

# 巴西电力市场研究： 电力市场化改革历程与市场交易机制

刘方<sup>1</sup>，张粒子<sup>2</sup>，李秀峰<sup>3</sup>，韩冰<sup>3</sup>

(1. 上海电力大学电气工程学院，上海市 杨浦区 200090；2. 华北电力大学电气与电子工程学院，北京市 昌平区 102206；3. 中国长江三峡集团有限公司，北京市 海淀区 100038)

## Brazil's Electricity Market Research: Electricity Market Reform Process and Market Trading Mechanism

LIU Fang<sup>1</sup>, ZHANG Lizi<sup>2</sup>, LI Xiufeng<sup>3</sup>, HAN Bing<sup>3</sup>

(1. School of Electric Power Engineering, Shanghai University of Electric Power, Yangpu District, Shanghai 200090, China;

2. School of Electrical & Electronic Engineering, North China Electric Power University, Changping District, Beijing 102206, China;

3. China Three Gorges Corporation, Haidian District, Beijing 100038, China)

**ABSTRACT:** The resource endowment, grid structure and supply-demand situation in different regions of China are quite different. The construction of electric power market needs to combine local actual conditions and draw on foreign advanced experience to design appropriate market systems and mechanisms. As one of the countries with the most abundant hydropower resources in the world, Brazil's market mechanism design has achieved remarkable results in ensuring power supply reliability and improving the utilization efficiency of hydropower resources, which provides reference for the construction of power market in hydropower-rich regions of China. As the first part of a series of papers on Brazilian electricity market research, the current status of the Brazilian power industry, the motives and processes of market-oriented reforms as well as the management structure and functions of the power industry were introduced firstly. Then the trading mechanism of the Brazilian electricity market current model and the intrinsic connection of different trading varieties, new production/commissioned power auction mechanism, medium-term and long-term trading contract as well as power system scheduling were discussed in detail. Finally, the latest development trend of the Brazilian power market was analyzed. On this basis, the internal logic of the structure and institutional mechanism of the Brazilian electricity market compared with the electricity markets of the United States, Northern Europe

and United Kingdom will be analyzed in sequel paper. It's design concept and adaptability will be studied and the experience of market construction will be summarized.

**KEY WORDS:** Brazil's electricity market; hydropower enrichment; full-cycle economic dispatch; trading mechanism; medium and long-term contract

**摘要：**我国不同地区资源禀赋、网架结构和供需形势差异较大，其电力市场建设需要结合本地实际情况，并借鉴国外先进经验，设计适宜的市场体系和机制。巴西作为世界上水电资源最为丰富的国家之一，其市场机制设计在保障供电可靠性、提高水电资源利用效率等方面成效显著，为我国水电富集地区电力市场建设提供参考。作为巴西电力市场研究系列论文首篇，首先介绍巴西电力工业现状、市场化改革动机和历程、电力行业管理结构及职能；然后详细探讨巴西电力市场现行模式交易机制、不同交易品种间内在联系、新投产/已投产电源拍卖机制、中长期交易合同方式，以及电力系统调度方式；最后，分析巴西电力市场最新发展趋势。续篇将在此基础上深入探讨巴西电力市场结构、体制机制内在逻辑，并与美国、北欧、英国等国家/地区电力市场对比，分析其设计理念和适应性，总结对我国电力市场建设的经验借鉴。

**关键词：**巴西电力市场；水电富集；全周期经济调度；交易机制；中长期合同

## 0 引言

“中发9号文”拉开我国新一轮电力体制改革序幕<sup>[1]</sup>，要求通过市场化改革还原电力商品属性，形成有效竞争的市场结构和体系，充分发挥市场对

基金项目：国家自然科学基金项目(51277071)；中央高校基本科研业务费专项资金资助项目(2017XS033)。

Project Supported by National Natural Science Foundation of China (51277071); Fundamental Research Funds for the Central Universities (2017XS033).

资源优化配置作用,引导合理投资、促进可再生能源消纳、提升电力工业效率<sup>[2-3]</sup>。2017年8月,国家发改委、能源局印发《关于开展电力现货市场建设试点工作的通知》<sup>[4]</sup>,选取南方(以广东起步)、蒙西、浙江、山西、山东、福建、四川、甘肃等8个地区作为第一批试点。目前,各现货市场试点建设方案陆续颁布并启动运行,电力市场建设进展迅速。

我国电力市场建设既要借鉴国外典型市场建设和运营的成熟经验,又需结合实际国情,积极稳妥推进。对此研究人员进行了有益探索,文献[5-6]分别从市场化改革路径和现货市场建设内在逻辑方面,对比分析美国、北欧和英国电力市场异同,总结经验借鉴;文献[2]从市场力抑制、阻塞管理、清洁能源消纳等微观层面汲取北欧电力市场建设经验;文献[7]从宏观层面探讨了我国电力市场建设路径优选和评价指标。然而,对于水电高占比、梯级水电站时空耦合紧密且隶属于不同投资主体的电力市场(例如:四川和云南),在市场模式选择和机制设计中,必须充分考虑水电站出力受限于径流变化和库容调蓄特征、上下游水电站水力电力联系等,以保障中长期电力供应安全和水电资源高效利用,但相应的市场设计和运行国际经验总结和借鉴欠缺。目前,作为全国首批电力现货市场试点的四川省,借鉴美国及欧洲电力市场建设经验设计其市场机制,遇到重重难解的困难。

巴西电力系统亦具有水电占比高、梯级上下游水电站隶属于不同投资主体的特点。巴西于1995年启动电力市场化改革,2001年遭遇电力危机,电力批发市场运行中断,完善后的市场于2004年重新启动,目前运行良好<sup>[8-9]</sup>,实现了水电资源高效利用、供需基本平衡、市场运行稳定,且为投资者进入提供相对可预见环境,保障电力工业良性发展<sup>[10-11]</sup>,其电力市场建设和运行经验很值得我国四川和云南借鉴,但目前尚缺乏对巴西电力市场机制深入细致的总结分析。

对此,开展巴西电力市场研究,由2篇文章组成系列论文。作为首篇,本文首先介绍巴西电力工业现状,回顾市场化改革驱动因素和历程,剖析第一阶段市场模式及遭遇电力危机,阐述电力行业管理结构和机构职能;然后详细探讨巴西电力市场现行模式交易机制、不同交易品种间内在联系、新投产/已投产电源拍卖机制、中长期合同方式及电力系

统调度方式;最后分析巴西电力市场最新进展。其中,巴西电力行业最显著特征为电力交易和运行调度独立进行,互不干涉,并通过“保证容量”和“电量再分配机制”实现关联,其内在逻辑将在续篇中深入探讨。

## 1 巴西电力工业概况

巴西电力工业发展迅速,截止2018年7月,电力总装机15982万千瓦,水电为主导电源,装机10216.02万千瓦,占比63.92%,各类电源装机及占比如表1所示<sup>[12]</sup>。

表1 巴西各类电源装机情况

Tab. 1 Installation of various power sources in Brazil

类型	装机容量/万千瓦	占比/%
水电	10216.02	63.92
风电	1313.52	8.22
核电	199.00	1.25
火电	2657.94	16.63
生物质能	1464.70	9.16
其他	0.01	0.00
太阳能	130.65	0.82
总装机	15981.84	100

巴西水电资源丰富<sup>[13]</sup>,总开发潜力达2.6亿千瓦,居世界第三位<sup>[14]</sup>,未开发潜力达1.45亿千瓦,其中约70%分布在亚马逊地区。巴西水电站中以大中型为主<sup>[15]</sup>,包括世界装机排名第2和第6的伊泰普水电站(Itaipu)和贝罗蒙特水电站(Bellomont)。巴西拥有众多调节性大水库,总蓄能可满足全国5个月用电需求(20世纪90年代可满足全国3~5年用电需求),最大库容的桌山水电站(Serra da Mesa)和图库鲁伊水电站(Tucuruí)调节库容分别高达432.5和389.8亿m<sup>3</sup>。目前,巴西水电发展主要战略是径流式电站,以降低对环境影响,为弥补径流式水电站无法保障枯水期供电安全,巴西政府致力于电源结构多元化发展。预计到2023年,巴西水电装机可达到11074万千瓦,占总装机的56.58%<sup>[9]</sup>。

