

華能新能源股份有限公司 全球發售項目技術評估

最終報告

2010年10月

華能新能源股份有限公司

保密

中國
北京
海淀區復興路甲23號
華能大廈
10-11層

版本及修訂

版本	日期	起草人	審核	批准	說明
0	2010年05月28日	Yanmin Song Bauer Wu David Mudie Zoe Zhao	Sébastien Moine	Cyril Pacot	報告草案
1	2010年06月28日	Yanmin Song Bauer Wu David Mudie Zoe Zhao	Sébastien Moine Robert Speht Simon Harrison	Guy Doyle	最終報告草案
2	2010年07月09日	Yanmin Song Bauer Wu David Mudie Zoe Zhao	Sébastien Moine	Robert Speht	最終報告草案
3	2010年07月12日	Yanmin Song Bauer Wu David Mudie Zoe Zhao	Sébastien Moine	Robert Speht	最終報告草案
4	2010年07月15日	Yanmin Song William Senior David Mudie Bauer Wu Zoe Zhao Nicola Grieve	Paula Finlayson Sébastien Moine	Robert Speht	最終報告
5	2010年07月21日	Yanmin Song Bauer Wu Zoe Zhao Tania Tang	Jian Zhang Sébastien Moine	Robert Speht	最終報告
6	2010年08月11日	Yanmin Song	Sébastien Moine	Robert Speht	最終報告
7	2010年10月19日	Sébastien Moine	Sébastien Moine	Robert Speht	最終報告
8	2010年10月22日	Yanmin Song	Cyril Pacot	Simon Harison	最終報告—加入 經修訂可用數據

本文件受委託方所託而印發，僅用作與上述標題所指項目有關的特定用途。不得被任何其他方倚賴或用作任何其他用途。

本報告以英文起稿及提交，並隨附一份中文譯文版本。莫特麥克唐納對譯文版本的任何錯誤或差異概不負責，出現錯誤或差異之處，應以英文版本的報告為準。

對於任何其他方倚賴本文件，或用作其他任何用途，或由於其他方提供給我們的數據有錯漏而導致本文件包含的任何錯漏所產生的後果，我們概不負責。

本文件內包含機密信息及專利知識產權。未經我們及本文件委託方同意，不得對其他方透露。

目錄

章節	標題	頁碼
1.	綜述.....	7
1.1	簡介.....	7
1.2	項目各參與方.....	8
1.3	風機技術.....	9
1.4	風能資源評估.....	9
1.5	併網評估.....	9
1.6	風電場性能表現.....	10
1.7	風電場運行維護.....	11
2.	簡介.....	11
2.1	概覽.....	11
2.2	資產概述.....	12
2.2.1	總體概述.....	12
2.2.2	代表性風電場的選擇.....	13
2.3	報告結構.....	14
2.4	報告狀態.....	15
3.	項目各參與方.....	15
3.1	簡介.....	15
3.2	華能新能源股份有限公司.....	15
3.3	風機供應商.....	15
3.3.1	華銳風電科技(集團)股份有限公司.....	15
3.3.2	東方汽輪機有限公司.....	16
3.3.3	蘇司蘭.....	16
3.3.4	浙江運達風力發電工程有限公司.....	16
3.3.5	中船重工(重慶)海裝風電設備有限公司.....	17
3.3.6	歌美颯.....	17
3.3.7	維斯塔斯.....	17
3.3.8	NEG-Micon.....	17
3.3.9	結論.....	18
3.4	電網運行商.....	18
3.4.1	所選風電場的電網運行商.....	18
3.4.2	國家電網公司.....	19
3.4.3	南方電網公司.....	19
3.4.4	內蒙古電力公司.....	20
3.4.5	結論.....	20
4.	風機技術.....	20
4.1	主要涉及的風機.....	20
4.1.1	華銳SL1500-1.5兆瓦.....	21
4.1.2	華銳SL3000-3.0兆瓦.....	21
4.1.3	東汽FD77B/FD70B-1.5兆瓦.....	22
4.1.4	蘇司蘭S82-1.5兆瓦.....	23
4.1.5	運達WD50-750千瓦.....	23
4.1.6	中船重工H93-2.0兆瓦.....	24
4.1.7	歌美颯G52-850千瓦.....	24
4.1.8	維斯塔斯V52-850千瓦.....	25

章節	標題	頁碼
4.1.9	NEG-Micon TAIM-NM750千瓦	26
4.2	結論	26
5.	風能資源評估	26
5.1	簡介	26
5.2	中國標準	27
5.3	風電場風能資源評估方法	27
5.4	風電場風能資源測量方法	27
5.5	代表性風電場的可行性研究	27
5.6	結論	28
6.	併網評估	29
6.1	簡介	29
6.2	併網的關鍵問題	30
6.2.1	風電場升壓變電站的容量	30
6.2.2	無功補償容量和電壓控制	31
6.2.3	低電壓穿越能力和電能品質	31
6.2.4	當地電網的接納能力	32
6.3	各風電場併網評估	33
6.3.1	簡介	33
6.3.2	阜北風電場二期	33
6.3.2.1	設備容量	33
6.3.2.2	無功補償容量和電壓控制能力	34
6.3.2.3	當地電網的運行狀況	34
6.3.3	寶龍山風電場一期	34
6.3.3.1	設備容量	34
6.3.3.2	無功補償容量和電壓控制能力	35
6.3.3.3	當地電網的運行狀況	35
6.3.4	珠日河風電場一場三期	35
6.3.4.1	設備容量	35
6.3.4.2	無功補償容量和電壓控制能力	36
6.3.4.3	當地電網的運行狀況	36
6.3.5	茂明風電場一期	36
6.3.5.1	設備容量	36
6.3.5.2	無功補償容量和電壓控制能力	37
6.3.5.3	當地電網的運行狀況	37
6.3.6	牛頭嶺風電場一期	37
6.3.6.1	設備容量	37
6.3.6.2	無功補償容量和電壓控制能力	38
6.3.6.3	當地電網的運行狀況	38
6.3.7	青澳風電場	38
6.3.7.1	設備容量	38
6.3.7.2	無功補償容量和電壓控制能力	39
6.3.7.3	當地電網的運行狀況	39
6.3.8	大理大風壩風電場	39
6.3.8.1	設備容量	39
6.3.8.2	無功補償容量和電壓控制能力	40
6.3.8.3	當地電網的運行狀況	40
6.3.9	長島風電場	40

章節	標題	頁碼
6.3.9.1	設備容量.....	40
6.3.9.2	無功補償容量和電壓控制能力.....	41
6.3.9.3	當地電網的運行狀況.....	41
6.3.10	威海風電場一期和榮成風電場.....	41
6.3.10.1	設備容量.....	41
6.3.10.2	無功補償容量和電壓控制.....	42
6.3.10.3	當地電網的運行狀況.....	43
6.3.11	昌邑風電場.....	43
6.3.11.1	設備容量.....	43
6.3.11.2	無功補償容量和電壓控制能力.....	43
6.3.11.3	當地電網的運行狀況.....	44
6.3.12	樂亭風電場.....	44
6.3.12.1	設備容量.....	44
6.3.12.2	無功補償容量和電壓控制能力.....	44
6.3.12.3	當地電網的運行狀況.....	45
6.4	結論.....	45
7.	風電場性能表現.....	46
7.1	可用率的定義.....	46
7.2	風電場性能—發電量和可用率.....	47
7.2.1	阜北風電場二期.....	47
7.2.1.1	發電量和可用率.....	47
7.2.1.2	結論.....	48
7.2.2	寶龍山風電場一期.....	48
7.2.2.1	發電量和可用率.....	48
7.2.2.2	結論.....	49
7.2.3	珠日河風電場一場三期.....	49
7.2.3.1	發電量和可用率.....	49
7.2.3.2	結論.....	50
7.2.4	茂明風電場一期.....	50
7.2.4.1	發電量和可用率.....	50
7.2.4.2	結論.....	51
7.2.5	牛頭嶺風電場一期.....	51
7.2.5.1	發電量和可用率.....	52
7.2.5.2	結論.....	53
7.2.6	青澳風電場二期.....	53
7.2.6.1	發電量和可用率.....	54
7.2.6.2	結論.....	55
7.2.7	大理大風壩風電場.....	56
7.2.7.1	發電量和可用率.....	57
7.2.7.2	結論.....	58
7.2.8	長島風電場.....	58
7.2.8.1	發電量和可用率.....	58
7.2.8.2	結論.....	59
7.2.9	威海風電場和榮成風電場.....	59
7.2.9.1	發電量和可用率.....	60
7.2.9.2	結論.....	61
7.2.10	昌邑風電場.....	61
7.2.10.1	發電量和可用率.....	62

章 節	標 題	頁 碼
7.2.10.2	結 論.....	62
7.2.11	樂 亭 風 電 場	63
7.2.11.1	發 電 量 和 可 用 率	63
7.2.11.2	結 論.....	65
7.3	總 結.....	65
8.	運 行 維 護.....	66
8.1	介 紹.....	66
8.2	運 行 維 護 的 結 構 組 織	66
8.3	運 行 維 護 的 安 排	67
8.4	結 論.....	68
附 錄	69
術 語	70
表 格		
表3.1 :	代 表 性 風 電 場 的 電 網 運 行 商.....	18
表4.1 :	安 裝 於 代 表 性 風 電 場 的 風 機.....	21
表4.2 :	華 銳SL1500技 術 參 數	21
表4.3 :	華 銳SL3000技 術 參 數	22
表4.4 :	東 汽FD77B/FD70B技 術 參 數	22
表4.5 :	蘇 司 蘭S82技 術 參 數	23
表4.6 :	運 達WD50/750技 術 參 數.....	24
表4.7 :	中 船 重 工H93-2.0兆 瓦 技 術 參 數	24
表4.8 :	歌 美 颯G52技 術 參 數.....	25
表4.9 :	維 斯 塔 斯V52技 術 參 數.....	25
表4.10 :	NM750技 術 參 數	26
表7.1 :	阜 北 風 電 場 二 期 運 行 數 據.....	48
表7.2 :	寶 龍 山 一 期 運 行 數 據	49
表7.3 :	珠 日 河 風 電 場 一 場 三 期 運 行 數 據	50
表7.4 :	茂 明 風 電 場 一 期 運 行 數 據.....	51
表7.5 :	牛 頭 嶺 風 電 場 一 期 運 行 數 據.....	53
表7.6 :	青 澳 二 期 運 行 數 據	55
表7.7 :	大 理 大 風 壩 運 行 數 據.....	57
表7.8 :	長 島 運 行 數 據	59
表7.9 :	威 海 風 電 場 一 期 運 行 數 據.....	61
表7.10 :	昌 邑 項 目 運 行 數 據	62
表7.11 :	樂 亭 風 電 場 運 行 數 據.....	64
表7.12 :	82米 和 77米 風 機 每 月 平 均 單 機 發 電 量	64
圖 形		
圖2.1 :	中 國 風 能 資 源 分 佈 及 代 表 性 項 目 位 置.....	14
圖6.1 :	中 國 電 力 生 產 和 電 力 消 耗 的 分 佈 情 況.....	32
圖7.1 :	21號 和 10號 風 機 功 率 曲 線.....	65

1. 綜述

1.1 簡介

莫特麥克唐納有限公司(莫特麥克唐納)被華能新能源股份有限公司(華能新能源)聘請為華能新能源全球發售項目的技術顧問。

莫特麥克唐納是一家世界領先的致力於發展的跨學科諮詢公司，其業務涉及從能源、交通、健康和教育、水利和環境到建築、工業和通信等諸多方面。莫特麥克唐納在電力工程、水利、交通、建築和基礎設施等方面的卓越技術已得到公認。除了技術諮詢服務外，莫特麥克唐納還提供範圍廣泛的戰略規劃、財務和企業發展諮詢服務。

莫特麥克唐納是一家完全獨立的國際性公司，總部設在英國，年營業額超過10億歐元，在全球140個國家中擁有14,000多名員工。在英國星期日泰晤士報年度25家最適合員工工作的大型企業評選中，莫特麥克唐納已連續三年名列前10名，在2010年評選中排名第八。

莫特麥克唐納致力於品質保證並通過了ISO9001和ISO14001認證。

隨著分佈在歐洲、亞太地區、中東、澳大利亞和新西蘭、非洲和美洲等分公司的設立，莫特麥克唐納對各國各地的情況和狀況有了更加深入的了解和認識，並能獲得全球資源的支持。

莫特麥克唐納在多個國家和地區的電力行業改革過程中起到了領軍的作用，針對不同的國家電力市場的特點，為他們的政府提供包括財務／技術選擇以及監管、效率和商務合同等方面的諮詢。這些國家和地區包括香港、烏克蘭、馬來西亞、印尼、泰國、菲律賓、巴基斯坦、北愛爾蘭、愛爾蘭、新加坡、伊朗和卡塔爾。莫特麥克唐納協助投資者進行民營化或私有化的電力公司評估，為投資者提供收購有前景發電場及分銷公司的技術評估報告。此外，莫特麥克唐納作為投資方或貸款方的獨立諮詢顧問，參與了世界上多個私人投資的電力項目。

莫特麥克唐納在眾多的電力諮詢服務專案中，包括在各種類型的發電廠和輸配電技術工作中取得了顯著的業績，並努力為客戶和每一個專案帶來最大的價值。在世界範圍內參與了超過200吉瓦的發電廠專案工程與設計。其實力在於擁有各種不同專業技能，這些專業技能涉及所有的學科和技術領域。在風力發電(包括陸上和海上)方面具有出色的技術和電力系統業績記錄，為融資方、有意投資者、專案開發商、業主和承包商、以及各國政府、地方當局和監管機構提供諮詢服務，並且在專案發展、評估和實施方面可以承擔各種任務並為陸上及海上風電專案提供全方位的資源。

莫特麥克唐納在中國已經參與了超過70個專案，總容量超過32吉瓦，包括風電、水電、生物發電、垃圾發電、燃氣和火電廠。

莫特麥克唐納對華能新能源資產狀況進行了獨立技術評估。風電場評估內容包括風能資源、發電量、可用率、運行維護安排、風機技術、併網方案以及是否遵循併網標準諸方面的評估。

我們僅針對華能新能源31個風電場項目中具代表性的12個風電場進行評估。

本報告編製的大部分資訊源於華能新能源所提供的資料，以及與華能新能源相關工作人員會晤討論中所獲取的資訊。莫特麥克唐納對所有收集到的資訊的合理性和有效性進行了專業判斷和確認，並將我們的專業知識和對中國電力行業的深入了解運用於整個獨立技術評估過程中。

華能新能源資產中包括數量較多且遍佈全國各地的風電場。這些風電場由若干不同的地方設計院依據相同的中國標準設計而成，風機是由多個國內外廠商提供。鑑於此，本報告僅對具有代表性的風電場進行評估。所選的風電場能夠最好地涵蓋和體現華能新能源各種風電場項目的特性。在代表性風電場的選擇中，主要考慮的因素為：

- 風能資源和地理分佈 — 所選的代表性風電場位於風能資源豐富的廣東、雲南、山東、河北、內蒙古和遼寧，如圖2.1中所示。
- 風機類型 — 代表性風電場採用的風機包括了由國內和國外廠家生產的風機，詳見本報告3.3節。
- 運行年份 — 所選的代表性風電場投運時間各不相同，詳見表4.1。

1.2 項目各參與方

華能新能源是中國華能集團公司的全資子公司，成立於2002年11月。其主營業務為新能源項目的投資、建設和運營，主要靠風能的開發和利用，兼有太陽能等其他新能源技術的開發。

根據2010年3月BTM的報導，按於2009年12月31日的風電權益裝機容量排名，華能新能源名列中國第三，而按照總裝機容量增長百分比排名，華能新能源位居2009年全球前15大風力發電公司之首。

基於所評估的項目，我們對華能新能源作為風電場業主的能力和資質感到滿意。

華能新能源在其風電項目建設中選擇了多家中外風機供應商進行風機供貨和維護。主要的風機供應商包括但不限於以下廠家：華銳、東汽、歌美颯、蘇司蘭和維斯塔斯等。華能新能源在所評估的風電場項目中選用的風機供應商都是全球著名的風機供應商。在所評估的項目中，我們對這些風機製造商作為風機供應商的資質能力感到滿意。

在中國，輸配電網屬國有資產。目前，中國有三家電網公司作為電網運行商，分別為國家電網公司、南方電網公司和內蒙古電力公司。2009年年底前，所有輸電企業均獲得了監管機構頒發的輸電類電力業務許可證。全國獲得監管機構頒發的供電類電力業務許可證的輸電企業累計2,929家。

在我們所承擔的中國風電場項目和香港電力市場研究等項目中，已對國家電網公司、南方電網公司和內蒙古電力公司具有一定了解，並獲得相關經驗。因而，我們認為中國各輸配電公司完全具有電網運行商的資質能力和經驗。

1.3 風機技術

代表性風電場所包含的風機由國內外風機製造商生產。我們審查的所有風機類型，其額定功率範圍從750千瓦到3兆瓦不等，均符合當前技術設計標準。已經安裝的所有風機是根據現場具體情況選擇的。

華能新能源在風電場安裝了不同類型的風機，包括SL1500、FD70B、FD77B、G52-850、S82-1.5兆瓦STV、V52-850、WD50/750以及H93-2.0兆瓦。其中，由於中船重工(重慶)海裝風電設備有限公司未能提供足夠的往績記錄，因此，我們認為要求廠家提供至少三年以上的保質期是降低風險的一種合理方案。華能新能源已成功地與海裝達成了由廠家提供五年保質期的合同。因此，我們對華能新能源這種降低風險的方案表示滿意。由於華能新能源風電場採用的大部分類型的風機都具有大量往績記錄，因此，我們認為這些風機的技術是成熟的，其機型是可靠的。

1.4 風能資源評估

審查評估結果表明代表性風電場採用的風能資源評估方法是一致的，與國際慣例基本相符。中國風能資源評估的相關標準源於國際著名標準，但是由於需求不同，在方法上有所不同。例如，與國際上其他國際慣例相比，由於需求不同，中國風能資源評估方法中對發電量預測中的不確定性分析沒有作特別強調。然而，華能新能源項目在實際應用和假設計算中都明顯地採用了保守估計。特別是用於計算淨發電量的損耗估算，總體來說，相對於我們評估的其他國家典型的發電量損耗值偏高。從審查評估結果中注意到實際發電量有高於發電量預測值的趨勢。

我們認為中國的風能資源評估方法是符合中國需求特性的。審查評估結果表明，實際運行資料與預測發電量基本一致，說明了方法的可靠性。

1.5 併網評估

大部分風電場升壓變電站均配有足夠的主變容量，在正常運行情況下，能夠輸出風電場發出的最大電能。但是，我們注意到，威海風電場升壓站主變總容量為75兆伏安，剛好滿足接入威海和榮成風電場升壓站所有風機滿發電能輸出(75兆瓦)的要求。因此，在某些特殊工況下，如威海風電場(裝機容量為69兆瓦)和榮成風電場(裝機容量為6兆瓦)所有風機同時滿發時，該變電站的變壓器有可能超載，存在所發出力高於額定出力的可能性，從而導致併網點功率因數為某一特定值時，威海和榮成風電場的出力可能會受到限制。然而，我們從華能新能源了解到，儘管國家電網技術規定(管理電網運營)上沒有明確，但是該併網點的功率因數通常維持在一，從而避免了上述情況的出現。另外，我們從華能新能源進一步獲悉將新建一座榮成風電場的升壓站，待升壓站建成後這兩台3兆瓦風機組將改接入此升壓站。

所有連接線路的額定容量均能滿足所連風電場滿發時電能輸出的需求。所調研的風電場均是通過單回線與電網相聯。根據2006年頒佈的《國家電網風電場接入電網技術規定(試

行)》，為便於運行管理和控制，簡化系統接線，風電場變電站到併網點送出線路可不滿足「N-1」要求。在2009年12月頒佈的《國家電網風電場接入電網技術規定(修訂版)》中，也沒有關於風電場變電站到併網點送出線路必須滿足「N-1」要求的規定。

所有具有代表性的風電場於風電場升壓站和併網點變電站的斷路器容量均能滿足開斷故障電流的需要。我們沒有發現任何具有代表性的風電場任何有關開關設備的問題。所有風電場採用了適宜繼電保護系統，包括差動保護和過電流保護等，與大多數中國風力發電場所採用的繼電保護模式類似。風電場配置有雷電保護裝置用於保護風電場設備免受雷電損壞。風電場設備狀況良好，無明顯問題。

所有風機均按照現行國家電網技術規定的要求，在併網點保持一定的功率因數。按照接入系統設計要求，大部分風電場裝有無功補償裝置。由於長島、威海、榮成和昌邑風電場的併網設計報告中沒有關於安裝無功補償裝置的要求，故這些風電場沒有安裝無功補償裝置。此外，所有主要變壓器配置有載調壓分接頭，能夠在90%至110%的範圍內調節變壓器高壓側繞組電壓。因此，我們認為風電場擁有足夠的無功容量，並具有電壓控制能力，從而能夠滿足併網標準所規定的無功需求和電壓調節的要求。

國家電網技術規定(修訂版)要求應對風電機組電能品質指標和低電壓穿越能力進行評估，以確保在給定的限制條件下相關指標符合技術標準，要求風電場在併網前完成相關測試。與大部分中國現有風電場一樣，12個代表性風電場將進行技術改造，以期在近期能夠滿足修訂的國家電網技術規定。

大部分的當地電網對風電場具有足夠的接納能力以保證風電場的正常運行和電力輸出。然而，我們注意到，在寶龍山和珠日河風電場一場所在的區域，特別是在冬季供暖期間，為保證供熱，大批供熱機組必須持續運行，當地電網系統調峰電源容量不足，導致風電場電力上網受到少許限制，不能完全滿發。我們認為當地電網對華能新能源風電場應具有足夠的接納能力並期待該問題在未來電網的配套建設中得到妥善解決。

總體而言，我們認為華能新能源風電場併網規劃合理，在電網正常運行情況下，沒有電能輸出瓶頸妨礙發電。當地電網運行在特定的條件下時，僅個別風電場運行可能會受到影響，如通遼電網的冬季運行方式，但是這種情況可能隨著日後電網改造而得到解決。

1.6 風電場性能表現

在我們評審的12個代表性風電場中，有六個風電場都是去年投入商業運營，因此沒有充足的運行資料(通常需要至少一年的正常運行資料)，無法評價風電場發電量是否與可研報告中發電量預測值一致。

但是，在另外六個風電場中，有五個項目在同樣的年平均風速下的實際年發電量高於可研報告中預測的年發電量。

此外，樂亭風電場的實際發電量低於期望值。從已有資料我們得知是年平均風速相對較低的緣故。另外，2009年是樂亭風電場投入運行的第一年。在2009年5月之前該風電場所所有風機都處於試運行階段，因而導致實際發電量少於預測值。

