

成长的烦恼： 正值「青春期」的可再生能源转型

可再生能源正在逐步发展，但并不总是以人们理想中的方式推进。今年的主题包括清洁能源投资增长和新能源法案的影响、电网脱碳速度赶超电气化、石油需求长期前景、风能及太阳能平准化成本概念的缺陷、对关键矿物的争夺、储能和热泵的经济性不断改善、能源传输困局、城市垃圾产生的能源、碳汇、hydrogen 更新、中俄能源伙伴关系、甲烷追踪和一些其他值得关注的未来能源观点。

作者：岑博智

摩根资产及财富管理市场及投资策略部主席



成长的烦恼：正值「青春期」的可再生能源转型 2023 年《放眼市场》能源报告

随着可再生能源转型进入「青春期」，盘点目前所取得的相关成就恰逢其时：

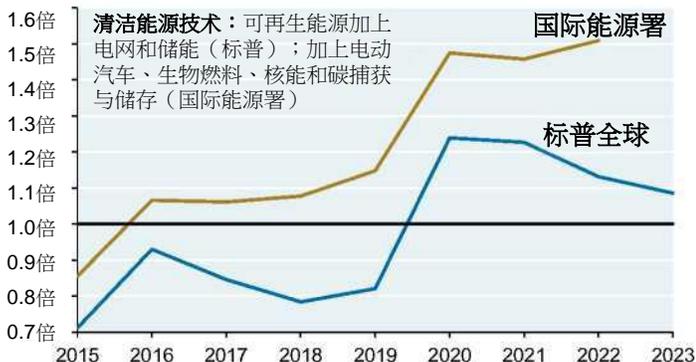
- 早在美国/欧洲出台新的能源法案之前，「清洁能源技术」投资就已超过化石燃料投资
- 2021 年全球风能+太阳能发电量首次超过核能
- 国际能源署预测，即使在能源转型较慢的情形下，全球化石燃料需求也将在十年内见顶
- 预计未来五年可再生能源发电容量将增加约 2,500 吉瓦，相当于之前 20 年的量
- 电动汽车销售、住宅热泵应用和美国电池厂扩建的步伐都在加快
- 太阳能+储能混合项目正变得比天然气调峰电厂更具竞争力
- 中国 2022 年新增可再生能源发电容量=美国、欧洲、印度、东南亚和拉丁美洲的新增总和
- 规模经济：如下图所示，国际能源署一直低估了太阳能发电容量增量

即便如此，能源使用的脱碳仍将是一个渐进的过程。自 2005 年以来，全球可再生能源支出已达 6.3 万亿美元，电网方面又花费了 3.3 万亿美元，但全球能源使用量仍有约 80% 依赖化石燃料——相对较低的欧洲为 70%，新兴市场（除中国外）为 86%。自 2005 年以来，由于工业、商业、住宅和交通等领域所面临的能源电气化挑战，全球能耗的化石燃料占比仅下降了 5%。化石燃料占比也受到了过多的关注；其实更重要的是化石燃料的使用量（图表，左下方）。

在很大程度上，可再生能源取代了为家庭和办公楼暖通空调系统供暖供电的化石燃料。可再生能源还让 10%-15% 的工业能耗实现了脱碳，同时现有电动汽车、货车、卡车、公共汽车和自行车每天能帮助全球减少约 200 万桶的石油消费，约占全球石油消费量的 2%。但现代社会的支柱产业（钢铁、水泥、氨、塑料）仍然主要依赖于化石燃料，特别是在发展中国家，因为西方已经将大多数能源密集型制造业外包给了这些国家。

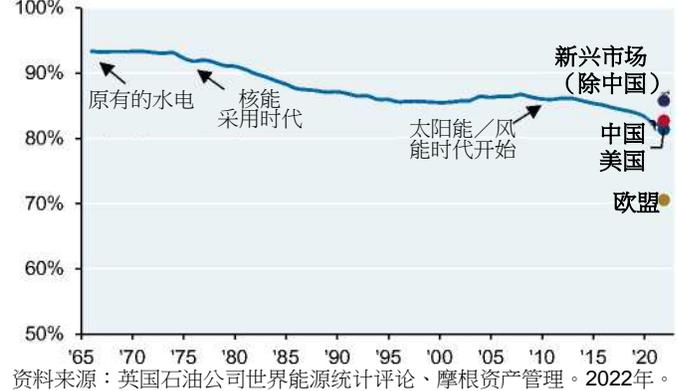
清洁能源技术支出超过化石燃料

比率（清洁能源技术年资本支出/化石燃料年资本支出）



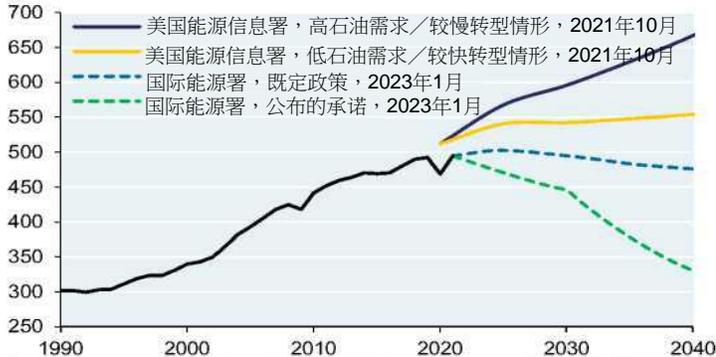
自 1965 年来化石燃料占一次能源的比例

煤炭、石油和天然气占全球一次能源消耗的百分比



未来全球化石燃料需求：取决于您向谁发问

艾焦



国际能源署一贯低估太阳能发电容量的增长

吉瓦 全球每年新增太阳能发电容量与国际能源署 10 年预测





有许多证据表明能源转型必须提速：海洋温度和海平面上升、冰盖质量减少、温室气体浓度上升以及碳排放量仍在增加（尽管二氧化碳浓度在改善）。**能源转型面临的主要障碍包括**：发电和输电的许可延迟、西方经常缺乏征用权、关键矿物的可用性和不断上升的资源民族主义、工业用热脱碳所需的单位能源成本高、配合间歇性风能和太阳能发电所需的备用火电和存储成本、整合数千个新建风能和太阳能项目的电网管理所面临的各种挑战、现有机器/车辆/熔炉的使用寿命长，以及社会需要时间来建造新的「原动机」（发动机和涡轮机）以利用新能源。

如果这是制约能源转型步伐的原因，我仍然完全不相信对石油和天然气行业在资本上釜底抽薪会加快转型，特别是因为只要对化石燃料的需求存在，新的资本池就会介入¹。这种方法也可能使国家面临可再生能源目前无法填补的能源短缺。尽管能源价格已从峰值水平回落，但欧洲仍在为转型过程中的能源供应管理不当付出沉重代价。对于少数石油和天然气储量丰富的国家，我的建议是——**新能源转型在加速进行，但「不要忘记老本行」**。如前一页所示²，**除非全球以前所未有的速度实现一系列目标宏伟的脱碳承诺**，否则在未来许多年里，市场仍将需要这些石油和天然气储备。

岑博智先生(Michael Cembalest)，摩根资产管理

海洋热含量和海平面

泽塔焦耳，1957年为基准线



资料来源：美国国家航空航天局/国家海洋大气管理局。2022年。1泽塔焦耳=10²¹焦耳。

南极洲和格陵兰冰盖质量

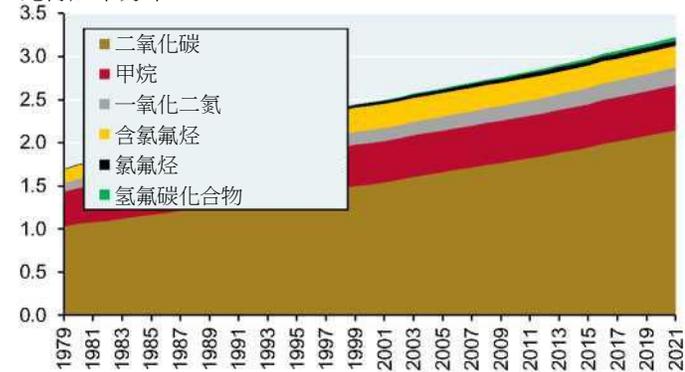
质量变化，千兆吨



资料来源：美国国家航空航天局。2022年11月。

温室效应：温室气体的辐射作用力

瓦特/平方米



资料来源：美国国家海洋和大气管理局全球监测实验室。2022年。

二氧化碳排放量与强度

二氧化碳，十亿吨

二氧化碳吨数/千美元 2021年GDP



资料来源：英国石油公司、世界大型企业联合会、摩根资产管理。2022年。注：DM=发达国家；EM=新兴市场。

¹ 沃伦·巴菲特拥有Chevron & Occidental价值600亿美元的股份，曾出价数十亿美元收购Dominion天然气/传输资产，但因反垄断问题被迫退出，并拥有Kinder Morgan油气管道的股份。

² 前一页的美国能源信息署2021年预测先于俄罗斯入侵乌克兰、欧洲的政策回应，以及美国的能源法案。我预计在下一份美国能源信息署报告（2023年9月发布）中，化石燃料使用占比的轨迹将会下降。



目录

行政摘要：能源转型目标和现实详解..... 4

能源投资资讯更新..... 11

基本的能源图表..... 12

[1] 输入数字，输出垃圾：「平准化能源成本」与风能和太阳能的实际不相关性..... 14

[2] 输入原油，输出精炼产品：美国汽油需求下降，其他精炼产品需求上升..... 18

[3] 进入队列，但出不了：电网扩张和可再生能源并网进展缓慢..... 19

[4] 资源民族主义进场，全球化出局：各国争相将可再生能源转型中所使用矿物的生产和加工转移至本国..... 24

[5] 捕集太阳能，输出大部分能源：共址储能和太阳能兴起背后的经济学原理..... 33

[6] 输入垃圾，输出能源：城市固体废物作为能源的效益和局限性，以及对欧洲森林生物质能的持续争议..... 35

[7] 碳捕存提案多数半途而废：规划的碳捕集与封存项目的达成率一直很低，但通过激励措施和规模效益可能发生变化（很小）..... 38

[8] 加州梦：电动飞机、核聚变、太空太阳能、直接空气碳捕集和全自动汽车网络等遥不可及的美梦..... 41

结语：欧洲如何熬过了 2022 年的冬天，以及中俄的下一步举措..... 44

附录：美国甲烷信息更新，更多研究显示甲烷泄漏率高于美国国家环境保护局报告数据..... 48

缩略词

ANL：美国阿贡国家实验室；**bcm**：十亿立方米；**BP**：英国石油公司；**bpd**：桶/日；**BTU**：英热单位；**CCS**：碳捕集与封存；**DACC**：直接空气碳捕集；**E&P**：勘探与生产；**EIA**：美国能源信息署；**EPA**：美国环境保护局；**EV**：电动汽车；**FERC**：联邦能源管理委员会；**GJ**：吉焦；**GW**：吉瓦；**HVAC**：采暖、通风与空调（暖通空调）；**HVDC**：高压直流电；**IEA**：国际能源署；**IRENA**：国际可再生能源机构；**ISO**：独立系统运营商；**ITC**：投资税收抵免 **kbd**：千桶/日 **kt**：千吨；**LBNL**：劳伦斯伯克利国家实验室；**LCOE**：平准化能源成本；**LFP**：磷酸铁锂；**LNG**：液化天然气；**MJ**：兆焦；**MW**：兆瓦；**NHTSA**：美国国家公路交通安全管理局；**NIB**：钨、铁、硼；**NMC**：镍、锰、钴；**NREL**：国家可再生能源实验室；**O&M**：运营和维护；**PPA**：购电协议；**PV**：光伏；**REE**：稀土元素；**TW**：太瓦；**TWh**：太瓦时；**USDA**：美国农业部；**USGS**：美国地质调查局



行政摘要：能源转型目标和现实详解

西方在能源转型方面设定了高标准。在每张图表中，虚线代表到 2030 年满足既定目标所需的年度风能和太阳能发电容量增量，而实线则显示了所有发电来源的历史发电容量增量。换句话说，**美国和欧洲需要以与历史峰值持平或更高的速度维持风能和太阳能新增发电容量。德国的目标尤其远大，而该国的能源转型深受电价和可靠性风险影响³**。正如我们将在后面章节中所解释的，关键矿物、项目选址和电网连接等相关制约因素可能会迫使新增发电容量达不到目标值。

中国的情况与之不同。鉴于其最近的发电容量增长速度，中国既定的风能和太阳能目标是可以实现的。但是中国需要的不仅仅是新增风能和太阳能电厂，这也是为什么中国也在建设燃煤电厂。**2022 年，中国批准了 106 吉瓦的新增燃煤发电容量，为近 7 年来最高，相当于美国和欧洲过去 5 年已结束的燃煤**

美国发电容量增量和预测

总发电容量增量，每人每年瓦特数



资料来源：美国能源信息署、普林斯顿(REPEAT)、摩根资产管理。2022年。

欧盟发电容量增量和预测

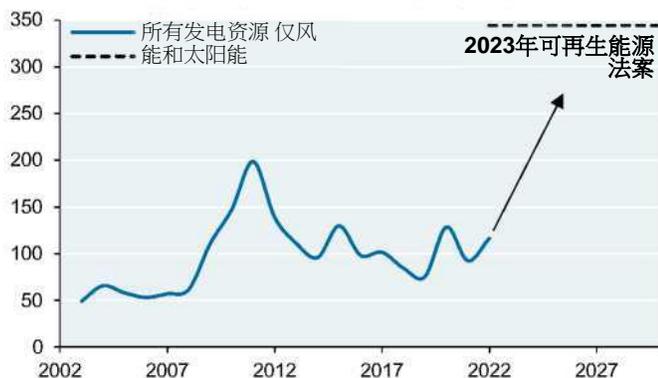
总发电容量增量，每人每年瓦特数



资料来源：欧盟委员会、美国能源信息署、摩根资产管理。2022年。

德国发电容量增量和预测

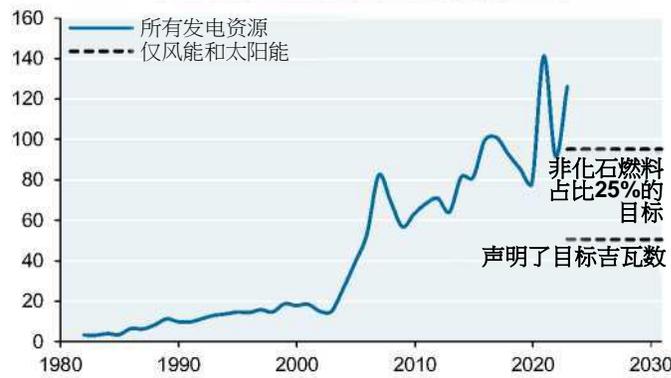
总发电容量增量，每人每年瓦特数



资料来源：Fraunhofer ISE、摩根资产管理。2022年。

中国发电容量增量和预测

总发电容量增量，每人每年瓦特数



资料来源：华南早报、CREA、美国能源信息署、摩根资产管理。2022年。

³ 德国计划在 4 月关闭其最后三座核电站，并将退出煤电时间提前到了 2030 年，同时还在增建最终可转化为氢能的风能、太阳能和天然气电厂。与此同时，由于电动汽车、热泵和电解槽的使用增加，电力需求预计将增长 33%，这要求德国的电网规模翻一番。德国已经是欧洲第二贵的电力市场；今年初，彭博新能源财经(Bloomberg NEF)估计，德国能源转型计划的实施成本到 2030 年将达 1 万亿美元。

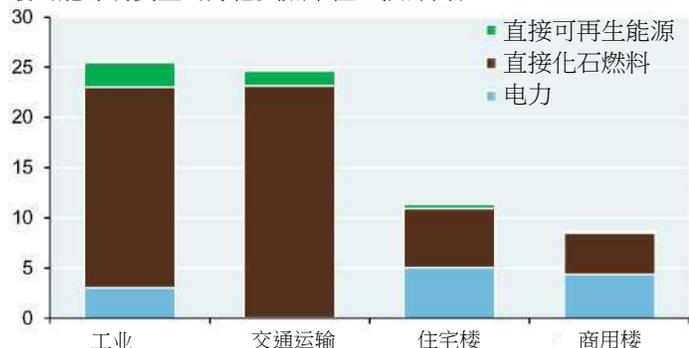
有大量证据表明这一计划不宜实施，否则成本将非常高，还会加速德国制造业的外流。德国化学品工会 *Verband der Chemischen Industrie* 的负责人评论说，德国面临着「从一个工业国变成一个工业博物馆」的风险。此外，麦肯锡估计，到 2030 年，德国的峰值负荷能力将降至 90 吉瓦，而其峰值负荷需求将升至 120 吉瓦，造成 30 吉瓦的潜在缺口。



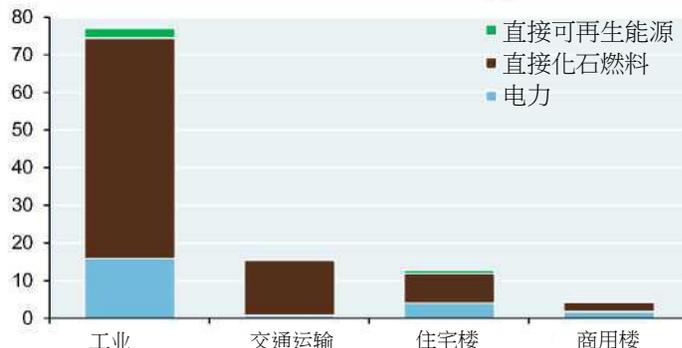
发电容量的总和。

如果这些新增发电容量目标得以实现，且电网进一步脱碳，那么二氧化碳排放量将会下降，但不会达到完全脱碳的标准。原因是电力只占能源消费总量的20%-30%。完全脱碳的标准是(a)对目前通过直接燃烧化石燃料来满足的能源需求进行电气化，完成脱碳，以及(b)通过燃烧可再生或合成燃料来代替化石燃料。如下图所示，无论是美国这类发达国家，还是中国这类高度工业化的发展中国家，所有四个终端使用部门都在大量使用直接化石燃料。

美国最终能源消费量（按部门和燃料）
最终能源消费量（万亿英热单位，按部门）



中国最终能源消费量（按部门和燃料）
最终能源消费量（万亿英热单位，按部门）



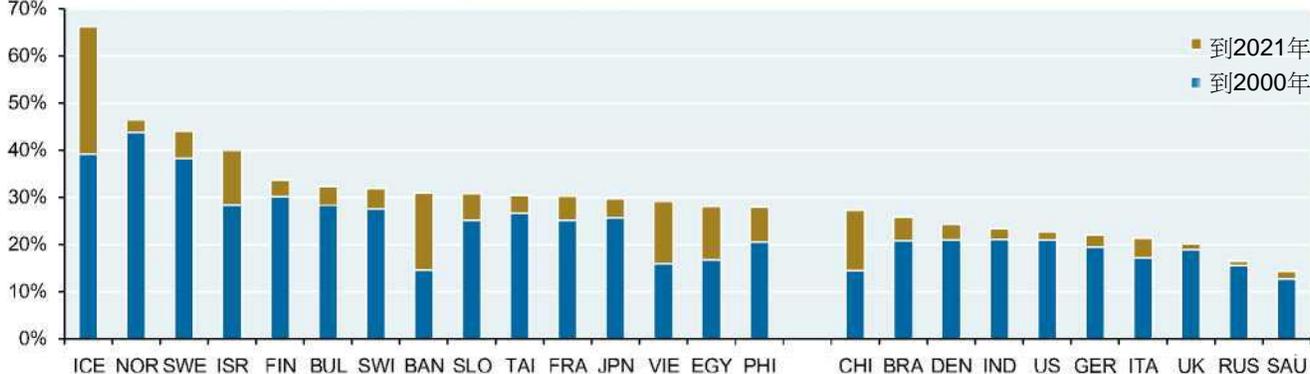
资料来源：美国能源信息署、摩根资产管理。2021年。

资料来源：美国能源信息署、摩根资产管理。2021年。

在过去的20年里，电气化的发展步伐一直很慢。下一张图表显示了2000年和2021年电力在能源消费中的占比。一些国家对电力的依赖程度超过30%，但如果拥有丰富的水电或地热资源⁴，这种依赖通常较小。大多数较大国家的电力仅占能源消费的25%不到，自新千年开始以来仅小幅增长了3%-5%。

电气化的逐步推进，2000年至2021年

最终能源消费量中的电力份额



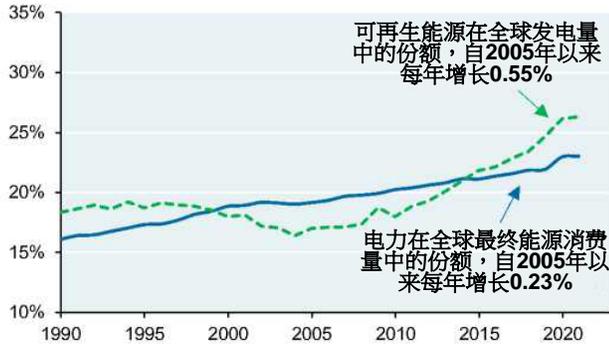
资料来源：英国石油公司世界能源统计评论。摩根资产管理。2022。

⁴ 较大国家不太可能按照一次能源中电气化比例高或可再生能源比例高的较小国家走相同路线。乌拉圭、冰岛、挪威、哥斯达黎加、新西兰、瑞典和丹麦等国家往往人口密度较低，电力传输需求较低，最重要的是经济复杂性较低。后者为哈佛大学在《经济复杂性图谱》中的估算值，也是麻省理工学院在《经济复杂性观察站》中的估算值。这些指标评估了每个国家生产各种跨行业复杂产品的能力，这反过来会推动对更发达的能源系统的需求。此外：这些国家往往拥有得天独厚的水力、地热或甘蔗生物质资源，还有些国家靠近较大的国家（乌拉圭/巴西、丹麦/德国），有助于稳定电网。



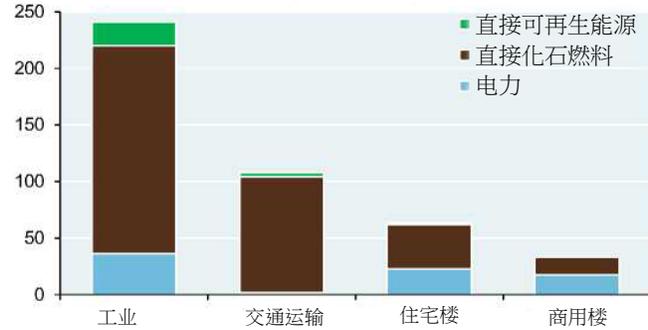
两种能源转型。如左图所示，实际上目前有两种能源转型正在进行：一是通过增加可再生能源发电容量进行的脱碳（绿色虚线），二是通过能源使用的电气化进行的脱碳（蓝线）。后者比前者更难做到。下面我们每个部门的化石燃料直接使用量为顺序来讨论脱碳潜力：首先是工业部门，然后是交通部门，最后是住宅和商业建筑部门。

电网脱碳速度超过能源电气化速度
百分比



资料来源：英国石油公司世界能源统计评论、摩根资产管理。2022年。

全球最终能源消费量（按部门和燃料）
最终能源消费量（万亿英热单位，按部门）

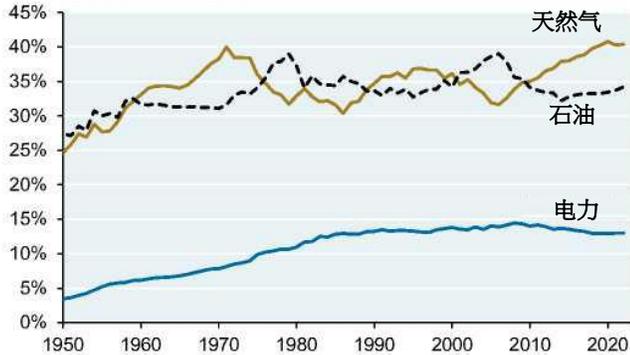


资料来源：美国能源信息署、摩根资产管理。2021年。

工业部门的能源使用⁵。塑料、水泥、钢铁、氨/化肥和其他工业材料是构成现代世界的物质基础。这些材料实现脱碳的途径有多种，包括增加工业用热电气化程度、替代用于工艺用热的化石燃料，以及增加电网中的可再生电力。我们以前的报告提到过工业生产电气化面临的物理/化学制约因素和成本（见第 10 页的链接）。简而言之，直接电气化通常会导致许多用于工业化学反应的废热损失，许多非金属材料较难电气化，而且目前用于工业供热时，电力成本远高于天然气成本（按每单位输送能量的成本计算）。

这一点，可以通过美国工业能耗中的电力份额几十年来一直没有变化得到证实。各地工业能源使用中的电力份额都很低：非洲（10%）、美国（12%）、日本（13%）、印度（15%）、欧洲（17%）和中国（21%）。电气化的机会在哪里？四分之一的工业能源使用要求温度低于 100 摄氏度，这样可能更容易电气化；高效工业热泵可用于干燥、压榨、消毒、染色和蒸煮。在相关的工业用热类别中，未来几年可再生能源份额的预期增长通常很小。

美国工业能源使用中的电力份额数十年不变，
工业能源使用中的份额



资料来源：美国能源信息署、摩根资产管理。2023年1月。

工业供热消费中的可再生能源份额
百分比



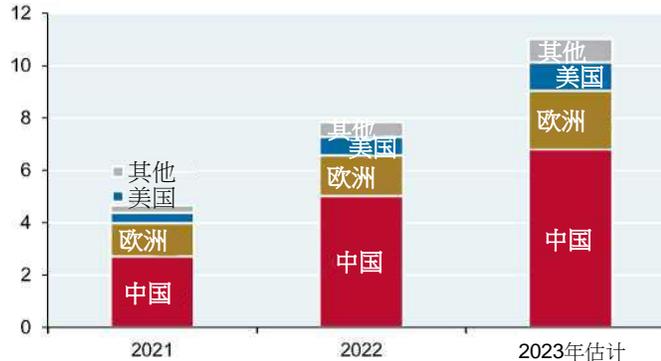
资料来源：国际能源署。2022年。

⁵ 在美国，工业能源消费有80%来自制造业，9%来自采矿业，剩下的分别来自建筑业和农业。在制造业中，消耗能源的主要子部门是化学品（37%）、石油和煤炭产品（22%）、造纸（11%）、初级金属（8%）、食品（6%）和非金属矿物（4%）。



运输/石油需求。去年，电动汽车销量占全球乘用车销量的10%，2022年增长68%，预计2023年将再增长40%——这还只是纯电动车的数据，不包括插电式混合动力车。全球前四名分别由特斯拉、比亚迪（其订单现在是特斯拉的3倍）、上汽集团和大众集团占据。电动汽车性能指标也在提高：阿贡国家实验室指出，在美国销售的电动汽车平均续航里程更长（300英里）、从0加速到60英里/小时更快（5秒）、功率更大（250千瓦）、燃油效率更高（29千瓦时/100英里）。然而，如右图所示，以美国为例，鉴于现代内燃机汽车的平均寿命为12-13年，电动汽车的大量销售需要多年才能实现。

纯电动汽车的全球销量
车辆数量，百万辆



资料来源：华尔街日报、LMC Auto、EV Volumes。2023年1月16日。

电动汽车销售影响整体汽车行业构成需要时间
百分比

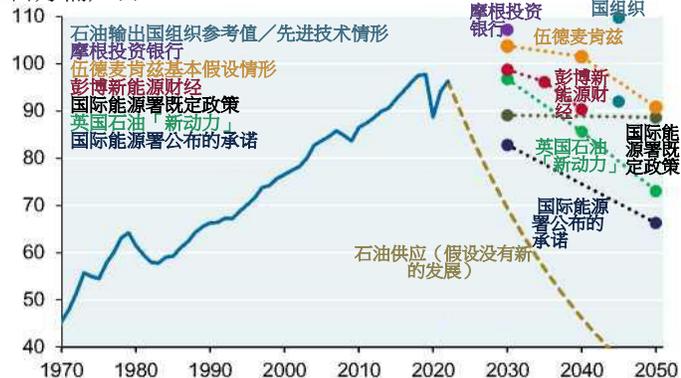


资料来源：阿贡国家实验室，摩根资产管理。2023年。

与其纠结于有关电动汽车普及率的诸多预测，不如让我们来看看本质问题：**10-15年后全球石油需求会是什么样子？**这种预测十分复杂——预测时需要估计电动汽车的需求、人口和行驶里程的变化、车辆更换的速度、电动汽车激励措施和国内采购规则的影响⁶、内燃机燃料里程的改善等，同时还需要对占全球石油消费量近一半的**非运输行业**（见饼状图）的石油需求进行预测。

以下图表列出了一些被广泛引用的预估数据。如果这些预测正确，石油需求将最终停止无限的增长，但**全球石油需求可能需要20年才能大幅下降**。根据英国石油公司和国际能源署的一些预测情形，全球石油需求将出现更大幅度的下降，但下降将主要集中在**2030年之后**。

