

高等学校教材

地质学基础

(第三版)

宋春青 张振春 编著 修订 宋春青



高等教育出版社

内 容 提 要

本书是高等师范院校地理系专业基础课教材。内容包括总论、矿物、火成岩、沉积岩、变质岩、矿床、构造运动和构造变动、地震、大地构造学说、地壳历史的研究方法,以及各代地史等15章,基本包括了地质学的基本知识和理论。

作为第三版修订教材,本书注重吸收最新学科成果,如引入花岗岩的成因、特殊沉积岩、区域混合岩化作用、火山矿床、多成因矿床、干酪根成油说、韧性断层、区域性大断裂、地体、地质事件和生物事件、寒武纪生命大爆炸、恐龙灭亡事件等内容,以及较新的《中国地震烈度表》、《地质年代表》。

适用作地理学、地质学、地学、环境学及相关学科教材及供有关读者阅读、参考。

图书在版编目(CIP)数据

地质学基础/宋春青,张振春编著.—3版.—北京:高等教育出版社,1996(2002重印)

ISBN 7-04-005398-5

I.地… II.①宋…②张… III.地质学-基础理论-师范学校;高等学校-教材 IV.P5

中国版本图书馆 CIP 数据核字(96)第 00008 号

出版发行 高等教育出版社

社 址 北京市东城区沙滩后街 55 号

邮政编码 100009

电 话 010—64054588

传 真 010—64014048

网 址 <http://www.hep.edu.cn>

经 销 新华书店北京发行所

印 刷 国防工业出版社印刷厂

版 次 1978 年 1 月第 1 版

开 本 787×1092 1/16

1996 年 6 月第 3 版

印 张 22.75

印 次 2002 年 3 月第 8 次印刷

字 数 560 000

定 价 18.20 元

凡购买高等教育出版社图书,如有缺页、倒页、脱页等质量问题,请在所购图书销售部门联系调换。

版权所有 侵权必究

目 录

绪言	1	第五节 火成岩的结构和构造	65
一、地质学的研究对象	1	一、火成岩的结构	65
二、地质学的特点和研究方法	2	二、火成岩的构造	67
第一章 总论	5	第六节 火成岩的分类	68
第一节 地球概况	5	第七节 最主要的火成岩	69
一、地球的形状和大小	5	一、超基性岩类(橄辉岩—金伯利岩类)	69
二、地球的物理性质	7	二、基性岩类(辉长岩—玄武岩类)	70
第二节 地球的结构	12	三、中性岩类	71
一、地球的外部圈层	13	四、酸性岩类(花岗岩—流纹岩类)	72
二、地球的内部圈层	15	五、脉岩类	73
第三节 地质作用和地质年代	20	六、火山玻璃岩类	73
一、导致地球不断变化的作用——地质作用	20	第四章 沉积岩	74
二、地质年代	22	第一节 沉积岩的形成过程	74
三、地质年代表	23	一、先成岩石的破坏	74
第二章 矿物	26	二、搬运作用	83
第一节 矿物的基本特性	26	三、沉积作用	84
一、矿物的内部结构和晶体形态	26	四、成岩作用	86
二、矿物的化学成分	28	第二节 沉积岩的特征	87
三、矿物的集合体形态和物理性质	31	一、沉积岩的成分	87
第二节 重要矿物简述	36	二、沉积岩的颜色	88
一、自然元素矿物	36	三、沉积岩的结构	89
二、硫化物类矿物	37	四、沉积岩的构造	90
三、氧化物及氢氧化物类矿物	39	第三节 沉积岩的分类和主要沉积岩	95
四、含氧盐类矿物	41	一、碎屑岩类	95
第三章 火成岩	49	二、化学岩及生物化学岩类	98
第一节 岩浆、岩浆作用和火成岩的概念	49	三、特殊沉积岩类	101
第二节 喷出作用(火山作用)	50	第五章 变质岩	104
一、火山活动	50	第一节 变质作用的因素	104
二、火山构造	51	一、温度	104
三、火山喷发物	53	二、压力	105
四、火山喷发类型	56	三、化学因素	105
五、近代火山分布规律	59	第二节 变质岩的特征	106
第三节 侵入作用	60	一、变质岩的矿物	106
一、深成侵入作用及其岩体产状	60	二、变质岩的结构	106
二、浅成侵入作用及其岩体产状	61	三、变质岩的构造	108
第四节 火成岩的成分	63	第三节 变质作用的类型及有关的变质岩	109
一、火成岩的化学成分	63	一、动力变质作用	109
二、火成岩的矿物成分	64	二、接触变质作用	109

