2

CCS

发 布

中国煤炭学会

200×-××-××实施

20X×-××-××发布

**煤的动态单轴抗压强度测定方法**

Method for determining the dynamic uniaxial compression strength of coal

（征求意见稿）

代替GB/T17608-1998

中国煤炭学会团体标准

ICS 73.040

D24

1. 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。

本文件由煤炭科学技术研究院有限公司提出。

本文件由中国煤炭学会归口。

本文件起草单位：煤炭科学技术研究院有限公司、华北科技学院、煤炭科学研究总院中央研究院、天津大学、东南大学、中南大学、辽宁工程技术大学、河南理工大学、中国矿业大学（北京）、中国科学院武汉岩土力学研究所、中国矿业大学、辽宁大学、山东科技大学、中煤能源研究院有限责任公司。

本文件主要起草人：

**煤的动态单轴抗压强度测试方法**

**1 适用范围**

本文件规定了在动态载荷下确定煤的动态单轴抗压强度所需的仪器设备、试件、测试步骤和结果计算等。

本文件适用于在实验室单轴条件下采用分离式霍普金森压杆装置（Split Hopkinson Pressure Bar，简称SHPB）进行煤的动态加载试验。

**2 规范性引用文件**

下列文件对于本文件的应用是必不可少的，凡是注日期的引用文件，仅注日期的版本适用于本文件。凡是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。

GBT 23561.6-2009 煤和岩石物理力学性质测定方法 第6部分：煤和岩石含水率测定方法

GB/T 23561.7-2009 煤和岩石物理力学性质测定方法 第7部分：单轴抗压强度测定及软化系数计算方法

DZ/T 0276.24-2015 岩石物理力学性质试验规程 第24部分：岩石声波速度测试

T/CSEB0004-2018 岩石材料动态单轴压缩强度测试方法

**3 术语和定义**

下列术语和定义适用于本文件。

3.1

动态载荷 Dynamic load

平均应变速率大于10-1/s的载荷。

3.2

动态单轴抗压强度 Dynamic uniaxial compressive strength

试件在实验室单轴条件下，承受某一动态载荷并发生破坏时所受到的最大应力值。

3.3

加载速率 Loading rate

加载过程中，试件破坏前，应力时程曲线直线上升段的斜率。

3.4

应变速率 Strain rate

加载过程中，试件破坏前，应变率时程曲线平台段的平均值。

**4 仪器设备**

4.1 试件加工设备

钻芯机、切割机、磨石机。

4.2 检验工具

1. 游标卡尺，精度不低于0.02mm。
2. 万能角度尺、千分表（精度不低于0.01mm）。
3. 水平检测台。
4. 超声波检测仪。

4.3 加载设备

采用SHPB对试件施加动态载荷，杆的直径应略大于试件直径，入射/透射杆的长度应至少为杆径的30倍，冲击杆的长度应根据所加载应力波的持续时间及冲击杆波速进行确定。

冲击杆发射气压范围宜为0～2MPa，冲击杆速度范围宜为1～15m/s，速度重复性偏差应不大于1%。选用冲击杆的波阻抗宜与试件波阻抗相近，材质以铝杆为宜。

波形控制方法：①采用脉冲整形器，将脉冲整形器粘贴于入射杆前端面，用于控制入射杆的加载波形，形状为薄圆片，厚度宜为0.5mm～2.5mm，直径不应大于杆径的一半，材质可选择纯铜、橡胶或纸张。②使用一种与入射杆同材质的纺锤形冲击杆，通过与入射杆的冲击，产生一种类正弦波加载波形。③采用任意波形反演入射杆形的算法，确定期望波形的对应杆形，对冲击杆进行车铣加工后装入SHPB进行加载，获得期望加载波形。

4.4 测试仪器

应变片，应选择高精度动态应变片，应变片灵敏度系数应不低于2.20，长度宜为2mm。

动态应变采集仪，动态应变采集仪的采样频率应不低于2MHz，数据精度应不低于10bit。

**5 试件规格**

5.1 标准试件规格

标准试件应采用圆柱体，直径宜为50±0.1 mm，高径比范围宜为0.5～1.0，最佳高径比为0.5。

钻取标准圆柱体试件时，钻头应垂直于煤体的层理，以保证加载方向与现场一致。

标准试件应避免具有明显裂隙、夹杂、缺角等影响测试结果的宏观结构。

5.2 加工精度及检验方法

试件两端面不平整度须不大于0.02mm，轴线垂直度偏差须不大于0.25°，试件上、下端直径偏差不得大于0.2mm。

试件测试前应进行超声波波速测量，测量方法参考DZ/T 0276.24-2015，同一组实验应选择超声波波速相近的试件，最大/最小波速与平均波速的偏差应小于10%。

5.3 试件含水状态

采用自然含水状态的试件进行测试：试件制备完成后，应放入底部有水的干燥器内1~2d，放置期间试件不得接触水面。

对于干燥和饱和水状态的试件处理方法，可参考GB/T 23561.7-2009。

对于其他含水状态的试件，可根据具体要求进行处理，其中含水率测试方法参考GB/T 23561.6-2009。

5.4 测试组数及试件数量

不同冲击速度试验的组数不应少于5组，同一组试验的试件数量不应少于5个。

**6 测试环境与步骤**

6.1 测试温度和湿度要求

无特殊要求时，测试时的环境温度范围应控制在15~25℃之间，测试过程中，试件所处环境的温度差不得超过±3℃。对测试时的环境温度有特殊要求时，也可根据特殊的试验目的另行确定。

