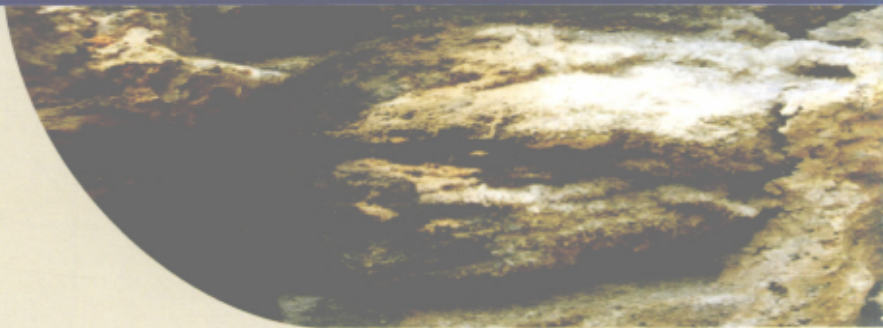


成都理工大学实验教学系列教材

工程地质勘察 试验教程

主编 苏道刚

GONGCHENG DIZHI KANCHA
SHIYAN JIAOCHENG



西南交通大学出版社
[Http://press.swjtu.edu.cn](http://press.swjtu.edu.cn)

责任编辑 / 张 波

特邀编辑 / 夏 蕾

封面设计 / Design  本格设计

工程地质勘察 试验教程

ISBN 978-7-5643-0075-3



9 787564 300753 >

定价:9.80 元

成都理工大学实验教学系列教材

工程地质勘察试验教程

主 编 苏道刚

西南交通大学出版社

· 成 都 ·

.....

图书在版编目(CIP)数据

工程地质勘察试验教程 / 苏道刚主编. — 成都: 西南交通大学出版社, 2008.9

(成都理工大学实验教学系列教材)

ISBN 978-7-5643-0075-3

I. 工… II. 苏… III. 工程地质—地质勘探—实验—高等学校—教材 IV. P642-33

中国版本图书馆 CIP 数据核字 (2008) 第 137419 号

.....

成都理工大学实验教学系列教材

工程地质勘察试验教程

主编 苏道刚

责任编辑	张 波
特邀编辑	夏 蕾
封面设计	本格设计
出版发行	西南交通大学出版社 (成都二环路北一段 111 号)
发行部电话	028-87600564 028-87600533
邮 编	610031
网 址	http://press.swjtu.edu.cn
印 刷	四川森林印务有限责任公司
成品尺寸	185 mm × 260 mm
印 张	5.375
字 数	134 千字
印 数	1—3 000 册
版 次	2008 年 9 月第 1 版
印 次	2008 年 9 月第 1 次印刷
书 号	ISBN 978-7-5643-0075-3
定 价	9.80 元

图书如有印装质量问题 本社负责退换
版权所有 盗版必究 举报电话: 028-87600562

前言

《工程地质勘察试验教程》是勘查技术与工程专业、土木工程专业的本科生与研究生必修课程的教材，也适于这些专业的技术人员使用。它能加深学生对这门课程理论的理解，掌握这门课程的基本技能和各类方法，并善于运用教材中的测试方法解决实际问题，培养学生的观察能力、分析和思考能力、科研动手能力。

工程地质勘察试验是定量地测定岩石、土与工程活动有关的各种性能；它是以工程地质和土木工程理论为指导，用于解决工程实际问题的重要技术手段。随着建设规模不断扩大，工程类型日益增多，工程地质勘察试验也越来越多，对加强工程地质勘察试验手段的优化程度，提高勘察资料的可靠程度的要求也越来越高。

本教材的编写本着上述内容的宗旨，以现场试验必不可少的设备及与之相关的试验方法为纲，特别编入了不少新的试验设备的试验项目，并在1988年本院教材的基础上加入了国内教材中新的试验项目（如：便携式岩土力学性质多功能试验仪、便携式剪切仪、点荷载仪、碎石土现场大剪仪、碎石土室内大剪仪等试验项目），此为本教材一大特点。

