



新疆二氧化碳捕集、利用与封存（CCUS）技术路线图初步研究

preliminary study of Xinjiang Carbon dioxide capture, utilization and storage (CCUS) Technology Roadmap

Alex Shi

师 庆 三

新疆大学地质与矿业工程学院

Geological and Mining Engineering Institute , Xinjiang University

目录

1

本课题的主要研究内容

2

摘要

3

国内外CCUS发展现状现状及前景

4

新疆CCUS发展前景分析

5

新疆发展CCUS政策法规建议

6

新疆发展CCUS技术路线图

7

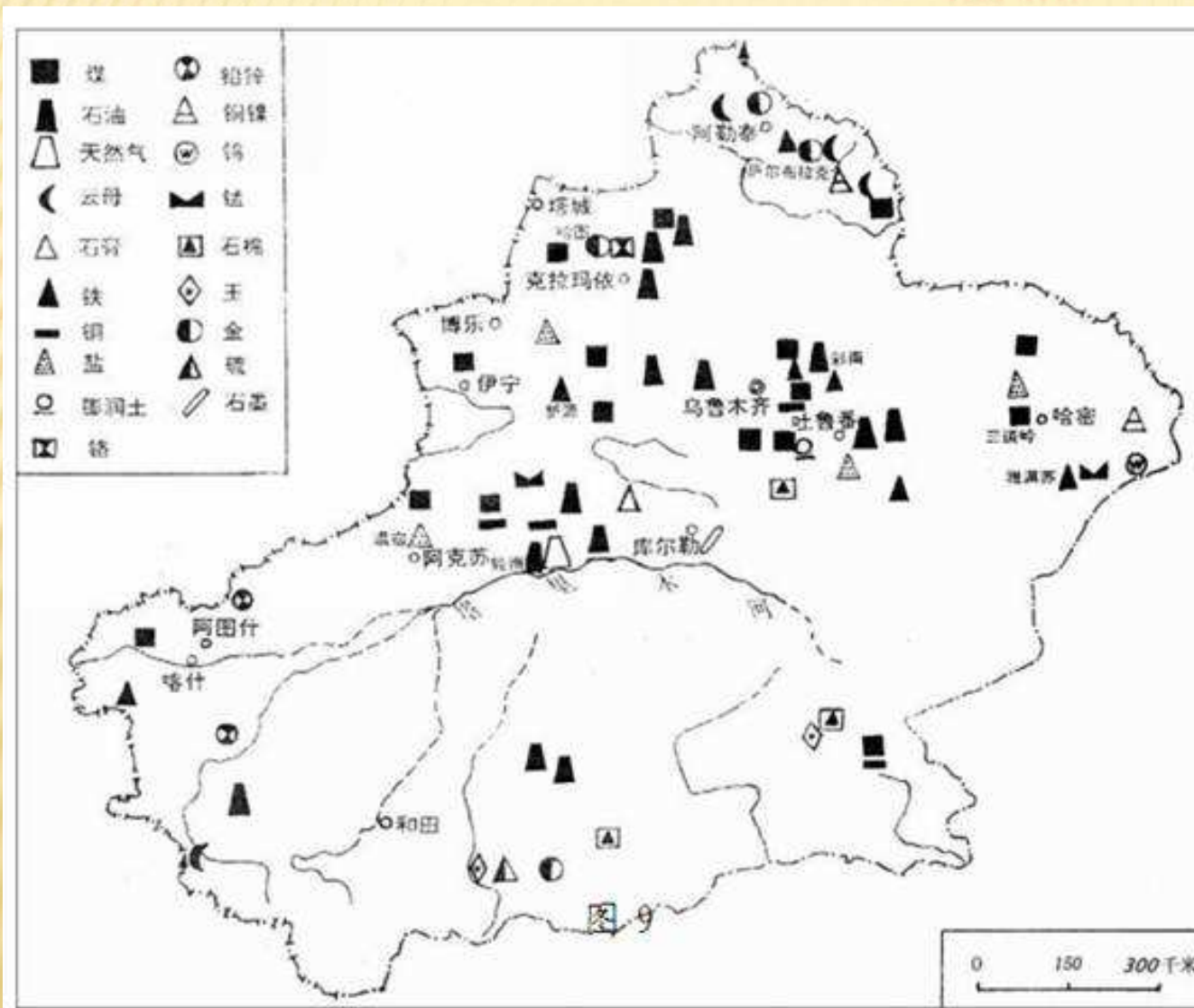
总结与展望

一、本课题主要研究内容

本项目的研究内容主要包括以下方面：

- ✘ 新疆地区的**碳源**区域分布以及产能调查；
- ✘ 新疆地区的**碳汇**区域调查（构造尺度）；
- ✘ 新疆地区的碳源和碳汇的**源汇匹配**研究；
- ✘ 新疆地区的**CCUS政策建议**。

二、摘要

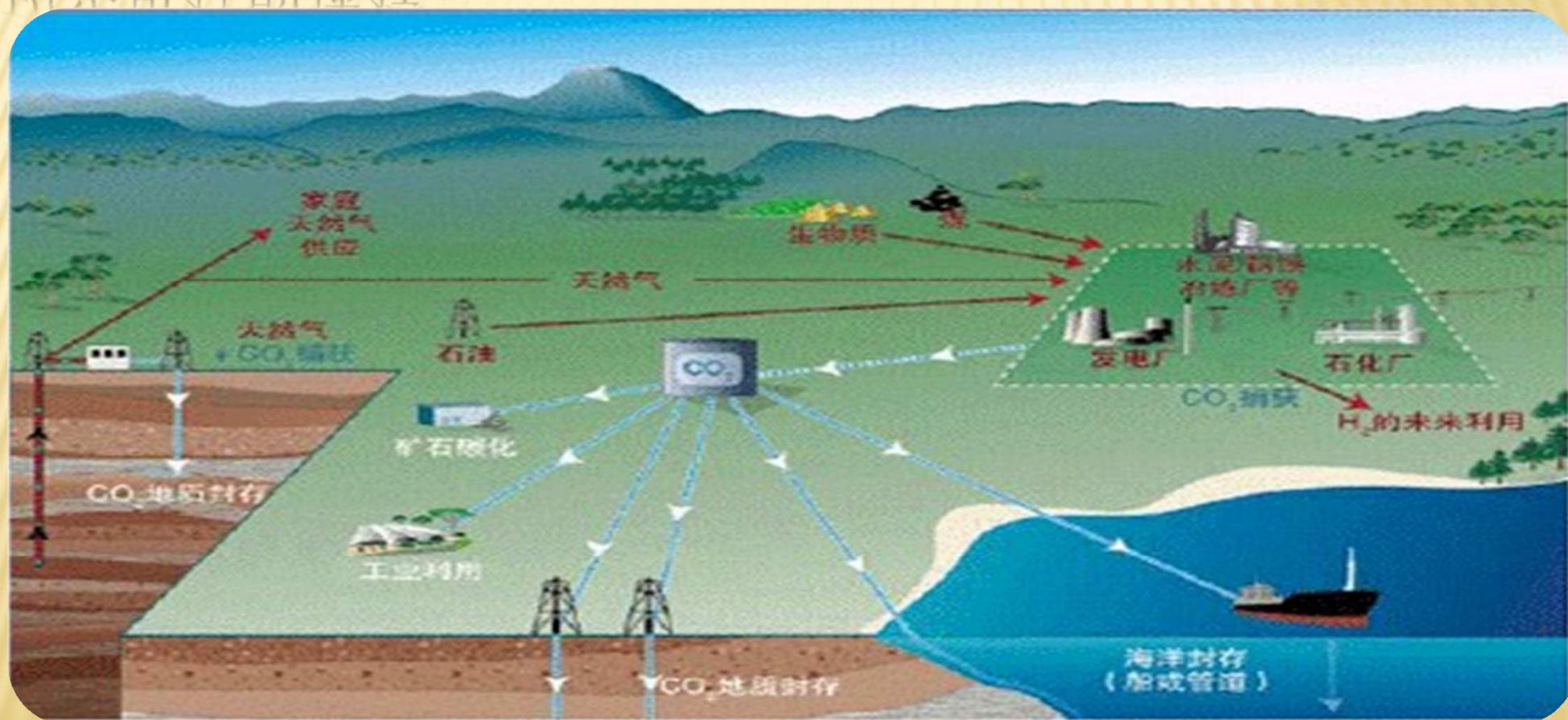


新疆地处我国西北边陲，能源富集，**煤炭**、**石油**、**天然气**预测资源量分别为 $2.19 \times 10^{12}\text{T}$ 、 $2.09 \times 10^{10}\text{T}$ 和 $1.10 \times 10^{13}\text{M}^3$ 占全国陆上资源量的 **40%**、**30%** 和 **34%**，已经成为我国重要的战略能源接替区和陆上能源大通道。