總體而言，設備和設施運行維護良好，符合較高標準。風電場設計，建設和安裝與我們期望相符。

1.7 風電場運行維護

總體來說，華能新能源風電場的運行維護狀況超出我們的期望，符合國際標準。我們認為這種運行維護方式是適合華能新能源的，因為其運行維護模式與其他公司既有相似之處，同時也進行特定化發展，以融入華能新能源的公司組織結構。

儘管我們認為風機主要部件的預防維護措施有待進一步改進，但是，總體而言，運行維護的組織結構、檢修安排、備品備件的採購和儲存以及華能新能源風電場的品質、安全、健康和環境體系組織良好，並且是可接受的。

2. 簡介

2.1 概覽

莫特麥克唐納被華能新能源聘請為華能新能源全球發售項目的技術顧問。

莫特麥克唐納是一家世界領先的致力於發展的跨學科諮詢公司，其業務涉及從能源、交通、健康和教育、水利和環境到建築、工業和通信等諸多方面。莫特麥克唐納在電力工程、水利、交通、建築和基礎設施等方面的卓越技術已得到公認。除了技術諮詢服務外，莫特麥克唐納還提供範圍廣泛的戰略規劃、財務和企業發展諮詢服務。

莫特麥克唐納是一家完全獨立的國際性公司，總部設在英國，年營業額超過10億歐元，在全球140個國家中擁有14,000多名員工。在英國星期日泰晤士報年度25家最適合員工工作的大型企業評選中，莫特麥克唐納已連續三年名列前10名，在2010年評選中排名第八。

莫特麥克唐納致力於品質保證並通過了ISO9001和ISO14001認證。

隨著分佈在歐洲、亞太地區、中東、澳大利亞和新西蘭、非洲和美洲等分公司的設立，莫特麥克唐納對各國各地的情況和狀況有了更加深入的了解和認識，並能獲得全球資源的支持。

莫特麥克唐納在多個國家和地區的電力行業改革過程中起到了領軍的作用，針對不同的國家電力市場的特點，為他們的政府提供包括財務／技術意見及法規、效率和商務合同等方面的諮詢。這些國家和地區包括香港、烏克蘭、馬來西亞、印尼、泰國、菲律賓、巴基斯坦、北愛爾蘭、愛爾蘭、新加坡、伊朗和卡塔爾。莫特麥克唐納協助投資者進行民營化或私有化的電力公司評估，為投資者提供收購有前景的發電場及分銷公司的技術評估報告。此外，莫特麥克唐納作為投資方或貸款方的獨立諮詢顧問，參與了世界上多個私人投資的電力項目。

莫特麥克唐納在眾多的電力諮詢服務專案中，包括在各種類型的發電和輸配電技術工作中取得了顯著的業績，並努力為客戶和每一個專案帶來最大的價值。在世界範圍內參與了超過200吉瓦的發電廠專案工程與設計。其實力在於擁有各種不同專業技能，這些專業技能涉及所有的學科和技術領域。在風力發電(包括陸上和海上)方面具有出色的技術和電力系統業績記錄，為融資方、有意投資者、專案開發商、業主和承包商、以及各國政府、地方當局和監管機構提供諮詢服務。並且在項目發展、評估和實施方面可以承擔各種任務並為陸上及海上風電項目提供全方位的資源。

莫特麥克唐納在中國已經參與了超過70個專案，總容量超過32吉瓦，包括風電、水電、生物發電、垃圾發電、燃氣和火電廠。

莫特麥克唐納對華能新能源資產狀況進行了獨立技術評估。風電場評估內容包括風資源、發電量、可用率、運行維護、風機技術、併網方案以及是否遵循併網標準諸方面的評估。我們僅針對華能新能源31個風電場項目中具代表性的12個風電場進行評估。

本報告編製的大部分資訊源於華能新能源所提供的資料，以及與華能新能源相關工作人員會晤討論中所獲取的資訊。莫特麥克唐納對從外部收集到的所有資訊的有效性及其可用性進行了專業判斷。莫特麥克唐納對中國電力行業的專業知識亦運用於整個獨立技術評估過程中。

華能新能源資產中包括數量較多且遍佈全國各地的風電場。這些風電場由中國國內若干不同的設計院依據相同的中國標準設計而成，風力發電機是由多個國內外廠商提供。鑑於此，本報告僅對具有代表性的風電場進行評估。所選的風電場能夠最好地涵蓋和體現華能新能源各種風電場項目的特性。在代表性風電場的選擇中，主要考慮的因素為：

- 風能資源和地理分佈 — 所選的代表性風電場位於風能資源豐富的廣東、雲南、山東、河北、內蒙古和遼寧，如圖2.1中所示。
- 風機類型 — 代表性風電場的風機包括了由國內和國外廠家生產的風機，詳見本報告3.3節。
- 運行年份 — 所選的代表性風電場投運時間各不相同，詳見表3.1。

技術評估過程是在英國和中國完成的，主要步驟包括但不限於：現場考察、資料收集、討論、分析和報告編寫。

2.2 資產概述

2.2.1 總體概述

截至2009年年底，華能新能源合共擁有31個運營中的風電項目，總裝機容量達1,549.8兆瓦。所有風電場均由華能新能源各地區的子公司經營。包括在建的風電項目在內，華能新能源控股風電項目裝機容量已達2,511.3兆瓦。

華能新能源風電專案中採用的風機技術來自中國著名風機製造商，如東汽和華銳；以及國際知名風機供應商，如蘇司蘭、歌美颯和維斯塔斯。風機容量從750千瓦到3兆瓦不等。

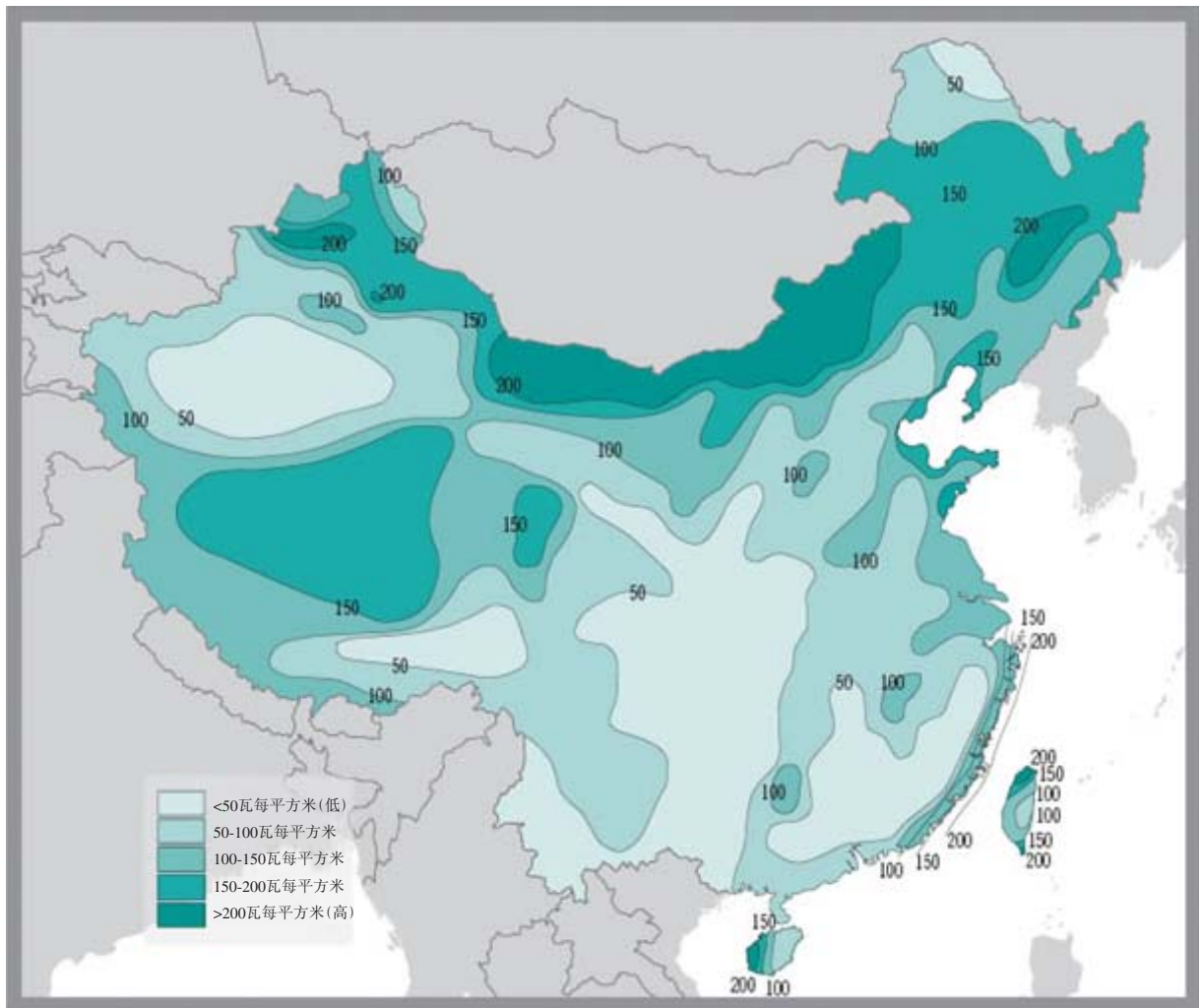
2.2.2 代表性風電場的選擇

由於華能新能源資產中包括多個風電場，故此決定選擇12個具有代表性的風電場作為我們盡職調查的範疇，進行評估。

本公司提供一份其風電場的列表，其中載有包括各風電場的風機類型、各自兆瓦容量、地理位置及運行年份等相關信息。選擇12個代表性風電場時已考慮上述所有因素。該12個代表性風電場位於六個省份及自治區，總裝機容量約為700兆瓦，該等風電場的選擇乃為反映載於本公司投資組合內的31個風電場的主要特點。例如，選擇使用不同風機的風電場以便評估不同風機的技術、可用率及利用小時數並可同時審核不同風機供應商與本公司協定的保質期。地理位置亦為選擇的重要基準：選擇位於華北地區及華南地區裡不同區域的處於不同運行階段的風電場是為使處於不同開發階段（無論運營中或在建）風電場的相關紀錄、不同位置的風能資源表現以及當地併網狀況可供我們評估之用。

中國的風能資源極為豐富，全球風能理事會 (GWEC) 在其「2009年全球風能資源報告」中評估的中國陸上可開發陸上風能資源約為2,380吉瓦。根據由中國可再生能源協會 (CREIA) 和可持續能源商會 (BCSE) 所做的調查，風能資源分佈如圖2.1所示。風能資源較好的地區位於中國北部的內蒙古、新疆、甘肅河西走廊和青藏高原的部分地區，以及中國東北、河北及從山東至福建的東部沿海。圖2.1中顏色的深淺代表了不同的風能密度。

圖2.1：中國風能資源分佈及代表性專案位置



來源：可持續能源商會／中國可再生能源協會2006

我們在內蒙古、山東、河北、廣東和遼寧風能資源豐富的地區選擇了有代表性的風電場進行考察，如圖2.1中深紅顏色所示。此外，我們還選擇了坐落在雲南省境內的一個地勢較複雜的風電場。

2.3 報告結構

本報告對代表性風電場有關專案建設和運行的關鍵資訊和資料進行了詳細審查。報告結構如下所示：

- 項目各參與方；
- 風機技術；
- 風能資源評估；
- 併網評估；
- 風電場性能；及
- 風電場運行維護狀況。

2.4 報告狀態

本報告為最終報告，是基於截至報告發出日2010年8月11日止所評估專案的資產狀況給出我們的評審意見。

3. 項目各參與方

3.1 簡介

本章將評估風電場建設項目中各參與方的資質和能力，主要包括華能新能源和各主要風機供應商。報告所採用的資訊源於我們研究分析中所收集的資訊、與各方相關人員會晤討論，以及從互聯網所獲取的資訊。本報告中并未從財務角度考慮各參與方的財務能力及其適合性。

3.2 華能新能源股份有限公司

簡稱華能新能源，是中國華能集團公司的全資子公司，成立於2002年11月。其主營業務為新能源項目的投資、建設和運營，主要從事風能的開發和利用，兼有太陽能等其他新能源技術的開發。

截至2009年12月31日，華能新能源擁有的風電場總裝機容量達到1,549.8兆瓦，在建風電場的裝機容量為961.5兆瓦。

華能新能源已經在東北、華東、內蒙古西部、華北、新疆和華南建成了六個風電專案建設基地。

根據2010年3月BTM的報導，按截至2009年12月31日的風電權益裝機容量排名，華能新能源名列中國第三，而按照總裝機容量增長百分比排名，華能新能源位居2009年全球前15大風力發電公司之首。

基於所評估的項目，我們對華能新能源作為風電場業主的能力和資質感到滿意。

3.3 風機供應商

華能新能源在其風電場使用多種國內外風機製造商所提供的風機。提高風機發電量的關鍵是風機的選型。需要考慮的關鍵因素有：廠址選擇、發電量、價格和技術。在北京的華能新能源總部集中管理著所有風機的集中採購和施工安裝等，由地方子公司負責運營。下面對代表性風電場中採用風機製造商進行評估。

3.3.1 華銳風電科技(集團)股份有限公司

華銳風電是中國的主要風機製造商。它主要從事陸上和海上風機的開發、設計、製造、市場開拓、銷售和運行維護。

根據華銳網站公佈的資訊，華銳風電在北京、天津、遼寧省大連、內蒙古包頭、內蒙古興安盟、內蒙古巴彥淖爾、山東省東營、江蘇省鹽城和甘肅省酒泉均設有風機製造廠。

2009年，華銳風電新增裝機容量達3,510兆瓦，累計裝機容量已達5,658兆瓦。這樣的增長使華銳成為中國第一大風機供應商，按2009年裝機容量排名，名列世界第三。根據2010年3月BTM的報導，華銳風機累計裝機容量佔全球市場份額的3.5%。

3.3.2 東方汽輪機有限公司

東方汽輪機有限公司(東汽)成立於1989年。是中國研究、設計、製造大型電站設備的大型國有企業。2004年11月，東汽採用從德國瑞能公司引進的風機技術開始其成套風機的開發。現在東汽生產的風機已經投運於山東、內蒙、黑龍江、新疆、吉林、甘肅、江蘇、河北和山西等省。

目前，東汽分別在四川省德陽市和天津設有風機製造廠，並計劃在甘肅省建立第三個風機製造廠。根據2010年3月BTM的報導，2009年，東汽新增風機裝機容量已達2,475兆瓦，名列中國第三，世界第10，累計裝機容量已達3,765兆瓦。按截至2009年年底的累計裝機容量排名，東汽風機佔全球市場份額的2.4%。

3.3.3 蘇司蘭

蘇司蘭能源有限公司是當前世界上領先的風電公司，從1995年創建時的20人到現在擁有員工超過14,000人，遍佈21個國家。2009年，蘇司蘭完成了對瑞能大部分股份的收購，使得這家印度公司在歐洲市場中逐漸站穩了腳跟。到2009年年底前，蘇司蘭在全球安裝的風機總容量已達9,671兆瓦。根據2010年3月BTM的報導，蘇司蘭累計總裝機容量佔全球市場份額的9.1% (包括瑞能)，在世界排名第五。

蘇司蘭能源(天津)有限公司是蘇司蘭公司的全資子公司，於2007年投產。該工廠生產葉片、機艙、機艙罩、控制面板系統、輪轂和發電機。已承擔專案的累計容量達825兆瓦，幾乎相當於安裝600台風機。2009年，蘇司蘭在中國新增風機裝機容量293兆瓦，累計裝機容量達605兆瓦，在中國市場按累計裝機容量排名位列第九。

3.3.4 浙江運達風力發電工程有限公司

浙江運達風力發電工程有限公司(運達)於2001年成立，由浙江機電工程研究院和浙江運達風力發電設備有限公司聯合投資興建而成。不過，這些公司早在上世紀70年代就已開始開發風機。

運達的主要業務是風機的開發、製造、銷售、行銷和維護。運達也涉及風電專案的設計和建設、風機零部件和設備的開發、風電場規劃和諮詢服務。

運達在2009年新增裝機容量為261兆瓦，累計裝機容量達594兆瓦，位於中國市場累計裝機容量排名的第10位。目前，運達有兩個設備生產廠，分別設立於浙江省德清縣和河北省張北縣。在浙江省杭州市計劃興建一個工廠和一個研究中心。2008年7月，運達所開發的由竹纖維製作的葉片做成的第一台風機投入了運行。該公司與坐落在丹麥的控制系統開發商—Mita 以及在全球多個國家擁有業務的英國工程技術公司—加拉德哈桑有著長期合作關係。

3.3.5 中船重工(重慶)海裝風電設備有限公司

中船重工(重慶)海裝風電設備有限公司(中船重工或海裝)成立於2004年。它是一家大型風機及其重要部件開發製造商。公司由中船重工的下屬公司與研究機構組建而成。這種組建使中船重工在系統集成、變速箱、發電機、電腦控制、鋼結構和液壓系統等領域技術領先。目前，中船重工有三個製造廠，分別設在重慶、山東和內蒙古。

3.3.6 歌美颯

西班牙的歌美颯是世界上最大的風機製造商之一，在能源技術，尤其是風能領域具有超過15年的豐富經驗。在風機設計、製造、安裝和維修方面處於行業領先地位。根據2010年3月BTM的報導，按2009年累計裝機容量排名，歌美颯已成為世界第四大風機供應商。歌美颯累計裝機容量佔全球市場份額的12.0%。2009年，歌美颯在中國新增風機裝機容量276兆瓦，累計裝機容量達1,829兆瓦，在中國市場按累計裝機容量排名位列第五。

歌美颯在2000年進入中國市場，是中國風電行業的主要投資者之一。目前，該公司在天津有四個製造廠，生產葉片、發電機、齒輪箱和機艙。計劃在吉林省大安市建立第五個製造廠並定於2011年投入生產。該廠將製造G8X-2.0兆瓦風機，年生產能力為250台。到目前為止在中國60多個地方已安裝了共2,000台歌美颯G5X-850千瓦風機。就其中國風電業務而言，歌美颯擁有總計達2,400兆瓦的處於不同發展階段的風電項目儲備。

3.3.7 維斯塔斯

2009年，維斯塔斯風機累計裝機容量佔全球市場份額的24.8%，在風機製造和供應業仍位居世界首位。維斯塔斯在多個國家投運的風機已達4萬多台。2009年2月維斯塔斯宣佈生產出兩種類型3兆瓦V112和1.8兆瓦V100的新型風機。新產品將在2010年投放市場。

維斯塔斯早在20多年前就進入中國市場，1986年首次在中國海南省和山東省安裝風機。截至2009年12月31日，維斯塔斯已在中國13個省份投運2,043台風機，累計裝機容量為2,107兆瓦。目前，作為中國市場上領先的國際供應商，維斯塔斯在中國設有分公司，其總部在北京，上海設有採購辦事處，在天津、徐州、呼和浩特設有工廠，超過80%的風機零部件是在中國生產的。

3.3.8 NEG-Micon

NEG-Micon 是前丹麥風機製造商，現屬於維斯塔斯所有。它成立於1997年，由兩家前風機供應商合併組建而成。NEG-Micon 提供從600千瓦到2兆瓦多種類型風機。

NEG-Micon 十幾年前進入中國風電市場。1997年，在 NEG-Micon 創立的同一年，NEG-Micon 在北京順義成立了一家合資企業，提供技術服務以及風機開發與製造。該公司在新疆、甘肅、內蒙古、遼寧、河北和廣東省等地均有安裝風機。2004年，NEG-Micon 被著名的風機供應商維斯塔斯收購，而被冠以維斯塔斯的標識。

3.3.9 結論

在所評估的風電場項目中，華能新能源選用來進行風機供應和維護的大部分風機供應商是全球著名的風機製造商，我們認為這些風機製造商具有風機製造和交付使用的能力。然而，海裝沒有提供足夠的往績記錄。因此，我們認為要求廠家提供風機較長的保質期是降低風險的一種合理方案。華能新能源已成功地與海裝達成了由廠家提供五年保質期的合同。因此，我們對華能新能源這種降低風險的方案表示滿意，超出我們的期望。

3.4 電網運行商

在中國，輸配電網屬國有資產。目前，有三家獨立的電網公司，分別為國家電網公司、南方電網公司和內蒙古電力公司，包括38家從事省級及以上輸電業務運營管理的企業。

配電網公司(供電公司)是負責配電網的運營管理以及售電業務的企業。

3.4.1 所選風電場的電網運行商

如上2.2.2節所述，我們所調查的12個具有代表性的風電場分佈在東北、華北、東南和南方區域。這些風電場已接入至國家電網公司、南方電網公司或者是內蒙古電力公司的220千伏和110千伏輸配電網中。

表3.1為所選風電場的電網運行商一覽表，包括隸屬於國家電網公司、南方電網公司或內蒙古電力公司的地級、省級和區域級電網運行商。

表3.1：代表性風電場的電網運行商

風電場名稱	容量(兆瓦)	電網運行商				併網點 電壓等級
		地級	省級	區域級	國家級	
1 阜北 風電場 二期	1.5兆瓦x200 =300兆瓦		遼寧 電力公司			
2 寶龍山 風電場 一期	1.5兆瓦x33 =49.5兆瓦			東北 電網公司	國家 電網公司	220千伏
3 珠日河 風電場 一場一期	2兆瓦x24 =48兆瓦					
4 茂明 風電場 一期	1.5兆瓦x33 =49.5兆瓦	包頭 供電公司	內蒙古 電力公司			220千伏

風電場名稱	容量(兆瓦)	電網運行商				併網點 電壓等級
		地級	省級	區域級	國家級	
5 牛頭嶺 風電場 一期	0.75兆瓦x18 =13.5兆瓦	汕頭 供電公司	廣東 電力公司			
6 青澳 風電場 二期	0.85兆瓦x53 =45.05兆瓦			南方 電網公司		110千伏
7 大理大風壩 風電場	0.75兆瓦x64 =48兆瓦	大理供電 公司	雲南電力 公司			
8 長島 風電場	0.85兆瓦x32 =27.2兆瓦	煙台 供電公司				
9 威海 風電場 一期	1.5兆瓦x13 =19.5兆瓦	威海供電 公司	山東 電力公司			
10 榮成 風電場	3兆瓦x2 =6兆瓦			華北 電網公司	國家 電網公司	110千伏
11 昌邑 風電場 一期	1.5兆瓦x33 =49.5兆瓦	濰坊供電 公司				
12 樂亭 風電場	1.5兆瓦x33 =49.5兆瓦	唐山供電 公司	河北電力 公司			

3.4.2 國家電網公司

國家電網公司於2002年12月29日成立，是經國務院同意的試點單位。公司以建設和運營電網為核心業務，承擔著為經濟社會發展保障安全及可持續的電力供應的基本使命。國家電網公司擁有和管理五家區域電網公司、26家省級電網公司以及2,240家供電企業。

