

MT

中华人民共和国煤炭行业标准

MT/T 795—1998

岩土直剪流变特性试验方法

Testing method of rheologic characteristic for
direct shear of rock and soil

1998-11-10 批准

1999-04-01 实施

国家煤炭工业局 批准

目 次

前言 II

1 范围 1

2 引用标准 1

3 定义 1

4 试验仪器设备 2

5 试样制备 2

6 直接快剪试验 2

7 岩土流变特性试验 3

8 曲线绘制和计算 3

附录 A （标准的附录）剪切蠕变试验表 8

附录 B （标准的附录）各级剪应力下相同受剪历时的剪应变叠加计算表 9

岩土直剪流变特性试验方法

1 范围

本标准规定了岩土直剪流变特性的试验仪器设备、试样制备、直接剪切试验、流变特性试验、试验结果的曲线绘制和计算方法。

本标准适用于露天煤矿边坡工程和岩土工程采用直接剪切方法测定岩土的流变特性,包括长期强度、蠕变变形性质、剪切模量、粘滞系数等特性指标。

2 引用标准

下列标准包含的条文,通过在本标准中引用而构成为本标准的条文。在标准出版时,所示版本均为有效,所有标准都会被修订,使用本标准各方应探讨使用下列标准最新版本的可能性。

GBJ 123—1988 土工试验方法标准

SD 128—1984 土工试验规程(第一分册)

3 定义

本标准采用下列定义。

3.1 流变特性 rheolog characteristic

岩土的应力、应变和强度随时间而变化的特性。

3.2 蠕变 creep characteristic

在应力恒定的条件下,岩土应变随时间的延长而增大的特性。

3.3 松弛特性 relaxation characteristic

在变形恒定条件下,岩土应力随时间延长而减小的特性。

3.4 流动特性 flow characteristic

当时间一定时,应变速率与应力的关系。

3.5 长期强度 τ'_{∞} long—period strength

岩土在给定时间段长期荷载作用下,产生破坏的阻抗能力。

3.6 极限长期强度 τ_{∞} limiting long—period strength

岩土在无限长时间荷载作用下阻抗能力的临界值。

3.7 剪切模量 G shear modulus

剪应力 τ 与剪切线应变 γ 之比值。

$$G = \tau / \gamma$$

3.8 瞬时剪切模量 G non—time dependent shear modulus

岩土流变试验中瞬时剪切时剪切线应力与剪应变之比值。

3.9 长期剪切模量 G_{∞} long—period shear modulus

岩土流变试验中岩土蠕变达到稳定蠕变之后剪应力与剪切线应变之比值。

3.10 粘滞系数 η viscosity coefficient

岩土流变试验中剪应力与剪切线应变速率的比值。

$$\eta = \tau / \dot{\gamma}$$

3.11 初始蠕变段粘滞系数 η_1 viscosity coefficient of initial creep

岩土流变试验中蠕变初始段剪应力与剪切速率之比值。initial stage of creep

3.12 稳定蠕变段粘滞系数 η_2 viscosity coefficient of uniform rate stage creep

岩土流变试验中蠕变稳速段剪应力与剪切速率之比值。

4 试验仪器设备

- 4.1 四联应变控制式直剪仪, 1 台。规格: 测力计最大荷载: 1.2 kN; 最大垂直荷重: 1.2 kN; 剪切速率: 0.01~2.4 mm/min。
- 4.2 直剪流变仪, 4 台, 应力控制式。规格: 最大荷载: 1.2 kN。
- 4.3 烘箱, +200 °C; 温度波动度: ± 1 °C。
- 4.4 电子天平, 最大称量: 300 g, 最小分度值: 1 mg。
- 4.5 试样制作用具。
- 4.6 温度计, 湿度计, 百分表, 磁性表座等。

