

2025 年 5 月 26 日

第 16 期

总第 691 期

净零行业跟踪-2024 版

【译者按】2024 年 12 月，世界经济论坛发布《净零行业跟踪-2024 版》，该报告是年度系列报告的第三期。报告总结了航空、航运、卡车、钢铁等八个排放密集型行业在减少排放方面的现状，报告认为，过去十年中这些行业在这减排方面取得了进展，但尚无一个行业有望在 2050 年前实现净零排放，由于行业规模将快速增长，排放强度必须加快降低。报告还从技术、基础设施、需求、资金、政策等影响排放的五个关键因素分析了这些行业要实现净零排放的困难、可行的措施和路径。赛迪智库安全产业研究所对该报告进行了编译，期望对我国有关部门有所帮助。

【关键词】 净零 减排 技术 基础设施

《净零行业跟踪》分析了八个跨生产、能源和运输的排放密集型行业在实现净零排放方面的进展情况，以及这些行业向净零排放过渡的五个关键因素。为衡量各行业实现净零排放转型的就绪度，报告制定了一套评分系统，例如，在技术就绪水平（TRL）中，1-3 分表示技术处于概念阶段，4-6 表示原型测试阶段，7-8 表示示范阶段，9 表示早期采用阶段，10-11 表示完全开发的成熟技术。报告中的目标基于对国际能源机构（IEA）“2050 年净零排放路线图”、国际航空运输协会（IATA）“净零排放路线图”、国际民用航空组织（ICAO）“长期全球立项目标”（LTAG）、国际海事组织（IMO）“温室气体减排初步战略”、国际铝业协会（IAI）“温室气体路径”和国际能源机构“石油和天然气净零转型排放报告”的数据分析而设定的。还根据国际清洁交通理事会（ICCT）、国际能源机构的既定政策情景和“可行使命伙伴关系”（MPP）的具体领域轨迹考虑了“一切照旧情景”（BAU）轨迹。

一、航空业

（一）进展与成效

该领域目前占全球二氧化碳当量排放量的 2.5%。化石燃料占该行业燃料消耗的 99%，因此成为排放强度的主要因素。航空公

公司已开始少量使用可持续航空燃料，然而，可持续航空燃料的高成本和有限供应为扩大其使用范围带来了重大挑战。空客公司宣布将于 2024 年与全球机场签署多项合作协议，ZeroAvia 等市场新进入者正在研发氢-电动力系统，计划到 2027 年向市场推出改装的氢动力飞机。预计到 2050 年，航空总体需求将比 2023 年增长 2.1 倍。为实现 2050 年净零排放目标，扩大可持续航空燃料和电力或氢动力飞机等长期解决方案至关重要。

（二）关键因素

1、技术

一是可持续航空燃料（SAF）。主要包括通过各种途径生产的生物燃料，以及由捕获的碳和低排放的氢电解制成的合成航空燃料。加氢处理酯类和脂肪酸（HEFA）目前最为成熟，并有可能一直保持到 2030 年，已宣布的可持续航空燃料生产设施中有 85% 采用了这一路径。电转液发展迅速，由于依赖可再生资源，具有长期可扩增性，但成本仍然很高。

二是改进飞机设计和空中交通管理。在正常的机队更替周期内用效率更高的新飞机替换退役飞机可定期提高能效。提高航空燃油能效的措施进展迅速，如先进的发动机设计和轻质材料，但仍处于早期发展阶段。短期可能采用在飞机机翼上加装小翼这一减排的解决方案。其他先进技术，如减轻机舱重量或改用电动滑

行、优化进近/起飞程序、通过改进空气动力学降低巡航时的垂直速度能效、改进拥堵管理和发动机清洗，也为减排提供了可能。

三是新型推进技术。航空领域的新型推进技术，如氢燃料电池、电池-电力和混合-电力飞机，发展势头更为强劲，但仍处于大型原型和示范阶段，预计到 2030 年可投入商业使用。氢气的主要挑战包括生产、运输和环境影响评估。电池-电力飞机虽然有望用于短途飞行，但目前能量密度较低，按重量计算，其能量仅为喷气燃料的五十分之一。混合动力电动飞机将传统燃料和电力推进结合起来，更接近商业化，有望在近期发挥重要作用。

