

“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

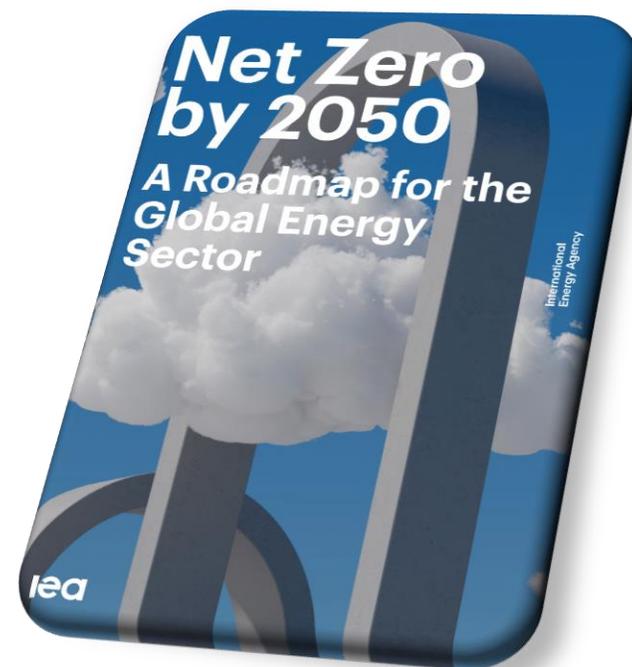


洁净能源重大信息专报

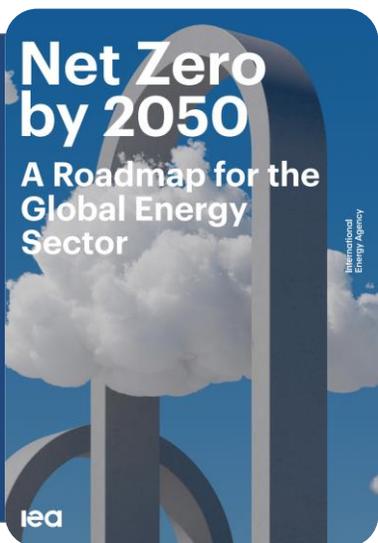
2021年第03期（总第09期）

本期看点

- IEA 《能源部门实现2050净零排放路线图》
报告要点解读



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

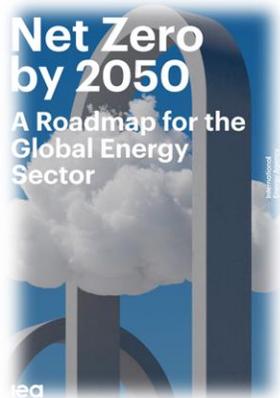


IEA 《能源部门实现2050净零排放路线图》 报告要点解读

国际能源署 (IEA) 2021年5月18日发布

目 录

- ◆ 报告关键要点概览
- ◆ 能源部门净零排放承诺
- ◆ 2050年实现净零排放的全球实施路径
- ◆ 2050年实现净零排放的各主要部门实施路径
- ◆ 实现净零排放的广泛意义



◆ 报告关键要点概览

1、实现2050年净零排放需要达成不同时间节点的里程碑

到2030年

全球每年的清洁能源投资将需要增加两倍以上，达到约4万亿美元；加大清洁能源研发创新力度。

到2035年

全面禁止销售燃油汽车。

到2040年

逐步淘汰化石燃料发电厂，实现电力系统净零排放，将电力发展成为全球能源消费主要形式（电力消耗全球50%的能源）。

到2045年

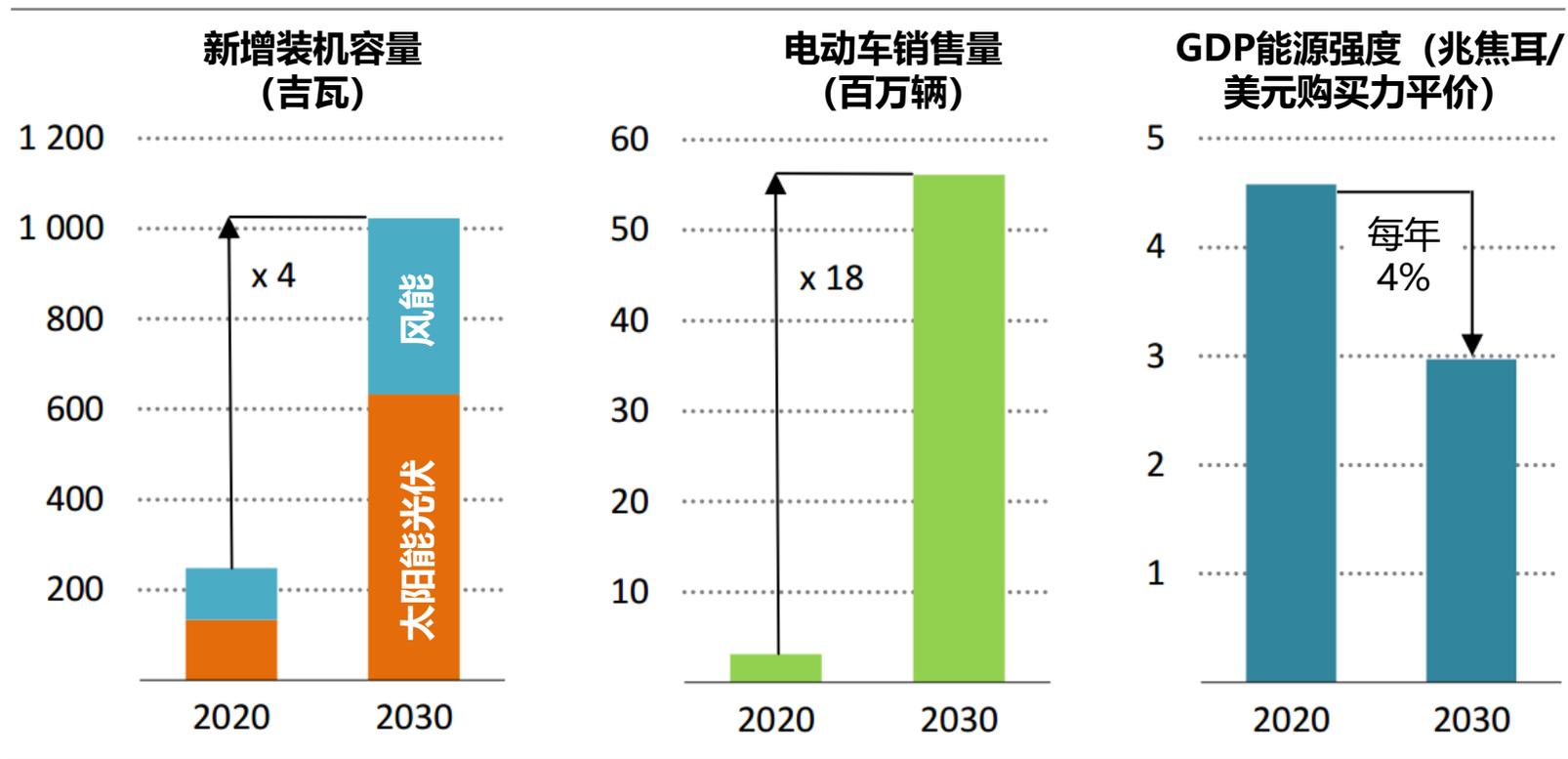
道路上的绝大多数汽车将依靠电力或燃料电池运行，飞机将主要依靠先进的生物燃料和合成燃料，全世界数百家工厂将使用碳捕集技术或氢能。

到2050年

以可再生能源为主体的清洁能源系统正式形成，其中太阳能将是最主要的可再生能源资源。

2、实现2050年净零排放有赖于2030年前清洁能源技术的发展步伐

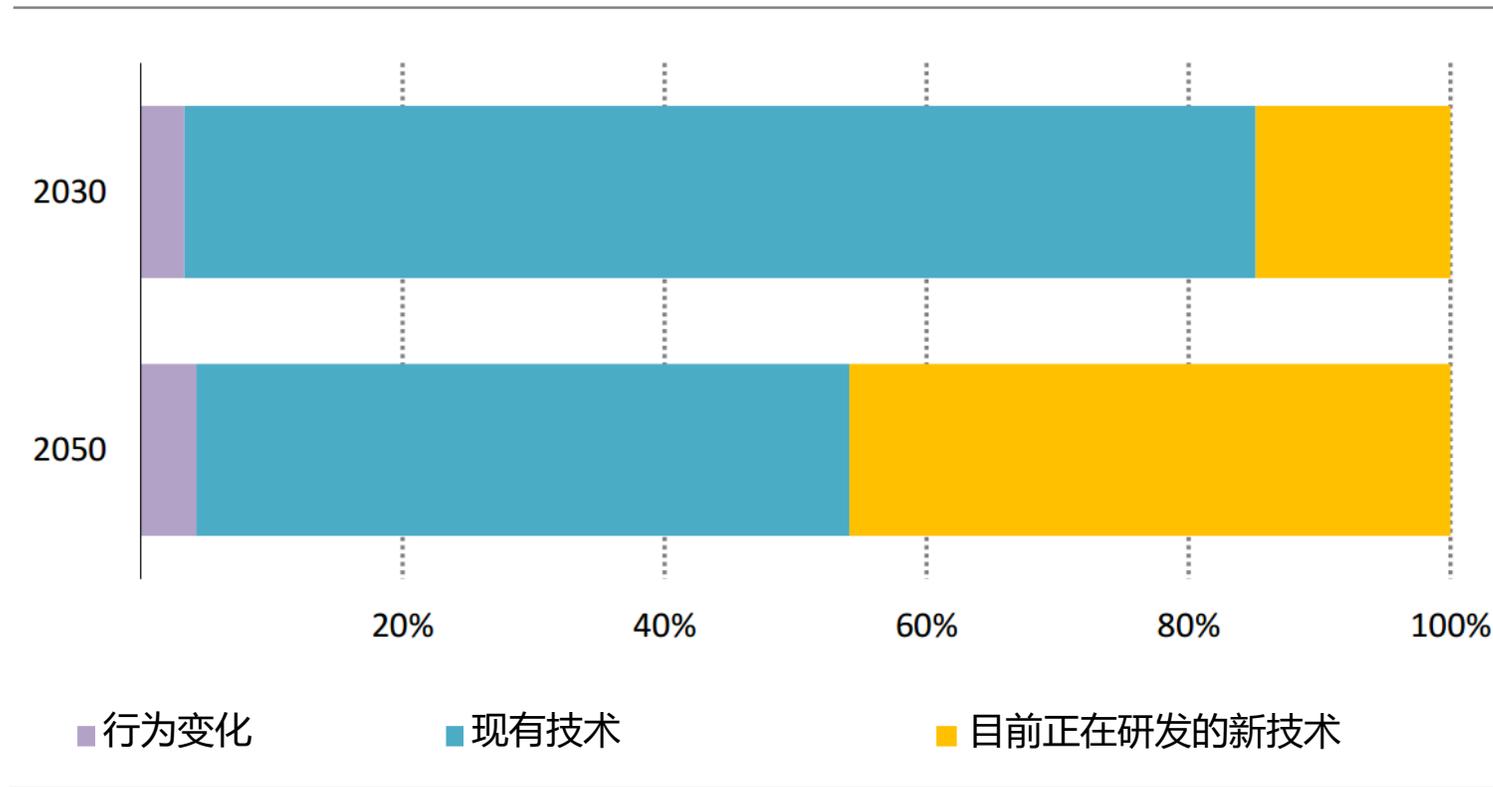
图1 到2030年关键清洁能源技术相比2020年的发展变化



- ◆ 在未来十年里迅速扩大太阳能和风能的部署规模，到2030年每年需要新增630吉瓦太阳能光伏和390吉瓦风能，是2020年创纪录水平的4倍；到2030年，电动汽车占全球汽车销量的比例要从5%上升到60%以上；2030年能源强度的年均改善速度达到4%。
- ◆ 优先行动：让清洁能源技术在21世纪20年代实现大规模扩张。

3、实现2050年净零排放要求清洁能源技术创新取得质的飞跃

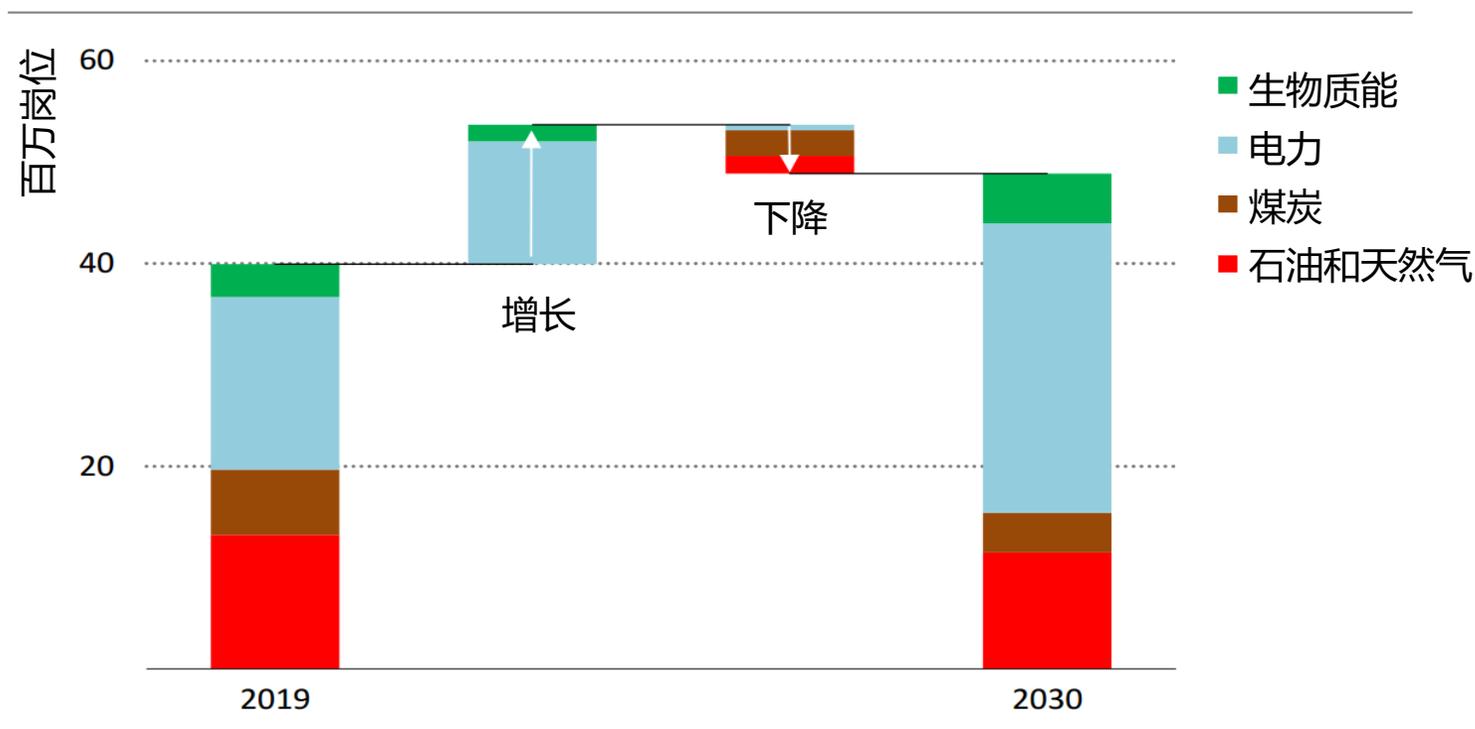
图2 相比2020年本路线图净零排放路径在2030年和2050年可以实现的年度减排量



- ◆ 进一步快速部署现有技术，并广泛使用尚未上市的技术。到2030年全球大部分减排可以通过现有技术实现。但到2050年，几乎一半的减排将来自目前仍处于示范或原型开发阶段的新技术。在重工业和长途运输业，目前仍在开发的技术所带来的减排贡献甚至更高，包括先进电池、氢电解槽和空气中直接CO₂捕集和封存技术。
- ◆ **优先行动：通过技术创新为下一个阶段的转型做好准备。**

4、实现2050年净零排放很大程度上取决于人的因素

图3 相比2019年本路线图净零排放路径能源供应端就业岗位数量变化（单位：百万岗位）



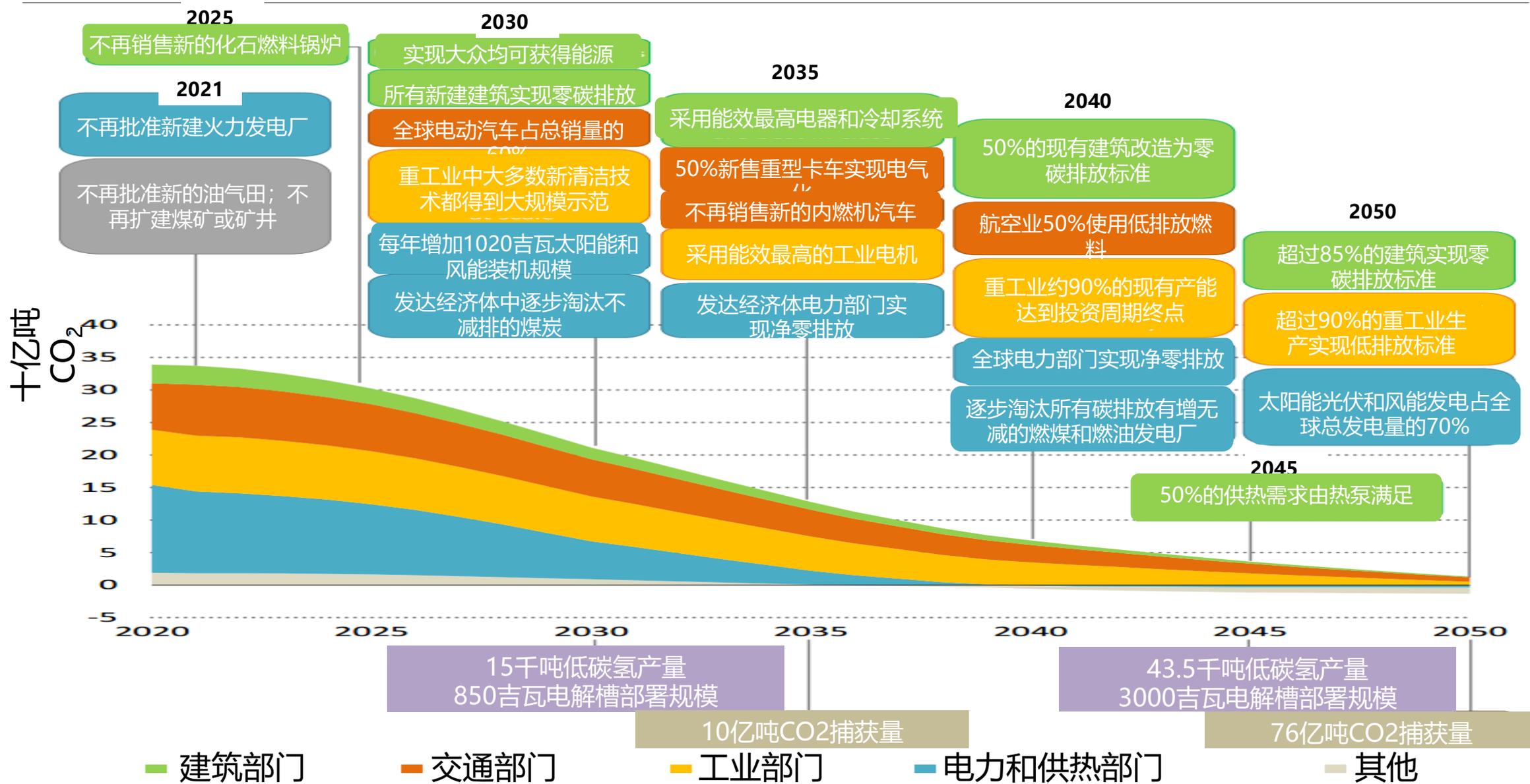
- ◆ 向净零排放能源系统转型将带来大量新的就业机会，由于清洁能源领域的新项目和投资，到2030年预计将创造1400万个就业机会。在更高效的电器制造、电动汽车和燃料电池汽车制造、建筑改造和节能建筑建造等产业将需要额外的1600万就业人口。与此同时，在转型过程中，预计大约有500万旧工作岗位将消失，这些工作岗位大多与化石燃料产业相关。
- ◆ **优先行动：清洁能源产业就业人口会强劲增长，但需要解决旧岗位流失问题。**

5、打造一个以可再生能源为主体的能源部门

- ◆ 未来的能源部门主要基于**可再生能源**：2050年，能源供应总量的2/3将来自可再生能源，其中**太阳能**将成为最主要的能源资源；到2050年，**化石燃料**占能源供应总量的比例将由当前的4/5下降至略高于1/5；到2050年，**电力**几乎占能源消耗总量的50%，其中近90%的发电来自可再生能源，风能、太阳能光伏发电量合计占比接近70%，其他大部分来自核能；到2050年，**工业部门**将实现减排95%的目标；到2050年，**全球汽车**将使用动力电池或燃料电池；**建筑部门**，新的化石燃料锅炉禁令需从2025年开始在全球范围内实施。
- ◆ **优先行动**：设定近期的转型里程碑以确保长期目标的实现。

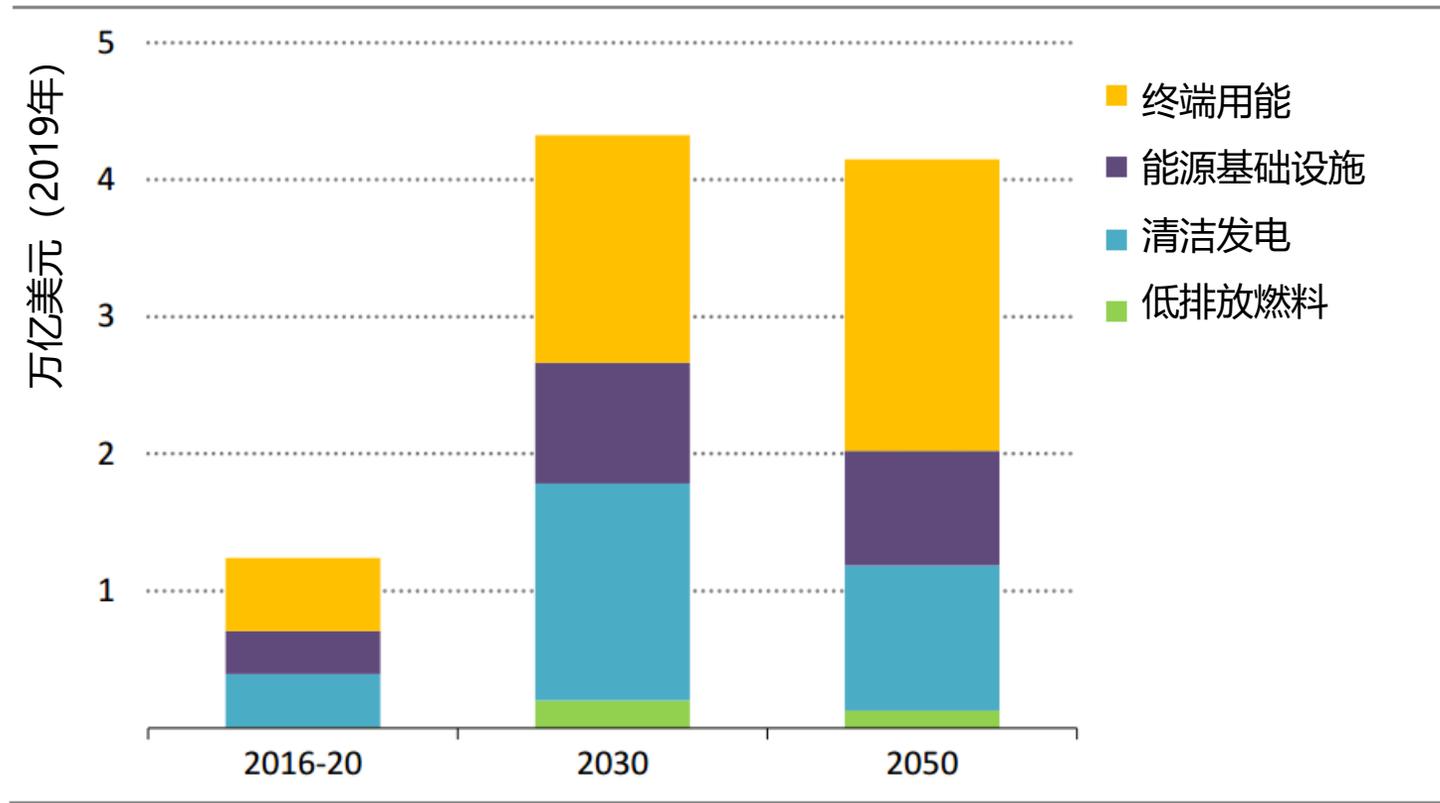
5、打造一个以可再生能源为主体的能源部门

图4 路线图净零排放路径中主要的里程碑减排量 (单位: 十亿吨CO₂)



