

T/GRM

中关村绿色矿山产业联盟团体标准

T/GRM 111—2025

煤岩冲击倾向性直接指数测定规程

Procedure for Determination of Direct Index of Coal Rock Bursting Proneness

2025 - 02 - 24 发布

2025 - 02 - 25 实施

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 2

5 试样采集与制备 2

6 剩余弹性能指数测定 3

7 冲击倾向性等级 6

8 成果整理 6

附录 A7

前 言

本标准按照 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》的制定起草。

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：东南大学、南华大学、中国矿业大学（北京）、中煤科工开采研究院有限公司、兖矿能源集团股份有限公司东滩煤矿、中国矿业大学、中南大学、四川大学、长安大学、湖南科技大学、江西理工大学、辽宁大学、贵州大学、西安科技大学、昆明理工大学。

本标准主要起草人：宫凤强、司雪峰、高明忠、赵毅鑫、潘俊锋、王志国、黄达、彭康、曹安业、王爱文、文志杰、金解放、崔峰、顾合龙、王超、伍武星、闫景一、王云亮、徐磊、何志超、赵英杰。
本文件为首次发布。

煤岩冲击倾向性直接指数测定规程

1 范围

本文件规定了煤岩冲击倾向性直接指数测定的试样采集与制备、剩余弹性能指数测定、冲击倾向性等级和成果整理等。

本文件适用于煤矿冲击倾向性直接指数测定。

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。

GB/T 12937 煤岩术语

GB/T 23561.1 煤和岩石物理力学性质测定方法 第1部分：采样一般规定

GB/T 25217.2 冲击地压测定、监测与防治方法 第2部分：煤的冲击倾向性分类及指数的测定方法

GB/T 50266 工程岩体试验方法标准 第2部分：岩块试验

SL/T 264 水利水电工程岩石试验规程 第5部分：岩块力学性质试验

3 术语和定义

下列术语和定义适用于本文件。

3.1 煤岩 Coal rock

由泥炭经过地质作用形成的，具有一定结构、构造和化学成分的固态可燃有机岩。

3.2 煤岩冲击倾向性 Bursting proneness

煤岩具备发生冲击破坏的物质材料属性。

3.3 冲击倾向性直接指数 Direct Index of bursting proneness

以能量参数直接衡量煤岩冲击破坏程度的剩余弹性能指数等倾向性指数。

3.4 煤岩线性储能规律 Linear energy storage law of coal rock

加载过程中煤岩试样弹性应变能与输入应变能之间的线性关系。

3.5 单轴加卸载压缩试验 Uniaxial loading and unloading test

对煤岩试样先加载至设定的应力水平进行完全卸载，然后再次加载直至试样破坏的单轴压缩试验。

3.6 输入应变能 Input strain energy U_a

单轴压缩试验中试样应力-应变曲线的加载段与应变坐标轴所围区域的面积。

3.7 峰值输入应变能 Peak input strain energy U_a^P

单轴压缩试验中试样应力-应变曲线峰前段与应变坐标轴所围区域的面积。

3.8 峰后破坏应变能 Post failure strain energy U_f

单轴压缩试验中试样的应力-应变曲线峰后段与应变坐标轴所围区域的面积。

3.9 弹性应变能 Elastic strain energy U_e

单轴加卸载试验中试样卸载应力-应变曲线与应变坐标轴所围区域的面积。

3.10 峰值弹性应变能 Peak elastic strain energy U_e^P

单轴压缩试验中试样峰值强度处的弹性应变能。

3.11 耗散应变能 Dissipated strain energy U_d

单轴加卸载压缩试验中试样加载应力-应变曲线与卸载应力-应变曲线所围区域的面积。

3.12 峰值耗散应变能 Peak dissipated strain energy U_d^P

单轴压缩试验中试样峰值强度处的耗散应变能。

3.13 剩余弹性能指数 Residual elastic energy index A_{EF}

单轴压缩试验中试样峰值弹性应变能与峰后破坏应变能之差。

4 基本规定

4.1 煤岩采样时应记录采样地点、采样时间、埋深、层位、煤岩种类、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，应收集相关资料与成果。应根据试验要求，编写试验大纲，大纲应包括下列内容：

