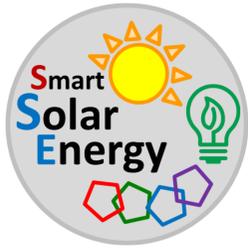


# 智能化太陽能技術 - 採集、存儲及應用



項目統籌：  
汪正平教授  
香港中文大學 工程學院院長



研究項目網頁: <https://sse.erg.cuhk.edu.hk/sse/>

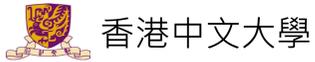


撥款機構：香港政府研究資助局 (RGC) 主題研究計劃 (TRS) (2014-18) (項目編號：T23-407/13-N)

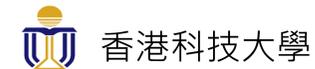
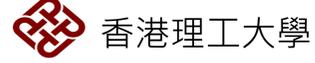
## 關於本項目

項目期間：2014 - 18 (5 年)

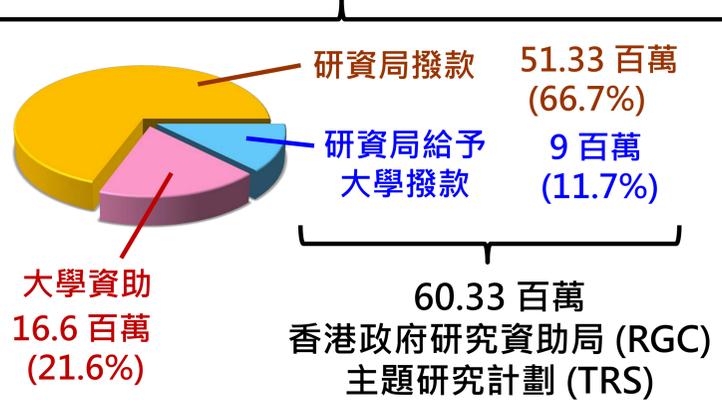
主研究院校：



合作院校：



項目總撥款：7千6 百萬港元



## 項目摘要：

隨着人類對能源需求的快速增長以及使用傳統化石燃料所導致的全球氣候惡化，人類急需開發和利用潔淨可再生能源以代替化石燃料的使用。從太陽光獲取能源是一種非常有前景的方式來滿足這些需求，具體的實現途徑有光電轉換、光催化、人工光合作用和其他太陽能收集技術。

為了發展薄膜太陽能電池和組件以提升香港在太能技術方面的競爭力及市場滲透，是項研究計劃的設計十分整全，目標包括三方面：

- **採集**：提升太陽光採集技術的效能。
- **儲存**：研發高效能電力儲存系統。
- **應用**：研發高效能及安全的智能太陽能配電系統，以切合在不同運作模式下之各種用戶需求。

