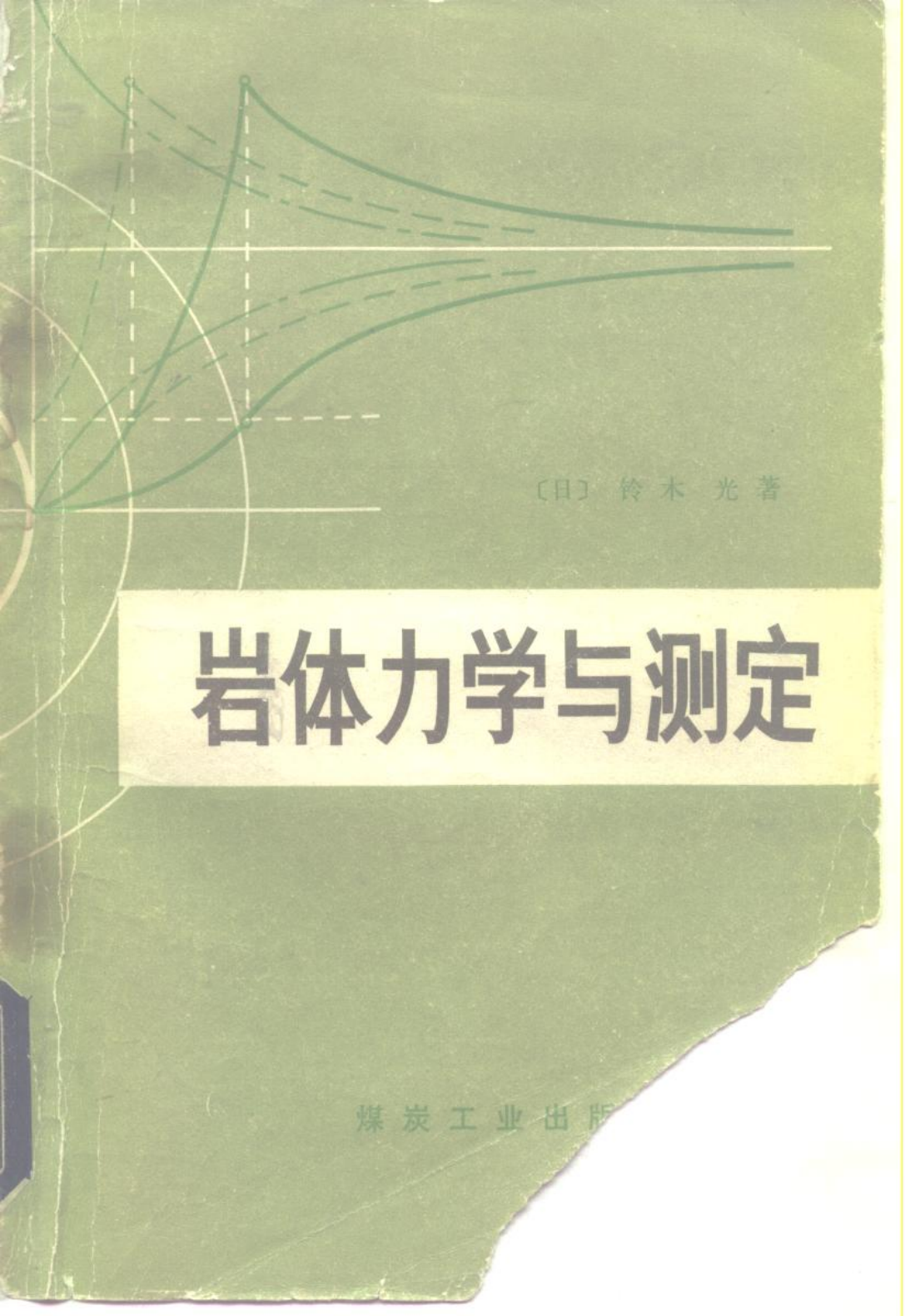


The background of the book cover is a dark green textured paper. In the upper left corner, there is a technical diagram. It features a horizontal axis and a vertical axis. A solid curve starts at the origin, rises steeply to a peak, and then gradually declines. A dashed curve follows a similar path but is slightly lower. Another solid curve starts at the origin and rises more gradually, approaching a horizontal asymptote. A dashed curve also follows this path. Vertical and horizontal dashed lines intersect at a point on the lower solid curve. The overall design is minimalist and academic.

