

团 体 标 准

T/CI 545—2024

层状盐岩水平对接井水溶采卤造腔 物理模拟试验技术规范

Technical specification for physical simulation test of water-soluble brine
extraction and cavern-building in horizontal docking wells of layered salt rock

2024-10-08 发布

2024-10-08 实施

中国国际科技促进会 发 布
中国标准出版社 出 版

目 次

前言 III

引言 IV

1 范围 1

2 规范性引用文件 1

3 术语和定义 1

4 符号 2

5 一般要求 2

6 试验环境 2

7 试样 3

 7.1 试样设计规则 3

 7.2 含夹层型盐压制 3

 7.3 物理平台模拟搭建 4

8 试验程序 4

 8.1 造腔方案设计 4

 8.2 试验参数测量 5

 8.3 造腔模拟试验 5

 8.4 试验结束 7

 8.5 腔体三维形态测量 7

9 试验数据处理 7

 9.1 排卤口卤水浓度变化规律分析 7

 9.2 溶腔轮廓扩展规律分析 7

 9.3 造腔效果评判 8

10 试验报告 8

 10.1 一般规定 8

 10.2 报告内容 8

附录 A（规范性） 相似比计算方法 10

参考文献 11

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。

本文件由中国国际科技促进会提出并归口。

本文件起草单位：重庆大学、西安建筑科技大学、中国科学院武汉岩土力学研究所、中国平煤神马集团联合盐化有限公司、西安科技大学、太原科技大学、浙江大学、重庆巨能建设(集团)有限公司、四川久大蓬萊盐化有限公司。

本文件主要起草人：范金洋、陈结、王军保、施锡林、王贵宾、史永飞、姜德义、刘伟、吴斐、邱华富、孟涛、张俊飞、李金龙、宋书一、李俊峰、张治鑫。

引 言

本文件的发布机构提请注意,声明符合本文件时,可能涉及到 7.2.1、7.2.3、8.1.2、8.1.3 与压制材料与模具、以及水平腔和空腔造腔方案的设计相关的专利的使用。

本文件的发布机构对于该专利的真实性、有效性和范围无任何立场。

该专利持有人已向本文件的发布机构承诺,他愿意同任何申请人在合理且无歧视的条款和条件下,就专利授权许可进行谈判。该专利持有人的声明已在本文件的发布机构备案。相关信息可以通过以下联系方式获得:

专利持有人姓名:重庆大学。

地址:重庆市沙坪坝区沙正街 174 号。

请注意除上述专利外,本文件的某些内容仍可能涉及专利。本文件的发布机构不承担识别专利的责任。

层状盐岩水平对接井水溶采卤造腔 物理模拟试验技术规范

1 范围

本文件规定了层状盐岩水平对接井水溶采卤造腔物理模拟试验的总体要求、试验结果分析要求和试验报告撰写要求,确立了层状盐岩水平对接井水溶采卤造腔物理模拟试验的程序。

本文件适用于层状盐岩水平对接井水溶采卤造腔物理模拟试验的执行,其他水溶采卤造腔物理模拟试验技术参照执行。

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。

SY/T 7642 储气库术语

ISO 14644-1:2015 洁净室和相关受控环境 第1部分:按颗粒浓度对空气洁净度的分类(Clean-rooms and associated controlled environments—Part 1: classification of air cleanliness by particle concentration)

