

目錄

<u>章節</u>	<u>標題</u>	<u>頁次</u>
<b>1.</b>	<b>綜述</b> .....	<b>V-6</b>
1.1	簡介 .....	V-6
1.2	專案各參與方 .....	V-8
1.3	風機技術 .....	V-9
1.4	風力資源評估 .....	V-9
1.5	接入電網評估 .....	V-10
1.6	風電場性能表現 .....	V-12
1.7	風電場運行維護 .....	V-12
1.8	燃氣聯產電廠技術評估 .....	V-13
<b>2.</b>	<b>介紹</b> .....	<b>V-14</b>
2.1	概述 .....	V-14
2.2	資產概述 .....	V-15
2.2.1	總體概述 .....	V-15
2.2.2	代表性風電場的選擇 .....	V-16
2.3	報告結構 .....	V-18
2.4	報告狀態 .....	V-19
<b>3.</b>	<b>專案各參與方</b> .....	<b>V-19</b>
3.1	介紹 .....	V-19
3.2	北京京能清潔能源電力股份有限公司 .....	V-19
3.3	風機供應商 .....	V-19
3.3.1	新疆金風科技股份有限公司 .....	V-20
3.3.2	華銳風電科技(集團)股份有限公司 .....	V-20
3.3.3	蘇司蘭 .....	V-20
3.3.4	恩德 .....	V-21
3.3.5	上海電氣風電設備有限公司 .....	V-21
3.3.6	結論 .....	V-22
3.4	燃氣輪機供應商 .....	V-22
3.4.1	通用電氣 .....	V-22
3.4.2	三菱重工業有限公司 .....	V-22
3.4.3	結論 .....	V-22
3.5	電網運行員 .....	V-22
3.5.1	所選風電場的電網運行員 .....	V-23
3.5.2	國家電網公司「國家電網公司」 .....	V-24
3.5.3	內蒙古電力公司 .....	V-24
3.5.4	結論 .....	V-24

## 附錄五

## 技術報告

<u>章節</u>	<u>標題</u>	<u>頁次</u>
3.6	總體結論 .....	V-24
<b>4.</b>	<b>風機技術 .....</b>	<b>V-25</b>
4.1	涉及的主要風機 .....	V-25
4.1.1	金風 S50-750 和 GW77-1500 .....	V-25
4.1.2	華銳 SL1500 .....	V-26
4.1.3	蘇司蘭 S82-1500 .....	V-27
4.1.4	恩德 S70/S77 CCV-1500 .....	V-28
4.1.5	上海電氣 SEC-1250 .....	V-28
4.2	結論 .....	V-29
<b>5.</b>	<b>風資源評估 .....</b>	<b>V-30</b>
5.1	介紹 .....	V-30
5.2	風資源評估的中國標準 .....	V-30
5.2.1	GB/T 18709-2002 方法論 .....	V-30
5.2.2	GB/T 18710-2002 方法論 .....	V-30
5.3	代表性風電場的可行性研究 .....	V-31
5.3.1	風力資源 .....	V-31
5.3.2	發電量 .....	V-32
5.4	結論 .....	V-34
<b>6.</b>	<b>接入電網評估 .....</b>	<b>V-34</b>
6.1	介紹 .....	V-34
6.2	電網接入的關鍵問題 .....	V-35
6.2.1	風電場升壓變電站的設備容量 .....	V-35
6.2.2	風電場無功補償和電壓控制 .....	V-36
6.2.3	當地電網的運行狀況 .....	V-37
6.3	各風電場接入電網評估 .....	V-38
6.3.1	介紹 .....	V-38
6.3.2	賽汗風電場一期 .....	V-38
6.3.2.1	設備容量 .....	V-38
6.3.2.2	無功補償能力和電壓控制能力 .....	V-38
6.3.2.3	當地電網的運行狀況 .....	V-39
6.3.3	哲里根圖風電場一期 .....	V-39
6.3.3.1	設備容量 .....	V-39
6.3.3.2	無功補償能力和電壓控制能力 .....	V-40
6.3.3.3	當地電網的運行狀況 .....	V-40
6.3.4	吉相華亞風電場一、二期 .....	V-40

章節	標題	頁次
6.3.4.1	設備容量	V-40
6.3.4.2	無功補償能力和電壓控制能力	V-41
6.3.4.3	當地電網的運行狀況	V-41
6.3.5	察右中風電場一期	V-42
6.3.5.1	設備容量	V-42
6.3.5.2	無功補償能力和電壓控制能力	V-42
6.3.5.3	當地電網的運行狀況	V-43
6.3.6	烏蘭伊力更風電場	V-43
6.3.6.1	設備容量	V-43
6.3.6.2	無功補償能力和電壓控制能力	V-44
6.3.6.3	當地電網的運行狀況	V-44
6.3.7	昌圖太陽山風電場	V-44
6.3.7.1	設備容量	V-44
6.3.7.2	無功補償能力和電壓控制能力	V-45
6.3.7.3	當地電網的運行狀況	V-45
6.3.8	鹿鳴山官廳風電場一期	V-45
6.3.8.1	設備容量	V-45
6.3.8.2	無功補償能力和電壓控制能力	V-46
6.3.8.3	當地電網的運行狀況	V-46
6.4	結論	V-46
<b>7.</b>	<b>風電場性能表現</b>	<b>V-48</b>
7.1	風機可用率定義	V-48
7.2	風電場性能 — 發電量和可用率	V-48
7.2.1	賽汗風電場一期	V-48
7.2.1.1	發電量和可用率	V-49
7.2.1.2	結論	V-51
7.2.2	哲里根圖風電場一期	V-52
7.2.2.1	發電量和可用率	V-52
7.2.2.2	結論	V-54
7.2.3	吉相華亞風電場一、二期	V-55
7.2.3.1	發電量和可用率	V-55
7.2.3.2	結論	V-57
7.2.4	察右中風電場一期	V-57
7.2.4.1	發電量和可用率	V-58
7.2.4.2	結論	V-60
7.2.5	烏蘭伊力更風電場	V-61

章節	標題	頁次
7.2.5.1	發電量和可用率 .....	V-61
7.2.5.2	結論 .....	V-63
7.2.6	昌圖太陽山風電場.....	V-64
7.2.6.1	發電量和可用率 .....	V-64
7.2.6.2	結論 .....	V-66
7.2.7	鹿鳴山官廳風電場一期.....	V-66
7.2.7.1	發電量和可用率 .....	V-67
7.2.7.2	結論 .....	V-69
7.3	總體結論 .....	V-69
<b>8.</b>	<b>風電場的運行和維護.....</b>	<b>V-70</b>
8.1	介紹 .....	V-70
8.2	運行維護的架構組織.....	V-70
8.3	運行維護的安排 .....	V-71
8.4	結論 .....	V-75
<b>9.</b>	<b>燃氣聯產電廠技術審查.....</b>	<b>V-76</b>
9.1	京豐 CCHP 電廠一期.....	V-76
9.1.1	電廠建設和配置 .....	V-76
9.1.1.1	電廠建設 .....	V-76
9.1.1.2	電廠配置 .....	V-76
9.1.1.3	小結 .....	V-79
9.1.2	運行歷史 .....	V-79
9.1.2.1	容量和可用率 .....	V-79
9.1.2.2	出力 .....	V-80
9.1.2.3	熱效率 .....	V-80
9.1.3	資產狀態 .....	V-80
9.1.4	運行維護 .....	V-81
9.1.5	備件 .....	V-82
9.1.6	環境、健康和安全.....	V-82
9.1.7	結論 .....	V-82
9.2	太陽宮 CCHP 電廠 .....	V-83
9.2.1	電廠建設和配置 .....	V-83
9.2.1.1	電廠建設 .....	V-83
9.2.1.2	電廠配置 .....	V-83
9.2.1.3	概況 .....	V-85
9.2.2	運行歷史 .....	V-85
9.2.2.1	容量和可用率 .....	V-85
9.2.2.2	出力 .....	V-86

## 附錄五

## 技術報告

<u>章節</u>	<u>標題</u>	<u>頁次</u>
9.2.2.3	熱效率 .....	V-86
9.2.3	資產狀態 .....	V-86
9.2.4	運行維護 .....	V-87
9.2.5	備件 .....	V-87
9.2.6	環境、健康和安全 .....	V-87
9.2.7	結論 .....	V-88
<b>附錄</b>		
附錄A	主要參考資料 .....	V-89
<b>術語</b>	.....	<b>V-91</b>
<b>表</b>		
表3.1	代表性風電場的電網運行員 .....	V-23
表4.1	代表性風電場所安裝的風機 .....	V-25
表4.2	金風 S50-750 和 GW77-1500 技術參數 .....	V-26
表4.3	華銳 SL1500 LTV 技術參數 .....	V-27
表4.4	蘇司蘭 S82-1500 技術參數 .....	V-27
表4.5	恩德 S70/77 CCV-1500 技術參數 .....	V-28
表4.6	上海電氣 SEC-1250 低溫型技術參數 .....	V-29
表7.1	賽汗風電場一期運行數據 .....	V-51
表7.2	哲里根圖風電場一期運行數據 .....	V-54
表7.3	吉相華亞風電場一期運行數據 .....	V-57
表7.4	察右中風電場一期運行數據 .....	V-60
表7.5	烏蘭伊力更風電場運行數據 .....	V-63
表7.6	昌圖太陽山風電場運行數據 .....	V-66
表7.7	鹿鳴山官廳風電場一期運行數據 .....	V-68
表8.1	不同容量風電場的人員配置 .....	V-71
表9.1	電廠機組變壓器參數 .....	V-78
表9.2	京豐CCGT電廠容量和可用率 .....	V-79
表9.3	京豐CCGT電廠保證熱效率 .....	V-80
表9.4	太陽宮電廠容量和可用率 .....	V-85
<b>圖</b>		
圖2.1	中國風資源分佈及代表性項目位置 .....	V-17
圖7.1	12號風機功率曲線 .....	V-65

## 1. 綜述

### 1.1 簡介

莫特麥克唐納有限公司(以下簡稱「莫特麥克唐納」)獲北京京能清潔能源電力股份有限公司(以下簡稱「北京能源」)聘請為技術顧問。

莫特麥克唐納會就提供本服務及技術諮詢收取專業費用，惟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：

- 北京京能清潔能源電力股份有限公司；
- 技術評估範圍內的資產；或

在提交最終報告之前，本技術報告的草稿已提交北京能源及其顧問，但其目的僅用於確認本報告中材料和資料的準確性。

莫特麥克唐納是一家世界領先的致力於發展的跨學科諮詢公司，其業務涉及從能源、交通、健康和教育、水利和環境到建築、工業和通信等諸多方面。莫特麥克唐納在電力工程、水利、交通、建築和基礎設施等方面的卓越技術已得到公認。除了技術諮詢服務外，莫特麥克唐納還提供範圍廣泛的戰略規劃及財務和企業發展諮詢服務。莫特麥克唐納是一個完全獨立的國際性公司，總部設在英國，年營業額超過10億歐元，在全球140個國家擁有14,000多名員工。在英國星期日泰晤士報年度「25個最適合員工工作的大型企業」評選中，莫特麥克唐納連續三年名列前10名，在2010年評選中排名第8。

莫特麥克唐納在中國已經參與了超過70個專案，總容量超過3.2萬兆瓦，包括風電、水電、生物質發電、垃圾發電、燃氣和燃煤電廠。

莫特麥克唐納對北京能源的風電場和燃氣聯產電廠資產狀況進行了獨立技術評估。風電場評估內容包括風資源、發電量、可用率、運行維護、風機技術、電網接入方案以及是否遵循電網運行規程。燃氣聯產電廠評估內容包括燃氣供應、熱和電產能、可用率、運行維護、聯合迴圈燃氣輪機(CCGT)技術、機組壽命限制因素和大的故障以及環境限制。評估的資產涵蓋十五個正在運行風電場中有代表性的八個風電場和兩個在運行燃氣聯產電廠。

編製本報告所依據的大部分資訊源於北京能源提供的資料以及與北京能源相關工作人員會晤討論中所獲取的資訊。莫特麥克唐納對所有自外部來源所收集資料的有效性及其引述進行了專業判斷，並將對中國電力行業的深入瞭解運用於整個獨立技術評估過程中。

莫特麥克唐納精心組織了核心專家團隊，專責北京能源發電資產的技術評估。核心團隊成員及其職責表述如下。

**吳飛**，工學學士和碩士，該專案的專案經理，在中國電力行業有七年的工作經驗，在逾十五個電廠建設項目中擔任設計者和技術顧問，專案包括燃煤電廠、燃油電廠和風電場。他還有水電站資產收購技術評估專案經驗，以及一些風電開發商(如龍源)IPO技術盡職調查經驗。項目既有國內的，也有國外的。

**Scott Love**，工學學士和碩士，工程師，專注可再生能源領域，有五年多的風能領域經驗。他專長風機的設計、製造、安裝、試運行及維修。Scott 曾在一家風機製造廠家工作，並在英國、丹麥和美國做過多項項目。Scott 於2008年在美國科羅拉多州為一家世界領先風機技術研究實驗室測試樣機的安裝和試運行做現場監督，並進行培訓。在莫特麥克唐納，Scott 作為可再生能源工程師負責過多項專案，包括陸上和海上風電專案以及其他可再生能源項目。Scott 的經驗包括風資源評估、可行性研究、風電項目融資的盡職調查、技術評估、風電場建設和運行監督等。

**宋燕敏博士**，工學學士、碩士和博士，電力系統工程師和項目經理，在電力行業具有超過二十五年豐富的工程、商務和研發工作經驗，業績顯著。承擔專案諸多，不僅包括技術、市場和商務、環境影響、規程框架、標準應用、資訊及通信技術 (ICT)、搬遷政策，還包括社會要求和政府法令。其個人專長包括可再生能源如風電場、生物質和垃圾發電的盡職調查；分散式發電機的評估以及節能問題；電網和電力市場規則，尤其是風電場的併網規程；輸配電 (T&D) 網規劃；電力市場管理系統 (MMS)；電廠競價上網輔助決策系統；監控和數據採集／能量管理系統 (SCADA/EMS) 以及調度培訓模擬器 (DTS)。

**趙韻**，材料工程學士和碩士，動力工程碩士，專攻風能。她的專長是風電場和水電站等可再生能源的盡職調查，以及輸電鐵塔的建模和設計。到目前為止她承擔過若干中國IPO盡職調查專案。

**Piya Lertpiyayowong**，註冊專業工程師，電氣工程學士和可再生能源技術和環境管理碩士。他專長泰國大型電力專案的購電協議，包括熱電和可再生能源專案。他還在燃氣和

蒸汽輪機控制系統 (DCS 和 Mark V) 的安裝和調試方面有經驗。他最近參與了泰國一個SPP聯合發電廠的節能測定方案專案。他還有在 EGAT 的傳統電力專案管理EPC總包和監督管理施工的經驗。

**Danai Posomboon**，在泰國及海外有二十多年的電力專案工作經驗。他對生物質能電站和燃煤電廠有著很深的瞭解，包括工程、施工和運行。他承擔過眾多燃煤發電專案的盡職調查和可行性研究。在2007年他參與了泰國IPP投標詢價規劃專案，為要投標的 800MW 燃煤電廠提供技術支援。除火電廠外，Danai 在聯合迴圈燃氣輪機和生物質能電廠以及天然氣加壓輸送電廠方面亦有經驗。在運行和維護方面，他在燃煤電廠、聯合電廠、聯合迴圈和燃油火電廠有經驗，並且擔任過生物質能電廠的廠長以及聯合迴圈電廠的運行經理。

- 風資源和地理分佈 — 所選的代表性風電場位於風資源豐富的內蒙古、遼寧和北京西北部等地，如圖2.1所示。
- 風機類型 — 所選的代表性風電場採用的風機包括國內外廠家生產的風機，詳見本報告3.3節。
- 運行年份 — 所選的代表性風電場投運時間各不相同，詳見表4.1。
- 燃氣輪機供應商 — 兩個燃氣聯產電廠選用的燃氣輪機來自不同的一流燃氣輪機製造商，詳見3.4節。

## 1.2 專案各參與方

北京能源成立於2010年8月，由北京京能科技轉型而成，是京能集團的控股附屬公司，前身是1993年成立的北京能源投資。其業務主要為清潔能源項目的投資、建設和運行，涉及風能、天然氣發電、水力發電、生物質發電的開發利用和供熱網路。公司發展戰略是迅速加快風電和天然氣發電的利用，穩步發展水電、光伏及其他清潔能源技術。環境保護和節能項目也包括在其戰略計劃中。通過對代表性項目的審查，我們認為北京能源具備作為風電場和燃氣聯產電廠業主的資質和能力。

北京能源所選供應及維護其風電場風機的風機供應商大部分都是風電行業知名供應商。儘管上海電氣2006年才成立，其成立時間較短，但是上海電氣發展迅速，而且其母公



司之一上海電氣集團也具備強大的設備製造能力。因此，我們認為可以選用上海電氣作為風機供應商。我們認為這些風機製造商在所審查項目中具備相應的資質和能力。

通用電氣和三菱重工都是世界上有名的燃氣輪機供應商，且業績顯著。我們對它們的服務沒有顧慮。

在中國，輸配電網屬國有資產。目前，中國有三個獨立的電網公司作為電網運行員，國家電網公司和內蒙古電力公司是其中之一。我們在所承擔的中國電力項目和香港電力市場開發等項目中，已對國家電網公司和內蒙古電力公司具有一定瞭解，並獲得相關經驗，認為中國輸配電公司完全具有電網運行員的能力和經驗。

### 1.3 風機技術

代表性風電場安裝的風機由國內外風機製造商生產，我們審查的風機機型的額定功率範圍從 750 kW 到 2 MW 不等，總體來說基本滿足現行技術標準。已經安裝的風機都是根據現場具體情況選擇的。

北京能源風電場採用了不同類型的風機，包括金風 S50/750 和 GW77/1500、上海電氣 SEC/1250、恩德 S70/1500 和 S77/1500 以及蘇司蘭 S82/1500 等。除了上海電氣外，北京能源風電場採用的其他風機機型均具有足夠多的業績證明，因此，我們認為這些風機在合理運行和維護的情況下技術成熟，機型可靠。至於上海電氣，我們認為其作為風機供應商也是可接受的，具體參見 1.2 節。

根據國家電網頒佈的國家電網技術規定中關於低電壓穿越的要求，官廳和太陽山風電場或須進行技術升級以具備低電壓穿越能力。金風公司確認用於官廳風電場的金風機組已具備低電壓穿越的能力。北京能源承諾會在接到國家電網公司升級要求後對太陽山風電場進行技術升級。

值得注意的是八個代表性風電場中有七個位於中國寒冷地區，根據出廠規格，這些風電場安裝的所有機型都是低溫型或是具備低溫運行的能力。

### 1.4 風力資源評估

通過審查八個代表性風電場的可行性研究，我們認為在風資源評估方面採用的方法是一致的，總體而言，其方法與國際標準慣例基本相符。中國標準源於國際公認標準，但是由於中國的市場需求不同而略有不同。例如，與國際慣例相比，中國風資源評估方法對發電量預測中的不確定性分析沒有作特別強調，功率曲線的空气密度修正方法有時在我們

看來也不是最佳方法。可行性研究沒有考慮當地電網限電因素，因而不能完全反映所審查風電場的實際發電量。因此，每個風電場實際發電量和可行性研究中發電量預測值之間至少會有因電網限電引起的估算誤差。

儘管有這些不同之處，但是總體來說在我們審查的可行性研究中所採用的方法和假設都明顯採用了保守估計，尤其是用於計算淨發電量的損耗估算，相對於我們評估的其他國家風電場的一般發電量損耗值偏高。但是，我們認為應該盡可能基於試運行後的實際發電量資料來預測未來的發電量。

### 1.5 接入電網評估

所有風電場升壓變電站均配有足夠的主變容量，在正常運行情況下，能夠傳輸風電場滿發時的電能。

考察的風電場大多用單回線接入電網，但是所有連接風電場與電網連接點的架空電線的容量在正常運行情況下均能夠傳輸風電場滿發時的電能。儘管這樣的設計無法滿足西方風電場「N-1」安全準則，但我們注意到，在西方，風電場的送出線路屬風電場所有，風電場可酌情選用「N-1」原則，而並無強制性規範要求。而在中國，風電場的輸出線路屬電網公司所有，幾乎所有風電場都採用單回線接入電網。2009年12月頒佈的《國家電網風電場接入電網技術規定(修訂版)》亦無規定風電場變電站到電網接入點的傳輸電網必須滿足「N-1」安全標準。

所有具有代表性的風電場升壓站和併網點變電站的斷路器容量均能滿足開斷故障電流的需要。我們沒有發現任何有關開關設備的問題。該等風電場同大多數中國風電場一樣均設有多種繼電保護系統。風電場配置有雷電保護裝置用於保護設備免受雷電損壞。風電場設備狀況良好，無明顯問題。

所有代表性風電場的風機均按照國家電網技術規定的要求在電網接入點保持一定的功率因數。按照電網接入研究報告要求，所有代表性風電場均裝有無功補償裝置，支持無功功率。此外，所有主要變壓器均配置有載調壓分接頭，能夠在90%至110%的範圍內調節變壓器高壓側繞組電壓。因此，我們認為風電場擁有足夠的無功容量及電壓控制能力，能夠滿足電網運行規程所規定的無功需求和電壓調節要求。

由於風速易變且難以預測，故風電場的發電量亦難以估計。風能的該等特性影響電網運行的穩定性，令計劃進度受影響。電網中風電所佔比例越高，該等問題的影響越嚴重。為解決該等問題，將風電場接入電網時須符合網絡安全操作要求。2009年2月國家電網公司發佈將風電場接入電網的新電網技術規定。電網技術規定指出風電場須在48赫茲至51赫茲的頻率範圍內運作。風機須具備低電壓穿越能力，確保當電網電壓降至正常水平20%時，風機仍可繼續運作625毫秒。當電網電壓在其額定值正負10%比率範圍內波動時，風機亦應有能力繼續運作。

現行國家電網風電場接入電網技術規定(修訂版)要求對電能素質和低電壓穿越能力進行評估，確保在給定的限制條件下相關指標符合技術標準，而風電場在接入電網前須完成相關測試。現行國家電網風電場接入電網技術規定(修訂版)所規定的低電壓穿越能力僅為國家電網公司發佈的指引，並非法律、法規、國家標準或強制性要求。因此，並無強制要求遵循電網技術規定所載要求。本集團大多數風電場位於內蒙古，受內蒙古電網公司規管，而內蒙古電網公司並無同類規定。現行電網技術規定並無指明進行升級或完成升級的期限。

根據我們的實地考察，除北京和鐵嶺兩個地方電網以外，其他地方電網對風電場沒有足夠的接納能力，不足以保證風電場的正常運行和電力輸出。我們注意到內蒙古地區的風電場普遍受到上網限制。其主要原因是在冬季期間，特別是在夜晚，為保證內蒙古地區供熱，該地的火電廠須熱電聯產，而地方電網調節有功功率的能力有限，故該地風電場的發電會受到一定限制。另外，風電產業大規模擴充，使得電力系統電壓穩定問題成為內蒙古電網的主要問題。據悉，一種可能的解決方案是建設更多的電網間連接線纜，包括建議合資建設內蒙古西部和華北地區之間的兩條高壓電網連接線纜。我們認為當地電網對北京能源風電場應具有足夠的接納能力，並期待這樣的問題在近期電網的配套建設中得到妥善解決。莫特麥克唐納注意到內蒙古計劃大舉改造升級當地電網以期容納更多電能。該計劃已開始實施，這將有效提高風電場上網能力。

中國風電行業自2007年以來迅速發展，內蒙古電網限電問題於2009年冬季才開始凸顯。然而，隨着內蒙古電網公司於2010年進行升級，上述問題已逐漸緩解。2011年2月，內蒙古電網公司500千伏河套變電站啓用，大大舒緩了烏蘭伊力更風電場的限電問題。輝騰梁

220千伏變電站預計將於2011年7月啟用，並將升壓至500千伏，這將很大程度上解決吉相華亞風電場的限電問題。莫特麥克唐納認為應在可行性研究階段充分考慮限電問題。

### 1.6 風電場性能表現

在審查的八個代表性風電場中，有兩個風電場的風機機型、數量和排佈與可行性研究報告中的不一致。有兩個風電場本年度剛完成試運行，因此沒有足夠的運行資料（至少12個月的正常運行資料），另有一個風電場由於所有四期共用一個計量表而沒有單獨提供一期上網電量，所以我們無法評估這五個風電場實際發電量是否和可行性研究報告中發電量預測值一致。

餘下的三個風電場中，有兩個風電場的實際年發電量高於可行性研究報告中預測的年發電量。

昌圖太陽山風電場的實際發電量低於期望值，從已有資料我們得知主要是平均風速相對較低的緣故。可行性研究假定的年平均風速為 6.74 m/s，遠遠高於實際年平均風速 3.78 m/s。

八個代表性風電場中有六個風電場位於內蒙古，所在區域風況甚好。倘內蒙古地區並無普遍存在的電網限電問題，該等風電場的表現會更好。我們期望該問題在未來電網的配套建設中得到妥善解決。但是鄰近北京和遼寧省鐵嶺市的兩個風電場全然沒有這樣的問題。

