

“变革性洁净能源关键技术与示范” A类先导专项
“面向国家能源结构变革战略研究” 课题



洁净能源重大信息专报

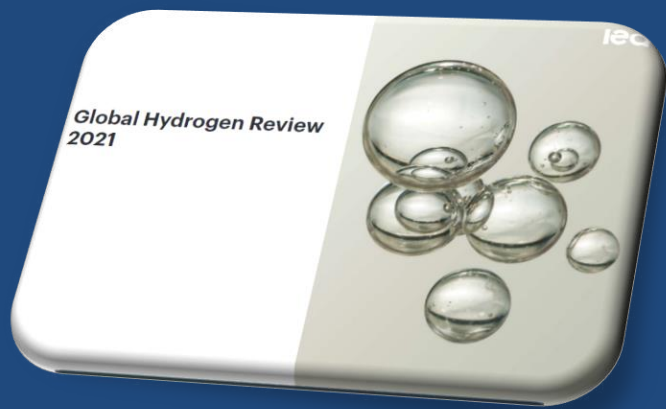
2022年第01期（总第13期）

本期看点

- IEA 《全球氢能回顾2021》 报告要点解读
- 世界氢能理事会与麦肯锡公司联合报告
《氢能实现净零排放》 要点解读



中国科学院洁净能源创新研究院
中国科学院武汉文献情报中心



IEA：全球氢能回顾2021

国际能源署（IEA）2021年10月4日发布

目 录

- ◆ 氢能在能源转型中的作用
- ◆ 氢能需求
- ◆ 氢能供应
- ◆ 氢能基础设施及贸易
- ◆ 氢能投资及创新
- ◆ 政策建议

Global Hydrogen Review
2021



氢能在能源转型中的作用

1、氢能是实现净零排放方案的重要组成部分

图1 2020-2050年全球终端能源消费结构 (单位: %)

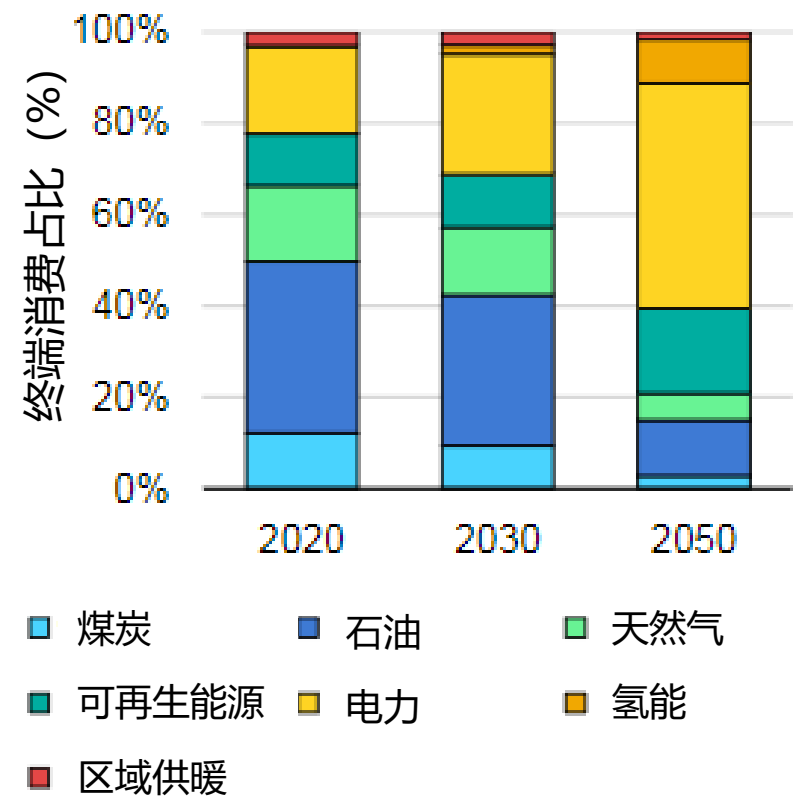


图2 2020-2050年全球氢能产量 (单位: 百万吨)

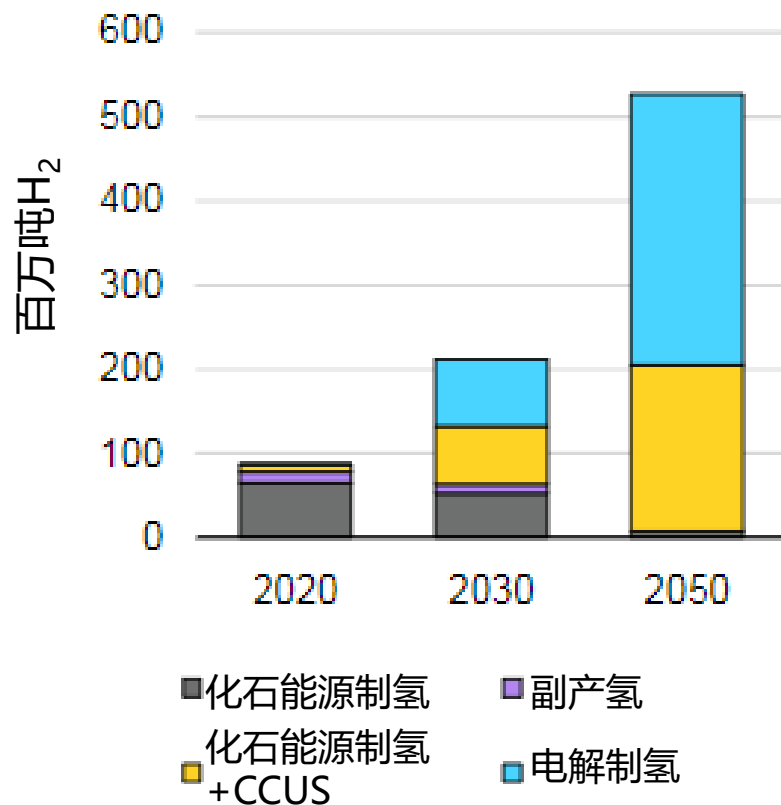
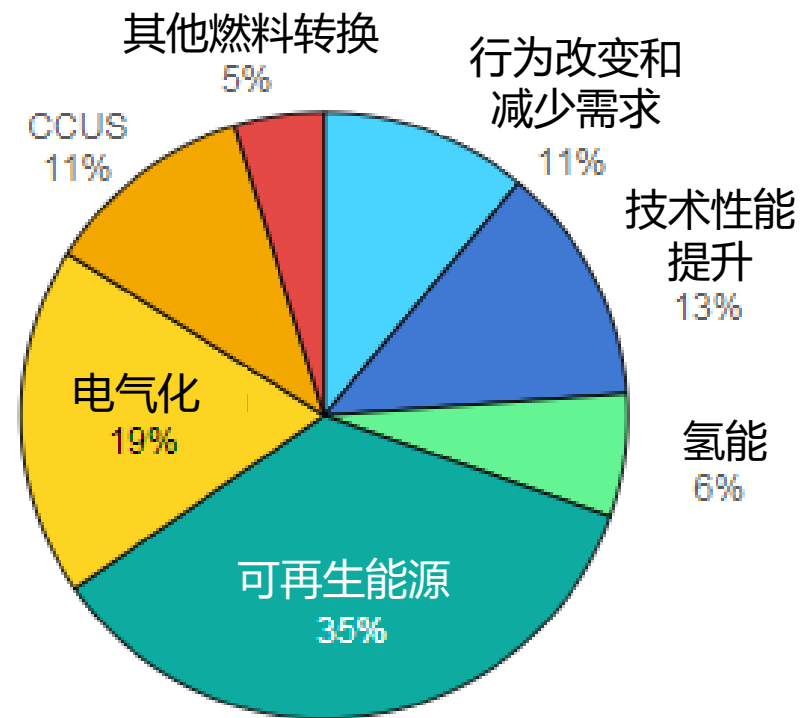


图3 2021-2050年不同措施的碳减排贡献 (单位: %)



- ◆ 全球能源脱碳的关键途径是能效、行为改变、电气化、氢和氢基燃料、CCUS。
- ◆ 氢能在终端能源消费占比将从2020年的不足0.1%，提升至2030年的2%，到2050年达到10%。
- ◆ 低碳制氢方式将快速发展，2020年全球氢能需求80%由化石燃料制氢满足；而到2030年，氢气年产量将超过2亿吨，其中70%由低碳方式生产；2050年，氢气年产量将超过5亿吨，几乎全部为低碳氢。

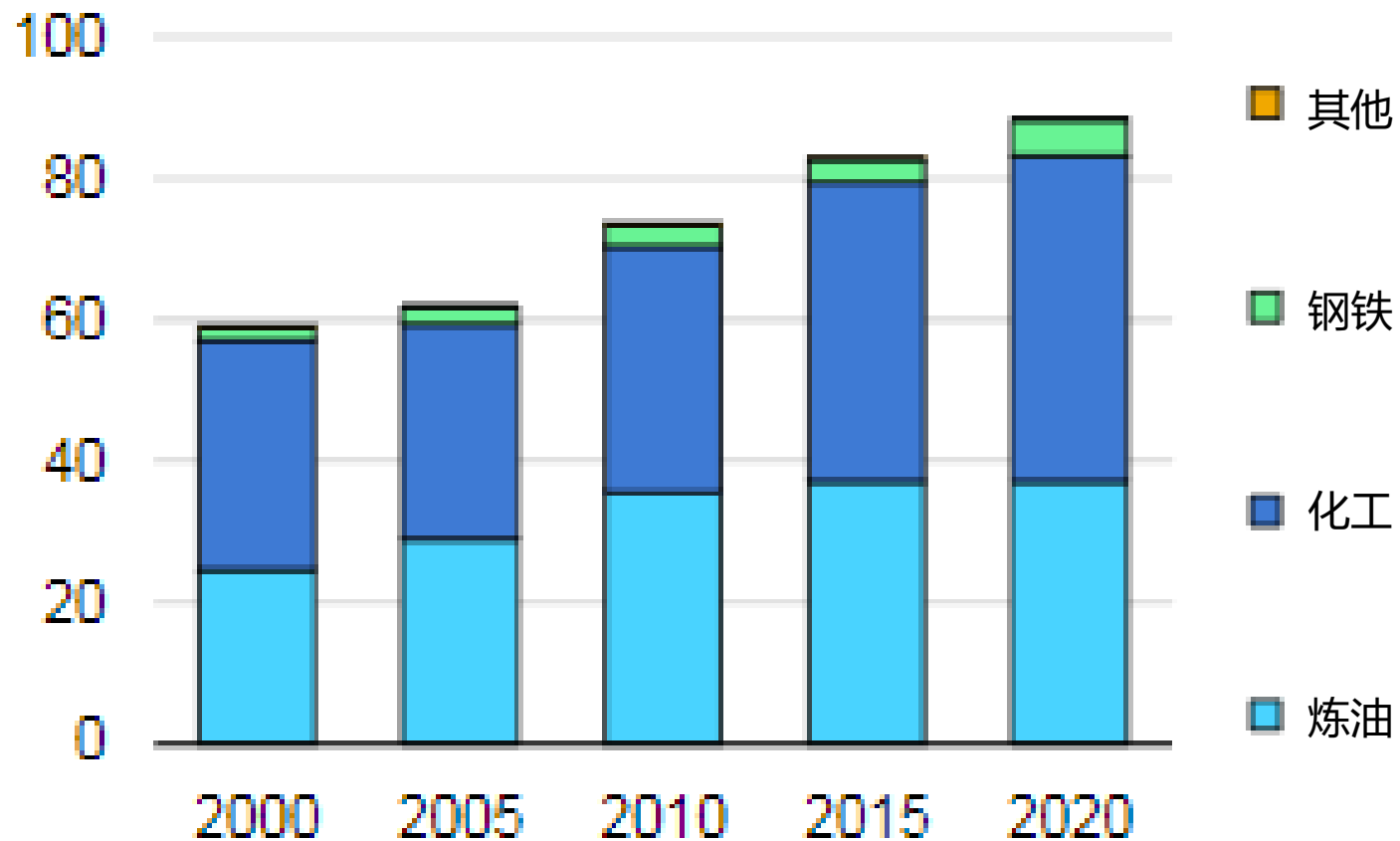
Global Hydrogen Review
2021



氢能需求

1、2000年以来全球氢能需求强劲增长，尤其是在炼油和工业部门

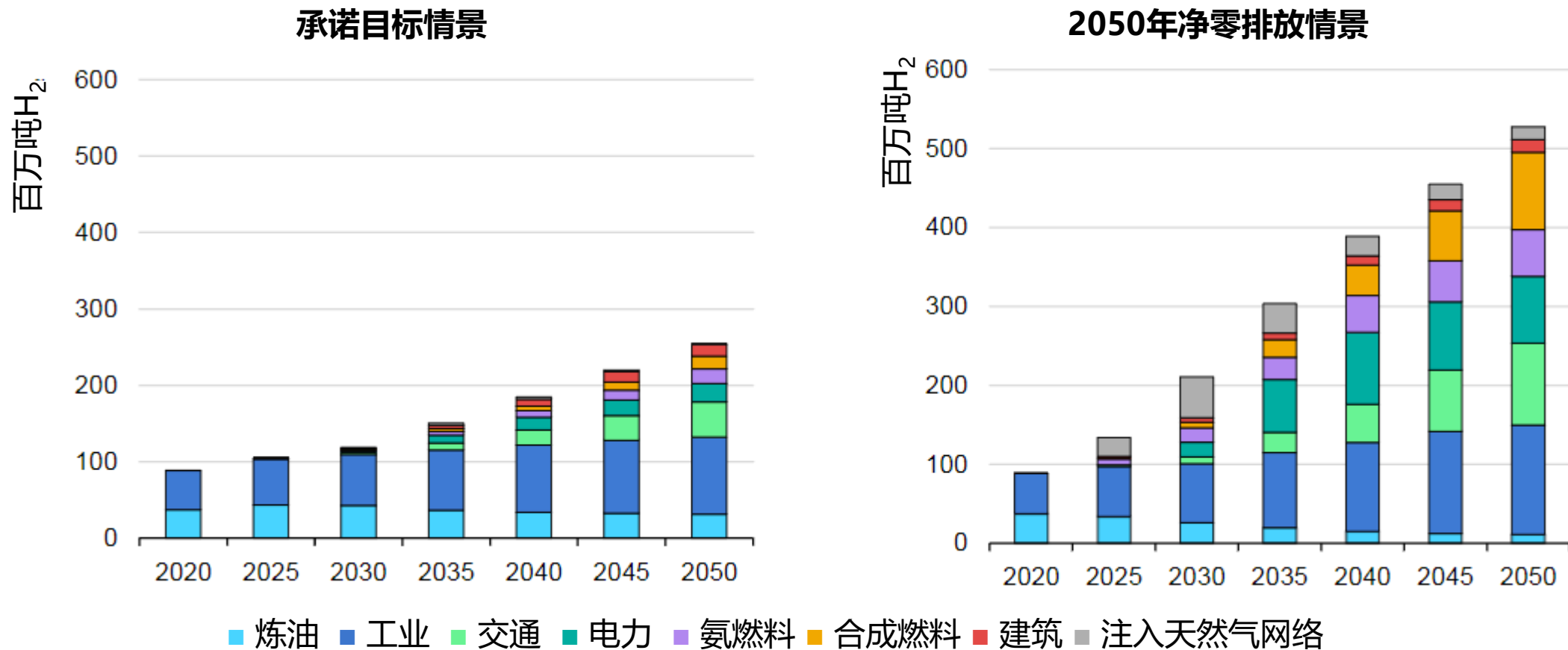
图4 2000-2020年按部门划分的氢能需求
(单位: 百万吨)



- ◆ 近20年，全球氢能需求增长50%，2020年达到9000万吨。
- ◆ 几乎所有需求都来自炼油（近4000万吨）和工业（超过5000万吨）部门。
- ◆ 氢能在新应用领域的进展缓慢，包括用于燃料电池汽车、注入天然气网络和用于发电。
- ◆ 交通运输的氢能需求不到2万吨，仅占全球氢能总需求的0.02%

2、政府承诺推动了氢能应用，但尚无法满足2050年净零排放需求

图5 2000-2020年按部门划分的氢能需求（单位：百万吨）

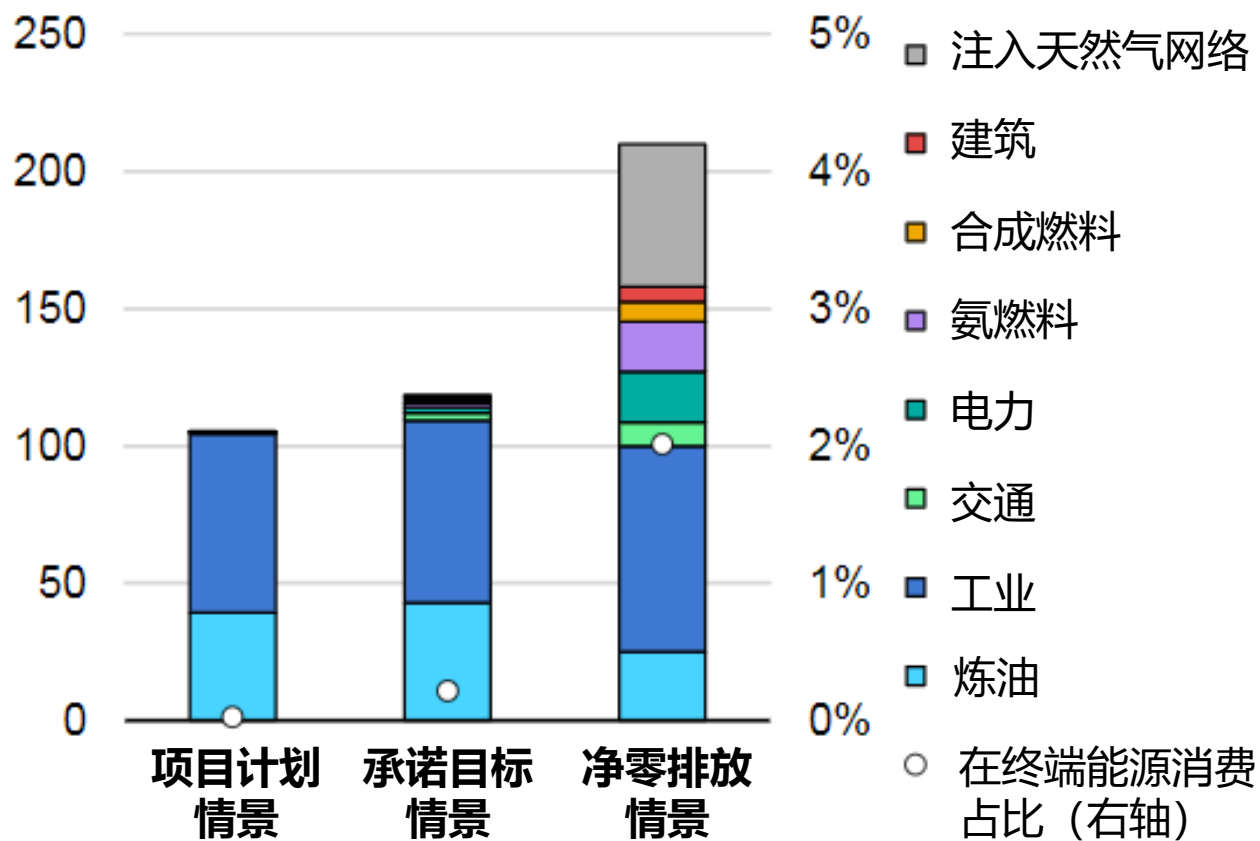


- ◆ 到2050年实现净零排放需要在现有应用中更广泛用氢，并在交通部门大量使用氢基燃料。
- ◆ 净零排放情景中，到2050年全球氢需求几乎翻了六倍，其中一半需求来自工业和交通。
- ◆ 到2050年，约1/3氢需求将用于生产氢基燃料，如氨、合成煤油和合成甲烷。

3、未来十年将决定氢能在清洁能源转型中的地位

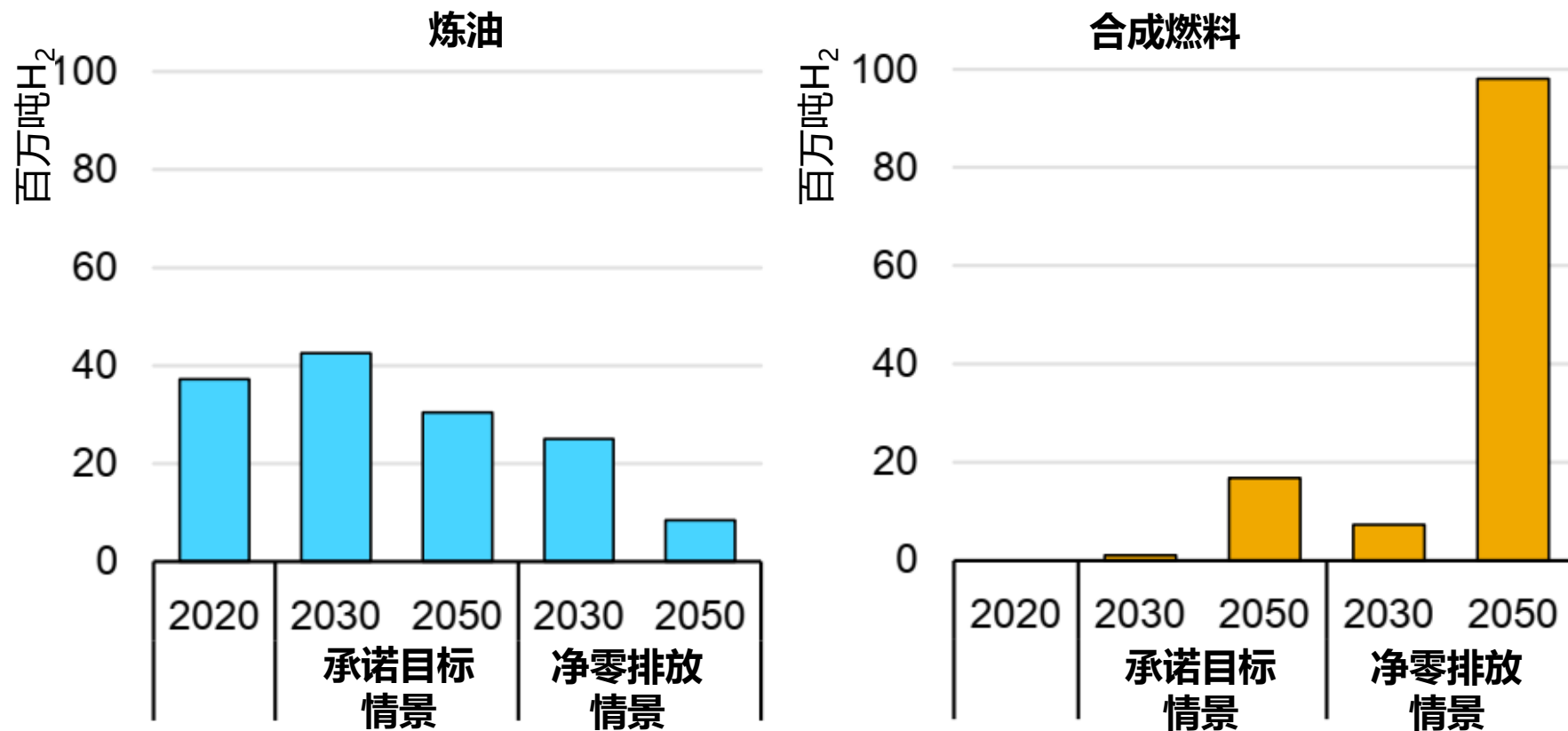
- ◆ 推进氢能作为新型能源载体的部署是一个长期过程，需要立即采取行动以在未来十年奠定基础。
- ◆ 尽管发展势头强劲，但目前正开发的项目表明，氢能技术部署未能与实现净零目标保持一致。
- ◆ 未来十年，各国政府需要迅速采取行动刺激氢能需求，可聚焦于如下领域：将氢气注入天然气网络、支持燃料电池汽车和基础设施部署、示范氢/氨作为航运燃料、促进航空合成燃料的使用、在炼钢及高温供热应用中使用氢、推广燃煤电厂混氨燃烧和氢燃气轮机技术等。