文中逐一阐述了每个项目的试验对象、仪器的结构与仪器工作原理、此项目试验原理、仪器操作与注意事项、记录表格、试验资料整理与计算公式、试验成果、试验成果应用等内容。由于这门课实践性与应用性很强，故教材以“仪器的结构与仪器工作原理”、“仪器操作与注意事项”、“试验成果应用”为编写重点，很方便初学者使用，这亦为本教材另一大特点。

本教材分岩石与土两类测试对象。有10类仪器测试，共22个试验项目：

1. 岩石类：点荷载仪、回弹仪、便携式剪切仪、便携式岩土力学性质多功能试验仪（包含岩石抗压、抗拉、抗剪、变形、点荷载、便携式剪切）。

2. 土类：便携式岩土力学性质多功能试验仪（包含土的直剪、碎石土中剪）、碎石土现场大剪仪、碎石土室内大剪仪（包含现场碎石土天然容重测试）、土体平板载荷试验设备、触探仪（轻型、重型、超重型、标准贯入、静力触探）、十字板剪切仪（电测式、机械开口钢环式）、土体波速测试仪（单孔法、跨孔法）。

教材中的最新仪器——便携式岩、土力学性质多功能试验仪，是一台岩石与土的综合测试仪，由编者发明研制，获得国家发明专利证书，已由四川省科技厅审查通过。本仪器能进行岩石的抗压、抗拉、抗剪、变形、点荷载、各类结构面剪切、土的直剪、碎石土室内中剪等八项试验。

本教材附有现行规范必需的地基土物理力学指标统计，即原位测试指标与土工试验指标统计，以便初学者掌握。

本教材编写中,得到了成都理工大学环境与土木工程学院和学校教务处领导的支持、关心和指导,同时得到李渝生、付小敏、郑海君、蔡国军等老师给予的很大帮助。李渝生老师还承担了本教材的审查工作,苏灵在教材整理与编排上做了不少工作。一并致谢。

本教材汇集了编者数十年实验与教学的经验,增添了不少新的与较新的试验项目。教材中有较多内容是编者的认识和提法,全书插图大部分为编者自绘,因此教材存在的问题与疏漏在所难免。本着教学改革、重于实践与应用推广的目的,恳请同行专家和使用者指出问题,共同探讨。

编者

2008年8月

目 录

试验 1	岩石点荷载仪试验.....	1
试验 2	岩石回弹仪试验.....	8
试验 3	岩石便携式剪切仪试验.....	11
试验 4	便携式岩、土力学性质多功能试验仪.....	16
4.1	岩石抗压强度试验.....	19
4.2	岩石抗拉强度试验(劈裂法试验).....	21
4.3	岩石(规则形状体)抗剪强度试验.....	22
4.4	岩石变形性试验.....	23
4.5	岩石点荷载强度试验.....	27
4.6	岩石结构面与软岩(不规则形状体)剪切试验.....	27
4.7	土的直剪试验.....	28
4.8	碎石土中剪试验.....	30
试验 5	碎石土现场大剪仪测试.....	32
试验 6	碎石土室内大剪仪试验.....	35
试验 7	土体浅层平板载荷仪试验.....	39
试验 8	触探仪试验.....	44
8.1	轻型动力触探.....	45
8.2	重型动力触探.....	48
8.3	超重型动力触探.....	53
8.4	标准贯入.....	55
8.5	静力触探.....	58
试验 9	十字板剪切仪试验.....	64
9.1	电测式十字板剪切仪试验.....	64
9.2	机械开口钢环式十字板剪切仪试验.....	67
试验 10	土体声波探测.....	71
10.1	单孔法.....	71
10.2	跨孔法.....	75
附:	原位测试指标、土工试验指标统计.....	78
参考文献	80

