

本網上預覽資料集為初稿，當中所載信息並不完整，並可予更改。本網上預覽資料集必須與其封面所載之「警告」一節一併閱讀。

# 新天綠色能源股份有限公司

技術評估報告—定稿

2010年[●]  
新天綠色能源股份有限公司

中國河北石家莊市裕華西路9號裕園廣場A座

Mott MacDonald, Victory House, Trafalgar Place, Brighton BN1 4FY, United Kingdom  
T +44(0) 1273 365000 F +44(0) 1273 365100 W [www.mottmac.com](http://www.mottmac.com)

## 版本及修訂記錄

版本	日期	起草人	校核	審核	說明
1	06/04/2010	Duncan Broom 陽瑾瑜 David Mudie 蘆經緯 Babak Badrzadeh	Cyril Pacot Malcolm Holmes Roddy Wilson	汪愛娟	草稿
2	20/04/2010	Douglas Ramsay 蘆經緯	Duncan Broom	汪愛娟	草稿定稿
3	27/04/2010	Duncan Broom	汪愛娟	汪愛娟	草稿定稿
4	14/05/2010	Duncan Broom	汪愛娟	汪愛娟	定稿
5	16/05/10	蘆經緯	Duncan Broom	汪愛娟	定稿修訂版
6	08/07/10	陽瑾瑜	Duncan Broom	汪愛娟	定稿修訂版
7	15/07/10	陽瑾瑜	Duncan Broom	汪愛娟	定稿修訂版
8	20/08/2010	陽瑾瑜 蘆經緯	Duncan Broom	汪愛娟	最終版

This document is issued for the party which commissioned it and for specific purposes connected with the above-captioned project only. It should not be relied upon by any other party or used for any other purpose.

We accept no responsibility for the consequences of this document being relied upon by any other party, or being used for any other purpose, or containing any error or omission which is due to an error or omission in data supplied to us by other parties

This document contains confidential information and proprietary intellectual property. It should not be shown to other parties without consent from us and from the party which commissioned it.

目錄

章	標題	頁碼
綜述	綜述	V-6
1.	概述	V-8
1.1	莫特麥克唐納的獨立性	V-8
1.2	莫特麥克唐納資質和業績	V-8
1.3	核心團隊成員	V-10
2.	方法論	V-11
2.1	技術評估的目的	V-11
2.2	公司資產概覽	V-12
2.3	選擇有代表性的風電場	V-12
2.4	技術盡職調查過程	V-14
3.	風電場技術評估	V-14
3.1	風資源評估	V-14
3.2	主要涉及的風機	V-17
3.2.1	GE	V-18
3.2.2	維斯塔斯	V-19
3.2.3	歌美颯	V-20
3.2.4	金風	V-21
3.2.5	華銳	V-21
3.2.6	東方汽輪機廠（東方汽輪機公司）	V-22
3.3	風電場運行狀況－可用率和發電量	V-23
3.3.1	康保風電場一期	V-23
3.3.1.1	發電量和可用率	V-23
3.3.1.2	場內電氣接線及升壓站	V-25
3.3.2	康保風電場二期	V-25
3.3.2.1	發電量和可用率	V-25
3.3.2.2	場內電氣接線及升壓站	V-26
3.3.3	沽源風電場一期	V-27
3.3.3.1	發電量和可用率	V-27
3.3.3.2	場內電氣接線及升壓站	V-28
3.3.4	沽源風電場二期	V-29
3.3.4.1	發電量和可用率	V-29
3.3.4.2	場內電氣接線及升壓站	V-30
3.3.5	東辛營風電場	V-30
3.3.5.1	項目施工和可用率	V-30
3.3.5.2	場內電氣接線及升壓站	V-32
3.3.6	海興風電場	V-33
3.3.6.1	發電量和可用率	V-33
3.3.6.2	場內電氣接線及升壓站	V-35
3.3.7	崇禮風電場一期	V-35
3.3.7.1	發電量和可用率	V-35
3.3.7.2	場內電氣接線及升壓站	V-37
3.3.8	崇禮風電場二期	V-37
3.3.8.1	發電量和可用率	V-38
3.3.8.2	場內電氣接線及升壓站	V-39
3.3.9	蔚縣風電場一期	V-39

<u>章</u>	<u>標題</u>	<u>頁碼</u>
3.3.9.1	發電量和可用率.....	V-39
3.3.9.2	場內電氣接線及升壓站.....	V-41
3.3.10	蔚縣風電場二期.....	V-41
3.3.10.1	發電量和可用率.....	V-41
3.3.10.2	場內電氣接線及升壓站.....	V-42
3.3.11	承德圍場禦道口風電場.....	V-43
3.3.11.1	發電量和可用率.....	V-43
3.3.11.2	場內電氣接線及升壓站.....	V-44
3.4	運行維護安排.....	V-45
3.5	結論.....	V-45
4.	併網評估.....	V-46
4.1	簡介.....	V-46
4.2	併網分析中發現的主要問題.....	V-48
4.3	各風電場併網.....	V-49
4.3.1	康保風電場一期.....	V-49
4.3.2	康保風電場二期.....	V-49
4.3.3	沽源風電場一期.....	V-50
4.3.4	沽源風電場二期.....	V-50
4.3.5	東辛營風電場.....	V-51
4.3.6	海興風電場.....	V-52
4.3.7	崇禮風電場一期.....	V-52
4.3.8	崇禮風電場二期.....	V-53
4.3.9	蔚縣風電場一期.....	V-53
4.3.10	蔚縣風電場二期.....	V-54
4.3.11	承德圍場禦道口風電場.....	V-55
4.4	結論.....	V-55
結論和建議.....		V-57
附錄.....		V-58
A.1.	主要評估文件.....	V-58
詞彙表.....		V-59
圖表		
表格 1.1 :	核心團隊成員.....	V-11
表格 2.1 :	有代表性風電場.....	V-13
表格 2.2 :	技術評估過程.....	V-14
表格 3.1 :	代表性風電場安裝的風機.....	V-18
表格 3.2 :	GE 1.5sle 技術參數.....	V-19
表格 3.3 :	維斯塔斯 V52 技術參數.....	V-20
表格 3.4 :	G52 技術參數.....	V-20
表格 3.5 :	金風 S50 技術參數.....	V-21
表格 3.6 :	SL1500/77 技術參數.....	V-22
表格 3.7 :	FD77A、FD70B/FD77B 技術參數.....	V-23
表格 3.8 :	康保臥龍兔山風電場一期運營數據.....	V-25
表格 3.9 :	康保臥龍兔山風電場二期運營數據.....	V-26
表格 3.10 :	沽源五花坪風電場一期運營數據.....	V-28
表格 3.11 :	沽源五花坪風電場二期運營數據.....	V-30

本網上預覽資料集為初稿，當中所載信息並不完整，並可予更改。本網上預覽資料集必須與其封面所載之「警告」一節一併閱讀。

## 附錄五

## 技術報告

<u>章</u>	<u>標題</u>	<u>頁碼</u>
表格 3.12 :	東辛營風電場 2009 年下半年施工里程碑 .....	V-31
表格 3.13 :	東辛營風電場主合同商 .....	V-31
表格 3.14 :	海興風電場運營數據 .....	V-34
表格 3.15 :	崇禮風電場一期運營數據 .....	V-37
表格 3.16 :	崇禮風電場二期運營數據 .....	V-39
表格 3.17 :	蔚縣風電場一期運營數據 .....	V-40
表格 3.18 :	蔚縣風電場二期運營數據 .....	V-42

## 綜述

### 概述

莫特麥克唐納諮詢有限公司（以下簡稱「莫特麥克唐納」）獲新天綠色能源股份有限公司（以下簡稱「公司」）委任以提供技術支持。

莫特麥克唐納對公司風電場資產狀況進行了獨立技術評估。內容包括風資源評估、發電量、可用率和運行維護安排、風機技術、併網安排以及是否符合電網運行管理條例。我們的工作範圍僅限於資產組合中有代表性風電場。

本報告編寫時依據的資料主要來源於公司提供的文件以及與公司相關人員的會見和討論，這些文件主要在2010年1月19日至22日期間的現場訪問以及之後與公司的交流中收集。莫特麥克唐納對從外部來源收集到的資料的有效性進行了整理分析和專業判斷，並且在評估過程中運用了我們對中國電力行業的了解。

公司的電力資產中包括分佈在中國河北省境內的多個發電廠。這些發電廠由不同的中國設計院按主流中國標準設計，風機由多家國內外知名的製造商生產。為此，按照協定，我們選擇具有典型代表性的發電廠編製報告，這些發電廠能較好的包含和體現公司所控股電子資產的多樣性。在選擇有代表性風電場時，主要考慮了以下幾個方面：

- **風電場狀態**—我們審核了正在運行及在建的風電場。
- **風機類型**—經選擇的具代表性的風電場包含由國內外製造商生產的風機。
- **裝機容量與公司股份**—經選擇的具代表性的風電場由公司控股，且控股裝機容量是2009年12月31日公司所屬控股裝機容量的100%。

技術評估過程是在中國和英國進行，主要步驟包括但不限於：現場訪問、數據收集、討論、分析和報告編寫。

### 風資源評估與發電量

我們審查了每個具有代表性風電場的風資源評估報告，並且將中國涉及風資源評估的方法、報告、數據收集的相關標準同國際通行的類似標準進行對比。結論表明，中國風資源評估的相關標準所規定的方法與國際慣例大致相符，儘管中國相關標準中缺少某些在國際標準中規定的細節，例如不確定性分析。但是，對發電量的保守估計能夠減少不確定性。

我們評估了每個已訪問風電場的發電量預測，並盡可能將預測發電量與報告發電量相比較。

每個風電場所用的發電量評估方法是一致的，它們都基於中國標準 GB/T 18709-2002 和 GB/T 18710-2002。這些標準來源於西方刊物，並與國際慣例大致相符。儘管缺少若干領域的具體標準，但整體而言更加保守。我們對中國的方法論比較滿意。

我們能夠肯定，大多數經過我們審核的風電場的風機可用率均高於風機製造商保證的95%，並且實際的發電量同可行性研究報告中的預期相符。

### 風機技術及發電廠運行

公司採用了國內外成熟風機製造商提供的多種風機。風機的選擇對有效保證最大發電量至關重要，因此我們對所有具有代表性風電場涉及的主要風機製造商進行了獨立的評估。

我們的評估詳細地分析了各製造商的市場佔有率、特定技術的使用、歷史業績，並著重關注了機組防腐蝕性及對惡劣環境的適應性。

所有我們訪問過的風電場的風機均由知名的國際或國內風機製造商提供，其所採用的技術已經過多次驗證，市場業績良好。莫特麥克唐納認為，相關風電場採用的風機技術均符合現行工業標準，所有風電場均按高標準建設，有些已經超出我們預期水平。

所有的風電場都保持充分的運行維護安排。對於幾個仍處於施工建設期的風電場我們也進行了評估。所有風電場採用的項目管理策略與我們在中國境內見到的其他風電場所採用的策略一致。

### 併網

我們已對公司風電資產中所有 11 個風電場進行了併網評估，目的是為了確定：

- 已包含所有設備（例如柵極變壓器，輸出電纜／架空線），以及風電場接近完整發電能力；
- 風電場的無功補償裝置是否足以為風電場電壓控制及功率因數優化提供支持；及
- 當地電網是否有能力調度風電場發出的電能，以及減緩併網可能引起的問題，包括電壓／頻率變化、系統過負荷等。

總體而言所有風電場併網狀態良好，並且沒有明顯的影響風電場發電輸送至升壓站的制約因素。所有設備（包括開關裝置及變壓器）均經過合理選擇，無功補償裝置能夠提供足夠的支持，用以維持電壓及功率因數校正。

在風電場滿發的情況下，我們發現某些電網存在可能造成風電場產量受限的情況（產生這種現象的原因是當地輸送通道沒有足夠能力輸送來自所有併網風電場的最高電力），因此需要進行電網擴

容解決有關問題。我們得知當地電網公司已將電網擴建納入規劃，我們認為有關制約風電場發電量的問題將在電網擴建後得到解決。

## 結論

通過我們的深入調查審核，我們能夠肯定公司聘請了有資質的中國設計院進行能源產量評估，方法論中所採用的原則同國際慣例相符。在我們訪問過的風電場中，所有設備維護狀態良好。我們認為，公司憑藉其技術能力及專業知識，有足夠的能力開發、運行、維護和管理其在中國的風電場資產。

### 1. 概述

#### 1.1 莫特麥克唐納的獨立性

本獨立技術評估報告乃由莫特麥克唐納諮詢有限公司（「莫特麥克唐納」）的專業人員編製。莫特麥克唐納受新天綠色能源股份有限公司（「公司」）委託作為技術顧問以提供技術支持。

莫特麥克唐納將就提供相關服務及技術建議收取費用。莫特麥克唐納負責編製本報告的主管或員工於以下各項不擁有任何權益：

- 公司；或
- 技術評估範圍內的資產。

在提交最終報告之前，技術報告的初稿已提供給公司及其顧問，但其目的僅用於確認所使用數據和事實材料的準確性。

#### 1.2 莫特麥克唐納資質和業績

莫特麥克唐納是一家世界領先的跨學科諮詢公司，擁有能源、交通、水利和環境，以及建築、工業、通信、健康及教育等行業的專長。

莫特麥克唐納是一家完全獨立的國際公司，總部位於英國，年營業額超過14億美元，在全球120多個國家擁有逾14,500名員工，業務遍及全球。我們於1996年、1998年及2004年三次獲得Queen's Award for Export Achievement（出口貿易成就女王獎），充分反映出我們的國際業務的巨大規模（共佔盈利總額的三分之二）。

莫特麥克唐納在英國以及歐洲各國、亞太區、中東、非洲及美洲的中心城市均設有辦事處。如此廣泛的地域網絡意味著不管客戶或其項目位於何處，我們都能便捷地提供技術和資源。

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

我們在能源行業的經驗在全球主要工程顧問公司中處於領先地位。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，為其政府提供切合當地情況的財務／技術選擇，並就法規、效率和合同問題提供建議。這些國家和地區包括香港、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。我們參與對民營化或私有化的電力公用企業進行監管審核，為各類主要投資者提供收購發電廠及配電公司的有關建議。此外，我們亦作為擁有人及貸款方的獨立顧問，參與全球私人投資電力項目的發展。

莫特麥克唐納在各類發電廠和輸電技術領域擁有豐富經驗，並與客戶密切合作，確保通過全力以赴為每個項目帶來最大價值。我們在世界範圍內參與了超過200吉瓦的發電廠設計。我們的實力在於擁有涵蓋各個行業及技能各類專業知識。我們在風電（包括陸地和海上）技術和電力網絡方面擁有豐富經驗，曾為融資方、潛在投資者、項目開發商、擁有人和承包商、政府、地方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陸地及海上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吉瓦），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：

- 龍源香港上市，摩根士丹利－作為獨立技術顧問評估總裝機容量超過3吉瓦的資產組合。全面評估資產狀況以及驗證公司文件所載的資料，並向潛在股東出具技術報告。
- 白城風電場，滙豐銀行－作為貸方技術顧問，全面評估中國的可再生能源市場及政策、能源產量、風機技術、土木工程、併網、碳排放額度、財務模型及環保等方面。
- 多個風電場投資，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電場，以供潛在投資者收購。
- 大風壩風電場，港燈國際有限公司－作為技術顧問，對位於雲南省內的一個47.6兆瓦的風電場做盡職調查。
- 如東風電場，荷蘭皇家銀行－作為技術顧問，為從100兆瓦如東風電場購買在清潔發展機制下的核證減排量開展盡職調查。
- 內蒙古風電場，宏騰能源集團－作為擁有人的工程師，對百靈廟及西烏的風電場進行地質調查、運輸、併網、風機、電力設備採購及現場監督。
- 泰山首次公開招股項目，摩根大通／龍基電力－作為技術顧問，為該全國生物工程生物質發電廠在香港聯交所上市做盡職調查。我們的工作包括燃料市場分析、秸稈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，KEPCO－資產評估－作為技術顧問提供資產評估、電力市場分析和合同審查。Suhrak資產組合包括11個現有電廠、3個在建和9個規劃電廠，以及位於中國一個省內的9個煤礦。

### 1.3 核心團隊成員

我們精心組織了技術顧問核心團隊，以完成為公司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：項目總監

持有學士、碩士和博士學位，是皇家特許工程師。汪愛娟博士從事能源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、發電及輸電資產擴張及策略方面都有豐富的經驗。1990年代曾供職於中國政府能源部和龍源電力集團公司。

自1998年加入莫特麥克唐納，汪愛娟博士參與、管理並主持了多個受銀行及投資商／開發商委託的盡職調查項目，十分熟悉中國的商務環境和市場監管。她具有豐富的與金融機構及商業銀行合作向併購、項目融資及首次公開招股等項目提供技術及商業意見的經驗，還曾擔任龍源公司香港上市項目技術顧問組組長。

