

中国工业热能电气化 (执行摘要)



Authors: Ali Hasanbeigi¹, Cecilia Springer¹, Jibrán Zuberi², Hongyou Lu², Nan Zhou²

¹ Global Efficiency Intelligence

² Lawrence Berkeley National Laboratory

2023 年 11 月

[请在此链接处下载英文报告全文。](#)

执行摘要

中国工业领域的能源使用量约占一次能源使用总量的 65%，而排放量占到与能源相关的二氧化碳排放量的 70%。随着电力生产排放量下降，解决工业领域的热能需求，特别是对过程加热的需求，将成为实现工业领域深度脱碳目标的一项关键挑战。

对热能的需求量占到工业领域所有能源需求的三分之二，但这其中很少一部分需求是通过可再生能源满足的。通过采用电气化等更清洁的方案，利用低碳或零碳电力实现热能生产，可以很好的替代高碳排放化石燃料，实现工业领域脱碳。

在本报告中，我们分析了中国 14 个行业的电气化转变潜力（铝、容器玻璃、合成氨、再生塑料、啤酒、甜菜糖、奶粉、玉米湿磨、大豆油、肉类、钢铁、钢再加热、乙醇、纸浆和造纸）。同时，我们还分析了中国工业各行业锅炉电气化对能源和二氧化碳排放的影响。

本报告明确了可以在短期内利用商业上可行的技术实现电气化的具体工艺，并分析了能源使用、二氧化碳排放和能源成本将会发生的变化。了解哪些传统工艺可以进行电气化改造，以及电气化对排放和成本可能的影响，可以帮助工业企业更好的确定适合进行电气化改造的工艺流程。此外，了解电气化将带来的工业能源需求的潜在增长，可以帮助公用事业单位、电网运营商和发电厂商针对相关变化进行规划，确保有足够的设备和发电资源来满足不断增长的可再生电力需求。

表 ES1 显示了相关行业中特定工艺电气化后二氧化碳排放量的变化（除了钢铁行业，假定采用率为 100%）。负值表示排放量减少。其中，基准情景假设，根据目前中国在《巴黎协定》下的承诺，到 2060 年实现净零电网，而远大情景假设可再生电力将能够在 2030 年满足企业三分之一的电力需求，2040 年满足一半，到 2050 年完全满足。表 ES1 根据预估的 2050 年二氧化碳排放量（从大到小）、按 1-14 的顺序列出了所研究的 14 个行业，表中各列给出了在整个研究期间在基线和远大情景下电气化后的净二氧化碳排放量变化。其中，再生塑料、钢再加热工艺、钢铁生产和合成氨行业是电气化后二氧化碳减排潜力最大的四大行业。

表 ES1：中国 14 个行业电气化改造后的二氧化碳排放量变化

序号	行业	中国各行业电气化改造后的净二氧化碳排放量变化-基线情景（千吨/年）			中国各行业电气化改造后的净二氧化碳排放量变化-远大情景（千吨/年）		
		2030	2040	2050	2030	2040	2050
1	再生塑料	-213,505	-254,510	-259,991	-180,455	-206,817	-197,888
2	钢再加热	-68,781	-133,640	-183,471	-175,984	-230,999	-273,904
3	氢基直接还原铁	-4,895	-72,010	-178,719	-9,257	-111,622	-252,306
4	合成氨	8,857	-64,541	-146,334	-61,240	-138,675	-224,181
5	造纸	25,125	1,325	-22,034	-540	-24,367	-47,645
6	铝	-182	-3,619	-9,520	-2,452	-7,392	-14,777
7	大豆油	-2,442	-5,175	-6,937	-5,124	-8,104	-9,614
8	容器玻璃	-1,287	-3,382	-5,393	-3,681	-5,778	-7,782
9	甜菜糖	-14	-2,474	-4,506	-2,777	-5,240	-7,066
10	玉米湿磨	2,339	-806	-3,640	-1,083	-4,294	-6,868
11	啤酒	-956	-1,649	-2,460	-1,570	-2,338	-3,229
12	乙醇	1,297	-220	-2,268	-190	-1,969	-4,271
13	肉类生产	2,814	138	-2,255	-78	-2,776	-4,872
14	奶粉	-337	-492	-636	-433	-608	-764