2、基础设施

航空业需要可持续航空燃料设施来促进原料向燃料的转化。目前，可持续航空燃料的生产还处于早期阶段，在燃料总用量中所占比例还不到 1%。此外，向替代燃料过渡还需要对现有机场设施进行调整和改造。为了满足未来的需求，还需对可再生能源基础设施进行大量投资，同时推进碳捕集与封存（CCS）技术，以减少过渡阶段传统航空运营的排放。

3、需求

目前航空能源消耗中只有不到 1%来自低排放源。尽管成本较高，但与传统煤油相比可持续航空燃料密度较低，但每公斤燃料的能量含量较高。政府的激励措施和政策对于抵消高成本并鼓

励采用至关重要。

4、资金

航空业将需要 5 万亿美元的资本投资来开发和实施低排放技术和基础设施。这项投资需要更广泛的航空生态系统来建设必要的基础设施，如可持续航空燃料生产设施和机场加氢站。

5、政策

欧盟、美国和其他几个航空大国在鼓励采用低碳技术的授权和激励政策方面都走在了世界前列。然而，航空业本质上是一种跨境活动，需要碳核算框架和可持续性标准的协调、互认，以确保低碳技术部署的透明度和问责制。各国需要与可持续性核查组织合作，加强排放报告的准确性，确保生态系统参与者遵守明确、一致的准则。

二、航运业

（一）进展与成效

航运业目前占全球二氧化碳排放量的 2%。海运中的燃料结构是排放强度的主要驱动因素。2019-2023 年，全球航运需求增加，而二氧化碳排放强度降低了 4.6%。这一减少可归因于船舶平均尺寸的增加、慢速航行、提高设计效率等几个因素。然而，仅在效率、速度和规模优化方面的改进还不足以实现净零目标。燃

料结构仍然严重依赖化石燃料，约占能源消耗总量的 99%。2022 年，重油占燃料结构比从 2021 年的 49%增长到 56%，液化天然气约占 6%，而甲醇的占比不到 1%。因此，当务之急是促进清洁氢基净零排放燃料的生产和使用。

(二) 关键因素

1、技术

一是零排放燃料和推进技术。与低硫燃料油相比，使用低碳氢生产的氢、氨和甲醇可减少高达 99%的温室气体排放。目前，用于航运业的清洁氢基燃料生产仍主要处于示范阶段，尚未实现全面的商业部署。随着中国和美国绿色氢气生产设施的扩建，氢气生产取得进展，但在欧洲的生产却停滞不前。

二是低排放过渡燃料。尽管零排放燃料有望引领船舶业实现净零排放目标，但在零排放燃料的生产和使用尚未达到理想水平之前，液化天然气和生物燃料等低排放过渡燃料对于减排也很重要。根据未来成本预测，以液化天然气为燃料的船舶与使用液化全氟辛烷磺酸的船舶相比，船主的总持有成本预计仅高出 0-8%，而使用生物燃料的船舶则高出 10-30%。

三是能效。几项技术目前正在研发以优化船舶发动机的能耗，例如，使用风帆、利用风能已证实可减少 5%-8%的航运能耗。由于燃料电池比内燃机更节能，且不排放污染物，因此也在考虑

使用不同类型的燃料电池。

2、基础设施

为实现 2050 年净零排放目标，将需要 72MTP 的清洁氢产能来生产净零排放燃料。根据全球海事论坛（Global Maritime Forum），到 2050 年，这将占总燃料结构的 95%。船厂的产能也需扩大，以容纳新的双燃料、零排放燃料兼容船舶。同时需要增加新的零排放燃料船舶，因此，为不同的零排放燃料研发配套的加油基础设施至关重要。到 2050 年，预计 95% 的燃料结构将采用零排放燃料。

3、需求

市场缺乏明确的需求信号，特别是客户是否愿意付钱。因此，各公司对研发新的零排放燃料发动机、签署长期燃料采购协议犹豫不决。此外，承运商目前习惯于现货购买燃料，并预计未来零排放燃料的成本将下降，长期燃料承购协议的吸引力就不大。但由于运输成本在产品价格中只占很小的比例，这种绿色溢价转嫁到客户身上的最终零售价格只增加了 1-2%。虽然终端客户价格上涨的百分比较低，但从绝对值来看，这对石油、谷物和金属等基本商品的价格是显著增长，并对发展中国家产生重大影响。

