

# 德國電力備轉容量市場與虛擬電廠提供電網輔助服務機制之探討

Research of the German Power Operating Reserve Markets and the Mechanism of Virtual Power Plants for the Provision of Ancillary Services for Electricity Grid

許志義\*

Hsu, Jyh-Yih

黃俊凱\*\*

Huang, Chun-Kai

(103 年度研究計畫論文)

## 摘要

本文探討德國虛擬電廠提供輸電網路輔助服務之商業模式與相關法規政策，期為我國電力系統發展需量反應與整合分散式電源之應用模式，提供他山之石。首先，介紹德國電力產業結構的現況，說明德國四大民營輸電公司為電力平衡協調者，並分析其備轉容量市場；其次，指出德國在能源市場自由化之過程中，推動相關法規政策，建立開放、透明與公平競爭的備轉容量市場，使整合分散式電源之虛擬電廠能夠進入該市場參與競爭；接續以虛擬電廠為中心，分析其參與市場之資格審查、競標與決標程序、資訊公開透明等，並彙整其相關交易條件、程序與資格審查要件，製作一覽表。最後，本文借鏡德國經驗，建議我國發展虛擬電廠之環境，應朝電業自由化之方向思考。

## Abstract

The purpose of this paper is to analyze the business model and related regulations and policies with regard to the German virtual power plants for the provision of ancillary services for electricity transmission grid, thereby to propose a policy advice for the development of Demand Response (DR) and the strategies of integration of Distributed Energy Recourses (DER) in Taiwan.

First, the current structure of the German electricity industry with four independent electricity transmission companies as the power balance coordinators, is illustrated. Besides, the System of German Operating Reserve Markets is also analyzed. Second, it is pointed out that in the process of liberalization of the German energy market the relevant regulations were developed to establish an open-accessed and transparent Operating Reserve Markets for fair competition, and to make it possible for the Virtual Power Plants (VPPs) to participate in some of these markets in competition with large power plants. Then, the way how VPPs participate in these markets is further reviewed, such as the bidding and awarding procedures and the situation of information disclosure in the markets etc. On this basis, all the relevant transaction conditions, procedures and qualification reviews are summarized and listed in the Essentials in German Tertiary Operating Reserve Market. Finally, from the experiences of

\* 國立中興大學資訊管理學系暨應用經濟學系、產業發展研究中心

\*\* 德國柏林洪堡大學 (Humboldt-Universität zu Berlin) 法律系

Germany, it is recommended that, for the sake of promoting the development of VPPs in Taiwan, the direction towards the liberalization of the electricity industry should be favorably considered.

**關鍵詞(Key Words)：**虛擬電廠(Virtual Power Plants)、電力池協調者(Pool Coordinator)、備轉容量(Operating Reserve)、調節電力(Controlling Power Range)、德國電力產業(German Electricity Industry)、德國電力市場(German Electricity Market)、電力系統可靠度(Power System Reliability)。

## 壹、德國電力產業結構概觀

### 一、概說

德國自從 1998 年開始逐步推動電力自由化之後，電力產業主要分成發電、輸電、配電及售電四個階段，加上近兩年逐步將電表業再從配電業分割出來，目前已經共有五個產業階段。這五個產業領域的參與者，彼此在水平的關係上，分別構成五個不同層級的電力市場，其中發電市場為生產市場，輸電與配電市場為通路市場，售電(零售、經銷)與電表業則為服務市場，均為提供電力用戶之消費而存在。而電力用戶可分為住宅用戶、商業用戶及大型產業用戶三種。

根據德國「能源及水利產業協會」(Bundesverband der Energie- und Wasserwirtschaft e. V., BDEW)於 2014 年 4 月份做的統計，電力市場上的電力相關事業，發電業，其年度契約用電容量超過 100 Megawatt(MW)的約有 300 家，電網業者，包含輸電與配電營運商一共約有 940 家，而分散在全國從事電力銷售的電力零售商(Stromlieferanten, Vertriebsabteilung)達 1,190 家之譜。另外有 140 家左右的電力經銷商(Stromhändler)<sup>1</sup>。由此可見，德國各個層級的電力市場競爭相當活絡。

隨著電業自由化的推動，終端用戶(Letzterverbraucher)在能源市場的消費者意識在近

年也逐漸抬頭。根據 BDEW 於 2014 年 10 月 20 日一份最新的統計報告，住商用戶更換電力零售商(Lieferantenwechsel)的更換率(Wechselquote)，從 2005 年的 7%，08、09 年逐步上升到 20% 以上，2013 年 10 月一舉突破三成來到 33.5%，而截至 2014 年 10 月已達 36.0%，即將逼近四成<sup>2</sup>。民眾更換供電商的比例一路向上攀升，證明隨著電力市場的開放競爭，德國消費者已經逐漸擺脫被既有電力供應商「套牢」的習慣或偏好，開始從經濟理性的角度，選購由不同零售商所提供的「電力商品」，使德國從發電市場到售電市場逐漸出現有效競爭，此即歐盟當初推動電力市場自由化的主要目標。

### 二、發電與輸、配電業結構

德國的五個電力產業階段中，第一階段的發電業，按其發電方式可分為<sup>3</sup>：

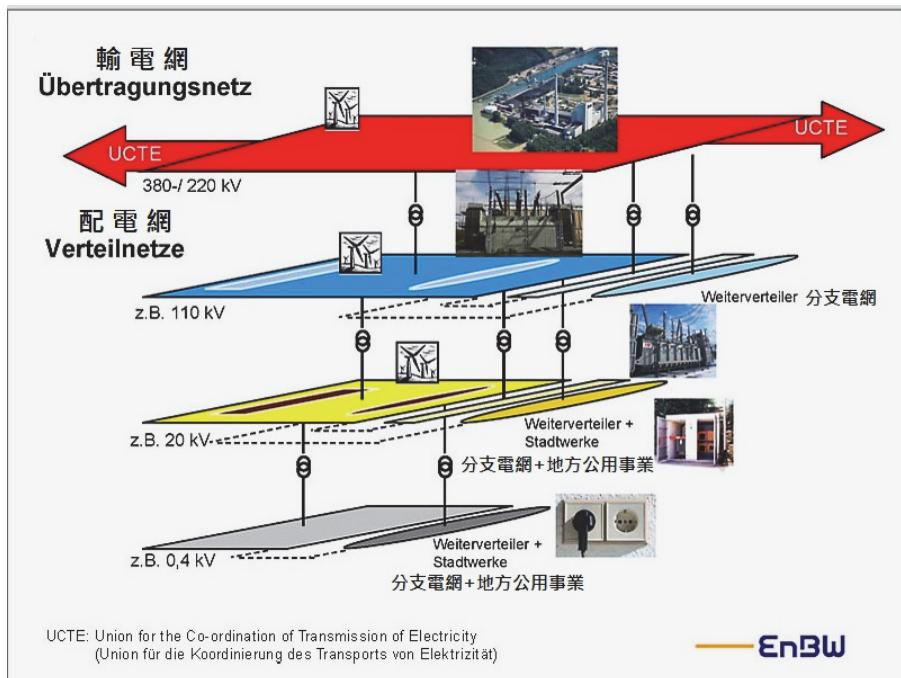
- (一) 機械式發電：例如，水力與風力發電；
- (二) 熱能發電：例如，石油、燃煤、天然氣與核能發電；
- (三) 太陽能發電：如太陽能熱力與光伏板發電等。

截至 2014 年 10 月為止，德國電力系統總裝置容量 194.161GW，其中傳統發電設備為 107.147GW，再生能源設備裝置容量為 87.014GW。值得注意的是火力電廠硬煤發電的部分比起 2013 年底增加了 1.9GW，另外在再生

<sup>1</sup> BDEW, Vielfalt im Energiemarkt - Zahl der Unternehmen in den einzelnen Marktbereichen (Stand:04. 2014).<sup>[1]</sup>

<sup>2</sup> BDEW, Wechselverhalten im Energiemarkt (Stand:20. Oktober 2014), S. 4.<sup>[2]</sup>

<sup>3</sup> Theobald/ Theobald, Grundzüge des Energiewirtschaftsrechts, 3. Aufl. 2013, S.14.<sup>[3]</sup>



資料來源：EnBW

圖 1 德國四個電網層級

能源的太陽能與陸上風力發電部分，也分別增加了 1.8GW 與 1.6GW<sup>4</sup>。德國全年的平日尖峰負載約介於 70 到 80GW 之間，2013 年的最大尖峰負載為 83.102GW<sup>5</sup>。

第二階段與第三階段的輸電業與配電業，為經營電力傳輸與配送的電力網，分為超高压電網、高壓電網、中壓電網與低壓電網四個級別，不同電壓級別之間有變電站相互連結，並進行電壓轉換。因此，四個電壓級別加上其間三個階段的變電站，一共有七個電網層級。

德國電網的四個電壓級別，說明如下<sup>6</sup>(見圖 1)：

(一) 超高壓電網分為 380 和 220 千伏特(kV)兩種，是最大容量的輸電網，作跨越全國的電力輸送，同時也是歐洲聯合電網(das Europäische Verbundsystem, Wide Area Synchronous Grid)