## 實地示範：香港中文大學和聲書院



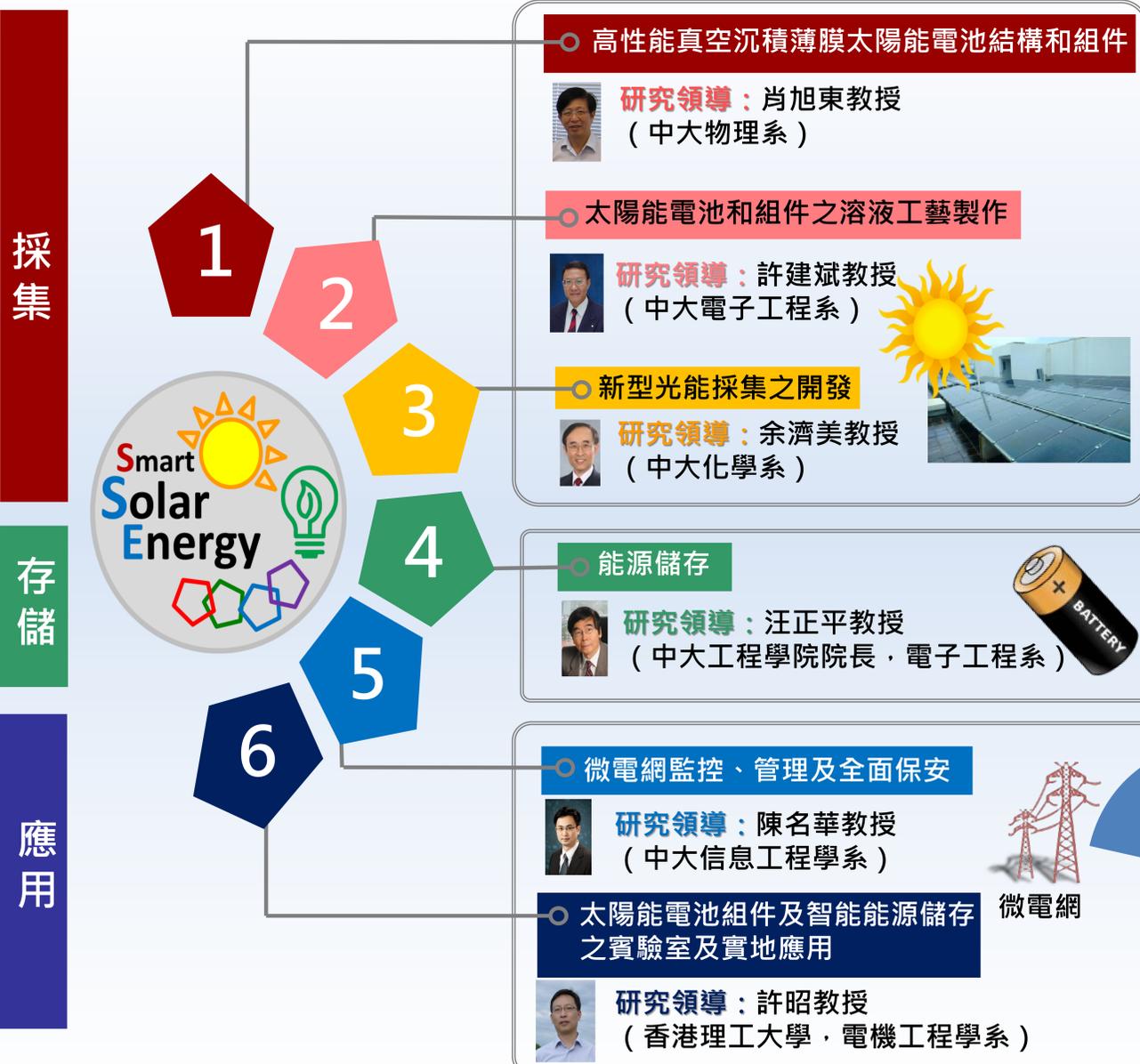
自 2016 年中，本項目與香港中文大學和聲書院合作，在書院的北座及南座頂層設置示範基地，以驗證由本項目研發之再生能源電力系統的效益：

- 安裝了 396 塊 CIGS 太陽能板，共港幣 30 萬元，由主題研究計劃經費資助
- 於 2017 年 5 - 8 月的四個月內，由此系統生產的電力共 13,600 度 (北座 9,360 度及南座 4,240 度)，相當於電費約港幣 15,400 元
- 由此推算，系統約可在一年內為書院節省約四萬元電費
- 若以書院這四個月內的總用電量 (57 萬度電) 計算，系統供應的電量約佔書院總用電量的 2.4%

未來，團隊將繼續發掘更出色的研究突破，以結合各種不同系統及高效智能電網應用為最終目標。

## 研究團隊

- 共包括六個子項目，每個由一位資深教授領導
- 20 多位來自中大、香港理工大學、香港科技大學及香港大學跨學科、跨院校學者共同合作
- 項目自開始以來，已有超過 150 位研究人員參與



## 聯絡我們

項目經理：Mandy Tse

電郵：[mandytse@cuhk.edu.hk](mailto:mandytse@cuhk.edu.hk)

