



油页岩原位开采对 地下水温度影响的实验研究

——以中粗砂为例

小组成员：睢鑫昕 刘凡玉
 姜松辰 刘 畅
指导教师：梁秀娟
 方 樟

目录页

CONTENTS PAGE



背景意义

Background Significance



实验过程

Experiment Progress



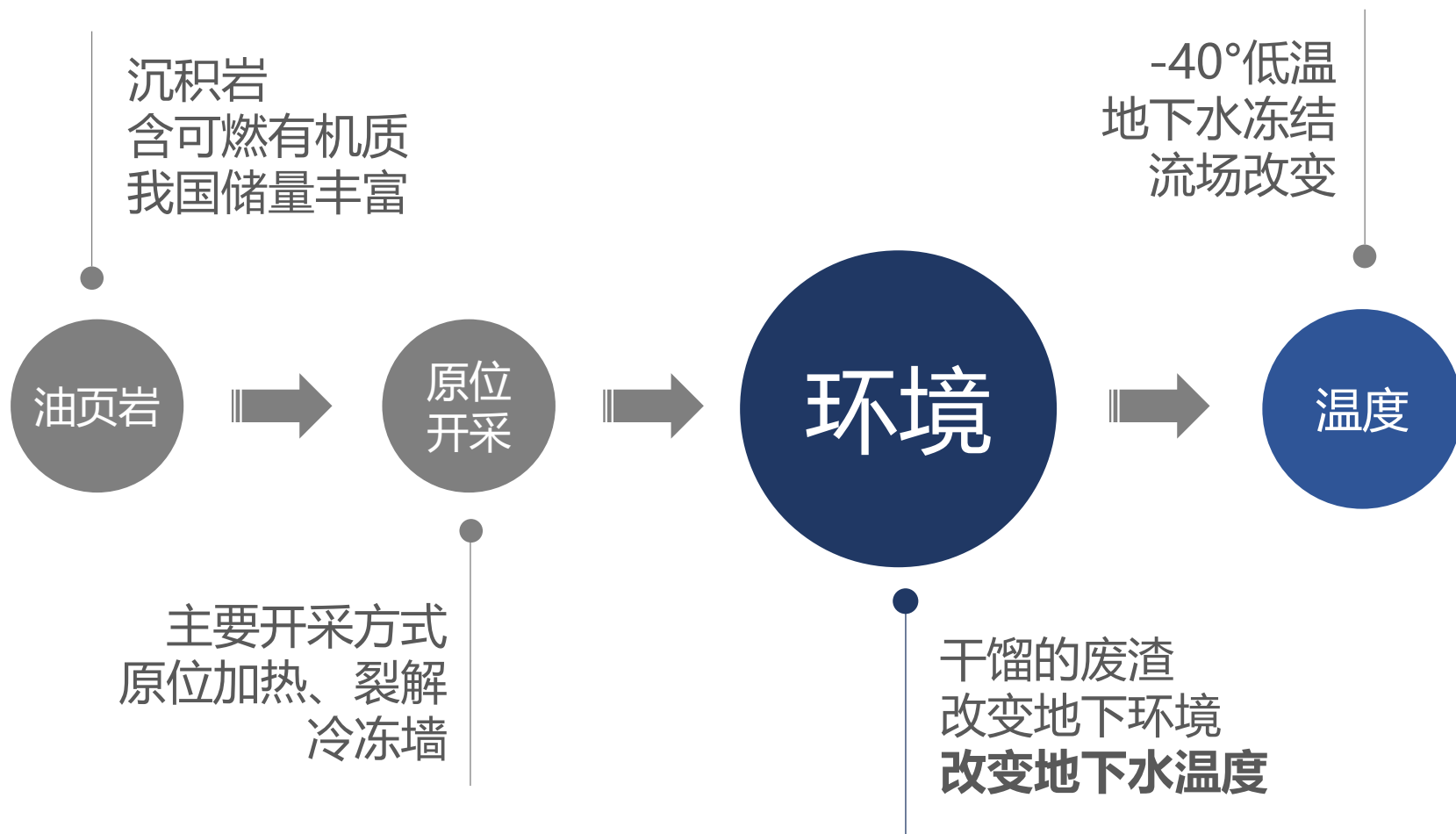
实验成果

Experimental Results



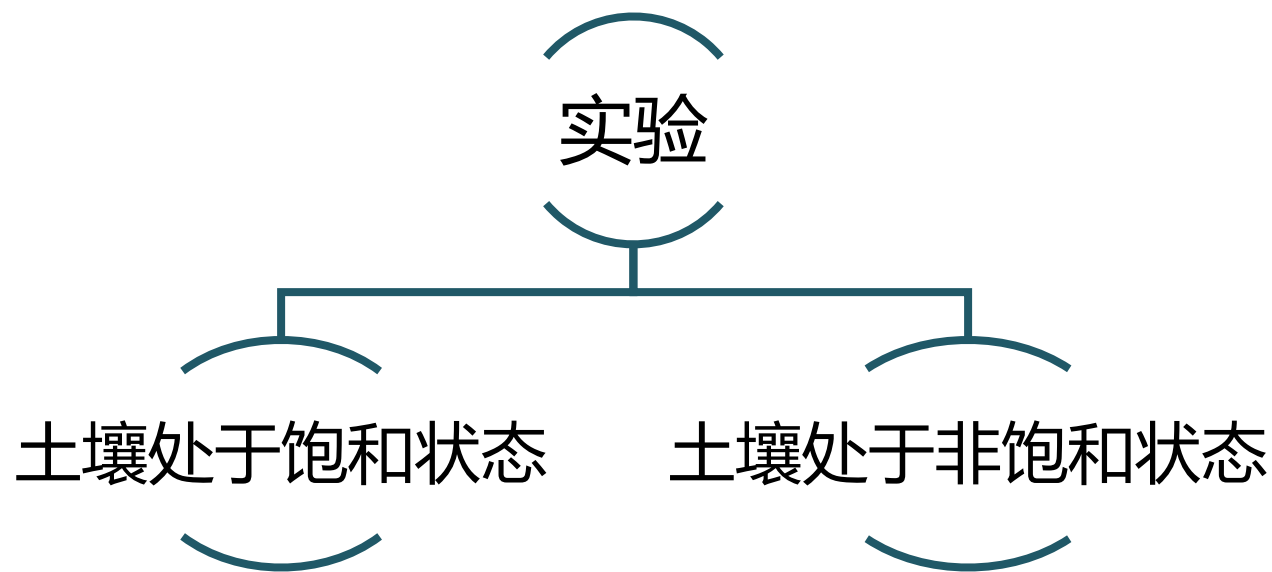
问题不足

Insufficient Problem





从另一个方面研究油页岩原位开采中冷冻墙对地下水温度的影响，探索冷冻墙在较长时间段内，在温度方面对缓慢流动的承压水所产生影响，也为油页岩原位开采对环境影响的测评提供了一定的参考价值。

