



TEACHING MATERIALS FOR COLLEGE STUDENTS

高等学校教材

石油地质勘探概论

SHI YOU DI ZHI KAN TAN GAI LUN

张卫海 王纪祥 主编

中国石油大学出版社



TEACHING MATERIALS FOR COLLEGE STUDENTS
高等学校教材

石油地质勘探概论

SHIYOU DIZHI KANTANGAILUN

张卫海 王纪祥 主编

中国石油大学出版社

图书在版编目(CIP)数据

石油地质勘探概论/张卫海,王纪祥主编. —东营: 中国石油大学出版社, 2006. 8
ISBN 7-5636-2192-X

I. 石油... II. ①张... ②王... III. 石油天然气地质—高等学校—教材 IV. P618.130.2

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2006)第 092058 号

中国石油大学(华东)规划教材

书 名: 石油地质勘探概论

主 编: 张卫海 王纪祥

责任编辑: 李 锋(电话 0546—8392791)

封面设计: 人和视觉

出 版 者: 中国石油大学出版社(山东 东营 邮编 257061)

网 址: <http://www.uppbook.com.cn>

电子邮箱: shiyoujiaoyu@126.com

排 版 者: 海讯科技有限公司

印 刷 者: 青岛星球印刷有限公司

发 行 者: 中国石油大学出版社(电话 0546—8391797, 8392791)

开 本: 185×260 印张: 15.625 字数: 387 千字

版 次: 2006 年 9 月第 1 版第 1 次印刷

定 价: 23.00 元

内 容 简 介

本书是石油地质勘探基础教材,包括基础地质和石油地质两部分。基础地质部分介绍地球的性质、构造和组成,着重介绍沉积岩和沉积相以及构造地质学知识,为学习石油地质理论奠定必要的地质学基础;石油地质部分立足油气生成、储集、运移、聚集和分布这一石油地质学主线,系统阐述石油地质基本知识和基本理论,介绍油气田勘探的理论依据、方法和工作程序。本书内容丰富,系统性好,重点突出,可作为石油院校非勘探类、非石油工程类专业学生的教材,也可作为成人教育相关专业培训教材及石油从业人员了解石油地质勘探知识的参考用书。

前言

油气勘探工作在石油行业占有重要地位,从事油气上游工作的科技和管理人员对油气地质基本知识和理论有迫切的需求;石油高等院校对综合性高素质人才的培养,也要求学生必须掌握油气地质勘探开发的基本知识。“石油地质勘探概论”是石油高等院校针对非勘探类、非石油工程类专业学生学习油气地质知识而开设的一门课程,目的是让学生了解地质学基础知识,掌握有关油气藏形成与分布等石油地质学基本理论,为毕业后从事石油及其相关行业的工作奠定基础。本书是为该课程编写的配套教材。

本书内容包括基础地质和石油地质两部分。基础地质部分系统介绍地质学的基本知识,包括地球的结构、物理性质和矿物组成,地质作用及岩石记录,地质年代学的基本概念等,着重介绍与油气密切联系的沉积岩和地质构造的基本知识,目的是为学习石油地质知识奠定必要的基础。石油地质部分主要介绍石油地质与油气勘探的基本知识和基本理论,立足油气生成、储集、运移、聚集和分布这一石油地质学主线,使学生对油气藏的形成、分布和勘探方法有一个比较全面的了解。作为一本石油地质基础教材,本书内容丰富,涉及面广,各部分内容安排合理有序,繁简得当。通过本课程的学习,能使学生学习到基本的油气地质知识,培养地学素养,丰富和完善知识结构,为将来从事油气勘探、开发、企业管理等工作奠定必要的石油地质学基础。

本书第一章和第二章的第一至第三节由任拥军编写,第二章的第四至第六节和第三章由谭丽娟编写,第四章、第五章、第六章的第一节和绪论由张卫海编写,第六章的第二至第五节和第七章由王纪祥编写。全书由张卫海和王纪祥统稿、定稿。本书的编者都是多年从事石油地质学教学和科研工作的教师,具有丰富的教学经验,本书即是他们多年教学经验的结晶。中国石油大学(华东)蒋有录教授对全书进行了审阅,提出了许多宝贵的修改意见,在此表示衷心的感谢。

在教材编写过程中,我们参考了大量相关教材和文献资料,大部分已在书后的参考文献中列出,在此谨向这些文献的作者表示诚挚的谢意!