電話：852-3943-8450



採集

存儲

應用

## CIGS 太陽能電池的性能優化



肖旭東及  
路新慧教授  
香港中文大學  
物理系



自 2011 年，團隊已成功研發出低成本、高性能及用途廣泛的 Cu(InGa)Se<sub>2</sub> (CIGS) 薄膜太陽能電池。它的轉換效率 (20.6%) 達大中華及國際水平，標誌著再生能源發展的一大突破。

另外，團隊發展的 CIGS 電池和組件科技，除了在香港中文大學組建了 CIGS 光伏系統，更於 2015 年在中國浙江省嘉興市秀洲區國家高新技術產業開發區成立了啟動公司「旭科新能源股份有限公司」，估計產能達每年 2 MW。

旭科新能源股份有限公司  
Shinotech Co., Ltd.

2015 年成立

註冊資本：

5,200 萬元人民幣

估計產能：每年 2 MW

地址：浙江嘉興秀洲高新區



公司員工	71 人
研發人員	51 人
博士	12 人
碩士	8 人

### 關於「秀洲高新區」

嘉興秀洲高新技術產業開發區 (簡稱秀洲高新區) 位於嘉興市西側，2006 年被批准為省級開發區。2015 年 9 月，國務院正式同意秀洲高新區升級為國家高新技術產業開發區。經過十多年的發展，秀洲高新區已成為嘉興市經濟轉型升級的重要基地。2017 年 8 月，首次參與國家高新區排名的秀洲高新區，綜合排名進入全國前二分之一行列，排名居全國所有新升級的國家高新區首位。

更多  
項目資訊

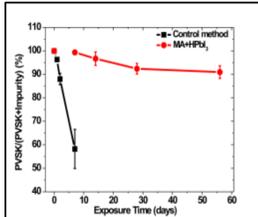


## 具良好穩定性及高結晶性 大尺寸晶粒鈣鈦礦薄膜之研發

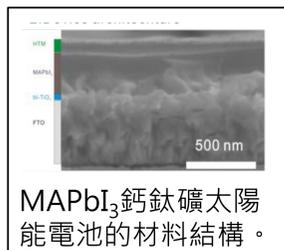
團隊成功優化有機無機雜合鈣鈦礦的合成路徑，研發出名為「非化學計量比的酸鹼反應」(NABR) 之合成方法，有效提高了 MAPbI<sub>3</sub> 鈣鈦礦的穩定性。用 NABR 所製成的鈣鈦礦薄膜，在空氣濕度 65% 的環境下，能夠保持穩定兩個月，比以傳統方法製造的鈣鈦礦薄膜，只能保持約一星期大大提升。這項研究結果，有望研發出高效率、低成本、高穩定的鈣鈦礦太陽能電池。這項突破性的成果近日在國際知名學術期刊《自然通訊》(Nature Communications) 發表。



許建斌及  
嚴克友教授  
香港中文大學  
電子工程系



用 NABR 所製成的鈣鈦礦薄膜，穩定性大大提升。



MAPbI<sub>3</sub> 鈣鈦礦太陽能電池的材料結構。

及後，團隊成功製備了高結晶性大尺寸晶粒鈣鈦礦薄膜，令它的濕度和熱穩定性都有了極大的提升。同時，團隊設計的氣固反應過程和反應器，能夠製備出緻密的大面積鈣鈦礦薄膜 (5 × 5 cm<sup>2</sup>)，大大增加了

鈣鈦礦電池的面積，向商業化生產所要求大大邁進一步。本研究成果已分別發表在 Wiley 旗下期刊《先進能源材料》(Advanced Energy Materials) 及著名國際雜誌《納米能源》(Nano Energy) 上。

