



# 中华人民共和国国家标准

GB/T XXXXX—XXXX

## 火电厂碳封存 CO<sub>2</sub> 检测方法

Specification for CO<sub>2</sub> measurement of carbon storage process for thermal power plants

(点击此处添加与国际标准一致性程度的标识)

(征求意见稿)

在提交反馈意见时，请将您知道的相关专利连同支持性文件一并附上。

XXXX – XX – XX 发布

XXXX – XX – XX 实施

国家市场监督管理总局  
国家标准化管理委员会 发布

目 次

前 言 ..... II

1 范围 ..... 1

2 规范性引用文件 ..... 1

3 术语和定义 ..... 2

4 检测流程 ..... 2

5 检测方法与要求 ..... 3

6 检测报告 ..... 11

附 录 A 检测报告 ..... 12

参考文献 ..... 14

## 前 言

本规范按照GB/T 1.1—2020《标准化工作导则 第1部分：标准化文件的结构和起草规则》的规定起草。

本文件由XXX提出。

本文件由中国标准化研究院归口。

本文件起草单位：

本文件主要起草人：

# 火电厂碳封存 CO<sub>2</sub>检测方法

## 1 范围

本文件规定了火电厂碳封存CO<sub>2</sub>检测的检测流程、检测方法与要求、检测报告。

本文件适用于陆域范围内火电厂碳排放源经捕集处理后的CO<sub>2</sub>的管道运输、储层注入、地质空间CO<sub>2</sub>封存等环节过程中的CO<sub>2</sub>含量检测方法，地质空间包含深部咸水层、枯竭油气藏、不可开采煤层等。基性/超基性岩（矿化）等地质封存，CO<sub>2</sub>驱油、CO<sub>2</sub>驱气等地质利用的CO<sub>2</sub>检测方法可参考本文件。

## 2 规范性引用文件

下列文件中的内容通过文中的规范性引用而构成本文件必不可少的条款。其中，注日期的引用文件，仅该日期对应的版本适用于本文件；不注日期的引用文件，其最新版本（包括所有的修改单）适用于本文件。

GB/T 33672	大气二甲烷光腔衰荡光谱观测系统
GB/T 34415	大气二氧化碳(CO <sub>2</sub> )光腔衰荡光谱观测系统
GBZ/T 300.37	工作场所空气有毒物质测定第37部分：一氧化碳和二氧化碳
GB/T 6682	分析实验室用水规格和试验方法
DZ/T 0064.1	地下水质分析方法 第1部分：一般要求
DZ/T 0064.2	地下水质分析方法 第2部分：水样的采集和保存
DZ/T 0064.47	地下水质分析方法 第47部分：游离二氧化碳的测定 滴定法
DZ/T 0064.48	地下水质分析方法 第48部分：侵蚀性二氧化碳的测定 滴定法
DZ/T 0064.49	地下水质分析方法 第49部分：碳酸根、重碳酸根和氢氧根离子的测定 滴定法
HJ/T 166	土壤环境监测技术规范
HJ 494	水质采样技术指导
HJ 501	水质 总有机碳的测定 燃烧氧化—非分散红外吸收法
HJ 870	固定污染源废气 二氧化碳的测定 非分散红外吸收
SH/T 3202	二氧化碳输送管道工程设计标准

SY/T 6826	输油管道泄漏监测系统技术规范
SL 80	游离二氧化碳的测定（碱滴定法）
SL 81	侵蚀性二氧化碳的测定（酸滴定法）
ASTMD 513	水中二氧化碳溶解量和总量的标准试验方法

### 3 术语和定义

下列术语和定义适用于本文件。

#### 3.1 管道泄漏 pipeline leak （来源：SY/T 6826-2022）

输送介质由于打孔、第三方破坏或管道破裂等原因从管道中流出。

#### 3.2 CO<sub>2</sub> 通量 carbon dioxide flux

CO<sub>2</sub> 通量是指生态系统通过某一生态断面的 CO<sub>2</sub> 的总量，通常用单位时间内通过单位面积的 CO<sub>2</sub> 的质量来表示。