由于编者水平有限,书中不当之处在所难免,恳请读者批评指正。

编者

2006年7月

目 录



绪 论	(1)
第一节 石油地质勘探理论发展简介	(1)
一、近现代油气勘探发展简史	(1)
二、石油地质勘探理论发展简介	(3)
第二节 石油地质勘探概论课程的任务和主要内容	(4)
一、石油地质勘探概论课程的任务	(4)
二、石油地质勘探概论课程的主要内容	(4)
第一章 地质学基础概述	(5)
第一节 地 球	(5)
一、地球的起源	(5)
二、地球的形状与大小	(7)
三、地球的表面形态	(8)
四、地球的圈层结构	(10)
五、地球的主要物理性质	(16)
六、地壳的物质组成	(19)
第二节 地质作用及岩石记录	(26)
一、地质作用概述	(26)
二、外动力地质作用及岩石记录	(27)
三、内动力地质作用及岩石记录	(35)
第三节 地质年代学	(42)
一、地层及相对地质年代的确定	(42)
二、地层的划分与对比	(43)
三、同位素年龄测定	(44)
四、地层单位、地质年代单位和地质年代表	(45)
五、生命的起源、演化和生物圈的形成	(46)
第二章 沉积岩与沉积相	(53)
第一节 沉积岩的分类	(53)
第二节 沉积岩的宏观特征	(53)

一、沉积岩的构造	(53)
二、沉积岩的颜色	(56)
第三节 陆源碎屑岩	(56)
一、陆源碎屑岩的组成	(56)
二、陆源碎屑岩的结构	(58)
三、陆源碎屑岩的主要类型	(60)
第四节 碳酸盐岩	(65)
一、碳酸盐岩的矿物成分与化学成分	(65)
二、碳酸盐岩的结构组分	(66)
三、碳酸盐岩的分类	(67)
四、碳酸盐岩的常见岩石类型	(68)
第五节 其他沉积岩	(71)
一、蒸发岩	(71)
二、煤和油页岩	(71)
第六节 沉积相	(73)
一、沉积环境和沉积相的概念	(73)
二、沉积相的分类	(73)
三、几种常见沉积相的沉积特征	(74)
第三章 地质构造	(80)
第一节 概 述	(80)
一、地壳构造运动	(80)
二、岩层的产状	(82)
第二节 褶皱构造	(83)
一、褶皱的基本类型	(84)
二、褶曲要素	(85)
三、褶曲的主要类型	(85)
四、背斜构造的成因类型	(87)
第三节 断裂构造	(88)
一、断 层	(89)
二、节 理	(94)
第四节 基本地质图件的识读	(95)
一、地质图、地质剖面图、地层柱状图	(95)
二、构造剖面图和构造平面图	(97)
第五节 大地构造学说简介	(99)

一、地槽-地台学说	(99)
二、大陆漂移、海底扩张和板块构造学说	(100)
第四章 油气的生成	(105)
第一节 油、气、水的组成和物理性质	(105)
一、石 油	(105)
二、天然气	(110)
三、油田水	(112)
第二节 油气生成的原始物质	(114)
一、油气成因概述	(114)
二、生成油气的原始有机物质	(117)
第三节 油气生成的地质条件和理化条件	(121)
一、油气生成的地质条件	(121)
二、油气生成的物理化学条件	(122)
第四节 有机质的成烃演化模式	(124)
一、生物化学生气阶段	(124)
二、热催化生油气阶段	(125)
三、热裂解生凝析气阶段	(125)
四、深部高温生气阶段	(126)
第五节 天然气的成因类型及特征	(126)
一、天然气的成因类型	(126)
二、生物化学气	(127)
三、油型气	(128)
四、煤型气	(129)
五、无机成因气	(129)
第六节 烃源岩	(130)
一、烃源岩的定义	(130)
二、烃源岩的一般特征	(130)
三、烃源岩的类型	(131)
四、烃源岩的有机地球化学指标	(132)
第五章 油气的储集与运移	(135)
第一节 储集层	(135)
一、岩石的孔隙性和渗透性	(135)
二、储集层的类型	(139)
第二节 盖层及生储盖组合	(146)

