

# 能效资源：容量市场的又一参赛者

李若水, Zachary Ming (E3)

陈晶盈, Max Dupuy (睿博能源智库)

## 前言

2023年4月，国家能源局公开征求的《关于加强新型电力系统稳定工作的指导意见（征求意见稿）》意见的通知，对加强电力市场管理提出了明确的要求。这其中就包括“推动建立容量市场，激励支撑调节资源建设”。该通知与2022年初国家发展和改革委员会和国家能源局印发的118号文件相呼应，再次呼吁了建设符合各地区电力市场环境的容量补偿机制。

在睿博能源智库（RAP）此前的研究中，我们基于美国经验对容量市场的设计原则进行了探讨，并提出了实施容量市场需谨慎考虑的因素及设计不当可能带来的风险<sup>2</sup>。其中一条建议就是“让所有的资源在一个公平的环境中竞争，包括需求侧资源，如对能效（项目）的投资”。在中国，工业重点领域的能效提升长期备受瞩目<sup>3</sup>，优化建筑对能源的使用，提升商业和居民用能设备能效水平也持续得到关注<sup>4,5</sup>。国际上，这类能效资源还可以通过参与容量市场加快其推广的步伐，以更清洁的方式助力达成电力可靠性目标。在美国，联邦能源监管委员会

<sup>1</sup> 感谢睿博能源智库王轩，高驰，何梟对本文的贡献。

<sup>2</sup> 睿博能源智库. (2023). 容量补偿机制设计应如何“扬长避短”？<https://www.raonline.org/knowledge-center/capacity-mechanisms-whitepaper-cn/>

<sup>3</sup> 中国国家发展和改革委员会. (2023). 工业重点领域能效标杆水平和基准水平（2023年版）. [https://www.ndrc.gov.cn/xxqk/zcfb/tz/202307/t20230704\\_1358113.html](https://www.ndrc.gov.cn/xxqk/zcfb/tz/202307/t20230704_1358113.html)

<sup>4</sup> 中国国家发展和改革委员会. (2022). 重点用能产品设备能效先进水平、节能水平和准入水平（2022年版）. [https://www.ndrc.gov.cn/xxqk/zcfb/qhxxwj/202211/t20221117\\_1341455.html](https://www.ndrc.gov.cn/xxqk/zcfb/qhxxwj/202211/t20221117_1341455.html)

<sup>5</sup> 例如，能效项目包括用能系统优化、提高建筑隔热性能、替换或选购节能电器设备，等等多种项目措施。

(FERC) 颁布的第2222号法令<sup>6</sup>提出，区域电力批发市场应允许能效资源等分布式能源参与市场，使其作为供给侧资源与电力市场中的传统发电资源及其他大型电网资源公平竞争，自此成为比传统资源更低价、清洁、可靠的替代品。

在本文中，我们基于美国的经验对终端能效资源<sup>7</sup>参与容量市场的实践方式进行探讨。主要围绕着确定终端能效资源参与容量市场的资质、及测量和验证能效项目有效指标的方法等主题，为推进容量市场与能效资源的共同发展提供有益的参考。

## 能效参与容量市场的经验总结

不断有研究指出，能效通常是比投资传统供应侧资源（如发电厂等）更具有成本效益的替代方案<sup>8</sup>。意识到能效项目在传统机制中的发展壁垒，以PJM、ISONE为代表的美国RTO<sup>9</sup>区域内的能效资源逐渐开始参与容量市场。尽管目前其参与的具体规则和程序仍在不断地被修订和优化，但其潜力也在逐渐得到发掘。以ISONE为例，自允许能效资源参与容量市场竞争以来，该区域最佳资源组合中累积的能效容量在七年内已经翻了一倍<sup>10</sup>。

当终端能效资源参与容量市场时，它能够与其他备选资源进行公平竞争，从而以更经济、低碳的方式决定系统的最优资源配置。这种参与容量市场的方式使得终端能效资源能够在资源配置中发挥重要作用，并为整个系统的高效运行做出贡献。基于美国的经验，以下将总结几个将能效资源纳入容量市场的步骤建议。

### 确定参与市场竞争的能效资源的资质

不同用电行业和场景下通常有多种类型的能效措施，但技术类能效项目应通过特定的筛选条件获得参与容量市场竞争的资格。

- 在容量市场上，能效项目通常可以分为两类竞价项目：第一类是安装和

---

<sup>6</sup> U.S. Federal Energy Regulatory Commission, Docket No. RM18-9-000, Order No. 2222 on September 17, 2020. <https://www.ferc.gov/media/ferc-order-no-2222-fact-sheet>

