

ICS xxxxxxx
CCS xx

T/GRM

中关村绿色矿山产业联盟团体标准

T/GRM xxx—2026

CO₂+O₂地浸采铀柱浸试验规程

Column leaching test procedures for CO₂+O₂ in-situ leaching of uranium

2026 - xx - xx 发布

2026 - xx - xx 实施

中关村绿色矿山产业联盟 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	1
4 试样制备	2
5 仪器设备和试样封装	2
6 柱浸试验	3
7 安全事项	4
8 试验结果	4
附录 A	5

前　　言

本文件按照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。

请注意本文件的某些内容可能涉及专利。本文件的发布机构不承担识别专利的责任。

本文件由中关村绿色矿山产业联盟提出并归口。

本文件起草单位：南华大学、新疆中核天山铀业有限公司、中核内蒙古矿业有限公司等。

本文件主要起草人：贺桂成、张青林、李德、张传飞、周意如、司雪峰、蔡青旺。

本文件为首次发布。

CO₂+O₂地浸采铀柱浸试验规程

1 范围

本文件规定了CO₂+O₂地浸采铀柱浸试验的试样制备、仪器设备和试样封装、柱浸试验、安全事项和试验结果等。

本文件适用于采用CO₂+O₂原地浸出采铀工艺开采的砂岩铀矿山储层岩芯室内柱浸试验。

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 11651 个体防护装备选用规范
- GB 23726 铀矿冶辐射环境监测规定
- GB 23727 铀矿冶辐射防护和辐射环境保护规定
- GB/T 34525 气瓶搬运、装卸、储存和使用安全规定
- HJ 1015. 1 环境影响评价技术导则 铀矿冶

3 术语和定义

下列术语和定义适用于本文件。

3.1

地浸采铀 *in-situ leaching of uranium*

在天然埋藏条件下，将配制好的溶浸剂通过注入井注入具有适当渗透性能的铀矿层里使其渗透和扩散，通过溶浸剂与矿物发生化学反应选择性地溶解矿石中的有用成分，生产含铀元素的浸出液，然后通过抽出井收集至地表进行水冶得到天然铀的一种铀矿开采方法。

[来源：HJ 1015. 1-2019，定义3.2，有修改]

3.2

溶浸液 *lixivium*

地浸采铀时为溶浸矿石中含铀有用成分，将溶浸剂、氧化剂、地浸吸附尾液按比例混合配置的溶液。

3.3

浸出液 *leaching solution*

地浸采铀时溶浸液与含铀矿物发生化学反应形成的含有铀等有用成分的溶液。

3.4

围压 *confining pressure*

柱浸试验时，沿垂直渗流方向加载在试样侧面的边界应力。

3.5

入口压力 *inlet pressure*

柱浸试验时，沿渗流方向加载在试样入口侧端面的流体压力。

3.6

柱浸试验 column leaching test

地浸采铀工艺工程应用前，通过室内模拟地浸采铀过程，优化地浸采铀工艺参数的试验。

4 试样制备

4.1 试样采集

试样采集应按下列步骤执行：

- a) 取含铀地层，通过套钻取芯方式，钻取含铀地层圆柱形岩芯样品；
- b) 记录岩芯取芯点深度、样品长度、直径、岩性描述、沉积构造等信息；
- c) 采集后的样品用聚乙烯薄膜包裹密封保湿；
- d) 运输过程中试样外层包裹缓冲材料。

4.2 试样加工

试样加工应符合下列规定：

- a) 原状岩芯刮去外层泥皮，露出新鲜面；
- b) 将原状岩芯按渗流方向修整为圆柱状；
- c) 试样高度宜为试样直径的1.5倍~2倍；
- d) 侧面应与端面垂直；两端面平行度应小于0.1 mm；直径偏差不应大于0.2 mm。