试验 1 岩石点荷载仪试验

将岩石试样置于上下两个锥形加荷点之间，对试样施加集中点荷载，直至试样破坏，以这类方式所进行的试验称为点荷载仪试验。（它与测岩石抗拉强度的劈裂法线荷载、测岩石抗压强度的液压机法面荷载不同。）

1. 试验目的

岩石点荷载仪试验测定各类岩石点荷载强度 PLS 及点荷载强度指数 I_s 。通过 PLS 或 I_s ，达到以下目的：

- (1) 进行岩石质量评判；
- (2) 换算岩石的单轴抗压强度指标 σ_c 、岩石的抗拉强度指标 σ_t 。

2. 试验设备

XD-2 型点荷载仪（见图 1-1）由三个部分组成。

(1) 加载框架。由横梁、底座和两个立柱组成。横梁可沿立柱上下滑动，应用销钉将横梁固定在立柱上。

(2) 加压系统。由手摇卧式油泵、油压千斤顶（6t）和油路管道组成。

(3) 测压装置。配备高、低量程压力表各一支，分别测较硬和较软的岩石。低量程压力表还可依据岩性更换量程范围，此表油路前有保护开关。

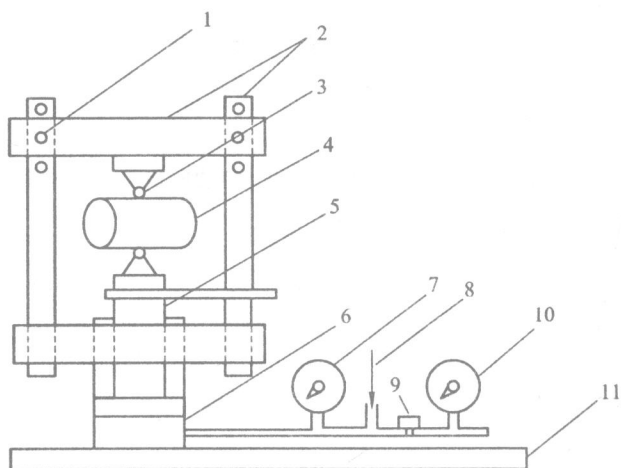


图 1-1 携带式点荷载仪结构图

1—销钉；2—加荷框架；3—锥形加荷点；4—试样；5—千斤顶活塞；6—千斤顶油缸；7—高量程压力表；8—油泵的高压油进口；9—低量程压力表保护开关；10—低量程压力表；11—底板

3. 试验原理

(1) 根据点荷载试样的应力状态和破坏机制的研究, 可确认试样的破坏性质属于拉裂, 这是由加荷轴上的切向拉应力引起的。通过定量计算点荷载作用下试样加荷轴上任意点的应力分量 (见图 1-2), 得出试样破坏时的荷载 (P) 与试样抗拉强度 (σ_t) 之间的数学关系式 (见式 1-1、式 1-2), 为本试验提供了计算的理论依据。

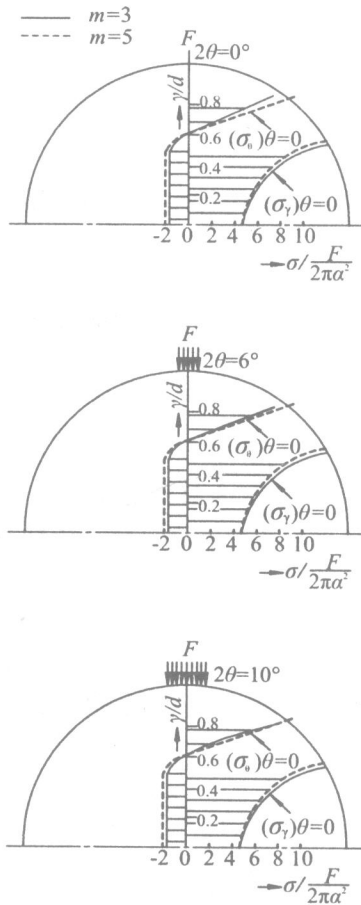


图 1-2 试样加荷轴上径向应力 (σ_r) 和切向应力 (σ_θ) 分布图

$$\sigma_t = KI_s \tag{1-1}$$

$$I_s = \frac{P}{D^2} \tag{1-2}$$

式中 K ——形状系数;