的一部分。發電容量超過 300 MW 的大型電廠直接與超高压電網連接，這些大型電廠主要為燃煤電廠、核電廠與離岸風力電場(Offshore-Windparks)。

(二) 高壓電網 110 和 60 kV，為各邦境內的配電網，連接範圍涵蓋大城市與偏遠鄉鎮。高壓電網的標準距離，在全邦境內的配送範圍為 50 到 100 公里，在大城市(含周邊衛星市鎮在內)的範圍，例如柏林、漢堡、慕尼黑、科隆、法蘭克福等大都會生活圈內的配送範圍，通常介於 10 到 20 公里之間。與高壓電網連接之電廠，為中型的燃氣、燃煤、水力電廠與風電場(Windparks)，透過高壓電網，直接將電力輸送給大型產業用戶，例如工業園區、高速鐵路(ICE)等。

(三) 中壓電網分為 30、20 和 15 kV，最低有 3kV。中壓電網為地區性配電網，其標準距離約數公里左右，直接與區域內裝置容量 50 kW 到 1、2GW 的發電廠相連接。此層級的發電廠或機組，主要為汽電共生廠(BHKW)、生質發電廠(Biomasse)、水力發電機組、風力發

<sup>4</sup> Bundesnetzagentur/ Bundeskartelamt, Monitoringsbericht 2014, S. 36, 37. <sup>[4]</sup>

<sup>5</sup> Fraunhofer-Institut für Solare Energiesysteme ISE, Stromerzeugung aus Solar- und Windenergie im Jahr 2014. <sup>[5]</sup>

<sup>6</sup> Theobald/ Theobald, Grundzüge des Energiewirtschaftsrechts, 3. Aufl. 2013, S.15f. <sup>[3]</sup>

電機組與太陽能電場(Solarparks)。

(四) 低壓電網為 230 到 400 伏特(V)，直接連接到大多數的用戶，也就是年度用電量在 10 萬度(kWh)以下，最大負載容量在 30 kW 以下的住宅與商業用戶(住商用戶)。住家或商辦有安裝太陽能板，或迷你型汽電共生設備(Mini-BHKW)、熱泵式熱水器(Heizungspumpe)等再生能源或儲能設備時，這類分散式電源直接與低壓電網相連，在符合技術條件的情況下，亦可提供電力到市場上銷售。

### 三、四大輸電公司作為電力平衡協調者

德國的超高壓電網，原為 E.on、RWE、EnBW 及 Vattenfall 四大電力事業集團所有並經營，然而近十多年來在歐盟推動能源市場自由化相關指令的壓力下，分別被迫與母公司分割或轉售，而成為今日的四家輸電公司(TSO)：TenneT(前身屬 E.ON 集團)、Amprion(前身屬 RWE 集團)、EnBW Transportnetze 及 50Hertz(前身屬 Vattenfall 集團)。這四家公司之輸電系統將全國分為 4 個輸電區，每家輸電公司負責經營各自的輸電網，平時負責維持輸電網的電壓穩定，並將電網頻率控制在 50 Hertz 的標準值內，以維持電網頻率之穩定，因此，各該輸電網區域又稱為這四家輸電公司之「控制區」(Regelzone)<sup>7</sup>。

在控制區內，輸電公司扮演「電力平衡協調者」(Bilanzkreiskoordinator, BKO)的角色，負責維持控制區的電力供需平衡，當電力實際供需量與預測供需量出現落差時，例如系統電力供應過剩時，BKO 必須作電力調度，以減少發電端的發電量，增加消費端的用電量；反之，在供電出現缺口時，則增加發電量，減少用電量。為此，輸電公司必須即時調度「調節電力」(Regelenergie)或稱「備轉容量」(Reserveenergie)，分配給控制區內的各個電力平衡群組負責人

(Bilanzkreisverantwortlicher, BKV)。所謂的 BKV，通常即指電力經銷商，負責平衡其群組(如簽約之零售商或用戶)範圍內之電力供需，BKV 之中僅有少數為電力零售商，另外則是不透過經銷商或零售商，直接向電廠購電的大型企業或產業園區。輸電公司(BKO)採購調節電力(備轉容量)所支出之費用，轉嫁給電力平衡群組負責人(BKV)負擔，再由 BKV 依約向零售商或終端用戶收費<sup>8</sup>。

## 貳、電網穩定與備轉容量市場

### 一、概說

當大規模再生能源電力饋入電網時，如果電網或電網連接點的容量不足以容納饋入之電量時，就會出現「電網壅塞」的現象，嚴重時會造成發電機組跳電，危害電網系統的安全。德國為了加速推動「能源轉型」(Energiewende)，近年在特定區域大幅增加風力或太陽能發電機組，經常造成輸電與配電網的電網壅塞，例如南部巴伐利亞地區的部分低壓電網，因為太陽能發電設備併網的數量大幅增加，現階段已經面臨到這個問題<sup>9</sup>。

為了維護電網穩定與安全，擴建輸電網路固然為徹底的解決辦法，但如果資金不足、用地取得困難等因素而緩不濟急，除非減少再生能源設備的併網數量，否則即必須採取各種措施，以提高電網現有容量之使用效率。

在技術層面，電網業常見的方法為架空線監測(Freileitungsmonitoring, Overhead Line Monitoring)，在電網佈建架空線路監測系統，查明天候狀況的變化對於架空線載流容量

<sup>7</sup> 參考 RegModHarz Arbeitspaketbericht – Marktbedingungen und Zugangsvoraussetzungen zum Strommarkt, S.66.<sup>[6]</sup>; Theobald/ Theobald, Grundzüge des Energiewirtschaftsrechts, 3. Aufl. 2013, S.17,18.<sup>[3]</sup>

<sup>8</sup> Beucker, S., Bergset, L., Beeck, H., Bogdanova, T., Bormann, F., Riedel, M. & Bierter, W. (2012), Geschäftsmodelle für den Zukunftsmarkt des dezentralen Energiemanagements in Privathaushalten. Ergebnisse aus dem Forschungsprojekt Connected Energy – SHAPE. Berlin, S.44,45.<sup>[7]</sup>

<sup>9</sup> RegModHarz Arbeitspaketbericht – Marktbedingungen und Zugangsvoraussetzungen zum Strommarkt, S.159.<sup>[6]</sup>

(Ampacity)之影響，對於影響結果進行評估，採取之調整方法，例如設法降低電力線路周圍之環境溫度，或是增加電力線路，藉此增加電網的輸電容量，亦可解決再生能源併網的問題<sup>10</sup>。

除了技術性的措施之外，德國在政策面亦制定相關法令，藉由行政命令管制、經濟誘因、市場機制等方式之立法，確保電網之穩定與安全，這類措施可分為發電端管理、再生能源設備提供輔助服務，以及備轉容量市場。其中備轉容量市場係德國維持電網供需平衡之市場機制，在加入再生能源併網因素之考量後，更強調引進智慧電網技術以及虛擬電廠之商業模式，而使其成為提供電網輔助服務之重要市場平台。

## 二、備轉容量市場機制<sup>11</sup>

### (一) 概說

能源經濟法(Energiewirtschaftsgesetz, EnWG)第 13 條第 1 項規定，當控制區內之電力供應系統安全性或穩定性遭受危害或發生障礙時，輸電公司依法有排除該危害或障礙之權利及義務。例如，輸電網有局部故障或短期壅塞之虞時，輸電公司得採取技術性措施，例如調整電力電路，進行壅塞管理，在市場機制方面，應在備轉容量市場(Regelleistungsmarkt, Operating Reserve Market)向電廠(含虛擬電廠)採購調節電力，或與用戶端約定削減負載、提供容量。

為確保電網保持在 50Hz 頻率的狀況下運作，電網中必須隨時饋入負載所需的電力，相對的，用電負載也必須能夠消化發電量，如此才能維持供電端與負載端的供需平衡。若電網中的電力供需突然出現不平衡的波動，就必須迅速採取措施，維持供需兩端的平衡，此時電網即需要「調節功率電力」(Regelenergie, Regulating Power)，簡稱「調節電力」。所謂調節電力，係指即時增加或削減電網中的饋電量，或是即時提高或削減

電網中的負載量，當電網的實際供需量與預測供需量出現偏差時，就需要調節電力進行「調節」，以控制電網中電功率的平衡。電力供需的落差，除了出現在供電端，例如電廠的發電機組故障等因素，也會出現在負載端，例如用戶受天氣變化影響而減少或增加用電(見圖 2)。

在德國，四大輸電公司分別負責其所轄控制區(Regelzone)內電網系統的電力平衡，已見前述。此四大電網系統彼此互聯，並加入歐洲聯合電網，與其他歐洲國家的輸電網營運商聯合組成「歐洲輸電網系統業者協會」(European Network of Transmission System Operators for Electricity, ENSO-E)，共同接受該協會訂定的國際共同標準之規範。

輸電公司為履行電網供需平衡的責任，必須保留備轉容量，以供需要時之調度，調節電力的供應者必須預先保留容量，使其發電機組或負載設備在約定的供應時段內可隨時準備待命。輸電公司必須按供應者保留的備轉容量支付「容量價格」(Price Per Kilowatt)，如果供應者之機組或設備在約定的供應時段實際投入運轉，輸電公司必須為實際調度的能量再支付「能量價格」(Price Per kWh)。

