

郝绍金,陈 浮,杨永均,等. CO₂ 驱油示范区植被生态本底调查的指标与方法[J]. 江苏农业科学,2014,42(9):340–343.

CO₂ 驱油示范区植被生态本底调查的指标与方法

郝绍金,陈 浮,杨永均,张绍良,梁 爽

(中国矿业大学/江苏省资源环境信息工程重点实验室,江苏徐州 221116)

摘要:CO₂ – EOR 技术能提高油气采收率,但由于人为、地质等因素造成的泄漏风险给陆地生态系统带来潜在威胁,包括对农田生产、人体健康等的影响。对 CO₂ 驱油示范区进行植被生态调查有利于监测区域本底生态状况,主要指标包括农业特征、生态因子、植物群落等,监测方法包括遥感调查、地面实测、室内试验等。为验证指标体系的有效性和可行性,对 G 油田 CO₂ 驱油示范区实施了本底调查。结果表明,该指标体系与方法为示范区生态监测提供了重要的指导作用。

关键词:CO₂ – EOR 示范区;植被生态;指标体系;本底调查

中图分类号:X830.2 **文献标志码:**A **文章编号:**1002–1302(2014)09–0340–04

由于 CO₂ 易达到超临界状态,用 CO₂ 驱油(CO₂ – EOR)能提高油气田的采收率,因此 CO₂ – EOR 被广泛用于油气开采并取得了较好效果,该技术被认为是 3 次采油中最具潜力的提高采收率的方法之一^[1]。同时 CO₂ 驱油减少了向空气中排放 CO₂ 的量,达到绿色环保的目的,被誉为是油田绿色开发技术^[2]。CO₂ 驱油是 CO₂ 地质封存较为有效方式之一,但我国 CO₂ 地质封存还处于起步阶段,缺乏法规依据和案例参考以及较为系统的环境监测方法和监测数据的支持^[3],加上 CO₂ 驱油过程中经过裂缝、断层、油气井的破裂会导致 CO₂ 泄漏,CO₂ 一旦泄漏,会对人类、动植物、环境造成影响,当泄漏的量达到一定数值时,CO₂ 驱油也就失去了节能减排作用。如何防止 CO₂ 泄漏,如何对 CO₂ 泄漏进行监测是 CO₂ 驱油的重要任务之一。CO₂ 泄漏是 CO₂ 驱油的重要风险,在整个 CO₂ 捕捉与封存(CCS)技术中具有最大的潜在环境风险^[4]。在 CO₂ 泄漏的众多影响中,生态系统影响是严重的风险^[5]。英国宁波诺丁汉大学的模拟试验结果显示,CO₂ 的浓度对牧草和大豆的生长具有影响^[6]。欧志英等研究表明,长期高浓度 CO₂ 会降低作物的产量及生物量^[7]。在大面积注入 CO₂ 前,实施本底植被生态监测、提取本底值、监测评估生态变化是一项必不可少的工作。

1 CO₂ 驱油对植被生态的潜在影响

CO₂ 驱油可以提高采收率,但也存在着泄漏的危险,2006 年政府间气候变化专门委员会(IPCC)制定的国家温室气体清单指南^[8],在现有研究工作基础上,本研究将 CO₂ 驱油泄漏类型分为人为因素泄漏、地质因素泄漏、化学因素泄漏。人为因素主要是现有井、废井不封闭,储藏库过满、超过阈值以

及油井选址、现有技术缺陷导致的泄漏;地质因素主要是由于地质结构中断层和裂缝导致的泄漏;化学因素泄漏主要因为部分 CO₂ 与水反应,导致盖层退化,从而产生泄漏。CO₂ 泄漏的主要类型为人为因素及化学因素泄漏,CO₂ 泄漏会影响植被光合作用及呼吸作用,由于 CO₂ 能与水反应生成弱酸,能与土壤中的物质发生连串反应,影响植被蒸腾作用,最终危害生态系统和人体健康。CO₂ 泄漏的路径及危害见表 1。

2 本底植被生态调查的指标与方法

根据前述分析,CO₂ 驱油示范区泄漏的 CO₂ 会对植被和生态系统及人体健康造成影响,而植被对 CO₂ 浓度的变化敏感性较强,同时分布广泛,几乎所有驱油示范区都能找到,因此常以植被的生理生态指标作为 CO₂ 泄漏的监测指标。目前还没有一个较为系统明确的本底植被生态指标及其方法,笔者在总结相关研究的基础上,结合农学、农业生态相关知识,确立了主要针对影响植被生长的生态因子、植株生理生态特征、群落、景观进行的观测指标(表 2)。