一、盖层的定义和特征	(146)
二、盖层的类型	(147)
三、盖层的封闭机理	(147)
四、生、储、盖组合	(148)
第三节 油气初次运移	(149)
一、油气初次运移的相态	(150)
二、油气初次运移的动力和方向	(151)
三、油气初次运移的通道	(153)
四、油气初次运移主要时期和烃源岩有效排烃厚度	(154)
第四节 油气二次运移	(155)
一、油气二次运移的相态	(155)
二、油气二次运移的阻力和动力	(155)
三、油气二次运移的通道及输导体系	(158)
四、油气二次运移的主要时期和距离	(160)
第六章 油气藏的形成与分布	(162)
第一节 圈闭及油气藏的基本概念	(162)
一、圈 闭	(162)
二、油气藏	(164)
三、油气藏的分类	(165)
第二节 油气藏形成的基本条件	(168)
一、充足的油气来源	(168)
二、有利的生、储、盖组合	(170)
三、有效的圈闭	(171)
四、必要的保存条件	(173)
第三节 油气藏的类型	(174)
一、构造油气藏	(174)
二、地层油气藏	(183)
三、岩性油气藏	(188)
四、其他类型油气藏	(190)
第四节 油气聚集单元	(191)
一、油气田	(191)
二、油气聚集带及含油气区	(192)
三、含油气盆地	(193)
四、含油气系统	(197)

第五节 油气资源分布特点及控制因素	(201)
一、我国油气资源分布特点	(201)
二、世界油气资源分布特点	(204)
三、油气分布的控制因素	(207)
第七章 油气田勘探	(212)
第一节 油气田勘探概述	(212)
一、油气田勘探的基本任务和理论依据	(212)
二、油气田勘探阶段的划分	(212)
第二节 油气田勘探的工作方法	(213)
一、地质法	(213)
二、遥感法	(214)
三、地球物理勘探法	(215)
四、地球化学勘探法	(218)
五、钻井法	(219)
六、录井技术	(220)
第三节 区域勘探	(221)
一、区域勘探的主要任务	(221)
二、区域勘探的工作部署原则	(221)
三、区域勘探阶段的工作方法	(224)
四、区域勘探阶段的工作步骤	(226)
第四节 圈闭预探	(227)
一、圈闭预探的任务	(228)
二、圈闭预探的工作步骤	(228)
三、预探井的部署	(229)
第五节 油气田评价勘探	(232)
一、油气田评价勘探的主要任务	(232)
二、评价勘探阶段的工作步骤	(232)
三、评价井部署原则及分类	(233)
四、开发过程中的勘探工作	(233)
第六节 滚动勘探开发	(234)
一、滚动勘探开发问题的提出	(234)
二、滚动勘探开发的概念及优点	(235)
三、滚动勘探开发的工作步骤	(235)
参考文献	(238)

绪 论

石油和天然气是国家重要的战略能源,作为世界上主要的一次性能源和重要的战略物资,不仅与各国的经济发展密切相关,其应用渗透到人民生活的各个方面,而且在政治、军事上也占重要地位。世界各国尤其是发达国家都将石油和天然气工业置于战略性的地位。

第一节 石油地质勘探理论发展简介

一、近现代油气勘探发展简史

(一) 世界油气勘探史

人类发现和利用石油与天然气的历史很长,但真正有意识较大规模地寻找和开发油气只有几百年的历史。一般认为 1859 年美国德雷克在宾夕法尼亚州钻成第一口具有现代工业意义的油井是现代油气工业开始的标志,世界石油工业走过了 140 多年的风雨历程。

1859 年至 1900 年是现代油气工业诞生阶段,但是尚属于“灯油时代”,到 19 世纪结束,世界上只有美、俄等十几个国家产油,但石油产量迅速增加,1900 年世界总产油量达到 $2\,043 \times 10^4$ t。在第二次世界大战前后发现了一大批油气田,尤其是波斯湾巨型富油气区的发现,使世界油气分布格局发生了巨大改变,世界产油国到上世纪 50 年代末达到 60 多个。上世纪六七十年代是世界石油勘探的发现高峰时期,产量大幅度增加,到 1980 年世界石油产量接近 30×10^8 t。近 20 多年来,各种先进技术的应用,尤其是地震勘探技术的迅速发展,在勘探程度较低地区获得了许多重要突破,在一些勘探程度较高的地区,石油勘探向精细化发展,找到了一大批隐蔽油气藏。

据 14 届世界石油大会报告,全球最终常规可采油气资源量分别为 $3\,133 \times 10^8$ t 和 328×10^{12} m³,可供人类使用 100 年。根据世界油气杂志的评估,截至 2004 年底,全球石油和天然气剩余储量分别为 $1\,750 \times 10^8$ t 和 171×10^{12} m³。2003 年世界石油产量为 34.25×10^8 t,天然气 26.4×10^{11} m³。

