

地质参考资料》(总17期)

板块构造与 地壳演化

[美] K.C.康迪 著

5E51

1981.4

甘肃省地质局科技情报室

编辑出版 甘肃省地质局科技情报室

地 址 兰州市定西南路五号

印 刷 兰州八一印刷厂

刊 头 语

近数年来板块构造的理论在全世界已越来越多地为广大的地学工作者所接受。在我国地质界它也引起了广泛的兴趣。许多地质战线上的同志们很想用板块构造理论探索解释有关地质现象、成矿规律以及地震的发生等方面的问题，但是直到现在还缺乏比较全面的、系统的讲述板块构造的书籍。甘肃省地质局情报室的同志们感到工作的需要，最近翻译一本康迪所写的《板块构造与地壳演化》一书。这本书是康迪在美国新墨西哥采矿工业学院的讲课材料，1976年出版。书中前五章一般地介绍了地壳、地幔结构，后五章侧重于海底扩张、岩浆活动、大陆漂移、板块构造等内容。读完之后可以得到地壳演化的概念。但是任何一书都不可能包罗万象，满足读者各方面的要求。同样的，这本书也存在这样的问题。它对变质作用、成矿关系以及和地槽关系等方面讲的较少或未提及。在大陆上对板块构造的工作方法也未讲到。不过在全面了解各章概念之后，也可以体会到一些工作方法。为了适应工作第一线的需要，在译稿中删减了部份插图，内部出版，刊登在省局情报室出版的《地质参考资料》上。在刊印之前谨作这样一个简短的介绍。

李春昱

一九八一年六月十八日于北京

译 者 的 话

自新的全球构造学说问世以来,地学在当代自然科学领域中取得了绝无仅有的成就,它打破了束缚人们大地构造思想境界的固定论的桎梏,使得大地构造学获得了新的生命力。为了普及和推广这一新的全球构造观点—板块构造学说,使广大地质工作者在实际工作中参考应用,我室组织翻译了美国新墨西哥州采矿工业学院的康迪(K.C. Condie)教授所撰著的《板块构造与地壳演化》一书。

该书较系统地阐述了自威尔逊宣布“地质革命”以来,在地学领域所发生的重大变革以后所获得的最新成就的一本专著。涉猎了自六十年代初至七十年代初一板块学说发展的鼎盛时期,所取得的包括大陆和海洋领域的地质、地球物理、地球化学及深海钻探等分支学科的最主要成果。因此,从其论述的深度和广度来看,实为一本不可多得的好书。

“板块构造与地壳演化”一书是作为教科书而撰写的,因此书中不但深入探讨了关于板块构造和地壳演化的理论和模式,收罗了大量取自岩石学、地球化学、地球物理学方面的实验成果及海洋学、海底地质学等领域的最新成就,而且还从板块构造观点将这些多学科的成功作出了统一的解释,并阐述了大量的基础概念和各种研究方法,使得理论探索与实践研究有机地结合起来。

全书共分十章,约20万字,插图150多张。由于篇幅所限,我们将图件进行了删减。

参加译校的有地质研究所的陶炳昆、左国朝、周特生、阎力华、李俊义,甘肃省地震研究所的向光中、吕德徽,甘肃省地质局的汤中立,图件由地质研究所唐洁仙、冯桂兰绘制。本书在译校过程中自始至终是在省地质局地矿处、地质研究所有关领导的关怀、支持下完成的。在此,一并致谢。

关于中译本的有关问题作如下处理:(一)人名:为避免译名混乱,一般采用原文;(二)地名——国家、省、州、大城市一级地名,按辛华编写的“世界地名译名手册”译出,县以下地名一般不译采用原文;(三)原书所附的参考文献均略。

由于本书所阐述的问题牵涉面十分宽、内容又相当丰富,限于译者水平和能力,错误不妥之处,请读者批评指正。

一九八一年七月

序

本书是根据我讲授的同名教程逐步整理而成的。最近十年间,由于海底扩张和板块构造资料的急剧增多,该教程需要不断更新。尽管许多新资料仍在不断涌现,但具有关键意义的资料,其增加速度已有所减缓。因此,以教程为基础出版教科书的时机似已成熟。本书是为研究生或具大学毕业生水平的学生而编写的。书中收罗了大多数学生在大学期间所获得的有关地学领域内地质学、化学和物理学的基础知识。本书也可作为地学领域各种专业人员的参考书。笔者力图综合和汇集来自海洋学、地球物理学、地质学和地球化学等许多学科的资料,并将其以系统的形式介绍过去35亿年间地壳演化的问题。我们借助现有的地质依据探讨了板块构造在以往地质时期中的作用,并商讨板块重建的实例。

