

中国可再生能源展望 2018



新时代下的中国能源转型

中国可再生能源展望 2018 (CREO 2018) 以“十九大”的战略思想为指导，深入落实“十三五”规划发展纲要，以建设“清洁低碳、安全高效”的现代化能源体系为目标，展示了中国能源系统从化石能源向可再生能源转型的可行路径和必要步骤。

主要发现

化石能源将于 2020 年达峰

中国化石能源消费总量将在 2020 年达峰，2035 年之前稳步下降（图 1）。煤炭在发电和工业部门的能源消费比例持续缩减。工业与交通部门的电气化水平显著上升，减缓了中国对油品进口的依赖。由于未来可再生能源经济性全面赶超化石能源，中国并不需要将天然气作为煤与可再生能源之间的过渡性能源。

2020 年后光伏与风电增长迅速

随着发电经济性的提高，下个 10 年中国将迎来光伏与风电大规模建设高峰。新增光伏装机容量约 80-160 GW/年，新增风电装机约 70-140 GW/年（图 2）。到 2050 年，风能和太阳能成为我国能源系统的绝对主力。

终端部门能效提升与再电气化

终端部门的综合用能效率提高，与工业和交通领域的再电气化进程，进一步加深了能源消费侧革命，并促进了

能源供给侧结构性改革。

主要建议

根据绿色转型的长期战略，提出政策建议和制度框架如下：

严格推行减煤措施

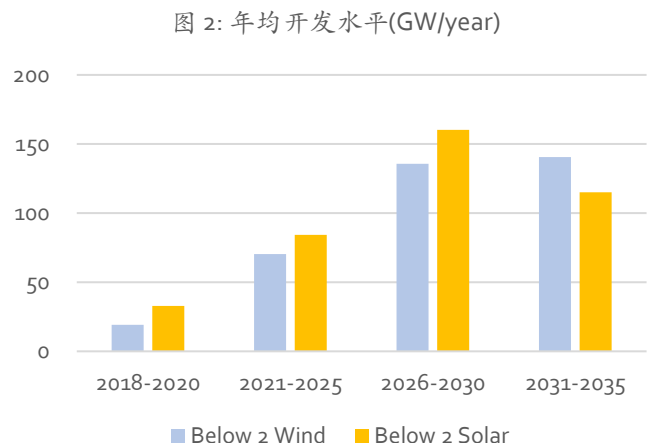
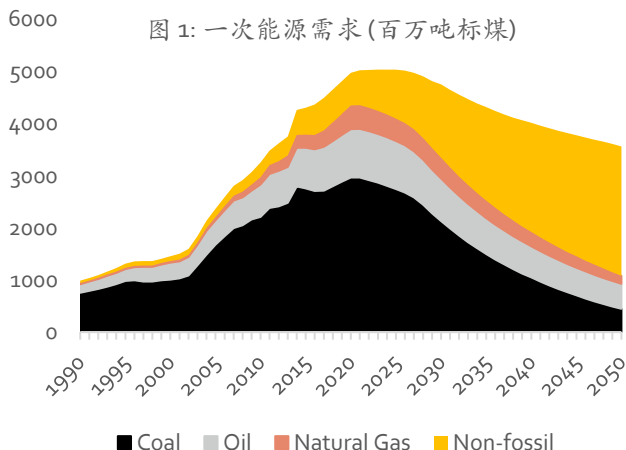
包括禁止新建燃煤发电厂；加快加强工业再电气化，深入推行清洁供暖，大幅提高终端用能电气化水平；实施有效的碳价政策；引导资源型省份逐步摆脱煤炭依赖，并助其实现能源与经济的转型升级。

为可再生能源创造公平有序的竞争环境

健全政府部门间协调配合机制，出台综合、全面、协调的财政政策，推行规范完善的电力市场，为可再生能源参与市场竞争移除障碍。

生态文明建设体制改革

党的十九大将生态文明建设提升到新的高度，将其作为 2050 年奋斗目标之一，这一目标的实现需要各方强有力的制度保障：电力体制改革需确保现有市场主体作为主力军推进可再生能源；各级电网公司需制定计划确保完全消纳波动性电源；地方政府需进一步提高参与能源转型管理的积极性和主动性，更好的发挥政府的主导和监管作用。



2050 年美丽中国的能源系统

面向 2050 年能源转型的两种情境

为了更好的理解从现在到 2035 年间能源转型动态，首先需要清晰勾勒 2050 年能源系统的预期前景。

CREO 2018 分析了两种能源发展情景。**既定政策情景**以完全实现十三五规划和十九大报告中的相关能源目标为预期，展现了坚决执行现有政策时的能源发展预测。**低于 2 °C 情景**则更进一步，以达到《巴黎协议》的碳约束为蓝图远景，回溯倒逼所需的能源发展路径。通过对两种情景结果进行比较分析，很容易识别出现有政策到实现巴黎协定的差距，同时也方便设计加速弥合差距的目标方案和政策措施。