从不同的观测尺度来看,农业特征调查可以对示范区的气候特征、自然灾害、病虫害、植物的类型有初步了解,为分析数据提供基础信息。植物群落观测可以研究种群内部和群落间的有规律组合及其相互关系。植被区域研究某个区域内的整体情况,对实地调查提供指导作用。

植株生理包括水分、矿质营养、光合作用、呼吸作用、物质代谢、植物激素、生长发育、植物与环境、分子生物学。研究 CO₂ 泄漏对植被的影响,主要是泄漏的 CO₂ 影响了植物生理生态指标,在外界各种因素综合作用下表现出来。而植被的许多生态过程,诸如蒸发、蒸腾、初级生产、废物分解^[9]等都与植被生化组分的含量密切相关,如叶绿素浓度通常是植物光合能力、营养胁迫和发育阶段指标之一^[10],氮素是植物生长的重要养分,在植物营养中有着极其重要地位,也是农田中主要缺少的养分之一,氮素与植被健康生理情况最密切的影响胁迫因子之一^[11]。植被主要组成成分为水、叶绿素、蛋白质、纤维素。选定叶绿素 a 浓度、叶片水含量、叶片氮含量、叶面积指数、叶片光谱反射率作为监测植被的主要指标。植株生理生态主要监测指标及方法^[12–15]见表 3。

收稿日期:2014–03–30

基金项目:国家科技支撑计划(编号:2012BAC24B05);国际科技合作计划(编号:2013DFB60140–08);江苏高校优势学科建设工程。

作者简介:郝绍金(1988—),男,湖北巴东人,硕士研究生,主要从事农业环境的研究。E-mail:cumthsj@163.com。

通信作者:陈 浮,博士,副教授,主要从事碳捕捉与封存(CCS)的研究。Tel:(0516)83883390;E-mail:chenfu@cumt.edu.cn。

表 1 CO₂ 泄漏的路径及危害

泄漏类型	潜在泄漏路径/源	主要危害对象	对植被的影响
人为因素	对现有井、废井的不封闭处理	生态系统	导致植被周围 CO ₂ 浓度升高,影响植物光合作用及呼吸作用,减少植物生物量
	储藏库过满,超过阈值	人体健康	
	对油井选址、现有技术缺陷	人体健康、生态系统	
地质因素	运输转移过程中	生态系统	诱发地质灾害、导致地下水污染,影响植被根系
	地质结构中断层和裂缝	人体健康、生态系统	
	化学因素	生态系统	
化学因素	CO ₂ 、水、岩石反应,退化盖岩	生态系统	影响植被有机质含量

表 2 本底植被生态监测项目

观测尺度	观测项目	子项目	观测指标
农业特征调查	自然条件	地形地貌、自然灾害	积温、病虫害
	生产状况	种植制度	布局、时间、复种、施肥
	作物	作物类型	产量、生长周期
生态因子观测	光热水土	光合有效辐射(PAR)、温度、降水量	
植株生理生态	植株形态	根、茎、叶、穗、花	株高、根长、颜色、叶片数、叶形、质地
	植株生理	水分生理	叶片水
		光合作用	叶面积、叶绿素、光合速率
植物群落观测		物质代谢	叶片氮
	光谱特征	光谱反射率	叶片
	结构观测	垂直结构(光合层、支持层、吸收层)	垂直生物量、群落高度
		水平结构	叶面积指数、生物量
		时间结构	种植时间、生长发育周期
	种类组成	多度、密度、盖度、高度、深度、	
植被区域观测	群体特征	组成、大小(密度、干物质量、LAI、穗数、根系)、分布(均匀度、整齐度、株行距)、长相、整齐度	
	景观观测	植被分类、覆盖	景观格局指数、异质性
	参量观测	NDVI、生产力、覆盖度、异常检测	