为了使本书保持一个合理的篇幅,对其它书刊中能广泛获得的资料就不作大量的重复,故书中对某些问题仅以概略方式进行论述,而有些问题则无法涉及。例如,地质、地球化学和地球物理资料的搜集方法只作概述,因为涉及该问题的书籍随手可得。基于同样理由,略去了许多数学处理方法。因为本书主要作为教科书,所以把参考资料缩减到了最低程度。然而,关于教科书发表的许多论述,笔者还是尽力参阅了对自己影响较大的各种论文。读者可以在正文中的每章末尾的“详细参阅提出”中找到更广泛的书刊目录。

目 录

序

第一章 引 言.....	(1)
观点.....	(1)
途径.....	(2)
方法和定义.....	(2)
第二章 地球的一般特征.....	(9)
地球物理性质的变化.....	(9)
地球的化学组成.....	(11)
地球的年龄.....	(14)
地一月系的起源.....	(14)
结论.....	(16)
第三章 地 幔.....	(18)
地幔的详细结构.....	(18)
上地幔的温度梯度.....	(21)
电导率的分配.....	(22)
全球重力异常.....	(23)
地幔的组成.....	(24)
月球的内部结构.....	(35)
结论.....	(35)
第四章 地 壳.....	(37)
地壳类型.....	(37)
地震特征.....	(42)
热流.....	(47)
重力异常.....	(53)
磁力异常.....	(55)
电导率的分配.....	(56)
地壳的组成.....	(56)
结论.....	(62)
第五章 地壳省.....	(64)
放射性测年.....	(64)
太古代陆核.....	(68)

前寒武纪活动带.....	(73)
显生宙活动带.....	(78)
非造山省.....	(79)
省的边界.....	(80)
洋壳省.....	(81)
造山运动的周期性.....	(82)
结论.....	(85)
第六章 海底扩张.....	(87)
海底扩张理论.....	(87)
板块特征.....	(92)
海底扩张机制.....	(100)
结论.....	(103)
第七章 岩浆组合.....	(105)
引言.....	(105)
板块边缘组合.....	(109)
板块内部组合.....	(115)
岩浆的起源.....	(118)
结论.....	(128)
第八章 板块构造和大陆飘移.....	(130)
引言.....	(130)
地球膨胀说.....	(130)
板块重建方法.....	(131)
板块构造和造山运动.....	(143)
结论.....	(146)
第九章 板块的重建.....	(148)
引言.....	(148)
泛大陆的解体.....	(148)
阿巴拉契亚造山带.....	(153)
科迪勒拉造山带.....	(154)
阿尔卑斯造山带.....	(157)
前寒武纪板块的重建.....	(159)
结论.....	(162)
第十章 地壳的起源与生长.....	(164)
引言.....	(164)
地壳的年龄.....	(164)
地壳的起源.....	(165)
太古代地壳的组成.....	(169)
早期上地幔的组成.....	(172)
生长机制.....	(174)

太古代地壳的增厚.....	(177)
地壳的净生长速率.....	(181)
板块构造在地壳演化中的作用.....	(181)
地壳成分的缓慢变化.....	(186)
大气圈和大洋.....	(189)
结论.....	(190)
术语汇编.....	(192)

第一章 引言

观 点

地壳的起源和演化是个令人很感兴趣的问题，从十九世纪初开始，这个问题就引起了人们的许多推测和争论。当初认识的一些问题——如大洋壳和大陆壳是何时及怎样形成的——直至今天仍有很大的争议。登月结果以及从火星上搜集来的卫星资料表明，地球的外壳可能是太阳系中，天体的一种独特形貌。近二十五年中快速积累起来的地球物理、地球化学和地质学领域的资料大大地加深了人们对地壳物理性质、化学性质及其演化过程的了解。大量证据支持组成地壳的物质来源于地球的内部。地球内部的部分熔融看来曾产生过移动到地表的岩浆，并形成了初始地壳。大陆地壳的密度比下伏地幔的密度要小，大陆地壳一直在均衡地上升，并经受着风化和剥蚀。被剥蚀的物质似乎已局部地加入到大陆边缘，致使大陆朝横向生长，然后部分返回地幔（地壳与地核间的区域），可能在后来时间反复循环而再次成为地壳的一部分。人们对地壳生成及其后生长的特别过程仍不太清楚，但目前拥有大量可靠的资料有利于允许人们援引出一些重要的边界条件。在本书中，地壳和上地幔的重要物理和化学性质就是借助于地壳起源和演化的模式来加以表示和讨论的。

