

58.5412  
02408  
11588

中国地质科学院地质力学研究所

# 地质力学论丛

第 4 号



科学出版社

12

中国地质科学院地质力学研究所

# 地质力学论丛

第 4 号

科学出版社

1977

## 内 容 简 介

本辑介绍的是近年来有关地质力学基础理论和方法研究及其在区域地质调查、煤田勘探和铁矿预测、红盆找水、地震地质等方面实际应用成果的一部分。其中对于地应力测量的研究进展和结构面性质的研究做了较系统的介绍，对棋盘格式构造力学分析和岩石蠕变特性研究做了初步介绍。另外，对矿井构造预测也做了尝试性报道。

## 地 质 力 学 论 丛

第 4 号

中国地质科学院地质力学研究所

\*

科学出版社出版

北京朝阳门内大街137号

中国科学院印刷厂印刷

新华书店北京发行所发行 各地新华书店经售

\*

1977年11月第一版 开本：787×1092 1/16

1977年11月第一次印刷 印张：12 1/4

印数：精：1—3,168 插页：精11 平9

平：1—4,040 字数：279,000

统一书号：15051·652

本社书号：949·13—14

定 价：精装本 2.40 元  
平装本 1.60 元

## 目 录

地应力测量的实验研究.....	
.....国家地震局地震地质大队 中国地质科学院地质力学研究所	( 1 )
地应力测量结果的最小二乘方整理方法.....	
.....地质力学研究所地应力组 地震地质大队钻探队	( 19 )
利用地应力测量中的钻孔和元件测定当地岩石的弹性系数.....	潘立宙 ( 33 )
显微镜下结构面鉴定 .....	<b>王嘉荫</b> ( 36 )
江西南部挤压片理的初步研究.....	孙 岩 周成奋 ( 45 )
鄂东南某铁矿含矿断裂带的初步研究.....	袁奎荣等 ( 54 )
棋盘格式构造的力学分析.....	王维襄 韩玉英 ( 64 )
祁吕贺兰山字型前弧西翼褶带及几个低级扭动构造体系.....	时洪清 ( 76 )
旋卷构造实例描述及若干问题的讨论.....	张治洮 ( 98 )
杨梅山-红坡铁矿带构造体系控矿特征及找矿方向 .....	
.....昆明工学院地质系铁矿专题组	( 112 )
.....云南冶金地质勘探公司 306 队	
恩口-斗笠山 S 型构造 .....	韩雄刚 李佐海 ( 120 )
金衢盆地几种构造类型及其含水条件.....	金鹿年执笔 ( 132 )
新丰江水库区活动构造与地震的关系.....	国家地震局广州地震大队地震综合队 ( 140 )
矿井构造预测.....	王桂樾执笔 ( 166 )
野外岩石的蠕变特性.....	金汉平 ( 181 )

# 地应力测量的实验研究

国家地震局地震地质大队  
中国地质科学院地质力学研究所

## 前 言

地壳上的构造现象是由于地应力作用的结果。因此,地应力场的测定对构造体系的分析,地壳运动方式的研究具有重要意义。对地震预报、矿山开采、水利工程、军事工程等方面也有很大的现实意义。

1962年我们即开始了此项工作。1972年以来,地质力学所与国家地震局地震地质大队协作对测量方法进行了改进,研制了新的地应力测量元件——73-1型压磁应力计及预加力系统。用这种新探头进行了一系列的室内实验和多次的野外测量。几年来,在毛主席革命路线指引下,在无产阶级专政理论学习的推动下,该项工作取得了较大的进展。实验表明,73-1型压磁应力计具有良好的线性、重复性、稳定性以及足够的灵敏度。用这种测量方法所得到的测量结果比较可靠。

## 一、地应力测量方法的描述

在需要测量岩石应力的那一点上,钻一个直径大约为36毫米的小孔。把测量元件(应力计)放入孔中适当的位置。同时给元件施加一定的预应力,并把仪器的读数记录下来。然后再钻一个与小孔同轴的大孔,称为释放槽(图1)。释放槽开完后,岩石就脱离了周围应力场的作用。于是岩心发生弹性恢复。测量元件上的负荷跟着发生变化。因而,仪器的读数也跟着变化。应力释放槽开出前后仪器的读数差值即为“记录应力值”。

在钻孔的三个不同直径方向上(通常为互成 $60^\circ$ 或 $45^\circ$ )放置三个元件,就可以得到三个读数。根据这三个读数,能够计算出测点的平面主应力的方向和大小<sup>[1]</sup>。

为了得到更加可靠的测量结果,一般是在一个测点上进行多次测量并进行统计处理,

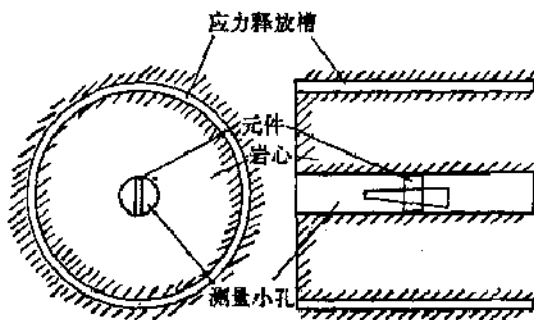


图 1

1) 潘立宙《测量地应力的钻孔变形法》地震技术资料汇编第1期第15—57页,1973年。

以便得到更加接近于该点的真实应力值<sup>[2]</sup>。

如果在三个互相正交的钻孔中或者在交角小于 $90^\circ$ 的两个钻孔中进行至少六次测量,则可以计算三维应力状态。如果在一点上进行多次这种测量,用最小二乘方法处理,同样可以获得更加可靠的三维应力资料<sup>[31]</sup>。

