

美国环保署发布温室气体排放新标准，助力实现脱碳目标

王轩

前言

为了兑现到 2035 年实现电力行业完全脱碳的承诺，美国已经采取了一系列行动¹。这些行动是基于美国当前的政治经济环境以及面临的各项挑战，通过多方商讨、谈判而获得的解决气候问题的重要成果。2022 年，美国国会通过了一项气候领域的重大法案，即《通胀削减法案》(Inflation Reduction Act)，法案中囊括了促进可再生能源投资和燃煤发电退役的重大激励措施。然而，即使《通胀削减法案》完全实施，距离实现 2035 年电力行业零碳目标仍存在一定差距。为缩小这一差距，美国环保署(EPA)根据《清洁空气法》(Clean Air Act)赋予该机构的权力，采取了一些额外措施。2023 年 5 月，美国环保署发布了温室气体排放标准提案²。该标准从当下成熟的技术入手，在满足资源充足性和碳减排要求的前提下，以合理成本减少化石能源的排放。该标准根据《清洁空气法》第 111 章节制定，主要针对新建天然气发电和现有天然气、燃煤发电厂，提出了

¹ The White House. (2023.4). *Fact Sheet: President Biden to Catalyze Global Climate Action through the Major Economics Forum on Energy and Climate*. <https://www.whitehouse.gov/briefing-room/statements-releases/2023/04/20/fact-sheet-president-biden-to-catalyze-global-climate-action-through-the-major-economies-forum-on-energy-and-climate/>

² Environmental Protection Agency. (2023.5). *Emissions From New, Modified, and Reconstructed Fossil Fuel-Fired Electric Generating Units; Emission Guidelines for Greenhouse Gas Emissions from Existing Fossil Fuel-Fired Electric Generating Units; and Repeal of the Affordable Clean Energy Rule*. <https://www.federalregister.gov/documents/2023/05/23/2023-10141/new-source-performance-standards-for-greenhouse-gas-emissions-from-new-modified-and-reconstructed>

一系列的方案，包括采用混合氢燃料和碳捕捉封存(CCS)在内的技术帮助电力系统实现清洁低碳目标。自发布后，这项温室气体排放标准提案引起了行业的广泛关注，并激发了利益相关方的激烈讨论，在最近的一次技术专题会议³上，美国联邦能源监管委员会(FERC)对其中的一些议题深入交流了意见，美国环保署目前还在修订和完善相关规则的过程中。

温室气体排放新标准

目前，化石燃料发电厂的排放约占到美国总排放的四分之一，是美国的第二大排放源，仅次于交通领域。其中，燃煤发电 20 年前已经达峰，发电量占比从 2005 年的 51%减少到 2022 年的 20%，天然气发电在过去的十几年不断增长，发电量超过煤电，然而现有燃煤发电厂依然是电力行业二氧化碳的第一大来源⁴。在未来，天然气和煤电的发电量都会逐步减少，并逐步由可再生能源替代。

美国环保署的温室气体排放标准提案，通过缩紧发电资源的度电二氧化碳排放上限，为新建和现有机组明确了未来二十年的转型方向，具体减排要求根据机组计划退役年限和负荷率不同有所区别：

- 现有煤电机组：选择在2032年前停产，或者选择在2035年前停产，并在此之前以低于20%负荷率运行的机组，需要继续维持现有运行状态，碳排放率不得增加。选择在2040年前停产的煤电机组，需要在2030年前开始混烧40%的天然气，并以现有碳排放率（lb CO₂/MWh-gross）为基础减少16%。2040年后仍然会继续运行的煤电机组，需要在2030年前使用CCS完成90%碳捕捉。
- 新建天然气机组：峰荷机组（负荷率0-20%）需要使用排放较少的天然气发电；腰荷机组采取高效单循环（负荷率在20%和33-40%之间）或联合循环燃气机组（负荷率在20%和45-55%之间），并在2032年前使用30%混合氢燃烧；基荷机组（负荷率大于50%）采取高效联合循环燃气机组，在2032年前使用30%混合氢燃烧，2038年前96%混合氢燃烧，或者2035年前采用CCS完成90%碳捕捉。
- 现有天然气机组：大型基荷（大于300MW，负荷率大于50%）需要采取和新建基荷天然气机组同样的标准，其他类型目前还在征求各方意见中。