新疆是一个以高碳能源为主的资源依赖型地区，能源消耗量大，人均碳排放量高。随着经济的增长、工业化的加快、人口的不断增加，能源消费和二氧化碳排放量也将会持续增长。

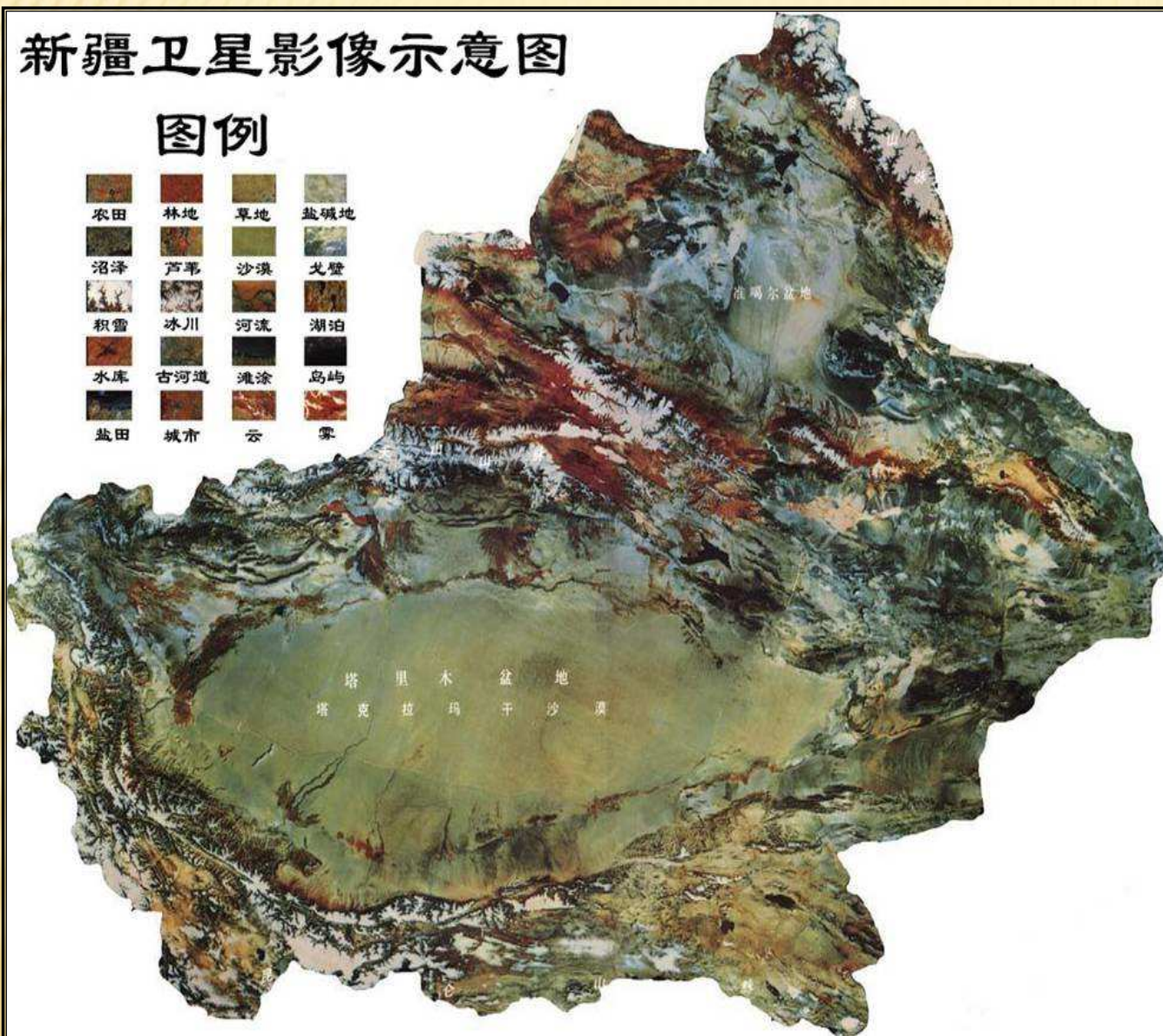
CCUS技术的出现为新疆解决环境污染问题提供了一条切实可行的途径。



新疆卫星影像示意图

图例

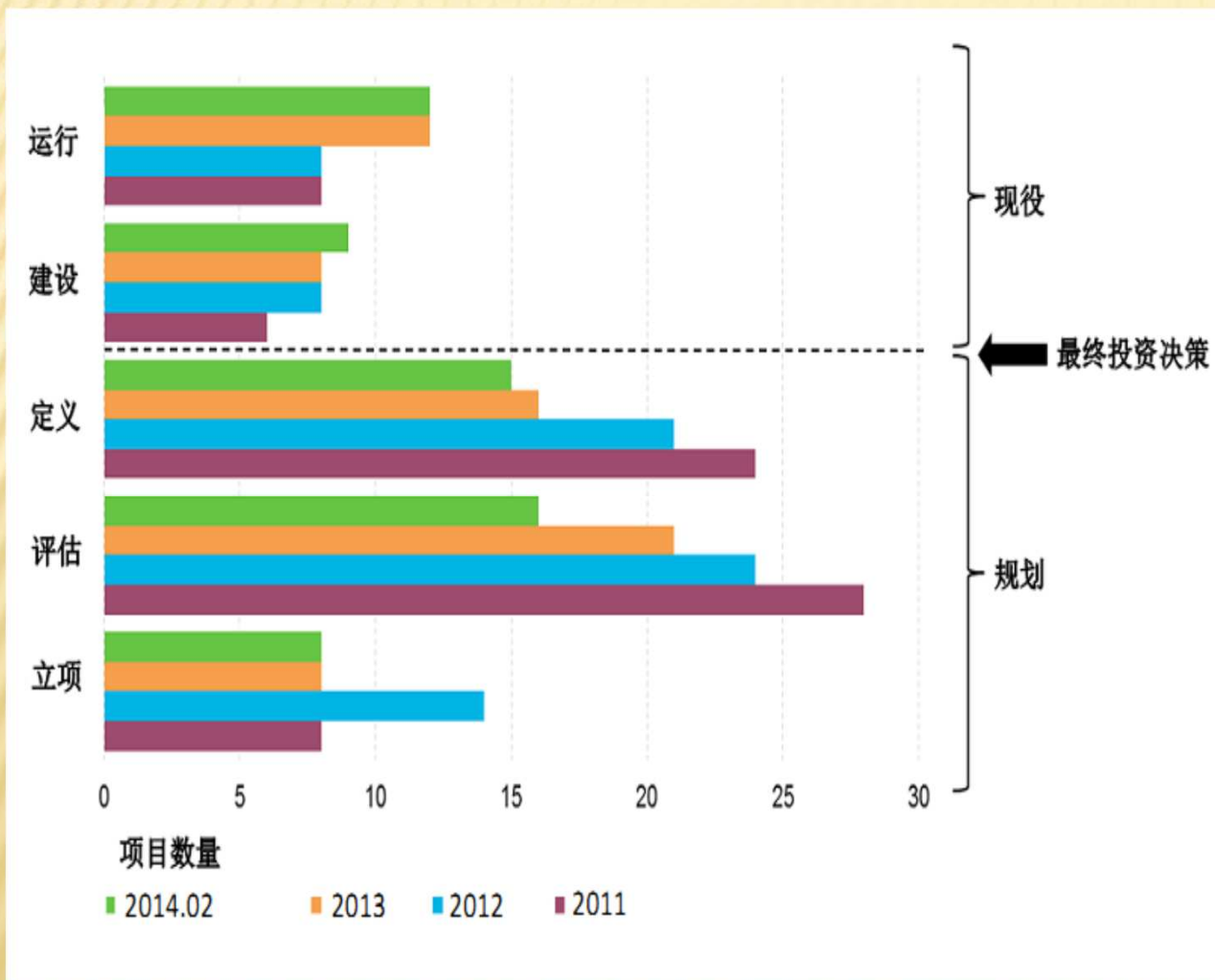
农田	林地	草地	盐碱地
沼泽	芦苇	沙漠	戈壁
积雪	冰川	河流	湖泊
水库	古河道	滩涂	岛屿
盐田	城市	云	雾



新疆地区幅员辽阔，地区内拥有全国最大的塔里木盆地，盆地面积有**56万平方公里**；还拥有准噶尔盆地，盆地面积约**13万平方公里**；吐哈盆地，盆地面积约**5.5万平方公里**；以及其它一些中小型盆地。新疆地区荒漠化地区较多，人口较少，封存风险较小，**CO₂**封存潜力巨大。