## 二、73-1 型压磁应力计的原理和结构

### 1. 原理

73-1 型应力计是根据压磁原理设计的。

测量元件的核心是在一个坡莫合金的轴上绕以线圈做成的(图 2)。

倘若沿着测量元件的轴向施加压力  $P$ , 那末, 心轴的导磁率就会发生变化, 线圈的电感量(或者线圈的阻抗及电压降)也随着发生变化。若把元件放入岩石试件(也称为校准棱柱)的小孔内, 对岩石试件施加已知的压力  $P$  (图 3), 就可以划出岩石中的应力与仪器读数之间的关系曲线, 我们把它称为标定(或率定)曲线(图 4)。

### 2. 结构

元件由测量部分(包括心轴, 线圈, 屏蔽套, 元件盒, 垫板等), 支撑, 楔子及上下盖板组成(图 5)。通过预加力装置可以使楔子移动, 把元件固定在测量孔内。并对元件施加适当的预应力。

元件的结构设计主要考虑使得元件与孔壁接触牢固。受力状态稳定。在解除钻进过

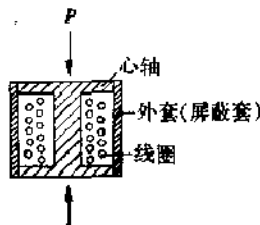


图 2

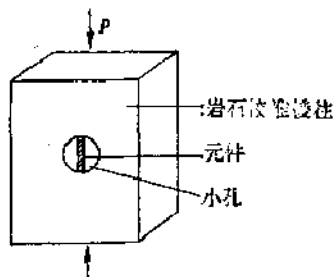


图 3

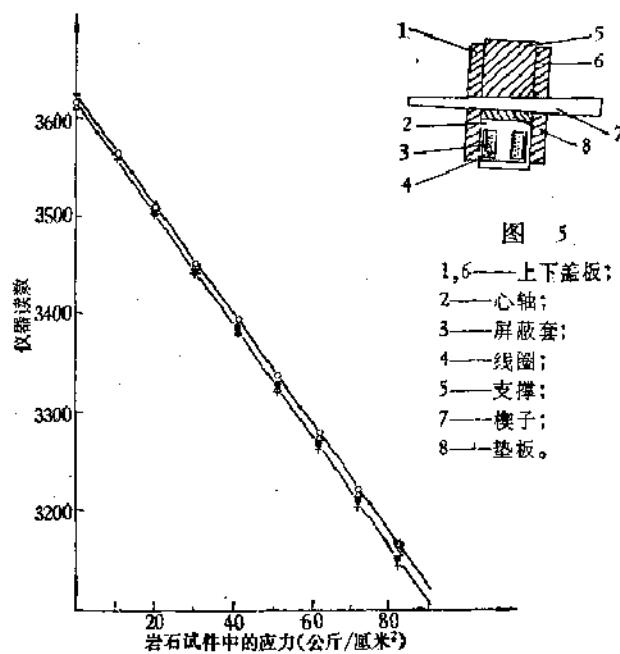


图 4 73-1 型元件率定曲线

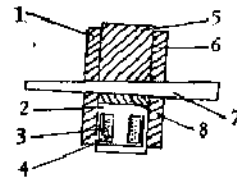


图 5

- 1, 6——上下盖板;
- 2——心轴;
- 3——屏蔽套;
- 4——线圈;
- 5——支撑;
- 7——楔子;
- 8——垫板。

1) 地质科学研究所地质力学研究所, 国家地震局地震地质大队《三维地应力测量的数值计算》, 1975 年。

程中元件与孔壁之间不能有任何轻微的相对滑动。为此,元件的结构必须紧密,各个部件之间要紧密配合并严格平行。特别是与孔壁相接触的两个表面必须严格平行。楔子的角度不宜过大。与孔壁在孔轴方向上的接触长度不宜过长。

元件的结构确定之后,元件的质量主要决定于坡莫合金材料,热处理工艺及加工精度。加工精度愈高,元件的稳定性愈好。

元件组装好后,要用聚硫胶密封。

### 三、73-1 型压磁应力计特性的实验研究

元件特性的研究对可靠地进行地应力测量具有十分重要的意义。因此,我们对元件的特性及其影响因素进行了如下的实验研究。

#### 1. 73-1 型压磁应力计的重复性、线性、灵敏度、稳定性及刚度

利用石灰岩试件(20×20×20 厘米<sup>3</sup>, 杨氏模量  $E = 8 \times 10^5$  公斤/厘米<sup>2</sup>左右)在压力机上进行标定,结果表明:73-1型元件的灵敏度为30—40 微享<sup>1)</sup>,这样的灵敏度完全满足地应力解除的要求。进行多次独立标定(即每次标定之前,都要将元件重新进行安装),可以发现在适当的预应力情况下标定曲线有较好的线性和重复性,如图4(图4中用黑点,圆圈,十字,三角形分别表示每次独立标定的结果)。所谓标定曲线的重复性是指曲线斜率的重复性。

在大块岩石中(45×48×80 厘米<sup>3</sup>)利用压力枕加压进行标定的结果,同样具有较好的线性和重复性。

元件进行老化后,其线性和重复性有所改善。因为新制做的元件各接触面之间不够吻合,经过老化锻炼之后可以达到紧密配合,并消除塑性变形的影响。

元件的长期稳定性实验是在灰岩标本中进行的。将元件安置在灰岩试件的小孔中,加以适当的预应力,然后固定不动。每隔一定的时间在压力机上标定一次。实验结果如表1。

表 1

元件号码	试件号码	曲线斜率					平均值	平均值 误差
		74年 12月20日	74年 12月30日	75年 1月6日	75年 1月18日	75年 1月29日		
25	8	—	—	2.8	2.7	2.6	2.7	3.7%
4	5	5.5	5.6	5.5	5.5	5.75	5.75	3.2%

