

# Introduction and Analysis of Auxiliary Service in Foreign Power Market

Wei Hu<sup>1</sup>, Miao Zhu<sup>2</sup>, Deliang Zhang<sup>3</sup>, Wukui Zhai<sup>3\*</sup>

<sup>1</sup>Hainan Power Dispatch and Control Center, Haikou Hainan

<sup>2</sup>Information and Telecommunication Branch of Hainan Power Grid, Haikou Hainan

<sup>3</sup>Beijing QU Creative Technology Co., Ltd., Beijing

Email: huwei@hn.csg.cn, zhumiao@hn.csg.cn, 18736078321@163.com, \*13253327327@163.com

Received: Nov. 27<sup>th</sup>, 2016; accepted: Dec. 12<sup>th</sup>, 2016; published: Dec. 15<sup>th</sup>, 2016

Copyright © 2016 by authors and Hans Publishers Inc.

This work is licensed under the Creative Commons Attribution International License (CC BY).

<http://creativecommons.org/licenses/by/4.0/>



Open Access

---

## Abstract

Recent years, power market reform has changed the whole power industry. It is proved that the power market transaction type will be enriched with the deepening of power market form from the power market reform experience abroad. Ancillary services market will become an integral part of electricity market in the future. To this end, this paper mainly introduces the advanced experience of ancillary service in power market management from abroad, including the classification of the auxiliary services, the pricing mechanism and so on. Then the auxiliary service management mode in our country is introduced. Combining with the market-oriented reform present situation, the significance of the foreign power auxiliary service market is proposed.

## Keywords

Power Market, Auxiliary Service, Power Market Reform

---

# 国外电力市场辅助服务管理介绍与经验借鉴

胡 微<sup>1</sup>, 朱 淼<sup>2</sup>, 张德亮<sup>3</sup>, 翟武悝<sup>3\*</sup>

<sup>1</sup>海南电网电力调度控制中心, 海南 海口

<sup>2</sup>海南电网有限责任公司信息通信分公司, 海南 海口

<sup>3</sup>北京清大科越股份有限公司, 北京

\*通讯作者。

## 摘要

当前,我国电力市场化改革不断深入,整个电力行业正发生着日新月异的变化。从国外市场化改革的经验来看,随着市场改革的不断深入,电力市场交易类型将不断丰富。辅助服务市场将成为未来电力市场中不可或缺的一部分。为此,本文重点介绍了国外电力市场中辅助服务管理的先进经验,从辅助服务分类、定价机制等方面介绍了其做法。在此基础上介绍当前我国辅助服务管理模式,结合市场化改革现状,阐述国外相关经验的我国电力市场的借鉴意义。

## 关键词

电力市场, 辅助服务, 市场化改革

## 1. 引言

中发9号文及其配套文件,拉开了我国电力市场改革的序幕。目前我国多个省份获批改革试点,电力市场改革正如火如荼地开展。

国外电力市场改革的经验表明,随着改革的深入,电力市场交易类型将不断丰富,市场交易类型将从目前的电能交易延伸至辅助服务和容量等领域。而其中辅助服务作为重要的电力市场交易品种,其组织模式将对电力市场发展起到重要作用[1][2]。不同国家对辅助服务的内涵界定有所不同,对辅助服务的市场组织模式也不尽相同。从研究内容来看,辅助服务市场的研究主要包括市场组织模式[3]、辅助服务内容界定[4]、定价策略[5]、市场运作方式[6]等。而在国外电力市场中,结合当前实际开展情况,辅助服务市场组织类型主要可分为以美国PJM电力市场为代表的实时交易模式和以英国为代表的合约交易形式[3][5][6]。

目前,我国电力市场处于起步阶段,市场交易类型主要为电能交易,辅助市场仍沿用传统的考核评价标准。随着我国电力市场改革的不断深入,辅助服务作为重要的交易品种势必纳入电力市场交易范畴。