注:多度是指该种在群落内的个体数目,密度是指单位面积内植物个体数量。盖度是指植物地上器官对地面的水平投影大小,一般用百分率表示。

表 3 植株生理生态主要监测指标及方法

指标	表征	试验方法	主要仪器设备
叶绿素浓度	光合作用的主要参与者,在健康绿色植被的光谱中吸收带产生的原因。随着环境中 CO ₂ 浓度改变,叶绿素浓度会产生较大的变化,可通过光谱变化识别。	分光光度法	分光光度计、混合提取液、1 mg 感量天平
叶片水含量	蒸腾作用的主要参与者,植物大部分生化作用的参与者。随着环境中 CO ₂ 浓度变化,叶片水含量会产生较大的变化,可以通过光谱变化识别。	烘干称重法	烘干箱、1 mg 感量天平
叶片氮含量	蛋白质组织主要组分,植物大部分生化作用的参与者。随着环境中 CO ₂ 浓度变化,叶片氮含量会产生较大的变化。	凯氏定氮法	半微量蒸馏器
叶面积指数	反应植物群体生长状况的重要指标,从宏观上对生态系统进行评价。	田间不立体测量	光合仪、冠层分析仪
叶片光谱反射率	叶片与光辐射的相互作用直接影响了冠层光谱,表现为叶片光谱的各种反射特征	单叶光谱测量	光谱仪、参考板

注:测定叶绿素时混合液为 V(乙醇):V(丙酮)=1:2,叶面积指数可由干重法校正。

3 监测实例

本研究选取 G 油田为研究对象,结合现场实际情况,以注入井为中心向外延伸划定为试验监测区,选取相邻无泄漏的区域为对照区,划定了研究区域。对照试验区、试验监测区范围见图 1。于 2013 年 7—8 月进行 2 次生态监测,以主要交通干道为辐射轴,采用随机抽样的方法,步行、乘车前往各个

采样点,在考虑到植物类型、种植方式等方面的基础上,计算出不同植物在不同种植方式下所需的样本数。2 次测量样点数量分别 53、31 处,2 次采样点空间分布见图 2,每个样点主要采集大豆、玉米、棉花 3 种作物样品,还专门对采出井、注入井周边进行了植被调查和采样。在实验室对叶绿素、总氮、叶片水分含量等指标进行了测定,对测定数据、调查数据进行分析,得出了植被生态监测的多因素共同作用图,结果见图 3。