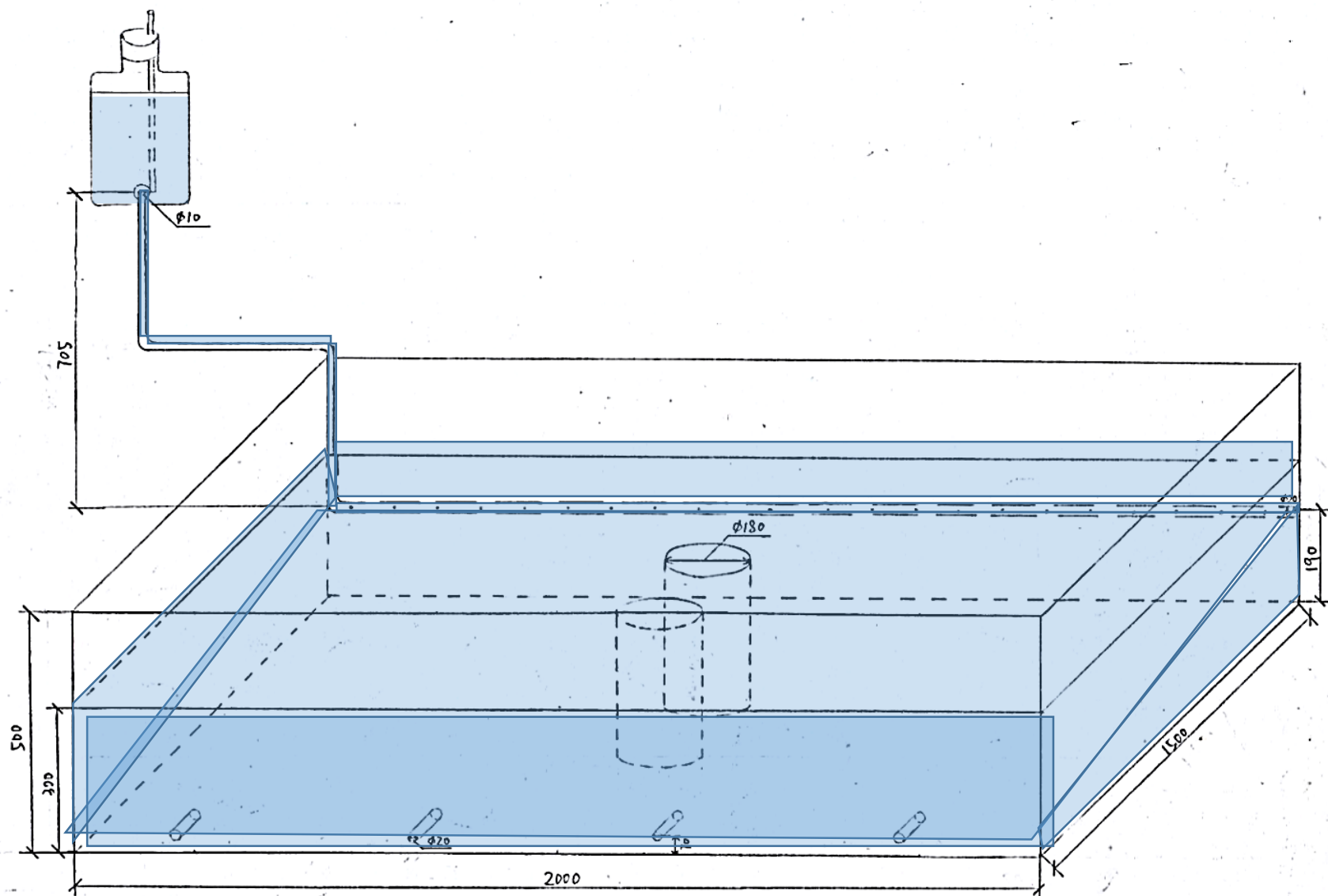


背景意义

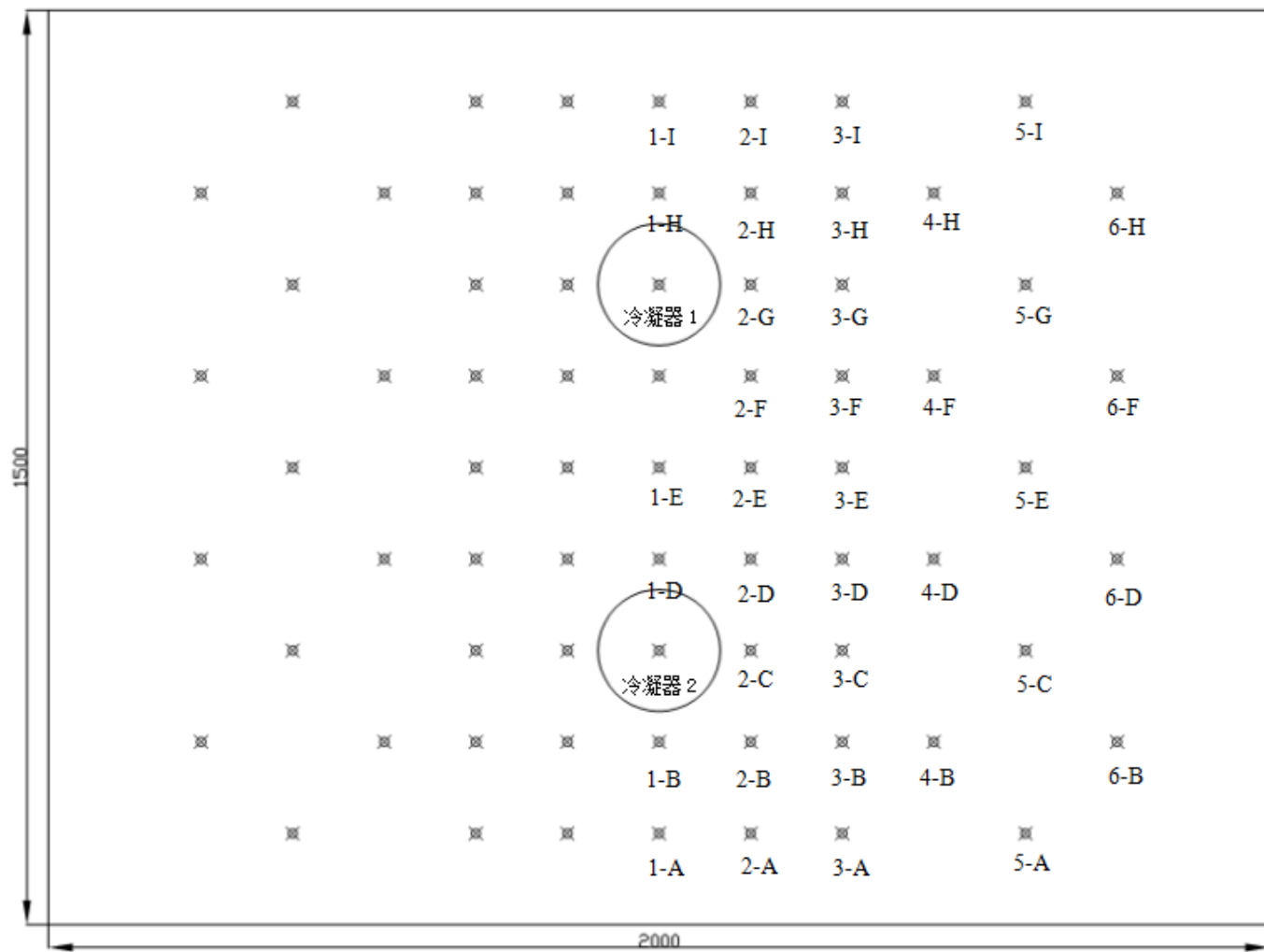
实验过程

实验成果

问题不足



温度传感器分布图



背景意义

实验过程

实验成果

问题不足

实验装置实拍



背景意义

实验过程

实验成果

问题不足

饱和状态实验成果

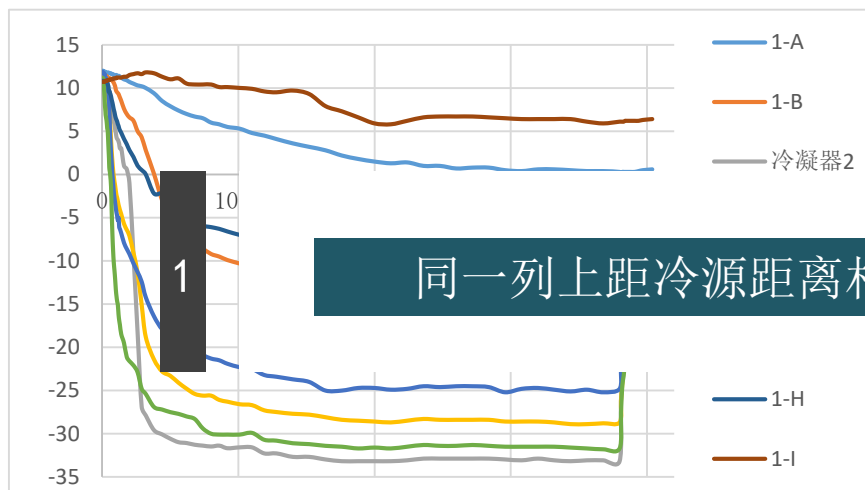
背景意义

实验过程

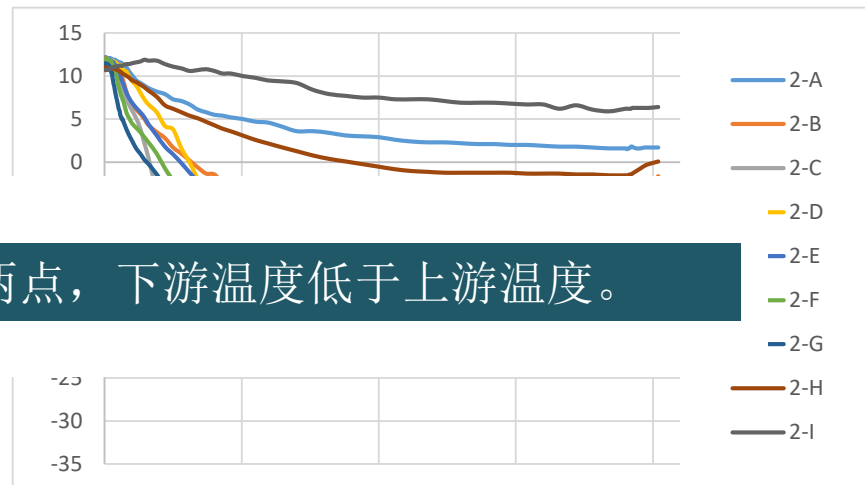
实验成果

问题不足

