

碳中和约束下新疆塔里木、准噶尔、吐哈盆地 CO₂ 理论储存潜力评估

师庆三

(新疆阿勒泰地区生态环境局,阿勒泰 836500)

【摘要】碳达峰、碳中和已经成为我国必达目标,二氧化碳捕集、利用与封存(CCUS)是规模化碳汇最有成效的途径之一。新疆一方面是以高碳能源为主的资源开发和消耗区,另一方面是公认的国内规模最大的可利用 CO₂ 驱油、驱气、驱水的盆地构造区,但这些盆地构造区的 CO₂ 储存理论潜力没有被在统一标准下进行过评估。本研究采用碳封存领导人论坛和美国能源部推荐的公式,从油藏、气藏、咸水层、煤层四种 CO₂ 存储类型方面对新疆三大盆地的理论储存潜力容量进行了估算。结果表明:新疆塔里木盆地 CO₂ 理论储存潜力为 3254.77×10⁸t,准噶尔盆地的为 1166.42×10⁸t,吐哈盆地的为 454.54×10⁸t,三大盆地存储潜力总量为 4875.73×10⁸t,新疆具有巨大的碳汇储存前景。从空间匹配性分析,准噶尔盆地是目前最好的碳源—碳汇工程实施区域,塔里木盆地储量最大,具有巨大潜力,但目前匹配性不好。二氧化碳捕集、利用与封存的整体化、规模化实施还需要国家的相关政策配合,前期需要在新疆地区进行科技投入和试验示范,探索相关的成熟技术。此后,需要投融资政策、生态环境管理、安全管理等各方面的系统协调推进。

【关键词】新疆;二氧化碳捕集、利用与封存(CCUS);理论储存潜力

中图分类号:X22 文献标识码:A 文章编号:1673-288X(2021)05-0099-07 DOI:10.19758/j.cnki.issn1673-288x.202105099

2020年9月22日,习近平总书记在第七十五届联合国大会一般性辩论上的讲话中提出“中国将提高国家自主贡献力度,采取更加有力的政策和措施,二氧化碳排放力争于2030年前达到峰值,努力争取2060年前实现碳中和”^[1]。2020年12月12日,习近平总书记在气候雄心峰会上宣布“到2030年,中国单位国内生产总值二氧化碳排放将比2005年下降65%以上”^[2],提出了确切的二氧化碳减排指标。因此,迫切需要以安全有效可持续的方式和速度减少人类活动中的 CO₂ 排放强度,减缓大气中 CO₂ 浓度的增加趋势。二氧化碳捕集、利用与封存(Carbon Capture, Utilization and Storage, CCUS)技术是将点源大规模排放的 CO₂ 进行收集,在用于地层深部驱油、驱水的同时,将其长期封存到深部地层,从而实现温室气体减排。CCUS被认为是最重要的碳中和技术之一^[3]。

新疆地区拥有巨大的煤炭储量,拥有大量的

火力发电厂、炼油厂、煤化工行业、水泥行业和钢铁行业,均为高 CO₂ 源。随着西电东送项目的实施,未来会有更多的火力发电设施兴建,CO₂ 的排放量会增加,有利于实施 CO₂ 捕集。同时,新疆地区幅员辽阔,区内拥有全国最多的储油盆地:(1)塔里木盆地,位于天山山系与昆仑山系之间,轮廓呈菱形,是全封闭性内陆盆地,属于内陆干旱盆地,盆地面积约 56×10⁴km²;(2)准噶尔盆地是中国第二大盆地,位于天山山系与阿尔泰山系之间,大致呈三角形,面积约 13×10⁴km²;(3)吐哈盆地,面积约 5.35×10⁴km²。总体而言,新疆地区 CO₂ 地质封存地区人口较少,封存风险较小,CO₂ 封存潜力巨大已成共识^[4]。但新疆地区地质 CO₂ 封存的主要方式有哪些,封存的理论潜力究竟有多少,如何计算,尚没有相对统一的计算模式下的评估。本研究利用相对统一的国际公认的方法,对新疆地区三大盆地的 CO₂ 封存理论潜力进行了评估,可为新疆乃至全国碳中和的碳汇途径提供对比参考。

