

中国现代科学全书·地质学

地 质 学 概 论

陈 琦 刘永祥 编著

吉林大学出版社

图书在版编目(CIP)数据

地质学概论/陈琦,刘永祥编著.—长春:吉林大学出版社, 2004.7 ISBN 7-5601-3080-1

I.地… II.①陈… ②刘… III.地质学-高等学校-教材 IV.P5

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2004)第 061964 号

中国现代科学全书总编辑委员会

名誉主编	胡 绳	钱伟长	吴阶平	周光召
	许嘉璐	罗豪才	季羨林	王大珩
	郑必坚			
主 编	姜士林	郭德宏	刘 政	程湘清
	卞晋平	王洛林	许智宏	白春礼
	卢良恕	徐 诚	王洪峻	明立志

地质学概论

陈 琦 刘永祥 编著

责任编辑、责任校对:邵宇彤

封面设计:马继东

吉林大学出版社出版
(长春市明德路 421 号)

吉林大学出版社发行
吉林省金山印刷有限公司印刷

开本:850×1168 毫米 1/32

2004 年 8 月第 1 版

印张:11.875

2004 年 8 月第 1 次印刷

字数:290 千字

印数:1-500 册

ISBN 7-5601-3080-1/P·31

定价:28.00 元

作者简介

陈琦,男,1932年生。长春科技大学(前长春地质学院)构造地质学教授。多年来先后曾讲授矿物学、找矿勘探地质学、地质学原理、古地理学、板块构造、含油气盆地等课程。领导和参加桐柏、攀(枝花)—西(昌)、华北北缘白乃庙等区域古板块构造研究、伊通火山群研究以及满洲里—绥芬河地学大断面研究(任综合组长)等,提交了有关研究报告。撰写了《攀西裂谷的多期活动性及其深部地质意义》或《内蒙造山带南部古板块构造演化》等文,主编《地质学原理》。曾获前地矿部一、三、四等奖(个人)和“吉林英才”奖章,享受政府津贴。

内 容 简 介

本卷为对地质学的全面概述,讨论作为地质学基本原理的均变论和激变论的概念、相互关系及其意义,阐述“将今论古”、观察—推理的方法学原则。介绍地质学的范畴和研究内容,简述200年来地质学发展的基本脉络及其在中国的确立和发展。较系统地介绍固定论—活动论的争论、“地学革命”——板块构造说兴起的背景、基础和基本内容。重点论述了中国地质的特色和某些重要进展、当前若干影响较大或可能影响较大问题提出的基础以及对未来发展的展望。本卷有助于开拓视野,提高了解、学习和研究地质学的起点。文词通俗,可供地学师生及有关人士参考。

序

我有幸仔细拜读了陈琦和刘永祥两教授编著的《地质学概论》原稿,大受教益。据我所知,为编写这本书,作者广泛查阅文献,旁征博引,推敲考证,数易其稿,历时二载。这种求精的敬业精神,使我深为感动。

要想在一本篇幅有限的册子中“概论”内容博大的地质学,实非易事。陈著以高屋建瓴的手笔,条分缕析,娓娓道来。在阐述地质学三个“基本”(基本原理、基本问题和基本知识)的同时,兼论科学与社会、理论与技术、思维与方法以及中国与外国诸关系。全书抓住了主线,强调了现代,突出了中国。全而不繁,简而不陋。为说明科学发展的来龙去脉,必然会涉及到地质学史。作者以史为今用,总结了现状,指出了前沿,展望了未来。通读全书之后,一幅现代地质学的梗概,跃然纸上。就这套地质科学系列丛书而言,可以说本书是全书中的全书。

在介绍地质学各学派的纷争时,陈、刘两位既不囿于成说,也不妄加褒贬,而是恪守客观求实的信条,不讳直言。这正是本书的可贵之处。诚如作者所说,“作为一家之言,表明一个专业大学普通教师的印象与看法,这当然是可以讨论的。”我想,作者在书中所陈述的评论,不论你赞同与否,终会从中得到启发。

本书是本雅俗共赏的读物。通俗的语言并未影响问题提出的高起点和讨论问题的深度。对于那些想了解地质学的“外行”,或

想探索地质学真谛的“内行”，本书是两“行”咸益的。

作为先睹本书的读者，我要向付出如此艰辛劳动的作者表示敬意和谢意。

张贻侠

1999年12月25日

前 言

地球为人类生存和社会发展提供了良好的环境和丰富的资源。人类应当用自己的聪明才智深入认识和保护地球。地质学是研究固体地球的学科,可以帮助人类获得有关地球及其怎样演化到当今状态的知识。

