

地质学中的物理过程

〔美〕 A. M. 约翰逊 著

科学出版社

地质学中的物理过程

[美] A. M. 约翰逊 著

张之立 李兴才 译

张文佑 丁文镜 黄开年 校

科学出版社

1983

内 容 简 介

本书主要内容是运用力学的方法解决地质问题,提出了研究力学过程的流变方法,并介绍一些在解决地质问题时富有成效的研究方法。全书共分三大部分。

第一部分首先扼要叙述和讨论了地球物理过程的基本概念,其中包括平衡、流变和边界条件等。接着讨论了平衡、力、弯矩、应力、应变等概念以及弹性和粘滞体特性的三维表达式,强调了物质的弹性和粘性理论的相似性。第二部分论述了断层、节理和岩脉的型式及其形成的力学分析。第三部分研讨了冰、熔岩和岩屑的流动型式以及它们沉积物的相似性,并指出可以用冰、熔岩及泥的力学性质加以解释。

本书可供地质、地理、地球物理工作者阅读,也可供有关科研、教学人员参考。

Arvid M. Johnson
PHYSICAL PROCESSES IN GEOLOGY
Freeman, Cooper & Company, California, 1970

地质学中的物理过程

〔美〕A. M. 约翰逊 著

张之立 李兴才 译

张文佑 丁文镜 黄开年 校

责任编辑 李棋方

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

*

1983 年 3 月第 一 版 开本: 787 × 1092 1/16

1983 年 3 月第一次印刷 印张: 23 1/4

印数: 0001—3,340 字数: 528,000

统一书号: 13031 · 2171

本社书号: 2974 · 13—14

定 价: 3.60 元

中 译 本 序 言

A. M. 约翰逊所著的“地质学中的物理过程”一书，现在由张之立和李兴才两位同志译为中文，由科学出版社出版，这是一件好事。该书着重解释岩浆侵入，褶皱和断裂以及冰川与泥石流等地质现象的物理过程，将力学理论应用于地质问题，从流变学观点说明地质材料的活动，即从弹性、塑性、粘性、粘塑性、破裂等方面分析地质体形变过程。

本书首先讨论地质材料物理过程的基本概念，介绍平衡、流变和边界条件的概念。再从弯曲入手，对于褶皱作用进行力学分析，并以断裂力学阐明断层、节理和岩墙的形成，最后又对冰川、溶岩和泥石流进行粘塑流动的流变学分析。

早在三十年代，李四光教授就提出地质与力学相结合的问题，运用力学原理分析地质构造。在四十年代至五十年代期间，本人在多年工作的基础上又提出地质构造研究必需运用地质力学与地质历史相结合的方法，并且认为地质力学分析是地质历史分析的基础；地质历史分析是地质力学分析的综合。本书列举了大量地质实例，把地质现象融合在力学分析之中，使地质和力学紧密结合起来，可以帮助地质人员正确理解力学概念，掌握运用力学分析地质现象的基本方法，也可以帮助力学人员深入了解地质现象的复杂性，往往不是一个简单的方程式和模式所能“兼容并包”的。

众所周知，地质现象是物理、化学和生物过程长期作用在地球上的综合结果。现象复杂，时间久远，很难在实验室内使之重现。往往需要运用相似原理和统计方法进行物理模拟和数学模拟；并且需要野外大量实际观测资料和室内大量分析数据，把野外观测和室内分析紧密结合起来。因此，地质工作人员要有广阔的知识 and 扎实的实际经验，一专多能，集思广益。

曾记得李四光教授在五十年前对北京大学地质系同学说过：“学好构造地质学必需打好数、理、力学基础；学好岩石学必需打好物理、化学基础；学好古生物学必需打好生物学基础”。近代地质学不就是沿着这个方向发展的吗？地球物理学是地质学与物理学相结合的产物；地球化学也是化学向地质学渗透的结果。环顾世界上伟大的地球物理学家和地球化学家，大多数分别出身于物理学和化学，运用物理方法和化学方法来深入研究地质现象，分别把物理学和化学渗透到地质学中而做出显著的成绩。

