

高等学校教材

现代构造地质学方法

第一卷

应变分析

J. G. 兰姆塞

M. I. 胡伯 著

刘瑞珣 常志忠 张荣昌 译



地质出版社

THE TECHNIQUES OF
MODERN STRUCTURAL GEOLOGY

Volume 1 Strain Analysis

JOHN G. RAMSAY

MARTIN I. HUBER

现代构造地质学方法

第一卷 应变分析

译者 刘瑞珣 常志忠 张荣昌

校者 郑亚东

地质出版社

内 容 简 介

《现代构造地质学方法》是著名地质学家、教授J. G. Ramsay和他的合作者M. I. Huber的代表著作,本书是它的第一卷“应变分析”部分。这部著作与传统构造地质学着重于形态描述的写法不同,它在详细分析应力-应变基本理论的过程中,逐步引导学生用精确定量方法取代定性的描述,从构造现象中萃取深一步的信息。其讲授方式采取先提出问题,指导学生通过模拟实验及数据分析,归纳出解答,最后与书中的解答对照检查。本卷通过14单元,把问题逐步引向深入。这种写法有助于学生独立思考,培养他们分析和解决问题的能力。

1986年构造地质学课程教学指导委员会决定引进本卷,在1987年第二次会议上又决定引进它的全套(三卷)著作。本卷译文经北京大学郑亚东教授总校后交付地质出版社出版。

THE TECHNIQUES OF MODERN STRUCTURAL GEOLOGY

Volume 1 Strain Analysis

JOHN G. RAMSAY

MARTIN I. HUBER

1983 ACADEMIC PRESS

高等学校教材

现代构造地质学方法

第一卷 应变分析

J. G. 兰姆赛 M. I. 胡伯 著

责任编辑:张荣昌

地质出版社出版

(北京和平里)

地质出版社印刷厂印刷

(北京海淀区学院路29号)

新华书店总店科技发行所发行

开本: 787×1092¹/₁₆ 印张: 22 字数: 512000

1991年2月北京第一版·1991年2月北京第一次印刷

印数: 1—1505册 定价: 5.70元

ISBN 7-116-00754-7/P·640

校译者的话

著名地质学家、英国皇家学会会员、瑞士苏黎世高等理工学院地质所前任所长 J. G. Ramsay 教授的主要贡献是将精密的数学分析和各种实际构造现象紧密结合,使地质构造的观察研究趋于定量化。他及其合作者用递进变形或发展的观念研究构造现象,使许多看来纷乱无章、自相矛盾和令人费解的构造现象得到了合理而圆满的解释。他和 M. I. Huber 写的这部著作概括了他们的观念和研究成果,这是目前最完善的一部构造地质学著作。

该著作分三卷:第一卷是应变分析,阐明了变形理论;第二卷将变形理论用于分析褶皱和断裂这两类主要构造;第三卷讨论非均匀应变和相容性等高深变形分析方法。这套书是 Ramsay 1967 年所著《岩石的褶皱作用和断裂作用》一书的深化、扩展和补充。书中阐述了构造地质学方法的许多新进展,如 R_f/ϕ 法的实用化、弗赖 (Fry) 法、递进变形分析、剪切带应变分析、平衡剖面等,还大大扩展了方法论部分。

该书以提出问题和解答问题的手法,按深、浅层次进行讨论,使各种程度的学生和读者在充分理解基本原理的基础上,按其能力分层次掌握具体技能,提高分析和解决问题的能力。该书不仅可供大学生学习和参考;对研究生、地质工作者、教师和科研人员也具有很高的参考价值,不愧为当代一部最优秀的构造地质学教学参考书。

1983 年 Ramsay 教授曾应邀在北京大学进行讲学,来自全国各地百余听众聆听了他以《构造地质与岩石变形》为题的系列讲座,他的精湛讲述给人们留下了深刻的印象。这套书中译本的出版无疑会使我国更多的读者获得良好的收益和得到深刻的启迪。

本卷第一、二、三单元由张荣昌译;四一七单元由常志忠译;八一十四单元及附录由刘瑞珣译。全书由郑亚东总校。袁方在编辑过程中协助责任编辑作了不少工作,对许多单元进行了详细审阅,并提出修改意见,在此表示深切谢意。

本书的翻译难度较大,加之译者水平有限,译文难免有不妥当之处,欢迎广大读者批评和指正。

1990. 5. 18.