基金项目:科技部重大专项(2016ZX05016-004-006)

作者简介:师庆三,副教授,博士,硕士生导师,主要从事 CCUS、山水林田湖草沙方面的研究

1 CO₂ 地质储存潜力的评估类型

对二氧化碳地质储存潜力进行分类可以用 McCabe(1998)提出的资源金字塔模型,根据评估的目的不同可分为四类:理论储存潜力容量、有效储存容量、实际储存容量和匹配储存容量。(1)理论储存潜力容量是理论最大上限值,但是在实际情况下由于储层条件、技术、政策措施和经济方面的限制将阻碍理论储存能力的完全使用,因此该储能评估值并不完全准确。(2)有效储存容量是从技术层面(包括地质和工程因素)上考虑了储层性质(包括渗透率、孔隙度和非均质性等)、储层封闭性、储存深度、储层压力系统及孔隙体积等因素影响的储存量,它是理论储存量的子集。(3)实际储存容量表示考虑到技术、法律及政策、基础设施和经济条件等因素影响的储存量,它是有效储存量的子集。(4)匹配储存容量表示考虑到二氧化碳注入能力和供给能力等因素影响的储存量,它是实际储存量的子集,这种储存量相当于矿业资源评价中的可采储量。本次仅计算理论储存潜力容量^[5]。

2 新疆三大盆地理论储存 CO₂ 方式及计算方法

理论上讲,新疆的三个主要盆地范围内的盆地储存 CO₂ 方式主要包括:(1)油藏 CO₂ 地质储存潜力;(2)气藏 CO₂ 地质储存潜力(3)深部咸水层 CO₂ 地质储存潜力;(4)深部煤层 CO₂ 地质储存潜力。这几种储存模式在美国和欧洲都已有成功的案例。

本次对新疆三大盆地二氧化碳地质储存的潜力评价,是在分析新疆地区三个主要盆地油气田储、盖层组合的基础上,对适宜的储、盖层组合系统以及岩层物理性特征等进行分析描述,根据相应的计算原则和公式进行理论储存潜力容量评估。本次评估主要采用碳封存领导人论坛和美国能源部推荐的公式。

2.1 衰竭油藏的理论储存量计算方法

新疆蕴含着丰富的油气能源,拥有许多大、中、小型油气田,其地质条件基本符合二氧化碳的

封存条件。有些油田面临枯竭,产生的经济效益很少,但是这些油藏的地质条件已经被详细调查过,很多都具有封存条件,这样不仅省去了地质调查成本,而且还能对枯竭油藏进行二次利用。

美国能源部(USDOE, United States Department of Energy)、欧盟(European Commission)及碳封存领导人论坛等部门和组织的相关研究人员对二氧化碳在已枯竭油藏的理论储存潜力的计算方法进行了深入研究。本次计算采用碳封存领导人论坛的计算方法,其基本原理为二氧化碳被注入衰竭油藏中直到储层压力恢复到原始储层压力,即油气采出所让出的空间都用于二氧化碳的储存^[5-6]。具体计算公式如下:

$$M_{\text{CO}_2\text{to}} = \rho_{\text{CO}_2\text{r}} \times (E_{\text{R}} \times N \times B_0 - V_{\text{w}} + V_{\text{pw}}) \quad (1)$$

式中, $M_{\text{CO}_2\text{to}}$ 为二氧化碳在油藏中的理论储存量,10⁶t; $\rho_{\text{CO}_2\text{r}}$ 为二氧化碳在油藏条件下的密度,kg/m³; N 为原油储量,10⁹m³; E_{R} 为原油采收率,%; B_0 为原油体积系数,m³/m³; V_{w} 为注入油藏的水量,10⁹m³; V_{pw} 为从油藏产出的水量,10⁹m³。