3 术语和定义

SY/T 7642 界定的以及下列术语和定义适用于本文件。

3.1

倒井 inverted well

双井造腔时,改变某一侧井口的注水或采卤功能,另一侧井口功能相应改变的造腔工艺。

3.2

垫层 blanket

造腔时注入腔体用以阻隔卤水与腔体顶板接触的气体或液体介质。

3.3

垫层-卤水界面 blanket-brine interface

腔内垫层与卤水之间的界面。

3.4

排卤浓度 brine withdrawn concentration

造腔时由出卤井排出的卤水的质量浓度。

3.5

水平对接井 horizontal butt well

先钻一口直井至目标层,再钻一口水平井,在目标层与直井底部连接。

3.6

水溶造腔 water dissolving and cavern building

向水溶性岩层注入淡水或淡卤水,溶蚀获得腔体空间。

3.7

相似比 similarity ratio

物理模型与现场原型对应物理量的比值。

4 符号

下列符号适用于本文件。

- c —— 卤水浓度。
- K_c —— 卤水浓度相似比。
- K_l —— 尺寸相似比。
- K_q —— 流量相似比。
- K_t —— 时间相似比。
- K_ρ —— 密度相似比。
- K_ω —— 溶解速率相似比。
- l —— 几何尺寸。
- l_m —— 模型尺寸。
- l_p —— 原型尺寸。
- Q —— 注水流量。
- T —— 温度。
- t —— 溶解时间。
- ρ —— 盐岩密度。
- ω —— 溶解速率。
- σ_v —— 原型所处地应力。

5 一般要求

层状盐岩水平对接井水溶采卤造腔物理模拟试验应遵循客观、科学的原则,采用简单、可靠、安全、易操作的方法,应符合下列要求:

- a) 试验包含现场资料收集、相似比计算、含夹层型盐压制、物理模拟平台搭建、造腔工艺设计、试验准备、试验步骤、试验参数测量、试验结果分析、试验报告撰写等步骤;
- b) 室内物理模拟试验的依据为相似理论,试验中所选型盐、夹层等模型材料的主要特性方面与现场实际情况满足相似条件,同时试验采用的造腔流程也与现场生产实际相匹配。

6 试验环境

试验环境应符合下列要求:

- a) 实验室保持相对恒定的温度与湿度。温度控制在 $20\text{ }^{\circ}\text{C}\sim 25\text{ }^{\circ}\text{C}$ 之间,湿度控制在 $50\%\sim 70\%$ 之间;
- b) 实验室安装空气净化系统,空气洁净度达到 ISO 14644-1 标准中的级别 6 以上;
- c) 试验操作区域的照度充足、均匀、稳定。实验室照度达到 $300\text{ lx}\sim 500\text{ lx}$ 。

7 试样

7.1 试样设计规则

试验设计应遵循下列规则：

- a) 试样尺寸和相关通道等细节按照相似比设计,可通过相似理论中的量纲分析法建立原型与模型的相似比计算公式；
- b) 选取的试验参数应包含几何尺寸、溶解时间、盐岩密度、溶解速率、卤水浓度、温度、注水流量等；
- c) 按照公式(1)计算现场原型与模拟模型试验参数的几何相似比：

$$K_l = \frac{l_p}{l_m} \dots\dots\dots (1)$$

- d) 按照公式(2)计算试验参数相似比间的关系：

$$\frac{K_q K_t}{K_l^3} = 1, \frac{K_\rho K_l}{K_t K_w} = 1, \frac{K_l K_c}{K_t K_w} = 1 \dots\dots\dots (2)$$

- e) 通过对比现场原型与试验模型的试验参数(如盐岩密度、井口距、可采厚度、盐岩溶解速率、造腔时间等),获得确定的模拟试验参数相似比,如盐岩密度、几何尺寸、溶解速率等参数的相似比,继而由试验参数相似比关系推导出待求的试验参数的相似比,如造腔时间、注水流量等参数的相似比。

相似比计算方法按附录 A 执行。

7.2 含夹层型盐压制

7.2.1 压制材料

压制材料符合下列要求：

- a) 含夹层型盐压制材料的选取及配比宜参考现场地质资料中盐层及夹层的组成成分及其含量占比等信息；
- b) 应添加适量增稠剂、黏合剂,确保岩层能压制成型；
- c) 当现场原型材料的组分材料难以获取时,可选用与原型材料物理、化学性质接近的材料替代。

