

GL Garrad Hassan



對UP1500及UP3000風力發電機的技术評審

客戶	國電科技環保集團股份有限公司
聯絡人	Sun Rui 女士
文件編號	106076/CR/02
版次	E
狀況	終稿
類別	接收人酌情決定
日期	2011年10月25日

作者： Lars Falbe-Hansen/Yun Zhao/  
Greg vander Toorn

覆核人： 潘偉平

批准人： Ross Walker

加勒德哈森(北京)技術服務有限公司

中華人民共和國北京朝陽區朝陽北路237號複星國際中心2608及2609室  
郵編：100020  
電話號碼：+86 10 6588 7055

**重要通知及免責聲明**

1. 本報告(「報告」)由加勒德哈森(北京)技術服務有限公司(「GH」或「加勒德哈森」)按名列本報告扉頁並已與德哈森直接訂立書面協議的客戶(「客戶」)制訂的指示編製及發佈，以供載入本招股章程，並僅供該客戶使用。該協議載有加勒德哈森須對客戶承擔的責任。加勒德哈森不會就本報告或第三方(即客戶以外的人士)以任何方式使用本報告而對第三方承擔責任，惟加勒德哈森與相關第三方訂立書面協議者除外。報告僅可根據文件分類及本報告及／或德哈森與客戶的書面協議所規定或提及的相關條件複製及傳播。除載入本招股章程外，未經加勒德哈森書面同意，不得於任何公開發售備忘錄、招股章程或聯交所上市文件、通函或公佈披露本報告的任何部分。文件分類許可客戶再派發本報告，並非意指加勒德哈森對客戶以外的任何接收人承擔任何責任。
2. 本報告乃按照本報告所提及與日期及期間有關的資料而編製。報告所載資料或會變動。

**文件分類方法**

嚴格保密	僅向客戶組織內的具名個人披露
私人及機密	僅向客戶組織內與本報告主題直接有關的個人披露
商業機密	不得披露予客戶組織以外的人士
僅GH可取閱	不得披露予非GH員工
客戶酌情決定	僅由客戶酌情決定資料分派(受上述重要通知及免責聲明規限)
公開	僅普通公眾可取閱資料(受上述重要通知及免責聲明規限)

© 2011 加勒德哈森(北京)技術服務有限公司

## 修訂歷史

版次	發佈日期	概要
A	2011年8月16日	初版(僅有電子版)
B	2011年9月13日	於客戶於2011年8月19日反饋及增加執行概要後的第一次修訂(僅有電子版)
C	2011年9月23日	於客戶於2011年9月14日反饋後的第二次修訂(僅有電子版)
D	2011年9月27日	最終版
E	2011年10月25日	於香港聯交所於2011年10月22日反饋後的最終版

## 目錄

封面 .....	V-1
免責聲明.....	V-2
修訂歷史.....	V-3
表格目錄.....	V-6
圖表目錄.....	V-6
執行概要.....	V-10
<b>1 緒言.....</b>	<b>V-15</b>
<b>2 公司簡介.....</b>	<b>V-17</b>
2.1 科環集團背景 .....	V-17
2.2 聯合動力背景 .....	V-17
2.3 生產線 .....	V-21
2.4 研究及開發 .....	V-22
2.5 渦輪機產能 .....	V-25
2.6 供應鏈 .....	V-28
2.7 質量控制 .....	V-31
2.8 售後服務 .....	V-32
2.9 公司總結 .....	V-33
<b>3 UP1500渦輪機.....</b>	<b>V-35</b>
3.1 渦輪機概述 .....	V-35
3.2 渦輪機技術 .....	V-37
3.2.1 轉子葉片.....	V-37
3.2.2 變槳系統及轉子輪轂.....	V-38
3.2.3 驅動鏈及齒輪箱.....	V-39
3.2.4 發電機.....	V-40
3.2.5 變頻器.....	V-41
3.2.6 偏航系統.....	V-42
3.2.7 塔架.....	V-42
3.3 渦輪機技術評估.....	V-42
3.3.1 認證狀況.....	V-42
3.3.2 併網.....	V-45

3.3.3	SCADA	V-48
3.3.4	避雷裝置	V-49
3.4	功率曲線	V-50
3.5	噪音	V-52
3.6	渦輪機的歷史表現	V-53
3.6.1	渦輪機經營記錄	V-53
3.6.2	渦輪機可利用率	V-53
3.6.3	渦輪機檢測	V-56
3.6.4	已知的技術問題	V-57
3.7	經過商業證明的技術評估	V-57
3.7.1	加勒德哈森方法	V-57
3.7.2	對UP1500的評估	V-59
3.8	渦輪機總結	V-60
<b>4</b>	<b>UP3000 渦輪機</b>	<b>V-61</b>
4.1	UP3000 DFIG渦輪機	V-61
4.1.1	渦輪機概述	V-61
4.1.2	渦輪機技術	V-62
4.1.3	渦輪機技術評估	V-64
4.1.4	渦輪機總結	V-65
4.2	UP3000 DD 渦輪機	V-65
4.2.1	渦輪機概述	V-65
4.2.2	渦輪機技術	V-66
4.2.3	渦輪機技術評估	V-69
4.2.4	渦輪機總結	V-69
<b>5</b>	<b>參考資料</b>	<b>V-70</b>
附錄一	IEC WT01：2001型式認證流程	V-73
附錄二	風電行業的永磁發電機	V-77

## 表格目錄

表2.1.....	中國最大製造商的裝機容量	V-19
表2.2.....	聯合動力目前的產品組合	V-21
表2.3.....	每年產能	V-26
表2.4.....	主要渦輪機製造商的供應鏈	V-29
表2.5.....	零部件供應商	V-30
表3.1.....	UP1500/77/82/86渦輪機概述	V-36
表3.2.....	UP1500技術與行業標準之比較	V-37
表3.3.....	CCS及CGC頒發之UP1500設計認證	V-43
表3.4.....	IEC IIIB、IIA及IIA等級條件	V-44
表3.5.....	溫度範圍	V-44
表3.6.....	UP1500電網運行準則主要要求概覽表	V-46
表3.7.....	2010年1月至2011年6月的18個項目的可用率	V-55
表3.8.....	檢測概要	V-56
表4.1.....	UP3000DFIG 概述	V-61
表4.2.....	UP3000 DFIG 渦輪機與行業標準之比較	V-62
表4.3.....	UP3000 DFIG 認證協議	V-64
表4.4.....	Up3000DD 概述	V-66
表4.5.....	UP3000 DD 與行業標準之比較	V-68
表4.6.....	UP3000DD 的認證協議	V-69

## 圖表目錄

圖2.1.....	聯合動力的合同額	V-18
圖2.2.....	聯合動力的組織結構圖	V-20
圖2.3.....	發動機艙最終測試	V-27
圖3.1.....	UP1500/77渦輪機	V-35

圖3.2.....UP1500主軸 V-39

圖3.3..... 擬實行的中國電網運行準則GB/T19963-20之故障穿越性能規定 V-46

圖3.4..... 德國海上裝機的故障穿越規定要求 V-48

圖3.5.....UP1500/77渦輪機的功率曲線和對應的功率效率曲線 V-50

圖3.6.....UP1500/82渦輪機的功率曲線和對應的功率效率曲線 V-50

圖3.7.....UP1500/86渦輪機的功率曲線和對應的功率效率曲線 V-51

圖3.8.....UP1500/82渦輪機的功率效率曲線 V-52

圖4.1.....UP3000DFIG 發動機艙設計結構 V-62

圖4.2.....UP3000DD 機艙設計 V-67

## 縮略語表

下表列示本報告所用的全部縮略語。

縮略語	涵義
ASL	海拔高度
CCS	中國船級社
CCSC	中國船級社認證公訂
CEPRI	中國電力科學研究院
CGC	北京鑒衡認證中心
國電集團	中國國電集團公司
CNAS	中國合格評定國家認可委員會
CNCA	中國國家認證認可監督管理委員會
重慶齒輪箱	重慶齒輪箱有限責任公司
CWEA	中國風能協會
DD	直驅
DDWT	直驅型風機
DFIG	雙饋感應發電機
FGD	煙氣脫硫
龍源電氣	國電龍源電氣有限公司
國電電力	國電電力發展股份有限公司
國電科環	國電科技環保集團股份有限公司
GFRE	玻璃纖維增強環氧樹脂
GHP	Garrad Hassan and Partner Limited
GL	德國勞氏船級社
加勒德哈森	加勒德哈森(北京)技術服務有限公司
聯合動力	國電聯合動力技術有限公司
HALT	高加速壽命測試
HKEx	香港聯交所
HRS	HRS Wind Power Technologies Ltd.
IE	獨立工程
IEC	國際電工委員會
IPO	首次公開發售
龍源	龍源電力集團股份有限公司
LRQA	勞氏質量認證有限公司



縮略語	涵義
LRQASH	勞氏質量認證(上海)有限公司
LVRT	低電壓穿越
LYC	洛陽LYC軸承有限公司
科技部	中國科學技術部
MTBF	平均無故障時間
NEB	國家能源局
南京高精齒輪	南京高精齒輪集團有限公司
南京汽輪電機	南京汽輪電機(集團)有限責任公司
O&M	經營及維護
OHSAS	職業安全衛生評價標準
PDCA	計劃、實施、檢查、調整
PMG	永磁發電機
PMSG	永磁同步發電機
R&D	研發
SCADA	數據采集與監視控制系統
SGCC	國家電網公司
SoC	合規聲明
UKAS	英國皇家認可委員會
WTG	風力發電機組
湘潭電氣	湘潭電氣設備製造有限責任公司
徐州羅特艾德	徐州羅特艾德回轉支承有限公司
浙江日峰	浙江日峰電器有限公司
ZVRT	零電壓穿越

## 執行概要

### 緒言

應國電科技環保集團股份有限公司(「國電科環」或「客戶」)的要求，加勒德哈森(北京)技術服務有限公司(「加勒德哈森」)對國電聯合動力技術有限公司(「聯合動力」)製造的UP1500及UP3000風機進行獨立技術評審。國電科環持有聯合動力70%的股份。

加勒德哈森的評審目的為就國電科環於香港聯合交易所(香港聯交所)的首次公開發售(IPO)而就UP1500及UP3000提供獨立意見。本報告呈列UP1500及UP3000風機獨立技術評審的調查結果及聯合動力的概要。

### 聯合動力概覽

聯合動力為較新的渦輪機製造商，於中國市場的風機開發、裝配、調試及維修方面擁有約五年的歷史。然而，當其開始風機業務時，聯合動力的前身已在改造熱電廠蒸汽輪機方面擁有超過12年的歷史，為其風機質量控制及服務奠定了基礎。

國電科環為聯合動力的主要股東，為中國國電集團公司(國電集團)的一間附屬公司，國電集團為一間大型國有發電企業，並擁有中國最大的風電場運營商龍源電力集團股份有限公司(龍源)。國電集團與龍源的關係有助於聯合動力進入中國及海外市場並使其具有於該等市場取得進一步增長的潛力。聯合動力於過往幾年一直致力於為其渦輪機產品構建可靠的往績記錄及加強其自主研發(R&D)能力。

目前，聯合動力已於其總部組建一支由118名員工組成的自主研發團隊。該團隊配有知名的軟件工具，包括用於FEM計算的Ansys軟件及用於渦輪機模擬及負載計算的GH Bladed軟件。該團隊已與Aerodyn共同完成UP1500風機的設計及本地化。聯合動力已於新產品開發、性能測量及認證方面與Aerodyn及Garrad Hassan and Partners Ltd (GHP)等領先的風電顧問合作以彌補其於該行業相對的經驗不足。在進行研發活動的同時，聯合動力亦投入資源管理其風機產品及技術的知識產權(IPR)，包括申請專利及版權。

聯合動力的產品組合包括1.5兆瓦系列產品(UP1500/70；UP1500/77；UP1500/82及UP1500/86)及新型3兆瓦雙饋感應發電機(DFIG)渦輪機，且截至2011年7月底，已安裝2,223台1.5兆瓦機組及1台3兆瓦樣機。此外，聯合動力正在開發三款新型渦輪機產品：2兆瓦DFIG渦輪機、3兆瓦直驅(DD)渦輪機及6兆瓦DFIG渦輪機。該等渦輪機中，3兆瓦DFIG及DD渦輪機以

及6兆瓦DFIG渦輪機將適用於海上用途。加勒德哈森認為該產品組合(包括現有及新開發產品)符合中國的行業慣例及市場發展趨勢。

國電聯合動力目前可自主承擔發動機艙、輪轂及控制板的裝配及葉片、齒輪箱及發電機的制造。聯合動力擁有三個營運中的渦輪機裝配基地，分別位於河北省保定、江蘇省連雲港及內蒙古赤峰。聯合動力的總裝配能力為每年3,900兆瓦。該等裝配基地亦生產轉子葉片。此外，國電聯合動力還擁有兩個營運中的組件生產基地，一個位於內蒙古包頭，製造齒輪箱(產能為400台/年)，另一個位於江蘇省宜興，製造發電機(產能為1,000台/年)。雖然聯合動力仍向外部供應商採購大部分齒輪箱及發電機，但加勒德哈森認為除渦輪機設計及組裝之外，聯合動力正尋求實行將主要部件垂直整合的策略。此舉乃根據許多業內領先者的慣例而作出。

聯合動力有自己的供應商選擇標準，且加勒德哈森發現聯合動力的渦輪機供應鏈乃根據行業慣例而管理。加勒德哈森已考察聯合動力位於中國河北省保定的生產設施。根據此次對車間的考察及與聯合動力員工的討論，加勒德哈森認為聯合動力有生產符合行業標準的風機所需的設備及工藝。

聯合動力及其三個營運中的渦輪機裝配基地各自持有質量管理證書。此外，聯合動力還持有環境管理及OHSAS證書。所有該等證書均處於有效期內。加勒德哈森認為聯合動力注重其生產工藝及質量管理系統，並因而令人信服聯合動力重視質量管理的各個方面。

聯合動力已建立龐大的渦輪機調試及服務團隊，其售後服務部擁有超過500名在職員工。聯合動力正提升其風電場運營及管理的能力，旨在為其客戶提供完整的解決方案。加勒德哈森認為此策略於業內屬普遍並由若干其他領先的風機製造商採納。

概括而言，聯合動力具備成為風電行業領先的風機製造商所需的大部分基本要素(渦輪機產品、自主研發、渦輪機裝配及主要部件生產設施、供應鏈管理、質量控制及售後服務團隊)。儘管聯合動力的渦輪機製造業務的歷史較短，國電聯合動力已於中國市場取得初步成功。加勒德哈森認為，儘管競爭日趨激烈，但倘聯合動力繼續有效執行其產品開發、供應鏈管理、服務及質量控制策略，聯合動力有於中國發展業務的巨大潛力。加勒德哈森注意到，聯合動力正於若干海外市場(包括南非及美國)開展業務，而其與龍源的關繫可令其進軍新市場。

## UP1500渦輪機

UP1500渦輪機為3葉片、橫軸、逆風並配以雙饋感應發電機的變槳調節渦輪機，可在額定速度±30%的可變速度範圍內運行。

UP1500渦輪機平台包括四款渦輪機型號：UP1500/70、UP1500/77、UP1500/82及UP1500/86。該等渦輪機大致相同，主要區別為轉子直徑以及其他相應修改，如轉速。設計風力等級須就各類渦輪機作出調整，以適應較大的轉子。裝載於轉子後面的四款渦輪機類似。

UP1500渦輪機乃基於廣為人知並已得到證實的設計理念而設計。UP1500/77及UP1500/82乃由Aerodyn及聯合動力合作開發。Aerodyn被視為提供風機設計服務的領先的諮詢公司之一。然而，UP1500/70及UP1500/86乃由聯合動力根據先前的設計自主開發。此外，聯合動力亦開發適應特殊地區條件(如高海拔及沿海地區等)的變異型產品。

聯合動力已取得中國船級社(CCS)及簽衡認證中心(CGS)發出的UP1500/77及UP1500/82設計證明，使其設計的渦輪機更為人信服。此外，聯合動力亦已就UP1500/77取得由德國勞氏船級社(GL)發出的C級設計證明，表明聯合動力的渦輪機已根據行業標準備有證明文件。C級設計證書現已屆滿，聯合動力正在向GL辦理A級設計評估。

加勒德哈森已審閱部分由中國電力科學研究院(CEPRI)為UP1500/82渦輪機發出的低電壓穿越(LVRT)證書。此外，加勒德哈森已審閱部分由GL Garrad Hassan Deutschland GmbH為UP1500編製的零電壓穿越(ZVRT)測試報告。CEPRI測試表明UP1500/82渦輪機符合中國現行的電網守則，而GL Garrad Hassan Deutschland GmbH測試確認其可達至較中國目前所需者更高的標準。

加勒德哈森發現UP1500渦輪機的功率曲線與中國市場上供應的其他1.5兆瓦渦輪機一致。

聯合動力自2009年起於相對較短的時期內已安裝數量可觀的UP1500渦輪機。根據聯合動力的資料，截至2011年7月底，已安裝或正安裝2,223台UP1500渦輪機，其中704台為UP1500/77型，1,344台為UP1500/82型，175台為UP1500/86型。

聯合動力提供的渦輪機可用性資料有限，且或不能代表UP1500渦輪機的全部機型。就UP1500各類型渦輪機(新渦輪機機型UP1500/70除外)而言，數據顯示，按聯合動力對可

用性的定義(與其他渦輪機供應商於渦輪機供應協議所定義者極為相似)，其營運時的平均可用性可達約98.4%。

根據聯合動力提供的資料，加勒德哈森發現UP1500/77及UP1500/82已證實可於中國作商業生產之用，而假設安裝繼續，UP1500/86不久將符合商業生產標準。

### UP3000 DFIG渦輪機

UP3000 DFIG為新設計的3.0兆瓦風機，由聯合動力在經驗豐富的國際設計諮詢公司GHP的支援下設計。渦輪機的初步設計工作經已完成，且開發認證階段已啟動。加勒德哈森已獲提供由聯合動力就UP3000海上渦輪機的有關認證而分別與CCS、CGC及GL簽署的三份協議。所有認證工作均在進行。

一台UP3000 DFIG樣機自2011年4月19日投入運營(陸上)。根據聯合動力的資料，該樣機已通過240小時可靠性測試，令吾等相信聯合動力已步入正軌。首個海上樣機正於山東省濰坊濱海風電場安裝。

UP3000 DFIG的設計表明該渦輪機將可滿足3.0兆瓦規模現代風機的要求。根據向加勒德哈森提供的資料，設計工作乃按照當前行業標準進行，然而，僅待完成渦輪機驗證及確認以及形成營業記錄後始能證實。

概述而言，UP3000 DFIG包含現代兆瓦級渦輪機慣用的若干理念及組件。該等渦輪機的整體設計理念已被證實屬可靠。然而，可靠性乃基於設計的個別詳情而釐定。最終確定渦輪機的可靠性僅可由營業記錄證實。

### UP3000 DD渦輪機

UP3000 DD為聯合動力及HRS Wind Power Technologies Ltd. (HRS)共同設計的3.0兆瓦渦輪機，而目前正處於開發階段。然而，就加勒德哈森所知，該渦輪機的初步設計工作尚未完成。加勒德哈森已獲提供由聯合動力就UP3000 DD海上渦輪機及UP3000 DD陸上渦輪機而分別與CCS及CGC簽署的兩份協議。所有認證工作均在進行。謹請垂注提供予加勒德哈森的有關UP3000 DD的資料有限。

加勒德哈森預期UP3000 DD使用樣機已於中國安裝的UP3000 DFIG的轉子、偏航系統及塔架設計。然而，其使用新的驅動鏈及座板設計以容納具全功率變流系統的多級變速永