#### 3.3 CO<sub>2</sub> 浓度传感器 carbon dioxide concentration sensor

用于测量环境中 CO<sub>2</sub> 浓度的设备。它通过特定的检测原理和技术，将环境中 CO<sub>2</sub> 的含量转化为电信号或其他可读取的输出形式，以便检测人员准确了解特定空间内 CO<sub>2</sub> 的浓度水平。

### 4 检测流程

火电厂碳封存检测目标是：CO<sub>2</sub>封存检测过程的可量化、可核证，规范CO<sub>2</sub>管道运输与封存过程中的CO<sub>2</sub>检测方法。本标准检测的范围包括空中、地表和地下检测。空中检测不同高度、不同范围大气中CO<sub>2</sub>背景值和CO<sub>2</sub>浓度变化等；地表检测地表CO<sub>2</sub>背景值、浓度变化和地下向地面的CO<sub>2</sub>扩散通量等；地下检测CO<sub>2</sub>地质封存体封存CO<sub>2</sub>浓度变化。

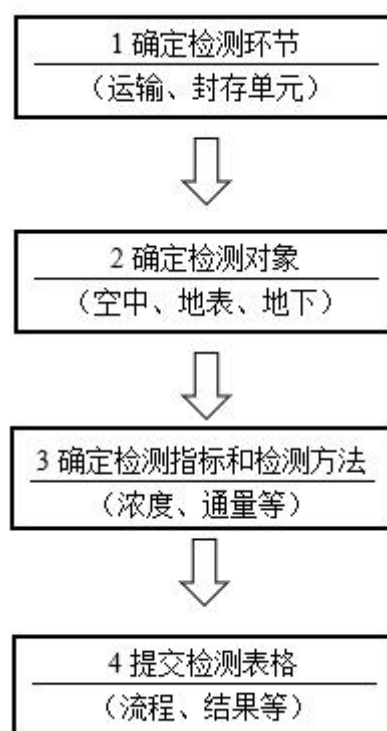


图1 检测流程图

具体检测流程如下（如图1所示）：

#### 1.确定检测环节

包含运输、封存两个单元。

#### 2.确定检测对象

检测空间范围为空中、地表和地下，具体划分有管道、井筒、地质体、地下水、土壤、大气。

#### 3.确定检测指标和检测方法

检测内容：大气、地表、地下的 CO<sub>2</sub> 浓度值、CO<sub>2</sub> 通量等指标。具体检测方法见表 1。

#### 4.提交检测报告

详细总结检测流程与结果。

## 5 检测方法与要求

### 5.1 通则

本标准所列检测方法适用于以陆域范围内火电厂捕集的CO<sub>2</sub>为碳源，管道运输、储层注入、CO<sub>2</sub>地质储存过程中包括管道、井筒、地质体（包含深部咸水层、枯竭油气藏、不可开采煤层等地质空间）、

地下水流体、地表土壤及大气在内的CO<sub>2</sub>检测。实际检测过程中，需至少检测CO<sub>2</sub>浓度背景值、封存后CO<sub>2</sub>浓度实时值，管道需检测泄露量，深部咸水层需检测浓度，其他指标视情况而定；所选检测也可以作为常规监测或定期检测的一部分重复开展。下表（表1）为检测对象所适用于的检测方法及所需的检测指标，具体检测方法详见5.2章节。