7.2.2 压制模具

压制模具应符合下列要求：

- a) 形状、尺寸等参数根据具体试验要求进行设计；
- b) 制作所用材料具有耐盐腐蚀、高强度等特征,出厂前通过强度测试。

7.2.3 压制型盐

压制型盐应符合下列要求：

- a) 根据现场资料与相似原理,确定型盐岩层尺寸、展布、材料用量、压制方法(应力、时间、步骤)等信息,形成含夹层型盐压制的初步方案；
- b) 型盐压制时,以原型所处地应力 σ_v 进行压制,其中盐层与夹层逐层压制,每层压制时间保持 1 h 以上；
- c) 开展大尺寸含夹层型盐压制前,先按设计的初步方案压制小尺寸含夹层型盐,开展小型盐的密度、组分含量、溶解速率、力学强度等测试,测试结果与现场条件下原型的相应参数对比,进一

步对压制方案进行修正,通过不断修正与压制,获得与原型参数接近的型盐,形成最终的型盐压制方案;

- d) 按最终形成的压制方案压制获得与原型参数接近的大尺寸含夹层型盐试件并记录型盐尺寸、形貌等特征。

7.3 物理平台模拟搭建

层状盐岩水平对接井水溶采卤造腔室内物理模拟试验平台宜包括淡水-卤水注采系统、管柱系统、数据采集系统,见图 1。

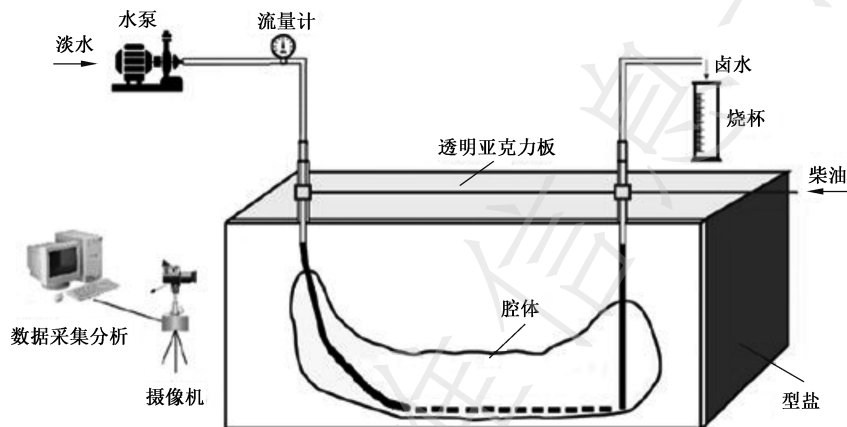


图 1 大尺寸型盐造腔示意图

其中:

- 淡水-卤水注采系统包括淡水/卤水的蓄水池、控制注排水流量的转子流量计、用于连接的透明塑胶软管等;
- 管柱系统包括用于注水、排卤及阻溶剂注采的生产套管等,生产套管及竖直井管柱所用材料宜选用不锈钢材质,水平井管柱应选用可弯曲的软管,且应在软管位于水平段的位置配重以防止软管漂浮;
- 数据采集系统包括记录排出卤水相关数据的盐度计、量筒、天平等,记录腔体形态的高清摄像机;
- 应使用橡胶软管连接淡水-卤水注采系统和管柱系统,在一侧安置数据采集系统;
- 造腔模拟试验前应对各系统的功能完好性进行测试,以确保试验顺利开展。

8 试验程序

8.1 造腔方案设计

8.1.1 一般规定

根据模拟试验目标的不同,试验可分为已建水平腔的造腔过程反演模拟、拟建水平腔的造腔方案设计及已有水平腔的腔体修复方案设计等,应根据不同模拟目标设计模拟试验的方案。模拟试验中的造腔工艺应根据现场水平井采卤造腔工艺的特征进行设计,研究不同造腔工艺下腔体形态的变化特征、轮廓扩展规律及排卤浓度特征。

8.1.2 水平腔造腔过程反演模拟方案设计

在设计方案时,应对照现场水平井施工与造腔方案、工程数据记录表等资料,由相似理论确定模型与原型之间在注水流量、井间距、提管高度、垫层用量、各造腔工艺流程耗时等造腔工艺参数的相似比,依现场造腔实际经历的工艺流程制定模拟造腔方案。

