

# 建立以资源充足性规划为基础的容量 补偿机制

王轩

睿博能源智库

## 背景和讨论<sup>1</sup>

各省和地区正在加快建设现货市场，推动电力现货市场在全国范围内的全覆盖。在新出台的《电力现货市场规则》中，现货市场的中长期建设目标包括“持续完善适应新型电力系统的电力市场机制，通过市场时空价格信号实现源网荷储各环节灵活互动、高效衔接，促进保障电力供应安全充裕。”规则要求开展现货市场的地区，要做好市场限价、市场结算、发电成本调查等与容量补偿机制的衔接。具备条件时，可探索建立容量市场。近日国家发展改革委、国家能源局联合印发《关于建立煤电容量电价机制的通知》，决定自2024年1月1日起建立煤电容量电价机制，对煤电实行两部制电价政策。通知指出“不符合国家规划的煤电机组，不满足国家对于能耗、环保和灵活调节能力等要求的煤电机组，不执行容量电价机制。”<sup>2</sup>虽然具体规则还有待明确，这一条规定了容量电价适用机组需要满足的基本条件，国际经验表明符合资源充足性规划应该成为任何资源获得容量电价的一个必选项。

山东、云南、广东，四川，西北、华北等地区已经开始容量补偿试点，以期望减少煤电亏损，激励煤电支持保供，增加煤电灵活性改造。然而，除非这些容量补偿机制设计精准得当，否则可能导致不必要的风险，包括容量过剩、不合理的资源组合、过高的

<sup>1</sup> 感谢睿博能源智库Max Dupuy, 高驰, 陈晶盈, 何泉对本文的贡献。

<sup>2</sup> 国家发改委、国家能源局.(2023年11月).《关于建立煤电容量电价机制的通知》发改价格〔2023〕1501号.

[https://www.ndrc.gov.cn/xxqk/zcfb/tz/202311/t20231110\\_1361897.html](https://www.ndrc.gov.cn/xxqk/zcfb/tz/202311/t20231110_1361897.html)

成本和排放，以及阻碍系统灵活性和减缓电力行业转型<sup>3</sup>。国际上，有许多关于容量补偿机制的例子可供中国借鉴，以防造成不适当的容量补偿<sup>4</sup>。

事实上，中国西北和华北地区率先对容量资源市场化补偿进行了探索，《西北区域灵活调节资源容量市场运营规则》<sup>5</sup>对西北区域容量市场成员、市场交易和市场监管做出了规定，并通过附录中的公式来计算未来一个月（次月）顶峰容量需求。这是将容量补偿机制和资源充裕性规划相结合的一个有益的尝试，虽然有很多细节仍然需要改进<sup>6</sup>。华北地区规定“华北调峰容量需求由运营机构根据新能源消纳计算结果确定。华北分中心根据中长期系统负荷预测、新能源预测、未来跨区跨省联络线计划，考虑新能源投产时序、民生供热，在满足电网安全、电力平衡的前提下，最大限度保障新能源消纳，计算调峰容量需求。”华北每年底计算次年调峰容量需求，根据市场周期滚动更新调峰容量需求，并在附录中给出了计算公式<sup>7</sup>。然而，这些例子与设计良好的容量补偿机制仍存在距离。从附录的简单公式中并不能看出数据、假设、方法论和结果。任何一个容量补偿机制需要有充分和详细的资源充裕性规划来支撑，以确定容量补偿支付给所需的资源，并为提高可靠性做出了贡献。相关政策制定机构应该给予更多的指导，对全国范围内的容量补偿工作进行规范。