國家電網公司經營區域覆蓋26個省(自治區、直轄市)，佔國土面積的88%，供電服務人口超過10億。2009年國家電網公司總銷售電量達2,274.8太瓦時，110千伏及以上輸電線路長度為553,382公里，年度營業收入為人民幣12,659.8億元。

在我們所承擔的中國風電場項目中，已對國家電網公司具有一定了解，並獲得相關經驗。因而，我們不擔心國家電網公司作為電網運行商的能力和經驗。

3.4.3 南方電網公司

南方電網公司於2002年12月29日因國家電力重組而成立。南方電網公司經營範圍為廣東、廣西、雲南、貴州和海南五省(自治區)，負責投資、建設和經營管理南方區域電網，參與投資、建設和經營相關的跨區域輸變電和聯網工程，經營相關的輸配電業務，提供安全可靠的電力購銷業務，負責電力交易與調度。南方電網公司擁有並管理五家省級電網公司和401家供電企業。

南方電網公司轄屬的南方電網覆蓋五省(區)，面積100萬平方公里，供電總人口2.3億。2009年南方電網公司完成售電量523.9太瓦時，110千伏及以上輸電線路長度為139,286公里，年度業務收入人民幣3,108億元。

在我們所承擔的中國風電場專案和香港電力市場研究等項目中，已對南方電網公司具有一定了解，並獲得相關經驗。因而，我們不擔心南方電網公司作為電網運行商的能力和經驗。

3.4.4 內蒙古電力公司

內蒙古電力公司是一家獨立的省級電網公司，負責投資和建設內蒙古區域內的輸配電網。內蒙古電網分為蒙東電網和蒙西電網。由於電力系統穩定的原因，蒙西電網和蒙東電網分區運行。內蒙古電力公司僅負責蒙西電網的調度運行，蒙東電網由東北電網公司負責調度運行。

在我們所承擔的中國風電場項目中，已對內蒙古電力公司具有一定了解，並獲得相關經驗。因而，我們不擔心內蒙古電力公司作為電網運行商的能力和經驗。

3.4.5 結論

在中國，輸配電網屬國有資產。目前，中國有三家獨立的電網公司作為電網運行商，分別為國家電網公司、南方電網公司和內蒙古電力公司。2009年年底以前，所有輸電企業均獲得了監管機構頒發的輸電類電力業務許可證。全國獲得監管機構頒發的供電類電力業務許可證的企業累計2,929家。

在我們所承擔的中國風電場項目和香港電力市場研究等項目中，已對國家電網公司、南方電網公司和內蒙古電力公司具有一定了解，並獲得相關經驗。因而，我們認為中國各輸配電網公司完全具備電網運行商的資質能力和經驗。

4. 風機技術

4.1 主要涉及的風機

如表4.1所示，代表性風電場所採用的風機由國內外製造商生產。所有考察的風機類型均採用符合當前技術標準的現代設計，其額定功率範圍為750千瓦至3兆瓦。所有已安裝的風機類型都是根據現場具體情況而選定的。表4.1中的正式運行時間是指所有風機試運行圓滿結束後正式投入商業運營的日期。

表4.1：安裝於代表性風電場的風機

序號	風電場	容量 (兆瓦)	正式 運行日期	製造商	風機機型	額定功率 (千瓦)	風機 台數
1	長島	27.20	2006	歌美颯	G52	850	32
2	昌邑一期	49.50	2010	蘇司蘭	S82	1,500	33
3	大理大風壩	48.00	2009	運達	WD50/750	750	64
4	達茂茂明一期	49.50	2010	東汽	FD70B	1,500	33
5	阜新阜北二期	300.00	2009	華銳	SL1500	1,500	200
6	科左中旗珠日河 一場三期	48.00	2010	中船重工 海裝	H93-2.0	2,000	24
7	樂亭	49.50	2009	華銳	SL1500	1,500	33
8	牛頭嶺一期	13.50	2000	NEG- Micon	NM48/750	750	18
9	青澳二期	45.05	2007	維斯塔斯	V52	850	53
10	榮成	6.00	不適用	華銳	SL3000	3,000	2
11	通遼寶龍山一期	49.50	2009	東汽	FD77B	1,500	33
12	威海一期	19.50	2007	華銳	SL1500	1,500	13

4.1.1 華銳SL1500-1.5兆瓦

2009年，華銳風機的裝機容量為3,510兆瓦，並且主力機型就是SL1500系列。華銳通過和德國 Fuhrländer 合作開始研發風機，並且獲得了 AMSC Windtec 的製造許可。SL1500是三葉片、水準軸的風機，配有雙饋電機、主動變槳和偏航系統。該機型有常溫型和低溫型。

整體而言，我們認為SL1500機型的設計符合行業標準。

表4.2：華銳SL1500技術參數

	SL1500/77	SL1500/82
輪轂高度	70米	70米
葉輪直徑	77.4米	82.9米
額定功率	1,500千瓦	1,500千瓦
IEC等級	IEC III	IEC II
認證	勞氏	勞氏
切入風速	3米/秒	3米/秒
額定風速	11米/秒	10.5米/秒
切出風速	20米/秒	20米/秒
發電機	雙饋非同步，水冷卻	雙饋非同步，水冷卻
齒輪箱	兩級行星輪+一級平行軸圓柱齒輪	兩級行星輪+一級平行軸圓柱齒輪
齒輪箱傳動比	1:104.1	1:104.1
功率調節和控制	電機驅動變槳	電機驅動變槳

4.1.2 華銳SL3000-3.0兆瓦

SL3000風機額定功率是3兆瓦，由華銳與 AMSC Windtec 公司在生產許可協議下設計並生產的。2009年，華銳生產了100台SL3000風機，其中的部分機組已經於2009年9月開始在上海東海大橋專案運行，並且成功通過了240小時預驗收測試。

SL3000沿用了經典的設計，配置了傳統的多極增速齒輪箱和雙饋感應電機 (DFIG)。這是個標準的設計方案，已被許多其他生產兆瓦級風機的廠商所採用。此外還採用了其他高級技術如變速控制和變槳距調節系統。這款機型有四個系列，分別為頻率為50Hz和60Hz的陸上和海上機型。

雖然SL3000還沒有足夠的業績記錄，但是其設計遵循和其他類似額定功率的風機相同的標準。因此我們期望該機型的可靠性水準能和其他著名風機廠商生產的風機可靠性水準相近。

表4.3：華銳SL3000技術參數

輪轂高度	80米
葉輪直徑	105米
額定功率	3,000千瓦
IEC等級	IEC IIA
認證	勞氏
切入風速	3米/秒
額定風速	12米/秒
切出風速	25米/秒
發電機	雙饋非同步，水冷卻
齒輪箱	兩級行星輪+一級平行軸齒輪
齒輪箱傳動比	1:84.6
功率調節方式	伺服電機驅動變槳

4.1.3 東汽FD77B/FD70B-1.5兆瓦

東汽在瑞能的技術許可下生產製造風機，東汽FD77B和FD70B是引進瑞能MD70技術設計而成，該款風機的設計於1997年完成，此後一直在更新。經過不斷補充和技術優化更新，FD77B/FD70B被認為在技術上是成熟的。根據2010年3月BTM的統計，2009年，東汽風機累計裝機容量已達3,765兆瓦。

表4.4：東汽FD77B/FD70B技術參數

	FD70B	FD77B
輪轂高度	65米	61.5米
葉輪直徑	70米	77米
額定功率	1,500千瓦	1,500千瓦
IEC等級	IEC IIA	IEC IIIA
切入風速	3.5米/秒	3米/秒
額定風速	13米/秒	12.5米/秒
切出風速	25米/秒	20米/秒
發電機	非同步	非同步
齒輪箱	行星和圓柱齒輪混合	行星和圓柱齒輪混合
齒輪箱傳動比	1:94.99	1:104
功率調節方式	變槳和變速調節技術	變槳和變速調節技術

瑞能MD70 (現在是FD77B/FD70B) 的設計概念，是沿用成功應用在600–750千瓦風機的技术方案，並且將其進行改進以滿足兆瓦級風機的要求。FD77B/FD70B的風輪是變速轉動，並

且葉片也針對此種情況進行了優化。齒輪箱是三級設計，一級行星齒輪加兩級圓柱齒輪。雙饋非同步發電機使風機可以變速運行，又不需要把所有的輸出電能進行整流，因而為這種有利的運行模式提供了最有效的條件。

鑑於FD77B/FD70B的應用已經有較多的成功經驗，我們認為FD77B/FD70B的技術是成熟的，並且經實踐證明是可靠的。

4.1.4 蘇司蘭S82-1.5兆瓦

蘇司蘭生產的S82-1.5兆瓦風機主要是面對印度和中國市場。截至2010年1月31日，蘇司蘭宣佈全球總裝風機數量為6,622台，其中S82機型有1,212台。

該風機適用於中速風區，設計可靠，採用變槳距技術，三級齒輪箱通過靈活的聯軸器和非同步感應電機相連。

鑑於S82的應用已經有了較多的成功經驗，我們認為此款機型在所考察項目中的應用是可靠的。

表4.5：蘇司蘭S82技術參數

輪轂高度	78米
葉輪直徑	82米
額定功率	1,500千瓦
IEC等級	IEC IIIA
認證	勞氏
切入風速	4米/秒
額定風速	14米/秒
切出風速	20米/秒
發電機	單饋感應，空冷
齒輪箱	一級行星輪+兩級斜齒輪
齒輪箱傳動比	1:95.09
功率調節方式	電機驅動變槳

4.1.5 運達WD50-750千瓦

運達從上世紀70年代就開始研發風機，如今研製出WD49/50 750千瓦，WD52 800千瓦和WD77/82 1500千瓦系列。WD49/50 750千瓦系列風機沿用了瑞能的設計，並且獲得產品許可進行生產。已獲得了德國勞氏認證。經過不斷的積累，運達成功地承擔起自主設計和研製未來風機的任務。

整體而言，我們認為WD50/750技術成熟，有良好的證明，並認為該機型是可靠的。

表4.6：運達WD50/750技術參數

輪轂高度	50米
葉輪直徑	49米
額定功率	750千瓦
認證	勞氏
切入風速	3.5米/秒
額定風速	14米/秒
切出風速	25米/秒
發電機	非同步感應電機
齒輪箱	一級行星輪加兩級直齒輪
齒輪箱傳動比	1:67.4
功率調節方式	Mita/運達控制器

4.1.6 中船重工H93-2.0兆瓦

H93-2.0兆瓦機型是由中船重工(重慶)海裝風電設備有限公司和德國Aerodyn Energiesysteme GmbH 聯合設計的，該德國公司在風機技術領域的經驗始於1983年。具體技術參數見表4.7。

表4.7：中船重工H93-2.0兆瓦技術參數

輪轂高度	70米
葉輪直徑	93米
額定功率	2,000千瓦
IEC等級	IEC TC IIIA
認證	勞氏
切入風速	3米/秒
額定風速	10.5米/秒
切出風速	25米/秒
發電機	雙饋非同步
齒輪箱傳動比	1:117
功率調節方式	變槳和變速調節技術

H93-2.0兆瓦機型在內蒙古風電場的應用已獲得德國勞氏認證。

整體而言，我們認為H93-2.0兆瓦的設計符合行業標準。然而，由於該風機的往績記錄不足，我們認為要求廠家提供至少三年以上的保質期是降低風險的一種合理方案。華能新能源已成功地與海裝達成了由廠家提供五年保質期的合同。因此，我們對華能新能源這種降低風險的方案表示滿意。

4.1.7 歌美颯G52-850千瓦

G52的設計和公認的成熟機型維斯塔斯V52的設計非常相似，這也反映了這兩家公司的聯繫。歌美颯的G52技術包括雙饋非同步發電機和變速發電機，參見表4.8。

表4.8：歌美颯G52技術參數

輪轂高度	55米
葉輪直徑	52米
額定功率	850千瓦
IEC等級	IEC IA
認證	勞氏
切入風速	4米／秒
額定風速	16米／秒
切出風速	25米／秒
發電機	雙饋非同步
齒輪箱	一級行星齒輪+兩級斜齒輪
齒輪箱傳動比	1:61.74
功率調節方式	變槳和變速調節技術

隨著7,000多首歌美颯G5X-850千瓦風機的安裝，G52機型已成為歌美颯成熟的標誌性產品。總而言之，我們認為G52-850千瓦風機是一款成熟可靠的機型。

4.1.8 維斯塔斯V52-850千瓦

隨著V52-850千瓦在全球的裝機數已超過2,100台，此款機型已被公認為成熟產品，在維斯塔斯的所有產品中享有良好的產品可靠性聲譽。

維斯塔斯V52採用變速技術。維斯塔斯的雙饋感應電機 (DFIG) 及其相關的控制系統被命名為「OptiSpeed®」。

OptiSpeed®技術允許風輪的轉速在發電機同步轉速上下浮動30%，使向電網輸出的電力波動最小，並且減少了對傳動鏈和結構的負載。它還可以修正葉片轉動產生的雜訊特徵。

和歌美颯G52風機一樣，V52是維斯塔斯的一款成熟的標誌性機型，並在世界上很多國家均有安裝。總體來講，我們認為V52-850千瓦是一款成熟且可靠的機型。

表4.9：維斯塔斯V52技術參數

輪轂高度	44-74米
葉輪直徑	52米
額定功率	850千瓦
IEC等級	IEC IA/IEC IIA
認證	勞氏
切入風速	4米／秒
額定風速	16米／秒
切出風速	25米／秒
發電機	非同步，用Optispeed技術
齒輪箱	一級行星輪加兩級斜齒輪
齒輪箱傳動比	1:62
功率調節方式	變槳／OptiSpeed／OptiSpeed

4.1.9 NEG-Micon TAIM-NM750 千瓦

NEG-Micon 於上世紀70年代末開始研製和生產風機，於2004年被維斯塔斯收購。維斯塔斯對這以前競爭對手的產品還在有選擇地持續研製和生產。使用的技術叫「主動失速」，即控制系統通過調節葉片的變槳誘發失速作為控制手段，但是現在已經很少使用了。由於這種風機不需要使用變頻器，所以和 DFIG (雙饋感應電機) 相比對輸出電能品質的控制要少。

根據大量往績記錄，NM750是一個標準的、成熟的機型。總體而言，我們認為NM750是可靠且成熟的風機。

表4.10：NM750技術參數

輪轂高度	46.4米
葉輪直徑	44米
額定功率	750千瓦
IEC等級	IEC IA
認證	DNV挪威船級社
切入風速	3米/秒
額定風速	15米/秒
切出風速	25米/秒
發電機	非同步
齒輪箱	一級行星輪加兩級斜齒輪
齒輪箱傳動比	1:56.3
功率調節方式	失速控制

4.2 結論

華能新能源風電場中採用了不同類型的風機。華能新能源風電場採用的大部分類型的風機都具有大量往績記錄，因此我們認為這些風機的技術是成熟的，其機型是可靠的。但是，由於海裝沒能提供足夠的往績記錄。因此，我們認為要求廠家提供至少三年以上的保質期是降低風險的一種合理方案。華能新能源已成功與海裝達成了由廠家提供五年保質期的合同。因此，我們對華能新能源這種降低風險的方案表示滿意。

5. 風能資源評估

5.1 簡介

我們審查了各風電場項目可行性研究報告中的風能資源評估和發電量預測。我們的審查著重於風能資源評估方法和所採用的假設，但不包括對發電量的重新建模或重新計算。此外，我們也查閱了有關中國國家標準(載有建議規範)，並與國際慣例進行廣泛對比分析以評估所採用的方法。

在風電場開發階段編寫的可行性研究報告中，風能資源評估是非常重要的部分，它為風電場發電量的預測提供了重要依據，特別是當實際風電場運行資料較少的時候。由於風電場設計或風機的選型常在風能資源評估後有一些變化，故一旦有了足夠的風電場運行資料(至少為期一年的正常運行)，我們傾向於用此資料作為該風電場未來發電量預測的一個指標。

5.2 中國標準

儘管上述代表性風電場的風能資源評估由中國國內若干不同的設計院完成並編寫報告，但他們所採用的評估和報告的方法是一致的，都是基於中國國家標準GB/T 18709-2002《風場風能資源測量方法》和GB/T 18710-2002《風電場風能資源評估方法》。前者包含了風能資源資料獲取和報告的格式，而後者概括了長期風能資源資料校正、資料篩查、資料處理和報告的程序。

5.3 風電場風能資源評估方法

GB/T 18710-2002是關於風能資源評估的中國國家標準，它概述了測風資料的處理和如何編製風能資源評估報告的方法。該標準包括了對相關資料的要求、長期資料修正、資料篩選和相關參數(風切變、湍流強度)的計算公式和結果報告的規則。GB/T 18710-2002參考了NREL/SR-440-22223 —《風能資源評估手冊》，該手冊由美國能源部所屬國家可再生能源實驗室編製，全面闡述了以測量方法為主的風能資源評估方法論。GB/T 18710-2002標準主要直接參考了這部手冊，因此，中國的風資源評估方法與國際慣例是基本一致的。

華能新能源採用的MCP方法是利用長時間序列的氣象觀測資料和有關年風速的歷史資料進行相關性分析。現場長期資料的相關性分析是基於對年風速的歷史資料的對比分析，儘管在所評估的一些項目中採用了比較複雜的技術。發電量的預測取決於相關資料的記錄品質和一致性這些因素。在我們審查的幾個可研報告中，當華能新能源無法獲得其滿意的相關資料時，是採用現場收集到的資料(至少一個完整年的測風資料)作為發電量預測的基礎資料。可見，這種發電量預測方法是嚴謹的。

在GB/T 18710-2002中就發電量來說，最主要的是報告年平均風速、風向和風功率密度(瓦/平方米)、日風況和季風況。為了計算風電場的發電量，應在每個風機位置計算風速分佈，並綜合考慮所選機型的功率曲線、尾流損耗和其他損耗，例如電氣設備效率和可用率都必須考慮在內，以計算出風電場的淨發電量。

5.4 風電場風能資源測量方法

中國國家標準GB/T 18710-2002概括了測風設備配置和感測器佈置的主要原則，包括感測器的排列以及如何減少測風塔遮蔽效應影響的指導說明。從我們承擔並完成的中國項目中，我們注意到，相對來說項目測風設備配置中通常採用較少的測風塔進行測風，但是華能新能源採用的測風設備配置是綜合考慮的，因地制宜的，尤其在複雜地形區域，顯示了與眾不同的優良業績。

5.5 代表性風電場的可行性研究

在審查的可行性研究中，每個風機的風速分佈由WAsP軟體建模。該軟體是由丹麥RISO國家實驗室研製。它是行業標準的評估軟體，計算非複雜環境中地形和地面狀況引起的風的變化情況。

根據我們的經驗，在風能資源評估之後和施工之前，對風電場佈置進行一些改進是常見的。從審查的一些可研報告中，我們注意到，設計階段風機機型、輪轂高度或風機的佈置與實際建成後的並不完全一致。這種情況下，可研中發電量的預測值和實際發電量會有所不同。

可研報告中採用的功率曲線是風機製造商提供的標準功率曲線。我們認為在可研階段基於這些標準功率曲線作為發電量預測是合理的。一些可研報告中的功率曲線通常沒有標明具體資料以及來源出處。從華能新能源我們得知這是設計院出於為避免對主機招標造成影響的考慮。要得知風能資源評估準確性，很重要的一點是要知道功率曲線是由理論推算所得還是由實際測量而得，以及它是否是製造商承諾的功率曲線。按保守的方式，在華能新能源風電場項目可研中通常將發電量預測值減少了5%以適應中國的實際情況。我們認為這種方式對功率曲線推算中由於缺乏一些詳細資訊而引起的不確定性是一個非常好的補充。

在我們審查的代表性風電場項目可研中，有些專案的空氣密度折減是採用基於現場平均密度與標準空氣密度的比值推導而來的比例因數法。我們認為該方法不能精確地表現空氣密度對風機功率曲線的影響，因而對高海拔地區的風電場，由於空氣密度的因素，可能導致發電損耗估算偏高從而造成年發電量預測值估算偏保守的情況。

在發電量估算時，通常使用 WAsP 軟體的尾流模型，這是一種行業標準方法。採用尾流模型所獲得的結果符合我們的預期。我們所訪問的風電場大多為分期建設或鄰近建有其他風電場。鄰近風電場及隨後幾期風電場所產生的影響在有些可研報告的風能資源評估中沒有涉及，但是，華能新能源風電場規劃已為後期擴建場址間預留了隔離帶，降低了臨近風電場和後期風電場之間的尾流影響。

每個項目所估計的損耗有一定差異。從我們的觀點看，損耗評估比較充裕，從而項目效率平均約為70%。

不確定性分析對於評估風電場性能，做出商業決策來說是非常重要的，特別是當尋求外部融資時，因為它給出了概率分析，因此其風險程度與預測值相關。遵循已出版的行業標準來進行發電量預測，並不能夠絕對避免預測的不確定性，因為分析的過程中所產生的錯誤各有不同，因地而異。對於融資方而言，由於不是採用專案收入的方式獲益，他們主要是依據發電量預測值的高低來進行投資決策的。反過來，像華能新能源這樣具有諸多風電資產的大型電力企業，或類似的投資商而言，他們則是基於總體估算 (P50) 的發電量預測值來進行專案收入預算的。中國標準對不確定性分析沒有具體要求，在可研中僅提供總體估算 (P50)。然而，我們注意到，在所評估的風電場項目中，發電量預測值趨於保守估算，故當具有足夠的運行資料以後 (通常為一年的正常運行資料)，我們傾向於採用實際發電量資料作為未來發電量預測的一個指標。

5.6 結論

審查評估結果表明代表性風電場採用的風能資源評估方法是一致的，與國際慣例基本相符。中國風能資源評估的相關標準源於國際著名標準，但是由於需求不同，在方法上有所不同。例如，與國際上其他國家相比，由於需求不同，中國風能資源評估方法中對發電量預測中的不確定性分析沒有作特別強調。因此，華能新能源項目在實際應用和假設計算

中都明顯地採用了保守估計。特別是用於計算淨發電量的損耗估算，總體來說，相對於我們評估的其他國家典型的發電量損耗值偏高。從審查評估結果中注意到實際發電量有高於發電量預測值的趨勢。

我們認為中國的風能資源評估方法是符合中國需求特性的。審查評估結果表明，實際運行資料與預測發電量基本一致，說明了方法的可靠性。

6. 併網評估

6.1 簡介

本章旨在分析評估影響風電場併網的主要因素並指出影響風電場正常運行的潛在風險。評估的主要內容包括以下三個方面：

- 風電場所有設備外送容量的限制。包括風電場升壓站主變壓器的額定容量，電力外送線路的額定容量等。分析評估其是否滿足風電場電力外送的要求；
- 風電場併網標準及要求。包括檢驗風電場是否擁有足夠的無功電源，從而使風電場能夠在給定的電壓及有功輸出的範圍內，維持併網點所需的功率因數、電壓控制能力、風電場低電壓穿越能力，以及風電場電能品質指標是否滿足要求等；及
- 併網點當地電網接納風電場的能力。包括風電場接入後當地電網的電壓／頻率調節能力、系統超載的情況和是否會引發其他潛在的運行問題等。