我们曾经一再提出，岩石构造形变可以随着压力和温度的增高，进一步产生变质现象，再进一步又可发展为混合化和重熔现象。近来，地球物理探测，表明地壳和地幔以至于整个地球都是不均一的。在不均一的地方往往产生应力集中，因而较弱的应力也就可以在不均一的地方产生显著的形变。这是研究地质构造不可忽视的。而本书所举的一些地质构造形变实例又恰可说明这一点。

本书是一本良好的物理、力学与地质学相结合的参考书，对于中国地质学的现代化，

对于青年一代的新型地质学家的成长必将产生积极的推动作用，有益于大学地质系和地球物理系学生、研究生和青年教师的学习和深造。

张 文 佑

一九八一年十月十九日

前 言

当我还是一个学生时,我就开始感觉到有必要开设和编写主要为地质专业的学生论述有关材料力学性质的理论,并用之解决地质问题的入门性的课程和教科书。我们知道,在工程系和物理系的确已有很多力学教程,但地质专业的学生都发现这些教科书并不宜解决地质问题。事实上,许多地质专业的学生相信:为了补上可以用来分析地质过程的相当“十克”的概念,他们必须从“一千克”不合用的资料和假设中去选择。

需要开设一门用力学方法解决地质问题的入门课程的认识,促使作者本人在斯坦福大学讲授这样一门课程。本书就是这门课程的产物。

一个学生将会发现,一旦他把力学用于一些特殊的地质问题中获得了某些经验时,他就能把力学应用于其他一些地质问题中去,而且,一旦当他开始应用力学的一些基本概念去探索对地质过程的认识时,他将会了解到由工程师和物理学家们发展的一些分析方法的好处,而这些方法他曾一度认为是不能用于地质学的。他还将能够理解和评价一些关于地质问题力学分析的论文。

本书提出了研究力学过程的流变方法,这对我们了解地球的物质特性无疑是重要的。简单地说,流变学理论包括要决定一种实际材料到底主要表现为弹性的,塑性的,粘性的,粘塑性的或其他别的性质。使用的方法是将实际材料的性质与受控条件下理论的或实验材料的反应特性进行比较,而后者是可以数学进行描述的。我们可以通过应用流变方法对地球物质在许多地质现象形成过程中是如何变形的获得相当好的理解。当我们已经弄清楚地球物质对自然力是如何反响的问题之后;我们能够寻求为什么这种物质会表现出这种特性这一问题的答案了。

本书的主要目的在于:强调在研究各种地质现象,如褶皱,岩脉,冰川沉积等现象时其物理过程的意义;为地质学家们进一步学习较高级的论述材料力学性质的书籍提供一些基础知识;激励人们对某些地质问题的兴趣;介绍一些我认为在解地质问题中是富有成效的研究方法。

第一章简单地叙述和讨论地球物质物理过程的基本概念,其中包括平衡,流变和边界条件等。

第一部分,弯曲,将向读者介绍在解弯曲形成过程的某些问题中曾经用到的一些数学方法,这些方法已为工程师们广泛采用,并发展成为高度有用的方法,称之为梁和平板理论。然而,这个理论并不仅限于工程学和分析褶皱过程中的应用;它在分析任何一个强调岩石成层性质的物理过程中都是十分有用的。例如,斯坦福大学的学生就曾应用梁和平板理论来认识一口抽水井^{[16],17}周围的地面形变,以及若干盐丘刺穿的地层性质。在第一部分中讨论了平衡,力,弯矩,应力,应变等概念以及弹性和粘性体特性的三维表达式,这

1) 见第一章末的参考文献。

些概念都是对弯曲过程进行数学分析首先要用到的。该部分阐述了弹性理论的基础,强调了物质的弹性和粘性理论的相似性。文中提到的这些概念都是通过地质学家们熟知的弯曲而引进的。

