

中关村绿色矿山产业联盟团体标准

《瞬态法测定煤岩渗透率技术指南》

编 制 说 明

编制单位：北京科技大学、中煤科工开采研究院有限公司、华晋焦煤有限责任公司、中山大学、西山煤电（集团）有限责任公司

2025 年 8 月

《瞬态法测定煤岩渗透率技术指南》

标准编制说明

一、工作简况

1.任务来源

根据中关村绿色矿山产业联盟《关于批准中关村绿色矿山产业联盟团体标准立项的通知》，由北京科技大学组织《瞬态法测定煤岩渗透率技术指南》团体标准编写组；项目起止年月：2025年7月至2025年12月；项目批准号：GRMP-2025-41。

2.起草单位、参编单位

本标准的制修订由北京科技大学牵头，联合中煤科工开采研究院有限公司、华晋焦煤有限责任公司、中山大学、西山煤电（集团）有限责任公司共同编制。

3.主要起草人

本标准主要起草人：刘力源，北京科技大学副教授，负责标准整体框架设计和技术路线制定，核心技术内容的编写，组织协调各参编单位工作分工。

二、制定（修订）标准的必要性和意义

全球能源结构加速向低碳化转型背景下，煤层气、页岩气等非常规能源开发及二氧化碳深部地质封存已成为保障能源安全和实现“双碳”目标的关键路径。渗透性作为深部地质资源的关键物理参数，其精确表征直接影响能源开发效率、环境保护效果及重大工程安全性。当前深部资源开采成本和复杂性大，

灾害事故频发，再加上预测的困难，使得深部开采的风险进一步上升。测量煤岩渗透率是实现深部煤炭资源有效开采的关键环节之一。因此，煤岩渗透率的测量对评估深部煤炭资源潜力至关重要。

常规抽注水试验测量渗透率是通过向岩层注水并监测水流动与压力变化，直观地评估渗透性，但对低渗透或非均质岩层的测量存在测量精度不足、测试周期长等缺点。近年来，压力脉冲法等非常规渗透率实验方法开始应用在低渗透率的煤岩渗透特性测量中，其在非稳态下测量渗透率，较传统测量法所需测试时间大大缩短，减少了流体计量误差，因而测试结果也更精确，在低渗透煤岩测试中具有明显优势。目前，瞬态法测定煤岩渗透率尚未有详细的标准性文件进行指导，许多实际施工过程中的技术要求需要进一步规范。

现有《煤和岩石渗透率测定方法》（MT 223-1990）、《岩石中两相流体相对渗透率测定方法》（GB/T 28912-2012）等标准多基于传统稳态渗流法依赖恒定压力梯度，测试周期长达数天，测量精度较低。为保证深部煤岩渗透性的精确规范评价，亟需制定瞬态法测定煤岩渗透率技术指南以规范相关工程施工。本标准的制定有助于深部煤岩渗透率测试的可重复性与准确性，为相关工程设计与施工提供明确的技术依据。