更多項目資訊



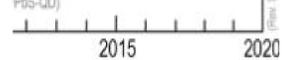
## 新型有機太陽能電池材料 之設計及合成

團隊發現了一個新的材料體系，將有望改寫有機太陽能電池

(Organic Solar Cells, OSCs) 的未來發展。現時，即使是表現最佳的有機太陽能電池，也只能達到 12 - 13% 光電轉換效率。發電的必須步驟 - 電荷分離 - 需要一定的驅動力才可達成，而它令有機

太陽能電池無可避免地產生了較大的電壓流失，因而限制了它的光電轉換效率，大大限制了有機太陽能電池的發展。利用該材料造成的有機太陽能電池，能於接近零的電荷分離驅動力下，最高轉換效率提升至 20 - 25%。這意味著較環保的有機太陽能電池，可望媲美無機太陽能電池的效能水平。

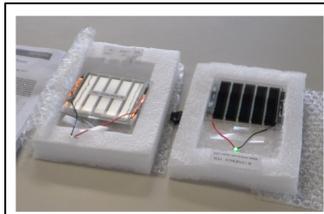
早於 2015 年，團隊已把單結有機太陽能電池效能提升至世界最高的 11.5%，並獲美國能源部國家再生能源實驗室 (NREL) 正式確認為主要科技突破，並刊登於國際知名的「最佳效能研究電池圖表」上。



更多項目資訊



顏河教授  
香港科技大學  
化學系



團隊研發的有機太陽能電池的設計原型。

## 基於柔性機構的卷對卷多層印刷系統的 精密設計及控制

卷對卷 (Roll-to-Roll, R2R) 製造技術在許多產業中早已被廣泛應用，例如造紙業、紡織業或是鋼鐵業，其主要特性為連續式、大量生產等，具有簡單、綠色、低成本等優點，故一致被業界認為是未來製造的發展方向。



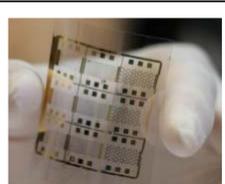
陳世祈教授  
香港中文大學  
機械與自動化  
工程學系



全球文獻記錄中  
精確度紀錄最高

團隊成功研發全球精確度紀錄最高之卷對卷多層印刷技術，準確度達 100 nm，並具有以下特長：

- 1: 高解像度及可重複性
- 2: 高產量
- 3: 多自由度誤差校正
- 4: 實時接觸壓力監控
- 5: 層與層之間的高對準精度

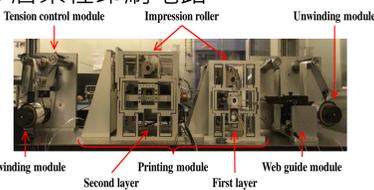


在柔性基底上卷對卷印刷的金電極

此技術已獲兩項美國專利。同時，由於此技術的高精確度，它非常適合應用於製造精密細小及厚度超薄的可彎曲光電器件。如應用此技術，將令體積更細小及厚度超薄的可彎曲光電器件。如應用此技術，將令體積更細小及可穿戴式的各種器件設計變得可能，大大促進新型便攜產品的發展生產。現時技術已能印製 4 英寸寬度的產品，亦能升級至 1 - 2 米寬度。

其他應用包括：

- 1: 衍射光柵
- 2: 高解像度 ~85% 透明的金屬網格
- 3: 以金屬網格為電極的柔性有機光伏電池
- 4: 有機薄膜場效應電晶體
- 5: 光學超穎材料 如太赫茲吸收體
- 6: 多層柔性印刷電路