图6 2030年不同情景下的氢需求（单位：百万吨）



4、到2050年炼油行业氢需求将下降，但合成燃料提供了新的机遇

图7 承诺目标情景和净零排放情景下到2050年全球炼油和合成燃料行业的氢需求（单位：百万吨）

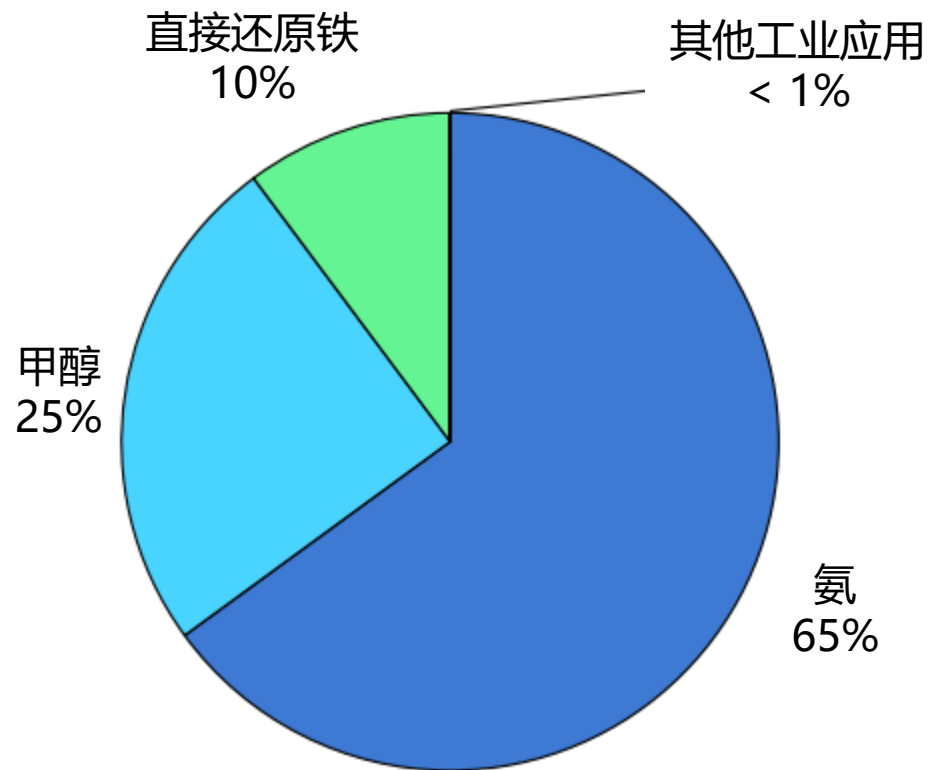


- ◆ 2020年，炼油是氢能需求最大的行业。中国是炼油用氢的最大消费国（~900万吨/年），其次是美国和中东。
- ◆ 炼油将是氢需求唯一下降的行业，在2030年后会急剧下降，净零排放情景中到2050年将降至1000万吨/年。
- ◆ 生产低碳合成燃料是氢能发展的一个机遇，在净零排放情景中，到2030年该行业氢需求将超过700万吨，到2050年将接近1亿吨。

5、氢能技术将成为工业脱碳的关键1/2

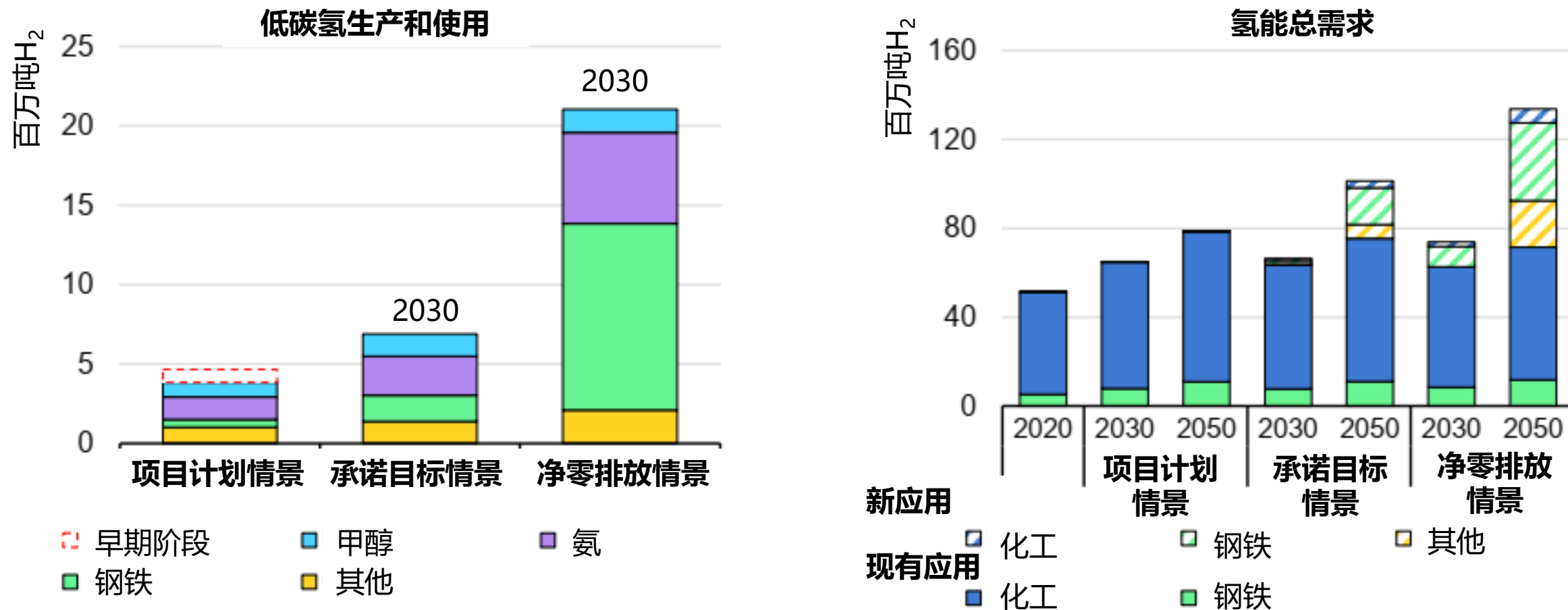
- ◆ 工业领域的氢需求为5100万吨/年，主要用于化工原料和炼钢。
- ◆ 承诺目标情景中，到2030年工业领域氢需求将增至6500万吨；到2050年将翻一番。
- ◆ 在能源转型背景下，低碳氢将取代目前的化石燃料制氢，到2030年工业领域低碳氢消耗量将达到700万吨，增长近25倍，占工业氢总需求的10%。
- ◆ 配备CCUS的低碳制氢项目已接近预期部署，但电解制氢远远落后，预计到2030年投运项目仅占承诺目标情景预测需求（近600万吨）的1/3。

图8 2020年工业领域氢需求分布（单位：%）



5、氢能技术将成为工业脱碳的关键2/2

图9 不同情景下到2050年工业领域低碳氢生产、使用情况及总需求 (单位: 百万吨)

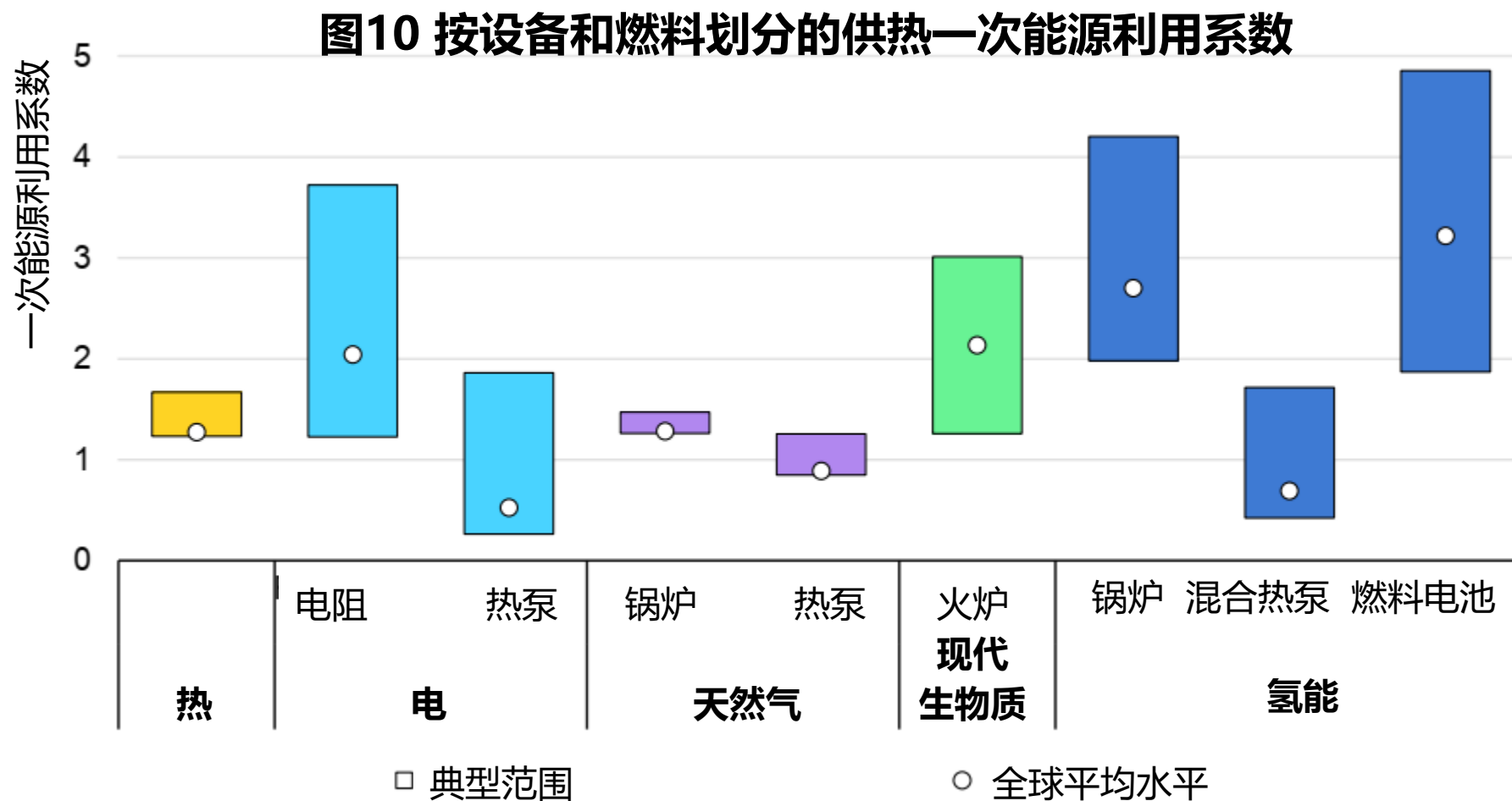


- ◆ 氨和甲醇生产以及其他小规模化学工艺占工业氢需求的大部分，在承诺目标情景中，到2030年需求将增加近25%，到2050年将增加近50%。
- ◆ 钢铁占工业氢总需求10%，在承诺目标情景中，到2030年钢铁氢需求将翻一番，到2050年将增加5倍以上。

6、交通运输脱碳需要使用更多氢能

- ◆ 交通运输部门占全球终端能源需求的1/4、温室气体排放的20%以上。**迄今为止，其氢能需求不到能源需求的0.01%，氢和氢基燃料将为其提供减排机会。**
- ◆ **在承诺目标情景中**，到2030年氢和氢基燃料将占交通部门能源需求的0.4%，达到520拍焦，其中60%来自道路交通；到2050年交通氢能需求将比2030年增长15倍，满足其6%的能源需求。
- ◆ **在净零排放情景中**，到2030年该部门氢能需求将达到2.7艾焦，占其能源需求的2.6%，到2050年将占1/4以上。
- ◆ 2008年以来，由于技术进步和燃料电池汽车销量增加，燃料电池汽车制造成本下降了70%。在韩国、美国、中国和日本的努力下，投运的燃料电池汽车数量从2017年的7000辆增加到2021年中旬超过4.3万辆，增长幅度达到6倍以上。
- ◆ 铁路、航运和海运方面使用氢基燃料的几个示范项目正在开发，预计将为创造氢能需求开辟新的机会。

7、氢能和燃料电池在建筑部门应用的机遇有限，但值得探索1/2



- ◆ 全球建筑供暖和热水能耗接近70艾焦，占建筑部门能源消费的近55%，碳排放达到43亿吨。
- ◆ 由于电气化成本更低，该领域部署氢能的前景有限，但由于氢气可与现有天然气网络兼容，尤其是在极寒地区，因此仍有一定发展空间。
- ◆ 氢能可以四种方式用于建筑部门：氢气锅炉、燃料电池热电联产、混合式热泵、燃气驱动式热泵。

7、氢能和燃料电池在建筑部门应用的机遇有限，但值得探索2/2

图11 承诺目标情景中到2030年选定地区具有竞争力的氢气价格及供暖设备每户每年成本

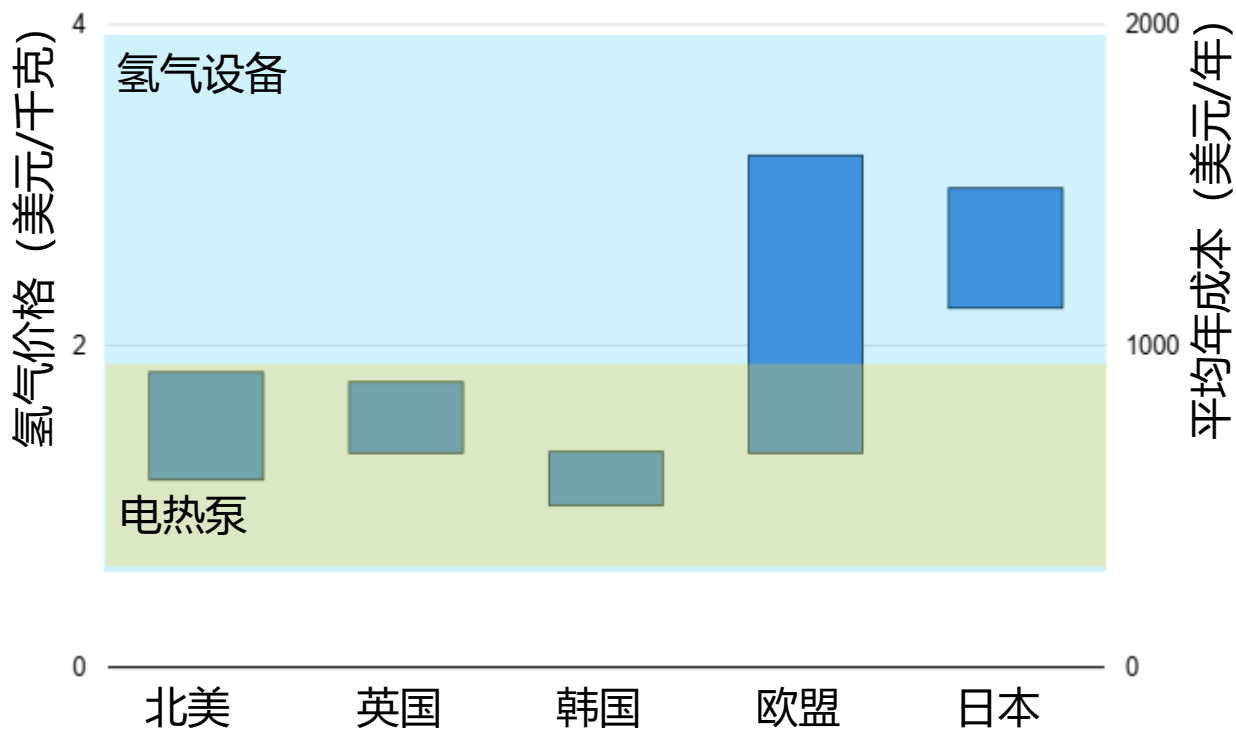
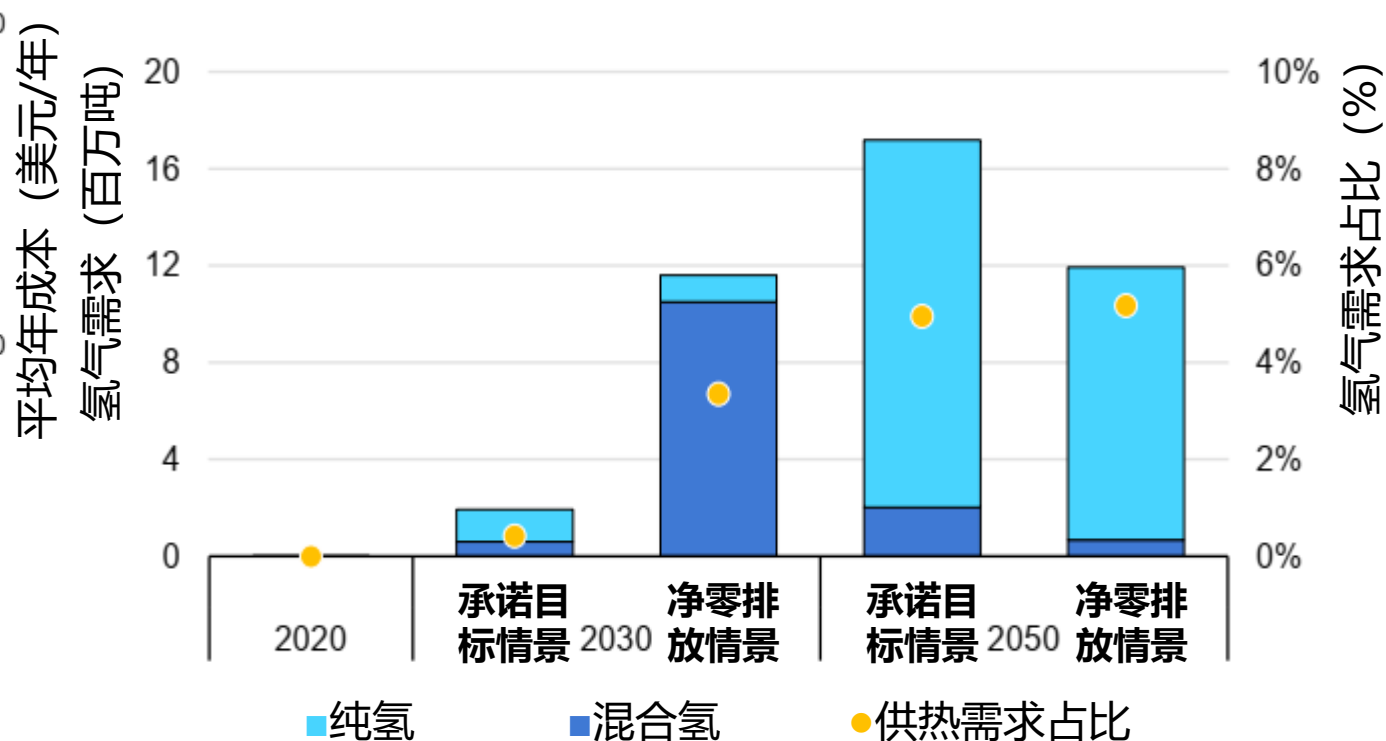


图12 承诺目标情景和净零排放情景中2020-2050年建筑供热的氢需求及其在热需求中的占比



- ◆ 氢能在建筑部门的应用机遇取决于设备、基础设施和氢气成本等，氢能对能源系统灵活性和需求响应的潜力也是关键因素。承诺目标情景中，到2030年主要市场氢气价格需要达0.9-3.5美元/千克，才能与电热泵竞争。
- ◆ 未来十年的示范项目对于氢能在建筑部门的部署至关重要。承诺目标情景中，到2030年全球建筑供热需求将比2020年下降20%，氢需求将增至超过200万吨，占总供热需求的0.5%，到2050年将增至5%。

8、电力部门部署氢能将有助于扩展可再生能源发电

图13 2016-2023年固定式燃料电池部署情况

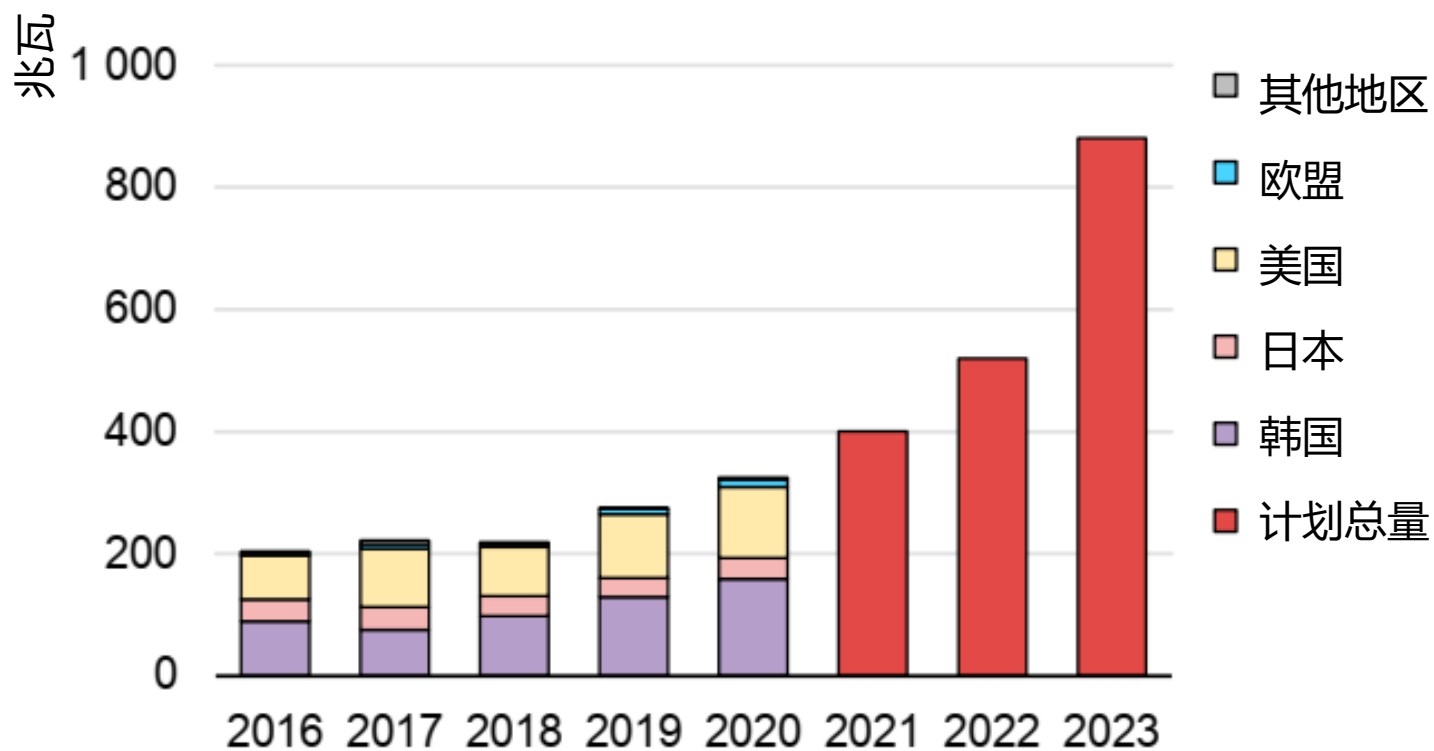
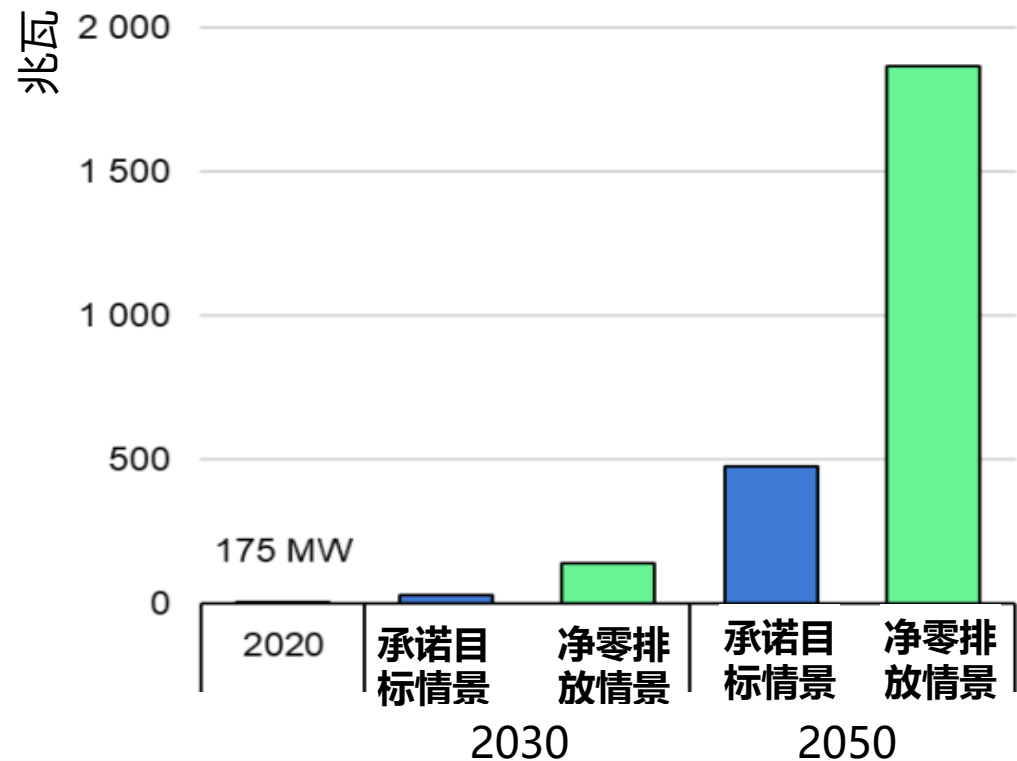


图14 2020-2050年氢、氨燃料发电装机容量



- ◆ 目前，发电氢需求占电力供应不到0.2%。过去十年，全球固定式燃料电池装机容量快速增长，2020年达到2.2吉瓦，但目前只有150兆瓦设备使用氢作为燃料，大多数使用天然气。
- ◆ 只有少数国家制定了电力部门使用氢或氢基燃料的目标，混氢和混氨可成为短期内降低现有天然气发电和燃煤发电的途径之一；从长远来看，随着波动性可再生能源占比的增加，氢和氨发电厂可以成为低碳灵活的选择。
- ◆ 承诺目标情景中，到2030年氢基燃料发电装机容量将达到30吉瓦，到2050年达到480吉瓦；净零排放情景中 will 分别达到140吉瓦和1850吉瓦。