2.2 二氧化碳提高石油采收率理论储存量计算方法

美国是采用利用二氧化碳提高采收率技术最多的国家。美国经验表明,所注入的二氧化碳大约有40%的量被采出。美国能源部在利用二氧化碳提高石油采收率时,油藏中的理论储存量应用以下两个方程进行计算^[7-8]:

在二氧化碳突破之前:

$$M_{\text{CO}_2\text{to}} = \rho_{\text{CO}_2\text{r}} \times (E_{\text{RBT}} \times N \times B_0) \quad (2)$$

在二氧化碳突破之后:

$$M_{\text{CO}_2\text{to}} = \rho_{\text{CO}_2\text{r}} \times [(E_{\text{RBT}} + 0.6(E_{\text{RHCPV}} - E_{\text{RBT}}))] N \times B_0 \quad (3)$$

式中, $M_{\text{CO}_2\text{to}}$ 为二氧化碳在油藏中的理论储存量,10⁶t; $\rho_{\text{CO}_2\text{r}}$ 为二氧化碳在油藏条件下的密度,kg/m³; N 为原油储量,10⁹m³; B_0 为原油体积系数,m³/m³; E_{RBT} 为二氧化碳突破之前原有的采收率,%; E_{RHCPV} 为注入某一烃类孔隙体积(HCPV)二氧化碳时原有的采收率,%。考虑到注入水、采出水 and 溶解储存问题等,相关公式均有改进。

2.3 二氧化碳在气藏中储存潜力的计算方法

二氧化碳在气藏中的理论储存量计算方法

与在油藏中类似,碳封存领导人论坛提出,在气藏中二氧化碳的理论储存量^[8-9]可以用以下公式计算:

$$M_{\text{CO}_2\text{ts}} = \rho_{\text{CO}_2\text{r}} \times E_{\text{Rg}} \times (1 - F_{\text{IG}}) \times G \times [(P_s \times Z_r \times T_r) / (P_r \times Z_s \times T_s)] \quad (4)$$

式中, $M_{\text{CO}_2\text{ts}}$ 为二氧化碳在气藏中的理论储存量, 10^6t ; $\rho_{\text{CO}_2\text{r}}$ 为二氧化碳在地层条件下的密度, kg/m^3 ; G 为原始天然气地质储量, 10^9m^3 ; E_{Rg} 为天然气的采收率,%; F_{IG} 为注入气体分数,无量纲; P_s 为地面条件下的压力,MPa; T_s 为地面条件下的温度,K; Z_s 为地面条件下的天然气气体偏差因子,无量纲; P_r 为油藏条件下的压力,MPa; T_r 为油藏条件下的温度,K; Z_r 为油藏条件下的天然气气体压缩系数,无量纲。

2.4 二氧化碳在深部盐水层中储存潜力的计算方法

深部盐水层构造地层储存中的二氧化碳储存技术与在枯竭油气藏中的储存技术十分类似。但通常认为,二氧化碳在深部盐水层中的储存潜力计算更加困难,因为人们对盐水层具体信息的了解更加缺乏。盐水层不像淡水层,它具有有限的商业价值,所以获得这些资料要消耗更多经费和时间。

国际上有许多国家和组织以及研究人员对二氧化碳在深部盐水层中的储存潜力进行了计算,并提出了许多计算方法。为保证标准统一,采用美国能源部的计算方法^[10-11]。

$$M_{\text{CO}_2\text{ts}} = \rho_{\text{CO}_2\text{r}} \times A \times H \times \Phi / 10^6 \quad (5)$$

式中, $M_{\text{CO}_2\text{ts}}$ 为二氧化碳在深部盐水层中的理论储存量, 10^6t ; $\rho_{\text{CO}_2\text{r}}$ 为在地层条件下二氧化碳的密度, kg/m^3 ; A 为深部盐水层所在盆地的面积, km^2 ; H 为盐水层厚度,m; Φ 为深部盐水层掩蔽的孔隙度,%。