表1 不同检测对象 CO<sub>2</sub> 检测指标及检测方法

检测对象		检测指标	检测方法
管道		泄漏量	5.2.1 流量平衡检测法
井筒		浓度	5.2.2 非分散红外法
		通量	5.2.3 井口 CO <sub>2</sub> 泄漏通量检测法
地质体	深部咸水层	浓度	5.2.4 U 型管流体采样检测法
			5.2.5 红外传感器检测法
	枯竭油气藏	浓度	5.2.4 U 型管流体采样检测法
			5.2.5 红外传感器检测法
	不可开采煤层	浓度	5.2.2 非分散红外法
地下水		浓度	5.2.2 非分散红外法
			5.2.6 酸碱滴定 CO <sub>2</sub> 检测法
土壤		浓度	5.2.6 酸碱滴定 CO <sub>2</sub> 检测法
		通量	5.2.7 开放式动态累积室 CO <sub>2</sub> 检测法

大气	浓度	5.2.2 非分散红外法
		5.2.8 光腔衰荡光谱法

## 5.2 检测方法

### 5.2.1 流量平衡检测法

#### 5.2.1.1 检测仪器

流量平衡检测法为在线检测方法，其检测仪器为管道上下游安装的流量计，同时配合流量平衡检测法算法数据软件完成。

管道泄漏监测系统相关精度和性能指标参照SY/T 6826-2022。

#### 5.2.1.2 检测程序

流量平衡检测法为在线检测方法，通过应用管道泄漏监测系统来实现。管道泄漏监测系统的设计和建造参照SY/T 6826-2022。

### 5.2.2 非分散红外法

#### 5.2.2.1 检测仪器

##### 1、大气检测

参照 HJ870-2017 中规定的要求。

##### 2、水体检测

采用非分光红外（NDIR）CO<sub>2</sub>水质检测仪。适用范围与性能要求参照HJ 501-2009中的要求。

##### 3、井下检测

采用CO<sub>2</sub>浓度传感器，由红外光源、探测器、气室、外壳等组成。适用范围与性能要求参照HJ870-2017中的要求，同时需进行封装保护处理，以适应井下的高温、高压、强腐蚀性环境。

##### 4、不可开采煤层检测

采用NDIR系列气体分析仪，分辨率 0.001ppm（0-10ppm高精度）/0.01ppm（0~10 ppm）；0.01ppm（0~100 ppm），0.1ppm（0~1000 ppm），1ppm（0~5000 ppm以上）。



5.2.2.2 检测程序

1、大气检测

(1) 采样：

采样系统由采样塔、采样管、除水设施、采样泵、流量压力控制模块、标校模块等组成，如图 2（采用两级除水方式，二级除水采用低温冷阱）和图 3（采用两级除水方式，二级除水采用半透膜除水）。

