

高等学校教材

# 地质力学导论

李东旭 周济元 主编  
(武汉地质学院) (成都地质学院)

地质出版社

## 内 容 提 要

《地质力学导论》是根据高等学校地质力学课程教学大纲编写的。全书分十六章。

书中重点讲述了地质力学的基本知识、基本理论和基本工作方法，并适当地反映了近代地质力学研究的新成果与新进展，对一些探索性的问题也作了简要介绍。

本书可供高等院校地质力学专业使用，也可供地质学专业及有关找矿勘探、水文地质及工程地质等专业师生教学使用和参考，还可供野外地质工作者及有关研究生和科学研究人员参考。

※ ※ ※

本书由郑亚东主审。经地质矿产部地质力学教材编审委员会1984年12月召开全体会议审议，同意作为高等学校教材出版

※ ※ ※

## 高等学校教材 地 质 力 学 导 论

李东旭 周济元 主编

责任编辑：张荣昌  
地质出版社出版  
(北京西四)

地质出版社印刷厂印刷  
(北京海淀区学院路29号)

新华书店北京发行所发行·各地新华书店经售

开本：787×1092<sup>1/16</sup>印张：22<sup>1/8</sup>字数：514,500  
1986年6月北京第一版·1986年6月北京第一次印刷  
印数：1—8,260册 定价：3.55元  
统一书号：13038·教 234

## 前 言

本教材是根据地质矿产部高等院校地质力学教材编审委员会(1981)制订的第二批(1981—1985)教材编审计划及地质力学教学大纲编写的。

地质力学教材编审委员会于1982年审查并通过了本教材的编审提纲,确定了分工合编的原则。1983年10月召开了地质力学教材编审委员会扩大会议,参加者除编委会成员及作者外,还邀请了地质力学研究所、五六二综合研究大队及有关院校的专家和教师参加。与会者依据地质力学教学大纲及高等学校教材编审的原则和要求,对本教材初稿进行了认真审查和深入讨论,对教材中的某些概念、研究方法、内容安排、资料取舍等问题提出了许多建设性的意见。特约参加会议的地质力学研究所孙殿卿教授(学部委员)和北京大学王仁教授(学部委员)认真审阅了初稿,并提出了宝贵意见。编审者在听取和考虑了各方面的意见和建议后,对初稿做了较大的修改。经主编统筹和主审详细审阅后,于1984年12月提交地质力学教材编审委员会全体会议进行终审。终审会议全面审议后,要求主编再对部分篇幅过重的章节适当删简、压缩,并对文字和图件进行适当修整,然后交付出版。

本教材主要介绍我国卓越的地质学家李四光教授所倡导的地质力学的基本理论和工作方法,并反映了近二十年来地质工作者在地质力学方面取得的新成果和新进展。需要说明的是,本书虽编入了一些力学内容,但因在固体力学及有关参考教材中已有系统讲解,故本书予以合理的简化。

本书适用于高等学校地质力学专业及地质学专业,对其他工科性地质专业来说,其内容可能偏多、偏深,使用者可据各自专业的要求适当取舍。

本书主要由武汉地质学院李东旭、成都地质学院周济元、乐光禹和长春地质学院陈子光负责编写。李东旭、周济元任主编。具体分工情况如下:

李东旭负责一、七、八、九、十、十一、十二等七章的编写工作。其中温长顺参加了七、十二两章部分的编写工作;吕贻峰参加了九、十一两章部分的编写工作,顾德林参加了九、十两章部分的编写工作。

周济元负责五、十四、十五、十六等四章的编写工作。其中,杜思清参加了第十四章的编写工作,卿子郊参加了第十五章的编写工作。

乐光禹负责六、十三章的编写工作。

陈子光负责二、三、四章及其它章节中有关构造应力场部分的编写工作。李东旭参加了第三章部分内容的编写。

全书最后由李东旭、周济元共同研究修改定稿。

本书由北京大学郑亚东担任主审。在编审过程中,承蒙孙殿卿教授、王仁教授以及黄庆华、王宗杰、邵云惠、邵济安、郭文蓉、叶定衡、幸石川等同志及编委会成员提供了宝贵资料和提出了宝贵意见、建议,在此表示衷心感谢。

