

实现多重目标的能源和经济转型研究

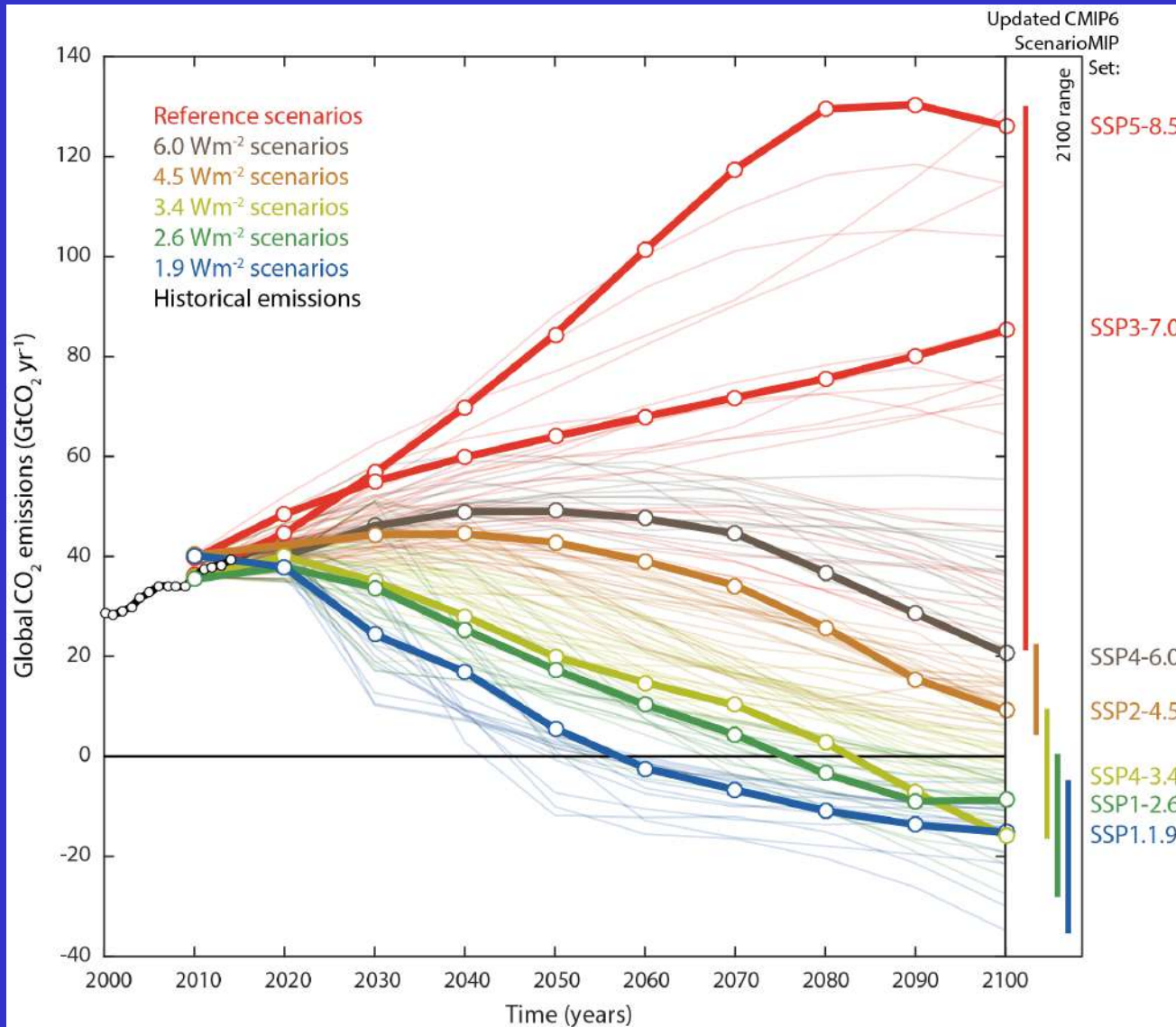
姜克隽

中国宏观经济研究院能源研究所

多重目标：2050年

- GHG净零排放
- 大气雾霾污染物近零排放
- 水消费明显下降
- 化学品毒性明显下降
- 从地球开采矿物明显下降

巴黎协定温升水平下全球CO₂排放



2020年9月22日，习近平主席在联合国大会发言，提出中国努力在2030年前实现CO₂排放达峰，2060年之前碳中和

2020年10月6日，欧盟宣布2030年减排目标从40%提高到60%（2020年5月提议为55%）

2020年10月26日，日本公布2050年碳中和目标

碳中和不再是温室气体减排事务，而是技术和经济竞争

欧盟的不断强化2030年目标，留给中国先进技术研发的时间可能只有五年了

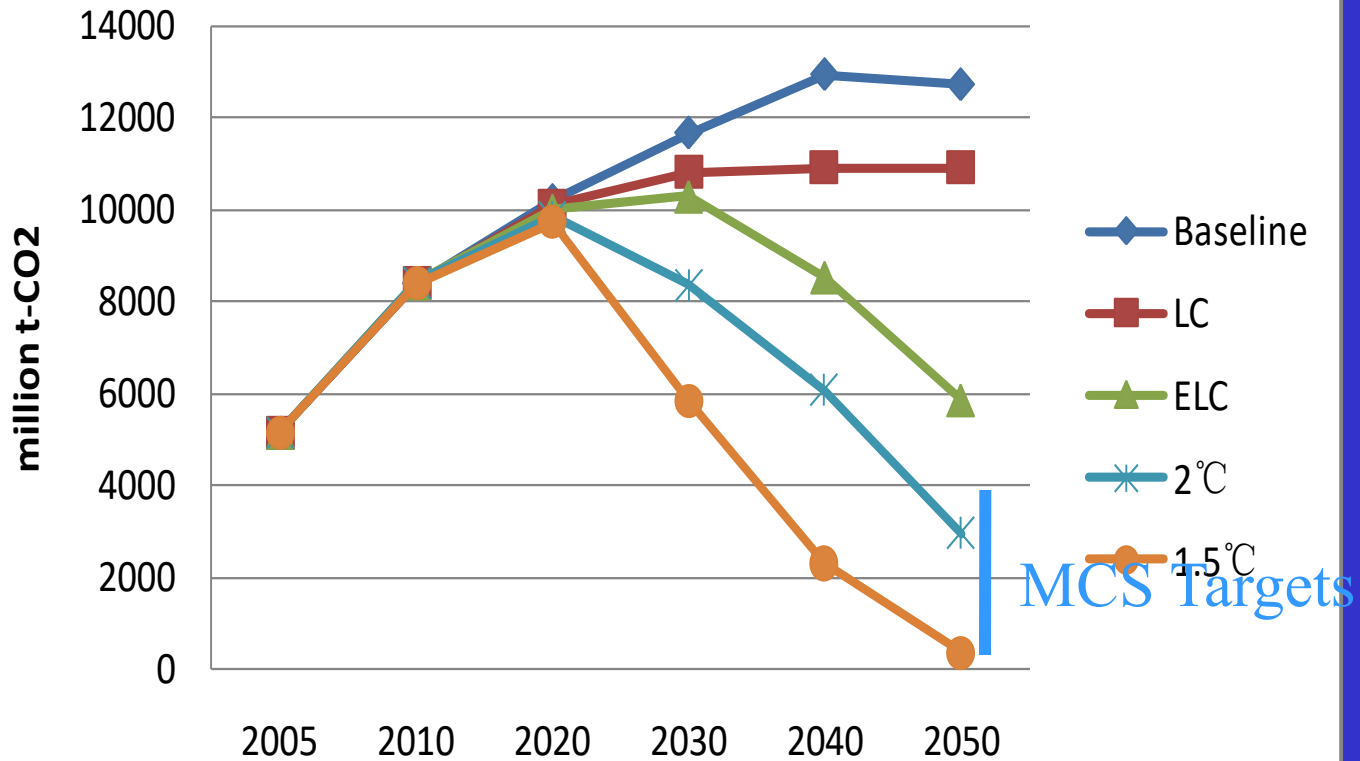
2020年11月5日，德国《焦点》周刊，欧盟对中国展开“氢能战争”

