

916597

高等学校教学用书

普通地质学

许至平 编著

煤炭工业出版社

高等学校教学用书

普通地质学

许至平编著

煤炭工业出版社

内 容 简 介

本书以岩浆岩、沉积岩、变质岩的生成和转变过程为主线，论述了各种地质作用。内容的安排，遵循由近及远、由具体到抽象的原则，力求尽早进入本课程最有规律的部分——各种表生营力的剥蚀、搬运和沉积作用的论述；经过充分铺垫之后，再介绍地球内部构造、板块构造时，这些内容对于学生就不再是枯燥的现成结论，而成了识别“灰箱”地球的实例。对于地球基本属性之一的时性——地质年代表，在第一章中即引入，以便于课程进行中使用这些生僻又必须熟记的地质年代名词，加深记忆。

全书取材新颖 来龙去脉清晰，文字生动活泼，图文并茂。本书是煤炭高等院校有关地质矿产专业以及理科地球科学、农林、环境等专业的地质教材，也可供有关专业人员以及导游人员参考。

责任编辑：陈 贵 仁

高等学校教学用书
普通地质学
许至平编著

煤炭工业出版社 出版
(北京安定门外和平里北街21号)
北京京辉印刷厂 印刷
新华书店北京发行所 发行

开本787×1092mm¹/16 印张18³/4 插页1

字数 452千字 印数 1—1,415

1990年5月第1版 1990年5月第1次印刷

ISBN 7-5020-0394-0/TD·360

书号 3184

定价 3.75元

前 言

一本图文并茂，象文艺作品一样有吸引力的普通地质学教科书，是我多年的期望。

30多年前，两名助教戏言要照相声演员那样讲课，使学生不仅爱听，而且能牢记。其后不久，我开始讲课了，当然没敢真那样做，却一直注意随时积累并精选实例，锤炼表述概念、定义的词句，寻找贴切的比喻；每讲一次课总要选定其中几章，阅读大量新资料，重新组织内容、斟酌定义、推敲词句，以期有所改进。渐渐地课讲得比较受学生们欢迎了。

我当然希望有一本跟我讲课能互相补充，便于学生课前课后阅读的教材，而且早在1959年就作过这样的努力了。当时印出了个油印本，本打算在试用中逐步修改完善，却因1960年起改任其它课程，这一头就搁下了。直到1985年教材编辑室的同志向我约稿，才有机会写这本书，并再次认真思考这本书。

我以为，写出的文章如果不是有人看后开怀、有人看后怒恨的，就莫如不写。写书也一样，但凡有些独到之处的，在得到赞许和支持的同时难免受到指摘，也只有这样才值得写。既写这本书，原来的想法自然都涌出来，而且思路或本书的特点也逐步地变得更明晰了。

1. 大自然本是丰富多彩的。人类探索大自然的历程也既有凄怆、悲壮，也多欢歌和荣耀。科学本身是有魅力的，只要注意展现这一切，而不用公式化的干瘪言词作刻板的陈述，使内容和文辞都引人入胜是完全可能的。

2. 在选材方面重视历程、重视思路。如对于莫霍面，通常限于说明是某人根据某地的某次地震记录发现的，本书则用莫霍洛维契当时得到的一组数据告诉读者：随着震中距从100km、200km加大到400km，P-波到达的时间由13"、31"增加到69"；可是在500km处，这个波经86"到达时，却另有一个稍强些的波在69"提前到达。莫霍洛维契整理出这组数据，抓住了这一现象，并对它作出令人信服的解释，称它为不连续界面，并算出界面上下地震波的波速。这样，内容是增加了一些，但给读者的除了这个界面的根据和发现人之外，还提供了先辈学者研究问题、发现问题的思路。

3. 重视教科书的“可读性”。这也是近年国外同类教材的普遍趋势，不仅印刷精美，内容、文词也很引人，比喻更具匠心：用方糖在咖啡中棱角易受溶化来说明球状风化；用烤牛肉火过旺时造成的外糊、内生现象比喻变质作用的相等，令人叹绝。限于我们的书价、纸张等因素的制约，印刷条件不能奢求，希望能有必要的条件编制配合本书的幻灯和录象教材，聊补图片欠佳的不足。对于有的美国教科书中连霹雳火山所在的马丁尼克岛是拿破仑的妻子、法国皇后约瑟芬的出生地也写上了，这从我国学生的知识和情感看是不必要的。但以这些为鉴，给本书内容取舍明确了一条原则。

4. 内容决定形式。虽然我认为把知识组织成严整的系统是学习的良方利器，但若写成“中药铺”似的，读来必是索然无味。为此，本书只分章和节，节以下有时有并列的若干型、类等项目；而且用陈述句作节的乃至章的标题，以求读完全书或听完课之后，通过标题或目录可以得到全书的主要论点，有利于复习、记忆。其实近来许多声明、公报、决议等文件也是这样写的，已经不配称“独出心裁”了。这样的标题写在黑板上，常对学生有更强的