石油需求、现有油田的供应和需求预测，
百万桶/日



资料来源：英国石油公司、美国能源信息署、国际能源署、石油输出国组织、伍德麦肯兹、彭博新能源财经、摩根投资银行、摩根资产管理。2023。

全球石油需求 (按部门)
百分比



资料来源：国际能源署、摩根资产管理。2022年。

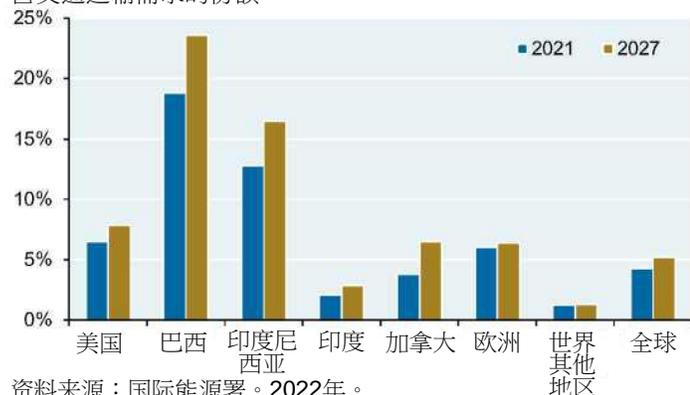
⁶ 能源法案规定了全额为**7,500美元**的电动汽车购车补贴，但该如何解读关于哪些车辆有资格获得全额补贴的条款存在政治内讧。我们对该法案中电池组装和关键矿物来源相关规定的解读是，如果按照参议员 Manchin 的意图实施这些规定，则没有多少美国电动汽车符合补贴条件。我们预计财政部将很快澄清这一点，以便让尽可能多的电动汽车符合购车补贴条件。



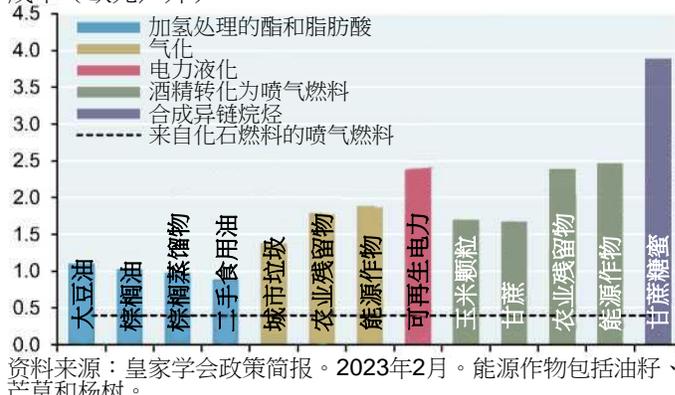
有很多文章都探讨了生物燃料，但除了巴西和印度尼西亚，生物燃料在各国燃料供应中的占比都很小。美国现在支持生物燃料，为新增产能和基础设施提供100亿美元的税收抵免，但这或许只能让生物燃料在交通燃料使用中的占比在现有乙醇消费量的基础上增加2%-3%⁷。类似地，5年后可再生航空燃料(RAF)可能仅会占到全球喷气式飞机燃油消费量的1%，而美国有望达到2%，因为美国能源法案规定为每加仑可持续航空燃料提供1.75美元的税收抵免⁸。采用可再生航空燃料这一行动路线还需要更有说服力的证据，目前所看到的还远远不够。如第二张图表所示，可再生航空燃料的预估成本是喷气式飞机燃料的2-8倍⁹。

图表看点：生物燃料原料（动物脂肪、废油和其他残油等）供应相关制约因素的风险（第三张图表）。
文本框内容：玉米乙醇碳足迹始终存在争议，因为现在美国用于乙醇生产的玉米种植量与用于人类和牲畜消费的玉米种植量大致相同。

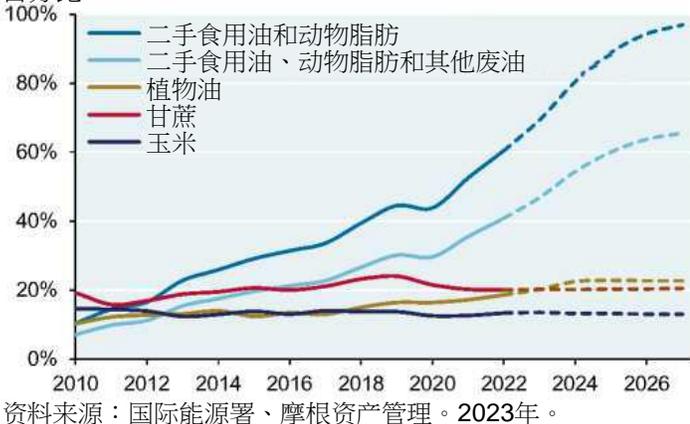
生物燃料在交通运输需求中的份额
占交通运输需求的份额



可再生喷气燃料成本估算
成本（欧元/升）



生物燃料需求占全球产量/供应量的份额
百分比



食物大战：关于玉米乙醇的竞争性研究

2022年一项发表在《国家科学院院刊》上的研究（来自威斯康星大学麦迪逊分校的研究人员）得出结论，乙醇对环境的危害大于汽油，这与美国农业部之前委托的一项研究相矛盾。该项新研究估计，乙醇的碳强度比汽油高24%，而2019年美国农业部的研究发现，乙醇的碳强度比汽油低39%。

新研究考虑了土地使用变化导致的排放（例如，耕种本应退耕或纳入保护计划的农田）。

不出意料，可再生燃料协会的首席执行官将这项新研究描述为「子虚乌有和错误连篇」，并且充满了最坏的假设。

⁷我们的大宗商品分析师预计，到2024年，美国生物柴油产能将达到30万桶/日（约为美国柴油产能的8%）

⁸我指的是《能源法案》，而不是《通胀削减法案》，因为《通胀削减法案》的赤字削减预估值中很大一部分来自美国国税局的收入（后者向新的执法机构注入了450亿美元资金）。正如2022年9月的《放眼市场》中所解释那样，美国政府问责署(GAO)关于每次美国国税局审计所得收入的数据低于隐含的美国国会预算办公室(CBO)估计值，后者用于对《通胀削减法案》进行评分。

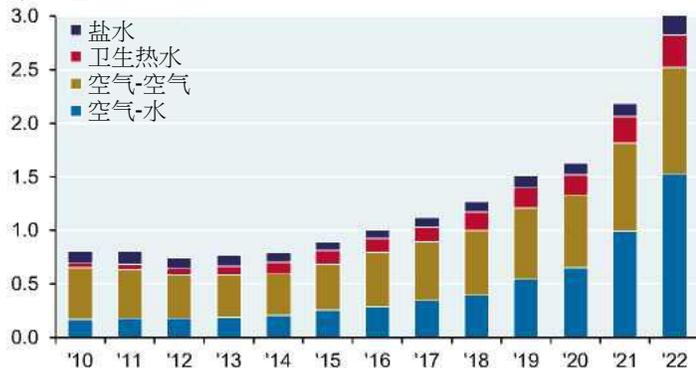
⁹「净零排放航空燃料：资源需求和环境影响」，皇家学会，2023年2月



商业和住宅楼供暖。建筑物供暖的脱碳有几种形式：一是增加可再生能源在电网中的使用，二是通过热泵增加供暖的电气化（去年讨论过，见第 10 页的链接），三是可再生能源地区供暖（主要用于斯堪的纳维亚半岛），四是直接使用地热和太阳能热。

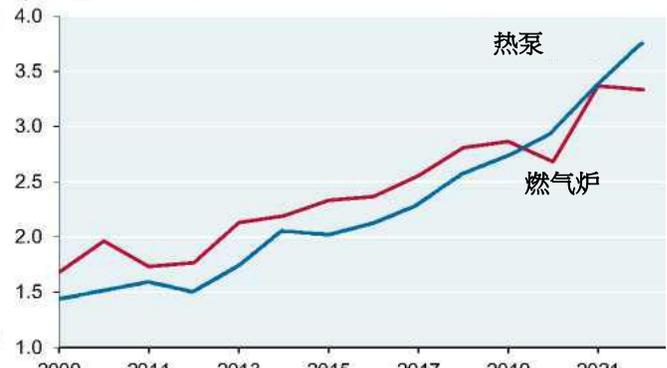
可再生能源在建筑物供暖的使用增速可能快于在工业部门的使用增速。随着锅炉销量下降，欧洲的热泵采用率正在上升；而在美国，丙烷和取暖油客户可能是热泵取代燃气炉销量的主要驱动因素。热泵技术在过去十年中取得了重大进步：如第四张图表所示，尽管电网电力比现场燃气燃烧的热损失更高，但空气到空气热泵的二氧化碳排放量现在低于最高效的燃气锅炉。**欧洲出现增减相抵：**加装热泵的家庭也在加装空调，有些家庭还是第一次装空调；冬季能源使用量的减少一定程度上可能会被夏季能源使用量的增加抵消。

欧洲热泵销量达到300万台
年销售量，百万



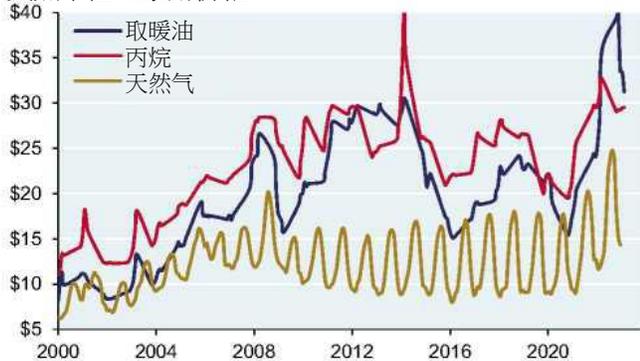
资料来源：欧洲热泵协会。2023年2月。

美国热泵销量超过燃气炉销量
年销售量，百万



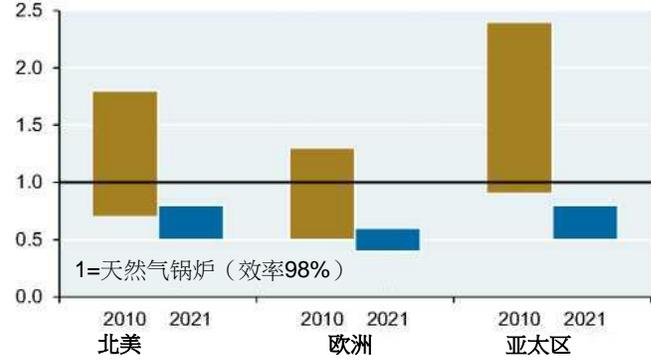
资料来源：空调、供暖和制冷协会。2023年。

取暖油和丙烷用户；转向热泵的动机变强，美元/百万
英热单位，家用价格



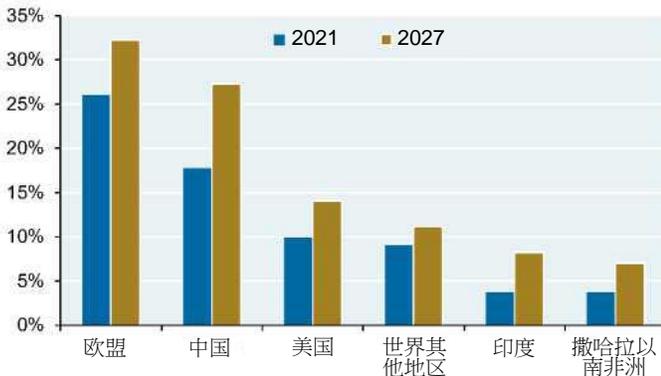
资料来源：美国能源信息署、摩根资产管理。2023年2月。

热泵技术的效率自2010年以来已大幅提高
热泵比与天然气锅炉对比（每单位热量二氧化碳排放）



资料来源：国际能源署、摩根资产管理。2022年。

建筑物供热消费中的可再生能源份额
百分比



资料来源：国际能源署。2022年。

国际能源署预测可再生能源份额正在上升。份额增长反映了两个主要因素：一是建筑耗热量在下降，因为就产生每单位热量而言，热泵需要的能源少于现场燃料燃烧；二是更多可再生能源接入电网后的副产品，这些可再生能源产生的电能被热泵自身使用。

美国与欧洲的空调趋势比较

美国房主每年每个住宅在空调使用约 1,800 千瓦时的能量。在欧洲大多数国家，这个数字不到 100 千瓦时。热泵也是空调……因此欧洲热泵的能源/二氧化碳碳效益可能会因夏季使用而抵消。



今年行政摘要的结束语

我看到不少能源报告的作者预测，到 2050 年，能源格局将发生翻天覆地的变化，一些能源组成部分的转型预计将发生在 2035 年、2040 年甚至更晚。我不知道他们是如何声称能预测那么遥远的未来；想想过去仅仅三年，世界就发生了多大的变化。电力、客车以及住宅和楼宇冬季供暖的脱碳正在世界许多地方取得进展；这一点显而易见，而在发达国家，化石燃料的使用几乎会开始趋于平稳，但这个过程将需要几年甚至几十年的时间。鉴于上述阻碍，特别是在发展中国家，工业能源使用的转型前景不太明朗。我能预测到的就这么远。

一个代表美国参议院为美国能源法案制定范本的智库预测，一直到 2035 年，太阳能和风能将大规模扩张，温室气体也将大幅下降。细心的读者会发现其报告还附有以下警告：

「一些难以建模的制约因素实际上可能会限制这些增长率，包括能否以必要的速度和规模为项目选址和批准项目；能否扩大电力传输、二氧化碳运输和储存网络，以容纳新的发电容量；以及能否雇用和培训更多的能源工人来建设这些项目。」

所以，这相当于在说只要我们所在世界的实际情况不形成阻碍，这些目标都是可以实现的。我认为就该这样去解读华尔街公司、能源智库和政府的长期能源预测——他们通常会假设在一个优化的世界中，经济激励是变革的唯一驱动力，而投资者和贷款人会利用补贴来推动变革。

第 1 页所述化石燃料需求的最终转型路径将由技术、政策、贸易、化学、物理、地缘政治、贸易、成本和民族主义决定，我们每年都会在能源报告中讨论所有这些因素。我的观点是：化石燃料的使用情况将更接近国际能源署两种预测情形中较慢的一种。如果是这样的话，对可再生能源的依赖程度目前还不宜超过其内生能力，而限制化石燃料¹⁰和可再生能源的国家可能会后悔。

在今年的主题部分，我们首先谈论「平准化成本」，这是一个有缺陷的概念，没有将能源系统中有大量间歇性可再生能源的现实情况纳入其中，这也是今年封面图画的灵感来源。其他主题包括电力传输、能源转型矿物的可用性和成本、小型模块化反应堆核废料的争议、走向峰值的美国汽油需求、有意义的碳汇所需的基础设施和所面临的能源挑战、用垃圾制造能源、改善能源储存经济性、甲烷追踪、俄中能源轴和「未来主义」思想（电动飞机、核聚变、直接空气碳捕集、太空太阳能等不太可能在短期内对脱碳做出重大贡献的想法）造成的干扰。

岑博智先生(Michael Cembalest)
摩根资产管理

在阅读今年的主题之前，欢迎通过以下链接查看我们去年讨论的三个问题：氢气（或我们所说的「**whydrogen**」）、工业能源使用的电气化以及住宅热泵的技术和电网需求。这三个问题的基本没有太大变化，所以我们没有再次将其纳入本报告，而是创建了一个网页供客户访问：[放眼市场能源报告档案库](#)。

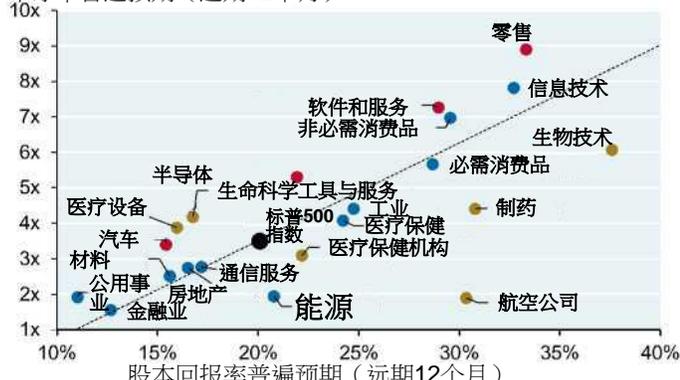
¹⁰ 一些能源预测提到美国油气资源扩张时代将会结束。也许吧，但这并不是因为缺乏可用的油气供应。根据美国能源信息署/美国地质调查局数据，美国石油和天然气的未探明储量是美国已探明储量的 6.9 倍和 5.3 倍



能源投资资讯更新

虽然估值水平低于整体市场的能源板块已从2020年的近90年低点有所恢复，但按市盈率(P/E)来看以及通过净资产收益率(ROE)与市净率(P/B)的比较，能源板块的证券交易价格仍低于整体市场。相对于2021年的水平，可再生能源和传统能源之间的表现差距在继续缩小。能源公司在净现金流长达10年为负后再次盈利，同时美国页岩行业的再投资率降至10年来的最低水平。

标普500估值与股本回报率



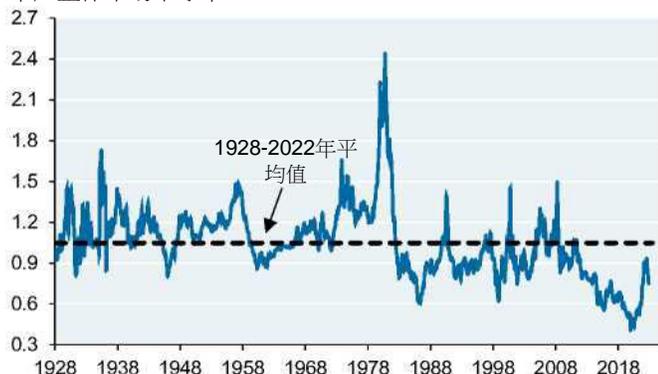
资料来源：Factset、摩根资产管理。2023年3月25日。

石油和天然气行业终于开始盈利

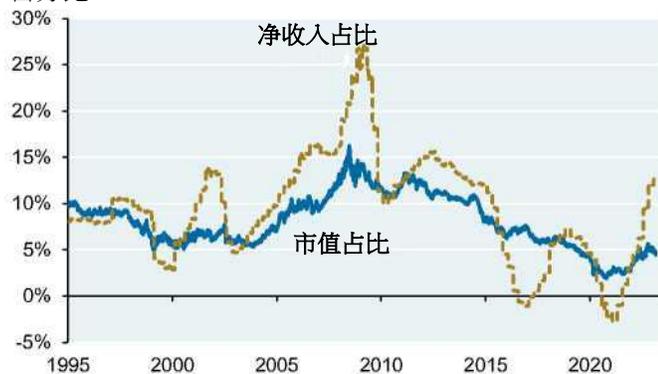


资料来源：彭博财经。2022年第四季度。

估值已从历史低点上涨的能源行业vs整体市场，能源股市净率/整体市场市净率

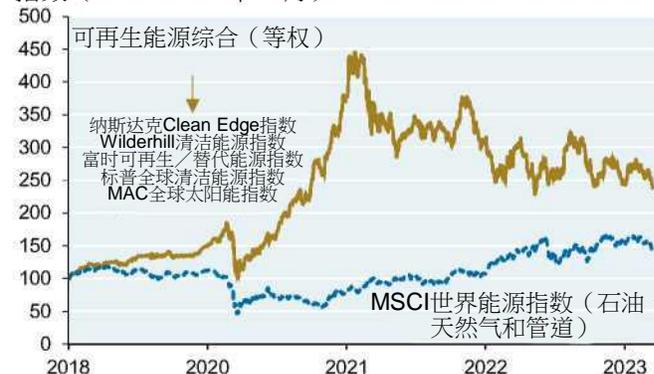


标普500中能源股占总市值和净收入的份额

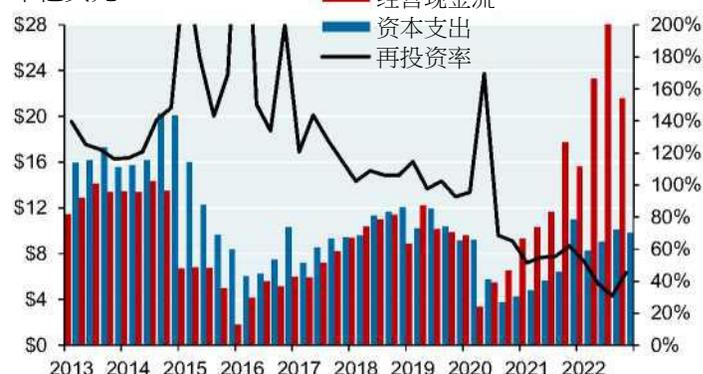


资料来源：Factset、摩根资产管理。2023年3月17日。

「关于我死亡报道被过度夸大了」
指数 (100 = 2018年12月)



美国页岩再投资率处于近10年低点



资料来源：彭博财经、摩根资产管理。2022年第四季度。



基本的能源图表

我们每年都会更新许多基本的图表来跟踪能源转型情况。以下是一些没有出现在行政摘要或具体章节中的图表。

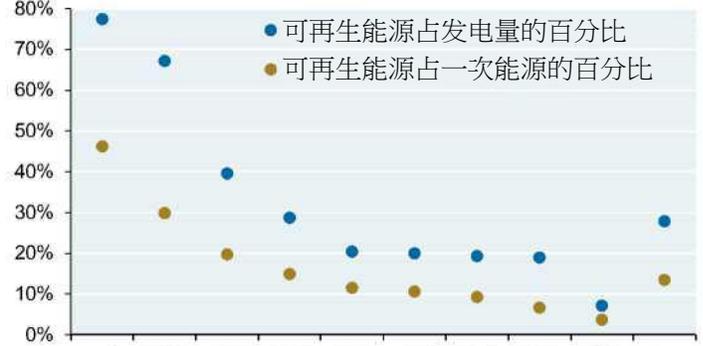
本页图表内容：风能和太阳能发电购买协议价格下降；一次能源和电力中的可再生能源占比（按区域）；全球风能和太阳能发电超过核能发电；电气化在美国如何主要用于住宅和楼宇的空间冷却和其他暖通空调需求；各国对煤炭的依赖程度；以及中国新增燃煤发电容量与世界其他地区退役燃煤发电容量如何相互抵消。

平均购电协议价格（按运营年份）
2020年实际，美元/兆瓦时



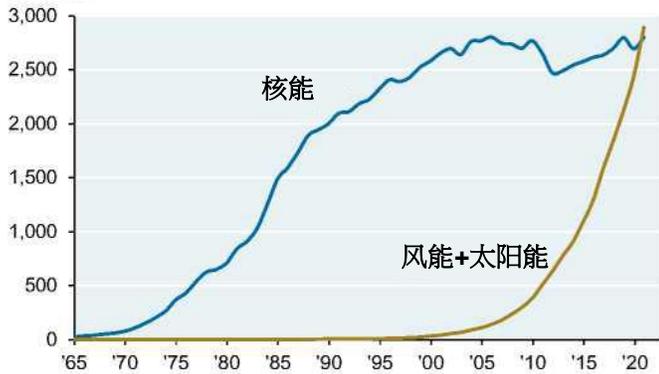
资料来源：劳伦斯伯克利国家实验室、国际可再生能源机构。2021年。

可再生能源占一次能源和电力的份额
百分比，包括水电



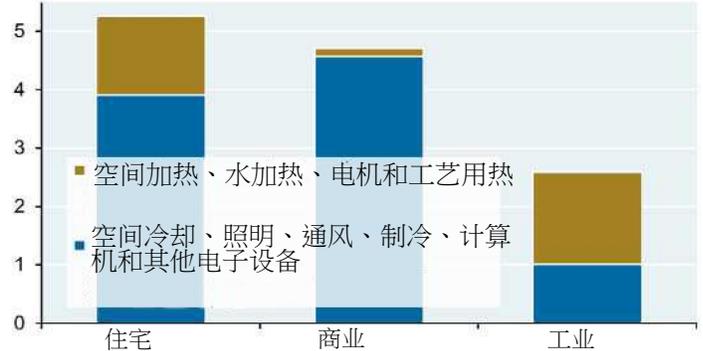
资料来源：英国石油公司、摩根资产管理。2022年。注：按一次能源使用量计算的前九大国家/地区。

全球核能发电量vs太阳能+风力发电量 太瓦时

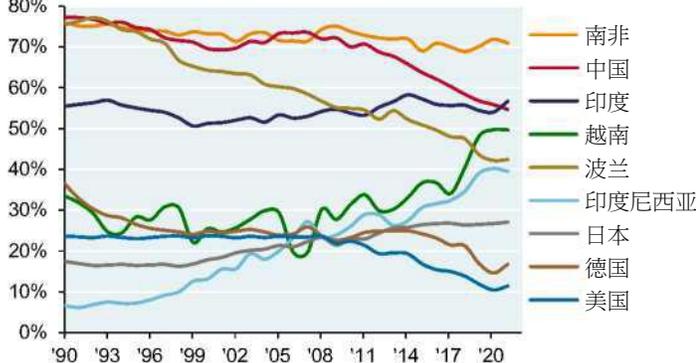


资料来源：英国石油公司世界能源统计评论、摩根资产管理。2022年。

美国电力使用：主要是暖通空调
万亿英热单位

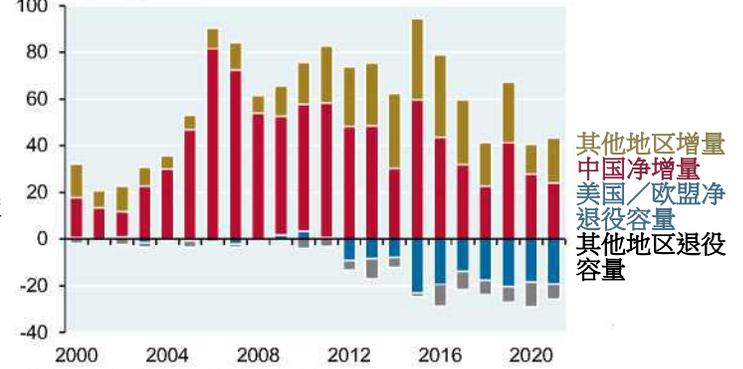


煤炭在一次能源消费量的份额
百分比



资料来源：英国石油公司世界能源统计评论、摩根资产管理。2022年。

中国对全球燃煤发电容量的影响
燃煤发电容量：新增和退役，千兆瓦



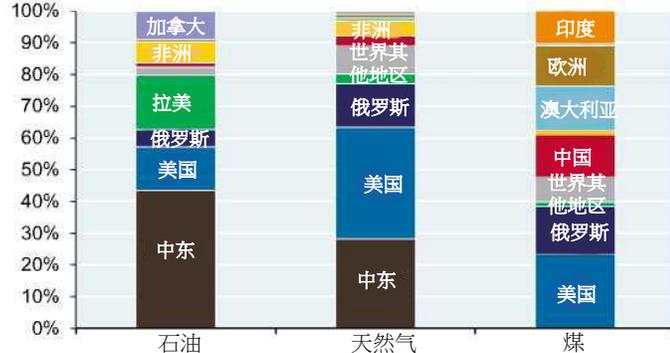
资料来源：能源与清洁空气研究中心。2021年。



本页图表内容：全球石油、天然气和煤炭储量份额（按国家）；1980年以来区域能源独立的变化；每种电池类型的电动汽车金属成本；发达国家和发展中国家能源密集型制造业的份额；一个相关图表，显示的是发展中国家一次能源消费的预计下降被发展中国家（但不包括中国）能源消费的增长所抵消；以及当用于工业供热时，使用电力与天然气产生每单位能量的成本。