<sup>7</sup> 这里的终端能效项目主要指提升负荷侧的能源利用效率，而非燃煤电厂改造或电网减少线损等电源侧或电网侧的能效提升。

<sup>8</sup> Berkeley Lab. (2021). Still the One: New Study Finds Efficiency Remains a Cost-Effective Electricity Resource. <https://emp.lbl.gov/news/still-one-new-study-finds-efficiency-remains>. 更多研究见 Berkeley Lab 的出版清单：<https://emp.lbl.gov/projects/what-it-costs-save-energy>

<sup>9</sup> RTO代表区域输电组织。在美国，它与ISO(独立系统运营商)几乎是一个同义词。所以在本文中，我们用RTO统一代表。

<sup>10</sup> 睿博能源智库. (2014). Energy Efficiency Participation in Electricity Capacity Markets – The US Experience. <https://www.raonline.org/wp-content/uploads/2016/05/rap-nemecowart-ee-participation-in-electricity-capacity-markets-2014-sept-12.pdf>

使用先进的高能效产品设备，第二类则是优化有效削减尖峰时期容量需求的系统或流程<sup>11</sup>。

- 第二类能效项目包括无需消费者调整用能模式或无需调度机构主观调度下便能削减负荷的措施。此定义用于区分因市场设计或调度行为而减少负荷的需求响应措施，以避免重复补偿。
- 为了易于市场的运行管理，RTO通常会设置一个最小竞价容量的门槛。然而，不管是在ISONE还是PJM，区域容量市场都允许多种能效项目聚合，然后根据组合的成本效益和节能效果投标竞价。这样，无法单独达到市场最小容量要求的能效项目也有机会参与竞争。但要注意，具体准入规模应在维护市场运行效率和鼓励能效项目参与市场竞争之间达成一个平衡，避免由于准入门槛过低造成竞价资源数量过多，或由于准入门槛过高错失较小项目发挥作用的机会。
  - 以ISONE和PJM为例，它们对于竞价容量的最低要求为100千瓦，大约相当于在用电高峰期间能够节省高达2万个紧凑型荧光灯泡（CFL）的容量<sup>12</sup>。即使这与传统中小型发电厂的规模（约100兆瓦）不在一个量级，但也被允许参与竞争。
- 取决于各RTO的规则，出清的能效项目能获得容量补偿的年限可能有所不同。例如，ISONE允许达到预期节能效果的用能产品或能效措施在整个生命周期内都获得容量补偿，而PJM只准许项目在出清的四年之内获得容量市场的支付<sup>13</sup>，即使该项目在未来都会持续削减用电需求。PJM认为，在预测未来高峰负荷和资源容量需求时，会将四年前实施的能效项目节能效果纳入考虑，因此缩短支付年限可以简化负荷预测和避免重复支付。

### 衡量能效项目的有效容量

为更好地支持能效项目在容量市场中与传统资源公平竞争，终端能效项目应通过科学的模型量化其削减尖峰电力需求的“有效容量”。美国普遍采用失负荷概

---

<sup>11</sup> PJM. (2023). PJM手册18: PJM容量市场. 章节 4.4 Energy Efficiency Resources : <https://www.pjm.com/-/media/documents/manuals/m18.ashx>

<sup>12</sup> 同10, 见第5页。

<sup>13</sup> Spees, K.; Graf, W.; & Pfeifenberger, J. (2021). The Benefits of Energy Efficiency Participation in Capacity Markets. 见表格1. <https://www.aee.net/hubfs/The%20Benefits%20of%20Energy%20Efficiency%20Participation%20in%20Capacity%20Markets1.pdf>

率模型(Loss of Load Probability Modeling)来模拟资源在不同负荷情景和极端条件下的出力特性，并用有效载荷能力(Effective Load Carrying Capability)量化其有效容量<sup>14</sup>。此类测算主要是为了从系统规划的角度来测算能效对满足负荷峰值的贡献，RAP过去的研究也曾多次探讨过量化资源可靠性贡献以及对各类资源进行横向对比的方法<sup>15, 16</sup>。

### 能效项目测量和验证 (M&V) 过程

通过提高使用效率而节约的能源通常很难在电表中直接计量，因此需要有标准、清晰的框架准则来衡量能效项目实施前后产生的实际节能量，以评价其有效性和影响力。

国际能效检测与确认规程 (IPMVP)<sup>17</sup>是目前行业内较为标准的测量和验证节能量的准则，其中对正确测定节能量的基本概念和方法做出了解释。在容量市场中交付的能效项目也可直接运用这些被广泛采纳的规程来制定能效M&V方案。例如，对改造前后的用能产品或节能措施进行单个测量,或从设施整体的角度来定义能耗基线并测量节能量等。又例如，使用统计学的方式确认节能量测量的准确度和可信度，或是在历史用能数据不存在的情况下通过软件模拟能耗改变幅度等方式来计算节能量。