2.5 二氧化碳在煤层中储存潜力的计算方法

二氧化碳在煤层中的储存主要是通过煤层对二氧化碳的吸附来实现的。由于在不同压力下,煤层对二氧化碳的吸附量要比煤层气(甲烷)大得多,所以利用煤层对二氧化碳和煤层气吸附能力的差异,实现二氧化碳排替甲烷,可获得更多的甲烷。这就是二氧化碳提高煤层气采收率技术(CO₂-ECBMR),同时也封存了二氧化碳。煤

层中二氧化碳储存技术目前仅处于论证阶段的工艺技术(Intergovernmental Panel on Climate Change, IPCC, 政府间气候变化专门委员会, 2005)。

碳封存领导人论坛认为在气体已被煤层吸附的情况下,煤层中的理论储存量计算公式通常为^[12-13]:

$$M_{\text{CO}_2\text{tc}} = \rho_{\text{CO}_2\text{s}} \times \text{IGIP} \quad (6)$$

式中, $M_{\text{CO}_2\text{tc}}$ 为二氧化碳在不能开采煤层中的理论埋存量, 10^6t ; $\rho_{\text{CO}_2\text{s}}$ 为二氧化碳在标准压力和温度条件下的密度, kg/m^3 ,通常等于 $1.977\text{t}/\text{m}^3$ 。 IGIP 为煤层中原始气体(甲烷气体)的地质储量, 10^6m^3 。

2.6 计算说明

在前述公式中,每一个公式的参数又被扩展为一个新的公式,例如公式6中煤层中原始气体(甲烷气体)地质储量(IGIP)由下式计算^[5,12]:

$$\text{IGIP} = A \times H \times n_c \times G_c \times (1 - f_a - f_m) / 10^3 \quad (7)$$

式中, A 为煤层盆地的表面积, km^2 ; H 为煤层的累计厚度,m; n_c 为煤的密度, t/m^3 ,通常取 $1.4\text{t}/\text{m}^3$; f_a 为煤中的灰分占煤的质量分数,%; f_m 为煤中的水分占煤的质量分数,%; G_c 为煤层气体含量(吸附量), $\text{m}^3(\text{气})/\text{t}(\text{煤})$ 。

而公式7中 G_c (煤层气体含量)由Langmuir等温吸附公式计算获得:

$$G_c = V_L \times [P / (P + P_L)] \quad (8)$$

式中, V_L 为Langmuir体积,即给定温度下煤层的最大气体吸附量, m^3/t ; P_L 为Langmuir压力,即最大气体吸附量时煤层中的压力,MPa; P 为当前煤层中的压力,MPa。

3 结果与讨论

3.1 新疆三大盆地 CO₂ 地质储存主要参数

理论上讲,新疆的三个主要盆地范围内的整个油气储层、深部咸水层、深部不可采煤层都可以进行二氧化碳地质储存,公式1~公式5及参数扩展计算公式相对繁杂、参数众多,主要通过公开的论文资料和部分内部资料数据计算^[14-46]。因个别盆地缺少地层延展、断层断裂发育、矿产开发利用的详细资料,故进行了宏观估算。参见表1。

表1 新疆三大盆地 CO₂ 地质封存主要参数

指标	塔里木盆地 ^[14]	吐哈盆地 ^[15]	准噶尔盆地 ^[16]
盆地面积/10 ⁴ km ²	56.00	5.35	13.00
构造背景	聚合山间盆地	克拉通前陆	克拉通前陆
断裂活动	密集、大	发育、大	—
埋藏深度/m	15000	8000	8000
地热流值/mW/m ²	46.20	47.80	42.60
地温梯度/℃/100m	1.764	2.500	2.230
地表温度/P	9.60	6.00	6.00
储层岩性	混合岩型	泥岩为主	泥岩为主
储层厚度/m	600	300	300
渗透率/10W	55	8	8
孔隙度/%	15	15	15
盖层	连续、稳定、较好	连续、稳定、较好	连续、稳定、较好
石油储量/10 ⁸ t	120.65 ^[17]	10.09 ^[18]	80.10 ^[19]
天然气储量/10 ⁸ m ³	147000 ^[17]	7522 ^[18]	23100 ^[19]
深部(1000m~2000m)煤层气储量/10 ⁸ m ³	10800 ^[17]	28300(含巴里坤—三塘湖、天山盆地) ^[18]	23600 ^[17]
深部含水层储量/10 ⁸ m ³ (保守估计厚度1000m)	56.000	0.535	1.300

