

电力现货市场风险管理

资源充足性规划

睿博能源智库

前言

目前，中国正处于迎峰度夏时期¹，局部地区高峰时段出现供应偏紧，加上极端天气的作用，一些地区的供电形式更加严峻。在中国“十四五”严格控制煤电增长和“十五五”之后逐步退煤的大背景下，如何更好地利用包括清洁能源、需求侧管理和储能资源提升电力供应保障能力，以及通过增强省间余缺调剂能力，实现大范围资源优化配置，是中央政府密切关注的话题。解决这些问题的一个重要前提是建立更科学、透明和理性的流程来定期考查资源充足性，并以透明的方式使得区域和省级电力行业决策者和相关方对资源充足性规划要求达成一致，从而指导投资决策和促进电力市场资源竞争。国际上，针对不同的问题和要实现的目标，存在许多种电力规划。我们在之前的文章²中建议中国的电力批发市场采取美国区域输电组织³（RTO）的形式。在这种结构下，区域市场定价和包

¹ 国家发改委.(2021年7月). 关于做好2021年能源迎峰度夏工作的通知.

http://www.gov.cn/zhengce/zhengceku/2021-07/24/content_5627075.htm

² 睿博能源智库(2020年). “能源革命”与电力行业改革：从国际对比视角看中国南方电网面临的挑战.

https://www.raponline.org/knowledge-center/energy-revolution-power-sector-reform-insights-challenges-china-southern-grid-region-from-comparative-international-perspective_cn/ 以及，睿博能源智库(2021年).中国西北地区电力行业转型和煤电退出路线图：政策和监管策略.<https://www.raponline.org/knowledge-center/rap-road-map-power-sector-transition-coal-generation-retirement-northwest-china-2021-may-cn/>

³ 在美国，独立系统运营商（ISO）和区域输电组织（RTO）几乎同义，这里统一用RTO来描述在美国电力现货市场负责市场运营和系统调度的组织。

括资源充足性规划和输电规划在内的RTO规划将在引导投资方面发挥关键作用。

其中，资源充足性规划的重要性包括：

- 解决电力行业转型过程中对可靠性担忧；
- 保证电力市场有充裕的资源，在大多数情况下能够良性运行，抑制供应短缺时出现市场力操纵的情况；
- 提高电力系统韧性以应对气候变化带来的挑战；
- 合理化电力系统投资，防范煤电产能过剩风险；
- 增加公众对市场机会的认识，提高社会资本参与度并促进竞争。

根据《电力规划管理办法》⁴，中国的电力规划分为全国电力规划（含区域）和省级电力规划，时间跨度是五年，并展望十年至十五年的电力发展趋势。目前的电力规划主要围绕电源规划（决定各电源的建设规模和布局）和电网规划（决定电网项目的建设安排）。负荷预测通常是通过专项研究来作为信息输入的。此外，针对季节性的用电高峰，各地通过开展迎峰度夏工作、安排有序用电等方式解决暂时供需矛盾。我们认为可以在全国范围内有规律地开展科学合理的电力充足性规划，增加信息透明度，从而使得电力市场更好地发挥配置资源和调剂供需的作用。

在中国可再生能源大规模发展、现货市场还不完善、负荷越来越尖峰化，以及气候变化的影响下，电力系统维持可靠性和清洁转型的挑战也随之增加。我们建议国家能源局基于现有的《电力规划管理办法》出台全国性的指导准则，建立按区域进行资源系统充足性规划的机制和流程，并在此基础上，对负荷预测、发电资源可用容量分析，系统可靠性目标，规划备用容量等关键步骤进行方法的统一、加强标准化规范和信息透明化。这种标准化有助于在区域内部和区域之间促进资源共享，简化对电网公司、发电商和零售商的监管，并为灵活统一的区域电力市场打下基础。

为帮助国家能源局设计资源充足性规划的高级别准则，我们下面结合国际经验并针对一些细节给出一些简单的想法和建议。这些建议集中在角色和责任、规划周期和时间跨度、负荷预测⁵、设定可靠性目标、确定规划备用容量、报告和

⁴ 能源局（2016）《电力规划管理办法》http://www.gov.cn/gongbao/content/2016/content_5145577.htm

⁵ 本篇文章中的负荷预测指中长期负荷预测，也就是月到年，以及更长时间段内的负荷预测。

透明度几个方面，希望能对政策制定者有所帮助。

角色和责任

哪些机构需要完成包括中长期负荷预测，制定资源充足性规划的任务？哪些政府机构需要监督这个规划过程？

在美国，通常是由RTO来负责进行区域和地方或者集合地方电力公司的中长期负荷预测并开展资源充足性规划的。FERC对RTO的负荷预测和资源充足性规划进行监管。FERC授权NERC（北美电力可靠性公司）制定电力可靠性标准，由FERC批准后强制执行，并由NERC监督控制实施⁶。例如，NERC对RTO负荷预测进行审计和调查⁷。