6、本路线图提供的实现净零排放路径不需要投资新的化石燃料

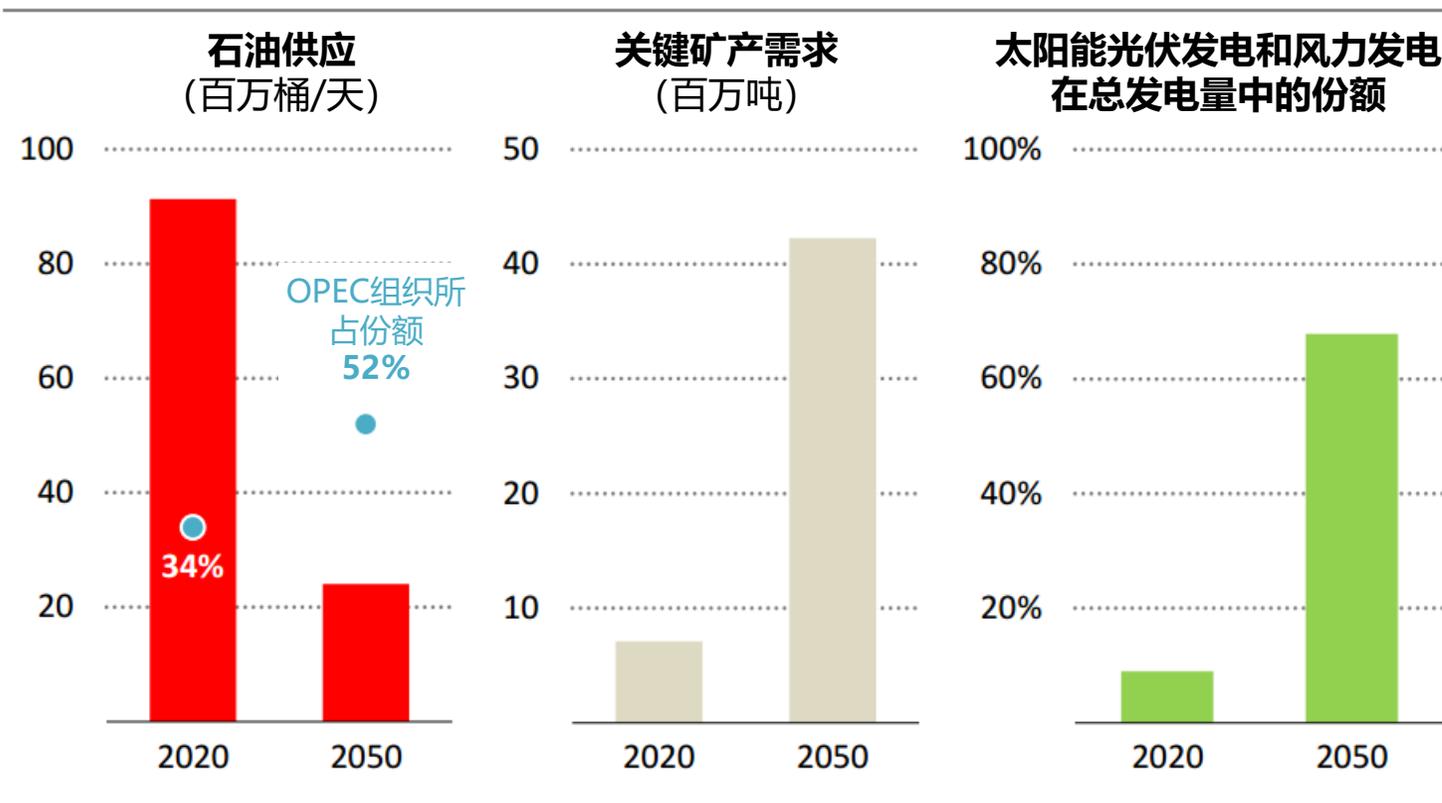
图5 本路线图净零排放路径中2030年和2050年清洁能源投资增长（单位：万亿美元）



- ◆ 清洁发电、能源基础设施和终端用能部门是增加投资的关键领域，它们对于能源系统转型至关重要。到2030年，年度输配电网投资额将从今天的2600亿美元扩大到8200亿美元；公共充电桩每年需要投资近900亿美元；电动汽车的电池年产量将从今天的160吉瓦时增加到6600吉瓦时。
- ◆ **优先行动：清洁能源投资需要实现历史性的增长。**

7、新的能源安全问题开始显现，但旧问题依然存在

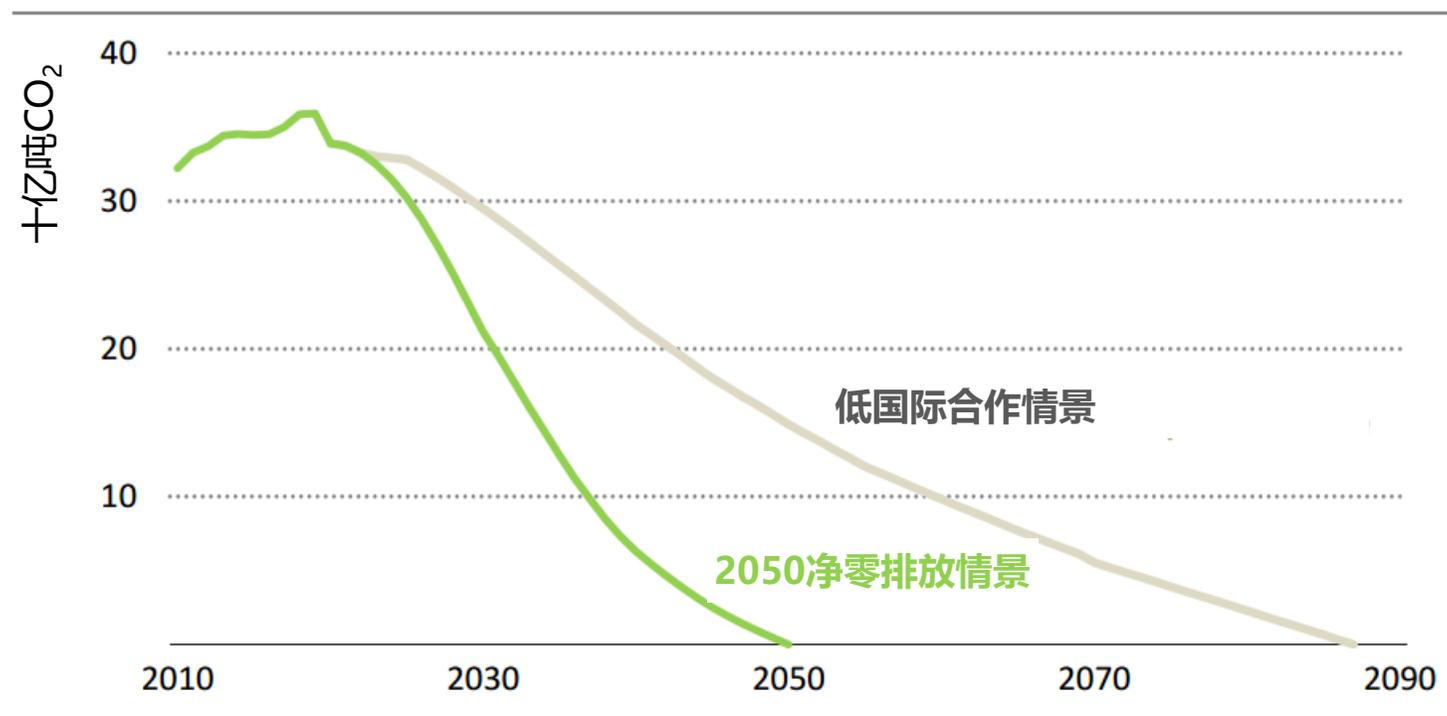
图6 相比2020年本路线图净零排放路径到2050年能源安全的相关问题



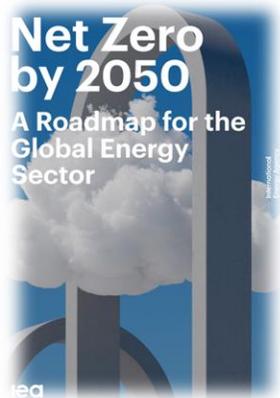
- ◆ 石油方面，欧佩克（OPEC）在全球石油供应中的份额将从近年来的37%左右增加到2050年的52%，比石油市场历史上任何时期都要高；未来十年（2020-2030年），铜、钴、锰和各种稀土金属等关键矿产资源的总市场规模将增长近7倍；与目前相比，所有行业的快速电气化使电力在全球能源安全问题中作用更加重要，到2050年，灵活性电力装机容量将翻两番，而同期化石燃料的装机将显著下降。
- ◆ **优先行动：现在就需开始采取行动应对新兴的能源安全问题。**

8、国际合作对实现2050净零排放目标意义重大

图7 路线图低国际合作情景将到2090年才能实现净零排放（单位：十亿吨CO₂）



- ◆ 制定具有成本效益的国家和地区净零排放路线图需要政府各部门之间的通力合作，仅靠能源或环境部门无法实施到2050年实现净零排放所需的政策行动。各国政府必须以有效和互利的方式共同努力，开展跨国的协调合作。加快创新，制定国际标准，协调推广清洁能源技术。如果没有更大的国际合作，到2050年全球CO₂排放量将不会实现净零。
- ◆ **优先行动：将国际合作推向新的高度。**



◆ 能源部门净零排放承诺

1、承诺实现净零排放的国家占全球碳排放和GDP总量的70%

图8 提交国家自主贡献与承诺净零排放的国家数量

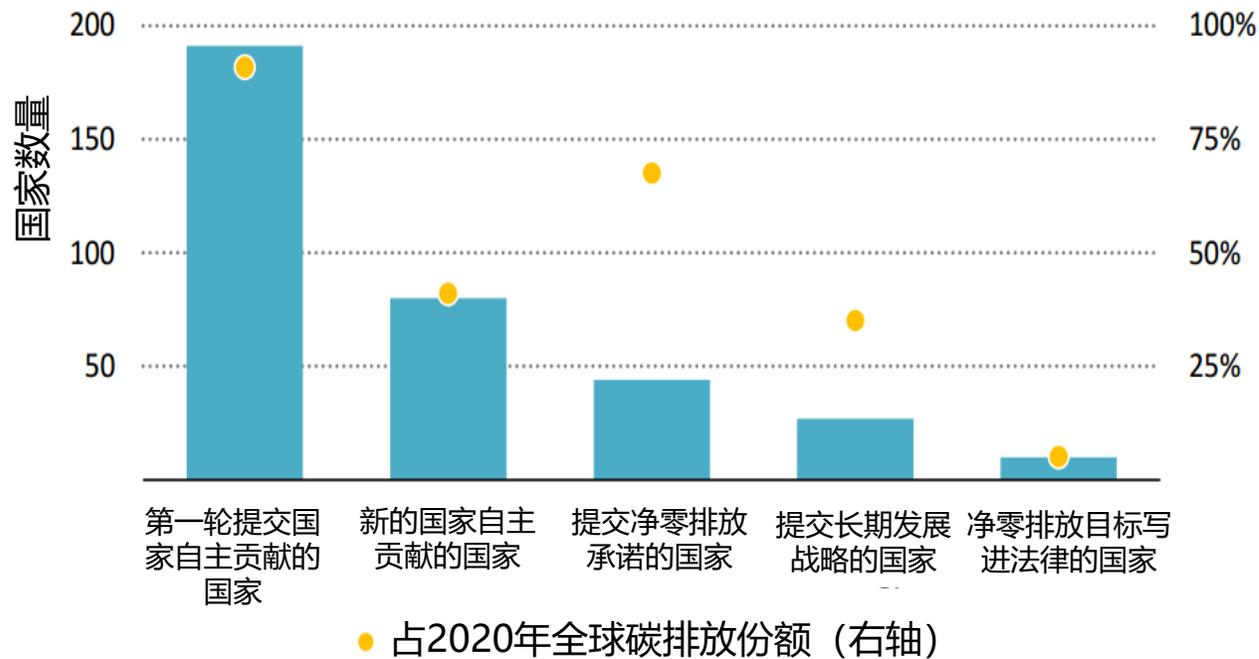
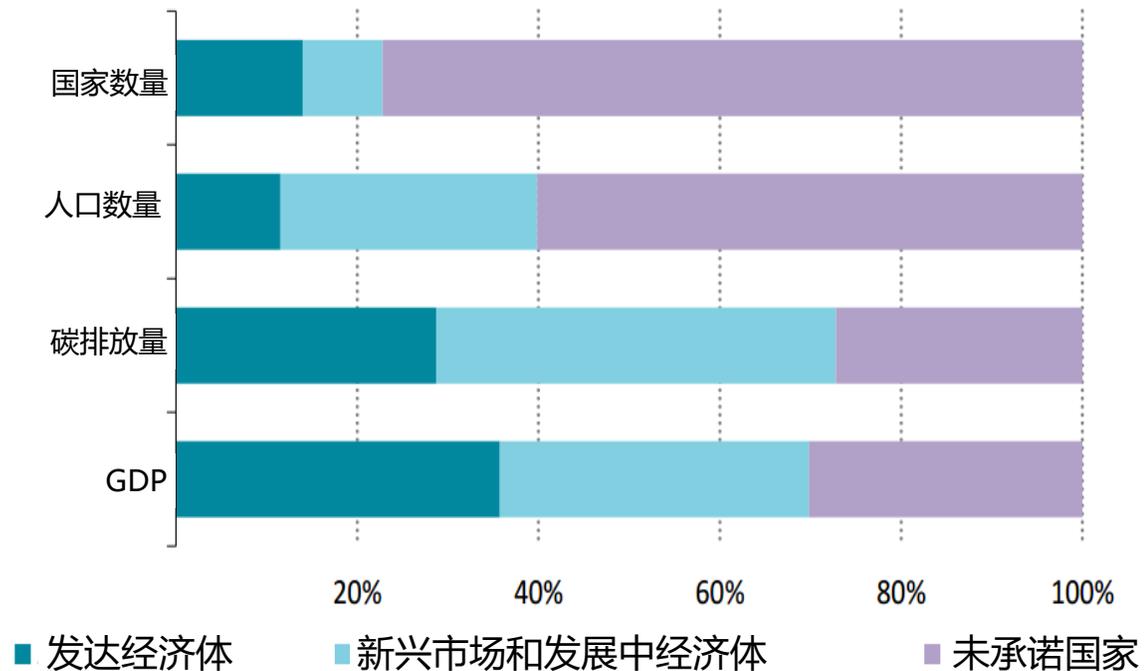


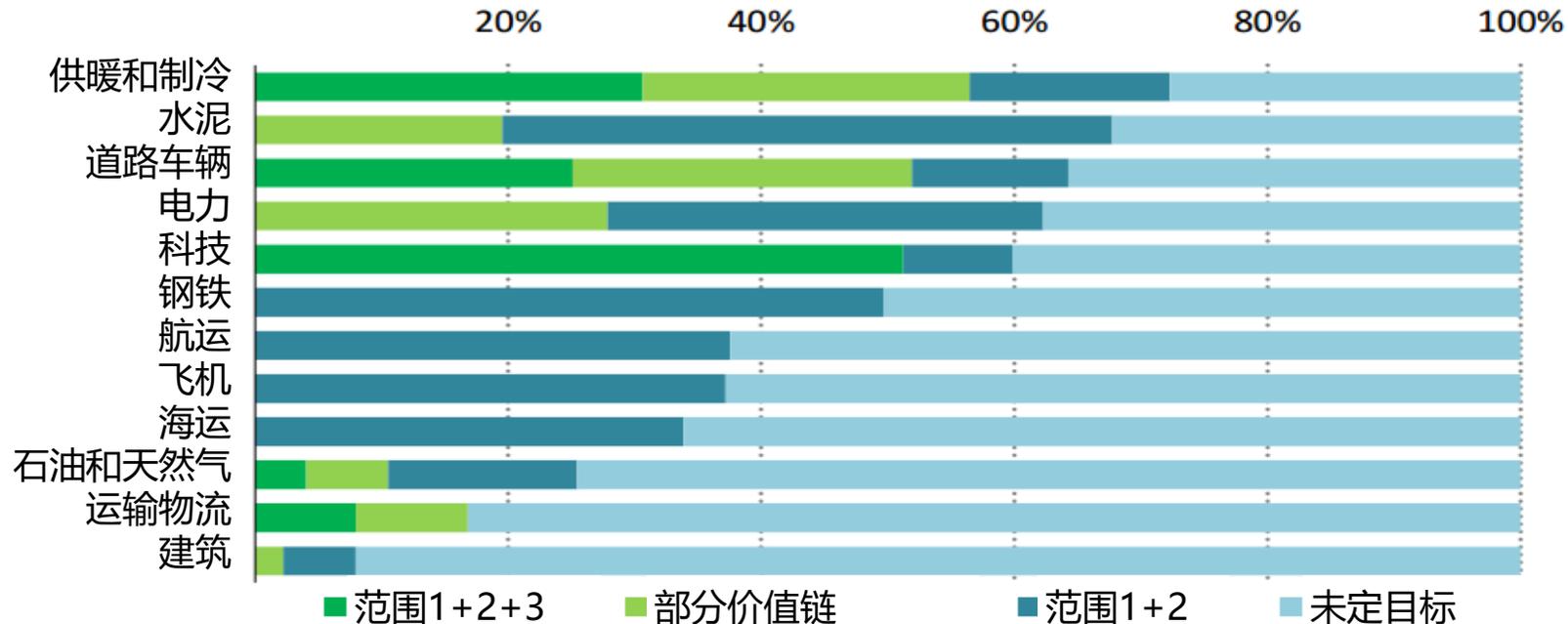
图9 全球承诺净零排放的国家分布情况



- ◆ 《巴黎协定》要求《联合国气候变化框架公约》缔约国提交国家自主贡献(NDCs)，并实施旨在实现其既定目标的政策。已有191个国家提交了第一轮NDCs，涵盖了全球90%以上的碳排放。
- ◆ 截至2021年4月23日，已有80个国家提交了新的国家自主贡献，涵盖全球40%以上的碳排放。
- ◆ 截至2021年4月23日，已有44个国家和欧盟承诺实现净零排放目标，它们占全球碳排放和GDP总量的70%左右(右图)。其中，10个国家已将实现净零目标作为法律义务，8个国家提议将其作为法律义务，其余国家已在官方政策文件中作出承诺。

2、截至2021年2月全球约有110家企业宣布净零排放目标

图10 不同行业中大型能源相关企业承诺2050净零排放目标所占比例

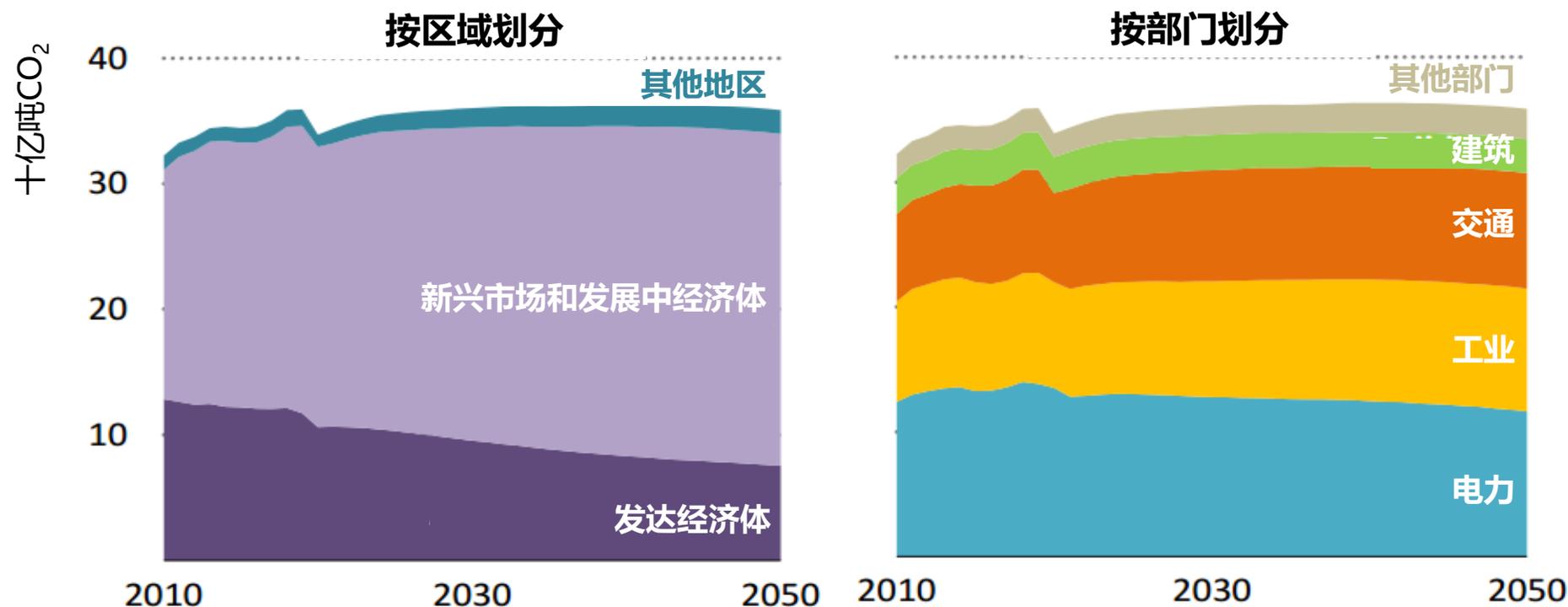


注：范围1=拥有或控制能源以及其他能源生产过程中的直接排放；范围2=发电、供热、购买和使用燃料产生的间接排放；范围3=不拥有或不直接控制但与其活动相关的来源（如员工旅行、提取、运输和生产购买的材料和燃料，以及燃料、产品和服务的终端应用）造成的间接排放。
部分价值链=特定地理位置范围1+2+3的排放以及企业全价值链中的部分排放。

- ◆ 截至2021年2月，约有110家直接消耗大量能源或生产高耗能产品的企业宣布了净零排放目标。
- ◆ 全球约60%-70%的供暖和制冷公司、水泥制造公司、道路车辆公司和电力公司宣布净零排放目标；约60%的科技公司宣布净零排放目标；约50%的钢铁制造公司宣布净零排放目标；航空以及航运和海运行业中约有30%-40%的公司宣布净零排放目标；约25%的石油和天然气公司宣布净零排放目标；而只有15%的运输物流公司和10%的建筑公司宣布净零排放目标。

3、既定政策情景中全球碳排放总体改善微弱

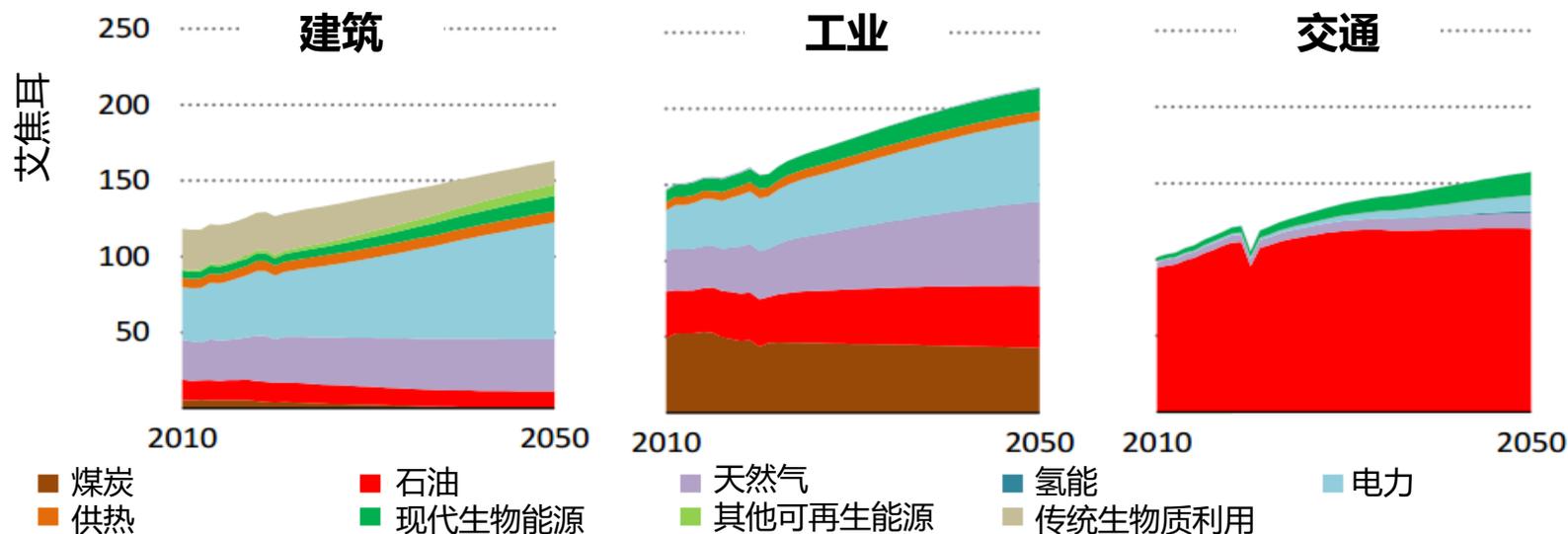
图11 既定政策情景中能源相关过程碳排放量（单位：十亿吨CO₂）



- ◆ 转向可再生能源会导致电力行业碳排放提前达到峰值，但所有行业的减排效果都远远低于2050年实现净零排放的要求。二氧化碳年排放量从2020年疫情导致的下降趋势中迅速反弹，从2020年的340亿吨增加到2030年的360亿吨，然后到2050年一直保持这一排放水平。
- ◆ 发达经济体与新兴市场和发展中经济体的碳排放前景存在较大差异。发达经济体受到能源需求的降低以及向更清洁技术转换，2020-2050年间，碳排放量将下降约三分之一。