巴西电力系统由全国互联系统(sistema interligado nacional, SIN)和部分独立系统组成,输电电压等级为230~750kV。SIN覆盖约60%国土面积和95%人口,输电占比98.3%<sup>[16]</sup>;独立系统主要分布在北部亚马逊地区。SIN分为南部、东南-中西部、北部和东北部4大区域系统<sup>[17]</sup>。与我国相似,巴西能源资源与负荷需求亦呈逆向分布,80%的负荷分布在里约热内卢和圣保罗等南部和东南-中西部发达地区,目前该地区水电资源开发已较为

充分,大部分在建和规划水电项目集中在亚马逊地区<sup>[15]</sup>。资源负荷逆向分布和区域经济非均衡发展特征,决定了巴西当前和未来均需要大容量、跨区域、远距离输电,在更大范围内优化配置电力资源。巴西电网结构及电力流如图 1 所示<sup>[18]</sup>。

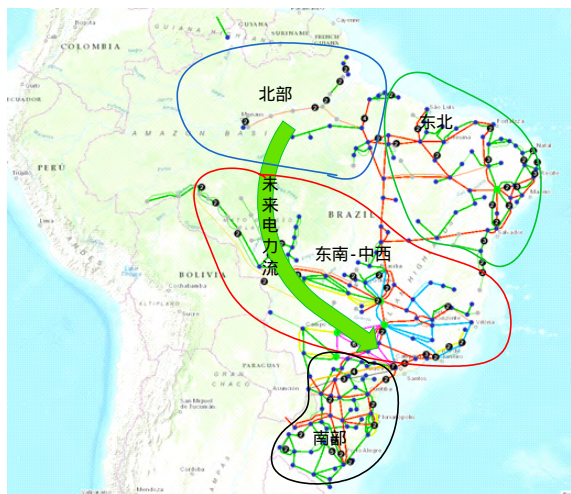


图 1 巴西电网结构及电力流示意图

Fig. 1 Brazil power grid structure and power flow diagram

## 2 巴西电力市场化改革进程

巴西电力市场化改革主要分为 2 阶段。第一阶段始于 1995 年 3 月,其特点是建立电力批发市场 (mercado atacadista de energia elétrica, MAE),简称“MAE 市场模式”,但在 2001~2002 年出现电力危机,MAE 被迫中止运行,实行强制电力配给制;第二阶段始于 2004 年 7 月,巴西政府重启电力市场,持续运行至今,本文简称“现行市场模式”。

### 2.1 1995 年第一阶段市场化改革——MAE 模式

1982 年信贷危机后,巴西电力行业发展遭遇资金瓶颈,且政府以控制电价为手段抑制通货膨胀,严重削弱筹资能力,装机增速由 70 年代的 11.7%下降至 5.7%<sup>[19]</sup>。为维持电力工业发展支撑经济增长,1993 年巴西政府考虑启动电力体制改革来解决发展资金问题。1995 年,巴西政府将电力行业纳入私有化进程,开启第一次电力市场化改革,主要借鉴英国改革经验,引入独立输电商和配电商,鼓励发电侧和售电侧竞争,输配电仍然由政府管制<sup>[20]</sup>,投资者可通过政府组织的“特许拍卖”获得新水电站特许经营权<sup>[21]</sup>。在市场建设方面,建立独立的国家电力调度中心 (operador nacional do sistema, ONS)、国家电力监管局 (agência nacional de energia elétrica, ANEEL) 和电能量批发市场 MAE<sup>[22]</sup>。

MAE 负责电能交易和结算,所有发电商、售

电商、配电商及中小型用户代理商均可参与交易,也可相互间直接交易。自由用户可自由选择供应商进行双边交易,也可在 MAE 交易。MAE 维持原有的全系统协调经济调度,由计算机优化程序安排调度计划,根据负荷预测事前计算现货市场价格并公布,但结算价格根据实际调度事后确定。火电厂提交报价和技术参数,水电站仅上报有关技术参数,构建供给曲线<sup>[23]</sup>。MAE 公布每周的购售电价格和中标电量,实际出清价格时间粒度为 1h。为对冲现货市场价格波动风险,要求配电商、自由用户与发电商签订的双边合同电量必须占总负荷 85%以上,并上报 MAE<sup>[24]</sup>。然而,由于现货市场价格很低,以至于配电商宁愿从现货市场购电也不愿签订长期合同,导致发电商收入直线下降,现货市场价格信号难以有效吸引投资,也为电力危机埋下隐患。

市场化改革初步成果令人欣慰,公用事业私有化为政府带来约 100 亿美元收入,且“新”私营公用事业公司运营效率更高;约 10GW 新水电特许权被拍卖,私人资本参与度较高,建设成本和周期缩减约 40%<sup>[25]</sup>。第一阶段改革渐进实施引领了巴西电力行业竞争模式发展,但被 2001 年重大电力危机打断,并导致拉闸限电。

### 2.2 2001 年电力危机

2001 年 6 月~2002 年 2 月,巴西电力行业遭遇重大危机,其主要原因:一方面是严重干旱造成水电站发电能力下降;同时自 MAE 启动后,现货市场价格偏低且不稳定导致投资不足,发电容量充裕性不足。另一方面是调度不合理,水电机会成本计算中对电源投产延迟考虑不足,导致危机发生前水库调度过度,预留蓄能不足<sup>[26]</sup>。2000 年 11 月~2001 年 4 月丰水期来水偏枯,库水位达到惊人低水平。为避免后续 5~10 月旱季出现水库资源枯竭的灾难性状况,巴西政府于 2001 年 6 月实施了强制性用电配给政策,设立电力危机管理委员会来管理配给制,并修复完善体制机制<sup>[27]</sup>。

配给制规定用电配额参考 2000 年 5~7 月用电量平均值,高压用户配额为参考值的 75%~85%,其他工业用户为 90%,低收入居民用电(月均低于 100kW·h)不受配额限制,其他用户配额由 GCE 制定,节电目标最高达参考值的 35%。工业和商业用户用电量低于配额时,可出售剩余配额或留作后续使用;用电量超出规定配额,则必须购买或使用此前剩余配额<sup>[9]</sup>。强制性配额制持续至 2002 年 5 月,导致 2001 年总用电量降低 7%<sup>[25]</sup>,经济损失惨重,



如图 3 所示。

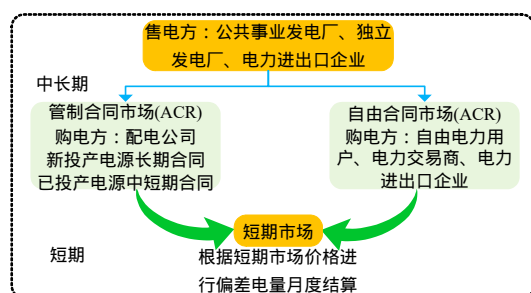


图 3 巴西电力市场结构

Fig. 3 Brazilian electricity market structure

中长期合同市场分为：管制合同市场(ambiente de contratação regulada, ACR)和自由合同市场(ambiente de contratação livre, RCL)<sup>[17,30]</sup>,交易电量占比分别为 74%和 26%,两者相辅相成,互为补充<sup>[29]</sup>。管制合同市场是配电公司的电能采购市场,其目的是保护管制用户享受更优惠电价,售电商包括发电商、自备电厂等;自由合同市场的购电主体包括自由用户、交易代理商和进出口公司等<sup>[23]</sup>。为便于结算,所有中长期合同都明确周期内电力交易曲线,管制合同根据规定的交易流程和规则,由售电商将全年电量分解为月度电量,每月电量分解为不同时段电量<sup>[9]</sup>;自由合同由买卖双方协商完成电量分解。

#### 4.1.1 中长期合同市场

##### 1) 管制合同市场交易机制。

管制合同市场中,配电公司通过公开拍卖方式采购电力,拍卖由 ANEEL 监管,CCEE 代理组织。配电公司专注于为管制用户提供电能服务,其零售价格完全由 ANEEL 监管<sup>[17]</sup>。为充分保障持续增长电力供应,要求配电公司预测未来 5 年的负荷需求,提交 EPE 汇总确定拍卖总量,并要求负荷需求 100%由电量合同覆盖,实现“需求引导供应”<sup>[31]</sup>。参加拍卖的电源主要分 2 类:已投产电源和新投产电源。CCEE 对 2 类电源分开拍卖,对于未来几年预测的需求增长,通过“新投产电源”拍卖来满足;对于合同到期的存量需求,由“已投产电源”拍卖来满足,如图 4 所示。