2020年全球化石燃料储量份额

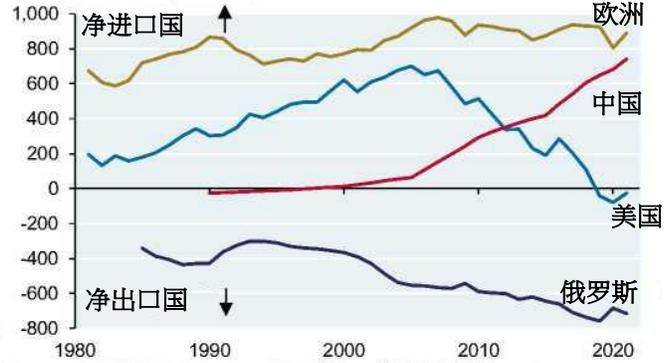
百分比，美国份额包括未探明但可开采的储量



资料来源：英国石油公司世界能源统计评论、美国能源信息署、摩根资产管理。2022年。

能源依赖和独立程度

石油、天然气和煤的净进口量，以百万吨石油当量计。



资料来源：英国石油公司统计评论、中国国家统计局、摩根资产管理。2022年。

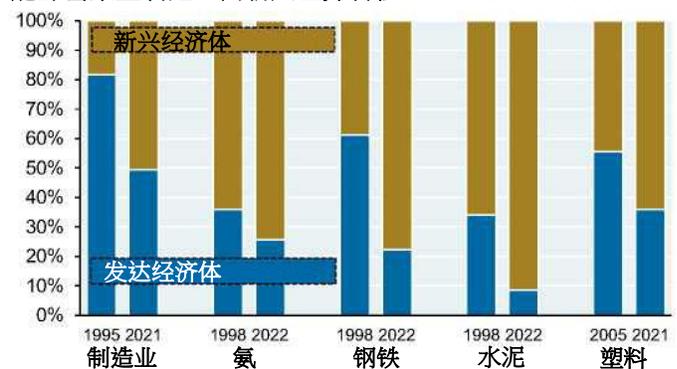
每种电动汽车电池类型的估计金属成本

美元/60千瓦时电池



资料来源：英国伯明翰大学、阿贡国家实验室、彭博财经、摩根资产管理。2023年3月20日。

能源密集型制造业向新兴世界转移，占全球产量的百分比



资料来源：联合国经济与社会事务部、国际钢铁协会、泛欧塑料工业协会、美国地质调查局、摩根资产管理。2022年。

预计新兴市场能源使用会抵消发达国家的用量下降

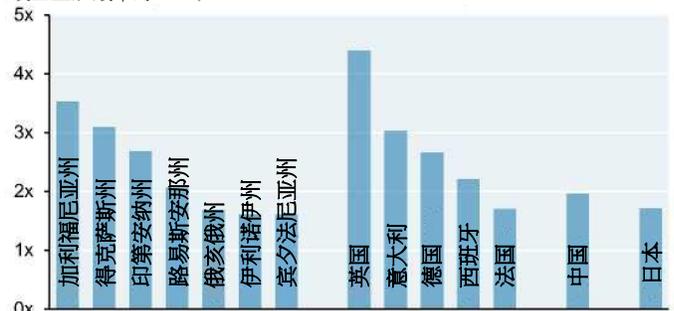
一次能源用量变化，拍焦耳



资料来源：国际能源署的既定政策情景。2022年。

电力：用于工业供热时成本是天然气的1.5-4.5倍

产生每兆焦耳的电力成本除以产生每兆焦耳的天然气的成本（工业用户，假设工业炉效率为85%）



资料来源：美国能源信息署、欧盟统计局、CEIC、摩根资产管理。2022年10月。所示各州是美国一次能源的最大工业用户。

**[1]输入数字，输出垃圾：「平准化能源成本」与风能和太阳能的实际不相关性**

如果要理解电力系统的总成本，「平准化能源成本」是一个干扰项。原因何在？当计算具体发电或储能技术时，平准化能源成本没有适当考虑：

- (a) 需要备用电源、储能和备用余量来保持系统可靠性
- (b) 一天或一年中不同时间的供电量
- (c) 需要过度建设风能和太阳能发电容量，以满足深度去碳化电力系统的需求

换句话说，平准化能源成本只测量风能或太阳能的边际兆瓦时(MWh)成本，通常不包括任何其他资本或运营成本。这就是我通常忽略平准化能源成本的原因，而且我很惊讶有很多人仍然没有意识到**这是一个误导政府、电力消费者和纳税人估算系统总成本的基础概念**。

我最近和麻省理工学院的 Paul Joskow¹¹谈到了这个问题。Paul 提醒我，提出平准化能源成本这一概念的初衷是比较具有相同发电容量系数（相似发电特征）的可调度基本负荷核电厂和燃煤电厂的成本，这让我想起了他在 2011 年写的一些内容：平准化能源成本「不适合用于风能和太阳能等间歇性发电技术与可调度发电的比较……并且相较于可调度的基本负荷发电，高估了间歇性发电技术」。¹²Paul 仍然认为「平准化能源成本对基本负荷发电和间歇性不可调度发电的比较没有什么意义，相反，我们需要一个涵盖整体电力系统的模型，而不是进行简单的平准化能源成本计算」。

以德国为例，其雄心勃勃的 Energiewende 转型是全球最先进的脱碳项目之一。随着德国可再生能源使用占比上升至其一次能源消费量的 17%和电力消费量的 45%，其二氧化碳排放量和化石燃料消耗均有所下降。到目前为止还不错，但是总共花了多少钱呢？尽管德国整体能源和电力消耗下降了，**但发电装机容量翻了一番**。这到底是怎么回事？如果高度可再生能源系统需要这样做，那么风能/太阳能的边际平准化能源成本对理解总成本有什么用呢？让我们仔细看看。

德国二氧化碳排放和化石燃料使用
指数(100 = 2002)



资料来源：AG Energiebilanzen、英国石油公司、摩根资产管理。2023年。

德国发电容量和能源使用
指数(100 = 2002)



资料来源：Bundesverband BDEW、Fraunhofer Institute、摩根资产管理。2023年。

¹¹ Paul L. Joskow 是麻省理工学院伊丽莎白和詹姆斯·基利安经济学荣誉退休教授。他在 2008 年至 2017 年期间担任 Alfred P. Sloan 基金会的主席，并于 2018 年回到麻省理工学院任职。从 1999 年到 2007 年，他是麻省理工学院能源和环境政策研究中心的主任。他是美国国家经济研究局的研究助理，也是外交关系委员会的成员。

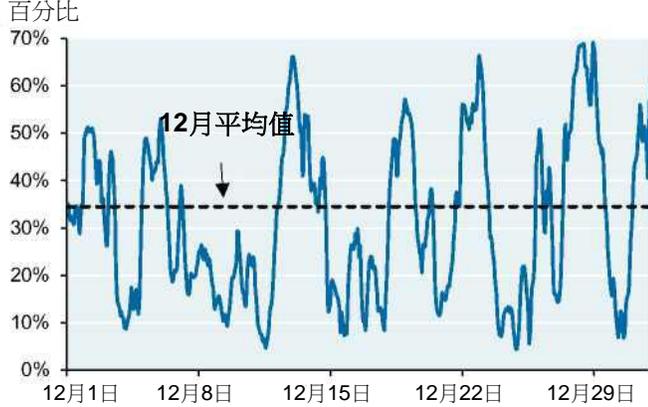
¹² 「间歇性和可调度发电技术的成本比较」，Paul Joskow，美国经济评论，2011



间歇性发电到「发狂」：用现实案例来说明平准化能源成本有何问题

2022 年 12 月，德克萨斯州风力发电机容量系数平均为 32%。但这并不意味着风电场以装机容量的 32% 提供稳定电力；如左图所示，德克萨斯州的风力发电系数在一个月内从低至装机容量的 5% 到高达装机容量的 70% 不等。为什么这很重要：平准化能源成本没有考虑现实情况，以至于无论德克萨斯州的风力发电机容量系数在 12 月的每个小时都是 32%，还是它们的平均值是 32% 但每小时在 5%-70% 之间变化，计算方法都是完全相同的。这种算法很荒谬，因为在后一种情况下，备用热电/储能需求比前者高得多。对于能源计算而言，平准化能源成本过于简单化。

ERCOT 风力发电容量系数（按小时），2022 年 12 月



资料来源：美国能源信息署、摩根资产管理。2022 年 12 月。

ERCOT 基本负荷和可再生能源发电量 vs 需求量，2022 年 12 月，吉瓦

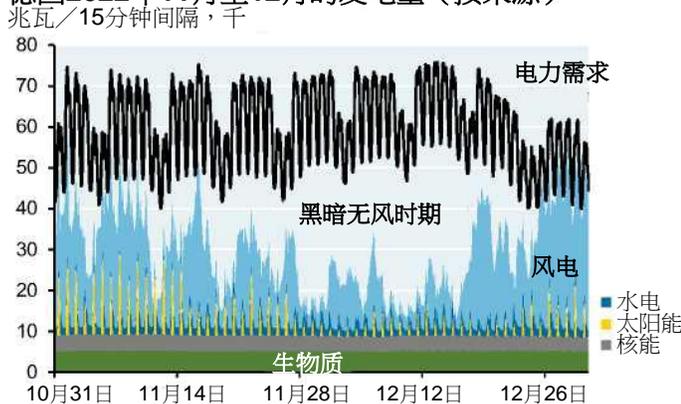


资料来源：美国能源信息署、摩根资产管理。2022 年 12 月。

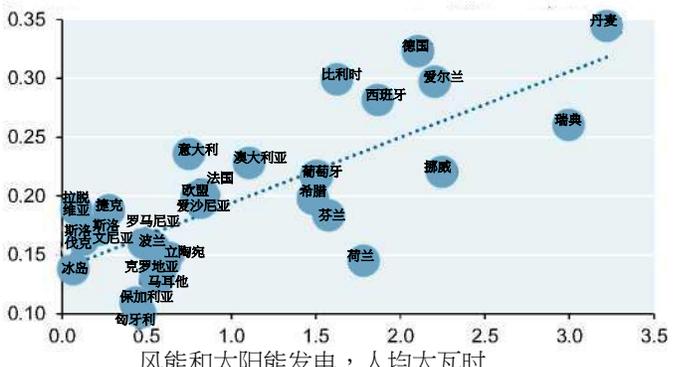
到底发生了什么？12 月 23 日，德州气温降至 13 至 28 华氏度（约 -11 至 -2 摄氏度），而平均气温为 45 华氏度（约 7 摄氏度），导致电力需求飙升至历史最高水平，而可再生能源发电量大幅下降。增长的电力需求因为燃气发电量翻了一番而得到了满足。即使德克萨斯州的风能和太阳能发电容量提升 5 倍(!)，那一天对燃气发电的需求也只会下降 20%。换句话说，这是一个巨大的缺口，只有备用电力才能填补，而平准化能源成本中没有考虑任何备用电力。那储能呢？低风速条件持续了 3 天，在这种情况下，将需要数十亿美元的 4-6 小时储能设施。

在德国，低风条件可持续数周¹³，持续时间之长，以至于他们有自己的词来形容这一期间：「**dunkelflaute**」（意为无风无光又迅速降温的天气）。在去年 12 月的 **dunkelflaute** 期间，电力需求缺口更多通过煤炭和进口液化天然气发电满足。明年冬天，在德国最后一座核电站可能退役后，情况可能将更加严峻。德国几乎没有使用平准化电力成本 (LCOE)，原因与德克萨斯州的情况相同：完全忽略了备用电源需求。随着可再生能源的普及，欧洲的电力成本往往会上升，这并非巧合；这是 LCOE 缺乏大局观的另一个迹象。

德国 2022 年 11 月至 12 月的发电量（按来源）



资料来源：Fraunhofer ISE、摩根资产管理。2022 年。



资料来源：欧盟统计局、摩根资产管理。2022 年。

¹³ 海上风电也可能消失：在 2022 年 3 月的一周内，英国海上风电容量系数平均仅为 12%。另外：相邻地区也是类似风型。在美国相邻的 ERCOT、SPP、MISO 和 PJM 地区，2021 年每小时风力发电量的配对相关性介于 0.58 和 0.68 之间。

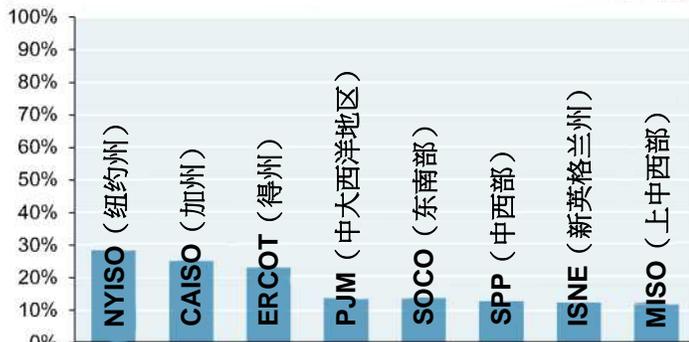


高可再生能源系统的替代评估：容量信用和负荷能力

电网管理人已开发自己的语言，用于分析具有高可再生能源渗透率的系统的稳定性、充足性和成本。我将简要讨论其中两个：容量信用和有效负荷能力。

容量信用指在向给定电网增加更多风能和太阳能时可断网的热电容量。使用来自美国 ISO 的数据，我们计算了在增加太阳能和风能以满足额外 10% 的需求时可断网的天然气量。**结果：由于风能和太阳能的间歇性以及满足需求和维持系统可靠性的需要，每 100 兆瓦的新增风能和太阳能容量只能断网 10-30 兆瓦的天然气。**随着更多的风能和太阳能被增加至系统中，这些容量信用将下降，国际能源署也承认这一点：「风能和太阳能等可变可再生能源的系统价值随着它们在电力供应中所占份额的增加而降低」。**结论：容量信用是说明 LCOE 忽略系统范围容量需求的另一种方式。**

每兆瓦新增风能和太阳能电力可减少多少天然气发电容量？ %，2021年计算期，假设新增风能和太阳能等于需求的10%



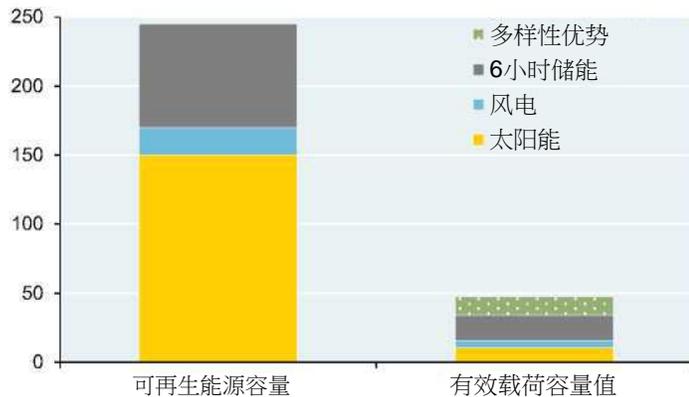
资料来源：美国能源信息署数据、摩根资产管理计算。2022年。

有效负荷能力 (ELCC)

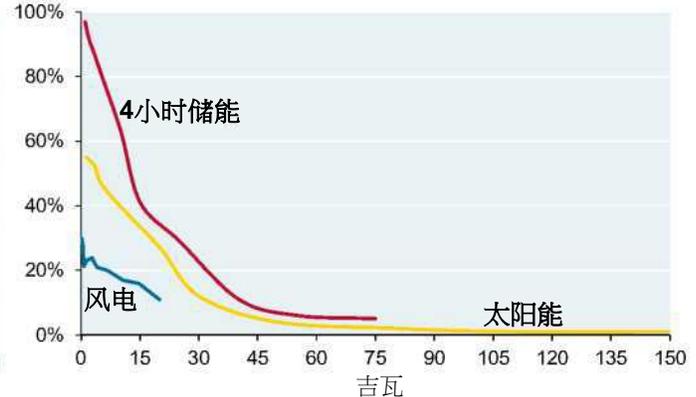
- 用于 CAISO、PJM、NYISO 和 MISO 在资源充足率规划演示文件；以及 Duke、El Paso Electric、Nova Scotia Power 等公用事业公司以及科罗拉多州、波特兰和新墨西哥州的实体
- 包含后备边际量要求
- 按小时、周和月对影响电网的所有因素进行概率假设情景分析：风能和太阳能发电、已并网的其他发电来源、负荷需求、由于天气条件可能导致的发电机停运率等
- 同时增加风能、太阳能和储能带来的多样性优势

更稳健的方法。一些电网管理人使用**有效负荷能力 (ELCC)** 来评估增加可再生能源对系统可靠性的影响；有关其工作原理和使用者的说明，请参见方框。例如：假设加利福尼亚州建立了一个深度脱碳的系统，拥有 20 吉瓦的风能、150 吉瓦的太阳能和 75 吉瓦的储能。根据 E3 Energy and Environmental Economics 左侧图表，该系统只有 50 吉瓦的可靠负荷才能满足需求 (ELCC=50 吉瓦)。换言之：如果该系统需要 50 吉瓦的可靠电力且仅使用可再生能源设计，则需要 245 吉瓦的风能、太阳能和储能才能使其稳定运行。当可再生能源首次加入系统时，风能、太阳能和储能的**边际 ELCC 最高**；此后，它们对系统可靠性的贡献迅速下降。**LCOE 并无反映这些现实，这就是为何文本框中所显示的 ISO 和公用事业采用转而 ELCC。**

加州的有效载荷容量：245吉瓦的风能/太阳能/储能仅能提供50吉瓦的载荷容量，吉瓦



加州太阳能、风能和储能的边际有效载荷容量百分比，删除了热电容量/增加了铭牌容量



资料来源：「加州深度脱碳路径下的长期资源充足性」，E3，2019年6月。

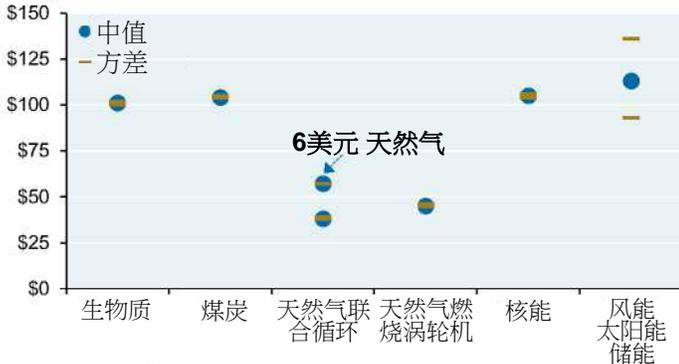


阐述全局的最后一种方法：「平准化全系统电力成本」。莱斯大学的一项分析采用德克萨斯州的 ERCOT 来分析系统总成本。该方法假设 95% 的系统负荷必须来自以下来源之一：生物质、煤炭、天然气联合循环电厂、天然气燃气轮机或风能+太阳能+储能（允许少量可调度的热电）。一旦确定了满足需求的足够容量，就可计算该容量的总成本。使用该方法，风能+太阳能+存储系统将比天然气贵约 2 倍。虽然该方法存在局限性，但与 LCOE 相比，它可更好地估计对风能、太阳能和储能的真实成本。应用于德国的相同方法会产生更高的风能+太阳能+储能系统成本¹⁴。

降低储能成本会有帮助吗？该分析还评估了降低存储成本是否有助于降低深度脱碳系统的全系统成本。答案：即使存储成本比现有水平下降了 50% 或以上，降幅也不大。

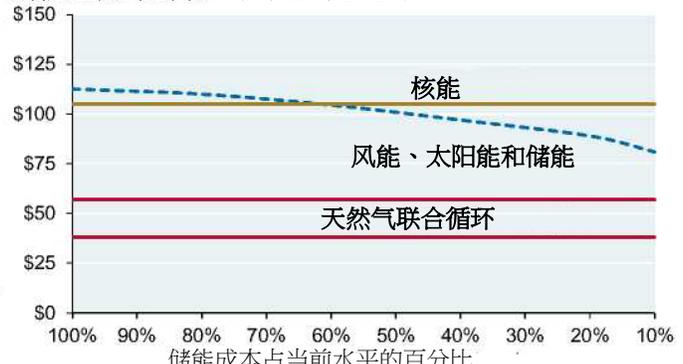
ERCOT：平准化全系统电力成本

美元/兆瓦时



资料来源：「平准化全系统电力成本——2023年更新」，Idel。2023年。

ERCOT：以储能成本函数计算的平准化全系统成本（按电力来源），美元/兆瓦时



资料来源：「平准化全系统电力成本——2023年更新」，Idel。2023。

最后，来自 PJM 的严厉警告¹⁵，PJM 是大西洋中部地区的独立系统运营商，也是美国最大的 ISO：

- 由于电气化以及高需求数据中心的激增，电力需求的增长率可能将继续以每年约 1.5% 的速度增长
- 由于政府和私营机构的政策以及经济因素，煤炭和天然气发电厂正在快速退役（到 2030 年退役规模 = 装机容量的 21%）
- 受包括选址和供应链问题在内的行业因素的综合因素，退役速度有超过新增资源的风险；95% 的 PJM 新增发电队列是可再生能源，且完工率仅为 5%（！）
- PJM 的并网队列主要由间歇性和限时资源组成。鉴于它们的运行特性，PJM 表示「替代 1 兆瓦的热力发电需要数兆瓦的这些资源」
- 目前路径可能将 PJM 的后备边际量从 2023 年的 23% 减少至 2030 年的仅 5%

关于所谓的「能源平准化成本」问题，我就讨论到这里。

¹⁴ 德克萨斯州与德国比较。由于夏季空调使用率较高，德克萨斯州的季节性电力需求变化要大得多。德克萨斯州的风能（35%比 20%）和太阳能（23%比 11%）容量系数高于德国；并受益于与需求较高时期相吻合的峰值太阳能容量系数。

关于风力容量系数，一些研究人员认为，北极温度上升会缩小与赤道的温差，从而削弱急流（「全球静止：气候变化是否会减缓风速」，耶鲁大学环境学院，Jim Robbins，2022 年 9 月）。如果是这样，风力容量系数可能会低于目标，并且出现风「dunkelflautes」的情况可能会增加（全球静止）。

¹⁵ 「PJM 中的能源转型：资源退役、更换和风险」，PJM，2023 年 2 月 24 日



[2] 输入原油，输出精炼产品：美国汽油需求下降，其他油品需求上升

摩根大通商品研究部的同事发表了一篇关于炼油的有趣分析¹⁶。2022 年，尽管汽车行驶里程回升至 2019 年水平，但美国驾车者的汽油消耗量比 2019 年减少了 6%。部分原因是：汽车燃油经济性的提高（也许是对高汽油价格的反应）以及电气化的小幅增长。有趣的是……让我们举个极端的例子：**如果美国汽油需求已见顶并一直在下降（作者相信这一点），同时市场对精炼产品的需求如航油和馏出物（取暖油、石化原料、柴油、蜡、润滑油）保持不变还是继续增长？**这对美国炼油厂来说意义重大，因为汽油占美国精炼产品需求的 44%，高于其他国家。换言之，汽油需求下降可能导致美国炼油利润率面临下行压力。

美国汽油消耗量vs车辆行驶里程
百万桶/天



资料来源：美国能源信息署、摩根资产管理。2022年。

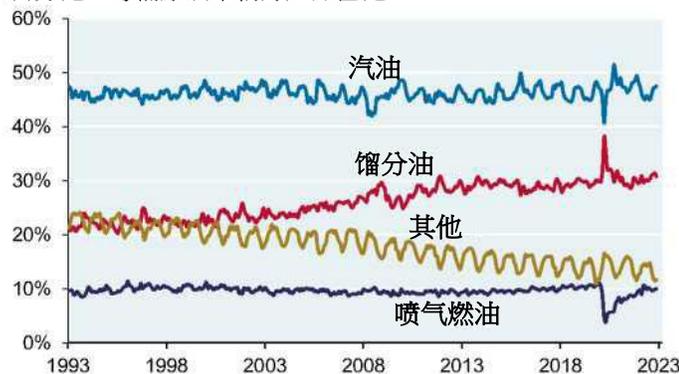
美国真实世界平均燃油经济性（按车型年份）
英里/加仑



资料来源：摩根大通全球商品研究部。2022年。

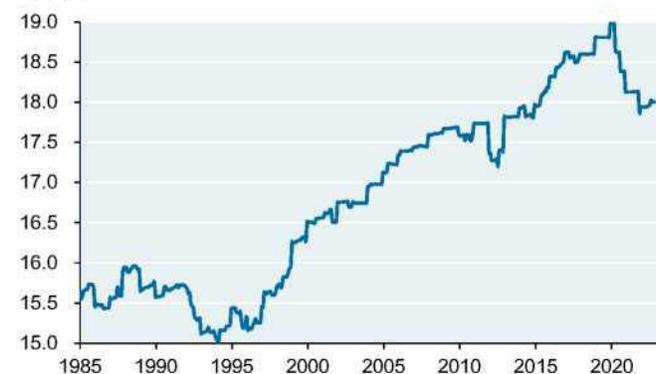
如果发生这种情况，炼油厂会怎么做？美国炼油商目前改变每桶原油中精炼产品成分的能力有限（美国原油精炼的汽油成分 30 年来一直没有变化；只有馏分油与其他产品相比上涨了几个百分点）。因此，炼油厂可能不得不缩减产能以弥补炼油利润率的下降；在此情况下，馏分油的价格可能将因供应减少而上涨。此外，美国炼油厂可能不得不花费资金将其炼油产量从汽油转向其他产品（价格昂贵）；和/或改用天然气液体作为化学品的原料。所有相关结果都可能导致精炼产品价格上涨。未来几年，居家办公趋势的减弱可能将增加汽油需求和通勤者的车辆行驶里程；但如果事实并非如此，则美国炼油厂和服务于美国市场的非美国炼油厂可能将发生重大变化。

美国炼油厂产量（按产品）
百分比，每桶原油中精炼产品占比



资料来源：美国能源信息署、摩根大宗商品研究。2022年12月。

美国炼油厂原油蒸馏能力
百万桶/日



资料来源：美国能源信息署、2022年12月。

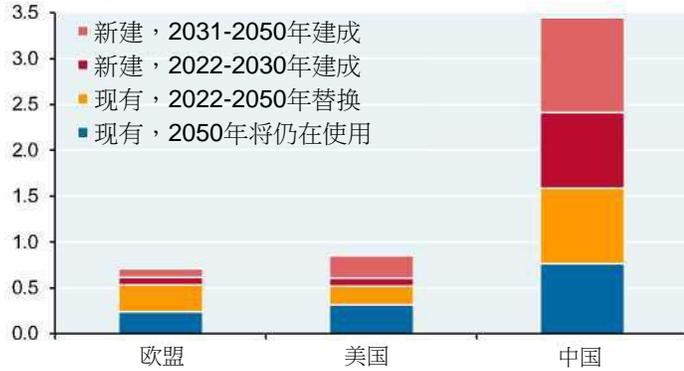
¹⁶ 「美国汽油需求的周期性和结构性变化：以更少的能源驱动更多的汽车」，Natasha Kaneva和Prateek Kedia，摩根大通全球商品研究部，2023年2月2日



[3] 进入队列，但出不来：电网扩张和可再生能源并网进展缓慢

如果脱碳的圣杯是电气化，那么世界将不得不提升移动电子。这当然是深度脱碳计划所期望的：根据国际能源署的数据，到 2030 年和 2050 年，美国、欧洲和中国现有的电网基础设施将需大量更换或扩建。

输电网发展
公里，百万



资料来源：国际能源署、摩根资产管理。2022年。

配电网发展
公里，百万



资料来源：国际能源署、摩根资产管理。2022年。

不幸的是，在美国或欧洲，电网转型似乎几乎完全不同。下图显示高压直流线路（HVDC，>400 千伏）的增长，这些线路优化了可再生能源从偏远地区的传输。中国、巴西和印度在过去十年中一直很活跃，而美国和欧洲则相反。美国的 HVDC 数量与丹麦大致相同，而且在整个表格中预计 HVDC 强度（每吉瓦发电容量的输电公里数）最低。根据劳伦斯伯克利国家实验室的数据，2022 年美国对区域电网连接投资不足造成的机会损失达到十年来最高水平，使用区域电价差异作为代理¹⁷。

高压直流线路（按国家）
400+千伏线路距离，公里



资料来源：全球输电报告、摩根资产管理。2022年。

高压直流线路展望

国家 / 地区	当前		预测		预测年份
	长度 (公里)	强度 (公里/吉瓦)	长度 (公里)	强度 (公里/吉瓦)	
中国	47,990	22	65,988	30	2025
法国	22,031	160	22,522	111	2031
巴西	22,020	117	24,940	109	2031
西班牙	21,766	194	22,209	138	2029
印度	19,087	47	165,635	197	2026
加拿大	5,117	34	5,117	34	不适用
美国	2,462	2	2,462	2	2026
丹麦	2,083	150	2,847	84	2029
意大利	1,552	13	3,239	19	2029
英国	307	4	5,045	65	2030
德国	223	1	5,562	24	2031
墨西哥	0	0	2,242	20	2027

资料来源：GTR，摩根资产管理。2022。注：强度指每千瓦发电量的输电公里数。HVDC 线路定义为电压>400 千伏的直流线路。

¹⁷伯克利实验室电力市场传输价值概况介绍，劳伦斯伯克利国家实验室，2023 年 2 月；见图 1

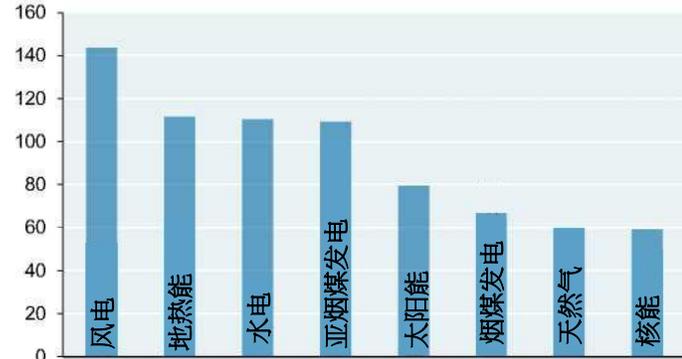


在之前的能源文章中，我回顾了美国输电现状：缺乏征用权、努力建立加速输电走廊的失败、被取消的输电项目的清单以及对 Northern Pass 的审查，HVDC 线路本应以每千瓦时 5 美分的价格从魁北克向马萨诸塞州输送水电，直至新罕布什尔州和缅因州取消该计划（尽管开发商承诺将大部分埋在地下）。我还讨论了电网管理人在整合数以千计的小型风能、太阳能和储能项目时所面临的挑战，并与过去整合煤炭、天然气和核能相比。