前言

几乎所有的科学分支都是在精确的定量方法取代较为定性的方法时得到重大发展的。定量方法的一个最大的优点是要求更精确的思维，指出有待研究的问题，有时一些微小的容易忽略的量却反映了重要的事实。

J. C. 索比, 1908.

作为地球科学一个分支的构造地质学，在过去的十年中取得了飞跃的发展。获得如此迅速发展有如下几个原因。第一，是认识到野外露头所见的天然变形岩石包含一系列与大规模造山带变形体系直接有关的奇特的小构造特征。地质学家只关心大规模地壳构造而忽视这些小构造特征不再是明智的行为。现在已经很明显，理解和解释这些几何特征，使研究者能对一个造山带的微妙然而非常重要特征的认识大为深刻。以发展的“眼光”看待这些特征的野外构造地质学家，常能比以往大大有效地从事大面积的工作。我们不再满足于测量褶皱的走向，或者把构造线填绘在地质图上，甚至不满足于某处发现了两大运动陆块之间的缝合线。今天我们应该而且能够更进一步，即运用应变状态的研究，精确地指出发生过多大的变形和多少位移。当我们大致确定了某个地区总的应变图像后，就有坚实的基础能够指出地壳大小地段间相对运动的方向，例如在地球的主要造山带中的巨大弯曲是原始特征还是原来的直线带经受弯曲的结果。

当今很多地球科学研究所都对构造地质学极感兴趣的原因，至少部分在于它的实践性。我们发现，当大学生到了野外（那里可能是著名的地区）会变得热衷于构造地质学；我们还发现有些构造现象可能被以往发表的文献忽略了。大学生意识到他们能够提供一些有意义的第一手观察资料，这些资料可以导致对一些构造作出极为鼓舞和激动人心的解释，这些解释常可得到扩展到邻区工作的验证。

构造地质学近期发展的第二个原因是认识到岩石变形如同其他任何一种变形方式一样，也遵循那些明确的物理学和化学定律。因而材料科学的一些概念已经非常有效地用于变形岩石的研究。特别重要的是采用了数学方法和连续介质力学概念，这些数字近似方法革新了对天然变形岩石的几何分析和对这些构造含义在理论及实践上的解释。

本书各卷的内容虽已超出对学习地球科学专业的大学生和研究生进行构造地质学的基础教学和实习的需要，但还是写成一本可供大学水平的基本教科书。我们试图对那些可以作为地质构造应力应变分析的理论 and 实习课程基础的基本方法作全面的说明。本书第一卷讲变形原理；第二卷着重讲这些原理在褶皱和断裂分析中的应用。这两卷所包含的材料构成我们在英国和瑞士苏黎世高等理工学院几门不同大学课程的核心，并定为两次各连续15周的教学研讨班的教材。计划的第三卷内容将适用于高等专业本科生和研究生的教学。

我们试图引导学生以不断深入思维的方式鼓励他们独立思考，我们自己也发现，这些方式有助于形成对事物的认识，有助于学生通过逻辑思维发展他们自己的方法并解决实际

问题，而不是墨守成规，套用现成的“魔术”般的老套套。我们在逻辑上依照从二维到三维、由简入繁的分析方法依次安排各个单元。

每一单元都从专门问题的阐述提供基础知识或者从必要的数学方法开始，继而是实习部分，其中我们概述一些实验，提出疑问并组织一些专门问题，旨在使注意力集中在要点上，为协助解题，或许还可能对如何着手作些提示。当问题得到回答，或一种方法已用来解决一个特定的问题后，我们提供了一节“解答与说明”。在该节中我们说明解题的关键，给出数字解，并评述此法何以较彼法可取，同时还说明这些结果的地质意义。我们的看法是，这种说明将各单元联系起来，通过提供的重要背景知识使学生懂得，更广泛地运用这些方法就能更深入地理解构造地质研究。