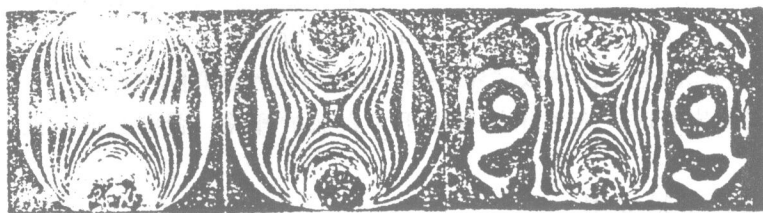
I_s ——点荷载强度指数;

P ——试样破坏荷载;

D ——两加荷点之间距离。

(2) 三维光弹试验证明, 不同形状体试样在点荷载作用下, 在加荷轴附近的应力状态基本相同 (见图 1-3)。这就为本试验采用不规则几何形状体试样的可能性提供了重要依据。再

经过大量试验对比，进而提出试样尺寸和形状的修正系数。



(a) 球体的 (b) 立方体的 (c) 矩形柱体的

图 1-3 点荷载作用下不同形状体试样三维光弹试验应力状态迹线图

由以上介绍可知，由于试样以拉裂形式破坏只需较小荷载，所以它使用的油压千斤顶储力不大；当采用不规则体的试样时，勿需试验室的钻、切、磨等加工设备。故而为点荷载仪进行现场试验开辟了广泛前景。它还解决了过去试验中软弱岩石、强风化岩石、遇水易于崩解的岩石、冰碛砾石等试样不易制备的难题。

4. 试验步骤

1) 试样试验尺寸要求。

(1) 试样主要为不规则块体、方块体、沿直径方向加荷的岩心、沿轴向方向加荷（加荷方向与钻进方向一致）的岩心，这些试样皆要求两加荷点之间的距离（ D ）尽量控制在 5 cm，偏差不超过 0.5 cm；而试样另两个方向尺寸应等于或大于 D 。

(2) 对不规则试件，各边应平整，可用手提电锯或用榔头处理。

(3) 试样每组 15 块。

2) 试验。

(1) 仪器使用前应调整安置在加荷框架上的加荷点后部螺杆，使它与安置在千斤顶上的加荷点对齐；将活塞压出约 2 cm，记下压力表初值 I_{p0} （此值是由千斤顶内弹簧拉力、活塞与缸壁摩擦力等因素所决定）。

(2) 将试件放入点荷载仪中，让加荷器锥头与试件的最短边方向（ D 尺寸方向）紧密接触，加荷点与试样边缘的最小距离应大于 1/2 两加荷点之间的距离。

(3) 连续匀速加荷，直至试件破坏，抢读压力表最大读数 I_p 。

(4) 量测破坏面上两加荷点之间距离 D ，量测垂直于两加荷点连线的平均宽度 L_f 或垂直于两加荷点连线的最小宽度 L_w [见图 1-4 (a)]。

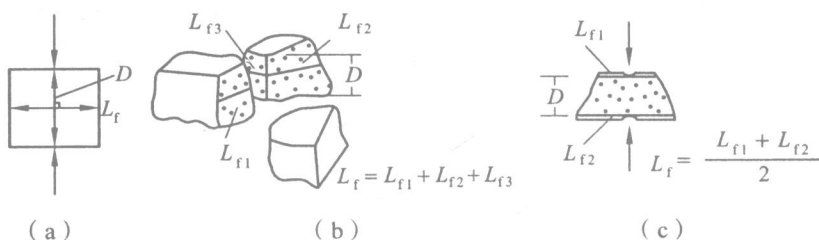


图 1-4 破坏面数据量测

3) 注意事项。

(1) 破坏面未经过两加荷点或破坏面为裂隙面的试样应舍去。破坏面不平整或破坏成 3 块的试样应尽量舍去；若需保留，参见图 1-4 (b)，为被破坏成 3 块的试样 L_f 的量测。