今年，美国方面有一些新的和更新的图表：

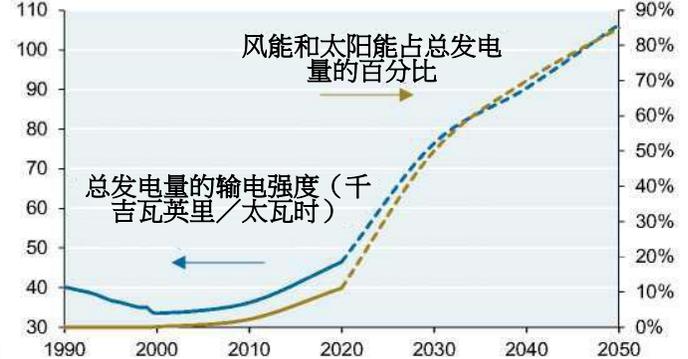
- 第一张图表显示风能和水力发电通常比天然气和核能更远离人口中心。使用能源信息署数据，我们计算了所有发电厂与至少 200 万人的人口集群的兆瓦加权平均距离。更远的距离 = 更多的传输
- 第二张图表是 Vaclav 的首选方法。在过去 30 年，美国电网每太瓦时发电的传输距离为 35-45 英里。使用典型的深度脱碳计划及其相关的输电要求，我们估计高可再生能源系统的「输电强度」将至少是当前水平的两倍。那将是很多新型输电方式
- 但正如我们所解释的，电网扩张远低于深度脱碳轨迹。最后两张图表显示美国电网的历史，以及过去 5 年扩张速度如何从 1.5% 放缓至 1.0%，包括重建和升级。2021 年，美国只有约 300 英里的高压输电线路上线，其中一半来自 Western Spirit 输电线路，用于传输新墨西哥州的风电

发电设施可覆盖 200 万人所需的距离，公里，兆瓦加权平均值



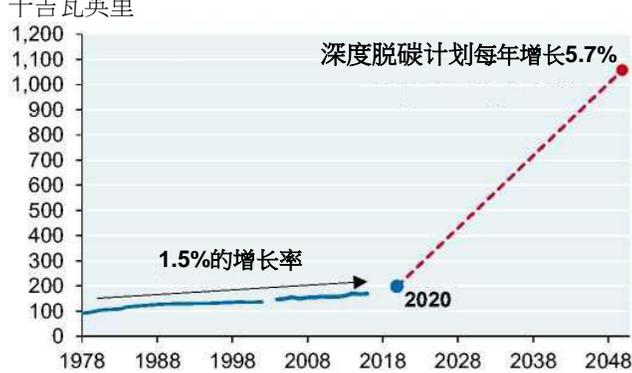
资料来源：美国能源信息署、人口普查局、摩根资产管理计算。2022 年。

脱碳电网的输电强度



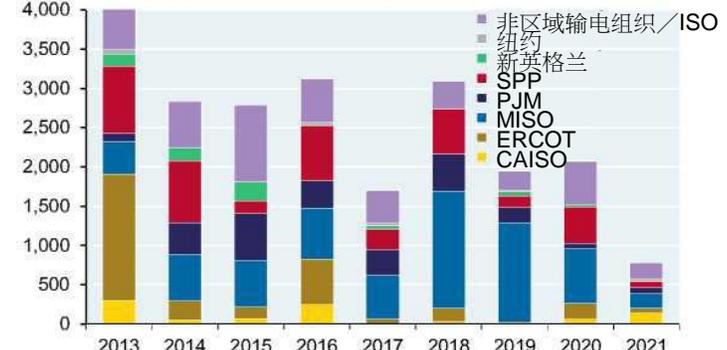
资料来源：美国能源部、德克萨斯大学奥斯汀分校、Princeton Net Zero、摩根资产管理。2022 年。

美国输电增长，历史 vs 目标



资料来源：美国能源部、德克萨斯大学奥斯汀分校、Larson 等人（普林斯顿大学）。摩根资产管理。2022 年。

最近输电线路增长率从 1.5% 下降到 1.0%，每年增加英里数，电网总规模=约 200,000 吉瓦英里

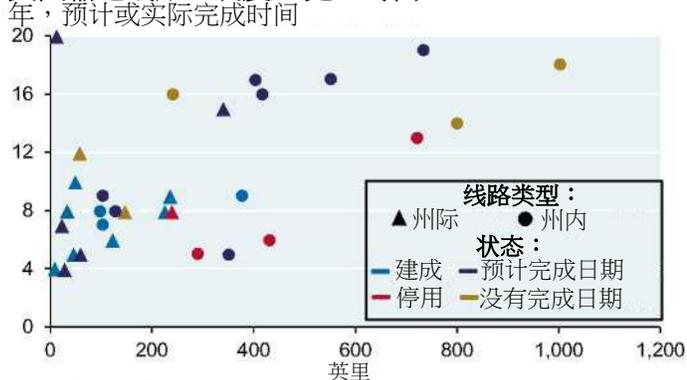


资料来源：标普全球、摩根资产管理。2022 年。注：输电线路 > 100 kV。



输电线路完工时间。虽然小于 150 英里的项目已在 5-10 年内完工，但超过 400 英里的项目（例如，从堪萨斯州威奇托到密苏里州圣路易斯）可能需要 15-20 年才能完成。

美国输电线路：长度vs完工时间



资料来源：「美国电网在2035年前实现脱碳所面临的挑战」，Moch和Lee（哈佛大学）。2022年2月。

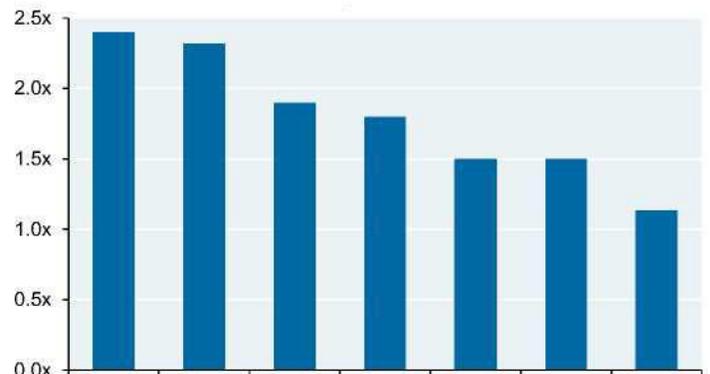
Transwest Express 旨在将怀俄明州的风电传输至内华达州/加利福尼亚州边界。科罗拉多西北部的一个家庭获得了鼠尾草和麋鹿保护地役权，该地役权禁止在其 56,000 英亩牧场上输电。地役权还阻止了与 Transwest 平行运行的 Gateway South 输电项目。僵局已得到解决，并可开始施工，但该项目目前已进入第 18 年。自 1990 年以来，科罗拉多州使用保护地役权的面积已从 10 万英亩增至 270 万英亩。在 2011 年奥巴马政府快速推进的 7 个大型输电项目中，2 个已经完成，4 个待定，1 个已取消。

美国最新的并网队列阻塞状况。自 2019 年以来，PJM 队列增长了 2.4 倍，因为太阳能、储能、风能和混合动力项目超过了电网管理人的整合能力。其他 ISO 队列增长倍数显示在第二张图表中。第三张图表显示了并网请求和项目调试之间的平均年数，该表显示了排队中的风能和太阳能与已装机风能和太阳能容量。请注意队列到底意味着什么，我们将在以下内容进行解释。

拥堵的PJM电网互联等候队列



2019年至2021年电网互联等候队列增长情况



部分独立系统运营商从请求互联到电厂调试的等候期中值，年



风能和太阳能并网队列占风能和太阳能装机容量的百分比，2021年

ISO	队列/上限%	不包括海上风电
CAISO	421%	392%
ERCOT	224%	224%
ISO-NE	628%	134%
MISO	415%	415%
NYISO	1914%	705%
PJM	1078%	980%
SPP	289%	289%

资料来源：劳伦斯伯克利国家实验室、摩根资产管理。2022年

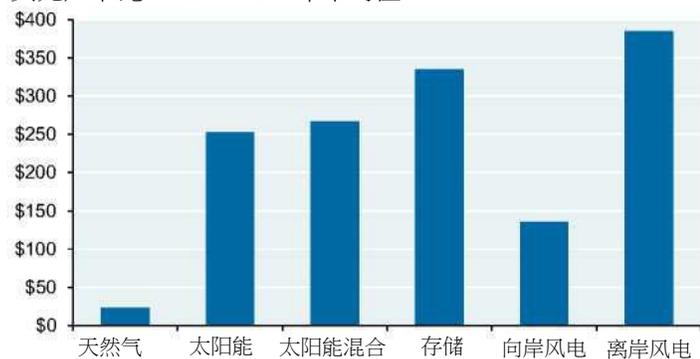


但是，在解释「队列中的项目」的含义时要小心。根据定义，这些项目尚未获得并网批准，可能除了备案费用之外没有筹集到太多资金，也可能没有得到开发商的评估，以确定它们是否将服务于商家或固定电力购买协议市场。队列中的项目完工率很低，不应被解释为代表未来风能和太阳能发展的发电潜力。根据劳伦斯伯克利国家实验室的数据，从 2000 年至 2017 年进入队列的风能和太阳能项目的完工率仅为 16% 和 10%。如前文 LCOE 部分所述，最大的 ISO (PJM) 表示风能/太阳能完工率仅为 5%。

接下来的两张图表显示了可再生能源的并网成本如何使天然气的并网成本相形见绌，以及太阳能和风电并网成本如何在天然气和储能并网成本下降的同时不断上升。结论：并网延迟和成本是可再生能源转型中的摩擦源。

所有项目的互联成本（按燃料类型）

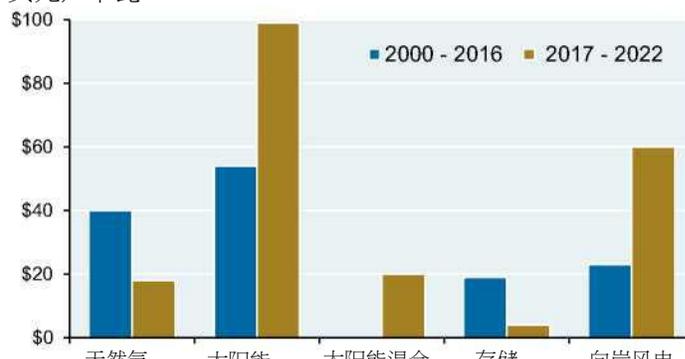
美元/千瓦，2017-2022年平均



资料来源：劳伦斯伯克利国家实验室。2023年。注：包括已完成、正在进行和已撤销的项目。

已完成项目的长期互联成本

美元/千瓦



资料来源：劳伦斯伯克利国家实验室。2023年。

如下图所示，延迟和成本上升导致风能/太阳能弃电和拥堵情况的增加。这不仅仅是美国的问题；欧洲风能协会去年警告称，有 2,000 个风能项目正在等待西班牙当局的许可，其中 19 吉瓦的项目需要进行全面的环境影响评估，否则开发商将不得不从头开始。德国风能协会提醒投资者注意类似风险。右图显示欧洲的风能和太阳能队列与美国相似。

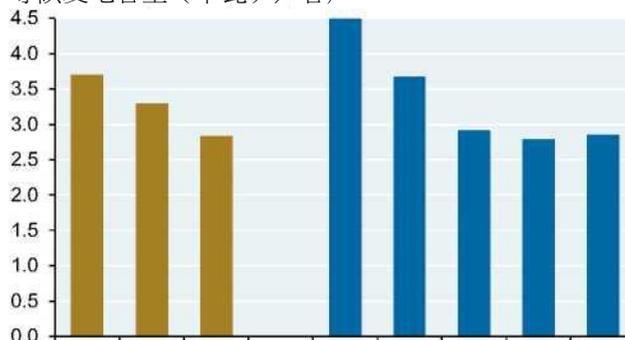
ISO 的弃电和拥堵成本，2019-2021 年

ISO	2019 年弃电		2019 年拥堵成本 (百万美元)		2021 年拥堵成本 (百万美元)		并网队列容量 (吉瓦)
	2019 年弃电	2021 年弃电	2019 年	2021 年	2019 年	2021 年	
直接来自 ISO 报告的吉瓦时弃电数据							
CAISO	961	1,505	\$152	\$164			93
ERCOT	2,370	6,617	\$110	\$1,400			137
MISO	245	301	\$900	\$2,800			314
SPP	1,191	6,351	\$457	\$1,200			94
劳伦斯伯克利国家实验室风电报告中的弃风率数据，仅弃风率							
ISO-NE	1.9%	1.8%	\$33	\$50			461
NYISO	1.5%	2.0%	\$462	\$624			28
PJM	0.0%	1.8%	\$583	\$995			105

资料来源：标普全球。2022 年 9 月 1 日。

欧洲队列与美国相似

等候发电容量 (千瓦) / 客户

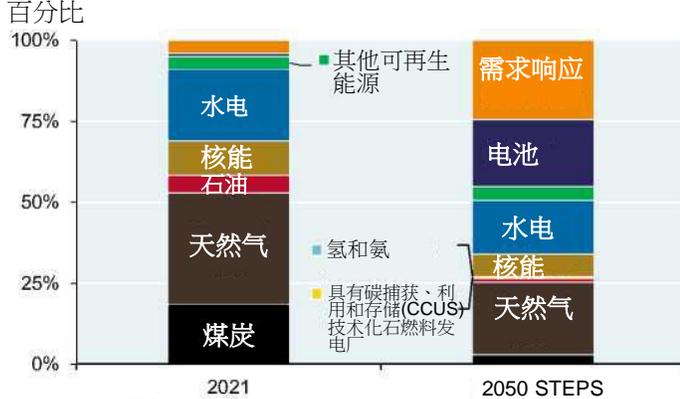


资料来源：彭博新能源财经、世界银行、摩根资产管理。2023年。



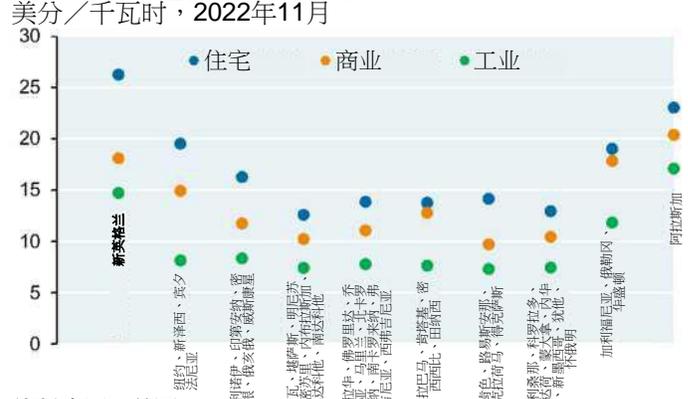
大多数脱碳计划都需要建设输电和整合大量间歇性电力。我认为有趣的是，国际能源署认为，从长远来看，这些挑战将通过以下方式得到解决：(i) 电池使用量的大幅增加（目前可忽略不计），以及 (ii) 大量的「需求反应」，这是一种很好的说法，即电力消费者将改变他们的负荷需求，以匹配电力供应，也许还有经济激励。这两种变化都将与现有的能源系统大相径庭。

未来电网灵活性从何而来？



资料来源：国际能源署。2022年。

新英格兰：电价和阿拉斯加一样



资料来源：美国能源信息署，2022年。

我们最后再讨论一下新英格兰地区，该地区以进步思想、环保活动、大学撤资政策、智库和大量关注能源政策的人而闻名。对于普通市民和小型企业来说，这也是一个电力负担，因为该地区拥有美国最高的电价。马萨诸塞州的电价与阿拉斯加州并无太大区别，尽管马萨诸塞州距马塞勒斯页岩地区丰富的天然气和低电价仅 200 英里。新英格兰地区面临以下挑战，其利益相关者都无法解决这些挑战：

- 尽管对天然气的依赖从 2000 年的 12% 上升至 2022 年的 46%，但没有扩大现有的 5 条管道网络。纽约州封锁了本可以缓解新英格兰地区天然气供需状况的宪法管道 (Constitution Pipeline)；在此之后，其他管道项目被搁置
- 当天气寒冷和供暖需求激增时，拥有固定服务合同为住宅和商业空间供暖提供天然气的当地天然气配气公司相较具有可中断服务合同的电力公司更有优势，从而推高电价
- 即使获得天然气，但该地区没有足够的存储容量来存储更多的天然气；去年冬天，天然气容量不足导致 30% 的发电量使用燃料油，电力调峰容量不足，无法大规模增加新客户
- 缅因州和新罕布什尔州阻止了更多加拿大水电的高压直流(HVDC)输电项目。(在 HydroQuebec 首席执行官辞职后) 加拿大政策也可能发生转变，以吸引更多工业公司前往魁北克，从而降低其水电出口能力
- 虽然屋顶太阳能可缓解夏季需求高峰，但冬季就没有那么好运了
- 由于《琼斯法案》规定，只有美国船只才能在美国港口之间运输货物，因此从美国其他地区进口液化天然气来补充管道天然气并非一种选择。不幸的是，美国没有足够的备用液化天然气油轮
- 由于成本增加，海上风电延迟迫使开发商重新谈判 PPA 合约(Avangrid/Mass)。

所有这一切都发生在下一轮汽车电气化和冬季供暖之前。如前文所述，新英格兰地区没有落地新的电动汽车电池工厂项目。电费可能是其中一个主要原因。

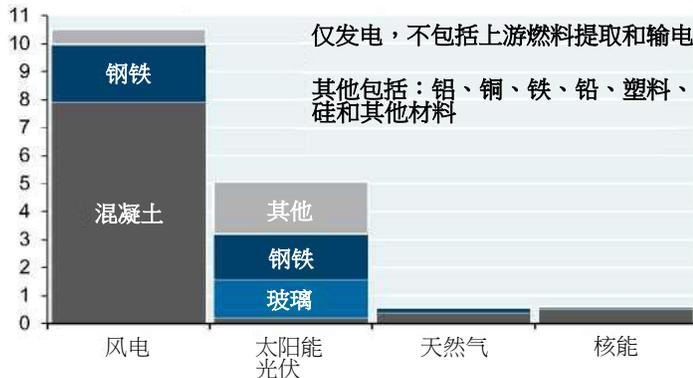


[4]资源民族主义进场，全球化出局：各国争相将可再生能源转型中所使用矿物的生产和加工转移至本国

需要某些矿物来一次性建设风能和太阳能发电能力，而需要石油、天然气和煤炭来一直运行热电能力。可再生能源涉及其他地方讨论的间歇性和能量密度问题，但从理论上讲，与化石燃料相比，其矿物需求受到的限制更少……如果一个国家能够可靠地生产或购买可再生能源。但很多矿产的分布与化石燃料一样，在地理上也很集中，有些地区的矿产资源并不丰富。

让我们从基础开始：构建可再生未来需要什么？一方面，大量的工业材料。下一张图表显示**每太瓦时电力所使用的建筑材料的规模**。可再生能源每太瓦时对混凝土、钢铁和玻璃的要求远高于天然气或核能。

建筑材料（按发电来源）（千吨／太瓦时电力）



如果您想知道……

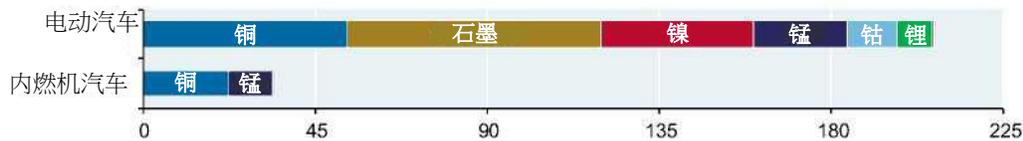
水泥由丰富的石灰石、粘土和石膏制成，加热至 2,700 华氏度（约 1482 摄氏度）并研磨成粉末。水泥的问题不在于矿物质稀缺，而在于利用矿物质时所需的能量。

混凝土是世界上使用最多的材料，仅次于水，是水泥、水、沙子和石头骨料的复合材料。

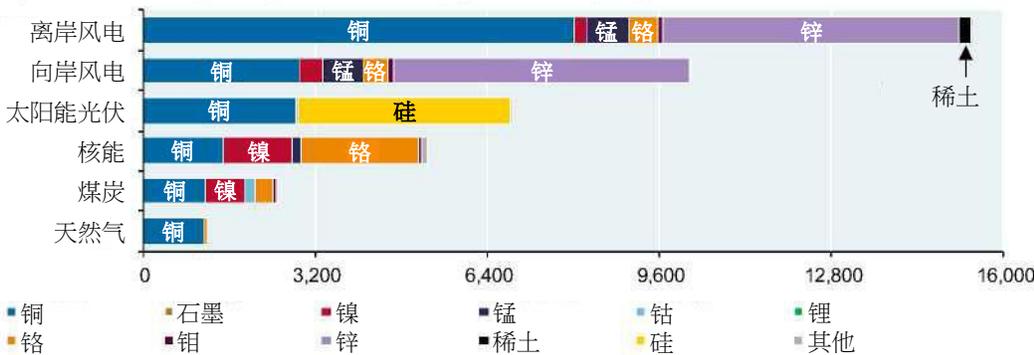
资料来源：阿贡国家实验室、美国能源部、摩根资产管理。2022年。

可再生能源转型还需要大量基础和关键矿物。下一张图表比较了电动汽车与内燃机 (ICE) 车辆的矿物需求，还将风能和太阳能与核能、煤炭和天然气发电的矿物需求进行比较。

风能／太阳能／电动汽车使用的矿物vs传统能源系统
每辆车使用的矿物千克数



每兆瓦发电容量所需矿物千克数



资料来源：国际能源署。摩根资产管理。2022年。



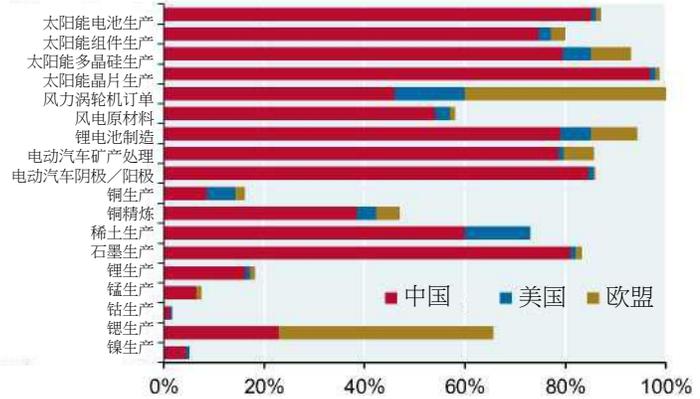
但眼下的问题并非转型矿物的丰富性。如表中所示，已探明储量相对于当前产量较高（大多数矿产>40年），全球资源量甚至更高。**挑战**：供应的可靠性，尤其是当矿产来自地缘政治风险较高的国家时；资源民族主义抬头；与增加（且可以说是延迟的）环境影响监测相关的成本，如在智利/秘鲁；以及在别处开采和加工这些矿物所需的成本和时间。

转型矿物普遍丰富

以千吨为单位 的数字	全球产量	全球储备	全球资源
锂	130	26,000	98,000
铜	22,000	890,000	2,100,000
钴	190	8,300	25,000
镍	3,300	100,000	300,000
锰	20,000	1,700,000	不适用
铬	41,000	560,000	12,000,000
锌	13,000	210,000	1,900,000
稀土	300	130,000	不适用
铁矿石	1,600,000	85,000,000	230,000,000
铂族	0.40	70	100
石墨	1,300	330,000	800,000
钼	250	16,000	25,400

该表不包括硅，它是地壳中第二丰富的元素。全球石灰石和白云石资源也很丰富。铁矿石数据指含铁量而非原矿。铂族指钯和铂。资料来源：美国地质调查局、摩根资产管理。2022 年

目前，许多可再生能源供应链都要经过中国



资料来源：基准矿物情报、彭博新能源财经、EC、国际能源署、标普、美国地质调查局、摩根资产管理。2022年。

如右图所示，**中国**主导着众多可再生能源生产加工供应链。使其回流并不便宜：即使中国是世界低成本生产国，太阳能组件和风力涡轮机的价格在 2021 年也迎来几年来首次上涨，电池成本下降速度放缓。通货膨胀也影响了其他项目：沙特 Neom 绿色氢¹⁸设施的开发商宣布，由于备用件、土地和利息的成本增加，其最初的 50 亿美元预算已经增至 85 亿美元。由于规模经济，我们已经习惯了单位价格的稳步下降，但在某些时候，价格下降可能趋于平稳，并随着需求和/或材料稀缺而间歇性上升。太阳能方面的一些好消息：多晶硅价格自去年见顶以来已下跌约 50%。

光伏组件、风力涡轮机和电动汽车电池价格与部分投入品成本的函数关系：



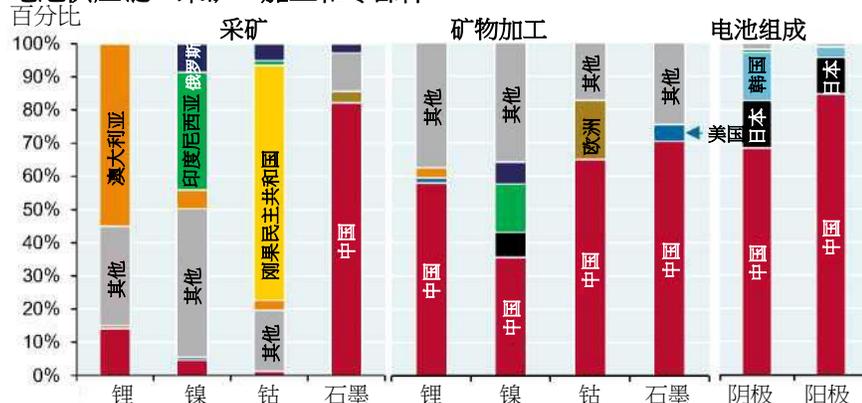
¹⁸ 在聚合物电解质燃料电池中，氢和氧转化为电和水。通常使用铂和钯催化剂，因为这类催化剂与氢气的结合程度很高，可通过氧化产生质子和电子。作为稳定性风险而非矿产丰度风险的一个例子，铂族矿物的生产和探明储量都集中在南非、津巴布韦和俄罗斯。



电池供应链

锂、镍和钴等电池矿物在多个国家/地区开采。中国主导着用于电池阳极的石墨开采、阴极和阳极等电池组件的生产，以及电池矿物的加工。中国目前的乘用车出口量约为 260 万辆，与德国的乘用车出口量相媲美，部分得益于其电动汽车供应链的实力，并有望在未来几年超过日本。

电池供应链：采矿、加工和零部件



资料来源：国际能源署。2022年。

全球锂储量 (按国家)



资料来源：美国地质调查局、摩根资产管理。2023年。

电池矿物价格上涨 (见第 13 页) 可能将加强近期从镍基化学物质向磷酸铁锂(LFP)电池的转变¹⁹。到 2022 年，特斯拉近一半的产量都使用了磷酸铁锂化学物质，这种化学物质正在美国和欧洲未来的工厂中使用。关于锂：

- 国际能源署预计到 2030 年锂需求将达到 320 千吨，高于 2022 年的 130 千吨。这听起来是一个很大的增长，但世界上有大量的锂资源：从 2018 年到 2022 年，全球锂储量估计从 1,300 万吨翻了一番，增至 2,600 万吨。价格上升加速勘探活动：伊朗宣布发现 850 万吨锂矿，可能是世界第二大锂矿，印度也宣布可能发现 600 万吨锂矿
- 中国碳酸锂价格已从 2022 年的峰值水平下降约 50%，但仍是 2020 年水平的约 4 倍
- 西方锂矿从可行性研究到实际生产可能需要 7 至 19 年²⁰
- 鉴于回收铁和磷酸盐的利润率较低，国际能源署预计到 2030 年，钴、镍和锂回收仅能满足 1%-3% 的电池需求

一种可能不需要锂的电池选择：钠离子电池 (Na-Ion)，由钠、氮、铁和碳制成。与磷酸铁锂电池相比，钠离子电池可能只需要 20% 的能量密度赤字，并且可能非常适合城市电动汽车 (较短的行驶距离) 和电网规模的储能。中国电池制造商宁德时代于 2021 年推出首款钠离子电池。但需要明确的是，钠离子电池目前几乎没有应用于轻型电动汽车领域，而且考虑到所需的生产提前期，到 2030 年所占份额可能不足 10%。

固态锂空气电池理论上可以比目前使用液体电解质溶液的电池高 2-4 倍的能量密度。根据阿贡国家实验室 (Argonne National Labs) 数据，液体溶液会产生每个氧分子具有 1-2 个电子的过氧化锂或超氧化物，而固态方法可以产生具有 4 个电子的氧化锂。他们在室温下对原型电池进行了 1,000 次循环测试，但尚未商业化。在过去十年中，出现了大量新的电池创意；在做任何预测之前，通常需要等待基于实际生产和采用的概念验证。

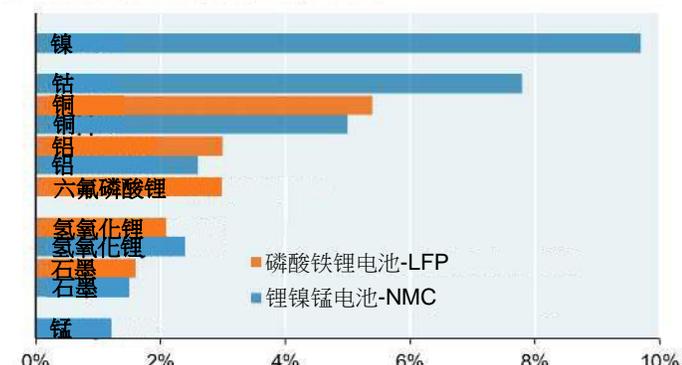
¹⁹ 虽然镍基化学物质，如 NMC (锂、镍、锰) 和 NCA (锂、镍、钴、铝)，在 2021 年以 85% 的份额主导了电动汽车市场，但尽管能量密度/续航里程较低，磷酸铁锂电池的份额还是迅速增加，主要由于磷酸铁锂电池不需要任何钴或镍，起火风险更低，使用寿命更长。中国的比亚迪通过降低自重外壳要求来提高磷酸铁锂密度。