(二) 我国油气勘探史

我国是世界上最早发现和利用天然气的国家,也是世界上最早发现和利用石油的国家之一,据已有的文字记载,已有 3 000 多年的历史。古代中国先民在开采和利用石油天然气技术上曾经创造了光辉成就。但是由于长期处于封建社会,特别是近 100 多年帝国主义的侵略,半封建、半殖民地制度的禁锢,以及“中国贫油”论的束缚,扼杀了已经蓬勃兴起的石油工业,与世界石油工业形成了巨大的差距。新中国成立后,在中国共产党的领导下,经过几代石油人的艰

苦奋斗,我国石油工业创造了辉煌业绩,不仅甩掉了“中国贫油”的落后帽子,而且进入世界主要产油国的行列。

1. 我国近代油气勘探史

我国近代石油勘探从 1878 年台湾省钻探第一口油井开始,已有近 130 年的历史。借助于国外技术力量,1878 年清政府在台湾省苗栗打了中国第一口油井,1907 年在陕西延长打了大陆第一口油井(延 1 井)。帝国主义纷纷派出石油地质学家来我国台湾、四川、陕西、甘肃、东北等地勘查钻探石油,在短暂的时间内没有找到油气田,于是就轻率地认为“中国没有中、新生代海相沉积,古生代沉积也大部分不生油,除了中国西部、西北部某些地区外,所有各个年代的岩层都已剧烈褶皱、断裂,并或多或少被火成岩侵入。因此,中国绝不会生产大量石油(E. Blackwelder, 1922)”。这些“中国贫油”论调在现代中国石油工业事实面前,纯属无稽之谈。

我国一些地质学家在国民党统治极端困难的环境中,做出了许多有益的贡献。例如潘钟祥对延长、延川进行石油调查后,提出了陆相生油的学说,后来延长油矿在边区政府领导下,原油产量有了增长,1941—1946 年共生产原油 3 035 t;1938 年孙健初对酒泉、玉门一带进行了石油地质调查,发现了老君庙油田,1939—1949 年共生产原油 49×10^4 t,成为当时中国最大的油田;黄汲清、李春昱等对四川盆地丰富的天然气藏进行了大量的调查,发现了 120 多个有希望的含油气构造,在石油沟和圣灯山打了探井,累计生产气 $2\,350 \times 10^4$ m³;新疆独山子油田在前苏联地质专家的帮助下,1936—1944 年共钻 33 口探井,原油日产量曾达 7 t;台湾苗栗油田早在 1877 年就开始开采,但始终遭受挫折,未有进展。

据统计,从 1878 年至 1949 年底,共发现 5 个油田(玉门老君庙,陕北延长,新疆独山子,台湾出磺坑、竹头崎)和 7 个气田(四川自流井、石油沟、圣灯山,台湾六重溪、牛山、竹东、锦水);累计探明石油地质储量 $2\,900 \times 10^4$ t,累计生产原油 67.17×10^4 t,天然气约 11.7×10^8 m³,1949 年全国石油产量为 7×10^4 t;全国仅有 8 个地质调查队,大小钻机 7 台,石油职工 1.1 万人,各类技术人员 623 人,地质技术人员只有 28 人。这说明,新中国成立前,石油工业非常薄弱。

2. 新中国油气勘探史

新中国油气勘探的历史可分为初期发展阶段、快速发展阶段和稳定发展阶段三个大的发展时期。

建国初至大庆油田发现的十年是我国石油勘探的初期发展时期。这一时期的勘探重点在四川、陕甘宁、酒泉、准噶尔、柴达木、吐鲁番等中西部盆地,陆续发现克拉玛依、冷湖、油砂山、鸭儿峡、蓬莱镇、南充等油田和川南一批气田。石油工业有了显著发展,但还没有根本改变进口石油的局面。

从 1959 年大庆油田的发现到 20 世纪 80 年代中期是快速发展时期。1959 年 9 月 26 日,松辽盆地松基 3 井获得工业油流,从而发现了大庆油田,实现了我国石油工业发展史上历史性的重大突破,并且实现了石油勘探重点由中西部地区向东部地区的转移。大庆油田发现的理论意义在于突破了唯海相生油论,从实践上证明了陆相盆地不仅能够生油,而且可以形成大型油田,这极大地解放了中国油气地质学家的思想,开创了在陆相盆地寻找大油田的新篇章。