磁發電機(PMG)，從而實現變速運行。與未採用全功率變流設計的渦輪機相比，全功率變流系統提供符合新(及更嚴格)電網代碼規定的更多選擇。

直驅渦輪機具有除去變速箱帶來的若干附加優勢。其整體部件較少，有潛力減少運行及維護成本。然而，迄今為止，直驅渦輪機的資本成本亦較可資比較齒輪減速渦輪機為高。

加勒德哈森提供的有關UP3000 DD設計方面的資料表明該款渦輪機可滿足現代3.0兆瓦規模風機的要求。然而，只有完成渦輪機驗證及確認後始能證實上述觀點。

概括而言，加勒德哈森認為UP3000 DD驅動鏈的設計理念符合風電行業的最新發展要求。渦輪機餘下部件的設計理念乃基於現代兆瓦級發電機慣用的理念及組件。然而，可靠性乃基於設計的各個個別詳情而釐定。最終確定渦輪機的可靠性僅可由營業記錄證實。

## 1 緒言

應國電科技環保集團股份有限公司(「國電科環」或「客戶」)的要求，加勒德哈森(北京)技術服務有限公司(「加勒德哈森」)對國電聯合動力技術有限公司(「聯合動力」)製造的UP1500及UP3000風機進行獨立技術評審。國電科環持有聯合動力70%的股份。

工作範疇見日期為2011年7月4日的加勒德哈森提案106070/CP/01 F版。

評審乃基於加勒德哈森透過下列方式取得的資料：

- 透過提案要求；
- 於2011年1月10日開始的一周與聯合動力進行的會議中取得；
- 於2011年1月11日對聯合動力的製造設施的參觀中取得；
- 於2011年1月12日對UP1500 (UP77)的視察中取得；及
- 於公共領域取得。

加勒德哈森的評審目標為因應國電科環於香港聯交所的首次公開發售(IPO)而就UP1500及UP3000風機提供獨立意見。

渦輪機技術規格乃使用可於公共領域取得或由發電機製造商聯合動力直接提供的產品資料而錄得。加勒德哈森對聯合動力提供的資料的準確性不承擔任何責任。然而，加勒德哈森已對資料的合理性進行測試，並將於本文指出任何明顯的誤差(如有)。

報告全文中的所有參考資料均以方括號(例如1)標出。參考資料清單亦於本報告末尾列出。

本報告呈列UP1500及UP3000渦輪機獨立技術審閱的調查結果以及聯合動力的概況。

### 加勒德哈森概述

加勒德哈森(北京)技術服務有限公司為 Germanischer Lloyd SE (GL) 集團公司的一個成員公司，並且為GL可再生能源諮詢業務的一部分，以GL Garrard Hassan 品牌開展業務。

儘管GL Garrard Hassan 名稱較新，但其業務已繼承GL可再生能源專家(包括 Garrard Hassan、Windtest、Helimax 及 Noble Denton)的豐富遺產。GL Garrard Hassan 提供一體化的全球服務，在全球逾40個地點擁有超過750名職員，提供整個項目周期內的服務及軟件產品。

GL Garrard Hassan 為領先的技術及工程服務、軟件產品及培訓供應商，除陸上及海上風電以外，業務範圍覆蓋快速發展的波浪、潮汐及太陽能領域。憑藉所擁有的近三十年的經驗，GL Garrard Hassan 對可再生能源技術、項目及市場擁有無比深刻的技術理解，且其客戶名錄包括絕大部分主要渦輪機製造商、開發商、出租人、投資者及擁有人。

GL Garrard Hassan 在提供獨立風能諮詢服務方面擁有豐富經驗，其豐富而深厚的項目周期經驗有助於根據實際項目提供優質情報。GL Garrard Hassan 擁有一支獨立工程(IE)團隊審查致力於開展盡職審查項目。GL Garrard Hassan 於廣泛應用風能、太陽能及海洋能技術的主要市場(全球範圍)擔任第三方顧問。以該等豐富的經驗為基礎，獨立工程團隊提供客戶需求的各種技術盡職審查服務。

#### 加勒德哈森的獨立性

GL加勒哈森並無於任何設備或項目擁有股權。該條運營規則為其經營原則的核心，令其從其他競爭者中脫穎而出並突出其獨立性。

所有服務及產品的詳情可於 [www.gl-garradhassan.com](http://www.gl-garradhassan.com) 查詢。



## 2 公司概況

### 2.1 國電科環背景

國電科技環保集團股份有限公司(國電科環)成立於2004年11月26日。其為中國國電集團公司(國電集團)的科技及環保附屬公司的綜合集團。科環集團內共有18家總註冊資本為人民幣15億元的控股及少數控股企業。然而，國電科環將其由國電集團全資擁有的控股狀態更改為由國電集團與國電電力發展股份有限公司(國電電力)共同擁有，國電集團持有51%的股份而國電電力持有餘下股份。國電科環就該變動於2011年5月16日再次登記，總註冊資本為人民幣48.5億元。國電集團是中國五大電力集團之一且其為國有企業。國電電力為一家於上海證券交易所掛牌上市並在中國的23個省份擁有電廠及附屬公司的發電公司。截至2010年底，國電集團持有國電電力51.72%的股份。

國電科環的主營業務包括兩個領域。一為可再生能源(包括風機及太陽能設備製造等)。另一個為熱電廠的節能及環保(包括煙氣脫硫(FGD)、脫銷、等離子體點火、空冷系統、電廠控制及廢水處理等)。

### 2.2 聯合動力背景

國電聯合動力技術有限公司(聯合動力)由國電科環及龍源電力集團股份有限公司(龍源)共同擁有，國電科環持有其70%股份而龍源持有餘下股份。龍源成立於1993年1月，其主營業務為發展可再生能源(如風能、太陽能、潮汐能、生物質能等)。其為中國最大的風電場運營商。龍源已於2009年12月於香港聯交所首次公開發售，國電集團為其控股公司。

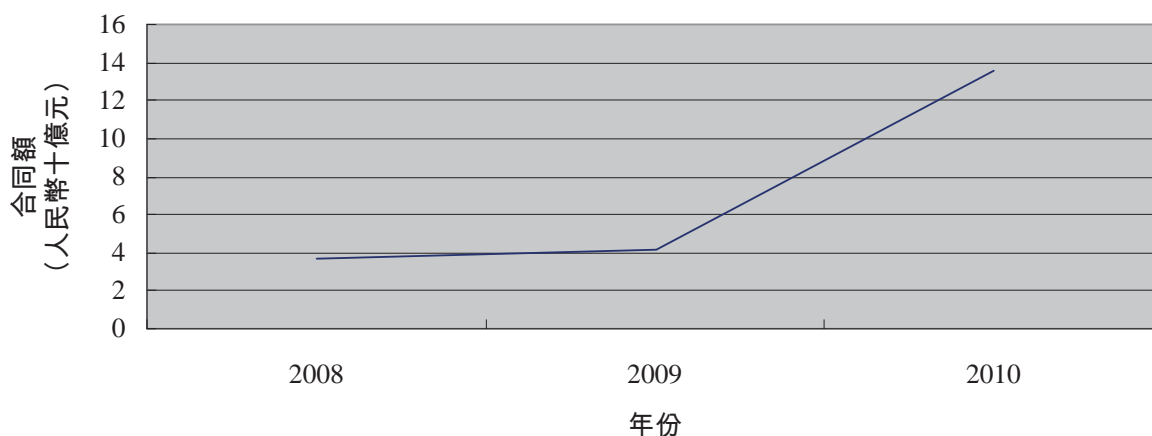
聯合動力的主營業務包括研究及開發(研發)風機及主要零部件、風機組裝以及風機及部件出售、安裝監督、調試、維護及售後服務。

聯合動力前稱龍威發電技術服務有限公司，為一家於1994年在中國成立的熱電廠汽輪機服務供應商；其於2006年通過與 Aerodyn 簽訂一份1.5兆瓦渦輪機技術轉讓合同進入發電機製造行業，Aerodyn 為德國一家知名渦輪機及轉子葉片設計諮詢公司。龍威經過重組並於2007年4月註冊成立為聯合動力，註冊資本為人民幣903百萬元。自其成立以來聯合動力已取得快速發展。以下呈列聯合動力的歷史概要：

- 2006年：與 Aerodyn 簽訂技術轉讓合同；
- 2007年：成立並建立保定基地；
- 2008年：生產第一百台1.5兆瓦風機；

- 2009年：國電電力烏力吉風電場的66台風力發電機全部通過240小時可靠性測試；
- 2009年：連雲港基地開始投入運營，宜興發電機廠開始施工；
- 2009年：赤峰基地開始投入運作，包頭齒輪箱廠竣工；
- 2009年：與加勒德哈森夥伴有限公司(GHP)簽訂3兆瓦 DFIG 風機設計合同；
- 2010年：1.5兆瓦渦輪機通過低電壓穿越 (LVRT) 測試，生產出3兆瓦風機樣機；
- 2010年：就海外市場試點項目簽訂合同；
- 2010年：榮獲「2010年德勒高科技、高成長中國50強」。

根據聯合動力，其於2008年、2009年及2010年的合同額(主要來自風機銷售)分別為人民幣36.72億元、人民幣41.64億元及人民幣136.04億元。圖2.1載列2007年至2010年合同額的增長情況。合同額自2009年風力發電機組實現批量生產後快速增長。於2011年8月中旬，合同額已超過去年此時的金額，達到人民幣105.89億元。



資料來源：聯合動力

圖 2.1 — 聯合動力的合同額

於2010年，中國為世界最大風機市場，估計新增裝機容量18.9吉瓦，累計裝機容量為44.7吉瓦<sup>1</sup>。以風機交付量計，聯合動力於2010年在中國市場排名第四，新增裝機容量

1,643兆瓦及累計容量2,435兆瓦。所有營業記錄均為1.5兆瓦渦輪機的營業記錄。表2.1載列於2010年中國十大風機製造商的裝機容量。請注意該等數字是指裝機容量，而非運營容量。

製造商	年底中國的累計交付容量(兆瓦)			於2010年 交付量 (兆瓦)
	2008年	2009年	2010年	2010年
	華銳風電.....	2,157	5,652	10,038
金風科技.....	2,629.05	5,351.05	9,078.85	3,735
東方電氣.....	1,290	3,328.5	5,952	2,623.5
聯合動力.....	—	<b>792</b>	<b>2,435</b>	<b>1,643</b>
明陽.....	175.5	895.5	1,945.5	1,050
Vestas.....	1,455.2	2,011.5	2,903.6	892.1
上海電氣.....	201.25	475.5	1,073.35	597.85
Gamesa.....	1,552.5	1,828.75	2,424.3	595.55
XEMC.....	128	582	1,089	507
瀋陽華創風能.....	—	198.5	682.5	486
其他製造商.....	2,564.5	4,690	7,111.19	2,411.99
<b>總計</b> .....	<b>12,153</b>	<b>25,805.3</b>	<b>44,733.29</b>	<b>18,927.99</b>

資料來源：中國風能協會 (CWEA)<sup>2</sup>

**表2.1 — 中國最大製造商的裝機容量  
(以截至2010年年底的總裝機容量計)**

聯合動力的總部位於北京，擁有人力資源、財務及資產、發展及營運、質保、信息、市場推廣及銷售、國際業務、項目管理、安全生產、採購、設備及物流管理、技術部以及其他支援部門等15個部門。此外，聯合動力擁有兩間研究所，即國電風電設備技術研究所及國電風電設備調試所。該等研究所分別進行渦輪機技術研發以及調試及運作。聯合動力的組織結構圖如圖2.2所示。截至2010年年底聯合動力已有超過4,000名員工。

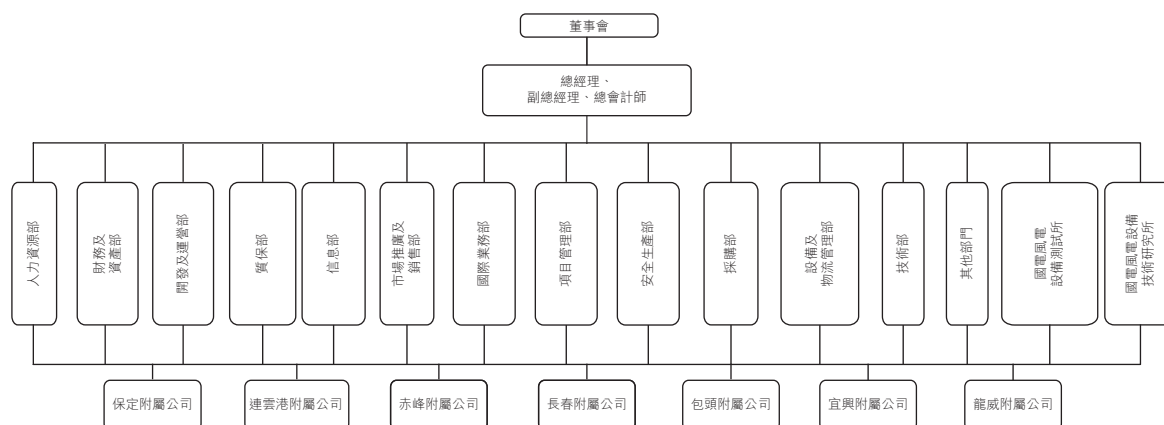


圖2.2 — 聯合動力的組織結構圖

聯合動力擁有五間全資附屬公司及三間控股公司。聯合動力已設立六個生產基地，分別位於河北省保定、江蘇省連雲港、內蒙古赤峰、吉林省長春、內蒙古包頭及江蘇省宜興。聯合動力可於保定、連雲港、赤峰及長春基地組裝渦輪機。然而，長春基地正在建設中並預期於2011年年底前竣工。此外，聯合動力可於包頭基地生產齒輪箱，可於宜興基地生產發電機，並可於保定、連雲港及赤峰基地生產葉片。根據聯合動力的資料，甘肅省九泉、山西省忻州、河北省張北及山東省沾化亦有基地正在開發。

目前，聯合動力的主營產品為UP1500/77/82/86型風力發電機組(WTGs)，各機組額定功率為1.5兆瓦。該渦輪機有由齒輪箱、雙饋感應發電機(DFIG)、變漿控制及雙主軸承組成的組合式驅動鏈。聯合動力與 GHP 的渦輪機集團於2009年簽訂一台UP3000型海上渦輪機的聯合渦輪機設計協議且一個樣機已安裝並正在調試。聯合動力目前亦開發配有永磁發電機(PMG)的UP2000 DFIG 渦輪機、UP3000直驅(DD)渦輪機及UP6000 DFIG 海上渦輪機。聯合動力已獲得由GL可再生能源認證部、中國船級社(CCS)、北京鑒衡認證中心(CGC)授出的若干渦輪機證書，亦正與上述機構辦理多項渦輪機認證工作。

根據中國風能協會的資料，以年度裝機容量計，聯合動力於2010年的市場份額為8.7%，於中國市場排名第四位。於2010年，根據聯合動力的統計，1,410台UP1500型發電機已安裝或正在中國安裝，且756台已連接到電網。截至2011年7月底，2,223台UP1500型渦輪機已在中國安裝。

### 2.3 生產線

聯合動力透過與 Aerodyn 簽訂的技術轉讓合同開始生產UP1500/77型渦輪機。自此以後，聯合動力已開發UP1500/82型及UP1500/86型渦輪機。其均以UP1500型渦輪機為平台但為不同變體。UP1500型渦輪機已於中國條件各異的大量地區(包括低風速地區、高海拔地區及沿海地區等)安裝。聯合動力根據地區不同條件的適用性已作出若干修改。為出口至北美及巴西等地區，聯合動力亦開發一台頻率為60赫茲的UP1500/82型渦輪機。

除UP1500型以外，聯合動力亦與GHP聯合設計開發UP3000 DFIG海上渦輪機，其樣機現正在調試中。聯合動力正在開發的新發電機型號包括UP3000 DD渦輪機、UP2000型DFIG渦輪機及UP6000型DFIG海上渦輪機。

聯合動力目前的產品組合載列於表格2.2。

聯合動力產品	額定功率	類型	IEC類別	附註
UP1500/70	1500千瓦	DFIG	IA	一個基於UP1500平台的新模型。處於生產階段。
UP1500/77	1500千瓦	DFIG	IIA	批量生產。根據與 Aerodyn 簽訂的技術轉讓合同而生產。
UP1500/82	1500千瓦	DFIG	IIIA	批量生產。根據與 Aerodyn 簽訂的技術轉讓合同而生產。60赫茲的變體可供出口。
UP1500/86	1500千瓦	DFIG	IIIB	批量生產。亦供應高海拔變體。聯合動力擁有其自主知識產權。
UP2000/96	2000千瓦	DFIG	IIIA	該樣機生產於2011年8月。聯合動力擁有其自主知識產權。
UP3000/100	3000千瓦	DFIG	IIA&IIIA	第一台於陸上安裝的樣機於2011年4月開始運作並通過240個小時的測試。聯合動力擁有其自主知識產權。
UP3000/100	3000千瓦	DD	IIA&IIIA	處於設計階段。聯合動力擁有其自主知識產權。
UP6000/136	6000千瓦	DFIG	IIA	處於設計階段。聯合動力擁有其自主知識產權。

表 2.2 — 聯合動力目前的產品組合

根據聯合動力的資料，UP3000 DD 渦輪機及UP6000型 DFIG 渦輪機的樣機預期將在今年內生產。

總之，聯合動力目前的產品組合有三個渦輪機平台。第一個平台為1.5–2兆瓦渦輪機。第二個平台為3兆瓦渦輪機。第三個平台為6兆瓦發電機。聯合動力現正對12兆瓦渦輪機的開發進行若干可行性研究工作。聯合動力的產品組合與中國若干其他領先渦輪機製造

商相似。聯合動力正開發3兆瓦 DD 渦輪機產品的事實表明，聯合動力正在探索除其現有產品所提供的齒輪驅動鏈配置外的直驅路線。

於本報告內，當討論泛指所有的變體時，渦輪機平台則將指UP1500或UP3000。具體渦輪機變體將根據聯合動力使用的命名法，UP1500/{轉子直徑}及UP3000/{轉子直徑}(例如UP1500/77及UP3000/100)而辨認。

## 2.4 研究及開發

聯合動力目前合共擁有118名僱員，包括在總部開展研發的20名博士及62名碩士。聯合動力亦擁有由中國可再生能源行業的25名專家組成的諮詢委員會，以參與確定主要研發方向、新產品開發及技術人員培訓等事項。

聯合動力就以下各項擁有七個內部研發團隊：

- 結構及載荷計算；
- 葉片；
- 電氣及控制
- 研發項目；
- 整合及標準化；
- 驅動鏈及整機；
- 發電機及電力儲存。

聯合動力告知加勒德哈森其已向中國科學技術部(科技部)風電設備及控制國家重點實驗室提出申請，並已於2010年1月取得批准。於2010年5月，科技部組織專家組檢驗該實驗室修建計劃的可行性，並隨後給予批准。目前該實驗室正於聯合動力的保定生產基地旁進行修建。

根據聯合動力，該實驗室進行的研發工作將側重於整機設計及模擬、驅動鏈疲勞及先進的生產技術、葉片及渦輪機控制，以及併網等方面。聯合動力亦告知加勒德哈森，北京風電設備可靠性工程技術研發中心已於2011年8月獲批。該中心進行的研發工作旨在提高風機及主要部件的可靠性。

風電設備及控制國家重點實驗室和北京風電設備可靠性工程技術研發中心均將進一步支持聯合動力的研發工作。此外，國電科環正開發位於內蒙古赤峰的風電場，其總容量為198兆瓦。加勒德哈森獲悉該電風場可用於測試新風機。

聯合動力與德國諮詢公司 Aerodyn 於2006年11月為開發1.5兆瓦渦輪機簽訂一份技術轉讓合同。第一台樣機於2008年5月調試。聯合動力已告知加勒德哈森該等渦輪機乃由 Aerodyn 及聯合動力的研發部合作開發。