三、主要起草过程

2025年7月上旬：团体标准完成立项，编写标准编制工作大纲，召开第一次编制工作会议，讨论编制工作安排及主要章节内容合理性，布置编写工作。

2025年7月下旬：编写标准初稿，召开第二次编制工作会议，讨论编制工作的难点及需要解决的问题，形成标准初稿修改意见。

2025年8月上旬：审核标准初稿，召开专家会议，精雕细琢标准稿件技术语言和用词语句，形成标准征求意见稿。

2025年8月下旬：向社会征求意见。

2025年9月：社会征求意见回复。

2025年10月上旬：召开第三次编制工作会议，针对社会征求意见进行统一讨论并对征求意见稿进行修改完善。

2025年10月下旬：召开专家审查会，根据专家意见对稿件再次完善，形成送审稿。

2025年11月上旬：送审稿提交上级主管机关审议。

2025年11月下旬：召开第四次编制工作会议，根据审议结果和意见开展最后修改完善工作。

2025年12月上旬：形成报批稿提交主管部门审批。

2025年12月下旬：报批稿批准通过后标准正式发布。

四、制定（修订）标准的原则和依据

标准的格式、内容按照 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》给出的规则起草。

标准内容的编制和修订坚持适应性原则、科学性原则、广泛参与原则、经济性原则和持续改进原则。

五、与现行有关法律、法规和标准的关系

本标准与现行法律、法规、政策统一、协调一致，并与现行有效的国家标准和行业标准有很好的协调性，符合《中华人民共和国标准化法》对团体标准的要求。

六、标准主要内容说明

1.确定依据

a) 依照《标准化工作导则 第1部分：标准的结构和起草规则》（GB/T 1.1-2020）中关于标准结构、要素配置、术语定义等要求，起草《瞬态法测定煤岩渗透率技术指南》标准草案，确保在形式、框架及语言表述上与国家标准体系无缝衔接，便于后续推广与实施。

b) 系统调研与专家论证。在标准立项及起草阶段，对多家科研院所、煤矿企业、煤岩渗透率测试实验室进行系统调研，涵盖煤岩渗透率测试技术的发展现状、设备性能、适用工况、精度要求及现行方法的不足之处。同时，广泛听取采矿工程、煤层气开发、岩石力学、地质工程等领域专家的意见建议，通过多轮讨论、论证和修订，确保标准内容的科学性、可行性与前瞻性。

c) 国内工程实践与行业需求。本标准以我国煤层气及其他非常规天然气资源开发的迫切需求为背景，特别关注深部低渗煤岩渗透性评价的实际问题，结合近年来在矿山生产实践及实验室研究中积累的经验，进行归纳总结，形成具有普遍适用性和可操作性的技术方法。该方法不仅服务于煤矿行业，也为二氧化碳地质封存等领域提供可靠的技术支撑。

d) 国外先进标准与国际协调性。在技术原理、试验流程、数据处理等环节，借鉴国外主流标准规则，兼顾国际通行要求与我国特定地质条件的差异，进行

适应性修改与扩展，确保本标准在测试精度、试验装置设计等方面既达到国际水平，又能切实解决国内应用中的难点。

e) 安全性与质量控制要求。结合矿山安全生产、实验室作业安全和质量控制要求，对试验过程中的样品制备、设备校准、数据采集与处理、结果验证等环节提出明确的质量控制措施，确保测试过程安全可控、结果准确可靠。

2.基本原理

瞬态压力脉冲法的基本原理是：圆柱体试样连接进、出口端 2 个容器，施加初始流体压力 p_0 ，并使试件内部和 2 个容器的孔隙流体压力达到平衡；保持出口端容器的流体压力不变，瞬时在进口端容器施加流体压力增量 Δp ；在两端产生孔隙压力梯度，从而引起流体在试样中流动。通过记录进、出口端压力平衡过程来计算试样的渗透率。

3. 仪器组成

瞬态压力脉冲法渗透率测定仪（见图 1）包括一个三轴岩心夹持器和三个主要加压泵（提供轴压的泵，提供围压的泵和提供气体渗透压的泵）。轴向变形通过 LVDT（Linear Variable Differential Transformer）位移传感器进行监测，环向应变可以通过流体的流量进行反算。压力泵 P1 提供围压，压力泵 P2 提供轴向应力，压力泵 P3 提供气体（孔隙）压力。其中，压力泵 P3 连通两个气压腔，一个为上游气体腔，一个为下游气体腔，用以实验过程中为岩样两端提供一个瞬态压力差，从而实现基于瞬态脉冲法的渗透率测试。整个实验系统通过计算机软件进行实时控制，并且自动实时采集传感器传输的数据。

