

# “双碳”目标下地质勘查技术发展趋势

李 燕

中煤一局集团有限公司 山西太原 030000

**摘要:**“双碳”目标的提出,为全球应对气候变化、实现可持续发展提供了重要的蓝图。地质勘探技术是我国“双碳”战略实施过程中的一项重要任务,是资源勘查和环境研究的重要手段。本课题针对“双碳”目标,从清洁能源勘探、碳捕获与封存、生态碳汇监测与数字智能化三个方面,采用案例与图表相结合的方法,对我国“双碳”战略背景下地质勘查技术的发展趋势进行实证研究,以期为“双碳”背景下地质勘查产业的发展提供综合性、前瞻性的参考依据。

**关键词:**双碳目标;地质勘查技术;清洁能源;碳捕集与封存

## 引言

在全球变暖的背景下,减排、实现碳中和已成为国际社会普遍共识。我国提出2030年前二氧化碳排放峰值和力争2060年实现碳中和的“双碳”目标,既是大国责任,也是促进我国经济社会绿色低碳转型和高质量发展的必然选择。作为资源开发利用与环境保护的基础产业,地质勘探业对实现“双碳”目标具有重要意义。传统地质勘查以矿产资源为重点,随着“双碳”战略的实施,矿产资源勘查的内涵和外延都在不断扩大,给地质勘查技术的发展带来新的需求和挑战。深入开展“双碳”战略背景下地质勘探技术发展趋势的研究,对推动我国地质勘查产业转型升级、实现“双碳”目标具有重要意义。

## 一、地质勘查助力碳减排与碳汇增加

### (一) 碳捕集与封存(CCS)中的地质勘查

碳捕获与封存是实现大规模碳减排的重要途径。在CCS工程中,地质勘查对选择合适的封存地点和监测封存效果具有重要意义。在封存地点选择上,综合运用地

质测绘、地球物理勘查和地球化学分析等方法,综合评价深部咸水层和枯竭油气藏的潜力。利用地震勘探技术,可获得含盐水层的地层结构信息,确定含盐水层的厚度、渗透率,封闭性等参数;地球化学分析技术能够探测地下流体组成,评价注入CO<sub>2</sub>后与地层流体发生化学反应,保证封存安全稳定<sup>[2]</sup>。例如,某滨海地区CCS项目,地质勘探队利用三维地震探测技术,发现一个具有较好封存条件的深层咸水层,预计可封存数十亿吨二氧化碳。在封存过程中,采用4D地震监测、地面重力监测等技术,实时监测封存过程中CO<sub>2</sub>的运移与分布,确保封存效果与环境安全。

碳捕集与封存(CCS)技术中的地质勘查技术见表1。

### (二) 生态碳汇监测中的地质勘查

森林、草地和湿地是重要的碳汇,对大气CO<sub>2</sub>的吸收起着重要的作用。地质勘探技术是监测生态碳汇量的重要手段。土壤有机碳含量可通过物探技术测定。例如,利用电磁波在土壤中的传播特征,利用电磁波的传输特性,反演土壤有机碳分布,可快速大范围地获取土壤碳

表1 碳捕集与封存(CCS)技术中的地质勘查技术见表

勘查阶段	传统技术	创新技术	创新技术作用	应用项目成果
封存场地勘查与评价	地质测绘、常规地球物理勘探、地球化学分析	数值模拟技术、风险评估技术	数值模拟预测二氧化碳运移和封存效果,风险评估确定场地潜在风险及防控措施	在某CCS项目中,通过模拟确定最佳注入方案,评估风险并制定防控措施,保障项目安全实施
封存过程监测	定期人工检测部分指标	4D地震技术、地面重力与电磁监测技术	4D地震追踪二氧化碳运移轨迹,地面重力和电磁监测实时反映注入量、分布和运移聚集情况	国外某示范项目利用4D地震成功监测二氧化碳扩散;我国试点项目综合运用实现实时动态监测,保障项目安全运行

汇信息。本项目拟采用同位素示踪技术，示踪生态系统碳循环途径，分析植物、土壤和大气碳同位素组成及变化特征，揭示碳的源/汇关系，为生态保护与修复提供科学依据。在海洋生态系统固碳监测中，可采用海底地形测绘技术，绘制高精度海底地形，分析地形地貌对海洋环流及碳储量的影响。利用海洋地球化学监测技术，对海水中溶解性无机碳、有机碳等进行测定，并结合碳同位素分析，揭示海洋碳循环，为评估海洋生态系统的碳汇功能提供数据支撑。

