

《岩石钻孔原位压痕测试技术规范》

编制说明

起 草 单 位：山东科技大学

参 编 单 位：中国科学院武汉岩土力学研究所

北京昊华能源股份有限公司

新汶矿业集团有限责任公司

2024 年 12 月 30 日

一、工作简况

1.任务来源

本文件是根据中关村绿色矿山产业联盟下达的 2023 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：山东科技大学

参加编写单位：中国科学院武汉岩土力学研究所、北京昊华能源股份有限公司、新汶矿业集团有限责任公司。

3.主要起草人

本文件起草人：赵同彬、房凯、马成甫、肖亚勋、傅勇、岳鹏飞、孟庆洲、崔建廷、李小平、白武、李玉蓉、毛怀昆、于凤海、赵志刚

二、制定标准的必要性和意义

岩石力学特性特别是其原位条件下的工程特性是进行矿山开采要考虑的重要因素，也是解决开采中面临的各类岩石力学问题的首要参考指标。随着我国矿山开采深度的增加和难度的加大，各类岩石力学问题越来越多，如何快速准确的获取岩石力学特性信息是地下采矿工程面临的重要问题。目前矿山工程中岩石力学参数大都是通过标准的室内力学试验获得的，但是室内试验对岩石试样的要求较高，而且室内试验影响因素多，测试周期长，钻芯过程中的扰动性、长周期过程中运输加工等各种因素都可能造成结果的较大偏差，从而很难反映原位的岩石特性。因此，各类矿山岩石力学问题对原位测试技术的需求也越来越多，构建科学便捷的原位测试方法对合理解决矿山岩石力学问题，保障矿山等地下工程的安全快速开展有重要的意义。

岩石的压痕试验作为室内评估岩石硬度、强度和模量的可靠方法，已经成为工程中认可的重要手段，由于测试机理简单，操作便捷，其在原位条件下呈现出广泛的应用前景。由于压痕试验是通过锥点与岩体接触形成的压痕特性来评估岩石特性，在原位条件下可以直接作用于岩石表面，与室内试验在基本作用机理上是一致的，具有较好的适用性；另一方面，利用原位钻孔可在岩体内部开展压痕测试，能够实现对不同岩层剖面的岩石特性的快速测试，钻孔原位压痕测试技术

成为解决岩石原位快速评估的重要可行方法。但是针对该技术方法仍缺少相关的执行标准作为参考，构建钻孔原位压痕试验测试技术和相关方法的实施规范，确保测试方法的一致性和可靠性，有利于推进该方法在矿山工程中的应用，解决矿山岩石力学面临的原位测试需求。

对于岩石的钻孔原位测试来说，是在岩石原位赋存环境条件下开展的，不同于室内试验机提供的精准可控的加载条件，原位测试条件下，测试过程可能会受到原位复杂环境的影响，给测试带来很多不确定性，不标准的操作流程可能会带来测试结果的较大的误差，通过对钻孔原位压痕试验的测试流程和分析方法等内容的规范化，有利于合理控制由于原位条件差异化带来的测试不确定性。另一方面，由于岩石室内压痕试验采用的压头形状的多样性，造成了各类压头进行岩石特性评估的差异性，对于原位测试而言，测试装置的统一是促进其推广应用和行业认可的重要前提。因此，对于压痕测试的钻孔原位应用来说，目前在仪器设备选择、测试流程、分析方法等方面仍缺少相关的参考依据，亟需一套完整有效的技术规范来对试验进行技术指导。

三、主要起草过程

本项目于 2023 年 4 月申报立项，2023 年 6 月由中关村绿色产业联盟下达标准制定计划。

(1) 2023 年 7 月，本文件编制组召开第 1 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) 2023 年 8 月至 2023 年 9 月，编制组开展了资料收集、调研等工作。

(3) 2023 年 10 月至 2023 年 12 月，编制组形成了《岩石钻孔原位压痕测试技术规范》（初稿）。

(4) 2024 年 1 月至 2024 年 7 月，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) 2024 年 8 月，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，形成讨论稿。

(6) 2024 年 9 月至 2024 年 10 月，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) 2024 年 11 月至 2024 年 12 月，召开专家审查会，根据专家审查意见