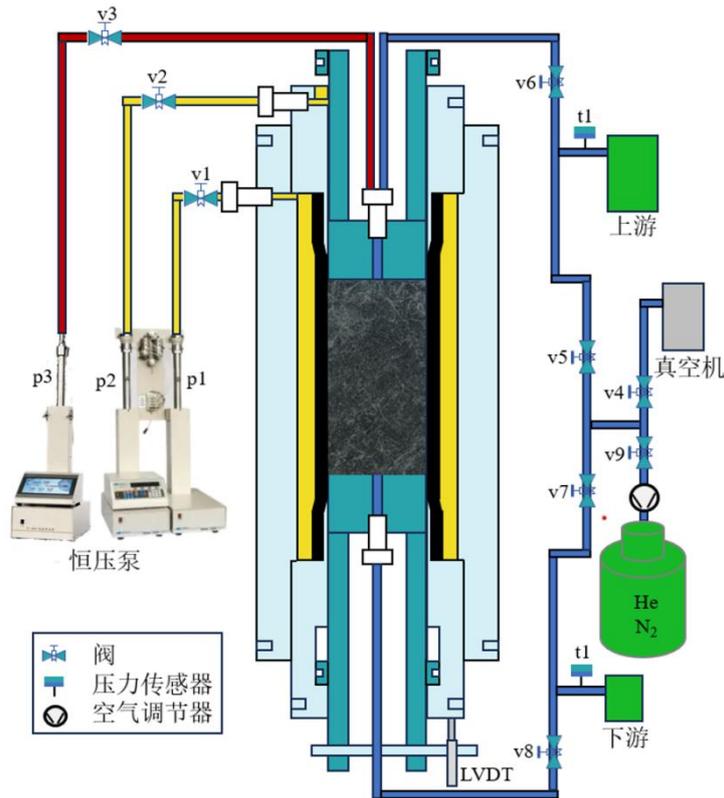


图 1 瞬态压力脉冲法渗透率测定仪示意图

2. 实验验证

美国伊利诺伊盆地原煤注氦气瞬态法渗透率测试实验：

利用橡胶管、锡箔纸和防水胶带等将煤样封装好。将煤样装配到实验装置中后，首先，增加煤样的围压至 2 MPa 随后，将煤样的轴向应力增加至 1 MPa。依次以 0.2 ml/min 的加载速率增加围压至 10.5 MPa，以 0.1 ml/min 的加载速率将轴向应力增加至 8 MPa。然后分别在孔隙压力为 1 MPa、3 MPa、5 MPa 和 7 MPa 四个压力水平上进行瞬态法渗透率测试，实验结果如图 2 所示。

