

出國報告（出國類別：實習）

「赴丹麥 DNV 公司研習及參加 Risø
Planning & Development of Wind Farms
訓練」國外公差報告

服務機關：核能研究所

姓名職稱：蘇煒年

派赴國家：丹麥

出國期間：99年9月4日~99年9月25日

報告日期：99年10月25日

摘 要

Det Norske Veritas (DNV)是具世界級領導地位的認證機構之一，本所已與 DNV 公司簽訂合約進行 150 kW 風力發電機 IEC-61400-1 設計負載認證合作案，而位於丹麥之分公司專責離岸與風電相關產業設備等之認證工作；Risø DTU National Laboratory for Sustainable Energy 在風力發電研究上累積多年經驗與豐富研發成果，其發展之風能地圖分析、風力發電系統技術、離岸風電等技術已經成為國際間公認領導者。本次國外公差主要目的為赴 DNV 公司研習風力機設計分析與認證相關技術，並與 DNV 專家針對本所提出之 150 kW 風力機設計文件進行討論與問題解決，以及在 DNV 安排下前往 Risø DTU National Laboratory for Sustainable Energy 接受 Planning & Development of Wind Farms 訓練。

目 次

摘 要.....	I
一、目的.....	1
二、過程.....	2
三、心得.....	26
四、建議事項.....	27
五、附錄一.....	28

附 圖 目 錄

圖 1、IEC-61400-1 定義之紊流強度值.....	4
圖 2、葉片尖端變形量之評估.....	5
圖 3、LEVEL CROSSING COUNTING 方法.....	12
圖 4、PEAK COUNTING 方法.....	13
圖 5、SIMPLE RANGE COUNTING 方法.....	13
圖 6、RAINFLOW COUNTING 方法.....	14
圖 7、葉片 FLAPWISE MOMENT 雨流矩陣.....	15
圖 8、M-N CURVE AT $R = -1$ AND $M = 7$	16
圖 9、INER-P150 葉片 GOODMAN DIAGRAM.....	16
圖 10、風速 4 M/S，EDGEWISE MOMENT 頻譜分析.....	17
圖 11、風速 22 M/S，EDGEWISE MOMENT 頻譜分析.....	18
圖 12、風速 4 M/S 主軸扭力變化.....	19
圖 13、風速 4 M/S 主軸扭力機率.....	19
圖 14、風速 4 M/S 主軸扭力 LDD.....	20
圖 15、丹麥離岸風電廠.....	22
圖 16、OFFSHORE SUBSTATION.....	23
圖 17、SAMSO ENERGY ACADEMY.....	24
圖 18、SAMSO 發電廠配置.....	25

附表目錄

表 1、控制與安全系統檢查清單.....	3
表 2、TYPE AND PROJECT CERTIFICATION 訓練課程表.....	6
表 3、TYPE AND PROJECT CERTIFICATION 講師.....	6
表 4、TYPE AND PROJECT CERTIFICATION 參加人員.....	7
表 5、可選用之 DESIGN CODES.....	9
表 6、IEC 61400 系列標準規範.....	10
表 7、DESIGN LOAD CASES.....	11
表 8、PLANNING & DEVELOPMENT OF WIND FARMS 訓練課程表.....	21

一、目的

核能研究所（以下簡稱本所）於民國 98 年初，整合由本所自行設計一台 150 kW 主動控制示範風機系統，編號 INER-P150。本風機除了以高效能發電為目的之外，更以廣為國際上所採用之 IEC-61400-1 為設計規範。有鑒於此，本所於今年初著手進行 150 kW 設計負載認證文件之建置，並於年中委託 DNV 公司針對 INER-P150 進行設計負載之認證。Det Norske Veritas (DNV) 是具世界級領導地位的認證機構之一，尤其在海事工程、能源、以及風險控管等方面之認證。本次國外公差主要目的之一，即為赴 DNV 公司研習風力機設計分析與認證相關技術，主要針對疲勞分析、負載頻譜分析、以及負載時域分佈(Load Duration Distribution, LDD)等相關議題進行研究，並與 DNV 專家針對本所 150 kW 風力機設計文件提出之審查意見(附錄一)進行討論，釐清本所 150 kW 風機設計認證相關問題。

Risø DTU National Laboratory for Sustainable Energy 在風力發電研究上累積多年經驗與豐富研發成果，其發展之風能地圖分析、風力發電系統技術、離岸風電等技術已經成為國際間公認領導者。本次國外公差主要目的之一，即是經由 DNV 之安排，前往 Risø 參加離岸 Planning & Development of Wind Farms 訓練，並參觀 SAMSO 再生能源島。

二、過程

此行於 99 年 9 月 4 日出發，先赴 DNV 位於丹麥哥本哈根之分公司研習風力機設計分析與認證相關技術，期間經由 DNV 之安排赴位於羅斯基德之 Risø 參加離岸 Planning & Development of Wind Farms，最後於 99 年 9 月 25 日返國，為期共 22 天。

(一) 本所 INER-P150 認證審查討論

本所於民國 99 年 5 月已與 DNV 位於丹麥哥本哈根分公司簽訂合約進行 150 kW 風力機 IEC-61400-1 設計負載認證案，該分公司負責之主審人員 Ole Kjaer 於 8 月 16 日針對本所交付之認證文件，提出第一次審查意見如附錄一，本所相關之工作人員於 9 月 1 日完成改善與補充報告，本人亦藉此次研習機會與 Mr. Kjaer 當面討論及釐清問題。

項目 1 為再次確認本合作案之範圍，經雙方確認無誤；而項目 2 為依 IEC-61400-1 之規定，零組件必須能在 -20°C 至 50°C 溫度範圍下正常運作，綜觀 INER-P150 零組件清單，除 Inverter ($0^{\circ}\text{C} \sim 50^{\circ}\text{C}$)、轉向極限開關 ($-10^{\circ}\text{C} \sim 55^{\circ}\text{C}$)、電壓與電流感應器 ($0^{\circ}\text{C} \sim 60^{\circ}\text{C}$) 未達規定外，其餘皆符合，因此，同意於最後審查結果註明不適合寒帶區域使用；項目 3 為參數輸入錯誤，本所同仁已更正，並且更新計算結果。

項目 4 為釐清颱風模式之外在環境條件。根據中央氣象局之定義，最大陣風介於 32.7 m/s 至 50.9 m/s 為颱風(typhoon)，而最大陣風大於 51 m/s 為強烈颱風(severe typhoon)，INER-P150 屬於 Class-IIA 之風機，考慮之最大陣風為 58 m/s ，因此，同意於最後審查結果註記可承受之最大陣風為 58 m/s 。

針對項目 5 控制與安全系統，由於本所僅考慮電控訊號、感應器、油壓系統、電力系統、及控制器等各種失效模式所造成之影響，並未考慮機構方面失效造成之影響，因此，DNV 提供如表 1 所示之檢查清單，建議本所依循清單逐項檢視，定義機構可能之失效模式，並且區隔主要安全系統與次要安全系統，模擬主要安全系統失效情況下，次要安全系統仍能確保安全運轉或停機。

表 1、控制與安全系統檢查清單

OK	Not OK	Not relevant	CONTROL AND PROTECTION SYSTEM
			Description of control and protection system including safety strategy. The description shall give an overview of the system.
			Description of control system software
			Hydraulic diagrams and description
			Electrical diagrams and description
			Fault analysis - FTA(failure tree) / FMEA(failure mode analysis)
			Error response list including description of how the system reacts on a fault or event. Reset procedures shall be included in the list.
			Set point list (list of alarm and parameter settings)
			Test plan for control and safety system
			Part list
			Specifications for control system software
			Specifications for sensors (rpm, vibration, temperature, load, pressure...) and components (accumulators, batteries, relays, valves, mechanical brake...)
			Data sheets for sensors and components
			General installation, operational and maintenance manuals

由於 IEC 定義之紊流模式(Turbulence Wind)是架構在基礎理論公式上之隨機函式，每一風速僅模擬一個案例在統計學上並不具代表性，因此，項目 6 是說明單一風速至少需模擬 6 至 12 個案例才足以產生具代表性之結果。本所同仁針對此項目已做補正，案例數目上已足夠，但未注意到每一風速必須滿足如圖 1 所示之紊流強度。本人與 Mr. Kjaer 針對本所提供之資料，逐一計算確認紊流強度，發現有的數值高於規範，有的數值低於規範，因此，待本人回國後將修正紊流風況，並重新計算負載值。