管制合同市场拍卖一般在合同交割前 3~5 年举行,为中标发电商提供长期合同,便于新电源项目融资。管制合同市场交易如图 5 所示(指定 A 为电力开始交付年份):新投产电源拍卖针对配电公司新增负荷需求,有提前 5 年(A-5)和提前 3 年(A-3)2 种类型,A-5 主要针对水电站,通常签订 30 年长期合同,A-3 主要针对火电厂,通常签订 15 年长期合同。

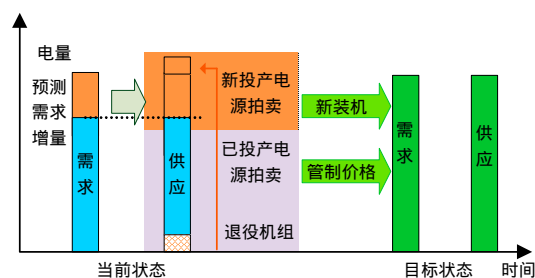


图 4 需求引导供应示意图

Fig. 4 Demand-led supply diagram

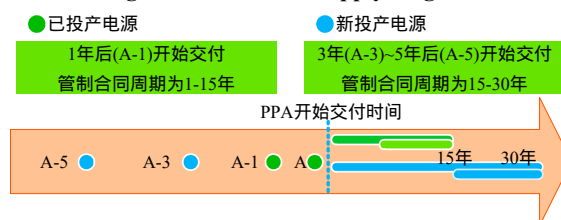


图 5 管制合同市场电力交易示意图

Fig. 5 Electricity trading schematic diagram of the regulatory contract market

已投产电源拍卖为提前 1 年(A-1),用于替代发电商和配电公司在 A 年到期的电力合同,合同期通常为 5~8 年。此外,配电公司还可单独参加调节拍卖,应对超出预期的负荷增长,合同期一般不超过 2 年<sup>[27]</sup>。

发电商通过投标竞价来满足配电公司预期负荷需求,中标发电商与所有配电公司按负荷需求比例签订中长期购售电合同,合同价格为发电商中标价格(即“按报价支付”)。配电公司支付购电成本为拍卖中标价格均值,实现风险共担和低电价共享,并允许 100%~105%以内预测偏差造成的市场风险(合电同量与实际电量偏差)转嫁至终端用户<sup>[29]</sup>。

##### 2) 管制合同市场拍卖机制。

管制合同市场为发电商单边竞价市场,采用“价格逐降”和“按报价支付”相结合的混合拍卖方式,包括“分配电量”和“确定价格”2 个阶段<sup>[32]</sup>,如图 6 所示。拍卖开始前,由 MME 确定各类合同价格上限,汇总配电公司需求,确定供应参

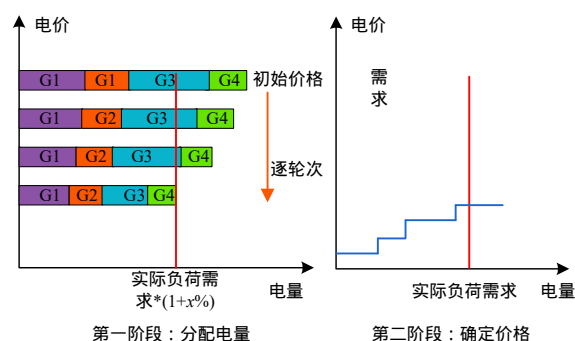


图 6 巴西管制合同市场投标机制

Fig. 6 Brazil's regulatory contract market bidding mechanism

考因子(大于1的比例因子,确保第二阶段初始呈现供过于求形势),及价格逐降规则。投标发电商可获知交易价格上限,其他参数无法获知。

第一阶段“分配电量”采用出价逐降式拍卖,具体步骤如下:由CCEE公布初始价格,各发电商提交在给定价格下的意愿供电量(如图6中 $G_1 \sim G_4$ );若投标电量大于需求,则系统自动降低价格并进入下一轮投标,若出现供应不足,则削减需求(初始价格一般设置较高,多呈现供过于求形势);

逐轮次降低价格,发电商亦逐轮次降低投标电量,直至投标电量为负荷需求的 $1+x\%$ (注:投标满足单调性约束,即下轮投标电量不得高于上轮);第一阶段投标结束,产生有效合同价格上限,确定各发电商中标电量,并作为第二阶段初始条件。

第二阶段“确定价格”采用密封投标拍卖<sup>[33]</sup>:基于第一阶段投标结果,由中标发电商再次投标,要求投标价格不得高于第一阶段中标价格,投标电量为第一阶段中标电量,所有投标量按价格由高到低形成供应曲线,直至满足实际负荷需求,即按“价低者得”原则确定最终中标发电商。

第一阶段投标通过人为“供过于求”场景来发现有效的电能合同价格信号,第二阶段投标基于第一阶段“供过于求”形势,促进发电商按自身实际发电成本进一步压缩价格,且全拍卖过程聚焦点在于价格,而非供需关系和合同覆盖率,有助于产生更低价格。

### 3) 自由合同市场交易机制。

自由合同市场中,交易双方协商确定购售电价格、交付时间和电量,并要求结算日前在CCEE按月登记交易合同。合同类型分为常规电力合同和非常规电力合同,后者是政府为激励可再生能源发展而设立,享受政府补贴,该类电源也称为“激励性电源”,是除大型水电站以外的可再生能源,包括:风电、太阳能发电、生物质发电、不超过1MW的小水电及符合要求的热电联产机组等。

自由合同市场购电方包括:自由用户、特殊用户和电力交易商。自由用户既可签订常规电力合同,也可签订非常规电力合同;特殊用户只能签订非常规电力合同;电力交易商可从任何售电方购电,并转售给管制用户之外的任何购电方。

用户在自由市场和管制市场之间转换需满足一定要求。符合条件的管制用户申请转为自由用户,需提前申请并通知所属配电公司:负荷在3~5MW的用户,需提前1年申请;负荷在5~10MW

的用户,需提前2年申请;负荷高于10MW的用户,则需提前3年申请。自由用户若要转为管制用户,则需提前5年申请,并通知原所属配电公司<sup>[19]</sup>。上述措施可有效降低市场需求预测误差,有利于配电公司更准确地预估购电规模。

### 4.1.2 短期市场(现货市场)

短期市场是周期为1周的“成本型电力库”市场,由CCEE组织,CCEE注册和管理所有电力交易合同。短期市场价格由与ONS短期优化调度一致的模型计算而来,即按“最小成本”原则进行短期经济调度的边际成本;考虑输电阻塞,市场分4个价区,各价区作为1个子市场。鉴于巴西电源结构以水电为主,水电机组灵活调节能力通常可满足日内负荷波动,短期市场价格波动相对平稳,采用“峰—平—谷”电价。短期市场价格为事先计算和确定,每周计算1次各子市场峰、谷、平时段电价,其中工作日分为峰、谷、平三时段,非工作日分谷、平两时段,如表2所示<sup>[34]</sup>。ONS负责实时经济调度,也就是按照实时经济调度模型进行现货市场电能出清。CCEE将电力交易合同与实际计量时段电量比较,偏差部分按短期市场出清价格结算,亦称为偏差结算价格(preço de liquidação de diferenças, PLD)。若实发电量偏差为正则意味着向短期市场出售电能,偏差为负则为从短期市场采购电能。

表2 短期市场峰平谷时段划分

Tab. 2 Peak-flat-valley time division in short-term market

负荷水平	工作日和星期六	星期日和节假日
谷时段	0:00-6:59	0:00-16:59
		22:00-23:59
平时段	7:00-17:59	17:00-21:59
	21:00-23:59	
峰时段	18:00-20:59	—

