



# 壳牌能源远景 *Sketch*

## 中国能源体系 2060 碳中和



[www.shell.com/scenarios](http://www.shell.com/scenarios)  
#ShellScenarios



聚焦能源转型  
国家和地区



| 2005 | 2010 | 2015 | 2020 | 2025 | 2030



# 目录

|                        |    |
|------------------------|----|
| > 序言                   | 4  |
| > 前言                   | 7  |
| > 迈向生态文明               | 7  |
| > 中国目前面临的能源挑战          | 8  |
| > COVID-19 新冠疫情的影响     | 9  |
| <b>第一章</b>             |    |
| > 实现 2060 中国能源体系净零排放   | 10 |
| > 第 1 部分：加速开发清洁能源技术和燃料 | 11 |
| > 第 2 部分：支持低碳节能型选择     | 18 |
| > 第 3 部分：实施碳移除         | 21 |
| <b>第二章</b>             |    |
| > 中国 2060 年能源体系        | 27 |
| > 经济角度                 | 27 |
| > 行业角度                 | 30 |
| <b>第三章</b>             |    |
| > 迈向碳中和                | 36 |
| > 了解能源转型的影响            | 37 |
| > 全面、统一、可靠的政策框架        | 46 |
| > 行业行动联盟               | 51 |
| > 城市是变革的孵化器            | 52 |
| > 结语                   | 54 |
| > 鸣谢                   | 56 |
| > 术语表                  | 56 |
| > 尾注                   | 57 |

2035 | 2040 | 2045 | 2050 | 2055 | 2060 | 2065 | 2070





# 序言

黄志昌 (壳牌集团执行副总裁、壳牌中国集团主席)

气候变化是现代人类社会面临的巨大挑战。在应对这一挑战的过程中，中国发挥着不可或缺的关键作用。

您正在打开的是壳牌能源远景之《中国能源体系2060 碳中和报告》，这也可以说是一份邀请函，我们借此诚挚地邀请您共同展望中国能源体系的未来。这份报告勾画了一幅可能的路线图，帮助中国在2060年前实现能源生产与使用过程中二氧化碳的净零排放。

作为世界上最大的能源消费国和碳排放国，同时又是最大的可再生能源生产国，以及电动汽车制造与使用量全球遥遥领先的国家，中国既是全球气候挑战的一部分，也是其解决方案的重要组成部分。2020年，习近平主席宣布，中国将力争于2030年前达到碳排放峰值，努力争取于2060年前实现碳中和（“3060目标”）。在全球迈向可持

续未来的脱碳征程上，这可谓是一个意义深远的决定性时刻。

2019年，中国的碳排放占全球碳排放总量的27%<sup>1</sup>。因此，要实现“3060目标”，中国实施碳减排的速度必须超过以往所有国家<sup>2</sup>。

中国正在进行全球最大规模的能源体系转型，并且已经取得了显著的进展。清晰的能源转型长期目标和政策路线图，正在推动中国站到低碳工业革命的最前沿，同时也为未来的经济增长提供充足和不断增长的能源供应。

中国将逐渐摆脱对煤炭的依赖，转向可再生能源和清洁能源。这一转变将推动低碳和无碳能源、技术以及新型增长产业的发展，从而带来巨大的机遇。这场开创性的绿色革命有可能给国内外的工业、经济和社会带来积极而深远的影响。

中国能源转型的规模和重要性都是空前的。因此，实现“3060目标”的具体路径引发了广泛而热烈的探讨。



.....清晰的长期目标和政策路线图，正在推动中国站到低碳工业革命的最前沿.....”



这份为中国量身定制的壳牌能源远景报告勾勒了一条深入、快速的脱碳路径,帮助中国按时实现“3060 目标”。基于深入的分析,加上我们长期以来服务于中国能源需求的经验,我们认为,这条路径在经济和技术层面都具有可行性。

过去 128 年来,我们在中国的发展可谓根深叶茂:我们不仅与中国合作伙伴和客户建立起互信关系,还与国务院发展研究中心等中央政府机构合作,为中国能源研究做出了自己的贡献。

壳牌的“赋能进步”战略提出,我们将与社会同步,在 2050 年以前成为一家净零排放的能源企业。这一战略正引领着我们提供清洁的、可持续的能源解决方案,助力中国实现“3060 目标”和建设生态文明。从天然气到可再生能源,从提高能效的咨询项目到低碳技术解决方案——我们的产品和服务将帮助各行各业(包括重工业和航空业等脱碳难度较大的行业)以及政府部门实现减碳目标。

正如习主席所说,实现“3060 目标”将是一场硬仗。他还说,中国有能力,也有决心同时实现高质量增长和环境保护的目标——“绿水青山就是金

山银山”。我们都将参与这场硬仗,我们也一定会一起赢得这场硬仗!

有一句成语我特别喜欢,叫做“高瞻远瞩”——站得高,才能看得远。您手中的这份《中国能源体系 2060 碳中和报告》就有着高瞻远瞩的目标,它旨在为所有利益相关者打造一个开放的平台,支持大家开展前瞻性的讨论,建立联盟并制订政策框架。

通往净零排放目标的道路将是前所未有的征程。为了共创净零未来,我们必须站得高,看得远,并朝着共同的目标迈出坚实步伐。



黄志昌 (Jason Wong)  
壳牌中国集团主席





“

毫无疑问，实现 3060 目标并非易事。要实现该目标，中国必须以前所未有的速度，对其能源体系实施根本性变革。”





# 前言

## 迈向生态文明

在向低碳能源体系转型方面,中国已展现出强劲势头。

2015年,习近平主席在巴黎气候大会开幕式上发表讲话,指出应对气候变化是“全人类共同的使命”。同年,中国承诺到2030年左右达到二氧化碳排放峰值,并承诺将单位GDP二氧化碳排放量在2005年水平的基础上降低60%至65%。

2017年,中国共产党第十九次全国人民代表大会将制定“节能环保”政策和“促进全球生态安全”明确列为环境保护重点工作;2018年,“生态文明”被写入中国宪法。

2020年9月,为加强落实,中国政府又提出“3060目标”,即于2030年前达到二氧化碳排放峰值,并力争于2060年前实现碳中和。

基于壳牌的全球远景分析和洞察,本报告为中国实现2060能源系统净零碳排放勾勒了一条可能路径。通向净零排放的路径是多样的,基于社会和政策所偏好的技术和燃料选择不同,但基本原理是清晰的。

本次壳牌能源远景之《中国能源体系2060碳中和报告》以壳牌“天空1.5”远景为基础<sup>3</sup>,与巴黎气候协定的延伸目标一致,也就是将全球平均气温上升幅度尽可能控制在与工业革命前相比不

超过1.5°C的水平。在壳牌最新的“天空1.5”远景中,全球将于2060年前实现净零排放,其中,发达经济体将更早实现该目标。中国远景与“天空1.5”远景类似,即整个远景是基于中国能源系统于2060年前实现净零排放这一假设的。

最近在格拉斯哥结束的《联合国气候变化框架公约》缔约方会议第26次大会(COP26)上,197个国家通过了格拉斯哥气候协议以保证巴黎气候大会1.5度目标的继续落实。大会首次达成了削减煤炭使用的共识。中国和美国达成了双边联合协议以加强在实现巴黎协定目标上的合作。

毫无疑问,实现3060目标并非易事。要实现该目标,中国必须以前所未有的速度,对其能源体系实施根本性变革。

然而,鉴于中国迄今取得的进展,以及过去十年实现的变革,我们认为,实现“3060目标”在经济和技术层面具有可行性。在转型进程中,我们需要跨行业建立产业联盟,并明确减排和加快变革步伐的使命。至关重要的是,我们需要制定相应政策框架,以协调政府、企业和社会大众的利益,确保各方不断致力于取得进展。



中国应对气候变化的决心、拥有的科学技术,以及由五年规划建立起来的系统的长期政策治理,为其推动能源转型提供独有的动力。

通过设立长期而明确的应对气候变化的目标,习总书记的宣言反映了中国在实现经济增长以外,对改善社会和环境的高度重视。

## 中国目前能源体系面临的挑战

中国是全球最大的能源消费国——2019年能源消费量占全球能源消费总量的21%,也是全球最大的煤炭消费国。目前,中国大部分——近60%的一次能源需求依赖于煤炭来满足。

中国能源体系的庞大规模及其对煤炭的依赖意味着,其温室气体(GHG)排放量在全球温室气体

排放总量中的占比也要大得多。2018年,该占比达到了24%,是全球第二大温室气体排放国——美国(12%)的两倍,欧盟(7%)的三倍以上。

按人均计算,中国温室气体排放量刚刚达到发达国家的平均水平。2018年,中国人口约14亿,这意味着其人均二氧化碳排放量约为8.2吨,不及2018年美国和加拿大人均二氧化碳排放量——17吨的一半,但高于欧盟——人均6.5吨。

然而,中国的人均排放量在2019年跃升至10.1吨,超过经济合作与发展组织(OECD)2020年的水平<sup>5</sup>。随着中国经济继续增长,以达到与经合组织可比的发展水平和生活标准,能源消费增长将在未来几十年持续——人均排放量也可能增长。



中国能源体系的庞大规模使其成为全球实现巴黎协定气候变化目标的关键因素。根据国际能源署 (IEA) 公布的政策远景, 如果中国能够实现其公布的 2030 年和 2060 年气候目标, 那么到本世纪末, 全球平均气温升幅将比基线缩小近  $0.2^{\circ}\text{C}$ 。反过来实现巴黎协定的目标将有助于中国乃至全球避免遭受气候变化带来的最坏影响。

尤其是在未来十年, 中国面临的挑战将是在经济发展带动能源需求增长的同时, 减轻自身对煤炭的依赖。然而, 中国目前仍处于工业化发展阶段, 水泥、钢铁和化工等重工业在经济产出中占据了相当大的比例。

中国的大部分工业产能相对较新且依赖于煤炭。因此, 若要实现脱碳目标, 同时避免这些工业资产提前停用造成的成本损失, 就需要大力投资并转向低碳生产工艺、技术和燃料。

## COVID-19 新冠疫情的影响

COVID-19 新冠疫情在世界各地引发了混乱, 给人类健康造成了重大损失, 而且, 各种旨在控制疫情之影响的举措也造成了经济衰退。

中国有效地遏制了疫情的发展并控制了疾病的传播, 从而迅速恢复了经济发展, 此抗疫表现超过了其他所有主要经济体。

尽管中国 GDP 增速降至 40 年来的最低水平, 但中国仍然是全球唯一一个在 2020 年实现经济增长 (2.3%) 的主要经济体<sup>7</sup>, 与全球经济形成了鲜明对比。据估计, 2020 年, 全球经济收缩超过 3%<sup>8</sup>, 是战后以来最大幅度的紧缩。受此影响, 2020 年全球一次能源需求下降近 4%, 与能源相关的二氧化碳排放量下降近 6%<sup>9</sup>。

随着中国经济逐渐恢复到疫情之前的水平, 其碳排放量也开始增长。排放量在 2020 年前三个月平均每月下降 10% 之后, 在其后每个月, 其二氧化碳排放量平均增长 4%。2020 年, 中国二氧化碳总排放量比 2019 年底高出近 1%<sup>10</sup>。



“

中国有效地遏制了疫情的发展并控制了疾病的传播, 从而迅速恢复了经济发展, 此抗疫表现超过了其他所有主要经济体。”



# 壳牌能源远景 Sketch

## 第一章

# 实现 2060 能源 体系净零排放





要在未来四十年内实现中国能源体系的净零排放，中国经济必须发生根本性的变革。

中国不仅需要改变能源的生产方式，还必须改变能源的运输和消费方式。为此，中国需要开发新能源，并将其与新技术相结合。此外，中国还需要建立新的经济与商业模式，去适应直接使用能源的行业（即终端用能）以及运输和建筑行业。

与美国和欧盟等成熟经济体不同，由于中国要实现与当今发达经济体相当的经济水平，中国能源体系的转型需要在能源需求不断增长的背景下进行<sup>11</sup>。这也为中国在开发和采用低碳技术、燃料和解决方案方面超越当前发达经济体提供了机会。

## 第一部分： 加速开发清洁能源技术和燃料

中国已经站在一些低碳技术商业化应用的前沿，例如，太阳能和风能发电，电动汽车等。

### 利用低碳能源加大电气化

本报告勾勒的深入迅速的脱碳路径需要基于以下前提，即经济体尽可能实现电气化普及，同时投资于可再生能源以及其他低碳和无碳能源（例如，核能）发电，以满足电力需求。

自 20 世纪 90 年代以来，中国的电力体系发展迅速。过去三十年，电力在最终能源消耗中的占比每十年增长约 6%，在未来四十年，该占比还需要以更高的速度增长——近 9%（图 1）。

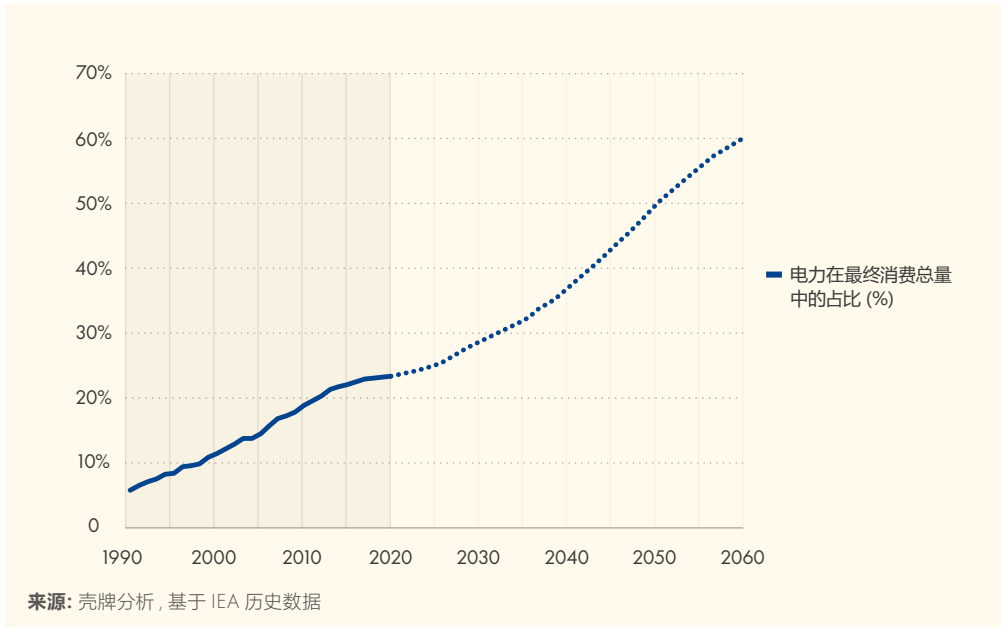
根据本报告的分析，电力在最终能源消费中的占比将从目前的 23% 增长至 2060 年的 60% 左右。2060 年的最终电力消费总量将达到目前的三倍，建筑业（住宅和商业建筑）、轻工业和道路客运等部门将基本实现电气化<sup>12</sup>。