地质学具有系统而完整的科学体系。不论是它的基础理论方面还是工程应用方面,都包含了众多具有独立知识体系的分支学科。本卷为《地质学概论》,旨在使读者对于地质学学科的总体及基本特点有一全面的认识,从而获得相关的知识,以利于进一步深入了解和研究地质学,迅速进入学科前缘。

由于地质学内容涉及较广,限于篇幅,并从构成地质学的基础分支学科考虑,本卷只以涉及地史学和古生物学、矿物学和岩石学、构造地质学和动力地质学的基本内容为主。因为这些概念不仅能够提供认识地球动力学过程的线索,而且也是所有应用地质学分支学科的地质理论基础。

编写本卷的指导思想有三。

首先,要阐述地质学总体的基本原理和方法。为便于各地质学分卷迅速展开较深层次的讨论,也适当介绍了一定的地质学基本知识,即具有某些“普通地质学”教科书性质,但若把各种地质作用的特征、成因及相互关系等作为本卷必备内容,显然超出了“概论”范围。地质学中的一些基本问题,如均变论——激变论、活动论——固定论,以及观察—推理的准则等理应为本卷的主线,其他内容则以此为中心展开。当然在这里不可能一一详述。有兴趣的

读者可阅读有关参考文献。

其次,突出地质学的新进展,反映现代地质学的概貌,以便提高学习和研究地质学的起点,尽快把握学科前沿。为达这一目的,须阐明学科基础及其沿革。因此,“概论”兼有地质学史的性质。地质学中的“科学假说”十分活跃,是反映学科进展的主要形式之一。某一时期提出的几种假说,经过争鸣,或肯定,或否定。被否定的假说不一定没有生命力,一时成为主流的学说也并非一成不变。地质科学发展呈螺旋式上升是普遍的史实。一度被斥为异端的“大陆漂移说”,今天又被充实了更为丰富的科学内涵,成为地学主流。曾被视为古老荒谬的“水成论”,在近代花岗质岩浆起源以及成矿热液、矿源层等现代矿床成因理论中,仍在显示其“合理内核”的影响。所以,本卷的主题是反映新进展,沿革则按照说明主题的需要适当兼顾。有关对不同地质科学思维及其沿革的详细分析,可参阅有关分卷。

第三,强调中国地质学的丰富内涵。地质作用具有鲜明的地区性特征。中国不仅地域广阔,而且地质特征丰富多彩,许多地区是探索地球奥秘的“天然实验室”。中国是已发现有 38 亿年古老岩石的少数国家之一,同时又兼有较多地质年代更叠、保存良好连续地质记录的“界限层型剖面”。这对于建立和探求全球统一地质时间框架,生物进化和全球性地质事件的规律提供了宝贵的实物记录。中国也是世界上造山带最多的国家。而且造山带的时代、性质与特色各异,为研究地壳运动提供了良好场所。其中世界瞩目的喜马拉雅山被誉为研究板块构造运动的“金钥匙”,大别—苏鲁有世界罕见的超高压变质带。中国有超过其它国家已知储量总和的钨、稀土等矿产资源和可观的陆相油田。此外,中国还是地震灾害频发的国家之一。显而易见,全球统一地质理论的发展和完善,中国地质科学的实践和贡献是不可或缺的。中国的地质学起步较晚,至今与发达国家仍有相当差距,但正如中国老一辈地质学

家早已明确指出的,实践证明,欧美及国外其他地区的地质理论不能简单地在中国乃至亚洲套用。中国地质学家在许多领域,诸如“陆相成油”、地震预报等方面已经取得了重要成就。展望未来,中国能够、而且应当对世界地质科学发展做出更大贡献。本卷执意弘扬这一思想,以启迪有志的后来者。

完全实现上述内容和形式的统一,不仅为笔者力所不及,而且篇幅必将增加数倍,这会有失“概论”之真谛。鉴于此,本卷以上述三点为中心,适当兼顾教科书、科学史、世界及中国地质进展等,以期有助于读者对地质学有一概括的了解。