8.1.3 拟建水平腔的造腔方案设计

在设计方案时,应结合现场具备的生产条件,在不同造腔阶段采用合理的造腔工艺进行采卤造腔模拟,确保造腔全程的排卤浓度与水平腔体形态都达到现场要求。

注:造腔阶段指以调整注水流量、阻溶剂位置等造腔工艺时的时间节点为划分的若干造腔过程。

8.1.4 已有水平腔的腔体修复方案设计

方案设计应先由现场造腔资料模拟仿建出需修复的水平腔,再根据待修复水平腔体的腔形特征,有针对性的设计腔体修复方案,开展畸形腔体形态修复。

8.2 试验参数测量

8.2.1 一般规定

试验参数的测量符合下列要求:

- 物理模拟试验中测量记录的参数包括排卤口卤水浓度、腔体轮廓特征,二者的测量记录应同时进行;
- 为使腔体轮廓线更加明显,可通过染色示踪法对注入的水流进行染色,呈现出清晰的腔体轮廓,所用染料不影响型盐的溶蚀速率;
- 造腔过程中,改变造腔工艺参数或采用新的造腔工艺后,由于短时间内造腔参数变化较快,该段时间内的测量应选取较短的时间间隔(10 min)。同时,应观察测量数据,当卤水浓度趋于稳定后,可适当延长测量间隔时间,例如每 30 min 测量一次;
- 当造腔进程来到造腔后期及造腔末期时,排卤浓度及腔体轮廓等参数变化不再明显时,可再次延长测量时间间隔,例如每 60 min 测量一次。

8.2.2 排卤口卤水浓度测量

排卤口卤水的瞬时浓度由盐度计(一般为波美度计)测量得到,应将测量时间、卤水瞬时浓度、试验操作等信息逐一记录,卤水浓度测量 3 次后取平均值。

8.2.3 腔体轮廓测量

腔体轮廓测量应符合下列要求:

- 由固定于型盐观测面前方的高清摄像机拍摄并记录好拍摄时间等信息;
- 拍摄时,保持光源良好,确保型盐整体位于拍摄画面以内。

8.3 造腔模拟试验

8.3.1 一般规定

造腔模拟试验应符合下列要求:

- 包含前期准备、钻井、预埋管柱、型盐安装、采卤造腔作业、结束造腔等步骤;
- 按制定的造腔方案严格开展,如中间因故暂停试验,将腔内卤水抽出并封存,待问题解决后,往

腔内注入封存的卤水,等待卤水静置分层后 30 min,再继续完成试验;

- c) 室内试验采用半模型形式开展,方便造腔过程监测。

8.3.2 前期准备

试验前期准备时,应符合下列要求:

- a) 选取型盐两个长×高表面中杂质较少且无明显裂纹的一面,作为模拟试验的操作面;
b) 将所选型盐表面打磨光洁、平整。

8.3.3 钻井

应依据造腔方案设计的水平井、竖直井的排布参数(井间距、井深、直径等),使用电钻与手工打磨的方法,在所选型盐表面钻出竖直井、水平井等钻槽,两井底部以水平钻进的方式连接。

8.3.4 预埋管柱

预埋管柱应符合下列要求:

- a) 在钻好的井槽内放入对应注水、排卤及生产套管等管柱系统,管柱系统在井口处以上大下小的半圆台形橡胶塞约束定位,橡胶塞下部直径应小于所钻井槽直径;
b) 注水或排卤所用管柱内置于生产套管内,生产套管内径不小于 5 mm,注水或排卤管柱内径小于 3.3 mm。

8.3.5 型盐密封

型盐密封应符合下列要求:

- a) 采用透明的环氧树脂胶对井口、井槽及型盐各个表面进行密封,四周以透明亚克力板进行固定,胶水厚度不小于 2 mm;

