「可再生能源網上研討會 #8：聞風起舞：認識風力發電」
日期：2020 年 8 月 21 日(星期五)
講者：
潘建勤先生(文創電業工程有限公司營運經理)
朱丹女士(香港風脈國際有限公司行政總裁)
主持：麥永開先生(低碳想創坊項目顧問、350HK 聯合創辦人、傑出青年協會氣候及環境委員會主席)
主辦機構：低碳想創坊
項目：賽馬會太陽能關懷計劃

潘：潘建勤　朱：朱丹　麥：麥永開

麥：歡迎大家繼續留守。事不宜遲，我們馬上爭取時間開始今日的網上研討會。首先介紹身邊這一位——Catherine 朱丹女士。Catherine 是香港風脈國際有限公司的行政總裁，她在風力發電界已擁有超過 15 年的經驗，過去亦參與了不少國際性大型陸上及海上可再生能源建設設施的項目。她在香港風脈國際有限公司的國際事務上積極推動可再生能源的發展、投資、技術及工程服務，曾擔任 Wood 潔淨能源的亞太區董事。她的經驗包括：中國 8GW 風能及 2GW 太陽能電廠盡職調查；福建海上風電場規劃；南韓陸上及離岸風能技術顧問；歐盟 EU-EEP 中國東南海岸線離岸風能發展規劃；香港南丫島 100MW 離岸風力監控；珠海桂山海上風力場；台灣首個項目資助離岸風電場的貸款技術顧問，以及其他橫跨東南亞的上網或離網可再生能源項目等。絕對是業界的翹楚。現在先請 Catherine 跟我們分享，隨後 Ken （潘建勤先生）亦會分享他個人在蒙古工作的經驗。Catherine，現在時間就交給你吧！

朱：好，謝謝 Ringo（麥永開先生）。大家好，我是 Catherine，今日好高興有機會通過 CarbonCare InnoLab 來介紹我所在的行業——風力發電。今日的分享主要會分成三個部分：風的起源和科普的基礎知識、風力發電，最後亦會跟大家欣賞一下一些風電場的風采。

風是如何產生的呢？風其實就是氣壓由高向低游走，隨著這些空氣的流動而產生的風向、風速，再加上地球的偏向力，亦即自轉的影響，最後所形成的氣流變化就是風。另外，因為陸上和海域具有不同的地形山勢，這些自然的地理環境會令風向流動的方式在空間分佈上變得複雜，因而形成大大小小不同的風力、風向和風速。歷史上其實早有風能的記載，古埃及、中國，甚至古巴比倫都是世界上最早利用風能產動的國家之一。在中國，橫軸風機的發明早在漢朝已出現，當時主要被運用在抽水和農業產動方面；在宋朝時期更達到應用的頂峰。文藝復興後，風能產動被傳入歐洲，其中荷蘭是大家所熟知由風力產能的國家，至今仍然保留著當時用來抽水產動的舊有風車機組。

用風力發動的，我們會叫它做「風車」；用風力發電的，我們則會叫它做「風力發電機」或「風力渦輪機」（Wind Turbine Generator），簡稱「風機」。（簡報頁 1）右圖大致介紹了風

機的機械原理和主要組成的部分，當中最關鍵的是機艙（Nutshell），裡面裝置了一條傳動鏈（Drive-chain），全靠機艙外面的連接箱連接「葉片」——目前常見的有「三葉片」。葉片通過氣壓由風力轉動，帶動 Drive-chain 入面的齒輪盒（Gear box）及旋轉軸承（Shaft），繼而產生動力發電到電網。這些電力會透過風塔傳送到地面上的變壓器，經變壓後會重新接駁到電網，然後再授／售電予終端使用者。這大致上就是整個陸上風機的運作原理。

風力發電力大可分成三個類別，分別是在陸上風電（On-shore Wind）、海上風電（Off-shore Wind）和分散式風電（Distributed Wind）。陸上風電場的規模通常最少也有 30MW；50MW，甚至單個 100MW 的都是常見的規模，而單台陸上風機目前在市面較盛行的會是 1MW -5MW。海上風電場則會更大，常見於大型水域，並會因應不同的海床組織而樹立風機。單台海上風機目前常見的是 4MW -10MW。至於分散式風電，顧名思義並不是一種大型集中式的風電，可能只有幾百個 KW。舉例南丫島有一台風機，也可算是一種分散式風機的表現，它大概是一個有 750KW 的單台機組。分散式風電常見的應用場景在歐美和澳洲，當中尤以農場居多，也有一些範圍較細的，例如在社區、工業園區，以及一些在島嶼上的離網發電（Off-grid），都是應用得比較多的例子。以上三種就是風力發電的主要形態。

有關風機的技術發展，可見自 1990 年代起規模愈來愈龐大，潛力也愈來愈高。理論上，大氣層愈高，所捕捉到的風資源會愈多，而風速也會愈大；然則，在同一點位情況下，當你樹立的一台風機愈高愈大，你所能捕捉的能量也愈多，其能量差別是可以用倍數計的。這也是為什麼業界追求的技術會愈來愈高的原因。剛剛也提到，現時陸上風電場大致徘徊在 2MW -4MW 這種規模，其高度尺寸大約等同於 London Eye 的大小，也就是我們現時主流上所見的風電場大小。海上風機的高度尺寸又如何呢？那大小就會像巴黎鐵塔一般，主要徘徊在 6MW -10MW。有關最新的技術，應該是最近由 GE 所開發擁有 12MW 的單台機組，聞說已在做 prototype 測試了，其大小大概就像「中銀」〔大廈〕一般。海面以上的，是機械運作的部分，海面以下的 Off-Shore Wind Farm 就是風機的結構。其結構也有分兩種。一種是固定在海床上的 Fixed-bottom 基礎，另一種則是漂浮在海面上的 Floating 基礎。前者在歐亞地區較常見的是將單樁基礎打入海床……在未來，我們所希望的是能夠逐漸在愈來愈深海的位置發展，原因是近岸海域會有一個 busy ship lane。無論是船隻的航行、人類的活動、漁業，或是將近十年的風力發展令可用的近岸海域愈來愈少，都是促使我們向深海發展的原因。愈往深海去，我們便可進一步探索在不同結構海床上的風機安裝，譬如說是早年面世的管架式（Jacket），以及會在可見將來常用於海深 50 米至 200 米區域的漂浮式離岸結構。

