參賽編號:NCWL01

我國離岸風電爭議之數學建模

情境脈絡：  
我國離岸風電政策的爭議之「本質」分為兩派，一派支持「超前部署一次到位」，引進外商轉移離岸風電相關技術給台灣，目標(objective)是十年後，台灣能成為離岸風電的大國並且台灣能發展離岸風電設備的相關產業，有外銷離岸風電設備的能力。另一派則支持「穩健到位」，認為一次到位，一次與外商簽約二十年，風險太大，應該先小規模發展離岸風電，確認風險大小後，再逐漸發展離岸風電。以下簡稱雙方為「超前派」與「穩健派」。

1. 前言:

離岸風力在近來成為全球各個國家大力推廣的綠色能源發電產業，在這百家爭鳴的趨勢下，擁有豐富風力資源的台灣海峽自然成為各家外商的兵家必爭之地，且台灣政府也不遺餘力的發展與推廣，其中用以台電為目前主要的離岸風機的主導者。期盼能與外商進行技術與資金的合作，達到台灣所推行的綠色能源目標，本研究將探討一系列有關離岸發電的各項數據(參考國營企業及政府預估數據)，並輔以逆敘推理，來建構整個模型。

1. 研究方法:

因考量風力發電未來的不穩定性，採回歸直線，相關係數來做推導，避免單純使用一種數學函數，採每年間隔時間來做預測及驗證，並加入自行推導離案發電風險效益之理想方程式來做更精準的預估及推算。本研究將取台電為國營企業的指標並加入工研院的預估值來做穩定的驗證。

相關係數是在研究變數之間線性相關程度的量。由於研究對象的不同，相關係數有以下3種定義方式：

（一） 簡單相關係數(線性相關係數)，一般用r表示，是用來度量變數間的線性關係的量。

的公式如下：

許多問題都有兩個或更多個彼此有相關連的變數，而我們有興趣是在於探索這個關係並將其數學模式建立起來。

有顯著關聯性的變數建立一個模型，然後利用此模型來對未來的離案發電的發電量進行預測。

一般來說，假設有一個反應變數*Y*與*k*個自變數或迴歸變數有關，這些變數間的關係是由一迴歸模型的數學模式來表示。因此迴歸分析是以一個或多個自變數描述預測或控制一特定因變數的分析，用途廣泛，尤其是對於不能以實驗方法取得之社會現象的研究、分析，極為重要。

接著介紹迴歸模型。首先來看簡單線性迴歸。設*X*是自變數，*Y*是因變數，且假設給定時，*Y*的平均數是*x*的線性函數，表示如下：



通常在迴歸分析中被稱為迴歸的函數。而簡單線性迴歸模式與假設如下：

*Model* 

其中、(稱為誤差(error))是隨機變數，而、都是未知參數。

假設條件：是一個來自常態分配的隨機樣本變數且其中也是未知數。而模式(Model)與假設(Assumption)可以推得知



因為、未知，所以真正的迴歸函數未知，我們根據樣本資料、、…、用最小平方法可以得到估計的迴歸方程式為



而且估計的截距、斜率、可由最小平方法來得到手算的公式如下：





上面的估計迴歸線可以用來估計、預測*Y*值。

簡單直線迴歸模型只以一個自變數來解釋因變數。

1. 模型建構

建構台灣2020至2030年離岸風力發電之預估變數

|  |  |  |  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- |
| 年度  累積發電量 | 2020 | 2021 | 2022 | 2023 | 2024 | 2025 | 2030 |
| 數據1 | 3510 | 4510 | 無計畫 | 5010 | 6010 | 10650 |  |
| 數據2 | 846 |  |  |  |  | 4146 | 7446 |

表1(數據1與數據2的數據呈現)

註1數據單位MW

(本研究下列step1所述皆換成GW，以求實驗誤差值不會過大)

註2數據1(並網量)為台電至2025預估量

註3數據2(發電量)為工研院每五年的預估量

註4數據1與數據2為不同單位之研究

Step1(發電量與並網量之關係)

1.假設

(一)使用相關係數及回歸直線做模型

2.數據1根據相關係數r

得出r=0.85061

數據2根據相關係數r

得出r=1

故數據2在座標平面上為一條直線

成完全正相關

設y=ax+b (以年為x，以發電量為y)

2020年為基準點0

帶入(0,0.846)，(5,4.146)，(10,7.446)

推得y=0.66x+0.846

下表為本組估計數據，實際發電量需考慮其他因素

|  |  |  |  |  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- |
| X | 2021 | 2022 | 2023 | 2024 | 2026 | 2027 | 2028 | 2029 |
| Y | 1.506 | 2.166 | 2.826 | 3.486 | 4.806 | 5.466 | 6.126 | 6.786 |

表2(數據2得理論值)