我們對併網的評估僅限於所調查的12個具有代表性的風電場。主要的評估依據如下所列：

- 華能新能源所提供的所有資料；
- 與華能新能源相關人員會晤和討論所獲取的資訊；
- 對12個具有代表性的風電場調研訪問的情況；及
- 從公開渠道所獲取的資訊並結合我們的專業領域知識和對中國電力行業的深入了解。

評估中主要參考和應用的資料包括：

- 可行性研究報告；
- 併網研究報告；
- 接入系統的主接線圖；
- 風電場內部集電系統的主接線圖；
- 風電場併網調度協議；
- 風電場併網標準及基本要求；

- 中國政府頒佈的有關可再生能源的相關政策性文件；
- 華能新能源對我們問卷調查的回覆；及
- 現場訪問記錄。

所有現場調查所收集的資訊均認為是最新的。本評估過程中，我們沒有進行任何獨立的仿真或計算，以驗證中國國內的各設計院（作為獨立於華能新能源的第三方）所完成的輸入與輸出結果的正確性。

中國國內的各設計院對接入電網的潮流計算和故障分析等研究結果表明了風電場能否併網，以及當地電網是否存在任何時刻影響接入風電場出力水準的任何網路約束因素。這些分析研究結果給我們提供了評估當地電網輸電能力及吸納風電場電力輸出能力的依據。

我們期望在風電場接入系統併網正式運行之後，各當地電網所進行的任何擴容改造均能增強輸電容量，改善電網運行狀態，最終有利於風電場的接入和運行。

6.2 併網的關鍵問題

通過對所收集資料的研究分析，我們注意到12個具有代表性的風電場均能夠接入到220千伏或者110千伏的輸配電網中。

本節將併網的相關關鍵問題概述如下。

6.2.1 風電場升壓變電站的容量

主變壓器容量

風電場升壓站中主變壓器的容量應能夠滿足風電場出力滿發時的輸出要求，並提供靈活的電壓調節和無功補償。

大部分風電場主變壓器的額定容量能夠滿足風電場出力滿發時的輸送需要，並且均已配置有載調壓分接頭，能夠將風電場升壓站的母線電壓維持在穩定的水準。

在評估中，我們注意到威海風電場主變壓器的容量與接入升壓站的風機總裝機容量相同。因此，在威海風電場（裝機容量為69兆瓦）和榮成風電場（裝機容量為六兆瓦）所有風機滿發時，該變電站的變壓器有可能超載，存在所發出力高於額定出力的可能性。從而導致併網點功率因數為某一特定值的情況下時，威海和榮成風電場的出力可能會受到限制。然而，我們從華能新能源了解到，儘管電網技術規定上沒有明確，但是該併網點的功率因數通常維持在一，從而避免了上述情況的出現。另外，我們從華能新能源進一步獲悉將新建一座榮成風電場的升壓站，待升壓站建成後這兩台三兆瓦風機將改接入此升壓站。

風電場電纜／架空線的容量

風電場變電站與併網點的導體載流能力應能承擔所連風電場滿發時電能輸出的需求。

所有連接線路的額定容量均能滿足所連風電場滿發時電能輸出的需求。所調研的風電場均是通過一回架空線／電纜與電網相聯。根據2006年頒佈的國家電網技術規定(試行)，為便於運行管理和控制，簡化系統接線，風電場變電站到併網點送出線路可不滿足「N-1」要求。在2009年12月頒佈的國家電網技術規定(修訂版)中，沒有關於風電場變電站到併網點送出線路必須滿足「N-1」要求的規定。

「N-1」安全準則是屬靜態安全分析範疇中的一種預想故障分析。預想故障分析是指對預先設定的電力系統元件故障，即分別斷開系統的每個網路元件，如線路、變壓器和發電機等，確定其後的電網狀態能否在緊急限值範圍內，或經過調整恢復到正常限值範圍內。

其他設備容量

採用故障分析和計算結果來合理選擇和配置開關設備如斷路器的容量，以確保風電場變電站中所有開關設備具有足夠的斷流能力。

6.2.2 無功補償容量和電壓控制

風電場無功配置是其接入電網的重要技術要求。各風電場應提供足夠的無功補償，以滿足併網點電壓調節和功率因數調節。無功容量分析的目的是檢驗風電場是否擁有足夠的無功電源，從而風電場能夠在給定的電壓及有功輸出的範圍內，維持併網點所需的功率因數。如果分析的結果顯示容量不足，在風電場接入系統設計的時候必須考慮無功容量補償的方案。儘管中國大部分風電場沒有像世界上其他風電場那樣進行詳細的無功研究，但是在其接入系統設計中，通常都提供了典型方式下所需要的無功補償配置方案。

所調研的12個風電場均按照現行電網技術規定的要求，在併網點保持一定的功率因數。按照併網研究報告要求，八個代表性風電場安裝有無功補償裝置。然而，由於長島、威海、榮成和昌邑風電場的併網研究報告和併網協議中沒有關於無功補償裝置配置方案的資訊，故這些風電場沒有安裝無功補償裝置。此外，升壓變壓器配置有載調壓分接頭，能夠在90%至110%的範圍內調節變壓器高壓側繞組電壓。因此，我們認為風電場擁有足夠的無功容量，具有電壓控制能力，從而能夠滿足國家電網技術規定(修訂版)所規定的無功需求和電壓調節的要求。

6.2.3 低電壓穿越能力和電能品質

風力發電機的設計原理不同於常規的同步發電機。風電場大量風機的接入可能引起電壓偏差、電壓波動、閃變、諧波等問題，從而影響當地電網的供電品質。國家電網技術規

定(修訂版)要求應對風電機組的電能品質指標和低電壓穿越能力進行評估，以確保給定限制條件下的相關指標符合技術標準。

風電場被要求在接入電網前完成相關測試。與大部分中國現有風電場一樣，12個代表性風電場將按照電網技術規定要求進行技術改造，以期在近期能夠滿足國家電網技術規定(修訂版)。

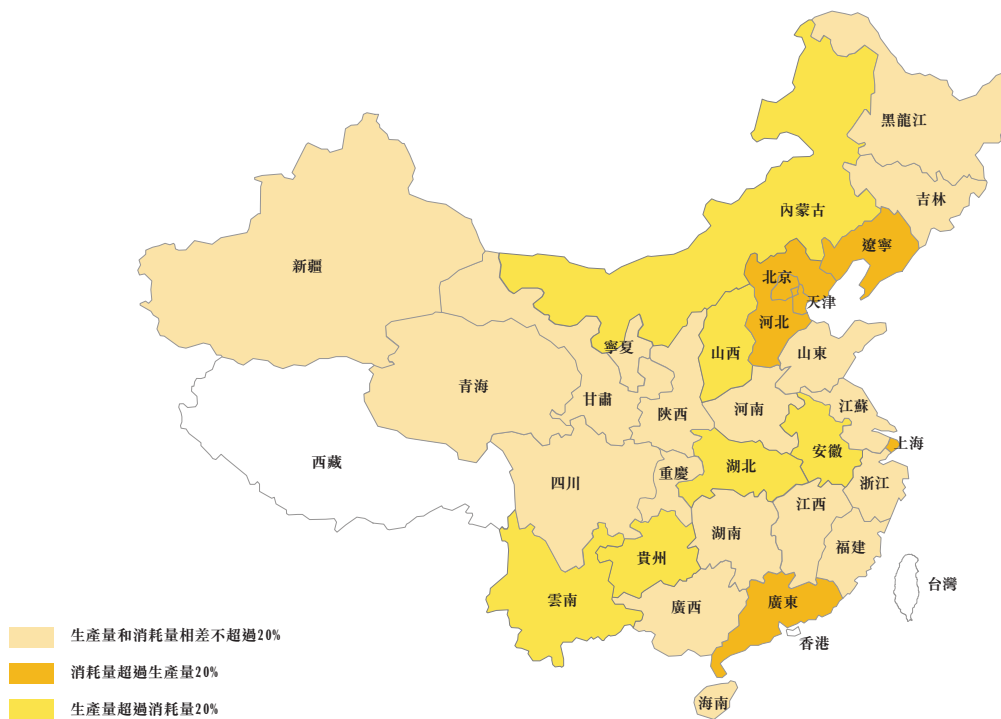
6.2.4 當地電網的接納能力

可行性研究報告表明已採用電力系統安全分析套裝軟體，包括「N-1」安全準則對風電場接入後的當地電網進行了電力系統靜態和動態安全分析。

我們知道，風電場接入電網會對當地電網的電壓水準和無功潮流產生影響。然而，電力系統運行的主要目的是安全經濟地將有功電力從發電源輸送給電力用戶。顯然，具有分佈和變化特性的風電場的接入對保障常規電力系統正常運行的發電備用容量產生直接的影響，進而影響到當地電網對風電場的接納水準。另一方面，各電網的電力供需平衡狀況也將直接影響該電網對風電場的接納狀況。因此，我們將對該因素分析如下。

中國地域遼闊，能源和電力負荷分佈嚴重不均。大約三分之二水利資源和煤炭資源分佈在西南、西部、西北和北部地方，而約三分之二的電力負荷則主要集中在電力能源缺乏的東部和南部地區。圖6.1顯示了中國電力生產和電力消耗的分佈情況。

圖6.1：中國電力生產和電力消耗的分佈情況



來源：中國統計年鑒2009

根據我們的分析評估，大部分的當地電網對風電場具有足夠的接納能力以保證風電場的正常運行和電力輸出。然而，我們注意到，在寶龍山和珠日河風電場一場所在的區域，特別是在冬季供暖期間，大批供熱機組必須持續運行，當地電網系統調峰電源容量不足，導致風電場電力上網受到少許限制，不能完全滿發。我們認為當地電網對華能新能源風電場應具有足夠的接納能力並期待這樣的問題在未來電網的配套建設中得到妥善解決。

6.3 各風電場併網評估

6.3.1 簡介

基於我們的現場訪問和研究分析，考慮到各地電網的供需平衡情況以及當地電網的限制，我們將針對上述關鍵問題對各個風電場併網情況進行詳細的評估，從而指出可能存在的風險和問題。

6.3.2 阜北風電場二期

6.3.2.1 設備容量

阜新阜北風電場二期工程裝有200台華銳1.5兆瓦風機，總裝機容量為300兆瓦。每台風機經地下電纜串聯至一台風機升壓變壓器。該電纜的容量能夠承載每台風機滿發時的電能輸出。所有風機發出的電能由35千伏架空線匯集輸出，每回線路的載流能力均能滿足所連風機滿發時的電能輸出需求。

風電場建有兩座220千伏升壓站——東區升壓站和中心升壓站。東區升壓站裝有一台120兆伏安，220/35千伏有載調壓變壓器；中心升壓站裝有兩台100兆伏安，220/35千伏有載調壓變壓器。35千伏匯集線路連接至升壓站35千伏母線，所匯集電能經由主變壓器升壓至220千伏母線。所有風機分為兩組：

- 一組連接74台1.5兆瓦（總容量111兆瓦）的雙饋式風力發電機組至東區升壓站35千伏母線側，及
- 另一組連接126台1.5兆瓦（總容量189兆瓦）的雙饋式風力發電機組至中心升壓站35千伏母線側。

升壓站主變壓器總容量為320兆伏安滿足阜北風電場二期滿發電能輸出（300兆瓦）的要求。因此，我們認為主變壓器的配置容量足以保證風電場滿發出力輸送的要求。

東區升壓站通過1回11.5千米 LGJ-300的220千伏線路接入220千伏中心升壓站，線路載流容量為215.7兆伏安。阜北風電場二期的220千伏中心升壓站以一回220千伏送電線路接入220千伏東梁變電所，線路為LGJ-400×2導線，線路長度50千米，線路最大載流容量為644兆伏安，大於風電場滿發時出力，不會造成系統瓶頸。根據2006年頒佈的國家電網技術規定（試行），風電場變電站到併網點送出線路可不滿足「N-1」要求。在2009年12月頒佈的國家電網技術規定（修訂版）中，也沒有關於風電場變電站到併網點送出線路必須滿足「N-1」要求的規定。

風電場內開關設備的遮斷故障的能力是50千安。因此，各斷路器具有足夠的斷流能力。風電場採用了多種繼電保護系統，包括差動保護和過電流保護等，與大多數中國風力發電場所採用的繼電保護模式類似。風電場配置有避雷保護裝置用於保護設備免受雷電影響。風電場設備狀況良好，無明顯問題。

6.3.2.2 無功補償容量和電壓控制能力

風電場共安裝29.5兆乏的無功補償裝置。另外，升壓變壓器配置有載調壓分接頭，能夠在90%至110%的範圍內調節變壓器高壓側繞組電壓。因此，我們認為風電場擁有足夠的無功容量，並具有電壓控制能力，從而能夠滿足併網標準所規定的無功需求和電壓調節的要求。

6.3.2.3 當地電網的運行狀況

阜北風電場二期位於遼寧省阜新市西部，地處東北電網的末端。通過220千伏東梁變電站接入阜新電網，由遼寧電力調度通信中心負責調度。阜新電網位於遼寧省電網西部，處於電網末端，是電力外送系統，主要通過220千伏線路將電力送入東北電網。

如圖6.1所示，遼寧省境內電力負荷高於電力供應達20%以上，是電力缺額省份。因此，阜北風電場二期的併網是能源消耗的有益補充。我們認為阜北風電場二期在正常情況下不會受到遼寧電力調度通信中心的出力限制。

6.3.3 寶龍山風電場一期

6.3.3.1 設備容量

寶龍山風電場一期工程裝有33台FD77B 1.5兆瓦風機，總裝機容量為49.5兆瓦。每台風機經地下電纜串聯至一台風機升壓變壓器。該電纜的容量能夠承載每台風機滿發時的電能輸出。所有風機發出的電能由35千伏架空線匯集輸出。每回線路的載流能力均能滿足所連風機滿發時的電能輸出需求。

風電場建有一座220千伏升壓站。升壓站裝有兩台額定容量分別為63兆伏安和90兆伏安的220/35千伏有載調壓變壓器。35千伏匯集線路連接至升壓站35千伏母線，所匯集電能經由主變壓器升壓至220千伏母線。

寶龍山風電場二期和三期擴建工程裝機容量分別為49.5兆瓦，共用本220千伏升壓站。升壓站主變壓器總容量為153兆伏安滿足寶龍山風電場所有風機滿發電能輸出(148.5兆瓦)的要求。因此，我們認為主變壓器的配置容量足以保證風電場滿發出力輸送的要求。

寶龍山風電場的220千伏中心升壓站以一回220千伏送電線路接入220千伏寶華變電所，線路為LGJ-300導線，線路最大載流容量為353兆伏安，大於風電場滿發時出力，不會造成系統瓶頸。根據2006年頒佈的國家電網技術規定(試行)，風電場變電站到併網點送出線路可不滿足「N-1」要求。在2009年12月頒佈的國家電網技術規定(修訂版)中，也沒有關於風電場變電站到併網點送出線路必須滿足「N-1」要求的規定。

風電場內開關設備的遮斷故障的能力是40/31.5千安。因此，各斷路器具有足夠的斷流能力。風電場採用了多種繼電保護系統，包括差動保護和過電流保護等，與大多數中國風力發電場所採用的繼電保護模式類似。風電場配置有避雷保護裝置用於保護設備免受雷電影響。風電場設備狀況良好，無明顯問題。

6.3.3.2 無功補償容量和電壓控制能力

風電場共安裝40兆乏的無功補償裝置。另外，升壓變壓器配置有載調壓分接頭，能夠在90%至110%的範圍內調節變壓器高壓側繞組電壓。因此，我們認為風電場擁有足夠的無功容量，並具有電壓控制能力，從而能夠滿足併網標準所規定的無功需求和電壓調節的要求。

6.3.3.3 當地電網的運行狀況

寶龍山一期風電場位於內蒙古東部地區的通遼市，併網後通過220千伏寶華變電站接入屬蒙東電網的通遼電網，但由東北電網電力調度通信中心負責調度。

通遼電網位於東北電網的中西部。通遼電網內通遼發電廠是東北電網的主力電廠之一，總裝機容量為800兆瓦，除向通遼電網供電外，多餘電力向屬於東北電網三大省級電網的吉林省電網供電。

在寶龍山風電場所在的區域，特別是在冬季供暖期間，為保證供熱大批供熱機組必須持續運行，當地電網系統調峰電源容量不足，導致風電場電力上網受到少許限制，不能完全滿發。我們認為當地電網對華能新能源風電場應具有足夠的接納能力並期待這樣的問題在日後電網的配套建設中得到妥善解決。

6.3.4 珠日河風電場一場三期

6.3.4.1 設備容量

珠日河風電場一場三期工程裝有24台海裝H93-2.0兆瓦風機，總裝機容量為48兆瓦。每台風機經地下電纜串聯至一台風機升壓變壓器。該電纜的容量能夠承載每台風機滿發時的電能輸出。所有風機發出的電能由35千伏架空線匯集輸出。每回線路的載流能力均能滿足所連風機滿發時的電能輸出需求。

風電場建有一座220千伏升壓站。升壓站裝有兩台100兆伏安，220/35千伏有載調壓變壓器。35千伏匯集線路連接至升壓站35千伏母線，所匯集電能經由主變壓器升壓至220千伏母線。

珠日河風電場一場一期和二期工程裝機容量分別為49.5兆瓦，共用本220千伏升壓站。升壓站主變壓器總容量為200兆伏安滿足珠日河風電場所有風機滿發電能輸出(147兆瓦)的要求。因此，我們認為主變壓器的配置容量足以保證風電場滿發出力輸送的要求。

珠日河風電場一場三期以兩回220千伏送電線路(科烏線和烏北線)接入220千伏烏力吉變電所，線路最大載流容量為600兆伏安，大於風電場滿發時出力，不會造成系統瓶頸。根據2006年頒佈的國家電網技術規定(試行)，風電場變電站到併網點送出線路可不滿足「N-1」要求。在2009年12月頒佈的國家電網技術規定(修訂版)中，也沒有關於風電場變電站到併網點送出線路必須滿足「N-1」要求的規定。

風電場內開關設備的遮斷故障的能力是50/31.5千安。因此，各斷路器具有足夠的斷流能力。風電場採用了多種繼電保護系統，包括差動保護和過電流保護等，與大多數中國風力發電場所採用的繼電保護模式類似。風電場配置有避雷保護裝置用於保護設備免受雷電影響。風電場設備狀況良好，無明顯問題。

6.3.4.2 無功補償容量和電壓控制能力

風電場共安裝35兆乏的無功補償裝置。另外，升壓變壓器配置有載調壓分接頭，能夠在90%至110%的範圍內調節變壓器高壓側繞組電壓。因此，我們認為風電場擁有足夠的無功容量，並具有電壓控制能力，從而能夠滿足併網標準所規定的無功需求和電壓調節的要求。

6.3.4.3 當地電網的運行狀況

珠日河風電場一場三期風電場位於內蒙古東部地區的通遼市。與寶龍山風電場一樣，併網後通過220千伏線路接入屬蒙東電網的通遼電網，但由東北電網電力調度通信中心負責調度。

如前所述，在珠日河和寶龍山風電場所在的區域，為了冬季供電供暖的需要，大批供熱機組必須持續運行。由於當地電網系統調峰電源容量不足及火力發電供暖的要求，導致風電場電力上網受到少許限制，不能完全滿發。我們認為當地電網對華能新能源風電場應具有足夠的接納能力並期待這樣的問題在日後電網的配套建設中得到妥善解決。

6.3.5 茂明風電場一期

6.3.5.1 設備容量

茂明風電場一期工程裝有33台東汽FD70B 1.5兆瓦風機，總裝機容量為49.5兆瓦。每台風機經地下電纜串聯至一台升壓變壓器。該電纜的容量能夠承載每台風機滿發時的電能輸出。所有風機發出的電能由35千伏架空線匯集輸出。每回線路的載流能力均能滿足所連風機滿發時的電能輸出需求。

風電場建有一座220千伏升壓站。升壓站裝有一台100兆伏安，220/35千伏有載調壓變壓器。35千伏匯集線路連接至升壓站35千伏母線，所匯集電能經由主變壓器升壓至220千伏母線。

茂明風電場擴建工程總容量為49.5兆瓦正在建設規劃中，將共用本220千伏升壓站。升壓站主變壓器總容量為100兆伏安滿足茂明風電場(一期)滿發電能輸出(49.5兆瓦)，甚至滿足未來茂名風電場二期投運後所有風電場滿發電能輸出(99兆瓦)的要求。因此，我們認為主變壓器的配置容量可以保證風電場滿發出力輸送的要求。

茂明風電場一期以一回220千伏送電線路接入220千伏望海變電所，線路載流容量為250兆伏安，大於風電場滿發時出力，不會造成系統瓶頸。根據2006年頒佈的國家電網技術規定(試行)，風電場變電站到併網點送出線路可不滿足「N-1」要求。在2009年12月頒佈的國家電網技術規定(修訂版)中，也沒有關於風電場變電站到併網點送出線路必須滿足「N-1」要求的規定。

風電場內開關設備的遮斷故障的能力是40/31.5千安。因此，各斷路器具有足夠的斷流能力。風電場採用了多種繼電保護系統，包括差動保護和過電流保護等，與大多數中國風力發電場所採用的繼電保護模式類似。風電場配置有避雷保護裝置用於保護設備免受雷電影響。風電場設備狀況良好，無明顯問題。

6.3.5.2 無功補償容量和電壓控制能力

風電場安裝總容量20兆乏的無功補償裝置。另外，升壓變壓器配置有載調壓分接頭，能夠在90%至110%的範圍內調節變壓器高壓側繞組電壓。因此，我們認為風電場擁有足夠的無功容量，並具有電壓控制能力，從而能夠滿足併網標準所規定的無功需求和電壓調節的要求。

6.3.5.3 當地電網的運行狀況

如3.4.4節所述，內蒙古電力公司是一家獨立的省級電力公司。茂明風電場一期位於內蒙古西部包頭市達茂旗境內。併網後通過220千伏線路接入屬蒙西電網的包頭電網，並由內蒙古電力調度通信中心負責調度。

由於包頭市境內電力負荷高於電力供應，是負荷中心。因此，本風電場的併網是能源消耗的有益補充。我們認為茂明風電場一期在正常情況下不會受到內蒙古電力調度通信中心的出力限制。

6.3.6 牛頭嶺風電場一期

6.3.6.1 設備容量

牛頭嶺風電場一期位於廣東省汕頭南澳島海岸上，是該島上建設的第一座風電場，總容量為13.5兆瓦，由18台NEG-MICON 750千瓦型風機組成。每台風機經地下電纜串聯至一台升壓變壓器。該電纜的容量能夠承載每台風機滿發時的電能輸出。所有風機發出的電能由10千伏架空線匯集輸出。每回線路的載流能力均能滿足所連風機滿發時的電能輸出需求。