## 二、“双碳”目标下地质勘查技术发展趋势

### (一) 清洁能源勘查技术革新

#### 1. 地热能勘查技术新突破

地热能是一种极具发展潜力的清洁可再生能源。近几年来，我国地热资源勘探取得一系列突破性进展<sup>[3]</sup>。

分布式光纤测温技术在地热勘探中的应用极大地提高温度监测的准确性。本项目拟将光纤埋设于钻孔内，利用光纤温敏特性，实时连续监测地下温度场变化，实现对地热异常区域的精确定位，为地热资源勘探与开发提供可靠的数据支撑。将分布式光纤测温技术应用于某地热勘探工程，可使测温精度达到  $\pm 0.1^{\circ}\text{C}$ ，有效降低勘探成本与风险。大数据和人工智能技术也越来越多地应用于地热资源勘探。通过对海量地质、地球物理和地球化学数据的分析，构建更精确的地热地质模型，对地热资源分布进行预测。人工智能算法可以智能地解译勘探资料，快速识别地热异常特征，提高勘探效率与精度。近年来，我国利用大数据和人工智能技术，在多个区域成功圈定一批新的地热远景区，拓展地热资源开发的空間。清洁能源勘查技术对比见表2：

表2 清洁能源勘查技术对比见表

能源类型	传统勘查技术	新型勘查技术	新型勘查技术	应用案例效果
地热能	地质调查、常规地球物理勘探	分布式光纤测温技术、大数据与人工智能分析	分布式光纤测温技术、大数据与人工智能分析	在某地热勘查项目中，圈定新的地热远景区，降低勘查成本与风险
风能	气象观测站、测风塔	高分辨率激光雷达技术	高分辨率激光雷达技术	某风电场利用该技术后，发电量预计提高10%~15%
太阳能	地面监测、简单数据分析	高分辨率卫星遥感影像结合GIS技术	高分辨率卫星遥感影像结合GIS技术	为某太阳能电站规划布局提供科学指导，提高电站发电效率

#### 2. 风能、太阳能勘查技术优化

在风力资源勘探中，利用高分辨LIDAR技术可以实现对高空风能资源的准确探测。传统风力资源勘探主要依赖气象站、测风塔等，获取的风能资源数据空间分辨率低、时效性差。激光雷达技术能够在不同高度上获取风速、风向等数据，为风电场选址、风机选型提供更加准确的依据<sup>[4]</sup>。在某风电场建设项目中，利用激光雷达探测风力资源，预期可使风电场发电量增加10%~15%。太阳能勘探技术也得到进一步的优化。将高分遥感图像与地理信息系统（GIS）技术相结合，实现对太阳能资源的宏观评价与精细化分析。基于卫星遥感数据获取大范围地表反射率、云量等信息，结合地理信息与地形数据，利用GIS技术开展空间分析与建模，实现对太阳能资源分布与可利用性的准确评估，为光伏电站规划与布局提供科学依据。

### (二) 碳捕集与封存（CCS）技术中的地质勘查应用

#### 1. 封存场地勘查与评价技术创新

寻找安全高效的CO<sub>2</sub>封存场地是CCS技术实施的关键。地质勘查技术手段不断创新，地下埋藏点的勘探

和评价。以传统的地质测绘、物探、地球化学分析为基础，引入数值模拟与风险评价方法。本项目的实施，将为CO<sub>2</sub>在地下水中的迁移转化、封存过程提供理论依据，为CO<sub>2</sub>的分布与封存提供科学依据。风险评价技术可用于评价封存场地潜在风险，如二氧化碳泄漏、地质灾害等，并制定相应的风险控制措施。以某CCS工程封存场地为研究对象，采用三维地质模型，采用数值模拟方法，预测CO<sub>2</sub>在咸水层中的运移路径及分布范围。在此基础上，采用风险评价技术，对工程地质条件下的地质灾害进行风险评估，确定地质灾害的危险性水平，为工程的安全实施提供保障。

