

中关村绿色矿山产业联盟团体标准
《岩石未冻水含量核磁共振测试规程》
编制说明

起草单位：武汉大学

参编单位：珠江水利委员会珠江水利科学研究院

武汉科技大学

中国科学院武汉岩土力学研究所

大同大学

湖南科技大学

中国水利水电第七工程局有限公司

河北钢铁集团滦县司家营铁矿有限公司

2026年2月3日

一、工作简况

1.任务来源

岩石的未冻水含量是表征寒区岩体冻融损伤与力学性质劣化的关键指标，其精准测定对于寒区矿山工程、交通隧道、水工隧洞等重大工程的安全建设与运营具有重要意义。目前，国内暂无相应的统一测试标准，该参数在测试方法、仪器设备与数据处理上存在较大差异，不利于寒区岩石工程的质量控制与风险评估。本文件的制定，旨在规范测试方法，确保数据的准确性与可比性，为我国寒区岩石工程技术进步和产业规范化发展提供标准支撑。

本文件是根据中关村绿色矿山产业联盟下达的 2025 年与绿色矿山相关的团体标准编写计划制定的。

2.起草单位、参编单位

本文件起草单位：武汉大学

参加编写单位：珠江水利委员会珠江水利科学研究院、武汉科技大学、中国科学院武汉岩土力学研究所、大同大学、湖南科技大学、中国水利水电第七工程局有限公司、河北钢铁集团滦县司家营铁矿有限公司

3.主要起草人

本文件起草人：吴志军、翁磊、刘夕奇、黄诗冰、丁腾腾、康永水、储昭飞、杨东辉、张旗、罗冉、卢海峰、徐翔宇、吴秋红、田益琳、王世鸣、陈正红

二、制定标准的必要性和意义

当前，我国寒区矿山工程领域对岩石未冻水含量的测试长期依赖非标准化方法，甚至直接套用针对土体的国外标准（如 ASTM D5918）。然而，岩石与土体在孔隙结构、热力学响应等方面存在本质差异，现有方法的适用性严重不足。根据本团队前期调研的数据显示，同一岩石样本的未冻水含量测试结果差异率高达 15%-30%，直接导致寒区隧道、边坡等工程的设计参数可靠性存疑，甚至可能引发冻胀开裂、

结构失稳等安全隐患。此外，随着“一带一路”倡议中寒区基础设施（如中俄跨境铁路、北极航道港口）的推进，以及全球气候变化背景下冻土退化问题的加剧，缺乏统一的岩石未冻水测试标准已成为制约工程安全与科研协作的关键瓶颈。因此，制定专门针对岩石的标准化测试规程，既是解决当前技术混乱的迫切需求，也是服务国家战略与行业长远发展的必然选择。

在寒区工程，特别是在矿山、交通与水利基础设施建设中，岩石在冻融循环作用下的稳定性是关乎工程安全的核心问题。岩石未冻水含量作为衡量其冻胀响应与力学性能劣化的关键指标，其准确测定对寒区岩体工程设计、安全评价与工程灾害防治具有重要意义。然而，当前国内对该参数的测试长期缺乏统一的标准规范，已成为制约行业技术发展的紧迫问题。

目前，测试岩石未冻水含量时，或采用自行建立的测试方法，或直接参考适用于土体的国外标准（如 ASTM D5918）。然而，由于岩石与土体在孔隙结构、胶结程度和物理化学性质等方面存在显著差异，直接套用土体测试标准缺乏充分的科学依据，导致测试结果的准确性与可比性存疑。据本团队前期调研，同一岩性样本在不同实验室间的未冻水含量测试结果差异率可达 15%至 30%，这种巨大的离散性严重影响了数据的可靠应用。

测试方法的不统一与结果的不确定，直接给寒区岩石工程带来了严重的安全风险。在隧道、边坡、矿山巷道等工程的设计中，未冻水含量是计算冻胀力的核心输入参数。若该参数取值失准，将可能导致结构设计过于保守而造成浪费，或因设计强度不足而引发冻胀开裂、衬砌破坏乃至结构失稳等安全事故。因此，建立岩石未冻水含量测试规程是从源头上提升工程设计质量、保障工程安全与耐久性的内在要求，对提升我国寒区岩体工程领域的整体技术水平具有重要意义。

三、主要起草过程

本项目于 2025 年 7 月申报立项，2025 年 8 月由中关村绿色产业联盟下达标准制定计划。

（1）2025 年 8 月，本文件编制组召开第一次讨论会，制定了标准编制大纲，完成了参编单位任务分工。

(2) 2025 年 8 月至 2025 年 9 月，编制组开展了资料收集、调研等工作。

(3) 2025 年 9 月 28 日，编制组形成了《岩石未冻水含量核磁共振测试规程》（初稿）。

(4) 2025 年 10 月 1 日至 26 日，编制组针对初稿中的主要过程、关键参数的确定开展了相关试验论证工作。

(5) 2025 年 10 月 28 日，编制组就标准初稿召开第二次讨论会，根据试验论证结果对标准进行修改完善，形成了标准讨论稿。

(6) 2025 年 11 月 14 日，编制组邀请部分同行专家对讨论稿进行征求意见，并根据专家意见对讨论稿进行进一步的完善。

(7) 2025 年 11 月 15 日至 2026 年 1 月 10 日，编制组经过完善并内部讨论，形成了《岩石未冻水含量核磁共振测试规程》（征求意见稿）。

四、制定标准的原则和依据

1. 编制原则

为保证本标准的科学性、规范性、实用性和前瞻性，在制定过程中确立了以下指导原则：

(1) 科学性：本标准的核心技术内容建立在核磁共振原理、以及岩体冻融损伤特性基础上。测试流程、关键参数均以保障测量结果的准确性和重复性为首要目标，并通过了多轮比对试验验证。