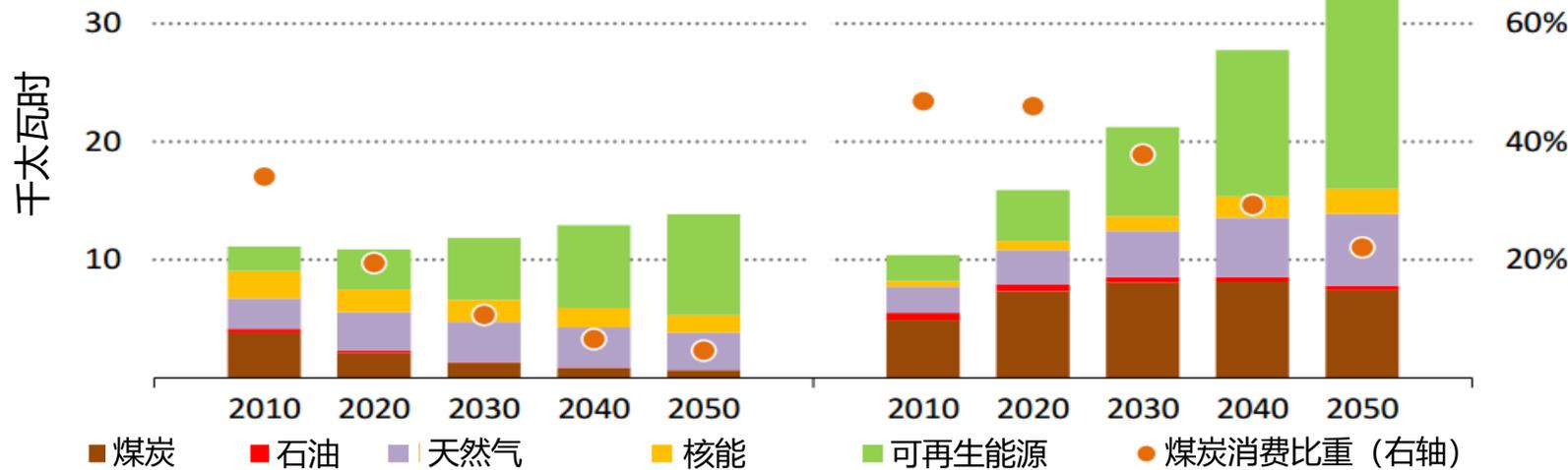
4、既定政策情景中到2050年全球所有行业终端能耗均增加

图12 既定政策情景中终端能源消耗量 (单位: 艾焦耳)



◆ 既定政策情景中所有行业终端能耗均增加，平均年增长率为1%，其中电力和天然气增长强劲。

图13 既定政策情景中不同燃料发电量 (单位: 千太瓦时)



◆ 既定政策情景中，新兴市场和发展中经济体将推动全球电力需求的大部分增长。从2020-2050年，全球发电量将增长80%，其中85%以上的发电增量来自新兴市场和发展中经济体；到2050年，尽管可再生能源增长强劲，但燃煤发电仍发挥重要作用；到2050年，在发达经济体中，燃煤发电的比重大幅下降。

5、与既定政策情景相比净零承诺情景下全球碳排放大幅下降

图14 不同情景下全球不同地区碳排放量 (单位: 十亿吨CO₂)

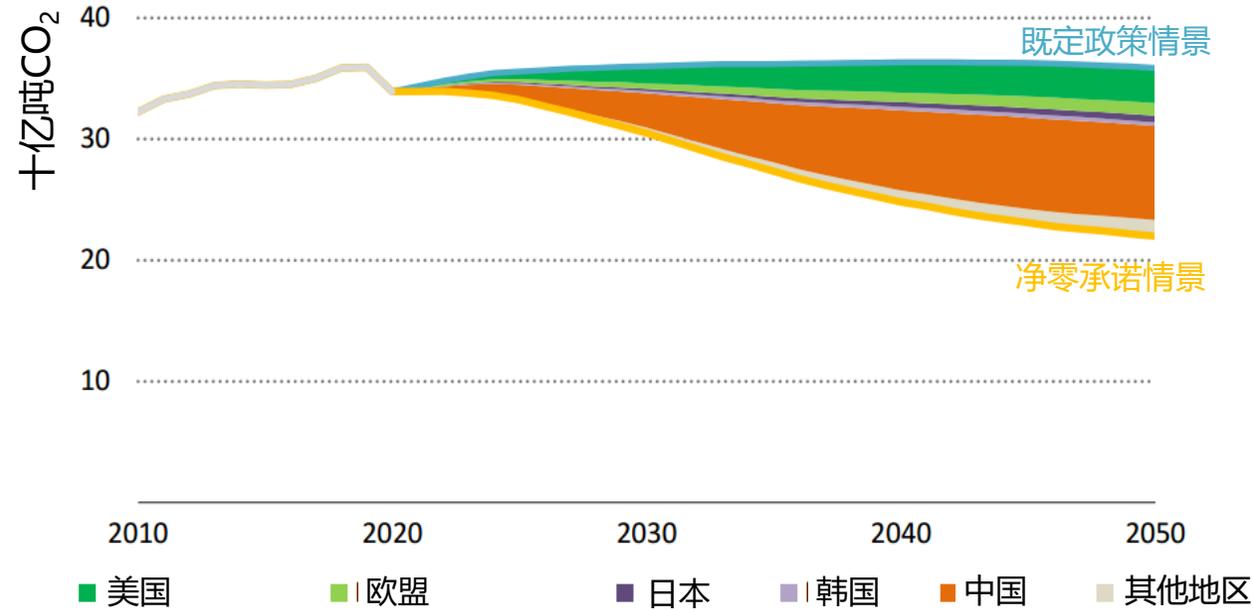
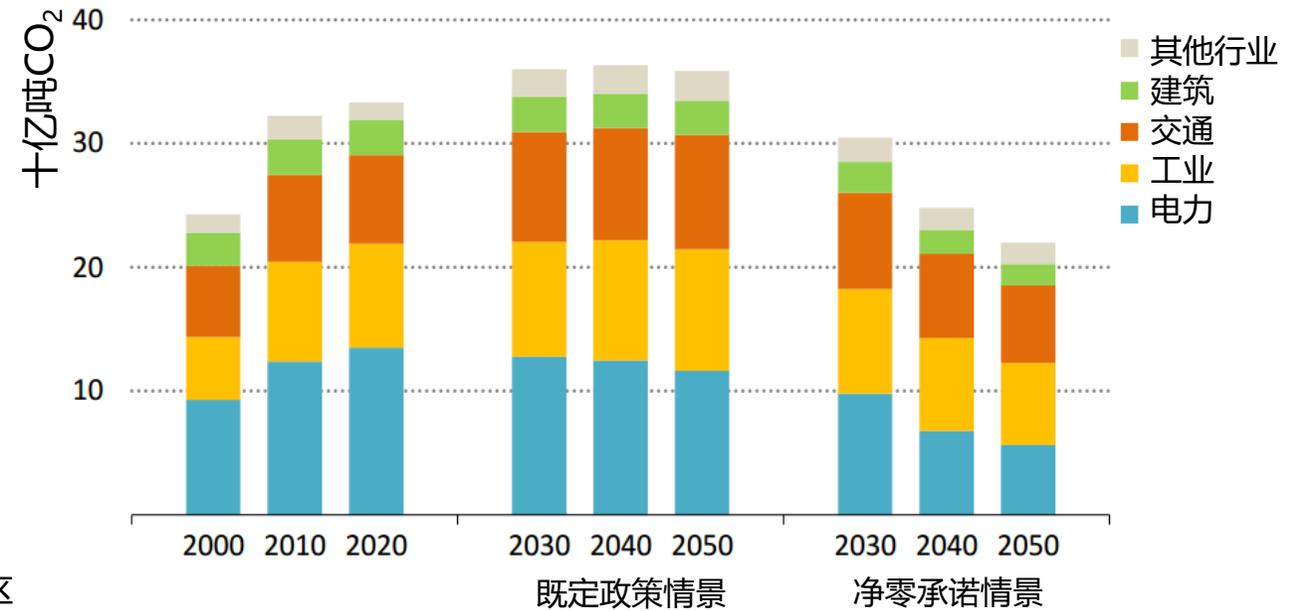


图15 不同情景下不同行业全球碳排放量 (单位: 十亿吨CO₂)



注：净零承诺情景=假设所有国家和地区的净零排放承诺都能按时全额完成。

- ◆ 净零承诺情景下，到2030年全球碳排放量降至300亿吨，降幅达10%；到2050年碳排放量降至220亿吨，降幅达35%。
- ◆ 净零承诺情景下，2020-2050年间，电力行业碳排放量降幅达到60%。尽管终端应用日益电气化，特别是交通运输和建筑部门，电力需求增加近一倍，但电力行业减排效果依然最为显著。

6、净零承诺情景下可再生能源占比大幅增加、煤炭石油占比减小

图16 不同情景下全球不同能源种类供应量
(单位：艾焦耳)

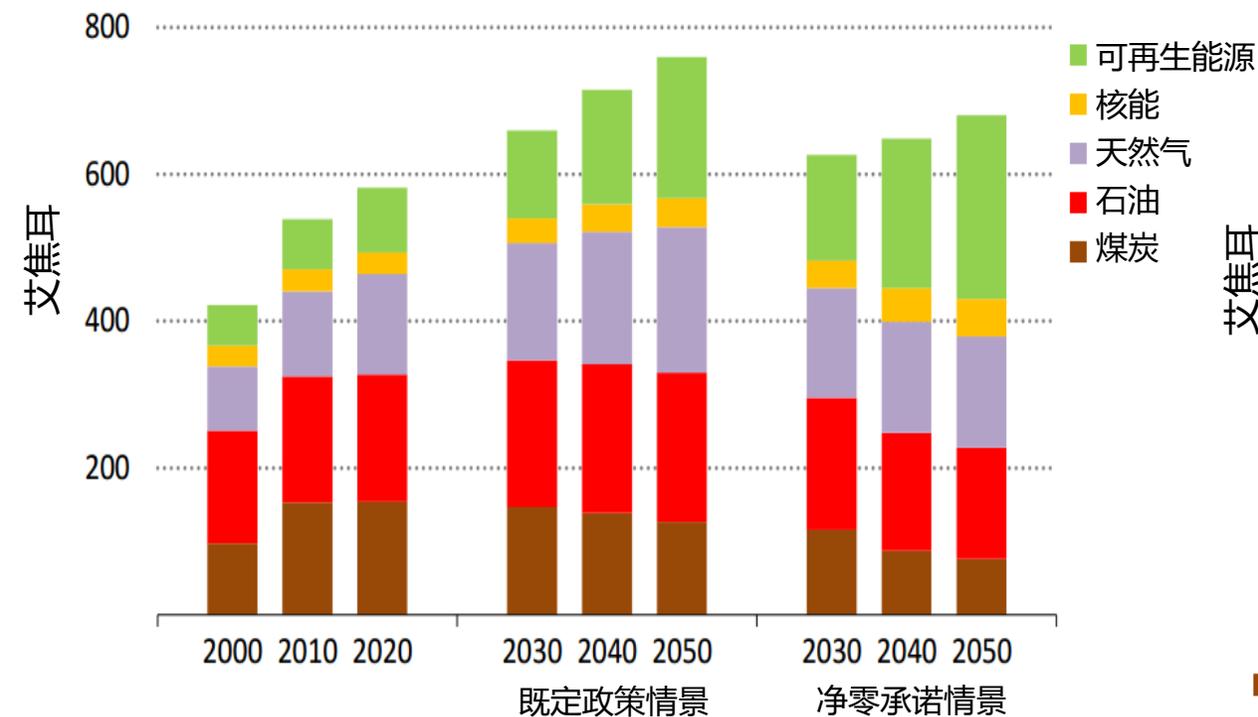
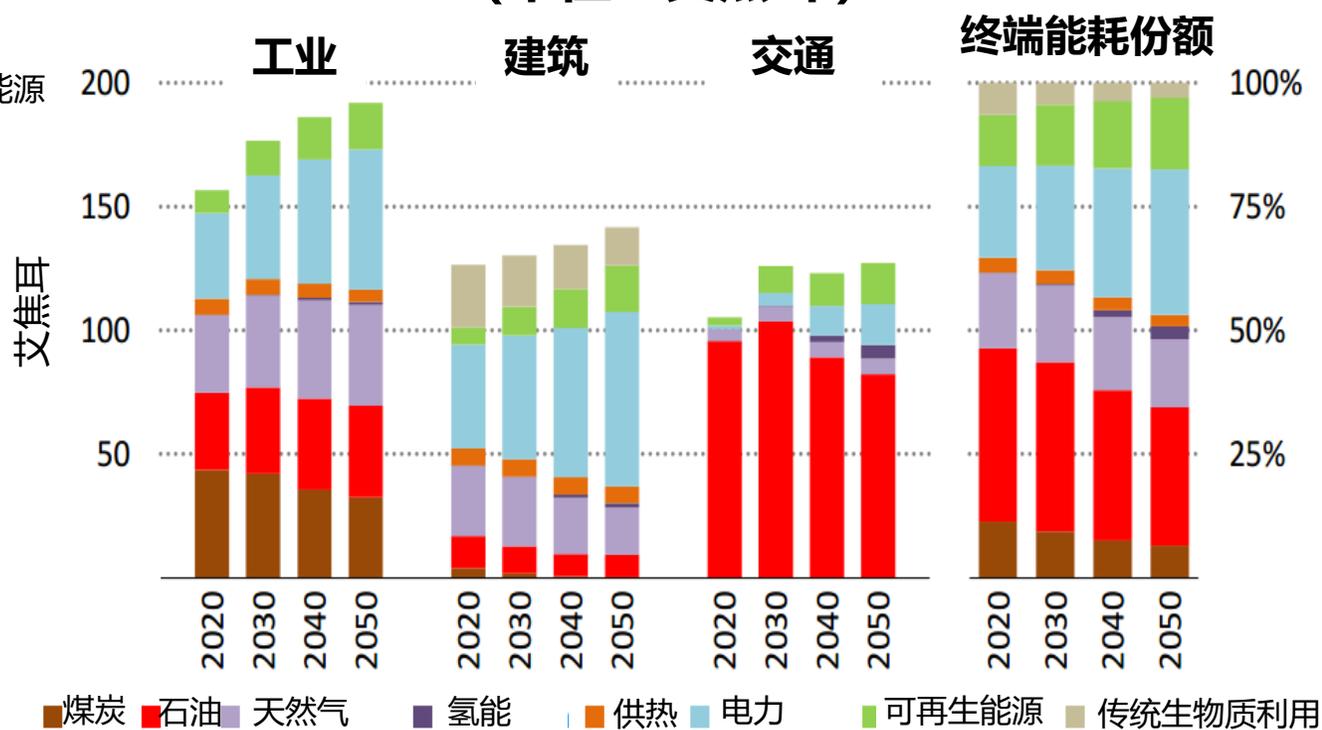


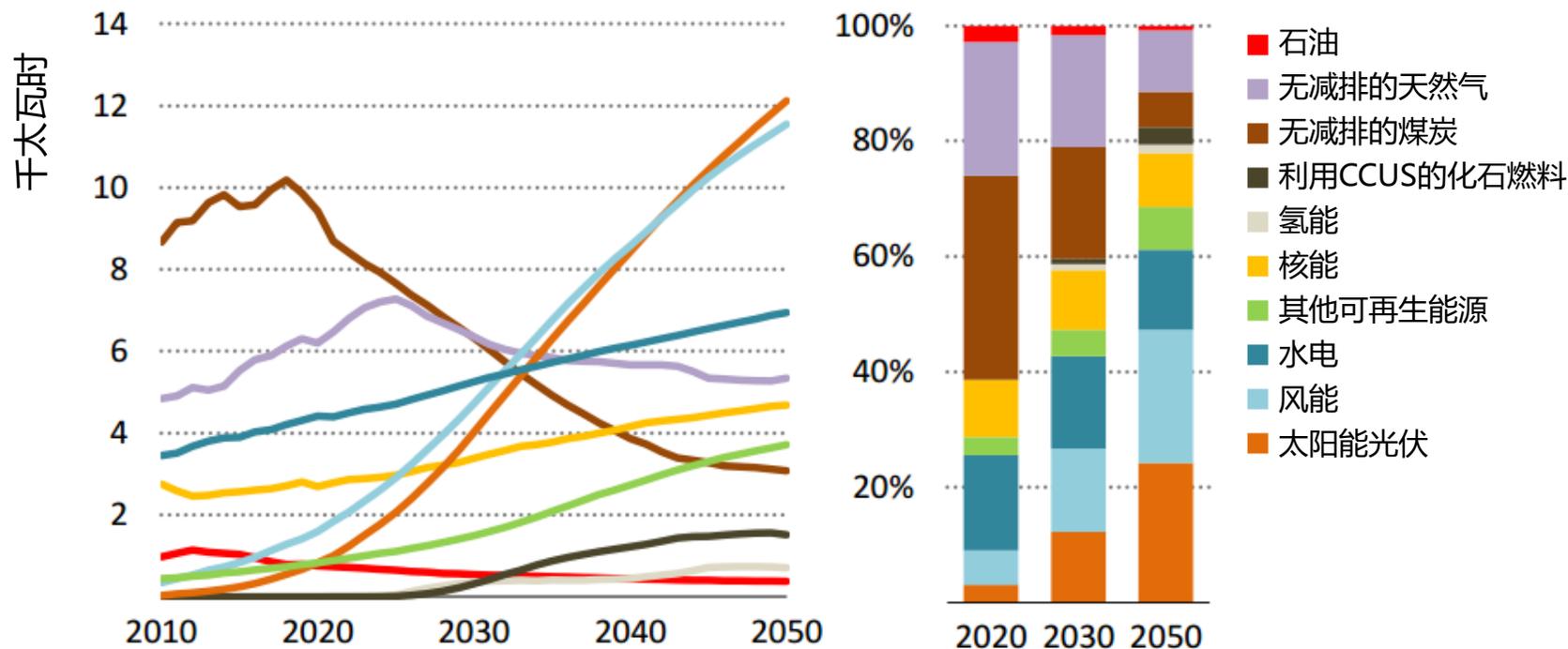
图17 净零承诺情景下不同行业终端能源消耗量
(单位：艾焦耳)



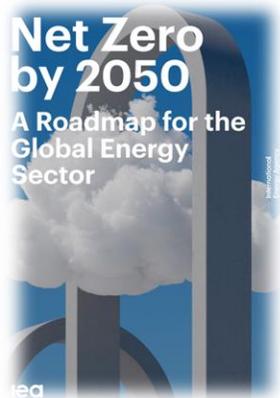
- ◆ 净零承诺情景下，全球能源供应量在2020-2050年间将增长15%以上；到2050年，能源强度平均年降幅约为2.6%，可再生能源占比从2020年的12%增加到2050年的35%；新兴市场和发展中经济体能源需求大幅增加。
- ◆ 净零承诺情景下，2020-2050年间，终端能耗将增加20%；而既定政策情景中，这一阶段终端能耗将增加35%，提高能效对缓解能源需求增长发挥重要作用。

7、净零承诺情景下到2050年可再生能源占比达到近70%

图18 净零承诺情景下全球不同能源发电量（单位：千太瓦时）



- ◆ 净零承诺情景下，全球发电量几乎翻一倍，到2050年达到5万太瓦时以上，可再生能源发电量占发电总量的份额从2020年的29%增加到2050年的近70%。太阳能光伏和风力发电增长最为显著，几乎占发电总量的一半，与水电一并成为2050年全球电力结构中的三大能源来源。
- ◆ 到2030年左右，氢气和氨气开始成为发电燃料，在燃气轮机中主要与天然气一起使用，在燃煤电厂中主要与煤炭一起使用，这将延长现有资产的寿命，有助于电力系统资产充分利用，降低电力部门改造总成本。



◆ 2050年实现净零排放的全球实施路径

1、能源转型过程中化石燃料价格下降而碳价格逐年上升

表1 2050净零排放情景下化石燃料价格

实际金额 (美元 2019年)	2010	2020	2030	2040	2050
原油(美元/桶)	91	37	35	28	24
天然气(美元/百万英热单位)					
美国	5.1	2.1	1.9	2.0	2.0
欧盟	8.7	2.0	3.8	3.8	3.5
中国	7.8	5.7	5.2	4.8	4.6
日本	12.9	5.7	4.4	4.2	4.1
动力煤 (美元/吨)					
美国	60	45	24	24	22
欧盟	108	56	51	48	43
日本	125	73	57	53	49
中国沿海地区	135	81	60	54	50

表2 2050净零排放情景下电力、工业和能源生产的CO₂价格

美元/吨CO ₂ (2019年)	2025	2030	2040	2050
发达经济体	75	130	205	250
新兴市场和发展中经济体 (包括中国、俄罗斯、巴西和南非)	45	90	160	200
其他新兴市场和发展中经济体	3	15	35	55

- ◆ 未来石油和天然气需求快速下降，将导致化石燃料价格显著降低，到2030年石油价格将跌至35美元/桶，到2050年缓慢降到25美元/桶。
- ◆ 在2050净零排放情景下，所有发达经济体的电力、工业和能源生产部门都将引入碳排放标准，到2050年将达到250美元/吨CO₂；而在包括中国、巴西、俄罗斯和南非在内的其他一些主要经济体中，将提高碳价格，2050年将达到200美元/吨CO₂。

2、2050净零排放情景下电力部门CO₂减排效果最为显著

图19 2050净零排放情景下全球不同部门CO₂净排放量（单位：十亿吨CO₂）

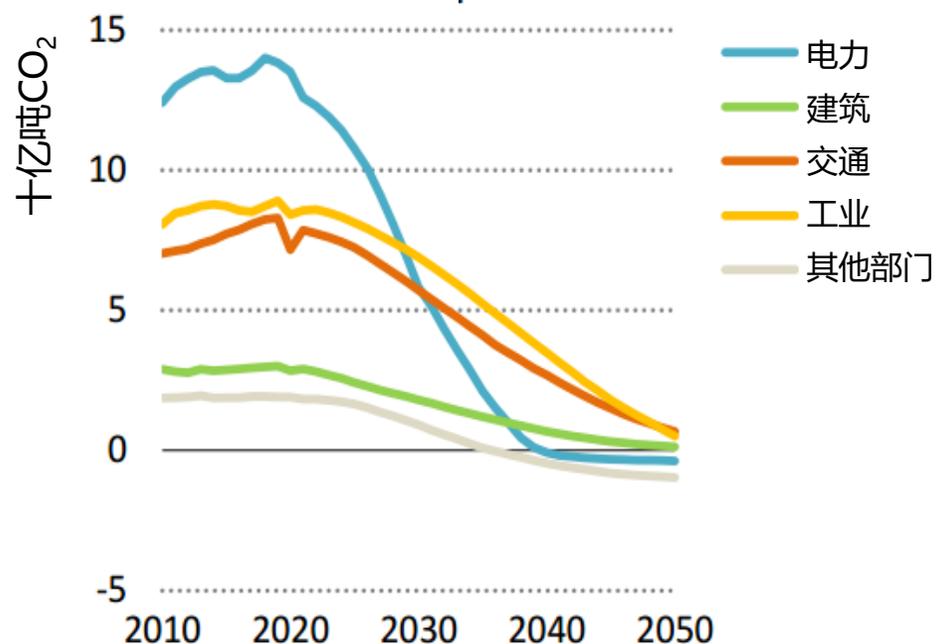
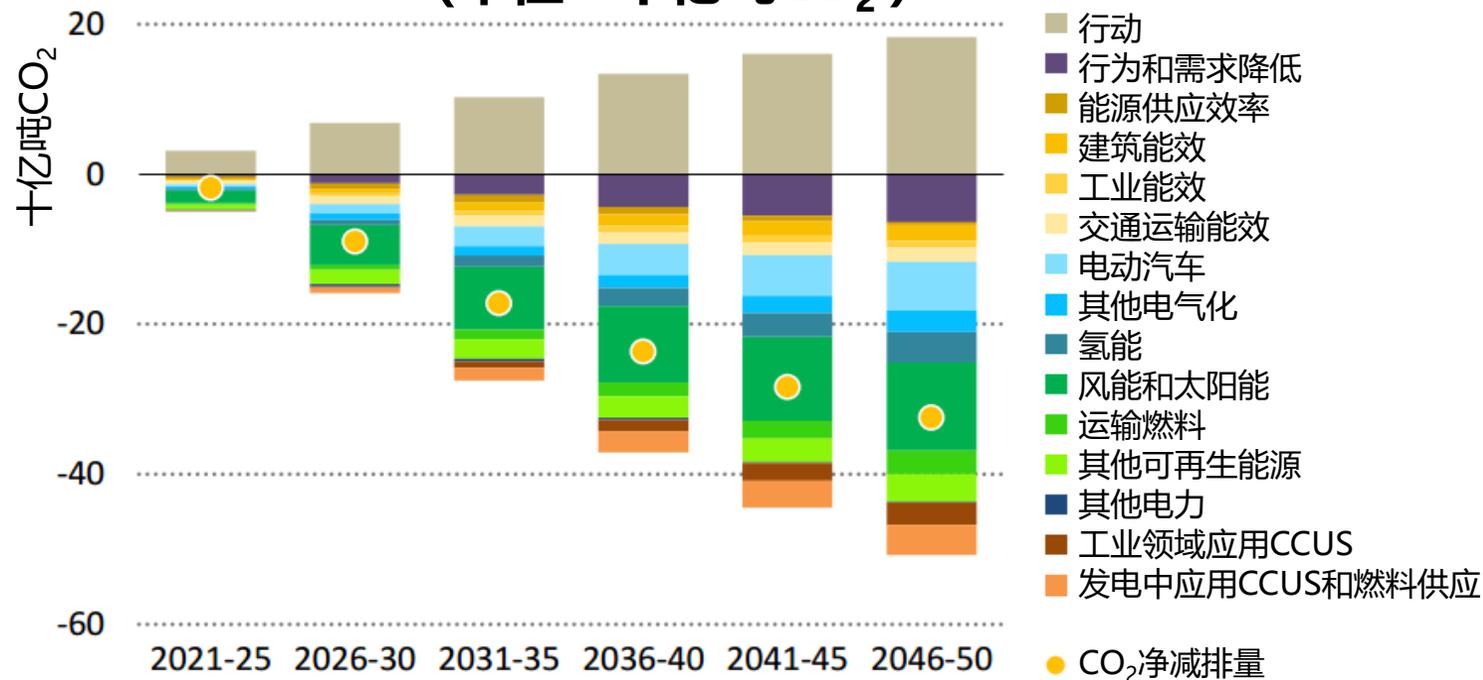


图20 2050净零排放情景下年均CO₂减排量（单位：十亿吨CO₂）



- ◆ 2050净零排放情景下，电力部门是全球碳减排速度最快、降幅最大的部门，这主要是由于燃煤电厂数量的大幅减少；2020-2030年间，由于不再使用化石燃料锅炉，建筑部门碳排放量将下降40%。
- ◆ 更高能效技术的快速部署、终端应用电气化和可再生能源比例的快速增长，对2050净零排放情景下碳减排的贡献最大。到2050年，近90%的发电量来自可再生能源。但要实现净零排放，还需更广泛的措施和先进技术应用。