与美国和欧盟等成熟经济体不同，由于中国已实现与当今发达经济体相当的经济水平，中国能源体系的转型需要在能源需求不断增长的背景下进行。”



图 1: 中国电气化率



“

.....中国目前的电力体系仍然以煤电为主。要实现电力体系脱碳, 中国需要大幅提升太阳能和风能发电占比——从目前的 10% 增高至 2060 年的 80%。”



除了终端用能（工业、运输和建筑行业）电气化以外，电解水制氢需求也将推动电力需求。下一章将更详细地探讨这一点。自 2030 年之后，氢能需求将呈指数级增长，预计到 2060 年，该需求将刺激电力需求增长 25%，中国电力系统规模几乎是目前四倍。

在推进电气化的同时，中国还需要转向低碳和零碳能源发电方式。

中国是全球可再生能源发电的领军者。2015 年至 2019 年，风力发电装机（陆上和海上）提高了 79GW（60%）；太阳能发电装机提高了 161GW（几近 400%）<sup>13</sup>。

2019 年至 2020 年，尽管面临新冠疫情，但中国在全球可再生能源发电新增装机中的占比达到 80%（约 75GW）。此结果在很大程度上由一项

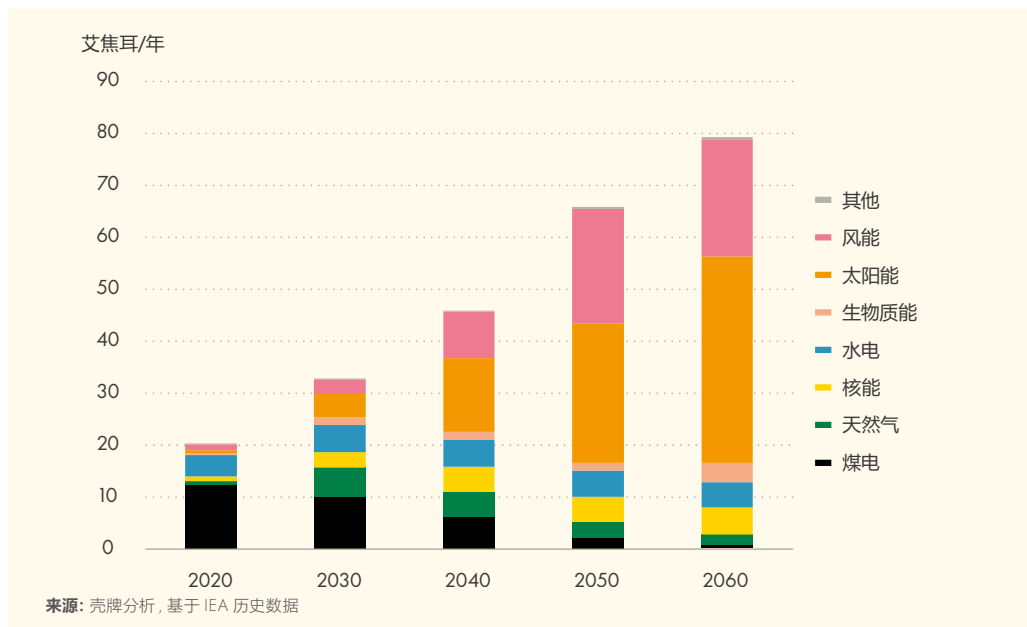
限期政策所推动。该政策规定，先期合约装机须于 2020 年底之前完成并网<sup>14</sup>。

然而，中国目前的电力体系仍然以煤电为主（图 2）。要实现电力体系脱碳，中国需要大幅提升太阳能和风能发电占比——从目前的 10% 增高至 2060 年的 80%。在本远景中，到 2034 年，太阳能和风能将超过煤炭，成为最大的电力来源。

与核能发电一样，生物质能发电有着特殊但重要的作用。自 2053 年起，通过结合碳捕集、利用与封存（CCUS）技术，生物质将为能源体系的其余部分提供了负排放源。2060 年，所有化石燃料发电都将配置 CCUS，从而实现碳的永久封存。

要实现上述清洁能源电气化远景，中国能源体系需要系统性重大变革。

图 2：清洁电子满足电力需求





这场重大变革中的一项关键任务将是扩建高压输电线路,将可再生能源丰富的地区(尤其是北部和西部地区)与沿海能源需求较高的地区连通。

十多年来,中国一直在投资建设高压输电线路。中国制定了雄心勃勃的电网扩建计划,旨在为更大规模的清洁电力供应提供支持。

近年来,中国实施了一系列里程碑项目,其中包括中国国家电网公司于2019年开通的首条绿色特高压输电线路。该线路为河南省用户输送青海省太阳能发电电力。另一个里程碑项目是中国首套大型风电网络,用于汇集内蒙古36个风电场的发电产出。该电网于2020年建成,将通过特高压线路向山东和江苏这两个沿海省份输送电力。

另一项要务是投资改善配电网。提升配电网供电能力,以实时平衡各种类型电力供应与需求,利用数字技术及解决方案来构建优化、可靠、有弹性的电网。

第三项重点是改善电力市场结构,以便应对可再生能源占比较高的发电系统的间歇性。例如,需要通过给予充分激励来鼓励企业投资于灵活发电来源、大规模储能,以及智能基础设施和系统,以便应对电力需求波动。

促进区域与省级电力市场之间的互联互通,这将有助于实现更高效的电网调度和平衡,对于管理成本和确保供电稳定性也很重要。IEA预计,2021年至2060年,通过从省级调度和平衡转向区域调度和平衡,可减少100GW灵活资源需求<sup>15</sup>。第三章将更详细地探讨灵活资源的投资成本和系统效益。

最后,在需求侧,为扩大电气化范围,中国将需要采用新的技术和生产工艺尽可能地实现运输业、轻工业和建筑业的全面电气化。为此,中国将需要新建一系列基础设施——从电动汽车(EV)充电设施,到新型运输传动系统,并需要为钢铁等重工业研发新的生产工艺。



## 实现低碳燃料商业化：氢，生物质燃料

根据本报告的分析，2060年，约60%的能源消费将实现电气化。对于剩余的40%较难实现电气化的行业，将需要推行采用低碳燃料。

重型公路运输、航运和航空等行业，以及钢铁和化工等重工业都需要使用便携的、高能量密度的燃料。这些目前依赖于化石燃料的行业在未来将不得不转向新型低碳能源。

为满足这些较难电气化行业的能源需求，氢等新型低碳燃料将发挥重要作用。

根据本报告的分析，氢的消费量将从目前的极低水平增长至2060年的17艾焦耳/年以上。这相当于5.8亿吨煤当量，或者最终能源消费总量的16%。

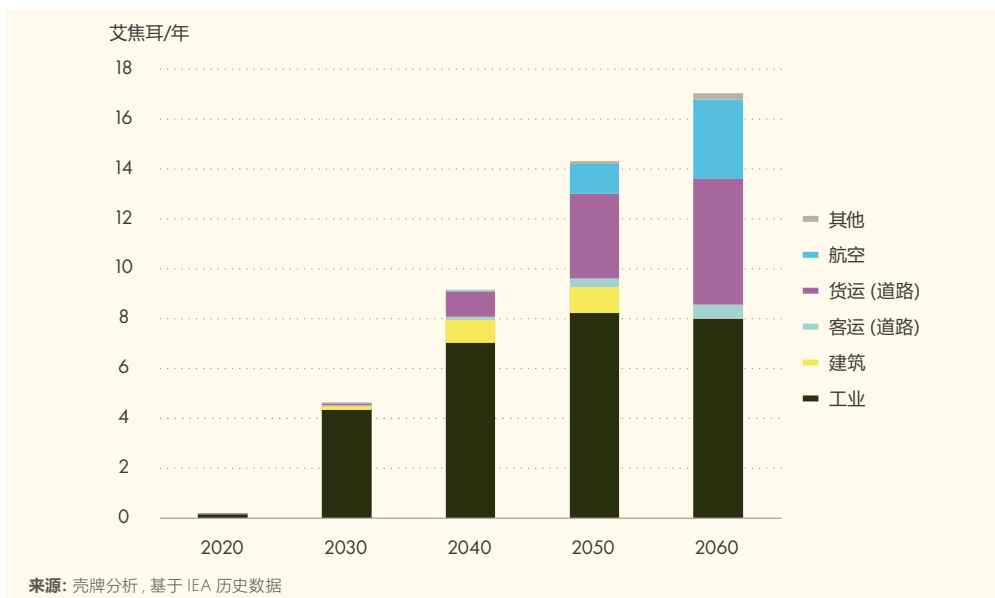
氢将主要用于重工业、农业机械、重型公路运输、短途航空和航运(图3)，其中85%以上是通过可再生能源和核能电力电解生成的绿氢。2060年，

尽管仍有部分氢使用煤和天然气生成，但其规模相对有限，并结合CCUS。

要于2060年前实现这一部署规模，意味着，中国需要在未来20年内，致力于绿氢商业化。过去十年，太阳能和风能的利用成本一直在下降，而且在未来将继续下降，这将提高氢能的商业可行性。与此同时，随着氢能使用需求日益增长，中国将需要投资建设氢能生产、配送和储氢基础设施。所有以下投资项目需要协同发展：商业化项目、对制氢厂的初始投资，以及道路货运、航运和钢铁等终端用能行业的氢能试点项目。

鉴于氢能作为低碳能源和全球增长型产业的重要性，中国“十四五”规划将氢能产业列为未来六大产业之一。中国氢能联盟(政府支持下建立的产业联盟)预测，2030年，氢能在中国能源体系中的占比将至少达到5%，这与本远景报告中的分析一致。

图3: 氢能指数级增长



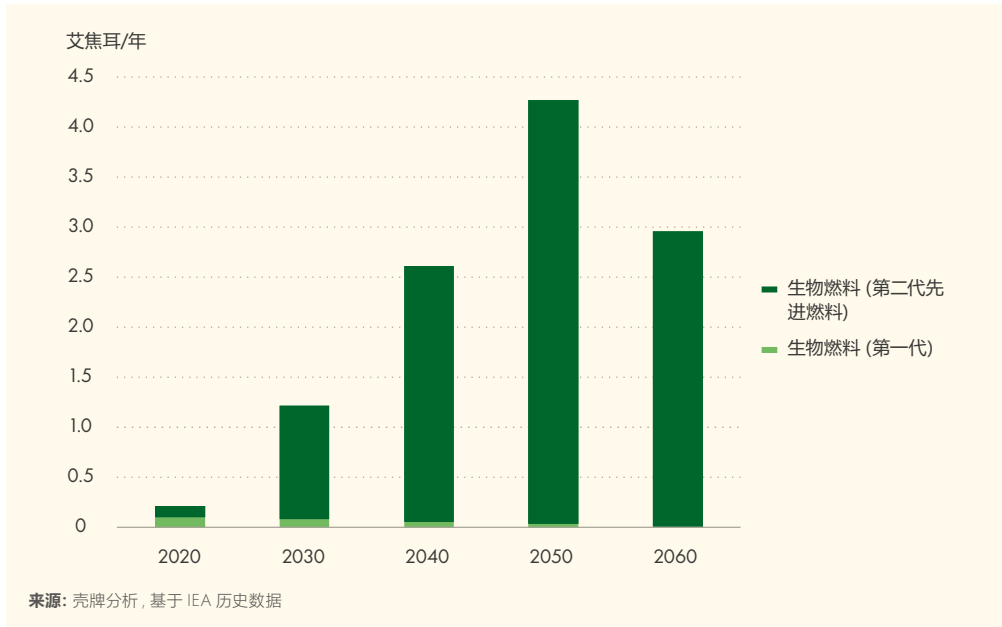


“

务必从这个十年开始，通过出台相关政策来鼓励生产先进生物燃料，并推动生产成本的下降，使这些燃料获得商业可行性并在航空等行业中得到使用。”



图 4: 生物燃料将在最难减排行业发挥特殊关键作用



对于一些需要使用高能量密度液体燃料的行业, 例如, 长途航空和化工行业, 先进的生物燃料非常重要。在中短期内, 这些生物燃料是为数不多的可替代液态化石燃料的低碳燃料之一。

根据本报告的分析, 生物燃料的使用量将从目前相对温和的水平增长至 2040 年的近 5 艾焦耳/年 (图 4)。然而, 生物燃料需求在 2045 年达到峰值后, 将出现下降, 其原因有两个: 一是电气化范围的扩大, 导致公路客运对将生物燃料与液态化石燃料掺混使用的需求减少; 二是重型公路和铁路运输中氢使用量的增长。

到 2060 年, 生物燃料需求将缓降至 3 艾焦耳/年以下, 这些需求将越来越多地由先进生物燃料来满足, 从而最大限度地减少对粮食生产以及对广泛自然环境的影响。与此同时, 生物燃料

需要在等级划分和优先排序中排在较高地位, 以满足航空和化工等最难减排行业的特定需求。

从这个十年开始, 通过出台相关政策来鼓励生产先进生物燃料, 并推动生产成本的下降, 使这些燃料获得商业可行性并在航空等行业中得到使用。目前, 中国的生物燃料主要是使用传统淀粉基原料生产的乙醇, 并用于工业和公路运输。此前, 也就是 2017 年 9 月, 中国设定了一个目标, 即从 2020 年起, 实现全国车用 E10 乙醇汽油全覆盖。但由于担心食品供应链可能因此遭受不利影响, 这一目标已被推后。

这意味着中国可借此机会, 将生物燃料政策的重点重新放在第二代先进生物燃料的推广方面。这些燃料对食品供应链的影响较小, 而且更有利于环境的可持续发展。



政府需要激励生产者(包括贫瘠土地上的生产者)转向可持续生物燃料,同时,通过推动实施相关政策,在最难减排的行业建立生物燃料市场,并优先满足其能源需求。航空业就是一个例子,与公路运输相比,航空业需要更高等级的生物燃料。为支持航空业对可持续航空燃料的能源需求,有必要通过出台相关政策来推动先进生物燃料的商业化,并推动其成本的下降。