修改形成了《岩石钻孔原位压痕测试技术规范》（征求意见稿）。

四、制定标准的原则和依据

1.编制原则

本标准的编制遵循“统一性、协调性、适用性、一致性、规范性”的原则。

文件编写按照 GB/T1.1—2020《标准化文件的结构和起草规则》的相关要求，并力求标准具有“简洁性、通用性、指导性、引导性和可扩展性”的特点。

2.编制依据

（1）压痕试验的主要压头规格、基本测试要求、压痕指标的计算等信息参考国际岩石力学学会关于室内压痕试验的建议方法相关草案《Draft ISRM Suggested Method for Determining the Indentation Hardness Index of Rock Materials》；

（2）岩石在锥形压头压入条件下的相关流程和注意事项等信息参考《GB/T 23561.13-2024 煤和岩石物理力学性质测定方法 第 13 部分：煤和岩石点载荷强度指数测定方法》和《DZ/T 0276.6-2015 岩石物理力学性质试验规程 第 6 部分：岩石硬度试验》；

（3）岩石钻孔施工及孔内原位测试的相关要求参考《GBT50266-2013 工程岩体试验方法标准》；

（4）钻孔原位压痕测试的相关仪器设备、测点布置、测试布置及其他注意事项等信息参考相关论文及研究报告。

五、与现行有关法律、法规和标准的关系

本文件符合 GB/T1.1-2020 的规定，不与现行有关法律、法规和强制性标准冲突。

目前，国内外尚无用于岩石钻孔原位压痕测试技术的相关标准。

六、标准主要内容说明

本文件给出了岩石钻孔原位压痕测试技术的基本要求和技術方法，包括术语和定义、仪器设备、钻孔测点布置、测试步骤、结果分析和相关附录。适用于矿山、隧道等地下工程中各类岩石的钻孔原位压痕测试。

1、范围。本文件适用于矿山、隧道等地下工程中各类岩石的钻孔原位压痕测试。根据室内岩石压痕测试经验，同时结合在矿山等地下工程的开展各类软

岩和硬岩的钻孔原位测试结果，本文件内容针对各类岩石具有广泛适用性。

2、术语和定义。对岩石钻孔原位压痕测试、压痕硬度指数、压痕模量指数 3 个专业术语进行定义，其中压痕硬度指数和压痕模量指数两个专业术语的定义参考室内岩石压痕测试中的定义，其它未给出的专业术语定义与传统岩石力学中相关定义一致。

3、主要仪器设备。对测试过程中涉及的钻孔设备、加载装置、采集装置和推送装置进行了说明，确定各仪器设备的名称和性能指标，包括压头尺寸要求、液压泵性能、荷载和位移测量系统精度等。

(1) 根据测试的加载和采集需求，给出了主要的建议仪器设备及其性能指标。加载装置以现有工程应用的孔内压痕加载装置为主要框架，压头采用了与室内压痕硬度测试（《Draft ISRM Suggested Method for Determining the Indentation Hardness Index of Rock Materials》）同样的样式和尺寸，以确保室内试验和原位试验的统一性。

(2) 由于原位测试需要获取平稳的荷载位移曲线，因此对液压加载稳定要求很高，因此本文件中建议液压泵能以 0.1MPa/s 的速率进行平稳液压加载。同时，考虑到原位孔内长距离测试条件下，液压从液压泵到加载装置存在压力损耗，为了保证液压记录的准确性，文件中要求压力传感器应位于加载装置端，而不是位于液压泵上面。

4、钻孔、测点布置。对测试过程中钻孔和测点的布置要求进行了说明，包括钻孔的布置、尺寸要求和测试条件，测点布置原则和基本要求等。

(1) 钻孔的布置在参考现有其他测试规范关于钻孔布置的基础上同时钻孔原位测试的特点给出了本文件的钻孔布置要求，钻孔布置（包括钻孔质量、长度、孔径等）应该满足原位测试需求。

(2) 根据实际测试需要，在保证装置在钻孔中顺利推进的基础上尽量减小压头加载位移，因此钻孔孔径宜大于加载装置最大外接圆直径 $1-5\text{mm}$ 。而考虑到实际装置构造要求和现场施工便宜程度，建议钻孔直径选为 $50-100\text{mm}$ ，其中 75mm 为目前工程中常用孔径，在矿山等地下工程中便于钻机的施工。