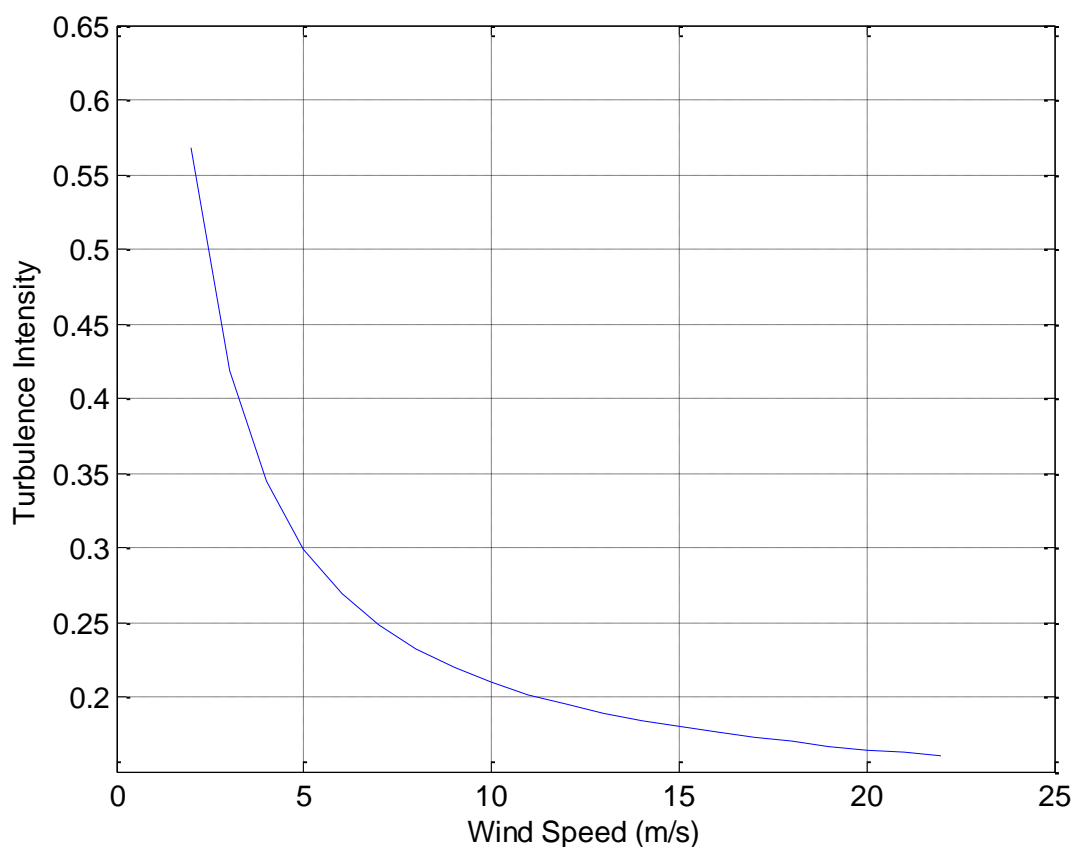


圖 1、IEC-61400-1 定義之紊流強度值

項目 7 說明本所未依照 IEC 之規定，將發生頻率為 1 年之結果，按照 IEC-61400-1 Annex F 之外插程序，延伸為發生頻率為 50 年之結果。當下由 Mr. Kjaer 講解，以葉片尖端變形量為例如圖 2 所示，圖中紅色虛線為發生頻率為 1 年之結果，藍色實線為外插結果，而藍色線與機率為 $3E-8$ 相交之點即為發生頻率為 50 年之結果。因此，待本人回國後將進行補正。最後，由於 DNV 並無 MATLAB 程式，針對項目 8，本所已封包一執行檔，協助 DNV 審查人員能快速檢視計算結果，因此，本項問題已解決。

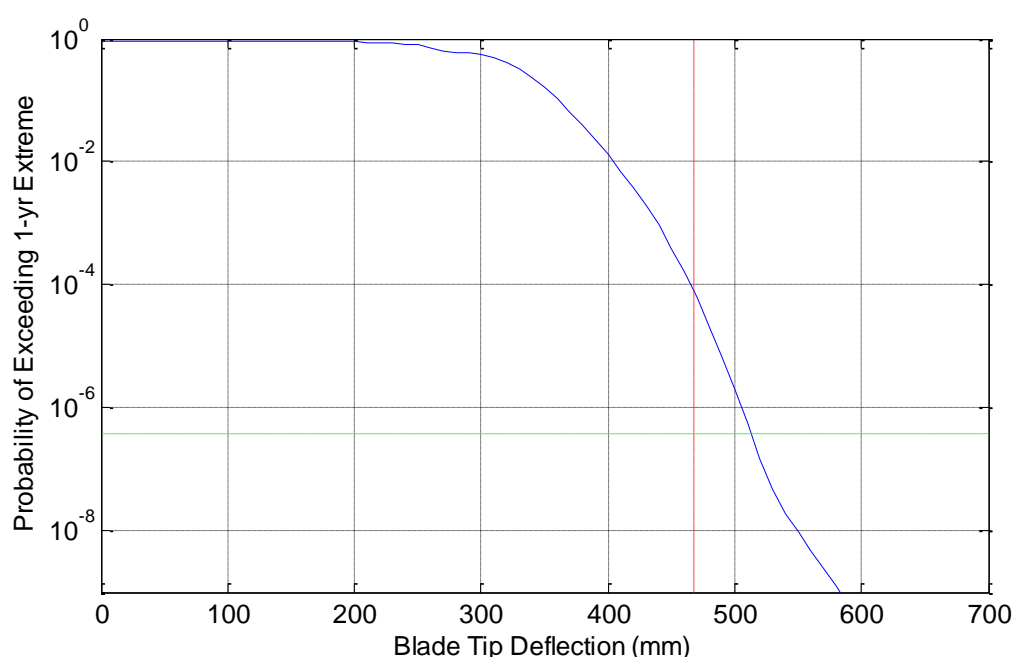


圖 2、葉片尖端變形量之評估

(二) DNV Type and Project Certification 訓練

9 月 6 日與 7 日兩天參加 DNV 所舉辦之 Type and Project Certification 訓練課程，課程表如表 2，9 月 8 日的課後討論與練習為自由參加，講師群與參加人員分別如表 3 表 4 所示。

表 2、Type and Project Certification 訓練課程表

Day 1	Topic
	Introduction to DNV standards and related international standards
	Presentation of the certification process
	Design basis
	Load cases and loads
Day 2	Topic
	Certification of wind turbine components
	Corrosion protection
	Manufacturing survey
	Certification of blades & future trends and development
	Presentation of new DNV standards

表 3、Type and Project Certification 講師

Name	Title
Claus Fridtjof Christensen	Head of Department
Roberto Spallino	Head of Section
Bente Vestergaard	Principal Engineer
Erik Asp Hansen	Principal Engineer
Andreas Gregersen Jensen	Principal Engineer
Niles Bo Kristensen	Senior Engineer
Per Jorn Madsen	Senior Engineer
Ole Kjaer	Senior Engineer
Thomas Boehme	Senior Engineer
Erik R. Jorgensen	Senior Specialist
Lars P. Nielsen	Senior Specialist
Helena Jane Hunt	Engineer

表 4、Type and Project Certification 參加人員

Name	Company	Country
Lasse Svenningsen	EMD International A/S	Denmark
Martin Neumann	EPC Consulting ApS	Denmark
Wei-Nian Su	Institute of Nuclear Energy Research	Taiwan
Morten Christiansen	RWE Npower Renewable Ltd	UK
Peter Bach	Siemens Wind Power A/S	Denmark
Christian D. Schmidt	Siemens Wind Power A/S	Denmark
Grete Hexeberg	Statoil	Norway
Mark West	SWAY AS	Norway
Peter Lindegaard	Vestas Offshore	Denmark
Alberto O. Guemes	Vestas Spain	Spain
Andrea Redolfi	Vestas Technology R&D	Denmark
Antonio Correia	Vestas Technology R&D	Denmark
Michael M. Quottrup	Vestas Technology R&D	Denmark
Per Christensen	Vestas Technology R&D	Denmark
David Simon	Vestas Technology R&D	Denmark
Lars O. Riis	Vestas Technology R&D	Denmark
Azad Salem	Vestas Technology R&D	Denmark
Michelle Kannegaard	Vestas Technology R&D	Denmark
Frank Strik	XEMC Darwind B. V.	Netherlands
Yoshinori Miura	Det Norske Veritas AS, Japan Branch	Japan
Kazuyoshi Mori	Det Norske Veritas AS, Japan Branch	Japan
Hege B. Thurmann	Det Norske Veritas AS	Norway
Claire Lin	Det Norske Veritas AS, Taiwan Branch	Taiwan
Jorge Pinto	Det Norske Veritas Espana S. L.	Spain
Eva Valles	Det Norske Veritas Espana S. L.	Spain
Trine B. Pedersen	Det Norske Veritas, Denmark A/S	Denmark

風力發電機型式認證(Type Certification)主要是針對風力發電設備進行評估，以確認安全與可靠度，執行評估工作者必須是獨立之第三者(Independent Third Party)，亦即執行認證評估之單位不能參與設計工作，或是擔任設計團隊之顧問工作等，這在認證這個領域是一個相當重要的觀念，也就是避免球員兼裁判的情形發生。