²⁰ 国际能源署，「全球电动汽车电池供应链」，2022 年 7 月



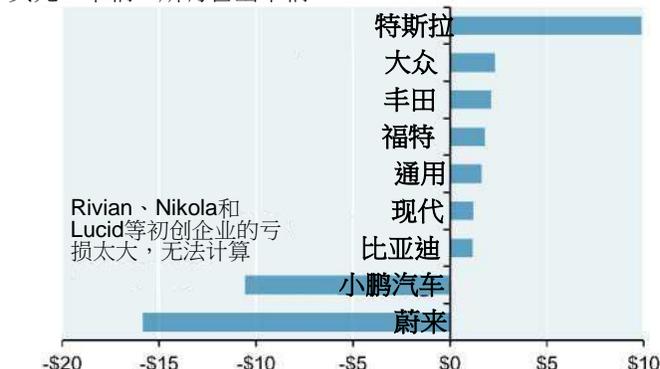
虽然电池矿物供应是关键所在，但电池价格对不断变化的矿物价格的敏感性有时被夸大了。电池价格包括生产、运输、人工等成本。一项研究²¹指出，如果其中一种矿物成分的价格翻倍，磷酸铁锂电池的价格只会上涨 2%-5%，NMC 电池的价格只会上涨 2%-10%（下一张图表）。当电池价格确实上涨时，电动汽车制造商可能仍会决定展开价格战。特斯拉最近就采取如此行动，将其 Model Y 降价 20%，将 Model 3 降价 14%，迫使福特²²也降价 8%-19%。特斯拉的降价源于更高的单位利润率。

电池价格变化（假设每种成分矿物价格100%上涨）
百分比



资料来源：「能源储存货币化」，Schmidt和Staffell。2023年。

2022年每辆车的净利润，不包括非常项目
美元，千辆，所有售出车辆



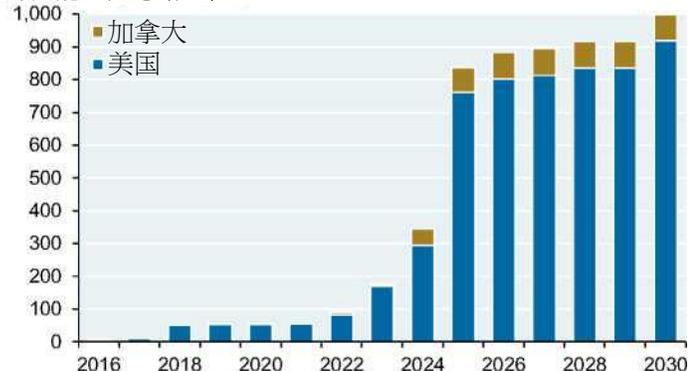
资料来源：彭博财经、摩根资产管理。2022年第三季度。

美国电池供应链扩建

Rivian 的 CEO 去年表示，90%-95%的电池供应链都不存在，电池短缺会让半导体短缺看起来像是「开胃菜」。也就是说，美国已宣布对电池供应链组装进行大量投资，预计到 2030 年，美国的电池供应链组装产能将从 2021 年的每年 55 吉瓦时增加至 1,000 吉瓦时²³。关键州：佐治亚州、田纳西州、肯塔基州、密歇根州、俄亥俄州、北卡罗来纳州和内布拉斯加州（新英格兰可能由于较高的工业用电价格而被淘汰；参见第 23 页）。假设每辆汽车电池 50-70 千瓦时，1,000 吉瓦时的电池容量可满足美国 2030 年预计约 800 万辆的电动乘用车销量的所有电池需求。

美国在电动汽车电池、电池组和车辆生产方面对中国的敞口最小。该表显示了美国在 2021 年如何依赖自身及其盟友获取这些材料。然而：虽然美国正在扩大其制造电池、电池组和车辆的能力，它可能仍将高度依赖世界其他地区来开采和加工用于这些电池的矿物，以及阴极和阳极等组件。

公布的电池厂产能
净产能，吉瓦时/年



资料来源：阿贡国家实验室。2022年11月。

2021 年在美国销售的锂离子电池、电池组和电动汽车的原产国
#以千为单位的数字

原产地	电池		电池包		投资工具	
	#	份额	#	份额	#	份额
美国	362	57%	402	63%	406	64%
欧洲	96	15%	109	17%	50	8%
日本/韩国	162	26%	119	19%	92	14%
加拿大/墨西哥	0	0%	0	0%	62	10%
中国	12	2%	4	1%	4	1%
其他	0	0%	0	0%	21	3%

资料来源：阿贡国家实验室，摩根资产管理。2022 年。

太阳能供应链

中国在太阳能供应链上占据主导地位，此前中国以低成本贷款、廉价土地和电力的形式对其太阳能行业

²¹ 「货币化能源存储」，Schmidt 和 Staffell，伦敦帝国理工学院，2023 年

²² 福特宣布，预计 2023 年其电动汽车部门亏损 30 亿美元，由其他业务的利润补贴

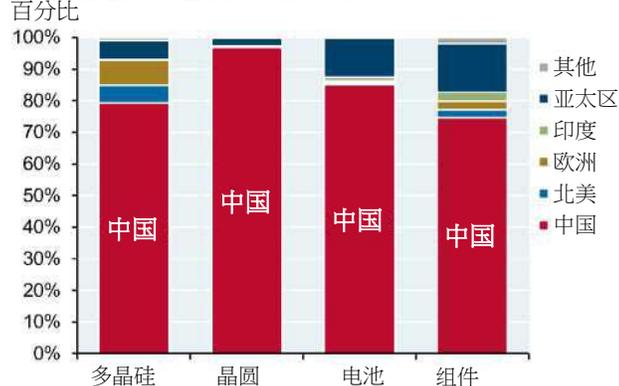
²³ 来自现代/SK、本田/LG、丰田、松下、Redwood、LG 化学的投资。



提供了 10 年的支持，或许最重要的是，中国在 2013 年征收了进口关税。太阳能资源民族主义仍在抬头：自 2011 年以来，对光伏供应链征收反倾销、反补贴和进口关税的数量从 1 个增至 16 个，还有 8 个正在考虑中。中国宣布，商务部、科技部正在就将先进太阳能锭和晶圆列入禁止出口名单征求公众意见。如果中国这样做，就会效仿美国对向中国出口先进半导体的限制。

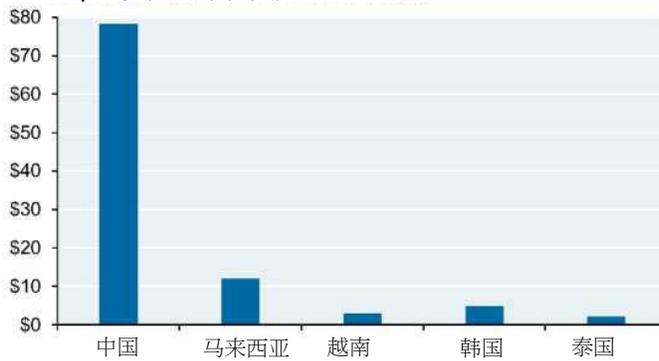
太阳能和美国对亚洲的依赖状况：

太阳能光伏制造能力（按国家和地区）



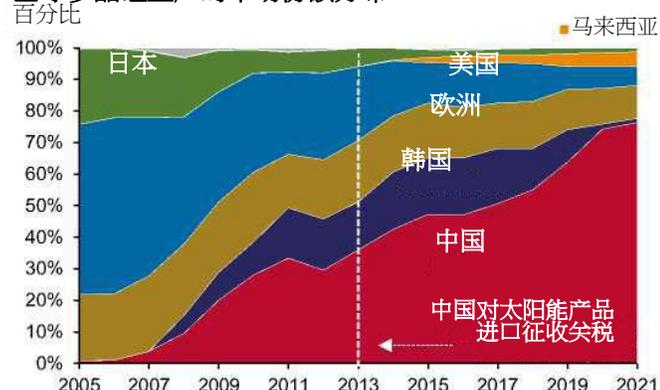
资料来源：国际能源署。2022年。

累计光伏级多晶硅、晶圆、电池和组件贸易余额，2017-2021年，美元，十亿美元



资料来源：国际能源署。2022年。

全球多晶硅生产的市场份额分布



资料来源：Bernreuter Research。2022年。

光伏级多晶硅、晶圆、电池和组件贸易值，2010-2022年（估计），美元，十亿美元



资料来源：国际能源署。2022年。

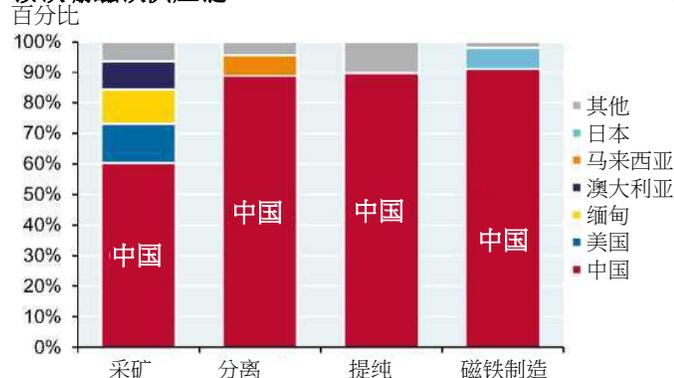
- 光伏板通过从石英中提取高级硅，将其制成圆柱形锭，锭被切成薄片，经过化学处理，制成能够将阳光转化为能量的电池
- 去年，美国多数多晶硅工厂被改造为半导体行业的供应商。美国没有运营中的铸锭、晶圆或电池产能；在 2014 年，生产这些产品的十几家美国工厂已不复存在。美国目前进口的太阳能电池板足以满足 90%-95% 的年度需求
- 美国商务部得出结论，某些中国制造商将业务转移到越南、马来西亚、柬埔寨和泰国以规避关税，因此他们现在也将被征收关税。对美国太阳能进口征收十年关税本应推动美国国内生产，但收效甚微；关税只会增加美国太阳能的安装成本（根据太阳能项目开发商的说法）
- 美国能源法案启动了新的美国太阳能供应链产能（韩华、SPI Energy、Convall Energy、第一太阳能）；美国生产的每兆瓦时的总成本值得研究一下



风电和磁铁供应链

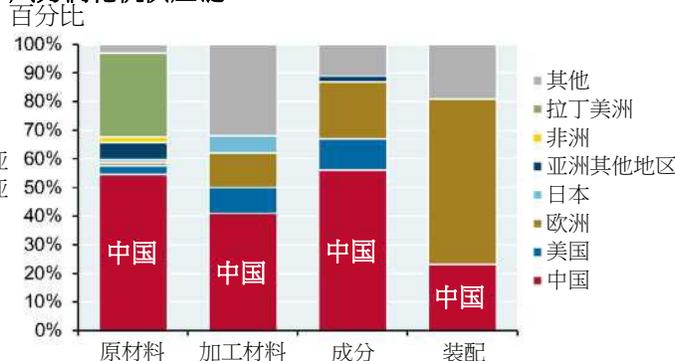
下列图表涵盖钕磁铁²⁴和风电的供应链。中国是唯一拥有完整永久磁铁供应链的国家。钕是一种稀土元素，我们接下来将详细讨论。

钕铁硼磁铁供应链



资料来源：美国地质调查局、美国能源部。2022年。

风力涡轮机供应链



资料来源：欧盟委员会。2020年。

目前主要有四种风力涡轮机技术，如下方右图所示。我知道其中有很多专业术语，但加入该图表是为了说明关于海上风电的一些内容。相比陆上风电，除需要**更多铜**之外，海上风电主要依靠「直驱永磁」发电机，因此还需要**更多稀土金属**。海上风力涡轮机更高、更轻、更高效，并且安装的叶片更大，以产生更高的容量因子。截至2022年底，全球已安装海上风电**65-70吉瓦**，约占全球风电容量的**7%**。

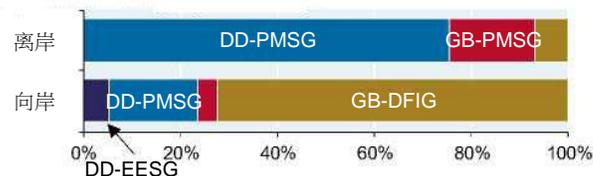
美国风力组件进口



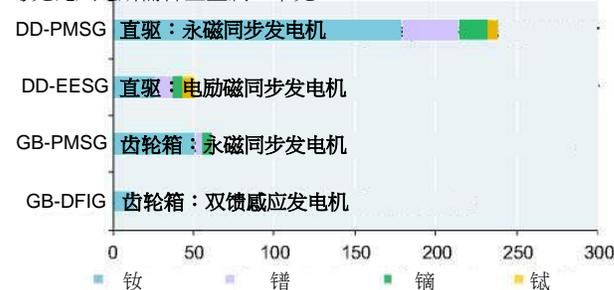
资料来源：美国能源部。2021年。

与太阳能、稀土和电动汽车电池用矿物开采/加工相比，美国在风能供应链方面受中国的影响较小。

离岸风力发电更加依赖直驱永磁技术(DD-PMSG)...



...而直驱永磁技术更依赖稀土
每兆瓦风电所需稀土金属，千克



资料来源：国际能源署、摩根资产管理。2022年。

²⁴ 钕磁铁需要大量工序：开采、加工和提炼稀土；合金化处理以提高磁性；熔炼、带材铸造和快速冷却；氢爆裂分解磁铁材料；气流研磨将钕金属磨成粉末；高压磁化；冷等静压消除空隙；在1000°C以上的熔炉中烧结，以提高磁性；然后切割、加工、磨削和电镀，制成用于电动汽车、风力涡轮机、船舶推进系统、手机等产品的最终磁铁。



稀土元素(REE)供应是可再生能源转型的另一关键问题。

- 尽管名为稀土，但地壳中的稀土元素储量丰富。然而，其分布非常分散并且发现的富集度极低，因此从经济角度而言更难以开采。
- 稀土元素用于电动汽车（尽管有潜在的替代物）和风力涡轮机的烧结磁铁，以及用于 F35 闪电战斗机、DDG-51 伯克级驱逐舰和手机²⁵
- 除占据高达 60%的稀土元素产量之外，中国还拥有最大的稀土元素储量。需要说明的是，实际稀土元素矿床的地质结构并未完全掌握。例如，瑞典宣布已发现高达 100 万吨的欧洲最大稀土元素矿床；但需要 10-15 年才能开始生产
- 中国正加强对其稀土元素主导地位的控制和监督。2021 年 12 月，中国国务院国有资产监督管理委员会(SASAC)通过合并三家稀土国有企业，成立中国稀土集团。影响：对全球供应有更大定价权和影响力
- 中国在稀土元素供应链的主导地位实际上可能被低估。根据 2022 年彼得森国际经济研究所的研究²⁶，中国在其他国家合作开发一些项目，以确保长期供应，并对其自身的稀土元素产量进行控制。相反，美国的稀土元素生产是由投资公司控制；联邦政府对这些公司的运营没有直接控制权，除非借助立法，如 1950 年的《国防生产法》
- 如果发达国家希望稀土生产本土化，这并非易事：将与中国受管制的稀土产业以及中国不受监管的稀土运营开展竞争，据报道，不受监管部分占中国稀土总产量的 40%或更高份额²⁷。由于没有运营、环境和劳工监管，后者的总体成本通常更低
- 再次重申：问题并不在于稀土元素的稀缺性，而是在其他国家开采和加工稀土的价格，以及实现投产耗时漫长

2022年全球稀土开采产量（按国家）



资料来源：美国地质调查局。2023年。

2022年全球稀土储量（按国家）



资料来源：美国地质调查局。2023年。

²⁵ 「中国的稀土主导地位对美国意味着什么」，贝克研究所，Foss 和 Koelsch，2022 年 12 月 18 日

²⁶ 「绿色能源依赖关键矿物，谁控制着供应链？」，PIIE，2022 年 8 月

²⁷ 「1975-2018年中国的稀土公共政策」，Yuzhou Shen等，《Mineral Economics》，2020年，以及「中国不受监管的离子粘土稀土开采的影响」，Packey和Kingsnorth，《Resources Policy》，2016年



- 美国对中国稀土金属的依赖度约 80%。目前，美国唯一的稀土生产商是 MP Materials 位于加利福尼亚州的 Mountain Pass 工厂，该工厂还将其生产的 30,000 吨精矿运往中国进行加工。磁铁方面，Noveon 是美国唯一在营的永久磁铁制造商
- 美国国防部分别向 Lynas、MP Materials 和 Noveon 拨款 3,000 万美元、4,500 万美元和 3,000 万美元。芯片法案/能源法案也对生产成本提供退税，增加对研发巨头的注资授权以及《国防生产法》注资。即便如此，整个过程需耗费时日，并且需获得批准
- 美国如何追赶？稀土元素在土壤中非常分散，因此研发可以降低生产的边际成本。连续离子交换以及传统溶剂提取以外的其他技术可提高效率和降低成本
- 中国不仅主导稀土元素的生产 and 加工；中国也是其他一些矿物的最大生产国。下表显示中国为全球最大生产国的矿物，以及每种矿物供应风险和经济重要性的估计值

物料	阶段	供应 风险	经济 重要	中国 份额	物料	阶段	供应 风险	经济 重要	中国 份额	物料	阶段	供应 风险	经济 重要	中国 份额
铈	E	2.9	5.3	74%	镓	P	1.8	3.9	80%	镨	E	7.9	4.8	86%
重晶石	E	1.8	3.6	38%	锗	P	5.6	3.9	80%	钆	E	8.7	8.1	86%
铋	P	3.2	4.4	80%	钪、铟、镱、铷	E	8.8	3.7	86%	铈	P	4.4	4.9	66%
铈	E	8.8	3.9	86%	铟	P	2.6	3.6	48%	金属硅	P	1.7	4.7	66%
焦煤	E	1.7	3.4	55%	镧	E	8.7	1.7	86%	铽	E	7.9	4.6	86%
镉	E	8.9	8.0	86%	镁	P	5.6	7.4	89%	钛	P	1.8	5.2	45%
铟	E	8.7	3.4	86%	天然石墨	E	3.2	3.6	69%	钨	P	2.3	9.0	69%
铊	E	5.2	3.6	86%	钆	E	8.7	5.4	86%	钒	E	2.4	4.9	39%
萤石	E	1.6	3.7	65%	磷酸盐岩	E	1.6	6.3	48%	钇	E	6.0	3.9	86%
钆	E	8.7	5.1	86%	磷	P	5.2	5.9	74%					

资料来源：欧盟委员会年。2022。注：E = 提炼阶段，P = 加工阶段。

供应风险范围从 0 - 10，其中 10 = 特定金属供应中断的风险最大。

经济重要性范围从 0 - 10，其中 10 = 对终端应用最重要。

重稀土元素
轻稀土元素



最后一项矿物评述：铀、核电和小型模块化反应堆

全世界几乎一半的铀产量来自哈萨克斯坦。其余产量：纳米比亚占 12%，加拿大、澳大利亚、乌兹别克斯坦、俄罗斯和尼日尔各占 5%-10%。中国的份额只有 3.5%。虽然 1960 年至 1985 年美国曾是主要的铀生产国，但其份额已缩小至接近于零，尽管美国西部储量丰富。如下图所示，美国核电厂的平均役龄超过 40 年。

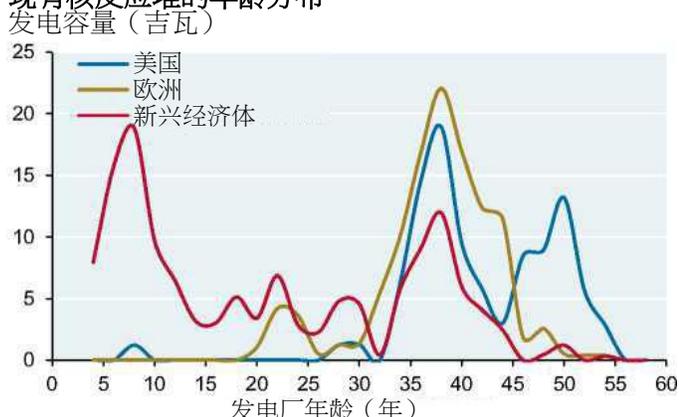
核电综述：

- 中国、韩国、印度、俄罗斯和土耳其正在修建 34 座新核电厂，主要为压水反应堆
- 美国只有两座在建核电厂（位于乔治亚州），均超出预算数十亿美元并且落后于计划数年；它们也是美国在 30 年内将会竣工的首二座核电厂。
- 欧洲方面，法国在经历新冠疫情困扰、腐蚀关停和低水位之后，核电产量应该会在 2023 年恢复；但此产量增加可能与比利时和德国计划中的退役抵销。虽然法国宣布到 2050 年将修建 14 座新反应堆，但我们需要关注事态进展：该国 Flamanville 核电厂的计划和执行正遭受重大挫败。于 2007 年开始动工；到 2020 年已超过最初预算的 5 倍；且项目管理方不得不对结构异常、冷却焊缝缺陷以及现场起火/爆炸。经过再次延期和成本超支，现在计划于 2024 年初投入运营。
- 日本拥有 10 座运行中的反应堆，计划在 2023 年重启另外 7 座，到 2030 年再重启另外 10 座反应堆（共计 33 座反应堆）。日本的目标是到 2030 年核能发电量重新回到 20%（2021 年 = 7%）

美国核能管理委员会已批准在爱达荷州修建示范性小型模块化反应堆(SMR)，有 6 座反应堆的 460 兆瓦 NuScale 项目预计将在 2030 年完工。最新成本估计：每兆瓦时 89 美元（相比之前估计的 58 美元高出 50%）和每千瓦 20,000 美元。即使与成本超支后的乔治亚州核电厂每千瓦 13,500 美元的成本相比仍高出很多，并且是 3 年前 NuScale 估计成本（每千瓦 4,500 美元）的 4 倍。核电方面，成本超支成为相同的主题。

去年一名前美国核能管理委员会主席共同署名的一份研究²⁸强调面临持续的核废料挑战，即使小型模块化反应堆也不例外，引发极大的公众争议。该研究的作者认为，相比较水反应堆(LWR)，小型模块化反应堆将产生更多的化学/物理反应废料，并且小型模块化反应堆涉及的内在更高的中子泄漏表明，多数设计在发电、管理和核废料处理方面可能比较水反应堆更糟。小型模块化反应堆行业对该结论提出异议，声称该结论并未考虑最新设计。据报道，NuScale 的联合创始人兼首席技术官反驳称，小型模块化反应堆的废料流与轻水反应堆相似²⁹。好的；但即便如此，小型模块化反应堆仍未解决核废料挑战的问题。

现有核反应堆的年龄分布



资料来源：国际原子能机构、摩根资产管理。2022年。

TerraPower 最新动态。该公司的首个钠（钠冷）反应堆的竣工日期现在已经推迟至不晚于 2028 年，因为俄罗斯是该核电厂所需的高纯度低浓铀(HALEU)的唯一现有供应源。如果竣工，该钠核电厂将受益于与怀俄明州热电厂（计划于 2025 年退役）连接的基础设施。2020 年和 2022 年通过的国会法案旨在支持国内的 HALEU 供应链，并且 TerraPower 宣布计划在北卡罗来纳州修建一座钠(HALEU)燃料工厂。参议员 Manchin（民主党-西弗吉尼亚州）、Risch（共和党-爱达荷州）和 Barrasso（共和党-怀俄明州）于 2023 年 2 月提出《核燃料安全法案》，以进一步推动该议程。这一切将耗费许多年。

²⁸「小型模块化反应堆的核废料」，Krall、Macfarlane 和 Ewing，《Environmental Sciences》，2022 年 5 月

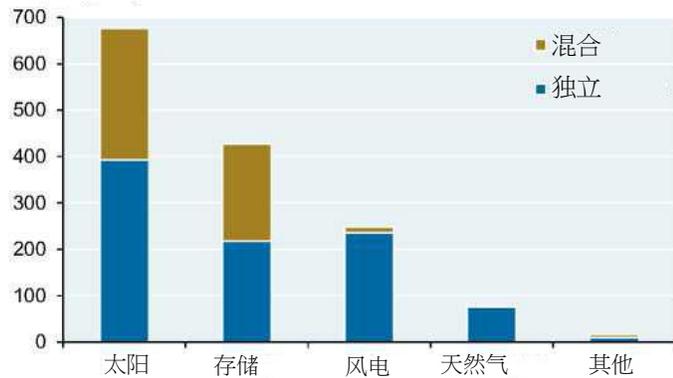
²⁹Bloomberglaw.com, 环境与能源，2023 年 2 月 25 日



[5] 捕集太阳能，输出大部分能源：共址储能和太阳能兴起背后的经济学原理

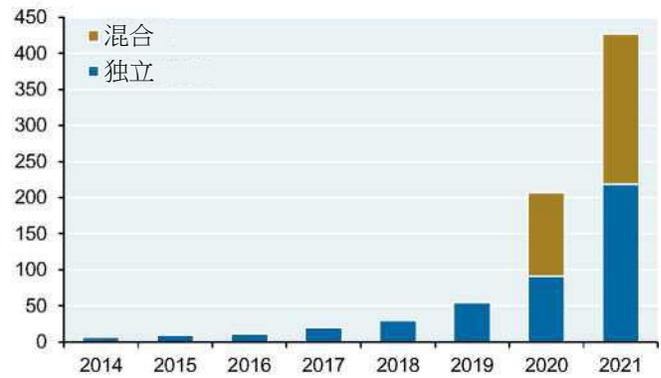
在关注美国电力待建项目时，我们注意到：涉及太阳能³⁰与储能共建的混合项目数量越来越多。储能的拥有者可以进行电价套利：在一天中当电价较低时买入产生的太阳能电力，并在稍后当天电价较高时卖出。然而，通常仅仅电价套利无法构成投资的充分理由。化学电池成本已大幅下降，但储能的建设和运营成本仍相对较高。在很多司法管辖区，储能项目需要通过「容量替代」产生额外的价值：它们可作为发电容量或输电网容量的替代方式，并因此获支付一笔费用，即「容量费」。

等待并网的发电容量，吉瓦



资料来源：劳伦斯伯克利国家实验室。2022年。

等待并网的储能容量
吉瓦

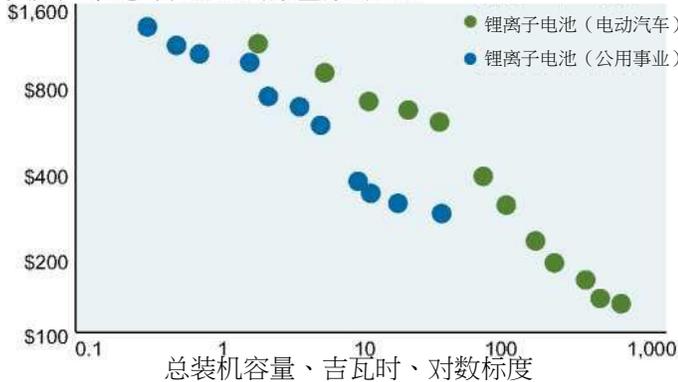


资料来源：劳伦斯伯克利国家实验室。2022年。

我们请能源和环境咨询公司 Decision Solve LLC 的 Jenkins 及其同事，帮助对能源储存的经济学效益进行建模。其中涉及**很多**因素：日内电价差异和波动率；储存、太阳能发电、逆变器和变电站的资本及运维成本；充放循环能源效率³¹；储存持续时间；储能和发电资产的运行寿命；电网中的现有可再生能源状况；不同来源的电力需求和发电状况；发电状况与需求的相关性；生产/投资税收抵免；以及资本成本。详情请参见上表。

电池学习曲线

美元/千瓦时容量，对数基数为2



资料来源：「能量储存货币化」(Monetizing energy storage)。Schmidt和Staffell (牛津出版社)。2023年。

太阳能+储能模式假设

加权平均资本成本 5.5%

储能		逆变器	
资本成本	\$284 每千瓦时	资本成本	\$41 每千瓦
运行寿命	20 年	运行寿命	20 年
运维	\$10 每千瓦时-年	运维	\$10 每千瓦-年
投资税收抵免	30%	效率	95%
持续时间	4 小时		
充电效率	97%		
放电效率	97%		
变电站		太阳能	
资本成本	\$77 每千瓦	资本成本	\$900 每千瓦
运行寿命	20 年	运行寿命	20 年
运维	\$12 每千瓦-年	运维	\$20 每千瓦-年
		生产税收抵免	约 2.75 每千瓦时

资料来源：Decision Solve LLC、摩根资产管理。2023 年。

³⁰ 美国太阳能不仅在公用事业级应用中不断增长。根据彭博新能源财经(BNEF)的数据，截至2022年，美国现有142吉瓦太阳能容量中，有33%是安装在住宅和商用建筑

³¹ 充放循环效率：电池接收和释放直流电。因此，对于产生交流电的风力发电：风电->逆变器(95%)->电池充电(97%)->电池储能->电池放电(97%)->逆变器(95%)，整个充放循环效率为85%。对于产生直流电的太阳能发电，前端无需逆变器，因此充放循环效率提高至89%。