此外，汪博士還參與了許多電力行業改革及私有化、競爭性電力市場運行、項目商業案例分析及市場調研、公司發展戰略以及為公用事業、監管機構及政府組織的技術表現審計等。汪博士為中國籍人士。

#### Duncan Broom：項目經理

Duncan Broom從威爾士卡迪夫大學獲得電氣與電子工程（電力系統）工學學士學位（1989年），是皇家特許工程師，在工程設計和項目管理方面超過20年經驗，經驗主要是在輸配電行業。自2008年加入莫特麥克唐納，Duncan成功的領導了多個主要多學科工程項目，並參與多個中國風電場盡職調查項目。

之前曾任倫敦地鐵系統基礎建設公司電氣工程總監以及多個高壓變電站和靜態無功補償項目的設計經理。技術經驗涵蓋輸配電系統的各個方面，如系統分析和電力系統保護。

Duncan最近參與了多個中國盡職調查項目，其中包括中國龍源上市項目，在該項目中他負責審閱整體報告，檢查各個部分的內容。

## 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以下表格 1.1 所示：

**表格 1.1： 核心團隊成員**

<u>角色和職責</u>	<u>姓名</u>
項目總監 .....	汪愛娟
項目經理／電氣工程師 .....	Duncan Broom
風電電量預測 .....	David Mudie
風電場運行 .....	Cyril Pacot
電網併網專家 .....	Roddy Wilson
風機設計 .....	Babak Badrzadeh
電力系統分析 .....	蘆經緯
電氣工程師 .....	Douglas Ramsay
項目協調 .....	陽瑾瑜

## 2. 方法論

### 2.1 技術評估的目的

河北省建設投資集團有限公司（河北建設）成立於 1988 年，是國有投資機構，主要從事能源、交通等基礎產業、基礎設施和省內支柱產業的投資與建設。

河北建投新能源有限公司（河北建投新能源）於 2006 年 7 月成立時是河北建投全資附屬公司。河北建投新能源的主要業務是投資、開發和運行風電項目，以及其他可再生能源項目，如太陽能。

新天綠色能源股份有限公司（以下簡稱「公司」）於 2010 年 2 月成立為單獨的控股公司，其目的是為整合河北建投清潔能源資產。河北建投目前控制公司 100% 的股權。河北建投新能源目前是公司的全資附屬公司。

莫特麥克唐納的任務是評估公司所擁有風電資產組合的狀況，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輸配系統能力進行評估。

我們的工作大綱具體如下：

- 風資源評估
- 風機技術
- 發電量、可用率和維護
- 併網和電網運行條例

本報告所採用的主要素材和依據如下：

- 公司提供的文件以及與公司相關人員及製造商的交流和討論

- 對各代表性電廠的現場訪問
- 從公開渠道搜集的相關數據和資料以及我們對電廠及中國電力市場的專業知識

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辦公室進行的。

在本報告以下的各章節中，我們將討論上述技術方面的主要問題，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 公司資產概覽

我們了解到，於2009年12月底，公司總共擁有15個風電場，包括由其附屬公司控制的在運行和在建風電場。除一個風電場位於山西省境內之外，其餘電廠均位於河北省。其中，於2009年12月底在運行的九個風電場的控股裝機容量為406.7兆瓦。

公司的風機技術來自於國際知名風機廠商，包括GE、維斯塔斯和歌美颯，以及中國風機製造商如金風、華銳和東方汽輪機公司。單機容量從750千瓦到1.5兆瓦不等。

## 2.3 選擇有代表性的風電場

莫特麥克唐納團隊同意公司選擇部分有代表性的電廠，如表格2.1所示。

在選擇11個有代表性風電場的過程中，我們考慮了以下幾個主要因素：

- 風電場現狀  
為提供足夠的信息評估風電場狀況、風機技術、風電場效率、運行維護安排和電網接入能力，我們審查了所有在運行的風電場。此外，我們還評估了部分在建風電場，以評估項目計劃、風機技術和電網接入能力。
- 風機類型  
我們在選擇風電場的時候考慮的第二個因素是資產組合中的風機類型。如上文所述，公司採用了多種不同的國內外生產的風機產品。我們認為評估項目所採用的風機類型代表了公司選用風機的主流機型。具體風機製造商和類型在表格2.1中列出。
- 裝機容量和公司權益  
第三個因素是風電場規模和公司在項目中的權益。也就是說，我們所關注的是大型風電場和公司擁有控股權的風電場。

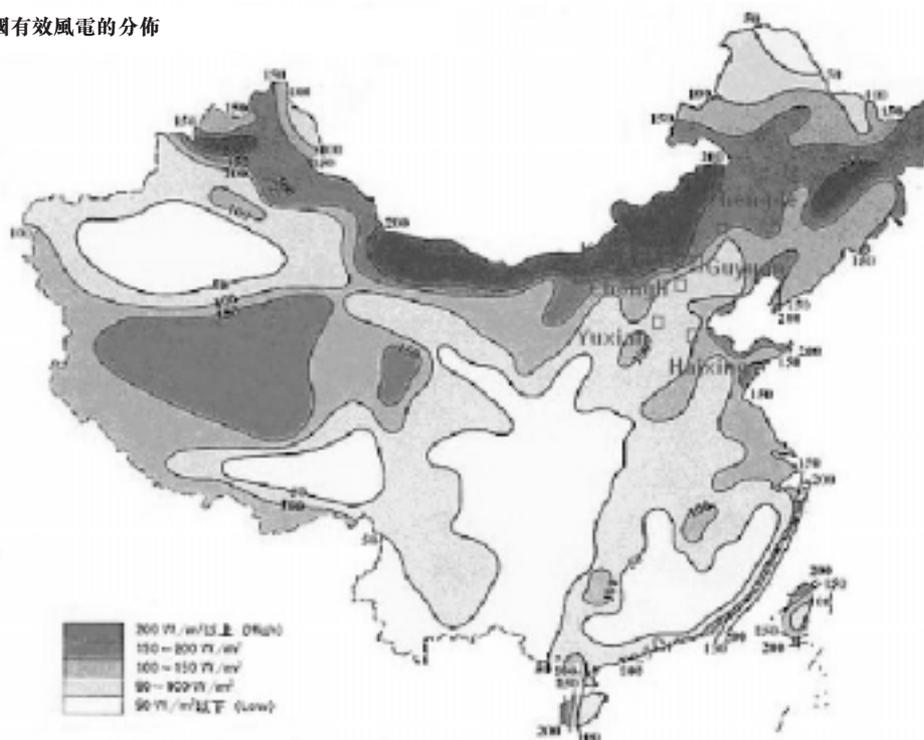
表格 2.1： 有代表性風電場

項目名稱	地理位置	公司控股	運行日期	裝機容量 (兆瓦)	單機容量 (千瓦)	台數	風機製造商
1 康保風電場一期 . . . . .	張家口	100%	2006 年 11 月	30.0	750	40	金風
2 康保風電場二期 . . . . .	張家口	100%	2010 年 1 月	49.5	1,500	33	GE
3 沽源風電場一期 . . . . .	張家口	100%	2007 年 10 月	30.6	850	36	歌美颯
4 沽源風電場二期 . . . . .	張家口	75%	2010 年 1 月	49.5	1,500	33	GE
5 東辛營風電場 . . . . .	張家口	100%	2010 年 第四季度	199.5	1,500	133	東方 汽輪機公司
6 海興風電場 . . . . .	滄州	70%	2008 年 9 月	49.5	1,500	33	東方 汽輪機公司
7 崇禮風電場一期 . . . . .	張家口	50%	2008 年 11 月	49.3	850	58	歌美颯
8 崇禮風電場二期 . . . . .	張家口	51%	2009 年 3 月 (29 台) 2009 年 6 月 (29 台)	49.3	850	58	維斯塔斯
9 蔚縣風電場一期 . . . . .	張家口	55.9%	2009 年 1 月	49.5	1,500	33	東方 汽輪機公司
10 蔚縣風電場二期 . . . . .	張家口	55.9%	2009 年 11 月	49.5	1,500	33	東方 汽輪機公司
11 承德圍場禦道口風電場 . . . . .	承德	100%	2010 年第 四季度	150.0	1,500	100	華銳

圖 2.1 顯示了中國的風資源分佈和上述有代表性風電場的地理位置。

圖 2.1：中國風資源分佈圖以及風電場地理位置

中國有效風電的分佈



來源：中國氣象科學研究院

## 2.4 技術盡職調查過程

基於以上所選擇的 11 個具代表性風電場，進行評估工作前，我們首先給公司發出詳盡調查問卷。調查問卷的內容圍繞技術評估工作範圍的所有問題展開，包括發電量、風機類型、運營記錄、維護安排、施工安排、風機供貨合同和電網併網等。

2010年1月，來自英國的工程師在英國辦公室開始文件審查。我們初步查閱了可行性研究報告和電網併網研究報告。

同時，工程師於2010年1月進行現場訪問。由於上述具代表性風電場均位於中國河北省境內，由風電資源和電網專家組成的團隊分為兩組，分別前往張家口、承德和滄州。通過現場訪問，莫特麥克唐納直接評估這些資產，並與現場的運營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及所獲資料進行整理和分析。對於現場訪問之後發現的問題，我們的工程師與公司做了進一步的溝通。報告的編寫在英國的辦公室進行。

技術盡職調查的主要步驟歸納如下：

**表格 2.2： 技術評估過程**

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

## 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電資源評估和發電量預測進行討論。我們的審查著重於風電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，我們也查閱了有關載有建議慣例的中國國家標準，旨在與廣泛的國際慣例進行比較以對該方法作出評估。

在風電場開發階段編寫的可行性研究報告中，風電資源評估是非常重要的一部分，特別是當實際運營數據較少的時候，其為預測風電場的發電量提供重要依據。

儘管上述經審查風電場的風電資源評估由不同的中國設計院編寫，他們所採用的評估和報告的方法是相同的，都是基於中國國家標準GB/T 18709-2002《風電場風資源測量辦法》和GB/T 18710-2002《風電場風能資源評估方法》。前者包含風電資源數據採集和報告，而後者描述了如何對長期風電資源數據進行修正、審查、處理及報告。

關於數據收集，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，中國國家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其的影響。我們還注意到，相對於歐洲來說，中國通常採用較少的測風塔進行測風。尤其在複雜地形區域，這會降低發電量預測的可靠性。我們注意到，在部分可行性研究報告中，測風塔的高度低於風機輪轂高度。這偏離了 GB/T 18709-2002 規定，測風設備高度不能低於預計安裝輪轂高度。雖然我們認為在較簡單的地理環境中使用高度較低的測風塔是業界一種普遍現象，但是從某種程度上來說，這偏離了相關標準的規定。

GB/T 18710-2002是規定風電資源評估、測風數據的處理方法以及如何編製風電資源評估報告的中國國家標準。該標準包括對參考數據的要求、長期數據修正、數據篩選和提取有關參數(風切、紊流強度)公式以及如何編製報告。GB/T 18710-2002 參考了 NREL/SR-440-22223 和《風電資源評估手冊》等文件。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電資源評估方法論，即測量－相關聯－預測分析。中國國家標準大部分直接參考這部手冊，因此，中國的風電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12個月建議風電場現場的有效風速和風向收集數據。之後，再與附近參考氣象站提供的歷史可靠數據進行相關性檢驗。風電場和附近長期參考站的相關聯性確立後，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，然而缺乏如何進行修正的具體方法。我們還發現在大部分的風電資源評估報告中，只採用了相對簡單的測量－相關聯－預測方法，即通常簡單比較歷史年平均風速。這主要是因為參考氣象站數據的質量和一致性不強，在發電量預測中沒有充分考慮不確定性因素。在我們審查的幾個可行性研究報告中，參考氣象站數據有時不完整，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，因此該方法在有些可行性研究中做發電量預測時不用，則採用12個月的現場採集數據。這顯示風電量預測方法是嚴謹，偏保守的。

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)、日風況和季節風況。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，並綜合考慮所選風機的功率曲線，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。

在我們審查的可行性研究報告中，每個風機的風速分佈由 WasP 軟件建模。該軟件配套由丹麥 RISO 國家實驗室研製，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。

據我們的經驗，在風電資源評估後、風電場建設前，對風電場平面圖的修改是常見的。在一些我們審查的可行性報告中，我們注意到，部分風電場的實際建設與建設設計不一致，如風機模型、輪轂高度或風機排布。我們認為，這不是一個重大問題，因為該評估的關鍵是對風電場運營之後的預測發電量評估。

一些可行性研究報告中的功率曲線通常沒有標明具體數據以及來源出處。功率曲線是理論值還是由測量數據得來，或者是根據風機製造商的承諾而來，是確定風電資源評估的準確性的關鍵。這些可行性研究報告中為保守起見，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。我們認為，這也彌補了因沒有詳細闡明功率曲線而帶來的不準確性。

空氣密度是影響可由風力獲得的發電量的重要因素。因大部分我們訪問的風電場海拔較高，對空氣密度的影響更大。中國設計院的修正方法是採用現場空氣平均密度與標準空氣密度的比例作為比例因素。我們認為該方法可能沒有準確反映空氣密度對風機功率曲線的影響，而過高估計高海拔風電場空氣密度的損耗系數。也就是說實際發電量可能高於預測發電量，即這樣的計算是保守的。

使用WasP軟件所做的尾流損耗建模方法也是適用的。儘管可行性研究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。我們所訪問的風電場大多為分期建設或鄰近有在建風電場。鄰近風電場或隨後幾期風電場所產生的影響在有些風電資源評估可行性研究報告中沒有涉及，這是可以理解的。但是，風電場規劃為後期擴建預留了足夠的空間。

預測發電量的損耗考慮了電氣設備效率、可用率和電網故障時間等因素。每個項目所估計的損耗大不相同，這是由於各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。這些損耗系數較大，以致項目效率（除去尾流影響）平均約為70%（在歐洲，90%是比較普遍的）。這說明發電量預測是非常保守的。

此外，中國國家標準沒有考慮風速和風向測量中的不確定因素。因此，可行性研究報告中沒有相應的不確定性分析，只有大致估計。對風電場運營商業決策來說，不確定性分析和風險預測是很重要的，因為其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訂的遺漏。類似的，可行性研究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，然而變化率隨著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。我們可以確認可行性研究報告都進行了長期預測，儘管某些風電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，因而採取了更保守的長期預測。

從上述一系列的經審查研究中我們看到風電資源評估採用了一致的評估方法，並且基本與標準國際慣例相符。儘管中國國家標準參照完善西方體系來制訂，但是仍與其他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，用於計算淨發電量的損耗系數一般遠大於世界上其他國家。

我們認為對項目效率的保守估計可以彌補分析（例如缺乏不確定性分析）不足之處，從而提高預測的準確性。在運營風電場的運營數據也證明了上述觀點。

### 3.2 主要涉及的風機

莫特麥克唐納審閱了風電場中使用的由國內外風機製造商提供的各種不同類型的風機，如表格 3.1 所示。對最大化發電量來說，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、市場可用率、價格和技術，這些因素對風電場的運營及經濟會產生較大的影響。

代表性風電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是符合目前技術標準的現代設計，額定功率範圍從 750 到 1,500 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風速高的地區。因此，我們特別分析了在惡劣環境下（如海濱或嚴寒地區）風機的耐低溫性和防腐蝕性。

在我們的深入審查中，我們分析了各種不同的風機類型，指出潛在的技術風險以盡可能防止風機運行中的突發事件。良好的運行經驗可以降低發生故障的可能性，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責任承諾才是最關鍵的保障。

中國風機製造商供應鏈能力在持續增長，目前能滿足 600 千瓦和 750 千瓦風機 90% 的市場需求以及更大型風機約 70% 的市場需求<sup>1</sup>。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，還是依賴國外進口。

我們認為評估風機技術時，審查型式認證對降低設計相關風險是很有必要的。只有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以及對生產和裝配期間的檢查，以及對製造商或相關分銷商的資質檢查。

風機技術的質量是非常關鍵的因素，它對風電場運行狀況、能否實現發電量最大化，場內電氣設備安全運行以及全場設備運行維護安排有著較大影響。我們的技術審查還包括風電場發電量及維護