3、2050净零排放情景下全球能源供应和终端能耗

图21 2050净零排放情景下全球能源供应量
(单位：艾焦耳)

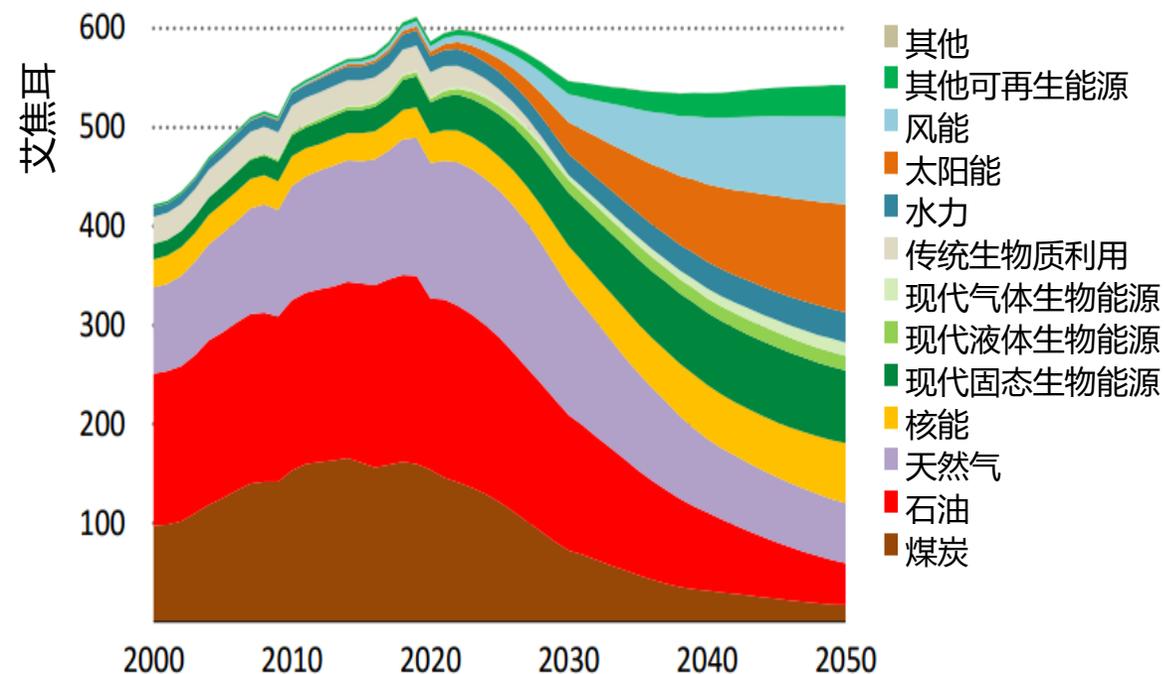
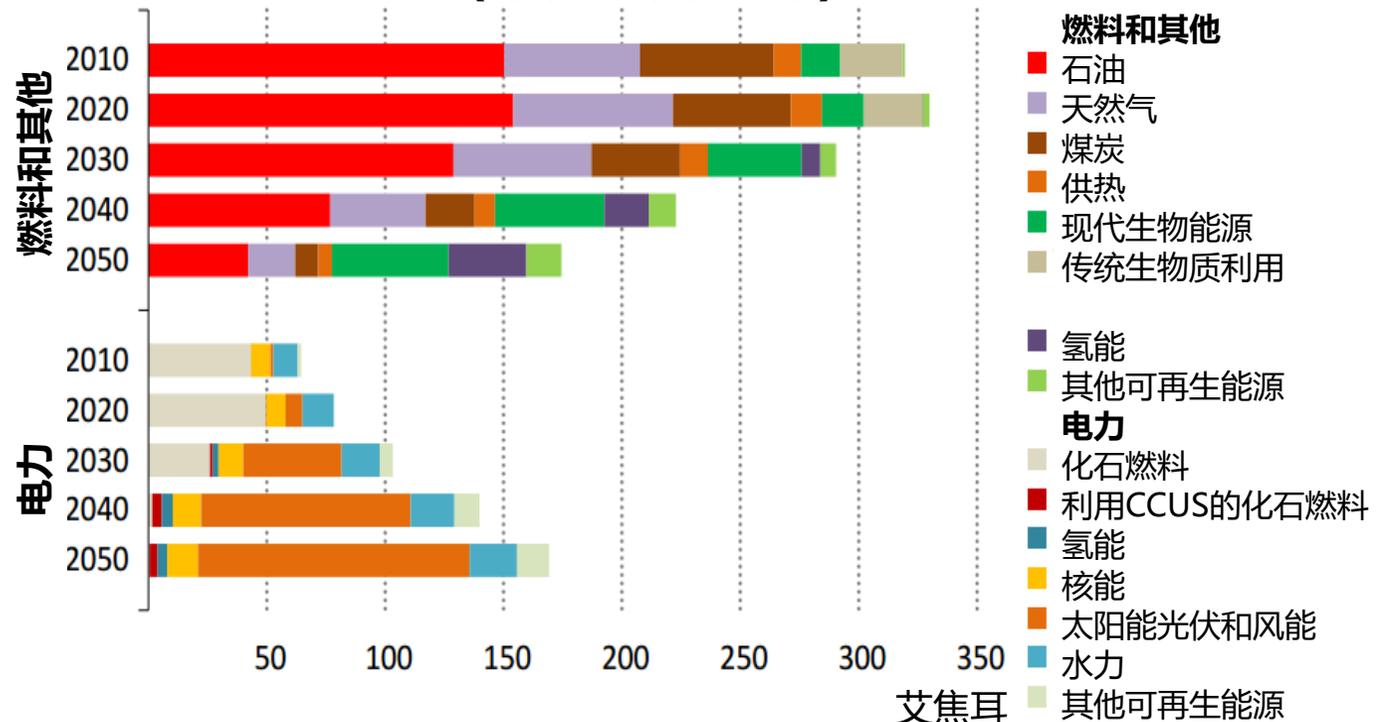


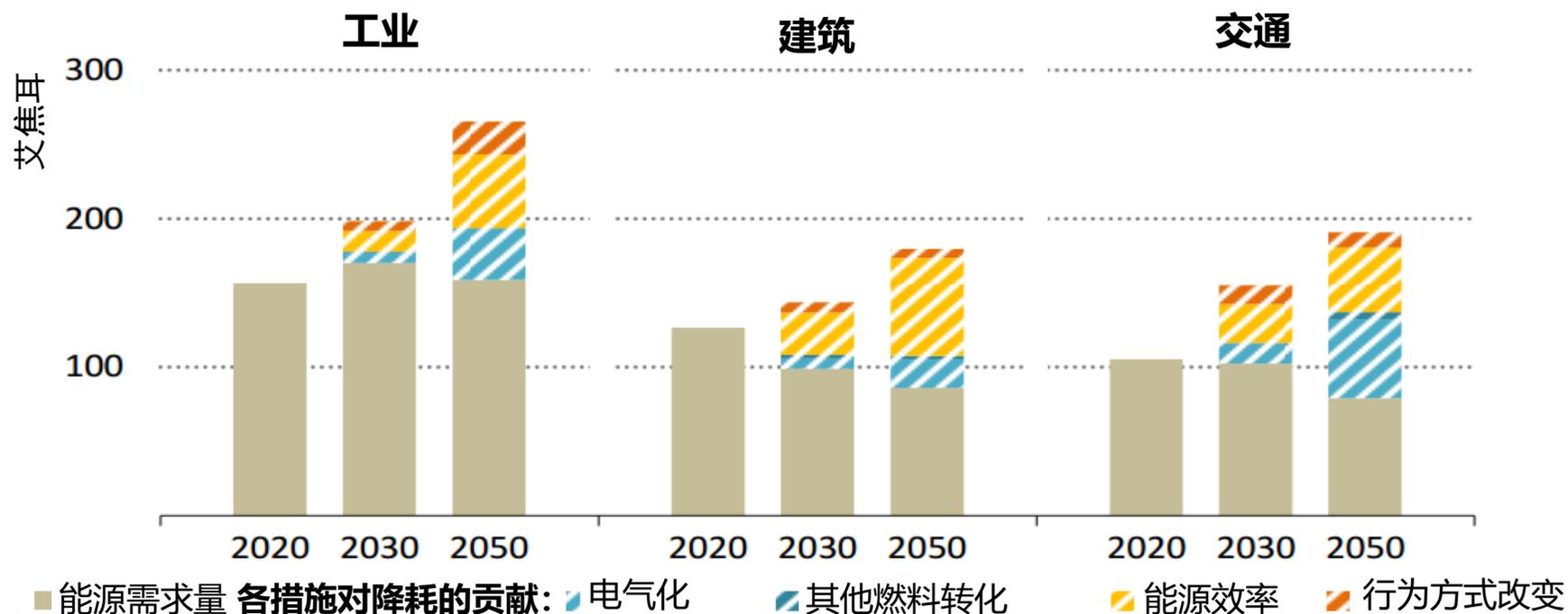
图22 2050净零排放情景下不同燃料全球终端能耗量
(单位：艾焦耳)



- ◆ 2030年全球能源供应量较2020年下降7%，这期间能源强度年均下降4%，得益于电气化水平的提高、能源和材料效率的提高、人们行为方式的改变以及传统生物能源使用方式的改变。2050净零排放情景下，可再生能源和核能将取代大部分化石燃料的供应，化石燃料的供应份额将从2020年的80%下降到2050年的20%左右。
- ◆ 全球终端能耗在2020年下降5%后将略有回升，但在2050净零排放情景，从2025到2050年，全球能耗年均下降1%。电力在终端能耗的份额将从2020年的20%上升到2050年的50%。

4、能源转型过程中减少能耗的关键因素——能源效率

图23 2050净零排放情景各措施下对终端能耗和能源需求的总减少量 (单位: 艾焦耳)



- ◆ 通过提高能效来减少能源需求的增长，对2050净零排放的实现至关重要。
- ◆ 在2050净零排放情景下，如果没有实施能效提高、行为方式改变和电气化水平的提高，2050年终端能耗将比采取上述减排措施增加300艾焦耳，能耗增长近90%。
- ◆ 此外，提高能效有助于降低企业和能源消费中电力供应可能的中断导致的损失。

5、能源转型过程中公民积极自愿参与起到关键作用

图24 2050净零排放情景中技术和行为变化对减排的影响 (单位: 十亿吨CO₂)

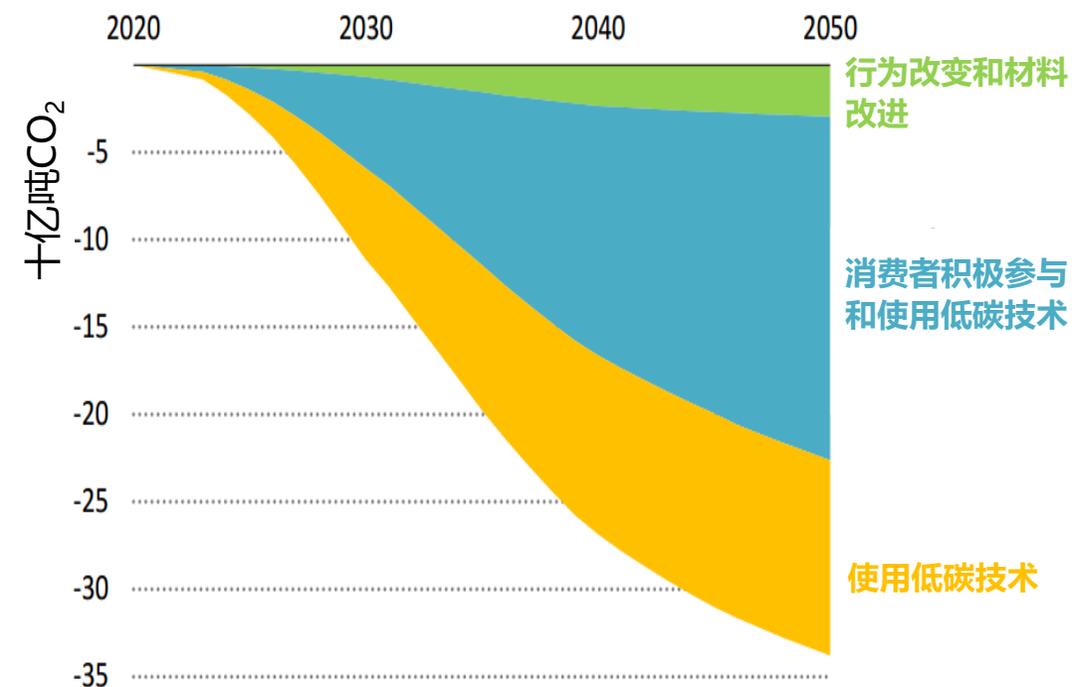
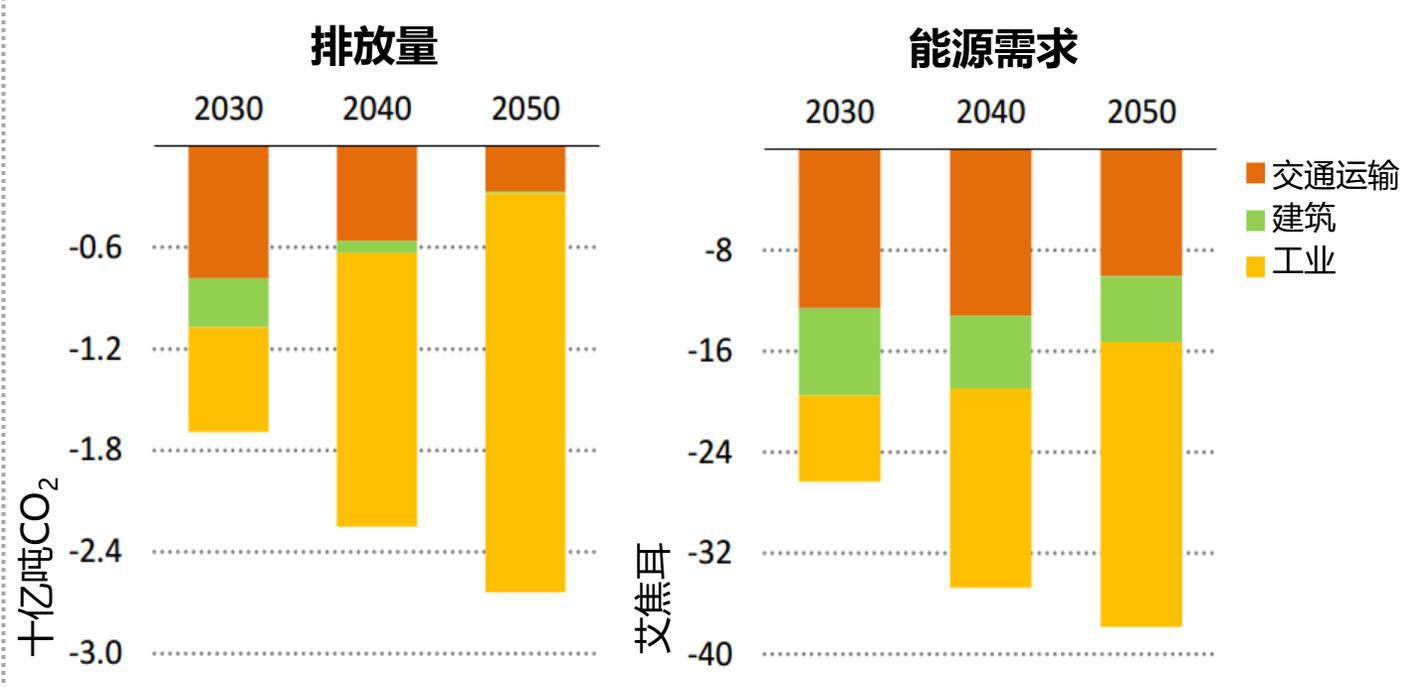


图25 2050净零排放情景中技术和行为变化对碳排放量和能源需求的影响 (单位: 十亿吨CO₂)



- ◆ 在2050净零排放情景中，近40%的减排来自低碳技术的采用，这些技术很少需要消费者的直接参与，如发电和钢铁生产技术；而另外55%的减排需要消费者积极参与和使用低碳技术，如安装太阳能热水器或购买电动汽车；最后8%的减排来自行为变化，如减少商业用途的飞行计划。
- ◆ 在2050净零排放情景中，到2050年行为变化将使能源相关的活动碳排放量减少10%-15%，能源需求总量减少37艾焦耳以上。到2030年约减少17亿吨碳排放，其中45%来自交通运输领域。

6、能源转型过程中直接使用低排放电力是减排的最重要驱动因素

图26 2050净零排放情景中全球电力需求和在能源消耗中的份额 (单位: 太瓦时)

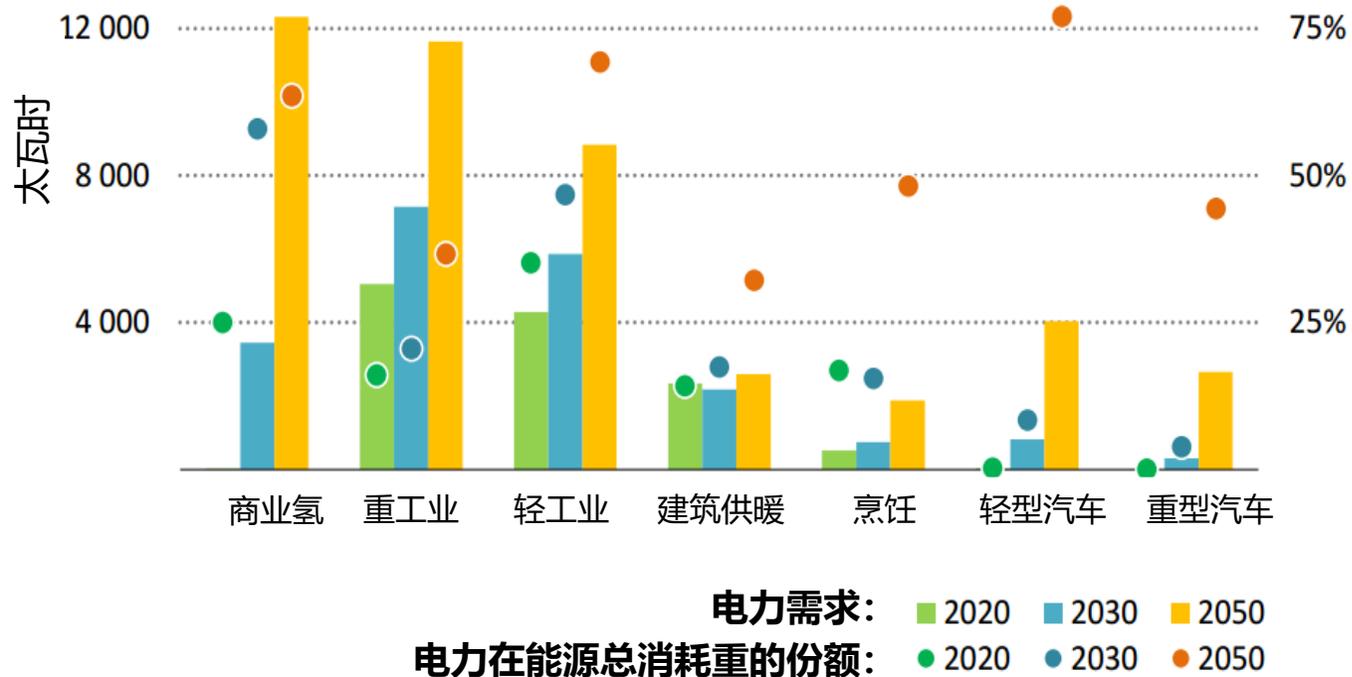


表3 2050净零排放情景下全球电气化指标里程碑

部门	2020	2030	2050
电力在终端能耗中的占比	20%	26%	49%
工业			
使用电弧炉生产钢材的份额	24%	37%	53%
轻工业用电份额	43%	53%	76%
交通运输			
电动汽车保有量份额:			
小轿车	1%	20%	86%
两轮/三轮车	26%	54%	100%
公交	2%	23%	79%
货车	0%	22%	84%
重型卡车	0%	8%	59%
电动汽车电池年需求量(太瓦时)	0.16	6.6	14
建筑			
热泵安装量 (百万个)	180	600	1800
热泵在供热能源需求中的占比	7%	20%	55%
无电可用人数 (百万人)	786	0	0

- ◆ 全球电力需求在2020年-2050年间将增加一倍多，终端应用部门中工业部门用电量涨幅最大，在此期间将增加超过1.1万太瓦时，其次是商业氢气生产。
- ◆ 在交通运输领域，在2050净零排放情景中，电力份额从2020年的不到2%增长到2050年的45%左右，到2050年，全球汽车几乎全部实现电动化（其余为氢燃料电池汽车）。

7、能源转型过程中可再生能源的使用是电力减排的核心

图27 2050净零排放情景中不同燃料种类在能源消费总量中的份额

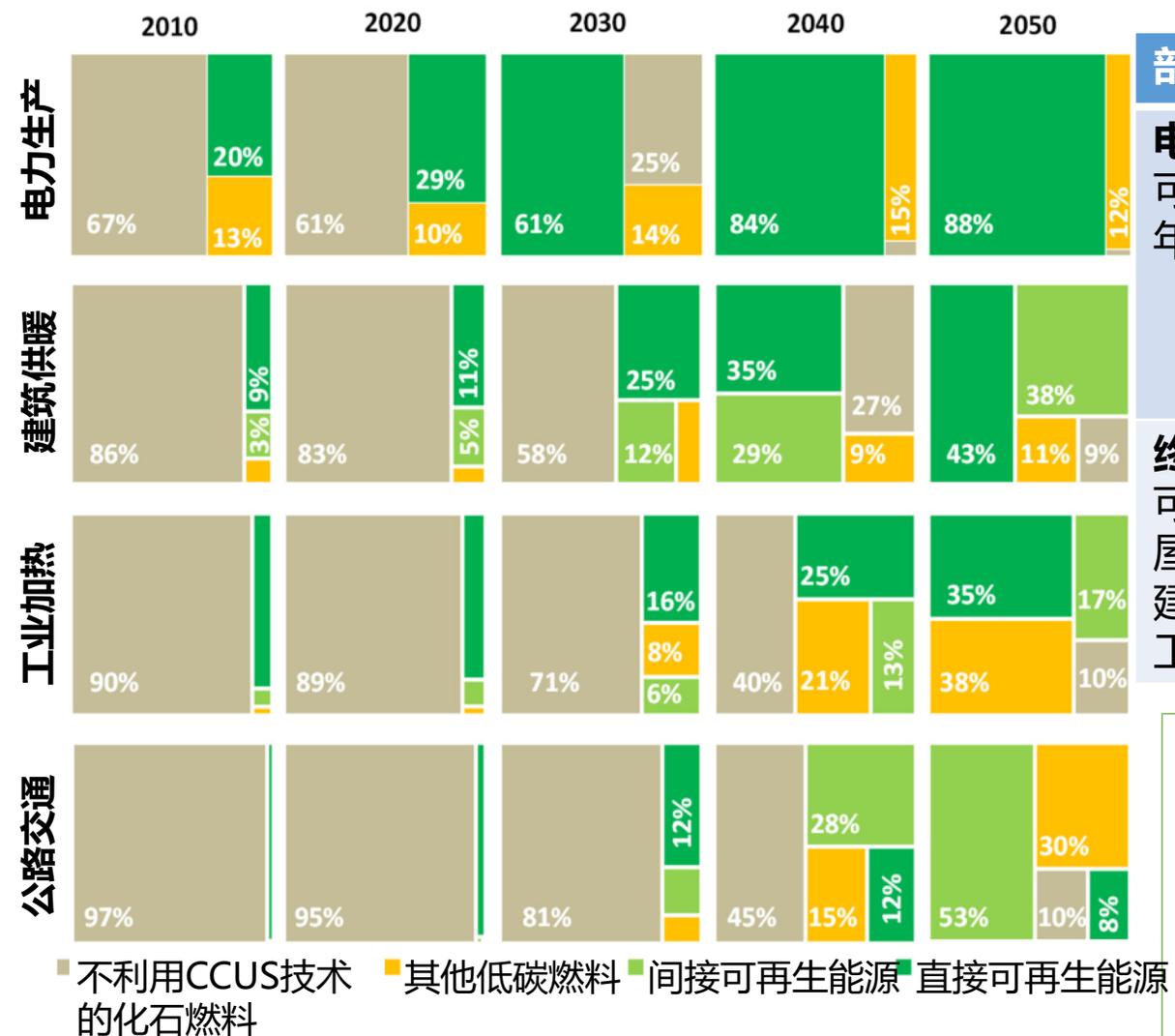


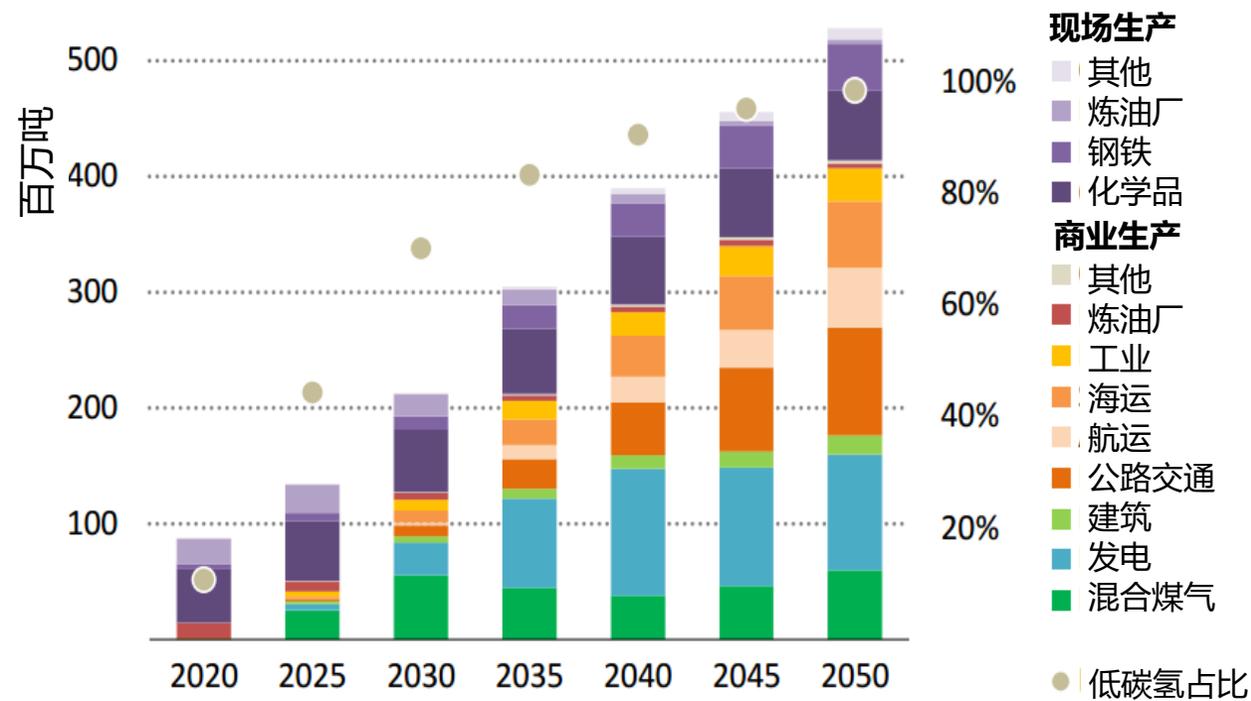
表4 2050净零排放情景中全球可再生能源部署关键里程碑

部门	2020	2030	2050
电力部门			
可再生能源在发电领域中的份额	29%	61%	88%
年新增装机容量（吉瓦）：			
太阳能光伏	134	630	630
风能	114	390	350
—其中离岸风能	5	80	70
其他可再生能源	31	120	90
终端应用部门			
可再生能源在终端能耗中的份额	5%	12%	19%
屋顶太阳能光伏安装量（百万户）	25	100	240
建筑中太阳能供热和地热能的份额	2%	5%	12%
工业中太阳能加热和地热能的份额	0%	1%	2%