## 第 2 部分： 支持低碳节能选择

随着低碳技术、燃料及产品进入市场,消费者和企业从中作出的选择将有助于加强和推动更多的变革。强劲的需求是创新的强大动力。

### 充分发挥能源效率潜力

过去二十年,中国在能源效率方面取得了显著进步,但是仍拥有继续改进的潜力。自 2000 年以来,中国一次能源总需求增长了近三倍,而 GDP 增长了五倍以上。这使得过去 20 年,其 GDP 能源强度下降了 45% 以上。

然而,中国仍有很大的改善空间,尤其是与欧洲经济体相比。2018 年,德国单位 GDP 能源强度

比中国低近 40%, 而英国单位 GDP 能源强度几乎只有中国的一半。

根据本报告的前瞻性分析,未来四十年,能源效率将继续稳步提升。据估计,2020 年至 2060 年,中国单位 GDP 能源强度将下降 50% 以上。经济增长将继续与能源消费脱钩,在此期间,GDP 增长将继续超过能源需求增长(图 5)。

低碳电气化普及趋势将在很大程度上推动总体能源效率的提升。

在交通运输行业,电动发动机的效率为 90%,即能够将 90% 的输入能量转化为动能来驱动车辆前进,相比之下,内燃机会将 60% 至 80% 的输入能量转化为热能。因此,电动发动机将日益取代内燃机。

在工业领域,可通过优化工业过程(包括轻工业电气化)来提升能源效率。

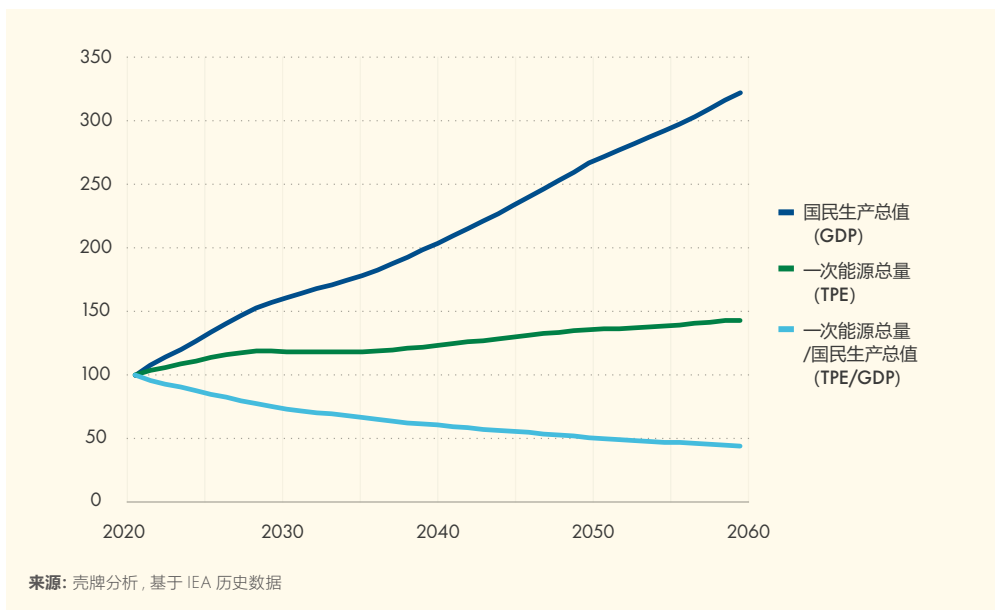
在住宅及商业建筑行业,需要通过升级和隔离现有库存,同时实施和执行更严格的新建筑施工标准,大幅提升能源效率。



随着低碳技术、燃料及产品进入市场,消费者和企业作出的选择将有助于加强和推动更多的变革。”



图 5: 中国能源需求持续与经济增长脱钩



在城市环境中, 经济活动相对集中, 因此, 利用数字技术辅助运输、住房、办公、能源、垃圾、水及其他城市服务的集成式智能基础设施, 可大幅提升能源效率。

## 逐步提高碳价格

为确保中国于 2060 年前实现净零排放, 提高碳价格<sup>16</sup> (无论通过市场还是监管手段) 是至关重要的。

根据本报告的分析, 在 2030 年之前的十年内, 碳价格 (包括显性碳税 / 价格和隐性监管成本) 将缓慢上涨至 300 元人民币 / 吨 CO<sub>2</sub>。在随后的几十年, 其将加速上涨, 最终于 2060 年达到 1300 元人民币 / 吨 CO<sub>2</sub> (图 6)。

碳价格上涨是为低碳能源领域创造公平竞争环境的关键杠杆。预计在这场能源转型进程中, 其作用将发生变化:

■ 碳价格在这十年的逐步上涨, 将促使运输业、建筑业和工业等部门做出更多努力来提升能源效率和排放效率。而且, 碳价格的上涨已开始推动资源 (尤其是资本) 在整个经济体中面向低碳技术和基础设施的重新配置。欧洲的事实证明, 碳定价尤其对于推动煤的退出是有效的。

在初始阶段, 在全面的清洁能源政策框架下实施碳定价将发挥最有效的作用。该框架鼓励创新, 并包括一系列帮助企业将清洁技术、燃料和产品推向市场的政策, 与此同时, 该框架通过基础设施规划, 支持这些清洁技术、燃料和产品的部署和大规模使用。

碳价格于 2030 年之后才加速上涨, 这将为创新的蓬勃发展和新型低碳解决方案的开发留出时间。

基于此,消费者和企业将有更广泛的低碳解决方案可选择。

- 一旦这些低碳解决方案接近商业可行,并且支持大规模采用这些解决方案的基础设施已建立,碳价格将发挥重要作用:促使企业和消费者从化石燃料转向低碳能源,并促使其更多地选择低碳产品和服务。
- 从长远来看,在某些行业,如电力行业和公路客运行业,清洁能源的成本有可能达到与化石燃料相竞争的水平。然而,航空等其他行业则可能需要持续保持较高的碳价格,以弥补传统能源与清洁技术及燃料之间的差距。

中国通过八个区域性排放交易系统(ETS)来实施碳定价试点。在这些经验的基础上,中国建立了一套全国排放交易系统。经过区域试点之后,这套全国排放交易系统于2021年7月投入运作。目前,其中的交易实体主要来自电力行业,涵盖40亿吨碳排放。作为全球规模最大的排

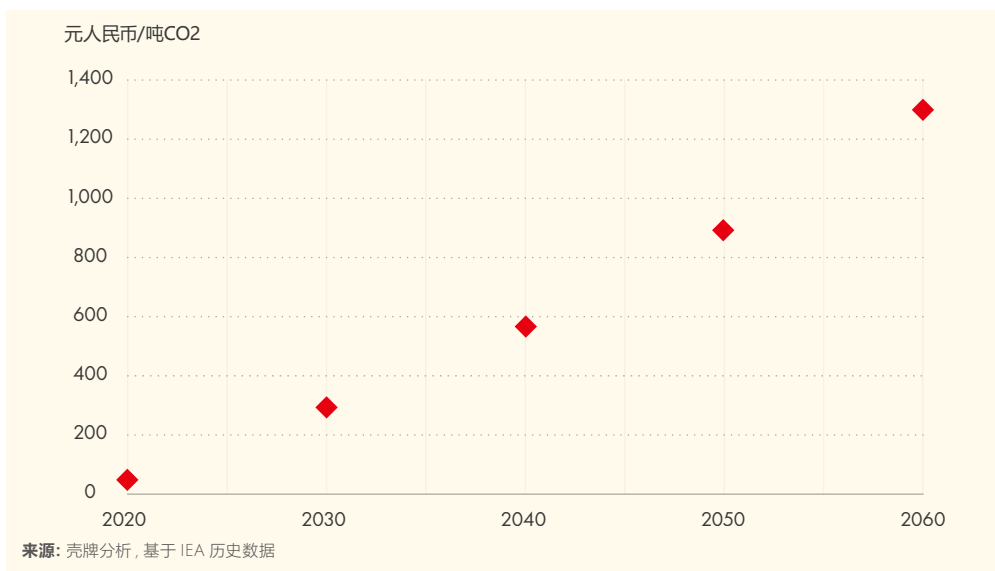
放交易系统,它覆盖了中国碳排放总量的40%左右。

预计在下一个发展阶段,这套全国排放交易系统的范围将扩大,以包括其他行业,例如,钢铁和化工等排放密集型行业。此外,该系统还可能包括更多的金融实体,以便提供市场流动性等效益。

预计这套全国排放交易系统的功能也将不断演变。例如,从目前基于排放强度的排放上限转变为绝对排放上限,以及从目前的免费配额分配转变为更多基于拍卖的分配。

系统性地开发和实施这套全国排放交易系统,将是推动中国沿着一条具有成本效益的碳中和路径前进的关键,因为它将提供所需的明确且一致的价格信号,帮助能源体系于2060年前实现净零排放。在这十年确定一个有意义的碳价格来推动减煤等举措,对该系统长期保持稳健性和可信度至关重要。

图 6: 中国碳价格从现在到 2060 将持续增长







利用 CCUS 技术来改造这些现有的燃煤电厂以及化工厂、水泥厂和钢铁厂等工业设施，可提供一种减排方式，而不必提前弃用这些资产。”

## 第 3 部分：实施碳移除

### 扩大 CCUS 规模

在全球气候变化亟待缓解的压力下，中国必须在四十年这段相对较短期限内，实现净零排放。转向清洁能源和节能技术是不够的，中国还需要积极实施碳移除。

这使得碳捕集、利用与封存 (CCUS) 成为中国解决方案的重要组成部分。中国不得不面对过去十年建成的大量尚有多年经济寿命的煤电设施和重工业设施。

利用 CCUS 技术来改造这些现有的燃煤电厂以及化工厂、水泥厂和钢铁厂等工业设施，可提供一种减排方式，而不必提前弃用这些资产。

有多种方法可应用 CCUS。其中包括：正在开发的直接从空气中捕集二氧化碳的新技术；捕集工业过程中产生的排放；捕集工业和电力行业使用能源的过程中产生的排放；以及捕集使用煤炭和天然气制氢的过程中产生的相关排放。

在向净零排放的转型进程中，利用所捕集的二氧化碳来提高石油采收率或生产合成燃料和化学品，可发挥重要作用。这样做可能有助于在短期内取代化石燃料，并提供额外的收入来源，以支持碳捕集的商业化。然而，捕获的二氧化碳最终需要限制在永久或接近永久地质封存的用途上。

在碳封存方面，中国拥有显著的地质潜力：估计地下封存量为 2.4 亿吨，仅次于美国<sup>17</sup>。中国目前有 40 多个 CCUS 试点项目，总封存量达 300 万吨<sup>18</sup>。其中许多项目是与提高石油采收率相关的小型开发项目。在未来四十年，这些项目的规模需要大幅扩展。

2060 年，在净零排放能源体系中，每年将需要捕集并永久封存 13 亿吨二氧化碳（图 7）。这意味着，未来四十年，CCUS 的封存量需要提高 400 倍以上。尽管这在技术上具有可行性——因为中国的许多 CCUS 技术即将或者已经实现商业化，但其主要挑战在于，如何创造条件来支持利益相关方投资建设大规模 CCUS 设施（尤其是作为工业脱碳解决方案的 CCUS 设施）。



## 专题 1: 产业集群和港口在扩大 CCUS 规模方面的作用

在中国加快发展 CCUS 的进程中, 产业集群和港口将发挥重要作用。规模扩展将是未来的大型项目与以前的试点项目及小型独立项目之间的一项关键区别。在此背景下, 通过排放源集群和基础设施共享, 可带来规模效益。

国际能源署估计, 中国电力行业和重工业 45% 的碳排放距离潜在碳封存地点不超过 50 公里, 65% 不超过 100 公里<sup>19</sup>。

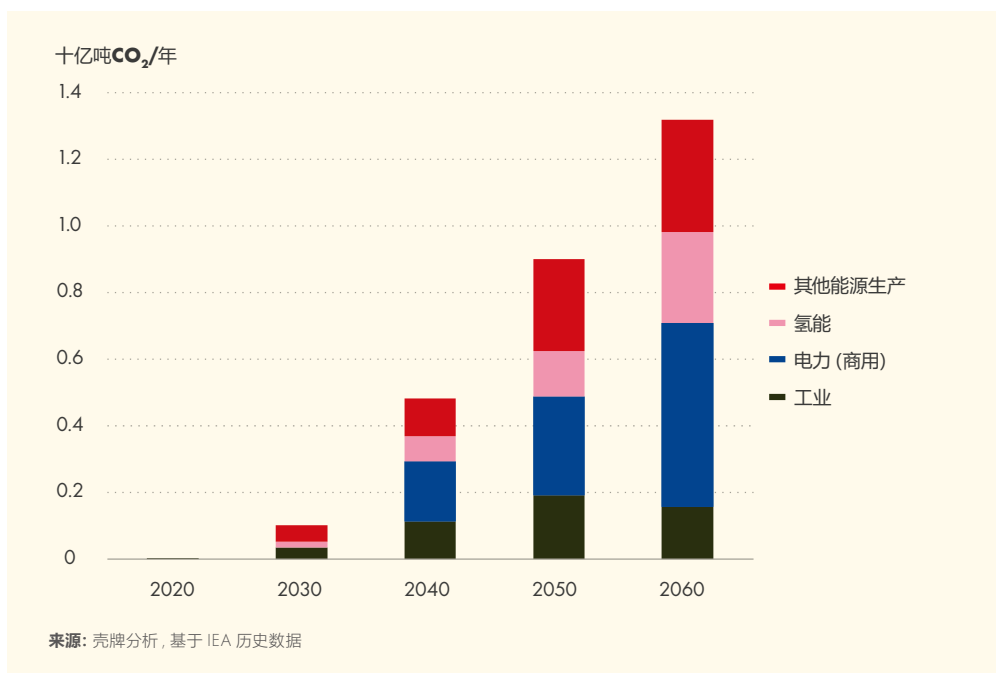
■ 由排放量较高的企业及行业组成的产业集群可以为建设碳捕获、运输和封存基础设施带来规模经济。同时它们还可作为法规框架实施的试点。例如, 山西、陕西和新疆等煤炭

工业高度集中的省份可能是合适的试点地区。

■ 港口也可为 CCUS 的早期开发提供机会, 因为: 它们靠近潜在的海上封存地点; 大型工业港口的脱碳潜力; 以及碳排放管控基础设施的建设带来的规模经济。具有这些特点的港口包括中国东部沿海的一些工业港口, 例如, 广州。

从长远来看, 对中国而言, 通过将 CCUS 技术整合到产业集群和港口发展中, 有可能实现大规模减排。这对于一些较难实施减排的工业部门尤其重要, 因为这些行业在未来几十年可能一直主导中国经济。