能源消费总量下降，能源效率提高

在低于 2 °C 情景中，未来中国终端能源需求的变化主要有三大驱动因素：产业经济结构调整，能效水平的大幅提升，工业与交通领域的电能替代。2050 年的终端能源需求较如今略低，化石能源消费大幅缩减，电力消费显著上升（图 3）。

终端部门间能源消费的发展历程各异。作为国民经济主体和能源消耗最大的部门，工业在 2050 年的能源需求将大幅下降；交通与建筑部门的能源需求略微提高（图 4）。

可再生能源成为一次能源主体

低于 2 °C 情景中预测 2050 年中国一次能源需求（TPED）比 2017 年大幅降低。可再生能源将成为一次能源消费中的主体能源，煤炭在能源结构中降至从属地位。较之风电与光电，天然气能源价格较高，因此在长期能源系统中所占分量较低。风能（44%）和太阳能（27%）将主导 2050 年可再生能源的供应，届时非化石能源的总体比例将达到 70%（图 5）。

能源系统的核心将从燃煤过渡到电力。低于 2 °C 情景中，终端部门的电气化率将从 2017 年的 24% 提至 2050 年的 53%；2050 年全社会电力生产量较 2017 年将翻倍。可再生能源取代煤炭成为供电主力。

图 3: 终端能源消费 (百万吨标煤)

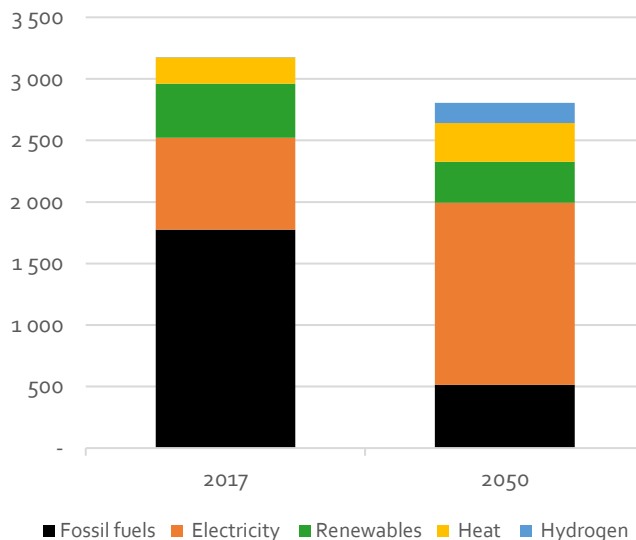


图 4: 部门间终端能源需求 (百万吨标煤)

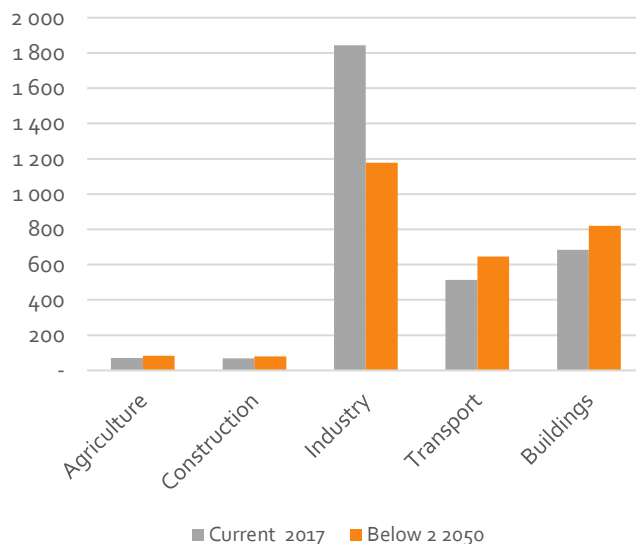
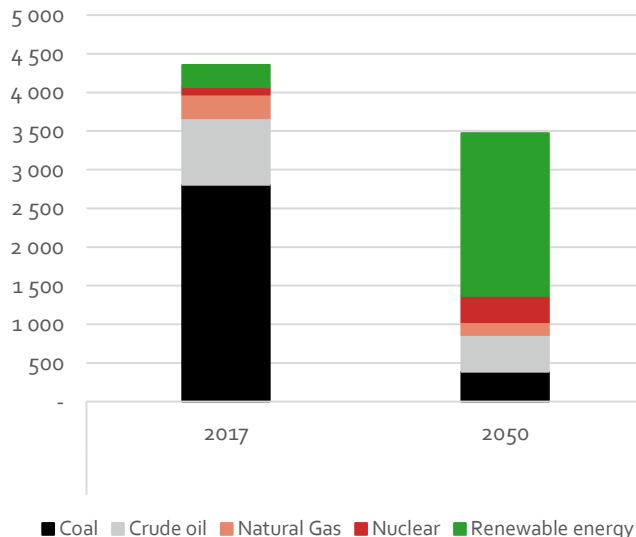
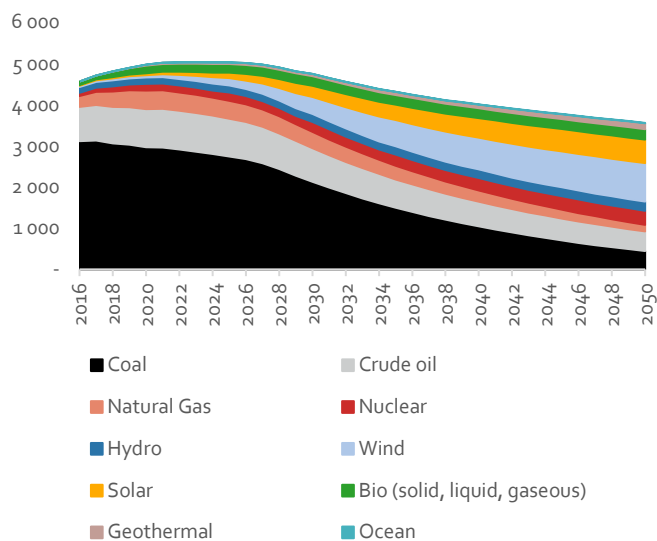