- ◆ 到2030年，风能和太阳能将使可再生能源发电量增加两倍，到2050年将增加八倍以上。全球可再生能源发电占总发电量的比重从2020年的29%增加到2050年的近90%。
- ◆ 在2050净零排放情景中，到2050年全球其他可再生能源中水电占总发电量的12%、生物能源占5%、太阳能热发电占2%，地热占1%。

8、能源转型过程中氢能应用重点是将低碳氢替代现有化石能源

图28 2050净零排放情景下全球氢和氢基燃料的使用量 (单位: 百万吨)



- ◆ 全球氢使用量从2020年的不足90亿吨增加到2030年超过200亿吨；低碳氢占比从2020年的10%上升到2030年的70%，到2030年全球生产的低碳氢约有一半来自电解水。
- ◆ 随着氢气终端使用设备安装规模的大幅增加，到2030年，将有1500万辆氢燃料电池汽车上路。

表5 2050净零排放情景中氢和氢基燃料关键里程碑

部门	2020	2030	2050
氢基燃料总产量 (百万吨)	87	212	528
低碳氢产量	9	150	520
<i>利用CCUS技术的化石燃料制氢</i>	95%	46%	38%
<i>电解制氢</i>	5%	54%	62%
商业产量	15	127	414
现场产量	73	85	114
氢基燃料总消耗量 (百万吨)	87	212	528
电力	0	52	102
<i>氢气</i>	0	43	88
<i>氨气</i>	0	8	13
炼油厂	36	25	8
建筑和农业	0	17	23
交通运输	0	25	207
<i>氢气</i>	0	11	106
<i>氨气</i>	0	5	56
<i>合成燃料</i>	0	8	44
工业	51	93	187

9、到2050年全球现代生物能源将满足20%的能源需求总量

图29 2050净零排放情景下全球生物质能供应量
(单位: 艾焦耳)

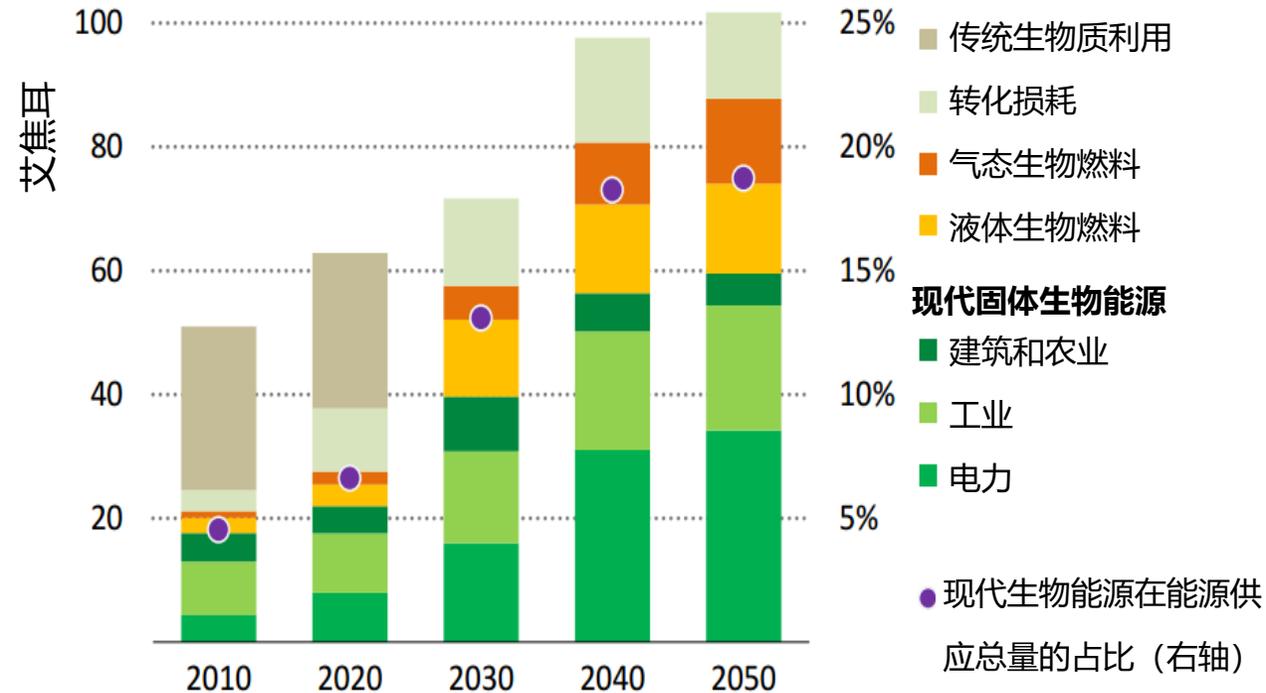


表6 2050净零排放情景下生物质能源关键里程碑

	2020	2030	2050
能源供应总量 (艾焦耳)	63	72	102
先进生物质原料份额	27%	85%	97%
现代气态生物能源 (艾焦耳)	2.1	5.4	13.7
生物甲烷	0.3	2.3	8.3
现代液体生物能源 (百万桶油当量/天)	1.6	6.0	7.0
先进生物燃料	0.1	2.7	6.2
现代固体生物能源 (艾焦耳)	32	54	74
传统固体生物质利用 (艾焦耳)	25	0	0
利用传统生物能源烹饪人数 (百万人)	2340	0	0

- ◆ 2020年全球生物能源需求约为65艾焦耳，其中90%为固体生物质，用于传统烹饪方案。为实现可持续发展目标，在2050净零排放情景中，将淘汰这种使用固体生物质的方式。
- ◆ 到2050年，现代固体生物能源的使用量年均增长约3%。在电力部门，到2050年生物能源需求量将达到35艾焦耳，固体生物能源将提供灵活的低排放电力，以补充太阳能光伏和风力发电。

10、净零排放情景中到2050年将捕集、利用和封存40%的碳排放

图30 2050净零排放情景中全球不同能源过程碳捕集量 (单位: 十亿吨CO₂)

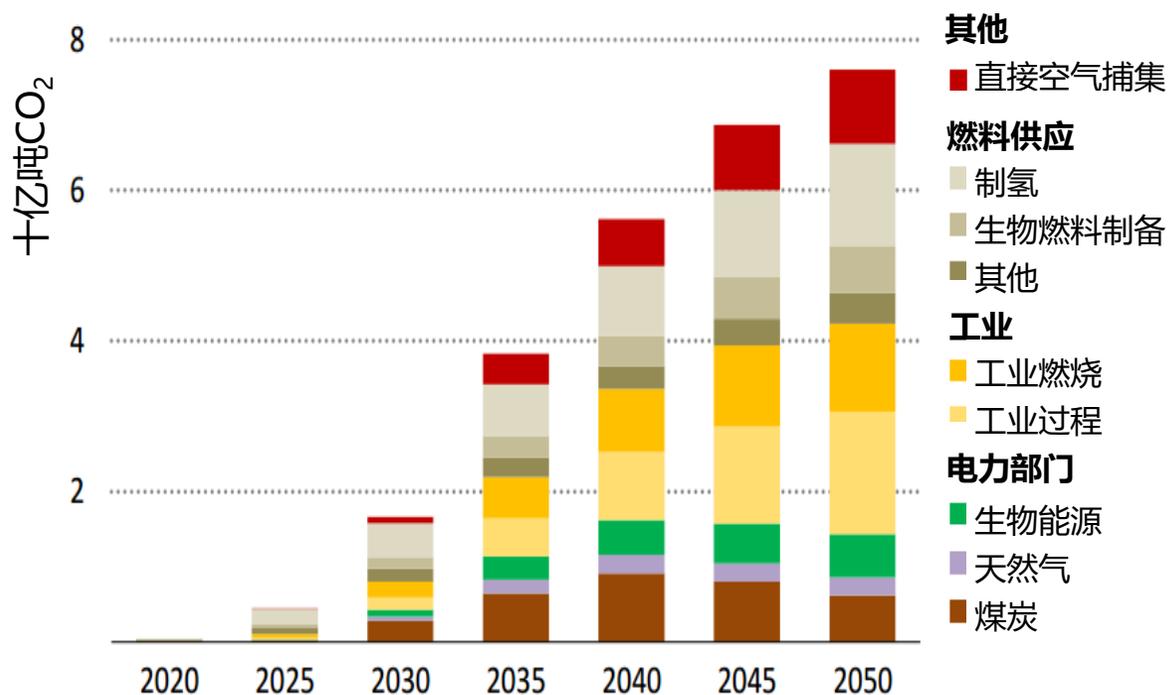
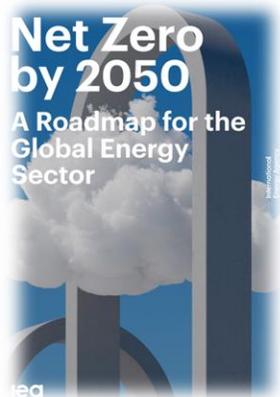


表7 2050净零排放情景下碳捕集、利用和封存技术关键里程碑

	2020	2030	2050
CO₂捕集总量 (百万吨CO₂)	40	1670	7600
从化石燃料过程捕集的CO₂量	3.9	1325	5245
电力	3	340	860
工业	3	360	2620
商业制氢	3	455	1355
非-生物燃料生产	30	170	410
从生物能源过程捕集的CO₂量	1	255	1380
电力	0	90	570
工业	0	15	180
生物燃料生产	1	150	625
直接空气捕集	0	90	985
消除	0	70	630

- ◆ 在2050净零排放情景中，碳捕集量将从目前每年约4000万吨CO₂增加到2030年捕集16亿吨CO₂，2050年捕集76亿吨CO₂。到2050年，与能源相关的工业过程中40%的碳排放可采用碳捕集、利用和封存技术得以消除。
- ◆ 到2050年，从各种来源捕集的CO₂达到76亿吨，生物能源利用和直接空气捕集的CO₂共计24亿吨，其中19亿吨CO₂被永久封存于地下，其余用于提供合成燃料。



◆ 2050年实现净零排放的各主要部门实施路径

1、净零排放情景下化石燃料中煤炭需求降幅最为明显

图31 2050净零排放情景下天然气、石油和煤炭需求变化（单位：艾焦耳）

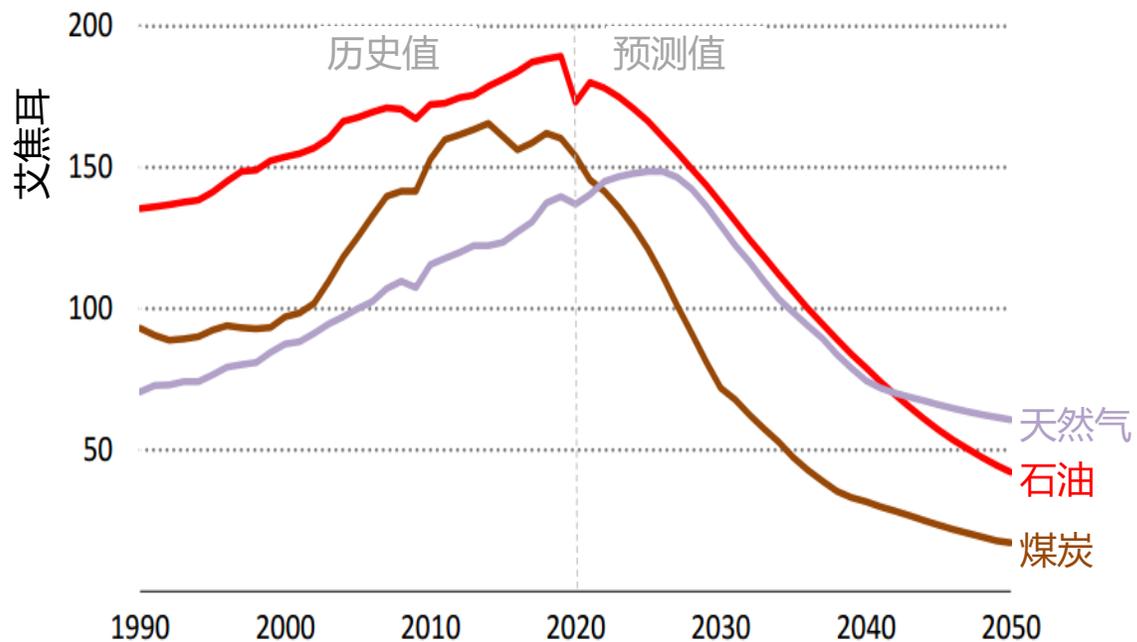
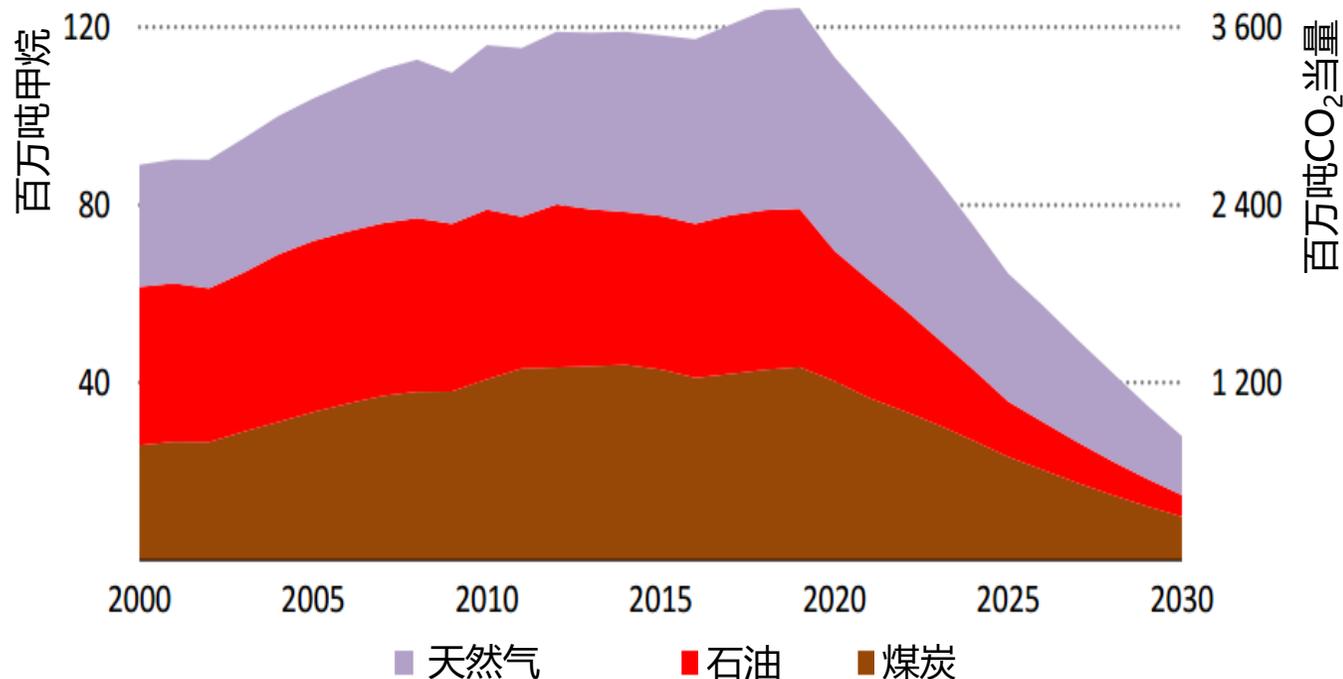


图32 2050净零排放情景下天然气、石油和煤炭的甲烷排放变化（左：百万吨甲烷；右：百万吨CO₂当量）



- ◆ 煤炭需求从2020年的52.5亿吨标准煤下降到2050年的6亿吨标准煤，降幅达到90%以上；石油需求在2020-2050年间下降近75%；天然气需求在2020年后短暂反弹，到2050年降至1.75万亿立方米，较2020年降幅达到55%。
- ◆ 在2050净零排放情景下，煤炭、石油和天然气供应量的排放大幅下降。2020-2030年间化石燃料的甲烷排放总量将下降约75%，相当于温室气体排放量减少25亿吨CO₂当量，其中三分之二减排来自于减排措施的实施和清洁技术的应用。

2、到2050年低排放燃料将占全球终端能源需求的20%

图33 2050净零排放情景下全球生物燃料原料类型 (单位: 艾焦耳)

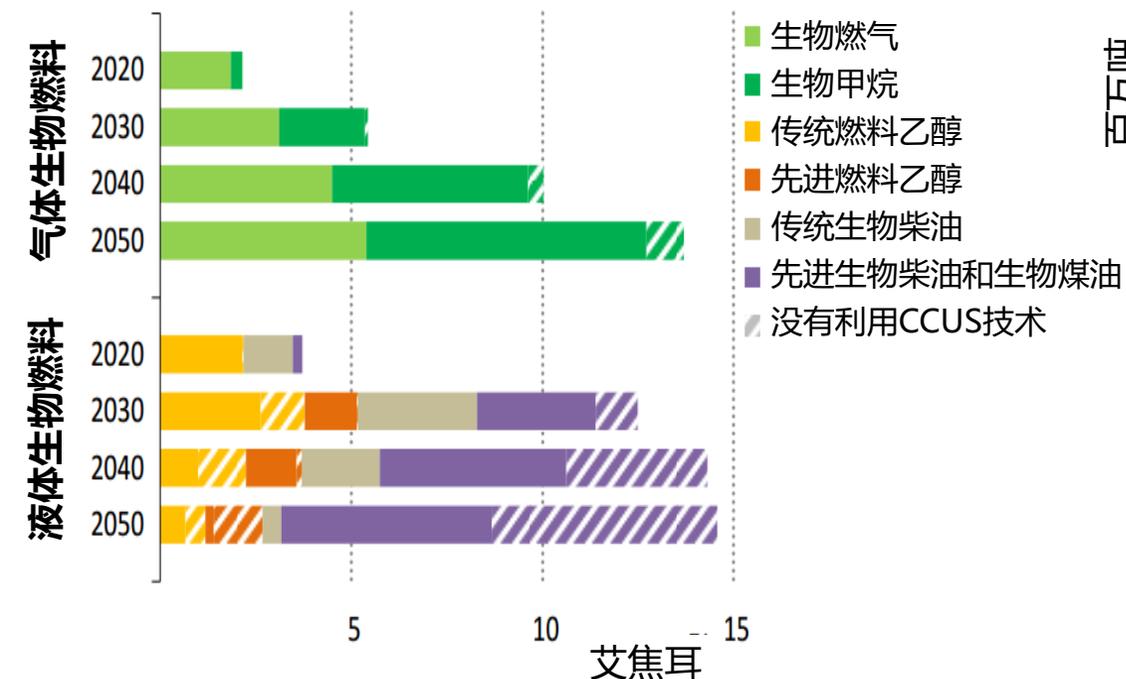
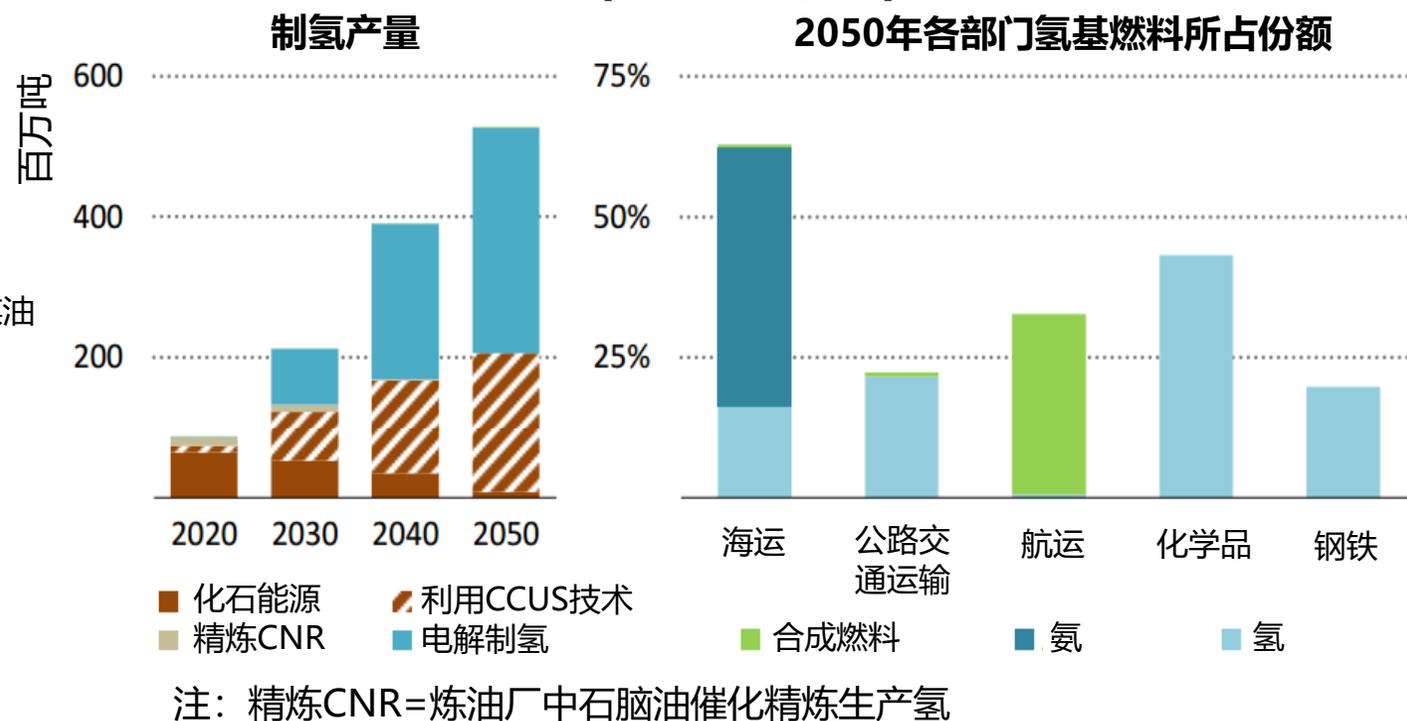


图34 2050净零排放情景下氢产量和各部门氢需求变化 (左: 百万吨)



- ◆ 在2050净零排放情景下，大部分生物燃料产能增长将来自于先进的原料利用技术，如废料和残余物，以及不适宜食用的木质能源作物。到2050年先进液体生物燃料产量将增加130%，达到600万桶油当量/天，其中大部分是生物煤油。
- ◆ 在2050净零排放情景下，到2050年，氢燃料需求将增长近6倍，达到5.3亿吨，占全球终端能源需求的13%，其中一半用于重工业（包括钢铁和化学品生产）和运输部门。

3、低排放燃料在长途运输及重工业供热和原料供应方面起关键作用

表8 2050净零排放情景下低排放燃料关键里程碑

部门	2020	2030	2050
生物能源			
现代生物燃料在现代生物能源中所占份额（不包括转换过程的损失）	20%	45%	48%
先进液体生物燃料产量（百万桶油当量/天）	0.1	2.7	6.2
生物甲醇在气体生物燃料中所占的份额	<1%	2%	20%
从生物燃料生产中捕集和封存的CO ₂ 量（百万吨CO ₂ ）	1	150	625
氢能			
制氢产量（百万吨氢气）	87	212	528
<i>低碳氢产量（百万吨氢气）</i>	<i>9</i>	<i>150</i>	<i>520</i>
电解槽装机规模（吉瓦）	<1	850	3585
制氢耗电量（太瓦时）	1	3850	14500
制氢过程中CO ₂ 捕集量	135	680	1800
氢氨贸易出口港口码头数量	0	60	150