3.2 计算结果

计算结果主要用于在相同公式、统一标准计算下的宏观对比分析。计算、分析得出新疆 CO₂ 储存潜力估算,见表2。

表2 新疆塔里木、准噶尔、吐哈三大盆地 CO₂ 理论储存潜力评估

盆地名称	储存分类	封存量/10 ⁸ t	合计/10 ⁸ t
塔里木盆地	油藏	51.09	3254.77
	气藏	1208.26	
	咸水层	1771.39	
	煤层	224.03	
准噶尔盆地	油藏	64.51	1166.42
	气藏	264.31	
	咸水层	317.90	
	煤层	519.70	
吐哈盆地	油藏	32.45	454.54
	气藏	49.67	
	咸水层	86.99	
	煤层	—	
总计			4875.73

3.3 讨论

以上计算分析表明,本次计算评估偏重于宏

观地分析新疆三大盆地总的 CO₂ 理论存储潜力,这里的理论储量相当于预测远景储量。通过计算三大盆地油藏、气藏、深部咸水层、深部煤层的 CO₂ 理论储存潜力,在不同盆地和类型中构建框架和体系。而与其他研究人员的前期研究相比,由于数据资料和计算公式的不同,结果有不同程度的差异。例如,库力孜那(2016)对吐哈盆地 CO₂ 的 D 级预测总量为 44×10⁸t,仅相当于本次理论潜力评估的十分之一;冯伟(2015)对塔里木盆地构造 CO₂ 储存潜力的评估值为 496.18×10⁸t,偏差约为本次评估的 40%。不同研究人员的评估等级不同,类型也不同。因此,本次评估与其他研究缺乏对比性。

从表2看,新疆塔里木、准噶尔、吐哈三大盆地 CO₂ 理论存储潜力评估总值为 4875.73×10⁸t,其中塔里木盆地为 3254.77×10⁸t,占据了 66%。但其周边 CO₂ 源相对较少,使其作为碳汇的适宜性、匹配性降低。准噶尔盆地为 1166.42×10⁸t,位居第二,占比 24%,但是新疆的主要经济区域——天山北坡经济带位于准噶尔盆地周边,具有最好的碳源—碳汇匹配性。吐哈盆地相对占比 10%,周边也有一些工业区,具有一定的匹配性。

从类型上看,深部咸水层具有最大的潜力,但其经济价值不高,目前不具有开发优势。如果能从深部咸水层中提取高价值矿物资源,则具有 CO₂ 储存的应用前景。利用 CO₂ 驱油技术进行 CO₂ 储存的同时采集油气藏,是目前技术上相对成熟且具有经济价值的方法。深部不可采煤层的 CO₂ 驱动 CH₄ 在理论上具有优势,但在技术上还需要进行更多的投入。

就目前来说,CO₂ 储存是规模化减排最有效的手段之一。但这只是 CCUS 中的一个环节,还需要在整体上开发利用该技术,实施优势产业部门的 CCUS 技术集成。新疆作为一个以高碳能源为主的资源依赖型地区,依托新疆的煤炭、石油和天然气矿产资源优势,实现了经济发展,但同时也存在能源消耗量大、人均碳排放量高等问题。随着经济的增长、工业化的加快和人口的不断增加,能源消费和二氧化碳排放量也将会持续增长。作为欠发达地区,无论是为应对气候变化,还是积极响应国家总体发展战略,发展低碳经济势在必行。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带来了生态环境问题,CCUS 技术的出现为新疆解决生态环境问题提供了一条切实可行的途径。新疆在 CCUS 技术实施方面具有很大的潜力,碳源、碳汇和运输等条件都适宜新疆实施 CCUS 技术。