图 7: 扩大 CCUS 规模



中国需要从现在开始, 采取公共政策行动, 以确保于 2060 年前实现上述规模的 CCUS。具体行动将包括一个强有力的、不断上调的碳定价机制, 使 CCUS 在长期内具有商业可行性。

此外, 对 CCUS 减排给予奖励 (比如, 以全国排放交易系统碳信用的形式) 将推动更多技术投资。

在短期内, 政策行动需要包括, 为捕集技术 (包括直接从空气中捕集和各种终端用途, 尤其是电力和工业部门) 商业化提供支持。此外, 还需要发展碳运输基础设施, 例如, 短途货车、铁路和驳船, 以及长途航船和管道。

旨在降低投资风险和资本成本的政策框架将在短期内吸引私有资本。其他一些措施, 例如, 明确永久性碳封存的长期责任要求, 将会促进市场更大范围地采用 CCUS。

“

短期内需要采取的政策行动包括, 为捕集技术 (包括直接从空气中捕集和各种最终用途, 尤其是电力和工业部门) 商业化提供支持。”



## 专题 2：生物质能源和负排放

在中国能源体系的脱碳进程中,先进生物燃料和生物质扮演着重要角色——尤其是在电力以及航空和重工业等较难实施减排的行业。

根据本报告的分析,生物质能源总量——液态生物燃料和固体生物质——将从目前的约 2 艾焦耳增长至 2060 年的近 17 艾焦耳。这与有关中国可持续生物原料潜在数量的估计一致(考虑了将边缘土地转为种植木本生物质和能源作物等因素)。

要充分实现中国可持续生物资源的潜力,务必要采用系统性的、协调的方法。

### 在供给侧,中国需要:

- 从第一代生物燃料转向第二代及其他先进原料;
- 通过开发原料收集与运输系统以及扩大先进生物质能源产能,扩展生物质能源供应链;
- 制定相应政策,以鼓励和激励可持续生物资源的生产。

这些政策将需要有力地划出重点区域,因为不同类型的生物质和基于生物质的产品在全国不同地点的可获得性将有很大差别。

### 在需求侧,中国需要:

- 从在家庭烹饪和供暖中使用生物质,以及在公路运输中使用生物燃料等传统模式,转向在电力、重工业和航空等行业使用先进生物质能源。

就液态生物燃料的生产或固态生物质的使用而言,通过将碳捕集和封存(CCS)应用于生物质能源,可能提供一个负排放源。如前所述,生物质发电将是中国脱碳电力系统的重要组成部分,约占 2060 年发电总量的 6%。此外,中国工业领域目前是生物燃料的重要消费者,化工等行业可能需要继续使用先进生物资源。根据本报告的分析,2060 年,商业生物质总量在重工业最终能源消耗总量中的占比将达到 6% 左右。

通过将 CCS 应用于生物燃料/生物质的生产和使用,不仅可减少二氧化碳排放,还可为整个能源体系提供一个负排放源。根据本报告的分析,2060 年,应用了 CCS(或 BECCS)的生物质能源在二氧化碳捕集总量中的占比将达到 42%,相当于 6 亿吨的负排放。

中国电力和工业设施相对较新,这也使得生物质能源成为一个具有吸引力的减排方案。生物质可作为即用型燃料和/或与煤共燃,来减少这些设施的碳排放,而无须大幅调整生产过程。这有助于避免因这些资产提前报废而产生高昂的成本损失。利用 CCS 予以改造,有助于延长其使用寿命,使其转变为减排方式,而不再是排放源。目前,中国还利用垃圾发电来生产大量电力和热能,这些设施通过应用 CCS,可将垃圾转化为生物质,从而提供了又一个负排放源。



“

在中国能源体系的脱碳进程中，先进生物燃料和生物质扮演着重要角色——尤其是在电力以及航空和重工业等较难实施减排的行业。”







# 壳牌能源远景 *Sketch*

## 第二章

# 中国 2060 能源体系





通过向净零排放能源体系转型，中国将在 2060 年建立一套完全不同的能源体系。本报告勾勒出了一条在未来四十年内实现能源净零排放的独特路径：

### 该路径的基础：

1. 经济体深入实施电气化，并让各种低碳技术和燃料在技术和经济层面发挥潜力；
2. 充分发挥消费者及企业选择低碳节能产品而形成的潜在作用；
3. 将碳移除用于一些减排困难和减排成本高昂的行业。

虽然这条路径可能发生调整，但要于 2060 年前实现碳中和目标，就需要在这三个方面积极采取行动。社会和政策偏好将决定这些行动之间的相互平衡。

为实现碳中和，中国需要实施深入改革，即在经济层面和行业层面，从根本上改变自身的能源体系。

### 从经济层面来看

2060 年，中国的能源结构需要从目前由化石能源占主导地位（在一次能源中的占比达 88%）的结构，转变为由低碳和无碳能源占主导地位（太阳能、风能、生物质能源和核能等在一次能源中的占比达 80%）的结构（图 8 专题 2）。

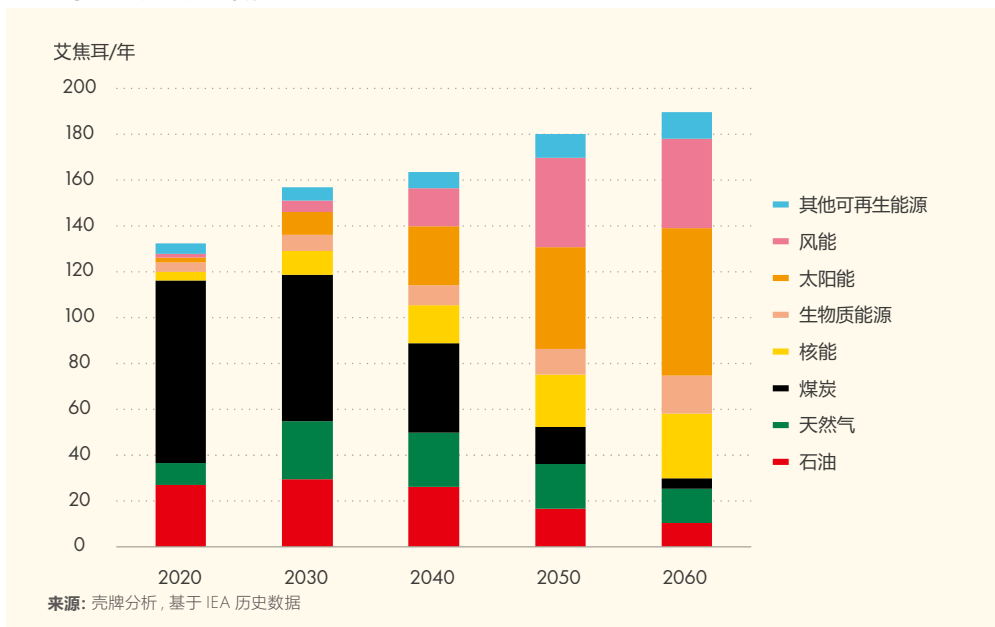
与美国和欧盟等发达经济体不同，中国的能源转型需要在经济不断发展并且能源需求不断增长的背景下进行。在这个十年，中国将可能从能源效率提升中获得显著效益。随着中国经济逐渐发展成熟，其能源需求将于 2030 年之后放缓。从 2040 年开始，由于对低碳燃料（如绿氢等）的广泛需求，中国能源需求将仍出现一定程度的温和增长。



与美国和欧盟等发达经济体不同，中国的能源转型需要在经济不断发展并且能源需求不断增长的背景下进行。在这个十年，中国将可能从能源效率提升中获得显著效益。”



图 8: 中国能源体系的转变



能源生产方式的改变与能源消费方式的转变相匹配 (图 9)。建筑、公路运输和轻工业等终端用能行业将实现大规模电气化。此外,再加上供给侧和需求侧实施的其他提升能源效率的举措,将导致最终能源消耗比原本水平低出 39%。

一些较难实现电气化的部门则将继续依赖于分子。然而,这些分子将从天然气转向氢能等气体,从石油转向可持续的液态生物燃料,从煤炭转向可持续的生物质燃料。

在本报告描绘的远景中,到 2060 年,中国能源体系将实现净零排放,所有行业都将尽可能地接近于零碳排放。能源相关的碳排放将从目前的 100 亿吨左右下降到 2050 年的 20 亿吨左右,到 2060 年将下降至净零水平。

本报告预计,中国将需要结合利用以下手段:低碳技术和低碳燃料来源、节能行为和低碳选择,以及在最难实现减排的部门,应用 CCUS 进行碳移除。具体包括,在电力和工业行业,应用生物质能源结合碳捕集、利用与封存 (BECCS),以产生负排放 (图 10)。



一些较难实现电气化的部门则将继续依赖于分子。然而,这些分子将从天然气转向氢能等气体,从石油转向可持续的液态生物燃料,从煤炭转向可持续的生物质燃料。”

图 9: 中国能源体系转型

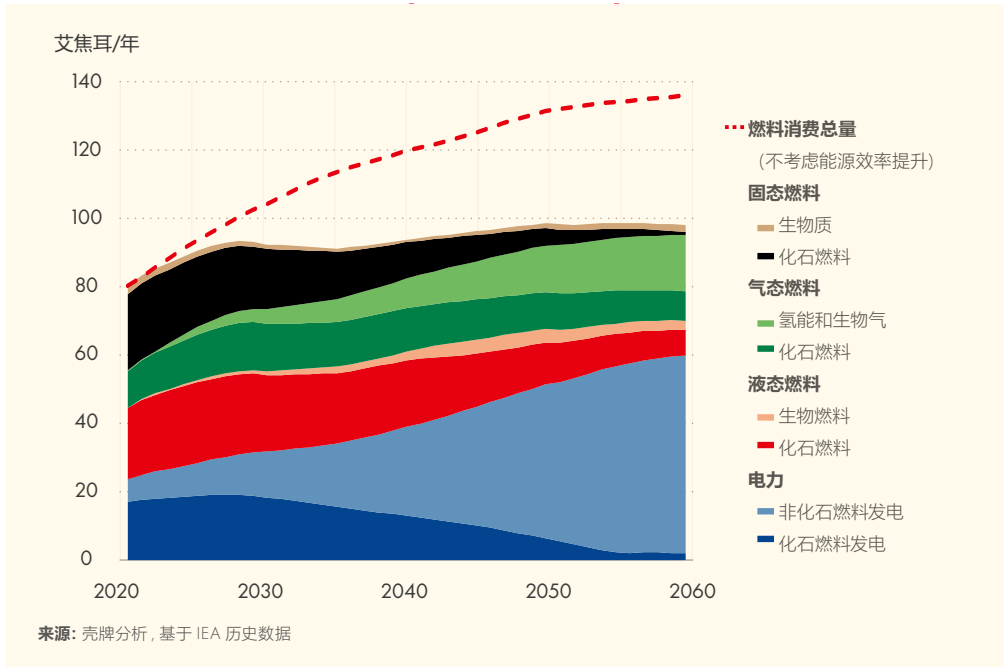
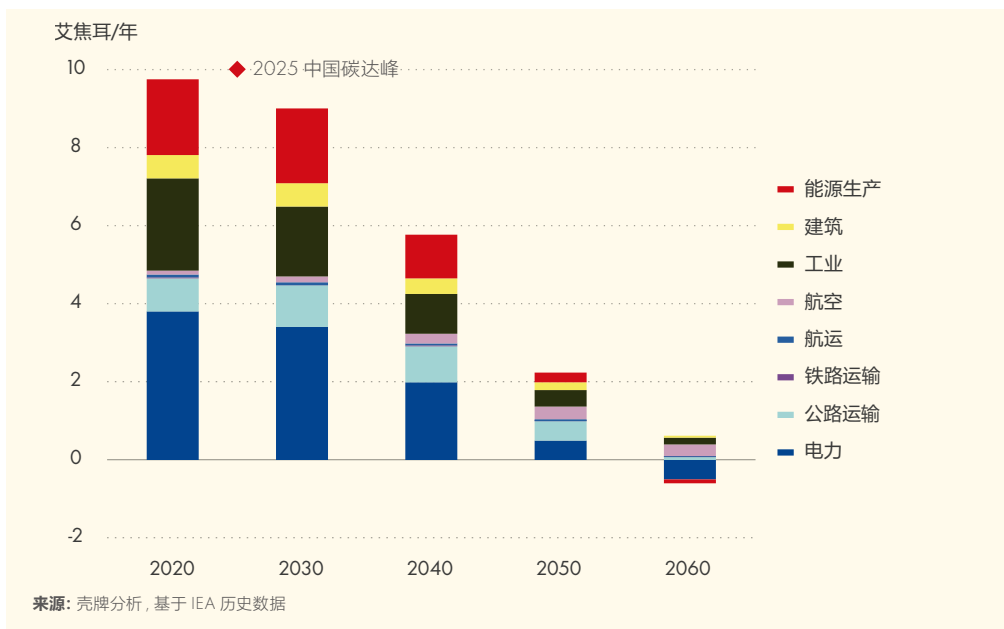


图 10: 二氧化碳排放持续下降

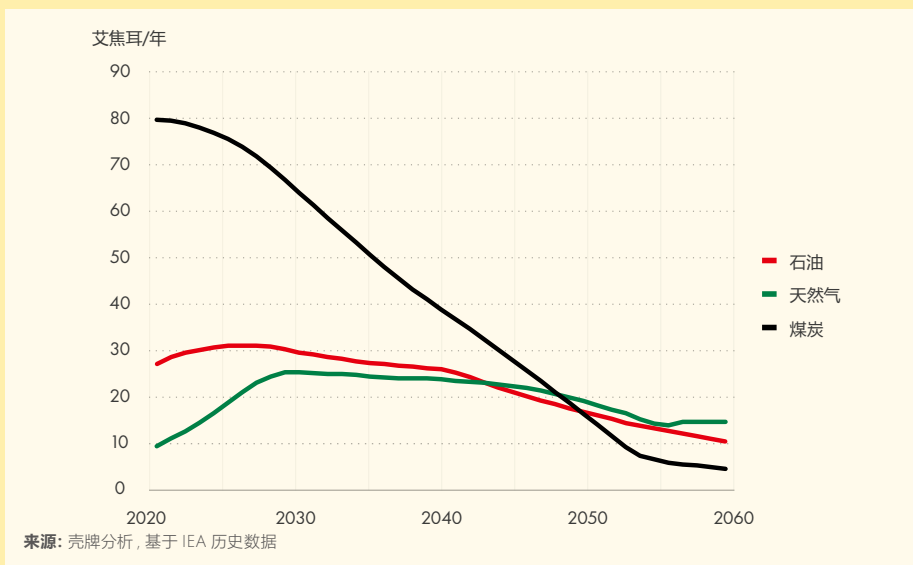


### 专题 3：化石燃料

化石燃料在中国能源体系一次能源总消费中的占比急剧下降，尤其是在 2030 年之后。本报告假定，中国的煤炭需求已达到峰值，并将在本世纪 20 年代中期开始大幅下降（图 11）。