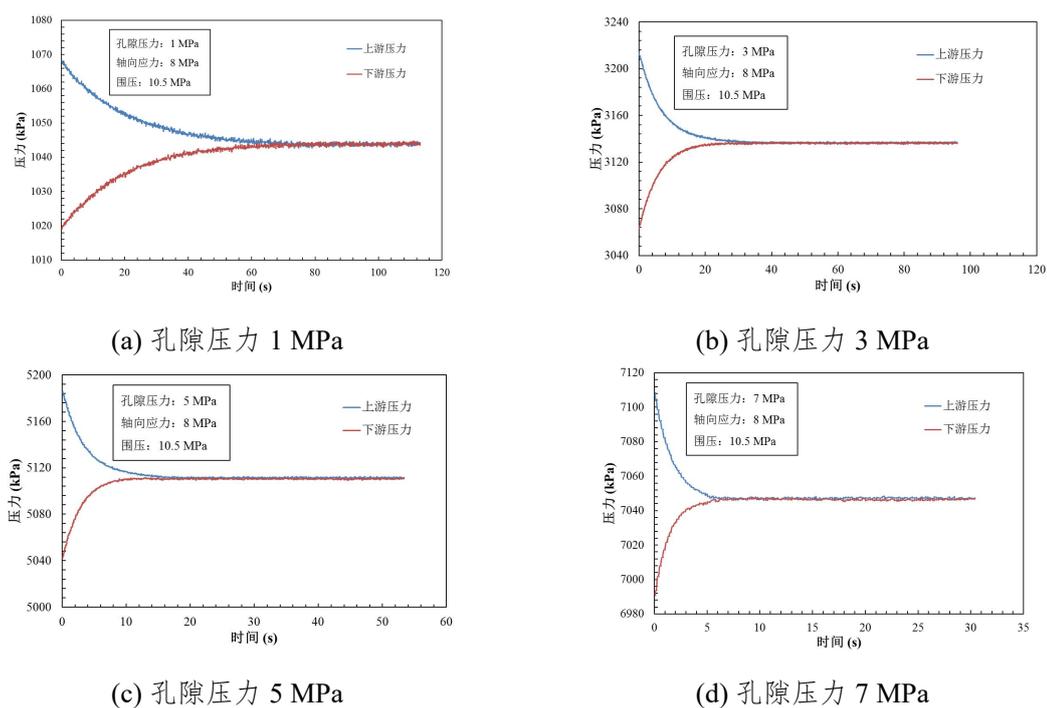


图 2 注氮气渗透率测试曲线（轴向应力 8 MPa，围压 10.5 MPa）

图中：孔隙压力为 1 MPa，上游压力设定为 1068 kPa，下游压力设定为 1019 kPa，平衡时间为 71 s。孔隙压力为 3 MPa，上游压力设定为 3212 kPa，下游压力设定为 3063 kPa，平衡时间为 36 s。孔隙压力为 5 MPa，上游压力设定为 5186 kPa，下游压力设定为 5042 kPa，平衡时间为 18 s。孔隙压力为 7 MPa，上游压力设定为 7108 kPa，下游压力设定为 6990 kPa，平衡时间为 8 s。

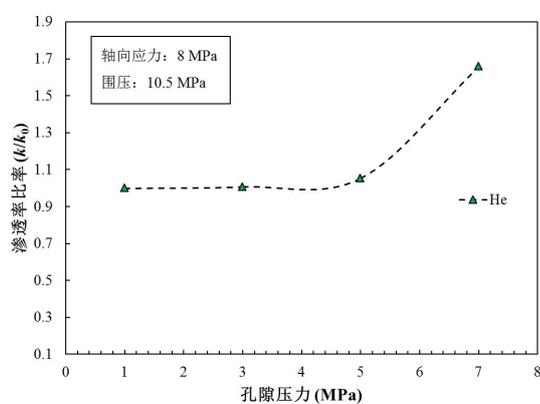


图 3 注氮气渗透率随孔隙压力变化规律

保持轴向压力为 8 MPa 和围压为 10.5 MPa 恒定，将以上四个孔隙压力的渗透率测试结果绘制在一起。如图 3 所示，渗透率随孔隙压力的增大而逐渐增大，由于氦气不具有吸附性，渗透率演化曲线呈“Langmuir”形。此外，高孔隙压将会诱发煤样的损伤，因而高孔隙压作用时渗透率的数值会显著增大。

七、分歧意见的处理过程、依据和结果

无

八、采用国际标准或国外先进标准情况

本标准在方法原理上参考了 ASTM D4525-13（美国）与 ISO 17892-11:2019（国际）中非稳态法渗透率测试的相关条款。与国际标准相比，本标准在适用压力范围、深部工况模拟精度、试样预处理细则等方面有所扩展，可适应更高围压和孔隙压条件。

九、贯彻标准的措施建议

1、建议标准实施后组织标准宣传与技术培训班，在主要煤炭科研院所、重点矿区及相关地质实验室设立标准示范点。

2、建议对本标准实施情况进行跟踪调查，掌握动态，并对标准实施效果进行跟踪评估，及时解决实施中的问题，不断修改完善，提高标准的科学性、客观性、规范性、合理性、协调性和可操作性。

十、其他应予说明的事项

无