注：对于钢铁行业，采用的是氢基直接还原铁生产路线和高炉-转炉（BF-BOF）工艺的对比结果。我们还对废钢-电弧炉工艺与高炉-转炉工艺、以及电解工艺与高炉-转炉工艺进行了对比建模。对于塑料再生行业，呈现的是与原始树脂生产的比较结果，详细介绍见第 3.4 节。对于氨生产，由于所有基于电解的氢气生产都使用电网供电不太现实，可能更多需要依赖于专门的可再生电力供应，这将相应降低预估的排放增长量。

本研究还通过计算 2030 年至 2050 年二氧化碳累积排放量的变化，强调了电气化在技术生命周期内对减少二氧化碳排放的积极影响（见图 ES1 和图 ES2）。工业电气化将在技术生命周期内实现二氧化碳排放量的净减少，这一周期预计将从 2030 年持续到 2050 年。这些图表表明，即使工业电气化初期会由于中国电网的高碳排而导致年二氧化碳排放量的增加，但随着中国电网的脱碳，电气化的长期效应将带来二氧化碳排放量的净减少。由此可见，工业电气化将对中国碳中和目标做出积极贡献。

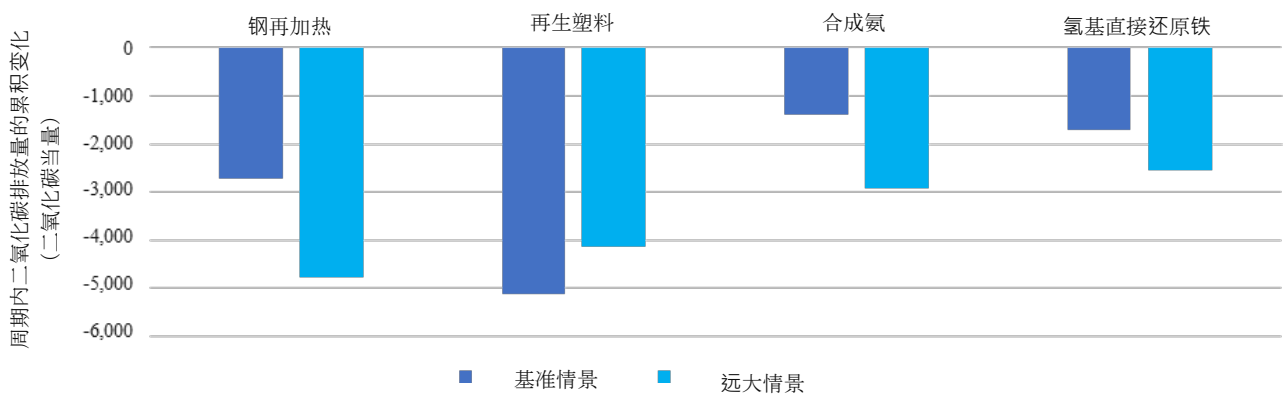


图 ES1：四行业（再生塑料、钢再加热、钢铁和合成氨）在电气化技术生命周期（2030 年到 2050 年）内的二氧化碳排放量累积变化（除了钢铁行业，假定采用率为 100%的总技术潜力。对于钢铁行业，我们假定电气化技术在研究期间的采用率呈渐进趋势。）