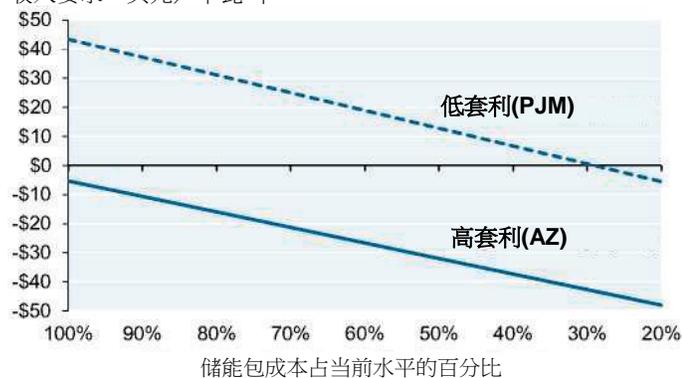
为说明储能的经济效益，我们对两种情形进行了建模：具有较高日内价格套利潜力的亚利桑那州和具有较低日内套利潜力的 PJM（中大西洋地区的独立系统运营商）。³²在下列图表中，X 轴显示储能成本占当前水平（每千瓦时约 280 美元）的百分比，Y 轴显示在从价格套利赚取收入后，储能项目为实现盈利必须赚取的每千瓦-年的额外收入。

当需要的付款为正值时，储能项目将需要通过容量费赚取额外收入，该费用通常由电网运营商支付，以帮助满足高峰电力需求并替代对调峰发电厂（通常为天然气涡轮机，仅在需求最大的极少情况下使用）的需求。当需要的付款为负值时，模型中仅通过能源套利即可为投资者产生充足的回报。

第一个图表显示独立式储能项目，第二个图表显示共址储能+太阳能项目，相比独立式太阳能项目，此情形下可优化逆变器和变电站成本，以降低资本成本。换言之，储能可有效地平滑太阳能发电，减少联网费用并最大程度提高经济价值。

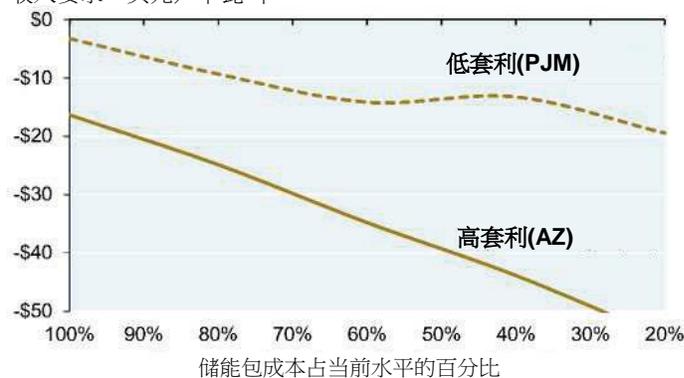
结果：在低套利地区，无论储能成本假设有多低，独立式储能项目都需要赚取容量费。在本文中，PJM 每千瓦-年的容量费为 18 美元至 73 美元，这说明了为什么在这些地区仍建有一些独立式储能项目。在高套利地区，以及在太阳能和储能共建的低套利地区，根据我们的假设集合无需赚取容量费（请参见下文了解依靠套利作为唯一收入流的风险）。使用 7.0% 的资本成本，而不是 5.5%，结果并不会太大变化。

储能：低套利位置需要支付
收入要求，美元/千瓦-年



资料来源：Decision Solve LLC、摩根资产管理。2023年。

太阳能+储能：位置高低都不需要支付
收入要求，美元/千瓦-年



资料来源：Decision Solve LLC、摩根资产管理。2023年。

需要说明的是，对储能投资者而言存在两个极大的风险。首先：其他储能投资者可能涌入同一市场，导致所有人的电价套利价值减少（类似于商业房地产的风险）。其次，这些模型假设「完全预见性」，因为其使用的是来自某个特定年度的电价、发电和需求模式，并假设就储能的充电和放电采取最优决定。但在实际中这是不可能的，因为储能所有者必须在不知道最佳时机的情况下作出与利用相关的决定，在此情况下实际收入将低于模型收入。

结论：虽然一些地区可通过价格套利产生足够的收入，为储能投资提供充分的依据，但其他地区要求储能项目就其「容量替代」价值获取付费；即，消除对额外电网投资或调峰发电厂的需求。几年前，几乎每个地区都需要大额容量费；不断下降的储能成本现在已经改变了经济效益。2017 年，美国部署的储能容量为 288 兆瓦；到 2022 年，该数字已上升至 4.8 吉瓦。Wood Mackenzie 估计，2023 年至 2027 年期间还将部署 75 吉瓦，其中多数容量将与风电和太阳能发电共建。

³² 假设完全预见性和4小时储存情况下每兆瓦的平均每日价格套利：俄勒冈州为110美元，PJM为269美元，内华达州为316美元，亚利桑那州为356美元，德克萨斯州为428美元



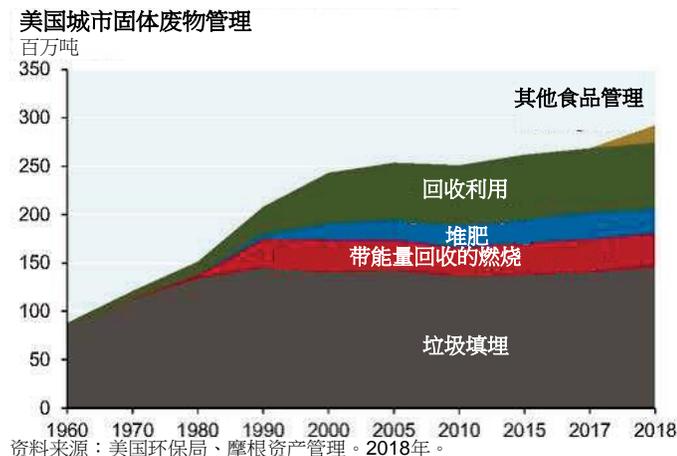
[6] 输入垃圾，输出能源：城市固体废物作为能源的效益和局限性，以及对欧洲森林生物质能的持续争议

了解去碳化技术对潜在贡献范围非常重要，即使当它们可带来经济效益时。例如：城市固体废物(MSW)转化为能源。通过使用传统焚烧炉->锅炉->发电机，可焚烧城市固体废物产生热能或电能。城市固体废物还可以通过气化转化为氢能（请参见下一页）。作为替代方案，城市固体废物由于厌氧分解自然产生堆填区沼气，并且可通过由抽取井和吹风机/真空机组成的系统收集；约20%的美国堆填区收集沼气用于燃烧或作为可再生能源使用。欧洲多个国家（奥地利、丹麦、芬兰、德国、意大利、英国）对沼气的使用量超过每人1吉焦。2019年，丹麦和德国的沼气使用量达到他们天然气消耗量的15%-20%。

将城市固体废物转化为热能、电能和燃料很有价值，因为能源及其总体成本已经上涨，而且堆填区无论如何在分解时都会产生沼气并释放至大气中。但其潜在贡献不高，如我们在两种夸大的情景中所示。

焚烧情景。如果所有可回收（非循环利用）的美国固体废物都进行焚烧发电³³，可提供约2.1%的美国电力、0.8%的一次能源，并使温室气体排放减少0%-3%，具体取决于所使用的每吨分解城市固体废物产生的沼气吨数假设³⁴，以及取决于所使用的将沼气转化为二氧化碳当量的假设³⁵。

当然，焚烧城市固体废物的实际产量将低于这些数据，因为该情景假设每吨非循环利用的城市固体废物都转化为电力，没有考虑摩擦损耗、阻碍或限制。这是一个非常大胆的假设，因为目前美国城市固体废物焚烧用于能源回收的只有约10%。具有更高城市固体废物焚烧比例的国家通过人口更加密集，填埋选项更少（日本、瑞士）。此外，城市固体废物焚烧废气中的二氧化碳处于分散状态，如果以「绿色」电力为目标，则50%以上的发电量需要用于捕集废气。城市固体废物焚烧还涉及大量的有害废物排放³⁶。



³³ 64 座运行中的美国城市固体废物焚烧厂每吨城市固体废物平均发电量为 486 千瓦时[资料来源：美国能源信息署(IEA)，2021 年]

³⁴ IEA 估计每吨城市固体废物分解产生 50 至 100 千克沼气；70 千克为中位数假设。从美国国家环保局(EPA)的数据得出的估计值更低，每吨城市固体废物产生约 27 千克沼气。上文引用的减排区间源自这两组数据

³⁵ 由于沼气对全球变暖的潜在影响高于二氧化碳，因此应用一个乘数将沼气排放量换算为二氧化碳当量。我们使用 25，即 EPA 对 100 年来沼气对全球变暖更高的潜在影响引用的倍数，《联合国气候变化框架公约》也引用该倍数

³⁶ 焚烧 1 吨城市固体废物产生 15-40 千克有害废物（二恶英、呋喃、镉、砷、汞），必须进行处理，还会产生底灰。发达国家通过关于电子垃圾的「延伸生产者责任」规则清理焚烧物，但这导致向发展中国家的电子垃圾出口增加[Energy Sustainability and Society，2018 年 11 月]



城市固体废物气化。气化技术已经存在很长时间，但尚未广泛应用于城市固体废物。城市固体废物焚烧涉及烃类化合物的燃烧（快速氧化），而气化技术利用热、蒸汽及/或控制氧气量对烃类化合物加以利用。在温度超过 1,000°C 的气化炉中，城市固体废物可转化为富含烃类化合物的合成气体。这种气体可进一步处理，以提高氢气产量。在一些气化工艺中，金属未被氧化，因此更容易回收利用，而在其他工艺中，在气化步骤前对金属进行筛选分离。

并不存在「二氧化碳灵丹妙药」：气化产生氢气，但也会产生与城市固体废物焚烧相同的每吨二氧化碳数量。差异：焚烧产生的碳是一种燃烧副产品，而气化产生的是化学二氧化碳，在过程中进行分离和捕集。这可以显著降低从气化回收碳的成本和复杂性。需要说明的是，只有当对碳副产品进行隔离或利用时，气化产生的氢气才是绿色的。在有关 CCS 的下一节内容中，我们将讨论废气中的集中和分离二氧化碳流的优势。

气化情景。如果所有可回收的美国固体废物都使用气化技术转化为氢气³⁷，可以替代美国目前通过天然气和煤炭的蒸汽甲烷重整获得的氢气，该部分氢气等于约 1.2% 的美国一次能源。但这并非合理的利用情形，因为通过蒸汽甲烷重整的多数氢气生产设施都是与用于石油精炼（汽油脱硫）或用于化肥厂氨气生产的设施共建。城市固体废物地点产生的氢气将必须长距离运输至这些工业设施，运输成本昂贵。绿色氨气/氢气的长距离运输本身也面临一些挑战³⁸。

因此，通过城市固体废物气化的氢气假设使用情形必须包括一系列当地需求群。这可能包括用于化肥生产的绿色尿素、绿色氨气或甲烷、用于电动汽车充电的符合要求的燃料电池的当地需求（这需要通过管线或卡车运输扩建氢气输送网络）以及用于氢能长途卡车的直接燃料（如果氢能卡车实现商业化）。在 2021 年交付 87 辆之后，氢能卡车制造商 Hyzon Motors 在 2022 年第一季度已停止向美国证监会提交财务报表（我不知道可以这么做），而 Nikola Motors 的前首席执行官由于对 Nikola 氢能卡车业务作出的一些陈述，于 2022 年 10 月被判证券欺诈罪。作为现代汽车试运行计划的一部分，瑞士目前有 50 辆氢能汽车在公路运行，并且现代汽车计划向德国再交付 27 辆。

结论：城市固体废物能源回收有其合理性，以及支持将其纳入能源组合的优势³⁹。虽然这对绿色电力、热能或氢能的贡献在国家层面可能不是很大，但它可为提高当地能源安全发挥作用，并降低其他能源基础设施面临的压力。

相比城市固体废物的能源转化，源自木屑颗粒的固态生物质能面临很大的争议，并且作为假定的可再生能源尚存疑问，我们将在下一部分详细说明。

³⁷ 假设每吨城市固体废物通过气化按净产量（扣除为部分中间工艺提供动力需要的氢气）产生 50-60 千克氢气

³⁸ **绿色氨气：**氨气有 17% 的氢含量，在现有输送网络中，液化的温度 (-33°C) 高于氢气，相比其他备选方案有着更高的体积能量密度，并且在长距离运输时有着更低的能源损耗。这是有利的一面。然后氨气中的氢气可通过催化分解释放，或可将氨气用于专门设计的燃料电池。然而，所有这些转化都会损耗能源：运输中、从绿色氢气产生的液态氨的循环效率可能只有 11%-19%。

³⁹ 沼气：投资税收抵免；可再生天然气：替代燃料抵免



欧洲：并非看起来那样绿色

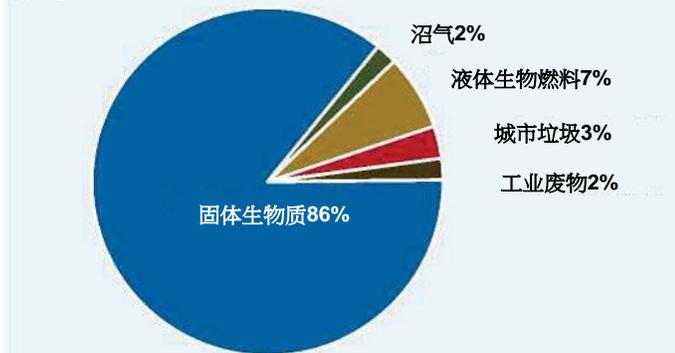
如第一个饼状图中所示，城市固体废物仅占全球生物能源使用的一小部分。绝大部分仍是「**固态生物质能**」，该类别包括森林残留物、木屑、木屑颗粒、锯木厂残留物和建筑废弃物。**固态生物质能的减排和生物多样性影响在气候科学家中是一个激烈的争论话题**。一方面⁴⁰，部分科学家认为从落叶和针叶树木去除细小的木质残体是一个「很好的」固态生物质能来源。另一方面，将自然再生的森林转变为单一栽培或多种栽培人工林场被认为是非常「糟糕的」来源。两者之间：树桩清除、草地造林和农用地造林。

欧洲正在部署大量风能和太阳能发电，但生物质能在欧洲可再生能源构成中仍占较大比重。具体数字不明，因为欧盟/IEA 和 BP 数据差异较大。根据欧盟/IEA 的数据⁴¹，2019 年欧盟 28 国可再生能源构成中 63% 来自生物能，其中约三分之二为固态生物质能（其余为生物燃料和城市固体废物）。根据 BP 数据，2019 年和 2022 年的生物能份额分别为 21% 和 19%。无论如何，欧盟 28 国仍将大量固态生物质能用于发电、住宅和商业供暖以及工业能源。欧洲的木屑颗粒产量超过全世界产量的一半，并且进口更多木屑颗粒。如上文所述，各种木屑颗粒的气候影响各不相同，取决于其来源。

杜克大学尼古拉斯学院的 William Schlesinger 引述关于木屑颗粒争议的一个例子：燃烧木屑颗粒的一座 50 兆瓦发电厂每年将产生 43,730 吨二氧化碳，而燃烧煤炭的相同发电厂每年将排放 39,200 吨二氧化碳。差异源于木材的能含量更低，因此需要燃烧更多木屑颗粒。⁴²然后需要很多年的新树木生长才能重新捕集排放差异。

这可能正是 2021 年 500 名科学家联名致函欧盟委员会要求停止生物质能补贴的原因⁴³。另外，欧洲科学院咨询委员会（European Academies Science Advisory Council）认为，用木屑颗粒代替煤炭发电会增加「较长时期内大气中的二氧化碳水平」⁴⁴，而麻省理工学院的 John Sterman 在 2018 年的一份研究中得出类似的结论。即便如此，欧洲议会在去年 9 月的投票中仍将木质生物质能界定为可再生能源。因此，欧盟无视对燃烧木屑颗粒产生的烟囱二氧化碳排放的处理。

2020 年全球生物能源供应
百分比



资料来源：世界生物能源协会。2022 年。

2021 年木质颗粒生产
百分比



资料来源：世界生物能源协会。2022 年。

⁴⁰ 「欧盟用于能源生产的木质生物质能使用情况」，欧盟委员会，2021 年。请参见第 9 页。

⁴¹ 「欧盟生物能源的实施，2021 年更新」，IEA 技术合作计划。部分原因：欧盟委员会/IEA 并未使用针对可再生能源和核能的热转化假设，而 BP 则使用了该假设。但欧盟数据中也有大量生物质能使用的数据未包括在 BP 的数据中。

⁴² 「木屑颗粒和障眼法」，William Schlesinger（杜克大学），2022 年 2 月 22 日

⁴³ 「关于将森林用作生物质能的信函」，2021 年 2 月 11 日

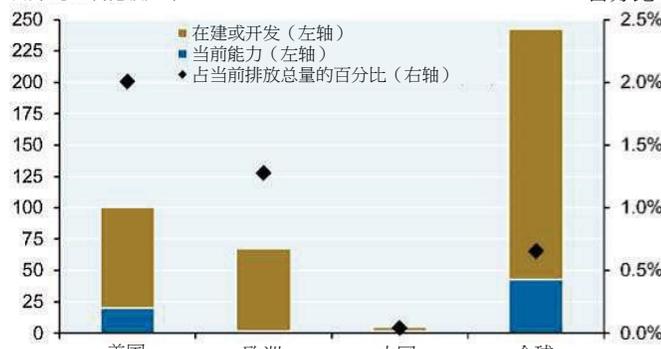
⁴⁴ 「欧洲科学院咨询委员会致国际能源署生物质能执行委员会的公开信」，欧洲科学院咨询委员会，2020 年 5 月 13 日



[7] 碳捕存提案多数半途而废：规划的碳捕集与封存项目的达成率一直很低，但通过激励措施和规模效益可能发生变化（很小）

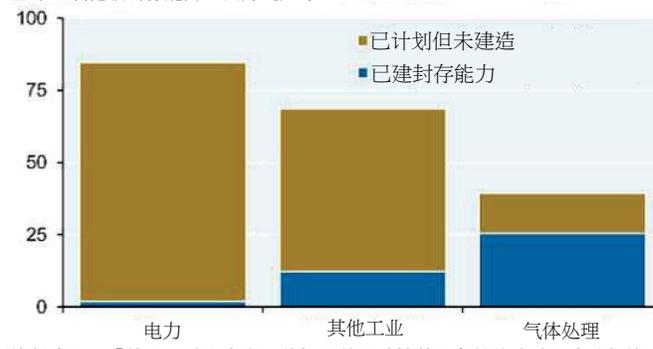
我之前曾写道，撰写的关于碳封存的学术论文数量除以实际碳封存数量是科学历史中最高的比率。根据全球碳捕集与封存研究院于 2022 年中汇编的数据，欧洲和美国正在按计划推进到 2030 年仅封存他们当前排放量 1.5%-2.0%的目标，并且包括仍在开发阶段的项目。中国的碳捕存目标甚至更低。

目前碳封存vs计划到2030年实现的碳封存
百万吨二氧化碳/年



资料来源：全球碳捕集和封存研究院、OWID、摩根资产管理。2022年。

碳捕获和储存雄心与现实相差甚远
全球二氧化碳封存能力，百万吨/年



资料来源：「使用经验和专家评估解释美国碳捕获和存储的成功和失败投资」，Abdulla等人，2021年。

碳封存的往绩纪录一直非常参差不齐。能源经济与金融研究所 (IEEFA) 发布的 2022 年报告⁴⁵涵盖全世界最大的 13 个项目，占全球碳捕集容量的一半以上。根据 IEEFA 的数据，只有一半项目达成他们的封存目标。

同样，2020 年的一份研究发现，美国计划中的 39 个碳捕存项目中约有一半未能达成目标⁴⁶。一些项目在前端工程和设计方面投入资源，但项目半途而废；其他一些项目在启动后失败，并且被放弃或重组为没有碳捕存的项目；另外一些项目投入运营，但封存的二氧化碳低于目标水平。该研究还发现，在全球范围，80%的规划碳捕存项目从未建成。如上文右图所示，只有天然气处理碳捕存项目具有较高的完成率。项目越大，失败的比例越高，比如同类别首个碳捕存系统。研究中的成功因素：针对二氧化碳的双边承购协议形式的可靠收入，通常用于提高石油采收率 (EOR)⁴⁷。根据 Global Data 的数据，74%的运行中碳捕存设施以 EOR 产生的经济价值为激励。

而且碳捕存基础设施的数据令人望而却步：仅仅封存美国当前二氧化碳排放量的 15%就需要其吞吐量超过流经全美国输送和精练系统的石油量的碳捕存基础设施⁴⁸，而这样的网络耗时 100 年才建成。由于面临极具挑战性的热力学现实（请参见第 39 页），缺少可行的二氧化碳二级市场，碳捕存取得少许进展需要的处理和管线要求令人望而却步。

⁴⁵ 「碳捕集的关键症结」，IEEFA，Robertson 和 Mousavian，2022 年 9 月

⁴⁶ 「使用经验主义和专家评估解释美国碳捕集与封存领域投资的成败」，Abdulla (Carleton) 等，《Environmental Research Letters》，2020 年 12 月 29 日

⁴⁷ 使用天然气、氮气或二氧化碳注气在美国 EOR 中占 60%，其余为热（蒸汽）注入。EOR 使用的二氧化碳只有 20%是从处理厂或发电厂捕集；EOR 使用的大部分二氧化碳来自天然形成的地下储层

⁴⁸ 美国二氧化碳排放量的 15% = 7.5 亿吨二氧化碳（按重量），以及 9.4 亿立方米二氧化碳（按体积，假设每立方米二氧化碳重量为 800 千克）（超临界处理）。超过 2021 年美国 7.1 亿吨原油的输送和精练量，假设石油密度为每立方米 870 千克，该数量将是 8.2 亿立方米

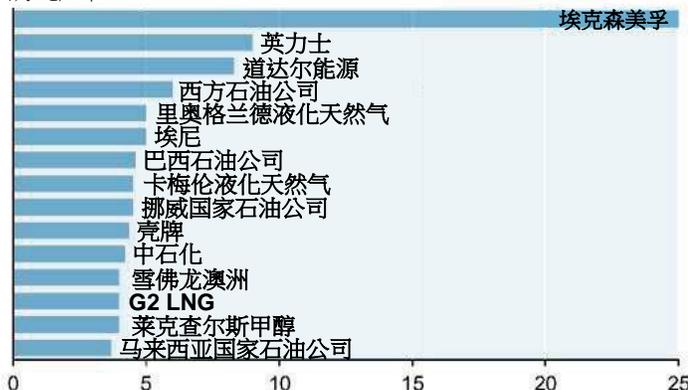


对于大型石油/工业公司参与，作为服务建设封存项目，我的一些同事现在对碳捕存的前景更加乐观。约 30 家美国石油、天然和石化项目宣布将新建碳捕存附加设施和绿色油田项目，以利用能源账单中为封存的二氧化碳提供的每吨 60 美元-85 美元的税收抵免。Rystad Energy 预测到 2030 年的全球碳封存量比碳捕存研究所的预测高出 3 倍，但仍将仅为全球二氧化碳排放量的 2%，而且他们已经估计三分之一的项目将会延期。Rystad 还根据二氧化碳的利用情况（针对工业产品、水泥、燃料和化学品）追踪试运行项目，而不是根据封存量或 EOR。目前这是一个非常小的市场，每年消耗约 2.3 亿吨二氧化碳，或全球排放量的 0.6%。

可能出现一些突破：西北太平洋国家实验室（Pacific Northwest National Laboratory）宣布一项技术，可以以每吨 39 美元的成本捕集工厂排放物，而使用目前最先进技术的成本为 55-60 美元（改良的方法将需水量从 70%减少为 2%，由于煮沸少量水需要的热能减少，从而降低成本）。值得关注的项目：Net Power 计划利用碳捕存技术修建天然气发电厂，该技术可捕集所产生的 97%的二氧化碳，使用超临界二氧化碳而不是蒸汽驱动涡轮机（其出资方包括 Occidental Petroleum、8 Rivers 和 Constellation Energy）。

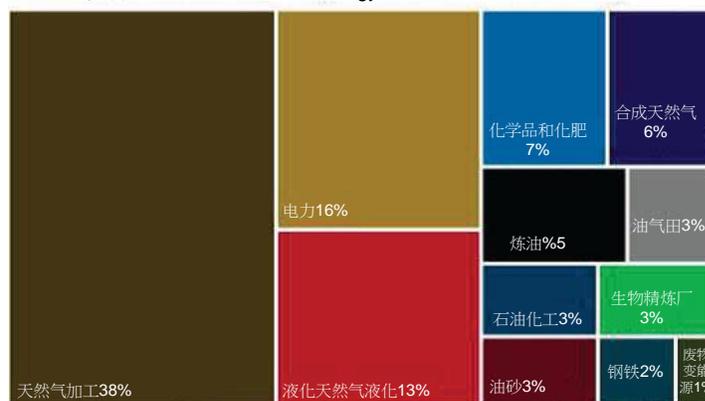
当前和预计碳捕获和存储能力

百万吨/年



2022年全球有效碳捕获和存储能力（按行业），百分比

资料来源：Global Data、EnergyMonitor.ai。W = 废物变能源



资料来源：Global Data、EnergyMonitor.AI。2020年。

一些工业企业已经知道如何从气体蒸汽分离碳，因为在尿素装置、煤化工和气体处理领域需要该技术。他们目前的做法是排放二氧化碳，而不是捕集并永久封存。但即使他们利用税收抵免为碳捕存获得资金，可能需要 5-6 年才能从美国国家环境保护局（EPA）获得地下封存的 VI 类许可。另外：需要的基础设施和封存容量通常比任何单一排放企业所需大很多；将需要碳捕存中心，以便排放企业能够分摊运输和封存成本，而创建这些中心非常复杂。

结论：碳捕存项目达成率可能上升，但它们的总体贡献可能很小

主要取决于三个关键变量：

- 临近优良的封存地点，如美国墨西哥湾沿岸地区（浅层、高孔隙率和高渗透率的含水层可实现高封存密度），从而降低管线和注气成本
- 废气蒸汽中二氧化碳的高浓度和高压力，可降低二氧化碳捕集成本
- 每个行业在工业总排放量中所占百分比，作为重要性的衡量指标

如下页所示，乙醇和天然气处理厂的废气蒸汽中二氧化碳的浓度非常高，但在美国工业排放量中的占比较小。最大的问题在于发电厂，它们约占工业排放量的 70%，但二氧化碳的浓度最低。因此，除非出现新的商业化技术，能够利用每吨 85 美元的补贴捕集发电厂排放物并实现盈利，并且除非大量此类发电厂都临近可行的封存地点，否则美国可能仍只能维持到 2030 年仅封存 2%排放物的目标。

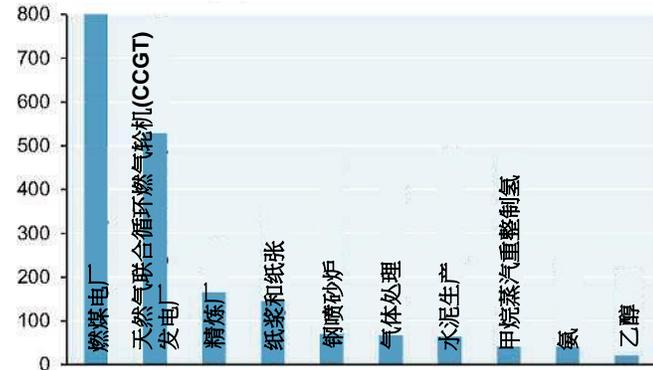


从二氧化碳生成合成燃料的进展如何？对潜在转化方法的研究很多，但迄今仍未取得重大突破。这将是明年的讨论主题。总结: 二氧化碳是一种惰性低能分子，需要很多能量才能分解。这导致二氧化碳在催化剂表面的吸附性差，因此很难通过化学转化以及像使用酶进行生物转化那样获得燃料。最近一篇论文对很多正在研究的构思进行了归纳总结⁴⁹。其中一些为化学方式（催化氢化反应、光催化和电化学转化），一些为生物方式（光合作用、非光合作用和生物混合转化）。该论文总结称，一种高活性、稳定且具成本效益的催化剂的研究正在推进中。如果出现任何转机，我们将在文中进行讨论。

碳捕存图表说明

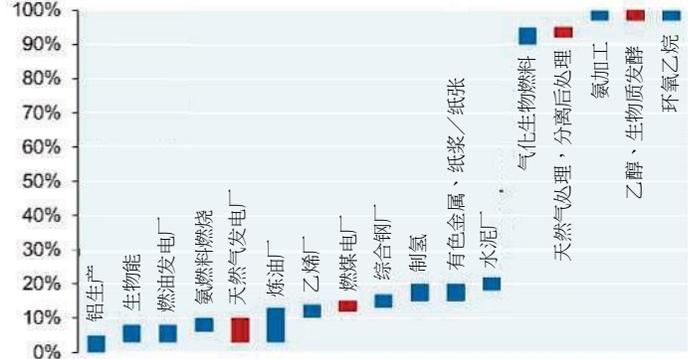
天然气和燃煤发电厂在美国工业排放量中的占比最大，但二氧化碳浓度最低，因此每吨的捕集成本更高。从浓度 15% 的废气中捕集二氧化碳的效果可能被污染物削弱（硫、汞、粉煤灰等），它们会对二氧化碳捕集催化剂产生负面影响。