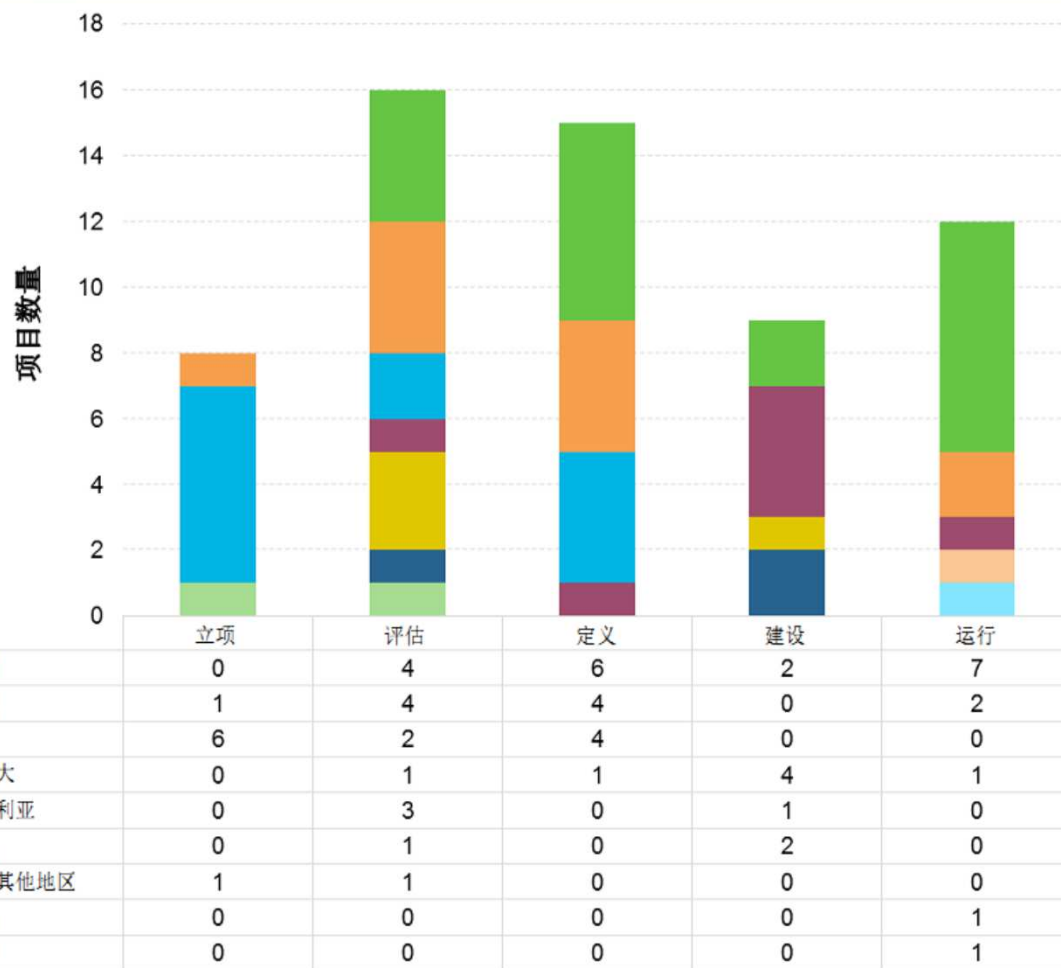
三、国内外CCUS现状及前景

1、国外CCUS现状



截至2014年2月，全球有12个项目处于运行阶段，9个项目处于建设阶段，其他39个项目处于发展规划的不同阶段，其中6个项目将在2014年做出最终投资决策。自2011年以来，处于运行或在建的21个项目增加了50%，大大增加了CCUS技术大规模应用的态势。

按资产生命周期和年份区分的大型一体化CCUS项目



全球总共有21个“现役的”大型CCUS项目（处于运行和建设阶段的项目），每年捕集的CO₂总量大约为4000万吨。目前，全球有12个大型项目在市场上运行，其中有一个项目在2014年上半年开始运行，另一个预期在下半年开始运行。即将运行的这两个CCUS项目均位于北美。

至2014年2月按资产生命周期和地区/国家区分的大型一体化CCUS项目

年份	地区	类型	项目数量
2011	欧洲	EOR	0
		非 EOR	2 (天然气加工)
	北美	EOR	10 (4 天然气加工, 2 发电, 2 其它行业, 2 钢铁生产)
		非 EOR	1 (钢铁生产)
	世界其他地区	EOR	0
		非 EOR	2 (1 天然气加工, 1 发电)
2014.02	欧洲	EOR	0
		非 EOR	3 (2 天然气加工, 1 发电)
	北美	EOR	15 (5 天然气加工, 5 发电, 3 其它行业, 2 钢铁生产)
		非 EOR	2 (2 钢铁生产)
	世界其他地区	EOR	4 (2 天然气加工, 1 发电, 1 钢铁生产)
		非 EOR	2 (2 天然气加工)

■ 运行 ■ 建设 ■ 可能在 2014 年作出最终投资决策

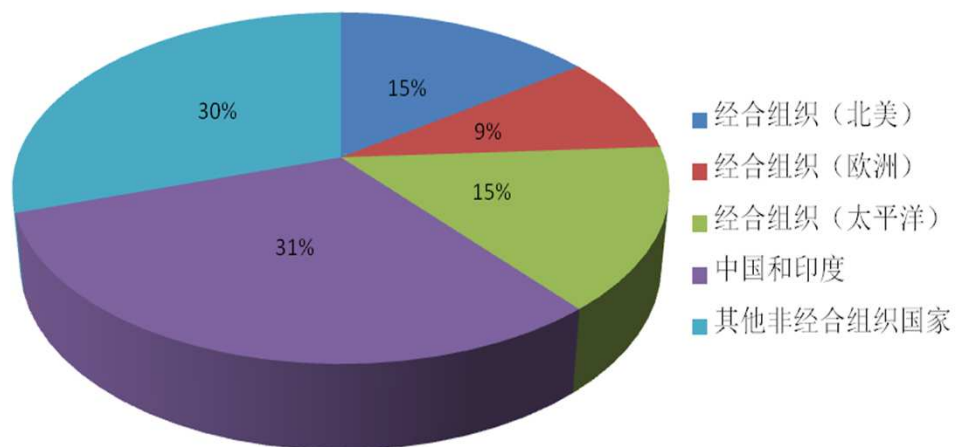
🔥 天然气加工 ⚡ 发电 ● 其它行业 ⚙️ 钢铁生产

2014年作出最终投资决策的**27个**项目中的**20个 (74%)** 利用或打算利用捕集的CO₂用于**提高石油采收率 (CO₂-EOR)** 的目的。

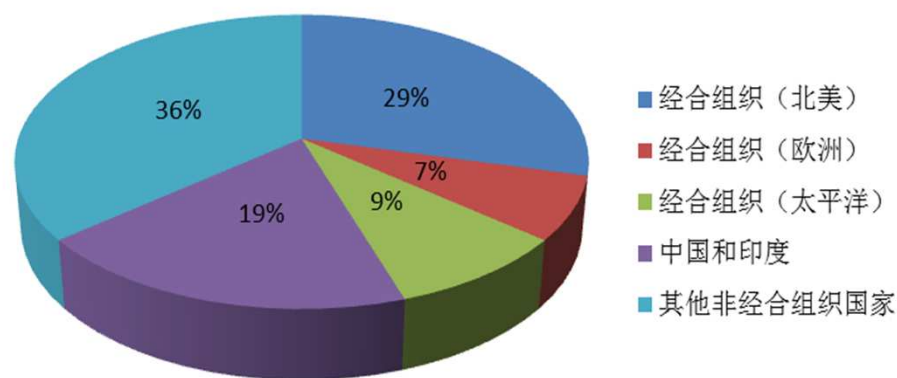
自**2011**年以来按封存类型区分的处于“运行”和“建设”阶段的大型**CCUS**项目

2、国外CCUS发展前景

2010-2050年全球CCUS项目部署情景预测
(发电行业2050年捕集5.5Gt二氧化碳)



2010-2050年全球CCS项目部署情景预测
(工业和上游部门：2050年捕集4.6Gt二氧化碳)

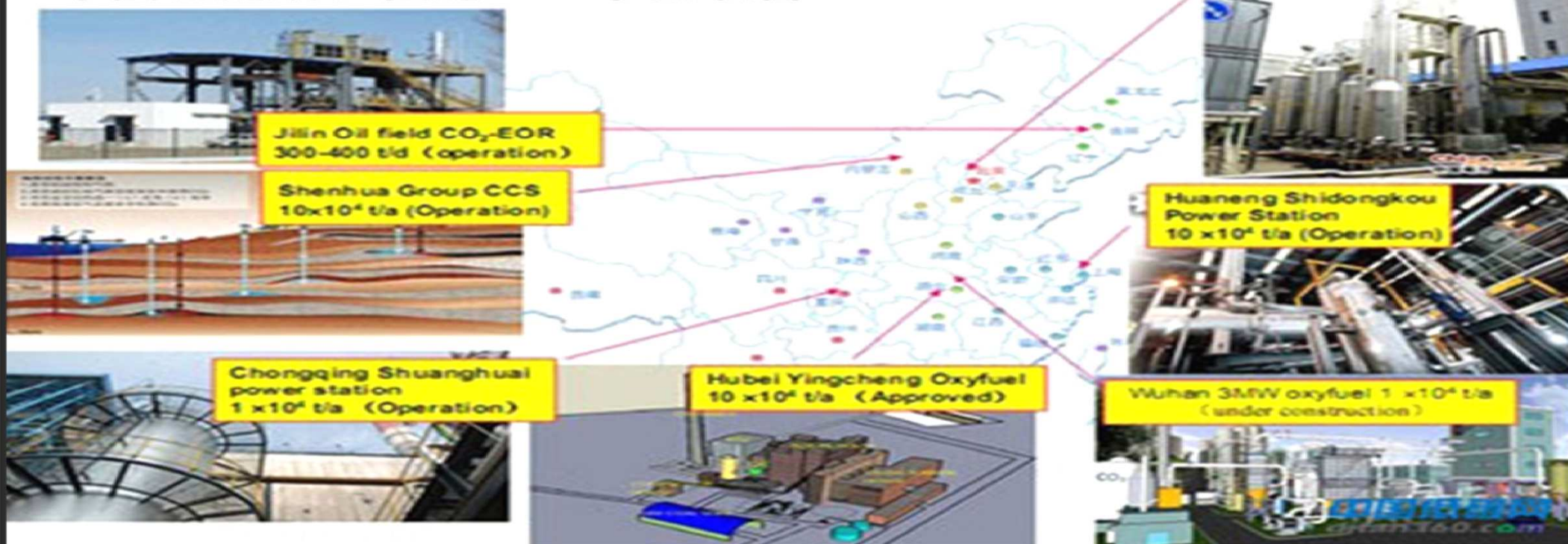


根据国际能源署（IEA，2009）的预测，世界范围内以化石能源为主的状态将一直延续，为了以最有效益的方法实现2050年温室气体排放减半的目标，需要采用多种技术，其中CCUS技术的贡献在2050年可达17%，累计贡献为14%。目前，一些积极倡导碳减排的国家已经将CCUS技术作为重要碳减排技术，全球规划、在建和已投产的大型CCUS项目已达72个（GCCUSI，2013）。总的来说全球CCUS技术的发展前景还是非常乐观的。

3、国内CCUS现状及前景

目前记录的**中国12个**大型CCUS项目，是**2011年项目数量（6个）**的两倍。额外的大型项目正在确认中，因此短期内将来的项目数量有可能增加。

CCS Demonstration Projects in China 中国已建成和在建CCS示范项目



中国通过推动项目的生命周期阶段继续引领亚太地区取得稳步进展，其中

1、延长集成碳捕集与封存示范项目的关键捕集部分已经得到批准，总共预计从位于陕西省榆林市的煤化工设备每年捕集超过40万吨CO₂。其他捕集部分正在发展规划中，按管道基础设施建设的现状，整体项目状态处于从“评估”发展到“立项”的阶段。