(3) 文件中关于测点布置的要求主要考虑两个方面：(1) 根据室内和原位实测研究表明，压痕附近的裂隙等会造成压痕过程和指标的变化，因此原位压痕

试验应避免非完整岩体区域,而且测点之间的间接应该大于一定的距离,根据研究结果,建议测点间距超过 5cm,以确保后续测点不会受到前一个测点影响;(2)对某一深度岩石进行测试时,为了减小测点选择对结果的影响,文件建议在钻孔不同角度间隔 120° 分别开展测试,然后取算术平均值,从而进一步降低测试误差。

5、测试步骤。对测试过程中测试准备过程和测试记录流程的相关要求进行说明,包括测试前钻孔、窥孔和装置连接的相关要求,测试过程中加载速率、加载终止条件、异常条件处理等。

(1) 根据实际工程中的测试经验表明,当测试岩层涉及到遇水软化的岩层时,湿法打孔过程中的水会造成孔壁岩体的弱化,进一步影响测试结果,因此为了减小水的孔壁岩体特性的影响,对于遇水软化的泥岩等岩体,宜采用干法钻孔施工方式。

(2) 孔壁岩体进行地质描述可以参考《GBT50266-2013 工程岩体试验方法标准》等文件的相关要求。

(3) 加载速率的要求参考了室内压痕硬度测试(《Draft ISRM Suggested Method for Determining the Indentation Hardness Index of Rock Materials》)。

(4) 停止加载标准考虑了两部分因素:一是原位测试难以直观的实现压痕的测量,因此应尽可能的让压头压入岩石从而更好反映岩石特性信息,考虑到对于图 1 给出的压头,压入 2.5mm 后压入模式发生变化(从球形变成后续的锥形),因此选取 2.5mm 作为标准。二是当岩石出现明显的破裂,此时岩石局部被压碎,应停止测试。

6、结果分析。对测试结果的指标计算方法和其他规定进行了说明,包括岩石压痕硬度指数和岩石压痕模量指数的计算方法,数据处理和结果修正、记录的相关要求等。

(1) 根据现场实测的经验,本文件选取了室内压痕试验中两个常用的指标作为原位试验的计算指标,包括岩石压痕硬度指数和岩石压痕模量指数。该指标在原位测试过程中比较容易获取,且能够实现与室内压痕试验结果的统一。

(2) 岩石压痕硬度指数的计算方法与室内压痕硬度测试(《Draft ISRM Suggested Method for Determining the Indentation Hardness Index of Rock Materials》)

一致，但是考虑到原位测试条件下，很多岩层中原位压痕测试难以达到峰值，因此，在本文件中给出了没有峰值条件下的岩石压痕硬度指数的近似计算方法，考虑到压痕力-压入深度曲线大部分为直线段，该近似计算方法不会带来较大的误差。

(3) 岩石压痕模量指数的计算方法与室内压痕硬度测试（“Development of experimental correlations between indentation parameters and unconfined compressive strength (UCS) values in shale samples”等）一致，但是考虑到原位测试条件下，很多脆性岩石的压痕曲线可能在破坏之前出现多个峰值（由于局部颗粒的压碎带来，而非宏观破坏），因此本文件考虑两种条件：单一峰值或无峰值曲线条件、多峰值曲线；对于多峰值条件取多段斜率的平均值作为计算值。

(4) 由于孔壁加载会引起的钻孔变形，进而对压入深度测量的影响，因此根据研究经验当孔壁岩石为弹性模量小于 1GPa 的软弱岩石时，应对压入深度进行修正。

(5) 其他数据处理的规定参考现有的岩石其他室内测试的相关规范。

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

目前国外尚无用于岩石钻孔原位压痕测试技术的相关标准。

本文件在编制过程中参考了国际岩石力学学会关于岩石的室内压痕测试的相关草案《Draft ISRM Suggested Method for Determining the Indentation Hardness Index of Rock Materials》中的部分相关内容，确保了钻孔原位条件下岩石压痕测试与室内岩石压痕测试技术在压头规格、基本测试要求和压痕指标计算等方面具备一致性，并在此基础上，给出岩石钻孔原位压痕测试仪器设备、测点布置、测试要求和指标处理等方面的新要求。

九、贯彻标准的措施建议

成立标准宣贯小组，制定相关实施细则，积极在矿山企业开展标准宣贯讲座、技术培训等工作，推动标准技术应用实践。

十、其他应予说明的事项

无。