- ◆ 到2025年各国应制定低排放燃料标准，以鼓励使用生物燃料作为原料。此外，各国政府还需优化沼气的合理部署，以促使在2030年之前淘汰生物质用于烹饪和供暖等传统使用方法。未来四年，推动先进生物燃料大规模扩产，包括鼓励现有炼油厂兼顾加工生物油或将炼油厂转变为生物精炼厂；再将CCUS技术应用于乙醇生产工厂；将纤维素乙醇生产与现有的乙醇生产相结合。
- ◆ 各国政府应评估发展低碳氢工业的机会和挑战，将其作为国家氢能战略或路线图的一部分。未来10年，需要降低低碳氢生产成本，扩大氢能使用规模。在技术可行的情况下，合理利用现有的天然气管道运输氢气。

4、终端应用部门电气化和电解制氢促使全球电力需求进一步增加

图35 2050净零排放情景下不同部门和地区电力需求
(单位：千太瓦时)

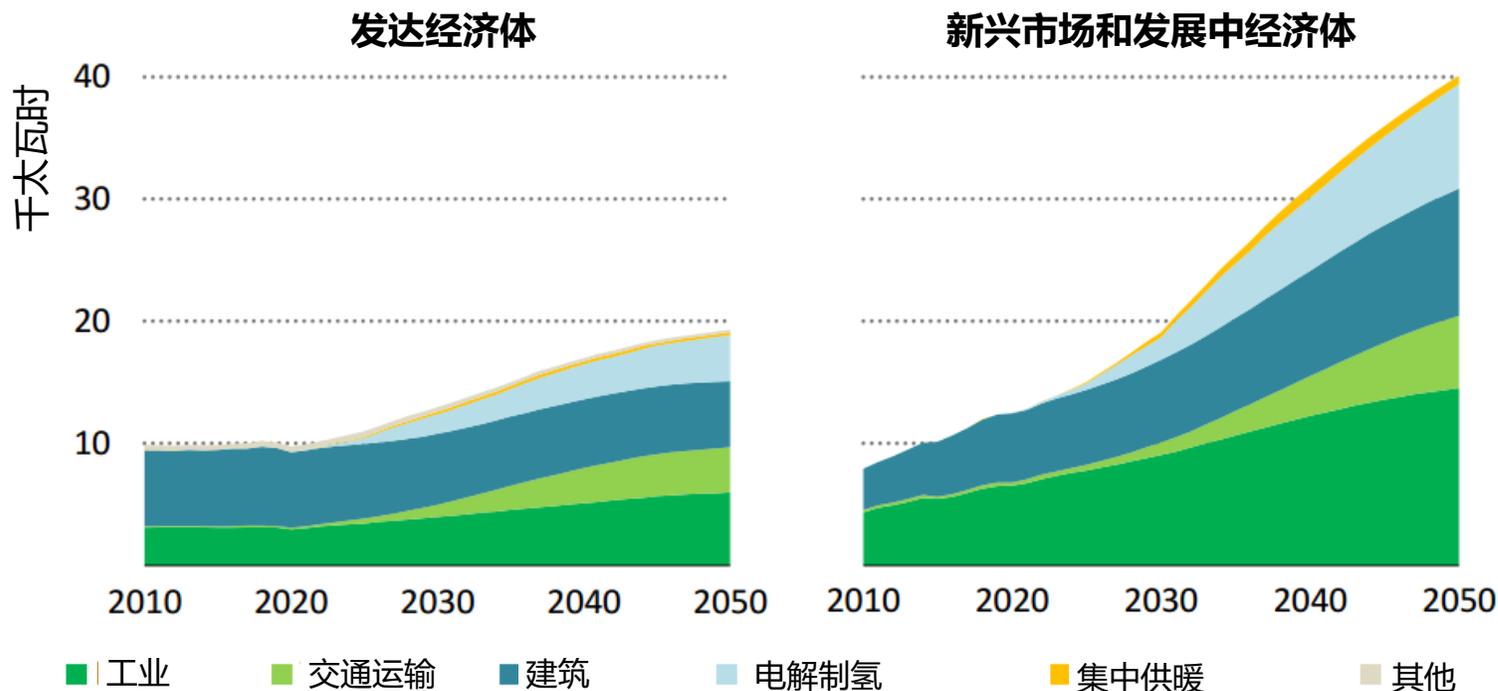
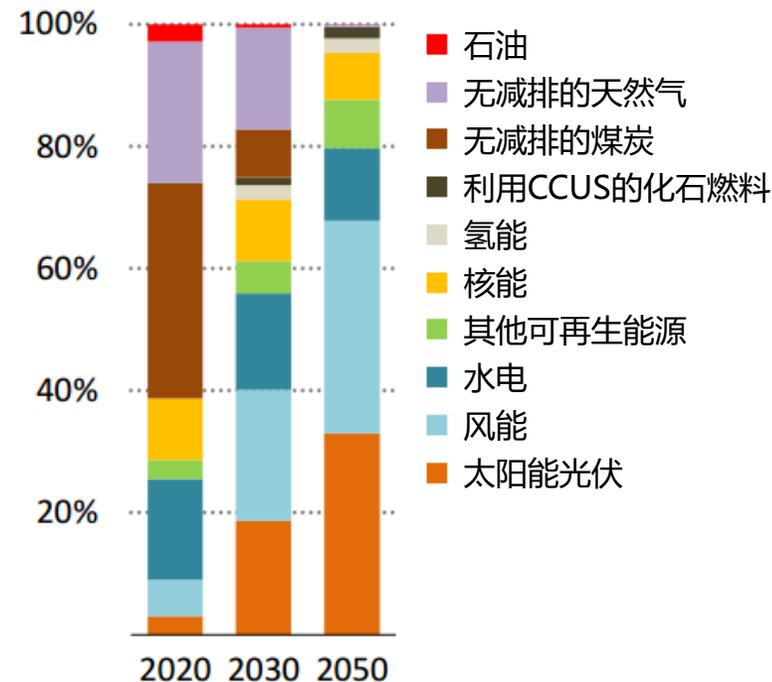


图36 2050净零排放情景下全球不同能源来源发电份额比较



- ◆ 在2050净零排放情景下，到2050年，电力需求达到60000太瓦时，较2020年年增长率为3.2%，其中新兴市场和发展中经济体占全球电力需求增量的75%。发达经济体受终端应用部门电气化和电解制氢驱动，电力需求在2020年后恢复增长，到2050年较2020年将增长近一倍。
- ◆ 可再生能源发电的广泛普及对电力脱碳贡献最大，到2050年，全球可再生能源发电量增长8倍。其中太阳能光伏和风力发电量遥遥领先，将电池储能与太阳能光伏和风能相结合，以提高电力系统灵活性和可靠性。

5、加大可再生能源、低碳燃料和减排技术利用实现电力部门脱碳

表9 2050净零排放情景下全球电力部门转型关键里程碑

种类	2020	2030	2050
总发电量 (太瓦时)	26800	37300	71200
可再生能源			
装机规模 (吉瓦)	2990	10300	26600
在总发电量中的份额	29%	61%	88%
太阳能光伏和风能发电在总发电量中占比	9%	40%	68%
利用CCUS技术的发电量 (太瓦时)			
利用CCUS技术的燃煤燃气电厂发电量	4	460	1330
利用CCUS技术的生物能源电厂发电量	0	130	840
氢和氨			
煤炭共燃发电 (无CCUS技术)	0%	3%	100%
天然气共燃发电 (无CCUS技术)	0%	9%	85%
无法减排的化石燃料			
无法减排的燃煤发电在总发电量中的份额	35%	8%	0%
无法减排的燃气发电在总发电量中的份额	23%	17%	0.4%
核能			
平均年新增装机容量 (吉瓦)	2016-20 7	2021-30 17	2031-50 24
基础设施			
对电网的投资 (十亿美元, 2019)	260	820	800
变电所容量 (吉伏特安培)	55900	113000	290400
电池储能规模 (吉瓦)	18	590	3100
公共电动汽车充电规模 (吉瓦)	46	1780	12400

种类	
电力部门脱碳目标	<ul style="list-style-type: none"> 发达经济体: 2035年电力脱碳 新兴市场和发展中经济体: 2040年电力脱碳
氢基燃料	<ul style="list-style-type: none"> 到2025年开始改造燃煤电厂, 使煤炭与氨共燃, 并将燃气轮机与氢气共燃
无法减排的化石燃料	<ul style="list-style-type: none"> 到2030年逐步淘汰所有亚临界燃煤电厂 (现有870吉瓦装机规模, 在建14吉瓦装机规模) 到2040年逐步淘汰所有不减排的燃煤电厂 到21世纪30年代逐步淘汰大型燃油电厂 不减排的燃气发电量将在2030年达到峰值, 并在2040年促使其降低90%

- ◆ 在2050净零排放情景下, 到2030年全球可再生能源发电量将增长2倍以上, 到2050年增长9倍。
- ◆ 电力行业每年电池储能装机容量需进一步扩大, 从2019年的3吉瓦增加到2030年的120吉瓦, 到2014年达到240吉瓦以上。
- ◆ 此外, 对现有的燃煤发电厂和燃气发电厂需尽快改造升级。

6、在净零排放的同时保障大宗商品产量是工业部门脱碳的重要挑战

图37 2050净零排放情景下全球工业部门不同子行业碳排放量（单位：十亿吨CO₂）

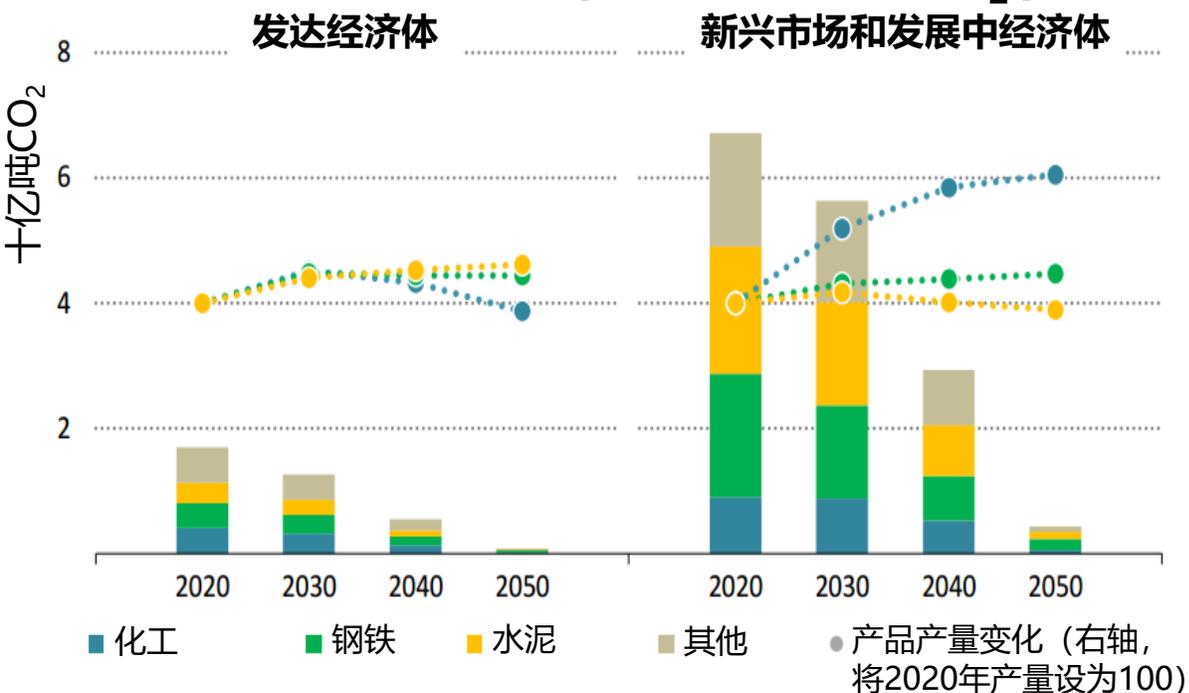
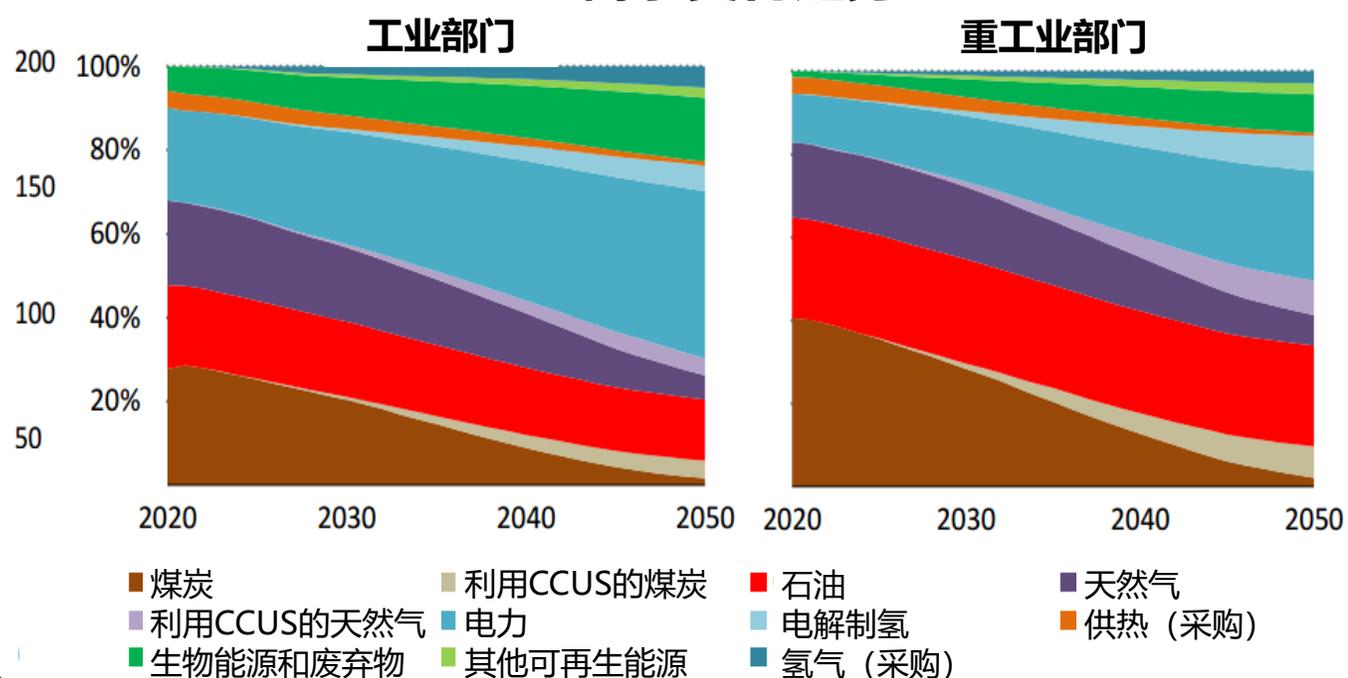


图38 2050净零排放情景下不同燃料在工业部门中需求变化趋势



- ◆ 2020年工业部门碳排放量为84亿吨，其中发达经济体约占20%，新兴市场和发展中经济体约占碳排放量的80%。化工、钢铁和水泥三大重工业占工业总能耗的近60%，碳排放约占工业总排放的70%。
- ◆ 2050净零排放情景中工业部门能源结构发生根本性变化，化石燃料在工业部门总能耗中的份额从目前的70%降至2050年的30%，其中绝大部分用于重工业部门。电力是工业部门能源需求增长的主要燃料来源，在工业能源消耗总量的比重从2020年的20%上升到2050年的45%，其中15%的电力用于电解制氢。

7、采用减排技术、征收碳税和制度排放标准实现工业部门净零排放

表11 2050净零排放情景下全球重工业各部门转型关键里程碑

种类	2020	2030	2050
工业总体			
电力在终端能耗中的份额	21%	28%	46%
氢气需求 (百万吨氢气)	51	93	187
CO ₂ 捕集量 (百万吨CO ₂)	3	375	2800
化工部门			
回收利用所占份额:			
塑料重复利用	17%	27%	54%
二次产品重复利用	8%	14%	35%
氢能需求 (百万吨氢气)	46	63	83
现场配备电解槽装机容量 (吉瓦)	0	38	210
通过创新减排技术生产所占份额	1%	13%	93%
CO ₂ 捕集量 (百万吨CO ₂)	2	70	540
钢铁部门			
回收利用:			
废料重复利用所占份额	32%	38%	46%
氢能需求 (百万吨氢气)	5	19	54
现场配备电解槽装机容量 (吉瓦)	0	36	295
初级钢产量所占份额:			
利用氢气直接还原铁	0%	2%	29%
利用电弧炉进行铁矿石电解	0%	0%	13%
生产中利用CCUS技术	0%	6%	53%
CO ₂ 捕集量 (百万吨CO ₂)	1	70	670
水泥部门			
水泥中熟料占比	0.71	0.65	0.57
氢能需求 (百万吨氢气)	0	2	12
通过创新减排技术生产所占份额	0%	9%	93%
CO ₂ 捕集量 (百万吨CO ₂)	0	215	1355

种类	目标
重工业部门	• 到2035年所有新增产能实现低排放路径
工业电机	• 到2035年所有在售的电机实现最优能耗

- ◆ 在2050净零排放情景下，从2030年起所有新增工业产能都将采用净零排放技术；在2050净零排放情景下，到2050年，实现所有重工业生产采用净零排放技术。在未来两年内，发达经济体政府将采取措施，为净零排放关键工业技术的研发提供资金支持，并在2025年前后实现商业应用。
- ◆ 政府通过对大型工业制造商征收碳税以及制定排放标准实现工业减排。
- ◆ 为实现工业部门节能降耗，有关部门需出台相关设备能效指标（如发动机和锅炉最低能效指标），同时对中小企业制定减排奖励办法。

8、到2050年电力将成为交通运输部门最主要的能源来源

图39 2050净零排放情景下不同交通方式碳排放量 (单位: 十亿吨CO₂)

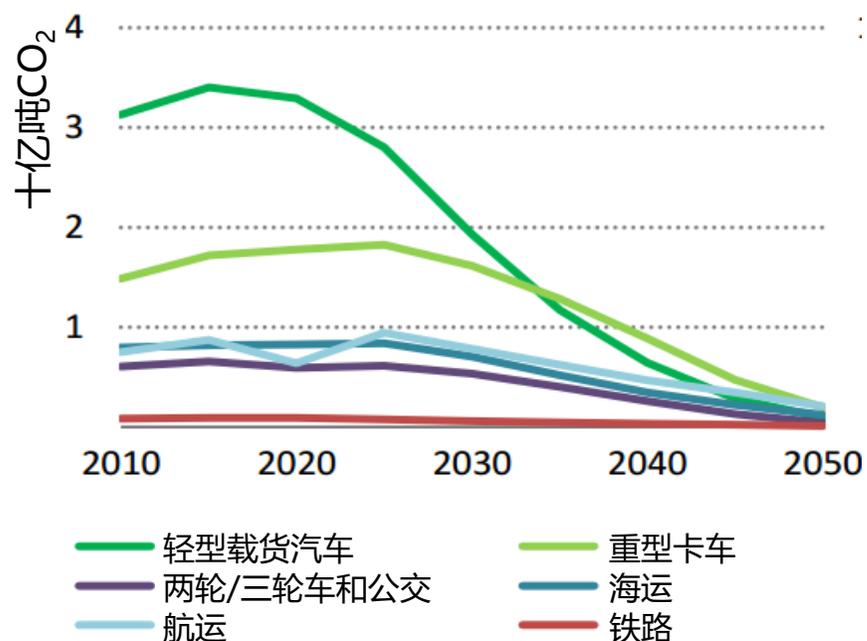
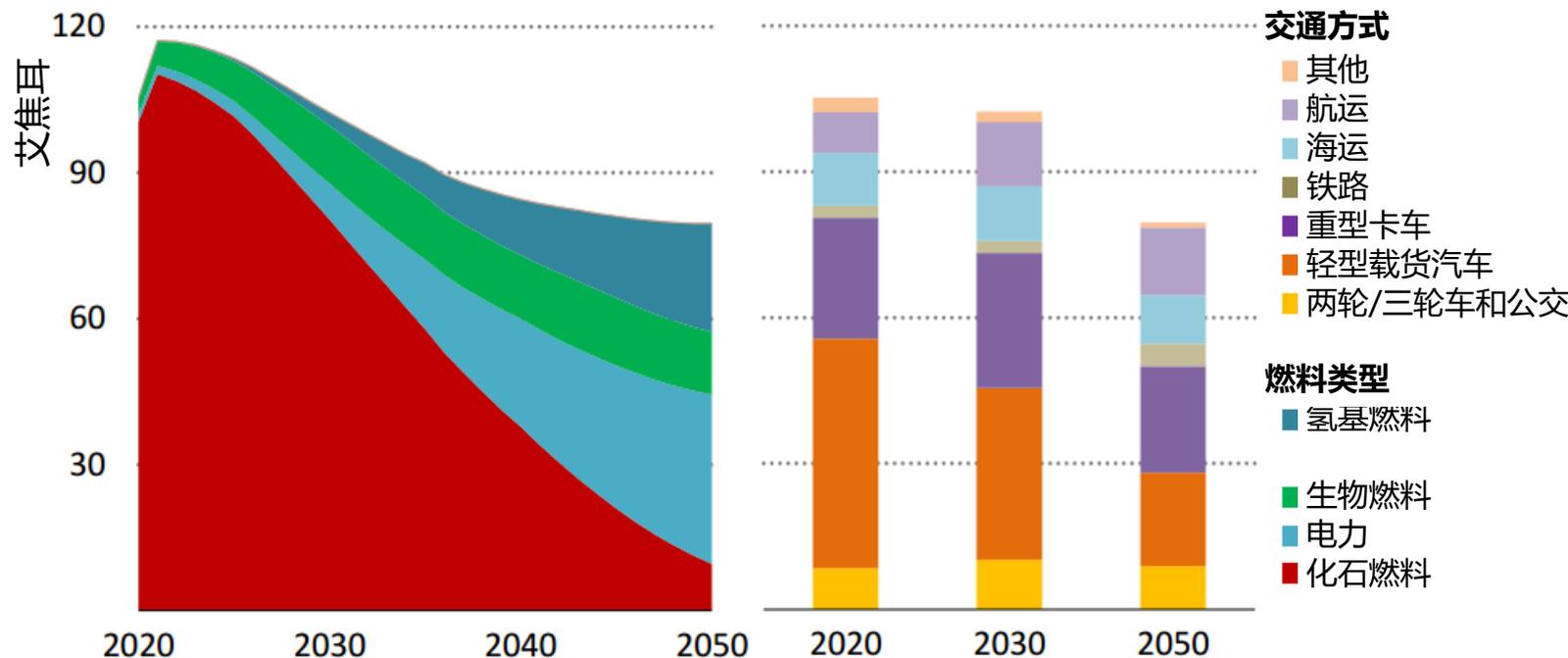


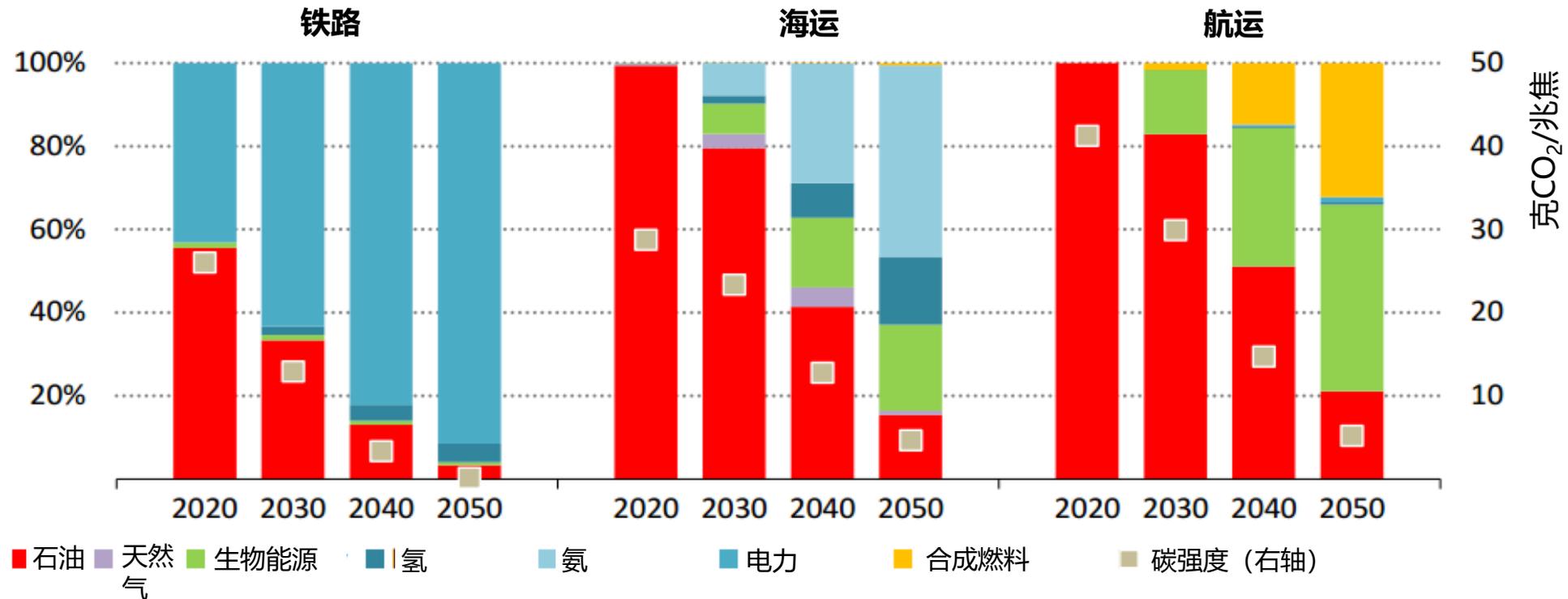
图40 2050净零排放情景下不同燃料和不同交通运输方式下全球交通运输部门终端能耗变化趋势 (单位: 艾焦耳)