〔日〕 鈴木 光 著

岩体力学与测定

煤炭工业出版社

岩体力学与测定

〔日〕铃木 光著

杨其中 汪景俊 郭海珊译

煤炭工业出版社

内 容 提 要

本书系当前日本在岩体力学方面较好的基础理论著作之一。该书的特点是：从基础理论着手系统地地下工程周围岩体的各种力学动态作了分析，综述了世界一些国家对岩体应力和应变的测定方法及其使用的仪表。此外还介绍了岩石物理常数的实验方法。

本书可作为大学有关专业高年级学生和研究生的教学参考书，也可供矿业、地质、水电、水利、铁路、土木等领域的科技人员参考之用。

铃 木 光

岩盤力学と計測

东京 内田老鹤圃新社 1973

岩体力学与测定

杨其中 汪景俊 郭海珊译

*

煤炭工业出版社 出版

(北京安定门外和平北路16号)

煤炭工业出版社印刷厂 印刷

新华书店北京发行所 发行

*

开本 $850 \times 1168^{1/32}$ 印张 $10^{1/2}$

字数 270 千字 印数 1—6,000

1980年7月第1版 1980年7月第1次印刷

书号15035·2307 定价1.30元



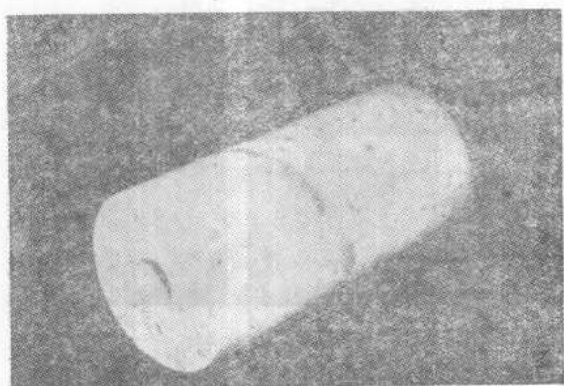
套取岩芯作业



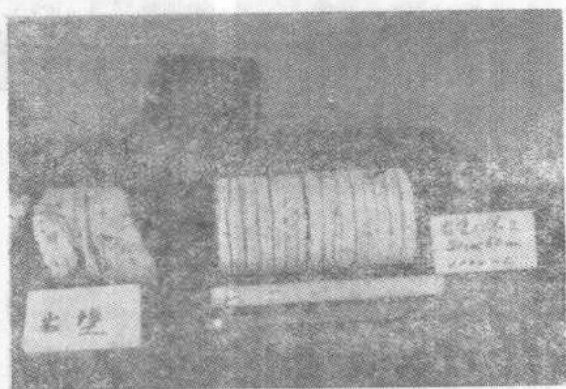
钻孔应变计（尺寸：与纸烟相比）



套孔后的岩芯



回收岩芯



因高地压而产生圆饼状的岩芯

译 者 的 话

《岩体力学与测定》一书是日本继《岩体力学及其应用》、《土木技术人员用的岩体力学》两大著作后而出版的，其内容除进一步扩大掌握这方面的技术知识外，还侧重于井下深部的岩体力学。本书以数学、力学为理论基础，围绕地下工程结构周围岩体的各种力学动态，以近代一些主要国家所用的理论作了分析和计算，并介绍了测定地下岩体力学的方法及其所用的仪表。所以，该书是一本较系统而又严密的岩体力学教学参考书，对从事现场矿压测试的工程技术人员和矿压科研人员也较有用。

本书由重庆大学采矿系杨其中、重庆市设计院汪景俊，黑龙江省煤炭研究所郭海珊等同志合译，由杨其中校订。在翻译过程中，由于本书涉及到数学、物理、材料力学、机电、铁道等领域，专业词汇范围较广，其中除一部分应用我国已颁布的专门名词外，其余部分的译名，尽可能作到与各专业部门采用的相一致。对原书中的外国人名，除标准的译名外，一律用原文。

