



中华人民共和国国家标准

GB/T 23561.11—2024

代替 GB/T 23561.11—2010

煤和岩石物理力学性质测定方法 第 11 部分：煤和岩石抗剪强度测定方法

Methods for determining the physical and mechanical properties of coal and rock—
Part 11: Methods for determining shear strength of coal and rock

2024-04-25 发布

2024-08-01 实施

国家市场监督管理总局
国家标准化管理委员会 发布

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。

本文件是 GB/T 23561《煤和岩石物理力学性质测定方法》的第 11 部分。GB/T 23561 已经发布了以下部分：

- 第 1 部分：采样一般规定；
- 第 2 部分：煤和岩石真密度测定方法；
- 第 3 部分：煤和岩石块体密度测定方法；
- 第 4 部分：煤和岩石孔隙率计算方法；
- 第 5 部分：煤和岩石吸水性测定方法；
- 第 6 部分：煤和岩石含水率测定方法；
- 第 7 部分：单轴抗压强度测定及软化系数计算方法；
- 第 8 部分：煤和岩石变形参数测定方法；
- 第 9 部分：煤和岩石三轴强度及变形参数测定方法；
- 第 10 部分：煤和岩石抗拉强度测定方法；
- 第 11 部分：煤和岩石抗剪强度测定方法；
- 第 12 部分：煤的坚固性系数测定方法；
- 第 13 部分：煤和岩石点载荷强度指数测定方法；
- 第 14 部分：岩石膨胀率测定方法；
- 第 15 部分：岩石膨胀应力测定方法；
- 第 16 部分：岩石耐崩解性指数测定方法。

本文件代替 GB/T 23561.11—2010《煤和岩石物理力学性质测定方法 第 11 部分：煤和岩石抗剪强度测定方法》，与 GB/T 23561.11—2010 相比，除结构调整和编辑性改动外，主要技术变化如下：

- a) 更改了适用范围(见第 1 章,2010 年版的第 1 章)；
- b) 更改了“材料试验机”精度等级(见 4.1、5.1、6.1,2010 年版的 4.1、5.1、6.1)；
- c) 更改了制样仪器设备(见 6.1,2010 年版的 6.1)；
- d) 增加了“单面剪切强度测定”相关规定(见第 7 章)。

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。

本文件由中国煤炭工业协会提出并归口。

本文件起草单位：煤炭科学技术研究院有限公司、煤炭科学研究总院有限公司，中煤科工开采研究院有限公司。

本文件主要起草人：孙中学、李宏艳、邓志刚、舒龙勇、莫云龙、郝晋伟、付兴玉、刘学、齐庆新、娄金福。

本文件于 2010 年首次发布，本次为第一次修订。

引 言

GB/T 23561 旨在描述在实验室内测定煤和岩石物理力学参数的方法,根据煤和岩石不同物理力学参数的测定需求,拟由 16 个部分构成。

- 第 1 部分:采样一般规定。目的在于描述煤及与煤层相关岩层中岩石的基本物理力学性质测定及冲击倾向性测定所需煤和岩石样的采样方法。
- 第 2 部分:煤和岩石真密度测定方法。目的在于采用比重瓶法或气体膨胀法真密度分析仪测定煤和岩石的真密度。
- 第 3 部分:煤和岩石块体密度测定方法。目的在于采用密封法和量积法测定煤和岩石的块体密度。
- 第 4 部分:煤和岩石孔隙率计算方法。目的在于测定煤和岩石的孔隙率。
- 第 5 部分:煤和岩石吸水性测定方法。目的在于测定遇水不崩解、不溶解、不干缩湿胀的煤和岩石的吸水性。
- 第 6 部分:煤和岩石含水率测定方法。目的在于采用烘干法测定煤和岩石的含水率。
- 第 7 部分:单轴抗压强度测定及软化系数计算方法。目的在于测定能够加工成标准试件的煤和岩石的单轴抗压强度和计算软化系数。
- 第 8 部分:煤和岩石变形参数测定方法。目的在于测定能够加工成标准试件的煤和岩石单轴压缩条件下的变形参数。
- 第 9 部分:煤和岩石三轴强度及变形参数测定方法。目的在于测定能够加工成标准试件的煤和岩石在轴对称三向应力条件下的强度和变形参数。
- 第 10 部分:煤和岩石抗拉强度测定方法。目的在于测定能够加工成标准试件的煤和岩石的抗拉强度。
- 第 11 部分:煤和岩石抗剪强度测定方法。目的在于测定煤和岩石的抗剪强度。
- 第 12 部分:煤的坚固性系数测定方法。目的在于测定煤的坚固性系数。
- 第 13 部分:煤和岩石点载荷强度指数测定方法。目的在于测定煤和岩石的点载荷强度指数。
- 第 14 部分:岩石膨胀率测定方法。目的在于测定岩石的自由膨胀率和侧向约束膨胀率。
- 第 15 部分:岩石膨胀应力测定方法。目的在于测定岩石的侧向约束膨胀应力。
- 第 16 部分:岩石耐崩解性指数测定方法。目的在于测定遇水易崩解岩石的耐崩解指数。