調節電力又分為正調節電力(Positive Regelleistung)與負調節電力(Negative Regelleistung)兩種。所謂「正調節電力」，又稱為「正容量」，係指供電端增加饋電量或啟動機組，及(或)負載端削減負載或關閉負載。當輸電公司調度正調節電力時，電力是從供應者流向輸電公司，輸電公司須支付能量價格給供應者。所謂「負調節電力」，又稱「負容量」，係指供電端削減饋電量，及(或)負載端增加或開啟負載，當輸電公司調度負調節電力時，電流方向則是從輸電公司流向供應者，故由供應者支付能量價格給輸電公司。

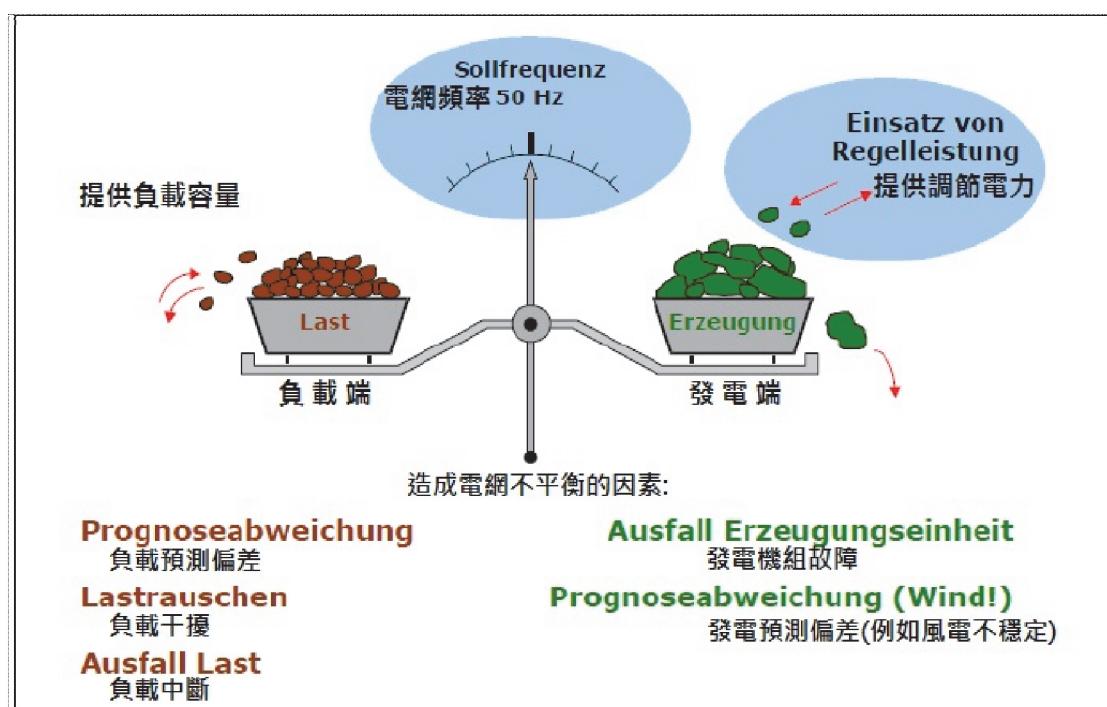
在德國，當電網發生供需不均衡的障礙時，按照輸電公司調度的時間先後順序，備轉容量可分為：一級備轉容量(Primärregelung, Primary

<sup>10</sup> RegModHarz\_Abschlussbericht, S.174f. [8]

<sup>11</sup> 以下參照 RegModHarz Arbeitspaketbericht\_Marktbedingungen und Zugangsvoraussetzungen zum Strommarkt, S.66ff. [6]

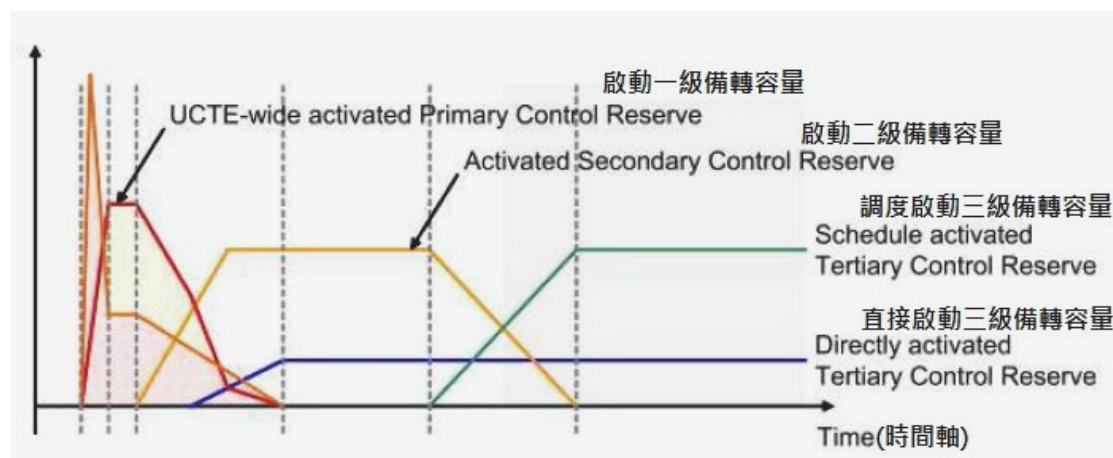
Control Reserve)、二級備轉容量(Sekundärregelung, Secondary Control Reserve)及三級備轉容量(Minutenreserve, Tertiary Control Reserve)。一級備轉容量，是指在最短的時間內，例如有發電機組突然故障，導致電網出現頻率偏差(Frequency Deviation)時，負責提供一級備轉容量的機組必須在 30 秒內透過自動控制系統快速升載，為電網緊急供應 15 分鐘的電力，並在同

一時間內，逐步由二級備轉容量來接替。二級備轉機容量，係指在機組接到輸電公司發出的控制信號之後，必須在 30 秒之內自動升載，持續提供 15 分鐘的電力，之後再由三級備轉容量來接替。三級備轉容量，係指必須能夠在電網障礙發生後 15 分鐘之內開始接續饋入電力，其饋網時間之要求為 1 到 4 小時(見圖 3)。



資料來源：Verstege 2003 [9]

圖 2 德國電網頻率與影響因素



資料來源：ENTSO-E 2009 [10]

圖 3 電網頻率偏差時啟動調節容量

提供一級、二級與三級備轉容量的發電機組，其性質種類與技術條件完全不同，因此輸電公司必須分別招標。其中，一級備轉容量並不區分正調節或負調節電力，二級與三級備轉容量兩者則分別就正、負電力分開招標，因此，德國調節電力之招標一共有以下五個市場：

1. 一級備轉容量
2. 二級備轉正容量
3. 二級備轉負容量
4. 三級備轉正容量
5. 三級備轉負容量

其中 4. 與 5. 之三級備轉容量市場，為德國虛擬電廠在商轉實務上的重要市場之一。

## (二) 招標程序

調節電力之招標，四家輸電公司有一套共同的招標程序，其招標網頁為 [www.regelleistung.net](http://www.regelleistung.net)，市場上只要符合提供調節電力基本技術要求的供應商都可在此參加投

標。供應商如通過資格審查，即按所參加的市場種類與招標的輸電公司簽定「基本架構協議」(Rahmenvertrag, Frame Contract)，簽定後即取得提供調節電力的資格。小型的發電機組或可控制的負載設備，可先與虛擬電廠簽約，透過虛擬電廠匯集至投標的最低容量，也能夠「間接的」參加三級備轉容量之投標(詳後述)。

三級備轉容量為每日公開招標，一級與二級備轉容量為每個月招標一次，三者均為按報價結算市場(Pay as Bid Market)。投標者應提報每個招標時段的容量價格與能量價格，但一級備轉容量只有容量價格，無能量價格。無論為容量價格或能量價格，輸電公司均從出價最低者開始決標，直到滿足四個控制區在該時段對備轉容量的全部需求為止，在出現實際調度需求時，開始從能量價格最低者開始，由低到高依序調度。表 1 為德國從 2008 年 10 月到 2009 年 11 月各備轉容量市場之招標容量：

表 1 2008/10 到 2009/11 三種備轉容量之招標容量

Reserveprodukte 備轉容量種類		Mimimum [MW] 最低值	Maximum [MW] 最高值
Primär 一級備轉容量	negativ/positiv 正/負容量	656	664
Sekundär 二級備轉容量	negativ 負容量	2,064	2,340
	positiv 正容量	2,678	3,013
Minuten 三級備轉容量	negativ 負容量	1,559	3,238
	positiv 正容量	2,376	3,508
Gesamt 總和	negativ 負容量	4,279	6,242
	positiv 正容量	5,710	7,185

資料來源：EWI 2010<sup>[11]</sup>

## (三) 備轉容量市場之競爭狀態

1. 一級與二級備轉容量並非競爭市場

一級備轉容量與二級備轉容量合計占市場成交量的三分之二，但符合資格投標者通常只有 4 到 6 家，其中的 4 家為主要的市場參與者，另外 2 家則是偶爾才會參加投標。這兩個市場欠缺競爭的主要原因，在於進入備轉容量市場的技術門檻太高，而且得標之後必須長時間負擔保留容