从 CCUS 技术的发展历史来看,CCUS 整体化、规模化实施还需要国家的相关政策配合,需要跨产业部门的技术集成与工业化 CCUS 技术,以及投融资政策、财税政策、生态环境管理、安全管理等配套政策的支持。

4 结论

(1)新疆塔里木、准噶尔、吐哈三大盆地 CO₂ 理论存储潜力评估总值为 4875.73×10⁸t。新疆具有广阔的碳汇储存前景,这为在新疆及全国范围内开展碳中和提供了一个规模化实施区域。

(2)从空间匹配性的宏观分析发现,准噶尔盆地是目前最好的碳源—碳汇工程实施区域,塔里木盆地储量最大,具有巨大潜力,但目前其周边

CO₂ 源相对较少,作为碳汇的匹配性不足。

(3)CO₂ 储存是规模化减排最有效的手段之一,但这只是 CCUS 中的一个环节,还需要从 CCUS 整体上开发利用该技术,以降低成本,实现经济上的可能性。

(4)CCUS 的整体化、规模化实施还需要国家相关政策的配合,需要科技投入、试验示范、投融资政策、环境管理、安全管理等各方面政策的系统协调推进。

参考文献:

- [1] 新华网.习近平在第七十五届联合国大会一般性辩论上的讲话(全文)[DB/OL].(2020-09-22)[2021-02-05].
http://www.xinhuanet.com/politics/leaders/2020-09/22/c_1126527652.htm.
- [2] 新华网.习近平在气候雄心峰会上的讲话(全文)[EB/OL].(2020-12-18)[2021-02-05].http://www.xinhuanet.com/politics/leaders/2020-12/18/c_1126853600.htm.
- [3] 李小春,张九天,李琦,等.中国碳捕集、利用与封存技术路线图(2011版)实施情况评估分析[J].科技导报,2018,36(04):85-95.
- [4] 张贤.碳中和目标下中国碳捕集利用与封存技术应用前景[J].可持续发展经济导刊,2020(12):22-24.
- [5] 杨文慧,师庆三.二氧化碳地质储存潜力评价综述[J].西部探矿工程,2016,28(06):174-176,180.
- [6] BACHU S,SHAW J,ROBERT M.Estimation of oil recovery and CO₂ storage capacity in CO₂EOR incorporating the effect of underlying aquifers[A].SPE 89340,2004.
- [7] BACHU S,SHAW J.Evaluation of the CO₂ sequestration capacity in Alberta's oil and gas reservoirs at depletion and the effect of underlying aquifers[J].Journal of Canadian Petroleum Technology,2003,42(09):51-61.
- [8] 沈平平,廖新维,刘庆杰.二氧化碳在油藏中埋存量计算方法[J].石油勘探与开发,2009,36(02):216-220.
- [9] BACHU S,STEWART S.Geological sequestration of anthropogenic carbon dioxide in the Western Canada sedimentary basin: Suitable analysis[J].Journal of Canadian Petroleum Technology,2002,41(02):32-40.
- [10] MORITIS G.CO₂ sequestration adds new dimension to oil gas production[J].Oil and Gas Journal,2003,101(09):71-83.
- [11] 李琴,李治平,胡云鹏,等.深部盐水层 CO₂ 埋藏量计算方法研究与评价[J].特种油气藏,2011,18(05):6-10,32,135.
- [12] BACHU S.Screening, evaluation and ranking of oil reservoirs suitable for carbon dioxide sequestration[J].Canadian Petroleum Technology,2002,41(09):51-61.

