

我国CCUS商业模式及 融资路线图研究

朱磊

能源与环境政策研究中心
北京航空航天大学

CCUS的发展需要大量的投资来支持

- 2009年，IEA发布了CCS技术路线图，认为CCS是低成本温室气体减排组合方案中的重要组成部分
 - 路线图预想到2020年左右在全球实施100个CCS项目
 - 到2050年达到3400个（对应减排量约为100亿吨/年）
- 实现此规划，需要在2010年至2050年期间投资2.5-3万亿美元
 - 这大约占2050年实现温室气体排放减半所需要的总投资额的6%
 - 发达国家需要在未来十年期间年均投资35-40亿美元来发展CCS
- 2013年，考虑到CCS技术的实际发展情况，IEA发布了新版CCS技术路线图，2020年目标从100个减少为30个示范项目

CCUS的实际实施情况仍显缓慢

- 与更新后的IEA路线图相比，目前的实际实施情况仍显缓慢
 - 预计到2020年有13个大型项目
 - 年封存量从路线图规划的30,000万吨下降到6,300万吨CO₂
 - 2007-2012年间累计投入CCS示范102亿美元，并且绝大部分已投入资金来自于北美政府及公共资金
- 未来CCS项目的开发将面临巨大的资金缺口

我国已经着手CCUS长期发展规划

- 2015年亚洲开发银行（ADB）与国家发改委（NDRC）合作，发布了《中国碳捕集与封存示范和推广路线图研究》
 - 报告中指出目前CCS是唯一能够大幅减排电力与工业CO₂排放的技术
 - 如果不采用CCS技术，达到国家减缓气候变化远期目标的整体成本将会上升25%。
- 碳捕集和封存部署路径预计将：
 - 累计减排（1）到2020年，10—20MtCO₂；（2）到2030年，160MtCO₂；（3）到2050年，15GtCO₂
 - 与以往技术路线不同的是，该报告中规划在2021—2030年提出第二代CCS技术的发展目标，并在这一阶段内实现第二代燃煤电厂碳捕集技术成本的大幅下降

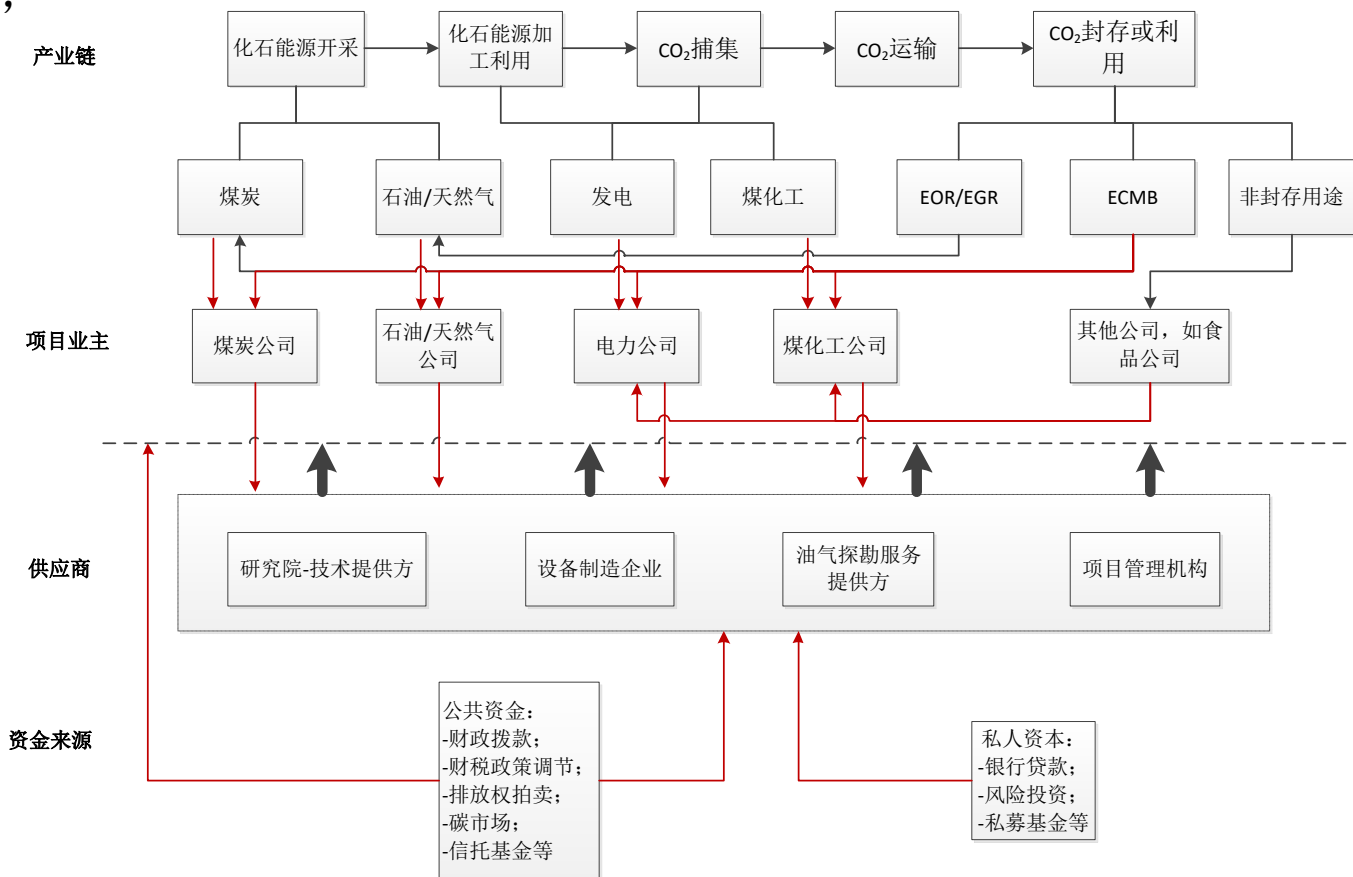
CCUS融资的特点与障碍

融资特点

- CCUS产业资金需求量大，融资压力大
- CCUS产业的资金链长，融资关系复杂
- CCUS产业的融资期限长
- CCUS产业融资风险高、须政府扶持

融资障碍

- 缺乏明确的政策指引和法律法规
- 缺乏市场化的激励机制
- 缺乏有效的跨企业协调合作机制



融资和商业模式同样是CCS发展 需要重视的方面

- 商业模式设计
 - CCUS的全流程发展涉及多利益相关方之间的互相合作，因此需要考虑在不同利益相关方之间的成本-收益分配问题与风险分担问题
- 融资路线图规划
 - CCS技术已经取得较大进展，技术发展水平相对成熟，目前各主要示范项目的成功运行已经证明了技术的可行性。但是关于技术发展需要的资金量与资金来源问题并没有得到明确