天然气需求将于本世纪 30 年代到 40 年代趋于平稳，然后下降。在乘用车和轻型公路运输车辆电气化的推动下，石油需求将于本世纪 20 年代达到峰值，然后逐渐下降。2060 年，中国能源结构中仍将仍然存在部分化石燃料，需要对其应用 CCUS 和 BECCS 的负排放。

图 11：中国化石燃料需求展望



### 从行业角度来看

如前所述，要变革中国能源体系，需要变革能源供应和能源终端使用行业，尤其是较难实施减排的交通运输和工业等行业。

目前，工业排放占中国能源相关二氧化碳排放总量的 24%，而交通运输业排放则占 11%。

在工业中，轻工业相对容易实现电气化，但重工业则需要能提供高热负荷的能量密集燃料。由于中国的重工业规模庞大，其中许多是世界领先企业，这些难以实现电气化的挑战被放大了。例如，中国目前的水泥和粗钢产量几乎占全球总产量的 60%，重要工业化学品产量占 30%。中国的化工业不仅是全球规模最大的，也是中国经济增值最大的工业领域。



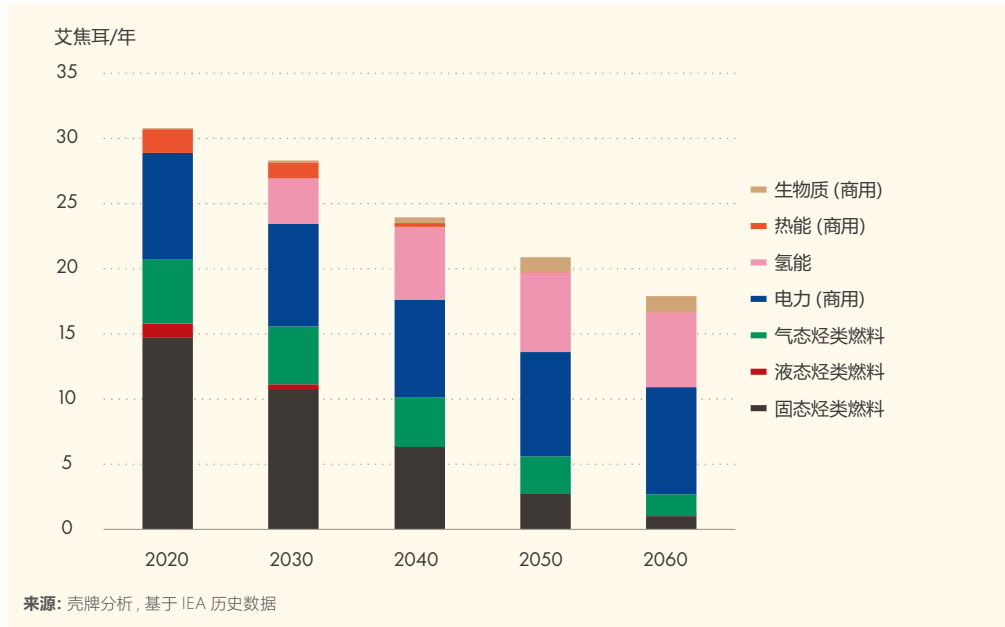
“

目前，工业排放占中国能源相关二氧化碳排放总量的 24%，交通运输业排放占 11%。”





图 12: 重工业能源需求去碳化



本报告预计,从目前到 2060 年,随着中国经济向服务业和高价值制造业转型,以及工业能源效率预期改善,重工业的最终能源消耗将显著下降 40% (图 12)。

尽管如此,重工业仍然是能源需求与消费的重要来源。因此,钢铁、水泥和化工等行业将需要优先考虑以低碳氢能和生物质燃料来替代煤炭作为主要能源。

为此,从这个十年开始,重工业需要大力投资开发基于低碳能源的新生产工艺并予以商业化,

“

重工业仍然是能源需求与消费的重要来源。因此,钢铁、水泥和化工等行业将需要优先考虑以低碳氢能和生物质燃料来替代煤炭作为主要能源。”

例如,使用绿色氢能生产钢铁,以及使用生物质能源生产化学品。为了使这些相对较新的设施在实施减排的同时保持运行,中国重工业还需要投资确保其产能与 CCUS 规模相匹配。

在交通运输业,公路客运和铁路客运相对容易实现电气化。



然而,面向重型公路运输、长途航运和长途航空等其他领域的脱碳解决方案较昂贵。这些技术离商业化还有一段距离。

在本报告描绘的远景中,从2040年起,中国销售的所有新乘用车均为电动汽车(2020年,占比仅为5.7%),其中电动汽车占乘用车车队的85%。2060年,电动驱动里程在总里程中的占比将超过90%(图13)。相比之下,重型公路运输部门较难实现电气化。到2060年,中国重型车辆的总行驶里程中,将有55%由氢能驱动。航运业和航空业将最难实现减排,需要结合采用氢能和生物燃料。

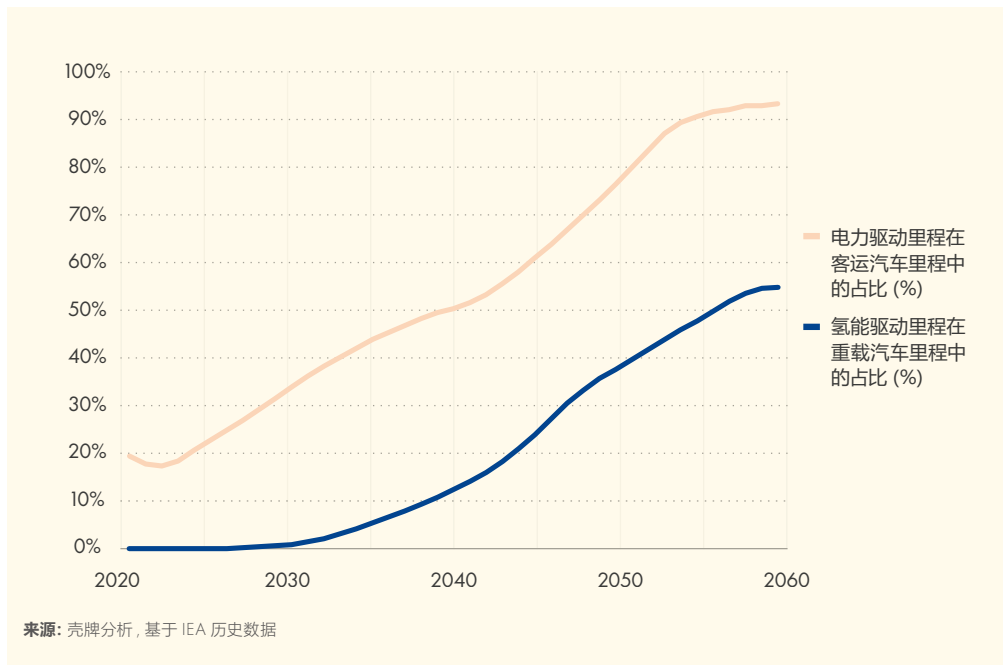
改变中国的能源体系不仅需要改变能源供应,还需要使终端用能行业转向低碳能源,例如,通

过低碳动力传动系统和推进技术来实现能源低碳化。

虽然在这个十年,乘用车电动汽车成本有望具备竞争力,但其他运输领域的低碳技术离商业化还有一段距离。中国正在协同推进重型公路运输中的氢能技术和基础设施的发展——特别是通过向市政府提供相应激励。

在国内航运和航空行业,能源需求不仅规模庞大而且在不断增长。中国在全球航空和航运活动中的占比庞大且不断增长,使中国在开发新解决方案处于领先地位,即能创造变革的势头,又能从中获益。

图 13: 公路运输去碳化





## 专题 4：基于自然的解决方案的发展机遇

虽然我们的分析并未假设中国能源体系利用基于自然的解决方案 (NBS) 在 2060 年前实现净零排放,但自然碳汇可为能源转型提供额外杠杆。例如,森林可提供生物质能源并充当天然碳汇。

据估计,到 2050 年,中国通过植树造林,有望实现每年高达 10 亿吨的减排量。这些自然碳汇有助于抵消航空、重工业和公路运输等快速增长行业的排放,以帮助其向净零排放转型。如果将森林作为生物质能源来源并予以可持续管理,它们将成为化石燃料的碳中和替代能源。另一方面,即便不加以干预,森林也是一个天然碳汇,如果结合 BECCS,森林将可能成为一个负排放源(见专题 2)。

在提高森林覆盖率方面,中国已取得重大进展。自上世纪七八十年代以来,中国森林覆盖率几乎翻了一番,到 2020 年达到 23% 左右。自 2005 年以来,森林蓄积量增加了

45 亿立方米,在过去 15 年里,每年捕集的二氧化碳估计达 4.8 亿吨。根据十四五规划的目标,到 2025 年,中国森林覆盖率将提高至 24%,这相当于 190 亿立方米的森林蓄积量。

中国还致力于提高草原植被覆盖率。鼓励农民采取措施提高土壤碳含量的做法可能是另一个重要的天然碳汇。这些都是确保 2030 年实现碳达峰、2060 年实现碳中和措施的一部分。

自 2014 年以来,中国已开始在内蒙古开展碳汇交易试点项目。在该项目中,企业可购买碳汇,以抵消各自超过排放上限的部分。随着这类机制的不断发展,相关监测、报告和核查工作将愈发关键,以确保高质量的碳抵消,并防止这些机制削弱碳减排活动及投资。





# 壳牌能源远景 Sketch

## 第三章

# 迈向碳中和





中国实现 2060 净零排放能源体系将是一项极具挑战性的任务,但我们相信,通过政府、企业、消费者和公民之间的利益协调,该目标是有可能实现的。管理能源转型的影响,要求我们发挥优势,管控劣势,换言之,需要我们:

- 理解能源转型对经济和社会的影响;
- 建立全面的政策体系;
- 建立行业行动联盟;
- 发挥城市作为变革孵化器的潜能

## 了解能源转型的影响

能源转型将给经济和社会活动的几乎各个方面都带来影响。了解中国能源转型的诸多影响,对其有利影响予以强化,并对其不利影响予以管控,将是取得进展的关键。

## 宏观经济影响

成本问题是脱碳工作的常见障碍。但我们也可将成本视为对经济未来增长的投资,以期在就业和总体需求方面产生效益。

能源转型委员会估计,向零碳经济的转型将对发达国家和发展中国家产生温和的

影响——对 2050 年的生活水平影响不到 0.5%<sup>20</sup>。另一方面,如果社会在缓解气候变化方面做得很少,则经济和社会将可能面临更大的负面影响:海平面上升、气候模式变化影响农业和生物多样性,以及更频繁的极端天气事件。

根据针对全球和国家范围的估计中国经济向净零排放转型的总体资源成本相对较小:对人均 GDP 和生活水平的最终影响不到 1%<sup>21</sup>。从长远来看,净零排放能源体系甚至还能创造经济效益。例如,据估计,2050 年,中国低碳电力系统的发电和灵活性成本将低于目前的化石能源电力系统<sup>22</sup>。



能源转型将给经济和社会活动的几乎各个方面都带来影响。了解中国能源转型的诸多影响,将是取得进展的关键.....”



与中国这一大型经济体为在 2060 年实现碳中和所需要的大规模投资和资源重新配置相比，这些宏观经济效应相对较小。例如，作为全球 GDP 的一部分，支持能源向净零转变的能源相关投资每年平均只比最近几年高出 1%<sup>23</sup>。然而，就能源供应而言，需要从化石燃料向低碳电力和低碳燃料（氢能和先进生物质燃料等）作出重大的投资再分配。

利用低碳电力资源来实现大规模电气化就是一个很好的例子。这意味着，需要建立一套以风能 and 太阳能等可变可再生能源为主的电力系统。为管控这些低碳能源的间歇性（例如，在无阳光或无风情况下），需要大幅提高电力系统的灵活性，以确保有充足的电力供应来满足电力需求并保持电网稳定。

到 2050 年，得益于较低的资本成本、零边际运营成本，以及太阳能和风能装机成本的迅速下降，这些具备必要系统灵活性的可变可再生能源体系每年可净节省 1320 亿美元，进而促使电力成本下降 18%<sup>24</sup>。

要想实现这些效益，就需要在系统灵活性方面作出更大的投资，例如：储能、灵活的低碳发电、输电网加固和互联，以及需求侧响应。到 2050 年，这些将每年花费 960 亿美元，相比之下，目前一些以化石燃料为主的非间歇性电力系统每年的投入约为 250 亿美元。

向低碳能源转型还需要大量资金重新配置，用于新能源基础设施建设。

我们估计，要于 2060 年前实现碳中和，中国将需要在 2020 年至 2060 年之间，作出 12.5 万亿美元的投资，并需要在未来二十年作出其中一半以上的投资。这些必要的投资可确保电力部门尽早实现脱碳，以便向终端用能行业推广低碳电力，进而实现终端用能行业的脱碳。



能源转型将给经济和社会活动的几乎各个方面都带来影响。了解中国能源转型的诸多影响，将是取得进展的关键……”



在支持经济复苏以及投资建设绿色可持续未来方面,这十年的早期基础设施投资也将有助于实现双赢(见专题 5)。

随着技术和市场逐渐发展成熟,与生物质能源、氢能和 CCUS 相关的基础设施投资也将大幅增长(尤其是从 2030 年之后),并将被用于帮助一些难以电气化的行业实施减排。

能源需求领域(交通运输、工业和建筑)也需要大量投资。这些投资将用于提高能源效率、开发新技术及生产工艺、开发以低碳能源驱动的传动系统。

国际能源署估计,总体而言,中国在能源供给、需求及相关基础设施方面的,与能源相关的年度投资规模需要在 2030 年增加至 9000 亿美元,到 2060 年需要增加至 1.2 万亿美元<sup>25</sup>。在未来,尤其是后几十年,旨在满足低碳能源需求的技术投资将占主导地位。例如,2050 年之后,这些投资中约有 80% 将涉及重工业和长途公路货运、航运和航空。