煤和岩石物理力学性质测定方法

第 11 部分：煤和岩石抗剪强度测定方法

1 范围

本文件描述了煤和岩石抗剪强度测定方法中标准试件抗剪强度测定、非标准试件抗剪强度测定、双面剪切强度测定和单面剪切强度测定的方法。

本文件适用于煤和岩石抗剪强度测定。其中标准试件抗剪强度测定适用于能加工成标准试件的煤和岩石；非标准试件抗剪强度测定适用于不能加工成标准试件的软弱煤和岩石；双面剪切强度测定和单面剪切强度测定适用于只测定煤和岩石剪切强度。

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 23561.7—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

3 术语和定义

下列术语和定义适用于本文件。

3.1

抗剪强度 **shear strength**

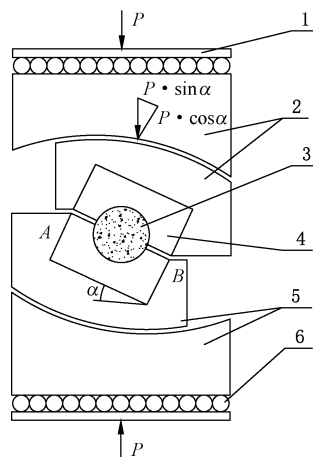
煤或岩石试件的某截面在一定的法向应力作用下所承受的最大剪应力。

4 标准试件抗剪强度测定

4.1 仪器设备

仪器设备主要有：

- a) 钻石机、锯石机、磨石机或磨床；
- b) 变角剪切夹具，见图 1；



- 标引序号和符号说明：
- 1 ——钢垫板；
 - 2 ——变角剪切夹具上座；
 - 3 ——标准试件；
 - 4 ——圆柱体标准试件剪切模具；
 - 5 ——变角剪切夹具下座；
 - 6 ——滚柱；
 - P ——试件剪断破坏载荷；
 - AB ——剪切破坏面；
 - α ——剪切面与水平面的夹角。

图 1 变角剪切夹具

- c) 游标卡尺,最小分度值 0.02 mm;
- d) 钢板尺;
- e) 万能角度尺、百分表架及百分表;
- f) 水平检测台;
- g) 材料试验机:精度不应低于 0.5 级,载荷传感器量程范围应满足公式(1):

$$1.25P_{\max} < P_0 < 5P_{\max} \dots\dots\dots (1)$$

式中:

$P_{\max}$ ——预计最大破坏载荷,单位为千牛(kN);

P_0 ——材料试验机量程最大值,单位为千牛(kN)。

4.2 试件规格

4.2.1 标准试件规格

标准试件宜采用直径为 48 mm~56 mm,高度为 50 mm 的圆柱体试件。

4.2.2 加工精度

标准试件规格按 GB/T 23561.7—2009 中 5.2 规定执行。

4.2.3 试件数量

试件数量应根据试验方式确定。当取 5 个以上的剪切角度,每个角度下做 1 个试件的剪切试验时,所需试件最少数量为 5 个;当取 3 个剪切角度,每个角度下做 4 个试件的剪切试验,取其抗剪强度的

算术平均值时,所需试件最少数量为 12 个;当采取第二种试验方式时,在计算抗剪强度的平均值的同时,应计算偏离度。若偏离度超过 20%,则应增补试件数量,使偏离度不大于 20%。

4.2.4 试件含水状态

试件含水状态按 GB/T 23561.7—2009 中 5.4 规定执行。

4.3 测定步骤

4.3.1 测定前应核对岩样名称和编号,对试件颜色、颗粒、层理、节理、裂隙、风化程度、含水状态以及加工过程中出现的问题应按照附录 A 进行描述。

4.3.2 在 $38^{\circ}\sim 65^{\circ}$ 范围内选择 3 个或 5 个以上剪切角度。按照不同的剪切角度将试件分组编号,并在试件上画出剪切线。