Aerodyn 由工程師 Sönke Siegfriedsen 於1993年建於德國倫茨堡，且該公司之後參與了許多層次的眾多風機的開發，包括渦輪機整機設計、部件設計、載荷計算及認證工作。Aerodyn被視為提供風機設計有關服務的領先諮詢公司。

然而，有關 Aerodyn 實際參與具體的渦輪機或部件設計的可得信息非常有限。加勒德哈森認為這是理所當然，因為製造商通常不會披露他們在多大程度上使用諮詢公司。事實上，許多製造商把使用諮詢公司視為機密信息。

聯合動力於其研發中心使用知名的軟件工具，包括用於FEM計算的 Ansys 及用於渦輪機模擬及載荷計算的 GH Bladed。

研發中心已與 Aerodyn 完成UP1500渦輪機的聯合設計及本地化。於開發UP1500時，加勒德哈森獲悉 Aerodyn 已完成渦輪機的基本設計，亦獲悉聯合動力之後對該設計作了一些修改；該等修改包括：

- 啓用中國供應商供應主要部件 — Aerodyn 的初始設計依賴歐洲供應商；
- 優化發動機艙結構及減少重量；
- 把渦輪機中的三個變壓器重新設計為一個變壓器；
- 重新設計變換器的控制；
- 把齒輪箱冷卻系統從空氣 — 水 — 油系統重新設計為空氣—油系統；
- 根據 Aerodyn 輸入的信息設計防雷系統；
- 設計UP1500/86渦輪機的UP42葉片。

隨着安裝及運行的UP1500渦輪機越來越多，聯合動力在考慮到特殊的現場條件以及其客戶與電網公司的意見後對現場進行開發，包括：

- 升級轉矩控制策略；
- 升級偏航控制策略；
- 升級防雷系統電路；
- 升級 SCADA 的監視功能；
- 升級控制系統備用電源電路；
- 升級發動機艙和塔基的冷卻系統；
- 升級發動機艙加熱保護解決方案；
- 實現低壓穿越功能。

加勒德哈森認為這些基於運行渦輪機的升級措施有益於減少渦輪機故障及改善渦輪機可靠性。此外，聯合動力指定中國電力科學研究院 (CEPRI) 及 GL Garrad Hassan Deutschland GmbH 為開展UP1500性能測試(例如功率曲線、電力質量、低壓穿越及噪音)的第三方。

聯合動力於2009年與GHP簽訂了共同設計合同以開發UP3000 DFIG 海上風機。第一台陸地樣機已自2011年4月19日開始運行並已通過240小時的測試。第一台海上樣機正於山東省濰坊濱海風電場進行安裝。聯合動力已告知加勒德哈森該渦輪機乃由GHP與聯合動力研發部門合作開發。

聯合動力為其研發發展定下四個主要方向，加勒德哈森認為這四個主要方向在某種程度上代表風機技術的發展趨勢，包括：

- 風機控制及併網電力特徵；
- 海上風機的容量超過5兆瓦；
- 使用環境友好型設計及材料；
- 前端調速同步發電機及大型電力儲存系統。

聯合動力與主要的風力諮詢公司(包括 Areodyn 與 GHP)合作的策略，已彌補其就開發新風機產品而言有限的研發經驗。



聯合動力已建立知識產權管理體系及策略，並已為此安排專門人員。聯合動力積極向有關部門提交知識產權申請。此外，聯合動力還向員工提供知識產權知識的特殊培訓。迄今為止，聯合動力已申請近百項專利，並為其研發性能取得23項專利。

## 2.5 渦輪機產能

聯合動力進行發動機艙、輪轂及控制板的組裝且其依賴其供應鏈供應的多個主要渦輪機部件(葉片製造除外)。聯合動力亦有能力製造齒輪箱及發電機，但其直到今年才實現批量生產。目前國電聯合動力依賴外部供應商及其自身供應齒輪箱及發電機。

聯合動力擁有三個運行中的裝配生產基地，位於河北省保定市、江蘇省連雲港及內蒙古赤峰，主要進行1.5兆瓦WTGs的裝配。長春基地正在建設中且預期將於今年年底前竣工。根據聯合動力，總產能為每年3,900兆瓦。該等裝配生產基地亦生產葉片。聯合動力已獲當地政府授權於赤峰市發展容量超過500兆瓦的風電場，故於該市建立了赤峰基地。

聯合動力亦有兩個運行中的零部件生產基地，其中一個位於內蒙古包頭，用於生產齒輪箱(齒輪箱的產能為400台/年)；另一個位於江蘇省宜興市，用於生產發電機(發電機的產能為1,000台/年)。

運行中的聯合動力設備產能載列於表2.3。

基地	生產 類型	產能	產量				2011年 1月至 3月	渦輪機 類型	附註
			2008年	2009年	2010年				
保定	渦輪機*	1,500 兆瓦	100台	680台	900台	129台	1.5 兆瓦	UP37.5/40.25/42 葉片。	
	葉片	1,500 兆瓦	100套	332套	762套	185套	1.5 兆瓦		
連雲港	渦輪機*	1,200 兆瓦	—	80台	592台	53台	1.5&3 兆瓦	3兆瓦的產能將為 每年200台 UP37.5/40.25/42/50 葉片。	
	葉片	1,200 兆瓦	—	8套	475套	90套	1.5&3 兆瓦		
赤峰	渦輪機*	1,200 兆瓦	—	—	158台	36台	1.5 兆瓦	UP37.5/40.25/50 葉片。	
	葉片	1,200 兆瓦	—	—	202套	69套	1.5 兆瓦		
包頭	齒輪箱	400台	—	—	—	1台	1.5 兆瓦	預期將於今年年底前 實現批量生產。	
宜興	齒輪箱	1000台	—	—	—	90台	1.5&3 兆瓦		

1 根據聯合動力的資料<sup>3</sup>

2 \*指發動機艙和輪載

表2.3 — 每年產能

於2011年1月11日，加勒德哈森視察了河北省保定市的設備。發動機艙和輪載的裝配流程乃以廣泛應用於風電行業的工作站主構為基準。然而，流水線裝配主構有若干變動。聯合動力所使用的工作站如下：

- 驅動鏈組裝(註：供應的齒輪箱配備已安裝油潤滑系統)；
- 偏航系統組裝；
- 完整發動機艙組裝；
- 發動機艙的最終測試；
- 蓋子安裝；
- 輪載裝配並進行最終測試。

裝配基地有兩個工作站。於發動機艙及輪轂的最終工作站，聯合動力將於其準備運往站點及儲存在裝配大廳之前對已裝配的發動機艙及輪轂進行最終檢查。

發動機艙及輪轂的測試包括使用一個連接到總軸末端的驅動鏈的電動機檢查所有子系統的功能、發動機艙及輪轂的電氣連接及驅動鏈的旋轉。加勒德哈森認為發動機艙的最終測試符合行業標準。

聯合動力已告知加勒德哈森發動機艙測試台是設計用於測試滿功率最高達2.0兆瓦的發動機艙，且其正對新變體最初的三個發動機艙進行擴展性測試，或主要零部件的新供應。聯合動力向 GL GU 提供安裝在發動機艙內的新發電機4及變流器5的全功率測試報告樣本，該樣本證明聯合動力遵循其程序。該測試台如圖2.3所示。



圖2.3 — 發動機艙最終測試

於視察生產設備期間，加勒德哈森注意到車間的清潔符合行業標準，亦注意到聯合動力並無於裝配車間進行任何機械加工或焊接。

裝配過程的進料零部件儲存在裝配大廳的中心。根據聯合動力，其會對進料部件進行檢查，並實行一套體系確保裝配所使用的零部件次序與其到達聯合動力的次序一致。裝配大廳的庫存相對較小。然而，加勒德哈森並無發現進料零部件的任何額外庫存。

控制板的裝配是在一個獨立車間進行，且該車間的清潔符合控制板的裝配要求。

所有控制板(不管是在從聯合動力運往站點之前還是安裝在發動機艙之前)均要接受最終測試及檢查。所有控制板於運送之前均儲存在車間內。

加勒德哈森認為該生產設備的佈局與其他渦輪機裝配設備極為相似。總之，加勒德哈森認為保定的生產設備已具備所有確保產品質量及廠房生產效率所需的設備。然而，目前生產流程的若干優化或可使裝配效率更高。

於視察保定設備期間，加勒德哈森亦視察了葉片製造車間。聯合動力製造葉片的製造過程乃為真空灌注樹脂的方法；該過程常用於風能行業。

該葉片製造設備的設立與加勒德哈森於世界其他葉片製造設備所見的一致。聯合動力擁有可用於分析葉片製造(包括最終的層壓)中所使用材料的設備。因此，聯合動力應能保證其葉片的質量。

## 2.6 供應鏈

聯合動力目前能進行發動機艙、輪轂及控制板的裝機以及一些主要零部件(包括葉片、齒輪箱及發電機)的製造。然而，聯合動力亦向外部供應商採購齒輪箱及發電機且該種情況還將平日後繼續下去。聯合動力生產部分該等零部件的目的主要是支持聯合動力新渦輪機的研發。在此情況下，聯合動力能自行生產滿足新渦輪機發展特定要求的主要零部件並使主要零部件的維修及更換更為方便。加勒德哈森認為其有利於聯合動力研發進程及售後服務。

此外，聯合動力正與其他亦為國電科環的附屬公司的聯屬公司(如國電龍源電氣有限公司(GDLYEC)及華電天仁電力控制科技有限公司)合作。聯合動力從前者購買轉變流換器並與後者共同研究變槳控制控制器。

為比較聯合動力的生產策略，表2.4載列所有主要製造商的生產策略概要，其中涉及垂直整合公司(如 Enercon)到包括 GE，Repower 及 Nordex 等向第三方購入幾乎其所有零件的公司。

製造商	購買	自主生產		自主生產	
	所有零部件	部分 <sup>5</sup>	全部 <sup>6</sup>	部分	全部
Vestas			●		
GE	● <sup>1</sup>				
Enercon					●
Gamesa		○ <sup>4</sup>		●	
Suzlon			○	●	
Siemens			●		
Repower	○	●			
Nordex	○	●			
華兌風電		●			
金風科技	○ <sup>2</sup> →	⊙ <sup>3</sup>			
聯合動力		○→	⊙		

- 1 ● — 當前主要情況
- 2 ○ — 當前情況，但正在改變方向
- 3 ⊙ — 於未來幾年的預期情況
- 4 ○ — 之前的情況
- 5 部分表明製造商只製造其需要的一些零部件，而餘下的零部件則由下級供應商提供
- 6 全部表明製造商製造其需要的所有零部件

表2.4 — 主要渦輪機製造商的供應鏈

聯合動力實行一套供應商選擇標準。其規定潛在的供應商必須擁有至少三年的營業記錄且必須通過聯合動力質量部的質量系統評估、聯合動力技術部的技術及工藝評估及聯合動力採購部的商業能力評估。倘潛在的供應商能滿足該等要求，其能為聯合動力生產樣機。潛在的供應商只能於其樣機裝入風機並通過車間測試及現場測試後才被認為合格。

聯合動力擁有專門應對批量供應商的質量工程師。質量工程師於主要零部件運送至主要供應商設施前進行管理工作及監查主要零部件的製造及交付工作。對於主要批量供應商，聯合動力每六個月對其產品質量、工藝及質量管理系統進行審核。

GU GL認為聯合動力渦輪機供應鏈的管理符合行業慣例。

表2.5概述聯合動力主要零部件的供應商。

零部件	供應商			註釋
	1.5兆瓦	3兆瓦 DFIG	3兆瓦 DD	
葉片	<ul style="list-style-type: none"> <li>聯合動力</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>聯合動力</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>聯合動力</li> </ul>	UP37.5/40.25乃基於Aerodyn的設計。UP34/42由聯合動力設計。UP50由Windnovation與聯合動力共同設計。
變槳系統	<ul style="list-style-type: none"> <li>MOOG</li> <li>SSB</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>MOOG</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>Mita</li> </ul>	SSB、MOOG及Mita為經驗豐富的全球供應商。
齒輪箱	<ul style="list-style-type: none"> <li>南京高精齒輪</li> <li>重慶齒輪箱</li> <li>聯合動力</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>南京高精齒輪</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>不適用</li> </ul>	南京高精齒輪及重慶齒輪箱為中國風機製造商的兩大主要齒輪箱供應商。
發電機	<ul style="list-style-type: none"> <li>湘潭電氣</li> <li>南京汽輪電機</li> <li>聯合動力</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>湘潭電氣</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>聯合動力</li> </ul>	湘潭電氣為中國風機製造商的主要發電機供應商。加勒德哈森無有關南京汽輪電機用於風機的發電機方面的經驗。
變流器	<ul style="list-style-type: none"> <li>ABB</li> <li>浙江日峰</li> <li>龍源電氣</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>ABB</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>ABB</li> </ul>	ABB為經驗豐富的全球供應商。浙江日峰為浙江潤豐能源工程有限公司及日立集團的合資公司。龍源電氣為國電科環的全資附屬公司。聯合動力為其變流器的唯一客戶。加勒德哈森並無浙江日峰及龍源電氣方面的經驗。
主軸承	<ul style="list-style-type: none"> <li>SKF</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>SKF</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>SKF</li> </ul>	SKF為經驗豐富的全球供應商。
葉片軸承	<ul style="list-style-type: none"> <li>SKF</li> <li>徐州羅特艾德</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>徐州羅特艾德</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>徐州羅特艾德</li> </ul>	徐州羅特艾德為德國ThyssenKrupp AG (Rothe Erde GmbH) 及徐州工程機械集團註冊成立的合資公司。Rothe Erde為經驗豐富的全球回轉支承軸承供應商。
偏航軸承	<ul style="list-style-type: none"> <li>LYC</li> <li>徐州羅特艾德</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>徐州羅特艾德</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>徐州羅特艾德</li> </ul>	LYC為中國主要的軸承製造商之一。
控制器，硬件	<ul style="list-style-type: none"> <li>Beckoff</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>Bachmann</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>Mita</li> </ul>	Beckoff、Bachmann、Mita為經驗豐富的全球供應商。
控制器，軟件	<ul style="list-style-type: none"> <li>Aerodyn / 聯合動力</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>聯合動力</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>聯合動力</li> </ul>	

表2.5 — 零部件供應商

## 2.7 質量控制

龍威發電技術服務有限公司——聯合動力的前身，建立於1994年，為西屋和西門子的合資企業。其主要業務是並級汽輪機以提高其能源效率。聯合動力基於其前身的質量控制，就渦輪機的設計，供應鏈的控制，元件設計及生產、組裝及現場測試等遵循 PDCA 原則，即計劃、執行、檢查和調整。值得一提的是總部和其附屬公司均設有質量保證部門。

加勒德哈森獲得了一份ISO 9001：2008質量管理體系認證<sup>6</sup>，其中包括聯合動力設計、開發、銷售、安裝監督、調試、維修及售後服務、有關的技術及工程諮詢服務，以及風力發電機組系統塔架的生產監督的認證。此認證最初於2010年2月7日頒發給聯合動力，並且將於2013年2月6日到期。此認證是勞氏質量認證(上海)有限公司(LRQASH)代表勞氏質量認證有限公司(LRQA)頒發。

加勒德哈森也獲得了由LRQASH頒發的其他三份ISO 9001：2008質量管理體系認證。其中一份是頒發給聯合動力的保定附屬公司<sup>7</sup>，涵蓋風力發電機組的組裝、葉片及葉片模型的生產。此認證最初於2010年2月23日頒發給聯合動力並將於2013年2月22日到期。第二份是頒發給聯合動力的連雲港附屬公司<sup>8</sup>，涵蓋風力發電機組的組裝及葉片生產。此認證最初於2010年2月1日頒發給聯合動力並將於2013年1月31日到期。第三份是頒發給聯合動力的赤峰附屬公司<sup>9</sup>，也涉及到風力發電機組的組裝及葉片的生產。此認證最初於2011年1月26日頒發給聯合動力並將於2014年1月25日到期。所有該等認證都在有效期內。

加勒德哈森已經與聯合動力討論質量管理體系並在保定查看了發動機倉及輪載組裝過程的質量記錄。在參觀裝配車間的過程中，加勒德哈森清楚地看到質量管理體系已被施行。然而，加勒德哈森也注意到工作台上沒有備忘錄或工作簡介。

總之，加勒德哈森發現聯合動力的質量管理體系與國際行業標準一致，並且由勞氏質量認證有限公司頒發的體系認證亦使其更加令人信服。

加勒德哈森也持有來自聯合動力的ISO 14001：2004環境管理體系認證<sup>10</sup>副本。此認證乃由LRQASH於2011年1月6日頒發，有效期至2014年1月5日。此外，聯合動力已經依據BS OHSAS 18001：2007職業健康安全管理体系<sup>11</sup>得到認證。此認證由LRQASH於2011年1月6日頒發，有效期至2014年1月5日。

評估聯合動力的預期產品質量時，上述認證證明均不直接相關。然而，聯合動力已經獲得該等認證的事實表明，該公司重視生產工藝並且有能力為其取得證明文件。因此，聯合動力重視質量所有方面的事實令人信服。

## 2.8 售後服務

國電風電設備調試部屬於聯合動力，其負責渦輪機安裝監督、渦輪機調試及運行及維修以及數據采集與監視控制系統(SCADA)等相關軟件的開發。此外，調試部也制定一些涉及到其職能的管理、安全、質量、技術方面的規章制度，並監管其執行情況。基於聯合動力的策略，即加強風電場發展及風機運行及維修的能力以使聯合動力成為一個完整的風電解決方案供應商，今年將會從調試部分離出一個特殊的工程公司。將有七個分部分管綜合管理、安全與質量、設備管理、生產、工程管理、客服及業務開發。

聯合動力現有一隻由500名以上具備相關經驗的員工組成的服務團隊。其擁有一個配件儲存和供應的四級系統。第一級包括位於河北省保定的中心倉庫。第二級包括分別位於江蘇省連雲港、吉林省長春、內蒙古包頭及赤峰、河北省張北及新疆省阿拉山口的六個區域倉庫。第三級包括幾個集中風電場地區的倉庫。第四級包括獨立風電場的倉庫。加勒德哈森認為該四級系統足以支持聯合動力的運行及維修工作。

聯合動力開通了一個24小時的技術服務熱線，以確保配件及服務準時送達。其會給客戶的技術人員提供各種技術訓練，讓他們瞭解風力發電機組的技術性能。

其設有一個現場問題反饋系統。首先，現場工作人員把問題報告給調試部門的高級技術人員。如果他們無法解決，他們將報告給研發部及質量部來尋求解決方法。當找到解決方法後，調試部將在現場監管其執行情況。

依據聯合動力，其很注重新員工的在崗培訓。一般情況下，培訓包括三個部分，即安全與質量的學習、理論學習及實踐學習。新員工將就前兩部分接受兩個月的培訓，並就最後一部分在熟練工人的指導下在組裝工廠接受三個月的培訓。



由於 SCADA 系統乃由聯合動力自主開發，因此，其可根據客戶的要求及風力發電機組的實際運轉情況作出即時的調整及優化。

截至2011年4月16日，調試部已服務合共72個風電場。在這些風電場中有1900台風機已經安裝或正在安裝，依據聯合動力，其中1200台風機已經完成調試。

聯合動力向加勒德哈森提供從2008年到2011年銷量為前五名的客戶。然而，2011年的銷量並非全年數據，只涵蓋一月到七月期間。在該等客戶中，加勒德哈森發現大部分都是國電集團及龍源的附屬公司。這顯示出了聯合動力與其聯屬公司的緊密關係，該等聯屬公司為風電場開發商及國電集團和龍源的附屬公司。於2011年1月至7月，前五名客戶的銷量是519台，超過了2010年1月至12月的銷量429台。

## 2.9 公司總結

聯合動力為較新的渦輪機製造商，擁有約五年於中國市場開發、裝配、調試及維修風機的歷史。然而，聯合動力的前身擁有改造熱電廠汽輪機的超過12年的歷史，令其於開始風機業務時具有風機質量控制及檢修的基礎。

