

中华人民共和国地质矿产行业标准

DZ/T 0276.20—2015
代替 DY-94

岩石物理力学性质试验规程 第 20 部分：岩石三轴压缩强度试验

**Regulation for testing the physical and mechanical properties of rock—
Part 20: Test for determining the strength of rock in triaxial compression**

2015-02-04 发布

2015-04-01 实施



中华人民共和国国土资源部 发布

前 言

DZ/T 0276《岩石物理力学性质试验规程》分为 31 个部分：

- 第 1 部分：总则及一般规定；
- 第 2 部分：岩石含水率试验；
- 第 3 部分：岩石颗粒密度试验；
- 第 4 部分：岩石密度试验；
- 第 5 部分：岩石吸水性试验；
- 第 6 部分：岩石硬度试验；
- 第 7 部分：岩石光泽度试验；
- 第 8 部分：岩石抗冻试验；
- 第 9 部分：岩石耐崩解试验；
- 第 10 部分：岩石膨胀性试验；
- 第 11 部分：岩石溶蚀试验；
- 第 12 部分：岩石耐酸度和耐碱度试验；
- 第 13 部分：岩石比热试验；
- 第 14 部分：岩石热导率试验；
- 第 15 部分：岩石击穿电压和击穿强度试验；
- 第 16 部分：岩石体积电阻率和表面电阻率试验；
- 第 17 部分：岩石放射性比活度试验；
- 第 18 部分：岩石单轴抗压强度试验；
- 第 19 部分：岩石单轴压缩变形试验；
- 第 20 部分：岩石三轴压缩强度试验；
- 第 21 部分：岩石抗拉强度试验；
- 第 22 部分：岩石抗折强度试验；
- 第 23 部分：岩石点荷载强度试验；
- 第 24 部分：岩石声波速度测试；
- 第 25 部分：岩石抗剪强度试验；
- 第 26 部分：岩体变形试验(承压板法)；
- 第 27 部分：岩体变形试验(钻孔变形法)；
- 第 28 部分：岩体强度试验(直剪试验)；
- 第 29 部分：岩体强度试验(承压板法)；
- 第 30 部分：岩体锚杆载荷试验；
- 第 31 部分：岩体声波速度测试。

本部分为 DZ/T 0276 的第 20 部分。

本部分按照 GB/T 1.1—2009 给出的规则起草。

本部分代替 DY-94《岩石物理力学性质试验规程 23. 三轴强度及变形试验》。本部分与 DY-94 相比,主要技术变化如下:

- 增加了“规范性引用文件”“术语和定义”“原理”三章；
- 增加了 $(\sigma_1 - \sigma_3)$ -应变关系曲线的绘制样图及变形模量和泊松比的计算方法参考依据；

- 增加了莫尔圆及其包络线的绘制规定；
- 删除了测微表测定变形的轴向应变计算方法及相应设备仪器；
- 修改了制作标准试样的尺寸要求；
- 修改了强度包络线的绘制规定；
- 修改了岩石三轴强度试验记录表及岩石三轴变形试验记录表。

本部分由中华人民共和国国土资源部提出。

本部分由全国国土资源标准化技术委员会(SAC/TC 93)归口。

本部分由湖北省地质实验研究所负责起草,广东省地质实验测试中心参加起草。

本标准起草人:赵桂芳、王成桥、王玉玲。

本部分所代替标准的历次版本发布情况为:

- DY-86;
- DY-94。

岩石物理力学性质试验规程

第 20 部分:岩石三轴压缩强度试验

1 范围

DZ/T 0276 的本部分规定了测定岩石三轴压缩强度、内摩擦角 φ 及凝聚力 C 的试验方法。
本部分适用于岩石物理力学性质试验中的岩石三轴压缩强度试验。

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。

DZ/T 0276.18 岩石物理力学性质试验规程 第 18 部分:岩石单轴抗压强度试验

DZ/T 0276.19 岩石物理力学性质试验规程 第 19 部分:岩石单轴压缩变形试验

3 术语和定义

下列术语和定义适用于本文件。

3.1

三轴强度试验 triaxial compressive test

岩石试样在三向加压状态下直至破坏的过程。

3.2

三轴压缩强度 triaxial compressive strength

岩石试样在三向加压状态下,达到破坏时所能承受的最大压应力。

3.3

内摩擦角 internal friction angle

内摩擦角包含两个部分:岩石颗粒的表面摩擦力以及颗粒间的嵌入和联锁作用产生的咬合力,根据莫尔-库伦强度理论,内摩擦角在数值上等于强度包络线与水平方向的夹角。

3.4

凝聚力 cohesion

凝聚力又叫内聚力,是在同种物质内部相邻各部分之间的相互吸引力,是同种物质分子之间存在分子力的表现。根据莫尔-库伦强度理论,数值上等于强度包络线在纵向坐标轴上的截距。