由表1可以看出,元件标定曲线的斜率是稳定的。在大约一个半月内,斜率的变化小于3.7%。

73-1型元件具有较大的刚度。测量结果受岩石杨氏模量影响较小。

元件加工好之后,必须通过室内标定,进行筛选,以保证元件质量。

1) 即岩石中的应力变化1公斤/厘米<sup>2</sup>时,仪器读数的变化为30—40微享。

## 2. 不同载荷下退压的标定曲线

用同一标本,在元件上的预加力相同,但标本上的压力不同的情况下,进行退压标定,可以得到不同载荷下的退压标定曲线(图6)。做这种标定的目的在于了解不同载荷情况下,曲线斜率的变化情况。

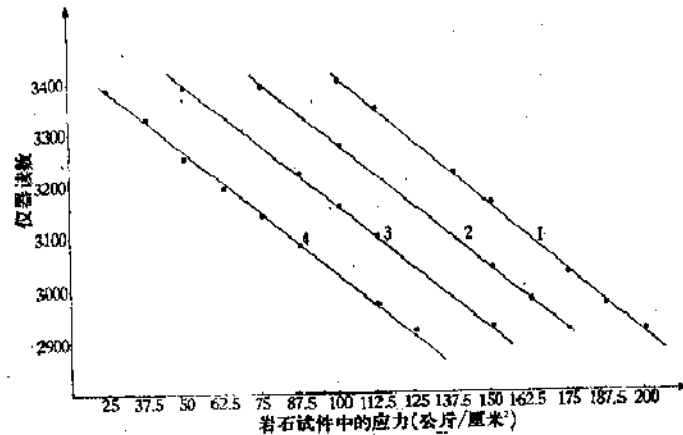


图6 不同载荷下退压标定曲线

图中曲线 ①由 200 公斤/厘米<sup>2</sup>, ②由 180 公斤/厘米<sup>2</sup>,  
③由 160 公斤/厘米<sup>2</sup>, ④由 140 公斤/厘米<sup>2</sup>,进行退压。

图6中表明岩石标本上的压力由 140 公斤/厘米<sup>2</sup>, 160 公斤/厘米<sup>2</sup>, 180 公斤/厘米<sup>2</sup>, 200 公斤/厘米<sup>2</sup> 退荷时,所做的退压曲线。由曲线可见,不同载荷下的退压标定曲线斜率没有变化。这一结果说明,无论原地应力值多大,都可以利用室内所做的标定曲线进行换算。

## 3. 标定曲线的斜率与预加应力值的关系

图7为同一试件,相同载荷,不同预加力时的元件标定曲线。图中曲线为预加力为元件原值的  $1/3 \pm 10\%$  时(相应的预加力约为 150—200 公斤/厘米<sup>2</sup>)的标定曲线。可以看出,在这个预加力范围内,标定曲线斜率保持不变。如果超出这个范围,曲线斜率将发生变化。这一结果说明预加力为 150—200 公斤/厘米<sup>2</sup> 时较为适当。

## 4. 标定曲线斜率与温度的关系

利用岩石试件在不同温度下进行标定结果表明,温度不同时,元件的测值不同,但对标定曲线的斜率的影响可以忽略。只要标定过程中温度保持不变,标定曲线只是发生平行移动,而斜率不变如图8(图8中曲线1为温度 29°C 时标定,曲线2为 17°C 时标定)。

野外应力解除过程时间很短,在解除过程中可以认为温度不变,而不同温度下标定曲线的斜率又是一个常数,所以对应力解除来说,可以不考虑温度的影响。

## 5. 漏电对元件特性的影响

在野外测量中,往往出现元件漏电现象。比较常见的漏电情况可以归纳为两种情况(图9):一种情况是在元件的中部漏电(图9a),另一种情况是在元件的一端漏电(图9b)。如果在元件的接地端漏电,那末对测量值没有影响。我们现在考虑一种最坏的情况,就是在元件的不接地端漏电。对这种漏电情况,我们进行了理论计算和实验研究。