2021年4月22日气候峰会

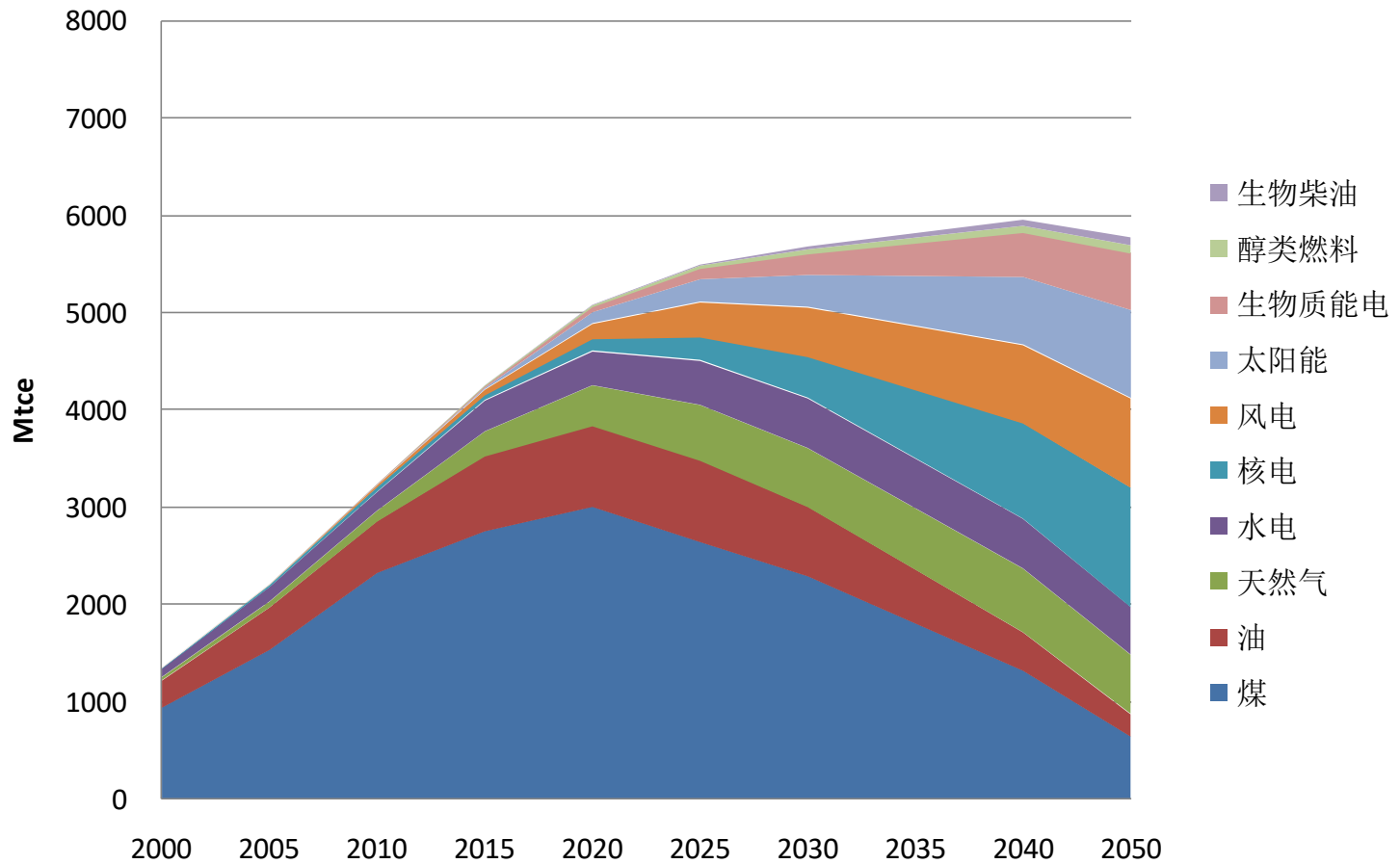
美国2030年目标，50%减排（和2005年相比），电力2035年净零排放

日本2030年减排目标，47%（和2013年相比）

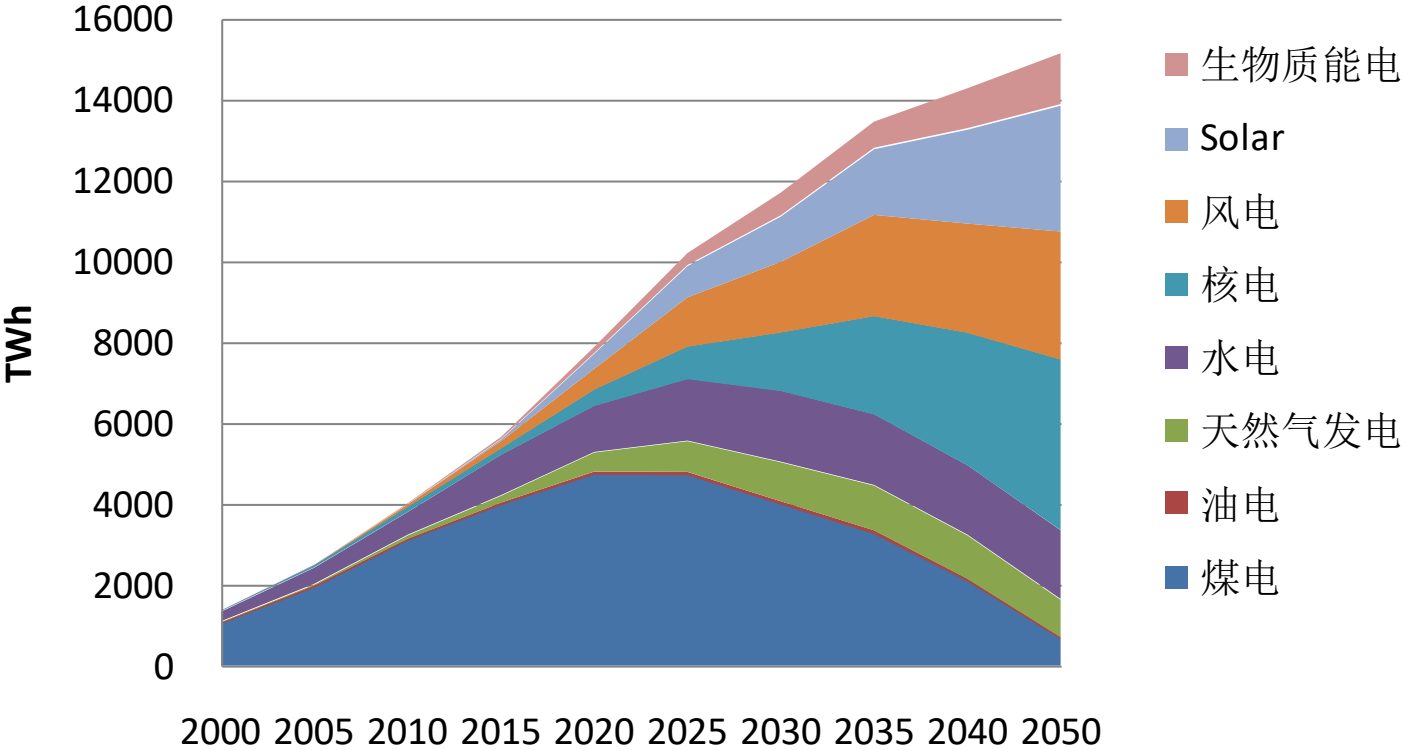
CO2 Emission in China



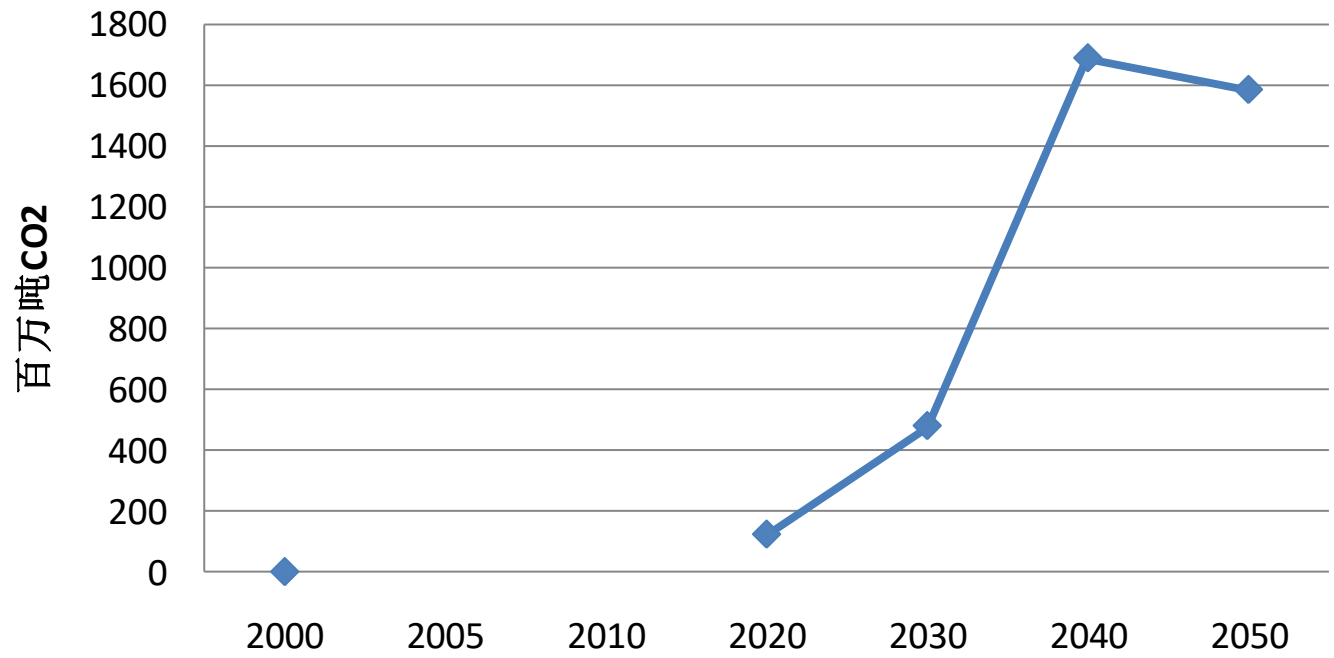
一次能源需求量



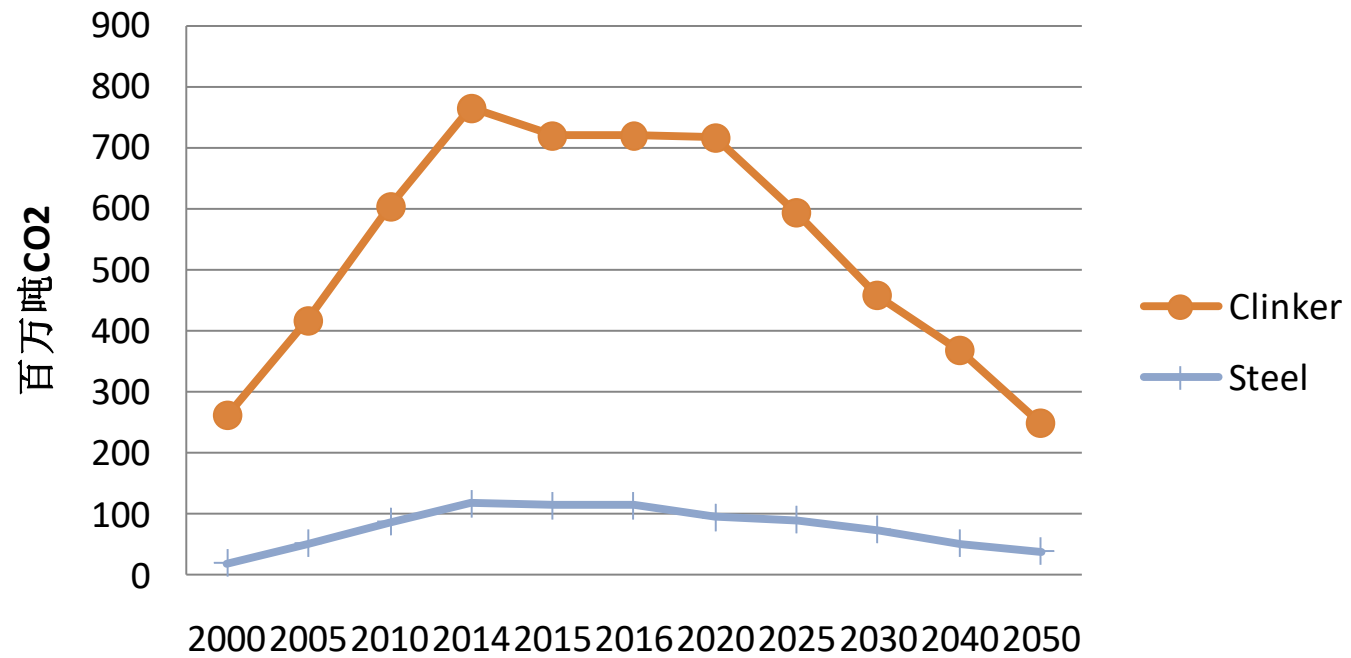
发电量



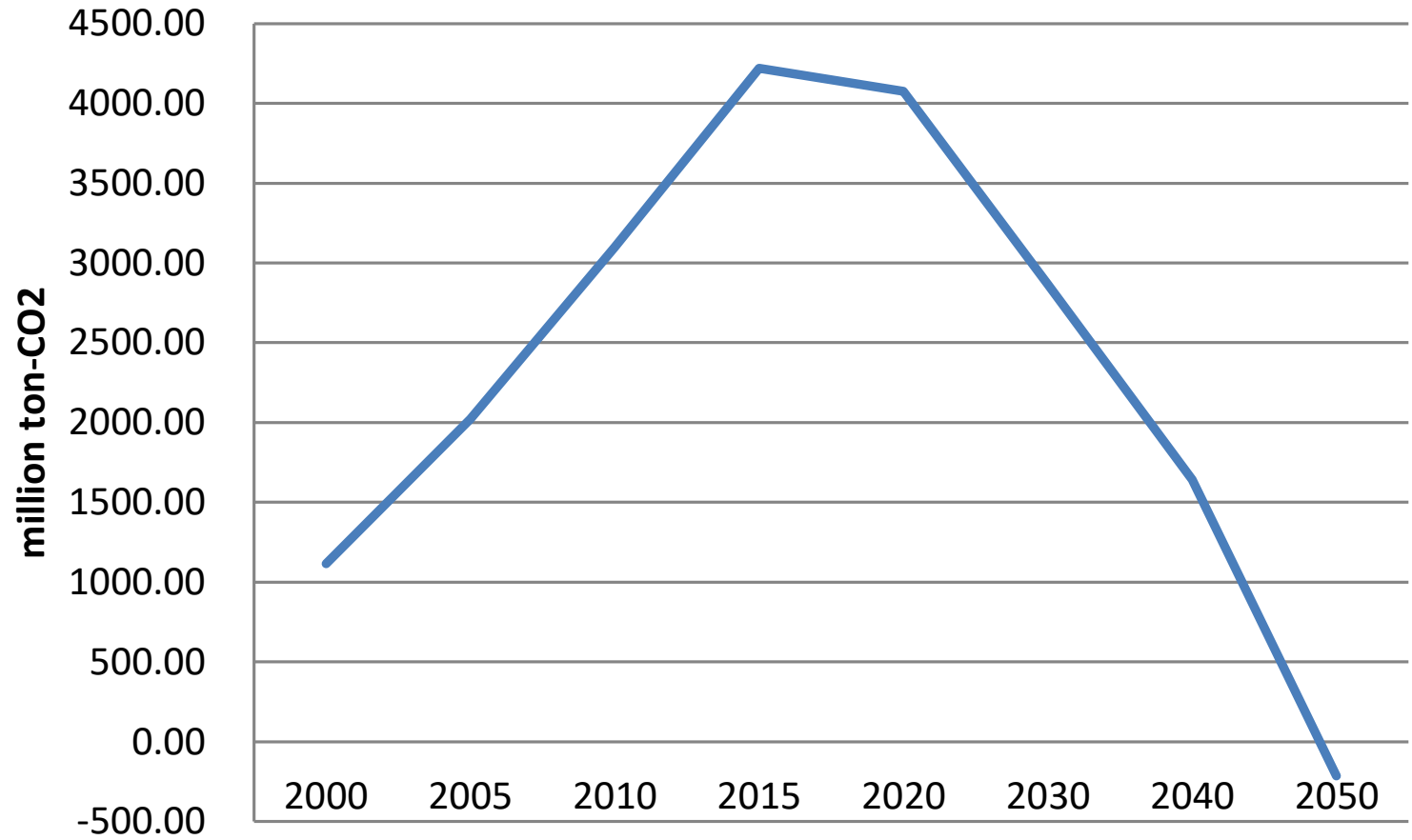
CCS去除的CO2



工艺过程CO2排放



CO2 emission in power sector



交通近零排放途径

电动小汽车：2025年后为市场销售的主要部分

大巴，中小型货车：纯电动

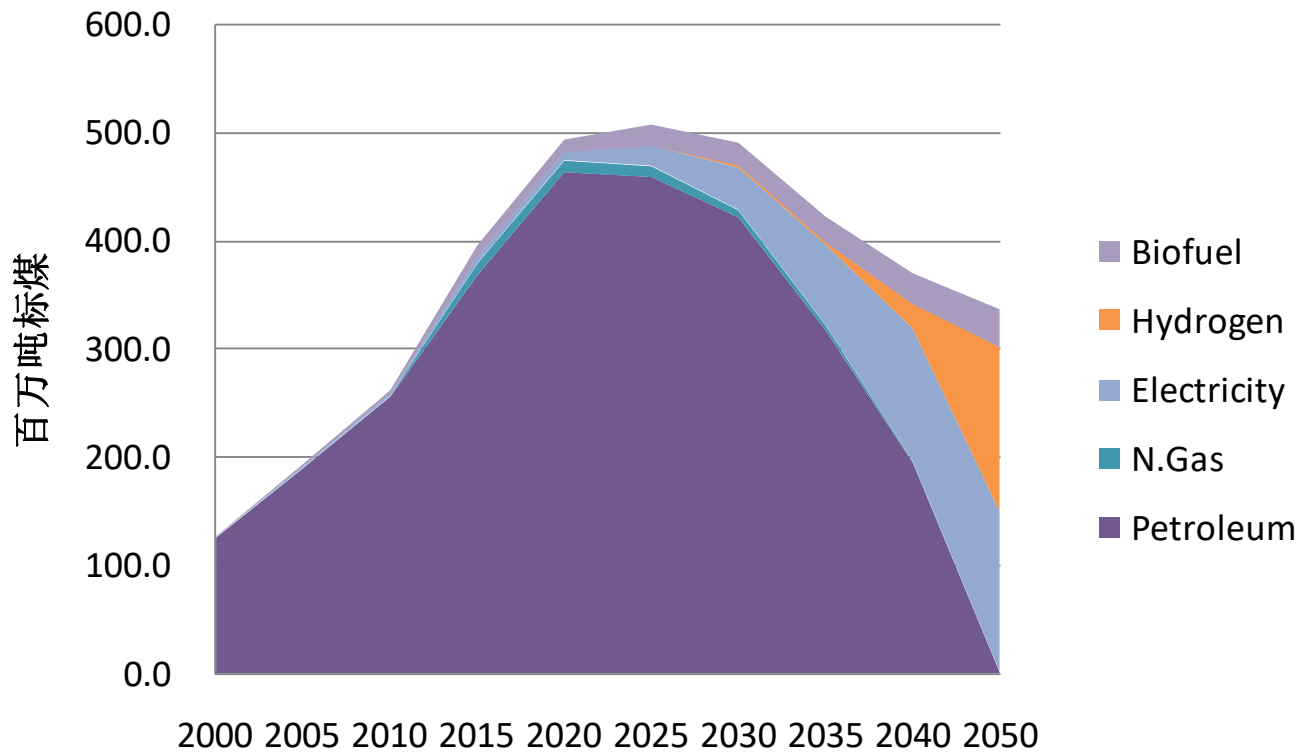
大型货车：2035年燃料电池和纯电动

船舶：万吨轮以上2035年开始使用燃料电池，万吨轮以下纯电动

飞机：大型飞机2035年生物燃油，2035年燃料电池开始商业应用，小型飞机纯电动

其他运输：电力

交通能源需求量



四、影响电动汽车发展的主要制约因素分析

4. Analysis Major Constraints Factors

3.3 电动汽车实现经济性的趋势分析 Trend Analysis on EVs

电动汽车与先进汽油和柴油车成本变化趋势分析					
	2006-2010	2011-2015	2016-2020	2021-2025	2026-2030
电动汽车Evs					
电池充满电时总容量kWh	16	24	48	80	112
电力销售价格 (元/kWh)	0.48	0.60	0.75	0.94	1.18
单位里程耗电量 (kWh/km)	0.18	0.13	0.08	0.08	0.07
单位里程耗电费用 (yuan/km)	0.09	0.08	0.06	0.08	0.08
电动汽车燃料成本 (yuan/car)	43200	39067	30104	37694	41299
单位电池容量成本(USD/kWh)	750	375	130	75	30
Evs车电池组成本(yuan/car)	80400	60300	41808	40200	22512
电池组寿命 (年)	3.6	5	11	22	22
电池组更换次数 (set/year)	4.1	2.8	1.4	0.7	0.7
EVs全寿期电池成本 (yuan/car)	413256	226728	99503	67938	38045
EVs全寿期电耗和电池总成本 (yuan/car)	456456	265795	129607	105632	79345
每年费用 (yuan/car)	30430	17720	8640	7042	5290
先进汽油汽车ICE					
汽油销售价格 (yuan/liter)	6.6	8.5	10.2	11.0	11.8
柴油销售价格 (yuan/liter)	6.4	8.3	9.9	10.6	11.4
单位里程耗汽油 (L/km)	0.050	0.039	0.031	0.024	0.020
单位里程耗柴油 (L/km)	0.047	0.038	0.030	0.024	0.020
全寿期行驶里程 (km)	500000	500000	500000	500000	500000
先进汽油车燃料成本 (yuan/car)	165000	167550	158356	133574	117738
先进柴油车燃料成本 (yuan/car)	150400	155333	149317	128100	114170
每年费用	11000	11170	10557	8905	7849
比较 (Evs车费用 - ICE车费用)	291456	98245	-28749	-27941	-38394