### 4.1.3 中长期合同市场和短期市场内在关系

中长期合同市场中,管制合同市场和自由合同市场平行存在,共同为巴西电力工业发展提供内在推动力。两市场的购电主体不同、作用不同,相互之间交易受限。管制合同市场的购电主体是配电公司,旨在为居民和中小型工商业等用户提供公允且长期相对稳定的价格,其电能拍卖形成的长期合同有助于促进电源项目投资,确保长期电能供应充裕性,且为自由合同市场提供参考价格。自由合同市场中,大工业用户可直接从发电商或投资电源项目购电,合同执行期通常只有几年,交易灵活。当大工业用户意识到电源装机过剩风险后,会转向管制

合同市场购电,出现电力短缺迹象会激励其签订新电源投资合同。

短期市场相比于中长期合同市场而言,价格波动主要反映水库径流频繁变化,也为发电企业与电力用户签订中长期双边合同提供一定的价格参考信息。

总之,从巴西电力市场的整体架构来看,一方面是通过中长期合同市场引导电源投资,保证用电价格的长期稳定,保障电力长期供应安全;另一方面是通过短期市场实现经济调度。

#### 4.2 中长期交易合同方式

管制合同市场中交易合同方式主要有 2 种:以电量为标准的交易合同和以可用性为标准的交易合同。前者主要针对水电站,后者针对火电机组,为实现不同类型电源同台竞价,通过成本效益指数(indicedo custo beneficio, ICB)<sup>[9,13]</sup>,将“以可用性为标准的交易合同”价格转换为单位电量价格。

##### 1) 以电量为标准交易合同。

以电量标准的交易合同中,发电商根据交易价格(R\$/MW·h)和电量(MW·h)从配电公司获取收益,结构相对简单:发电商即便发电能力不足也要按约定交付电能,发电商要承担电量无法交割的风险,特别是水文预测误差带来的发电能力不足风险。对于水电站而言,恶劣水文条件是收益受损的主要潜在风险:干旱导致发电能力不足时,水电企业需在电价高涨的短期市场回购电能履约,亏损严重;来水超过预期时,各水电站发电量均出现盈余,并向短期市场出售,价格走低。尽管通过“电量再分配机制”分散部分风险,但实发电量低于合同电量的风险,对水电企业参与市场竞拍的报价起决定性影响。

##### 2) 以可用性为标准的交易合同。

以可用性为标准的交易合同中,发电商(主要为火电厂,不包括水电机组)根据预计上网电量获得固定收益,且配电公司需额外向火电厂支付燃料成本。若签约电量无法满足配电公司实际负荷需求,配电公司还需从其他发电商采购电力或在短期市场偏差结算。

以可用性为标准的交易合同可理解为一种看涨期权合同。配电公司根据电厂可用容量每月支付固定费用(期权溢价)来“租赁”机组,该费用可覆盖电厂的固定成本;作为回报,当短期市场结算价格高于某固定标准(行权价格)时,电厂向配电公司交付一定量电能,配电公司还要向火电厂支付燃料

成本费用。这种合同,一方面,化解了“系统性”可靠性风险(如水文预测误差带来的水电供应低于预期的风险);另一方面,将水电主导系统中的火电厂市场份额不确定带来的财务风险,通过配电公司转移到电力用户,有利于电源项目融资,特别是吸引中小型资本投资燃气、燃油和生物质等火电项目;配电公司也获得电能价格保险,保证支付价格不会超过行权价格;可再生能源和水电也能被充分利用和最大限度消纳,而不会为保障火电生存而发生弃风/弃光/弃水。

##### 3) 成本效益指数(ICB)。

管制合同市场中,允许电厂对期权溢价进行报价(预测固定费用),但行权价格在项目注册时就已确定。拍卖竞价中,采用“以可用性为标准的交易合同”交易的电源,其预期发电平均成本由成本效益指数(R\$/MW·h,注:R\$为巴西货币“雷亚尔”)来衡量,描述如下<sup>[35]</sup>:

$$ICB_i = \frac{C_{fix,i} + C_{op}(S_i) + C_{ec}(S_i)}{GF_i} \quad (1)$$

式中: $ICB_i$ 是为电站*i*按报价计算的成本效益指数; $C_{fix,i}$ 为电站*i*的固定成本(R\$/年); $S_i$ 为电站*i*公布的可变成本(期权执行价格,R\$/MW·h); $C_{op}$ 为预期运行成本(R\$/年); $C_{ec,i}$ 为短期经济成本(R\$/年); $GF_i$ 为电站的“保证容量”(MW·h/年)。 $C_{fix,i}$ 包含项目投资成本和固定运维成本,是发电商拍卖报价中固定收益的一部分; $C_{op}$ 包含燃料成本和运维成本,由 EPE 计算并在拍卖前公布给各电厂<sup>[36]</sup>;  $C_{ec}$ 为短期市场预期偏差结算成本,通过电站“保证容量”与预期发电量之间的差值,乘以对应计量区间的 PLD 得到。

#### 4.3 “保证容量”机制

巴西电力市场中由 EPE 为各电站核定“保证容量”,并由 MME 审核颁布。EPE 采用与 ONS 相同的优化调度模型,从全系统供电可靠、运行经济和水电资源高效利用的角度进行集中优化调度仿真,为每个电站核定在来水欠佳情况下可靠发电量,反映电站对全系统供电可靠性的贡献<sup>[31]</sup>。“保证容量”核定主要考虑以下因素<sup>[37]</sup>:历史径流数据;火电边际成本;系统失负荷成本;系统供电可靠性要求等。

“保证容量”是电站参与中长期合同市场交易电量的上限值,并确保所有交易合同背后都有相应电站的“保证容量”予以支撑(称为“实物担

保”),为电站构建稳定的交易基础,将交易电量无法交割风险锁定在“保证容量”核定之初的风险范围内,降低水电企业交易风险和系统失负荷风险。多数年份水电站实际发电能力高于“保证容量”,一定程度上会压低市场价格。

电力系统实际运行调度中受多种因素影响,各电站“保证容量”呈动态变化,出于监管需要一定时间内保持不变。EPE 每 5 年对电站进行一次常规检查,并重新核定“保证容量”,可下调不超过 5%,或整个开发权期限内下调不超过 10%<sup>[11]</sup>,保障电力交易的稳定性。“保证容量”总电量按季节分配,并平均分配到季节内不同月份,为配合电量再分配机制实施,将每月“保证容量”按周和周内不同负荷水平细分<sup>[38]</sup>。

#### 4.4 电量再分配机制

电量再分配机制是针对水电站而言。水电站实际发电量取决于水文条件,但不同地区、不同流域水文差异显著,为最大限度降低水电站水文预测误差风险,提升流域互补和梯级补偿效益,将所有水电站发电能力汇集一起,并按“保证容量”比例分配总发电量,即为电量再分配机制(mecanismo de realocação de energia, MRE)<sup>[39-40]</sup>。这是所有水电站共享发电成果和共担风险的一种会计机制,也是在巴西全系统范围内以最优化方式集中调配水电资源的根本原则<sup>[9]</sup>。

巴西电力市场要求,所有 ONS 调度的水电站均要参加 MRE 机制,不考虑水电站所在区域位置,其他小水电可自由选择是否参加。MRE 每周按“峰、平、谷”不同时段进行结算,每月末进行清算<sup>[38]</sup>。下面以 3 组水电站为例介绍 MRE 机制原理,其总发电量与“保证容量”总量分别呈平衡、盈余和亏欠 3 种状态。

图 7 为实际总发电量与“保证容量”平衡状态下的电量再分配情况<sup>[9]</sup>。此时,水电站 3 向水电站 1 和水电站 2 售出盈余电量(强制发电权转让),售

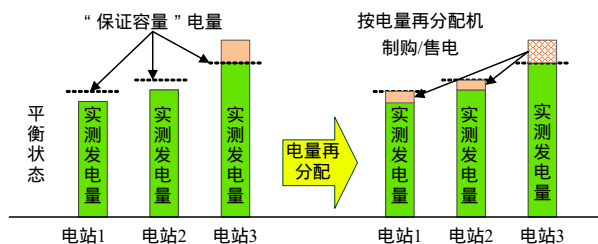


图 7 电量再分配机制(平衡状态)

Fig. 7 Electricity redistribution mechanism (equilibrium state)

电价格为 ANEEL 制定的电能优化价格(tarifa de Energia de otimização, TEO)<sup>[41]</sup>,该价格极低,基本为边际运行成本。

