

刘国昌

地质力学及其在

水文地质工程地质方面的应用

地质出版社

地质力学及其在水文地质 工程地质方面的应用

刘国昌

地质出版社

本书说明

本书是为水文地质及工程地质专业的人员编写的。但就地质力学的基本内容来说，也可供其它有关专业的人员参考。

本着知其当然，还须知其所以然的精神，便于地质力学的力学解析，书中介绍了材料力学、弹性力学和岩体力学的有关知识。为了便于学习，从基本构造形迹讲到复杂的构造体系，以及它们的复合关系。本书还根据各种构造类型的构造体系的分布规律，探讨了地壳运动的规律性。为了促进地质力学在水文地质及工程地质专业上的广泛应用，同时又通过在本专业上的应用促进它的发展，本书最后介绍了它在本专业初步应用的几个方面。

本书批判地继承了一些传统构造地质学的内容。书中有些内容是根据作者野外工作实践提出的。但由于作者的理论水平有限，缺点、错误在所难免；愿与读者共同讨论、提高，更欢迎读者批评、指正。

在本书写作过程中，曾得到姜孝侯、刘绍武、张保民等同志的协助，在此一并致谢。

作者

地质力学及其在水文地质
工程地质方面的应用

刘 国 昌

国家地质总局书刊编辑室编辑

地质出版社出版

张家口地区印刷厂印刷

新华书店北京发行所发行·各地新华书店经售

1979年4月北京第一版·1979年4月北京第一次印刷

印数1—12,370册·定价1.90元

统一书号：15038·新371

目 录

绪言

第一篇 地质力学的力学基础10

第一章 应力与变形10

第一节 外力、内力、应力10

第二节 应力状态11

§1 应力状态的概念11

§2 应力状态分类12

§3 一点应力状态的应力圆表示法25

第三节 应力集中问题30

§1 应力集中的概念30

§2 发生应力集中的原因30

第四节 变形32

§1 变形的基本概念32

§2 变形的基本形式33

§3 联合变形62

§4 薄板的变形64

第二章 岩石的力学性质77

第一节 岩石的力学表象及其变化77

§1 脆性、弹性、塑性、粘性的一般概念77

§2 岩石的力学表象79

§3 岩石力学表象的变化和力学模型80

第二节 岩石力学性质的形成86

第三章 力学强度理论92

第一节 强度理论的概念92

第二节 莫尔强度理论93

第四章 构造应力场的一般概念97

第一节 什么叫作构造应力场97

第二节 研究构造应力场的目的97

第三节 构造应力场的类型98

第四节 构造应力场的研究方法99

第二篇 地质力学的基本内容100

第五章 构造形迹及其力学涵义100

第一节 褶皱101

§1 褶皱的基本概念101

§2 褶皱的基本类型102

§3 褶皱的力学成因103

第二节 断裂	106
§1 断裂的基本概念	106
§2 断裂类型及其迹象	107
§3 断裂的力学成因	110
§4 同期形成的断裂与褶皱的关系	113
§5 同期形成的断裂间的关系	114
§6 活动性断裂及最新活动性断裂	116
第三节 节理	119
§1 节理的基本概念	119
§2 节理的类型及力学成因	120
§3 同期形成的节理与断裂的关系	121
第四节 劈理	122
§1 劈理的概念	122
§2 劈理的类型和力学成因	122
第五节 片理	123
第六节 流线及流理	124
第七节 层理	125
第八节 结构面的力学划分及其特征	125
§1 结构面的力学划分	125
§2 结构面的特征	128
第九节 构造形迹发生的序次	135
§1 构造形迹序次的涵义	135
§2 构造形迹发生的序次	135
第十节 构造形迹的等级	137
第六章 构造体系及其类型	139
第一节 构造体系的概念	139
§1 什么叫构造体系	139
§2 对构造体系的鉴定	139
第二节 构造体系的类型	140
§1 东西向构造体系	141
§2 南北向构造体系	143
§3 扭动构造体系	144
第三节 构造体系的等级	183
第四节 活动构造体系	183
§1 祁吕贺兰山字型构造	183
§2 滇东山字型构造	184
§3 川滇南北向构造带	184
§4 新华夏系	184
§5 青藏滇缅印尼歹字型构造我国部分	184
第五节 海底构造的主要特点	185
§1 大西洋	185
§2 印度洋	185