我们所提出的问题是实际的地质例子或实验，以及我们发现的为了解岩石应变特别有用的方法为依据的。我们对某些已经出版的构造地质习题集和图集有点苛求，据我们的经验，它们所涉及的问题常常与自然界所发生的事物无关。我们还感到，好像真实地质体系的复杂性比仔细挑选的或在特殊情况“创造”的使某一问题的特定方面抽象得过于清晰的问题，其激励性要大得多。我们还力图制作一些新颖中肯的图解资料，希望众多的照片或图表有助于学生理解几何的复杂性，这些几何的复杂性不时出现并更清楚地表现课题的理论与实践间的关系。

每一节实习都安排了学生应当在三小时内能完成的材料。我们知道，地球科学专业的学生基础不一，尤其是数学基础。因此，他们会感到三小时内完成这些内容或是过多或是过少。提出的问题是打算使学生充分认识变形的几何特征，因为我们相信这种基础对课题未来的发展至关重要。我们的目的还在于培养以数学为根基的思维过程和分析方法。位移和应变的概念是如此众多现代分析的基础，它们极为自然的与一些数学公式有关。所以，我们打算在课程中通过实习增加数学问题的难度，以便打下数学理论的坚实基础。这些数学方法通常以简单的代数方法、二维和三维座标几何学和一些基本微积分为基础。虽然专家们可用更巧妙的解法也能得到同样的结果，然而我们坚信为使振奋和引起兴趣，最好是利用他们已具备的基本数学知识去发现几何学的原理，而不是坚持使用一些可能令他们为难的更为高深的数学方法。根据经验，我们还发现，初步掌握并理解二维几何原理是绝对必要的。一旦掌握了二维几何原理，引伸到三维一般是比较容易的事。

由于学生的才能和基础不同，我们安排了两套习题。第一套是基本的，应在三小时课时内完成。它包括一些能够进行后继单元教学的基础材料。第二套标有星号，是较为高深的，旨在引导深入理解所研究的课题或者掌握较深入的数学方法。在进行下一单元以前不一定非完成第二套问题不可，可以在完成第一套问题以后直接着手第二套问题，也可以把它当作“第二轮”或者作为复习题去解决。

在各单元之外我们还编写了一些独立的附录，对各单元中所用到的基本公式的建立给出最主要的数学证明。之所以这样做是因为我们考虑到超量的单元本身再加上某些枯燥的数学（尽管重要）可能有碍于解题的流畅。在单元的问题里，我们已经提出一些与所处理的具体问题直接相关的专门数学练习，而在附录里，则给出更为广泛适用并且少受局限的位移和应变的通解。我们还认为，这些普遍的、基本的知识最好集中在附录里，一旦后面某一阶段需要时便于查阅。

编写这几卷书的过程中，我们得到很多人的得力帮助。最后，我们最诚挚地感谢所有

协助我们将这几卷书得以完成的人们，尤其要感谢 Urs Gerber，他将彩色幻灯底片制作成如此完美的黑白照像资料，并以多种方式协助完成了书中的插图。感谢我们的秘书 Barbara Das Gupta，她长时间地为本书工作并完美地完成了书稿。很多参与本课的学生和助教们为解答课程中的问题而忙碌，发现错误并协助我们从大量资料中加以挑选，以改进我们的工作。尤其应该提到 Roy Kligfield 对这卷书的实际资料提出充分而有用的评议。特别感谢 David Durney，他提出本书内容的评估意见。我们还广泛地吸收了他关于剪切带体积变化效应的观点，有些资料取自他未发表的博士论文，借以制作了赫尔文特推覆构造的剖面图（图 11、10），似乎我们和他同时发现了依据压力影计算增量应变时非等轴形体的影响。我们感谢 Dorothee Dietrich、David Durney 和 Andrew Siddans，他们提供了未发表的资料用于编制赫尔文特推覆体的应变图。感谢 Pierre Choukroune 慷慨提供压力影的岩石标本和照片，感谢 Shankar Mitra 提供第七单元所用的照片。最后感谢 Ishbel Ramsay 绘制出作者的变形设想，并感谢 Andriana Huber 和 Chris Ramsay，她们在不同程度上使作者能够保持正确的创作途径。