## 地区层面的影响

资源的重大再分配意味着各省份和各地区的经济活动将发生转变。

## 专题 5: 通过投资实现绿色复苏

随着全球经济逐渐从 COVID-19 新冠疫情的影响中复苏,这十年,通过推动清洁能源投资,可能进一步提振经济增长。

新冠疫情对全球经济的巨大破坏已造成各国政府支出激增,因此各国都在寻求缓解这场危机并帮助经济复苏。

我们可以将这些支出中的一部分用于清洁能源投资,这样做既可在短期内刺激需求,也可以在长期内,为气候可持续增长提供支持。绿色投资包括但不限于:

- 将电网延伸、扩展并升级为智能电网;
- 扩大电动汽车充电网络;

- 建设氢能运输和储氢基础设施;
- 翻新和改造旧建筑;以及
- 扩大 CCUS 规模。

此外,中国还可利用一直以来较低的资本成本,在政府支持的前提下,以企业在环境方面的表现为条件,通过财政及其他金融激励来筹集私人投资。

根据国际能源署和国际货币基金组织的联合分析,这十年清洁能源和能源基础设施投资很可能实现双赢的结果:不仅将促使全球经济稳步步入 2050 年净零增长轨道,还将促使 2030 年全球 GDP 相比目前水平增长 4%<sup>26</sup>。



作为全球最大的煤炭生产国和消费国, 中国从化石能源向低碳能源的转型将对内蒙古、陕西、山西等省份产生重大影响, 这些省份的煤炭产量占中国煤炭总产量的 75% 以上。

随着能源供应逐渐低碳化, 目前以化石能源为基础的能源生产省份和地区将从煤炭转向多元化。另一方面, 这也为其中一些地区创造了新的发展机会。例如, 内蒙古在陆上风电装机容量方面已全国领先, 新疆在太阳能光伏装机容量方面也达到了全国领先水平。

能源转型还将为其他低碳能源及技术创造新的机会。例如, 氢能需求的指数级增长为拥有低成本可再生资源的省份创造了机会。

CCUS 让山东等拥有合适陆上和海上地质条件的省份有机会创建低碳工业中心, 例如, 位于生物质电厂和工业能源需求中心附近的低碳工业中心。

中国还拥有大量生物资源——从第二代先进生物原料, 到农业残留物和城市固体垃圾, 这些都有助于创建生物经济, 从而满足预期规模的需求。

根据本报告估计的资源需求规模, 生物质供应链的附加值可能从 2020 年的 120 亿美元增长至 2060 年的 1500 亿美元, 并在 2060 年, 帮助创造共计 1900 万个就业岗位。通过生产生物质能源作物, 以及建设、运营和维护生物质能源 (生物质和生物燃料) 加工厂和精炼厂, 将显著促进农村经济的发展。与精炼燃料相比, 运输原料的成本更高, 这意味着, 将生物燃料加工和精炼与原料生产设在同一地点, 即建立农村生物质能源中心, 将发挥一定的经济意义。

据估计, 未来生物质能源在目前农业总产值中的占比将达到 13% 左右, 在目前农业就业岗位中的占比将达到 10%<sup>27</sup>。

要实现上述潜在效益, 就需要立即作出以下投资

- 提高农村工人的技能, 并对其进行再培训, 使其能够从事更高附加值的生物燃料生产活动;
- 开发更加可持续的第二代先进生物原料, 最大限度地减少对环境 and 食物链的影响;
- 对目前拥有并运营国有生物质加工厂和精炼厂的资源进行重新分配;
- 帮助新兴农村增长型产业吸引新的私人投资。

## 行业层面的影响

整个经济体中的资源重新配置将给一些传统产业带来挑战, 同时也将给一些新兴增长型产业带来机遇。

随着全球逐渐向低碳能源体系转型, 全球对低碳燃料、技术、产品和解决方案的需求将加速增长。在这些新兴增长领域, 中国处于领先地位。中国在低碳产品和解决方案领域拥有巨大的国内市场, 同时也拥有庞大的生产基地来完成相应生产。例如, 2020 年, 全球乘用车存量的 45% (450 万辆) 在中国<sup>28</sup>。2020 年, 世界插电式电动汽车产量的近一半, 以及重载电动汽车产量的 90% 也来自中国<sup>29</sup>。



“

据估计，未来生物质能源将占到农业总增加值目前水平的13%左右，提供的就业岗位数量将占到目前农业就业岗位的10%。”





在电池、光伏和电动汽车（电池和燃料电池）制造方面，中国已处于世界领先地位；在电解槽产能方面，中国仅次于欧洲。”

目前，中国在全球燃料电池货车和公共汽车总量中占据很大比例，中国制造商在这些领域也处于领先地位。新兴低碳增长型产业的发展，为私有企业的更多参与和创新提供了机会，使之与一直以来占据能源部门主导地位的国有企业形成互补和竞争。

随着中国脱碳进程的发展，国内能源需求有望刺激低碳燃料和技术的商业开发和应用。此举不仅能满足国内能源需求，还将促使中国成为低碳商品和服务供应的全球领军者。

在电池、光伏和电动汽车（电池和燃料电池）制造方面，中国已处于世界领先地位；在电解槽产能方面，中国仅次于欧洲。

展望未来，中国规模庞大且不断增长的航运业和航空业将需要依靠低碳燃料和新的推进技术来实现脱碳。这将给低碳能源驱动的飞机和船舶发动机等制造领域创造新的机遇。

中国还拥有清洁能源生产技术所需的大量矿产和金属，例如，锂、钴和镍；并且，目前，中国在这些矿产和金属领域的加工和冶炼产能在全球总产能中占据了很大比例。

随着能源转型进程的加速，这些材料面临的需求只会不断增长。这将直接惠及中国经济的发展，并将间接惠及中国国内低碳制造业的发展。

在中国的脱碳任务中，严重依赖于煤炭的重工业是最大的挑战。尽管重工业在中国经济中的占比预计将下降，但在未来几十年里，重工业仍可能是能源需求的重要来源。

随着这些行业转向使用低碳能源——例如，使用氢能生产钢铁、使用生物质能源生产化学品，以及在水泥生产中应用 CCUS，中国将有机会成为低碳工业产品、技术以及低碳工业知识和技术的出口国。

低碳工业经济生态圈的蓬勃发展，将为中国提供去工业化的替代方案，进而帮助中国为全球脱碳努力作出更大的贡献。中国可开发新的工业流程和技术，并予以商业化，然后将其提供给欠发达国家，以帮助其跨越经济发展中的排放最密集阶段。

## 社会层面的影响

从长远来看，净零排放能源体系将产生显著的社会效益。这包括更高效的能源利用效率和更优的环境。

然而，鉴于不同省份、部门和行业实施具体变革的规模、范围和速度各有不同，这些省份、部门和行业，以及不同经济状况的群体所感受到的能源转型影响也不尽相同。要实现真正的进步，需要将能源转型的经济、社会和环境效益推广到社会的所有群体，同时为那些受能源转型影响最大的群体提供支持。



例如,如前所述,基于可再生能源的电力系统在成本方面有望达到与目前基于化石能源的电力系统可以竞争的水平。然而,在过渡期间,能源价格可能会更高、更不稳定,这是因为转型需要在可再生能源发电、灵活性以及升级输配电网等领域进行大量投资,而一些较难实现电气化的行业在脱碳过程中所需的技术和燃料也需要一段时间才能完全实现商业化。

能源价格的上涨将给低收入群体带来更大的影响,因为其能源支出在其收入中的占比相对较高。

如前几章所述,中国能源体系的转型还将在区域、省份以及行业部门层面产生重大影响,进而可能影响社会稳定。

## 专题 6: 煤炭转型

在所有化石燃料中,煤炭排放强度远远超过其他燃料。因此,减少煤炭的使用是中国于2060年前实现碳中和目标的关键一步。

随着太阳能和风能等可再生能源成本的下降,可再生能源发电与燃煤发电的成本竞争日益激烈。预计这一趋势将持续下去。预计2050年,中国低碳电力系统的系统成本(包括发电和灵活性成本)将低于目前的化石燃料电力系统。与目前以煤炭为主的电力系统相比,通过采用可再生能源占比较高的电力系统,并结合在低碳能源基础设施方面的投资,可能促使电力成本下降。

碳定价政策(比如,通过全国碳排放交易体系 ETS)将加速这一趋势的发展,从而为燃煤

发电和天然气、可再生能源等低碳发电之间的竞争进一步创造公平的竞争环境。

除了电力行业以外,重工业也是中国目前的主要煤炭消费部门。虽然有许多机会可提高能源和排放效率(例如,通过清洁煤和煤化工技术),但从长远来看,该行业仍需要实施从煤炭向低碳能源的大规模转型。随着全国排放交易系统扩展到排放密集型行业,不断上涨的碳价格将促使燃料从煤炭转向氢能和先进生物质燃料等低碳燃料。在一些弃煤难度最大、成本最高的产业,CCUS可在碳价格的支持下发挥减碳作用。





随着能源转型进程的发展,中国的一些工厂,尤其是煤炭行业的工厂预计将关闭,这可能对社会产生重大影响。

到目前为止,煤炭是中国能源结构中“一家独大”最大的能源,煤炭开采行业目前雇佣约 260 万人<sup>30</sup>。如果考虑到与整个煤炭价值链及其相关行业和企业的所有雇佣人员,这个数字还会高很多。在一些地区,整个地方经济、社区和人民生活计都以煤炭生产为主导,因此,地方政府需要尽早采取行动,确保平稳完成转型。

在可再生能源、稀土和金属开采、CCUS, 以及生物质能源等增长型产业为工人提供再培训,帮助他们获得新技能,将是帮助他们找到新工作和恢复生计的关键举措。同样,低碳重工业和先进制造业也需要在工人技能与能力培养方面作出长期投资。对于一些无法或不愿接受新的低碳就业机会的工人,则需要向其提供更广泛的社会和福利支持,以解决裁员和提前退休问题,同时确保社会稳定。在过去,其他国家曾有效地解决了煤炭转型中的各种问题。专题 8 总结了这些国家的经验教训,可以为中国提供参考。

解决好可能的社会不稳定因素以后,能源转型是促进经济、生态和社会高质量发展的绝佳机会。

根据政府间气候变化专门委员会的 1.5 摄氏度报告,气候缓解行动与 2030 年 17 项可持续发展目标 (SDG)<sup>31</sup> 之间存在显著的协同效应<sup>32</sup>。过去几十年,中国在脱贫和改善人民生活水平方面取得了巨大进步。据估计,到 2020 年,中国贫困线以下人口的占比不到 1%<sup>33</sup>,而在 2000 年以前,这一比例约为 50%。2014 年,中国已实现普遍供电。

即使全球各地积极实施脱碳行动,各国也必须确保所有社区能够抵御长期的气候影响,例如,海平面上升,以及极端天气状况和事件。一些脆弱、处境不利的社区所感受到的这些负面影响往往较其他社区更为严重。

在能源转型方面取得进展的同时,中国还可以抓住机会,进一步实现经济和社会的发展。比如,可以帮助脆弱的贫困社区能够获得经济而可靠的能源,抵御长期气候影响,同时帮助他们从能源转型带来的气候缓解和适应机会中获益。



“

2020年，贫困线以下人口的占比将不到1%，而在2000年以前，这一比例约为50%。”

## 国际层面的影响

中国为实现碳中和而采取的行动不仅对巴黎气候协定之目标的实现至关重要，而且将对全球市场和全球净零转型进程带来广泛影响。

随着中国采用低碳技术和燃料，相应需求的规模不断增长，这将有助于促使即将进入市场的技术和燃料的成本加速下降。此外，这些需求还将促使一些尚无法进入市场的燃料和技术加速完成示范和商业化进程。

反过来，由于低碳技术和燃料可获得性更高、成本更低，这将推动其得到更广泛的应用，从而给区域乃至全球带来技术溢出效益。鉴于中国与所在地区的其他国家之间已建立强大的贸易关系，因此，中国的脱碳效益可能扩展到这些国家。例如，目前，在中国光伏和锂电池的出口中，一半以上是出口到亚太地区的其他国家。

随着中国从化石燃料能源体系向低碳能源体系转型，中国和这些国家的供应链都将受到影响。例如，中国煤炭需求的下降将给煤炭价格带来下行压力，并可能使中国从煤炭净进口国转变为净出口国，同时，还可能推动中国以外地区的煤炭消费增长。在缺乏遏制措施的情况下，这是一种潜在的负面溢出效应。

从低碳能源的角度来看，全球稀土资源供应链也将受到中国能源体系转型的影响。目前，中国的稀土资源占全球总储量的三分之一<sup>34</sup>，全球产量的60%<sup>35</sup>，全球总出口量的60%<sup>36</sup>。中国如何平衡全球市场供应与国内市场需求——尤其是在国内需求增长的情况下，这对于全球供应链的稳定至关重要。开发全球稀土资源，发展供应链并使其更加多样化，这对于中国和世界其他地区成功脱碳至关重要。

金融可以发挥重要作用,帮助中国的能源转型最大程度地在国际层面发挥积极影响,同时最大程度地减少其负面影响。中国的“一带一路”倡议(BRI)就是中国政府利用投资在海外支持气候可持续发展的一个典型实例。2013年至2018年期间,BRI提供了约2650亿美元投资,这些投资主要面向全球各地的化石能源和电力项目<sup>37</sup>。目前,BRI的投资开始转向可再生能源。2020年,在BRI的海外能源投资组合中,对太阳能、风能和氢能源项目的投资占比首次高达57%<sup>38</sup>。

这与中国在2017年作出的承诺是一致的,即BRI项目旨在促进巴黎协定和2030年可持续发展目标之实现。这种一致性将带来双重效益:

- 促使全球加速完成能源转型,促进气候可持续发展(尤其是在发展中国家和新兴市场);
- 为中国低碳产品、技术和专业知识拓展海外市场。

## 全面、统一、可靠的政策框架

在推动能源体系向净零排放转型方面,政策发挥着根本性的作用。恰当的政策将有助于:

- 加快技术开发、商业化和推广;
- 改善低碳商品和服务的经济性;
- 有助于建设必要的基础设施;
- 应对转型带来的广泛经济和社会影响;
- 建立行业联盟并采取行动,以达到所需的变革速度。

壳牌的全球能源转型远景报告——波浪,岛屿以及“天空1.5”——列出了巴黎协定目标能否实现的关键决定因素:转型的速度。这三幅远景均在能源转型方面取得了进展,并依靠一套类似的低碳技术和燃料来实施脱碳。但三者之间的主要区别在于部署速度的不同:在三个加速因素(一致、明智的政策和创新领袖)的推动下,“天空1.5”远景是唯一一个速度足以实现巴黎协定1.5度目标的远景。因此,公共政策的作用将是非常关键的。