Global Hydrogen Review
2021

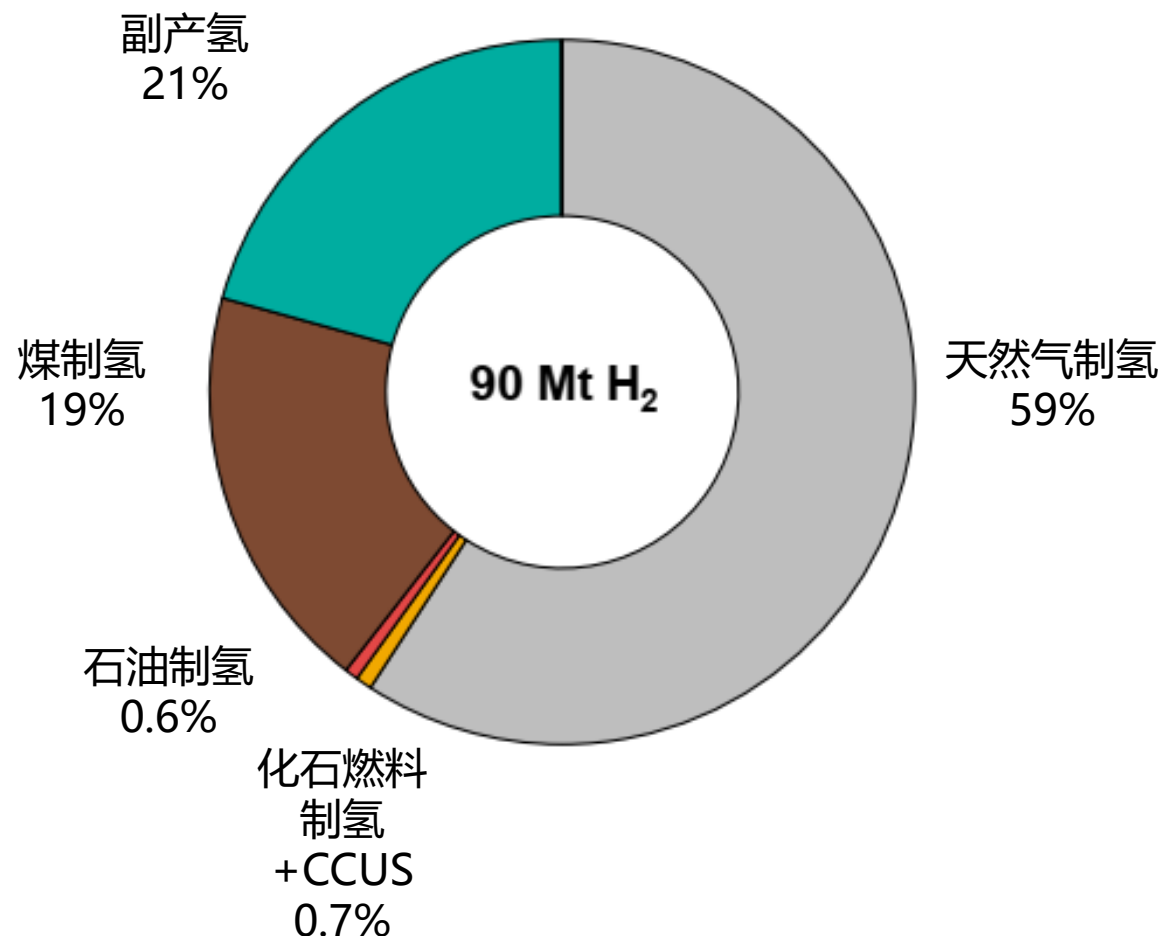


氢能供应

1、全球氢气供应来源仍以化石燃料为主

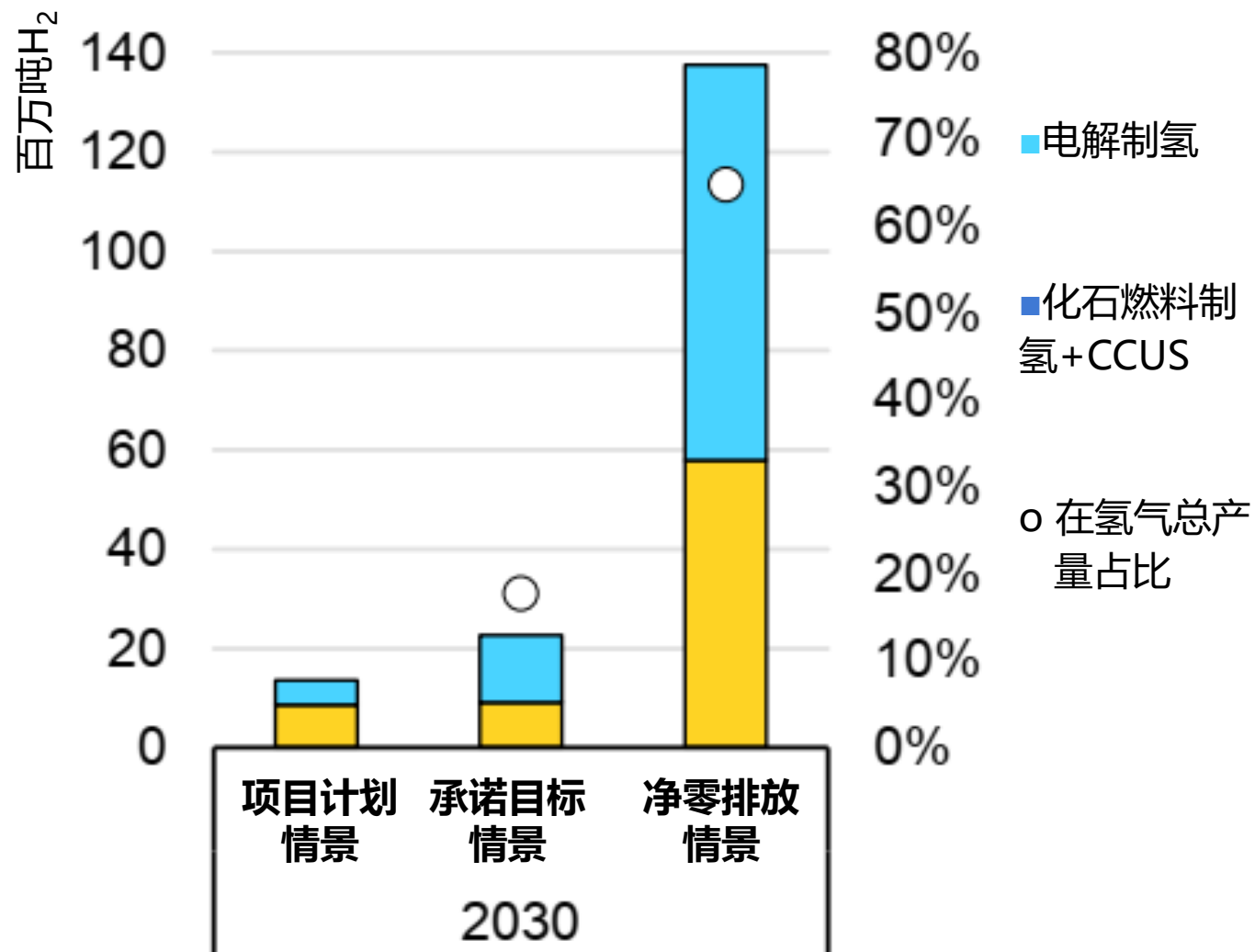
- ◆ 2020年，全球氢气需求为9000万吨，几乎全部由化石燃料制氢满足。其中72%来自于专门的制氢工厂，其余为副产氢。
- ◆ 天然气制氢是最重要途径，占全球氢产量的60%，煤制氢占19%。
- ◆ 化石燃料制氢占主导地位使全球氢生产的碳排放接近9亿吨。
- ◆ 低碳制氢方式，如电解制氢、配备CCUS制氢、生物质制氢，仅占全球产量的极小部分：电解制氢产量3万吨（占0.03%），配备CCUS的化石燃料制氢70万吨（占0.7%）

图15 2020年全球氢生产情况（单位：%）



2、低碳制氢项目成倍增加，但距离实现气候目标仍有差距

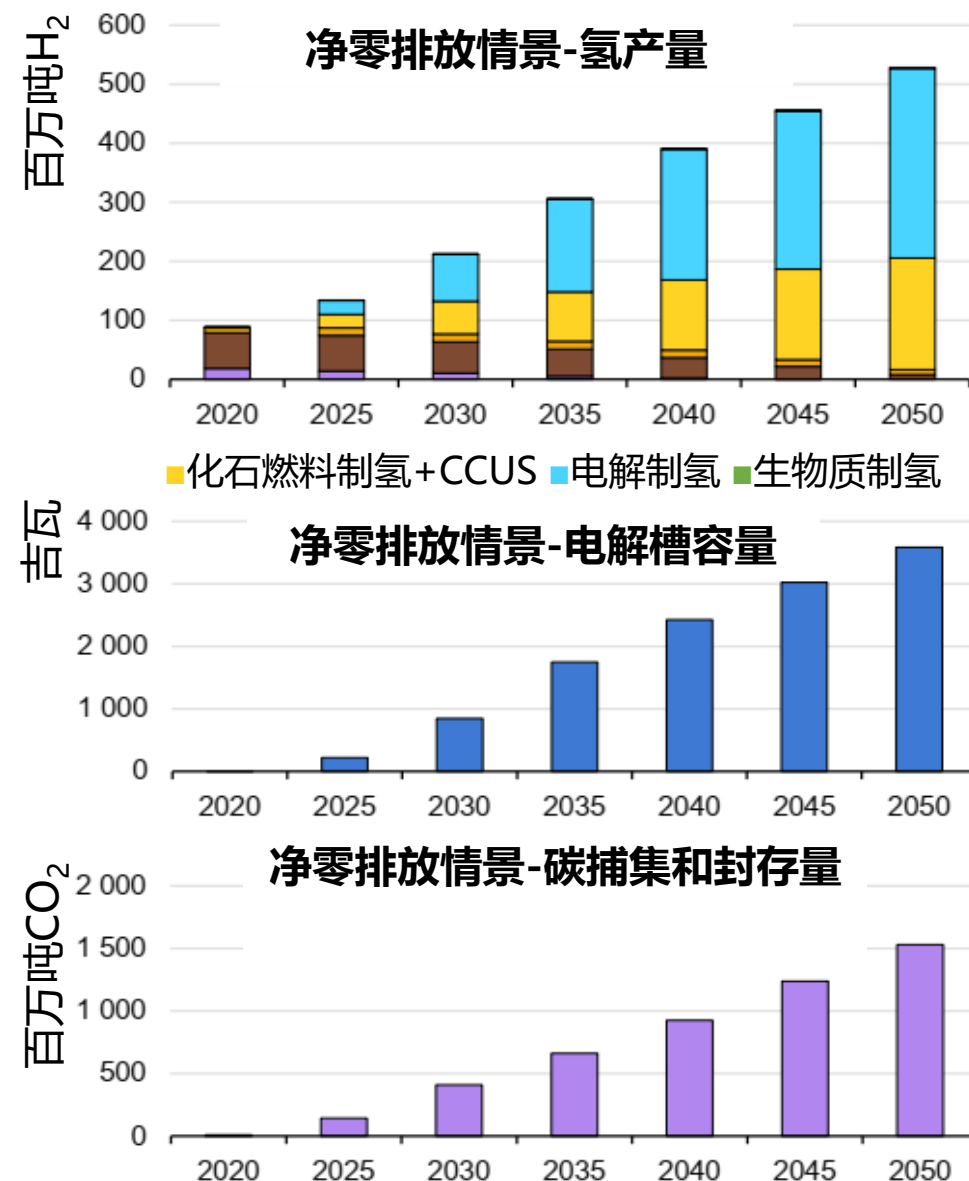
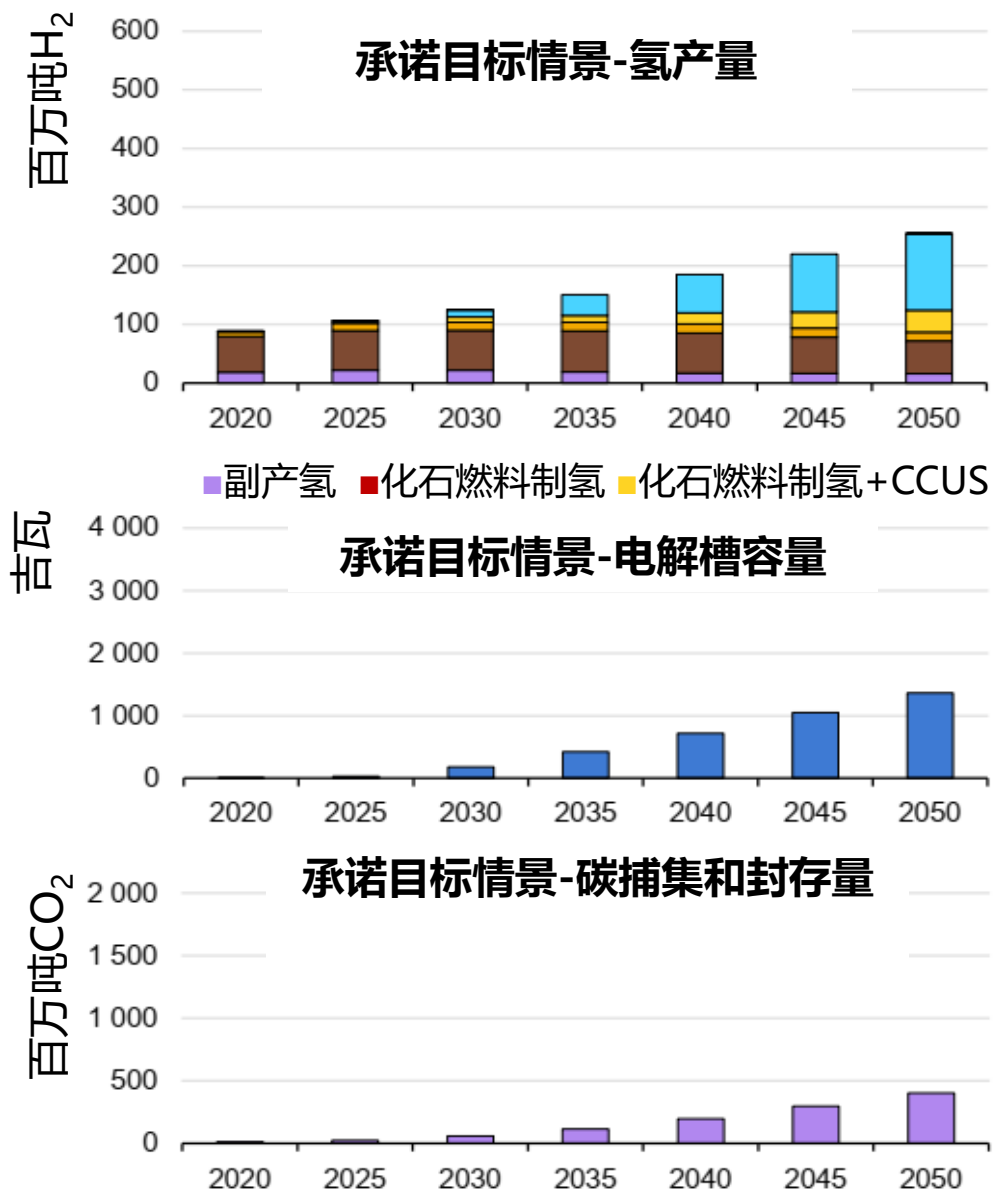
图16 2030年全球电解制氢和化石燃料制氢+CCUS情况



- ◆ 从在建和规划项目来看，到2030年全球低碳制氢有望快速增长。
- ◆ 约350个电解制氢项目将使电解制氢产量增至500万吨，56个配备CCUS的化石燃料制氢项目将使蓝氢产量达到900万吨。
- ◆ 考虑到另外40个早期开发项目，到2030年全球电解制氢产量将达到800万吨。
- ◆ 总体而言，规划项目的预期产量难以满足净零排放情景中到2030年的低碳制氢产量（电解制氢8000万吨、天然气+CCUS制氢6000万吨）。
- ◆ 净零排放情景中，到2050年全球氢气产量将达到5亿吨，其中60%来自电解制氢，36%来自化石燃料制氢+CCUS。

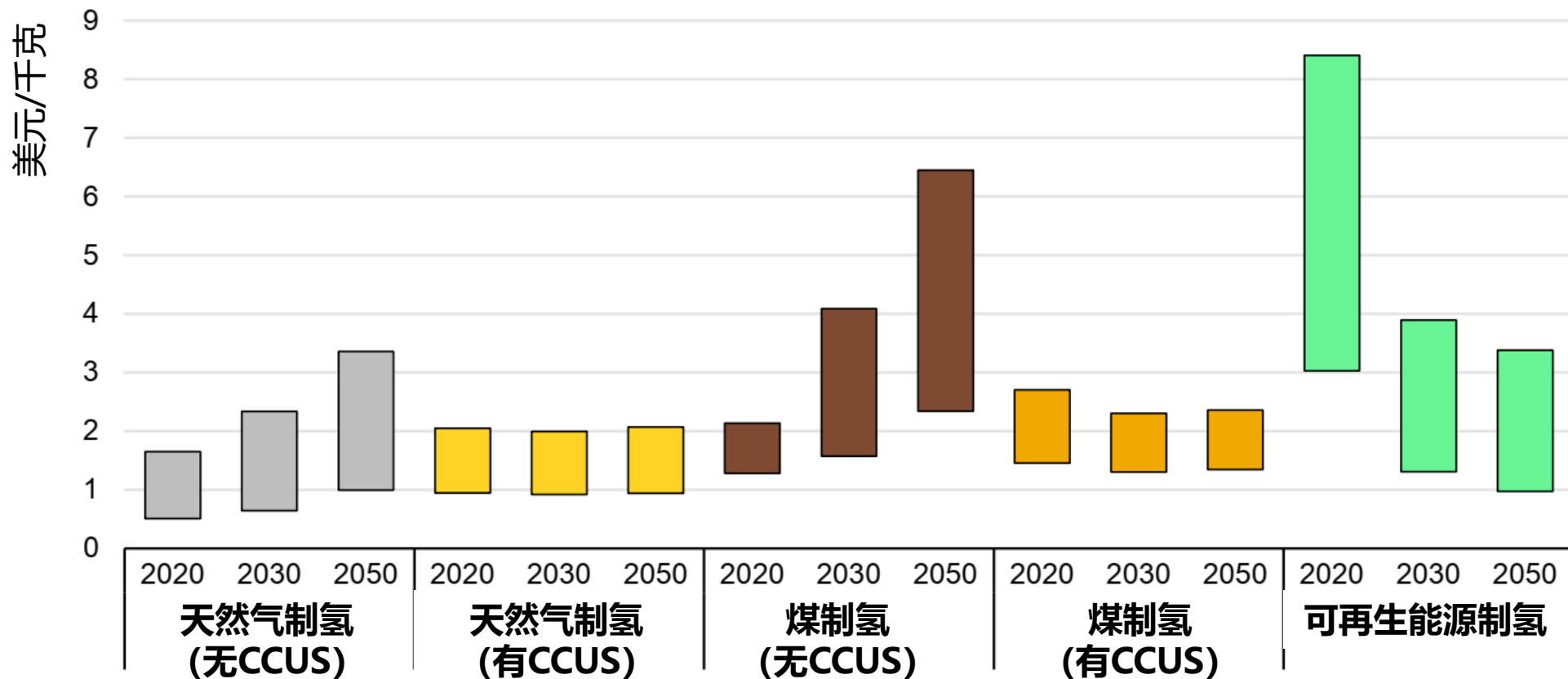
3、实现脱碳制氢将需要加快部署电解制氢和推广CCUS

图17 2020-2050年全球氢气产量、电解制氢装机容量和碳捕集情况



4、低碳制氢面临成本挑战

图18 净零排放情景下2020-2050年按技术划分的制氢平准化成本（单位：美元/千克）

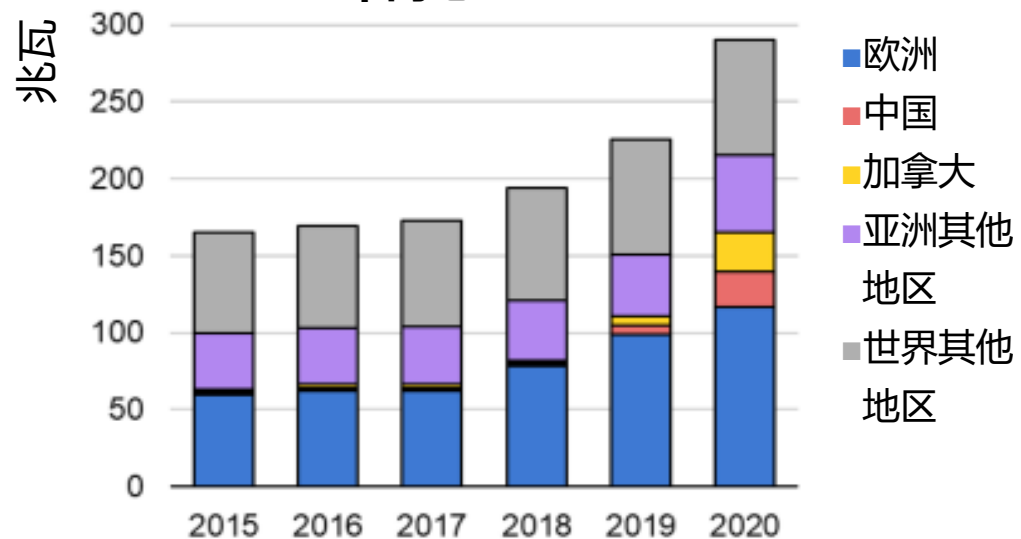


- ◆ 目前，化石燃料制氢仍是成本最低的方式。天然气制氢平准化成本在0.5-1.7美元/千克，配备CCUS将使其成本增至1-2美元/千克，碳价达到70美元/吨可弥补这一成本差距。
- ◆ 可再生能源制氢成本为3-8美元/千克，其中电力成本占50%-90%。降低电力成本、提高电解槽效率等方式可降低可再生能源电解制氢成本，2030年后其成本极不确定，取决于扩大规模、边做边学和其他技术进步等。

5、电解制氢正快速扩张

图19 2015-2020年全球电解槽装机容量

不同地区



不同技术

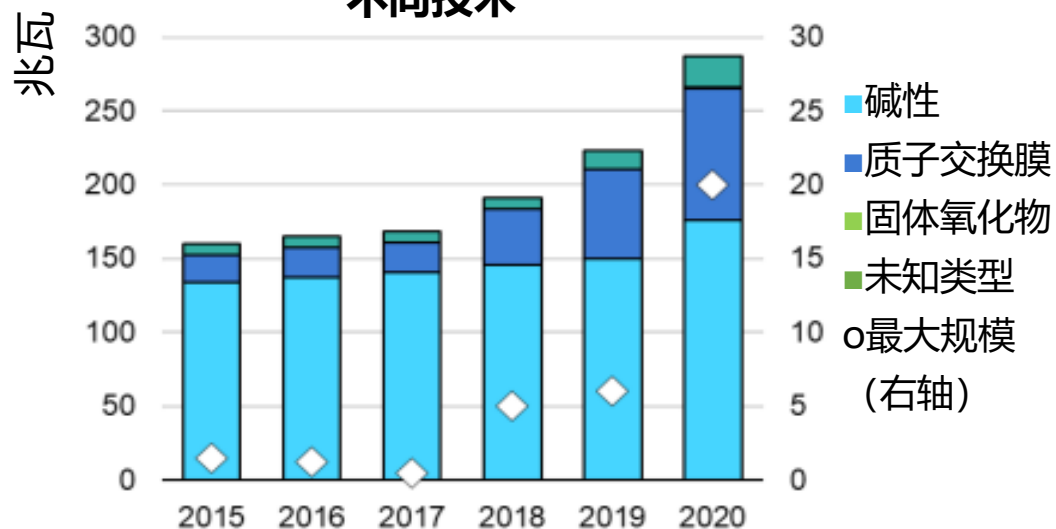
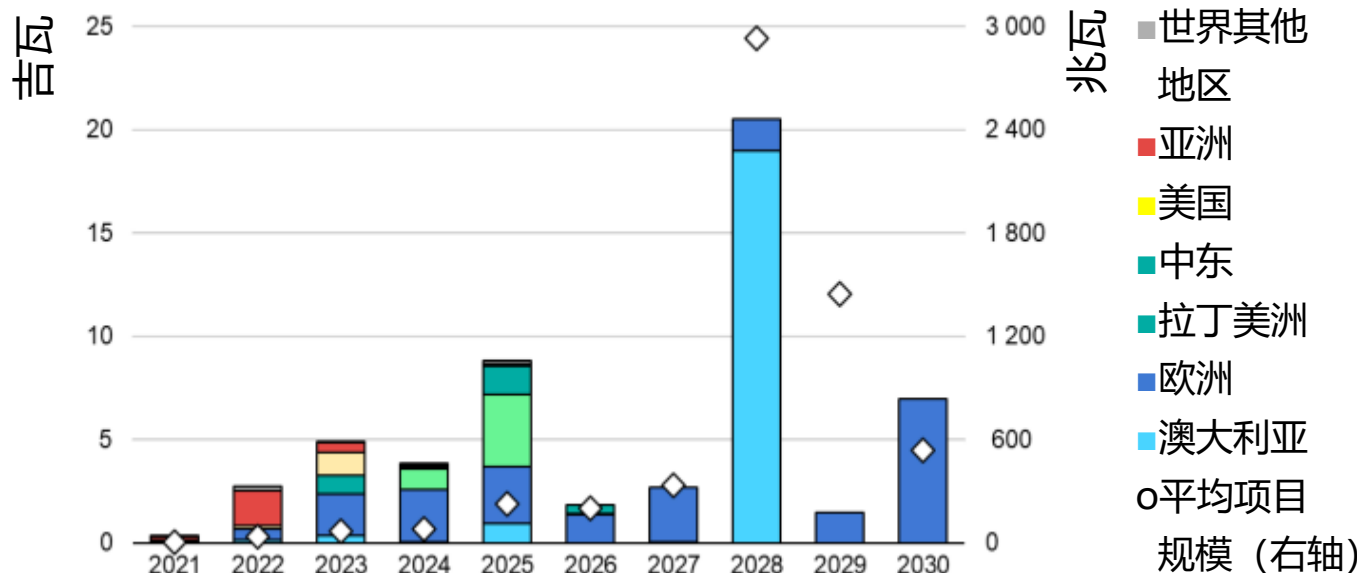


