

T/GRM

中关村绿色矿山产业联盟团体标准

T/GRM 138—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 - 08 - 11 发布

2025 - 08 - 11 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 剩余弹性性能指数测定 3

7 冲击倾向性等级判定 6

8 成果整理 6

附录 A（资料性） 煤岩剩余弹性性能指数测试记录表 7

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。

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：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、深圳大学、长安大学、湖南科技大学、西安科技大学、江西理工大学、辽宁大学、贵州大学、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、崔峰、王志国、黄达、彭康、文志杰、曹安业、王爱文、金解放、王超、顾合龙、闫景一、伍武星、徐磊、何志超。

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、冲击倾向性等级判定和成果整理要求。

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 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

由植物遗体经过复杂的生物化学和物理化学作用（泥炭化与煤化作用）转变而成的，以有机质为主体的固态可燃性沉积岩。

3.2

煤岩冲击倾向性 Coal rock bursting proneness

煤岩具备发生冲击破坏的材料属性。

[来源：GB/T 25217.2-2010，3.1，有修改]

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倾向性指数，本文件用剩余弹性能指数来表征冲击倾向性。

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

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。

3.6

峰后破坏应变能 Post failure strain energy U_a^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。

3.7

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。

3.8

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 试验前，应收集相关资料与成果。应根据试验要求，编写试验方案，方案应包括下列内容：

- 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。

4.2 试验设备应按规定标定；计量设备应按规定检定或校准。

4.3 试验数据记录与整理可以参照本规程附录 A。

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，置于密封环境中保存。

5.1.4 按 GB/T 23561.1 的规定，钻孔取心采样时，岩心直径宜为 50 mm，如果不能直接取出直径为 50 mm 岩心，则取出的岩心直径不宜小于 70 mm。

5.1.5 采样数量应根据试验需求和制备条件确定，宜为 8 个。

5.1.6 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 在煤心或煤块上套取煤岩试样时，应避开损伤区，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

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，允许偏差应为 $\pm 0.25^\circ$ 。

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 一般要求

本试验适用于成品煤岩的剩余弹性能指数测定。

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

剩余弹性能指数测定的试验步骤如下：

- 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，按GB/T 50266和SL/T 264的规定完成试样安装，使用外置引伸计测量轴向变形，应检查是否正常。
- c) 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）计算每个试样的单轴抗压强度，按公式（2）计算煤岩的单轴抗压强度。

$$\sigma_c^i = \frac{F^i}{A^i} \quad (1)$$

$$\sigma_c = \frac{1}{3} \sum_{i=1}^3 \sigma_c^i \quad (2)$$

式中：

F^i ——第 i 个煤岩试样所承受的峰值载荷（ $i=1, 2, 3$ ），单位为千牛（kN）；

A^i ——第 i 个煤岩试样的端面受载面积，单位为平方毫米（mm²）；

σ_c^i ——第 i 个煤岩试样的单轴抗压强度，单位为兆帕（MPa）；

σ_c ——煤岩的单轴抗压强度，单位为兆帕（MPa）。

- d) 按式（2）计算煤岩的单轴抗压强度 σ_c ，取 σ_c 的 10%、30%、50%、70%和 90%作为 5 个卸载应力水平，分别记作 $0.1 \sigma_c$ 、 $0.3 \sigma_c$ 、 $0.5 \sigma_c$ 、 $0.7 \sigma_c$ 和 $0.9 \sigma_c$ 。对 5 个煤岩试样分别进行单轴一次循环加卸载试验，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，包括破坏模式、破碎程度等。

6.4 数据处理

试验的数据处理方法如下：

a) 按式 (3) 计算某卸载水平下试样的输入应变能 U_a ，按式 (4) 计算某卸载水平下试样的弹性应变能 U_e （见图1），获得5组卸载水平下的输入应变能和弹性应变能。