4、资金

航运业预计需要 2.6 万亿美元以推进零排放燃料的生产、研

发与零排放燃料兼容的航运船队。这意味着每年需要增加约 910 亿美元的资本投资，是目前的两倍多。这些额外投资大部分必须来自生态系统，以建设有利的基础设施。航运业去碳化需要扩大清洁氢、“二氧化碳捕获、利用和封存技术”和加油基础设施的规模，还需投资对现有船队进行双燃料发动机改造，以支持低排放燃料和零排放燃料的使用。

5、政策

全球航运业受国际海事组织法规的管辖。2023 年，国际海事组织更新了其温室气体战略，旨在 2050 年或 2050 年前后实现净零排放，2030 年和 2040 年实现中期目标，到 2030 年零排放或接近零排放燃料的使用率达到 5%，力争达到 10%。

三、卡车行业

（一）进展与成效

该行业目前占全球二氧化碳直接排放量的 5%。化石燃料约占该行业燃料消耗的 96%，是排放强度的主要驱动因素。2023 年卡车运输业的直接排放量比 2019 年增加了 6%。尽管排放量有所增长，但由于燃料能效的提升，该行业过去五年中在降低排放强度方面减少了 14%。2023 年，卡车运输活动达到 32.8 万亿吨公里的历史最高水平，而 2019 年为 26.6 万亿吨公里，因为该行业

已从新冠疫情相关破坏中恢复过来。虽然低排放燃料在燃料总量中所占比例较小，却反映出该行业正日益摆脱柴油。然而，预计到 2050 年全球卡车运输需求将翻一番，因此进一步的创新和政策行动对于加快向净零碳排放过渡至关重要。

(二) 关键因素

1、技术

一是电池电动卡车。电池电动卡车处于早期采用阶段，TRL 为 8-9。电动卡车使用电池组中的电池。重型卡车尤其需要专门的基础设施或高能量密度的电池化学材料才能具有竞争力，如还处于原型阶段的固态电池。

二是氢电动卡车。氢电动卡车基于氢燃料电池卡车(TRL8-9)和直接的氢内燃机卡车(TRL7)两类技术。氢燃料电池卡车在长途运输方面具有显著优势。与电池电动卡车相比，它们具有更长的行驶里程和更快的补充燃料时间。此外，燃料电池可持续提供动力，无需大型沉重的电池组，成为重型货物运输的可行选择。

2、基础设施

电池电动卡车和氢电动卡车的商用在很大程度上取决于基本基础设施的可用性。目前，所需的基础设施不足 1%，不足以支持其广泛应用。为了实现到 2050 年道路上 53%电池电动卡车和 47%氢电动卡车的预期目标，卡车运输业需要大幅提高清洁电

力和氢气生产能力。到 2050 年估计将需要 3100 万个电动汽车公共充电点、46000 个加氢站，以满足对电池电动卡车和氢能汽车不断增长的需求。

3、需求

插电式混合动力、电池和燃料电池电动重型卡车的销售份额在 2022 年还不到 1%，预计到 2030 年将增至全球总销售额的 37%。这一增长是由更为严格的排放法规、电动汽车技术进步和需求增加共同推动的。沃尔沃、戴姆勒和特斯拉等领先的卡车制造商正在推出新的电动卡车车型，从而推动了预期的销量激增。中国继续引领电动卡车部署，2023 年将占全球电动卡车销量的 70% 以上。对制造商和原始设备制造商的绿色溢价估计为 80%，这电动或氢动力卡车的生产成本较传统柴油车型较高。但对最终消费者而言，这意味着总持有成本仅增加 1-3%，这表明虽然前期制造成本较高，但对消费者价格的影响相对较小。

4、资金

要在 2050 年前实现卡车运输业的净零排放，估计需要 9 亿美元的额外累计投资，这与卡车运输业目前每年 2860 亿美元的资本支出相比，存在大幅增长。这些投资对于扩大清洁能源基础设施、研发零排放车辆技术以及向氢能和电力等替代燃料过渡至关重要。资金将支持扩大电池电动卡车和氢燃料电池卡车的使

用范围，以及添加燃料和充电网络的发展。

5、政策

全球卡车运输高度集中在美国、欧洲、中国和印度。这凸显了在这些地区实施有效、切实的政策以提高零排放卡车采用率的重要性。2022 年，70%以上的重型车辆（HDV）都要遵守燃油经济性或车辆效率法规。虽然许多国家正在制定排放目标，发达经济体可借鉴欧盟、美国和中国的做法，实施法规和激励措施相结合的方式，以有效解决重型车辆的二氧化碳排放问题。