(2) 若试样强度低， D 的量测应以试样劈裂前加荷点压入试样的凹陷底部为准[见图 1-4(c)]。

(3) 测试高强度岩石时，应关闭低量程压力表保护开关，否则会损坏低量程压力表。

5. 数据处理与试验成果

1) 按水利水电工程试验规程 (SL 264—2001)，计算点荷载强度指数公式：

$$I_s = \frac{P}{D_c^2} \quad (1-3)$$

$$P = (I_p - I_{p0})C_p \quad (1-4)$$

式中 I_s —— 点荷载强度指数，未修正 (MPa 或 MN/m²)；

P —— 试样破坏时荷载 (MN)；

I_p —— 压力表最大读数 (MPa)；

I_{p0} —— 压力表初值 (MPa)；

C_p —— 千斤顶活塞面积 (cm²)；

D_c —— 等价岩心直径 (cm)。

(1) 关于 D_c 的取值。

① 对于径向试验岩心：

$$D_c = D$$

式中 D —— 两锥形加荷点之间的距离 (cm)。

② 对于 $\begin{cases} \text{轴向岩心试验} \\ \text{方块体试验} \\ \text{不规则块体试验} \end{cases}$

$$D_c = \sqrt{4 \times \frac{A}{\pi}} \quad (1-5)$$

$$A = DL_w \quad (1-6)$$

式中 D —— 作用在试件上两锥形加荷点之间的距离 (cm)；

L_w —— 垂直于两加荷点连线的最小宽度 (cm)。

(2) 若两锥形加荷点之间的距离不等于 50 mm，为了取得统一的岩石点荷载强度指数，需要进行尺寸修正，修正到 $D_c = 50$ mm 时的 $I_{s(50)}$ 。

① 若试样较少，修正公式：

$$I_{s(50)} = FI_s \quad (1-7)$$

$$F = \left(\frac{D_c}{50} \right)^m \quad (1-8)$$

式中 $I_{s(50)}$ —— 尺寸修正到 $D_e = 50 \text{ mm}$ 时的岩石点荷载强度指数 (MPa);

F —— 尺寸修正系数, 若 D_e 值试验数据大于 6 个, 用统计方法确定 D_e 的标准值;

m —— 修正系数, 取 0.4~0.45。

② 若试样多, 绘制 D_e^2 与 P 的关系曲线, 在曲线上找出 $D_e^2 = 2500 (\text{mm}^2)$ 所对应的 $P_{50} (\text{N})$, 计算修正到 $D_e = 50 (\text{mm})$ 时的 $I_{s(50)}$ 值。

$$I_{s(50)} = \frac{P_{50}}{2500} \quad (1-9)$$

2) 按成都理工大学点荷载试验小组的方法, 点荷载强度的计算公式:

$$PLS = \frac{P}{A_f} = \frac{P}{DL_f} \quad (1-10)$$

$$P = (I_p - I_{p0})C_p \quad (1-11)$$

式中 PLS —— 点荷载强度, 为试样单位破坏面积上所能承受的最大荷载 (MPa);

P —— 试样破坏时荷载 (MN);

I_p —— 试样破坏时压力表最大读数 (MPa);

I_{p0} —— 压力表初值 (MPa);

C_p —— 千斤顶活塞面积 (cm^2);

A_f —— 试样破坏面积 (cm^2);

D —— 加荷点之间的距离 (cm);