由於歐洲與亞洲擁有不同的風況，在 wind conditions 上有比較大的差異，是故業界一直以來都嘗試探究有關歐洲的風機技術，是否也同時適合運用在亞洲地區上。舉例來說，歐洲陸地上的風力較大、風速較高，尤其是在北海區域，其每小時高達 9 米、10 米的穩定風速更絕對有利於風力發電。反觀亞洲，其風況是不穩定的。無論是日本、內地，抑或台灣，幾乎每一區域都受颱風影響，甚至乎東南亞地區也不時受到局部颱風所影響；相反，北海是沒有颱風的。陸地上，亞洲的地形也比較複雜，坡度較多，相對於歐洲的話，風速可能會更低。因此，根據亞洲

風況而得出的獨有風機技術近年自成一家，可見的有沙漠型、海洋型、低溫型、高海拔型、低風速型，甚至是抗颱風型等等的機組。其中，高海拔型可應用於青海等地；廣東地區無論在海上、陸上也見有不少低風速型機組。這些都是因應亞洲的風況而逐漸演變出來的技術。

（簡報頁 2）這圖可讓我們直觀上了解到，陸上型及離岸型風電場所各自擁有的資產組成。從右至左來看，第一個是我們剛才所介紹的風機，當中的每一個部件我們都已拆分睇過了——先由陸地的電纜去到變壓器，再駁到電網。陸上風電場的話，主要都是由這三大部分來組成。由左至右來看的話，一開始就是離岸型風電場的資產，海面以上同樣地也會有風機的組成；海面以下則是其 subsea structure，並由一個固定式或是漂浮式的基礎結構接駁到海底電纜。其中，電力會先經海底電纜送到一個海上升壓站，經調節後再登陸岸上的 sub-station，然後再經由控制系統接駁上電網，繼而送到終端使用者手上。是故，兩者最大的區別是，海上風電場會有更多額外的海上設施。

直至 2019 年，全球的風電安裝（Install Capacity）已超過 650GW。其中最大的風電市場在中國，佔全球多於 237GW。總體來說，全球的陸上風電場〔發展〕是會慢慢放緩的，至於未來的關注，主要包括歐洲近年著重的離岸風電，甚至乎是在深海區的漂浮式風電場。以亞洲的風電場來說，中國固之然是全球最大市場，然而近兩、三年來，一些新興的東南亞市場也被逐步關注。舉例越南、緬甸最近都推出了新的能源政策；風電亦開始有 Feed-in Tariff 電價；當地的陸地風電市場亦嶄露頭角。反之，風電歷史及規模比較成熟的國家則會趨向發展適用於深海的高技術風機。

為加深大家對風電的理解，接下來分享一些比較有趣的實例。清潔能源有很多的分類，風力、太陽能，以及天然氣都是比較有代表性的例子。然而，在此當中，我們為什麼會認為風電與光伏更清潔呢？最關鍵的原因是它們都不用水，完全不佔用水資源。對此，我們如何理解呢？舉例傳統的火力發電，煤炭在每個 MWh 大概需要使用 1000 -2000 升左右的水；核電基於核動力反應堆同樣會消耗 1500 -2700 升水；天然氣則需要從地下水資源處抽取，再經化學燃料燃燒轉化為電能，其耗水量亦達到每個 MWh 700 -1200 升水。而風電和光伏則完全不需要佔用任何水的。

風電昂貴嗎？這是我在香港經常被問及的。大家也尤其關注當中的建設能力和經濟效益。事實上，由 2009 年至今，不到十年的時間，風電的成本縮減（Cost reduction）是極之可觀的。（簡報頁 3）從這個圖表中，我們可見光伏的成本縮減也如風電一樣厲害，目前已達 50 美金一個 MWh；風電的話，我們可見藍色線代表，目前成本已是云云清潔能源中最低的。在研究成本下降方面，風電一直是眾多可再生能源（Renewable Energy，RE）中最積極的一個。剛才提到其中的一種方法就是大型機組的創新。當機組愈來愈大，亦即同一佔地面積現可產生以倍數上升的電，Project cost 會因而下降，導電成本也會相應降低；材料上及技術上的革新，也進一步令低風速區域在風電效能上發揮到其最大作用。這都是過去十年來風電業界所創造的優勢。

麥：直至現時為止，已見有很多朋友在不斷發問。非常有趣的分享。我們或者可先解答在 chatroom 上問題；大家如果之後有任何問題都可在 Q&A 上提問。Ben Chan 首先提出一個頗為技術型的問題：在珠三角地區用的是什麼類型的風電技術？除此之外，Monopile 跟浮式的結構又有何分別？我也非常好奇呢，有請 Catherine 解釋一下吧！

朱：我們現於廣東省見到的風電場大致上全部都是 Fixed-bottom，固定在海床上面 的，當中包括又以 Monopile 為多，另外還有多裝及單裝結構，以及 Jacket，即導管架形式，這幾種都有。

麥：好。另外 Issac 則提出了一個很貼身的問題：現時香港的上網電價有否包含風力發電呢？

朱：其實是有的。因為它是 RE，所以都有 Feed-in Tariff 的。

麥：對。印象中只要是認可的可再生能源，便可申請作上網電價的；然而基於風力發電具有特別的要求，在香港就暫時未有。因此我們也非常鼓勵有心人在此盡一份力。接下來讓我們解答在 Q&A section 的問題……觀眾 Danny 好踴躍問了幾個問題，我先選其中一條來答吧！他問了有關海上風力場的侵蝕（Corrosion）問題，想知道當中的情況如何。有請 Catherine；Ken 也可以分享一下。