- [13] 王烽,汤达祯,刘洪林,等.利用 CO₂-ECBM 技术在沁水盆地开采煤层气和埋藏 CO₂ 的潜力[J].天然气工业,2009,29(04):117-120,146-147.
- [14] 冯伟,地里夏提·买买提,李玲,等.塔里木盆地油气藏 CO₂ 地质封存适宜性评价[J].西部探矿工程,2015,27(10):28-30,34.
- [15] 刘熠.新疆准噶尔盆地 CO₂-EOR 技术应用潜力研究[D].乌鲁木齐:新疆大学,2015.
- [16] 库力孜那.新疆吐哈盆地二氧化碳地质封存潜力分析[D].乌鲁木齐:新疆大学,2016.
- [17] 康玉柱.塔里木盆地油气资源潜力及勘探方向[J].石油科学通报,2018,3(04):369-375.
- [18] 梁世君.吐哈探区油气勘探成果及潜力[J].新疆石油地质,2020,41(06):631-641.
- [19] 杨海波,王屿涛,郭建辰,等.准噶尔盆地天然气地质条件、资源潜力及勘探方向[J].天然气地球科学,2018,29(10):1518-1530.
- [20] 周梓欣,李瑞明,张伟.新疆深部煤层气资源勘探潜力[J].中国煤炭地质,2018,30(07):28-31,39.
- [21] 唐书恒,杨起,汤达祯.注气提高煤层甲烷采收率机理及实验研究[J].石油试验地质,2002,24(06):545-549.
- [22] IPCC.2005; Special report on CO₂ capture and storage [R]. Working Group III of the Intergovernmental Panel on Climate Change. Cambridge, United Kingdom and New York, NY, USA: Cambridge University Press, 2005:442.
- [23] 陈业全,王伟锋.准噶尔盆地构造演化与油气成藏特征[J].石油大学学报(自然科学版),2004(03):4-8,136.
- [24] 程克明,赵长毅,苏爱国,等.吐哈盆地煤成油气的地质地球化学研究[J].勘探家,1997(02):5-10.
- [25] 程丽平,易建新,李迪迪,等.盐水中注水促进超临界 CO₂ 溶解的数值模拟[J].安全与环境学报,2017,17(01):309-314.
- [26] 顾忆.塔里木盆地北部塔河油田油气藏成藏机制[J].石油实验地质,2000(04):307-312.
- [27] 何登发,陈新发,况军,等.准噶尔盆地石炭系油气成藏组合特征及勘探前景[J].石油学报,2010,31(01):1-11.
- [28] 何登发,陈新发,张义杰,等.准噶尔盆地油气富集规律[J].石油学报,2004(03):1-10.
- [29] 何佳林,师庆三,董海海,等.新疆准东油田各区块 CO₂ 地质封存潜力评估[J].新疆大学学报(自然科学版),2018,35(04):528-531.
- [30] 何佳林.基于储层地质构造特征对 CO₂ 驱油方案优选:以准东地区 A 油田为例[D].乌鲁木齐:新疆大学,2019.
- [31] 侯锐,师庆三,刘熠,等.浅谈二氧化碳封存及提高石油采收率的探讨与研究[J].化工管理,2015(35):160.
- [32] 贾承造.塔里木盆地构造特征与油气聚集规律[J].新疆石油地质,1999(03):3-9,94.
- [33] 库力孜那,赵新生,师庆三.新疆储碳工程发展的重要性浅析[J].西部探矿工程,2016,28(06):141-144.
- [34] 匡立春,吕焕通,齐雪峰,等.准噶尔盆地岩性油气藏勘探成果和方向[J].石油勘探与开发,2005(06):32-37,65.
- [35] 况军,齐雪峰.准噶尔前陆盆地构造特征与油气勘探方向[J].新疆石油地质,2006(01):5-9.
- [36] 李玮,师庆三,董海海.低渗透油藏二氧化碳混相驱注采方式研究:以克拉玛依油田 X 区克下组低渗透油藏为例[J/OL].中国地质;1-16.[2021-06-28].<http://kns.cnki.net/kcms/detail/11.1167.P.20200119.0948.002.html>.
- [37] 李玮.新疆油田 A 油藏 CO₂ 混相驱注采参数优化[D].乌鲁木齐:新疆大学,2019.
- [38] 吕锡敏.吐哈盆地构造特征与油气赋存[J].江汉石油学院学报,2001(02):75-79.
- [39] 任韶然,张莉,张亮.CO₂ 地质埋存:国外示范工程及其对中国的启示[J].中国石油大学学报(自然科学版),2010,34(01):93-98.
- [40] 苏里亚·阿布力米提.准东地区彩 9 井区西山窑组油藏 C2380 井组 CO₂ 封存影响及评价[D].乌鲁木齐:新疆大学,2020.
- [41] 王维波,师庆三,余华贵,等.二氧化碳驱油注入方式优选实验[J].断块油气田,2015,22(04):497-500,504.
- [42] 王众,匡建超,庞河清,等.CO₂ 深部盐水层地质封存成本研究[J].科技导报,2014,32(01):46-52.
- [43] 杨海军,李勇,唐雁刚,等.塔里木盆地克深气田成藏条件及勘探开发关键技术[J].石油学报,2021,42(03):399-414.
- [44] 杨霄翼,刘延锋,徐连三.深部盐水层 CO₂ 地质埋存适宜性评价指标体系及其应用[J].安全与环境工程,2014,21(05):71-77.
- [45] 杨永智,沈平平,宋新民,等.盐水层温室气体地质埋存机理及潜力计算方法评价[J].吉林大学学报(地球科学版),2009,39(04):744-748.
- [46] 俞宏伟,李实,陈兴隆.盐水层二氧化碳封存主控因素数值模拟研究[J].科学技术与工程,2012,12(28):7314-7317.
- [47] 袁明生.吐哈盆地油气分布特征及勘探方向[J].新疆石油地质,1998(02):14-19,87-88.
- [48] 赵利昌,王涛.盐水层 CO₂ 埋存潜力及影响因素数值模拟[J].科技导报,2012,30(31):39-42.
- [49] 朱光有,杨海军,朱永峰,等.塔里木盆地哈拉哈塘地区碳酸盐岩油气地质特征与富集成藏研究[J].岩石学报,2011,27(03):827-844.