注:亚克力板厚度为 2 mm 是符合本文件的最佳实践之一。

- b) 密封时注意避免让胶水流入井槽内部或管柱内部,堵塞管柱或井槽。

8.3.6 型盐安装

将密封后的型盐安置于搭建的模拟试验平台,可通过抬升型盐一侧,调节并固定好型盐倾斜角度,以模拟现场不同地层倾角条件。

8.3.7 采卤造腔作业

采卤造腔作业应结合现场造腔资料设计开展。包含建槽期、造腔前期、造腔中期、造腔后期、造腔末期等步骤。

注:采卤造腔作业适用于拟建水平腔的造腔方案设计,已建水平腔的造腔过程反演模拟及已有水平腔的腔体修复方案设计等。

- a) 建槽期指造腔开始后,在腔体底部溶蚀出大体积的底槽的阶段,应符合下列要求:
——依据拟建水平腔造腔方案设计的参数,开始水平井造腔模拟试验;
——采用水平井作为注水井,竖直井作为排卤井,选用较小的注水流量以确保水流充分溶蚀盐岩,建造容纳不溶物沉渣的大体积底槽;
——在斜井及直井两端注入适量阻溶剂,厚度在 20 mm 左右,以压低卤水液面,控制腔体的上溶,促进腔体的侧溶,减小腔体的溶蚀倾角,确保建设大体积的腔体底槽。
b) 造腔前期应符合下列要求:
——适当增加注水流量,开展目标盐层的溶蚀及盐穴腔体的建造,此时盐岩溶蚀区域主要集中

在水平井一侧；

——密切关注垫层—卤水界面变化，及时增补阻溶剂，保持阻溶剂厚度在 10 mm~20 mm，保证腔体上方留出足够厚度的保护盐层（不小于 50 mm）。

c) 造腔中期符合下列要求：

——在腔体建造一段时间后，水平井端腔体形状扩展变缓时，应开展倒井作业，转换为竖直井注水，水平井排卤，此时盐岩溶蚀区域主要集中在直井一侧；

——为加快溶蚀腔体建设速率，可进一步加大注水流量或提升竖直井管柱高度；

——应密切关注排卤口卤水浓度变化，确保排卤浓度达到现场排卤浓度要求（290 g/L），并及时调整注水流量，排卤浓度降低时应降低注水流量，反之则加大注水流量；

——应视腔体形态扩展情况适时开展倒井作业，多次倒井作业以确保水平井腔体两侧轮廓有序增长。

d) 造腔后期应在腔体两端轮廓形态扩展较充分后，保持较大的注水流量，确保试验的采卤造腔速率，同时保障排卤浓度的达标。

e) 造腔末期应符合下列要求：

——在腔体体积达到设定的目标后，若腔体中部仍存在明显的“水平不溶段”、腔壁突起等畸形区域，通过倒井、增加注水流量、压低油/气水界面等方法，进一步对腔体畸形区域进行溶蚀改善；

——腔体体积通过采盐量、型盐品位、夹层垮塌体积、夹层碎胀系数等估算。

8.4 试验结束

试验结束后，应停止注水，同时处理掉管柱内部的残留液体、清洗流量计、收拾干净试验平台、归置好测量仪器。

8.5 腔体三维形态测量

在造腔试验结束后，可将腔内卤水清理干净，并采用倒蜡模、3D 扫描等方法开展腔体三维形态测量。根据腔体三维形态测量结果，对模拟造腔试验得到的腔体体积大小、形状特征等进行分析评价。

9 试验数据处理

9.1 排卤口卤水浓度变化规律分析

排卤口卤水浓度变化规律分析应符合下列要求：

a) 试验结束后，以试验开始到试验结束时的时间点为标准，计算得到试验的累计时长，并换算得到各卤水浓度测量时刻所对应的试验时长，最后将记录的排卤口瞬时浓度与试验时长等数据绘制于 XY 坐标轴图，得到造腔模拟试验过程中排卤口卤水浓度随试验时长的变化曲线；