四、钢铁行业

（一）进展与成效

该行业目前占全球二氧化碳排放量的 7%。排放主要缘于能源密集型生产过程中大量使用化石燃料，约占燃料结构的 75%。煤炭是钢铁生产过程中的主要燃料，过去五年中占燃料结构的 75%左右。因此，需要能够采用可再生和低排放燃料替代煤电的技术。如，高炉可与生物能源和碳捕集与封存技术相结合。

（二）关键因素

1、技术

一是增加废钢的使用。这是钢铁生产脱碳的重要手段。此外，如果在废料-EAF 工艺中使用可再生能源，该工艺的排放量可降至

接近零的水平。国际能源机构预计，截至 2050 年，废钢在钢铁生产的金属投入中所占比例将达到 48%。

二是基于氢的清洁一次生产。炼钢技术最有前途的研发之一是使用氢基直接还原铁生产。一些试点项目，如瑞典的 HYBRIT 项目正在探索这项技术，以期在未来几年内实现大规模商用。

三是用于一次生产的碳捕集、利用与封存（CCUS）技术。在高炉-碱性氧气炉工艺中采用 CCUS 技术预计可减少高达 90% 的二氧化碳当量排放。

2、基础设施

据国际能源机构的“可行使命伙伴关系”称，钢铁行业目前主要依赖化石燃料，而清洁电力和氢气产能微乎其微。为实现 2050 年净零排放目标，燃料结构将大不相同。清洁电力将达到生产所需能源的 26%，这就需要 833GW 的清洁电力装机容量。在氢动力生产工艺进步的支持下，氢将达到所需能源的 29%。生物燃料预计将在 2050 年燃料结构占 6%。由于钢铁生产属于排放密集型，预计 2050 年能源结构中 15% 仍将来自化石燃料。

3、需求

目前只有不到 1% 的钢材达到了该行业的净零门槛。据估计，钢铁的 B2B 绿色溢价仍然很高，达到 40%，但随着可再生能源和氢能源价格的下降，预计到 2050 年将有所下降。对于低排放钢

材的需求预计将会增加，尤其是汽车行业。许多公司，包括宝马、大众和沃尔沃，已宣布计划在电动汽车生产中使用低排放钢材。已宣布的绿色钢材供应协议也在增加，其中运输行业占了近一半。废钢在全球的分布并不均匀，因此对提高二级钢的生产份额构成了挑战。有必要提高供应链效率，确保可回收材料的稳定流动。为进一步减少排放，钢铁生产商应采用循环经济模式，对废钢进行回收和再利用，以提升二级钢产量。

4、资金

钢铁行业估计需要 3.6 万亿美元来推动低排放生产技术的发展。其中近 70% 由生态系统投资，而只有约 30% 由该行业的多个公司投资。生态系统投资将用于提升氢能、清洁电力、CCUS 和生物能源能力，而企业投资将主要集中在向净零排放生产技术过渡。废钢的可获得性将影响不同国家对 EAF 基础设施的投资，欧盟和中国在扩大基于 EAF 的生产方面潜力最大。

5、需求

中国和印度的钢铁产量占总产量的 60% 以上，预计这两个国家未来的需求量将非常大。然而，目前减排主要政策大多是在美国和欧洲制定的。因此，由大部分需求和生产所在地区制定和实施支持性政策至关重要。为支持实现净零排放，钢铁行业政策的重点领域应该是投资研发新的炼钢技术，直接资助/激励增加可再

生能源、氢气、CCUS 和生物燃料的产能，在需求方对绿色公共采购进行干预，以刺激对绿钢的需求。

五、水泥行业

(一) 进展与成效

目前，水泥行业的二氧化碳当量排放约占全球的 6%，这主要归因于熟料生产这一能源密集型过程。化石燃料占水泥行业热能使用量的 95%以上，成为排放强度的主要驱动因素。水泥行业面临的主要挑战是在减少二氧化碳排放和满足全球不断增长的需求之间取得平衡。2022 年，低排放熟料产量占全球产量的比例不到 1%，而低排放燃料仅占水泥生产所用热能总量的 5%。能源结构仍然严重依赖碳密集型资源，其中 77%来自煤炭和石油焦炭，15%来自天然气，仅有 4%来自不可再生和可再生废料。