風電場建有一座110千伏升壓站。升壓站裝有兩台31.5兆伏安(總容量63兆伏安)，110/10千伏有載調壓變壓器。10千伏匯集線路連接至升壓站10千伏母線，所匯集電能經由主變壓

器升壓至110千伏母線。升壓站主變壓器總容量為63兆伏安滿足牛頭嶺風電場一期滿發電能輸出(13.5兆瓦)的要求。因此，我們認為主變壓器的配置容量可以保證風電場滿發出力輸送的要求。

牛頭嶺風電場一期以一回110千伏送電線路接入110千伏南澳電網金牛變電站，線路最大載流容量為15兆伏安，大於風電場滿發時出力，不會造成系統瓶頸。根據2006年頒佈的國家電網技術規定(試行)，風電場變電站到併網點送出線路可不滿足「N-1」要求。在2009年12月頒佈的國家電網技術規定(修訂版)中，也沒有關於風電場變電站到併網點送出線路必須滿足「N-1」要求的規定。

金牛變電站安裝的開關設備的遮斷故障的能力是31.5千安。因此，各斷路器具有足夠的斷流能力。風電場採用了多種繼電保護系統，包括差動保護和過電流保護等，與大多數中國風力發電場所採用的繼電保護模式類似。風電場配置有避雷保護裝置用於保護設備免受雷電影響。風電場設備狀況良好，無明顯問題。

6.3.6.2 無功補償容量和電壓控制能力

風電場可行性研究報告指出所有安裝的風機的功率因數均在0.97超前到0.97滯後的範圍內可調。風電場接入系統報告中沒有提及無功補償裝置的配置。另外，升壓變壓器配置有載調壓分接頭，能夠在90%至110%的範圍內調節變壓器高壓側繞組電壓。因此我們認為該風電場不需要額外的無功補償裝置，已有足夠的無功容量，並具有電壓控制能力，能夠滿足併網標準所規定的無功需求和電壓調節的要求。

6.3.6.3 當地電網的運行狀況

牛頭嶺風電場一期位於廣東省汕頭南澳島海岸上，併網後通過110千伏線路接入屬廣東電網的汕頭電網，並由汕頭電力調度通信中心負責調度。

由於汕頭市境內電力負荷高於電力供應達20%以上，是負荷中心。因此，本風電場的併網是能源消耗的有益補充。我們認為牛頭嶺風電場一期在正常情況下不會受到汕頭電力調度通信中心的出力限制。

6.3.7 青澳風電場

6.3.7.1 設備容量

青澳風電場二期位於廣東省汕頭南澳島東部海岸上，總容量為45.05兆瓦，由53台V52-850千瓦型風機組成。各風機經地下電纜串聯至一台風機升壓變壓器。該電纜的容量能夠承載每台風機滿發時的電能輸出。所有風機發出的電能由35千伏架空線匯集輸出。每回線路的載流能力均能滿足所連風機滿發時的電能輸出需求。

青澳風電場二期建有一座110千伏升壓站。升壓站裝有一台50兆伏安，110/35千伏有載調壓變壓器。35千伏匯集線路連接至升壓站35千伏母線，所匯集電能經由主變壓器升壓至110千伏母線。升壓站主變壓器總容量為50兆伏安滿足青澳風電場二期滿發電能輸出(45.05兆瓦)的要求。因此，我們認為主變壓器的配置容量可以保證風電場滿發出力輸送的要求。

青澳風電場二期以一回110千伏送電線路接入110千伏南澳電網金牛變電站，線路型號為LGJ-400，線路最大載流容量為100兆伏安，大於風電場滿發時出力，不會造成系統瓶頸。根據2006年頒佈的國家電網技術規定(試行)，風電場變電站到併網點送出線路可不滿足「N-1」要求。在2009年12月頒佈的國家電網技術規定(修訂版)中，也沒有關於風電場變電站到併網點送出線路必須滿足「N-1」要求的規定。

風電場內開關設備的遮斷故障的能力是28.4/23.7千安。因此，各在斷路器具有足夠的斷流能力。風電場採用了多種繼電保護系統，包括差動保護和過電流保護等，與大多數中國風力發電場所採用的繼電保護模式類似。風電場配置有避雷保護裝置用於保護設備免受雷電影響。風電場設備狀況良好，無明顯問題。

6.3.7.2 無功補償容量和電壓控制能力

風電場可行性研究報告指出所有安裝的風機的功率因數均在0.95超前到0.95滯後的範圍內可調。風電場安裝總容量12兆乏的無功補償裝置。另外，升壓變壓器配置有載調壓分接頭，能夠在90%至110%的範圍內調節變壓器高壓側繞組電壓。因此，我們認為風電場擁有足夠的無功容量，並具有電壓控制能力，從而能夠滿足併網標準所規定的無功需求和電壓調節的要求。

6.3.7.3 當地電網的運行狀況

青澳風電場二期位於廣東省汕頭南澳島海岸上，併網後通過110千伏線路接入屬廣東電網的汕頭電網，並由汕頭電力調度通信中心負責調度。

由於汕頭市境內電力負荷高於電力供應達20%以上，是負荷中心。因此，本風電場的併網是能源消耗的有益補充。我們認為青澳風電場二期在正常情況下不會受到汕頭電力調度通信中心的出力限制。

6.3.8 大理大風壩風電場

6.3.8.1 設備容量

大理大風壩風電場位於雲南省大理境內，總容量為48兆瓦，由64台WD50/750千瓦型風機組成。每台風機經地下電纜串聯至一台風機升壓變壓器。該電纜的容量能夠承載每台風機滿發時的電能輸出。所有風機發出的電能由35千伏架空線匯集輸出。每回線路的載流能力均能滿足所連風機滿發時的電能輸出需求。

風電場建有一座110千伏升壓站。升壓站裝有一台63兆伏安，110/35千伏有載調壓變壓器。35千伏匯集線路連接至升壓站35千伏母線，所匯集電能經由主變壓器升壓至110千伏母線。升壓站主變壓器總容量為63兆伏安滿足大風壩風電場滿發電能輸出(48兆瓦)的要求。因此，我們認為主變壓器的配置容量可以保證風電場滿發出力輸送的要求。

附近的者磨山風電場，總容量30.75兆瓦，通過一回110千伏架空線接入到大風壩風電場升壓站110千伏母線側。然後通過一回110千伏架空線接入大理電網的110千伏新七五變電站，線路型號為LGJ-240/30，線長5.34千米，線路最大載流容量為108兆伏安，大於風電場滿發時出力，不會造成系統瓶頸。根據2006年頒佈的國家電網技術規定(試行)，風電場變電站到併網點送出線路可不滿足「N-1」要求。在2009年12月頒佈的國家電網技術規定(修訂版)中，也沒有關於風電場變電站到併網送出線路必須滿足「N-1」要求的規定。

金牛變電站安裝的風電場內開關設備的遮斷故障的能力是31.5千安。風電場採用了多種繼電保護系統，包括差動保護和過電流保護等，與大多數中國風力發電場所採用的繼電保護模式類似。風電場配置有避雷保護裝置用於保護設備免受雷電影響。風電場設備狀況良好，無明顯問題。

6.3.8.2 無功補償容量和電壓控制能力

大風壩風電場採用兩組無功補償容量，一組為 ± 12 兆乏並聯電容器，一組為14.848兆乏的並聯電抗器組。另外，升壓變壓器配置有載調壓分接頭，能夠在90%至110%的範圍內調節變壓器高壓側繞組電壓。因此，我們認為風電場擁有足夠的無功容量，並具有電壓控制能力，從而能夠滿足併網標準所規定的無功需求和電壓調節的要求。

6.3.8.3 當地電網的運行狀況

大理大風壩風電場位於雲南省大理境內。併網後接入水電豐富的大理電網。枯水季節，大理電網內缺乏電力供應，因此，大風壩風電場的出力是電能的有益補充，以滿足當地電力負荷的需要。而在水力發電的夏季豐水期，風電場的富裕電力將通過雲南主幹電網外送以供應省內或省外其他地區的電力負荷。

雲南省是中國水電資源最豐富的區域。雲南電網的富裕電力將通過全國「西電東送」聯絡線輸送到南方電網的負荷中心。目前，南方電網已形成「八交五直」13條大通道，輸送能力達23吉瓦。2009年西電東送電量已達115.6太瓦時。因此，我們認為大理大風壩的電力輸出是能夠得到保障的。

6.3.9 長島風電場

6.3.9.1 設備容量

長島風電場位於山東省煙台地區，總容量為27.2兆瓦，由32台G52-850千瓦型風機組成。每台風機經地下電纜串聯至一台風機升壓變壓器。該電纜的容量能夠承載每台風機滿發時

的電能輸出。所有風機發出的電能由35千伏架空線匯集輸出。每回線路的載流能力均能滿足所連風機滿發時的電能輸出需求。

風電場建有一座110千伏升壓站。升壓站裝有一台31.5兆伏安，110/35千伏有載調壓變壓器。35千伏匯集線路連接至升壓站35千伏母線，所匯集電能經由主變壓器升壓至110千伏母線。升壓站主變壓器總容量為31.5兆伏安，滿足長島風電場滿發電能輸出(27.2兆瓦)的要求。因此，我們認為主變壓器的配置容量可以保證風電場滿發出力輸送的要求。

長島風電場通過一回110千伏電纜接入煙台電網的110千伏長山變電站，交聯電纜型號為YJLW03-64/110千伏，線長2千米，線路最大載流容量為72兆伏安，大於風電場滿發時出力，不會造成系統瓶頸。根據2006年頒佈的國家電網技術規定(試行)，風電場變電站到併網點送出線路可不滿足「N-1」要求。在2009年12月頒佈的國家電網技術規定(修訂版)中，也沒有關於風電場變電站到併網點送出線路必須滿足「N-1」要求的規定。

風電場內開關設備的遮斷故障的能力是40千安。因此，各斷路器具有足夠的斷流能力。風電場採用了多種繼電保護系統，包括差動保護和過電流保護等，與大多數中國風力發電場所採用的繼電保護模式類似。風電場配置有避雷保護裝置用於保護設備免受雷電影響。風電場設備狀況良好，無明顯問題。

6.3.9.2 無功補償容量和電壓控制能力

由於長島風電場的併網設計報告和併網協議中沒有關於無功補償裝置配置方案的資訊，故該風電場沒有安裝無功補償裝置。然而，該風電場按照現行電網技術規定的要求，在併網點保持一定的功率因數。此外，升壓變壓器配置有載調壓分接頭，能夠在90%至110%的範圍內調節變壓器高壓側繞組電壓。因此，我們認為風電場擁有足夠的無功容量，具有電壓控制能力，從而能夠滿足併網標準所規定的無功需求和電壓調節的要求。

6.3.9.3 當地電網的運行狀況

長島風電場位於山東省煙台市長島縣境內的海島上。併網後通過110千伏電纜接入屬山東電網的煙台電網，並由煙台供電公司負責調度。

長島縣的電力負荷主要由煙台電網中的蓬萊電網通過110千伏海底電纜供應。島上部分備用容量是由柴油發電機供應。因此，長島風電場的電力輸出能夠有益地補充島上的電力缺額。我們認為長島風電場一期在正常情況下不會受到煙台電力調度中心的出力限制。

6.3.10 威海風電場一期和榮成風電場

6.3.10.1 設備容量

威海風電場一期位於山東省威海市榮成境內，總容量為19.5兆瓦，由13台華銳SL1.5兆瓦型風機組成。每台風機經地下電纜串聯至一台風機升壓變壓器。該電纜的容量能夠承載

每台風機滿發時的電能輸出。所有風機發出的電能由35千伏架空線匯集輸出。每回線路的載流能力均能滿足所連風機滿發時的電能輸出需求。

風電場建有一座110千伏升壓站。升壓站裝有一台75兆伏安，110/35千伏有載調壓變壓器。35千伏匯集線路連接至升壓站35千伏母線，所匯集電能經由主變壓器升壓至110千伏母線。

威海風電場二期擴建工程總容量為49.5兆瓦，共用本110千伏升壓站。另外，榮成風電場兩台三兆瓦風機（總容量為六兆瓦），分別經一回35千伏電纜接於附近威海一期風電場23號風機35千伏／690伏變壓器和2號35千伏／690伏變壓器的35伏側，再分別通過35千伏匯集線路連接至升壓站35千伏母線。這樣接入升壓站的風機總容量為75兆瓦。

升壓站主變壓器總容量為75兆伏安將要滿足接入威海風電場升壓站所有風機滿發電能輸出（75兆瓦）的要求。因此，在某些特殊工況下，如威海風電場（裝機容量為69兆瓦）和榮成風電場（裝機容量為六兆瓦）所有機組滿發時，並且併網點功率因數為某一特定值時，該變電站的變壓器有可能超載，存在所發出力高於額定出力的可能性。從而導致併網點功率因數為某特定值時，威海和榮成風電場的出力可能會受到限制。然而，我們從華能新能源了解到，儘管電用技術規定上沒有明確，但是該併網點的功率因數通常維持在一，從而避免了上述情況的出現。另外，我們從華能新能源進一步獲悉將新建一座榮成風電場的升壓站，待升壓站建成後，榮成風電場這兩台三兆瓦的風機將改接入此升壓站。

威海風電場通過一回110千伏架空線接入威海電網的110千伏港中變電站，線路型號為LGJ-240/30，線長5.88千米，線路最大載流容量為100兆伏安，大於風電場滿發時出力，不會造成系統瓶頸。根據2006年頒佈的國家電網技術規定（試行），風電場變電站到併網點送出線路可不滿足「N-1」要求。在2009年12月頒佈的國家電網技術規定（修訂版）中，也沒有關於風電場變電站到併網點送出線路必須滿足「N-1」要求的規定。

風電場內開關設備的最大短路容量是額定電流的20倍。各母線短路容量均在斷路器承受範圍以內，具有足夠的斷流能力。風電場採用了多種繼電保護系統，包括差動保護和過電流保護等，與大多數中國風力發電場所採用的繼電保護模式類似。風電場配置有避雷保護裝置用於保護設備免受雷電影響。風電場設備狀況良好，無明顯問題。

6.3.10.2 無功補償容量和電壓控制

由於威海風電場和榮成風電場的併網設計報告和併網協議中沒有關於無功補償裝置配置方案的資訊，故這些風電場沒有安裝無功補償裝置。然而，威海風電場和榮成風電場按照現行電網技術規定的要求，在併網點保持一定的功率因數。此外，升壓變壓器配置有載調壓分接頭，能夠在90%至110%的範圍內調節變壓器高壓側繞組電壓。因此，我們認為風電場擁有足夠的無功容量，具有電壓控制能力，從而能夠滿足併網標準所規定的無功需求和電壓調節的要求。

6.3.10.3 當地電網的運行狀況

威海風電場和榮成風電場均位於山東省威海市榮成境內。併網後通過110千伏架空線接入屬山東電網的威海電網東部的榮成配電網中，並由威海供電公司負責調度。

隨著經濟的發展，榮成地區用電需求增長很快，其電力負荷高於電力供應。因此，威海和榮成風電場的建設是當地能源消耗的有益補充。我們認為威海和榮成風電場在正常情況下不會受到威海電力調度中心的出力限制。

6.3.11 昌邑風電場

6.3.11.1 設備容量

昌邑風電場一期位於山東省濰坊市昌邑境內，總容量為49.5兆瓦，由33台蘇司蘭S82-1.5兆瓦型風機組成。每台風機經地下電纜串聯至一台風機升壓變壓器。該電纜的容量能夠承載每台風機滿發時的電能輸出。所有風機發出的電能由35千伏架空線匯集輸出。每回線路的載流能力均能滿足所連風機滿發時的電能輸出需求。

風電場建有一座110千伏升壓站。升壓站裝有一台63兆伏安，110/35千伏有載調壓變壓器。35千伏匯集線路連接至升壓站35千伏母線，所匯集電能經由主變壓器升壓至110千伏母線。升壓站主變壓器總容量為63兆伏安，滿足昌邑風電場滿發電能輸出(49.5兆瓦)的要求。因此，我們認為主變壓器的配置容量可以保證風電場滿發出力輸送的要求。

昌邑風電場通過一回110千伏架空線接入濰坊電網的110千伏大興變電站，線路型號為LGJ-300，線長11.8千米，線路最大載流容量為100兆伏安，大於風電場滿發時出力，不會造成系統瓶頸。根據2006年頒佈的國家電網技術規定(試行)，風電場變電站到併網點送出線路可不滿足「N-1」要求。在2009年12月頒佈的國家電網技術規定(修訂版)中，也沒有關於風電場變電站到併網點送出線路必須滿足「N-1」要求的規定。

風電場內開關設備的遮斷故障的能力是40/31.5千安。因此，各斷路器具有足夠的斷流能力。風電場採用了多種繼電保護系統，包括差動保護和過電流保護等，與大多數中國風力發電場所採用的繼電保護模式類似。風電場配置有避雷保護裝置用於保護設備免受雷電影響。風電場設備狀況良好，無明顯問題。

6.3.11.2 無功補償容量和電壓控制能力

由於昌邑風電場的併網設計報告和併網協議中沒有關於無功補償裝置配置方案的資訊，故該風電場沒有安裝無功補償裝置。然而，該風電場按照現行電網技術規定的要求，在併網點保持一定的功率因數。此外，升壓變壓器配置有載調壓分接頭，能夠在90%至110%的範圍內調節變壓器高壓側繞組電壓。因此，我們認為風電場擁有足夠的無功容量，具有電壓控制能力，從而能夠滿足併網標準所規定的無功需求和電壓調節的要求。

6.3.11.3 當地電網的運行狀況

昌邑風電場位於山東省濰坊市昌邑境內。併網後通過110千伏架空線接入屬山東電網的濰坊電網中，並由濰坊供電公司負責調度。

隨着經濟的發展，昌邑地區用電需求增長很快，其電力負荷高於電力供應。因此，昌邑風電場的建設是當地能源消耗的有益補充。我們認為昌邑風電場在正常情況下不會受到濰坊電力調度中心的出力限制。

6.3.12 樂亭風電場

6.3.12.1 設備容量

樂亭風電場一期位於河北省唐山市樂亭境內，總容量為49.5兆瓦，由33台華銳SL1.5兆瓦型風機組成。風機經地下電纜串聯至一台風機升壓變壓器。該電纜的容量能夠承載每台風機滿發時的電能輸出。所有風機發出的電能由35千伏架空線匯集輸出。每回線路的載流能力均能滿足所連風機滿發時的電能輸出需求。

風電場建有一座110千伏升壓站。升壓站裝有一台50兆伏安，110/35千伏有載調壓變壓器。35千伏匯集線路連接至升壓站35千伏母線，所匯集電能經由主變壓器升壓至110千伏母線。升壓站主變壓器總容量為50兆伏安，滿足樂亭風電場滿發電能輸出(49.5兆瓦)的要求。因此，我們認為主變壓器的配置容量可以保證風電場滿發出力輸送的要求。

樂亭風電場通過一回110千伏架空線接入唐山電網的金銀灘220千伏變電站的110千伏側，線路型號為LGJ-400，線長20千米，線路最大載流容量為167兆伏安，大於風電場滿發時出力，不會造成系統瓶頸。根據2006年頒佈的國家電網技術規定(試行)，風電場變電站到併網點送出線路可不滿足「N-1」要求。在2009年12月頒佈的國家電網技術規定(修訂版)中，也沒有關於風電場變電站到併網點送出線路必須滿足「N-1」要求的規定。

風電場內開關設備的遮斷故障的能力是31.5千安。因此，各斷路器具有足夠的斷流能力。風電場採用了多種繼電保護系統，包括差動保護和過電流保護等，與大多數中國風力發電場所採用的繼電保護模式類似。風電場配置有避雷保護裝置用於保護設備免受雷電影響。風電場設備狀況良好，無明顯問題。

6.3.12.2 無功補償容量和電壓控制能力

風電場安裝總容量為10兆乏的無功補償裝置。另外，升壓變壓器配置有載調壓分接頭，能夠在90%至110%的範圍內調節變壓器高壓側繞組電壓。因此我們認為該風電場能夠滿足併網標準中所規定的無功補償要求。

6.3.12.3 當地電網的運行狀況

樂亭風電場位於河北省唐山市樂亭境內。併網後通過110千伏架空線接入屬河北電網的唐山電網中，唐山供電公司負責調度。

如圖6.1所示，河北省境內電力負荷高於電力供應達20%以上，是電力缺額省份。隨著經濟的發展，樂亭地區用電需求增長很快，其電力負荷高於電力供應。因此，樂亭風電場的電力輸出是當地能源消耗的有益補充。我們認為樂亭風電場在正常情況下不會受到唐山電力調度中心的出力限制。

6.4 結論

大部分風電場升壓變電站均配有足夠的主變容量，在正常運行情況下，能夠容納風電場發出的電能。但是，我們注意到，威海風電場升壓站主變總容量為75兆伏安，剛好滿足接入威海和榮成風電場升壓站所有風機滿發電能輸出(75兆瓦)的要求。因此，在某些特殊情況下，如威海風電場(裝機容量為69兆瓦)和榮成風電場(裝機容量為6兆瓦)所有機組滿發時，並且併網點功率因數為某一特定值時，該變電站的變壓器有可能超載，存在所發出力高於額定出力的可能性。從而導致併網點功率因數為某一特定值時，威海和榮成風電場的出力可能會受到限制。然而，我們從華能新能源了解到，儘管電網技術規定(管理電網運行)上沒有明確，但是該併網點的功率因數通常維持在一，從而避免了上述情況的出現。另外，我們從華能新能源進一步獲悉將新建一座榮成風電場的升壓站，待升壓站建成後這兩台3兆瓦機組將改接入此升壓站。

所有連接線路電纜的額定容量均能滿足所連風電場滿發時電能輸出的需求。所調研的風電場均是通過單回線與電網相聯。根據2006年頒佈的國家電網技術規定(試行)，為便於運行管理和控制，簡化系統接線，風電場變電站到併網點送出線路可不滿足「N-1」要求。在2009年12月頒佈的國家電網技術規定(修訂版)中，也沒有關於風電場變電站到併網點送出線路必須滿足「N-1」要求的規定。

所有具有代表性的風電場升壓站和併網變電站的斷路器容量均能滿足開斷故障電流的需要。我們沒有發現任何有關開關設備的問題。風電場採用了多種繼電保護系統，包括差動保護和過電流保護等，與大多數中國風力發電場所採用的繼電保護模式類似。風電場配置有雷電保護裝置用於保護設備免受雷電損壞。風電場設備狀況良好，無明顯問題。