2、中国石化齐鲁石化CCUS项目，预计从山东省淄博市的煤气化设备每年捕集大约50万吨CO₂，该项目已经完成了前端工程设计（FEED）研究，目前正在等待中石化继续建设的批准。

这两个（先进的）CCUS项目将利用捕集的CO₂进行EOR作业。对于延长煤化工项目，主要封存地点位于榆林市西南方的靖边油田、吴起油田和定边油田。中石化石油化工项目的二氧化碳将被注入山东省东营市的胜利油田。

四、新疆CCUS发展前景分析

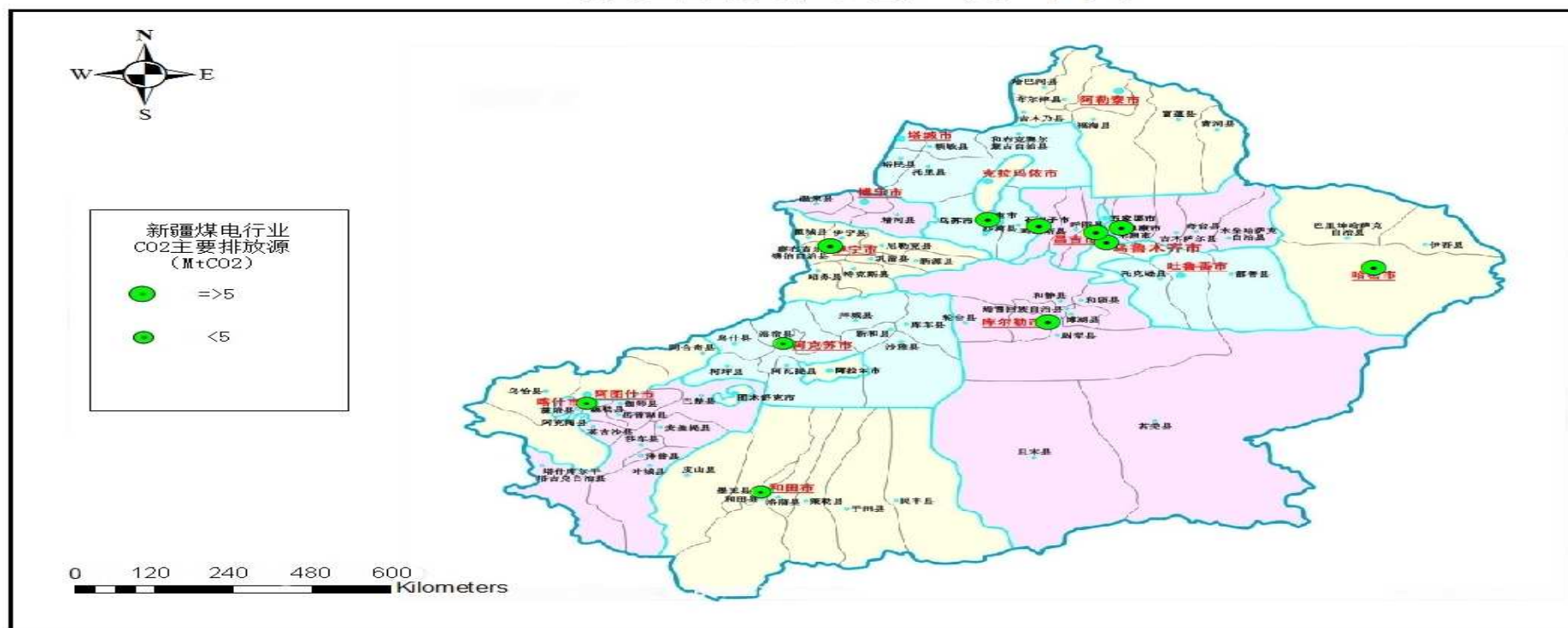
1、新疆CO₂排放现状及分布

1.1、燃煤电厂

煤电基地	总资源量 (亿吨)	查明储量 (亿吨)	规划产能 (万吨/年)	装机容量 (万千瓦)	备注
吐哈煤电基地	36381.1	373.24	7000	1000	其中360万千瓦通过750kV输入西北电网（哈密-永登），640万千瓦通过800特高压直流输到华中地区（乌鲁木齐-武汉）
库拜煤电基地	333.3	21.82	1000		
准东煤电基地	3747	1640	1300	462	鲁能330万千瓦在建，华电132万千瓦在建。编制可研：鲁能120万千瓦，福建恒联264万千瓦，华能27万千瓦，国电60万千瓦，明基能源60万千瓦，特变电工120万千瓦，新疆国华60万千瓦。
伊犁煤电基地	3009	217	5000		

火力发电量占发电总量逐年增加，在火力发电机组中，**大部分是燃煤机组**。未来新疆地区电力需求仍然快速增长，而且新疆地区以煤炭为主的电力供应的电力供应格局短期内不会发生改变，**电力行业仍然是新疆地区CO₂排放的主要行业**，因此新疆地区未来需要大规模实施CCUS来减排CO₂，燃煤电厂将会是主要的捕集重点。

新疆主要火电厂分布图



1.2、煤化工

公司	投资额（亿）	产能 （亿立方米）	地点	备注
中国神华	4,000.00	NA	新疆、内蒙、宁夏、 陕西	新疆神华集团规定到 2020 年形成油品和化学品生产能利 3000 万吨左右，转化煤炭量超过 1 亿吨，在内蒙古、宁夏、新疆、陕西、山西等地建设七大煤化工基地，主要发展没直接液化制油、煤间接液化制油、煤制甲醇及经甲醇制烯烃和煤制天然气等。
华能	350.00	40.00	新疆准噶尔盆地	该项目一期投资 260 亿元，年产 40 一立方米天然气， 2010 年 6 月开工， 2013 年建成投产。
中国电力	280.00	60.00	新疆霍城县	2009 年 11 月开工。
内蒙古庆华集团	277.00	55.00	新疆伊宁县	2009 年七月开工。
新汶矿业集团	500.00	20.00	新疆伊宁市	2009 年 7 月于新疆伊宁市开始一期建设，项目预计在 2012 年投产。
国电集团	1,000.00	40.00	新疆	2010 年 6 月开工。
新疆广汇	200.00	40.00	阿尔泰地区	2010 年 4 月开工。
潞安集团	NA	40.00	新疆伊犁	1.“十一五”期间在伊犁建成合成氨 30 万吨/年、尿素 52 万吨/年的化肥项目，目前已经开工建设。该项目总投资约 30 亿元人民币；2.该项目在“十一五”时期建设产能将达 300 万吨/年，“十二五”期末产量达 600 万吨/年；“十三五”期末产量达 1000 万吨/年；3.在察布查尔县规划建设总装机容量为 4x300MW 的热电厂。分两期建设，一期工程建设 2x300MW ，二期工程建设 2x300MW ，到 2015 年和 2020 年分期建成。该工程静态投资 27.9 亿元。目前已完成投资近 800 万元。4.依托伊犁当地的煤炭及水资源优势，建成年产 40 亿立方米/年的煤制天然气项目，项目批复已于 2009 年 8 月前完成。目前今年项目的手续办理等前期工作正在进行。
兖矿集团	50.00	NA	新疆	前期启动项目为“ 60 万吨醇氨联产项目”（即 30 万吨合成氨， 30 万吨甲醇， 52 万吨尿素），总投资 43 亿元，目前已基本完成设备订货、现场临时设施和地下管网的建设，预计 2012 年上半年投产。
河南煤化工集团	200.00	40.00	新疆	投资额含 1500 万吨煤矿项目。
龙煤集团	600.00	50.00	新疆	2009 年 8 月 28 日开工。

新疆的煤化工行业也是CO₂排放的主要来源之一，现如今越来越多的煤化工企业看好新疆的煤化工发展前途，但同时也加大了新疆CO₂的排放，造成了污染，新疆的煤化工厂主要集中在乌鲁木齐、昌吉、石河子、伊犁等天山北坡经济带上，相对来说比较集中，有利于CO₂的收集。