吸引力，也有助于学生记下意思连贯完整的笔记。对于教师，只要在各课时整理出一个脉络清晰、层次整然的系统，就不会落个“照本宣科”的名声了；如能引导学生自己完成这项作业，还可以锻炼学生的读书能力。

5. 我国出版教科书通常插图只注图号、图名，必要时图例，关于图中反映的事物都要写入正文。这就要求插图都是和教科书正文一样，充分体现经过抽象、概括的一般特征。但是地质学就往往要插一些既有一般特征，又具有个性的实例的图片。有些属于具体事例的说明，都要插入正文，会使正文枝节芜杂，分散读者的注意力。因此本书改用图说，必要时对图中的事物作较具体的说明，以利于更好地发挥插图的作用。

6. 地质学受其研究对象的特性所决定，常需对信息不充分或不能确知是否充分，又不便彻底解剖、分析的事物，作出概括、判断；书中作为规律阐述的，实际上常是些模型：鲍温反应系列、台维斯的或彭克父子的学说、莫霍面、古登堡面、软流圈、贝尼奥夫层等等直到板块学说，都无一例外。这与牛顿三定理、亚佛加德罗常数是不同的。写成文字常需对主语、谓语和（或）补语作某种限定，附加作为定语或状语的从句，致使文句结构复杂。另一方面，这些限定常是模糊的。如区分节理和断层根据是否有明显位移，“明显”就是个模糊概念，实际工作中根据需要和可能人为限定。过去人们误把模糊与科学对立起来，直到进入用计算技术模拟专家工作的时代，才发现模糊竟是一种高级智能。比萨斜塔的“斜”，红光、绿光的“红”和“绿”都不精确，可是都精确起来不仅是不必要的，且会是无法忍受的。地质人员应该从旧观念中解脱出来，立于主动地位了。

以上六点，是本书写作过程中经常想着的，或者可以算作凡例吧，至少是作者希望本书具有的特色。

谨以此书为揭帖，“以文会友”，愿与有志于教科书的严密性、科学性与可读性的结合者，不论皓首或垂髫，互为忘年之交，一起推动教科书的评书活动，并以本书为“小白鼠”，是所至盼，如蒙赐教，请光临或惠寄江苏徐州中国矿业大学。

许至平

1989年除夕

目 录

绪 论 人类在不断探索地球中发展	1
第一节 一门研究地球的科学	1
第二节 地质学的主要对象是地壳	1
第三节 互相补充的三个主题	2
第四节 对象的特点规定研究方法的特殊性	3
第五节 博览——学好地质学的关键	3
第六节 探索——人类繁荣昌盛的途径	4
思考题	4
第一章 地球和地壳	5
第一节 人间在天上——地球在宇宙中的位置	5
第二节 坐地日行八万里	8
第三节 表里不一的地球	9
第四节 蓝色的星	11
第五节 地壳	12
第六节 岩石按成因分三类	13
第七节 矿物，集成岩石的天然化合物	14
第八节 地壳一半由长石组成	17
第九节 三宙、六代、十六纪——地球的历史	19
第十节 珍惜分异作用的产物——矿床	21
思考题	22
第二章 岩浆活动和岩浆岩	23
第一节 沃土难弃	23
第二节 维苏威火山喷发的程式	25
第三节 巴里库丁火山的档案完整	25
第四节 通道是火山的基本机构	26
第五节 火山喷出物有三种物理状态	28
第六节 分类，火山和多种研究工作的突破口	33
第七节 火圈以及喷火饰带	37
第八节 熔岩的起源是“水火之争”的焦点	38
第九节 岩浆岩体有喷出的和侵入的两类	40
第十节 结晶状况说明冷凝环境	43
第十一节 颜色深浅反映二氧化硅的含量	43
第十二节 分异是岩浆成分多样的原因之一	44
思考题	46
第三章 岩石的毁烂	47
第一节 地表岩石终将毁烂	47
第二节 岩石本身是变化的根据	47