在中国，2016年颁布的《电力规划管理办法》规定电力规划是在国家能源局和省级能源主管部门的监督和指导下，由电力规划研究机构开展研究，电力企业负责提供规划基础数据并实施规划。其中，电网公司（及其调度机构）承担着负荷预测和电网规划的责任，并接受国家电力监管机构的审查和考核⁸。另外，《电力规划管理办法》强调了通过“两上两下”对全国和省级电力规划、送电省和受电省电力规划进行衔接，协调统一。

我们建议建立有效的监管机制，进一步明确各部门责任和分工合作，有助于改善电力充足性规划的质量。具体地说，国家能源局可以在之前政策基础上，要求区域和省能源监管部门（包括国家发改委和能源局的分支机构）制定资源充足性规划流程，由各地方电网公司、电力企业和研究机构互相协作，进行数据收集和分析，形成规划文本，由国家能源局审核批准之后实施。这是因为资源充足性规划涉及到电力行业的各个环节，特别是需要对负荷精准的预测以及对电源电网结构和系统运行进行详细的分析。国家能源局和地方能源监管部门可以起到宏观指导、协调规划工作并监督保障实施的作用。下面我们会在每个部分更详细地讨论有关角色和责任分工的问题。

⁶ 北美电力可靠性公司(NERC). Planning Resource Adequacy Analysis, Assessment and Documentation. NERC. BAL-502-RF-03. 2017年10月16日由FERC批准。

⁷ 北美电力可靠性公司(NERC). Reliability Standard Audit Worksheet. MOD-031-3-Demand and Energy Data. (2021年3月) [RSAW MOD-031-3 2021 v1.docx \(live.com\)](https://www.nerc.com/RSAAW/MOD-031-3-2021-v1.docx)

⁸ 国家电力监管委员会第22号令《电网运行规则》第三十二条
http://www.gov.cn/gongbao/content/2007/content_751791.htm

规划周期和时间跨度

在美国，一些资源充足性规划是在“规划年”的前一年完成的，一些则是在规划年的前三年完成的。提前规划的时间越长可以允许规划者尽早发现潜在的可靠性问题，从而提前安排资源，特别是需要长期准备的资源来解决可靠性问题；而离规划年的时间越近则有利于进行更精确的预测。

中国目前的五年规划是提前两年开始电力规划编制，启动专题和综合研究工作的。资源充足性规划一般需要比五年规划要求对负荷和供应侧资源更准确的预测。因此，根据中国的情况最好是统一制定规划周期，可以在五年规划的基础上，进一步细化到以一年为周期，然后根据需要再进行调整。

规划时间跨度表示规划可以覆盖的时间段，例如一些规划可以按照月，季度或者年为跨度。在美国，规划的时间跨度根据气候分区等因素而不同。中国也许不需要对不同区域的规划时间跨度进行统一安排，但是应该根据各自情况清楚地规定一例如，西北地区似乎存在夏季冬季负荷双峰，在这种情况下，规划时间跨度至少应该分季度，而如果是只有夏季负荷高峰的地区，按年来进行规划就可以满足区域电力资源充足性规划的需要。

负荷预测

- 预测方法：在美国，资源充足性规划所用的负荷预测有时来自 RTO 本身（如 PJM），有时来自电力公司由 RTO 来集合（如 MISO），或来自政府机构（如加州）。RTO 和政府部门做负荷预测时，会公开发布负荷预测的方法、假设和具体分析⁹。当 RTO 作为系统负荷预测的集合商时，RTO 需要发表指导规则或者最低要求，来指导市场参与者进行负荷预测工作¹⁰。FERC 通过举办技术研讨会的方式促进负荷预测方法的趋同。例如，最近 FERC 举办了技术研讨会来讨论气候变化、极端天气对电力系统可靠性的

⁹ 见PJM的负荷预测计算流程，<https://www.pjm.com/planning/resource-adequacy-planning/load-forecast-dev-process>；纽约可靠性委员会，纽约控制区装机容量要求，[https://www.nysrc.org/PDF/Reports/2021%20IRM%20Study%20Appendices%2012_4_20%20\(1\).pdf](https://www.nysrc.org/PDF/Reports/2021%20IRM%20Study%20Appendices%2012_4_20%20(1).pdf)

加州能源委员会（CEC）的综合能源政策报告，<https://www.energy.ca.gov/data-reports/reports/integrated-energy-policy-report/2019-integrated-energy-policy-report/2019-iepr>

¹⁰ 见MISO的尖峰负荷预测方法回顾，

<https://cdn.misoenergy.org/Peak%20Forecasting%20Methodology%20Review%20Whitepaper173766.pdf>