要实现转型,就需要在全国范围内采取全面的经济政策手段,例如,制定具有约束力的国家目标、稳健的碳定价,以及做出必要投资,以实现经济体的电气化。



2020年,贫困线以下人口的占比将不到1%,而在2000年以前,这一比例约为50%。”



然而,这种全面的政策手段需要在统一的行业政策的支持下实施,以促进行业(尤其是一些较难实施减排的行业)加速完成能源转型。目前,不同行业的潜在技术、燃料和基础设施解决方案各不相同,并且距离商业化还有一段距离。

最后,要想快速取得进展,就需要解决能源转型所造成的社会摩擦和动荡问题。除了能源和气候政策外,还需要制定可靠的社会政策,来确保能源转型为所有人带来更优的经济、社会和环境结果,从而为应对气候变化获取广泛的社会支持。专题 7 列出了有效政策框架的基本要素。

## 专题 7: 有效政策体系的组成要素

### 推动经济变革

1. **设定具有约束力的脱碳目标和实现这些目标的确切路径**,以降低政策不确定性,并随着时间的推移,激励利益相关方做出必要的投资。
2. **随时间推移,逐步上调碳价格,向低碳领域重新配置资源**;提高企业和家庭能源效率;鼓励选择已有的低碳产品和服务;弥补低碳燃料和技术的剩余成本差额。
3. **通过对低碳能源发电及其灵活性的投资,以低碳电力重塑经济**;优化电力系统性能;扩展和扩建输配电网络;以及建立电气化基础设施,如电动汽车充电网络。
4. **在运输(航空、航运和重型公路货运)以及工业(钢铁、水泥和化工)等难以实现电气化的行业,鼓励行业产业链内部开展更有效的协调。**
5. **给予有时间限制的财政和金融激励**,以推动氢能和先进生物燃料等低碳燃料的投资和商业化。
6. 通过各种手段,例如,行业碳定价、排放绩效标准和政策授权, **为这些低碳燃料创建初始市场或需求。**
7. **支持基础设施规划和投资**,以促进低碳燃料的商业应用。
8. **建立对碳移除的监管**,激励 CCUS 和 BECCS 投资,同时防止其削弱其他减排措施,或者阻碍向低碳能源的转型。

### 获取社会支持

9. **制定明确的、可预测的政策**,确保总体宏观经济成本在转型期间可控。
10. **采取公正、公平的政策**,减轻转型对区域、行业和分配造成的影响。
11. **制定透明、包容的政策**,鼓励社会广泛实施创新,参与变革。

### 加速产业转型



中国建立了一套全面的战略和政策治理体系,其中包括中长期的总体产业政策和短期的五年规划。这套体系为中国实现能源和气候目标奠定了坚实的基础,为中国未来40年的能源体系和经济转型提供了政策连续性和稳定性。

十四五规划指明了中国在2021-2025年期间需要采取行动的关键领域,以确保中国进入到2060年前实现碳中和的目标轨道。十四五规划制定了2021-2025年期间的经济和社会发展战略目标,以期在十三五规划的基础上,持续改善能源和环境成果。例如,为了减少煤炭的使用,十三五规划制定了天然气市场改革方案,天然气在中国能源体系中的占比到2020年和2030年分别提高到10%和15%<sup>39</sup>。

向生态文明迈进是十四五规划的六大经济社会发展目标之一<sup>40</sup>。十四五规划设定的关键能源和气候指标有:

- 2021年至2025年期间,单位GDP能源消耗(或能源强度)下降13.5%;
- 2021年至2025年期间,单位GDP碳排放(或碳排放强度)下降18%;
- 森林覆盖率从2020年的23.4%提高至2025年的24.1%;
- 化石能源(煤、石油、天然气)和非化石能源的总能源产量提高至46亿吨煤当量(约135艾焦耳)以上。

作为关键的政治绩效指标,这四项能源和环境相关的指标是相互关联的,十四五规划还提出,到2025年,将非化石能源占比提高至20%(2019年为12%)。

在未来的五年规划中,中国将需要持续地、系统性地强化目标和举措。目前的规划已经提供了一定程度的政策稳定性和确定性,有助于激励利益相关方做出必要的行动和投资,并将转型的总体成本控制在最低水平。

## 产业政策的变革性作用

要在碳中和方面取得进展,并充分利用其创造的机会,就需要制定一系列全面的、富有雄心的产业政策。这些具体包括:

- 促进新产业的发展,例如,太阳能电池板、风力涡轮机、电池和制氢电解槽的制造;
- 开发低碳工业流程并实施重工业改革,例如,使用氢能生产绿色钢铁、将CCUS应用于水泥生产,以及利用生物质能源生产化学品;
- 发展氢能和生物质能源等低碳能源的供应和供应链;
- 为消费者和企业开发低碳和数字解决方案。

此外,十四五规划还制定了一项明确的目标,即发展战略性新兴产业<sup>41</sup>以及关键创新领域,以便为这些增长型产业<sup>42</sup>未来的发展提供支持。建立相应产业政策,确定长期发展方向并加快能源体系转型,都可以为这些产业发展提供支持。

例如，2020年，中国的能源研发和低碳能源研发公共支出分别占全球总支出的25%和15%<sup>43</sup>。据估计，自2017年以来，中国初创企业已获得全球能源相关风险投资的35%。

通过产业战略来进一步阐明和强调低碳能源政策下的优先任务，有助于更好地利用中国可观的公共研发资源以及国内外私人投资。

通过采取协调一致的产业政策行动，中国可以成为新能源燃料、技术和专业知识领域的全球市场领军者。

## 前所未有的政策愿景，协同及合作

为顺利有序地实现碳中和，中国各级政府（国家级、省级、市级等）将需要以前所未有的程度，积极开展协调和协作。

具体而言，利用低碳电力实现中国经济体的普遍电气化，是碳中和路径的重要部分。要在未来

40年内，建立可靠、经济的低碳电力系统，需要统筹规划和投资，以完成输电网络的扩建和升级。此外，各省份之间还需要通过合作，共同优化电力系统。

能源转型不仅是一个改变能源体系的技术和经济过程，也是一个社会变革过程。例如，要解决中国煤炭转型进程中出现的各种问题，需要通过以下方式，建立统一的政策愿景：

- 将能源和气候政策与劳动力市场政策相结合，为工人提供再培训；
- 建立教育政策，培养新的技术能力；以及
- 落实更广泛的社会政策，以解决难以避免的裁员和提前退休问题。

专题8介绍了国际煤炭转型案例的经验分析。



“

通过采取协调一致的产业政策行动，中国可以成为新能源燃料、技术和专业知识领域的全球市场领军者。”

## 专题 8：国际煤炭转型案例的经验分析

煤炭转型进程中出现的一系列棘手问题并非中国独有。英国、美国、德国和波兰等国家已面临并将继续应对这些问题，这些国家已经已取得不同程度的成功。根据他们的经验，要成功解决煤炭转型问题，需要采取以下措施：

■ **建立社会契约：**为应对气候变化，需要快速完成能源转型。但转型过快，会威胁到当地劳动力市场吸纳煤炭行业失业工人的能力。工会的立场已从防御性地支持煤炭给予，转向要求“公正转型”，以确保在向绿色经济转型的同时，保障工人的权利。

诚然，一旦开始实施裁员，工会的支持就会瓦解。但自 20 世纪 60 年代末以来，有效开展谈判一直是德国等国家用来解决西部煤炭地区产业转型问题的有力工具。

■ **提前做好工厂关闭规划：**如果转型规划直至出现大规模裁员才实施，劳动力市场将无法安置大量失业工人。意大利、德国和澳大利亚等国家在行业和企业层面开始工厂关闭前就做好了规划。这些规划包括面向失业工人的再培训、提前退休和转移就业等举措。

现场整治也是恢复当地环境，取得社区对转型的认同，以及在转型的关键时机，为失业工人提供半技能型和低技能型工作岗位培训的重要途径。

■ **区域经济多样化：**随着煤炭相关工作岗位的减少，可将某些类别的工作岗位转移到其他行业（例如，可再生能源和 CCUS）。开发生物资源也可作为区域经济多样化的一种方式。

然而，仅靠市场重组无法实现公正的转型。一些煤炭产业地区难以看到大规模可再生能源、CCUS 或生物质能源的发展前景。这意味着，除非离家远行，这些地区的工人们很难无缝地转移到新的工作岗位。此外，由于许多新工作岗位可能处于发展阶段，目前的工作岗位将更多地为临时工作所取代。

■ **建立全面的政策体系、资金和权威机构，以帮助实现公正转型：**至关重要，所制定的政策不仅要确保激励或支持低碳能源转型，还需要应对转型带来的社会经济影响。

一些国家正在设立专项资金，以监督、开发和实施煤炭转型计划。欧盟委员会的“转型期煤炭和碳密集地区提案”正在向 13 个煤炭产业地区提供资金支持。德国煤炭委员会提出了 400 亿欧元的融资方案，旨在为煤炭产业地区提供资助。与此同时，西班牙政府设立了一支 2.5 亿欧元的基金，其中包括为失业工人、经济多样化和环境恢复提供的资助。



## 行业行动联盟

为加快转型速度,以确保按时实现天空 1.5 等远景,以下关键群体之间需要开展前所未有的合作,以形成良性的变革循环:

- 政府——建立扶持性政策体系;
- 企业——实施创新,并开发新型低碳产品和服务,以及支持这些产品和服务的商业模式
- 消费者——为低碳解决方案提供需求侧拉动。

从航运到金融,从航空到化工,从钢铁到水泥——供应能源的企业必须与使用能源的企业联合开展合作。每个经济部门的整个生态圈都需要共同努力,以完成净零排放目标。

对于运输业和重工业中的一些较难实施减排的部门而言,尤其如此。与电力和公路客运等行业不同,这些行业的脱碳进程才刚刚开始,

由于需要热能和能量密度较大的燃料,这些部门不仅较难实现电气化,而且其潜在解决方案也会因具体行业不同而异。

为加快转型步伐,产业链中的各个不同环节需要同时进行投资。以钢铁行业为例:设备制造商需要投资开发相关技术以利用氢能等低碳能源;钢铁厂业主需要升级生产工艺;基础设施所有者需要开发所需的氢能运输和储氢设施;燃料供应商需要开发充足的低碳氢能供应设施。这与新技术通常按顺序经历开发、应用和普及的流程有所不同。

虽然各个行业可以确定各自实现净零排放的最佳途径以及实现净零排放所需的投资,但只有政府才有权力并能够合法地通过政策杠杆来消除转型进程中的障碍。因此,为确保这些脱碳途径得到广泛支持,政府政策是必不可少的。

在中国,政府和国有企业之间有着紧密的联系,十四五规划明确要求国有企业推广新的节能、低碳和环保技术。

中国企业(无论公有还是私营)均已开始节能减排行动。例如,中国第二大有油气企业中国石化集团于 2021 年初宣布,计划到 2050 年前实现碳中和,短期内将其投资组合转向天然气,长期转向清洁氢能。中国最大的钢铁企业宝钢集团承诺,到 2050 年前实现净零排放,并重点发展基于氢能的钢铁生产。

在一些较难实施减排的行业,尤其是在资本密集型重工业,要在这十年内加速取得进展,建立行业联盟非常重要。这些联盟需要获得政府的支持并且包括能源供应和终端用能生态圈中的私营和公有企业。

“

从航运到金融,从航空到化工,从钢铁到水泥——供应能源的企业必须与使用能源的企业联合开展合作。”

## 城市是变革的孵化器

城市化趋势意味着，城市对于各国成功完成能源转型至关重要。城市是广泛社会能源转型的缩影，反映了转型所带来的机遇和挑战。要想快速取得进展，城市将需要采取以下举措：

- 能源、环境、交通及其他城市服务实体之间开展跨界合作；
- 获得非传统合作伙伴，包括居民、消费者、各级政府，以及提供城市服务的各种私营运营商；
- 采用新的合作/集合方式，以提供综合城市服务（包括能源）。

2000年至2020年，中国城市人口占比将从36%攀升至60%以上。到2050年，这一比例预计将超过75%。由于中国人口众多，工业和能源需求聚集于城市地区，因此，城市实现脱碳，将是中国2060年实现碳中和目标的关键。



城市化趋势意味着，城市对于各国成功完成能源转型至关重要。城市是广泛社会能源转型的缩影，反映了转型所带来的机遇和挑战。”

很多城市已经做出表率。已有60多个城市承诺要在2025年前实现碳达峰——比国家目标提前五年。比如，上海承诺在2025年前实现碳达峰；北京的目标则是在2021-2025年间实现碳达峰。

在碳达峰承诺中，有25个城市设定了可再生能源指标及相应政策，这些政策覆盖了3.21亿人口，占中国城市人口的38%<sup>44</sup>。

一些城市还按照省级氢能经济发展战略，率先实施了燃料电池电动汽车和公共汽车的部署。2019年，在电动乘用车销量方面，深圳、北京和广州已成为全球三大领先城市。2018年，广州与众多合作伙伴合作，将11220辆城市公交车全部更换为电动公交车。

上海、广州和深圳等城市是工业活动的中心，也是全球一批最繁忙机场和港口的所在地，它们有潜力推动难以实施减排的部门实现显著减排。工业区拥有相对集中的基础设施，且需要消耗大量能源，便于城市政府鼓励发展采用综合解决方案的低碳生态系统。

若能抓住这些机会，将为城市带来双重效益。城市不仅能够为中国2060碳中和目标做出重大贡献，还可成为新技术和合作方式的孵化器和示范者，并将为城市居民创造新的经济发展机会。







## 结语

中国在 2060 年前实现能源体系的净零排放是一项极具挑战性的任务, 因为中国在寻求脱碳的进程中, 其经济规模和能源需求也在不断增长。

根据我们对各种低碳技术及燃料进行的技术与经济潜力评估, 本报告提出了中国实现 2060 净零排放能源体系的一条独特路径。根据社会和政策实际偏好, 这样路径下的技术和燃料组合方式可能有所调整, 而基础技术和燃料选项不会有太大变化。

本报告描绘的碳中和能源体系远景的主要成果包括:

- 面向终端用户的发电量提高三倍, 从 2020 年的 20 艾焦提高至 2060 年的 60 艾焦以上, 其在最终能源中的占比将提高 2.5 倍, 从目前的 23% 提高至 2060 年的近 60%。

### 为本十年推动进展的行动计划

1. 投资于可靠的可再生能源电力网络。
2. 将中国定位为低碳制造领域的市场领军者。
3. 通过氢能、生物质能源和 CCUS 实现转型的技术示范项目实现重工业转型。
4. 开始有序实施煤炭转型退出。
5. 通过制订综合政策和建立行业联盟, 加速采取行动, 并将城市作为变革的孵化器。



