ICS
CCS 点击此处添加 CCS 号

# T/GRM

## 中关村绿色矿山产业联盟团体标准

T/GRM XXXX—XXXX

# 深部三维洞室应力扰动诱发岩爆模拟试验方法

Simulation test method for rockburst induced by stress disturbance in deep 3D caverns

（征求意见稿）

**在提交反馈意见时，请将您知道的相关专利连同支持性文件一并附上。**

XXXX－XX－XX 发布　　XXXX－XX－XX 实施

中关村绿色矿山产业联盟　　发 布

# 目　　次

前言 ..... II
1　范围 ..... 1
2　规范性引用文件 ..... 1
3　术语和定义 ..... 1
4　基本规定 ..... 1
5　试样采集与制备 ..... 2
6　洞壁型岩爆物理模拟试验方法 ..... 3
7　成果整理 ..... 5
附录 A （资料性 ） 深部三维洞室应力扰动诱发岩爆模拟试验测试记录 ..... 6

# 前　言

本文件按照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》的规定起草。

请注意本文件的某些内容可能涉及专利。本文件的发布机构不承担识别专利的责任。

本标准由中关村绿色矿山产业联盟提出并归口。

本标准起草单位：长安大学，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。

本标准主要起草人：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。

本文件为首次发布。

# 深部三维洞室应力扰动诱发岩爆模拟试验方法

## 1 范围

本文件规定了深部三维洞室应力扰动诱发岩爆模拟试验的基本规定、试样采集与制备、试验过程及方法和成果整理等。

本文件适用于洞壁型岩爆物理模拟试验。

## 2 规范性引用文件

下列文件中的内容通过文中的规范性引用而构成本文件必不可少的条款。其中，注日期的引用文件，仅该日期对应的版本适用于本文件；不注日期的引用文件，其最新版本（包括所有的修改单）适用于本文件。

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

T-CSRME 007-2021 岩石真三轴试验规程

## 3 术语和定义

下列术语和定义适用于本文件。

3.1

**洞室 cavern**

在岩土体中开挖出的具有一定形状和尺寸的空间。它是一种地下工程设施，通常用于多种用途，如交通隧道、地下厂房、地下仓库、地下电站、人防工程、矿山巷道等。

3.2

**硬岩 hard rock**

单轴饱和抗压强度超过60 MPa的岩石。

3.3

**岩爆 rockburst**

在开挖或其他外界扰动下,深部或高构造应力的岩体中聚积的弹性变形势能突然释放,导致围岩爆裂、弹射的动力现象。

3.4

**真三轴压缩试验 true triaxial compression test**

一种使试样处于三个主应力不相等（即$\sigma_1 > \sigma_2 > \sigma_3$）的应力组合状态下的压缩试验。

3.5

**应力扰动 stress disturbance**

由于工程施工、地质条件变化或其他外力作用，导致岩土体内部原有的应力状态发生改变的现象。

3.6

**岩爆坑 rockburst pit**

岩爆发生后形成的坑洞。

3.7

**真三轴应力路径 True Triaxial Stress Path**

在真三轴试验中，通过控制三个主应力的变化，使试样经历的应力状态发生变化的应力轨迹。

## 4 基本规定

4.1 试样采样时应记录采样地点、采样时间、埋深、层位、试样种类、风化与新鲜程度等；有条件时应描述地质构造与地应力状态等。采取的试样应满足试验要求。

4.2 试验前，应对每个试样进行地质素描、拍照与波速测定，且应有同批试样的静力特性资料。试验后应对试样做破坏特征描述、拍照。

4.3 试验设备应按规定标定；计量设备应按规定检定或校准。

4.4 试验数据记录与整理可以参照本规程附录 A。

4.5 试验结束应及时编制和提交试验报告，报告应经审核。

## 5 试样采集与制备

### 5.1 试样采集

5.1.1 试样宜在工程现场按试验要求采集。

5.1.2 同组试样的取样地点和地层应相同。

5.1.3 采集的试样宜在采样点立即用保鲜膜包好，装箱并按编号标明试样的特征，并置于相应环境中保存。

5.1.4 采样数量应满足试样制备的需求，且不少于试验所需求的 2 倍。含结构面试样数量应适当增加。

5.1.5 试样在封装、运输和储存时，应采取防止试样受损的保护措施。

### 5.2 试样制备

5.2.1 试样的形状立方体。加工试样前，应对试样的结构特征进行标记，对于含结构面或层理面的试样的加工，应注意结构面与最大主应力方向的夹角及结构面的位置。

5.2.2 应将采集的试样按照同一方向切割，粗加工成略大于标准试样尺寸 2 mm～3 mm 的立方体。

5.2.3 应将初步切割后的立方体试样加工成标准试样。对于亲水性较强的岩石材料，宜采用干磨或者干冰冷却等方式加工。

5.2.4 应将加工好的立方体试样固定在雕刻机上，利用雕刻机在立方体试样中心部位加工断面为圆形方形、直墙拱形等形状贯穿或未贯穿洞室。对于圆形断面洞室，也可采用钻孔取芯的方法进行加工。