三、区域变质作用	111	二、节理与褶皱构造的关系	174
四、区域混合岩化作用	113	三、研究节理的意义	175
第四节 有关变质岩的几个问题	115	第六节 断裂构造(二)——断层	177
一、变质强度	115	一、断层的几何要素	177
二、变质作用和地壳演化的关系	116	二、断层的分类	179
三、岩石的转化	116	三、断层的组合类型	184
第六章 矿床	119	四、怎样识别断层	187
第一节 矿床的概念	119	五、研究断层的意义	192
一、矿石与矿床	119	第七节 韧性断层与区域性大断裂	193
二、矿产的分类	120	一、韧性断层	193
三、矿床的成因分类	120	二、区域性大断裂	194
第二节 内生矿床	121	第八节 怎样分析和阅读地质图	197
一、岩浆矿床	121	一、不同岩层产状在地质图上的表现	197
二、伟晶岩矿床	123	二、褶皱和断层等在地质图上的表现	199
三、气化-热液矿床	124	三、读地质图的步骤和方法	200
四、火山矿床	126	第八章 地震	202
第三节 外生矿床	127	第一节 关于地震的一些概念	202
一、风化矿床	128	第二节 地震的成因和成因类型	203
二、沉积矿床	130	一、构造地震	203
三、可燃有机岩矿床	132	二、火山地震	206
第四节 变质矿床和多成因矿床	138	三、冲击地震	207
一、变质矿床	138	四、水库地震	207
二、多成因矿床	139	第三节 地震波和地震仪	208
第七章 构造运动和构造变动	142	一、地震波	208
第一节 构造运动的基本特征	142	二、地震仪	209
一、构造运动的方向性	142	第四节 地震强度	211
二、构造运动的速度和幅度	143	一、震级	211
三、构造运动的周期性和阶段性	144	二、地震烈度	212
第二节 构造运动的证据	145	第五节 地震的时间和空间分布规律	214
一、新构造运动的证据	145	一、地震的时间分布规律	214
二、老构造运动的证据	146	二、地震的空间分布规律	216
第三节 岩层的产状和岩石变形	149	第六节 地震预报	220
一、岩层的产状	149	一、地震烈度区划	221
二、岩石变形	153	二、地震短期预报	223
第四节 褶皱构造	156	第九章 大地构造学说	227
一、褶皱的概念	156	第一节 地槽——地台说	227
二、褶曲要素	158	一、地槽区	228
三、褶曲的形态分类	159	二、地台区	231
四、褶曲在地质图上的表现	163	三、过渡区	233
五、褶皱的组合类型	164	四、槽台说对地壳发展规律的看法	233
六、如何在野外认识褶皱构造	166	五、固定论与活动论	234
七、研究褶皱构造的意义	168	第二节 多旋回构造运动说和地洼学说	234
第五节 断裂构造(一)——节理	170	一、多旋回构造运动说	234
一、节理的分类	170	二、地洼学说	235

第三节 地质力学(地球自转速度变化说)	236	三、世界古地理格局及其演变	293
一、地质力学的创立及其主要内容	237	四、早古生代气候	293
二、构造体系	238	第三节 早古生代中国地史概况	294
三、地壳运动的原因	242	一、三个主要稳定核心	294
四、地质力学的贡献	244	二、加里东运动对中国的影响	296
第四节 板块构造学说	244	三、从中国下古生界看中国地史发展主要特征	296
一、大陆漂移说的兴衰	244	四、中国早古生代矿产	298
二、海底扩张说的提出	245	第十三章 晚古生代	300
三、大陆漂移说的复活	250	第一节 晚古生代生物界的飞跃发展	300
四、板块构造学说的诞生	252	一、植物界的第一次大发展——蕨类时代	300
第十章 地壳历史的研究方法	260	二、动物界的两次大飞跃——从无脊椎到有脊椎， 从水中到陆上	302
第一节 地史的研究方法	260	三、晚古生代最重要的生物事件	304
一、地层的划分和对比	260	第二节 海西构造阶段世界古地理格局变化 及地史特征	304
二、岩相古地理分析	264	一、海西构造阶段地史特征	304
三、构造历史分析	267	二、联合古陆的形成	305
第二节 地层系统	268	三、晚古生代气候和植物分区	305
一、岩性地层单位	268	四、北方大陆广大煤田形成和南方大陆冰川广 布	307
二、年代地层单位	268	第三节 晚古生代中国地史概况	308
三、地质时代单位	269	一、由海向大陆环境转化	308
四、地层符号	270	二、上古生界特征	309
第十一章 前寒武纪——太古宙和元古 宙	272	三、中国晚古生代矿产	313
第一节 太古宙	273	第十四章 中生代	315
一、太古宙的一般地史特征	273	第一节 中生代生物界的新发展	315
二、中国的太古宙地层	274	一、裸子植物时代	315
三、太古宙地层的重要矿产	276	二、爬行动物时代	317
第二节 元古宙	277	三、无脊椎动物进一步发展	318
一、元古宙的一般地史特征	277	四、恐龙全部灭亡——最突出的生物事件	318
二、中国的元古宙古地理和地层	279	第二节 中生代全球大地构造和古地理演 化	319
三、中国元古宙的矿产	284	一、中生代的构造运动	319
第三节 震旦纪	284	二、联合古陆解体	319
一、世界古地理基本轮廓	285	三、中生代古地理概况	321
二、繁盛藻类和后生动物大量出现	286	四、中生代气候和沉积矿产	321
三、中国震旦纪古地理轮廓及震旦系	287	五、环太平洋内生金属成矿带形成	322
四、最古老的一次大冰期——震旦纪冰期	289	第三节 中生代中国地史概况	322
五、中国震旦系矿产	289	一、印支运动结束南海北陆的局面，中国基本形 成大陆环境	322
第十二章 早古生代	290	二、燕山运动期从南北分异转向东西分异	323
第一节 动物界的第一次大发展 ——海生无脊椎动物时代	290	三、大规模的岩浆侵入和喷发活动	324
第二节 加里东构造阶段古地理轮廓及地史 特征	292	四、西部地区古生代褶皱带强烈上升	324
一、加里东运动和加里东构造阶段	292	五、中国东部中生界	325
二、海洋占优势的时代	292		

六、中国中生代矿产	325	二、频繁而普遍的新构造运动	338
第十五章 新生代	329	三、第四纪沉积物和矿产	339
第一节 早第三纪	330	四、第四纪大冰期	342
一、向近代发展的生物界	330	五、人类的出现	344
二、喜马拉雅构造阶段地史特征	330	六、全新世	346
三、中国早第三纪古地理概况	331	参考文献及指导读物	349
第二节 晚第三纪	335	第一版后记	352
一、接近现代的生物界	335	第二版后记	353
二、晚第三纪地史特征	335	第三版后记	354
三、中国晚第三纪古地理概况	336	附表 地质年代表	355
第三节 第四纪	337		
一、向现代继续演化的生物界	337		

