

构造地球化学成矿学

何德善题



李祖材著

中南工业大学出版社

构造地球化学成矿学

(TECTONOGEOCHEMICAL METALLOGENY)

李 祖 材 编著

(By Li Zucan)

中南工业大学出版社

(Central South University of Technology Press)

1999·长沙

构造地球化学成矿学

李祖材 编著

责任编辑:陈灿华

*

中南工业大学出版社出版发行
核工业中南230研究所印刷厂印装
新华书店总店北京发行所经销

*

开本 787×1092 1/16 印张:23.25 字数:570千字 插图:1

1999年9月第1版 1999年9月1次印刷

印数 001-500

*

ISBN7-81061-179-8/P·005

定价:30.00元

本书如有印装质量问题,请直接与承印厂家调换
厂址:湖南长沙 邮编:410011

序

成矿学研究，是找矿预测研究的基础研究工作。李祖材教授所著的《构造地球化学成矿学》是一部总结了国内外有关成矿学的较新成就并结合具有我国大地构造成矿特色的众多实例和找矿经验写成的专著。内容丰富，观点新颖，可供地质院系师生特别是年青的地质勘查工作者从事区域成矿规律和找矿研究时参考。

陈国达

(国际地科联矿床大地构造委员会副主席兼地
洼组主席；国际地洼构造与成矿研究中心主
席；中国科学院院士；中南工业大学学术顾
问；中科院长沙大地构造研究所名誉所长)

1998-11-25

前言

构造地球化学成矿学 (TECTONOGEOCHEMICAL METALLOGENY) 是成矿学的一个分支, 它不仅包含大地构造 (含次级构造)、地球化学和矿床学三个学科, 而且与矿物学、岩石学、地球物理学、地史学、同位素地质学和海洋地质学等学科均有很密切的联系。但是, 其中大地构造、地球化学和成矿学 (矿床学) 起重要作用。由于地球化学 (其分支主要为矿床地球化学、矿物地球化学、构造地球化学、元素地球化学、实验地球化学等) 涉及成矿的矿源, 特别是它的迁移和富集是受大地构造控制的, 所以归根结底, 仍然是大地构造起主导作用。因此, 必须把大地构造学、地球化学和成矿学的概念有机地联系起来, 才能形成一个构造地球化学成矿学整体。

关于成矿学的研究, 早在 18 世纪中叶就已经开始了。到 19 世纪后半期 И. А. 波列季卡 (1860) 曾经提到过矿床分布规律的意义。不过, 直到 20 世纪初期, Доне (洛涅 1913) 才引入“成矿学”、“成矿区”、和“成矿期”的概念。^[1]

成矿学, 这门科学特点之一就是, 它与新的矿产基地预测和发现密切相关。А. Д. 谢格洛夫 (1985) 说: 成矿学是打开大门的钥匙, 现在许多国外的研究者都有这样的认识。^[2]

由于成矿学研究的迅速发展, 它的领域很快从点到面, 从狭窄到宽广, 因而就有各种各样的分支学科, 如: 普查找矿或成矿预测学、矿化区成矿学、全球性成矿学、金属成矿学、非金属成矿学等等。因此, 本书采用构造地球化学成矿学这一名称, 既实事求是, 又可一目了然地说明成矿学的客观规律性。

构造地球化学成矿学是地洼学说的一个组成部分。由于这个学说的先进性, 并在国内外找矿中已获公认 (见下面大地构造发展史), 本书的大地构造理论除主要以卓越的大地构造学家、国际矿床大地构造委员会副主席、中国科学院院士、中南工业大学陈国达教授创建的地洼学说, 特别包括其两本专著《成矿构造研究法》(1978)^[3]、《地洼学说讲义》(1958)^[4]为基础外, 同时, 兼收了其他学派如板块构造说、槽台说和层控矿床说等的长处。

按照地洼学说的成矿理论核心, (动“定”转化) 递进成矿、多因复成矿床的思想, 本书内容原则上分为八大组成部分与七大成矿建造类型。八大组成部分分别是: (一) 总论; (二) 前地槽型成矿建造; (三) 地槽型成矿建造; (四) 地台型成矿建造; (五) 地洼内生-外生型成矿建造; (六) 地洼花岗岩型成矿建造; (七) 地洼层控与多因复成矿床型成矿建造; (八) 地洼陆缘海型成矿建造。七大成矿建造类型将依次予以论述。

