

本網上預覽資料集為草擬本，當中所載資料並不完整，並可予更改。本網上預覽資料集必須與其封面「警告」一節一併閱讀。

龍源電力集團股份
有限公司

技術評估報告

最終定稿

二零零九年十一月

Mott MacDonald Limited
Victory House
Trafalgar Place Brighton BN1 4FY
UK
Tel : 44 (0)1273 365000
Fax : 44 (0)1273 365100

龍源電力集團股份
有限公司

技術評估報告

版本及修訂記錄

版本	日期	起草人	校核	審核	說明
1	二零零九年七月	V Madden ; A Hart ; D Mudie ; 陽瑾瑜 ; 蘆經緯 ; 張學成 ; F Mariani ; R Speht	R Wilson C Pacot	汪愛娟	初稿
2	二零零九年七月	陽瑾瑜 ; 蘆經緯	D Broom	汪愛娟	終稿初稿
3	二零零九年八月	陽瑾瑜	D Broom	Peter Black	最終稿
4	二零零九年十一月	陽瑾瑜	D Broom	汪愛娟	最終定稿

本文件為命名的項目或其中的制定部分編製，在沒有對其適合性進行獨立審核以及獲得莫特麥克唐納書面授權以前，其他項目不得依賴或使用本文件。對於將本文件用於授權以外用途所造成的後果，莫特麥克唐納不承擔任何責任。使用或以來本文件進行此種其他用途的任何人都視為同意並通過此種使用或依賴的行為確認其同意賠償莫特麥克唐納由此造成的所有損失或損害。莫特麥克唐納不對任何授權人以外的文件獲得方負有任何責任。

就該報告中其他方面提供的信息而言，莫特麥克唐納對客戶因使用 - 無論是根據契約還是侵權使用 - 基於莫特麥克唐納以外的其他方提供的信息做出的結論和莫特麥克唐納在編製該報告的過程中採用的結論而造成的任何損失或損害不承擔任何責任。

目 錄

	頁碼
詞彙	VI-5
綜述	VI-7
章節和附錄	
1 概述	VI-12
1.1 莫特麥克唐納的獨立性	VI-12
1.2 公司資質和業績	VI-12
1.3 執行本項目的專家團隊	VI-13
2 方法論	VI-14
2.1 技術評估的目的	VI-14
2.2 龍源公司資產概覽	VI-15
2.3 選擇有代表性的資產	VI-16
2.4 技術盡職調查過程	VI-19
3 風電場技術評估	VI-20
3.1 風資源評估	VI-20
3.2 主要涉及的風機	VI-25
3.2.1 GE	VI-27
3.2.2 維斯塔斯	VI-28
3.2.3 歌美颯	VI-29
3.2.4 安迅能	VI-30
3.2.5 金風	VI-31
3.2.6 華銳	VI-32
3.3 風場運行狀況－可用率和發電量	VI-33
3.3.1 江蘇如東特許權二期風電場	VI-33
3.3.2 福建平潭世行貸款風電項目	VI-35
3.3.3 吉林通榆國家特許權風電場	VI-37
3.3.4 遼寧法庫柏家溝風電項目	VI-39
3.3.5 新疆達阪城三場 風電項目	VI-41
3.3.6 甘肅玉門風電項目	VI-43
3.3.7 河北尚義石人風電項目	VI-46
3.3.8 內蒙包頭巴音國家特許權風電項目	VI-47
3.3.9 內蒙赤峰翁牛特風電項目	VI-48
3.4 運行維護協議	VI-50
3.5 結論	VI-52

4	接入系統評估	VI-53
4.1	簡介	VI-53
4.2	風電場接入系統的主要技術問題	VI-54
4.3	各個風場的接入系統評估	VI-55
4.3.1	江蘇如東特許權二期風電場	VI-55
4.3.2	福建平潭世行貸款風電項目	VI-57
4.3.3	吉林通榆國家特許權風電場	VI-57
4.3.4	遼寧法庫柏家溝風電項目	VI-58
4.3.5	新疆達阪城三場風電項目	VI-59
4.3.6	甘肅玉門風電項目	VI-60
4.3.7	河北尚義石人風電項目	VI-61
4.3.8	內蒙包頭巴音國家特許權風電項目	VI-62
4.3.9	內蒙赤峰翁牛特風電項目	VI-63
4.4	結論	VI-63
5	火電廠評估	VI-64
5.1	電廠概述	VI-64
5.2	設備狀況	VI-65
5.3	電廠運行和效率	VI-66
5.4	環境問題	VI-68
5.5	結論	VI-68
6	結論和建議	VI-69
附錄 A	主要評估文件	VI-69
圖表		
圖2-1	中國風資源分佈和有代表性風場的地理位置	VI-16
圖3-1	玉門風速曲線 (2006-2008)	VI-44
表1-1	核心團隊	VI-14
表2-1	龍源控股公司風電項目概覽	VI-15
表2-2	有代表性風電場	VI-17
表2-3	有代表性火電廠	VI-18
表2-4	技術評估過程	VI-19
表3-1	發電量綜述	VI-22
表3-2	代表性風場安裝的風機	VI-26
表3-3	GE77技術參數	VI-27
表3-4	維斯塔斯V80技術參數	VI-29
表3-5	G58技術參數	VI-29
表3-6	AW77-1500技術參數	VI-30
表3-7	S48和GW77技術參數	VI-32
表3-8	SL1500/77技術參數	VI-33
表3-9	如東風場年發電量	VI-34
表3-10	達阪城三場的風機概論	VI-41
表3-11	達阪城三場二期發電量	VI-41
表3-12	玉門二、三期和低窩鋪一期可用率	VI-44
表3-13	包頭巴音自試運行開始的發電量	VI-47
表3-14	赤峰年運行數據	VI-49
表3-15	點檢 (塔架部分)	VI-51
表5-1	蘇龍機組裝機和投運時間	VI-64
表5-2	蘇龍發電量和利用時數	VI-67
表5-3	蘇龍電廠機組熱效率和可用率	VI-67

詞彙

海拔高度	指	海拔高度
中國氣象科學研究院	指	中國氣象科學研究院
清潔發展機制	指	清潔發展機制，又稱CDM
碳減排指標	指	碳減排指標，又稱CERs
赤峰新勝	指	赤峰新勝風力發電有限公司
熱電聯供機組	指	熱電聯供機組
投產期	指	投產期
分散控制系統	指	分散控制系統
送風機	指	送風機
煙氣脫硫系統	指	煙氣脫硫系統
玻璃纖維加強型塑料	指	玻璃纖維加強型塑料
GB/T	指	國標／推薦，中國國家推薦標準
GE	指	通用電氣
氣氣換熱器	指	氣氣換熱器
氣閉式開關裝置	指	氣閉式開關裝置
GL	指	Germanischer Lloyd
甘肅潔源	指	甘肅潔源風力發電有限公司
引風機	指	引風機
IEC	指	國際電工委員會
IPE	指	生產和裝配期間
吉林龍源	指	吉林龍源風力發電有限公司
江蘇龍源	指	江蘇龍源風力發電有限公司
龍源張家口	指	龍源張家口風力發電有限公司開
龍源包頭	指	龍源包頭風力發電有限公司
龍源平潭	指	龍源平潭風力發電有限公司
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	莫特麥克唐納諮詢有限公司
NCAR	指	National Centre for Atmospheric Research
氮氧化物	指	氮氧化物
運行維護	指	運行維護
省發改委	指	省級發展和改革委員會
點檢	指	點檢

SCADA	指	系統控制及獲取數據
選擇性催化還原脫硝裝置	指	選擇性催化還原脫硝裝置
瀋陽龍源	指	瀋陽龍源風力發電有限公司
SO ₂	指	二氧化硫
技術顧問	指	技術顧問
新疆天風	指	新疆天風發電股份有限公司
WAsP	指	風力分析應用軟件
風機	指	風機
Units	指	
克	指	克(質量)
吉焦	指	吉焦(能源)
吉瓦時	指	吉瓦時(發電)
千安	指	千安(電流)
kg/m ³	指	千克每立方米(密度)
千焦	指	千焦(能源)
千伏	指	千伏(電力)
千伏安	指	千伏安(功率)
米	指	米(長度)
立方米	指	立方米(面積)
米/秒	指	米/秒(速度)
毫克每標準立方米	指	毫克每標準立方米(特別是排放密度)
兆焦	指	兆焦(能源)
兆帕	指	兆帕(氣壓)
兆瓦	指	兆瓦(電力)
兆伏安	指	兆伏安(功率)
兆乏	指	兆乏(無功)
伏特	指	伏特
W/m ²	指	瓦/平方米(風功率密度)
%	指	百分比
°C	指	攝氏度(溫度)

綜述

介紹

莫特麥克唐納諮詢有限公司(以下簡稱莫特麥克唐納)被龍源電力集團股份有限公司(以下簡稱龍源)聘請為龍源的技术顧問。

莫特麥克唐納對龍源資產狀況進行了獨立技術評估。風場評估包括風資源評估、發電量、可用率和運行維護、風力發電機組(以下簡稱風機)技術、接入系統及是否符合電網運行管理條例。火電廠評估着重於發電量、負荷係數、效率、可用率、運行方式、投資需求以及設備和環境限制。我們只對有代表性電廠進行評估。

本報告編寫時依據的資料主要來源於龍源提供的文件以及與龍源和主要風機供應商相關人員的討論。莫特麥克唐納對收集到的資料和數據進行了整理分析和專業判斷，並且在報告的編寫中運用了我們對中國電力行業的理解和知識。

龍源的資產中包括多個電廠，廣泛分佈在中國多個地區。這些電廠由不同的當地設計機構基於相同的中國標準設計，發電機由少數幾家國內外製造商提供。因此，我們同意本報告針對有代表性電廠進行編寫。這些電廠能較好的包含和體現龍源控股電廠的特徵。在選擇有代表性風場時，我們着重考慮了以下幾個方面：

- **風資源和地理分佈：**具代表性風場分佈於風資源豐富地區：中國東南沿海、中國東北部、內蒙、甘肅和新疆。
- **風機類型：**既有由國外知名廠商生產的，也有中國品牌的風機。
- **裝機容量和公司股份：**所選擇的風場全都是龍源控股的，代表性風場控股裝機容量接近二零零八年底龍源風電控股總裝機容量的50%。

技術評估過程是在英國、美國和中國進行的，主要步驟包括：現場訪問、數據收集、討論、分析和編寫報告。

我們審查了每個代表性風場的風資源評估報告，將中國標準中規定的評估方法、報告格式和數據收集與國際標準相比較。儘管中國標準缺乏一些國際標準中規定的細節，但評估的方法在很大程度上與國際標準慣例一致。我們注意到中國的評估方法中缺少不確定性分析，但這一點通過對項目發電量的保守估計來彌補。

風機技術

龍源採用了國內外成熟風機製造商提供的多種風機。機組選型對實現發電量最大化來說是非常關鍵的，因此我們對代表性風場中使用風機的製造商進行了評估。評估描述了製

造商的市場佔有率、使用的技術、歷史業績，並着重關注了機組防腐蝕特性以及它們對惡劣環境的適應性。對所有製造商的評估結果表明，他們都參照國際行業標準，並有充分的運行經驗。對每個製造商的總結如下：

- **GE Energy (GE – GE)** 是世界上最大的風機供應商之一，並在中國市場佔有相當的份額。安裝在代表性風場的風機採用的技術非常穩定。自最初生產以來，GE投入大量資金來改進風機的可靠性和性能。該產品有良好的業績記錄，我們對其質量沒有顧慮。
- **維斯塔斯** – 維斯塔斯是世界先進風機供貨商，是中國市場領先的外國供應商。平潭風場安裝的維斯塔斯V80風機採用合格的技術。維斯塔斯在世界上安裝了超過5000台2兆瓦型風機。因此，我們認為維斯塔斯是高質量、低風險的供貨商。
- **歌美颯** – 歌美颯為銷售額及二零零八年末總裝機世界排名第三的風機供貨商，並在中國市場佔有相當份額。代表性風場所採用的風機基於早期技術，但是該技術經過了不斷的發展和更新。我們認為該技術是成熟和可靠的。
- **安迅能** – 安迅能採用自主研發技術進行風機組裝。代表性風場安裝的風機系統允許即時維護並減少了停機時間。該風機運行期間沒有發現特別的問題，因此是可靠的產品，安迅能技術符合工業標準。
- **金風** – 金風是中國歷史最長、規模最大和最有經驗的製造商。安裝在代表性風場的風機採用直驅系統，相對於雙饋式發電機組來說，其可靠性較高、維護頻率較低。
- **華銳** – 華銳是世界十大風機供應商之一，在製造適應特殊環境的風機方面有特別的經驗。華銳在中國有良好的業績記錄，其設計和生產與行業水平一致。

發電量、風場運行和維護

我們對風場進行逐個評估，包括其發電量和可用率、場內電氣接線及升壓站。每部分評估包括現場地形地勢和設備狀況、現場數據差異以及專家小組所提出來的一般性問題。在評估中發現，幾個可研報告中採用的測風塔高度低於實際採用的風機輪轂高度，這在一定程度上沒有符合中國標準。目前，所有風場都簽訂了適當的運行維護協議。有些風場的現場運行維護人員數量高於國際上同類風場。莫特所訪問的每個風場總結如下：

江蘇如東特許權二期風電場，150兆瓦

位於海邊灘塗的圍堰地區。三個項目現場設備運行維護和建築物情況良好。據江蘇龍

源風力發電有限公司提供的數據顯示，機組可用率在設備供應商保證值之上，但是由於其他元件故障因素，實際風場可用率可能略低。風場運行期間沒有發生意料之外的故障和問題。所有電器設備質量高，並妥善安裝在室內，沒有發現海風腐蝕的問題。所有開關和變壓器容量選擇適當，運行維護良好。

福建平潭世行貸款風電項目，100兆瓦

可用率在保證值之上。風機偏航系統在運行過程中有過幾次問題並進行了維修，另外早期運行階段也曾發現一些在當前風電行業普遍存在的問題。現場運行人員都已進行了培訓，並熟悉設備監控過程。所有開關和變壓器配置合理並維護良好。

吉林通榆國家特許權風電場，200.6兆瓦

地處地勢平緩的沙地(或植被稀疏矮小的地面)，沒有不利於風資源的因素，但是該地區沙塵暴較常見，冬季氣候寒冷，可能引起葉片污染或結冰。設備和房屋質量較高，維護良好。在現場發現了一些技術問題，但不會造成長期影響。二零零八年年初因更換滑環而使得可用率較低。問題解決後可用率提高。開關和變壓器容量選擇合理。

遼寧法庫柏家溝風電項目，49.5兆瓦

位於農場內，沒有惡劣氣候因素顧慮，作物週期影響現場風況，但是並不影響風場運行。設備和房屋質量較高，維護良好。瀋陽龍源對於風場運行有很好的認識和豐富的經驗，和行業預期比，目標切實可行。當我們訪問風場時，剛剛過試運行期，因此沒有足夠的數據對風場的運行狀況作出有價值的評價。開關和變壓器容量選擇適當。

新疆達阪城三場(二、三、四期)風電項目，129兆瓦

位於半沙漠環境，沒有農業耕作。可用率高於廠商保證值，發電量高於預測值。沒有風場內升壓站，目前升壓站變壓器容量能夠將電量送上電網，並且有計劃為將來的擴展項目安裝新的變壓器。

甘肅玉門風電場(玉門二、三期，低窩鋪一期)風電項目，107.1兆瓦

現場地勢平緩，較少出現極大風速。有時會有沙塵暴天氣，可能引起風機故障停機。此外，極低氣溫也可能引起風機停機。二零零八年年初的發電量曾因氣候惡劣而低於預測值。二、三期風場低壓測採用10千伏電壓，這樣線路損耗會較高。開關和變壓器容量選擇適當。

河北尚義石人風電場項目，49.5兆瓦

地處高地，平均氣溫非常低，可能影響葉片運轉。現場設備齊全、維護良好。風機可用率與廠商保證值一致。擴建項目完成後，開關和主變的容量將符合要求。

內蒙包頭巴音國家特許權風電項目，201兆瓦

現場訪問時仍處於調試期，但是，對於在運行的風機來說，可用率較高，設備狀況良好。現場無人員安全記錄，我們建議應建立此記錄。升壓站的電氣佈置圖表明靈活性高，所有開關和變壓器容量適當。

內蒙赤峰翁牛特風電場（孫家營一、二期，五道溝一期）風電項目，150兆瓦

因天氣原因導致路面結冰而沒有進行現場訪問。可用率較高，都超過保證值水平。變壓器容量表明今後可能有擴展計劃。

接入系統

我們審閱了每個風場的接入系統情況，評估是基於龍源及其附屬公司提供的接入系統報告和電網結構。需要說明的是，莫特並沒有進行任何獨立模擬或計算來驗證這些由中國設計機構提供的研究報告的結果。每個風場就其電網接入點進行了評估，評估內容包括了電壓等級、主變壓器容量、導線尺寸、電力系統研究和無功補償。

除了環港風場外，在正常運行狀況下，每個風場的升壓站變壓器和架空線容量選擇適當，有足夠的能力傳送風場最大出力。環港的主變容量問題在擴建工程中已經得以解決。

大部分接入點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，在平潭和達阪城風場，風場接入點變電站同電網內其他變電站之間的連接線可能過載。隨着今後電網擴建，這兩個風場的問題有望得到解決。

所有的風場能滿足目前中國電網規程在電網接入點的功率因數要求。無功電源包括現場安裝的無功補償設備和具有容量係數控制功能的風機提供。

法庫柏家溝風場需要安裝新的無功補償裝置來提高電壓穩定性。所有風場開關設備容量選擇適合，能夠經受風場升壓站側和接入系統變電站側的故障電流。

大部分電網有能力吸收及輸送風場最大出力。但是，玉門二期和達阪城風場短期內可能遇到的電網制約問題，使出力受到限制。長遠來講，該問題將通過對電網進行加強而得到解決。

火電廠評估

除了風場之外，我們還對一個火電廠進行了評估，包括電廠的詳細運行狀況描述。總的說來，電廠大部分主要設備可以與在美國安裝的設備比較，這些設備看起來維護良好。電廠運行人員熟練掌握運行維護方法，電廠運行記錄保存完整。鍋爐排渣都已出售及利用。從該廠的選擇性催化還原脫硝裝置和冷卻系統看來將來還有擴展計劃。電廠的有些設備有容裕，比較可靠，特別是在燃料處理、儲存和製備系統。每個主要組成部分都有一些裕量，使得每台機組能夠在單獨一個設備（如送風機或引風機）故障時，以高於一半負荷運行。運行和排放數據顯示該廠的運行令人滿意。

結論和建議

我們所訪問的所有風場安裝的風機都是由國內外知名廠商提供，它們採用成熟的技術，並擁有豐富的業績。我們認為這些風機技術與目前行業標準相一致，部分風場建造水平較高，超過我們的預期。

我們能夠確認所評估風場的可用率高於95%的製造商保證值，實際發電量與可研中預測基本吻合。所有風場運行維護狀況良好。

我們評估的大部分風場都有專門的升壓站，內部安裝相應的電氣設備，通過架空線路將電能輸送到電網。變電站設備容量選擇適當，可以經受故障電流，一些風場還安裝了無功補償裝置以滿足電網接入要求。

火電廠運行維護狀況良好。大部分關鍵設備可以與在美國安裝的設備相比較。運行和排放數據顯示該廠的性能令人滿意。爐渣處理實現資源綜合利用。

我們在現場訪問過程中發現，風場的運行維護人員數量比我們在歐洲或美國見到的要多。儘管龍源告知這是為今後的擴展計劃做準備，我們仍然認為龍源在開發新項目時可通過減少現場人員來改進。

龍源在中國發展風電項目有宏偉的拓展計劃。我們認為該公司擁有很強的技術能力足以在中國以至海外開發、運行、維護和管理風場。

1 概述

1.1 莫特麥克唐納的獨立性

由摩根士丹利推薦，莫特麥克唐納諮詢有限公司（以下簡稱莫特麥克唐納）的專業人員受龍源電力集團股份有限公司（以下簡稱龍源）委託，作為技術顧問就龍源編寫本獨立技術報告。

莫特麥克唐納就提供本服務將收取專業費用。但是，莫特麥克唐納負責編製本報告的主管或參與該項目的員工與以下各項不擁有任何權益：

- 龍源公司；或
- 技術評估範圍內的資產。

在提交最終報告之前，本報告的初稿已提供予貴公司及其顧問，但其目的僅用於確認本報告中材料和數據的準確性。

1.2 公司資質和業績

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，航運和環境到建築、工業和通信等日常生活的諸多方面。

我們是一家完全獨立的公司，年營業額14億多美元，在全球120多個國家中擁有14,500多名員工。公司於一九九六年，一九九八年和二零零四年三次獲得Queen's Award for Export Achievement（出口貿易成就女王獎），這充分反映出公司國際業務的巨大規模和比例，國際業務共佔到總收入的三分之二。

莫特麥克唐納在英國以及歐洲、亞太地區、中東、美國和非洲設有分公司。如此廣泛的地域分佈意味着不管客戶或其項目位於何處，我們都能便捷地提供技術和人力資源。

莫特麥克唐納通過了Quality Assurance、ISO 9001和ISO 14001認證。

我們具備世界領先水平的電力諮詢服務經驗。我們在多個國家和地區的電力行業改革過程中扮演了重要的角色，針對不同的國家的電力市場特點，為他們的政府提供包括財務，技術，法規，效率和商務合同等方面的諮詢。這些國家包括烏克蘭，馬來西亞，印度尼西亞，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。我們協助投資者進行被民營化或私有化的電力資產評估，為投資者提供項目融資或資產並購的技術評估報告。並且作為投資方或貸款方的獨立工程師，我們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項目中，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項目帶來最大的價值。我們在世界範圍內參與了超過20萬兆瓦的發電廠項目的工程與設計。我們的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。我們在風力發電（包括陸地和海上）方面具有出色的技術和電力系統業績記錄，為融資方、投資者、項目開發商、業主和承包商、政府、地方權威機構和監管機構提供諮詢服務。並且，我們在項目發展、評估和實施方面可以承擔各種任務並為海上及陸地風電項目提供全方位的資源。