John Ramsay

Martin Huber

1983年9月

目 录

第一单元 位移

——长度和角度变化	1
引言	1
利用卡片组的简单剪切确立的位移和应变的原理	2
长度和角度变化	3
定义: 伸长度 ϵ	3
定义: 角剪应变 φ 和剪应变 γ	4
高级问题(全部标有星号★)	5
解答和说明	6
长度变化的地质意义: 香肠构造和褶皱作用	9
关键词和定义	14
主要参考文献	16

第二单元 应变椭圆的概念

——形变和旋转	17
引言	17
第一组实验: 应变椭球——均匀和非均匀应变	17
第二组实验: 应变的主有限伸长度和旋转组分	18
第三组实验: 主有限伸长度和旋转随位移的变化	19
星号(★)问题	20
解答和说明	22
剪切带中张裂隙的演化	27
石香肠化、褶皱作用和应变椭圆	29
关键词和定义	35
主要参考文献	35

第三单元 不均匀应变概论

引言	37
问题和实验	38
星号(★)问题	43
解答和说明	45
剪切带中剪应变的测量方法	49
对应变相容性的进一步说明	50
围岩变形的剪切带	52
具有扩张(面积或体积变化)的剪切带	53
雁行状张裂隙	54
具有变形围岩和体积变化的剪切带	55

关键词和定义	57
主要参考文献	58
第四单元 位移矢量区和应变	59
引言	59
问题	59
星号(★)问题	62
解答和说明	63
运动方向的概念	65
测定位移的参考系类型	65
一般的坐标变换和应变	69
应变椭圆区及其地质意义	72
关键词和定义	78
主要参考文献	79
第五单元 实用应变测量之一	
——初始圆和椭圆标志体	80
引言	80
星号(★)问题	87
解答和说明	88
用初始圆状物体确定应变	88
根据初始椭圆物体测定应变	90
初始椭圆标志体非随机定向的效应	91
确定构造应变的快速方法	92
原始颗粒的形状	94
关键词和定义	94
主要参考文献	94
第六单元 实用应变测量之二	
——线的测量	96
引言	96
应变测量需要多少数据?	99
摩尔图解	101
星号(★)问题	104
解答和说明	106
测量伸长度的方法	108
摩尔圆作图法	110
关键词和定义	113
主要参考文献	113
第七单元 实用应变测量之三	
——心对心法和应变分解	115
引言	115
心对心法	115

第一种:“最近邻”心对心法	118
第二种:弗赖(Fry)法	120
应变分析	122
解答和说明	125
在碎屑岩中的应变测量	128
关键词和定义	133
主要参考文献	133
第八单元 实用应变测量之四	
——角度测量	135
引言	135
通过测定角剪应变确定应变	137
布雷丁(Bredden)曲线图	138
摩尔作图法	138
由两个或多个剪应变测值确定主应变轴比和主应变方位	140
布雷丁图解法	141
摩尔作图法	141
星号(★)问题	143
解答和说明	152
有关变形化石应变分析的结论性评述	160
关键词和定义	160
主要参考文献	160
第九单元 方位分析	162
引言	162
立体投影和等面积投影的构成	162
基本投影方法	165
方向指向	166
转动指向	167
两线间的夹角	170
两线夹角的等分线	170
侧伏角	170
两面间的夹角	170
两面夹角的等分线	171
曲面和曲线	171
投影图上数据的旋转	172
绕水平轴的旋转	173
绕倾斜轴的旋转	173
解答和说明	175
主要参考文献	179
第十单元 三维应变之一——面状和线状组构	180
引言	180
点位置和线方向的描述	180

三维空间的位移	182
应变椭球的类型	189
应变后平面方位的变化	190
应变后线方位的变化	192
星号(★)问题	193
解答和说明	195
三维应变测量	195
应变椭球的类型	195
变形岩石的组构和有限应变状态的关系	196
沉积岩变形引起的组构发育次序	203
三维应变后面和线方位的变化	206
表示面和线变形的马奇模型	210
关键词和定义	213
主要参考文献	214
第十一单元 三维应变之二	
——应变测量方法的评论和应变状态的表示	217
引言	217
应变测量：小结	217
应变值和应变轴比	219
应变状态的记录和比较	219
缩短或伸长的测定	223
应变椭圆区和应变椭球类型的关系	226
无有限线应变方向和主线应变值的关系	229
星号(★)问题	230
解答和说明	230
关键词和定义	239
主要参考文献	239
第十二单元 递进位移和递进变形	
——原理	241
引言	241
递进位移	242
递进应变	244
星号(★)问题	245
解答和说明	246
一般递进变形过程	249
质点运动路径区	260
关键词和定义	261
主要参考文献	262
第十三单元 递进变形测量之一	
——张性脉	263
引言	263