朱：每當樹立一海上風電場，我們也會針對預防機組的所有表面侵蝕作考慮。當中的經驗和應用是參考歐洲海上油氣行業（Off-shore oil and gas）上一個極高的標準，而這做法目前在全球上也是非常盛行的，而且都可以應用在現時的離岸風電場上。這些標準帶動了材料上的進步，例如是一些防腐塗層，我們都會參考 Off-shore oil and gas 上的經驗；另外，在研究如何清除機組結構上的一些海洋贅生物（Marine growths）時，這些經驗亦引發我們一些天馬行空的想法，譬如說將之化身成「海上牧場」的可能……

麥：哇，好精彩呢！另外有些問題我特別想請教 Ken 的。作為一個科幻電影迷，對那些在極地深海處飄移的大型鑽油台、風力場或多或少都會有無限想像……有關這些大型的離岸工程，有朋友就問，會有什麼安全措施呢？當中又有沒有特別的一套守則呢？

潘：海上的話，其實跟我們陸上的基建操作是一樣的，不過如果涉及風機的話，便需要具備「攀高證」的資格。典型的例子有澳門塔，攀登上去都需要考牌資格的。這不只針對海上風電的，還包括陸上風電，兩者都需要具備這一資格。（麥：即是需要一些特別的技能和要求，對吧？）主要都是針對其高度的問題。

麥：明白了。剛才 Catherine 的簡報非常精彩，如果大家再有問題，也請在 Q&A 提問，我們稍後會再撥時間跟 Catherine 詳談有關內容。另外，緊接 Ken 分享之後，我們在最後時段也會有

一 Q&A 環節，大家都已預備加時的了，所以歡迎大家繼續發問。現在 Catherine 可以繼續分享了。

朱：好，讓我們繼續探索對風電的一些認知和普遍的疑慮。有說飛鳥經被風機意外殺死，風機是否對鳥類有害呢？這方面我們可以一些研究數據說明。就過去十多年來的經驗來看，每一台被風機意外殺死的飛鳥數目並不是一個數量級，反之，由一些人類或其他動物的活動，譬如說由貓追捕雀鳥所釀成的意外則遠遠超越這個數字……

（簡報頁 4）

麥：這「貓捕鳥」圖好有趣呢……當然，這只是一個事實的呈現，絕不存在任何貶義，愛護動物人士大可放心。

朱：對，這裡主要指的是野貓捕鳥的情況，並非意指一般家貓。事實上，歐美不少研究早已證實野貓捕鳥是一種正常的生態情況，甚至乎一些人類活動對雀鳥所造成的影響也遠遠大於由風機釀成的意外機率。

潘：我見架空線對雀鳥的傷害是更大……

朱：的確是，那個死亡數字確實是好誇張呢，足足有 1 億 7500 萬……

麥：哇！ 1 億 7500 萬的雀鳥死亡數字……不是有些傳統智慧流傳架空線對雀鳥絕緣的嗎？

潘：有時基於落雨、行雷的緣故，便會縮短了絕緣的距離，造成導電……（麥：原來是這樣。）如果一般天氣晴朗的話，其實是沒太大問題的。

朱：另外有關噪音問題。有人說風機很嘈吵，會影響人類和動物的生活。這也是一些實際數據可解釋的。假設是常見於城市或農場區域的分散式風機，兩者一般最少相距 200 -300 米，按這段距離推算的嘈音分貝大約是 40，就如一台雪櫃運行的聲音，甚至比一部窗口式的舊式冷氣機所發出的聲音（大約 50 分貝）更低。（簡報頁 5）下一張圖展示了一個較為有趣的對比。這是與民居相距 0 -500 米的風電場，亦是我們進行風機安裝的一個緩衝範圍，當中只會產生約 40 分貝的嘈音。

接下來會分享一些風電場的照片和風采。打頭陣的，必然就是我們公司旗下的風電場罷……（眾人哄笑）這是在山西一個擁有 100MW 的風電場。大家都知道山西是一個主力以煤炭發電的大省份。當地務求令可再生能源的應用更多元更廣泛，近年也在努力地做能源轉型，而且非常成功。我們因此便選址了山西的可蘭縣去建設其中的一個風電場，它在冬天滿地雪景的時候特別壯觀，那時亦是風力最好的季節……

麥：有多少枝軸承呢？

朱：這裡一共有 50 軸，就是 50 台風機。單台的發電容量是 2MW……（潘：是比較成熟的機組……）對，這也是常見的。我們選用 2MW 低風塔的風機機組是因為山西位處高海拔，擁有接近 2,000 米的海拔高度。這風機高度大約 80 米，而且葉片較長，大約有 30 多米，理論上是較適合在更高空型的環境上運作的。

麥：這是一個私人投資，還是國營的呢？

朱：這是我們公司自己的建設。（麥：那就是私人的……）沒錯，沒錯……（麥：那麼回報也就屬於你們公司的了，對嗎？）對，而且當中也有一個靈活的財政系統計算，是一個現實可行的項目。我們是在 2016 年著手準備這個項目的，並在今年年初投入運作發電，也已在收電費賺錢了。（眾人哄笑）另一個實例在甘肅。這是目前全球最大的陸上單一風電場，位於沙漠地帶，總規模達 20KW，現已運作，並運作接近 8,000MW 了。如果大家有興趣知道更多的話，也可在 YouTube、Wikipedia 等得到所需資料。再來是蒙古國的第一個風電場，規模是 50MW，位於戈壁沙漠。相信 Ken 稍後也會再詳細介紹蒙古的第二個風電場，亦會有更多豐富的視像圖片檔案，我在此就不多說了。