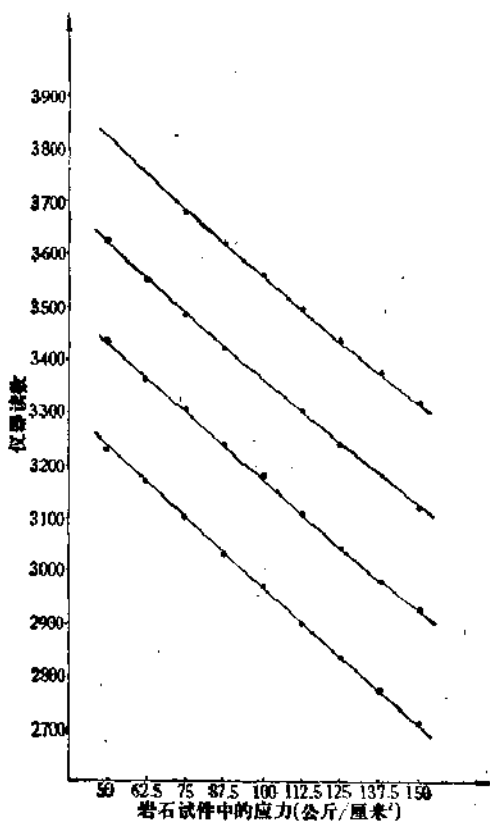


图 7

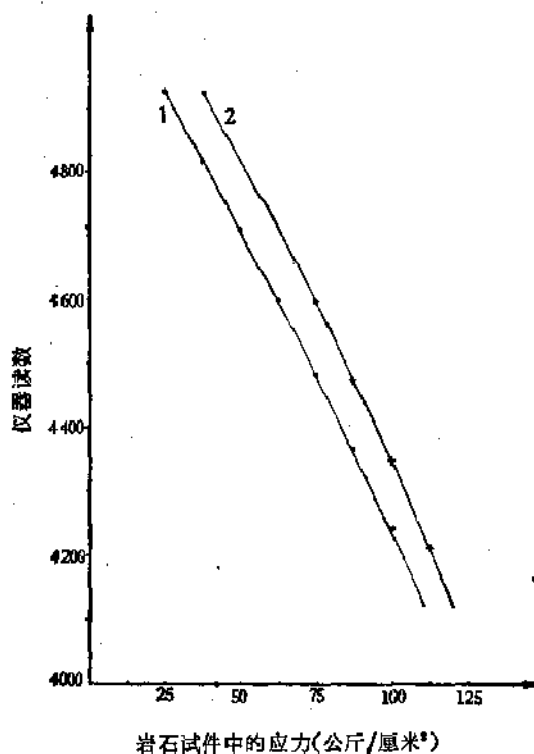


图 8

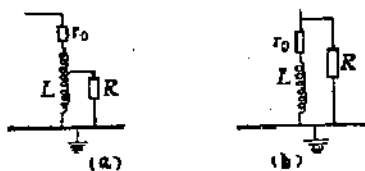


图 9

图中  $L$  为元件的电感值;  $r_0$  为元件的内阻;  $R$  为漏电阻

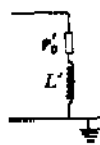


图 10

根据电路原理可画出图 9 b 的等效电路如图 10 (图中  $r'_0$  为漏电元件的等效内阻;  $L'$  为漏电元件的等效电感)。并可求得下式:

$$\eta = \frac{\frac{dL'}{dP}}{\frac{dL}{dP}} = \frac{K^2[(r_0 + K)^2 - \omega^2 L^2]}{[(r_0 + K)^2 + \omega^2 L^2]}$$

式中:  $dL'/dP$  为元件存在漏电阻时标定曲线的斜率,

$dL/dP$  为元件不漏电时标定曲线的斜率,

$L$ : 为不漏电时的电感值,

$\omega$ : 为工作电流的角频率,

$r_0$ : 为元件的等效电阻,

K: 为漏电阻。

根据上式可以画出标定曲线的斜率与漏电阻的关系曲线(图 11)。

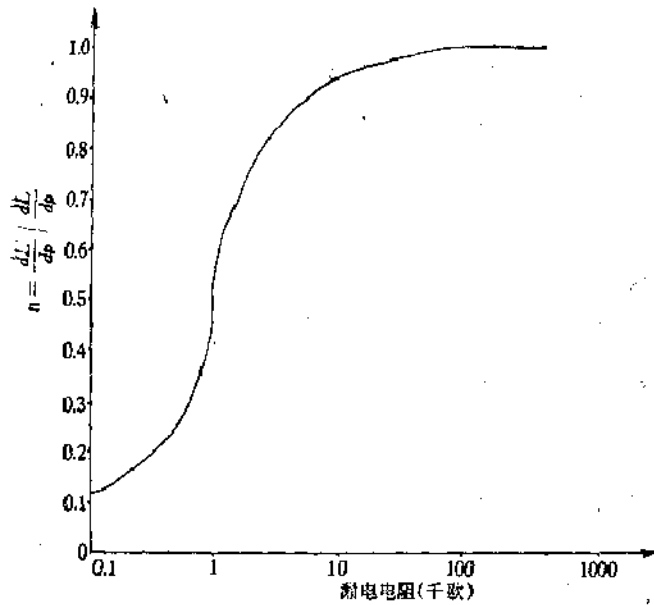


图 11 元件漏电阻与标定曲线斜率相对变化的关系(计算值)

实验研究是按以下方法进行的:即在元件两端并联不同阻值的电阻,然后在岩石试件中进行标定,作出不同漏电情况下的标定曲线(图12)。图中画出了漏电阻为①——20千欧;②——50千欧;③——100千欧;④——500千欧;⑤——1000千欧时的标定曲线。

由计算和实验结果得出,漏电阻在100千欧以上时,对测值的影响可以忽略,漏电阻在10千欧以上时,对标定曲线斜率的影响可以忽略。由此可见,73-1型应力计对绝缘程度要求不高。10千欧的绝缘电阻是很容易做到的。其他方法,如电阻片探头对

绝缘程度要求很高,绝缘电阻要在500兆欧以上,一般不易达到。特别是在水压比较大时

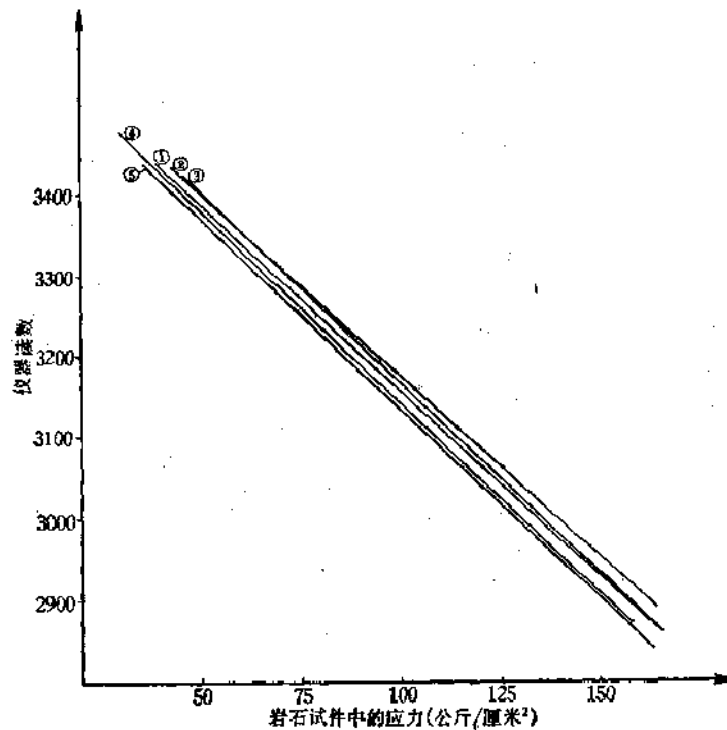


图 12 不同漏电情况下元件的标定曲线(实验)