基於柔性機構的多層卷對卷印刷系統原型

更多  
項目資訊

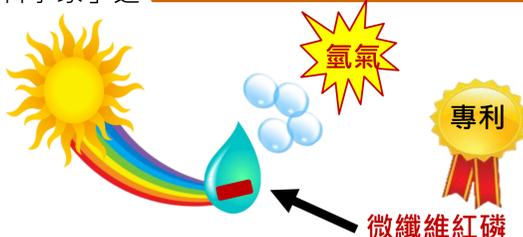


## 研發微纖維紅磷從水中 高效製造新型潔淨能源 (氫氣)

余教授擁有多項發明專利，並獲湯森路透 (Thomson Reuters) 譽為「2014 世界最具影響力科學家」之一。



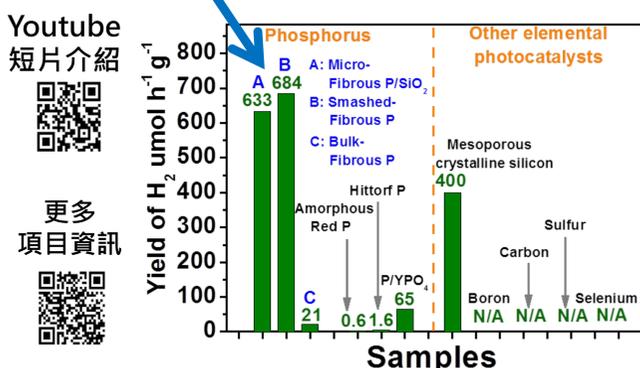
余濟美教授  
香港中文大學  
化學系



團隊的研究發現，只要在水中加入一種「神秘成分」，一起暴露在陽光下，就能製造潔淨燃料。關鍵成分就是紅磷。在陽光下，紅磷可把水分解，產生氣泡狀的氫——一種潔淨燃料。研究發現，一種特別類型的「微纖維紅磷」比其他類型的紅磷，甚至比其他光催化劑，能更有效從水中生產氫氣，同時成本也更低。

光催化劑的運作，就如葉綠素之於植物，它吸收光的能源，產生化學反應並轉化為能源，過程就是一種人工的光合作用。可用作光催化劑的材料，沒有數千也有數百種，但大都是重金屬化合物，昂貴且製造過程複雜，常要用上稀有元素來提高效率。因此化學家一直尋求有相同功能的單一元素。紅磷蘊藏量豐富，取之不竭。它藏在地殼中，開採也容易。氫這種潔淨能源的容量很高，能比其他化學燃料產生更大能量。生產過程完結後，餘下的副產品只有水，並無有毒氣體。

微纖維紅磷比其他類型的紅磷，甚至比其他光催化劑，能更有效從水中生產氫氣。



Youtube  
短片介紹



更多  
項目資訊



## 熱電發電機 (Thermoelectric Generators, TEG) 之研發



徐東艷教授  
香港中文大學  
機械與自動化工程  
學系



熱電發電機 (TEG) 是運用熱電效應將熱 (溫度差) 直接轉換成電能的一種裝置。在生活四周，有許多被廢棄的熱能，如：

- 工業熱能 (如工業高 / 低階廢棄熱能)
- 交通工具排放熱能 (如汽車尾氣)
- 環境熱 (如太陽熱能 / 溫泉地熱)
- 其他熱能 (如熱水管、住宅器具熱能)

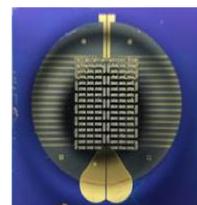
如果能將這些熱能善加利用，即可成為再次使用的能源。

TEG 具有可靠性高、壽命長及環保等優點，而且，相比傳統的熱力發電機，它的體積小、可擴展，能在較小的溫差下生產電力。然而，它的效率不高，阻礙了它的應用發展。

全球文獻記錄中  
功率密度最高

團隊結合了脈衝電鍍法及微細加工，在溫度差 52.5 K 之下製造出功率密度高達 9.2 mW cm<sup>-2</sup> 的熱電發電機，是文獻紀錄中電鍍微型熱電發電機之中最高。該技術已獲一項美國專利。

此外，柔性 TEG 更可應用在無線傳感器及微電子器件 (如可穿戴醫學傳感器及智能手表) 上，以收集人體之熱能來為設備供電。柔性可穿戴設備具有彈性，與皮膚貼合的更好，佩戴舒適度更佳。它們可應用於健康監測、運動監測、環境監測、VR 遊戲娛樂等方面。