在最近十年间，对地质界思想起着极大影响的海底扩张和板块构造理论也为认识地壳演化的机制提供了有价值的见解。有关地壳演化的重要问题之一（在第十章中论述）就是要揭示地质时期中板块构造和海底扩张过程开始的那个时间。有些科学家（Wilson, 1968）把人们广泛接受的海底扩张和大陆漂移视为地学上的一场“革命”。科学的培练显示出，从过渡性假说为特征的资料汇集的初步阶段到提出解释大量累积资料的新的统一理论或理论阶段的演进。物理学和化学在接近二十世纪初期或以前就经历了这样的变革，而地球科学也许正好进入这样的变革。正如其它科学领域中的科学变革一样，地球科学中的新观点、新解释还不能使早期的观测归于无用。正相反，海底扩张和板块构造首次对到目前为止表面上似乎并不相关的地质学、古生物学和地球物理学领域中的观测提供了一次统一的解释。

本书的开始部分，首先概略地论述一下海底扩张和板块构造，并介绍几个全书用到的术语。大量地球物理数据表明，今天的地球表层是由厚达50—150公里的刚性板块所组成，总称为岩石圈。这些板块坐落在一个较热的、密度较大的塑性变形的层上，该层称为软流圈。岩石圈的上部（厚6~40公里）是由地壳组成。海底扩张理论的一个重要部分是，在洋隆处由于来自软流圈的岩浆注入和喷发使得新岩石圈和地壳不断产生。这些离开洋隆作横向扩张的新岩石圈，最后在消减带被软流圈所消灭。大致上可以把岩石圈看作是以洋隆、消减带和转换断层（板块相互滑动沿着的边界）为界的拼接物。岩石圈板块边缘相互作用的研究称为板块构造。

途 径

本书总的安排是,首先陈述与地壳起源和演化模式有关的重要资料,然后对有关模式作出解释和推断。第二章主要论述地球的物理和化学的总体特征,为后面的讨论提供基本轮廓。此外,关于地球(和月球)起源的种种假说也在本章中予以概述。

第三章叙述地幔的成分和详细结构,这将提供带有地壳起源和海底扩张的重要情况,显示出海底扩张是上地幔动力作用的结果。地壳的地震、热流、重力、磁力和电性,连同地壳成分的讨论一起在第四章中予以介绍。第五章,首先讨论了用以划分年龄省的主要放射性测年法,因为年龄省是可用测年法测定的事件类型。接着介绍了显生宙和前寒武纪地壳年龄省的调查情况,在该项调查中,还研究了地壳的总体结构、岩石分布和成分等内容。

第六章介绍了海底扩张的理论,并评述了导致海底扩张理论系统阐述的各种证据。此外描述了岩石圈的板块和讨论了导致海底扩张原因的假说。第七章,根据板块构造的轮廓,描述了地球上的岩浆共生组合。其次还借助于现有野外的、实验的、地球化学和地球物理的资料,研究了对地壳起源和生长的各种模式起重要作用的岩浆成因。

第八章论述了板块构造和大陆漂移的原理,并对重建过去地质时期板块位置的可行方法作了讨论。在本章中,还评述了造山运动(造山作用)与板块构造的相互关系。第九章为阐明第八章中所提出的方法,介绍了板块重建的一些典型实例,其中强调了显生宙板块重建的过程,因为绝大多数数据对显生宙板块的重建来说都是可用的。

在第十章里,我们企图把地壳起源和生长及地壳发展中板块构造的作用联系在一起作为时间的函数。此外本章还讨论了地壳成分的缓慢变化以及大气圈和大洋的成因概况。

尽管在本书中对获取数据的方法和技术将不作广泛的讨论,但在本书开始简略评述了某些较重要的方法,并同时介绍了某些基础术语,可能是恰如其分的。

方法和定义

地震法

当地球内发生地震或爆破时,就会产生两类弹性波——体波和面波。体波穿过地球内部,并在界面产生反射和折射。体波又可分为两种波:P波(或压缩波),它以在波的传播方向上交替出现压缩和膨胀为特征;S波(或剪切波),具有垂直于波的传播方向上的质点运动。P波总比S波快,且S波不能穿过流体。面波沿地表或近地表传播,它也可以分为两种波:瑞利波和勒夫波。瑞利波被限制在一个包含传播方向在内的垂直平面内表现为椭圆形的质点运动;而勒夫波则以在垂直于传播方向的水平运动为特征。地震(或爆破)所产生的弹性波区域被定义为震源或震焦,而震源垂直向上在地表的点称为震中。