b) 详细描述不同试验操作后卤水浓度的变化规律，分析该操作引起卤水浓度变化的内在机理；

c) 进一步评价水溶造腔物理模拟试验过程中，不同造腔工艺操作对造腔进展的促进或抑制作用，并分析量化其影响程度。

9.2 溶腔轮廓扩展规律分析

溶腔轮廓扩展规律分析应符合下列要求：

a) 采用图像软件对记录的各时间点溶腔轮廓进行描边处理，并备注或标记好溶解时长、所用造腔工艺、垫层—卤水界面位置等信息；

b) 对腔体轮廓线随时间的扩展变化进行详细描述，包括扩展距离、方向、夹层扩展情况等信息；

- c) 对采用某一新的造腔工艺后,腔体轮廓线的变化进行描述,并分析该操作引起腔体轮廓扩展变化的内在机理;
- d) 进一步评价水溶造腔物理模拟试验过程中,不同造腔工艺对腔体轮廓(含夹层垮塌等)扩展的促进或抑制作用,并分析量化其影响程度。

9.3 造腔效果评判

造腔效果评判符合下列要求:

- a) 造腔过程中,判断采卤造腔效果的主要因素应包含采卤过程中的排卤浓度、腔体采卤造腔效率及最终的腔体形态特征;
- b) 应依据现场采卤造腔效果的判断标准,结合现场生产要求,通过相似比反演计算模拟试验中的采卤造腔效果判据;
- c) 现场水平井采卤造腔过程中,为满足企业正常生产及储库建设进度的需求,可绘制表 1 所示的各采卤造腔参数判据对照表。

表 1 层状盐岩水平对接井采卤造腔结果判据

判断因素	现场判据	模拟试验结果判据
排卤浓度	不低于 290 g/L	不低于 $(290/K_c)$ g/L
采卤造腔效率	不低于 20 万 m ³ /年	不低于 $(20/K_1^3)$ 万 m ³ /年
腔体形态特征	体积不小于 100 万 m ³ ,形状规则,无尖锐凸起	体积不小于 $(100/K_1)$ 万 m ³ ,形状规则,无尖锐凸起

10 试验报告

10.1 一般规定

试验报告对层状盐岩水平对接井水溶采卤造腔物理模拟试验过程及结果进行记录,应符合下列要求:

- a) 反映模拟试验的全部工作,包括数据记录表格、试验方案、试验结果;
- b) 内容全面、文字简洁、数据真实、资料完整;
- c) 采取统一格式和内容要求,报告中相关资料和评估数据表应由负责人签字,报单位盖章。

10.2 报告内容

10.2.1 编制依据

报告的编制依据包含:

- a) 现场地质资料、水平井施工与造腔方案、工程数据记录表等资料;
- b) 室内试验及相关监测资料;
- c) 国家、地方和行业现行有关的标准、规范。

10.2.2 模拟试验概况

模拟试验概况应包含下列内容:

- a) 试验目的、原理;

- b) 试验方案、过程；
- c) 造腔试验的工作组织情况。

10.2.3 试验结果分析

试验结果分析应包含下列内容：

- a) 排卤口卤水瞬时质量浓度变化规律；
- b) 盐腔腔体轮廓扩展规律；
- c) 造腔效果评价表。

10.2.4 试验结论与建议

应包含物理模拟试验主要结论、下一步工作建议等内容。

10.2.5 附件

应包含试验测量的排卤口卤水浓度数据记录表、试验原始图片资料等内容。

附 录 A
(规范性)
相似比计算方法

通过相似理论中法量纲分析法建立原型与模型的关系。地下盐腔水溶采卤造腔过程中,影响盐岩水溶开采的关键参数有:几何尺寸 l ,溶解时间 t ,盐岩密度 ρ ,溶解速率 ω ,腔内卤水的浓度 C 、温度 T 、注水流量 q 。其中 l 、 t 、 ω 、 T 分别为长度、时间、浓度及温度这四个基本量纲。本文件中应确定的物理量为注水流量 q ,以及与各参数间的关系应按公式(A.1)进行表示:

$$q = l^{\alpha} t^{\beta} \omega^{\lambda} T^{\gamma} \quad \dots\dots\dots (A.1)$$

式中:

q ——注水流量;

T ——温度;