- a) 任务来源与要求；
- b) 试验目的、试验内容与技术要求；
- c) 试验设计；
- d) 仪器设备；
- e) 人员安排；
- f) 试验进度；
- g) 试验成果；
- h) 安全保障。

4.3 试验前，每个煤岩试样应进行地质素描、拍照与波速测定，且应有同批煤岩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。

4.4 试验设备应按规定标定；计量设备应按规定检定或校准。

4.5 试验数据记录与整理可以参照本规程附录 A。

4.6 试验结束应及时编制和提交试验报告，报告应有审核。

5 试样采集与制备

5.1 试样采集

5.1.1 煤岩试样宜在工程现场按试验要求采集。

5.1.2 同组煤岩试样的取样地点、煤层应相同。

5.1.3 对于干缩湿胀和易风化的煤岩试样，取样后应立即密封，并置于相应环境中保存。

5.1.4 采样数量应根据试验需求和制备条件确定。

5.1.5 煤岩试样在封装、运输和储存时，应采取避免煤岩试样受损的保护措施。

5.2 试样制备

5.2.1 圆柱体煤岩试样制备前，应对采集的煤岩试样按采样要求验收，不符合要求的煤岩试样不得加

工。

5.2.2 在煤芯或煤块上套取煤岩试样时，应避免损伤区，套取煤岩试样中心间距宜大于3倍煤岩试样半径。

5.3 试样尺寸试样精度

5.3.1 圆柱体煤岩试样直径宜为48 mm~52 mm。

5.3.2 煤岩试样高度与直径比宜为2.0~2.5。

5.3.3 煤岩试样直径应大于最大颗粒尺寸的10倍。

5.4 试样精度

5.4.1 煤岩试样两端面不平行度误差应为 ± 0.05 mm。

5.4.2 沿煤岩试样高度，直径误差为 ± 0.3 mm。

5.4.3 端面应垂直于煤岩试样轴线，偏差不得大于 0.25° 。

5.5 试样描述

煤岩试样素描和特征描述应按明显特征确定，并应包括下列内容：

- a) 煤岩试样名称、颜色、矿物成分、最大颗粒直径、结构、风化程度、胶结物性质等；
- b) 煤岩试样内层理、节理、裂纹分布及其与加载方向的关系；
- c) 煤岩试样加工质量。

6 剩余弹性能指数测定

6.1 一般规定

本试验适用于成品煤岩的剩余弹性能指数测定，煤岩试样数量宜为8个。

6.2 测试系统

测定剩余弹性能指数，应开展常规单轴压缩试验和单轴一次循环加卸载试验，仪器设备应能够准确测量煤岩试样的轴向应力-应变曲线。

6.3 试验步骤

- 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) 选取第一个试样，参照GB/T 50266的规定安装，使用外置引伸计测量轴向变形，应检查是否正常。
- c) 采用电液伺服万能试验机试验，选取3个煤岩试样开展常规单轴压缩试验，采用位移控制模式，加载速率宜为 0.1 mm/min ~ 0.7 mm/min。获得试样的应力-应变曲线，按公式（1）和（2）计算试样峰值强度，按公式（3）计算煤岩的单轴抗压强度。

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

$$A_i = \pi r_i^2 \quad (2)$$

$$\sigma_c = \frac{1}{3} \sum_{i=1}^3 \sigma_i \quad (3)$$

式中：

σ_i ——第*i*试样的峰值强度（ $i=1, 2, 3$ ），单位为兆帕（MPa）；

F_i ——第*i*试样的峰值载荷，单位为千牛（kN）；

A_i ——第 i 试样的端面受载面积, 单位为平方毫米 (mm^2);