§ 3 太平洋	185
§ 4 北冰洋	186
第七章 构造形迹、构造体系的复合和联合	187
第一节 复合和联合的涵义	187
第二节 联合现象	187
第三节 狭义复合现象的类型	190
§ 1 归并	190
§ 2 迁就	191
§ 3 交接	191
§ 4 包容	196
§ 5 重迭	197
第八章 地壳运动问题	198
第一节 构造体系的分布规律	198
第二节 地壳运动的起源	200
第三节 地壳运动的时期问题	204
第九章 地质力学的工作方法	206
第一节 野外观测	206
第二节 构造应力场的测定	207
§ 1 应力解除法与应力恢复法	207
§ 2 构造应力测量的其它方法	212
第三节 模拟实验	213
§ 1 以泥巴为材料的变形模拟实验	213
§ 2 光弹性法的应力模拟实验	215
第三篇 地质力学在水文地质工程地质方面的应用	219
第十章 地质力学在水文地质方面的应用	219
第一节 地质力学在寻找基岩裂隙水方面的应用	220
§ 1 从构造断裂的力学分析来寻找基岩构造裂隙水	220
§ 2 从构造体系的力学分析来寻找基岩构造裂隙水	230
§ 3 从构造的复合关系来寻找基岩构造裂隙水	233
§ 4 从岩层或岩体力学性质的差异性来寻找基岩构造裂隙水	236
§ 5 综合运用地质力学理论寻找基岩构造裂隙水	236
§ 6 应用地质力学寻找构造裂隙水的分析工作	242
第二节 地质力学在寻找岩溶水方面的应用	243
§ 1 岩溶水发育的一般规律	243
§ 2 构造结构面对岩溶发育的控制作用	244
§ 3 构造体系对岩溶发育的控制作用	255
§ 4 构造复合关系对岩溶发育的影响	255
§ 5 综合运用地质力学理论寻找岩溶水	256
§ 6 应用地质力学寻找岩溶水的分析工作	256
第三节 地质力学在寻找地下热水方面的应用	256
第四节 地质力学在基岩褶皱中找水的应用	260

§1. 应用结构面找水	260
§2 应用构造体系找水	261
§3 应用复合关系找水	262
§4, 在大区找水	263
第五节 地质力学在矿床水文地质方面的应用	264
§1 断裂的导水性及富水性	265
§2 充水的构造体系	265
§3 充水的断裂复合	265
第六节 地质力学在水文地质编图上的应用	266
第十一章 地质力学在工程地质方面的应用	267
第一节 地质力学在评价区域稳定性方面的应用	267
§1 不同力学性质的活动性断裂的发震共性与特性	268
§2 构造体系是控震构造	272
§3 构造复合部位是主要发震地点	275
§4 岩石的力学性质是孕震与否的重要条件	276
§5 区域稳定评价	276
§6 结语	280
第二节 地质力学在岩体稳定性分析方面的应用	281
§1 岩体稳定性的涵义	281
§2 不同力学性质结构面的工程地质特征	281
§3 构造体系在岩体稳定分析中的意义	286
§4 构造体系复合关系对岩体稳定的影响	289
§5 不稳定岩体的确定及平衡计算	290
第三节 地质力学在地下建筑围岩稳定分析方面的应用	292
§1 三点说明	292
§2 地下建筑围岩稳定的地质力学分析	294
§3 地下建筑围岩稳定计算中的问题	299
§4 结语	300
第四节 地质力学在水电建设方面的应用	300
§1 结构面的水文地质工程地质特征	300
§2 坝区、坝段、坝址或坝线的选择	301
§3 岩体稳定问题	301
§4 坝基渗漏问题	304
第五节 地质力学在工程地质编图上的应用	304
附图1 地球表面最突出的构造形象和大陆运动的主要方向示意图	306
附图2 中国主要构造体系略图	307

绪 言

一、地质力学是怎样一门学科

物体不是绝对刚体。它未受外力时，因内部原有分子间的相互作用力而使物体保持固有形状；受外力后，内部即刻产生抵抗力，即内力（附加内力，即原有分子间力的改变量）。外力愈大，内力也愈大，大到一定程度（即极限应力），物体即破坏。因此，外力和内力是既相互对立，又相互依存，统一在同一物体内部的一对矛盾。就在这对矛盾斗争之下，物体产生变形、破坏。

地壳是由岩体或岩层组成，也不是绝对刚体。它受外力后，内部也要即刻产生抵抗力，即内力，外力与内力在地壳内部也形成一对矛盾。在此矛盾斗争过程中，出现极限应力时，地壳也要变形、破坏。此外力即称为构造力，内力即称为构造应力（也称地应力），这个斗争过程即地壳运动，这个变形即地壳构造。

地质力学是一门新兴的学科。它是运用力学的原理，研究地壳构造和地壳运动规律的一门学科。它是在地质工作广泛实践的基础上，从地质构造现象出发，追索力的作用，从力的作用方式，追索地壳运动方式，进而探索地壳运动的起源问题。

构造变形或破坏就是地质现象。一是我们能直接观察到的，如褶皱、断裂，均系构造运动的产物，我们就根据这些产物追索外力作用方式；二是我们不能一目了然地直接观察到的，但它却通过沉积岩的岩石相变、厚度变化、生物相变以及古地形的变化反映出来。如滇西石炭二迭、三迭纪的沉积是受南北向构造控制的，我们就需要从沉积建造来研究控制其发生、发展的地壳运动方式；三是我们有时能观察到，有时又观察不到的，但它却通过岩浆岩活动及其与围岩的关系上反映出来。如大型侵入体，特别是基性岩体，往往是沿深大断裂上升的，我们就需要从岩浆岩的类型、分布规律及其与围岩的接触关系来推断控制其发生、发展的深大断裂的活动方式；四是我们能用肉眼或借助显微镜进行结构分析确定的，如区域变质建造或动力变质带，我们需要从变质建造的分布及其与岩浆岩体的关系来推断控制其发生、发展的构造活动方式。须指出，全球性海洋运动，也应把它看作是与构造变形有关的现象，可根据海洋沉积的相变和对比、空间和时间的分布来研究海水进退规律，从而推断控制海洋运动的地壳运动。构造应力是看不见的，我们能测到的主要是现在正在活动的。过去的构造应力活动情况，我们只能根据变形及变形模拟去推断。这样，地质力学就需要从改造（构造变形）和建造（沉积、岩浆、变质等建造）两方面来研究地质构造的发生、发展。目前，对前者研究较多，对后者刚开始研究。