型式認證的程序如下：1. Design Basis Evaluation，2. Design Evaluation，3. Manufacturing Evaluation，4. Type Testing，5. Type Characteristics Measurements，6. Final Evaluation，7. Type Certificate。以上7個項目是DNV所建議之程序，若與IEC 61400-22相比較，則多了第5項，亦即IEC規範並不需要執行Type Characteristics Measurements，相較之下，DNV的規範更為嚴謹。在認證評估之標的物上，整個風機系統包含轉子、機艙、塔架等，地基設計部分則是選項，並非型式認證所必須執行之項目。

認證所依循之標準架構為：1. Rules and procedures，例如IEC 61400-22、BEK 651、或DNV-OS-J101等皆屬於這個範圍，2. Quality system，一般常用的是ISO 9001，3. Design requirements，廣泛使用的為IEC的規範，例如IEC 61400-1、IEC 61400-2、或IEC-61400-3等，4. Design Codes，例如EN 1993-x、ISO 81400-4 Design and specification of gear boxes、或DNV-OS-J102 Design and Manufacture of Wind Turbine Blades等皆屬於這個範圍。由以上可知，第1項為選擇認證程序規範，而第3與4項則是屬於技術與安全分析上所依循之標準，第4項可以選擇之Design Code彙整如表5所示。以上要注意的是第2項品保的概念，此項目與技術毫無關係，但在認證過程中卻扮演相當重要之角色，唯有具備符合規定之品保，這樣才能確保除了接受檢查之風機標的物符合規範，其他後續大量生產與製造之同型機種亦能符合規範。

IEC是目前國際上被廣泛應用之風力發電機規範，其一系列規範可彙整如表6，本次課程重點著重在Design Evaluation，所依循之規範即為IEC 61400-1。由表中可知，IEC 61400-1、IEC 61400-2、與IEC 61400-3等皆為Design requirements，其中的區別在於-2是專為小型風機所訂定，而-3是專為離岸風機所訂定，要注意的是，不論是哪一個系列之規範，其中所訂定的項目皆為Minimum Requirements，亦即為最低之需求。

表 5、可選用之 Design Codes

Type	Design Code
Steel structure	Eurocode 3 –EN 1993 series
Cast components	DNV Guidelines for Certification of Wind Turbine Power Plants
	GL rules
Rotor blades	DNV-OS-J102
	GL rules
	IEC 61400-23
Bearings	ISO 76
	ISO 281
Gear boxes	ISO 81400-4
	ISO 6336 series
Concrete structures	Eurocode 2 – EN 1992 series
	Eurocode 7 – EN 1997 series
Offshore foundations	DNV-OS-J101
Corrosion protection	EN 12944
	DNV-RP-B401

表 6、IEC 61400 系列標準規範

IEC 61400 系列	Title
IEC 61400-1	Design Requirements
IEC 61400-2	Design requirements for small wind turbines
IEC 61400-3	Design requirements for offshore wind turbines
IEC 61400-4	Design requirements for wind turbine gearboxes (仍在進行中，尚未定案)
IEC 61400-5	Rotor blades (仍在進行中，尚未定案)
IEC 61400-11	Acoustic noise measurement techniques
IEC 61400-12	Power performance measurements
IEC 61400-13	Measurement of mechanical loads
IEC 61400-14	Declaration of sound power level and tonality
IEC 61400-21	Measurement of power quality characteristics
IEC 61400-22	Conformity Testing and Certification of Wind Turbines
IEC 61400-23	Full scale structural blade testing
IEC 61400-24	Lightning protection

Design Evaluation 中有兩個重點項目：1. Load cases and loads，2. Structural analysis。IEC 61400-1 所定義之設計負載分析案例如表 7 所示，視風機系統之大小與複雜度而定，設計負載分析案例至少上百個，也可能上千個；決定設計負載案例之後，第二步則是選擇適當之計算工具，符合規範之計算工具如 FLEX5、Bladed、以及 FAST 等皆是目前普遍使用之 Aeroelastic Code(本所目前使用的工具即為 FAST)。根據 DNV 之經驗，極限負載可能發生在：1. Blades: Flapwise DLC 1.3，Edgewise DLC 6.1/6.2，2. Tower top: Tilt DLC 2.2，Yaw DLC 2.2，3. Tower bottom: Along wind DLC 2.3，Across wind DLC 6.1/6.2；而疲勞負載主要是由 Normal Power Production 所貢獻，大約占 80%至 90%，其餘則是由故障、啟動與停機、以及惰速運轉等所貢獻。

表 7、Design load cases

Design situation	DL C	Wind condition	Other conditions	Type of analysis	Partial safety factors
1) Power production	1.1	NTM $V_{in} < V_{hub} < V_{out}$	For extrapolation of extreme events	U	N
	1.2	NTM $V_{in} < V_{hub} < V_{out}$		F	*
	1.3	ETM $V_{in} < V_{hub} < V_{out}$		U	N
	1.4	ECD $V_{hub} = V_r - 2 \text{ m/s}, V_r, V_r + 2 \text{ m/s}$		U	N
	1.5	EWS $V_{in} < V_{hub} < V_{out}$		U	N
2) Power production plus occurrence of fault	2.1	NTM $V_{in} < V_{hub} < V_{out}$	Control system fault or loss of electrical network	U	N
	2.2	NTM $V_{in} < V_{hub} < V_{out}$	Protection system or preceding internal electrical fault	U	A
	2.3	EOG $V_{hub} = V_r \pm 2 \text{ m/s}$ and V_{out}	External or internal electrical fault including loss of electrical network	U	A
	2.4	NTM $V_{in} < V_{hub} < V_{out}$	Control, protection, or electrical system faults including loss of electrical network	F	*
3) Start up	3.1	NWP $V_{in} < V_{hub} < V_{out}$		F	*
	3.2	EOG $V_{hub} = V_{in}, V_r \pm 2 \text{ m/s}$ and V_{out}		U	N
	3.3	EDC $V_{hub} = V_{in}, V_r \pm 2 \text{ m/s}$ and V_{out}		U	N
4) Normal shut down	4.1	NWP $V_{in} < V_{hub} < V_{out}$		F	*
	4.2	EOG $V_{hub} = V_r \pm 2 \text{ m/s}$ and V_{out}		U	N
5) Emergency shut down	5.1	NTM $V_{hub} = V_r \pm 2 \text{ m/s}$ and V_{out}		U	N
6) Parked (standing still or idling)	6.1	EWM 50-year recurrence period		U	N
	6.2	EWM 50-year recurrence period	Loss of electrical network connection	U	A
	6.3	EWM 1-year recurrence period	Extreme yaw misalignment	U	N
	6.4	NTM $V_{hub} < 0,7 V_{ref}$		F	*
7) Parked and fault conditions	7.1	EWM 1-year recurrence period		U	A
8) Transport, assembly, maintenance and repair	8.1	NTM V_{maint} to be stated by the manufacturer		U	T
	8.2	EWM 1-year recurrence period		U	A

DNV 進行設計審查時針對負載計算會有以下幾個重點：1. Verification of aeroelastic model，2. Load cases，3. Dynamic behavior，4. Load simulation。Aeroelastic model 審查會針對所使用之工具、假設條件、氣動力係數(C_d , C_l , C_m 等)、幾何外型、以及材料與結構係數等；Load cases 審查主要始針對假設條件、外在環境條件與參數等；Dynamic behavior 審查主要是針對 Frequency、Mode shapes、以及 Damping 等項目；而 Load simulation 審查則是針對計算結果如 Extreme loads、Fatigue loads、以及 Duration loads 等。

結構安全分析普遍使用有限元素分析法，DNV 專家提醒若是簡單之幾何外形，盡可能使用解析解為主，而有限元素分析法為輔。有限元素法在使用上需注意：1. Boundary condition，2. Choice of element type，3. Material，4. Geometrical imperfections，5. Validate calculation，6. Load and load combinations 等，可參考 DNV-OS-J101 規範指引。

(三) DNV 研習

本次公差行程除 Planning & Development of Wind Farms 訓練課程在 Risø DTU(羅斯基德)之外，其餘時間均是在 DNV 公司研習風力機設計分析與認證相關技術，主要針對疲勞分析、負載頻譜分析、以及負載時域分佈(Load Duration Distribution, LDD)等相關議題進行研究。

疲勞分析的重點在於週期計次的法則(Cycle Counting)，最普遍使用的方法即是雨流計次法(Rainflow counting)，此外，其他方法如 Level Crossing Counting(圖 3)、Peak Counting(圖 4)、Simple Range Counting(圖 5)等方法則偶有人使用，因此，本次學習重點則放在 Rainflow counting。