所有風電場風機均按照現行國家電網技術規定的要求，在併網點保持一定的功率因數。按照接入系統設計要求，大部分風電場裝有無功補償裝置。由於長島、威海、榮成和昌邑風電場的併網設計報告中沒有關於安裝無功補償裝置的要求，故這些風電場沒有安裝無功補償裝置。此外，升壓變壓器配置有載調壓分接頭，能夠在90%至110%的範圍內調節變壓器高壓側繞組電壓。因此，我們認為風電場擁有足夠的無功容量，並具有電壓控制能力，從而能夠滿足併網標準所規定的無功需求和電壓調節的要求。

國家電網技術規定(修訂版)要求應對風電機組電能品質指標和低電壓穿越能力進行評估，以確保在給定的限制條件下相關指標符合技術標準。要求風電場在接入電網前完成相關測試。與大部分中國現有風電場一樣，12個代表性風電場將按照國家電網技術規定要求進行技術改造，以期在近期能夠滿足修訂的國家電網技術規定。

大部分的當地電網對風電場具有足夠的接納能力以保證風電場的正常運行和電力輸出。然而，我們注意到，在寶龍山和珠日河風電場一場所在的區域，特別是在冬季供暖期間，為保證供熱大批供熱機組必須持續運行，當地電網系統調峰電源容量不足，導致風電場電力上網受到少許限制，不能完全滿發。我們認為當地電網對華能新能源風電場應具有足夠的接納能力並期待該問題在未來電網的配套建設中得到妥善解決。

總體而言，我們認為華能新能源風電項目併網規劃合理，在電網正常運行情況下，沒有電能輸出瓶頸。當地電網運行在特定的條件下時，僅個別風電場運行可能會受到影響，如通遼電網的冬季運行方式。但是這種情況可能隨著日後電網改造而得到解決。

7. 風電場性能表現

7.1 可用率的定義

依據中國電力聯合會(CEC)發佈的「《風力發電設備可靠性評價規程》」，風機可用率定義的計算公式如下所示：

$$\text{可用率} = \frac{\text{AH}}{\text{PH}} \times 100\%$$

AH：可用小時數，指機組被認為是可用作發電的小時數；PH：統計期間小時數，指統計期間內的總小時數。

可用小時數的定義是指機組處於預定狀態的時間，不考慮其實際出力。依此定義，因與風機無關的條件(如風速過高、電網停運等)而導致的停運均不包含在內。儘管該定義並不是國際公認的計算風電場可用率的標準方法。上述定義符合風機的平均可用率，不含與風機可靠性無關的停運數據，但我們理解這是中國風電行業的常規計算方法。與其他中國風電開發商和運營商一樣，華能新能源用此方法計算和評估其所有風電場中風機的性能表現。

國際公認的計算風電場可用率的方法是將所有風機可用率的平均值乘以電網的可用率。華能新能源是將現場人員上報的所有風機可用率的平均值作為整個風電場的可用率。然後，使用該收集的資料來評估各風電場的性能及運行維護。所有考察的運營風電場的平均月度可用率高於風機制造商保證可用率95%。

7.2 風電場性能 — 發電量和可用率

7.2.1 阜北風電場二期

阜北風電場二期位於遼寧省阜新市西北部的福興地鎮和舊廟鄉。阜新風電場分為三期：

- 阜新高山子風電場一期(100.5兆瓦，2008年10月投運)
- 阜新阜北風電場二期(300兆瓦，2009年10月1日投運)
- 阜新彰北風電場三期(100.5兆瓦，2010年4月投運)

阜新風電場由華能阜新風力發電有限公司擁有並負責運行。按照我們的評估範圍，我們僅對阜北風電場二期進行風電場性能評估。

7.2.1.1 發電量和可用率

阜新阜北風電場二期工程裝有200台華銳SL1.5兆瓦風機，建設於低山區域(或植被稀疏矮小的地面)上，場址區風機佈置點的海拔高度約400~500米。地形相對簡單，因此沒有會改變風況(如風切變、內流角或渦流)因素的顧慮，例如遮蔽、溝壑或較大的斜坡。對於風電場的運行，我們沒有顧慮。

阜北風電場二期專案的運行控制中心辦公樓位於風電場升壓站附近。控制中心辦公樓包括控制中心、辦公室、備件倉庫、開關裝置和其他現場設施。華能阜新風力發電有限公司在現場辦公室聘請了一名風電場場長、12名運行維護人員，分兩組，每組六個人負責整個風電場的運行維護工作。風電場建築和各項設施符合標準規範，維護狀況良好。

現場道路情況良好，我們並不認為在冬季期間有任何進入現場的障礙問題。我們於2010年4月份訪問現場時，能夠參觀控制中心辦公樓、現場設施及風機。

華銳是中國風機製造商，並在中國有良好的往績記錄。阜北風電場二期自2009年10月投入正式運行以來沒有出現過重大技術問題。

風電場建設前，現場風能資源的資料是從阜新市氣象局安裝於風電場附近的兩個測風塔獲取的。然而，自風電場建設並投運後，沒有採用這些測風塔獲得的資料作為監測資料。在運行期間，華能新能源採用於2010年5月新建的永久測風塔進行風能資源資料的監測，同時使用風機機艙上的感測器來監測風況。

目前，風機仍處於質保期中，制造商保證風機的可用率於95%。質保期為兩年。在輪轂高度(70米)的平均風速計算為7.2米/秒，二期淨容量係數計算為25%，是合理的陸上風電場淨容量係數。根據華能新能源提供的發電量、風速和可用率資料(如表7.1所示)，自2009年10月正式運行以來，平均可用率高達99.50%。所有月可用率都高於廠家的保證可用率95%。2009年，實際發電量分別為10月份62,458兆瓦時，11月份83,621兆瓦時和12月份75,903兆瓦時。由於2009年10月才投入運行，因此沒有充足的資料(至少一年的正常運行資料)給風電場性能做出有價值的評價。

表7.1：阜北風電場二期運行數據

年	月	平均可用率	總發電量 (兆瓦時)	等效滿負荷 小時數	容量係數	70米高 平均風速 (米/秒)
2009	12	99.52%	75,903	253.01	35.14%	5.69
2009	11	99.63%	83,621	278.74	38.71%	5.89
2009	10	99.34%	62,458	208.19	28.89%	5.13

7.2.1.2 結論

阜北風電場二期採用業內知名製造商的成熟產品，風機的設計和製造採用了成熟的技術，同時具有良好的市場往績記錄。我們認為風機技術與目前行業標準相符，現場建設符合規範。由於華能新能源從阜新 Gaoshenzhi 一期風電場積累的建設運行經驗，其運行維護良好。由於2009年10月才投入運行，因此沒有充足的資料(至少一年的正常運行資料)給風電場性能做出有價值的評價。

7.2.2 寶龍山風電場一期

寶龍山風電場一期位於內蒙古通遼市寶龍山鎮。寶龍山風電場分為三期：

- 寶龍山風電場一期(49.5兆瓦，2009年7月正式運行)
- 寶龍山風電場二期(49.5兆瓦，2009年2月試運行)
- 寶龍山風電場三期(49.5兆瓦，2009年4月試運行)

寶龍山風電場由華能通遼風力發電有限公司負責運行。按照我們的評估範圍，我們僅對寶龍山風電場一期進行風電場性能評估。

7.2.2.1 發電量和可用率

寶龍山一期風電場裝有33台東汽FD77B 1.5兆瓦風機，建造在地勢平緩的沙漠化草原上，海拔高度約為155米左右。地形較為簡單，因此沒有會改變風況(如風切變、內流角或渦流)因素的顧慮，例如遮蔽、溝壑或較大的斜坡。該地區沙塵暴較為常見，氣候寒冷，零下氣溫時期較長。

寶龍山一期風電場的運行控制中心辦公樓位於風電場升壓站附近。該辦公樓包括控制中心、辦公室、備件倉庫、開關裝置和其他現場設施。華能寶龍山風力發電有限公司在現場辦公室聘請了一名風電場場長、15名運行維護人員，分三組，每組五個人負責整個風電場的運行維護工作。風電場建築和各項設施符合標準規範，維護狀況良好。

風電場道路較為粗糙。我們於2010年4月份訪問現場時，能夠參觀控制中心辦公樓、現場設施及風機。

寶龍山風電場一期建設前，現場風能資源的資料是從安裝於風電場附近的兩個永久性測風塔獲取的。自風電場建成並投運後，採用風機測風和永久測風塔資料作為監測資料。

目前，風機仍處於質保期中，廠家保證風機的可用率於95%。質保期為兩年。在輪轂高度(70米)的平均風速計算為7.5米/秒，一期淨容量係數計算為25%，是合理的陸上風電場淨容量係數。根據華能新能源提供的發電量、風速和可用率資料(見表7.2)，自2009年7月運行以來，寶龍山風電場一期具有較高的平均可用率98.14%。所有月的可用率均高於廠家的保證可用率95%。2009年7月至12月，實際總發電量為47,207.6兆瓦時；2010年1月至4月，實際總發電量為37,453.4兆瓦時。由於2009年7月才投入運行，因此沒有充足的資料(至少一年的正常運行資料)給風電場性能做出有價值的評價。

表7.2：寶龍山一期運行數據

年	月	平均可用率	總發電量 (兆瓦時)	等效滿負荷 小時數	容量係數
2010	1-4	98.02%	37,453.4	756.63	26.27%
2009	7-12	98.14%	47,207.6	953.69	21.6%

7.2.2.2 結論

寶龍山一期風電場採用知名製造商的成熟產品，風機的設計和製造採用了成熟的技術，同時具有良好的市場往績記錄。我們認為風機技術與目前行業標準相符，現場建設符合規範。其運行維護良好。由於2009年7月才投入運行，因此沒有充足的資料(至少一年的正常運行資料)給風電場性能做出有價值的評價。

7.2.3 珠日河風電場一場三期

珠日河風電場三期位於內蒙古通遼市科左中旗境內西部，距通遼市80千米遠。珠日河風電場分為三期：

- 珠日河風電場一場一期(49.5兆瓦，2009年11月試運行)
- 珠日河風電場一場二期(49.5兆瓦，2009年12月試運行)
- 珠日河風電場一場三期(48兆瓦，2010年4月1日正式運行)

珠日河風電場一場從一期到三期均由華能通遼風力發電有限公司負責運行。按照我們的評估範圍，我們僅對珠日河風電場一場三期的性能進行評估。

7.2.3.1 發電量和可用率

珠日河風電場一場三期裝有24台海裝H93-2.0兆瓦風機，建造在地勢平緩的沙漠化草原上，海拔高度為190米至210米之間。因此沒有會改變風況(如風切變、內流角或渦流)因素的顧慮，例如遮蔽、溝壑或較大的斜坡。該地區沙塵暴較為常見，氣候寒冷，零下氣溫時期較長。

珠日河風電場一場三期的運行控制中心辦公樓位於風電場升壓站附近。該辦公樓包括控制中心、辦公室、備件倉庫、開關裝置和其他現場設施。華能寶龍山風力發電有限公司

在現場辦公室聘請了一名風電場場長、12名運行維護人員，分三組，每組四個人負責整個風電場的運行維護工作。風電場建築和各項設施符合標準規範，維護狀況良好。

風電場道路較為粗糙。我們於2010年4月份訪問現場時，能夠參觀控制中心辦公樓、現場設施及風機。

珠日河風電場一場三期建設前，現場風能資源的資料是從安裝於風電場附近的四個永久性測風塔獲取的。自風電場建成並投運後，採用風機測風和永久測風塔資料作為監測資料。風電場提供了2010年1月1日以來的風能資源資料。

目前，風機仍處於質保期中，廠家保證風機的可用率於95%。質保期為兩年。在輪轂高度(70米)的平均風速計算為7.39米/秒，二期淨容量係數計算為25%，是合理的陸上風電場淨容量係數。華能新能源提供了發電量和測風資料，見表7.3。因為風電場三期自2010年4月份轉入正式運行，只有2010年4月的試運行資料，包括月發電量和可用率。

表7.3：珠日河風電場一場三期運行數據

年	月	平均可用率	總發電量 (兆瓦時)	70米高 平均風速 (米/秒)
2010	4	98.91%	604.53	6.8

7.2.3.2 結論

珠日河風電場一場三期採用國內知名製造商的成熟產品，風機的設計和製造採用了成熟的技術，同時具有良好的市場往績記錄。我們認為風機技術與目前行業標準相符，現場建設符合規範。由於珠日河風電場一場一期和二期風電場的建設運行經驗，其運行維護良好。由於風電場從2010年4月才投入運行，因此沒有充足的資料(至少一年的正常運行資料)給風電場性能做出有價值的評價。

7.2.4 茂明風電場一期

茂明風電場一期位於內蒙古包頭市達茂旗境內。茂明風電場分為兩期：

- 茂明風電場一期(49.5兆瓦，2010年2月正式運行)
- 茂明風電場二期(49.5兆瓦，規劃中)

7.2.4.1 發電量和可用率

茂明風電場一期位於內蒙古西部包頭市達茂旗境內，裝有33台東汽FD70B1.5兆瓦風機，建造在地勢平緩的沙漠化草原上，海拔高度約為1,600米。地形較為簡單，因此沒有會改變

風況(如風切變、內流角或渦流)因素的顧慮，例如遮蔽、溝壑或較大的斜坡。該地區沙塵暴較為常見，氣候寒冷，零下氣溫時期較長。

茂明風電場一期專案的運行控制中心辦公樓位於風電場升壓站附近。該辦公樓包括控制中心、辦公室、備件倉庫、開關裝置和其他現場設施。華能新能源在現場辦公室聘請了一名風電場場長、八名運行維護人員，分兩組，每組四個人負責整個風電場的運行維護工作。風電場建築和各項設施符合標準規範，維護狀況良好。

茂明風電場一期道路較為粗糙。我們於2010年4月份訪問現場時，能夠參觀控制中心辦公樓、現場設施及風機。

茂明風電場一期建設前，現場風能資源的資料是從安裝於風電場附近的四個永久性測風塔獲取的。自風電場建成並投運後，採用風機測風和永久測風塔資料作為監測資料。風電場提供了2010年1月1日以來的風能資源資料。

目前，風機仍處於質保期中，廠家保證風機的可用率達95%。在輪轂高度(70米)的平均風速計算為7.8米/秒，一期淨容量係數計算為25.0%，是典型的陸上風電場淨容量係數。華能新能源提供了2010年2月至4月的發電量和測風資料，資料顯示(見表7.4)。因為風電場自2010年2月份轉入正式運行，只有2010年2月至4月以來的運行資料，包括月發電量和可用率。另外由於試運期間，運行資料受各種調試任務的影響，不足以用於進行風機運行指標和日後性能的評估。

表7.4：茂明風電場一期運行數據

年	月	平均可用率	總發電量 (兆瓦時)	70米高 平均風速 (米/秒)
2010	4	96.10%	14,371.90	9.04
2010	3	92.02%	11,156.30	9.50
2010	2	95.27%	8,427.30	8.04

7.2.4.2 結論

茂明風電場一期採用國內知名製造商的成熟產品，風機的設計和製造採用了成熟的技術，同時具有良好的市場往績記錄。我們認為風機技術與目前行業標準相符，現場建設符合規範。其運行維護良好。由於風電場從2010年2月才投入運行，因此沒有充足的資料(至少一年的正常運行資料)給風電場狀況做出有價值的評價。

7.2.5 牛頭嶺風電場一期

牛頭嶺風電場一期裝機容量為13.5兆瓦，由18台NEG-MICON750千瓦型風機組成，位於廣東省汕頭附近的南澳島海岸上，地形複雜，距汕頭海岸以東約12海里。牛頭嶺風電場於2000年投入商業運營，最初是一個示範性項目，後成為華能新能源南澳風電場一期，該項目最初由汕頭電網公司開發，現由華能新能源與汕頭電網公司共同擁有。

南澳島上有不少屬於不同電力公司的風電場。該島上主要為海岸風，主風向為東北風。風電場位於海岸地區的山頂上，周圍是一片鄉村景觀，並被養魚場、港口和旅遊勝地環繞。

牛頭嶺風電場一期的風機成單行分佈在南澳島裸露的山脊上。該佈置由廣東省電力設計院設計。華能新能源在牛頭嶺風電場有一個控制樓，由正式員工負責風電場的監控及運行維護工作。現場的設施包括連接電纜、帶控制室和會議室的辦公樓、備件倉庫和員工宿舍。正如前面提到的，南澳島需要面對颱風的挑戰。自2000年以來的運行期內，牛頭嶺風電場已安全地經歷過最大風速為51米／秒（風機設計最大風速為60米／秒）的情況。我們認為現場的設施和建築維護良好，組織水準較高。牛頭嶺風電場是華能新能源第一個投運的風電場。該風電場亦為華能新能源及國內其他風電開發商運行維護的培訓中心。

目前，南澳風電場三期正在建設中。在現場考察中，我們發現南澳風電場三期的某些風機的機位位於牛頭嶺風電場，未來可能會對一期個別風機的運行性能產生少許影響，據悉在南澳風電場三期的設計已考慮了這些影響。

7.2.5.1 發電量和可用率

建設前風能資源評估是由廣東省電力設計院在1998年完成的，使用的是自1957年便在南澳島上的氣象站的歷史測風資料。華能新能源曾在島上安裝了10個測風塔，在施工前監測現場的風能資源。但在施工後，這10個測風塔均被拆除。在運行期間，華能新能源使用風機機艙上的感測器來監測風速。我們已獲得了從測風塔測量的風能資源資料。最近華能新能源已在風電場新安裝了一個永久性測風塔以記錄未來風速資料。

建設前的發電量計算是按照660千瓦的風機機型做的，因此與實際建設的風電場並不一致。發電量預測值和尾流效應是將一個未知的660千瓦風機的功率曲線應用於WAsP軟體計算而得的。地形的複雜性影響了該計算方法的精確性，我們認為這些結果中存在不確定性。按總計系列損失為25%計，所得的發電量預測值為每年34,835兆瓦時。我們已指出影響該發電量準確性的主要差異，並認為該發電量預測值是不可靠的。

實際發電量是未來運行性能的一個較好的指標。2001年來的生產運行資料表明平均的容量係數已達27.5%，與我們期望的一致。

根據華能新能源提供的資料，牛頭嶺風電場自2008年以來的平均可用率較高，已達98.94%，均高於95%的保證值，如表7.5中所示。華能新能源無法獲得從2000年到2006年期間的可用率資料。

表7.5：牛頭嶺風電場一期運行數據

日期	平均可用率	總發電量 (兆瓦時)	等效滿負荷 小時數	容量係數	60米高平均 風速(米/秒)
2010年1月至3月.....	99.9%	10217	757	35.04%	6.46
2009.....	99.3%	32,942	2,444	27.9%	6.71
2008.....	98.6%	34,493	2,558	29.2%	6.81
2007.....	99.0%	33,768	2,505	28.6%	
2006.....		33,281	2,462	28.1%	
2005.....		29,200	2,164	24.7%	
2004.....		31,277	2,313	26.4%	
2003.....		32,853	2,435	27.8%	
2002.....		30,477	2,258	25.8%	
2001.....		34,036	2,523	28.8%	

7.2.5.2 結論

牛頭嶺風電場最開始是作為一個示範性項目，由當地的建設公司和電網公司建設，並於2000年投入試運行。當地電網公司是風電場的股東之一，同時也負責風電場的調度運行。牛頭嶺風電場於2001年正式投運，並用於為其他風電場培訓運行人員。實際的可用率很高。由於部分運行資料已經丟失，因而無法獲得完整的運行資料。運行期內各年實際發電量比較一致，與我們對現場和風況分析後的預期相符。

7.2.6 青澳風電場二期

青澳風電場是一個裝機容量為45兆瓦的風電場，由53台維斯塔斯 V52-850千瓦型風力發電機組成，位於地形複雜和鹽霧環境的廣東省汕頭附近南澳島中國東南海岸上，面對著南海。該專案是由華能新能源和汕頭電網公司開發並共同擁有的。該項目於2007年投入商業運營並成為華能新能源南澳風電場的二期。

南澳島上有不少屬於不同電力公司的風電場。該島上主要為海岸風，主風向為東南風。風電場位於海岸地區的山頂上，周圍是一片鄉村景觀，並被養魚場、港口和旅遊勝地環繞。華能新能源在現場有一個控制樓，其中有正式員工負責風電場的監控及運行維護工作。現場的設施包括風機、連接電纜、變電站設備、帶控制室和會議室的辦公樓、備件倉庫、籃球場和員工食宿樓。我們認為現場的設施和建築有良好的維護和組織，並處於較高水準。

該島鄰近颱風區域，據報導在過去十年中經歷的最高風速高達51米/秒。據歷史記錄，每年有25-28個風暴和颱風進入南海，其中約有兩至三個為南澳島帶來明顯影響（強風和大雨）。平均每三至五年有一次颱風正面襲擊南澳島。颱風警報將由中央和地方氣象台依據衛星雲圖提前兩至三天發佈。必要時，華能新能源採取的防風措施包括：排水措施，設備加固，將風機切換到暫停和保護狀態，或切斷高壓開關使風電場不帶負荷。我們認為這些措施是有效的。

可行性研究中的發電量評估使用的風電場佈置最初源於中國某設計院，是在 PB Power 作前期可行性研究之後。由於土地審批的複雜性，後來修改了最初的佈置，維斯塔斯認為新的設計方案更加「激進」。維斯塔斯做了一份對施工後風電場佈置的研究，包括用CFD（流體動態計算）進行流體類比。

複雜的地形增加了苛刻風況的可能性，比如強湍流、爬升流入角和劇烈的風切變。這些因素都增加了風機轉子上的負荷，也增加了驅動鏈部件的磨損和疲勞。為減輕這種影響，維斯塔斯應用了一個十分重要的磁區管理的程式，當風來自於某個特殊方向時，一些風機將會被停掉。這個程式作用於53個風機中的13個，包括東風和東南風。實施該措施是維斯塔斯質保的條件之一，已由風電場運行人員應用。

最初的風能資源評估由中國某設計院在2006年做出，使用的是2002到2003年之間由現場的六個50–70米高的測風塔採集的測風資料。在此期間，穿過風電場的平均風速測量出來在5.1–7.8米／秒之間。與回溯到1996的一組相關資料比較後，這些風速是增加了約8%，這表明2002–2003年間的風速是低於平均風速的。在可行性研究中計算的50米高長期校正的風速變動從6.0到8.11米／秒。整個風電場內的寬泛的風速區間反映了在地面高程上的巨大差異（高達555米）。機艙風速計記錄的平均風速，從2008年1月到2009年12月之間為6.9米／秒。南澳島的風速約等於陸上風電場的平均值。

由中國某設計院編製的發電量預測中，所有風機輪轂高度為65米，但是，實際使用的是55米與65米輪轂高度的混合。據悉可行性研究中的功率曲線是由風機製造商提供。

發電量研究使用 WAsP 計算風機位置的發電量和尾流損失。複雜的地形會影響該方法的準確性，我們認為在這些結果中存在不確定性。用於計算發電量預測值的總計系列損失為25%，但不包含與前述維斯塔斯磁區管理程式相關的損失。可行性研究中發電量預測值為每年100,965兆瓦時，等同於容量因數為25.6%，這與我們對所報導風速的期望值是一致的。然而，我們也指出了可行性研究階段發電量預測中所作的假設與建設後風電場之間的不一致之處，這些差異影響了資料的準確性。

