

# CO<sub>2</sub>应用于油气开采的国内外技术标准分析

张 玉<sup>1</sup> 黄俊杰<sup>2</sup> 韩睿婧<sup>1</sup> 李思源<sup>1</sup> 王梦颖<sup>1</sup> 冯玉军<sup>2</sup>

(1. 中国石油天然气股份有限公司勘探开发研究院石油工业标准化研究所;  
2. 四川大学高分子研究所, 高分子材料工程国家重点实验室)

**摘要:** CO<sub>2</sub>应用于油田开发推动油气行业快速发展, 是双碳目标顺利实现的重要保障。目前CO<sub>2</sub>应用于油田开发相关技术标准数量较少, 难以对新兴技术的发展和推广应用提供支撑。本文筛选了国内外CO<sub>2</sub>应用于油田开发的技术标准, 分析了相关标准的特点与内容, 并对我国双碳目标下CO<sub>2</sub>应用于油田开发的技术标准制定提出建议。

**关键词:** CO<sub>2</sub>, 油田开发, 标准, 综述

DOI编码: 10.3969/j.issn.1674-5698.2023.03.016

## Research on and Analysis of Domestic and Foreign Technical Standards Related to the Application of CO<sub>2</sub> in Oilfield Development

ZHANG Yu<sup>1</sup> HUANG Jun-jie<sup>2</sup> HAN Rui-jing<sup>1</sup>

LI Si-yuan<sup>1</sup> WANG Meng-ying<sup>1</sup> FENG Yu-jun<sup>2</sup>

(1. Department of Technology Standardization, RIPED, Petrochina;  
2. Polymer Research Institute, State Key Laboratory of Polymer Materials Engineering, Sichuan University)

**Abstract:** The application of CO<sub>2</sub> in oil field development promotes the rapid development of the oil and gas industry, which is an important guarantee for the realization of the carbon peak and carbon neutrality goals. At present, the number of technical standards related to the application of CO<sub>2</sub> in oilfield development is relatively small, so it is difficult to provide support for the development of the emerging technology, promotion and application. This paper sorts out the domestic and foreign technical standards for CO<sub>2</sub> application in oilfield development, analyzes the characteristics and contents of the relevant standards, and gives suggestions for the development of technical standards for CO<sub>2</sub> application in oilfield development so as to help realize the carbon peak and carbon neutrality goals.

**Keywords:** CO<sub>2</sub>, oil field development, standards, overview

---

**作者简介:** 张玉, 石油工业标准化技术委员会副秘书长、高级工程师, 长期从事油气田开发、标准化研究与管理。

黄俊杰, 硕士研究生, 现从事CO<sub>2</sub>驱油用聚合物材料的研究。

李思源, 工程师, 现从事油田开发标准化研究。

韩睿婧, 助理工程师, 现从事油田化学标准化研究。

王梦颖, 高级工程师, 现从事油田化学标准化研究。

冯玉军, 教授, 主要从事油田化学、高分子材料、胶体与界面化学的研究。

“双碳战略”是我国实现高质量发展中的重点任务之一,是我国保证能源供应安全、加快经济结构转型升级、推进生态文明建设的行动指南。CO<sub>2</sub>应用于油气开采是规模化减碳、用碳和固碳的重要途径<sup>[1]</sup>,也是CO<sub>2</sub>捕集、利用和储存(CCUS)的最大用途。但目前国内外与CO<sub>2</sub>应用于油气田开采的相关标准还有待完善,加快推进相关技术的标准化是我国油气行业高质量发展的迫切需求。