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

### 1.7 風電場運行維護

我們認為這種運行維護方式適合北京能源，因為其運行維護模式乃基於目前公認最優的實施模式，根據北京能源風電場的具體情況而制定。儘管中國運行維護的通用慣例在少數方面與國際標準不同，但北京能源風電場的運行維護狀況符合我們對國內風電場的期望。

位於呼和浩特的控制中心的設立對提高北京能源內蒙古西部地區各風電場的運行管理水準、節省人力資源、降低運行成本、提高運行分析控制水準、促進風電場的健康穩定運行有很大幫助。這種控制中心的設置十分符合中國風電發展實際情況，將很有可能得到推廣和普及。

儘管我們認為風機主要部件的預防維護策略有待進一步改進，但是，總體而言，檢修安排、運行維護的組織結構、備品備件的採購和儲存以及北京能源風電場的質量、健康、安全與環境體系組織良好，可以接受。

## 1.8 燃氣聯產電廠技術評估

我們對京豐 CCHP 電廠的關鍵結論和建議如下：

- 我們認為主發電廠系統使用的是成熟的、經過驗證的技術；
- 我們對技術資料的審查顯示，電廠的總體情況大體與我們對同年限同類型設施的預期一致；
- 電廠的可用率在在一定程度上低於行業平均標準，但中國關於可用率的定義和規定與西方本不相同；
- 電廠設計出力和熱效率與我們的期望一致，實際性能資料亦已經試運行試驗報告證實；
- 電廠的容量系數相對於國內同類燃氣聯產電廠處於較高水準，而相對於西方同類燃氣聯產電廠來說卻略低，這是由於電廠的年發電量在每年年初由政府機構制定的生產計劃確定，而京豐 CCGT 電廠的主要任務是為北京社區供熱，因而大部分發電量在供熱季完成；
- 除主冷卻水泵外，主廠設備的冗餘設計視為充足；
- 在過去四年的運行紀錄中，未發現任何燃氣供應中斷的情況；
- 莫特麥克唐納審查了電廠與三菱重工達成的長期備件管理服務協定。電廠一般會在計劃檢修前與三菱重工簽訂單獨的技術指導協議（未經莫特麥克唐納審閱），由三菱重工派專業工程師到電廠指導檢修。京豐電廠有足夠的技術力量和人員隊伍，在三菱重工委派的專業工程師的指導下，完成各種檢修工作。相對於長期服務合同，這樣的安排更具成本效益，更符合京豐電廠現狀；及
- 通過審查與燃機供應商三菱重工簽訂的長期備件管理服務協定，我們認為該協定保障了備件的供應。我們審查了燃機備件的庫存清單，與西方類似電廠相比合理而充足。

我們對太陽宮 CCHP 電廠的關鍵結論和建議如下：

- 我們認為主發電廠系統使用的是成熟、經過驗證的技術；
- 我們對技術資料的審查顯示，電廠的總體情況大體與我們對同年限同類型設施的預期一致；

- 電廠的可用率在一定程度上低於西方行業平均標準，但中國關於可用率的定義和規定與西方本不相同；
- 電廠設計出力和熱效率與我們的期望一致，亦已經試運行試驗報告的實際性能資料證實；
- 電廠的容量系數相對於國內同類燃氣聯產電廠處於較高水準，而相對於西方同類燃氣聯產電廠來說卻略低，這是由於電廠的年發電量在每年年初由政府機構制定的生產計劃確定，而太陽宮 CCGT 電廠的主要任務是為北京社區供熱，因而大部分發電量在供熱季完成；
- 主廠設備的冗餘設計視為充足；
- 在過去兩年的運行紀錄中，未發現任何燃氣供應中斷的情況；
- 與通用電氣簽訂的長期維護合同為本專案提供了非常好的專業支持，而視情維護的策略亦符合現代電廠行業慣例；及
- 現場備件保存狀況良好。備件庫存清單顯示所有主要系統的備件種類齊全、數量充足、型號合理。特別是燃機主要備件(包括熱氣道檢修和大修所需備件)的庫存情況，足以滿足日常檢修和計劃檢修的需要。

## 2. 介紹

### 2.1 概述

莫特麥克唐納有限公司(以下簡稱「莫特麥克唐納」)獲北京京能清潔能源電力股份有限公司(以下簡稱「北京能源」)聘請為技術顧問。

莫特麥克唐納是一家世界領先的致力於發展的跨學科諮詢公司，其業務涉及從能源、交通、健康和教育、水利和環境到建築、工業和通信等諸多方面。莫特麥克唐納在電力工程、水利、交通、建築和基礎設施等方面的卓越技術已得到公認。除了技術諮詢服務外，莫特麥克唐納還提供範圍廣泛的戰略規劃及財務和企業發展諮詢服務。莫特麥克唐納是一個完全獨立的國際性公司，總部設在英國，年營業額超過10億歐元，在全球140個國家擁有14,000多名員工。在英國星期日泰晤士報年度25個「最適合員工工作的大型企業」評選中，莫特麥克唐納連續三年名列前10名，在2010年評選中排名第8。

莫特麥克唐納在中國已經參與了超過70個專案，總容量超過3.2萬兆瓦，包括風電、水電、生物質發電、垃圾發電、燃氣和燃煤電廠。

莫特麥克唐納對北京能源風電場和燃氣聯產電廠的資產狀況進行了獨立技術評估。風電場評估內容包括風資源、發電量、可用率、運行維護、風機技術、電網接入方案以及是否遵循電網運行規程。燃氣聯產電廠評估內容包括燃氣供應、熱和電產能、可用率、運行維護、聯合迴圈燃氣輪機 (CCGT) 技術、機組壽命限制因素和大的故障以及環境限制。

編製本報告所依據的大部分資訊源於北京能源提供的資料以及與北京能源相關工作人員會晤討論中所獲取的資訊。莫特麥克唐納對所有自外部來源所收集資料的有效性及引述進行了專業判斷，並將對中國電力行業的深入瞭解運用於整個獨立技術評估過程中。

北京能源資產中包括數量較多且遍佈全國各地的風電場和燃氣聯產電廠。這些電廠由若干不同的地方設計院依據相同的中國標準設計而成，風機及燃氣輪機由多個國內外廠商提供。鑒於此，本報告僅對具有代表性的項目進行評估。所選的電廠能夠最好地涵蓋和體現北京能源所控制並運行的各種電廠的特性。選擇代表性電廠時，主要考慮的因素為：

- 風資源和地理分佈 — 所選的代表性風電場位於風資源豐富的內蒙古、遼寧和北京西北部等地，如圖2.1所示。
- 風機類型 — 所選的代表性風電場採用的風機包括國內外廠家生產的風機，詳見本報告3.3節。
- 運行年份 — 所選的代表性風電場投運時間各不相同，詳見表4.1。
- 燃氣輪機機型 — 兩個燃氣聯產電廠選用的燃氣輪機來自不同的一流燃氣輪機製造商，詳見3.4節。

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

## 2.2 資產概述

### 2.2.1 總體概述

截至2010年12月31日，北京能源擁有16個風電場，控股裝機容量為1,058,75 MW，以及2個燃氣熱電聯產電廠，控股裝機容量為1,190.00 MW。所有風電場均由北京能源國內各附屬公司經營。2009年，北京能源控股風電總發電量為802 GWh，控股燃氣熱電聯產電廠的總發電量為3,855 GWh。

北京能源風電項目中採用的風機技術來自中國著名風機製造商，如金風、華銳、保定聯合動力、明陽風電、鋒電能源、北重和上海電氣，以及國際知名風機供應商，如蘇司蘭和恩德。風機容量從 750 kW 到 2.5 MW 不等。

### 2.2.2 代表性風電場的選擇

由於北京能源資產中包括多個風電場，故此決定選擇八個具有代表性的風電場作為我們盡職調查的範疇進行評價。

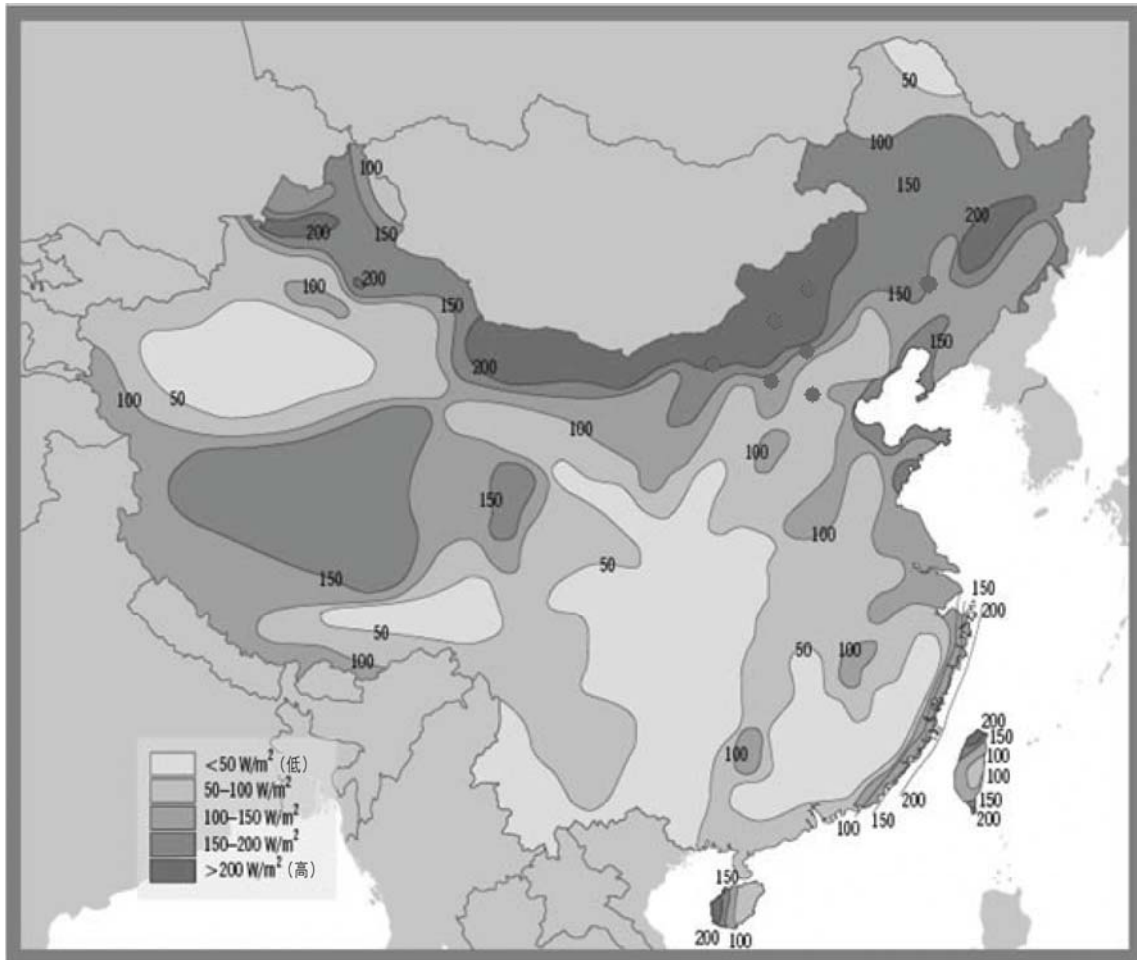
代表性風電場的選擇基於以下因素：

- 風資源；
- 地表地形；
- 風機供應商；及
- 運行年限。



中國的風資源極為豐富，全球風能理事會 (GWEC) 在其「2009年全球風資源報告」中評估中國的可開發陸上風電資源約為2,380GW。根據由中國資源綜合利用協會可再生能源專業委員會 (CREIA) 和可持續能源商會 (BCSE) 所做的調查，風資源分佈如圖2.1所示。風資源較豐富的地區位於中國北部的內蒙古、新疆、甘肅河西走廊、青藏高原的部分地區，以及中國東北、河北及山東至福建省的東部沿海地區。圖2.1中顏色的深淺代表不同的風密度。

圖2.1：中國風資源分佈及代表性項目位置



資料來源：BCSE/CREIA 2006

我們在內蒙古、遼寧和北京西北端風資源豐富的地區選擇有代表性的風電場進行考察，如圖2.1中紅色所示。

莫特麥克唐納乃基於以下標準選擇進行考察評估的風電場：

- (1) 我們考察的風電場均在運行中，是因為運行中的風電場有實際營運紀錄，因此

莫特麥克唐納可評估其實際表現及預測是否準確。選擇進行考察的風電場時，莫特麥克唐納已考慮所有值得考察的風電場，並採用下述標準進行甄選。

- (2) 我們已考察及評估主要製造商如金風、華銳、恩德及蘇司蘭的風機。該等供應商為北京能源的風電場提供大多數風機，佔運行中的779套風機中的452套(約58%)。另外，該等風機製造商亦已與北京能源簽訂合約，向北京能源提供日後開發風電場所需的大多數風機。
- (3) 莫特麥克唐納認為，倘兩個風電場使用同一供應商的相同型號風機，則僅須評估其中一個風電場。
- (4) 選定的風電場分佈於北京能源業務所處的發達及發展中地區(內蒙古西部至遼寧省)。
- (5) 第2)段所述的主要風機供應商之全部風機型號均已評估。
- (6) 倘同一風電場不同階段使用同一供應商之相同型號風機，則莫特麥克唐納相信評價其中一個階段的風機型號已可代表全部階段的評估。
- (7) 於2010年6月，即莫特麥克唐納選定的評估時間，共有16個運行中的風電場。莫特麥克唐納已考察其中8個風電場(約50%)。莫特麥克唐納考察的風電場裝機容量為660.8 MW，而北京能源於2010年6月的總裝機容量為1058.8 MW，因此我們已考察北京能源約62.4%的運行中風電場的裝機容量。
- (8) 我們選擇的風電場位於風能密度為50 W/m<sup>2</sup>至200 W/m<sup>2</sup>的地區。因此，該等風電場可反映不同風況下的風電性能。

### 2.3 報告結構

本報告對有關專案建設和運行的關鍵資料進行詳細審查。報告結構如下所示：

- 專案各參與方；
- 風機技術；
- 風資源評估；
- 電網接入評估；
- 風電場性能；
- 運行與維護狀況；
- 燃氣電廠技術評估；及

### 2.4 報告狀態

本報告是基於截至本報告日期所獲得的資料和其他資訊的評估而完成。莫特麥克唐納從北京能源處搜集所有可用資料和資訊，並實地考察所有項目現場，經考慮所有主要技術問題，進行全面技術分析和評估。莫特麥克唐納刊發此報告最終版前已與各相關方進行充分溝通。

### 3. 專案各參與方

#### 3.1 介紹

本報告本節評估風電場建設專案中各參與方的資質和能力，包括北京能源和各主要風機供應商以及燃氣輪機供應商。所採用資訊源於我們研究分析中所收集的資訊，與各方相關人員會晤討論以及對從互聯網所獲取資訊的甄選。我們並未分析各參與方財務狀況與財務實力。

#### 3.2 北京京能清潔能源電力股份有限公司

北京能源成立於2010年8月，由北京京能科技轉型而成，是京能集團的控股附屬公司，前身是1993年2月成立的北京能源投資，專著清潔能源項目的投資、建設和運行，結合風能、燃氣發電、水力發電、生物質發電的開發利用和供熱網路。發展戰略是快速發展風電和燃氣發電業務，穩步發展水電、光伏及其他清潔能源技術。環境保護和節能項目也包括在其戰略計劃中。

截至2010年12月31日，北京能源擁有16個風電場，控股裝機容量為1,058,75 MW，以及2個燃氣熱電聯產電廠，控股裝機容量為1,190.00 MW。所有風電場均由北京能源國內各附屬公司經營。2009年，北京能源控股風電總發電量為802 GWh，控股燃氣熱電聯產電廠的總發電量為3,855 GWh。

根據2010年3月中國風能協會發佈的報告，北京能源在2009年中國風電裝機容量方面排名第六。

通過對代表性項目的審查，我們認為北京能源具備運行風電場和燃氣聯產電廠的能力。

#### 3.3 風機供應商

北京能源在其風電場建設中採用了多種中外風機製造商所提供的風機。風機的選型對確保風電場在電能品質、可用率、併網、發電量最大化等方面良好的性能至關重要。北

京能源於北京總部集中管理所有風機的採購和施工安裝，再由各區域附屬公司負責運營。下面對所考察代表性風電場所用風機的所有製造商進行評估。

### 3.3.1 新疆金風科技股份有限公司

新疆金風科技股份有限公司(「金風」)的歷史可追溯至1998年，是中國領先的風機製造商和整體技術解決方案供應商，其核心業務為風機的研發、製造及銷售，亦提供風電項目的諮詢服務及開發可整體售予風電場運營商及投資者的風電場，亦參與設計和建設、風電場規劃和諮詢服務。

2008年，金風成功收購德國 Vensys。截至2009年底，金風擁有新疆、北京兩大生產基地和內蒙古包頭、甘肅酒泉、陝西西安、河北承德和寧夏五大總裝廠，另在德國擁有一家工廠。

截至2010年5月27日，金風累計銷售風機7,773台，已有超過6,000台被安裝於全國19個省份。2009年，金風新增裝機容量 2,726.5 MW，截至2009年的累計裝機容量為 5,351.05 MW。根據2010年3月中國風能協會發佈的報告，按照2009年在新增裝機容量和2007年至2009年累計裝機容量排名，金風均位列第二。根據一份日期為2010年3月的可靠資料，按2009年新增裝機容量排名，金風位列第五。

### 3.3.2 華銳風電科技(集團)股份有限公司

華銳風電是中國主要風機製造商之一，總部設在北京，在天津、遼寧省大連、內蒙古包頭、興安盟和巴彥淖爾、山東省東營、江蘇省鹽城和甘肅省酒泉均設有分公司或廠房。主要從事陸上和海上風機的開發、設計、製造、市場開拓、銷售和操作及維護服務。

華銳風電運行業績顯著，裝機數量可觀。2009年，華銳風電新增裝機容量 3,510 MW，累計裝機容量達 5,652 MW。根據2010年3月中國風能協會發佈的報告，按照2009年新增裝機容量和2007年至2009年累計裝機容量排名，華銳均位列第一。根據一份日期為2010年3月的可靠資料，按2009年新增裝機容量排名，華銳位列第三，累計裝機容量佔全球市場份額的3.5%。

### 3.3.3 蘇司蘭

自從1995年在印度成立後，蘇司蘭已經發展成為全球領先的風電公司，擁有超過14,000名員工，遍佈21個國家。

2009年對瑞能的收購使該家印度公司在歐洲市場中站穩了腳跟。到2009年底，蘇司

蘭在全球安裝的風機總容量已達 9,671 MW。根據一份日期為2010年3月的可靠資料，該印度公司累計總裝機容量佔全球市場份額的9.1%（包括收購的瑞能），在世界排名第五。

在本次評估範圍內就有風電場安裝蘇司蘭的風機，由蘇司蘭全資附屬公司——蘇司蘭能源(天津)有限公司提供，該公司於2007年開始運作，工廠生產葉片、機艙、機艙罩、控制面板系統、輪軸和發電機。已承擔專案的總容量達 825 MW，幾乎相當於安裝600台風機。2009年，蘇司蘭在中國新增風機裝機容量 293 MW，累計裝機容量達 605 MW，在中國市場位列第九。

### 3.3.4 恩德

1985年恩德於丹麥成立，致力研製更大功率及更經濟型的風機。目前在全球34個國家安裝超過3,700台風機，總裝機容量超過 4,800 MW，在18個國家設立辦事處及附屬公司。恩德在世界各地成功安裝了幾百台 2.3-2.5 MW 型風機。

恩德自1995年開始在中國經營業務，於1998年在西安建立合資企業進行風機組裝。2006年合資成立恩德(銀川)風電設備製造有限公司，組裝 1.5 MW 風機。恩德於2007年1月在山東省東營市成立葉片製造廠，生產 1.5 MW 風機的葉片。迄今為止，恩德在中國有430名員工。

恩德自1995年起開始中國業務。自1985年起，恩德在中國安裝超過350台風機，截至2009年5月30日的累計裝機容量為 443.9 MW。針對中國市場，恩德主推 Nordex S70 和 Nordex S77 系列風機。

### 3.3.5 上海電氣風電設備有限公司

上海電氣風電設備有限公司是由上海電氣集團股份有限公司與中國華電工程有限公司於2006年9月成立的合資公司，是集風機設計、製造、技術諮詢及工程、採購及建設為一體的專業工程公司。

上海電氣生產組裝設施位於臨港，年產1,500台風機。位於江蘇的第二生產設施於2010年8月竣工，用於生產 2 MW及3.6 MW 海上風機。上海風電公司2006年年初獲得許可，引進德國 Dewind D6-1.25 MW 技術。2007年與德國 Aerodyn 聯合開發適合中國風況的 2 MW 風機。上海電氣現可製造 1.25 MW、2 MW 和 3.6 MW 三種風機。

2009年，上海電氣新增風機裝機容量 280.5 MW，累計裝機容量 475.5 MW，根據2010年3月中國風能協會發佈的報告，按2009年新增裝機容量排名，上海電氣位列第十一；按2007年至2009年累計裝機容量排名，上海電氣位列第十二。

### 3.3.6 結論

在所評估的風電場項目中，北京能源選作供應和維護風機的大多數風機供應商在全球風力行業享負盛名，我們認為該等風機製造商可在所評估的風電項目中大顯身手。儘管上海電氣2006年方成立，較其他獲選風機供應商而言，經營紀錄尚短，但於過去四年發展迅速，成為具備強大設備製造實力的上海電氣集團的附屬公司。因此，我們認可上海電氣作為我們的風機供應商。鑑於北京能源選擇的所有其他風機類型均有豐富營業往績，我們認為倘妥善操作及充分保養，所使用的機型技術成熟可靠。

## 3.4 燃氣輪機供應商

### 3.4.1 通用電氣

通用電氣(「通用電氣」)是全球發電和輸配電市場領先的美國供應商，專注燃氣輪機運行和維護服務。通用電氣成立逾130年，現服務120多個國家，於全球安裝燃氣輪機超過6,000台，累計運行超過2億小時。

通用電氣所生產燃氣輪機的容量從26 MW到480 MW不等，大小電場均可適用。在國際市場上，作為燃氣輪機製造商及運行維護服務供應商，通用電氣聲譽良好，故我們現並不擔心通用電氣的服務。

### 3.4.2 三菱重工業有限公司

三菱重工業有限公司(「三菱重工」)是全球發電市場領先的日本供應商，專為燃氣輪機提供運行和維護服務。三菱重工為三菱集團的聯屬公司，而三菱集團成立超過125年，有92家聯屬公司。目前，三菱重工有33,000多名僱員，在全球安裝超過500台燃氣輪機。

三菱重工可生產燃氣輪機的容量從6 MW到300 MW不等，大小電廠均可適用。在國際市場上，作為燃氣輪機製造商，三菱重工聲譽良好，故我們現並不擔心三菱重工的服務。

### 3.4.3 結論

通用電氣和三菱重工均是全球知名燃氣輪機供應商且有豐富經營往績。我們現並不擔心彼等的服務。

## 3.5 電網運行員

迄今，中國有三個電網公司，包括：

- 國家電網公司(「國家電網公司」)
- 南方電網公司(「南方電網公司」)

- 內蒙古電力公司

彼等包括38家輸電網公司和3,171家配電網公司。輸電網公司負責省級及以上輸電網的運行和管理，而配電網公司(供電公司)負責配電網的運營與管理以及售電予客戶。

### 3.5.1 所選風電場的電網運行員

按2.2.2節所詳述，我們所調查的8個風電場分佈在東北和華北地區。該等風電場已接入至國家電網公司及內蒙古電力公司的220kV、110kV和66kV輸配電網。

表3.1載列所選風電場的電網運行員，包括國家電網公司或內蒙古電力公司下屬的地級、省級和地區電網運行員。

表3.1：代表性風電場的電網運行員

序號	風電場	裝機容量 (MW)	電網運行員				併網點 電壓等級
			地級	省級	地區級	國家級	
1	賽汗風電場 一期	49.5 MW	錫西 供電公司	內蒙古 電力公司	不適用		220kV
2	哲里根圖風電場 一期	48.75 MW	錫林 供電公司	內蒙古 電力公司	不適用		220kV
3	吉相華亞風電場 一期	49.5 MW	錫林 供電公司	內蒙古 電力公司	不適用		220kV
4	吉相華亞風電場 二期	49.5 MW	錫林 供電公司	內蒙古 電力公司	不適用		220kV
5	察右中風電場 一期	49.5 MW	烏蘭察布 供電公司	內蒙古 電力公司	不適用		220kV
6	烏蘭伊力更 風電場	300 MW	巴彥淖爾 供電公司	內蒙古 電力公司	不適用		220kV
7	昌圖太陽山 風電場	49.5 MW	鐵嶺 供電公司	遼寧 電力公司	東北電網 公司	國家電網 公司	66kV
8	鹿鳴山官廳 風電場一期	49.5 MW	不適用	北京 供電局	華北電網 有限公司	國家電網 公司	110kV