量與接受緊急調度的義務，因此通常只有基載電廠才會有參與該市場的投標能力。除此之外，符合資格的投標者通常只會與自己所屬控制區的輸電公司連線，如果要提供其他三個控制區的備轉容量，就必須另外再與其他區的輸電公司建立通訊連線。在 2008 年時，只有 RWE 輸電公司在其控制區內與這 6 家業者完成連線。換言之，其他三個控制區通常只有不到 2 家業者可提供一級

備轉與二級備轉容量的輔助服務。在 2010 年年中，參加一級備轉容量的廠商，其得標率為百分之百。換言之，其報價從未被拒絕過，因此該市場上並不存在競爭。在二級備轉容量市場方面，投標廠商的得標率為 85% 到 90%，此亦不存在有效競爭，故也不被認為是競爭市場。

## 2. 三級備轉容量市場目前仍為寡占市場

在三級備轉容量市場，因為技術門檻遠較前兩個市場為低，且招標頻繁(每日招標)，按電力網管制機關之聯邦網路局(Bundesnetzagentur, BNetzA)2009 年的統計，當時該市場上已有 27 家符合資格的廠商，其中包含 2003 年最早成立的 Steag-Saarenergie AG 公司的虛擬電廠在內。各家廠商在該市場參與競標的得標率介於 50% 到 80% 之間，而且出價較高者，得標機率也通常偏低，已經稍具有競爭市場的效果。為此，政府也逐步採取相關措施，進一步促進該市場的競爭條件(詳後述)。

根據 Steag 公司發布的企業資訊，該公司於 2007 年在三級備轉容量之市場占有率已超過 10%，其運用網際網路(Internet)分別與產業園區、地方性的小型發電機組，及可削減負載的大型企業用戶等建立連線，到 2009 年，Steag 已連結來自 40 個不同發電與負載單元(Einheit, Unit)，共有超過 1000 MW 的容量通過輸電公司的資格審查，成為合格的備轉容量。個別的發電或負載單元參加 Steag 虛擬電廠的基本要件，其最低容量之要求為 1 MW，並要求至少能夠連續提供 4 個小時以上，如該單元未設有控制平台，則應配備遠端遙控設備，供電力池協調者即 Steag 公司的虛擬電廠直接進行遠端控制。

## (四) 備轉容量市場之管制政策與發展

2001 年之前，德國電力市場尚未充分自由化，各個控制區內的發電、輸電、配電、售電市場基本上仍維持著單一垂直整合事業獨占的型態，輸電部門一概向所屬同一事業集團的發電廠採購備轉容量。在 1998 年能源經濟法(EnWG)大幅修正之後，德國積極推動能源市場自由化，自

2001 年開始，全德的輸電業必須在「開放、透明、公平」的市場上購買備轉容量。在初期，每個控制區的輸電公司對於供應者之資格條件要求各不相同，並且會刻意提高門檻(特別是對於二級備轉容量)，同時也利用招標程序的設計(例如招標期間)，或是招標程序不透明等技術性手段，阻礙潛在的競爭者進入市場，導致市場流通性不足，每個控制區仍繼續由極少數幾家電廠把持，獨占市場的局面一直未能打破。

2005 年 7 月 13 日第二次修正公布之能源經濟法，以及同年月 29 日施行的子法「電網接取規則」(Verordnung über den Zugang zu Elektrizitätsversorgungsnetzen)，簡稱 Netzzugangsverordnung - StromNZV)、「電網接取資費規則」(Verordnung über die Entgelt für den Zugang zu Elektrizitätsversorgungsnetzen，簡稱 Netzentgeltverordnung - StromNEV)大幅改革調節電力的採購及運用架構。依新法規定，採購市場應公開透明，採購程序應一律平等，對於投標廠商不得作有別於對其關係企業或控股公司之差別待遇，並要求輸電公司應盡可能以最低價格進行採購，四大輸電公司並應就減少採購成本進行合作(EnWG 第 22 條)。依此母法之授權，「電網接取規則」進一步規定，各家輸電公司除因技術上之限制，而必須在自己控制區內採購輔助服務以外，原則上應共同合作以跨區域、匿名的方式進行採購(StromNEV 第 6 條第 1 項)。

2006 年 8 月 29 日，聯邦網路局就三級備轉容量採購作成一項決議，明訂四家輸電公司依上述規定為共同招標成立之網路平台所必須符合的相關條件，以提高採購之透明度與效率，並重新規定招標與決標期間、最低供應容量、備轉時段、採購之公開義務等項目，降低市場門檻，以吸引國內外新的參與者加入該市場。2006 年 12 月 1 日，四家輸電公司首次透過共同網路平台([www.regelleistung.net](http://www.regelleistung.net))進行聯合招標。聯邦網路局預期藉此吸引大型產業用戶參加投標，在容量市場有需求的時段，可以暫停一部分廠房或生產

線的運作，把削減的負載移轉到容量市場上出售，以促進大型產業(企業)從事自主負載管理之意願與能力<sup>12</sup>。

聯邦網路局發布上述決議後，雖然有許多家電廠及大型企業提出申請並通過輸電公司之資格認證，但最後真正參加投標的廠商並未明顯增加，主要原因係備轉容量之提供仍然有其技術門檻，而且市場上出售調節電力的獲利幅度仍有限。此外，企業內部自主建立負載管理系統，也需要耗費相當人力與物力。截至 2013 年第四季，大型企業與輸電公司簽約之可供應備轉容量，總計約 1,000 吉瓦(GW)。即便如此，德國三級備轉容量市場目前仍是由幾家廠商主導的寡占市場。

目前德國的虛擬電廠參加輔助服務市場，主要為輸電公司提供三級備轉容量，已見前述，以下參、進一步詳述之。

## 參、三級備轉容量市場之分析

### 一、資格審查

三級備轉容量(Minutenreserveleistung，以下簡稱 MRL)之資格審查程序，係指供應商證明其符合輸電公司對於調節電力之保留與供應的各項要求。個別機組可分別申請正的及(或)負的 MRL 之資格審查。在審查程序中，機組必須就每 15 分鐘供應電網一次調節電力的啟動(升載)與停機(降載)全部過程，進行現場操作，並且連續進行兩次，執行過程必須符合標準模型(見圖 4、圖 5)。

升載與降載的 15 分鐘時間，必須包含供應商內部協調、調度機組所需之時間在內，如果約定提供的電力或負載發生遲延，或完全無法提供，即取消資格審查程序。除此之外，供應商應

<sup>12</sup> 有關一級與二級備轉容量市場，聯邦網路局亦於 2007 年 8 月 31 日作成類似的決議，以提高招標透明度，創造條件引進新的市場參與者，四家輸電公司並於 2007 年 12 月 1 日開始透過 [www.regelleistung.net](http://www.regelleistung.net) 的網路平台，共同進行主要與二級備轉容量的招標。

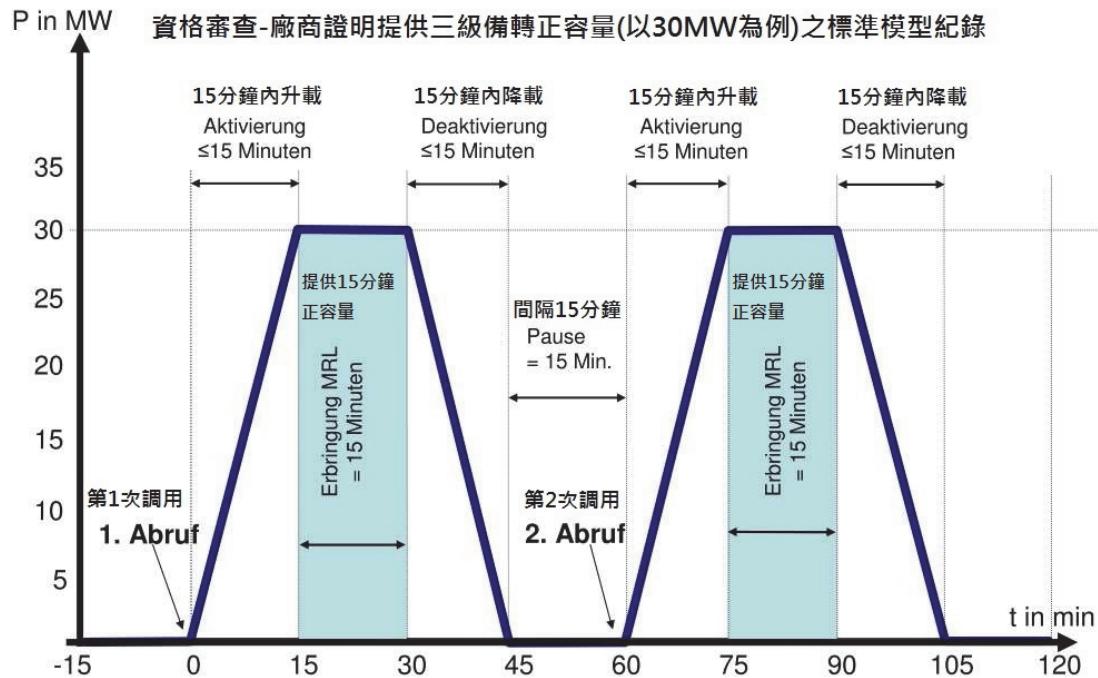
擔保在供應過程中不會採取其他可能減損調節電力，或可能導致調節電力完全喪失作用之技術性措施。

