

MT

中华人民共和国煤炭行业标准

MT/T 794—1998

粗粒岩土大三轴抗剪强度的测定

Testing of shear strength for thick particle
rock and soile by large triaxiae

1998-11-10 批准

1999-04-01 实施

国家煤炭工业局 批 准

目 次

1 范围 1

2 引用标准 1

3 仪器设备 1

4 试验一般要求 2

5 试样制备和饱和 2

6 试验方法 3

7 数据整理、计算和制图 5

附录 A （提示的附录） 9

附录 B （提示的附录） 10

附录 C （提示的附录） 11

粗粒岩土大三轴抗剪强度的测定

1 范围

本标准规定了粗粒岩土散体的大三轴抗剪强度测定的仪器设备、试样制备、测定方法和步骤、测定结果整理与计算。

本标准适用于粒径不大于 6 cm 的粗粒岩土散体,测定三轴抗剪强度参数、散体固结密度、变形性质和孔隙压力系数。也可用于原状软岩土大三轴抗剪强度测定。

2 引用标准

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

SD 128—1987 土工试验规程

3 仪器设备

3.1 大三轴剪力仪

主要由压力室、周围压力系统、体变测量系统、孔隙压力测量系统等部分组成,如图 1 所示。

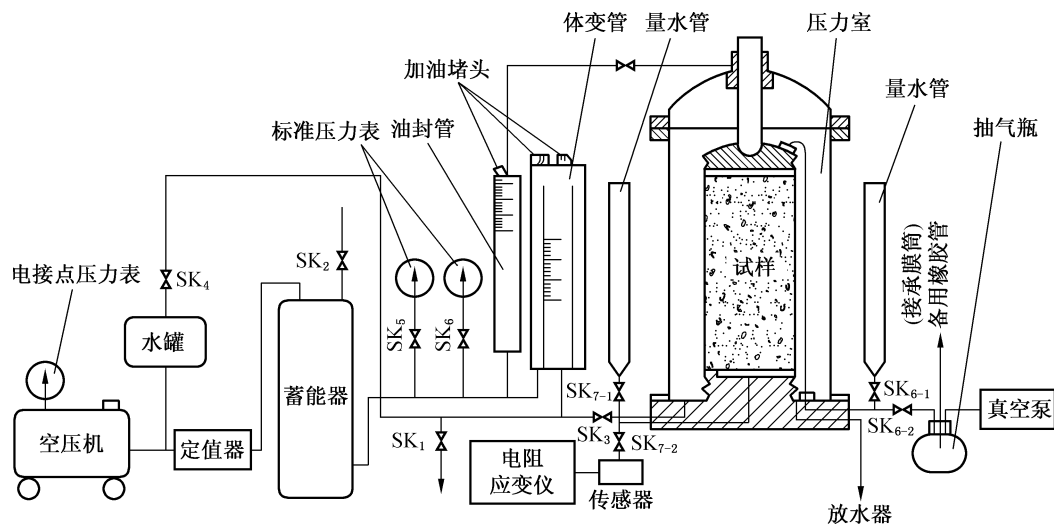


图 1 三轴剪力仪

3.2 附属设备和材料

包括对开成型筒、承膜筒、击实锤、橡皮膜、真空泵、真空瓶、空压机、氮气瓶、排水量管、吊绳、天车、三通阀、磅秤、测力计、机电百分表、位移计、电子天平、烘箱、秒表等。

3.3 测试系统

包括微机、X—Y 函数记录仪、位移传感器、压力传感器、机电百分表、A/D 模数转换器、D/A 数模转换器及接口等。

该测试系统测试结果可由测表人工读数记录、电测数显记录和微机自动检测三种方法获得。实际采用一种方法即可。

4 试验一般要求

4.1 每组试样数量；

4.2 物料粒径不大于 6 cm, 试样直径为 30 cm, 高为 70 ± 5 cm；

4.3 根据工程需要试验分为不固结不排水剪(UU)、固结不排水剪(CU)、固结排水剪(CD)三种方法；

4.4 无论采用哪一种试验方法, 都必须首先对试样进行饱和。

4.5 试验前应对仪器设备进行检查和率定：

a) 轴向压力系统、周围压力系统运行正常, 检查储能器、水罐内的水量是否达到要求, 检查油路系统是否漏油、油箱内的油量是否够用；

b) 空压机、真空泵是否运行正常, 检查空压机气路是否漏气, 真空泵内的油是否达到规定位置, 油不应混浊；

c) 压力室应密闭, 传压活塞应在轴套内滑动正常, 各管道、接头、三通阀畅通、孔隙压力量测系统的管道内应无气泡, 检查完毕后, 关闭周围压力阀、排水阀、孔隙压力阀等；