<sup>1</sup> 國際風能發展報告(BTM)－ 2008 年 3 月刊

計劃的審閱。總體上來說，我們對於風機選型、運行維護安排、供貨商承諾和違約賠償條款表示滿意，它們都符合目前市場的慣例。

表格 3.1： 代表性風電場安裝的風機

序號	風電場	容量 (兆瓦)	運行時間	製造商	風機類型	額定功率 (千瓦)	風機數量
1	康保風電場一期 ...	30.0	2006年11月	金風	S50	750	40
2	康保風電場二期 ...	49.5	2010年1月	GE	GE 1.5sle (葉輪直徑 77米)	1,500	33
3	沽源風電場一期 ...	30.6	2007年10月	歌美颯	G52	850	36
4	沽源風電場二期 ...	49.5	2010年1月	GE	GE 1.5sle (葉輪直徑 77米)	1,500	33
5	東辛營風電場 .....	199.5	2010年 第四季度	東方 汽輪機公司	FD77B	1,500	133
6	海興風電場 .....	49.5	2008年9月	東方 汽輪機公司	FD77A	1,500	33
7	崇禮風電場一期 ...	49.3	2008年11月	歌美颯	G52	850	58
8	崇禮風電場二期 ...	49.3	2009年3月 (29台) 2009年6月 (29台)	維斯塔斯	V52	850	58
9	蔚縣風電場一期 ...	49.3	2009年1月	東方 汽輪機公司	FD70B	1,500	33
10	蔚縣風電場二期 ...	49.5	2009年11月4日	東方 汽輪機公司	FD70B/ FD77B	1,500	33
11	承德圍場禦道口 ... 風電場 .....	150.0	2010年 第四季度*	華銳	SL1500/77	1,500	100

### 3.2.1 GE

GE Energy (GE) 隸屬於通用電氣集團，是世界最大電氣設備製造商。作為世界最大風機供貨商之一，GE利用其20多年的相關經驗，在全球已安裝風機逾10,000台，總裝機容量超過15,000兆瓦。GE同樣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1.5兆瓦級風機具有良好的全球市場業績，目前世界上正在運行的該風機已超過8,500台。

GE1.5sle風機配備主動偏航和變槳調節系統，以實現功率調節和扭矩控制能力，其核心是一台異步發電機。該風機採用底座式驅動鏈設計，機艙內所有部件整合在一起，有效提升了耐用性；發電機和齒輪箱採用彈性元件支撐，用以減少噪音排放；特殊的滑環聯軸器設計可以有效減少了齒輪箱的負荷。

自2002年該1.5兆瓦級風機投產以來，GE投入了750百萬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。其主要技術參數如表格 3.2 所示。

表格 3.2： GE 1.5s1e 技術參數

輪轂高度	80 米
葉輪直徑	77 米
額定功率	1,500 千瓦
IEC 分級	IIA
型式認證	Germanischer Lloyd IIA
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	異步雙饋
齒輪箱	平行/行星混合齒輪傳動
齒輪箱傳動比率	1:98
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的風機供應商之一，擁有 20% 的市場份額，在全世界安裝風機達到 39,000 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，超過 80% 的產品部件為中國製造。

維斯塔斯 V52 型風機採用變槳距、三槳葉、水平軸、適用於中高風速的上風向變速設計，同時該機還配備了維斯塔斯研發的「最優轉速」控制系統。V52 型風機在全世界的安裝數量超過 2,100 台。其豐富的運行經驗和優秀的業績紀錄為高技術質量提供保障。

該風機採用的「最優轉速」系統是一種先進變速技術，它可以允許風機轉子速度在額定轉速的約 60% 範圍內變化，也就是說風機轉子速度可以在同步速度  $\pm 30\%$  內變化，因而提高了發電量。維斯塔斯為它的機組設計了專門的維修用吊車，最高可提升 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 6,400 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。

總體來說，我們認為維斯塔斯是高質量、低風險的風機供應商，目前佔有相當的市場份額，另外其產品合格證書也增強了我們對其中國供應鏈的信心。表格 3.3 顯示了維斯塔斯 V52 的主要技術參數。

表格 3.3：維斯塔斯 V52 技術參數

輪轂高度 .....	55 米
葉輪直徑 .....	52 米
額定功率 .....	850 千瓦
IEC 分級 .....	IA/IIA
型式認證 .....	Germanischer Lloyd IIA /DIBt II
切入風速 .....	4 米/秒
額定風速 .....	16 米/秒
切出風速 .....	25 米/秒
發電機 .....	「最優轉速」異步系統
齒輪箱 .....	行星/平行齒輪
齒輪箱傳動比率 .....	1:64.6
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。2008年，它在世界風機供應商中排名第三，全球擁有逾 13,000 兆瓦的裝機容量，市場份額超過 15.4%<sup>2</sup>。歌美颯在中國也安裝了上千台風機，合共擁有 1,700 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，包括槳葉、接頭根部、槳葉模具、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，目前在中國已有四家工廠，員工為 1,000 人。歌美颯早在 2000 年就已經進入中國市場。

G52 風機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設計的 G5X-850 千瓦型風機是成熟的風機。G52 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。如表格 3.4 所示，歌美颯的 G52 型風機結合了雙饋異步和變速發電機技術。

表格 3.4：G52 技術參數

輪轂高度 .....	55 / 65 米
葉輪直徑 .....	52 米
額定功率 .....	850 千瓦
IEC 分級 .....	IA
型式認證 .....	TÜV Nord IA(2007)
切入風速 .....	4 米/秒
額定風速 .....	15 米/秒
切出風速 .....	25 米/秒
發電機 .....	雙饋異步
齒輪箱 .....	一級行星齒輪/二級斜齒輪
齒輪箱傳動比率 .....	1:61.74
功率調節方式 .....	變槳變速調節

<sup>2</sup> 國際風能發展報告(BTM)－2009 年 3 月刊

### 3.2.4 金風

金風是中國最大、歷史最長並且最有經驗的風機製造商。金風成立於1998年，從德國風機製造商獲得技術後開始經營其業務。2002年，從REpower獲得生產48千瓦和750千瓦風機技術的生產許可，在2003年又先後獲得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2000年至2007年間市場份額每年翻倍增長。2008年新裝機容量達到1,132兆瓦<sup>3</sup>，2008年底，它以18%的市場份額成為中國第二大風機供應商<sup>4</sup>。目前金風生產的風機從600千瓦到1,500千瓦不等。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。在河北省、浙江省和廣東省的三個工廠以及在北京和包頭（內蒙古）的兩個產品中心構成了金風在中國的大規模生產基地。

早期金風S50模型（於表格3.5概述）基於REpower的750千瓦風機技術。這項技術由德國廠商授權，但在歐洲市場逐步被更大規模額定功率的兆瓦級風機所替代。儘管因為定槳而無法控制速度進而無法控制發電量，使得這項技術略顯陳舊，但是我們仍然認為它是成熟可靠的。

表格 3.5： 金風 S50 技術參數

輪轂高度 .....	50 米
葉輪直徑 .....	50 米
額定功率 .....	750 千瓦
IEC 分級 .....	IA
型式認證 .....	Germanischer Lloyd IA
切入風速 .....	3.5 米/秒
額定風速 .....	15 米/秒
切出風速 .....	25 米/秒
發電機 .....	鼠籠式
齒輪箱 .....	二級：一級行星齒輪和一級圓形齒輪
齒輪箱傳動比率 .....	1:70.022
功率調節方式 .....	定槳系統，沒有速度控制

### 3.2.5 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一，2008年風機裝機容量達到1,403兆瓦<sup>5</sup>。在2008年底，華銳以22%的市場份額成為中國市場最大的風機供應商<sup>6</sup>。目前，華銳生產基地設在大連，同時正在包頭（內蒙古）、鹽城（江蘇省）和酒泉（甘肅省）建設更多的工廠。

<sup>3</sup> 國際風能發展報告(BTM)－2009年3月刊

<sup>4</sup> 2008-2009年全球及中國風電行業研究報告

<sup>5</sup> 國際風能發展報告(BTM)－2009年3月刊

<sup>6</sup> 2008-2009年全球及中國風電行業研究報告

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。表格 3.6 給出了華銳 SL1500/77 風機的技术參數。

表格 3.6： 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 分級	IIIA
型式認證	Germanischer Lloyd IIIA
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
齒輪箱	兩級行星齒輪和一級直齒輪
齒輪箱傳動比率	1:100.4
功率調節方式	電磁變槳

SL1500/77 風機採用三槳葉、水平軸、雙饋、變槳變速主動偏航系統。低溫型 SL1500 風機的運行溫度範圍為 -30 °C 到 +45 °C，生存溫度範圍為 -45 °C 到 +45 °C。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，華銳在生產耐用風機方面積累了豐富的經驗。

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

如前所述，華銳與德國製造商聯合開發風機技術。因此，我們認為華銳的系列風機技術風險較小，並且設計和生產過程是符合行業普遍標準的。

### 3.2.6 東方汽輪機廠（東方汽輪機公司）

東方汽輪機廠（東汽）成立於 1966 年，目前是中國最大的工業企業之一，參與研究、設計和生產發電廠的大型蒸汽輪機和燃氣輪機。公司位於中國四川省德陽市。目前，東汽的傳統汽輪機年產量總計 14,000 兆瓦。經過 38 年的發展，東汽具備生產小到 0.75 兆瓦、大至 1,000 兆瓦的蒸汽輪機和大型燃氣輪機的生產能力。

目前，東汽在天津的全資附屬公司東汽集團天津風能技術有限公司（「東汽天津」）設立了 1.5 兆瓦 FD70B 和 FD77B 風機的生產線。東汽天津從德國 REpower 公司獲得了在中國生產 REpower 風機的許可。REpower 公司先後生產了上百台相同設計的風機，目前在歐洲市場，該技術逐步被大容量兆瓦級風機代替。儘管該技術相對陳舊，但我們仍認為它是成熟可靠的。

東汽天津計劃於 2010 年生產 300 台 1.5 兆瓦和 100 台 2.5 兆瓦風機。東汽天津的長期計劃是提高生產能力，以實現年產量為 600 台 1.5 兆瓦和 200 台 2.5 兆瓦風機。

表格 3.7 列出東汽天津生產風機的技術參數。

表格 3.7： FD77A、FD70B/FD77B 風機技術參數

	FD77A	FD77B	FD70B
輪轂高度	61.5 米	61.5 米	65.0 米
葉輪直徑	77 米	77 米	70 米
額定功率	1,500 千瓦	1,500 千瓦	1,500 千瓦
IEC 分級		IIA	IIA
型式認證		Germanischer Lloyd	Germanischer Lloyd
		IIA	IIA
切入風速	3 米/秒	3 米/秒	3.5 米/秒
額定風速	12.5 米/秒	12.0 米/秒	13.0 米/秒
切出風速	20 米/秒	20 米/秒	25 米/秒
發電機	異步雙饋	異步雙饋	異步雙饋
齒輪箱	三級混合平行 和行星齒輪	三級混合平行 和行星齒輪	三級混合平行 和行星齒輪
齒輪箱傳動比率	1:104	1:104	1:94.7
功率調節方式	電動變槳	電動變槳	電動變槳

### 3.3 風電場運行狀況－可用率和發電量

除承德圍場禦道口風電場外，莫特麥克唐納訪問了所有代表性風電場並與當地項目團隊的技術人員進行了討論，以檢查資產狀況，更好的了解運行規程和管理結構，以及收集各風電場的運行數據。

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

#### 3.3.1 康保風電場一期

康保風電場位於中國河北省張家口地區，距離康保縣縣城約10公里。該風電場兩期項目，由公司控股並運行。一期風電場額定功率為 30 兆瓦，包括 40 台金風 S50 型 750 千瓦風機，於 2006 年 11 月投入運行。

##### 3.3.1.1 發電量和可用率

風電場建設在壩上草原，為低山區域。一期風電場內地勢較高，地形相對簡單，海拔從1,463米至1,694米不等。沒有改變風況因素的顧慮，例如遮蔽、溝壑或較大的斜坡。氣候非常寒冷，多年平

均氣溫為 $1.7^{\circ}\text{C}$ 。這些因素可能導致槳葉結冰從而影響風機的性能。對於風電場的運行，我們沒有顧慮。

一、二期項目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、宿舍和其他現場設施。無功補償裝置分別位於兩個區域。

公司在現場辦公室聘請了一名風電場場長、六名運行人員和八名維護人員負責整個風電場的運行和維護工作。風電場建築和各項設施一流、維護狀況良好。

風電場道路較為平整，在冰雪天對運輸重型機械沒有影響。莫特麥克唐納團隊於1月份訪問現場時，我們能夠參觀控制中心辦公樓、現場設施及風機。

目前康保一期風電場40台金風S50風機正常運行。現場訪問過程中了解到一些維護方面的技術問題。自試運行以來，一個月出現過兩次液壓油漏油問題。維護人員通過加油來解決問題。並且一些風機輪轂需要更換，這也許是導致2008年4月和5月可用率低和全年平均可用率偏低的原因。

目前風電場由現場維護人員維護。採購金風機組時，供應商承諾提供服務維護協議時間為兩年半，於2009年5月到期。其中包括95%可用率的承諾（除了計劃內維護、因操作失誤導致的停機和廠商控制力之外的停機，如電網故障、惡劣天氣）以及對不足95%的違約賠償。違約賠償根據風機價格計算，不高於總合同額的15%。在服務協議中，對公司人員的培訓包括一人現場的四周培訓和四人在工廠內的四周培訓。目前現場人員承擔起一期風電場的運行和維護工作，並根據全風風機維護規程制定了六個月定期運行維護制度。我們看到現場保存常用備品備件，大的部件可在短時間內配送到現場。康保自我設定了可用率為95%的目標，而實際可用率將高於預期。

公司提供的一期運行數據包括2007至2009年月發電量和可用率，如表格3.8所示。實際安裝的風機類型與可行性研究報告不完全一樣。原計劃安裝35台850千瓦輪轂高度為65米的風機，可行性研究中的發電量預測也是基於該種風機。公司解釋改變機型的原因是原設計機型的貨源不足。儘管莫特麥克唐納對於金風S50-750千瓦風機適用性沒有顧慮，但根據國際最佳實踐，我們建議在決定調整到40台750千瓦輪轂高度為50米風機的方案時，最好重新進行包括風機微觀選址在內的發電量預測。

可行性研究報告中預測年淨發電量為65.0吉瓦時／年。2007年及2008年實際報告的發電量和可用率參見下文表格3.8，這個數據顯示年實際淨發電量低於預計發電量值近10%。如下文所述，2009年發電量上升，我們預計未來的發電量將與預測發電量一致。

我們分析了一期風電場2007年至2009年的月發電量記錄。如前所述，風電場在2008年的兩個月因更換輪轂而導致了低可用率，致使全年可用率為92.9%，功率因素為21.6%，比預期的要低。但是，2009年平均可用率回升，並超過95%的保證可用率。由於風電場出現相對較高的風速，2009年的功率因素有所提高。

在現場訪問時，部分風機因電網調度要求自早六點到晚五點停機。我們被告知當地電網公司在大風氣候可能會限制風電場的出力。如果沒有電網公司對風電場的限制，年均發電量可能會更高。

表格 3.8：康保臥龍兔山風電場一期運行數據

	平均可用率	總上網發電量 (兆瓦時)	可利用小時	功率因素	70 米高平均風速 (米/秒)
2009 年 . . . . .	98.5%	68,019	2,267	25.9%*	7.86 (1 月 - 9 月)
2008 年 . . . . .	92.9%	56,702	1,890	21.6%	7.73
2007 年 . . . . .	98.4%	59,500	1,983	22.6%	7.22

\* 包括少部分二期 2009 年 10 月和 11 月發電量 (二期試運行階段)

### 3.3.1.2 場內電氣接線及升壓站

風電場裝有 40 台金風 750 千瓦風機。每台風機經 XLPE 交聯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兩回 35 千伏架空線匯集輸出。其中一回架空線連有 23 台風機，另一回架空線連有 17 台風機。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。該升壓站包含 110 千伏和 35 千伏兩個電壓等級，均採用單母線接線方式。兩回 35 千伏匯集線路連接至升壓站 35 千伏母線，所匯集電能經由一台 50 兆伏安，121/36.5 千伏升壓變壓器升壓至 110 千伏母線。該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。該變壓器的容量及電壓調節能力均能滿足風電場電能輸出的需求。

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，與大多數中國風電場所採用的繼電保護模式類似。各母線短路容量均在斷路器承受範圍以內。風電場配置有避雷裝置及雷電過電壓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。

### 3.3.2 康保風電場二期

康保風電場二期位於中國河北省張家口地區，距離康保縣縣城約 10 公里。該風電場總裝機容量為 49.5 兆瓦，包括 33 台 GE SCWE 1,500 千瓦 SLE 風機。在現場訪問時，二期風電場已於 2009 年 11 月開始進入試運行情。風電場在 2010 年 1 月投入商業運行。

#### 3.3.2.1 發電量和可用率

風電場建設在壩上草原，為低山區域。二期風電場內地勢較高，地形相對簡單，海拔從 1,446 米至 1,574 米不等。沒有改變風況因素的顧慮，例如遮蔽、溝壑或較大的斜坡。氣候非常寒冷，氣溫長

期低於零攝氏度。這些因素可能導致槳葉結冰從而影響風機的性能。對於風電場的運營，我們沒有顧慮。

一、二期項目的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、宿舍和其他現場設施。無功補償裝置分別位於兩個區域。二期風電場將由相同的一期運維人員進行運營和維護。風電場建築和各項設施一流、維護狀況良好。