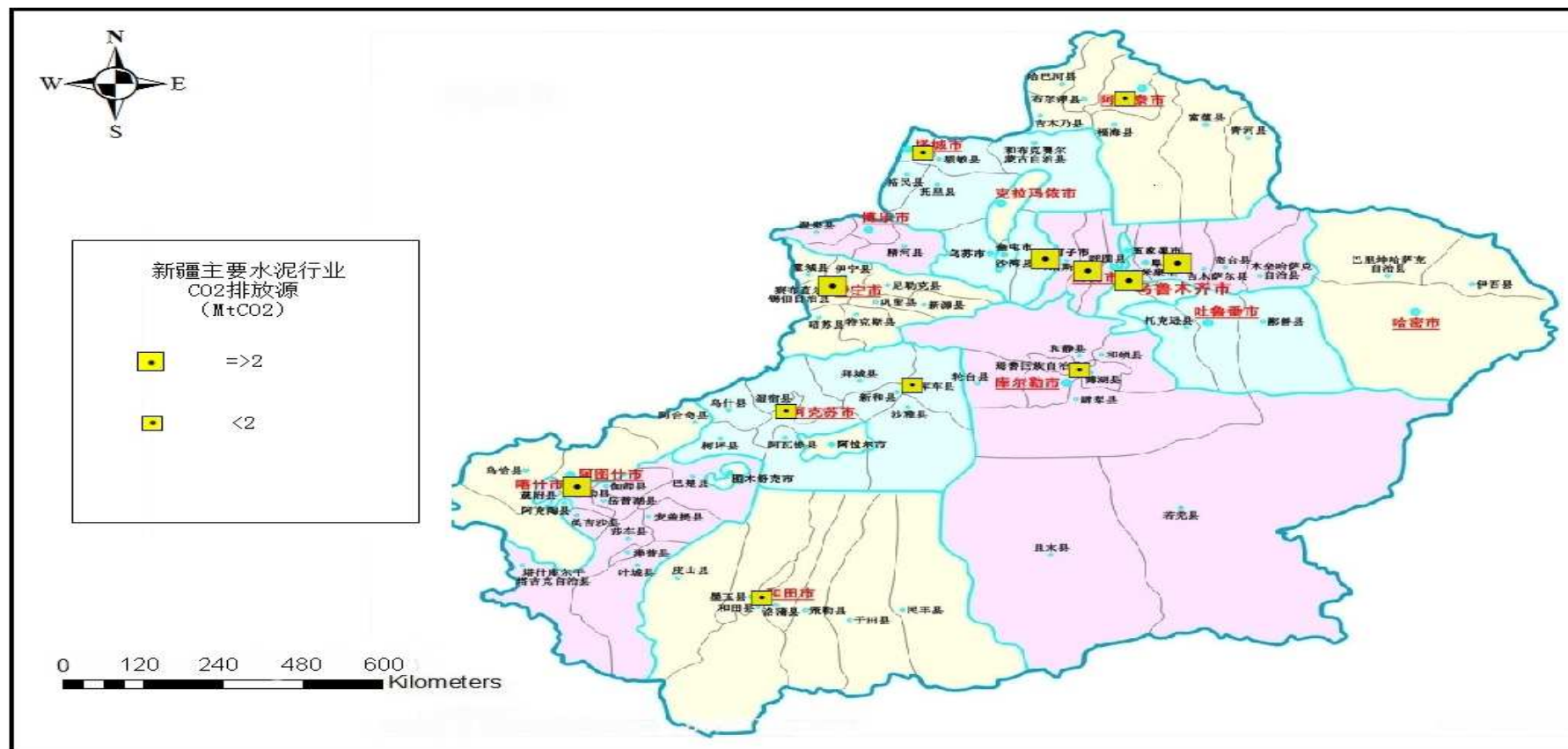
新疆主要煤化工工厂分布图



1.3、水泥厂

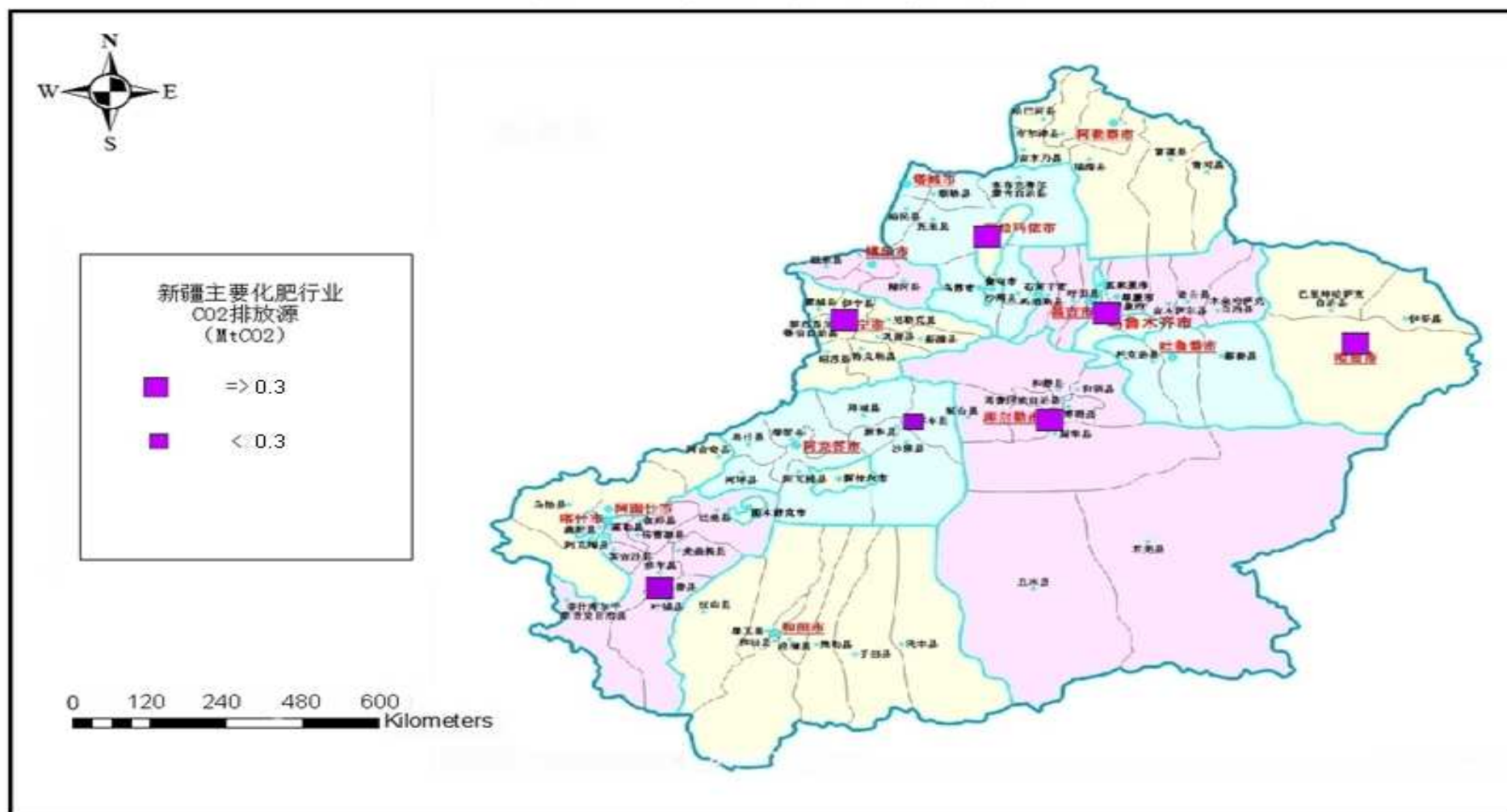
新疆地区水泥厂丰富，向大气中排放的CO₂量大，昌吉地区水泥厂较多，排放CO₂量较大，而且交通便利，利于实施CCUS试点项目。