第二部分论述了断层,节理和岩脉的型式,其中所做的分析有六个目的:指出莫尔圆的意义,即物理空间和应力空间的对应性;引入极坐标;简要地讨论某些破裂准则;叙述计算弹性体内应力图象的方法;引入初始应力的重要概念;指出我们对节理和断层形成过程的了解太少了,并特别强调用破裂准则预测大规模破裂的方位这一近乎万能的假设目前还没有逻辑根据。

在第三部分里我们将考察冰,熔岩和岩屑的流动,研究它们的流动型式以及冰,熔岩和泥的沉积物之间明显的相似性。进而我们将说明,这种相似性可以用冰,熔岩及泥的力学性质加以解释。写这一部分的一个重要的目的是要说明上述过程(如流动过程)的研究大大有助于我们理解地貌的特征。我们还将在该部分考察描述粘性流动的纳维-斯托克斯方程,富里叶级数及流变方程等。

我不想试图汇编有关地球物质特性的全部可用的知识,也不打算以本书去替代一些论述弹性、塑性、粘性和破裂的综合性教科书。我宁愿给学生提供一点基础知识和展望,我认为,这样做能使学生通过学习有关上述课题的更综合性的教科书中得到更多的收益。

阅读本书所要求的数学知识是微积分学;文中还讲了一些数学方法,读者应该寻找其中某些数学方法的进一步的论证,为此,下列应用数学方面的教科书可供参考:

科雷赛格,1962,高等工程数学(Kreyszig, Erwin, 1962, *Advanced Engineering Mathematics*): John Wiley and Sons, Inc., N. Y.

索科尼科夫和雷德赫弗,1958,物理和现代工程数学(I. S. Sokolnikoff and R. M. Redheffer, 1958, *Mathematics of Physics and Modern Engineering*): McGraw-Hill Book Co., Inc., N. Y.

怀利,1960,高等工程数学(C. R., Jr., Wylie, 1960, *Advanced Engineering Mathematics*): McGraw Hill Book Co., Inc., N.Y.

索科尼科夫和雷德赫弗的书比怀利或科雷赛格的书论述的课题多,但语言比较抽象。

我感觉,正在印刷中的许多数学和力学书籍,上述关于应用数学的书籍以及下列应用力学方面的书最容易懂。

弹性:

铁木辛柯和古迪尔,1951,弹性理论(S. Timoshenko and J. N. Goodier, 1951, *Theory of Elasticity*): McGraw-Hill Book Co., Inc., N. Y.

弗罗特,1941,光弹性(M. M. Frocht, 1941, *Photoelasticity*): John Wiley and Sons, Inc., N. Y. 2Vol.

洛夫,1944,弹性数学理论(A. E. H. Love, *A Treatise on the Mathematical Theory of Elasticity*): Dover Publications, N. Y.

比奥,1965,增量变形力学(M. A. Biot, 1965, *Mechanics of Incremental Deformations*): John Wiley and Sons, Inc., N. Y.

比奥在他的书中引进了许多新概念,因此,他的书比较难懂,但他所提出的理论对那些研究受初始应力的岩石特性的地质学家是非常有用的。铁木辛柯和古迪尔的书特别易懂。

塑性:

普拉格和霍奇, 1951, 理论塑性体 (W. Prager. and P. G. Hodge, 1951, Perfectly Plastic Solids): Wiley and Sons, Inc., N. Y.

希尔, 1950, 塑性数学理论 (R. Hill, 1950, The Mathematical Theory of Plasticity): Oxford at the Clarendon Press, London.)

约翰逊和梅勒, 1962, 机械工程师实用塑性 (W. Jhonson and P. B. Mellor, 1962, Plasticity for Mechanical Engineers): D. Van Nostrand Co., Ltd., London.

粘性:

劳斯, 1961, 水利工程师实用流体力学 (H. Rouse, 1961, Fluid Mechanics for Hydraulic Engineers): Dover Publications, Inc., N. Y.