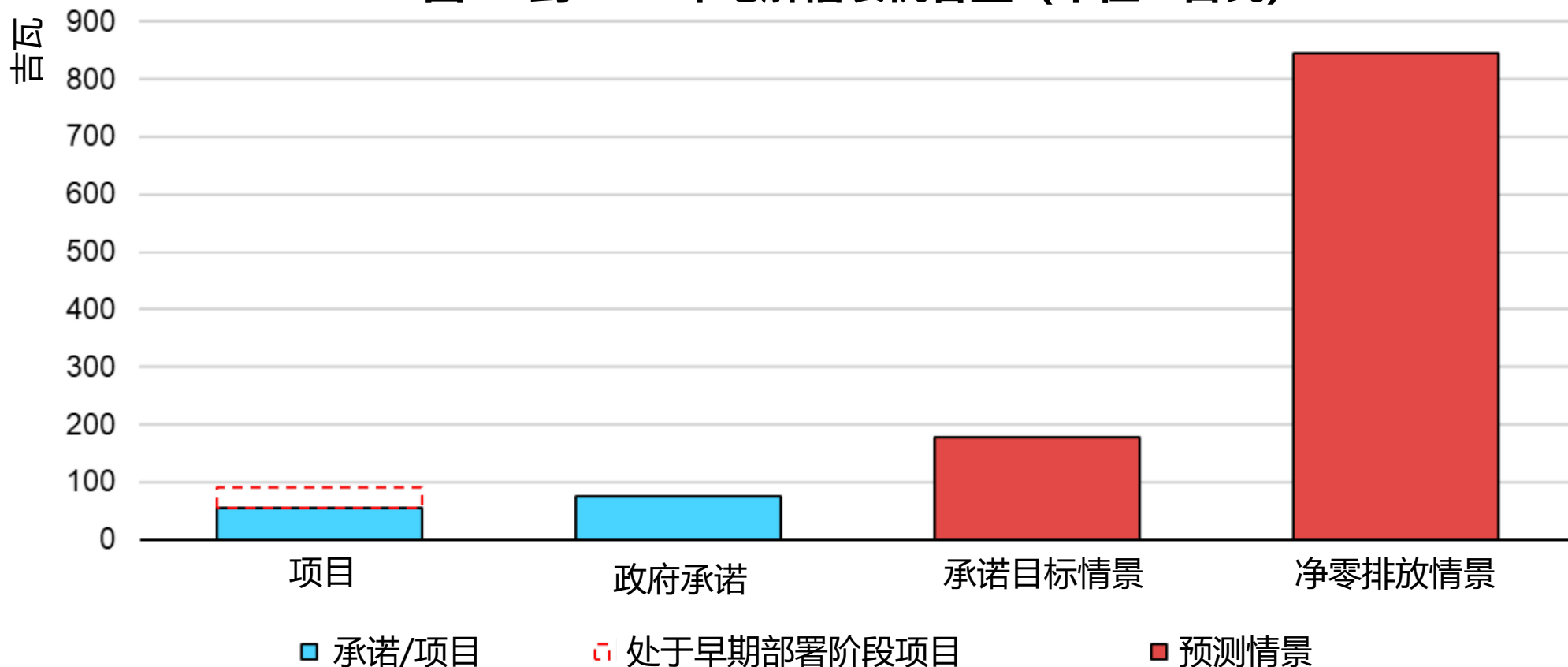
图20 2021-2030年根据在建或规划项目预测的全球电解槽新增装机容量



- ◆ 2020年，电解制氢仅占全球氢产量0.03%。电解槽装机容量达到290兆瓦，其中超过40%位于欧洲，其次是加拿大（9%）和中国（8%）；碱性电解槽占装机总量的61%，质子交换膜电解槽占31%。
- ◆ 碱性电解槽技术已经成熟，成本最低（1000-1400美元/千瓦）；质子交换膜电解槽成本在1750美元/千瓦。
- ◆ 到2030年，全球电解槽装机容量将达到54吉瓦，如果将处于早期规划的项目算在内，将达到91吉瓦。

6、必须进一步加快部署以应对气候目标

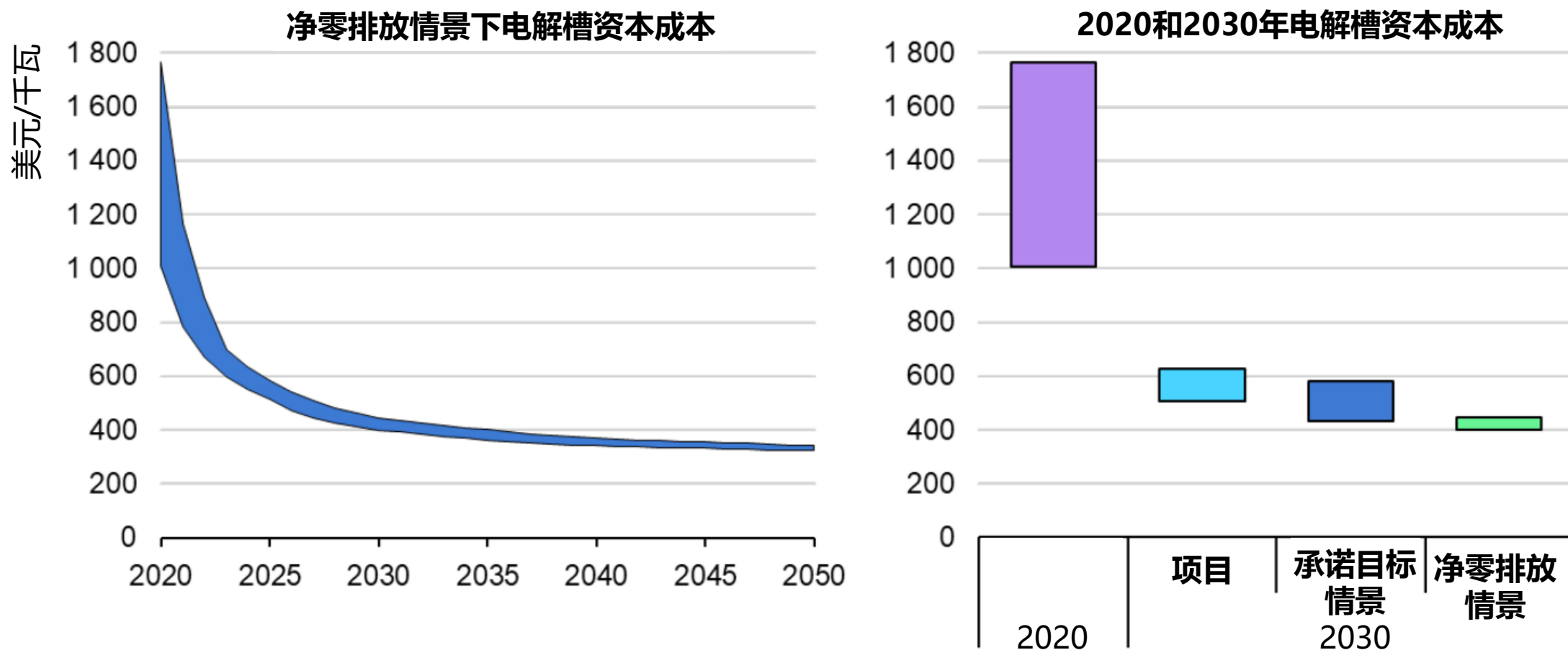
图21 到2030年电解槽装机容量 (单位: 吉瓦)



- ◆ 欧盟及一些国家将部署电解槽纳入氢能战略，这将导致到2030年全球电解槽装机容量达到75吉瓦，其中大部分由欧盟（40吉瓦）和智利（25吉瓦）贡献。
- ◆ 目前来看，电解槽部署目标与国家气候承诺目标并不匹配。承诺目标情景中，到2030年全球电解槽装机容量需要达到180吉瓦，即使将早期部署项目计算在内，仍有70%的缺口。

7、电解槽部署扩张将导致成本加速下降

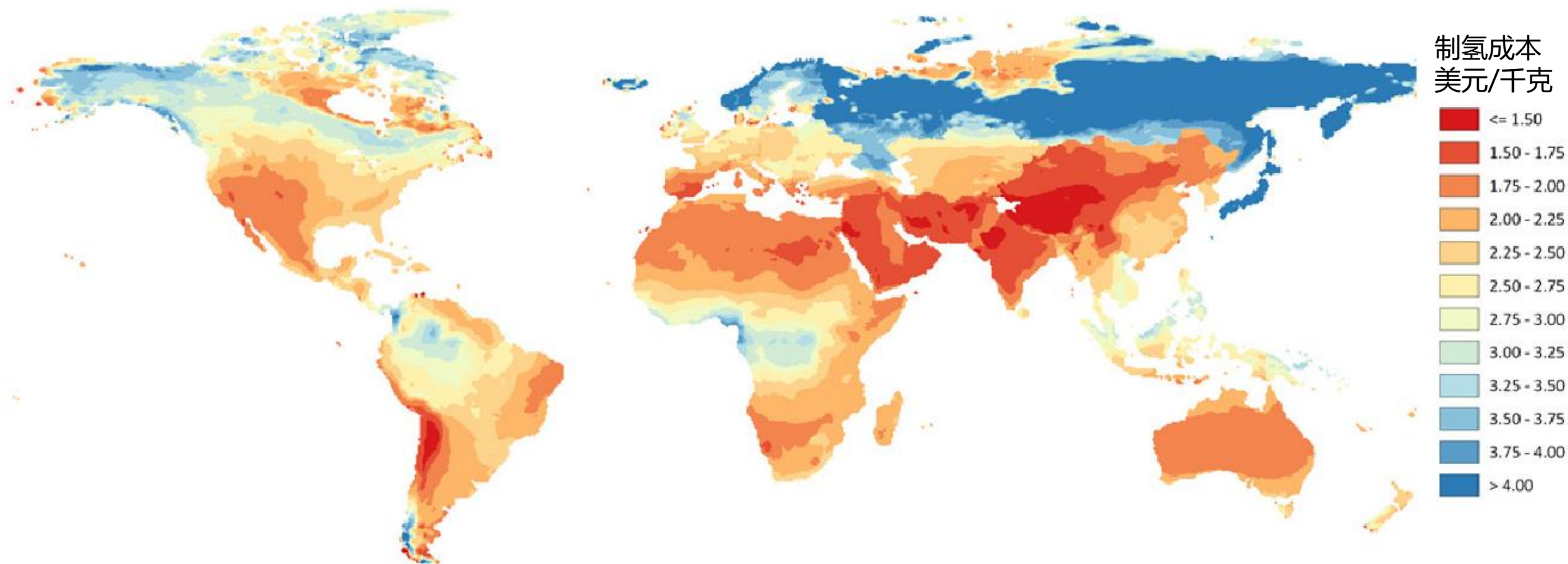
图22 2020-2030年电解槽资本成本变化 (单位: 美元/千瓦)



- ◆ 2020年, 电解槽成本在1000-1750美元/千瓦, 中国碱性电解槽成本750-1300美元/千瓦, 远低于其他地区。
- ◆ 到2030年, 在建和规划项目的部署将促使电解槽资本成本下降近60%; 承诺目标情景和净零排放情景中可能分别下降65%和70%。

8、到2030年，电解制氢将开始与天然气制氢+CCUS竞争

图23 到2030年光伏-风能混合系统制氢成本（单位：美元/千克）



- ◆ 光伏-风能混合系统可能提供一种经济高效的方式来稳定制氢，并实现更长的满负荷运行时间，使电解制氢具备更强的竞争力，到2030年将可与天然气制氢+CCUS竞争。

9、化石燃料制氢+CCUS发展势头正在增强

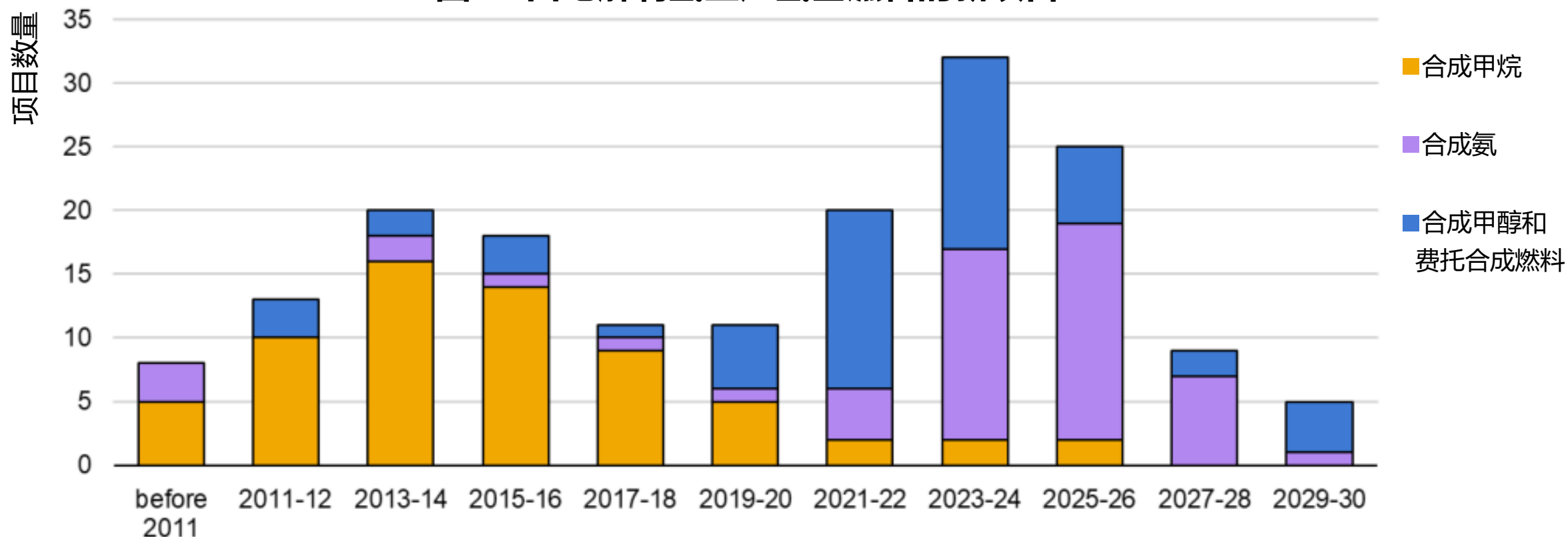
图24 运行和开发中的化石燃料制氢+CCUS项目



- ◆ 天然气制氢技术中，蒸汽甲烷重整（SMR）是主要的生产路线，其直接碳排放量9千克CO₂/千克H₂，而天然气生产和运输的上游排放量可再增加1.9-5.2千克CO₂/千克H₂（全球平均值为2.7千克CO₂/千克H₂）。
- ◆ SMR过程中捕集CO₂的成本为50-70美元/吨，煤气化制氢过程的碳排放为20吨CO₂/吨H₂。
- ◆ 在煤炭或天然气成本低、可封存CO₂的地区，如中东、北非、俄罗斯和美国，化石燃料制氢+CCUS是当前最经济的低碳制氢方式，天然气制氢+CCUS成本在1-2美元/千克。

10、氢基燃料可与现有设备兼容，但成本较高

图25 由电解制氢生产氢基燃料的新项目



- ◆ 2020年，有81个试点或示范项目在运行，将电解生成的氢气转换为合成甲烷（59个）、合成甲醇（7个）、合成柴油或煤油（7个）、合成氨（8个），大部分项目位于欧洲，且多数为小规模示范项目。
- ◆ 未来几年将投产的几个项目将达到商业规模。智利Haru Oni甲醇项目的电解槽容量为2吉瓦，计划最终产能为5.5亿升/年（2026年）；沙特阿拉伯Helios绿色燃料项目电解槽规模为1.5-2吉瓦，计划年生产能力为23.5万吨氢气和120万吨氨。

11、具有潜在应用前景的新兴制氢技术1/2

固体氧化物电解槽 (SOEC) 制氢:

- ◆ SOEC利用蒸汽替代水来制氢，由于采用陶瓷作为电解质，材料成本较低。在高温环境下，工作效率高达79%-84%，核能、太阳热能、地热以及工业余热都可作为SOEC的热源。此外，SOEC可以作为燃料电池在逆反应模式下将氢能转换成电能，这是区别于碱性质子交换膜电解槽的另一个特点。
- ◆ 将SOEC与储氢设施相结合，可以为电网提供支撑服务，提高设备整体利用率。SOEC还可以促使水蒸汽与CO₂共电解，从而制得合成燃料。
- ◆ 目前，SOEC仍处于大规模应用示范阶段（技术成熟度<TRL>为6-7级），通常应用于合成碳氢燃料。荷兰Rotterdam正开发2.6兆瓦SOEC制氢系统；丹麦计划在2023年前启动500兆瓦SOEC制氢工厂。

阴离子交换膜 (AEM) 电解制氢:

- ◆ 阴离子交换膜 (AEM) 电解槽结合了碱性水电解和质子交换膜电解槽的优点，仅使用过渡金属催化剂 (CeO₂-La₂O)，并不需要铂金属。AEM电解槽一个关键的优点是AEM为固态电解质，避免了在碱性水电解中使用的腐蚀性电解质。
- ◆ 目前，AEM技术仍处于早期研发阶段（TRL为4-5级），德国Enapter公司正在开发千瓦级AEM电解槽系统。

11、具有潜在应用前景的新兴制氢技术2/2

甲烷热解制氢：

- ◆ 甲烷热解制氢是将甲烷转化为气态氢和固态碳（如炭黑、石墨）的过程，此过程不会直接排放CO₂。反应需要相对较高温度（>800°C），可通过传统方式（如电加热装置）或使用等离子体来实现。甲烷热解制氢耗电量比电解制氢减少3-5倍，但与甲烷蒸汽重整制氢相比，需要消耗更多的天然气。
- ◆ 甲烷热解制氢的转换效率为40%-45%，但其副产物炭黑可用于制造橡胶、轮胎、打印油墨和塑料制品，2020年全球炭黑需求量为1600万吨。此外，热解生成的碳还可用于建筑材料，或替代炼钢过程中所需的焦炭。
- ◆ 目前，正在开发的甲烷热解制氢技术TRL为3-6级。2020年美国Monolith材料公司启动了等离子体高温加热甲烷热解制氢工厂，并计划建立一个商业化规模制氨工厂；澳大利亚Hazer集团正在建造催化辅助流化床反应器示范工厂，将沼气转化为氢气和石墨；俄罗斯天然气公司正开发一种基于等离子体的甲烷热解制氢工艺；美国C-Zero公司正开发一种用于甲烷热解的电加热金属熔融反应器。

电气化甲烷蒸汽重整（ESMR）制氢：

- ◆ 电气化甲烷蒸汽重整（ESMR）制氢是一种利用电加热反应器代替燃气蒸汽重整反应器的工艺。目前，ESMR技术仅在实验室规模进行了测试（TRL为4级），一个正在部署的示范项目计划将沼气作为ESMR原料生产氢气和一氧化碳，然后转化为甲醇用于工业生产。

Global Hydrogen Review
2021



氢能基础设施及贸易

1、有效开发氢能基础设施需要在系统层面进行分析

- ◆ 氢能大规模部署需要经济高效的储存和运输系统支持，将供应源连接到需求中心，从而建立一个深度流动的市场。
- ◆ **有效的氢能基础设施设计取决于几个方面：**（1）需求量；（2）与低碳制氢资源（可再生能源和碳封存地）相关的基础设施位置；（3）制氢技术；（4）现有天然气和电力网络及其未来发展。
- ◆ 在某些情况下，传输电力用于分布式电解制氢可能是最经济的选择，但有些情况，集中生产氢气然后输送至用户端可能更可取。
- ◆ **氢能的最终用途也可以决定其运输方式：**氢可以在生产后用于最终产品（化学产品、化肥或钢铁）或生产其他燃料（氨或合成燃料），这些燃料的运输成本效益更高。其他情况下，需要运输氢气用于交通或高温供热，其输送可以气氢、液氢或是氢载体等形式，取决于运输的总成本（包括转换/再转换、储存和运输）。
- ◆ **尽管氢能为不同部门脱碳提供了广泛的可能性和解决方案，但规划不当可能会导致建设效率低下且成本高昂的基础设施。因此，需要在系统层面进行综合分析，以设计高效的基础设施。**

2、实现氢能部署目标需要发展更多管道运输

- ◆ 对于1500-3000公里的距离，管道运输通常是最具成本效益的选择，具体取决于管道容量。
- ◆ 管道运氢是一项成熟技术，目前全球氢气运输管道已超过5000公里，其中90%以上位于欧洲和美国。
- ◆ 与天然气管道系统类似，氢气管道是资本密集型项目，前期投资成本高。高昂的初始资本成本和相关的投资风险会严重阻碍氢气管道系统的开发，尤其是在需求刚刚起步且监管框架尚未建立的情况下。
- ◆ 由于更大直径需要更厚的管道壁，新建氢气管道的建设成本通常高于天然气管道。在同等直径下，氢气专用钢管道的资本支出比天然气高 10%-50%。
- ◆ **实现氢能战略中设定的目标需要更快发展氢气输送设施。承诺目标情景下，到2030年全球输氢管道总长度将翻一番达到10 000公里，净零排放情景下将再翻一番达到20 000公里。**