绪 言

一、地质学的研究对象

地质学是研究地球及其演变的一门自然科学。它主要研究地球的组成、构造、发展历史和演化规律。在当前阶段,地质学主要研究固体地球的最外层,即岩石圈(包括地壳和上地幔的上部)。因为这一部分既是与人类生活和生产密切相关的部分,同时也是容易直接观测和研究历史最久的部分。但是,随着科学技术的迅速发展,如卫星、航天、深钻技术、海洋物探、高温高压实验、电子显微镜、计算机、遥感遥测、红外摄影、激光等新技术、新手段的不断应用,地质学的研究范围也不断扩大。从地球表层向深部发展,出现了深部地质学;从大陆向海洋发展,出现了海洋地质学;从地球向外层空间发展,出现了月球地质学、行星地质学、宇宙地质学。

按照研究的内容和性质,地质学可以划分出许多独立的分科,如下表所示。

地质学分科简表

研究内容和性质		主要分科
地壳的物质组成、分类、成因及转化规律		结晶学 矿物学 岩石学
地壳运动、地质构造及成因		动力地质学 构造地质学 大地构造地质学
地壳的发展历史、生物及古地理演化规律		古生物学 地层学 地史学 第四纪地质学 区域地质学 古地理学 古气候学
地质学的应用	资源方面	矿床学 找矿及勘探学 地球物理探矿 地球化学探矿
	能源方面	煤田地质学 石油地质学 放射性矿产地质学 地热学
	环境、人类生活和灾害防护	工程地质学 环境地质学 地震地质学
	其它	水文地质学
边缘学科、综合学科及新兴学科		地球化学 地球物理学 地质力学 数学地质学 行星地质学 板块构造学 海洋地质学 实验岩石学 遥感地质学 深部地质学 同位素地质学

上表仅仅列出地质学分科的主要部分,实际上每一分科还可以进一步划出许多分枝,例如古生物学可以分成古动物学、古植物学、微体古生物学、超微体古生物学等,而古动物学又包括古无脊椎动物学、古脊椎动物学等。由此可见,地质学研究的内容是非常繁多而复杂的。

本书主要介绍地质学的基本知识和一般原理,以便使读者了解地质学的基本内容,掌握地质学的基本技能和研究方法,为进一步学习地质学、地理学及其它有关学科奠定专业基础。

二、地质学的特点和研究方法

地质学的研究对象主要是地球,属于地球科学(简称地学)的范畴,也是六大基础自然科学的一个组成部分。地质学的研究对象及其内容既不同于数学,也不同于物理和化学,而是具有它自己的特殊性,从而也具有它自己的研究方法。

(一) 地质学的特点

第一,地质学的研究对象涉及到悠久的时间和广阔的空间。地球自形成以来已经有 46 亿年的历史,在这样漫长的时间里,地球曾发生过沧海桑田、翻天覆地的重大变化,而其中任何一个变化和事件,任何一粒矿物和一块岩石的形成和演化,都往往要经历数百万年甚至数千万年的周期。对这些变化和事件,人们不能像研究人类历史那样,可以借助于文字和文物;也不能像研究物理那样,可以单纯依靠在实验室中做实验,而必须靠研究分析地球本身发展过程中所遗留下来的各种记录。

同时,地球具有巨大的空间,在不同地点和不同深度,具有不同的物质基础和外界因素,因而有不同的发展过程。海洋和大陆、大陆的各个部分、地球表层和深部,都有其不同的发展过程。因此,既要研究它们的共性,更要研究它们的差异性和相关性,才能全面、深入地找出地球的发展规律。

第二,地质学具有多因素互相制约的复杂性。它所研究的对象和内容,从小到矿物组成的微观世界到大至整个地球以及宇宙的宏观世界,从矿物岩石等无机界的变化到各种生命出现的演化,从常温常压环境到目前还不能人为模拟的高温高压环境,从各种变化的物理过程、化学过程到生物化学过程,从地球本身各个部分的物质能量转化到地球与外部空间的物质能量转化等等,充满着各种矛盾和相互作用的复杂过程。任何一种地质过程,都不可能是单一的物理过程和化学过程,地球自诞生以来,不仅形成了光怪陆离的矿物世界、岩石世界、海洋大陆、高山深谷,也出现和演化成了种类繁多的生物世界。众所周知,目前在实验室中即使合成最简单的生命物质,也是非常不容易。地球演化到今天,产生出如此面貌,这固然与其具有人类历史所不能比拟的充分时间有关,同时也说明地球演化的地质过程是一个十分复杂的过程。

第三,地质学是来源于实践而又服务于实践的科学。但地质学必须首先是以地球为大课堂,以大自然为实验室,进行野外调查研究,大量掌握实际资料,进行分析对比归纳,得出初步结论,然后再用以指导生产实践,并不断修正补充和丰富已有的结论。远在数十万年前的旧石器时代,人类的祖先就是在制造石器的过程中,逐步掌握了一些岩石的特性;后来在铜器时代、铁器时代,人类又在生产活动中逐步掌握了寻找有用矿产的某些规律。近代以来,由于工矿业的发展,特别是相邻科学和现代技术的进步,又推动了地质学的突飞猛进,不断形成新的理论。

(二) 地质学的研究方法

地质学的上述特点决定了地质学的研究方法主要是在实践的基础上,进行推理论证。推理的基本方法是演绎和归纳。演绎是由一般原理推出关于特殊情况下的结论。例如凡是岩石都是地壳发展历史的产物,花岗岩是一种岩石,所以花岗岩是地壳发展历史的产物。归纳是由一系列具体的事实概括出一般原理。例如在高山,发现成层的岩石,岩层中含有海生动物化石,说明高山的前身是海洋,这里曾经发生过海陆的变化。在地质学研究中,这两种推理方法都能用到,但归纳法则是更基本的方法。

野外调查——为了认识地壳发展的客观规律,了解一个地区的地质构造和矿产分布情况,除了搜集和研究前人资料外,必须进行野外调查研究,积累大量感性资料,分析对比,归纳分类。通过“实践、认识、再实践、再认识”循环往复的形式,得出反映客观事物本质的结论。