³ Federal Energy Regulatory Commission. (2023.11). 2023 Annual Reliability Technical Conference. <https://www.ferc.gov/news-events/events/2023-annual-reliability-technical-conference-11092023>

⁴ Glenn McGrath. (2021). Electric Power Sector CO₂ Emissions Drop as Generation Mix shifts from Coal to Natural Gas. <https://www.eia.gov/todayinenergy/detail.php?id=48296>

可以看出这些减排措施还不足以实现 2035 年零碳电力行业的目标。正如一些研究机构所指出的⁵，美国环保署还可以更进一步提前合规时间并获取更大的减排量。特别是，此项标准还有可能通过加强对现有天然气机组的监管以促进脱碳目标的达成。

根据美国环保署的测算，从 2028 到 2042 年，实施对新建天然气机组和现有煤电的碳排放标准将累积减少 6.17 亿吨二氧化碳。仅 2030 年一年，电力行业就将减少二氧化碳 8900 万吨，以及相当可观的氮氧化物、硫化物、和细颗粒物。2024 到 2042 年总净收益(气候和健康收益之和减去合规成本)可以达 640 到 850 亿美元，相应年净收益 54 到 59 亿美元。该测算证明了这一标准不仅会显著降低二氧化碳排放，还可以减少由于空气污染等造成的健康和其他环境问题。

自从美国环保署公布温室气体排放标准以来，包括来自州监管机构、电力公司、系统运行商的代表提出了各自的意见，并展开了激烈的讨论。这些意见主要集中在两个方面：第一，对于混合氢燃料和碳捕捉和封存技术，有关代表指出这些技术目前还没有成熟的商业化和规模化应用，因此对燃煤和天然气机组是否能在规定时间履行相关要求存疑。第二，对于燃煤和天然气机组减负荷率运行甚至退役，是否会有足够可再生能源和储能进行有效替代从而不影响系统可靠性，许多代表也感到担忧。美国环保署回应强调这些措施符合“最佳减排系统”，它们考虑了可负担的减排成本，能源安全的要求，以及法律规定的除空气质量和环境影响以外的其他因素，并充分展示了在减排方面的有效性（虽然这些新兴的技术目前还没有大规模的商业应用）。

值得注意的是有多个机构的研究显示⁶，美国环保署温室气体标准的实施并不会影响美国电力系统的可靠性。这些机构的资源充足性规划指出，美国 2035 年的电力系统不再需要未采取减碳措施的燃煤和大规模的基荷燃气机组。特别是在《通胀削减法案》(Inflation Reduction Act)和《基础设施法》(Bipartisan Infrastructure Law)的大力扶持下，会有越来越多的可再生能源、储能、氢能和 CCS 技术加入到未来的电力系统。实际上，美国环保署的模拟预计⁷到 2035 年，美国电力系统将有 46% 可再生能源，67% 的清洁发电，而其余则由包括混合氢天然气发电、以及安装碳捕捉和封存的煤电来提供。相比之下，国家可再生能源实验室(NREL)⁸和多个机构的资源充足性研究均显示，美国电力系统在 2035 年之前实现高比例清洁电力(70%-100%)是可行的。另外，对于相关方提出的是否有足够资源来替代传统发电机组提供的包括调频、调压、转动惯量等关键可靠性服务（Essential Reliability Service）的问题，新的行业共识是：许多资源同样具备提供这些关键可靠

⁵ Lissa Lynch. (2023.5). *The EPA Tackles Power Plants' Carbon Pollution*. <https://www.nrdc.org/bio/lissa-lynch/epa-tackles-power-plants-carbon-pollution>