限于篇幅,本卷对于数学、物理、化学的一般性概念不再作解释。同理,本卷前面章节中介绍过的名词术语,后面章节也不再重复解释。有的概念只能节要提及,需深究者可参阅有关分卷。

对于地质学中不同学说或观点的介绍,力求客观,但在实际工作中,从选材到撰文不可能不受到个人经历及学术水平等主观因素影响,以致会有许多欠妥或谬误之处,敬希方家指正。作为“一家”之言,表明一个专业大学普通教师的印象与看法,这当然是可以讨论的。此外,尽管笔者作了努力,但对某些问题的深刻内涵可能尚未吃透,因而没能做到深入浅出,通俗易懂。在此谨向读者表示歉意。

作者在工作过程中得到了马志红教授和吴福元教授的大力支持与帮助。石油系统的甘克文、张文昭和裘恂南正高工提供了陆相成油的有关资料,并帮助审阅了原稿。杨丙中教授也就此介绍了有关情况。安徽省地研所徐树桐、苏文正高工提供了大别高压矿物的照片。程新民副教授在工作早期也多有帮助。初稿完成后经张贻侠教授(主审)细心审阅全稿,卢良兆、刘连登、闫鸿铨教授进行了评审,提出了十分中肯的意见。作者衷心感谢所有对本书提供支持和帮助的同志。

作为《中国现代科学全书》中《地质学》卷的第一分卷,本书在

2000年即已交稿,并完成了编辑工作,后因《全书》总编委会的费用出了问题,致使延误至今方得以正式出版。由于多种原因,此次出版仍按原稿,书中疏阙和不当之处敬请读者批评指正。

作者

2004年6月于吉林大学地球科学学院

目 录

序	(1)
前言	(1)
第一章 绪论	(1)
第一节 地质学的研究对象和基本任务	(1)
第二节 地质学的特点	(6)
第三节 地质学的基本原理	(13)
第四节 地质学的研究方法	(25)
第二章 地球的圈层结构	(40)
第一节 地球的外部圈层和地表形态	(40)
第二节 地球的内部圈层	(43)
第三章 地质学的主要分支学科	(54)
第一节 基础分支学科	(54)
第二节 应用分支学科	(94)
第三节 地球物理学、地球化学和数学地质学	(104)
第四章 地质学的建立与发展	(109)
第一节 古代地质学思想的萌芽(18 世纪中叶以前) ..	(109)
第二节 地质学的建立与发展	(115)
第三节 地质学在中国的确立和发展	(149)

第五章 海底扩张 - 板块构造说	(173)
第一节 地球物理和海底考察的新发现	(174)
第二节 古地磁学研究的兴起	(179)
第三节 海底扩张	(188)
第四节 板块构造	(204)
第六章 大陆构造	(234)
第一节 概述	(234)
第二节 大陆岩石圈的基本特点	(241)
第三节 前寒武纪大陆构造	(252)
第四节 造山作用	(258)
第五节 大陆板内构造	(280)
第六节 深部地质和地球物理研究提出的问题	(292)
第七章 地质学的现状和展望	(300)
第一节 现代地质学发展的特点	(300)
第二节 地质科学中的几个前沿领域	(321)
第三节 二十一世纪地质学展望	(343)
综合参考文献	(356)
参考文献	(360)

第一章 绪论

第一节 地质学的研究对象和基本任务

地质学的研究对象是地球。

地质学和地理学、海洋学、大气科学都属于地学或地球科学范畴,主要研究对象都是地球,但各自的侧重点不同。地质学主要研究固体地球,着重研究地下的岩石记录,包括已经“石化”的生物记录。

固体地球和包围它的水、大气以及地球上的生物是一个统一的系统,各学科的划分是相对的,许多问题的研究必然会有过渡和交叉。例如地下的岩石有许多是以前地表的松散堆积物被后继沉积物掩覆深埋、固结形成的,叫沉积岩。在研究沉积岩时除了鉴别定名外,确定它们形成的古地理是河流、海洋或其它环境已经是常规任务之一。为此,地质学家必须仔细考察现代不同地理环境下地表沉积物的特征,确立鉴别标志,根据这些标志来识别古代岩石沉积时的古地理环境。同样,地理学在研究山脉等涉及其成因时,必然要进入地质学领域。