由于我们水平所限，译稿中难免有错，敬请广大读者批评指正。

作 者 序

我们只要生活在地球上，以岩体为对象的工程必然很多。如开发地下资源、建设水库和开凿隧道等都属于这种工程。从前开发地下资源时，只是在浅部开采即可取得矿石；建设水库时也是选择良好的地方，来保证水库的安全；就连隧道掘进时也往往为避开条件不好的地层而铺设绕线，所以隧道的数量并不多。可是，现在地下资源已转入深部开采，不仅需要控制强大的地压，而且还面临导致岩石突出的危险。修建水坝时，必须加固岩体的地方逐渐增加，隧道的数量也在增加，靠近松软地层中的铁路隧道斜穿另一条隧道，或者出现高压涌水较多等不良条件的地方也日益增多。

裂隙发育的岩体很多，但研究裂隙的多少和方向性却并不简单。当前尚未能很好地查明地下断层的位置、大小、倾斜和含水的多少。合理地进行岩体工程的施工设计需确切地掌握这类岩体的性状，研究其物理性质和力学动态。

对于从事以岩体工程为对象的技术人员来说，“岩体力学”必须是提供符合该项工程要求依据的一种学问。近年来，大学增设这类课程的已增多。

可是要讲授岩体力学的课程，就需要有弹性学和流变学的知识。如果要向学过弹性学的学生讲授岩体力学，那么非从大学四年级起才能开讲。所以说要学到内容广泛的岩体力学知识，对于学生来说时间是很紧迫的。为了改变这种状态，更好地学习这门知识，深感需要编著这样一本著作。

关于岩体力学的专著已有日本材料学会编的《岩体力学及其应用》及土木学会编的《土木技术人员用的岩体力学》等巨著。本书是著者抱着只要具备关于材料力学的初步知识，即可阅

读理解的动机编写的。换句话说，作者希望此书能作为从大学三年级下半学期起开讲的岩体力学课程的试用教材或参考书。

本书内容中，「初等弹性学」部分多赖于 S. TIMOSHENKO 和 J. N. GOODIER 合著的弹性学 (Mc-Graw Hill 出版) 及川本眺万著的应用弹性学 (共立出版)，但仅限于理解本书所必需的最低限度的内容。关于“各向异性体的力学”部分，多赖于仓西正嗣著的弹性学 (日本机械学会) 及川本眺万的各篇论文，「岩体的试验和调查」部分则多赖于土木学会志及《土木技术人员用的岩体力学》等书刊。

另外还根据许多位研究人员的论文和报告介绍了其中一部分内容。在「地压的问题」一章里仅使用圆形孔的问题，只限于理解地压的概念和说明岩体应力测定所必需的知识。

本书的内容决不能认为是圆满的。只是为上述的目的阐述的，如能成为青年学生和研究人员参考材料则幸甚。

铃木 光

1972年12月

目 录

译者的话

作者序

第1章	弹性应力和应变	1
1.1	外力和应力	1
1.2	应力分量	1
1.3	应变分量	3
1.4	虎克定律	6
1.5	弹性模量间的关系公式	10
第2章	岩石弹性模量静的测定方法	11
2.1	纵弹性模量(杨氏模量)的测定	11
2.2	刚性模量的测定和泊松比	14
2.3	水分的影响	16
2.4	岩石的种类和弹性模量	17
第3章	运动方程式和振动	19
3.1	波动方程式和弹性波	19
3.2	棒的纵向振动和扭曲振动	22
3.3	粘性物体的振动	25
3.4	强制振动和共振	32
3.5	衰减比和品质因素	34
第4章	岩石物理常数动的测定方法	38
4.1	岩石弹性模量动的测定方法	38
4.2	岩石的声波特性	41
4.3	含水率、空隙率、压力等的影响	43
4.3.1	水分的影响	43
4.3.2	空隙率的影响	44
4.3.3	压力和温度的影响	45
4.4	静弹性模量与动弹性模量	46
4.5	动粘弹性的测定	47