4 原理

岩石三轴压缩强度试验是在三向压力状态下测定岩石试样的强度和变形,根据莫尔-库伦强度理论,绘制岩石试样压缩强度包络线,得出岩石抗剪强度参数内摩擦角 φ 和凝聚力 C 。

5 仪器设备

5.1 钻石机、切石机、磨石机。

5.2 水平检测台。

5.3 万能角度尺。

5.4 游标卡尺:精度 0.02 mm。

5.5 干燥箱、干燥器、水槽、真空泵。

5.6 岩石三轴试验机(压力室应有保持侧压稳定的稳压装置),压力室内上、下承压板硬度应不低于 HRC58,不平行度应小于 0.02 mm,两承压板之一应带有球形座。

5.7 电液伺服三轴试验机,精度不低于一级,并能够以 0.5 MPa/s~1.0 MPa/s 的速率加载。

6 试样

6.1 每种受力方向和含水状态试样不少于 5 块。

6.2 本规程采用侧向等压($\sigma_1 > \sigma_2 = \sigma_3$)三轴试验。

6.3 试样规格、制备精度等要求应符合 DZ/T 0276.18 中的规定。

7 试验步骤

7.1 试验准备

7.1.1 试验前应对试样进行描述,主要包括以下内容:

- a) 岩石名称、颜色、主要矿物成分,颗粒大小及结构构造特征。
- b) 受力方向与层理、片理、节理、裂隙方向的关系。
- c) 试样的缺陷。

7.1.2 对不同含水状态的试样进行处理,处理方法应符合 DZ/T 0276.18 的相关要求。

7.2 试样安装

7.2.1 将试样对准上、下承压板,用耐油橡胶或乳胶质保护套(或能有效防止油液浸入的其他材料的柔性保护套)将试样和压板套住。保护套应有足够的长度,能延长到压板,既不要套得太紧,又要能防止油液渗入试样。然后装上密封圈,使试样封闭,放入三轴压力室内。调整试样、承压板与球座的位置,使三者轴心保持在同一条直线上。

7.2.2 连通油压管路,向压力室注油;同时,打开压力室排气阀,排除压力室空气,直至油液达到预定的位置为止。关闭气阀,封闭压力室。

7.3 侧压力的选择

如本组试件已做过单轴抗压强度试验,可以此为“零”侧压试验数据。最大侧压力可根据工程需要和岩石特性及试验机稳定性能选定,侧压力等级可按照等差或等比级数进行选择。

7.4 轴向荷载量程的选择

根据已经选定的侧压力值,可按式(1)选择轴向荷载量程:

$$p_{\max} = (R + f \cdot \sigma_3) \times A \quad \dots\dots\dots (1)$$

式中:

p_{\max} ——预估轴向最大载荷,单位为牛(N);

R ——试样的单轴抗压强度,单位为兆帕(MPa);

f ——系数,其值为 4~6;

σ_3 ——侧向应力,单位为兆帕(MPa);

A ——试样横截面积,单位为平方毫米(mm²)。

7.5 加载要求

7.5.1 试验开始,以 0.05 MPa/s 左右的加荷速率施加侧压力和轴向应力。加至预定侧压力值时,变化范围不得超过预定值的 2%。以 0.5 MPa/s~1.0 MPa/s 的加荷速率施加轴向荷载至试样破坏。记录试样破坏时的最大轴向荷载及相应的侧压力值。

7.5.2 在施加轴向荷载的过程中,记录各级应力下的纵向和横向应变(采用电阻应变仪时),或纵向变形值(采用测微表时)。在没有 $x-y$ 函数记录仪连续记录的情况下,为了绘制应力-应变曲线,在等间隔荷载下记录的应变或变形测点应不少于 10 个荷级。

7.6 试样处理

试验结束后,取出试样进行描述,量出其最大主应力作用面和破坏面之间的夹角。

7.7 数据记录

7.7.1 试验过程记录内容和格式见表 A.1。

7.7.2 摩尔圆的绘制方法参见图 B.1。

8 试验结果整理

8.1 摩擦角 φ 和凝聚力 C 值的计算

8.1.1 不同侧向压力下的轴向应力按式(2)计算:

$$\sigma_1 = \frac{p}{A} \quad \dots\dots\dots (2)$$

式中:

σ_1 ——不同侧压力下的轴向应力值,单位为兆帕(MPa);

p ——破坏时的最大轴向荷载,单位为牛(N);

A ——试样的原始横截面积,单位为平方毫米(mm²)。

8.1.2 以轴向应力 σ_1 作纵坐标,侧向应力 σ_3 作横坐标,根据各试样的 σ_1 、 σ_3 值,绘制坐标点并拟合直线(图 1),使其满足下列线性方程。

$$\sigma_1 = m \cdot \sigma_3 + b \quad \dots\dots\dots (3)$$

式中:

m —— σ_1 - σ_3 关系曲线的斜率;

b —— σ_1 - σ_3 关系曲线在 σ_1 轴上的截距,数值等同于试验的单轴抗压强度,单位为兆帕(MPa)。

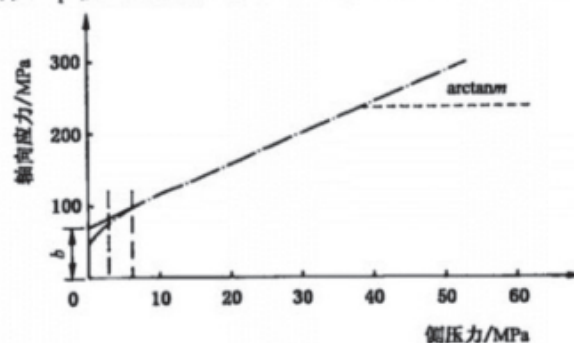


图 1 强度包络线

8.1.3 拟合直线的斜率 m 按式(4)计算,拟合直线在 y 轴上的截距 b 按式(5)计算:

$$m = \frac{\sum \sigma_3 \sum \sigma_1 - n \sum \sigma_1 \sigma_3}{(\sum \sigma_3)^2 - n \sum \sigma_3^2} \quad \dots\dots\dots (4)$$

$$b = \frac{\sum \sigma_3 \sigma_1 \sum \sigma_3 - \sum \sigma_1 \sum \sigma_3^2}{(\sum \sigma_3)^2 - n \sum \sigma_3^2} \quad \dots\dots\dots (5)$$

式中:

n ——该直线段内的点数;

σ_1 ——该直线段各个点相对应的轴向应力值,单位为兆帕(MPa);

σ_3 ——该直线段各个点相对应的侧向应力值,单位为兆帕(MPa)。

8.1.4 内摩擦角 φ 按式(6)计算,凝聚力 C 值按式(7)计算:

$$\varphi = \arcsin \frac{m-1}{m+1} \quad \dots\dots\dots (6)$$

式中:

φ ——内摩擦角,单位为度($^{\circ}$);

m ——强度包络线直线段斜率。

$$C = \frac{b \cdot (1 - \sin \varphi)}{2 \cos \varphi} \quad \dots\dots\dots (7)$$

式中:

C ——凝聚力,单位为兆帕(MPa);

b ——强度包络线直线段在 y 轴上的截距,单位为毫米(mm);

φ ——内摩擦角,单位为度($^{\circ}$)。

8.1.5 成果报告应标明 C 、 φ 值适用的侧向应力范围。

8.2 弹性模量和泊松比的计算

8.2.1 绘制应力($\sigma_1 - \sigma_3$)-应变关系曲线,如图2所示。

8.2.2 三轴应力状态下试件的弹性模量按式(8)或式(9)计算,泊松比按式(10)计算:

$$E = \frac{(\Delta \sigma_1 + 2 \Delta \sigma_3) \cdot (\Delta \sigma_1 - \Delta \sigma_3)}{\Delta \sigma_3 (\Delta \varepsilon_1 - 2 \Delta \varepsilon_3) + \Delta \sigma_1 \Delta \varepsilon_1} \quad \dots\dots\dots (8)$$