L_f —— 破坏面上垂直于加荷轴的平均宽度 (cm)。

此公式要求 D 为 $(5 \pm 0.5) \text{ cm}$ 。

3) 对于径向试验岩心, 可按 1985 年 ISRM 试验小组建议。

$$I_s = \frac{P}{D_e^2} \quad (1-12)$$

$$P = (I_p - I_{p0})C_p \quad (1-13)$$

式中 I_s —— 点荷载强度指数, 未修正 (MPa 或 MN/m^2);

P —— 试样破坏时荷载 (MN);

I_p —— 压力表最大读数 (MPa);

I_{p0} —— 压力表初值 (MPa);

C_p —— 千斤顶活塞面积 (cm^2);

D_e —— 岩心直径 (cm)。

当两锥形加荷点之间的距离 D 不等于 50 mm 时, 需要进行尺寸修正。编者建议采用布劳奇和富兰克林的尺寸修正曲线图, 修正到 $D_e = 50 \text{ mm}$ 时的 $I_{s(50)}$ (见图 1-5)。

4) 平均值计算。

无论是 $I_{s(50)}$, 还是 PLS 的平均值, 都应是从 15 块样中删去 2 个最大值和 2 个最小值后的算术平均值 ($\overline{I_{s(50)}}$, \overline{PLS})。