第三节	适应地表物理环境, 岩石碎裂	49
第四节	氧化, 化学风化中最敏锐的反应	52
第五节	碱离子在温湿气候中被淋除	53
第六节	砖红土、铝土矿是化学风化的终极产物	54
第七节	物理风化作用和化学风化作用相辅相成	55
第八节	土壤是风化产生的宝贵资源	57
第九节	气候是主要的变化条件	58
思考题		61
第四章	河流, 如画江山的主要雕塑师	62
第一节	文化的摇篮、雕塑河山的巨匠	62
第二节	能量取自太阳	62
第三节	水流而后江河成	63
第四节	河流的三种地质作用	64
第五节	河流、水系	65
第六节	河流剥蚀作用有三种方式、三个方向	66
第七节	分选良好是河流搬运作用的特色	71
第八节	沉积发生在搬运能力骤减处	72
第九节	三角洲的三种类型	75
第十节	河流系统的自我调节和控制	77
第十一节	河流发展的少年、壮年和老年阶段	77
第十二节	胜利隐伏着忧患	82
思考题		83
第五章	地下水及其地质作用	84
第一节	干渴的威胁正在逼来	84
第二节	地下水主要来自天落水	84
第三节	岩石的透水性和含水性	85
第四节	水以五种状态潜藏在地下两个带中	86
第五节	含水层和自流盆地	88
第六节	“量出为用”, 节约用水	89
第七节	洞府鲁班的佳作	90
第八节	管涌导致地陷堤溃	94
第九节	钟乳, 地下水的沉积物	94
第十节	温泉, 深循环的地下水	95
思考题		96
第六章	水晶宫及其遗迹	97
第一节	北京猿人和冰川	97
第二节	冰川冰因重力流动	97
第三节	冰川的分类	100
第四节	刨一般剥蚀, 牛一样驮运	103
第五节	沉积作用发生在冰川消融处	108
第六节	冰期间丽日融融	108
第七节	气温千年有涨落	110
第八节	几亿年前的冰川活动	111

第九节 并非为了怀古·····	111
思考题·····	112
第七章 风和荒漠 ·····	113
第一节 风和荒漠相伴为害·····	113
第二节 风的搬运作用·····	114
第三节 风的剥蚀作用和剥蚀地形·····	116
第四节 风的沉积作用和沉积地形·····	117
第五节 黄土·····	119
思考题·····	120
第八章 地球独具的聚宝盆——海洋 ·····	121
第一节 从绳索测深到深潜舱·····	121
第二节 大洋底上气象万千·····	123
第三节 海水的量和质·····	125
第四节 波浪扰动的深度是半个波长·····	126
第五节 潮汐和洋流·····	128
第六节 密度流·····	130
第七节 剥蚀同样有三种方式·····	131
第八节 海滩是自求平衡的结果·····	132
第九节 矿产生成是选择性搬运和沉积的结果·····	134
第十节 海洋沉积物的四种来源·····	134
第十一节 影响沉积环境的四个因素·····	135
第十二节 深海沉积·····	135
第十三节 滨海沉积·····	138
第十四节 浅海沉积·····	140
思考题·····	142
第九章 湖泊和沼泽的地质作用 ·····	143
第一节 珍惜我国稀少的湖泊·····	143
第二节 湖泊按湖盆成因和水质分类·····	143
第三节 湖泊的主要地质作用是接受沉积·····	146
第四节 碎屑物质是湖泊沉积的主体·····	147
第五节 化学沉积主要由气候决定·····	148
第六节 沼泽、泥炭、煤·····	150
思考题·····	153
第十章 成岩作用和沉积岩 ·····	154
第一节 成岩作用·····	154
第二节 沉积岩的三项特点·····	155
第三节 沉积岩的分类·····	159
第四节 沉积环境和沉积“相”·····	161
思考题·····	162
第十一章 变质作用和变质岩 ·····	163
第一节 岩石适应地壳内的环境而发生变质·····	163
第二节 侵入体周围的接触变质带·····	163

第三节	区域变质作用起因复杂	164
第四节	动力变质岩以结构碎裂为特征	164
第五节	环境的特点决定变化趋势	165
第六节	构造是识别变质岩最主要的标志	167
第七节	矿物成分和变质矿物组合规律	168
第八节	原岩——变质作用的根据	170
第九节	岩石大循环	171
思考题		171
第十二章	地球的历史, 人类的发祥史	172
第一节	地层, 地球历史的史料	172
第二节	整理地层系统的三条规律	173
第三节	地层的章节段落	177
第四节	为用天文时间纪年所作的努力	179
第五节	地球历史的天文阶段	181
第六节	三十亿年四大事件	183
第七节	早古生代, 无脊椎动物的时代	187
第八节	晚古生代, 生物开发大陆的时代	188
第九节	中生代, 恐龙的时代	190
第十节	新生代, 哺乳动物的时代	192
第十一节	人在竞争中取胜, 但今后	193
思考题		195
第十三章	地壳的运动和变形	196
第一节	山有四类	196
第二节	造山运动和造陆运动	198
第三节	阶地, 地壳上升的证据	199
第四节	拉张、挤压——水平运动的结果	200
第五节	运动速度差异导致扭动	201
第六节	断裂构造的几何形态研究	204
第七节	褶皱——岩层的柔性变形	209
第八节	构造体系	211
思考题		213
第十四章	地震和地球内部构造	214
第一节	<u>1976年7月28日</u>	214
第二节	弹性回跳导致的震颤	215
第三节	烈度说明地震破坏的程度	216
第四节	利用惯性, 张衡完成突破	219
第五节	按激发能量划分的里氏震级	221
第六节	地震带和地震区划是最先认识并应用的规律	222
第七节	防震有方、消震有望	224
第八节	贝尼奥夫层	227
第九节	黑箱地球	229
第十节	重力异常表明地球内部不均匀	230
第十一节	莫霍洛维契破译出第一组密码	233