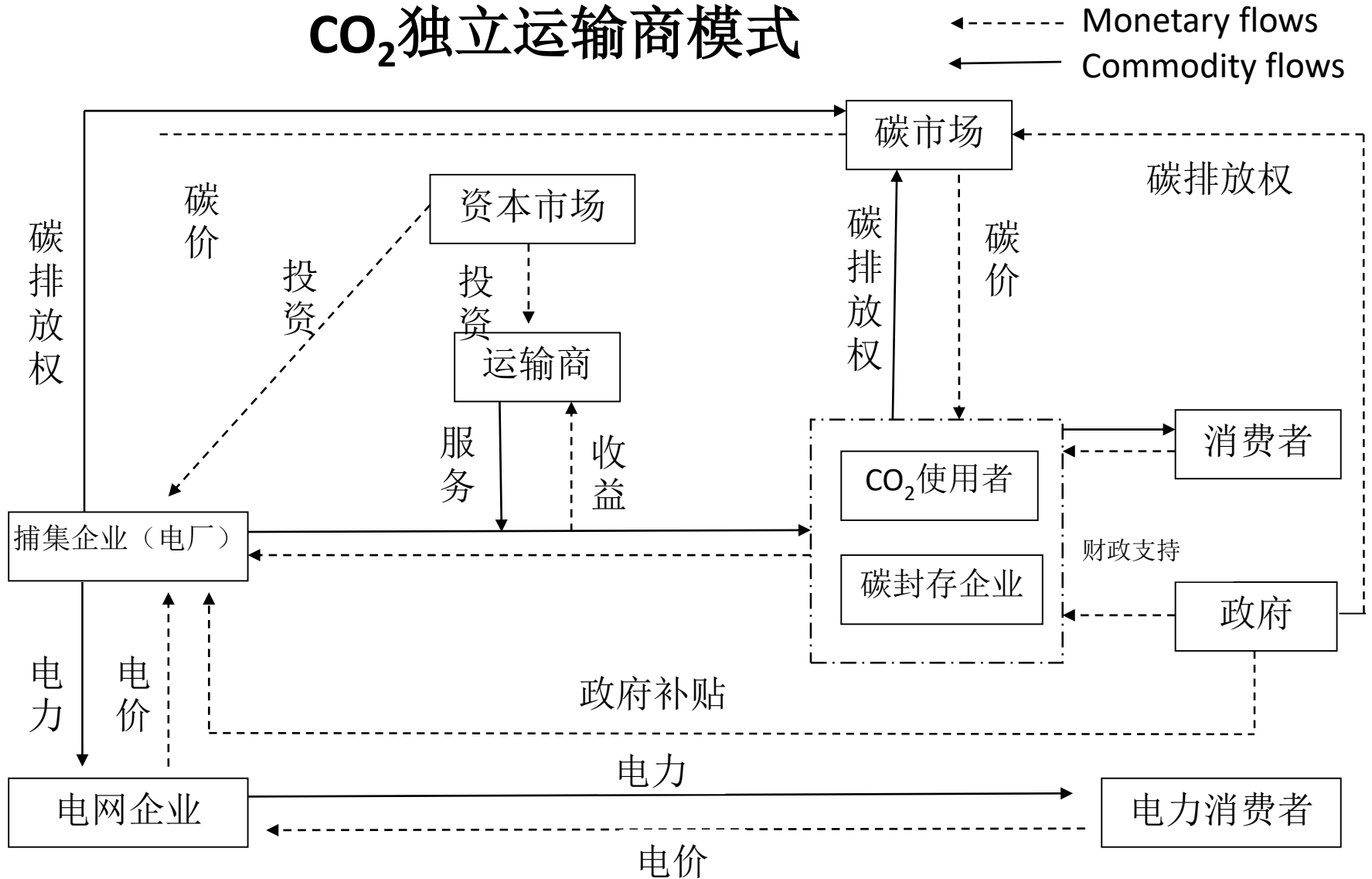
CCUS商业模式设计

已有CCUS示范项目的商业模式

项目名	位置	捕获能力	运营/合作方式
Val Verde Natural Gas Plants项目	美国德克萨斯州	130万吨CO ₂ /年	<ul style="list-style-type: none">捕获阶段由Sandridge Energy和Occidental Petroleum两家公司共同完成通过Kinder Morgan和Petro Source Corporation的管道将CO₂运输至Kinder Morgan, Occidental Petroleum和Chevron的油田用于驱油
Coffeyville Gasification Plant项目	美国堪萨斯州	100万吨CO ₂ /年	<ul style="list-style-type: none">Chaparral Energy从该厂获得CO₂的捕获权将CO₂捕获后通过管道运输到Chaparral Energy经营的, 位于俄克拉荷马州东北部的油田进行驱油
Quest项目	加拿大阿尔伯达省	100万吨CO ₂ /年	<ul style="list-style-type: none">从捕获、运输到封存由一家AOSP的联合经营企业负责由3家公司出资建立, 分别为Shell Canada Energy (占股60%), Chevron Canada Limited以及Marathon Oil Canada Corporation (各占股20%)
Uthmaniyah CO ₂ EOR全流程示范项目	沙特阿拉伯	驱油环节注入量约为80万吨CO ₂ /年	<ul style="list-style-type: none">全流程由沙特阿拉伯国家石油公司负责投资与运营CO₂来源于NGL的生产过程项目主要是示范作用