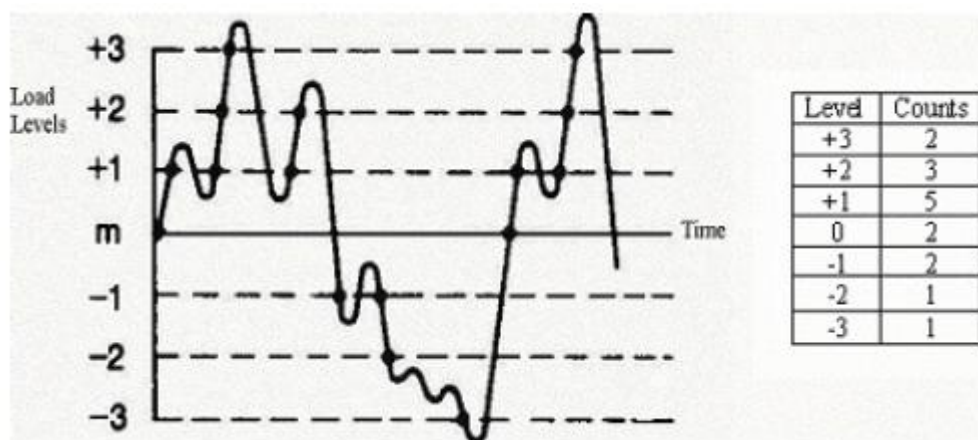


圖 3、Level crossing counting 方法

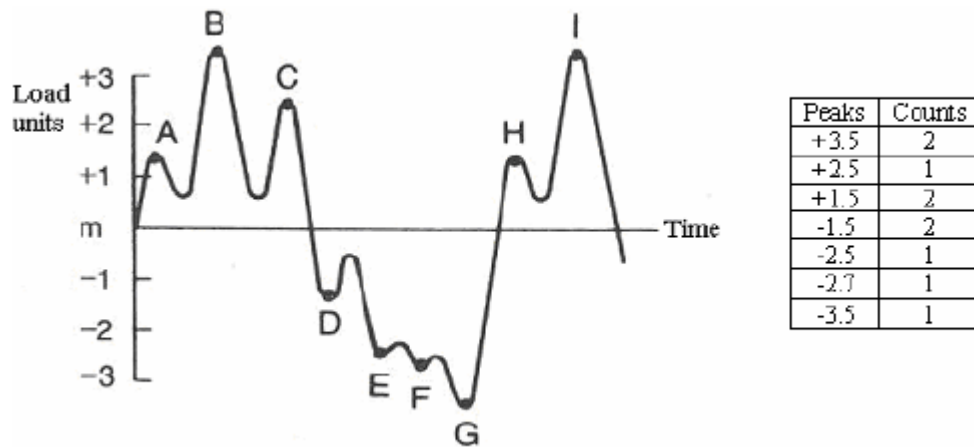


圖 4、Peak Counting 方法

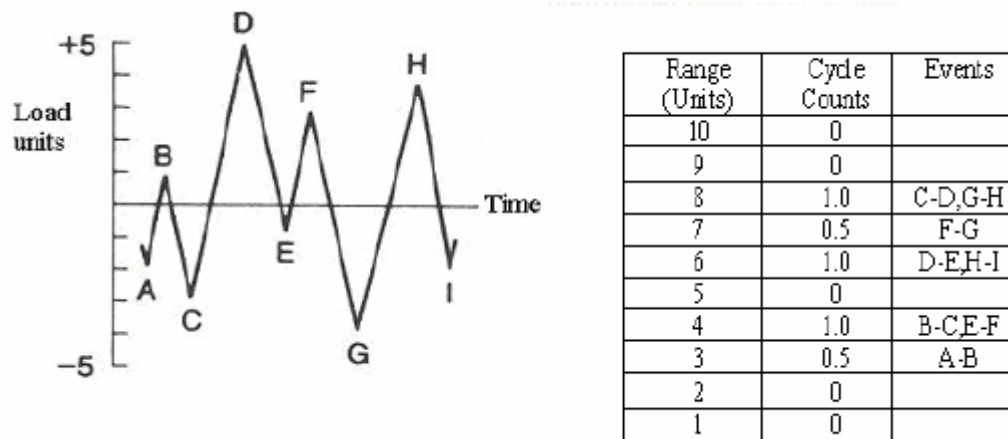


圖 5、Simple Range Counting 方法

Rainflow counting 最早是由 M. Matsuiski 與 T. Endo 所提出，Endo 的方法可由以下簡單描述，如圖 6所示，將訊號翻轉 90 度，在有如屋頂的斜邊上倒水，如果水由 Peak 點出發，水一直流下去，直到以下任何一個條件成立為止：

- The drop will stop if it meets an opposing peak larger than that of departure
- The drop will stop if it meets a path that is already wet

如果水由 Valley 點出發，水一直流下去，直到以下任何一個條件成立為止：

- The drop will stop if it meets a valley deeper than that of departure
- The fall will stop if it meets a path that is already wet

每一滴水所走過的水平距離可視為一個 half-cycle。

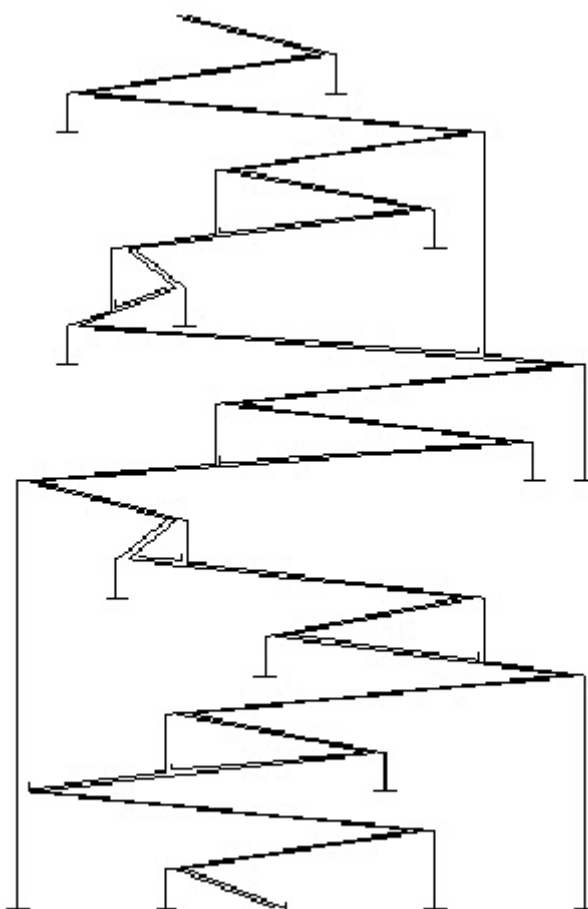


圖 6、Rainflow counting 方法

藉由 Mr. Kjaer 的講解，本人對於計次的方式有更深入的了解，Mr. Kjaer 亦提醒，一般計次的方法在數位化後都是採用 BIN 的觀念，也就是將同一範圍的 Amplitude 和 Mean 置於同一個 BIN，因此，BIN 的數量對於疲勞分析的結果有很大的影響，文獻資料皆建議至少為 30 個 BIN 以上。最後，在疲勞分析方面，損壞程度的計算，一般皆是應用 S-N 曲線與 Palmgren-Miner's Rule(公式一)，也就是必須在 Stress Domain 進行計算，Mr. Kjaer 提供另一個可行的方法，亦即只在 Load Domain 計算。以葉片為例，圖 7 顯示 flapwise moment 雨流矩陣圖，再加上 INER-P150 葉片做過靜態拉力測試，flapwise moment 破壞值(M_u)為 558.13 kN-m，由參考文獻 FRP 材質的曲線斜率(m)一般介於 6 至 12 之間，假設 m 為 7，以及振幅比例(R)為-1，圖 8 與圖 9 分別顯示