兰利斯, 1964, 慢粘性流动 (W. Langlois, Slow viscous Flow): Macmillan Co., N. Y.

拉姆, 1945, 流体动力学 (H. Lamb, 1945, Hydrodynamics): Dover Publications, Inc., N. Y.

其中, 劳斯介绍粘性理论的书比其他两书要好。

破裂:

特托曼和麦克威利, 1967, 结构材料的破裂 (A. S. Tetleman and A. J. Jr. McEvily, 1967, Fracture of Structural Materials): John Wiley and Sons, Inc., N. Y.

耶格和库克, 1969, 岩石力学基础 (J. C. Jaeger and N. G. W. Cook, 1969, Fundamentals of Rock Mechanics): Methuen and Co., Ltd., London.

应变:

拉姆齐, 1967, 岩石的褶皱和断裂 (J. G. Ramsay, 1967, Folding and Fracturing of Rocks): McGraw-Hill Book Co., Inc., N. Y.

拉姆齐对应变理论的论述是我见到的书中最好的。

读者可通过学习本书熟悉在解某些力学问题中所必需的一些基本概念, 其中包括流变方程, 边界条件, 平衡方程等, 但是, 如果不去实践, 你就不可能熟练地应用这些概念, 因此, 我建议, 当你在读这本书时, 你就要开始建立和解决地质学中的力学问题。譬如, 在学习了第一部分之后, 你就可以建立能说明霍维尔大坝^[13]和邦维尔湖^[21]地面挠曲率的具体的流变方程和边界条件。至于其他问题将在课文中论述这些问题时提出。

另外, 我还感觉到, 哈伯特和鲁比^[712]的关于逆掩断层的又经典又详细地逐步分析对地质专业的学生特别有启发, 那篇论文对由卡尔特扎齐^[1913]引进并由哈伯特和鲁比进一步阐明的多孔介质中有效应力的概念进行了精辟地分析, 文中对向量符号也做了介绍⁴⁾。我认为, 写论文而后召开讨论会以交流关于有效应力方面的想法, 包括对哈伯特和鲁比数学推导中的每一个步骤的解释可使学生学到很多东西。论文可以这样来撰写, 就像学生正在向一个不懂向量符号的读者解释哈伯特和鲁比的分析方法那样。

如果一个学生能像上面所说的那样去实际应用他要熟悉的基本概念, 他就会充分掌握这些概念并用之于其他地质学问题, 那么, 当他读完这本书时, 他就应该能够会运用物理过程的原理, 并准备进一步学习论及更多力学课题的书籍了。

1) 见第一章末的参考文献。

2) 见第一章参考文献 7: 第 117—123 页和第 149—162 页的“问题的提出”; 第 129—142 页的“问题的解答”。还可参见劳伯斯切尔, 穆尔和伯奇的讨论(参考文献 8, 9, 10)。

3) 见第一章末的参考文献。

4) 吉布斯^[1]的著作对向量符号及其分析有很好的论述。

目 录

第一部分 弯 曲

第一章 求解地质学中力学问题的方法	1
引言	1
解释物理过程所需要的分析工具	4
力学	4
力矩和力的平衡	5
力	5
牛顿定律	5
应力和应变	6
流变学	7
线性流变模式——弹性、塑性和粘滞性	8
线性流变模式的组合	9
宾汉模式	10
普兰特模式	11
开尔文和马克斯威尔模式	11
高阶流变模式	12
边界条件	13
第一章引用的参考文献	16
第二章 犹他州的亨利山中的岩盖	18
引言	18
亨利山	19
区域背景	19
吉尔伯特关于理想岩盖的概念	20
吉尔伯特对岩盖规模的力学分析	20
岩盖上面地层的弯曲	23
根据梁和板理论的分析	24
内力和弯矩	25
符号规定	26
弯矩的意义	26
隔离体图	26
承受分布荷载的梁的力和力矩	31
弯矩和弹性构件曲率之间的近似关系	32
岩盖岩浆引起的顶盖层挠曲形式的数学表达式	37
亨利山缺少小岩盖的原因	42
亨利山岩盖尺寸取决于地层位置的解释	43
第二章引用的参考文献	45

