

## 团体标准编制说明

数字岩心 CT 图像的二值化处理方法

Binarization standard for digital core CT images

起草单位：中国石油大学（北京）

---

起草时间：2024 年 7 月 1 日

---

## 一、工作简况

### 1. 任务来源

在数字岩心建模的过程中，如何进行合理的图像分割以精确提取孔隙度十分重要，一般对于数字岩心的阈值分割会选择实测孔隙度进行标定。但由于 CT 扫描的分辨率与视域范围存在固有矛盾，即扫描分辨率越高，视域范围越小，因此在保证高分辨率成像的同时需要采用对岩心全覆盖的 CT 扫描成像，同时利用核磁分析和氦气孔隙度测量可以反算当前扫描分辨率下的绝对孔隙度。当通过实验确定的孔隙度与通过本标准确定的计算孔隙度一致时，即可得到经实测孔隙度标定的二值化 CT 数据。但目前国内还缺乏相应的国家标准和行业标准，因此有必要提供专门的指导性标准。本文件的制定任务主要来源于自选课题，并得到了国家科技重大专项课题“下古生界—前寒武系地球物理勘探关键技术研究”和国家自然科学基金“针对碳酸盐岩储层的跨频段（从地震频率—超声频率）岩石物理实验与建模研究”以及“跨频段岩石物理实验与理论驱动的地震速度频散成像研究”的资助。

2022 年 7 月 20 日，中关村绿色矿山产业联盟(以下简称中绿盟)发布了《关于征集 2022 年度团体标准项目的通知》。按照通知要求，项目组提交了《数字岩心 CT 图像的二值化处理方法标准》的中绿盟团体标准提案表。2022 年 8 月 1 日，经中绿盟研究决定,发布了《2022 年度团体标准制订计划》。

### 2. 起草单位、参编单位

本文件起草单位：中国石油大学（北京）、中国石油勘探开发研究院西北分院

本文件参编单位：中国石油大学（北京）、中国石油勘探开发研究院西北分院

### 3. 主要起草人

文件的主要起草人：赵建国、李闯、张宇、闫博鸿、李智。

表 1 主要起草人所做的主要工作

序号	姓名	工作单位	主要工作
1	赵建国	中国石油大学（北京）	项目总负责人
2	李闯	中国石油勘探开发研究院西北分院	项目主要负责人
3	张宇	中国石油大学（北京）	负责理论分析
4	闫博鸿	中国石油大学（北京）	负责理论分析
5	李智	中国石油大学（北京）	负责室内实验

## 二、制定标准的必要性和意义

随着我国发展对油气资源的需求不断增加，油气田的勘探和开发逐步由常规储层转向非常规储层。针对以上复杂储层，岩石物理实验遇到了诸多困难，如低孔隙度低渗透率岩石驱

替困难，裂缝发育的碳酸盐岩难以取到有代表性的岩心，页岩和油砂很难开展岩石物理实验等。同时，岩石物理实验无法定量研究储层微观参数对岩石宏观物理属性的影响。反映岩石微观结构的孔隙模型由最初的毛细管模型发展到了网络模型再到愈渗网络模型，这些模型都对岩石的孔隙结构进行了简化。随着计算机技术的发展，可以根据岩石微观结构信息重建反映岩石真实孔隙空间的三维数字岩心。基于三维数字岩心借助于数值算法可以进行岩石物理实验模拟，这种方法被称为数字岩石物理或计算岩石物理。基于 X 射线 CT 技术获取的岩心图像，孔隙结构清晰、准确，是最直接、最准确的方法，但是由于扫描、处理、分割流程缺乏标准约束，使得孔隙结构提取结果受操作者主观影响强烈，这在一定程度上限制了该技术的应用与推广。而图像二值化处理是获取孔隙网络模型中最重要的处理步骤，简单、合理的处理流程与评价标准有助于数字岩石物理领域，尤其是数字岩心建模技术方面的发展。