4.3.3 检查试件加工精度,测量试件尺寸,对于圆柱体试件按剪切面的直径、长度各测量两次,取算术平均值,并填入记录表内。

4.3.4 调整材料试验机度盘指针为零,使材料试验机处于工作状态。将已调好角度的变角剪切夹具下座放在材料试验机上,使其中心线与承压板中心线重合,装上试件并安装好夹具上座,调整承压板球形座,使变角剪切夹具受力均匀。启动材料试验机,施加 0.1 kN~0.5 kN 的压力,检查试件及变角夹具放置位置是否良好,若产生偏离卸载重新调整。

4.3.5 夹具与试件调整后,以 0.5 MPa/s~1.0 MPa/s 的速率加载直至破坏。加载时,人员应离开工作台,并采取适当的保护措施。

4.3.6 记录破坏载荷及加载过程中出现的现象,对试件的破坏形态进行描述。

4.3.7 非干燥试件破坏后,应取出部分碎块立即用塑料袋封存,并尽快测定其含水率,填入记录表内。

4.4 数据计算

4.4.1 计算剪切破坏面 AB 上正应力(σ)和剪应力(τ)

4.4.1.1 单个试件剪切破坏面 AB 上的正应力(σ)和剪应力(τ)分别按公式(2)和公式(3)计算:

$$\sigma = \frac{P}{F} \cdot \cos\alpha \quad \dots\dots\dots (2)$$

$$\tau = \frac{P}{F} \cdot \sin\alpha \quad \dots\dots\dots (3)$$

式中:

σ ——正应力,单位为兆帕(MPa);

P ——试件剪断破坏载荷,单位为牛(N);

F ——剪切面面积,单位为平方毫米(mm²);

α ——剪切面与水平面的夹角,单位为度(°);

τ ——剪应力,单位为兆帕(MPa)。

4.4.1.2 每个剪切角度下试件破坏时剪切面上平均正应力(σ_P)和平均剪应力(τ_P)分别按公式(4)和公式(5)计算:

$$\sigma_P = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n \sigma_i \quad \dots\dots\dots (4)$$

$$\tau_P = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n \tau_i \quad \dots\dots\dots (5)$$

式中:

σ_P ——每个剪切角度下试件破坏时剪切面上的平均正应力,单位为兆帕(MPa);

n ——每个剪切角度下一组试件的个数；

σ_i ——每个剪切角度下第 i 个试件破坏时,剪切面上的正应力,单位为兆帕(MPa)；

τ_P ——每个剪切角度下试件破坏时剪切面上的平均剪应力,单位为兆帕(MPa)；

τ_i ——每个剪切角度下第 i 个试件破坏时,剪切面上的剪应力,单位为兆帕(MPa)。

4.4.2 计算每个试验角度下测定结果的偏离度

正应力偏离度和剪应力偏离度分别按公式(6)和公式(7)计算：

$$V_{\sigma} = \frac{M_{\sigma}}{\sigma_P} \times 100\% \quad \dots\dots\dots (6)$$

$$V_{\tau} = \frac{M_{\tau}}{\tau_P} \times 100\% \quad \dots\dots\dots (7)$$

式中：

V_{σ} ——正应力偏离度；

M_{σ} ——正应力的标准差,按公式(8)计算；

V_{τ} ——剪应力偏离度；

M_{τ} ——剪应力的标准差,按公式(9)计算。

$$M_{\sigma} = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n (\sigma_i - \sigma_P)^2}{n-1}} \quad \dots\dots\dots (8)$$

$$M_{\tau} = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n (\tau_i - \tau_P)^2}{n-1}} \quad \dots\dots\dots (9)$$

若偏离度超过 20%，则应增补试件数量,使偏离度不大于 20%。当测定 3 个剪切角度,每个角度下做 4 个试件时,应同时计算抗剪强度的平均值和偏离度；当测定角度在 5 个以上,每个角度下只做 1 个试件时,则不计算测量值的平均值和偏离度。

4.4.3 绘制煤和岩石抗剪强度曲线

4.4.3.1 根据各测定角度下的平均正应力值和平均剪应力值,绘制煤和岩石抗剪强度曲线,见图 2。A、B、E、D 各点分别为不同角度下的平均测量值。当测定角度在 5 个以上,每个测角下只作一个试件的剪切强度测定时,煤和岩石抗剪强度曲线各点为各测角下单个试件的测量值。