維斯塔斯做了一個對於青澳風電場的發電量預測分析，該研究考慮到施工後所用的55米和65米輪轂高度混合佈置以及特定的功率曲線。該研究是基於從2002到2003一整年的資料所做的，而設計院認為這是一個低風速的年份，因此，該報告被認為是保守的。但是，由於維斯塔斯原分析的工作範疇不包括損耗分析，因此維斯塔斯的結論並未考慮因可用率和電力效率的折減。計算用的輪轂高度的平均風速為7.0米／秒，計算出年發電總值（不包括損失和磁區管理）為110吉瓦時／年。

7.2.6.1 發電量和可用率

2008年完成的發電量為121.1吉瓦時，高於前兩個研究中的發電量預測值。機艙測風儀記錄的輪轂高度平均風速為7.0米／秒。2009年，輪轂高度風速記錄為6.9米／秒，年發電量

為95.9吉瓦時，略低於發電量預測值。但是在此期間，該風電場的運行因一條新的海底傳輸電纜的安裝和一批次有缺陷的11台發電機(均在質保期內)的更換而受影響。

基於2008至2009年間生產運行報告，華能新能源確定了青澳風電場未來年發電量目標為每年118吉瓦時。該發電量目標值是基於青澳風電場最初24個月的運行資料與2001年投產的牛頭嶺一期風電場當前的運行資料對比分析而得。2008/9年的發電量已基於牛頭嶺風電場2001到2009年間的運行資料作了調整，由此得出「長期平均」發電量預測值。該計算是非常粗略的，但其依據的原理是可靠的，能夠得出合理性的預測值，該計算中考慮了各種損失的影響和磁區管理程式。

由華能提供的風電場可用率計算是2007年可用率為99.5%，2008年可用率為98.7%，2009年可用率為98.9%。實際可用率很高，表明運行維護良好。記錄顯示，2009年11台發電機的更換是由於該批次 ABB 發電機存在缺陷。這是在保質期內做的，並且依靠有效的計劃將對可用率的影響降至最低。其他的維護工作包括解決六個齒輪箱的漏油問題和日常更換變槳控制驅動器。2009年，新海底電纜的安裝和連接也導致了大約八天的停運，但該停運的數據並未計入表7.6所示的可用率。假設計入所有停運及海底電纜的問題，2009年的可用率為84.0%。

16個常駐的運行人員和技術人員分兩班的模式有利於青澳風電場的運行。這些員工不僅負責青澳風電場，還負責牛頭嶺(總共58.5兆瓦)風電場的運行維護。許多運行維護人員包括風電場經理都參與了風電場建設和運行，非常有經驗。維斯塔斯提供的維護服務協定為期兩年，保證可用率為95%，該協議已於2009年到期，但是仍有兩位維斯塔斯技術人員在現場提供額外的技術支援和培訓一直到2010年9月。

表7.6：青澳二期運行數據

年月	平均可用率 (含所有 停運)	總發電量 (兆瓦時)	等效滿負荷 小時數	容量係數%	輪轂高度 平均風速 米/秒 (55/65米)
2010年1月至3月	99.6%	30,611	680	31.5	8.06
2009	98.9%	95,947	2,129	24.3	6.90
2008	98.7%	121,051	2,689	30.7	6.95
2007	99.5%				

7.2.6.2 結論

青澳風電場位於複雜地形和鹽霧環境中。風能資源平均，條件具挑戰性。設備和設施都是高水準的，並且維護良好。設計、施工和安裝都是可接受的、安全的和合理的。由於華能新能源在牛頭嶺風電場一期項目中積累了許多經驗，所以青澳風電場的運行維護基礎條件好，管理得當。

我們指出了影響發電量預測值精度的差異，實際的發電量遠高於預測的發電量。華能新能源已經重新計算了年度預測發電量的修正值，我們認為是一個合理的估計。

7.2.7 大理大風壩風電場

大理大風壩風電場裝機容量48兆瓦，裝有64台浙江運達WD50/750千瓦型風機，輪轂高50米，該型風機是依瑞能許可證生產。該專案位於山脊上，俯瞰位於中國西南部雲南省的大理市。該項目由華能新能源與港燈公司共有。風電場地形複雜，海拔很高，位於從2,420米–2,820米的高原地區。地表覆蓋有茂密植物。風機可從城區看到，已成為這個旅遊城市的頗具吸引力的景觀。風電場佈置是沿高聳山脊單行排列，垂直於該地區的主導西南風向，使得尾流損失最小化。複雜地形增加了苛刻風況的可能性，例如高湍流、攀升流入角和嚴重的風切變。這些因素增加了風機轉子的荷載，增加了驅動環節部件的磨損和疲勞。前15個月運行的可靠性報告達97.62%，並且到目前為止沒有過度磨損和破損的跡象。

華能新能源有一個控制樓，有正式員工負責風電場的監控及運行維護工作。現場的設施包括風機、連接電纜、變電站設備、帶有中心控制室和會議室以及備件倉庫的辦公樓、籃球場和員工食宿樓。以我們的觀點看，這些現場的設施和建築看起來潔淨、維護良好，組織良好，並且水準很高。運行維護員工充足而且一般都從當地招聘。在鄰近地區有另外兩個在建風電場，它們都是由於大風壩風電場專案的成功建設運行而進一步開發的。

我們對於風電場的調查顯示，有一兩個風機附近的環境由於開關起重機道路被過度的挖掘工作所破壞，但是總體來說，風機的佈置在這種複雜地形中是合理的。

風電場的佈置是由昆明水電勘測設計研究院設計的。該地區具有特極強的主導西南風，該風電場從中頗為受益。對於這種強風和複雜地形，我們認為雖然該場址情況頗具挑戰性，但也為風電場提供了很好的發電潛力。

可行性研究中的風資源評估是由設計院於2006年編製的。施工後風電場佈置的發電量計算是由同一設計院和風機製造商於2007年編製的。

建設前期風況研究使用的風資源資料是從沿山脊排列的五個60米高的測風塔採集的2005–2006年間的資料，其中僅三個被用於計算風況，其餘兩個由於雷擊和故障損壞了。在這期間，一、二和三號測風塔的60米高平均風速為8.1米/秒，風況極佳。我們獲得了由這三個測風塔測得的2005年以來的風能資源資料。三號測風塔被保留下來，用於監測風電場的運行表現。在2005至2006年間，三號測風塔在60米高測得平均風速為7.9米/秒。這種風速並未用相關的資料進行長期校正，帶來了一些不確定性，不確定它們能否代表在整個風電場運營期內預期的長期平均狀況。三號測風塔2006年至2010年四年間的平均風速是8.1米/秒，這樣看來用05/06年的資料來計算發電量有些許保守。我們在現場調查期間參觀了三號測風塔，我們發現一些風機位於其不遠處，測風資料會受風機尾流的影響。因此2008年末之後的資料與建設前期的資料不能保持一致性，很可能比實際值相比偏低。

發電量研究使用 WAsP 計算風機位置的發電量和尾流損失。複雜的地形會影響該方法的準確性，我們認為在這些結果中存在不確定性。

由於此地的海拔高，空氣密度很低。由浙江運達和昆明水電勘測設計院於2007年10月編製的上網電量計算分析報告中，給出了以空氣密度0.894千克／立方米校正的功率曲線。這個曲線限制了風機的輸出到680千瓦，風電場降低的比例為9%。該曲線(據報是由風機廠家保證的)已經被用於風況的相關計算中，以編製毛產出量預測。根據報告，在運行期由SCADA系統記錄的功率曲線，在3-15米／秒風速區間內，完全高於保證的曲線。SCADA記錄的功率曲線使用機艙上的感測器來記錄風速，易受某些不確定性影響，儘管如此，它還是提供了好的指示，發電量研究中的功率曲線是保守的。

一系列的折減係數被用於計算可用率、電氣效率和其他預計的損失。在2007年12月的上網電量計算分析報告中，該餘量達到23.3%，我們認為非常高。

大風壩風電場年均有55天發生雷暴。因此，雷擊導致了測風塔和風機上的一些感測器的損壞和故障。設施、設備和現場人員的安全都已考慮到，並通過在變電站、辦公室和場區安裝足夠的避雷器來保證安全。

根據可研中發電量評估預測，大理大風壩風電場年發電量預測值是82,600兆瓦時，容量係數是19.6%。對於一個擁有如此好風能資源的風電場來說是很低的，這意味著該預計是很保守的。

大風壩風電場於2009年1月開始投入商業運營，2009年總發電量為125,400兆瓦時，完全高於預期發電量。三號測風塔在此期間60米高記錄的平均風速為8.22米／秒，意味著2009年的風強於平均水準。在此期間，可用率非常高。

基於實際的發電量，華能新能源總部確定了一個新的目標，即每年118吉瓦時，該資料是基於實際發電量的歷史資料計算而得，並報華能新能源總部批准。

7.2.7.1 發電量和可用率

風電場於2009年1月開始商業運營，2009年發電125.4吉瓦時，大大高於可行性研究報告中預計的85吉瓦時。在此期間報告的可用率達到異常高的99.8%。

2009年有兩個主要部件被更換，一個發動機和一個齒輪箱。日常的小修工作包括更換剎車墊、油管、齒輪油濾和機艙感測器。

目前，風機仍處於質保期中，廠家保證風機的可用率達到97%。質保期將於2010年年底到期。華能已提供可用率數據，且該等數據已編製於表7.7。

表7.7：大理大風壩運行數據

年	月	平均可用率		總發電量 (兆瓦時)	等效滿負荷 小時數	容量係數	輪轂高度 平均風速 (60米)
		(含所有 停運)					
2010	1-3	99.9		44,559	928	42.5%	8.4
2009	1-12	99.8		125,426	2,613	29.8%	8.2

7.2.7.2 結論

大理大風壩風電場位於複雜地形環境中，風能資源條件極佳。我們現場考查發現，風電場具有很好的設施與裝備，運行維護良好。風電場運行第一年實際發電量高於施工前的發電量預測值，我們認為，這是因為施工前的發電估計十分保守。實際發電量和未來發電量預測值更符合我們的期望值，說明風能資源極佳。對於一個新上的風電場而言，其風機的可用率較高，運行維護良好。儘管有兩個主要部件已經更換過，但風機在這富有挑戰性的風力氣候中，表現出良好的性能。

7.2.8 長島風電場

長島風電場位於煙台長島縣，該縣是山東省唯一的島嶼縣。長島風電場由32台歌美颯G52-850千瓦機組組成了27.2兆瓦的裝機容量，輪轂高度為55米。

華能中電長島有限公司是長島風電場的項目公司，由華能新能源和中電投資有限公司合資建立，分別佔55%和45%的股權，於2004年12月2日註冊成立。但是，自投運以來的運行維護工作都是由華能新能源員工來管理。長島風電場於2006年5月1日投運。

7.2.8.1 發電量和可用率

長島縣由32個島嶼組成。風機安裝在其中兩個主要島嶼，南長山島和北長山島，沿兩島的山脊佈置。其中22台風機位於北長山島，10台位於南長山島。山峰的海拔在90米到200米。附近沒有其他的建築和風電場，交通道路是在施工前專門為風電場建設的，仍處於良好狀況。但是，在冬季可能會被大雪阻斷。在這種情況下，風電場員工會盡快進行清理，或者僱用專業公司來清理。華能新能源已經確認這種情況很少發生，並且只持續很短時間，我們並不認為這是影響現場通達性的重要問題。同樣，儘管海上的含鹽海風易導致腐蝕，我們考察的風機未有任何明顯的腐蝕跡象。

主控樓和變電站位於南長山島。該樓有SCADA室、辦公室、備件倉庫、開關室及其他的現場設施。因為質保期在2008年已到期，運行維護的備品備件和工具都由華能新能源自行儲存。依據華能新能源提供的備件清單和我們在現場的調查，我們認為現場備件的管理組織良好。華能新能源僱用了九名員工來做運行維護工作，分為兩個班組。建築和設施都是高標準的，並且維護良好。

長島風電場可行性研究用的風能資源資料來自於現場的兩個測風塔從2003年8月1日到2004年7月31日的測量資料，分別位於測量高度為50米的南長山島和北長山島上，觀測高度為50米。這兩個測風塔資料的完整性比例為99.99%和99.54%。依據第一個測風塔資料，年平均風速為7.0米/秒，最大平均風速為19.8米/秒。依據第二個測風塔資料，年均風速同樣為7.0米/秒，最大平均風速為26.3米/秒。主導風向為西風向。但是，運行的資料顯示主導風向為西北向。在2010年4月，其中一個測風塔經改造成為風電場永久測風塔。運行期內，風機上感測器和測風塔測量的風資料被用作監測資料。

輪轂高度(55米)平均風速計算出為7.0米/秒。依據由華能新能源總部和現場辦公室提供的發電量、風速和可用率資料來看，風電場顯示出良好的平均可用率，如表7.8中所示，2006年為98.79%，2007年為97.44%，2008年為98.76%，2009年為98.98%，均高於97%的保證可用率資料。相比於可行性研究報告中預計的58,160兆瓦時的年發電量，實際年發電量大致與預測值相若，在2007和2009年，實際發電量分別為54,817.4兆瓦時和57,194.2兆瓦時，相對低於預測值。這是因為在這段時間測出的年平均風速較低。但是，2008年實際發電量為60,859.1兆瓦時，高於預測值，平均風速近似於可行性研究中的數值。

在運行期間，大部件故障是10號風機的主軸和五號風機齒輪箱的損壞，已經被更換；小部件故障主要是VOG感測器、接觸器、箱變裡的低壓開關等等，已經對它們進行了適當的維修和更換。直到我們2010年4月28日的現場調查，風電場投運以來一直保持著安全運行。

表7.8：長島運行數據

年	月	平均可用率	總發電量 (兆瓦時)	利用小時數	容量係數	55米高 平均風速 (米/秒)
2009	1-12	98.98%	57,194.2	2,103	0.24	6.92
2008	1-12	98.76%	60,859.1	2,237	0.26	6.99
2007	1-12	97.44%	54,817.4	2,015	0.23	6.00
2006	4-12	98.79%	43,961.1	1,616	0.24	5.07

7.2.8.2 結論

長島風電場的性能比2008年的預測值好，比2007年和2009年的預測值差，這是因為在這段時間測出的年平均風速較低。但是可用率很好。風電場的設計、建設和安裝是可接受的、安全的和合適的。運行維護的安排組織良好。

7.2.9 威海風電場和榮成風電場

威海風電場一期位於山東省威海榮成市，在沿黃海公路的北側。目前威海風電場正在運行的風電場有兩期：

- 威海風電場一期(19.5兆瓦，華銳FL1500/77*13)
- 威海風電場二期(49.5兆瓦)

我們的工作範圍只包括威海風電場一期。華能中電威海風力發電有限公司是威海風電場的項目公司，是由華能新能源和中電投資有限公司合資組建，其中華能新能源出資55%，中電出資45%。但是運行維護工作由華能新能源員工負責。全部風機投產運行的時間是2008年12月1日。

華能新能源計劃開發海上風電場，位於距榮成四千米以外的海面上。但是目前中國並無發展海上風電項目，海上風機、基礎、安裝及風能資源評估等各方面的技術和經驗在中國開發商看來還不夠成熟。因此，華能新能源建成了榮成風電場，在威海風電場附近安裝了兩台用於今後海上風電場的樣機。選用機型是華銳SL3000/100，輪轂高度80米，單機容量是三兆瓦。

華能榮成風力發電有限公司是榮成風電場乃至今後海上風電場的項目公司，是華能新能源的全資子公司，成立於2008年12月31日。目前兩台風機仍在調試階段，主要工作由華銳工程師承擔，並由威海風電場項目公司的員工兼管。

7.2.9.1 發電量和可用率

威海風電場一期建在較為平坦的灘塗區域，周圍很少房屋，風機周圍有蝦池。威海風電場一期的海拔為22米。因為所有的風機都位於環海公路沿邊，所以去任何一台風機都非常方便，但是夏天的暴雨和冬天的暴雪有時也會對交通造成一定的困難。儘管由於海風吹拂而處在易腐蝕的環境中，在我們參觀的風機上沒有看到明顯腐蝕的跡象。

威海風電場有一座主控樓和變電站。主控樓包括SCADA室、辦公室、備品備件庫、開關室及其他現場設施。因為還在質保期，所以運行維護的工作主要由華銳工程師來承擔。在質保期屆滿前，華銳將會按照合同規定向威海風電場項目公司移交一定數量的備品備件。但是我們注意到質保期即將屆滿，華能新能源告知他們有意向與華銳協商，延長質保期。目前華能新能源在現場辦公室僱用了10名人員來進行運行維護工作，分兩組。這些員工不僅負責威海風電場一期和二期風電場，還要和華銳現場工程師一起做好榮成風電場的管理工作。風電場建築和各項設施符合標準規範，維護狀況良好。

威海風電場的可研用的是大西測風塔從2003年7月到2004年12月的測風資料，資料完整率是99.99%。輪轂高度(70米)的平均風速經計算為6.6米/秒，年平均風功率密度經計算為388.8瓦/平方米，顯示出了良好的風況。盛行風向是北，風能最強的風向是西北。2010年3月，該測風塔被改造為永久測風塔。運行期間風機上的測風儀和測風塔資料被用來監測風速。

通過華能新能源總部和現場辦公室所提供的發電量、風況和可用率的資料可以看出，除了2007年可用率94.00%略低於保證可用率95%以外，2008年可用率95.00%和2009年可用率97.69%均等於或高於保證可用率，如表7.9所示。和可行性研究報告中預測的年發電量39,203兆瓦時相比，我們發現略有偏差。2008年實際發電量是31,704.2兆瓦時，比預測值低，但是2009年實際發電量是42,873.2兆瓦時，比預測值高。這些差異可以解釋為風況的不同，2008年的風況不佳，平均風速低於可研中的平均速度；而2009年的平均風速則高於可研中的平均速度。此外，2008年1到11月份榮港線未投運，送出受限，而且二期機組調試，也影響了一期機組發電。

在運行期間風機故障主要來自箱變、變頻器、各種保險、電池和滑環。這些已經被妥善地處理。

華能新能源還提供給我們一些威海風電場一期500小時預驗收試驗時的風機功率曲線。這些功率曲線可以從SCADA系統中得到。從這些圖中我們看出這些風機的切入風速約為3米/秒，額定風速約為11米/秒，切出風速約為26米/秒，額定功率為1.5兆瓦。這和華銳所提供的技術參數幾乎一樣，除了切出風速高於華銳提供的21米/秒以外。

表7.9：威海風電場一期運行數據

年	月	平均可用率	總發電量 (兆瓦時)	利用小時數	容量係數	70米高 平均風速 (米/秒)
2009	1-12	97.69%	42,873.2	2,199	0.25	6.8
2008	1-12	95.00%	31,704.2	1,626	0.19	6.1
2007	4-12	94.00%	29,902.5	1,533	0.23	6.6

榮成風電場的地形與威海風電場近似，兩台風機位於威海風電場一期的二號和23號風機附近。目前榮成風電場與威海風電場共用主控樓、變電站和運行維護人員。

沒有專門進行可研報告，但是有專案申請報告，重點內容類似，但是篇幅比可研報告短。事實上華能新能源為將來的海上風電場作了可研報告，其中包括這兩台現有的風機。一座測風塔於2009年9月1日安裝，輪轂高度的平均風速為6.7米/秒，盛行風向為西北風，年上網電量預測經計算為12,033兆瓦時。

安裝工程於2009年12月7日完工，此後就開始進行調試。有關風機的一些故障和SCADA系統的不完善之處均已經確認並進行調查，現在所有歷史資料如發電量、可利用率、平均風速等均無法從SCADA系統裡獲得。我們從華能新能源得知調試工作已於2010年7月全部完成。

7.2.9.2 結論

威海風電場一期的性能在2007年和2009年要好於預測，2008年比預測略差。但是我們知道2008年的風況不如其他兩年，而且2008年1到11月份110千伏榮港線未投運，送出受限，二期機組同時也在調試，也影響了一期機組發電。風機的可用率除2007年外均高於95%，但是2007年的功率因數要比可研報告中的值略高。

在連接了榮成六兆瓦樣機後，接入威海風電場升壓站的總容量達到了75兆瓦，等同於升壓站內110/35千伏75兆伏安的主變壓器的容量。建議變壓器的容量應該稍大於風電場的裝機容量，以免超出負荷。華能新能源確認新建的榮成風電場升壓站將於2012年投運，屆時這兩台機組將改接入此升壓站。

榮成風電場兩台風機的試運行時間跟計劃相比滯後，直到2010年7月才完成調試工作。由於時間滯後華能新能源已要求風機製造商華銳延長榮成風電場質保期。我們得知華能新能源保留向華銳索賠的權利。但是鑑於該機型為新機型，會出現一些難以預期的問題，需要更多的時間來進行調試。為確保成功交付使用，目前華能新能源項目公司的員工正全力配合華銳工程師做好調試工作。

7.2.10 昌邑風電場

昌邑風電場位於山東省昌邑市的北部，裝有33台蘇司蘭S82LTV風機，裝機容量為49.5兆瓦，風機輪轂高度為78米。

華能昌邑風力發電有限公司是昌邑風電場的項目公司，是華能新能源的全資子公司，成立於2008年11月。昌邑風電場的試運行時間是2010年1月。

7.2.10.1 發電量和可用率

昌邑風電場建在海邊灘塗區域，臨近防潮堤，地勢平坦，鮮有植物，風機周圍有蝦池和鹽池。昌邑風電場的海拔為一到五米。雖然通往風電場的路是土路，但是到目前為止還沒有因為惡劣天氣如暴雨或暴雪而阻塞過。由於處在易腐蝕的環境中，我們發現參觀的風機的連接塔筒底部與基礎的螺栓有明顯腐蝕，但是華能新能源和蘇司蘭已採取措施來阻止其過度腐蝕，如給每個螺母上戴橡皮帽。據悉華能新能源將在昌邑風電場附近建二期風電場，現在還在可研階段，華能新能源表示會在可研中充分考慮二期可能對一期的影響，保持足夠的距離。

昌邑風電場有一座主控樓和變電站。主控樓包括 SCADA 室、辦公室、備品備件庫、開關室、資料室及其他現場設施。現場設有專門的資料室，文檔管理做得較好。因為風電場還在質保期內，風機的運行維護工作主要由蘇司蘭的工程師來負責。至於輔助設施的運行維護工作，施工承包商和各相關設備廠家質保一年。我們參觀了備品備件庫，備品備件擺放整齊，標誌清楚。目前華能新能源在現場辦公室僱用了10名人員來進行運行維護工作，分兩組，五天一輪。風電場建築和各項設施符合標準規範，維護狀況良好。