聯合动力的主要股東國電科環為中國國電集團公司(國電集團)的一間附屬公司，國電集團為一間國有大型電力企業，並擁有中國最大的風電場運營商龍源電力集團股份有限公司(龍源)。國電集團與龍源的關係或會有助於聯合動力進入中國及海外市場並於該等市場取得進一步增長。聯合動力於過往若干年一直努力為其渦輪機產品構建可靠的營業記錄，以及加強其自主研發能力。

目前，聯合動力已於其總部組建一支由118名員工組成的自主研發團隊。該團隊配有知名的軟件工具，包括用於FEM計算的Ansys軟件及用於渦輪機模擬及負載計算的GH Bladed軟件。該團隊已與Aerodyn共同完成UP1500風機的設計及本地化。聯合動力已於新產品開發、性能測量及認證方面與Aerodyn及Garrad Hassan and Partners Ltd (GHP) 等領先的風電顧問合作以彌補其於該行業相對的經驗不足。在進行研發活動的同時，聯合動力亦投入資源管理其風機產品及技術的知識產權 (IPR)，包括申請專利及版權。

聯合动力的產品組合包括1.5兆瓦系列產品(UP1500/70；UP1500/77；UP1500/82及UP1500/86)及新型3兆瓦雙饋感應發電機 (DFIG) 渦輪機，且截至2011年7月底，已安裝2,223台1.5兆瓦機組及1台3兆瓦樣機。此外，聯合動力正在開發三款新型渦輪機產品：2兆瓦DFIG

渦輪機、3兆瓦直驅 (DD) 渦輪機及6兆瓦DFIG渦輪機。該等渦輪機中,3兆瓦DFIG及DD渦輪機以及6兆瓦DFIG渦輪機將適用於海上用途。加勒德哈森認為該產品組合(包括現有及新開發產品)符合中國的行業慣例及市場發展趨勢。

聯合動力目前可自主承擔發動機艙、輪轂及控制板的裝配及葉片、齒輪箱及發電機的制造。聯合動力擁有三個營運中的渦輪機裝配基地，分別位於河北省保定、江蘇省連雲港及內蒙古赤峰。聯合動力的總裝配能力為每年3,900兆瓦。該等裝配基地亦生產轉子葉片。此外，聯合動力還擁有兩個營運中的組件生產基地，一個位於內蒙古包頭，製造齒輪箱(產能為400台/年)，另一個位於江蘇省宜興，製造發電機(產能為1,000台/年)。雖然聯合動力仍向外部供應商採購大部分齒輪箱及發電機，但加勒德哈森認為除渦輪機設計及組裝之外，聯合動力正尋求實行將主要部件垂直整合的策略。此舉乃根據許多業內領先者的慣例而作出。

聯合動力有自己的供應商選擇標準，且加勒德哈森發現聯合動力的渦輪機供應鏈乃根據行業慣例而管理。加勒德哈森已考察聯合動力位於中國河北省保定的生產設施。根據此次對車間的考察及與聯合動力員工的討論，加勒德哈森認為聯合動力有生產符合行業標準的風機所需的設備及工藝。

聯合動力及其三個營運中的渦輪機裝配基地各自持有質量管理證書。此外，聯合動力還持有環境管理及 OHSAS 證書。所有該等證書均處於有效期內。加勒德哈森認為聯合動力注重其生產工藝及質量管理系統，並因而令人信服聯合動力重視質量管理的各個方面。

聯合動力已建立龐大的渦輪機調試及服務團隊，其售後服務部擁有超過500名在職員工。聯合動力正提升其風電場運營及管理的能力，旨在為其客戶提供完整的解決方案。加勒德哈森認為此策略於業內屬普遍並由若干其他領先的風機製造商採納。

概括而言，聯合動力具備成為風電行業領先的風機製造商所需的大部分基本要素(渦輪機產品、自主研發、渦輪機裝配及主要部件生產設施、供應鏈管理、質量控制及售後服務團隊)。儘管聯合動力的渦輪機製造業務的歷史較短，國電聯合動力已於中國市場取得初步成功。加勒德哈森認為，儘管競爭日趨激烈，但倘聯合動力繼續有效執行其產品開發、供應鏈管理、服務及質量控制策略，聯合動力有於中國發展業務的巨大潛力。加勒德哈森注意到，聯合動力正於若干海外市場(包括南非及美國)開展業務，而其與龍源的關繫可令其進軍新市場。

### 3 UP1500渦輪機

#### 3.1 渦輪機概述

聯合動力UP1500渦輪機平台包括四款渦輪機型號：UP1500/70、UP1500/77、UP1500/82及UP1500/86。該等渦輪機大致相同，主要區別為轉子直徑以及其他相應修改，如轉速。設計風力等級須就各類渦輪機作出調整，以適應較大的轉子。裝載於轉子後面的四款渦輪機類似。

UP1500渦輪機為三葉片、橫軸、逆風、變槳調節的渦輪機，配有可提供一般風速±30%範圍變速運作的雙饋感應發電機。UP1500/77的圖像載列於圖3.1。



圖3.1 — UP1500/77渦輪機

UP1500渦輪機的若干基本特徵已被確認為行業標準，包括電動變槳控制及變速雙饋感應發電機。

UP1500的三個機型UP1500/77、UP1500/82及UP1500/86適用於中低風速電場，例如UP1500/77適用於IEC IIA類風、UP1500/82適用於IEC IIIA類風及UP1500/86適用於IEC IIIB類風。UP1500/70適用於IEC IA級高風速電場。然而，UP1500/70為開發中的新機型。因此，UP1500/77、UP1500/82及UP1500/86目前為聯合動力UP1500產品中的三個主要機型。下述說明及評論以該三個主要機型為基準。

除UP1500的三個主要機型外，亦有能適用於特殊場地條件的機型。

可於最高至4,000米海拔(海拔)處安裝的高海拔機型為UP1500/86，其對電子元件的設計加以修正以彌補空氣稀薄處空氣下降的冷卻效果。應當注意的是現今大部分渦輪機僅適合於最高至1,000米海拔處安裝。

適用於沿海城市的機型UP1500/77、UP1500/82及UP1500/86已提高防腐保護及修正發動機艙的通風設備以確保流入發動機艙的空氣均已過濾。該等機型亦包括對其發電機及齒輪箱的冷卻系統的修正，確保冷卻該等部件所需的空氣無須從發動機艙通過。

UP1500/77、UP1500/82及UP1500/86適用於50赫茲電網。然而，UP1500/82亦有可安裝於北美等使用60赫茲電網的國家的60赫茲機型。

表3.1呈列UP1500/77、UP1500/82及UP1500/86渦輪機的主要特點摘要。

機型	UP1500/77	UP1500/82	UP1500/86
輪載高度.....	65米及75米	65米及80米	75至80米
轉子直徑.....	77米	82米	86米
額定功率.....	1500千瓦	1500千瓦	1500千瓦
IEC分級.....	IIA	IIIA	IIIB
轉子葉片數目.....	3	3	3
轉子方向.....	逆風向	逆風向	逆風向
轉子傾斜度.....	5°	5°	5°
轉子圓錐度.....	3.5°	3.5°	3.5°
功率調節.....	葉距及可變轉速	葉距及可變轉速	葉距及可變轉速
轉速.....	9.7至19.5轉/分	9.7至19.5轉/分	9.7至19.5轉/分
額定功率下的轉速.....	17.4轉/分	17.4轉/分	17.4轉/分
葉片供應商.....	聯合動力	聯合動力	聯合動力
	類型：UP37.5	類型：UP40.25	類型：UP42
發電機供應商.....	湘潭電氣	湘潭電氣	湘潭電氣
	DFWG-1500/4 12	DFWG-1500/4 13	DFWG-1500/4 14
齒輪箱供應商.....	南京高精齒輪	南京高精齒輪	南京高精齒輪
	PPSC1290MY 12	PPSC1290MY 13	FD1660 14
塔架.....	鋼管	鋼管	鋼管

表3.1 — UP1500/77/82/86渦輪機概述

聯合動力1.5兆瓦渦輪機平台包含適用於各類場地條件的渦輪機類型。

### 3.2 渦輪機技術

渦輪機完全沿襲常規：轉子利用三個擺環結構的變槳軸承與鑄塑球面輪轂相連接。轉軸由鍛鋼製成，並為兩個主軸承球面滾子所支撐。座板乃為焊接結構。發電機位於座板後方。一切主要電氣設備，包括變流器及變壓器，均位於塔架的底部。

子系統／組件	經標定之 行業概念
轉子葉片.....	✓
輪轂.....	✓
變距系統.....	✓
主軸／軸承.....	✓
齒輪箱.....	✓
發電機.....	✓
變流器.....	✓
偏航系統.....	✓
塔架.....	✓
控制系統.....	✓

表3.2 — UP1500技術與行業標準之比較

如上表3.2所示，用於UP1500渦輪機的概念乃以於風能行業經標定之技術為基準。

關於渦輪機組件的進一步詳細說明於下文各節呈列。

#### 3.2.1 轉子葉片

UP1500/77 (UP37.5)及UP1500/82 (UP40.25)的葉片乃由 Aerodyn 設計。Aerodyn 歷年已設計大量不同葉片(從20千瓦渦輪機的小葉片至5.0兆瓦渦輪機的大葉片)。然而，UP1500/86 (UP42)的葉片乃由聯合動力設計。

葉片結構由兩片玻璃纖維增強環氧樹脂 (GFRE) 所製成的縱向連結板組成。該葉片的兩片連結板使用夾層結構，實心為聚氯乙烯塑料泡沫及 GFRE；上述大小的葉片通常使用該種設計。

該等葉片乃由聯合動力生產，所用生產工藝是風電行業生產葉片常用的真空導入樹脂法。

GL 根據《勞氏風機認證指南》(2003年版，2004年增刊)，UP37.5及UP40.25的葉片已由GL15,16認證。加勒德哈森認為葉片認證使其結構設計更加令人舒服。該文據之由德國

勞氏船級社根據IEC TS 61400-23審閱的部分為靜載實驗所得的實驗結果。GL Renewable Certification 亦見證了此實驗。然而，疲勞載荷實驗 — 一般根據「風力發電機組 — 第23節：轉子葉片全尺度結構實驗，2001-04」進行實驗 — 尚未對UP40.25葉片進行實驗。加勒德哈森告知，儘管設計指引並無作出特別建議，但葉片疲勞測試與行業最佳做法一致，且一般由頂級國際渦輪機供應商進行。

葉片設計中進行的疲勞載荷試驗乃為驗證與波動載荷有關的葉片的結構強度而進行，葉片於渦輪機運轉期間受其影響。波動載荷的故障機制不同於靜態載荷(極端載荷)的故障機制。因此，標準靜態極端載荷測試不能暴露葉片結構設計中與經受波動載荷(疲勞載荷)的能力有關的缺陷。因此，未進行疲勞載荷測試的葉片因疲勞載荷出現故障的風險較高。

然而，疲勞載荷測試傷財耗時。進行疲勞載荷測試一般需時3至6個月。加勒德哈森注意到，儘管疲勞載荷測試為國際葉片製造商一般慣例，但其並非中國葉片製造商的一般慣例，且中國目前的技術標準並未強制要求進行該等測試。然而，加勒德哈森建議就任何葉片設計進行全面的疲勞載荷測試，但加勒德哈森認為GL的葉片認證提升客戶對其結構設計的信心。根據國電聯合動力的資料，迄今為止，並未由於未開展疲勞載荷測試而報告任何問題。

有關UP42葉片的資料相當有限，且加勒德哈森並不知悉該葉片設計正進行認證及測試。

### 3.2.2 變槳系統及轉子輪載

UP1500渦輪機使用雙行四點接觸球以將葉片連接至輪載。傳動裝置及變槳軸承須手動塗上潤滑油，並須每隔6個月重新潤滑。現代渦輪機一般為變槳軸承裝備自動潤滑系統，以始終保證變槳軸承適當的潤滑性。根據聯合動力，對渦輪機而言，自動潤滑系統為可選項。

葉片狀況由三個電動機控制，每個電機對應一個葉片。於正常運行狀況下，當渦輪機連接至電網時，電網向電動機提供動力。倘出現電網損耗或緊急制動，則透過一組電池或各電動機的超級電容器提供電力。

UP1500渦輪機採用獨立、電動葉片距驅動。該概念目前於大型變槳渦輪機較為常見。儘管可獨立調節葉片，但發送至各驅動電動機的控制信號相同。

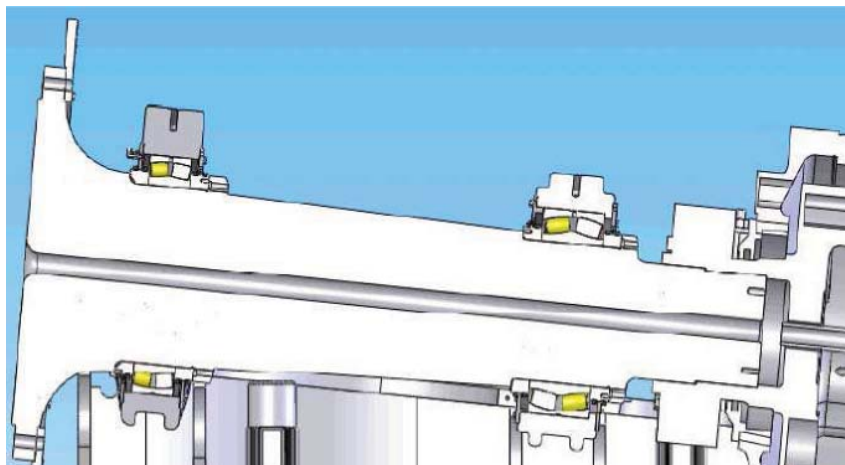
變漿系統亦為渦輪機提供主要的制動來源，而獨立變漿容量則提供必需的冗餘。就此型號的渦輪機而言，上述一般被視為標準慣例。

輪載為機械鑄件。

變漿系統電動機及有關控制的供應商為 Lust DriveTronics GMBH(現由 MOOG, Inc. 擁有)或SSB。SSB及Lust均為經驗豐富的風電行業電動變漿系統的供應商。

### 3.2.3 驅動鏈及齒輪箱

UP1500渦輪機使用普遍的軸支撐裝置，如圖3.2所示利用兩個球面滾子軸承(一個位於轉子末端，另一個位於齒輪箱)。前面的軸承乃非固定軸承，即後面的軸承將承受渦輪機轉子的全部軸向載荷。此概念符合風機設計並經驗證。



1 來源：聯合動力17

圖3.2 — UP1500主軸

主軸承使用手動塗上潤滑油，並須每隔六個月重塗潤滑油。現代渦輪機一般為主軸承裝備自動潤滑系統，以始終保證主軸承適當的潤滑性。根據聯合動力，自動潤滑系統為可選項。

齒輪箱有三個階段。高速(或輸出)階段為平行軸式。兩個低速階段為行星式。齒輪箱由南京高精齒輪製造。

齒輪箱須強制潤滑。齒輪箱配有齒輪箱油冷卻及過濾系統，內置10/50微米的在線過濾器。就標準而言，齒輪箱並不裝備於行業中日益普遍的離線過濾系統。然而，離線過濾系統乃可選項。加勒德哈森建議UP1500渦輪機的潛在客戶接受該項選擇，因為齒輪箱的清潔程度提高時，齒輪箱的可靠性也隨之增加。

根據ISO4406：1999，渦輪機運行期間齒輪箱油的預期清潔程度為17/15/12，符合行業標準的範圍。然而，聯合動力尚未向加勒德哈森提供渦輪機運行資料以證實該情況。

作為聯合動力滿載測試站(見2.6節)的自身設計認證流程的一部分，聯合動力已進行齒輪箱測試，包括若干載荷步驟(最高至額定功率)的下列測試：

- 輪齒接觸斑點；
- 潤滑測試；
- 溫度測試。

車間測試與行業標準大致相符。近幾年，若干生產商已引進加速壽命測試，該項測試並非為聯合動力所進行車間測試的一部分。上述高加速壽命測試(HALT)或包括：

- 齒輪箱於高扭力水平下運行；
- -200%至300%範圍的載荷峰；
- 無故障持續測試約500小時；
- 眾多測量渠道(約60個)；
- 頻繁的視查及油品取樣(如每隔80小時)；
- 於160小時及320小時進行齒輪箱內視鏡檢查；
- 經測試及詳細檢查後進行拆卸。

加勒德哈森認為HALT有利於加強設計的可靠性。然而，齒輪箱HALT並非渦輪機認證的必要條件。其對新推出的渦輪機及／或齒輪箱具有重大意義。倘已有渦輪機運行往績記錄，該測試的重要性則減弱。

UP1500的冷卻系統最初被設計為油—水—氣冷卻系統。然而，聯合動力已對油—氣系統的設計進行修改。



### 3.2.4 發電機

UP1500使用裝備繞線轉子及滑環的高速雙饋發電機。該發電機乃目前於風電行業最普遍的發電機型號，其技術、設計及製造均已為人們所熟識。

轉子通過滑環連接至變流器。該發電機裝置從根本上較簡單的感應發電機缺乏可靠性，主要由於滑環及相關刷子的不可靠性。刷子須耐磨，並須進行調試及清潔。然而，滑環的設計正在提升，其大幅改善後將可提供可靠的服務。

發電機供應商之一為湘潭電氣，其供應型號為DFWG-1500/4。

發電機冷卻系統為氣-氣熱交換器系統。發電機的下罩內有發電機的活躍電器部件以及定子及轉子。發電機的頂部為外殼，包括管道指向發電機軸向的熱交換器。內部冷卻空氣回路內的空氣將不會直接與外界空氣接觸；該概念普遍存在並已獲證實。

據加勒德哈森所知，發電機樣機已根據行業標準進行車間測試。

### 3.2.5 功率轉換器

UP1500的功率轉換器位於渦輪機塔架底部的平台上。將功率轉換器放置在塔架底部的優點為易於保養及維修；該優點意義重大，因為轉換器為故障多發點，並為現代風機故障的誘因。將轉換器放置於塔架底部亦可規避底艙現時產生的震動。

將轉換器放置於塔架底部的不足之處在於兩套三相(低電壓)電纜(就定子及轉子回路而言)須由發電機流經塔架。儘管其導致大量軟電纜流經塔架，該類設計於行業中相當普遍，並利於採購商規避重大風險。

加勒德哈森知悉轉化器將由於風電行業被視為經驗豐富的供應商ABB提供。僅請垂注國電聯合動力聲明亦與其他合資格供應商合作。

轉換器乃透過塔架中的空氣啟動空對空冷卻系統進行冷卻。該系統可應用於高溫環境的冷卻問題。

如上文所述，功率轉換器通常導致眾多渦輪機故障。然而，大多轉換器的故障可透過更換電路部件解決。因此，倘恰當的保養供應商持有充足的零件，將不會導致重大故障的停機時間。

### 3.2.6 偏航系統

迴轉支承軸承(四點接觸球軸承)用於連接塔架及機台板(焊接結構)。軸承使轉子定位於迎風風向。四個裝備電動機制動器的電力齒輪傳動電動機控制渦輪機的方向。

除偏航電動機的制動器外，亦有十個被動制動器作用於制動盤(安裝於塔架頂部)以於渦輪機並無偏航時維持發動機艙的狀況。此乃標準配置。

齒輪傳動及偏航軸承須手動塗上潤滑油，並須每隔6個月重新潤滑。現代渦輪機一般為偏航軸承裝備自動潤滑系統，以始終保證變漿軸承的潤滑性。根據聯合動力，對渦輪機而言，自動潤滑系統為可選項。

偏航軸承由LYC供應，而偏航制動器由Svendborg Brakes供應。謹請垂注聯合動力聲明其亦可與其他合資格供應商合作。

### 3.2.7 塔架

UP1500使用輪載高度分別為65、75及80米的鋼管塔架，視乎渦輪機的類型而定。塔架為鋼管式結構，與其他渦輪機生產商供應的塔架類似，且符合行業標準。

變流器、總開關及操作室位於塔架的底部。主變壓器按標準被放置於塔架外的一幢小樓宇內。此外，聯合動力亦可提供變壓器位於塔架底部的塔架設計。然而，聯合動力預期該情況可能須考慮變流器的額外冷卻。