更难达到。在这方面73-1型应力计有它独特的优点。

#### 四、测量结果可靠性的实验室检验

为了检验使用73-1型应力计所得测量结果的可靠性,我们利用模拟解除试验和用大块岩石加荷的方法进行了检验。

##### 1. 模拟解除试验

用压力机给岩石试件施加一定的压力,把应力计安置在试件小孔中的不同方向上进行测量。根据测量结果计算主应力的方向和大小,并与实际施加的力的大小及方向进行比较,以检验结果的可靠性和精度。具体做法如下:

实验时将岩石试件加压至 $P_1$ ,然后将元件置于小孔中,测量直径方向与外加压力方向成预定角度,加适当的预应力,此时仪器的读数(电感值)为 $L_1$ 。然后逐渐减少压力至 $P_2$ ,读数为 $L_2$ 。根据读数的变化量 $\Delta L = L_2 - L_1$ ,由标定曲线查出相应的记录应力值。在不同的角度上重复上述过程,则可以得到一组数据。由所测得的数据计算出主应力的方向和大小。为了提高精度,对每个角度作二至三次独立测量。

校准棱柱为钢和石灰岩两种。钢试件的规格为 $19.9 \times 19.9 \times 49$ 厘米<sup>3</sup>,杨氏模量为 $1.8 \times 10^6$ 公斤/厘米<sup>2</sup>;石灰岩的规格为 $20 \times 20 \times 20$ 厘米<sup>3</sup>,杨氏模量为 $9.1 \times 10^5$ 公斤/厘米<sup>2</sup>。

实验结果如表2及表3。

由表2及表3可以看出:

(1) 由实测数据所计算的12个最大主应力中,其幅度相对误差在6%以内的有8个,13%—19%的有3个,个别可达21%。

最小主应力应该是零,但实测结果不为零,这是由于试件的有限宽度所造成的。

(2) 利用测量角度为 $0^\circ, 60^\circ, 120^\circ$ 这一组数据进行计算的误差较小。包含有 $30^\circ$ 方向这组数据进行计算的结果误差较大。

(3) 所测出的主应力角度误差一般都小于 $1^\circ$ 。

(4) 在钢试件上测量的结果一般比岩石试件上的好。

为了提高测量结果的精密度,我们把实验数据,利用最小二乘法进行处理,结果见表4及图13, 14。

由图13, 14可以看出,实测曲线,回归曲线和理论曲线三者基本重合。实测曲线与回归曲线基本重合说明测量结果的精密度<sup>1)</sup>较高;回归曲线与理论曲线基本重合说明测量结果的准确度<sup>2)</sup>较高。由表4可以看出,实测的最大主应力与实际外加力的误差小于1.7%。

##### 2. 在大块岩石上,用钻机进行解除实验

这种实验分为两种情况:一是在不加荷的大块岩石试件上进行实验,我们可以认为在一块孤立的脱离了地应力场作用的岩石试件上是没有应力作用的,因而不测到应力;

1) 精密度,也称精确度,指在测量中所测数值的重复程度。由偶然误差所决定。

2) 准确度,也称正确度,指所测数值与真值的符合程度。准确度由系统误差所决定。

表 2 模拟解除实验数据

元件方位	24号元件, 13号灰岩试件				30号元件, 13号灰岩试件				71号元件, 13号灰岩试件			
	I	II	III	IV	I	II	III	IV	I	II	III	IV
0°	462 477 476	472	103	95	459 424 490	458	104	113	568 560 579	569	100	100
180°	390 394 408	397	86		556 469 585	537	122		512 603 595	570	100	
30°	287 290 286	288	63	58	330 350 326	336	76	77	396 446 467	436	76	69
210°	244 246 231	240	52		356 358 322	346	78		355 358 353	355	62	
60°	1 -2 -6	-2	0	0	18 23 2	14	3	1	-24 17 22	5	1	0
240°	-1 4 -5	-1	0		-7 -2 -17	-9	-2		-15 -2 -3	-5	-1	
90°	-115 -127 -119	-120	-26	-26	-132 -159 -206	-166	-38	-39	-184 -182 -187	-184	-32	-27
270°	-120 -111 -112	-114	-25		-168 -170	-174	-40		-122 -126 -123	-124	-22	
120°	-9 -14 -9	-11	-2	-1	-23 -24 -1	-16	-4	-2	-10 -38 -25	-18	-3	-2
300°	5 -3 -2	0	0		4 -4	0	0		7 -18 -9	-7	-1	
150°	210 207 213	213	46	51	354 351 362	356	81	78	353 355 352	353	62	61
330°	255 254 257	255	55		321 326	324	74		350 325 329	336	59	

续 表 2

元件方位	2号元件, 9号灰岩试件				3号元件, 钢试件				17号元件, 钢试件			
	I	II	III	IV	I	II	III	IV	I	II	III	IV
0°	668 667 630	654	100	102	591 661	626	227	229	301 297	299	227	220
180°	701 707 624	677	104		639 621	630	223		273 286	280	213	
30°	450 430 499	460	70	64	411 409	410	149	150	206 203	205	155	144
210°	315 354 406	378	58		397 428	413	150		178 168	173	123	
60°	35 43 24	37	5	4	15 7	11	41	3	5 8	7	5	4
240°	2 0 28	10	2		5 5	5	2		5 4	5	4	
90°	-153 -164 -146	-134	-24	-22	-191 -166	-179	-65	-65	-86 -94	-90	-68	-66
270°	-141 -140 -111	-131	-20		-176 -181	-179	-65		-89 -76	-83	-63	
120°	6 -42 8	-9	-1	1	-51 -5	-23	-9	-4	-1 -4	-3	-2	-1
300°	15 10 10	12	2		7 1	4	2		-3 1	-1	-1	
150°	246 242 247	245	37	39	257 402	380	138	143	193 196	195	148	143
330°	269 255 261	262	40		317 491	404	147		180 184	182	138	