第十二节 古登堡建立起地球的四层模型·····	236
第十三节 地球内部构造的最新模型·····	238
第十四节 地球的化学成分·····	241
思考题·····	242
第十五章 板块构造学说 ·····	243
第一节 一位气象学家挑起的论争·····	243
第二节 魏格纳握有证据·····	244
第三节 板块上通常洋、陆并存·····	248
第四节 活动集中在边界上·····	249
第五节 古地磁学为活动论助阵·····	256
第六节 近二亿年中板块运动史·····	260
第七节 拼贴地体·····	263
思考题·····	263
第十六章 热和重力推动地球演化 ·····	264
第一节 地球浅部演化过程的基调·····	264
第二节 地质作用的分类·····	264
第三节 内生和表生地质作用的相干性·····	266
第四节 地质作用有自控功能·····	267
第五节 用系统观来考察地质作用·····	267
第六节 热,地质作用的一台发动机·····	267
第七节 陡坡因重力而坍塌·····	270
第八节 重力也是地质作用的原动力·····	274
思考题·····	274
附录一 矿物的野外鉴定方法 ·····	276
附表1-1 常见矿物肉眼鉴定检索表·····	276
附表1-2 常见矿物的主要特征·····	277
附录二 岩石的野外鉴定 ·····	282
附表2-1 常见岩石肉眼鉴定检索程序表·····	284
附表2-2 主要沉积岩的鉴定特征·····	286
附表2-3 岩浆岩主要类型·····	288
附表2-4 常见变质岩·····	289
参考文献 ·····	290

绪 论 人类在不断探索地球中发展

第一节 一门研究地球的科学

距今 250 万年前,原在繁茂的森林中嬉戏的类人猿,遇到了严酷的气候。气温年复一年地降低,从两极和高山往温带、往平原推进的冰川,一片又一片地吞噬掉它们的乐园。许多同类无奈地死去了,一部分则逃往赤道附近,留下一些顽强地适应着新的环境,到贫瘠、单调的草原上讨生活。环境的改变迫使它们站立起来,诱导它们先是用现成的木、石做工具来获取食物;随后,对工具的需求驱使它们开始动手制造——除掉碍事的枝桠得到棍棒;打、磨砍削用的石刀、石斧等。从此,人在地球上出现了,也就开始了人类认识地球的持久探索。经过许多世代的积累,人类对于地球的认识形成了好几门科学,如地理学、测量学、气象学等等。地质学也是其中的一门。它成为系统的科学至今不过 200 余年,却已经成为有着众多分科的一大科学门类。如今,人类已能摆脱地球引力的羁绊,居高临下地从星际空间考察地球的宏观特征,在认识地球方面取得了重大成就。即使如此,人类对地球的认识还是远远不够的。而且还不能不遗憾地看到,有不少古人的有用知识,由于科学家们的无知,在综合成科学系统时被遗弃了。有的还被斥为迷信、谬论。恩格斯就曾告诫,对于取得的成就切莫陶醉,“对于每一次这样的胜利,自然界都报复了我们”。1975 年我国曾准确地预报了辽宁海城的强地震,采取防范措施,使损失减到很小;成功令人趾高气扬,公开宣称已经掌握了地震预报的秘密;余音犹在,1976 年 7 月 28 日唐山地震夺去了几十万人的生命,成为 20 世纪伤亡最多的自然灾害。1959 年,当时的苏联领导人为了增产粮食,大规模地在中亚草原开荒种粮,第一年取得了大丰收,可是收割完庄稼的大地赤裸裸地暴露了,春风吹来,沙尘蔽日,不仅再种不出粮食,连放牧的草也不易长了。类似的事例使人们逐渐醒悟:不能违拗自然,只能因势利导,与自然保持和谐;强使自然服从人的意志,破坏了生态平衡,到头来难免受到惩罚。于是,作为环境因素主要部分的地质条件受到重视,地质科学经历着又一个发展的黄金时代。