資格審查，係由個別發電或負載機組所連接控制區之輸電公司所主導進行，在供應商提出全部必要文件之後，審查程序之進行通常為期兩個月。審查之規範標準係按照德國「能源與水利協會」(BDEW)成立之「電網業協會」(Verband der Netzbetreiber, VDN)所訂的「輸電規則 2007 — 德國輸電網業者之電網與系統控制」(TransmissionCode 2007 — Netz- und Systemregeln der deutschen Übertragungsnetzbetreiber)第 5 章「輔助服務」(Systemdienstleistung)之一般規定及其「附件 D3」有關 MRL 之細節事項。

如通過資格審查，輸電公司即核發認證給供應商，這項認證亦為其他三家輸電公司所承認。在取得認證後，供應商應與輸電公司簽定一份有關保留與提供備轉容量之基本架構協議，約定雙方有關調節電力之分配、調度、結算等事項。若供應商將同一機組的輔助服務銷售到不同的控制區，則應分別再與各該區的輸電公司簽定上述協議。

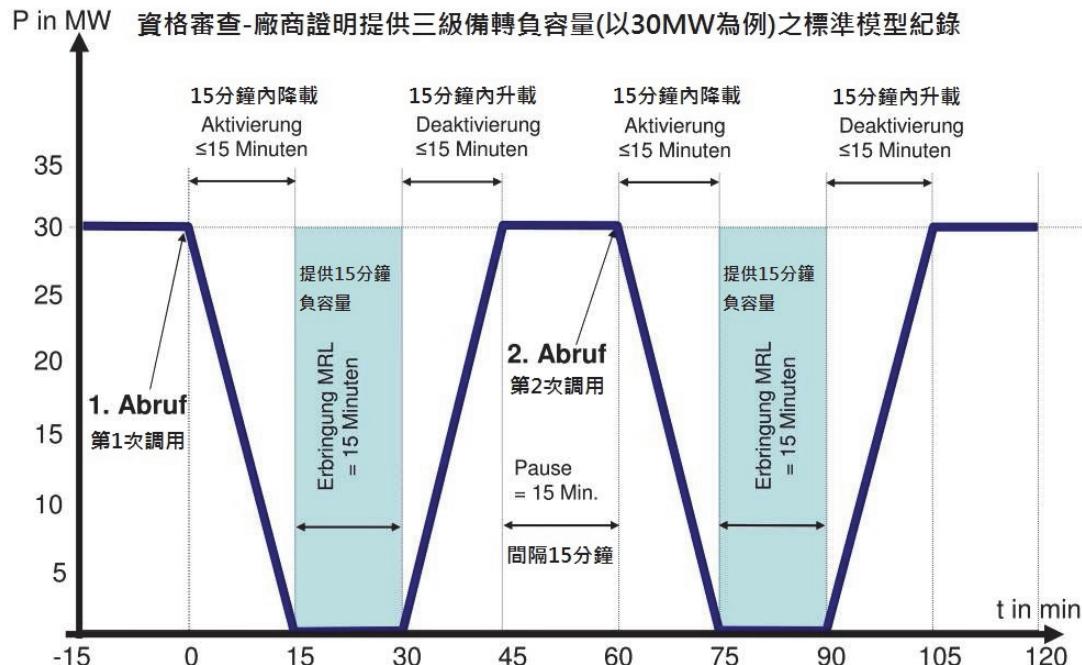
### 二、電力池協調者—虛擬電廠

在 MRL 市場上，除了個別電廠或機組之外，也開放所謂「三級備轉容量電力池」(MRL-Pools)向輸電業申請資格審查，此即「虛擬電廠」的概念，係指供應商將許多小型的機組提供的容量整合到一個電力池(Pool)之中，當電力池所匯集的總容量達到 5MW 以上者(最初期要求為 30MW 以上)，即可參加 MRL 的競標。所謂的電力池總容量，係指在約定供應時段內，電力池中全體機組可提供之最低容量而言。虛擬電廠的電力池中所有機組均必須通過資格審查，而且這些原本與中壓或低壓電網連結的小型機組，特別是緊急備用發電機，必須先取得授權技術機構之認證，例如由德國 TÜV 出具之認證，以證明其具備提供 MRL 之功能。



資料來源：Harz AP\_Marktzugangsbedingungen, Abb.33<sup>[6]</sup>

圖 4 三級備轉正容量提供證明之標準模型

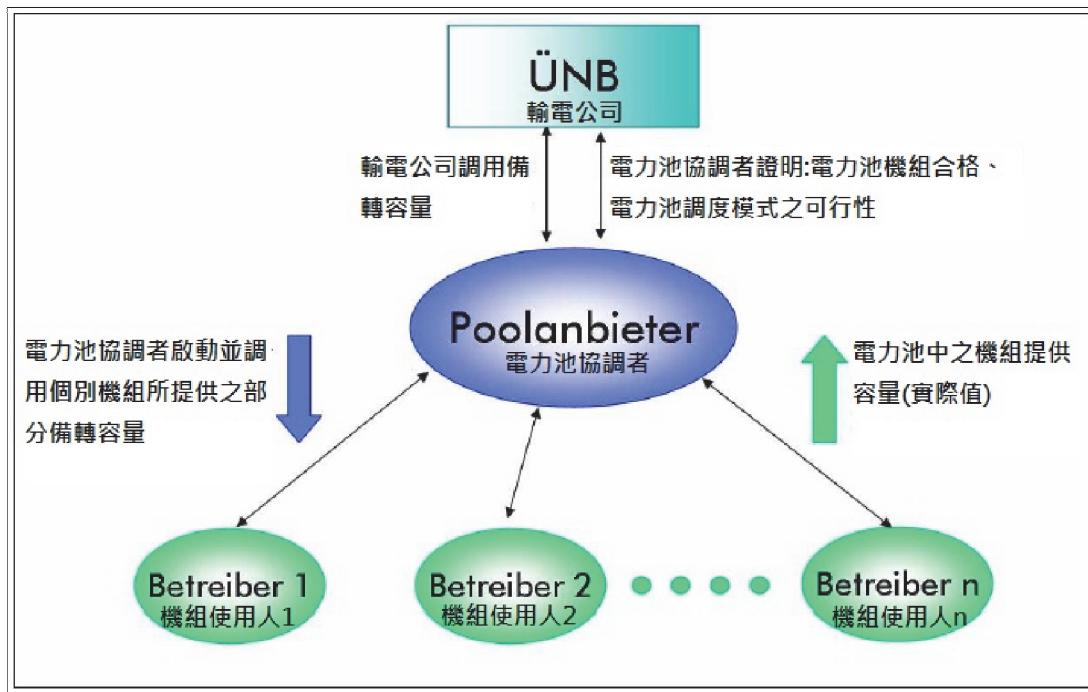


資料來源：Harz AP\_Marktzugangsbedingungen, Abb.34<sup>[6]</sup>

圖 5 三級備轉負容量提供證明之標準模型

當輸電公司要調度 MRL 時，虛擬電廠作為電力池協調者(Poolkoordinator, Pool Coordinator)，必須執行並完成下列工作(見圖 6)：  
(一) 接受輸電公司的調度指令

- (二) 將調度容量分配給電力池當中可提供支援的機組或設備：
1. 監控提供支援的機組或設備
  2. 計算並控制總供應量



資料來源：Lindenberg 2008<sup>[12]</sup>

圖 6 三級備轉容量電力池模式之操作協調模式

### 3. 將即時資訊傳給輸電公司

#### (三) 停止提供 MRL

#### (四) 依輸電公司之要求，製作其提供 MRL 之全程操作紀錄

電力池協調者負責分別與輸電公司、小型機組雙方進行契約與技術上的協調，隨時監控機組之保留容量充足與否，並充分掌握機組提供 MRL 時的情況，如出現個別機組故障或無法使用的狀況，必須緊急調度其他機組來支援。為此，電力池協調者必須向輸電公司證明其電力池操作模式之可行性，以進行操作測試的方式證明，輸電公司通知調度 MRL 時，電力池協調者按照其對電力池機組(或設備)設定的啟動模式，可以在指定時間內準時供應。實務上，為了提高與機組(或設備)使用者之間的協調效率，鼓勵電力池協調者統一製作「操作手冊」提供給機組(或設備)使用者，以盡量將雙方的協調模式固定公式化。

### 三、競標與決標

MRL 市場之招標以每 4 個小時為一個時段，競標廠商對於各該時段的正、負容量需求，

應同時提出容量價格與能量價格的報價，輸電公司僅就廠商所提報的容量價格為準，從出價最低者開始，由低至高的順序依序決標至滿足四家輸電公司在該時段的需求量為止，最後並列出一份跨越四大控制區、範圍擴及於德國國內外之得標廠商名單。廠商之容量價格如有出價相同者，以投遞標單的時間順序決定，先投遞者為優先，廠商得標之後，即按其投標之出價向輸電公司收取(或支付)費用。

輸電公司調度容量時，按決標名單廠商所提出之能量價格決定之，調度備轉正容量時，從最低價者開始；調度備轉負容量時，從報價最高者開始依序調度，直到滿足輸電業的容量需求為止。但如有特定因素，例如在特定時段調度容量可能會造成電網壅塞，或需求量較大的時段必須在一定時間之內取得容量，而無法按照上述標準調度機組時，輸電公司必須在共同招標平台上公開說明其理由。