地球表层已知最古老岩石的年龄一般约为 38 亿年,已知最老的数据为 40~42 亿年。这些最古老的岩石是否就是地球的原始地壳,即地球最早一次形成的岩石硬壳(一般认为应由岩浆冷凝形成,大部分已被后来的地质作用破坏了),尚待进一步研究,但实际上,地质学主要是研究 38~42 亿年以来,即有岩石记录以来的地球。比这个时限更早的情况则涉及地球起源问题,是地质学与天文学交叉的领域,天文学有更多发言权。

随着现代科学技术的进步,人类对太阳系和宇宙已有更多的了解。人类不仅登上了月球,还采得了月球表面的岩石,获得了大量其它天体的信息。对这些实物和信息的研究和解释以及对有关天体形成演化的推断,都要求有地质学家参与,而且实际上已经形成地质学的一个新分支学科——行星地质学或类似名称。

地质学的任务是研究和阐明固体地球的组成、构造、形成和演化规律。研究重点是地壳/岩石圈。

固体地球是个复杂庞大的对象。对它的研究包括两个层次:一是地球不同地区、不同部位的特点和规律;二是地球作为一个整体的特点和规律。这两者有区别,但又有密切联系。一般地说,后一层次的研究程度是地质学总体成熟程度的标志。

为了更好地了解地质学及其任务的内涵,有两个问题需要略作讨论:一是人类对地球内部探测、认识的能力和可能性;二是地质学对人类社会发展的意义。

固体地球的半径为六千多公里,也就是说,所谓“地下”,从地表到地心有六千多公里。这样巨大厚度的固体,要把它们都研究清楚是很不容易的。直接的观察只能在地表进行。如果到矿井和隧道,深度极为有限。利用钻井,可以深一点,但也很有限。钻井的难度和成本大体随深度的量级呈几何级数上升。由于地下的温度增高(一般每 100m 升温 2~3℃)和压力加大(等于单位面积上覆岩石柱总重量,地核可达几百万大气压)。6000m 以上的钻井需要有特殊的设备和方法。目前世界最深的钻井是苏联在科拉半岛打的超深钻,设计井深 15km,1970 年 5 月开钻。10 年后,也就是 1980 年打到 10.7km,1984 年打到 11.6km,再往后直到 1988 年左右,进展不大,1990 年打到 12.261km 停钻。近年德国也打了个超深钻,正好打在断层上,效果大受影响。世界上最富有的美国至今尚未打这样的超深钻。从这里可以看出其难度和耗费之大。对其得失的评估各异。如果利用火山等地下岩浆上升时裹挟、捕获上

来的岩石碎块(成为火山等岩石中的“包裹体”,并不常见),其深度一般可达几十公里。目前能够得到的最深岩石实物是作为原生金刚石矿石的“金伯利岩”和其中的“包裹体”,其深度可达 100 ~ 150km。据实验,要在 5 万大气压和 1100 ~ 2200℃条件下才能将碳变成金刚石,否则成为石墨,按压力可以折算成相应的深度。俄罗斯的“成功”金伯利岩筒所获包裹体按其矿物成分进行热力学计算,被认为形成于 260 ~ 276km 深。这也就是能够获得岩石实物的极限了。且不说这些罕见标本的代表性,按其深度都与六千多公里相差甚远。

目前对地球深部的研究主要是根据地球物理方法探测的结果,但是由于深度太大,只能得到比较宏观的数据。例如根据地球引力形成的重力值,可以求得地球的平均密度为 $5.517\text{g}\cdot\text{cm}^{-3}$,并且可以给出可能的密度分布模式,但由于在地表所测到的重力值是从地表到地心各种岩石密度的总和,如果没有足够的约束条件,可以有多种不同解释。具有决定性意义的方法是测量利用地震形成的震动波。地震波从震源发出,当穿过不同岩石界面时,如果岩石传播震波的速度不同,震波就会发生折射和反射,曲折返回地表。可以根据传播所需时间来推算得出地下不同波速岩石分布的图像。岩石的波速与密度有严格的正向关系,这样就可以得出地下不同密度岩石的分布。结合地质及有关的约束条件,即可以对地下的地质情况做出合理的辨认。在石油勘探中,采用密集的人工爆破发震和密集接收点,多次重叠,利用反射波,可以得到十分精确的地下图像,但由于人工爆破能量有限,故一般勘探深度只几公里。采取一系列特别措施,可以勘探到几十公里。对于庞大的地球,只有依靠较强的天然地震。为了得到地球核部的信息,常常要到地球的另一面来接收震波。实际上只能利用各固定地震台站的常年连续纪录进行研究。由于震波在传播时经历了多次反射、折射,计算“复原”十分复杂。而且足够强度的地震和已有的固