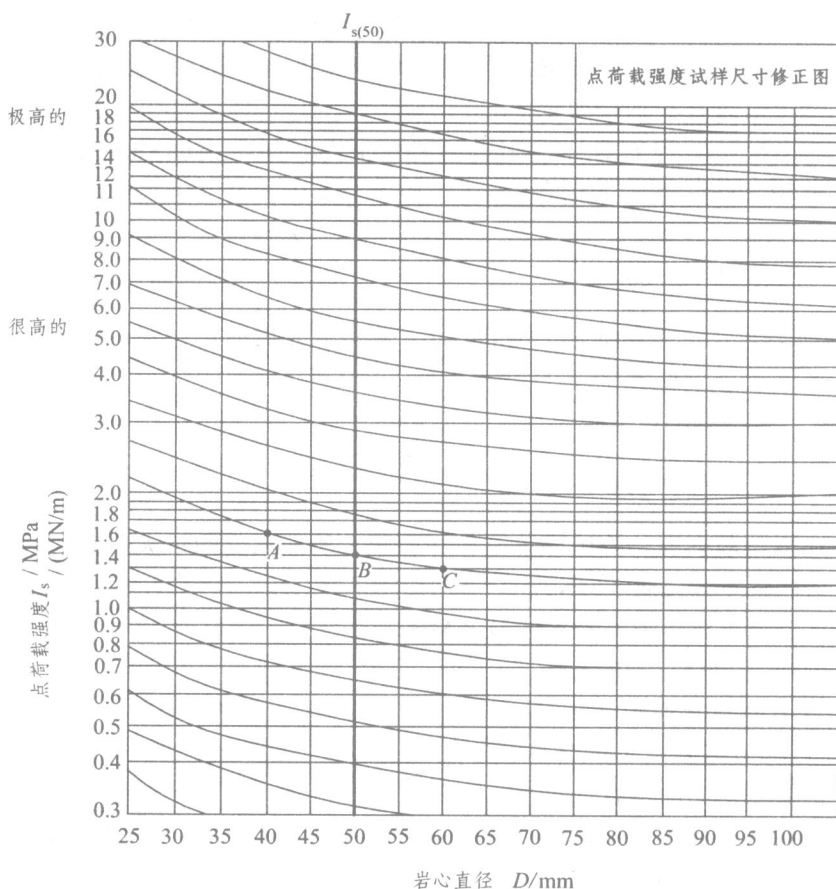


图 1-5 布劳奇和富兰克林提出的尺寸修正曲线图

6. 试验成果应用

(1) 成都理工大学点荷载试验小组通过大量对比试验研究与多元逐步回归分析获得：岩石的抗拉强度 σ_t ，

$$\sigma_t = 1.92 \times \overline{PLS} \quad (1-14)$$

岩石的单轴干抗压强度 σ_c ，

$$\sigma_c = 17.86 \times \overline{PLS} \quad (1-15)$$

(2) 根据 1985 年 ISRM 试验小组的试验研究和分析获得：岩石的抗拉强度 σ_t ，

$$\sigma_t = 2.15 \times \overline{I_{s(50)}} \quad (1-16)$$

岩石的单轴干抗压强度 σ_c ，

$$\sigma_c = 22 \times \overline{I_{s(50)}} \quad (1-17)$$



7. 试验报告要求

岩石点荷载仪试验报告

- 一、试验目的
- 二、试验原理
- 三、仪器设备
- 四、试验记录与试验成果应用（见表 1-1）

表 1-1 点荷载仪试验记录表

工程名称 _____ 取样地点 _____ 地层岩性 _____ 活塞面积 $C_p = 15.7 \text{ cm}^2$

试样编号																			
加荷方向																			
压力表读数	I_p	MPa																	
加荷点之间距离	D	m(cm)																	
破坏面上垂直加荷轴平均宽度	L_f	m(cm)																	
点荷载强度	PLS	MPa																	
岩心直径	D_c	m(cm)																	
点荷载强度指数	I_s	MPa																	
修正的 I_s	$I_{s(50)}$	MPa																	
单轴抗压强度	σ_c	MPa																	
抗拉强度	σ_t	MPa																	
备注																			

试验单位：

试验人：

时间：

试验 2 岩石回弹仪试验

回弹仪是现场测定岩石、混凝土的回弹值的一种仪器。它便于携带（仅 1 kg 重），操作方便，测试迅速。

1. 试验目的

测试回弹值 R 。通过 R ，进行岩石质量评判，换算岩石的抗压强度指标 σ_c 。

2. 试验设备

HT225 型回弹仪（天津建筑仪器厂），它的结构见图 2-1。

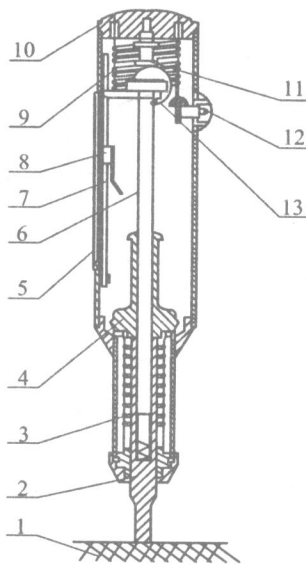


图 2-1 HT225 型回弹仪结构图

1—测试面；2—弹击杆；3—弹击簧；4—回弹锤；5—刻度尺；6—中心导杆；
7—弹簧片；8—指针小滑块；9—压力弹簧；10—尾盖；11—尾盖压钉；12—按钮；13—挂钩

3. 仪器工作原理

向下压回弹仪的尾盖，直到中心导杆上部的挂钩顶端与尾盖压钉相接触，这时挂钩的翘板作用使挂钩另一端（底端）与回弹锤脱开，回弹锤沿中心导杆飞速地向弹击杆冲击，并立即又回弹，锤回弹时牵动弹簧片，带动指针小滑块向回退。小滑块回退到的某个位置，便是回弹值 R （无单位），在刻度尺上可读出。

4. 试验步骤与注意事项

- (1) 使用前先轻压尾盖，按钮弹出，驱使弹击杆伸出仪器壳体。
- (2) 将弹击杆垂直对着试面，一手握仪器壳体，一手缓慢地压尾盖，让仪器壳体向下运动，直到听到弹击声，回弹锤回弹为止，按动按钮，回弹值便保持下来；同时记录回弹仪压击方向（参见图 2-2，横轴为不同压击方向值）。
- (3) 测点岩石表面应尽量平整、干净，与试件边缘至少相距 3 cm，避开裂隙。
- (4) 每一组必须选 15~20 个测点，每一个测点只能测一次，每组测点压击方向尽量一致。