3、将氢气掺混入天然气网可作为过渡方案

图26 2010-2020年注入天然气管网的低碳氢

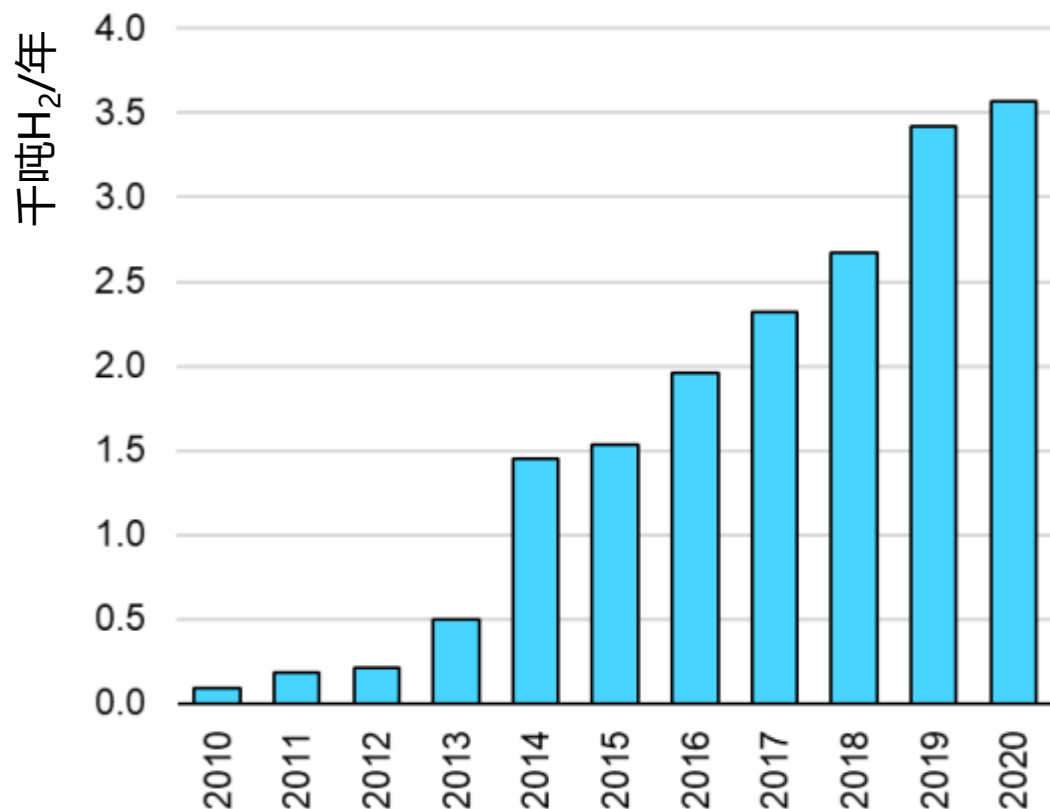
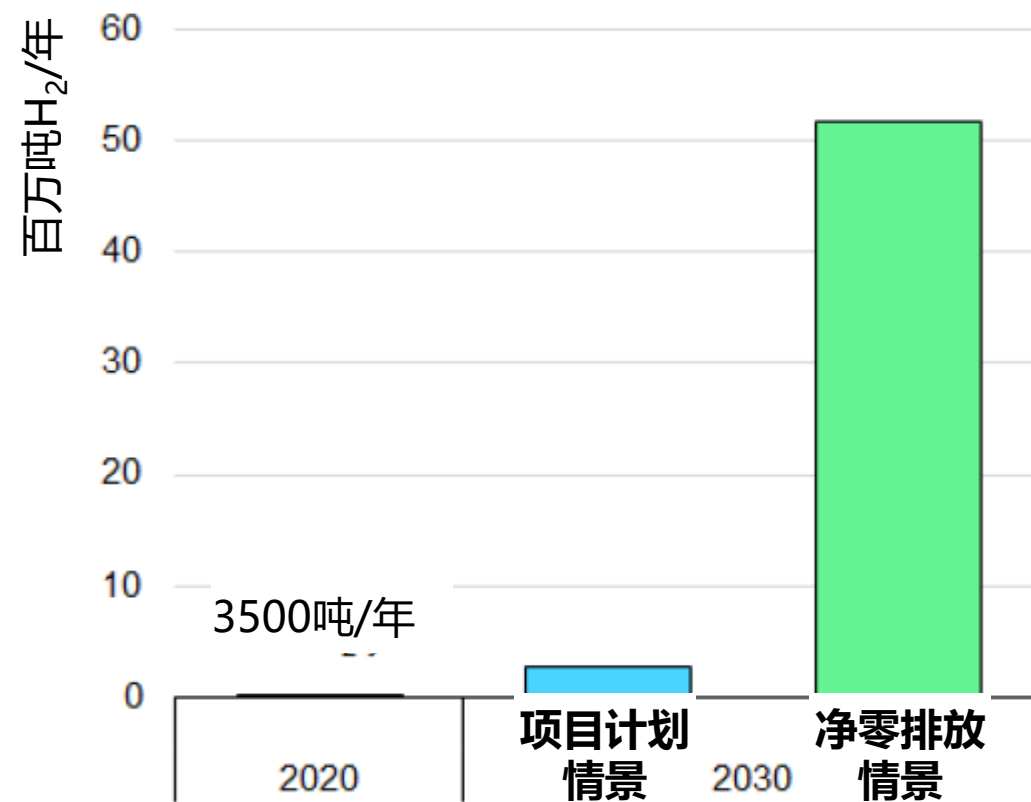
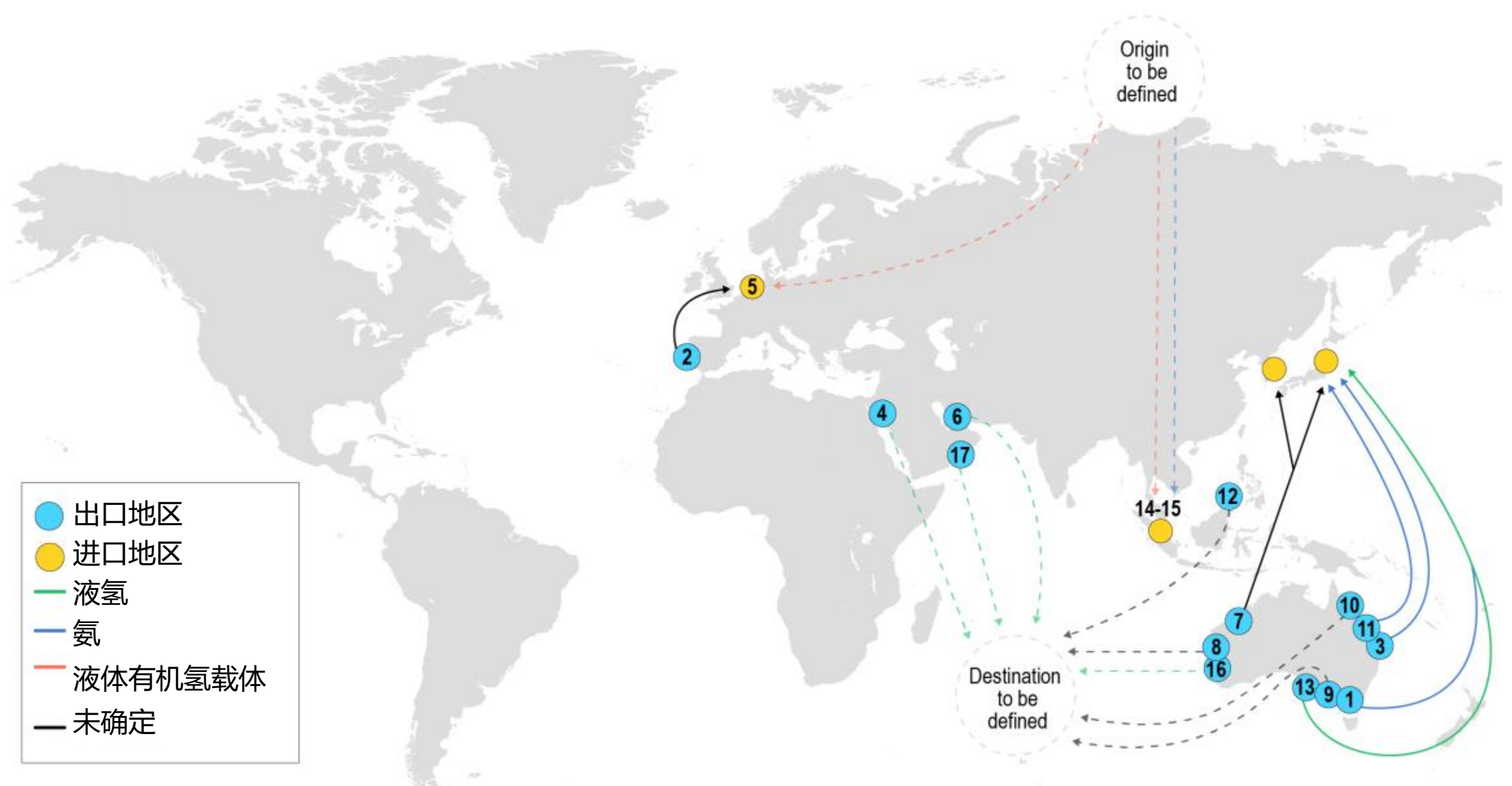


图27 预计2020-2030年注入天然气管网的低碳氢



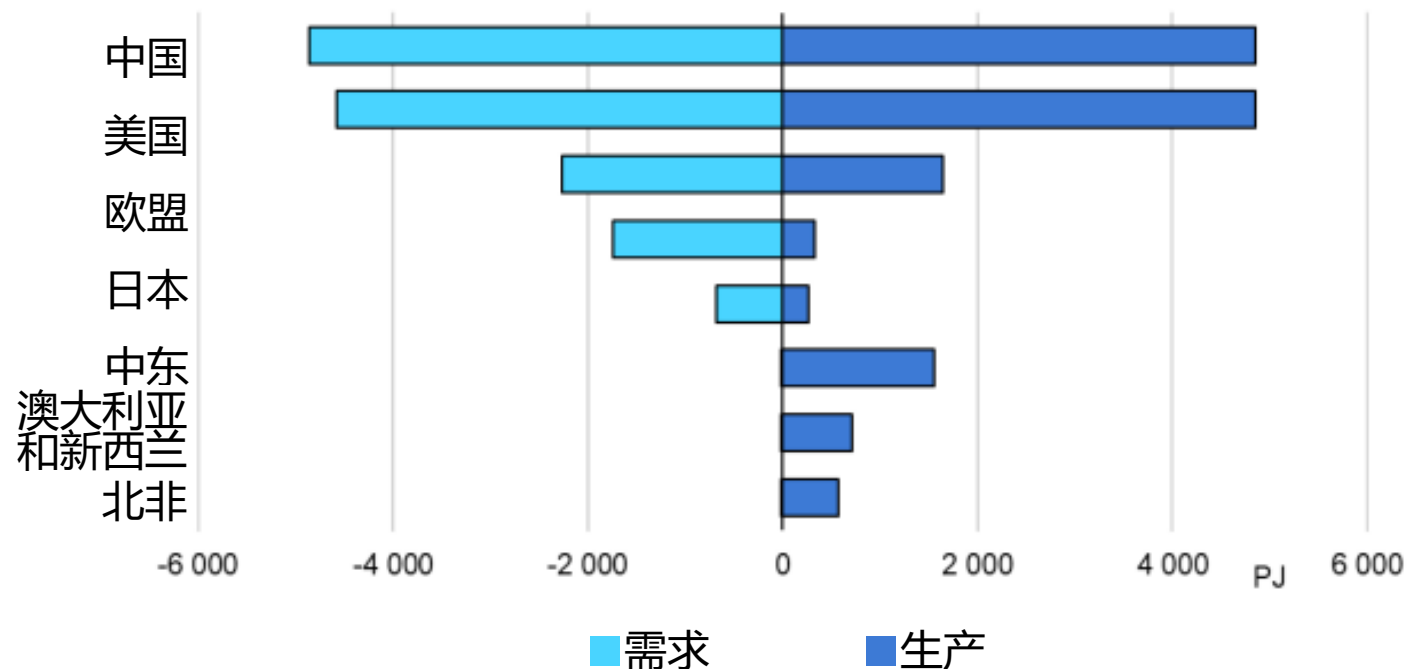
- ◆ 氢气能够以2%-10%的比例掺混入天然气网络，无需对管道系统进行大量改造。对于聚合物材质的管网，可掺混最高20%的氢气。
- ◆ 2013年以来，向天然气管网注入氢气的量增长了7倍，2020年达到约3500吨，几乎全部在欧洲。
- ◆ 根据已达成最终投资决定或建设中的项目，到2030年氢气掺混入天然气网络的量可能增加1.3倍，如果所有提议的并网项目都实现，则将增加700多倍，达到200万吨以上。

4、大多数正在开发的氢能贸易项目都在亚太地区



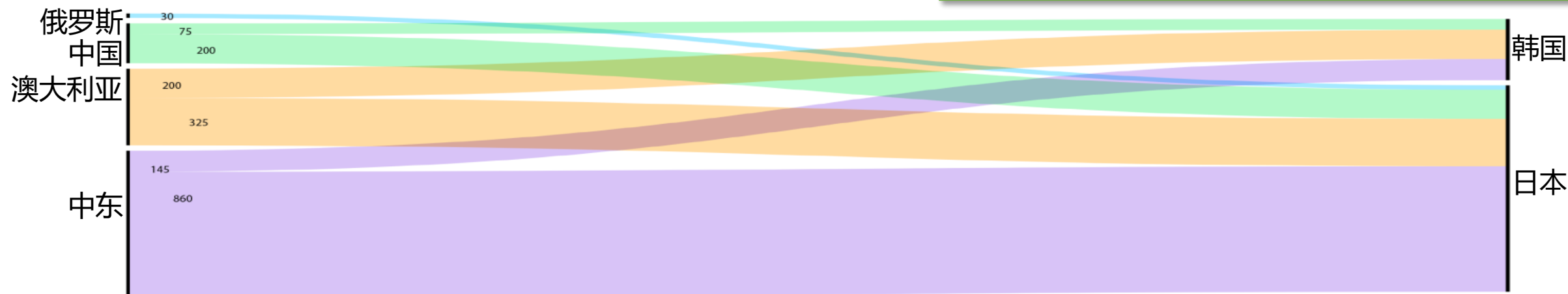
5、氢能国际贸易的长期潜力

图28 承诺目标情景中2050年氢和氢基燃料生产及需求情况



- ◆ 承诺目标情景中，到2050年氢和氢基燃料贸易将占全球需求的20%，其中50%以氨形式，40%以合成燃料形式。
- ◆ 中国、美国等国家尽量通过本国满足自身需求，日本、韩国和欧洲部分地区将有部分依赖进口，到2050年日、韩两国氢和氢基燃料需求约60%需要依靠进口。
- ◆ 澳大利亚、智利、中东和北非将成为主要出口地区，到2050年，北非、中东和智利将向欧洲出口约600拍焦的氢和氢基燃料，中东、澳大利亚和智利将向亚洲出口1800拍焦。

图29 承诺目标情景中到2050年日本、韩国氢能贸易流



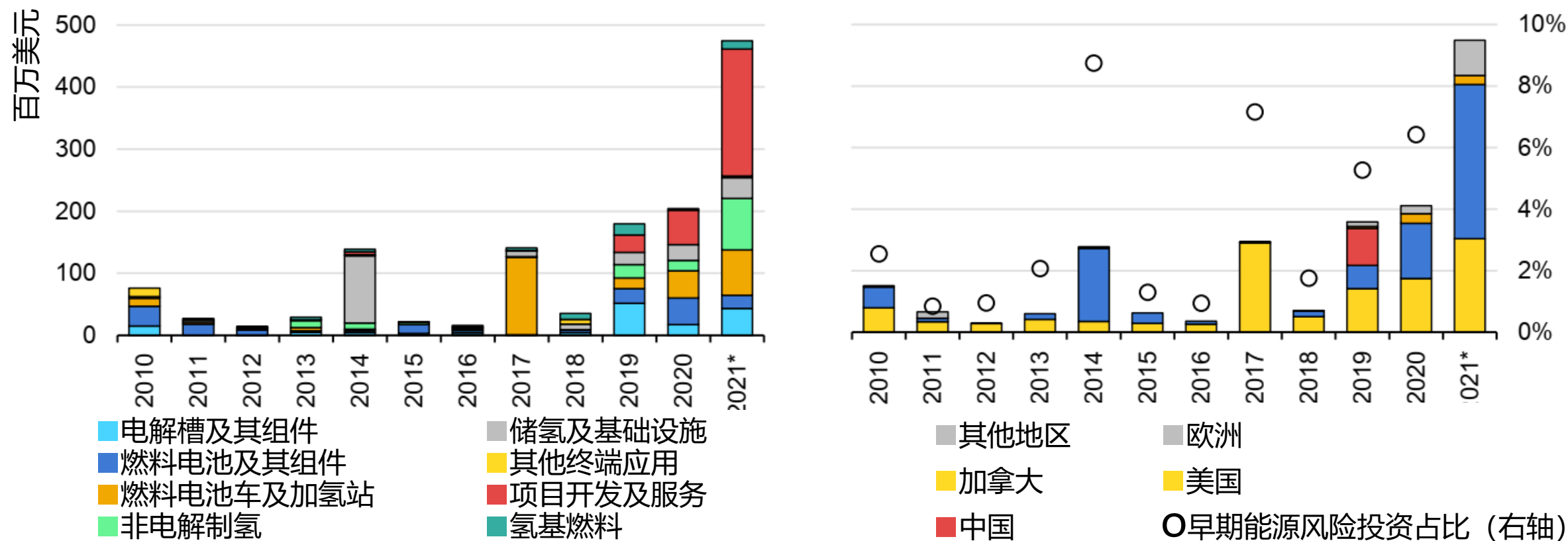
Global Hydrogen Review
2021



氢能投资及创新

1、尽管新冠疫情大流行，氢能投资仍在增加，私营投资史无前例

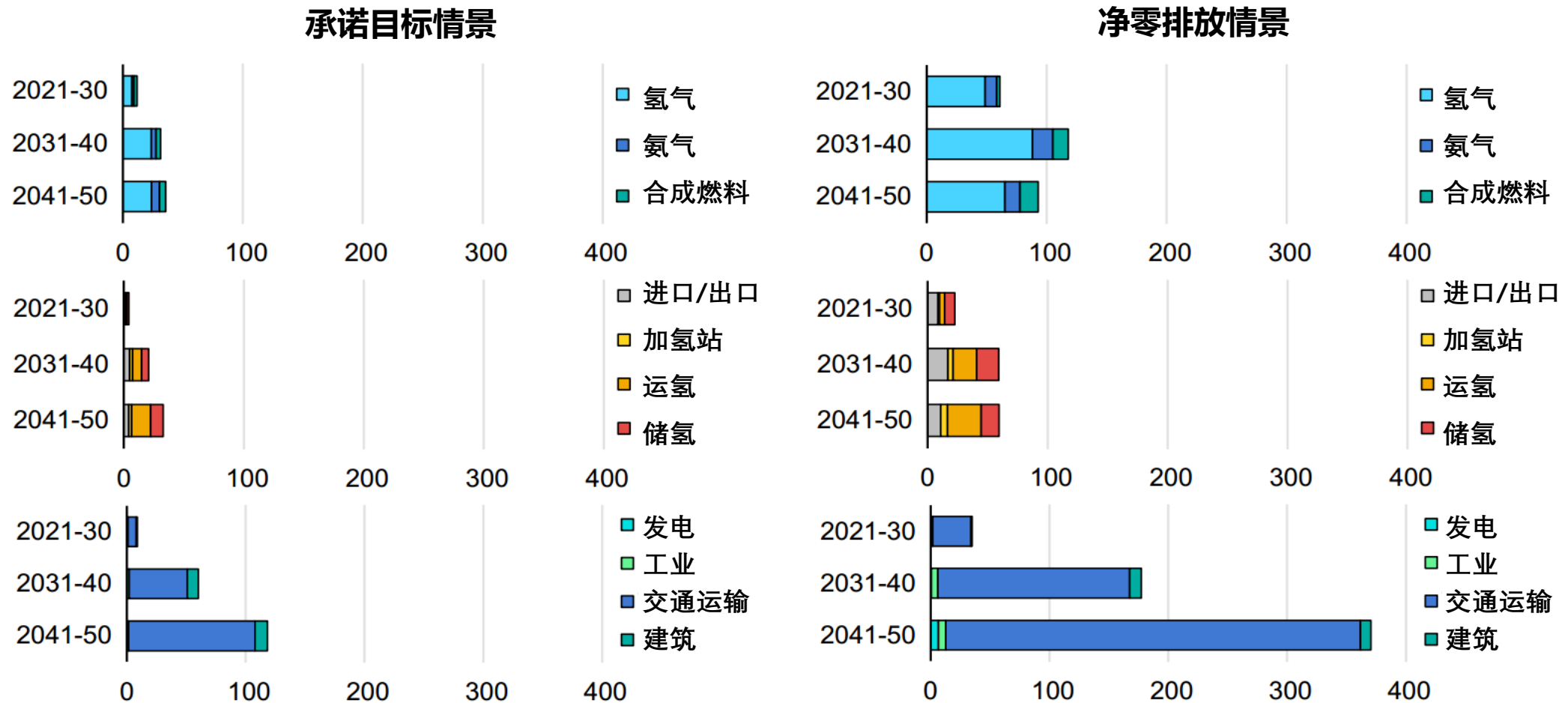
图30 2010-2021年按技术领域和地区划分的氢能相关初创企业早期风险投资交易



- ◆ 2019年1月至2021年年中，专门进行氢气生产、分配和使用的公司筹集了近110亿美元资金，2020和2021年的大部分氢能投资通过上市公司筹集。政府经济复苏计划中也在大量资助氢能项目。
- ◆ 尽管如此，当前投资水平难以达到净零排放情景中2050年目标的所需水平。
- ◆ 对氢能初创企业的投资也在增加，随着电解槽企业逐渐成熟，新的投资正转向其他制氢路线，如甲烷热解。大部分新投资初创企业位于欧洲。

2、为实现净零排放目标，到2030年氢能投资必须增至1.2万亿美元

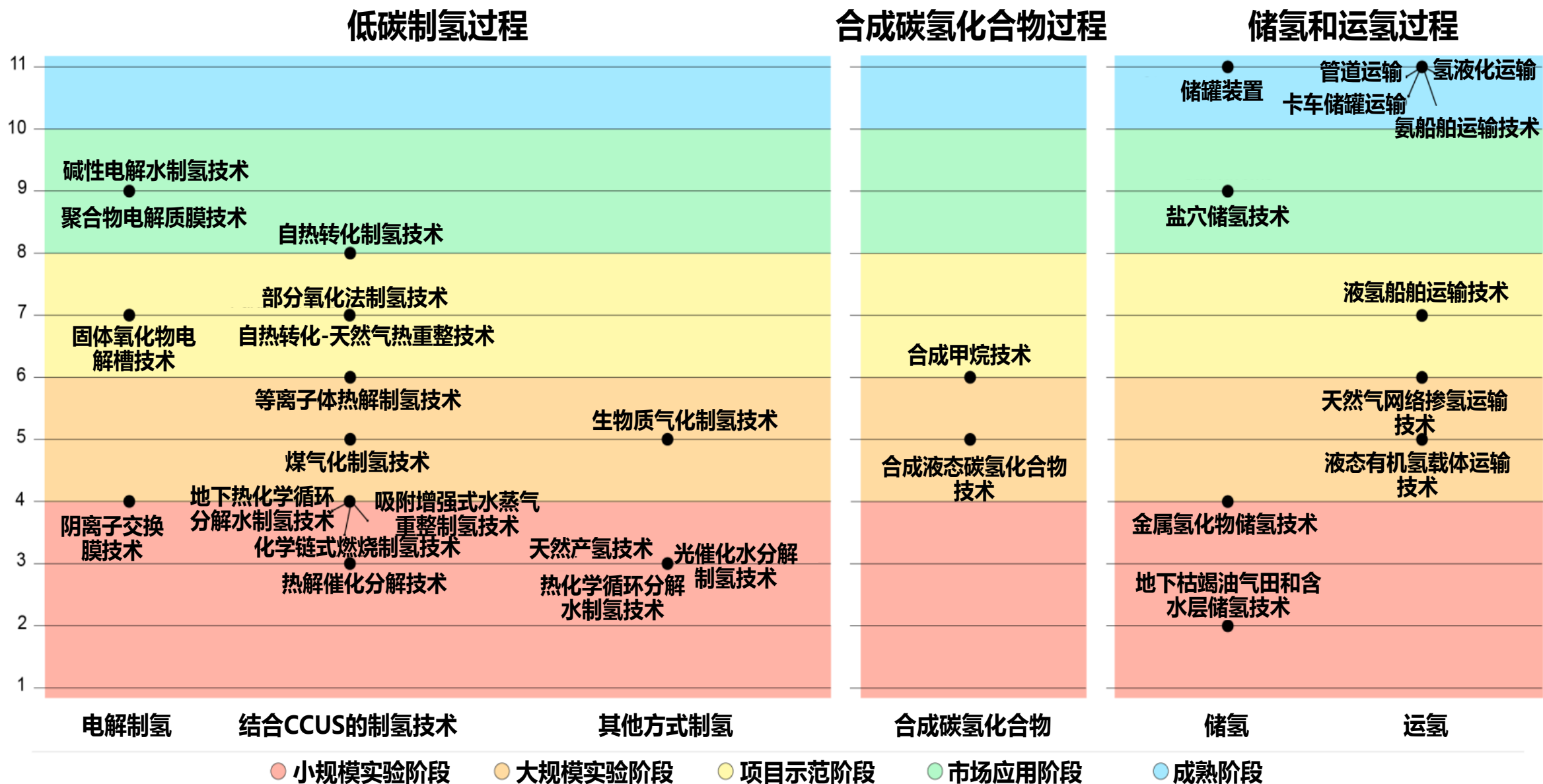
图31 不同情景中各领域氢能相关技术投资额需求（单位：十亿美元）



- ◆ 未来十年的投资对于氢能长期发展至关重要，到2030年每年将需要70亿美元的电解槽投资（是近期创纪录投资的30倍）、40亿美元用于部署燃料电池汽车（是近期创纪录投资的14倍）。
- ◆ 为了到2050年实现净零排放，到2030年全球累计氢能投资需增至1.2万亿美元，2050年需增至10万亿美元。

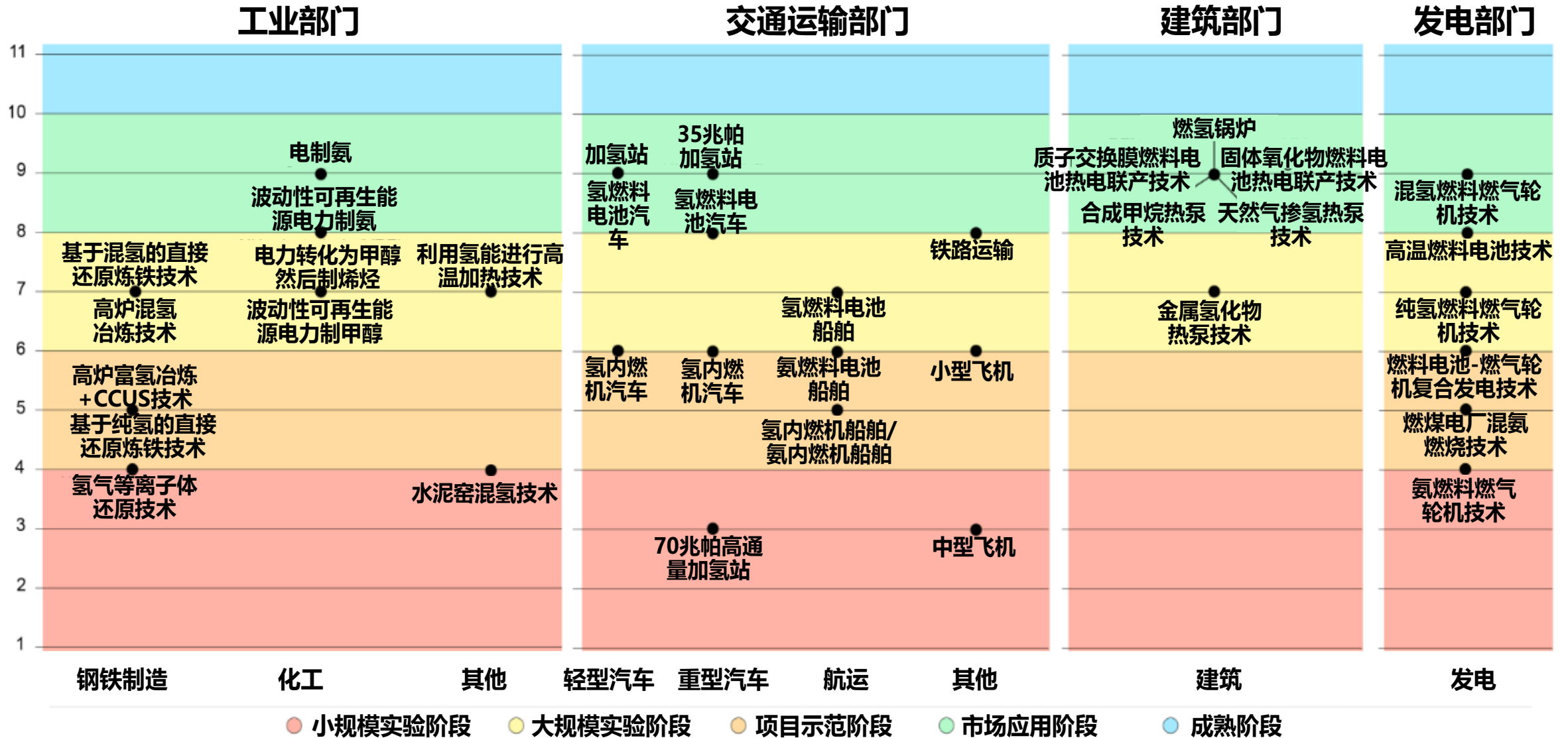
3、制氢、储氢、运氢及氢能应用全价值链技术成熟度情况1/2

图32 制氢、储氢、运氢过程技术成熟度



3、制氢、储氢、运氢及氢能应用全价值链技术成熟度情况2/2

图33氢能终端应用各项技术成熟度



Global Hydrogen Review
2021



政策建议

1、构建全球氢能市场五大战略性建议1/3

- ◆ **各国需要制定氢能战略/路线图。** 特别是氢能需求较大的国家需要制定国家氢能战略/路线图，重点设定低碳氢产量的具体指标，通过刺激措施撬动更多的投资以扩大氢能市场价值，加速氢能项目部署速度，这将对利益相关方构建低碳氢潜在市场的信心至关重要。
- ◆ **建立激励机制，发展低碳制氢技术以取代化石燃料制氢。** 充分挖掘氢能作为清洁能源载体的潜力，一些国家/地区已经在利用碳价来缩小可再生能源制氢与化石燃料制氢之间的成本差距，但这还远远不够。为帮助行业降低风险和um提高项目生产效益，政府应设计透明和可预测的政策框架和金融支持计划，如实施碳价、授权/配额、公共采购等措施。国际社会的积极参与将有助于推动氢能技术快速发展。