美国工业部门每年的温室气体排放量
百万吨二氧化碳当量



资料来源：能源期货倡议。2023年2月。

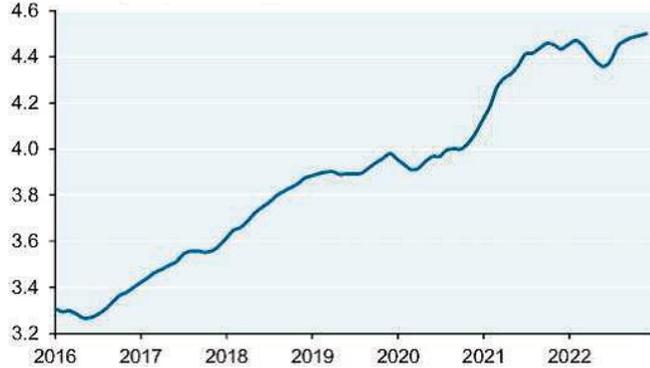
烟道气流中的二氧化碳浓度
百分比（按体积）



资料来源：IPCC、瑞典环境研究所、宾州州立大学、摩根资产管理。2022年。

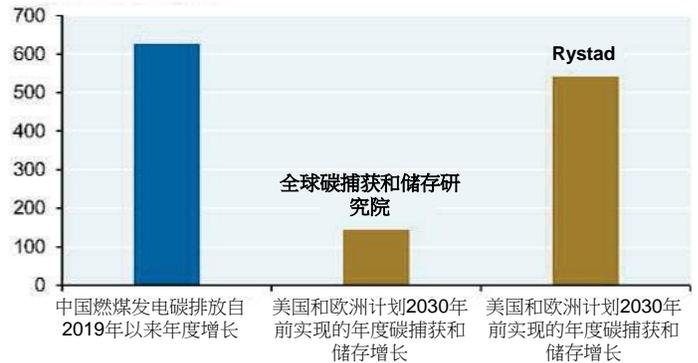
我相信学习曲线将降低部分碳捕存成本，并且在与二氧化碳反应的固体吸附剂或膜材料方面可能取得突破。但再次重申，先前引述的美国基础设施数据表明，碳捕集的总体影响将非常有限.....而中国方面，其年度燃煤发电排放量自 2019 年以来持续上升，超过美国和欧盟到 2030 年计划的全部新增年度封存量。

中国：燃煤发电的二氧化碳排放
吉吨/年，连续12个月



资料来源：Ember、摩根资产管理。2022年12月

美国/欧洲的碳捕获和储存雄心vs中国煤电碳排放
兆吨/年



资料来源：Ember、全球碳捕获和储存研究院、摩根资产管理。2022年。

⁴⁹ 「二氧化碳转化为燃料」，《Journal of CO₂ utilization》，Okoye-Chine (VCU)等，2022 年 8 月



[8] 加州梦：电动飞机、核聚变、太空太阳能、直接空气碳捕集和全自动汽车网络等遥不可及的美梦

下文所述的每种构思都已经进入初步场地测试、实验室测试，或处于概念模型阶段。我的目的并非对它们的技术可行性提出异议；而是说明为什么没有任何一项构思预期将在未来十年或更长时期为脱碳作出重大贡献。

电动飞机

如果考虑能量密度和储备能源要求（飞机延误时在机场上空盘旋或在紧急情况下飞往 60 英里外其他机场所需的能源），20-100 座的电动飞机将只能飞行 6-30 英里⁵⁰。国际清洁运输理事会（International Council on Clean Transportation）的分析师发现，即使电池能量密度相比现有水平实现大幅提升，电动飞机机队仍只会抵销不到 1% 的航空总排放量；作者「对实际减排作用之差感到惊讶」⁵¹。其他一些研究对于脱碳短程旅行的影响得出相同结论：虽然 200 英里以内的旅行按起飞班次计算数量足够多，但它们仅占不到 5% 的航空排放量⁵²。

即使考虑电动马达的更高效率，传统飞机的有效能量密度仍比电动飞机高出 22 倍⁵³。还必须解决安全和认证问题，Eviation 和美国国家航空航天局 X-57 原型机的延迟说明要实现这一目标非常艰难。1909 年，莱特兄弟向美国政府交付了一架飞机，可乘坐 2 人，飞行 70 英里；其飞行能力与现在获认证的电池动力飞机相同（现代飞机采用现代控制和安全系统，性能稳定，用于飞行培训）。一项分析认为，挪威的偏远地区或苏格兰的奥克尼群岛是小型电动飞机的最佳使用情形，因为那里没有陆地替代交通方式。前景：暂时搁置以待时机。

核聚变

2022 年 12 月的一次聚变试验产生的能量大于消耗的能量，输入能量 2 兆焦耳，输出 3 兆焦耳。但消耗 300 兆焦耳能量为产生输入能量的激光机提供动力，而为冷却系统和计算机提供动力的能量甚至更多。另外：该试验是向单一目标进行一次发射，并且一天只能发射一次；它需要将设备密封在足球场大小的建筑中；而它产生的能量只够煮一壶茶或让吹风机运行 15 分钟。其他问题：聚变能量的释放会摧毁周围的仪器和镜子；商业化聚变将需要每秒多次脉冲（而不是每天一次）并且不能造成任何损坏；聚变实际上依赖于氘燃料的裂变反应堆；而且任何聚变能量平衡还必须考虑修建 400,000 吨设施需要的能量，好比法国的 ITER 装置。⁵⁴

美国能源部长格兰霍姆（Granholtm）宣布在未来十年实现商业核聚变的目标。我认为拜登政府对此预测没有任何依据，而是听信核聚变忠实信徒和投资者的片面之词。核聚变作为无限电力的现实可行来源，「差不多处于 1978 年科技成熟度的相同阶段」⁵⁵。即使能够实现，核聚变距离我们似乎还有数十年之遥。前景：我此生无法看到。

⁵⁰ 「阻碍电动飞机发展的因素」，MIT Technology Review，2022 年 8 月

⁵¹ 「支线电动飞机的性能分析」，Mukhopadhya 和 Graver，国际清洁运输理事会，2022 年 7 月

⁵² 「纯电动飞机用于民用运输的潜力」(The potential of full-electric aircraft for civil transportation)，Staack 等（林雪平大学/瑞典），CEAS Aeronautics Journal，2021 年，请参见图 4

⁵³ 假设：电动马达效率 90%，而喷气燃烧效率 33%；航空燃油能量密度为 43 兆焦耳/千克，而锂离子电池能量密度为 0.97 兆焦耳/千克加 150% 改良；空飞机重量 = 起飞重量的 54%；货物+乘客 = 起飞重量的 21%；由于没有燃油减载，电动飞机有效载荷为喷气式飞机的 70%

⁵⁴ 「探索聚变能」，Daniel Jassby（普林斯顿等离子体物理实验室，已退休），2022 年 5 月，Inference Quarterly Science Review

⁵⁵ 「核聚变狂热」，John Deutch（麻省理工、美国能源咨询委员会），Joule，2023 年 4 月即将刊发



太空太阳能

太空中始终阳光明媚，太阳能比地球上多出 3-50 倍。但想要利用太阳能发电：机器人必须在外太空组装太阳能电池板；每个太空站都需要数次成本昂贵的发射任务，因此每个项目在前期都将产生庞大的排放赤字；太空垃圾可能损坏电池板，需要在太空进行维修；电池板将持续暴露在辐射中，以未知的方式影响寿命和性能；太空太阳能必须转化为微波，而传回地球的效率只有 40%；需要散热，这在太空中很难；这一切导致效率只有 25%-35%。根据关于太空太阳能的一篇文章，其成本可能比地球上同等能源高出三个数量级⁵⁶。

中国计划到 2035 年建成一个投入运行的系统，但我很想知道它将是一个能源系统还是武器系统。英国的目标是到 2040 年：建成在太空中占据整整一平方英里、重量达 2,000 磅的卫星，并且需要在地球建设占地 4 英尺乘 8 英尺的天线。仅天线的成本：5 吉瓦容量为 10 亿美元。欧洲航天局 (European Space Agency) 和美国航空航天局 (NASA) 也在推进这方面的工作，但每个卫星将比国际空间站重 10 倍，重量高达 450 吨并且在近地轨道的建设周期长达三十年。科罗拉多矿业学院 (Colorado School of Mines) 的一篇文章估计，相比 2012 年的最初估算成本必须下降 94% 才有合理性。太空太阳能并非像「企业号飞船」上的科幻瞬间传送装置那样不可行，而实在非常昂贵。前景：不甚明朗，有可能会失败。

直接空气碳捕集 (DAC)

两年前，我曾引述一篇 DAC 论文的结论，提到「在实质性有效减轻气候变化方面，它是非常消耗精力和财力的一个干扰项」⁵⁷。该作者的结论是基于生产与二氧化碳反应的氢氧化钠水溶液所需要的能量，以及再生溶液需要的能量，加上压缩并在地下封存二氧化碳需要的能量。

美国已出台每吨 180 美元的全新 DAC 补贴，并且涌现很多初创公司，但我不认为已发生重大转变。二氧化碳在大气中的占比只有 0.04%，从废气中捕集二氧化碳需要更多能量。如果世界资源研究所 (World Resources Institute) 的估算正确，每吨二氧化碳的 DAC 需要约 2,200 千瓦时能量……因此如果捕集 10% 的美国排放量，将需要 1.2 万亿千瓦时，约美国发电量的 30%。UC Riverside 在 2022 年的最新研究⁵⁸发现，使用液体溶剂捕集二氧化碳每吨二氧化碳需要 1-13 吨水，而估计 DAC 成本为每吨 250-1,000 美元。更高的数值反映使用可再生电力而不是化石燃料作为能源。Howard Herzog (麻省理工，《碳捕集》作者) 去年强调，即使中等规模的美国 DAC 产业也将基本上消耗几乎全部现有的零碳能源容量。量产可能使 DAC 成本有所下降。Occidental 正在二叠纪盆地 (Permian Basin) 建设全世界最大之一的 DAC 装置，每年可捕集 100 万吨二氧化碳，并计划到 2035 年建设 100 座 (1 亿吨/年 = 全球排放量的 0.27%)。大约四座 100 万吨 DAC 装置产生的年度二氧化碳减排效益将等于特斯拉 2022 年产量相比燃油车带来的效益⁵⁹。但 Occidental 的第一座装置仍在建设中，而该项目的最初预算已经上调 15%。让我们拭目以待，在此之前不宜作过多推断。

持怀疑态度的人会说，DAC 是二氧化碳足迹非常小的公司用来支付巨额溢价抵销二氧化碳足迹的一种方式⁶⁰，用纳税人的资金让 DAC 公司大发横财，而他们对减排的贡献最终将微不足道。前景：除非科技发生翻天覆地的变化，否则微不足道。

⁵⁶ 「太空太阳能乃虚空之物」，Casey Handmer (加州理工学院)，2019 年 8 月。Casey 运用其渊博的学识为今年报告中的本节及其他内容提供宝贵指引、见解和数据。

⁵⁷ 「在深度减轻气候变化过程中直接捕集空气所需的能量和材料不切实际」，Chatterjee 和 Huang，Nature Communications，2020 年

⁵⁸ 「直接空气捕集技术的现状和支柱」，Ozkan 等，iScience。2022 年 4 月

⁵⁹ 假设与燃油车相比每辆车每年减少 3.0-3.5 吨二氧化碳，而特斯拉在 2022 年的销量为 130 万辆。资料来源：欧洲运输与环境联合会、美国国家环境保护局

⁶⁰ Climeworks 没有透露其通过 DAC 对每吨二氧化碳向微软、Stripe 和 Shopify 收取的费用；公布的报告显示至少每吨 600 美元，该公司的目标是到 2025 年降低至 500 美元。



减少排放的全自动驾驶乘用车网络

根据 MIT-IBM Watson AI Lab 的数据，自动驾驶汽车可减少 18% 的燃油消耗，以及减少 25% 的二氧化碳排放⁶¹。据称通过避免走走停停交通状况的优化网络将实现这些效益。英特尔在 2017 年曾高调预测自动驾驶汽车市场存在 7 万亿美元商机，通用汽车曾预测到 2019 年全自动自动驾驶汽车将实现量产，Lyft 在 2016 年曾表示到 2021 年该公司一半的汽车将是自动驾驶汽车，而福特也曾表示将在 2021 年实现量产。

那么，自动驾驶汽车目前的发展如何？根据麦肯锡公司的数据，在花费 1,000 万美元后，迄今进展甚微。一些汽车制造商已降低他们的目标，而福特和大众汽车已完全放弃他们的自动驾驶汽车计划。现在 Waymo 表示，自动驾驶汽车需要数十年才能实现广泛应用，而一揽子激光雷达 (LiDAR) 扫描题材股相比峰值水平已暴跌 80%。

多年的测试显示，自动驾驶汽车仍有很多不可预料的「边缘情况」有待解决。现在，自动驾驶汽车主要限于阳光地带的地区，因为它们仍无法很好地应对恶劣天气，而且难以应对建筑、动物、交通路锥、交通指挥员以及面临即将到来车流的「无保护左转」。一段视频显示，Waymo 的一辆自动驾驶汽车对交通路锥非常困惑，并驶离前去实施救援的技术员。行业内一家最早的倡导者已经将目标降低为专注于用于工业现场的自动驾驶卡车，因此那是目前最好掌控的技术。

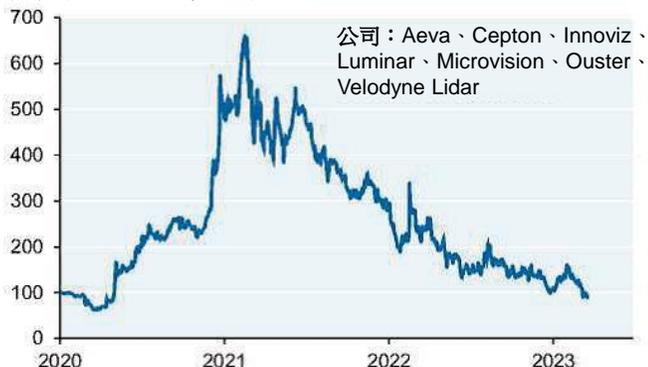
尽管会犯各种错误，但人类仍是相当优秀的驾驶者：根据美国国家公路交通安全管理局 (NHTSA) 的数据，每驾驶 1 亿英里发生一次致命事故 (巴士司机的表现更好，每 5 亿英里发生一次致命事故)。另外令人不安的是，据报道称一些自动驾驶汽车公司在数据中心内部进行模拟测试，并将结果记为「公路驾驶里程」。对此构思的炒作过于超前；现在能够看到的汽车自动驾驶主要局限于二级 (Level 2) 功能，例如紧急制动、交通预警和转向辅助 (而非五级全自动驾驶)。

特斯拉汽车如何？400,000 名特斯拉客户支付额外费用装配特斯拉声称的「全自动驾驶」功能。加州车管局 (California DMV) 就误导宣传对特斯拉提起诉讼，声称该特斯拉功能实际上只是二级功能，例如转向、车道保持和制动/加速辅助。不论它们是什么等级，这些功能显然运行良好。根据特斯拉自报数据 (如下文图表所示)，其自动驾驶技术帮助避免大量事故并且明显领先于其次的竞争者。即便如此，特斯拉也存在一些问题：在「全自动驾驶」模式中，一辆特斯拉汽车遇到一名在路中间手持停车标志的行人。汽车未能识别该行人 (部分被停车标志遮挡) 和停车标志 (超出位于马路边的正常情境)；驾驶员不得不改成手动驾驶，因为该情形超出训练数据库范围⁶²。

前景：在迪士尼电影「机器人总动员」(Wall-E) 和「杰森一家」(Jetsons) 中，由自动驾驶汽车管理的优化大规模交通网络运作良好，但在不远的未来这并不会成为现实。

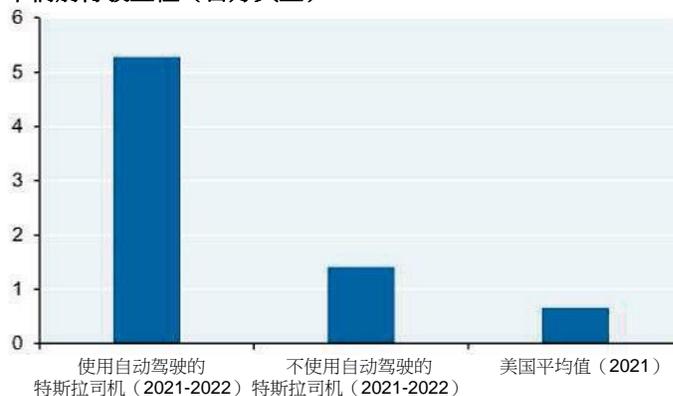
激光雷达股票篮子

指数 (100 = 2019年12月)



资料来源：彭博财经、摩根资产管理。2023年3月20日。

车祸前行驶里程 (百万英里)



资料来源：特斯拉、美国运输部、摩根资产管理。2022年第四季度。

⁶¹ 「更清净、更绿色和更快速的驾驶之路」，麻省理工学院新闻，2022 年 5 月

⁶² 「ChatGPT 等人工智能平台易于使用但存在潜在危险」，《科学美国人》，2022 年 12 月

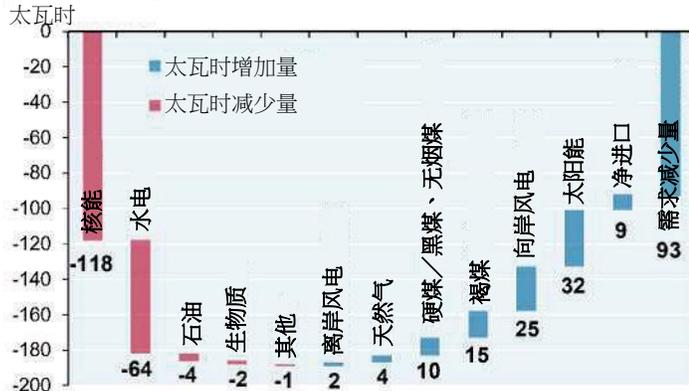


结语：欧洲如何熬过了 2022 年的冬天，以及中俄的下一步举措

几个月前，对欧洲的一些预测十分糟糕：欧盟消费者承受的能源成本可能高达 2 万亿欧元。而目前看来净成本为 0.5 万亿欧元。在本节中，我们将探讨细节、事件对煤炭的影响、中俄对事件可能采取的措施以及能源补贴问题。欧洲的主要生存因素：

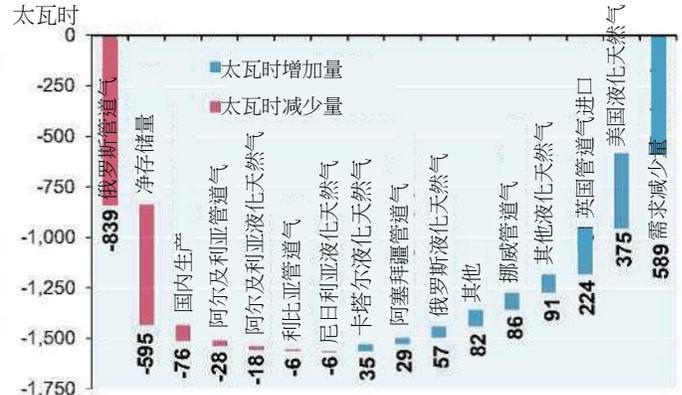
- 刺激措施。财政刺激、暴利税、天然气价格上限和补贴（见第 44 页）
- 天气。北半球 50 年来最暖的冬天之一
- 大规模需求崩溃，是以下两个图表中最大的柱子。需求崩溃是否会持续？自去年秋天以来，关于「欧洲去工业化」的文章相当多。这种情况只能从长期的角度衡量，但值得关注
- 更多可再生能源，提高煤炭使用量和减少天然气储存。中国采取疫情防控措施使其液化天然气需求下降，这使欧洲进入冬季时的天然气储存量达到 90% 以上。冬季结束时，德国的天然气储存量达到 70%，不止于 30% 的平均水平
- 电价政策发生变化。欧洲对某一定价机制作出改变，在该机制中，消费者向风能、太阳能、水力、煤炭和核能发电商支付的电价与天然气发电商的电价相同。为何作出改变？在欧洲，化石燃料发电商大部分时间可设定边际价格（见表格），当天然气进口价格飙升时，就会将电力的边际价格支付给所有发电商。欧洲国家现已实施电价上限，可在天然气价格飙升时有效降低非天然气发电商的暴利

欧盟发电量的变化：2021 vs 2022



资料来源：ICIS。2022年。

欧盟天然气供应结构的变化：2021 vs 2022



资料来源：ICIS。2022年。

欧洲如何设定边际电价

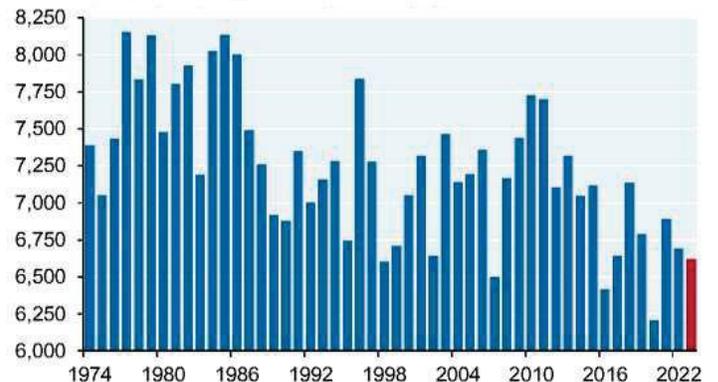
占全天 24 小时的%

国家/地区	化石燃料	非化石燃料	进口
德国	91%	7%	2%
丹麦	25%	13%	62%
西班牙	89%	6%	5%
法国	7%	93%	0%
爱尔兰	61%	1%	38%
意大利	86%	11%	3%
希腊	77%	0%	23%
葡萄牙	87%	13%	0%
英国	84%	1%	15%

资料来源：「欧洲的能源转型——天然气在电价中的作用」，Zakeri 等人。2022 年 7 月 23 日。

北半球冬季历史采暖度日数

人口加权天数。12月至2月



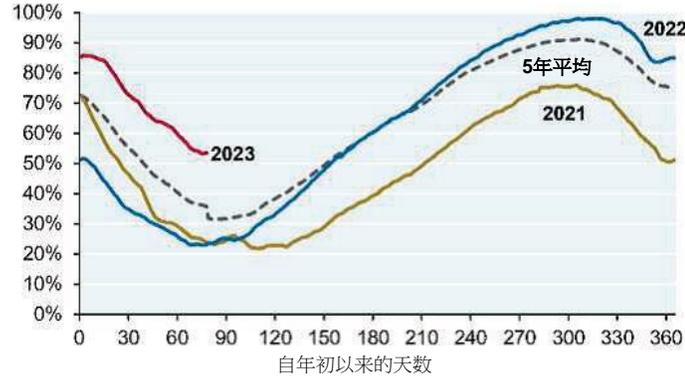
资料来源：摩根大通全球商品研究部。2023年2月16日。



虽然欧洲能源危机可能已经度过了最糟糕的时期，但该地区仍面临高度进口依赖、能源成本高于美国以及工业活动受限等问题。由于能源成本上升，巴斯夫、陶氏、盛禧奥、朗盛等公司以及大约 50% 的化学公司依然打算在德国进行裁员和削减投资，其中一些公司计划将业务转移到美国。另一个例子：欧洲铝冶炼厂的减产在 2022 年底达到顶峰，产量仅为 30%，尽管天然气价格下降，但只有不到 5% 的铝冶炼厂恢复生产。

西北欧天然气储存情况

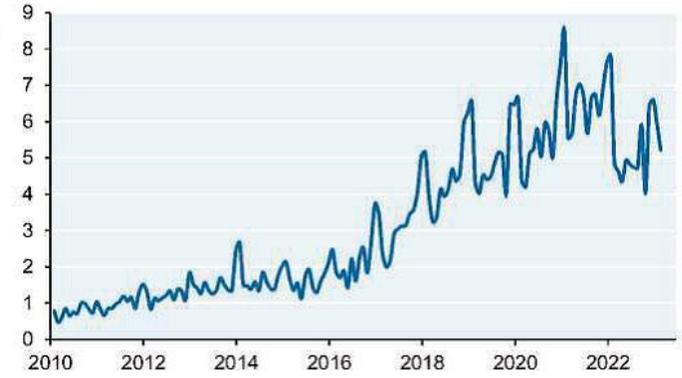
满载百分比



资料来源：彭博财经。AGSI、摩根资产管理。2023年3月19日。

中国液化天然气进口

百万吨



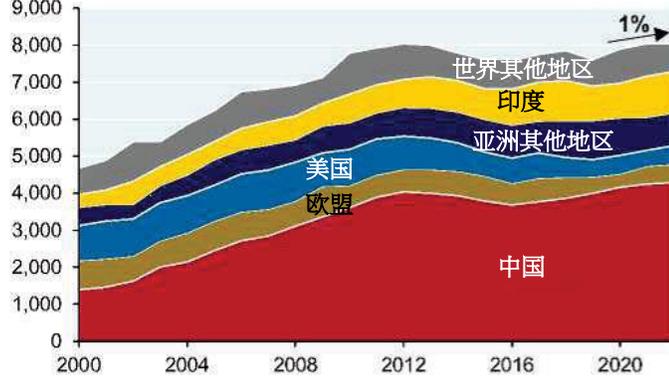
资料来源：彭博财经、摩根资产管理。2023年2月。

全球煤炭消费量既没有下降，但也没有飙升

一些分析师指出，在抵制俄罗斯管道天然气之后，欧洲煤炭使用量增加约 6%，全球煤炭使用量也创下历史-新高。从技术层面来看，情况属实：2022 年全球煤炭使用量升至历史新高。然而，此历史新高仅比 2021 年高出 1.2%，仅比 2013 年创下的历史最高值高出 1%。煤炭使用量不再下降（尽管在美国仍在下降），但有的时候，俄乌冲突对欧洲使用煤炭的影响被夸大了。国际能源署预计，到 2025 年全球煤炭使用量将基本保持不变，中国和印度的增加量与美国和欧洲的减少量相抵。

全球煤炭消费

百万吨



资料来源：国际能源署。2022。

全球煤炭使用情况和到2025年的预测

百万吨



资料来源：国际能源署。2022。



欧洲提供的消费者补贴是化石燃料补贴的众多讨论话题之一，而这类补贴经常被误解或曲解。当人们看到诸如「化石燃料补贴创 1 万亿美元新高」之类的新闻标题时，他们或许并不知道这些补贴提供者是谁，补贴对象是谁。因此，我在此进行说明。

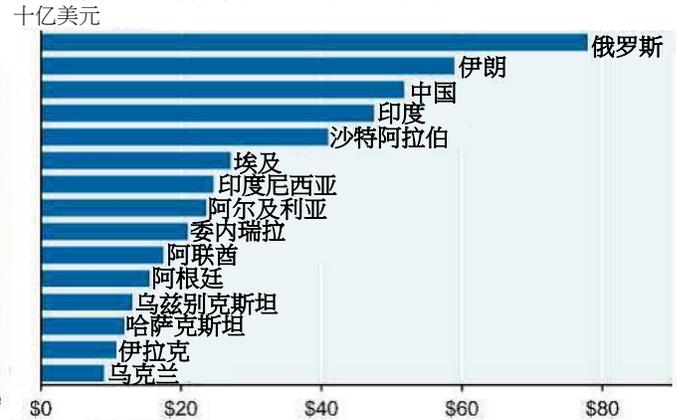
2022 年 1 万亿美元的补贴是指国际能源署对几乎完全由发展中国家为保护民众免受石油、天然气、煤炭和电力价格上涨影响而提供的能源消费补贴的估计数字。第一幅图表显示 2010 年以来相关补贴的历史情况，而第二幅图表显示的是 2021 年最大的补贴提供者。国际能源署的方法论：将国际市场价格与利用直接价格监管、定价公式、边境管制或供应授权的人为方式压低的本地价格进行比较。

2010-2022 年化石燃料消费补贴（按类型）



资料来源：国际能源署，2023 年。

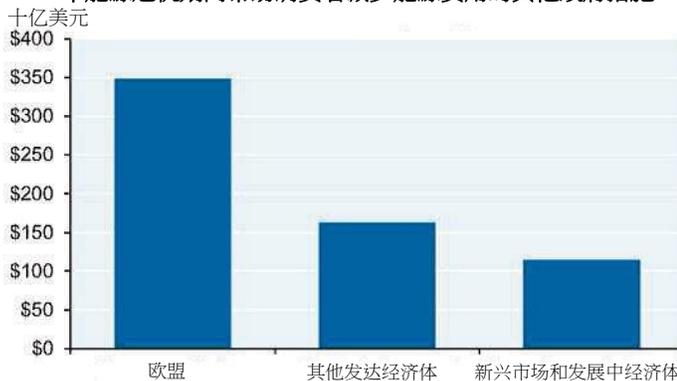
2021 年化石燃料消费补贴（按供应商）



资料来源：国际能源署，2023 年。

在第一幅图中，消费价格接近市场价的国家并不包含 2022 年的一些紧急支出。国际能源署估计，2022 年的这些「其他消费者措施」约为 5,000 亿美元，其中 3,500 亿美元由欧洲支出，该地区的消费者有着痛苦的经历。