在容量补偿机制方面，最重要的国际最佳实践之一是基于前瞻性的、科学透明的电力系统容量充裕度分析来决定需要多少容量，并采用竞争性的采购来获取所需容量。欧洲以及美国的主要容量机制的共性都可以说明这一点的重要性。欧洲内部电力市场法中规定“容量提供商和容量补偿金额必须由透明、非歧视和竞争的程序实现。”<sup>8</sup>由此，行政制定的容量补偿机制已经退出欧洲。对中国而言，目前最基本、可行的要求是明确任何容量补偿机制必须以前瞻性的，科学透明的资源充足性规划为基础，测算所需要的容量资源。类似于西北地区确定顶峰容量需求的过程，这包括对负荷、联络线进出口、常规火电、水电，新能源的预测，以及在一定可靠性目标下备用容量的精确计算。电力市场监管部门和运营机构需要将计算的数据、方法论、过程和结果以报告的形式向公众公开，有助于对是否存在可靠性和容量短缺的问题提供有力的支撑，并确定经济可行的

---

<sup>3</sup>睿博能源智库。(2023)。从欧美实践看容量补偿中的关键考虑因素。<https://www.raonline.org/knowledge-center/key-considerations-for-capacity-payment/>

<sup>4</sup> Dominic Scott, Bram Claeys & Zsuzsanna Pató. (2023). Capacity markets — six mitigations for six drawbacks. Regulatory Assistance Project. Available at: <https://blueprint.raonline.org/deep-dive/capacity-remuneration-mechanisms/>

<sup>5</sup> 西北监管局。(2022)。西北区域灵活调节资源容量市场运营规则（征求意见稿）。<http://xbj.nea.gov.cn/website/Aastatic/news-237187.html>

<sup>6</sup> 我们在近期的文章中针对西北调节资源容量市场提出了具体的建议，详情可见：睿博能源智库。(2023)。西北电力市场的最优选择：灵活调节容量市场或区域现货市场？<https://www.raonline.org/knowledge-center/rap-china-northwest-capacity-market/>

<sup>7</sup> 华北能源监管局。(2021)。关于印发《华北电力调峰容量市场运营规则（暂行）》的通知。<https://news.bjx.com.cn/html/20211020/1182693.shtml>

<sup>8</sup> The European Parliament and of the Council. (2019). *The internal market for electricity*. <https://eur-lex.europa.eu/legal-content/EN/TXT/?uri=CELEX%3A02019R0943-20220623>

规划备用和需要新增（或降低）容量，以避免对不必要的资源提供容量补偿，减少容量补偿所带来的风险。我们根据国际经验结合中国现有机制，在此总结了一些值得借鉴的做法，希望对中国制定相应的政策提供参考。

## 资源充足性规划的几个关键步骤

### 合理预测负荷、电网和电源的变化

近年来，分布式资源、能效、需求响应、储能等需求侧资源的发展使得负荷预测按照历史数据增长的方法不再适用，另外，工业、交通和建筑的电气化也使得负荷曲线出现了新的特征。从供应侧来看，现有和新建资源（包括可再生能源和传统的电源）以及电网互联对可靠性做出的贡献如何量化？这需要综合考虑燃料供应、计划/非计划停产、天气变化、出力限制、电网结构等因素的基础上评估每种资源满足峰值负荷或者净负荷的贡献，或称为容量价值或可信容量。储能、可再生能源以及传统电源的容量价值都需要根据系统变化不断更新评估；例如，燃料短缺或成本增加可能会导致多个火电机组无法发电的情况，因此，由历史数据所预测的单个火电机组容量价值就需要重新评估。

在电力市场迅速发展的背景下，电价和碳价的变动，以及气候变化和极端天气等因素也为供需两侧的预测增加了更多的不确定性。这些不确定性的增加使得电力规划越来越需要基于情景的可能性概率分析，并向时空颗粒度更精细的方向发展。另外，以区域为边界进行资源充足性评估，能够更好地发挥省间资源共享，在区域调度的前提下，以较少的资源满足可靠性并帮助可再生能源并网。例如，由于更大的地理范围，区域的最高峰值负荷常常小于各个省的峰值负荷的简单总和。同时，可再生能源的波动性也较为平滑。