潘：這個的話，如果你坐飛機從烏蘭巴托的高處向下望，就會見到這個等電場的了。

朱：Whitelee 風場曾一度是歐洲最大的陸地上風電場，但現在已被爬頭，變成英國最大的 on-shore wind farm，擁有 539MW 的發電容量，可供應蘇格蘭當地附近接近 30 萬戶家庭的用電。我頗喜歡 Beatrice wind farm 這個例子的，它是一個較早期開發的風場，現已大概運作了十年時間；最初它只有兩台機組，分別都是 5MW 的單台機組，但在當年來說已是很大規模的一個單台機組，其目的是為了給在旁邊的石油鑽井平台提供電力去探測和鑽井。大概由前年開始，它被擴充至 588MW 的發電容量，並將成為蘇格蘭最大的海上風電場，而且擴建工作還在進行中。（麥：它是浮式還是固定的呢？）是單樁固定的。另外，Hornsea Project One 亦是位處北海的……其實歐洲大部分的風電場都是在北海的了，它是目前全球最大的 off-shore wind farm，1.2GW，其建設工程正陸續進行中，它是由 Ørsted（前身為 DONG Energy），即丹麥石油能源公司開發、投資和建設的，這也是現時離岸風電場一個典型現象，絕大部分主要的 big player 都來自油氣行業，就像 Ørsted，又或是 BP、Shell 等，都已變成離岸風電場非常活躍的投資參與者，大家都希望能將化石及油氣行業轉型成更加清潔的能源投資，貢獻於離岸風電之上。

麥：哈哈……即是由魔鬼變造天使，就像我們這些氣候行動者的說法一樣。（眾人哄笑）以前都在破壞地球，現在就要來搶救……（朱：箇中的經驗都很重要……）

潘：實際的意義是，其石油開發也將近耗盡了……（朱：就說石油，現在每桶價錢都跌得厲害呢！）

麥：對啊。這個大家都怕呢……不過，這終歸都是好事，只要新能源項目愈是成熟經濟，誘因就愈大了。我們之所以在這裡，也是想藉此機會讓大家知道：我們是有選擇的。這才是最重要。讓我們繼續吧！

朱：好的。或者大家都比較關心我們所處的周圍，究竟有沒有離岸風電場呢？答案是有的。這也是全廣東省的第一個海上風電場，位處於珠海桂山。雖然是在珠海海域，卻與香港和澳門非常接近。除此以外，還有我們熟悉的南丫島，其規劃歷史至今也有十幾年的時間了。（麥：這是港燈負責的吧？）對，它是港燈的，當時所規劃的容量是 100MW 的。（簡報頁 6）從圖所見，那個小小的平台就是我當年與團隊有幸一起參與完成的離岸風力測量平台，當中用了測風塔和激光雷達（Remote sensing）來監測當地長達兩年的環境風向、氣候、海底情況及海洋氣流等數據。那個風電場其實很不錯的。

麥：那何解到現在還未運作呢？

朱：……好問題！其實我們都好希望這個風電場可以盡快運作呢，因為箇中的資源情況實在是很不錯。

麥：因為香港真的是四面環海，海上發電場在條件上絕對是好的。事實上，我們除了有關太陽能發電外，也曾跟黃錦星局長反映過海上發電場的……當然，這個就留待我們最後作總結吧！（朱：好的好的。）其實除了港燈，以我所知，中電也有一個〔海上發電場〕在清水灣對出海面的吧！（朱：沒錯。）好像也是在 2006 年左右開始規劃，同樣是有齊全盤計劃及建議，卻又是裹足不前。（潘：那個規模就更大，將近有 200MW……）就是嘛！規模那麼大……說來氣餒，還是讓我們再看看那些靚相，振奮一下吧！

（眾人苦笑）

朱：接下來介紹桂山風電場，就在我們南丫島的不遠處幾公里外，已在運作中的了，它的總發電量為 198MW，都是規模較大的，足夠供應給 6- 10 萬戶本地家庭用電。其所用的是 3MW 的明陽機組，明陽是一個來自中山的廠家，採用的是多裝型導管架的基礎模型。下一張 slide 我們可以去片睇睇桂山風電場的風采。

（片按 1）

麥：如果能夠有類似的 eco tour 就爽了！可以飛來飛去……

潘：絕對認同。好玩過旅行團呢！（片按 1）是否可以暫定在稍前的地圖上？在此我有些補充。（麥：好的，有請。）大家從地圖上可以看到，紅線所處的位置是一條 110KV 接駁到珠海的海底高壓電纜，另外又有 3 條黃色的 35KV 接駁到不同的離島之上。這實際上顯示出桂山風

電項目的三大好處。第一，它用了風電這可再生能源；第二 ，這些離島在連網之前是採用柴油發電機發電的，當時是 5 元人民幣一度電，然而國內本該是 5 毛子一度電……（朱：是的。）所以在連網之後，電費便可以睇齊； 第三，當然是不需再用柴油發電了吧！是故，這個項目可算是一舉三得的，非常有參考價值。

麥：謝謝 Ken 的補充。那麼，不如現在又來一個 Q&A 時段吧！因為問題太多了，抱歉我們只能選答其中一部分，如果有誰還未發問的話，請盡快提出。首先，Anthony 問道有關以後的科技發展。第一條：在成本效益上，海上風電是否比陸上風電更好？第二條：有意見認為接近香港的台灣海峽有龐大的風潛能，香港對發展此海上風電場有何看法？香港從外地引入風電，在成本效益上又是否實際可行的呢？兩位都可以發表意見的。（潘：我讓 Catherine 先說吧。）

朱：海上會否比陸上風電更有效益……現時業界確實是循這方向發展的。Cost reduction 在離岸風電場是尤其顯著的。以當年英國的一個補貼電價作例子，CFD 投標電價在 5- 6 年前仍然處於 100 英鎊一度電的，現在在整個北海地區，不論是英國，或是德國等，都已能做到零補貼，並且擁有一個與傳統電網並齊的電價（Grid parity）。在中國大陸，海上風電場亦已發展到全亞洲最大規模，當中也是由龐大的上網電價（Feed-in Tariff）去資助的，在可見的將來甚至會發展成競價（Auction）模式，即以競爭力去投標項目電價，做到價低者得。說到有關香港的風電可行性。事實上，兩電都曾為兩座離岸的風電場做過豐富的研究，無奈基於當時時機未成熟，沒有一個很好的規模效應，致未能成事。現在不管是台灣、日本、韓國，甚至乎東南亞國家如越南，又或印度，大家都在談論有關建設離岸風電場的發展，便形成了一個在亞洲的區域性規模效應，能夠將成本進一步壓低，也讓供應鏈上的廠家更有動力去建設本地風電的發展。無論香港最終決定行動與否，這一區域性發展亦已是大勢所趨，當中的成本亦肯定會進一步下降。