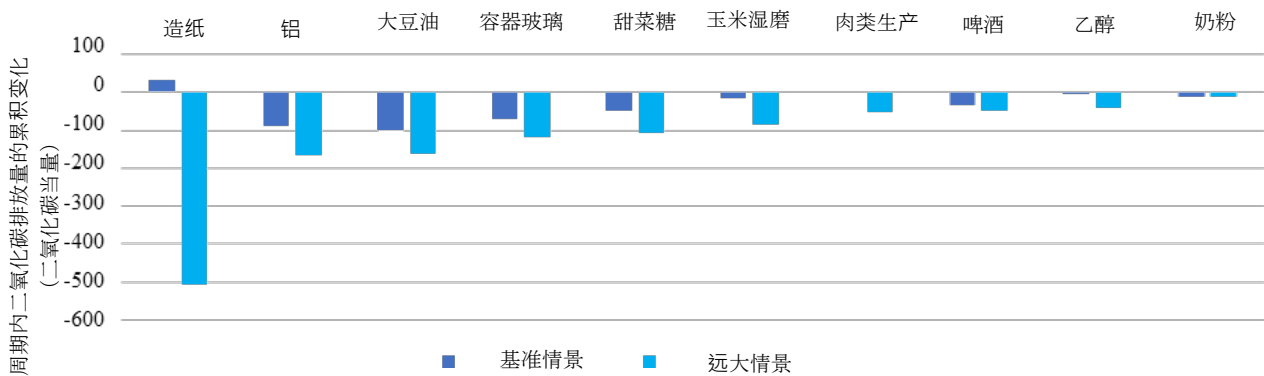


图 ES2：十行业（造纸、铝、大豆油、容器玻璃、甜菜糖、玉米湿磨、啤酒、乙醇、肉类加工、奶粉）在电气化技术生命周期（2030 年到 2050 年）内的二氧化碳排放量累积变化（假定采用率为 100%的总技术潜力。在近期内（2030 年之前），实际采用率将低于此数字，因此，对于预计到 2030 年碳排放会增长的行业，实际增幅将很小。）

我们还基于不同的电、燃料和碳价格假设，分别比较了 2030 年和 2050 年预测的每个行业电气化改造后工艺和传统工艺的能源单位生产成本。根据基准情形下的能源价格预测，在许多情况下，电气化工艺的单位生产成本高于传统工艺。而对许多行业来说，2030 年和 2050 年的电价与基准情形预测相比降低 50%的情景可以大大降低电气化生产过程的能源成本，使其与传统工艺相比具有更大的成本竞争力。还应该指出的是，我们的成本比较只关注能源成本（基于对未来的碳价格的假设），未考虑电气化技术的资本成本和电气化其他潜在成本优势（参见方法部分）。

本研究仅考虑了每个工艺和细分行业的几种潜在电气化解决方案，例如研究了相对于高炉-转炉（BF-BOF）路线的三种替代钢铁生产路线——废钢-电弧炉工艺生产、氢基直接还原铁和基于电解的钢铁生产。其他适用的电气化加热技术目前可能已经存在或正在开发中，例如使用氢基直接还原铁—电弧炉（DRI-EAF）工艺的钢铁生产。此外，我们所研究的细分行业也可能存在其他尚未开发的电气化改造潜力。因此，本研究预测的节能和二氧化碳减排潜力可能低估了中国全工业细分行业电气化所能实现的总潜力。

减少排放不仅能通过减缓气候变化带来全球效益，地区发展也会从中受益。在中国，现场使用化石燃料的工厂是空气污染的重要来源，对附近的城市环境造成很大影响。这些城市的社区尤其容易受到由此造成的污染的不利影响。通过向工业电气化过渡，中国将有机会大幅减少地区排放量，直接改善数亿城市居民的生活质量。

为了实现上述利益，工业经营电气化过程的实施需要制定全面的战略。提高可再生能源发电能力是满足工业领域对清洁能源巨大需求的基本要求。随着工业电气化带来的电力需求的增加，中国电网和能源市场亟需提高在技术和经济上的投入，以确保能源传输的可靠和高效。

通过分析，我们对加快中国工业加热电气化提出了政策建议。其中一项重要建议是将电气化纳入产业规划和决策，制定针对具体行业的电气化路线图。引入强有力的标准和法规，如绿色公共采购政策，对于激励各行业采用更清洁的技术至关重要。

另外，为了促进电气化前沿技术的应用，我们建议开展技术示范，建立试点项目，并充分利用政府资源，如“能源技术创新五年计划”。我们还强调需要采取财政激励和补助，降低生产厂商的前期成本，并鼓励可再生电力采购。劳动力培养也对于确保专业人员具备实施电气化技术的能力至关重要。最后，我们建议开发公共和私有领域合作，加速技术商业化，促进技术转让，分担与投资新电气化技术相关的风险。

[请在此链接处下载英文报告全文。](#)