1961 年和 1962 年在渤海湾盆地东营凹陷分别发现华 8 井和营 2 井高产油井,发现和证实了胜利油田。从 1964 年至 20 世纪 80 年代中期,相继发现和建成了胜利、大港、辽河、华北、中原等石油生产基地,特别是 1975 年华北任丘古潜山油田的发现,打开了石油勘探的新领域;在四川、江汉、陕甘宁、苏北等盆地相继进行了较大规模的石油勘探,发现了一大批油气田。大

庆油田和渤海湾油田的发现和全面开发使我国石油勘探进入黄金时期,石油产量大幅度增长,1978年产量突破了 1×10^8 t,中国一跃进入世界产油大国行列。

20世纪80年代中后期到现在是稳定发展阶段。我国石油勘探进入稳定东部、发展西部、油气并举、大力发展海洋勘探和积极开拓海外石油勘探开发市场的新阶段。在东部深化勘探的同时,重点加强了塔里木、准噶尔、吐哈、柴达木和鄂尔多斯等盆地的油气勘探工作,发现了一大批新油田,保证了我国原油产量的稳定增长。海洋石油勘探获得了前所未有的快速发展,产量增长迅速,2003年中国海洋石油产量 $3\,336 \times 10^4$ t,目前已成为保持我国石油产量增长的主要领域之一。积极开拓海外石油勘探开发市场,在南美、中亚、非洲、中东等地区已取得重要成果或有了良好的开端。

我国幅员辽阔,在陆上和海域分布的沉积盆地有424个,总面积 527×10^4 km²,其中陆上405个,面积 378×10^4 km²,海域19个,面积 149×10^4 km²,沉积岩分布广泛,既有陆相沉积又有海相沉积,蕴藏着丰富的石油和天然气资源。据国家能源领导小组办公室2006年发布的信息,不包括南海南部海域,我国的石油地质资源量为 765×10^8 t,可采资源量为 212×10^8 t。而截至2004年底,累计探明石油地质储量为 248×10^8 t,可采储量为 67.3×10^8 t;天然气的地质资源量为 35×10^{12} m³,可采资源量为 22×10^{12} m³,累计探明天然气地质储量为 4.4×10^{12} m³,可采储量为 2.77×10^{12} m³。2005年我国石油产量达到 1.81×10^8 t,天然气产量达到 499.5×10^8 m³。随着国家对油气需求的日益增长,油气勘探工作者要肩负更高的责任,面对更严峻的挑战。

二、石油地质勘探理论发展简介

石油地质勘探理论的核心是石油地质学。石油地质学是研究石油和天然气在地壳中生成、运移、聚集和分布规律,以指导油气勘探的学科。它随着勘探开发技术和分析化验技术的发展而逐渐丰富完善起来,是传统地质学与现代科学密切结合的结果,是地质学的一个重要分支。

140多年的石油工业发展史就是一部科技创新史。19世纪60年代,加拿大地质学家斯泰利·亨特就提出了背斜理论的雏形,20世纪初,海相生油理论、背斜理论等成为指导油气勘探的重要理论,油气工业得到了迅猛发展,这些理论到20世纪末仍对油气勘探起重要的指导作用。20世纪上半叶,随着世界各国油气勘探事业的进展,特别是陆相沉积盆地油气勘探的实践,建立并逐步发展了陆相石油地质理论,极大地丰富了石油地质勘探理论;60年代开始发展的源控论,使油气勘探进入一个新阶段,随着众多单斜、不整合及岩性油气藏的相继发现,人们开始注重隐蔽油气藏的勘探;七八十年代以有机地球化学方法建立的油气成因理论对现代油气勘探起了重要的指导作用;20世纪90年代油藏地球化学、油气藏成藏机理、含油气系统等理论的发展和运用,进一步推动了石油地质理论的发展,为油气藏形成和分布规律研究提供了有效的手段。这个时期出版的一些经典著作如A. I. Levorsenc(1954)的《石油地质学》、B. P. Tissot和D. H. Welte(1978, 1982)的《石油形成与分布》、J. M. Hunt(1979)的《石油地球化学和石油地质学》、G. D. Hobson(1981)的《石油地质学导论》等,都是石油地质勘探理论发展的重要体现和标志。