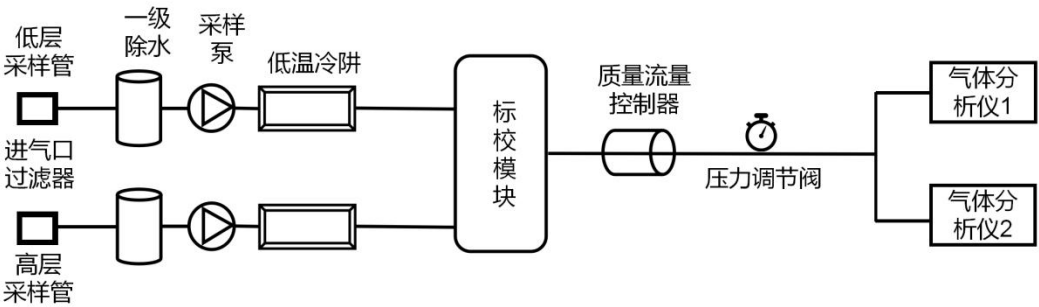


图 2 大气中 CO<sub>2</sub>连续自动监测采样系统示意图（二级除水采用低温冷阱）

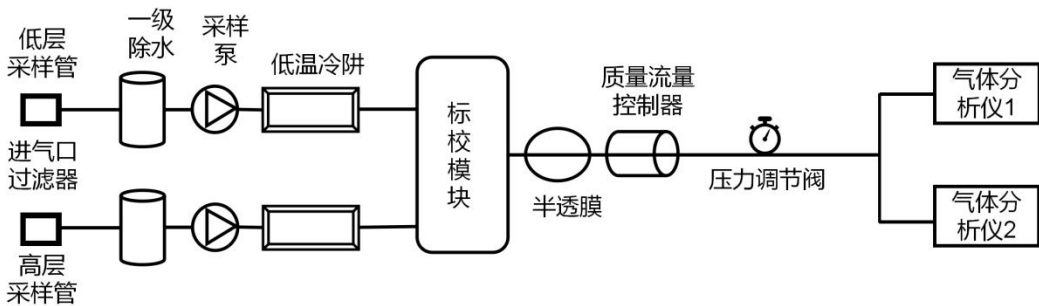


图 3 大气中 CO<sub>2</sub>连续自动监测采样系统示意图（二级除水采用半透膜）

(2) 检测与分析：按照 HJ870-2017 进行 CO<sub>2</sub> 检测与分析。

2、水体检测

- (1) 按照 HJ 494—2009 中规定的要求对水体进行采样。
- (2) 按照 HJ 501-2009 中第八章中规定的对非分光红外（NDIR）CO<sub>2</sub>水质检测仪校准。
- (3) 检测水体中的 CO<sub>2</sub>。

3、井下检测

- (1) 前期准备。
- (2) 校准仪器（按照HJ870-2017中第八章的要求）。

(3) 下放CO<sub>2</sub>浓度传感器。

(4) 采集与分析数据。采样系统由CO<sub>2</sub>浓度传感器、信号传输电缆、绞车、地面信号后处理系统等组成，如图4所示。

(5) 评估与应用检测结果。

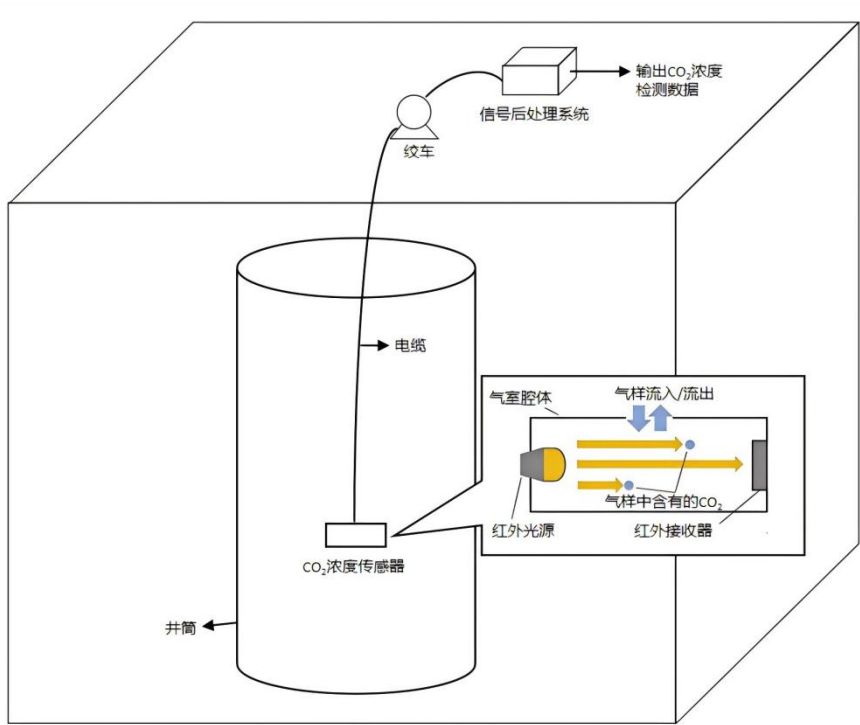


图 4 井筒中 CO<sub>2</sub> 浓度检测系统示意图

4、不可开采煤层检测

在煤层安装红外光源设备对封存CO<sub>2</sub>进行照射，将接收到的信号进行处理，随后进行计算获取目标样品的CO<sub>2</sub>浓度。具体步骤为：（1）红外光源发射；（2）对采样气体进行照射；（3）信号器接收；（4）信号处理显示；（5）计算CO<sub>2</sub>浓度。