上述平衡状态仅为一种假设,实际运行中更多情况是水电站总发电量大于“保证容量”总和,即盈余状态,如图 8 所示。水电站 2 和 3 盈余电量按 TEO 转让给水电站 1 弥补缺额后仍然剩余,则 3 组水电站均从总量盈余部分按各自“保证容量”比例再分配电量,称为“补充分配电量”,该部分电量在短期市场内出售,按 PLD 结算。

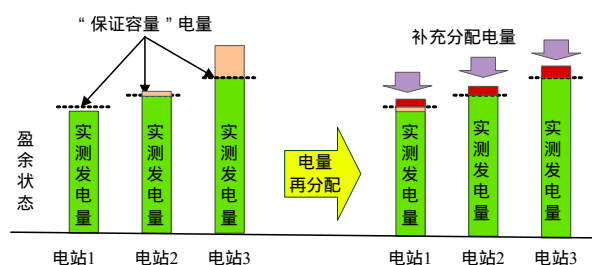


图 8 电量再分配机制(盈余状态)

Fig. 8 Electricity redistribution mechanism (surplus state)

第 3 种情形为亏欠状态,出现概率较小,如图 9 所示。该情形下各水电站总发电量未达到“保证容量”总和,则首先按照实际发电总量与“保证容量”总量的比例,修订下调各电站“保证容量”,修订后的“保证容量”与实际发电总量实现平衡状态,按照图 7 的方式执行。修订“保证容量”与原“保证容量”之间的缺额,在短期市场按 PLD 采购火电来弥补。

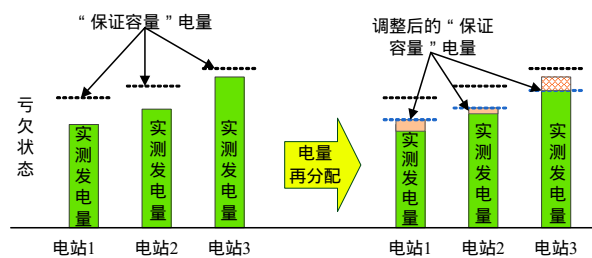


图 9 电量再分配机制(亏欠状态)

Fig. 9 Electricity redistribution mechanism (deficit state)

## 5 巴西电力系统调度方式

巴西电力系统呈现如下特征: 约 75%电量源自水电,火电主要用于枯期备用和高峰时段电力平衡; 梯级水电站众多,隶属于多投资主体,且一些电站承担防洪、灌溉、航运等社会职能; 不同流域之间或同一流域年际间水文差别显著; 运行调度需重点考虑不同流域水文互补、梯级水电站协调运行及多类型电源互济。鉴于上述实际情况,巴西选择了全系统进行“全周期水火电经济调度”

的方式,综合考虑防洪、灌溉、航运等约束,实现不同流域、梯级及水火协调发电,保障系统供电持续性、可靠性,以及水电资源高效利用。

全周期水火电经济调度由 ONS 执行,采用“最小成本”调度模型<sup>[34]</sup>,火电机组边际成本为燃料成本,水电站边际成本为预期机会成本,采用随机双层动态规划模型计算得到<sup>[42-43]</sup>。在时间尺度上,全周期水火电经济调度可分为:长期(5 年)、中期(1 年)、短期(2 周)和实时(1 天),并根据实时优化调度计算结果安排机组出力。

长期经济调度采用 Newave 模型,时间粒度为 1 月,对水火电混合系统采用等效模型,将 4 个子系统内水电站聚合为 4 个等效水电站,引入约 2000 个复合水情或历史水情序列,其目标是确定各时段水火电最佳运行方案,最大限度降低全周期预期运行成本。Newave 计算得到未来成本函数来表示水库蓄水的机会成本,获取等效水库分月度最佳调度方案,作为中期和短期优化调度边界条件<sup>[9,44]</sup>。

中期经济调度采用 Decomp 模型<sup>[45]</sup>,优化周期长达 1 年,针对每个水电站制定详细月度运行计划,考虑电力系统运行约束、发电设备和网络传输约束,以及航运、生态用水等综合职能约束,并对径流不确定性进行多场景分析。通过中期经济调度获取系统运行边际成本,并根据不同负荷水平,获取子市场多场景运行方案。

短期和实时调度处于经济调度最后阶段,采用 Dessem 模型编制周发电计划<sup>[45]</sup>,并作为决策支持系统获取日运行计划(Dessem-Pat 模型)。Dessem 与 Decomp 模型算法理念基本相同,可详细给出各电厂长达 15 天的调度计划,并考虑实际网络拓扑。全周期水火电经济调度以 Dessem-Pat 模型结束,采用更加精确的系统模型,获取每天多达 5 个负荷水平下的边际运行成本,并实现 ONS 和子系统协同调度。

## 6 巴西电力市场新进展

### 6.1 零售价格新机制

巴西电力市场中绝大部分零售市场由配电公司提供,管制销售电价限制了需求侧响应潜力发挥,且销售电价每年只调整一次,灵活电价结构空间有限,容易出现电价调整滞后或一些配电特许地区难以适应的问题。对此,ANEEL 修订完善原有电价结构,为终端用户提供更有用的价格信号和激励措施,主要包括以下 2 项<sup>[37]</sup>:分时电价机制、

分段销售电价机制。

#### 6.1.1 分时电价机制

分时电价制度也称为“白色电价机制(Tarifa Branca)”<sup>[46]</sup>,主要针对 127V、220V、380V、440V 等电压等级的居民用户,电价结构包含“峰、平、谷”3 类。巴西电源结构水电为主,灵活调节满足日负荷波动,日内电价变化相对平缓,分时电价机制主要用于缓解配电网阻塞,以期通过电价激励一些用户错峰填谷,为保障系统安全稳定运行,延缓投资扩容发挥积极作用<sup>[47]</sup>。不同地区配电网日内发生阻塞时段不同,分时电价机制需要定制设计,例如:天气炎热的富裕地区,空调为主要峰荷,通常发生在下午;其他地区照明和热水器为主要峰荷,通常发生在傍晚。由于用户价格响应信息匮乏,难以预估选择分时电价用户的比例,以及对用户用电行为的影响程度,且还需保持配电公司管制收入不变,使得不同价格菜单组合设计成为一个难题。

分时电价机制于 2018 年 1 月正式生效,并按用电量由高到底对用户逐步放开<sup>[48]</sup>:2018 年 1 月起,月用电量超过 500kW·h;2019 年 1 月起,月用电量超过 250kW·h;2020 年 1 月起,所有居民和商业用户均可采用分时电价机制,但一些低消费群体享受电价补贴,加入分时电价机制并无优势。表 3 给出塞阿拉州(Ceará)分时电价情况,取代了原来 0.72R\$/kW·h 的销售电价<sup>[49]</sup>。

表 3 塞阿拉州分时电价

Tab. 3 Time-of-use tariff in ceará

时段	电价/(R\$/kW·h)
21:30~次日 16:30	0.41
16:30~17:30	1.11
20:30~21:30	1.11
17:30~20:30	1.80

巴西水电为主的系统内,分时电价机制对于长周期内价格非正常变化的作用甚微:一般年份雨季水量充沛,水库调蓄后季节间电价变化相对平缓,而干旱或雨季初期降雨延迟年份,水库蓄能不足且用电激增情况下,将调用大量火电,发电成本急剧上升,价格信号失真。为此,制定分段销售电价机制,在长周期内促进供需平衡。

#### 6.1.2 分段销售电价机制

分段销售电价机制也称为“红黄绿”电价标记机制(Bandeiras Tarifárias)<sup>[50]</sup>,于 2015 年 1 月 1 日正式实施,适用于 SIN 系统内所有电压等级用户<sup>[51]</sup>。ANEEL 每年 4 月雨季结束时,审核并设置

下一周期电价标记,根据水文预测误差风险、燃料价格、短期市场电价走势等预测未来发电成本变化,分段电价则每月根据预测发电成本更新。分段电价分3级:“绿色”为正常级,电价维持不变;“黄色”为中间级,每100kW·h上涨2.5R\$;“红色”为电价高级别,每100kW·h上涨4.5R\$。2016年1月26日ANEEL调整分段电价:“绿色”维持不变;“黄色”由每100kW·h上涨2.5R\$调至1.5R\$;“红色”中又分两级,红色I级每100kW·h上涨3R\$,红色II级每100kW·h上涨4.5R\$<sup>[52]</sup>。分段电价级别如图10所示。