此外，聯合動力亦可提供配有升降機的塔架。加勒德哈森建議任何渦輪機的潛在買家確認，渦輪機的設備配置符合當地衛生安全要求。

## 3.3 渦輪機技術評估

### 3.3.1 認證狀況

就認證而言，國際上通常使用三個設計等級，即國際電工委員會標準IEC 61400-1下之I、II及III級。I級的平均風速為10米/秒，最為嚴峻，II級的平均風速規定為8.5米/秒，III級的平均風速則為7.5米/秒。

UP1500/77/82/86持有之IEC風級設計認證乃由中國船級社(CCS)及北京鑒衡認證中心(CGC)根據CCS及CGC風力發電機組系統之規定而頒發，如表3.3所示。

型號	輪轂高度	IEC風級	頒發機關	頒發日期
UP1500/77	65米	IEC IIA	CCS	2011年5月20
UP1500/77	65米	IEC IIA	CGC	2009年9月21
UP1500/77	75米	IEC IIA+ <sup>1</sup>	CCS	2011年5月12
UP1500/82	65米	IEC IIIA+	CCS	2011年5月13
UP1500/82	80米	IEC IIIA及IEC IIIA+	CCS	2011年5月18、19
UP1500/86	78.744米	IEC IIIB	CGC	2010年9月14

1 +指最高風速已納入認證範圍，與標準IEC定義的比較見表3.4。

**表3.3 — CCS及CGC頒發之UP1500設計認證**

CCS為獲國際組織及政府授權的專業國際檢驗機構，透過對船舶、海上設施及其他地面工業產品提供技術規範及標準，為運輸、海上開發、能源、製造、服務、貿易及保險行業提供檢驗、認證及技術服務。中國船級社質量認證公司(CCSC)經營陸上檢驗及認證業務。

CCSC成立於1992年，並由中國國家工商行政管理總局正式登記以承擔管理體系認證業務，為中國最早的認證機構之一。其已獲中國國家認證認可監督管理委員會(CNCA)批准，並經中國合格評定國家認可委員會(CNAS)及英國皇家認可委員會(UKAS)認可。自其於2008年4月進行重組後，其已完全四大主要業務的整合，即體系認證、產品認證、公業產品檢驗及集裝箱檢驗。CCS擁有其自身的認證規則——風機標準，大致與IEC 61400一致。

CGC成立於2003年，以中國國家質量監督檢驗檢疫總局管轄下的中國計量科學研究院為依托。CGC擁有其自身的認證規則，亦使用GL認證指引。

UP1500/77(輪轂高度為65米)已根據WT01:2001設計評估、型號測試及生產評估標準自CGC 21取得認證。根據WT01:2001，以上為取得全型式認證所需的全部認證。因此，加勒德哈森認為即使該認證並無明確說明，但該項認證仍等同於型式認證。UP1500/77型式認證對應IIA風級，惟運行及極端氣溫範圍根據寒冷氣候條件而有所擴展。該項認證於2009

年9月發出。根據IEC規則(設計認證僅為其中一部分)，型式認證為最高級認證。渦輪機的全型式認證最令人信服。

型式認證計劃(根據IEC WT01：2001)分為三個必選部分及兩個可選部分。就以上各部分取得認證屬可能。IEC WT01：2001認證計劃的描述載於附錄一。

聯合動力已就輪總高度為65米(就IEC風力IIA級條件而言)的UP1500/77取得由GL旗下可再生能源認證部22根據勞氏風機認證指南(2003版)發出的C-設計認證。GL指南乃基於設計認證的IEC標準IEC61400-1。以上內容使得該渦輪機乃根據IEC標準設計的說法更加令人信服。然而，謹請垂注C類設計認證僅對渦輪機樣機的安裝有效。GL認證乃於2009年2月發出，有效期僅至2011年2月，即該渦輪機滿載運行4,000小時後止。

根據聯合動力，其已就A-設計認證及UP1500/77型式認證與GL旗下的可再生能源認證部簽訂IEC IIA條件合約。此外，DEWI正於阿拉山口就UP1500/77型式認證進行測試。聯合動力正協助GL旗下的可再生能源認證部進行A-設計評估，並預期將於2011年年底前取得有關認證。

IEC IIIB、IIIA及IIA級設計條件於表3.4呈列：

參數	IIIB級	IIIA級	IIIA+級	IIA級	IIA+級
平均風速(米/秒).....	7.5	7.5	7.5	8.5	8.5
最高風速(米/秒).....	52.5	52.5	59.5	59.5	70.0
湍流(%).....	16.0	18.0	18.0	18.0	18.0
密度(千克/立方米).....	1.225	1.225	1.225	1.225	1.225
風流角度(度).....	8	8	8	8	8

表3.4 — IEC IIIB、IIIA及IIA等級條件

由GL、CCS及CGC頒發的有關UP1500渦輪機的設計認證可極大程度令人信服。

UP1500渦輪機乃根據表3.5所示有關溫度的條件而設計，CCS頒發的渦輪機認證已包括該等溫度條件。

	UP1500	IEC範圍
運行溫度範圍.....	-30°C至+40°C	-10°C至+30°C
待機溫度範圍.....	-40°C至+50°C	-20°C至+40°C

表3.5 — 溫度範圍

### 3.3.2 併網

UP1500渦輪機為使用雙饋感應發電機的全跨度變槳調節渦輪機。也就是說，渦輪機(部分)的速度可變，且其發電機轉子回路部分使用部分額定(交流電到直流電到交流電)的功率轉換器。發電機定子仍直接連接至電網。

雙饋結構電機於近幾年普遍存在，並可能經進行若干調整而靈活迎合大多電網運行準則的規定。

用於評估渦輪機電網運行準則兼容性的主要技術資料來源為風機規格23，以及電力質量24及低電壓穿越25測試證書。塔架質量證書有關聯合動力UP1500/77-IIA風機，而故障穿越證書則有關UP1500/82渦輪機測試。雖然測試報告乃關於兩種不同的渦輪機型號，即UP1500/77及UP1500/82，但加勒德哈森發現該等渦輪機為同一產品的衍生產品，且擁有相同的驅動鏈設計及類似的控制器設計，因此，可假定該等結果即代表UP1500系列的預期性能。

中國電力科學研究院(CEPRI)於2009年年末及2010年年初對UP渦輪機進行測試，並已發出有關證書。CEPRI成立於1952年，為中國電力行業的一個多學科、綜合性的研究機構，並為中國國家電網公司(SGLC)的附屬研究機構。其研究領域包括發電、傳輸、分配、電力供應與使用、電力工程設計、施工、調試、運行、監控及維修以及可再生能源等。可再生能源研究所乃CEPRI的研究所之一，於1994年成立。其為中國最早的風能研究所之一，目前擁有四個部門，即電網連接研究部門、資源評估部門、可再生能源發電部門及太陽能部門。

CEPRI近幾年一直在建設風機測試設備。其現時可對電力質量、低電壓穿越及噪聲等進行測試。佔地面積為24.6平方千米的風電技術與檢測研究中心已於河北省張北縣成立。其現為中國最大及最先進的試驗中心。然而，加勒德哈森在CEPRI方面的經驗僅限於中國。

變流器為ABB的ACS800-67模型，其有源開關已用於若干風機DFIG裝置。ABB被認為該項技術應用方面的世界領先者之一。加勒德哈森認為使用ABB變流器及有源開關技術設計的渦輪機足以滿足與電力驅動性能(如電力品質及故障穿越等)有關的現代電網要求。

表3.6概述UP1500渦輪機有關電網運行準則25及其他可識別事宜的能力。

電網運行準則要求	注釋
功率控制	可以。(待確認風電場控制系統。)
緩變率	可以。渦輪機最高緩變率為額定功率/秒的15%。
提供無功功率	可以。PF範圍為電容性的0.95(超前)至電感性的0.95(滯後)之間。
電壓控制	本應可以，惟須提供風電場控制系統(阻燃劑)。
電壓偏差	範圍為690伏電壓±加減10%。
低電壓穿越	可以。
頻率偏差	48.5赫茲至51.5赫茲範圍內(就50赫茲電網而言)。可能須就異常頻率擴大範圍。
頻率控制	該項能力尚不可知。
電力品質 — 閃光	DFIG 技術的一般因素。
電力品質 — 諧波	THD(電流)=2.3%。

表3.6 — UP1500電網運行準則主要要求概覽表

現行電網運行準則規定風機須具備穿越可能因傳輸系統的主要故障而導致的低壓情況的能力。其中一條常見要求如圖3.3所示，該圖說明瞭GB/T 19963-20標準所載擬實行的中國電網運行準則內的故障穿越要求。

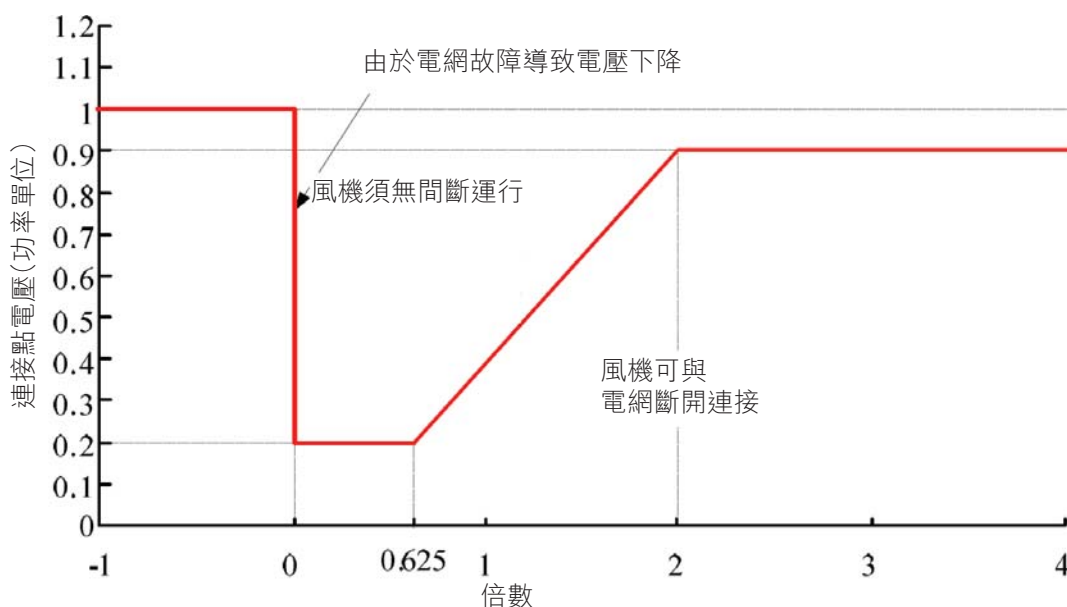


圖3.3 — 擬實行的中國電網運行準則GB/T19963-20之故障穿越性能規定

加勒德哈森已審閱摘錄自就中國雙龍風電場安裝的UP1500/82渦輪機編製的測試報告的故障穿越證書26。根據聯合動力，UP1500/82乃首個於中國通過由CEPRI進行的低電壓穿越測試的渦輪機。文件載明測試基準乃有關已併網風機電力品質測量及評估的IEC61400-21：2008。風機的性能已根據國家電網頒發的電網接入電網的風電場的技術規範(Q/GDW392-2009)而進行測試。

加勒德哈森已獲提供載列不同功率及持續電壓降下的測試結果表。該等結果代表IEC 61400-21：2008的要求，而所呈列的資料表明渦輪機於低電壓情況下的運行符合圖3.3所列的20%電壓穿越曲線。

儘管加勒德哈森尚未看到測試報告的詳細內容，但所呈列的結果已確認該渦輪機已根據國際標準IEC 61400-21：2008進行測試，且符合最新版中國電網運行標準的要求。經考慮所提供以供審閱之用的測試結果之後，加勒德哈森認為UP1500渦輪機的故障穿越性能與當前行業慣例一致。

加勒德哈森亦注意到GL Garrad Hassan Deutschland GmbH最近於中國27進行的測試顯示UP1500渦輪機可於導致電壓降至0伏的兩至三個故障期間保持連接狀態，且在上述情況下，該渦輪機仍可保持連接200毫秒。因此，CEPRI測試顯示其已符合現行的中國電網運行準則，且GL Garrad Hassan Deutschland GmbH測試確認其可實現較中國目前所需者為高的標準。鑒於全球電網運行準則不斷發展且大多準則已要求「零電壓穿越」能力，加勒德哈森認為上述能力為實用功能。

例如，德國市場就為要求其有上述能力的市場，如下文圖3.4(摘自德國海上電網運行準則28)中列示，已連接的發電機須於降至零電壓的情況下仍能夠保持150毫秒連接。

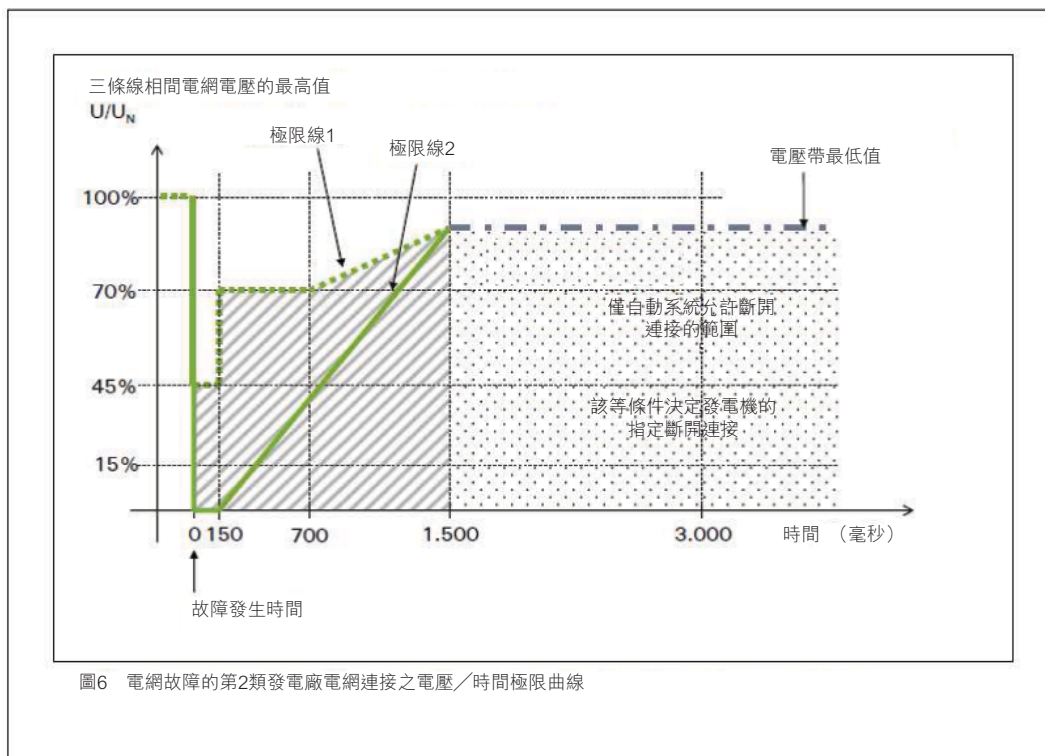


圖3.4：德國海上裝機的故障穿越規定要求

總之，加勒德哈森預期UP1500渦輪機將能夠滿足中國電網運行準則的要求。然而，加勒德哈森於若干情況下尚未就此獲提供資料以供其確認。加勒德哈森亦已注意到UP1500機械的零電壓穿越能力。

### 3.3.3 監控系統

任何風電項目的SCADA系統須提供三項重要功能，即：

- 促進項目的運行及維護；
- 為報告及保證期索賠(如有必要)收集數據；及
- 根據經修訂電網運行準則的要求控制風電場。



據加勒德哈森的理解，聯合動力供應一種自主開發的SCADA系統。該系統能夠促進風電場的運行及維護，並可為報告提供數據(包括保證期索賠)。

根據聯合動力，SCADA系統支持符合經修訂電網運行準則規定的風電場控制功能。聯合動力已向加勒德哈森描述無效功率控制及有功功率調節功能。由此可見，該系統具備提供風電場控制的能力。然而，加勒德哈森尚無法證實該控制是否完全符合電網運行準則的要求。

### 3.3.4 避雷

依據聯合動力，此避雷系統是依據避雷一級水準IEC TR 61400-24來確定規格的，這是最高範圍的避雷水準。此避雷系統也是依據IEC 62305-2/3/4及GL風機認證指南而設計。基於聯合動力提供的對於避雷系統的描述，加勒德哈森沒有理由對此提出質疑。

此避雷系統在每一個葉片尖端均嵌入一個接收器。電環／刷系統會把直接雷擊電流從主軸承和偏航軸承上轉移開。

雷擊電流通過連接葉片中的避雷針與輪轂的電纜引導而不會接觸變槳軸承。

需要注意的是，由於聯合動力認為避雷針以及發動機艙及葉片的鋼架結構足以為發動機艙提供足夠保護，故並無裝配法拉第籠以保護發動機艙。

加勒德哈森發現此避雷系統的設計對多兆瓦級風機而言較為典型。

### 3.4 功率曲線

如聯合動力的渦輪機技術參數所示，聯合動力已經計算出UP1500/77/82/86渦輪機的功率曲線。UP1500/77/82/86渦輪機的功率曲線和對應的功率效率曲線如下圖所示。