编写过程中武汉地质学院研究生部绘图室、成都地质学院绘图室及长春地质学院绘图室给了大力帮助,在此一并表示感谢。

限于编者水平有限,书中错误及不当之处在所难免,恳请读者批评指正。

作者 1985.6

# 目 录

第一章 绪论	1
一、地质力学的研究内容与研究方法	1
二、研究领域及与其他学科的关系	2
三、地质力学的发展简史	4
第二章 岩石力学性质	8
第一节 自然界岩石力学性质的表象	8
一、自然界岩石的弹性表象	8
二、自然界岩石的非弹性表象	8
第二节 影响岩石力学性质的因素	9
一、常温常压下岩石的应力应变曲线	9
二、围压及中间主应力对岩石力学性质的影响	10
三、温度对岩石力学性质的影响	12
四、孔隙及孔隙液压对岩石力学性质的影响	13
五、应变率对岩石力学性质的影响	14
第三节 影响岩石蠕变性质的因素	16
第四节 岩石的流变模型	18
一、马克斯韦尔模型	19
二、开尔文或伏埃特模型	19
三、圣维南模型	20
四、柏格斯模型	21
第五节 岩石变形的微观机制	22
一、晶体缺陷	22
二、单晶体塑性变形机制	23
三、岩石变形机制	23
四、压力溶解	25
第六节 岩石的破坏	25
第三章 构造应力场	30
第一节 有关构造应力场的几个概念	30
第二节 构造应力场的研究方法	31
一、现今构造应力场的研究方法	31
二、古构造应力场的研究方法	37
第三节 构造应力场的平面应力作用	41
一、地质构造现象	41
二、现今构造应力测量的结果	41
三、理论分析	43
第四节 研究构造应力场的意义	46

<b>第四章 模拟及模拟实验</b> .....	52
<b>第一节 概述</b> .....	52
<b>第二节 数学模拟基本原理概述</b> .....	52
一、解析法 .....	52
二、有限单元法 .....	54
<b>第三节 量纲分析与相似理论简介</b> .....	55
一、量纲分析 .....	55
二、相似理论 .....	55
三、弹性体的相似性 .....	56
<b>第四节 实验方法简介</b> .....	58
一、泥巴模拟实验 .....	58
二、光弹模拟实验 .....	60
三、形变网格法 .....	62
四、脆漆法 .....	63
五、云纹法 .....	63
<b>第五章 构造形迹力学性质的鉴定</b> .....	67
<b>第一节 若干基本概念</b> .....	67
一、结构要素和构造形迹 .....	67
二、结构面和线条 .....	67
三、构造线 .....	68
<b>第二节 构造形迹力学性质的分类</b> .....	68
一、分类原则 .....	68
二、构造形迹力学性质的基本类型 .....	69
<b>第三节 破裂面力学性质鉴定</b> .....	72
一、断裂面及断裂带的特征 .....	72
二、断裂构造岩特征 .....	77
三、断裂两侧派生构造特征 .....	81
四、断裂位移痕迹及其标志 .....	83
五、显微构造及应力矿物 .....	84
<b>第四节 褶皱力学性质鉴定</b> .....	88
一、褶曲平面形态 .....	88
二、褶曲及其高点排列组合形式 .....	88
三、褶曲派生断裂 .....	89
四、褶曲伴生构造 .....	89
<b>第五节 韧性剪切带</b> .....	89
<b>第六节 构造形迹力学性质鉴定的其他方法</b> .....	90
一、航空遥感技术 .....	91
二、地球物理探测法 .....	91
三、地球化学法 .....	92
四、岩组分析法 .....	94
<b>第六章 构造形迹的序次</b> .....	97

第一节	构造序次的概念	97
第二节	构造形迹序次的划分	97
	一、构造序次的划分原则	97
	二、褶皱及其派生构造的序次划分	99
	三、断裂及其派生构造的序次划分	101
第三节	构造形迹力学性质的序次转化	105
第四节	构造形迹的等级及其与序次的关系	106
第五节	研究构造形迹的序次和等级的意义	107
<b>第七章</b>	<b>构造体系</b>	<b>110</b>
第一节	构造体系的概念	110
第二节	构造体系的类型和型式	112
	一、构造体系的类型	112
	二、构造体系的型式	112
第三节	构造体系的等级和深度	113
	一、构造体系的等级	113
	二、构造体系的深度	113
	三、构造深度的确定	114
第四节	构造体系的形成发展及其间的关系	118
	一、构造体系的形变发展阶段	118
	二、构造体系的序次关系	118
	三、简单构造体系和复杂构造体系	119
	四、构造体系的系列	119
	五、构造体系间的复合、联合关系	120
<b>第八章</b>	<b>纬向及经向构造体系</b>	<b>121</b>
第一节	概述	121
第二节	纬向构造体系	122
	一、类型及组成特征	122
	二、我国境内的巨型纬向构造带	129
	三、巨型纬向构造带在全球的分布	133
第三节	经向构造体系	136
	一、类型及组成特征	136
	二、我国境内的经向构造带	138
	三、巨型经向构造带在全球的分布	141
第四节	纬向及经向构造体系形成的数学力学分析	145
	一、协调函数与临界纬度	145
	二、全球构造应力场	147
<b>第九章</b>	<b>直扭构造型式</b>	<b>154</b>
第一节	多字型构造	154
	一、组成要素及其特征	154
	二、类型	154
	三、力学解析及模拟实验	158