表中: I——压力从150公斤/厘米<sup>2</sup>到50公斤/厘米<sup>2</sup>时,元件读数的变化量,

II——元件读数的平均值,

III——相应的记录应力值(公斤/厘米<sup>2</sup>),

IV——平均记录应力值(公斤/厘米<sup>2</sup>)。

表 3 根据表 2 上的数据计算的结果

元件编号	试 件	测量方向	最大主应力 (公斤/厘米 <sup>2</sup> )	最小主应力 (公斤/厘米 <sup>2</sup> )	最大主应力 方向	实际上施加 的外力 (公斤/厘米 <sup>2</sup> )	相对误差 $\frac{P_{max} - P}{P}$
30	13号灰岩	0°, 60°, 120°	113	-1	33°	100	13%
		30°, 90°, 150°	116	+1	3°	100	16%
71	13号灰岩	0°, 60°, 120°	99	-2	34°	100	-1%
		30°, 90°, 150°	96	5	48°	100	-4%
24	13号灰岩	0°, 60°, 120°	94	-1	14°	100	-6%
		30°, 90°, 150°	81	2	2°2'	100	19%
3	钢	0°, 60°, 120°	228.3	-0.6	32°	227.3	0.4%
		30°, 90°, 150°	219.3	7.8	51°	227.3	-3.5%
17	钢	0°, 60°, 120°	221.2	3.7	25°	227.3	-2.7%
		30°, 90°, 150°	215.0	6.1	3°	227.3	-5.4%
2	9号灰岩	0°, 60°, 120°	104	4	45°	100	4%
		30°, 90°, 150°	79	3	8°2'	100	-21%

表中:  $P_{max}$  为计算出的最大主应力,  
 $P$  为所加的外力,  $P$  的方向为 0°.

表 4

元件编号	试 件	最大主应力 (公斤/厘米 <sup>2</sup> )	实际外加力 (公斤/厘米 <sup>2</sup> )	最小主应力 (公斤/厘米 <sup>2</sup> )	较大主应 力方向	最大主应力 幅度误差	最大主应力 与实际外加 力的差值	可信度
3	钢 试件	223.8	227.3	3.6	47°	±1.3%	1.7%	95%
71	灰岩试件	98.4	100	1.9	1°21'	±2.5%	1.6%	95%

另一种是在加荷的岩石试件上用钻机进行解除,此时所测得的应力值应与外加负荷一致,以此来检验测量结果的可靠性。两种情况的实验结果如下:

在不受载荷的岩石试件上进行的解除实验:

所用标本为二十里长山泥质条带状厚层灰岩,尺寸为 50 × 60 × 80 厘米<sup>3</sup>。在试件的中央打一直径为 36 毫米的小孔。将 73-1 型应力计安置在小孔的适当位置上,施加适当预应力。然后用油压 300 型钻机进行解除取芯。解除口径为 219 毫米及 150 毫米。

共进行了 17 次实验,取得了 18 个有效数据(表 5)。

由表 5 中所列 18 个数据可以看出:所测得的记录应力值有 14 个小于 5 公斤/厘米<sup>2</sup>; 3 个为 5—7 公斤/厘米<sup>2</sup>; 10 公斤/厘米<sup>2</sup> 以上的只有一个。因为脱离应力场作用的岩石是不应该有应力的,而我们实际测量结果也正是如此。这说明我们的应力计是可靠的。

对于岩石试件上所测到的一些应力值可能由下述原因所引起。

(1) 钻进时震动可能有影响。如改善安置条件,适当加大预应力,提高元件的加工精度和小孔质量,控制钻机转数以减小钻机震动,控制井底压力,严格遵守操作规程等等,可以减小震动影响。如使用金刚石钻头效果可能更好。