(二) 关键因素

1、技术

一是碳捕集、利用与封存（CCUS）。水泥生产中的煅烧过程排放了全生产过程 60-65%的二氧化碳，因此 CCUS 对从源头捕集这些排放量至关重要。在水泥行业，CCUS 正处于不同程度的成熟阶段，其中燃烧后捕集技术最接近商业化，并已在试点和大规模水平上得到示范，但在成本和可扩展性方面仍存在挑战。

富氧燃料燃烧 (TRL6-7) 和直接分离技术 (TRL4-6) 仍在研发中, 而二氧化碳利用路径 (TRL3-7) 正在取得进展, 特别是在混凝土固化方面。

二是水泥基辅助材料 (SCM) 和材料能效。水泥行业中的材料效率和 SCM 材料主要是通过使用粉煤灰、矿渣和天然火山灰等替代材料来减少熟料用量。这些技术相对成熟, 并已在许多市场投入商用, 但由于高质量 SCM 供应有限, 再加上标准化性能测试的需要, 其更广泛的应用受到限制。

三是生物能源。水泥行业的生物能源和可再生能源技术侧重于整合可持续能源, 以减少化石燃料消耗并降低碳排放。这些解决方案一般正处于研发和测试阶段, 但尚未广泛商业化。

2、基础设施

要在 2050 年前实现水泥行业的净零排放, 必须对现有基础设施进行全面改造。这一改革必须以 CCUS、材料和能效以及生物能源开发为重点。目前水泥行业可利用的 CCUS 基础设施不到 2050 年实现净零排放所需基础设施能力的 1%。到 2050 年, 熟料生产的热能强度必须降低。这一转变包括增加生物能源和可再生能源的比例, 预计其在总热能中所占比例将上升至 16%。氢作为燃料来源预计也将发挥重要作用, 这就需要新的能源基础设施来支持这一转变。

3、需求

预计到 2050 年，水泥总需求将减少 6%。2023 年，水泥产量减少了 2%，降至 40.72 亿吨，但不同地区的趋势各不相同。印度是第二大生产国，占全球水泥产量的比例从 2021 年的 8% 上升到 2022 年的 9%。从中期来看，中国的份额预计将下降，而东南亚、拉丁美洲和非洲的水泥产量预计将增长。

4、资金

到 2050 年，水泥行业将需要 1.42 万亿美元的额外资本投资。净零投资所需资金总额的 69% 来自于该行业内部。水泥生产设备预计将占累计投资的 39%，水泥基辅助材料占 27%。碳捕集设备占资本支出的 22%。其他利益相关方也需要投资基础设施以支持净零排放目标的实现。其中，18% 的投资用于零排放发电，13% 用于碳捕集、封存和运输基础设施，1% 用于绿色电解氢。

5、政策

全球水泥生产比较集中，中国占 2022 年总产量的 51%，其次是印度、欧盟和美国。这凸显出在主要水泥生产地制定有针对性的有效政策来抑制排放有多么迫切。鉴于水泥行业对全球二氧化碳排放的重大贡献，亟需一个强有力的政策框架推动脱碳和支持转向低碳生产方式过渡。采用标准化的碳核算框架、明确的范围定义和一致的系统边界将有利于促进整个水泥行业的透明度

和问责制。

六、铝业

（一）进展与成效

该行业目前占全球二氧化碳当量排放量的 2%。高达 60% 工艺排放来自电力消耗，而 16% 来自热能使用的化石燃料。因此，电力结构，尤其是冶炼用电，是排放强度的关键驱动因素。在 2019-2023 年期间，需求增加了 14.2%，而排放强度降低了 13.6%，其主要原因是煤炭消耗减少和回收率的提高。

（二）关键因素

1、技术

一是电力去碳化。可再生能源电网和电力协议，再加上管理电力波动的存储技术，为清洁冶炼和二次生产提供了开阔大道，但这些解决方案在短期内可能会产生额外成本。另一种方法是在不具备可再生能源的情况下，将 CCUS 与依赖化石燃料的自备电厂结合使用。此外，小型模块化核反应堆（SMRs）也是替代方法之一，但该技术仍处于早期研发阶段。

二是减少直接排放。工艺过程中的排放约占该行业排放的 15%。惰性阳极和 CCUS 是低排放冶炼的关键技术。惰性阳极预计将在 2030 年后实现商业化，但可能会导致生产成本增加 9%。