影响以及应对措施¹¹。议题包括如何更好地在负荷预测中考虑极端天气情景，是否需要修改常规极端天气风险管理方法（比如十年中的一年）作为资源充足性规划参考标准等。在中国，国家能源局应该要求电网公司公开负荷预测方法，这有助于市场参与者更好地理解负荷预测，并采取措施降低负荷预测误差相关的风险（例如，在电能量市场中）。同样地，国家能源局也可以在促进负荷预测方法标准化的方面发挥重要作用。

- 预测误差汇报和分析：在美国 RTO 通常会发表他们的负荷预测误差¹²。能源局可以要求电网公司或者市场监测部门每年报告负荷预测误差并分析预测误差的原因。
- 考虑分布式能源资源：在美国，所有的 RTO 都试图考虑分布式能源，包括能效、需求响应和分布式发电和储能对于未来负荷的作用，目前分布式储能还没有被考虑到负荷预测里面。国家能源局应该要求电网公司将分布式能源资源考虑在负荷预测中，同时应该注意到，根据分布式能源资源的规模和距离规划年的远近不同对负荷的作用也不同。
- 以区域为基础进行电力系统负荷预测：一些 RTO 根据整个区域的同时峰值负荷进行系统范围的负荷预测，而不是根据 RTO 的组成部分，例如，单个电力公司/负荷服务实体/州的峰值负荷的总和来进行负荷预测。这会使得 RTO 持有更少量的资源来满足可靠性目标，要达到这个目标也意味着需要资源共享机制（例如，电能量市场和区域调度，备用资源共享）的支持。同样地，对于包括多个省的区域，例如，南方电网区域，国家能源局应该要求区域电网公司制定区域同时峰值负荷预测，作为制定区域充足性规划和区域电力市场的基础，而不是以省为单位进行资源充足性规划。

设定可靠性目标

应该怎样设定可靠性目标？

¹¹ FERC. (June 1-2). Technical Conference to Discuss Climate Change, Extreme Weather, & Electric System Reliability. <https://www.ferc.gov/news-events/events/technical-conference-discuss-climate-change-extreme-weather-electric-system>

¹² 比如，见 PJM 的模型准确度，<https://www.pjm.com/-/media/planning/res-adeq/load-forecast/model-accuracy.ashx>

在美国，可靠性目标通常是以十年中的一天失负荷预期（LOLE）作为资源充足性规划的目标。这是一个不考虑经济性的技术性目标¹³。最近，为了更好地应对高比例可再生能源的电力系统，行业内越来越多地希望用多重指标体系来衡量可靠性。比如增加预计未服务的需求¹⁴（Expected Unserved Energy, EUE）来更好地反映从容量受限到容量和能量都受限的电力系统的转变。在中国，最好是有一个国家范围的可靠性目标，而不是允许单个省来确定他们的可靠性目标，目标开始可以以技术为基础，之后考虑成本经济性（例如，由中国电科院或者中电联¹⁵研究制定，经国家能源局审核批准后实施）。可以尝试建立多指标体系（例如，LOLE 以及EUE）。无论如何，可靠性目标和其计算方法应该公开透明，并基于一定的科学理论基础之上。

2019年国家能源局发布的《电力系统安全稳定导则》¹⁶国家标准是指导我国电力系统规划设计、建设运行、科研和管理的重要技术标准。在总体要求中，导则提出为保证电力系统运行的稳定性，维持电网频率、电压的正常水平，系统应有足够的静态稳定储备和有功功率、无功功率备用容量。然而，导则中的备用容量是指运行备用，主要目的是维持短期（微秒到小时级别）的系统安全稳定，与这里所建议的为满足中长期系统充足性的规划备用容量的含义不同。根据国际经验，科学透明、积极有效的电力充足性规划是保证电力系统中长期安全稳定的一个重要手段。

确定规划备用容量

可靠性目标确定之后，下一步就是分析计算区域规划备用容量，同时也可以得到新的资源总量，以及评估规划退役的资源是否影响近期系统可靠性。规划备用容量是指为满足一定程度的失负荷预期（LOLE），通过分析确定出在预测峰值负荷之上所需的备用额度。规划备用容量有助于应对来自负荷预测误差，以及发

¹³ 有些RTO在容量市场里面（下倾需求曲线）会纳入经济性的考虑。

¹⁴ 失负荷预期/失负荷概率统计总的缺电时间但是却没有考虑能量受限的风险。预计未服务的需求（EUE）计算由于发电或者联络线影响，预计不能得到满足的终端需求。

¹⁵ 中国电科院和中电联在电力可靠性标准制定、实施相关的可靠性管理制度和评价规程以及同行业对标和数据共享方面发挥着重要的作用。<https://cec.org.cn/template2/index.html?182>