所以，本文件基于室内实验，提出一套适用于数字岩心 CT 图像的二值化处理方法的技术标准，它可为 CT 图像的二值化处理提供统一的技术依据和标准。

### **三、主要起草过程**

#### **1、前期准备**

2023 年 12 月-2024 年 4 月，开展了前期研究与资料收集工作，包括岩心建模、CT 扫描成像等工作，探讨立项的必要性和结构要点，为本标准编制打下了良好基础。

#### **2、标准立项**

2024 年 8 月，在中关村绿色矿山产业联盟的指导下，成立标准起草团队，标准起草团队就《数字岩心 CT 图像的二值化处理方法》团体标准研制工作召开了专题会议，拟定了标准编制工作方案，对标准编制工作进行总体部署和任务分工，力求科学性和实用性。

#### **3、确定标准编制原则**

标准编制团队在充分研究国内现有的绿色矿山发展相关政策及要求，在岩心建模的基础上，确定了本标准的编制原则。

#### **4、标准起草过程**

①立项。2023 年 7 月，成立标准起草团队，召开专题会议，拟定了标准编制工作方案，对标准编制工作进行总体任务部署和任务分工，力求科学性和实用性。

②拟定初稿。2023 年 10 月，标准起草团队在中国知网等网站广泛收集国内外有关数字岩心的二值化处理方法的法律法规、规章、相关政策文件、标准，以及网站报道，期刊论文等材料，并对其进行综合分析整理，搭建了标准编制的框架，完成了标准初稿。

③实验论证。2022 年 7 月-2022 年 11 月，进行相应的岩心建模实验，在实验的基础上，

选取合适的方法进行二值化处理，对标准初稿进行内容填充和细节完善。

④内部研讨。2023 年 12 月，标准起草团队就标准初稿召开了多次内部讨论会，对标准进行反复修改，形成了标准工作组讨论稿，并明确了标准化需求和标准研制重点方向。

⑤确定终稿。2023 年 12 月-2024 年 6 月，在相关讨论和修改的基础上，结合实验结果、数据统计、参数提取精度，最终确定了标准的终稿。

#### **四、制定标准的原则**

坚持高起点、严要求与适宜性、可操作性相结合原则。高起点即标准编制所涉及的原材料及产品技术指标，应不低于目前国内外相关行业标准规定的限量指标；严要求即标准的编制应严格遵循 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》的规定及相关法律法规的要求；适宜性既要充分考虑到行业的发展现状与特点，又要有一个适宜的范围与程度，从而提高标准贯彻实施的可操作性。

#### **五、与现行有关法律、法规和标准的关系。**

本标准符合国家环保、安全生产等方面的相关法律；

本标准符合 GB/T 1.1-2020 中的规定；

本标准与其他相关标准化文件无冲突。

#### **六、标准主要内容说明**

本标准提出了适用于数字岩心 CT 图像的二值化处理的技术要求，主要包括实验指标的测定及分级要求等内容，适用于利用室内实验和相关计算，对 CT 图像进行二值化处理。本标准中涉及的主要的技术指标和调研报告如下：

**附件 1:**《原理》；

**附件 2:**《处理流程》；

#### **七、贯彻标准的措施建议**

##### **1. 组织措施**

在中关村绿色矿山产业联盟的组织协调下，以标准起草团队成员为主，成立标准宣贯小组。

##### **2. 技术措施**

组织撰写标准宣贯材料，组织标准宣贯培训，争取标准颁布实施后尽快在低频岩石物理实验中推广应用。

**附件 1:**

#### **方法原理**

在数字岩心建模的过程中，如何进行合理的图像分割以精确提取孔隙十分重要，一般对于数字岩心的阈值分割会选择实测孔隙度进行标定。但由于 CT 扫描的分辨率与视域范围存在固有矛盾，即扫描分辨率越高视域范围越小，因此在保证高分辨率成像的同时需要采用对岩心全覆盖的 CT 扫描成像。同时利用核磁分析和氦气孔隙度测量可以反算当前扫描分辨率下的绝对孔隙度  $\varphi_c$ 。当通过实验确定的  $\varphi_c$  与通过本标准确定的计算孔隙度  $\varphi_r$  一致时，即可得到二值化的 CT 数据。