INER-P150 之 M-N 曲線，以及 Goodman diagram，應用公式二可求得疲勞損壞程度為 0.65。

$$D_{total} = \sum_i^j \frac{n_i}{N_i} \quad \text{公式一}$$

$$N_i = \left(\frac{M_u - M_{mi}}{M_{ai} - M_{ai}} \right)^m \quad \text{公式二}$$

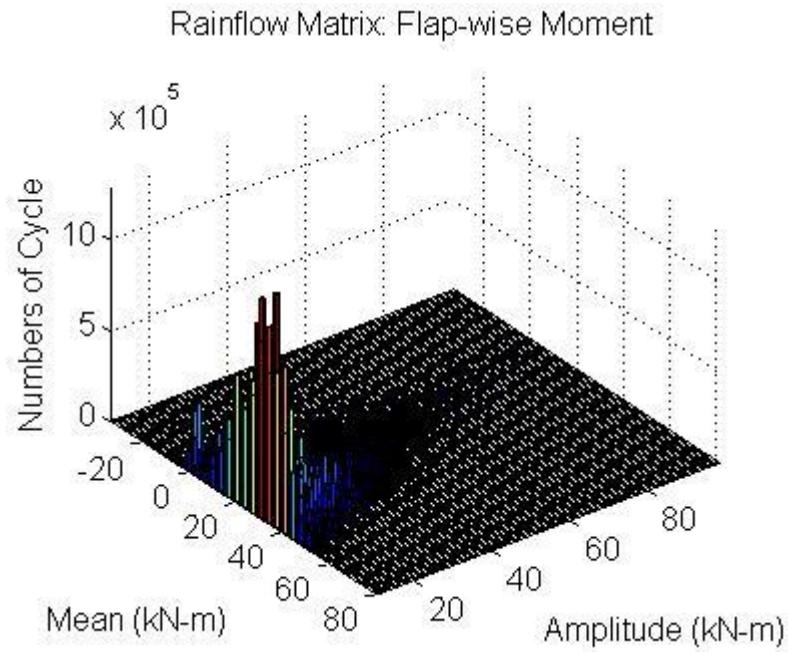


圖 7、葉片 flapwise moment 雨流矩陣

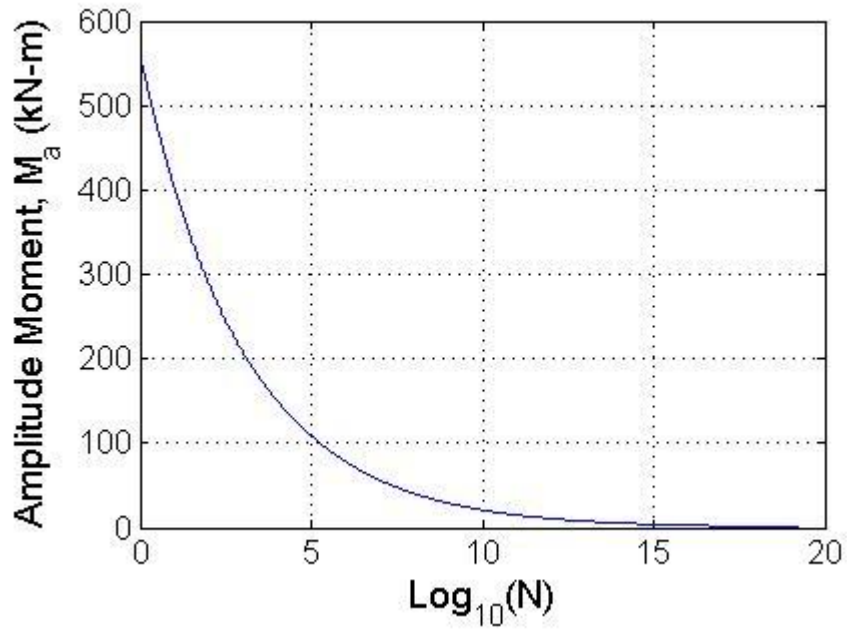


圖 8 · M-N curve at $R = -1$ and $m = 7$

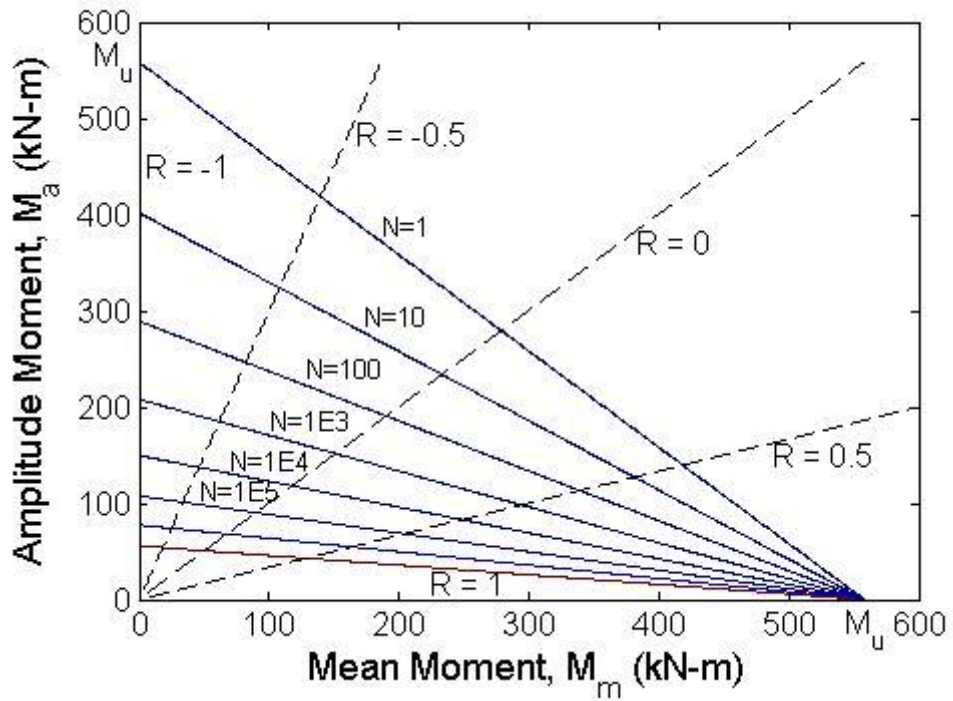


圖 9 · INER-P150 葉片 Goodman diagram

在 DNV 研習的另一個重點是動態負載的分析，其目的是要確認是否有共振情形發生，最快捷的方式即是將時間區域轉為頻率區域，常用的方式為 Fast Fourier Transform(FFT)，需要特別注意的風機零組件有葉片、主軸、以及塔架。同樣地，以葉片為例，針對葉片 edgewise moment 進行 FFT 轉換，要注意的是，由於動態模擬的資料記錄頻率為 20 Hz，因此，依據 Nyquist criteria，有效的 FFT 轉換頻率小於 10 Hz。風速 4 m/s 分析案例計算所得之 edgewise moment，經過 FFT 轉換後如圖 10 所示，僅在約 0.3 Hz 有明顯振幅，參考 4 m/s 風速的平均葉片轉速在 20 RPM 附近，FFT 的結果顯示只有 1P 的響應；再將風速 22 m/s 分析案例計算所得之 edgewise moment，經過 FFT 轉換後如圖 11 所示，僅在約 0.65 Hz 有明顯振幅，參考 22 m/s 風速的平均葉片轉速在 40 RPM 附近，FFT 的結果顯示只有 1P 的響應。經過討論之後，參考葉片測試數據，INER-P150 葉片的第一振頻為 2.625 Hz，顯示此葉片剛性很強，不容易有共振或 3P 的響應發生。