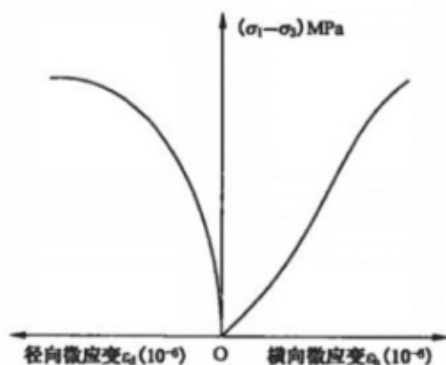


图2 三轴抗压强度应力-应变关系曲线

$$E = \frac{\Delta\sigma_1 - 2\mu\Delta\sigma_3}{\Delta\varepsilon_1} \dots\dots\dots(9)$$

$$\mu = \frac{3\Delta\varepsilon_1 - \Delta\sigma_1\Delta\varepsilon_3}{(\Delta\sigma_1 + \Delta\sigma_3)\Delta\varepsilon_1 - 2\Delta\sigma_3\Delta\varepsilon_3} \dots\dots\dots(10)$$

式中:

E ——三轴应力状态下试件的弹性模量,单位为兆帕(MPa);

μ ——泊松比;

$\Delta\sigma_1$ ——轴向应力增量,单位为兆帕(MPa);

$\Delta\sigma_3$ ——侧向应力增量,单位为兆帕(MPa);

$\Delta\varepsilon_1$ ——轴向应变增量;

$\Delta\varepsilon_3$ ——侧向应变增。

8.2.3 应力($\sigma_1-\sigma_3$)-应变关系曲线,可按 DZ/T 0276.19 的要求执行。

附录 A
(规范性附录)
岩石三轴压缩强度试验记录

表 A.1 岩石三轴压缩强度试验记录表

试样 编号	受力 方向	试验 状态	试样尺寸/mm		横截面积 A/mm^2	侧向应力 σ_2/MPa	最大破坏荷载 p/N	轴向应力 σ_1/MPa	描述
			直径	高度					

试验:

计算:

校核:

年 月

附 录 B
(资料性附录)
莫尔圆及其包络线的绘制

取纵、横坐标比例相同的坐标纸,采用以压应力为正的直角坐标系,按不同的侧压力 σ_3 及相应的纵向抗压强度 σ_1 绘出莫尔圆组。绘制莫尔圆时,可先根据实际情况在所研究的范围内选定 3~5 个 σ_3 值,然后运用该组 σ_1 所通过的直线方程 $\sigma_1 = b + m\sigma_3$ 求出相对应的 σ_1 ,以 $[(\sigma_1 + \sigma_3)/2, 0]$ 为圆心, $(\sigma_1 - \sigma_3)/2$ 为半径,绘出一组莫尔圆及其包络线,此包络线即为该组岩石的强度曲线,如图 B.1 所示。包络线在纵轴上的截距为内聚力 C ,与横轴的夹角为内摩擦角 φ 。

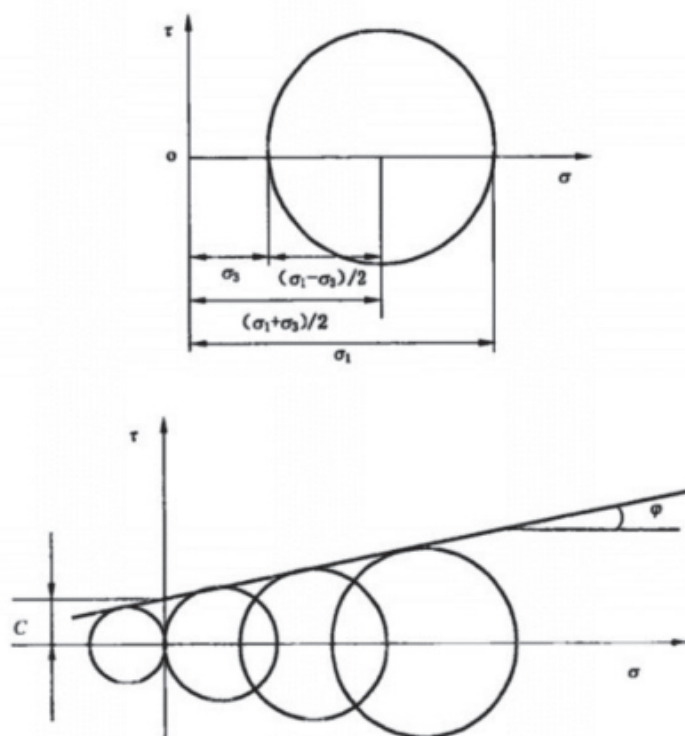


图 B.1 莫尔圆及其包络线

中华人民共和国地质矿产
行 业 标 准
岩石物理力学性质试验规程
第 20 部分:岩石三轴压缩强度试验
DZ/T 0276.20—2015

•