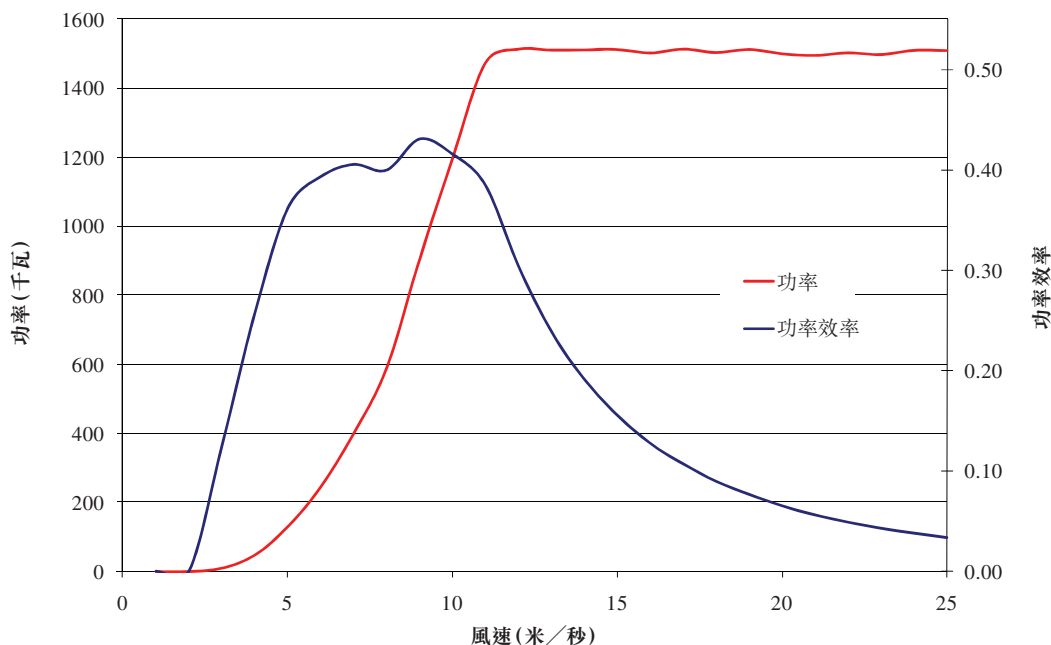


圖3.5 — UP1500/77渦輪機的功率曲線和對應的功率效率曲線

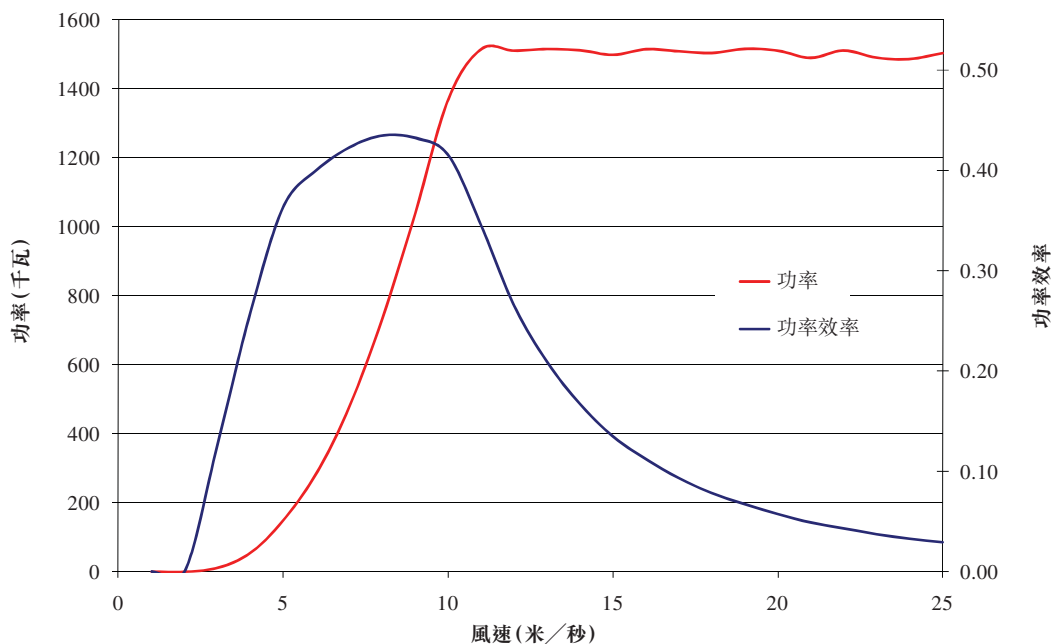


圖3.6 — UP1500/82渦輪機的功率曲線和對應的功率效率曲線

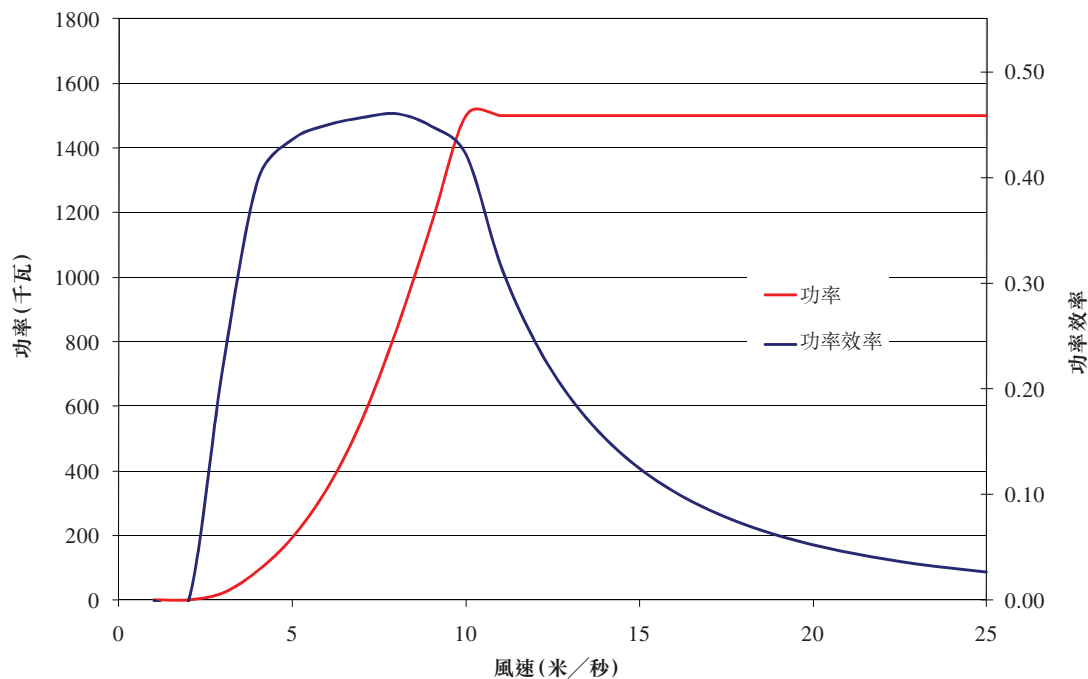


圖3.7 — UP1500/86渦輪機的功率曲線和對應的功率效率曲線

加勒德哈森通過將功率效率曲線與從其他生產商中挑選出的渦輪機類型(尺寸和設計理念相似)對比，對已計算出的UP1500/77/82/86的功率曲線進行分析。功率效率曲線的對比顯示UP1500系列渦輪機的功率效率曲線符合預期。因此，加勒德哈森認為UP1500系列渦輪機將可滿足已計算出的功率曲線。然而，加勒德哈森始終建議由一個獨立、合適且有資格的第三方依據IEC 61400-12進行功率性能測驗。

於2010年12月11日至2011年4月26日，GL Garrad Hassan Deutschland GmbH已對一台位於中國吉林省長嶺的UP1500/82渦輪機進行測量。加勒德哈森已瀏覽過該次測量29的報告，且該次測量乃按行業標準(IEC 61400-12-1)進行且並無任何偏離。

圖3.6通過比較功率效率曲線對測量而得的功率曲線與計算而得的功率曲線進行比較。

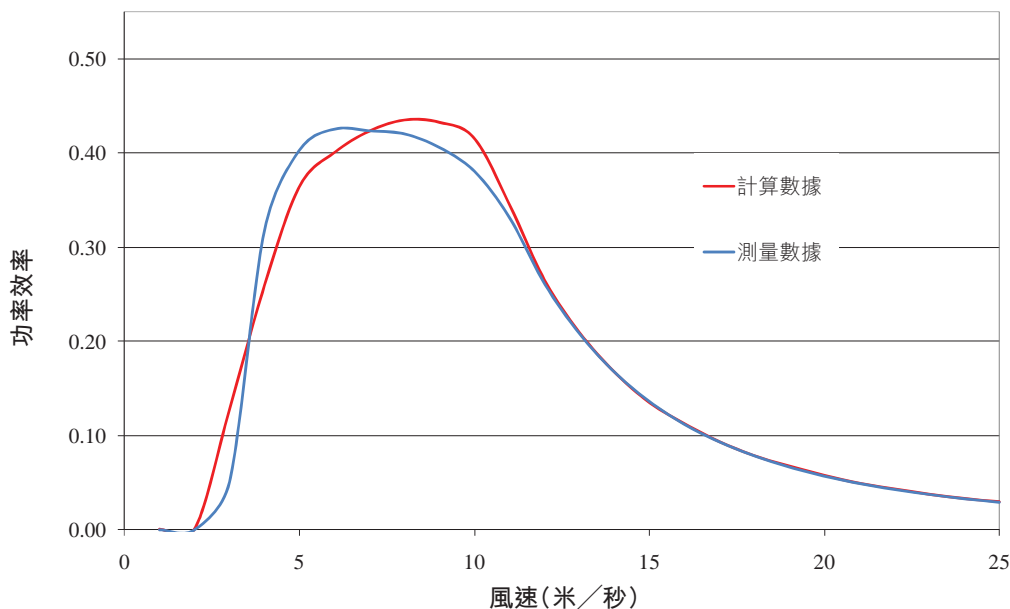


圖3.8 — UP1500/82渦輪機的功率效率曲線

上述對比顯示UP1500/82渦輪機在若干風速條件下表現不佳，在其他風速條件下表現很好。總體來說，平均風速在6至8米/秒時，渦輪機於現場的輸出功率較理想結果約低2%。此對比顯示，UP1500/82渦輪機就不能符合已計算的功率曲線。然而，這仍然在功率曲線測量的不確定性內，且這種不確定性存在於任何功率曲線測量中。因此，加勒德哈森認為該測量結果確認了UP1500/82渦輪機的功率曲線遵循其計算數據。

加勒德哈森沒有由第三方對UP1500/77及UP1500/86渦輪機功率曲線進行測試的信息，因此不能就此發表評論。

總之，加勒德哈森認為UP1500系列渦輪機的功率曲線與中國市場上供應的其他1.5兆瓦渦輪機的功率曲線是一致的。然而，聯合動力仍然需要對UP1500/77及UP1500/82渦輪機的功率曲線完成驗證測量。

### 3.5 噪音

CEPRI 於2010年3月在中國吉林省長嶺的雙龍風電場對型號為UP1500/82的渦輪機進行了噪音級測量。此次測量是依據IEC 61400-11 Ed.2.1 30而進行。

在風速為10米／秒和高度為10米的條件下，聲功率級為105.4分貝，而在相同的高度，風速為8米／秒的條件下，聲功率級為105.1分貝。測量出的噪音級與加勒德哈森對UP1500/82等渦輪機所預期的噪音級相符。

依據61400-11標準，渦輪機不得產生可聽音。

加勒德哈森沒有關於UP1500/77及UP1500/86渦輪機噪音級的任何信息，因此不能就此發表評論。

### 3.6 渦輪機的歷史表現

#### 3.6.1 渦輪機的往績

2008年期間安裝了UP1500/77型號最早的三台樣機，並於2008年10月正式運行。

UP1500/77的第一個風電場項目於2009年安裝。此風電場有兩個階段，安裝了66個單位。所有該等單位於2009年8月底正式運行。

UP1500/82的第一個風電場項目於2009年安裝，且所有單位於2009年12月正式運行。該風電場安裝了33個單位。

於UP1500/77和UP1500/82相比，UP1500/86渦輪機相對較新。聯合動力僅僅提供給GLGH一個正在使用UP86渦輪機的風電場的可用率數據。該風電場有33台渦輪機且所有單位於2011年4月均在運行中。

聯合動力自2009年至今(相對較短的期間)已經安裝了相當數量的UP1500渦輪機。依據聯合動力，截至2011年7月底，2,223台UP1500渦輪機已經或正在安裝，其中704單位為UP1500/77型號，1,344單位為UP1500/82而175單位為UP1500/86型號。

#### 3.6.2 渦輪機可用率

通常，聯合動力為一個已完成的風電場在兩年的保修期內保證95%的平均可用率。

聯合動力於渦輪機供應協議中將渦輪機的可用率定義為：

$$\text{可用率} = [1 - A / 24 \times 365] \times 100\%$$

其中，

- A是渦輪機單位的停工小時，不包括以下情形：
  - 電網故障和停電；
  - 超出技術規格運行範圍的天氣情況(包括風況和環境溫度)；

- 不可抗力；及
- 協議中界定的定期維修(第一年三次，第二年兩次，每次不超過20個小時)

在計算可用率時，聯合動力已計入維修時間並將其限制在第一年60個小時，第二年40個小時。在加勒德哈森對可用率的定義上，維修時間被劃分為停工期，可用率定義的上述差別導致可用率相差約0.5%。

聯合動力自2010年1月至2011年6月向加勒德哈森提供了18個風電場的月度可用率，該等風電場都安裝了UP1500/77、UP1500/82或UP1500/86渦輪機。表3.7中顯示的數據是按聯合動力定義的可用率。聯合動力要求為該等風電場的名字保密。

型號	單位	2010年												2011												平均數
		1月	2月	3月	4月	5月	6月	7月	8月	9月	10月	11月	12月	1月	2月	3月	4月	5月	6月							
WF-1	UP1500/77	66	96.2	96.7	98.0	99.5	98.7	98.9	93.9	98.7	99.2	98.9	97.2	98.3	98.1	98.8	99.1	99.3	98.7	98.3	98.3					
WF-2	UP1500/77	17	98.8	95.8	99.2	99.4	99.1	99.4	99.1	99.4	99.1	99.9	98.5	98.8	98.9	99.2	99.5	99.5	98.5	98.8	98.9					
WF-3	UP1500/77	11	93.4	92.9	93.2	98.7	95.1	97.1	98.1	94.0	88.6	99.2	96.6	98.0	98.2	99.1	99.0	99.4	100	96.4	96.4					
WF-4	UP1500/77	33	-	99.3	99.1	97.5	95.9	98.5	97.8	97.8	97.6	95.2	97.5	97.6	98.0	98.0	99.4	99.5	98.0	98.0	97.7					
WF-5	UP1500/82	33	-	-	-	95.5	97.9	98.2	98.1	99.0	99.3	98.8	95.6	99.0	99.4	99.4	99.5	99.4	98.6	98.4	98.4					
WF-6	UP1500/77	33	-	-	-	-	98.3	98.6	98.9	98.7	99.7	99.3	99.1	97.8	99.0	99.1	99.3	99.0	98.8	98.9	98.9					
WF-7	UP1500/82	33	-	-	-	-	-	-	99.1	99.2	98.4	97.4	97.3	97.0	99.3	98.8	99.4	98.6	97.1	98.3	98.3					
WF-8	UP1500/82	33	-	-	-	-	-	-	98.4	99.6	99.3	99.6	99.4	98.5	98.3	97.2	98.3	97.7	97.4	97.5	98.4					
WF-9	UP1500/82	2	-	-	-	-	-	-	97.3	97.2	98.5	99.0	98.9	98.3	95.8	98.2	97.0	97.6	98.3	98.2	97.9					
WF-10	UP1500/82	33	-	-	-	-	-	-	98.8	95.4	96.7	97.5	97.1	97.1	98.5	98.2	99.2	99.2	98.7	98.0	97.9					
WF-11	UP1500/82	33	-	-	-	-	-	-	-	97.9	99.0	97.1	97.5	97.3	98.1	97.8	98.9	99.1	97.0	98.7	98.0					
WF-12	UP1500/82	33	-	-	-	-	-	-	-	99.7	99.3	98.0	99.3	99.8	99.7	99.7	99.8	99.6	99.5	99.4	99.4					
WF-13	UP1500/82	66	-	-	-	-	-	-	-	98.4	98.5	98.6	98.8	98.9	97.2	98.6	98.6	99.1	99.0	99.6	98.7					
WF-14	UP1500/77	33	-	-	-	-	-	-	-	97.5	97.6	97.0	97.6	97.4	97.1	97.8	97.9	98.2	98.0	98.1	97.7					
WF-15	UP1500/77	33	-	-	-	-	-	-	-	-	99.4	99.0	97.4	97.4	98.3	98.4	98.3	98.2	98.9	98.5	98.5					
WF-16	UP1500/77	33	-	-	-	-	-	-	-	-	-	99.0	99.0	99.6	99.5	99.3	99.7	99.4	99.2	99.3	99.3					
WF-17	UP1500/82	33	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	98.7	98.7	99.6	99.8	99.2	99.4	98.7	99.2	99.2					
WF-18	UP1500/82	33	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	99.0	98.6	98.8					

表3.7 — 2010年1月至2011年6月的18個項目的可用率

提供的關於可用率的資料表明UP1500/77能夠以平均可用率大約為98.2%運行。依據聯合動力對可用率的定義，UP1500/82能夠以平均可用率大約為98.5%運行，UP1500/86能夠以平均可用率大約為98.8%運行。UP1500所有的變體都能以平均可用率約為98.4%運行。聯合動力的定義無法估計把維修時間分配為可用時間的影響。然而，加勒德哈森認為，當定期維修時間並分配為停工期，可用率將至少大約為97.9%。

加勒德哈森也已經提供有關UP1500渦輪機平均無故障時間的資料。依據聯合動力，自2010年5月到11月，UP1500渦輪機系列的平均無故障時間是18.6天，這與加勒德哈森對於一個可用率超過97.9%的渦輪型號機的預計時間一致。

應該注意的是，所提供的關於可用率的資料僅僅只包含UP1500渦輪機群總運行時間的一小部分，因此，加勒德哈森無法得知該等數據能否可代表整個UP1500渦輪機系列。如果該等數據經過驗證可代表整個UP1500渦輪機系列，則

97.9%以上的可用連足以使UP1500有能力根據行業標準進行的說法令人信服，從而說明上述渦輪機可可靠運行。

### 3.6.3 渦輪機檢測

於2011年1月12日，加勒德哈森檢測了一個風電場的UP1500/77渦輪機，該風電場位於中國河北省張家口市尚義縣東南部。該渦輪機於2009年6月安裝，於2010年9月通過一個240小時的可靠性測試。檢測時的風速是8至10米／秒。在檢測開始前該渦輪機已在運行且沒有異常問題或噪音。

自2009年10月1日至2011年1月11日期間，該渦輪機以98.2%的可用率生產出了6,071,943千瓦時的電。

整體而言，該渦輪機的狀況符合一個已運行約18個月的渦輪機應用的狀況。

表3.8顯示的是檢測概要

項目	注釋
葉片	無。
變槳系統	沒有檢測，因為聯合動力告知加勒德哈森，檢測當天的風速不允許在輪載中工作。
變槳軸承	沒有檢測，因為聯合動力告知加勒德哈森，檢測當天的風速不允許在輪載中工作。
旋翼槳轂	沒有檢測，因為聯合動力告知加勒德哈森，檢測當天的風速不允許在輪載中工作。
發動機倉控制器	未使用，脈衝發生器沒有堵塞。
發電機	無；發電機內部沒有檢測。
制動器及聯接器	就聯接器而言無制動總有些刮痕。
齒輪箱	無；齒輪箱內部沒有檢測。
主軸承	無。
發動機倉整體	從塔架處很難進入發動機倉。該設計得益於梯子。
偏航系統	無。
偏航軸承	無。
塔架	無。
升降機	無。
變流器	無。
控制器	未使用。脈衝發生器沒有堵塞。

表3.8 — 檢測概要



整體而言，該渦輪機的詳細設計不同於大多數於歐洲生產的渦輪機的標準。然而，該設計被認為與其他中國渦輪機生產商所設定的標準一致。

在渦輪機檢測過程中，加勒德哈森就個人安全注意到以下幾點：

- 僅張貼部分安全通告；
- 發動機倉裏的一個滅火器並無明確標記；
- 塔底部沒有滅火器；及
- 發動機倉沒有疏散設備。

整體而言，加勒德哈森認為該渦輪機的個人安全設計符合由中國其他渦輪機生產商所制定標準。然而，以上標準在某種程度上被認為低於歐美標準。

加勒德哈森建議，UP1500渦輪機的潛在客戶應根據渦輪機安裝所在國家的實際要求以及客戶的內部政策與聯合動力討論該等個人安全事宜。

### 3.6.4 已知的技術問題

加勒德哈森已對聯合動力至今為止就UP1500渦輪機遇到的技術問題進行討論，其中大量問題主要與發電機及變流器有關。例如，發電機冷卻系統內的冷卻風扇毀壞後，發電機內的軸承因溫度過高而毀壞。然而，根據聯合動力，該等問題已得到解決。

根據聯合動力，在早期的渦輪機中，齒輪箱內的高速軸承亦很少出現故障。聯合動力再次聲明該問題已得到解決。

迄今為止有關故障的溯源分析的資料還很有限，因此，加勒德哈森很難評估該等問題是否已真正得到解決。然而，如聯合動力所提供的可用率數據可以代表UP1500系列整體，則加勒德哈森預期大部分該等技術問題已得到解決。

## 3.7 經過商業證明的技術評估

### 3.7.1 加勒德哈森方法

在評估一個項目的可利用率時，加勒德哈森已於過往努力查明渦輪機設計是否已就一系列給定場地條件(通常由給定國家或地區界定)得到證明。經商業證明的渦輪機設計已足夠成熟，並可根據渦輪機於審閱時的營業記錄對渦輪機的長期可用率作出判斷。