## 附件 2：

### 处理流程

在进行了高分辨率的全岩心建模后，就可以应用岩心实测氦气孔隙度与核磁 T2 谱进行标定，反向确定阈值，达到计算孔隙度与实测孔隙度的统一，但由于切片上往往存在大量像素点的灰度等于阈值灰度，为尽可能合理的完成计算孔隙度与实际孔隙含量的完全统一，本标准建立了如下分割方案：

- a) 通过全岩心 CT 扫描在一定分辨率下获得覆盖整块岩心视域的三维 CT 数据；
- b) 通过实测氦气孔隙度 与核磁 T2 谱反映的孔径分布  $f_c$ ，可以获得在此扫描分辨率下的实际孔隙含量  $\varphi_c = \varphi \times f_c$ ；
- c) 通过  $\varphi_c$  确定三维 CT 数据体的阈值灰度，将灰度小于阈值灰度的所有像素点均计为孔隙点；
- d) 在全岩心模型内寻找所有灰度等于阈值灰度的像素点，并统计这些像素点相邻的 26 个体素单元内（正方体区域内，如图 1）的孔隙点个数；
- e) 按照统计的孔隙点个数（0 到 26 个）将灰度等于阈值灰度的像素点分为 27 类，周围孔隙点个数越多的像素将其优先计为孔隙点，依此确定阈值类别 N，高于这一类别 N 的均计为孔隙（如图 2）；
- f) 由于阈值类别 N 内依旧存在多个像素点待分割（如图 3 红框内），以实现计算孔隙度与实际孔隙含量完全吻合，但该类内的像素点周围孔隙点数已相等，这里仅将类内像素点做随机选取，直至计算孔隙度与实际孔隙含量完全相等，并以此为二值化处理效果的判别标准，最终输出二值化图像（如图 3）。

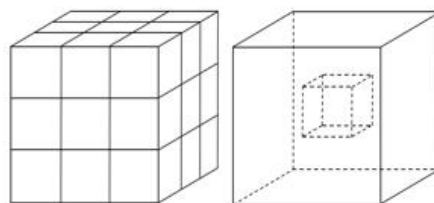


图 1 领域搜索范围示意图

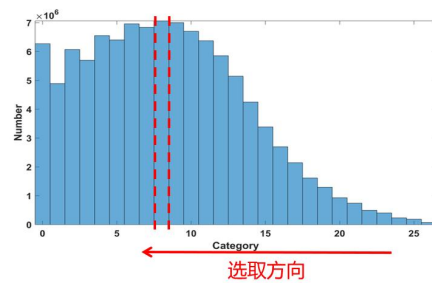


图 2 统计结果选取示意图

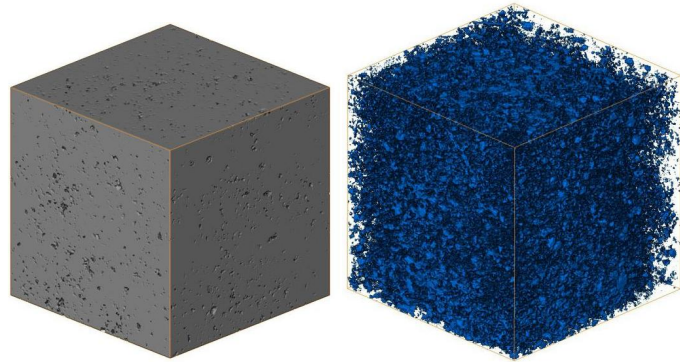


图 3 某砂岩样品的 CT 数据的二值化处理结果，基质（左）与孔隙结构（右）