(2) 岩石中可能有残余应力及温差应力。由于岩石的不均匀性和受力的不均匀性会

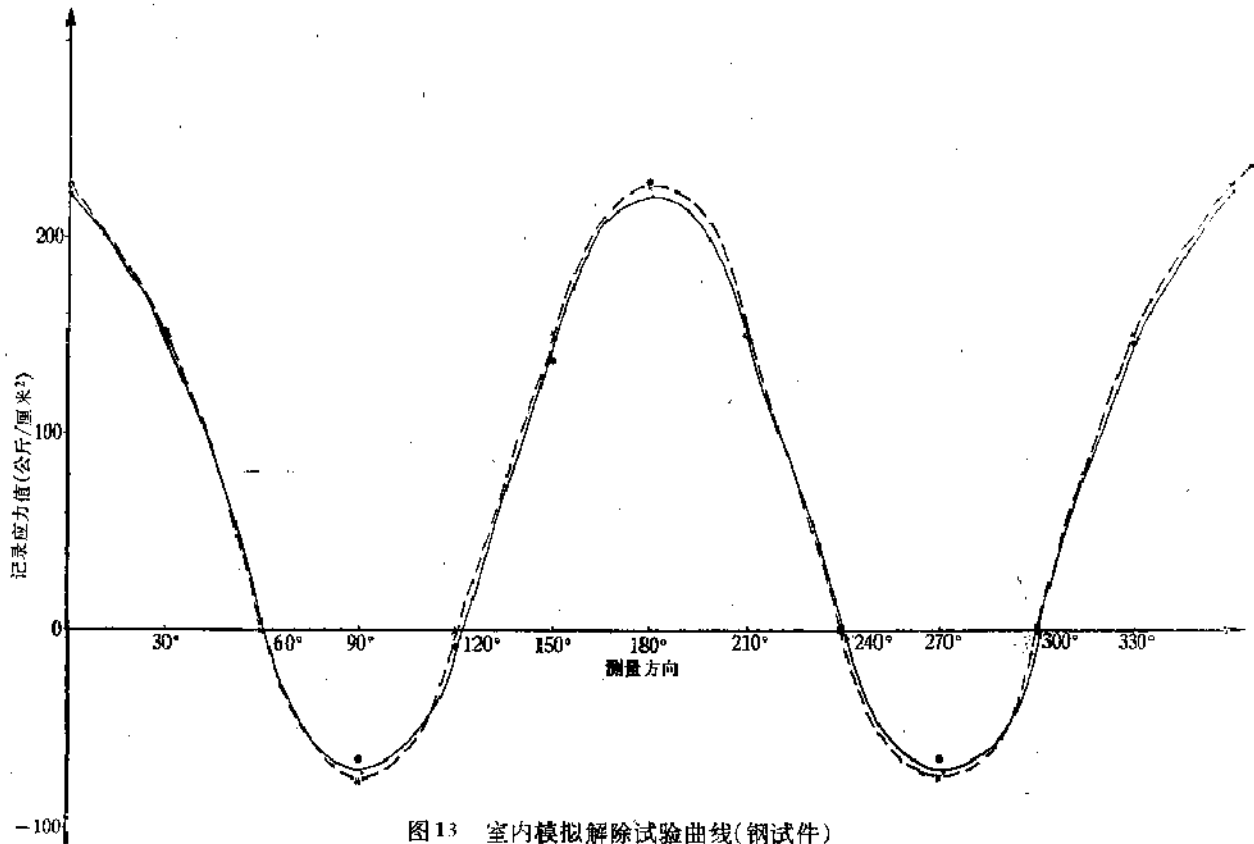


图13 室内模拟解除试验曲线(钢试件)

--- 理论曲线; —— 回归曲线; ○ 实测值。

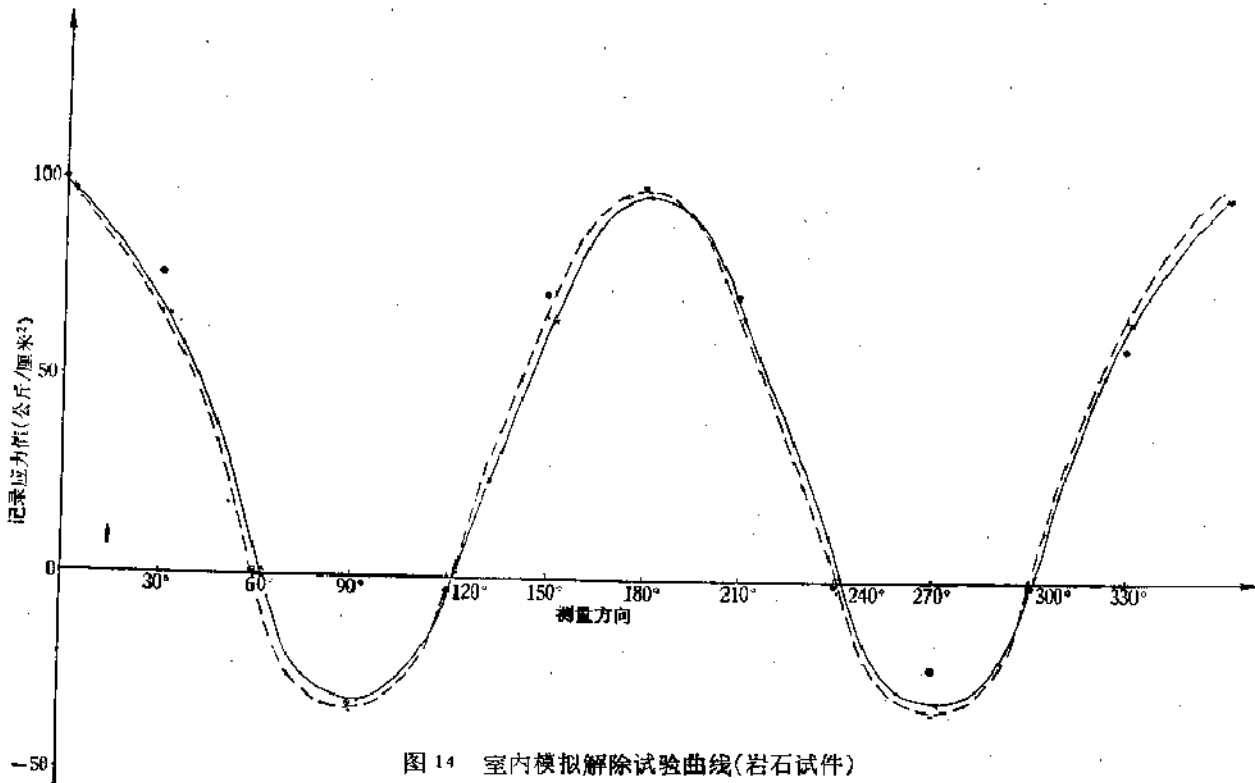


图14 室内模拟解除试验曲线(岩石试件)

--- 理论曲线; —— 回归曲线; ○ 实测值。

表 5

实验日期	记录应力值(公斤/厘米 <sup>2</sup> )	实验日期	记录应力值(公斤/厘米 <sup>2</sup> )
1972. 9.22	-2.5	1972.11.1	4.0
9.27	0.5	11.2	4.7
9.29	-12.5		6.6
10.4	-7.0	11.12	3.5
10.5	-4.0	11.10	-2.0
	3.0		2.3
10.23	6.0		-1.5
10.24	4.5	12.19	-5.0
10.26	1.0		-2.5

注: 正号表示压力, 负号表示张应力。

造成残余应力, 由于试件内温度分布不均匀(钻机钻进时, 循环水可造成钻孔周围与远处岩石的温差)而产生温差压力。

给岩石施加单向压力的情况下, 用钻机进行解除实验。

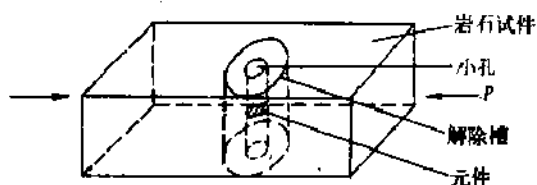


图 15

岩石试件仍为二十里长山泥质条带状灰岩, 尺寸为  $50 \times 50 \times 60$  及  $45 \times 48 \times 80$  厘米<sup>3</sup>。加荷装置用武汉岩土力学所制造的 压力枕。