4.5.1	强制伸缩振动法	47
4.5.2	用扭曲振动的方法	48
第 5 章	岩石的变形流动	51
5.1	材料的变形流动	51
5.2	塑性体的剪应变速度(流动速度)与剪力的关系	52
5.3	马克斯韦公式	56
(i)	假设应变保持一定(γ_0) 的场合	57
(ii)	施加一定的应力(τ_0) 的场合	57
(iii)	施加一定的应变速度 $\dot{\gamma}_0$ 的场合	58
(iv)	受剧烈的应力变化的场合	58
(v)	应力变化缓慢的场合	58
5.4	岩石的蠕变	59
5.5	岩石力学的结构模型和流变常数	61
第 6 章	初等弹性学	73
6.1	平面应力与平面应变	73
6.1.1	平面应力	73
6.1.2	平面应变	73
6.2	平面内的应力	74
6.3	莫尔应力圆与包络线(关于材料破坏的莫尔学说)	77
6.4	应力平衡微分方程式与相容方程式	79
6.4.1	应力平衡微分方程式	79
6.4.2	相容方程式	81
6.5	应力函数	43
6.6	用应力函数的二维问题(直角座标的场合)	85
6.6.1	多项式的解法	85
6.6.2	傅里叶级数的解法	89
6.7	用极坐标的二维问题	91
6.7.1	平衡方程式与相容方程式	91
6.7.2	应变与位移、应力与应变的关系式	94
6.7.3	轴对称的应力问题	96
(A)	厚壁圆筒的应力	97
(B)	受到外压的圆筒内径的变化	99

6.7.4	具有圆孔板的应力分布	100
6.7.5	具有直线边界的半无限平板	103
6.8	用圆柱坐标的平衡方程式	105
6.9	三维应力的坐标变换	107
第7章	岩石的强度与实用试验	110
7.1	抗压强度	110
7.1.1	试件的形状与大小	110
7.1.2	加压面摩擦的影响	114
7.1.3	荷载速度与抗压强度	114
7.1.4	加工程度、湿度、温度等的影响	116
7.1.5	各向异性与强度	116
7.1.6	岩石的压缩试验法	117
7.2	抗拉强度	118
7.3	抗剪强度	123
7.4	其他的实用强度	127
7.4.1	抗弯强度	127
7.4.2	冲击强度	129
7.5	岩石的膨胀性(膨胀应变与膨胀压力)	130
7.6	高温岩石的破坏强度	131
7.7	岩石物理性相互间的关系	133
7.8	非整形试件的强度试验法	134
7.9	三轴试验	136
第8章	弹性均质岩体内的应力(地压问题)	146
8.1	未采掘地层中的地压	146
8.2	圆形竖井周围的地压	147
8.3	砌壁圆形竖井的应力分布	155
8.4	圆形巷道周围的地压	158
8.5	圆形孔的变形	166
8.5.1	平面应力状态受到单轴应力的圆形孔	166
8.5.2	在平面应变状态时,受单轴应力的圆形孔	169
8.5.3	平面应力状态下受到二轴应力的圆形孔	170
8.5.4	平面应变状态下受到二轴应力的圆形孔	171
8.6	具有直线边界的半无限平板内的应力	171

第9章 岩石的破坏	177
9.1 关于材料破坏的学说	177
9.1.1 最大剪应力说	177
9.1.2 莫尔的学说	178
9.1.3 内部摩擦说	179
9.1.4 剪切应变能说	182
9.1.5 关于破坏的其他学说与各学说的比较	184
9.2 格里菲斯理论	185
9.3 莫尔学说与格里菲斯理论的关系	189
9.4 关于闭合裂隙的破坏发生标准 (格里菲斯修正理论)	191
9.5 岩石的脆性破坏与术语的定义	194
9.6 破坏的发生	196
9.6.1 破坏发生的应力考察	196
9.6.2 固体的理论结合力与真表面能	197
9.6.3 破坏发生的能量考察	199
9.7 破坏的传播	200
第10章 地下空洞周围的破坏	206
10.1 存在于圆形竖井周围的水平软弱层所激起的地压	206
10.2 存在于巷道周围的砂粒状体的流动	213
10.3 竖井壁的破坏	217
10.4 水平圆形巷道周围的破坏	219
第11章 各向异性体的力学	221
11.1 成层岩中空洞的直接顶板的挠度和应力	221
11.2 岩石强度的各向异性	224
11.3 节理构造岩体的平衡极限和各向异性	225
11.4 层状岩体的物理常数	228
11.5 正交各向异性体的虎克定律	230
11.6 各向异性体的弹性模量 (最一般化的虎克定律)	234
11.7 正交各向异性体的弹性模量	236
11.8 正交各向异性体的平面问题	238
11.9 在正交各向异性弹性体内的位移公式	241
11.10 正交各向异性弹性体中承受内压时的圆孔周围的位移和圆孔直径的变化	244