我們在中國已經參與了超過70個項目(總容量超過32千兆瓦),包括風電、水電、生物質發電、垃圾發電、燃氣和燃煤電廠。以下列出部分項目：

- 白城風場，匯豐銀行－作為貸方工程師，評估一個49.5兆瓦的風場包括風資源，風機技術和土建、電網接入系統、合同、CDM、財務模型及環保等方面。
- 多個風場投資，龍基電力／花旗銀行－作為技術顧問評估總裝機容量為357兆瓦的多個中國風場為投資者提供決策依據。
- 大風壩風場，港燈國際有限公司－作為技術顧問對位於雲南省內的一個47.6兆瓦的風場做盡職調查
- 如東風場，荷蘭皇家銀行－麥克唐納被聘請為該交易的技術顧問。客戶是荷蘭銀行，為其政府購買在清潔發展機制下的碳減排指標。我們的盡職調查包括風資源評估、電廠接入系統和項目公司的機構能力。
- 內蒙古風場，宏騰能源集團-我們的任務包括開發三個位於內蒙古自治區境內的風力電廠百靈廟、西烏和西昌的所有技術支持工作。
- 泰山項目，摩根大通／龍基電力-麥克唐納被聘請為該交易的技術顧問。為該中國客戶做盡職調查。我們的工作包括燃料市場分析、秸稈發電鍋爐燃燒技術評估和中國電廠施工和運行與國際經驗的比較。
- Suhrak 盡職調查－資產評估，保密－作為技術顧問提供市場分析，合同審查和資產評估。Suhrak資產組合包括11個現有電廠，3個在建設中和9個規劃電廠，以及9個煤礦。

1.3 執行本項目的專家團隊

我們精心組織了技術顧問核心團隊，以完成為龍源電力資產評估所需服務。核心團隊成員的資質和他們的職責表述如下。

汪愛娟博士：評估組組長

持有學士，碩士和博士學位。汪愛娟博士從事電力行業的技術和商務工作20餘年，特別是在中國電力項目開發、商務合同談判、可再生能源以及電網規劃方面都有豐富的經驗。90年代曾供職於中國政府能源部和龍源電力集團股份有限公司。

自一九九八年加入莫特麥克唐納，汪愛娟博士參與、管理並主管了多個受銀行，投資商和開發商委託的盡責調查項目，十分熟悉中國的商務環境和市場監管。她具有豐富的同投資商工作的經驗，例如湄洲灣項目與法國巴黎銀行合作，長沙和白城項目與匯豐銀行，山東魯能上市項目與摩根大通，以及在風場並購項目與花旗銀行均有過合作經歷。

此外，汪博士還參加了許多電力市場和改革項目，比如電力行業私有化、競爭性電力市場設計及運行、電力市場供需分析、公司發展戰略及監管審計等。

高級顧問：

為完成本次獨立技術評估，莫特麥克唐納精心組織了一個包括資深顧問和工程師的團隊，他們都曾為類似的項目提供過諮詢服務，並從中國以及世界各地項目中獲取了豐富的經驗。專家組核心人員名單如下：

表 1-1 核心團隊

角色和職責	專家
高級機械工程師	Valentine Madden
電氣工程師	Adam Hart
風資源及電量預測	David Mudie
電網接入系統專家	Roddy Wilson
風機技術	Fulvio Mariani
風場運行	Cyril Pacot
風場項目建設	Robert Speht
電力系統分析	張學成博士
電網規劃	蘆經緯
電力系統運行	Zoran Nesovanovic
項目協調	陽瑾瑜

2 方法論

2.1 技術評估的目的

龍源電力集團股份有限公司成立於一九九三年一月，是大力發展可再生能源的發電企業集團。它以風力發電為核心業務，積極參與風能以及生物質能、潮汐、地熱和太陽能等其他可再生能源發電業務的投資、建設、運行和管理。除了可再生能源項目，龍源還擁有兩個常規電廠，並從中獲取和積累了技術及管理經驗和優勢。

莫特麥克唐納的任務是評估龍源所擁有資產的狀況，確認其所採用的風機技術是否合適、並對電廠運行情況以及電網的送出能力進行評估。我們的工作大綱具體如下：

- 風力發電場
 - 風資源評估
 - 發電量、可用率和維護
 - 風機技術
 - 接入系統和電網運行條例
- 火力發電廠
 - 發電量和負荷率
 - 煤耗和電廠效率
 - 可用率
 - 運行方式
 - 計劃投資需求
 - 設備使用壽命及其相關問題
 - 環境問題

本報告使用的主要素材和依據如下：

- 龍源提供的文件和數據以及與龍源和設備供應商相關人員的交流和討論；
- 對各代表性電廠的現場訪問；
- 從公開渠道搜集的相關資料以及我們對電廠及中國市場的專業知識。

在編寫報告的過程中，我們的分析主要依賴於所搜集到的數據，包括對調查問卷的回答，並用我們的專業知識對數據進行了分析。數據分析和報告編寫是在莫特麥克唐納的英國和美國辦公室進行的。

在本報告以下的各章節中，我們將討論上述方面的關鍵問題，以及我們在這次盡職調查過程中的發現和我們的建議和結論。

2.2 龍源公司資產概覽

截至二零零八年十二月底，龍源總共擁有67個風電項目，由其控股附屬公司運行，主要分佈在中國六大區域。總控股裝機容量達到2,502.8兆瓦。此外，位於江蘇省的總控股裝機容量為1,875兆瓦的兩個火電廠也包含在上市資產中。

我們在表2-1中概述了風場的總體情況，包括集團全資以及控股的項目。該表顯示龍源的風電項目廣泛分佈在中國風資源豐富的地區（據中國氣象科學研究院統計），包括新疆維吾爾自治區、甘肅省、內蒙古自治區、河北省、東北三省和東南沿海。

資產中的風機技術來自於國際知名風機廠商，例如GE，維斯塔斯，歌美颯和安迅能，以及中國風機製造商如金風和華銳。單機容量從幾百千瓦到2兆瓦不等。

在本報告初稿截稿時，我們得知龍源控股裝機容量已經達到2,886兆瓦。

表2-1龍源控股公司風電項目概覽

	截至二零零八年十二月底	
	項目數量	控股裝機 容量(兆瓦)
新疆	11	223.8
甘肅	8	208.8
內蒙	13	760.9
河北	1	49.5
東北三省	18	774.5
東南沿海	16	485.3
總計	67	2502.8

2.3 選擇有代表性的資產

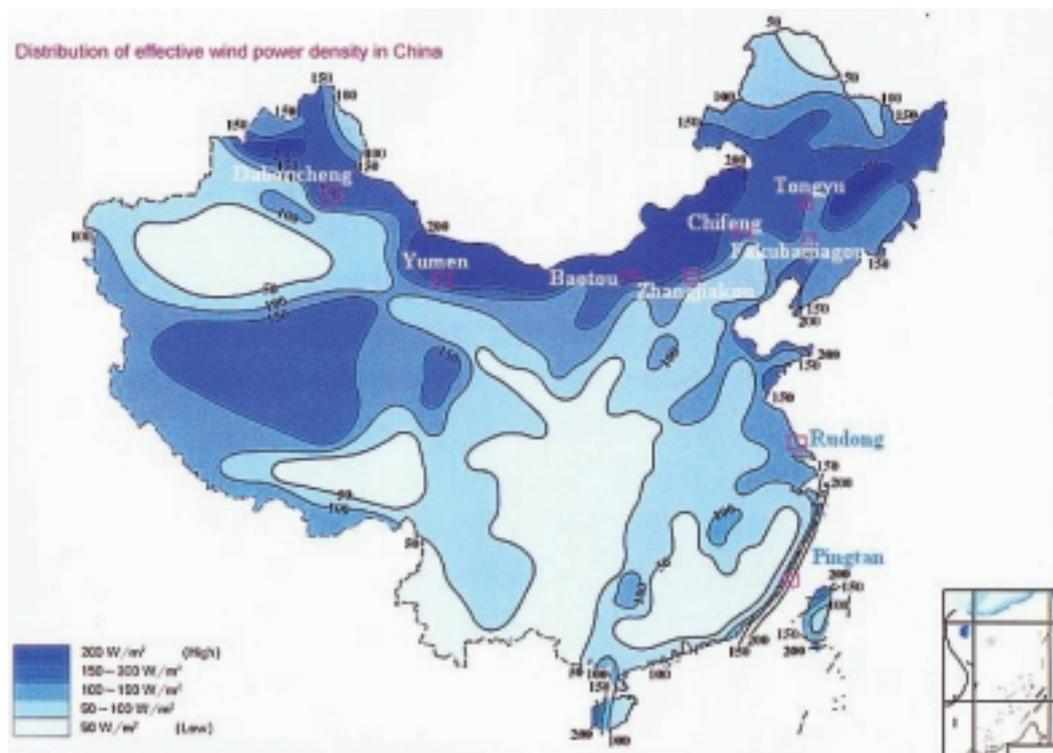
由於龍源的風電資產涉及項目數量眾多，而技術盡職調查的時間有限，我們不可能訪問龍源資產表中所列的所有項目。因此，莫特麥克唐納團隊與龍源達成一致，選擇部分有代表性的電廠進行評估。

在選擇有代表性的風場的過程中，我們考慮了下列幾個主要因素：

- 風資源和地理分佈

中國蘊藏豐富的風力資源，據中國氣象科學研究院估計，其中可開發的陸地風能達到253千兆瓦。進一步的調查顯示，中國的風力資源主要分佈在北方地區如內蒙、新疆、甘肅河西走廊、青藏高原部分地區、東北三省、河北以及從江蘇到福建省的東南沿海，如圖 2-1。圖中的陰影表示風功率密度。

圖2-1中國風資源分佈和有代表性風場的地理位置



來源：中國氣象科學研究院

本網上預覽資料集為草擬本，當中所載資料並不完整，並可予更改。本網上預覽資料集必須與其封面「警告」一節一併閱讀。

附錄六

技術報告

如圖2-1中粉色方塊圖標所示，我們所選擇的具代表性項目分佈在風資源豐富的地區，包括如東、平潭、通榆、法庫、張家口、赤峰、包頭、玉門和達阪城。表2-2列出這些風場的詳細信息。

表2-2有代表性風電場

序號	區域	項目公司	項目名稱	控股裝機 容量(兆瓦)	風機 製造商	額定功率 (兆瓦)	風機數量
1	東南沿海	江蘇龍源風力發電有限公司	江蘇如東特許權二期風電場—環港	58.5	GE	1.5	39
2	東南沿海	江蘇龍源風力發電有限公司	江蘇如東特許權二期風電場—東凌	42	GE	1.5	28
3	東南沿海	江蘇龍源風力發電有限公司	江蘇如東特許權二期風電場—凌洋	49.5	GE	1.5	33
4	東北三省	龍源平潭風力發電有限公司	福建平潭世行貸款項目	100	維斯塔斯	2	50
5	東北三省	吉林龍源風力發電有限公司	吉林通榆國家特許權風電場一期	100.3	歌美颯	0.85	118
6	東北三省	吉林龍源風力發電有限公司	吉林通榆國家特許權風電場二期	100.3	歌美颯	0.85	118
7	東北三省	瀋陽龍源風力發電有限公司	遼寧法庫柏家溝風電項目	49.5	華銳	1.5	33
8	新疆	新疆天風發電股份有限公司	新疆達阪城三場二期風電項目	30	金風	0.75 1.5	30 5
9	新疆	新疆天風發電股份有限公司	新疆達阪城三場三期風電項目	49.5	金風	1.5	33
10	新疆	新疆天風發電股份有限公司	新疆達阪城三場四期風電項目	49.5	金風	1.5	33

本網上預覽資料集為草擬本，當中所載資料並不完整，並可予更改。本網上預覽資料集必須與其封面「警告」一節一併閱讀。

附錄六

技術報告

序號	區域	項目公司	項目名稱	控股裝機 容量(兆瓦)	風機 製造商	額定功率 (兆瓦)	風機數量
11	甘肅	甘肅潔源風電 有限責任公司	甘肅玉門風電項目二期	11.9	歌美颯	0.85	14
12	甘肅	甘肅潔源風電 有限責任公司	甘肅玉門風電項目三期	45.9	歌美颯	0.85	54
13	甘肅	甘肅潔源風電 有限責任公司	甘肅玉門低窩鋪一期	49.3	歌美颯	0.85	58
14	河北	龍源(張家口)風力 發電有限公司	河北尚義石人風電 項目一期	49.5	安迅能	1.5	33
15	內蒙	龍源(包頭)風力發電 有限責任公司	內蒙包頭巴音國家特許權 風電項目	124.5 31.5 45	金風	1.5 1.5 1.5	83 21 30
16	內蒙	赤峰新勝風力發電 有限公司	內蒙赤峰翁牛特五道溝 風電項目一期	50.25	金風	0.75	67
17	內蒙	赤峰新勝風力發電 有限公司	內蒙赤峰翁牛特孫家營 風電項目一期	50.25	金風	0.75	67
18	內蒙	赤峰新勝風力發電 有限公司	內蒙赤峰翁牛特孫家營 風電項目二期	49.5	金風	0.75	66
總計				1,136.7			

表2-3有代表性火電廠

項目公司	項目名稱	地理位置	裝機容量		製造商	機組容量	
			(兆瓦)	投產期		(兆瓦)	機組數量
江陰蘇龍發電 有限公司	江陰夏港 電廠項目	江陰，江蘇	275	一九九五年六月	上海鍋爐公司	137.5	2
			280	二零零三年二月		140.0	2
			660	二零零四年十二月		330.0	2
總計		1,215					

- 風機類型

我們在選擇風場的時候考慮的第二個因素是資產中的風機類型。如上文所述，龍源採用了多種不同的國內外生產的風機產品。我們認為圖2-1所示的項目所採用的風機類型代表了龍源選用風機的主流類型。具體風機製造商和類型在表2-2中列出。

- 裝機容量和公司權益

第三個因素是風場規模和龍源在這個項目中的權益。也就是說，我們所關注的是大型風場和龍源擁有控股權的風場。如表2-2所示，這18個風電項目的控股裝機容量佔二零零八年龍源風電控股裝機容量的近50%。

表2-2和表2-3總結了本報告中我們審查的18個風場和1個火電廠的詳細情況。

2.4 技術盡職調查過程

基於以上所選擇的18個風場和1個火電廠，我們首先給龍源及下屬附屬公司發出調查問卷。調查問卷的內容圍繞技術評估的工作範圍展開，包括發電量、風機類型、風場運行記錄、維護協議、風機供貨合同和電網接入系統等。

二零零九年三月，分別來自英國和美國的工程師在中國開始文件審查。在龍源北京總部臨時建立的資料室，我們花費了三天左右的時間粗略查閱可行性研究報告和接入系統報告，並與公司生產和工程部門人員及主要風機製造商技術人員討論了有關技術問題。

二零零九年三月和四月，工程師進行現場訪問。由於上述具代表性風場廣泛分佈於中國各地，由風資源、風機和電氣專家組成的團隊分為四組，前往四個不同方向進行現場訪問，分別是西北、東北、內蒙和河北、以及東南沿海。另外還有一個專家小組負責位於江蘇省的火電廠的現場訪問。每個小組都由一位龍源的代表陪同。通過現場訪問，我們可以證實這些資產的存在，並有機會與現場的運行維護人員對技術細節做更進一步的探討。

隨後，我們對收集來的數據進行整理和分析。對於現場訪問之後發現的問題，我們的工程師與龍源做了進一步的溝通。我們在英國和美國的辦公室進行報告的起草。

主要的技術盡職調查步驟歸納如下。

表2-4技術評估過程

步驟	地點
調查問卷準備	英國、美國
臨時資料室文獻查閱	中國
現場訪問、收集資料和討論	中國
數據分析	英國、美國
報告編寫	英國、美國

3 風電場技術評估

3.1 風資源評估

在本章節中，我們將對每個項目可行性研究報告中的風資源和發電量預測進行討論。我們的審查着重於風資源評估方法和所採用的假設，而不包括對發電量的重新建模或重新計算。此外，我們也查閱了規範行業慣例的相關中國國家標準，並與國際慣例相比較。

在項目開發階段編寫的可行性研究報告中，風資源評估是非常重要的一部分，特別是當實際運行數據較少的時候，它為評估風場的預期發電量提供重要依據。

儘管上述代表性風場的風資源由不同的中國設計機構評估並編寫報告，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《風場風能資源評估方法》。前者包含風資源數據採集和報告的格式，而後者描述了如何使用長期風資源數據進行訂正，數據審查、數據處理以及報告的內容。

關於風資源數據收集，GB/T 18709-2002與國際標準基本相符，規定了測量參數、校準和測量設備的規範及其安裝。儘管該標準包含了主要的原則，但是缺乏一些國際同類標準如IEC 61400-12-1中對細節的描述和規定。例如，中國標準規定了測風設備的配置和傳感器的佈置，但是沒有說明傳感器的排列以及如何減少測風塔的遮蔽效果對它們的影響。

在我們審查的可行性研究報告中，沒有說明關於測風塔安裝的信息並且我們也沒有獲得測風塔的安裝報告，從而無法審查在風資源評估中收集的數據是否符合中國國家標準。我們注意到，在部分可研報告中，測風塔的高度低於風機輪轂高度。根據GB/T 18709-2002，測風設備高度不能低於預計安裝輪轂高度。雖然我們認為這在業界是一種普遍現象，並且對於較簡單的地理環境是可以接受的，但是從某種程度上講，這偏離了標準的規定。值得注意的是，在一些項目中，測風塔由項目審批人（例如地方政府）設立，而不是龍源公司，測風數據在投標期間提供給將來的承包商。

GB/T 18710-2002 是規定風資源評估、測風數據的處理和計算方法以及風資源評估報告的內容的中國國家標準。該標準包括對參考數據的要求、長期數據訂正、數據篩選和計算公式以及報告。GB/T 18710-2002 參考了NREL/SR-440-22223和《風資源評估手冊》。該手冊由美國能源部的國家可再生能源實驗室出版，全面闡述了以測量方法為主的風資源評估方法論，即測量-相關聯-預測分析。該標準大部分參考這部手冊，因此，中國的風資源評估方法與國際慣例是基本一致的。

測量-相關聯-預測分析方法要求至少有十二個月風場現場的有效風速和風向數據。之後，再與附近參考氣象站提供的歷史可靠數據進行數據相關性檢驗。風場和附近長期參考站的相關性確立後，現場長期風資源數據才能根據歷史數據的推斷計算出來。GB/T 18710-2002為執行這個方法給出一些好的建議，包括如何選擇和評價參考氣象站數據的完整性，

然而缺乏如何進行訂正的具體方法。我們所審查的可研報告也沒有指出相關性檢驗的數據是基於每小時、每天還是每週的平均數據，這影響了對結果的解釋。在我們審查的幾個可研報告中，參考氣象站數據被指出不完整，並且由測量-相關聯-預測分析方法推算出的長期風速有所升高，因此該方法被棄用，發電量預測則採用了12個月的現場採集的數據。因此該方法雖有價值但也表現出保守性。

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)、日風況和季節風況。為了計算風場的發電量，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，以計算出風場的淨發電量。

在我們審查的可研報告中，每個風機的風速分佈由WAsP軟件建模。該軟件由丹麥Riso國家實驗室研製。它是行業標準的評估軟件，計算非複雜環境中地形和地面狀況所引起的風的變化情況。從我們現場訪問來看，這種方法是適用的。在風資源評估後、風場建設前對風機平面分佈圖的修改是常見的。除平潭風場和赤峰風場外，我們可以確定其他風場目前已建成的風機位置與可研報告中所設計的一致(除了非常微小的調整)。平潭、赤峰孫家營一期和五道溝一期的風機機型在可研後發生了變化，細節見後續章節。

可研報告中的功率曲線通常沒有標明數據以及出處。功率曲線是理論值還是由測量數據得來，或者根據風機製造商的承諾而來，是確定風資源評估的準確性的關鍵。這些可研報告中為保守起見，都直接將預測發電量減少5%來補償因功率曲線不能保證而帶來的任何損耗。這也彌補了因沒有闡明功率曲線的出處而帶來的不準確性。對現場空氣密度相對於標準測試環境的補償調整也是符合預期慣例的。

使用WAsP軟件所做的尾流損耗建模方法也是適用的。儘管可研報告中沒有提供尾流建模參數，但是結果是符合我們的預期的。我們所訪問的風場大多為分期建設或者鄰近的在建風場。臨近風場或隨後幾期風場建設所產生的影響在有些可研報告中沒有涉及到，是可以理解的。

預測的發電量損耗考慮了電氣設備效率、可用率和電網故障時間等因素。可研報告沒有提供確定參數的方法，這些估計損耗的參數大都來自於假設。每個項目所估計的損耗大不相同，這是由於各個地區內氣候變化不同以及這些報告由不同的中國設計院編寫。這些損耗係數較大，以至於項目效率(除去尾流影響)平均為73%(在歐洲，90%是比較普遍的)。這說明發電量預測是非常保守的，這也在有限的運行數據中得到了證實。

此外，中國標準沒有考慮在風速和風向測量中的不確定性。因此，可研報告中沒有相應的不確定性分析，只有上述大致估計。對風場運行商業決策來說，不確定性分析和風險預測是很重要的，因為它為投資信心提供依據。遵循已出版的行業標準來進行發電量預測，並不能夠減少預測的不確定性，因為分析的過程中所產生的錯誤各有不同，因地而

異。我們認為缺乏對不確定性分析的要求是目前中國標準制定的遺漏。類似地，可研報告也沒有將年際變化率考慮在內。年際變化率體現在儘管風速每年在變，然而變化率隨着平均週期的增加而減少。因此預測10年的平均年發電量比預測某一個特殊年份的發電量要準確。我們可以確認可研報告都進行了長期預測，儘管某些風場因為缺乏相關或可靠的長期氣象站數據，或現場測風塔數據測於低風速年，而採取了更保守的長期預測。

從上述分析我們看到風資源評估採用了一致的評估方法，並且基本與國際慣例相符。儘管中國標準參照西方體系來制定，但是仍與國際同類標準有一定的差距。中國標準中最大的遺漏是缺乏不確定性分析。這也表明了分析過程和假設的保守性。特別是，用於計算發電量的損耗係數遠大於世界上其他國家。這直接導致了對項目效率的保守估計。我們希望上述保守估計可以彌補缺乏不確定性分析和其他次要的不確定因素的影響，如後期項目的尾流。

表3.1總結我們在審閱風資源評估中的主要發現。

表3-1發電量綜述

風場	長期 平均風速	尾流係數	其他損耗 折減係數	上網電量		評論
				(千兆 瓦時)	容量係數	
江蘇如東特許權 二期風電場 (100.5兆瓦)	6.96米/秒 高70米	94.27%	79.7%	228.44	26.0%	使用現場測風塔70米高12個月的數據進行發電量計算。長期數據與該站不相關，一九九七年至二零零三年期間的代表年為二零零三年。
江蘇如東風電特許權 項目二期擴建工程 (49.5兆瓦)	6.70米/秒 高80米	91.30%	85.0%	106.7	24.6%	使用一九九九年的測風塔40米高十二個月的數據進行發電量計算。因40米高數據質量不高，80米風速由30米高數據推算而來。因長期數據相關性差而沒有使用測量-相關聯-預測分析方法。一九九五年至二零零四年的代表風年為一九九九年。因推算出的風速比一期計算出的風速低，所以電量計算的結果較為保守。值得注意的是，計算時70米高的數據儘管可用卻沒有被運用到預測中。