用以探测弹性波的地震仪，能反映地面的位移，或在某些情况下还可反映波速。短周期地震仪用来观测体波，而长周期地震仪则适于观测面波。地震站的电子计算机装置近来已可用来分离干扰信号，改善信号对噪音的比率，并可直接测定波速。

在探测地球内部的工作中，人们采用了几种地震方法（Bott, 1971）。从穿过地球内部的体波走一时距离研究来确定地球内部的总体特征将在下一章讨论。地壳和最上部地幔的详细结构可用地震反射法和折射法进行研究。因为爆破的时间和地点的了解比地震发生的时间和震中位置的了解要精确得多，因而巨大地下爆破在此项研究中特别有效。适用于陆地和海上的折射法，是以沿直线剖面测定爆破点与安置在不同距离的地震记录器之间P波走一时为根据的。在不能确定非常详细的地壳结构，也不可能查明低速层时，折射法是受到限制的。应用超临界反射法（即入射角大于临界角的反射波法）可提高对折射数据的解释。垂直入射的反射波仅仅在显著不连续处出现，故地震学家常借以分辨出明显的和渐变的不连续。

近来已证实，走一时异常研究在鉴定上地幔结构方面很有价值。走一时异常（或残余异常）是在一个已知地震站中，实测体波到达时间与推算到达时间之间的差值。推算到达时间是经过方位校正并以理想模式为基础而求得。编制走一时异常等值线图，对建立地质特征和其它地球物理特征与这些异常的相互关系，很有用处。

地震在地球内产生的天然振动，称为自由振荡（Garland, 1971）。振荡有两类：扭转振荡指的是垂直于地球半径方向的质点位移；球振荡则指沿半径或切线方向的质点位移。面波是短周期自由振荡的例子。长周期自由振荡要利用应变地震仪和地球潮汐重力仪进行观测。自由振荡的研究近来已能用来改进地球内部界面的分辨和探测，以及直接测定地幔各部分的密度和地震滞弹性。瑞利波和勒夫波频散（即波速随波长的变化）为详细研究地壳和上地幔的结构提供了基础。大地震引起的自由振荡不能无限持续，但随着地球慢慢地静止，振动能可以逐渐转变为热能。所谓振荡衰减这种过程称为滞弹性。体波在穿过地球时也会发生衰减。滞弹性衰减用一个无单位因数（比衰减因数） Q 来度量。低 Q 值意味着高地震波衰减。岩石中 Q 的实验测量介于50~1000之间。地球的滞弹性显示是由颗粒边界的阻尼、应力引起晶体缺陷的有序化和位错振荡引起的阻尼某些联合作用所引起（Gordon和Nelson, 1968）。 Q 对温度和部分熔融特别灵敏。

在大洋区，地震反射的剖面制作很有用处。这种方法类似于回声测深法，只是不用极大功率的声源。拖载地震检波系统可以接受洋底沉积层界面和基底沉积层界面的反射波。

重力法

重力是指在地球上或其内的某物体与地球之间的引力除以该物体的质量。地球的平均重力值为980伽（1伽 = 1厘米/秒²）。重力值是由重力仪来测得的，重力测量既可在陆地上也可在海上进行（Bott, 1971; Garland, 1971）。重力测量的一般精度，陆地上为1毫伽，海上为5—10毫伽。地球上重力的标准参考水平是球体的引力场，其大小与纬度有关。近来根据人造卫星轨道偏移方向和速度所推出的数据使精确地测定地球重力场有了可能。根据这种数据就能精确地测定出平均地球表面或大地水准面的高程，这一平均表面大致等于海平面，实际上地球与球体是有偏差的。现有资料表明，地球呈梨形，平均赤道半径为6378公里，平均两极半径为6357公里。地球重力场的分布可以根据卫星重力数据的球谐调系数精确地计算出来。

在解释局部和区域重力资料之前，应当进行纬度和高程校正。在陆地上，重力测量通常是在大地水准面之上进行的，因此为了解释高程的差异，应将一个重力增值加到观测值上，这就是所谓的海平校正。如果减去的是球体的标准重力值（纬度校正），则剩下的就是海平异常。另外，如果再减掉大地水平面与重力站之间岩石的引力（布格校正），并对附近的地形变化也作校正，就可获得布格异常。在海上测量时，不需要进行海平校正，因为它们是在海平面上得到的。