α 、 β 、 λ 、 γ ——量纲指数。

此时,由方程量纲齐次的原则,可得 $\alpha=3$ 、 $\beta=-1$ 、 $\lambda=0$ 、 $\gamma=0$,则与 q 有关的 π 项应按照公式(A.2)进行计算:

$$\pi_q = \frac{qt}{l^3} \quad \dots\dots\dots (A.2)$$

式中:

π_q ——注水流量 q 的相似判据。

同理,与其他参数有关的 π 项应按照公式(A.3)进行计算:

$$\pi_{\rho} = \frac{\rho l}{t\omega}, \pi_c = \frac{lc}{t\omega} \quad \dots\dots\dots (A.3)$$

式中:

π_{ρ} ——盐岩密度 ρ 的相似判据;

π_c ——腔内卤水浓度 c 的相似判据。

当现场原型与模拟模型试验参数的相似比用表示 K 时,二者的几何相似比可按照公式(A.4)进行计算:

$$K_l = \frac{l_p}{l_m} \quad \dots\dots\dots (A.4)$$

进一步得到其他参数相似比的关系应按照公式(A.5)进行计算:

$$\frac{K_q K_t}{K_l^3} = 1, \frac{K_{\rho} K_l}{K_t K_{\omega}} = 1, \frac{K_l K_c}{K_t K_{\omega}} = 1 \quad \dots\dots\dots (A.5)$$

参 考 文 献

- [1] SY/T 6464—2016 水平井完井工艺技术要求
- [2] SY/T 7489—2020 连通井钻井技术要求
- [3] SY/T 7650—2021 盐穴储气库造腔井下作业规范
- [4] SY/T 7690—2023 盐穴储气库造腔工程技术要求
- [5] 姜德义,李晓康,陈结,等.层状盐岩双井流场浓度场试验及数值计算[J].岩土力学,2019,40(01):165-172+182.
- [6] 姜德义,李晓康,李晓军,等.层状盐岩小井间距双井水溶造腔流场相似模拟研究[J].工程科学与技术,2017,49(06):65-72.
- [7] 任松,唐康,易亮,等.小间距双井水溶造腔腔体扩展特性[J].东北大学学报(自然科学版),2017,38(11):1654-1658.
- [8] 易亮,姜德义,陈结,等.小井间距双井水溶造腔模型试验研究[J].地下空间与工程学报,2017,13(S1):155-161+169.
- [9] 刘伟莎.层状盐岩储气库建腔期安全综合评价及多因素优化研究[D].重庆大学,2015.
- [10] 李晓军.小井间距双井水溶造腔流场运移规律及三维数值模拟研究[D].重庆大学,2017.
- [11] 唐子茜,姜德义,陈结,等.小井间距双井盐穴储库稳定性综合评价研究[J].地下空间与工程学报,2021,17(06):1997-2006.
- [12] 李晓康.盐岩双井水溶造腔流场运移及腔体扩展规律研究[D].重庆大学,2018.
- [13] 李正一.盐岩双直井气垫法造腔方法与试验研究[D].重庆大学,2022.
- [14] 唐子茜.盐岩小间距双井腔体扩展规律及稳定性评价研究[D].重庆大学,2021.
-

中国国际科技促进会
团 体 标 准
层状盐岩水平对接井水溶采卤造腔
物理模拟试验技术规范

T/CI 545—2024

*

中国标准出版社出版发行
北京市朝阳区和平里西街甲2号(100029)

网址 www.spc.net.cn
总编室:(010)68533533 发行中心:(010)51780238
读者服务部:(010)68523946

中国标准出版社秦皇岛印刷厂印刷
各地新华书店经销

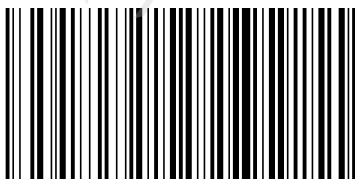
*

开本 880×1230 1/16 印张 1.25 字数 23 千字
2025年1月第1版 2025年1月第1次印刷

*

书号: 155066·5-9517 定价 43.00 元

如有印装差错 由本社发行中心调换
版权专有 侵权必究
举报电话:(010)68510107



T/CI 545-2024