定站台都是有限的。所以,目前我们还只能掌握地球内部全球规模的宏观结构,这在后面将进一步介绍。近年正在研究怎样获得更详细一些的地球结构图像,并且已经有了一些令人振奋的初步成果,但道路仍是漫长的。而且,浅部可以直接观察,深部只能间接研究,浅部研究较详,深部认识较略,这样的格局在可以预见的未来是不会变的。

地质学与人类的社会发展的关系十分密切。地球是人类生息繁衍的地方,所以地球和地球上不同地区的过去、现在和未来都是人们自然关心的事情。尤其是与人类生产和生活紧密相关的资源、环境问题,绝大多数都离不开地质研究。如金属与非金属矿产的勘查与开发、煤和石油以及地热等能源资源的勘查与开发、地下水的勘查与开发、各种工程地质的研究和勘查、火山与地震以及滑坡和泥石流等自然灾害的预报和防治、水土保持和污染防范等等,都是人类社会关心的大事情。它们都与“地下”作用或岩石形成与转化有关。对于这些问题的研究,许多已经成为地质学的分支学科,或者必须有地质学家参与。

值得指出的是,尽管地质学对人类社会的发展有重要意义,但上述诸多方面的研究和实践主要只涉及地球表层。矿山采掘深度分300m、500m和1000m三个级别。只有南非和印度科拉尔金矿,由于其巨大的经济效益(南非占世界金产量3/4)而采到地下3km多。石油钻井的深度一般不超过3km,有时达6km。总体而言,上述诸方面问题一般涉及的深度都不超过几公里。只有地震较深,深震的震源可达300~700km深。而大多地震震源较浅,不超过70km,属浅震。根据这一特点和前面对人类探测和认识深部能力的讨论,可以看出,地质学的研究重点是地壳。所谓地壳,是指地表到17~70km这一地球表层。20世纪60年代以前,一般研究都界定地壳为重点。70年代以来,由于认识到地壳和它下面稍深一些的岩石在力学性质等方面是紧密相连的,于是把研究重点界定

为岩石圈,岩石圈下界深 50~125km 左右。近年的实践表明,地壳仍然是“重中之重”。地壳和岩石圈的含义将在下一节讨论。

基于地质科学近三十多年来取得的重大进展,对于地球科学的任务提出了一种新的阐述,认为“地球科学的最终目标是为建立地球的统一理论而奋斗,它对地球演化的了解是以对地球的物理、化学和生物学作用过程建立起详细的、定量的预测模型”^①。这一阐述的内涵比较深刻、全面和严格。除了明确是最终目标而外,特别突出了两点:建立能够影响和引导地质学各分支学科发展的地球统一理论和定量预测。前者是与 60 年代以来板块构造 - 大陆漂移说成为地学主流学派相对应。这一过程被有些人称为“地学革命”。在这以前各分支学科主要是按其本身的体系、范畴发展,相互影响不很大。板块构造综合了主要分支学科的已知规律和新的发现,从全球构造出发,提出了地球海陆变迁的新模式和演化历史,并且为了检验和发展这一新认识,为分支学科提出了一系列需要进一步研究的问题。这些问题立即成为有关分支学科的生长点,有力地推动了学科总体的发展。这样就把分支学科有力地汇聚起来,逐步向形成地球的统一理论方向迈进。尽管板块构造还存在着众多问题,有的问题不一定与板块构造有关,甚至已经出现了“建立超越板块理论的新地球观”的提法,但这一过程使人们清楚地认识到,地球演化的各个方面表现虽然错综复杂,但确实有其内在的紧密联系,有地球的统一理论。为确立这种理论提出的问题是整个地学都要为之奋斗的大任。这是地质学已经成熟的标志。最近二、三十年,各个国家和国际地学组织的规划和计划,绝大多数是以板块构造的前缘问题为起点。而且,由浅而深,由略而

^① 美国地球科学顾问委员会·美国科学基金会地球科学部的战略观点和长期计划(1989~1995年)。转引自肖庆辉等编译,“地球科学的机会与挑战”,P26。中国地质矿产信息研究院出版,1991.4。