## 1 引言

CO<sub>2</sub>在油气开采中的应用广泛,包括CO<sub>2</sub>提高采收率、CO<sub>2</sub>压裂技术、超临界CO<sub>2</sub>钻井、CO<sub>2</sub>置换开采天然气水合物等方面,其中CO<sub>2</sub>在EOR中已得到了规模化的应用。自1956年Shell公司在美国Permain盆地首次进行规模化CO<sub>2</sub>驱油试验<sup>[2,3]</sup>以来,欧美许多国家已形成了机理研究、模型构建与油田开发及注采工艺设计、安全监测等一系列的配套技术方法。据统计,到2020年,美国有142个活跃的CO<sub>2</sub>-EOR项目,CO<sub>2</sub>年注入量约为2,989万吨<sup>[2]</sup>,年采油量约为1,343万吨。我国于上世纪60年代初开始进行CO<sub>2</sub>驱的室内实验和先导性试验,90年代首先在大庆油田开展CO<sub>2</sub>驱提高采收率的实验研究<sup>[4]</sup>。21世纪以来,中国开展温室气体提高石油采收率的资源化利用及地下埋存的研究,中国石油、中国石化等企业开展了CO<sub>2</sub>驱现场实验,获得了较好的增产效果<sup>[5]</sup>。虽然CO<sub>2</sub>在油气开采过程中具有很大的应用潜力,相关技术也日趋完善,但相应的技术标准还较少。

## 2 CO<sub>2</sub>用于油气开采的相关标准

通过对国际标准化组织(ISO)、美国石油学会(API)、挪威石油标准化组织(NORSOK)、政府间气候变化专门委员会(IPCC)等国际、国外组织机构以及中国国家标准(GB/T, GB)、石油行业标准(SY/T)等国内外标准进行调研,发现已存在上述4方面应用的34项标准。

### 2.1 CO<sub>2</sub>应用于油气开采的国际、国外标准

经检索,国际、国外有关CO<sub>2</sub>应用于油气开发中的现行技术标准共有24项。标准主要分布在CO<sub>2</sub>

捕获(4项,包括ISO/TR 27912:2016、ISO 27919-2:2021等)、CO<sub>2</sub>运输(1项,ISO 27913:2016)、CO<sub>2</sub>埋存(1项,ISO 27914:2017)、排放计算(8项,包括ISO 14064-1:2018、API Publ 4645等)、CCS领域交叉术语(1项,ISO 27917:2017)、CO<sub>2</sub>-EOR技术(2项,包括ISO 27916:2019、ISO/TR 27923:2022)、腐蚀控制和材料选择(5项,包括ISO 17348:2016、NORSOK M-001等)以及CCUS项目整体风险管理(1项,ISO/TR 27918:2018)。

由此可见,国际、国外标准化组织对排放和计算标准的关注度较高,数量已达8项。有关CO<sub>2</sub>的防腐标准发行较早,挪威石油标准化组织1997年针对防腐材料的选择编制了标准NORSOK M-001,2005年针对腐蚀率计算制定了标准NORSOK M-506。政府间气候变化专门委员会<sup>[6]</sup>2006年发布的《2006 IPCC guidelines for national greenhouse gas inventories》文件,并于2019年进行修订,该文件针对CCUS技术中CO<sub>2</sub>的捕集、运输、利用和埋存等方面提出了技术规范、评价标准以及监测技术要求。ISO/TC 265是因CCUS领域相关技术的发展应运而生,该标委会对CCUS技术链中的捕获、运输、储存、量化与核查、跨领域问题以及CO<sub>2</sub>-EOR技术进行了明确的工作划分。虽然CO<sub>2</sub>捕集、运输和埋存等方面具有一定标准基础,但国外有关CO<sub>2</sub>压裂、超临界CO<sub>2</sub>钻井等新技术的标准仍存在空缺。

### 2.2 CO<sub>2</sub>应用于油气开采的国内标准

在CO<sub>2</sub>应用于油气开采方面我国相关标准还较少,经统计,共有10项标准属于该领域,其中国家标准1项、行业标准7项、地方标准2项,主要分布在CO<sub>2</sub>-EOR技术(4项,包括SY/T 6565-2018、SY/T 7440-2019等)、CO<sub>2</sub>压裂技术(1项, DB61/T 1189-2018)、CO<sub>2</sub>防腐设计(2项,包括GB/T 40543-2021、SY/T 7619-2021)和CO<sub>2</sub>排放计算(3项,包括SH/T 5000-2011、SY/T 7297-2016、DB44/T 1977-2017)等方面。我国CO<sub>2</sub>应用相关标准的制定比国外晚,其中CO<sub>2</sub>排放计算标准主要借鉴ISO 14064-1:2006和2006年版IPCC国家温室气体排放计量指南,CO<sub>2</sub>防腐领域GB/T 40543-2021等同采用了ISO 17348:2016。