NOTE e-POWER

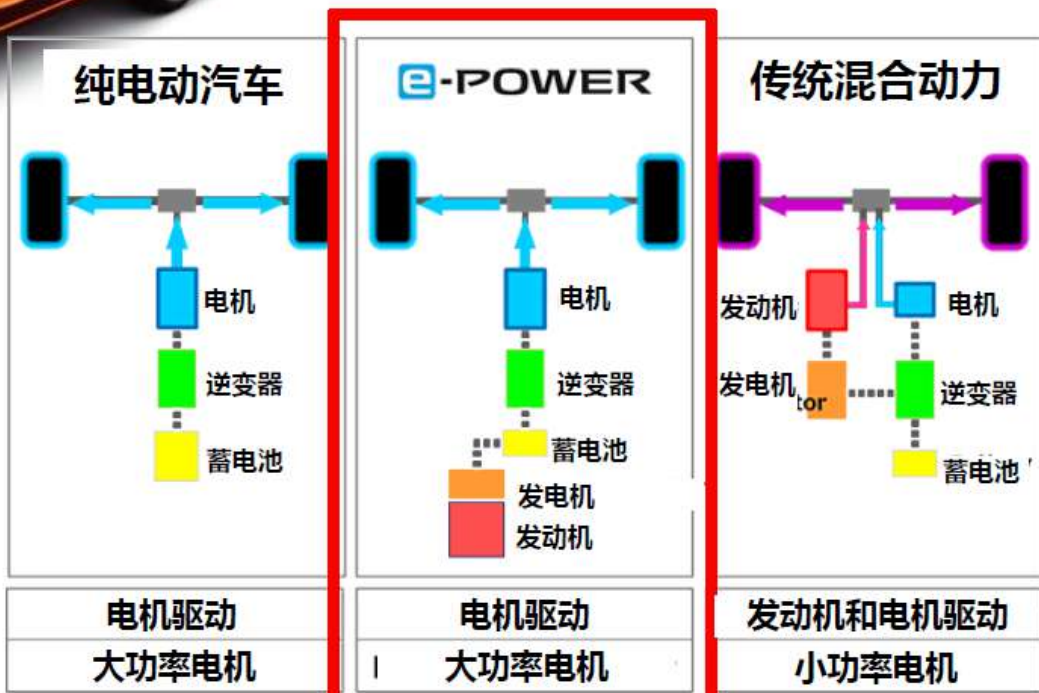


- 新型e-Power 总成
- 与EV具有较高亲和性

燃料消耗量

37.2

km/L (JC08)





博澳新能源(电池)汽车800公里实测发车仪式



突破极限 700公里长续航



突破极限 700公里长续航

电动重卡：2025年是个转折点



氢燃料电池重卡



电动飞机：改变生活



到2020年我国已经开通短途通航航线



电动船



建筑近零排放途径

化石燃料消费近零

炊事：电力化，2035-2040

采暖：逐渐电力化，集中供热预留CCS，核供热

建筑：大规模推广超低能耗建筑

2050年的低碳住宅 舒适和节能

太阳能利用

光伏电池

(25-47% 的家庭拥有屋顶光伏电池，
转换效率接近30%)

生态生活教育

减少10-20% 能源需求

屋顶植被

太阳热利用

普及率: 20-60%
(目前 6%)

能源检测系统
(家用电器)

高效照明
【如 LED照明】

减少50%照明需求，
普及率 100%

高效绝热

减少 60% 采暖需求，
普及率70%

超高效空调

COP =8,
普及率 100%

燃料电池

普及率 0-20%

热泵采暖

COP=5
普及率 30-70%

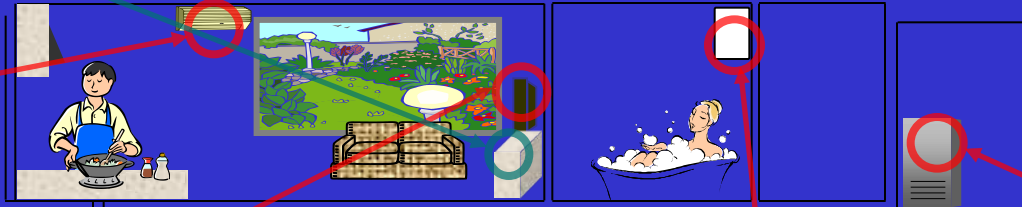
待机电源耗电

降低1/3，
普及率100%

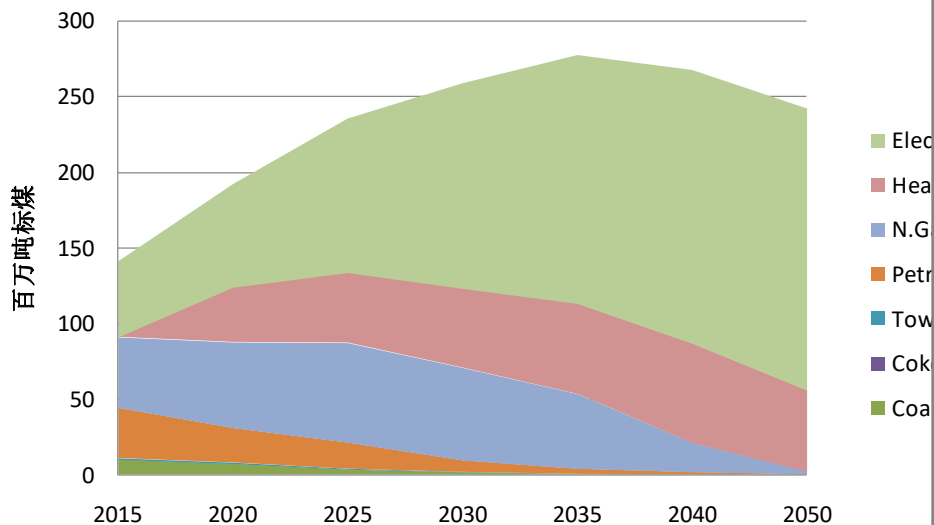
向公众提供经济和环境
信息促使大家成为
低碳消费

高效家用电器

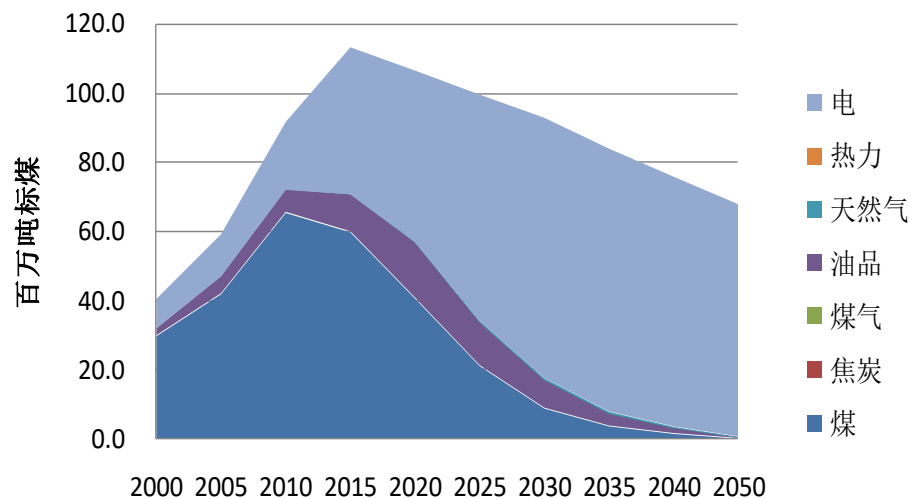
减少能源需求，支持舒适和安全生活方式



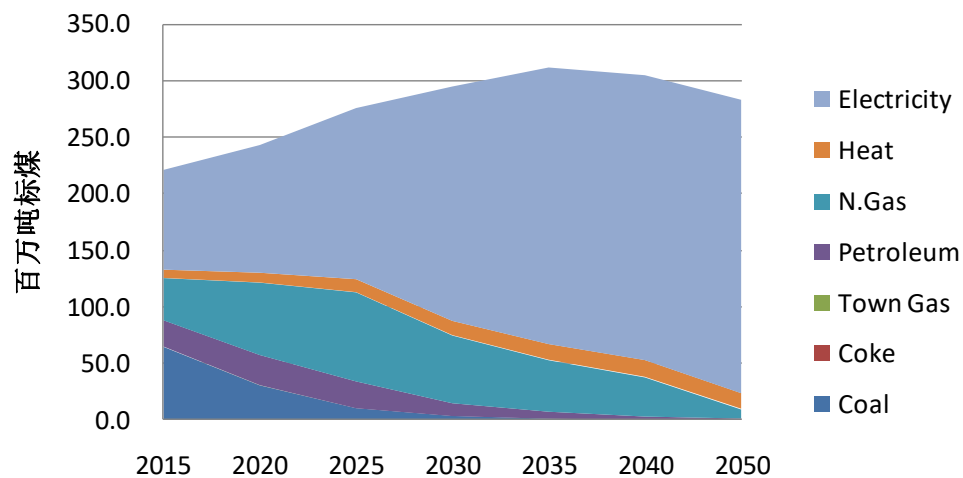
城市居民能源需求量



农村居民能源需求



服务业终端能源需求量



- 2018年8月21日，三门电厂一号机组发电，全球首台第三代核电目前六台第三代核电投入商业运行，都在中国
- 上网电价0.42元/kWh，和当地煤电一样
- 未来预计0.25元/kWh



和2℃路径相比，1.5℃带来对行业更激烈的影响

涵盖大多基本原材料生产：

- 钢铁：从高炉到直接还原
 - 合成氨：从天然气到氢氮反应
 - 苯：天然气到氢碳反应
 - 乙烯：石化工艺到氢碳过程
 - 甲醇：化石能源到氢+CO₂
 - 交通：零化石能源、无人驾驶、航空
-
- 有色金属：依赖零碳电力
 - 无机化工：烧碱、纯碱、电石