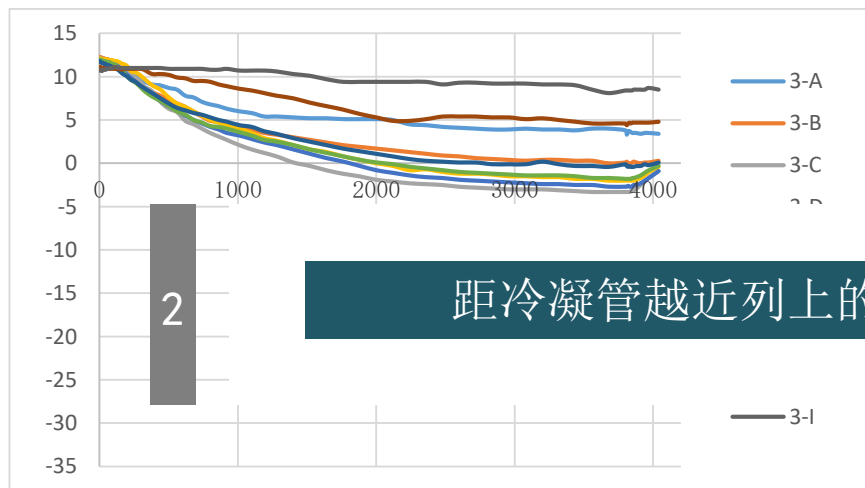
饱和状态



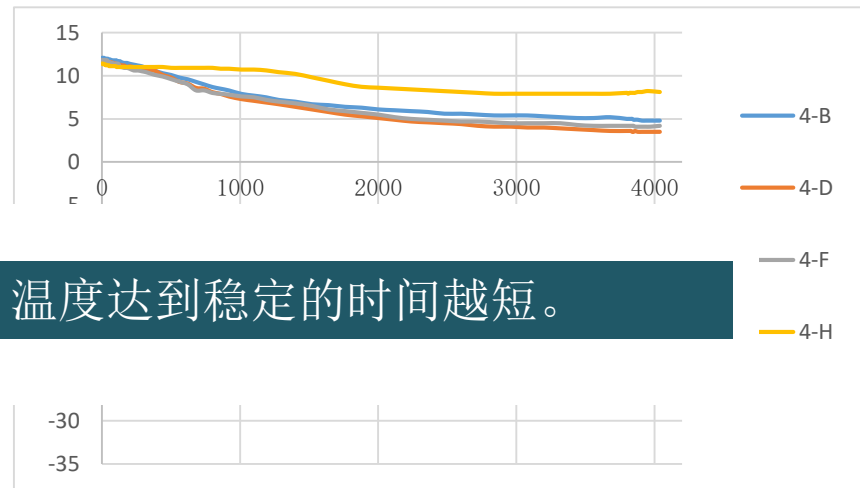
列1各点温度变化图



列2各点温度变化图

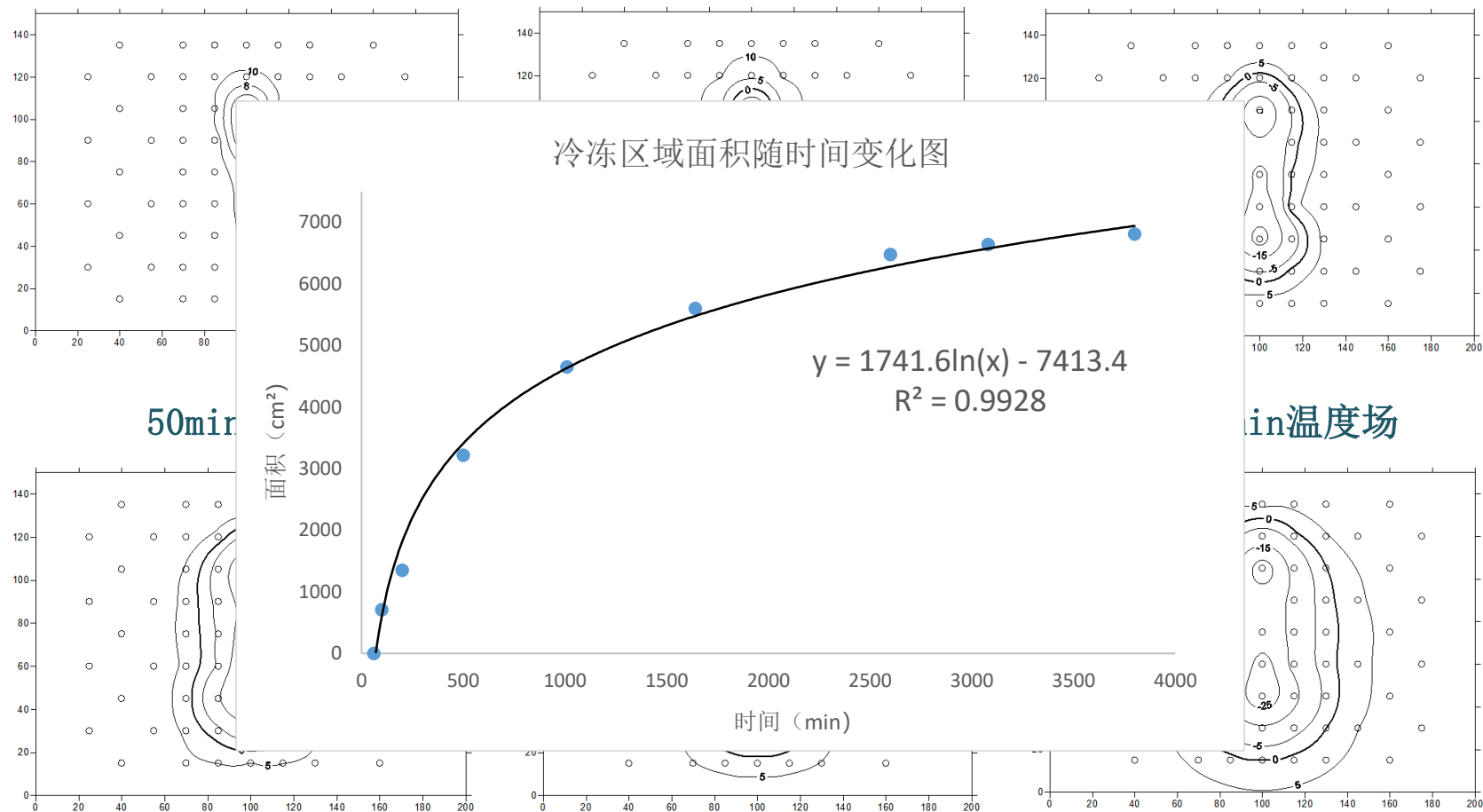


列3各点温度变化图



列4各点温度变化图

饱和状态



背景意义

实验过程

实验成果

问题不足

非饱和状态实验成果

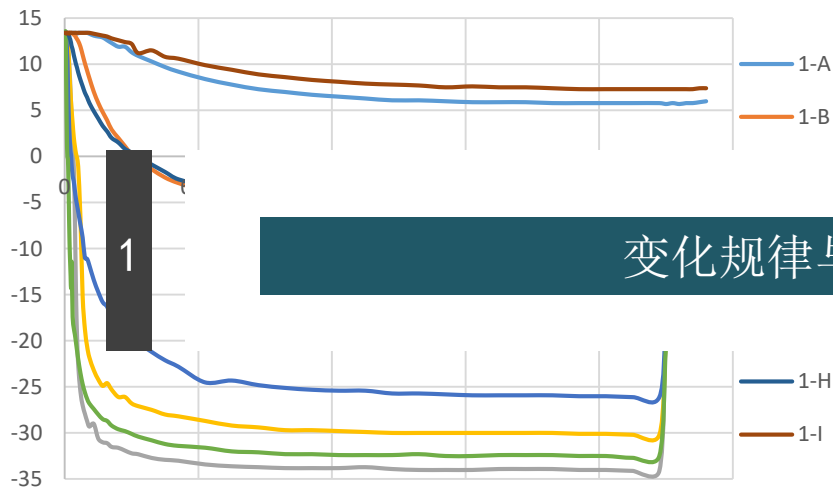
背景意义

实验过程

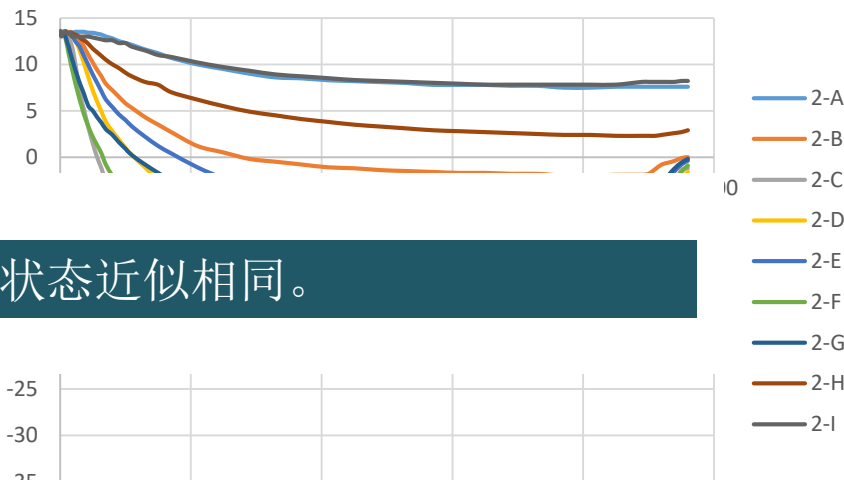
实验成果