地质力学认为，构造力主要是由地球自转速度的改变引起的惯性力，而且是在变化的，岩石或岩体的力学性质从它形成之日起也是在变化的，而且是有差异的。因此，在一定边界条件下，构造应力场中不同力学性质的岩石或岩体变形程度和表现也是不同的。因此，我们

就要从构造现象入手，抓构造本质，即抓构造应力场与岩石或岩体的力学性质，弄清构造的成因。

地质力学与传统构造地质学不同，它的观点较全面。变形有大有小，有局部有整体。它不但要研究小的、局部的变形，如各种类型的构造形迹等；而且要研究大的、整体的变形，如由具有成生联系的构造形迹组成的各种类型的构造体系、全球性的构造体系等。传统构造地质学只看到一个一个的构造形迹，根本看不到构造体系。地质力学具有发生、发展和生成联系的观点。如研究一个构造形迹的力学性质在不同构造应力场作用下的历次转变（也是复合），构造形迹、构造体系发展过程所反映的序次和联合、复合现象等。传统构造地质学则只描述一个一个的构造形迹，很少涉及它们发展和内在联系，即使谈到一点，也是支离破碎，有不少形而上学和唯心论。地质力学运用了从量变到质变的观点，认为地壳是在不断地运动，而且是有阶段的；构造形迹总是由小到大，不断在发展变化；构造体系总是由弱到强，不断完善又不断破坏。它们都不是一下子就形成，一下子就全部破坏。传统构造地质学就有所谓“灾变论”的形而上学观点。地质力学还运用了由现象看本质的观点，如根据构造变形、模拟试验，推导变形形成时的构造应力场；据大量的地壳变形现象，特别是地壳变形的定向性及有规律的组合而形成一定形式的构造体系，认为构造力主要是水平的，且来自内因，即主要来自地球自转速度的改变。这与过去传统构造地质学不顾这些大量现象，就先验地认为以垂直力为主，并把地壳运动归之于外因，具有根本性的分歧。

就此，我们可以看出地质力学是运用辩证唯物主义、对立统一规律，研究在构造应力场作用下地壳运动形成的一切构造现象，其中主要包括各种类型的构造体系、海洋运动陈迹等的外部表现和内在联系。它仍属地质学的范畴，但由于我们必须对于地壳运动的一切现象从感性认识提高到理性认识，所以力学就成为必不可少的工具。正因为它与力学不可分割，所以也可以把它视为地质学与力学的边缘学科。

无产阶级认识世界的目的，不只是为了利用世界而且还要改造世界。我们发展地质力学就是为了认识世界，从而利用它、改造它，来指导我们的社会主义建设工作，为社会主义革命服务。

二、地质力学的发展过程及方向

地质力学及与其有关的一类名称，由来已久，意义也很广泛。直到20世纪20年代晚期，在李四光同志的研究下，地质力学的某些基本概念才开始形成。以后，经过一段时期的实际运用，这些概念不断地获得补充和巩固。建国以来，在中国共产党和毛主席领导下，由于社会主义革命和社会主义建设的需要，这一学科也和地质科学的其他学科一样，获得了新的生命力。通过生产实践，愈益证明，这门学科将成为我国工业、农业和国防建设所不可缺少的，并极有发展前途的一门学科。可以说，地质力学基本上是在我国科学家李四光同志在广大地质工作者广泛实践（当然包括他自己）的基础上，总结群众经验，坚持走我国地质科学的发展道路建立起来的。

1. 地质力学的发展过程

地质力学大致可以说是经过两个阶段发展起来的。

第一阶段是从1921年李四光等同志研究中国北部石炭二迭纪沉积物开始的。这些石炭二迭纪沉积物，当时统称为太原系，覆于其上的为山西系，其中一部分后来称为石盒子系。太原系主要由陆相地层构成，夹有若干煤层，还夹有若干海相地层。

太原系的时代问题，有过长期争论。后来，在其中的石灰岩中发现一些微体古生物群，特别是䗴科；在其陆相地层中也找到一些植物化石，对其时代的争论就更加纷乱。到1924年，发现太原系下部海相地层中所含生物群与莫斯科盆地中典型的中石炭系所含生物群有密切联系，于是将太原系下部分出来叫本溪系，属中石炭纪，上部仍称为太原系。这个划分对北美中石炭纪海相地层的鉴定，也产生了相当重大的影响。