在测量和验证过程的最后一个环节，电力系统运营商应按绩效支付补偿，并对出力不足、表现不佳的能效项目采取跟其他资源种类同等的惩罚制度。

### 避免错估系统资源需求：负荷上调

美国RTO的负荷预测里会假定实施部分基准能效项目（主要来自用电行业的节电容量潜力），并由此下调总负荷预测，再以下调后的需求为基准，在概率模型中估算满足系统可靠性所需的备用容量。这些基准能效项目应该被鼓励继续参与容量市场的竞争，但任何被选中出清的基准能效项目的能效值都必须在负荷预测中重新上调，以消除其先前对负荷预测的影响。此步骤旨在确保系统能获得足

---

<sup>14</sup> E3. (2021). ELCC Concepts and Considerations for Implementation. [https://www.nyiso.com/documents/20142/24172725/NYISO%20ELCC\\_210820\\_August%2030%20Presentation.pdf](https://www.nyiso.com/documents/20142/24172725/NYISO%20ELCC_210820_August%2030%20Presentation.pdf)

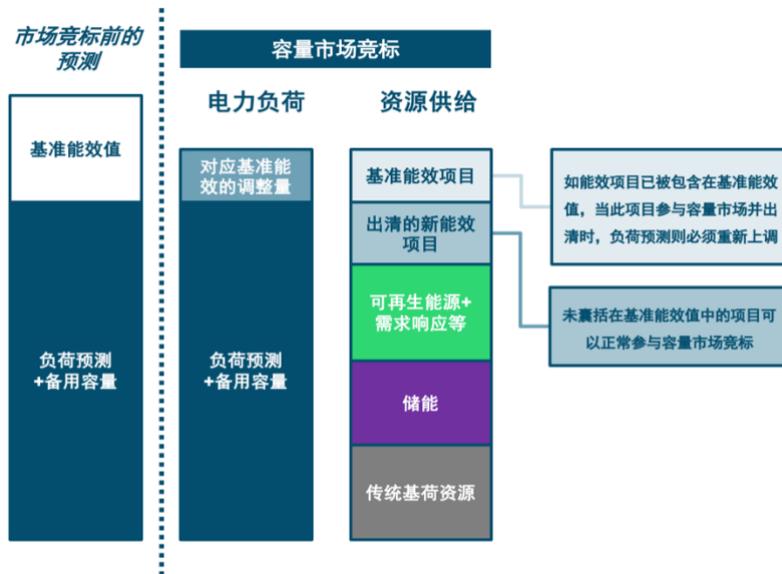
<sup>15</sup> 睿博能源智库. (2023). 新形势下的电力行业改革: 促进系统稳定性、降低风险、加速碳达峰. <https://www.raonline.org/knowledge-center/practical-power-sector-reforms-to-boost-reliability-reduce-risk-and-accelerate-carbon-peaking-cn/>

<sup>16</sup> 同2.

<sup>17</sup> IPMVP. (2002). International Performance Measurement & Verification Protocol: Concepts and Options for Determining Energy and Water Savings. <https://www.nrel.gov/docs/fy02osti/31505.pdf>

够的容量资源，并避免同一项目的重复计算<sup>18</sup>（见下图）。

图一. 基准能效项目出清时负荷上调的原理



## 总结

由于终端能效资源广泛的发展前景、较高的成本效益，和助力能源转型的巨大潜力，推动终端能效资源参与容量市场将创造更广泛的效益，襄助持续落实节能降碳的方针。

在本文中，我们详细讨论了将能效资源纳入容量市场的实践方式，包括：

- 确定能效项目资质：确保项目符合能效资源的特征，设置最小市场准入容量但准许项目聚合，并定义能效项目获得容量支付的年限。
- 科学衡量有效容量。
- 能效项目采用国内外节能量测量与验证(M&V)的最佳实践。

值得注意的是，这些规则应当避免因不必要的限制而造成门槛过高，由此降低能效项目参与容量市场的效率。以适合的方式将能效资源视作市场主体参与竞争，可以充分发挥其优势，降低供电成本，增强系统灵活性，并减少高峰负荷对其他可调度资源的需求。中国部分地区的电力政策已经为将灵活调节资源纳入容量市场提出设计<sup>19</sup>，而促进能效参与容量市场又将会是减碳保供的一大助力。

<sup>18</sup> 同11. 章节 2.4.5.

<sup>19</sup> 中国国家能源局西北监管局. (2022). 西北电网灵活调节容量市场运营规则（征求意见稿）.



**RAP**<sup>®</sup>

Energy Solutions for a Changing World

---

**Regulatory Assistance Project (RAP)**<sup>®</sup>  
Belgium · China · Germany · India · United States

---

CITIC Building, Room 2504  
No. 19 Jianguomenwai Dajie  
Beijing, 100004

---

中国北京市建国门外大街 19 号  
国际大厦 2504 室  
邮编: 100004  
**raponline.org**

© Regulatory Assistance Project (RAP)<sup>®</sup>. This work is licensed under a Creative Commons Attribution-NonCommercial License (CC BY-NC 4.0).