5 试样制备

5.1 试样数量

直剪流变特性试验试样需 2 组, 一组作快剪, 一组作流变, 每组 4 个试样, 一般应多制作 2~3 个试样备用。

要求两组试样性质、状态相同, 具有代表性。

5.2 原状岩土试样制备

- 5.2.1 小心开启岩土样包装, 辨别上下层次, 整平两端, 切土方向与天然层次垂直。
- 5.2.2 将切样用的环刀内壁涂一薄层凡士林, 刃口向下, 放在试样上。用切土刀将土样削成略大于环刀直径的土柱。然后将环刀垂直向下压, 边压边削, 至土样伸出环刀为止。削去两端余土并修平, 擦净环刀外壁, 称环刀、土总质量, 并用环刀削下的土样按 GBJ 123 测含水量(下同), 试样间含水量差值不大于 2%。
- 5.2.3 切削过程中, 应细心观察岩土的情况, 并描述层次、试样是否均匀, 有无裂缝等。试样制成后暂存于保湿器内。

5.3 扰动试样的制备

- 5.3.1 对扰动岩土样进行描述, 并对代表性样测定含水量。
- 5.3.2 将扰动岩土样风干后在橡皮板上用木碾碾碎, 用 2 mm 筛过筛。取筛下岩土充分拌匀后装入盛土容器内, 并测定风干土样含水量。
- 5.3.3 称取过筛的风干土样, 平铺于搪瓷盘内, 根据要求的直剪试验含水量, 计算制备试样所需加水量(按 GBJ 123 2.0.13 条), 将水均匀喷洒于土样上, 充分拌匀后装入盛土容器内盖紧, 润湿一昼夜。
- 5.3.4 测定润湿岩土样不同位置处的含水量, 不应少于两点。含水量差值小于 2%。
- 5.3.5 根据环刀容积和所需密度计算每个试样用湿土量, 采用压样法将一定量的湿土倒入装有环刀的压样器内, 拂平土面, 以静压力将土压入环刀内。
- 5.3.6 取出环刀, 称环刀和湿土总质量。将带环刀的试样盛放于保湿器内。

6 直接快剪试验

为流变试验剪应力等级设计而进行直接快剪试验。

6.1 岩土样快剪抗剪强度测定

从保湿器中取出岩土样按 GBJ 123 或 SD 128 进行快剪试验, 测定快剪抗剪强度指标, 求得不同法向力级的剪应力破坏值 σ_i 和 τ_i 。

6.2 计算流变试验剪应力等级

按式(1)计算流变试验中相对应正应力和剪应力等级梯度:

$$\tau_{0i} = k \frac{\tau_i}{n} \dots\dots\dots (1)$$

式中:

τ_{0i} ——对应不同法向力的 σ_i 的剪切等级剪应力, kPa;

τ_i ——对应不同法向力级 σ_i 的快剪强度, kPa,

k ——土岩介质常数, 一般取 $k=0.5\sim 0.85$;

n ——流变试验线性范围分级数, 一般 $n=4\sim 6$ 。

一般按 $i=4$ 级正应力进行, 正应力大小应根据土岩赋存深度或土岩强度确定, 按此求得的剪应力等级由小到大(τ_{0i})分级进行。

7 岩土流变特性试验

7.1 流变试验仪器安放环境

剪切流变仪必须安置在基本上保持恒温、恒湿, 且避免振动的环境中。一般可放置在地下室内。试验每天应监测环境温度和湿度。

7.2 安装试样, 饱水固结, 施加垂压

7.2.1 对准剪切流变仪上下剪切试样盒, 插入固定销, 在下盒内放透水石和湿滤纸, 将从保湿器中取出的试样环刀平口向下, 对准剪切盒口, 在试样上放湿滤纸和透水石, 然后将试样徐徐推入剪切盒内, 移去环刀。