四、在地壳上的分布 .....	163
五、我国境内的大型多字型构造体系 .....	164
六、对矿产的控制 .....	169
第二节 棋盘格式构造 .....	172
一、组成要素及其特征 .....	172
二、类型 .....	172
三、力学成因及共轭剪切角问题 .....	173
四、在地壳上的分布 .....	174
五、对矿产的控制 .....	178
第三节 入字型构造 .....	180
一、组成要素及其特征 .....	180
二、类型及相对位移方向的确定 .....	180
三、力学分析 .....	182
四、在地壳上的分布 .....	184
五、对矿产的控制 .....	186
<b>第十章 旋扭构造</b> .....	189
第一节 旋卷构造 .....	190
一、组成要素及其特征 .....	190
二、类型 .....	193
三、连环状旋卷构造 .....	199
四、力学分析 .....	203
五、对矿产的控制 .....	208
第二节 S型或反S型构造 .....	213
一、类型及其特征 .....	214
二、在地壳上的分布 .....	219
三、对矿产的控制 .....	219
第三节 歹字型构造 .....	221
一、组成特征 .....	221
二、力学成因 .....	222
三、在地壳上的分布 .....	222
四、实例 .....	223
<b>第十一章 山字型构造</b> .....	227
第一节 山字型构造的组成要素及典型实例 .....	227
一、组成要素及其特征 .....	227
二、典型实例 .....	229
第二节 山字型构造的力学分析 .....	231
一、弹性力学解析解 .....	232
二、不均匀错动模型 .....	234
三、有限单元数值分析 .....	234
第三节 山字型构造在地壳上的分布 .....	237
一、规模 .....	237
二、成生时代 .....	237

三、地壳上的分布规律 .....	237
第四节 山字型构造的鉴定问题及有关方法 .....	240
一、马兰峪山字型构造的鉴定及其同位素年龄的测定 .....	240
二、粤北山字型构造的古地磁研究 .....	242
第五节 山字型构造对矿产的控制 .....	243
<b>第十二章 构造体系的复合</b> .....	246
第一节 构造复合的一般概念 .....	246
一、构造复合与构造体系复合 .....	246
二、系内复合与系间复合 .....	246
三、构造体系复合与构造体系联合 .....	246
四、构造复合、构造叠加和构造演化 .....	247
第二节 构造体系复合的基本方式 .....	247
一、归并 .....	247
二、交接 .....	250
三、包容 .....	257
四、重叠 .....	259
第三节 构造复合系统分析 .....	261
一、构造复合的形态分析 .....	261
二、构造复合的量级分析 .....	263
三、构造复合的力学分析 .....	264
四、构造复合的主次分析 .....	264
五、构造复合的带块分析 .....	265
六、构造复合的时序分析 .....	265
第四节 分析构造复合的其他方法 .....	265
一、地球物理资料的处理 .....	265
二、沉积建造资料的分析 .....	265
三、岩浆岩带的穿插 .....	266
四、动力变质相带的交叉 .....	266
五、地震活动带的交接 .....	267
六、古生物分布的研究 .....	267
<b>第十三章 构造体系的联合</b> .....	269
第一节 构造联合的一般概念 .....	269
第二节 联合构造的基本型式 .....	270
一、直线式联合构造 .....	270
二、曲线式联合构造(弧形联合构造) .....	273
三、行列式联合构造 .....	276
第三节 构造联合和构造复合的联系与区别 .....	277
一、构造联合和构造复合的主要区别 .....	277
二、构造联合和构造复合的联系 .....	278
<b>第十四章 构造体系发展史的研究</b> .....	281
第一节 构造体系发展史的概念及其研究意义 .....	281



一、构造体系发展史的概念 .....	281
二、构造体系发展史的研究意义 .....	281
第二节 构造体系成生时期及其发展阶段的划分 .....	282
一、构造体系的成生时期 .....	282
二、构造体系发生发展过程中的型相演变和型式蜕变 .....	285
三、构造体系发展阶段的划分 .....	286
第三节 分析不同时期构造体系的步骤和研究构造体系发展史的方法 .....	287
一、分析不同时期构造体系的步骤 .....	287
二、研究构造体系发展史的方法 .....	288
第四节 构造体系发展史的实例分析 .....	290
一、燕辽及其邻区构造体系发展史 .....	290
二、鄂东南地区构造体系发展史 .....	296
<b>第十五章 挽近构造体系的研究 .....</b>	<b>299</b>
第一节 概述 .....	299
第二节 挽近构造运动的特点及挽近构造带的类型 .....	300
一、挽近构造运动的特点 .....	300
二、挽近构造或构造带的类型 .....	301
第三节 挽近构造体系的研究方法 .....	302
一、地貌法 .....	302
二、地质法 .....	304
三、地震活动分析法 .....	306
四、地下流体动态分析法 .....	306
五、地位移、地形变和地应力测量法 .....	307
六、地球物理方法 .....	308
七、遥感方法 .....	309
八、考古学方法 .....	309
第四节 挽近构造体系的实例分析 .....	310
一、挽近华夏系 .....	310
二、祁吕贺兰山字形构造 .....	315
<b>第十六章 构造运动问题 .....</b>	<b>317</b>
第一节 构造运动的研究途径 .....	317
一、天文因素对构造运动的影响 .....	318
二、全球收缩或膨胀 .....	319
三、地球应力 .....	319
四、地球热流 .....	320
五、地球内部的密度分异和物质运动 .....	320
六、地幔中的对流 .....	321
七、重力均衡 .....	322
八、地应力 .....	322
第二节 构造运动的时期 .....	323
第三节 构造运动的方式与方向 .....	325