纤维状脉系的类型	269
据纤维状脉系测定增量应变	278
星号(★)问题	282
解答和说明	282
巧克力方糖状构造	285
剪切脉系	286
关键词和定义	292
主要参考文献	292
第十四单元 递进变形测量之二	
——压力影	294
引言	294
压力影的类型	295
薄片的制备	299
测量方法	299
刚性的纤维模式	300
可变形的纤维模式	301
不等轴刚性体	304
星号(★)问题	305
解答和说明	305
应变数据的解释	308
关键词和定义	311
主要参考文献	312
附录A 应变参数	313
伸长度	313
平方长度比	313
对数应变	313
剪应变	313
应变参数的量纲	314
附录B 根据位移测定应变	315
1. 位移	315
2. 均匀应变	316
3. 应变椭圆概念	317
4. 反应变椭圆	317
5. 任意初始与 x 轴成 α 角的直线的线应变(伸长度 ϵ)	318
6. 任一与 x 轴终态夹角为 α' 的直线的线应变	318
7. α 与 α' 之间的关统	318
8. 变形后应变椭圆的主应变方位(θ')	319
9. 成为主应变线的原始方位(θ)	319
10. 旋转角 ω	319
11. 主应变值 λ_1 和 λ_2	319

12. 面积变化 ΔA	320
13. 任意初始与 x 轴夹角为 α 方向发育的剪应变	320
14. 变形后与 x 轴成 α' 方向所发育的剪应变	321
附录 C 根据应变计算位移	322
特殊应变类型的座标变换和位移梯度矩阵	323
附录 D 应变物体中长度和角度变化	326
长度变化	326
角度变化	327
剪应变	328
最大剪应变	329
资料来源目录	330
索引 (略)	336
关键词汉英对照	336

第二卷 褶皱和断裂（目录）

第15单元	褶皱的形态
第16单元	褶皱定向——投影方法
第17单元	褶皱分类
第18单元	褶皱的剖面 and 正剖面
第19单元	褶皱机制之一——单层
第20单元	褶皱机制之二——多层
第21单元	褶皱中的应变和小型构造
第22单元	叠加褶皱
第23单元	断层的几何学和形态
第24单元	断层和平衡剖面的绘制
第25单元	断层的力学分析
第26单元	韧性剪切带和脆性剪切带
第27单元	节理
附录	E—G

第一单元 位 移

——长度和角度变化



用卡片模型的简单实验建立递进简单剪切过程中线应变和剪切应变的概念。说明以位移方程和坐标转换方程的数学形式描述位移的方法。讨论长度变化的一些简单地质含义；香肠构造和纵弯褶皱的演化与夹于较弱基质之间的强岩层所发生的伸长和缩短有关。

引 言

研究变形期间发生的几何形态变化，对于了解变形岩石和解释构造的地质意义很可能是最重要的基础工作。在地球的演化过程中受到大地经常变化的力场作用，导致各种岩石组分应力状态的变化。对材料施加力造成块体位置的改变，并且常有形态的改变。物体中质点的位置变化，称为**位移**；位移造成的形状变化叫**变形**，或叫**应变**。所形成的应变可能很小，而且能够恢复，即是说卸掉施加的应力后材料能恢复原来的形状。这种变形是固体在其**弹性范围**内发生变形的特征。在一定的**弹性变形**情况下，即在达到弹性极限时，固体岩石在某些表面上失去内聚力而发生**脆性变形**。对许多天然变形岩石的观察表明，脆性变形岩石经历了比那些弹性特征物体大得多的变形。这些变形常常在没有具体断裂面发生的情况下发展成巨大的永久变形。这些岩石称之为经历了**韧性流动**。本书前几单元旨在详细地研究变形材料的几何特征，以便我们能开始鉴定天然变形岩石中所见到的多种多样构造的原因。