针对上述需求,本文首先系统的介绍了美国PJM电力市场和英国电力市场的组织建设情况,作为世界上运作最成功的电力市场,本文将从辅助服务分类、辅助服务交易模式等不同方面介绍了其先进经验,接着介绍了我国当前以《并网发电厂辅助服务管理实施细则》和《发电厂并网运行管理实施细则》(以下简称“两个细则”)为核心的辅助服务管理体系,最后简述国外电力市场辅助服务管理对我国电力市场化改革中辅助服务市场开展的借鉴意义。

## 2. 美国 PJM 电力市场

美国 PJM 是美国最大的电力市场之一,成立于上世纪 70 年代,至今已经采用市场化运作模式开展了 30 多年的市场化改革[7]。

### 2.1. 辅助服务范围

PJM 定义的辅助服务类型包括调频、备用、无功补偿和黑启动。其中,调频和备用辅助服务是通过竞争投标的市场化方式获得的,而无功补偿和黑启动则主要是通过签订合同或协议来获得的。

调频辅助服务按照资源响应时间的快慢细分为传统的调频响应类型 RegA 和动态调频响应类型 RegD。RegA 要求资源在 5 min 达到指定出力即可，调节性能相对较差，适用于爬坡速率受限的资源 (Ramp-Limited Resources) 如蒸汽机组、燃气轮机、水电机组等。RegD 要求资源在几秒内开始响应，并能在一至两分钟内达到指定出力，调节性能好，适合于调节频繁过零的波动，适用于能量受限资源 (Energy-Limited Resources) 如电池、飞轮等。

备用辅助服务依据响应时间范围的不同分为了计划备用、初级备用、二级备用、同步备用和非同步备用等，其关系如下表 1 所示[8] [9]。

## 2.2. 提供方式

所有的负荷供应商(简称 LSE)根据其在实时市场的负荷比例来承担相应的提供调频和备用这两项辅助服务的义务，每个 LSE 可以自己提供 AGC 资源，也可以与市场参与者签订购买合同，或者通过 PJM 调频市场购买 AGC 服务来完成调频的义务。来自发电方的无功供应和电压控制服务由 PJM 直接提供，传输用户必须向 PJM 购买这个服务。由 PJM 安排不同区域的 LSE 来履行提供黑启动服务的义务，对于没有黑启动机组的 LSE 则需要向 PJM 购买[8] [10]。

## 2.3. 市场运作

参加调频辅助服务的机组在运行日的前一天向 PJM 提交投标的信息，PJM 调频市场给市场参与者一个基于市场的、买卖调频辅助服务的系统。PJM 使用机组调度系统得来的预计的节点边际电价和机组计划来估计每台机组如果在运行日提供调频将导致的机会成本。每台机组的机会成本加上机组投标的报价将得到它的最优顺序价格。然后将所有机组的最优顺序价格排序即得到提供 AGC 服务的机组组合[10] [11]。

提供备用机组的报价必须在运行日前一天 18:00 之前上报并不得更改，以确保市场价格稳定。PJM 利用运行小时之前 60 min 掌握的调节机组的状态、报价、备用容量及预测的每小时地区平均边际电价 (LMP) 等数据，通过软件对备用预调度进行优化，其目的是使对备用预调度的总成本最小。通过预调度确认提供备用的机组，以及备用的市场清算价。在 PJM 电力市场，由于提供备用的机组运行状况不同，通常将其分为两类：一类是服从经济调度的主能量市场边际机组，只带部分负荷，能够增加出力以提供备用(Tier1)；另一类与电网同步、可调相运行的机组以及愿意偏离经济运行点运行的机组。在预调度过程中第一类机组具有优先权。

PJM 根据计算确定给定风险水平下的备用目标。然后，根据机组被迫停运的概率来确定一次备用，而二次备用则等于最大的发电机输出容量并且不小于 700 MW。PJM 依据尖峰负荷水平的统计结果，将运行备用需求分摊给各系统成员，该分摊比例可进行季节性的调整。