本網上預覽資料集為草擬本，當中所載資料並不完整，並可予更改。本網上預覽資料集必須與其封面「警告」一節一併閱讀。

附錄六

技術報告

風場	長期 平均風速	尾流係數	其他損耗 折減係數	上網電量		評論
				(千兆 瓦時)	容量係數	
福建平潭世行貸款項目 (100.5兆瓦)	8.21米/秒 高70米	89.55%	82.1%	259.58	29.5%	現場和參考氣象站的測風數據都有較高的風速變化。採用二零零二年的參考氣象站數據與70米高數據訂正而得的結果對每小時而言相對較高。經過測量-相關聯-預測法分析後，平均風速增長了18%，這是非常高的增量。年風速變化相比其他地區要高得多，沒有證據顯示這在該地區是常見的現象而不是數據的問題。我們建議要非常謹慎的看待報告中的風速。
吉林通榆國家特許權 風電場一期 (100.3兆瓦)	7.43米/秒 高65米	89.23%	81%	231.59	26.4%	在投標過程中由地方政府提供40米高測風塔風速。計算結果與基於高質量風資源數據的二期計算相符，因此結果較為可靠。損耗因素較高，而臨近風場的尾流影響沒有考慮在內。總體來說，以二零零八年的生產數據來看，預測電量稍許保守但較為準確。
吉林通榆國家特許權 風電場二期 (100.3兆瓦)	7.23米/秒 高65米	93.7%	66.2%	227.2	25.9%	電量計算使用二零零五年的十二個月70米高數據，沒有與參考氣象站相關聯。長期當地數據顯示二零零五年是一個低風速年，因此計算結果應較保守。損耗因素較大。期望實際效率較高。
遼寧法庫柏家溝 風電項目 (49.5 兆瓦)	6.81米/秒 高65米	93.2%	79.7%	108.5	25.0%	高質量的風資源評估。儘管報告有所遺漏且保守，但不失精確，是很好的實例。

本網上預覽資料集為草擬本，當中所載資料並不完整，並可予更改。本網上預覽資料集必須與其封面「警告」一節一併閱讀。

附錄六

技術報告

風場	長期 平均風速	尾流係數	其他損耗 折減係數	上網電量		評論
				(千兆 瓦時)	容量係數	
新疆達阪城三場 二期風電項目 (30兆瓦)	8.79米/秒 高50米	95%	74.4%	79.8	30.4%	使用1號測風塔二零零四/二零零五年50米高數據進行計算。二場運行數據和參考氣象站長期數據用於訂正長期數據。使用混合數據進行訂正，可能因為二場對三場的影響。二場13年的運行數據有助於三場的預測，因此風資源評估應較為可靠。
新疆達阪城三場三期 風電項目 (49.5兆瓦)	8.58米/秒 高50米	94.60%	78.30%	136.61	31.5%	現場海拔高，風速較高。有記錄的極大風速接近IEC I級水平。二場運行數據和參考氣象站長期數據用於訂正長期數據，平均風速增大5%。二場13年的運行數據有助於三場的預測，因此風資源評估應較為可靠。
新疆達阪城三場四期 風電項目 (49.5兆瓦)	9.63米/秒 高65米	91%	76.5%	142.7	32.9%	風速較高，電量計算使用二零零五年測風塔數據，由相關參考氣象站數據進行長期訂正。當地長期記錄顯示，二零零五年為低風速年，因此計算結果應較為保守。
甘肅玉門風電場三期 風電項目 (45.9兆瓦)	7.19米/秒 高50米	90%	73.9%	94.7	26.5%	測風數據來自7個不同的測風塔兩年監測結果。參考氣象站受防護林影響，沒有進行測量-相關聯-預測法分析。電量計算只基於2003/04年的數據，以該數據代表平均狀況。
甘肅玉門低窩鋪一期 (49.3兆瓦)	7.61米/秒 高60米	—	67%	107.9	25%	由一個測風塔的數據進行電量計算。風速為IEC 3級水平。參考氣象站的長期數據用於訂正。損耗係數較高，因此預計實際發電量更高。

本網上預覽資料集為草擬本，當中所載資料並不完整，並可予更改。本網上預覽資料集必須與其封面「警告」一節一併閱讀。

附錄六

技術報告

風場	長期 平均風速	尾流係數	其他損耗 折減係數	上網電量		評論
				(千兆 瓦時)	容量係數	
河北尚義石人風電項目 一期 (49.5 兆瓦)	7.42米/秒 高40米	96.15%	66%	113.91	26.3%	儘管採用測風塔40米高的數據，風資源評估較為合理。較高的損耗係數顯示預測較為保守。
內蒙包頭巴音國家特許權 風電項目 (201兆瓦)	7.87米/秒 高70米	93.46%	78.3%	465.92	26.5%	附近兩個測風塔2004/05年的數據用於電量計算，長期參考氣象站數據進行訂正。
內蒙赤峰翁牛特五道溝 風電項目一期 (50.25兆瓦)	8.6米/秒 高50米	95.90%	62.8%	124.66	28.8%	高海拔、高風速風場。與參考氣象站數據訂正較差，但訂正結果降低了平均風速，這可以減少我們的關注。損耗係數假定較高。因為海拔較高，空氣密度也較高。在預計的風速情況下，預測的容量係數較低，因此計算結果較為保守。
內蒙赤峰翁牛特孫家營 風電項目一期 (50.25兆瓦)	8.56米/秒 高65米	97.4%	57.2%	120.9	27.9%	電量計算基於距風場10公里處測風塔2004/05數據。使用參考氣象站長期數據做訂正減少誤差。而損耗係數較高，計算結果比較保守。
內蒙赤峰翁牛特孫家營 風電項目二期 (49.5兆瓦)	8.6m/s高70m	94.10%	61.64%	118.93	27.5%	高風速風場。沒有進行長期數據訂正，電量計算基於2005/06年測風數據。

3.2 主要涉及的風機

龍源電力集團股份有限公司採用了由國內外風機製造商提供的各種不同類型的風機。對發電量最大化來說，風機選型是非常關鍵的，需要考慮到現場環境適應性、發電量、可用率、價格和技術。據公司管理人員介紹，我們得知所有的採購和工程都集中在北京的公司總部進行，由總部給各地方分公司提供即建項目。

代表性風場所包含的風機由國內外成熟製造商生產。我們審查的所有風機類型都具備符合目前技術標準的現代設計，額定功率範圍從750到2000千瓦不等。所有安裝的風機類型根據特定現場環境確定，並設計以適應中國北方寒冷且高風速地區或東南炎熱而潮濕的地區。因此，我們特別分析了在惡劣環境下(如海濱或嚴寒地區)風機的耐低溫和防腐蝕特性。

我們分析了各種不同的風機類型，指出潛在的技術風險以防止風機運行出乎開發商意料。良好的運行經驗可以降低發生故障的可能性，由權威機構出具的獨立分析報告和設計合格證書也可以增強信心。但製造商對風機低運行效率所做的違約賠償承諾才是最關鍵的保障。

中國風機製造供應鏈能力在持續增長，目前能滿足600千瓦和750千瓦風機百分之九十的市場需求以及更大型風機百分之七十的市場需求¹。然而，中國市場對於高精度和高技術要求的配件，如齒輪箱、軸承和控制系統，還是依賴外國進口。

我們認為評估風機技術時，審查風機製造廠商的型式認證對降低設計相關風險是很必要的。通過以符合相關規程和標準為依據的設計審查，風機製造商才可以獲得型式認證。認證過程包括原型機測試和對生產和裝配期間的檢查，審查包括對製造商和對應的分銷商進行檢查。

風機技術的質量是非常關鍵的因素，它影響風場運行狀況、實現發電量最大化和場內電氣設備以及運行維護協議等其他方面。本報告還包括電廠運行維護計劃的審閱。總體上來說，我們對於風機選型和運行維護協議、承諾和違約賠償表示滿意，它們都符合目前市場的慣例。

表3-2代表性風場安裝的風機

序號	風場	容量(兆瓦)	投入商業 運行時間	製造商	風機類型	單機容量 (千瓦)	風機數量
1	江蘇如東特許權二期 風電場—環港	58.5	二零零七年五月	GE	GE77	1,500	39
2	江蘇如東特許權二期 風電場—東凌	42	二零零七年十二月	GE	GE77	1,500	28
3	江蘇如東特許權二期 風電場—凌洋	49.5	二零零八年一月	GE	GE77	1,500	33
4	福建平潭世行貸款項目	100	二零零七年十一月	維斯塔斯	V80	2,000	50
5	吉林通榆國家特許權 風電場一期	100.3	二零零七年十月	哥美颯	G58	850	118
6	吉林通榆國家特許權 風電場二期	100.3	二零零八年十月	哥美颯	G58	850	118
7	遼寧法庫柏家溝風電項目	49.5	二零零八年十二月	華銳	SL 1500/77	1,500	33
8	新疆達阪城三場 風電項目二期	30	二零零七年五月 二零零八年九月	金風 金風	S48 GW77	750 1,500	30 5
9	新疆達阪城三場 風電項目三期	49.5	二零零八年二月	金風	GW77	1,500	33
10	新疆達阪城三場 風電項目四期	49.5	二零零八年十一月	金風	GW77	1,500	33
11	甘肅玉門風電項目二期	11.9	二零零六年十一月	哥美颯	G58	850	14

1 國際風能發展報告(BTM) — 二零零八年三月刊

本網上預覽資料集為草擬本，當中所載資料並不完整，並可予更改。本網上預覽資料集必須與其封面「警告」一節一併閱讀。

附錄六

技術報告

序號	風場	容量(兆瓦)	投入商業		風機類型	單機容量 (千瓦)	風機數量
			運行時間	製造商			
12	甘肅玉門風電項目三期	45.9	二零零六年十二月	哥美颯	G58	850	54
13	甘肅玉門低窩鋪一期	49.3	二零零八年五月	哥美颯	G58	850	58
14	河北尚義石人 風電項目一期	49.5	二零零八年八月	安迅能	IT1500CII	1,500	33
15	內蒙包頭巴音國家特許權 風電項目	201	二零零九年四月	金風	GW77	1,500	134
16	內蒙赤峰翁牛特五道溝 風電項目一期	50.25	二零零六年十二月	金風	S48	750	67
17	內蒙赤峰翁牛特孫家營 風電項目一期	50.25	二零零六年十二月	金風	S48	750	67
18	內蒙赤峰翁牛特孫家營 風電項目二期	49.5	二零零七年十一月	金風	S48	750	66

3.2.1 GE

GE Energy (GE)隸屬於通用電氣集團，是世界最大電力設備製造商。GE是世界最大風機提供商之一²，在全球已安裝10,000台風機，裝機容量超過15,000兆瓦。他們有二十多年的相關經驗。GE在中國市場佔有較大份額，風機製造和組裝工廠位於瀋陽，研究中心設在上海，運行維護中心遍佈中國。GE的1.5兆瓦風機具有良好的業績，在全世界範圍內運行的風機超過8,500台。

如東風場安裝的GE77風機配備主動偏航和變槳調節系統，擁有功率調節和扭矩控制能力和一個異步發電機。它採用底座式驅動鏈設計，機艙內所有部件整合在一起，保證出色的耐用性。發電機和齒輪箱用彈性元件支撐，減少噪音排放，滑環聯軸器的設計減少了齒輪箱的負荷。

自從二零零二年該1.5兆瓦風機投產以來，GE投入了七億五千萬美元來提高機組可靠性和性能。我們對這類產品的質量沒有顧慮。

表3-3 GE77技術參數

輪轂高度	70米
葉輪直徑	77米
額定功率	1,500千瓦
IEC等級	IA/IIA
認證	Germanischer Lloyd IIa /DIBt II

2 國際風能發展報告(BTM) — 二零零九年三月刊

3 國際風能發展報告(BTM) — 二零零九年三月刊

切入風速	3米／秒
額定風速	14米／秒
切出風速	25米／秒
發電機	異步雙饋
齒輪箱	平行／行星混合齒輪傳動
齒輪傳動比率	1:78
功率調節方式	變槳變速調節

3.2.2 維斯塔斯

維斯塔斯是目前世界領先風機供應商之一，擁有20%的市場份額³，在全世界安裝風機達到38,000台。維斯塔斯早在20年前就進入中國市場，在中國的13個省份風機供應總數超過1,500台，總裝機容量超過1,350兆瓦。作為佔領先地位的國際供應商，維斯塔斯的中國總部設在北京，並在上海設立採購中心，工廠設立在天津、徐州和呼和浩特等地，80%的產品部件都是在中國製造。

安裝在平潭風場的維斯塔斯V80型風機採用變槳距、三葉片、水平軸、上風向、變速變頻設計及「最優轉速」技術發電機，適用於中高風速環境。維斯塔斯2兆瓦的風機在全世界的海上和陸地風場安裝超過5000台，其中V80型風機超過2700台。豐富的運行經驗和良好的業績保證了維斯塔斯風機的技術質量。

該風機採用的「最優轉速」系統是一種變速技術，可以允許風機轉子速度在額定轉速的60%範圍內變化，也就是說風機轉子速度可以在同步速度±30%內變化，因而提高了發電量。V80設計基於V66 1.75兆瓦的標準和原理，而V66是第一款採用機艙內置箱變的維斯塔斯風機。

每台機組都配有專門的維修用吊車，可提升最高800 千克的重物，用於風機維修時運送設備和材料。另外還能增加額外的組件來提高運送能力，最高可達6400 千克。這樣在移動機組設備（最重如發電機）時就不需要另外的吊車設備了。

二零零七年時，維斯塔斯V80型風機在距丹麥以西14公里的160兆瓦Horns Rev海上風場出現了一些問題。據報道，這些問題由變壓器、發電機和齒輪箱的生產質量所引起，而不是設計缺陷或因海洋環境引起。維斯塔斯卸下風機機艙，並運送回岸上修理，花費大約1千2百萬到1千3百萬歐元。在Scroby Sands 60兆瓦風場中，維斯塔斯的發電機和齒輪箱也同樣發生了問題。但是在這兩次事件中，製造商都解決了問題，因此我們相信這對龍源的項目沒有影響。

總體來說，我們相信維斯塔斯是高質量、低風險的風機供應商，目前佔有相當的市場份額，另外產品合格證書也增強了我們對其中國供應鏈的信心。

表3-4維斯塔斯V80技術參數

輪轂高度	85米
葉輪直徑	80米
額定功率	2,000千瓦
IEC等級	IA/IIA
認證	Germanischer Lloyd IIA / DIBt II
切入風速	4米/秒
額定風速	15米/秒
切出風速	25米/秒
發電機	OptiSpeed異步系統
齒輪箱	行星/平行齒輪
齒輪傳動比率	1:100
功率調節方式	變槳變速調節

3.2.3 歌美颯

歌美颯是西班牙的主要風機製造商，也是主要的國際供應商之一。二零零八年，它在世界風機供應商中排名第三，擁有13,000兆瓦的裝機容量，市場佔有率超過15.4%⁴。歌美颯在中國也安裝了上千台風機，擁有1,600兆瓦的裝機容量和較大的市場份額。

在中國，歌美颯有大規模的風機設計能力和最大的整機生產能力，包括葉片、接頭根部、葉片模具、齒輪箱、發電機、變頻器和塔筒，以及風機組裝能力。歌美颯的中國工廠位於天津。G58超過80%的配件在中國製造。

用於玉門和通榆的G58是歌美颯的標準產品。目前世界上安裝了超過5,800台歌美颯G5x-850 千瓦型風機。我們認為基於維斯塔斯合格設計的G58 850千瓦是成熟的風機。其設計與維斯塔斯V52類似，都被認為是成熟的產品。這也反映了這兩個公司之間的緊密聯繫。如表3.5所示，歌美颯的G58結合了雙饋異步和變速發電機技術。

表3.5 G58技術參數

輪轂高度	55米
葉輪直徑	58米
額定功率	850千瓦
IEC等級	IIA
認證	TÜV Nord IIIb
切入風速	3米/秒

4 國際風能發展報告(BTM) – 二零零九年三月刊

額定風速	13米／秒
切出風速	21米／秒
發電機	雙饋異步、水冷卻
齒輪箱	一級行星齒輪／二級斜齒輪
齒輪傳動比率	1:61
功率調節方式	變槳變速調節技術

G58採用液壓變槳控制系統。這是一種集中技術，不允許葉片獨立調節。儘管G58基於早期的技術，但它受益於歌美颯在風機製造的發展經驗，經過了不斷的更新。

這個風機模型屬於IEC IIIB類，並由TUV Nord認證。由於其成熟和已認證的技術，我們對它的質量沒有顧慮。

3.2.4 安迅能

安迅能是西班牙的風機製造商，屬於安迅能能源集團。該集團致力於所有可再生能源發展並擁有相當規模的資產。

安迅能採用自主研發技術，只有在不能垂直一體化生產時進行風機組裝。二零零八年內，它組裝了858台風機(1,290兆瓦)，年增長率為47%⁵。自二零零四年該公司開始製造風機後，它的總生產台數超過了2,000台，總容量超過3,027兆瓦。其中國製造廠位於南通，年產量為400台(600兆瓦)。安迅能的產品包括1.5兆瓦風機以及額定功率為3兆瓦的新產品AW-3000。

安裝在石人一期的是AW77-1500風機，額定功率1.5兆瓦、水平軸、三葉片、變速、額定電壓12千伏，由Germanischer Lloyd (GL) 認證為IEC IIA類。AW77-1500採用液壓變槳調節技術，是繞線型雙饋異步發電機，極端電壓為12千伏。我們認為這種系統的好處在於它減少了損耗以及減少了對變壓器的依賴。風機還使用了狀態監控系統，通過安裝在齒輪箱和傳動系統的傳感器實現預維護系統，可監測到故障的發生並且允許立即維護以減少停機時間。

我們沒有發現有關該型號風機在實際運行過程中出現的任何問題。

表3.6 AW77-1500技術參數

輪轂高度	60米
葉輪直徑	77米
額定功率	1,500千瓦
IEC等級	IIA
認證	Germanischer Lloyd IIA

5 國際風能發展報告(BTM) — 二零零九年三月刊

切入風速	3.5米／秒
額定風速	11米／秒
切出風速	25米／秒
發電機	六級雙饋，12千瓦
齒輪箱	3級行星／斜齒輪
齒輪傳動比率	1:65
功率調節方式	全槳變距

我們認為安迅能技術符合行業標準，AW77-1500是可靠的風機產品。

3.2.5 金風

金風是中國最大、最早並且最有經驗的風機製造商。金風成立於一九九八年，從德國風機製造商獲得技術知識後開始風機業務。二零零二年，從REpower獲得生產48千瓦和750千瓦風機技術的生產許可，二零零三年先後獲得Vensys 62 1.2兆瓦和低風速64米1.5兆瓦型風機的Vensys Energiesysteme GmbH許可。

金風在二零零零年至二零零七年間市場份額翻番增長。二零零八年總裝機容量為1,132兆瓦⁶。二零零八年底，它以18%的市場佔有率成為中國第二大風機供應商⁷。目前金風生產的風機從600千瓦到1500千瓦不等。在收購了Vensys 70%的股權後，金風開始研發2.5兆瓦和3兆瓦的風機。在河北、浙江和廣東的三個工廠以及在北京和包頭的兩個產品中心構成了金風的大規模生產能力。

GW77由Vensys的設計概念發展而來，是一種無齒輪箱的風機。採用同步永磁發電機，工作在無齒輪箱的直接驅動系統。而帶齒輪箱、高速軸和聯軸器的系統易產生故障，維護工作量大。

採用永磁技術，無需勵磁線圈、集電環以及用於勵磁的直流電。

6 國際風能發展報告(BTM)－二零零九年三月刊

7 2008-2009年全球及中國風電行業研究報告

表3.7 S48和GW77技術參數

	S48	GW77
輪轂高度	50米	65米
葉輪直徑	48米	77.4米
額定功率	750千瓦	1,500千瓦
IEC等級	Ia	IIa
認證	Germanischer Lloyd Ia	中國船級社IIa
切入風速	4米/秒	3米/秒
額定風速	14米/秒	11.8米/秒
切出風速	25米/秒	22米/秒
發電機	異步發電機	永磁同步發電機
齒輪箱	3級，1級行星齒輪加兩級圓形齒輪	無齒輪箱、直驅
齒輪傳動比率	4:67	無
功率調節方式	定槳系統，沒有速度控制	變槳變速

相對於雙饋發電機，理論上來說，直驅系統通常較可靠以及維護工作量小。永磁發電機因不需要勵磁而減少轉子損耗。變槳傳動採用齒形帶傳動，無需潤滑油和密封，進一步節約成本。使風機轉動發電的氣流經過特殊的冷卻管道直接經過發熱的發電機部件，例如定子。相對於帶齒輪箱的發電機來說，直驅發電機的缺點在於體積大和偏重而成本高。永磁發電機也帶來一些缺點，例如勵磁電流強度不可控帶來的損耗、複雜的安裝和拆卸過程以及磁性材料(NdFeB)的高成本。Vensys的風機技術看起來較為可靠。我們沒有獲得該風機在其他風場的相關運行記錄。

早期的金風S48模型基於REpower的標準雙饋發電機系統。這項技術由德國廠商授權，但在歐洲市場逐步被更大額定功率的機型所替代。儘管這項技術較為陳舊，因為定槳而無法控制速度進而控制發電量，我們仍然認為它是成熟可靠的。

3.2.6 華銳

華銳是主要的中國風機製造商，也是世界十大供應商之一，二零零八年裝機容量達到1,403兆瓦⁸。在二零零八年底，華銳以22%的市場佔有率成為中國市場最大的風機供應商⁹。目前華銳有一個工廠在大連，同時正在包頭(內蒙)，鹽城(江蘇)和酒泉(甘肅)建設工廠，預計於二零零九年上半年全部投產。

安裝在中國東北法庫柏家溝風場的華銳SL1500/77風機是與德國製造商Führlander聯合開發的產品，Führlander擁有獨立的知識產權。

8 國際風能發展報告(BTM) – 二零零九年三月刊

9 2008-2009年全球及中國風電行業研究報告

表3.8 SL1500/77技術參數

輪轂高度	60米
葉輪直徑	77.4米
額定功率	1,500千瓦
IEC等級	IIA
認證	Germanischer Lloyd IIA
切入風速	3米／秒
額定風速	11米／秒
切出風速	20米／秒
發電機	異步雙饋，水冷卻
齒輪箱	兩級行星齒輪加一級直齒輪
齒輪傳動比率	1:104
功率調節方式	電磁變槳