室内实验和模拟实验——室内实验也是进行调查研究的重要手段。在野外采集的各种样品,都要带回室内进行实验、分析和鉴定,例如岩矿鉴定、岩石定量分析、化石鉴定、同位素年龄测定等。为了生产的实际需要和探讨某些地质现象的成因和发展规律,有时需要利用已知岩矿的各种参数及物理、化学过程,进行模拟实验。虽然,这种实验结果的可靠性是相对的,但其重要性却日益增加。如目前可以制造出人工红宝石、石英、金刚石等,既有实用价值,又有助于了解自然界矿物、岩石、矿床的形成和分布规律。又如,在室内进行地质力学模拟实验,可以得出各种构造型式的形成条件和展布情况。

历史比较法(现实类比法)——研究地球的历史,重塑地质时代的古地理环境,经常使用这种方法。著名英国地质学家莱伊尔(Charles Lyell, 1797—1875)在19世纪提出“以今证古”的研究方法。他认为当前正在进行着的各种地质作用和方式,和地质时期是一样的,所不同的只是量的差别。例如,目前在海洋里沉积着泥沙,泥沙里夹杂着螺蚌壳;假如在高山地层中发现螺蚌壳化石,就可以判断这高山所在曾经是一片海洋,并可得出结论,地表各处的山脉并不是从来就存在的,而是地壳历史发展的产物。莱伊尔认为地球上的一切地质记录——巨厚的地层、高大的山脉等,并不是什么剧烈的动力造成的。各种缓慢的为人所不察觉的地质作用,只要经过漫长的岁月,就可产生惊人的结果。这种理论被称为均变论(uniformitarianism)。莱伊尔有一句名言:“现在是认识过去的钥匙”,意思是我们从现在的已知就可推求过去的未知,根据目前的地质过程和方式就可推断过去的地质过程和方式,从而恢复地质时代的历史。这种方法也叫做现实主义方法(原则)。

稍早一点,法国地质学家居维叶(G. Cuvier, 1769—1832)认为地壳的变化和生物的发展,不是自然界逐渐演化而成的,而是由于发生多次超越现在人类认识范围和经验的短暂而猛烈的激变事件造成的。例如《圣经》上所说的大洪水,使一切生物遭到毁灭,上帝又来重新“创造”世界。“灾难—毁灭—再创造”,自然界按照这种过程,生物界不断形成新属种,如此反复,变化不已。这种观点与均变论正相反,被称为灾变论或激变论(Catastrophism)。由于它否认生物演化,并带有浓厚的神的色彩,所以后来受到批判,逐渐为均变论所代替。均变论在反对当时灾变论、建立唯物主义的进化观点和研究方法中,曾经起了进步的作用。

但是,莱伊尔只强调缓慢变化的一面,未见到突变的一面;只谈量变,未谈质变;只认识古今的一致性,未认识到古今还有差异性。过去不会和今天完全一样,今天也不会是过去的重演,地球的历史绝不会是简单的重复。同时,目前许多人认为在地球的长期发展过程中,不能排除曾经发生过若干次灾变或激变事件。例如,大量陨石的撞击,地磁极的多次反转,地质历史上多次冰川时期的出现等,无疑都会影响地球发展的进程和各种平衡关系。

现代地质学接受了莱伊尔现实主义的合理部分,即以今证古的原理;同时也注意到地球发展的阶段性和不可逆性,以及在地球发展的不同阶段中自然条件的特殊性,例如大气成分不同、海陆分布形势不同、生物状况不同、地壳运动的方式和强烈程度不同等,因此各种地质作用如风化、侵蚀、搬运、沉积等作用的方式、速度也有差异。所以研究地球的历史,必须根据具体情况,用历史的、辩证的、综合的思想作指导,而不是简单地、机械地以今证古,这样才能得出正确的结论。这种

方法就是历史比较法或现实类比法。

近年通过对地球的监测获得的许多数据,认为时间是地质事件及其结果的最好过滤器,也就是随着地球的发展和时间的延续,那些意义不大的地质事件及其结果都被筛掉或过滤掉了,从而使人们通过对某些作用结果的观测,比通过对不连续或微弱的信息直接监测地球的一般动力演化,可能更会正确地认识某些地质过程,更正确地研究现在,了解过去,预测未来。这种观点和莱伊尔的“以今证古”相反,而是“以古证今”,认为“研究过去是了解现在的钥匙(关键)”。实际上,这些不同观点可以起到互为补充的作用,古和今是一种辩证关系,以今可以证古,将古亦可论今,不可把它们对立起来。

第一章 总 论

第一节 地球概况

一、地球的形状和大小

(一) 对地球形状、大小的认识

人类在长期生产实践中,对于地球形状的认识经历了反复曲折的过程。当初人们确认地球的形状为圆球形,这是一个认识上的进步,有人比喻为第一级近似。到18世纪末,人们普遍认识到地球为极轴方向扁缩的椭球,这是第二级近似。为了数学上计算方便,人们用“旋转椭球体”这一几何形体来代表地球的形状。所谓旋转椭球体是将一个椭圆以它的短轴为轴旋转而成的球体。地球因自转而变扁,这符合逻辑和事实,但地球不是流体,所以旋转椭球体的光滑表面并不完全和地球真实形状一致。地球表面有大陆和海洋,地势有高低,其形状是非常不规则的。后来通过重力测量采用“大地水准体”(Geoid)这个概念来代表地球的形状(图1-1),这是第三级近似。大地水准体是指由平均海面所封闭的球体形状。海面上的重力位各处都是相等的,即海面在重力作用下是一个等位面,把这个等位面延伸通过大陆,就形成一个封闭曲面,这个曲面叫大地水准面。由于地球表面有71%为海洋所占据,所以在一定程度上讲,大地水准面代表了地球的形状,而且这个面是一个实际存在的面。但它仍然是介于旋转椭球体和地球真实形状之间的一个中间形态。