d) 对测试系统和自动检测微机系统进行调试和率定。

5 试样制备和饱和

5.1 备料

5.1.1 将所采取的物料拌和均匀, 如果物料为无黏性砂土, 可喷少量水拌和, 然后按四分对角法取样进行颗粒分析。见 SD128。

5.1.2 每组试样不少于 300 kg, 备好样后立即取样, 采用烘干法测定含水量。

5.1.3 根据试验要求的干密度、含水量及试样尺寸计算所需用料。

5.2 制样步骤

5.2.1 将透水石、滤纸依次放在压力室底座上；

5.2.2 扎好橡皮膜, 安装对开成型筒, 将橡皮膜贴紧在成型筒内壁, 外翻在成型筒上；

5.2.3 将备好的物料依次称重后装入成型筒内, 一般一层为 10 kg, 用击实法将物料击实, 每层击实后应拂平表面并刨毛, 试样装好后依次放上滤纸、透水石、顶帽并扎紧橡皮膜；

5.2.4 开动真空泵, 从试样顶部抽气, 使试样在负压下直立成型, 去掉成型筒, 测量试样高度 H 、直径 D 。按式(1)、(2)计算试样平均高度和平均直径。测定和计算数据填入附录 A。

$$H = \frac{1}{3}(H_1 + H_2 + H_3) \quad \dots\dots\dots(1)$$

$$D = \frac{1}{4}(D_1 + D_2 + D_3) - 2t \quad \dots\dots\dots(2)$$

式中：

H_1 、 H_2 、 H_3 ——分别为试样三侧测得的高度, cm；

D_1 、 D_2 、 D_3 ——分别为试样上部、中部、下部测得的直径, cm；

t ——乳胶膜厚度, cm。

5.2.5 安装压力室盖, 旋紧连接螺栓, 打开压力室排气孔, 向压力室注满水, 关排气孔, 开轴向压力机, 当试样与传力活塞和测力计接触时, 立即停机, 读出轴向变形计读数。

5.3 试样饱和

对试样饱和采用抽气与水头联合饱和的方法。

5.3.1 打开周围压力阀对试样施加 30 kPa 的预压, 开动真空泵抽气, 试样内形成负压, 并提高盛水容器高度, 使水从试样底部进入试样, 当观察到真空瓶内出水, 继续饱和 20 min, 饱和中要测定进水和出水质量。

5.3.2 停止抽气,将与试样底部和顶部连接的量水管加适量水,打开阀门观察量管内水位变化,提高底部量水管,若顶部量管水位上升且与底部量管水位下降等量,即可关闭阀门,试样已达到饱和。

5.3.3 如果没有达到要求,仍按 5.3.1 抽气饱和直至符合要求。

5.3.4 通过计算孔隙压力系数 B 鉴别饱和度,若 B 值大于或等于 0.95 时,认为试样已达饱和,否则应继续饱和。 B 值按式(3)计算:

$$B = \frac{u}{\sigma_3} \dots\dots\dots(3)$$

式中:

u ——孔隙水压力,kPa;

σ_3 ——周围压力,kPa。

6 试验方法

6.1 不固结不排水剪(UU)

6.1.1 试样饱和后,关进水阀、排水阀,开周围压力阀,施加设定的周围压力至恒定值,测定初始孔隙水压 u 。

6.1.2 调试自动检测系统至测定状态:接 A/D 转换插头、开动函数记录仪和微机。

6.1.3 开动压力机,同时开动秒表,对非粘性粗粒岩土以每分钟轴向应变 0.5%~1.0%的速度对粘性粗粒岩土为 0.1%~0.5%,施加轴向压力。每分钟记录测力计和轴向变形计读数一次。

6.1.4 当峰值出现后,继续测记 3~5 次后关机;如无峰值时,则至轴向应变达 15%~20%时关机。试验数据填入附录 A,自动检测系统同时采集数据,函数记录仪自动绘制轴向荷载—轴向变形曲线。

6.1.5 试验结束后,先卸去轴向压力,再卸周围压力,打开压力室排气孔和排水阀,排除压力室内的水;拆除压力室外罩,揩干试样周围余水,去掉橡皮膜,对剪后试样进行描述。

6.1.6 其余几个试样分别在不同周围压力下,按 6.1.1 至 6.1.5 进行试验。

6.2 固结不排水剪(CU)