SL1500/77採用三葉片、水平軸、雙饋、變槳變速設計方案。低溫型SL1500的運行溫度範圍為-30℃到+45℃，生存溫度範圍為-45℃至+45℃。結構組件、旋轉設備、電子設備和控制系統、加熱和密封部分都設計為可在寒冷天氣環境下運行。由於中國高風速地區的惡劣環境，華銳在生產耐用產品方面積累了豐富的經驗。

華銳生產過程和質量控制已經獲得GL、CGC、ISO 9001和ISO 14000認證，並且有獨立的質量監控系統。

據報道，在二零零六年，華銳風機出現了一些問題導致更換了40台風機。這不是發生在龍源的風場中，我們沒有獲得該問題的詳細情況。近年來，華銳在中國的風機生產經歷了非常快速的增長。

如前所述，華銳與德國製造商聯合開發風機技術。因此，我們認為技術風險較小。在我們現場訪問過程中，據瀋陽龍源所述，華銳是一家穩健的公司，在中國有良好的業績記錄，對其風機運行狀況很有信心。這給我們也帶來了額外的信心。我們認為華銳的設計和生產過程是符合行業普遍標準的。

3.3 風場運行狀況－可用率和發電量

除了赤峰風場外，莫特麥克唐納訪問了所有代表性風場並與當地龍源附屬公司的技術人員進行了討論，以檢查資產狀況，更好地瞭解運行規程和管理結構，以及收集各場的運行數據。

在以下各子章節中，我們就風場的狀況進行總結，包括風機的可用率和實際發電量。以下是我們對每個風場進行的逐個評估。

3.3.1 江蘇如東特許權風電場

如東風電項目二期是一個特許權項目，包括坐落在江蘇省黃海沿岸的三個風場，位於離南通市東北方向約40公里。該項目由龍源的附屬公司－江蘇龍源風力發電有限公司開發，控股裝機容量為150兆瓦。試運行期為二零零七年五月至二零零八年一月，目前這三個風場都全部投產運行。這三個風場分別為凌洋、環港和東凌，分別安裝了33、39和28台GE 1.5兆瓦風機。

(i) 發電量和可用率

這三個風場坐落在相同的海濱區域，因此非常類似。風場地貌為鄉村地形，被養魚場包圍。江蘇龍源為每個風場建立了一個控制中心，中心內部職工負責風場的監控活動。風場設施包括風機、場內線路、變電站設備、包含控制室和會議室的辦公樓以及風機運維商辦公室和工人宿舍。

莫特麥克唐納認為，現場設施和建築的維護措施良好，房屋建築標準甚至比我們在歐洲見過的同類風場更高。但在某種程度上來說，總體的建築設施和人員數量可能超過了風場運行的實際需要。

江蘇龍源為每個風場安裝了測風塔以在運行階段持續監測現場風力資源。在現場訪問中，工作人員給我們提供了從這些測風塔監測獲得的數據。

根據江蘇龍源提供的數據顯示，自試運行以來，東凌、凌洋和環港三個風場都有較高的平均可用率，分別為98.6%，98.8%和98.9%，都在廠商保證值95%之上。值得注意的是江蘇龍源所用的計算可用率方法，風機在計劃內停機維修或因惡劣的氣候條件或電網問題引起的停機，風機都被視為是可用的。這同歐洲國家的操作方法相同。因此，我們認為實際的風場可用率會小於上述數字。

我們獲得的發電量數據為風場升壓站側所測量的數據，已計入內部損耗。表3.9中給出二零零八年三個風場的平均年發電量。與前文描述的可研報告中的預測發電量相比，我們可以確認這三個風場的實際發電量符合預期水平。

表3.9如東風場年發電量

	二零零八年發電量 (吉瓦時/年)
凌洋	104.12
環港	142.05
東凌	95.37
總和	341.54

在現場沒有收集到安全記錄和機組停役記錄，表明風場沒有經歷重大問題。江蘇龍源給我們提供了風場運行期間遇到的一般問題列表。我們認為這些是風機運行早期較常出現的問題，與我們的預期和國際慣例相一致。

目前風機仍然在質保期內，項目的運行維護安排井井有條。GE在該地區內有一個服務中心，這能確保在需要維修時風機廠商能夠提供及時快速的服務。我們確認江蘇龍源內部職工協助風機供應商進行維護，這也作為培訓的一部分，以便質保期結束後雙方實現順利交接。我們在現場見到的職工非常熟悉運行和監控工作。我們也得知風場SCADA系統能將運行數據傳送到江蘇龍源在南通的辦公室和北京總部。

(ii) 場內電氣接線及升壓站

三個風場由同一家中國設計機構按照同樣的標準和流程進行設計。所有電氣設備都保持良好的狀態，並且安裝在適當的建築中。儘管臨海的環境可能比較惡劣，目前還沒有發現電化學損耗以及蟲害侵擾。

風機陣列間電纜的選型標準能夠滿足電能傳輸的要求。電能輸出系統呈封閉式三角形結構。電能輸出系統的電纜線路採用同芯中性或者附屬接地電纜。在電能匯集母線上安裝有接地故障檢測電路。這種配置同北美及歐洲的大多數設計都不同，在北美和歐洲比較普遍的做法是安裝一台接地變壓器。中國的這種設計同俄羅斯的設計比較類似。這種設計的優點有兩種：性價比高，並且在出現接地故障時，依然能夠輸出電能。這種設計唯一的不足是短路電流會直接流經整個系統。

凌洋風場升壓站主變的容量為63兆伏安，考慮風場的功率因數為0.90，變壓器能夠滿足風場55兆伏安電能輸出的要求。此外，主變安裝有16檔有載分接頭開關，能夠以每檔1.25%額定電壓的幅度在±8檔內升高或降低電壓。分接頭開關能夠將變壓器端電壓控制在108.9千伏到133.1千伏的範圍。變壓器高壓側的電壓為121千伏，連接至110千伏的母線上。類似的技術在美國也有應用，用於減少風場接入系統前引起的電壓降。

開關設備採用的是韓國現代公司生產的氣閉式開關裝置。這些設備狀態良好，並且安裝在合適的設施內。風場場用變為一台100千伏安幹式變壓器，能夠滿足要求。

環港風場升壓站主變的容量為50兆伏安，小於風場總裝機容量58兆瓦。這意味着當風場滿發時升壓站主變要在過載的條件下運行。江蘇龍源的生產部經理向我們展示了風場擴容至100兆瓦的計劃。我們看到現場正在吊裝的新風機，以及正在安裝的另一台50兆伏安變壓器。在本報告初稿截稿時，風場擴建工程已於二零零九年七月完工。兩台50兆伏安變壓器將能夠滿足風場滿發時電能輸出的要求。

風場升壓站主變裝有16檔的有載分接頭開關，主變端電壓控制在108.9千伏至133.1千伏的範圍內。變壓器高壓側的額定電壓為121千伏，連接至110千伏母線上。這種設計可以減少風場接入系統時引起的電壓降。

同凌洋風場相同，環港風場也採用了韓國現代公司生產的氣體絕緣開關設備。設備狀態良好。風場的場廠用變為一台200千伏安幹式變壓器，能夠滿足要求。

東凌風場主變容量為50兆伏安，能夠滿足風場42兆瓦裝機電能輸出的要求。同其他兩個風場類似，東凌風場主變安裝有16檔的分接頭開關，能夠將變壓器端電壓控制在108.9千伏至133.1千伏的範圍。

東凌風場採用的韓國現代氣體絕緣開關設備目前狀況良好。

3.3.2 福建平潭世行貸款風電項目

平潭島位於福建省，是中國第四大島嶼。平潭風場位於平潭島的東北角，於二零零七年九月至二零零八年一月間試運行，目前已全部進入運行期。平潭長江澳二期工程由龍源公司分公司福建省平潭長江澳風電開發有限公司開發管理，裝有Vestas V80風機共50台，風場控股裝機容量為100兆瓦。本風場是一個由世行贊助的10兆瓦風場的二期工程。

平潭風場是莫特訪問過的龍源資產中單機容量最大的風場。

(i) 發電量和可用率

我們發現平潭風場的風機選型在可研報告完成後發生了變化。最初的方案是安裝67台1.5兆瓦風機，並且可行性報告中的發電量計算均以此方案為基礎。在同現場工作人員的討論中我們瞭解到安裝大型風機的目的是為了提高發電量。沒用重新計算採用V80後的發電量。儘管莫特麥克唐納對Vestas V80風機的適用性和其適用於海上風場的特性沒有異議，但是根據國際最佳實踐，在改變裝機容量至 50×2 兆瓦後，應當進行包括風機微觀選址的詳細分析研究。

根據福建龍源公司提供的月度運行數據顯示，包括可用率和實際發電量等，風場運行狀況同可行性研究報告中的預測基本一致。風場實際可用率高於97.5%，高出95%的保證值。同其他風場類似，福建龍源公司提供的可用率算法中，風機在因為計劃檢修，天氣或電網問題而處於停機狀態時同樣被認為可用。這同歐洲國家的操作方法相同。

風場二零零八年總發電量為280吉瓦時，負荷係數為32%。發電量在風場升壓站處測量，是減去風場內部損耗後的淨發電量。我們注意到實際發電量要比可行性研究報告中的高。這很大程度上是因為採用了2兆瓦而不是1.5兆瓦的風機。

在現場訪問過程中，莫特麥克唐納同風場負責維護工作的維斯塔斯團隊進行了接觸，並向他們諮詢有關風場的維護流程及事故記錄。我們注意到風機偏航系統進行過幾次大的維修。根據維斯塔斯提供的數據，這些問題都得到了及時的處理，從而將停機時間縮到最短，目前風機都正常運行。福建龍源公司向我們提供了風場前期運行中普遍遇到問題的列表。我們認為這些問題是風場運行週期中的正常現象，同目前的行業標準相符。

風場的運行維護系統目前工作良好，所有風機都處於製造商承諾的保修期內。維斯塔斯目前有六名技術人員常駐平潭風場，我們認為此舉能夠更好的協助風場的運行維護工作。根據龍源所有風場的運行維護工作安排，在風機保修期後，福建龍源公司員工將接手所有的運行維護工作。

我們認為風場的工作人員通過對風場一期的運行檢測已經獲得了足夠的培訓及經驗。我們瞭解到風場的SCADA系統同時將運行數據傳送至福建龍源平潭辦公室以及龍源北京總部。

(ii) 場內電氣接線及升壓站

風機陣列電纜的型號選擇能夠滿足負載電流的要求。風機機端輸出電纜長度不超過75米，用於將電能從風機傳輸至箱變，然後伸出地面經過提升裝置接入35千伏架空主幹線。架空主幹線採用鋼芯鋁絞線。電能輸出系統呈封閉式三角形結構。電能輸出系統的電纜線路採用同芯中性或者附屬接地電纜，沒有設置接地線，但是風場的每根母線處都安裝了適當容量的接地變壓器，為接地故障電流提供通路。這是美國和西歐風場常用的配置。

風場升壓站母線分為兩段，每段帶25台風機。每段母線有大小相同的一台自耦變壓器供電，變壓器容量為63兆伏安。風機機端功率因數0.9的工況下，每段母線上風機輸出功率為55.6兆伏安，可見主變容量能夠滿足電能輸出的要求。主變上裝有5檔分接頭開關，能夠將主變電壓控制在103.5千伏至126.5千伏。

平潭風場採用了S&G生產的氣體絕緣開關，目前開關設備狀態良好。風場場用變為一台100千伏安幹式變壓器，能夠滿足用電需求。

3.3.3 吉林通榆國家特許權風電場

通榆風場坐落在中國東北部的吉林省，與通榆縣臨近。該風場包含由吉林龍源風力發電有限公司開發的兩期項目，以及另一個開發商擁有的49.3兆瓦項目。吉林龍源擁有的風場中，一、二期分別為100.3兆瓦，由118台歌美颯G58型850千瓦風機組成。一期在二零零七年十月進入試運行期而二期在二零零八年十二月進入試運行期。三期為49.3兆瓦，包含58台歌美颯G58型850千瓦風機。一、二期在我們的工作大綱範圍內。

(i) 發電量和可用率

風場建造在地勢平緩的沙地(或植被稀疏矮小的地面)上，海拔高度為170米到200米之間。地形較為簡單，因此沒有會改變風況因素的顧慮，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。這些因素可能會影響運行，例如使葉片污染和結冰。但從風場目前運行狀況看來，我們沒有顧慮。

控制大樓位於風場中心。變電站位於風場10公里處。控制大樓包括控制中心、辦公室、備件儲藏室和其他設施。吉林龍源現場運行人員有23人，分為兩組輪換上崗。風場建築和設施一流，維護狀況良好。

風場道路較為粗糙，可能在冰雪天對運輸重型機械造成影響。吉林龍源告知我們，這在中國非常常見，並確信運輸重型機械沒有問題。

歌美颯是西班牙的風機製造商，之前被維斯塔斯部分控制，在中國有生產基地。G58 850千瓦風機是一種非常成熟的機型。G58的設計與Vestas V52非常類似，反映了兩個公司之間的緊密聯繫，這種設計被公認是非常可靠的。

目前通榆兩期的236台G58風機都處於試運行階段。現場訪問過程中瞭解到一些技術維護問題：60台風機的發電機滑環需要更換，這直接導致了一期二零零八年初的可用率下降。二期也發生過同樣的問題，然而這在試運行之前就得以解決。我們現場訪問時還發現一些風機有嚴重的機艙漏油現象。據公司人員所述，這是由齒輪箱冷卻系統的散熱器油管漏油所致。從試運行開始到現場訪問時的近兩個月期間，有八台風機發生了同樣的問題。報告顯示，歌美颯已經修正了這個問題。G58的設計是經過測試的，因此這些問題很可能是由歌美颯從中國製造商購買的低質量配件造成。儘管在今後類似的問題仍有可能發生，但是我們對風場長期整體運行沒有大的顧慮。

目前風場在歌美颯的服務維護協議期之內，歌美颯在現場派有專人維護。協議從投產期開始，有效時間為兩年，包括95%可用率的承諾(除了計劃內維護和廠商控制力之外的停機，如電網故障)，以及對不足95%的違約賠償(兩年期結束時計算)。違約賠償根據收入損耗計算。本報告3.4章節將介紹兩年質保期之後，龍源所承擔的運維工作情況。二零零七年底成立的龍源運維部門承擔起服務協議結束之後的運維工作，目前聘請了30名固定員工維

護兩個風場，包括通榆風場（目前仍在服務協議期內）。同樣，龍源的備件部門將管理備件供給。我們在現場所能看到的備件只包括耗材和小的部件，而沒有大的部件。如柏家溝風場，通榆也將設定目標可用率，期望值高於95%。

運行數據包括吉林龍源提供的二零零七年至二零零八年一期、二期月發電量、可用率和停機時間。其中包括一期從試運行期結束後的14個月數據。因此我們可以將實際發電量和預計發電量進行比較。而二期從二零零八年十二月才投入試運行，我們沒有足夠的數據對風場的狀況進行評價，我們的評估主要基於施工前的可研報告。

我們對通榆一、二期的可研報告中風資源評估部分進行了審查，二者的計算過程都遵循中國國家標準GB/T 18709-2002。對一期來說，研究基於1996/1997年間24個月數據，該數據為政府在項目附近安裝的40米高測風塔測風數據，在招標期間提供給各投標人。二零零四年，吉林龍源在現場安裝了一個70米高測風塔，以該塔數據為基礎評估與風場分類相關的現場狀況，並用於二期的發電量預測。值得注意的是，每個報告中用於計算項目效率和淨發電量的損耗係數都過高，並且這些數值都不相同。

一期可研報告表明使用海拔高度為206米處40米高測風塔測風數據計算的65米輪轂高處風速為7.43米/秒；二期可研報告表明使用海拔高度為190米處70米高測風塔測風數據計算的風速為7.23米/秒，這些都表明風力資源良好。因為兩個報告基於獨立的數據集，它們的一致性增強了風資源評估的可靠性。一、二期淨容量係數分別計算為26.3%和25.8%，都比在該風速狀況下預估的發電量稍低，因此反映了可研報告中對損耗係數的預估較高。

我們分析了一期二零零八年月發電量紀錄，並與建設前預計相比較。如前所述，因為滑環替換，在二零零八年初，風機可用率較低，導致總體可用率為89.7%，總發電量為217.9吉瓦時。如果調整到承諾的可用率95%，發電量為230.7吉瓦時，仍然比預估的發電量231.6吉瓦時低0.4%。

我們還獲得了二零零八年65米處記錄的測風數據，它顯示二零零八年平均風速為6.47米/秒。必須注意的是，測風數據會受附近風機的尾流影響，我們需要確定原數據的來源，但如果數據經證實無誤，二零零八年風速有可能低於預期均值，年均預期發電量應會更高。

(ii) 場內電氣接線及升壓站

兩座風場均由一家中國設計院設計，設計方案類似。龍源通榆風場同另一座風場共用一座升壓站。通榆風場每期工程均設有獨立的35千伏母線。其中一期風場35千伏母線獨立運行，二期35千伏母線通過一個常開斷路器同另一座風場的35千伏母線相連。風場生產的電能匯集到220千伏側，然後輸入電網。

每個風場的電能輸出系統均由電纜和架空線組成。電纜採用三芯不接地直埋電纜。每台風機的出線經一段較短的電纜引出，接出地面後經一個提升裝置，經壓縮式接頭接入架空主線。這種設計較為普遍，同時十分經濟。所有的輸出電纜均能承受風機滿發時的電流。電能輸出系統既沒有同軸接地，也沒有配置伴隨接地電纜。光纖電纜的地下部分同電力電纜同埋設一條電纜溝內，並與電力電纜保持一定距離，地上部分則連接至架空線下方的通信電纜。

每期風場均設有獨立的電能匯集母線。一期風場匯集母線連有7回匯集線路。7回線路連至35千伏匯集母線後，電壓升至輸電電壓，並最終升至電網互聯電壓。二期風場匯集母線通過一個常開斷路器同另一座風場的匯集母線相連。二期風場母線同樣連有7回匯集線路，同一期風場的配置相同。7回線路連至35千伏匯集母線後，電壓升至輸電電壓，並最終升至電網互聯電壓。

一期風場同時裝有感性無功補償裝置和容性無功補償裝置。感性和容性補償裝置的容量各為10兆乏。二期風場也同時裝有感性無功裝置和容性無功補償裝置。容性補償裝置的容量為12兆乏，感性無功補償容量為0.5兆乏。當常開斷路器閉合時，二期風場能夠獲得額外的8兆乏無功補償。

一期風場裝有一台主變，容量為100兆伏安。該主變能夠承受所有118台風機滿發時電能輸出，該主變的設計基於假設風場滿發功率為總裝機容量的90%。根據我們的經驗，作出這個假設是十分恰當的。主變裝有16檔有載分接頭開關，能夠在±8檔的範圍內以每檔1.25%額定電壓的幅度調節電壓，使變壓器端電壓能夠在103.5千伏至126.5千伏的範圍內變動。變壓器高壓側額定電壓為115千伏，連接至110千伏母線上。

二期風場的主變同一期主變型號相同，也能夠滿足風場電能輸出的要求。我們瞭解到為了三期風場接入，變電站計劃安裝一台50兆伏安變壓器。

3.3.4 遼寧法庫柏家溝風電項目

柏家溝風場坐落在中國東北，位於瀋陽市以北約85公里。該風場總裝機容量為49.5兆瓦，包括33台華銳1500千瓦風機，於二零零八年十二月進入試運期。

(i) 發電量和可用率

風場建設在起伏不平的農田之上，海拔從120米至240米不等。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。風場種植了玉米，周圍是本地居民，地面覆蓋狀況隨作物週期而變，從高達3米的濃密植被變為空曠的農田。這些會影響現場風力狀況，然而在建設前的測量階段已經考慮到作物週期因素的影響，因此它的影響在發電量預測中已經體現。對於風場的運行，我們沒有顧慮。

控制大樓和變電站位於風場中心。控制大樓包括控制中心、辦公室、備件儲藏室、開關房和其他設施。瀋陽龍源風力發電有限公司現場運行人員有12人，分為兩組，每組六人輪換工作。風場建築和設施一流，維護狀況良好。

風場道路較為粗糙，可能在冰雪天對運輸重型機械造成影響。瀋陽龍源告知我們，這在中國非常常見，並確信運輸重型機械沒有問題。

據瀋陽龍源介紹，華銳是中國風機製造商，並在中國有良好的業績。瀋陽龍源告知自風場從二零零八年十二月開始試運行以來沒有出現重大技術問題。

風場目前在與華銳的服務和維護協議期內。該協議有效期為兩年，包括承諾可用率為95%(除了計劃內停機時間和製造商控制外的故障時間，如電網故障)以及對不足95%的違約賠償(兩年期結束後計算)。違約賠償根據收入損耗計算。兩年後，龍源內部承擔服務與維護工作。風機的設備缺陷保證也在兩年後過期。與華銳的協議中還包括了對瀋陽龍源員工的培訓。此外龍源對所有運維員工進行為期兩年的培訓。柏家溝現場維護部門將承擔服務協議後的維護工作。瀋陽龍源對內部員工開展維護工作的能力非常有信心，因為他們在龍源其他風場已經有主要部件維修經驗。備件配給由龍源總部備件部門統一管理。我們所看

到的現場備件倉庫只儲存耗材和小部件而沒有大的部件。兩年質保期之後，柏家溝風場將設立一個目標可用率，預計在95%之上。龍源將根據華銳的協議期內的運行情況來設立這個目標。目前在瀋陽龍源管理下的風場都在與風機製造商簽訂的服務協議期之內。通過現場所獲得的資料以及討論，我們大致瞭解了龍源總體運維管理方案，但一些具體的細節仍未明確，例如維修頻率、員工技術水平、備件詳細清單以及策略等。瀋陽龍源對莫特麥克唐納調查問卷的回答顯示其對風場運行有很好的理解以及運行經驗，也表明其發展目標相對於一般行業預期來說也是符合實際的。

由於風場從二零零八年十二月才投入運行，因此沒有充足的數據給風場狀況做出有價值的評價，我們的評價主要基於對建設前可研報告的審查。瀋陽龍源也提供了二零零九年一月和二月的發電量、測風數據和可用率，這些數據顯示其實際發電量比預計有所增加。

在輪轂高度(65米)的平均風速計算為6.81米/秒，二期淨容量係數計算為25.0%，是典型的陸上風場淨容量係數。總體來說，風資源評估質量較好。儘管報告中有不全面的地方，也沒有進行不確定性分析，但由於計算方法比較謹慎保守且方法合理，目前為止我們發現重大問題。發電量數據符合預期，我們也使用了NCAR測風數據進行了粗略的獨立計算，計算結果與龍源提供的數據基本一致。