近年来,由于人造卫星等空间技术的发展,大大地推动了关于地球形状的深入研究,取得了一些新的数据。概括说来,有以下几个方面的认识:(1)大地水准面不是一个稳定的旋转椭球面,而是有地方隆起,有地方凹陷,相差可达100m以上;(2)地球赤道横截面不是正圆形,而是近似椭圆形,长轴指向西经20°和东经160°方向,长短轴之差为430m;(3)赤道面不是地球的对称面,从包含南北极的垂直于赤道平面的纵剖面来看,其形状与标准椭球体相比较,位于南极的南极大陆比基准面凹进24m;而位于北极的没有大陆的北冰洋却高出基准面14m。同时,从赤道到南纬60°之间高出基准面,而从赤道到北纬45°之间低于基准面。用夸大了的比例尺来看,这一形状是一个近似“梨”的形状(图1-2)。这一认识是到目前为止对于地球认识的一个新阶段。这种认识说明地球的形状及反映这种形状的内部物质状态还未达到稳定平衡状态。当然,今后卫星测量还必须结合大地测量、重力测量和天文测量等综合手段,才能获得进一步精确的数据。

(二) 地球的形状和大小的最新数据(1975年9月,国际大地测量学和地球物理学联合会第18届年会推荐和1980年公布的部分大地测量常数,后者带*号):

地球赤道半径(a): 6 378 137m*

地球极半径(c): 6 356 752m*

扁率: $f = \frac{a-c}{a} = 1 : 298.257\ 222\ 010\ 1^*$

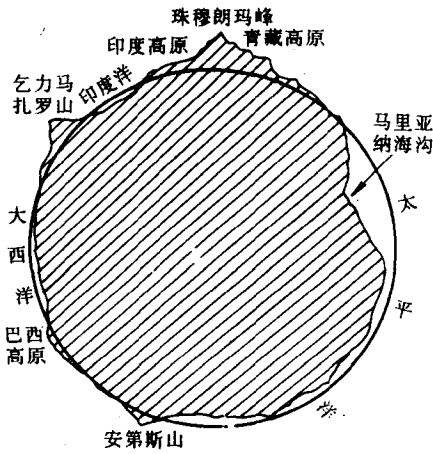


图 1-1 大地水准体(实线包围部分)和地球
真实形状(引自王维,《地球的形状》)

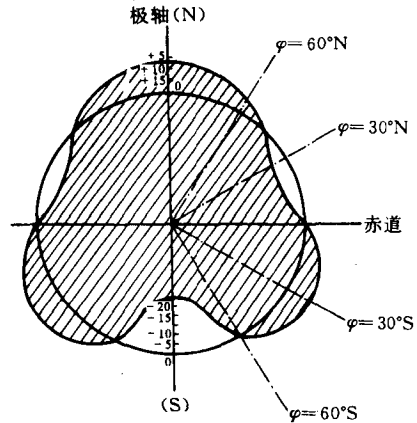


图 1-2 根据卫星测量所得出的地球形状(夸大)
(φ表示纬度)(引自王维,《地球的形状》)

赤道标准重力加速度(γ_e): $(978\ 032 \pm 1) \times 10^{-5} \text{m/s}^2$

(三) 地球的其它数据

地球平均半径: 6 371 km

子午线周长: 40 008.08km

赤道周长: 40 075.24km

地球的面积: 51 000 万 km^2 *

海洋面积: 36 100 万 km^2 , 占地球总面积的 70.8%

陆地面积: 14 900 万 km^2 , 占地球总面积的 29.2%

地球的体积: 10 830 亿 km^3 *

地球的质量: $5.976 \times 10^{27} \text{g}$ *

地球的平均密度: 5.517g/cm^3

物体脱离的临界速度: 11.2km/s

赤道上点的线速度: 465m/s

地球沿轨道运动的平均速度: 29.78km/s

大陆最高山峰(珠穆朗玛峰): 8 846.27m

大陆平均高度: 825m

海洋最深海沟: -11 034m

海洋平均深度: -3 800m

大陆和海洋的平均高度: -2 448m(即全球表面无起伏,将被 2 448m 厚的海水所覆盖)

从以上数据中,得知地球表面不仅海陆并存,而且地面起伏最大高差近 20km。但若把地球缩小,以 3.2m 为半径,画一道高 1.5cm 的圆周线带,则地表的最高点和最低点均可包括在这道圆周线带内;同时,由于地球扁率只有 1/298,无论是旋转椭球体、大地水准体或近似“梨”形体,从宏观上看地球仍然是近似球形的球体。

二、地球的物理性质

(一) 地球的密度和重力

地球的质量是根据万有引力定律计算出来的,用地球的质量除以地球的体积,便可得出地球的平均密度是 $5.517\text{g}/\text{cm}^3$,而地壳上部的岩石平均密度是 $2.65\text{g}/\text{cm}^3$,由此推测地球内部必有密度更大的物质。根据地震资料得知,地球密度是随着深度的加深而增大的,并且在地下若干深度处密度呈跳跃式变化,推测地核部分密度可达 $13\text{g}/\text{cm}^3$ 左右。

地球的平均密度和水星(5.4)相差不多,月球(3.341)和火星(3.95)的密度都比地球小,其它行星的密度就更小了。当前很重视和其它星体对比来研究地球。

地球的重力一般是指地球对地表和地内物质的引力。而万有引力 $F=m_1m_2/r^2$,由此可知,重力与地球质量(m_1)和物体质量(m_2)的乘积成正比,与地球和物体二者质量中心的直线距离平方(r^2)成反比。地表重力因还受地球自转产生的离心力和各点与地心距离的影响,故各地并不相等,且随海拔和纬度的不同而发生变化。据计算:在两极,重力比赤道地区大 0.53%,也就是说把在两极重 100kg 的物体搬到赤道地区时,则变成 99.47kg。通常用单位质量所受的重力,即重力加速度(g)来表示各地的重力大小。如在赤道的重力为 978.031Gal ^①,在两极则为 983.217Gal 。