一、从地壳或岩石圈的组成方面研究构造运动的方式与方向 .....	326
二、从地壳或岩石圈的结构（形变、改造）方面研究构造运动方式与方向 .....	327
第四节 构造运动的起源 .....	332
一、地球自转的离心惯性力 .....	332
二、地球自转角速度变化的依据 .....	335
三、地球自转角速度变化的原因 .....	337
四、地球自转速率变化推动构造运动的可能性 .....	340

# 第一章 绪 论

地质力学 (Geomechanics) 是地球科学领域中一门新的分支学科。它是在我国卓越的科学家李四光倡导下发展起来的。现在这门学科已形成了一套比较完整的理论系统和独特的工作方法, 而且具备了较丰富的内容。这门学科不仅对全球构造规律、全球构造运动方式与方向及构造运动起因等方面有自己独到的见解, 更重要的是在生产实践方面得到了广泛的应用。建国三十五年来, 它不仅为我国社会主义建设做出了多方面的卓越贡献; 而且对推动我国地质科学技术的发展也发挥了积极作用。因此, 这门学科既有基础理论学科性质; 又有应用学科性质。

## 一、地质力学的研究内容与研究方法

地质力学是地质学和力学两大基础科学领域之间的一支边缘学科。其内容主要是用力学原理研究有关地质构造、构造运动规律及其起因问题。

地质力学的研究内容和研究方法主要取决于它对地壳构造运动问题的基本看法。

地质科学领域里的研究内容极为广泛, 待解决的问题也十分众多, 其中争论最激烈的是对全球地壳构造和地壳运动的认识问题。这一问题在地质学研究史中长期处于众说纷云的状态。然而对这一问题的认识, 往往影响到其他地质学分支科学的理论基础, 也影响到地质工作者对其他地质问题认识的思维方式。因此, 地质力学把阐明地壳构造和地壳运动问题作为自己的中心任务。

影响地壳构造运动的因素很多, 地壳构造运动的表现也是多方面的。因而站在不同角度的地质学家, 可能采取不同的依据或选择不同的途径进行研究, 诸如古地理、古气候、古地磁、地震、地热、岩浆活动、沉积岩相、天文学等方面的资料, 都可以作为探讨地壳构造和地壳运动问题的依据。地质力学认为, 所有这些研究途径对于认识地壳构造和地壳运动问题都有一定意义。但是它们的结论应该与地质构造现象是一致的, 因为地质构造是地壳运动最直接的结果, 也是人们可以直接观察到的现象。因此, 应把地质构造现象做为检验地壳构造运动理论是否正确的主要依据。

然而, 地质构造的表现形式是多种多样的, 概括起来, 可将其归纳为建造与构造两个方面。所谓建造是指地壳岩石的物质组成或形成; 而构造 (或改造) 则是指地壳岩石的变形或变位。五十年代以前, 多数学者在研究大地构造和构造运动时侧重于建造方面的资料, 从而导出地壳构造运动方式是以垂直运动为主的结论。地质力学则认为, 构造——岩石的形变更能确切地反映构造运动的方式与方向。在构造研究的基础上, 结合建造的资料, 两者之间互相印证, 互相补充, 才能得到更为完善的结论。

因此, 地质力学选择了岩石变形作为探讨地壳构造运动的主要研究途径。这实际上是给构造地质学建立通往动力地质学的桥梁。也就是说根据构造形迹、按照一定力学原理、通过一定的工作程序或环节逐步进行推导, 最终得知地壳构造运动的动力来源问题。这一研究过程大体可分为四个环节:

1. 首先, 根据构造要素的力学性质和形成时序按照应力状态的统一性进行分期配套, 组合成一定型式的构造组合, 即构造体系。

2. 然后, 根据不同时期、不同型式的构造体系 (实质上就是应变图象或形变场), 考虑岩石力学性质, 反演构造应力场。

3. 在构造应力场确定的基础上, 考虑变形空间的边界条件, 即可推知局部地区或全球构造运动的作用方式与方向。

4. 最后, 根据全球统一的构造运动方式与方向, 综合考虑影响地壳运动的各种因素, 推断其主要动力来源。

地质力学工作方法主要围绕如何研究构造体系这一核心问题进行。李四光 (1962) 总结以往的经验, 比较具体地拟定了七项工作步骤。即:

- (1) 鉴定每一种构造形迹 (或构造单元、结构要素) 的力学性质;
- (2) 辨别构造形迹的序次和等级;
- (3) 确定构造体系的存在和它们的范围;
- (4) 划分巨型构造带和鉴定构造型式;
- (5) 分析联合和复合的构造体系;
- (6) 探讨岩石力学性质和各类构造体系中应力的活动方式;
- (7) 模型实验。

本书将重点讲解这七部分内容, 但为了学习方便, 其先后顺序及章节编排也有所更动。

## 二、研究领域及与其他学科的关系

地质力学是一门具有多边联系的边缘学科。从它的研究内容和研究方法不难看出其研究领域极为广阔。它所探讨的问题几乎与整个地球科学的许多分支都有牵连, 特别是七十年代以来, 随着生产力和科学技术的飞跃发展, 地质力学的研究广度与深度也有了较大的进展, 在应用领域尤为显著。在1983年制定的全国地质力学专业硕士研究生培养方案中, 曾拟定地质力学的研究方向有四个方面: 即理论地质力学、区域地质力学、应用地质力学和有关地质力学的测试方法。这种归纳大体上反映了当前地质力学的研究领域。显然, 每一方面的研究工作所涉及的学科也是多方面的。

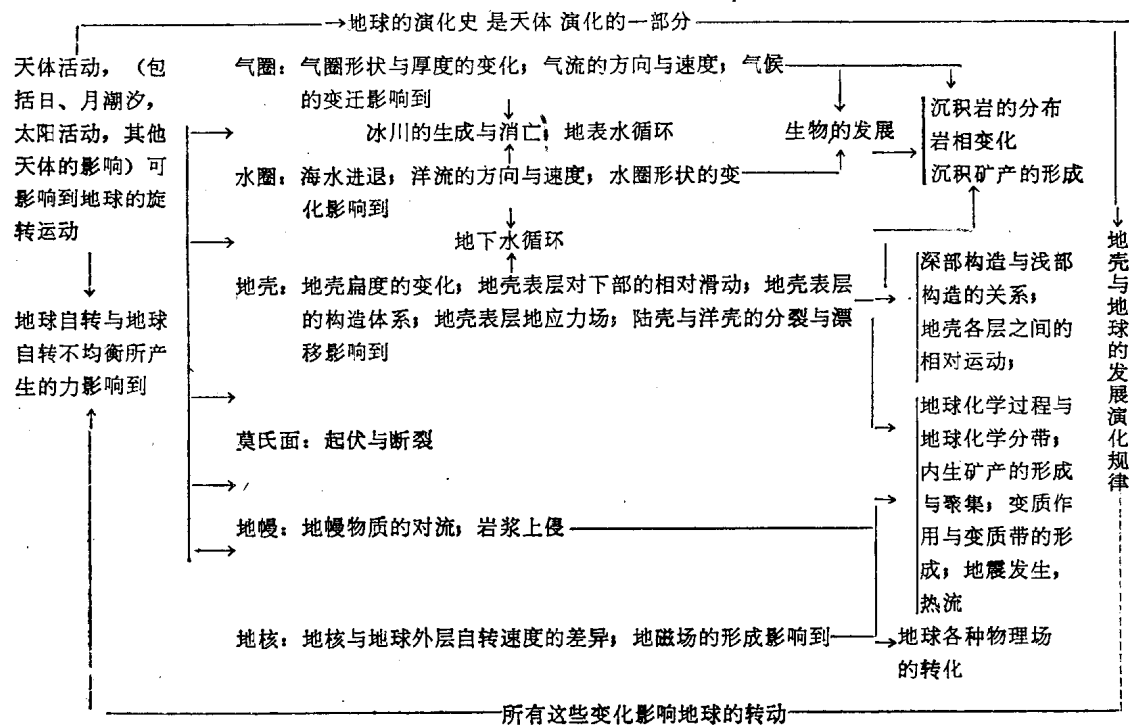
### (一) 理论地质力学方面及其与其他学科的关系

理论地质力学方面的研究是地质力学研究的主体, 主要是围绕地质力学几个基本理论的研究, 诸如: 构造形迹的形成机制及其所反映的力学性质; 各种型式构造体系的形成条件及其应力活动方式; 全球构造应力场及地壳构造运动的动力来源问题等等。这些问题的研究主要涉及的是构造地质学、固体力学及岩石力学几门学科。但是为了深入探讨某些专门问题, 尚要了解 and 运用一些新的分支学科的进展和研究方法。例如, 构造形迹力学性质的鉴定方面与构造物理学内容接近, 象韧性剪切带实际上就是一种扭性或压扭性构造形迹。从微观领域鉴定结构面力学性质就需要对构造岩及应力矿物等进行研究, 这就必然与构造岩石学及应力矿物学等学科发生联系。