目前国内相关标准供给不足,未能构建起针对

CCUS整个技术链的标准体系。CO<sub>2</sub>驱方面,注入过程从设计、注入、油气集输处理和自动控制等方面均有相关的技术要求,埋存过程缺乏评价方法。压裂方面,国内标准大部分为水基压裂技术相关标准,针对CO<sub>2</sub>压裂技术的标准仅陕西省1项地方标准DB61/T 1189—2018,CO<sub>2</sub>泡沫压裂技术和CO<sub>2</sub>干法压裂技术的相关标准存在空缺。由于目前超临界CO<sub>2</sub>钻井技术和CO<sub>2</sub>置换可燃冰技术还多处于理论和实验研究阶段,并未检索到相关标准。

### 2.3 国内外标准对比分析

通过比较国内与国际、国外CO<sub>2</sub>用于油气开采的技术标准,可以发现,在覆盖领域、数量上存在一定的差异(见表1)。

表1 国内外标准对比情况

主要方面		国内标准	国际、国外标准
标准最早发布时间(年)	CO <sub>2</sub> 防腐	2021	1997
	CO <sub>2</sub> 排放	2011	1997
	CO <sub>2</sub> -EOR	2011	2006
标准覆盖领域(项)	CO <sub>2</sub> 防腐	2	5
	CO <sub>2</sub> 排放	3	8
	CO <sub>2</sub> 捕获	0	4
	CO <sub>2</sub> -EOR	4	5
	CO <sub>2</sub> 封存	0	2
	CO <sub>2</sub> 压裂	1	0
	国际、国外标准	—	20
标准级别(项)	国家标准	1	4
		7	—
		2	—

(1)从标准的数量上看,国内标准少于国际、国外标准。以防腐标准为例,国外标准中有5项与腐蚀控制和材料选择有关(标准编号:ISO 17348:2016、ISO 17349:2016、ISO 21457:2010、NORSOK M-001、NORSOK M-506),国内与之对应的标准只有2项,分别为1项国家标准GB/T 40543-2021和1项行业标准SY/T 7619-2021。

(2)从发布时间上看,国内标准晚于相应的国际、国外标准。仍以防腐标准为例,挪威标准NORSOK M-001于1997年首次发布,并进行了4次修订,国内2项防腐标准均于2021年发布,在此之前并无针对高CO<sub>2</sub>环境腐蚀控制和材料选择的相关标准。

(3)从标准的覆盖领域上看,国际、国外标准涉及防腐、排放、捕获、EOR、封存等6个方面,在CO<sub>2</sub>

压裂技术标准方面有所缺失。国外对油气开发中温室气体的排放控制较为重视,防腐标准较为完善,CO<sub>2</sub>捕获和封存2个方面的标准具备一定标准基础。我国标准分布在防腐、排放、EOR、压裂等方面,在CO<sub>2</sub>捕获和封存方面,由于国内外油气藏不同、CO<sub>2</sub>的捕获和封存的条件也不同,无法直接采用国际标准,目前相关标准尚未发布。我国CO<sub>2</sub>排放和防腐方面均有标准作为支撑,但仍有较大标准需求。对于CO<sub>2</sub>-EOR方面,国内与国际、国外标准数量相当,但存在一定的技术差异。虽然我国已有1项CO<sub>2</sub>压裂技术相关标准,但无法有效支撑油气开采需要,未来仍需加大相关标准研制力度。

### 3 CO<sub>2</sub>应用于油气开采的相关标准建立的建议

在双碳目标下,油田开发相关标准应主要围绕CO<sub>2</sub>的减排、开发以及利用,同时需要兼顾安全性、环保性、经济性以及系统性。国家能源局印发《能源碳达峰碳中和标准化提升行动计划》中针对碳减排标准制定了“能源产业链碳减排标准体系建设行动、CCUS标准体系完善与示范行动和能源装备碳足迹标准体系完善和试点示范行动”3项专项行动<sup>[7]</sup>。结合国内的应用领域和需求看,应加大力度构建完备的专业标准体系,为地方标准和企业标准提供依据,同时扩大相关标准的覆盖范围,使CCUS技术从捕集到埋存的每一个步骤均有相对应的标准作为支撑。