r_i ——第 i 试样的半径, 单位为毫米 (mm)。

d) 按式 (3) 计算的煤岩单轴抗压强度 σ_c , 设定 5 个不同的卸载应力水平, 取单轴抗压强度 σ_c 的 10%、30%、50%、70% 和 90% 作为卸载应力水平, 分别记作 $10\%\sigma_c$ 、 $30\%\sigma_c$ 、 $50\%\sigma_c$ 、 $70\%\sigma_c$ 和 $90\%\sigma_c$, 对 5 个煤岩试样分别进行单轴加卸载试验, 对试样先加载至设定卸载应力水平后完全卸载, 再次加载直至试样破坏。加载方式应与单轴压缩试验保持一致, 试验过程中应实时记录时间、试验机位移、荷载以及试样应变等数据。

e) 保存应力-应变数据, 拍照和记录试样破坏特征。

6.4 数据处理

a) 按式 (4), 利用煤岩试样单轴加卸载试验中应力-应变曲线的加载段, 计算卸载水平下试样的输入应变能 U_a 。按式 (5), 利用单轴加卸载试验中应力-应变曲线的卸载段, 计算卸载水平下试样的弹性应变能 U_e , 见图 1。

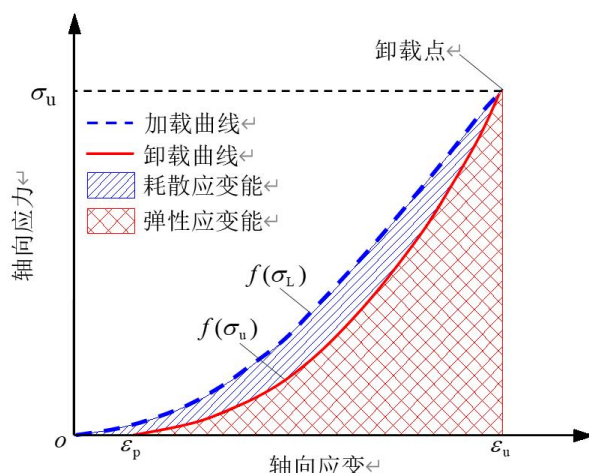


图 1 某卸载水平下输入应变能、弹性应变能和耗散应变能组成示意图

$$U_a = \int_0^{\varepsilon_u} f(\sigma_L) d\varepsilon \quad (4)$$

$$U_e = \int_{\varepsilon_p}^{\varepsilon_u} f(\sigma_u) d\varepsilon \quad (5)$$

式中:

U_a ——某卸载水平下煤岩试样的输入应变能, 单位为千焦每立方米 (kJ/m^3);

U_e ——某卸载水平下煤岩试样的弹性应变能, 单位为千焦每立方米 (kJ/m^3);

ε_u ——煤岩试样卸载水平处的应变;

ε_p ——卸载后煤岩试样的塑性应变 (或永久应变);

$f(\sigma_L)$ ——煤岩试样加载应力-应变曲线的函数;

$f(\sigma_u)$ ——煤岩试样卸载应力-应变曲线的函数。

b) 绘制煤岩试样不同卸载水平下弹性应变能-输入应变能关系图, 如图 2, 并对两者进行线性拟合, 得到煤岩线性储能函数, 如式 (6) 所示。

$$U_e = aU_a + b \quad (6)$$

式中:

a ——煤岩试样储能系数;

b ——拟和常数。

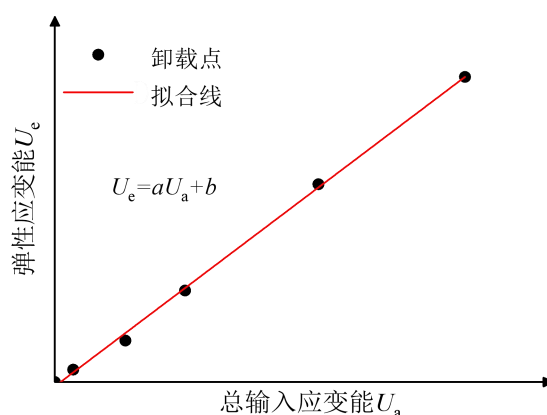


图 2 所测试样数据拟合获得的线性储能规律示意图

c) 按式 (7), 利用单轴压缩试验应力-应变曲线峰前段, 计算每个煤岩试样的峰值输入应变能 U_a^p , 见图 3; 按式 (8), 计算每个煤岩试样的峰值弹性应变能 U_e^p , 按式 (9), 计算每个煤岩试样的峰后破坏应变能 U_a^f 。

$$U_a^{pi} = \int_0^{\varepsilon_c} \sigma d\varepsilon \quad (7)$$

$$U_e^{pi} = aU_a^{pi} + b \quad (8)$$

$$U_a^{fi} = \int_{\varepsilon_c}^{\varepsilon_a} \sigma d\varepsilon \quad (9)$$