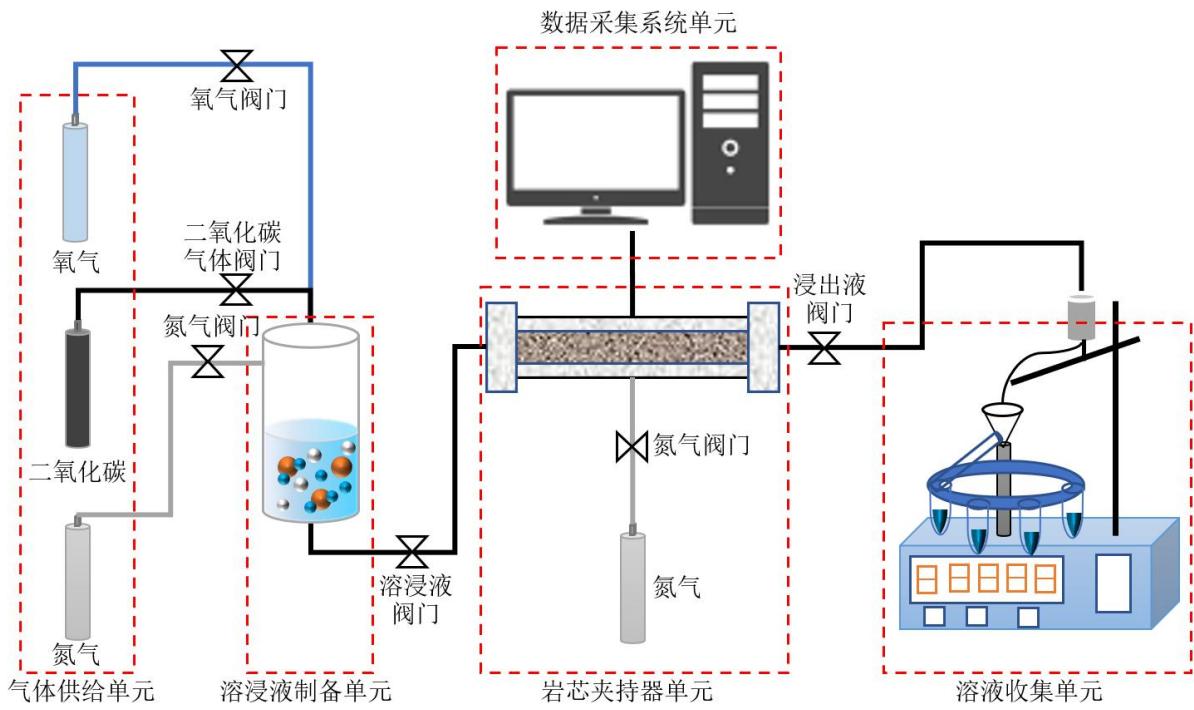
4.3 试样处理

修整好的样品，侧面应均匀涂上配制好的环氧树脂，环氧树脂固化后，应再重复涂3~4次，形成非渗透侧面。

5 仪器设备和试样封装

5.1 仪器设备组成

柱浸试验装置应由气体供给单元、溶浸液制备单元、岩芯夹持单元、溶液收集单元和数据采集系统单元等组成，如图1。

图 1 CO_2+O_2 地浸采铀柱浸试验装置基本组成示意

5.2 仪器设备参数

仪器设备参数应符合下列规定：

- 气体供给单元供应气体种类应包含氧气 (O_2)、二氧化碳 (CO_2)、氮气 (N_2)，气体压力不应低于 7.5 MPa，气体纯度不应低于 99.99%。
- 溶浸液制备单元应具有搅拌功能和流体压力检测功能，应具有恒压泵送溶浸液的功能。
- 岩芯夹持单元围压加载能力不应低于 10 MPa，入口侧端面的渗透压加载能力不应低于 5 MPa；围压加载侧应具有流体密封功能。
- 溶液收集单元应具有浸出液收集和离子成分检测功能。
- 数据采集系统单元应具有溶液压力、体积和离子成分及浓度等数据记录功能。
- 试验系统应具有含铀废液收集和处理功能。