6.2.1 进行排水固结,步骤如下:

a) 同 6.1.1;

b) 打开排水阀,同时开动秒表,对非黏性粗粒岩土按 20~30 s 测记排水量管水位和孔隙压力计读数各一次,在固结过程中随时绘制排水量 ΔV 与时间 t 或孔隙压力 u 与时间 t 的关系曲线(见图 2),曲线下段趋于水平,即排水量趋于稳定,固结完成。

对黏性粗粒岩土按 $t_1 = (0, \frac{1}{2}, 1, 2, 3, \dots, n) \text{ min}$ 时间测记固结排水量和孔隙水压力,在固结过程中随时绘制固结排水量 ΔV 与时间 t 的对数(或平方根)关系曲线,见图 3,判断固结是否完成。

c) 固结完成后,关排水阀,开动压力机,当轴向压力计量表指针微动时,表示活塞与试样接触;

d) 同 6.1.2 关压力机,测定轴向变形读数,计算固结下沉量 Δh 。固结数据按附录 A 记录。

6.2.2 开动压力机,同时开动秒表,对非黏性粗粒岩土以每分钟轴向应变为 0.1%~1.0%的速率(对黏性粗粒岩土为 0.05%~0.1%)施加轴向压力。每分钟记录测力计、轴向变形计和孔隙压力计读数一次。

6.2.3 同 6.1.4。

6.2.4 同 6.1.5。

6.2.5 其余几个试样分别在不同周围压力按 6.2.1 至 6.2.4 进行试验。试验数据按附录 B₁ 记录。

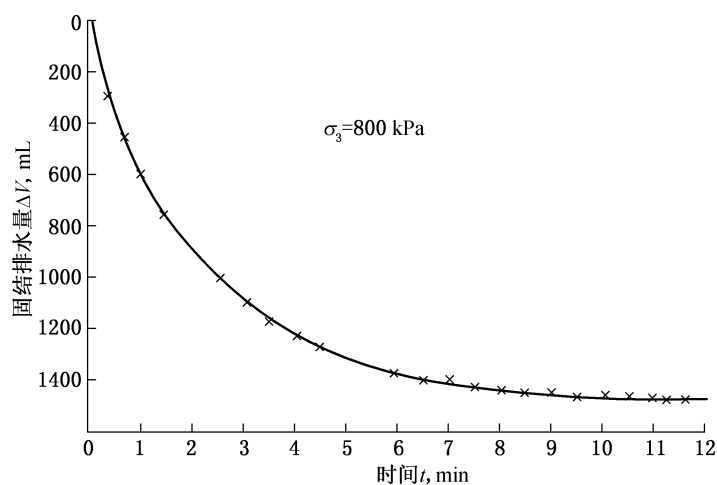


图 2 排水量 ΔV 与时间 t 关系曲线

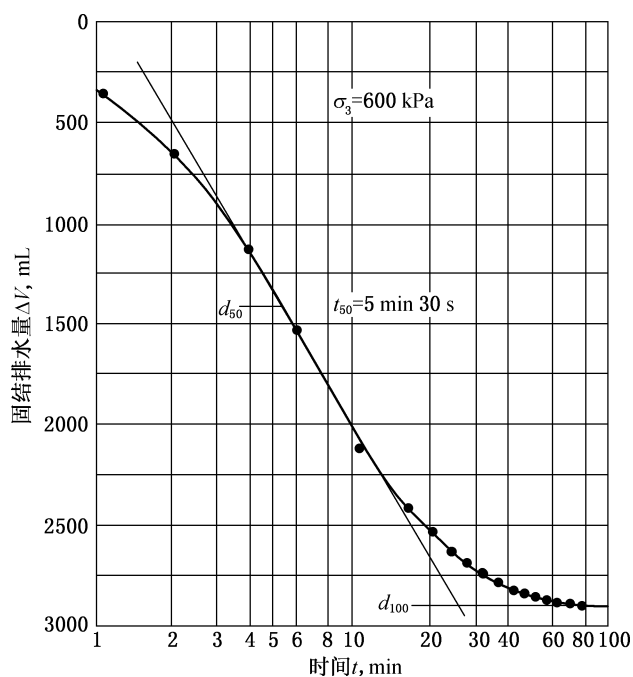


图 3 固结排水量与时间对数关系曲线

6.3 固结排水剪(CD)