第12章 岩体的试验和调查	250
12.1 岩体静的变形系数的测定	250
12.1.1 千斤顶法	250
12.1.2 水室法试验	253
12.2 弹性波试验	254
12.2.1 弹性波折射和时距曲线	254
12.2.2 时距曲线解析例	257
12.2.3 弹性波速度测定法	259
12.2.4 用声速判断岩体	260
12.3 岩体强度试验	263
12.3.1 岩体剪切试验	263
12.3.2 岩体压缩试验	266
12.3.3 重复试验和岩体强度	268
12.4 岩体强度降低的影响因素	269
12.4.1 裂缝的影响	269
12.4.2 地下水的影响	270
12.5 岩体渗透流	270
12.5.1 岩体渗透流的各因素与其存在的问题	270
12.5.2 渗透系数	271
12.5.3 卢群试验和流速法	273
12.5.4 阻水效果和排水孔	275
12.6 岩体裂缝分布的表示法(用乌尔夫或施密特的表示法)	277
12.7 岩体的裂缝和易裂性的测定(RQD法)	279
第13章 岩体的应变和应力的测定	282
13.1 岩体应力的概念	282
13.1.1 初始地压和扰乱地压	282
13.1.2 随着井下采掘时地压的变动	284
13.2 平面上的应变测定和应力的计算	286
13.3 测定方法和测定仪表	288
13.4 应力解除法方案的探讨	293
13.5 孔底应变法的理论和应变计	294
13.6 孔径变化法的理论和测定仪表	299
13.6.1 关于孔径变化法的理论	299

13.6.2	弹性模量测定法·····	304
13.6.3	孔径测定技术和测定仪表·····	306
13.7	用三个钻孔决定三维应力·····	308
13.8	孔壁应变法的理论和测定仪表·····	312
13.9	地压变化和绝对地压的关系·····	315

第 1 章 弹性应力和应变⁽¹⁾

1.1 外力和应力

现以物体受外力 P_1 、 P_2 ……而保持平衡的条件来研究 (图 1.1)。

当在该物体内的任意位置上取一微小面积 δA 来考察时, 则通过该面积 δA 的合力 δP 将作用在某方向上。这种情况下, $\delta P/\delta A$ 的量称为应力。

一般来说, 由于应力对 δA 面是倾斜的, 所以该应力可考虑分解为垂直于 δA 面的应力和沿 δA 面的应力。前者称之为垂直应力, 以符号 σ 表示; 后者称之为剪应力, 以符号 τ 表示。

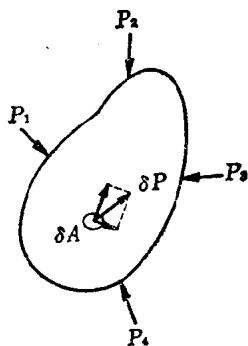


图 1.1 外力和应力

此外, 作为外力而言, 一般有两种不同的力: 一种是除静水压力外的作用于物体表面上的力, 称之为表面力; 另一种是分布于物体容积上的力, 例如重力、磁力或物体运动时的惯性力, 这些称为物体力。

平行于坐标轴的单位面积上表面力的分量可分别用 $\overline{X}$ 、 $\overline{Y}$ 、 $\overline{Z}$ 符号表示。每单位体积的物体力也同样可分为 X 、 Y 、 Z 三个分量。

1.2 应力分量

如果在受应力作用的物体内部取一微小立方体, 其各个面垂直相交于 x 、 y 、 z 轴, 则如图 1.2 所示形成作用于各个面上的垂直应力和剪应力。在这里 σ_x 是作用在与 x 轴垂直相交平面上的垂直

应力，图示的剪应力是平行于 y 轴和 z 轴的二个分量，即分别可用 τ_{xy} 和 τ_{xz} 来表示。在这种情况下，例如 τ_{xy} 的符号 xy ，第一个字母 x 表示的是与 x 轴垂直相交平面上的应力，第二个字母 y 表示