从上述的七大成矿建造类型看来, 从第二到第七属于陆壳成矿区 (带) 的成矿建造。而只有第八属于海陆过渡成矿区 (带) 的成矿建造; 由于它存在着与陆壳区相同的构造单元, 故成矿建造的划分与陆壳区 (带) 相对应。不过, 依它的总体特殊性, 还可再分为下列几个亚建造 (但非一律齐全), 它们是: (1) 海水含矿亚建造; (2) 海滩成矿亚建造; (3) 大陆架-大陆坡成 (含) 矿亚建造; (4) 岛屿-岛弧-海沟, 成 (含) 矿亚建造。

这里需要指出的是, 其中没有包括洋壳或海底成矿区 (带) 的成矿建造。

不同的大地构造单元, 具有不同大地构造在一定程度上的成矿专属性。譬如在前地槽区

(主要是太古代)成矿建造中,多形成与变质杂岩或(和)科马提岩系有关的铁、金、铜、白钨等矿床建造(其中多属“多因复成型”或“层控型”矿床建造(可参见第七章));在地槽区成矿建造中,多形成与基性—超基性岩或蛇纹岩有关的铬、铁、锰、镍等矿床建造;在地台区成矿建造中,多形成与侵入—喷出的基性或中酸性岩有关的内生钛铁矿及外生的铝土矿、煤、油、盐等矿床或含矿建造;在地洼内生—外生型成矿建造中,除地洼花岗岩(见下面第六章)外,多形成与酸性斑岩、中酸性花岗闪长岩、玢岩及中基性岩等有关的内生钨、锡、铜、钼、铝、锌、铁及外生锑(红锑)等矿床建造以及油气、煤、油页岩、盐等含矿建造;此外,与爆发超基性岩有关的含金金刚石金伯利岩也多在本建造区域中出现;在地洼花岗岩型成矿建造中,多形成与酸性—超酸性花岗岩有关的钨、锡、铌、钽、铀、钍及稀土等矿床建造;在层控矿床与多因复成型成矿建造中,前者多形成与沉积—变质—改造有关而且有一定层位的锑(硫化物)、汞、铅、锌、银、镉、钨、铀等矿床建造,后者多形成“三多”到“五多”即多成矿阶段、多成矿作用、多物质来源、多成因类型和多控制因素的铁、金、铜、铀及稀土等矿床建造;在地洼陆缘海型成矿建造中多形成与岛屿、大陆架沉积建造有关的含油、气、磷、盐、溴建造等。

本书系总结经验与综合研究相结合的专著。其目的和动机,除献给中华人民共和国成立五十周年外,在于:(1)马克思主义中指出:科学不是自私自利的享受,有幸能够致力于公开研究的人,首先应该拿自己的学识为人类服务^[5]。(2)邓小平理论中指出:科学技术是第一生产力^[6]。(3)以笔者在六十多年(从1936年迄今)来的教学、科研和学习工作中的点滴认识或经验全部拿出来,为培养我国青年地质学家和为在我国辽阔的(内陆—海洋)国土上开展普查找矿工作中,多快好省地找到所欲找的矿床(产)或划出可靠的远景区。(4)为把笔者自1957年10月到1979年4月被关在“牛棚”里而失去的22年时光夺回来。

可是,由于本书内容涉及的学科多、地区广,各种不同时空关系的成矿建造的形成和分布又非常复杂,而且笔者水平有限,因此,书中难免存在片面、谬误、缺点,或遗漏等,敬希读者多多指正!

在编写过程中,先后获得中科院院士、中南工大博导陈国达教授在编写提纲上以及其他各章内容上均提出过许多宝贵的意见;中国工程院院士、原中南工大校长、博导何继善教授除在业务特别是在地球物理方面提出过许多宝贵意见外,在非业务尤其在本书稿脱稿后出版方面均给予大力支持和帮助;中南工大博导何绍勋教授在本书第一章总论和其他各章的小或次级构造方面提出了许多宝贵意见。孔华博士后在本书小或次级构造方面提出过许多宝贵意见并提供一些资料。当然,缺点错误等应由笔者完全负责。另外,书中有十多幅地质图是中南工大资环建工程学院建筑工程系学生武锐同学在百忙的学习中,热忱地抽空帮助描绘的。本书现在出版了,笔者在感奋之余,谨向上述诸位以及引用的300多位中外参考文献作者单位或个人致以深切的谢意!