### 设定可靠性标准，规划备用容量

根据事前确定的可靠性标准<sup>9</sup>来推断需要满足不同时间跨度（多年，年，季度，月度）的规划备用容量，以及所需新增（或减少）的容量。这里的可靠性标准除了技术性以外还要考虑经济性，由于可靠性的提高伴随着系统成本的增加，因此，需要在投资新资源成本和不同用户的失负荷价值之间找到平衡。中国尚未出台具体的可靠性指标，在确定经济可行的备用容量方面缺乏统一标准。地方政府和电网公司可能出于对可靠性的过度担忧，规划超过所需的备用容量，导致不必要的成本和排放。中央政府机构可以出

---

<sup>9</sup> 通常表现为未满足的需求和失负荷预期'expected energy not served' and 'loss of load expectation' 欧盟对于可靠性标准具体的计算方法可见：[https://acer.europa.eu/Decisions\\_annex/ACER%20Decision%2023-2020%20on%20VOLL%20CONE%20RS%20-%20Annex%20I.pdf](https://acer.europa.eu/Decisions_annex/ACER%20Decision%2023-2020%20on%20VOLL%20CONE%20RS%20-%20Annex%20I.pdf)

台相关的可靠性标准规定，并委托有资质的独立专业机构协调地方能源监管机构、电网公司（调度）来确定可靠性标准和完成区域资源充足性规划。

## 采取措施满足容量需求

经过科学的资源充足性评估，评定是否存在可靠性问题，以及决定需要多少容量来解决可靠性问题之后，监管者需要考虑采用什么措施来支持所需要的容量。根据每个国家和地区的特定情况，国际上存在许多种容量补偿机制。在美国，一些地区采用集中性的容量市场（PJM，ISO-NE，NYISO），而另外一些地区仅制定容量充裕度责任（MISO、SPP、CAISO），或者采用稀缺电价（ERCOT）。美国也在讨论如何更进一步改革现有的容量补偿机制，以减少不必要的过剩容量，增加所需的电力系统灵活性、可靠性，并支持电力系统清洁转型。越来越多的行业人士认为资源充足性已经从传统的计算需要多少发电容量来满足最大需求，转变为在未来可能的情景下，需要什么资源来提供一系列系统所需要的服务<sup>10</sup>。另外，在实施层面，集中容量市场中系统运行商在FERC监管下，拥有制定容量要求、组织容量市场、保证发电侧和负荷侧履行容量义务的责任，而其他地区州政府和地方监管机构的作用更为明显，能够更好地协调各方利益<sup>11</sup>。

## 欧洲中长期资源充足性评估相关的经验

2019年，欧盟的“为所有欧洲人提供清洁能源一揽子计划”（一项能源政策法律框架），要求制定并概述中长期资源规划的流程。新规划流程以整个欧洲为范围，横跨10年的时间跨度，为10年中的每一年都公布具体工作成果和详细的数据<sup>12</sup>。这种资源充足性规划希望通过分析负荷、电网、发电等未来电力系统的需求和变化，找到与2050年欧洲达到气候中性相符合的发展方向并减少相关的风险。

---

<sup>10</sup> 多数ISO/RTO规定需要在峰值容量之上增加12-18%的备用容量，而一些可再生能源占比高的地区，也有对灵活性的要求，表现为每分钟的容量变化。

<sup>11</sup> Rob Gramlich, Michael Goggin. (Nov.2019). *Too much of wrong thing: the need for capacity market replacement or reform*. Grid strategies. Available at <https://gridprogress.files.wordpress.com/2019/11/too-much-of-the-wrong-thing-the-need-for-capacity-market-replacement-or-reform.pdf>

<sup>12</sup> ENTSO-E. European Resource Adequacy Assessment. <https://www.entsoe.eu/outlooks/eraa/>