5.2.3 井口 CO<sub>2</sub> 泄漏通量检测法

5.2.3.1 检测仪器

采用便携式CO<sub>2</sub>通量测定仪，由传感器系统、集气罩等部件组成。适用范围与性能要求应符合常规野外气体通量测定的要求。

5.2.3.2 检测程序

1、前期准备。

- 2、校准仪器。
- 3、连接与固定仪器管路。
- 4、安装集气罩。
- 5、设置仪器参数。
- 6、预热与适应环境。
- 7、启动测量与采集数据。采样系统由CO<sub>2</sub>浓度传感器、集气罩、输气设备、数据后处理系统等组成，如图5所示。便携式CO<sub>2</sub>通量测定仪的探头采样位置应尽可能接近井口（与井口距离不宜超过1米）。
- 8、记录与分析数据。

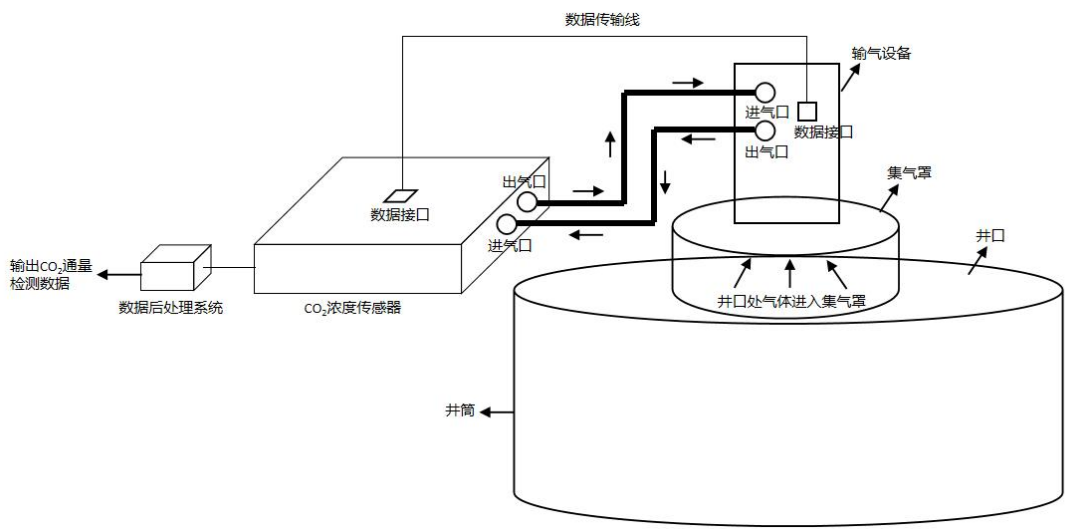


图 5 井口 CO<sub>2</sub> 泄漏通量检测系统示意图

5.2.4 U 型管流体采样检测法

5.2.4.1 检测仪器

U 型管流体采样检测法是通过 U 形管对地质体中气体进行取样，取样管和驱动管回路形成一个 U 形回路，回路下方安装一个单向阀，通过封隔器隔离地层中气体。采集气体样品时，先将 U 形管驱动管管头和取样管管头与大气连通，气体通过单向阀进入 U 形管内，从驱动管管头注入液体，此时单向阀关闭，驱使气体样品从取样管流出地表，地表处设置气液分离装置，并测量采集气体中 CO<sub>2</sub> 含量，并计算溶解于水中 CO<sub>2</sub> 含量。CO<sub>2</sub> 浓度检测设备标准参照 GBZ/T300.37-2017。液体中 CO<sub>2</sub> 溶解总量检测仪器按照参照 ASTM D513 中的要求。