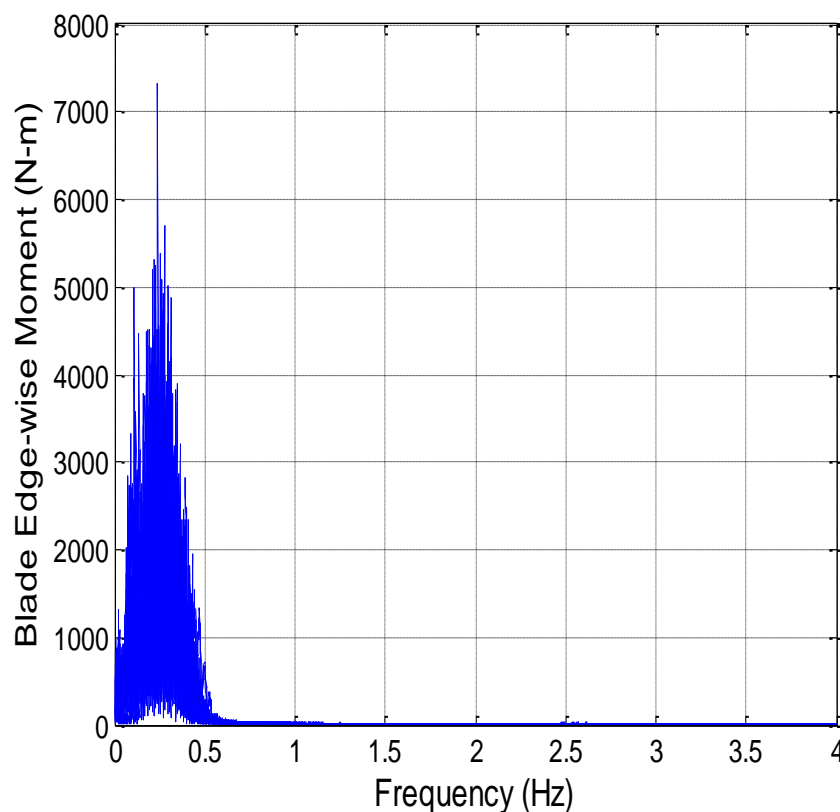


圖 10、風速 4 m/s，edgewise moment 頻譜分析

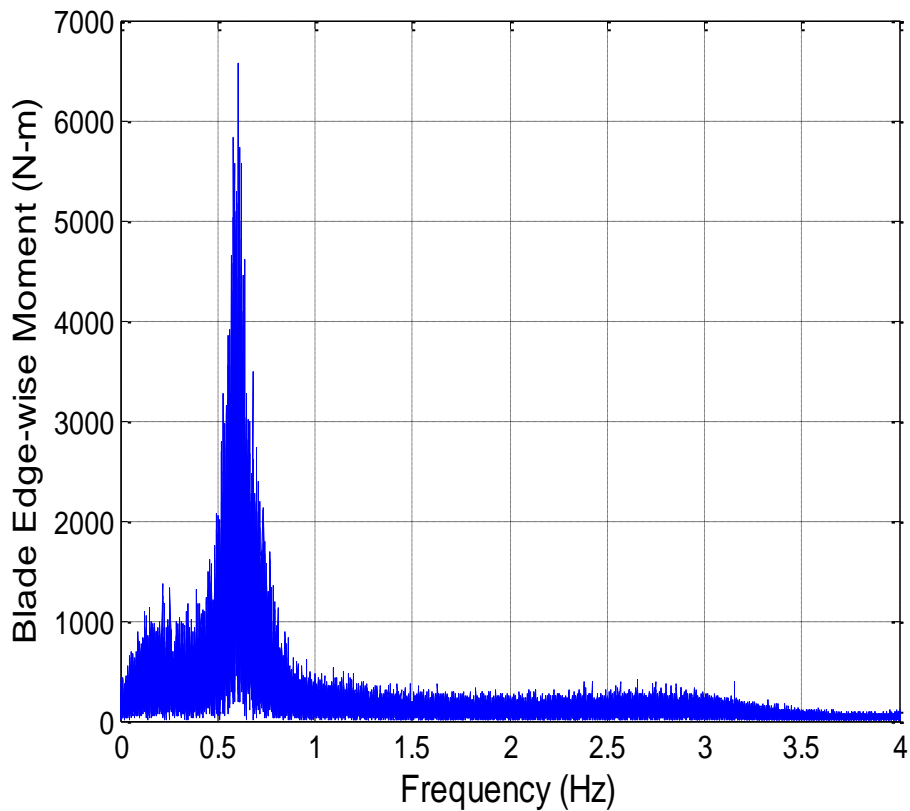


圖 11、風速 22 m/s，edgewise moment 頻譜分析

在 DNV 研習的最後一個重點是 Load Duration Distribution(LDD)的計算與應用。首先是確認計算方式的正確性，以主軸扭力為例，在風速 4 m/s 正常發電情況下，主軸扭力變化如圖 12所示，同樣地應用 BIN 的觀念，將扭力值分為 100 個 BIN，則每個 BIN 的機率如圖 13所示，由於模擬時間為 600 秒，因此，將圖 13乘上 600 秒即為風速 4 m/s 正常發電情況下，主軸扭力的 LDD 如圖 14所示。LDD 主要是應用在齒輪類零組件如 Gear box 等，以及軸承類零組件的安全分析，一般交由齒輪箱製造商或軸承製造商依規定設計，常採用之規範可參考表 5。

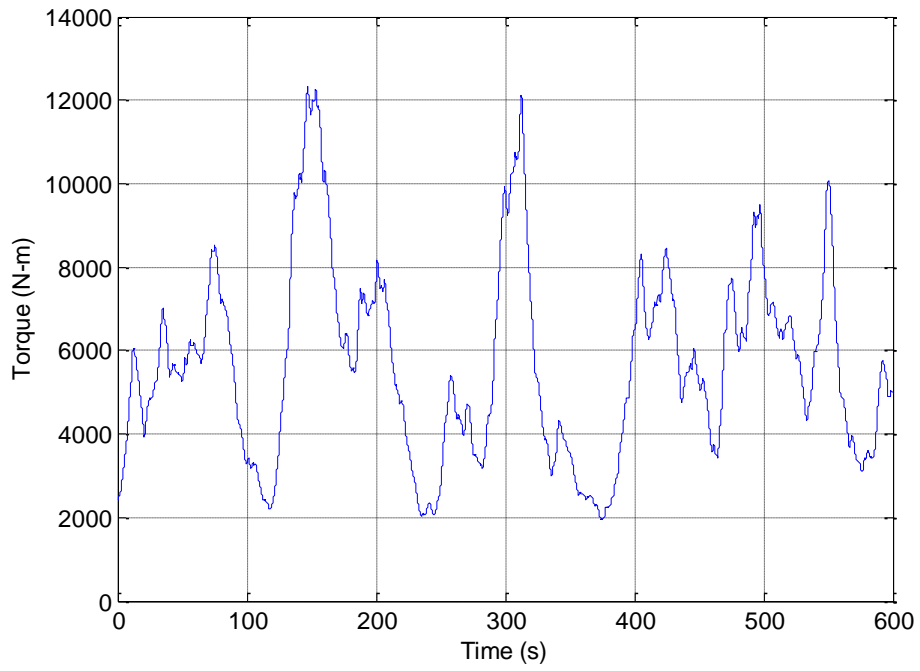


圖 12、風速 4 m/s 主軸扭力變化

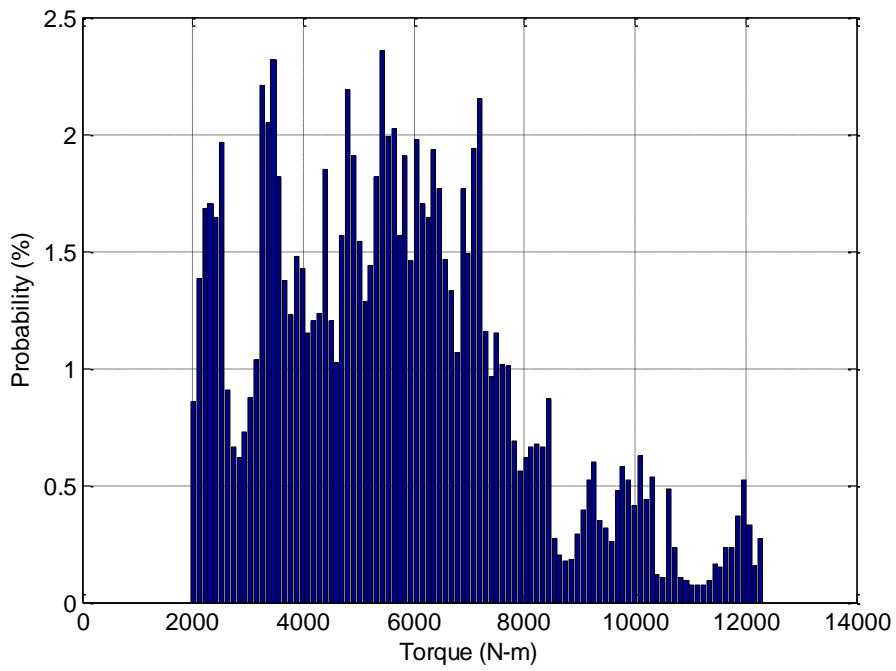


圖 13、風速 4 m/s 主軸扭力機率

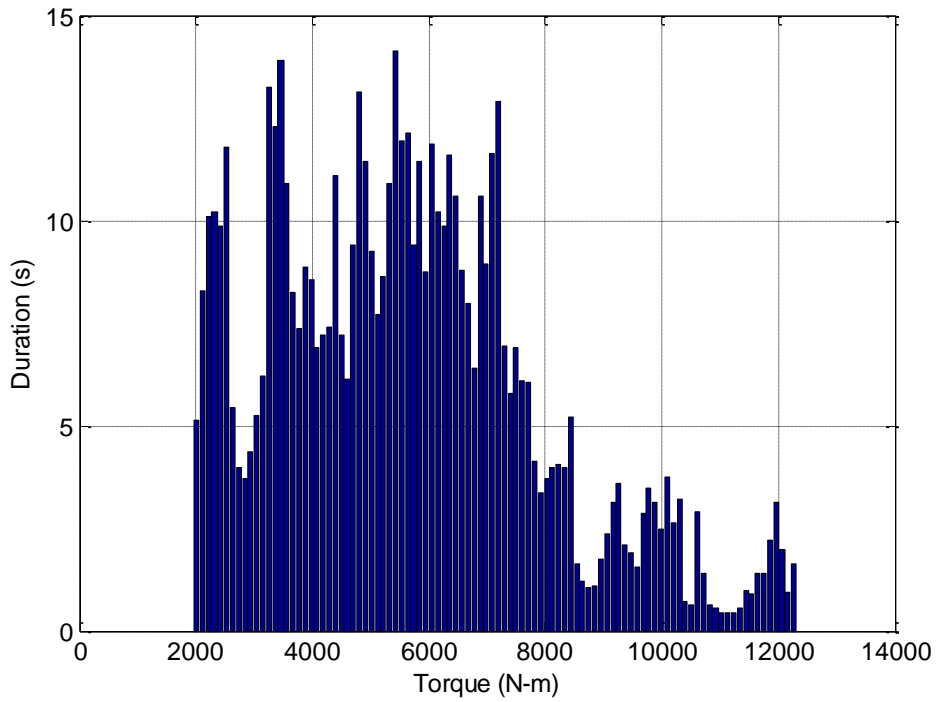


圖 14、風速 4 m/s 主軸扭力 LDD

(四) Risø DTU 訓練課程

9月14日至17日四天經由 DNV 之安排，前往 Risø DTU National Laboratory for Sustainable Energy，參加 Risø 所舉辦之 Planning & Development of Wind Farms 訓練課程，課程表如表 8所示。本次課程著重在離岸風電，前三天為相關之課程資料講解，第四天則是實地參訪 SAMSO 再生能源島。