若滿足以下情況，則加勒德哈森才認為渦輪機型號已就一係列給定現場條件得到商業證明：

1. 生產商能夠在安裝國履行所有合同及商業責任；
2. 生產商能夠在安裝國顯示出可以履行擔保、經營及維護及供應鏈責任的能力；
3. 將予供應的渦輪機型號具備有效的IEC61400-1設計合規聲明(SoC)或由知名認證機構根據IEC WT01標準發出的型式認證；
4. 有關型號的至少100台渦輪機已於可與所討論場地比較的場地條件運行，且該系列渦輪機的可用率在95%或以上。

在加勒德哈森的客戶研究已證實／未證實渦輪機設計概念的過程中，其發現嚴格的已證實／未證實定義已不能滿足需要，因而需要更為細緻的分級。加勒德哈森觀察渦輪機性能後發現更好地區分若干特徵尤為重要。因此，證實與未證實之間渦輪機技術狀態的定義由此得出。該中間狀態即為「合格」渦輪設計。

為使一個渦輪機模型被認為合格，首先必須符合一般標準的一至三點，與上述已被證明的渦輪機相似。合格渦輪設計的定義能用於以下三種情形，即：

- 變體：已於給定現場條件下證實的渦輪機發展變體。例子包括就新的風力等級、寒冷天氣作出的轉子直徑變動或足以要求一項新的IEC認證而非基本再設計的其他變動。
  - 變體所依據的渦輪機原型必須被證明。就更大修改而言，加勒德哈森期望至少有一台運行超過4000小時樣機。
- 進口設計：一個已於本地市場得到證實但尚未於給定的新現場條件下證實的渦輪機。
  - 渦輪機模型在其原產地必須被證明。此外，對於那些在所討論市場上沒有廣泛風電經驗的生產商，加勒德哈森希望在市場上至少找到一台運行超過4,000小時的樣機。

- 新設計：已於給定現場條件下運行一段時間但仍無足夠的營業記錄以指定其已獲證實的渦輪機。
  - 該型號的至少25台渦輪機已於給定場地條件下運行，且於過往十二個月的示範渦輪機可用率達95%。與上文所列的其他標準相反，較早型號年限可於該次評估中扣除；換言之，就此評估的該系列渦輪機的可用率無須計入較早渦輪機的數據。尤其是，就新設計而言，加勒德哈森會尋找示範經驗的跡象，以使加勒德哈森可酌情提供更為寬泛的渦輪機整體性能、質量或生產審閱。

加勒德哈森經常收到僅僅基於其於當前市場的營業記錄對正被列入新市場的渦輪機表現進行評估的請求。然而，加勒德哈森發現需要在新市場中對渦輪機群進行獨立評估。其中一個例子就是北美市場。

由於渦輪機新進入北美市場的表現與其在原產地的表現有著顯著的差別，對渦輪機模型在北美的表現而不是僅僅依賴於本國經驗進行評估的要求持續增長。

最終，加勒德哈森用渦輪機在商業上證明的等級來決定預設提升和長期可用率。加勒德哈森的若干客戶或用分類來支援投資決定。對於一個給定的項目，加勒德哈森或會考慮此項目的具體內容以修改該等預設值。關於該主題31的討論，見加勒德哈森關於提升及長期可用率的意見書。

### 3.7.2 UP1500評估

基於聯合動力提供的資料，加勒德哈森發現型號為UP1500/77和UP1500/82的渦輪機符合在中國安裝的經過商業證明的四個標準。然而CCS和CGC已經頒發設計證明，但因為CCS和CGC在認證風機方面的過往記錄不長，故CCS和CGC證明的價值在世界風電產業中不被人清楚地理解。

就加勒德哈森證實，UP86尚無被認為已通過商業證實所需的營業記錄。除了由CGC發出的C類設計證明(樣機證明)外，UP86的設計證明仍未發出。然而，由於UP86是UP1500平台的一個變體，加勒德哈森認為其渦輪機設計合格，可以在中國安裝。

就在國外安裝UP1500系列渦輪機而言，加勒德哈森無法就第一及二項標準作出任何評估。然而，假如聯合動力可按時滿足該等標準，則加勒德哈森將會認為UP1500型渦輪機合資格在世界許多國家安裝。

### 3.8 渦輪機總結

有關設計是基於眾所周知的已有的設計理念，且是由 Aerodyn 和聯合動力合作開發。Aerodyn 被認為是提供風機設計服務的領頭諮詢公司之一。

聯合動力已經獲得了由CCS和CGC為UP1500/77和UP150082兩種型號頒發的設計證明，使得其渦輪機設計更令人信服。然而，因為CCS和CGC在認證風機方面的過往記錄不長，因此，CCS和CGC證明的價值在世界風電產業中不被人清楚地理解。

聯合動力已經獲得了由GL為UP1500/77渦輪機頒發的C類設計證明，表明聯合動力的渦輪機可以根據行業標準備案。C類設計證明現已經過期，而聯合動力正在向GL申請A類設計評估。

加勒德哈森發現UP1500渦輪機的功率曲線與供應給中國市場的其他1.5兆瓦渦輪機的功率曲線相同。

聯合動力自2009年起至今(較短的期間)已經安裝了相當數量的UP1500渦輪機。依據聯合動力，截至2011年7月底，2,223單位的UP1500渦輪機正在或已經安裝，其中704台為UP1500/77型，1,344台為UP1500/82型，175台為UP1500/86型。

聯合動力提供的關於可用率的資料表明，當已定期維修時間劃分為停工期時，UP1500渦輪機可以在大約為97.9%的可用率下運行。

應該注意的是，所提供的關於可用率的資料僅包含UP1500渦輪機群總運行時間的一小部分，因此，加勒德哈森無法得知該等數據能否代表整個UP1500渦輪機群。如該等數據經過驗證可以代表整個UP1500渦輪機群，則97.9%以上的可用率足以使UP1500渦輪機可根據行業標準運行的說令人信服，繼而說明該類型渦輪機可可靠運行。

根據聯合動力提供的資料，加勒德哈森發現UP1500/77和UP1500/82已經被商業證明，而倘安裝繼續，UP1500/86不久將滿足商業證明的標準。

## 4 UP3000渦輪機

### 4.1 UP3000 DFIG渦輪機

#### 4.1.1 渦輪機概述

UP3000DFIG渦輪機為3葉片、橫軸、逆風並配有雙饋感應發電機的變槳調節渦輪機，可在額定速度-40%及+10%的範圍內變速運行。額定功率為3.0兆瓦，轉子直徑為100.8米。

該渦輪機乃根據IEC61400-1第3版對應的IEC IIA及 IIIA 風況而設計，並有不同轉子半徑，使其適合中國大部分地區。

UP3000DFIG渦輪機的主要特點概述於表4.1：

型號	Up3000/100 DFIG	UP3000/108DFIG
輪轂高度.....	90米	90米
轉子直徑.....	100.8米	108米
額定功率.....	3,000千瓦	3,000千瓦
IEC分類.....	IIA	IIIA
轉子葉片數.....	3	3
轉子方向.....	逆風	逆風
轉子傾斜度.....	5°	5°
轉子錐進度.....	3°	3°
功率調節.....	葉片調節／變速	葉片調節／變速
額定轉速.....	14.3轉／分	14.3轉／分
塔架類型.....	錐形，管鋼	錐形，管鋼

表4.1 — UP3000 DFIG 概述

UP3000 DFIG 渦輪機由聯合動力及GHP渦輪機集團聯合設計。初步設計階段已完成，且渦輪機樣機已在中國安裝。

GHP 渦輪機集團在行業內以為風機製造商提供新產品設計過程中的諮詢服務而聞名。GHP提供的服務包括概念研究、載荷計算、結構設計、組件(不包括葉片)規格及控制軟件開發。

渦輪機的初步設計已完成。自2011年4月19日開始第一部陸上樣機已運行並通過240個小時的可靠性測試。第一部海上樣機正於山東濰坊的濱海風電廠安裝。該風電廠將會安裝16台UP3000 DFIG 渦輪機。根據聯合動力，另外16台風機將會於今年10月在山西安裝。

4.1.2 渦輪機技術

UP3000 DFIG 渦輪機的整體概念建立在風力行業已證實的技術及某些新技術的基礎上。表4.2表明渦輪機各子裝置概念是否在風力行業界為人們所熟知。

子裝置／組件	已證明行業概念	註釋
轉子葉片	✓	
軸總	✓	
槳距系統	✓	
主軸／軸承	✓	
變速箱		使用差別化或扭矩、行星式結構的齒輪箱在風機行業是一個相對較新的概念。
發電機	✓	
變流器	✓	
偏航系統	✓	
塔架	✓	
控制系統	✓	

表4.2 — UP3000 DFIG 渦輪機與行業標準之比較

此渦輪機的發動機艙結構如圖4.1所示：

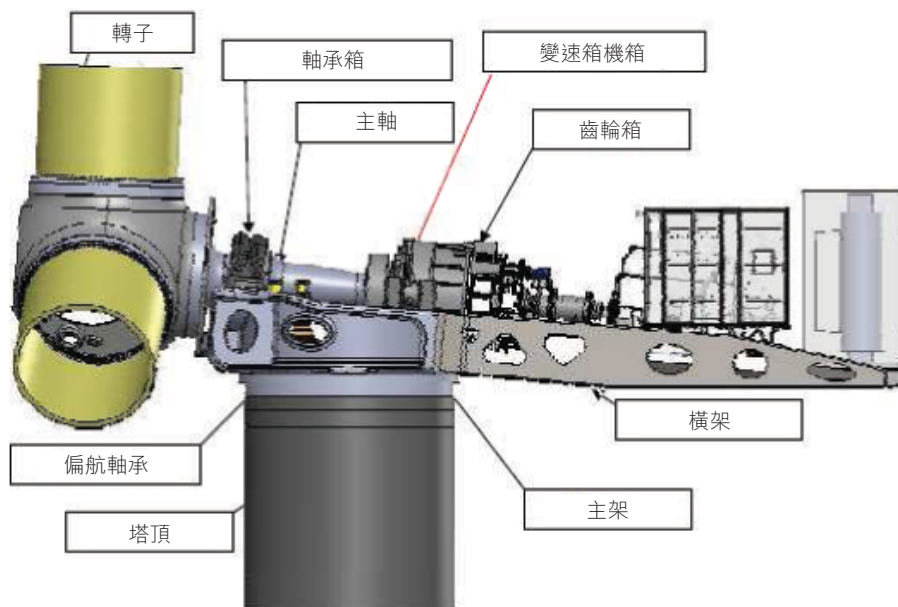


圖4.1 — UP3000DFIG發動機艙結構

除齒輪箱外，渦輪機整體為傳統設計。儘管在外型上和以前的裝置相似，但該齒輪箱所用的齒輪配置在風機行業還是相對較新。轉子使用三個呈旋轉支承結構的變槳軸承與澆鑄而成的球形輪轂連接。轉子軸通過單個球形滾動主軸承支撐。座板為澆鑄而成，但其後部為焊接而成。齒輪箱提供另一軸支持。發電機放置於底座後部。變流器及變壓器等所有主要電氣設備均放置於發動機艙。其中亦使用一個滾動元件迴轉支承軸承。

100.8米的轉子所用葉片是一個49米的葉片，由 Windnovation Germany（一間設計諮詢公司）設計。Windnovation 由一群富有風電行業經驗的工程師於2007年建立，該等工程師主要來自德國的葉片製造商EUROS。Windnovation 應有能力設計出滿足現代風機要求的葉片。然而，加勒德哈森在 Windnovation 所設計葉片方面的經驗有限。108米的轉子所用葉片是一個53米的葉片。然而，加勒德哈森沒有此葉片的資料。

葉片長度為49米，由 GFRE 製成。根據所能取得的有限資料，加勒德哈森預期該葉片的結構將符合此規模葉片的行業標準。加勒德哈森未被提供任何有關葉片空氣動力設計的資料，除了葉片翼側是由 Windnovation 與聯合動力聯合設計的新型翼側除外。

UP3000 DFIG渦輪機使用電動系統調節運行過程中的葉片的槳距，以超出額定風速及進行空氣動力製動。槳距系統符合行業標準。

其亦使用差別化(或扭矩)行星式配置的齒輪箱。上述理念對風機行業而言相對較新。然而，如今其已被業內的主要渦輪機製造商用於生產約3.0兆瓦的渦輪機。

據加勒德哈森所知，擁有向風電行業供應差別化齒輪箱經驗的唯一齒輪箱製造商為德國的Bosch Rexroth。加勒德哈森從聯合動力得知，齒輪箱供應商為南京高精齒輪。然而，加勒德哈森並不知悉南京高精齒輪供應有關齒輪箱的能力。

Up3000 DFIG 使用雙饋感應發電機，亦配有繞線型轉子及滑環。轉子通過滑環連接。該發電機配置基本上不如一個簡單感應發電機穩定。不穩定的來源主要是滑環及相連的刷子。刷子易磨損，需要調節和清理。然而，在風電行業使用雙饋感應發電機非常普遍，近些年滑環的穩定性已有提高。

大部分的電力裝置位於發動機艙內，包括提供渦輪機變速能力的變流器。變流器由

ABB提供。ABB於為風電行業提供變流器方面有很長的營業記錄。將電壓增加到采集系統所需水平的中伏變壓器也位於發動機艙內。

聯合動力已通知加勒德哈森，UP3000 DFIG 已為槳矩、主要及偏航軸承裝有自動潤滑系統，以始終確保適當潤滑。

加勒德哈森認為UP1500開發的SCADA亦能用於UP3000DFIG渦輪機，見3.3.3.一節。

#### 4.1.3 渦輪機技術評估

為評估任何風機設計，加勒德哈森一般會要求至少部分渦輪機設計的驗證工作已完成。渦輪機設計驗證包括渦輪機設計認證、功率表現驗證、電網運行準則合規驗證及噪音級別驗證。但是，UP3000 DFIG 為新開發產品，故此等驗證尚未完成。

聯合動力已提供其就UP3000 DFIG認證工作而與CCS、CGC及GL簽訂的三份協議，主要內容見表4.3。該三份認證協議均與型式認證有關，包括設計評估、型號測試及製造評估。然而，CCS將其稱為產品認證。目前，海上渦輪機型號的所有認證工作均在進行，且目前為止並未向聯合動力發出任何認證。

認證機關	型號	簽署日期	IEC等級	類型	註釋
CCS	UP3000/100 DFIG	2011年11月2日 32	IIA	海上	進行中
CGC	UP3000/100 DFIG	2011年5月11日 33	IIA	海上	進行中
GL	UP3000/100 DFIG	2010年10月8日 34	IIA	海上	進行中

表4.3 — UP3000 DFIG 認證協議

基於可獲得的信息，加勒德哈森認為聯合動力將根據行業標準實行設計認證。

2011年8月26日，聯合動力從國家能源局(NEB)獲得UP3000DFIG海上渦輪機的國家能源科技認證證書。加勒德哈森認為以上認證為渦輪機設計的專家意見。然而，加勒德哈森並無有關NEB發出有關上述專家意見的背景或要求的資料。因此，加勒德哈森不能就上述專家意見的價值作出評論。

由於UP3000 DFIG設計的驗證及批准工作即將開始，故有關認證、功率表現、電網運行準則合規等事宜的資料有限。然而，根據可得資料，加勒德哈森認為聯合動力將根據行業標準進行設計認證。



加勒德哈森對於設計認證的時間安排並無任何信息。因此，加勒德哈森無法對聯合動力將於何時完成有關工作以及該渦輪機是否能滿足3.0兆瓦級現代風機的要求等作出評論。

#### 4.1.4 渦輪機總結

UP3000 DFIG為新設計的3.0兆瓦風機，由國電聯合動力在設計諮詢公司的支持下設計。渦輪機的初步設計已完成，而開發認證階段已啟動。但是，截至2011年8月，渦輪機認證及功率曲線認證未完成，且加勒德哈森並未被通知何時可以完成。

截至2011年8月，UP3000 DFIG僅有極為有限的運行經驗，因為第一台陸上樣機乃自2011年4月19日起開始運行。然而，根據聯合動力，該樣機已通過240小時的測試，據此，令人信服聯合動力已步入正軌。

第一台海上樣機正於山東濰坊的濱海風力發電廠安裝。該風電場將安裝16台UP3000 DFIG 渦輪機。根據聯合動力，另外16台風機將於2011年10月安裝於山西省。因此，加勒德哈森預計，因海上渦輪機將為UP3000 DFIG 的進一步運行的預測評估提供充分的信息，因此在2012年UP3000 DFIG 將有足夠的運行經驗。

UP3000 DFIG 的設計表明該渦輪機將能滿足一台現代3.0兆瓦規模風機的要求。根據提供給加勒德哈森的信息，有關設計乃根據當前行業標準而作出。但是，只有完成渦輪機認證、批准及建立營業記錄後才能確認此點。

總之，UP3000 DFIG 包括許多現代兆瓦級渦輪機通常所用的概念及組件。整體設計概念已在該等渦輪機中被證實可靠。但是，可靠性乃由設計的各個細節所決定。渦輪機可靠性的最終判定只能由營業記錄證明。

## 4.2 UP3000 DD渦輪機

### 4.2.1 渦輪機概述

聯合動力3兆瓦直驅風機UP3000 DD是三葉片、平軸、逆風、變槳調節渦輪機。額定功率為3.0兆瓦且正在開發兩個版本，它們的不同點就是轉子直徑。一個版本乃為IEC IIA風別而設計，而另一版本則為IEC IIIA風級而設計，轉子直徑分別為100.8米及108米。

UP3000 DD 渦輪機是由聯合動力及HRS Wind Power Technologies Ltd. (HRS) 聯合設計。HRS是瑞士的一間渦輪機設計諮詢公司，在發電機設計方面經驗豐富。然而，加勒德哈森對於HRS沒有任何經驗。

根據聯合動力提供的有關UP3000 DD設計的資料，加勒德哈森預期其以UP3000 DFIG為基準，並對渦輪機的驅動鏈設計進行修改，以使用具有全功率變流器系統的多極變速永磁發電機(PMG)，從而實現變速運行。

UP3000 DD 渦輪機的主要特點概述於表4.1：

<u>型號</u>	<u>UP3000/100 DD</u>	<u>UP3000/108 DD</u>
輪轂高度.....	90米及100米	90米及100米
轉子直徑.....	100.8米	108米
額定功率.....	3,000千瓦	3,000千瓦
IEC分類.....	IIA	IIIA
轉子葉片數.....	3	3
轉子方向.....	逆風	逆風
轉子傾斜度.....	5°	5°
轉子錐進度.....	3°	3°
功率調節.....	葉距／可度轉速	葉距／可度轉速
額定轉速.....	14.3轉／分鐘	14.3轉／分鐘
塔架類型.....	錐形，管鋼	錐形，管鋼

表4.4 — UP3000 DD概述

UP3000 DD渦輪機當前由聯合動力開發。因此，設計有關資料有限及或會改變。加勒德哈森尚未收到開發狀態的信息。然而，根據已提供有關設計的信息，加勒德哈森預計開發進展良好。

迄今，聯合動力未安裝任何UP3000 DD渦輪機，因此並無任何運營經驗。

#### 4.2.2 渦輪機技術

UP3000 DD渦輪機使用具備全功率變流器系統的多極變速永磁發電機(PMG)以實現變速運行。與無全功率變流功能的渦輪機設計相比，全功率變流器系統可就滿足新(及更嚴格)電網運行準則的要求而提供更多選擇。

UP3000的獨特之處是直驅發電機。目前大部分渦輪機使用齒輪箱將轉子轉速，從近15轉／分提高至1,000或1,500轉／分(50赫茲)。風機齒輪箱已成為近幾年主要類型故障的誘因。