又如, 对于地壳构造运动规律和地球动力来源问题的探讨所涉及的学科更加繁多, 按照地质力学成生联系的观点, 作为地壳的岩石圈只是地球的一部分, 其上部还有水圈、大气圈和生物圈; 其下部还有地幔和地核, 作为全球大系统来说, 它们之间必然存在着种种联

系。而地球本身又是宇宙大系统中的一个小小成员；在太阳系中与日、月之间必然有紧密关系，与银河系也不无关系。孙殿卿等（1982）将上述诸因素之间的关系曾列表表示（表1—1）。研究这类问题显然要涉及到海洋学、大气物理、古生物学、天文学、宇宙地质、陨石学、行星比较地质学等许多学科。

表 1—1 地质力学研究工作所涉及的领域



（据孙殿卿等，1982）

## （二）区域地质力学方面及其与其他学科的关系

为了研究区域性乃至全球性大型构造体系的地质构造特征及构造体系的成生、发展与转化，势必要将构造与建造结合起来进行研究。近些年来，采用这种研究方法已对一些地区的地质构造演化历史搞的比较清楚。这方面的研究工作单靠构造地质学是不够的，必然要与地层学、岩石学的研究相配合。为了搞清构造体系的影响范围及深度，还要分析区域地球物理、深部地球物理及海底构造资料。在分析构造体系的演化历史时，往往要进行岩相古地理分析、古气候的探讨以及古生物群的演化和迁徙等方面的研究。

## （三）应用地质力学方面及其与其他学科的关系

地质力学是一门实用性较强的学科，已在生产实践中得到广泛的应用。通过构造体系对矿产控制的分析，对于普查勘探具有一定的指导意义。再则对于水文地质、工程地质、地震地质、地热地质等多方面的有关问题的解决，地质力学的理论与方法也发挥了一定作用。在解决这些实际问题时，地质力学必然与这些相应的学科紧密联系在一起。实际上这并非单方面的应用，而是相互促进、共同发展的。

## （四）有关地质力学的测试方法及其与其他学科的关系

强调实验工作是地质力学的一个重要特色。过去主要偏重于变形图象和构造应力场的

物理模拟,如泥巴模型法、光测弹性法、岩石力学性质实验等。近年来,由于现代科学技术的发展,有许多新技术、新方法都可引用。如卫星像片、航空像片等遥感资料的判译对准确认识构造变形及其组合形态带来许多方便;有限单元数值解对于定量地反演构造应力场也较简便;此外还有地应力测量、地形变测量、古应力值测定、应变测量、岩组及X光岩组、同位素测定、古地磁测定等等。显然,由于研究目的不同,配合的测试方法也有所不同,而每种方法都涉及到一些专门学科。但对于非专业人员来说,只要掌握一般原理、操作或计算方法与结果应用即可。鉴于新技术和新方法的不断涌现,地质力学工作者不仅应及时引用,而且要结合自己的实际工作创造一些新的方法。

从以上列举地质力学研究领域的几个方面及其相关学科来看,全面掌握地质力学这门学科应该有较广博的自然科学基础知识。显然,这对一个初学者甚至对于从事工作多年的人来说也是困难的。因为它涉及领域过宽,而研究者各有侧重;有些内容仍在发展和探索;但是通过本课程学习,掌握地质力学的基本原理和工作方法并不困难。一般说来,学习地质力学应具备较好的构造地质学知识和一定的固体力学基础。

### 三、地质力学的发展简史

任何一门新学科的产生与发展都是和某些社会因素、历史条件及有关学科的发展密切相关的。一门独立学科的形成必然经历一段时期的发展过程,它必须通过实践检验才可能得到人们的承认,最终形成一套合乎逻辑的理论体系和行之有效的工作方法。地质力学也不例外。它经历了半个多世纪孕育和发展,就其发展历程来看,大体可分为四个阶段:

第一阶段 地质力学萌芽于本世纪二十年代,这个阶段主要是针对当时地壳运动问题的争论,李四光提出了“大陆车阀假说”和构造体系的概念。

这个时期正值大陆漂移学说在轰动一时之后走向低潮的阶段。由于大陆漂移假说冲击了当时占统治地位的大洋永恒论、冷缩说等学说。因此,有关地壳运动争论的中心问题转到活动论与固定论、水平运动与垂直运动的争论方面。

李四光根据我国石炭二叠纪煤系地层的研究,发现在华北地区这套地层主要是陆相地层组成,但其下部夹有少量海相地层;而我国南方同时代地层,却以海相为主。在探究这种南北方沉积差异时,他比较了世界各地的上古生代地层的沉积岩相资料,发现控制岩相的海水进退并不是象苏士所主张的海面升降全球一致;而是有由赤道向两极、由两极向赤道的反复定向运动的规律。为什么海洋会发生这种运动方向呢?因此,推想可能是由于地球自转速率在漫长的地质年代中发生过时快时慢的变化所引起的。那末,如果这个设想成立的话,岩石圈也应受到地球自转速率变化的这种影响,并在弹塑性的岩石中留下运动的踪迹。于是在1926年《地球表面形象变迁的主因》一文中李四光提出了“大陆车阀假说”,从而奠定了地质力学的地壳构造运动观。