- 2060 年，用于制氢的电力需求将进一步增长 25%。整个电力系统（面向终端用能行业和制氢行业）的规模达到目前水平的将近四倍。
  - 电力结构将从约 65% 的化石燃料发电，转变为完全使用可再生能源发电——到 2060 年，80% 的电力将来自风能和太阳能。发电过程中的所有剩余化石燃料均由 CCUS 抵消。
  - 到 2060 年，氢能在最终能源消耗中的占比将从目前的较低水平增长至 16% 左右，主要用于工业和长途运输。
  - 生物资源（商用生物质和液态生物燃料）的使用量从目前的约 2 艾焦增长至 2060 年的近 17 艾焦。住宅生物质使用量下降，而商用生物质（主要用于工业和电力，包括 CCS）使用量将大幅增长。
  - 能源效率继续提高，尤其是工业能源效率。这是城市综合基础设施的低碳化以及电气化的结果。2020 年至 2060 年，中国单位 GDP 能源强度将下降大约一半。
  - 由于能源效率显著提高，最终能源消耗总量比平时减少约 39%。
  - 碳价格（显性和 / 或隐性）于 2030 年上涨至约 300 元 / 吨二氧化碳，于 2060 年上涨至 1300 元 / 吨二氧化碳。
  - 通过 CCUS 形成的碳抵消将为中国实现 2060 净零排放能源体系发挥重要作用，到 2060 年，二氧化碳的抵消规模将达到每年 13 亿吨以上。其中包括通过 BECCS 实现的 6 亿吨负排放量。
- 通过能源体系转型，中国将有机会成为清洁能源技术和燃料领域的领军者。同时，中国还有能力成为新能源领域的全球领军者，这有助于中国应对国内和国际挑战。
- 为取得进展，中国企业和政府之间需要采取协调一致的行动，抓住机遇，以恰当方式处理转型带来的影响，确保社会利益最大化，进而激励消费者和民众大力支持和热情参与，进一步推动中国备受关注的能源转型发展。

# 鸣谢

感谢所有为此次中国远景报告提供咨询建议的外部专家。特别感谢 Vivid Economics。同时感谢大自然保护协会。本次情景分析部分基于国际能源署 (IEA) 世界拓展能源平衡 ©, OECD/IEA 2020 的历史数据。该报告由壳牌集团撰写, 并不一定反映国际能源署的观点。

## 术语表

|                            |  |
|----------------------------|--|
| “一带一路”倡议 (BRI)             | “一带一路”倡议 (One Belt One Road, BRI), 是中国政府 2013 年推行的一项全球范围的基础设施发展战略, 旨在投资于全球近 70 个国家和国际组织。   |
| 生物质能源结合碳捕集与封存 (BECCS)      | BECCS 技术通过生物质获得能源, 并将此过程产生的 CO <sub>2</sub> 捕捉, 封存, 防止进入大气。                                |
| 碳捕集、利用与封存 (CCUS)           | CCUS 技术旨在从燃料燃烧或工业过程中捕集二氧化碳 (CO <sub>2</sub> )。   |
| 排放交易机制 (ETS)               | 欧盟排放交易体系 (EU ETS) 是一套“总量管制和交易”机制, 涵盖欧盟 27 国的所有大型排放源 (主要是火力发电站和工业设施)。                       |
| 高质量增长                      | 中国的政策性文件中, “高质量增长”指可确保环境和社会可持续发展的经济增长 (即不单单提高 GDP)。  |
| 国际能源署 (IEA)                | 国际能源署是设立在巴黎的政府间自治组织。   |
| 基于自然的解决方案                  | 基于自然的解决方案是通过保护或发展自然生态系统, 如森林、草原和湿地, 来实现自然固碳。   |
| 壳牌“天空 1.5”远景               | 在该能源情景下, 世界已实现《巴黎协定》的目标, 即在本世纪末将全球变暖控制在 1.5 摄氏度以下。   |
| 可持续发展目标 (SDG)<br>“3060 目标” | 是联合国制定的 17 个全球发展目标, 旨在“消除贫困, 保护地球, 促进全面繁荣”。<br>中国将力争 2030 年前达到二氧化碳排放峰值, 努力争取 2060 年前实现碳中和。 |
| 艾焦耳                        | 1 艾焦耳 = 1 × 10 <sup>18</sup> 焦耳, 1 焦耳 = 0.034 毫克标准煤  |



# 尾注

1. 《中国 2019 年温室气体排放量首次超过发达国家》| 荣鼎集团
2. 新华社评论: 中国气候治理雄心史无前例但切合实际 - 新华社
3. 能源转型情景, 壳牌, 2021
4. 气候观察数据
5. 中国 2020 年温室气体排放初步估算, 荣鼎集团, 2021 年 3 月
6. 《中国能源体系碳中和路线图》, 国际能源署, 2021 年
7. 《中华人民共和国 2020 年国民经济和社会发展统计公报》
8. 《世界经济展望》国际货币基金组织, 2021 年 4 月
9. 《全球能源评论: 2020 年二氧化碳排放量》, 国际能源署, 2021 年
10. 《全球能源评论: 2020 年二氧化碳排放》, 国际能源署, 2021
11. 2020 年, 中国人均 GDP (按购买力平价计算) 约为欧盟平均水平的 40%, 美国的 20%。
12. 电气化规模与清华大学的分析规模相似 能源转型委员会 (《中国 2050: 一个全面实现现代化国家的零碳图景》, 以及彭博新能源财经
13. 哥伦比亚大学 | SIPA 学院全球能源政策中心 | 中国可再生能源政策的趋势和矛盾
14. 可再生能源发电 -2021 年可再生能源市场前景更新报告 - 分析 - 国际能源署
15. 《中国能源体系碳中和路线图》, 国际能源署, 2021 年
16. 在本报告中, “碳价格”一词是指政府通过税收、排放交易机制或监管标准而主导的碳定价机制。
17. 《践行使命: 打造全球零碳经济》
18. 《2021 年中国二氧化碳捕集利用与封存报告
19. 2020 年能源技术展望 - 分析 - 国际能源署
20. 《践行使命: 打造全球零碳经济》, 2020 年
21. 《中国 2050: 一个全面实现现代化国家的零碳图景》, 能源转型委员会, 2019 年
22. 《电力增长零碳化 (2020-2030): 中国实现碳中和的必经之路》, 能源转型委员会和落基山研究所, 2021 年
23. 《到 2050 年实现净零增长: 全球能源部门路线图》, 国际能源署, 2021 年
24. 由 Vivid Economics 提供的壳牌内部分析结果。
25. 《中国能源体系碳中和路线图》, 国际能源署, 2021 年
26. 《中国能源体系碳中和路线图》, 国际能源署, 2021 年
27. 由 Vivid Economics 提供的壳牌内部分析结果。
28. 《中国能源体系碳中和路线图》, 国际能源署, 2021 年
29. 中国如何在十年内让近 500 万辆新能源汽车上路
30. 中国国家统计局。
31. 《改变我们的世界: 2030 年可持续发展议程》及其 17 项可持续发展目标于 2015 年 9 月在纽约举行的联合国可持续发展峰会上获得通过。这 17 项可持续发展目标涵盖了经济、社会和环境发展的各个方面, 为经济增长和繁荣提供了一幅跨越所有三个维度的可持续蓝图。

# 尾注

32. 政策制定者总结。在: [全球升温 1.5° C: IPCC 特别报告关于全球变暖 1.5° C 的影响高于前工业化水平, 和相关的全球温室气体排放途径](#) [加强全球对策的背景应对气候变化的威胁, 可持续发展和消除贫困的努力, IPCC, 2018](#)
33. [4000 元人民币 / 人 / 年, 按 2020 年的价格。](#)
34. [2020 年各国稀土储量](#)
35. [2020 年各国稀土产量分配](#)
36. [产品贸易统计数据, 世界银行](#)
37. [《“一带一路” 经济学: 交通走廊的机遇和风险》, 世界银行, 2019 年](#)
38. [《2020 年中国 “一带一路” 倡议投资报告》](#)
39. [《中国天然气发展战略》, 壳牌和中国国务院发展研究中心, 2017 年](#)
40. [《问与答: 中国十四五规划对气候变化意味着什么? 》 | 碳简报 2021](#)
41. 示例包括新一代信息技术、生物技术、新能源、新材料、高端装备、新能源汽车等。
42. 示例包括新一代电池和新能源汽车、氢能和燃料电池、先进生物燃料、CCUS、智能数字系统。
43. [《中国能源体系碳中和路线图》, 国际能源署, 2021 年](#)
44. [REN21 2021 年中国城市年鉴](#)

# 免责声明

这份远景报告基于壳牌“Sky”远景中的数据。在编制这份远景报告的过程中,我们首先根据习近平主席于2020年9月在联合国大会上的声明而假定,中国的能源体系于2060年实现净零碳排放。然后,我们往前追溯,探讨该目标是如何实现的。当然,要实现净零碳排放能源体系,中国有许多潜在路径可选择,但我们认为,这份远景报告所勾勒的路径不仅具有技术可行性,而且将保持中国经济的增长。虽然相对于“Sky”远景,本远景在目标和假设方面更具挑战性,但我们相信,尽管极具挑战性,但目前仍具有技术可行性。然而,我们认为,成功窗口即将关闭,若不采取重大行动,中国可能需要更长的时间才能实现净零碳排放能源体系。壳牌的运营计划和预算并未反映壳牌的净零排放目标。壳牌的目标是,在未来对其运营计划和预算作出调整,以反映壳牌向新的净零排放目标的转向。然而,这些计划和预算需要与社会和壳牌客户向净零排放经济的转向同步。”

壳牌能源远景(包括此远景)不应与壳牌战略或业务计划相混淆。在制订壳牌战略时,我们的远景仅仅是我们所考虑的众多远景中的一个可变选项。归根结底,社会是否实现脱碳目标,并不在壳牌的控制范围之内。虽然我们计划与社会步调一致,但只有政府才能建立成功的框架。

荷兰皇家壳牌有限公司直接或间接拥有的公司是各自独立的实体。为方便起见,本报告有时使用“壳牌”、“壳牌集团”和“荷兰皇家壳牌”来泛指荷兰皇家壳牌有限公司及其旗下子公司。与此相似,文中还使用“我们”和“我们的”这样的词语来泛指这些子公司或为这些子公司工作的人们。当指明特定的公司并无任何实际意义时,也使用这些表述。本新闻稿中所使用的“子公司”、“壳牌子公司”和“壳牌”指荷兰皇家壳牌有限公司直接或间接控制的公司。壳牌与其他实体共同控制的实体和未经注册的业务组织分别被称为“合资公司”和“合资业务组织”。壳牌有实质性的影响但尚未控制的公司被称为“联营公司”。为方便起见,“壳牌权益”指壳牌在某个实体或未经注册的合资业务组织中持有的、排除所有第三方权益后的直接及/或间接的所有者权益。本报告包含关于荷兰皇家壳牌有限公司的财务状况、运营结果和各项业务的前瞻性陈述(定义见《1995年美国私人证券诉讼改革法案》)。

除历史事实之外,所有其他陈述均是或可能被视为前瞻性陈述。前瞻性陈述是指,基于管理层的当前预期和假定,而做出的关

于未来预期的陈述,其中包含已知和未知风险及不确定因素,可能导致实际结果、业绩或事件与前瞻性陈述中明示或默示的情况大相径庭。前瞻性陈述包括但不限于,有关荷兰皇家壳牌有限公司可能面临的市场风险的陈述以及表达管理层的预期、信心、估计、预测、计划和假设的陈述。这些前瞻性陈述是指使用诸如“预期”、“相信”、“可能”、“估计”、“希望”、“打算”、“可以”、“计划”、“目标”、“展望”、“也许”、“预计”、“将”、“试图”、“目的”、“风险”、“应当”以及类似词语或表述的陈述。荷兰皇家壳牌有限公司未来的运营可能受到诸多因素的影响,使得其运营结果与本报告中的前瞻性陈述差别迥异。这些因素包括(但不限于): (a) 原油和天然气的价格波动; (b) 壳牌集团产品的需求变化; (c) 货币汇率波动; (d) 钻探和生产结果; (e) 储量估计; (f) 市场损失和行业竞争; (g) 环境风险和自然风险; (h) 查明合适的潜在收购财产和目标以及成功谈判并完成交易的相关风险; (i) 在发展中国家和受到国际制裁的国家从事业务的风险; (j) 立法、财政和法规方面的发展,包括重新划分储备引起的潜在诉讼和监管影响; (k) 不同国家和地区的经济金融市场条件; (l) 政治风险、项目延期或提前、审批和成本估算; (m) 与COVID-19(新冠)疫情爆发之影响相关的风险; 以及(n) 贸易条件的变化。壳牌不保证未来股利将达到或超过上期股利。本声明中包含或提及的警示陈述明确限制了本报告所包括的全部前瞻性陈述。读者不应不适当地依赖于前瞻性陈述。关于其他可能影响未来业绩的因素,请参见皇家荷兰壳牌20-F(截止到2020年12月31日,可登录www.shell.com/investor或www.sec.gov下载)。这些风险因素也明确限制了本报告所包括的全部前瞻性陈述,读者就此同样应给予考虑。所有前瞻性陈述仅应截至本报告发布之日,即2021年12月XX日有效。荷兰皇家壳牌有限公司及旗下任何子公司均无义务公开更新或修改任何前瞻性陈述以反映新信息、未来事件或其他信息。鉴于上述风险,实际结果可能严重偏离本报告的前瞻性陈述中明示、默示或隐含的情况。

在本报告中,我们可能使用了美国证券交易委员会(SEC)严格禁止在向SEC提交的文件中使用的词语(例如,“资源”)。在此敦促投资者认真考虑我们在表20-F,文件编号1-32575(可登录SEC网站www.sec.gov下载)中披露的信息。



# 赋能**进步**

若要详细了解我们旨在建立净零排放世界的“赋能进步”计划, 请访问:  
[www.shell.com/powering-progress](http://www.shell.com/powering-progress)



创造  
股东价值



实现  
净零排放



赋能  
生活



尊重  
自然

 @Shell\_China

[www.shell.com/ChinaSketch](http://www.shell.com/ChinaSketch)

© 2021 Shell International B.V.

版权所有。未预先取得 Shell International B.V. 书面许可, 不得以任何形式或方式复制、发布或传播本出版物的任何内容, 或者将其存储于检索系统中。