新疆主要水泥厂分布图



1.4、化肥厂

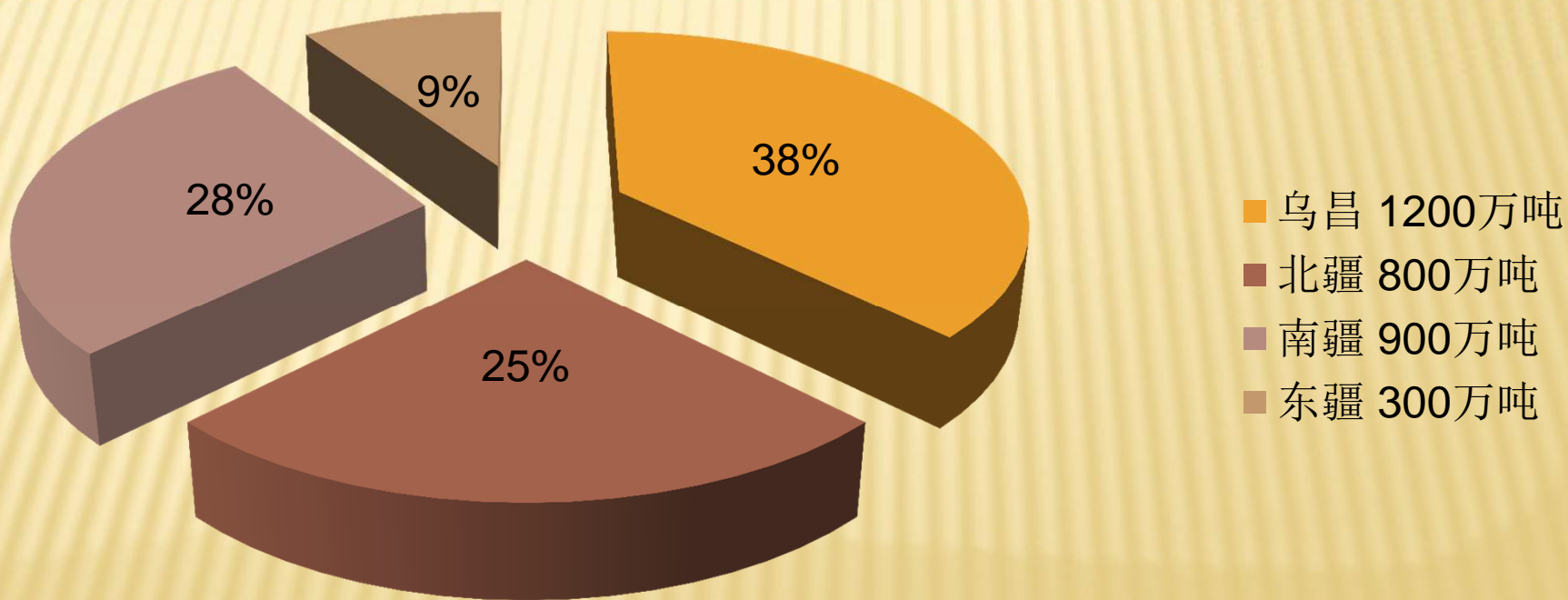
新疆主要化肥厂分布图



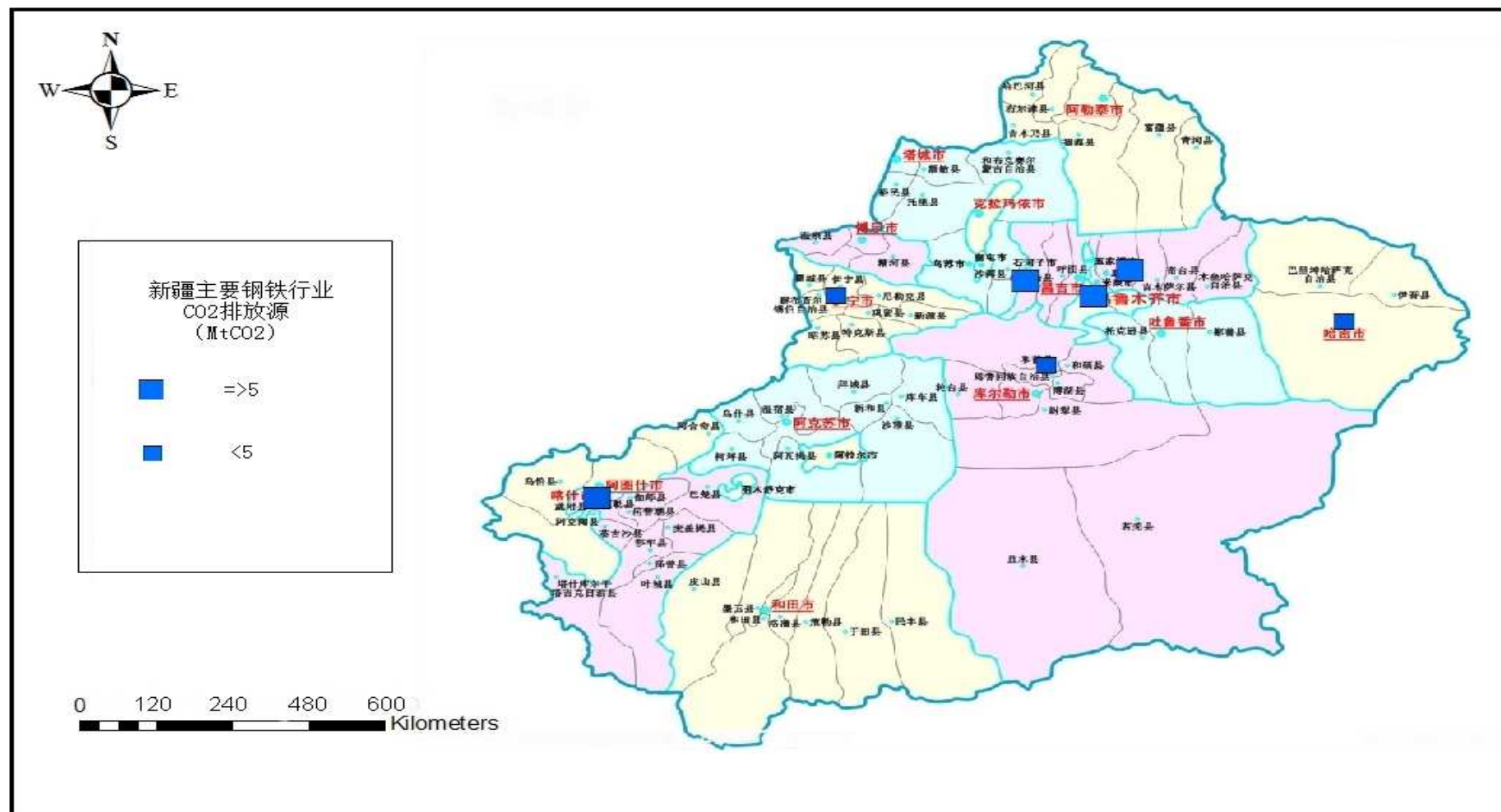
1.5、钢铁厂

2013年，随着援新疆和中央对新疆实施的差别化政策及产业向西部转移政策的实施，新疆有喀什山钢、八钢的拜城、昆仑钢铁、昆玉钢铁、大安钢铁、闽航钢铁、航峰的钢铁、金昊钢铁等大大小小近10个钢铁项目建成投产。

新疆钢铁产量分布图



新疆主要钢铁厂分布图



1.6、新疆CO₂主要排放源分析

1.6.1、折算体系的建立

序号	捕集行业	折算CO ₂ 标准
1	燃煤电厂	发电1kWh排放CO ₂ 为0.847 kg，根据燃煤电厂的装机容量按一年发电量8000小时推算，按装机容量的50%计算。
2	水泥行业	生产一吨水泥可释放出CO ₂ 为653.38kg。
3	钢铁行业	生产一吨钢可释放出CO ₂ 为2.2t左右。
4	化肥行业	生产一吨化肥可释放出CO ₂ 为0.5t左右。