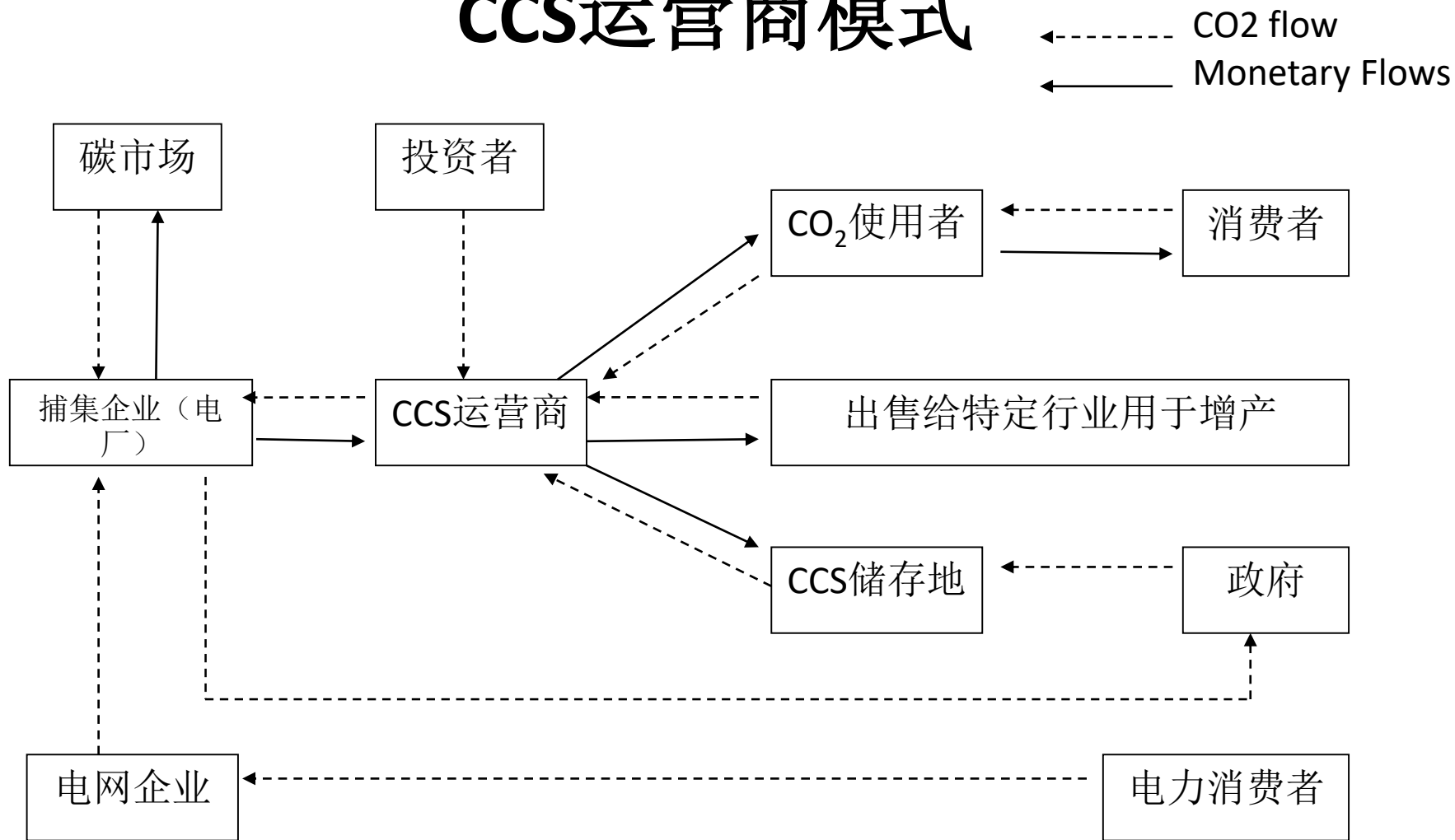
CCUS商业模式设计

CO₂独立运输商模式



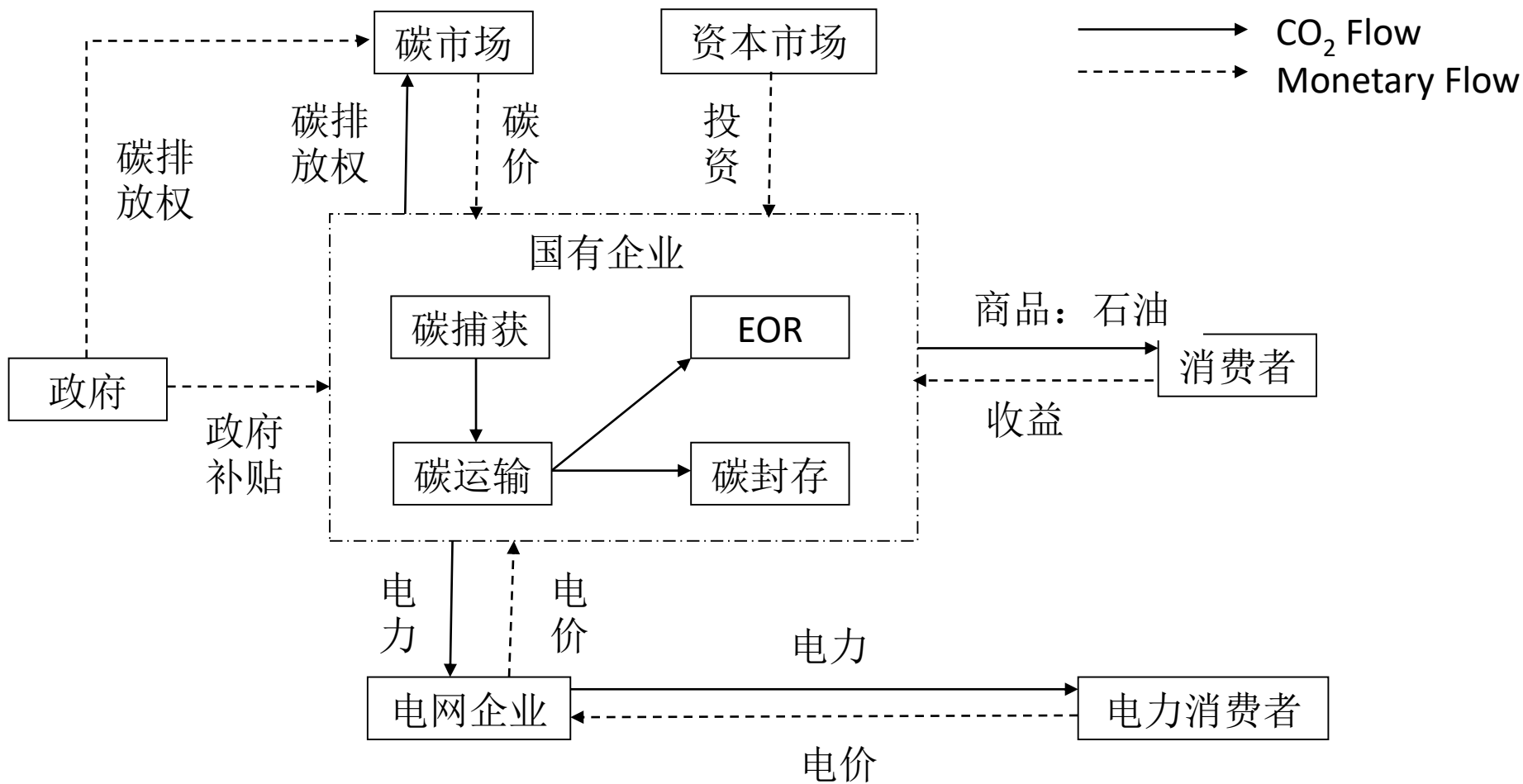
CCUS商业模式设计

CCS运营商模式



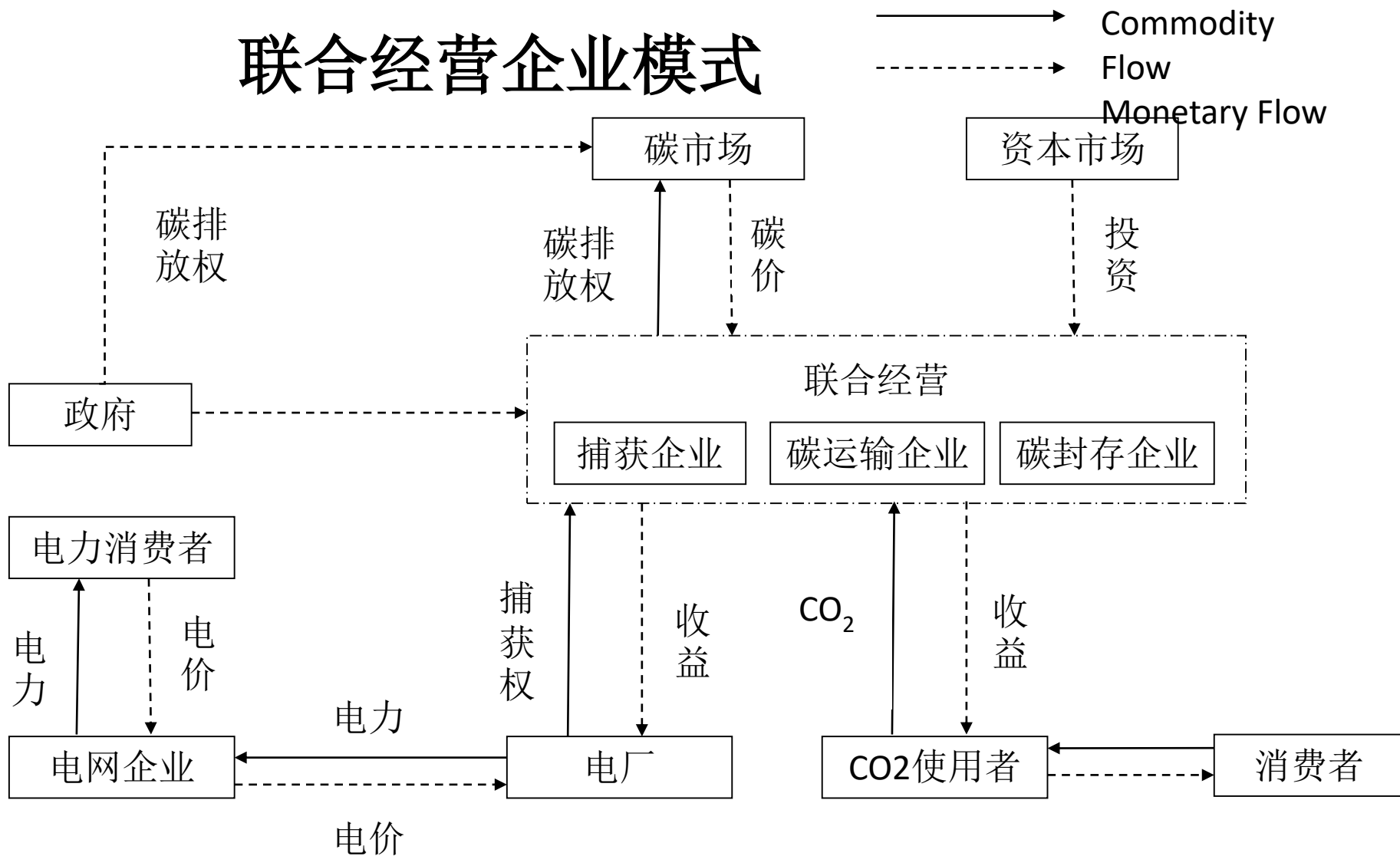
CCUS商业模式设计

国有企业模式



CCUS商业模式设计

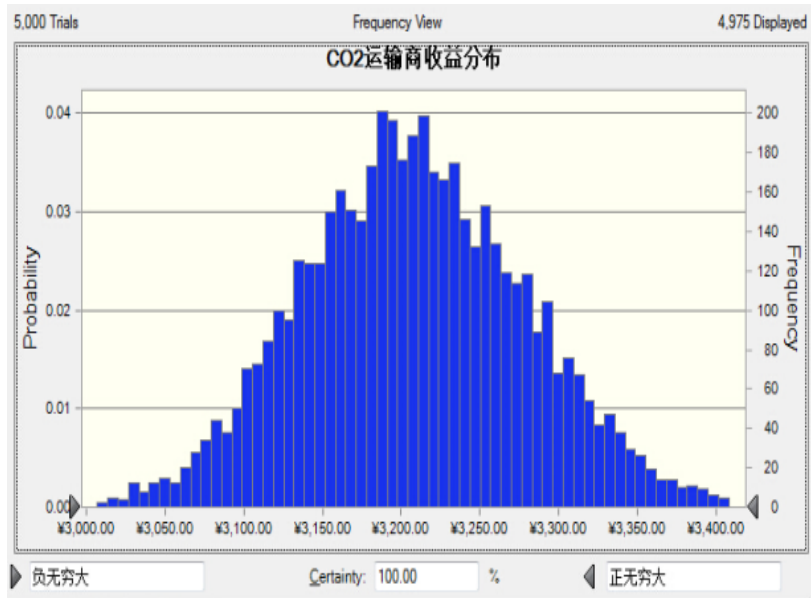
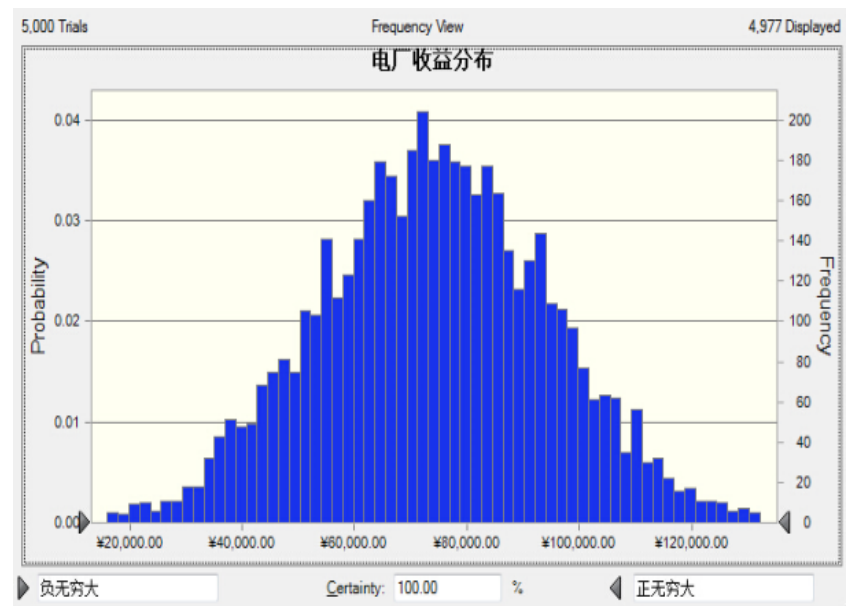
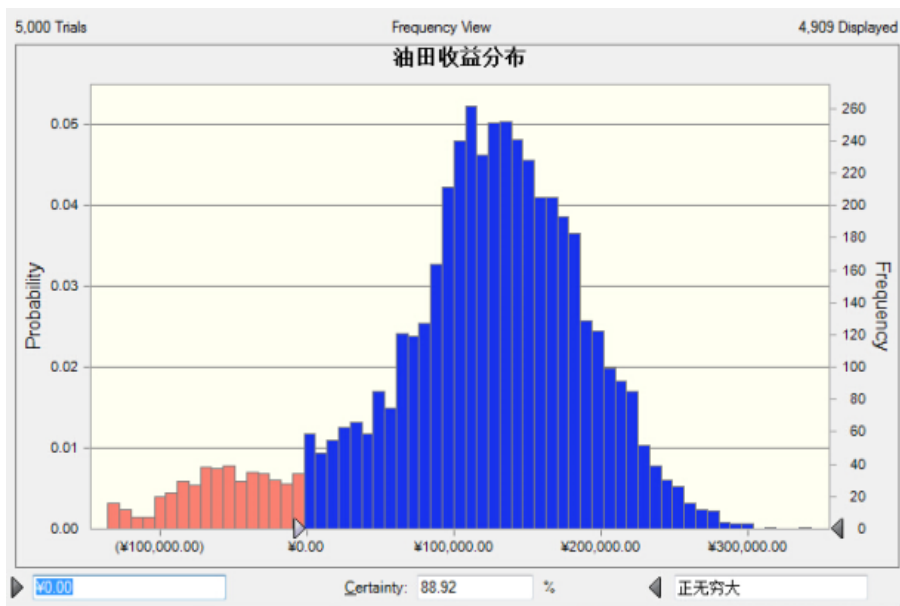
联合经营企业模式