7.2.2 顺次加上加压盖板、钢珠、压力框架, 按设定的四级垂压在四台剪切流变仪分别施加到位。

7.2.3 剪切盒中饱水, 在各自的垂压下固结 24 h。

7.3 进行直剪流变试验

7.3.1 饱水固结 24 h 后, 调整剪切荷载施加装置, 安设剪切变形测表, 记录初始读数, 拔去剪切盒上的固定销, 按第一级剪力施加剪切荷载砝码, 开始蠕变试验。

7.3.2 加载第一天, 按 1/6、1/2、1、2、4、8、24 小时记录剪切蠕变变形, 第 2 天后, 每 24 h 测读一次, 维持 7 天并测取每天的变形量, 可得每一级 σ_i 和 τ_i 下的剪切蠕变变形 γ 和时间 t 数据, 按附录 A 记录并计算剪应变。

7.3.3 一周后, 施加第二级剪切荷载, 按 7.3.2 测取蠕变变形, n 周以后测得 i 组(一般 4 组) $\gamma-t$ 关系数据。

7.3.4 在流变试验过程中, 注意每天往剪切盒中加水以维持试样饱水, 并要根据变形情况对后几级 τ_{0i} 进行适当调整。一般要增加等级数 n , 以使最后一级 τ_{0i} 时获取试样逐步破坏的 $\gamma-t$ 关系。

7.3.5 试样破坏后, 撤去剪切荷载和垂压, 取出试样, 取样测定剪断面附近土的含水量并对剪断面进行描述。

8 曲线绘制和计算

8.1 曲线绘制

8.1.1 根据直剪流变试验记录的蠕变变形 γ —时间 t 数据(附录 A 表数据), 采用应变叠加原理按附录 B 填写计算。

8.1.2 根据附录 B 计算成果表绘制各级荷载下相同受剪历时的剪应变叠加曲线, 见图 1~图 4。由这组 $\gamma-t$ 叠加曲线绘制各种时间的剪应力 τ 与剪应变 γ 等时线簇, 见图 5~图 8 所示。

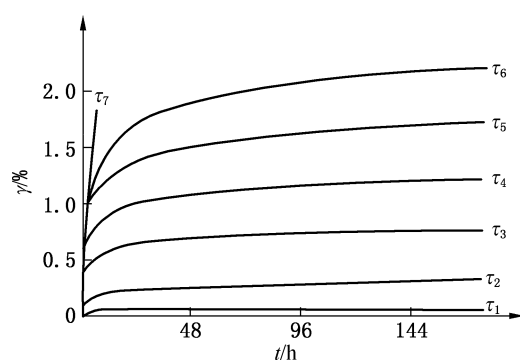


图 1 剪应变 γ - 剪切时间 t 应变叠加曲线 ($\sigma_1 = 50$ kPa)

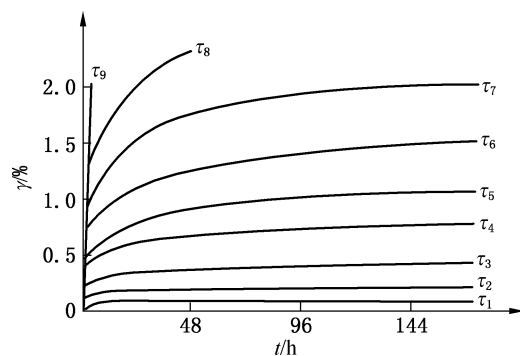


图 2 剪应变 γ - 剪切时间 t 应变叠加曲线 ($\sigma_2 = 100$ kPa)

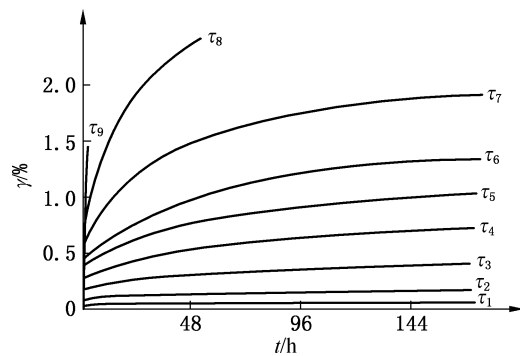


图 3 剪应变 γ - 剪切时间 t 应变叠加曲线 ($\sigma_3 = 150$ kPa)