(1)在健全CCUS技术标准时,应着重考虑整个过程中开发、采集、运输、处理、注入以及封存等关键环节的整体性、统一性,做好标准化顶层设计和标准管理体系研究,部分标准空缺如:施工后管理和健康、安全、环境(HSE)管理规范可借鉴相关的国际标准进行补充。充分开展标准比对分析和前期研究,以避免部分标准交叉、滞后以及矛盾等问题,提高标准的质量。

(2)我国油气藏多为陆相沉积,地质条件复杂,非均质性严重,针对注入过程中发生的气窜现象,化防窜、改进注采方式等防窜技术标准也成为我国CO<sub>2</sub>-EOR标准的重要研制方向。针对我国特殊的油田开发问题,亟需相应技术标准的制定,完善适用于

我国的CO<sub>2</sub>应用于油气开采的标准体系。

(3) 对于如超临界CO<sub>2</sub>钻井和CO<sub>2</sub>置换可燃冰等缺少相应标准规范的新型技术,需要进行广泛的技术调研和试点研究,同时可以借鉴国内外传统开发技术标准对其进行补充,为CO<sub>2</sub>应用于油田开发新技术的发展提供支持。

(4) 我国应加强与国际标准组织的沟通与交流,积极参与国际标准的制定与更新,促成我国与其他国家的标准互认,提升我国在国际标准化组织的地位。

## 4 结语

CO<sub>2</sub>在油气开采中的应用是CCUS中的重要组成部分,中国石化已开始建设100万吨CCUS全产业链,

链,中国石油首个碳捕集、封存和利用与提高采收率(CCUS-EOR)工业化示范工程地面方案启动,中国海油积极推动大亚湾区海上规模化的CCS/CCUS集群研究项目的建设,该项目为全国首个海上千万吨级CCUS项目,对我国双碳工作的推进具有重要意义。因此,为确保CCUS技术方案的顺利实施,实现油气行业高质量发展,标准应该先行。

国际上有关CO<sub>2</sub>开发利用的标准虽然数目有限,但其先进性和系统性仍值得我国借鉴学习,同时,我们应当时刻关注并实质上参与国际上相关标准的制修订工作。针对国内在CO<sub>2</sub>-EOR、CO<sub>2</sub>压裂以及超临界CO<sub>2</sub>钻井等方面的应用,我们应该扩大相关标准覆盖范围,补充技术标准空缺,加快完善适用于我国油气藏的标准体系。

### 参考文献

- [1] 李阳, 黄文欢, 金勇, 等. 双碳愿景下中国石化不同油藏类型CO<sub>2</sub>驱提高采收率技术发展与应用[J]. 油气藏评价与开发, 2021, 11(6): 793–804.
- [2] 江怀友, 沈平平, 陈立滇, 等. 北美石油工业二氧化碳提高采收率现状研究[J]. 中国能源, 2007, 29(7): 30–34.
- [3] 江怀友, 沈平平, 卢颖, 等. CO<sub>2</sub>提高世界油气资源采收率现状研究[J]. 特种油气藏, 2010, 17(02): 5–10.
- [4] 谢尚贤, 韩培慧. 大庆油田萨南东部过渡带注CO<sub>2</sub>驱油先导性矿场试验研究[J]. 油气采收率技术, 1997, 4(3): 13–19.
- [5] 计秉玉, 何应付. 中国石化低渗透油藏CO<sub>2</sub>驱油实践与认识[J]. 油气藏评价与开发, 2021, 11(6): 805–811.
- [6] Metz B, Davidson O, De Coninck H C, et al. IPCC special report on carbon dioxide capture and storage [M]. Cambridge: Cambridge University Press, 2005.
- [7] 国家能源局. 国家能源局关于印发《能源碳达峰碳中和标准化提升行动计划》的通知[A/OL]. (2022-10-09) [2022-10-13]. [http://www.nea.gov.cn/2022-10/09/c\\_1310668927.htm](http://www.nea.gov.cn/2022-10/09/c_1310668927.htm).