图 5: 一次能源需求 (百万吨标煤)



能源转型与可再生能源发展目标

图 6: 终端能源需求(百万吨标煤)



煤炭与石油的消费锐减

低于 2 ° C 情景中，煤炭消费在 2020 年以后将急速下降，与之相伴的是可再生能源将的大规模开发（图 6）。由于电动汽车的大范围推广，尽管未来汽车保有量继续增加，石油消费还是保持下降。

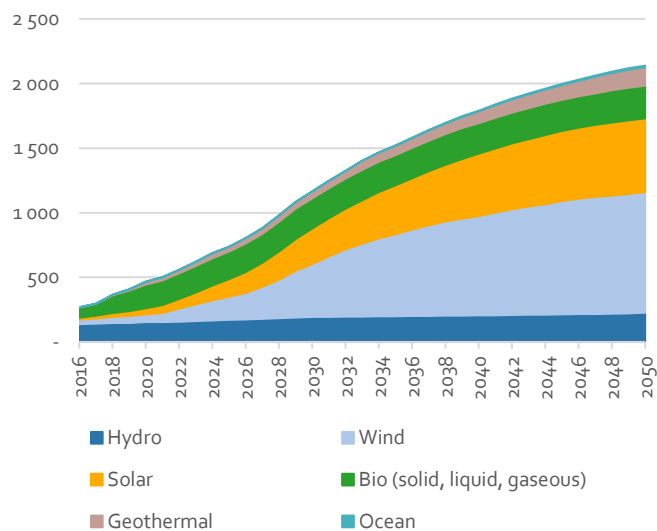
光伏与风电在 21 世纪 20 年代得到大规模开发

未来可再生能源供能主要集中在电力部门；太阳能与风能将主导电力供应（图 7）。

既定政策情景发展略慢

与低于 2 ° C 情景相比，既定政策情景中可再生能源的开发程度略低，煤炭和石油的去化过程也相对缓慢。由于现有的优先发展天然气的政策导向，天然气在既定政策情景将扮演更为重要的角色，见图 8。

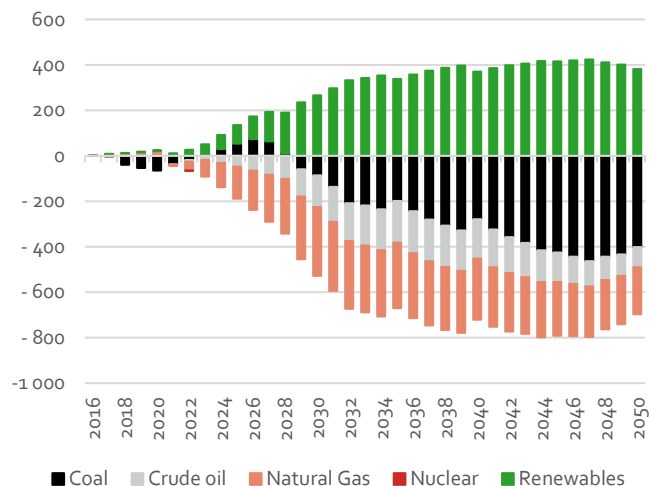
图 7: 可再生能源开发利用(百万吨标煤)