对于无功补偿和黑启动这两种辅助服务，PJM 将按照不同区域的具体情况统一安排满足规定要求的供应者提供相应的服务，而没有自供应能力的服务需求者则向 PJM 统一购买。

**Table 1.** The PJM Power Market standby service classes

**表 1.** 美国 PJM 电力市场备用服务分类情况

计划备用(Scheduling Reserve, 也叫运行备用, $T \leq 30$ min)	
初级备用(Primary Reserve, $T \leq 10$ min)	
同步备用(在线)	二级备用(Secondary Reserve, $10 \leq T \leq 30$ min)
非同步备用(离线)	

### 3. 英国电力市场

在英国电力市场中,电力交易是通过 Pool 来完成的,辅助服务由 ASB (Ancillary Services Business 辅助性服务业务部门)管理。1990 年 4 月 NGC (英国国家电网公司)成立了 ASB, 其职责是以经济的方式购买辅助性服务, 以便使电力系统频率和电压维持在允许波动范围之内。ASB 是 NGC 中的一个独立授权的业务部门, 按月向辅助服务提供者支付费用, 在每天的 uplift (附加费)中回收辅助服务成本(即向辅助服务提供者所支付的费用)。另外, 还允许 ASB 从 uplift 中回收日常管理费用和获得少许利润, 这个日常管理费用和允许的利润由电力联营体各成员协商确定, 目前允许利润率为日常管理费用的 10% [12] [13]。

ASB 签订合同的辅助服务包括频率响应、备用容量、无功支持和黑启动。下文将阐述对上述各项服务的费用支付机制的细节。英国 NGC 目前为辅助服务支付的费用不超过当年电力总支付费用的 2%。对每个发电厂有一个辅助服务合同, 合同中详细规定了机组应提供的服务内容, 以及每项服务应支付的费用。合同是与服务提供者签订, 而不是与发电机组签订。目前英国 120 多个辅助服务合同。根据英格兰—威尔士发电主市场运行规则, 辅助服务必须服从中央调度。

#### 3.1. 辅助服务的内容

在英国电力市场平衡机制下, 辅助服务分为强制性辅助服务和商业化辅助服务, 前者要求所有授权经营的发电主体义务向国家电网公司(NGC)提供, 如频率响应、无功等; 而后者则按照市场的规则由部分发电主体与国家电网公司协商提供。目前, 英国的辅助服务市场的类型主要分为以下几类:

##### 1) 频率响应

要求与 NGC 的电网联网的每台发电机组在正常运行工况下, 能够和汽轮机调速装置协调地快速动作, 以保证频率响应。蒸汽轮机调速装置必须按照 BS132 要求来进行设计和运行, 燃气轮机调速装置必须具备 3%~5%的调速性能。对于 Magnox 和 AGR 核电站发电机组, 则要求每台机组始终能够对频率变化自动响应, 以便控制与调整系统频率。在频率敏感模式下运行时, 电网调度员对每台机组发布指示。当发电机组在频率敏感模式下运行, 其实际出力低于满负荷出力时, 它可以获得两种支付补偿, 包括由电力联营体支付的“利润损失”及对其频率响应辅助服务的补偿。其中, “利润损失”的补偿是电力联营体常规支付的补偿, 当机组实际出力低于无约束调度计划下的出力值时, 机组就可获得这个补偿; 而频率响应辅助服务补偿费用是根据服务合同中的信息计算确定的, 这项补偿费用是用于回收发电机组在频率敏感模式下运行而产生的附加成本。