无特殊要求时，测试时的环境湿度范围为40%~60%。测试过程中，试件所处环境的相对湿度差不得超过士5%。对测试时的环境湿度有特殊要求时，也可根据特殊的试验目的另行确定。

6.2 测试前准备

在每次试验前应进行如下准备工作：

（1）检查入射杆和透射杆上的应变片是否粘贴完好，并检测应变片电阻值是否正常；

（2）接通电源，打开测速系统、动态应变仪和数据采集系统电源，预热不小于10 min；

（3）进行入射杆应变片和透射杆应变片动态应变放大系数的校验，校验流程参考T/CSEB0004-2018；

（4）调整冲击杆、入射杆和透射杆的状态，使三者处于同一轴线上；

（5）保证各杆滑动流畅、端面接触良好、贴合；

（6）开展不加试件的冲击试验，检验杆的同轴性，并对比透射信号和入射信号，二者幅值差别应不超过5%；

（7）进行信号起点间隔的校验，校验流程参考T/CSEB0004-2018。

6.3 测试步骤

（1）记录试验，测试煤层名称、试件编号，并对试件的颜色、颗粒、层理、裂隙、风化程度、含水状态以及加工过程中出现的问题等进行记录。

（2）测量并记录试件尺寸，测量值不少于3个并取其算术平均值，精度不低于0.02mm。

（3）将冲击杆送入发射腔，并记录冲击杆至入射杆之间的距离。

（4）将试件置于入射杆和透射杆之间，在接触面涂抹润滑剂并移动两杆确保入射杆、透射杆与试件紧密接触，试件与入射杆、透射杆轴线应一致。

（5）根据试验要求，调节气瓶阀门，使得冲击气压达到预定值。

（6）设置数据釆集参数，保证数据釆集系统准备就绪。

（7）启动SHPB总控台开关、气压驱动冲击杆发射并通过入射杆对试件进行加载，数据采集系统被触发后开始采集信号并存盘，完成一次冲击测试。

（8）记录该次测试的工作气压和冲击杆速度，同一组试验中各冲击杆速度之间的速度重复性偏差应不大于1%，相邻组试验冲击杆速度之间差值应大于1.0m/s。

（9）记录破坏后试件数据及图像，贴好标签、妥善保存。

（10）检查设备状态，重置冲击杆、入射杆及透射杆位置，更换新的试件，重复（1）～（9）步骤。

（11）验证动态平衡是否满足，若满足则判定为有效数据并进行处理，计算试件的动态单轴抗压强度、峰值应变、加载速率等参数，并记录。

（12）若出现异常数据，则增加测试，以保证同一组测试试验的有效数据不少于5个。

（13）试验结束，关闭电源及驱动装置气源，并清理现场。

**7 数据处理与结果有效性判定**

7.1 动态应力平衡

参考T/CSEB0004-2018，确定入射、透射和反射信号的起点，将试件入射杆端面和透射杆端面的力时程曲线相比较，以校验动态应力平衡。当入射应力、反射应力之和与透射应力曲线拟合度较好时，可视为测试达到动态应力平衡，试验结果有效。其中入射杆端面的加载力如式（1），透射杆端面的加载力如式（2）。

|  |  |
| --- | --- |
|  | （1） |
|  | （2） |

7.2 试验结果有效性判定

试验出现下列情况之一，该次试验结果无效，应补做同样数量的试验，包括但不限于：

（1）波形明显异常；

（2）试件加载过程中未达到动态应力平衡；

（3）试验波形记录不完整；

（4）试验数据溢出，或波形幅度小于记录量程的20%。

**8 数据计算**

试件动态加载过程中所受的应力和应变按照式（3）和（4）进行计算，加载速率按照式（5）进行计算，并画出应变率时程曲线，选取试件破坏前加载平台段的值作为平均应变速率。

|  |  |
| --- | --- |
|  | （3） |
|  | （4） |
|  | （5） |

式中：

*A*为压杆截面积；

*E*为压杆的杨氏模量；

*C*为压杆的一维弹性波速；

*A*s、*L*s分别为试件的截面积和长度；

、和分别为入射波、反射波和透射波引起的应变。

式（3）和（4），可画出煤的动态应力-应变曲线，式（3）计算得到的最大值即为煤的动态单轴抗压强度。

基于多组冲击速度下煤的动态破坏试验，得到多组应变速率和煤的动态单轴抗压强度数据，然后画出动态单轴抗压强度随应变速率变化的拟合曲线，即可获得该类煤在不同应变速率下的动态单轴抗压强度。

附录A

煤的动态单轴抗压强度试验参考记录表

|  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- |
| 送样单位： | 采样地点： | | 试验日期： |
| 试件编号名称 | 试件直径  （D）mm | 试件长度  （L）mm | 试件横截面积  （A）mm2 |
|  |  |  |  |
| 试件含水率  % | 声波波速  m/s | 环境温度  ℃ | 环境湿度  % |
|  |  |  |  |
| 工作气压  MPa | 冲击杆速度  m/s | 应变速率  s-1 | 动态单轴抗压强度  MPa |
|  |  |  |  |
| 峰值应变 | 破坏情况 |  |  |
|  |  |  |  |
|  |  |  |  |
| 测试： | 计算： |  | 校核： |