風電場道路較為平整，在冰雪天氣下對現場訪問沒有受到任何影響。莫特麥克唐納團隊於1月份訪問現場時，我們能夠參觀控制中心辦公樓、現場設施及風機。

目前康保二期33台GE1.5sle風機由GE技術人員進行測試。公司與GE簽訂了自試運營期起為期一年的服務維護協議，它包括95%可用率的擔保(除了計劃內維護和廠商控制力之外的停機，如惡劣天氣狀況)以及對不足95%的違約賠償。違約賠償將等於收入損失。一年之後，由公司承擔運營維護工作。我們得知已有兩名員工在德國參加培訓，並會將他們學到的知識傳授給現場運維人員。

因為二期風電場目前處於試運營期，只有2009年12月和2010年1月的運營數據，包括月發電量和可用率，如表格3.9所示。試運營期的運營數據取決於調試工作和對一般故障的處理，對未來的性能評估沒有很好的參考價值。

可行性研究中對輪轂高度為80米的1,500千瓦風機預計年淨發電量為118.4吉瓦時/年。評估中較大的損耗估計可能彌補風資源分析的不足之處。目前沒有足夠的發電量數據驗證預測，但是在我們進行評估時，公司提供的兩個月數據符合預期。

在現場訪問當天，部分風機因電網調度從早上六點到下午五點停機。我們被告知當地電網公司在在大風氣候有時可能會限制風電場的出力。項目公司不能夠提供電網限制的詳細細節，但是保證對風電場性能的影響非常小，並計算在可用率中。

表格 3.9： 康保臥龍兔山風電場二期運營數據

	2009年12月	2010年1月
平均可用率.....	95.1%	98.7%
總上網發電量（兆瓦時）.....	14,034.8	10,705.4
可利用小時.....	283	216
功率因素.....	38.1%	29.1%

### 3.3.2.2 場內電氣接線及升壓站

風電場裝有33台GE 1.5兆瓦風機。風電場一期和二期由同一家設計院進行設計，因此在場內電氣接線非常類似。每台風機經電纜連接至風機升壓變壓器。風機發出的電能由兩回架空導線輸出，其中一回導線連有17台風機，另一回導線連有16台風機。每回導線均與自身的35千伏架空匯集線連接。每回導線的載流能力均能滿足所連風機滿發時電能輸出的要求。

風電場二期同風電場一期經同一座110千伏升壓站向電網輸出電能。升壓站新建一段35千伏母線，並擴建一台50兆伏安，115/36.75千伏變壓器，供風電場二期35千伏匯集線路使用。同風電場一期升壓變壓器相同，二期擴建的變壓器同樣配置有載調壓分接頭，能夠在90%到110%的範圍內調節變壓器高壓側的電壓。該升壓變壓器的容量及調壓能力均能滿足風電場電能輸出的需求。

風電場採用了適當的繼電保護系統，包括單元保護和過電流保護等，與大多數中國風電場所一般採用的繼電保護模式類似。各母線短路容量均在不同位置的斷路器承受範圍以內。風電場配置有避雷裝置及雷電過電壓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。

### 3.3.3 沽源風電場一期

沽源風電場位於中國河北省張家口地區，距離沽源縣縣城大約10公里。風電場包括兩期項目，都由公司控股和運營。一期風電場為30.6兆瓦，包括36台歌美颯G52型850千瓦風機。一期風電場於2007年10月投入運營。

#### 3.3.3.1 發電量和可用率

風電場建於狼尾巴山以北，為低山脈地區。風電場一期地勢較高，起伏較大，海拔高度從1,450米至1,620米不等。現場為草地，附近有防護林。氣候非常寒冷，氣溫長期低於零攝氏度。這些因素可能導致槳葉結冰從而影響風機的性能。

風電場一、二期的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、宿舍和其他現場設施。公司為整個風電場的運營和維護聘請了一名場長、六名運營人員和八名維護人員。風電場建築和設施一流、維護狀況良好。

風電場道路較為粗糙，在冰雪天氣下可能對運輸重型機械產生影響。莫特麥克唐納團隊於1月份訪問現場時，我們能夠參觀控制中心辦公樓和現場設施，但是沒有能夠到達風機位置。

目前沽源風電場一期36台歌美颯G52風機正常運營。現場訪問過程中了解到一些較小的技術維護問題。一些傳感器因被沙塵暴污染而引起風機停機。這個問題通過清洗或者更換傳感器來解決。另外，我們還得知風機的加熱系統問題引起保險絲熔斷。現場工作人員告訴我們歌美颯已經在質保期間解決了這個問題，這種情況沒有再發生。G52風機的設計是較為成熟的，可能這些問題是由於國內生產商為歌美颯提供的低質量零件所引起的，將來也有可能發生類似的小故障，但我們對於長期運營沒有重大顧慮。

目前風電場由現場維護人員維護。與歌美颯的服務維護協議時間為兩年，於2009年7月到期。它包括95%可用率的擔保(除了計劃內維護、因操作失誤導致的停機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。違約賠償將等於收入損失。我們得知之前的現場人員參加了歌

美颯的為期一個月的培訓，並在去年將他們的知識傳授給了目前的現場人員。現場人員承擔一期風電場的運營和維護工作。我們看到現場保存常用備品備件（耗材及小型部件），公司表示主要部件可在收到通知後較短時間內配送到現場。這加強了我們對零部件供應的信心。沽源設定了目標可用率為95%，預期實際數字將更高。

公司提供了一期的運營數據，包括月發電量和可用率，如表格3.10所示。這包括了一期風電場自投入運營以來的29個月數據。因此我們可以將實際發電量與預測發電量進行比較，需要指出的是可行性研究報告是基於35台風機對發電量進行預測，而實際風電場運營有36台風機。

我們對一期2008至2009年年發電量進行了分析。平均風電場可用率在2008年和2009年分別為95.9%和96.9%，都高於96%的保證值。每年總發電量如表格3.10所示。

我們在現場訪問時得知當地電網公司在大風季節有時可能會對風電場的出力進行限制，可能造成少量的發電量損失。

表格 3.10： 沽源五花坪風電場一期運營數據

	2008年	2009年
平均可用率	95.9%	96.9%
總上網發電量（兆瓦時）	69,256	75,609
可利用小時	2,263	2,471
功率因素	25.80%	28.2%
70米高平均風速（米/秒）	7.24（1月－11月）	7.83（2月－10月）

### 3.3.3.2 場內電氣接線及升壓站

風電場裝有36台歌美颯850千瓦風機。每台風機經XLPE銅芯交聯電纜連接至風機升壓變壓器。每根電纜的載流能力能夠滿足每台風機滿發時的電能輸出的需求。

風機發出的電能由兩回35千伏架空線匯集。其中一回架空線連有19台風機，另一回架空線路連有17台風機。每回線路導線的載流能力均能滿足所連風機滿發時電能輸出的需求。

風電場建有一座110千伏升壓站。該升壓站包含110千伏和35千伏母線，均採用單母線接線方式。兩回35千伏匯集線路連至升壓站35千伏母線處，所匯集電能經由一台50兆伏安，121/36.5千伏升壓變壓器升壓至110千伏母線。該升壓變壓器配置有載調壓分接頭，能夠在90%到110%的範圍內調節變壓器高壓側的電壓。該升壓變壓器的容量及調壓能力均能滿足風電場電能輸出的需求。

風電場採用了適當的繼電保護系統，包括單元保護和過電流保護等，與大多數中國風電場所一般採用的繼電保護模式類似。各母線短路容量均在不同位置的斷路器承受範圍以內。風電場配置有避雷裝置及雷電過電壓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。

### 3.3.4 沽源風電場二期

沽源風電場二期位於中國河北省張家口地區，距離康保縣縣城約 10 公里。裝機容量為 49.5 兆瓦，包括 33 台 GE SLE1,500 千瓦風機。現場訪問當天，二期風電場已自 2009 年 12 月起進入試運營期。商業運營日期預計在 2010 年 1 月。

#### 3.3.4.1 發電量和可用率

風電場建設在壩上草原，為低山區域。二期風電場內地勢較高，起伏較大，現場為草地，附近有防護林。氣候非常寒冷，氣溫長期低於零攝氏度。這些因素可能導致槳葉結冰從而影響風機的性能。對於風電場的運營，我們沒有顧慮。

風電場一、二期的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、宿舍和其他現場設施。風電場二期將由與一期相同的部分運營及維護人員進行運營和維護。風電場建築和設施一流、維護狀況良好。

風電場道路較為粗糙，在冰雪天氣下可能影響重型機械運輸。莫特麥克唐納團隊於 1 月份訪問現場時，我們能夠參觀控制大樓、現場設施，但是由於受天氣狀況限制沒有達到風機位置。

目前沽源風電場二期 33 台 GE1.5sle 風機由 GE 技術人員進行測試。與康保二期相同，公司與 GE 簽訂了自運營期起為期一年的服務維護協議，它包括 95% 可用率的擔保（除了計劃內維護和廠商控制力之外的停機，如天氣狀況）以及對不足 95% 的違約賠償。違約賠償將等於收入損失。一年之後，由公司承擔運營維護工作。沽源設定了目標可用率為 95%，預計會高於這個數值。

因為風電場二期目前處於試運營期，只有 2009 年 9 月至 12 月的運營數據，包括月發電量和可用率。因此沒有足夠的數據對風電場年產量進行有價值的評價，我們的評估主要是基於對可行性研究的審查。

我們對沽源風電場二期的可行性研究中風資源評估部分進行的審查，其計算過程遵循中國國家標準 GB/T 18709-2002。公司於 2005 年在現場安裝了一個 40 米測風塔(#0021)，並在離現場兩公里處安裝了一個 70 米測風塔(#0048)。這個評估是基於 #0021 測風塔的 30 個月數據和 #0048 測風塔的 12 個月數據。可行性研究中計算的 70 米高平均風速為 7.4 米/秒，顯示出良好的平均風速狀況。

可行性研究中調查了三個不同類型的 1,500 千瓦風機，其輪轂高度也都不相同。

風電場整體效率估計為 62%，年淨發電量預測為 116.2 吉瓦時。如表格 3.11 所示，初始的發電量與預期相符。

表格 3.11： 沽源五花坪風電場二期運營數據

	2009年9月	2009年10月	2009年11月	2009年12月
平均可用率.....	—	—	—	99.8%
總上網發電量（兆瓦時）.....	186.3	1287.1	1535.7	13836.8
利用小時數.....	4	26	31	280
功率因素.....	0.6%	3.5%	4.3%	37.6%

### 3.3.4.2 場內電氣接線及升壓站

沽源風電場二期裝有 33 台 GE 1.5 兆瓦風機。風電場一期和二期由同一家設計院進行設計，因此場內電氣接線十分類似。每台風機通過電纜連接至風機升壓變壓器。風機發出的電能通過兩回架空匯集線路輸出。其中一回線路連有 18 台風機，另外一回線路連有 15 台風機。每回線路與自身的 35 千伏架空匯集線路相連。每回線路的載流能力能夠滿足所連風機滿發電能輸出的需求。

風電場二期同一期經同一座升壓站向電網輸出電能。該升壓站本期擴建一段 35 千伏母線，本期的兩回 35 千伏電能匯集線路均連接至該母線。該 35 千伏母線同一期 35 千伏匯集母線相連，母線分段斷路器為常開狀態。本期風機發出的電能經 35 千伏架空線匯集後由一台新擴建的 50 兆伏安，115/36.75 千伏變壓器升壓至 110 千伏後向電網輸出。同一期升壓變相同，本期擴建的變壓器配置有載調壓分接頭，能夠在 90% 到 110% 範圍內調節升壓變壓器高壓側電壓。該變壓器容量和電壓調節能力均能滿足風電場電能輸出的需求。

風電場採用了適當的繼電保護系統，包括單元保護和過電流保護等，與大多數中國風電場所一般採用的繼電保護模式類似。各母線短路容量均在不同位置的斷路器承受範圍以內。風電場配置有避雷裝置及雷電過電壓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。

### 3.3.5 東辛營風電場

東辛營風電場位於中國河北省張家口地區，距離沽源縣縣城約 37 公里。風電場目前處於建設期。其裝機容量將為 199.5 兆瓦，包括 133 台東方汽輪機公司 FD77B 1,500 千瓦風機。商業運營期預計在 2011 年。我們訪問了現場辦公室和升壓站，但因為下雪沒有能夠進入到風電場內部。我們的評估主要基於文件審查和與現場項目建設團隊的交流。

#### 3.3.5.1 項目施工和可用率

風電場建設在沽源縣西南山區。風電場地勢較高、起伏較大，海拔高度從 1,650 米至 1,860 米不等。氣候非常寒冷，氣溫長期低於零攝氏度。

一座控制中心建築和一座辦公樓建築位於風電場升壓站附近。控制中心、辦公室、備件倉庫、宿舍和其他現場設施分佈在兩座樓內。風電場建築和設施一流、維護狀況良好。

風電場目前處於建設期，預計於 2010 年開始運營。我們現場訪問時，施工工作已經因為冬季的到來而停工。因為非常寒冷的天氣，建設工作只能在 4 月至 12 月間展開。如表格 3.12 所示，公司給

我們提供了2009年下半年施工工作的關鍵里程碑列表。風機基礎、35千伏電纜基礎、杆塔建設和升壓站土建工作已報告完成。目前所有的施工工作按期進行。

表格 3.12：東辛營風電場 2009 年下半年施工里程碑

里程碑	預計完成日期	實際完成日期
133 風機基礎	2009 年 11 月 15 日	2009 年 7 月 27 日
133 箱式變壓器基礎	—	2009 年 8 月 28 日
升壓站土建工作	2009 年 9 月 30 日	2009 年 9 月 30 日
杆塔基礎	—	2009 年 10 月 10 日
升壓站具備反向送電能力	2009 年 10 月 31 日	2009 年 10 月 31 日
35 千伏電纜基礎和六回杆塔建設	2009 年 11 月 30 日	2009 年 11 月 30 日 (完成 12 回杆塔建設)
杆塔建設	—	2009 年 12 月 16 日

我們得知風電場主要由以下三個合同商承擔建設：

表格 3.13：東辛營風電場主合同商

合同公司	職責
河北電力建設第一工程公司	220 千伏升壓站土建工作和 35 千伏電纜、 50 台風機基礎和現場道路施工
湖北宏源電力工程股份有限公司	83 台風機基礎
張家口輸變電工程總公司	所有電氣設備基礎和安裝（例如主變壓器）

我們沒有獲得關於合同商業績記錄的足夠信息來證明施工質量。

133 台風機全部由東方汽輪機公司提供，並將於 2010 年 7 月底運送至現場。上海泰勝和青島武曉將提供 133 座杆塔。133 台箱式變壓器的供應商已確定。

項目施工團隊所描述的管理策略較為合理，與我們見到的中國其他項目採用的方法類似。項目施工團隊每週與合同商和施工監理公司—河北電力項目管理有限公司召開會議。我們看到了其中一次會議的會議記錄。會議上，合同商匯報周施工進度、計劃和主要問題。項目施工團隊在會上提出任何與進度、質量和安全有關的問題。合同商上交的月施工報告也會提交到母公司以監督項目進展情況。在訪問後，公司提供了補充資料，包括載有 2008 年及 2009 年活動的項目計劃，以及建設報告樣本，加強了我們對該項目管理上的信心。

因為風電場目前處於施工期，沒有足夠的數據對風電場年產量進行有價值的評價，我們的評估主要是基於對可行性研究的審查。

我們對風電場的可行性研究中風資源評估部分進行的審查，其計算過程遵循中國國家標準GB/T 18709-2002。

公司在現場安裝了三座 10 米高測風塔和三座 70 米高測風塔。此評估是基於每座測風塔自 2006 年 5 月至 2007 年 4 月 12 個月的數據作出。可行性研究中計算的 65 米高處平均風速在三座 70 米測風塔處分別為 7.72 米/秒、6.77 米/秒和 7.23 米/秒。

風電場佔地面積較大，現場地形較為複雜，具有起伏較多的特點。測風塔位於風電場北部邊緣地區，比大部分風機位置海拔都低。我們認為更多的測風塔會提高測量準確性。

審查了附近參考站的參考數據以考察長期平均風速變化趨勢，但是我們沒有發現對現場數據的調整，而只是假定測量期間代表了長期平均狀況。

使用 WAsP 軟件推斷整個風電場平均風速。因為安裝了多個測風塔，我們認為國際最佳實踐是比較每個測風塔計算的預測發電量以驗證風力流動模型。而可行性研究中沒有採取這個方法，因此，我們認為計算結果準確性低於歐洲同類計算結果。

可行性研究報告為多個不同風機機型計算了風機佈置圖和預測發電量，用於發電量預測的功率曲線沒有標明數據來源。風電場實際採用東方汽輪機公司 1,500 千瓦風機，輪轂高度為 61.5 米。但可行性研究中的發電量評估只考慮了輪轂高度為 65 米的 1,500 千瓦風機。