### 3.5.2 國家電網公司(「國家電網公司」)

國家電網公司由國務院於2002年12月29日成立，負責建設和運營電網，為經濟發展提供可靠供電保障。國家電網公司為26個省、市、自治區供電，佔國土面積的88%，供電服務人口達10億。截至2009年底，國家電網公司擁有和管理5家區域電網公司和26家省級電網公司。110 kV 及以上輸電線路長度為553,382公里。2009年國家電網公司總售電量達2,274.8TWh，年收益為人民幣12,659.8億元，因此，我們認為國家電網公司具有作為電網運行員的能力。

### 3.5.3 內蒙古電力公司

內蒙古電力公司是獨立省級電網公司，負責投資和建設蒙西輸配電網。蒙東電網由隸屬於國家電網公司的東北電網公司負責調度運行。截至2009年底，內蒙古電力公司擁有110 kV 及以上輸電線路，長度超過20,000公里。2009年內蒙古電力公司總售電量達100.7 TWh，年收益為人民幣319億元。因此，我們認為內蒙古電力公司具有作為電網運行員的能力和經驗。

### 3.5.4 結論

在中國，輸配電網屬國有。中國有三家電網公司兼任電網運行員，國家電網公司和內蒙古電力公司為其中兩家。我們通過與國家電網公司和內蒙古電力公司合作中國電力項目和香港電力市場開發項目，獲得相關經驗，認為中國輸配電公司具有電網運行員的資質能力和經驗。

## 3.6 總體結論

北京能源成立於2010年8月，由北京京能科技轉型而成，是京能集團的控股附屬公司，前身是1993年2月成立的北京能源投資，專著清潔能源項目的投資、建設和運行，結合風能、燃氣發電、水力發電的開發利用和供熱網路。發展目標是迅速加快利用風電和燃氣發電，穩步發展水電、光伏及其他清潔能源技術。環境保護和節能項目亦包括在其戰略計劃中。通過對代表性項目的審查，我們認為北京能源具備運行風電場和燃氣聯產電廠的資質和能力。

北京能源在其風電場所選用供應及維護風機的供應商大部分均於風電行業聲譽卓著。然而，上海電氣於2006年方成立，經營往績歷史較其他風機供應商短，但其發展迅速且母公司上海電氣集團具備強大設備製造能力。因此，我們認可上海電氣作為我們的風機供應商。我們認為該等風機製造商可在所審查項目中大顯身手。



通用電氣和三菱重工均為世界知名燃氣輪機供應商，有豐富經營往績，故我們現並不擔心彼等的服務。

在中國，輸配電網屬國有。中國有三家電網公司兼任電網運行員，國家電網公司和內蒙古電力公司為其中兩家。我們通過與國家電網公司和內蒙古電力公司合作中國電力項目和香港電力市場開發項目，獲得相關經驗，認為中國輸配電公司具有電網運行員的資質能力和經驗。

## 4. 風機技術

### 4.1 涉及的主要風機

按表4.1所示，代表性風電場所採用的風機由國內外製造商生產。經審查的大部分風機類型採用基本符合當前技術標準的現代設計，額定功率範圍為 750 kW 至 1.5 MW。所有已安裝的風機類型均根據現場具體情況而選定。

表4.1：代表性風電場所安裝的風機

序號	風電場	容量 (MW)	投產 年期	製造商	風機機型	額定 功率 (kW)	風機 台數
1	賽汗一期	49.5	2009	金風	S50/750	750	30
					GW77/1500	1,500	18
2	哲里根圖一期	48.75	2009	上海電氣	SEC/1250	1,250	39
3	吉相華亞一期	49.5	2009	恩德	S77/1500	1,500	33
4	吉相華亞二期	49.5	2009	蘇司蘭	S82/1500	1,500	33
5	察右中一期	49.5	2009	恩德	S70/1500	1,500	33
6	烏蘭伊力更	300	2009	金風	GW77/1500	1,500	200
7	昌圖太陽山	49.5	2009	華銳	SL1500/77	1,500	33
8	鹿鳴山官廳一期	49.5	2009	金風	GW77/1500	1,500	33

#### 4.1.1 金風S50-750和GW77-1500

金風於1998年通過引進德國風機製造商的技術展開業務，在2002年首次從瑞能獲得 48 kW 至 750 kW 風機技術的生產許可，後於2003年從 Vensys 獲得 62-1.2 MW 型風機、繼而獲得 64-1.5 MW 低風速機型風機的許可。

金風的早期機型S50基於瑞能標準雙饋感應發電機和失速控制系統設計。由於失速型葉片不能控制葉輪的轉速和調節功率，因此該技術相對過時，但我們認為該技術臻熟，且經實踐證明可靠。隨着兆瓦級變槳風機日益廣受歡迎，S50不再是金風的主力風機類型。

GW77 基於 Vensys 的設計理念而設計，採用無齒輪箱系統加同步永磁電機，即沒有

齒輪箱、中間軸和聯軸器的直驅系統，而該等部件通常容易失效而需要頻繁保養，故使用永磁電機可避免使用勵磁線圈、滑環以及為勵磁所消耗的直流電。

鑑於 GW77 技術廣獲認同，我們認為在所審查項目中該類機型可靠。其主要技術參數概覽見表4.2。

表4.2：金風 S50-750 和 GW77-1500 技術參數

	S50	GW77
輪轂高度	60m	65m
葉輪直徑	50m	77m
額定功率	750kW	1,500kW
IEC等級	IEC IIA	IEC IIA
認證	中國船級社	北京鑒衡認證中心
切入風速	3.5m/s	3m/s
額定風速	14-15m/s	11m/s
切出風速	25m/s	22m/s
發電機	雙饋非同步電機	永磁直驅同步電機
齒輪箱	一級行星輪 + 兩級斜齒輪	無齒輪箱直驅
齒輪箱傳動比	1:70.022	不適用
功率調節和控制	失速	電機驅動變槳
運行溫度	-30℃ ~+40℃	-30℃ ~+40℃
生存溫度	-40℃ ~+50℃	-40℃ ~+50℃

#### 4.1.2 華銳 SL1500

2009年，華銳裝機容量為 3,510 MW，主力機型為 SL1500 風機系列。華銳通過和德國 Fuhrländer 合作研發風機技術，並根據與 AMSC Windtec 訂立的許可協議生產。SL1500 是三葉片、水準軸的風機，配有雙饋電機、主動變槳和偏航變速系統。該風機有常溫型和低溫型。

整體而言，我們認為 SL1500 機型的設計符合行業標準。主要技術參數概覽見表4.3。

表4.3：華銳 SL1500 LTV 技術參數

	<b>SL1500</b>
輪轂高度.....	70m
葉輪直徑.....	77m
額定功率.....	1,500kW
IEC等級.....	IEC III
認證.....	勞氏
切入風速.....	3m/s
額定風速.....	11m/s
切出風速.....	20m/s
發電機.....	雙饋非同步電機，水冷
齒輪箱.....	兩級行星輪 + 一級直齒輪
齒輪箱傳動比.....	1:104.1
功率調節和控制.....	電機驅動變槳
運行溫度.....	-30℃ ~+45℃
生存溫度.....	-45℃ ~+45℃

#### 4.1.3 蘇司蘭 S82-1500

蘇司蘭 S82 — 1.5MW 型風機主要針對印度和中國市場生產。2010年1月31日，蘇司蘭宣佈其全球風機總裝機量為6,622台，其中S82型風機有1,212台。

該風機專為中速風區而設計，採用變槳技術，三級齒輪箱通過靈活的聯軸器和非同步感應電機相連。

鑑於S82技術廣獲認同，我們認為在所考察項目中此類風機可靠。其主要技術參數概覽見表4.4。

表4.4：蘇司蘭 S82-1500 技術參數

	<b>S82</b>
輪轂高度.....	78m
葉輪直徑.....	82m
額定功率.....	1,500kW
IEC等級.....	IEC IIIA
認證.....	勞氏
切入風速.....	4m/s
額定風速.....	14m/s
切出風速.....	20m/s
發電機.....	單饋感應電機，空冷
齒輪箱.....	一級行星輪 + 兩級斜齒輪
齒輪箱傳動比.....	1 : 95.09
功率調節和控制.....	電機驅動變槳
運行溫度.....	-30℃ ~+40℃
生存溫度.....	-40℃ ~+50℃

#### 4.1.4 恩德S70/S77 CCV-1500

恩德 1.5 MW 風機有三葉片、水準軸，配有雙饋電機、主動變槳和偏航變速系統。S70的設計理念始於1997年，該款機型的葉輪直徑為70m。該設計運用恩德的葉片變槳技術和風輪轉速控制系統，從而保證風機在各種惡劣氣候條件下正常運行。S77為S70的升級版，葉片直徑為77m，其因加長葉片及變槳技術而成為中等風速地區的首選機型。

恩德 1.5MW S70/S77 CCV 風機針對華北地區寒冷氣候而設計。所安裝的該類風機須常年在低溫寒冷環境中運行，風速大，風向變化快，運行環境溫度範圍為-30℃ ~+45℃，生存環境溫度範圍為-40℃ ~+50℃。

整體而言，我們認為 S70/S77 CCV 機型的設計符合行業標準，並且適應華北地區的低溫寒冷環境。主要技術參數概覽見表4.5。

表4.5：恩德 S70/77 CCV-1500 技術參數

	S70	S77
輪轂高度.....	65m	61.5m
葉輪直徑.....	70m	77m
額定功率.....	1,500kW	1,500kW
IEC等級.....	IEC IIA	IEC IIA
認證.....	TUV	TUV
切入風速.....	3.5m/s	3.5m/s
額定風速.....	13m/s	12.5m/s
切出風速.....	25m/s	25m/s
發電機.....	雙饋非同步電機	雙饋非同步電機
齒輪箱.....	一級行星輪 + 兩級斜齒輪	一級行星輪 + 兩級斜齒輪
齒輪箱傳動比.....	1:94.7	1:104.078
功率調節和控制.....	電機驅動變槳	電機驅動變槳
運行溫度.....	-30℃ ~+45℃	-30℃ ~+45℃
生存溫度.....	-40℃ ~+50℃	-40℃ ~+50℃

#### 4.1.5 上海電氣 SEC-1250

SEC-1250 型風機由上海電氣風電設備有限公司基於所引進德國風機製造商 DeWind 的 D6-1250 型風機類型而生產。2000年9月，第一台 D6-1250 型風機面世。DeWind 的設計理念是為風電場提供完整風機系列，優化風電場的投入與產出。

基於 SEC-1250 常溫型機組開發的新型 SEC-1250 低溫型機型適用於華北地區寒冷天氣。其運行溫度為-30℃至+40℃，而生存溫度為-30℃至+40℃。為達致該目標，機艙內配置6個電暖風機，風輪的主要零部件和塔筒採用耐低溫材料，液壓系統亦採用耐低溫的 Shell arctic 32 液壓油。

鑑於 D6-1250 技術廣獲認同，我們認為 SEC-1250 技術臻熟完善且該機型可靠。主要技術參數概覽見表4.6。

表4.6：上海電氣 SEC-1250 低溫型技術參數

	SEC-1250
輪轂高度.....	68m
葉輪直徑.....	64m
額定功率.....	1,250kW
IEC等級.....	IEC IIIA
認證.....	DIBT
切入風速.....	2.8m/s
額定風速.....	12.3m/s
切出風速.....	23m/s
發電機.....	雙饋非同步電機
齒輪箱.....	一級行星輪 + 兩級直齒輪
齒輪箱傳動比.....	1:53.1
功率調節和控制.....	液壓驅動變槳
運行溫度.....	-30℃ ~+40℃
生存溫度.....	-40℃ ~+40℃

## 4.2 結論

代表性風電場安裝的風機由國內外風機製造商生產。整體而言，我們審查的風機類型設計先進，大體符合現有技術標準，額定功率範圍介乎 750 kW 至 2 MW。經安裝的所有風機均根據實地具體情況而挑選。

北京能源風電場採用不同類型風機，包括金風 S50/750 和 GW77/1500、上海電氣 SEC/1250，恩德 S70/1500 和 S77/1500 以及蘇司蘭 S82/1500 等。除上海電氣外，北京能源風電場採用的所有風機機型均具有豐富經營往績，故我們認為倘妥善運行和充分保養該等風機，有關技術臻熟完善，機型可靠。至於上海電氣，我們認可其作為風機供應商，詳情參閱1.2節。

為符合國家電網最新中國電網守則的相關規定，我們獲悉官廳和太陽山風電場或須進行技術升級以具備低電壓穿越能力。金風確認用於官廳風電場的金風風機組具備低電壓穿越能力。同時，北京能源承諾倘收到國家電網公司的升級要求，會對太陽山風電場進行升級。

同時不可忽視，所審查的八個風電場中有七個位於中國嚴寒地區，根據製造商規格，該等風電場安裝的所有風機均為低溫型或具備在低溫運行的能力。

### 5. 風資源評估

#### 5.1 介紹

所審查的每個風電場均有可行性研究報告，當中載有關於風資源評估和發電量評估的章節。

我們審查風電場可行性研究報告中的風資源和發電量評估情況後甄選出八個作為代表。我們的審查著重風資源評估方法和假設，不涉及量化和細節分析，亦不包括對發電量的重新建模或重新計算。我們亦查閱相關中國標準(當中載有中國建議慣例)，以與國際慣例進行廣泛對比分析後評估所採用的方法。

風資源評估是可行性研究報告的關鍵部份，為風電場發電量預測提供重要依據，特別是當發電數據有限時。然而，由於風電場設計或風機的選型(運行前的估計)常在風資源評估後改變，倘我們獲得充足發電量數據(至少1年正常營運)，則我們會將此資料作為該風電場未來發電量預測的指標。

#### 5.2 風資源評估的中國標準

中國現有兩個主要風資源評估標準：

- GB/T 18709-2002 — 風電場風能資源測量方法；及
- GB/T 18710-2002 — 風電場風能資源評估方法

前者包含風資源資料收集和報告方法，而後者概括長期風資源資料校正、資料篩查、資料處理和報告的程式。

雖然本次審查的風電場風資源評估由不同中國設計院進行，但彼等所有研究報告所採用的評估方法和結果報告方法一致，均遵循上述列舉的中國標準。

##### **5.2.1 GB/T 18709-2002 方法論**

GB/T 18709-2002 標準概括測風塔配置和感測器布置的標準原則，包括感測器排列及減少測風塔遮蔽效應影響方法的若干指引。基於過往的項目，我們發現中國測量活動較我們選用的慣例採用較少測風塔。儘管如此，在本次審查範圍內的大多數風電場在可行性研究階段採用的測風塔通常不止一座，證明此乃普遍選用的慣例。

##### **5.2.2 GB/T 18710-2002 方法論**

GB/T 18710-2002 是關於風資源評估的中國標準，概述測風資料的處理和結果報告的方法。該標準包括對相關資料的要求、長期資料修正、資料篩選和相關參數(風切變、湍

流強度)的計算公式和結果報告的規則。GB/T 18710-2002 參考 NREL/SR-440-22223 —《風資源評估手冊》等多份文件。該手冊為美國能源部下屬國家可再生能源實驗室刊發的美國刊物，全面闡述以測量方法為主的風資源評估方法論。GB/T 18710-2002 標準主要直接參考該手冊，因此，中國的風資源評估方法與國際慣例基本一致。

在本次審查範圍內的風電場可行性研究報告所採用的測試相關預測(「MCP」)方法基於長期氣象觀測資料和有關年風速的歷史資料進行關聯分析。實地資料的長期關聯分析通常基於對年風速歷史資料的對比分析，儘管在所審查的若干項目中採用比較複雜的方法，但發電量的預測取決於相關資料記錄的品質和一致性。在所審查的若干可行性研究報告中，當北京能源無法獲得其滿意的相關資料時，則採用實地收集的資料(至少一年)作為發電量預測的基礎，顯示該發電量預測方法較為嚴謹。

根據 GB/T 18710-2002 標準，計算發電量最主要的是獲取年平均風速、風向和風功率密度 ( $W/m^2$ )、日風況和季風況。為計算風電場發電量，須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，以計算風電場的淨發電量。

### 5.3 代表性風電場的可行性研究

2010年7月21日至25日，我們對所挑選的八個風電場進行實地考察。在訪問期間或之後，北京能源向我們提供各風電場的可行性研究報告。我們亦要求提供各風電場的發電量和可用率資料、功率曲線和運行的詳細資訊，包括重大停機、主要部件故障和電網限電等情況。

我們審查了每個受訪風電場對風資源和發電量研究報告，通過對研究方法、竣工後風機機型和佈局等相比是否一致的判定，對其合理與否進行總體評價。然而，對於有至少一年正式運行發電量資料的風電場，我們則專注利用該等數據進行未來發電量預測。

#### 5.3.1 風力資源

在所審查的可行性研究報告中，風電場年平均風速和風向是由位於風電場或風電場附近的一個或多個測風塔測量。然而，大多數情況下，該等測風塔均在可行性研究後拆除，惟賽汗風電場的一個測風塔未拆除，為我們提供在風電場運行階段測得的風速和風向資料。總體來說，每個風電場的測風塔均根據風電場的風況妥為配置，並且所測資料的完整率較

高。通常，可行性研究採用的方法是在風電場或風電場附近安裝多個測風塔，並選擇測風資料品質最佳的測風塔作為風電場短期風資源資料的來源。在若干報告中，亦對不同測風塔的測風資料作出關聯分析，確保結果一致。我們對此方法表示滿意。

在所有可行性研究中測風塔測風高度滿足要求，或者等同或者接近風機實際輪轂高度。

在審查的可行性研究報告中，風速分佈由 WasP 軟體建模。該軟件包由丹麥 Riso 國家實驗室研製，是行業標準的評估軟體，用於計算非複雜環境中地形和地面狀況引起的風況變化情況。

我們注意到在賽汗風電場一期和哲里根圖風電廠一期的可行性研究報告中風機機型和佈置與竣工後實際的風機機型和佈置不同。在此情況下，我們不能直接將建設前期的發電量預測與北京能源提供給我們的風電場實際發電量進行比較。因此，對於賽汗風電場一期和哲里根圖風電場一期，我們著重依據運行期間實際發電量資料來考慮未來發電量的預測，參見7.2.1節和7.2.2節。

兩個風電場的風機類型、機組數目及佈局與可行性研究報告所述不同，是由於取得項目批文後通過招標過程選擇的風機製造商與可行性研究報告建議的風機製造商不同，此乃項目實施的常見情況，並不會影響兩個風電場的運行。

### 5.3.2 發電量

可行性研究中用到的功率曲線應是風機廠家提供的標準功率曲線，我們認為這是可行性研究中對發電量進行合理預測的基礎。對於八個代表性風電場而言，在一些可行性研究中用到的功率曲線通常沒有標明具體數據以及來源出處，我們從北京能源獲悉這是出於在對風機公開招標時維持公平性的考慮。要得知風資源評估準確性，很重要的一點是要知道功率曲線是由理論推算所得還是由實際測量所得，以及它是否是製造商承諾的功率曲線。按保守的方式，在北京能源風電場項目可行性研究報告中通常將發電量預測值減少5%以適應中國的實際情況。我們認為這種方式正好補充功率曲線所缺乏的詳細數據。

我們考察的風電場地理位置不同，海拔也不同。因為空氣密度隨着海拔不同而改變，所以每台風機的功率曲線也隨之改變，在對發電量進行分析時需要對功率曲線進行修正。我們審查的很多可行性研究中對密度修正採用的方法並不精確，只是通過比較現場的空氣密



度和標準海拔下的空氣密度而得出簡單的比例因數，然後用該比例因數和標準功率曲線來計算發電量。我們認為這種方法在計算空氣密度對風機功率曲線的實際影響時不夠精確，由此導致因高海拔地區空氣密度偏小而高估發電量損耗，從而使得發電量預測偏保守。

在估算發電量時，通常使用 WasP 軟體的尾流模型，這是一種行業標準方法。在我們實地考察期間，我們調查了在鄰近是否有其他風電場，在大多數情況下，附近或者有風電場後期建設或其他風電場，但並無任何可行性研究報告考慮到鄰近風電場的存在。這可能導致對尾流損耗程度的估計不足。

每個風電場的整體發電量損失估算根據現場情況不同而不同。很多可行性研究報告考慮了尾流損耗、控制(偏航誤差)和湍流、葉片污染、場用電和線損、寒冷氣候導致的停機及可用率。

然而，我們注意到位於內蒙古的所有風電場的可行性研究報告中沒有考慮電網限電導致的發電量損失。我們瞭解到主要是因為大部分可行性研究報告在編製時電網還沒有出現限電問題。中國風電行業自2007年以來迅速發展，內蒙古電網限電問題於2009年冬季才開始凸顯。然而，隨着內蒙古電網公司於2010年進行升級，上述問題已逐漸緩解。直至2011年2月，內蒙古電網公司500千伏河套變電站啓用，大大舒緩了烏蘭伊力更風電場的限電問題。輝騰梁220千伏變電站預計將於2011年7月啓用，並將升壓至500千伏，這將很大程度上解決吉相華亞風電場的限電問題。莫特麥克唐納認為應在可行性研究階段充分考慮限電問題。如果可能的話，我們傾向於將至少一年的運行資料作為未來實際發電量預測的依據。在可行性研究報告中，發電量損耗一般約佔總發電量的28%，我們認為偏保守。但是，在存在電網限電的情況時，應更多參考各風電場實際發電量的資料。

不確定性分析對於評估風電場性能，做出商業決策來說是非常重要的，特別是在尋求外部融資時，因為它給出了概率分析，因此其風險程度與預測值相關。遵循已公佈的行業標準來進行發電量預測，並不能夠絕對避免預測的不確定性，因為分析的過程中所產生的錯誤各有不同，因地而異。對於融資方而言，由於不是採用專案收入的方式獲益，他們主要是依據發電量預測值的高低來進行投資決策的。反過來，對於像北京能源這樣具有諸多風電資產的大型電力企業而言，他們則是基於總體估算 (P50) 的發電量預測值來進行專案收入預算的。中國標準對不確定性分析沒有具體要求，在可行性研究報告中僅提供總體估算 (P50)。然而，我們注意到，在所評估的北京能源的風電場專案中，發電量預測值較實際電發量而言趨於保守估算，而且一些可行性研究中沒有考慮電網限電的情況，故當具有足

夠的運行資料以後(通常為一年的正常運行資料)，我們傾向於採用實際發電量資料作為未來發電量預測的一個指標。至於各個風電場發電量的具體情況，在第七章中有詳細描述。

### 5.4 結論

通過審查八個代表性風電場的可行性研究，我們認為在風資源評估方面採用的方法是一致的，總體而言，該方法和國際標準慣例基本相符，只在某些方面略有不同。中國標準源於國際公認標準，但是由於中國市場的需求不同而略有不同。例如，與國際慣例相比，中國風資源評估方法對發電量預測中的不確定性分析沒有作特別強調，功率曲線的空气密度修正方法有時在我們看來也不是最佳方法。因此，每個風電場實際發電量和可行性研究報告中發電量預測值之間至少會有因電網限電引起的估算誤差。

儘管有這些不同之處，但是總體來說在我們審查的可行性研究中所採用的方法和假設都明顯採用了保守估計，尤其是用於計算淨發電量的損耗估算，相對於我們評估的其他國家正常的發電量損耗值偏高。但是，我們認為應該盡可能基於試運行後的實際發電量資料來進行未來發電量的預測。

## 6. 接入電網評估

### 6.1 介紹

我們的併網評估側重分析影響風電場接入電網的因素並指出影響風電場正常運行的潛在風險。評估的主要內容通常包括以下三個方面：

- 風電場的電力外送容量，包括評估所有設備(如主變壓器、電力外送線路)的額定容量能否滿足風電場滿發電力外送的要求；
- 風電場是否遵守電網運行規程並滿足基本要求。包括檢驗風電場是否擁有足夠的無功電源，從而使風電場能夠在給定的電壓及有功輸出的範圍內，維持併網點所需的功率因數，電壓控制能力，併入國家電網公司的兩個風電場的低電壓穿越 (LVRT) 能力，以及風電場電能品質指標是否滿足要求等；及
- 風電場接入後當地電網的電壓／頻率調節能力，系統超載的情況和是否會引發潛在的運行問題等。

本評估僅限於所調查的8個具有代表性的風電場接入電網。主要的評估依據如下所列：

- 北京能源所提供的資料；
- 與北京能源相關人員會晤和討論所獲取的資訊；
- 對8個具有代表性的風電場實地考察所得的資料；及
- 從公開發行管道所獲取的資訊並結合我們的專業領域知識和對中國電力行業的深入瞭解。

評估中主要參考和應用的資訊資料包括：

- 可行性研究報告；
- 併網研究報告；
- 併網主接線圖；
- 風電場內部集電系統的主接線圖；
- 併網協定；
- 風電場接入電網技術規定；
- 中國政府頒佈的有關可再生能源的相關政策性文件；
- 北京能源對我們問卷調查的回覆；及
- 現場考察記錄。