CCUS商业模式情景设计

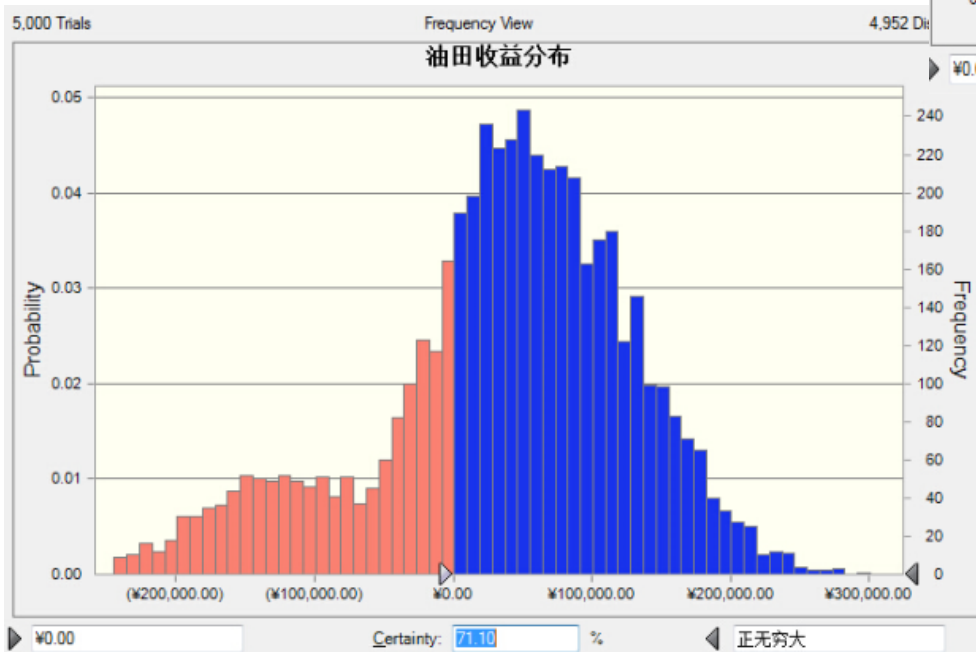
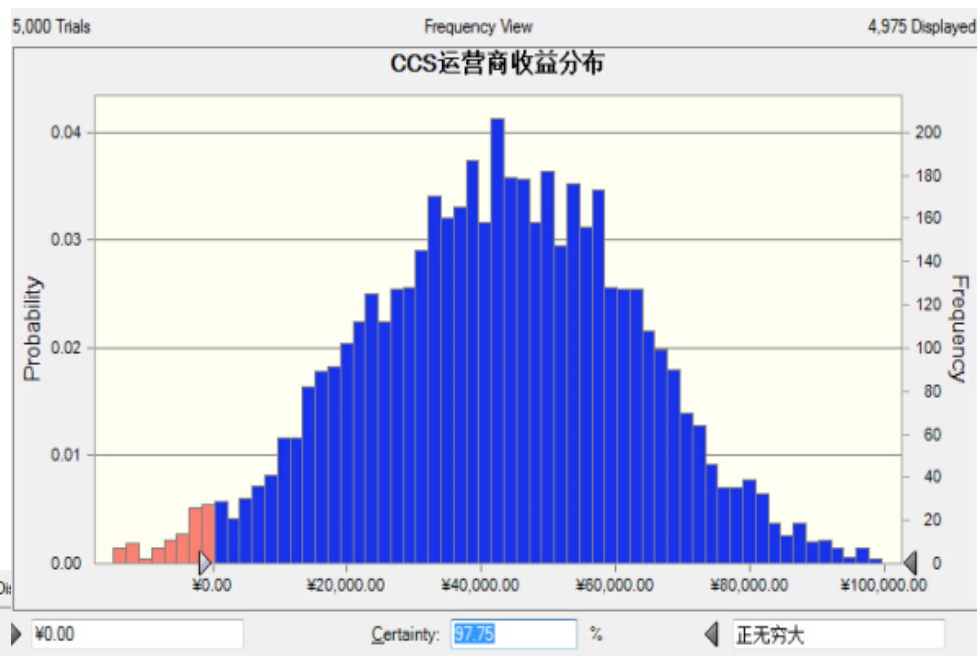
	运输商模式	运营商模式	国有企业模式	联合经营模式	注
基准油价（元/吨）	4000	4000	4000	4000	服从正态分布的随机参数
交易成本	10%	10%	-	5%	按谈判难易程度划分，折算至交易额的百分比
用于驱油的CO2交易价格（元/吨）	50	100	-	100	
营业税率	5%	5%	5%	5%	
利率	6.55%	6.55%	4.9%	5.5%	根据获取贷款的难易程度区分
所得税	25%	25%	25%	25%	可先弥补前年度的亏损，最长为5年
捕集成本（元/吨）	355.09	355.09	355.09	355.09	捕获每吨CO2需要消耗1.754吨蒸汽
捕集设备成本（万元）	25867.67	25867.67	25867.67	25867.67	包括土建、压缩机和泵成本
捕获量（万吨/年）	340.58	340.58	340.58	340.58	
碳市场中的碳价格（元/吨）	150	150	150	150	服从正态分布的随机参数
电网补贴（元/Kwh）	0.2	0.2	0.2	0.2	
运输成本（万元/年）	368.6	368.6	368.6	368.6	服从正态分布的随机参数，假定全额运输所有捕获的CO2
运输管道投资（万元）	14744	14744	14744	14744	管道长度按70KM计算
封存成本（元/吨CO2）	10.57	10.57	10.57	10.57	
封存补贴（元/吨CO2）	20	20	20	20	
运输费率（元/吨CO2）	10	-	-	-	