非柔性熱電發電機



柔性熱電發電機

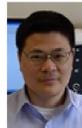
更多  
項目資訊



# 最新研究成果：採集

## 表面等離子體共振和上轉換納米材料

太陽光中，49%的能量來自紅外光波段，但傳統半導體太陽能電池由於本身的禁帶寬度所限，絕大部分紅外光是無法被吸收並轉化為電能。團隊研發了一種新型的稀土敏化轉換材料，**能夠把紅外光直接轉化為可見光，能量轉換效率達到16%，相比傳統的納米上轉換材料效率提升一倍以上。**這種材料性能穩定，製備簡單，成本低廉，並且成功將聚焦太陽光中的紅外光轉變成可見光。團隊也設計出了將太陽能電池和新材料相結合的模型。這項新科技還有很多潛在的商業應用價值，例如照明系統和顯示器等等。這項成果已發表於《自然》雜誌旗下子刊《自然通訊》上。

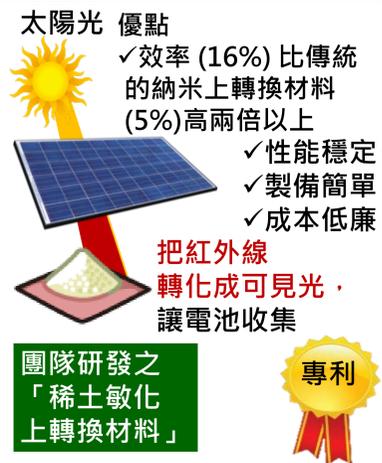
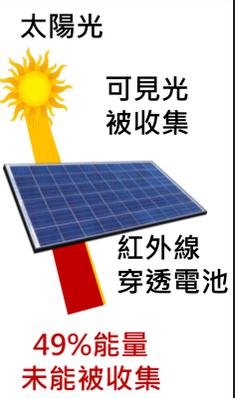


王建方教授  
香港中文大學  
物理系



傳統半導體太陽能電池

中大團隊之研究



在紅外光照射下，團隊研發的轉換材料能發出強烈的可見光：

在紅外光照射下



更多項目資訊

# 最新研究成果：存儲

## 高能量密度而價格低廉的液流電池 鋅-碘溴液流電池 (ZIBB)

團隊研發了一種高能量新型鋅-碘溴液流電池，刷新了目前水系液流電池能量密度的紀錄。



盧怡君教授  
香港中文大學  
機械與自動化工程系



水系液流電池是兩種電解液通過離子交換來產生電能的裝置，具有安全、環保、系統設計靈活、壽命長達數十年的特點，是一種極具發展潛力的新型儲能系統。團隊在鋅-碘液流電池中添加溴離子(Br-)後，其能量密度即時提升至高達每升101 瓦時 (Wh L<sup>-1</sup>)，創造了水系液流電池能量密度的新紀錄，與未添加溴離子(Br-)前相比，電池容量增加了至少20%。



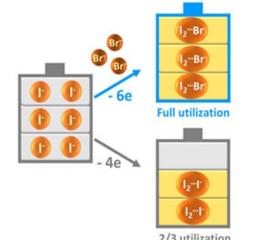
專利

全球文獻記錄中最高能量密度的水系液流電池

鋅-碘溴液流電池設計原型的外觀。

潛在應用領域

- 電動汽車
- 大型儲能系統



在充電過程中，溴離子(Br-)取代三碘離子中的碘離子(I-)形成碘溴離子，從而釋放了該部分碘離子以增加儲能容量。

這項突破性的成果近日在國際知名學術期刊《能源及環境科學》(Energy & Environmental Science) 發表，並獲英國皇家化學會旗下雜誌《化學世界》(Chemistry World) 重點報導。