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

### 6.2 電網接入的關鍵問題

通過對所收集資料的研究分析，我們注意到8個具有代表性的風電場均能夠接入到220 kV、110 kV 或者 66 kV 的輸配電網中。

本節將接入電網的相關關鍵問題概述如下。

#### 6.2.1 風電場升壓變電站的設備容量

##### 主升壓器容量

風電場變電站中主升壓器的容量應能夠滿足風電場出力滿發時的輸出要求，並提供靈活的電壓調節和無功補償。所有風電場主升壓器的容量能夠滿足風電場出力滿發時的輸

送需要，並且均已配置有載調壓分接頭，能夠將風電場升壓站的母線電壓維持在穩定的水準。

### 風電場外送電纜／架空線的容量

一旦選擇了併網點，就要確定連接線路導體的類型和容量。風電場變電站與併網點連接線路的導體載流能力應能承擔所連風電場滿發時電能輸出的需求。

考察的所有風電場用單回線接入電網，但是所有風電場與併網點間連接導線的容量均能夠在正常運行情況下傳輸風電場滿發時的電能。儘管這樣的設計無法滿足西方風電場「N-1」安全準則，但我們注意到，在西方，風電場的送出線路是屬風電場所有，「N-1」的原則是風電場自己選用的，並無強制性規範要求。而在中國，風電場的送出線路是屬電網公司所有，幾乎所有中國的風電場送出線路都採用單回線接入電網。在2009年12月頒佈的《國家電網風電場接入電網技術規定(修訂版)》中，也沒有關於連接風電場變電站與併網點的送出線路必須滿足「N-1」要求的規定。

「N-1」安全準則是屬靜態安全分析範疇中的一種預想故障分析。預想故障分析是指分別斷開輸電線路、變壓器和發電機等網路元件，確定其後的電網狀態能否在緊急限值範圍內，或經過調整恢復到正常限值範圍內。

### 其他設備容量

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

### 6.2.2 無功補償和電壓控制

#### 無功補償和電壓控制

風電場無功配置是其接入電網的重要技術要求。各風電場應提供足夠的無功補償，以維持所需的功率因數。無功容量分析的目的是檢驗風電場是否擁有足夠的無功電源，從而風電場能夠在給定的電壓及有功輸出的範圍內，維持併網點所需的功率因數。如果分析的結果顯示容量不足，則設計風電場的併網方案時必須考慮無功容量補償方案。儘管中國大部分風電場沒有像世界上其他風電場那樣進行詳細的無功研究，但中國的併網設計方案通常要求根據標準運行模式設計無功補償方案。

### 低電壓穿越能力和電能品質

風機的設計原理不同於傳統的同步發電機。風電場大量風機的接入可能引起電壓偏差、電壓波動、閃變、諧波等問題，從而影響當地電網的供電品質。風電場接入電網技術規定(修訂版)要求應對風電機組的電能品質指標和低電壓穿越能力進行評估，以確保給定限制條件下的相關指標符合技術標準。根據國家電網技術規定中關於低電壓穿越的要求，我們考察的官廳和太陽山兩個風電場可能需要進行技術改造以具備低電壓穿越能力。金風公司確認用於官廳風電場的金風機組已具備低電壓穿越能力。北京能源承諾在接到國家電網公司改造要求後，將對太陽山風電場進行改造。

### 6.2.3 當地電網的運行狀況

可行性研究報告表明已對各風電場接入電網的輸電網採用電力系統安全分析(包括「N-1」安全準則)對風電場接入後的當地電網進行了電力系統靜態和動態安全分析。

風電場接入電網會對當地電網的電壓水準和無功潮流產生影響。然而，電力系統運行的主要目的是安全經濟地將有功電力從發電源輸送給電力用戶。顯然，具有分佈和變化特性的風電場的接入會影響傳統電力系統的運行調度，進而影響到當地電網對風電場的接納水準。

根據我們的考察，除北京和鐵嶺兩個電網以外，大部分當地電網對風電場沒有足夠的接納能力，不足以保證風電場的正常運行和電力輸出。我們注意到在冬季內蒙古地區的風電場普遍受到上網限制。我們認為冬季電力供求平衡和電力系統電壓穩定問題是風電場上網受限的主要原因。

在冬季期間，特別是在夜晚，為保證內蒙古地區供熱，該地的火電廠須熱電聯產，而地方電網調節有功功率的能力有限，故該地風電場的發電會受到一定限制。另外，風電機組大規模投產併網，使得電壓穩定問題成為內蒙古電網的一個主要問題。我們認為當地電網對北京能源風電場應具有足夠的接納能力並期待這樣的問題在未來電網的配套建設中得到妥善解決。

## 6.3 各風電場接入電網評估

### 6.3.1 介紹

基於我們的現場訪問和研究分析，考慮到各地電網的供需平衡情況以及當地電網的限制，我們將對各個風電場電網接入情況進行詳細的評估，從而指出可能存在的風險和運行問題。

### 6.3.2 賽汗風電場一期

#### 6.3.2.1 設備容量

賽汗風電場一期工程裝有30台金風 S50 — 750 kW 風機和18台金風 S77 — 1.5 MW 風機，總裝機容量為 49.5 MW。每台風機經地下電纜串聯至一台升壓變壓器。電纜的容量能夠承載每台風機滿發時的電能輸出。所有風機發出的電能由 35 kV 架空線彙集輸出，每回線路的載流能力均能滿足所連風機滿發時的電能輸出需求。

風電場建有一座 220 kV 升壓站。升壓站裝有一台 120 MVA — 220/35 kV 有載調壓變壓器。35 kV 彙集線路連接至升壓站35kV母線，所彙集電能經由主變壓器升壓至220kV。

賽汗風電場二期擴建工程裝機容量為 49.5 MW，共用上述 220 kV 升壓站。升壓站主變壓器總容量為 120 MVA，滿足賽汗風電場（一期和二期）所有風機滿發電能輸出 (99 MW) 的要求。因此，我們認為主變壓器的配置容量足以保證風電場滿發出力輸送的要求。

賽汗風電場一期以一回 220 kV 送電線路接入 220 kV 溫都爾變電站，線路為 LGJ-400 導線，線路全長為 18 km，線路載流容量為 200 MVA，足以輸送風電場的滿發電量。

風電場內開關設備的遮斷故障的能力是 40/31.5kA。各母線短路容量均在斷路器承受範圍以內，具有足夠的斷流能力。風電場採用了多種繼電保護系統，與大多數中國風力發電場所採用的繼電保護模式類似。風電場配置有避雷保護裝置用於保護設備免受雷電影響。風電場設備狀況良好，無明顯問題。

#### 6.3.2.2 無功補償能力和電壓控制能力

風電場共安裝24兆乏的無功補償裝置。另外，升壓變壓器配置有載調壓分接頭，能夠在90%至110%的範圍內調節變壓器高壓側繞組電壓。因此，我們認為風電場擁有足夠的無功容量，並具有電壓控制能力，從而能夠滿足電網運行規程所規定的無功需求和電壓調節的要求。

### 6.3.2.3 當地電網的運行狀況

如3.5.3節所述，內蒙古電力公司是一個獨立的省級電力公司。賽汗風電場一期位於內蒙古自治區錫林郭勒盟西部的蘇尼特右旗境內。併網後通過 220 kV 線路接入屬蒙西電網的錫西電網，並由內蒙古電力公司負責調度。

由於蘇尼特右旗境內缺少裝機，該地區電力負荷高於電力供應。因此，本風電場的建設是能源消耗的有益補充。我們認為賽汗風電場一期在正常情況下不會受到內蒙古電力調度通信中心的出力限制。然而，在賽汗風電場一期所在的區域，在冬季供暖期間，為保證供熱大批供熱機組必須持續運行，此時由於當地電網調節有功功率的能力不足，加上火電廠的供熱壓力，風電場的出力會受到一定限制，不能完全滿發。另外，風電機組大規模投產併網，使得電壓穩定問題成為當地電網的一個主要問題。我們認為當地電網對北京能源風電場應具有足夠的接納能力並期待這樣的問題在近期電網的配套建設中得到妥善解決。

### 6.3.3 哲里根圖風電場一期

#### 6.3.3.1 設備容量

哲里根圖風電場一期工程裝有39台上海電氣設備有限公司 SEC/1250 kW 風機，總裝機容量為 48.75 MW。每台風機經地下電纜串聯至一台升壓變壓器。電纜的容量能夠承載每台風機滿發時的電能輸出。所有風機發出的電能由 35 kV 架空線彙集輸出，每回線路的載流能力均能滿足所連風機滿發時的電能輸出需求。

風電場建有一座 220 kV 升壓站。升壓站裝有一台 100 MVA — 220/35 kV 有載調壓變壓器。35 kV 彙集線路連接至升壓站 35 kV 母線，所彙集電能經由主變壓器升壓至 220 kV。

哲里根圖風電場二期擴建工程裝機容量為 49.5 MW，共用上述 220 kV 升壓站。升壓站主變壓器總容量為 100 MVA，滿足哲里根圖風電場(一期和二期)所有風機滿發電能輸出(98.25 MW)的要求。因此，我們認為主變壓器的配置容量足以保證風電場滿發出力輸送的要求。

哲里根圖風電場一期以一回 220 kV 哲明線接入 220 kV 明安圖變電站，線路為 LGJ-400 導線，線路全長為 35 km，線路載流容量為 300 MVA，足以輸送風電場的滿發電量。根據在2006年頒佈的最新版國家電網技術規定(試行)，連接風電場變電站與併網點的輸電線路毋須滿足「N-1」安全準則。

風電場內開關設備的遮斷故障的能力是 50/31.5 kA。各母線短路容量均在斷路器承受範圍以內，具有足夠的斷流能力。風電場採用了多種繼電保護系統，與大多數中國風力發電場所採用的繼電保護模式類似。風電場配置有避雷保護裝置用於保護設備免受雷電影響。風電場設備狀況良好，無明顯問題。

### 6.3.3.2 無功補償能力和電壓控制能力

風電場共安裝44.48兆乏的無功補償裝置。另外，升壓變壓器配置有載調壓分接頭，能夠在90%至110%的範圍內調節變壓器高壓側繞組電壓。因此，我們認為風電場擁有足夠的無功容量，並具有電壓控制能力，從而能夠滿足電網運行規程所規定的無功需求和電壓調節的要求。

### 6.3.3.3 當地電網的運行狀況

如3.5.3節所述，內蒙古電力公司是一個獨立的省級電力公司。哲里根圖風電場一期位於內蒙古自治區錫林郭勒盟南部的正鑲白旗境內。併網後通過 220 kV 線路接入屬蒙西電網的錫林電網，並由內蒙古電力公司負責調度。

錫林郭勒盟是風力資源豐富的地區。目前，接入錫林電網的風機總裝機容量已超過 600 MVA。除了滿足本地負荷的需要，風電場的富余電力將通過內蒙古主幹電網外送以供應自治區內或區外其他地區的電力負荷。我們認為哲里根圖風電場一期在正常情況下不會受到內蒙古電力調度通信中心的出力限制。然而，在哲里根圖風電場一期所在的區域，在冬季供暖期間，為保證供熱大批供熱機組必須持續運行，此時由於當地電網調節有功功率的能力不足，加上火電廠的供熱壓力，風電場的出力會受到一定限制，不能完全滿發。我們認為當地電網對北京能源風電場應具有足夠的接納能力並期待這樣的問題在近期電網的配套建設中得到妥善解決。

## 6.3.4 吉相華亞風電場一、二期

### 6.3.4.1 設備容量

吉相華亞輝騰梁風電場一期和二期工程分別裝有33台恩德 S77/1500 kW 風機和33台蘇司蘭 S82/1500 kW 風機，總裝機容量為 99 MW。每台風機經地下電纜串聯至一台升壓變壓器。電纜的容量能夠承載每台風機滿發時的電能輸出。所有風機發出的電能由 35 kV 架空線彙集輸出，每回線路的載流能力均能滿足所連風機滿發時的電能輸出需求。



風電場建有一座 220 kV 升壓站，裝有兩台 50 MVA — 220/35 kV 有載調壓變壓器。35 kV 彙集線路連接至升壓站 35 kV 母線，所彙集電能經由主變壓器升壓至 220 kV。

升壓站主變壓器總容量為 100 MVA，滿足吉相華亞輝騰梁風電場一期和二期滿發電能輸出 (99 MW) 的要求。因此，我們認為主變壓器的配置容量足以滿足風電場滿發出力輸送的要求。

輝騰梁風電場的 220 kV 升壓站以一回 220 kV 吉梁線接入 220 kV 輝騰梁變電站，線路為 LGJ-240×2 導線，線路長度為 36 km，線路最大載流容量為 400 MVA，足以滿足風電場的電力外送要求。根據在 2006 年頒佈的最新版國家電網技術規定(試行)，連接風電場變電站與併網點的輸電線路毋須滿足「N-1」安全準則。

風電場內開關設備的遮斷故障的能力是 50/31.5 kA。各母線短路容量均在斷路器承受範圍以內，具有足夠的斷流能力。風電場採用了多種繼電保護系統，與大多數中國風力發電場所採用的繼電保護模式類似。風電場配置有避雷保護裝置用於保護設備免受雷電影響。風電場設備狀況良好，無明顯問題。

#### 6.3.4.2 無功補償能力和電壓控制能力

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

#### 6.3.4.3 當地電網的運行狀況

如 3.5.3 節所述，內蒙古電力公司是一個獨立的省級電力公司。吉相華亞風電場位於內蒙古自治區錫林郭勒盟西南部的阿巴嘎旗境內。併網後通過 220 kV 線路接入屬蒙西電網的錫林電網，並由內蒙古電力公司負責調度。

錫林郭勒盟是風力資源豐富的地區。目前，接入錫林電網的風機總裝機容量已超過 600 MVA。除了滿足本地負荷的需要，風電場的富餘電力將通過內蒙古主幹電網外送以供應自治區內或區外其他地區的電力負荷。我們認為吉相華亞風電場一期和二期在正常情況下不會受到內蒙古電力調度通信中心的出力限制。然而，在吉相華亞風電場所在的區域，在冬季供暖期間，為保證供熱大批供熱機組必須持續運行，此時由於當地電網調節有功功

率的能力不足，加上火電廠的供熱壓力，風電場的出力會受到一定限制，不能完全滿發。另外，風電機組大規模投產併網，使得電壓穩定問題成為當地電網的一個主要問題。我們認為當地電網對北京能源風電場應具有足夠的接納能力並期待這樣的問題在近期電網的配套建設中得到妥善解決。

### 6.3.5 察右中風電場一期

#### 6.3.5.1 設備容量

察右中風電場一期工程裝有33台恩德 S70 — 1500 kW 風機，總裝機容量為 49.5 MW。每台風機經地下電纜串聯至一台升壓變壓器。電纜的容量能夠承載每台風機滿發時的電能輸出。所有風機發出的電能由 35 kV 架空線彙集輸出，每回線路的載流能力均能滿足所連風機滿發時的電能輸出需求。

風電場建有一座 220 kV 升壓站。升壓站裝有一台 120 MVA — 220/35 kV 有載調壓變壓器。35 kV 彙集線路連接至升壓站 35 kV 母線，所彙集電能經由主變壓器升壓至 220 kV。

察右中風電場二期擴建工程裝機容量為 50 MW，共用上述 220 kV 升壓站。升壓站主變壓器總容量為 120 MVA，滿足察右中風電場(一期和二期)所有風機滿發電能輸出(99.5 MW)的要求。因此，我們認為主變壓器的配置容量足以滿足風電場滿發出力輸送的要求。

察右中風電場一期以一回 220 kV 送電線路接入 220 kV 德勝變電站，線路為 LGJ-240 導線，線路全長為 10 km，線路載流容量為 300 MVA，因此我們認為線路足以滿足風電場滿發電能的外送要求。根據在2006年頒佈的最新版國家電網技術規定(試行)，連接風電場變電站與併網點的輸電線路毋須滿足「N-1」安全準則。

風電場內開關設備的遮斷故障的能力是 50/31.5 kA。各母線短路容量均在斷路器承受範圍以內，具有足夠的斷流能力。風電場採用了多種繼電保護系統，與大多數中國風力發電場所採用的繼電保護模式類似。風電場配置有避雷保護裝置用於保護設備免受雷電影響。風電場設備狀況良好，無明顯問題。

#### 6.3.5.2 無功補償能力和電壓控制能力

風電場共安裝24兆乏的無功補償裝置。另外，升壓變壓器配置有載調壓分接頭，能夠在90%至110%的範圍內調節變壓器高壓側繞組電壓。因此，我們認為風電場擁有足夠的無功容量，並具有電壓控制能力，從而能夠滿足電網運行規程所規定的無功需求和電壓調節的要求。

### 6.3.5.3 當地電網的運行狀況

如3.5.3節所述，內蒙古電力公司是一個獨立的省級電力公司。察右中風電場一期位於內蒙古自治區烏蘭察布市的察哈爾右翼中旗境內。併網後通過 220 kV 線路接入屬蒙西電網的烏蘭察布電網，並由內蒙古電力公司負責調度。

烏蘭察布市是風力資源豐富的地區。目前，接入烏蘭察布電網的風機總裝機容量約為 500 MVA。除了滿足本地負荷的需要，風電場的富餘電力將通過內蒙古主幹電網外送以供應自治區內或區外其他地區的電力負荷。我們認為察右中風電場一期在正常情況下不會受到內蒙古電力調度通信中心的出力限制。然而，在察右中風電場一期所在的區域，在冬季供暖期間，為保證供熱大批供熱機組必須持續運行，此時由於當地電網調節有功功率的能力不足，加上火電廠的供熱壓力，風電場的出力會受到一定限制，不能完全滿發。另外，風電機組大規模投產併網，使得電壓穩定問題成為當地電網的一個主要問題。我們認為當地電網對北京能源風電場應具有足夠的接納能力並期待這樣的問題在近期電網的配套建設中得到妥善解決。

### 6.3.6 烏蘭伊力更風電場

#### 6.3.6.1 設備容量

烏蘭伊力更風電場裝有200台金風 JF77/1500 kW 風機，總裝機容量為 300 MW。每台風機經地下電纜串聯至一台升壓變壓器。電纜的容量能夠承載每台風機滿發時的電能輸出。所有風機發出的電能由 35 kV 架空線彙集輸出，每回線路的載流能力均能滿足所連風機滿發時的電能輸出需求。

風電場建有一座 220 kV 升壓站。升壓站裝有3台 100 MVA — 220/35 kV 有載調壓變壓器。35 kV 彙集線路連接至升壓站 35 kV 母線，所彙集電能經由主變壓器升壓至 220 kV。

變壓器容量為 300 MVA，正好滿足現有風電機組滿發電能輸出 (300 MW) 的要求。

烏蘭伊力更風電場以一回 220 kV 送電線路接入 220 kV 德嶺山變電站，線路為 LGJ-240 導線，線路全長為 95 km，線路載流容量為 400 MVA，因此我們認為線路足以滿足風電場滿發電能的外送要求。

風電場內開關設備的遮斷故障的能力是 50/31.5 kA。各母線短路容量均在斷路器承受範圍以內，具有足夠的斷流能力。風電場採用了多種繼電保護系統，與大多數中國風力發電場所採用的繼電保護模式類似。風電場配置有避雷保護裝置用於保護設備免受雷電影響。風電場設備狀況良好，無明顯問題。

### 6.3.6.2 無功補償能力和電壓控制能力

風電場共安裝60兆乏的無功補償裝置。另外，升壓變壓器配置有載調壓分接頭，能夠在90%至110%的範圍內調節變壓器高壓側繞組電壓。因此，我們認為風電場擁有足夠的無功容量，並具有電壓控制能力，從而能夠滿足電網運行規程所規定的無功需求和電壓調節的要求。

### 6.3.6.3 當地電網的運行狀況

如3.5.3節所述，內蒙古電力公司是一個獨立的省級電力公司。烏蘭伊力更風電場位於內蒙古自治區巴彥淖爾市的烏拉特中旗境內。併網後通過 220 kV 線路接入屬蒙西電網的巴彥淖爾電網，並由內蒙古電力公司負責調度。

巴彥淖爾市是風力資源豐富的地區。目前，巴彥淖爾市的電力供應高於電力負荷。除了滿足本地負荷的需要，風電場的富餘電力將通過內蒙古主幹電網外送以供應自治區內或區外其他地區的電力負荷。我們認為烏蘭伊力更風電場在正常情況下不會受到內蒙古電力調度通信中心的出力限制。然而，在烏蘭伊力更風電場所在的區域，在冬季供暖期間，為保證供熱大批供熱機組必須持續運行，此時由於當地電網調節有功功率的能力不足，加上火電廠的供熱壓力，風電場的出力會受到一定限制，不能完全滿發。另外，風電機組大規模投產併網，使得電壓穩定問題成為當地電網的一個主要問題。我們認為當地電網對北京能源風電場應具有足夠的接納能力並期待這樣的問題在近期電網的配套建設中得到妥善解決。然而，隨着內蒙古電網公司於2010年進行升級，上述問題已逐漸緩解。直至2011年2月，內蒙古電網公司500千伏河套變電站啓用，大大舒緩了烏蘭伊力更風電場的限電問題。

## 6.3.7 昌圖太陽山風電場

### 6.3.7.1 設備容量

昌圖太陽山風電場裝有33台華銳 SL1500/77 風機，總裝機容量為 49.5 MW。每台風機經地下電纜串聯至一台升壓變壓器。電纜的容量能夠承載每台風機滿發時的電能輸出。所有風機發出的電能由 35 kV 架空線彙集輸出，每回線路的載流能力均能滿足所連風機滿發時的電能輸出需求。

風電場建有一座 66 kV 升壓站。升壓站裝有一台 63 MVA — 66/35 kV 有載調壓變壓器。35 kV 彙集線路連接至升壓站 35 kV 母線，所彙集電能經由主變壓器升壓至 66 kV。升壓站主變壓器總容量為 63 MVA，滿足昌圖太陽山風電場所有風機滿發電能輸出 (49.5 MW) 的要求。因此，我們認為主變壓器的配置容量足以滿足風電場滿發出力輸送的要求。

昌圖太陽山風電場以一回 66 kV 昌太線接入 220 kV 昌圖變電站的 66 kV 母線，線路為 LGJ-300 導線，線路全長為 7.5 km，線路載流量為 85.3 MVA，因此我們認為線路足以滿足風電場滿發電能的外送要求。根據在 2006 年頒佈的最新版國家電網技術規定(試行)，連接風電場變電站與併網點的輸電線路毋須滿足「N-1」安全準則。

風電場內開關設備的遮斷故障的能力是 40/31.5 kA。各母線短路容量均在斷路器承受範圍以內，具有足夠的斷流能力。風電場採用了多種繼電保護系統，與大多數中國風力發電場所採用的繼電保護模式類似。風電場配置有避雷保護裝置用於保護設備免受雷電影響。風電場設備狀況良好，無明顯問題。

### 6.3.7.2 無功補償能力和電壓控制能力

風電場共安裝 10 兆乏的無功補償裝置。另外，升壓變壓器配置有載調壓分接頭，能夠在 90% 至 110% 的範圍內調節變壓器高壓側繞組電壓。因此，我們認為風電場擁有足夠的無功容量，並具有電壓控制能力，從而能夠滿足電網運行規程所規定的無功需求和電壓調節的要求。

### 6.3.7.3 當地電網的運行狀況

昌圖太陽山風電場位於遼寧省鐵嶺市北部昌圖縣境內。併網後通過 66 kV 架空線接入屬遼寧電網的鐵嶺電網，並由遼寧省電力有限公司進行調度管理。

目前，鐵嶺市的電力供應高於電力負荷。除了滿足本地負荷的需要，風電場的富餘電力將通過遼寧主幹電網外送以供應省內或省外其他地區的電力負荷。我們認為昌圖太陽山風電場在正常情況下不會受到鐵嶺電力調度通信中心的出力限制。

## 6.3.8 鹿鳴山官廳風電場一期

### 6.3.8.1 設備容量

鹿鳴山官廳風電場一期工程裝有 33 台金風 S77 — 1.5 MW 風機，總裝機容量為 49.5 MW。每台風機經地下電纜串聯至一台升壓變壓器。電纜的容量能夠承載每台風機滿發時的電能輸出。所有風機發出的電能由 35 kV 架空線彙集輸出，每回線路的載流能力均能滿足所連風機滿發時的電能輸出需求。

風電場建有一座 110 kV 升壓站。升壓站裝有兩台額定容量分別為 50 MVA 和 100 MVA 的 110/35 kV 有載調壓變壓器。35 kV 彙集線路連接至升壓站 35 kV 母線，所彙集電能經由主變壓器升壓至 110 kV。

鹿鳴山官廳風電場後期擴建工程裝機容量為 100.5 MW，共用上述 110 kV 升壓站。升壓站主變壓器總容量為 150 MVA，勉強可滿足鹿鳴山官廳風電場(一期和二期)所有風機滿

發電能輸出 (150 MW) 的要求。因此，我們認為當所有風機同時在額定功率範圍內發電時，主變壓器負荷可能超載，事實上，根據當時的發電因素，風機可能按高出額定功率的功率發電。

鹿鳴山官廳風電場一期以一回 110 kV 送電線路接入 110 kV 康莊變電站，線路為 LGJ-400 導線，線路全長為 10 km，線路載流容量為 500 MVA，因此我們認為線路足以滿足風電場滿發電能的外送要求。