利益相关方的收益与风险



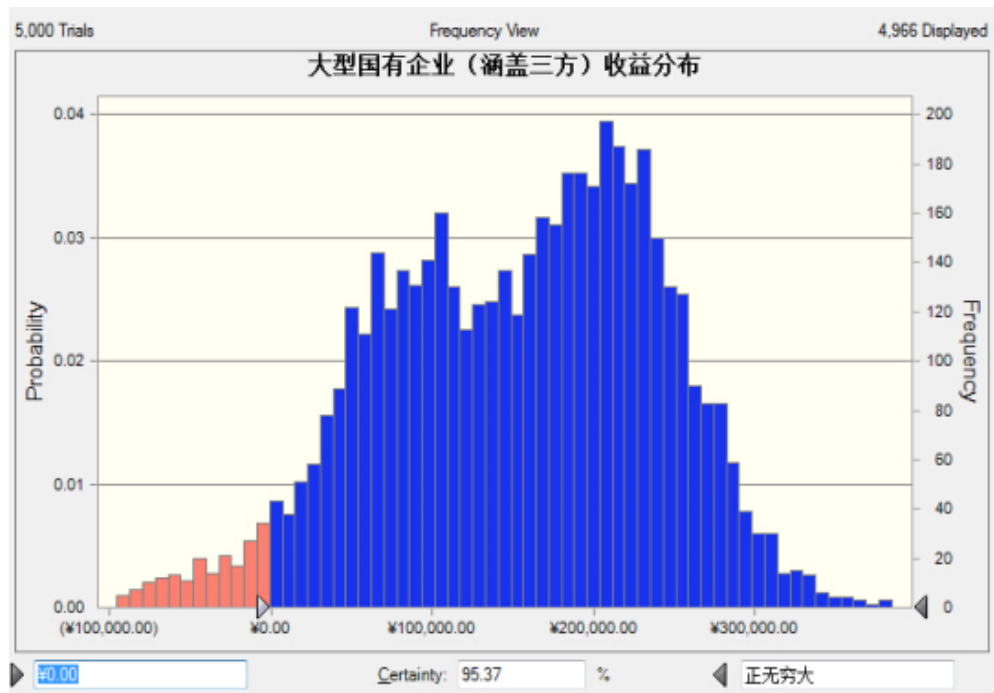
CCUS运输商模式

利益相关方的收益与风险



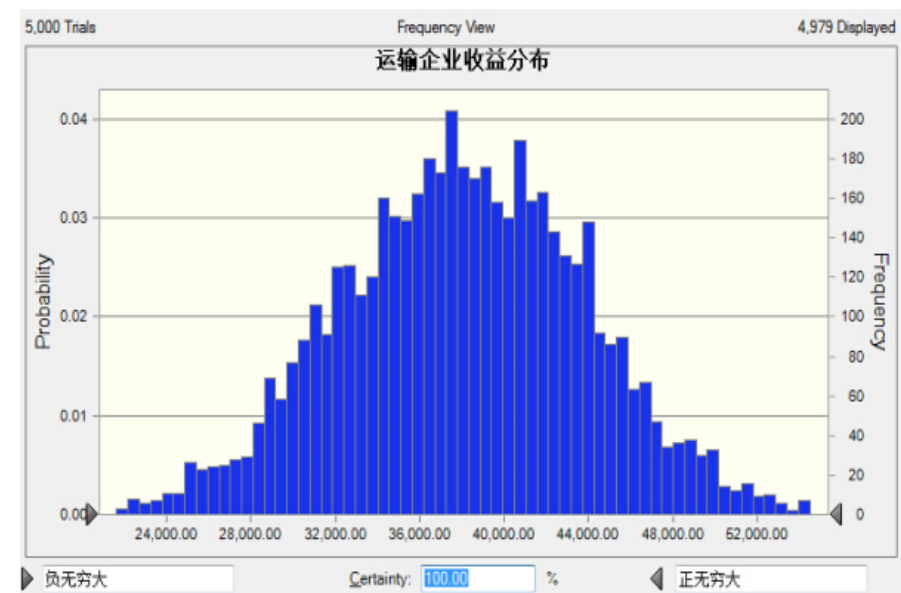
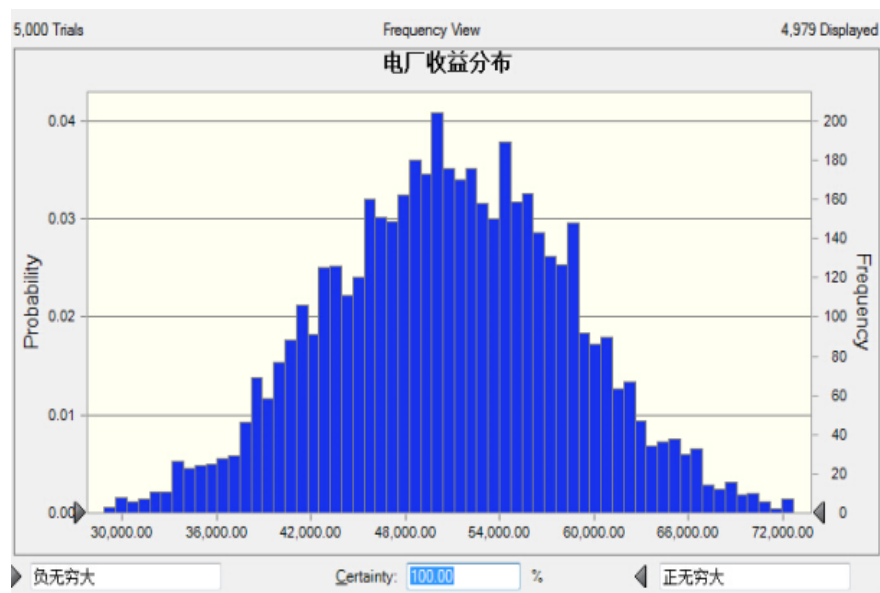
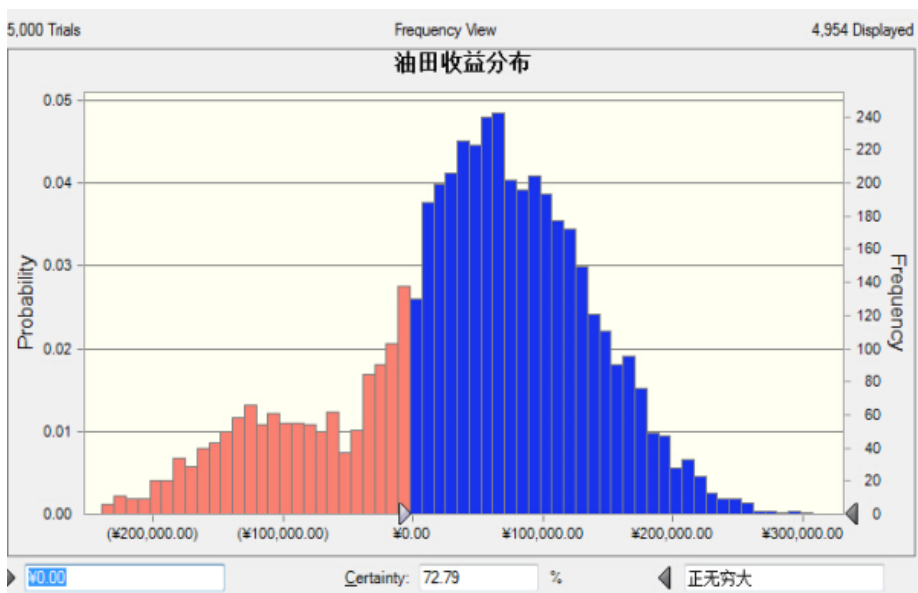
CCUS运营商模式

利益相关方的收益与风险



国有企业模式

利益相关方的收益与风险



CCS联合经营企业模式

CCUS商业模式效果评估

	CCUS运营商	CO2运输商	国有企业	联合经营
利益相关方 收益和（万 元）	349961.85	492992.74	519904.41	421927.13

	CCUS运营商	CO2运输商	国有企业	联合经营
CO2利用率	94.0%	99.6%	99.2%	97.2%

- 国有企业模式可以最灵活地实现各环节之间的利益补偿，同时在交易与获取资金方面成本最低，因此能应对较为极端的低油价情景
- CO2运输商模式在同等市场条件下盈利能力可以趋近国有企业模式
- 联合经营模式与CCUS运营商模式交易成本与资金成本较高，因此在面临低油价情景时，更容易出现亏损

CCUS融资路线图

我国CCUS近中期融资路线图

- 路线图设计基础：
 - 亚行与发改委联合发布的《中国碳捕集与封存示范和推广路线图研究》测算结果
 - 对比IEA的全球CCUS路线图
- 融资需求：
 - 预计2020-2050年我国的CCUS技术发展的融资需求在每年10-20亿美元
- 项目部署目标：
 - 根据亚行报告，碳捕集和封存部署路径预计将累计减排（1）到2020年，10-20MtCO₂；（2）到2030年，160MtCO₂；（3）到2050年，15GtCO₂
- 技术细节：
 - 亚行报告中规划在2021-2030年提出第二代碳捕集、利用和封存技术的发展目标，并在这一阶段内实现第二代燃煤电厂碳捕集技术成本的大幅下降

捕获技术代际划分（CSLF，2013）

	CO ₂ 处理的第一代技术	潜在的第二/第三代技术选项
IGCC+燃烧前捕获	<ul style="list-style-type: none"> ● 溶剂或固体吸附剂 ● 低温空气分离装置 	<ul style="list-style-type: none"> ● 氧气与合成气的膜分离等 ● 富氢低NO_x气体涡轮机等
富氧燃烧	<ul style="list-style-type: none"> ● 低温空气分离装置 ● 压缩前低温CO₂提纯装置 ● 烟气循环 	<ul style="list-style-type: none"> ● 新的更加有效的空分装置等 ● 优化锅炉系统等 ● 氧燃烧涡轮机等 ● 化学链燃烧-反应系统和氧载体等
燃烧后捕获	<ul style="list-style-type: none"> ● 烟气CO₂分离 ● CO₂化学或物理吸附 	<ul style="list-style-type: none"> ● 新的吸附剂等 ● 二/三代胺剂（再生所需的能源更少）等 ● 二/三代吸附处理设施和设计等 ● 物理吸附技术等 ● 膜吸附技术等 ● 水合物等 ● 低温技术等

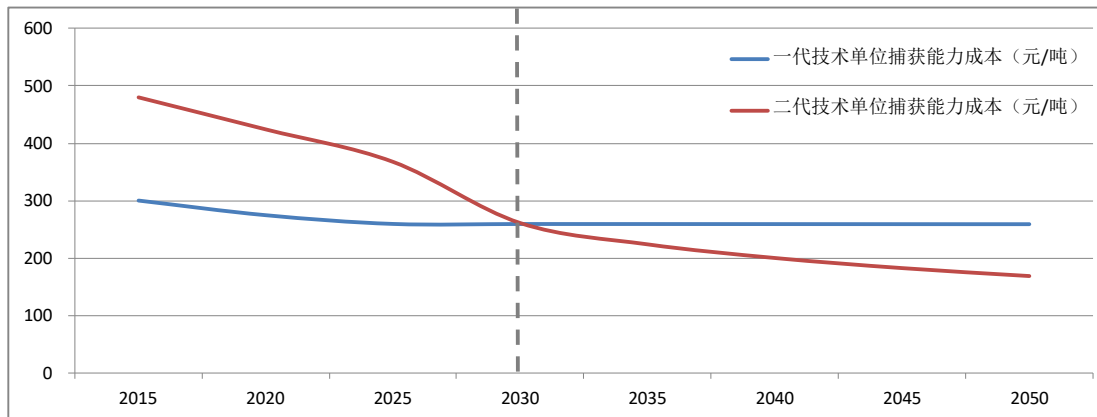
融资路线图模型参数设定

参数	数值	单位	说明
一代技术初始成本	300	元/t装机	参考亚行路线图
二代技术初始成本	480	元/t装机	参考亚行路线图
一代技术初始装机量	5	百万t	本报告设定
二代技术初始装机量	1	百万t	本报告设定
知识衰减率	0	-	不考虑知识衰减
一代技术学习率	0.06	-	参考 (Sheng Li 2012)
二代技术学习率	0.08	-	本报告设定
二代技术研发学习率	0.15	-	本报告设定
一代技术对二代技术的溢出效应	0.01	-	本报告设定, 反映在二代技术的知识积累上
研发参数 γ_1	0.3	-	参考 (HB Duan 2013)
研发参数 γ_2	0.2	-	参考 (HB Duan 2013)
研发参数 η	0.5	-	刻画研发效率, 自行设定
资金约束	50-2000	亿元	本报告设定
捕获产能衰减率	0.05	-	本报告设定