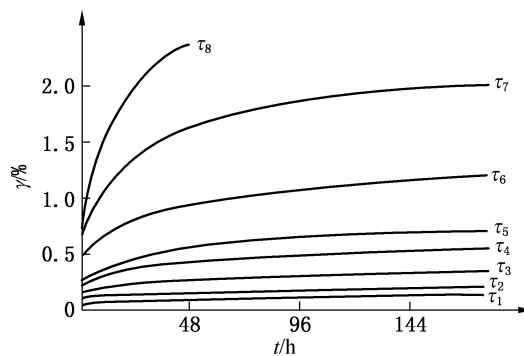


图 4 剪应变 γ - 剪切时间 t 应变叠加曲线 ($\sigma_4 = 200$ kPa)

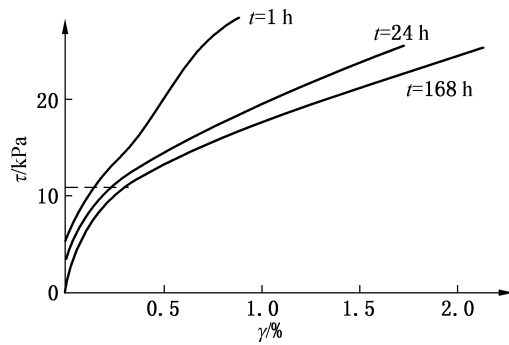


图 5 剪应力 τ —剪应变 γ 曲线 ($\sigma_1 = 50 \text{ kPa}$)

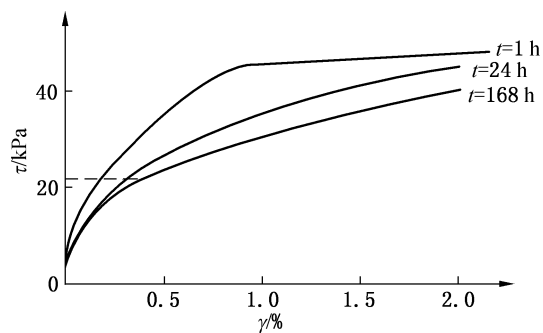


图 6 剪应力 τ —剪应变 γ 曲线 ($\sigma_2 = 100 \text{ kPa}$)

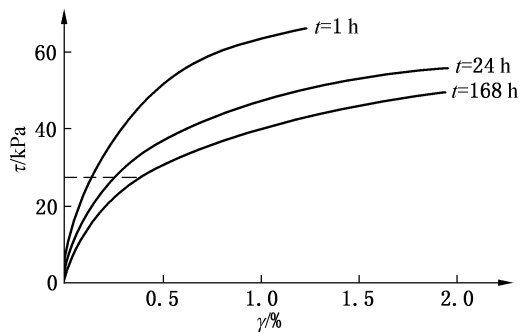


图 7 剪应力 τ —剪应变 γ 曲线 ($\sigma_3 = 150 \text{ kPa}$)

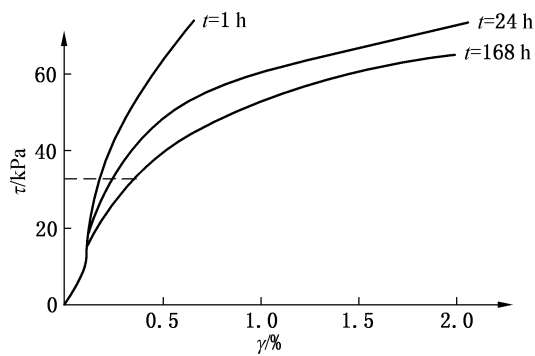


图 8 剪应力 τ —剪应变 γ 曲线 ($\sigma_4 = 200 \text{ kPa}$)