潘：其實成本並不只限於機組物料，一些工程費用如租船的費用也是十分昂貴的，其單日成本可以動軋幾十萬。因此，如果船隊數量一直增加，這些租賃費也一定會減少。就此必須要有一規模效應存在。

朱：沒錯。我記得亞洲在剛開始發展風電場的時候，經常都遇到工程上的資源缺失，例如船隊沒有升降架的安裝平台……若然從其他地方如新加坡、歐洲等地調配過來便需要調道費，動軋上百萬英鎊，而且還要為船隻安排一個有一定時間長度的天氣窗口，否則便會影響其他使用者。現在就不同了。整個亞洲地區已有大量的安裝船可供選擇，加上中國本身也研發了很多安裝船，在金錢和時間上都有利於整個地區的成本效益。

麥：明白。在 Ken 正式分享之前，讓我們再多答兩條問題吧！另一位朋友問：是什麼阻礙了香港推動風能發電？事實上，這個我們剛才也略有提及。

潘：其實是地方及土地問題，這是非常明顯的。除了風電之外，太陽能發電也遇到同樣的問題。先不提海上風電，要在陸上找一個地方建設的話，相信只能往郊野公園作開發，這幾乎是

不可能的，所以業界早已撇除了建設陸上風電的可能，而轉投研究海上風電，然而這又會涉及高昂的營運費用，如此一來便難以推動。

麥：明白。這的確是重點之一。對應這個問題，Victor 則問：較小規模的 wind turbine 又如何呢？這在推動上又有什麼困難呢？兩位就此又可以分享一下。

朱：如果是細 turbine 的話，視乎是橫向的平衡軸，抑或是垂直的縱向軸。對於後者，香港其實是有這樣的研發的，然而其運作效率與經濟效益卻未必能帶來可觀的經濟回報。前者的話，現時在中國內地、韓國，以至世界各地都有，同樣是以商業模式來營運。所謂的商業模式，便是要平衡各方條件，譬如說從哪找適合安裝小型風機的地方，如何從中收取電費並獲得投資回報。對小型或微型風機來說，要發展一個商業模式的話，我相信是比較困難的。

麥：然則，風力發電較適合大型投資，而太陽能發電則對小規模如家用式的投資較好，是否可以這樣劃分？（朱：沒錯，這會更適合……）就像堆填區發電也不會以住家式進行，箇中必須涉及政府行為，對吧！好……實在是有很多問題呢！歡迎大家繼續提問，待 Ken 分享過後我們會再綜合整理回答。在將時間交給 Ken 之前，讓我先為他——潘建勤先生，介紹一下。他是文創電業工程有限公司的營運經理，畢業於理工大學電機工程系，曾參與的項目包括建設中國國家電網和南方電網的高壓開關的安裝工程。他負責更新及擴展香港中華電力系統調度中心的大規模電力監控系統，亦都於蒙古戈壁沙漠的 50MW 風電場基建工程中擔任業主工程師。近年，他專注於高壓設備的局部放電診斷，以及變壓器有關方面。現時 Ken 則擔任營運工程師學會（香港分會）智能科技發展專責小組的副主管。好了，接下來有請 Ken 為我們分享他的「蒙古之旅」。43.43

潘：大家好，我是 Ken。今天我主要想跟大家分享一些實際經驗。當中有關我在 2017 年於蒙古參與建設的一個 50MW 風電場，其名字叫 Salkhit。蒙古語可能比較難讀……大家有興趣的話也可在地圖搜尋一下。（簡報頁 7）這就是蒙古國的地圖。相信大家都知道當地最出名的地方就是烏蘭巴托，那大家致上在北面的地方。然而，大家又是否知道整個蒙古的人口數目多少？大約是 330 萬人口，而烏蘭巴托的人口數目已佔其中的 160 萬。因此很多的經濟活動都會在這首都進行。蒙古以南與中國接壤的地方是戈壁沙漠，具備了非常豐富的太陽能與風能資源。事實上，除了風電之外，蒙古亦有不少太陽能建設。風場現時位處在南方。從 Google Map 的衛星圖所見，風場呈一菱形，西北面的位置是一煤礦場，兩者相依而建。事實上，煤礦場與風電場也擁有共同投資者。另外，風電場的北部是一個小鎮，是我們購買起居用品的地方，當地大約只有 5000 人口，以往主要為礦場工人，現在也有好些人是在風場工作的；其向南的位置有一座小山，是蒙古國的一座神山，不時有人前來朝拜，是故風場亦以此為名。地理上，風場鄰近包頭市，因此當時在風場工作的大部分國內工職人員，以及一些組件運輸，都會選擇經包頭市跨境過來。（麥：車程大概多少時間呢？）事實上，因為蒙古路段比較崎嶇，所花時間會較長，但多得中國境內完善高速公路，車程最終可縮短至 3 -4 小時。由於香港有航班直飛烏蘭巴托，以往我會先飛抵當地，再駕車 7 小時經「主道」到達風電場。所謂的主道亦即是前人開鑿

的路，既非高速，也不是完整的柏油路，因此沿路會見到很多不同的野生動物。簡言之，那就是由人靠雙腿走出來的路。（簡報頁 8）這是我當時為整個工程做的 GPS 標記，可見風場位處在南面，架空線則一直向上伸延。架空線是 110KV 的，共分兩組向上連接，左邊有一個變電站，當風電變壓成 220KV 後便會駁回到主網處。由於這段線的發電量具有一定的電量損失，因此變電站內外各自會裝置有一個 power meter，準確計算實質發電量，而這些電量損失亦須由風電場的業主負責。（簡報頁 9）這是我當時負責的一組地下電纜。這裡可見有 4 組地下電纜，各有 35KV，被接駁到不同的風機之上，最終傳送到北面的 110KV 升壓站。