第二节 地质学的主要对象是地壳

人类为争取安谧、丰盛充裕的生活条件去研究地球——自己的家园。地球是个半径 6000 多公里、呈同心层状结构的球状体。它外面包裹着一层浓密的空气,称大气圈。在地球表面,还有波涛激荡的水体,称水圈。地质学研究的对象是地球的硬体,而且主要限于表面很薄的一层,即地壳。地壳是由岩石组成的,其底界面根据地震记录判定是一个不连续面。地壳是人类安身立命的落脚处,为人类提供着衣食之源;当今我们耗用的物质财富,没有那样不直接或间接地取自地壳。以地壳为地质学的主要研究对象,既是实际需要,也受着现时人类能力的限制。现在世界最深的钻孔仅仅万余米,不及地球半径的 $1/455$;对地球内部还不得不靠间接资料推断。当然,不能满足于就地壳论地壳的状况,人类还要努力捕捉来自地球内部的信息,弥补这一不足。

地壳的概念是人们先接受而后才逐渐有了明确定义的。直到1909年莫霍洛维契发现了地面以下大约30km深处有个不连续面,经过反复验证得到公认,50年代古登堡建议以它为地壳底界以前,地壳厚度是众说纷纭的。有说只有16km的,有主张700甚至1200km,称为岩石圈的。本世纪前50年出版的地质书就没有统一的说法。此后,公认以莫霍面为底界,厚度约为30km。最近苏联在北极圈内打了深钻,但在预计穿过一个界面的深度却没有发现岩石性质的突变。自然科学中这类事例屡见不鲜,人类对地球的认识也正是这样在探索中不断深入的。

第三节 互相补充的三个主题

地质学集中地讨论如下三个主题:

其一,地球(主要是地壳)的现状:它由什么材料、以什么形式构成的。这无疑是地质学与国计民生关系最密切的一个主题。认识了组成地壳的材料,熟悉其性能、加工方法和用途,知道材料的分布、埋藏状态和规律,才能按需要去寻找和开采,按地球的承受能力消费。

其次,地壳(也包括地球)的演变规律。这实际上是对现状所显示的规律(甚至随机)性作出的成因解释。例如,组成地壳的岩石,有的明显地呈层状、层层重叠如书页,另一些则成团成块、呈水滴状或不规则形体穿插在岩层之间。各种岩体交错嵌合成为地壳。对于文明社会至关重要的石油和煤总是出现在成层岩石中,位于地壳的上部。这些现象只有用沉积作用和岩浆活动规律才能作出合理的解释。这些活动或变化的过程,决定了由此产生的物体(岩层、岩体等地质体)和现象的地理位置、规模、形态等特征。地球从产生以来经历了46亿年,地壳从无到有,渐趋复杂,有一定趋向地发展成现在这个样子。各种资源的分布以及经常威胁着人类的地震、火山爆发、山崩和泥石流等等,都是这一发展过程中的一些片段或插曲。地壳演变的过程即地质作用,是地质学的核心理论,近年来国际上组织的大型合作计划,如地球物理年、上地幔计划、地球动力学计划、正在进行的国际岩石圈计划等,都以此为主要内容。

其三,地球(主要是地壳)的演变历史,具体地探讨什么时间、在什么地点、发生了什么样的地质事件。这有助于更具体地理解现状。例如距今三亿年到二亿年前的约一亿年中,是世界上许多地方都有煤炭资源生成的时代,即石炭纪和二叠纪。此时我国东部的江南和江北,由于各有自己的自然环境,以致在煤炭资源的丰富程度和埋藏条件上前者远不及后者。因此不论是寻找还是开采,都得按实际情况办事,硬要在江南就地开采煤炭满足那里的全部需要、实现按省按地域的自给,是违拗自然、背离实事求是这个思想原则和因地制宜的辩证唯物主义方法论的,结果只能是事倍功半。两地各自的演化历史不同,具体经历不同,因而留下了不同的矿藏。由此可以看出,演变历史上的差别,决定了现在的地壳构成和矿产资源的差异。要了解现状,必须查明历史。

上述三个主题,第三个是历史地质学的领域,第二个属动力地质学,第一个相应地被称为静态地质学或现状地质学(过去多用静力地质学)。有人努力把地质学的各个分科纳入上述三个领域,如把矿物学归入静力地质学,把构造地质学列为动力地质学等等。这种努力碰到了很明显的困难:摒除现状来讨论规律或历史只能是无源之水、无本之木,避开变化和历史的现状只能是零乱、枯燥的,也是无法理解的。实际上,不论那个地质学分科都不能只描述

现状、讨论历史或论述变化规律，只有三个主题互相穿插、渗透、补充，才能成为有深度的科学，完整的科学。地质学的各门分科，其内容可在三个主题之中有所侧重，却不可能局限在某一个主题上。