第三章 阿巴拉契亚山脉中的褶皱列	46
引言	46
阿巴拉契亚山脉的褶皱	47
问题	48
威利斯关于阿巴拉契亚褶皱的理论分析	49
褶皱列形式的数学表达	50
轴向承载的无约束构件	50
轴向承载的约束构件	56
剪力和初始挠度对屈曲的影响	60
贝利褶皱	60
剪力对弯曲的影响	62
初始倾角对褶皱的影响	68
试验	68
阿巴拉契亚山脉的初始倾角	69
单个初始挠曲	69
扭曲的构件	74
理论解释	76
概括	78
第三章引用的参考文献	79
关于褶皱的其它参考文献	80
第四章 单岩层褶皱	83
引言	83
弹性介质中的单个承压构件的褶皱	85
数学问题的表达公式	85
对褶皱的石英岩脉复查	88
有限厚度的软约束介质的影响	91
层理对地层易弯曲性的影响	94
重力对承压构件的褶皱波长的影响	97
承压岩层的概念	100
肠状褶皱——大挠度	101
形成肠状褶皱的途径	102
弹性线	102
肠状褶皱的实际形状和理论形状之间的关系	106
第四章引用的参考文献	107
第五章 理论基础：应力、应变和弹性常数	109
应力	109
内力	109
应力的概念	109
作为向量的应力	110
不同方向平面上的应力	111
关于九个应力分量的讨论	113
应力的表示	113

应力的符号	114
应变	115
位移和应变	115
应变的概念	116
位移分量和无限小应变	117
移动	117
转动	117
伸长和缩短	118
剪切	118
有限应变	121
应变的叠加	123
弹性常数和应力-应变关系	124
杨氏模量和泊松比	124
法向应力和法向应变之间的关系	125
某些地球物质的杨氏模量和泊松比	125
刚性模量	128
平面应力和平面应变——重要的特殊情况	131
平面应力	131
平面应变	132
梁和板弯曲之间的差别	135
第五章引用的参考文献	136
第六章 犹他州莫阿布附近卡尔梅尔组中褶皱的发展	137
犹他州莫阿布的褶皱	137
卡尔梅尔组褶皱时的条件	137
软材料和硬材料互层的比奥屈曲理论	138
岩石序列的理想化	138
理论解释	139
多层构造的挠度微分方程	139
多层构造的弹性常数	143
对假定的评论	146
有刚性边界约束的多层构造的屈曲	148
理论褶皱与卡尔梅尔组褶皱的比较	153
第六章引用的参考文献	154
第七章 理论基础：弹性和粘滞性理论的介绍	155
引言	155
用应力表示的平衡方程	155
二维问题的相容方程	157
弹性体平面应力状态的相容方程	158
弹性体平面应变状态的相容方程	159
艾里应力函数	159
无限厚弹性介质对位于它表面上的岩层褶皱的反作用	161
问题的提出	161

选择应力函数	161
计算任意常数	163
推导位移	164
分布载荷和位移之间的关系	166
有限厚软介质对埋于其中岩层褶皱的反作用	166
问题的提出	166
映象方法	167
确定应力和位移	167
牛顿粘滞性体的流变方程	170
应变率	170
粘滞性系数	171
法向应力和法向应变率之间的关系	171
某些弹性和粘滞性问题解的同一性	173
埋在软粘滞介质中的坚固的粘滞体的褶皱	174
粘滞性构件的弯曲阻力	175
粘滞性介质的阻力	176
褶皱的波长	178
弹性和粘滞性褶皱之间的相似性和差别	181
第七章引用的参考文献	182
第八章 加利福尼亚旧金山弗朗西斯科组燧石和页岩互层的褶皱	183
褶皱形状	183
褶皱期间燧石和页岩的性质	185
形状分析	185
单个塑性层的屈曲	186
屈服	186
屈服强度	187
转枢和直翼的形成	188
塑性失稳	190
粘塑性、伪塑性及非线性弹性板条的屈曲	190
弗朗西斯科褶皱的重新研究	194
层状材料中枢线的形成	196
实验室内的折曲带	197
折曲带取向的分析	201
折曲带和同轴褶皱	205
第八章引用的参考文献	207