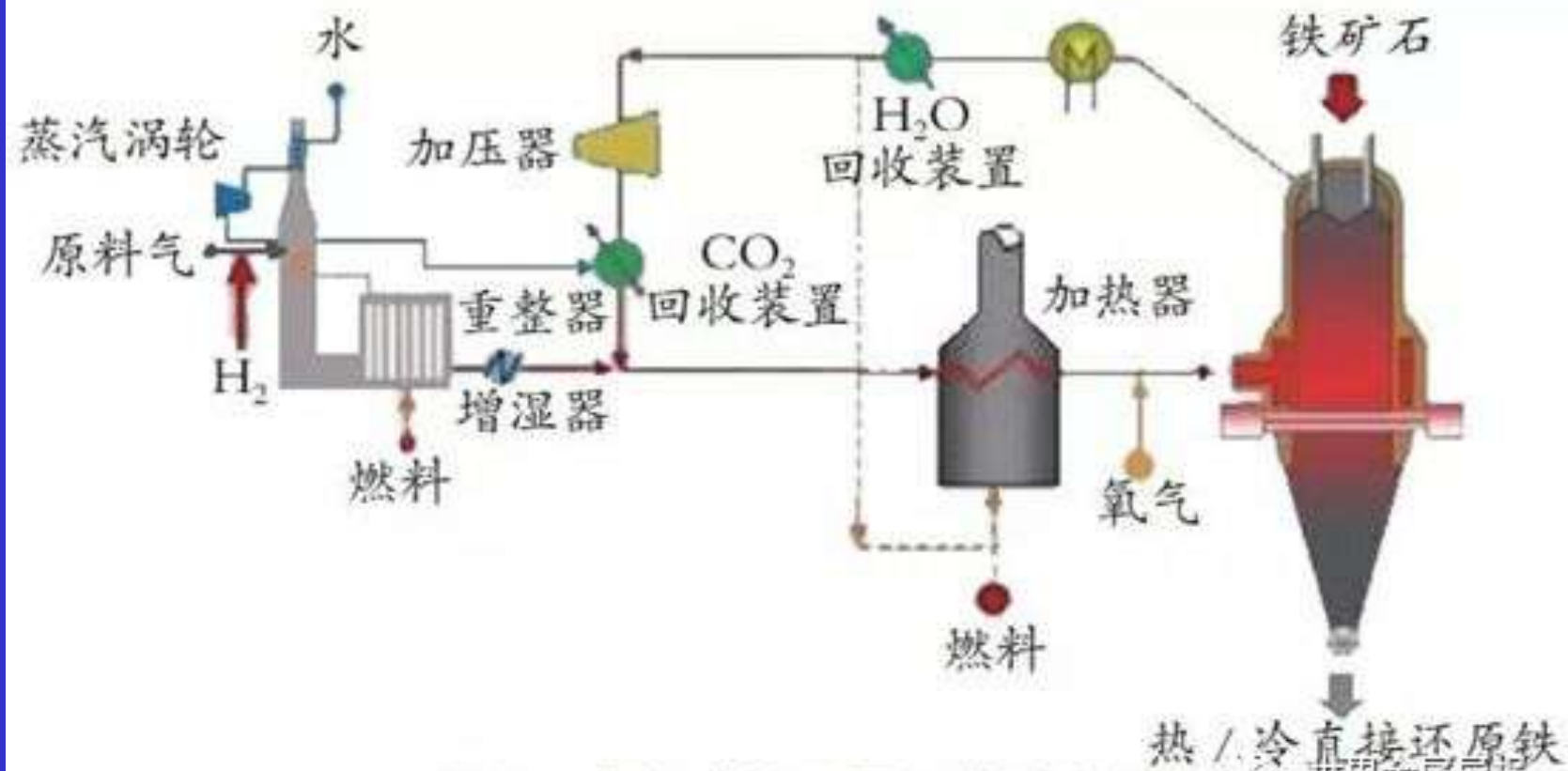
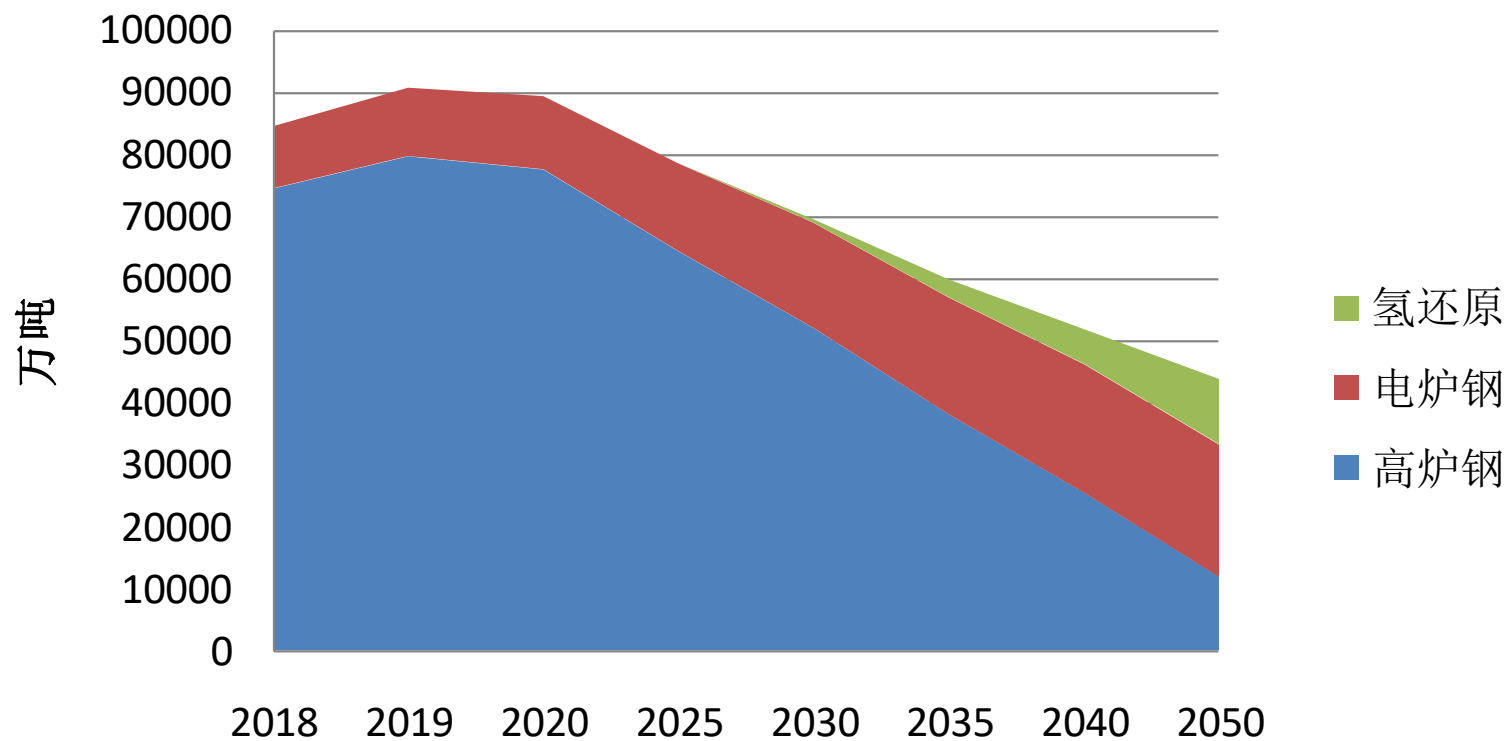
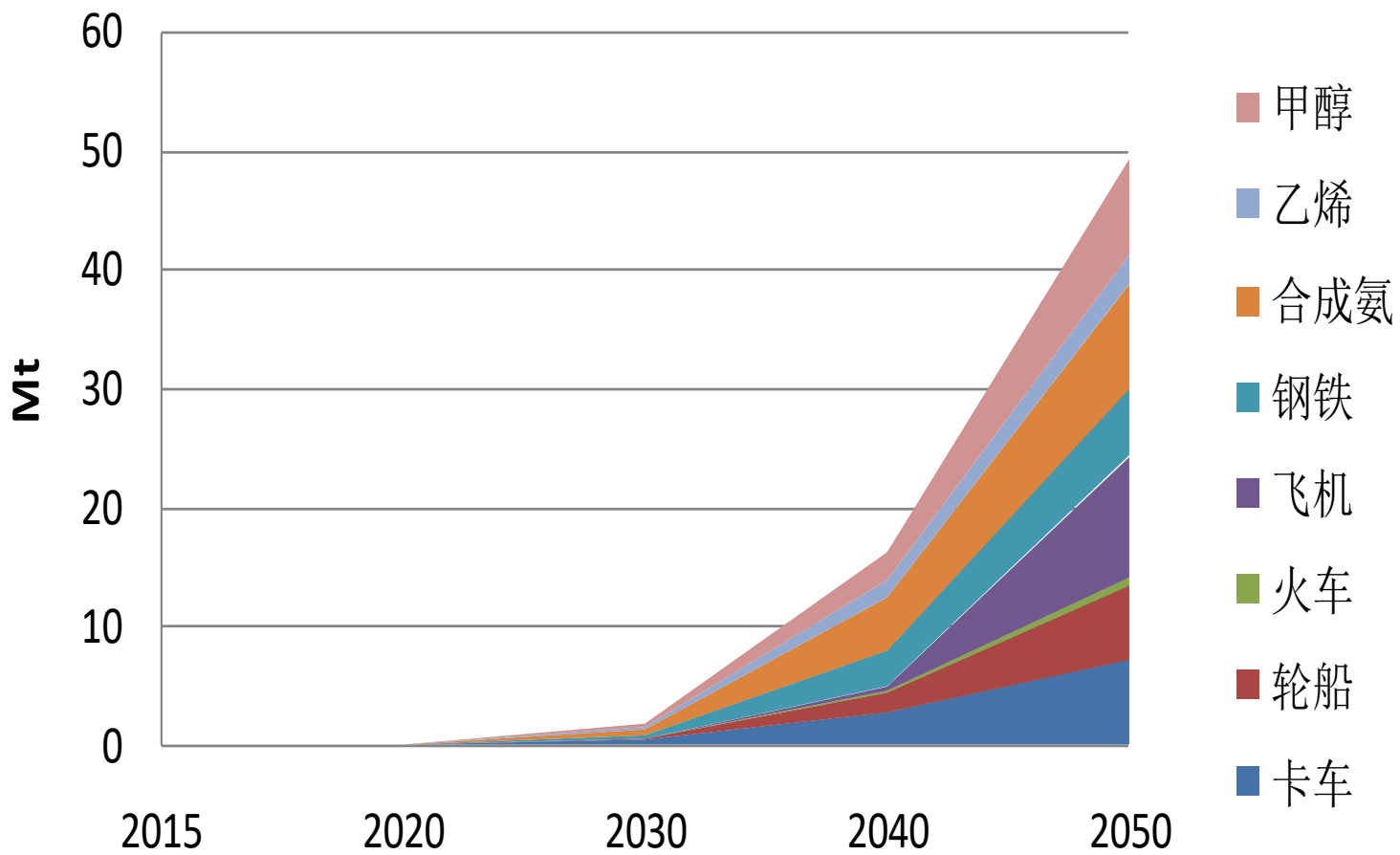


图 1 全氢直接还原工艺流程图

粗钢产量



氢需求情景



未来太阳能发电会改变中国经济发展格局

- 技术变革性产业发展：十几个行业利用零碳电力、氢作为原料和工艺过程生产材料
- 既有设备需要完全更新（资产沉没）
- 行业布局会发生变革，和目前行业布局很不一致
- 这些行业的下游行业也可能产生区域转移
- 未来三十年是变革阶段
- 太阳能发电是支持这些变革的核心因素