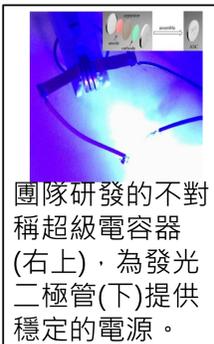
更多項目資訊

## 三維多孔碳高效能超級電容器

一般來說，超級電容器的功率密度高但能量密度低，而蓄電池則反之。團隊為了提高超級電容器的能量密度，研發了多孔碳材料以及膜電容型材料。團隊證實了一種低溫的化學沉積法製備高品質的三維彎曲石墨材料，並應用於超級電容器，可以實現高能量密度 (40.9 Wh kg<sup>-1</sup>) 和高功率密度 (70 kW kg<sup>-1</sup>)，以及長期的使用穩定性。該研究結果發表在 Nano Energy 2015, 13, 458。



汪正平及趙妮教授  
香港中文大學  
電子工程系

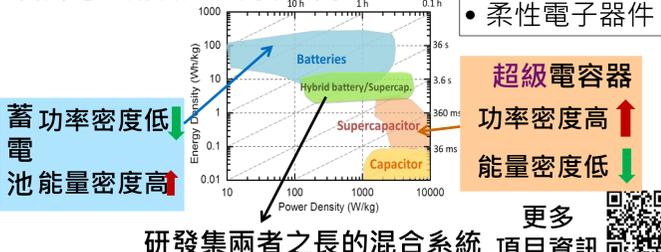


團隊研發的不對稱超級電容器(右上)，為發光二極管(下)提供穩定的電源。

全球文獻記錄中最高效能的非對稱性超級電容器

另外，團隊還開發了一種可以自支撐的三維多級孔泡沫碳電極，其合成方法溫和，可擴展並成本划算。該多級孔結構可以組裝大量的大孔和微孔，為離子的傳播提供了充分的空間，同時也提供了大量的表面積來儲存能量。此泡沫碳可以用來作為膜電容型材料(例如金屬氧化物或者硫化物)的力學支撐及生長點，可以表現出更為優異的電化學性能，主要表現為高的能量密度和高功率密度，分別為93.9 Wh kg<sup>-1</sup>和21.1 kW kg<sup>-1</sup>，此數值可媲美報導過的最高的非對稱性超級電容器的性能。該研究結果發表在 Nano Energy 2016, 25, 193。

未來，團隊將研發集超級電容器及蓄電池兩者之長的混合系統。



# 最新研究成果：應用

## 微電網發電調度的在線算法

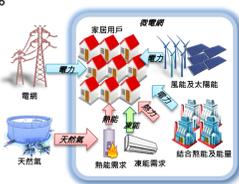
微電網 (Microgrid) 是一個小型的發電及配電系統，可同時採用太陽光等再生能源



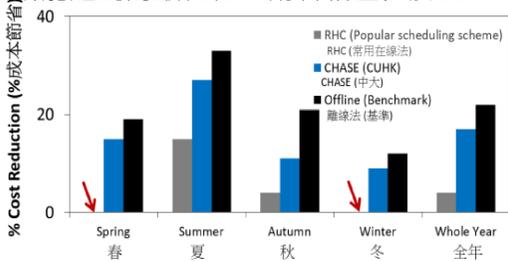
陳名華教授  
香港中文大學  
信息工程學系



及小型燃氣發電機來提供電力，可以並網或離網運行。微電網能有效提升電力系統穩定性、能源轉換效率、以及再生能源使用比例。但再生能源受天氣影響，供應量不穩定，營運商也難以準確預測微電網的負荷，從而無法運用基於預測的傳統發電調度算法。



團隊研發出嶄新的「微電網發電調度的在線算法」解決再生能源不穩定性帶來的發電調度新挑戰，實現既高效節能又融合再生能源的微電網系統。團隊打破基於預測的傳統調度框架，提出一套名為 CHASE (Competitive Heuristic Algorithms for Scheduling Energy-generation) 的理想調度追蹤算法。團隊將CHASE算法應用在美國三藩市的模擬微電網案例中，在沒有或極少預測信息的情況下僅靠過往用電趨勢智能追蹤理想調度，適時調配電力來源，滿足用電需求，在沒有或極少預測信息的情況下帶來約20%的成本節省，成效顯著。理想調度指預知未來一切發電及負荷信息後形成的調度方案。最近，CHASE算法的可行性和性能在香港理工大學微電網實驗室得到進一步驗證。大數據量的實驗結果表明，CHASE算法的成本節省接近理想調度所能達到的最低值，兩者相差少於10%。