更高的可再生能源目标是可行的

情景分析结果表明，制定比十三五规划中更高的可再生能源装机计划和非化石能源发展近中期目标（2020、2030）是可行的。

图 8: 一次能源需求 - 低于 2 ° C 情景和既定政策情景的比较 (百万吨标煤)



	Policy targets	Stated Policies Scenario	Below 2 ° C Scenario
Renewable power capacity 2020			
Total Capacity	676 GW	849 GW	842 GW
Hydropower	340 GW	343 GW	343 GW
Wind	210 GW	225 GW	221 GW
Solar	110 GW	232 GW	229 GW
Biomass	15 GW	48 GW	48 GW
Other RE	0.55 GW	0.55 GW	0.55 GW
Share of Total Energy consumption in 2020 and 2030			
Non-fossil Fuel 2020	15%	18%	19%
Non-fossil Fuel 2030	20%	33%	43%

2035 年后应遵循以下开发策略：

2035	Stated Policies Scenario	Below 2 ° C Scenario
Total Capacity	3190 GW	4362 GW
Hydropower	454 GW	454 GW
Wind	1162 GW	1826 GW
Solar	1494 GW	2000 GW
Biomass	62 GW	64 GW
Other RE	18 GW	18 GW
Non-fossil Fuel	44%	56%

清洁的能源系统

一个清洁的能源系统，其环境的负面影响将减至最小。CREO 2018 分析了能源系统中的空气污染与水资源短缺等问题的环境影响。

2050 年两种情景中的空气污染都得到切实治理

2050 年，在两种情境中，除 NH₃ 外大部分大气污染物的排放水平都将显著减少，NH₃ 的排放主要来自于农业部门中化肥的使用，见图 10。

低于 2 °C 情景中空气治理效果在更早期显现

大部分空气污染物浓度在低于 2 °C 情景中下降程度更快。由于低于 2 °C 情景推行了更为激进的去煤化去油化政策，黑碳(BC)，有机碳(OC)，氮氧化物(NO_x)，一氧化碳(CO)以及非甲烷挥发性有机物(NMVOC)的含量在 2035 年就得到了显著控制。

电力部门用水得到大幅改善

水资源短缺造成严重的生态问题并威胁着国家安全，缓解用水压力也是能源发展战略的重要考量。在 CREO 的两种情景中，由于发电侧技术的进步与升级，电力部门用水强度得到大幅改善，能源部门总体用水需求下降，其中低于 2 °C 情景中的用水量更低。图 9 给出了两种情景中未来用水量的预测（基于高、中、低三类用水强度假设），低于 2 °C 情景中用水量从 2020 年开始下降，在既定政策情景中则要等到 2030 年。

图9: 两种情景中的未来用水量

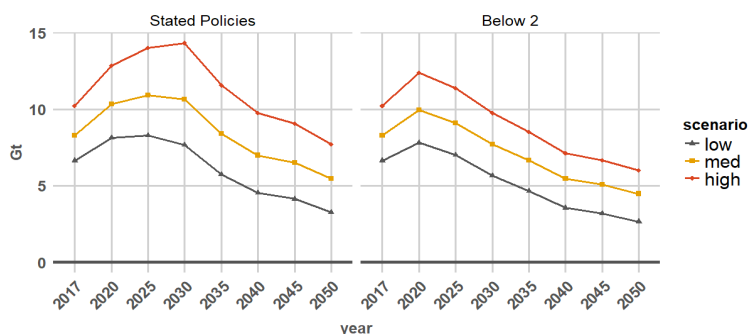
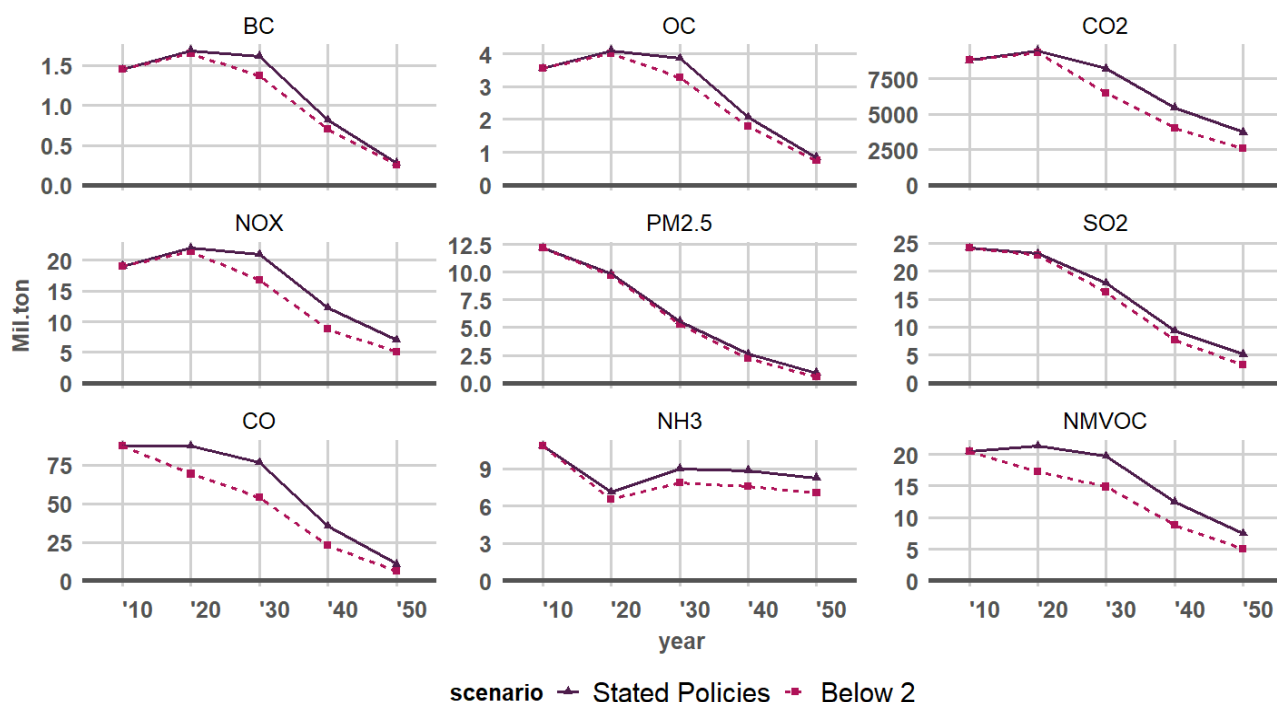