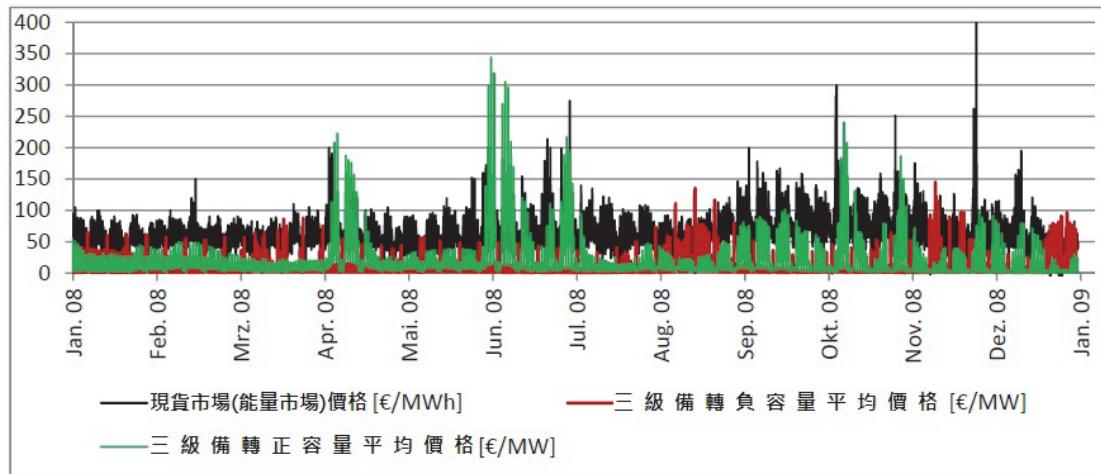
### 四、資訊透明公開

聯邦網路局根據電網接取規則第 6 條第 2 項

(該規定為 EnWG§12 I 、III,13 I 之具體化)規定，於 2006 年 8 月 29 日作成決議(BK6-6-012)，要求輸電公司必須在網路平台公開每次的招標容量、得標名單(匿名制)以及實際調度之容量，並且在每次招標前兩小時公開市場上重要訊息，這些訊息包含：隔日的需求量、前一日實際調度容量(以每 15 分鐘為單位)、前一日實際提供容量之全部供應名單(匿名制)以及其開出的容量價格與能量價格、機組併網的控制區，以及決標之相關資訊等。

## 五、容量市場價格變化與分析

MRL 的價格，無論是正容量或負容量，原則上在大部分時段的平均價格都低於歐洲電力交易市場(EPEX)的現貨市場價格，例如，在 2008 年的 8,784 個交易時段中，正容量價格高於現貨市場者只有 409 個時段；負容量較高的有 738 個時段(見圖 7)。原則上，供應商會將電力出售到價格較高的現貨市場，但如高出的價差低於發電所需耗費的燃料成本時，供應商可能會選擇到 MRL 市場出售正容量，因為在該市場只有輸電公司實際調度時才要耗用燃料，如果未被調度，供應上除可賺取容量報酬之外，也無須支出燃料成本。



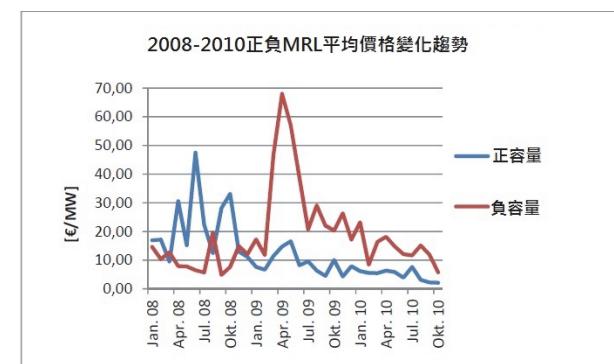
資料來源：Harz AP Marktzugangsbedingungen, Abb.36<sup>[6]</sup>

圖 7 2008 年三級備轉正負容量平均價格與現貨市場價格之比較

每日價格變化方面，一如預期，MRL 正容量的最高價格出現在早上 8 點到晚上 8 點之間，負容量的最高價格則介於凌晨 0 時到早上 8 點。負容量在週末、假日的價格通常都高於週間的工作日，正容量的較高價格則在週間工作日。

圖 8 為 2008 年到 2010 三級備轉容量之價格走勢。

在此可以看到，2008 年正容量的價格水準整體高於負容量，但從 2009 年開始出現交叉，一直到 2010 年底負容量價格始終高於正容量，其中單月的最高點出現在 2009 年 4 月份，該月份負容量的平均價格一度來到 68.02 歐/GW，後來持續下跌，到 2010 年 10 月份時為 5.81 歐/GW。



資料來源：Harz AP Marktzugangsbedingungen, Abb. 40<sup>[6]</sup>

圖 8 2008-2010 年三級備轉正負容量價格變化趨勢

另外從同時段的總招標容量的角度，也可以觀察到正負容量需求變化的相同趨勢。2008 年，

正容量的招標量明顯高出負容量許多，從 2009 年 6 月份開始此種情形即出現反轉(見圖 9)。



資料來源：Harz AP Marktzugangsbedingungen, Abb. 40<sup>[6]</sup>

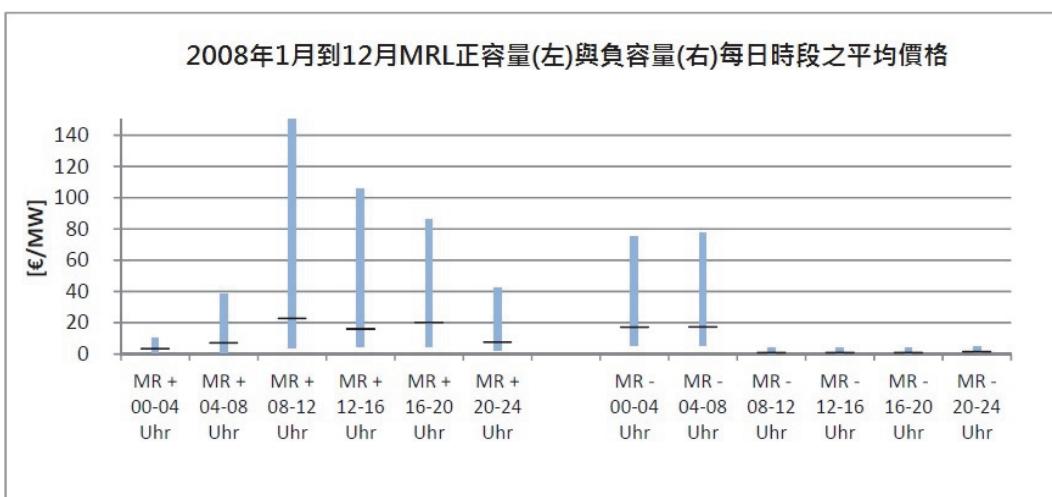
圖 9 2008-2010 三級備轉正負容量招標量變化趨勢

再進一步觀察 MRL 價格的變化趨勢，比較 2008 年與 2010 年(1 月至 10 月)每日時段的平均價格之後，可發現正容量在 2010 年的每個時段都呈現下跌的現象，負容量則是普遍稍微高於 2008 年時期之水準，其中在凌晨 0 點到 4 點、4 點到 8 點的時段，每百萬瓦(MW)都多出 10 歐元左右(見圖 10、圖 11)。

## 六、備轉容量之實際調度比例

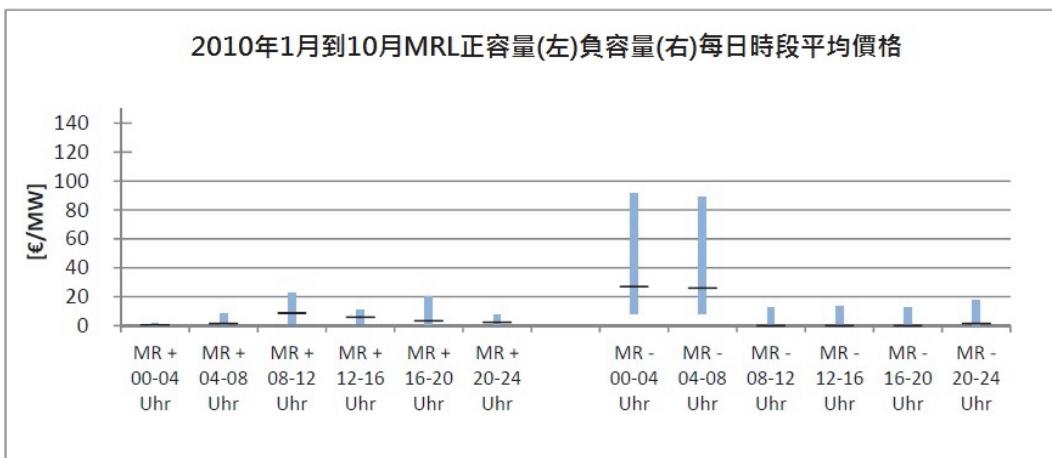
### (一) 正容量

在 2008 年全年度一共 35,136 刻(每 15 分鐘)當中，全德國四個控制區實際調度正容量的次數為 1,904 次，占 5.4%，其中 50Hertz 輸電公司的