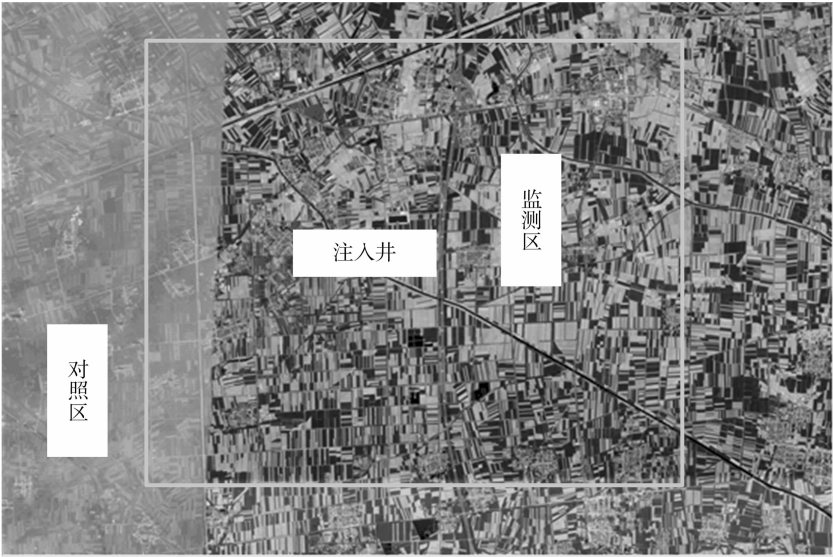


图1 监测区遥感影像及监测范围

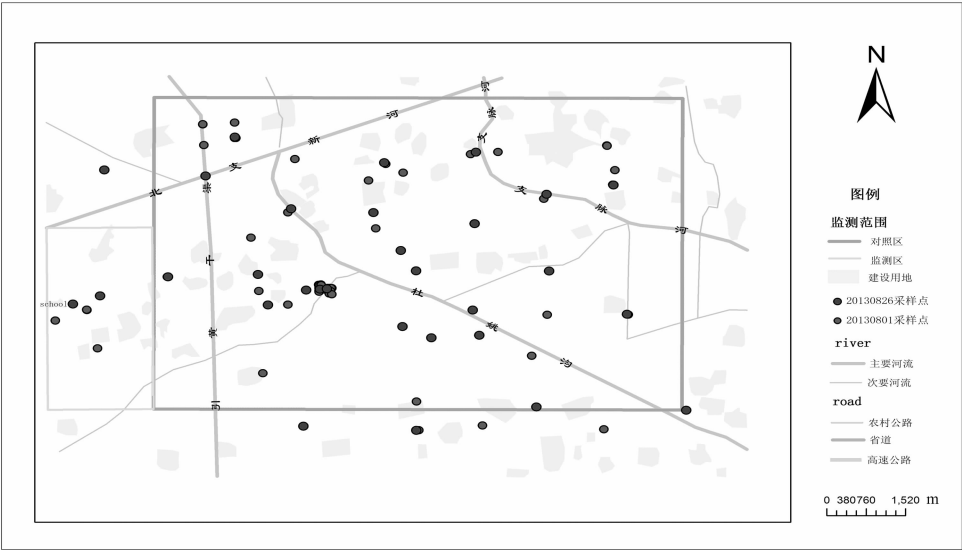


图2 2次采样点空间分布

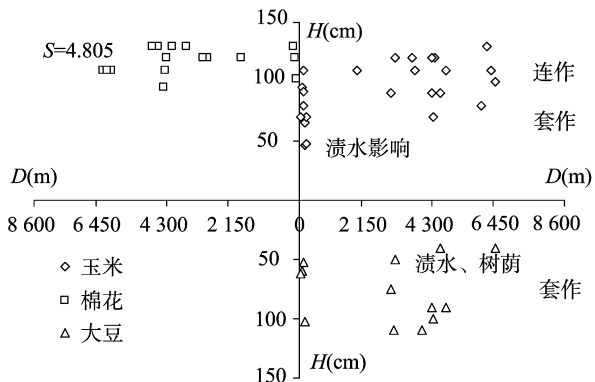


图3 植被生态监测的多因素共同作用

从图3可以看出,(1)表现出受自然条件影响(水淹、树荫等)产生了株高极端数值效应;(2)由于种植制度的不同

(连作、套作)产生了样点整群差异现象;(3)株高与 $\text{CO}_2\text{-EOR}$ 注入井距离不存在明显相关关系;(4)从不同作物类型来看,棉花样品方差较小,群落整齐度较高;玉米为大面积农田作物,种植制度对其生长周期影响较大,整群差异较为明显。大豆种植在边角地,影响其生长的自然因素较多,作物株高差异明显。

在对G油田 CO_2 驱油示范区进行野外生态调查、室内试验及数据分析的基础上,以基本地理(水系、道路、农村居民点),基本地质,监测数据(监测点、监测路线、光谱特征),石油开发,栅格数据(遥感影像、DEM、植被覆盖),数据表(植株生理生态、群落),文本数据(农业特征、监测报告)为主要内容,建立本底植被生态监测数据库,结果见图4。

通过建立本地植被生态监测数据库,为后期研究 CO_2 驱油过程中 CO_2 泄漏对植物胁迫影响提供了基础资料,也为分析植被生态本底值提供了依据,并为研究植被生态监测提供