CCUS 在冶炼中的应用仍处于早期阶段，由于冶炼烟气中的二氧化碳浓度较低，预计这种方法的碳捕集成本较高。而燃料燃烧产生的排放占整个行业排放量的 15%。因此，采用低排放冶炼技术对于减少该过程中的热能排放很关键。预计在 2027 年之后，电锅炉和机械蒸汽再压缩技术就可应用于 70% 的冶炼能耗过程。对于煅烧过程中剩余的这 30% 能耗，氢气煅烧炉和电煅烧炉等新兴技术可能降低排放。

三是提高回收利用和资源效率。二次生产排放量远低于一次生产的排放量，因此增加回收利用可大幅减少年均排放量。为此需研发实施提高废料质量技术，如先进的废料分类和净化方法。

2、基础设施

根据 MPP 的《铝业转型战略》，铝业目前有 14.3GW 的清洁电力可用，主要来自水电。预计到 2050 年，低碳电力需求将增至 223GW。预计额外的电力需求将通过核电、可再生能源和使用 CCUS 的自备电厂来满足。铝业需要大幅提高二氧化碳捕获和储存系统或低碳电网的发电能力。目前尚未达到要实现 2050 年目标所需的 CCUS 产能 1%。由于小型模块化核反应堆（SMRs）需要大量研发工作，核电方面进展一直比较缓慢，预计到 2035 年左右，铝业才能在商业上使用 SMRs，到 2040 年才有可能拥有成本竞争力。

3、需求

2021 年，原生铝生产总量中约有 30%的排放量低于每吨 5 吨二氧化碳当量。铝的主要最终用途是成本敏感型行业，如飞机、汽车、建筑，这就限制了生态系统吸收相关 B2B 绿色溢价的能力。此外，消费电子产品领域的大公司已在使用低碳铝。值得注意的是，40%的 B2B 绿色溢价转移到汽车终端消费者，为 1%的价格增长，这表明去碳化的成本主要由铝生产商承担，并未转嫁到终端消费者身上。要使该行业与净零目标保持一致并令需求信号增强，必须遵守全球公认的低排放和净零铝界定。铝在电动汽车、风力涡轮机、光伏发电和储能系统等未来净零排放技术中发挥着至关重要的作用。

4、资金

铝业估计需要 5430 亿美元资本投资，以推进低排放提炼和精炼技术，而不仅仅是所用电力去碳化。这笔投资的大部分须由生态系统投入，以建设有利的基础设施。铝业脱碳需要扩大低碳电力、氢气和 CCUS 的规模。铝行业必须投资改造提炼和精炼工艺，以实现电气化并减少排放。据预测，在所需的额外投资总额中，约 42%预计将用于电力基础设施（电网/PPA），24%用于自备发电，3%用于绿氢电解槽产能，不到 1%用于碳捕获与储存基础设施，5%用于炼油厂，27%用于提炼厂。总体而言，新增投资

总额中 32% 预计来自行业公司，其余 68% 来自生态系统。

5、政策

中国占全球铝总产量的 60%。这凸显了在主产地实施有效、切实的政策以改进清洁能源获取情况的重要性。旨在鼓励低排放铝生产的国内外法规仍在制定中。为解决这一问题，优先事项应包括促进采用清洁能源、支持研发的同时，采用基于市场的方法来推动早期低排放提炼和精炼技术，通过改进收集政策和基础设施来分类和净化铝废料，提高回收率。此外，规范碳核算框架、范围和系统界限的政策和法规对加强产品层面的报告至关重要。

七、初级化工行业

（一）进展与成效

初级化工行业目前占全球二氧化碳直接排放量的 2.5%。化石燃料占该行业能源和原料消耗的 98% 以上，因此成为排放强度的主要驱动因素。就二氧化碳当量直接排放量而言，化工行业算得上最大的行业能源消耗者。2019-2023 年期间总排放量增加了 5.8%，排放量增长的原因包括生产需求增加、供应链和运行中断。全球事件导致供应链和运营发生临时变化。天然气价格上涨导致生产流程效率降低，延误了效率改进，因而增加了排放量。

2022 年，初级化学品的能源结构包括 55% 的天然气、36% 的

煤炭、7%的电力、1%的石油和 0.6%的生物燃料。目前，塑料总产量中仅有 8%来自回收利用。先进的化学品回收技术的研发提供了潜在的解决方案，可对目前无法通过传统机械方法回收的混合塑料或受污染塑料进行回收。然而，塑料通常难以有效收集，而且回收塑料的质量往往达不到食品包装或医疗用途等某些高安全应用的标准。