5.2.5 应将加工好的试样进行自然风干，然后用保鲜膜包好。

### 5.3 试样尺寸

5.3.1 立方体试样宜采用长、宽、高为 1:1:1 的比例。

5.3.2 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。

5.3.3 立方体试样中洞室的尺寸应满足圣维南原理，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。

5.3.4 试样的边长应大于最大矿物颗粒尺寸的 10 倍。

### 5.4 试样精度

5.4.1 试样边长允许偏差应为±0.1 mm。

5.4.2 试样端面不平整度允许偏差应为±0.02 mm。

5.4.3 试样相邻两端面应互相垂直，允许偏差应为±0.25° 。

5.4.4 试样相对端面不平行度的允许偏差应为±0.02 mm。

### 5.5 试样描述

试样加工完成后应对试样进行物理性质参数测量和描述，宜包括下列内容：

a) 试样编号、名称、颜色、岩性、矿物成分、均质性、最大颗粒直径、结构、风化程度、胶结物性质、试样的质量、密度和波速等；
b) 试样内层理、节理、裂纹分布及其与加载方向的关系；
c) 含结构面试样中结构面充填物（胶结物）的性质及其厚度。
d) 试样的初始缺陷及含水状态。

试样的量测数据记录见附录 A2。

## 6 洞壁型岩爆物理模拟试验方法

### 6.1 一般规定

本试验适用于成品硬岩试样在三维应力及应力扰动条件下的岩爆模拟试验，试样数量宜为3～5个。

### 6.2 测试系统

开展深部三维洞室应力扰动诱发岩爆模拟试验，应开展真三轴压缩试验，仪器设备应能够准确测量试样的三个方向的应力-应变曲线，并能记录洞室围岩的破坏过程。

### 6.3 试验步骤

试验过程中应控制三个方向的加载方式和加载速率，确保试样仅发生洞室围岩破坏，避免试样整体失稳破坏：

a) 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。
b) 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（试样加载的示意图如图 1 所示），再对试样三个方向施加 1 kN～5 kN 的预荷载使试样固定。
c) 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（如图 2）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。
d) 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 1kN/s 进行加载，加载至洞室围岩发生了明显宏观板裂破坏后改为分级加载。试验的应力路径如图 2 所示。
e) 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，并保存好试验相关数据。
f) 对洞室围岩的破坏情况进行拍照并记录洞壁的破坏特征。