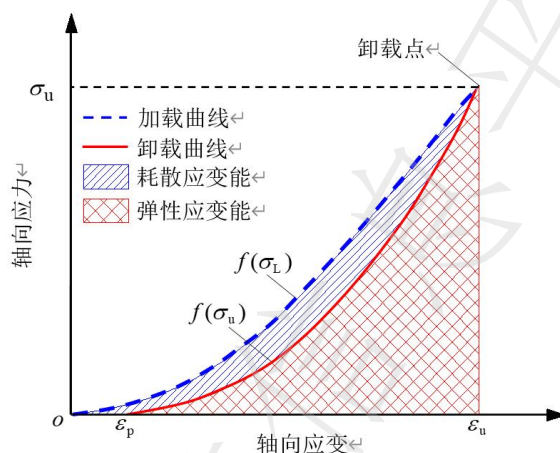


图1 某卸载水平下输入应变能、弹性应变能和耗散应变能组成示意图

$$U_a = \int_0^{\epsilon_u} f(\sigma_L) d\epsilon \quad (3)$$

$$U_e = \int_{\epsilon_p}^{\epsilon_u} f(\sigma_u) d\epsilon \quad (4)$$

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/m³）；

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/m³）；

ϵ_u ——某卸载水平下煤岩试样卸载水平处的应变；

ϵ_p ——某卸载水平下卸载后煤岩试样的塑性应变（或永久应变）；

$f(\sigma_L)$ ——某卸载水平下煤岩试样加载应力-应变曲线的函数；

$f(\sigma_u)$ ——某卸载水平下煤岩试样卸载应力-应变曲线的函数。

b) 根据 5 组卸载水平下的输入应变能和弹性应变能数据，增加纠偏点坐标 (0, 0)，绘制不同卸载水平下煤岩试样弹性应变能-输入应变能关系图（如图 2）。对输入应变能和弹性应变能数据进行线性拟合，得到煤岩线性储能函数，如式 (5) 所示。

$$U_e = aU_a + b \quad (5)$$

式中：

a ——煤岩试样储能系数；

b ——拟和常数。

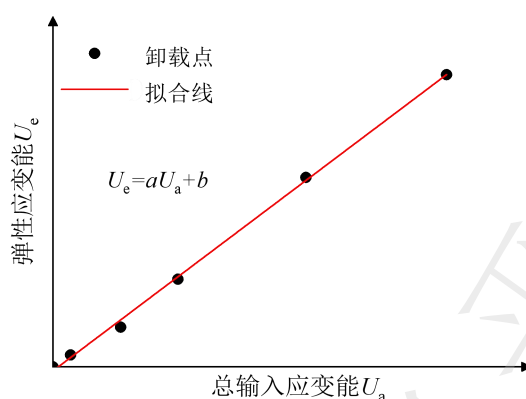


图 2 所测试样数据拟合获得的线性储能规律示意图

c) 按式 (6), 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 (7), 计算每个煤岩试样的峰值弹性应变能 U_e^p , 按式 (8), 计算每个煤岩试样的峰后破坏应变能 U_a^f 。

$$U_a^{pj} = \int_0^{\varepsilon_c^j} \sigma d\varepsilon \quad (6)$$

$$U_e^{pj} = aU_a^{pj} + b \quad (7)$$

$$U_a^{fj} = \int_{\varepsilon_c^j}^{\varepsilon_a^j} \sigma d\varepsilon \quad (8)$$

式中:

U_a^{pj} ——第 j 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^{pj} ——第 j 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^{fj} ——第 j 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^j ——第 j 个煤岩试样的峰值应力所对应的应变;

ε_a^j ——第 j 个煤岩试样的破坏后的应变;

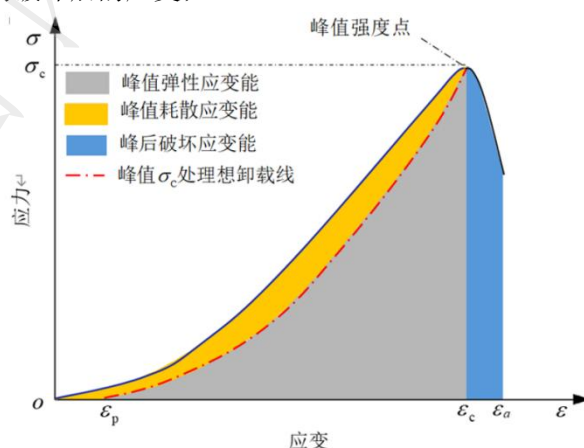


图 3 峰值强度处应变能计算示意图

d) 按式 (9), 计算每个煤岩试样的剩余弹性性能指数, 按式 (10), 计算得到煤岩试样的平均剩余弹性性能指数。

$$A_{EF}^j = U_e^{pj} - U_a^{fj} \quad (9)$$

$$A_{EF} = \frac{1}{N} \sum_{i=1}^N A_{EF}^j \quad (10)$$

式中：

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

A_{EF} ——所测煤岩类型的平均剩余弹性能指数，单位为千焦每立方米 (kJ/m^3)。

N ——煤岩试样的总数量。

7 冲击倾向性等级判定

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

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

(资料性)

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：						