如果把地球看作一个理想的扁球体(旋转椭球体),并且内部密度无横向变化,所计算出的重力值,称理论重力值。但由于各地海拔高度、周围地形以及地下岩石密度不同,以致所测出的实际重力值不同于理论值,称为重力异常。比理论值大的称正异常,比理论值小的称负异常。存在一些密度较大物质的地区,如铁、铜、铅、锌等金属矿区,就常表现为正异常;而存在一些密度较小物质的地区,如石油、煤、盐类以及大量地下水等,就常表现为负异常。异常的大小取决于矿石与周围岩石的密度差、矿体的大小以及矿体的埋藏深度。根据这个道理可以进行找矿和地质调查,这称为重力勘探,是地球物理勘探方法之一。

但是,利用重力异常研究地质情况,必须对实测重力值进行校正,即必须清除各种因素对实测值的影响。第一,实测点有一定的海拔高度,海拔越高,距地心距离越大,而高差每增减 1m,重力差则为 0.308mGal 。因此,须要一律校正至海平面高度,这种校正只考虑海平面与测点之间高差的影响,而未考虑海平面与测点之间物质的影响,就好象那里是空的一样,所以这种校正称自由空气校正。经这样校正后的重力值与理论重力值之差,称为自由空气异常;第二,测点与海平面之间还有岩石(平均密度一般按 $2.67\text{g}/\text{cm}^3$ 计算)对重力产生影响,测点周围地形也对重力产生影响,因此自由空气校正后的重力值还必须减去这部分岩石和地形对测点所产生的重力值,这种校正称为布格校正,布格校正后的重力值与理论重力值之差称为布格异常。这种异常应用最广,在文献中所看到的重力异常一般皆指布格重力异常。

图 1-3 是我国大陆部分布格重力异常图,从图上可以看出有两点值得注意的情况:(1)青藏高原边缘和大兴安岭及太行山边缘有明显的“重力台阶”,这说明地质情况有很大变化;(2)丘陵及平原地带重力异常值较小,而青藏高原等地负异常值较大,甚至达到负 400—500mGal,这说明高原、高山地带在海平面以下的部分存在着某种补偿作用,从而抵消了高山、高原对重力的影响。根据这种现象,有人提出“地壳均衡说”,认为山脉是较轻的岩块浮在较重的介质之上,仿佛冰山

^① 伽(Gal): $1\text{Gal}=10^{-2}\text{m}/\text{s}^2$,伽的千分之一为毫伽(mGal)。

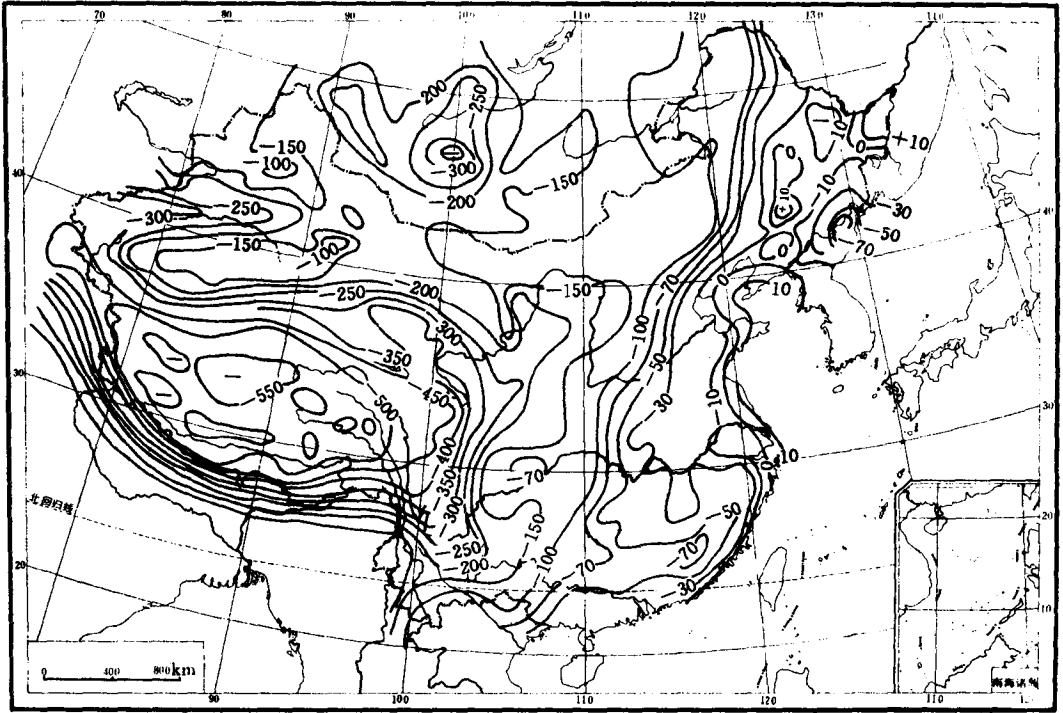


图 1-3 我国大陆部分(不包括海洋及岛屿)布格重力异常图

(据中国科学院地球物理研究所) 等值线上数字单位为 mGal

浮在海水中一样,山越高,它深入下部介质中的深度也越大,这深入的部分通称“山根”。这种论点现已为许多证据所证实。

(二) 地磁

地球周围形成一个巨大的地磁场。早在公元前 3 世纪战国时期,我国就已利用磁性发明了指南仪器——司南。后来人们还发现地磁极与地理极的位置是不一致的。

地球磁场同置于地球中心的一个大条形磁铁(条形磁铁与地轴呈 11.5° 相交)所产生的偶极磁场相类似(图 1-4)。条形磁铁的北极指向地球的南磁极,条形磁铁的南极指向地球的北磁极。其磁力线是从南磁极出发进入北磁极的。当然事实上地球内部并无这样一个条形磁铁。