图10: 两种情景下空气污染物含量



低碳的能源系统

图 11: 能源相关的CO₂ 排放
(百万吨 CO₂)

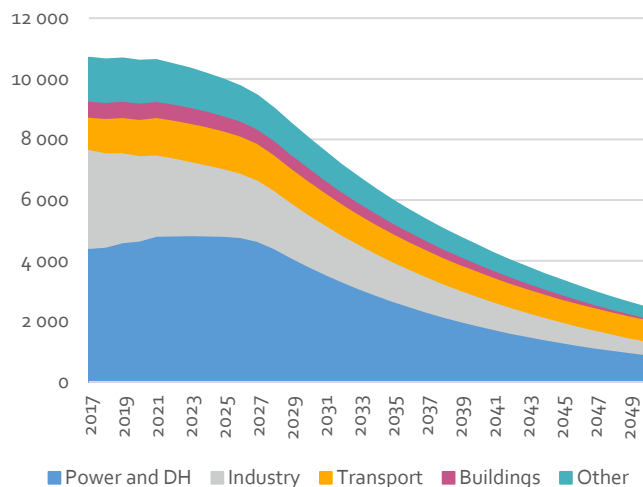


图 12: 低于2 °C 情景和既定政策情景的CO₂ 排放量(百万吨CO₂)

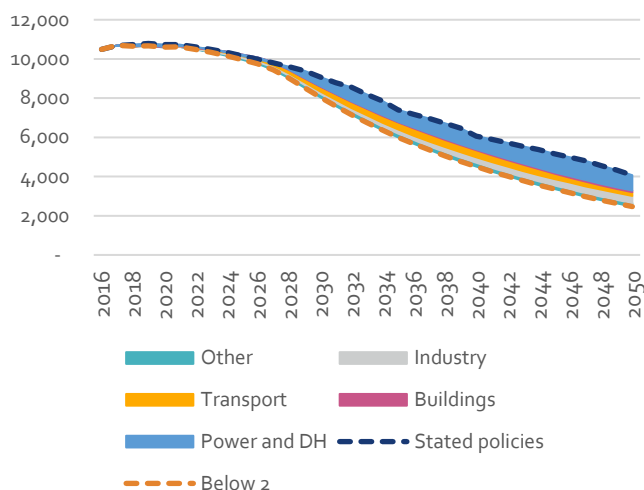
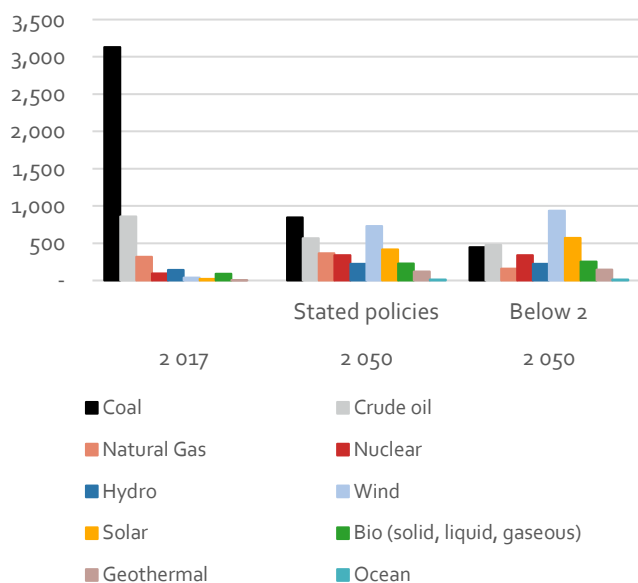