第二部分 断层，节理和岩脉型式

第九章 内华达州廷伯尔山破火山口处的断层图象	209
廷伯尔山破火山口附近的断层	209
盆地和山岭断裂期间的条件模式	209
安德森断裂理论	210
任意平面上的应力	210

二维莫尔圆	212
由安德森理论导出的断层取向	214
廷伯尔山破火山口附近断层图象的分析	217
第九章引用的参考文献	219
第十章 花岗岩中席状构造的形成	220
席状构造	220
弗莱切采石场	220
弗莱切采石场内席状破裂的特点	221
席状破裂的长度	222
席状破裂的终止	223
岩席的厚度	224
切姆斯福花岗岩中的微破裂	225
席状破裂的成因	227
格里菲斯破裂理论	229
空洞和裂隙周围的应力集中	229
圆孔	230
椭圆孔	231
应变能和表面能	232
弗莱切采石场内席状破裂长度的分析	234
初始受应力的弹性体的应力-应变关系	234
席状破裂的深度和长度间的关系	235
地表附近岩席的屈曲	238
张开微裂隙的可能成因	238
弗莱切采石场岩席厚度的分析	239
理论说明: 脆弹性体内破裂的扩展	241
格里菲斯体	241
拉张	241
压缩	243
第十章引用的参考文献	246
第十一章 科罗拉多州西班牙峰的岩脉型式	247
西班牙峰地区	247
岩脉山	248
岩株和放射状岩脉群	248
岩脉山放射状岩脉型式的可能成因	248
岩脉型式与岩株的理论关系	249
问题简介	249
极坐标中的平衡方程	249
极坐标中的协调方程	250
含有受压孔的无限平板中的应力	252
岩脉山的理论和实际岩脉型式的比较	255
东、西西班牙峰	256
地质背景	256

奥迪法	257
镜像法	258
无限平板中的两个受压圆孔	258
西班牙峰地区理论和实际岩脉型式的比较	259
第十一章引用的参考文献	262
有关破裂,成脉作用,节理和断裂的其他参考文献	262

第三部分 冰、熔岩和岩屑的流动

第十二章 泥石流沉积的形成	266
引言	266
泥石流沉积的特征	267
泥石流的运动	269
加利福尼亚赖特伍德泥石流	269
亚利桑那帕克泥石流	273
泥石流、熔岩流和冰川沉积物的相似性	273
鼻的纵剖面形状	274
砂楔实验	274
塑性材料鼻的理论剖面	277
理论和实际鼻的比较	279
第十二章引用的参考文献	282
第十三章 泥石流对砾石和块体的搬运	283
搬运机制	283
塑性体中球的沉降	284
问题的简化	284
描述刚塑性体平面应变的方程	285
应力方程	285
平衡方程	287
刚塑性体内的速度方程	288
刚塑性体的承载能力	290
球的淹没深度和塑性强度的关系	296
考虑到三维条件和塑性体浮力后的修正	296
理论和实验的比较	298
苏波里斯峡谷冲积扇上块体和砾石的搬运	299
第十三章引用的参考文献	302
有关土力学和塑性理论方面的参考文献	302
第十四章 岩屑、冰和熔岩的流变性质	305
河道内的泥石流	305
圆形河道粘度计	306
半圆形河道内宾汉体的流动	306
半圆形河道内高岭土-砂泥浆的速度剖面	309
无限宽河道内流动的速度剖面	310
测定非圆形河道中的泥石流强度和粘度的简化方法	311