8.1.3 根据附录 B 数据表,计算剪切模量 $G (G = \tau / \gamma)$,绘制以时间 t 为横坐标,剪切模量 G 为纵坐标的 $G-t$ 关系曲线,见图 9 所示。

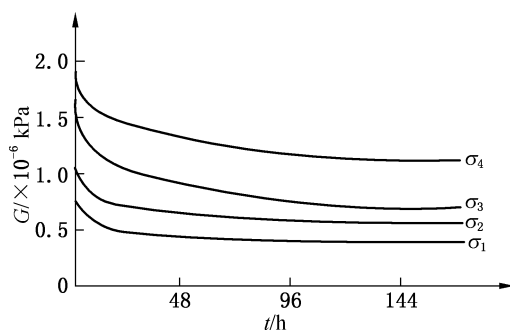


图 9 剪切模量 G 与剪切时间 t 关系曲线

8.1.4 根据附录 B 数据表,计算剪切速率 $\dot{\gamma} (\dot{\gamma} = d\gamma / dt)$,绘制以剪切速率 $\dot{\gamma}$ 为纵坐标,以剪应力 τ 为横坐标的流动曲线,见图 10 所示。

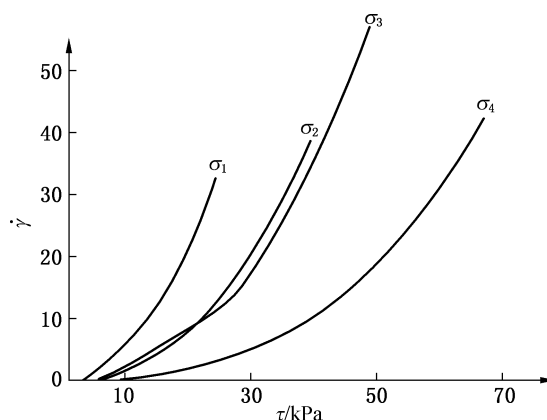


图 10 剪切应变速率—剪应力关系曲线(流动曲线)

8.2 流变特性指标计算

8.2.1 极限长期强度 τ_{∞}

8.2.1.1 分别采用以下三种方法计算极限长期强度 τ_{∞} :

a) 根据相同受剪历时剪应变增量原理绘制的剪应力 τ 与剪应变 γ 等时线簇(图 1~图 4)选取:拐点明显的直接选取,不明显的采用内插法选取而得 4 对相应正应力 σ_i 下的极限长期强度 $\tau_{\infty i}$ 。

b) 根据剪切应变速率 $\dot{\gamma}$ 与剪应力 τ 的流动曲线(图 10)选取其拐点,而得 4 对相应正应力 σ_i 下的极限长期强度 $\tau_{\infty i}$ 。

c) 在蠕变变形的稳速段,计算此时间内的应变速度 $\dot{\gamma}_i = (\gamma_{i+1} - \gamma_i) / (t_{i+1} - t_i)$,求解剪应变速率 $\dot{\gamma}_i$ 与此级剪应力 τ_i 的关系曲线,此曲线在剪应力 τ 轴的截距即为此级正应力 σ_i 下的极限长期强度 $\tau_{\infty i}$ 。

8.2.1.2 以上三种方法求得的三组 $\sigma_i - \tau_{\infty i}$ 数据,按库仑定律($\tau = C + \sigma \cdot \tan \varphi$),回归分析计算,可得这种岩土的一套极限长期强度指标,凝聚力 C_{∞} 和内摩擦角 φ_{∞} 。