1、构建全球氢能市场五大战略性建议2/3

- ◆ **推进氢能生产装置、基础设施和示范工厂的投资建设。** 在制氢领域，提升电解槽和碳捕集装置在制氢过程中的使用率，发展氢能专用基础设施、提高氢能技术（如燃料电池和电解槽）的创新能力和政府需要缩短支撑技术的审批流程，允许私人企业和投资者进行投资，加快大规模低碳氢管道建设。此外，政府通过拨款、贷款和税收减免等措施为选定的旗舰项目提供量身定制的支撑，并建立今后的支持计划将有助于低碳氢的推广。
- ◆ **加速技术创新，确保关键技术迅速实现商业化。** 持续的技术创新对降低用氢成本和提高氢能竞争力至关重要。本世纪初须实现的商业化技术包括：在钢铁冶炼过程中使用氢能、利用波动性可再生能源电解水制氢用于生产氨和甲醇、在重型交通运输中使用氢能以及在航运中使用氢能。在这一领域，国际合作至关重要，下一步计划在“创新使命”计划中将氢能研发经费翻倍，并利用国际能源署和先进燃料电池技术合作计划，召集并促进国际研发和信息交流。

1、构建全球氢能市场五大战略性建议3/3

◆ **构建配套的标准、认证和监管体系。** 氢能作为清洁能源有望刺激新市场和价值链的发展，因此需要加快构建配套的监管框架、认证计划和标准规范，以减少利益相关方推进氢能部署面临的障碍，在短期内需注重国际贸易、用氢安全、技术采用这三个领域标准的制定。标准制定之后需进行技术认证，以确保制造商遵守国际标准，激发低碳氢使用活力。此外，一个清晰、透明和支持性的监管框架将促进全球氢能市场快速发展。随着氢能需求和供应商数量的增加，以及全新的价值链和合作伙伴关系的出现，监管体系需变得动态灵活，以适应市场演变，并保障生产装置和基础设施投资的可靠性。最后，金融市场监管以及国际上对环境、社会 and 企业的碳排放监控将推动投资者将目光转向包括低碳氢在内的清洁能源领域。

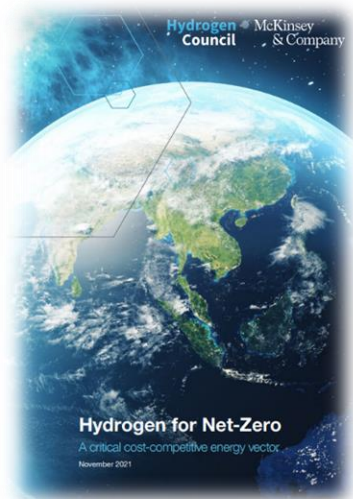


氢能实现净零排放：一种经济高效的关键能源载体

世界氢能理事会与麦肯锡公司2021年11月3日发布

目 录

- ◆ **报告关键点**
- ◆ **氢能需求及其在降低成本和减少碳排放方面的作用**
- ◆ **到2030年扩大氢能规模对于实现长期目标至关重要**
- ◆ **氢能目前势头强劲但投资缺口巨大**
- ◆ **政策建议**



报告关键点

1、氢能对于实现净零排放至关重要，到2050年可以减排800亿吨

- 氢能在助力世界到2050年**实现净零排放**和将**全球变暖限制**在1.5°C方面发挥着核心作用。
- 氢能是**实现脱碳能源系统**的关键，将促进可再生能源的整合。
- 就**最终用途**而言，氢能对于脱碳工业、地面长途运输、国际旅行、供热和发电至关重要。
- **中国**，其次是欧洲和北美，将在2050年成为全球最大的氢能市场，合计约占全球需求的60%。

2、到2030年扩大氢能规模对实现长期目标和经济高效脱碳至关重要

- 实现长期净零排放目标需要到2030年加快并加大对氢能的部署，预计**清洁氢需求将达到7500万吨**。
- 这将取代2500万吨合成氨、甲醇和炼油中的灰氢需求，500亿升道路交通柴油需求，6000万吨炼钢中的煤炭需求。
- 清洁氢能部署的**早期增长可能集中在欧洲、日本和韩国**，上述地区将占清洁氢需求增量的30%左右；其次是中国和北美。
- 为了以最经济的方式满足这一需求，可再生氢和低碳氢供应将需要**200-250吉瓦的电解槽容量和300-400吉瓦的可再生能源发电容量**，以及4500-5000万吨的低碳制氢能力和相关基础设施。
- 政府和企业都需要采取行动以促进清洁氢的部署，到2030年部署清洁氢能将**减少7.3亿吨CO₂/年**。

3、到2030年部署清洁氢的减碳贡献因用途而异

■ 目前工业用途减排贡献:

- 大部分脱碳将来自目前氢能在工业部门的应用，每年可避免2.7亿吨二氧化碳排放，特别是炼油和合成氨过程中的脱碳。

■ 道路交通减排贡献：

- 在道路运输部门，到2030年氢可以避免约9000万吨的二氧化碳排放。

■ 氢基燃料减排贡献:

- 氢基燃料，如氨、甲醇、液氢等，是除原料有限的生物燃料之外，最有希望的航空和海运脱碳替代燃料。

■ 炼钢行业减排贡献:

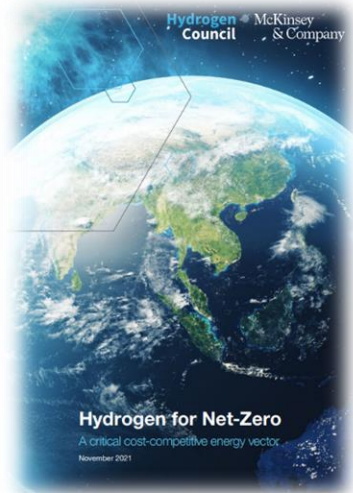
- 到2030年，炼钢行业可能占氢需求4%左右，届时将可以减少8.8亿吨二氧化碳排放。

■ 电力行业减排贡献:

- 氢将通过与天然气掺混，取代煤炭和天然气等化石燃料，使现有化石燃料发电早期脱碳成为可能。

4、氢能目前势头强劲，但到2030年投资缺口将达5400亿美元

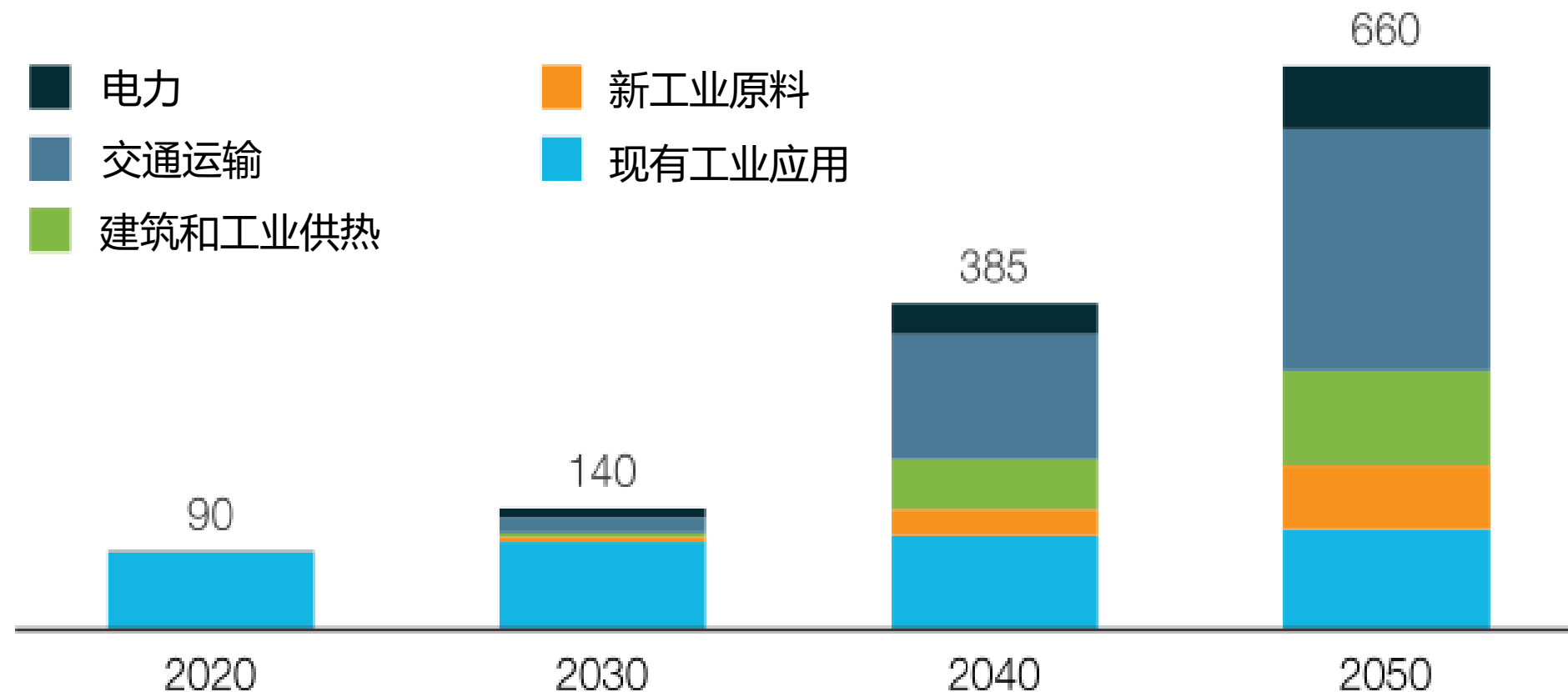
- **全球氢能发展势头强劲。** 2021年宣布的项目超过520个，比2020年增长了100%。这些宣布的项目包括1800万吨清洁氢供应（950亿美元）、基础设施（200亿美元）和最终用途（450亿美元）。考虑到实现政府目标和支持设备价值链的投资，到2030年预计总投资将增长到6000亿美元以上。
- **虽然项目储备很充足，但需要正确的监管框架来将项目从概念转变为实际投资。** 在目前公布的直接投资中，只有200亿美元（13%）通过了最终投资决定（FID），另外640亿美元（40%）处于可行性研究或前端工程设计（FEED）阶段。这意味着，许多提案都在等待合适的监管框架来释放需求和投资。
- 目前宣布的氢能项目（1600亿美元）只占实现净零目标所需7000亿美元投资的近25%，其中3000亿美元用于制氢，2000亿美元用于基础设施，以及2000亿美元用于氢能终端用途，**所需资金缺口将达到5400亿美元。**



◆ 氢能需求及其在降低成本和减少碳排放方面的作用

1、氢是关键脱碳载体，可以连接和重塑当前市场

图2 到2050年全球氢能需求（单位：百万吨/年）



注：国际能源署净零排放情景，2050年终端能源需求为340艾焦（高热值）

- ◆ 到2050年，清洁氢能需求将达到约6.6亿吨，占全球终端能源需求的22%。
- ◆ 到2050年，清洁氢能可减少碳排放70亿吨/年，累计减少800亿吨碳排放，约占将全球变暖限制在1.5-1.8°C所需减排量的11%。

2、氢能在能源系统中的作用1/2

■ 能源存储

- 氢可以长时间储存大量能源以供需要时利用。这些用途可能包括在意外寒冷的冬天提供供暖，或确保提供稳定的氢能供应给工厂。

■ 能源系统弹性

- 氢能可平衡需求波峰和波谷，在低成本能源过剩时储存电力，并在需要时释放，使电网能够持续运行。
- 氢能支持跨区域的能源多样化，使人们能够利用最具吸引力的低成本资源，而不是在当地过度建设。
- 氢能为备用发电机提供燃料，以确保数据中心和医院等重要设施的电力供应。

2、氢能在能源系统中的作用2/2

■ 能源传输

- 氢能可以将清洁能源从能源资源丰富地区转移到资源缺乏的地区，从而实现区域和全球的能源传输，将澳大利亚、拉丁美洲和中东等低成本制氢地区与欧洲、美国西部、日本和韩国等需求中心连接。
- 在同一区域内可通过管道和卡车分配氢气。管道运输方式输送的能源是配电网的10-20倍，并确保以经济的形式远距离输运大量能源。卡车可以将氢气供应至分布式终端用户，如加氢站、远程发电机、建筑工地或小型工业用户。
- 氢可以通过液化运输，也可以转化为氨、液体有机氢载体等载体。

■ 解锁未开发的可再生能源

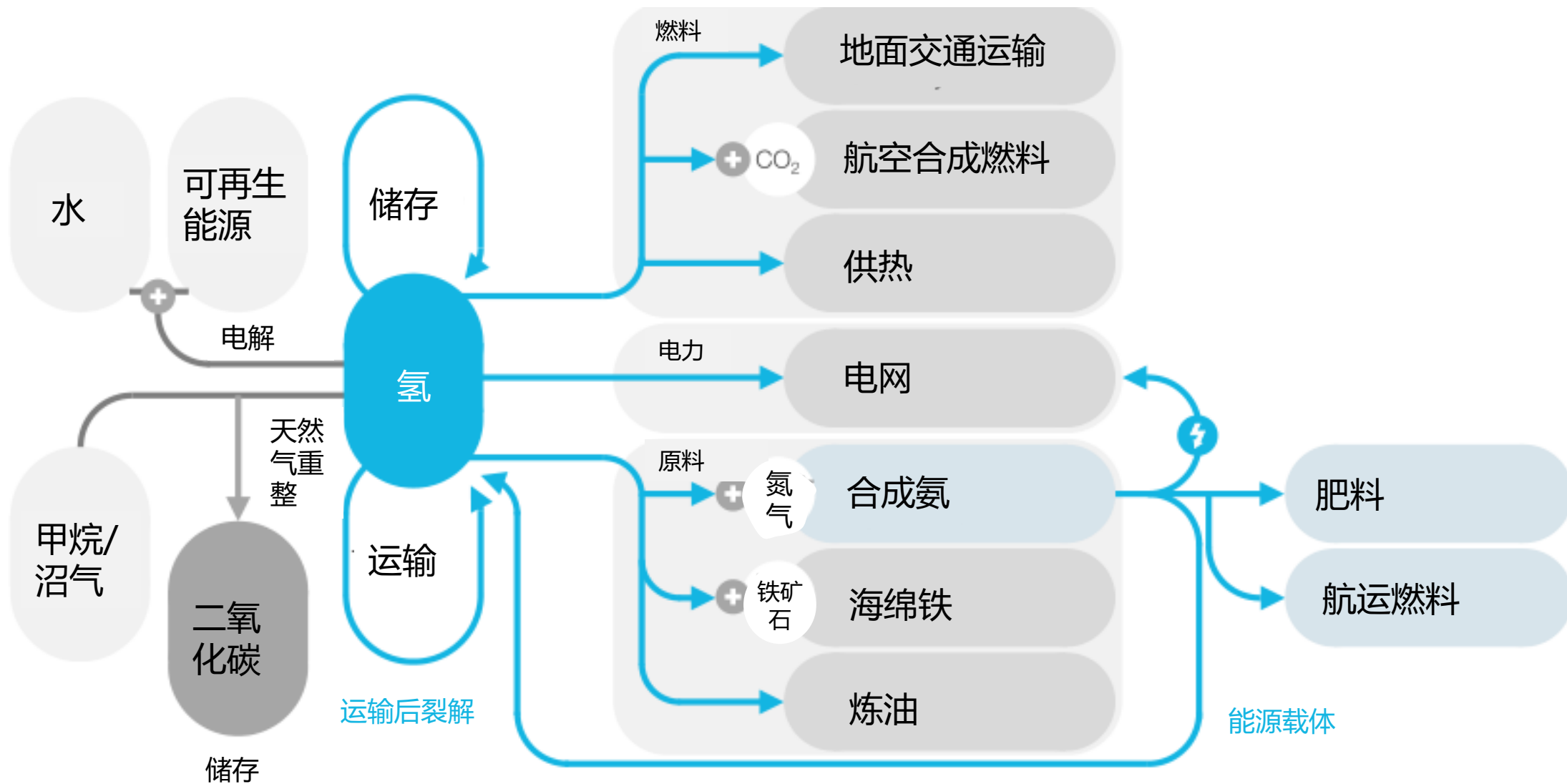
- 氢能可以使能源系统利用一些在偏远、人口稀少的地区尚未开发的可再生能源资源，并将这些低成本清洁能源输送到需要的地方，加速能源转型，并避免可再生能源部署的短缺。

■ 行业融合

- 氢能以新颖的方式将各个行业连接起来。氢可以将电力转化为天然气和其他终端产品，以连接并最终改变目前的天然气、电力、化学品和燃料市场。
- 氢将清洁电力和能源市场与金属、燃料、化工和石化行业连接起来，扩大了以前行业的边界。

3、氢能连接各个行业，改变目前天然气、电力、化工和燃料市场

图3 能源系统中的氢能应用途径

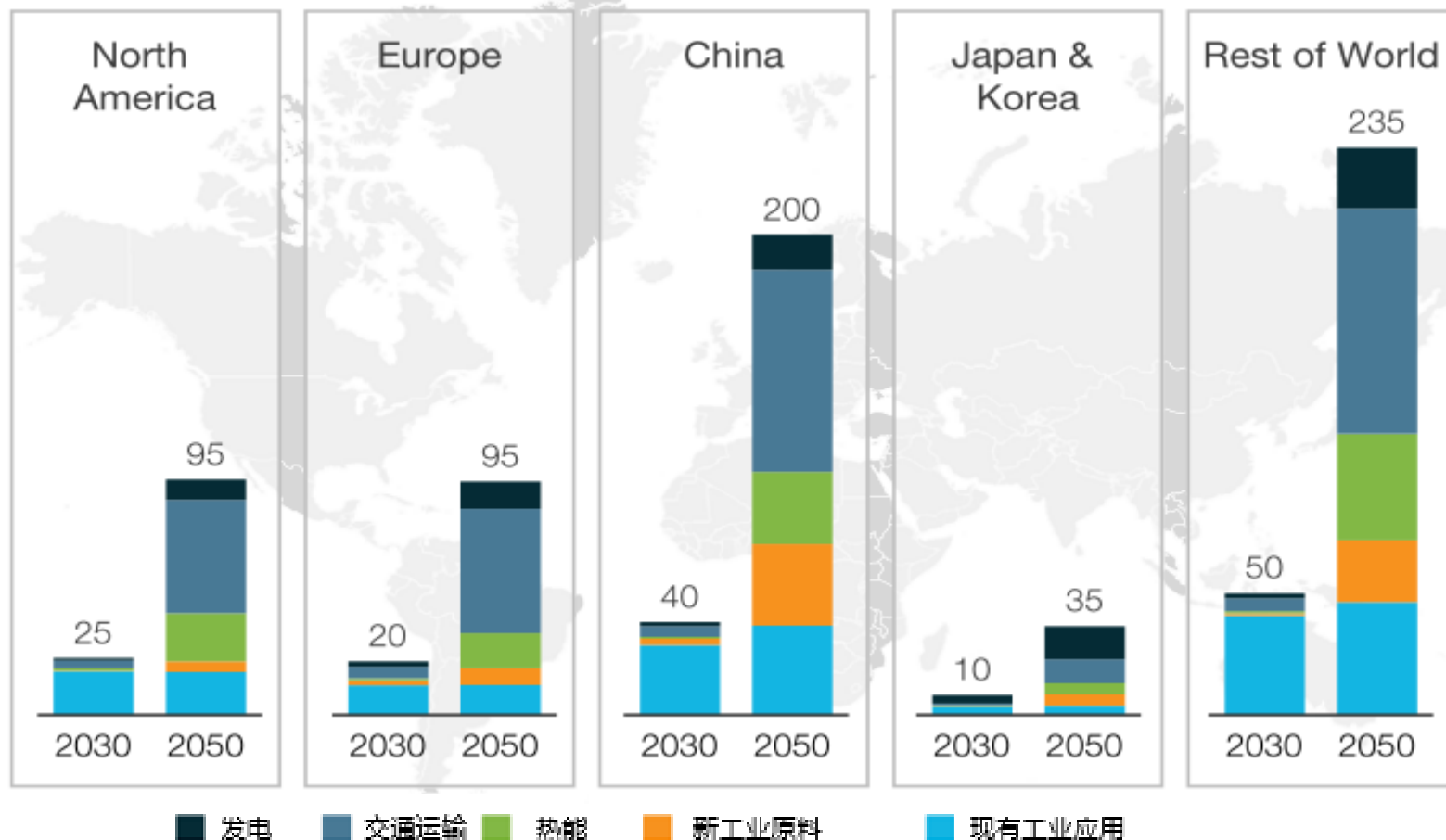


4、为了实现净零排放目标，到2050年氢能需求将达到6.6亿吨

- **到2050年，氢能的最大终端用途可能是交通和工业部门，包括原料和供热，共计将占6.6亿吨总需求的90%。**
- **大部分需求增长将来自于新用途，这些领域的氢能需求将达到5.5亿吨，包括：**
 - **交通运输：**该领域目前约占全球排放的19%，到2050年将成为最大的氢能终端应用部门，需求将达2.85亿吨。重型卡车需求最大，预计将需要1.1亿吨；海运和航空将需要1.1亿吨。
 - **现有工业原料：**目前氢作为原料在氨、甲醇和炼油等行业发挥重要作用，到2050年将总计占氢需求的15%左右（约1.05亿吨）。
 - **钢铁：**到2050年，钢铁行业脱碳的氢需求将达到3500万吨。
 - **电力：**到2050年，用于电网发电的氢气将达到6500万吨。
 - **芳烃生产：**BTX（苯、甲苯和二甲苯）生产的脱碳还处于非常早期阶段，目前正在开发和测试氢制芳烃路线，预计将在2030年达到商业规模后加速发展。到2050年，该行业的清洁氢需求量将达4000万吨。
 - **工业供热：**到2050年，工业供热的氢需求将达到7000万吨，主要用于高温热。
 - **建筑供热：**利用氢为建筑供热需要建立管道输配网络，初期可在现有天然气管网中掺混氢气。到2050年，建筑供热的氢需求可能达到4000万吨。