位移和内部形态变化（称为应变）之间的关系一般是相当复杂的。要深入认识这些关系的一种实际方法是用简单模型进行实验。可以使韧性材料（像粘土、油灰或造型材料）制成的模型变形，并研究刻画在模型表面的线、网格或圆形标记几何形状的变化。然而我们将用一些更容易工作的材料——纸来开始研究应变。在当今计算机时代（一个科学家，如果手头没有一叠计算机打印材料或一叠计算机卡片，就算不上是科学家），我们可以容易利用一种很简单的模型实验方法——**卡片组**。剪切一组计算机卡片，并观察画在卡片组边上的各种网格或圆形标记几何图形的变化，这一极为方便的方法帮助我们了解变形几何图形的某些关键特征。尽管下述实验帮助我们直观了解变形原理是非常好的，但我们同时应强调这种模型实验方法用于自然变形的局限性。岩石不是一组滑动的卡片，与我们实验中的变形比较，岩石内部的变形一般更为多变并且复杂得多。学生应避免这样的错觉，即我们的实验提供了研究自然体系变化过程的通用模型。有时天然剪切变形的确是沿窄长、平面状，像卡片一样发生变形，但一般情况下都不是这样。有时它们产生像模型实验中所见到的几何形态，但另外一些时候又不是这样。只要我们认识到这些局限性就不会出问题，而且事实上发现卡片模型能够实际建立位移和应变全部重要的基本特征。

利用卡片组的简单剪切确立的位移和应变的原理

实验细节

希望学生自己建立模型，进行实验和回答提出的问题。回答完这些问题后，应与6—13页上的解答核对自己的结果，并仔细地阅读说明结果意义的注释。

下述的实验能用任何一组卡片进行，但最好是标准的IBM计算机卡片，因为它很薄，而且容易相互滑动。卡片最好装在一个盒子里，如图1.1所示，这样卡片就不会向两边散开。盒子的边长至少是卡片长度的三倍，盒子壁的高度应和卡片的宽度相同。卡片位移可以很简单地用手推，但最好的效果是用一对木制的或塑料制的定形端块或模板，如图1.1和图