加利福尼亚赖特伍德天然泥石流的性质	314
解的含意和实验	316
半圆形河道内牛顿和伪塑性体的速度剖面	318
拟合模式评述	319
夏威夷麦克普希火山口内熔岩的粘度和强度	320
旋转粘度计理论	321
上述解在测量熔岩性质的仪器上的应用	323
玄武熔岩的粘度和强度	324
格伦的冰柱实验	325
加拿大艾伯塔萨斯喀切温冰川的速度和流变性	326
萨斯喀切温冰川	326
冰舌的表面速度	327
冰内的速度	328
冰的流变模式	328
玄武熔岩、冰川的冰及岩屑性质的比较	329
第十四章引用的参考文献	330
第十五章 U型山谷	332
引言	332
矩形河道内牛顿体的流动	333
纳维-斯托克斯方程	333
计算流动的方法	335
泊松和拉普拉斯方程	336
分离变量法	336
镜像法	337
富里叶级数	338
富里叶系数的计算	340
速度分布	341
宾汉体在矩形河道内的流动	341
两维宾汉体	341
剪应力分布	343
停滞区	343
速度分布	346
岩屑在三角形河道中的流动	348
侧向沉积的形成	350
U型冰川谷	352
第十五章引用的参考文献	353
结束语	354

第一部分 弯 曲

第一章 求解地质学中力学问题的方法

引 言

地质学中物理过程的研究是一种方法的研究，这种方法是由吉尔伯特于十八世纪后半叶引入的，并在他的专著中做了清楚的阐述。他的方法与前人的完全不同，事实上，也与他的大多数后继者迥然不同。许多地质学家在考察一个露头时，看见某些他们认识的特征，如像靠近断层的拖曳褶皱或切过露头层理面的岩脉，他们就这样来称呼和解释它们：“这些是拖曳褶皱，它们表明这一盘的岩石已相对另一盘的岩石沿着断层向上运动”。以及“有一条玄武岩岩脉固结在地球的管道系统中，它可能供给地表岩流”。

然而，当我读到吉尔伯特的文章时，我得到不同的印象，即他完全不是按照这种方法进行的。实际上，他按照常规对野外资料进行搜集和分类，对构造形态制图和描述。但是他有一个另外的目的——他试图去理解他在每个露头中看见的现象。当然，他不满足于他所观察到的特征的经典解释，他不愿去解释那些没有充分按照力学法则或者没有他所熟悉的过程和地质过程之间联想类比时的自然现象。

因此，吉尔伯特仔细地观察靠近断层的扭曲，并试图推断地层在扭曲形成时是如何变化的。他凭经验和直觉在熟悉的物质中想象一种类似的状态。他当时或许认为弯曲的不同形状是与断层路径的细节有关。这种关系表明每一地层承受的载荷取决于横切地层的