- ◆ 2020年交通运输部门碳排放量为70亿吨, 在2050净零排放情景下, 2030年交通运输部门碳排放量为55亿吨, 到2050年, 即使客运总量快速增加两倍, 该部门碳排放仍将降至7亿吨, 降幅高达90%。
- ◆ 交通运输部门历来严重依赖石油等化石燃料。2020年, 尽管生物燃料和电力需求有所增加, 但石油等化石燃料仍占交通运输部门能源需求的90%以上。在2050净零排放情景下, 石油所占份额到2030年将降至75%以下, 到2050年仅略高于10%。到2040年, 电力将成为全球交通运输部门的主要能源来源, 到2050年, 电力占交通运输部门终端能耗的近45%, 其次是氢基燃料 (28%) 和生物燃料 (16%)。

8、交通运输部门中航运和海运通过改用低排放燃料控制碳排放

图41 2050净零排放情景下非公路交通能耗和碳强度变化趋势 (单位: 克CO₂/兆焦)



- ◆ 铁路运输是能效最高、碳排放最少的运输方式，在2050净零排放情景下，受快速电气化推动，铁路部门全球碳排放量从2020年的9500万吨降至2050年几乎为零，到2050年电力取代石油，提供90%的铁路能源需求。
- ◆ 2020年全球海运碳排放量约为8.3亿吨，在2050净零排放情景下，海运是少数没法实现净零排放的运输方式之一，通过使用低碳燃料，到2050年海运碳排放量将降至1.2亿吨。
- ◆ 在2050净零排放情景下，航运碳排放量将从2020年的约6.4亿吨降至2050年的2.1亿吨。

9、电气化是公路铁路交通运输模式下实现净零排放最有效的手段

表12 2050净零排放情景下全球交通运输部门转型关键里程碑

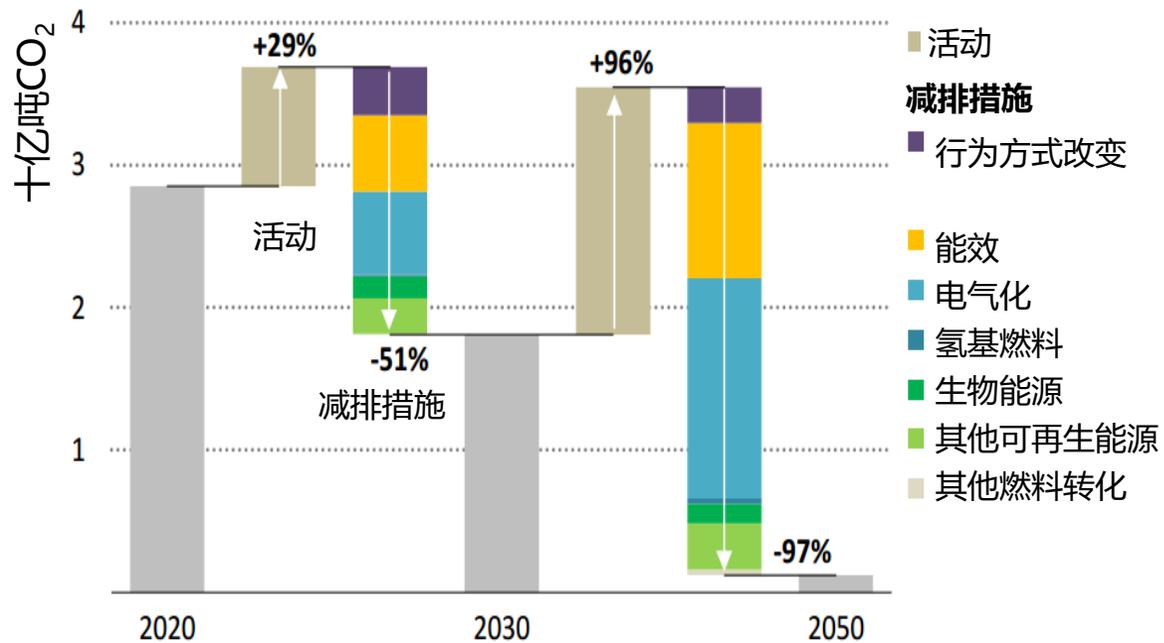
种类	2020	2030	2050
公路交通运输			
插电混动汽车、纯电动汽车和燃料电池汽车销售份额：			
轿车	5%	64%	100%
两轮/三轮车	40%	85%	100%
公交	3%	60%	100%
货车	0%	72%	100%
重型卡车	0%	30%	99%
掺混生物燃料的石油产品	5%	13%	41%
铁路运输			
电力和氢在总能耗中的份额	43%	65%	96%
由于生活方式转变导致出行活动增加值（将2020年出行活动设为100）	100	100	130
航运			
氢基燃料在航运总能耗中份额	0%	2%	33%
生物燃料在航运总能耗中份额	0%	16%	45%
航运出行活动减少值（将2020年出行活动设为100）	0	20	38
海运			
各能源在海运航运总能耗中份额：			
氢	0%	8%	46%
氢	0%	2%	17%
生物能源	0%	7%	21%
基础实施			
电动汽车公共充电桩（百万个）	1.3	40	200
加氢站	540	18000	90000
电气化铁路占比	34%	47%	65%

种类	目标
公路交通运输	<ul style="list-style-type: none"> 到2035年全球将不再销售新的内燃机汽车
海运和航运	<ul style="list-style-type: none"> 加快实施严格的碳排放强度以实现减排目标

- ◆ 在公路铁路部门，加快电气化转型，扩大电动汽车充电桩部署规模。
- ◆ 在难以减排的部门（重型卡车、航运和海运），在未来十年内需加快减排技术的研发，以及制定相关基础设施（如加氢站）发展计划。鉴于船只周转率低，各国政府应最迟在2025年前确定其在海运和航运领域的低碳燃料战略。
- ◆ 未来几年，全球政府应取消化石燃料补贴，鼓励整个交通行业转向低碳燃料和采用减排技术，加快对电池技术的研发。

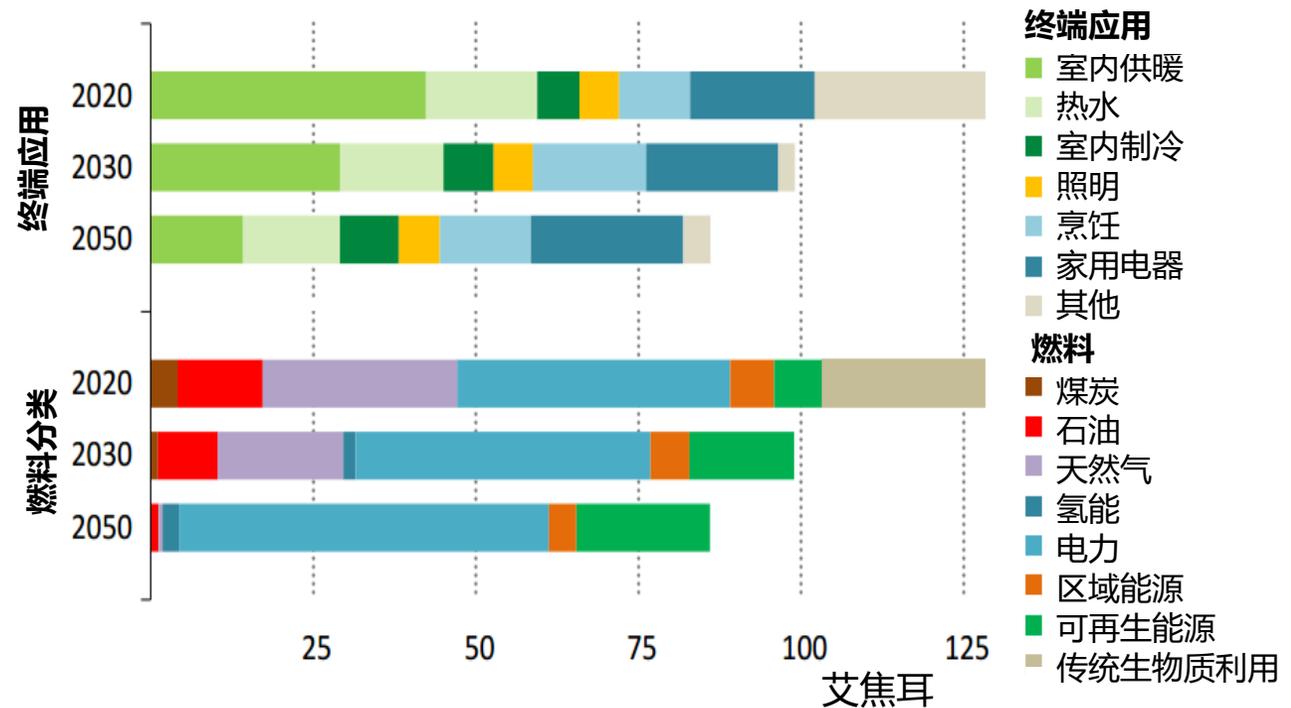
10、电气化与能效的提高将促使建筑部门碳减排高达70%

图42 2050净零排放情景下建筑部门不同减排措施直接碳减排量 (单位: 十亿吨CO₂)



注：活动=人口增长、建筑面积增加以及人均收入等对能源需求的影响

图43 2050净零排放情景下建筑部门不同燃料和终端应用中能耗变化量 (单位: 艾焦耳)

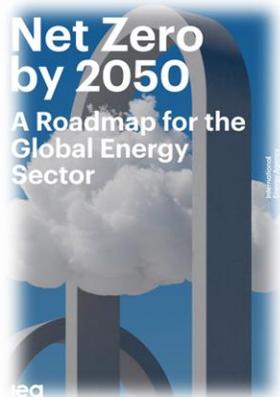


- ◆ 在2050净零排放情景下，2020年-2050年间全球建筑面积预计将增长75%，家用空调将从2030年6.5亿台增加到2050年20亿台，但建筑行业碳排放量将从2020年的近30亿吨下降至2050年的1.2亿吨，降幅为95%以上。其中电气化和能效的提高占建筑相关减排的近70%，其次是太阳能、生物能源利用和行为方式的改变。
- ◆ 2050净零排放情景下，零碳技术快速普及将促使建筑部门化石燃料需求量到2050年降至2%左右，电力在建筑部门能源结构中的比重将增至66%。

11、各国需立刻制定建筑部门的能源排放标准、逐步淘汰化石燃料

表13 2050净零排放情景下全球建筑部门转型关键里程碑

种类	2020	2030	2050	种类	目标
建筑				新建建筑	<ul style="list-style-type: none"> 从2030年起所有新建建筑将做到净零排放
现有建筑改造到净零排放的份额	<1%	20%	>85%	现有建筑	<ul style="list-style-type: none"> 从2030年起，每年对2.5%的现有建筑进行改造，以实现净零排放
新建建筑实现净零排放的份额	5%	100%	100%		
供暖和制冷				<ul style="list-style-type: none"> ◆ 2025年前，各国政府需采取行动确保在2030年前，制定符合净零排放标准的建筑用能法规。 ◆ 建筑节能证书、绿色租赁协议、绿色债券融资等手段都将帮助各国政府克服财政障碍，最大限度推动建筑部门向净零排放迈进。 ◆ 政府需制定政策，2025年后不再销售燃煤和燃油锅炉，转而使用低碳燃料或热泵、太阳能光伏等其他可再生能源技术。 ◆ 对于家用电器，各国政府需制定最低能效标准，最迟到2025年，将所有主要家电最低能效标准设置为发达经济体普遍执行的最高能效标准。 ◆ 将建筑战略与电力系统、城市规划和交通系统战略相结合，最大程度实现净零排放目标。 	
热泵保有量（百万个）	180	600	1800		
家用太阳能（百万个）	250	400	1200		
行为改变导致住宅能源需求减少率	n.a.	12%	14%		
电气和照明					
电气：单位能耗（将2020年能耗水平设为100）	100	75	60		
照明：发光二极管（LED）在销售中的份额	50%	100%	100%		
用能方式					
能用电的人口数量（十亿人）	7.0	8.5	9.7		
能够使用清洁烹饪方式的人口数量（十亿人）	5.1	8.5	9.7		
建筑中的能源基础设施					
分布式太阳能光伏发电量（太瓦时）	320	2200	7500		
私人电动充电桩数量（十万个）	270	1400	2500		



◆ 实现净零排放的广泛意义

1、加大对发电、基础设施和终端应用部门的投资力度实现净零排放

图44 2050净零排放情景下能源各领域投资金额 (单位: 万亿美元)

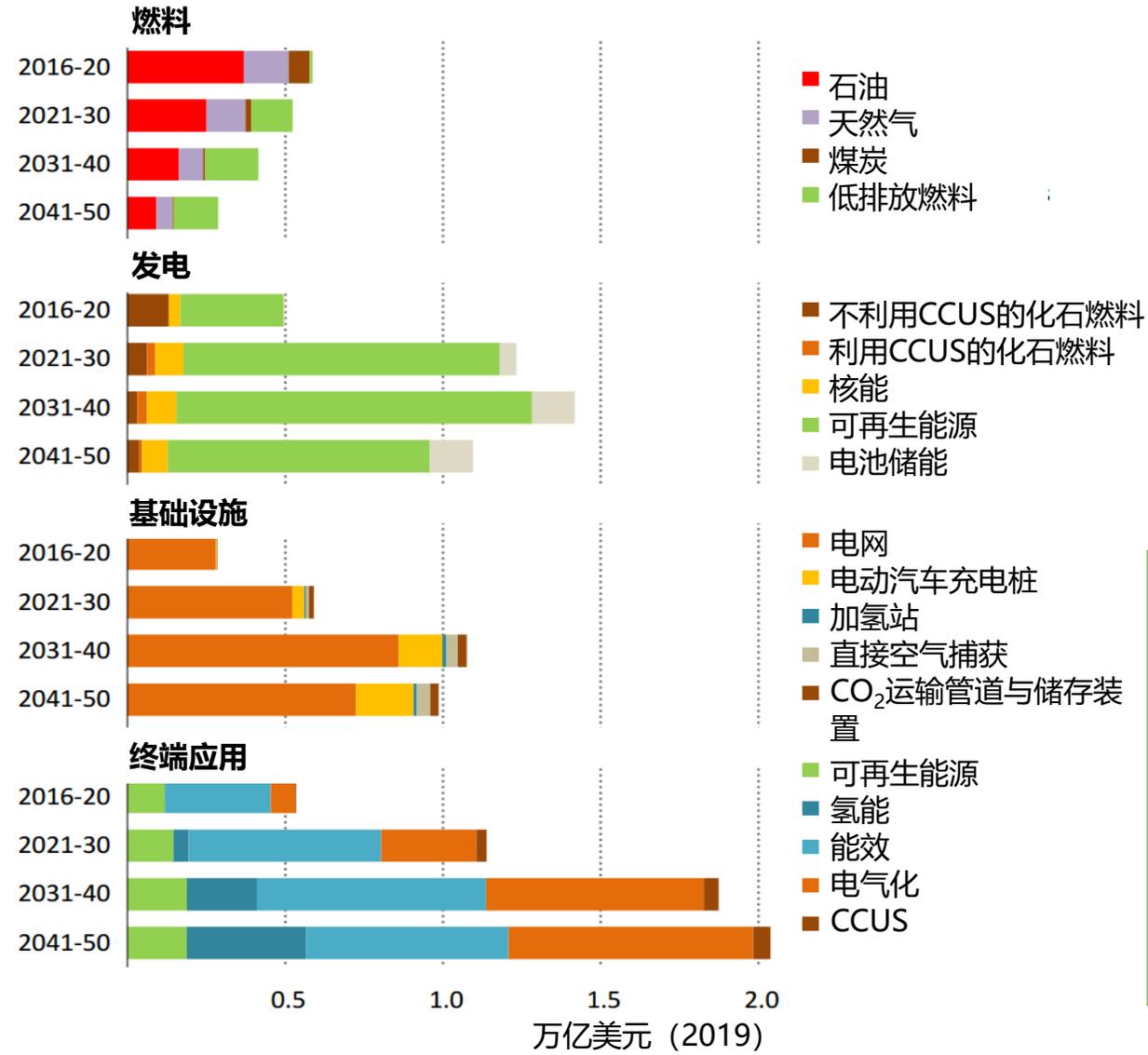
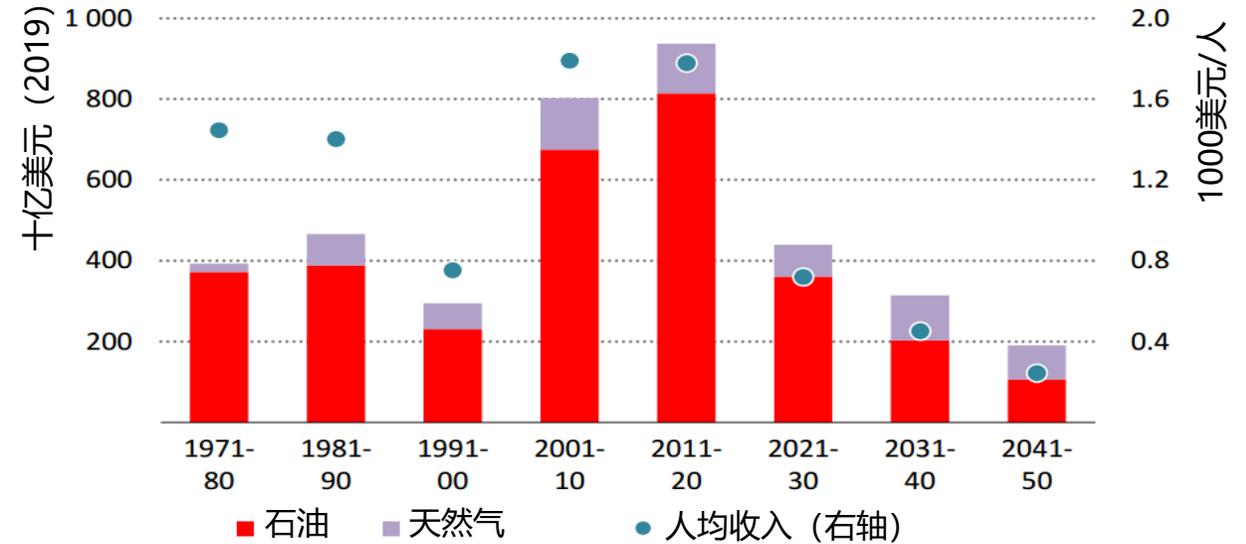


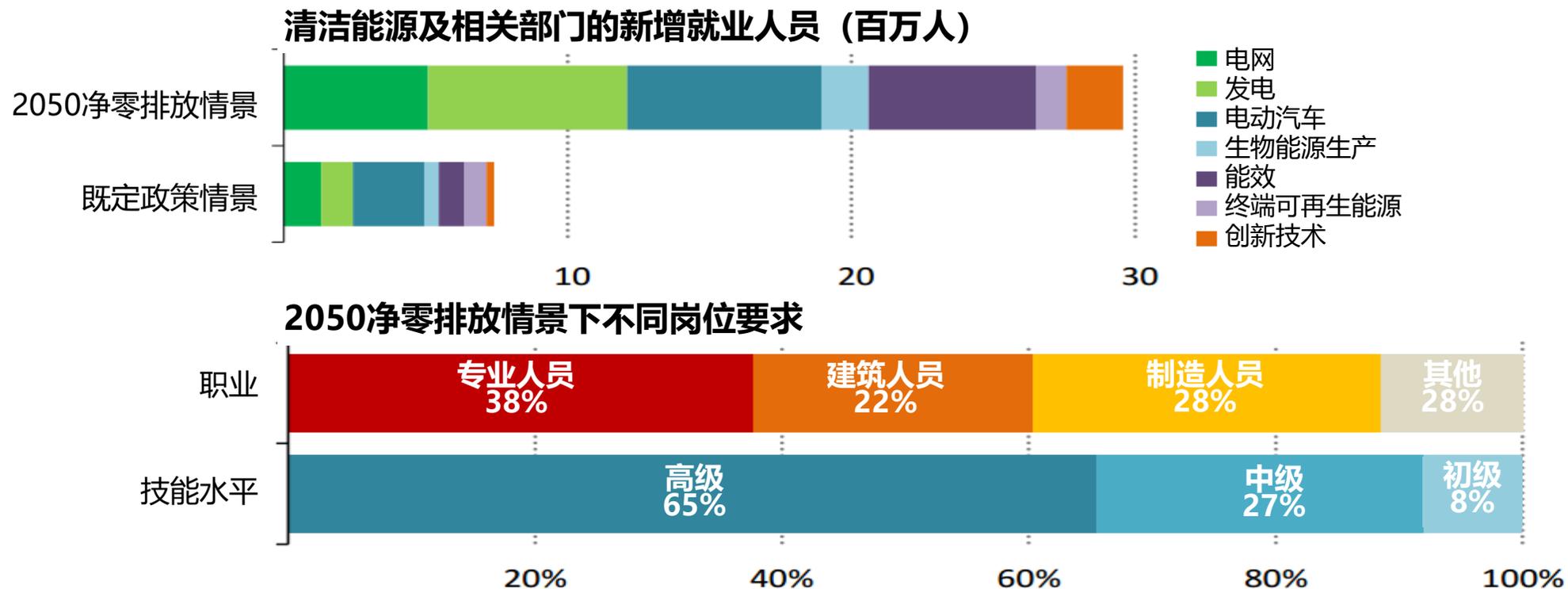
图45 2050净零排放情景下化石燃料生产国石油和天然气销售额变化 (单位: 艾焦耳)



- ◆ 未来十年，对可再生能源发电的投资需求最大，到2030年，电力行业年均可再生能源的投资约为1.3万亿美元。清洁能源基础设施方面，到2030年将增加至8800亿美元。终端应用领域，低碳技术年均投资额将从目前的5300亿美元上升至2030年的1.7万亿美元。
- ◆ 随着化石燃料使用量和价格的下降，应进行结构性改革，加快低效化石燃料补贴改革，加快利用碳氢化合物生产低排放燃料步伐。

2、到2030年将增加3000万新岗位以支撑能源清洁转型相关需求

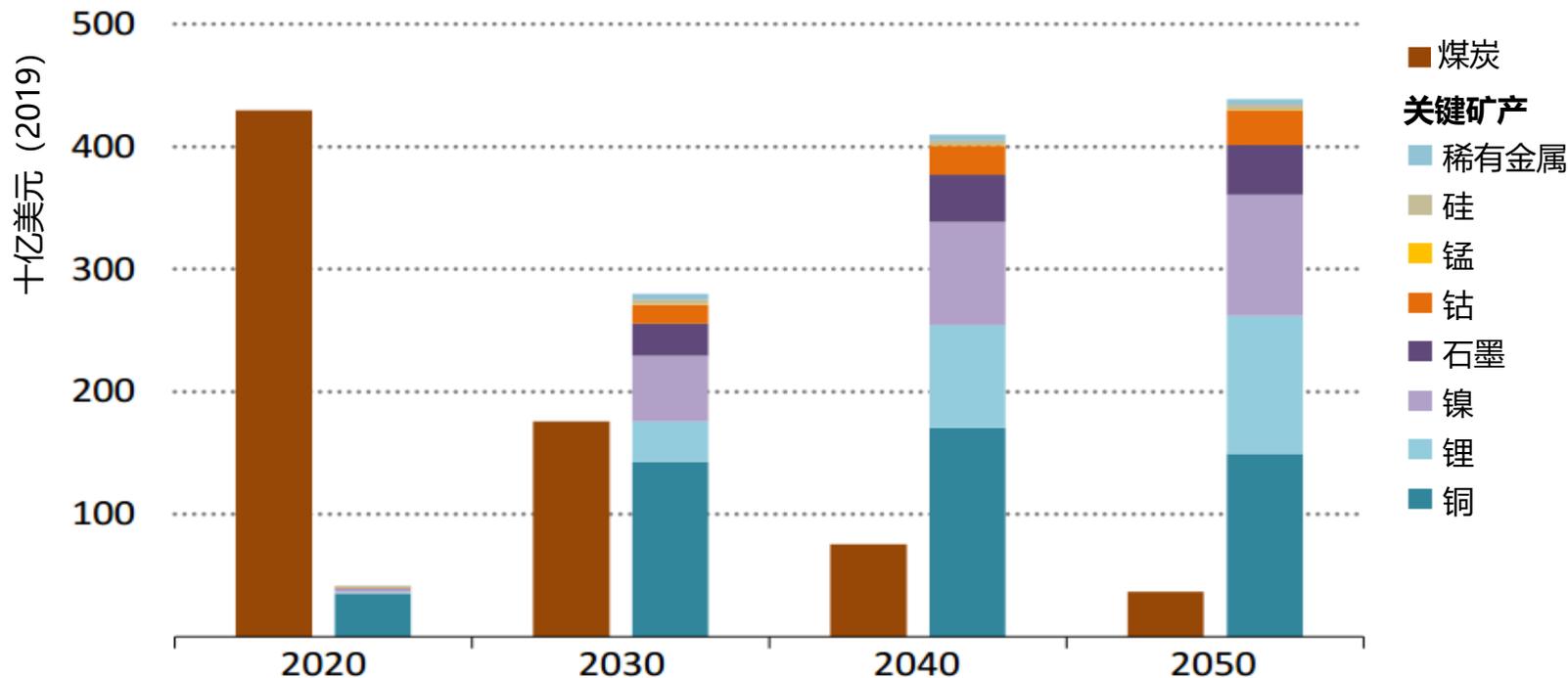
图46 2050净零排放情景下能源就业岗位变化



- ◆ 到2030年，将增加3000万个新岗位以满足对清洁能源、提高能效和低排放技术日益增长的需求，在电网建设、发电装置、电动汽车制造以及能效提高方面的投资将创造更多的就业机会。
- ◆ 在2050净零排放情景下，新增加的岗位中近三分之二的岗位需要高技能工人，其中大多数工人需要经过长时间的培训。