6.3.1 同 6.2.1。

6.3.2 打开排水阀,开动压力机,同时开动秒表,对非黏性粗粒岩土以每分钟轴向应变为 0.1%~0.5% 的速率(对黏性粗粒岩土为 0.003%~0.012%)施加轴向压力。每分钟记录测力计、轴向变形计、上下排水量管水位读数 1 次。

6.3.3 同 6.1.4。

6.3.4 同 6.1.5。

6.3.5 其余几个试样分别在不同周围压力下按 6.3.1 至 6.3.4 进行,试验数据按附录 C 表 C1 记录。

7 数据整理、计算和制图

7.1 试样固结后的高度 h_c 、面积 A_c 和体积 V_c ，计算试样固结后的高度 h_c 、面积 A_c 和体积 V_c 按式(4)、(5)、(6)计算。单位分别为 cm 、 cm^2 、 cm^3 。

$$h_c = h_0 - \Delta h_c \quad \dots\dots\dots(4)$$

$$A_c = (V_0 - \Delta V_c) / h_c \quad \dots\dots\dots(5)$$

$$V_c = h_c \cdot A_c \quad \dots\dots\dots(6)$$

式中：

h_0 ——试样初始高度， cm ；

Δh_c ——固结下沉量， cm ；

V_0 ——试样初始体积， cm^3 ；

ΔV_c ——固结排水量， cm^3 。

7.2 剪时面积 A_a 计算，剪切时面积 A_a 按式(7)、(8)、(9)计算。

a) 不固结不排水剪

$$A_a = \frac{A_0}{1 - \epsilon_1} \quad \dots\dots\dots(7)$$

b) 固结不排水剪

$$A_a = \frac{A_c}{1 - \epsilon_1} \quad \dots\dots\dots(8)$$

c) 固结排水剪

$$A_a = \frac{V_c - \Delta V_i}{h_c - \Delta h_i} \quad \dots\dots\dots(9)$$

式中：

A_0 ——试样初始面积， cm^2 ；

ϵ_1 ——轴向应变， $\%$ ；

Δh_i ——固结排水剪时试样高度变化， cm ；

ΔV_i ——固结排水剪时试样体积变化， cm^3 ；

A_a ——剪切时面积， cm^2 。

7.3 应力计算

a) 主应力差 $(\sigma_1 - \sigma_3)$ ，按式(10)计算：

$$(\sigma_1 - \sigma_3) = \frac{P}{A_a} \quad \dots\dots\dots(10)$$

式中：

σ_1 、 σ_3 ——分别为最大主应力和最小主应力， kPa ；

P ——轴向总出力， kN 。

注：公式 1~10 见 SD128。

b) 不排水剪的有效应力按式(11)、(12)计算：

$$\sigma'_1 = \sigma_1 - u \quad \dots\dots\dots(11)$$

$$\sigma'_3 = \sigma_3 - u \quad \dots\dots\dots(12)$$

式中：

σ_1 、 σ_3 ——分别为最大有效主应力和最小有效主应力， kPa ；

u ——孔隙水压力， kPa 。

7.4 绘制主应力差 $(\sigma_1 - \sigma_3)$ 与轴向应变 ϵ_1 关系曲线，绘制主应力差 $(\sigma_1 - \sigma_3)$ 与轴向应变 ϵ_1 关系曲线，

见图 4。

7.5 绘制应力路径曲线。

以 $\frac{1}{2}(\sigma_1 - \sigma_3)$ 为纵坐标, 以 $\frac{1}{2}(\sigma_1 + \sigma_3)$ 或 $\frac{1}{2}(\sigma'_1 + \sigma'_3)$ 为横坐标, 绘制应力路径曲线, 如图 5 所示。