编著者:李祖材

1998年12月于中南工业大学

FOREWORDS

As a branch of metallogeny, Tectonogeochemical metallogeny separated before long from the study of mineral deposits, not only involves geotectonics, geochemistry and the study of mineral-deposits, but also links closely with mineralogy, petrology, geophysics, historical geology, isotope geology and marine geology etc., while geotectonics, geochemistry and metallogeny play the important roles. Since geochemistry (its main branches such as mineral deposit, mineral-, tectonic-, element- and experiment-geochemistry), being the metallogenic sources, especially their migration and enrichment, is controlled by geotectonics, and the later ultimately plays the dominant role, therefore the conceptions of geotectonics, geochemistry and metallogeny should organically link to gether to form an entirety of TECTONOGEOCHEMICAL METALLOGENY.

The research done in the metallogeny began as long ago as the middle of the 18th century, and in the latter half of the 19th century И. А. Понетика (1860) first mentioned the significance of the distribution law of ore-deposits. Till early in the 20th century, Д. Делоне (1913) introduced the concepts of metallogeny, mineralization period and minerogenetic provinces.

Owing to the rapid development of metallogeny research, the research domain expands speedily from spot to plane, narrow - to broad - scale, and its various branches are gradually established, such as reconnaissance and prospecting or metallogenic-prognosis metallogeny, mineralized-district metallogeny, global metallogeny, element-metallogeny, metal-metallogeny, non-metal-metallogeny, and so on. Therefore, this book is now entitled "Tectonogeochemical Metallogeny". It is believed that this title is practical and realistic and gives a clear explanation of objective law of metallogeny at a glance.

The Tectonogeochemical Metallogeny is an important component of the diwa theory. Due to the progresssive of diwa theory and its great success of prospecting ore-deposits at home and abroad, the geotectonic theory applied in this book is based predominantly on Mr. Chen Guoda's diwa theory and one of his famous book "Research Methods of Mineralizing Structures". Mr. Chen is a remarkable geotectonist, Vice-Chairman of International Ore-deposit Geotectonics Committee, member of Chinese Academy of Sciences, and professor of Central South University of Technology. At the same time, the merit of some other remarkable theories and hypothesis, such as plate tectonic theory, geosyncline-platform theory, and theory of fault-block tectonics etc., has also been referred to in this book.

According to the kernel of diwa metallogenic theory, i.e. the concepts of progressive (with transformation between mobile and stable regions) and polygenic-compound metallogeny, the contents of this book are divided into eight chapter and seven types of mineralizing formations (MF). The headings of eight chapters are listed as follows:

1) General Introduction;

- 2) Mineralizing Formation (MF) of Pregeosyncline Type;
- 3) MF of Goesyncline Type;
- 4) MF of Platform Type;
- 5) MF of Diwa Endogenic-Epigenic Type;
- 6) MF of Diwa-granite Type;
- 7) MF of Diwa Stratabound Ore-deposits, or Polygenic-Compound Ore-deposits;
- 8) MF of Diwa Continental-margin Type.