级别	条件	电价
绿色	水力发电处于正常水平	电价维持不变
黄色	水力发电出现下降趋势	每100kW·h上涨1.5R\$
红色I级	水力发电低破警戒水平	每100kW·h上涨3R\$
红色II级	水力发电低破警戒水平	每100kW·h上涨4.5R\$

图10 分段销售电价机制

Fig. 10 Segmented electricity pricing mechanism

分段销售电价机制反映发电成本变化,使当前电力批发市场价格更加灵活,及时让用户对当前情况做出积极响应。此前,成本变化仅在下次重新调整终端用户管制电价时传递,一般为一年调整一次,分段电价逐月向用户收取发电成本取代年度电费调整,并未增加新成本,电费账单更加透明。分段电价机制下,用户可获取实际发电成本信息来调整用电方式,例如:得知当月标记为红色,则用户可削减负荷降低电费,并有助于降低系统运行成本<sup>[53]</sup>。分段电价机制的困难在于难以以同样的方式影响所有终端用户用电行为,而配电公司电能采购成本取决于各自不同类型中长期合同组合,即意味着“红”和“黄”标记电价会给配电公司售电收入带来较大差异,对此CCEE将该部分额外收益汇集一起,并按各配电公司额外成本购置电力的比例进行分摊<sup>[54]</sup>。

目前,尽管巴西电价结构仍然存在一些不足和局限性,但“分时电价机制”和“分段电价机制”也说明了巴西电力市场正努力挖掘需求侧潜力,提供反映系统成本的价格信号,以更好地协调电力批发和零售价格。

## 6.2 短期市场细化时间粒度

巴西电力市场建设初期,系统整体调节能力较强,短期市场价格相对平稳,选择“峰”、“平”、“谷”时段定价可满足需求。然而,随着系统内风

电、光伏发电等间歇性电源逐步接入,火电装机规模逐步扩大,电源多元化发展使系统内灵活性资源占比逐步降低,调节能力逐步下降,短期市场价格波动加剧,需要进一步细化短期市场价格时间粒度,使价格信号更加有效<sup>[37]</sup>。对此,巴西短期市场计划从2020年开始采用小时电价。

## 7 结论

巴西电力市场第一阶段改革采用“投标报价”、“竞价上网”模式(MAE模式),现货市场价格持续走低,难以有效吸引投资,发电容量充裕度不足,进而导致2001年6月~2002年2月严重供电危机,电力市场停滞近2年。2004年7月重启电力市场,重新设计的市场架构和体制机制注重长期合同平衡电力供需,在规划、竞争与私人投资之间实现平衡;采取全周期水火电经济调度和按成本定价的“成本型电力库”市场模式,将竞争限定在中长期合同市场,保证电力价格信号合理有效;优化调度从全系统角度统筹考虑,通过流域互补、梯级补偿和水火互济,保障各种水文条件下系统安全供电和水电资源高效利用。巴西电力市场实践证明在水电高占比的“竞争性电力市场”中,进行“全周期水火电经济调度”是正确有效的,其市场模式选择和机制设计,也较好的适应电力工业快速发展和电源结构水电主导的特征。

巴西电力市场中,设置一些特殊的机制和规则,例如:“保证容量”、电量再分配机制、新投产/已投产电源分开拍卖机制、负荷需求100%由中长期合同覆盖要求等。各机制和规则之间如何协调配合,来共同保障水电占主导、负荷增长迅速、资源负荷逆向分布为特征的复杂系统,实现水电资源高效利用、有效吸引投资且市场运行稳定,将是续篇《巴西电力市场研究(二)市场机制内在逻辑分析与对我国电力市场建设的启示》的研究重点,并在此基础上与欧美国家/地区电力市场对比分析,总结对我电力市场建设的经验借鉴。

## 参考文献

- [1] 中共中央,国务院.关于进一步深化电力体制改革的若干意见(中发[2015]9号)[EB/OL].(2015-03-15)[2016-12-14]. [http://tgs.ndrc.gov.cn/zywj/201601/t20160129\\_773852.html](http://tgs.ndrc.gov.cn/zywj/201601/t20160129_773852.html).
- The CPC Central Committee and the State Council. Opinions on further reform of the electric power system [EB/OL].(2015-03-15)[2016-12-14]. <http://tgs.ndrc.gov>.

- cn/zywj/201601/t20160129\_773852.html(in Chinese)
- [2] 包铭磊,丁一,邵常政,等.北欧电力市场评述及对我国的经验借鉴[J].中国电机工程学报,2017,37(17):4881-4892.
- Bao Minglei, Ding Yi, Chao Changzheng, et al. Review of nordic electricity market and its suggestions for China[J]. Proceedings of the CSEE, 2017, 37(17): 4881-4892(in Chinese).
- [3] 李竹,庞博,李国栋,等.欧洲统一电力市场建设及对中国电力市场模式的启示[J].电力系统自动化,2017,41(24):2-9.
- Li Zhu, Pang Bo, Li Guodong, et al. Development of unified european electricity market and its implications for China[J]. Automation of Electric Power Systems, 2017, 41(24): 2-9(in Chinese).
- [4] 国家发展改革委,国家能源局.关于开展电力现货市场建设试点工作的通知[EB/OL]. (2017-08-28)[2018-01-16]. [http://www.ndrc.gov.cn/gzdt/201709/t20170905\\_860117.html](http://www.ndrc.gov.cn/gzdt/201709/t20170905_860117.html).
- National Development and Reform Commission, National Energy Administration. Notice on starting the pilot work on the construction of the electricity spot market[EB/OL]. (2017-08-28)[2018-01-16]. [http://www.ndrc.gov.cn/gzdt/201709/t20170905\\_860117.html](http://www.ndrc.gov.cn/gzdt/201709/t20170905_860117.html)(in Chinese).
- [5] Xue Xiaoqiang, Wang Xuanyuan, Liu Dunnan, et al. The enlightenment of foreign power market reform experience to China's power market construction[C]// Proceedings of the 2nd IEEE Conference on Energy Internet and Energy System Integration. Beijing, China: IEEE, 2018: 1-3.
- [6] 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.
- Zou Peng, Chen Qixin, Xia Qing, et al. Logical analysis of electricity spot market design in foreign countries and enlightenment and policy suggestions for China[J]. Automation of Electric Power Systems, 2014, 38(13): 18-27(in Chinese).
- [7] 葛睿,陈龙翔,王轶禹,等.中国电力市场建设路径优选及设计[J].电力系统自动化,2017,41(24):10-15.
- Ge Rui, Chen Longxiang, Wang Yiyu, et al. Optimization and design of construction route for electricity market in China[J]. Automation of Electric Power Systems, 2017, 41(24): 10-15(in Chinese).
- [8] De Almeida E L F, Pinto Jr H Q. Reform in Brazilian electricity industry: the search for a new model[J]. International Journal of Global Energy Issues, 2005, 23(2-3): 169-187.
- [9] 托马斯昆·T·毛里西奥.巴西电力发展新模式[M].夏毅,李晨杰,译.北京:中国电力出版社,2016.
- Tolmasquim M T. Novo modelo do setor eletrico brasileiro[M]. Xia Yi, Li Chenjie, trans. Beijing: China Electric Power Press, 2016(in Chinese).
- [10] Maurer L T A, Barroso L A. Electricity auctions: an overview of efficient practices[EB/OL]. [2018-09-20]. <https://openknowledge.worldbank.org/handle/10986/2346>.
- [11] 托马斯昆·T·毛里西奥.巴西电力行业改革[M].葛卫红,代文,兰珊,译.北京:中国水利水电出版社,2015.
- Tolmasquim M T. Power sector reform in brazil[M]. Ge Weihong, Dai Wen, Lan Shan, trans. Beijing: China Water Power Press, 2015(in Chinese).
- [12] ANEEL. Matriz de energia elétrica[EB/OL]. [2018-09-05]. <http://www2.aneel.gov.br/aplicacoes/capacidadebrasil/OperacaoCapacidadeBrasil.cfm>.
- [13] International Hydropower Association. Brazil[EB/OL]. [2018-12-31]. <https://www.hydropower.org/country-profiles/brazil>.
- [14] Wikipedia. Renewable energy in Brazil[EB/OL]. [2019-04-05]. <https://www.lexology.com/library/detail.aspx?g=b75fdb4a-7cba-4593-952d-aeaeae93c47>.
- [15] De Souza Dias V, Da Luz M P, Medero G M, et al. An overview of hydropower reservoirs in Brazil: current situation, future perspectives and impacts of climate change[J]. Water, 2018, 10(5): 592.
- [16] 刘云.我国特高压直流输电技术的巴西本地化工程实施方案[J].电网技术,2017,41(10):3223-3229.
- Liu Yun. Preliminary study on project localization in brazil utilizing Chinese UHVDC technologies[J]. Power System Technology, 2017, 41(10): 3223-3229(in Chinese).
- [17] Schmidt G, Guedes Ribeiro B M, Schmidt, et al. Electricity regulation in Brazil: overview[EB/OL]. [2019-04-05]. [https://ca.practicallaw.thomsonreuters.com/8-545-7207?transitionType=Default&contextData=\(sc.Default\)&firstPage=true&bhcp=1](https://ca.practicallaw.thomsonreuters.com/8-545-7207?transitionType=Default&contextData=(sc.Default)&firstPage=true&bhcp=1).
- [18] de Transmissão Do Setor Elétrico Mapa. Mapa de transmissão do setor elétrico[EB/OL]. [2019-01-04]. <http://sigel.aneel.gov.br/porta/home/group.html?owner=portaladmin&title=Mapas%20B%C3%A1sicos>.
- [19] 李英.巴西电力工业和电价改革及对我国的启示[J].电力技术经济,2006,18(6):23-27,47.
- Li Ying. Revelation on power industry and price reform of Brazil[J]. Electric Power Technologic Economics, 2006, 18(6): 23-27, 47(in Chinese).
- [20] De Araújo W C, Cullen J, Tsamenyi M. Privatisation and electricity sector reforms in Brazil: accounting perspective [J]. Journal of Accounting in Emerging Economies, 2011,