第四节 对象的特点规定研究方法的特殊性

地质学的研究对象，首先是规模远比人类惯用的尺度大。观察和测量地质现象，固然有时需要使用毫米甚至微米为单位，更经常地则是以公里为长度单位；其次，地质学观察和讨论的过程或事件绝大多数都经历了漫长的岁月，即使是地震和山崩，其酝酿也同样是个积微累渐的过程；第三，地质学研究和记述的过程都处于多种因素的影响之下。譬如水，在化学实验室里是不能溶解方解石（ CaCO_3 ）和石英（ SiO_2 ）的，但在自然界中却见到由方解石组成的石灰岩中出现大大小小的溶洞，如人们熟知的桂林七星岩、芦笛岩，无锡善卷洞，京西的云水洞，都是地下水溶蚀出来的；玛瑙那彩色的晕圈，也只有溶解质发生沉淀时才能生成。是化学规律被地质事实否定了吗？不，只是因为自然界中的水都不是蒸馏水，即使雨水也含有气体和尘埃。溶在水中的多种物质显著地改变了其化学性质：溶有二氧化碳、二氧化硫的水具有微酸性，对碳酸钙有溶解力；含钠、钾离子的水具碱性，对二氧化硅有溶解力。溶洞和玛瑙的生成就与这样的溶液有关。

规模宏大、时间漫长、影响因素众多是地质学研究的对象所具有的三个特点。

这些特点使得地质学不宜象物理学、化学那样在实验室中排除一些影响因素，千百次地重复某一过程来确证因果关系、揭示客观规律。地质学不得不以大自然为自己的主要实验室，在自然界中大量地观察处于不同发展阶段同类现象，详细研究各自所处的自然环境和影响变化进程的各种因素，揭示地壳的演变规律。同时，由于影响因素众多，直到计算机能代替人脑进行繁重的运算工作以前，即使能用较高深的数学语言把这种关系都表达出来，但求解也是不可能的。因此，在论述基本原理、说明重要规律时较少使用方程、公式的形式。学过物理、化学的青年学生对此往往感到生疏、困惑，似乎是地质学不那么严密。其实，地质学中用文字表达的规律同样是明确严格的。2200多年前李冰父子在成都平原主持修建都江堰曾留有“深淘滩，低作堰”六个字的岁修原则，并在江底埋下限定深度的铁桩。多年经验证明是违反不得的，是明确、严格的。

地质学有许多不能量化的规律或概念，曾因而被贬为不科学，因为长期以来模糊似乎就是不科学；近来人们已经认识，模糊往往是科学的需要。物理学中红光和黄光的区分，电学和磁学的划分都是必要的，同时又是模糊的。模糊数学、模糊逻辑的发展引人注目。地质学中无法避免模糊概念和模糊逻辑，是因为自然界中大量存在的都是一些逐渐过渡的现象，如实地加以反映正是科学的任务。

第五节 博览——学好地质学的关键

地质学的这些特点要求初学者在有指导的条件下多阅读书刊文献，多作地质野外观察。

著名科学家钱伟长曾把大学生的任务概括为本科生要学会读书，硕士生要学会读科学论文，博士生要能发现问题。学会读书，不仅会从头到尾精读一本书，还懂得遇有困惑疑难时多找几本书对照着读，看各位作者都摆出一些什么事实，又从这些事实中各自按照什么样的思路，达到什么样的结论。这是很重要的读书方法，年青学生不妨试试看，一定能获益的。

前已说明，大自然是地质学的主要实验室。因而学习地质学时有指导地（包括教师亲自带领和按文字指导书或声相教材自己在野外对照观察）进行野外实地观察应十分重视。

第六节 探索——人类繁荣昌盛的途径

地质学是一门并不古老的科学。从事找矿、采矿的工程技术人员必须具备这种基础知识，由于人类对自身生活环境的影响能力空前地加强了，这门关于地球的科学有助于人们更深刻地认识地球并预见未来，以避免或减少强使自然服从英雄意志以及人群的愚昧行为造成的损失。必要的地质知识能提高人类保护环境意识，而保护环境、保护生态平衡是环境美的核心。地质科学必将随着人们物质文化水平的提高得到普及，又反过来为物质文明和精神文明建设服务。

地球还有许多之谜等待破解，地质学本身还急待发展、提高。例如1914年魏根纳提出大陆漂移说时，遇到的最大困难是庞大的陆块怎么能在玄武岩质的大洋底上滑行和什么力量能使大陆起动和改变运动状况。半个世纪后这个学说以岩石圈板块在软流圈上滑行的形式复苏并风靡了地学界时，难题仍未完全解决。

