的光伏板列比安裝在大廈向南表面的光伏板列能擷取更多的太陽能資源。參考數據指出，香港天文台在京士柏錄得的三十年平均長期全球太陽幅射是每平方米 1,472 千瓦時。我們預計灣仔政府大樓的全年太陽幅射量會在這長期參考數值水平上波動。

### 3.1.2 電力輸出

於二零零三年四月至二零零四年三月期間錄得的光伏系統電網<sup>1</sup>總淨能量為 21,935 千瓦時，其中 15,759 千瓦時產自支架式光伏系統，4,540 千瓦時來自遮陽蓬式及 1,636 千瓦時來自天窗式。我們估算此產電量可抵銷 14,000 千克來自燃燒礦物燃料產電時所產生的二氧化碳排放。

我們採用了「量度－關聯－預測」的方法來推算灣仔政府大樓光伏系統的長期平均電力輸出。此外，亦採用了在京士柏錄得的過往長期幅射數據來建立兩個量度地點之太陽幅射量的關係。分析結果表示此光伏系統的長期平均輸出將會大約是每年 24,098 千瓦時。

除了光伏系統的總淨電力輸出，我們還利用了幾項標準的表現指標，以比較不同大小和設計的光伏系統。最常用的指標是最終產量和表現比率。

最終產量是把光伏板列的總淨電力輸出與規定功率標準化。這標準化的指標是用來比較不同大小的能源系統之能量輸出。圖 3-2 顯示出上述三種光伏系統輸出的變化緊密地追隨圖 3-1 顯示的平面幅射的季節性變化。這表示本系統在十二個月的監測期內，在系統表現上，沒有任何能夠分辨的損失。

<sup>1</sup> 電網的總淨能量，界定為電力調節器連接到大廈的供電系統的有效輸出電力。

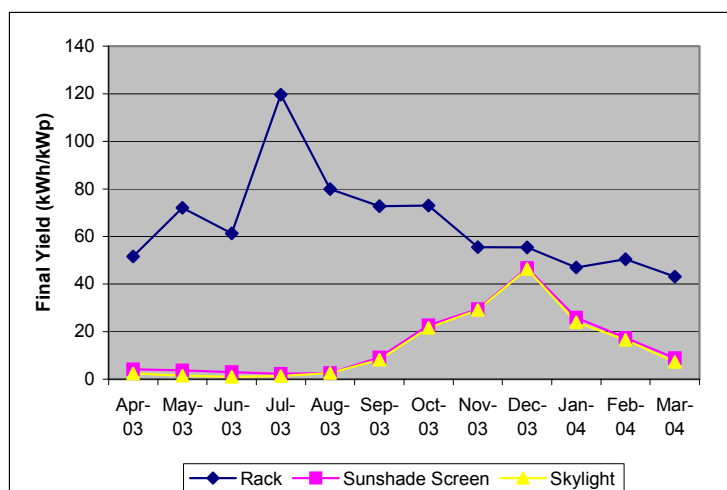


圖3-2: 每月系統總輸出

此外，根據表現的分析顯示，支架式、太陽式和天窗式系統的全年最終產量分別為 792、176 和 162 千瓦時/千瓦。若把微傾的天台裝置和直立的光伏板列相比，前者的能量輸出大於直立系統的四倍。

### 3.1.3 表現比率

表現比率亦被廣泛應用於比較光伏系統表現。表現比率的定義為最終產量和參考產量（基於平面幅射量）的比例。它代表一系列光伏板中，每單位在理論上有用的能量。它提供了系統因為電纜接駁、不充分利用幅射和直流／交流電轉換而導致的總體能量損失的一項指標。

圖 3-3 顯示三組光伏系統的每月表現比率。這些數據顯示，支架式系統的每月表現比率徘徊於百分之 66 至 72。對比之下，遮陽篷式和天窗式系統的每月表現比率則有很大的差異，比率於百分之 10 至 78 之間。在二零零三年四月至九月間所觀察到的表現比率較低（低於百分之 50），這反映了在這些月份裏，表現比率受到太陽幅射不足、遮蔽流失增加，和電力調節器在低幅射環境下的功率降低<sup>2</sup>之影響。