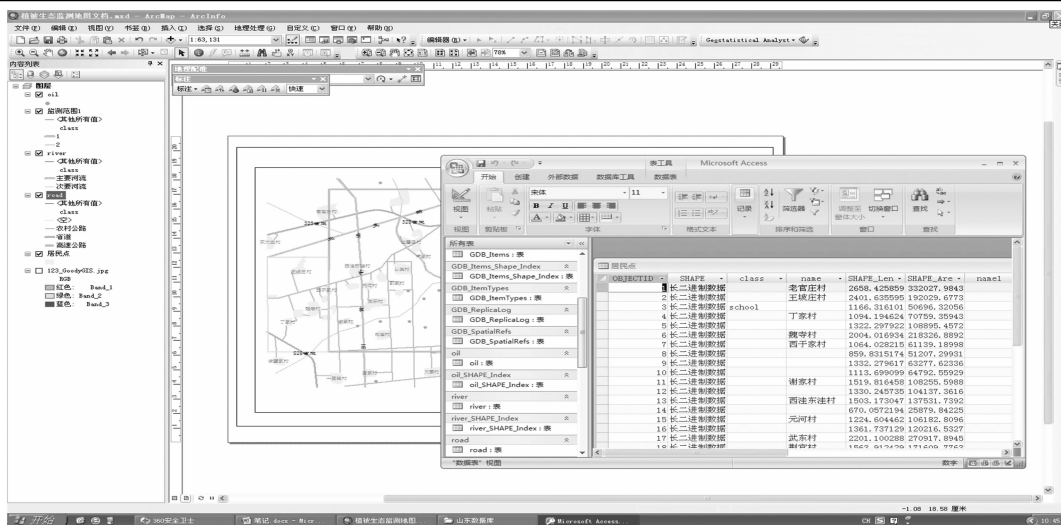


图4 本底植被生态监测数据库

了一套较为完整的思路。

4 结论与讨论

针对 CO_2 驱油带来的生态不安全因素,从 CO_2 驱油的泄漏风险、公众焦点出发,分析对植被生态的影响,总结可能的泄漏途径及危害,得出 CO_2 驱油示范区本地植被生态监测对于 CO_2 驱油开采理论研究、风险评估,建立监测评估体系方面起着重要的作用,提出本底植被生态调查的指标与方法,对植被生态本底调查提取本底值,监测植被生态变化、评估、判断有重要的意义。以 G 油田为实例,描述了本底植被生态监测从指标选取,到野外实地调查、室内试验、数据库的建立,在本底植被生态监测调查方面具有良好的参考借鉴意义。在监测指标确定方面,结合农学、农业生态相关知识总结而成,对指标的验证和优化还有待进一步研究。对监测手段和试验方法采用常规方法,在监测的多样化和实验方法的先进性方面还有改进的空间。

参考文献:

- [1] 刘忠运,李莉娜. CO_2 驱油机理及应用现状[J]. 节能与环保, 2009,10(10):36-38.
- [2] 杨帆,李治平. 油田绿色开采技术—— CO_2 驱油[J]. 内蒙古石油化工,2007,34(2):131-133.
- [3] 蔡博峰. 二氧化碳地质封存及其环境监测[J]. 环境经济,2012(8):44-49.
- [4] 刘兰翠,曹东,王金南. 碳捕获与封存技术潜在的环境影响及对策建议[J]. 气候变化研究进展,2010,6(4):290-295.
- [5] 胡虎,李宏军,吕敬虎. 关于二氧化碳捕集与封存可接受度的调查分析[J]. 中国煤炭,2009,35(8):83-87.

- [6] Patil R H, Colls J J, Steven M D. Effects of CO_2 gas as leaks from geological storage sites on agro-ecosystems[J]. Energy, 2010, 35(12):4587-4591.
- [7] 欧志英,彭长连. 高浓度二氧化碳对植物影响的研究进展[J]. 热带亚热带植物学报,2003,11(2):190-196.
- [8] 2006 IPCC guidelines for national greenhouse gas inventories[R]. Tokyo:IGES,2006.
- [9] Goetz S J, Prince S D. Remote sensing of net primary production in boreal forest stands[J]. Agricultural and Forest Meteorology, 1996, 78(3/4):149-179.
- [10] Curran P J D J, Gholz H L. Exploring the relationship between reflectance red edge and chlorophyll content in slash pine[J]. Tree Physiology, 1990, 7:33-48.
- [11] 袁金国,牛铮. 基于 Hyperion 高光谱图像的氮和叶绿素制图[J]. 农业工程学报,2007,23(4):172-178.
- [12] Chappelle E W, Kim M S, McMurtry J E III. Ratio analysis of reflectance spectra (RARS): an algorithm for the remote estimation of the concentrations of chlorophyll a, chlorophyll b and the carotenoids in soybean leaves[J]. Remote Sens Environ, 1992, 39:239-247.
- [13] Grossman Y L, Verdebout J. Critique of stepwise multiple linear regressions for the extraction of leaf biochemistry information from leaf reflectance data[J]. Remote Sens Environ, 1996, 56:182-193.
- [14] Dawson T P, Curran P J, North P, et al. The propagation of foliar biochemical absorption features in forest canopy reflectance: a theoretical analysis[J]. Remote Sensing of Environment, 1999, 67(2):147-159.
- [15] 鲁如坤. 土壤农业化学分析方法[M]. 北京:中国农业科技出版社,2000:302-312.