In respect to the seven types of MF, from the second to eighth chapters all of them are dealing with the MFs of continental crust mineralized districts, but only the eighth one with the MF of continental oceanic transitional mineralized district. Different geotectonic-elements to a certain degree possess different geotectonic metallogenic specificities. For example, in the MF of Pregeosynclinal area (mainly in Archean era) there are mostly ore deposits formations (OF) of iron, gold, copper, and scheelite, related to metamorphic complex and/or kermatiite, and most of them belongs to OF of polygeniccompound types or stratabound types (see chapter seven); in the MF of geosynclinal region, the OF of chromium, iron, manganese, nickel etc., related to the basic-ultrabasic rocks or ophiolite, in the MF of platform region, mostly endogenic deposits or orebearing formations of gregorite and epigenic ones of bauxite, coal, oil (petroleum), salt etc., related to intrusive-extrusive basic or intermediate rocks; in the MF of diwa-granite type, mostly OF of tungstun, tin, niobium, tantalum, uranium, thorium and rare-earth elements etc., related to acidic rocks and hyperacidites; in the diwa endogenic-epigenic MF, mostly tungstun, tin, copper, molybdenum, lead, zine, iron deposits and epigenic antimony (antimony blende) etc., related to acidic porphyry, intermediate granodiorite, porphyrite and intermediate-basic rock etc., as well as ore-bearing formations of oil, gascoal, oil shale and salt etc., furthermore, in this area also with diamond-bearing kimberlite, related to explosive ultrabasic rocks, in the MF of diwa stratabound and polygenic-compound deposit types, the OF of the former type is formed by sedimentary-metamorphic reconstruction, moreover in certain stratigraphic horizon with OF of antimony (sulfides), mercury, lead, zinc, silver, cadmium, tungstun and uranium, and the MF of the later type is consisted of OF of iron, gold, copper, uranium and rare-earth elements, formed by multi-mineralized stages, multi-mineralizations, multi-sources, multi-genetic types and multi-controlling factors; in the MF of diwa continental-margin type there are oil-, gas-, phosphorous-, salt-and bromine-formations related to the sedimentary formations of island and continental shelf.

The main aim of this book is to enhance the quantity and quality of the trained young geologists, enabling them to find desired ore products and map out reliable long-range perspective region in a better and more economical way, when they are carrying out the work of reconnaissance and prospecting ore deposits in our extensive territory. Science as what Marx observed, is not absolute selfish and of benefit only for oneself. One who is lucky to devote his life to the scientific research must apply his knowledge to serve his country and mankind. At the same time, the theory of Deng Xiaoping told us that the science and technology are the first power of the all produc-

tions. Meanwhile this book is also dedicated present to the 50th anniversary of the founding of P.R.C..

As time is pressing and the contents of the book which touch on many subjects and extensive regions, and the formation and distribution of every kind mineralizing formation with different space-time relation are very complex, it seems to be very difficult for the author to make a clear and overall statement with only a limited knowledge. There must be unavoidably one-sided views and errors. Any criticism and correction from the readers will be greatly appreciated.

In the course of compilation, professor Chen Guoda who went over the compilatory outline, provided many valuable opinions and a lot of useful data. Professor He Jishan who is academician of Chinese Academy of Engineering granted long-termed support and helped with all his kind effort, and provided some beneficial support in published fund. Professor He Shaoxun also proposed some suggestions mainly in minor-scale structure in 1st chapter and the other chapters. But the author himself, in fact, is responsible solely for the defects or mistakes of his own. Postdoctor Kong Hua give some opinions for correction. Wu Yue, a student of the Faculty of College of Resources, Environment and Civil Engineering of CSUT, helps to depict tens of illustrations. The author is deeply grateful to all of them for their help.

Now, this book is published, the author is very thankful to everybody who gives help to this book, thanks to those who provides data from thier research papers sincerely.

Li Zucai, 1998.12

The Central South University of Technology.

《构造地球化学成矿学》作者简介

一、基本情况：李祖材，男，汉族，1905年6月出生，广西藤县人，1930年夏-1936年（二年预科，四年本科）毕业于中山大学地质系（理学士）。现在是：中共党员，中南工业大学教授（1987年退休）。

历任：1936年夏中山大学地质系助教，1940年广西第二区矿务处技士；1944年春-1945年3月广西省营合山煤矿工程师兼工务股长；1945年8月调到广西省政府建设厅技正兼探矿队长；1949年春任广西大学矿冶系副教授，1949年12月任中国人民解放军桂林军管会厂矿农林物资接管部门专员干部（小灶待遇）；1950年10月任广州中山大学地质系教授，1952年10月全国院系调整时，从广州北来长沙，参加中南矿冶学院建校（现改为中南工业大学）任地质系教授、硕士生导师、博士生导师聘任教师指导成员、教授、副教授职称评委，直至于今。