实验步骤: 首先将岩石加荷到预定的数值  $P$  (实验中曾加到内压为 50 公斤/厘米<sup>2</sup> 到 70 公斤/厘米<sup>2</sup>), 并且使压力稳定在这个数值上。然后在岩石试件中央打一小孔, 装好元件, 最后用钻机进行解除。解除口径为 150 毫米(图 15)。

有代表性的实验结果列入表 6。

表 6

实验日期	外加负荷 (公斤/厘米 <sup>2</sup> )	实测结果 (最大主应力公斤/厘米 <sup>2</sup> )	测量结果的误差	
			最大主应力 幅度误差	最大主应力 方向误差
1973. 5. 3	60	63	5%	1°
1973.10.10	70	71	1.4%	-3°
1973.12.10	60	54	10%	-2°

由实验结果可以得出如下结论:

(1) 使用 73-1 型应力计所得测量结果具有相当的可靠性和一定的精度。在大块岩石上用钻机解除实验结果大部分测量误差小于 5%, 个别情况下误差大于 10%。对于误差较大的测量结果有两种情况: 一是在解除过程中曲线变化是有规则的, 对于这种情况可能是由于岩石中存在有残余应力; 二是曲线变化不规则, 对于这样的数据, 我们认为是不合理的, 受干扰的影响较大。因而把它舍去, 而不致影响我们的测量结果。

(2) 应力释放槽进入到 45° 张角以内时曲线发生变化。在 45° 张角以外时, 曲线不变(图 16)。随着应力解除槽的加深, 在开始阶段曲线上升出现峰值, 这是由于释放槽加

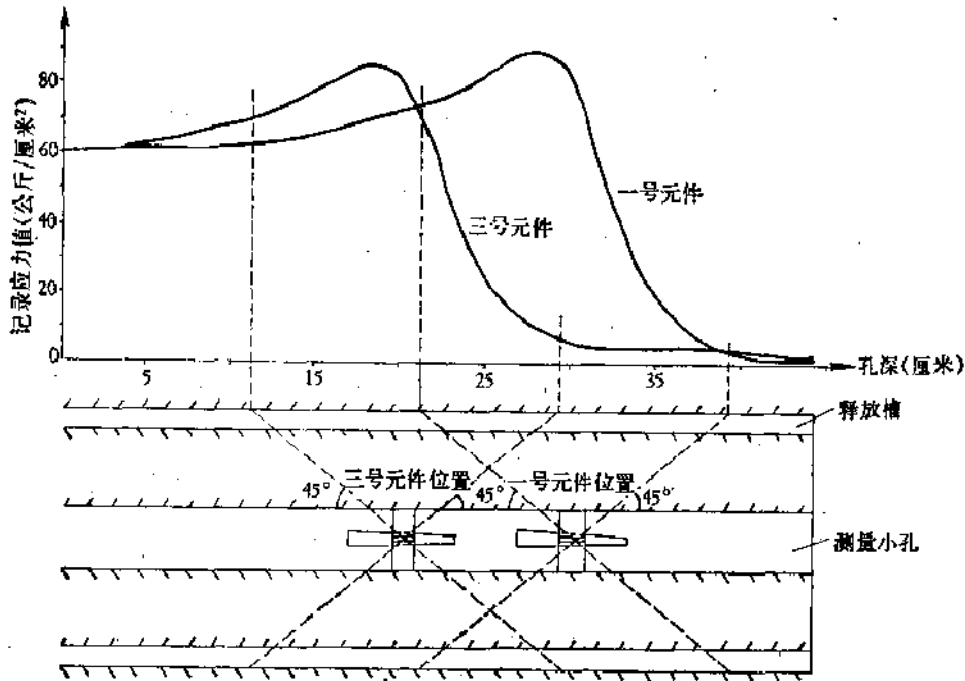


图 16 大块岩石试件加荷解除实验曲线

深的过程中, 释放槽底部附近应力集中造成的。随着解除槽的加深, 除了有应力集中外, 由于应力解除槽的出现而使岩石试件的有效断面减小, 但岩石上承受的外加压力保持不变, 因而平均应力值增加。

岩石试件在 A—A 剖面上(图 17)的平均应力值为

$$\sigma = \frac{P}{S}$$

式中:  $P$ ——外加压力;

$S$ ——岩石试件中应力释放槽开出前 A—A 剖面上的断面积。

当开出解除槽后, A—A 剖面上的断面将为:

$$S' = S - hD$$

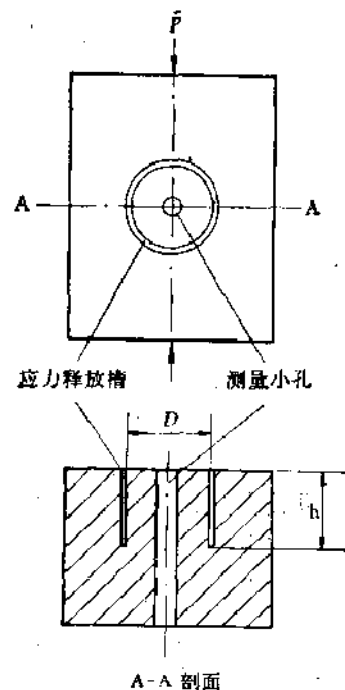
此时的平均应力为:

$$\sigma = \frac{P}{S'} = \frac{P}{S - hD}$$

式中:  $h$ ——解除槽深度;

$D$ ——解除槽直径。

由上式可见: 解除槽的深度愈大, 平均应力增大和应力集中也比较明显。



A—A 剖面

图 17