常常是科学说明了我们周围的某些自然事物，揭示了自然界发展变化的若干规律，使人类构想兴利除弊时有了若干依据，人类的生产和生活提高了一步；同时又使我们来到另一座尚待开启的“自然迷宫”门前。不断探索，以求更自觉地与地球和谐相处，充分利用地球提供的条件，才能谋求人类的持久繁荣和昌盛。

思 考 题

1. 常把数、理、化、天、地、生列为自然科学的六大门类，实际上数学与逻辑、语言相近，可以作为一种工具。请将地质学与物理学、化学、生物学、天文学，就你所知进行比较，论说它们在研究方法上的特点。

2. 地学即地球科学包括那些主要学科？地质学与它们各是什么关系？有什么不同？

第一章 地球和地壳

第一节 人间在天上——地球在宇宙中的位置

人们常用“天上”和“人间”来比喻截然不同的两种境界，其实，人间就在天上。人类居住的地球和被称为启明或长庚的金星、古称辰星的水星等一样，同为太阳系的大行星。

夏夜，仰观星斗，一般人都能辨认出几千颗星。熟知的北极星、北斗七星、牛郎星和它的一双“儿女”、织女星和它那“梭子”……，这些星距地球都十分遥远，用人类的尺度观察不出它们之间的运动，因而被称为恒星。恒星是由炽热气体组成、能发光的天体。维持恒星辐射的能来自氢的热核反应。天空中所见的绝大多数星是恒星，太阳便是一颗普通的恒星。除太阳外，其它恒星离我们都很远，最近的也有4.3光年。恒星的大小、质量、密度、发光强度、表面温度都有很大差异。根据恒星星光的光谱特性，可以分辨出颜色和温度不相同的若干类型。天空和太阳类似的恒星有很多，其中必有一些会有自己的行星、卫星等等，组成和太阳系近似、以恒星为中心的系统。在太空中，地球、太阳都不会是独一无二的。

和恒星不同，行星在星空运动的轨迹似乎是在恒星之间穿行。它们不会发光，靠反射太阳光在星空中发亮。目前我们所见的行星都属于太阳系。以太阳为中心，有水星、金星、地球、火星、木星（图1-2）、土星（图1-3）、天王星、海王星和冥王星等九颗行星，分属于这些行星的共50余颗卫星，其中包括地球的卫星月球（其直径为地球的1/4）（图1-1）、木星的几颗与水星大小相近的卫星、火星的那颗形状不规则、长轴不过7.5km的卫星火卫二，以及火星与木星之间的一群小行星、若干颗彗星等，构成太阳系。在整个太阳系中，太阳占了全部质量的99%，地球则只占百万分之29。总之，人类居住的地球即令在太阳系中也是比较小的。而在太阳系之外，不仅有1400亿颗和太阳同级的恒星组成的银河系，而且银河系之外还有许多类似的星系。地球是宇宙间一颗并不特殊的天体，它就在天上。

以太阳和九大行星为主体的太阳系（图1-4）有一些很引人注意的特征。从表1-1中不难看出，行星可以分为近在太阳附近的内行星（或类地行星）与外行星（或类木行星）两类，它们在大小、密度、自转周期、卫星数等方面都有显著差异（冥王星有些例外）。

太阳系是一个严格的系统，它有许多统一的特点：太阳和各大行星共有一个轨道平面、一个基本转动方向（太阳、行星、卫星自转轴近于平行，行星绕太阳、卫星绕行星回转的轨道面基本重合，方向相同），仅有少数明显的例外（金星自转方向相反且转速甚慢，天王星自转轴与其轨道面近于平行）；行星与太阳间的距离有一定规律（波得定律）等等。这些规律性的特征应该从天体演化、地球起源的学说中得到解释。这是个长期受关注、众说纷纭的问题，因为我们只能观察到太阳系的现状，不仅无法目击其生成过程，又看不到第二个类似的行星系统可供观察比较；对于人类安身的地球，只有“一胎所生”的九颗行星可以参考，对其生成和早期历史的认识，也只有一些不成熟、有时还是互相矛盾的假说。