（簡報頁 10）讓我用僅有的蒙古語翻譯如下：這是一個擁有 50MW 的風場，業主為 Clean Energy Asia，簡稱 CEA。此乃一間位於蒙古的合資公司，當中涉及不同財團包括電網公司，以及剛才提到的煤礦老闆。CEA 以發展可再生能源主要業務，到目前為此已有 3 個風電場，同時也投資了不少的太陽能發電場。另外，風機廠標榜旗下的風機具有 25 年壽命。跟 Catherine 代表的公司項目一樣，風機廠在此項目當中也擔任判頭（Main contractor）角色。然則，風機廠會將旗下不同的工程外判予不同公司，而 CEA 則會直接與風機廠接洽。負責這項目的風機廠為 Varta，是全球首屈一指的公司，各位大可在互聯網上進一步搜尋。補充一下剛才提到的架空線，事實上是經過 34 公里長距離後，才連接到一個 110KV 的變電站的……當時走著走著也不覺得那麼遠，現在回想起來也感到驚訝。或者大家對這個會比較感興趣……整個項目標榜溫室氣體減排高達 163,000 噸；除此之外還有經濟效益的創造，譬如說在當地創造了 350 個職位等。風場是由 2016 年第 4 季開始做箇中的基建測量，以及土木工程的，並到 2017 年第 4 季為止。其實要在蒙古進行這樣的一個項目工程，當中最大的挑戰是時間性。基於天氣，在蒙古進行工程的可行時間只有兩個季度——夏季及秋季。春天只可進行一些事前的測量工作，其餘實際工作僅能在 4 月往後展開，並且在 10 月前完成。

（片按 2）

這裡有一些透過無人機拍攝的影片（片按 2），大家也可看一看。因為我主要負責的是電器部分，是故影片所見的大部分都是 5 月份所拍攝的，也能見到大部分已完成的塔身基礎。事實上，當時一些來自英國顧問公司的同事早已在 4 月份抵達當地，而我則是中途加入的。

麥：那些是沙，還是泥呢？

潘：我當時也曾一度以為是沙漠，然而由於 2017 年雨量較多，雨量一多，野草不用半日便長出來，生成一一望無際的草原，並會吸引大大小小不同的動物走出來，如圖所見。這就是工地。藍色屋頂的建築就是我們最重要的飯堂……（眾人哄笑）左邊黑色的那個地方是「煙民」專屬的，是工地唯一一處允許吸煙的地方。另外也見有很多蒙古包，可容納 400 多個工作人員。再往下看會見到一些貨櫃，那是淋浴與方便的地方……我曾被問過多次：是不是幾日才沖涼一次？答案是不會的。因為每天早晚都有水車到來，然則最少也可沖涼兩次……（眾人哄笑）（麥：環境氣候該很乾燥吧？）其實環境氣候還好的，也不太辛苦，沒有出汗太多，加上

工作以外的時間很充裕，沒事可做就會去淋個浴解解悶……（眾人又笑）再來面積較大的就是 main office，都是判工開會的地方。大家可見後面有兩個 VIP 蒙古包，我當時比較幸運被安排入住其中一個……為什麼要住蒙古包呢？原因是辦公室內行無線網絡，如果入住有屋頂的建築便會接收不了無線網絡。要解決網絡問題，便必須入住蒙古包了。另外有一紅色屋頂的是給醫療用的，內有駐工地醫生處理意外事故。眼前一片平原的工地，只見一條地平線，晚上幾乎都是漆黑一片，除了工地上的幾點光外，就是滿天星塵，很美的……好，影片就到此為止了。

（簡報頁 11）大部分組件都在中國造的，其中包括機艙、風葉及連接箱，均會先儲存在一個地方。有不少人問：為什麼風葉那麼長？為何不能把它拆成組件？因為從風機組成角度來說，成枝的風葉是最具成本效益的，因為重量較輕，容易運送。如果大家有興趣的話，待會有時間我可放另一條影片給大家看看風葉運送的過程。（簡報頁 12）項目工程起初的時間倉卒，我們幾乎每天都要趕工至午夜，灌漿倒泥，製作地基。記得工程剛開始不久我們首次為機艙與連接箱進行檢驗，印象恍如看見 UFO 一樣令人震撼；內裡有很多不同組件，其中的火牛變壓器按設計被掛在發電機的後面，令這原本擁有 11KV、50Hz 的發電機可直接轉成 35KV 接駁到塔身底下，再經由「開光櫃」轉送到 35KV 地下電纜，然後再重新送到變電站去。由於涉及內部機密，是故不能用圖象透露太多……（麥：哈哈。）坦白說，內裡組件非常值得一看，尤其是對做工程的，更特別有參考價值。當中種種新奇刺激的事物實在令人眼界大開。

麥：然則，你們在項目投標之前都得簽 MBA，不能對外透露的，對吧？

潘：這個是一定的了。我唯一可以稍作分享的，是關於塔身的部分設計。其高度為 80 米，風葉也該有 54 米，整個旋轉直徑大概是 100 米左右。不少人好奇我們要怎樣爬上去呢？其實內裡是有一部最多只能容納兩個人的小型升降機的，主要用來運送一些重物儀器……基本上都是可以爬上去的。（簡報頁 12）這是我們組裝風機的過程。這些專用的吊臂都是由國內運送的，因為蒙古沒有這種技術。右圖所示的，是一個可以夾住風葉的特別吊具，能以水平方式將風葉運送到最頂的連接箱上，繼而組合成形。這是一個極之重要的過程，是故我們必須要親自在場監督，但由於風機廠的機密協議，我們是不被允許走近風葉，只可遠觀而不可褻玩的。（簡報頁 13）這是接近完工的階段，還待安裝最後 2 -3 枝風葉便可成形。大家可看一看影片。這枝風機大概就在風場的中間位置。圍繞整個風場走一圈大概是 11 公里。為什麼我會知道呢？因為我每晚都會圍著風場跑步的。（麥：哇！利害利害！）有些朋友還以為我去參加極地馬拉松呢……其實也不是什麼極地。在那兒跑步確實好舒服，天氣不如香港般潮濕，非常乾爽舒適。（麥：沒有風嗎？）有！都是好大好刺激的風，尤其是逆風跑的時候，擋也擋不住，更能感受到大自然的奇妙……也有人問：為什麼總是得 3 枝而不是 4 枝，甚至 5 枝風葉呢？答案好簡單，因為 3 枝的維運成本是最低的，而且 3 枝已能達至整體的平衡，再多一枝風葉只會增加潛伏危機。