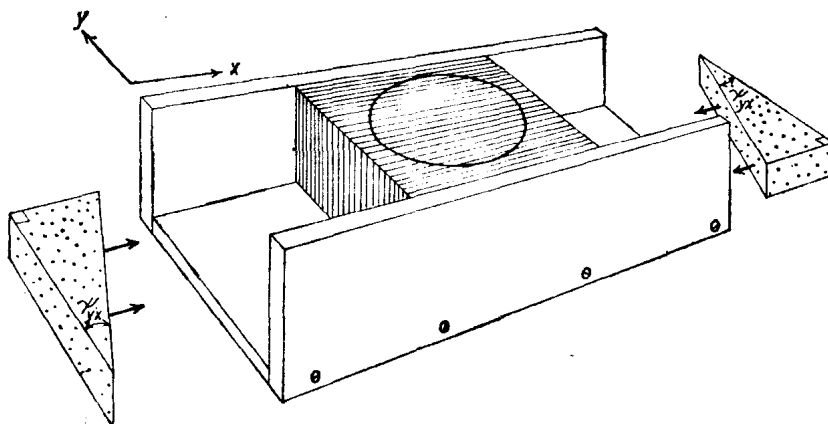


图 1.1 用于简单剪切实验将卡片夹持在一起的盒子

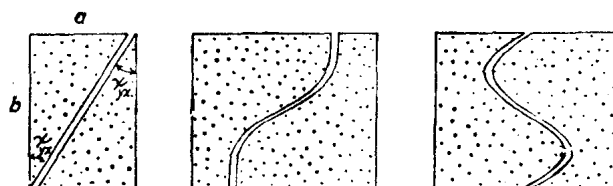


图 1.2 用于模型实验使卡片变形的定形端块或模板

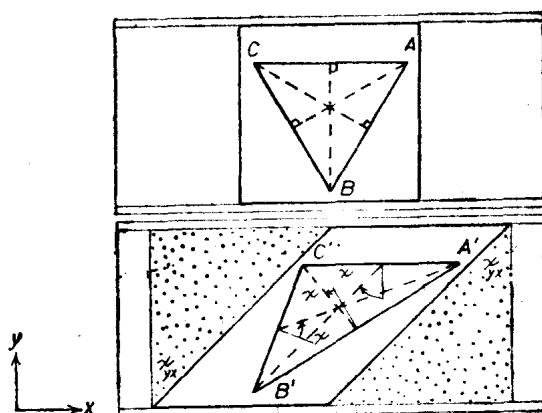


图 1.3 问题 1.1、1.2、1.3 的实验中在卡片顶面上作的图形，下图表示原始等边三角形位移后的形态 ($A'B'C'$)

1.2所示。使用这种模板，当卡片的自由端被楔形模板挤紧时，消除它们相互散开的趋势，便可把已知的简单剪切值简单而精确地导入卡片组。学生需要几套成对的具有不同顶角（ Ψ ）的三角形楔形模板。将会发现下列的 Ψ 角值最为有用：11.3°、21.8°、31°、38.7°、45°、50.2°、54.5°、58°、61°、63.5°。这种形式的模板导入卡片组的剪切量最好用平行于剪切盒子壁的剪应变（ γ ）来表示，此剪应变用希腊字母 γ （gamma）来表示，即：

$$\gamma = \tan \Psi = a/b$$

用上述给定角的模板将得到从0.2至2.0一系列增量为0.2 γ 的剪切应变值。用 γ 作为位移的绝对度量是很方便的，因为如果使横过盒子的位移加大一倍，即相当于把 γ 值加倍。

还应当制作具有较为复杂弯曲侧面的模板（见图1.2），这样可把复杂的位移和变形导入卡片组，而成对的具有正弦曲线侧面的模板对于第二、三单元的一些复杂实验来说，也是有用的。

使卡片相互滑动的位移型式，在数学上称为简单剪切。本单元和以后的各单元中我们设有一些参考轴，以便能更精确地表示位移和模型面上所发生的几何形态变化。为此选择直角坐标系，其 x 轴平行剪切盒， y 轴垂直盒壁（图1.1和1.3）。我们还需要定义参照该坐标系的剪应变（见上述 γ ）。用下标表示剪切与所选择的座标关系如下：第一下标表示垂直于剪切面（卡片、剪切盒壁）的方向，即 y 方向；第二下标表示剪切方向，即 x 方向，因此，剪应变 γ_{yx} 中的下标应为 yx 。

长度和角度变化

在一叠卡片表面用黑墨水画一个等边三角形 ABC （图1.3等边长），使 AC 平行于卡片的方向， AB 和 AC 与卡片的交角分别为60°和120°，用另外一种颜色的墨水从 A 向 BC ，从 B 向 AC ，从 C 向 AB 作垂线。

用不同的模板剪切卡片，使 A 、 B 、 C 点位移到新的位置 A' 、 B' 、 C' （图1.3）。

问题1.1

原始三角形各边的长度变化吗？度量它们并以表格形式记录这些数据（见表1.1）。

表 1.1

γ_{yx}	$A'B'$	$B'C'$	$C'A'$	$A'B'$ 方向 Ψ	$B'C'$ 方向 Ψ	$C'A'$ 方向 Ψ
$\gamma_{yx} = 0.2$						
$\gamma_{yx} = 0.4$						
$\vdots$						

初始垂线均保持垂直吗？从初始垂线起度量角度的偏转（ Ψ ，见图1.3）。对采用不同简单剪切位移值（ $\gamma_{yx} = \tan \Psi$ ）时，均度量以下数据，并记于表中。在这组实验中应当很清楚，简单剪切位移通常导致直线长度的变化和初始相互垂直两线间角度的变化，这两类几何效应通常用以确定应变参数。

定义：伸长度 e

长度的变化称为线应变，并以一个称为“伸长度”的大小来表示，伸长度总是用小写字母 e 来表示。对于 $A'B'$ 方向来说，伸长度是 $e_{A'B'}$ 。伸长度定义为长度的变化除以原始长度，即：