5.2.4.2 检测程序

采样前，应在气液分离容器上贴好标签，用防水墨水书写标签，对气体检测装置进行校准。样品标

签上至少包含以下信息：样品信息、取样人、取样日期和取样时间、取样点、分析要求、取样条件、备注。

采样时，应保证采集气体的密封性，确保不与空气中气体接触，对气液分离装置，应使水样充满容器至溢流，并密封保存，以减少因与空气中氧气、CO<sub>2</sub>的反应干扰及运输过程中的振荡干扰。

采样后，对所采集气体及气液分离装置中的液体立即送实验室。实验室收到样品后，应尽快检测。

## 5.2.5 红外传感器检测法

### 5.2.5.1 检测仪器

使用到的设备为傅里叶变换红外光谱仪（FTIR）。基于傅里叶变换的原理分析CO<sub>2</sub>在特定波长（通常为4.3 μm左右）的吸收峰强度，定量测定CO<sub>2</sub>浓度。TIR的精度可以达到±1%或更高的灵敏度，光谱范围为4000 cm<sup>-1</sup>到 400 cm<sup>-1</sup>（近红外到中红外区），分辨率为0.5 cm<sup>-1</sup> 到 4 cm<sup>-1</sup>，扫描速度范围为0.1 cm<sup>-1</sup>/s 至 5 cm<sup>-1</sup>/s，可根据需求调整，信噪比不低于10,000:1。FTIR光谱仪能够检测从极低浓度（ppm级别）到高浓度的CO<sub>2</sub>，探测系统需要适应高压和高温条件，同时保持稳定的性能。

### 5.2.5.2 检测程序

- 1、传感器安装：传感器部署→封隔器安装→数据传输系统布设→仪器校准。
- 2、CO<sub>2</sub>浓度检测：（1）样品导入；（2）光学调整；（3）光谱采集；（4）特征吸收峰分析；（5）温度和压力补偿；（6）异常值检测；（7）检测完成与仪器回收。

## 5.2.6 酸碱滴定 CO<sub>2</sub> 检测法

### 5.2.6.1 检测仪器

#### 1、仪器设备：

- （1）酸/碱式滴定管，25mL。（2）无分度吸管，100mL。（3）锥形瓶，250mL。（4）三角瓶，150mL。（5）移液管，25mL、50mL。（6）烧杯，200mL、500mL。（7）容量瓶，200mL、500mL。（8）定容瓶，250mL。（9）电子天平，量测100克，精度±0.01克。（10）常见实验设备。

相对标准偏差1.2%；相对误差±1.8%。

#### 2、试剂：

除非另有说明，分析时均使用符合国家标准的分析纯试剂。

- （1）纯水，符合GB/T 6682规定的二级水。

(2) 酚酞乙醇溶液 (10g/L)：称取酚酞1g，加入乙醇100mL，摇匀。

(3) 甲基橙溶液 (0.5g/L)：称取甲基橙0.05g，加纯水100mL，摇匀。

(4) 盐酸 ( $\rho_{20}=1.19\text{g/mL}$ )。

(5) 盐酸标准溶液 [ $c(\text{HCl})=0.05\text{mol/L}$ ]。

### 5.2.6.2 检测程序

#### 1、土壤检测

(1) 样方检测、取样：近地表~地下土壤10m处不等，具体土壤样品采集、保存与交接可以依据HJ/T 166-2020条款执行。

#### (2) 检测与分析

将土壤与盛放100ml水的锥形瓶置于同一无底气体累积室静置一段时间，保证气室内部与外界隔绝，随后取出锥形瓶。在水中加入4滴酚酞指示剂，对在锥形瓶密封并摇匀。若水样呈红色，证明水中不含 $\text{CO}_2$ ；若水无色，则说明水中含有 $\text{CO}_2$ 。立刻用氢氧化钠溶液进行滴定，在氢氧化钠溶液滴定水中游离 $\text{CO}_2$ 过程中，当含有酚酞指示剂的 $\text{CO}_2$ 水溶液呈现淡红色，且五分钟内红色不褪，滴定停止，根据氢氧化钠使用量进行 $\text{CO}_2$ 气体浓度计算。