为了确定地表任何一点的地磁场,需要进行磁场强度测量。如图 1-5 所示,箭头代表向量,其长度代表磁场强度(磁场强度单位为奥斯特 Oe),它在水平面上的投影为水平强度,它的垂直分量为垂直强度,图中 θ 角称磁偏角, α 称磁倾角。磁偏角也就是地磁子午线与地理子午线的夹角,以指北针为准,偏东为正,偏西为负。磁倾角即磁针与各处水平面的夹角,常随纬度而变化,在两磁极 α 角为 90° ,在磁赤道则为 0° ,以指北针为准,下倾者为正,上仰者为负。

概括而言,地磁具有以下特点:

(1) 地磁南北极和地理南北极的位置不一致,并且磁极的位置逐年都有变化,如表 1-1,磁极有向西缓慢移动的趋势。

(2) 地面上每一点都可从理论上计算出它的磁偏角和磁倾角。如磁偏角和磁倾角与理论值

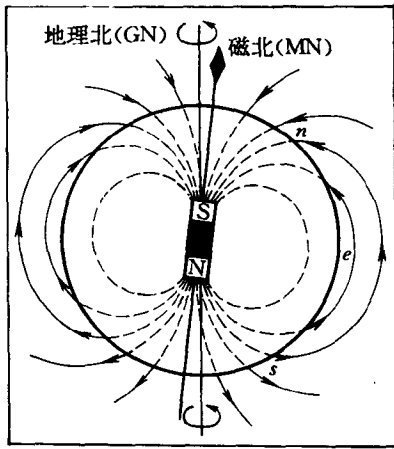


图 1-4 地球磁场示意图

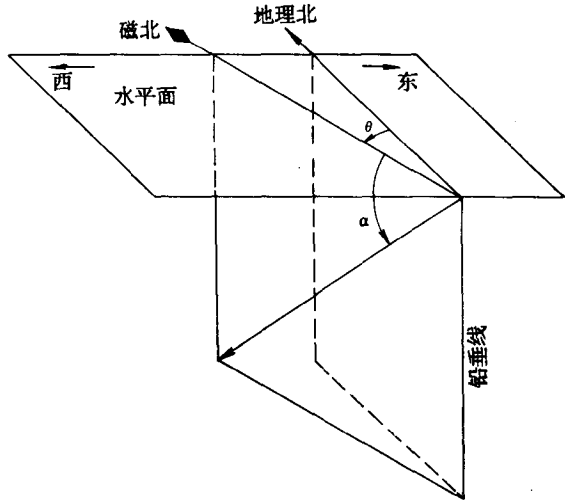


图 1-5 地磁场要素示意图

不符时,叫做地磁异常。局部的地磁异常主要是由地下岩石磁性差异引起。属于地球物理勘探方法之一的磁法勘探就是据此寻找地磁异常区,从而发现隐伏地下的高磁性矿床。此外通过研究在亿、万年前所形成的岩石中保存下来的剩余磁性的方向和强度,来判断地球磁场方向的变化,称古地磁学。它可以配合其它方法探索地球岩石圈构造发展的历史。

表 1-1 近代地磁极位置

年 代	北 磁 极	南 磁 极
1831*	70.1°N, 96.8°W	
1841*		75.0°S, 153.7°E
1904*	70.5°N, 96.5°W	
1909*		72.4°S, 153.3°E
1912*		71.2°S, 150.8°E
1948*	73.0°N, 100°W	
1952*		68.7°S, 143.0°E
1960	74.9°N, 101.0°W	67.1°S, 142.7°E
1965	75.5°N, 100.5°W	66.5°S, 139.9°E
1970	76.2°N, 101.0°W	66.0°S, 139.1°E
1975*	76.2°N, 100.6°W	
1975	76.1°N, 100.0°W	65.8°S, 139.4°E
1980	78.2°N, 102.9°W	65.6°S, 139.4°E
1983*		65.2°S, 138.7°E

* 实测位置

(3) 根据人造卫星在地球外层空间探测发现,地球磁场的磁力线并不像图 1-4 所示那样规则,而是由于太阳风的影响,地球的磁场被压缩在一个固定区域内,这个区域叫磁层(图 1-6)。磁

层像一个头朝太阳的彗星，磁层顶部朝向太阳，距离地球有 10 个地球半径远，而尾部可以拖到几百个地球半径那么远。磁层可以使地球上生物免受宇宙射线和粒子袭击的危害。

(4) 关于地球磁场形成的原因，曾有种种推测：很早人们认为地球的地核部分为具有磁性的镍铁物质，从而形成地球磁场。但是，地内温度高达几千摄氏度，远远超过铁磁性矿物的居里点^①，不可能产生磁场。目前所知，仅仅在 20km 范围内的岩石圈部分可以具有铁磁性，但它所产生的磁场强度不可能达到地磁场强度的数量级。还有人认为巨大质量物体的转动可以导致电磁效应，这种看法也被否定了。目前倾向于这种认识：地核的外核部分为液态的金属铁镍物质，是一种导电流体，在地球旋转过程中，产生感应自激，形成地球磁场。又因在地球转动过程中，流体地核比固体地幔略有滞后，因此产生地球磁场逐渐向西漂移。但这些假说有待于继续研究证实。