- 1(1): 53-75.
- [21] Barroso L A , Rosenblatt J , Guimaraes A , et al . Auctions of contracts and energy call options to ensure supply adequacy in the second stage of the Brazilian power sector reform[C]//Proceedings of 2006 IEEE Power Engineering Society General Meeting .Montreal ,Que. ,Canada :IEEE , 2006 .
- [22] 国家电力监管委员会 . 南美洲、亚洲、非洲各国电力市场化改革[M] . 北京 : 中国水利水电出版社 , 2006 .  
State Electricity Regulatory Commission. Reform of electricity marketization in South America , Asia , and Africa[M]. Beijing: China Water Resources and Hydropower Press , 2006(in Chinese).
- [23] Melo E , Neves E M A , Pazzini L H A .Brazilian electricity sector restructuring : From privatization to the new governance structure[C]//Proceedings of the 8th International Conference on the European Energy Market . Zagreb , Croatia : IEEE , 2011 .
- [24] Sioshansi F P , Pfaffenberger W .Electricity market reform an international perspective[M] . Amsterdam : Elsevier , 2006 .
- [25] 雷顿·P . 萧山西 . 全球电力市场演进 : 新模式、新挑战、新路径[M] . 于欢 , 译 . 北京 : 机械工业出版社 , 2017 .  
Sioshansi F P . Evolution of global electricity markets new paradigms , new challenges , new approaches[M] . Yu Huan , trans . Beijing : China Machine Press , 2017(in Chinese) .
- [26] Anuatti-Neto F , Hochstetler R L . Brazil's electricity market design : an assessment[EB/OL] . [2019-01-01] . [https://www.researchgate.net/profile/Francisco\\_Anuatti\\_Neto/publication/256042002\\_Brazil%27s\\_Electricity\\_Market\\_Design\\_An\\_Assessment/links/0c960528012f8137f8000000/Brazils-Electricity-Market-Design-An-Assessment.pdf](https://www.researchgate.net/profile/Francisco_Anuatti_Neto/publication/256042002_Brazil%27s_Electricity_Market_Design_An_Assessment/links/0c960528012f8137f8000000/Brazils-Electricity-Market-Design-An-Assessment.pdf) .
- [27] De Almeida E M E M , Da Costa A M A . The new governance structure of the Brazilian electricity industry : How is it possible to introduce market mechanisms? [EB/OL] . 2009[2018-12-30] . <http://www.usaee.org/usaee2009/submissions/OnlineProceedings/papermeloelbia.pdf> .
- [28] Sioshansi F P . Competitive electricity markets : design , implementation , performance[M] . Amsterdam : Elsevier , 2008 .
- [29] ANEEL . Brazilian regulatory framework : analyst update meeting[EB/OL] . [2018-12-04] . [https://www.enelamericas.com/content/dam/enel-americas/en/investor/events\\_and\\_presentations/thematic\\_cycle/2017/Brazilian%20Regulatory%20Framework%20-%20Analyst%20Update%20Meetin g%202017%20v2.pdf](https://www.enelamericas.com/content/dam/enel-americas/en/investor/events_and_presentations/thematic_cycle/2017/Brazilian%20Regulatory%20Framework%20-%20Analyst%20Update%20Meeting%202017%20v2.pdf) .
- [30] Mendes A L S , De Castro N , Brandão R , et al . The role of imbalance settlement mechanisms in electricity markets : a comparative analysis between UK and Brazil [C]//Proceedings of the 13th International Conference on the European Energy Market . Porto , Portugal : IEEE , 2016 .
- [31] Moreno R , Barroso L A , Rudnick H , et al . Auction approaches of long-term contracts to ensure generation investment in electricity markets : lessons from the Brazilian and Chilean experiences[J] . Energy Policy , 2010 , 38(10) : 5758-5769 .
- [32] Dutra J , Menezes F . Lessons from the electricity auctions in Brazil[J] . The Electricity Journal , 2005 , 18(10) : 11-21 .
- [33] Maurer L . The Brazilian electricity sector regulatory framework : the expansion cost of the sector[EB/OL] . [2019-04-05] . [https://www2.gwu.edu/~ibi/minerva/Fall2013/Renata\\_Rosada.pdf](https://www2.gwu.edu/~ibi/minerva/Fall2013/Renata_Rosada.pdf) . )
- [34] Munhoz F C . The necessity of more temporal granularity in the Brazilian short-term electricity market[J] . Sustainable Energy , Grids and Networks , 2017 , 11 : 26-33 .
- [35] Bezerra B , Barroso L A , Granville S , et al . Energy call options auctions for generation adequacy in Brazil[C]// Proceedings of 2006 IEEE Power Engineering Society General Meeting .Montreal ,Que. ,Canada :IEEE , 2006 .
- [36] Dutra J , Menezes F M . Electricity market design in Brazil : an assessment of the 2004 reform[EB/OL] . [2019-01-01] . <http://www.uq.edu.au/economics/abstract/545.pdf> .
- [37] Vieira X , Hochstetler R , Mello J C , et al . Aligning regulatory incentives and price signals in the Brazilian wholesale and retail electricity markets[EB/OL] . [2018-12-30] . [http://www.acendebrasil.com.br/media/academicas/CE-025\\_Aligning\\_Prices\\_and\\_Incentives\\_in\\_the\\_Brazilian\\_Market.pdf](http://www.acendebrasil.com.br/media/academicas/CE-025_Aligning_Prices_and_Incentives_in_the_Brazilian_Market.pdf) .
- [38] Andressa Soares Dos Santos . Análise da participação de pequenas centrais hidrelétricas no mecanismo de realocação de energia[EB/OL] . [2019-04-05] . <http://monografias.poli.ufrj.br/monografias/monopoli10022810.pdf> .
- [39] ANEEL . Mecanismo de realocação de energia[EB/OL] . [2019-04-06] . <https://pontoon-e.com/tag/mecanismo-de-realocacao-de-energia-mre/> .
- [40] Relatório do Grupo Temático . Aprimoramento do MRE[EB/OL] . [2019-04-04] . <http://www.mme.gov.br/documents/36070/525274/MRE.pdf/8a6afd09-3dde-05afd31f-95cfc4430785> .
- [41] Relações Com Investidores CESP . Glossary CESP relações com investidores CESP-relações com investidores[EB/OL] . [2018-12-08] . <http://ri.cesp.com.br/>