可行性研究中總項目效率估計為 74.3%，較為保守，彌補了一些不足。可行性研究中計算了淨發電量為 405.7 吉瓦時/年，等值於 23.2% 的功率因素。

在其他項目中，保守的項目效率估計彌補了計算平均風速時的不準確性。

在項目運營期間，運營和維護團隊將替代目前的項目施工團隊。與東方汽輪機公司簽訂的供貨協議包含了兩年的質保期，可用率保證值為 95%。發電量預測中假定可用率為 95%，另外還有因惡劣氣候（寒冷天氣）帶來的損耗因子設定為 98%。估計在冬季氣候寒冷、難以到達現場而影響風電場的可用率。我們了解到公司採取措施保證現場道路暢通，因此目前假定的可用率是合理的。與東方汽輪機公司的供貨協議中還包括了關於運營和維護的培訓。

### 3.3.5.2 場內電氣接線及升壓站

東辛營風電場裝有 133 台東方汽輪機公司生產的 FD77B 型風機。每台風機通過三回並聯電纜同風機升壓變壓器相連。三回電纜的總容量能夠滿足單台風機滿發時電能輸出的要求。

風機發出的電能由 12 回 35 千伏架空線路匯集輸出。35 千伏匯集系統僅由架空線組成。每回線路採用相同的導線型號，其載流能力能夠滿足各回線路所連風機滿發時電能輸出的要求。

風電場建有一座 220 千伏升壓站。風機發出的電能經由 12 回 35 千伏匯集線路匯集至升壓站 35 千伏母線。35 千伏母線採用單母線分段接線，母線分為兩段，分別接入六回匯集線路。每段母線經一台 120 兆伏安，242/38.5 千伏變壓器同升壓站 220 千伏母線相連。變壓器能夠滿足滿發電能輸出的要求，同時提供足夠的電壓調節能力。

風電場採用了適當的繼電保護系統，包括單元保護和過電流保護等，與大多數中國風電場所一般採用的繼電保護模式類似。各母線短路容量均在不同位置的斷路器承受範圍以內。風電場配置有避雷裝置。風電場設備狀況良好，無明顯問題。

### 3.3.6 海興風電場

49.5 兆瓦海興風電場位於中國東部沿海滄州地區，於 2008 年 9 月開始運營。我們的評估基於 2010 年 1 月 20 日的現場訪問，與風電場操作人員的交流和相關文件的審查。

#### 3.3.6.1 發電量和可用率

儘管與居民區鄰近，但風電場受益於與其直接接壤的鹽田地形，該地形向東一直伸到海濱，風況較佳。主風向為西南風向，但是現場有時也會出現從海邊吹來的強勢東風寒潮，富含能源。鄰近的黃驊市發展迅速，但是風電場附近的不利地形可能阻止該城市向風電場方向發展。

風電場目前裝機容量為 49.5 兆瓦，包括 33 台東方汽輪機公司 1.5 兆瓦風機，輪轂高度為 61.5 米，葉輪直徑為 77 米。風電場可能擴展到 200 兆瓦。現場包括控制中心辦公樓和升壓站。控制中心辦公樓包括控制中心、保護系統、會議室、宿舍和辦公室。升壓站安裝在控制中心辦公樓之外，包括一個 50 兆伏安變壓器。附近電氣設備包括無功補償裝置。場內電纜為架空線路，風機變壓器和開關位於風機外部。高鹽鹼環境增加腐蝕的可能性。

預建設時期的年平均發電量由河北省電力勘測設計研究院進行計算並包括在可行性研究報告中。

我們注意到風資源評估中採用的一些假設可能影響平均風速預測的準確性。

在公司其他項目中，對項目效率的保守估計彌補了平均風速計算的不準確性。但是在該項目中，可行性研究中的損耗假設與歐洲一般採用的假設一致，並不是保守的估計。

可行性研究中提出的預測年淨發電量為 109.5 兆瓦時（功率因素為 25.3%）。2009 年記錄的發電量為 92.1 吉瓦時，功率因素為 21.2%，如表格 3.14 所示。

表格 3.14：海興風電場運營數據

	2009 年
平均可用率 .....	96.0%
總上網發電量（兆瓦時） .....	92,112
利用小時數 .....	1,860
功率因素 .....	21.2%
70 米高平均風速（米/秒） .....	5.7（1 月－9 月）

2009 年記錄的輪轂高度年平均風速為 5.5 米/秒。該風速是所有風機機艙內傳感器記錄風速數值的平均值，因此受葉輪和其他風機的尾流影響。

我們沒有可靠的參考站來關聯和比較 2009 年數據，用以確定 2009 年是代表高風速年還是低風速年。作為替代，我們從最近的國家大氣科學中心數據點提取了 15 年的風速數據，srf 42 米的數據集顯示 2009 年風速稍微低於平均風速年，而 u10 數據集顯示 2009 年為平均風速年。國家大氣科學中心月平均風速數據和機艙傳感器記錄的風速相關，表明國家大氣科學中心數據集能較好的反映風電場風力狀況。我們的分析並不是結論性的，但是表明 2009 年的風速接近長期平均風速。

2009 年報告的平均可用率 95.9% 是比較好的數值，特別是對第一個運營年來說。在這段時期內，東方汽輪機公司發現了發電機的一個缺陷導致召回了這些發電機。我們到現場訪問時，發電機正在進行替換計劃，其中一半已經替換完畢。其他維護問題還包括齒輪箱漏油問題，該問題已經在我們現場訪問前得到解決。由於齒輪箱的漏油會流入偏航控制系統，導致該系統的損害，可能會失去偏航控制功能。報告顯示，當這種情況發生時，風機會自動停機，而不會運轉速度過快或導致其他的損壞。我們認為這已經不是重大問題。

東方汽輪機公司在現場有一個備件倉庫，供這個區域使用。這個倉庫只保存了小配件，但是為海興風電場的運營提供了很好的支持。海興運營人員也有備件倉庫，保存易耗品和小部件。如需要，大部件可快速運達現場。

目前風電場的運營還在東方汽輪機公司的可用率保證協議下，協議將於 2010 年 10 月到期。在這期間，可用率保證值為 95%。東方汽輪機公司也負責海興運營人員的培訓工作。由於初期故障問題已得到解決，且參與到大範圍主要部件更換等維護工作將給海興風電場技術人員帶來寶貴的經驗，我們希望 2010 年 10 月後，海興風電場運營團隊能維持目前良好的風機可用率狀況。相應的，公司設定目標可用率為大於 95%。

根據第一年的運營狀況，公司為海興風電場設定年發電量目標為 84.0 吉瓦時。我們認為這是很

容易達到的，並預計2009年的發電量93.8吉瓦時能代表將來的年平均發電量，儘管將來風電場的進一步擴建可能會稍微降低現階段風電場運營數據。

### 3.3.6.2 場內電氣接線及升壓站

海興風電場裝有33台東方汽輪機公司生產的FD77A型1.5兆瓦風機。每台風機經由一回XLPE銅芯交聯電纜連接至風機升壓變壓器。該電纜的載流能力能夠滿足各單台風機滿發時電能輸出的要求。

風機發出的電能經由三回35千伏架空匯集線路匯集。每回線路的載流能力能夠滿足所連風機滿發時電能輸出的要求。

風電場建有一座110千伏升壓站。高壓側110千伏母線和低壓側35千伏母線均採用單母線接線方式。三回35千伏匯集線路將電能匯集至升壓站35千伏母線，繼而由一台50兆伏安，115/36.75千伏變壓器升壓至110千伏母線。該升壓變壓器配置有載調壓分接頭，能夠在額定電壓的90%到110%的範圍內控制變壓器高壓側電壓。該變壓器的容量及電壓調節能力均能夠滿足風電場向電網輸送滿發出力的要求。

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，與大多數中國風電場所採用的繼電保護模式類似。各母線短路容量均在斷路器承受範圍以內。風電場配置有避雷裝置。風電場設備狀況良好，無明顯問題。

### 3.3.7 崇禮風電場一期

崇禮清三營風電場位於中國河北省張家口地區，距離崇禮縣縣城約38公里。風電場包括兩期項目，都由公司控股和運營。一期風電場為49.3兆瓦，包括58台歌美颯G52型850千瓦風機。一期風電場於2008年11月投入運營。

#### 3.3.7.1 發電量和可用率

風電場建於清三營鄉清水河沿岸山脈，為中低山脈地區。風電場一期地勢較高，起伏較大，海拔高度從1,700米至2,043米不等。氣候非常寒冷，氣溫長期低於零攝氏度。這些因素可能導致槳葉結冰從而影響風機的性能。對於風電場運營，我們沒有顧慮。

風電場一、二期的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、宿舍和其他現場設施。公司在現場辦公室聘請了一名場長、六名運營人員和九名維護人員負責整個風電場的運營及維護工作。風電場的建築和設施一流、維護狀況良好。

風電場道路較為粗糙，在冰雪天氣下可能對運輸重型機械產生影響。莫特麥克唐納團隊於一月份訪問現場時，我們能夠參觀控制中心辦公樓和現場設施，但是因為現場下雪結冰而沒有能夠到達風機位置。

目前崇禮風電場一期58台歌美颯G52風機正常運營。現場訪問過程中了解到一些維護方面的技術問題，如發現一個風機槳葉技術問題，現已由歌美颯公司解決。

在檢查當天，35千伏架空線路出現故障。原因是電纜的拉力問題。電纜沒有根據設計張力安裝，而在風速接近20米/秒時，導致電纜劇烈震動搖晃而出現故障。在後來與維護人員交談的過程中，我們得知他們正通過按正確的設計張力安裝以解決該問題。我們還注意到位於中央控制中心的SCADA系統不能正確顯示發電量數據，這是由於通信光纜出現故障。運營人員已經將該問題報告給生產廠商。目前，他們通過安裝在電網接入點的一個電錶來監控發電量。這些都是較小的技術問題，我們認為對風電場的運營沒有太大影響。

目前風電場在與歌美颯的服務維護協議期內，協議期為兩年，將於2010年11月到期。它包括95%可用率的承諾(除了計劃內維護、因操作失誤導致的停機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。違約賠償根據電量損失計算。我們認為合同條款是滿足這類項目要求的。我們得知之前的十多名現場人員參加了歌美颯提供的為期數周的培訓。協議到期後，現場人員將承擔一期風電場的運營和維護工作。我們看到現場保存常用備品備件，公司人員表示大的部件可在短時間內配送到現場，這增強了我們的信心。

公司提供的一期運營數據包括月發電量和可用率，如表格3.15所示。這包括了風電場一期自投入運營以來的12個月數據。因此我們可以將實際發電量與預測發電量進行比較。

我們對崇禮風電場一期的可行性研究報告中風資源評估部分進行審查，其計算過程遵循中國國家標準GB/T 18709-2002。

公司為預建設期進行可行性研究安裝了三座測風塔，包括一座位於現場海拔高度1,737米的10米高測風塔(#0013)，測量時期從2004年到2006年；一座位於附近的40米高測風塔(#0011)，海拔高度1,567米，測量時期從2004年至2005年；以及一座位於附近的10米測風塔(#0012)，海拔高度1,691米，測量時期從2004年到2006年。風資源評估是基於#0013測風塔的18個月數據、#0011測風塔的15個月數據和#0012測風塔的18個月數據展開的。可行性研究報告中計算的#0012測風塔處55米高和65米高平均風速介於7.5米/秒至10.7米/秒之間。而#0012測風塔記錄的10米高度風速非常高，與另外兩個測風塔記錄不一致。我們認為現場平均輪轂高度風速更接近7.5米/秒。運營期間的數據記錄也支持了這個觀點。

儘管風電場實際只包含58台風機，發電量預測則考慮了81個風機位置。我們了解設計院使用這個方法是為最大裝機容量優化風機佈置圖，最終獲得最優風機位置。該方法的小缺陷是沒有考慮到尾流的影響。

項目效率假定為59%，比我們預計的要低，這是非常保守的估計。

風電場的淨發電量預測為 113.1 吉瓦時／年，非常接近 2009 年報告的發電量。

我們分析了風電場一期在 2009 年的年發電量記錄。風電場表現出較高的平均可用率 97.6%，高於 95% 的保證值。每年的總發電量如表格 3.15 所示。將實際發電量於本報告前文所述預測發電量相比較，我們能夠確認一期發電量與預期相符。

同樣的，我們也得知當地電網公司在大風季節可能會對風電場的出力進行限制。

表格 3.15： 崇禮風電場一期運營數據

	平均可用率	總上網發電量 (兆瓦時)	利用小時數	功率因素	40 米高平均風速 (米／秒)
2009 年 . . . . .	97.6%	119,046	2,415	27.6%	7.5 (1 月－9 月)
2008 年 . . . . .	—	—	—	—	7.5
2007 年 . . . . .	—	—	—	—	6.9

### 3.3.7.2 場內電氣接線及升壓站

崇禮一期風電場裝有 58 台歌美颯 G52 型 850 千瓦風機。每台風機通過一回 XLPE 銅芯交聯電纜連至風機升壓變壓器。該電纜的載流能力能夠滿足各單台風機滿發電能輸出的需求。

風機發出的電能經由三回 35 千伏架空匯集線路匯集。每回線路的載流能力能夠滿足所連風機滿發時電能輸出的要求。

風電場建有一座 110 千伏升壓站。高壓側 110 千伏母線和低壓側 35 千伏母線均採用單母線接線方式。三回 35 千伏匯集線路將電能匯集至升壓站 35 千伏母線，繼而由一台 50 兆伏安，115/36.75 千伏變壓器升壓至 110 千伏母線。該升壓變壓器配置有載調壓分接頭，能夠在額定電壓的 90% 到 110% 的範圍內控制變壓器高壓側電壓。該變壓器的容量及電壓調節能力均能夠滿足風電場向電網輸送滿發出力的要求。

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，與大多數中國風電場所採用的繼電保護模式類似。各母線短路容量均在斷路器承受範圍以內。風電場配置有避雷裝置。風電場設備狀況良好，無明顯問題。

### 3.3.8 崇禮風電場二期

崇禮風電場二期位於中國河北省張家口地區，距離崇禮縣縣城約 38 公里。額定容量為 49.3 兆瓦，包括 58 台維斯塔斯 V52 型 850 千瓦風機。其中二期的 29 台風機於 2009 年 3 月投入運營，其餘 29 台於 2009 年 6 月投入運營。

### 3.3.8.1 發電量和可用率

風電場建於張家口至沽源高速公路以西，為低山脈地區。風電場二期地勢較高，起伏較大，海拔高度從 1,463 米至 1,694 米不等。現場為草地或低窪，山上種有少量的樹木。氣候非常寒冷，氣溫長期低於零攝氏度。這些因素可能導致槳葉結冰從而影響風機的性能。對於風電場的運營，我們沒有顧慮。

風電場一、二期的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、宿舍和其他現場設施。風電場二期由與一期相同的運營和維護團隊進行運營和維護工作。風電場建築和設施一流、維護狀況良好。

風電場道路較為粗糙，在冰雪天氣下可能對運輸重型機械產生影響。莫特麥克唐納團隊於一月份訪問現場時，我們能夠參觀控制大樓和現場設施，但是沒有能夠到達風機位置。

目前 58 台維斯塔斯 V52 型 850 風機在維斯塔斯的服務維護協議期內，協議期為兩年，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，如惡劣天氣）以及對不足 95% 的違約賠償。違約賠償根據電量損失計算。兩年協議期後，公司將承擔服務維護工作。

我們獲得了運營數據，包括 2009 年月發電量和可用率，儘管風電場從 2009 年 3 月才開始運營。因此我們可以比較實際發電量和預測發電量。

我們對崇禮風電場二期的可行性研究報告中風資源評估部分進行審查，其計算過程遵循中國國家標準 GB/T 18709-2002。公司自 2005 年 9 月在現場安裝了一座 10 米高測風塔（#1），以及離現場 3 公里的一座 70 米高測風塔（#2）。評估基於 #1 測風塔的 18 個月數據和 #2 測風塔的 11 個月數據。可行性研究中計算的 55 米高度平均風速為 8.6 米/秒，顯示了較好的風力狀況。

現場地形較為複雜。這增加了風力流動建模的差異，可以由更嚴格的測量來減少這個差異。

風機佈置圖考慮了 85 個風機位置，而風電場實際只安裝了 58 台風機。我們了解設計院使用這個方法是為最大裝機容量優化風機佈置圖，最終獲得最優風機位置。該方法的小缺陷是沒有考慮到尾流的影響。

項目效率假定為 62.1%，這在歐洲來說是非常保守的估計，但我們認為這符合中國的普遍行業標準。

58 台 850 千瓦風機輪轂高度為 55 米，預測發電量為 109.0 吉瓦時/年。這比 2009 年實際發電量偏高。

我們對二期 2009 年年發電量進行了分析。自運營以來，風電場顯示了良好的平均可用率 99.26%，高於保證值 95%。2009 年總發電量如表格 3.16 所示。