经过我国几代石油地质工作者的不懈努力,在油气勘探实践中形成了具有中国特色的陆相盆地石油地质理论。早在20世纪40年代,李四光、谢家荣、翁文灏、翁文波、潘钟祥、黄汲清等老一辈地质学家,通过亲身的地质实践指出中国石油勘探充满希望,中国的石油地质理论开始萌芽。如1941年潘钟祥在美国石油地质协会会志(AAPG)发表“论中国陕北和四川白垩系陆相生

油”的论文,1947年黄汲清、翁文波等提出“陆相生油,多期、多层含油的理论”……他们开创了我国和世界陆相生油理论,为我国陆相盆地油气田勘探奠定了坚实的理论基础。

我国的石油地质理论主要体现在陆相生油理论、源控论和复式油气聚集带理论三个方面。松辽盆地大庆油田的发现使陆相生油理论得到实践的检验,并成为松辽盆地、渤海湾盆地等一批陆相盆地寻找大型油气田的理论依据。以陆相盆地油气近距离运移聚集规律的认识为基础建立的“源控论”,成为我国重要的陆相盆地油气勘探理论。以渤海湾盆地断块油田成藏条件和分布规律为主要内容的复式油气聚集带理论的建立,丰富了中国石油地质理论,并有效地指导了中国东部断陷盆地的油气勘探。中国陆相盆地油气地质与勘探理论极大地丰富了世界油气地质与勘探的理论宝库。

经过100多年的油气勘探,已逐渐形成了日臻完善的油气地质理论,建立了系统的油气生成、运移、聚集、分布理论和勘探方法。油气勘探的实践不断提出新的问题,为油气地质理论的发展提供了依据,而油气地质理论又对油气勘探起指导作用,这种反复的实践和认识,使油气地质理论不断发展完善,油气勘探技术手段不断提高。

第二节 石油地质勘探概论课程的任务和主要内容

一、石油地质勘探概论课程的任务

石油和天然气是深埋在地下的流体矿产,其生成、运移、聚集和分布具有其特殊规律,形成条件和影响因素复杂多变。石油和天然气究竟蕴藏在哪里,分布规律是怎样的,受哪些条件的控制,如何控制……这些就是石油地质学所要回答的问题。

按现代油气成因理论,石油和天然气是在沉积岩中生成,并主要储集和保存在沉积岩中,油气从生成到运移再到聚集成矿藏的整个过程都与地壳和地球外圈有密切关系。要认识油气藏的形成和分布规律并开展有效的勘探,必须从了解地质学入手,学习与油气地质相关的基础地质知识,然后再系统地了解油气地质与勘探的基本理论。因此,本课程的任务就是介绍地质学基本知识,系统阐述油气的生成、储集、运移、聚集和分布等基本石油地质理论,介绍油气勘探的基本理论和工作方法,为将来从事油气勘探及相关工作奠定必要的理论基础。

二、石油地质勘探概论课程的主要内容

本课程总体上分为两大部分:基础地质部分和石油地质与勘探部分。

基础地质部分系统介绍地质学的基本知识,包括地球的结构、物理性质和矿物组成,地质作用及岩石记录,地质年代学的基本概念等,着重介绍与油气密切相关的沉积岩的形成过程、性质、类型和各种沉积成岩环境,以及地质构造的基本知识。

油气地质与勘探部分主要阐述油气在地壳中的生成、运移、聚集成藏的基本原理和分布规律,介绍油气田勘探基本理论、方法和程序。具体内容包括:石油、天然气和油田水的基本特征;储集层和盖层;油气的生成、运移和聚集原理;油气藏类型和特征;油气聚集单元和分布规律;油气田勘探的任务、方法、程序等。

第一章

地质学基础概述

地质学是研究地球的一门自然科学,它主要研究固体地球的组成、构造、形成和演化规律。当前研究的重点是地壳以及与地壳有密切关系的部分。地质学研究中,不仅探索目前存在的地球,而且还寻求如下问题的答案:地球是如何形成的,它初期生长的形状如何,它是如何演变为目前的行星的,是什么导致了地球上生命的起源和发展等等。

第一节 地球

地球是一个非常特殊的场所,不仅仅是因为有我们人类居住着,在太阳系中的这颗行星上,有几百万种生命形态存在和发展着。

现在还不能确定,什么时候地球原始大气的成分和状态正好适合生命的起源和进化。但我们知道,在最早的生命形态进化之前,原始大气的含氧量如果像现在这么高,就不会形成大的有机分子,因为氧会把它们全部破坏掉。地球的大气圈和磁场,起着阻挡对生物有害的宇宙辐射的作用,未受气体燃烧减速的流星会轰击地球,结果形成坑痕累累的荒芜地表。今天的大气圈不仅可以滤去绝大部分的破坏性紫外辐射,而且它同大洋一起可以储存并重新分配太阳能,从而调节气候。如果没有大气圈和大洋,就会出现更剧烈的昼夜温差,季节温差以及赤道与极地的温差变化。