Evaluation of theoretical CO₂ storage potential capacity in Tarim, Junggar and Turpan–Hagar basins of Xinjiang under carbon neutrality constraints

SHI Qingsan

(Xinjiang Altay District Ecology and Environment Bureau, Altay 836500, China)

Abstract: Carbon peaking and carbon neutrality have become China's targets, and Carbon Capture, Utilization and Storage (CCUS) is one of the important ways of large-scale carbon sinks. On the one hand, Xinjiang is a resource development and consumption area dominated by high-carbon energy. On the other hand, Xinjiang is commonly recognized as a basin tectonic area with the largest scale of CO₂ storage in China. However, the theoretical potential of CO₂ storage in these basin tectonic areas has not been evaluated under the unified standard. In this study, the theoretical storage potential capacity of the three major basins in Xinjiang was estimated from the four CO₂ storage types of oil reservoirs, gas reservoirs, saline aquifers and coal seams by using the formula recommended by the Carbon Buried Leaders Forum and the Department of Energy of the United States. The results show that the theoretical storage potential of CO₂ in Tarim Basin, Junggar Basin and Turpan–Hami Basin is 3254.77×10^8 t, 1166.42×10^8 t and 454.54×10^8 t respectively, and the total value of the three major basins is 4875.73×10^8 t. Xinjiang has a huge prospect for carbon sequestration. From the spatial matching analysis, Junggar Basin is the best carbon source–carbon sink project implementation area at present, and Tarim Basin has the largest reserves and has great potential, but the current matching is not good. The integrated and large-scale implementation of Carbon Capture, Utilization and Storage also requires the coordination of relevant national policies. In the early stage, it needs scientific and technological investment, experimental demonstration, and exploring related and mature technologies. Since then, it needs the coordinated promotion of investment and financing policies, environmental management, and security management.

Keywords: Xinjiang Uygur Autonomous Region; Carbon Capture, Utilization and Storage (CCUS); theoretical CO₂ storage potential capacity