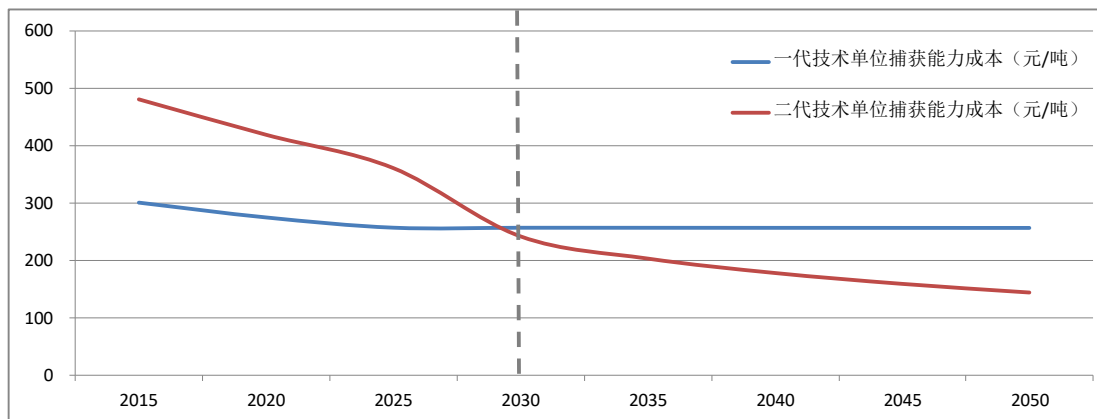
		2020	2030	2040	2050	合计	占比	
CAP=100 亿元	一代技术累计捕获能力（百万吨）	11.12	21.41	29.34	35.36	35.36	100.00%	
	二代技术累计捕获能力（百万吨）	0.00	0.00	0.00	0.00		0.00%	
	一代技术捕获能力投资（亿元）	17.08	12.72	9.47	7.05		100.00	100.00%
	二代技术捕获能力投资（亿元）	0.00	0.00	0.00	0.00		0.00	0.00%
	二代技术研发投资（亿元）	0.00	0.00	0.00	0.00		0.00	0.00%
CAP=200 亿元	一代技术累计捕获能力（百万吨）	12.64	30.55	52.00	77.29	77.29	100.00%	
	二代技术累计捕获能力（百万吨）	0.00	0.00	0.00	0.00		0.00%	
	一代技术捕获能力投资（亿元）	20.00	23.96	27.21	30.90		100.00	100.00%
	二代技术捕获能力投资（亿元）	0.00	0.00	0.00	0.00		0.00	0.00%
	二代技术研发投资（亿元）	0.00	0.00	0.00	0.00		0.00	0.00%
CAP=500 亿元	一代技术累计捕获能力（百万吨）	13.54	25.77	25.97	26.17	71.50	10.84%	
	二代技术累计捕获能力（百万吨）	0.00	0.00	0.00	0.00		0.00%	
	一代技术捕获能力投资（亿元）	23.43	0.26	0.26	0.26		71.18	14.24%
	二代技术捕获能力投资（亿元）	0.00	47.24	76.16	134.25		415.70	83.14%
	二代技术研发投资（亿元）	0.00	0.00	0.00	0.00		0.00	0.00%
CAP=800 亿元	一代技术累计捕获能力（百万吨）	12.85	26.00	26.20	26.40	464.34	5.69%	
	二代技术累计捕获能力（百万吨）	0.00	23.96	135.81	437.93		94.31%	
	一代技术捕获能力投资（亿元）	21.65	0.26	0.26	0.26		71.76	8.97%
	二代技术捕获能力投资（亿元）	0.00	53.74	120.55	258.47		695.85	86.98%
	二代技术研发投资（亿元）	6.95	5.69	3.74	1.17		32.39	4.05%
CAP=1000 亿元	一代技术累计捕获能力（百万吨）	13.44	28.24	28.44	28.64	575.62	4.98%	
	二代技术累计捕获能力（百万吨）	0.00	23.96	135.81	437.93		95.02%	
	一代技术捕获能力投资（亿元）	19.18	0.26	0.26	0.26		77.26	7.73%
	二代技术捕获能力投资（亿元）	0.00	61.84	149.77	348.05		890.47	89.05%
	二代技术研发投资（亿元）	6.66	5.69	3.90	1.28		32.26	3.23%
CAP=1500 亿元	一代技术累计捕获能力（百万吨）	10.30	30.60	31.11	31.88	950.44	3.30%	
	二代技术累计捕获能力（百万吨）	0.00	31.55	227.46	918.90		96.70%	
	一代技术捕获能力投资（亿元）	31.11	0.28	0.28	0.28		83.84	5.59%
	二代技术捕获能力投资（亿元）	0.00	71.66	145.00	587.67		1361.00	90.87%
	二代技术研发投资（亿元）	0.00	11.00	0.92	2.12		53.11	3.54%
CAP=2000 亿元	一代技术累计捕获能力（百万吨）	10.26	22.28	22.51	22.74	1362.89	1.67%	
	二代技术累计捕获能力（百万吨）	0.00	39.57	306.31	1340.15		98.33%	
	一代技术捕获能力投资（亿元）	15.45	0.28	0.28	0.28		84.50	3.23%
	二代技术捕获能力投资（亿元）	0.00	63.71	185.99	731.16		1851.82	92.66%
	二代技术研发投资（亿元）	19.03	12.53	0.32	6.03		82.23	4.11%
CAP=2500 亿元	一代技术累计捕获能力（百万吨）	11.05	61.25	61.45	61.65	1799.82	3.43%	
	二代技术累计捕获能力（百万吨）	0.00	0.00	0.00	0.00		0.00%	
	一代技术捕获能力投资（亿元）	16.52	97.47	0.24	0.24		255.05	6.23%
	二代技术捕获能力投资（亿元）	0.00	0.01	337.61	1102.58		2241.50	89.66%
	二代技术研发投资（亿元）	18.25	13.44	11.99	0.63		102.79	4.11%
CAP=3000 亿元	一代技术累计捕获能力（百万吨）	9.87	27.46	27.71	27.97	2382.30	1.17%	
	二代技术累计捕获能力（百万吨）	0.00	52.06	448.32	2354.33		98.83%	
	一代技术捕获能力投资（亿元）	13.61	0.34	0.32	0.32		75.39	2.43%
	二代技术捕获能力投资（亿元）	0.00	108.71	396.42	1417.49		2899.54	93.55%
	二代技术研发投资（亿元）	22.88	14.82	22.88	10.41		124.65	4.93%

• 如果想要推动二代技术在2030年示范完成并投入商业化运营，整个2016-2050年期间所需的资金量不得低于500亿元

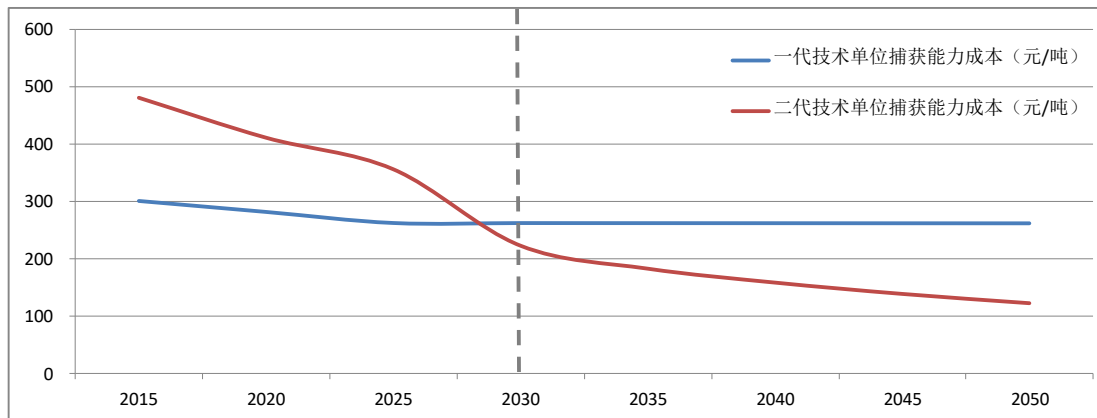
• 本报告模型当总资金上限为3000亿元的情况下和亚行的路线图规划的情景相似，折到2016-2050的整个期间内，平均每年所需要的发展资金约为86亿元人民币