图1. ENTSO-E 资源充足性规划流程



其中，经济可行性评估是基于对目标年资源在电力市场中的收入和成本进行比较，来分析资源在新建、退出、转为战略备用或者延长寿命的情况下可能发生的结果。这种评估是在满足负荷和备用需要、资源技术、电网构架、市场以及监管条件下，最终以减少系统总成本（固定成本和在经济调度下的总运行成本）为目标来优化所有容量资源。在电力市场和监管方面，经济可行性评估会反映以下几点限制：

- 在无容量补偿情景中，已拿到容量合同的资源在整个合同期被排除在经济可行性评估之外，只考虑市场资源在电能量市场中可以获得的收入（中长期、现货、辅助服务）。以这种情景为基础，评估电力资源充足性，最后再加入已拿到容量合同的资源。
- 在容量补偿情景中，对于有容量补偿机制的区域，主要针对在经济评估时已拿到合同（有时也包括额外容量补偿）的资源，将这些非市场化资源<sup>13</sup>加入到之前的情景中，如果能够满足可靠性标准则停止，否则需要对容量资源运行多轮优化模拟和资源充足性评估，直到每个平衡区满足各个成员国预设的可靠性标准。在这个过程中，必须遵守容量补偿的环境限制，即对在目标年超过二氧化碳排放限值的资源不得将容量补偿计入收入。
- 包括具体技术的退出和限制政策（例如，煤电和核能）
- 包括具体技术的支持政策（例如，可再生能源配额，能效目标）
- 其他可能在目标年实施的，能够影响系统成本或者资源经济可行性的政策或市场规则，例如，价格限制，对投资的监管、政策限制或不确定性。

综合地看，在有容量补偿和无容量补偿情景下，目标年根据经济可行性评估之后的资源组合和国家预计的资源组合比较，就可以估计容量补偿机制会导致资源组合发生的变化，从而改善容量补偿机制的设计。2022年的资源充足性评估报告显示，在无容量补偿情景下，2025年和2027年的电能量市场会加速削减缺乏经济性的燃气和燃煤机组，

<sup>13</sup> 2022年报告中，非市场化资源只是在经济可行性评估和资源充足性评估之后加入，从而减少未满足的需求和失负荷预期，这些资源并不参与市场化资源的容量优化。ENTSO-E. *European Resource Adequacy Assessment 2022 edition. Annex 2 Methodology.*

[https://eepublicdownloads.azureedge.net/clean-documents/sdc-documents/ERAA/2022/data-for-publication/ERAA2022\\_Annex\\_2\\_Methodology.pdf](https://eepublicdownloads.azureedge.net/clean-documents/sdc-documents/ERAA/2022/data-for-publication/ERAA2022_Annex_2_Methodology.pdf)

由此可能引发可靠性风险。到2030年，由于需求响应和储能等新型资源不断进入市场以及输电网络的发展，评估中无容量补偿情景下的经济可行容量与预计资源组合的容量差距就小了很多。这里“预计资源组合”是指自下而上的，各国家输电系统运行商（TSO）根据已有的资源以及规划所得出的，未来最可能形成的资源组合<sup>14</sup>。目前，这种分析对于欧洲容量补偿机制的讨论有很大帮助，可以帮助了解到是否需要容量机制，现有容量机制会在多大程度上增强可靠性，容量机制在什么时候可以退出这样的问题，为电能量市场的不断改进从而促进灵活性资源和容量机制的改善和最终退出提供决策支持。

2023年2月，欧盟能源监管合作机构（ACER）对2022年资源充足性规划报告进行了审核，由于其中一些地方未满足ACER要求，最终并未批准采纳。其中一些原因在于ACER认为资源充足性规划应该更好地结合欧盟Fit for55 减排目标（包括更高的能效目标），协同与输电网络的十年长期规划，以及体现欧盟在跨区域输电容量的最新规定。在经济可行性评估方面，ACER建议更好地协调投资与风险评估，特别是，由于ENTSO-E低估了相应资源在电能量市场的收入，并高估了区域间电力传输的风险，最终导致高估资源充足性不足的风险<sup>15</sup>。