表格 3.16： 崇禮風電場二期運營數據

	2009 年
平均可用率（7 月－12 月）	99.26%
總上網發電量（兆瓦時）	101,624
利用小時數	2,061
功率因素	23.5%

### 3.3.8.2 場內電氣接線及升壓站

崇禮風電場二期裝有 58 台維斯塔斯 V52 型 850 千瓦風機。每台風機通過一回 XLPE 銅芯交聯電纜連至風機升壓變壓器。該電纜能夠滿足單台風機滿發電能輸出的需求。

風機發出的電能經由兩回 35 千伏架空匯集線路匯集。每回線路的載流能力均能滿足所連風機滿發時電能輸出的要求。

風電場建有一座 110 千伏升壓站。高壓側 110 千伏母線和低壓側 35 千伏母線均採用單母線接線方式。兩回 35 千伏匯集線路將電能匯集至升壓站 35 千伏母線，繼而由一台 50 兆伏安，115/36.75 千伏升壓變壓器升壓至 110 千伏母線。該升壓變壓器配置有載調壓分接頭，能夠在額定電壓的 90% 到 110% 的範圍內控制變壓器高壓側電壓。該變壓器的容量及電壓調節能力均能夠滿足風電場向電網輸送滿發出力的要求。

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，與大多數中國風電場所採用的繼電保護模式類似。各母線短路容量均在斷路器承受範圍以內。風電場配置有避雷裝置。風電場設備狀況良好，無明顯問題。

### 3.3.9 蔚縣風電場一期

蔚縣風電場一期位於中國河北省張家口地區，距離蔚縣縣城約 50 公里。風電場包括兩期項目，由公司控股和運營。一期裝機容量為 49.5 兆瓦，包括 33 台東方汽輪機公司 FD70B 1,500 千瓦風機。風電場一期於 2009 年 1 月投入運營。

#### 3.3.9.1 發電量和可用率

風電場建於山頂的草原上。風電場一期地勢高而平坦，海拔高度從 1,900 米至 2,050 米不等。沒有改變風況因素的顧慮，例如遮蔽、溝壑或較大的斜坡。氣候非常寒冷，氣溫長期低於零攝氏度。這些因素可能導致槳葉結冰從而影響風機的性能。對於風電場運營，我們沒有顧慮。

風電場一、二期的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、宿舍和其他現場設施。公司在現場辦公室聘請了一名場長、14 名職工負責整個風電場的運營和維護工作。風電場建築和設施一流、維護狀況良好。

風電場道路較為平整，在冰雪天對重型機械運輸沒有影響。莫特麥克唐納團隊於1月份訪問現場時，我們能夠參觀控制中心辦公樓、現場設施和風機。我們得知公司在冬季使用掃雪機清理道路。

目前蔚縣風電場一期33台東方汽輪機公司FD70B風機正常運營。現場訪問過程中討論了一些技術問題。例如，存在計劃外停機，這是因為對新安裝技術缺乏了解，製造商的四名員工在現場進行故障原因調查和排除。備件運輸時間也存在問題，目前現場建設並使用了備品備件倉庫以解決一般故障問題。風電場場長表示，在他們對設備有了更好的了解之後，他們將儲備必要的戰略性備品備件以完善備品備件管理和故障處理。

目前風電場在與東汽的服務維護協議期內，協議期為兩年。它包括95%可用率的承諾（除了計劃內維護、因操作失誤導致的停機和廠商控制力之外的停機，如電網故障、惡劣天氣）以及對不足95%的違約賠償。違約賠償根據風機費用計算，並不高於合同總額的10%。我們得知七名現場人員參加了東方汽輪機公司提供的20天培訓。

公司提供了一期2009年運營數據，包括月發電量和可用率，如表格3.17所示。因此我們可以將實際發電量與預測發電量進行比較。

我們對蔚縣風電場一期的可行性研究報告中風資源評估部分進行粗略的審查，其計算過程遵循中國國家標準 GB/T 18709-2002。公司於2004年在現場安裝了一座40米測風塔(#0014)。評估基於#0014測風塔測量的15個月數據。可行性研究中計算的65米高度平均風速為8.3米/秒，風速情況較好。

總項目效率估計為67.5%，是保守的估計。淨發電量預測為118.4吉瓦時/年。

我們分析了風電場一期2009年的月發電量記錄。因為上述技術原因，風電場在2009年前幾個月的可用率較低，導致平均可用率為87%，發電量為92吉瓦時。一旦製造商解決了故障問題，使得可用率調整到保證值95%，年發電量可能達到約100吉瓦時。

表格 3.17： 蔚縣風電場一期運營數據

	平均可用率	總上網發電量 (兆瓦時)	利用小時數	功率因素	40米高平均風速 (米/秒)
2009 . . . . .	87%	91,668	1,856	21%	6.5 (3月－9月)
2008 . . . . .	—	—	—	—	8.1
2007 . . . . .	—	—	—	—	7.4

### 3.3.9.2 場內電氣接線及升壓站

蔚縣風電場一期裝有 33 台東方汽輪機公司 FD70B 型 1.5 兆瓦風機。每台風機通過一回 XLPE 銅芯交聯電纜連至風機升壓變壓器。該電纜能夠滿足單台風機滿發電能輸出的需求。

風機發出的電能經由三回 35 千伏匯集線路匯集，每回線路連接 11 台風機。匯集線路由架空線及電纜組成，其中架空線採用的導線類型是 LGJ-185/30，電纜型號為 YJV22-26/35-3\*240。架空線導體和電纜的最大電流容量分別為 530 安培和 557 安培，均能滿足所連 11 台風機滿發時電能輸出的要求。

風電場建有一座 110 千伏升壓站。高壓側 110 千伏母線和低壓側 35 千伏母線均採用單母線接線方式。三回 35 千伏匯集線路將電能匯集至升壓站 35 千伏母線，繼而由一台 50 兆伏安，115/36.75 千伏升壓變壓器升壓至 110 千伏母線。該升壓變壓器配置有載調壓分接頭，能夠在額定電壓的 90% 到 110% 的範圍內控制變壓器高壓側電壓。該變壓器的容量及電壓調節能力均能夠滿足風電場向電網輸送滿發出力的要求。

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，與大多數中國風電場所採用的繼電保護模式類似。各母線短路容量均在斷路器承受範圍以內。風電場配置有避雷裝置。

### 3.3.10 蔚縣風電場二期

蔚縣風電場位於中國河北省張家口地區，距離蔚縣縣城約 50 公里。風電場二期裝機容量為 49.5 兆瓦，包括 23 台東方汽輪機公司 FD77B 型 1,500 千瓦風機和 10 台 FD70B 型 1,500 千瓦風機。風電場二期於 2009 年 11 月投入運營。

#### 3.3.10.1 發電量和可用率

風電場建於山頂的草原上。風電場二期地勢較高，地形起伏，海拔高度從 1,600 米至 2,100 米不等。風電場北面、西面及南面邊界為山谷和陡坡。風電場周圍有樹林圍繞。氣候非常寒冷，氣溫長期低於零攝氏度。這些因素可能導致槳葉結冰從而影響風機的性能。對於風電場運營，我們沒有顧慮。

風電場一、二期的控制中心辦公樓位於風電場升壓站附近。如 3.3.9 節所述，控制中心辦公樓包括控制中心、辦公室、備件倉庫、宿舍和其他現場設施。風電場二期由與風電場一期相同的運營和維護團隊進行運營和維護。

目前蔚縣風電場二期 33 台東方汽輪機公司 FD77B/FD70B 風機正常運營。現場訪問過程中也了解到與風電場一期類似的維護方面的技術問題。

目前風電場在與東汽的服務維護協議期內，協議期為兩年。它包括 95% 可用率的承諾（除了計劃內維護、因操作失誤導致的停機和廠商控制力之外的停機，如電網故障、惡劣天氣）以及對不足 95% 的違約賠償。違約賠償根據風機費用計算，並不高於合同總額的 10%。

公司提供了風電場二期2009年運營數據，包括月發電量和可用率，如表格3.18所示。風電場二期從2009年11月才開始運營，我們沒有足夠的數據對風電場年運營性能做出有價值的評價，因此我們的評價主要基於對可行性研究的審查。

我們對蔚縣風電場二期的可行性研究報告中風資源評估部分進行審查，其計算過程遵循中國國家標準GB/T 18709-2002。公司於2004年在現場安裝了一座40米高測風塔(#0014)(風電場一期測風塔)。該評價基於#0014測風塔的30個月數據。可行性研究中計算的65米高平均風速為8.3米/秒，顯示風速狀況良好。

項目效率估計為65.3%，是保守的估計。淨發電量預測為112.2吉瓦時/年。

風電場二期只有四個月運營數據，因此沒有足夠的數據驗證預測發電量。如表格3.18所示，儘管在短期內年平均風機可用率低於保證值95%，但這對於風電場運營期的前幾個月來說是常見的。實際功率因素不低於2009年11月風電場投入運營時的預測值26%，我們對此沒有顧慮。

表格 3.18：蔚縣風電場二期運營數據

	2009年9月	2009年10月	2009年11月-12月
平均可用率.....	—	—	89.7%
總上網發電量（兆瓦時）.....	4,928	7,443	24,379
可用小時數.....	100	150	492
功率因素.....	14%	20%	34%

### 3.3.10.2 場內電氣接線及升壓站

蔚縣風電場二期裝有33台東方汽輪機公司FD77B/FD70B型1.5兆瓦風機。風電場一期與二期經同一家設計院進行設計，因此場內接線形式非常類似。每台風機通過電纜連至風機升壓變壓器。風機發出的電能經由三回35千伏地下電纜匯集線路匯集。每回線路的載流能力能夠滿足所連風機滿發時電能輸出的要求。

風電場二期接入建於一期的同一座110千伏升壓站。該升壓站擴建一條35千伏母線，供二期風電場3回35千伏接入。升壓站一台100兆伏安115/36.75千伏變壓器，將所匯集電能升壓至110千伏，並向電網輸送。該升壓變壓器配置有載調壓分接頭，能夠在額定電壓的90%到110%的範圍內控制變壓器高壓側電壓。該變壓器的容量及電壓調節能力均能夠滿足風電場向電網輸送滿發出力的要求。

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等，與大多數中國風電場所採用的繼電保護模式類似。各母線短路容量均在斷路器承受範圍以內。風電場配置有避雷裝置。風電場設備狀況良好，無明顯問題。

### 3.3.11 承德圍場禦道口風電場

總裝機容量為150兆瓦的承德圍場禦道口風電場目前處於建設期，將由100台華銳1.5兆瓦風機組成，輪轂高度為65米，葉輪直徑77米。現場訪問期間，因為下雪天氣道路阻塞，我們沒能到達現場。因此，我們的評估主要基於文件審查和與項目施工團隊的討論。

#### 3.3.11.1 發電量和可用率

風電場目前處於建設期，預計在2010年冬季投入運行。施工工作因冬季的來臨而在2009年11月停工。因為寒冷的天氣，施工工作只能在每年四月至十二月間進行。目前所有基礎和升壓站土建工作已經完成。一些設備已經運送到現場。

公司項目現場團隊目前包括六名人員，負責監督施工工作。三名團隊成員有管理公司風電場施工的經驗，這些風電場現在已投入運行。受訪項目團隊給我們提供了一些以下問題的基本信息，如風電場運行策略、風電場電氣設計、設備說明、合同安排或項目安排。

風電場目前簽訂了多個施工合同。管理這些施工合同時非常複雜的，需要高水平的項目管理能力。我們發現項目管理策略基本為定時向母公司匯報，據我們所知，主要項目管理決策和策略都是由母公司制定。這個方法與我們在中國見到的其他項目類似，我們認為沒有顧慮。視察結束後，總部向我們提供涵蓋2008年及2009年工作的項目安排，以及施工報告樣本，使提高我們對項目管理的信心。

風機運送和安裝（三個合同）仍然處於招標期（截至2010年1月中旬）。35千伏場內電纜供應商也仍未確定。現場人員告訴我們這些合同將在二月中旬重新施工時確定，由母公司管理細節問題。

所有150兆瓦風機預期在2011年底投入運行。預計完成日期顯示還有兩個為期八個月的施工期。雖然我們並未取得詳細工作安排，我們認為如果兩個安裝團隊如期簽約，風機運輸、安裝和電纜供應合同也如期簽訂，是有足夠的時間完成施工工作的。

可行性研究報告中預測平均年發電量的計算由西北電力設計院進行，符合中國國家標準 GB/T 18709-2002。

我們注意到，風資源評估所採用的測風塔較預想中少。這會使風速預測和發電量預測不夠精確。

應該注意到，對平均風速計算的高估可能由較大的損耗估計來彌補，包括風機可用率95%和電氣效率95%。其他損耗估計包括天氣、槳葉污染和功率曲線性能，總的風電場效率估計為74.1%，

這是個保守的估計，且已計及寒冷的氣候可能會使承德圍場禦道口風電場的損耗稍高於平均能量損耗（能量損耗包括：機艙加熱、槳葉結冰和風電場因季節不可達性而減少的可用率）。

評估顯示年平均淨發電量為313吉瓦時，等同於功率因素24%。評估中採用較大的損耗估計可以增加可信性。評估過程中沒有足夠的數據來驗證預測發電量，但是從我們對所有風電場資產的評估看來，當前期預測與實際發電量的對比，實際發電量值通常相對於預計值來說是合理的。我們期望實際發電量數據與可行性研究中的預測基本一致。

項目運行期間，施工管理團隊將由運行團隊替代。目前項目公司團隊只能提供運行安排的大致信息。公司已有的運行策略將得到實施。

運行和維護團隊將包括22名人員，其中有從其他在運行項目選調來的人員。運行和維護培訓已與華銳在供應協議中達成共識。四名運行人員目前在施工現場工作，這是培訓計劃的一部分。

兩年可用率為95%的保證也包含在與華銳的供貨合同中。我們了解到公司採取措施保證現場道路暢通，因此目前假定的可用率是合理的。

#### 3.3.11.2 場內電氣接線及升壓站

進行視察時，承德圍場禦道口風電場仍處於施工建設狀態，審閱風電場可行性研究報告可知，風電場預備裝配100台華銳1.5兆瓦風機。每台風機通過一回電纜連至風機升壓變壓器。根據可行性研究報告中採用的電纜型號，該電纜能夠滿足單台風機滿發電能輸出的需求。

風機發出的電能經由九回35千伏電纜匯集線路匯集。集電系統只包括電纜。

風電場將建有一座220千伏升壓站。風機產生的電能經由四回35千伏匯集線路匯集，然後輸送至升壓站35千伏母線。高壓側母線和低壓側母線均採用單母線接線方式。根據風電場可行性報告，35千伏母線的電能由兩台100兆伏安，220/35千伏升壓變壓器升壓至220千伏。根據該升壓變壓器技術規範，該升壓變壓器配置有載調壓分接頭，能夠在額定電壓的90%到110%的範圍內控制變壓器高壓側電壓。我們認為該變壓器的容量及電壓調節能力均能夠滿足風電場向電網輸送滿發出力的要求。

根據風電場的可行性報告，風電場設計中採用了多種繼電保護系統，包括差動保護和過電流保護等，與大多數中國風電場所採用的繼電保護模式類似。各母線短路容量均在斷路器承受範圍以內。風電場配置有避雷裝置用於保護風電場設備免受雷電影響。

### 3.4 運行維護安排

為了很好的運行一個風電場，一個有經驗的團隊是很必要的，他們可以持續的監控風機、能快速解決風機發生的問題避免停機，最終避免減少發電量。從對風電場的現場訪問來看，莫特麥克唐納認為公司的總體策略是在質保期內依靠風機製造商，並且積累內部員工的知識與經驗，此後由公司內部的團隊來接受運行維護工作。

製造商與公司之間協定的質保期平均在兩年，與目前的行業標準吻合，與其他國家的風電場也類似。莫特麥克唐納認為，對有豐富業績和可靠經驗證明的風機技術來說，兩年的質保期是可以接受的。

對於一個風電場來說，高可用率是實現收入最大化的關鍵。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」的定義也是在運維合同談判時需要特別注意的，風機供應商會盡量將公司認為不在可用率定義範圍內的內容界定為可用。

所有莫特麥克唐納審閱的風機供貨協議中均包括製造商安排的培訓項目，內容通常都制定比較全面，包括在現場和工廠的幾周培訓，涵蓋大部分可能發生的情況和問題。服務團隊培訓的內容包括維護手冊的使用、故障記錄、運行和控制風機、更換零件的安裝方法、維護過程、問題解決和備件管理。莫特麥克唐納了解到，除了參加合同協定的培訓外，現場人員亦會在計劃內和計劃外的維護中協助製造商的員工進行維護。莫特麥克唐納認為公司維護人員通過這樣的安排獲得了更多的經驗。

根據現場維護記錄和對現場製造商維護人員的訪問，對於仍在質保期內的風電場而言，計劃內維修是按照簽訂的風機供貨協議來執行的。

公司為每個風電場專門聘請一隊運維人員，參加風機供貨商的培訓，在質保期內提供協助，之後負責所有的維護工作。供貨商的維護手冊用於指導公司進行風機維護工作。整個運行期間，以日常運行和維護日誌記錄電氣設備實時狀態和風機運行狀況，並報告給公司。