#### 2. 封存过程监测技术发展

CO<sub>2</sub>封存后，为保证封存效果，确保封存环境安全，需长期、精确地监测封存环境。地质勘探中，埋存过程的监控技术已有长足的发展。在此基础上发展起来的4D地震探测技术，已成为研究CO<sub>2</sub>运移的一种重要方法。4D地震技术通过周期性重复地震勘探，对比不同时段的地震资料，可以清楚地反映CO<sub>2</sub>注入前后地层的变化情况，并追踪CO<sub>2</sub>的运移轨迹。在国外某CCS示范工程中，

采用4D地震监测技术,成功地监测注二氧化碳在地层中的扩散情况,为该工程的运营管理提供重要依据。地面重力和电磁监测技术也是地下封存过程监测的重要手段。地面重力监测可通过观测地下重力场变化间接反映CO<sub>2</sub>注入量及分布;电磁法是一种利用地下介质电磁特性变化来监测CO<sub>2</sub>运移与富集的方法。结合地面重力与电磁监测技术,对封存场地进行实时动态监测,可有效保证工程安全运行。

### (三)生态碳汇监测中的地质勘查技术发展

#### 1.陆地生态系统碳汇监测技术进展

在陆地碳汇监测中,地质勘探技术也在不断发展和创新。近年来,地球物理探测技术在土壤有机碳检测领域得到越来越广泛的应用。目前,除地质雷达技术之外,核磁共振技术已逐步用于土壤有机碳的测定<sup>[5]</sup>。核磁共振技术可探测土壤氢核的松弛性质,获得土壤含水量、有机质含量等信息,进而间接估算土壤有机碳含量。该技术具有非破坏性、快速和精确的特点,可以实现大面积、无损伤地测定土壤有机碳。同位素示踪技术已成为陆地生态系统碳循环的重要手段。通过高精度的植物、土壤和大气碳同位素分析,可以更精确地示踪生态系统碳循环路径,定量评估不同生态系统碳源汇强度。

#### 2.海洋生态系统碳汇监测技术突破

海洋生态系统是全球最大的碳汇,监测其碳储量对评估全球碳循环及气候变化至关重要。地质勘探使海洋生态系统碳汇监测技术有突破性进展。随着海底地形测量的精度与分辨率的不断提高,以及多波束回波测深、合成孔径声纳等技术的应用,可以获得更为详尽、精确的海底地形信息,为海洋环流及碳储量的研究提供基础资料。海洋地球化学监测技术也得到长足的进步。因此,

本项目拟以我国近海为研究对象,利用长时间连续观测技术,对海水中溶解性无机碳、有机碳、pH值等参数进行实时监测。本项目的实施将为深入认识海洋碳循环和评估海洋生态系统碳汇功能提供重要的科学依据。同时,通过卫星遥感反演海洋叶绿素、海表温度等参数,为海洋初级生产力、固碳等研究提供重要信息。

### 结论

“双碳”目标为地质勘查技术发展开辟新路径,从清洁能源勘查技术创新,到碳捕集与封存技术中的地质勘查应用,再到生态碳汇监测技术发展以及数字化、智能化演进,地质勘查技术正朝着更高效、精准、绿色的方向大步迈进。实际案例充分证明,这些技术发展有力推动“双碳”目标的实现,为经济社会可持续发展筑牢根基。未来,随着“双碳”工作的持续深入,地质勘查技术需不断创新完善,强化多学科交叉融合,提升技术的适用性与可靠性,在全球应对气候变化行动中勇挑重担,发挥更大价值。

### 参考文献

- [1]任克雄,陈翠华.“双碳”目标下地质勘查技术发展趋势[J].大众标准化,2025(1):43-45.
- [2]王晴.绿色地质勘查技术在稀土矿勘查中的实践与探讨[J].冶金与材料,2025,45(2):136-138.
- [3]张振宇,孙跃,袁桂琴.地质勘查技术标准体系建设与思考[J].西北地质,2023,56(5):120-126.
- [4]范记林.绿色地质勘查技术的创新与发展[J].现代工程科技,2024,3(17):85-88.
- [5]何宗围,刘同伟.现代地质勘查技术在铜矿资源勘查中的应用探讨[J].世界有色金属,2025(2):185-187.