这种有利于生命存在的条件,体现在行星地球特征上还有很多。地球正好形成于太阳系内的适中位置,即离太阳既不远也不近,使地球上只有很窄的温度变化范围——基本上是在水的冰点和沸点的范围内。而且地球的大小适中,它不至于小得失去大气,因为重力太小会使气体逸散到宇宙空间中去;也不太大,太大就会保持相当厚的大气圈,包括有害气体。

我们了解到,地球内部是一部以放射性衰变为能量来源的、巨大而灵巧的热发动机。正是这部发动机控制了地球的演化进程。如果热发动机的运转再缓慢一些的话,地质活动的速度将减小,大陆也许就不会演变为现在的形状,火山活动也不会喷出形成现今大洋和大气的水和气体,铁亦不会聚集于地核,更不会有地磁场的存在。地球就会像月球那样,成为布满冲击坑的死行星。相反,如果放射性燃料较多,发动机运转过快的话,地震和火山活动就会非常频繁地发生,导致恶劣气候的出现。大概地球在其历史的早期曾有过这种快速的演化。

地球行星这些独特的性质,是我们人类和其他生命赖以存在的基础。如果有机会遨游太空,能亲眼目睹这颗蔚蓝色的、生机勃勃的星球,一定会比眼望月球生出更多的遐想。

一、地球的起源

地球是太阳系的成员之一,所以讨论这个困难的问题也必须从整个太阳系来进行。这个问题在过去的200年间引起了许多大哲学家和科学家的重视,而且一直到今天,无论是地质的或天文的最新实验数据,还是有关这一问题的最新理论进展,仍能引起新的争论。

1. 观察结果的解释

要研究某一物质的成因,了解该物质的特性是研究者首要面临的,因为成因必须能够解释物质所具有的本质特性。47 亿年前,当行星开始形成时,不管发生过什么事情,太阳系内都显现了一些惊人的规律性:

(1) 所有行星都以同一方向绕着太阳旋转,其轨道呈椭圆形,但几乎为圆形,并几乎位于同一轨道平面上,它们的大多数卫星也以同一方向旋转着。

(2) 除金星和天王星外,其余行星在绕太阳旋转时都以同一方向发生自转,即若从地球北极向南极看,都是以反时针方向自转。

(3) 虽然太阳本身占有太阳系质量的 99.9%,但 99% 的角动量集中在大行星内。

(4) 大多数行星与太阳的相对距离符合提丢斯-波得定律,即行星轨道半径若用天文单位来计算,可表示为:

$$a_n = 0.4 + 0.3 \times 2^{n-2}$$

式中, a_n 为轨道半径; n 为各行星的编号,水星为 $-\infty$,金星为 2,地球为 3,火星为 4,小行星带为 5,木星为 6,土星为 7,天王星为 8,海王星为 9。

(5) 行星按其物质组成可分为两类,水星、金星、地球和火星为一组密度大、体积小、自转慢、卫星少、主要由硅酸盐组成、具有固体外壳的行星,被称为类地行星;离太阳较远的木星、土星、天王星和海王星,被称为类木行星,它们都有很厚的大气圈,密度小,它们更像太阳。

2. 太阳系的起源

太阳系从何而来,至今已有 50 多种不同的学说或假设,但就其实质而言,大致可归结为两大阵营:灾变说和星云说。灾变说的实质是认为太阳先于行星和卫星形成,一次或几次突然的剧变中从太阳中分离出的物质或是被太阳捕获的物质形成了行星和卫星;星云说则主张太阳系都是由一块星云物质凝聚而成的。