(ii) 場內電氣接線及升壓站

法庫柏家溝風場裝有33台1.5兆瓦華銳風機。電能輸出系統的電壓等級是35千伏，然後升壓至66千伏的輸電電壓。風場經過一回24公里傳輸線，經變壓器升壓至220千伏並接入電網。

風場電能輸出系統由電纜和架空線組成。電纜採用三芯不接地直埋電纜。每台風機由一段短電纜引出，繼而連接至一個提升裝置，通過壓縮式分接頭接入架空主幹線。這是一種普遍，而且經濟的設計。所有電能輸出電纜的尺寸能夠滿足風機全功率電能輸出的要求。電能輸出系統沒有任何同心接地或者伴隨接地。光纖電纜同電力電纜埋在同一電纜溝中，地下部分同電力電纜保持合適的距離，地上部分則接入位於電力線下方的通信電纜中。

風場升壓站建有4回電能輸出線路。母線以及斷路器容量均參照本地短路電流安裝。輸電線路匯集到公共母線後，電壓升至輸電電壓等級，將電能輸送至文華變。

風場安裝有7兆乏的無功補償裝置。

升壓站主變的容量為63兆伏安。主變容量能夠滿足風場滿發時的電能輸出要求，即49.5兆瓦(55兆伏安)。此外，主變上安裝有載調壓器。調壓器的詳細參數未知。

3.3.5 新疆達阪城三場風電項目

達阪城三場位於中國西北部新疆維吾爾自治區內，距烏魯木齊市45公里。達阪城地區是中國可開發風資源豐富地區之一。因此，許多開發商在達阪城建立風場。達阪城三場包括五期項目，由龍源附屬公司新疆天風發電股份有限公司擁有和開發。

莫特麥克唐納西北小組訪問了位於達阪城三場的三個有代表性風場如表3.10所示：二期包括30台金風 S48-750和5台金風 GW77-1500，總裝機容量為30 兆瓦；三期包括33台金風 GW77-1500，總裝機容量為49.5兆瓦；四期包括33台金風 GW77-1500，總裝機容量為49.5兆瓦。這三期在二零零六年十二月至二零零九年二月期間分別進入試運行期。所有的風機目前都投入運行。

表3.10達阪城三場的風機概論

項目	裝機容量 (兆瓦)	風機類型	風機數量	風機控制系統
二期	30	S48-750千瓦	30	定槳定速、感應電機
		GW77-1500千瓦	5	變槳變速、直驅、同步
三期	49.5	GW77-1500千瓦	33	變槳變速、直驅、同步
四期	49.5	GW77-1500千瓦	33	變槳變速、直驅、同步
總和	129		101	

(i) 發電量和可用率

達阪城聞名於它典型的「兩山之間的谷底」地形。位於博格達山和齊爾斯山之間的谷地長約80公里，寬約15至30公里。主導風向為西北和東南，與天山山脈平行。該區域內風速起伏不大，風向穩定。據我們觀察，該地區為半沙漠環境，沒有農業活動。我們對於風力資源沒有顧慮。

達阪城三場設有兩個50米高測風塔。二、三、四期的可研報告都基於一號測風塔測風數據。我們也獲得了該測風塔所測得的數據。

根據新疆天風提供的運行數據，自試運行以來，風場的平均可用率較高，都在承諾的95%之上，分別為二期98.6%、三期96.8%和四期97.9%。

表3.11達阪城三場二期發電量

月份	一月	二月	三月	四月	五月	六月	七月	八月	九月	十月	十一月	十二月
2007												
風速(米/秒)	8.69	7.11	7.27	7.99	8.42	7.61	7.49	6.73	6.64	6.71	7.43	6.26
發電量(兆瓦時)	5,770	4370	5350	5710	6570	5400	5210	4610	5020	5700	7140	5210
2008												
風速(米/秒)	6.42	8.26	7.58	8.35	9	7.27	7.25	6.79	6.86	6.98	7.13	8.19
發電量(兆瓦時)	4,460	8410	7730	7650	6490	4900	4610	5300	5570	5610	6320	6990
2009												
風速(米/秒)	8.72	7.32	6.56									
發電量(兆瓦時)	9,360	6590	6020									

表3.11給出二零零七年一月至二零零九年三月二期現場測量平均風速和實際發電量。據現場人員介紹，我們得知30台金風750 kW風機於二零零六年十二月開始試運行，並於二零零七年三月全部投入運行。從表3.11顯示的發電量數據看來，我們可計算得出二零零七年一月至4月間等值容量係數在29%到34%之間不等。也就是說實際發電量高於預期估計。

而另外5台1.5兆瓦風機調試期為二零零七年五月至二零零八年九月，我們不知道期間每個月實際運行的風機台數，因而無法計算在這期間的容量係數。假定本期33台風機在二零零七年十月已全部投產運行，這期間的運行數據顯示容量係數在25%到42%之間，平均為31%。也就是說，發電量與可研報告預計相符。

三期包含33台金風GW77 1.5兆瓦風機，調試期從二零零八年2/3月至二零零八年十一月。整個三期風場在二零零八年十二月通過測試並全部投入運行。二零零七年十一月至二零零九年三月間的平均容量係數大約為33%，高於可研預計的31.5%。我們認為這是因為實際運行數據採集於強風時期，而可研預測的是年平均量。

四期安裝的風機與三期相同。據現場工作人員報告，四期從二零零九年二月開始全部投入運行。二零零九年前三個月的運行數據顯示出較高的發電量，從13.96吉瓦時到15.87吉瓦時，相當於容量係數從37%到43%。我們認為這是由於冬季是強風季節。

在達阪城現場，每個風場都有一棟中控樓並配備操作人員。

目前這三個風場都處於與金風簽訂的2年服務與維護協議期內。現場操作人員對製造商提供的服務表示滿意。此外，金風的工廠位於烏魯木齊，因此可以及時響應緊急情況或提供備件。

我們還瞭解到現場龍源僱有57名固定員工與製造商服務團隊一起負責運行維護管理。與我們訪問過的世界其他同類風場相比，現場職工人數較多。由於中國的人工成本較低，新疆天風聘請較多職工以在質保期後更好的承擔維護工作，這種做法是可以理解的。

(ii) 場內電氣接線及升壓站

如前文所述，達阪城風電三場二期，三期和四期風場採用金風風機。三個風場均由同一家設計院進行設計，因此設計結構彼此類似。

我們瞭解到三個風場均沒有獨立的風場升壓站。每個風場通過35千伏集電系統連接至達風變。達風變由龍源公司投資建設，並由當地電網公司負責運行。

三個風場電能輸出系統有電纜和架空線組成。電纜採用三芯不接地直埋電纜。每台風機由一段短電纜引出，繼而連接至一個提升裝置，通過壓縮式分接頭接入架空主幹線。這是一種普遍，而且經濟的設計。電能輸出系統沒有任何同心接地或者伴隨接地。所有電能輸出電纜的尺寸能夠滿足風機滿法時電能輸出的要求。電能輸出電纜沒有採用同軸接地電纜或安裝伴隨接地電纜。光纖電纜同電力電纜埋在同一電纜溝中，地下部分同電力電纜保持合適的距離，地上部分則接入位於電力線下方的通信電纜中。

達風變安裝兩台主變，主變容量分別為120兆伏安和150兆伏安。二期和三期風電場連接至1號主變，四期風電場連接至2號主變。我們瞭解到四期風場同另一座由其他開發商開發的風場共用2號主變。目前，主變容量能夠滿足電能輸出的要求。我們得知為建設五期風場，達風變準備安裝3號主變。

3.3.6 甘肅玉門風電項目

玉門風場坐落在甘肅省內，位於玉門市以東約12公里。該風場由龍源附屬公司甘肅潔源風力發電有限公司開發。莫特麥克唐納團隊訪問了其中三個代表性項目：玉門二期，14台風機，控股裝機容量為11.9兆瓦；玉門三期，54台風機，控股裝機容量為45.9兆瓦；以及低窩鋪一期，58台風機，控股裝機容量為49.3兆瓦。這三期項目都使用歌美颯G58型850千瓦風機，該機型採用變速雙饋發電機。

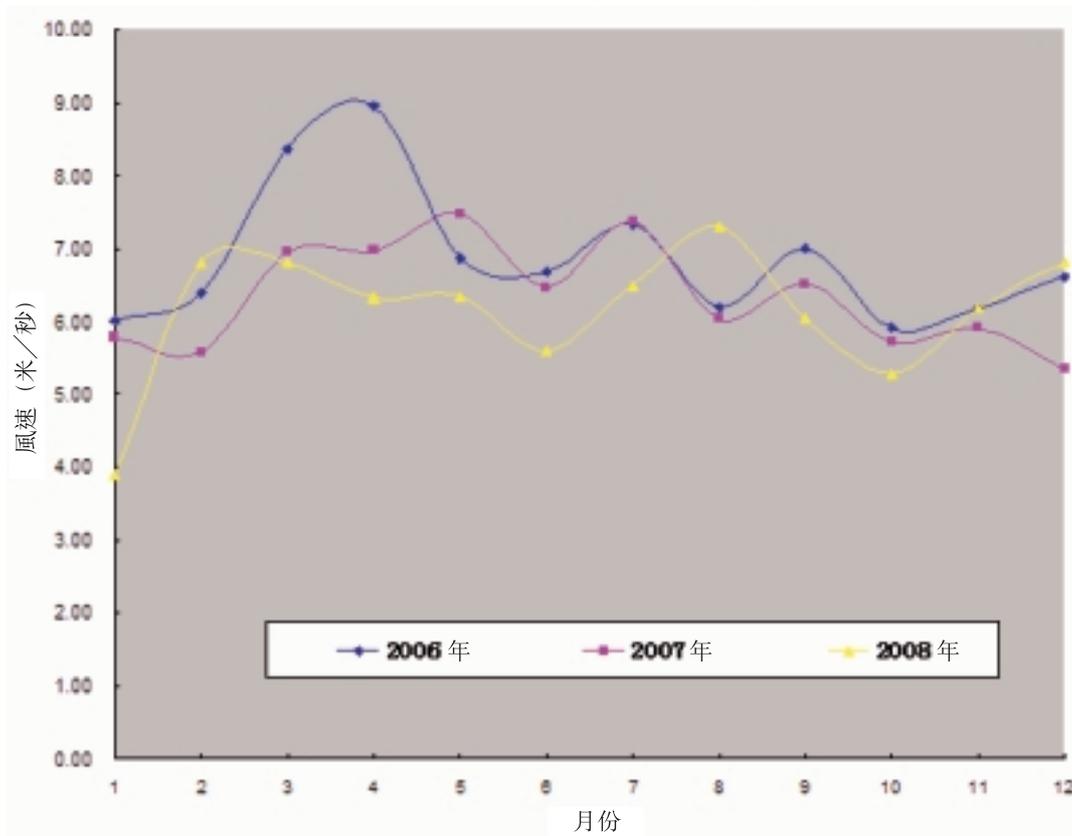
玉門二、三期分別於二零零六年十二月和二零零七年四月全部投入運行，而在我們現場訪問時，低窩鋪一期仍處於試運行階段。現場訪問時，我們得知四期的試運行期將於二零零九年七月結束。

玉門位於甘肅著名的河西走廊，坐落在北山山脈和祁連山山脈之間，風場地勢平緩。據現場測風塔數據顯示，當地風速穩定且分佈均勻。極大風速(大於風機切出風速)很少出現。可研報告顯示主導風向為東風和西風。這對風機運行非常有利。我們也注意到SCADA數據顯示實際風機間渦流大於可研中預測的數據。我們認為這些誤差是由風機安裝位置所導致。

玉門地區春秋兩季偶爾會有沙城暴，可能給葉片帶來塵土。為防止風機停機，需採取特別的保護措施。此外，冬季會有極低氣溫天氣，可能會引起風機的低溫警告或停機。

根據現場人員提供的數據，現場測得年平均風速為6.2米/秒(二零零七年)和6.3米/秒(二零零八年)。圖 3.1描述了二期風場的測風塔在二零零六年至二零零八年測量的風速變化。據現場統計數據，年平均可利用時數約為2100至2200小時，比可研報告中估計的2321小時略低。

圖3-1玉門風速曲線(2006-2008)



(i) 發電量和可用率

表3.12玉門二、三期和低窩鋪一期可用率

年	玉門二期		玉門三期		低窩鋪一期	
	2007年	2008年	2007年	2008年	2007年	2008年
一月	99.04	99.38		97.28		
二月	99.18	93.73		94.15		
三月	98.20	98.11		97.22		
四月	98.94	99.40	97.92	98.45		
五月	99.49	98.54	98.34	96.87		
六月	99.25	98.54	98.98	98.20		97.80
七月	98.13	97.50	98.62	98.59		97.71
八月	98.75	98.68	99.41	98.63		98.57
九月	99.26	99.08	99.01	99.09		98.64
十月	99.05	99.33	98.92	98.41		98.52
十一月	98.68	98.85	99.30	98.58		99.15
十二月	97.12	95.89	96.87	98.68		97.47
年平均	98.76	98.09	98.06	97.85		98.27

與其他製造商類似，歌美颯計算風機可用率計算的定義僅僅考慮風機內部自身所引起的事件，而不考慮風場其他因素引起的故障，如風速超出操作範圍、冰凍、閃電等極惡劣的天氣環境例如結冰、閃電或其他不可抗力因素。

表3.12給出由現場人員提供的運行可用率。該數據顯示玉門二、三期在二零零八年二月的月可用率低於其他月份。我們瞭解到這是由於罕見的低溫天氣(-27℃)所造成的。我們注意到現場安裝的風機設計運行溫度範圍在-20℃到40℃之間。大多數風機發出低溫報警並停止發電。這次惡劣的天氣持續了一週。

運行記錄顯示春、秋、冬三季的發電量相對比夏季高。這與前述現場風速和空氣密度相一致。

我們注意到二零零八年初的發電量低於預期。現場工作人員告訴我們這是由惡劣的天氣環境所造成的。

玉門三期和低窩鋪一期目前在歌美颯的服務維修協議期內，歌美颯有專門服務人員派駐在現場。協議有效期為2年，包括承諾可用率為95% (除了計劃內維護和製造商控制外故障停機，如電網故障) 和低於承諾的違約賠償(兩年期結束時計算)。二零零八年，玉門三期的一颱風機由於嚴重的缺陷被製造商召回。現場記錄顯示，該故障由發電機內部絕緣繞線被破壞導致。

玉門二期的兩年維護期已結束，因此甘肅潔源的現場職員承擔起維護工作，他們以總部下發的運行規程一點檢系統為指導開展工作。所有龍源風場均採用該運行規程。儘管三期風場均安裝了同一類型風機—歌美颯G58，但不同批次的產品存在一些技術上的改變。例如，我們得知G58控制系統在後期項目中有所更新。我們希望新的技術能增強風場的運行能力。

(ii) 場內電氣接線及升壓站

三座風場均由同一家設計機構設計，因此佈局結構彼此類似。如前所述，三座風場均採用歌美颯G58風機，單機容量為850千瓦。玉門二期和三期風場共用一根母線，低窩鋪一期風場裝有獨立的母線。

玉門二期和三期風場共用一根母線，10回輸電線路。低窩鋪一期風場母線連有8回輸電線路。我們注意到這三座風場低壓側採用10千伏電壓，而其他龍源風場低壓側電壓大多為33千伏及以上。在線路參數未知的情況下無法計算線損，但是正常通常情況下10千伏低壓條件下線損會比較高。

風場35千伏母線分為兩段運行，由常開分段斷路器連接。相關斷路器、測量變壓器母線容量均滿足負荷等級。保護系統採用母線差動保護以及線路過流保護，保護設置合理。

風場主變為兩台50兆伏安變壓器，連接在公用的110千伏母線上。該配置能夠增強系統供電可靠性，尤其是在一台主變退出運行的情況下。單台50兆伏安變壓器無法滿足全部風機電能輸出的要求，但是能夠承擔額外風機的電能輸出，儘管在單台變壓器退出運行的情況下風場仍能夠向電網提供電能。在選擇主變容量時，風場滿發功率設為90%裝機容量。考慮到線損，地下電纜以及10千伏二次側電壓，這個假設是合理的。設備高壓側電壓為121千伏。此外，主變裝有16檔有載調壓器，能夠以每檔1.25%的幅度在+/-8檔能調節電壓。主變的電壓範圍為108.9千伏至133.1千伏。變壓器高壓側電壓為121千伏，連接至110千伏的母線。

3.3.7 河北尚義石人風電項目

石人一期風場由龍源附屬公司—龍源張家口風力發電有限公司開發和管理，該風場位於河北省尚義縣內，距張家口市116公里。該項目由33台安迅能AW-77/1500 1.5兆瓦風機組成，控股裝機容量為49.5兆瓦。其試運行期為二零零八年七月至10月，此後全部投入正式運行。

(i) 發電量和可用率

風場建造在高原地區，海拔從1700米到1880米不等。風場內地勢平緩，因此沒有會改變風況因素的顧慮，例如遮蔽、地道或較大的斜坡。氣候非常寒冷，風力非常強，年平均氣溫為0.87℃。這些因素可能導致葉片結冰從而影響風機的性能。

現場設施包括風機、輸電連接線、變電站設備、控制大樓和工人宿舍。用於監控的控制大樓位於風場中心。現場設備齊全，維護較好，我們通過安迅能SCADA系統看到其較高的質量和完善的功能。風場為日常運行僱用了近20名員工，比我們在其他風場見到的要多。風場道路不平，可能在冰雪季節對重型機械運輸造成不便。

可研報告基於風場附近一個40米高測風塔在2004/05年12個月的測風數據以及尚義氣象站的數據進行分析。據計算，65米高處平均風速為8.2米/秒，估計33台1.5兆瓦風機的年發電量為114吉瓦時，相當於每台風機平均可利用時數為2,300小時。總體來說，風資源評估質量良好。二零零七年，龍源張家口還在現場安裝了一個70米高測風塔，以此測風塔數據為基礎評估現場狀況以及預計發電量。

因為石人一期從二零零八年十一月才開始投入運行，我們的評估主要基於對可研報告的審查。此外，可研報告中提出的輪轂高度為65米，與實際使用的60米不同。

龍源張家口提供了從二零零八年七月至二零零九年三月的發電量和風速，這些數據表明初始階段的發電量與預計發電量相一致，我們對NCAR風資源數據也作了粗略的獨立計算，結果與龍源張家口提供的數據基本一致。

目前風場在安迅能的服務維護協議期內。該協議有效期為兩年，包括95%承諾可用率和低於保證值的違約賠償（在兩年期結束時計算）。可用率數據顯示二零零八年九月至十二月的平均可用率為95.4%，略高於保證值。根據協議規定，由違約造成的發電量損耗以風機平均發電量為基礎計算。設備缺陷承諾期也為兩年。龍源張家口還提供了每月運行維護報告、三個月檢修記錄和六個月檢修記錄報告，表明公司有良好的維護管理制度。我們還在現場與安迅能員工談論運維工作，從中我們得知計劃內維護每六個月進行一次，與製造商建議的維護計劃一致。與安迅能的協議中還包括對龍源張家口六名員工為期14天的培訓。維護協議期後，由龍源內部運維部門負責承擔維護工作。

(ii) 場內電氣接線及升壓站

33台安迅能風機被分為三組，每組11台風機，分別由七回輸出線路連接至一根35千伏母線上。風場可行性研究報告中說明每台風機由一段小於70米的地下電纜連接至架空主幹線上。

35千伏集電系統採用LGJ-150導線，導線額定容量為27兆伏安，大於11台風機滿發時的16.5兆瓦的電能輸出。因此，該架空線能夠滿足電能輸出的需求。

電壓從35千伏母線處，通過110千伏變壓器升壓至110千伏。變壓器裝有有載調壓器。我們得知風場計劃擴容33台風機。目前安裝的設備容量包含計劃擴建33台風機的容量。因此擴建完成後，當前設備依舊能夠滿足電能輸出的要求。

風電場升壓站母線電壓為35千伏，鋪設有7回集電線路。母線，開關以及測量設備的容量滿足要求。

風場主變容量為50兆伏安。該主變能夠滿足風場滿發時的電能輸出。此外，主變裝有16檔有載調壓器，能夠以每檔1.25%的幅度在±8檔能調節電壓。主變的電壓範圍為108.9千伏至133.1千伏。變壓器高壓側電壓為121千伏，連接至110千伏的母線。

3.3.8 內蒙包頭巴音國家特許權風電項目

包頭巴音風場為特許權項目，位於內蒙古自治區包頭市東北的達茂旗。該項目由龍源附屬公司龍源包頭風力發電有限公司開發。它包括134台金風GW77-1500風機，控股裝機容量為201兆瓦。截至我們現場訪問時，106台風機已經開始試運行，試運行期從二零零八年八月底開始，將於二零零九年四月結束。

(i) 發電量和可用率

我們獲得了運行數據，但是該風場仍處於調試階段，數據的可分析性有限。從試運行開始的發電量如表3.13所示。我們注意到，試運行期將為時約八個月，比我們在其他地方所觀察到的要長。十二月和一月份氣溫低至-35℃，該階段的高測試率表明長試運行期並不是由惡劣天氣環境造成的。事實上，2月份是進行測試最慢的一個月，公司說明是因為大多數工人在中國的春節時都休假一個月。

表3.13包頭巴音自試運行開始的發電量

日期	測試風機 數量(台)	發電量 (吉瓦時)
二零零八年九月	14	0.91
二零零八年十月	24	5.31
二零零八年十一月	28	8.06
二零零八年十二月	83	15.34
二零零九年一月	99	20.92
二零零九年二月	99	22.30
二零零九年三月十八日	106	22.57
總和		95.41

對於開始試運行的風機來說，可用率較高，風場狀況良好。風場控制中心配備齊全，用於監控的SCADA系統質量較高，功能齊全。我們注意到，現場沒有保存事故記錄報告，風場管理人員解釋在安裝134台風機過程中沒有事故發生。我們建議使用事故記錄以建立良好的運行規程，特別是在這樣偏遠且天氣惡劣的地區。我們還獲得了現場測風數據。

風場目前在與金風的服務和維護協議期內。該協議為期兩年，規定承諾可用率為95%以及相應的違約賠償（在兩年維護期結束時計算）。我們還與金風現場工作人員討論了運行維護相關問題，他們在初期500小時之後以及每六個月進行維護，這與他們的維護計劃相一致。

(ii) 場內電氣接線及升壓站

134台金風1.5兆瓦風機被分為10組，每組13-14台風機，連接至35千伏電纜，向風場升壓站35千伏母線提供電能。風場能量匯集系統使用150平方毫米XLPE電纜，額定容量為22兆伏安，能夠滿足所連接13或14台風機滿發時的電能輸出的要求。我們認為電纜規格得當，能夠向升壓站傳送功率。