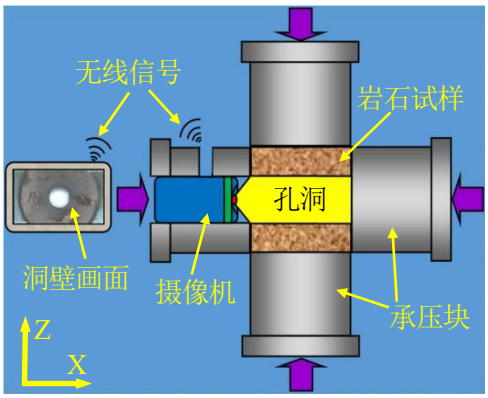



图 1　三维加载岩样内部洞室破坏实时监测装置工作原理示意图

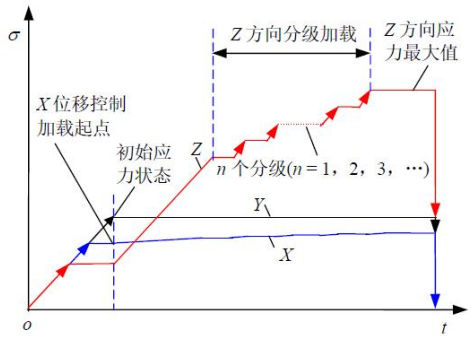



图 2　真三轴应力路径

## 6.4　注意事项

6.4.1　试样安装前，应在 6 个端面均匀涂抹润滑剂，以减小摩擦效应；

6.4.2　试样应置于真三轴加载台的正中央，保证三向受力对称，防止不同方向加载块相互挤压；

6.4.3　采用外置的位移计测量变形时，应确保 3 个方向变形计安装正确，正式加载前应对位移计进行清零处理；

6.4.4　试样安装时应在试样 6 面施加小量的荷载以使加载块与试样表面紧密贴合；

6.4.5　在整个加载过程中，应控制好三个方向的加载，选择合适的加载方式（荷载控制、位移控制）和加载速率，确保试样只发生洞室围岩的破坏而不发生试样整体的破坏；

6.4.6　试验过程中，应保持正式加载、洞室围岩破坏实时监测、声发射信号采集等同时开始；

6.4.7　加载至初始应力水平后，应保持应力水平恒定一定时间，使岩石试样达到受力、变形平衡；

6.4.8　试验前，应检查洞室围岩破坏实时监测装置、声发射等辅助监测设备的工作状态和安装有效性；

6.4.9　试样安装和拆卸过程中，试验人员应佩戴安全帽，注意防止加载块和试样坠落伤人；

6.4.10　试验完成拆卸试样之前和拆卸完成后，应即时对试样表面和洞室内部破坏情况进行拍照留存。

## 6.5　数据处理

### 6.5.1　应力参数计算

作用在试样表面的主应力应按公式（1）进行计算：

$$\sigma_i=\frac{F_i}{A_i} \quad \cdots\cdots (1)$$

式中：

i——1, 2, 3；

$\sigma_i$——试样的第i主应力，单位为兆帕（MPa）；

$F_i$——试样的第i主应力方向的载荷，单位为千牛（kN）；

$A_i$——垂直第i主应力方向的端面受载面积，单位为平方毫米（$mm^2$）；

### 6.5.2　应变参数计算

主应变应按公式（2）计算：

$$\varepsilon_i=\frac{\Delta l_i}{l_i} \quad \cdots\cdots (2)$$

式中：

i——1, 2, 3；

$\varepsilon_i$——试样的第i主应力方向试样的主应变；

$l_i$——第i主应力方向上试样的初始长度，单位为毫米（mm）；

$\Delta l_i$——第i主应力方向上试样的变形量，单位为毫米（mm）。

### 6.6 洞室围岩的破坏特征

试验后应对试样后的最终破坏形态进行拍照,并记录试件洞室围岩岩爆坑形态及岩片特征,洞室围岩破坏模式及岩爆坑的形态示意图见图3。在表达洞室围岩的岩爆坑及岩片特征信息时,可借助扫描电子显微镜(SEM)、CT扫描仪以及偏光显微镜等仪器，分析破裂面上的微细观破坏模式,微裂纹发育情况等。

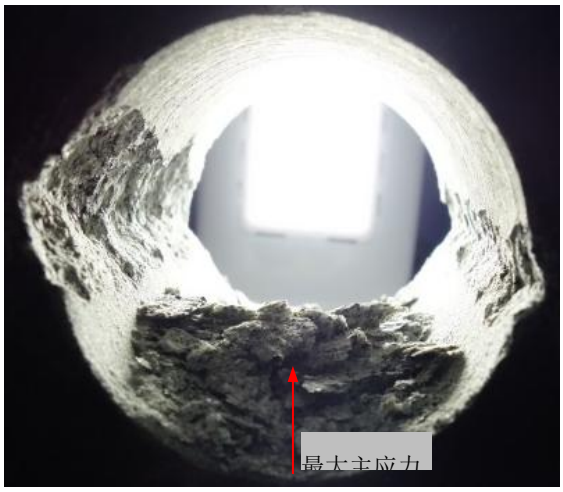



图 3　洞室围岩岩爆坑的形态特征

## 7　成果整理

7.1　试验成果应包括下列内容：

a)　试样名称、取样时间、取样地点、记录人员、记录日期；
b)　试样编号、试样特征描述、试样三向应力、洞室围岩初始破坏时的最大主应力及实验结束时的三向应力；
c)　试样洞室围岩岩爆坑的特征及岩片特征等。

7.2　试验记录格式见附录 A 中表 A.1 和表 A.2。

# 附 录 A
（资料性）
# 深部三维洞室应力扰动诱发岩爆模拟试验测试记录

## A.1 立方体试样量测数据记录

表 A.1 立方体试样量测数据记录

<table>
<tr><td colspan="10">工程名称：　　取样位置：</td></tr>
<tr><td rowspan="2">试样编号</td><td colspan="3">尺寸</td><td rowspan="2">质量/g</td><td rowspan="2">密度/(g/cm$^3$)</td><td colspan="3">波速</td><td rowspan="2">备注</td></tr>
<tr><td>X/mm</td><td>Y/mm</td><td>Z/mm</td><td>X/(m/s)</td><td>Y/(m/s)</td><td>Z/(m/s)</td></tr>
<tr><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td></tr>
<tr><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td></tr>
<tr><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td></tr>
<tr><td colspan="10">试样描述：</td></tr>
<tr><td colspan="10">试验者：　　计算者：　　校核者：　　日期：</td></tr>
</table>

## A.2 深部三维洞室应力扰动诱发岩爆模拟试验记录

表 A.2 深部三维洞室应力扰动诱发岩爆模拟试验记录表

<table>
<tr><td colspan="11">工程名称：　　取样位置：</td></tr>
<tr><td rowspan="2">试样编号</td><td colspan="3">初始荷载</td><td rowspan="2">洞室尺寸/mm</td><td colspan="3">初始破坏荷载</td><td colspan="3">最大荷载</td><td rowspan="2">备注</td></tr>
<tr><td>X/kN</td><td>Y/kN</td><td>Z/kN</td><td>X/kN</td><td>Y/kN</td><td>Z/kN</td><td>X/kN</td><td>Y/kN</td><td>Z/kN</td></tr>
<tr><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td></tr>
<tr><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td></tr>
<tr><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td></tr>
<tr><td colspan="11">洞壁围岩岩爆坑特征：<br><br>岩片特征：</td></tr>
<tr><td colspan="11">试验者：　　计算者：　　校核者：　　日期：</td></tr>
</table>