圖1

註1數據單位為GW

註2表2為本組預估工研院數據之年度發電量

根據數據1與年度得相關係數為0.850

本組試著找出是否並網量也與發電量有呈現數學模型能夠表示之函數

因為數據1並無至2030年的資料

但數據間隔較小

數據2為時間間隔較大之推論結果

但符合至2030有推論資料

所以將數據1與數據2做出相關係數的圖表

使用數據2至2030年的資料來推估數據1至2030年的資料

|  |  |  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- |
|  | 2020 | 2021 | 2022 | 2023 | 2024 | 2025 |
| 數據1 | 3.51 | 4.51 | 4.51\* | 5.01 | 6.01 | 10.65 |
| 數據2 | 0.846 | 1.506\* | 2.166\* | 2.286\* | 3.486\* | 4.146 |

|  |  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- |
|  | 2026 | 2027 | 2028 | 2029 | 2030 |
| 數據1 | 17.85\* | 30.23\* | 49.66\* | 78.57\* | 119.72\* |
| 數據2 | 4.806\* | 5.466\* | 6.126\* | 6.786\* | 7.446 |

表4(數據1與數據2未知的所有資料呈現)

圖2

註1表4使用的單位皆為GW

註2表4附加米字號的為預估值

註3 數據1的2026至2030年的數據量皆是使用相關係數0.85來做推論

得出結果(誤差皆為萬分之一內)

Step1(發電量與並網量之關係)

結論:針對數據1與數據2相差的問題，本組認為有三項可能的因素

1. 數據1的是根據台電直接推估的資料，並無考慮到過程中可能無法以高度正成長的方式來發電，所以至2030年的發電量遠大於數據2的發電量
2. 數據量跟並網量還是有一些基礎上的差別，雖然離岸風力發電有良好的導體來做電力運輸，但是過程中還是無法完全避面電力的消耗。
3. 工研院的資料雖然較符合政府可能比較符合實際因素，相關的關係本組尚須以更多的模型來做推估。

Step1(離岸風力發電產值)

|  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- |
|  | 2020 | 2025 | 2030 |
| 累積產值 | 875.92 | 6363 | 12600 |
| 發電量 | 0.846 | 4.164 | 7.464 |

表5

圖3

註1 單位為億元

註2 兩者的相關係數為0.999

得出發電量跟產值有相當大的關係

Step1之後也將持續使用此數據

假定一支離岸風力發電機為10億元

|  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- |
|  | 2020 | 2025 | 2030 |
| 總產值U | 875.92 | 6363 | 12600 |
| 風力發電機機台費用P | 680\* | 3340\* | 6000\* |
| 運維加發電費用(U-P) | 195.92\* | 3023\* | 6600\* |
| 運維費用 | 36.92\* | 2192.5\* | 5104\* |

表6

註1 單位為億元

註2 風力發電機支數為表7預估值

註3 此表為Step2的預估值換算產值

註4 \*為預估值

圖4

Step2

根據上述數據經過一系列的分析，判斷一定還有眾多因素會影響離岸風力發電的發電量

找出可能會影響的因素

前提假設:

因政府規劃的離岸風力發電區域潛力場址有一定的限制，故採總土地面積不變但是發電支數隨著時間增加為一變數的理想方程式

假設

1.風力發電600支為2030年滿載之定值

2.設置(發電量)比例X(t)

在2030年會完全裝置完成

故X(2030)100%

X(Y) 其中Y值代表年分 100%代表裝置完全設置完成

3.假設設置比例K(t)

所蘊含的意思為無災害時之理想效率

4.假設設置比例D(t)

所蘊含的意思為因災害所停機之時間

故綜合上列所述

推得S=X(t)＊(K(t)+(1-D)(t))為本組理想方程式

5.設置比例

5-1.K(t)每支離岸風力發電機理想情況的發電量

5-2.D(t)災害發生時所造成的停機時間(年)

若技術-災害為不發電

X(t)為支數對上發電量的關係

|  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- |
|  | 2020 | 2021 | 2022 | 2023 | 2024 | 2025 | 2026 | 2027 | 2028 | 2029 | 2030 |
| 支數 | 200 | 223\* | 249\* | 278\* | 310\* | 346\* | 387\* | 432\* | 482\* | 538\* | 600 |
| 發電量 | 806 | 1506 | 2166 | 2826 | 3486 | 4146 | 4806 | 5466 | 6126 | 6786 | 7446 |

表7(X(t)為支數對上發電量的關係)

註1 發電量單位為MW

註2 2030年的離岸風電支數為600支

註3 \*為預估數據

註4 假定2030年發電效率為100%

註5 每支風力發電機所能產生的發電量相同，所以以完全正相關來預估

註6 根據台灣現行上瑋公司的機組發電量為一部機組4MW，得出初始值(2020年)

註7 此為等比級數所推得數據

註8 此為整數為四捨五入

圖5

X(t)的效率

|  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- |
|  | 2020 | 2021 | 2022 | 2023 | 2024 | 2025 | 2026 | 2027 | 2028 | 2029 | 2030 |
| 效率 | 33.3% | 37.1% | 41.5% | 46.3% | 51.7% | 57.6% | 64.3% | 71.8% | 80.1% | 89.5% | 100 % |