(2) 规范性：标准的结构和编写格式严格遵循 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，确保与现有标准体系一致。

(3) 实用性：在保证数据质量的前提下，充分考虑了方法的可实施性。所选用的仪器设备普遍适用于国内相关实验室，测试步骤清晰明确，试验结果可靠，测试成本可控，便于推广。

(4) 前瞻性：在方法设计上，吸收了近些年国内外在低温核磁共振技术及岩石物理研究方面的先进成果。例如，明确了温度平衡的判定准则、引入了 T_2 谱演化分析等，旨在引领行业测试技术水平的提升。

2. 编制依据

本标准严格遵循 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，并严格按照中关村绿色矿山产业联盟团体标准管理办法的要求进行立项和编制。主要技术条款参考和引用了《GB/T 50266 工程岩体试验方法标准》《GB/T 42035-2022 煤和岩石孔径分布的测定 核磁共振法》《GB/T 29172-2012 岩心分析方法》《SY/T 6490-2023 岩样核磁共振参数实验室测量规范》等一系列成熟的国家和行业标准。

此外，编制组开展了大量的验证性试验，覆盖了不同岩性、不同含水状态的样品，对标准草案中规定的样品饱和方法、降温程序、温度平衡时间等关键环节进行了充分验证和优化，确保了方法的普适性和可靠性。

五、与现行有关法律、法规和标准的关系

本文件不与现行有关法律、法规和强制性标准冲突。

目前，国内外尚无岩石未冻水含量核磁共振测试的相关规程。

六、标准主要内容说明

本文件规定了利用核磁共振技术测定岩石在负温条件下未冻水含量的测试原理与方法、仪器设备与技术要求、样品制备与处理、测试步骤、数据处理与表达、质量控制与安全注意事项等。

1.范围。本文件适用于岩石在-50℃至 0℃温度区间内未冻水含量的定量测定。

2.术语和定义。本文件给出了未冻水、未冻水含量、弛豫、横向弛豫时间、 T_2 谱等专业术语的定义，其它未给出的专业术语参考岩石力学相关标准。

3.测试原理与方法。本文件简要介绍了核磁共振测试基本原理以及基于核磁共振测试获取未冻水含量的方法。

4.仪器设备。对测试过程中涉及的岩石低场核磁共振系统，包括磁体系统、射频系统、温控系统、数据采集与处理系统进行了说明，确定了各系统的性能指标。同时，对测试所需的辅助设备，包括真空饱和装置、恒温箱、电子天平和游标卡尺等进行了说明。

5.样品制备与处理。对测试过程中样品钻取、干燥、饱和、包裹与转移等进行了说明。

(1) 文件中指出样品的尺寸加工成直径 50mm×高度 100mm 的圆柱体试样，按 GB/T 29172-2012 中 4.5 的要求执行。

(2) 文件规定了样品尺寸应与核磁共振探头的线圈直径和温控腔体的尺寸相匹配，确保样品能顺利放入并处于均匀的射频场和温控系统中。

(3) 文件给出了真空饱和处理的详细步骤，包括真空泵的压力、抽气时间、真空静置时间以及常压浸泡时间等，与《GB/T 29172-2012 岩心分析方法》保持一致。

6.测试步骤。对测试前的仪器准备与参数设置进行了说明，并对初始核磁信号测量、负温下核磁信号测试等核心步骤进行了详细说明。

(1) 本文件指出按照 GB/T 42035-2022 中 8.1 的要求进行系统匀场、90°和 180°脉冲宽度校准，使信噪比和回波信号达到最佳。

(2) 本文件给出了关键参数的建议值，包括回波间隔、等待时间、回波个数以及累加次数等。建议回波间隔 0.2ms，等待时间 3000ms~5000ms，回波个数 8000~12000，累加次数 16~32。

(3) 本文件详细规定了负温下核磁信号测试步骤，包括温度序列、降温程序、温度平衡判断、信号采集等。

(4) 本文件还规定了测试结束后的相关操作。

7.数据处理与表达。对测试结果的指标计算进行了说明，包括 T_2 谱总信号量的计算、未冻水含量的计算等。本文件规定了测试结果的涵盖内容，包括样品信息、测试仪器型号、CPMG 序列关键参数、 T_2 谱演化图、未冻水含量变化曲线等信息。

8.质量控制与安全注意事项。本文件针对质量控制及安全注意事项等内容进行了说明，特别说明了核磁共振仪磁体的影响等内容。

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

目前国外尚无岩石未冻水含量核磁共振测试的相关规程。

九、贯彻标准的措施建议

为贯彻本标准，拟提出如下建议：

（1）开展宣贯培训：由发布机构组织，面向国内外科研院所机构与相关工程单位，解读本标准中的关键条款与未冻水测试操作难点。

（2）保障设备与人员：实验室应配置合规的核磁共振测试系统并定期校准，确保操作人员经过专业培训。

（3）建立质控与反馈机制：实施单位应进行内部质量检查（如平行样测试），同时向发布机构反馈实施中遇到的问题，以供标准未来修订完善。

十、其他应予说明的事项

无。