風電場內開關設備的遮斷故障的能力是 40/31.5 kA。各母線短路容量均在斷路器承受範圍以內，具有足夠的斷流能力。風電場採用了多種繼電保護系統，與大多數中國風力發電場所採用的繼電保護模式類似。風電場配置有避雷保護裝置用於保護設備免受雷電影響。風電場設備狀況良好，無明顯問題。

### 6.3.8.2 無功補償能力和電壓控制能力

風電場共安裝15兆乏的無功補償裝置。另外，升壓變壓器配置有載調壓分接頭，能夠在90%至110%的範圍內調節變壓器高壓側繞組電壓。因此，我們認為風電場擁有足夠的無功容量，並具有電壓控制能力，從而能夠滿足電網運行規程所規定的無功需求和電壓調節的要求。

### 6.3.8.3 當地電網的運行狀況

鹿鳴山官廳風電場位於北京西北和河北省懷來縣交界處。併網後通過 110 kV 架空線接入屬華北電網的北京電網，並由北京電力調度通信中心負責調度。

鹿鳴山官廳風電場地處北京電網末端，該地區風力資源豐富。因此，本風電場的併網會有效補充供電。我們認為鹿鳴山官廳電場在正常情況下不會受到北京電力調度通信中心的出力限制。

## 6.4 結論

所有風電場升壓變電站均配有足夠的主變容量，在正常運行情況下，足以滿足滿發電能的外送要求。

考察的大部份風電場用單回線接入電網，但是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。儘管這樣的設計無法滿足西方風電場「N-1」安全準則，但我們注意到，在西方，風電場的送出線路是屬風電場所有，「N-1」的原則是風電場自己選用的，並無強制性規範要求。而在中國，風電場的送出線路是屬電網

公司所有，幾乎所有中國的風電場送出線路都採用單回線接入電網。在2009年12月頒佈的《國家電網風電場接入電網技術規定(修訂版)》中，也沒有連接風電場變電站與併網點的輸電線路必須滿足「N-1」安全標準的規定。

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

所有具有代表性的風電場風機均按照現行國家電網技術規定的要求，在接入點保持一定的功率因數。按照接入系統設計要求，所有風電場裝有無功補償裝置。此外，所有升壓主變壓器配置有載調壓分接頭，能夠在90%至110%的範圍內調節變壓器高壓側繞組電壓。因此，我們認為風電場擁有足夠的無功容量，並具有電壓控制能力，從而能夠滿足電網運行規程所規定的無功需求和電壓調節的要求。

經更新的國家電網風電場接入電網技術規定(修訂版)要求評估風電機組的電能品質和低電壓穿越能力，以確保在給定的限制條件下相關指標符合技術標準。相關測試須在風電場接入電網前完成。根據最新國家電網技術規定中關於低電壓穿越的要求，官廳和太陽山兩個風電場或須進行技術改造以具備低電壓穿越能力。金風已承諾官廳風電場的金風機組已具備低電壓穿越能力。北京能源承諾在接到國家電網公司改造要求後，將改造太陽山風電場。

根據我們的實地考察，只有北京和鐵嶺兩個地方電網對風電場具有足夠的接納能力，足以保證風電場如預期正常運行和外送電力。我們注意到內蒙古地區的風電場普遍受到電網負荷限制。電網負荷限制的主要原因是冬季夜間，內蒙古作為熱電聯產機組運行的火電機組須向當地供熱系統供熱。此時由於內蒙古調節有功功率的能力不足，當地風電場的發電可能不得不限制。另外，風電機組大規模投產併網，電力系統的電壓穩定性已成為內蒙古電網的一個主要問題。一種可能的解決方案是進一步加強內蒙古和華北電網間聯絡線

的建設。我們認為當地電網對北京能源的風電應具有足夠的接納能力，並期待該問題透過日後電網改造解決。我們注意到內蒙古當地電網有著宏偉的改造升級規劃以期接納更多電能。該計劃已開始實施，將有效提高風電場的上網能力。

中國風電行業自2007年以來迅速發展，內蒙古電網限電問題於2009年冬季開始凸顯。然而，隨着內蒙古電網公司於2010年進行升級，上述問題已逐漸緩解。直至2011年2月，內蒙古電網公司500千伏河套變電站啓用，大大舒緩了烏蘭伊力更風電場的限電問題。[輝騰梁220千伏變電站]預計將於2011年7月啓用，並將升壓至500千伏，這將很大程度上解決吉相華亞風電場的限電問題。莫特麥克唐納認為應在可行性研究階段充分考慮限電問題。

## 7. 風電場性能表現

### 7.1 風機可用率定義

中國電力企業聯合會 (CEC) 發佈的《風力發電設備可靠性評價規程》界定的風機可用率根據以下公式計算：

$$\text{可用率} = \frac{\text{可用小時數}}{\text{統計期間小時數}} \times 100\%$$

可用小時數：指機組被認為是可用作發電的小時數；

統計期間小時數：指統計期間內的總小時數。

可用小時界定為機組處於預定狀態的時間，不考慮其實際發電量。依此定義，因風資源、電網或其他條件不可用而導致的停運均不包含在內。儘管該定義並不是國際公認的標準方法，但這是中國風電行業的常規計算方法。與所有其他中國風電場開發商和運營商一樣，北京能源用此方法計算和評估其所有風電場中風機的性能表現。

我們瞭解北京能源是將各風電場的風機 SCADA 系統的所有風機可用率的平均值作為整個風電場的可用率。然後，使用該收集的資料來評估各風電場的性能、運行和維護。

### 7.2 風電場性能 — 發電量和可用率

#### 7.2.1 賽汗風電場一期

賽汗風電場位於內蒙古錫林浩特蘇尼特右旗，包括兩期：

- 賽汗風電場一期(裝有30台金風 S50/750 kW 風機和18台金風 GW77/1500，總裝機容量為 49.5 MW，2009年6月全面投運)



- 賽汗風電場二期(裝有24台北重 FD80/2000 kW 風機，總裝機容量為 48 MW，2009年11月投運)

我們的盡職調查範圍僅包括賽汗風電場一期。

### 7.2.1.1 發電量和可用率

賽汗風電場一期建造在相當平坦且簡單的地形上，現場為荒漠草原，海拔為1140米。根據我們現場考察時對地形的觀察，並無遮蔽、溝壑或較大斜坡等會形成不利風況的因素(如惡劣的風切變、內流角或渦流)。

現場的冬天氣溫很低，金風的S50和GW77的運行環境溫度在-30℃和+40℃之間，生存溫度在-40℃和+50℃之間，雖然金風並無特定的低溫機型，但是其運行溫度和生存溫度與其他機型的低溫型相似。2010年1月至3月，因極端低溫使金風S50風機的液壓站蓄能器出現故障，30台S50風機的總停機小時數為568小時。北京能源已更換全部出現故障之S50風機的液壓站蓄能器，採用了耐寒型的蓄能器。於2010年11月至2011年2月的操作測試再無發生同類故障。2010年初冬因極端低溫使18台金風GW77風機變槳系統的接近開關、水冷系統和變流器發生故障，總停機小時數為266小時。北京能源已安裝電輔助供熱系統解決這些問題。

在現場有一個綜合廠區，包括變電站、控制樓、備品備件庫、辦公室及其他現場設施。風電場的運行維護公司是北京能源的附屬公司，現有一名風電場場長，兩個運行維護團隊輪值，每工作十五天休息七天。每個團隊包括一名值長和六名工程師／技術員。風電場綜合廠區設施優良，適宜工作人員居住和工作，並且管理維護良好。

儘管通往風電場其他設備的道路不如辦公廠區入口處的道路狀況好，但是在我們現場考察期間可參觀多個風機和變電站，未見道路不暢問題。北京能源已向我們確認現場道路允許起重機進入並且進行吊裝作業。

金風是中國領先的風機製造商，有良好的營業紀錄，在中國裝機數量可觀。在我們去現場考察期間，北京能源表示有六台GW77/1500風機的變頻器在試運行期間出現若干問題，但是金風已進行維修，北京能源表示僅導致每台風機停機幾個小時。投運期間，未發現任何因變頻器故障導致的停機。據悉另有八台金風S50/750機型的不間斷電源(UPS)曾發生故障並已作更換。

通常我們希望審閱風機製造商或者風電場編製的月度生產報告，其中包含當月所發

生事件的詳細資訊，如重大停機或部件故障及處理措施。北京能源已提供數月月度生產報告。

我們在現場考察期間得知有一台 S50/750 風機的功率曲線達不到廠家承諾的功率曲線的要求。從北京能源獲悉金風正在調整風機的變槳控制系統以解決該問題，否則將會給予一定的賠償。

在現場考察期間，我們發現在一台風機機座的混凝土表面有一些裂縫。儘管裂縫很小，但是我們認為仍有可能浸水，尤其是冬季冰雪融化和解凍的時候，可能導致比較嚴重的問題。北京能源檢查所有風機機座，發現仍有部分風機機座存在相同問題。然而，彼等認為該等小裂縫只存在於散水表面，目前對基礎沒有影響。北京能源向我們提供了第三方出具的基座混凝土配比試驗報告和抗壓試驗報告，報告結果顯示基座混凝土品質合格。儘管現在尚未出現問題，我們仍建議定期檢查該等基座混凝土。

現場設有兩座測風塔用於風資源分析，最終有一座測風塔(8#測風塔)於2006年9月9日至2007年9月8日的測風資料被用於計算發電量預測，其資料完整率達93.9%。另一座測風塔(6#測風塔，位於一期C05號風機附近)在可行性研究完成後運行期間保留，由此提供了運行期間除來自風機測風儀所測風力資料外的另一種風資源資料來源。

在我們考察期間，賽汗風電場一期的風機仍在風機製造商的兩年質保期內。金風承諾的可用率為95%，據悉計劃檢修和風機電網限電停機都被視為可用。所以該可用率只能反映整個風電場的風機可用率，和風機供貨合同對可用率所定義的一樣。在我們考察期間，北京能源向我們提供 SCADA 系統的金風S50和 GW77 機型的兩個功率曲線圖，基本上和製造商提供的標準功率曲線一致。

風機輪轂高度 (65m) 處的年平均風速是 7.79 m/s，淨容量系數為0.29，是典型的陸上風電場淨容量系數。北京能源提供的風速、可用率和發電量資料表明試運行完成後的平均風機可用率為98.11%(如下文表7.1所示)，比承諾可用率95%高。由於風電場實際建成後的風機模型和數量與可行性研究中的相比不同，所以未來發電量預測只能基於實際發電量資料。

謹請注意，賽汗風電場一期和二期共用一個計量表用於計量上網電量，安裝在風電場變電站。表7.1中的上網電量由風電場員工計算而得，我們認為數值合理但是可能不夠精確。

表7.1：賽汗風電場一期運行數據

日期	平均風機		上網電量 (MWh)	等效滿		65米處的 平均風速 (米/秒)
	可用率 (%)	總發電量 (MWh)		負荷小時 數	容量系數	
2010-06.....	99.39	6,865.1	6,783.2	137	0.19	6.02
2010-05.....	99.44	16,105.1	16,006.9	323	0.43	8.82
2010-04.....	99.18	15,626.7	15,488.8	313	0.43	8.73
2010-03.....	99.92	12,577.3	12,283.0	248	0.33	8.88
2010-02.....	96.43	5,245.0	4,853.0	98	0.15	7.02
2010-01.....	95.60	11,857.0	11,306.5	228	0.31	8.63
2009-12.....	98.66	9,769.8	9,350.5	189	0.25	8.97
2009-11.....	91.81	13,381.6	13,059.9	264	0.37	9.19
2009-10.....	99.27	13,735.9	13,570.4	274	0.37	8.36
2009-09.....	99.54	9,428.0	9,317.7	188	0.26	7.23
2009-08.....	99.24	7,166.9	7,063.0	143	0.19	5.98
2009-07.....	98.45	6,362.8	6,262.4	127	0.17	5.78
2009-06.....	98.52	10,949.2	10,838.2	219	0.30	7.67
總計／平均.....	<b>98.11</b>	<b>139,070.4</b>	<b>136,183.3</b>	<b>2751</b>	<b>0.29</b>	<b>7.79</b>

關於電網限電問題，我們自北京能源得知內蒙古風電場限電的情況很普遍。據悉電網限電通常於冬季夜間發生，屆時當地區域供熱需求達到高峰。在該等高峰需求期間，為保證更鄰近電力需求中心並作為熱電聯產機組運行的火電站的發電，以便向當地供熱系統供熱，將限制風電場的發電。根據分別於2009年10月20日和2010年3月15日發佈的有關內蒙古電網公司實施的電網限電詳情的文件，賽汗風電場的限電時間為晚上11點至第二日早上7點，出力限制多少取決於當時的電力需求。

電網公司實施的電網限電產生的絕大部份影響發生於冬季，風電場損失部分估計潛在發電量。最大損失發生於2010年2月，當時正值中國新年，大部分工廠放假停工令電力需求降低。

#### 7.2.1.2 結論

賽汗風電場一期的風機由中國著名風機製造商金風所提供，其技術精湛。運行和維護安排管理得當，現場的設施優良。關於我們觀察到一台風機機座有小裂縫的問題，北京能源檢查所有風機機座，發現仍有部分風機機座存在相同問題。然而，彼等認為該等小裂縫僅存在於散水表面，目前對基座並無影響。基座混凝土檢測報告顯示基座混凝土品質合格。儘管現在尚未出現問題，我們仍建議定期檢查這些基座混凝土。

除此之外，我們認為風電場的建設標準較高。自2009年6月試運行完成以來，風電場的容量系數為0.29，是典型的陸上風電場容量系數，平均風機可用率達98.11%，高於承諾

可用率95%，輪轂高度處平均風速為 7.79 m/s，顯示極佳的風力資源。儘管電網公司實施的電網限電的絕大部份影響發生於冬季，風電場因此損失部分潛在發電量，然而這在內蒙古是非常普遍的現象。我們希望該問題透過未來電網改造解決。

### 7.2.2 哲里根圖風電場一期

哲里根圖風電場位於內蒙古錫林浩特正鑲白旗，包括兩期：

- 哲里根圖風電場一期(裝有39台上海電氣 SEC/1250 風機，總裝機容量為 48.75 MW，2009年7月開始運行)
- 哲里根圖風電場二期(裝有33台聯合動力 UP-82/1500 kW 風機，總裝機容量為 49.5 MW，2009年12月開始運行)

我們的盡職調查範圍僅包括哲里根圖風電場一期。

#### 7.2.2.1 發電量和可用率

哲里根圖風電場一期建造在一個相當平坦且簡單的地形上，現場為荒漠草原，鮮有植物，海拔為1230—1250米。根據我們現場考察時對地形的觀察，並無遮蔽、溝壑或較大斜坡等會形成不利風況的因素(如惡劣的風切變、內流角或渦流)。

現場的冬天氣溫極低，我們獲悉所有的風機均為低溫型風機。上海電氣SEC/1250風機的運行環境溫度在-30℃和+40℃之間，生存環境溫度在-40℃和+40℃之間。北京能源表示，迄今為止並無因極端低溫導致的停機現象。

在現場有一個綜合廠區，包括變電站、控制樓、備品備件庫、辦公室及其他現場設施。風電場的運行維護公司是北京能源的附屬公司，現有一名風電場場長，三個運行維護團隊輪流值班，工作兩周休息一周。每個團隊包括一名值長和三名工程師／技術員。風電場綜合廠區設施優良，適宜工作人員居住和工作，並且管理維護良好。

儘管通往風電場其他設備的道路不如辦公廠區入口處的道路狀況好，但是在我們現場考察期間可參觀多個風機和變電站，未見道路不暢問題。北京能源已向我們確認現場道路允許起重機進入並且進行吊裝作業。

上海電氣是中國的風機製造商，在中國營運紀錄和裝機數量有限，但其隸屬的母公司在發電領域有顯著的營運紀錄和經驗。在我們現場考察期間，北京能源表示變頻器系統

和控制系統的通信電纜在試運行期間出現問題。個別風機的月可用率低於90%，是由於電力電子設備存在缺陷導致較長的發電時間。這些問題目前已完全解決。

通常我們希望審閱風機製造商或者風電場編製的月度生產報告，其中包含當月所發生事件的詳細資訊，如重大停機或部件故障及處理措施。北京能源已提供數月月度生產報告。

在現場考察期間，我們發現一些風機有漏油痕跡。我們詢問北京能源，獲悉漏油是由於液壓和潤滑系統的若干螺栓力矩不夠。該等上海電氣 SEC/1250 風機於夏季製造，製造時螺栓力矩足夠，但冬季氣溫低導致該等裝備出現些微收縮，因而使力矩不夠而導致漏油。北京能源告知我們，彼等在發現該問題後立刻緊固螺栓，之後再無發生漏油。

現場設有一座測風塔用於風資源分析，但是在可行性研究完成後，該測風塔於2009年10月被拆除。2006年3月10日至2007年3月9日的測風資料被用於可行性研究以計算發電量預測，其資料完整率達到99.994%。

在我們考察期間，風電場的風機仍在上海電氣的兩年質保期內。上海電氣承諾的可用率為96%，據悉計劃檢修和風機電網限電停機都被視為可用。北京能源向我們提供 SCADA 系統的上海電氣 SEC/1250 機型的功率曲線圖，基本上和製造商提供的標準功率曲線一致。

風機輪載高度 (68m) 處的年平均風速為 6.76 m/s，淨容量系數為0.24，是典型的陸上風電場淨容量系數。北京能源提供的風速、可用率和發電量資料表明自投運以來的平均風機可用率為98.28% (如下文表7.3所示)，高於承諾可用率96%。由於風電場建成後的風機模型和數量與可行性研究中的相比不同，所以未來發電量預測只能基於實際發電量資料。由於當時處在試運行之初，SCADA 系統尚未更新，並不具備該功能，故並無2009年7月和8月的平均可用率和風速資料。

謹請注意，哲里根圖風電場一期和二期共用一個計量表用於計量上網電量，安裝在風電場變電站。表7.3中的上網電量由風電場員工計算而得，我們認為數值合理但是可能不夠精確。

表7.2：哲里根圖風電場一期運行數據

日期	平均風機		上網電量 (MWh)	等效滿		65米處的 平均風速 (米/秒)
	可用率 (%)	總發電量 (MWh)		負荷 小時數	容量系數	
2010-06.....	98.57	4,250.8	4,211.1	86	0.12	4.80
2010-05.....	99.56	13,006.0	12,908.8	265	0.36	7.25
2010-04.....	99.39	13,856.5	13,726.0	282	0.39	7.58
2010-03.....	98.76	10,412.5	10,282.5	211	0.28	7.30
2010-02.....	98.53	4,483.5	4,363.9	90	0.13	5.63
2010-01.....	96.81	10,339.0	10,099.7	207	0.28	7.88
2009-12.....	96.00	10,788.6	10,478.5	215	0.29	7.20
2009-11.....	96.59	9,889.3	9,705.8	199	0.28	6.96
2009-10.....	99.06	1,0736.3	10,622.9	218	0.29	6.67
2009-09.....	99.51	8,576.8	8,494.1	174	0.24	6.30
2009-08.....	不適用	5,027.8	4,987.1	102	0.14	不適用
2009-07.....	不適用	4,299.8	4,263.8	87	0.12	不適用
<b>總計/平均.....</b>	<b>98.28</b>	<b>105,666.6</b>	<b>104,144.2</b>	<b>2,136</b>	<b>0.24</b>	<b>6.76</b>

關於電網限電問題，我們自北京能源得知內蒙古風電場限電的情況十分普遍。我們獲悉電網限電通常發生於冬季夜間，屆時當地區域供熱需求達到高峰。在該等高峰需求期間，為保證更鄰近電力需求中心並作為熱電聯產機組運行的火電站的發電，以便向當地供熱系統供熱，將限制風電場的發電。根據分別於2009年10月20日和2010年3月15日發佈的有關內蒙古電網公司實施的電網限電詳情的文件，哲里根圖風電場的出力限制時間為晚上11點至第二日早上7點，出力限制多少取決於當時的電力需求。

電網公司實施的電網限電的絕大部份影響發生於冬季，風電場損失部分估計潛在發電量。最大損失發生於2010年2月，當時正值中國新年，大部分工廠放假停工令電力需求降低。

#### 7.2.2.2 結論

哲里根圖風電場一期安裝的風機由新興的一家中國風機製造商上海電氣提供，營運紀錄和裝機容量有限，但是其隸屬的母公司在電力領域有豐富經驗。我們認為哲里根圖一期安裝的風機的技術和國際標準相符，現場設施和運行維護安排符合高標準。北京能源向我們提供的生產資料評估表明，迄今為止風電場的表現正常、合理，主要受電網限電的影響，損失風電場潛在發電量的2%到48%。

自2009年7月投運以來，風電場的容量系數為0.25,平均可用率達98.28%，高於承諾可用率96%，輪載高度處平均風速為 6.76 m/s。儘管電網公司實施的電網限電的絕大部份

影響發生於冬季，但這是內蒙古非常普遍的現象，我們希望該問題在將來能透過電網改造解決。

在現場考察期間，我們發現一些風機有漏油痕跡。我們詢問北京能源，獲悉漏油是由於液壓和潤滑系統的若干螺栓力矩不夠。北京能源在發現該問題後立刻緊固螺栓，之後再無發生漏油。

### 7.2.3 吉相華亞風電場一、二期

吉相華亞風電場位於內蒙古錫林郭勒盟西南部的阿巴嘎旗。吉相華亞風電場分為兩期：

- 吉相華亞風電場一期(裝有33台恩德 S77/1500 kW風機，總裝機容量為 49.5 MW，2009年3月投運)
- 吉相華亞風電場二期(裝有33台蘇司蘭 S82/1500 kW 風機，總裝機容量為 49.5 MW，2009年12月18日投運)

按照我們的盡職調查範圍，我們評估吉相華亞風電場一期和二期風電場的性能。

#### 7.2.3.1 發電量和可用率

吉相華亞一期和二期風電場建造在荒漠化草原上，海拔高度近1350米。地形並無遮蔽、溝壑或較大斜坡等會形成不利風況的因素(如惡劣的風切變、內流角或渦流)。

由於內蒙古冷高壓的影響，該地區氣候寒冷，零下氣溫時期較長。因此，冬季寒冷而漫長。因受內蒙古冷高壓長時間控制，錫林浩特地區已成為冷空氣南下的主要通道。該地區常年有風，春季和冬季最盛，風能資源豐富。我們自北京能源得知所採用的風機都是低溫型。我們自北京能源得知，迄今為止，因極端低溫導致的停機累計小時數約為100小時。北京能源確認該等問題已因增加使用電加熱設備而得以緩解。

風電場的控制樓位於風電場升壓站附近。控制樓包括控制中心、辦公室、備件倉庫、開關室和其他現場設施。北京能源在現場辦公室聘請一名風電場場長、十二名運行人員，分三值，每值四個人。風電場建築和各項設施符合標準規範，管理維護狀況良好。

現場道路情況良好。我們獲悉在冬季下雪天，需要用推土機清理通往風機的道路。然而，我們於2010年7月份考察現場時可參觀控制樓、現場設施及風機。

風電場建設前，現場風力資源資料透過安裝於風電場的四個測風塔獲取。然而，自風電場建設並投運後，並無採用該等測風塔的感測器所測的數據作為監測資料，而是採用風機測風儀所測資料作為監測資料。風電場向我們提供2009年1月起的測風資料。

關於電網限電問題，我們自北京能源得知內蒙古風電場限電的情況十分普遍。我們獲悉電網限電通常發生於冬季夜間，屆時當地區域供熱需求達到高峰。在該等高峰需求期間，為保證更鄰近電力需求中心並作為熱電聯產機組運行的火電站的發電，以便向當地供熱系統供熱，將限制風電場的發電。根據分別於2009年10月20日和2010年3月15日發佈的有關內蒙古電網公司實施的電網限電詳情的文件，吉相華亞風電場的出力限制時間為晚上11點至第二日早上7點，出力限制多少取決於當時的電力需求。

目前，風機仍處於在製造商的質保期，保證的風機可用率為95%，質保期為兩年。輪轂高度(70m)處的平均風速計算為7.6 m/s，淨容量系數計算為25%，是合理的陸上風電場淨容量系數。根據北京能源提供的SCADA系統的發電量、風速和可用率資料(見表7.5)，自2009年1月運行以來，吉相華亞風電場一期的平均可用率為96.26%，大部分的月可用率均高於保證的可用率95%。吉相華亞風電場一期2009年全年的實際年平均發電量為114,930 MWh，略高於可行性研究中的預測年平均發電量113,807 MWh。