问题不足

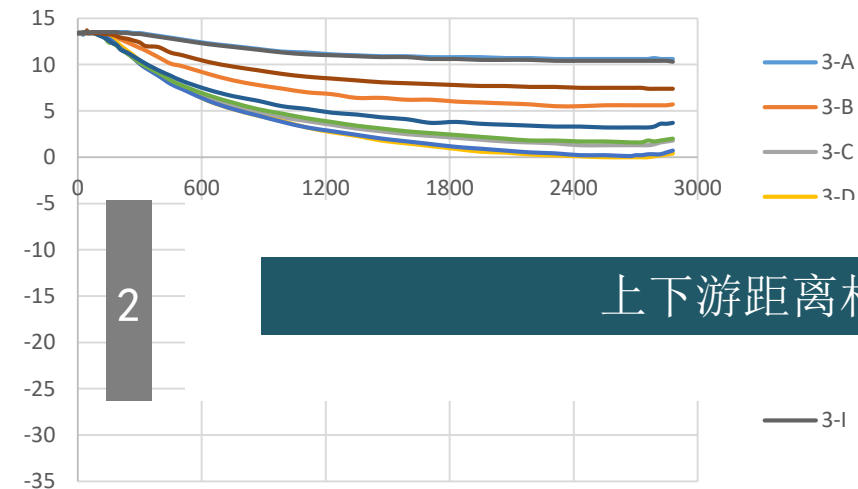
非饱和状态



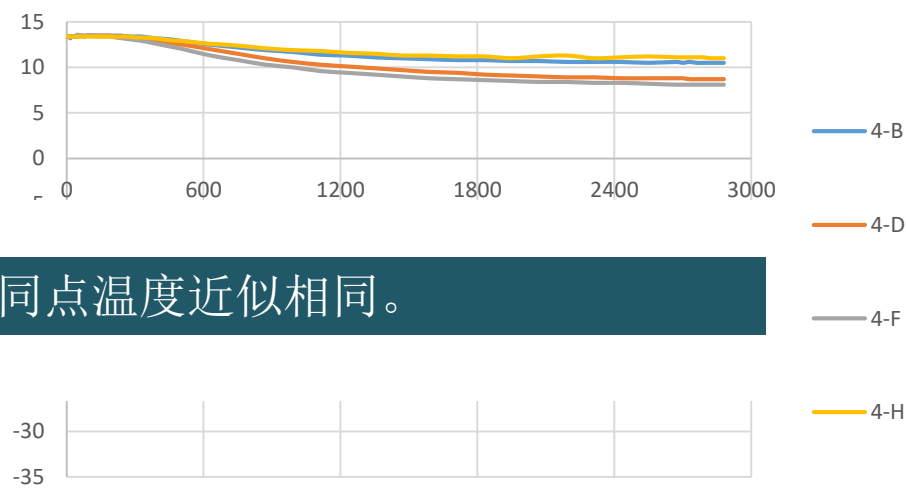
列1各点温度变化图



列2各点温度变化图



列3各点温度变化图

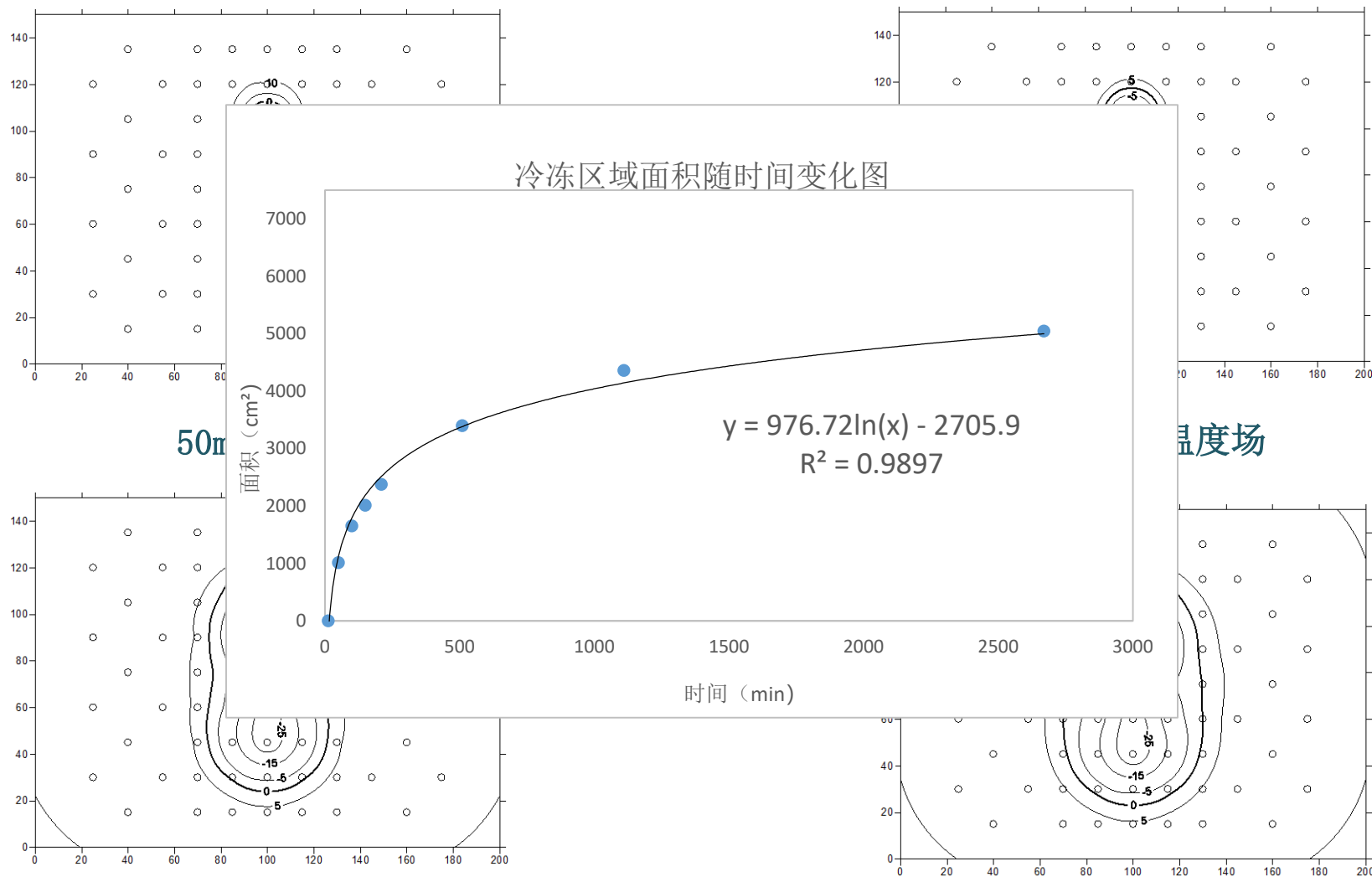


列4各点温度变化图

变化规律与饱和状态近似相同。

上下游距离相同点温度近似相同。

非饱和状态



1110min温度场

2670min温度场

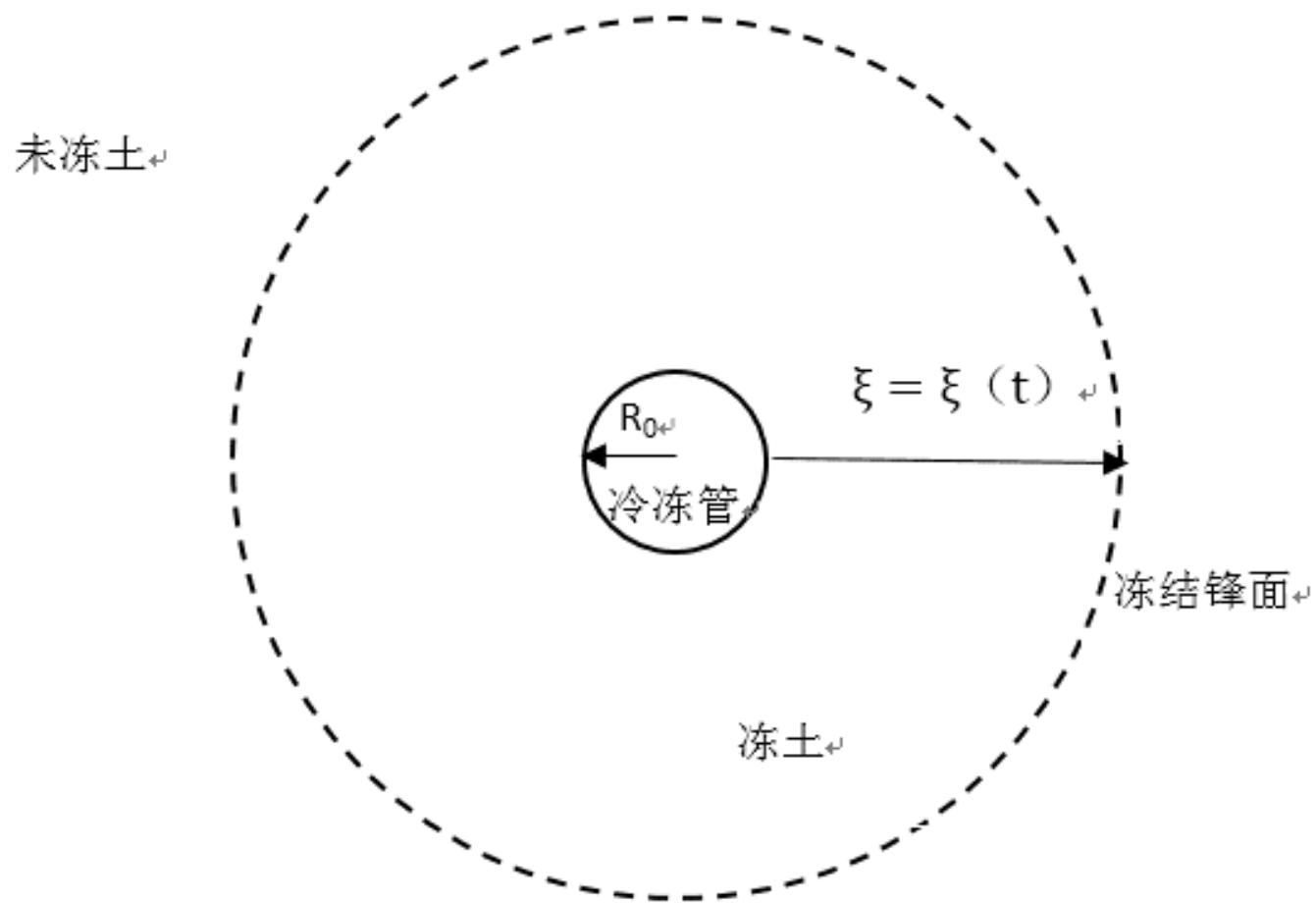
背景意义

实验过程

实验成果

问题不足

土壤状态



背景意义

实验过程

实验成果

问题不足

方程建立

热传导方程

$$\frac{\partial T_{\text{未冻土}}}{\partial t} = \alpha_{\text{未冻土}} \frac{1}{R} \frac{\partial}{\partial R} \left(R \frac{\partial T_{\text{未冻土}}}{\partial R} \right) \quad (\xi \leq R < \infty)$$

$$\frac{\partial T_{\text{冻土}}}{\partial t} = \alpha_{\text{冻土}} \frac{1}{R} \frac{\partial}{\partial R} \left(R \frac{\partial T_{\text{冻土}}}{\partial R} \right) \quad (R_0 \leq R < \xi)$$

方程建立

初始条件

$$T_{\text{未冻土}}(R, 0) = T_0$$

边界条件

$$T_{\text{未冻土}}(\infty, t) = T_0$$

$$2\pi R_0 \lambda_{\text{冻土}} \frac{\partial T_{\text{冻土}}(R_0, t)}{\partial R} = Q$$