大陆车阀理论不仅合理地解释了全球构造格架问题、造山运动的周期性问题和地壳构造运动的动力来源问题,更重要的是他把大陆块的整体运动和大陆块内部的岩石变形联系起来,而这一点正是当时魏格纳理论的不足之处。甚至也是现代板块构造学说的一个弱点。

二十年代末期,李四光一方面根据地层学上的事实,分析、探讨了古生代以后大陆上海水进退的规程(1928),进一步论证地壳运动的规律与动力学问题;另一方面从总结东亚

地区的基本构造格架出发，提出了构造体系及构造型式的概念，并用模拟实验方法加以佐证。他通过构造运动机制分析，得出的结论是：“除了地球自转速度的变化之外，似乎没有一个同一来源的力能够满足所有这些条件”。

从这个时期直到四十年代初期，李四光先后在我国宁镇山脉、南岭等许多地区进行了野外实地考察，并以构造体系理论为基础，具体鉴定了各种构造型式，进一步丰富和补充了构造体系内容。例如，他发现，宁镇山脉呈向北突出的弧形，在其凹侧正对弧顶的是南北走向的茅山山脉。这种组合型式与弧顶朝南的巨大的高加索弧形山脉和南北向的乌拉尔山脉（亚欧山字型）的关系相似，只是方位相反。从而确定了山字型构造型式。在这个时期里，还发现了构造体系具有定型性、定位性、定时性的特点；以及构造体系的复合与联合等若干规律。

第二阶段 大致在四十年代，地质力学作为一门学科正式提出。这个时期的进展主要表现在《地质力学之基础与方法》（1945—1947）一书中。在此书中李四光提出了构造应力场的概念并论述了其研究方法；指出这项工作是根据构造变形探求构造作用力的必要的工作程序。这项工作正是地质力学建议自己所承担的任务。研究构造型式（应变图象）与应力场关系势必涉及到岩石的力学性质问题，因为同样的应力作用在不同性质的岩石中其表象不同，有的为弹性表象；有的为非弹性表象。而这些研究都需要实验工作相配合。李四光通过对“山字型构造的实验和理论研究”（1945）示范了这种研究方法。

第三阶段 新中国成立后，地质力学获得了新的生命力，从五十年代至六十年代，取得了较大进展，主要表现在两个方面：一是理论更加完善，方法更加具体；二是开始与生产实践结合，为社会主义建设作出贡献。

五十年代地质力学在理论研究方面以旋扭构造的研究成果最为突出，发现有多种构造型式，如莲花状构造、辐射状构造、反S状构造等，而且有的规模很大，影响到我国西部的很大范围<sup>[4]</sup>。这类构造在全球发育也很普遍。

1962年李四光发表了《地质力学概论》一书，这是地质力学理论与方法的经典著作。书中总结了二十年代至五十年代地质力学的主要理论，构成了一套比较严密的理论体系和科学的工作方法。此书为后来地质力学的普及与发展发挥了重要作用。

这个时期，运用地质力学理论解决生产实际问题获得了显著效果。例如1954年李四光在题为《从大地构造看我国石油勘探远景》的报告中，明确指出在新华夏凹陷带中找油。此后，他亲自兼任石油普查委员会主任，指导了东北、华北、江汉平原等地的石油普查工作，自1959年在松辽盆地获得工业油流之后，相继在新华夏沉降带中的其他盆地（包括海域）也获得了突破。

又如，从地质力学的观点看，现今构造应力场是可以测得的，李四光亲自参与地应力元件的试制和地应力的测量工作，并提出现今“活动构造带”与“安全岛”的概念。从而给地震地质和工程地质工作提供了理论依据。1964年组建起我国第一支地震地质调查队和全国地震领导小组（现国家地震局的前身）。1966年河北邢台和吉林怀德地震相继发生后，李四光曾预见“华北和东北某些地方还有继续发震可能，如河北河间”。果然，第二年在河间发生了6.3级地震。从此，我国地震地质和地震预报工作才迅速的发展起来。

这个时期在金属和非金属矿床的找矿勘探工作中也开始运用地质力学方法分析构造控制矿产分布规律的问题，并在寻找隐伏矿床中取得了成效。如赣南的钨矿、新疆的铬铁

矿、山东的金刚石矿等等。

检验理论的标准是实践。刚刚形成完整理论体系的地质力学在社会主义建设提出的重大课题面前经住了考验并做出了贡献。从另一方面讲,在这个时期里,地质力学一直处于我国地质战线的前沿,起着开路先锋的作用,直到1970年李四光还积极提倡在我国开发与利用地下热能,并亲自指导北京、天津、湖北等地的地热研究工作。遗憾的是这项事业刚刚起步,他就与世长辞了。