表7.3：吉相華亞風電場一期運行數據

日期	平均風機 可用率(%)	總發電量 (MWh)	70米處的 平均風速 (米/秒)
2009-01. ....	82.07	4,923.9	7.57
2009-02. ....	92.48	8,147.4	8.01
2009-03. ....	96.84	11,513.4	7.37
2009-04. ....	97.74	11,420.8	7.05
2009-05. ....	94.56	14,389.0	8.59
2009-06. ....	96.57	8,711.3	8.09
2009-07. ....	97.63	8,247.5	6.63
2009-08. ....	98.54	8,001.4	5.97
2009-09. ....	98.48	11,223.8	8.15
2009-10. ....	97.68	10,069.8	7.40
2009-11. ....	98.54	10,633.1	8.01
2009-12. ....	98.98	7,649.2	7.64
<b>2009年總計／平均</b> .....	<b>95.84</b>	<b>114,930</b>	<b>7.54</b>
2010-01. ....	91.91	8,789.9	8.4
2010-02. ....	96.71	5,485.3	6.8
2010-03. ....	99.40	12,230.5	8.3
2010-04. ....	99.15	11,436.5	8.0
2010-05. ....	98.02	11,928.7	8.4
2010-06. ....	97.36	5,970.3	6.0
<b>總計／平均</b> .....	<b>96.26</b>	<b>170,771.8</b>	<b>7.6</b>

由於吉相華亞風電場二期自2010年5月才投運，因此並無充足資料(至少一年的正常運行資料)評價風電場的表現。

謹請注意，北京能源所呈列的可用率計算方法中，風機在計劃內維修停機都被視為是可用的。

#### 7.2.3.2 結論

吉相華亞風電場一期和二期採用知名製造商的設備，彼等技術精湛，同時在該市場具有良好的營運紀錄。我們認為風機技術與目前行業標準相符，現場建設符合規範，其運行維護良好。吉相華亞風電場一期的發電量略高於預測的發電量。由於吉相華亞風電場二期於2010年4月才投運，因此並無充足資料(至少一年的正常運行資料)評價風電場二期的表現。

#### 7.2.4 察右中風電場一期

察右中風電場位於內蒙古烏蘭察布察哈爾右翼中旗，包括兩期：

- 察右中風電場一期(裝有33台恩德 S70/1500 kW 風機，總裝機容量為 49.5 MW，2009年7月開始運行)

- 察右中風電場二期(裝有40台蘇司蘭 S64/1250 kW 風機，總裝機容量為 50 MW，2009年6月開始運行)

我們的盡職調查範圍僅包括察右中風電場一期。

### 7.2.4.1 發電量和可用率

察右中風電場一期安裝有33台恩德 S70/1500 風機，建在起伏的山丘上，相對於大部分為平坦的荒漠草原的地形而言較為複雜，海拔為2000米至2131米。根據我們現場考察時對地形的觀察，並無遮蔽、溝壑或較大斜坡等會形成不利風況的因素(如惡劣的風切變、內流角或渦流)。

現場的冬天氣溫極低，我們獲悉所有的風機均為低溫型風機。恩德 S70 CCV 風機的運行環境溫度在-30℃和+45℃之間，生存環境溫度在-40℃和+50℃之間。北京能源表示，迄今為止，並無因極端低溫導致的停機現象。

在現場有一個綜合廠區，包括變電站、控制樓、備品備件庫、辦公室及其他現場設施。風電場的運行維護公司是北京能源的附屬公司，現有一名風電場場長，三個運行維護團隊輪流值班。每個團隊包括一名值長和三名工程師／技術員，工作兩周休息一周。北京能源的員工和恩德工程師密切合作。恩德在距離現場12公里處駐有一名現場經理和兩名工程師。恩德亦在彼等北京的服務中心遠端監控風機故障。風電場綜合廠區設施優良，適宜工作人員居住和工作，並且管理維護良好。

通往風機的道路粗糙不平，或需採取補救措施確保道路通暢，尤其是冬季下雪令現場道路模糊不清時。我們獲悉在冬季有明確計劃應對降雪，會使用推土機清除現場道路上的雪。然而，儘管去年冬季使用推土機，但仍有幾個星期到不了所有風機。在2010年7月我們現場考察期間，我們可以到達所有我們想去的地方。北京能源已向我們確認現場道路允許起重機進入並且進行吊裝作業。

恩德是歐洲領先的風機製造商，有很好的營運紀錄並在世界範圍內安裝眾多風機。針對現場考察期間我們所提出的問題，北京能源告知，2009年10月恩德工程師在發現故障後更換兩台風機的齒輪箱，耗時約半個月，惟恩德並無就此導致的停機給予補償。

通常我們希望審閱風機製造商或者風電場編製的月度報告，其中包含當月所發生事件的詳細資訊，如重大停機或部件故障及處理措施。北京能源已提供所有的月度生產報告。

現場設有四座測風塔用於風資源分析，其中有一座測風塔自2002年1月至12月的測風資料被用於計算發電量預測。在可行性研究之後，並無測風塔仍在使用，所以風電場運行期間除每台風機的測風儀所測風力資料外，並無其他風速資料。

在我們考察期間，察右中風電場一期的風機仍在製造商恩德的兩年質保期內。恩德承諾的可用率為95%，據悉計劃檢修和風機電網限電停機都不視為可用。北京能源向我們提供 SCADA 系統的恩德S70機型的功率曲線圖，基本上和製造商提供的標準功率曲線一致。

風機輪載高度 (65m) 處的年平均風速為 9.22 m/s，顯示該地區的風資源良好，淨容量系數為0.30，是較好的陸上風電場淨容量系數。北京能源提供的風速、可用率和發電量資料表明自投運以來的平均風機可用率為94.96% (如下文表7.6所示)。除了在最開始的5個月處於試運行期和2009年12月以外，其他月份整個風電場的風機可用率都高於承諾可用率95%。2009年6月的平均可用率沒有相關記載，是由於當時處在試運行之初，SCADA 系統尚未更新，尚不具備該功能。

由於實際建成後風電場的風機機型和數量以及排佈與可行性研究中的一致，所以可以將實際發電量和可行性研究報告中的預測發電量相比較。2009年7月至2010年6月，全年的實際上網電量是 139,514.35 MWh，可行性研究報告中的全年預測上網電量是 123,490 MWh，低於實際發電量。但是，鑑於可行性研究並不考慮電網限電所導致的電量損失，我們建議將來基於實際發電量預測發電量。

謹請注意，察右中風電場一期和二期共用一個計量表用於計量上網電量，安裝在風電場變電站。表7.6中的上網電量由風電場員工計算而得，我們認為數值合理但是可能不夠精確。

表7.4：察右中風電場一期運行數據

日期	平均風機		上網電量 (MWh)	等效滿 負荷小 時數	容量系數	65米處的 平均風速 (米/秒)
	可用率 (%)	總發電量 (MWh)				
2010-06.....	98.93	8,292.7	8,238.8	168	0.23	7.20
2010-05.....	99.10	17,270.0	17,176.4	349	0.47	9.75
2010-04.....	97.18	16,595.9	16,489.6	335	0.46	9.60
2010-03.....	98.79	15,534.2	15,391.9	314	0.42	11.12
2010-02.....	95.83	6,923.3	6,722.2	140	0.20	9.40
2010-01.....	95.64	15,898.6	15,705.9	321	0.43	10.88
2009-12.....	93.42	12,754.3	12,561.5	258	0.34	11.16
2009-11.....	95.71	13,586.9	13,439.4	274	0.38	9.70
2009-10.....	89.20	12,952.3	12,862.3	262	0.35	9.74
2009-09.....	93.52	7,814.0	7,754.3	158	0.22	7.93
2009-08.....	92.90	3,697.7	3,666.4	75	0.10	6.27
2009-07.....	89.25	4,831.3	4,796.4	98	0.13	7.34
2009-06.....	不適用	4,755.0	4,709.24	96	0.13	9.73
總計/平均.....	<b>94.96</b>	<b>140,906.14</b>	<b>139,514.4</b>	<b>2,818</b>	<b>0.30</b>	<b>9.22</b>

關於電網限電問題，從北京能源得知內蒙古風電場限電的情況十分普遍。我們獲悉電網限電通常發生於冬季夜間，屆時當地區域供熱需求達到高峰。在該等高峰需求期間，為保證更鄰近電力需求中心並作為熱電聯產機組運行的火電站的發電，以便向當地供熱系統供熱，將限制風電場的發電。根據分別於2009年10月20日和2010年3月15日發佈的有關內蒙古電網公司實施的電網限電詳情的文件，察右中風電場的電網限電時間為晚上11點至第二日早上7點，或是晚上11時30分至第二日早上9點，電網限電量取決於當時的電力需求。

電網公司實施的電網限電的絕大部份影響發生於冬季，風電場損失部分估計潛在發電量。最大損失發生在2010年2月，當時正值中國新年，大部分工廠放假停工令電力需求降低。

#### 7.2.4.2 結論

察右中風電場一期所安裝的風機由著名的歐洲風機製造商恩德提供，其擁有良好的營運紀錄，在世界範圍裝機數量眾多。我們認為一期安裝的風機的技術符合國際標準，現場設施和運行維護安排符合高標準。

自2009年6月投運以來，風電場的容量系數為0.30，是良好的海上風電場容量系數。平均可用率為94.96%，比承諾可用率95%略低，主要是由於最開始的5個月處於試運行期間。風機輪轂高度處平均風速為9.22 m/s，顯示該地區極佳的風資源。儘管電網公司電網限

電的絕大部份影響發生於冬季，但這是內蒙古非常普遍的現象，我們希望該問題在將來能透過電網改造解決。

### 7.2.5 烏蘭伊力更風電場

烏蘭伊力更風電場位於內蒙古巴彥淖爾市烏拉特中旗，裝有200台金風 GW77/1500 kW 的風機，於2009年11月開始運行。

#### 7.2.5.1 發電量和可用率

烏蘭伊力更風電場建在一個非常平坦且簡單的地形上，現場為荒漠草原，海拔為1290—1380米。根據我們現場考察時對地形的觀察，並無遮蔽、溝壑或較大斜坡等會形成不利風況的因素(如惡劣的風切變、內流角或渦流)。

現場的冬天氣溫極低，金風 GW77 的運行環境溫度在-30℃和+40℃之間，生存環境溫度在-40℃和+50℃之間，雖然金風沒有特定的低溫機型，但是其運行環境溫度和生存環境溫度與其他機型的低溫型相似。北京能源表示，迄今為止，並無因極端低溫導致的停機現象。

在現場有一個綜合廠區，包括變電站、控制樓、備品備件庫、辦公室及其他現場設施。風電場的運行維護公司是北京能源的附屬公司，現有二十名員工，其中包括一名風電場場長，分成三個運行維護團隊輪流值班，工作兩周休息一周。每個團隊包括一名值長和六至七名工程師／技術員。風電場綜合廠區的設施優良，適宜工作人員居住和工作，並且維護良好。

儘管通往風電場其他設備的道路不如辦公廠區入口處的道路狀況好，但是通往風機的道路路況良好，且在我們現場考察期間可參觀多個風機和變電站，未見道路不暢問題。

金風是中國領先的風機製造商，具有良好的營運紀錄，在中國裝機數量眾多。針對我們在現場考察期間提出的問題，北京能源告知有兩台風機的變槳電機和一台風機的變槳減速器的主要部件出現故障，均已被更換。通常我們希望審閱風機製造商或者風電場編製的月度報告，其中包含當月所發生事件的詳細資訊，如重大停機或部件故障及處理措施。北京能源已提供數月月度生產數據。

我們從北京能源獲悉國家電網技術規定要求所有的風機須具備低電壓穿越 (LVRT) 的能力，惟最後時間尚未確定。據我們瞭解，烏蘭伊力更風電場安裝的金風 GW77/1500 機型目前並不具備低電壓穿越的能力。

在現場考察期間，我們發現一台風機(#87)基座的混凝土表面有一些裂縫。儘管裂縫很小，但是我們認為仍有可能浸水，尤其是冬季冰雪融化和解凍的時候，可能導致比較嚴重的問題。然而，北京能源認為這些小裂縫只存在於散水表面，目前對基座並無影響。北京能源向我們提供第三方出具的基座混凝土配比試驗報告和抗壓試驗報告，報告結果顯示基座混凝土品質合格。北京能源強調彼等亦密切關注這個問題，將會用水泥漿嵌縫修復。此外，彼等每年觀測風機基座的沉降。

現場設有三座測風塔用於風資源分析，最終有一座測風塔於2006年5月至2007年6月份的測風資料被用於計算發電量預測，其資料完整率達到100%。在可行性研究完成後並無使用測風塔，所以運行期間除了風機所測風力資料外，並無其他風速資料。

在我們考察期間，烏蘭伊力更風電場的風機仍在製造商金風的兩年質保期內。雖然金風承諾的可用率為95%，但據悉計劃檢修不視為可用。北京能源向我們提供 SCADA 系統的金風 GW77 機型的功率曲線圖，基本上和製造商提供的標準功率曲線一致。

北京能源提供的風速、可用率和發電量資料表明自投運以來的平均風機可用率為96.81% (如下文表7.8所示)。風機輪轆高度 (65m) 處的年平均風速為 8.15 m/s，顯示該地區的風資源極佳，淨容量系數為0.23，為陸上風電場的正常容量系數。除最開始的2個月處於試運行期間外，其他月份整個風電場的風機可用率均高於承諾可用率95%。

儘管實際建成後風電場的風機機型和數量以及排佈與可行性研究中的一致，但是迄今為止運行期間不足一年。因此並無足夠運行資料可與可行性研究中的數值相比較。鑑於可行性研究並不考慮電網限電導致的電量損失，我們建議將來基於實際發電量預測發電量。

表7.5：烏蘭伊力更風電場運行數據

日期	平均風機				容量系數	65米處的平均風速 (米/秒)
	可用率 (%)	總發電量 (MWh)	上網電量 (MWh)	等效滿 負荷時數		
2010-06. ....	98.30	54,192.4	53,834.1	179	0.25	7.13
2010-05. ....	98.36	71,478.5	71,031.5	237	0.32	8.16
2010-04. ....	97.72	65,986.0	65,387.4	218	0.30	7.85
2010-03. ....	98.20	40,456.3	39,818.9	133	0.18	8.79
2010-02. ....	97.19	26,160.3	25,331.0	84	0.13	7.53
2010-01. ....	97.32	50,733.1	49,854.0	166	0.22	8.45
2009-12. ....	94.70	54,352.4	53,542.9	178	0.24	8.99
2009-11. ....	92.72	52,530.9	51,981.3	173	0.24	8.31
總計/平均.....	<b>96.81</b>	<b>415,889.9</b>	<b>410,781.0</b>	<b>1,369</b>	<b>0.23</b>	<b>8.15</b>

關於電網限電問題，我們自北京能源得知內蒙古風電場限電的情況很普遍。據悉電網限電通常於冬季夜間發生，屆時當地區域供熱需求達到高峰。在該等高峰需求期間，為保證更鄰近電力需求中心並作為熱電聯產機組運行的火電站的發電，以便向當地供熱系統供熱，將限制風電場的發電。根據分別於2009年10月20日和2010年3月15日發佈的有關內蒙古電網公司實施的電網限電詳情的文件，於烏蘭伊力更風電場電網限電時間為晚上11點至第二日早上7點或8點30分，電網限電量取決於當時的電力需求。

根據北京能源的月度經營報告，數據顯示當月由於電網限電而損失的電量，如表7.9所示。我們自北京能源獲悉計算發電量損失所用的方法，並大致認同該方法。

電網公司實施的電網限電產生的絕大部份影響發生於冬季，風電場損失部分潛在發電量。最大損失發生於2010年2月，當時正值中國新年，大部分工廠放假停工令電力需求降低。

#### 7.2.5.2 結論

烏蘭伊力更風電場安裝的風機由中國著名風機製造商金風提供，其技術精湛。現場運行維護安排管理得當，設施優良。關於在現場我們發現的風機機座小裂縫的問題，北京能源認為該等小裂縫僅為散水表面裂縫，目前對基座並無影響。基座混凝土測試報告顯示混凝土品質合格。北京能源強調彼等亦密切關注該問題，將用水泥漿嵌縫修復。此外，彼等每年觀測風機機座沉降。此外，我們認為風電場的建設符合較高標準。

北京能源提供的生產數據評估表明至今為止風電場運作正常，主要受電網限電的影響，損失潛在發電量的18%至67%。這在內蒙古冬季非常普遍，我們預期將來可通過對電網

的改造解決該問題。由於試運行至2010年3月份才完成，故我們並無足夠資料(至少12個月的正常運行資料)就風電場的表現與可行性研究中的預期年發電量進行比較並作出全面評價。

### 7.2.6 昌圖太陽山風電場

昌圖太陽山風電場位於遼寧省鐵嶺市北部昌圖縣境內。風電場裝有33台華銳SL1500/77風機，總裝機容量為49.5 MW，2009年7月開始運行。

#### 7.2.6.1 發電量和可用率

昌圖太陽山風電場建於丘陵和山地上，海拔約468米。地形簡單，並無遮蔽、溝壑或較大斜坡等不利風況的因素(如風切變、內流角或渦流)。

昌圖縣地處遼河北岸，由於其特殊地理位置，春夏季西南季風長驅直入，秋冬季東北風全境穿過，風力資源豐富。風電場所在區域冬季氣候寒冷，我們自北京能源得知所採用的風機都是低溫機型。根據北京能源的資料，至今並無因極端低溫導致的停機現象。

控制大樓位於風電場升壓站附近。該大樓包括控制中心、辦公室、備件倉庫、開關室和其他現場設施。北京能源僱用一名風電場場長、十二名運行人員，分三值，每值四個人。風電場建築和各項設施符合標準規範，管理維護狀況良好。

風電場道路較為粗糙，或需進行修補以確保道路暢通，特別是冬季下雪令道路模糊不清時。我們亦獲悉冬季下雪時需動用挖土機清理風電場內外道路。然而，我們於2010年7月份考察現場時可參觀控制中心大樓、現場設施及風機。

我們從北京能源獲悉，按照國家電網技術規定(修訂版)，所有風機均須具備低電壓穿越能力。據悉，風電場採用的華銳風機現時不具備該功能。北京能源承諾接到國家電網公司的改造要求後，會改良太陽山風電場，以達到相關要求。

風電場建設前，現場風力資源數據透過安裝於風電場的兩個測風塔獲取。然而，自

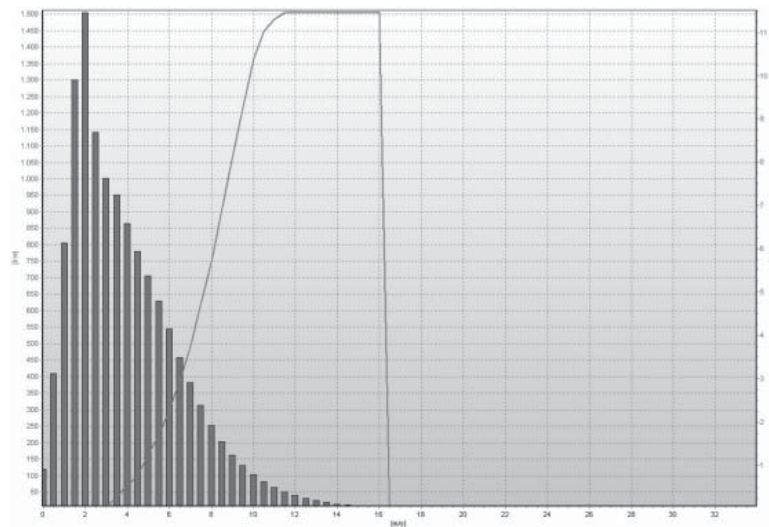


風電場建設並投產後，並無採用該等測風塔傳感器所測的數據作為監測資料，而是採用風機測風儀所測資料作為監測資料。我們獲風電場提供2009年7月起的測風資料。

關於電網限電問題，我們從北京能源獲悉昌圖太陽山風電場並無電網限電問題。

北京能源亦提供 SCADA 系統得出的風機功率曲線。我們可從圖7.1看出12號風機的額定風速約為 11 m/s，切入風速和切出風速為 3 m/s 和 16.5 m/s，而風機大部分時間在該範圍間運行。

圖7.1：12號風機功率曲線



目前，風機仍處於製造商的質保期中，保證風機的可用率為95%。質保期為兩年。輪轂高度 (70m) 處的平均風速計算為 6.74 m/s，淨容量系數計算為25%，是合理的陸上風電場淨容量系數。根據北京能源基於 SCADA 系統提供的發電量、風速和可用率資料(見表 7.10)，自2009年7月起，昌圖太陽山風電場的平均可用率為98.39%。所有月度可用率均高於製造商的保證可用率95%。我們從表7.10注意到，70米處的平均風速為 3.78 m/s，低於可行性研究報告中的平均風速 6.74 m/s。實際年度平均發電量為 79,435.58 MWh，而可行性研究報告中預測年平均發電量為 99,000 MWh，可見昌圖太陽山風電場的發電量低於目標產量。我們回顧及分析數據後得知主要是由於風電場運行期間的風速低於長期平均風速。

表7.6：昌圖太陽山風電場運行數據

日期	平均風機 可用率 (%)	總發電量 (MWh)	70米處的 平均風速 (米/秒)
2009-07. ....	98.91	3,930.5	3.00
2009-08. ....	99.14	3,915.8	3.15
2009-09. ....	99.04	6,150.8	3.94
2009-10. ....	98.66	6,010.8	3.88
2009-11. ....	97.85	8,796.8	4.74
2009-12. ....	98.61	4,902.8	3.43
2010-01. ....	98.58	6,694.0	2.40
2010-02. ....	97.79	4,962.7	2.80
2010-03. ....	98.49	9,368.8	4.00
2010-04. ....	98.43	10,767.4	4.80
2010-05. ....	97.20	10,205.7	5.16
2010-06. ....	97.95	3,729.6	4.00
<b>總計</b> .....	<b>98.39</b>	<b>79,435.6</b>	<b>3.78</b>

敬請留意，北京能源所用的可用率計算方法有若干注意事項，如風機按計劃維修停機仍被視為可用。

#### 7.2.6.2 結論

昌圖太陽山風電場採用業內知名製造商的產品，該等製造商的技術精湛或在市場上擁有良好的營業紀錄。我們認為風機技術與目前行業標準相符，現場按高標準建設，運行維護良好。昌圖太陽山風電場的發電量低於預期。我們回顧及分析數據後得知表現不佳主要是由於年度平均風速較低。

#### 7.2.7 鹿鳴山官廳風電場一期

鹿鳴山官廳風電場位於北京和河北省懷來縣的交界處，官廳水庫的周圍，包括四期：

- 鹿鳴山官廳風電場一期(裝有33台金風 GW77/1500 風機，總裝機容量為 49.5 MW，2008年1月投運，2008年7月開始試運行)；
- 延慶低風速風電場(裝有10台金風 GW82/1500 風機，總裝機容量為 15 MW，2010年1月投運)；
- 鹿鳴山官廳風電場二期(裝有33台金風 GW82/1500 風機，總裝機容量為 49.5 MW，2010年3月投運)；及
- 鹿鳴山官廳風電場二期加密(裝有24台金風 GW82/1500 風機，總裝機容量為 36 MW，仍在調試)。

我們的盡職調查範圍僅包括位於官廳水庫南岸的鹿鳴山官廳風電場一期。

### 7.2.7.1 發電量和可用率

鹿鳴山官廳風電場一期裝有33台金風 GW77/1500 型風機，沿官廳水庫南岸建在地形相對平坦處。現場為莊稼區，有大片玉米地，一年收穫一次，現場海拔高度為 476–479m。根據我們現場考察時對地形的觀察，儘管考慮將來發電量預測時應計及莊稼的影響，惟並無遮蔽、溝壑或較大斜坡等不利風況的因素(如風切變、內流角或渦流)。

不同於內蒙古其他風電場，該處冬季氣溫並無極低，因此可能不需要低溫型風機。

現場有一個綜合區域，包括變電站、控制樓、倉儲樓、辦公室及其他現場設施。變電站和 SCADA 系統位於綜合區對面，中間間隔一條道路。風電場的運行維護公司是北京能源的附屬公司，現有一名風電場場長，兩個運行維護團隊，每個團隊包括一個值長和十三個工程師／技術員。龐大的團隊亦反映該風電場有四期。風電場綜合建築設施優良，適宜工作人員居住和工作，並且管理維護良好。

在我們現場參觀期間可參觀多個風機和變電站。我們現場參觀的一台風機旁被鄰近玉米地佔據，故無足夠空間供起重機作業。北京能源表示如需起重機作業，彼等會有償臨時徵用玉米地。除此之外並無其他問題。

金風是中國領先的風機製造商，擁有良好的營業紀錄，在中國裝機數量可觀。但根據鹿鳴山官廳風電場一期的運行報告，第一年即2008年的平均風機可用率僅為84.29%。我們獲悉鹿鳴山官廳風電場一期是首個安裝金風 GW77 機型的風電場，2008年1月開始陸續投入運行。因此第一年出現若干配件故障，金風工程師亦一直致力改良DP接頭、變流控制器、變槳櫃、水冷系統、控制參數等。我們亦留意到從2009年開始年平均風機可用率有較大提高。

我們從北京能源獲悉國家電網技術規定所有風機均應具備低電壓穿越 (LVRT) 能力，惟最後時間仍未確定。我們獲悉鹿鳴山官廳風電場一期安裝的金風機型已具備低電壓穿越能力。

六座測風塔用於現場風力資源分析，最終只有一座測風塔於2004年8月至2005年7月的測風資料用於計算發電量預測。儘管其中一座測風塔(位於風電場中央，水庫旁)保留，惟可行性研究報告完成後僅利用風機測風儀測量風力數據。