5、到2050年中国可能会成为清洁氢能的最大市场

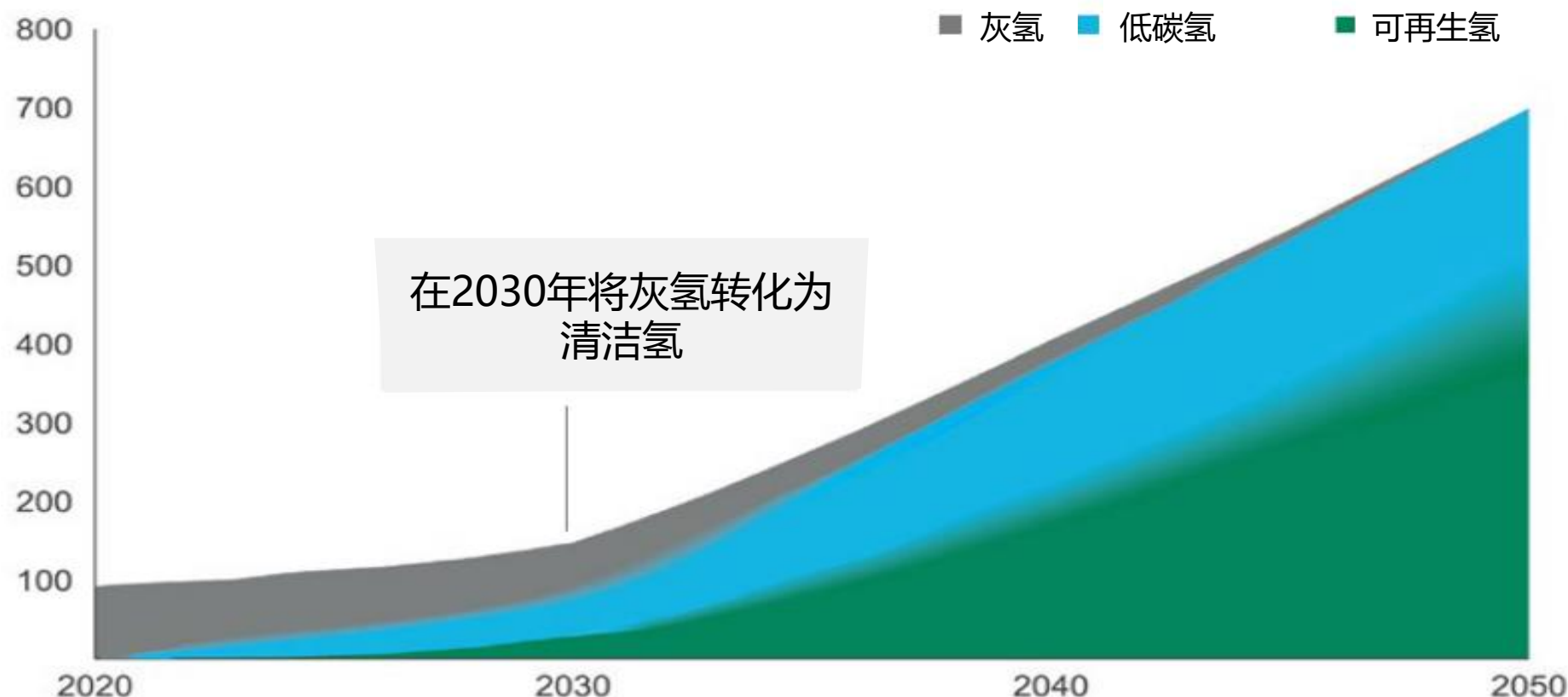
图4 2030年和2050年按区域划分的清洁氢能需求（单位：百万吨/年）



- ◆ 中国、欧洲和北美将成为全球最大的氢能消费市场，中国将成为氢能最大市场，到2050年氢需求约为2亿吨；欧洲和北美紧随其后，均为9500万吨；日本和韩国约需3500万吨。
- ◆ 澳大利亚、拉丁美洲和中东可能会成为主要的氢出口国。

6、清洁供应对于氢能成为重要脱碳载体至关重要

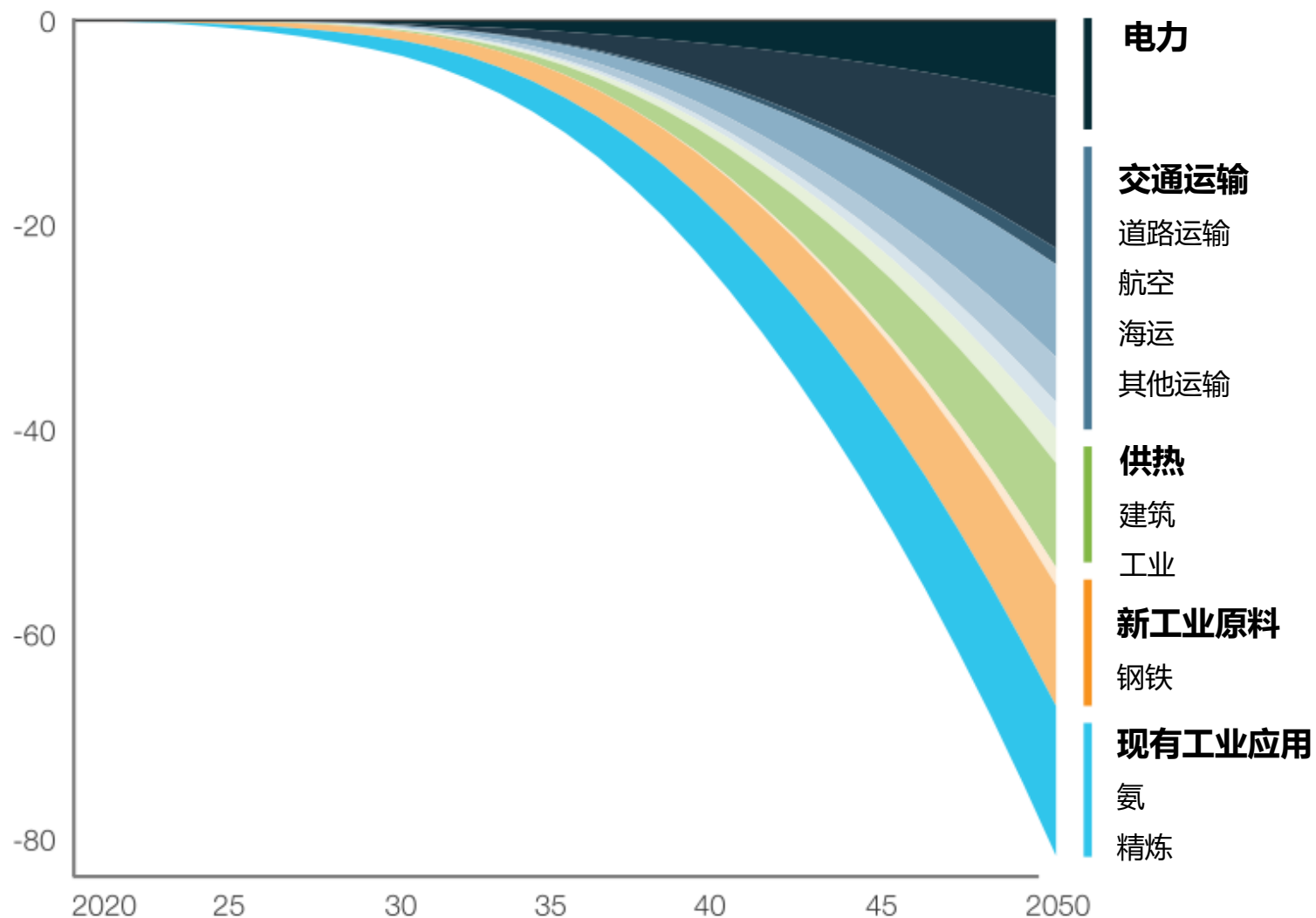
图5 按生产方式划分的氢能供应情况 (单位: 百万吨/年)



- ◆ 要发挥氢作为脱碳载体的作用，需要大幅扩大清洁氢供应，以实现净零目标。预计需要6.9亿吨低碳氢和可再生氢，才能满足到2050年6.6亿吨的清洁氢需求。
- ◆ 2040年-2050年，可再生氢将占氢产能的最大份额。到2050年，低碳氢将占氢能供应量的20%-40%，可再生氢将占60%-80%。

7、到2050年清洁氢能将发挥显著的减排潜力

图6 2020-2050年氢能将贡献的累计碳减排量 (10亿吨)



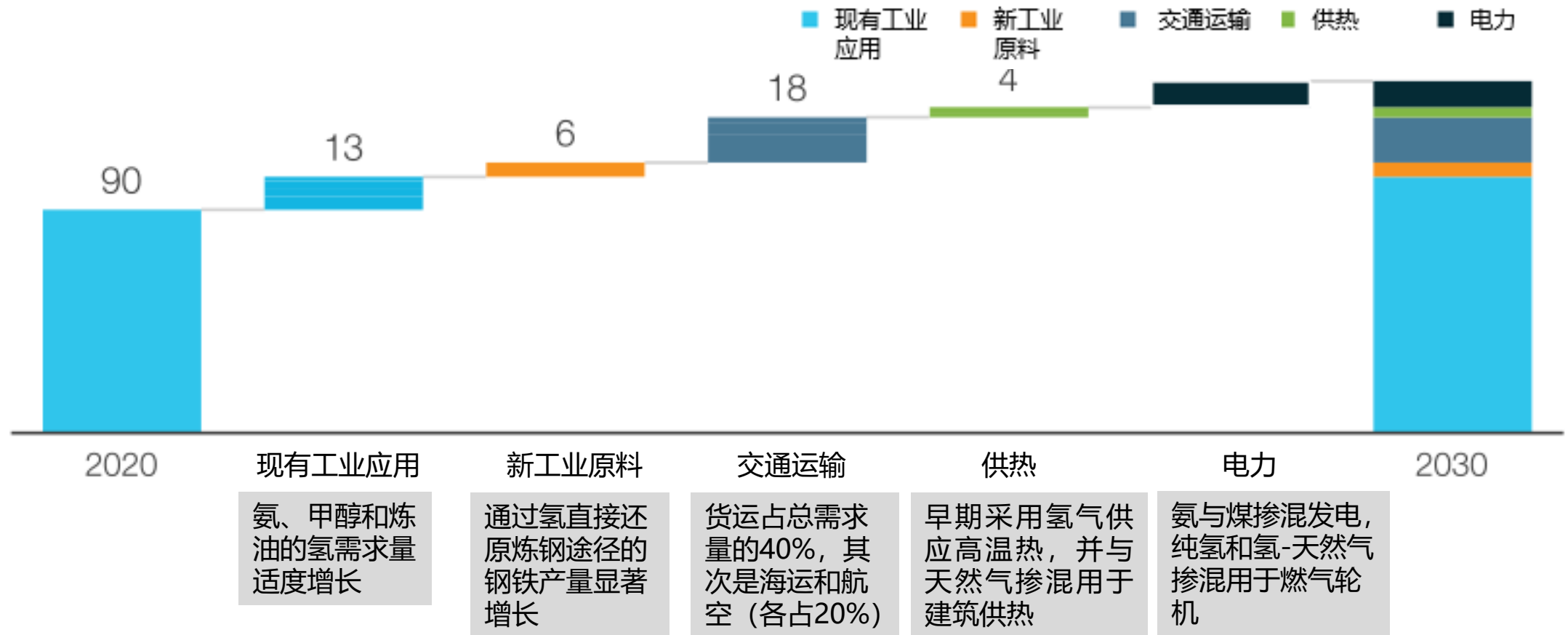
- ◆ 2020-2050年，氢能可以累计减少80亿吨的二氧化碳排放，约占将全球变暖限制在1.5-1.8°C所需减排量的约11%。
- ◆ 到2050年，清洁氢将减排70亿吨CO₂/年。
- ◆ 工业和交通部门氢能应用将贡献大部分减排量，2050年将达60亿吨CO₂/年，累计减排量为700亿吨。
- ◆ 到2050年，化工和钢铁将占氢能减排量的1/3。



◆ **到2030年扩大氢能规模对于实现长期目标至关重要**

1、到2030年需要供应7500万吨清洁氢以实现2050年净零排放

图7 2020-2030年全球氢能需求增长（单位：百万吨/年）



- ◆ 到2030年，氢需求将达到1.4亿吨，其中7500万吨为清洁氢。
- ◆ 现有工业应用的清洁氢需求最多（1300万吨新增清洁氢和2500万吨灰氢转为绿氢），其次是交通（1800万吨）、电力（1100万吨）和钢铁（600万吨）。

2、欧洲、日本和韩国将是早期的氢需求增长中心

■ 欧洲：

- 欧洲目前是氢能活动最多的地区，占已宣布项目的50%和已宣布投资额的约35%。
- 预计灰氢将在欧洲最快淘汰，到2030年灰氢产能将占欧洲氢能产量的25%。

■ 日本和韩国：

- 氢能在日本和韩国的能源战略中发挥着重要作用，预计2050年两国氢需求将总计达到3500-4000万吨。两国都非常重视从中东和澳大利亚进口清洁氢。
- 电力和交通用氢是两国能源战略的核心支柱，早期计划将氨与煤掺混用于发电，预计两国的燃料电池汽车销量占比最高。

■ 中国：

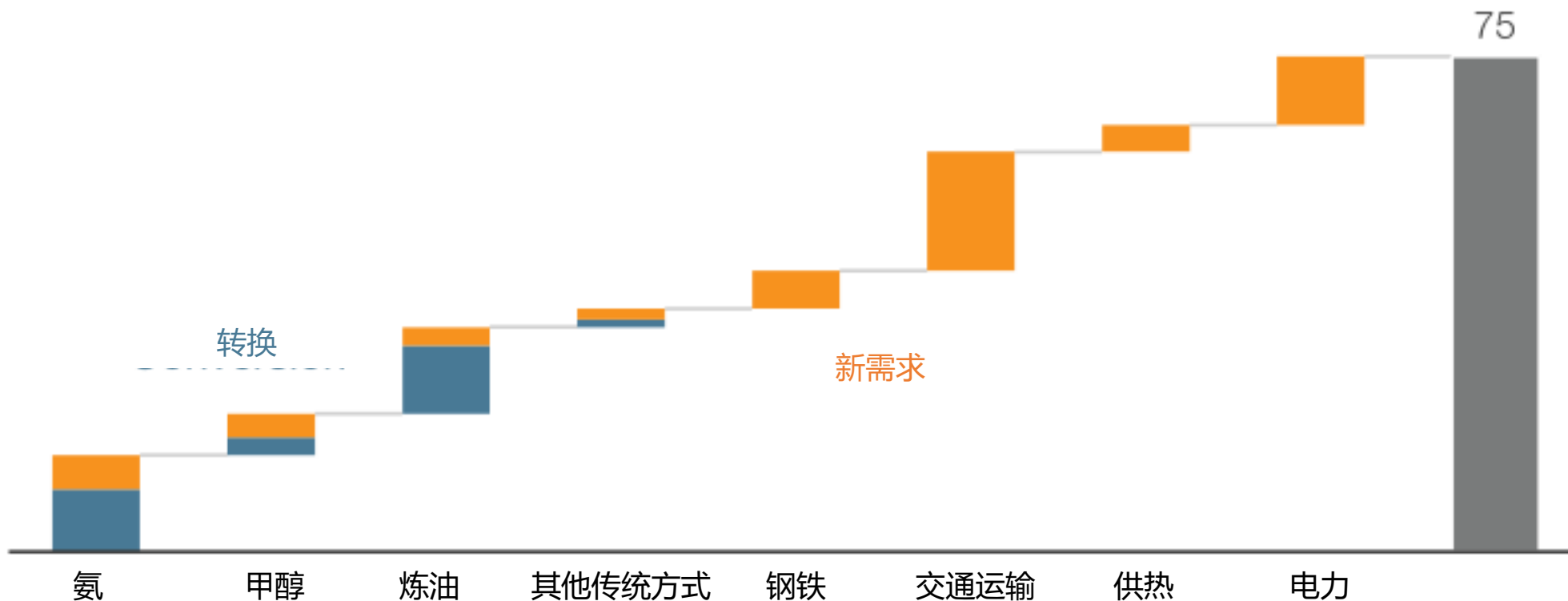
- 中国是目前最大的氢消费国，也是氢燃料电池卡车和公交车领先国，预计2030年氢需求为4000万吨。

■ 北美：

- 北美是当今第二大氢消费地区，到2030年氢需求约为2500万吨。

3、必须扩大低碳氢和可再生氢能供应以支持能源转型

图8 到2030年按应用划分的清洁氢能部署 (单位: 百万吨/年)

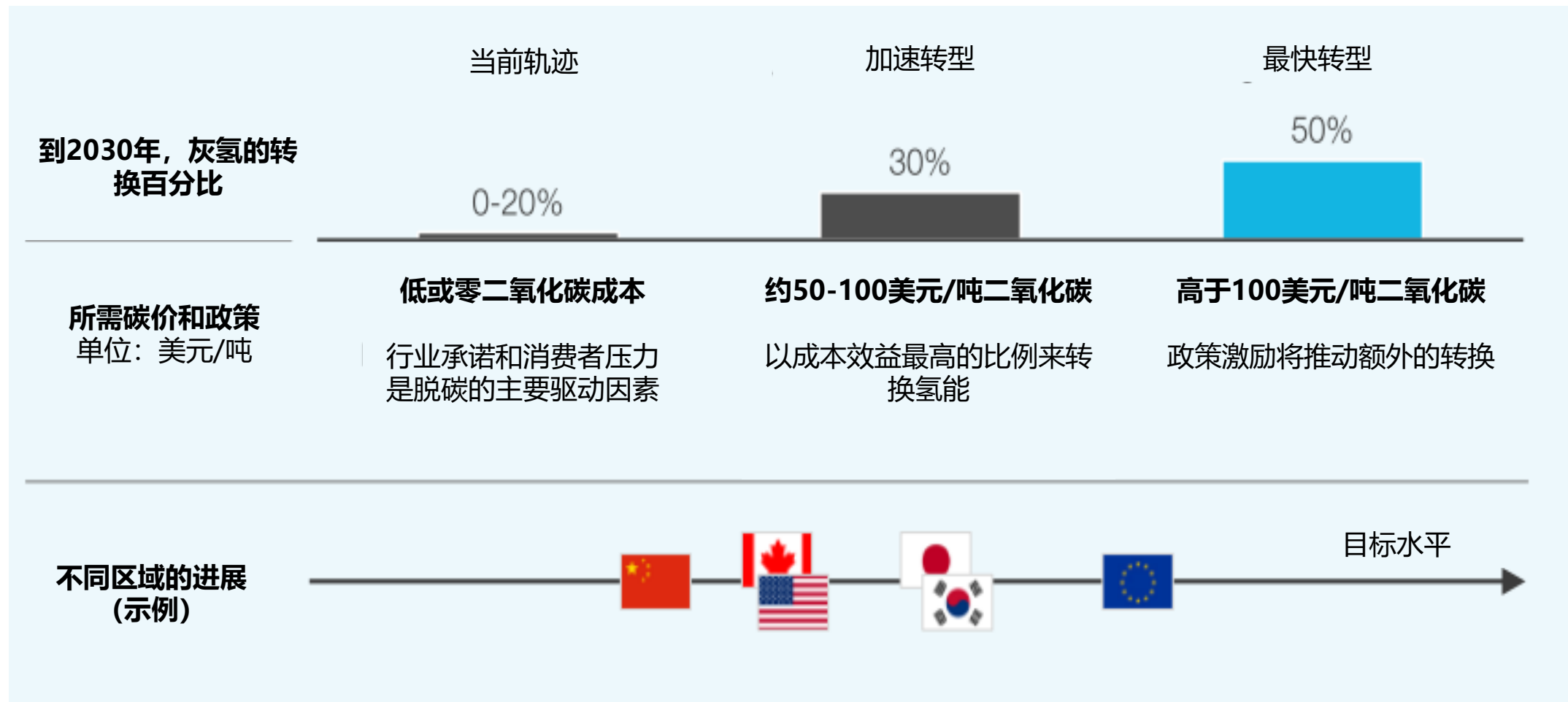


注: 2030年的灰氢转换: 50% (欧盟)、40% (日本、韩国)、30% (北美) 和20% (中国、中东、世界其他地区)

- ◆ 在2030年所需的7500万吨清洁氢供应中, 约2500万吨由灰氢转换而来, 约5000万吨来自新增可再生氢和低碳氢。
- ◆ 为了实现2030年之后目标, 清洁氢产能必须大幅增加, 要逐步淘汰现有灰氢生产。

4、政府应出台相关政策支持逐步淘汰灰氢

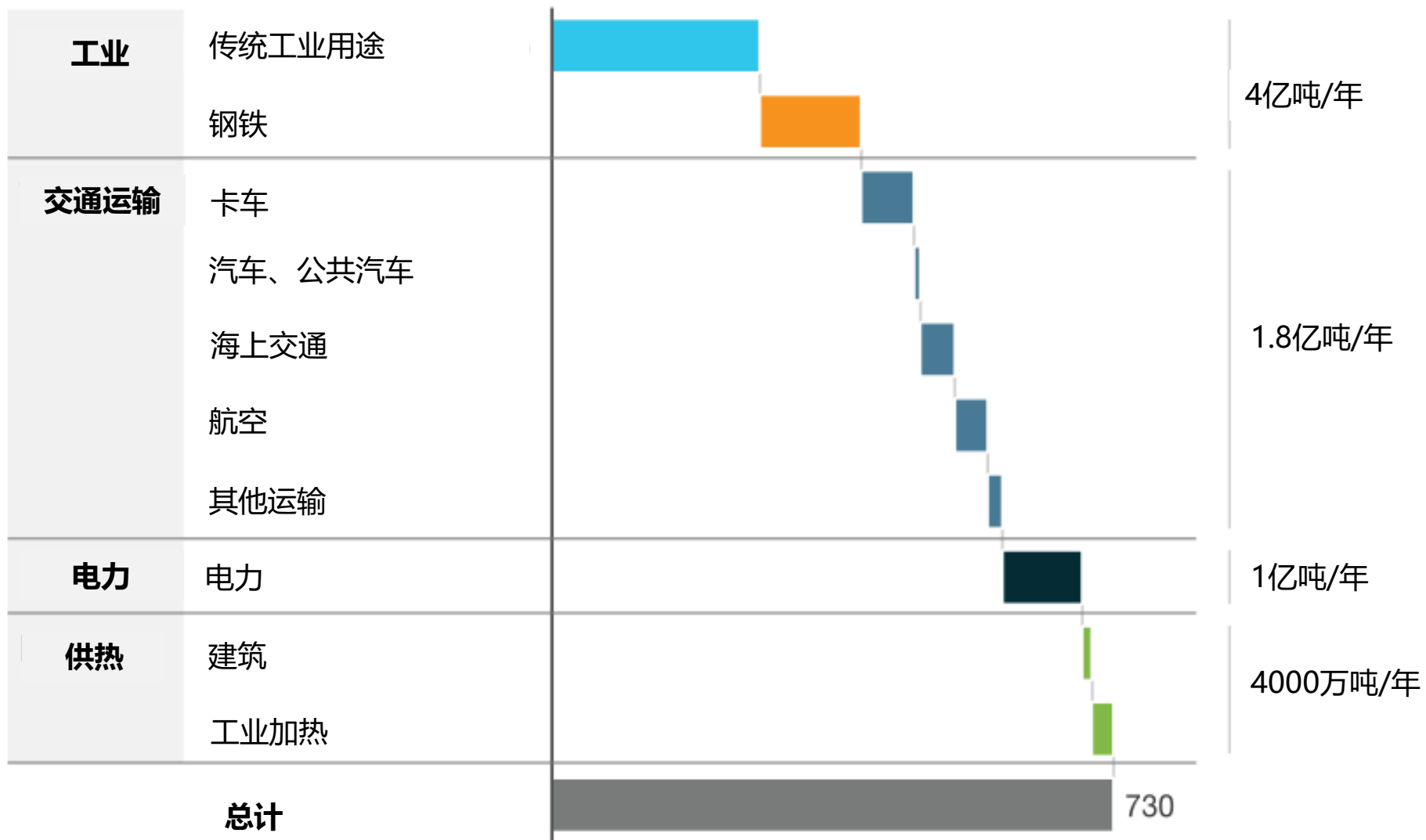
图9 逐步淘汰灰氢示意图



注：能否加速灰氢淘汰在很大程度上取决于碳价，因为大多数CCS改造应用要实现收支平衡，二氧化碳的价格需要在50-100美元/吨。在二氧化碳价格不足以作为政策工具的情况下，为实现净零排放需要出台额外的政策支持灰氢的转换。

5、到2030年清洁氢能具有显著的减排潜力

图10 到2030年按应用划分的氢能减排情况 (单位: 百万吨)



- ◆ 到2030年，清洁氢可减排35亿吨，大部分来自于炼油和制氨，以及道路重型运输。
- ◆ 将灰氢转换为清洁氢是传统工业用途原料脱碳的关键方式，到2030年将减排10亿吨。
- ◆ 到2030年，清洁氢的年减排潜力为7.3亿吨/年，主要来自于工业。

6、清洁氢能必须扩大现有应用并开辟新用途1/3

■ 现有传统原料:

- 合成氨和炼油很可能成为目前清洁氢能的第一个用途，因为其具有相对吸引人的商业案例，而且改变氢供应的复杂程度较低。

■ 钢铁生产:

- 氢是钢铁脱碳唯一可扩张的零碳替代方案。到2030年，氢基炼钢的氢需求将达到600万吨，这将生产约9000万吨/年的“绿色钢铁”，约占2019年全球钢铁产量的5%。
- 中国拥有巨大潜力，目前中国的钢铁需求约占全球的60%。

■ 道路交通:

- 到2030年，道路交通将成为氢能最大的新增终端应用领域之一，其氢需求量将增加1000万吨，这将使交通成为清洁氢的第二大终端应用市场。
- 约60%的道路交通氢需求来自重型卡车，到2030年全球燃料电池重卡销量占比可达11%。

6、清洁氢能必须扩大现有应用并开辟新用途2/3

■ 航运需求:

- 到2030年，航运所需氢基燃料的氢需求将达500万吨。
- 用于交通脱碳的氢可以是压缩氢或液氢，也可以是合成氢基燃料，如氨、甲醇或合成（液化）甲烷。在长途运输中，氢基燃料是唯一可扩张的脱碳替代方案。
- 航运用氢的经济性具有挑战性，碳价必须高于100美元/吨，才能使氢基燃料与重油或船用柴油竞争。

■ 航空:

- 到2030年，航空氢基燃料将贡献约400万吨清洁氢需求。考虑到替代燃料的范围有限，航空部门的脱碳具有挑战性。
- 航空旅行可以用液氢或高压气氢实现脱碳，也可以用清洁氢和生物基CO₂或直接从空气中捕集的CO₂合成煤油脱碳。

6、清洁氢能必须扩大现有应用并开辟新用途3/3

■ 电力:

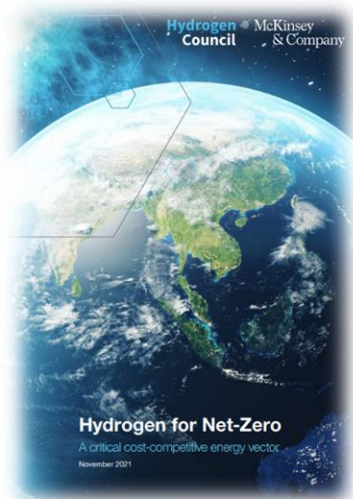
- 到2030年，电力部门的氢能需求将达到110亿吨左右，主要由两个子领域驱动：燃煤电厂的混氢燃烧和天然气燃气轮机的混氢燃烧。
- 日本和韩国的燃煤电厂通过混氢燃烧向纯氢电厂过渡，以实现电力脱碳；欧洲和美国等地向现有燃气轮机中掺混20%-30%的氢，以降低5%-10%的碳排放。还有一小部分需求来自于燃料电池备用电源和远程发电机。

■ 工业供热:

- 氢作为工业供热燃料更适用于400摄氏度以上的高温热，如水泥生产、铝重熔或其他金属加工。
- 到2030年，在高温供热过程中采用氢的比例约为1%，将导致约200万吨的氢需求，而在中低温供热则接近于零。

■ 建筑供热:

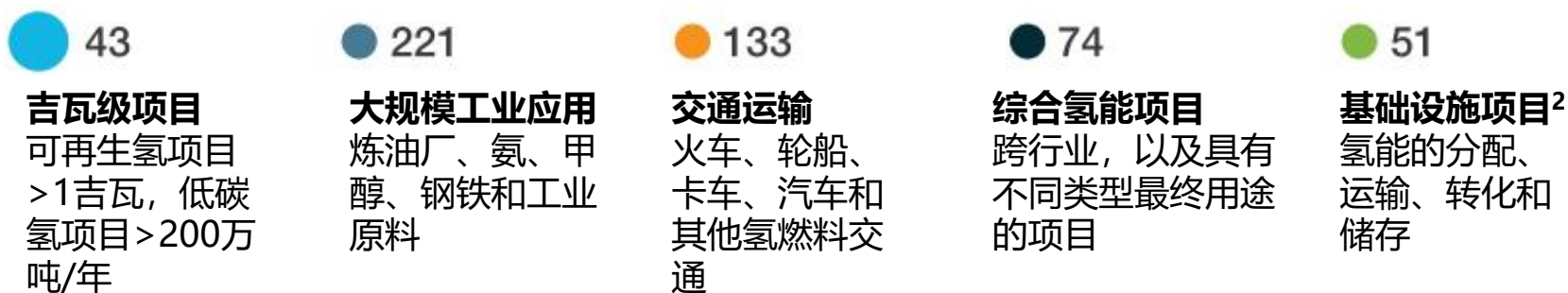
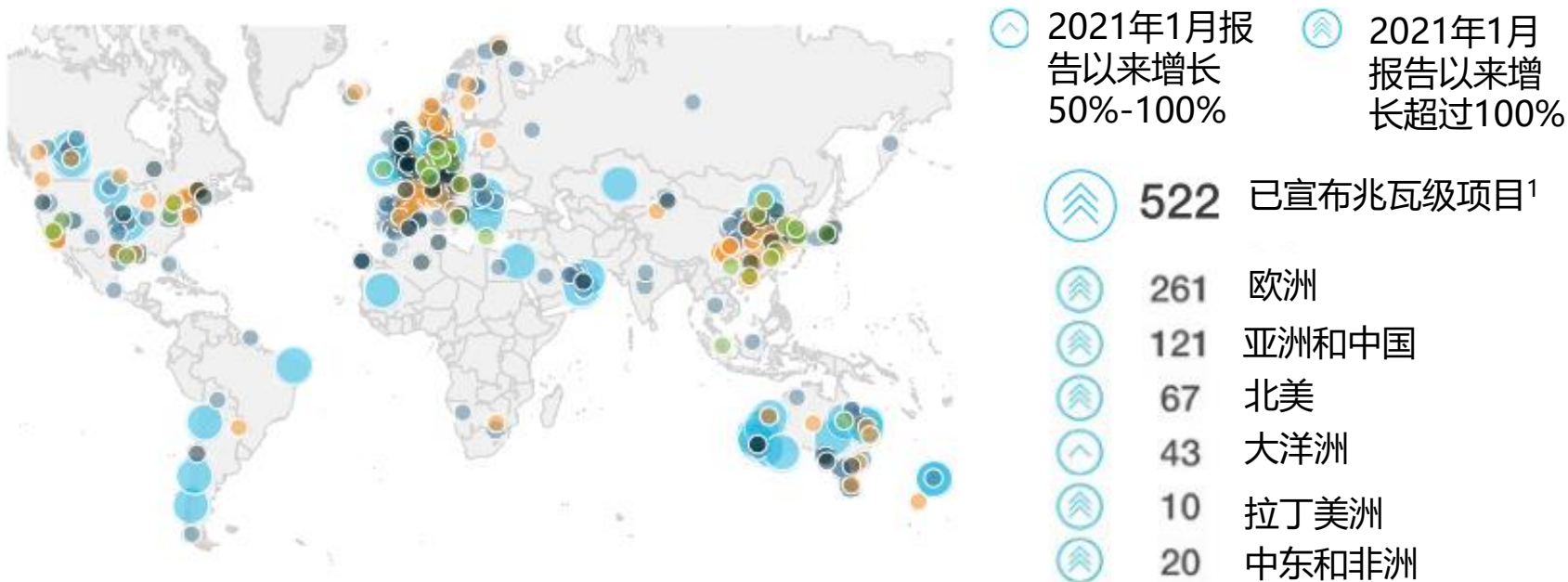
- 与钢铁、氨和重型卡车脱碳等其他领域相比，氢在建筑供热方面的作用更不确定。
- 到2030年，建筑供热的清洁氢需求将达到200万吨左右。



◆ 氢能目前势头强劲但投资缺口巨大

1、氢能项目的势头正在逐渐增强

图11 已宣布氢能项目情况

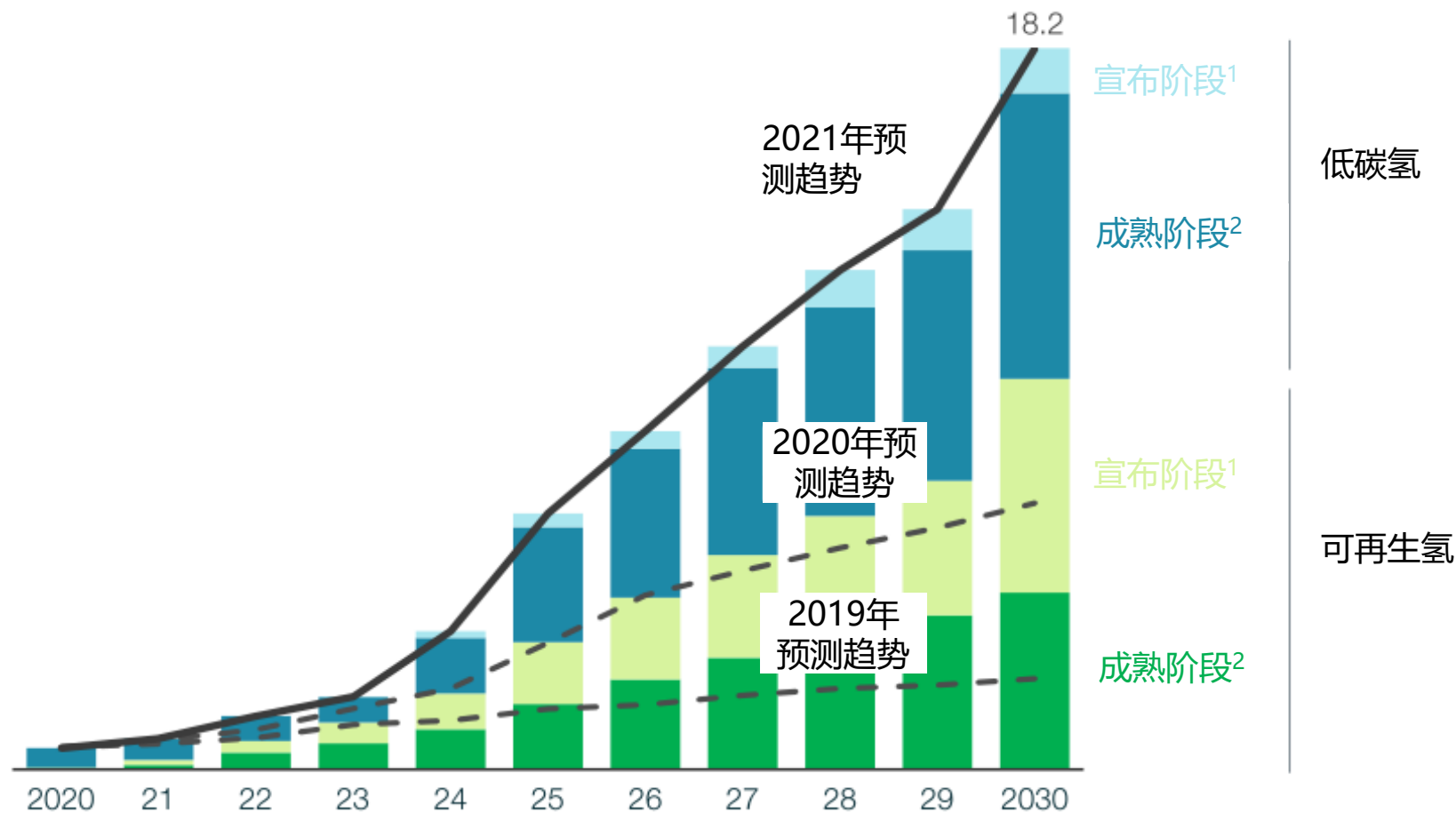


- ◆ 氢能项目投资势头强劲，全球已宣布520个大型项目，自2021年1月报告以来增长了100%。
- ◆ 约70%的项目宣布在2030年之前全部或部分投产。
- ◆ 吉瓦级项目数量在过去一年翻了一番，从17个增至43个。
- ◆ 制氢项目规模不断扩大，已有9个超过10吉瓦的可再生氢项目和16个超过20万吨/年的低碳氢项目。
- ◆ 已宣布项目中，欧洲占比最大，其次是亚洲和北美。

注：1、重点关注大型项目，包括2030年后投运项目，不包括1000余个小型项目和项目建议书
2、其中包括中国9个未公布最终用途的制氢项目

2、氢能项目总产能正在逐步上升

图12 按制氢方式划分的已宣布清洁氢项目产能情况
(单位: 百万吨)



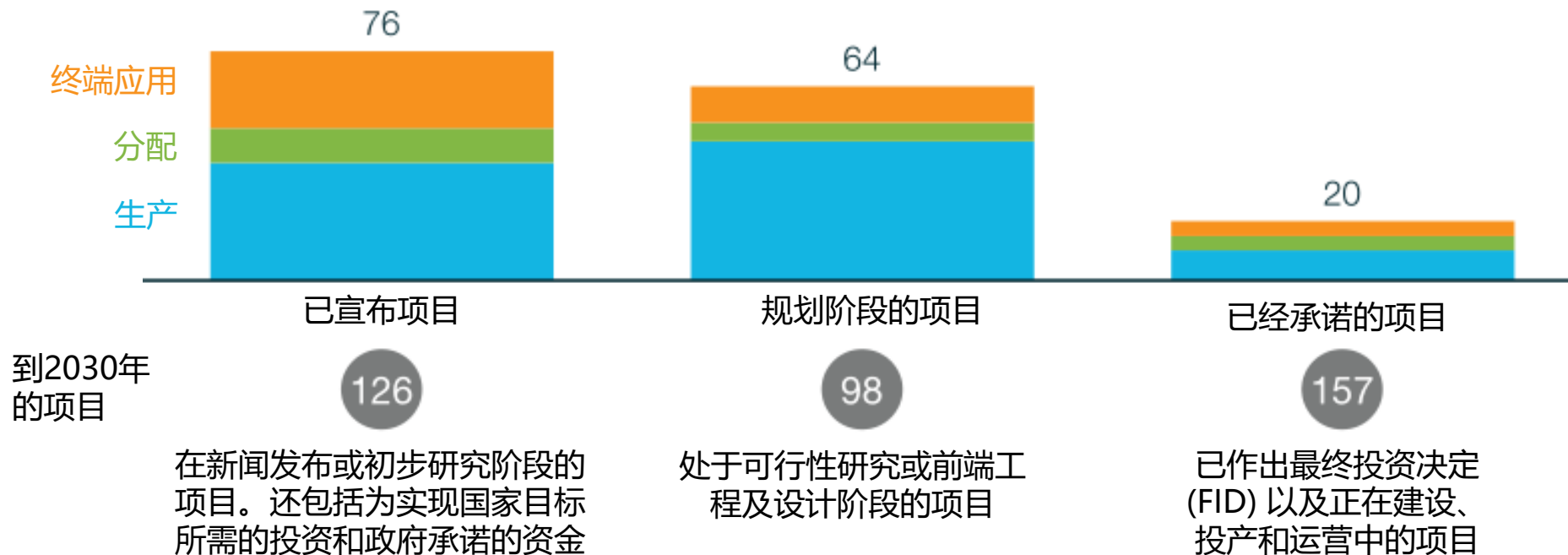
- ◆ 从目前已宣布项目来看，到2030年低碳氢和可再生氢产能将超过1800万吨，是2019年预测值的8倍；2030年以后将部署近1300万吨清洁氢产能。
- ◆ 可再生氢占已宣布总产能的一半。
- ◆ 2020年以来，全球已宣布约40吉瓦的电解槽产能，比2019年宣布的容量增长了5倍。

注：1、初步研究或新闻发布阶段

2、可行性研究、前端工程设计阶段、最终投资决策已做出，正在建设、投产或运行

4、已宣布的资本投资正在增加

图13 氢能项目到2030年直接投资情况 (单位: 十亿美元)

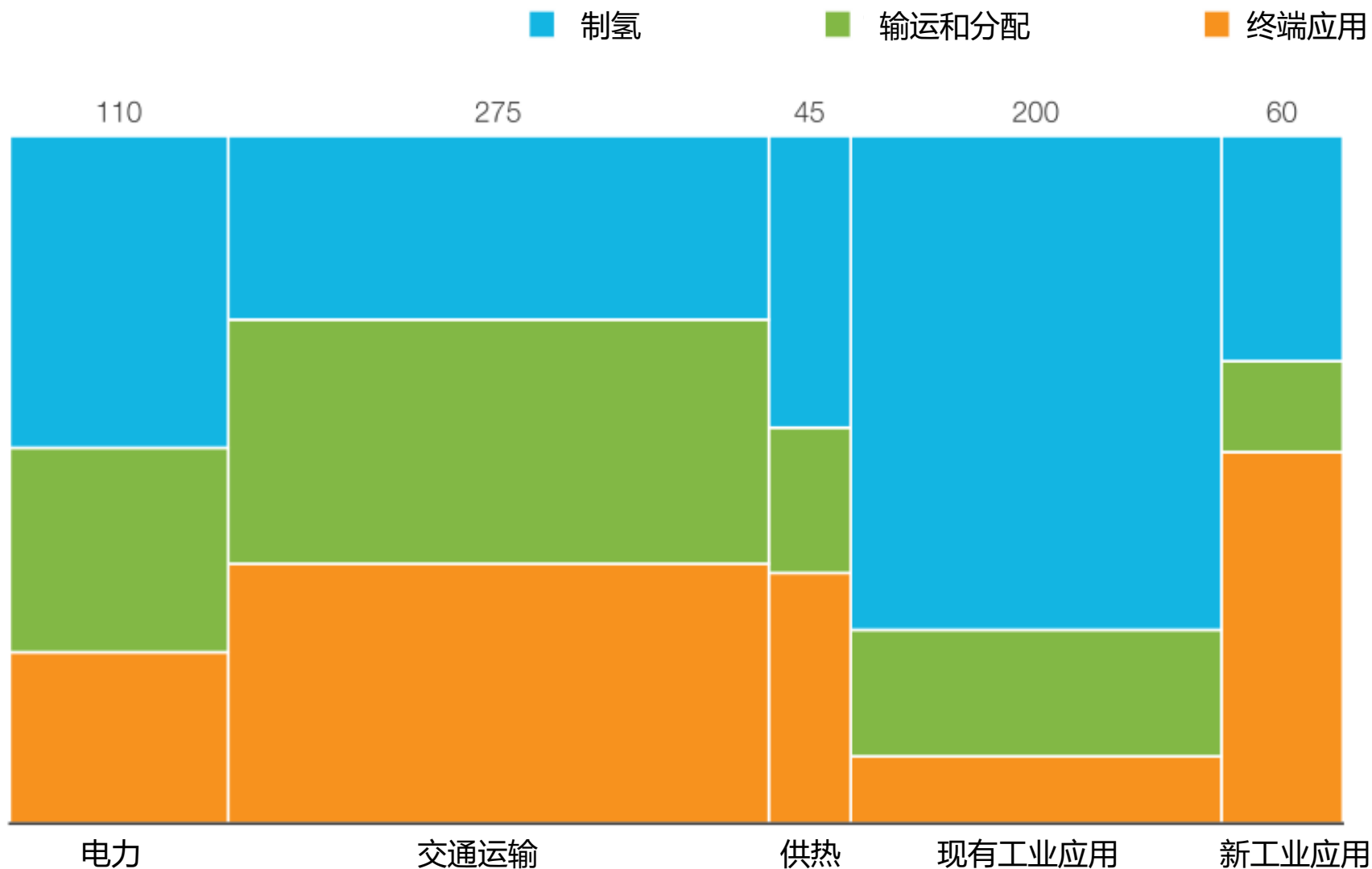


注: 1、可行性研究或工程研究阶段
2、最终投资决定已经做出, 已在建设或运营中

- ◆ 氢能项目数量增长意味着到2030年氢能直接投资额将达到1600亿美元。
- ◆ 大多数投资于可再生氢和低碳氢, 约为950亿美元; 其次是终端应用 (约450亿美元) 以及运输、分配和存储 (约200亿美元)。交通和钢铁项目占氢能终端应用项目投资的75%以上。
- ◆ 清洁氢供应项目最为成熟, 规划或更成熟阶段项目分别占低碳氢和可再生氢项目的80%和45%。

5、确保实现净零目标需要加大氢能投资力度1/2

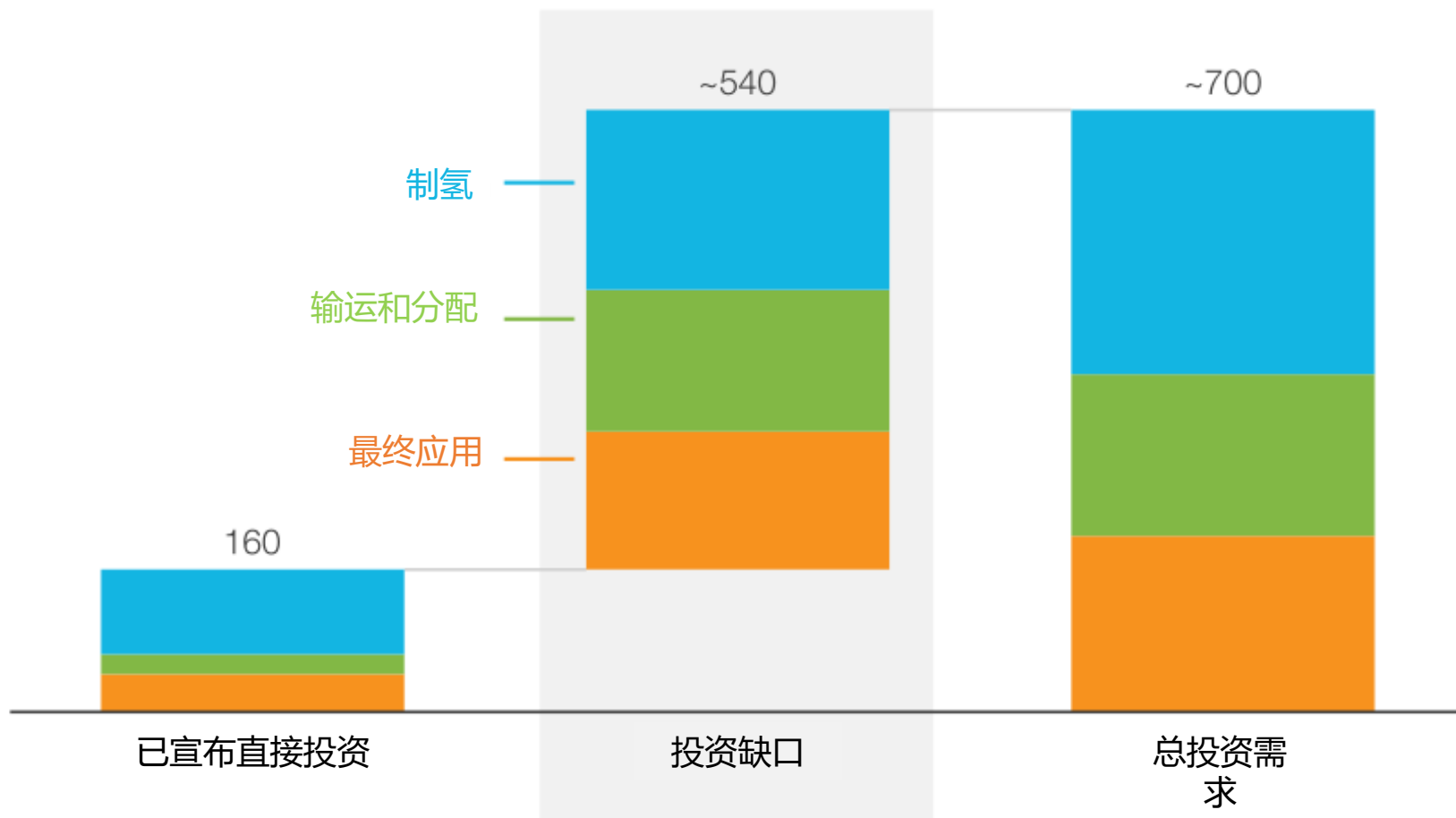
图14 到2030年氢能价值链所需投资（单位：十亿美元）



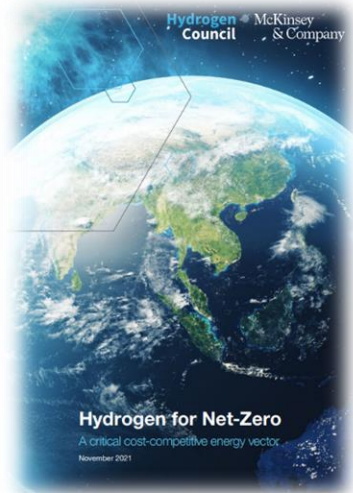
- ◆ 尽管氢能项目势头强劲，实现2050年净零排放目标需要到2030年实现7500万吨的清洁氢供应。
- ◆ 到2030年实现这一目标需要在氢能价值链的总投资达到7000亿美元。
- ◆ 氢能跨区域运输、管道、本地分配、转换和加氢基础设施需要2000亿美元投资，其中一半以上用于加氢站。
- ◆ 终端应用需投资2000亿美元以满足新设备和工厂需求。

5、确保实现净零目标需要加大氢能投资力度2/2

图15 到2030年氢能价值链的投资缺口 (单位: 十亿美元)



- ◆ 在整个氢能价值链仍存在巨大的投资缺口。
- ◆ 到2030年, 实现净零目标还需增加5400亿美元的投资, 以弥补已宣布项目的1600亿美元与所需7000亿美元投资之间的差距。
- ◆ 制氢项目投资缺口约为2100亿美元, 终端应用缺口为1600亿美元, 运输和分配环节缺口为1700亿美元。



◆ 政策建议

1、扩大氢能规模是实现净零目标的必要条件

图16 扩大氢能规模的驱动因素

必须扩大氢能开发规模



政府和私营部门需要发挥重要作用



政府

通过激励和实施机制来推动转型

支持氢能克服最初的经济障碍，扩大规模，具有真正的竞争力



私营部门

愿意为改变和承担风险而投资

在不同行业和地区设立共同的标准和目标

- ◆ 氢能是解决脱碳问题的核心，是唯一可扩展且能够实现低成本脱碳的载体。
- ◆ 要实现到2050年净零排放目标，必须在未来十年采取积极行动。
- ◆ 扩大氢能规模有三个重要杠杆：刺激不同部门对清洁氢的需求；发展基础设施以确保最终用户的可获得性；通过加速清洁氢部署规模来增强成本竞争力。

2、政府应构建正确的监管框架并在多方面采取行动

■ 创造需求：

- 终端应用需求将拉动整个系统的投资。必须建立一个公平的竞争环境，实现不同终端应用部门的协调转型。企业可以通过实现全行业的转型承诺来发挥作用，而政府必须通过正确的激励机制来发挥作用。

■ 开发基础设施：

- 需要前期投资来开发大规模基础设施，以实现氢能的分配。这种基础设施最初可能受到利用不足的影响，但使氢能的广泛应用成为可能，并通过利用之前未开发的可再生能源，帮助降低氢能的成本。基础设施行业也需要全球协调，以便为能源转型提供关键投资。

■ 扩大生产规模：

- 只有实现低成本的清洁氢能供应，才能刺激大众市场需求。吉瓦级规模制氢越早获得投资，氢能就越早达到成本竞争力。
- 政府和监管机构必须建立正确、可预测的政策框架，以鼓励转型并支持克服最初的经济障碍；私营部门必须承诺投资清洁氢经济，并接受一定程度的风险。



《洁净能源重大信息专报》

编辑出版：中国科学院武汉文献情报中心
联系地址：武汉市武昌区小洪山西25号（430071）
联系人：陈伟 郭楷模 岳芳 汤匀
联系电话：（027）87199180
电子邮件：energy@whlib.ac.cn