序号

捕集行业

折算CO₂标准

煤制尿素：每吨排放CO₂为4.04t。

煤制二甲醚：每吨排放CO₂为4.44t。

煤制天然气：每吨排放CO₂为2.9t。

5

煤化工行业

煤制油：每吨排放CO₂为7t。

煤制烯烃：每吨排放CO₂为6t。

煤制乙二醇：每吨排放CO₂为5.6t。

序号	捕集行业	折算CO ₂ 标准
----	------	----------------------

每吨原油排放CO₂为2.1492 t。

每吨汽油排放CO₂为2.0525 t。

每吨煤油排放CO₂为2.1062 t。

每吨柴油排放CO₂为2.1707 t。

6	石油化工行业	
---	--------	--

每吨燃料油排放CO₂为2.2674 t。

每吨液化石油气排放CO₂为1.8483 t。

每吨炼厂干气排放CO₂为1.6871 t。

每吨其他石油制品排放CO₂为2.1492 t。

每吨天然气排放CO₂为1.6442 t。

序号

捕集行业

折算CO₂标准

7

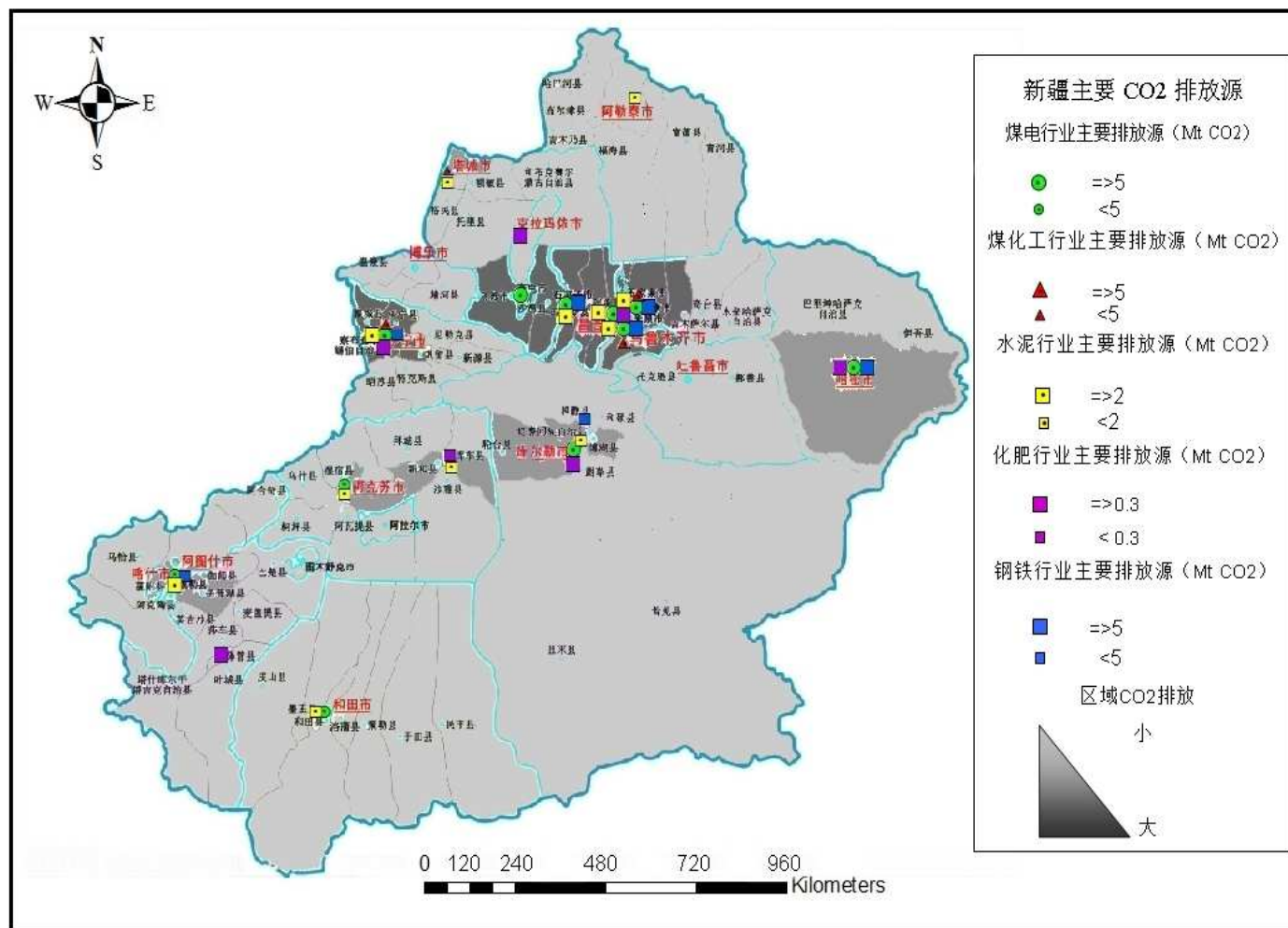
焦化行业

每吨焦炭排放CO₂为3.1379t。

每吨其他焦化产品排放CO₂为2.3641t。

1.6.2、新疆CO₂排放源分布

新疆CO₂主要排放源分布图



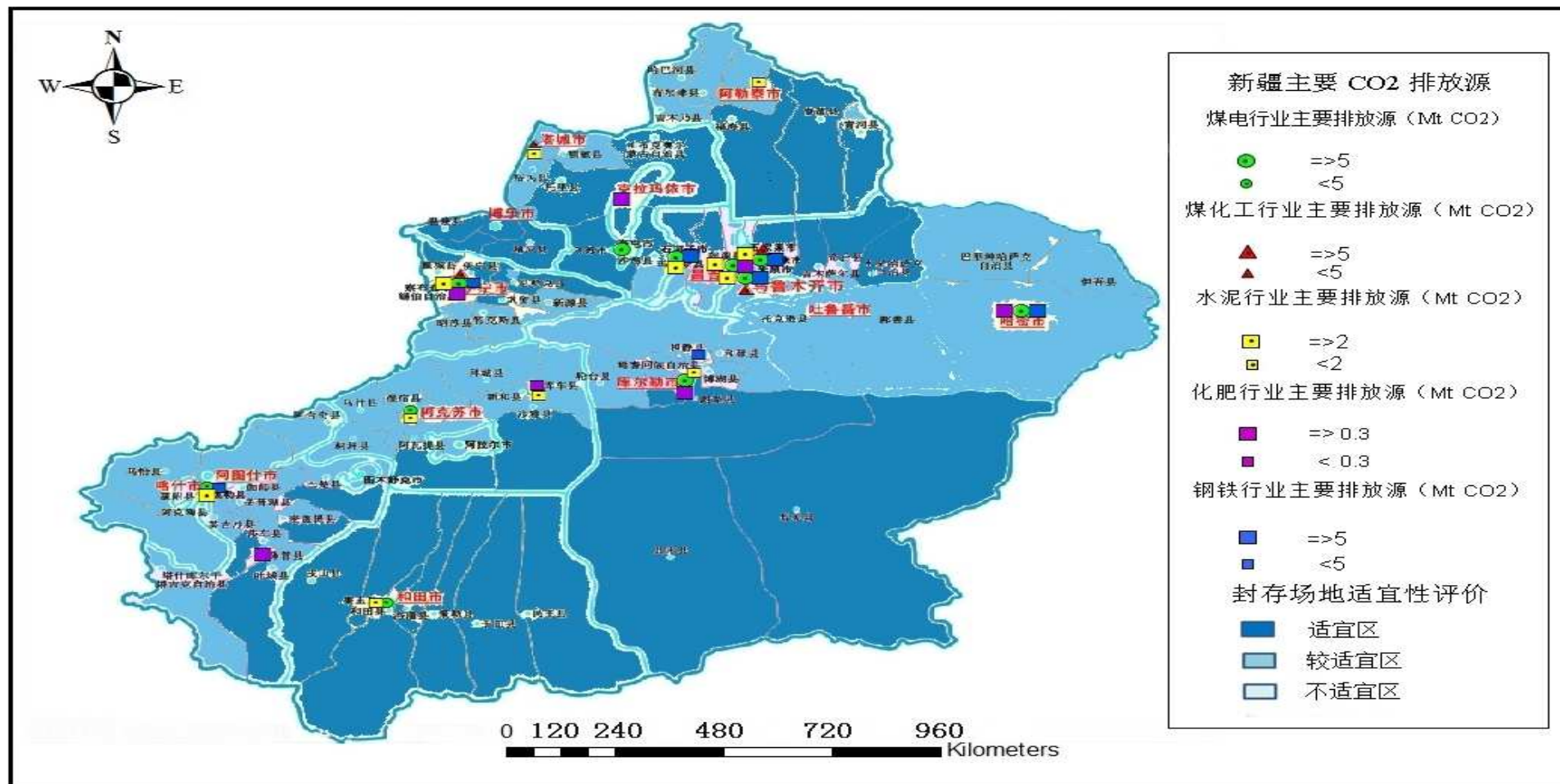
新疆地区的煤化工工厂、燃煤电厂、水泥厂、化肥厂、炼钢厂比较多，产量大，分布较为集中，燃烧的原料以煤炭资源为主，同时排放大量的CO₂气体。

1.6.3新疆CO₂排放源捕集技术需求情况



2、新疆CO₂封存场地及分布

新疆CO₂主要排放源与封存场地分布图



2.1、储存量的计算体系

①深部咸水层

优质盖层的咸水层是CO₂地质封存的良好场所。封存潜力的计算我们采用的方法是Ecofys和Tno-Ting在2002年的报告中提出的，假设深盐水层的1%体积为构造地层圈闭，且仅仅有2%的构造地层圈闭可作为二氧化碳的埋存。使用如下公式计算：

$$M_{co2ts} = \rho_{co2s} \times A \times H \times 0.01 \times 0.02 \times \varphi / 10^6$$

式中： M_{co2ts} --- 二氧化碳在深部盐水层中理论埋存量，10⁶t；

ρ_{co2s} --- 在地面条件下二氧化碳的密度，kg/m³，通常为1.977kg/m³；

A---深部盐水层所在盆地的面积，m²；

H---深部盐水层的平均厚度，m；取沉积层厚度的0.1倍；

φ ---深部盐水层岩石的平均孔隙度，%。根据相关资料取经验值0.2。

②提高采收率的油藏

油藏本身长时间封闭油气，具有良好的封闭性，因此注入CO₂后，泄露的风险最小。且已具备生产井和注入井，投资也较小。美国经验表明，注入的二氧化碳大约有40%的量被采出来。Jerry Shaw等人指出，在利用二

氧化碳提高石油采收率时二氧化碳在油藏中的理论埋存量可以应用下面两个方程进行计算：

$$M_{co2to} = \rho_{co2r} \times (E_{RBT} \times N \times B_o)$$

在二氧化碳突破之前：
$$M_{co2to} = \rho_{co2r} \times [(E_{RBT} + 0.6(E_{RHCPV} - E_{RBT}))N \times B_o]$$

在二氧化碳突破之后：

或由：

ρ_{co2r} --- 二氧化碳在油藏中理论埋存量，10⁶t；
--- 二氧化碳在油藏条件下的密度，kg/m³；

N --- 原油储量，10⁹m³；

B₀ --- 原油体积系数，m³/m³；

E_{RBT} --- 二氧化碳突破之前原油的采收率，%；

E_{RHCPV} --- 注入某一烃类孔隙体积（HCPV）二氧化碳时原油的采收率，%。

③不可开采煤层

在地层中，常常分布着一些不可采的薄煤层、埋藏超过终采线的深部煤层、构造破坏严重的煤层等，这些煤层因为一些技术或经济原因而废弃，是封存 CO_2 的潜在的适宜构造。碳埋存领导人论坛认为在气体已被煤层吸附

的情况下，煤层中的理论埋存量通常计算为：

$$M_{\text{CO}_2\text{tc}} = \rho_{\text{CO}_2\text{s}} \times \text{IGIP}$$

式中： $M_{\text{CO}_2\text{tc}}$ --- 二氧化碳在不能开采煤层中理论埋存量， 10^6t ；
 $\rho_{\text{CO}_2\text{s}}$ --- 二氧化碳在标准条件下的密度， t/m^3 ，通常取 1.977t/m^3 ；
 IGIP --- 煤层中原始气体（甲烷气体）地质储量， 10^6m^3 。