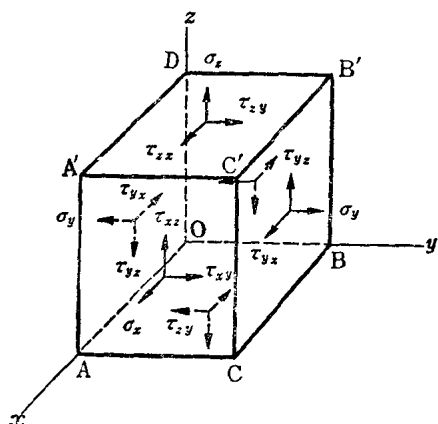


图 1.2 应力分量

是应力的方向。另外，

应力分量的正负符号以图 1.2 所示的作为正号，即垂直应力 σ 以张力（译者注：图中引出的方向）作为正号；剪应力 τ 在正的 y 面（向外侧法线方向上，对着 y 轴的正方向，此时为 $CBB'C'$ 面）上以朝向 x 轴和 z 轴的正方向作为正号，而在负的 y 面（ $AODA'$ ）上以朝向 x 轴和

z 轴的负方向作为正号。从图 1.2 中显而易见，当研究微小立方体平行面上的应力时，则垂直应力分量以同样的符号（例如 σ_y ）表示，而剪应力以同样的两个分量（例如 τ_{yx} 和 τ_{yz} ）表示。因此，作用于微小立方体的整个六个平面上的应力可用三个符号 σ_x 、 σ_y 和 σ_z 来表示垂直应力，而用六个符号 τ_{xy} 、 τ_{xz} 、 τ_{yx} 、 τ_{yz} 、 τ_{zx} 和 τ_{zy} 来表示剪应力。

但是，因为微小立方体是在保持平衡状态下构成“平衡条件”的，所以剪应力的六个符号可减少到三个。下面说明其理由：在这里微小立方体自重的物体力是作为略而不计的，因为当减少立方体的尺寸时，对其作用的物体力的直线尺寸是以三次方的比例减少的，但是表面力的直线尺寸是以二次方的比例减少的，所以微小立方体的物体力比表面力方次高而成为很小的量，因而对体积力略而不计是无误差的。同样，微小立方体一平面上的不均匀应力分量的力矩也可略而不计而无误差。而且计算作用于微小体任意面上的力时，以一平面的面积乘以作用于该面中心上的应力

即可。因此,若以 dx 、 dy 和 dz 表示微小体的尺寸,则在图 1.3 中对于 x 轴的力矩平衡方程式就成

$$\tau_{yz}(dz \cdot dx)dy - \tau_{xy}(dy \cdot dx)dz = 0$$

因为对 y 轴和 z 轴上的力矩平衡方程式也有类似的关系式成立,所以根据这三个方程式其结果可得:

$$\tau_{xy} = \tau_{yx}, \quad \tau_{xz} = \tau_{zx}, \quad \tau_{yz} = \tau_{zy}$$

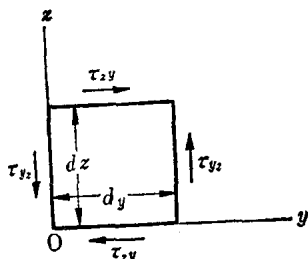


图 1.3

这样,在微小立方体的二个垂直相交平面上的剪应力中,显而易见,对于两平面交线上的垂直的剪应力分量是相等的。所以,通过物体任意点 O 作用在互相垂直相交三个平面上的应力,用六个应力分量来研究是充分的。即:

$$\sigma_x, \sigma_y, \sigma_z, \tau_{xy} = \tau_{yx}, \tau_{xz} = \tau_{zx}, \tau_{yz} = \tau_{zy} \quad (1.1)$$

1.3 应变分量

现研究弹性物体受到外力作用时的变形状态。由于变形物体任意的点将受到应变,应变分量与应力分量同样考虑可分为垂直应变和剪应变两种。所谓垂直应变或纵向应变,就是在物体内的邻近距离上连结某两点而成直线,沿此直线上两点间所产生的相对位移量(用 ε 表示)。剪应变是对于连接该两点而成的直线的直角方向上的位移,以 γ 表示。一切变形都可由这两种应变分量的合成量来表示。

为了更易于理解起见,在应变物体内取一微小平面来研究,而且把对该平面的垂直方向以 n 表示。当这平面一边的一点对于另一边(里面)的一点产生相对位移时,该位移可分为 n 方向的垂直应变和平面某 t 方向上的剪应变,而 t 的剪应变还可分解为互相直交的 r 和 s 二个方向上的分量(见图 1.4)。

再有,以微小矩形 $OABC$ (图 1.5) 来说明。矩形的各个边犹如图 1.4 中的 s 和 n 方向,若该单位面受到剪应变后,则这面就