每台发电机组的辅助服务合同中详细确定了频率一次响应期望水平(10 s 内), 二次响应期望水平(30 s 内)。根据不同的降负荷水平和不同的系统频率变化情况来确定不同的频率响应期望水平。当发电机组按合同规定的频率响应期望水平提供辅助服务, 可获得合同规定的频率敏感运行模式下的经济补偿(英镑/h)。ASB 在现场安装一些在线监测装置, 对所有的发电机组都要检测是否达到合同规定的频率响应水平。ASB 签订专门的频率响应服务合同来满足那些对电网频率影响大的用户的需求。在这种情况下, 如果这个合同规定的服务能够降低频率响应的总支付费用, 那么这个合同就可以接受。

国家电网有责任把频率控制在《电力供应规范》(即满足标准频率 50 HZ 正负 1%的频率波动)内, 频率响应包括动态频率响应和非动态频率响应。动态频率响应是指对系统实时变化提供连续的服务, 而非动态频率响应通常是由超过规定的频率偏差所触发。国家电网通过如下三个不同的平衡服务来控制频率: 强制性频率响应(Mandatory frequency response, MFR)、固定的频率响应(Fixed frequency response, FFR)和需求侧管理的频率响应(Frequency response of demand-side management, FRDM)。

##### 2) 备用服务

为了进一步加强系统的频率控制和增强系统的安全性, 国家电网公司需要预留出一定的备用容量来

满足一些不可预期的负荷需求增加或减少,在英国电力系统中,根据提供服务的响应速度和时段的不同,备用服务主要包括以下四种:快速备用、区间备用、快速启动和平衡机制启动(Balance mechanism start-up, BM start-up)。

为了实施招标,ASB 规定了提供服务的时间。通常每天分成 3 个时间段,提供服务的时间以及服务的持续时间随季节不同而不同。ASB 最低的合同备用容量为 3 MW。每年 10 月~12 月进行招标。每个投标者报出自己提供服务的时间、机组容量可用率、启动、空载、增加出力及各自的投标价格。次年 1 月评标,2 月~3 月与中标者签合同。服务合同实施时间为每年的 4 月 1 日至次年的 3 月 31 日。由于英国电网所有的备用容量且需求都可以通过旋转备用提供,因此停机备用中标者的价格必须低于通过此机组竞标产生的旋转备用的价格。

### 3) 电压与无功调节

强制无功服务(Mandatory reactive power service, MRPS)可以提供各种不同的无功辅助服务输出,指定特定的发电机输出和吸收无功辅助服务,以帮助管理电压接近连接点电压水平。当强制无功服务不能满足最低技术要求时,需要进行“加强的无功服务”,即包括安装静态补偿装置在内的一些技术支持手段实现电压与无功调节。

### 4) 黑启动

ASB 负责提供黑启动服务。ASB 通过合同谈判方式确定提供黑启动服务的发电厂。在改革之初,是与改革之前承担黑启动的发电厂签订黑启动服务合同。由于在电力市场化改革六、七年后,发电模式已发生了较大变化,因此黑启动服务机制和相关政策也作了相应修改,过去长期提供黑启动服务的一些电厂已经关闭。后来选择确定一些 CCGT 型发电厂通过合同方式提供黑启动服务。

1995 年 NGC 要求各个发电厂确定自己各个机组提供黑启动服务的成本,并将确定成本的细节提供给 NGC。之后通过几个月合同谈判,于 1996 年形成了新的黑启动服务合同。

## 3.2. 提供方式

目前英国电力平衡服务市场主要通过两种交易方法获得,一是通过签订双边合同,二是通过招投标市场,电网公司按照提供辅助服务的质量,数量和服务性质,选择最经济的供应商。上述的几种辅助服务中,其中强制频率响应、频率控制需求管理、平衡机制启动、需求管理、快速启动和黑启动是通过签订双边合同获得。而固定的频率响应、短期运行备用、无功调节则通过平衡服务市场获得。快速备用既可以通过签订双边合同获得,也可以通过平衡服务市场获得[12] [14]。