風場裝有電抗器和電容器。35千伏母線每個分段上均安裝了相同容量的補償設備。每段母線上總共裝有容性補償裝置19.2兆乏，感性補償裝置2.4兆乏。

風場升壓站35千伏母線分為兩段。每段母線上連有五回輸出線路，一台電抗器，兩組電容器，以及斷路器，兩段母線由一個常開分段斷路器連接。母線電壓經各自的220千伏變壓器升壓，並在高壓側公用一根220千伏母線。所有互感器，斷路器容量均能夠滿足要求。

兩台主變容量相同，均為100兆伏安，每台變壓器為67台1.5兆瓦風機提供電能輸出通道。主變採用自耦變壓器，因此沒有安裝有載調壓器。因為變壓器不通過導線直接連接至升壓站220千伏母線上，因此主變的這種配置是合理的。風場升壓站220千伏母線連接至望海變。

我們認為風場升壓站電氣結構能夠提供一定程度的靈活性。在單台變壓器退出運行或者斷路器檢修的情況下，這種配置能夠通過關合母線分段斷路器，從而保持部分電能通過另一台220/35千伏變壓器輸出。

3.3.9 內蒙赤峰翁牛特風電項目

赤峰新勝風力發電有限公司擁有三個風場：孫家營一期由67台金風S48-750風機組成，控股裝機容量為50.25兆瓦；孫家營二期由66台金風S48-750風機組成，控股裝機容量為49.5兆瓦；五道溝一期由67台金風S48-750風機組成，控股裝機容量為50.25兆瓦。

孫家營一期和五道溝一期自二零零六年十二月全部投入運行，而孫家營二期自二零零七年十一月全部投入運行。這三個風場位於中國內蒙古自治區，距赤峰市110公里。現場訪問時因當地的惡劣天氣導致路面結冰，儘管我們做了很大的努力，但仍然無法到風場現場或控制中心進行觀察。但是，我們拜訪了位於赤峰市的赤峰新勝公司辦公室。

(i) 發電量和可用率

我們注意到孫家營一期和五道溝一期實際使用的風機機型與可研報告不一致。可研報告設計進口33台1.5兆瓦風機，發電量預計也是基於該假設基礎之上。新疆風力設計院發佈的可研調整意見顯示調整的原因是為了滿足使用70%以上中國製造設備的要求以及支持中國

風機產業。採用S48-750後，並未重新進行發電量預測。儘管莫特對於金風S48-750的適應性沒有顧慮，但根據國際慣例，我們建議最好在決定調整到67台750千瓦風機方案時，重新做包括風機微觀選址在內的詳細研究。

運行數據由公司填表提供，並根據觀察在線SCADA系統做了相應的調整。如表3.14所示，孫家營一期的可用率較高，平均在96%以上，儘管我們注意到運維協議規定前兩年的可用率應在97%以上(由製造商金風提供)。公司副總說明，保質期兩年期滿後將由總部負責解決賠償問題(雙方同意合同規定的試運行期結束時間為二零零七年四月底)。其他兩個風場自運行以來都有良好的平均可用率，孫家營二期為97.9%，五道溝一期為97.75%，都在保證值97%之上。表3.14列出這三個風場的年發電量。實際發電量與本報告之闡述的可研報告中的預測發電量相比，我們可以確認所有三個風場發電量與預期相符。

表3.14 赤峰年運行數據

	二零零七年		二零零八年	
	可用率	發電量 (吉瓦時/年)	可用率	發電量 (吉瓦時/年)
孫家營一期	96%	112.60	96.2%	133.35
孫家營二期	—	—	97.9%	134.19
五道溝一期	97.7%	133.13	97.8%	160.90
總和		249.73		428.44

赤峰新勝分別為孫家營和五道溝風場安裝了測風塔，用來在運行階段持續監視現場風資源。我們也獲得了現場測風數據。

儘管莫特團隊因天氣原因導致路面結冰而無法對風場現場進行觀察以及訪問現場工作人員，傳送到赤峰市赤峰新勝公司辦公室的SCADA系統實時數據顯示風場在這樣惡劣的天氣環境下仍然正常運行。我們得知大約有60名員工負責三個風場的運行，這比我們在其他國家看到的要多。

(ii) 場內電氣接線及升壓站

孫家營一期風場和孫家營二期風場均有一家設計院設計，因此結構彼此類似。孫家營一期和二期風場採用金風風機。每期風場有獨立的母線。每段母線通過變壓器從35千伏升壓至220千伏。二期風場主變容量超過風場裝機容量，表明風場未來可能有擴建，但是具體細節未知。

風場電能輸出系統有電纜和架空線組成。電纜採用三芯不接地直埋電纜。每台風機由一段短電纜引出，繼而連接至一個提升裝置，通過壓縮式分接頭接入架空主幹線。這是一種普遍，而且經濟的設計。電能輸出系統沒有任何同心接地或者伴隨接地。所有電能輸出電纜的尺寸能夠滿足風機電能輸出的要求。光纖電纜同電力電纜埋在同一電纜溝中，地下部分同電力電纜保持合適的距離，地上部分則接入位於電力線下方的通信電纜中。

每期風場升壓站包含有一根獨立的匯集母線，連有兩回35千伏架空線路。母線，斷路器以及相關設備容量均能滿足要求。風場升壓站沒有安裝母線分段斷路器，因此單台變壓器退出運行可能導致部分風機退出運行。標準情況下，風電場升壓站低壓母線處應安裝母線分段斷路器，以減少單台變壓器推出運行帶來的影響。

孫家營一期風場主變容量為63兆伏安，能夠滿足風場滿發時55兆伏安電能輸出的要求，假設風場滿發功率為裝機容量的90%。此外，主變裝有16檔有載調壓器，能夠以每檔1.25%的幅度在±8檔能調節電壓。主變的電壓範圍為198千伏至242千伏。

孫家營二期風電場主變容量為120兆伏安，假設風電場滿發功率為裝機容量的90%，該主變容量要比風電場滿發功率55兆伏安大很多。這表明風電場未來可能有擴容計劃。此外，升壓變裝有16檔有載調壓器，能夠在±8檔的範圍內，以每檔1.25%的幅度調節電壓。因此風電場升壓變高壓側的電壓範圍為198千伏至242千伏。

風場升壓站35千伏母線分為兩段。五道溝風場通過其中一段母線向電網輸送電能，另一段母線則用於未來擴建使用。母線和斷路器容量均能滿足未來擴建容量的需求。

每段35千伏母線處均裝有電容器組。總共無功補償容量為12兆乏。

風場主變容量為50兆伏安，能夠滿足所有風機滿發時電能輸出的要求。有關信息顯示變壓器沒有任何有載調壓開關是工作的。我們還注意到主變的阻抗值較高，為14%。相同容量變壓器的標準阻抗大概為8%。有可能是該主變的設計較早，採用油冷方式進行冷卻。關於變壓器的技術細節未知。

3.4 運行維護協議

為了很好地運行一個風場，有一個有經驗的團隊是很必要的，他們可以持續的監控風機，能快速解決發生的問題，避免停機，最終避免減少發電量。從對具代表性風場的現場訪問來看，莫特認為龍源的總體策略是在質保期內依靠風機製造商，此後由龍源內部的團隊來接手運行維護工作。

製造商與龍源之間協定的質保期平均在2年，與目前的行業標準相吻合，與其他國家的風場也類似。莫特認為，對有豐富的業績和可靠的經驗證明的風機技術來說，2年的質保期是可以接受的。然而，對於金風和華銳來說，由於他們不能提供令人滿意的業績記錄，我們認為在將來的合同談判中，更長的質保期會更為合適。

對於一個風場來說，高可用率是實現利益最大化的關鍵。它被許多因素所影響，其中運行和維護最具影響力。在合同談判的時候需仔細考慮運維成本和可用率之間的經濟平衡。違約責任是降低可用率影響的關鍵條款。對於「可用率」的定義也是在合同談判時也需要特別注意，風機供應商應儘量列出龍源認為不在可用率範圍內的內容。在現場訪問期間，我們提出了相關的問題並查閱了相關文件。莫特認為上述問題已經在龍源和風機供應商簽訂的協議中體現。我們對風機供貨協議是滿意的。

所有莫特審閱的風機供貨協議中均包括製造商安排的培訓項目，內容通常都制定得比較全面，包括在工廠和現場的為期四周培訓，涵蓋所有現場可能發生的情況和問題。培訓內容包括維護手冊的使用、故障記錄、操作和控制風機、替換的方法、維護過程、問題解

決和配件管理。莫特瞭解到，除了參加合同協定的培訓外，龍源的維護團隊在計劃內和計劃外的維護中還協助製造商的員工進行維護。莫特認為龍源維護人員通過這樣的工作獲得了更多的經驗。

如前所述，我們現場訪問的風場大多剛投產運行，還處於保質期內，因此都由製造商來維護。根據現場維護記錄和對現場製造商維護人員的訪問，計劃內維修是按照簽訂的風機供貨協議來執行的。我們獲得了一張金風750千瓦風機維護表，詳述了製造商技術人員半年一次進行的維護所要檢修的項目。該表非常詳細，列舉的項目包括了十六個方面，包括準備工作、環境參數、葉片、輪轂、主軸、齒輪箱、聯軸器、發電機、偏航系統、液壓系統、機械煞車系統、傳感器、主控制櫃、頂部控制櫃、塔架和機艙。

龍源為每個項目公司專門聘請一隊維護人員，參加風機供貨商的培訓，在保質期內協助供貨商的運維技術人員，之後，負責所有的運維活動。

此外，龍源給每個項目公司下發了維護手冊，該手冊符合中國風電行業標準，規範了維護活動。手冊中還定義了一個點檢機制來維護風機和相應的配件，以在故障發生前有效的找出潛在的問題。點檢包括以下五個方面：

- 操作人員的例行視察
- 點檢人員的例行檢查
- 專業工程師的技術檢查
- 風機專家的技術診斷和趨勢分析
- 工程師的設備測試

如表3.15所示，塔體部分的點檢標準定義了檢測的項目、合格標準、檢查計劃、檢測方法和檢測頻率。通過點檢，一些潛在的風險可以提早發現並及時處理。

表3.15點檢（塔架部分）

項目	標準	計劃時間	方法	狀態
塔架內外的外觀	沒有漏油、腐蝕、遮蔽或開裂； 接地良好	每週	視察	○
振動	沒有異常振動	每月	聽和觸摸	○
塔架門鎖	沒有腐蝕或損壞	每月	視察	○
塔架門	緊鎖，沒有腐蝕	每月	視察和測試	○
法蘭螺栓	正確的編號，沒有斷裂，	每月	測試	△
M42×220-10.9 (124)	4500N.m			
塔體法蘭	沒有損壞	每半年	測試	△
塔架法蘭螺栓	正確的編號，沒有斷裂，			
M42×220-10.9 (84)	4500N.m	每半年	測試	△

狀態：○ — 計劃內停機時 △ — 計劃外停機時

莫特認為，由外部專業公司負責維護會給服務的質量帶來更大的信心。然而，我們瞭解到行業中缺少有經驗的維護公司，龍源可能認為通過內部管理這些維修服務更加節約成本，也能為滿足它近年來風電資產的快速發展和將來的宏偉計劃。其他擁有大量風場資產的公司也採取與龍源類似的策略使用內部的服務團隊。莫特認為制定一個統一的培訓和運維規程來規範這些活動是很有必要的，它能保證維護的總體質量以及內部人員相互之間的經驗分享。

3.5 結論

代表性風場由中國的幾個不同設計院進行風資源評估。所採用的評估方法和報告結果的方式都是基於中國的標準，基本一致。大部分中國標準的絕大部分內容直接採用西方發佈的規範，提供了成熟的風資源評估方法或測量-關聯-預測方法的概覽。因此中國的風資源評估方法大部分與國際慣例相一致。

其中幾個可研報告所採用的測風塔高度低於風機輪轂高度，在某種程度上來說不符合標準規範。缺少詳細的風速數據訂正方法，發電量計算方法顯得保守。因為中國標準方法的遺漏，可研報告中沒有進行不確定性分析。該分析對於與風場性能有關的商業決定很重要，因為它描述了計算結果的可信度，以及與預測相關的風險。

從對所有可研報告的審查，我們發現這些報告採用相同的風資源評估方法，並且該方法與國際慣例相符。根據上文的分析，大部分風場的發電量與我們所預期的一致，甚至有一些風場的發電量高於預期。因此，也印證了中國風資源評估方法的保守性。

風機設備的組成包括國內外風機製造商。這些風機額定功率在750千瓦到2兆瓦之間，都採用了現代的設計，符合目前技術標準。

包括GE、維斯塔斯、歌美颯和安迅能在內的國際風機製造商在全世界擁有足夠的運行經驗和良好的業績，我們對於他們的產品質量沒有顧慮。金風S48和GW77風機都基於成熟的技術。華銳在中國的豐富業績和它的設計及生產過程也給我們帶來了信心。

運行數據顯示大部分代表性風場運行狀況良好。一些電氣設備質量較高，且安放在合適的建築中，例如如東風場。內部接線的設計標準滿足電量輸出要求。在環港風場，升壓站變壓器容量小於風場能量輸出。我們得知這個問題已在二零零九年七月的擴建項目中得以解決。

龍源風場風機製造商的質量保證期平均為2年，與目前行業標準相符，與其他國家的其他風場也類似。在質保期內，龍源項目公司的維護團隊接受相關風機提供商的培訓，並在質量保證期後接手風機維護工作。我們認為目前的運行維護協議是滿足要求的。

我們訪問過的風場運行維護人員數量比世界上其他風場要多。但中國的人力成本相對較低，這對財務狀況不會造成太大影響。因此，從技術角度來說，我們認為目前的人員配備是滿足要求的。

4 接入系統評估

4.1 簡介

報告本章節所呈列的結論僅針對十八個代表風場。分析評估很大程度上依據現場訪問中龍源公司及其下屬企業提供的數據以及以下文獻資料：

- 可行性研究報告
- 接入系統研究報告
- 接入系統的主接線圖
- 風場內部集電系統主接線圖
- 對莫特麥克唐納問卷的答復
- 現場訪問記錄

在評估風場接入系統對電網和系統運行的影響時，我們完全依據上述報告中提供的電網結構進行分析。莫特麥克唐納沒有進行任何獨立的假設或計算，對中國設計院研究數據及結果進行驗證。中國設計院指下列八家中國設計院，所有均為獨立於本公司的第三方。

- (1) 江蘇省電力設計院，Jiangsu Electric Power Company Limited的附屬公司，主要在中國及江蘇為電能業提供工程及顧問服務，例如電力系統設計、勘測及評估火電項目。
- (2) 福建電力勘測設計院，Fujian Electric Power Company Limited的附屬公司，主要在中國及福建提供電力系統設計及勘測及評估火電項目以及輸電項目。
- (3) 吉林省電力勘測設計院，Jilin Electric Power Company Limited的附屬公司，主要在中國及吉林向發電項目提供電力系統設計及顧問服務。
- (4) 遼寧新創達電力設計研究有限公司，主要在中國及遼寧提供電力系統設計。
- (5) 新疆電力設計院，主要在中國及新疆提供綜合工程及顧問服務，例如電力系統設計及勘探、項目評估、建設及環境影響評估。
- (6) 甘肅電力設計院，Gansu Electric Power Company Limited的附屬公司，主要在中國及甘肅提供輸電設計及勘探。
- (7) 北京國電華北電力工程有限公司，主要就電能系統以及各式火電及風電項目提供設計、勘探及顧問服務。
- (8) 內蒙古電力勘測設計院，Inner Mongolia Electric Power Group Limited的附屬公司，主要就火電及風電項目以及輸電項目提供設計、勘探及顧問服務。

中國設計機構的結論闡明了風場是否能夠接入電網，電網為接入風場所需要的加強之處，並為主要設備如主變、開關和線路的參數提出要求。報告及其結果為莫特評審電網接入系統方案的適應性以及確認電網的輸電能力提供依據。

我們希望在風場竣工之後，當地電網配置將進一步改進，進而加強當地電網的傳輸能力，改善系統運行狀況，最終有益於風場的接入與運行。

為確認一個風場是否可以接入電網系統，通常從以下方面進行評估：

- 連接風場升壓站與接入點之間用於電力外送的供電線路和變壓器的容量
- 電網接入點的系統配置以及當地電網潛在的運行問題
- 系統接入對風場的無功要求
- 風場內部集電系統的配置
- 系統故障對風場運行的潛在影響
- 風場接入給系統帶來的電能質量問題

為指出可能干擾風場正常運行的風險以及由此帶來的對電能輸出的影響，針對以上技術問題的分析是十分必要的。正是基於此原因，我們的評估將圍繞這些問題展開。

4.2 風電場接入系統的主要技術問題

在中國，一份可行性研究報告必須經過由省發改委指派的專家組的審批之後才能展開接入系統分析。在可行性研究報告和項目方案通過審批之後，風場開發商必須聘請具有相關資質的電力系統設計或研究機構進行接入系統研究與風場接入系統設計。中國進行接入系統研究的過程及主要因素，參照國際慣例，比較概括如下：

(i) 電網接入點與電壓等級

電網接入點及接入系統電壓等級的選擇必須保證風場滿發時能量能夠傳輸至電網。在中國，根據裝機容量，風場通常就近接入110千伏或是220千伏變電站，具體取決於該變電站擴建的可能性，以及傳輸線及主變容量是否能夠將發出的電能傳輸至電網。某些情況下，風場的接入可能需要新建變電站。

如果可能，至少應該考慮並評估兩個電網接入點（變電站）。一個首選接入點將通過比較各個接入系統方案的電網接入靈活性，風場至接入點的輸電線路路徑，投資需求，以及系統運行狀況等因素進行選擇。

(ii) 主變容量

風場升壓站主變的選擇應當確保所選變壓器有足夠的容量將發出的電能輸送到當地電網，同時為電壓調節以及無功補償提供足夠的靈活性。經證實一些中國的設計研究單位採用這樣一種原則選擇主變容量，即主變的容量等於風場所有風機有功容量之和。考慮到風場的年運行小時數通常較低，這種原則是可行的，但是莫特建議主變容量稍微大於風場裝機容量，從而避免主變過載。在同一風場安裝多台變壓器的情況下，合理選擇主變容量能夠使在一台變壓器退出運行的情況下，依然確保電能輸出的可靠性。

(iii) 導線規格

一旦電網接入點選定之後，就應該確定導線型號及輸電線的規格。線路導線的傳輸容量至少應當滿足風場滿發時最大功率傳輸的要求，同時應考慮以後有可能接入的電源點。

(iv) 電力系統分析

電力系統穩態和動態分析，包括潮流分析，故障運行分析以及暫態穩定分析等已被用於評估風場接入後電力系統在典型運行條件下的穩態和動態運行狀況。儘管從風場至系統接入點之間的線路不需要滿足「N-1」安全準則，但是通常在系統接入點側的輸電系統必須滿足「N-1」安全準則。通過系統分析來確認電網加強和補充的要求來滿足「N-1」準則。

短路容量計算的目的是選擇合適的開關設備容量，從而確保開關設備能夠經受風場升壓站內的故障電流，並且擁有足夠的容量裕度滿足短路電流長期內的增長，比如二十年。

(v) 無功容量要求

無功容量分析的目的是檢驗風場是否擁有足夠的無功電源，從而風場能夠在給定的電壓及有功輸出的範圍內，在電網接入點維持所需的功率因數。如果分析的結果顯示容量不足，在風場接入系統設計的時候必須考慮無功容量補償的方案。儘管中國大多數的風電項目都沒有像世界其他地方一樣開展詳細的無功容量分析，但是在中國的接入系統研究通常提供了典型運行方式下所需的無功補償容量。

(vi) 電能質量驗證

風力發電機的設計原理不同於傳統同步發電機。大量風力發電機的接入可能導致電壓偏差，電壓瞬變，閃變以及諧波的問題，影響當地電網的電能質量。風場接入系統規範中要求對電能質量進行評估，從而確保電能質量指標在相關技術標準規定範圍之內。目前，大多數中國的風電項目並沒有展開電能質量研究，而在英國和其他歐洲國家這是相當普遍的。

風場接入系統另一個相當重要的問題是二次系統的設計，包括保護，SCADA以及通信系統。

4.3 各個風場的接入系統評估

4.3.1 江蘇如東特許權風電場

凌洋風場、環港風場和東凌風場均坐落在江蘇省如東縣東海岸線。凌洋風場接入五義變，環港風場和東凌風場均接入洋口變。

(i) 凌洋風場

凌洋風場安裝有33台1.5兆瓦風機，總裝機容量為49.5兆瓦。風場建有一座升壓站，主變參數為110/35千伏63兆伏安，用於風場電能輸出。

凌洋風場通過一條20公里LGJ-185架空線接入220千伏五義變，線路熱容量65.2兆伏安，足夠用以風場的電能輸出。

凌洋風場生產的電能首先被五義變的當地負荷消耗，其餘電能傳輸至如東電網。五義變裝有一台220/110千伏180兆伏安變壓器。

風場接入系統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。當所有風機的功率因數維持在0.98滯後時，所有風機發出的無功電能能夠補償風場內部變壓器及線路的無功損耗。因此風場不需要額外的無功補償容量。

根據風場接入系統報告，五義變220千伏側的短路電流為12.73千安110千伏側的短路容量為12.51千安。安裝在五義變的斷路器最大開斷電流分別為220千伏40千安和110千伏31.5千安。因此斷路器能夠承受故障電流。

五義變110千伏側電壓波動最大幅值為5.66千伏，處於中國電網條例規定的±10%的範圍之內。

(ii) 環港風場

環港風場總裝機容量為58.5兆瓦，裝有1.5兆瓦風機39台。風場建有一座110/35千伏升壓站，主變容量為50兆伏安來進行電力外送。如前文所述，主變的容量小於風場總裝機容量，因此在風場所有風機滿發的情況下，變壓器將過載。在本報告初稿截稿時，我們得知風電場已完成31台1.5兆瓦風機和一台50兆伏安升壓變的擴建工作。風電場當前總裝機容量為105兆瓦，升壓站主變容量共100兆伏安。考慮滯後功率因數0.95以及5%的風場內部損耗，風電場滿發時電能輸出為99.75兆瓦。因此主變基本能夠滿足風電場滿發時電能輸出的要求。風場通過一回110千伏LGJ-300架空線路聯接至220千伏的洋口變，線路長度為22公里，熱容量為105.7兆伏安，足夠滿足風場的電能輸出。