風電場開始施工之前的風能資源資料來源於現場已有的一座70米高的測風塔。離測風塔最遠的風機距離測風塔約四千米，對測風塔的測量範圍來說還是合理的。基於測風塔從2006年9月至2007年8月的資料，計算得78米輪轂高度的平均風速為6.67米/秒，年發電量為111,874.6兆瓦時。盛行風向是東南方向。

從華能新能源提供的資訊，昌邑風電場2009年6月份併網，至2009年12月一直處於調試期。

在運行期間，主要部件的故障主要來自發電機，並且已經更換。其他故障主要來自箱變、感測器、變槳馬達等。所有故障都已經被適當地修復或處理。據悉昌邑風電場自運行以來未發生過安全事故。

表7.10：昌邑項目運行數據

年月	平均可用率	總發電量 (兆瓦時)	等效滿負荷 小時數	容量係數	78米高 平均風速 (米/秒)
2010 (1月至3月)	97.25%				7.2

7.2.10.2 結論

因為昌邑風電場從試運行到現在不滿一年，所以沒有足夠的運行資料來對風電場的性能作評價。因此，風電場性能評價主要基於對建設前期的風況/可研的評審。我們已經獲

知了風電場發電量的計算方法，但是由於信息量不夠，我們不能評價測量設備的品質、測量資料的品質或計算發電量的方法。

如果有項目建設前期的風能資源研究的更詳細的資訊，能更好的給與評價。蘇司蘭和華能新能源已經採取措施改善風機的腐蝕問題，其他的建築、設施和設備均符合標準並且維護良好。風電場的設計、建設和安裝是可接受的、安全的和合適的。運行維護的安排組織良好並且之前出現的故障都已妥善處理。

7.2.11 樂亭風電場

樂亭風電場位於臨海的河北省樂亭縣境內，裝有33台華銳SL1500風機，裝機容量為49.5兆瓦，風機輪轂高度為70米。

華能樂亭風力發電有限公司是樂亭風電場的項目公司，是由華能新能源和港燈國際樂亭有限公司合資經營，成立於2008年6月13日，各佔55%和45%的股份。但是運行維護的工作由華能新能源的員工負責，試運行的時間是2008年12月11日。

7.2.11.1 發電量和可用率

樂亭風電場建在海邊的灘塗上，海拔在零到三米間。距離風電場最近的村莊也在約兩公里以外，並且附近沒有其他風電場。通往風電場的路是土路，惡劣天氣可能會影響進入風電場，比如大雨可能導致道路泥濘，據我們了解一年大概有兩次大雪，持續時間不長。儘管風電場由於在海邊處在易腐蝕的環境中，但是我們在現場調查期間所見到的風機無明顯被腐蝕跡象。

樂亭風電場有一座主控樓和變電站。主控樓包括SCADA室、辦公室、備品備件庫、開關室、車庫、SVC閘室及其他現場設施。因為風電場還在質保期內，運行維護工作主要由華銳的工程師來負責。至於輔助設施的運行維護工作，如進場道路、風機基座、場內集電線路、箱變等，由華能新能源員工負責。我們參觀了備品備件庫，備品備件擺放整齊，標誌清楚。目前華能新能源在現場辦公室僱用了八名人員來進行運行維護工作，分兩組，三天一輪。風電場建築和各項設施符合標準規範，維護狀況良好。

樂亭風電場區域建有三座測風塔，樂亭風電場主要用一號測風塔從2004年10月1日至2005年10月1日的資料來進行可行性研究，同時用其他兩座測風塔的資料進行修正。1號測風塔資料的完整度是96.5%。輪轂高度(70米)的平均風速經計算為6.9米/秒，盛行風向是北風和東北風。在風電場運行期間，風機上的測風儀和測風塔的資料被用來監測風速。

通過華能新能源總部和現場所提供的發電量、風況和可用率的資料可以看出，2009年樂亭風電場的平均可用率很高，為98.36%，可參見表7.11，高於華銳提供的保證可用率97%。但是值得注意的是華能新能源所用的計算可用率方法，風機在極端天氣或電網故障情況下停機都被視為是可用的，這與歐洲國家的操作方法相同。因此，我們認為實際的風電場可用率會小於上述數字。和可研報告裡的年發電量預測101,470兆瓦時相比，2009年的實際年發電量90,774.5兆瓦時要低於預測值。2009年的平均風速僅為5.15米/秒，比可研報告中的

風速6.9米／秒小。我們可以得知2009年的風況不佳，這導致了風機在高可利用率的情況下發電量卻偏少。另外，33台風機是於2009年2月併網投入試運行，直到2009年4月28日才投入正式運行，所以2009年5月之前都處於試運行階段，因而也導致實際發電量少於預測值。我們從華能新能源進一步得知2010年1月到5月的實際發電量為50,230.1兆瓦時，遠高於2009年同期的實際發電量40,638.3兆瓦時。

在運行期間，零部件故障主要來自變漿系統、變頻器和感測器。它們已經根據需要被修理或更換。

表7.11：樂亭風電場運行數據

年月	平均可用率	總發電量 (兆瓦時)	等效滿 負荷小時數	容量係數	70米高平均 風速 (米／秒)
2009 (1月至12月).....	98.36%	90,774.5	1,834	20.9%	5.15

值得注意的是風電場33台風機中有兩種不同葉輪直徑的風機。葉輪直徑為82米的風機有五台，作為樣機安裝，編號分別是4、6、21、28和29號，華能新能源和華銳想觀察這兩種不同葉輪直徑的風機發電量有何不同。其他的風機均為葉輪直徑為77米的風機。

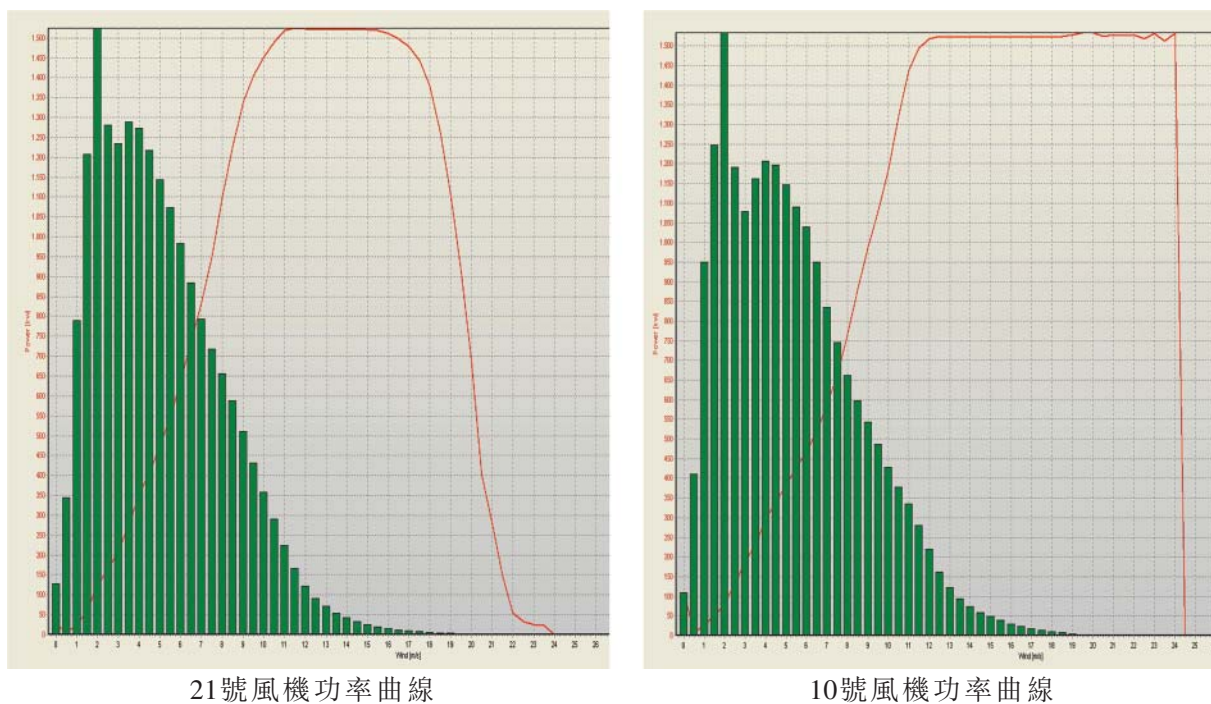
通過華能新能源總公司和現場所提供的月發電量和功率曲線可以看出82米葉輪直徑的風機性能要優於77米葉輪直徑的風機。表7.12列出的資料表明，除2009年6月外，82米葉輪直徑的風機平均單機發電量比77米葉輪直徑的風機平均多7.9%。至於2009年6月，82米葉輪直徑風機的發電量低於77米風機的原因，我們從華能新能源進一步得知是由於PLC故障導致計量錯誤，在錯誤被發現後華銳廠家已處理完畢。所以通過華能新能源給我們提供的資料可以得出的結論是在相同的狀況下82米葉輪直徑的風機的性能基本上要好於77米葉輪直徑的風機。

表7.12：82米和77米風機每月平均單機發電量

月份	82米風機 平均單機 發電量(兆瓦時)	77米風機 平均單機 發電量(兆瓦時)	增長率 (%)
4月.....	348.0	321.2	8.3
5月.....	287.8	267.4	7.6
6月.....	238.3	249.4	-4.5
7月.....	160.2	145.7	9.9
8月.....	181.0	168.7	7.3
9月.....	不適用	不適用	不適用
10月.....	231.3	211.6	9.3
11月.....	265.5	250.2	6.1
12月.....	294.5	274.9	7.1
平均.....	252.6	234.2	7.9

華能新能源還提供了五台葉輪直徑82米的風機功率曲線，並且還有另外五台葉輪直徑77米的風機功率曲線作對比，資料源自華能新能源2009年第一季度報告。從中我們可以看到82米風機的額定風速約為11米／秒，而77米風機的額定風速約為12米／秒。而且82米風機的功率曲線從切入風速到額定風速段與77米風機相比顯示了更好的性能，而風機大部分時間運行在切入風速到額定風速段。圖7.1清楚地顯示了21號風機(82米葉輪直徑)的額定風速為11米／秒，10號風機(77米葉輪直徑)為12米／秒。

圖7.1：21號和10號風機功率曲線



21號風機功率曲線

10號風機功率曲線

7.2.11.2 結論

樂亭風電場開始運行的第一年有高的可用率，達到99.19%，但是發電量低於可研中的預期，主要是因為2009年風速低於長期平均風速，平均風速僅為5.15米／秒，而且2009年5月之前都處於試運行階段，因而也導致實際發電量少於預測值。我們從華能新能源進一步得知2010年1月到5月的實際發電量比2009年該階段的實際發電量明顯要高。

樂亭風電場安裝了兩種風機，葉輪直徑分別為82米和77米。華能新能源給我們提供的資料顯示基本上82米葉輪直徑的風機性能比77米葉輪直徑的風機要好。

現場的可通達性不錯。我們參觀的風機無明顯被腐蝕痕跡。樓房、設施和設備均符合標準並且維護良好，運行維護管理到位。

7.3 總結

在我們訪問的12個代表性風電場中，有六個風電場都是去年投入商業運營，因此沒有充足的運行資料(通常需要至少一年的正常運行資料)，無法評價風電場發電量是否與可研報告中發電量預測值一致。

但是，在另外六個風電場中，有五個風電場在同樣風速下的實際年發電量高於可研報告中預測的年發電量。

此外，樂亭風電場的實際發電量低於期望值。從已有資料我們得知是年平均風速相對較低的緣故。另外，2009年是樂亭風電場投入運行的第一年。在2009年5月之前該風電場所所有風機都處於試運行階段，因而導致實際發電量少於預測值。

總體而言，設備和設施運行維護良好，符合較高標準。風電場設計，建設和安裝與我們期望相符。

8. 運行維護

8.1 介紹

就風電場運行來說，華能新能源的總體策略是在風機質保期內依靠風機製造商，隨後將職責移交給華能新能源於現場的運行維護團隊。

廠家為華能新能源風電場提供的質保期為兩年期，與目前行業內的標準一致，也與其他國家的風電場一致。我們認為兩年的質保期對於具有顯著往績記錄的風機廠家來說是可接受的。但是，海裝無法提供令人十分滿意的往績記錄，因此，我們認為要求廠家提供至少三年以上的質保期是降低風險的一種合理方案。華能新能源已成功地與海裝達成了由廠家提供五年質保期的合同。因此，我們對華能新能源這種降低風險的方案表示滿意。

唯一未解決的重大運行維護問題發生在榮成風電場，該場僅包括兩台試驗性的三兆瓦海上風機。因為調試的拖延，華能新能源已要求風機製造商華銳延長該專案質保期。這兩台試驗性風機的性能指標沒有達到設計值，並且仍在調試中。華能新能源與華銳的風機合同中明確規定了延期罰款條款，但基於雙方長期合作的考慮，同時為支援國內風機行業的發展，華能新能源尚未要求華銳進行索賠。但是，華能新能源保留相關權利，可隨時向華銳索賠。

在質保期後風電場的運行維護由風電場運行維護團隊負責。這些設備在行業內都比較成熟，因此很少發生故障。電氣設備的電壓等級、電流等級和容量等級都是標準型。多數的技術人員都有相關經驗，並接受過運行維護的培訓。在我們看來，安全和性能目標應該建立在技術人員有足夠經驗和遵循風機製造商的流程的基礎上。

進入風電場的道路的維護工作都分包給了當地的道路服務維護公司。這是業內常規的做法。依照中國電力行業的行業規則要求，連接到電網的送出線路的管理和維護一般都由當地電網公司負責。

8.2 運行維護的結構組織

現場運行維護人員的編製數量是由華能新能源集團總部依據內部原則確定的。華能新能源總部負責現場員工的招聘和培訓，確保了現場員工的資質和能力。

風電場的組織結構都是由各專案公司提出，再由華能新能源總部批准。現場的總經理和其他高級經理都是由華能新能源總部任命。其餘運行維護員工的崗位由專案公司自主確定。

項目公司通常會設置生產部、檢修部和行政部。檢修團隊通常設兩班，每班設一個值長和三至四個檢修員工。這種安排能夠滿足大多數日常檢修的需要，如更換消耗品，但是

大修時仍需要尋求廠家的支援。這種安排使得風機的小修反應時間最小化，而且也提高了風機的可用率，由此也提高了風電場的生產和收入。我們考察的多數風電場仍處於質保期內，廠家的檢修服務都是免費的。

8.3 運行維護的安排

對風機來說，高可用率對投資回報來說是至關重要的。許多因素都能影響可用率，其中運行維護的安排可能是最有影響力的因素。在合同談判的過程中，需要認真考慮運行維護成本與可用率之間商務上的平衡。規定違約金是對低可用率的關鍵保護措施。最後，在運行維護合同談判過程中，有關可用率的定義需要特別注意。風機供應商通常會在合同規定的可用率計算中排除一些情況，以限制在非他們所能控制的情況（如電網停運）發生時所應承擔的責任。在現場考察過程中，我們提出了這些觀點，並要求提供相關的文檔依據。在我們看來，這些事項一般都已華能新能源合理的落實在運行維護協議的談判過程中。我們對這種安排比較滿意。

我們審查過的所有運行維護協議都包括由廠家組織的培訓計劃。培訓內容廣泛，包括在廠家和現場為期四週的培訓，內容涵蓋各種專題和許多現場可能出現的問題。檢修隊伍被培訓如何使用檢修手冊、保留故障記錄、操作和控制風機、更換時的架設方法、維護流程、故障診斷和備件管理。我們了解在標準的培訓之外，華能新能源員工還在計劃內和計劃外檢修中協助風機廠家隊伍。我們對檢修隊伍在這種安排下獲得的經驗感到滿意。

如前所述，我們調查的多數風電場是在近兩年投入商業運營的，目前仍處於質保期內，由風機廠家負責檢修。根據現場的檢修記錄和與廠家在現場員工的面談，計劃檢修是按照協議中規定執行的。我們注意到風機的檢修表格詳細描述了由廠家檢修人員日常核對的檢查專案。這些表格內容全面，包含所有的項目。一旦質保期結束，風機日常的檢修工作將由華能新能源員工承擔。由於多數風機廠家在風電場所在的地區有區域性服務中心，所以廠家的服務還是容易到位的。由於華能新能源是中國主要的風力發電開發公司之一，與多數主要的風機供應商都有合作關係，因此，我們認為風機製造商對華能新能源的要求的反應會較為迅速。

在我們看來，由外面的專業公司做檢修工作會更有效。但是，我們知道除了風機製造商外，在中國市場檢修方面具有良好往績記錄的公司很少，所以華能新能源考慮由內部員工來承擔檢修任務能有效地節約成本，並且它有助於鞏固華能新能源近年來風電專案群的快速擴張，為未來宏偉的發展計劃做出貢獻。一些其他擁有大型風電專案群的公司也採用與華能新能源相似的策略，擁有自己的服務隊伍。我們認為，為保證維護工作的相同品質和共同分享經驗，確定這些工作中最優應用原則的培訓及運行維護方面的公司戰略和指導文檔是必需的。華能新能源表示運行維護的指導性文檔正在草擬階段，將於2010年年底發佈。目前，華能新能源風電場的運行維護流程和工作主要依據兩個運行維護的國家標準，「DL/T666-1999風力發電場運行規程」和「DL/T797-2001風力發電場檢修規程」。

依據華能新能源的陳述，質保期後風機的檢修方案是，首先與風機廠家簽訂一個長期服務協議以解決運行中的技術問題；在此期間建立並培訓出一個專業的風機檢修隊伍以滿足現場日常服務的需要；最後，華能新能源計劃與外面的專業維修公司簽訂長期合同以達到成本最優化的目的。我們看來，這種策略是可靠的和經濟的。

所調查風電場的備件儲存登記、管理和記錄情況良好。依照華能新能源總部的計劃，備件分為三類：消耗性備件如感測器、工具、剎車片和密封等由現場公司定期按定額購買；中型備件如開關和變頻器等，容易出故障但價格便宜，按總部的年度計劃購買；主要部件如發電機和齒輪箱由總部集中管理。華能新能源與風機製造商之間有協議要求廠家應備有供華能新能源使用的主要備件。我們看來，華能新能源採用這種備件的分類處理方式是有效的、可行的和經濟的。

我們認為所調查風電場的高產量和可用率證明了華能新能源的品質控制是足夠的。採購、施工、招聘和培訓主要是由華能新能源總部控制的，顯示出其出色的管理能力。在各風電場，健康、安全和環境體系已建立，執行情況較好。現場的個人保護裝備充足，現場員工在開始現場工作前後都需要遵守一定的工作程式。品質、健康、安全和環境 (QHSE) 手冊及其他相關系統文檔都是基於華能新能源總部的 QHSE 體系要求編製並執行的。

8.4 結論

總體來說，華能新能源風電場的運行維護狀況超出我們的期望，符合國際標準。我們認為這種運行維護方式是適合華能新能源的，因為其運行維護模式與其他公司既有相似之處，同時也進行特定化發展，以融入華能新能源的公司組織結構。

儘管我們認為風機主要部件的預防維護策略有待進一步改進，但是，總體而言，運行維護的組織結構、檢修安排、備品備件的採購和儲存以及華能新能源風電場的品質、安全、健康和環境體系組織良好並且是可以接受的。

附錄

編號	文件標題
1	華能新能源回饋莫特麥克唐納就12個風電場分別開展的問卷調查表
2	各風電場的可行性研究報告
3	各風電場接入系統報告
4	各風電場專案進度表
5	各風電場專案計劃和施工報告
6	各風電場風機供貨合同
7	各風電場風機技術參數說明書
8	各風電場一次系統圖(電子版)
9	各風電場現場測風塔運行期資料(座標、風速、風向)
10	各風電場風機佈置圖
11	各風電場月運行記錄(可用率、發電量)
12	各風電場備品備件清單
13	各風電場技術資料(主變、風機箱變、風電場內集電線路、輸出線路)
14	各風電場併網協議
15	風電場接入電網技術規定
16	國家電網公司2008年和2009年年度報告
17	南方電網公司2008年和2009年年度報告
18	國家電網公司,南方電網公司和內蒙古電力公司網站
19	風力發電場併網安全條件及評價
20	華能新能源的質保清單
21	莫特麥克唐納內部資料
22	來自公共資訊網的資訊
23	國家電力監管委員會網站

術語

海拔高度	指	海拔高度
可持續能源商會	指	可持續能源商會
核電站	指	核電站
中國電力聯合會	指	中國電力聯合會
國家電網技術規定／ 國家電網技術規定 (修訂版)	指	2009年12月頒佈的《國家電網風電場接入電網技術規定(修訂版)》
國家電網技術規定 (試行)	指	2006年頒佈的《國家電網風電場接入電網技術規定(試行)》
投產期	指	投產期
中國可再生能源協會	指	中國可再生能源協會
中國南方電網	指	中國南方電網有限責任公司
切入風速	指	風機開始發電時的風速
切出風速	指	風機停止發電時的風速
雙饋感應電機	指	雙饋感應電機
GB/T	指	國標／推薦，中國國家推薦標準
GE	指	通用電氣
齒輪傳動比	指	主動齒輪到被動齒輪的旋轉速率
勞氏	指	勞氏
全球風力能源協會	指	全球風力能源協會
健康、安全和環境	指	健康、安全和環境
輪轂高度	指	地面到渦輪機葉輪中心線的距離
國際電工委員會	指	國際電工委員會
IPE	指	生產和裝配期間
低電壓穿越能力	指	低電壓穿越能力
測量—相關聯 —預測分析	指	測量—相關聯—預測分析
莫特麥克唐納	指	莫特麥克唐納有限公司
國家大氣研究中心	指	國家大氣研究中心
運行維護	指	運行維護
項目效益	指	淨產量和總產量間的差異
QHSE	指	質量、安全、健康和環境
額定功率	指	風機以恒定風速產生最大功率
SCADA	指	系統控制及獲取數據
國家電網公司	指	中國國家電網公司
技術顧問	指	技術顧問
英國	指	英國
美國	指	美國
WAsP	指	風力分析應用軟件
風機	指	風機

吉瓦	指	吉瓦(電力)
吉瓦時	指	吉瓦時(發電)
赫茲	指	赫茲(頻率)
千安	指	千安(功率)
千米	指	千米(長度)
千伏	指	千伏(電力)
米	指	米(長度)
平方米	指	平方米(面積)
米/秒	指	米/秒(速度)
兆帕	指	兆帕(氣壓)
兆瓦	指	兆瓦(電力)
兆伏安	指	兆伏安(表現功率)
兆乏	指	兆乏(無功)
太瓦時	指	太瓦時(發電)
伏特	指	伏特(電力)
瓦/平方米	指	瓦/平方米(風功率密度)
%	指	百分比
°C	指	攝氏度(溫度)