## 3.3. 市场运作

在平衡机制中,被系统调度员要求提供平衡机制动作的“签约方”允许对他的 BM 单元在相应时段内被接受的每个调整量进行买卖。由于购买的平衡服务的数量受经济和技术两方面的限制,应首先考虑 Bid 和 Offer 的有关技术限制以及动态参数,然后按 Bid 和 Offer 价格的高低加以选择。当然了,当系统中再没有可用的 Bid 和 Offer 时,就需要启动“紧急程序”。辅助服务协议一般是在“关闸”之前签订的,这样,就可以在平衡服务实施之前对价格以及服务的数量达成一致。辅助服务协议规定了在平衡机制内提供的辅助服务的内容和价格[15]。

## 4. 两个细则管理规定

### 4.1. 辅助服务的内容

两个细则中对辅助服务规定如下:辅助服务是指为维护电力系统的安全稳定运行,保证电能质量,



除正常电能生产、输送、使用外，由并网发电厂提供的辅助服务，包括：一次调频、自动发电控制、调峰、无功调节、自动电压控制、旋转备用、黑启动等[16] [17]。

辅助服务分为基本辅助服务和有偿辅助服务[16] [17]。基本辅助服务是指为了保障电力系统安全稳定运行，保证电能质量，发电机组必须提供的辅助服务，包括一次调频、基本调峰、基本无功调节。有偿辅助服务是指并网发电厂在基本辅助服务之外所提供的辅助服务，包括自动发电控制、有偿调峰、有偿无功调节、自动电压控制、旋转备用、黑启动。

## 4.2. 提供方式

目前上述两类辅助服务均是通过签订协议的方式予以确定。基本辅助服务和除黑启动外的有偿辅助服务在并网调度协议中签订；而黑启动服务则是通过黑启动协议确定。

## 4.3. 市场运作

基本辅助服务按规定必须提供，若提供不能满足并网调度协议中关于其提供质量等相关要求，则对市场成员予以考核；有偿辅助服务中自动发电控制等投入由调度员根据电网实际运行需要调整，其补偿金额来源于考核费用等。

## 5. 借鉴意义分析

基于上述美国 PJM 电力市场、英国电力市场和我国两个细则的介绍，本文认为当前我国电力市场化改革推进实施辅助服务市场时必须重点考虑如下方面要求：

(1) 必须尊重电力系统客观规律，避免单纯的依靠金融方式确定市场结构

备用、调频等辅助服务实际上与电能密切关联。特别时在开展现货市场实践中，必须同时考虑上述备用与电能的计划安排。上述特点是电力系统物理规律决定的。以英国电力市场为例，由于其辅助服务主要通过合约形式确定，电能和辅助服务在市场上解耦，使得英国实际上没有真正的现货市场，仅能通过平衡机制实现供需平衡，满足调节需要，而平衡机制的决策过程势必将会与中长期计划产生差别。随着风电等新能源大规模接入，上述特点日益显著，严重影响了市场正常运作。为此本文认为必须尊重电力系统客观规律，协调好电能与辅助服务市场之间的关系。

(2) 必须因地制宜，合理确定辅助服务的范围和类型

从上文介绍可以看到各电力市场对辅助服务的内容划分不尽相同。特别在备用方面，差别很大。其根本原因在于不同国家和地区调度运行模式不同。我国已经有一套比较成熟的备用管理模式，能够满足电力系统运行要求，实际上不需要照搬国外的划分方式。

(3) 必须加强监管，避免由于市场力作用导致的价格失真

美国 PJM 电力市场的改革经验，一再证明必须加强市场监管，避免市场成员串谋、使用市场力等方式进行价格操纵。特别是在现货市场中，必须加强对市场成员市场力监视，综合考虑辅助服务、能量等不同市场交易类型的出清影响，量化其市场力程度，避免价格失真。

## 6. 结论

为了支撑当前我国电力市场快速发展将面临的辅助服务市场管理问题，本文深入分析了美国 PJM 和英国两个电力市场辅助服务管理的经验，从辅助服务内容、提供方式、市场运作三个方面对上述两个电力市场进行了介绍。在此基础上介绍了我国当前以“两个细则”为核心的辅助服务管理体系。通过对其对比提出了三个方面的借鉴。