图 13: 一次能源需求结构 (百万吨标煤)



低碳是未来能源系统的必然选择

由人类活动引起的气候变化对社会可持续性发展产生了深刻的影响，是人类面临的重大生态环境和发展方式挑战。能源行业集中了中国的碳源大户，对温室气体贡献率最大，其减排路径设计与生态文明和可持续能源系统的建设目标密切相关。

低于 2 °C 情景就中国对《巴黎协定》中温控目标的预期贡献，设计了 2050 年中国碳排放总量目标，并将基年与目标年的排放差距平滑摊到中间各年，制定了 2017-2050 逐年排放约束（图 11）。在未来，受益于再电气化的深入，工业将成为最大的减排部门；尽管电力与热力需求翻倍，但由于能源技术升级，发电与供热部门的整体排放将大幅降低。

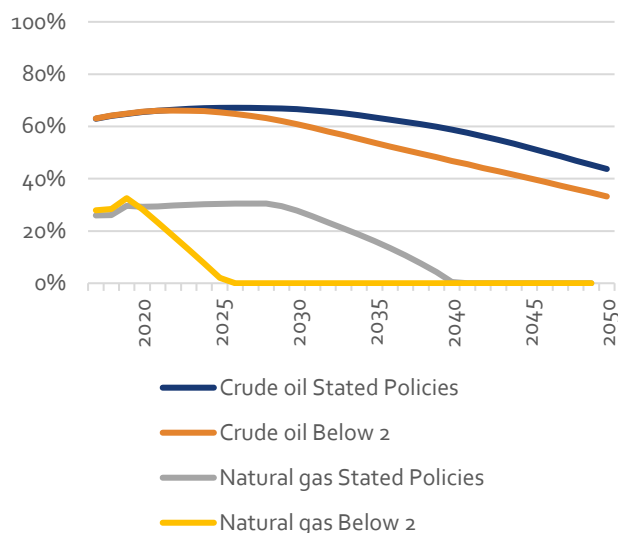
既定政策情境中的二氧化碳减排路径速度较慢，减排量较弱，不足以实现上述的约束目标。与低于 2 °C 情景相比，既定政策情景中特别是发电部门的排放量更高（图 12）。

多元化能源供应体系，减少对进口的依赖

2050 年的能源供应格局将由煤炭为主向多元化转变；低于 2 °C 情景中 2050 年的化石能源比例降至 30%，既定政策情景中至 45%（图 13）。

能源进口比例大幅缩减，其中低于 2°C 情景中天然气与石油的能源进口比例更少，而既定政策情景中两者的对外依存度相对较高，仍面临进口挑战（图 14）。

图 14: 石油与天然气的进口比例



安全高效的能源体系

能源效率大幅提高

低于 2 °C 情景中，2050 年的国内生产总值 (GDP) 将达到 2017 年的 4 倍，而一次能源消费量却将降至 2017 的 80%，能源消费强度下降明显(图 15)。

两种情景中，能源效率的提升都将减缓终端用能部门的能源需求量增长。能效提升将扭转工业供应链中的用能惯性，大幅优化能源结构；也将缓解建筑与交通领域的用能增长压力，进一步平坦化 2017-2050 年终端能源需求的上升趋势。在供应侧，由于从火力发电转向可再生能源发电，能源转化损失将从高能耗降至接近零，能源系统综合效率得到大幅提升。

电力价格下降

随着可再生能源技术成本快速下降、不经济的资产逐渐退出市场，未来的电力成本有可能降至比现在更低水平。两种情景都预测了比现在更低的 2050 年供电成本 (图 16)。由于对 CO₂ 排放更严格的要求，低于 2 °C 情景中向可再生能源系统的转型也更快。总体看来，未来电力的燃料成本更低，但是基础投资和系统投资费用将增加。

就业机会以及对 GDP 的影响

可再生能源产业的快速发展将对宏观经济起到积极促进作用。2025 到 2035 年，可再生能源产业规模的快速扩大将推动与其相关部门直接或间接的就业需求，新增的就业机会将远多于传统能源行业如火电厂的失业人数。