資料來源：Harz AP Marktzugangsbedingungen, Abb.42<sup>[6]</sup>

圖 10 2008 年三級備轉正負容量每日個別時段平均價格



資料來源：Harz AP Marktzugangsbedingungen, Abb.43<sup>[6]</sup>

圖 11 2010 年 1 月至 10 月三級備轉正負容量每日個別時段之平均價格

控制區，在該年度總共只有 87 次，而且其中有 59 次是集中在 7 月 1 日、2 日這兩天，該區域最低調度容量為 130 MW，最高為 397MW，平均值為 243 MW，中間值為 200 MW。全國 4 個控制區的最小調度容量為 15 MW，最大為 1,467MW，平均值為 315 MW，中間值為 248 MW。

## (二) 負容量

2008 年全年度 35,136 刻之中，全德四個控制區負的 MRL 實際需求次數共有 3,293 次，比例為 9.4%。其中 50Hertz 控制區共有 890 次，該

區最低需求容量為 45 MW，最高為 555MW，平均值為 236 MW，中間值為 200 MW。而全國 4 個控制區之最小需求容量為 30 MW，最大為 2,229 MW，平均值為 444 MW，中間值為 348 MW(見表 2)。

## 肆、三級備轉容量之主要交易條件、程序與資格審查要件一覽

綜上，以下表 3 為德國 MRL 市場交易條件、程序與資格審查要件等商業模式之彙整。

表 2 2008 年四大控制區調度三級備轉正負容量之次數與比例

2008年四家輸電公司調用三級備轉容量之次數(每15分鐘為一次)	正容量		負容量	
	次 數	比 例	次 數	比 例
Amprion (RWE) - 控制區	1,086	3.1%	2,654	7.6%
Tennet (E.ON) - 控制區	781	2.2%	377	1.0%
EnBW - 控制區	178	0.5%	113	0.3%
50Hertz (VET) - 控制區	87	0.2%	890	2.5%
四區總計-全德國	1,904	5.4%	3,293	9.4%

資料來源：Harz AP Marktzugangsbedingungen, Tabelle.42 [6]

表 3 三級備轉容量市場之交易條件與資格審查要件

項 目	內 容
交易(投標)程序	<ul style="list-style-type: none"> <li>按報價結算方式招標 (Pay-as-bid Ausschreibung)           <ul style="list-style-type: none"> <li>· 按投標價格決標</li> <li>· 按投標廠商提報的容量價格決定，從出價最低者開始由低至高依序決標至滿足招標容量為止，並製作得標名單</li> <li>· 每個得標廠商按其報價獲得容量報酬</li> <li>· 調度調節電力時，按照得標廠商提報的能量價格，原則上正容量以報價低者優先，負容量以報價高者為優先</li> </ul> </li> </ul>
交易(市場)種類	<ul style="list-style-type: none"> <li>· 正容量與負容量分開招標</li> </ul>
每日時段	<ul style="list-style-type: none"> <li>· 一天分為 6 個時段: 0:00-3:59, 4:00-7:59, 8:00-11:59, 12:00-15:59, 16:00-19:59, 20:00-23:59</li> </ul>
投標價格	<ul style="list-style-type: none"> <li>· 投標廠商應同時提報容量價格與能量價格</li> </ul>
交易日	<ul style="list-style-type: none"> <li>· 週一至五之工作日，每日為隔日容量進行招標</li> <li>· 週末及例假日之前一個工作日，為該週末或例假日以及下一個工作日進行招標</li> </ul>
最低投標容量	<ul style="list-style-type: none"> <li>· 最初期為 30MW，目前已降到 5MW</li> </ul>
電力池-虛擬電廠	<ul style="list-style-type: none"> <li>· 電力池協調者可跨越不同控制區進行機組、設備整合</li> <li>· 電力池中所有機組、設備都必須通過輸電公司之資格審查</li> <li>· 電力池中所有機組、設備合計的額定容量小於 30 MW 者，電力池協調者必須提供輸電公司合量信號(Sum Signal)之回饋訊息</li> </ul>
招標結束	<ul style="list-style-type: none"> <li>· 投標截止時間為早上 10:00</li> </ul>

項 目	內 容
決標公開時間	<ul style="list-style-type: none"> <li>輸電公司最晚應於招標日當天早上 11:00 前公開決標相關訊息，亦即在歐洲電力交易(EPEX)所開始交易之前完成全部的招標程序</li> </ul>
投標秘密之保障	<ul style="list-style-type: none"> <li>輸電公司應為每家投標廠商提供安全的投標與取得決標結果的專區</li> <li>投標廠商應提供的投標資訊有： <ul style="list-style-type: none"> <li>投標者名稱</li> <li>機組或設備所在之控制區</li> <li>參與投標的種類(如三級備轉容量)</li> <li>能夠提供的正容量或負容量(MW)</li> <li>容量價格</li> <li>能量價格</li> </ul> </li> <li>輸電公司按照整體需求製作決標名單，並將決標結果個別通知得標廠商</li> </ul>
可用率因素 (Availability Factors)	<ul style="list-style-type: none"> <li>得標廠商必須為整個時段充分保留得標的備轉容量，並使該容量處於隨時可供調度的狀態</li> <li>廠商保留之容量必須具備相當高的持續性，容量中斷的時間不得過長，在順利完成工作的前提下，三級備轉容量可允許 1 分鐘以內的供應缺口(相對於此，二級備轉容量則不允許出現供應缺口)。</li> </ul>
容量調度可用率 (Availability for Work)	<ul style="list-style-type: none"> <li>當調度容量時，容量之可用率必須達到 100%</li> </ul>
調度通知與準備	<ul style="list-style-type: none"> <li>通知調度之方法，通常以電話通知，同時附帶傳送電子郵件或傳真之書面，或運用其他通訊控制技術</li> <li>得標廠商必須在接到輸電公司之通知後立即提供容量服務</li> </ul>
容量誤差範圍	<ul style="list-style-type: none"> <li>參照 50Hertz 輸電公司與供應商之一般契約協議內容，容量在供應時間內發生負載波動的容許誤差範圍為正負 5%，在此範圍內並不會構成違約處罰之問題</li> <li>整體而言，因負載波動所造成之誤差，得允許高於決標容量之應有值，但不得低於應有值</li> </ul>
操作紀錄	<ul style="list-style-type: none"> <li>供應商應製作機組操作紀錄提供給輸電公司作為其提供容量服務之證明</li> <li>操作證明應載明參與提供容量之全部機組或設備其每分鐘的負載分析(Auflösung, Resolution)</li> <li>供應商應依與其機組或設備併網之輸電公司之要求，於調度容量日之後 10 個工作天內提出上述操作證明</li> </ul>
線上公開資訊	<ul style="list-style-type: none"> <li>供應商應依與其機組或設備併網之輸電公司之要求，以上網的方式在線提供其機組或設備之相關資訊(Online-Informationen)，包含：實際提供之容量、現況資訊，其他數據，如預定發電量、出力時點經過修正後之實際提供容量等</li> <li>上述資訊應提供之項目範圍、數據格式及傳送方式，由各家輸電公司訂定之</li> <li>供應商應自行負擔通訊技術之建置費用，並維持其適用性</li> </ul>
雙方共用之 通訊數據格式	<ul style="list-style-type: none"> <li>EC 870-5-101</li> </ul>
聯絡平台	<ul style="list-style-type: none"> <li>供應商應告知輸電公司一個在提供容量前與提供容量期間內可即時取得聯絡之常設平台</li> </ul>
履行地	<ul style="list-style-type: none"> <li>三級備轉容量與二級備轉容量之契約履行地，不問提供地為何，一律為輸電公司之控制區</li> </ul>
收支結算	<ul style="list-style-type: none"> <li>供應商實際提供之容量，由機組或設備併網之輸電公司按調度記錄計算之</li> <li>如單一機組同時提供不同種類的備轉容量，應按其種類分別計算容量</li> <li>提供容量之計算以每 15 分鐘為一單位；如不足 15 分鐘者，其提供之每分鐘或每秒鐘容量以 15 分鐘之平均值換算之</li> </ul>

資料來源：德國聯邦網路局(BNetzA)2011 年 10 月 18 日『三級備轉容量採購之招標條件及應公開項目』  
(Beschluss vom 18.10.2011 neue Ausschreibungsbedingungen und Veröffentlichungspflichten für die Beschaffung von Minutenreserve ) 決議(BK6-10-099)<sup>[13]</sup>、BNetzA 2009 年度『監督報告』(Monitoringbericht 2009)<sup>[14]</sup>

## 伍、結語

從德國發展虛擬電廠的經驗可知，係大型輸電公司有維持電網可靠度之需求，除了傳統集中型的電廠提供備轉容量之外，由於資訊與電力技術之進步，加上高度的環境資源保護意識，民間企業開始嘗試調控各種分散式電源，並協助大型事業進行用電負載管理，進而整合到相當的容量，參與輸電備轉容量之投標，在這期間，政策上亦持續放寬進入備轉容量市場的門檻，推動招標程序與要件的標準化與透明化，使虛擬電廠具有市場競爭力，而逐漸成為提供輸電公司輔助服務的要角。發展至今，德國的虛擬電廠除了提供輸電備轉容量之輔助服務外，亦為電力批發與零售市場上的重要市場關係人，而其進入市場的形式，在法規架構下係開放其各種可能性，例如作為電力經銷商、零售商或是其他能源服務公司等。