冻结面条件

$$T_{\text{未冻土}}(\xi, t) = T_{\text{冻土}}(\xi, t) = T_d$$

方程建立

引入变量

$$u_{\text{冻土}} = \frac{R^2}{4\alpha_{\text{冻土}}t} \quad u_{\text{未冻土}} = \frac{R^2}{4\alpha_{\text{未冻土}}t}$$

$$\beta = \frac{\xi^2}{4\alpha_{\text{未冻土}}t}$$

方程化简

$$T_{\text{未冻土}} = T_0 + (T_d - T_0) \frac{w(u_{\text{未冻土}})}{w(\beta)} \quad (\beta \leq u_{\text{未冻土}} < \infty)$$

$$T_{\text{冻土}} = T_d + \frac{Q}{4\pi\lambda_{\text{冻土}}} \left[W(\alpha\beta) - W(u_{\text{冻土}}) \right] \quad (0 \leq u_{\text{冻土}} < \beta)$$

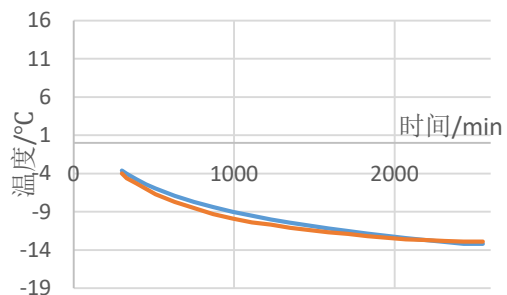
背景意义

实验过程

实验成果

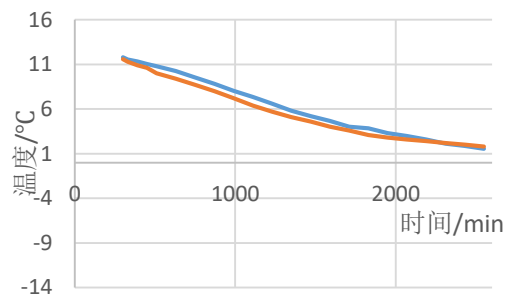
问题不足

结果对比



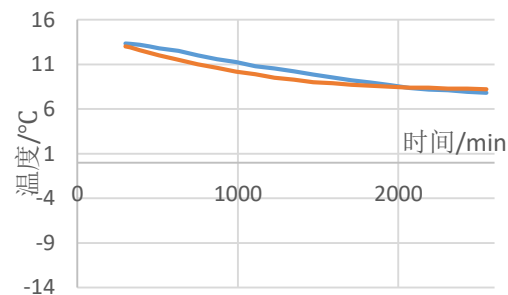
— 计算数值/°C — 实际数值/°C

R=15cm



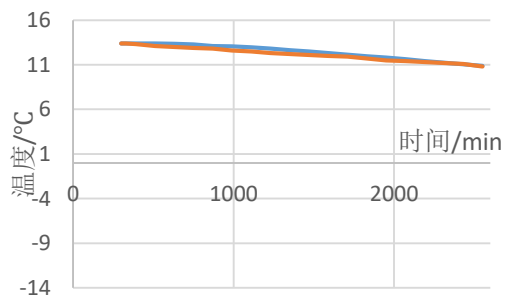
— 计算数值/°C — 实际数值/°C

R=30cm



— 计算数值/°C — 实际数值/°C

R=45cm



— 计算数值/°C — 实际数值/°C

R=60cm



— 计算数值/°C — 实际数值/°C

R=75cm

对比

- 1.相同位置，非饱和状态降温较快。
- 2.相同时间，饱和状态冻结面积大。
- 3.饱和状态，冻结达到稳定时间长。

背景意义

实验过程

实验成果

问题不足

1

油页岩原位开采冷冻墙技术冻结过程温度场变化特征实验研究

刘畅, 唯鑫昕, 姜松辰, 刘凡玉, 梁秀娟*, 方樟

(吉林大学地下水资源与环境教育重点重点实验室, 吉林 长春 130021)

摘要: 对油页岩原位开采过程中, 冷冻墙建立初期随时间段内所冻结的范围内各位置温度变化的规律以及趋势, 根据热传导原理, 建立各位置温度场和时间函数解析方程, 求解冻结区域和未冻结区域温度场变化过程, 采用实际室内实验的方式, 以实际测量数据验证, 结果表明计算结果拟合程度较高。

关键词: 原位开采; 温度场; 解析方程; 模拟实验

Experimental Study on the Change of Temperature Field
During Freezing Process of Oil Shale In-situ Mining

Chang Liu, Xinxin Sui, Songchen Jiang, Fanyu Liu,

Xiujuan Liang*, Zhang Fang

(Key Laboratory of groundwater resources and environment, Ministry of education, Jilin University, Changchun, Jilin 130021)

Abstract: According to the principle of heat conduction, conduct an investigation into the law and trend of the temperature variation in the frozen area in the short period of the cold curtain in the process of oil shale in-situ mining, establish analytical equations of temperature and time for freezing at different locations and solve the process of temperature change in frozen and unfrozen areas. Verified by actual measurement data by means of the actual laboratory experiment, the results show that the fitting degree is high.

Key words: in-situ mining; temperature field; analytic equation; simulation experiment

0 前言

油页岩作为一种储量丰富且分布集中的非常规油气资源, 已经受到国内外能源开发研究的广泛关注。目前我国油页岩资源总量处于世界第四, 具有极为重要的价值。油页岩的主要开采方式分为原位开采和异位开采两种。原位开采是指, 在地下埋藏的油页岩不经开采, 直接在地下加热, 进行干馏, 使其分解, 产出油气被输出地表。异位开采是指将油页岩开采出来, 在地面进行破碎筛分, 然后加热干馏, 生成油气。异位开采具有节省露天开采费用、降低地面植被破坏程度和占地面积

等优点。而油页岩原位开采对地下水环境的影响是十分巨大的: 距离地表水体越近的

基金项目: 1. 国家自然科学基金 (41572216);
2. 吉林省自然科学基金 (201605301784H);
3. 吉林大学国家大学生创新创业训练计划项目 (2015640915)
通讯联系: 梁秀娟 (1964-至今), 教授/博士生导师, 主要从事水资源与地下水方面的科研和教学工作;
E-mail: liangxj@126.com
方樟 (1985-至今), 副教授, 主要从事水资源与地下水方面的科研和教学工作;
E-mail: aishang456@126.com.

