《深部三维洞室应力扰动诱发岩爆模拟试验方法》

编制说明

起 草 单 位 ：长安大学

参 编 单 位 ：南华大学

江西理工大学

安徽理工大学

中国科学院武汉岩土力学研究所

中南大学

湖南科技大学

福州大学

青岛乾坤兴智能科技有限公司

2026 年 10 月 8 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2024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：长安大学

参加编写单位：南华大学，江西理工大学，安徽理工大学，中国科学院武汉岩土力学研究所，中南大学，湖南科技大学，福州大学，青岛乾坤兴智能科技有限公司

3.主要起草人

本文件起草人：宫凤强，司雪峰，金解放，赵光明，江权，彭康，罗勇，吴学震，孟祥旭，何志超，徐磊。

二、制定标准的必要性和意义

随着浅部资源的逐渐枯竭及国家基础建设的发展，越来越多的矿山、交通隧道、水利水电等工程向深部发展。2016 年 5 月 30 日召开的“为建设世界科技强国而奋斗”的科技大会上指出：向地球深部进军是我们必须解决的战略科技问题。据统计，2004 年我国的千米深井仅有 8 座，2018 年全国超千米深井近 100 座。例如，山东省新泰市新汶矿业（集团）有限责任公司的孙村煤矿深度为 1501 m，河南灵宝釜鑫金矿采深达到 1600 m，辽宁红透山铜矿采深达到 1300 m，吉林夹皮沟金矿采深达到 1500 m，拉林铁路巴玉隧道最大埋深达到 2080 m，锦屏二级水电站引水隧洞的最大埋深为 2525 m。目前地下工程以每年 10~25 m 的速度向地下延伸，未来我国的矿产资源将全面进入 1000~2000 m，深部地下工程的建设将发展成为一种常态。

深度的增加使岩体工程所处的环境日趋复杂，受到高地应力及巷道采掘、爆破等产生的动力扰动的影响，导致岩爆灾害频发，严重威胁施工人员、设备的安全及阻碍工程进度。深部未开挖岩体处于三维应力状态，经过开挖卸荷作用，靠近临空面的巷道围岩处于二维或一维应力状态，并且不可避免的会受到采掘、爆破等动力扰动影响，进而诱发深部高应力围岩岩爆破坏。因此，制定应力扰动诱

发洞壁型岩爆物理模拟试验方法对岩爆灾害的机理研究及防治具有重要意义。

在对岩爆灾害的研究中，模拟试验研究非常重要。早期国内外学者进行的大量岩石力学试验，主要在小尺寸的圆柱型或方(条)形试件上进行，所得结果主要反映试件整体受力并发生失稳破坏。随着研究的深入和新型设备的研发，越来越多的研究人员开始重视利用岩石试件模拟地下洞室内部围岩的岩爆破坏。然而，大多数把相似材料试件做成平面应变加载模型，或者进行二维加载研究洞室围岩的岩爆破坏过程及特征，试验中岩石的厚度相对较小，而且均为准静态加载。这类试验对模拟深部岩石受静载作用下的岩爆破坏具有适用性，但是没有把已经成洞后围岩受动力扰动因素考虑进去。因此，试验的应力路径与实际工程中存在一定的差异。综上，从考虑洞室围岩受到的三维应力及应力扰动作用，制定应力扰动诱发洞壁型岩爆物理模拟试验方法非常必要。本建议方法“应力扰动诱发洞壁型岩爆物理模拟试验方法”可充分衔接我国现行国标、行业标准和国际建议标准，补充这些标准和规定中关于岩爆模拟试验的技术要点，从而也能促进现行国家和行业标准的应用，还有助于提升我国在该领域的国际竞争力，推动我国地下工程建设技术走向世界。

三、主要起草过程

1．前期准备及调研阶段

项目立项前，标准编制小组查阅和搜集有关深部工程遇到的岩爆灾害以及相关的国内外文献及技术材料。同时，通过对不同岩性（花岗岩、红砂岩、千枚岩）的立方体试样开展真三轴压缩试验，模拟了实际工程中不同深度下的应力环境，再现了三维应力条件下洞室围岩的岩爆破坏过程，分析了岩爆坑的特征及岩爆破坏产生的岩片特征，结合现有的试验研究基础，编制本文件相关的技术内容。标准项目完成立项后，组织召开工作组启动会议，标准工作组提交工作计划及人员组成等方案。

2．起草阶段

团体标准立项通知后，主编单位负责人首先组织了标准制定工作会议，对各参编单位的相关编写人员进行了编写要求解读和工作计划分工。《应力扰动诱发洞壁型岩爆物理模拟试验方法》（初稿）完成后，主编单位及参编单位的人员经过多次研究讨论，形成讨论稿，而后，编制组邀请部分同行专家对讨论稿进行征求

意见，根据专家的反馈意见和建议，进一步系统全面的对规程进行修改完善。

四、制定标准的原则和依据

1.编制原则

问题导向原则：以解决三维应力和扰动作用下洞室围岩岩爆破坏过程及特征为出发点，通过深入分析实验模拟存在的问题及需要主要的事项，有针对性地制定规范内容。以解决问题为目标，确保规范能够切实有效地进行三维洞室应力扰动诱发岩爆模拟试验。