十八世纪中叶，由布格作出的重力测量表明，巨大山脉显示的引力比预料的引力为小。据此得出了均衡的原理，该原理约在1900年由Dutton提出。原理认为，在地球内部存在着平衡条件，借此在某些补偿深度内，岩石柱体具有相同的质量。现已提出了两种主要理论来解释这种均衡原理。普拉特的理论假定，地球外层岩石柱体的密度是在一个恒定的补偿深度之上发生横向变化的，并可用地球表面高程的函数来表示。艾雷的理论认为，地壳外层是由密度较低且颇稳定的岩石柱体所组成，而补偿深度是柱体厚度的函数。这两种机制都可用来解释均衡补偿的原因。正如采用艾雷和普拉特的补偿机制的某种组合所确定那样，均衡异常可以通过从布格异常中减去分布在地球上部某些岩石块段的质量来计算。

磁 法

地球磁场由其强度和方向来确定。磁场方向用正北极和磁北极之间的水平夹角——磁偏角及其与水平面的倾角——磁倾角来表达。磁倾角在两磁极处变为直角。总磁场强度在磁极附近最大（南极为0.7奥斯特），赤道最小（大约0.3奥斯特）。地磁场强度和方向均显示出既有短周期、又有长周期的变化。短周期变化（周期为几小时到几年）主要由磁场和强导电的大气圈上层相互作用造成。周期为几百年或更长时间的变化被称为地磁场长周期变化，这种长周期变化起源于地核外部流体的运动。约90%的现代磁场可借助于地球中心的磁偶极场加以解释，地磁偶极与自转轴构成11.5度左右的夹角。值得指出的是，地磁偶极场以大约0.18度/年的速率向西漂移。

磁场的局部和区域变化大概与地表之下岩石具有不同的磁化程度有关。这种磁场的变化可以利用饱和式磁力仪或质子磁力仪在陆地、海洋或空中进行测定。与局部或区域磁场背景值的明显偏差称为磁异常，其强度以伽玛(γ)来表示($1\gamma = 10^{-5}$ 奥斯特)。分布范围超过数千平方公里的低强度磁异常反映了下地壳或上地幔的变化。

地球磁场中，岩石通过多种机制受到磁化，这些机制将在第六章中论述。这种磁化称为剩余磁化，可在实验室内利用核旋磁力仪或无定向磁力仪来测定。能使矿物磁化的起始温度称为居里点温度。古地磁是研究不同地质时期岩石的剩余磁化作用的。假如能准确地标出岩石样品的方位并测定出它的磁化时代，就能求出古老磁极方位的位置（见第八章）。古地磁研究已表明，在过去的地质时期中，磁极本身曾发生过多次的倒转，这种磁极的倒转是外地核的不稳定所造成的。

电 法

地球磁场诱发电流叫做大地电流，它可以在地壳和地幔中流动。大多数短周期的磁场变

化是由于强导电的电离层（上大气层）相互作用所引起。磁暴可产生持续数日之久的巨大磁场变化，它起因于太阳耀斑所发射出强大而为电离层所捕获的高能粒子流。人们可用磁变量计算出地球的电导率，因为诱发电流的强度取决于电导率的分布。这些电流的短周期变化只能深入到地球浅部，而长周期变化则可深入地球较深处。

有四种方法可以测定地壳和地幔电导率的分布（Keller, 1971）；（a）直流电测深；（b）大地电磁测深；（c）电磁测深；（d）地磁深测深。直流电测深就是通过相距很远的两电极间给大地输入电流，然后测出极间的电压。这种方法探测深度有限，只能达数十公里；大地电磁测深可同时测定地球的电场和磁场的变化；电磁测深是观测深入地球内部所产生的人工电磁场的方法；地磁深测深是观测由磁暴引起的天然诱发电流的变化。上述方法直接为计算地幔电导率的分布提供了最佳手段。所有这些方法获得的结果均可用电导率（欧姆⁻¹米⁻¹）或电阻率（欧姆——米）来表示。

地热法

测量地球热流有两种独立的测量方法，一是测定热梯度（dT/dX），另一是测量热导率（K）。按照这些测量方法，热流（q）（通常以微卡/厘米²秒或以热流单位1 HFU = 1 微卡/厘米²秒来表示）计算公式如下：

$$q = -K \frac{dT}{dX} \quad (1-1)$$

热梯度利用半导体温度计进行测量。在陆上进行测量时，先把它固定在电缆上，尔后放入钻孔中；而在海上测量时，则把仪器固定在岩芯管或安装在一根长而细的探头上，接着把它插入深海沉积物中。在上述两种情况下，进行测量之前均应考虑热平衡的时间因素。干岩石的热导率通常是利用一种带刻度的棒状仪表来测定。在测量时，利用一个已知热流穿过一个带铜膜的夹层、两个标准原器和岩石样品，热导率是根据热流通过样品及其厚度时产生的温差来计算求得。非固结岩石的热导率一般是利用一种针状探头来测量，这种探头是由一个半导体温度计、电子加热元件和一个能插入沉积物中的注射针所组成，热导率是根据一定能量输入到加热器后探针温度升高的速率来求得。