我們考察現場時，鹿鳴山官廳風電場一期的風機仍在製造商金風提供的2007年末至2011年末的四年質保期內。質保期內第一年，金風負責所有的運行維護工作，不僅包括風機，亦包括變電站等。在其後的質保期內，金風僅負責風機的運行和維護工作。現時大部分運行維護工作可由北京能源的員工進行，金風工程師從旁輔助，這不同於一般情況。北京能源向我們提供來源於 SCADA 系統的金風 GW77 機型的功率曲線圖，與製造商提供的標準功率曲線大致相符。金風保證第一年的可用率為95%，第二至四年的可用率為98%，而我們獲悉該數據並無計及按計劃檢修和風機電網限電停機。北京能源提供的風速、可用率和發電量資料表明自投運後平均風機可用率為95.69% (如下文表7.11所示)。輪轂高度 (65m) 處年平均風速為 6.37 m/s。

敬請留意表7.11提供的總發電量數據為發電總量，並非扣除線路和變電站等電力損耗後的淨發電量。我們想瞭解一期單獨計量的淨發電量，然而我們獲悉鹿鳴山官廳風電場僅由一個計量表計量所有期數的發電量。儘管如此，基於上網電量計算的淨容量系數應略低於0.27 (陸上風電場的典型淨容量系數)。

儘管實際建成後風電場的風機機型和數量以及排佈與可行性研究報告一致，惟由於無法獲得實際上網電量的資料，故無法比較實際發電量與可行性研究報告中的發電量預測值。

關於電網限電問題，我們從北京能源獲悉鹿鳴山官廳風電場一期並無電網限電問題。

表7.7：鹿鳴山官廳風電場一期運行數據

日期	平均風機 可用率 (%)	總發電量 (MWh)	等效滿 負荷小時數	容量系數 <sup>(1)</sup>	65米處的 平均風速 (米/秒)
2010-06. ....	96.74	3,598.7	73	0.10	4.68
2010-05. ....	99.00	8,649.1	175	0.23	6.11
2010-04. ....	98.40	11,246.3	227	0.32	6.83
2010-03. ....	99.07	11,673.0	236	0.32	6.80
2010-02. ....	97.04	10,011.2	202	0.30	6.20
2010-01. ....	94.92	17,716.0	358	0.48	8.21
2009. ....	96.05	100,080.6	2,022	0.23	6.01
2008. ....	84.29	80,221.7	1,621	0.19	6.12
<b>總計/平均. ....</b>	<b>95.69</b>	<b>243,196.6</b>	<b>4,913</b>	<b>0.27</b>	<b>6.37</b>

附註：(1)由於無法獲得上網電量，故此表的容量系數\*乃基於總發電量計算。

### 7.2.7.2 結論

鹿鳴山官廳風電場一期安裝的風機由中國著名風機製造商金風提供，其技術精湛，現場運行維護管理得當，設施優良。儘管實際建成後風電場的風機機型、數量和排佈與可行性研究報告一致，惟由於風電場變電站僅有一個計量表計量所有期數的發電量，無法獲得實際上網電量數據，因此不能和可行性研究報告相比較。然而，我們可知悉淨容量系數應略低於0.27（陸上風電場的典型淨容量系數）。

我們獲悉第一年可用率偏低，僅為84.29%，是由於鹿鳴山官廳風電場一期是首個安裝金風 GW77 機型的風電場，2008年1月開始陸續投入運行，因此第一年出現若干配件故障，金風工程師亦一直致力改良工作。我們亦留意到從2009年開始年平均風機可用率有較大提高。總體而言，我們認為風電場按較高標準建設。

### 7.3 總體結論

在我們審查的八個代表性風電場中，有兩個風電場的風機機型、數量和排佈與可行性研究報告所述者不一致。有兩個風電場今年剛完成試運行，並無足夠運行資料（至少12個月正常運行資料），另有一個風電場由於所有四期共用一個計量表而沒有單獨提供一期上網電量，所以我們無法評估該等五個風電場的發電量是否與可行性研究報告中預測發電量一致。

餘下三個風電場中，有兩個風電場的實際年度發電量高於可行性研究報告預測的年度發電量。

昌圖太陽山風電場的實際發電量低於期望值，我們從已有資料獲悉發電量較低主要是由於平均風速相對較低。可行性研究中年度平均風速為 6.74 m/s，遠高於實際年度平均風速 3.78 m/s。兩者有較大偏差，而未來數年的風力情況或會改變。

八個代表性風電場中有六個風電場位於內蒙古，其所在區域風況甚好。倘內蒙古地區並無普遍存在的電網限電問題，該等風電場的表現會更好。我們期望未來電網改良後可妥善解決該問題。然而，位於北京附近和遼寧省鐵嶺市的兩個風電場並無該類問題。

總體而言，設備和設施均維護良好，符合較高標準。風電場設計、建設和安裝符合我們的預期。

### 8. 風電場的運行和維護

#### 8.1 介紹

就風電場的運行而言，北京能源的一般政策是於質保期內依靠風機製造商，其後將責任移交彼等自有的現場運行維護團隊。然而，官廳風電場與金風訂立長期維護協定，金風為該風電場提供100台風機。

北京能源的風電場中，風機製造商提供的質保期通常為兩年，與我們其他風電場及行業標準相符。除上海電氣外，就風機精湛的技術而言，該質保期可以接受。然而，由於上海電氣無法提供令人滿意的營業紀錄，故我們認為質保期須為三年。或者，倘北京能源能與上海電氣簽訂長期維護合同，則兩年質保期亦可接受。

質保期結束後，運行維護團隊將維護風電場的電氣設備。除金風 GW77 直驅型風機外，其餘型號技術成熟，該等設備極少發生故障。直驅型風機屬新概念，需更多關注。風機以外電氣設備的電壓等級、電流和容量均為標準規格。進行運行維護工作前，風機製造商將培訓技術人員，其後在工作期間會依據總部發出的規定進行其他培訓。我們認為，鑑於技術人員豐富的經驗及遵守風機製造商制定相關程序，可達致安全和業績目標。

通往風電場的道路維護工作分包給當地一個運輸服務和維護公司，屬於行業慣例。根據行業規則的規定，連接電網的送出線路由當地電網公司維護。某些風電場亦僱用當地兼職員工監控風機狀況。

#### 8.2 運行維護的架構組織

我們認為各風電場員工水準足以勝任其工作。各風電場現場的正式員工數量由北京能源總部依據其內部原則(請參閱表8.1)制定，並由京能集團批准。員工由北京能源總部招聘和培訓，確保錄用的現場工作人員的資質和能力。各風電場的組織結構由各專案公司編製，提呈北京能源總部批准。總部指派場長和其他高級管理人員，其餘的運行維護人員由各專案公司僱用。

表8.1：不同容量風電場的人員配置

風電場容量	100MW	130MW	300MW
場長	1	1	1
副場長	無	1	1
執行主管	1	1	1
場長助理	3	3	3
高級運行維護人員	每值1人，共3人	每值2人，共6人	每值3人，共9人
中級運行維護人員	每值2人，共6人	每值3人，共9人	每值4人，共12人
初級運行維護人員	每值1人，共3人	每值1人，共3人	每值2人，共6人
合計	17	24	33

通常設有生產、維護和執行三個部門。運行維護團隊通常有三值，每值有一位值長，二至三位運行維護人員，負責運行及維護。此安排可滿足更換易耗部件等日常需要，盡量縮短風機小型維護任務的反應時間。製造商亦會就大型檢查提供支援。因此可提高風機的可用率，有利收益。我們考察的絕大多數風電場仍在質保期內。

### 8.3 運行維護的安排

風機的可用率高低至關重要。許多因素均可影響可用率，其中運行維護的安排或有重大影響。協定違約金是針對低可用率的關鍵保護。在風機供貨合同談判過程中界定「可用率」時需特別注意。合同中可用率計算通常並無計及若干事項，供應商因而可在不可控制事項(如電網停運)發生時免於承擔責任。在現場考察過程中，我們提出該等觀點，並要求提供相關文件作為依據。中國多數風電場均在風機供應合同中採用此類定義，與西方慣例不一致。

北京能源在呼和浩特建立控制中心，監督和控制七個風電場，並依照當地電網公司的指令調度各風電場的發電量。控制中心採用開放式分層分散式系統結構的全分散式資料庫，整個系統分為控制中心主控級和各風電場分控級兩個主要層次，通過不同的軟體、硬體體系結構和系統軟體以及綜合網絡傳輸程序和運行控制模式，實現控制中心對各風電場的實時監控。

控制中心主要硬體的配置為：2台實時資料庫伺服器、2台歷史資料庫伺服器、4台操作員工作站、1台值長工作站及1台工程師工作站。2台實時資料庫伺服器主要完成各風電場實時資料的采集和處理，並向操作員工作站及值長工作站提供實時資料服務；2台歷史資

料庫伺服器主要完成各風電場監控系統及控制中心所有設備系統運行參數的長期保存，並提供歷史資料查詢及收集等服務；4台操作員工作站主要完成控制中心操作員與風電場的人機對話，亦進行實時監控；1台值長工作站主要完成控制中心調度員與電網公司調度員的人機對話，進行實時監控，並對操作員工作站下達運行命令，完成相關調度及管理工作；1台工程師工作站進行系統維護、系統程式修改及新科研專案的試運。

該控制中心可直接控制七個風電場中每台風機的實時運行資訊，包括風機 SCADA 系統的所有參數。目前，該中心已完成與這七個風電場的資料介面對接，涉及七個品牌九個型號的風機。風速、有功功率及電量、轉速、頻率及電壓、功率因素、電流、溫度、角度、無功功率及電量、振動值、速度、報警情況等重要的風機狀態資料每隔15分鐘自風機發往控制中心。監控系統自動匯總和記錄該等運行數據，以便進行分析對比，選擇最優運行方式。

除遠端收集、監督和記錄每個風機的運行狀態數據外，控制中心亦有權遠程控制該等七個風電場的各個風機，包括風機的啟動及關閉方式、發電量、有功功率、偏航角度等。若發現故障報警，可直接關閉風機，通知現場的檢修人員進行檢修。排除故障後，現場檢修人員報告給控制中心，再由控制中心下達運行指令。風速達到設計範圍，控制中心收到風機投運後的各項參數後，再根據內蒙古電網公司調度部門的負荷調度指令，調整各風電場各個風機的運行狀態，令七個風電場有功功率和無功功率達致調度要求。

該控制中心的天氣預報系統採用來自於歐洲的天氣預測數據，該系統每隔12小時更新未來48小時的天氣預報。該天氣預報系統的類比尺度達到 45 km×45 km，北京能源已計劃近期將其提升至 5 km×5 km。相較實際發電情況，在無電網調度限制時，該天氣預報系統的準確率達到80%以上。該準確率已達到歐洲同類系統的較高水準。

北京能源的控制中心為首個風電場集中監控的區域中心。控制中心與各風電場以及與電網公司之間的通訊均採用電網專用的數據網絡，確保資料傳輸和指令可靠。該系統同



時採用原有的電網調度通訊通道用作備用，一旦控制中心出現通訊故障，電網調度部門依然可以直接對七個風電場進行調度。控制中心的優勢主要表現為：

第一，節省人力，無需專門設置運行人員，僅需安排專業運行維護團隊，各風電場至少節省3人，七個風電場總共節省20人以上。

第二，實現對各品牌各型號風機的全面監控，方便比較同品牌同型號的風機的運行狀態，可進行大範圍的全面綜合評估，從大量的歷史數據中查出異常運行情況，設置合理的報警值，為日後運行提供改進指導。

第三，通過記錄、分析、對比、綜合和評估可靠性、發電量、發電效率、有功功率、故障率和功率曲線，發現優劣差別，為未來的風機採購提供意見。

第四，專業的運行和分析人員只需集中在該控制中心即可對七個風電場每台風機的運行狀況進行分析、評估和控制，可減少專業分析人員的數量，省去他們在各風電場之間的奔波，同時也有助於提高該等運行和分析人員的專業水準，進而有助於提高風電場運行管理的水準。

第五，通過控制中心的天氣預報系統，可同時對這七個風電場所在地區進行天氣預報，倘無控制中心，則各風電場均需購買天氣預報系統，將花費更多。同時，亦有助整體管理各風電場發電量，達到最優效果。

第六，可通過控制中心滙總及篩選該等七個風電場的主要運行資料，然後將北京能源總部需要關注的關鍵資料上報總部。省去各風電場的彙報工作，亦省卻北京能源總部的滙總及篩選工作。

2010年12月，北京能源與若干風電行業專業機構及內蒙古電網公司營運中心對控制中心進行驗收測試。該等機構及內蒙古電網公司於驗收測試報告的總結中同意該控制中心通過驗收測試。

總體而言，該控制中心對提高北京能源對該地區各風電場的運行管理水準、節省人力資源、降低運行成本、提高運行分析控制水準、促進風電場的健康穩定運行有很大幫助。該類區域控制中心十分符合中國風電發展實際情況，很可能得到推廣和普及。

我們已審查所有運行維護協定文件所載製造商安排的培訓計劃。培訓內容廣泛，包括在工廠和現場為期至少四周的培訓，內容涵蓋各種專題和現場可能出現的眾多問題。培

訓內容包括使用檢修手冊、保留故障記錄、操作和控制風機、更換部件時的架設方法、維護流程、故障診斷和備件管理。我們瞭解北京能源員工亦協助風機製造商隊伍進行計劃內和計劃外檢修。我們認為該等安排可令維護人員獲得豐富經驗。

北京能源總部制定頒佈各風電場採用的運行維護規則。該等規則的關鍵章節已印製在通告板上並懸掛在各風電場現場相關設施的牆上，令運行維護人員更易按其操作。規範包括了所有的主要運行方面，例如：風機、電氣設備、控制設備、食宿設施等等，該規範根據國家和行業相關標準和規範以及風機製造商運行維護的要求編製。我們對北京能源各風電場採用的相關制度感到滿意。

如上所述，我們考察的大部分風電場均於近兩年投入運行，所用風機仍在質保期內，由風機製造商負責檢修。根據現場的檢修紀錄和與製造商在現場員工的面談，計劃檢修是按照協議中規定執行的。我們注意到風機的檢修表格詳細記錄製造商檢修人員定期核對的檢修專案。該等表格內容全面，包含所有主要項目。質保期結束後，北京能源的現場員工承擔風機的定期檢修工作，與風機製造商簽訂了長期運行維護協議的官廳風電場除外。大多數風機製造商在風電場集中地區設有區域性服務中心，所以製造商的服務便捷。由於北京能源是中國主要的風力發電開發公司之一，因此，我們認為風機製造商對北京能源的要求會較快回應。

我們認為外聘專業公司進行工廠維護在服務品質方面更為可信，亦符合西方風電場的行業慣例。但是，我們獲悉中國市場少有公司擁有良好的檢修營業紀錄。倘北京能源於將來可覓得合格運行維護分包商，考量及比較該等分包商所作維護的資質、成本及效率將有利於其與國際慣例接軌。

為有效地節約成本，北京能源考慮在部分風電場自行承擔檢修任務，而大規模使用同一風機製造商的風機的其他風電場則將風機維護服務分包予風機製造商。此舉有助未來發展的宏偉計劃，亦有助鞏固近年來風電專案群的快速發展。然而，須審慎處理該兩者的平衡，亦須進行財務對比，這需要結合當地情況和與風機製造商的靈活談判進行。其他擁有大型風電專案群的公司也採用該策略。我們認為，為保證維護工作的品質相同和經驗共享，設立公司戰略和指導文檔界定培訓、運行和維護方面的最佳應用原則是必需的。北京

能源表示正在編製運行維護指導文檔，將於2010年底前發佈。目前，北京能源風電場的運行維護流程和工作主要依據兩個運行維護的國家標準，「DL/T 666-1999 風力發電場運行規程」和「DL/T 797-2001 風力發電場檢修規程」。

我們調查的大多數風電場的備件儲存均有效登記、管理和記錄。易耗備件如感測器、工具、剎車片和密封件等由現場項目公司按固定比例或封頂價定期購買。根據北京能源總部的計劃，備件採購是年度運行維護預算中的關鍵部分。總部管理及採購發電機和齒輪箱等主要備件，而常規備件的採購則根據急需程度、使用頻率、供貨周期、國產或進口、消耗率進行分類管理。我們認為北京能源對備件的管理有效、可行和經濟。發電機和齒輪箱等主要部件故障率較低、成本高昂和供貨期長，因此由總部統一管理。然而，北京能源缺乏對此類大型備件進行故障預測、事故預案、統一儲存調配的整體策略。北京能源正與製造商協議延長質保期協議。

我們認為所調查風電場的高產量和可用率證明北京能源的品質控制充分。採購、施工、招聘和培訓由北京能源總部控制，顯示出其出色的管理能力。各風電場均妥善設立及實施健康、安全和環境系統。現場的個人保護裝備充足，現場員工在開始現場工作前均需遵守程序。

在我們現場考察過程中，另有其他安全評估團隊正在各風電場檢查安全規程並審核風險。外聘專家組成健康、安全和環境團隊受北京能源邀請進行年度安全評估。彼等的工作非常專業、詳盡及仔細。我們對北京能源的內控程序滿意。我們調查的若干現場與周圍景觀巧妙融合，已成為旅遊景點。建成後或在運行期間並無重大環境影響紀錄。已根據北京能源質量、健康、安全與環境 (QHSE) 系統的要求編製 QHSE 手冊及其他相關系統文檔並予以實施。

### 8.4 結論

我們認為，運行維護乃基於目前公認的最優實施模式，根據北京能源風電場的具體情況而制定，故該運行維護安排適合北京能源的營運。儘管中國運行維護慣例在少數方面與國際標準不同，但北京能源風電場的運行維護狀況符合我們對國內風電場的期望。

位於呼和浩特的控制中心有助內蒙古西地區各風電場提高運行管理水準、節省人力

資源、降低運行成本、提高運行分析控制水準、促進風電場的健康穩定運行。該類區域控制中心十分符合中國風電發展實際情況，很有可能得到推廣和普及。

儘管我們認為風機主要部件的預防維護策略有待進一步改進，但運行維護的中斷、結構組織、備件採購和儲存以及北京能源風電場的質量、健康、安全與環境體系組織良好且可接受。

## 9. 燃氣聯產電廠技術審查

### 9.1 京豐 CCHP 電廠一期

京豐燃氣熱電廠一期為單軸的冷熱電聯供燃氣電廠，由一台三菱M701F燃機 (GT)、一台餘熱鍋爐 (HRSG) 和一台蒸汽輪機聯合迴圈運行。電廠位於中國首都北京，名義總裝機容量為408.8MW。

京豐燃氣熱電廠由北京能源的全資附屬公司北京京豐燃氣發電公司擁有。

自2007年起，京豐燃氣熱電廠與北京燃氣集團公司簽訂天然氣供應合同，合同規定從亞門河口燃氣管線上的盧村閘門站通過輸送管道將天然氣送至電廠。天然氣被送至廠內天然氣調節測量站 (RMS)，距離燃機房500m左右。天然氣管線和天然氣調節測量站均由北京京豐天然氣發電公司擁有及經營。天然氣供應入口處的壓力為16bar<sub>g</sub>。廠內設有天然氣壓縮站，將天然氣壓力升至滿足燃機的運行要求。電廠界線內的設施和設備歸京豐所有，並由京豐進行維護管理。倘京豐的燃氣設施和設備發生事故，供氣方需協助進行搶修，消除故障，由京豐支付費用。

北京電力公司是電力買方，為北京當地政府所有。北京電力公司提供了單回 220 kV 的架空線路，連接到廠內的 220 kV 變電站。未發現因電網傳輸限制而導致的電力輸出受限。

#### 9.1.1 電廠建設和配置

##### 9.1.1.1 電廠建設

電廠在2006年由三菱根據EPC全包合約建設完工，三菱為有良好聲譽的日本工程承包商和加工設備供應商，在國內外的電廠和工業廠房全包項目方面擁有豐富經驗。

##### 9.1.1.2 電廠配置

聯合迴圈燃氣輪機機組為單軸設計。該配置包括一台燃機、一台餘熱鍋爐和一台汽輪機。燃氣輪機和蒸汽輪機與發電機通過單軸耦合。電廠的配套設施 (BOP) 主要包括一些

常用系統，例如主要和閉式迴圈冷却水、水處理、壓縮空氣、消防、變壓器和220kV變電站開關，以及分散式控制系統 (DCS)。

下面各小節概述電廠主要設備和系統：

### 燃氣輪機

燃氣輪機是三菱 M701F 型，帶有乾式低氮氧化物燃燒設計。它有一個燃燒室僅燃燒天然氣。燃機能夠承受基準負荷和兩值運轉，在國際標準狀態下的額定功率為 270.3 MW。

氫冷發電機直接耦合聯接在蒸汽輪機軸上。

燃機本體是廠內最重要的部分。我們從燃氣供應商(三菱重工)的資料中瞭解到全球共有101套類似燃機系列，到2006年底累積運行小時數達到了47,200小時。我們並未發現任何重大的異常情況，我們認為該燃機的技術已得到驗證。

### 餘熱鍋爐

餘熱鍋爐由東方日立供應，包括三級壓力：高壓，中壓和低壓部分，再熱、自然迴圈型，設計與燃機的基荷和雙值運行方案相適應。來自燃機的乏汽送入餘熱鍋爐，在其中用來產生蒸汽用於蒸汽迴圈。

2台100%容量鍋爐給水泵向餘熱鍋爐的高壓汽包供水。

### 汽輪機

汽輪機組由三菱重工供貨，能夠在滿負荷和滑壓模式下運行。汽輪機是雙缸設計，將高壓缸和中壓缸合併，另含雙流低壓缸，以及一個帶有迴圈冷水供應的凝汽器。汽輪機無抽汽設計。全封閉的水至氫冷却發電機耦合連接在蒸汽輪機上。機組額定出力為 138.5 MW。汽輪機有一個100%的放汽旁路系統連接至凝汽器，用於啟動、停機以及在事故狀態下放汽到凝汽器。兩台100%容量的凝結水泵用於將凝結水從熱井輸送到餘熱鍋爐的低壓包。

### 燃料氣壓縮系統

一個壓縮站用於持續地向燃氣輪機提供壓力達38bar<sub>g</sub>的壓縮燃料氣。系統主要設備由2台100%容量的燃料氣壓縮機、燃料氣篩檢程式和液體清除器組成。

### 主冷却水系統

主冷却水系統是一個閉式迴圈冷却系統。兩台50%容量的主冷却水泵將水從冷却水池壓至主凝汽器來凝汽輪機的乏汽系統。由於主冷却水泵無冗餘，一旦其中一台冷却水泵故障將可能限制蒸汽迴圈的發電能力。在此情況下，降負荷的程度取決於僅剩的那台冷却水泵的可用出力餘量和現場的主要狀況。

補充水的來源一半左右是地下水，而另一半來自鄰近電廠的一座石化廠。我們獲悉，倘地下水供應日後減少，石化廠不能向京豐燃氣熱電廠增加用作補充水的水供應。因此，地下水水位的下降趨勢會直接影響電廠。然而，我們需京豐確認供應作京豐補充水的水儲量。

補充水來自鄰近電廠的燕化和三院石化廠。根據2010年10月13日收到的資料，年度供水能力為500萬立方米，而電廠的年度耗水量是150萬立方米。上述供水能力視為對電廠的長期運行而言充足。地下水亦用於約300名電廠內部員工的生活用水，年度用量為11萬立方米。地下水的供水能力視為能滿足需要。

### 閉式冷却水系統

閉式冷却水系統通過一條閉式迴圈管線系統為全廠不同設備(冷卻點)提供冷卻水，並通過閉式循環水冷卻器將熱負荷傳遞至輔助冷卻水。

### 水處理系統

水處理系統由3套處理能力 108 m<sup>3</sup>/h 的超濾、2套處理能力 125 m<sup>3</sup>/h 的超濾、3套處理能力 73 m<sup>3</sup>/h 的反滲透、2套處理能力 85 m<sup>3</sup>/h 的反滲透和3套處理能力 40 m<sup>3</sup>/h 的離子交換系統組成。

我們認為水處理車間的處理能力充足。

### 變壓器和 220 kV 變電站開關站

燃機和汽機發電機的變壓器均通過架空線連接至 220 kV 開關站相應的饋線迴路。輔助變壓器高壓側 (HV) 連接至燃機變壓器，低壓側連接至6.0 kV開關櫃，為電廠正常啟動的負荷和服務提供電力。變壓器的基本規格概述於表9.1：

表9.1：電廠機組變壓器規格

類別	數值／類型
額定容量 (MVA)	520
電壓和調壓範圍 (+ 與 -) (kV)	242 ± 2 × 2.5%/20
有載或無載調壓	無載
冷卻方式	ODAF
額定輸出時變壓器損耗 (MW)	408

發出的電量在開關站計量，並輸送至220 kV輸電線。

分散式控制系統

FOXBORO 分散式控制系統 (DCS) 用於電廠的啟動、正常和緊急停機、自動和手動操作、順序連鎖、資料獲取、控制、監督和監視。這種DCS在類似的 CCGT 電廠中比較典型，而我們對此設備並無意見。