5.3 试样封装

试样封装应按下列步骤执行：

- 处理好的试样装入岩芯夹持单元，通过岩芯夹持单元中的氮气提供压力源；
- 将围压逐渐从 0 MPa 加载到 0.5 MPa，期间与轻旋试样使试样与夹持器紧密贴合；
- 将围压加载至目标值 p_c 。围压 p_c 应大于入口压力 p_0 。

6 柱浸试验

柱浸试验应按下列步骤执行：

- 将体积为 V_1 的地浸吸附尾液注入溶浸液制备单元，并加入 O_2 ，维持 O_2 压力为 p_1 ，持续搅拌 2 小时以上；关闭 O_2 阀门。加入 CO_2 ，维持 CO_2 压力为 p_2 ，持续搅拌 2 小时以上；关闭 CO_2 阀门。得到配置好的溶浸液。通气时， p_2 应大于 p_1 。
- 通过气体供给单元中的 N_2 提供压力源，将溶浸液制备单元中的溶浸液以压力 p_0 泵送至岩芯加持单元入口端，模拟 CO_2+O_2 地浸采铀过程。
- 在岩芯加持单元出口端通过数据采集系统单元定期收集浸出液，测定体积 V_n 和离子浓度 C_n 。
- 试验在浸出液铀浓度低于 10 mg/L 停止柱浸；浸出结束后，清水洗涤设备至 pH=6.5，取渣称重，破磨并分析铀和其他待测元素含量。

e) 溶液及矿渣中铀浓度测量：称取剩余矿渣0.1-1.0 g，准确到0.0001 g，消解并定容为含铀溶液。含铀溶液中铀浓度的确定可选用三氯化钛还原/钒酸氨氧化滴定法、分光光度法、等离子体质谱仪法（ICP-MS）和电感耦合等离子体发射光谱仪法（ICP-OES）；根据铀浓度选择一种或多种方法测定，提高测量精度。

7 安全事项

实验室安全应符合下列规定：

- a) 实验室操作人员应穿戴个体防护装备。个体防护装备应包括护目镜、防护能力不低于KN95的口罩、实验服、乳胶手套等。试验完毕后，应及时洗手或洗澡。试验过程中穿戴的防护设备应及时处理；
- b) 试验人员应熟练掌握试验步骤，试验仪器使用应按厂家规定的安全操作步骤执行；
- c) 试验人员应了解使用气瓶及瓶内介质特性、操作要求和发生事故时的应急处置技术。瓶内气体不应用尽，应留有余压。气瓶间不得出现气体倒灌。气瓶应经常检查安全状况，发现问题及时采取措施。气体使用前后应按规定记录形成台账，气瓶应放置于阴凉处具备气体检测报警系统的气瓶存储区域并牢固固定；
- d) 试验管路应配备压力表，并设置泄压阀；
- e) 含铀溶液应在闭环系统中循环，含铀废水应由具有处理资质的机构闭环处理。

8 试验结果

8.1 铀浸出率

铀浸出率应按下式计算：

$$\varepsilon = \frac{V_1 C_1 + V_2 C_2 + \dots + V_n C_n}{V_1 C_1 + V_2 C_2 + \dots + V_n C_n + G\alpha}$$

式中， ε 是铀浸出率，%； V_i 是第一段浸出液的体积，L； V_n 是第n段浸出液的体积，L； C_i 是第一段浸出液的浓度，g/L； C_n 是第n段浸出液的浓度，g/L； G 是浸出渣干重，g； α 是浸出渣铀品味，%。

附录 A

(资料性)

柱浸试验记录

表 A.1 柱浸试验记录表

日期	浸出液									
	取样段数	取样时间	V (mL)	余酸(g/L)	电位(-mV)	u(g/L)	Fe ³⁺ (g/L)	Fe ²⁺ (g/L)	其他(g/L)	浸出铀量(mg)