國家電網公司編製的電氣安全手冊（電纜、升壓站和電廠）作為現場安全指導，是良好的運行方法。清晰定義了個人安全責任。我們注意到風電場現場沒有保存事故記錄，風電場場長表示並無事故發生。如果有事故發生，將被記錄在日常運維日誌中。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。

### 3.5 結論

我們訪問的風電場均採用國內外知名製造商的產品，製造商均採用成熟的技術，同時在市場有

良好的業績記錄。我們認為風機技術與目前行業標準相符，現場建設一流。

所有風電場運行維護良好。儘管由於對歐洲設計不夠熟悉導致蔚縣風電場可用率較低，但是我們了解到公司採取了措施來解決這個問題。因此我們認為將來的運行沒有問題。

我們審查了每個訪問風電場的發電量預測，並盡可能的比較了預測發電量和實際發電量。

每個風電場使用的發電量預測方法一致，都是基於中國目前的標準 GB/T 18709-2002 和 GB/T 18710-2002。這些標準採用西方通用規範，大部分與國際慣例一致，只是在某些方面缺乏細節。

莫特麥克唐納注意到一些風資源評估方法給發電量預測帶來了一定程度的不準確性。然而通過對總發電量進行折減，使得淨發電量的損耗因子相對較低，彌補了以上不足。非常低的項目效率估計彌補了一些不足，這些措施給我們帶來了一些信心。

通過對所有風電場資產的前期預測與實際發電量的對比，實際發電量值相對於預計值來說是合理的。實際發電量平均在預計值的 5% 範圍內。

確定發電量需要對風電場的發電量和運行數據進行更詳細的研究，也包括對參考站風力數據的分析。對於調查中我們得到的有限發電量數據來說，大部分是第一年的運行數據，但是經過我們的深入分析，我們整體上對預測發電量是比較滿意的。

所有升壓站安裝了合適的設備，並通過架空線路向電網輸出電量。升壓站設備容量合適，能容納系統錯誤，全部風電場安裝了無功補償裝置以滿足電網的技術要求。

## 4. 併網評估

### 4.1 簡介

本章節所涉及的併網評估只限於 11 座代表性風電場。本次評估主要基於現場訪問過程中公司提供的數據以及下列文件進行：

- 可行性研究報告
- 併網研究報告
- 併網單線圖
- 風電場內部集電系統單線圖
- 對莫特麥克唐納問卷調查的回覆
- 現場訪問記錄

所有經現場訪問收集的信息都被認為是最新數據，並且同風電場併網報告中的數據進行了對比。

本次評估的過程中沒有進行任何獨立的軟件仿真計算。已對公司資產中的所有 11 座風電場進行併網估計。本次評估的目的主要是：

- 風電場的所有設備，包括升壓變壓器，輸出電纜／架空線的容量是否能夠滿足風電場滿發時電能輸出的需求；
- 風電場的無功補償裝置能否給風電場併網點提供足夠的電壓控制以及功率因數調節能力；
- 當地電網是否有能力容納風電場發出的電能，以及風電場併網後的潛在問題，包括電壓／頻率的畸變，系統過負荷等。

需要申明的是在評估風電場併網對當地網絡及系統運營影響過程中，我們主要依賴於以上所述報告中所提供的當地電網結構圖。莫特麥克唐納沒有進行任何的獨立的仿真或是計算來驗證各中國設計院所提供報告中的數據。

我們認為在風電場併網後，當地電網都將進行擴容改造以強化輸電容量，改善電網運行狀態，從而提高電網對風電的接納能力。

我們評估了以下指標以確定風電場是否能夠接入電網：

- 風電場升壓站主變壓器及與併網點連接線的容量；
- 電網接入點所在電網的結構佈局及當地電網潛在的運行問題；
- 風電場無功容量是否能夠滿足併網要求；
- 風電場內部集電系統的分佈；
- 系統故障對風電場運營的影響；
- 風電場併網造成的電能質量的問題。

對以上幾個指標的分析將是我們判斷風電場正常運行風險及風電輸出後對電網影響的主要依據。因此我們的評估將主要針對以上幾個指標展開。報告中所涉及的「中國設計院」主要是指以下兩家中國國內的設計研究機構，均為獨立於公司的第三方企業。

1. 北京國電華北電力工程技術有限公司：一家提供高級工程諮詢、調查、研究以及工程施工服務的高技術企業。
2. 河北省電力勘測設計研究院：在中國主要為河北省境內電力產業提供工程及諮詢服務，比如電力系統設計、調查以及火電廠評估服務。

中國設計院所作分析研究的結果將決定目標風電場能否接入電網，電網需要如何進行改造從而

接納風電輸出，以及所需設備例如主變壓器，開關設備以及輸電線路。這些分析研究與結果給莫特麥克唐納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。

#### 4.2 併網分析中發現的主要問題

總體來說所有風電場的併網狀態良好。風電場升壓變壓器的容量能夠滿足風電場向電網滿發電能輸出的要求，並且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額定的水平。各風電場均配置有足夠的無功補償裝置，能夠提供足夠的無功補償用於電壓調節和功率因數調節。

每個風電場通過一回架空線同電網相聯。所有這些線路的導體載流能力均能承擔所連風電場滿發時向電網輸出電能的需求。這是大多數中國風電場所採用的併網方式，儘管這種方式無法滿足「N-1」安全準則。

這 11 個風電場主要連接至四個地區電網。其中有七座風電場連接至張北地區電網，他們是：

- 康保風電場（一期和二期）
- 沽源風電場（一期和二期）
- 東辛營風電場
- 崇禮風電場（一期和二期）

除東辛營風電場之外，其餘的六座風電場存在一個共同的問題。儘管這些風電場對電網變電站輸出電能不存在瓶頸，六座風電場發出的電能全部被送至 220 千伏張北變電站。根據風電場併網報告，2009 年風電場送至張北變電站的總功率已達到 428 兆瓦，高於變電站總變電容量 420 兆伏安。當多數風電場均運行在大出力方式下時，張北變電站的變壓器很有可能過載。風電場併網報告建議對張北變電站進行擴容改造。擴容後，預期系統潛在的過載問題將得到解決。

海興風電場連接至滄州市電網。蔚縣風電場一期和二期連接至保定市電網。這三座風電場存在一個共同的問題。根據風電場併網報告，當風電場接入點變電站的電壓處於較高水平時，風電場無法以滯後功率因數運行，而當接入點變電站電壓處於較低水平時，風電場無法以超前的功率因數運行。否則將對接入點變電站電壓水平造成負面的影響。然而，主動式電網管理的採用，以及配合風電場升壓站主變壓器分接頭的調節以及控制無功補償裝置，能夠避免以上工況的發生。

承德圍場禦道口風電場連接至承德市電網。風電場併網設計合理，目前沒有發現任何問題。但是，根據風電場併網報告，風電場交付運行後，系統現有一回 220 千伏線路的負載將達到 600 兆瓦，

十分接近該線路最大傳輸容量670兆瓦。如果當地風電場的總裝機容量持續增長，建議進行適當的電網擴建工作從而避免現有系統過負荷並維持「N-1」安全準則。

### 4.3 各風電場併網

#### 4.3.1 康保風電場一期

康保風電場一期座落於張家口市北部，接入張北地區電網內。風電場裝有40台750千瓦金風風機，風電場的總裝機容量為30兆瓦。風電場二期的總裝機容量為49.5兆瓦。

該風電場建有一座風電場升壓站。升壓站裝有兩台50兆伏安升壓變壓器用於向電網進行電能輸出，每期風電場佔用一台變壓器。每台變壓器配有一個有載調壓分解頭，共17個檔位。兩台變壓器各佔用一條獨立的35千伏母線，繼而升壓至110千伏。兩台變壓器的容量均滿足所帶風電場滿發電能輸出的要求，以及保持風電場升壓站的電壓水平。

兩期風電場共安裝24兆乏的無功補償裝置，其中11兆乏安裝在一期風電場35千伏母線，13兆乏安裝在二期風電場。根據風電場可行性研究報告，風電場配置的風機具有自動調節無功的功能，並且不需要額外的無功補償裝置支持。因此我們認為該風電場安裝的無功補償裝置能夠滿足電網條例所規定的無功補償條件。

風電場升壓站通過一回架空線連接至位於張北地區電網範圍內的110千伏康保變電站。該線路導線型號為LGJ-150。線路最大載流容量為88兆伏安，大於風電場升壓站向當地電網輸電滿發時出力，不會造成系統瓶頸。儘管採用單回線併網被大多數當地風電場所採用，這樣的設計無法滿足「N-1」安全準則。

康保風電場一期和二期的併網狀況良好，未發現任何明顯的問題。但是我們注意到兩期風電場的系統接入點110千伏康保變電站連接至220千伏張北變電站。根據當地地區風電發展規劃，還有若干其他風電場已經或者將要間接接入220千伏張北變電站。由於所有風電場的發電量會超過負荷，220千伏張北變電站可能沒有足夠的變電容量，將電能從110千伏升壓至220千伏。目前張北變電站裝有兩台120兆伏安，220/110千伏升壓變壓器，另有一台180兆伏安變壓器已於2008年安裝。但是根據4.2節中討論過的220千伏張北變電站的變壓器過負荷問題，在某種工況下，譬如許多風電場均運行在大出力的方式下，康保風電場一期的出力可能受到限制。

#### 4.3.2 康保風電場二期

康保風電場二期裝有33台GE1.5兆瓦風機，總裝機容量為49.5兆瓦。

風電場二期同風電場一期接入同一座風電場升壓變電站，但是連至一條獨立的35千伏母線。風電場二期產生的電能通過容量為50兆伏安的升壓變壓器升壓至110千伏，繼而輸送至電網。該期風電場共安裝有13兆乏的無功補償裝置。風電場升壓站連接至110千伏康保變電站，使用與一期相同

的一回架空線路，導線型號為 LGJ-150，最大載流容量為 88 兆伏安。線路的最大載流容量能夠滿足一期和二期同時滿發時電能輸出的需求，我們認為，風電場在向電網升壓站輸出電能方面不存在瓶頸。

風電場二期同一期在應付若干風電場連接同一變電站時產生的大出力的電網傳輸能力方面存在同樣問題。根據三夏天風電場可行性研究報告，220 千伏張北變電站將安裝一台新的 180 兆伏安的變壓器。加上已有的兩台 120 兆伏安變壓器，張北 220 千伏變壓器的總變電容量達到了 420 兆伏安。但是 2009 年從風電場傳輸至張北變電站 110 千伏母線的風電淨功率已經達到了 428 兆瓦。因此，很明顯電網並無足夠變電容量將電能升壓至 220 千伏母線，並輸送至其他地區。鑒於上述情況，在運行在大出力的情況下，包括康保三夏天風電場在內風電場的出力可能受到限制。

#### 4.3.3 沽源風電場一期

沽源風電場一期接入張北地區電網。一期工程裝有 36 台歌美颯 850 千瓦風機，總裝機容量為 30.6 兆瓦。風電場接入點為 110 千伏沽源變電站。二期工程總裝機容量為 49.5 兆瓦，並連接至相同的電網接入點。

風電場建有一座風電場升壓變電站。風電場一期安裝了一台 50 兆伏安，110/35 千伏變壓器，以將電能從風電場傳輸至電網。該變壓器裝備有載調壓分接頭，共 19 個檔位。我們認為，該變壓器的容量能夠滿足風電場滿發時電能輸出的要求，並且能夠維持風電場升壓站的額定電壓。

風電場升壓站的 35 千伏母線處安裝有共 11 兆乏的無功補償裝置。根據風電場併網報告，風電場需要 8 兆乏的額外無功補償。因此風電場實際安裝的容量能夠滿足這個要求。

風電場升壓站通過一回架空線連接至 110 千伏沽源變電站。該線路導線型號為 LGJ-240。線路最大載流容量為 114 兆伏安，大於風電場滿發時出力，因此不會造成系統瓶頸。但是我們注意到風電場的系統接入點 110 千伏沽源變電站連接至 220 千伏張北變電站的 110 千伏母線。根據風電場併網報告及現場考察，220 千伏張北變電站可能沒有足夠的變電容量，將所有風電場的電能升壓。我們了解到，2009 年風電場向變電站傳輸的淨電量共達 428 兆瓦，但變電站僅有三台變壓器，共 420 兆伏安。在某種工況下，比如許多風電場均運行在大出力的方式下，沽源風電場一期的出力可能受到限制。

#### 4.3.4 沽源風電場二期

沽源風電場二期裝有 33 台 GE1.5 兆瓦風機，總裝機容量為 49.5 兆瓦。二期工程坐落在一期廠址的東部，同一期風電場接入同一座風電場升壓站。

二期工程在升壓站擴建一台 50 兆伏安的升壓變壓器。該變壓器的技術參數未知，但應當採用與

一期變壓器相同的配置。該變壓器的容量能夠滿足風電場二期滿發電能輸出的需求。一期和二期升壓變壓器均連至同一條 35 千伏母線，因此風電場升壓變壓器的電壓水平能夠得到更好的控制。

風電場升壓站 35 千伏母線裝有 13 兆乏無功補償裝置。根據風電場併網報告，風電場需要至少 10 兆乏的額外無功補償。因此所安裝的無功補償裝置能夠滿足風電場的無功需求。

風電場一期和二期升壓站通過一期建設的一回架空線連接至 110 千伏沽源變電站。該線路導線型號為 LGJ-240。線路最大載流容量為 114 兆伏安，大於兩期風電場滿發時出力，因此不會造成系統瓶頸。但是我們注意到風電場的系統接入點 110 千伏沽源變電站連接至 220 千伏張北變電站的 110 千伏母線。但根據風電場併網報告及我們的現場訪問，220 千伏張北變電站可能沒有足夠的變電容量，將接入的風電場發出的所有電能升壓。2009 年，從風電場輸送至該變電站的風電功率已達 428 兆瓦，但該變電站僅有三台變壓器，總容量為 420 兆伏安。顯然，在某種工況下，所有這些風電場（包括沽源風電場一期）的出力可能受到限制。根據風電場併網報告，可對現有變壓器進行升級，也可安裝新變壓器。

#### 4.3.5 東辛營風電場

東辛營風電場屬於張北地區電網供電範圍。風電場裝有 133 台東方汽輪機公司 FD77A 型風機，總裝機容量為 199.5 兆瓦。

風電場附近建有 220 千伏東辛營升壓變電站，安裝了兩台 120 兆伏安，220/35 千伏變壓器。每台變壓器裝備有載調壓分接頭，共 18 個檔位。升壓站變壓器的總容量能夠滿足風電場滿發時電能輸出的要求，並且能夠維持風電場升壓站母線的電壓。

風電場 35 千伏母線處安裝有兩組 30 兆乏並聯電容器，以及一組 28 兆乏並聯電抗器。根據風電場併網報告，風電場需要大約 50 兆乏的額外無功用於補償 220/35 千伏升壓變壓器和風機升壓變壓器繞組的無功損耗。因此東辛營升壓站安裝的無功補償裝置容量能夠滿足電網條例規定的電壓要求。

220 千伏東辛營升壓站通過一回架空線連接至 500 千伏沽源變電站。該線路導線型號為 LGJ-630。根據製造商提供的數據，線路最大載流容量為 733 兆伏安，大於風電場滿發時出力，因此不會造成系統瓶頸。500 千伏沽源變電站是「西電東送」工程中一個重要的變電站。根據風電場併網報告，到 2015 年，會有 1,400 兆瓦的電力被送至 500 千伏沽源變電站。據報告沽源變電站正在安裝兩台 750 兆伏安變壓器。因此該變電站有能力容納東辛營風電場發出的電能。

#### 4.3.6 海興風電場

海興風電場屬於滄州市電網供電範圍。風電場安裝有33台東方汽輪機公司FD77A型風機，總裝機容量為49.5兆瓦。

風電場建有一座升壓站，安裝有一台50兆伏安，110/35千伏升壓變壓器。該變壓器配置了有載調壓分接頭，共17個檔位，能夠在將電壓控制在標稱電壓的90%到110%之間。該變壓器的容量能夠滿足風電場滿發時的電能輸出的要求，並且能夠提供足夠的電壓調節能力。

風電場併網報告中沒有提及無功補償裝置的配置。但是據報告該風電場風機能夠提供或吸收-16.3兆乏至+16.3兆乏的無功容量。我們已被告知該風電場已安裝兩套無功補償裝置，容量分別為4兆乏及6兆乏。我們認為風電場能夠提供足夠的無功容量，用以滿足風電場升壓站的功率因數。

風電場升壓站通過一回LGJ-240架空線路連接至110千伏港城變電站。該線路最大載流容量為114兆伏安，因此在風電場電能輸出方面不存在瓶頸。風電場的電能將被輸送至220千伏臨海變電站，在臨海變電站通過兩台180兆伏安升壓變壓器升壓至220千伏母線，並向當地電網輸送。預期當地電網有足夠的能力接收風電場發出的電能。