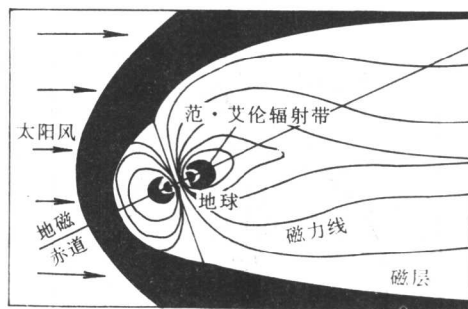


图 1-6 地球磁层
磁层中有二个特殊区域，像两个汽车轮胎套在地球周围，那里充满高能带电粒子，叫做范·艾伦辐射带

(三) 地热

地球内部储存着巨大的热能，这就是常说的地热。地壳表面的温度常随外界温度而有日变化和年变化，但从地表向下到达一定深度，其温度不随外界温度而变化，这一深度叫常温层。它的深度因地而异，在我国北方，温度具有年变化的深度大约在 30m 左右。在年常温层以下，地温随深度而增加，此增温规律可以用地热增温级或地热梯度表示。所谓地热增温级是在年常温层以下，温度每升高 1℃ 时所增加的深度，单位是 m/℃，例如，大庆的地热增温级为 20m/℃，北京房山为 50m/℃。地热增温级的平均数值是 33m/℃。地热增温级的倒数叫地热梯度，即每深 100m 所增加的温度，单位是 C/100m。地热梯度的平均数值是 3 C/100m。

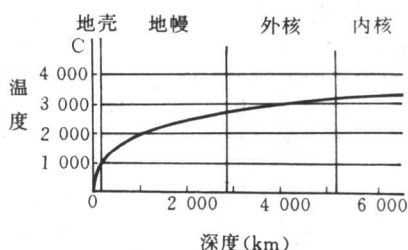


图 1-7 地球内部推测温度分布曲线

地热增温的规律只适用于地壳部分或岩石圈(图 1-7)。据地球物理资料推断，整个地球的平均温度约为 2 000℃。

地热的主要来源是由放射性元素衰变而产生的，如铀(U^{238} , U^{235})、钍(Th^{232})、钾(K^{40})等(表 1-2)。这些放射性元素衰变析出的总热能值，现有各种不同的估计，根据侯德封等 1973 年资料，至少为 $2.14 \times 10^{21} J/a$ 。此外，也有一部分热能可能是由构造变动的机械能、化学能、重力能和地球旋转能等转换而来的。还有人认为地热是地球形成时残余下来的，这就是所谓“残余热说”。

^① 居里点，又称居里温度，指磁性体加热到丧失磁性的温度，居里于 1895 年发现。一般金属的居里点为 400—700℃。

表 1-2 各类岩石放射性元素含量(1/10⁶)及生热率

岩类	放射性元素含量			平均总生热率	
	铀(U)	钍(Th)	钾(K)	4.2×10 ⁻⁸ J/ga	4.2×10 ⁻¹⁴ J/ga
沉积岩	3.00	5.00	20 000	1 557.64	49.40
花岗岩	4.75	18.50	37 900	3 424.80	108.02
玄武岩	0.60	2.7	8 400	502.42	15.89
橄榄岩	0.015	0.05	63	9.46	0.30

地球内的热能可以通过不同形式进行释放,如火山喷发、热水活动以及构造运动等都是消耗地热的形式。但地热释放最经常和持续的形式是地球内部热能从地球深部向地表的传输,这种现象称为大地热流。地球通过大地热流放热的现象是十分普遍的,只是单位面积(1cm²)的放热量很小,平均每秒钟只有 6.15×10⁻⁶J。热流量的单位为 4.1868×10⁻⁶J/cm²·s,通称地热流量单位(HFU)。虽然地表单位面积的每秒热流量很小,但整个地球表面在一年中的放热总量可以达到 9.63×10²⁰—1.09×10²¹J,这个数字相当于燃烧 300 多亿吨煤放出的热量。可见地球本身是一个庞大的热库。

地热流量或地热流值(Q)的计算公式是岩石导热率(K)和垂直地热梯度(dT/dZ)的乘积,即 Q=K(dT/dZ),式中 T 代表温度,Z 代表深度。一般是在室内测定岩心标本的导热率,在钻井中测量地热梯度,两个数值相乘,即得出地热流值。但用钻井岩心标本测定导热率存在很大困难,例如岩心标本离开它原来的位置,其温度、湿度和所受的压力等自然状态有了很大变化,有时岩心发生破裂,或者岩心取自松散岩层,凡此等等,都会使测量的数值产生很大误差。近年来研究成功一种地热流原位测定的仪器,特别适用于测量海底淤积层的导热率,大大推动了海洋地热流测定进度。到 20 世纪 80 年代末,全球地热值已测得 1 万多个,其中有 2/3 的数值是测自海洋。对全球热流量的研究得到一些有意义的结果:

(1) 近年对全球地热流值的统计数字表明:全球平均地热流值为 1.47±0.74HFU,大陆平均地热流值为 1.46±0.46HFU,海洋为 1.47±0.79HFU,大陆和海洋平均地热流值几乎相等。

(2) 但地热流值的分布却具有明显的时空差异。以海洋而论,在洋中脊最高,为 1.90±1.48 HFU,海盆地区为 1.27±0.53HFU,而距离洋中脊最远的海沟其平均值最低,只有 1.16±0.70 HFU。

(3) 从岩石的新老或大地构造活动阶段来看,从古到新,地热流值表现为由低到高的趋向。如最古老的前寒纪地块为 0.91±0.02HFU,早古生代加里东褶皱带为 1.11±0.07HFU,晚古生代海西褶皱带为 1.24±0.03HFU,中生代褶皱带为 1.42±0.06HFU,新生代喜马拉雅褶皱带为 1.75±0.06HFU。

(4) 研究还表明,地热流值与岩石圈厚度有关。岩石圈越薄,则地热流值越大;反之,则越小。因此根据地热流值的大小可以推算出岩石圈的厚度,其推算结果与根据地震波推算的结果大体相符。

地热流所带出的热能是很分散的,目前只有在一定地质条件下富集起来的地热能,才能当作资源看待。在大陆地区,地热流值大于 2HFU,一般被认为是具有良好地热资源的地区。大陆地热资源分布很不均匀,上面所述中生代褶皱带(相当于环太平洋带)、新生代喜马拉雅褶皱带(相当