表 8、Planning & Development of Wind Farms 訓練課程表

Day 1	Topic
	Briefing & About Risø
	Introduction
	Project development
	Site specific conditions
Day 2	Topic
	Offshore substations
	Offshore standard DNV-OS-J201
	Verification of Foundation design
Day 3	Topic
	Corrosion
	Health - safety - environment
	Installation, Commissioning and In service survey
Day 4	Topic
	Site tour

風力發電廠在建置之前，一定要先經過各種可行性評估，尤其是離岸風電(圖 15)，動輒數億元的投資，所以一般在規劃上可以分為以下階段：

- Phase 0: Feasibility review
- Phase I: Verification of design basis
- Phase II: Verification of design
- Phase III: Manufacturing survey
- Phase IV: Installation survey
- Phase V: Commissioning survey
- Phase VI: In-service

Phase 0 可以說是先期規劃，包括概念設計、場址評估、風能評估、地方許可、以及輸配電評估等。場址評估必須考量運輸問題、是否位在船運航線上、港口、花費、自然生態、海床、以及是否位在軍事區域等。先期規劃中常被忽略的是海底電纜配置的路徑，以及中繼站(substation)的設置位置等。

Phase I 則是先檢討初期設計準則是否正確，假設條件是否合理，當一切評估都可
行後，才開始著手設計，也才有 Phase II 的設計評估。Phase III 至 Phase V 則是準備
開始建廠，此時必須前往相關工廠監督鋼材、主結構製造、次結構製造等，而在現場
裝設時必須確保運輸與處理過程中不會超過設計負載範圍，而且要能查覺過程中是否
造成組件損傷。



圖 15、丹麥離岸風電廠

場址選擇是一個很重要的決策，一定要經過長期氣象資料收集、海象資料收集、
以及地質地形探勘。氣象資料的分析能評估風能的蘊藏量，而海象資料的分析包括浪
高、海流、溫度、鹽度等，塔架與基礎的設計必須考慮風與海的交互作用。一般常用
的氣象資料收集方是為設置氣象塔，而海象資料量測可使用 Wave rider、ADCP(current,
water level, waves)、Radar、Laser、或衛星資料等。地質地形探勘方面，初期可先進行
研究(Geological Study)，也就是利用現有資料與知識進行評估，接著才是 Geophysical
survey，最後才是 Geotechnical soil investigation。

Substation 在離岸風電扮演著相當重要的角色(圖 16)，不僅是人員休息，以及工作等的中繼站，更是電力傳送的中繼站。設計上不僅要能讓船隻接駁，更要考慮船隻碰撞，尤其是遭遇失去動力船隻隨波逐流，該如何防止碰撞破壞主體結構，或是避免碰撞發生。



圖 16、Offshore substation

SAMSO 再生能源島位於丹麥 Sjaelland 與 Jylland 兩塊陸地間的海上，此次參觀是由 Kalundborg 搭船前往，到達島嶼西邊的港口 Kolby Kas，再坐當地的公車到達參訪點 Samsø Energy Academy(圖 17)。藉由工作人員，以及現場圖解可大致了解島上電廠的配置(圖 18)，由北到南分別為：

- Nordby/Marup: Solar heat & wood chip，輸出功率 1.6 MW，太陽能收集器面積約 2500 m²，每年約消耗木材 1250 噸，建於 2001 年至 2002 年間。
- Onsbjerg: Straw-fired district heating，輸出功率 0.8 MW，每年約消耗稻稈 600 噸，建於 2002 年。

- Tanderup: 裝置 3 座 1 MW 風力發電機，塔高約 50 m，每座造價約 100 萬美元，年發電量約 7600 MW-hr。
- Tranebjerg: Straw-fired district heating，輸出功率 3 MW，建於 1993 年。
- Ballen/Brundby: Straw-fired district heating，輸出功率 1.6 MW，每年約消耗稻稈 1200 噸，建於 2004 年至 2005 年間。
- Brundby: 裝置 5 座 1 MW 風力發電機，塔高約 50 m，每座造價約 100 萬美元，年發電量約 12700 MW-hr。
- Permelille: 裝置 3 座 1 MW 風力發電機，塔高約 50 m，每座造價約 100 萬美元，年發電量約 7600 MW-hr。
- Offshore: 裝置 10 座 3 MW 離岸風力發電機，塔高約 63 m，年發電量約 77500 MW-hr。

SAMSO 島上的 Straw-fired district heating 直接供給附近村落之居民，而風力發電廠輸出之電力，除了直接供給附近村落之居民外，更經由電纜輸送回 Jylland。



圖 17、Samsø Energy Academy



圖 18、Samsø 發電廠配置

三、心得

本所進行風力發電相關技術之研發已有多年時間，從 25 kW 風機的研發，一直到完成 150 kW 風機的開發與架設，期間更引進認證的概念，更以自行開發之機種，分別進行符合 IEC-61400-2(小型風機規範)，以及 IEC-61400-1(中大型風機規範)之設計認證分析。本次進行的是 150 kW 風機的認證，因此，屬於 IEC-61400-1 的範疇，不僅分析項目較繁雜，更有些許細節在一開始就疏忽了，藉由此次 Mr. Kjaer 的解說，以及實際的練習，對本人獲益良多，大致上可彙整如下：

1. 釐清紊流風況的問題。紊流為一種隨機的模式，若每一風速只分析一個案例，在統計學上並不具代表性，因此，6 至 12 個案例才能確保結果的可靠性。
2. 經由課程解說與實務練習，對於風力發電機認證程序有了更深入的瞭解。
3. 更深入了解雨流計次法的應用，以及其他不同的計次法則，而疲勞分析不只能應用 S-N Curve，更學會在 Load Domain 進行分析，應用 Goodman Diagram，在一些已知的條件下，加入合理之假設，不需任何結構分析，仍可評估組件之疲勞損壞程度。
4. LDD 與負載頻譜分析並不屬於 IEC-61400-1 的範疇，但在實務應用上卻相當重要，藉由此次的研習，確實深入了解並且實際練習。
5. 對於離岸風電的規劃有了初步的了解，明白體會其中的複雜度，以及執行上的困難點。離岸風電可說是海事工程的應用，目前是國際上積極投入的研究議題。

最後，經由本次的機會，深刻體會認證單位在做事上的嚴謹，以及明確的分工，任何細節皆有程序可依循。風力發電設備的開發是一種工程上的應用，必須用工程的觀點考量，若是用學術研究為出發點，容易流於鑽牛角尖而進入一個死胡同。此觀念實際反應在 DNV 專業人員身上，每個人皆能妥善應用工具軟體，而非濫用工具軟體，能用手算的問題，絕不動用套裝軟體解決，此種觀念可引以為借鏡。

四、建議事項

- (一)、小型風機認證在國內已有明顯的市場需求，而型式認證的工作項目包含測試(Power performance、Durability、Acoustic)，以及設計評估等兩項工作，在完成測試報告與評估報告，並送交認證單位核可後，才發給 Type Certificate。目前國內規劃中的測試平台有七股與彭科大，而有能力進行設計評估的單位只有本所，因此，本所應積極建置標準評估程序，並且應行銷本所能力，不論是協助廠商建置設計分析報告，亦或是能獲得授權審查設計分析報告，這兩項工作皆是本所必須努力的方向，如此在不久的將來，本所才能在小型風機認證扮演不可或缺的角色。
- (二)、綜觀國際上的技術開發，大多著重在水平軸風機方面，較少投入在垂直軸風機方面，尤其是與 DNV 專業人員討論垂直軸風機認證的相關問題時，他們無法立即答覆，甚至無法承接此項業務，原因在於沒有標準認證程序，以及丹麥國內並無市場需求。反觀我們國內，小型風機正開始蓬勃發展，尤其是垂直軸風機更有多家廠商投入開發，因此，承接第一點建議，若要在本所建立一個完整的設計認證平台，則應該積極建立垂直軸風機的分析技術，以及標準認證程序。