经济和产业布局有可能跟着便宜的可再生能源和核电走

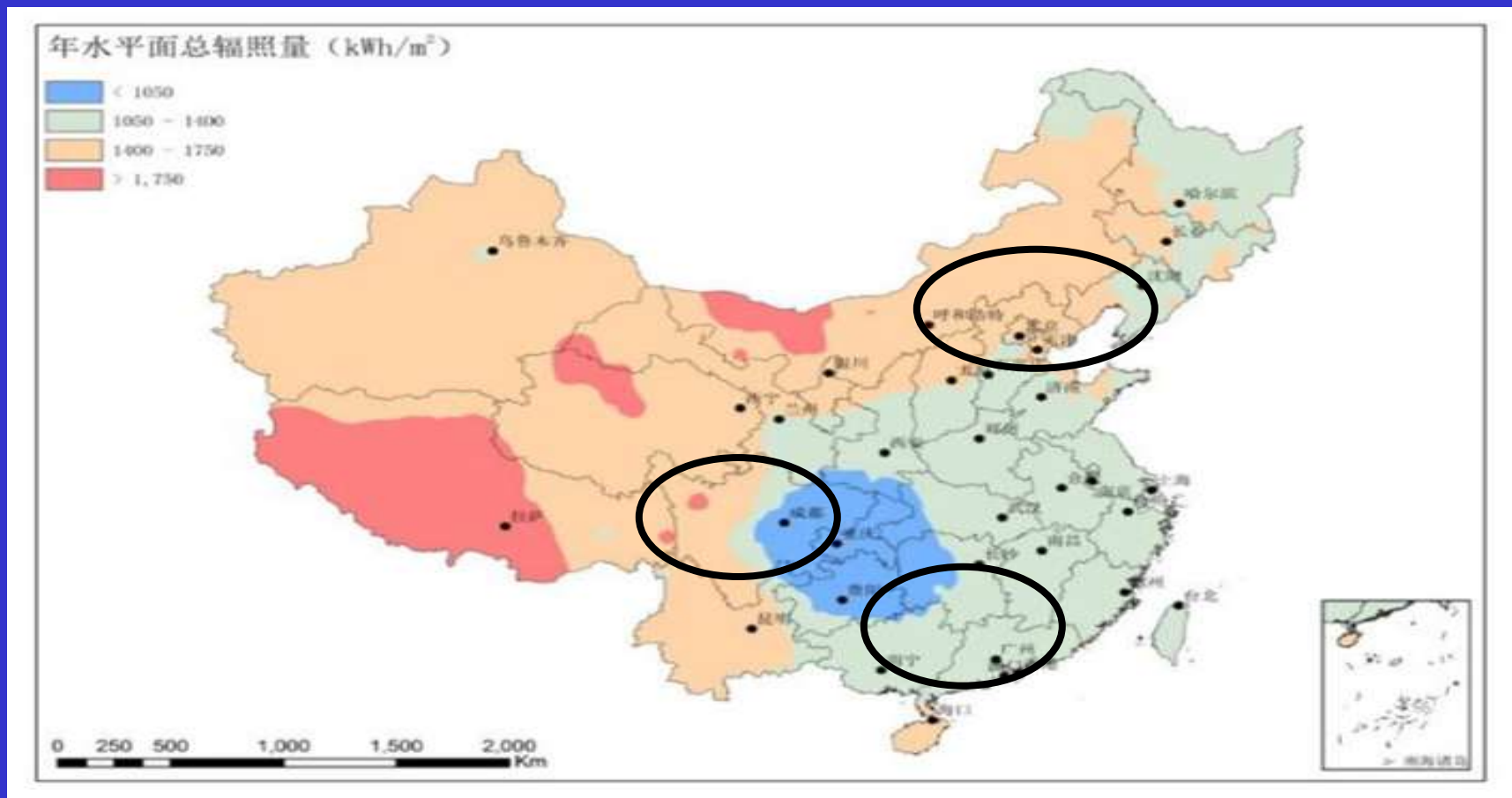


Figure 13. Solar PV Capacity and Additions, Top 10 Countries, 2013

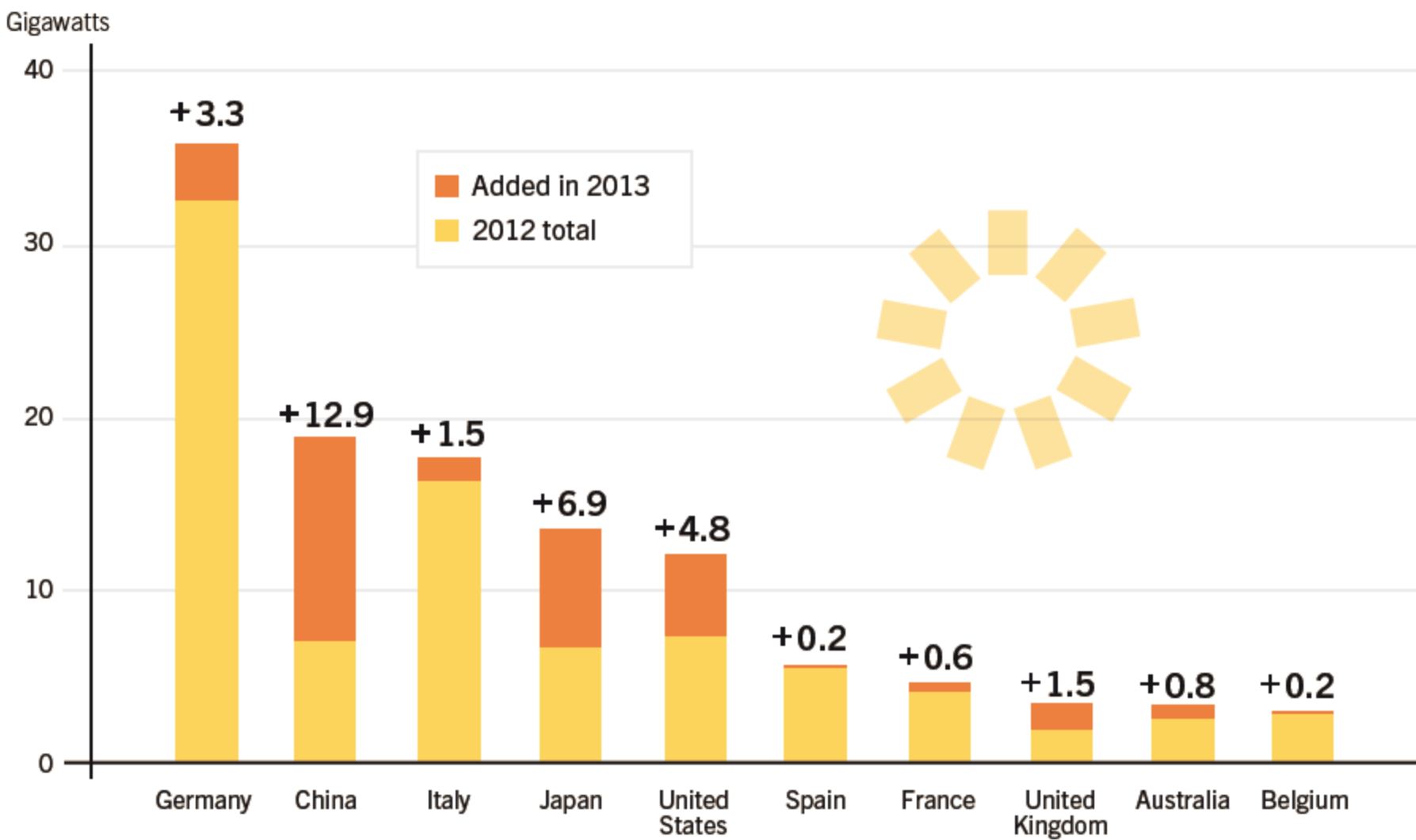
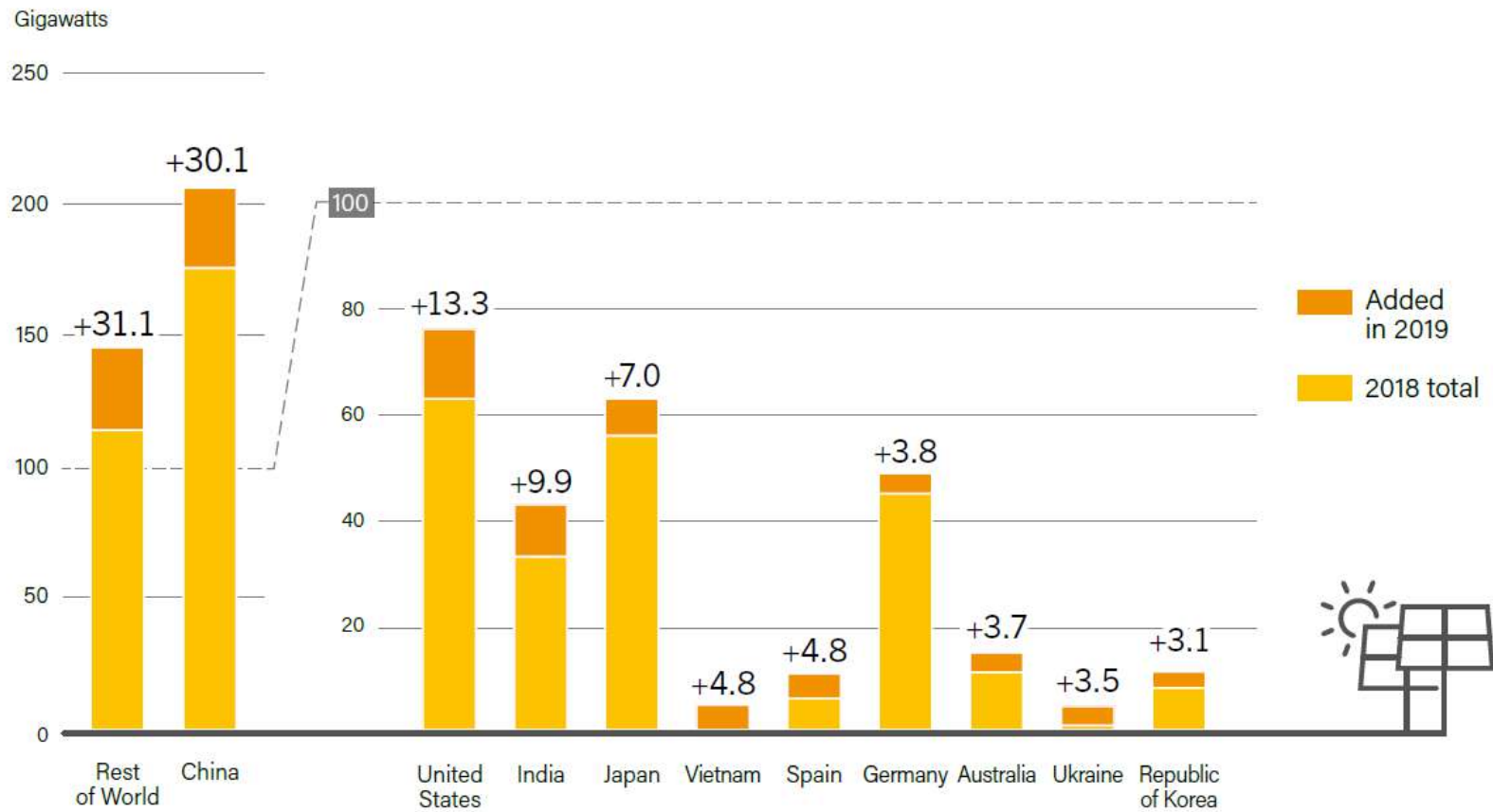


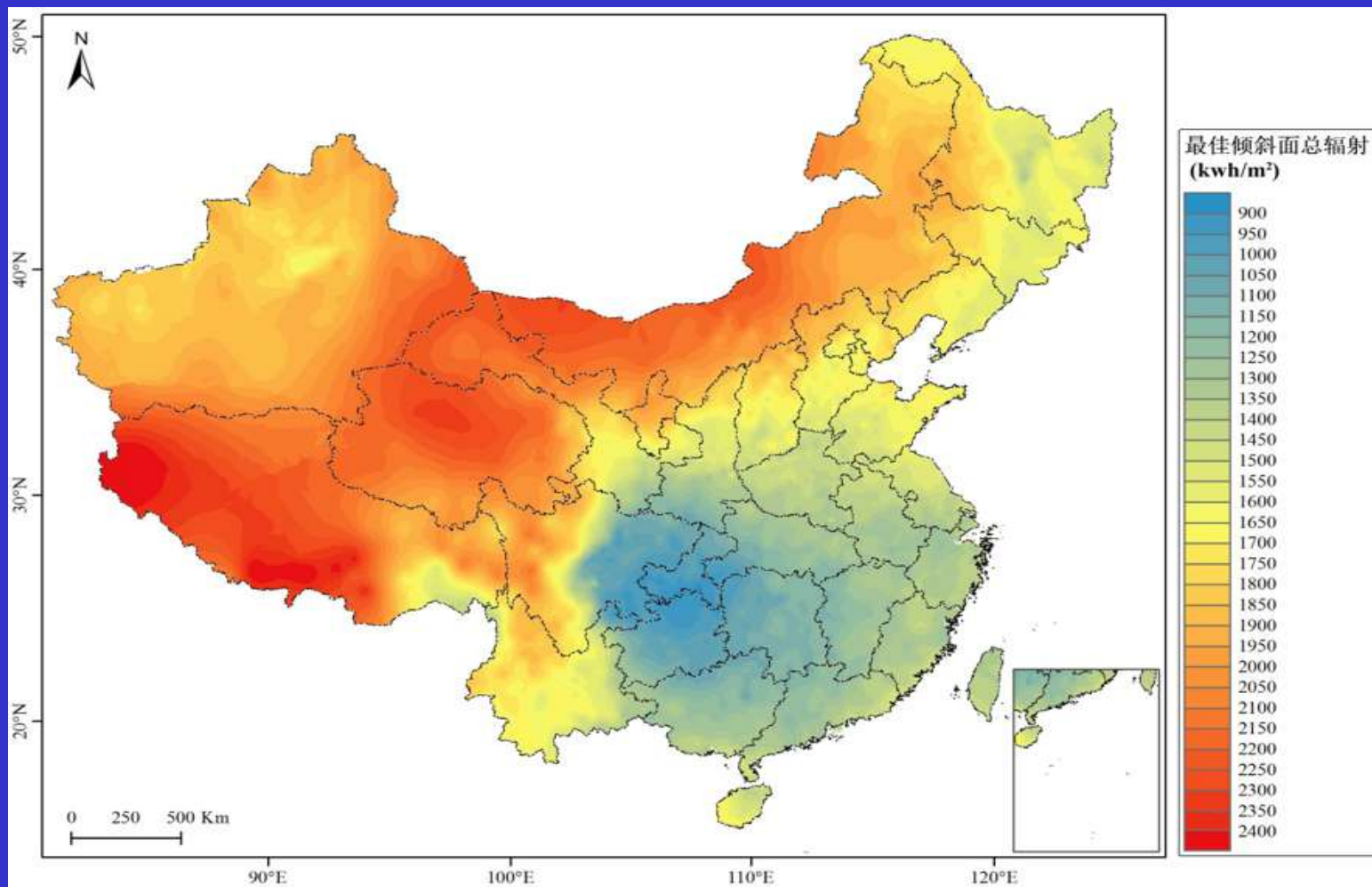
FIGURE 30. Solar PV Capacity and Additions, Top 10 Countries for Capacity Added, 2019



Note: Data are provided in direct current (DC).

Source: See endnote 27 for this section.

光伏资源图



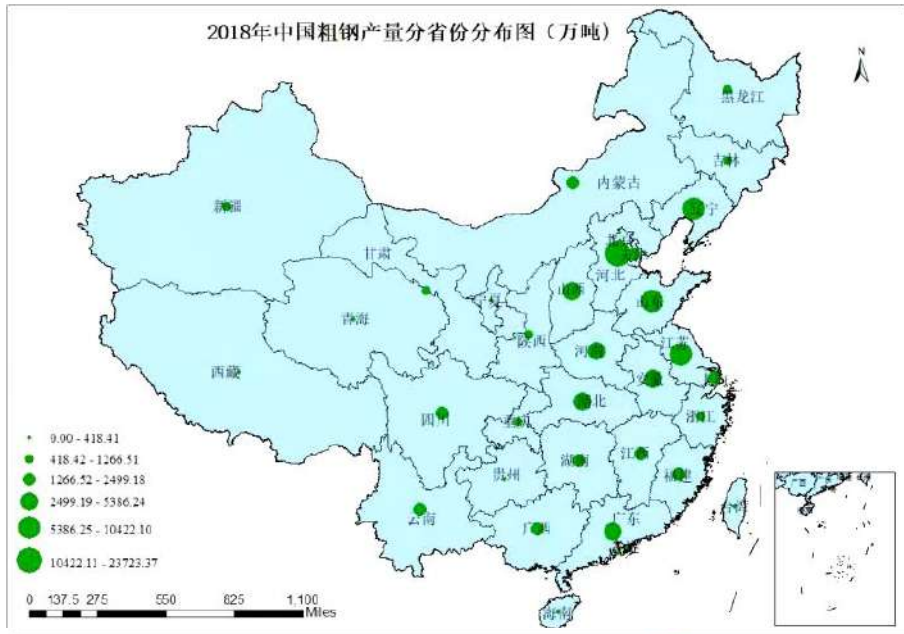
目前电解水制氢技术

电解池类型	碱水电解池	固体氧化物电解池	PEM纯水电解池
电解质	20-30% KOH	Y ₂ O ₃ / ZrO ₂	PEM (Nafion等)
工作温度℃	70-90	700-1000	70-80
电流密度A/cm ²	1~2	1~10	0.2~0.4
电解效率	60-75%	85-100%	70-90%
能耗kW·h/Nm ³	4.5-5.5	2.6-3.6	3.8-5.0
操作特征	启停较快	启停不便	启停快
动态响应能力	较强	/	强
电能质量需求	稳定电源	稳定电源	稳定或波动
系统运维	有腐蚀性液体，后期运维复杂，成本高	目前以技术研究为主，尚无运维需求	无腐蚀性液体，运维简单，成本低
电堆寿命	可达到120000h	/	已达到100000h
技术成熟度	商业化	实验室研发	国外商业化
有无污染	碱液污染，石棉致癌	无污染	清洁无污染

典型地区低成本（低于0.15元/kWh）装机容量、发电量，以及可制氢量

	装机	发电量	制氢量
	万千瓦	亿kWh	万吨
北京	260	31.2	7.1
天津	300	36	8.2
河北	4500	540	122.7
辽宁	3200	384	87.3
吉林	3500	420	95.5
黑龙江	3000	360	81.8
山东	5000	600	136.4
山西	5000	600	136.4
陕西	4000	480	109.1
海南	800	96	21.8
内蒙古	60000	9000	2045.5
宁夏	60000	9000	2045.5
甘肃	120000	18000	4090.9
青海	150000	22500	5113.6
新疆	200000	30000	6818.2
合计	619560	92047.2	20919.8