在大陆区，大量的地下水运动能形成异常低的热流。同样，在更新世冰川覆盖的地区测得的热流值可能比真实热流值要低。一些调查者曾建议冰川的校正值采用30%，但当考虑这种校正的实用价值时，人们便会对此产生怀疑。

一种岩石或一个地质体所产生的放射热可根据U、Th和K的浓度及U²³⁵、U²³⁸、Th²³²和K⁴⁰的生热量加以计算求得。上述元素的丰度可在实验室内或在野外利用I—荧光光谱仪读出天然放射性同位素数据来确定。近来航空I—荧光光谱已用来测定整个地壳的U、Th和K的丰度。放射性热生产量（A）以10⁻¹³卡/厘米³·秒或以热生产单位（HGU）来表示，1 HGU = 10⁻¹³卡/厘米³·秒。

高温——高压研究

近十年来，高压技术领域获得迅速发展，使在实验室条件下可重现的静压力已达200千

巴,最近又增高到300千巴以上(Ringwood,1969a;Kumazawa等,1974),分别相当于600—1000公里的埋藏深度。很多高压实验可在极广的温度区间内,利用固体或液体介质来进行。在高温高压条件下,还可测定岩石的许多特性:相平衡界限,包括P波和S波速度在内的岩石弹性,电性和热参数以及断裂和流动特征等等,但还有几种参数不能测定。根据这些测定结果(连同可靠的地球物理数据一起),有可能用来估算地壳和上地幔的成分、矿物学及熔融性状的限度。同时还可对岩浆成因作出定量的估计。利用高温高压岩石形变的研究,能更全面地了解地球内部的地震机制和流动特性。

近来,人们利用冲压实验成果已有可能研究地球较深部位(其中包括地核)的成分和矿物组合。这种方法需要对物质产生一个强大的(强度达若干兆巴)冲击,伴随爆破形成一个波峰,波峰以比声速和被冲击物质的粒子运动速度还大的速度通过该物质(Ahrens和Petersen,1969)。根据测得的冲击速度和粒子速度可推断出波内部的压力和强度。该结果通常以流动声速对强度的座标图来表示。人们对许多元素、矿物和岩石作了研究,并将其结果与根据对地球体波研究而推断出的流动速度资料进行对比。这种对比为确立地幔和地核的成分创造最佳的极限条件。

地球化学、地质年代学和地质年表

各种矿物和岩石(尤其是火成岩)的地球化学数据提供了关于上地幔成分、地壳和地幔发展变化等方面的重要信息。碱性、碱土和稀土元素在建立岩浆演化模式方面有特别重要的价值。近来人们已利用多种测试分析技术(诸如X—荧光光谱、中子活化、质谱和原子吸收光谱,以及快速湿化学方法等等)来分析大量样品的主要元素及多种痕量元素,并能达到很高的精度和灵敏度(Energlyn和Brealey,1971;Wainerdi和Uken,1971)。

同位素(包括质谱)研究不但在地质年代学上具重要意义,而且在某些示踪剂的研究上也将起到重要作用。Pb和Sr同位素在这两方面都非常有价值。地质年代学是专门研究造山带和大陆、大洋盆地演化在时间上相互关系的学科。为了进一步探索火成岩成因和追踪整个地质时期地幔和地壳的演化,人们利用子同位素作为“印痕”来进行示踪剂的研究。