### 9.1.1.3 小結

全廠各配套系統的配置符合我們對這類 CCGT 電廠的預期，惟上述冷却水泵冗餘不足可能導致出力損失除外。而且，我們因地下水供應而對未來補充水供應是否穩定的顧慮很小，原因如我們在「主冷却水系統」一節所解釋。

## 9.1.2 運行歷史

### 9.1.2.1 容量和可用率

電廠於2006年5月1日投入商業運行，並試圖在各種負荷工況下運行。根據我們收到的關於電廠運行的資料，長期停機是由於計劃停機。我們審查了2006年的8000等效小時檢修技術總結和2008年32000等效小時檢修技術總結，認為這些檢修工作內容全面、測試仔細、檢查合格、技術指導合理及符合技術要求。基於獲提供的資料，過往5年的容量和可用率列於表9.2。

表9.2：京豐 CCGT 電廠的容量和可用率

年份	2006年	2007年	2008年	2009年	2010年 (截至 6月6日)
容量系數(%)	30	39	56	47	53
可用率(%)	84	77	87	98	91
淨發電量 (GWh)	1,080	1,418	2,016	1,695	939

停機

電廠的過往停機資料指出：

- 2010年一月至六月，有一次持續16天左右的計劃停機，無強制停機紀錄；
- 2009年，有一次持續6天左右的計劃停機，無強制停機紀錄；
- 2008年，有一次持續22天左右的計劃停機，4次強制停機(共計約47小時)；

- 2007年，有一次長達83天左右的計劃停機，3次強制停機（共計約20小時）；及
- 2006年，有一次持續36天左右的計劃停機，3次強制停機（共計約97小時）。

上報的電廠可用率一般低於93%–94%，此乃我們基於世界上類似電廠經驗對長期平均可用率的期望值。長時間的計劃停運是電廠可用率損失的主要原因，應盡可能進行優化。然而，中國對於全廠可用率的定義不同於西方市場，購電協議和電網調度中有關可用率的規範亦應用不同的原則。

電廠的容量系數平均值為45%，相對於中國同類燃氣聯產電廠處於較高水準。儘管該容量系數略低於西方同類燃氣聯產電廠，但這是由於電廠的年發電量在每年年初由政府機構制定的生產計劃確定。根據我們在考察中獲提供的口頭資料，購電協議規定，電廠的收入僅取決於輸出的電量，並無電廠可用率或容量付款，電廠因此無法在北京電力公司調度降低有關期間的已購電量時獲得補償。然而，另一方面，如果電廠無法向北京電力公司供電，電廠亦不必支付罰款，主要是由於京豐 CCGT 電廠的主要任務是為北京社區供熱，因而大部分發電量在供熱期完成。

#### 9.1.2.2 出力

CCGT 機組在ISO狀態下(15℃，1.013 bar<sub>a</sub>，相對濕度60%，冷卻水溫15℃)的出力設計值為 403.394 MW。華北電力科學研究院 (NCEPRI) 發佈的試運行試驗報告中的測試值為 408.252 MW，滿足設計要求。

#### 9.1.2.3 熱效率

在電廠不同負荷條件下，熱效率的保證值列示於下表9.3。

表9.3：京豐 CCGT 電廠保證熱效率

負荷百分比	30	50	75	100
保證熱效率 (kJ/kWh) .....	8,595	7,101	6,539	6,263

CCGT 機組在ISO狀態下(15℃，1.013 bar<sub>a</sub>，相對濕度60%，冷卻水溫15℃)的熱效率設計值為 6266 kJ/kWh。華北電力科學研究院發佈的試運行試驗報告中的測試值為 6264.59 kJ/kWh，滿足設計要求。

#### 9.1.3 資產狀態

基於我們的視查，電廠的狀況整體上符合我們對該類型和運行年期的電廠的預期。電廠各區域清潔，並設置合適的安全標識和安保系統。多數室內和室外設備在使用中，並



無明顯的腐蝕、損壞和異常聲響。基於可得紀錄資料，並無跡象顯示須我們關注，亦不需重大投資。

### 9.1.4 運行維護

電廠有448名僱員，其中95名管理人員，126名運行人員，188名維護人員，以及39名專業承包商。該僱員人數水準明顯高於西方類似電廠的行業標準。大部分的常規維護檢修由內部員工進行。

電廠應用中文專業軟體(管理資訊系統)進行運行維護管理。系統提供事件資料記錄、維護計劃和設備採購過程中的訂貨、監控、追蹤和報告功能。

莫特麥克唐納審閱電廠與三菱重工達成的長期備件管理服務協定。該協定規範燃機各部件的質保期，以及關鍵部件供應的要求。電廠一直在每次計劃停機之前簽訂單獨的技術指導協定(莫特麥克唐納並無審閱)，要求三菱重工委派專業工程師前往電廠指導檢修。京豐電廠有足夠的技術力量和人員隊伍，在三菱重工的專業工程師指導下，完成全部檢修工作。相對於長期服務協定，這樣的安排更具成本效益，亦更符合電廠現狀。

電廠運營商與燃機供應商達成某種形式的長期服務協定是業內的普遍慣例(通常亦是借貸機構的強制條款)。長期服務協定的合同範圍多樣，可以一定價格提供零件，或提供全面的支援服務，這時燃機製造商將提供標準和事故備件，連同監督和進行大修。此舉的優點是，在維護週期內，成本可預測，性能有保證；缺點是花費較高，運行維護的自由度較小。長期服務協定的類型取決於相對成本和收益與壽命管理策略。

燃機已使用四年，累計實際運行小時數約為26,392小時，等效運行小時數約為32,441小時。燃燒室和高溫燃氣通道各進行了一次檢修。已定期更換使用年期有限的零件，並無報告重大問題。燃機的第一次大修須在等效運行小時數達到48,000小時後進行，將在未來兩年內進行。

餘熱鍋爐須每年進行檢修。安全閥亦須每年測試。

運行報告和其他相關文件顯示，狀態監控技術正在電廠應用。這一維護策略變化與現代電力行業的慣例一致。儘管這會增加監控設備、分析工具和員工培訓的短期資本投資，

但長遠而言，低維護成本加上電廠的可靠程度因運行維護團隊鑒別面臨的設備故障的能力而提升令投資有回報。

### 9.1.5 備件

在我們的考察中發現，現場明顯存有大量的備件。已審查與燃機供應商三菱重工簽訂的長期服務協定，我們認為該協定是對備件供應的良好保證。我們審查了燃機備品備件的庫存清單，較西方類似電廠的庫存少。

### 9.1.6 環境、健康和 safety

電廠設計符合中國政府法規所載有關廢氣排放、污水排放和噪音排放的環境限制。特別是，實際的氮氧化物排放水平在17–35 ppm 之間，低於規範的限值 42 ppm。我們在審查資料室運行紀錄和相關文件時並無發現重大問題或環境污染。

健康和 safety 紀錄顯示870天無失時事故。

### 9.1.7 結論

我們對京豐 CCHP 電廠的主要結論如下：

- 我們認為發電廠主要設備技術精湛；
- 我們對技術資料的審查顯示，電廠的總體情況大體符合我們對同年限和同類型設施的預期；
- 電廠的可用率在在一定程度上低於行業平均標準，但中國關於可用率的定義和規定不同於西方；
- 電廠設計出力和熱效率與我們的期望一致，實際性能值亦已經試運行試驗報告證實；
- 電廠的容量系數相對於國內同類燃氣聯產電廠處於較高水準。儘管該容量系數略低於西方同類燃氣聯產電廠，但這是由於電廠的年發電量在每年年初由政府機構制定的生產計劃確定。這主要是由於京豐 CCGT 電廠的主要任務是為北京社區供熱，因而大部分發電量在供熱期完成；
- 除主冷卻水泵外，電廠主要設備的冗餘設計視為充足；
- 在過去4年的運行紀錄中，未發現任何燃氣供應中斷的情況；

- 莫特麥克唐納審閱電廠與三菱重工達成的長期備件管理服務協定。電廠一直在計劃停機之前與三菱簽訂單獨的技術指導協定(莫特麥克唐納並無審閱)，要求三菱重工委派專業工程師前往電廠指導檢修。京豐電廠有足夠的技術力量 and 人員隊伍，在三菱重工的專業工程師指導下，完成全部檢修工作。相對於長期服務協定，這樣的安排更具成本效益，亦更符合電廠現狀；及
- 已審查與燃機供應商三菱重工簽訂的長期備件管理服務協定，我們認為該協定是對備件供應的良好保證。我們審查了燃機備品備件的庫存清單，與西方類似電廠相比十分合理和充足。

## 9.2 太陽宮 CCHP 電廠

太陽宮電廠是多軸燃氣冷熱電聯供電廠，由兩台通用電氣 PG9351FA 燃機、兩台餘熱鍋爐和一台蒸汽輪機聯合迴圈運行。電廠位於北京，在ISO狀態下，名義總裝機容量為784.7 MW。

太陽宮電廠由北京太陽宮燃氣熱電有限公司擁有，其74%股權由北京市能源投資公司持有，其餘26%股權屬於國電電力發展。

電廠的燃料是天然氣，由隸屬北京當地政府的北京市煤氣集團公司供應。天然氣通過輸送管線送入廠內天然氣調節測量站。天然氣管線和天然氣調節測量站均由北京太陽宮燃氣熱電有限公司擁有及經營。天然氣供應入口處的壓力為22 bar<sub>g</sub>。廠內有一個天然氣壓縮站，將天然氣壓力升至滿足燃機的運行要求。

北京電力公司是購電方，由北京當地政府擁有。北京電力公司提供雙迴 220 kV 架空線路，連接到廠內的 220 kV 開關站。並無因電網傳輸限制而導致的電力輸出受限。

### 9.2.1 電廠建設和配置

#### 9.2.1.1 電廠建設

電廠由通用電氣根據整體EPC承包在2007年完工。通用電氣是聲譽良好的主要工程承包商和加工廠房設備供應商，具備豐富的承接電廠和工業加工廠房整體工程經驗。

#### 9.2.1.2 電廠配置

聯合迴圈燃氣輪機機組是一種多軸設計。該配置由兩台燃機、兩台餘熱鍋爐和一台

蒸汽輪機在一個多軸線上組成。電廠配套設施包括一些常用系統，例如主要和閉式迴圈冷卻水、水處理、壓縮空氣、消防、變壓器和 220 kV 開關站，以及分散控制系統。

下面各分節概述電廠主要設備和系統：

### 燃氣輪機

燃氣輪機機組是兩台通用電氣 PG9351FA 型號，帶有幹式低氮氧化物燃燒設計。該種燃機有一個燃燒室僅燃燒天然氣。各燃機能夠進行基準負荷和兩值運轉，在 ISO 狀態下的額定功率為 254.5 MW。

氫冷發電機直接耦合連接在燃機軸上。

### 餘熱鍋爐

餘熱鍋爐由杭州鍋爐集團供貨，是三級壓力、再熱、自然迴圈型，設計與燃機的基荷和雙值運行方案相適應。燃機的乏汽導入餘熱鍋爐，在其中用來產生蒸汽迴圈所需蒸汽。低壓過熱器產生的蒸汽用於汽機低壓缸和區域集中供熱。

2台100%容量高壓鍋爐給水泵向餘熱鍋爐的高壓汽包供水。

2台100%容量高壓鍋爐給水泵向餘熱鍋爐的中壓汽包供水。

### 汽輪機

汽輪機機組由 Harbin 供應，能夠在滿負荷和滑壓模式下運行。汽輪機是雙缸設計，將高壓缸和中壓缸合併，另含雙流低壓缸，以及一個帶有迴圈冷水供應的凝汽器。中壓汽輪機為單抽汽式。全封閉的水至氫冷卻發電機耦合連接在汽輪機上。機組額定出力為 275.6 MW。汽輪機有一個100%的放汽旁路系統連接至凝汽器，乃用於啟動、停機，亦用於在事故狀態下放汽到凝汽器。三台50%容量的凝結水泵用於將主凝結水從凝汽器熱井輸送到餘熱鍋爐的低壓包。

### 燃料氣壓縮系統

一個壓縮站用於持續地提供燃機所需壓力達 32 bar<sub>g</sub> 的壓縮燃料氣，每台燃機配備一個壓縮站。系統主要設備由2台100%容量的燃料氣壓縮機、燃料氣篩檢程式和液體清除器組成。

### 主冷卻水系統

主冷卻水系統是一個閉式迴圈冷卻系統。3台50%容量、兩運一備的主冷卻水泵將水從冷卻水池壓至主凝汽器來冷卻輪機的乏汽。這是類似 CCGT 電廠的典型設計，而我們對此設備並無意見。

### 封閉式冷却水系統

封閉式冷却水系統通過封閉式迴圈管線系統為全廠各種設備(冷却點)提供冷却水，並通過換熱器將熱負荷傳遞至輔助冷却水系統。冷却水為來自從市政廢水處理設施的再生水，可滿足再生水供水量要求。此外，再生水經預處理後可滿足品質要求。利用再生水進行生水供應的方法可有效節省北京水資源。

### 水處理系統

水源全部來自於北京市政系統。水處理工廠的產能為 27 m<sup>3</sup>/hr，工廠設備包括超濾器，反滲透器，離子交換器，以及 2 x 500 m<sup>3</sup> 的儲罐。

### 變壓器和 220 kV 變電站

燃機和汽機發電機的變壓器都通過架空線連接至220kV變電站相應的饋線回路。輔助變壓器為電廠正常啟動的負荷和服務提供電力。

### 分散式控制系統

FOXBORO 的分散式控制系統用於電廠的啟動、正常／事故停機、自動和手動操作、順序連鎖、資料獲取、控制、監督及監控。分散式控制系統為類似 CCGT 電廠中採用的典型系統，我們對此設備無憂慮之處。

#### 9.2.1.3 概況

除並無如上所述冷却水泵中可導致容量流失的冗餘裝置外，電廠的配套系統與同類 CCGT 電廠的配套系統一致，符合我們的期望。

### 9.2.2 運行歷史

#### 9.2.2.1 容量和可用率

電廠於2007年開工建設，並於2008年5月20日投產，並打算在各種負荷工況下運行。基於提供的資訊，過去三年的容量和可用率參數載於表9.4：

表9.4：太陽宮電廠容量和可用率

年	2008	2009	2010 (至6月)
容量系數(%)	25	32	52
可用率參數(%)	88	87	95
淨發電量(GWh)	1,187	2,160	1,770

### 停機

電廠的歷史停機資料指出：

- 2010年前6個月，非計劃停機總計124小時，計劃停機為1,111小時。最長的非計劃停機持續時間為70小時，是由於1號燃氣輪機碳刷損壞所致；
- 2009年，計劃停機1,111小時，非計劃停機總計43小時。最長的非計劃停機持續時間為24小時，是由於發電機保護故障所致；
- 2008年，計劃停機738小時，非計劃停機14小時。

上報的電廠可用率一般低於93%–94%，此乃我們基於全球類似電廠經驗對長期平均可用率的期望值。（儘管電廠運行的最初兩年由於處於磨合期該值通常略低）但是，我們留意到中國對於全廠可用率的定義不同於西方市場，同樣，購電協議和電網調度中對於可用率的規範亦應用不同原則。

電廠的容量系數相對於國內同類燃氣聯產電廠處於較高水準。惟略低於西方類似燃氣聯產電廠，是由於電廠的年發電量於每年年初由政府機構制定的生產計劃確定。根據我們考察時獲得的口頭資料，在購電協議中，電廠的收入僅取決於送出的電量，並無就電廠可用率或容量付款，因此倘北京電力公司調度降低一個期間的購買電量，電廠無法獲得補償。另一方面，倘電廠無法向北京電力公司供電，電廠亦不必作出補償。主要是因為太陽宮 CCGT 電廠的主要任務是為北京市區供熱，大部分發電量在供熱季完成。

#### 9.2.2.2 出力

整套機組在100%基荷設計條件下(-4.2℃; 1.024 bar<sub>a</sub>; 相對溫度43%; 冷卻水溫 16℃) 的設計出力總值為 706.12 MW。由西安熱工研究院有限公司所做的性能測試報告中的測試值為 722.063 MW，高於設計值2.26%。

#### 9.2.2.3 熱效率

整套機組在100%基荷設計條件下(-4.2℃; 1.024 bar<sub>a</sub>; 相對溫度43%; 冷卻水溫 16℃) 的設計熱效率的總值為 5074.4 kJ/kWh。由西安熱工研究院有限公司所做的性能測試報告中的測試值為 4954.4 kJ/kWh，比設計值低1.84%。

### 9.2.3 資產狀態

電廠僅運行兩年，故我們預期電廠的狀況良好。從我們的現場考察和所獲資料而言，

電廠項目並無重大顧慮或需要重大投資。太陽宮電廠的設施和環境乾淨漂亮。太陽宮電廠是中國的 CCGT 示範電廠和清潔能源展示中心，代表類似電廠的最高水準。

#### 9.2.4 運行維護

電廠擁有141名僱員，其中2名管理人員(董事長和總經理)，79名運行維護和技術人員，7名財務人員，以及53名行政及人力資源人員。僱員數量特別是行政人員數量明顯高於西方類似電廠的行業水準(彼等通常需要76名僱員：5名管理人員，24名運行人員，40名維護人員及7名行政人員)。僱員分為4班運行隊伍，且大部分常規維護和檢修工作由內部員工負責。小型和大型維修均僱用分包商處理。

電廠的運行維護管理採用中國國產專業軟體(管理資訊系統)。該系統提供事件數據記錄、維護計劃和設備採購過程中的訂貨、監控、追蹤和報告功能。

太陽宮電廠與通用電氣簽訂一份為期十年的長期維護合同，在此期間由通用電氣負責燃機的維護工作。

所獲資料表明,1號燃機目前的實際運行時數為9,841小時，2號燃機的實際運行時數為9,122小時。運行報告和其他相關文檔顯示，狀態監控技術在廠內得到應用，令維護策略與現代電廠行業慣例一致。儘管需要增加監控設備、分析工具和員工培訓方面的短期投資，但投資能夠從長期的低維護成本中得到回報，亦令運行維護團隊鑒別潛在設備故障能力提升從而提高電廠的可靠程度。

#### 9.2.5 備件

在我們的考察中明顯發現現場存有大量備件，其保存狀況良好。我們審查了備件、儀器儀錶和工具的全面庫存清單，認為主要系統的備件種類齊全、數量充足、型號合理。特別是燃機的主要備件，包括熱氣道檢修和大型檢修的備件，足以滿足日常檢修和計劃檢修的需要。

#### 9.2.6 環境、健康和安全

電廠在煙氣排放、廢水排放和噪音排放設計方面都滿足了中國法規的環境限制的較高要求。特別是實際的氮氧化物排放水準低於 20mg/M<sup>3</sup>，在規範的限值 100mg/m<sup>3</sup> 以內。在對營業紀錄和相關文檔的審查中，並未發現任何重大問題和環境污染事件。

### 9.2.7 結論

我們對太陽宮 CCHP 電廠的關鍵結論和建議如下：

- 我們認為主發電廠系統使用的是成熟、經過驗證的技術；
- 我們對技術資料的審查顯示，電廠的總體情況大體與我們對同年限同類型設施的預期一致；
- 電廠的可用率在在一定程度上低於行業平均標準，但中國關於可用率的定義和規定與西方本不相同；
- 電廠設計出力和熱效率與我們的期望一致，亦已經試運行試驗報告的實際性能資料證實；
- 電廠的容量系數相對於國內同類燃氣聯產電廠處於較高水準，而相對於西方同類燃氣聯產電廠來說却略低，這是由於電廠的年發電量在每年年初由政府機構制定的生產計劃確定，而太陽宮 CCGT 電廠的主要任務是為北京社區供熱，因而大部分發電量在供熱季完成；
- 主廠設備的冗餘設計視為充足；
- 在過去兩年的運行紀錄中，未發現任何燃氣供應中斷的情況；
- 與通用電氣簽訂的長期維護合同為本專案提供了非常好的專業支持，而視情況維護的策略亦符合現代電廠行業慣例；及
- 現場備件保存狀況良好。備件庫存清單顯示所有主要系統的備件種類齊全、數量充足、型號合理。特別是燃機主要備件(包括熱氣道檢修和大修所需備件)的庫存情況，足以滿足日常檢修和計劃檢修的需要。



### 附錄

#### 附錄A 主要參考資料

##### 序號 資料名稱

- 1 北京能源八個具有代表性的風電場回饋莫特麥克唐納的問卷調查表
- 2 各風電場的可行性研究報告
- 3 各風電場接入系統報告
- 4 各風電場風機供貨合同
- 5 若干風電場的風機技術說明書
- 6 各風電場 SCADA 系統的功率曲線
- 7 風力發電設備可靠性評估規程(試行)
- 8 各風電場一次系統圖
- 9 各風電場風機測風數據
- 10 各風電場風機佈置圖
- 11 各風電場月運行紀錄(可用率、發電量、限電)
- 12 各風電場備件清單
- 13 若干風電場的技術資料(主變壓器、風機變壓器、集電線路、輸出線路)
- 14 各風電場併網協定
- 15 風電場接入電網技術規定
- 16 內蒙古電力公司關於電網限電的通知
- 17 國家電網公司和內蒙古電力公司網站
- 18 風電場併網安全條件及評估
- 19 北京能源調查問卷資料統計
- 20 莫特麥克唐納內部資料
- 21 來自公共資訊網的資訊
- 22 賽汗風電場一期和烏蘭伊力更風電場基座混凝土配比試驗報告
- 23 賽汗風電場一期和烏蘭伊力更風電場基座混凝土抗壓試驗報告
- 24 中國國家電力監管委員會網站
- 25 燃氣聯產電廠月度運行報告
- 26 燃氣聯產電廠售電協議
- 27 燃氣聯產電廠購氣合同
- 28 燃氣聯產電廠購水合同
- 29 燃氣聯產電廠售熱合同
- 30 環評審批
- 31 燃氣聯產電廠工藝和儀錶圖
- 32 燃氣聯產電廠天然氣分析報告
- 33 噪音、廢水和廢氣污染排放標準
- 34 燃氣聯產電廠的可行性研究報告
- 35 京豐 CCHP 電廠的檢修和非計劃停機紀錄

<u>序號</u>	<u>資料名稱</u>
36	京豐 CCHP 電廠的年度大修紀錄
37	京豐 CCHP 電廠試運行測試報告
38	未來主要檢修工作總結
39	燃氣聯產電廠佈置圖
40	燃氣聯產電廠主要設備和系統技術資料表

術語

AGL	地上
AOH	實際運行時數
ASL	海拔
BCSE	可持續能源商會
北京電力公司	北京電力公司
BOP	電廠配套設施
CCGT	聯合迴圈燃氣輪機
CCHP	冷熱電聯供
CHP	熱電聯供
CI	燃燒室檢修
CREIA	中國資源綜合利用協會可再生能源專業委員會
中國南方電網	中國南方電網有限責任公司
切入風速	風機開始發電的風速
切出風速	風機停止發電的風速
CW	冷卻水
CWEA	中國風能協會
DCS	分散控制系統
DFIG	雙饋感應發電機
EIA	環境影響評估
EOH	等效運行時數
EPC	工程、採購及建設
GB/T	國標／推薦，中國國家推薦標準
GE	General Electric Company, Energy
齒輪箱傳動比	主動齒輪轉數與從動齒輪轉數的比率值
GL	Germanischer Lloyd
GT	燃機
GWEC	全球風能理事會
HGPI	熱氣道檢修
HP	高壓

HRSG	餘熱鍋爐
輪載高度	輪機葉輪中心線的離地高度
IEC	國際電工委員會
IMPC	內蒙古電力公司
IP	中壓
IPO	首次公開發行
ISO	國際標準組織
LP	低壓
LTSA	長期服務合同
LVRT	低電壓穿越
MCP	測量相關預測
三菱重工	三菱重工有限公司
莫特麥克唐納	莫特麥克唐納有限公司
NCEPRI	華北電力科學研究院
NG	天然氣
NOx	氮氧化物
OEM	原始設備製造商
O&M	運行維護
PPA	購電協議
中國	中華人民共和國
QHSE	質量、健康、安全與環境
額定功率	風機在恆定風速下的最大功率
RH	相對濕度
RMS	天然氣調節測量站
SCADA	系統控制和數據采集
國家電網公司	國家電網公司
ST	蒸汽輪機
UK	英國
UPS	不間斷電源
WAsP	風圖譜分析和應用程序
WTG	風機

<b>bar</b>	巴，壓力單位，等於100千帕
<b>GW</b>	吉瓦(電力)
<b>GWh</b>	吉瓦時(發電)
<b>Hz</b>	赫茲(頻率)
<b>kA</b>	千安(電流)
<b>km</b>	公里(長度)
<b>kV</b>	千伏(電壓)
<b>m</b>	米(長度)
<b>m<sup>2</sup></b>	平方米(面積)
<b>m/s</b>	米每秒(速度)
<b>MPa</b>	兆帕斯卡(壓力)
<b>MW</b>	兆瓦(電力)
<b>MWh</b>	兆瓦時(發電)
<b>MVA</b>	兆伏安(視在功率)
<b>MVar</b>	兆乏(無功功率)
<b>ppm</b>	百萬分率(濃度)