在中国南部，上古生代地层发育情况和北部很不相同。在南部，石炭纪和二迭纪的地层，海相占优势。经过对其中古生物，特别是䗴科的鉴定，确定了南部海相的黄龙灰岩、壶天灰岩和北部的本溪系海陆交互相地层相当；南部的海相船山灰岩、马平灰岩等与北部的太原系海陆交互相地层相当。这就产生一个问题，当时的海侵海退现象为什么有这样南北的差异？这个问题，有牵涉到大陆局部升降运动和海面全面升降运动以及在低纬度和高纬度地区存在着海面差异运动等的可能性。经过对地球上其他地区当时海侵海退现象作的初步比较，李四光同志得出了一种假说：大陆上海水的进退不完全象苏士所提出的那样，即海面的运动，或升或降，是具有全球性的，而且可能还有由赤道向两极，又反过来由两极向赤道的具有方向性的运动。这个假说又引起了一个问题，为什么海洋会发生这样具有方向性的运动？当时按照李四光同志的初步设想，这可能是由于地球自转速度在漫长的地质时代中反复发生了时快时慢的变化造成的。这一设想对地质力学工作的开端，起了相当重要的启发。它的作用在于提出了这样一个问题：大陆运动，包括区域性构造运动，是不是也会受到这种地球自转速度变化的影响呢？如果是的，构成大陆的岩石在受到大陆和海洋发生的南北向运动影响之后，也应该留下相应的痕迹。

在20年代，关于大陆运动起源问题，各个学派都提出了自己的看法。

传统学派主张，地球在它长期存在过程中，由于逐渐失热或其他原因而收缩，以致海洋部分，特别是太平洋部分，显著沉降；而在大陆部分，总的趋向，也是朝着地心下降，但在局部地区，也可能发生相对地上升、下降运动；因之，发生了褶皱现象和各种断裂现象。这一派的看法，是以垂直运动为主，局部的水平运动，是由于垂直运动而引起的次生运动。

另一学派，是主张以水平运动为主的。他们在认识了均衡现象的基础上，认为主要是由硅铝层构成的大陆，是浮在由硅镁层构成的基底上面的，且大陆能够在它的基底上面和由硅镁层构成的海底上面，发生水平滑动；还认为大陆的各部分也能够发生大规模的相对水平位移。对于大陆这种水平滑动或位移，各家也有不同看法。主要有三种：1.魏格纳为代表的大陆漂流说；2.根据约里的研究，硅镁层所含放射性矿物蜕变产生的热量的一部分在地下储存的结果，约2500—3000万年，大陆下部岩层会被溶解。这样月球对地球产生的潮汐就起了拖移大陆的作用，大陆就向海洋方向移动，原来大陆的基底出露，并逐渐冷却，就形成一次大规模的地壳运动；3.认为由于地球内部物质的对流作用，把大陆拖开，使他们分裂，海洋从而入侵。总之，各式各样的大陆漂流说曾轰动一时。

在各派争论的情况下，1926年李四光同志发表了“地球表面形象变迁之主因”一文。其中根据大陆上大规模运动的方向，推论了那些运动起源于地球自转速度的变化，提出了“大

陆车闸自动控制地球自转速度的作用”，这是地质力学发展的第一个阶段。

在第二个阶段中，地质力学主要是针对区域性构造现象之间的相互关系进行研究。这些构造现象是指大型、小型、单式、复式的褶皱和各种断裂而言。这些构造现象是当地地球运动的遗迹。为要了解当地所经过的地壳运动的程式，就必须对它们各自的本质、形成过程和它们彼此之间可能存在的联系有所认识。这样，第二阶段的工作就和第一阶段中只注意大块大陆运动根本不同了。

对构造现象本质的探索，是从认识一些个别的特殊现象开始的。起初，对耸立于欧亚大陆间的乌拉尔那样强烈的南北向山脉的形成提出问题。之后，又连想它是否和其南部存在着的相当复杂一套弧形山脉的成生有关？这个具体问题的提出，是认识山字型构造的开端，也是认识构造体系的萌芽。1928年，李四光同志在南京、镇江一带初次发现了宁镇山脉这个大致为东西向的弧顶向北突出的弧形构造；对着弧顶向南，又发现了茅山这个近南北向的构造。于是就初步认为北面的弧形构造和南面的南北向构造是一个山字型构造，基本上与乌拉尔及其以南的弧形构造形成的构造体系相符合，但两者弧顶突出方向相反。

宁镇—茅山山字型构造和横跨欧亚大陆的那个山字型构造，不仅规模相差很大，前弧凸出方向相反，而且还有许多不同之点。这就产生了一个问题：宁镇—茅山山字型构造究竟是自成一个独立体系，还是另一构造体系的一个组成部分？只有通过更广泛的实践，才能解决这个问题。此后，在总结广大地质工作者在广西及安徽的地质工作的基础上，李四光同志又提出了广西山字型构造，及淮阳山字型构造的前弧，后者的脊柱还是在解放以后才确定的。

在20年代末期，除肯定了几个山字型构造存在以外，还发现了其它一些不同类型的构造体系。对这些不同类型构造体系的认识，模拟试验起了一定的作用。就当时所认识的构造类型和它们的分布范围、规律，以及它们在地壳运动问题上的涵义，于1929年作了一次总结。这个总结，概括了不同类型构造的特殊本质，明确了构造体系的概念，测定了和每一类型构造体系有关地区的构造运动方向和方式，推断了大陆和海洋运动的原因。这样，就为地质力学打下了初步基础。

