

ICS 点击此处添加 ICS 号

CCS 点击此处添加 CCS 号

T/GRM

中关村绿色矿山产业联盟团体标准

T/GRM

XXXX—XXXX

富油煤原位热解数值模拟技术规范

Technical regulation for numerical simulation of tar-rich coal in-situ pyrolysis

（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

中关村绿色矿山产业联盟

发 布

目 次

前言	II
1 范围	1
2 范性引用文件	1
3 术语和定义	1
4 总则	1
5 富油煤原位热解数值模拟建模流程	1
6 模型的优选	2
7 模型考核与验证	3
8 结果处理与分析	4

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：陕西省煤田地质集团有限公司、西安交通大学、陕西天地地质有限公司。

本文件主要起草人：李明杰、王振东、魏进家、马丽、姬永涛、李小军、邵志鑫、杨甫、周蕾、宁星。

本文件为首次发布。

富油煤原位热解数值模拟技术规范

1 范围

本文件规定了富油煤原位热解建模与数值模拟的术语、流程、工作内容及证实方法等要求。

本文件适用于电加热、流体加热、温和氧化自升温等加热方式下富油煤原位热解过程的动态建模与数值模拟研究。

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。

T/GRM 114 富油煤原位热解术语

3 术语和定义

本文件没有需要界定的术语和定义。

4 总则

4.1 原位热解数值模拟应以实验获得的动力学参数，合理耦合流动、传热与化学反应过程等为基础。

4.2 数值模型宜结合煤体孔隙率、渗透率随热解演化的动态变化，考虑裂隙发育与致裂增渗对传热传质的影响。

4.3 数值模拟应注重与实验结果对比验证。

4.4 数值求解过程应设置合理的收敛标准和误差控制条件，明确收敛判据，必要时通过网格收敛性分析和时间步长收敛性分析。

5 富油煤原位热解数值模拟建模流程

5.1 建模流程图

图1所示为富油煤数值模拟建模流程图，主要包括了前期准备、初始化、数值模型建立、网格划分以及模型验证等。

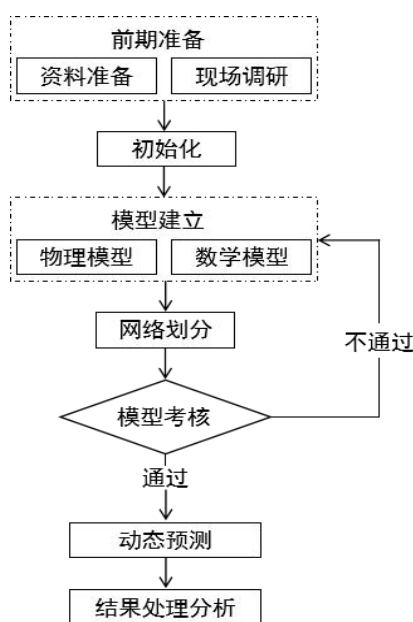


图1 富油煤数值模拟建模流程

5.2 资料准备

5.2.1 富油煤原位热解地质描述研究提供的三维地质模型数据体，主要包括富油煤层地质体特征、地层构造、煤层厚度、孔隙度和渗透率分布等。

5.2.2 煤热解主要产生焦油、挥发分气体、水以及固体残留物焦炭，实验产物资料包括油和气的主要成分分析及各产物的产量。流体物性资料主要包括密度、黏度、导热系数、比热容及相态实验数据。

5.2.3 富油煤热解化学反应方程式，以及表观活化能、指前因子（频率因子）、标准摩尔生成焓、反应级数及分段动力学机理等热解动力学参数等。

5.2.4 载热介质数据（载热介质类型、流体温度、压力、流量），布井模式（单井、双井、四井、六井等加热）及动态监测资料（温度、产出、流场等）。

5.2.5 致裂增渗区与未致裂区的渗透率数据，致裂区域半径和空间分布。

5.3 初始化

根据富油煤层地质、煤体物性，致裂方式、加热方式及布井方式，设置原位热解前煤层初始条件下的压力、温度、孔隙率、渗透率，定义边界条件。

5.4 模型建立

选择合适的模拟软件，根据现有资料对应建立几何模型、化学反应模型、流动传热模型并进行网格划分。

5.5 模型考核

通过对比注热井和采出井中温度、压力、载热介质注入压力与流量、煤层温度场演化、热解转化率以及油气产量和气体组分等指标的数值模拟结果与实验动态数据，反复调整模型参数（包括渗透率、孔隙率、热解动力学参数和边界条件）。