表8(總土地所能發電的效率)

圖6

註1 此效率為土地的利用程度，因為總面積不會變，若無設置風力發電機，土地則為閒置，因此隨著風力發電機的設置，會使總土地面積逐漸達到滿載

K(t)技術(效率)層面

|  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- |
|  | 2020 | 2021 | 2022 | 2023 | 2024 | 2025 | 2026 | 2027 | 2028 | 2029 | 2030 |
| 風力發電機組單位發電量 | 4.03 | 6.75 | 8.70 | 10.17 | 11.25 | 11.98 | 12.41 | 12.65 | 12.70 | 12.61 | 12.41 |

表9

圖7

註1 本組數據為風機運轉容量，採小數點後2位四捨五入

註2 使用題目所提及之逆序推理，故採對2030完全發展之發電量取100%

註3 針對2027至2029風力發電機組會大於2030之單位發電量，主要是因封場架設密度已漸趨飽和，且當風機單位發電量最高時，總發電量不見得最高，即是因為過多的機組會導致風被阻礙，無法達到預估量能。

|  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- |
|  | 2020 | 2021 | 2022 | 2023 | 2024 | 2025 | 2026 | 2027 | 2028 | 2029 | 2030 |
| 效率K(t) | 32.4% | 54.4% | 70.1% | 82.0% | 90.7% | 96.5% | 100% | 101.9%\* | 102.3%\* | 101.6%\* | 100% |

表10

圖8

註1 本研究將以2030作為基準點，以符合逆序推理，故因表9註3導致效率大於100%

註2 之後的理想方程式，皆會以實際數據來做推論，不限制為上限100%  
註3 此效率K(t)不考慮任何災害發生情況

D(t)為災害的預估可能

本組找出可能的影響因素有海流、颱風、海水鹽度及高溫多雨等影響

其中海流、海水鹽度及高溫多雨不易量化，所以僅討論有關颱風的變因

根據推算，每支風機被損壞時，將需要3.2天(及0.00877年)的恢復時間3

註1 在理想方程式之內，D為一定常數

根據中央氣象局的颱風路徑機率圖與十年內颱風數量共有48個，平均每年有4.8個，而離岸風力發電機的場域，會受到颱風侵襲影響的機率為50%，可得出每年平均有會造成2.4個使風力發電機停機的颱風。

註1 假定颱風侵襲皆會停機

註2 (1-D)所蘊含的意義為每一年所能發電的天數，定為0.979年

D的常數的單位使用因次分析

由J=X(t)＊(K(t)\*(1-D))

J單位為焦耳

X(t)為一變數，故無單位

K(t)單位為焦耳/時間

故(1-D)的單位為時間

綜合上述結論

(預估發電量)J=X(t)＊(K(t)\*(1-D))\*7446(2030的發電量)

以下為本組所得的預估發電量

|  |  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- |
|  | X(t)\* | (K(t)\* | (1-D))\*7446 | =J(預估值) | 理論值 |
| 2020 | 0.33 | 0.324 | 7289.6 | 794.4 | 806 |
| 2021 | 0.37 | 0.544 | 7289.6 | 1467.2 | 1506 |
| 2022 | 0.415 | 0.701 | 7289.6 | 2120.6 | 2166 |
| 2023 | 0.463 | 0.82 | 7289.6 | 2767.6 | 2826 |
| 2024 | 0.517 | 0.907 | 7289.6 | 3418.2 | 3486 |
| 2025 | 0.576 | 0.965 | 7289.6 | 4051.9 | 4146 |
| 2026 | 0.643 | 1 | 7289.6 | 4687.2 | 4806 |
| 2027 | 0.718 | 1.019 | 7289.6 | 5333.4 | 5466 |
| 2028 | 0.801 | 1.023 | 7289.6 | 5973.2 | 6126 |
| 2029 | 0.895 | 1.016 | 7289.6 | 6628.6 | 6786 |
| 2030 | 1 | 1 | 7289.6 | 7289.6 | 7446 |

表11

註1 J為本組所預估出來數據，單位為MW

註2 相關係數為0.992

註3 此理論值為表2的數據

圖9

參考資料

台電預估2020~2025 年離岸風電可併網點及併網量<https://www.taipower.com.tw/upload/1410/2018033114340399767.pdf?fbclid=IwAR1zB86iU1LfMwx9ds6qK5fTGUld3PPpNIhWjl8BHJJPOAxFkgfYlQAfPNg>

Taiwan 2050 Calculator 能源供給部門 情境規劃及關鍵參數說明

<https://drive.google.com/file/d/1BdlbzEF67ScoXqvrQkO2_7DrRPQPxSG3/view?fbclid=IwAR12XP2ZTczfWby19u8LsNgWZlYITejUHusA49BOvHKFHBp6QICTIcq4jfA>

風力發電產值研究

https://www.twtpo.org.tw/activity\_show.aspx?category\_id=160&cat\_id=161&id=3210