RHC: ~5% 成本節省 (春及冬季無節省)  
CHASE: 統計學上 ~20% 成本節省

更多項目資訊

## 香港理工大學智能微電網實驗室

團隊構建的智能微電網實驗室集光伏、儲能及電能優化調配為一體，是全港首個微網控制實驗平台，總容量達 4 kw，可用作驗證多種調度及控制策略。



許昭教授  
香港理工大學  
電機工程學系



團隊的智能微電網實驗室之外觀及運行網路架構。

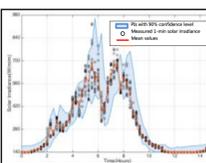
### 全港首個智慧型電氣負載控制器

維持頻率穩定是保障電力系統安全運行的關鍵因素。傳統上，電網的頻率調節只能由發電方承擔，花費非常昂貴。團隊成功研發本港首個能實時回應頻率變化的智慧型電氣負載控制器，可用在不同家居電器而且體積細小(約一般信用卡大小)，很適合香港家居使用。此控制器讓電器即時參與頻率回應，在頻率過低時，切斷非重要負荷；在系統頻率恢復時，迅速恢復供電。此控制器能從用戶方分擔頻率平衡的負荷，對整個電網系統的穩定非常有利。



### 粒化計算為本的概率預測技術

為達最佳的能源效益，微電網中可再生能源的發電和負荷的準確預測不可或缺。團隊與香港天文台合作，開發了性能優秀的粒化概率預測技術，在以15分鐘為間隔的光照輻射預測結果中，所產生的可信度為90%的預測區間幾乎可以覆蓋90%的觀測值，證明該方法非常可靠。該技術已成功在香港天文台京士柏光照強度數據的短期概率預測上應用，將來更有望應用於太陽能及其他可再生能源的微電網。



專利

更多項目資訊

## 智能化能源管理網上系統：「和聲 Power」

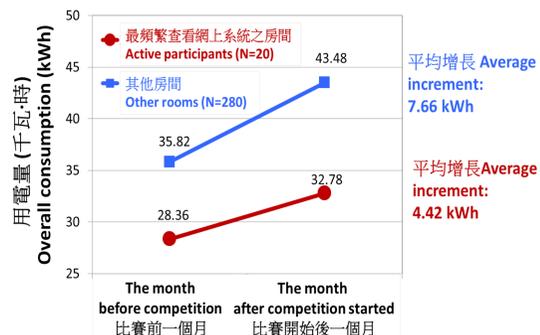
中大和聲書院於創立時已制定節能減碳的方針，在所有300個宿舍房間安裝了獨立的智能電錶，也在VRV冷氣系統、熱水系統及公共空間原有的電錶上安裝了監測系統，數碼監



邱達民教授  
香港中文大學  
信息工程學系



測用電數據。團隊根據宿舍房間的數據，設計了智能化在線能源管理網上系統「和聲 Power」，為每個宿舍房間提供實時回饋，提升宿生對個人用電量的關注及節能意識，並為管理者找出節能機會及方案。宿生透過此系統，可了解自己的用電量與其他同學相比屬於較高或偏低，藉此鼓勵同學自發省電行為，減低碳足跡。



2017年2月至4月，團隊為同學設計了省電比賽。比賽結果顯示，參與同學的用電量增幅只有其他同學的四成，可見參加比賽的同學，省電意識有所提升，亦真正做到節能。和聲書院的這個試驗計劃，為整所大學成立了很好的階梯。

更多項目資訊