从30年代到40年代初期，是地质力学在上述基础上有所进展的时期，也是以构造体系这个概念为指导，继续地向着尚未研究过的或者尚未深入研究过的各种具体的构造类型进行研究，找出它们各自的独特本质，修改、补充和丰富构造体系这个概念的时期。在这个时期，地质力学才开始走上了自己的道路，在地质力学的领域中逐步扩大了自己活动的范围。在越来越多的地区，发现了许多构造体系的定型性、定位性、定时性和在同一地区它们之间互相交错，部分重迭的关系。

在企图进一步搞清那些构造体系特点的过程中，李四光同志又发现了强烈变形的规模雄伟的东西向构造带，及在我国显得突出的北东向构造（华夏系）及北北东向构造（新华夏系）。此外，还发现了一些小的山字型构造。

到了这个阶段，地质力学已经不能停留在只是描述构造体系的特点上了，上述的那些构造类型都要求我们对它们形成的应力活动方式提出合理地推断。例如，多字型构造反映力偶作用；山字型构造通过模拟实验和初步理论分析，可以与平板梁在水平面上的变形相比拟；等等，这就提出了一系列有关岩石的力学性质问题。根据野外观测，岩层与岩体在受到构造应力的作用下，有时表现为弹性反应，也有时表现为不同程度的塑性反映。究竟是什么条件

决定了同样的岩体显示出的不同变形反应呢？在这里，地质力学就不得不进入弹性和塑性力学的领域。这样，又进一步引起了一系列复杂的理论问题。要解决这些问题，就需要从事实验工作，并将实验中取得的资料和实际的构造现象结合起来，从事岩石在自然界的力学性质和应力场的分析。

明确了上述地质力学工作的方向以后，在40年代的初期，地质力学这个名称才被正式提出来了。

须指出，解放以前，地质力学的建立虽为科学领域增添了新的内容，但那时在帝国主义、封建主义和官僚资本主义这三座大山的长期压迫下，地质力学的发展和其他科学一样，进展还是受到很大阻力的。

解放以后，在党和毛主席的英明领导下，在优越的社会主义制度下，在党的“百花齐放，百家争鸣”的方针指引下，地质力学和其他科学一样获得了新的生命力。1956年地质部成立了地质力学研究室，1960年又改为地质力学研究所。从此，地质力学的研究工作引起了广大地质工作者的注意，并且获得了迅速的发展。特别是近几年来，地质力学在同生产实践相结合，解决实际问题的过程中，得到了更广泛、更深入地发展。如在稀有金属矿产、油田、地震、水文地质、工程地质、地下热水等方面的勘察工作中，均得到了应用和发展。这样，地质力学不但为我国社会主义建设作出了贡献，而且也检验并发展了自己的理论。实践证明，初步建立起来的构造体系这个地质力学的基本概念是完全正确的。并且进一步把构造体系这个概念落实到三大构造类型，即东西向构造带、南北向构造带和各种扭动构造带，以及每一类型共同的构造形态特征和它们独特的构造型式上。

须指出，地质力学是在同传统构造地质学（包括大地构造学）的斗争中发展的。我们知道，自然科学虽不是上层建筑，但要靠人去搞，这就可能渗入一些人的阶级意识。传统构造地质学在解放前的地质界中是根深蒂固的，解放后，由于受习惯势力的影响，有的地质工作者还是受着它的束缚。当人们认识到必须把立足点移到工农兵方面来，必须让科学为无产阶级政治服务时，就会看到传统的构造地质学的不足之处和地质力学理论的优越性，就会通过实践批判地吸收传统的构造地质学，并发展地质力学。

党的十一大和五届人大，确定了全党和全国人民在社会主义革命和社会主义建设新的发展时期的总任务。为在本世纪内把我国建设成为现代化的社会主义强国，以华主席为首的党中央对科学技术工作作出了一系列的重大决策，为科学的发展开辟了广阔的前景。可以肯定，地质力学的理论与实践，必将提高到一个新的水平。

2. 地质力学中存在的问题

地质力学迄今虽已取得一定成绩，但还存在一些问题，值得进一步讨论。

（1）构造运动时期的鉴定。构造时期的鉴定，一向是比较难以解决的问题，特别是在古老变质岩区。一般是用地层学的方法，但只是在地层完整并易于鉴定的地区，并在新老地层间存在着显著不整合的时候，才能把造成不整合的构造运动的时期确定下来。而这种地区是极少见的。地质力学认为，可以根据一个地区不同类型构造体系的相互关系和它们与附近已知年龄的构造体系的对比来确定运动的时期，但其准确的绝对时期，尚需进一步研究解决。

（2）古构造型式的鉴定。现在我们鉴定出来的构造型式，大都是中生代构造运动产

物。对于古构造型式，特别是前震旦纪发生的，还鉴定的较少，现在已知的仅有东西构造。其它型式，如北北东、北北西、北东向构造及山字型构造等仅有初步迹象，尚需作大量的工作。