2018年中国粗钢产量分省份分布图（万吨）



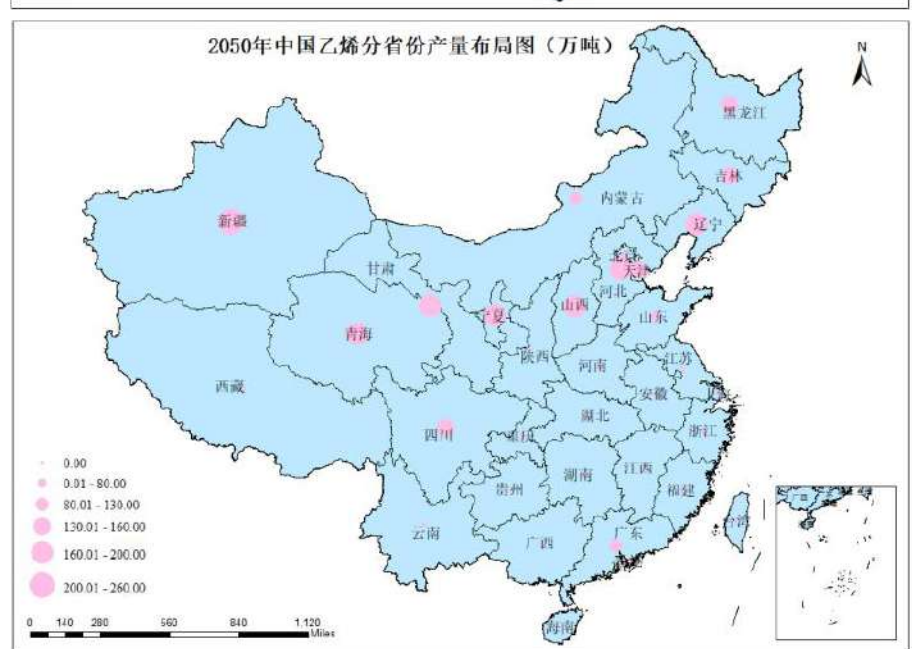
2050年中国粗钢产量分省份分布图（万吨）



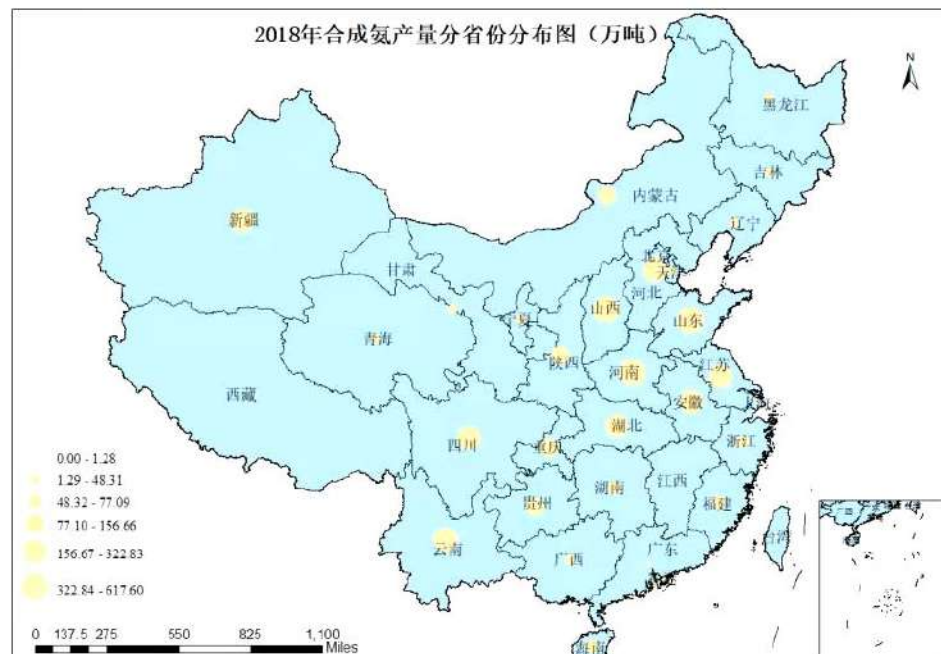
2018年中国乙烯分省份产量布局图（万吨）



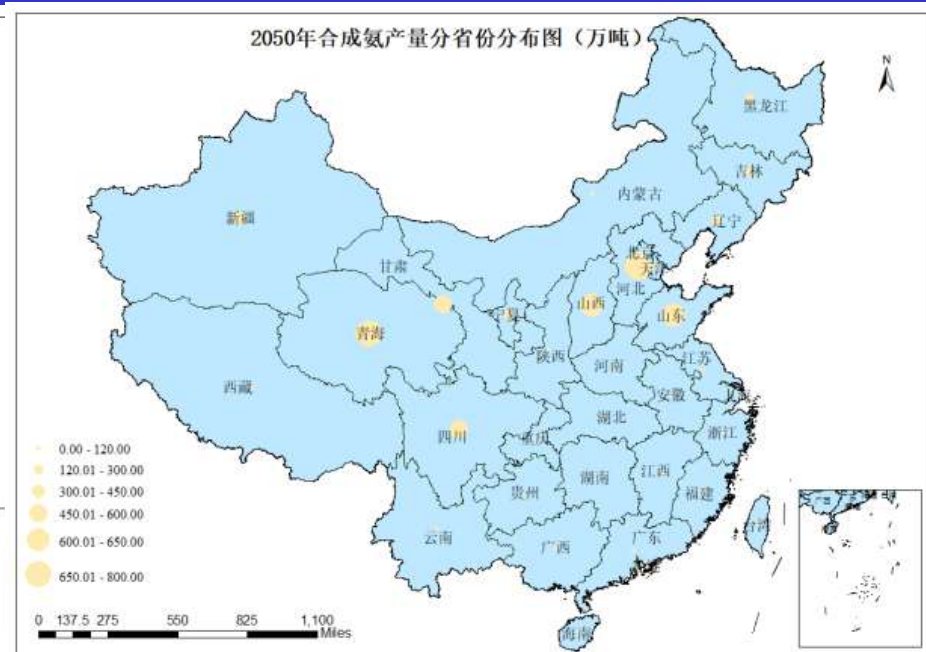
2050年中国乙烯分省份产量布局图（万吨）



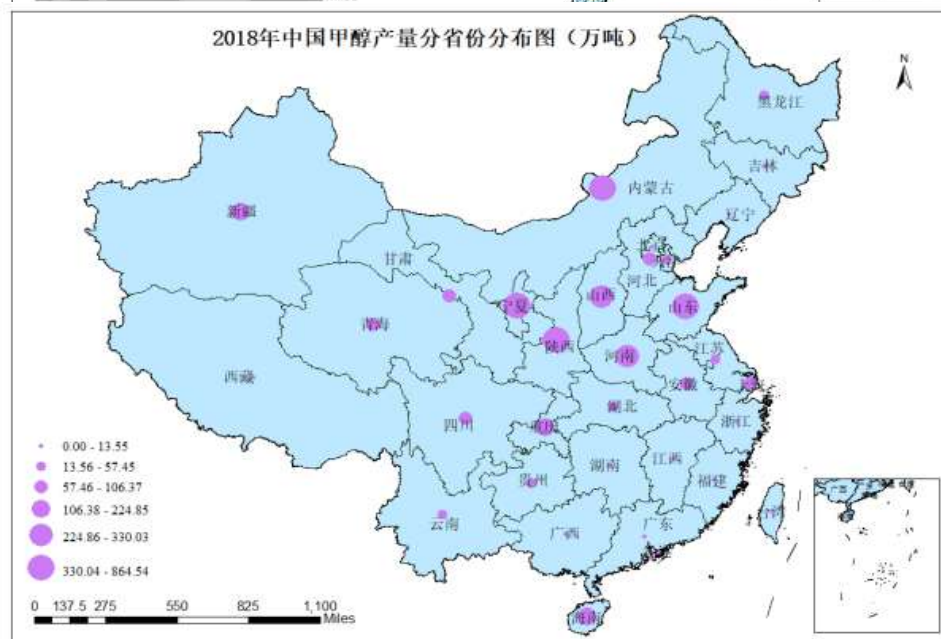
2018年合成氨产量分省份分布图 (万吨)



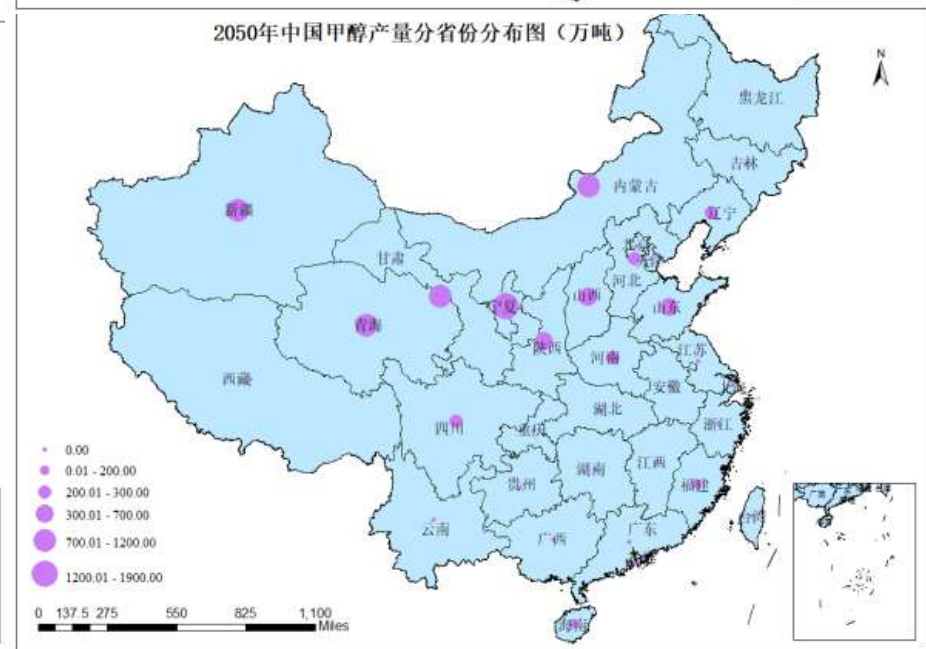
2050年合成氨产量分省份分布图 (万吨)



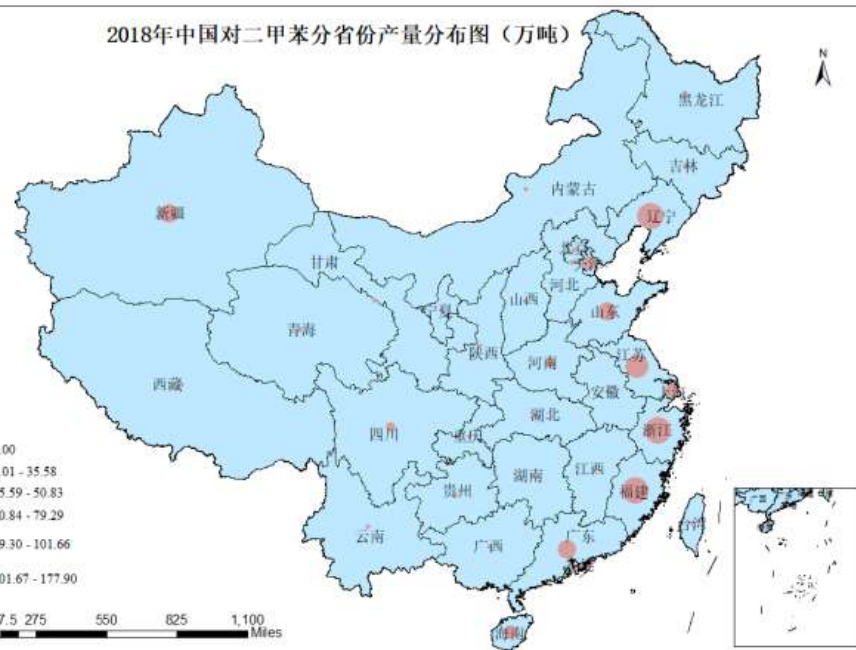
2018年中国甲醇产量分省份分布图 (万吨)



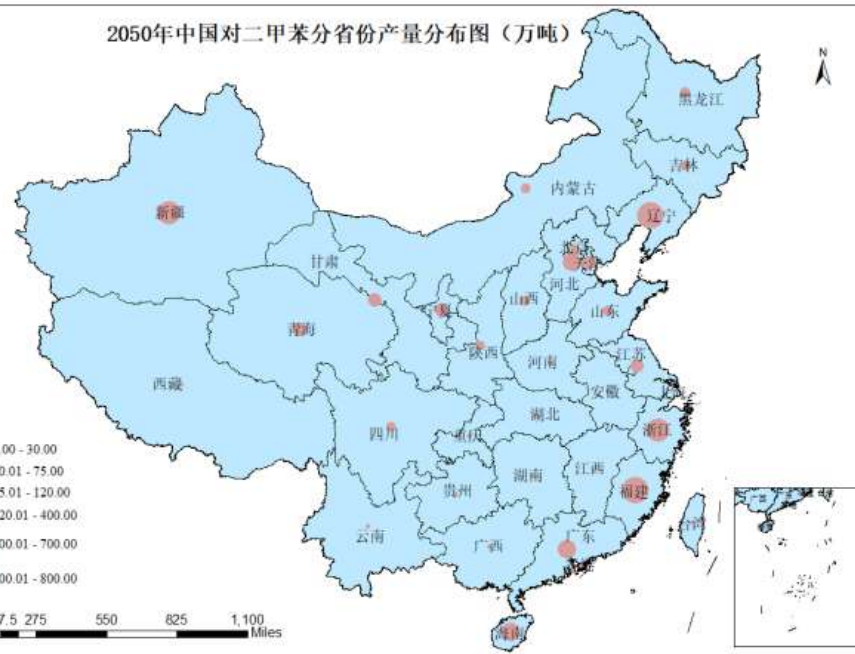
2050年中国甲醇产量分省份分布图 (万吨)