地球与人类关系至为密切，为了认识它我们有必要也有可能投入大量劳动，世代相承地孜孜以求。为此，有时也需要把它当做宇宙的中心，来研究远近和大小不同的各个天体的运

表 1-1 太阳系九大行星主要特征

项 目	类 地 行 星				类 木 行 星				
	水 星	金 星	地 球	火 星	木 星	土 星	天 王 星	海 王 星	冥 王 星
半径(km)	2440	6050	6370	3400	71400	60330	25400	24300	1500?
质量(地球=1)	0.0558	0.815	1.00	0.107	318.9	95.15	14.54	17.23	0.0022
密度(水=1)	5.42	5.25	5.52	3.94	1.31	0.69	1.19?	1.66	0.9?
重力(地球=1)	0.38	0.80	1.00	0.38	2.64	1.17	1.03	1.50	?
自转周期(地球时间)	59天	243天	1.00天	1.03天	9.83小时	10.23小时	23.00小时	22.00小时	6.39天
绕日周期(地球时间, 年)	0.241	0.616	1.00	1.88	11.99	29.5	84.0	165	248
卫星数	0	0	1	2	16	17	14	2	1
表面气压(地球=1)	0.003	100	1	0.006	200000	200000	8	?	?
大气成分	二氧化碳	二氧化碳 含少量水	氮78% 氧21%	二氧化碳 为主、可 能含水	氢60% 氮36% 氨3% 甲烷和氨 1%	与木星相同	与木星相 似, 甲烷 较多无氨	与天王星 相同	?



图 1-1 阿波罗 8 号从东侧见到的月球

图片右半是地球上从未见过的。右上部的放射状亮线是晚期陨石撞击的溅出物，其中心为布鲁诺环形山（即陨坑），这一侧的陨坑坑较少。左上方的圆形黑斑是变海盆地。注意各地陨坑的密度差异明显

动、演化如何影响地球。唯物辩证法、相对论已经广为人知了，对于地球在宇宙中的位置，同样可以采取辩证的、相对的观点。

人间——地球，在宇宙间是一颗十分渺小、并不特殊的行星。离开地面看地球，它是一颗蔚蓝色的星，就在天上；远一点看还会湮没在灿烂的群星之中而不易寻找；同时，它又应该被作为宇宙中心来认识、来研究，充分了解它怎样影响环境以及周围的天体又如何影响它。

人间就在天上。

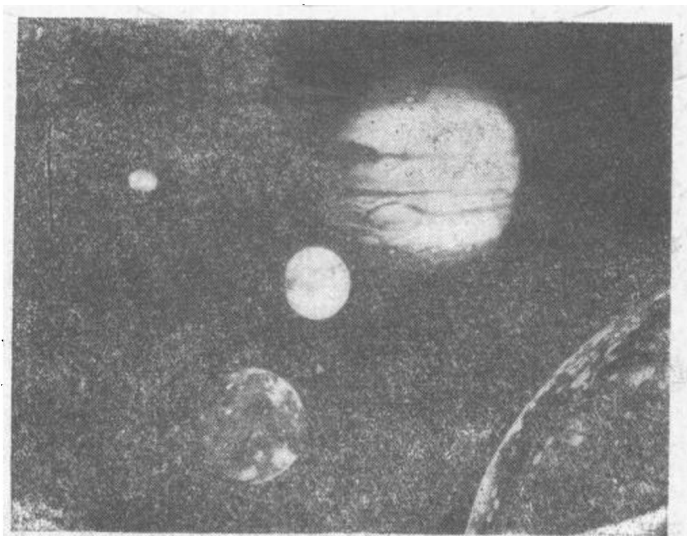


图 1-2 木星及其部分卫星

右上为木星，其表面的纹理和下半球的大红斑清楚可见，及木星已知16颗卫星中最大的4颗，右下角那颗只露出一小部分，这4颗卫星两颗略大于月球，另两颗略小于月球，图象是由旅行者宇宙飞船发回经拼嵌而成

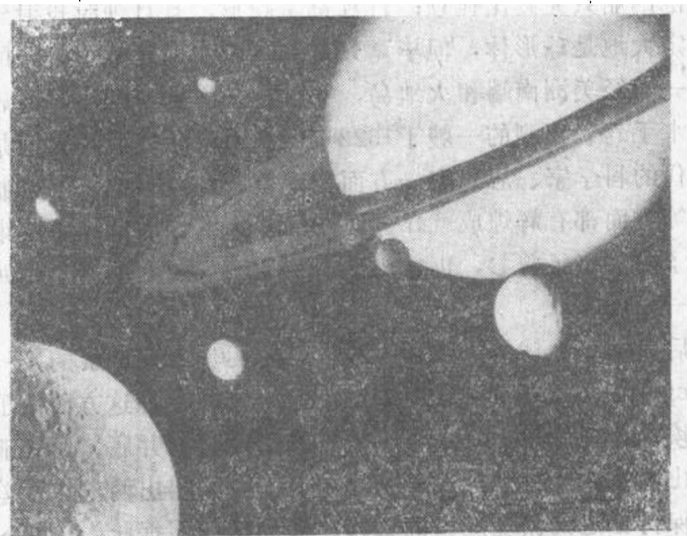


图 1-3 土星及其部分卫星

1980年11月旅行者1号抵近土星时发回的土星及其光环的图象，与所得17颗已知卫星中的6颗拼嵌而成，其中有的表面布满环形山