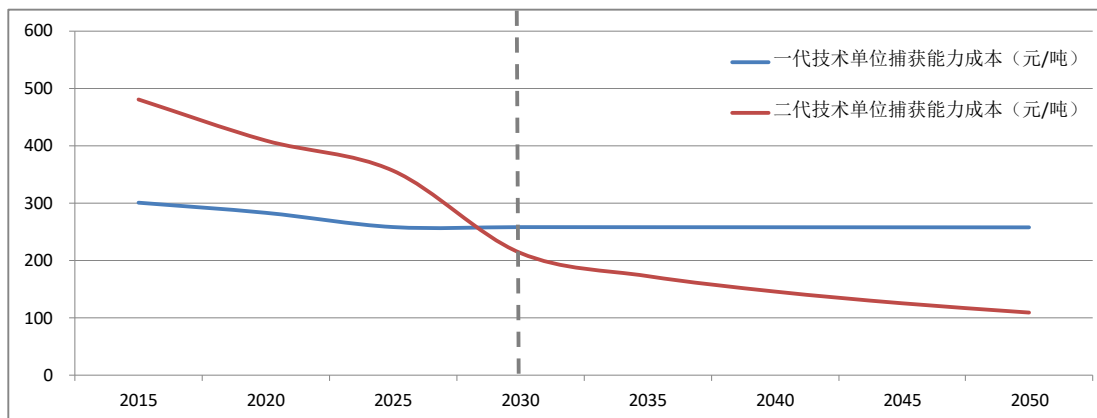
推动CCUS二代技术发展情景下的最低资金总上限：
500亿元人民币



2040年CCUS二代技术突破一代技术封锁（成本低于一代技术的30%）的最低资金总上限：1000亿元人民币

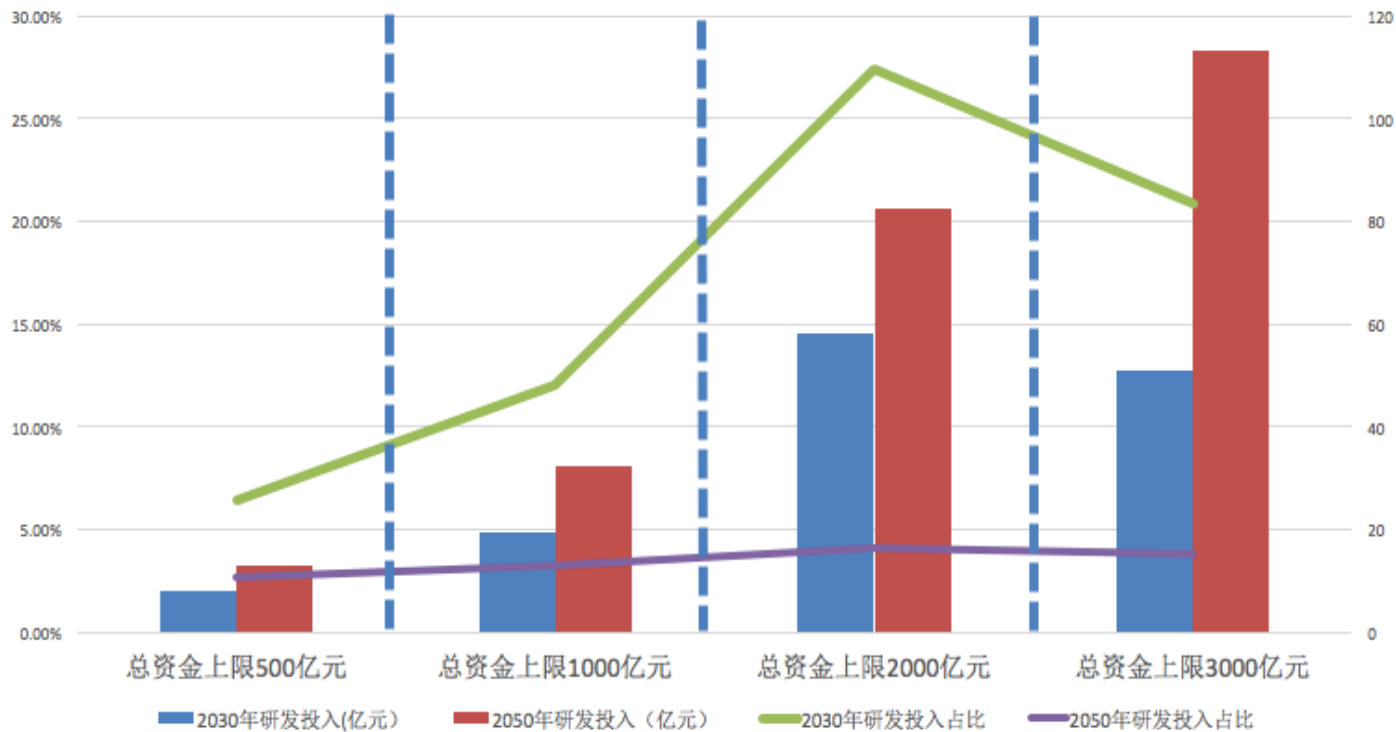


2030年CCUS二代技术成本明显低于一代技术（成本
低于一代技术的15%）的最低资金总上限：**2000亿
元人民币**



与亚行路线图规划情景相近的资金总上限：**3000亿
元人民币**

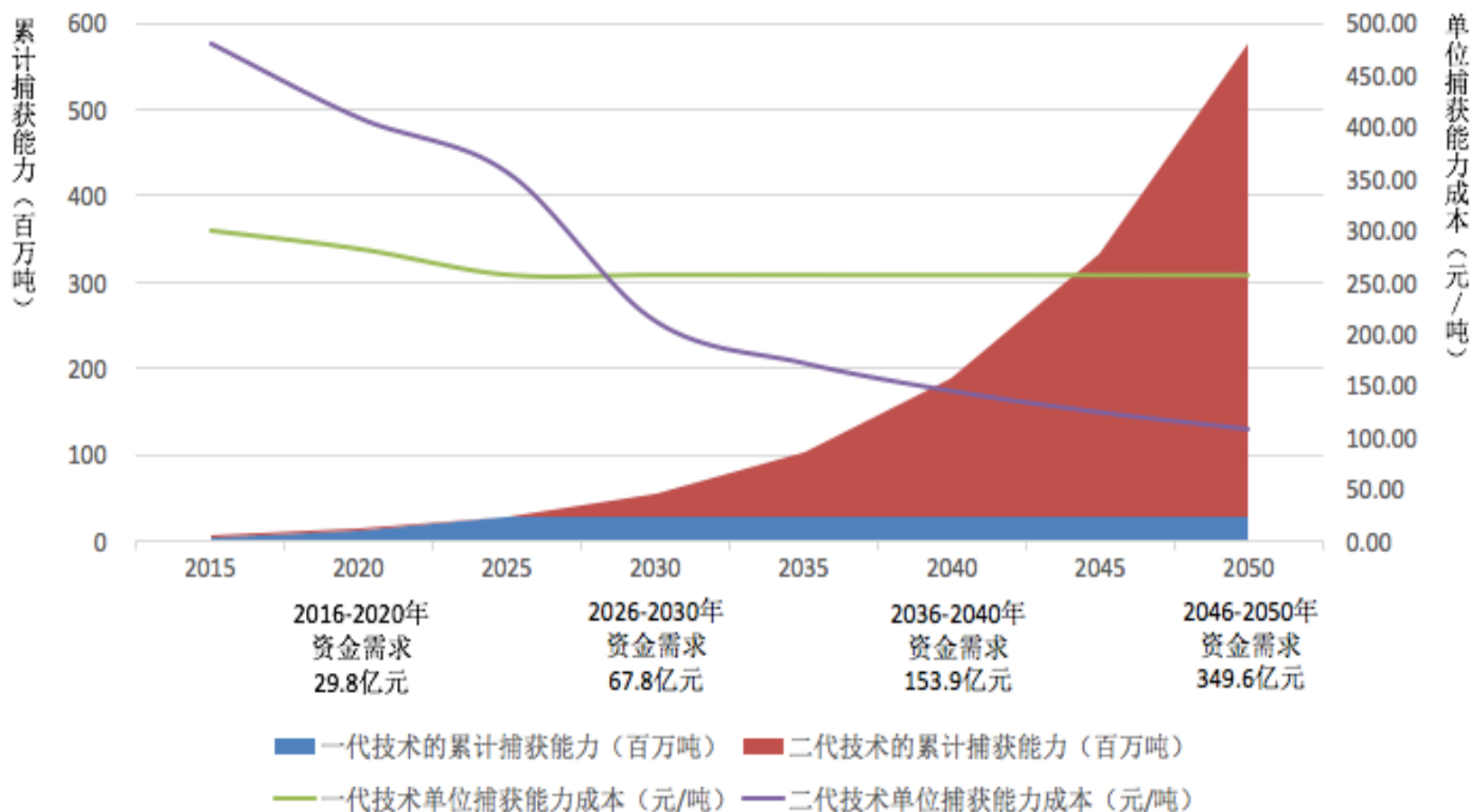
我国CCUS近中期融资路线图



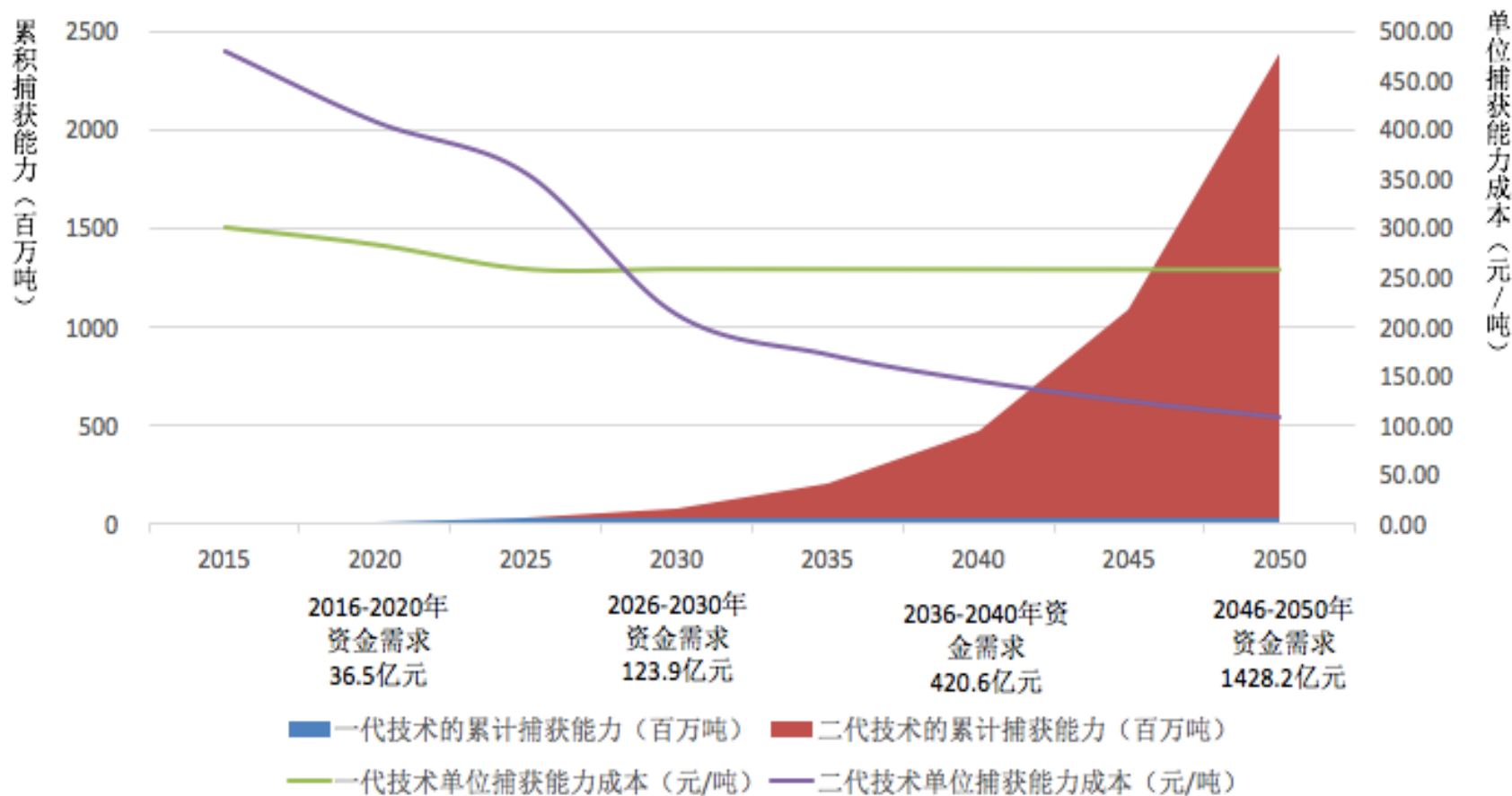
从研发投入上看，要保证2030年时二代技术成本低于一代技术（总资金上限高于1000亿元），在2030年之前研发投入所占比例在6.4%~27.3%之间，2030年之前二代技术的研发资金投入量约为8~60亿元人民币