二、教学科研成果为：I、专著：（1）《岩石与造岩矿物》1946年桂林，上海合办的文化供应社出版；（2）《广西地质与矿产资源》（1950年广西省人民政府科技出版）；（3）《地球化学与找矿》科学出版社59年版；（4）《汉语主题词表》（合作）科学文献出版社99版，获85年国家科技进步奖二等奖；（5）《构造地球化学成矿学》（中南工大出版社，1999年9月14日见下面三）。II、主要论文30篇，其中如：（1）《论广西原生锡矿床的大地构造类型、特征及其物质来源（大地构造与成矿学）月刊，88年12（1）；（2）论钛元素在不同大地构造地球化学单元的成矿特征——以藤县南部风化壳——沉积钛矿床为例（中南工大学报，95年第4期）；（3）论中国合煤建造的特征及其成因分类（中国科学院长沙大地构造研究所（集刊）第一号，科学出版社，84年版……等等。

三、探讨《构造地球化学成矿学》的目的动机的说明：

1、本书57万字，是经过我一双手写成的。2、出版时不仅不受稿酬，而且倒资助15000元给出版社。3、目的和动机是除献给中华人民共和国成立50周年外，还在于：（1）马克思主义中指出：科学不是自私自利的享受，有幸能够致力于公开研究的人，首先应该拿自己的学识为人类服务。（2）邓小平理论指出：科学技术是第一生产力。（3）以笔者在六十多年（1936年迄今）来的教学、科研和工作学习中的点滴认识或经验全部拿出来为培养我国青年地质学家和为我国辽阔的（内陆——海洋）国土上开展普查工作中，多快好省地找出所欲找的矿床（产）或划出可靠的远景区。（4）为把笔者自1957年10月到1979年4月被关在“牛棚”里而失去的22年时光夺回来。（见书中前言第2页中间的一段）。

4、本书的出版时间：1999年9月14日

目 录

1 总论	(1)
1.1 地球的起源概述	(1)
1.2 地球的形态、大小和质量	(3)
1.3 地球的构造及其物理化学特征	(4)
1.4 大地构造学、地球化学和成矿学(矿床学)发展史	(42)
1.5 成矿建造类型的划分与本书采用的成矿建造分类	(50)
1.6 构造地球化学成矿学研究法	(52)
2 前地槽型成矿建造	(54)
2.1 前地槽构造层的概念及其地质年龄	(54)
2.2 前地槽构造层的发展演化	(56)
2.3 前地槽型成矿建造与成矿作用特征	(57)
2.4 前地槽型重点矿床建造实例	(60)
3 地槽型成矿建造	(80)
3.1 地槽学说的起源和发展	(80)
3.2 地槽区的划分与中国地槽区的发展概况	(80)
3.3 地槽型成矿建造中的成矿控制因素	(82)
3.4 地槽型成矿建造及重点矿床建造举例	(85)
4 地台区成矿建造	(120)
4.1 地台区与地台区类型的划分及其演化	(120)
4.2 地台区的控矿特点	(121)
4.3 地台区成矿建造及重点矿床建造的特征和实例	(123)
5 地洼内生-外生型成矿建造	(161)
5.1 地洼区的形成与地洼区类型的划分及其分布	(161)
5.2 地洼区、地槽区和地台区的区别	(163)
5.3 地洼型成矿建造与成矿控制	(166)
5.4 地洼型重点成矿建造的特征和实例	(174)
6 地洼花岗岩型成矿建造	(232)
6.1 地洼花岗岩型成矿建造概述	(232)

6.2	华南地洼花岗岩的地球化学特点与成矿专属性的关系	(235)
6.3	地洼花岗岩型几种重点成矿建造的特征和实例	(239)
目 录		
7	地洼层控型与多因复成型成矿建造	(282)
7.1	地洼层控型与多因复成型成矿建造概念和概述	(282)
7.2	几种重点地洼层控矿床建造实例	(288)
7.3	多因复成矿床型成矿建造及实例	(303)
8	地洼陆缘海型成矿建造	(309)
8.1	地洼陆缘海的概念及其成因概述	(309)
8.2	我国陆缘海的大地构造性质和划分	(309)
8.3	海洋地球化学的探测简介	(313)
8.4	地洼陆缘海型成矿建造类型的划分及实例	(318)
参考文献		(349)