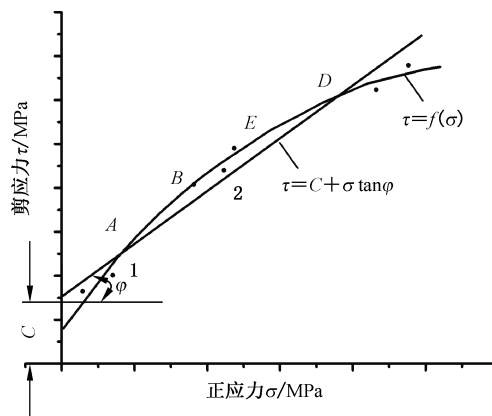


图 2 煤和岩石抗剪强度曲线

4.4.3.2 为便于工程上的应用,可将煤和岩石抗剪强度曲线简化为直线,简化后可用公式(10)表示:

$$\tau = C + \sigma \cdot \tan \varphi \quad \dots\dots\dots (10)$$

式中:

C ——凝聚力,煤和岩石抗剪强度曲线在 τ 轴上的截距,单位为兆帕(MPa);

φ ——内摩擦角,煤和岩石抗剪强度曲线的倾角,单位为度($^{\circ}$)。

抗剪强度曲线的简化方法:最小二乘法。利用计算机,对 A 、 B 、 E 、 D ……各点做线性拟合,使得误差的平方和最小,所获得直线即为煤和岩石抗剪强度曲线。

4.4.4 C 和 φ 值的确定

简化后的直线在 τ 轴上的截距即为 C 值,直线斜率的反正切即为 φ 值。 C 值计算结果取 3 位有效数字, φ 值计算结果保留到分(')。

5 非标准试件抗剪强度测定

5.1 仪器设备

仪器设备主要有:

- a) 材料试验机精度应不低于 0.5 级,载荷传感器测量范围应满足公式(1);
- b) 变角剪切夹具,见图 1;
- c) 70.7 mm×70.7 mm×70.7 mm 立方体模具;
- d) 游标卡尺,最小分度值 0.02 mm;
- e) 玻璃板或透明纸;
- f) 求积仪或坐标纸;
- g) 钢板尺;
- h) 高铝水泥或高强度水泥(其强度应高于岩石强度);
- i) 云母片或云母粉;
- j) 防水油漆或防水套。

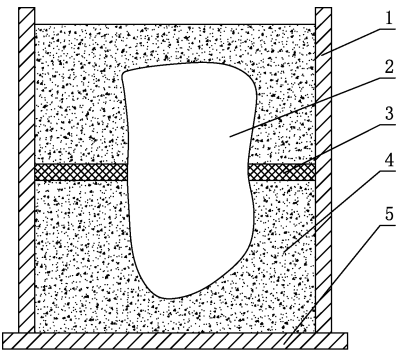
5.2 试件规格

5.2.1 试件应近似于圆柱体,不应采用圆锥体或双锥体,表面应平滑。试件直径宜为 48 mm~56 mm,高度不宜超过 50 mm。

5.2.2 试件数量和含水状态按 4.2.3 和 4.2.4 规定执行。

5.3 测定步骤

5.3.1 制作衬模:将非标准试件表面涂以防水油漆后风干(或用防水套扎紧),然后用高强度水泥胶固在立方体衬模模具中,在模具中部平面上铺一层约 1 mm 厚的云母片或云母粉,作为试件的剪切面,见图 3。经 24 h 后拆模,用湿毛巾覆盖,喷水养护 28 d。



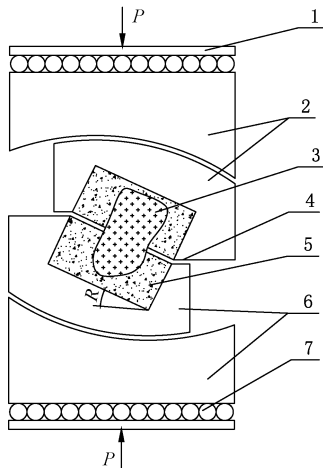
标引序号说明：

- 1——立方体衬模模具；
- 2——非标准试件；
- 3——云母粉或云母片；
- 4——胶固在模具中的高铝水泥或高强度水泥砂浆；
- 5——模具底座。

图 3 非标准试件模具制作示意图

5.3.2 将制作好的非标准试件衬模加工成 70 mm×70 mm×70 mm 的立方体试件。

5.3.3 其余测定步骤按 4.3 规定进行。非标准试件抗剪强度测定方法见图 4。



标引序号和符号说明：

- 1 ——钢垫板；
- 2 ——变角剪切夹具上座；
- 3 ——非标准试件；
- 4 ——软夹层；
- 5 ——立方体衬模；
- 6 ——变角剪切夹具下座；
- 7 ——滚柱；
- P ——试件剪断破坏载荷；
- R ——剪切面与水平面的夹角。