- investor-services/glossary/?lang=en.
- [42] Shapiro A ,Tekaya W ,da Costa J P ,et al .Risk neutral and risk averse stochastic dual dynamic programming method [J] . European Journal of Operational Research , 2013 , 224(2) : 375-391 .
- [43] Shapiro A , Tekaya W , Da Costa J P , et al . SDDP algorithm for Brazilian power system generation -based on ONS-GT project[EB/OL] . [2019-04-05] . [http://cermics.enpc.fr/~delara/SESO/SESO2014/SESO2014-Thursday\\_Shapiro.pdf](http://cermics.enpc.fr/~delara/SESO/SESO2014/SESO2014-Thursday_Shapiro.pdf) .
- [44] Fonseca P C . Uma alternativa aos modelos NEWAVE e DECOMP por meio da aplicação de técnicas de inteligência artificial[EB/OL] . [2019-04-05] . [https://repositorio.unifei.edu.br/xmlui/bitstream/handle/123456789/927/dissertacao\\_fonseca\\_2013.pdf?sequence=1&isAllowed=y](https://repositorio.unifei.edu.br/xmlui/bitstream/handle/123456789/927/dissertacao_fonseca_2013.pdf?sequence=1&isAllowed=y) .
- [45] ONS . O Planejamento E A Programação da operação do sin pelo operador nacional do sistema elétrico[EB/OL] . [2019-04-05] . [http://www.nuca.ie.ufrj.br/gesel/eventos/seminariointernacional/2006/artigos/pdf/Mario\\_Daher.pdf](http://www.nuca.ie.ufrj.br/gesel/eventos/seminariointernacional/2006/artigos/pdf/Mario_Daher.pdf) .
- [46] ANEEL .Tarifa branca[EB/OL] .[2018-12-31] .<http://www.aneel.gov.br/tarifa-branca> .
- [47] ANEEL . Sinal econômico para a baixa tensão[EB/OL] . [2018-12-31] . [http://www2.aneel.gov.br/aplicacoes/audiencia/arquivo/2010/120/documento/nota\\_tecnica\\_n%C2%BA\\_362\\_2010\\_sre-srd-aneel.pdf](http://www2.aneel.gov.br/aplicacoes/audiencia/arquivo/2010/120/documento/nota_tecnica_n%C2%BA_362_2010_sre-srd-aneel.pdf) .
- [48] Peduzzi P . Saiba as vantagens e riscos de aderir à tarifa branca de energia[EB/OL] . [2019-04-05] . <http://agencia.brasil.ebc.com.br/economia/noticia/2018-01/saiba-vantagens-e-riscos-de-aderir-tarifa-branca-de-energia> .
- [49] Atualizado Há Um Ano . Tarifa branca vai baratear a conta de luz para quem consome energia fora do horário de pico; entenda[EB/OL] . [2019-04-05] . <https://g1.globo.com/ce/ceara/noticia/tarifa-branca-vai-baratear-a-conta-de-luz-para-quem-consome-energia-fora-do-horario-de-pico-entenda.ghtml> .
- [50] De Brito F R L , Brito A C T , Calil A C , et al . Latest changes in the Brazilian power sector[EB/OL] . [2019-04-05] . [https://uk.practicallaw.thomsonreuters.com/3-617-0810?transitionType=Default&contextData=\(sc.Default\)&firstPage=true&comp=pluk&bhcp=1](https://uk.practicallaw.thomsonreuters.com/3-617-0810?transitionType=Default&contextData=(sc.Default)&firstPage=true&comp=pluk&bhcp=1) .
- [51] ANEEL . Bandeiras tarifárias[EB/OL] . [2019-04-05] . <http://www.aneel.gov.br/bandeiras-tarifarias> .
- [52] 陈敏曦 . 巴西水电发展现状[J] . 中国电力企业管理 , 2017(5) : 90-93 .  
Chen Minxi . Development status of hydropower in Brazil [J] . China Power Enterprise Management , 2017(5) : 90-93(in Chinese) .
- [53] Invest in Brazil . Flag electricity tariff will be yellow in November[EB/OL] . [2019-04-05] . <http://investinbrazil.biz/news/flag-electricity-tariff-will-be-yellow-november> .
- [54] ANEEL . Tarifas de uso do sistema de distribuição[EB/OL] . [2018-12-31] . <http://www2.aneel.gov.br/area.cfm?idArea=96&idPerfil=2&idiomaAtual=0> .



刘方

在线出版日期：2019-07-31。

收稿日期：2019-01-22。

作者简介：

刘方(1989)，男，博士，讲师，硕士生导师，主要从事电力优化调度、电力市场、水电参与市场策略等方面的研究，liufang\_NCEPU@163.com；

张粒子(1963)，女，教授，博士生导师，从事电力系统经济调度、电力市场和电价理论及应用等领域的教学和科研工作

李秀峰(1966)，女，教授级高工，主要从事能源价格和电力市场等方面的研究和应用工作，li\_xiufeng@ctg.com.cn；

韩冰(1982)，女，高级工程师，主要从事电力市场、电价和水电参与市场策略等方面的研究工作，han\_bing@ctg.com.cn。

(实习编辑 朱腾翌)

## Brazil's Electricity Market Research: Electricity Market Reform Process and Market Trading Mechanism

LIU Fang<sup>1</sup>, ZHANG Lizi<sup>2</sup>, LI Xiufeng<sup>3</sup>, HAN Bing<sup>3</sup>

(1. Shanghai University of Electric Power; 2. North China Electric Power University; 3. China Three Gorges Corporation)

**KEY WORDS:** Brazil's electricity market, hydropower enrichment, full-cycle economic dispatch, trading mechanism, medium and long-term contract

The resource endowment, grid structure, supply and demand situations are diversified in different regions of China. The construction of the power market needs to consider local actual conditions and draw on foreign advanced experience to design the appropriate market system and mechanism. As one of the countries with the most abundant hydropower resources in the world, Brazil's market mechanism design has achieved remarkable results in ensuring the reliability of power supply and improving the efficiency of hydropower resources, which provides a reference for the construction of the electricity market in China's hydropower-abundant regions.

This article first introduces the current situation of the Brazilian power industry, reviews the driving factors and processes of market-oriented reforms, analyzes the first stage of the market model and the power crisis, and explains the management structure and institutional functions of the power industry. Then it discusses the actual mode of the Brazilian power market, the intrinsic connection between different trading instruments, the new/commissioned power auction mechanism, the medium and long-term contract method, and the power system dispatch method in detail. Finally, the latest progress of the Brazilian power market is analyzed. Among them, the most significant feature of the Brazilian power industry is that power trading and operation scheduling are conducted independently without interference, and the association is achieved through "guaranteed capacity" and "energy redistribution

mechanism".

The Brazilian electricity market mainly includes the medium-to-long-term contract market and the short-term market (spot market). In the medium-to-long-term contract market, the trading power covers almost all power demand. The short-term market is a "cost-based power pool" market organized by CCEE. Neither the supplier nor the demander quote and the clearing price is obtained by using the same model as the "Minimum Cost Water and Thermal Power Economic Dispatch" of ONS. The deviation between the contracted electricity and the actual electricity of the power generation enterprise is settled at the short-term market price. The structure of the Brazilian electricity market is shown in Fig. 1.

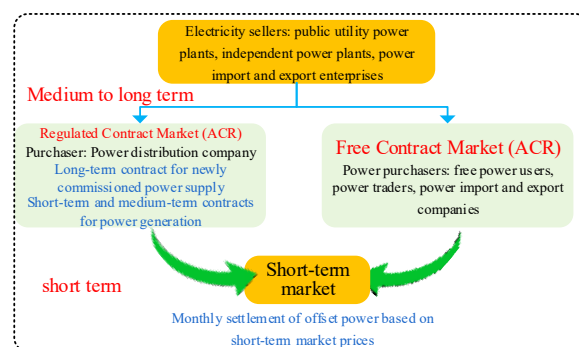


Fig. 1 Brazilian electricity market structure

Brazil's power market focuses on long-term contracts to balance power supply and demand, and the balance is achieved among planning, competition and private investment. Its market mode selection and mechanism design are also well adapted to the rapid development of the power industry and the dominant features of hydropower in the power structure.