## 参考文献 (References)

- [1] Day, C. and Bunn, D. (2001) Divestiture of Generation Assets in the Electricity Pool of England and Wales: A Computational Approach to Analyzing Market Power. *Journal of Regulatory Economics*, **19**, 123-141. <https://doi.org/10.1023/A:1011141105371>
- [2] 马莉, 范孟华, 郭磊, 等. 国外电力市场最新发展动向及其启示[J]. 电力系统自动化, 2014, 38(13): 1-9.
- [3] Rahimi, F. and Ipakchi, A. (2010) Demand Response as a Market Resource under the Smart Grid Paradigm. *IEEE Transactions on Smart Grid*, **1**, 82-88. <https://doi.org/10.1109/TSG.2010.2045906>
- [4] Ma, O., et al. (2013) Demand Response for Ancillary Services. *IEEE Transactions on Smart Grid*, **4**, 1988-1995. <https://doi.org/10.1109/TSG.2013.2258049>
- [5] Rueda-Medina, A.C. and Padilha-Feltrin, A. (2013) Distributed Generators as Providers of Reactive Power Support—A Market Approach. *IEEE Transactions on Power Systems*, **28**, 490-502. <https://doi.org/10.1109/TPWRS.2012.2202926>
- [6] Campos, F.A., Muñoz San Roque, A., Sánchez-Úbeda, E.F. and Portela González, J. (2016) Strategic Bidding in Secondary Reserve Markets. *IEEE Transactions on Power Systems*, **31**, 2847-2856. <https://doi.org/10.1109/TPWRS.2015.2453477>
- [7] 邹鹏, 陈启鑫, 夏清, 等. 国外电力现货市场建设的逻辑分析及对中国的启示与建议[J]. 电力系统自动化, 2014, 38(13): 18-27.
- [8] 许子智, 曾鸣. 美国电力市场发展分析及对我国电力市场建设的启示[J]. 电网技术, 2011, 35(6): 161-166.
- [9] <http://www.pjm.com/markets-and-operations/energy.aspx>
- [10] Kardakos, E.G., Simoglou, C.K. and Bakirtzis, A.G. (2013) Short-Term Electricity Market Simulation for Pool-Based Multi-Period Auctions. *IEEE Transactions on Power Systems*, **28**, 2526-2535. <https://doi.org/10.1109/TPWRS.2012.2226759>
- [11] Jing, Z., Ngan, H., Wang, Y., Zhang, Y. and Wang, J. (2009) Study on the Convergence Property of Re-Learning Model in Electricity Market Simulation. *8th International Conference on Advances in Power System Control, Operation and Management*, 8-11 November 2009. <https://doi.org/10.1049/cp.2009.1813>
- [12] 文安, 黄维芳, 刘年. 英国电力市场的电量交易平衡机制[J]. 南方电网技术, 2014, 6(5): 1-5.
- [13] <http://www.apxgroup.com/trading-clearing/apx-power-uk/>
- [14] <http://www.nasdaqomx.com/transactions/markets/nordic/>
- [15] <https://www.entsoe.eu/data/data-portal/production/>
- [16] 国家电力监管委员会. 并网发电厂辅助服务管理暂行办法[Z]. 2006.
- [17] 国家电力监管委员会. 发电厂并网运行管理规定[Z]. 2006.

### 期刊投稿者将享受如下服务:

1. 投稿前咨询服务 (QQ、微信、邮箱皆可)
2. 为您匹配最合适的期刊
3. 24 小时以内解答您的所有疑问
4. 友好的在线投稿界面
5. 专业的同行评审
6. 知网检索
7. 全网网络覆盖式推广您的研究

投稿请点击: <http://www.hanspub.org/Submission.aspx>

期刊邮箱: [sg@hanspub.org](mailto:sg@hanspub.org)