图 4 非标准试件抗剪强度测定方法

5.4 数据计算

5.4.1 计算非标准试件剪切面积：利用玻璃板或透明纸，将非标准试件的剪切面用笔描下来，然后用求

积仪或者用坐标纸画出的方格网,计算剪切面积。

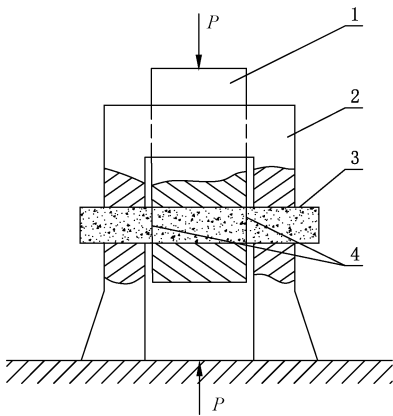
5.4.2 测定结果计算和数据计算,按 4.4 进行。

6 双面剪切强度测定

6.1 仪器设备

仪器设备主要有：

- a) 材料试验机精度不应低于 0.5 级,载荷传感器测量范围应满足公式(1)；
- b) 双剪夹具,见图 5；
- c) 取芯机,切割机,磨石机或磨床；
- d) 游标卡尺,最小分度值 0.02 mm。



标引序号和符号说明：

- 1 —— 压杆；
- 2 —— 夹具座；
- 3 —— 试件；
- 4 —— 受剪切面；
- P —— 试件剪断时的载荷。

图 5 双剪夹具

6.2 试件规格

6.2.1 标准试件为圆柱体,直径为 25.0 mm±0.1 mm,长约 120 mm。

6.2.2 试件数量和含水状态按 4.2.3 和 4.2.4 规定执行。

6.3 测定步骤

6.3.1 测定前应核对岩样名称和编号,对试件的颜色、颗粒、层理、节理、裂隙、风化程度、含水状态以及加工过程中出现的问题应按照附录 B 进行描述。

6.3.2 在试件受剪处用红铅笔画上记号,用游标卡尺测量试件受剪处直径两次,取算术平均值。

6.3.3 将试件置于双剪夹具中,见图 5,再将双剪夹具放在材料试验机的承压板中心,调整承压板的球形座,使材料试验机的上承压板平行于双剪夹具受压面。

6.3.4 调整材料试验机度盘指针为零,启动材料试验机,以 0.03 MPa/s~0.05 MPa/s 的速率平稳加载直至试件被剪断。

6.3.5 记录破坏载荷及加载过程中出现的现象,对试件破坏状况进行描述。非干燥状态试件破坏

后,应立即取出部分碎块用塑料袋封存严防失水,并尽快测定其含水率,填入记录表内。

6.4 数据计算

6.4.1 双面剪切强度按公式(11)计算:

$$\tau_0 = \frac{2P}{\pi D^2} \dots\dots\dots (11)$$

式中:

τ_0 ——试件的抗剪强度,单位为兆帕(MPa);

P ——试件剪断时的载荷,单位为牛(N);

D ——试件直径,单位为毫米(mm)。

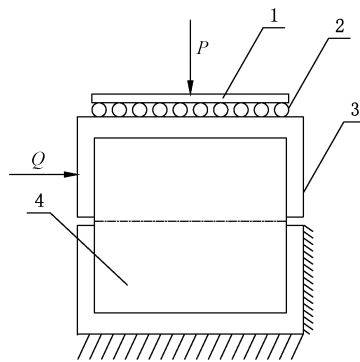
6.4.2 采用算术平均值计算并确定双面剪切强度。计算结果取 3 位有效数字。试验报告中列出每个试件的测量值。

7 单面剪切强度测定

7.1 仪器设备

仪器设备主要有:

- a) 材料试验机:精度不应低于 0.5 级,载荷传感器加载范围应满足公式(1);
- b) 单剪夹具,见图 6;
- c) 取芯机,切割机,磨石机或磨床;
- d) 游标卡尺,最小分度值 0.02 mm。



标引序号和符号说明:

- 1 —— 压板;
- 2 —— 滚珠;
- 3 —— 夹板;
- 4 —— 试件;
- P —— 作用于剪切面上的法向载荷;
- Q —— 作用于剪切面上的剪切载荷。

图 6 单剪夹具

7.2 试件规格

7.2.1 试件为立方体,边长可以为 50 mm、70 mm、100 mm、150 mm、200 mm。

7.2.2 试件数量和含水状态按 4.2.3 和 4.2.4 规定执行。

7.3 测定步骤

- 7.3.1 测定前应核对煤岩样名称和编号,对试件的颜色、颗粒、层理、节理、裂隙、风化程度、含水状态以及加工过程中出现的问题应按照附录 B 进行描述。
- 7.3.2 在试件受剪处用红铅笔画上记号,用游标卡尺测量试件受剪处长度两次,取算术平均值。
- 7.3.3 将试件置于单剪夹具中,见图 6,再将单剪夹具放在材料试验机的承压板中心,保证法向力和切向力的合力通过剪切面的中心。
- 7.3.4 试件上的法向应力,在设计的正应力区间内,分 5 个等级,每个等级选择对应的整数值加载。
- 7.3.5 法向载荷分五次施加,每 5 min 加载一次,加载前后读取竖向变形,达到预定载荷之后,竖向变形 5 min 的读数不超过 0.01 mm 时,开始施加剪切载荷。
- 7.3.6 剪切载荷分级施加,试验按预估最大剪切载荷的 8%~10% 施加,剪切载荷的施加采用时间控制,每 5 min 加载一次,并记录加载前后的切向和法向位移值,在剪切过程中,法向应力保持恒定。
- 7.3.7 测定结束后,观察破坏状态是否沿预定剪切面破坏,当不满足测定设计方案要求时,测定数据无效,当满足测定设计方案要求时,对剪切面进行素描或拍照,记录节理裂隙与剪切面的关系,测量剪断面积。

7.4 数据计算

7.4.1 单面剪切强度按公式(12)、公式(13)计算:

$$\sigma = \frac{10P}{A} \dots\dots\dots(12)$$

$$\tau = \frac{10Q}{A} \dots\dots\dots(13)$$

- 式中:
- σ ——作用于剪切面上的法向应力,单位为兆帕(MPa);
 - P ——作用于剪切面上的法向载荷,单位为千牛(kN);
 - A ——实测剪切面积,单位为平方厘米(cm²);
 - τ ——作用于剪切面上剪应力,单位为兆帕(MPa);
 - Q ——作用于剪切面上的剪切载荷,单位为千牛(kN)。

7.4.2 计算单面剪切强度,取算术平均值。计算结果取 3 位有效数字。试验报告中列出每个试件的测量值。

附 录 A
(规范性)

抗剪强度测定数据记录表

煤和岩石抗剪强度测定记录按照表 A.1 的规定。

表 A.1 煤和岩石抗剪强度测定记录表

送样单位：_____ 采样地点：_____ 采样时间：_____ 测定日期：_____

岩样 编号	岩石 名称	岩样 采取 深度 (距 地表 ____m 至 ____m)	试件 编号	试件 描述		试件 含水 状态	试件 尺寸 mm		剪 切 面 积 F/mm^2	剪 切 角 度 $\alpha/^\circ$	破 坏 载 荷 P/N	最 大 正 应 力 σ/MPa	最 大 剪 应 力 τ/MPa	含 水 率 %	平 均 最 大 正 应 力 σ_P/MPa	平 均 最 大 剪 应 力 τ_P/MPa	备 注
				测 定 前	测 定 后		直 径	高									
内摩擦角 $\varphi=$ _____ 凝聚力 $C=$ _____																	

测定：_____ 计算：_____ 校核：_____

附 录 B
(规范性)

双面剪切强度测定数据记录表

煤和岩石双面剪切强度测定记录按照表 B.1 的规定。

表 B.1 煤和岩石双面剪切强度测定记录表

送样单位：_____ 采样地点：_____ 采样时间：_____ 测定日期：_____

岩样 编号	岩石 名称	岩样采取 深度(距 地表 ——m 至 ——m)		试件 编号	试件描述		试件 含水 状态	试件尺寸 mm		剪切面积 F/mm^2	破坏 载荷 P/N	抗剪强度 τ_0/MPa	含 水 率 %	备 注
					测定 前	测定 后		直 径	高					

测定：_____ 计算：_____ 校核：_____