3、其他关键矿产的开采需求将抵消煤炭需求的萎缩

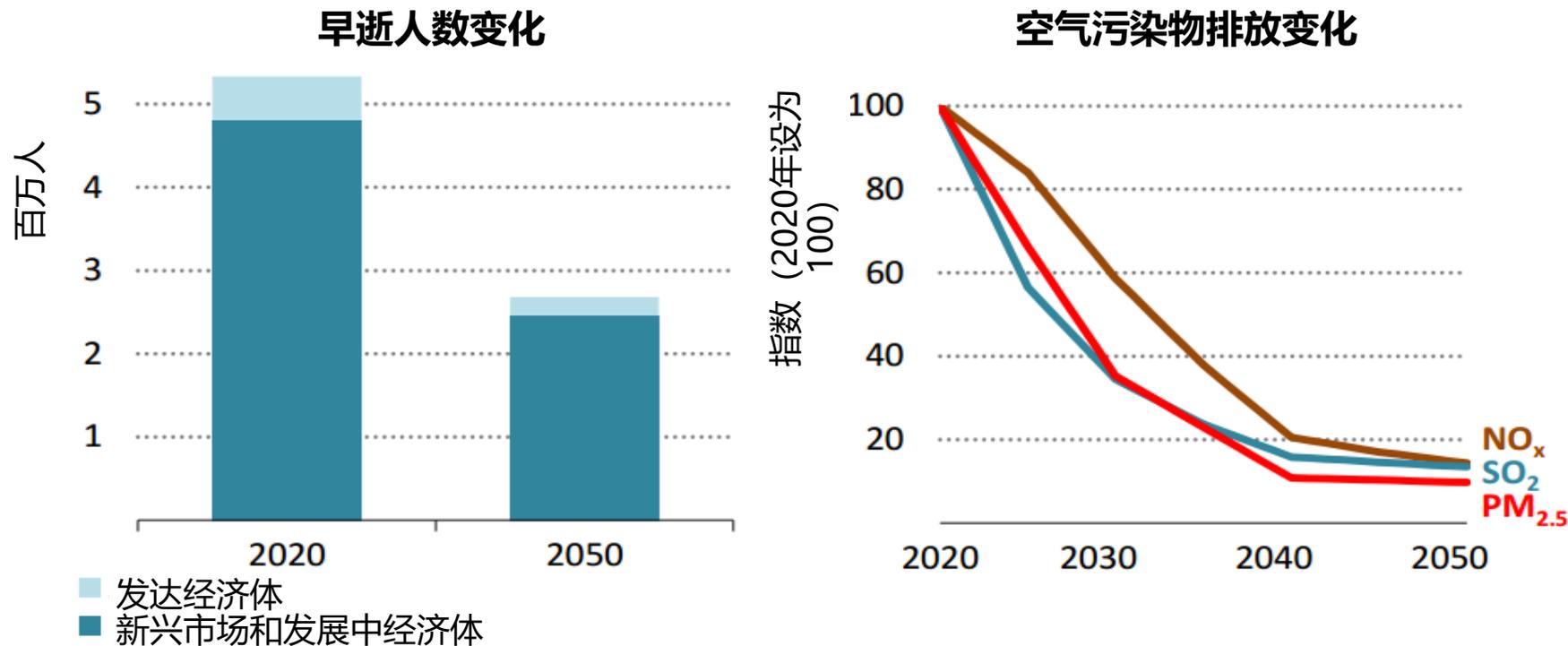
图47 2050净零排放情景下关键矿产开采投资金额（单位：十亿美元）



- ◆ 在2050净零排放情景下，煤炭使用量急剧下降，这将对拥有大量生产能力的采矿企业和国家未来产生重大影响。然而对采矿企业来说，煤炭需求的萎缩可以被其他关键矿产资源的开采需求所抵消，包括对清洁能源技术至关重要的关键矿产，如铜、锂和镍。
- ◆ 到2030年，用于电池中的锂需求将增加30倍；用于制造电动汽车发动机和风力涡轮机的稀土元素需求将增加10倍。到21世纪40年代，这些矿物的全球市场规模将接近目前的煤炭市场规模。

4、实现净零排放对公民健康与空气清洁具有重要意义

图48 2050净零排放情景下建筑部门不同燃料和终端应用中能耗变化量（单位：艾焦耳）



- ◆ 2020年，空气污染导致全球约540万人过早死亡，这些死亡大多发生在新兴市场和发展中经济体。在2050净零排放情景下，与2020年相比，因空气污染导致的早逝人数将减少一半左右，其中85%来自新兴市场和发展中经济体。
- ◆ 在2050净零排放情景下，三大空气污染物二氧化硫（SO₂）、氮氧化物（NO_x）和细颗粒物（PM_{2.5}）的能源相关排放量迅速下降。其中SO₂排放量在2020-2050年间将下降85%，NO_x排放量将下降约85%，PM_{2.5}排放量将下降90%。

5、电力占家庭能源支出的绝大部分、全民减排更多受政府政策驱动

图49 2050净零排放情景下家庭年均能源开支
(单位：美元)

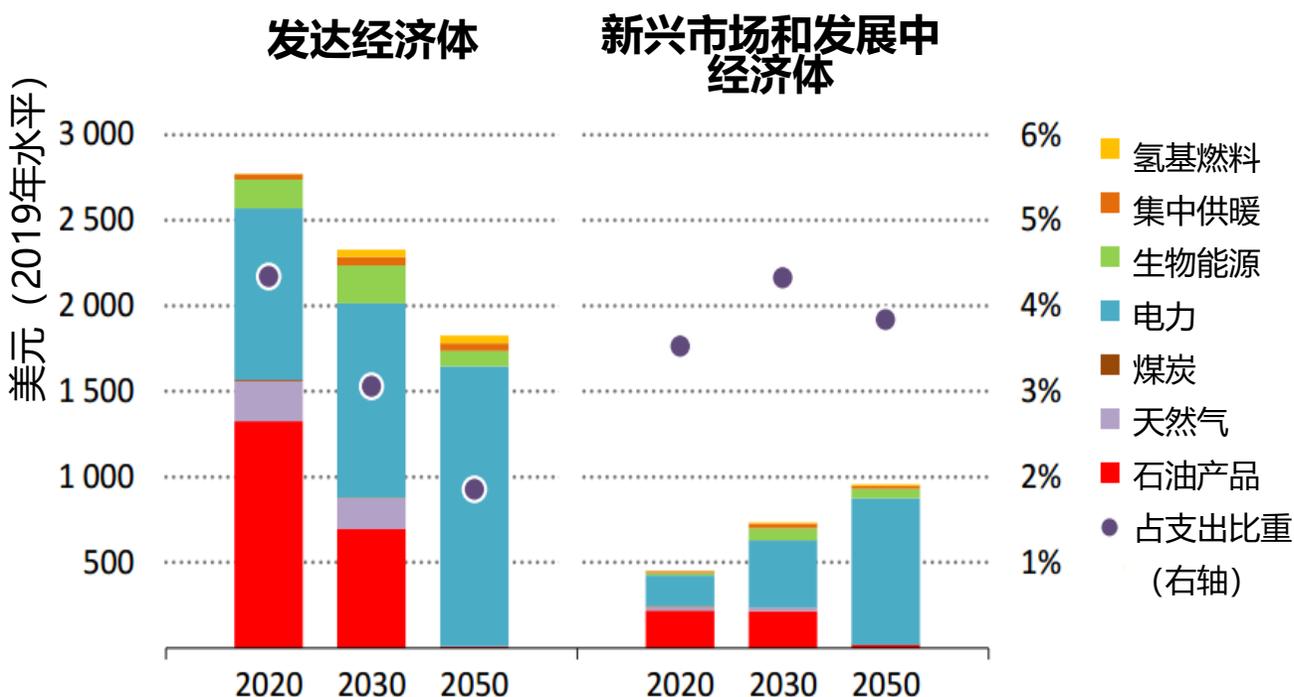
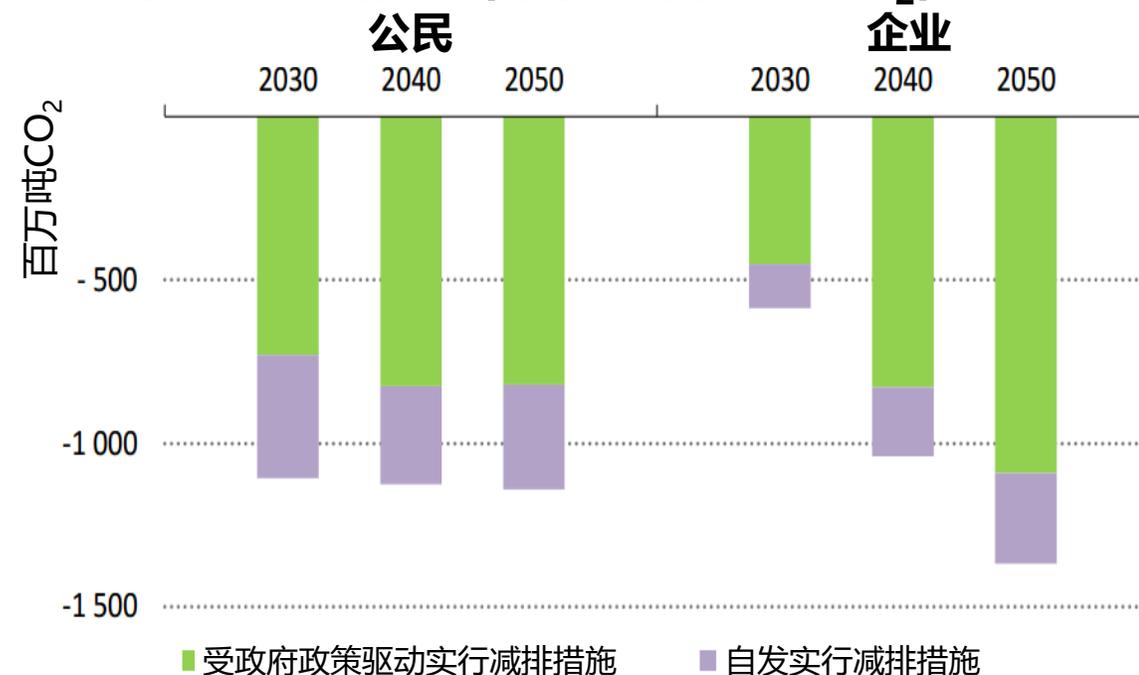


图50 2050净零排放情景下公民和企业不同驱动力推动的减排量 (单位：百万吨CO₂)



- ◆ 发达经济体家庭用于能源支出大幅下降，年均支出从2020年的2800美元降至2030年的2300美元。到2050年，电力占家庭燃料支出的比例从2020年的约35%上升到90%；新兴市场和发展中经济体家庭用于能源的支出稳定上升，其中电力将占能源支出的绝大部分。
- ◆ 行为改变所贡献的减排中，四分之三是由政府政策直接影响导致，包括控制污染物排放、大城市中逐步淘汰高排放汽车和实行更宽松的高速公路限速标准。

6、降低油气需求、增加能源多样性和提高能效以保障能源安全

图51 2050净零排放情景下全球石油供应量和液化天然气出口量

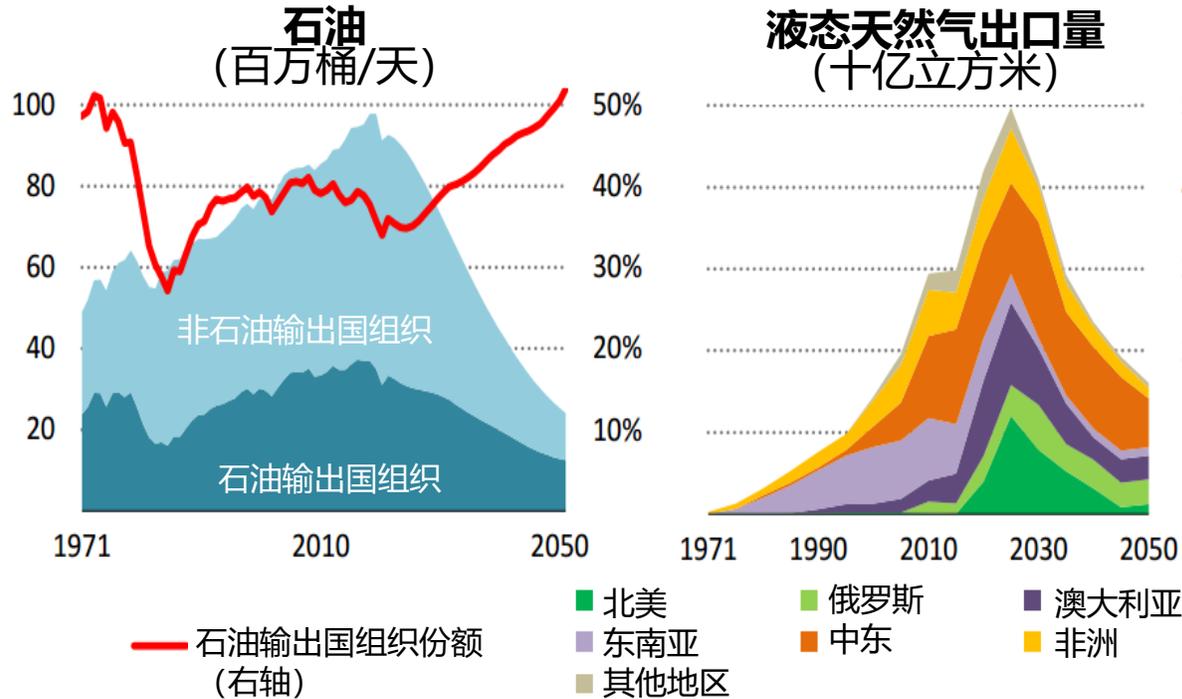
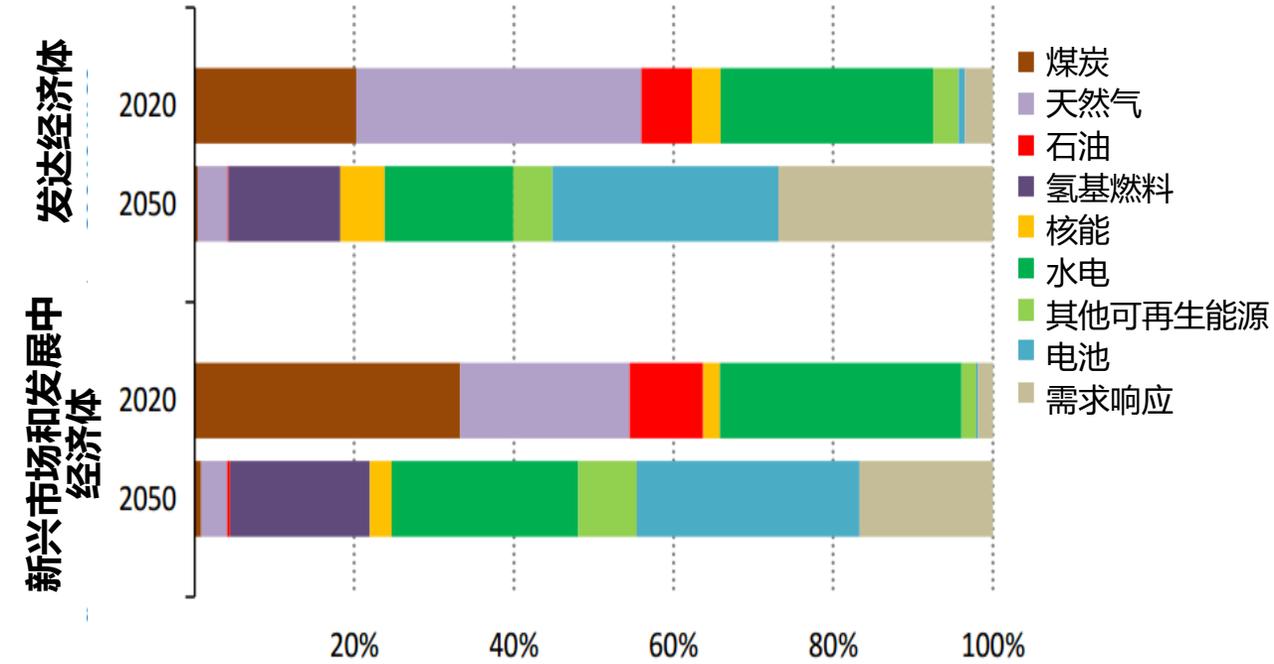


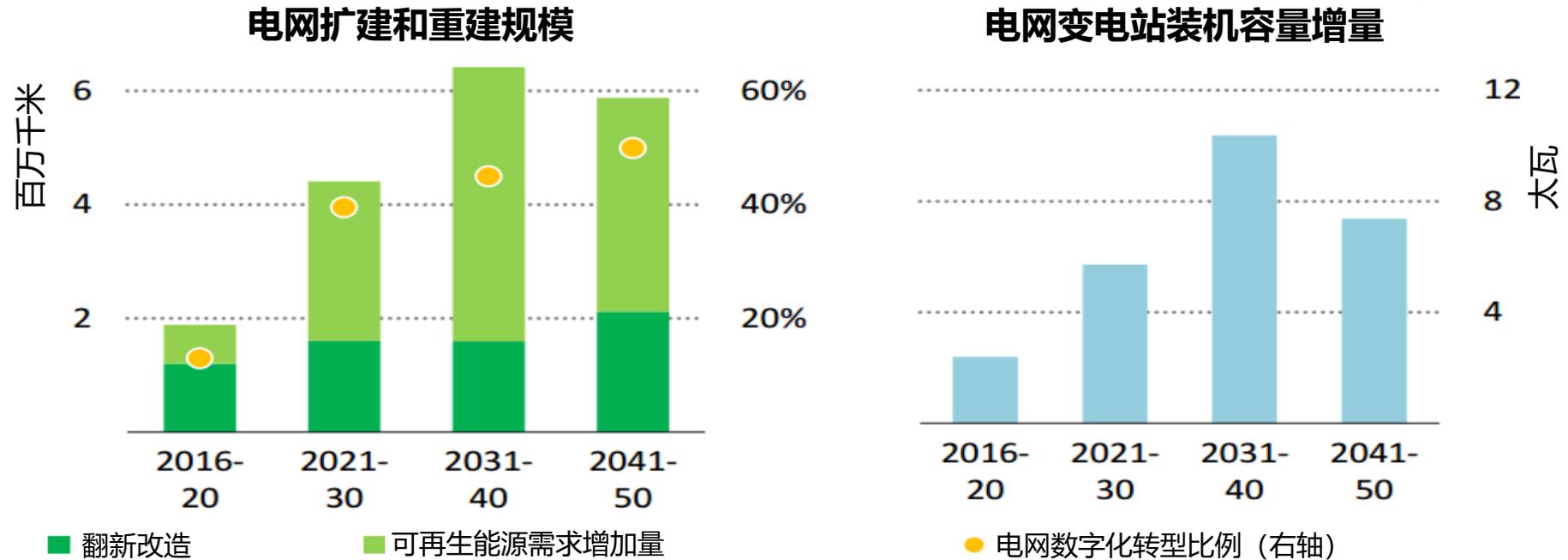
图52 2050净零排放情景下电力系统灵活性



- ◆ 由于石油和天然气收益下降，以及对石油输出国组织（OPEC）和其他产油国依赖增加，将对石油消费国的供应安全构成风险。因此，需降低油气需求、增加能源使用多样性以及提高能效，是提高能源安全的核心措施。
- ◆ 随着可再生能源在发电结构中所占比例的增加，在2050净零排放情景下，电力系统的灵活性将增加四倍，同时电力供应量增加两倍半以上。为满足电力系统安全性和灵活性，需扩大电池储能和需求响应部署规模，此外，采用数字化监控系统以保障电力系统网络安全。

7、电力需求和可再生能源的使用的增加将需要大规模建设电网

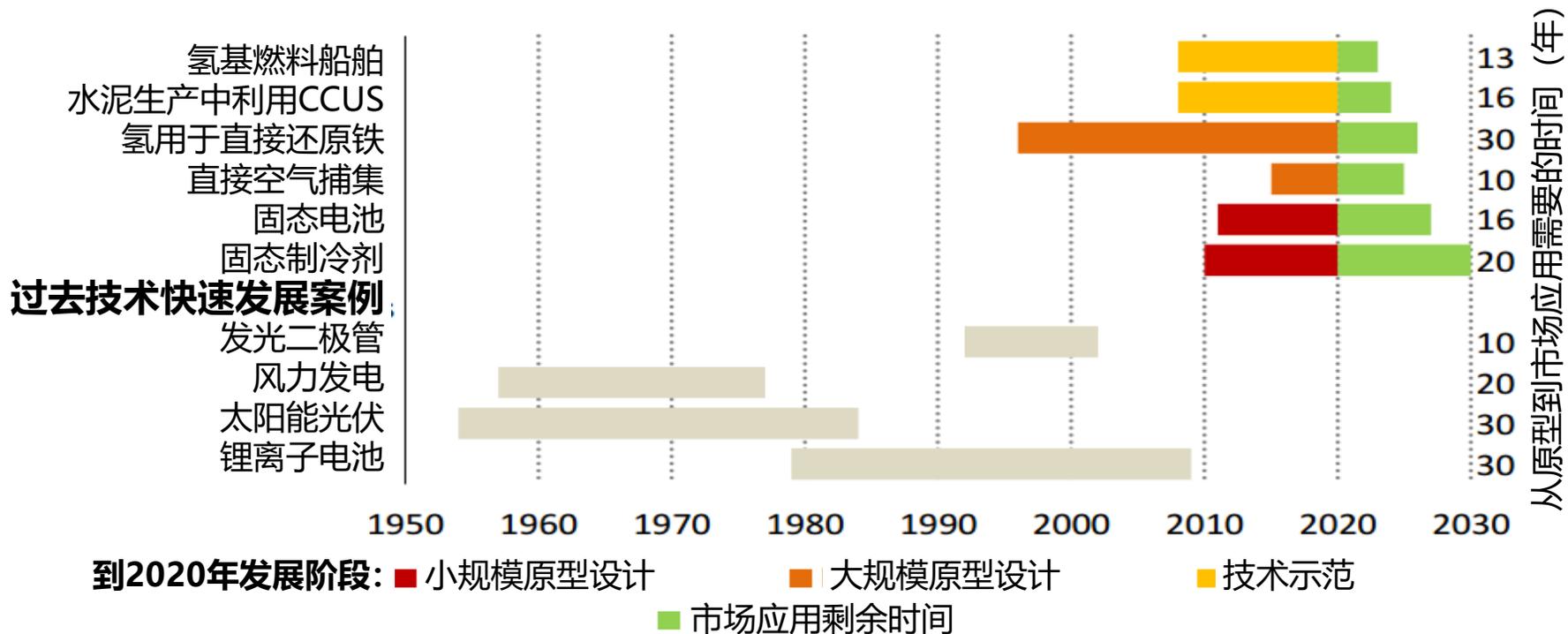
图53 2050净零排放情景下全球年均电网扩建、重建规模以及变电站装机增量



- ◆ 在2050净零排放情景下，电力需求的快速增长和向可再生能源的过渡，要求电网进行大规模现代化扩张建设。
- ◆ 未来，全球所有国家政府将在规划、融资和规范基础实施发展方面发挥核心作用，包括：电网、电动汽车充电桩、低排放燃料、CO₂管道系统以及交通基础设施的部署。

8、大力加速清洁能源技术创新以实现2050净零排放目标

图54 2050净零排放情景下不同技术从最初原型设计到市场应用时间轴



- ◆ 在2050净零排放情景下，到2050年减少的CO₂排放量中有近50%来自目前还处于示范或原型设计阶段的技术。
- ◆ 在2050净零排放情景下，目前清洁能源技术的创新周期比过去要快得多，目前尚未大规模示范的清洁能源技术最迟到2030年能进入市场应用。如水泥生产中利用CCUS技术或氢基燃料船舶将在未来三到四年投入市场，基于氢的钢铁生产、直接空气捕集和其他处于大型原型设计阶段的技术将在大约6年内进入市场，而大多数处于小型原型设计阶段的技术，如固态制冷剂或固态电池，将在未来9年内进入市场。

9、政府应通过长期政策支持技术创新以实现2050净零排放目标

■ 到2030年，政府行动重点是将新的零排放或低排放技术推向市场：

- 钢铁厂使用低排放的氢用于直接还原铁、大型船舶使用低排放的氨作为燃料、电动卡车使用固态电池。
- 加快部署目前尚未达到大规模市场应用的低排放技术，通过实践学习和规模经济，降低技术制造、建设和运营成本。

■ 2030年到2040年，先进技术将进一步整合并扩大清洁能源技术基础设施建设：

- 将目前在实验室或小型原型设计阶段的清洁能源技术推向市场。如在高价值产品生产中，水泥窑和蒸汽裂化炉用电能替代传统化石燃料。

■ 2040年到2050年，目前处在非常早期发展阶段的技术被有前景的利基市场采用：

- 到2050年，目前处在示范或大型原型设计阶段的清洁能源技术将成为应用和安装的主流技术，并在所有地区与现有的传统技术相竞争。而目前还处于非常早期发展阶段技术将被有前景的利基市场采用，如超高能量密度的电池被用于航空领域飞机的短途飞行。

10、各国政府应建立长期有效的互利合作以实现2050净零排放目标

■ 遵循国际需求变化，实现规模经济：

- 国际合作对于降低许多关键能源技术的成本至关重要，加速知识转移，促进规模经济。将一个地区对清洁能源技术和燃料的新需求与其他地区的供应发展相结合。

■ 维持国际贸易公平与竞争：

- 需对产品制定跨国贸易统一标准，以确保互操作性。此外，制定标准可加速能源技术开发和部署。

■ 强化全球创新、全球示范和全球部署：

- 清洁能源研发和专利申请目前集中在少数几个地区：2014-2018年，美国、欧洲、日本、韩国和中国占清洁能源专利申请的90%以上。通过迅速向未参与初始开发的国家推广清洁能源技术的经验和知识，并为新兴市场和发展中经济体的首批示范项目提供资金，将加快实现全球净零排放进程。

■ 全球部署二氧化碳移除（CDR）技术：

- CDR技术的应用对于全球范围实现减排至关重要。通过国际合作，以在全球范围最大限度利用土地、可再生能源潜力和固碳资源。此外，高度协调国际排放交易机制，确保市场正常运作与完整性。



《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