煤层中原始气体（甲烷气体）地质储量（IGIP）由下式计算：

$$IGIP = A \times H \times n_c \times G_c \times (1 - f_a - f_m) / 10^3$$

式中：A---煤层盆地的表面积，km²；

H---煤层的有效厚度，m；

n_c ---煤的密度，t/m³，通常取1.4t/m³；

f_a ---煤中的灰分占煤的质量分数，%；

f_m ---煤中的湿分占煤的质量分数，%；

G_c ---煤层气体含量（吸附量），m³（气）/t（煤）。

煤层气体含量（吸附量） G_c 可以由Langmuir等温吸附公式计算获得：

$$G_c = V_L \times \frac{P}{p + p_L}$$

式中： V_L ---Langmuir体积，即给定温度下煤层的最大气体吸附量，m³/t；

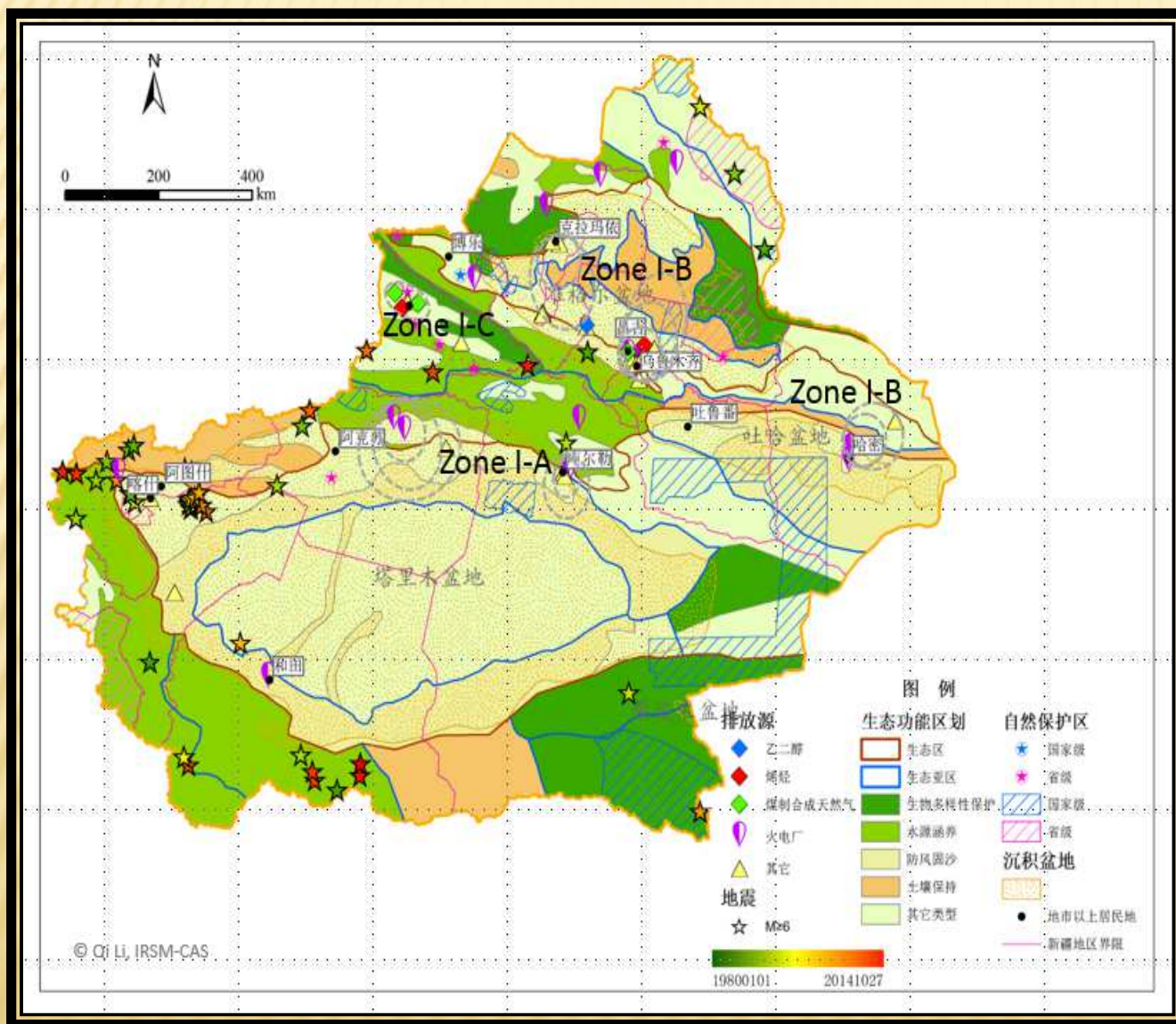
p_L ---Langmuir压力，即最大气体吸附量时的煤层中的压力，MPa；

P---当前煤层中的压力，MPa。

2.2新疆CO₂封存场地分析

新疆有我国最大的内陆盆地，三大盆地咸水层、油藏、气藏和不可开采煤层二氧化碳的地质储存潜力非常可观。二氧化碳地质储存的分布面积广，储层物性较好、自然条件适宜、CO₂排放量大的工业相对集中、油气勘探程度相对较高等优点，有利于开展 CO₂地质封存。尤其是塔里木、准噶尔和吐哈盆地油气资源丰富，油品性质好，易于实现CO₂的混相驱。具备实施CO₂埋存和驱油等一体化发展的有利条件。

3、新疆的源汇匹配评价



根据新疆地区主要大型排放源与可能的封存靶区匹配结果，可以发现，整个新疆可以细化为三个亚区：Zone I-A，Zone I-B和Zone I-C。I-A和I-B适宜二氧化碳地质利用，而I-C相对更适宜二氧化碳地质封存。

五、新疆发展CCUS政策法规建议

目前新疆开展CCUS技术的政策与法规，应从以下几个政策层面考虑：

第一，**利用成熟技术**，实施优势产业部门的CCUS技术集成与示范。

第二，**跨产业部门的技术集成**与工业化CCUS技术试验与示范。

第三，**投融资政策**，包括财税政策等。没有较好的经济政策驱动，这个技术在商业化的道路上还要走很久。

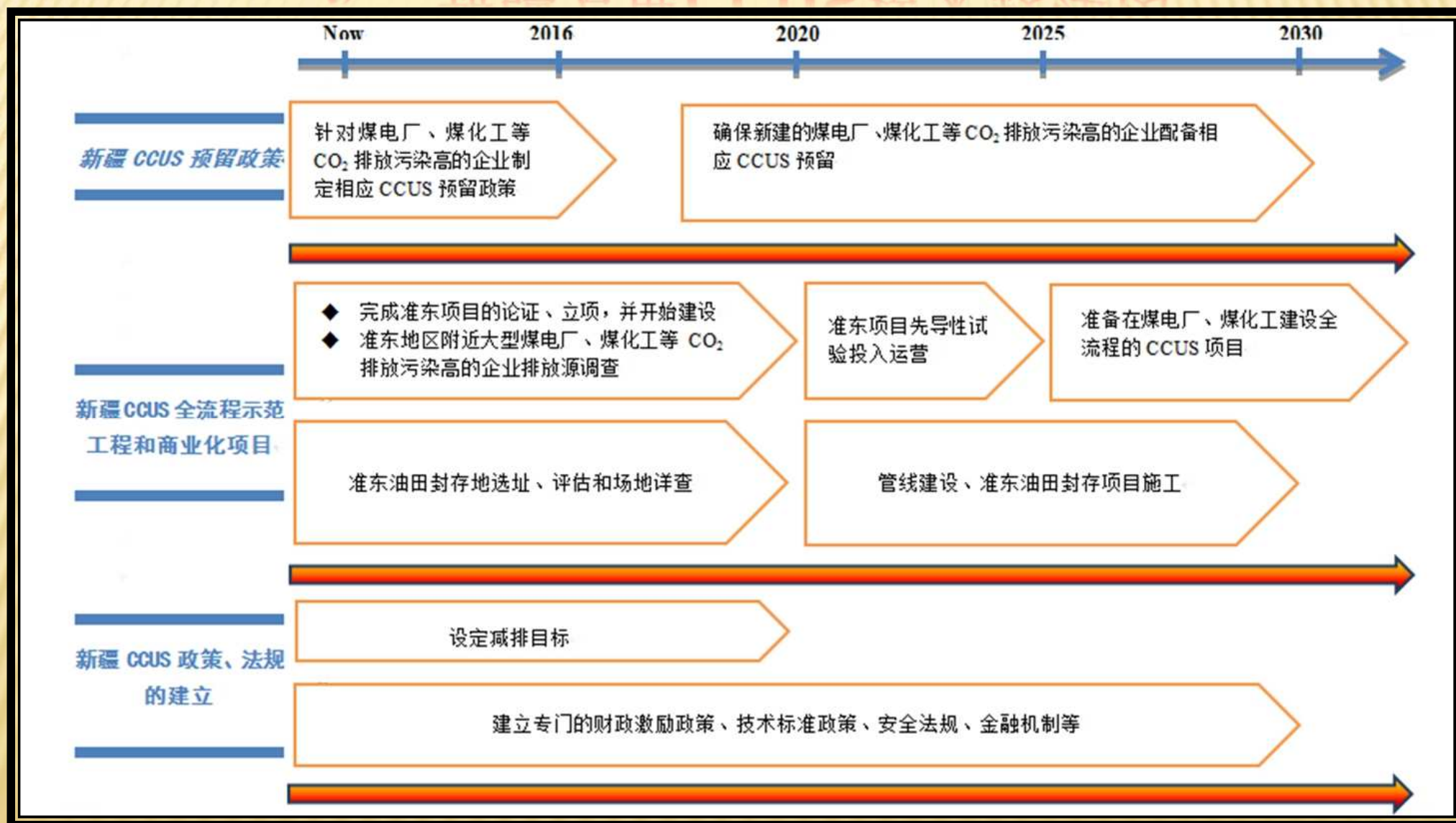
第四，**环境管理**。环境的监测和管理具有重要的社会意义。

第五，**安全管理**。环境与安全怎么界定，也是政策需要解决的问题。

第六，**地下空间的利用许可**。地下空间利用许可需要部门协调，这些不是一个部门能做到的，需要包括环境、安全、地质、国土等部门形成合力，也需要很多技术研究的支持。

第七，**吸引企业参与的政策**。要想使 CCUS 技术尽快推向商业化，企业是核心推动力量。

六、新疆发展CCUS技术路线图



七、总结与展望

新疆是我国实施西部大开发战略的重点区域，中央新疆工作座谈会以来，新疆形成了全面建设、全面开放、全面发展的经济格局，但在经济发展的同时也造成了环境污染的后果。新疆在CCUS技术实施方面具有极大的潜力，碳源、碳汇和运输等条件都适宜新疆实施CCUS技术。

①**新疆煤炭资源**、煤炭行业及其相关产业在新疆的分布相对集中。新疆地区丰富的煤炭资源主要分布于天山北麓，以煤炭资源为主要消耗对象的高污染、高排放企业相对也比较集中，主要在新疆天山南北坡经济带区域，这些区域正在运行、筹备有多个煤化工、燃煤发电、大规模水泥厂、化肥厂等项目副产高纯度的CO₂。

②新疆有我国最大的内陆盆地，其二氧化碳的**地质储存潜力非常可观**。新疆地区三大盆地咸水层、油藏、气藏和不可开采煤层分布面积广，储层物性较好、自然条件适宜、CO₂排放量大的工业相对集中、油气勘探程度相对较高等优点，有利于开展 CO₂地质封存。

- ③新疆实施CCUS技术初期阶段，适宜在天山北坡经济带区域实行CO₂-EOR技术。新疆天山北坡碳源多且多集中在乌昌及伊犁、准东地区，近距离的新疆油田油气资源丰富，油品性质好，有很好的地质圈闭，以及完备的注采设施，易于实现CO₂的混相驱，具备实施CO₂埋存和驱油等一体化发展的有利条件。
- ④政府对CCUS技术的认识和支持在逐年不断地提高并制定适合本地实际情况的法律法规。
- ⑤虽然现阶段还面临这一些公众接受程度不高、国际合作基础尚浅、资金、技术方面的困难，但是CCUS技术的出现为新疆二氧化碳的减排提供了一条切实可行的道路。

谢谢各位专家批评、指正