适用性原则：规程的制定中充分考虑了不同试样尺寸、不同岩性、不同洞室断面形状，使规范具有广泛的适用性。

科学性原则:基于大量的岩爆模拟试验并且参考该领域成熟理论与先进技术，确保标准技术内容科学合理、准确可靠，能有效指导实践。

本标准的格式、内容及描述方法对照了 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》。

2.编制依据

试样采集和制备的相关要求等信息参考《T-CSRME 007-2021 岩石真三轴试验规程》和《DZ/T 0276.20-2015 岩石物理力学性质试验规程 第 20 部分：岩石三轴压缩强度试验》中的相关要求和规定。

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，国内外尚无三维应力及应力调整作用下洞室围岩岩爆模拟试验的相关规程。

六、标准主要内容说明

本文件规定了应力扰动诱发洞壁型岩爆物理模拟试验方法，即模拟试样方法所涉及的术语和定义、仪器设备、试样加工过程及尺寸，具体阐述了应力扰动诱发洞壁型岩爆物理模拟试验步骤、注意事项及数据处理。

1、范围。本文件适用于三维洞室应力扰动诱发岩爆模拟试验。

2、术语和定义。对洞室、岩爆、真三轴压缩试验、应力扰动、圣维南原理、

岩爆坑、真三轴应力路径等专业术语进行定义。其他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试验设备进行了说明，确定各仪器设备的名称和性能指标。

4、试样采集与制备。对测试过程中涉及的试样的取样位置，加工尺寸和加工精度进行了说明。

（1）文件中指出试样的取样过程中主要考虑到：同组试样的取样地点、地层应相同；对于干缩湿胀和易风化的岩样，取样后应立即密封，并置于相应环境中保存；采样数量应根据试验需求和制备条件确定；煤样在封装、运输和储存时，应采取保护措施，避免煤样受损。

（2）文件中给出了试样的加工尺寸要求：立方体试样宜采用长、宽、高为 1:1:1 的比例；试样的尺寸宜为 100 mm×100 mm×100 mm 或 150 mm×150 mm×150 mm。对于加载力的量程比较大的试验设备，可以适当的增大立方体试样的尺寸，如 200 mm×200 mm×200 mm；立方体试样中洞室的尺寸应满足圣维南原理，隧道开挖对周围岩体的扰动影响范围通常为 3～5 倍的洞室直径，故洞室截面的直径宜为试样边长的 1/5～1/3。对于 100 mm×100 mm×100 mm 的立方体试样，洞室的直径宜为 20 mm～33 mm；对于 150 mm×150 mm×150 mm 的立方体试样，洞室的直径宜为 30 mm～50 mm；对于 200 mm×200 mm×200 mm 的立方体试样，洞室的直径宜为 40 mm～67 mm；试样的边长应大于最大矿物颗粒尺寸的 10 倍。

（3）文件中给出了试样的加工精度要求：试样边长允许偏差应为±0.1 mm；试样端面不平整度允许偏差应为±0.02 mm；试样相邻两端面应互相垂直，允许偏差应为±0.25°；试样相对端面不平行度的允许偏差应为±0.02 mm。

5、应力扰动诱发洞壁型岩爆物理模拟试验的测试步骤。

（1）试验前应检查试样加工误差是否符合要求，分别对试样编号。

（2）试样安装与固定。将含预制圆形洞室立方体红砂岩试样 6 个表面均匀涂抹好润滑剂，并置于真三轴试验机承压台中心，调整上、左、右、前、后 5 个加载块，使每个加载块对准试样每面中心并紧密贴合，再对试样三个方向施加 1kN～5 kN 的预荷载使试样固定。

（3）初始应力加载。对 X、Y 和 Z 三个方向以 1kN/s（可以根据需要进行适当的调整）进行加载，加载同时开启洞室破坏实时监测装置监测和记录洞室围岩破坏情况，应力达到设定的初始应力状态，保持应力恒定 5 分种。

（4）应力扰动加载。保持两个水平应力恒定不变，竖直应力继续以相同的加载速率进行加载，加载至洞室围岩发生了明显宏观破坏后改为分级加载，每一级应力增加宜为 2 MPa，保载时间宜为 1 min。

（5）卸载、保存试验数据。当洞室两侧围岩破坏区贯穿洞室轴向长度后对试样三个方向进行卸载，首先卸载 Z 方向，卸载速度与加载速率相同，当三个方向的应力相等时，同时以相同的卸载速率将三个方向卸载至 0MPa，保存试验的荷载、位移数据以及洞壁破坏的监控视频。

（6）取出试样，对洞室围岩的破坏情况进行拍照并记录洞壁的破坏特征。

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

本文件在编制过程中未采用国际标准或国外先进标准。

九、贯彻标准的措施建议

该标准经批准、发布实施后，成立标准宣贯小组，积极开展标准宣贯会，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。