(3) 构造型式所涉及的地壳深度。各种构造型式都是根据组成它们的各项构造形迹在地面上的配合、排列和展布的情况而鉴定的。而构造型式的规模有大有小，同一构造型式的构造形迹的大小也有不同。可以肯定，各类构造形迹是不会无限度地向地下伸展的。从地面的现象推测，特别是从有无岩浆活动伴生这一点加以推测，一般地说，小型的构造型式影响深度较小，大型的构造型式影响深度较大。但至今还没有足够的资料确定每一构造型式向下伸展的准确深度，只是通过对具体构造型式的构造体系进行分析加以确定。

(4) 各种结构面在力学涵义上的特点。各种力学涵义结构面的标志，还有待补充。根据野外经验，压性及扭性结构面较易鉴定，具有张性特点和扭性特点比较显著的结构面也容易鉴定；但有些张性结构面与扭性结构面的特点却不大清楚，对它们的鉴定就不免有些困难；同时具有扭性和张性结构面的双重力学意义更不容忽视，但直到现在，野外工作还不能圆满地达到要求。目前，我们正试图并开始把结构面与岩组分析结合起来，以鉴定结构面的力学涵义。

(5) 单个褶皱形式的决定因素。在处理有关构造型式的各项问题中，我们经常是把成群的各种不同类型的褶皱当作一个整体来看待的。这种处理褶皱群的方法，在平面应力场中对褶皱群总体形态的分析是正确的，也是在我们全盘分析工作中起主导作用的。不过，这样作还有一些局部问题没有得到解决。最容易引人注意的是：对于褶皱形式和伴随褶皱或代替褶皱的仰冲断层的形式，除了应力作用方式以外，究竟还有那些因素(如边界条件、岩性差异等)起着决定性作用？在同一构造应力场中，有些背斜的两翼，一边陡、一边缓，而另外一些背斜两翼的陡缓情况，恰与此相反；有些背斜是“箱状”，而另外又有些是“梳状”或其他形状；有些岩相相同的岩层，对应力作用而发生褶皱的敏感性也大不相同。是什么原因造成上述种种现象？遭受褶皱岩层的厚度和长度会不会象压杆理论中的“细长比 λ ”

(等于 $\frac{l}{i}$ ， l 为无支撑长度， $i = \sqrt{\frac{J}{A}}$ 为截面的最小惯性半径)那样，对弯曲现象的发生会有一定影响？岩层中含有各种溶液时，褶皱的发生会不会更加敏感？

(6) 岩石力学表象问题。根据试验和野外观察，同一岩石具有弹塑性、粘塑性或粘弹性的力学表象，其原因何在？这是岩体力学没有解决的问题，也是地质力学没有完全解决的问题。岩石是个非均质体，是由结晶质或非结晶质颗粒及其间的胶结物质(结晶质或非结晶质)按一定规律或无规律结合而成，而颗粒及胶结物又是由分子乃至原子所组成。岩石受外力后，力不仅传递到颗粒及胶结物表面，而且更传递到它们的内部，传递到组成它们的分子乃至原子上。原子在未受外力前，彼此间在相互作用的情况下是处于位能极低的平衡位置上的(即处于内部静平衡)，受外力后，必然处在一个新的应力场中，而发生相互的位移。当外力在一定时间一定限度内释放时，这些分子或原子仍可恢复其原来位置，这是弹性回复。外力超过一定的限度，有的分子或原子的位移也超过一定限度，外力即便去掉，分子或原子也不能恢复原来的位置，这是塑性的表现。外力虽不超过一定限度，但作用的时间很长，也就是分子或原子位移停留时间很长，则由于外力强制作用而吸收的位能逐渐变成热量而消失，那

么，即使外力的强制作用解除，那些分子或原子的一部分已各自在新的地位找到平衡，就不再回到它们原来的位置，这样松弛作用就成为弹性物质发生塑性变形的根源。最值得注意的是，热的作用可以使松弛作用发生。可见，研究分子结构及其在各种外在条件影响下的变化是解决这一问题的方法之一，但目前还欠深入。

(7) 岩体的应力测量问题。在一个地区的岩体中，沿着某一方向，如有压应力或张应力或剪应力正在活动，这种活动对岩体的影响即使还不能造成显著的构造现象，但必然引起在某一方向上的物理力学性质发生改变。这种活动的应力，是可以通应力测量仪器测量出来的。在岩体力学中虽已实行这种测量，但至今还没有成熟经验。对于地质力学，也必须把它作为工作内容之一，进一步摸索经验。

3. 地质力学的当前任务和今后发展方向

由于社会主义革命和建设的需要，地质力学必须大力发展。必须沿着毛主席的无产阶级革命路线，本着自力更生的原则向前发展。当前，地质力学的任务是艰巨的，牵涉的问题是复杂的。这些问题，有的在它现今的水平上，只要我们继续努力实践，就可以解决；有的还需要经过一定时期的钻研探索，才能得到解决。地质力学的当前任务，可以归纳为三条：

(1) 加强各种类型构造体系的调查研究，为指导找矿、预测地震、解决某些水文地质及工程地质问题提供依据。

从地质力学的发展过程，可以看出构造体系这个概念是总结各种构造类型，特别是扭动构造型式的规律和普遍性而产生的。它是个抽象的概念，它的各种构造类型才是具体的东西。换句话说，它是各种构造类型的概括。