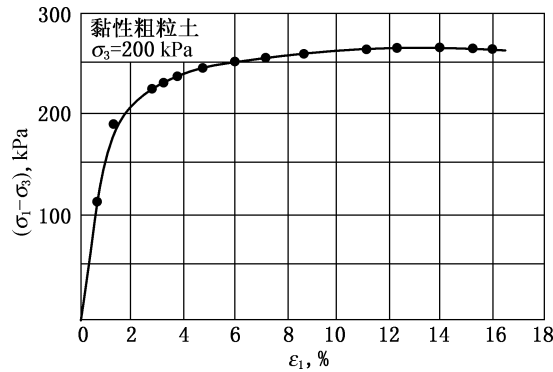


图 4 $(\sigma_1 - \sigma_3)$ 与 ε_1 关系曲线

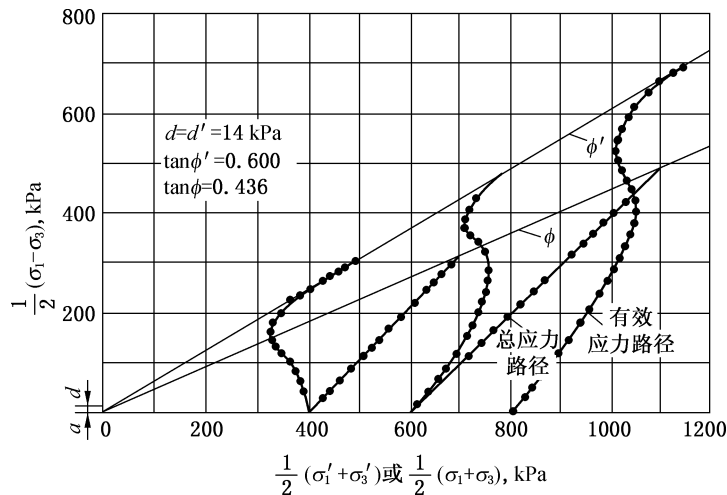


图 5 应力路径曲线

7.6 确定破坏强度值

根据 $(\sigma_1 - \sigma_3)$ 与 ε_1 关系曲线, 计算破坏强度值, 无峰值, 则取轴向应变 $\varepsilon_1 = 15\%$ 时的 $(\sigma_1 - \sigma_3)$ 值计算破坏强度值, 或按应力路径曲线确定强度参数。

7.7 绘制强度包线

以法向应力 σ 为横坐标, 以剪应力 τ 为纵坐标, 在横坐标上, 以 $\frac{1}{2}(\sigma_1 + \sigma_3)$ 或 $\frac{1}{2}(\sigma'_1 + \sigma'_3)$ 为中心, $\frac{1}{2}(\sigma_1 - \sigma_3)$ 为半径, 绘莫尔应力圆。如图 6 所示, 诸圆包线的倾角即为内摩擦角 φ 或 φ' , 包线在纵坐标上的截距即为凝聚力 C 或 C' 。

7.8 抗剪强度指标计算

按应力路径标准确定抗剪强度指标: 凝聚力和内摩擦角。按式(13)、(14)计算。

$$\varphi = \sin^{-1}(\tan \phi) \text{ 或 } \varphi' = \sin^{-1}(\tan \phi') \quad \dots\dots\dots (13)$$

$$C = d / \cos \varphi \text{ 或 } C' = d' \cos \varphi' \quad \dots\dots\dots (14)$$

式中:

φ, φ' ——分别为内摩擦角和有效内摩擦角, (°);
 C, C' ——分别为凝聚力 and 有效凝聚力, kPa;
 ψ, ψ' ——应力路径曲线, 诸线破坏点或密集点连线的倾角, (°);
 d, d' ——上述连线在纵轴上的截距, kPa。

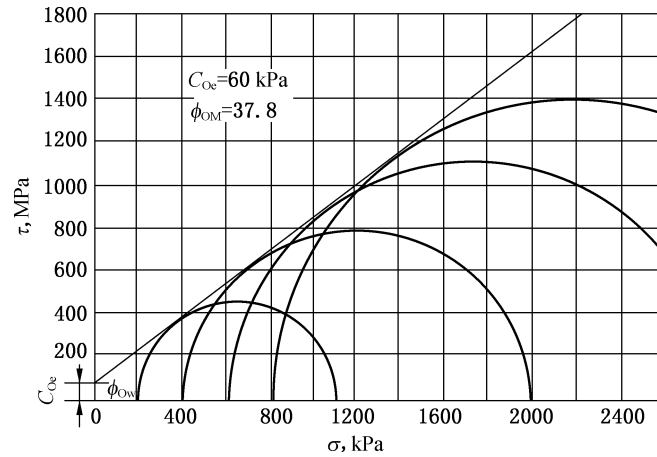


图 6 强度包线图

7.9 其他指标计算

7.9.1 密度

a) 初始密度 ρ_0 按式(15)计算

$$\rho_0 = \frac{G}{V_0} \dots\dots\dots (15)$$

式中:

ρ_0 ——试样制作初始密度, g/cm³;

G ——试样质量, g;

V_0 ——试样体积, cm³。

b) 固结密度 ρ_c 按式(16)计算

$$\rho_c = \frac{G+W}{V_c} \dots\dots\dots (16)$$

式中:

ρ_c ——试样饱和固结后密度, g/cm³;

W ——饱和固结后试样中的水质量, g;