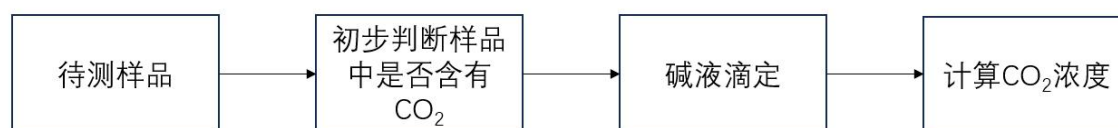


图6 碱液滴定  $\text{CO}_2$  检测流程图

#### 2、水体检测

(1) 采样按照 HJ 494—2009 中规定的要求对水体进行采样。

#### (2) 检测与分析：

##### ①游离二氧化碳的测定

按照标准SL 80-1994，测定游离的 $\text{CO}_2$ 。

##### ②侵蚀性二氧化碳测定

按照标准SL 81-1994，测定侵蚀性 $\text{CO}_2$ 。

##### ③碳酸根、重碳酸根和氢氧根离子的测定

按照标准DZ/T0064.1-2021、DZ/T 0064.49-2021，测定碳酸根、重碳酸根和氢氧根离子的浓度。

5.2.7 开放式动态累积室 CO<sub>2</sub> 检测法

5.2.7.1 检测仪器

采用传感器/设备监测（土壤通量测量系统），适用于开展地表及不同深度的CO<sub>2</sub>通量垂向检测检测，检测方式为人工巡检+实时在线检测，注意仪器校准和在线传输，根据工程需要和科研目的、满足区域背景测量范围和精度即可（一般量程范围内，精度优于读数的1%）。

5.2.7.2 检测程序

检测位置在近地表到地下土壤10m范围处。其中，检测点布设参考HJ 166执行，检测范围可参考T/CSES 71执行。

使用两侧通气罩箱扣住待测区域土壤，将空气从箱一侧的进气口充入箱内，流经密封的地表，然后从箱的另一侧出口流出。在这一过程中土壤中逸出的气体也随空气一起流出，经过红外气体分析仪照射后，按照红外光谱法气体检测法便可计算土壤CO<sub>2</sub>气体通量（若出现明显异常，测试土壤空气<sup>13</sup>C），适用于现场检测。

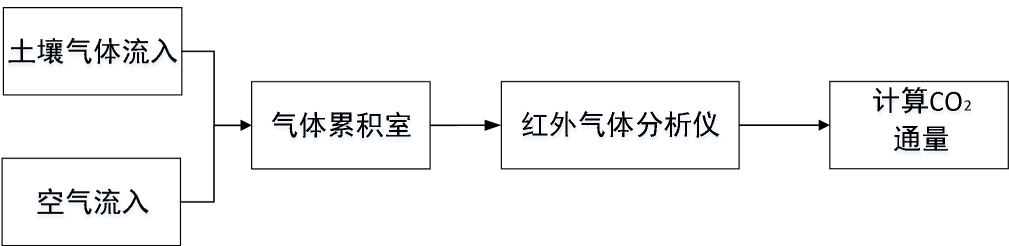


图 7 开放式动态累积室法检测 CO<sub>2</sub> 流程图

5.2.8 光腔衰荡光谱法

5.2.8.1 检测仪器

参照GB/T34415-2017中规定的要求。

5.2.8.2 检测程序

按照5.2.2.2章节“1、大气检测”进行CO<sub>2</sub>检测。

6 检测报告

检测报告格式和内容参见附录A，适用于检测方法5.2.2非分散红外法、5.2.4 U型管流体采样检测法、5.2.6酸碱滴定CO<sub>2</sub>检测法和5.2.8光腔衰荡光谱法。

附 录 A 检测报告

(资料性)