220千伏洋口變共裝有220/110千伏主變兩台，每台容量120兆伏安。到二零零八年底，洋口變最小供電負荷是49兆瓦，而連接到該變電站的發電容量為165兆瓦，因此總共116兆瓦的電能將通過兩台120兆伏安變壓器外送至地區電網。這稍稍大於單台變壓器容量。可見當一台變壓器因故障或維修退出運行，剩下的一台變壓器可能過載。我們在小風期安排主變維修，從而減小主變過載的風險以及避免主變傳輸容量的限制。

我們注意到中國大多數的風場都是通過一回傳輸線接入系統。合理的維護安排以及快速自動重合閘的應用能夠將故障導致供電中斷的風險降至最低。

環港風場安裝的風機的功率因數在0.95超前至0.95滯後之間可調。風場接入系統報告指出在發電高峰和發電低谷，風場均不需要額外的無功補償以滿足中國電網規範。

斷路器的選擇能夠滿足短路故障發生時開斷短路電流的要求。我們同時也確認風場110千伏升壓站的電壓調節能力能夠滿足電網規範中規定的±10%的要求。

(iii) 東凌風場

東凌風場裝有1.5兆瓦風機28台，總裝機容量為42兆瓦。我們瞭解到風場下一期擴建計劃的裝機容量為50兆瓦。風場建有一座110/35千伏升壓站，主變容量50兆伏安。

東凌風場通過110千伏架空線接入220千伏的洋口變，環港風場也接入該變電站。線路長度為28公里，最大熱容量為105.74兆伏安，現階段能夠勝任電能輸出的任務。在50兆瓦擴容完成後，線路容量依舊能夠滿足滿發時的電能輸出。

風場接入系統報告中指出洋口變35千伏母線安裝有兩組並聯電容器，每組容量為6兆乏，能夠將220千伏母線處的功率因數穩定在0.96以上。

風場接入系統報告中沒有提到東凌風場內有無功補償裝置，但是報告中提到東凌風場35千伏母線處的功率因數能夠維持在0.98滯後。因此我們認為風機本身能夠補償風場內部的無功需求。

接入系統報告中的計算結果指出風場升壓站內部的設備完全符合短路電流和電壓調節的要求。

4.3.2 福建平潭世行貸款風電項目

平潭風場位於福建省東南部的平潭島，裝有2.0兆瓦風機50台，總裝機容量為100兆瓦。

風場建有一座110/35千伏升壓站，裝有2台主變容量為63兆伏安的變壓器。升壓站35千伏母線為單母線分段接線，母線分段斷路器為常開狀態。升壓站通過一回110千伏線路接入110千伏北厝變電站，線路長度為15公里。經濟傳輸容量94.3兆伏安和最大熱傳輸容量133兆伏安能夠滿足電力外送需求。

平潭風場生產的電能傳輸至110千伏北厝變，然後通過一回110千伏線路傳輸至110千伏高山變。當風場滿發，負荷較輕時，該線路負載可以達到80兆瓦，非常接近線路熱穩定容量。因此，在極端情況下，風場出力可能受到限制。然而，根據當地政府的電網規劃，在高山變和北厝變之間將建設一回新的線路。因此我們期望在不久的將來，隨着電網的加強，這個潛在的限制將得到解決。

風場升壓站內部裝有兩組並聯電容器，每組容量為6兆乏。風場所裝風機的功率因數在0.95超前至0.95滯後間可調。因此風場可用最大無功出力為44.87兆乏，是風場升壓站主變容量的35.6%。我們認為風場擁有足夠的無功容量，從而滿足無功需求和電壓調節的要求。

風場升壓站的斷路器能夠承受安裝點的短路電流。

4.3.3 吉林通榆國家特許權風電場

通榆一期風場裝機容量為100兆瓦，二期風場裝機為100.3兆瓦。兩個風場分別接入220/35千伏升壓站的35千伏母線。每個風場擁有各自的35千伏母線分段。升壓站安裝有兩台220/35千伏主變，每台主變容量為100兆伏安，分別連接兩段35千伏母線分段。

風場升壓站通過一回220千伏架空線接入220千伏洮南變。線路長度為107公里，最大熱允許容量為644兆伏安。該線路容量能夠滿足風場電能輸出需求。

根據我們的分析，任何發生在洮南變的電壓波動都可能影響到風場內部的電壓調節。根據風場接入系統報告，風場的接入點位於吉林省網內部的洮-白電網。當洮-白電網與白

城地區電網之間兩回連接線發生「N-1」故障時，洮一白電網內部220千伏母線的電壓明顯偏低，導致沒有發生故障的線路過載。因此，這兩回連接線在有新的風場接入後將無法滿足全部電力外送的需求。在極限情況下，風場的出力將要受到限制。我們期望這個問題將會隨着未來電網的增強而得到改善。

風場升壓站的2台100兆伏安主變無法滿足「N-1」的要求，任何一台主變退出運行，餘下的主變將無法勝任電能輸出的任務。

此外，220千伏的通榆風場升壓站安裝的主變容量為200兆伏安，而風場的總裝機容量為200.3兆瓦。風場內部損耗係數為0.5，風場最大淨上網電量為 $200.3 \times 0.95 = 190.28$ 兆瓦。假設電網接入點的功率因數為0.95，通榆風場最大電能輸出可達 $190.28 \times 0.95 = 200.3$ 兆瓦。此外，考慮到風場的容量係數為0.25左右，風場滿發的概率很小。升壓站主變全年平均滿負荷運行時間相對較短，因此我們認為當前主變的容量是可行的。

通榆風場安裝風機的功率因數額定容量發電時在 ± 0.95 的範圍內可調。此外，在通榆風場升壓站35千伏側安裝有容量為20兆乏的並聯電容器。風場預計能夠滿足電網條例中規定的 ± 0.98 功率因數的要求。然而，如上文所述，當洮-白電網和白城地區電網之間的兩回連接線發生「N-1」故障時，通榆風場升壓站的220千伏母線可能因為系統提供的無功補償容量不足而導致電壓偏低，尤其是當風場滿發時。

4.3.4 遼寧法庫柏家溝風電項目

法庫柏家溝風場總裝機容量為49.5兆瓦，風場內建有一座66/35千伏升壓站，通過一回66千伏線路連接至220千伏文華變的66千伏母線上。

柏家溝風場和和平風場共用一座升壓站，分別連接至各自的35千伏母線，並經過一台63兆伏安的主變連接至升壓站66千伏母線上。主變容量能夠勝任風場能量輸出的任務。這兩條分段母線間沒有安裝分段斷路器，因此任何一台變壓器退出運行都將導致對應的風場與系統斷開。

風場升壓站至文華變之間只有一條66千伏單回路架空線路用於電能輸出。該線路總長度為28.1公里，線路型號為雙分裂LGJ-240。220千伏的文華變二零一零年的負荷預測為130兆伏安。因此柏家溝風場沒有進一步擴建的話，它所發出的電能主要用於本地消耗。

根據中國電氣設備相關標準，35千伏LGJ-240導線的最大傳輸容量為26.9兆伏安。考慮每相導線為雙分裂結構，該線路最大允許容量為161.4兆伏安，能夠滿足柏家溝風場和和平風場的電能送出的要求。

關於風場的電壓穩定，根據我們現場訪問所見，風場中央控制室的表計顯示風場接入點的電壓以小幅值波動，該風場的無功補償容量不足可能是導致以上現象的原因。根據風場的發展規劃，在將來會安裝更多的無功補償裝置從而解決電壓波動的問題。

4.3.5 新疆達阪城三場風電項目

達阪城風電三場沒有建設附屬風場升壓站，因此達阪城二、三、四期風場均接入烏魯木齊市附近的220千伏達風變。

(i) 二期

達阪城二期風場總裝機容量為30兆瓦，通過兩回35千伏架空線連接至1公里以外的達風變。其中一回線路連接24台750千瓦風機和5台1500千瓦風機，另一條35千伏線路連接6台750千瓦風機。兩回線路的型號均為LGJ-185，最大熱允許容量為33兆伏安，能夠滿足風場電能送出的要求。

220千伏達風變通過兩條220千伏架空線路連接至烏魯木齊電網，其中一條線路連接至220千伏托克遜變，另一條線路連接至紅雁池二廠。兩回220千伏線路均能滿足向烏魯木齊電網輸送電能的要求。

因為地處烏魯木齊電網周邊，220千伏達風變不易受到電壓波動的影響；電網的系統阻抗相對較小。但是，因為220千伏達風變同時擔負向本地110千伏負荷供電的任務，遠端負荷側電壓有可能受到風場的影響，尤其是當負荷高峰時風場滿發，臨近變電站或電廠不能提供充分無功支持的時候，可能導致系統無功不足。目前達阪城地區發生這種情況的可能性較小，但是在未來負荷擴容是應當予以充分的考慮。

風場安裝的750千瓦風機在額定功率時的功率因數在 ± 0.95 的範圍內可調，而1500千瓦風機能夠保持整功率因數。此外，220千伏達風變35千伏母線上安裝有兩組12兆乏並聯電容器。因此，我們認為風場在任何有功輸出條件下都具有足夠的無功儲備來保持220千伏達風變220千伏側的功率因數保持在 ± 0.98 的範圍內。

(ii) 三期

達阪城三期風場總裝機容量為49.5兆瓦，通過兩條35千伏架空線路接入220千伏達風變。風場總共裝有33台風機，被分為兩組。一組16台風機和另一組17台風機分別接入35千伏母線。每回線路的導線型號為LGJ-185，均能夠滿足風場電能輸出的要求。

同二期風場相比，220千伏達風變受到電網影響的可能性增大。隨着達阪城風場裝機容量的增加，220千伏達風變至烏魯木齊電網的兩回傳輸線上的潮流已接近滿載。尤其是負荷低谷時段，潮流沿吐魯番電廠-托克遜變的方向送進達風變，從而增加了220千伏達風變至烏魯木齊電網兩回傳輸線上的負荷。某些情況下，為了保證系統穩定運行，風電場出力可能受到要受到限制。

當地電網已進行改造，以增加220千伏達風變的兩回輸出線的熱容量。為了實現元件改造，紅雁池一廠至220千伏托克遜變的線路分為兩段。一段由紅雁池一廠至220千伏達風變，一段由220kV達風變至220千伏托克遜變。兩段線路分別由達風變的一台120兆伏安和一台150兆伏安變壓器供電，兩段母線由母聯連接。通過電網改造，220千伏達風變至烏魯木齊電網的電能傳輸能力有望增強，但是根據風場的接入系統報告，輸電瓶頸依然存在。

達阪城三期風場的電壓問題可以忽略，因為風場安裝有兩組並聯電容器，並且所有風機都能維持整功率因數，正常運行時不從系統吸收無功容量。但是達風變仍然可能因為上

述輸電瓶頸的存在而導致無功容量不足，從而影響負荷側的電壓調節，尤其是當風場處於滿發的狀態。隨着電網的進一步改造，該問題有望得到解決。

風機可以整功率因數運行，不需要從系統吸收無功，風場升壓變35千伏母線上另外還裝有兩組並聯電容器，每組12兆乏。因此風場在任何運行情況下都能提供足夠的無功容量來維持接入點的功率因數在 ± 0.98 之間運行。

風場的可行性研究報告和接入系統報告均指出，直到二零零七年，220千伏達風變35千伏母線處短路電流為15.7千安，二零一五年估計為18.6千安，斷路器可以承受系統短路故障。

報告指出220千伏達風變兩回輸出線處於「N-1」故障時，紅雁池二廠-托克遜變的線路將會過載。這個問題有望通過未來電網改造解決。

接入系統報告指出系統的各次諧波均處於允許的範圍之內。

(iii) 四期

達阪城四期風場總裝機容量為49.5兆瓦，接入220千伏達風變35千伏母線。跟前兩座風場一樣。該35千伏母線分段由一台150兆伏安主變供電。風場風機被分為兩組，一組16台風機，另一組17台風機，分別經二回35千伏架空線路獨立接入達風變兩條35千伏母線，導線型號LGJ-240，傳輸容量為26.9兆伏安，均能夠滿足風場電能輸出的要求。

風機在額定功率時能夠維持整功率因數，因此不需要從電網中吸收無功。母線處安裝有兩組15兆乏並聯電容器，因此風場有能力維持220千伏的電網接入點功率因數在 ± 0.98 的範圍內可調。

斷路器容量能夠承受故障電流。

4.3.6 甘肅玉門風電項目

(i) 玉門二期和三期

玉門二期風場總裝機容量為11.9兆瓦，三期風場總裝機容量為45.9兆瓦。

兩期風場共用一座110千伏升壓站，並通過兩回LGJ-150架空線路接入嘉酒電網的110千伏陽關變，線路長度12公里。升壓站安裝兩台50兆伏安主變，總容量110兆瓦。每回線路的最大熱允許容量為52.9兆伏安，假設風場損耗係數為0.05，陽關變的功率因數為0.95，風場正常運行狀態下能夠滿足電能輸出的要求。但是兩回線路無法滿足「N-1」的要求，因為任意一回線路在另外一回線路退出運行時無法承載風場滿發時的輸出功率。

110千伏陽關變位於嘉酒電網西部，電源點密集，而嘉酒電網的負荷中心則是位於電網東端。東西之間有三回110千伏連接線用於電網內部電能傳輸。根據風場接入系統報告，

這三回線路無法滿足「N-1」的要求，因為任何一回線路退出運行都會導致其他兩回線路過載。因此在「N-1」情況下，玉門風場的出力可能受到限制。報告同樣指出，因為嘉酒電網西部電源點非常密集，當地電廠的無功出力均受到限制，從而防止本地電網過電壓，這就導致了電網東部的負荷中心無功容量不足而導致電壓偏低。在某些情況下，嘉酒電網東部的負荷需要從甘肅省網的其他地區吸收無功來維持電壓，無功容量需求並不總能得到滿足。

報告中沒有提到玉門風場無功補償設備的數據，但是指出玉門風場系統接入點側的功率因數可以保持在整功率因數，因此我們認為風場裝有足夠的無功補償裝置。

根據風場接入系統報告中的短路計算，風場110千伏母線處的短路容量為1349兆伏安，洋口變110千伏母線處的短路容量為1868兆伏安；根據計算最大短路電流小於10千安，位於兩處的斷路器都可以承受這樣的短路容量。

(ii) 低窩鋪一期

低窩鋪一期風場總裝機容量為49.3兆瓦，風場建有一座110千伏升壓站，裝有一台50兆伏安主變。風場通過一回15公里LGJ-240架空線路向嘉酒電網輸送電能。

嘉酒電網內的電源點，包括玉門風場的各期工程，主要位於電網西部，而負荷中心則位於電網東部。這種電網結構導致大量電能經過三回110千伏架空線從西部電源點傳輸至東部負荷中心。隨着低窩鋪一期風場接入系統，連接線上的潮流將繼續增加，因為西部電源點的負荷並沒有明顯的增加。目前已經肯定嘉酒電網東西部間的三回連接線無法滿足「N-1」的要求。此外，為防止過電壓，西部電源點的無功出力受到限制，而東部負荷側卻要求從西部傳輸多一些的無功。

這個問題有望隨着電網改造而得到解決。目前計劃在110千伏陽關變的附近建設330千伏昌馬變。昌馬變建成後，低窩鋪一期風場將通過一回20公里LGJ-240架空線路改接至昌馬變。新建成的330千伏昌馬變將直接接入嘉酒電網東部的330千伏嘉峪關變。隨着電網改造的進行，嘉酒電網東西部間的連接線將滿足「N-1」的要求，由於所有電能都能傳送到西部負荷中心，西部無功出力的限制也將不復存在。該電網改造計劃在二零零九年六月完成。

低窩鋪一期風場安裝風機的功率因數在 ± 0.95 的範圍內可調。風場最大無功出力為16.20兆乏，佔風場升壓站主變容量的32.4%。因此我們認為風場具有足夠的無功補償容量，滿足電網規範對電網接入點處功率因數的要求。

4.3.7 河北尚義石人風電項目

張家口石人風場總裝機容量為49.5兆瓦，風場建有一座110/35千伏升壓站，裝有一台50兆伏安變壓器，用於風場電能輸出。

風場升壓站通過一回110千伏架空線路接入220/110千伏張北變，線路長度為38公里。該110千伏線路型號為LGJ-240，最大熱允許容量為116兆伏安，能夠滿足風場電能輸出的要求。此外，該110千伏線路額外的容量能夠滿足石人二期風場電能輸出的要求。

風場升壓站35千伏母線採用單母線接線，建設三回35千伏線路用於風機集電接入35千伏母線。此外，在升壓站35千伏側安裝有一組35千伏8兆乏並聯電容器用於無功補償。

張北變通過兩回220千伏線路接入500/220千伏萬全變。500千伏萬全變是內蒙電網向華北電網輸電通道的一個中間節點，與周邊電網均有500千伏線路連接，電網結構較強。因此，220千伏張北變的電壓在任何運行工況下均能控制在允許範圍之內。因此，我們認為石人風場升壓站側的電壓調節不會受到電網運行狀況的影響。

風場接入點通過兩回220千伏線路接入電網主幹網架，因此風場電能輸出不會受到220千伏-1工況的影響。

風場安裝的風機功率因數在額定輸出時，在 ± 0.95 感性／容性的範圍內可調。此外，升壓站35千伏側安裝有一組8兆乏並聯電容器。因此，我們認為風場的無功補償能力在不同的有功出力的情況下均能滿足110千伏側 ± 0.98 功率因數的要求。

風場升壓站110千伏側和35千伏側安裝的斷路器開斷電流分別為31.5千安和25千安。根據風場接入系統報告，二零二零年風場升壓站處的短路電流在110千伏側不會超過13千安，處於斷路器可以承受的範圍之內。

4.3.8 內蒙包頭巴音國家特許權風電項目

巴音風場總裝機容量為201兆瓦，建有一座220/35千伏升壓站，站內裝有2台100兆伏安主變用於風場電能輸出。升壓站內部裝有4組12兆乏並聯電容器。風場集電系統由兩段35千伏母線和10回35千伏電纜線組成，其中35千伏母線分段運行，安裝有一台母線分段斷路器。

巴音風場通過一回220千伏LGJ-400架空線路接入包頭電網內的望海變。線路長度為10公里，最大熱允許容量為305兆伏安。望海變隨後經由另外兩座220千伏變電站通過一回220千伏線路接入包頭500/220千伏高新變。經分析我們認為風場至220千伏望海變的線路能夠滿足風場電能輸出的要求。

巴音風場位於包頭500千伏高新變220千伏出線的末端，線路總長度約為200公里。包頭地區只有一座500/220變電站，因此，高新變母線上的電壓波動很可能影響到局部電網220千伏變電站的電壓穩定。在某些工況下，尤其是系統運行在負荷高峰時段，無功支持不足時，巴音風場出線側的電壓調節可能由於無功容量不足而受到影響。為了改善這個現狀，加強500/220千伏的包頭高新變和周邊電網間500千伏互聯是十分必要的。

考慮到風場到500/220千伏高新變之間只有一回220千伏線路，一旦線路因為故障或其他原因退出運行，整個風場的電能輸出都將受到影響。

巴音風場安裝的風機功率因數在額定功率運行時 ± 0.95 的範圍內可調。此外，風場35千伏能量匯集系統安裝了4組12兆乏並聯電容器。因此，我們認為風場的無功補償能力在不同的有功出力的情況下均能滿足風場升壓變220千伏側 ± 0.98 功率因數的要求。

根據風場可行性研究報告和接入系統報告中的短路計算，風場220千伏母線和35千伏母線處的短路電流遠小於安裝的斷路器的開斷電流。因此我們認為升壓站的開關設備能夠承受該處的故障電流。

4.3.9 內蒙赤峰翁牛特風電項目

五道溝一期風場總裝機容量為50.25兆瓦。孫家營一期和二期風場的容量分別為50.25兆瓦和49.5兆瓦。

三個風場共用一套能量匯集系統，由兩根35千伏母線和六回35千伏線路組成。其中五道溝和孫家營一期風場使用母線I和四回35千伏線路，孫家營二期使用母線II和其餘兩回35千伏線路。35千伏母線I和母線II分別安裝了兩組和一組8兆乏無功補償裝置。

三座風場共用一座孫家營風場內的220/35千伏升壓站，向電網輸送電能。升壓站內安裝有一台220/35千伏120兆伏安變壓器和一台220/35千伏63兆伏安變壓器。升壓站通過一回220千伏線路接入220千伏楊樹溝門變，線路長度為9公里，線路型號為LGJ-400。該線路最大熱允許傳輸容量為305兆伏安，能夠滿足風場電能輸送的要求。楊樹溝門變最後通過220千伏西郊變接入赤峰電網。

220千伏西郊變分別通過一回線路接入位於赤峰電網中心的220千伏烏丹變和220千伏赤峰變。西郊變至赤峰電網雙回線路能夠滿足N-1的要求，即其中一回線路退出運行，另外一回線路仍然能夠正常運行而不過載。我們認為當地電網有足夠的能力滿足風場電能輸出的要求。

因為孫家營220千伏變僅通過一回220千伏導線經過楊樹溝門變接入西郊220千伏變，該回線路退出運行將會影響風場的電能輸出。此外，該回線路長達100公里，可能導致赤峰風場升壓站電壓調節出現困難，如果升壓站安裝的無功補償容量無法滿足要求，特別是當系統負荷處於低谷，風場出力較小的情況下。

孫家營220/35千伏升壓站的斷路器能夠承受相應位置的短路電流。

4.4 結論

正常運行情況下，大部分風電場升壓站容量都能夠滿足風電場滿發電能輸出的需要。

所有風電場升壓站與電網間連接導線的容量均能夠在正常情況下傳輸風電場滿發時的電能，儘管大多數風電場同電網間僅通過一回線路連接。

大部分接入點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，在平潭和達阪城風電場，風電場接入點變電站同電網內其他變電站之間的連接線可能過載。

所有風電場均按照現行國家電網條例的要求，在接入點保持一定的功率因數。大部分風電場裝有無功補償裝置。所有風機的功率因數均可控，從而保證風機能夠提供一定的無功功率。我們瞭解到容性無功補償裝置將安裝在法庫柏家溝風電場，從而改善風電場的電壓水平。

龍源風電場所位於的地區電網大多能夠滿足風電場電量上網的要求。在玉門二期風電場，由於當地電網配置和無功容量不足的問題，風電場出力可能受到限制。在達阪城風電場，因為達阪城電網同周邊電網兩條連接線在N-1情況下已經過載，風電場的出力也可能受到限制。這些限制將隨着未來電網建設而得到解決。