¹⁶ 国家能源局(2019年9月).关于《电力系统安全稳定导则》国家标准（征求意见稿）公开征求意见的公告。http://www.nea.gov.cn/2019-09/18/c_138400872.htm

电机组，输电线发生故障的风险。在美国，RTO¹⁷利用失负荷概率(LOLP)分析，考虑负荷预测误差，计划/非计划的发电和输电停运，天气导致的发电可靠性问题和输电阻塞模拟计算规划备用容量。总的资源需要是峰值负荷预测和规划备用容量之和。存在输电阻塞的区域需要进行分区资源充足性规划。规划备用容量会考虑一些负荷预测误差，因此负荷预测本身不应该考虑预测误差。国家能源局应该和电网公司和规划研究机构一起制定失负荷概率分析的标准，定义分区和规划备用容量。

现有和新的资源如何满足资源充足性要求？资源的容量可信度怎么确定？在美国，通过基于装机容量的规划备用容量（ICAP）和考虑计划停运的规划备用容量（UCAP）来反映机组的计划停运，由RTO来制定透明的方法计算资源容量可信度。美国越来越多的RTO通过有效负荷承载能力（ELCC）来计算风能、太阳能、储能和需求响应的容量可信度。ELCC衡量一个新增的资源可以在多大程度上支撑新增的需求，并保持给定系统的可靠性水平不变。在这之前，RTO主要利用统计法，考察新增资源对需求高峰的贡献。虽然，气候变化也在不断挑战着这些方法背后的逻辑。在中国，国家能源局应该要求电网公司制定透明的方法计算资源可信度/价值。

根据新的资源=总的资源-（现有资源-退役资源），区域电力系统规划机构可以得到新增资源规模，或者，如果现有资源已经大于总的资源需要，则能够得出可以退役的资源总量。国家能源局可以帮助对这些计算进行规范，但是一开始可能不需要具体涉及如何确定总的资源、新的资源，如何确保每种资源可信度代表实际可用性，而是应该让每个区域保留一定的自由度，根据各自电力行业结构做出初步测算，然后慢慢精准化。

报告以及透明度

美国的RTO和政府机构要求资源充足性规划的核心内容需要对公众公开。例如，对负荷预测，设定可靠性目标以及制定规划备用容量的过程和结果。在上

¹⁷ 具体实施过程根据地方不同有所差异。例如，纽约州有专门负责容量充裕度规划的非盈利机构纽约可靠性委员会（New York State Reliability Council），其职责包括在NYISO的技术支持下，制定纽约州规划备用容量要求并监管实施。详情见<https://nysrc.org/default.html>。而在加州，这一职责主要由加州公共事业委员会(CPUC)来承担。<https://www.cpuc.ca.gov/ra/>

一篇文章中¹⁸我们建议国家能源局应该建立合理的报告机制，并要求增强资源充足性规划的透明度。各个区域电网公司的可靠性研究的报告应该具体分析和阐述以下关键点： 1) 现有备用容量； 2) 预测未来规划备用容量； 3) 为整个区域和每个省份计算资源充足性要求。这些可靠性研究的结果应该公开发表。另外，整个资源充足性规划流程应该有利益相关者的参与，并在国家能源局和地方能源监管部门的监督下定期（例如，每年两次）发表相关主题研究报告并组织专题讨论。这有助于建立重要的信息来源，从而在包括未来潜在的市场参与者在内的各个利益相关者之间传达有关电力资源充足性的要求，帮助他们进行商务分析和投资决策，促进电力市场的良性运转。

结语

国际上， 由于社会经济结构，能效、电气化以及负荷多样性等负荷侧的变化，更多的可再生能源在供应侧的变化，以及气候变化对可靠性的影响等因素，资源充足性规划也在不断适应和演变过程中。在资源充足性方面的国际合作对能源转型和适应气候变化会有很重要的帮助。我们期待国家能源局就中国、美国和欧洲在以下方面的合作起到关键作用：

- 在不确定条件下的负荷预测；
- 完善系统中长期可靠性指标；
- 太阳能、风能和储能的容量可信度/价值分析；
- 利用资源充足性规划流程增强清洁能源转型过程中对可靠性的信心；
- 发布资源充足性规划结果以支持竞争有序，强劲稳定的电力市场；
- 为适应气候变化的韧性规划；
- 政府对电力规划过程的监管。

¹⁸ 睿博能源智库(2021年7月). 电力充足性规划：国际经验和对中国的建议. 发表于7月23日出版的《电力决策与舆情参考》杂志。电子版见其微信公众号. <https://mp.weixin.qq.com/s/kiUErKC9P5ov5hSOnVj1Yw>



RAP[®]

Energy Solutions for a Changing World

Regulatory Assistance Project (RAP)[®]

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)[®]. This work is licensed under a Creative Commons Attribution-NonCommercial License (CC BY-NC 4.0).