## 对中国的启发

在现阶段，中国的现货市场仍在建设中，交易机制、监管机制、信息披露机制等均不完善，因此需要防范容量补偿机制的负面影响。中央能源监管机构可以制定统一的政策，要求任何地方容量补偿机制：

- 明确各个机构责任，建立资源充足性规划流程。将资源充足性规划和容量补偿机制相连接。
- 以附录的形式明确定义未来某个时间所需容量：对区域和各省的所需容量的计算，需要详细列出关键要素（负荷、电力交易输入/送出、电网发展、可用发电容量）的预测方法和数据。开展相关情景分析，例如，对极端天气、电气化和其他不确定性的考虑和结果说明。
- 对可靠性标准的叙述，以及相应的备用容量的计算和结果进行解释。
- 容量支付对象所需要满足的条件，例如，能效、环境、灵活性和其他容量具体技术标准。

---

<sup>14</sup> 在2022年经济可行性评估中，ENTSO-E只对煤电和燃气为主的非可再生能源进行了评估，而且由于高估了市场风险等各种因素，在无容量补偿机制下容量总量预计可能较为保守。ENTSO\_E. *European Resource Adequacy Assessment 2022 edition*. Economic Viability Assessment. Available at <https://www.entsoe.eu/outlooks/eraa/2022/>

<sup>15</sup> ACER. (Feb. 2023). *Decision on the European Resource Adequacy Assessment for 2022*. Available at [https://www.acer.europa.eu/Individual%20Decisions/ACER\\_Decision\\_04-2023\\_ ERAA\\_2022.pdf](https://www.acer.europa.eu/Individual%20Decisions/ACER_Decision_04-2023_ ERAA_2022.pdf)

- 容量补偿机制能够达到的效果，说明容量支付是否能够改善可靠性和灵活性，对于现有和未来容量资源所带来的改变（例如，帮助可再生能源并网），是否会对电能量市场和终端电价产生不利的影响等进行讨论。
- 是否支持双碳和其他环境目标，如果不能提出具体的应对措施。
- 在整个资源充足性规划和容量补偿机制的相关政策制定过程中，坚持公开透明的原则，加强公众参与，为相关方提供所需要的数据、假设、方法论、结果解释。这有助于增强规划的质量和可信度，也有助于在实际中更好地利用规划支持地区容量补偿政策实施。

未来，随着电力市场的完善，容量补偿作为补充机制，可以发挥市场调节的作用，以达到多重目标。我们建议将容量补偿和资源充裕度规划更好地相结合，这意味着：

- 如果一个区域的容量过剩，则不支付容量补偿(容量市场的价格趋向零)，让电能量市场发挥作用，使得不经济、不清洁、不灵活的资源首先退出。
- 如果一个区域的容量紧平衡，可以改进电能量市场定价机制，例如，通过备用紧缺电价（**reserve scarcity pricing**）在系统紧张时暂时提高限价，激励更多需求侧资源（特别是虚拟电厂、储能）、跨省跨区输电和现有灵活资源发挥作用实现供需平衡。
- 如果一个区域需要扩容来达到规划备用和可靠性标准，容量补偿可以根据单个资源对峰值负荷或者系统调节的贡献（容量价值）来支付，并设置严格惩罚措施来保证实施。理论上，容量补偿不应该只针对特有的资源和技术，而是应该采用一套统一面向所有资源的评价容量贡献的方法，并依此对所有能够满足要求的资源开展公平竞标（除了煤电外，波动性可再生能源、储能和需求响应都可以提供一定容量价值）。同时，容量补偿标准也应该通过竞争过程来决定，不应该覆盖所有固定成本，而是让资源有动力在供应紧张时通过提供电能量/辅助服务来回收大部分固定成本。
- 为了避免容量补偿锁定化石能源的弊端，在满足现有环境、能耗标准的基础上，还要额外加强碳交易或者建立针对化石能源的碳排放标准，并根据双碳目标要求逐步收紧碳排放总量和强度指标，以实现电力系统的低碳发展。



**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).