本次評估的所有代表風電場在風場升壓變和電網接入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。

總體而言，我們認為龍源風電項目接入系統規劃合理，沒有電能輸出瓶頸。當地電網運行在特定的條件下時，風電場運行可能會受到影響，這種情況將隨着電網改造而得到解決。

5 火電廠評估

5.1 電廠概述

江陰蘇龍熱電廠座落於江陰市的長江北岸。該廠發出電力以220千伏和110千伏送出，產出的蒸汽為江陰市供熱。

該廠由六台燃煤發電機組分期建成。表5.1給出了機組的裝機容量和投運時間。

表5.1蘇龍機組裝機和投運時間

	# 1、2機組	# 3、4機組	# 5、6號機組
裝機容量(兆瓦)	2×137.5	2×140	2×330
投運時間	一九九五年六月	二零零三年二月	二零零四年十二月

一期和二期（# 1、2、3、4機組）由一套卸煤、儲煤和輸煤系統供應，該系統與# 5、6機組的系統是分開的。一期和二期的卸煤系統由三套抓鬥式卸煤機、一系列輸煤棧橋、一個儲煤棚和一個室外儲煤場組成。# 5、6機組的卸煤、儲煤和輸煤系統與一期、二期的系統設置相似，除了該系統設五個儲煤倉代替煤棚以儲存幹煤。從兩個室外煤場取煤均採用鬥輪機。1至4號機組由一對傾斜皮帶輸送機供煤至8個原煤倉；每台機組對應2個原煤倉，每個原煤倉向一個球磨機供煤。經磨煤機磨過之後的煤粉通過一個旋風分離器後，細粉落入一個煤粉倉，粗粉送回球磨機再次研磨。通過一個分配皮帶能夠將煤粉送入分屬# 1、2、3、4機組的8個煤粉倉中的任何一個。煤粉從煤粉倉直接被一次風機送入每台各層的燃燒器。# 5、6機組由它們自己成對的傾斜皮帶輸送系統將煤送入總共6個原煤倉；每台機組對應3個原煤倉。原煤倉中的煤經由一個稱重皮帶機後被吹入球磨機，隨後被一次風機鼓入輸煤管道直至機組各層上的燃燒器。# 5、6機組未設置煤粉倉。

所有六台鍋爐都是四角切圓燃燒鍋爐，均由上海鍋爐廠製造。它們都裝有兩層低氮燃燒器送二次風。# 1、2鍋爐是一次再熱式，產生420噸／小時的溫度為540℃壓力為13.7兆帕的主蒸汽和350噸／小時的溫度為540℃壓力為2.62兆帕的再熱蒸汽。# 3、4鍋爐是一次再熱式，產生435噸／小時的溫度為540℃壓力為13.7兆帕的主蒸汽和356噸／小時的溫度為540℃壓力為2.62兆帕的再熱蒸汽。# 5、6鍋爐同樣是一次再熱式，產生1080噸／小時的溫度為541℃壓力為17.5兆帕的主蒸汽和854.2噸／小時的溫度為541℃壓力為3.72兆帕的再熱蒸汽。

鍋爐煙氣出爐膛後首先進入一個回轉式空預器，再進入電除塵器和用以除去二氧化硫的煙氣脫硫系統。# 1、2機組公用一套煙氣脫硫系統的吸收塔，與# 3、4機組設置相同。# 5、6機組為每台機組設一個吸收塔。每個機組配有兩台送風機和兩台引風機，每套煙氣脫硫系統配有一台增壓風機和一個旁路煙道及擋板門。在每個吸收塔下游都設有一個氣氣換熱器，用來對將要進入煙囪排放的煙氣進行再熱，使溫度升至90℃。共有3根煙囪，每個煙囪對應2台機組。所有的煙氣脫硫系統都只對應一套位於電廠北邊的公用的石灰石輸送和製備系統。

飛灰從電除塵器灰鬥和省煤器灰鬥以氣力輸送至儲倉，在儲倉能夠用卡車或駁船將飛灰外運至用戶。飛灰系統分為兩套：一套對應# 1至# 4機組，另一套對應# 5、6機組。鍋爐底灰從鍋爐底部濕灰鬥以水力送至脫水倉。# 1至# 4機組的底灰系統與# 5、6機組同樣是分開的。底灰同樣被售出回用。脫硫系統產生的經過強制氧化的石膏是有市場的。這些脫硫系統產生的石膏經過脫水之後被賣到水泥廠和石膏板廠。該做法符合中國政府的「資源綜合利用」政策。

每台鍋爐的蒸汽都直接進入每台機組的汽輪機。所有六台汽輪機均由上海汽輪機廠製造。它們都是一次再熱機組，抽汽進入兩台高壓給水加熱器，一台除氧器和四台低壓給水加熱器。該汽輪機排汽進入一個表面式凝汽器，冷卻水開式循環，排入長江。江水溫度在夏季接近30℃。目前為止尚無對冷卻水排水的溫度限制的相關國家法規。每台汽輪機均備有監視儀錶監測振動和轉子位移。

該廠為江陰市區提供蒸汽來供熱，還用罐車為當地提供熱水。因為沒有任何冷凝水再生和回收，所以該廠對工藝水的需求量是相當可觀的。

1至# 4機組的水處理系統與# 5、6機組是分開的。水處理系統組成包括：澄清器，後接陰陽離子交換樹脂，後接混合床除鹽器。工藝水源來自長江。

1至# 4機組安裝的是Network 6000型分散控制系統，# 5、6機組安裝的是Foxboro的I/A系統。每套煙氣脫硫系統都有單獨的控制室和控制系統。它們與主廠房的分散控制系統互有通訊。水處理系統也有獨立的控制室和控制系統。

每台機組的發電機的電能輸出都由單獨的升壓變壓器升壓至220千伏。# 2機組的升壓變壓器設有附加繞組，使之能夠供電至110千伏輸電系統。每台機組都設有一個廠用變壓器，為每台機組的6千伏供電。# 1、2、3、4機組在6千伏水平通過母線聯絡實現交叉聯接。# 5、6機組也是同樣設置。# 1、2、3、4機組的6千伏母線由220千伏輸電系統通過一個降壓變壓器供電。# 5、6機組的6千伏母線也是由220千伏輸電系統通過一個降壓變壓器供電。

5.2 設備狀況

基於對其設施和所提供文件的初步審查，該廠看起來處於良好的運行狀態。主要設備如鍋爐、汽輪機、燃料供應或煙氣處理系統，無重大問題報告。# 1、2鍋爐的省煤器正在更換以增加更多的表面積。鍋爐其餘部分不曾更換過或經歷過過多的爆管。電廠員工表示下部爐膛水冷壁管道腐蝕情況從未發生過。低氮燃燒器運行時，這種腐蝕是一種的普遍問題。該廠在計劃檢修中會對水冷壁的厚度進行監測。

對用於鍋爐的部件和主要高壓管道系統的材料進行的審查顯示，合適的材料已被選擇應用。

煙氣脫硫系統所用材料是中國常見的材料。吸收塔本體是用碳鋼內襯玻璃鱗片。塔內的噴淋管道採用玻璃纖維加強型塑料，並帶有碳化矽噴嘴。外部的噴淋管道採用碳鋼襯膠，循環泵採用鑄造不銹鋼襯膠。氣氣換熱器的換熱元件用碳鋼襯搪瓷製造。煙氣脫硫吸收塔採用玻璃鱗片襯里在美國不常見。這是一種早期煙氣脫硫工程的常見做法，但當今絕大多數的吸收塔都採用固體合金、襯里合金或耐酸磚。在美國，氣氣換熱器同樣也不再設在煙氣脫硫吸收塔的下游。最早它們那樣安裝後，它們成為檢修項目的重點以避免停機。目前，美國絕大多數設有煙氣脫硫的電廠運行時採用濕煙囪、重新襯里或用防腐材料建造煙囪，因而就不需要在煙氣脫硫系統的下游設置氣氣換熱器了。

在高層面基礎上審查了被挑出來的設備運行報告和檢修手冊。文件和記錄的水平看起來是完整的。停機記錄是針對每次停機編製和歸檔的。汽輪機和鍋爐及其各自的輔機系統有單獨的報告。

對設施的實地巡查顯示該廠廠區清潔並且運行安全。鍋爐戶外佈置，汽輪機、給水加熱器和鍋爐給水泵均在建築內佈置，使得煤塵在汽輪機區域出現降到最小。

基於以上介紹，煤粉在被吹入#1、2、3、4機組爐膛之前，在煤粉倉內儲存。該設計並不常見，可能存在一定程度的危險，因為煤粉是能夠爆炸的。電廠員工清楚此風險，他們採取了額外的預防措施，通過內務管理將煤塵的積累降到最小。#5、6機組的煤製備系統設計更加常見，煤粉並沒有被儲存，而是研磨後直接吹入爐膛內。

該廠的主要設備的裕量和冗余的水平很高。#1、2、3、4機組配有2台100%容量的磨煤機，#5、6機組配有3台60%容量的磨煤機。每台機組配有2台60%容量的送風機和2台60%的引風機。#1、2、3、4機組的每台機組配有2台100%容量的凝結水泵和2台100%容量的鍋爐給水泵。#5、6機組的每台機組配有2台50%容量的汽輪機驅動鍋爐給水泵和1台50%容量的電動給水泵。

#1、2機組共用一套煙氣脫硫吸收塔，配有4台33%容量的循環泵（滿負荷時3用1備），#3、4機組也是如此設置。#5、6機組的每台機組均有其各自的吸收塔，配有4台33%容量的循環泵（滿負荷時3用1備）。帶有旁路擋板門的煙氣旁路設在吸收塔入口和出口之間。在正常運行工況下，該擋板門是關閉的。該擋板門只是用於緊急情況。該廠設有一套公用的石灰石製備系統，配2套100%容量的幹式石灰石球磨機、石灰石粉產品倉和漿液儲罐。該廠也設有一套公用的石膏脫水系統。

該廠值得注意的一點是在每台機組現有的設施內設計預留空間和一些鋼結構，用於未來的選擇性催化還原脫硝系統安裝，以滿足將來的氮氧化物排放法規的限制對該技術的要求。

除了煙氣脫硫系統的部分問題，該廠的主要設備比得上在美國安裝的設備。鍋爐、汽輪機及其輔機設備與美國相比都不錯。電除塵器配有剛性電極，並且有足夠的尺寸。該設備看起來維護的很好並且運行良好。必須記得該廠相對較新，其最早的兩台機組是在一九九五年投入商業運行的。

5.3 電廠運行和效率

對二零零六年、二零零七年和二零零八年的月度運行報告進行了審查。由於#1、2、3、4機組都是熱電聯供機組，我們對該廠的生產情況的調查包括電能生產和蒸汽抽出量。如表5.2所示，生產情況是令人滿意的。

本網上預覽資料集為草擬本，當中所載資料並不完整，並可予更改。本網上預覽資料集必須與其封面「警告」一節一併閱讀。

附錄六

技術報告

表5-2蘇龍發電量和利用時數

	# 1機組	# 2機組	# 3機組	# 4機組	# 5機組	# 6機組	總計
裝機容量 (兆瓦)	137.5	137.5	140	140	330	330	1,215
二零零六年 總發電量 (太瓦時)	748	778	698	773	1,776	2,019	6,792
利用時數 (小時)	5,439	5,660	4,988	5,518	5,382	6,117	—
廠用電量 (太瓦時)	—	—	—	—	—	—	37.99
淨發電量 (太瓦時)	—	—	—	—	—	—	6,370
抽汽量 (太焦)	814	847	746	826	—	—	3,234
二零零七年 總發電量 (太瓦時)	824	795	733	676	2,284	2,101	7,414
利用時數 (小時)	5,993	5,785	5,234	4,838	6,919	6,367	—
廠用電量 (太瓦時)	—	—	—	—	—	—	41.90
淨發電量 (太瓦時)	—	—	—	—	—	—	6,948
抽汽量 (太焦)	987	985	926	823	—	—	3,720
二零零八年 總發電量 (太瓦時)	787	724	732	756	2,086	2,176	7,262
利用時數 (小時)	5,723	5,268	5,228	5,402	6,322	6,594	—
廠用電量 (太瓦時)	—	—	—	—	—	—	43.56
淨發電量 (太瓦時)	—	—	—	—	—	—	6,782
抽汽量 (太焦)	1,038	955	948	980	—	—	3,920

全廠和機組的效率以每千瓦時耗煤克數和汽輪機產生每十億焦耳熱耗煤千克數統計。年均效率，由該廠以三年的運行數據中熱效率和可用率的方式提供給我們，見表5.3。

表5.3蘇龍電廠機組熱效率和可用率

		# 1機組	# 2機組	# 3機	# 4機組	# 5機組	# 6機組	
二零零六年	熱效率—電	克/千瓦時	327	327	326	326	326	
		千焦/千瓦時	9571	9571	9542	9542	9542	
	熱效率—汽	千克/千兆焦	40.25	40.25	39.97	39.97	—	
		兆焦/千兆焦	1178	1178	1170	1170	—	
	可用率	%	97.06	97.06	96.91	96.91	85.4	95.5
二零零七年	熱效率—電	克/千瓦時	320	320	320	320	317	317
		千焦/千瓦時	9367	9367	9367	9367	9279	9279
	熱效率—汽	千克/千兆焦	40.57	40.57	40.54	40.54	—	—
		兆焦/千兆焦	1188	1188	1187	1187	—	—
	可用率	%	96.92	92.22	97.2	96.93	96.67	86.25
二零零八年	熱效率—電	克/千瓦時	316	316	317	317	316	316
		千焦/千瓦時	9250	9250	9279	9279	9250	9250
	熱效率—汽	千克/千兆焦	40.18	40.18	40.21	40.21	—	—
		兆焦/千兆焦	1176	1176	1177	1177	—	—
	可用率	%	93.89	100	93.31	97.11	95.29	96.12

由於# 1至# 4機組是熱電聯供機組，表4.2中給出的分配給發電的熱效率不包括產熱，故其總體的熱效率是高於同等級別的純發電機組。

機組每月因為調度停機的小時數均有報告。# 5、6機組在其可用時被調用超過90%，然而# 1、2、3、4機組卻明顯被調度停機的更多。特別是# 3機組在二零零六年、二零零七年和二零零八年因調度停機的時間所佔其可用時間比例高於20%。# 4機組也在調度停機時間上有一個較高的數字。看起來，由於# 1和# 2汽輪機升級改造使其裝機容量增加，使得調度指令偏向於讓# 3和# 4機組停機。

1和# 2汽輪機被更換過以獲得附加的裝機容量。該機組於升級改造前在二零零一年十月測試過，隨後在升級改造之後也進行了測試。# 1機組於二零零一年十二月進行了改造後測試。該機組裝機容量由125兆瓦升至138兆瓦，熱效率也有提升。# 2機組於二零零二年四月進行了改造後測試。該機組裝機容量升至138兆瓦，熱效率也有提升。

5、6機組在經過其最初兩年運行後進行了性能測試。測試結果顯示，主機設備和輔機設備均正常運行。

該廠編製了他們自己的鍋爐和汽輪機運行操作手冊。鍋爐部分包括信息有：磨煤機、送風機、引風機、空氣預熱器和電除塵器。汽輪機部分包括給水加熱器、凝汽器、鍋爐給水泵和輔助汽輪機。

5.4 環境問題

該廠提供了從二零零七年七月到二零零八年十月的排放數據。每天的平均顆粒物、二氧化硫、氮氧化物和流量數據以毫克每標準立方米和每天總噸數的形式將每項都列出來。月度平均值、最大和最小排放濃度也被列出來。所有六台機組均滿足相關法規要求的排放限值。該廠採用低氮燃燒器使用過熱空氣來控制氮氧化物的排放。在不久的將來，中國將會採用更低的氮氧化物排放限值，正如前文所述，該廠在安裝選擇性催化還原脫硝裝置方面處於有利地位。煙氣脫硫系統運行時的脫硫效率大於90%。# 1、2機組的顆粒物排放高於# 3、4、5、6機組，可能是由於其電除塵器僅有三個而不是四個。

二零零七年七月至二零零八年十月的排放數據表明，氣氣換熱器運行情況令人滿意，能夠使煙囪排放煙溫高於90℃。據報道，在中國煙氣脫硫系統上安裝的氣氣換熱器存在堵塞和換熱元件失效的情況，所以我們建議運行人員對這些氣氣換熱器進行額外的關注。

還有跡象顯示中國政府有可能在將來不允許煙氣脫硫旁路運行。這需要煙氣脫硫系統在機組運行時處於可用狀態。我們考慮到煙氣脫硫系統有備用的循環泵和足夠的裕量來達到更高水平的可用率。

該廠為其所有的固體廢物找到了市場。飛灰和底灰被售出用作水泥組分和瀝青基料，煙氣脫硫系統產生的石膏售出至水泥廠或石膏板廠。該做法符合中國政府的「資源綜合利用」政策。

絕大多數的液態廢物在廠內回收，經過去除固體和中和處理後，用於粉塵消除、綠化澆灌等。

5.5 結論

該廠看起來是一個運行很好的電站。設備處於良好的狀態，所會面的電廠員工對該廠的運行維護有很好的瞭解。在停機報告、運行數據、排放數據和設備手冊的文件十分完備。該廠已知唯一的主要花費是需要安裝脫硝裝置，然而正如前文所述，反應器和煙道的安裝空間已經預留，故安裝工作應該相對簡單。

如果政府對排入長江的冷卻排水溫度的採取環境法規限制，該廠可能需要面臨改造它的冷卻系統的問題。

該廠看起來已經設計了許多裕量，特別是在燃料供應、儲存和製備系統。每個主要組成部分都有一些裕量，使得每台機組能夠在單獨一個組成部分(如送風機或引風機)故障時，以高於一半負荷運行。

運行和排放數據顯示該廠的性能表現令人滿意。廢物的處理實現了資源綜合利用。

6 結論和建議

在技術評估過程中，莫特麥克唐納訪問了18個風場和一個火電廠，它們分別位於中國八個不同的省或自治區，西起新疆東至江蘇，北起吉林南至福建。

現場工作人員的熱情和努力給我們留下了深刻的印象，儘管日常工作非常繁忙，他們仍然對我們的技術調查問卷作出了回應並且安排會議和討論。

我們所訪問的所有風場由國內外知名廠商提供，它們採用成熟的技術並有豐富的業績記錄。我們認為這些風機技術與目前行業標準相一致，部分風場建造水平較高，超過我們的預期。所有風場運行維護良好。

風機可用率和發電量在我們的評估中是兩個反應運行性能的關鍵指標。我們能夠確認所查閱的風場可用率高於95%的製造商保證值，實際發電量與可研中預測一致。

我們審查的大部分風場擁有獨立的變電站，內部安裝適當的電氣設備，通過架空線路將電能輸送到電網。變電站設備容量適當，可以經受故障電流，許多風場還安裝了無功補償裝置來滿足電網要求。

火電廠運行維護狀況良好。大部分關鍵設備與在美國安裝的設備類似。運行和排放數據顯示該廠的性能令人滿意。廢物處理實現資源綜合利用。

我們在現場訪問過程中發現，風場現場僱用人員數量比我們在歐洲或美國見到的要多。儘管龍源告知這是為今後的擴展計劃做準備，我們仍然認為龍源在開發新項目時可通過減少現場人員來改進。

龍源在中國開發更多風電項目有很宏偉的發展計劃。我們相信該公司擁有很強的技術能力足以在中國以至海外開發、運行、維護和管理風場。

附錄 A 主要評估文件

序號	文件名
1	如東特許權項目一期可行性研究報告
2	如東特許權項目二期可行性研究報告
3	平潭風場工程可行性研究報告
4	特許權示範項目吉林省通榆團結風場工程可行性研究報告
5	吉林龍源通榆風電特許權項目二期工程可行性研究報告
6	遼寧法庫柏家溝風場工程可研報告
7	新疆達阪城風電三場二期可行性研究報告
8	新疆達阪城風電三場四期可行性研究報告
9	新疆達阪城風電三場五期可行性研究報告
10	玉門風力發電場第三期工程可行性研究報告
11	玉門三十里井子風場49.5 MW風電特許權試點項目可行性研究報告
12	河北尚義石人風電項目工程可行性研究報告
13	內蒙古包頭巴音風場200 MW風電特許權項目可行性研究報告
14	五道溝風場一期風電項目工程可行性研究報告
15	孫家營風場一期風電項目工程可行性研究報告
16	孫家營風場二期風電項目工程可行性研究報告
17	環港外灘風場(100MW風電機組)工程一次接入系統設計報告
18	凌洋壑區風場(50 MW風電機組)工程一次接入系統設計報告
19	東凌壑區風場工程一次接入系統設計報告
20	平潭長江澳二期風場接入系統設計
21	吉林省通榆團結風場二期工程(100.3 MW)接入系統可行性研究報告
22	法庫柏家溝風場工程接入系統報告

序號	文件名
23	達阪城風場三場二期30MW項目接入系統可行性研究報告
24	達阪城風場三場三期49.5MW項目接入系統可行性研究報告
25	達阪城風場三場四期49.5MW項目接入系統可行性研究報告
26	玉門風場三期增容項目接入工程系統設計
27	三十里井子風場接入系統一、二次設計
28	張家口尚義石人風場接入系統設計
29	內蒙古達茂聯合旗200MW風場接入系統設計(一次部分)
30	孫家營(五道溝)風場接入系統工程可行性研究報告
31	孫家營風場二期擴建接入系統工程可行性研究報告
32	如東東凌測風塔數據
33	如東環港測風塔數據
34	如東凌洋測風塔數據
35	平潭測風塔數據
36	通榆一期測風塔數據
37	通榆二期測風塔數據
38	法庫柏家溝測風塔數據
39	石人一期測風塔數據
40	巴音測風塔數據
41	五道溝一期測風塔數據
42	孫家營一期測風塔數據
43	孫家營二期測風塔數據
44	如東東凌運行和維護記錄
45	如東環港運行和維護記錄
46	如東凌洋運行和維護記錄
47	平潭運行和維護記錄
48	通榆一期運行和維護記錄
49	通榆二期運行和維護記錄
50	法庫柏家溝運行和維護記錄
51	達阪城三場二期運行和維護記錄
52	達阪城三場三期運行和維護記錄
53	達阪城三場四期運行和維護記錄
54	玉門二期運行和維護記錄
55	玉門三期運行和維護記錄
56	玉門四期運行和維護記錄
57	石人一期運行和維護記錄
58	巴音運行和維護記錄
59	五道溝一期運行和維護記錄
60	孫家營一期運行和維護記錄
61	孫家營二期運行和維護記錄
62	金風GW77-1500 kW技術參數
63	安迅能IT1500CII技術參數
64	歌美颯G5X雙饋風機和低電壓穿越解決方案
65	歌美颯G5X-850 kW 50 HZ-60 HZ風機特性和操作
66	歌美颯 G8X-2MW風機特性和操作
67	GE77 1.5sle技術參數
68	華銳FL1500技術參數
69	維斯塔斯V80技術參數