其次，可再生能源产业的发展促进产业经济结构调整。由于可再生能源产业链涵盖多个行业，如电子元件、信息和通信、计算机、技术服务等，其发展壮大将带动一系列具有高附加值行业，满足可持续发展的要求。

第三，可再生能源技术成本下降将提高能源产业的运营效率，为一系列能源相关的高附加值服务创造发展空间，如基于基础能源服务的能源数据处理、分布式能源、能源生产和消费、储能和电动汽车充电等。

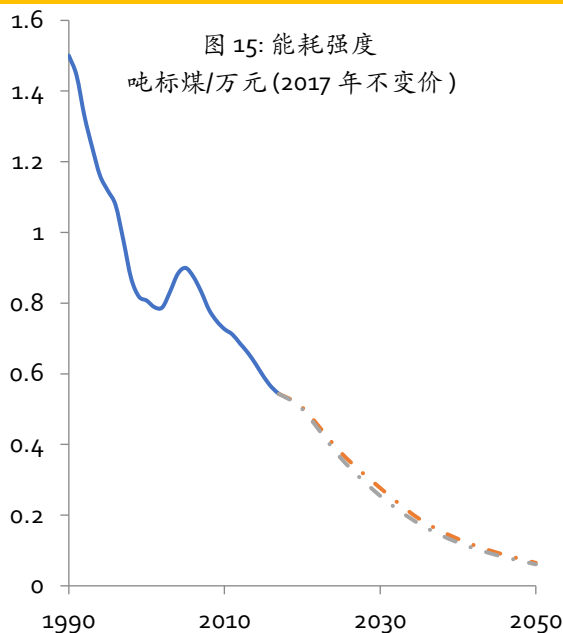
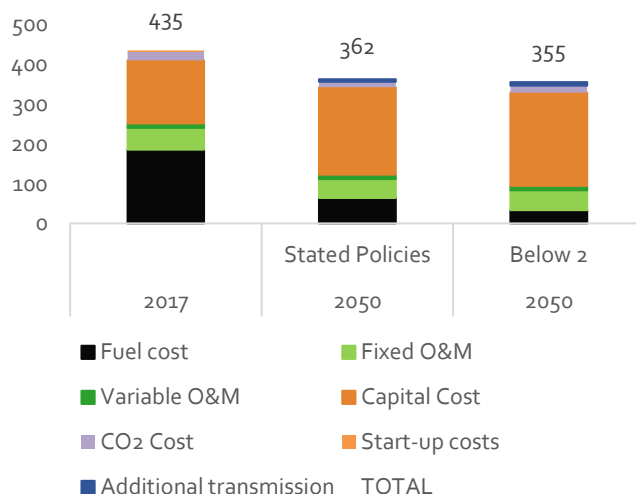


图 16: 电力系统成本 (RMB/MWh)



推荐采取的行动

根据 CREO 2018 分析结果，推荐采取以下行动：

减煤减油措施

进行煤炭消费减量替代是中国能源转型的重中之重，建议从现在起采取以下措施：

将煤炭减量作为首要任务严格执行

严格执行煤炭量化的政治目标和任务，以避免未来投资搁浅，同时削减煤炭行业的既得利益，打破原有利益格局。

停止新建煤电厂

尽快颁布禁令，禁止新建煤电厂。据分析表明，长期内已经不需要投资新建煤电厂，否则新进投资面临未来利润率低，无法回收投资的风险；但若煤电厂愿意以较低的利润率进入市场，则现有的电厂又将面临使用时间减少，继续弃风弃光限电的风险。

通过产业结构调整 and 再电气化控制工业煤炭消费

通过去产能去库存，减少高耗能产品对煤炭的需求；加大钢铁行业的电气化程度，推广绿色水泥生产工艺，进一步减少煤炭消费。

通过交通领域的全面电动化，减少燃油消费

在运输部门加大电动汽车的部署力度，逐步降低对石油的依赖。

短期内实行较高的碳排放成本，确保减排效果

实现低碳能源体系需要对能源部门实行进行严格的碳排放限额。有效的碳定价机制可以将碳排放成本纳入到电力成本之中，确保可再生能源与化石能源的公平竞争，但是目前我国碳交易试点的市场碳价还不够高，不足以支撑以后的减排目标，因此至少在短期内需要进一步出台碳税以及碳交易底价政策。同时，除了电力部门以外，还需要其他行业如工业领域推行碳市场。

在 21 世纪 20 年代重点部署可再生能源

分析结果显示，十四五和十五五期间的风电与光伏将得到规模化开发利用，其开发力度较之十三五大幅提高。一方面规模化发展推动了可再生能源成本快速下降，显著提升其市场竞争能力，但同时可再生能源依然处于产业发展脆弱期，需要外力助其移除发展障碍，以财政手段鼓励各方参与开发可再生能源，以下为短期内的政策行动建议：