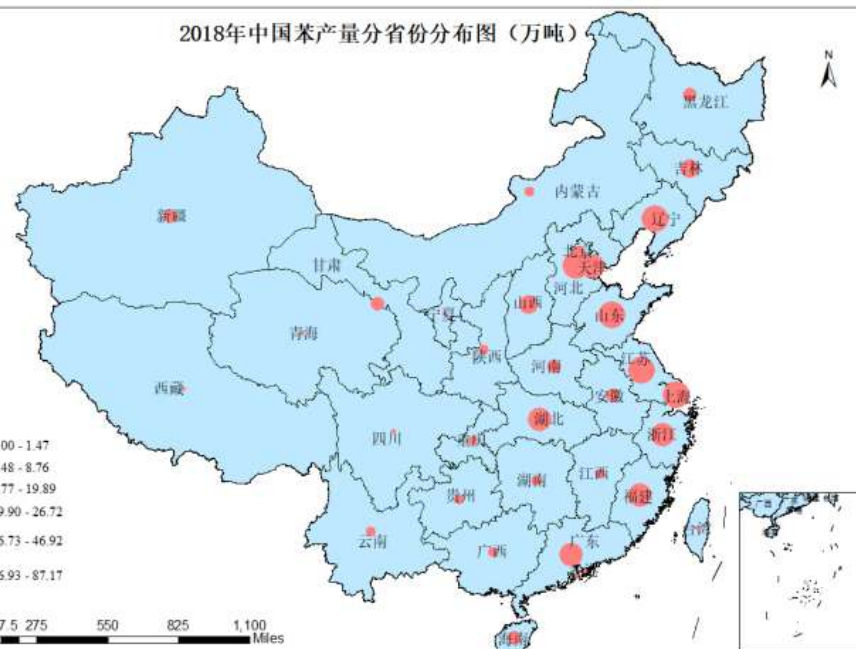
2018年中国对二甲苯分省份产量分布图 (万吨)



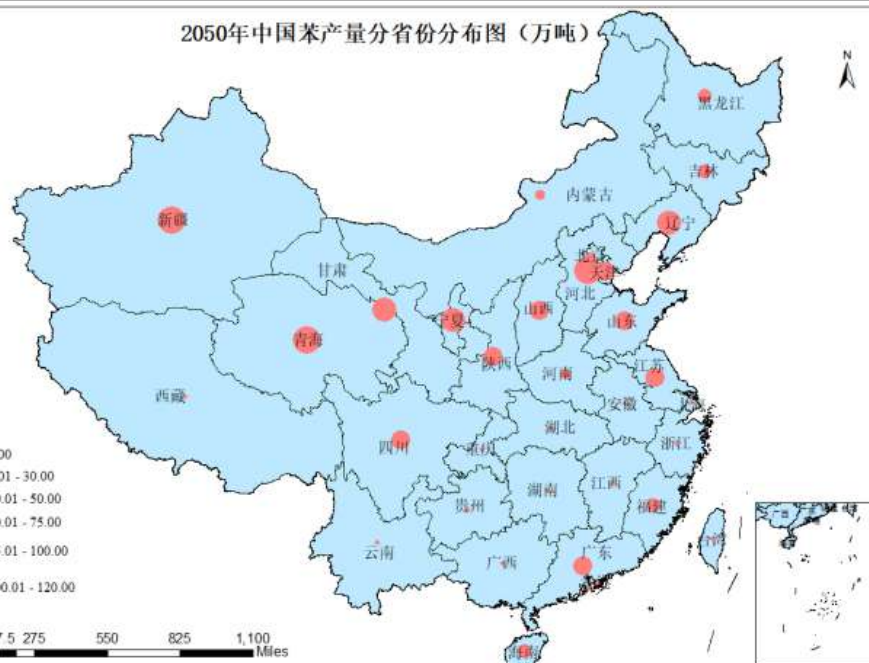
2050年中国对二甲苯分省份产量分布图 (万吨)

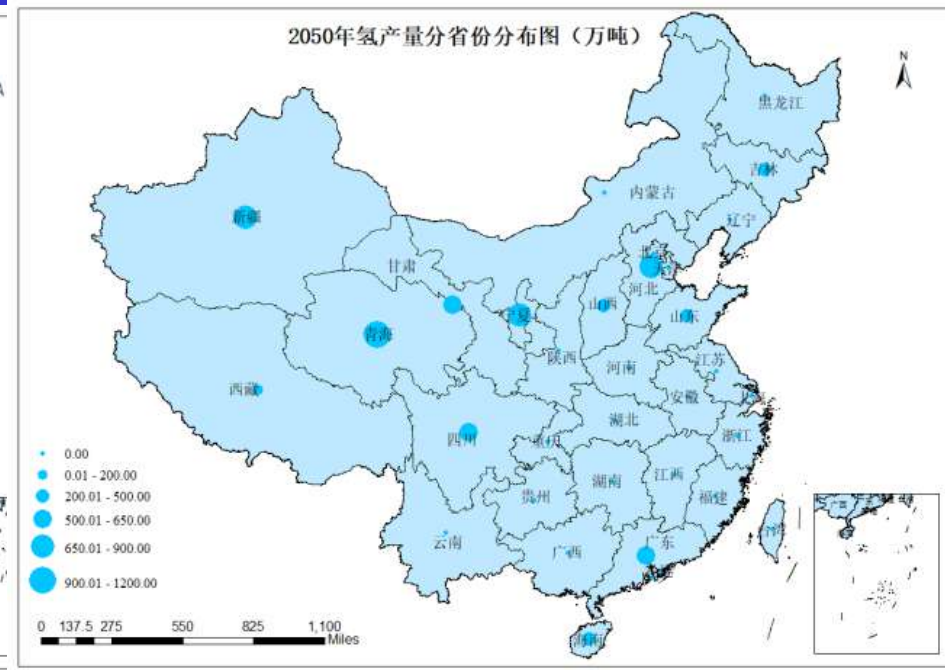
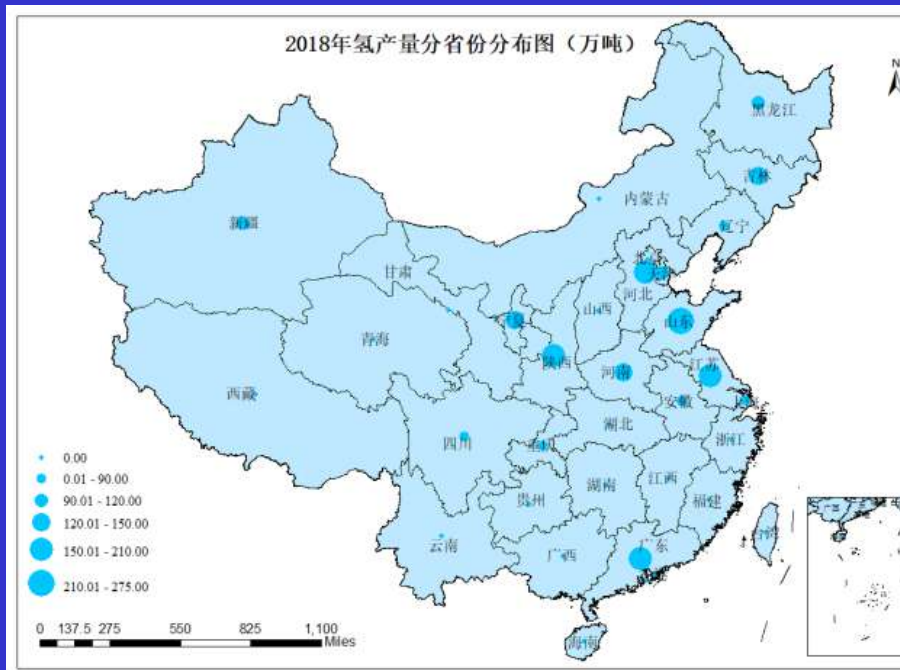


2018年中国苯产量分省份分布图 (万吨)



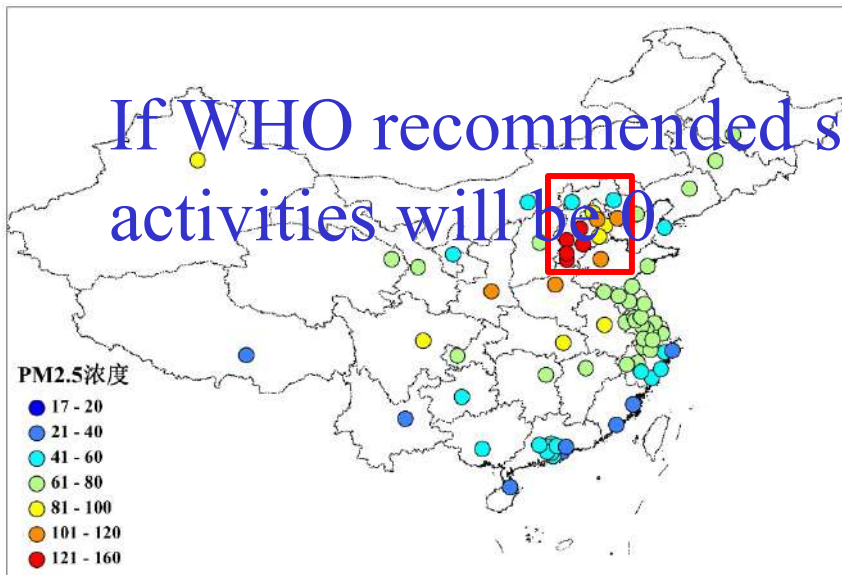
2050年中国苯产量分省份分布图 (万吨)



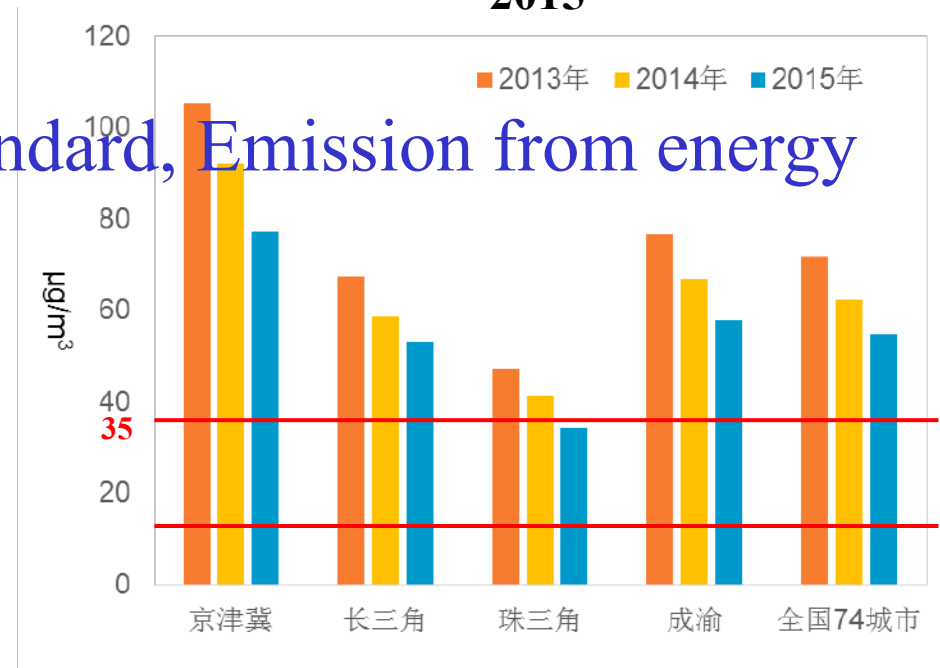


PM_{2.5} Concentration is much higher than standard

PM2.5 concentration of 74 cities in 2013



PM2.5 annual concentration from 2013-2015



- 2013年京津冀地区所有城市PM_{2.5}年均浓度均超标，区域内PM_{2.5}年平均浓度达106µg/m³，虽2014、2015年空气质量有所改善，但仍大幅超过国家空气质量二级标准。