五、附錄一

Com. No.	Reference doc. / Page	Comment
1	WTG-QUM-REP-200.0 / General	It should be noticed that our scope of work is doing evaluation of loads and load cases which is categorized as a one(1) item of design evaluation for wind turbine according to IEC 61400-1 ed.3. Therefore, the information in the document which is not relevant to loads and load cases is only for our information and not subject to our evaluation.
2	WTG-QUM-REP-200.0 / page 2	The approval is done in accordance with IEC wind turbine class IIA. This require extreme ambient operating air temperature from -20 deg. to +50 deg.. According to table 1-2 on page 2, 0 deg. to +40 is used. Please clarify.
3	WTG-QUM-REP-200.0 / Page 129	The approval is done in accordance with IEC Wind turbine class IIA. This required air density is 1.225 kg/m^3 . In page 129 document, it is described as 1.2205 kg/m^3 . Please clarify.
4	WTG-QUM-REP-200.0 / General	Typhoon mode is not subject to our evaluation.
5	WTG-QUM-REP-200.0 / Page 110	It is described in chap. 6.1 that there is no redundancy in the control systems as well as most of the sensors. Therefore, it should be declared how control system of wind turbine meet relevant requirement on chap.8 of IEC 61400-1 ed.3
6	WTG-QUM-REP-200.0 / General	It is required on Chap. 7.5 of IEC 61400-1 edition 3 that at least 10 minutes six(6) stochastic realization(or a continuous 60 minutes period) shall be required each mean, hub height wind speed used in the simulation or twelve(12) simulations for DLC No. 2.1, 2.2 and 5.1 shall be carried out for each event at the given wind speed. However, a forementioned requirement for stochastic realization has not been implemented. Therefore, it should be revised in due course.
7	WTG-QUM-REP-200.0 / General	It is required by IEC 61400-1 ed.3 that DLC no. 1.1 is extrapolation of simulation done in DLC 1.2. Please update.
8	WTG-QUM-REP-200.0 / General	We have received MATLAB macro from INER but further data is needed as described in our email dated 2 nd of August 02, 2010. Please clarify.

附件 1

出國報告電子檔規格

一、檔案格式

採 word (*.doc) 或 pdf 檔案。

二、版面設定

A4 直式橫書。

三、封面格式及設定（請參照封面樣式範例）

項目①：細明體 20 號加粗，靠左對齊

項目②：細明體 26 號加粗，置中對齊

項目③：細明體 14 號，置中對齊

四、內文設定

採細明體 12 號。各項標題採細明加粗，字體大小不限。

五、相片處理

為使出國報告內容不因相片檔案過大影響上傳速度，相片解析度以低解析度處理為原則。

六、附件處理

國外攜回之重要文件相關資料，不涉著作權的部分，得影印掃描成 pdf 檔，加附於正文之後成為完整之電子文書，同時上載至出國報告資訊網。

七、其他注意事項

- 結構依序為封面、摘要（200-300 字）、目次、本文、（附錄）。並加註頁碼。
 - 本文必須包含「目的」、「過程」、「心得」、「建議事項」。
 - 國外攜回相關文件無法依要點第四點附件處理掃描成電子文書時，得將其影印本一份函送至國家圖書館官書股掃描處理，隨文並附所屬出國報告封面以示區別。
 - 出國報告題目名稱應能表達出國計畫主旨。
1. • 出國人員眾多無法於封面盡列時，得以代表人員等表示，但必須另詳列清單於報告內。

出國報告審核表

出國報告名稱：「赴丹麥 DNV 公司研習及參加 Risø Planning & Development of Wind Farms 訓練」國外公差報告		
出國人姓名：(2 人以上，以 1 人為代表)	職稱	服務單位
蘇煒年	助理工程師	工程組
出國期間：99 年 9 月 4 日至 99 年 9 月 25 日		報告繳交日期：99 年 10 月 25 日
出國計畫主辦機關審核意見	<input type="checkbox"/> 1.依限繳交出國報告 <input type="checkbox"/> 2.格式完整（本文必須具備「目的」、「過程」、「心得」、「建議事項」） <input type="checkbox"/> 3.內容充實完備 <input type="checkbox"/> 4.建議具參考價值 <input type="checkbox"/> 5.送本機關參考或研辦 <input type="checkbox"/> 6.送上級機關參考 <input type="checkbox"/> 7.退回補正，原因： <input type="checkbox"/> 不符原核定出國計畫 <input type="checkbox"/> 以外文撰寫或僅以所蒐集外文資料為內容 <input type="checkbox"/> 內容空洞簡略 <input type="checkbox"/> 電子檔案未依格式辦理 <input type="checkbox"/> 未於資訊網登錄提要資料及傳送出國報告電子檔 <input type="checkbox"/> 8.本報告除上傳至出國報告資訊網外，將採行之公開發表： <input type="checkbox"/> 辦理本機關出國報告座談會（說明會），與同仁進行知識分享。 <input type="checkbox"/> 於本機關業務會報提出報告 <input type="checkbox"/> 9.其他處理意見及方式：	
層轉機關審核意見	<input type="checkbox"/> 1.同意主辦機關審核意見 <input type="checkbox"/> 全部 <input type="checkbox"/> 部分_____（填寫審核意見編號） <input type="checkbox"/> 2.退回補正，原因：_____ <input type="checkbox"/> 3.其他處理意見：	

說明：

- 一、出國計畫主辦機關即層轉機關時，不需填寫「層轉機關審核意見」。
- 二、各計畫主辦單位或機關可依需要自行增列審核項目內容，出國報告審核完畢，本表除送本會綜計處外並請自行影印保存。
- 三、出國報告及計畫主辦單位或機關之審核作業應於出國人員返國之日起 2 個月內完成。

行政院原子能委員會因公出國人員出國報告書 建議事項參採紀錄表

出國報告書名稱：「赴丹麥 DNV 公司研習及參加 Risø Planning & Development of Wind Farms 訓練」國外公差報告			
出國計畫主辦機關：行政院原子能委員會核能研究所			
出國人員	姓 名	單 位	職 稱
	蘇煒年	工程組	助理工程師
出國期間： 自 99 年 9 月 4 日至 99 年 9 月 25 日			
出國地點：丹麥			
出國報告書繳交日期： 99 年 10 月 25 日			
建 議 事 項 參 採 情 形			
項次	建 議 事 項	採 行 (請勾選)	存 查 (請勾選)
1	本所應積極建置小型風機設計認證標準評估程序，不論是協助廠商建置設計分析報告，亦或是能獲得授權審查設計分析報告，這兩項工作皆是本所必須努力的方向	✓	
2	應該積極建立垂直軸風機的分析技術，以及標準認證程序，以建立完整的小型風機認證平台。	✓	
3			
4			
出國人員 簽章	審 核	單 位 主 管 簽 章	

註：審核欄請各功能組組長用印，單位主管欄由督導副所長簽章

以中央預算出國者，請以系統識別碼將「出國報告之摘要部份」送上研考會網站 (<http://open.nat.gov.tw/OpenFront/RobtaFront/index.jsp>)，並下載列印。以委託計畫出國者，請用本格式。

附件 4

提 要 表

系統識別號：													
計畫名稱：	992001												
報告名稱：	「赴丹麥 DNV 公司研習及參加 Risø Planning & Development of Wind Farms 訓練」 國外公差報告												
計畫主辦機關：	行政院原子能委員會核能研究所												
出國人員：	<table border="1"> <thead> <tr> <th>姓名</th> <th>服務機關</th> <th>服務單位</th> <th>職稱</th> <th>官職等</th> <th>E-MAIL 信箱</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>蘇煒年</td> <td>核能研究所</td> <td>工程組</td> <td>助理工程師</td> <td>七等七級</td> <td>wnsu@iner.gov.tw</td> </tr> </tbody> </table>	姓名	服務機關	服務單位	職稱	官職等	E-MAIL 信箱	蘇煒年	核能研究所	工程組	助理工程師	七等七級	wnsu@iner.gov.tw
姓名	服務機關	服務單位	職稱	官職等	E-MAIL 信箱								
蘇煒年	核能研究所	工程組	助理工程師	七等七級	wnsu@iner.gov.tw								
出國地區：	丹麥												
參訪機關：	DNV，RISO，SAMSO Energy Academy												
出國類別：	實習												
出國期間：	97/9/4~99/9/25												
報告日期：	99/10/25												
關鍵詞：	風力發電，設計認證，離岸風電												
報告書頁數：	28												
報告內容摘要：	<p>Det Norske Veritas (DNV)是具世界級領導地位的認證機構之一，本所已與 DNV 公司簽訂合約進行 150 kW 風力發電機 IEC-61400-1 設計負載認證合作案，而位於丹麥之分公司專責離岸與風電相關產業設備等之認證工作；Risø DTU National Laboratory for Sustainable Energy 在風力發電研究上累積多年經驗與豐富研發成果，其發展之風能地圖分析、風力發電系統技術、離岸風電等技術已經成為國際間公認領導者。本次國外公差主要目的為赴 DNV 公司研習風力機設計分析與認證相關技術，並與 DNV 專家針對本所提出之 150 kW 風力機設計文件進行討論與問題解決，以及在 DNV 安排下前往 Risø DTU National Laboratory for Sustainable Energy 接受 Planning & Development of Wind Farms 訓練。</p>												
限閱與否：	(若為限閱，將不提供一般使用者查詢，只用於機關的查詢維護)												
專責人員姓名：	張曉傑												
專責人員電話：	03-4711400 轉 3028												

註：報告建議事項：限 100 個字以內