明确清晰的引导政策，保障电力系统建设

在明令禁止新建煤电厂之后，需要释放明确的政策信号进一步推广可再生能源。确保电力部门改革中的关键参

与方作为主力推进可再生能源开发利用，大型发电企业应顺势调整其未来发展战略，电网公司需要制定新时代下的输电方案，地方政府应该发挥更积极作用，进一步促进从煤炭向可再生能源的转型。电改方案的落实，可以提供适当的市场激励，对各个利益相关方参与公平博弈至关重要。

消除分布式发电以及风电的行政障碍

优化项目审批手续，鼓励在负荷中心附近进行开发可再生能源。这一步需要各个部委间、中央和地方政府间的强力配合，为可再生能源进一步发展消除障碍。海上风电的申报和审批程序也同样需要各个部门之间的进一步配合和优化。

逐步取消可再生能源补贴，避免过度投资

进行可再生能源经济激励制度改革，逐步取消可再生能源补贴，健全其经济激励手段，有助于开发商进行项目规划和实施，进一步降低投资者的潜在风险。采取竞价上网政策有助于进一步降低成本；严格执行可再生能源配额制度将使关键参与者在部署中发挥更重要的作用，并进一步降低上网电价。

主要情景结果

	Unit	Current	Stated policies			Below 2		
		2017	2020	2035	2050	2020	2035	2050
Total Primary Energy Supply	Mtce	4 356	4 671	4 387	3 703	4 625	4 138	3 473
Coal	Mtce	2 806	2 715	1 506	737	2 648	1 351	387
Crude oil	Mtce	861	922	872	566	925	689	477
Natural Gas	Mtce	306	422	613	368	440	332	164
Nuclear	Mtce	96	165	274	341	165	274	341
Renewable energy	Mtce	288	447	1 123	1 692	448	1 492	2 105
Hydro	Mtce	142	153	199	225	153	199	225
Wind	Mtce	40	62	402	732	61	634	935
Solar	Mtce	22	46	277	418	47	378	570
Bio (solid, liquid, gaseous)	Mtce	83	163	192	187	165	206	218
Geothermal	Mtce	0	22	51	119	22	72	144
Ocean	Mtce	-	0	3	12	0	3	12
Total Final Energy Demand	Mtce	3 178	3 288	3 280	2 908	3 283	3 134	2 805
Coal	Mtce	1 192	967	396	187	945	391	88
Oil Products	Mtce	340	355	372	294	356	367	290
Natural Gas	Mtce	242	366	456	269	384	297	136
Solar	Mtce	4	10	48	87	11	73	137
Bio (solid, liquid, gaseous)	Mtce	58	63	52	37	65	63	44
Geothermal	Mtce	-	-	-	-	-	-	-
Electricity	Mtce	748	860	1 223	1 395	852	1 311	1 481
Heat	Mtce	213	235	301	342	238	288	317
Hydrogen	Mtce	3	10	41	75	10	107	163
Biofuel blends	Mtce	378	421	391	224	422	237	150
Total installed power generation capa	GW	1 746	2 122	4 256	5 626	2 108	5 366	6 814
Renewable	GW	621	849	3 190	4 884	842	4 362	6 159
Hydro	GW	313	343	454	532	343	454	532
Wind	GW	163	225	1 162	2 062	221	1 826	2 664
Bio (solid, liquid, gaseous)	GW	15	48	62	55	48	64	57
Solar	GW	130	227	1 486	2 157	224	1 962	2 803
Solar CSP	GW	0	5	8	8	5	38	33
Geothermal	GW	0	1	5	20	1	5	20
Ocean	GW	-	0	13	50	0	13	50
Nuclear	GW	36	58	96	120	58	96	120
Fossil fuels	GW	1 088	1 215	970	622	1 208	907	536
Total electricity generation	TWh	6 313	8 065	11 824	13 848	7 859	13 324	15 324
Renewable	TWh	1 676	2 206	7 031	10 989	2 186	9 545	13 488
Hydro	TWh	1 153	1 249	1 622	1 831	1 249	1 622	1 831
Wind	TWh	328	508	3 271	5 955	496	5 159	7 612
Bio (solid, liquid, gaseous)	TWh	44	146	216	255	146	221	268
Solar	TWh	151	285	1 836	2 672	277	2 380	3 439
Solar CSP	TWh	0	14	22	22	14	100	86
Geothermal	TWh	0	4	38	153	4	38	153
Ocean	TWh	-	0	26	100	0	26	100
Nuclear	TWh	257	442	735	915	442	735	915
Fossil fuels	TWh	4 381	5 417	4 058	1 944	5 231	3 044	920