8.2.1.3 以上三种方法求得的极限长期强度指标作为这种岩土的长期强度范围;三种方法指标的算术平均值,作为这种岩土的极限长期强度推荐值。

8.2.2 剪切模量计算

8.2.2.1 瞬时剪切模量 G_0 计算:按流变试验 1/6 h 时的剪应力 τ_i 与相应剪切线应变 $\gamma_{1/6}$ 之比值作为瞬时剪切模量。

$$G_0 = \frac{\tau_i}{\gamma_{1/6}} (\text{kPa}) \quad \dots\dots\dots(2)$$

8.2.2.2 长期剪切模量 G_∞ 计算:按流变试验 168 h(第七天)时的剪应力 τ_i 与相应剪切线应变 γ_{168} 之比值作为长期剪切模量。

$$G_\infty = \frac{\tau_i}{\gamma_{168}} (\text{kPa}) \quad \dots\dots\dots(3)$$

8.2.3 粘滞系数计算

8.2.3.1 初始蠕变段粘滞系数 η_i 计算:按流变试验每级加载后 1/6 h 至 8 h 时间段计算剪应变速率 $\dot{\gamma}_1$, 然后计算 η_1 , 即:

$$\dot{\gamma}_1 = \left(\frac{\gamma_8 - \gamma_{1/6}}{8 - 1/6} \right) \times \frac{1}{3600} (1/\text{s}) \quad \dots\dots\dots(4)$$

$$\eta_1 = \frac{\tau_i \times 10^3}{\dot{\gamma}_1} (\text{Pa} \cdot \text{s}) \quad \dots\dots\dots(5)$$

式中:

γ_8 、 $\gamma_{1/6}$ ——流变试验每级加载后 8 h 和 1/6 h 时的剪应变;

$\dot{\gamma}_1$ ——初始蠕变段剪切应变速率;

τ_i ——剪应力, kPa。

8.2.3.2 稳定蠕变段粘滞系数 η_2 计算:按流变试验每级加载后 24 h 至 144 h(即第 2 天至第 6 天)时间段计算剪应变速率 $\dot{\gamma}_2$, 然后计算 η_2 , 即:

$$\dot{\gamma}_2 = \left(\frac{\gamma_{144} - \gamma_{24}}{144 - 24} \right) \times \frac{1}{3600} (1/\text{s}) \quad \dots\dots\dots(6)$$

$$\eta_2 = \frac{\tau_i \times 10^3}{\dot{\gamma}_2} (\text{Pa} \cdot \text{s}) \quad \dots\dots\dots(7)$$

式中:

γ_{144} 、 γ_{24} ——流变试验每级加载后 144 h 和 24 h 时的剪应变;

$\dot{\gamma}_2$ ——稳定蠕变段剪切应变速率;

τ_i ——剪应力, kPa。

附 录 A
(标准的附录)

剪切蠕变试验表

工程名称: _____ 日期: _____ 年 _____ 月 _____ 日
 试样名称: _____ 试验人员: _____
 试验编号: _____ 剪切面积: $A =$ _____ cm^2
 垂直压应力: $\sigma =$ _____ kPa 杠杆比例系数: $K =$ _____

预加砝码重: $G =$ _____ kg 剪 应 力: $\tau =$ _____ kPa				预加砝码重: $G =$ _____ kg 剪 应 力: $\tau =$ _____ kPa			
剪切历时 (h)	测试 时间	剪切变形 (0.01 mm)	剪应变 $\gamma(10^{-2})$	剪切历时 (h)	测试 时间	剪切变形 (0.01 mm)	剪应变 $\gamma(10^{-2})$
0				0			
1/6				1/6			
1/2				1/2			
1				1			
2				2			
4				4			
8				8			
24				24			
48				48			
72				72			
96				96			
120				120			
144				144			
168				168			
192				192			

煤炭科学研究总院抚顺分院露天所边坡工程实验室

附录 B
(标准的附录)

各级剪应力下相同受剪历时的剪应变叠加计算表

工程名称： _____
试样名称： _____ 年 月 日

剪应力 τ (kPa) 剪应变 γ (%) 剪切历时 (h)	正应力 (kPa)									
1/6										
1/2										
1										
2										
4										
8										
24										
48										
72										
96										
120										
144										
168										
192										

煤炭科学研究总院抚顺分院露天所边坡工程实验室