第四阶段 1971年李四光教授逝世后,在我国出现了一个群众性的学习与应用地质力学的热潮。多数地质工作者是在自己的工作实践中运用地质力学的理论和方法指导工作,并取得了一定效果,感受到了地质力学理论的重要指导作用。这个时期地质力学发展的主要特点是:其应用领域更加广阔;理论与方法也在向纵深发展;并与相关学科相互渗透、相互结合,出现了一批新的分支学科,推动了我国地质科学的迅速发展。

为了继承和发展地质力学,以马杏垣为首的李四光遗著整理小组将李四光历年发表的重要论著分六卷重新再版;有关地质部门与单位纷纷举办地质力学学习班;有关地质院校成立了地质力学专案;并出版了一批不同版本的地质力学教材及通俗读物。

随着地质力学在国内的普及,许多产业部门都采用这种方法进行工作,并取得了良好效果。例如,我国煤田地质工作者用地质力学方法重新分析了我国各个主要聚煤时期含煤建造的空间分布规律,发现聚煤带及聚煤盆地的形成与展布都与构造体系密切相关,从而对我国煤炭资源的总貌和战略性规律有了新的认识,而且成功地进行了新煤区的预测工作。

又如许多重大工程的地基稳定问题,采用地质力学理论与方法进行研究,也取得了良好成果。其中比较突出的是甘肃省金川镍矿的井巷工程问题,由于运用地应力测量研究现今应力场,并结合构造体系进行分析,解决了多年未解决的坑道变形的难题。

此外,在水文地质、地热地质、地震地质以及各种类型的金属和非金属矿床寻找等方面都不同程度地运用地质力学方法进行探索,并取得了许多良好实效。

由于多数人、多方面的实践,无疑促使地质力学的研究广度与深度有了显著进展,同时也促进了相关学科的发展。这种相互结合与渗透必然孕育出新的研究专题和分支学科。如前述的煤田地质方面,不仅用构造体系解析了聚煤带分布规律,而且还还将含煤建造的分布与海水进退规程联系起来,甚至关于煤岩变质、矿井工程,瓦斯突出等许多方面问题都和地应力场联系起来考虑,从而形成一套新的理论体系。根据运用地质力学方法解决工程地质问题的若干实践经验,谷德振总结撰写了“工程地质力学”;刘国昌著有“地质力学在水文地质工程地质中的应用”等专著。在金属矿床方面,除将地质力学用于研究矿田构造方面总结控矿规律外,近年来,考虑到构造应力对成岩成矿的作用与影响,进而要求研究成矿元素的来源、运移、聚集与构造应力场之间的关系,从而出现了地质力学与地球化学两门边缘学科相结合的“构造地球化学”这一新的分支学科。

这个时期,由于地质力学研究的深入,还派生出一些具有力学特色的专门学科和研究专题。如由于构造形迹力学性质鉴定的要求,对构造岩、应力矿物等显微构造领域要进行专门研究。王嘉荫撰著的“应力矿物概论”,对我国显微构造领域的研究起了推动作用。又如由于地震地质、工程地质及地质力学基础理论都涉及到的构造应力测量及构造应力场的研究,近年来也已逐渐发展成为一门独立学科,并涌现出一批文集和专著。



七十年代末期,国内许多单位还编制了不同范围、不同尺度的构造体系图。如1/400万、1/250万全国构造体系图,1/800万亚洲构造体系图;各省、市、自治区还编制了1/50万、1/100万构造体系图,以及地震、地热、各种矿产分布与构造体系关系等图件。所有这些编图工作都促进了我国区域地质构造研究的深入。

总之,从七十年代以来,由于我国广大地质工作者广泛运用地质力学的理论和方法进行实践,不仅大大发展了地质力学,而且也促进了我国整个地质科学领域的发展。

### 主要参考文献

- 〔1〕 李四光,1926,地球表面形象变迁之主因,中国地质学会志 第5卷 第3—4期。
- 〔2〕 李四光,1929,东亚一些构造型式及其对大陆运动问题的意义,英国《地质杂志》第66卷 第782、784、785期;中译本,地质力学方法,1976,科学出版社。
- 〔3〕 李四光,1947,地质力学之基础与方法,中华书局。
- 〔4〕 李四光,1953,关于《旋卷构造及其他有关中国西北部大地构造体系复合问题》一文的讨论,《旋卷和一般扭动构造及地质构造体系复合问题》第一辑 副刊,科学出版社。
- 〔5〕 李四光,1962,地质力学概论,(1972),科学出版社。
- 〔6〕 李四光,1965,地质力学发展的过程和当前的任务,地质力学方法,1976,科学出版社。
- 〔7〕 孙殿卿等,1982,地质力学与地壳运动,地质出版社。
- 〔8〕 中国地质学会地质力学专业委员会,1982,地质力学发展的回顾与展望,地质论评 第28卷 第2期。