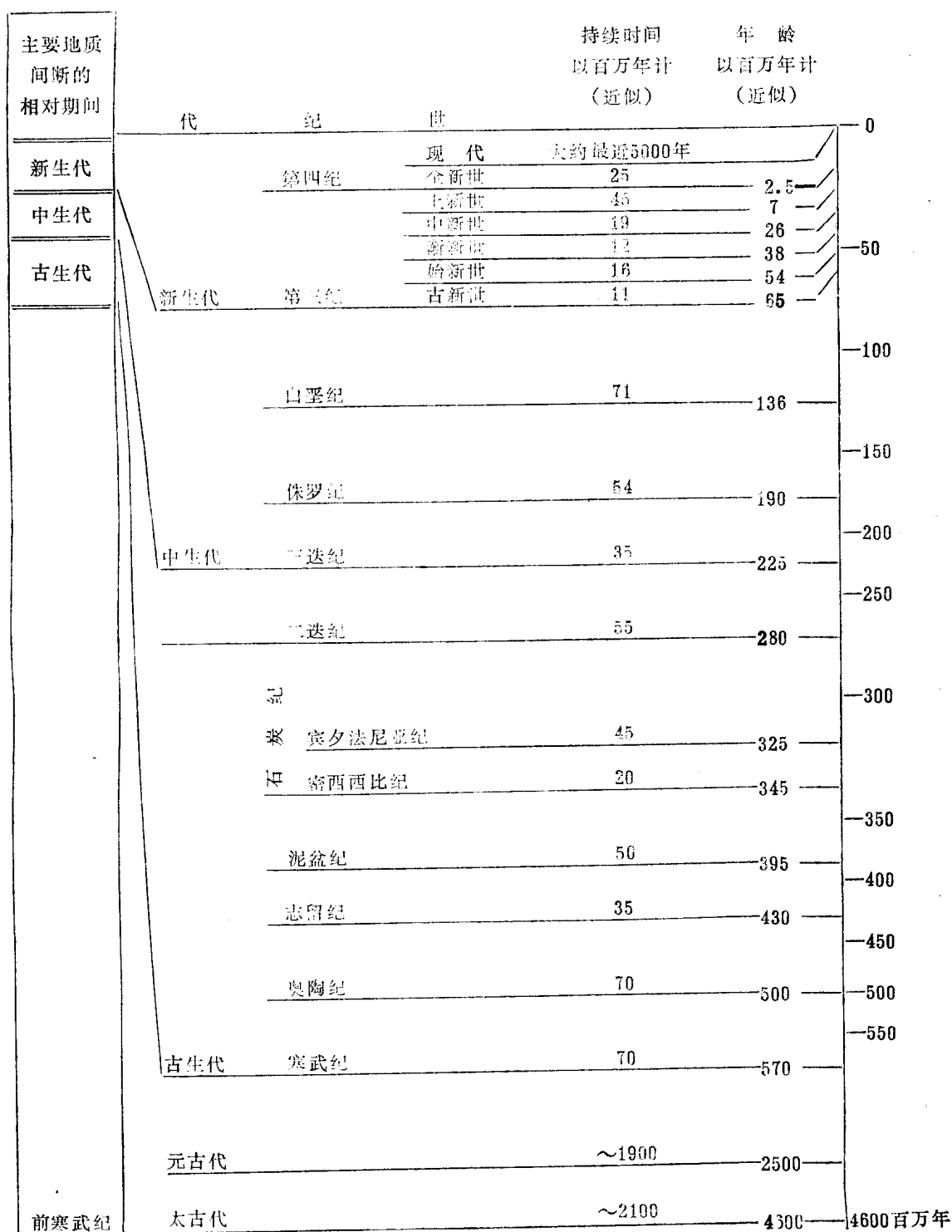
近年来,采用改进的放射性测年法使得原来对各种不同地质时期的开始和延续时间所作的估算更加精确了(见第五章)。表1—1列出了地质年表现有的表达方式。地质时期可划分为代、纪和世。现已公认有五个主要的代,从最新到最老,它们是新生代、中生代、古生代、元古代和太古代。三个最年青的代合起来称为显生宙,两个较老的代合称为前寒武纪。前寒武纪几乎贯穿了90%的地质时间,而所测得的最老地壳的年令大约为38亿年。

其它方法及资料来源

地幔的粘性是根据大的地壳块体在表层负载(如冰盖或大湖泊)被移去之后而发生的均衡再生速率及地震滞弹性Q的研究估算而得(Anderson,1966)。地球的质量可根据转动校正之后的地球重力值进行计算。地球的二个基本惯性矩——其一在极轴附近,另一在赤道轴附近——可用转动轴的岁差数据及实测的地球扁率求出。地球内部其它一些作为深度函数的物理特征是利用地球表层已测得的数据及地球内部的模式估算的。

表1—1

地 质 年 表



据 Don L. Eicher, 地质时代, (C) 1968, P.150修改,
 经 Prentice-Hall, Inc. Englewood Cliffs, N.J. 的许可。