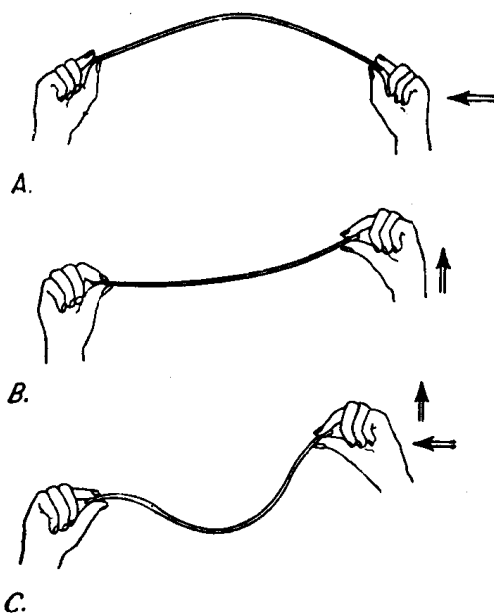


图 1.1 一根薄金属条在端部施加各种载荷时的反应

断层方位。因此,他想象一根薄金属条一端被紧紧握住,并在另一端加载。如果在自由端沿着轴线加载时,金属条横向屈曲形成一个长拱(图 1.1 A)。然而,如果金属条的一端受横向推力时,它仅仅向上拖曳(图 1.1 B)。如果轴向和横向载荷联合作用时,挠曲的形式是这两种模式的联合(图 1.1 C)。因此,他推断拖曳褶皱的形状细节能由载荷类型了解,而后者又与断层路径的细节有关。

当吉尔伯特观察含有玄武岩岩脉的露头时,他不只是看到部分地球管道系统的形象。首先,他注意到岩脉不是连续贯穿整个露头而是在某处中止。其次,他注意到岩脉的终端是平的,某些地质学家甚至没有注意到岩脉是中止在露头内,即使注意到了,他们仍是将它作为一个横向变薄最后楔形尖灭的板状体画在图上,因为这就是他们学到的画岩脉终端的方法。

吉尔伯特可能不了解岩脉和岩床钝端的原因,但是他可能立即认识到它们是与熔化的岩浆和围岩的性质有关,并且他可以通过考虑其形状学到一些东西。

许多地质学家的方法和吉尔伯特方法之间在我看来有两种根本差别:一种是提出正确力学类比的能力,而另一种是态度问题。许多地质学家工作时缺乏定量法则或定律,他们在地质学的课程如构造地质学和地貌学中学到了几条法则,但不幸的是许多法则经受不住仔细推敲——它们全是半真实甚至是完全错误的。然而,吉尔伯特不存在缺乏定量法则的困难,他所用的大多数法则都是由类比产生的。如拖曳弯曲的现象就使他联想起他能理解的另一种更熟悉的如像一根金属条在各种荷载条件下的弯曲现象。吉尔伯特得天独厚的是几乎一刹那间就能想出几十种类比的能力。这些类比描述了他用于分析地质现象的法则。

本书的很多内容是介绍各种法则和材料状态的类比,大多数法则已由工程师和物理学家发明,但是我们可以将它们用于对地质问题适用的地方。而且,通过对工程师和物理学家已创造的法则和定律的研究、学习,我们能学会创立仅是求解地质问题所要求的其它法则。通过向工程师和物理学家学习以发展他们法则的方法,我们能学会发展我们自己的法则。

吉尔伯特和许多地质学家的方法之间的另一个根本差别是态度的不同,我们地质学家往往强调解释地质记录这一工作的复杂性,我们还说明并最终深信所有地质问题都比物理和化学问题复杂得多来为自己显然不能像物理学家和化学家使他们的学科量化那样使我们的学科量化辩解。此外,我们有时也高傲地宣称我们如何通过理论或者试验认识那些需要几百万年才产生的现象呢? 吉尔伯特似乎是取相反的观点:如果下功夫,我们几乎能认识任何地质过程,而且大多数过程的主要特征有相似处。

这种解决地质问题的自信力是不可能直接由书本或教师传授,然而通过仔细研究以下章节以及其它已发表的文献中讨论的例子或许会鼓励学生去解决一个包含物理过程的地质问题。看来,通过成功地解决一个问题,一个人就能增强他解决其它问题的信心。

为了更深入地探讨吉尔伯特的方法,让我们分析加里福尼亚中部的佛朗西斯科组中的某些特殊的褶皱(图 1.2)。向斜的一翼长约 60 厘米,另一翼长约 30 厘米。硬层是燧石,软层是页岩。燧石层的厚度变化范围在照片所示的区域内是从几毫米到八厘米。燧石层以强烈破裂为特征,但沿裂面的滑动微不足道。图 1.2 所示的褶皱有一个特点是燧石层在脊或槽处并未加厚或减薄。然而,页岩夹层的厚度却随褶皱部位的不同而不同。