5.6 动态预测

基于验证后的模型，模拟不同工艺条件（入口温度、压力、流量、布井方式、致裂增渗等）下的热解过程。

6 模型的优选

6.1 数学模型

- 6.1.1 对流换热模型模拟热量在煤层内部的传导过程,考虑煤层的非均质性与热解过程中的温度变化。
- 6.1.2 流动模型模拟煤层中气体与载热介质的流动情况,考虑煤层的孔隙度与渗透率变化。
- 6.1.3 热解反应模型描述煤层中的干酪根转化过程,包括焦油、气体等反应产物的生成。
- 6.1.4 多场耦合模型综合考虑化学反应热对煤层温升特性的影响,建立温度-渗流-化学反应耦合的多物理场模型。

6.2 几何模型

依据富油煤空隙发育特征和热解过程中流体流动方向数量,确定模型尺度和模型维数。

6.3 网格设计

- 6.3.1 网格边界应与边界条件(温度、压力等)匹配。在煤层与载热介质接触的区域,应注意温度和流体的边界条件设置。
- 6.3.2 适度细化不同区域的网格。
- 6.3.3 网格应无畸变。可根据煤层的几何形状和孔隙度分布,采用非均匀网格,根据物理特性和反应热力学变化调整网格尺寸。
- 6.3.4 对于热解反应的剧烈区域以及煤层与载热介质接触区域应进行网格加密。
- 6.3.5 对于裂隙发育区域,可采用非结构化网格或细化网格。

6.4 初始条件与边界条件

- 6.4.1 根据实验数据和文献资料,设定煤层的初始温度、压力、孔隙度、渗透率等物理特性;根据目标开发工艺进行设定载热介质的初始流量和温度。
- 6.4.2 在模型的入口和出口设置合适的温度、压力、流速等条件;煤层与载热介质的接触区域应设置合理的边界条件。

6.5 瞬态模型建立

- 6.5.1 建立井布局、完井数据、生产动态等瞬态数据。
- 6.5.2 根据生产历史、模型规模、项目研究周期和精度要求等设计时间步长,根据注热井和采出井的作业工况变更可调整步长。
- 6.5.3 利用模拟软件前处理工具,输入相应数据文件及控制参数,建立瞬态模型。

7 模型考核与验证

7.1 模型考核与验证指标

- 7.1.1 根据研究需要及动态资料状况确定模型考核指标。
- 7.1.2 模型考核指标包含:
 - a) 压力指标:煤层压力、注入井压力(静压、流压)、采出井压力等;
 - b) 温度指标:煤层温度、注入井温度(井筒径向和轴向的温度分布)、采出井温度等;
 - c) 产量指标:油气产量、油气比、转化率、产物组成等;
 - d) 监测指标:注入井质量流量、注入井热流量、注热剖面(煤层、高温流体)、产出剖面(产油、产气)等;
 - e) 化学反应指标:各化学反应的反应速率、反应物与生成物之间的量的关系、指前因子和活化能等。

7.2 模型考核方法

7.2.1 模型考核应将数值模拟结果与实验结果逐步对比，调整模型参数，使温度、压力、产物产量及组成与实验观测值基本一致。

7.2.2 模型考核重点调整参数包含：

- a) 根据热解前后孔隙率演化规律进行原位转化富油煤渗透率动态更新；
- b) 根据实验表征及生成物释放情况修正原位转化富油煤孔隙率；
- c) 动力学参数包括活化能、指前因子及反应级数，可在实验不确定范围内微调；
- d) 结合温度场变化进行适度校正导热率与比热容。

7.3 模型考核质量要求

模型考核应与模型精度、资料完善程度相匹配。并满足以下要求：

- a) 煤层温度、压力及产物产量等关键工程参数模拟结果要与实验基本一致；
- b) 若模拟结果偏差较大，应对实验数据完整性、模型边界条件以及参数设置进行回溯与修。

8 结果处理与分析

整理基础资料、模型建立方法、模型考核结果、动态预测结论与工艺优化建议，形成完整的结果处理分析报告等。

编写模拟报告，报告内容应包括但不限于如下内容：

- a) 温度场、流场及浓度场的空间分布及其随时间的演化规律；
 - b) 煤层热解转化率、油气产量及气体组分变化特征；
 - c) 不同工艺参数（如载热介质温度、压力、流量、布井方式及致裂增渗条件）对传热传质过程及热解效果的影响。
-