<sup>2</sup> 當幅射水平不足時，電力調節器（換流器）通常會在較低的功率下運作，因而導致表現比率下降。

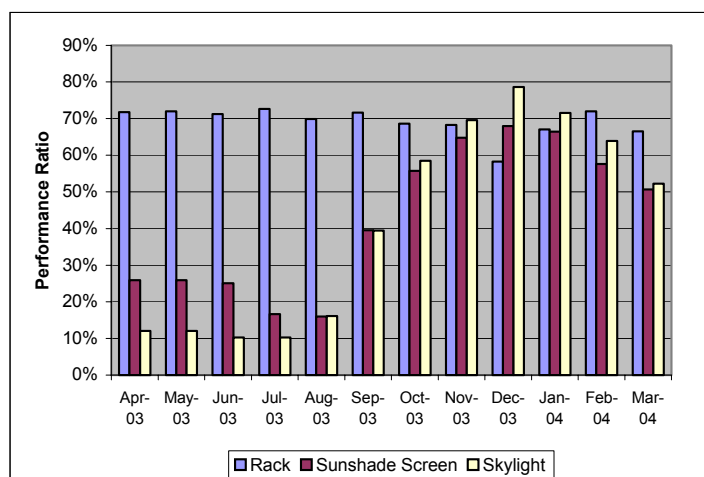


圖3-3: 每月表現比率

分析表現結果顯示，支架式、太陽式和天窗式系統的全年表現比率分別為百分之 69、52 和 53。

一項分析國外 170 套與電網連接的光伏系統表現的研究指出，它們的全年表現比率介乎於百分之 25 至 90 之間，平均數值為百分之 66。這分析亦強調與電網連接的光伏系統的全年表現比率應在百分之 60 至 80 之間<sup>3</sup>。因此，我們認為表現比率為百分之 69 的支架式光伏系統與外國的經驗所得出的表現比率相若。

### 3.2 維修

維修紀錄顯示此光伏系統自始運行起計，並沒有任何組件故障、與電網連接的問題或意料之外的損耗。由於系統高度可靠，投入在維修方面的資源維持在低水平。我們的經驗顯示系統的清潔方式和現有的窗戶清潔的方式類似，因此無須額外增加設備。所以，光伏組件的清潔工作可交由大廈的物業管理部進行，作為日常清潔大廈表面程序的一部份。

### 3.3 成本及效益

本系統產電的成本取決於幾項不同的因素，其中最重要的是資產成本和長遠產電量。研究結果顯示，支架式光伏系統的產電成本大約是每千瓦時 3.4 元，假設設備的壽命是 25 年，貼現率則為百分之四。

<sup>3</sup> U. Jahn et al, Analysis of the Operational performance of the IEA Database PV Systems, Proceedings of the 16<sup>th</sup> European Photovoltaic Solar Energy Conference and Exhibition, May 2000.

我們預計本系統的長遠平均輸出為每年 24,098 千瓦時。假設電力收費是每千瓦時 1.1 元<sup>4</sup>，預計每年可節省 26,500 元。除了節省能源成本外，其他效益亦包括減少大廈空調系統在繁忙時間的需求和減低冷凍負荷量。

---

<sup>4</sup> 香港電燈公司對 1501 個或以上之單位耗電量的整體收費。

## 4. 結論與建議

總結上文所述，於灣仔政府大樓的光伏系統從開始運行至今，並沒有發生組件故障或電網連接上的問題，因此極為可靠。它的系統表現緊密地配合太陽幅射的情況，並沒有任何可分辨的系統失誤。這項目成功地示範了把光伏能源系統使用於香港典型的情況，也證明光伏科技可成為樓宇設計和建造的一部份之可應用性。

於二零零三年四月至二零零四年三月期間錄得的光伏系統電網總淨能量輸出為 21,935 千瓦時，其中 15,759 千瓦時產自支架式光伏系統，4,540 千瓦時來自遮陽蓬式及 1,636 千瓦時來自天窗式。我們估算此產電量可抵銷 14,000 千克來自燃燒礦物燃料產電時所產生的二氧化碳排放。但是，表現分析亦明確的顯示出，直立式光伏列(遮陽蓬式和天窗式)會受到重大的遮蔽損失的影響。總結以上，在香港如此人口擠迫的環境裏，採用平放和微傾的表面所能攝取的太陽能量，遠高於採用直立的表面。

這項目成功地示範了把光伏能源系統融入一座位於市區的辦公室大樓裏，也證明光伏系統能夠在建築設計上和一般的辦公室大廈協調一致。自從此項目開始運行後，我們曾組織超過十多次的技術性參觀活動給不同的團體組織參加，這些團體包括立法會、政府諮詢委員會、政府部門、專業團體、業界組織等。這項目亦為發展香港將來的光伏系統提供了寶貴的經驗。

對於電力調節器在低幅射的環境下效率下降，我們建議一個修正的方案，就是將天窗式光伏列的直流電輸出引進到遮陽蓬式光伏列的電力調節器。此方案可增加電力調節器的總體直流電輸入，因而使它能在更高的功率範圍內運作。

當太陽幅射太低，而不足以給予電力來維持系統在備用狀態下運作，整個系統將會從電網中耗費大量電力。我們建議整個系統利用合適的控制裝置，每天在日落之前不久自動和電網分離，和每天在日出之後不久自動和電網重新聯系。季節性的按時操作裝置具有這種用途。鑒於直流／交流電的轉換功率對於與電網連接的電力生產是一項非常重要的參數，因此，當和有關直流／交流電轉換的更先進科技出現時，應考慮把電力調節器升級。

由於這是香港首項附設於建築物的光伏系統的示範項目，和已經採用精細的監測系統來收集完整的與電網連結的光伏系統的運作表現數據，因此我們建議開發一套長期的監測和研究的計劃，來處理系統技術上的問題，如光伏組件的長遠退化效率及遮蔽損失之分析等。