利用大洋和大陆许多钻孔岩芯所提供的资料能对地壳较浅部位的成分作出可靠的推断。始于1968年的深海钻探计划 (DSDP) 至今已获得大量来自洋底沉积层的岩芯, 总长度已达好几百米。现已设计出一艘特殊的钻探船——格罗玛挑战者号作为漂浮钻探台加以使用。故随着对已获岩芯和将获岩芯的研究, 使对最近150百万年期间海底沉积物年龄和岩性的研究, 以及对海底历史所固有的大量资料的认识会变得更加可靠。在大陆区, 除了油井外, 深钻孔很罕见。不过, 对大陆区各种不同地质环境的深部钻进目前正处于计划之中。

陨石和月样的化学研究, 以及太阳和其它星体的光谱分析结果给阐明地球和其它行星的总体成分提供一个重要的依据。最后, 应当提及的是, 传统和常规的地质方法并非不重要。或许最易被忽视的, 但却是最重要的资料来源, 仍应靠野外地质工作。在大陆上, 大范围的地质填图结果对评价过去地质时期海底扩张和板块构造的作用是极其重要的。地层学 (不同地理区之间岩石单元的相互关系)、岩石学 (岩石成因的研究) 和古生物学 (化石的研究) 也是重要的调查领域。

第二章 地球的一般特征

地球物理性质的变化

内部结构

地球的内部结构主要是通过体波研究揭示出来的，最近又为自由振荡资料所证实。地球P波、S波速度及密度的变化，反映着压力、温度、矿物学、地球组成及局部熔融程度等特性。地震波速分布状况的基本特征虽然早已为人们所认识，但相当精确的数据还是最近十年获得的。图2—1表示一个与地球质量、转动惯量、自由振荡周期及体波走时相吻合的常用

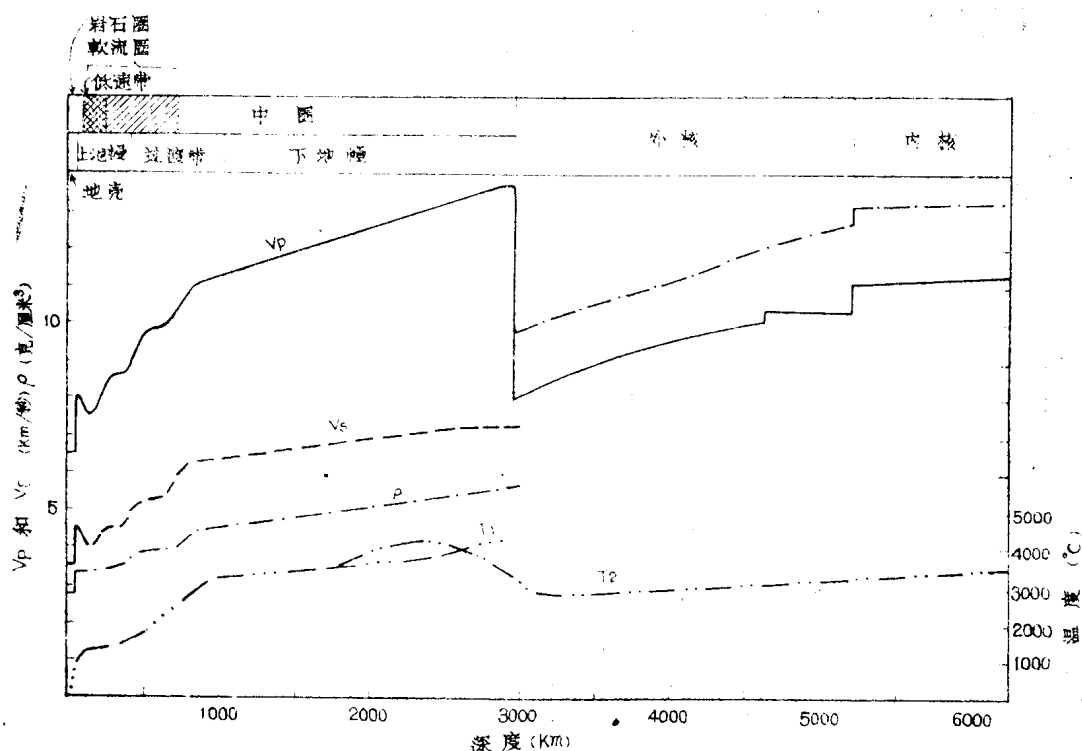


图2—1 地球P波、S波速度，密度及温度分配

(VP、VS、P据Anderson等, 1971; T_1 据Tozer, 1959; T_2 据Labimova, 1969资料修改)。

模式。模式中出现三个一级不连续界面，最大的一级界面在2900公里处，谓之古登堡不连续面，在洋壳下10—20公里和通常在陆壳下30—50公里处的叫莫霍洛维奇不连续面或莫霍，而