(二) 关键因素

1、技术

一是 CCUS。本行业中，许多捕集技术，尤其是使用溶剂的燃烧后捕集技术已得到充分开发，并已在行业范围进行了示范。然而，新型捕集方法，如膜法捕集或直接空气捕集已进行了中试规模的测试和示范项目，但尚未进行广泛的商业部署。

二是电解氢气。碱性电解（ALK）已投入商用并在行业环境中运行。碱性电解槽已经过大规模示范，被视作生产绿氢的成熟技术。使用 ALK 和质子交换膜（PEM）电解槽生产绿氢已在化工行业实现了商业化。然而，由于电解氢气成本仍然高于化石燃料制氢，目前的装置通常都是小规模示范项目或试验工厂。

三是循环和再循环。本行业中循环相关概念包括回收利用、废物利用、材料效率以及采用其他化学品或生物基化学品替代传统材料等。机械回收是一项成熟的技术。先进的化学回收技术，

如热解和解聚可将塑料等分解后再利用，目前处于 TRL5-7 级。

2、基础设施

目前，运行中的 CCUS 设施大部分集中在化石燃料加工和工业应用领域。化工行业可以采用二氧化碳捕集和利用（CCU），生产包括甲醇和航空燃料在内的合成燃料、聚合物和塑料、化学中间体和矿化建筑材料等。可再生能源越来越多地并入电网，但要满足预计的需求，还需要更多的可再生能源。目前的可再生能源发电能力为 7GW，到 2050 年将需要约 2200GW 的新可再生能源的电力。研发先进的储能技术对于管理可再生能源的间歇性和确保稳定的能源供应至关重要。

3、需求

到 2050 年，初级化学品的总体需求预计将增加 2.3 倍。届时，绿氨将占需求的 60%，甲醇将占 20%。过去十年，氨的年增长率约为 1%，甲醇的年增长率约为 6.5%。尽管氨将大幅增长，以实现新的净零应用，如航运和电力，但非氨化学品将经受循环性的最大影响。为实现净零目标，该行业必须从以化石燃料为基础的原料转向更具可持续性的方案。

4、资金

到 2050 年，初级化学品行业将需要 6.5 万亿美元的额外资本投资，以研发和实施低排放技术和基础设施，其中 60%用于氨。

短期内，最大限度提高现有基础设施的效率仍将是最实用的方法，如改造现有工厂、提高循环性。然而，未来大部分投资将集中在扩大产能上，这就需要建设新的设施。

5、政策

中国占 2023 年全球总产量的 44%，其次是欧盟和美国。这凸显了实施有效、切实政策减少主产地行业排放的重要性，国际化学协会理事会（ICCA）的可持续发展计划等倡议强调了标准化和行业参与者之间合作的重要性。到 2030 年，本行业目标是提供产品安全和可持续性数据，支持 30 个国家的化学品管理系统，并引导产品系列采用可持续的解决方案。

八、油气行业

（一）进展与成效

石油和天然气行业目前占全球二氧化碳排放量的 14%。甲烷排放量占其所产生的所有温室气体排放量的近一半。尽管由于新冠疫情 2020 年石油产量暂时下降，但 2022 年需求几乎反弹至 2018 年的水平。天然气方面，2018 年到 2021 年需求稳步增长，尤其是亚洲。2022 年，俄乌冲突导致全球天然气需求下降了 1%，欧洲则因供应供气中断、价格飙升而需求大幅下降了 13%。尽管存在诸多挑战，各主要行业的总体需求保持稳定。二氧化碳当量

绝对排放量下降了 4%，而其排放强度下降了 3%。这可归因于减排甲烷、减少燃烧、提高运营效率。

(二) 关键因素

1、技术

一是甲烷减排和天然气零燃烧。石油和天然气行业的甲烷减排是一种具有成本效益的温室气体减排策略。据估计，全球 40% 的石油和天然气运营产生的甲烷排放可实现零净成本消除。解决大规模泄漏问题是当务之急，甲烷警报和响应系统（MARS）等倡议利用卫星技术检测重大泄漏并通知运营商。此外，目前正在研发采用模块化设备的小型天然气制甲醇或天然气制液体工厂。升级火炬喷嘴和烟囱可进一步提高燃烧效率并减少排放。