2022 年能源危机期间帮助消费者减少能源费用的其他政府措施，



资料来源：国际能源署，2023 年。

欧盟天然气和电力价格



资料来源：彭博财经、摩根资产管理。2023 年 3 月 20 日。

消费者补贴是否使发展中国家和发达国家的能源消费者免受其真实经济成本的影响？是的。取消这些补贴是否就能够以平稳和可预测的方式加速可再生能源转型？目前并不明确，而且国际能源署表示「化石燃料价格并非推动清洁能源转型的最佳途径.....不均衡或次序不当的过渡方法，即削减燃料供应先于降低燃料需求，会引发价格进一步飙升的显著风险，并且无法保证此类事件绝对有利于转型」

63。

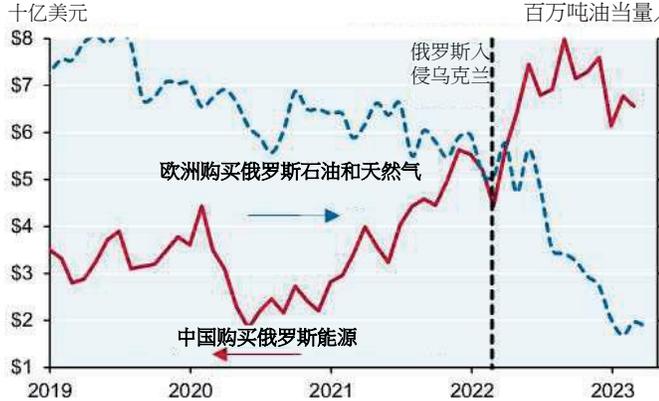
63 「2022 年化石燃料消费补贴」，国际能源署，2023 年 2 月



中俄「不设限」伙伴关系涉及大量能源合作

俄乌冲突爆发之前，俄罗斯和中国宣布建立「不设限」的伙伴关系。双边能源和资本流动如下图所示。其他值得注意的趋势：中国对俄罗斯的武器、弹药、枪支零部件和飞机零部件出口大幅增长，同时中国对乌克兰的武器和弹药出口大幅下降。

中国与欧洲购买俄罗斯能源规模比较



资料来源：能源与清洁空气研究中心、美国能源信息署、中国海关总署、彭博财经、摩根资产管理。2023年3月。

对俄跨境银团贷款



资料来源：国际清算银行。2022年第三季度。

关于俄罗斯、中国和能源的事实和数据：

天然气 (bcm = 十亿立方米)

- 2020 年，俄罗斯通过西伯利亚力量 (Power of Siberia) 管道向欧洲出售 1,750 亿立方米天然气，向中国出售 40 亿立方米天然气，该管道于 2019 年通气，2025 年将全线贯通
- 中国从俄罗斯进口的天然气量仍低于从土库曼斯坦进口的天然气量，但预计将会增加。2022 年上半年，中国天然气进口量为 75 亿立方米，2025 年目标为 480 亿立方米，2030 年目标为 880 亿立方米。部分预估长期增长：西伯利亚力量 2 号是年供气量 500 亿立方米的天然气项目，经由蒙古将天然气从俄罗斯输送到中国
- 中国实体担任俄罗斯亚马尔液化天然气 (Yamal LNG) 的投资方、贷款方、承销方和承包商，有助俄罗斯实现天然气出口多元化
- 核能与煤炭
- 俄罗斯参与中国 2 座核电站的建设，也是仅次于印尼的中国第二大煤炭供应国 (占中国煤炭进口量的 15%)

石油 (bpd = 日/桶)

- 俄罗斯 2021 年向中国出口石油 80 万桶/日，2022 年为 100 万桶/日，是仅次于沙特阿拉伯的中国第二大石油供应国。2022 年，俄罗斯石油公司 (Rosneft) 同意通过中哈石油管道另外每日出售 20 万桶石油。俄罗斯石油买家数量减少，而中国和印度仍在其列；2023 年 1 月，俄罗斯乌拉尔原油的交易价格比布伦特原油低 50%





附录：美国甲烷信息更新，更多研究显示甲烷泄漏率高于美国国家环境保护局报告数据

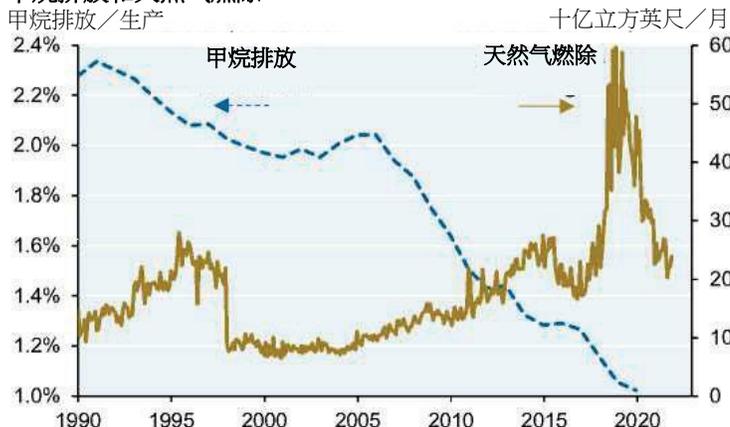
如果你将美国国家环境保护局数据视为基本情况，则美国天然气作业的甲烷泄漏量从 1990 年的 2.3% 下降到 2020 年的 1% 左右。据报道，这些比率涵盖勘探、生产、收集、加工、传输、储存和配送过程中的泄漏量。然而，美国国家环境保护局甲烷泄漏数据通常由石油和天然气行业提供，无法反映实际运营绩效。结果，气候科学家自行对甲烷泄漏进行了测量。他们的航空、卫星及其他监测方法指出，美国国家环境保护局数据大大低估了甲烷泄漏率，最新的斯坦福大学研究显示，二叠纪盆地甲烷泄漏率比美国国家环境保护局估计值高出数倍（见图表）。

达拉斯联邦储备银行（Dallas Fed）2022 年 12 月发布的调查显示，约 60% 的大型企业制定了减少甲烷排放和燃除的计划，但仅约 40% 的小型公司有此计划。国际能源署认为，利用现有技术可减少约 75% 的甲烷排放，而天然气价格上涨使甲烷减排的经济效益提升。IOP Science 2023 年的研究得出结论，2019 年至 2021 年，近半数运营商的二叠纪盆地排放强度提高了 50% 以上。甲烷减排的重要性：《科学》杂志 2022 年进行的研究发现，仅 91% 的甲烷透过燃除而避免泄漏，并非美国国家环境保护局假设的 98%（相差五倍）。

我询问了摩根大通可持续发展团队成员 Ben Ratner 对这个问题的看法。Ben 如是说：

- 甲烷减排是石油和天然气公司在这十年内减少温室气体足迹的最直接和最具成本效益的方式，但进展参差不齐，设定的目标过于简单
- 行业领导者已开始从机械的估算转向更准确的测量（即使用飞机/无人机上的传感器），承诺到 2025 年取消天然气燃除并与监管机构沟通
- 美国《清洁空气法》(Clean Air Act) 目前直接将甲烷列为须监管的污染物，并通过立法收取甲烷费，不过燃除标准低于一些倡导者所要求的标准。科罗拉多、新墨西哥和宾夕法尼亚等州对泄漏检测/维修、燃除最小化和其他最佳实践制定了更严格的要求
- 石油和天然气甲烷伙伴关系（OGMP）是欧美行业领导者与民间代表合作开展的倡议。根据石油和天然气甲烷伙伴关系近期的「2.0」协定，企业同意设定甲烷目标，增加甲烷测量活动并每年报告进展情况
- 对于希望支持能源安全并合理地减少碳足迹，同时将更多产品推向市场的公司而言，消除天然气燃除是一项常识性举措。在达拉斯联邦储备银行 2019 年进行的调查中，70% 的受访者认为管输容量不足是二叠纪盆地燃除问题的原因

甲烷排放和天然气燃除



资料来源：美国环保局、美国能源信息署、摩根资产管理。2021年12月。

2019-2020 年天然气燃除高峰，似乎是没有足够天然气管输容量的地区所兴起石油钻探热潮的副产品，以及频繁地向任何申请天然气燃除许可证的开发商发放此证的后果。2020 年以来，管输容量增加，行业运营商更加专注于取消无利可图的业务。

甲烷研究（出版方、年份、主要作者）

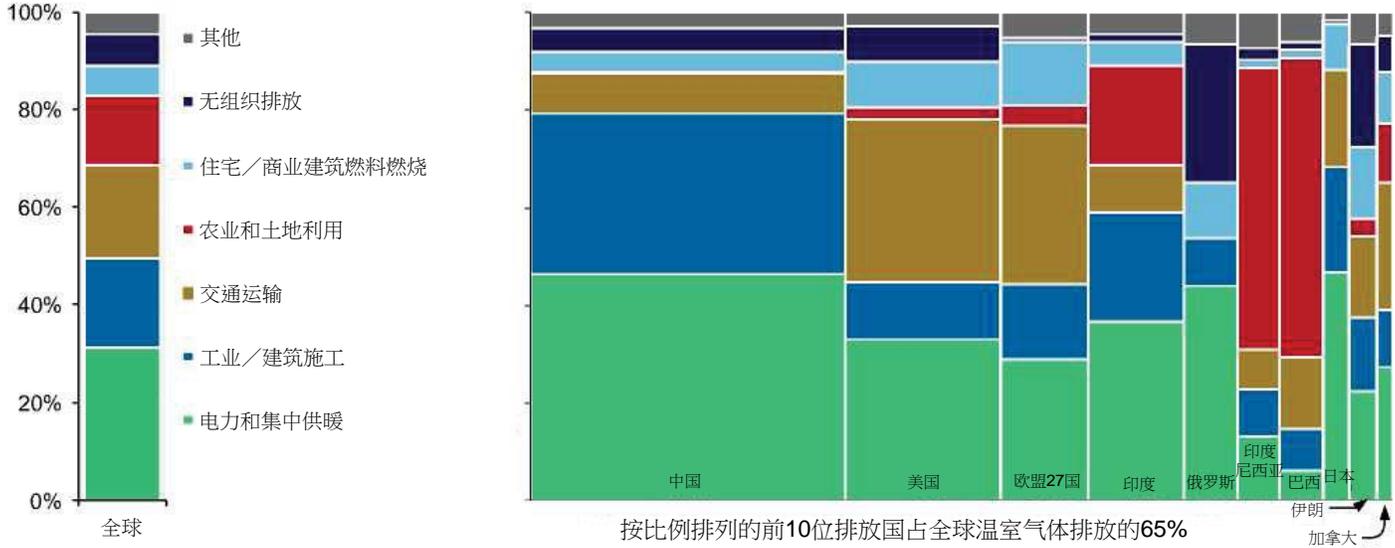
出版方	年份	主要作者
IOPscience	2023	Hmiel
2019 年至 2021 年，二叠纪盆地半数勘探与生产运营商的甲烷排放强度提高 50% 以上		
斯坦福大学	2022	Chen
二叠纪盆地甲烷排放量比美国国家环境保护局估计高出数倍		
国际能源署	2022	无
能源行业甲烷排放量比各国政府公布的排放量高出 70%		
《科学》	2022	Plant
燃除减少约 91% 的甲烷泄漏量，并非 98%，相差 5 倍		
ACP	2021	Barkley
石油/天然气甲烷排放量比美国国家环境保护局估计高 48%-76%		
《科学》	2018	Alvarez
供应链甲烷排放量比美国国家环境保护局估计高约 60%		
《科学》	2020	Zhang
二叠纪盆地甲烷排放量是存量估计值的两倍以上		

资料来源：摩根资产管理。2023 年。



今年报告中最后一张图表显示的是按国家/地区和行业划分的温室气体排放量，每条柱子的大小因排放量而异。深蓝色的美国逃逸排放量柱子是本页较大的柱子之一。如果这些逃逸排放量基于美国国家环境保护局公布的甲烷数据，而非基于前一页引用的高频率实证测量，则美国的逃逸排放量可能被大大低估。

温室气体排放量（按部门和国家），占总量的百分比



图表中定义的逃逸排放是什么？

- 燃除产生的二氧化碳
- 煤矿开采产生的甲烷
- 天然气和石油系统（生产、燃除/放空和传输/配送）产生的甲烷
- 固体燃料、石油和天然气、废物焚烧和露天燃烧产生的甲烷和一氧化二氮



重要信息

本报告对来自大通信用卡及借记卡交易的经挑选资讯采用非常严格的安全协议，藉此确保所有资讯保密及安全。所有经挑选资讯经过高度整合，全部独家可识别资讯（包括姓名、账户号码、地址、出生日期及社保号码），在本报告作者收到有关资讯之前已经全部移除。本报告资讯并不代表大通信用卡及借记卡持有人整体数量。

本文件表达的观点、意见及预测，均为岑博智先生按目前市场状况作出的判断；如有更改，恕不另行通知，且可能与摩根大通的其他领域所表达的观点、意见及预测不同。本文件不构成亦不应视为摩根大通研究报告看待。

本报告所载观点不拟作为在任何司法管辖区内买卖任何投资的建议或推荐意见，亦不拟作为摩根大通或其任何附属公司就参与本报告所述任何交易而作出的承诺。本报告载列的任何预测、数据、意见或投资技巧及策略乃根据若干假设按目前市场状况而作出，仅供说明用途，如有更改，恕不另行通知。本报告载列的全部信息于编制当时均被视为准确。本文件并无载列足够数据以支持任何投资决策，您不应据此依赖作为评估任何证券或产品投资的好处。此外，本报告使用者须自行就有法律、监管、税务、信贷及会计影响作出独立评估，并且必须与其自身的专家顾问一同决定本报告所述任何投资是否相信适合其个人目标需要。进行任何投资决策前，投资者必须确保自己已取得所有可供获取的相关信息。投资者务须注意，投资涉及风险，投资价值及所得回报可能取决于市场状况及税务协议而波动，投资者不一定可全数取回投资本金。过去表现及收益率并非目前及未来业绩表现的可靠指标。

本报告所述非关联实体仅供说明用途，不应诠释作为已获摩根大通公司或其关联公司认可或保荐。

就摩根资产管理客户而言：

「摩根资产管理」是摩根大通及其全球关联公司从事资产管理业务的品牌名称。

在适用法例所容许的范围内，我们可进行电话录音及监察电子通讯记录，藉以遵从我们的法律及监管规例和内部政策。摩根资产管理将会根据我们的隐私政策收集、储存及处理个人资料（详情可浏览：<https://am.jpmorgan.com/global/privacy>）。

可访问性

仅适用于美国：如果您是残障人士并需取得额外支援以查阅本文件，请致电我们寻求协助（电话：1-800-343-1113）。

本通讯文件由下列实体发行：

在美国，由摩根大通投资管理有限责任公司(J.P. Morgan Investment Management Inc.) 或摩根大通另类资产管理有限责任公司(J.P. Morgan Alternative Asset Management, Inc.)发行，两家公司均须受美国证券交易委员会监管；在拉美，由当地摩根大通实体（视情况而定）发行并仅供指定收件人使用；在加拿大，由摩根资产管理（加拿大）有限责任公司(JPMorgan Asset Management (Canada) Inc.)发行并仅供机构客户使用，该公司乃加拿大所有省份及地区的已注册投资组合经理及获豁免市场交易商（除了育空），同时也是卑诗省、安大略省、魁北克省以及纽芬兰和拉布拉多等地的已注册投资基金经理。在英国，由摩根资产管理（英国）有限公司(JPMorgan Asset Management (UK) Limited)发行，该公司须受英国金融行为监管局授权及监管；在其他欧洲司法管辖权区，由摩根资产管理（欧洲）有限责任公司(JPMorgan Asset Management (Europe) S.à r.l.)发行。在亚太地区，由以下发行实体在其主要受监管的司法管辖权区内发行：摩根资产管理（亚太）有限公司(JPMorgan Asset Management (Asia Pacific) Limited)，或摩根基金（亚洲）有限公司(JPMorgan Funds (Asia) Limited)，或摩根实物资产管理(亚洲)有限公司(JPMorgan Asset Management Real Assets (Asia) Limited)发行，各自均受香港证券及期货事务监察委员会监管；摩根资产管理（新加坡）有限公司(JPMorgan Asset Management (Singapore) Limited)（公司注册编号：197601586K），本广告或公告未经新加坡金融管理局审阅；摩根证券投资信托股份有限公司(Jpmorgan Asset Management (Taiwan) Limited)；摩根资产管理（日本）有限公司(JPMorgan Asset Management (Japan) Limited)，该公司乃日本投资信托协会(Investment Trusts Association of Japan)、日本投资顾问协会、第二类金融工具商同业公会及日本证券业协会的成员，须受日本金融管理局监管（注册编号：330(Kanto Local Finance Bureau (Financial Instruments Firm)）；在澳大利亚，由摩根资产（澳大利亚）有限公司(JPMorgan Asset Management (Australia) Limited (ABN 55143832080) AFSL 牌照号码：376919)，仅供按照公司法第 2001 第 761A 条及第 761G 条（《公司法》）赋予的定义的「批发客户」发行。在亚太所有其他市场，则仅向指定收件人发行。

就摩根大通私人银行客户而言：

可访问性

摩根大通一直致力于为所有客户提供符合其金融服务需要的产品及服务。如有任何关于产品及服务方面的问题，请致电摩根大通私人银行客户服务中心与我们直接联系（电话：1-866-265-1727）。

法律实体、品牌及监管信息

在美国，银行存款账户及相关服务（例如支票、储蓄及银行贷款）乃由**摩根大通银行(JPMorgan Chase Bank, N.A.)**提供。摩根大通银行是美国联邦存款保险公司的成员。

在美国，投资产品（可能包括银行管理账户及托管）乃由**摩根大通银行(JPMorgan Chase Bank, N.A.)**及其关联公司（合称「**摩根大通银行**」）作为其一部分信托及委托服务而提供。其他投资产品及服务（例如证券经纪及咨询账户）乃由**摩根大通证券(J.P. Morgan Securities LLC)**（「**摩根大通证券**」）提供。摩根大通证券是**金融业监管局**和**证券投资者保护公司**的成员。年金是透过 Chase Insurance Agency, Inc（「**CIA**」）支付。CIA 乃一家持牌保险机构，以 Chase Insurance Agency Services, Inc. 的名称在佛罗里达州经营业务。摩根大通银行、摩根大通证券及 CIA 均为受 JPMorgan Chase & Co. 共同控制的关联公司。产品不一定于美国所有州份提供。

在德国，本文件由**摩根大通有限责任公司(J.P. Morgan SE)**发行，其注册办事处位于 Taunustor 1 (TaunusTurm), 60310 Frankfurt am Main, Germany am Main，已获德国联邦金融监管局（Bundesanstalt für Finanzdienstleistungsaufsicht，简称为「**BaFin**」）授权，并由 BaFin、德国中央银行（Deutsche Bundesbank）和欧洲中央银行共同监管。在**卢森堡**，本文件由**摩根大通有限责任公司卢森堡分行**发行，其注册办事处位于 European Bank and Business Centre, 6 route de Treves, L-2633, Senningerberg, Luxembourg，已获德国联邦金融监管局（BaFin）授权，并由 BaFin、德国中央银行和欧洲中央银行共同监管。摩根大通有限责任公司卢森堡分行同时须受卢森堡金融监管委员会（CSSF）监管，注册编号为 R.C.S Luxembourg B255938。在**英国**，本文件由**摩根大通有限责任公司伦敦分行**发行，其注册办事处位于 25 Bank Street, Canary Wharf, London E14 5JP，已获德国联邦金融监管局（BaFin）授权，并由 BaFin、德国中央银行和欧洲中央银行共同监管。摩根大通有限责任公司伦敦分行同时须受英国金融市场行为监管局以及英国审慎监管局监管。在**西班牙**，本文件由**摩根大通有限责任公司 Sucursal en España (马德里分行)**分派，其注册办事处位于 Paseo de la Castellana, 31, 28046 Madrid, Spain，已获德国联邦金融监管局（BaFin）授权，并由 BaFin、德国中央银行和欧洲中央银行共



同监管。摩根大通有限责任公司马德里分行同时须受西班牙国家证券市场委员会（Comisión Nacional de Valores，简称「CNMV」）监管，并已于西班牙银行行政注册处以摩根大通有限责任公司分行的名义登记注册，注册编号为 1567。在意大利，本文件由摩根大通有限责任公司米兰分行分派，其注册办事处位于 Via Cordusio, n.3, Milan 20123, Italy，已获德国联邦金融监管局（BaFin）授权，并由 BaFin、德国中央银行和欧洲中央银行共同监管。摩根大通有限责任公司米兰分行同时须受意大利央行及意大利全国公司和证券交易所监管委员会（Commissione Nazionale per le Società e la Borsa，简称为「CONSOB」）监管，并已于意大利银行行政注册处以摩根大通有限责任公司分行的名义登记注册，注册编号为 8076，其米兰商会注册编号为 REA MI 2536325。在荷兰，本文件由摩根大通有限责任公司阿姆斯特丹分行分派，其注册办事处位于 World Trade Centre, Tower B, Strawinskyalaan 1135, 1077 XX, Amsterdam, The Netherlands。摩根大通有限责任公司阿姆斯特丹分行已获德国联邦金融监管局（BaFin）授权，并由 BaFin、德国中央银行和欧洲中央银行共同监管。摩根大通有限责任公司阿姆斯特丹分行同时须受荷兰银行（DNB）和荷兰金融市场监管局（AFM）监管，并于荷兰商会以摩根大通有限责任公司分行的名义注册登记，其注册编号为 72610220。在丹麦，本文件是由摩根大通有限责任公司哥本哈根分行（即德国摩根大通有限责任公司附属公司）分派，其注册办事处位于 Kalvebod Brygge 39-41, 1560 København V, Denmark，已获德国联邦金融监管局（BaFin）授权，并由 BaFin、德国中央银行和欧洲中央银行共同监管。摩根大通有限责任公司哥本哈根分行（即德国摩根大通有限责任公司附属公司）同时须受丹麦金融监管局（Finanstilsynet）监管，并于丹麦金融监管局以摩根大通有限责任公司分行的名义注册登记，编号为 29010。在瑞典，本文件由摩根大通有限责任公司斯德哥尔摩分行分派，其注册办事处位于 Hamngatan 15, Stockholm, 11147, Sweden，已获德国联邦金融监管局（BaFin）授权，并由 BaFin、德国中央银行和欧洲中央银行共同监管。摩根大通有限责任公司哥本哈根分行同时须受瑞典金融监管局（Finansinspektionen）监管，并于瑞典金融监管局以摩根大通有限责任公司分行的名义注册登记。在法国，本文件由摩根大通银行巴黎分行分派，其注册办事处位于 14, Place Vendôme, Paris 75001, France，在巴黎商业法院注册处的注册编号为 712041 334，已获法国银行业监察委员会(Autorité de contrôle prudentiel et de résolution (ACPR)) 批准，并受 ACPR 及法国金融市场管理局 (Autorité des Marchés Financiers) 监管。在瑞士，本文件由 J.P. Morgan (Suisse) S.A. 分派，其注册办事处位于 rue du Rhône, 35, 1204, Geneva, Switzerland，作为瑞士一家银行及证券交易商，在瑞士由瑞士金融市场监管管理局（FINMA）授权并受其监管。

就金融工具市场指令 (MIFID II) 和瑞士金融服务法 (FINSA) 而言，本通讯属广告性质。除非基于任何适用法律文件中包含的信息，这些文件目前或应在相关司法管辖区内提供（按照要求），否则投资者不应认购或购买本广告中提及的任何金融工具。

在香港，本文件由摩根大通银行香港分行分派，摩根大通银行香港分行受香港金融管理局及香港证监会监管。在香港，若您提出要求，我们将在不收取您任何费用的情况下停止使用您的个人资料以作我们的营销用途。在新加坡，本文件由摩根大通银行新加坡分行分派。摩根大通银行新加坡分行受新加坡金融管理局监管。交易及咨询服务及全权委托投资管理服务由（通知您的）摩根大通银行香港分行/新加坡分行向您提供。银行及托管服务由摩根大通银行新加坡分行向您提供。本文件的内容未经香港或新加坡或任何其他法律管辖区的任何监管机构审阅。建议您审慎对待本文件。假如您对本文件的内容有任何疑问，请必须寻求独立的专业人士意见。对于构成《证券及期货法》及《财务顾问法》项下产品广告的材料而言，本营销广告未经新加坡金融管理局审阅。摩根大通银行（JPMorgan Chase Bank, N.A.）是依据美国法律特许成立的全国性银行组织；作为一家法人实体，其股东责任有限。

关于拉美国家，本文件的分派可能会在特定法律管辖区受到限制。我们可能会向您提供和/或销售未按照您祖国的证券或其他金融监管法律登记注册、并非公开发行的证券或其他金融工具。该等证券或工具仅在私下向您提供和/或销售。我们就该等证券或工具与您进行的任何沟通，包括但不限于交付发售说明书、投资条款协议或其他发行文件，在任何法律管辖区内对之发出销售或购买任何证券或工具要约或邀约或邀约为非法的情况下，我们无意在该等法律管辖区内发出该等要约或邀约。此外，您其后对该等证券或工具的转让可能会受到特定监管法规和/或契约限制，且您需全权自行负责确定和遵守该等限制。就本文件提及的任何基金而言，基金的有价证券若未依照相关法律管辖区的法律进行注册登记，则基金不得在任何拉美国家公开发行。任何证券（包括本基金股份）在巴西证券及交易委员会 CVM 进行注册登记前，均一概不得进行公开发售。本文件载列的部分产品或服务目前不一定可于巴西及墨西哥平台上提供。

收件人要求及为收件人之便，本文件收件人可能已同时获提供其他语言版本。尽管我们提供其他语言文件，但收件人已再确认有足够能力阅读及理解英文，且其他语言文件的使用乃出于收件人的要求以作参考之用。若英文版本及翻译版本有任何歧义，包括但不限于释义、含意或诠释，概以英文版本为准。

「摩根大通」是指摩根大通及其全球附属公司和联属公司。「摩根大通私人银行」是摩根大通从事私人银行业务的品牌名称。本文件仅供您个人使用，未经摩根大通的允许不得分发给任何其他人士，且任何其他人士均不得使用，分派或复制本文件的内容供作非个人用途。如您有任何疑问或欲收取这些通讯或任何其他营销资料，请与您的摩根大通团队联络。

© 2023 年。摩根大通。版权所有。

在澳大利亚，摩根大通银行 (ABN 43 074 112 011/AFS 牌照号码：238367) 须受澳大利亚证券及投资委员会以及澳大利亚审慎监管局监管。摩根大通银行于澳大利亚提供的资料仅供「批发客户」。就本段的目的而言，「批发客户」的涵义须按照公司法第 2001 (C) 第 761G 条（《公司法》）赋予的定义。如您目前或日后任何时间不再为批发客户，请立即通知摩根大通。

摩根大通证券是一家在美国特拉华州注册成立的外国公司（海外公司）(ARBN 109293610)。根据澳大利亚金融服务牌照规定，在澳大利亚从事金融服务的金融服务供应商（如摩根大通证券）须持有澳大利亚金融服务牌照，除非已获得豁免。根据公司法 2001 (C)（《公司法》），摩根大通证券已获豁免就提供给您金融服务持有澳大利亚金融服务牌照，且根据美国法律须受美国证券交易委员会、美国金融业监管局及美国商品期货委员会监管，这些法律与澳大利亚的法律不同。摩根大通证券于澳大利亚提供的资料仅供「批发客户」。本文件提供的资料不拟作为亦不得直接或间接分派或传送给澳大利亚任何其他类别人士。就本段目的而言，「批发客户」的涵义须按照《公司法》第 761G 条赋予的定义。如您目前或日后任何时间不再为批发客户，请立即通知摩根大通。

本文件未特别针对澳大利亚投资者而编制。文中：

- 包含的金额可能不是以澳元为计价单位；
- 可能包含未按照澳大利亚法律或惯例编写的金融信息；
- 可能没有阐释与外币计价投资相关的风险；以及
- 没有处理澳大利亚的税务问题。



岑博智先生是摩根大通资产及财富管理的市场及投资策略部主席，摩根大通资产及财富管理是全球投资管理和私人银行业的翘楚，截至 2022 年 12 月 31 日，管理 2.8 万亿美元的全客户资产。他负责领导公司的机构、基金和私人银行业务的策略性市场和投资研究工作。

岑博智先生也是摩根大通资产及财富管理的投资委员会成员，之前也曾经担任摩根大通超过 256,000 名员工的退休计划投资委员会成员。

出任现职之前，岑博智先生是担任摩根大通的全球私人银行首席投资官一职达八年之久。在此之前，他曾担任摩根大通投资管理业务的固定收益部主管，负责高级债券、高收益债券、新兴市场债券和市政债券的投资工作。

加盟摩根资产管理之前，岑博智先生是摩根大通证券的新兴市场固定收益部首席策略师。他于 1987 年加入摩根大通，任职于企业融资部。

岑博智先生于 1984 年毕业于美国塔夫斯大学，持有文学士学位，其后于 1986 年毕业于美国哥伦比亚大学国际公共事务学院，持有文学硕士学位。

J.P.Morgan