如果要实现亚行的发展目标，在3000亿元人民币的资金安排下，2030年之前研发投入所占比例为24.2%，也就是2030年之前需要安排60亿元的资金用作二代技术的研发

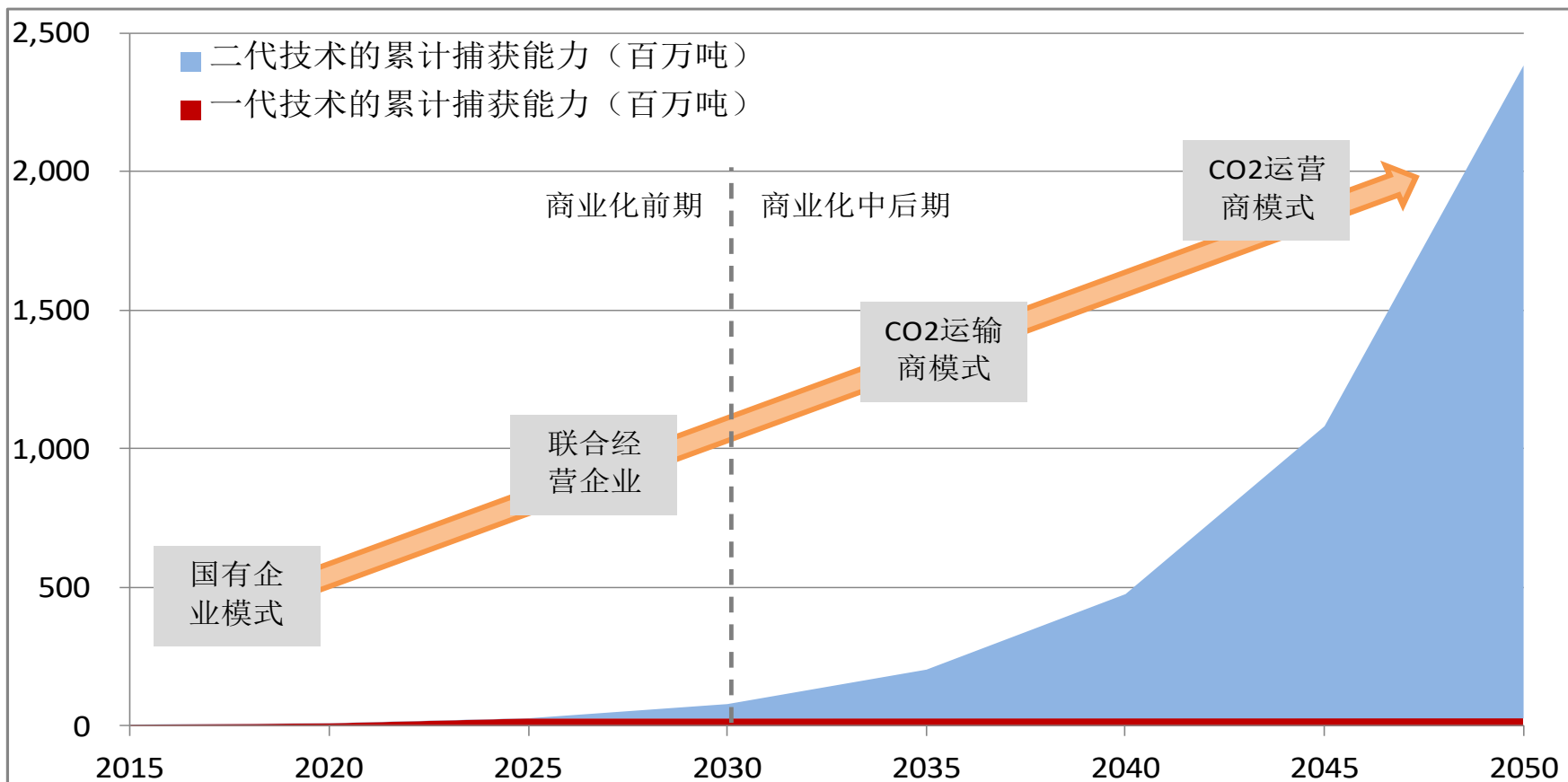
使得CCUS第二代技术可以在2040年有条件实现大规模商业化运营（根据CSLF的定义，二代技术比一代技术成本低30%），2020-2050年整体资金投入水平需要保持在1000亿元以上；



实现亚行路线图给出的发展目标（即到2050年，捕获能力需要达到约2400百万吨/年），CCUS整体资金需求不得低于3000亿元



商业模式与融资路线图



早期CCUS技术成本较高，二代技术研发示范投入较大，国企模式实现技术的研发和示范。

由国内大型能源企业在二代技术示范阶段采用，促进大型能源企业在CCUS技术发展方面的合作，以更好地推动二代技术的发展。

运输商模式交易成本相对较低，在二代技术商业化初期采用，并在一定程度上满足‘源汇匹配’需求。

运营商模式在CCUS技术较为成熟时采用，以解决不同捕获源与封存地大规模长距离的‘源汇匹配’问题。促进CCUS技术大规模成熟化发展。

谢谢!