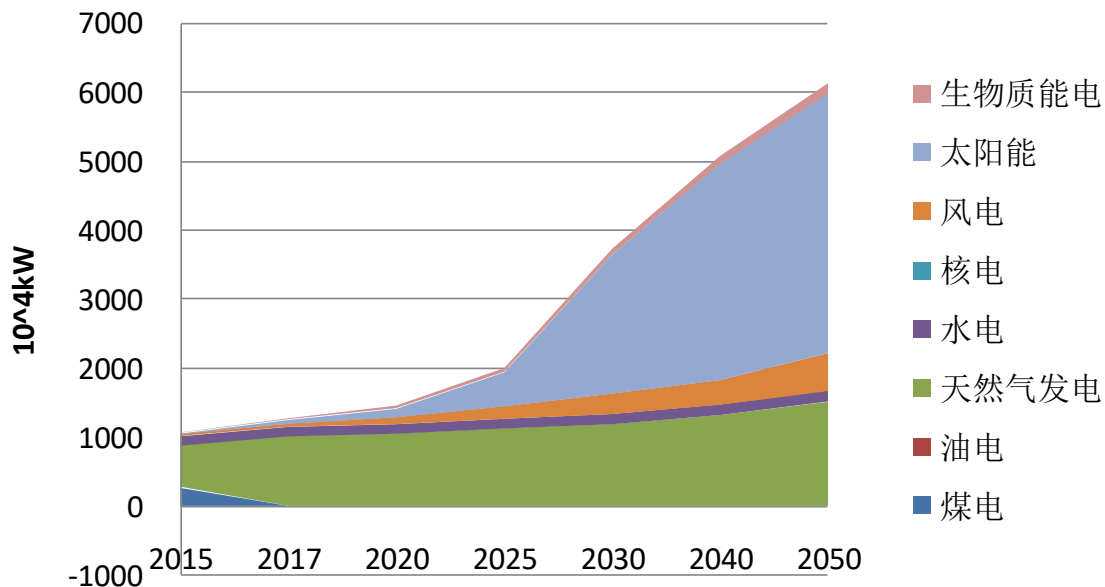
分省大气质量 微克/m³

2030年之前达
标

2050年达到15
微克/m³

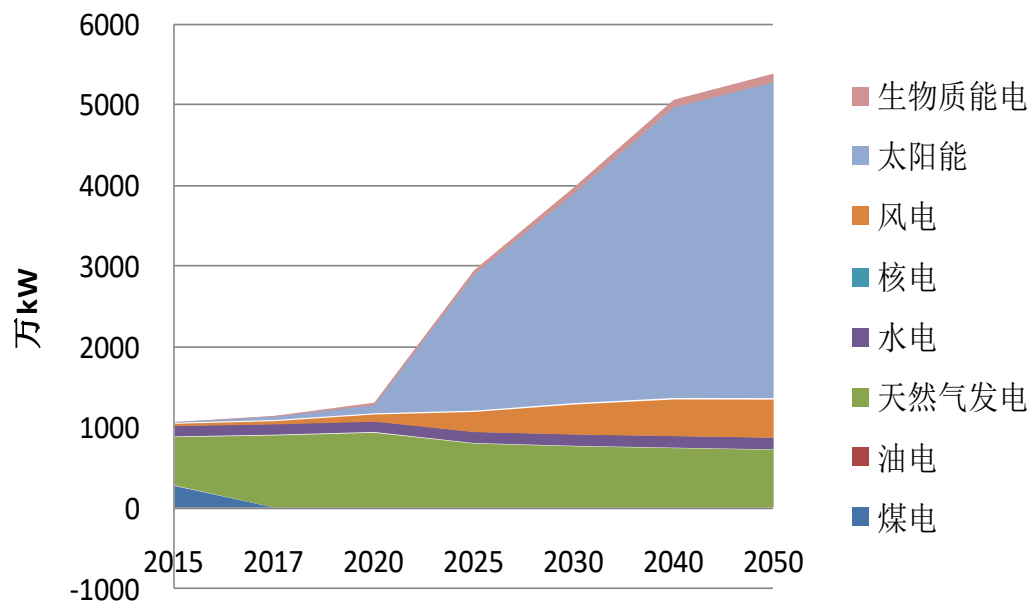
	2015	2017	2020	2025	2030	2040	2050
北京	79.91	71.15	58.54	44.56	33.17	23.72	15.06
天津	71.55	66.97	58.68	46.77	34.53	24.72	16.40
河北	76.74	68.57	57.18	44.50	34.59	22.01	15.91
山西	55.80	49.59	37.74	29.68	22.98	18.24	14.36
内蒙	40.97	36.00	27.60	22.48	18.39	15.33	12.45
辽宁	56.09	49.46	40.16	32.62	26.55	22.99	19.76
吉林	56.26	46.41	36.07	28.32	23.18	19.84	16.55
黑龙江	44.70	35.78	28.47	22.74	19.47	17.12	14.77
上海	54.03	48.58	40.19	32.52	26.47	22.32	18.19
江苏	57.46	51.45	43.37	35.76	30.16	26.25	20.53
浙江	47.93	42.87	34.80	26.95	20.83	16.82	12.78
安徽	56.59	49.01	39.49	30.67	24.15	19.93	15.21
福建	28.92	25.75	19.89	15.34	11.91	10.04	8.56
江西	42.91	36.94	27.46	20.60	15.28	11.91	9.04
山东	68.13	60.72	48.38	37.67	28.92	23.50	18.76
河南	80.96	71.01	55.59	42.88	33.25	26.12	20.31
湖北	66.28	57.05	45.62	36.63	30.97	26.62	22.16
湖南	53.46	45.10	33.98	26.33	20.42	16.70	13.40
广东	33.81	30.21	23.61	18.06	13.79	11.31	9.47
广西	40.55	34.84	26.73	19.45	13.90	10.54	8.13
海南	20.13	17.94	14.27	11.48	8.83	7.61	6.93
重庆							

发电装机容量



北京情景

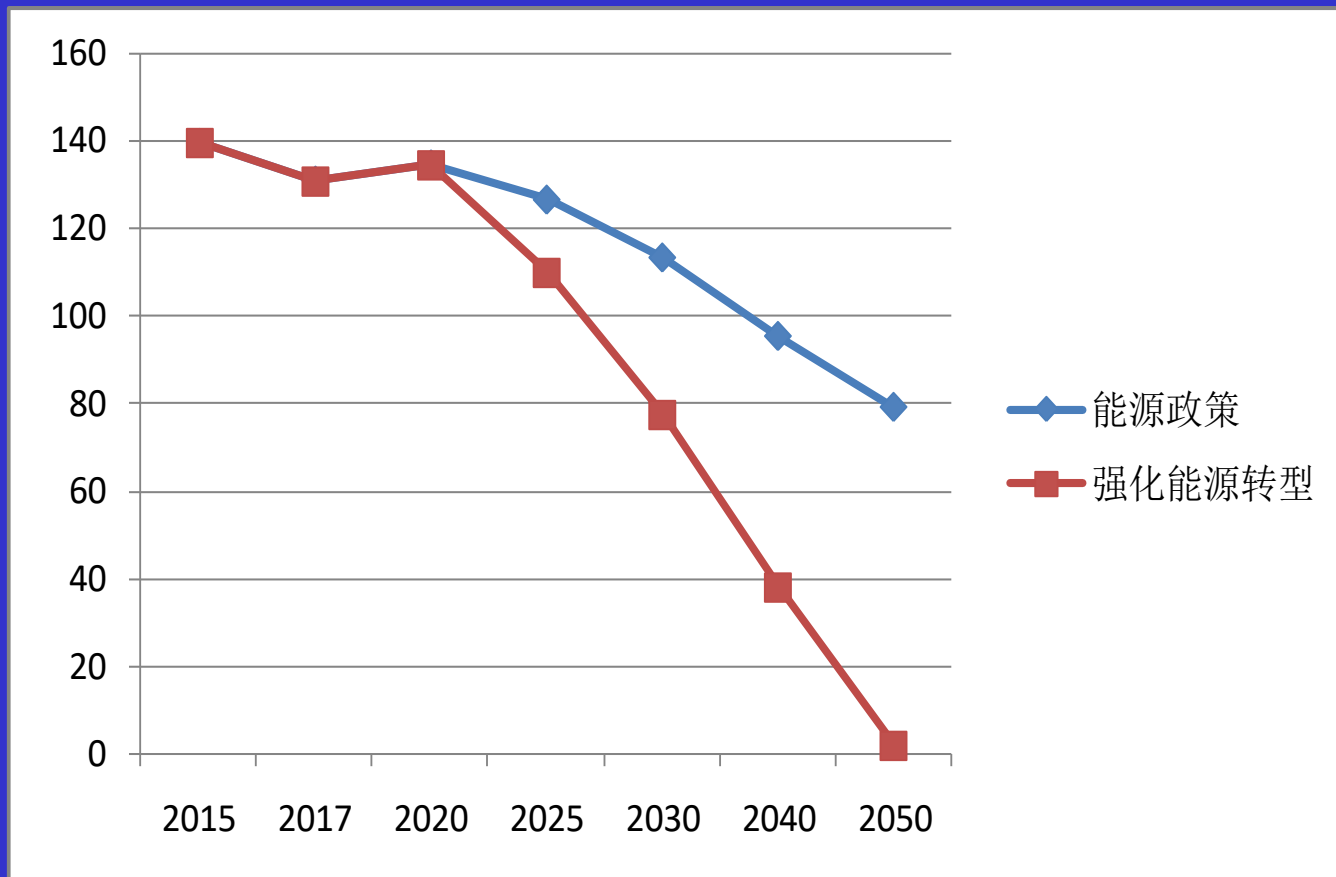
发电装机容量，强化能源转型情景



北京绿电调入潜在通道

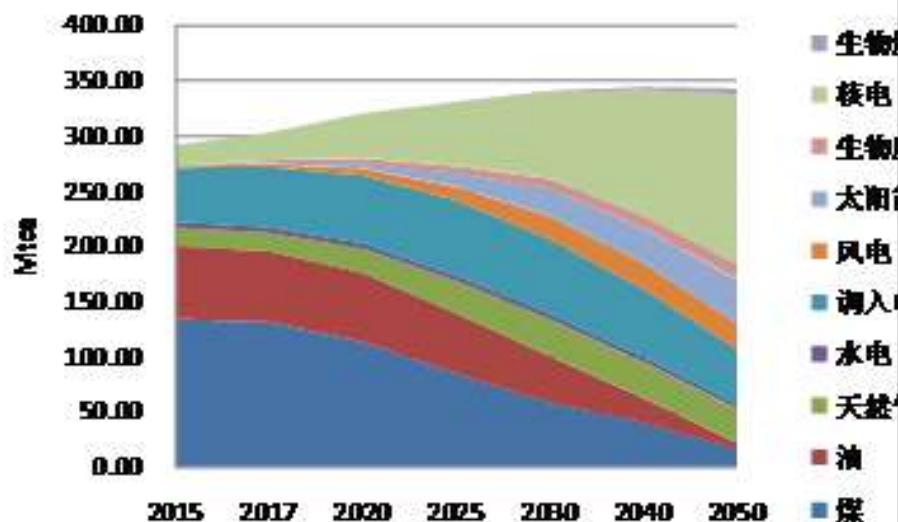
通道	区域	类型	发电量, 亿 kWh	装机容量, 万千瓦
张家口-北京	张家口	风电	600	3000
		光伏	600	5000
丰宁-北京	丰宁	风电	400	2000
		光伏	480	4000
蒙中-北京	乌兰察布等	风电	500	2500
		光伏	600	5000
沧州-北京	沧州	核电	150	200
徐大堡-北京	兴城	核电	400	550
合计			3730	

北京CO2排放量：百万吨

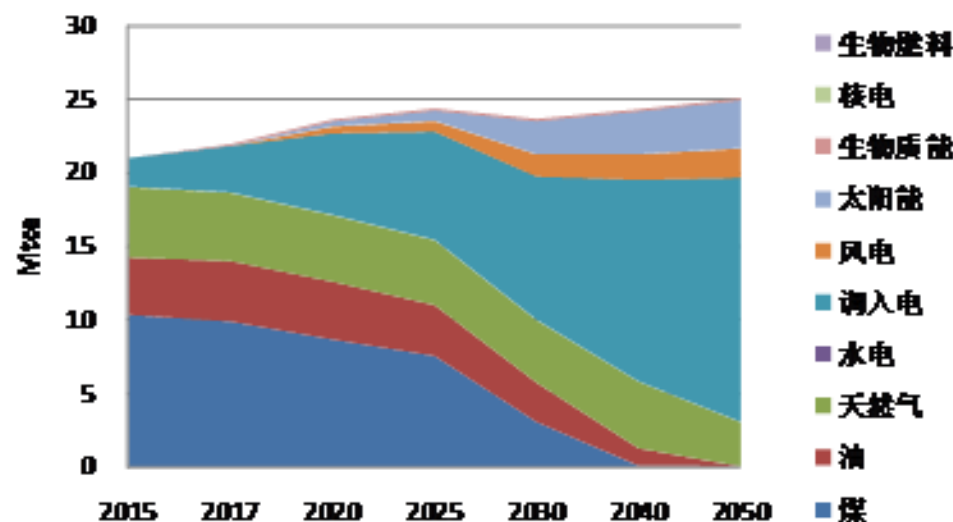


已出版：清洁能源发展蓝皮书2019，粤港澳大湾区绿色发展报告

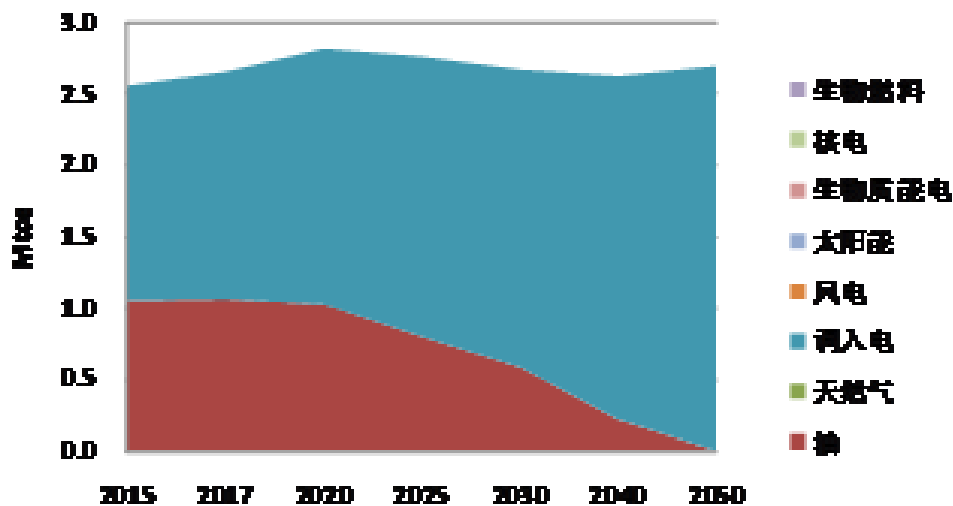
广东一次能源需求



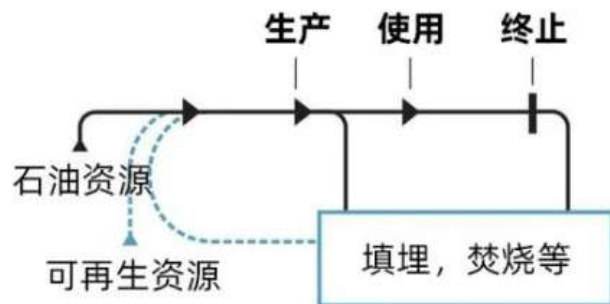
香港一次能源需求



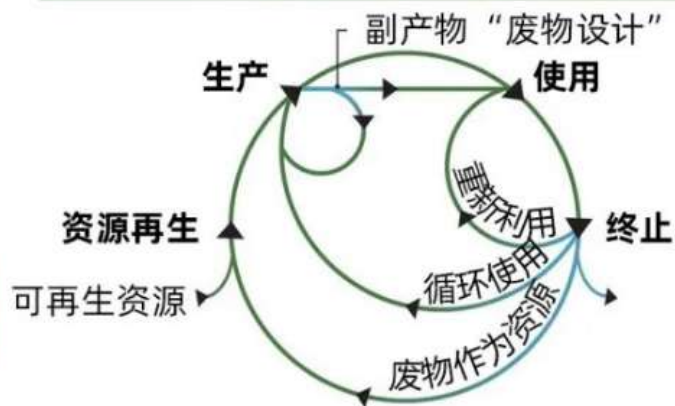
澳门一次能源需求



现在的化工产业



未来的化工产业



线性过程 → 循环过程

化石能源 → 可再生资源

高活性、难降解或有毒化学试剂和产物 → 环境友好型化学



使用稀有金属催化 → 使用金属、酶、光或电子催化

稳定共价键 → 弱的非共价键作用

常规溶剂 → 低毒性、惰性、储量丰富的易分离回收的绿色溶剂或无溶剂

分离和纯化 → 自分离系统

废弃物量大 → 从设计、生产过程到溶剂都具有经济性

废物处理 → 废物综合利用

单一功能分子设计 → 全生命周期的分子设计

性能=功能最大化 → 性能=功能最大化+危害最小化

通过最大化生产实现盈利 → 使用最少的原料达到最大化的性能实现盈利

未来不再需要大量从地球开采矿物
大幅度减少使用土地面积
也不向地球排放污染物