朱：現在有好些新研究是 two-bladed，甚至是單葉片的……（麥：待會定要請 Catherine 再仔細分享呢！她說那些關於未來的技術真叫人眼界大開……）

潘：這些風機是屬於 IEC 3 級的風速，大概是平均每秒 9 米的速度。以下現場影片可讓大家見識那些風的力度……（朱：看那多大風呢！）其實所謂的嘈音來源是風，並非風機。大家不用太擔憂。風機本身運作並沒有太大聲音……（朱：對，是好靜的……）

麥：如果大家曾到訪台灣的高美濕地，即那個打卡熱點，就知道風機狀況了。因為風本身的聲音都已靠過風機的聲音……（潘：其實我想像不來，為什麼有人會說風車會發出聲音呢？）大概就是因為風吹過來嘛。

潘：就是嘛！說回當時我主要負責的電器工作，就是要監督這個 110KV 的變電站及當中的升壓站。剛才提到有 4 組 35KV 的地下電纜，會透過中間兩個變壓器升壓至 110KV，然後經過一些開放式的開關組件如斷路器等，便會傳送到高壓電塔上。這兩組 110KV 最終會再輸送到 220KV 的變電站去。事實上，你不會在香港見到這些開放式的變電站，因為建設所需的地方實在是太大了，但蒙古地大，就沒所謂了。（簡報頁 14）大概是在 9 月中的時候，我們當時在做一個叫做「接入」的過程，並將變電站接入到電網裡去……（朱：見不到星星呢……）因為太光了……（麥：是呢！）這是一個由風機廠自行研發的監控系統，從地圖可見 25 枝風機。剛才應該是說錯了，每枝風機其實都有 2MW，總共有 25 枝。監控系統可顯示相關的發電量，以及其量值。有人會問：怎樣去調校那個電錶呢？那是靠一個測風塔——一個裝置在風機上的儀器，可測風速、風向。風塔會隨不同的風向轉動，並按風方所在來發電。要是不想要太高速的發電量，便可利用儀器上的變槳控制（Pitch control）來微調移位，以達致一個最有效的發電。因為這也是公司機密，我在此就不能說太多，但大致運作都是可在後台控制的。下一頁。

（簡報頁 14）

朱：……好多肉呢！

潘：工程期間，我們幾乎每日都吃羊肉，然而吃來的感覺卻更像豬肉，跟我們平常在香港吃到的不一樣……（朱：好味些？）我也不知道怎樣形容，是好味一些的，沒有太大的羊羶味。旁邊所見的就是我的 VIP 蒙古包，都是單人房來的。另外還有飯堂，還有我們來自世界不同地方的工作團隊、風機廠的員工等……我被「狹持」的那張圖片，當中兩個人都是我們英國顧問公司的同事，分別來自英國和德國。最後一張大合照則是在業主檢收當日所拍的。

麥：你留在蒙古當地有多長的時間呢？

潘：大概是由 5 月到 9 月份吧，但當中來來回回了 4 次，逗留時間最長的是一個月。

麥：即電器部分的工作就是在 5 月到 9 月份；但要是從土木工程開始的話，時間又怎樣呢？

潘：那就要從 3 月份開始了。

麥：那工程進度很快呢！

朱：施工期通常 9 個月至一年。

潘：開始得早其實沒什麼意思，因為太凍了，根本不適宜戶外工作。最後想說一下當地數之不盡的駱駝，幾乎所有都不是野生，而是遭棄養的。因為駱駝本身沒有太大商業價值，牠們很多時被取榨取駝奶後便會遭人棄養，自生自滅。反之，羊便非常值錢；有機會見到馬的，但卻是完全不能靠近的，所以大部分照片都會見到駱駝的蹤影……還有一張照片分享……（眾人大笑）

麥：這是誰來的？

潘：我是拍的那個……這是很有名的蒙古摔跤，全都是判地的員工來的。接下來就是我們整個工程的一個里程碑，位處在風場中間。在此立碑，也化表風場正式營運。

麥：好有意義呢！謝謝 Ken 的分享。就如在研討會前說的那樣，我們參與這些再生能源項目，無論是對個人，或是對全球對抗氣候變化的得益和貢獻都很大，非常有意義，相信對於兩位的意義就更甚了，除了可以周遊列國之外，也可增廣見聞。可惜我們現在所剩時間無多，必須再另擇日子來一趟 phase 2，讓兩位為我們介紹更多有關風力發電，譬如說轉廢為能、潮汐發電（Wave energy）等。稍後就讓我跟兩位定個時間擇日重賽。時間無多，接下來我們先進行問答環節，最後才讓 Catherine 介紹有關風電的未來。那會是個很精彩的部分。在問答環節開始之前，有請大家到我們 Facebook 上點讚，令我們能就夠數向「馬會」交差……（眾人大笑）那麼我們便可以舉辦更多有意義的活動。謝謝大家。記住 like 我們低碳想創坊的 Facebook 啦！那麼現在讓我們選答一下大家的提問……這條問題很好呢，是由何女士發問的，她問：香港沿海有足夠空間設置風電裝置？抑或只能用 household 家用式的太陽能發電方法呢？兩位的看法如何？
朱：如果是分散式（Household distributed）的話，全球現已有不少研究在進行的了。分散或的前提是什麼呢？首先需要用戶接受，就如太陽能一樣，廣泛地接受這種新能源，電費可能會因技術設備的提升而提高，但用戶必須要首先接受。歐美以至中國內地愈來愈多國家都有討論有關小型風機，願意以個人身份花錢去做這樣的投資，當中的性價比與回報未必可觀，反觀太陽能則是現時廣泛被認為，在 Feed-in Tariff 的框架下回報可觀的可再生能源，這離不開一個政策上的支持。