5. 试验数据处理及试验成果应用

(1) 计算同一组测点回弹值 R 的算术平均值 N ，然后将 N 值与表 2-1 对照，确定允许误差值。当这组各测点 $R \pm 2.5$ ， $R \pm 3.0$ ，…超过表中 N 允许范围 15~25，25~35，…时，此回弹值应舍去，余下的各点再计算修正算术平均值 \bar{R} 。

表 2-1 回弹值修正表

每一组平均回弹值 N	$15 \leq N < 25$	$25 \leq N < 35$	$35 \leq N < 45$	$45 \leq N < 55$
允许误差值	± 2.5	± 3.0	± 3.5	± 4.0

(2) 试验发现：回弹值 R 与岩石重度 γ 的乘积，与岩石单轴抗压强度 σ_c 呈线性关系（见图 2-2）。只要测得 R 值并测少量岩石的重度（现场可用体积法或腊封法测重度），查图 2-2

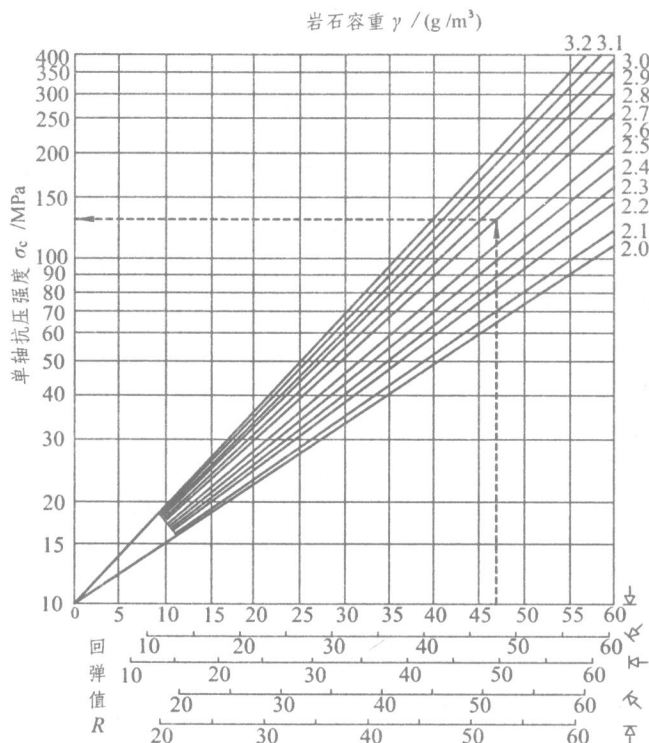


图 2-2 通过回弹值 R 和干容重 γ 确定单轴抗压强度 σ_c

就可获得岩石单轴抗压强度。对于回弹仪不同的压击方向，应考虑重力作用对回弹锤回弹的影响，查图 2-2 下方，不同压击方向的 R 值。如图 2-2 中， $\bar{R} = 48$ ， $\gamma = 27 \text{ kN/m}^3$ ，查出 $\sigma_c = 127 \text{ MPa}$ 。

6. 试验报告要求

岩石回弹仪试验报告

- 一、试验目的
- 二、试验原理
- 三、仪器设备
- 四、试验记录与试验成果应用（见表 2-2）

表 2-2 回弹仪试验表

工程名称 _____ 取样地点 _____ 地层岩性 _____
 岩石重度 γ _____ kN/m^3 压击方向 _____

测点编号		1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	
回弹值	R																					
实测算术平均值	N																					
修正算术平均值	\bar{R}																					
单轴抗压强度 (MPa)	σ_c																					

试验单位： _____ 试验人： _____ 时间： _____