表 A.1 检测详单

检测单位：（加盖公章）

样品名称		型号规格	
采样单位			
采样位置			
采 样 人		采样时间	年 月 日 时：分
委托书编号		样品等级	
送 样 人		送样日期	年 月 日
样品数量		样品编号	
收 样 人		收样日期	年 月 日
检测地点			
检测依据			
检测项目			
检测仪器设备	1、名称：不确定度、证书编号、有效期至 ...		
检测环境条件	温度：      ℃ ； 湿度：      %； pH：      ； 其它：		
检测日期	年 月 日 时：分 —      年 月 日 时：分		
签发日期	年 月 日		
备 注			
批准：	审核：	主检：	

表 A.2 检测报告

1. ....样品

样品名称		型号规格	
采样单位		样品编号	
检测项目			
样品照片			
.....样品			

2. ...样品处理检查

3. 检测流程

4. 检测结果

被测样品    由提供。

检测结果如下：

-----以下空白-----

审核人：

检测人：

声明：



## 参考文献

- [1] GB/T 7665 – 2005 传感器通用术语
- [2] AQ 1052—2008 矿用二氧化碳传感器通用技术条件
- [3] HJ 818-2018 环境空气气态污染物（SO<sub>2</sub>、NO<sub>2</sub>、O<sub>3</sub> 和 CO）连续自动监测系统运行和质控技术规范
- [4] HJ 964-2018 环境影响评价技术导则土壤环境（试行）
- [5] HJ 1240—2021 固定污染源废气 气态污染物（SO<sub>2</sub>、NO、NO<sub>2</sub>、CO、CO<sub>2</sub>）的测定 便携式傅立叶变换红外光谱法
- [6] JJG 635—2011 一氧化碳、二氧化碳红外气体分析器
- [7] SY/T 7440-2019 CO<sub>2</sub>驱油田注入及采出系统设计规范
- [8] T/CSES 71-2022 二氧化碳地质利用与封存项目泄漏风险评价规范
- [9] API 1130 Computational Pipeline Monitoring
- [10] 大气成分观测业务技术手册（第一分册：温室气体及相关微量成分）[J]. 中国气象局综合观测司，2014.
- [11] 环境空气温室气体及其示踪物（CO<sub>2</sub>、CH<sub>4</sub>、N<sub>2</sub>O 和 CO）连续自动监测采样系统的技术要求（第一版）[S]. 中国环境监测总站，2022.
- [12] 环境空气温室气体及其示踪物（CO<sub>2</sub>、CH<sub>4</sub>、N<sub>2</sub>O和CO）光腔衰荡光谱法连续自动监测系统运行和质控技术指南（第一版）[S]. 中国环境监测总站，2023.
- [13] 大气本底站观测场室技术规范[S]. 中国气象局综合观测司，2013.
- [14] 城市大气温室气体监测点位布设技术指南（第一版）[S]. 总站气字〔2021〕628 号，2021.
- [15] 万仁溥.现代完井工程（第三版）[M]. 石油工业出版社, 2008.
- [16] 李小春，彭斯震，白冰等. 二氧化碳捕集利用与封存词典[M]. 世界图书出版公司, 2013.
- [17] 环境保护部.二氧化碳捕集、利用与封存环境风险评估技术指南（试行）[R], 2016.
- [18] 张力为，李琦等. 二氧化碳地质利用与封存的风险管理[M]. 科学出版社, 2020.
- [19] 匡冬琴，李琦，陈征澳，刘兰翠. 全球 CCUS 废弃井法规现状及其对中国的启示[J].天然气与石油, 33(04): 37-41+9, 2015.
- [20] Watson, T. L., & Bachu, S. Identification of Wells With High CO<sub>2</sub>-Leakage Potential in Mature Oil Fields Developed for CO<sub>2</sub>-Enhanced Oil Recovery[C]. In SPE Symposium on Improved Oil Recovery, 2008.