1755 年,德国哲学家康德假设一种原始的、缓慢旋转的气体云(现在称之为星云),在万有引力的作用下逐渐分别凝聚,形成了太阳系内的各天体(图 1-1)。

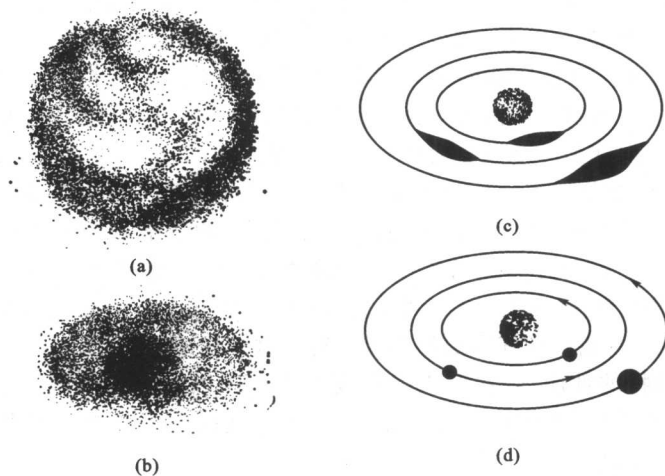


图 1-1 星云说图示(转引自 F. Press EARTH)

(a) 弥散的,大致为球形的、缓慢旋转的星云开始收缩;(b) 由于收缩和旋转形成一个快速旋转的扁平圆盘,物质向中心聚集;(c) 继续收缩,形成原始太阳,留下物质环;(d) 各个环的物质凝聚成行星,绕太阳旋转

法国大数学家拉普拉斯(Laplace)于1796年提出了与康德大同小异的见解,他设想太阳系本是一团旋转着的炽热气体,由于冷却收缩而自转加快,离心力也随之增大,特别是在云团的赤道一带最大,因而变得扁平如圆盘。当旋转速度快到一定程度,这个圆盘外缘的惯性离心力会使一部分物质分离出来,并分别凝聚成行星,星云中心部分则收缩为太阳。

康德-拉普拉斯星云说,解释了当时已认知的六大行星的轨道都近于圆形并在同一平面上,以及它们的自转和公转方向的一致性等问题,所以在19世纪风靡一时。但是太阳系中仍有许多问题是星云说所不能解决的,特别是在19世纪结束时,芝加哥天文学家莫尔顿(F. R. Moulton)指出,星云说违背了角动量守恒定律。因为依据角动量守恒定律,汇聚星云大量物质的太阳应集中太阳系的大多数角动量,但事实上太阳并没有旋转得更快。鉴于此,星云说失去了一度占主导的优势,又有新的假说出现。

20世纪初期,太阳系起源于外来天体的撞击或吸引等偶发事件的假说曾一度盛行。设想外来的星体擦过或撞击了太阳,使太阳中的物质从太阳中分离出来形成了其他行星。也有的认为是太阳接近其他星体时捕获了一些物质形成了其他行星。可惜的是这些假说都有致命的弱点。根据天文学家的意见,从太阳喷出的物质,具有很高的温度,它们会剧烈地爆发而散布空间,不会凝聚成行星。而且广垠无际的空间使得两颗大星体接近的可能性极小。

因此人们重新想到了星云说,不仅因为它本来包含有许多合理因素,而且人们开始认识到康德和拉普拉斯都是仅在力学上去解释,而在太阳系中不仅有引力作用,还存在其他多种物理作用。随着科学技术的飞速发展,人们对星云说作出了修正和补充。1942年瑞典物理学家阿尔文(H. O. G. Alfen)提出太阳可以通过磁场作用,把自己一部分角动量转移给形成行星和恒星的云团,从而使星云说进入了柳暗花明又一村的境界。

我们讨论太阳系起源问题有几种理由,其一,我们可以合理地考察地球的现状,而行星开始时的状况是了解地球整个历史过程中如何发生变化的重要约束条件。其二,行星起源思想的成长,是科学史中一个有趣的故事,它展现出成功的学说是如何提出、舍弃、复活,以及如何根据新的观测数据和理论进行修正的历程。

二、地球的形状与大小

随着人类对地球认识的加深,人们对地球形状与大小的认识也愈来愈准确。目前,通过人造卫星的观测和计算,已能较精确地获得地球形状的数据。地球表面是非常崎岖不平的,我们通常所说的地球形状是指大地水准面所圈闭的形状,所谓大地水准面(Geoid)是指由平均海平面所构成并延伸通过陆地的封闭曲面。

地球的整体形状十分接近于一个扁率非常小的旋转椭球体(即扁球体)。其赤道半径略长,两极半径略短,极轴相当于扁球体的旋转轴。国际大地测量与地球物理联合会1980年公布的地球形状和大小的主要数据如下:

赤道半径	6 378.137 km
两极半径	6 356.752 km
平均半径	6 371.012 km
扁率	1/298.257