在台灣電力事業環境與電業法的架構下，電力主要由台電供應，電力系統中並無電力集中交易市場，亦未開放售電業，因此在目前的法令限制下，民間目前尚無發展出用戶代表群(Aggregator)或虛擬電廠之空間，故現階段如欲發展類似德國虛擬電廠的運作模式，仍有相當的困難。

惟目前在部分供電瓶頸地區之配電網，例如北部、大台北地區，或因變電所容量無法擴大，或財務問題須遞延配電網之投資，或是電網壅塞及其他緊急情況等，仍需要輔助服務以解決饋線電壓變動、供電不穩定之問題，因此在配電層級方面，未來應可考慮引進用戶群代表或虛擬電廠的概念，由其負責整合，並協調分散式電源之發電或大型電力用戶的可調度負載，與台電公司簽定雙邊合約，約定由虛擬電廠提供輔助服務，而該輔助服務招標之相關制度與程序，德國備轉容量市場的機制與作法應非常值得參考。

從德國的電力事業結構與虛擬電廠之沿革與商轉的經驗來看，虛擬電廠商業模式的實踐與

經濟效益，是在電力市場自由化的背景下而展開，政策與法規也持續優化各個市場的競爭條件，並嘗試開放或創造新的市場與廠商獲利誘因。因此，台灣為解決電網壅塞、供電瓶頸的問題，除了擴建電網之外，長期而言，應儘速確立國家電力事業與再生能源政策方向，開放電力市場，落實售電自由化，開放能源服務業，讓消費者購電有多元選擇，創造各階段電力事業的充分競爭，並透過市場交易機制，讓電價真實反映供需成本。同時也應逐步將再生能源電力整合進入電力市場，如此方可有效疏解供電瓶頸地區供電壅塞問題。另一方面，應建立輔助服務市場，創造民間業者參加容量市場的經濟誘因，並排除或降低進入市場的障礙，在此推動電力市場自由化的過程中，將可為虛擬電廠取得進入市場的基本條件。

## 陸、誌謝

本文作者感謝科技部「需量反應、分散式電源與儲能之整合應用」整合型研究計畫(編號 MOST 103-3113-E-006-011-)及「智慧電網架構下之住商節能管理創新商業模式研究」(編號 NSC 103-ET-E-005-002-ET)之經費支持，始得完成此研究，惟文中若有任何疏誤，應由作者自負文責。

## 柒、參考文獻

- [1] Bundesverband der Energie- und Wasserwirtschaft e. V (BDEW) (04.2014), “Vielfalt im Energiemarkt - Zahl der Unternehmen in den einzelnen Marktbereichen,” (Stand:04.2014), [online]. Available: [https://www.bdew.de/internet.nsf/id/5512898B85FDC9C1C12579C2004225A8/\\$file/Zahl%20der%20Unternehmen%20in%20den%20einzelnen%20Marktbereichen.pdf](https://www.bdew.de/internet.nsf/id/5512898B85FDC9C1C12579C2004225A8/$file/Zahl%20der%20Unternehmen%20in%20den%20einzelnen%20Marktbereichen.pdf)
- [2] Bundesverband der Energie- und Wasserwirtschaft e. V (BDEW) (10.2014), “Wechselverhalten im Energiemarkt,” (Stand:10.2014), [online]. Available: [https://www.bdew.de/internet.nsf/id/C125783000558C9FC125766C0006D267/\\$file/14%2010%2020%20](https://www.bdew.de/internet.nsf/id/C125783000558C9FC125766C0006D267/$file/14%2010%2020%20)

- [Aktuelle%20Wechselquote\\_25.Welle\\_mit%20Erg%C3%A4nzung.pdf](#)
- [3] Theobald, C., and Nill-Theobald, C, Grundzüge des Energiewirtschaftsrechts, 3. Aufl. 2013.
- [4] Bundesnetzagentur/ Bundeskartelamt, “Monitoringsbericht 2014,” (Stand:11.2014), [online]. Available: [http://www.bundesnetzagentur.de/SharedDocs/Downloads/DE/Allgemeines/Bundesnetzagentur/Publikationen/Berichte/2014/Monitoringbericht\\_2014\\_BF.pdf?blob=publicationFile&v=4](http://www.bundesnetzagentur.de/SharedDocs/Downloads/DE/Allgemeines/Bundesnetzagentur/Publikationen/Berichte/2014/Monitoringbericht_2014_BF.pdf?blob=publicationFile&v=4).
- [5] Fraunhofer-Institut für Solare Energiesysteme ISE, “Stromerzeugung aus Solar- und Windenergie im Jahr 2014,” [online]. Available: <http://www.ise.fraunhofer.de/de/downloads/pdf-files/data-nivc-/stromproduktion-aus-solar-und-windenergie-2014.pdf>.
- [6] Fraunhofer-Institut für Windenergie und Energiesystemtechnik (IWES) (2012), “RegModHarz Arbeitspaketbericht – Marktbedingungen und Zugangsvoraussetzungen zum Strommarkt,” [online]. Available: [http://www.regmodharz.de/fileadmin/user\\_upload/bilder/Service/Arbeitspakete/2013-01-28\\_Arbeitspaketbericht\\_Marktzugangsbedingungenx\\_01.pdf](http://www.regmodharz.de/fileadmin/user_upload/bilder/Service/Arbeitspakete/2013-01-28_Arbeitspaketbericht_Marktzugangsbedingungenx_01.pdf).
- [7] Beucker, S., Bergset, L., Beeck, H., Bogdanova, T., Bormann, F., Riedel, M. and Bierter, W. (2012), “Geschäftsmodelle für den Zukunftsmarkt des dezentralen Energiemanagements in Privathaushalten. Ergebnisse aus dem Forschungsprojekt Connected Energy – SHAPE. Berlin,” [online]. Available: [http://connected-living.org/fileadmin/pdf/Projekte/SHP\\_APE\\_AP1\\_D\\_1.2\\_Geschaeftsmodelle.pdf](http://connected-living.org/fileadmin/pdf/Projekte/SHP_APE_AP1_D_1.2_Geschaeftsmodelle.pdf).
- [8] Fraunhofer-Institut für Windenergie und Energiesystemtechnik (IWES) (2012), “RegModHarz \_Abschlussbericht,” [online]. Available: [http://www.regmodharz.de/fileadmin/user\\_upload/bilder/Service/Arbeitspakete/RegModHarz\\_Abschlussbroschuere2012/www.pdf](http://www.regmodharz.de/fileadmin/user_upload/bilder/Service/Arbeitspakete/RegModHarz_Abschlussbroschuere2012/www.pdf).
- [9] Verstege, J. (2003), “Regelenergie – wichtiger Baustein für hohe Versorgungsqualität in Elektrizitätsversorgungssystemen. Vortrag,” [online]. Available: [http://www.wind-energie.de/fileadmin/dokumente/Themen\\_A-Z/Regelenergie/vortrag\\_regelenergie\\_grundlagen.pdf](http://www.wind-energie.de/fileadmin/dokumente/Themen_A-Z/Regelenergie/vortrag_regelenergie_grundlagen.pdf).
- [10] ENTSOE (2009), “P1 – Policy 1: Load-Frequency Control and Performance [C],” [online]. Available: [https://www.entsoe.eu/fileadmin/user\\_upload/library/publications/ce/oh/Policy1\\_final.pdf](https://www.entsoe.eu/fileadmin/user_upload/library/publications/ce/oh/Policy1_final.pdf).
- [11] EWI (2010) (energiewirtschaftliches Institut an der Universität zu Köln), “Endbericht Bewertung energiepolitischer Optionen für eine sichere, wirtschaftliche und umweltgerechte Energieentwicklung in Deutschland,” Analyse der Ursachen für negative Strompreise am 3./4. Oktober 2009 und möglicher Abhilfemaßnahmen”, [online]. Available: [http://www.energieverstehen.de/Dateien/BMWi/PDF/studie-Negativestrompreise.property=pdf\\_bereich=energieportal,sprache=de,rwb=true.pdf](http://www.energieverstehen.de/Dateien/BMWi/PDF/studie-Negativestrompreise.property=pdf_bereich=energieportal,sprache=de,rwb=true.pdf).
- [12] Lindenberg (2008), “Minutenreserveleistung. Überwachung und Steuerung,” Ausgabe 24.01.2008. Herausgeber: SAE Software GmbH, SAE IT-systems GmbH & Co. KG. Köln.
- [13] Bundesnetzagentur (BNetzA) (2008), “Beschluss Az: BK6-10-099 vom 18.10.2011 neue Ausschreibungsbedingungen und Veröffentlichungspflichten für die Beschaffung von Minutenreserve.”
- [14] Bundesnetzagentur (BNetzA) (2009), “Monitoringbericht 2009,” [online]. Available: <http://www.bundesnetzagentur.de/cae/servlet/contentblob/134810/publicationFile/1107/Monitoringbericht2009EnergieId17368pdf.pdf>.