2

油页岩原位开采中冷冻墙对地下水影响的实验研究

唯鑫昕 刘畅 姜松辰 刘凡玉 梁秀娟* 方樟

(吉林大学地下水资源与环境教育重点实验室, 吉林 长春 130021)

摘 要: 本文通过室内模拟实验的方式, 建立了“冷冻井-地下水”物理模型, 对油页岩原位开采过程中, 冷冻墙边界对附近地下水温度造成的影响进行了研究。实验结果表明随着油页岩原位开采的时间增长到 1800min, 冷冻墙附近地下水的冷冻半径将扩大到 302.7mm, 且处于地下水下游的冷冻井附近冷冻半径 (357.3mm) 大于上游的冷冻井 (302.7mm), 从而导致一定区域内的地下水断流。研究成果可为减少油页岩的原位开采对环境产生的影响提供理论依据, 为水环境保护提供可靠的依据。

关键词: 油页岩; 原位开采; 冷冻墙; 模拟实验

Abstract: In this paper, the physical model of “frozen well - groundwater” is established in the indoor simulation experiment. We studied the influence of freezing wall on the temperature of nearby groundwater during the in-situ mining of oil shale. The experimental results show that the freezing radius of the groundwater near the frozen wall will be increased to 302.7mm with the time of oil shale in-situ mining to 1800min, and the freezing radius (357.3mm) in the vicinity of the frozen water downstream of the groundwater is larger than that of the upstream freezing wall, resulting in a certain area of groundwater drying. The research results can provide a theoretical basis for reducing the impact of in-situ mining of oil shale on the environment and provide a reliable basis for water environment protection.

Keywords: oil shale, in-situ mining, freezing wall, simulation experiment

引言

原位开采又称地下转化工艺, 即在地下对固态的油页岩加热, 转化成液态或气态以管道输送出来。为了防止固态油页岩转化过程中对开采区周边环境的破坏, 在开采区外围建立冷冻墙隔绝开采区内外影响。

然而冷冻墙的建立, 使低温冷冻液与地下岩土体发生热量交换, 使冷冻井周围岩土体不断降温, 直至冻结。冻结过程中冷冻井周围的岩土体最先开始冻结成圆柱状, 并沿径向不断扩展, 相邻冻结井之间逐渐形成冻结带。随着冻结带的不断发展, 最终形成冷冻墙屏障。冷冻墙不仅会改变场区的地下岩层的结构、物理、化学、力学性质, 同时也会对地下水环境产生影响, 造成地下水流场、温度场及水化学场的改变。因此对地下水环境将会产生一定影响。在国内外多种原位开采方案中, 壳牌石油公司的 ICP 地下转化技术最为成熟, 因此本研究也以此为主。

目前国内对于油页岩原位开采影响的研究主要都围绕原位开采的技术和手段, 少量关于

基金项目: 1. 国家自然科学基金 (41572216);
2. 吉林省自然科学基金 (201605301784H);
3. 吉林大学国家大学生创新创业训练计划项目 (2015640915)
通讯联系: 梁秀娟 (1964-至今), 教授/博士生导师, 主要从事水资源与地下水方面的科研和教学工作; E-mail: liangxj@126.com
方樟 (1985-至今), 副教授, 主要从事水资源与地下水方面的科研和教学工作; aishang456@126.com.

3

油页岩原位开采在饱和与非饱和状态下冷冻墙形成过程的实验研究

姜松辰, 唯鑫昕, 刘畅, 刘凡玉, 方樟*, 梁秀娟

(吉林大学地下水资源与环境教育重点实验室, 吉林 长春 130021)

摘要: 油页岩制取页岩油的加工技术分为地面干馏和地下原位开采两种。原位开采是指埋藏于地下的油页岩在地下直接加热, 转化为需要利用和冷系统冻结周围土体形成冷冻墙。为了分析含水率对油页岩原位开采冷冻墙形成过程的影响, 设计室内模拟实验, 得到不同含水率条件下冷冻井周围温度下降过程。实验结果表明, 地下水含量 (定量结果) 会对冷冻墙形成时间产生较大影响, 确定出了实验条件下的滞后时间为 600min, 为油页岩高温开采地下冷冻墙的设计提供了参考。

关键词: 油页岩; 冷冻墙; 含水率; 温度场

Experimental study on the formation process of frozen wall in saturated
and unsaturated oil shale mining in situ

Songchen Jiang, Chang Liu, Xinxin Sui, Fanyu Liu,

Zhang Fang* Xiujuan Liang,

(Key Laboratory of groundwater resources and environment, Ministry of education, Jilin University, Changchun, Jilin 130021)

Abstract: The processing technology of shale oil is divided into two kinds: surface carbonization and underground mining in situ. In situ mining refers to the underground oil shale is directly heated in the ground, into the need to use refrigeration system to freeze the surrounding soil to form a frozen wall. In order to analyze the influence of water content on the formation process of oil shale in situ freezing wall, an indoor simulation experiment was designed to obtain the temperature drop process around the frozen well under different water content conditions. The experimental results show that the content of groundwater (quantitative results) will have great influence on the frozen wall forming time, the lag time of experimental conditions for 600min, provides a reference for the design of high temperature oil shale mining underground frozen wall.

Key Words: oil shale, frozen wall, water content, temperature field

0 引言

随着世界经济的飞速发展, 化石能源的日益枯竭, 而能源的消耗却在不断增大, 能源的供求关系越来越趋于紧张, 寻找非常规能源问题变得越来越迫切^[1]。油页岩是一种重要的非常规石油和天然气资源, 根据统计全球油页岩储量折算成页岩油约 4000 多亿吨, 相当于世界天然原油探明可采储量的 3 倍^[2]。因此受到各国石油公司以及研究院的广泛

关注。它作为石油和天然气的补充和替代能源, 被列为 21 世纪重要的接替能源。

油页岩制取页岩油的加工技术分为地面干馏

和地下原位开采两种^[3]。其中原位开采是指埋藏

于地下的油页岩不经开采, 直接在地下加热干馏,

使地下页岩分解, 生产的页岩油气被导出至地面

[4]。这种新型开采方式能够有效节省开采的人力

物力, 但对技术要求较高, 现在已成为各国石油

基金项目: 1. 国家自然科学基金 (41572216);
2. 吉林省自然科学基金 (201605301784H);
3. 吉林大学国家大学生创新创业训练计划项目 (2015640915)
通讯联系: 方樟 (1981-至今), 副教授, 主要从事水资源与地下水方面的科研和教学工作;
E-mail: aishang456@126.com
梁秀娟 (1964-至今), 教授/博士生导师, 主要从事水资源与地下水方面的科研和教学工作;
E-mail: liangxj@126.com

背景意义

实验过程

实验成果

问题不足

1

未能模拟实际含水层特征

2

温度计不能实时记录



谢谢指导！