不使用齒輪箱的直驅渦輪機具有眾多伴隨優勢。總體組件更少，從而潛在地減少了運行及維修成本。然而，目前為止，直驅渦輪機比可資比較的齒輪驅動式渦輪機成本更高。

轉子輪轂連接在主軸承上，由兩個受發電機定子鋼結構支撐的主軸承支撐。發電機的轉子與兩個主軸承間的主軸相連，而發動機的定子則與主架相連，如圖4.2所示。

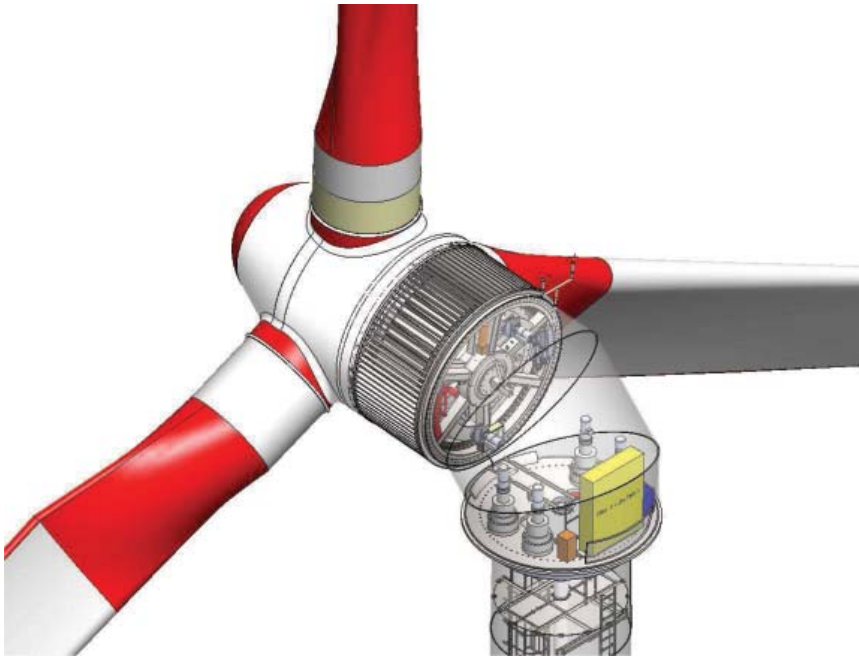


圖4.2 — UP3000 DD發動機艙結構

UP3000 DD的整體概念是建立在風電行業著名的技術特點上，惟若干相對較新的組件除外，如上所述。表4.5表明聯合動力子系統概念是否在風力行業為人們所熟知。

子裝置／組件	已證明行業概念	註釋
轉子葉片	✓	
軸總	✓	
變槳系統	✓	
主軸承	✓	
主軸承支撐	✓	因發電機配置，軸承附近的結構相對較新。
直驅拓撲	✓	雖然剛剛被北美引進，但已在歐洲及中國得到證實
齒輪箱	✓	雖然剛剛被北美引進，但PMG的使用已在歐洲及中國的大型渦輪機中得到證實
變流器	✓	
偏航系統	✓	
塔架	✓	
控制系統	✓	

表4.5 — UP3000 DD與行業標準之比較

100.8米的轉子葉片和表4.1.2.中描述的UP3000 DFIG 相同。108米的轉子葉片為53米葉片。然而，加勒德哈森並無有關此葉片之任何信息。

UP3000 DD渦輪機通過電力系統來調節運行中葉片的葉矩，以高於額定風速及為空氣動力制動。變槳系統是根據行業標準設計。加勒德哈森預計該變槳系統與UP3000 DFIG的變槳系統相同。

UP3000 DD渦輪機使用永磁同步發電機(PMSG)，發電機轉子在定子內部轉動，而磁鐵則位於轉子上面。根據聯合動力，發電機將由其自行生產。

發電機靠發電機定子周邊的氣流進行被動冷卻。

大部分電力裝備都位於塔架內，包括提供渦輪機變速能力的變流器。變流器由ABB供應。ABB在向風電行業供應變流器市場已有很長營業記錄。

### 4.2.3 渦輪機技術評估

為評估任何風機設計，加勒德哈森一般會要求至少完成部分渦輪機設計驗證。渦輪機設計驗證包括渦輪機設計認證、功率表現、電網運行準則合規驗證、噪音等級認證。但是，因UP3000 DD當前還在開發，此等驗證尚未完成。

聯合動力已提供其就UP3000 DD海上認證工作及UP3000 DD陸上認證而分別與CCS及CGC簽訂的兩份協議，主要內容見表4.6。該兩份認證協議均與型式認證有關，包括設計評估、型號測試及製造評估。然而，CCS將其稱為產品認證。目前，所有認證工作均在進行，且目前為止並未向聯合動力發出任何認證。

認證機關	型號	簽署日期	IEC等級	類型	註釋
CCS	UP3000/100 DD	2011年11月2日 35	IIA	海上	進行中
CGC	UP3000/100 DD	2011年5月11日 36	IIA	陸上	進行中

表4.6 — UP3000 DD的認證協議

根據所得資料，加勒德哈森認為聯合動力將根據行業標準進行設計認證。

加勒德哈森並無有關設計認證時間安排的資料，因此，加勒德哈森無法對聯合動力將於何時完成有關工作以及該渦輪機是否能滿足3.0兆瓦級現代風機的要求等作出評論。

### 4.2.4 渦輪機總結

UP3000 DD是由聯合動力及HRS聯合設計的3.0兆瓦渦輪機，目前正在開發中。然而加勒德哈森並無有關HRS無之經驗。據加勒德哈森所了結，渦輪機的初步設計尚未完成。應注意的是，提供給加勒德哈森的關於UP3000 DD信息有限。

加勒德哈森預計UP3000 DD是根據UP3000 DFIG(其樣機已在中國安裝)，並對渦輪機的驅動鏈設計進行修改，以使用配有全功率變流器系統的多極變速永磁發電機(PMG)，從而實現變速運行。與無全功率變流功能的渦輪機設計相比，全功率變流器系統可就滿足新(及更嚴格)電網運行準則的要求而提供更多選擇。

不使用齒輪箱的直驅渦輪機具有眾多伴隨優勢。總體組件更少，從而潛在地減少了運行及維修成本。然而，目前為止，直驅渦輪機比可資比較的齒輪驅動式渦輪機成本更高。

就UP3000 DD的設計提供給加勒德哈森的資料表明該渦輪機將可滿足現代3.0兆瓦級風機的要求。然而，只有完成渦輪機認證及批准後才能確認此點。

總之，加勒德哈森認為UP3000 DD的驅動鏈設計與風電行業內的最新發展相一致。渦輪機其餘部分的設計概念是基於現代兆瓦級渦輪機通常所用的概念及因素。然而，可靠性乃由設計的各個細節所決定。渦輪機可靠性的最終判定只能由營業記錄證明。

## 5 參考

1. CWEC，風力裝置數據2010。
2. CWEC，風力裝置數據2008-2010。
3. 聯合動力，製造能力描述。
4. 聯合動力，機艙內安裝的新型發電機1.5兆瓦全動力測試報告。
5. GUP，機艙內安裝的新型發電機1.5兆瓦全動力測試報告。
6. 勞埃德登記質量保證有限公司(上海)，質量批准證書，管理系統，證件編號：QAC6004003，日期為2010年2月7日。
7. 勞埃德登記質量保證有限公司(上海)，質量批准證書，管理系統，證件編號：QAC6008485，日期為2010年2月23日。
8. 勞埃德登記質量保證有限公司(上海)，質量批准證書，管理系統，證件編號：QAC6008484日期為2010年2月1日。
9. 勞埃德登記質量保證有限公司(上海)，質量批准證書，管理系統，證件編號：QAC6011023，日期為2011年1月26日。
10. 勞埃德登記質量保證有限公司(上海)，質量批准證書，管理系統，根據ISO 14001:2004及GB/T 24001-2004證件編號：QAC6004003/A，日期為2011年1月6日。
11. 勞埃德登記質量保證有限公司(上海)，質量批准證書，管理系統，根據 OHSAS 18001:2007證件編號：QAC6004003/B，日期為2011年1月6日。
12. CCS，UP77/1500 IIA+設計評估證書，編號：14311DA0011R0，日期為2011年5月9日。

13. CCS，UP82-1500 IIIA+65mHH的設計評估證書，編號：14311DA0013R0日期為2011年5月9日。
14. CGC，UP86的C-設計證書，編號：CGCSP1046113005，日期為2010年9月15日。
15. GL，UP37.5 風輪葉片設計評估A類別證書，報告編號：74074，日期為2010年3月22日。
16. GL，UP40.25風輪葉片設計評估A類別證書，報告編號：74075，日期為2010年3月22日。
17. 聯合動力，國電聯合動力技術的技術樣本，文件名：「渦輪機投標文件(英文)細節描述」，日期為2010年11月10日。
18. CCS，UP82-1500 IIIA+ 80mHH 設計評估證書，編號：BJ11DA00009，日期為2011年5月4日。
19. CCS，UP82設計評估證書，編號：14311DA0010R0，日期為2011年3月9日。
20. CCS，UP77設計評估證書，編號：14311DA0009R0，日期為2011年5月9日。
21. CGC，UP77的產品認證證書，編號：CGC0946113005，日期為2009年9月18日。
22. GL，國電聯合動力1.5 兆瓦 HH65m TC IIA 渦輪機C-設計評估的申明，編號：DAC-GL-001-2009，日期為2009年2月10日。
23. 聯合動力，「UP1500 WT 樣本GJYG-70.3-EL.00.ON.00-A-D，E版本」日期為2010年5月。
24. CEPRI，「UP77 風力發電機組電能質量測試報告 — WEL-10-009」日期為2010年4月。
25. 質量監管的國家管理機構，檢驗及檢疫(中國報告)，與風力發電廠 — GB/T 19963 — 20電力系統先關的技術報告，草稿。
26. CEPRI，雙龍風電廠 — WEL-10-014 的UP82 風力發電機組低電壓穿越功能測試報告，日期為2010年8月。
27. GL Garrad Hassan Deutschland GmbH, UP1500 ZVRT 測試報告，日期為2011年8月15日。

28. TenneT，TenneT TSO GmbH，電網的海上電網連接要求，日期為2010年10月5日。
29. GL Garrad Hassan Deutschland GmbH，UP82根據IEC2010年12月11日至2011年4月26日的61400-12-1的動力表現測評，日期為2011年7月26日。
30. CEPRI，國電動力UP82風力發電機組的噪音測試，WEL-10-009，日期為2010年6月。
31. GL Garrad Hassan，「有關渦輪機可靠性風險評估的意見：北美的證實及合資格渦輪機設計以及渦輪機可用率」，日期為2011年1月5日。有關資料可通過下列網址瀏覽：  
[http://www.glgarradhassan.com/assets/downloads/GL\\_Garrad\\_Hassan\\_memo\\_on\\_availability\\_and\\_proven\\_qualified\\_turbines.pdf](http://www.glgarradhassan.com/assets/downloads/GL_Garrad_Hassan_memo_on_availability_and_proven_qualified_turbines.pdf)。
32. CCS，產品認證協議，編號：BJ1023022，日期為2011年11月2日。
33. CGC，型式認證協議，編號：CGC1046113025，日期為2011年5月11日。
34. GL，型式認證協議，編號：4800/10/42651/254，日期為2010年10月8日。
35. CCS，產品認證協議，編號：BJ1023023，日期為2011年11月2日。
36. CGC，型式認證協議，編號：CGC1046113026，日期為2011年5月11日。



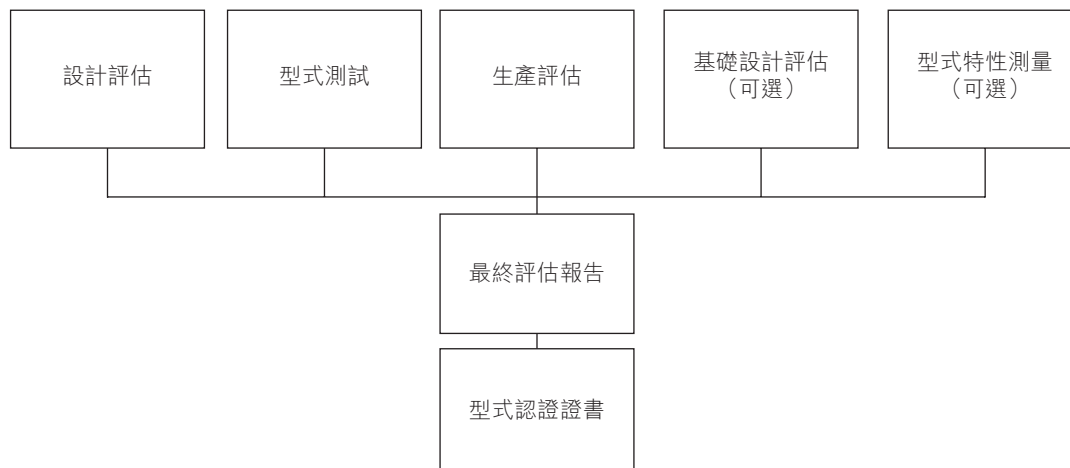
附 錄 一

IEC WT01：2001之型式認證流程

## 1 IEC WT01：2001之型式認證流程

IEC WT01：2001之型式認證計劃分為三個必選模塊及兩個自選模塊。有可能取得各模塊之認證。該等認證一般亦稱為合規聲明。

認證計劃如圖AI.1所示。



圖AI.1 — IEC WT01：2001之認證計劃圖示

### 1.1 設計認證／估計／評估

設計評估乃通過審閱由渦輪機生產商提供的設計資料而進行。設計資料必須涵蓋整個渦輪機，惟渦輪機底座(可選項)除外。

設計評估乃按照IEC61400-1訂明之安全規定進行。設計評估涉及以下各項：

- 控制及保護系統；
- 載荷及載荷狀況；
- 結構、機械及電氣部件；
- 部件測試；
- 底座設計規格；及
- 人身安全。

有關生產、安裝及維修之資料將須被審閱，以保證該等資料亦反映設計資料所載之前提條件。

認證機構 (GL及DNV) 將設計評估分為三級，即：

### **C-設計評估**

C-設計評估(就風機樣機而言)乃測試樣機可行性的標準之一。其將根據設計資料而進行測試。該類設計評估亦可用於安裝風機樣機。其以載荷評估及轉子葉片及機械部件以及塔架及底座之完整設計可行性測試為基準。

根據國家或當地法規，安裝渦輪機樣機需進行C-設計評估。

C-設計評估一般謹就2年營運期內的測試運營有效。

### **A及B-設計評估**

A或B-設計評估乃認證的第二步驟。該等評估均包括通過全部所需的材料及組件測試對設計分析進行完整的檢驗。

B-設計評估可不對若干項目進行檢驗，惟該等項目須不與安全直接相關。有關證書的有效期一般限制為一年。該期間可被用於補足A-設計所需的其他要求，惟上述情況不適用於未檢驗項目，且除非有關設計被更改，否則不會屆滿。

## **1.2 型式測試及型式特性測量**

於功率曲線型式測試測量之範圍內，將進行風機運行狀況及載荷測量以及葉片測試。

型式特性測量包括噪音排放和電力特性，該等測試於IEC WT01：2001標準項下乃屬可選擇項。

測量內容(如表AI.1所列)將根據所述相關標準進行核實。測量結果將進行評估並予以存檔。測試報告將進行驗證以檢驗測量結果的可靠性，並與設計資料中的假設進行比較。

測量內容	適用之準則或標準
功率曲線.....	IEC61400-12
噪音排放.....	IEC61400-11
運轉、載荷及應力、動態運行狀況.....	IEC TS 61400-13
電氣特性.....	IEC 61400-21
葉片測試.....	IEC TS61400-23
調試、安全及功能測試.....	IEC 61400-1

**表AI.1 — 樣機測試內容及對應標準**

為將測量納入認證流程中，該等測量須由經認可的獨立機構根據ISO/IEC17025進行。否則，將須由經認可的機構見證測量校正及可靠性檢驗。

### 1.3 生產評估

生產商質量管理評估涉及確認產品質量所需的全部活動。根據ISO9001(包括設計)，生產商的質量管理系統認證涉及其中大量要求。然而，須格外突出質量管理及產品質量之間的聯繫。亦須確保技術文件中所訂明的要求於渦輪機生產、安裝及維護過程中被妥當遵守及實施。

附 錄 二

風電行業中的永磁發電機

雖然永磁發電機(PMG)越來越吸引新興及經驗豐富的渦輪機製造商的注意力，但其仍為市政規模風機的新興產品。目前市場上的直驅及PMG渦輪機如下表所列。

目前為止，使用PMG發電機的渦輪機的運行經驗日益增加，且仍無出現重大技術問題的跡象。安裝最廣泛的PM直驅渦輪機為金風科技1.5吉瓦系列渦輪機，截至2010年6月止共於中國安裝進1,800台，亦於美國安裝三台。位於德國Sitzerath的基本使用相同設計的Vensys1.2兆瓦發電機樣機自2003年運行至今並無出現重大問題。

使用永磁體進行勵磁可避免使用勵磁的外部能源，從而在理論上提高發電機的整體效率。PMG的主要優點之一為其較高的部分載荷效率；該優點對經常以低於額定功率的功率運行的風機而言尤為重要。此外，與雙饋感應發電機(DFIG)不同，其轉子不需要滑環。在若干渦輪機設計中，多極發電機旋轉緩慢，從而不再需要增速齒輪箱(即直驅渦輪機)。

整體而言，永磁體的挑戰之一載於其可於極高溫度下消磁，該種情況可能出現於電氣故障或未探測到的冷卻故障；因此，PMG系統設計時必須考慮到冷卻問題以及防止出現過熱及故障。有關上述問題如何於所討論渦輪機中解決的討論，請參閱本報告內文。

生產商	型號	運行中	直徑(米)	功率 (兆瓦)	直驅/ 齒輪傳動	發電機類型
金風科技/Vensys <sup>1</sup>	GW70、 GW77、 GW82	是	70,77,82	1.5	直驅	永磁發電機
Northern Power System <sup>2</sup>	NPS2.2-9.3	樣機	93.1	2.2	直驅	永磁發電機
GE — Scanwind <sup>3</sup>	SW3500DL	是	100、91	3.5	直驅	永磁發電機
西門子	SWT-2.3-113 SWT-3.0-101	是	113、 101	2.3、3.0	直驅	永磁發電機
Leitwind	LTW70、 77、80	否	70、77、 80	1.5-1.7	直驅	永磁發電機
XEMC (Darwind)	DD115	否	115	5	直驅	永磁發電機
STX Heavy Industries et al. <sup>4</sup>	Z72	否	70.65	2.0	直驅	永磁發電機
Clipper	自由系列	是	89-99	2.5	齒輪傳動	永磁發電機
通用電氣	2.5	是	100	2.5	齒輪傳動	永磁發電機
三星	TBD	樣機	TBD	TBD	齒輪傳動	永磁發電機
Vestas	V112	樣機	112	3.0	齒輪傳動	永磁發電機
AREVA — Multibird <sup>5</sup>	M5000	是	116	5	齒輪傳動	永磁發電機
Enercon	E70、E112等	是	66-114	1.8-6	直驅	同步 繞線轉子
MTorres	MT TWT 77/1500等	是	70-88	1.5、 1.65	直驅	同步 繞線轉子

1. 金風科技股份有限公司於2008年收購 Vensys Energy AG的大部分股份。Vensys 亦許可其他生產商生產此種渦輪機及使用相關技術。
2. Northern Power System 型號為NPS2.2-9.3的渦輪機正處於樣機測試階段，計劃於2011年前後投入商業生產。
3. 通用電氣於2009年收購 Scanwind，以進軍海外市場。
4. 渦輪機設計源於 Lagerwey，且隨後可追溯至 Zephyros、Harakosan 及湘潭電氣設備製造有限公司(湘潭電氣)的 Hara XEMC Windpower Co., Ltd。
5. Multibird 渦輪機亦為一種離岸渦輪機。Win WinD Oy提供與 Multibird 有關的直驅渦輪機。

表AII.1 — 1.2兆瓦以上直驅和永磁發電渦輪機樣品