麥：沒錯。事實上，歐美在初度引進可再生能源的時候，都是 never do it in my back，是非常抗拒的，有些像是互助委員會的甚至會出面反對。現在則大變身……（朱：變成「please be」，please be in my back 了。）對，就是快快來我後院安裝吧！這正正就是思考模式的轉

變，亦是我們致力推動的。大家以往都對太陽能板，風機等反感，覺得有礙觀瞻，但世界改變了，大家現在都認同發展可再生能源能是能夠保護大自然的事。

潘：請問可以重開剛才最後的一頁 slide 嗎？就是顯示了香港地圖的那頁。（麥：好的。）我想再補充標示一下，香港那兩個原定的風電場所在位置……我想說的是，圖中所有的土地都是不允許發展的，因此發展陸上風電都是不可能的事，而兩個海上風場的位置，一個在西貢，是屬於中電的，另一個在南丫島，則是港燈擁有的，都已是僅餘可發展的區域。

麥：然則，在十多年前已有兩個潛在可行的建議方案，讓香港政府進一步發展海上風電。當然，當年的造價成本都高，回報又少，要成功落實的話都有一定難度。然而隨著今天我們的嘉賓分享有關周邊海上風電在過去十年的潛力和經濟效益之後，都證實了一切投資環境因素已變，回報也因此而提高了不少。有心人士如果可以多向政府講解推動，重啟方案，這絕對是一件不可多得的美事。現在還我們回答最後幾條問題吧！有好些都是非常精闢獨到的。Andrew 問道：如何將額外的風電量儲存？當中的維修又如何呢？不如 Catherine 也發表一下意見吧！

朱：儲能（Energy storage）在現時環境裡面是一個大家都在努力實行的事。不論是光伏，抑或風力發電，我們這些 RE 都會配以儲能，而儲能界別公司目前著手處理的問題，主要是成本縮減。Energy storage 是一個很好的解決方法。1.13.10

潘：我想補充一點。想像大電網是一個水池，那基本上是儲存不了 AC power 的，只能待所產電量駁上電網後自行做一個平衡（equilibrium）。用電時便從電網中取電，發電時便將電接入電網裡去，當中不存在儲能的空間。Energy storage 該是涉及分散式電網的，當中會有一個 micro cube，內裡會牽涉到一些電池組，又或像現在一種叫「physical」的新技術，當中會將大量的混凝土放置在高塔裡面，並在發電的時候滑下來放電；想儲電的時候，便將混凝土再次提升，這也是其中一個儲能的發展方向。（朱：聽來就如「充電樁」一樣呢！）對，是一個類似的裝置。

麥：或許讓我們先回答 Eunice 一個好簡單關於維修的問題，有關維護的成本如何呢？而 25 年又是否一個維護的平均年期呢？

朱：一般來說，風電場的壽命是 25 年，30 年也是有的。（麥：那麼維護成本又如何？）這個就視乎不同的地方了，而海上、陸地的也有不同。1.14.26

潘：現在即便是折舊、回報也有一個年期計算，是故普通高壓電站的設備都會以 25 -30 年為一個計算方法。

麥：剛才我還實牙實齒應承大家不會超時，現在我明顯是要反口了。但不要緊，既然大家這樣興致勃勃，事不宜遲，我們馬上請 Catherine 為我們介紹那些未來的風機吧！

朱：未來可期。漂浮式風機剛才已略有提及，這亦已不再是未來，而是現正發生的事。未來將會有愈來愈多的漂浮式風機在深海處，遠離我們的海岸線在更深的海域有更大的機組。 有關氫（Hydrogen），歐洲和中國都在致力研究如何將海上的風力發電轉化為氫能。事實上，英國也已在試驗階段，並在試行氫離子電／火車。當然在首階段試驗成本是比較貴的。這些新穎的研究都正陸續進行，未來仍然有空間繼續以 cost reduction 的方向發展，我們大可對氫能的發展拭目以待。（麥：哇！接下來這個厲害了！）對呢，這個是好有趣的！（潘：……可以左右擺動呢！這個有沒有影片呢？）這個現在在概念設計中，新概念來自一個西班牙科學家，以風塔震動來取代風葉轉動發電……（麥：即是不停地左右擺嗎？）只是不停震動。現在都只是 concept design。（麥：好事啊！好有理想！）另外一個是高空發電，對此歐美現時也有不少研究。我們目前在陸地上的風機大概是 80 -100 米左右，中國甚至在建造 130 米或更高的高塔，因為地方愈高風力愈好，於是大家就萌生了這樣的一個想法，何不嘗試擺脫風塔的束縛，讓風機可以像風箏一樣升上高空……（麥：即用一條大型電纜牽引住？）沒錯沒錯。（麥：好精彩呢！）雖然這個暫時也只有概念上的想法，但卻已有不少實驗和 R&D 陸續出台，也是我們值得期待的未來。下一頁也是一個風箏發電，是由 SkyPower 引用一個風箏原理來作研究的，其目標都是往更高空、更好風速的空間發展，撇除了一切地形的影響，務求以更加平穩的風向與風速來捕捉電力。當中必然有其難度，譬如說怎樣回收風機、電纜，以至其安全及穩定性等都需要有更多研究，然而這也是風力發電之所以吸引人的地方，因為它一直都在創新。（麥：絕對是。）我的介紹也到此為止了。

麥：儘管我們的內容太精彩，觀眾太熱烈，無奈受時間所限……我們只好首先代表低碳想創坊多謝兩位，亦期待再有機會與兩位繼續分享。如果大家仍然有 Q&A 想知想問，大可盡量發表提問，我們將會再請教兩位專家，然後用網上或其他形式回答各位。在此多謝 Catherine 和 Ken，再見。

朱：多謝。再見。
潘：拜拜。