⁶ Mike O'Boyle, Dan Esposito, Michelle Solomon, Brendan Pierpont. (2023). *Maintaining A Reliable Grid Under EPA's Proposed 111 Rules Restricting Power Plant Emissions*. <https://energyinnovation.org/wp-content/uploads/2023/11/Maintaining-a-Reliable-Grid-Under-EPAs-Proposed-111-Rules.pdf>

⁷ U.S. Environmental Protection Agency. (2023). *Resource Adequacy Analysis Technical Support Document*. <https://www.epa.gov/system/files/documents/2023-05/Resource%20Adequacy%20Analysis%20TSD.pdf>

⁸ Paul Denholm, Patrick Brown, Wesley Cole, et al. (2022). *Examining Supply-Side Options to Achieve 100% Clean Electricity by 2035*. Golden, CO: National Renewable Energy Laboratory. NREL/TP6A40-81644. <https://www.nrel.gov/docs/fy22osti/81644.pdf>

性服务的能力。核电、水电、需求响应以及有逆变器控制的光伏、风电和储能都在不同程度上具有提供关键可靠性服务的能力，足以继续维持电力系统的可靠运行。据统计，美国已经有 25 个大型电力公司计划在 2035 年之前退煤，退煤总量约占目前在运煤电装机总量的 21%。

美国环保署于 11 月 15 日追加了新的提议⁹，针对可靠性的细节问题，以及如何在监管实施方面提供更多的灵活性，特别是采取措施减少对小型商业实体和社区的影响方面听取更多的公众意见。在最终标准发布之后，各州将有两年的时间制定合规计划，报环保署批准。州监管者有足够的灵活度来实施计划，可以结合地方现有机组的情况，并充分协调各利益相关方的需求。

结论

总之，美国（联邦和州层面）过去两年不断涌现出新的法律和政策。这意味着美国为实现 2035 年电力行业脱碳目标取得了一定进展，尽管它们可能仍有所不足。美国环保署提议的温室气体减排标准是填补这一空白的又一步举措。在此之前，该机构已经为减少电力行业碳排放做出了多次尝试，包括制定《清洁电力计划》；然而，由于法律和政治等因素的制约，最终未通过最高法院和国会审查批准执行。新的温室气体排放标准是为满足这些特殊限制条件制定的，但这并不代表它是最有效或最低成本的电力行业减排解决方案。一套更高效、更可靠、更低成本的解决方案，应当包括全国碳排放交易机制以及更多终端能效的综合项目。尽管如此，该提案经过深思熟虑，基于透明和可信的分析，值得借鉴。有理由相信，它将成为实现 2035 年目标综合方案的重要组成部分。

中国和美国在电力行业转型中面临着相似的机遇和挑战。在最近的“阳光之乡声明”¹⁰中，两国为应对气候危机达成了诸多共识，包括计划从现在到 2030 年增强两国可再生能源的部署，以加快对煤油气发电的替代，从而实现电力行业排放在达峰后稳步减少的愿景。中美两国在气候领域的合作对实现巴黎协定温控目标——即控制全球平均气温上升在 2°C 之内并努力限制在 1.5°C 之内——有着重要的意义。

⁹ U.S. Environmental Protection Agency. (2023). 40CFR Part 60[EPA-HQ-OAR-2023-0072;FRL-8536-04-OAR]. https://www.epa.gov/system/files/documents/2023-11/1111egu_snprm.pdf

¹⁰ 中华人民共和国生态环境部.(2023).关于加强合作应对气候危机的阳光之乡声明. https://www.mee.gov.cn/ywdt/hjywnews/202311/t20231115_1056452.shtml



Regulatory Assistance Project (RAP)[®]
Belgium · China · Germany · India · United States

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

+86 10 8526 2241
china@raponline.org
raponline.org

中国北京市建国门外大街 19 号
国际大厦 2504 室
100004