式中:

U_a^{pi} ——第 i 个煤岩试样的峰值输入应变能, 单位为千焦每立方米 (kJ/m^3);

U_e^{pi} ——第 i 个煤岩试样的峰值弹性应变能, 单位为千焦每立方米 (kJ/m^3);

U_a^{fi} ——第 i 个煤岩试样的峰后破坏应变能, 单位为千焦每立方米 (kJ/m^3);

ε_c ——煤岩试样的峰值应力所对应的应变;

ε_a ——煤岩试样的破坏后的应变;

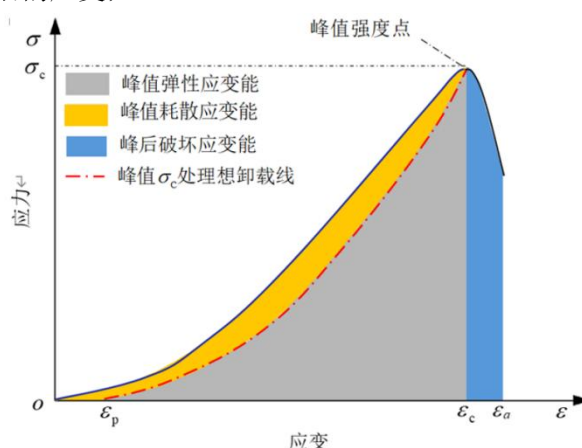


图 3 峰值强度处应变能计算示意图

d) 煤岩试样的峰值弹性应变能、峰值耗散应变能和峰值输入应变能存在如式 (10) 的关系。按式 (11), 计算每个煤岩试样的剩余弹性性能指数, 按式 (12), 计算得到煤岩试样的剩余弹性性能指数。

$$U_d^{pi} = U_a^{pi} - U_e^{pi} \quad (10)$$

$$A_{EF}^i = U_c^{pi} - U_a^{fi} \quad (11)$$

$$A_{EF} = \frac{1}{8} \sum_{i=1}^N A_{EF}^i \quad (12)$$

式中：

U_d^{pi} ——第 i 个煤岩试样的峰值耗散应变能，单位为千焦每立方米 (kJ/m^3)；

A_{EF}^i ——第 i 个煤岩试样的剩余弹性应变能，单位为千焦每立方米 (kJ/m^3)；

A_{EF} ——所测煤岩类型的剩余弹性应变能，单位为千焦每立方米 (kJ/m^3)。

7 冲击倾向性等级

煤样冲击倾向性等级应根据 6.4 中计算得到的剩余弹性能指数，对照分级标准，按下列规定判别：

- a) 当 $A_{EF} < 15 \text{ kJ/m}^3$ 时，无冲击倾向性；
- b) $15 \leq A_{EF} < 30 \text{ kJ/m}^3$ 时，弱冲击倾向性；
- c) $A_{EF} \geq 30 \text{ kJ/m}^3$ 时，强冲击倾向性。

8 成果整理

8.1 试验成果应包括下列内容：

- a) 煤岩名称、取样时间、取样地点、记录人员、记录日期；
- b) 煤岩试样编号、煤岩试样特征描述、煤岩试样峰值载荷；
- c) 煤岩试样的剩余弹性能指数和冲击倾向性等级等。

8.2 煤岩剩余弹性能指数测试记录见附录 A。

附录 A

煤岩剩余弹性能指数测试记录

煤岩剩余弹性能指数测试记录表

记录日期： 年 月 日

试样编号	峰值强度 /MPa	储能系数	剩余弹性能指数 /kJ/m ³	试样破 坏特征	冲击倾向性 等级	备注
煤岩名称： 取样时间： 取样地点： 记录人员：						