二是电气化。该行业上游作业电气化已进入成熟阶段，而下游炼油作业的电气化仍处于原型阶段。集中式电网可利用现有的电力基础设施，是北美和欧亚大陆的首选方案。分散式可再生能源电力系统也有利于现场发电，尤其是在中东和北非等地区。

三是 CCUS。目前，11 个国家每年捕获约 45Mt 二氧化碳，其中约 75% 用于提高石油采收率（EOR）。然而，EOR 通常缺乏确保二氧化碳永久封存所需的严格监控。

四是清洁氢气。全球约有 4200 万吨氢气用于炼油，几乎占世界氢气需求量的一半，每年造成约 3.8 亿吨二氧化碳排放。加

氢处理和加氢裂化过程消耗了其中 90%以上的氢气。炼油厂完全有能力采用低排放氢气技术，而无需新设备。

2、基础设施

油气行业去碳化依赖于清洁电力、CCUS 和清洁氢气。设施电气化需要足够的清洁发电能力，目标是到 2030 年达到 178GW。截至 2022 年，石油和天然气公司的可再生能源装机容量仅占总装机容量的 1%左右。此外，有效的 CCUS 基础设施对加工厂和炼油厂至关重要。目前，已为天然气加工和液化天然气运营建立了约 33MTPA 的二氧化碳储存能力。必须注意的是，储存二氧化碳的规划和许可过程大约需要 10 年，这可能成为扩大 CCUS 使用规模的瓶颈。除 CCUS 外，扩大清洁氢气生产的目标是到 2030 年氢气生产能力达到 10MTPA。

3、需求

随着市场发展，生物燃料、用于运输的清洁氢燃料和用于发电的可再生能源等低排放替代品预计将愈发具有成本竞争力。净零排放情景中，从 2040 年起，发达经济体和中国的所有新卡车都将由电力或氢气驱动，到 2045 年，其他新兴市场也将效仿。航空领域低排放燃料如液态生物燃料和氢基液体燃料到 2050 年将占航空燃料消耗量的四分之三左右，航运方面低排放燃料将占全球航运船队燃料的 85%左右，风能和太阳能的年新增发电量预

计将达到 1150GW。

4、资金

到 2050 年，该行业估计将需要 1.1 万亿美元的投资，其中约 60% 须由该行业投资，其余部分须来自生态系统。据预计，约 7800 亿美元用于电气化和提高效率，1100 亿美元用于 CCUS，1020 亿美元用于减少甲烷排放，830 亿美元用于清洁氢气，700 亿美元用于减少燃烧。

5、政策

为了本行业实现净零排放，关键行动包括根据《全球甲烷承诺》（Global Methane Pledge）加快甲烷减排，为采用零甲烷和零燃烧技术提供激励措施，促进电气化投资，帮助运营商管理成本。

译自：*Net-Zero Industry Tracker 2024 Edition, December 2024 by World Economic Forum*

译文作者：赛迪工业和信息化研究院 黄鑫

联系方式：13810499084

电子邮件：huangxin@ccidthinktank.com

咨询翘楚在这里汇聚

规划研究所

工业经济研究所

电子信息研究所

集成电路研究所

产业政策研究所

科技与标准研究所

知识产权研究所

世界工业研究所

无线电管理研究所

信息化与软件产业研究所

军民融合研究所

政策法规研究所

安全产业研究所

网络安全研究所

中小企业研究所

节能与环保研究所

材料工业研究所

消费品工业研究所

编辑部：工业和信息化部赛迪研究院

通讯地址：北京市海淀区万寿路27号院8号楼12层

邮政编码：100846

联系人：王 乐

联系电话：010-68200552 13701083941

传 真：010-68209616

网 址：www.ccidwise.com

电子邮件：wangle@ccidgroup.com

报：部领导

**送：部机关各司局，各地方工业和信息化主管部门，
相关部门及研究单位，相关行业协会**

编辑部：赛迪工业和信息化研究院

通讯地址：北京市海淀区紫竹院路 66 号赛迪大厦 8 层国际合作处

邮政编码：100048

联系人：袁素雅

联系电话：（010）88559543/13263204219

传真：（010）88558833

网址：www.ccidgroup.com

电子邮件：yuansuya@ccidthinktank.com