V_c ——固结后试样体积, cm³。

7.9.2 轴向变形模量 E 按式(17)计算

$$E = \frac{\sigma_1 - \sigma_3}{\epsilon_1} \dots\dots\dots (17)$$

式中:

E ——轴向变形模量, kPa。

7.9.3 体积应变 ϵ_v 、横向应变 ϵ_d 和泊松比 ν

$$\epsilon_v = \frac{\Delta V_i}{V_c} \dots\dots\dots (18)$$

$$\epsilon_d = \frac{\epsilon_1 - \epsilon_v}{2} \dots\dots\dots (19)$$

$$\nu = \frac{\epsilon_d}{\epsilon_1} \dots\dots\dots (20)$$

7.9.4 孔隙压力系数 A_0

$$A = \frac{u_d}{B(\sigma_1 - \sigma_3)} \dots\dots\dots (21)$$

式中:

A ——固结不排水剪时的孔隙压力系数;

u_d ——试样在 $(\sigma_1 - \sigma_3)$ 作用下产生的孔隙水压力, kPa;

B ——试样在固结周围压力 σ_3 作用下的孔隙水压力系数, 计算见式(3)。

7.10 微机自动检测试验成果

当采用微机自动检测试验时, 以上计算过程、测定成果及主应力差 $(\sigma_1 - \sigma_3)$ 与轴向应变 ϵ_1 曲线、应力路径曲线、强度包线等均由计算机系统并绘制打印。

附 录 A
(提示的附录)

三轴固结试验记录表

工程名称:

记录者:

岩土名称:

计算者:

试验编号:

试验日期: 年 月 日

校核者:

固 结 压 力: $\sigma_3 =$	10 ⁵ Pa,	试样重量: $G_w =$	kg
真空后试样高度: $H_1 =$	mm,	$H_2 =$	cm, $H_3 =$ cm
周长: $L_1 =$	mm,	$L_2 =$	cm, $L_3 =$ cm
体积: $V_0 =$	cm ³		
固结前:轴尺读数	mm,	试样高度 $H_0 =$	cm
固结后:轴尺读数	mm,	试样高度 $H_c =$	cm

实际时间	相对时间 (min)	量水管读数		排水量 (cc)	体应变 (%)	孔隙压力 (10 ⁵ Pa)	备 注
		上(cc)	下(cc)				
	0						
	1						
	4						
	9						
	16						
	25						
	36						
	49						
	64						
	81						
	100						
	121						
	144						
	169						
	196						
	225						
	256						

固结后试样体积: $V_c =$ cm³

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
(提示的附录)

三轴 CU 法试验记录表

工程名称: 固结后试样高度 $H_c =$ cm 记录者:
 岩土名称: 固结后试样体积 $V_c =$ cm³ 计算者:
 试验编号: 周围压力 $\sigma_3 =$ 10⁵ Pa 试验日期: 年 月 日

相对 时间 (min)	轴向变形 Δh_i (mm)	轴向应变 ϵ_1 (%)	孔隙压力 u (10 ⁵ Pa)	径向应变 ϵ_3 (%)	钢环量表 读数 R (0.01mm)	主应力差 $\sigma_1 - \sigma_2$ (10 ⁵ Pa)	有效主应 力 σ'_1 (10 ⁵ Pa)	有效主 应力比 σ'_1 / σ'_3		备 注
0										
1										
2										
3										
4										
5										
6										
7										
8										
9										
10										
11										
12										
13										
14										
15										
16										
17										
18										
19										
20										
21										
22										
23										
24										
25										
26										
27										
28										
29										
30										

附 录 C
(提示的附录)

三轴 CD 法试验记录表

工程名称:	固结后试样高度 $H_c =$	cm	记录者:
岩土名称:	固结后试样体积 $V_c =$	cm^3	计算者:
试验编号:	周围压力 $\sigma_3 =$	10^5 Pa	试验日期: 年 月 日

相对 时间 (min)	轴向变形 Δh_i (mm)	轴向应变 ϵ_1 (%)	试样体变 Δ_v		体积应变 ϵ_v (%)	径向应变 ϵ_3 (%)	钢环量表 读数 R (0.01mm)	主应力差 $\sigma_1 - \sigma_2$ (10^5 Pa)			备注
			上(cc)	下(cc)							
0											
1											
2											
3											
4											
5											
6											
7											
8											
9											
10											
11											
12											
13											
14											
15											
16											
17											
18											
19											
20											
21											
22											
23											
24											
25											
26											
27											
28											
29											
30											