但是根據風電場併網報告，風電場對系統接入點變電站的電壓調節會造成影響。根據報告中所述的潮流計算結果，風電場在電網接入點電壓等級過高時不能以滯後功率因數運行，而在電網接入點電壓過低時不能以超前功率因數運行。根據報告，在某些工況下部分風機由於電壓的限制必須停機。但是，這種工況可以通過採取主動式電網管理從而得到避免。

#### 4.3.7 崇禮風電場一期

崇禮風電場一期位於張家口市北部，接入張北地區電網。風電場裝有58台歌美颯G52型850千瓦風機，總裝機容量為49.3兆瓦。

風電場一期建有一座風電場升壓站。升壓站裝有一台50兆伏安，110/35千伏升壓變壓器用於風電場電能輸出。該台變壓器配有有載調壓分解頭，共17個檔位，能夠在90%到110%的範圍內調節高壓側繞組的電壓。該變壓器的容量足以保持風電場升壓站母線電壓水平。

風電場升壓站35千伏母線處共安裝兩組並聯電容器，其中一組容量為4.012兆乏，另一組為6.008兆乏。根據風電場併網報告，風電場需要11.17兆乏的無功補償容量。報告中的數據是假定50兆伏安變壓器阻抗為14%進行計算的。根據我們現場訪問獲得的數據，變壓器實際的阻抗為10.6%。

因此風電場實際需要的無功補償容量，經過簡單計算為9.5兆乏，風電場安裝的無功補償裝置能夠滿足這個要求。

風電場升壓站通過一回架空線連接至110千伏涑源變電站。該線路導線型號為LGJ-185。線路最大載流容量為98兆伏安，大於風電場滿發時出力，因此不會造成系統瓶頸。110千伏涑源變電站連接至220千伏張北變電站。根據4.2節中討論過的220/110千伏變壓器過負荷問題，在某種工況下，比如許多風電場均運行在大出力的方式下，崇禮風電場一期的出力可能受到限制。

#### 4.3.8 崇禮風電場二期

崇禮風電場二期位於張家口市北部，接入張北地區電網。風電場裝有58台維斯塔斯V52型850千瓦風機，總裝機容量為49.5兆瓦。

風電場二期同風電場一期接入同一座風電場升壓變電站。二期升壓變壓器為50兆伏安，110/35千伏升壓變壓器。該台變壓器配有有載調壓分解頭，共17個檔位，能夠在90%到110%的範圍內調節高壓側繞組的電壓。該變壓器的容量均滿足所帶風電場滿發電能輸出的要求，以及保持風電場升壓站母線電壓水平。

風電場升壓站35千伏母線處共安裝兩組並聯電容器，其中一組容量為4.012兆乏，另一組為6.008兆乏。根據風電場併網報告，風電場需要11.17兆乏的無功補償容量。報告中的數據是假定50兆伏安變壓器阻抗為14%進行計算。我們現場訪問無法獲取該變壓器的技術參數，但兩期風電場裝機容量相同，變壓器配置也應當相同。取變壓器實際的阻抗為10.6%，風電場實際需要的無功補償容量，經過簡單計算為9.5兆乏。因此風電場安裝的無功補償裝置能夠滿足這個要求。

風電場升壓站通過一期建設的一回架空線連接至110千伏涑源變電站。該線路導線型號為LGJ-185。線路最大載流容量為98兆伏安，大於風電場滿發時出力，因此不會造成系統瓶頸。110千伏涑源變電站連接至220千伏張北變電站。根據4.2節中討論過的220/110千伏變壓器過負荷問題，在某種工況下，比如許多風電場均運行在大出力的方式下，崇禮風電場二期的出力可能受到限制。

#### 4.3.9 蔚縣風電場一期

蔚縣風電場一期位於保定市，接入保定電網。風電場裝有33台東方汽輪機公司FD70B型風機，總裝機容量為49.5兆瓦。

風電場一期建有一座風電場升壓站。升壓站裝有一台50兆伏安，110/35千伏升壓變壓器用於風電場電能輸出。每台變壓器配有有載調壓分解頭，共17個檔位，能夠在90%到110%的範圍內調節高壓側繞組的電壓。該變壓器的容量均滿足所帶風電場滿發電能輸出的要求，以及保持風電場升壓站母線電壓水平。

風電場升壓站35千伏母線處共安裝兩組並聯電容器，其中一組容量為4.012兆乏，另一組為6.008兆乏，該配置為大多數當地風電場所採用。風電場併網報告推薦的無功補償裝置配置是每根35

千伏母線安裝兩組並聯電容器，一組4兆乏，另一組6兆乏。報告沒有提供詳細的數據或計算證明配置的合理性，但基於上文所述類似的配置，我們認為這樣的配置應該能夠滿足無功補償的需求。

風電場升壓站通過一回架空線連接至110千伏涑源變電站。該線路導線型號為LGJ-240。線路最大載流量為114兆伏安，大於風電場滿發時出力，因此不會造成系統瓶頸。所有電力將輸送至220千伏白石山變電站，經兩台180兆伏安變壓器升壓至220千伏，並向當地電網輸送。根據報告，儘管當地新建成兩座燃煤電廠，當地電網對新增發電量的需求仍然較高。因此預期當地電網有足夠的能力接收風電場發出的電能。

根據風電場併網報告，風電場對系統接入點的電壓調節會造成影響。風電場在電網接入點電壓等級過高時不能以滯後功率因數運行，而在電網接入點電壓過低時不能以超前功率因數運行。根據報告，在某些工況下部分風機由於電壓的限制必須停機。但是，這種工況可以通過採取主動式電網管理從而得到避免。此外，通過合理的控制風電場並聯電容器及風機的無功輸出，風電場可以以理想的功率因數運行，從而避免對電壓調節帶來負面的影響。

#### 4.3.10 蔚縣風電場二期

蔚縣風電場二期位於保定市，接入保定電網。風電場裝有23台東方汽輪機公司FD77B型1,500千瓦風機及10台FD70B型1,500千瓦風機，總裝機容量為49.5兆瓦。

風電場二期同一期接入同一座風電場升壓站，但單獨接入35千伏母線。二期升壓站內擴建了一台100兆伏安，110/35千伏升壓變壓器用於風電場電能輸出。該台變壓器配有有載調壓分解頭，共17個檔位，能夠在90%到110%的範圍內調節高壓側繞組的電壓。該變壓器的容量均滿足所帶風電場滿發電能輸出的要求，以及保持風電場升壓站母線電壓水平。

風電場升壓站35千伏母線處共安裝兩組並聯電容器，其中一組容量為4.012兆乏，另一組為6.008兆乏。該配置為大多數當地風電場所採用。風電場併網報告推薦的無功補償裝置配置是每根35千伏母線安裝兩組並聯電容器，一組4兆乏，另一組6兆乏。報告沒有提供詳細的數據或計算證明配置的合理性，但基於上文所述類似的配置，我們認為這樣的配置應該能夠滿足無功補償的需求。

風電場升壓站通過一期建設的一回架空線連接至110千伏涑源變電站。該線路導線型號為LGJ-240。線路最大載流量為114兆伏安，大於風電場滿發時出力，因此不會造成系統瓶頸。所有電力將輸送至220千伏白石山變電站，經兩台180兆伏安變壓器升壓至220千伏，並向當地電網輸送。根

據報告，儘管當地新建成兩座燃煤電廠，當地電網對新增發電量的需求仍然較高。因此預期當地電網有足夠的能力接收風電場發出的電能。

根據風電場併網報告，風電場對系統接入點的電壓調節會造成影響。風電場在電網接入點電壓等級過高時不能以滯後功率因數運行，而在電網接入點電壓過低時不能以超前功率因數運行。根據報告，在某些工況下部分風機由於電壓的限制必須停機。但是，這種工況可以通過採取主動式電網管理從而得到避免。此外，通過合理的控制風電場並聯電容器及風機的無功輸出，風電場可以以理想的功率因數運行，從而避免對電壓調節帶來負面的影響。

#### 4.3.11 承德圍場禦道口風電場

承德圍場禦道口風電場位於承德市北部，接入承德電網。風電場裝有 100 台華銳 SL-1500 型風機，總裝機容量為 150 兆瓦。

風電場建有一座升壓站，已經安裝有兩台 100 兆伏安，220/35 千伏變壓器。每台變壓器配有載有調壓分解頭，共 17 個檔位，能夠在 90% 到 110% 的範圍內調節高壓側繞組的電壓。該變壓器的容量均滿足所帶風電場滿發電能輸出的要求。

風電場採用兩組靜態無功補償裝置，每組容量為 32.8 兆乏。每組裝置能夠提供 30 兆乏容性無功，或者 2.8 兆乏感性無功。根據風電場併網報告，風電場總共需要約 33 兆乏的無功補償容量。因此該兩組無功補償配置能夠滿足風電場對無功容量的需求。

風電場升壓站通過一回 LGJ-240 架空線路連接至 220 千伏圍場開關站。該導線在 220 千伏電壓等級下最大載流能力為 232 兆伏安，大於風電場滿發出力，因此風電場在電能輸送方面不存在瓶頸。來自風電場的電力傳輸到 220 千伏龍城升壓站，再調度到主要電網。根據風電場併網報告中潮流計算的結果，風電場併網後，不會出現系統過負荷現象，且當地電網對發電需求仍然較高。因此當地電網有足夠能力接受風電場發出的電能。

但根據風電場併網報告，禦道口風電場竣工後，當地電網風電出力將達到 600 兆瓦，已非常接近連接 220 千伏龍城變電站與剩餘的 670 兆伏安電網的傳輸線的最大載流容量。如果當地風電裝機繼續增長，則必須進行電網改造以確保不發生系統過載，同時保證「N-1」安全準則。

#### 4.4 結論

我們針對公司風電資產中的 11 座風電場進行了併網研究。總體來說所有風電場的併網狀態良好。風電場升壓變壓器的容量能夠滿足風電場滿發電能輸出的要求，並且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平。各風電場均配置有足夠的無功補償裝置，能夠提供足夠的無功補償用於電壓調節和功率因數調節。

然而，風電場併網報告指出為了容納部分風電場發出的電能，當地電網必須進行適當的改造擴建，這些風電場包括康保風電場一期和二期，沽源風電場一期和二期，以及崇禮風電場一期和二期。報告指出當地電網需要擴容變電容量從而增強電網的傳輸能力。

儘管所有風電場在向電網輸送電能方面不存在瓶頸，所有風電場傳輸至張北變電站的電力已經達到428兆瓦，大於該變電站總變電容量420兆伏安。在多數風電場大出力運行的情況下，這些變壓器可能會過載。

公司已就該問題同當地電網公司展開討論。當地電網公司確認了過載問題的存在，並計劃將沽源電網剝離220千伏張北變電站，而轉由220千伏張北變電站進行供電。這樣能夠減少來自沽源電網中沽源風電場一期（30兆瓦）和沽源風電場二期（49.5兆瓦）的電能輸入，並且最終減少張北變電站變壓器的負載。關於該項計劃何時實施目前還沒有明確的時間表。

此外，根據併網報告的負電量結果，於蔚縣風電場一期和二期運營期間可能出現電壓規管事宜。根據我們的觀點，通過控制風電場的無功補償裝置以及風機的無功輸出，風電場應當能夠以理想的功率因數運營，從而避免對電壓調節帶來負面的影響。

根據公司的報告，在實際運行中，蔚縣風電場一期和二期不存在電能輸出瓶頸。兩座風電場均配置有充足的無功補償裝置用於控制風電場升壓站高壓側的功率因數，我們認為通過合理控制無功補償裝置，可以根據系統電壓等級調節風電場的功率因數，從而避免對系統電壓調節帶來負面的影響。

### 結論和建議

在技術評估過程中，除了承德圍場禦道口風電場外（因天氣惡劣），莫特麥克唐納訪問了所有位於河北省的具有典型代表性的風電場。為了對資產審查、運行策略和管理模式有更好的了解，莫特麥克唐納與項目現場技術人員進行討論。

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電場的風機均由國內外知名廠商提供，該等廠商採用成熟的技術並有良好的業績記錄。我們認為這些風機技術與目前行業標準相一致，所有風電場建造水平較高，有些超過我們的預期。所有風電場運行維護狀況良好。

風機可用率和發電量是我們在評估中使用的兩個主要指標。我們能夠確認所查閱的風電場可用率高於95%的製造商保證值，實際發電量與可研中預測一致。對於可用率低於95%的情況，我們認為公司已經找到導致可用率低的問題，並且有計劃逐步解決這些問題。

我們查閱的大部分風電場擁有獨立的變電站或與其他風電場接入同一變電站，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，所有風電場還安裝了無功補償裝置來滿足電網要求。

總體來說，所有風電場都正常接入電網，對於從風電場向電網變電站輸出電量來說，沒有發現較大的限制。

但是，在併網報告中指出需要實施某些電網改進計劃以擴大變壓器容量，提高電網接納風電場輸出電量的能力，包括康保風電場一、二期、沽源風電場一、二期和崇禮風電場一、二期。公司指出當地電網公司有計劃實施改進來解決這些問題。

此外，根據併網報告的負電量結果，於蔚縣風電場一期和二期運營期間可能出現電壓規管事宜。但是，公司告知我們蔚縣風電場一期和二期在實際運營中沒有電能輸出的問題。我們認為這是合理的，因為風機本身具有無功調節能力，風電場實際的達到預計的功率因子而不影響系統電壓。

我們訪問的風電場中有三個正在建設。我們發現項目管理策略與我們對歐洲同類項目所期望的不同，主要採取向總部匯報的策略，這在中國是普遍採用的方法，我們對此是滿意的。我們已發現工程施工監督和活動計劃證據以及問題解決方案和來自合同商的定期報告。總部還提供了工程進度和每週建設報告，使我們對工程管理有了進一步的信心。

附錄

A.1. 主要評估文件

編號	文件名
1	康保臥龍兔山一期風電場可行性研究報告
2	康保臥龍兔山二期風電場可行性研究報告
3	沽源五花坪一期風電場可行性研究報告
4	沽源五花坪二期風電場可行性研究報告
5	沽源東辛營風電場可行性研究報告
6	海興風電場可行性研究報告
7	崇禮清三營一期風電場可行性研究報告
8	崇禮清三營二期風電場可行性研究報告
9	蔚縣空中草原一期風電場可行性研究報告
10	蔚縣空中草原二期風電場可行性研究報告
11	圍場禦道口風電場可行性研究報告
12	康保臥龍兔山一期風電場併網報告
13	康保臥龍兔山二期風電場併網報告
14	沽源五花坪一期風電場併網報告
15	沽源五花坪二期風電場併網報告
16	沽源東辛營風電場併網報告
17	海興風電場可行性研究報告
18	崇禮清三營一期風電場併網報告
19	崇禮清三營二期風電場併網報告
20	蔚縣空中草原一期風電場併網報告
21	蔚縣空中草原二期風電場併網報告
22	圍場禦道口風電場併網報告
23	康保臥龍兔山一期風機供貨合同
24	康保臥龍兔山二期風機供貨合同
25	沽源五花坪一期風機供貨合同
26	沽源五花坪二期風機供貨合同
27	沽源東辛營風電場風機供貨合同
28	海興風電場風機供貨合同
29	崇禮清三營風機供貨合同
30	崇禮清三營風機供貨合同
31	蔚縣空中草原風機供貨合同
32	蔚縣空中草原風機供貨合同
33	圍場禦道口風機供貨合同
34	所有一期風電場測風塔數據（風速和風向）
35	每個風電場月發電量數據

詞彙表

海拔高度	指	海拔高度
運營日期	指	商業運營日期
東汽／東方	指	東方汽輪機廠
汽輪機公司	指	
河北建投	指	河北建設投資集團有限公司
河北建投新能源	指	河北建投新能源有限公司
GB/T	指	國標／推薦，中國國家推薦標準
GE	指	the General Electric Company, Energy
GL	指	Germanischer Lloyd
IEC	指	國際電工委員會
生產和裝配期間	指	生產和裝配期間
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
國家大氣科學中心	指	國家大氣科學中心
運營及維護	指	運營及維護
SCADA	指	系統控制及獲取數據
技術顧問	指	技術顧問
WAsP	指	風力分析應用軟件
風機	指	風機
單位	指	
吉瓦時	指	吉瓦時（發電）
千安	指	千安（電流）
千伏	指	千伏（電力）
米	指	米（長度）
m <sup>2</sup>	指	平方米（面積）
米／秒	指	米／秒（速度）
兆帕	指	兆帕（氣壓）
兆瓦	指	吉瓦（電力）
兆伏安	指	兆伏安（功率）
兆乏	指	兆乏（無功）
伏特	指	伏特（電力）
瓦／m <sup>2</sup>	指	瓦／平方米（風功率密度）
%	指	百分比
°C	指	攝氏度（溫度）