对一个构造类型的认识，总要有个反复实践的过程。不但对一个新的构造类型如此，就连对一个现知的构造类型也要如此，才能确确实实地认清它的主要特点。但还不能说完全掌握了它的一切特点。

各种类型构造体系的规律，对我们野外工作起着一定的指导作用。根据已见到的某一类型构造体系的某一部分的特点，可预测某些地区或地带的一定型式的构造现象。但须指出，这个预测并不是百发百中的。一种可能，是由于我们见到的很局部；再一种可能，是受其他类型构造干扰；第三种可能，是新型构造体系的存在。所以，还是要反复实践，反复认识。

建立一个构造体系，不能草率从事。根据几群构造单元组合体的共同特点及其排列方位等，可以试图建立一个独特的构造体系，但这只是认识的第一个阶段。还须经过反复的广泛的深入的实践，查明它的特点、发生和发育的时代以及它和其他体系的复合关系后，才能确定（或否定）。为什么要这样做呢？因为它们最能确实可靠地反映地壳运动的规律；同时，它们在许多场合会给找矿和解决某些水文地质及工程地质问题指明方向。如：江西省地质局908队、909队运用构造体系分析的方法探明了某些矿藏的可观储量；对广东新丰江地震问题的研究，几年来，人们把摸清当地断裂系统的工作和位移测量、构造应力测量及地震仪观测等工作结合起来，初步掌握了地震的起因和规律。近几年来，在铁路勘测、大型水工建筑和地下热水勘探中，对地质力学的应用都有了良好的开端，初见成效。

(2) 与有关专业配合，进行多方面探索，扩大和巩固地质力学的基础。加强各种类型构造体系的调查研究，主要是野外工作。野外工作虽是地质力学的重要工作方法，但不是唯一的方法。我们还需要用近代科学技术中可以用得上的各种方法来解决地质力学中碰到的实

际问题和理论问题。如：

i 加强对“应力矿物”的研究。这是一种与地质力学有关的专业，把应力矿物的研究和结构面力学性质的鉴定工作联系起来。

ii 绝对年龄鉴定。绝对年龄鉴定作为一个专业已经广泛地被承认了。在地质力学上的应用，是为了确定一个构造体系各个组成部分之间的成生联系。在某些地区，一个构造体系的各个组成部分，往往穿插到时代大不相同的岩层、岩体中，怎么知道它们属于同一体系呢？如山字型的前弧和脊柱。若能选择适当的矿物标本作绝对年龄的鉴定，问题就不难解决。

iii 岩组分析。岩组分析对岩块内部某些矿物组合条理的认识，是长期以来行之有效的办法。这种条理，除由沉积和热影响造成的以外，都是过去应力作用在岩石中留下的痕迹。这正是地质力学所追求的东西。如何在适当的地点，适当的选择标本，来帮助构造体系的分析，还需要下一番功夫。

iv 模拟实验。模拟实验得到的结果（如一种构造型式），虽和自然界的现象不等同，但经验告诉我们，从一块泥巴、一块柏油或者甚至浓度很大的乳胶等物质，经受了一定的应力作用而产生的形变，或者一块塑料在应力作用下的光弹性反映的变化，对我们认识许多构造型式或构造运动来说，确实起了相当重要的启发和辅助作用。须强调指出，地质力学从来不把构造型式的鉴定落实在模型上，而是落实在岩块或地块中存在的构造体系上。还须指出，模拟实验和应力场的分析需要紧密结合，以摸索其边界条件。

v 岩石的力学性质和力学效应实验。目前，还只能用人为的方法模拟岩石在自然界中存在的条件和对岩石试件加力来检验它在结构上发生的变化。这种选择适当的试件，在不同温度、不同围压的条件下进行的实验工作，行之已久，而且已就若干类型的岩石试件取得了一些数据。如：岩石的屈服强度、破坏强度、弹性模量；应力作用对岩石电阻和传波速度的变化；浸透在岩石试件中各种液体对岩石强度的影响；导热系数和温度梯度在应力作用下的改变，等等。这些都在不同程度上，反映了岩石的力学性质和力学效应。必须指出，试件对应力的反应与自然界存在的岩块、岩体对应力的反应是不会等同的。因为岩块和岩体均质与否、裂隙发育与否都会对应力作用的反应有影响。因此，怎样把实验室中得到的数据，搬到自然界中去应用，是个相当复杂的问题。这个问题，直到现在，还没有完全解决。

在岩石力学性质实验中，还要谈到一点，就是岩石的流变（蠕变）现象。这种现象是岩石在构造应力场中非弹性的表现。除了高温、高压是促使它发生的重要因素外，应力作用的时间也是一个长期起作用的因素。甚至在较小的应力作用下，只要时间很长，岩石仍然可以发生流变，但流变的限度怎样，我们还没有实验资料。因此，这方面实验工作还有待发展。

vi 古地磁工作。在国外，绝大部分是利用某一地质时代的岩层或岩体的磁性南北向与现今当地地理上南北向的差异，来推断大陆作为一个整体转动的方向；也有时利用岩层中古地磁方向的转变来验证有关的岩层对比。这些方法是可以使用的。但是古地磁的方向也可能是由于局部的扭动构造的扭动产生的。因此，就需要寻找这种扭动的可能性。

vii 大陆运动和海洋运动。这是地壳运动不可分割的两个侧面，因而是地壳运动问题中应该相提并论的两个方面。对于海洋运动问题，可采用两种研究方法：一种是对海底的地貌进行考察，这方面已有一些资料；一种是对大陆上各个地质时代的海侵海退范围和规律进行调查。主要是从岩相分析和地层对比来进行研究，而特别需要注意每一地壳运动前后海

相地层在全球的变化，看海水在全球上每一一定时期是否有统一的运动规律。

关于大陆运动是否具有相应规律性的问题，我们可以从构造体系排列的方位出发，再根据岩石的力学性质、构造应力场分析以及构造位移的测定，就能够比较正确地得出关于大陆上区域性运动乃至大陆整块运动的规律。根据已得事实，其规律是：大陆整块的运动和区域性或局部性的构造运动，一般都具有向西和向赤道方面推动的方向性，各种扭动型式构造体系也可归纳到这两个方向的运动，可以认为它们是在不同的地区、不同环境下所产生的变种。

根据已知各种类型构造体系（东西向、南北向及各种扭动构造）的方位及其对构造运动的反映，很难否认大陆运动和区域性构造运动与地球自转轴在方位上的联系。地质力学认为，产生这些类型构造体系的动力起源于地球自转速度的改变。

海洋运动无疑地对地球自转速度改变的反应更为敏感。即地球自转速度加快时，高纬度海面下降，低纬度海面上升。这种海面的分异运动可能持续到大陆运动和区域构造运动将要达到高峰阶段。在此以后，由于大陆整块滑动，加以岩浆的活动，而发生了“刹车”作用，地球自转的角速度变小，因而海面作与前相反的运动。

至于为什么地球自转速度会发生变化？人们的意见分歧。有的认为地热不断扩散使地球不断冷缩；有的认为地球所含放射性物质不断蜕变、放热，使地球热胀；有的则认为系由地球内部物质发生对流或分异运动的结果。但从地球本身来说，不管是那一种说法，都会引起地球转动惯量的改变，因而引起自转速度的改变。从地球外界对它的影响来说，它的自转速度也会改变，如月球对它的潮汐作用，就会使它变慢。

因此，地质力学除对大陆运动应更加详细加以研究外，对海洋运动的研究也不能放弃。

（3）在实践过程中，要注意贯彻“百花齐放、百家争鸣”的方针，对传统构造地质学的合理部分应予吸收；对其中的唯心论和形而上学应展开批判。同时，要本着“洋为中用”的精神，批判地吸收国外的先进经验和理论，促进地质力学的发展，让它在我国社会主义革命和社会主义建设中发挥更大的作用。

第一篇 地质力学的力学基础

地质力学研究的内容主要是地壳构造和地壳运动，力学是其必不可少的研究工具。热衷于地质力学的地质工作者必须具有力学的基本知识。现结合地质力学的需要，将材料力学、弹性力学和岩体力学的有关部分作一介绍。

第一章 应力与变形

第一节 外力、内力、应力

外力是指外界物体作用在所研究物体上的力。如水坝荷重作用在坝基上的力和坝基作用在水坝上的反力，岩石试验时加于试件上的荷载及荷载合作用在试件上的反力等。外力的类型有压力、拉力、剪力、转动力等。

前已谈到，物体在受外力作用时，立即引起原有分子间相互作用力的改变并同时产生变形，这种力的改变量就是材料力学所研究的内力。因为这种内力，在不超过物体强度的情况下，是随着外力增加而增加的，又是对外力的抵抗并互相依存，故与外力形成同一物体内的一对矛盾。如图1-1所示，杆件两端受拉力 P 后仍处于平衡状态。若把杆件切开，分为I、II两部分，则I要平衡，II就必须给I一个力 N ；相反地，对II来说，I就必须给II一个力 N 。这种抵抗 P 力的 N 力就是内力。

根据静力平衡条件，并把所有力都投影到同一方向上，如在 X 轴上，可将 N 力求得如下：

$$\sum F_x = 0, P - N = 0$$

∴

$$N = P$$

图1-1中的 N 力，只能代表 AB 截面上内力的合力，至于截面上内力如何分布却不知道，可能有多种多样的分布形式，故有必要研究截面上一点的内力情况。

设任意形状的物体受到任意外力作用而处于平衡状态，如图1-2。为了研究一点的内力，我们在该物体 mn 截面上 A 点附近取 ΔF 的面积。设作用在 ΔF 上的内力为 ΔP ，则 ΔF 上的平均内力强度为：

$$p_{\text{平均}} = \frac{\Delta P}{\Delta F}$$

这一平均的内力强度称为 ΔF 上的平均应力。但这只是 ΔF 上内力分布强度的近似值，要使此近似值趋于精确值，就须使 $\Delta F \rightarrow 0$ ，取 $\frac{\Delta P}{\Delta F}$ 的极限值，即：