第1章 总论

总论不是探讨或阐述成矿建造的具体内容，而是探讨或阐述它们成矿的大前提即它们的物质来源、形成、发展、演化和成矿学的研究法。归纳起来，主要包括以下几个部分。

1.1 地球的起源概述

《构造地球化学成矿学》三大组成部分中，能满足工业建设和人类生活需要的主要是成矿学（矿床、矿石）这一部分。而成矿学中特别重要的首推成矿建造的物质来源（矿源）。研究成矿的矿源，就必然会涉及地球的起源（形成）及其演化历史。因此，在探讨成矿学和（或）成矿建造问题时，有必要从地球起源说起。而地球是太阳系九大行星之一。显然，要探讨或了解地球的起源，必需结合太阳系在一起进行研究。

关于地球和太阳系起源问题的研究，已有5个世纪了。其中，300多年前，爱尔兰的一个大主教乌索尔公开宣称“地球是在公元前4004年10月23日一个星期天，被上帝创造出来的”；我国封建统治阶级说“地球是盘古氏开天辟地，经历18000年才成大地的”，这些全属神话，荒唐透顶，早已被科学无情揭穿和丢弃。16世纪中有波兰天文学家N.哥白尼（1473~1543）的“日心论”，17世纪末到18世纪初有牛顿（1642~1727）的“万有引力论”以及18世纪中叶和末叶的I.康德（1755）-P.S.拉普拉斯（1796）先后提出基本观点相同的“原始星云假说”等三个假说。从部分天文资料看来，几乎一致认为这三个假说中既有进步的一面，又有落后或者不够完善的一面。例如在19世纪后，一些研究者指出，康德-拉普拉斯的原始星云说对于太阳系一些观测事实，如太阳系的角动量分布的特殊性，即太阳的质量大但角动量小，行星的质量小而角动量大，未能给予合乎力学原理解释等等。于是进入20世纪后，各种各样关于太阳系和地球的形成与发展的假说，蓬蓬勃勃地发展起来。到了70年代，太阳系和地球形成和发展的假说已达100个以上。归纳起来，主要可以分为灾变说、俘获说和次生星云说三大类。

“灾变说”于1745年由法国动物学家G.L.L.布封首先提出。他认为在开始时，曾有一个恒星走近太阳，引潮力使太阳一部分物质分离出来形成行星；另外，又有一些研究者如美国地质学家T.C.钱伯伦1900年提出的“星子说”，1900年瑞典化学家S.V.亨尼和1929年H.捷弗里斯提出的“碰撞说”等与G.L.L.布封的假说相类似，都属于把行星的起源归结为一次偶然的灾难性事件，因此被统称为“灾变说”。该说虽然避开了康德-拉普拉斯星云说的困难之处，但同样受到科学家的强烈反对。其中有人指出，在太阳所在的银河系里，各个星体的分布非常分散，平均每35立方光年的体积内，才有一个恒星，换言之，若恒星的体积象乒乓球那么大，在日本国土那么大的地方，离一千公里的范围内才有一个乒乓球。试想，在这种情况下，又怎么可能发生两个乒乓球碰撞呢？当然，还有其他问题，所以“灾变说”很快就被人们抛弃了。

“俘获说”是以前苏联学者 O. IO 戈尔德施密特 (1944) 为代表的假说。他认为形成太阳和行星的物质有不同的起源。他还指出地球在刚刚形成时不是灼热的, 而是冷冰冰的, 后来才热起来。对“俘获说”最有力的批评, 是近年来的宇宙化学研究中, 对太阳的元素丰度和同位素组成的分析。这些分析证明太阳与各行星包括那些在空中漫游的陨星在内, 都有极其相似甚至完全一致的组成。这显然说明它们是来自一个物质演化的结果。还有其他许许多多的事物的形成、发展、演化和分布都与俘获说相矛盾。在受到批评以后, O. IO. 戈尔德施密特于 1953 年自己承认, 太阳遇到星际云并俘获足够物质来形成行星的可能性很小。

次生星云说 (又称现代星云说)。这个假说认为地球或 (和) 太阳系是从一种被超新星 (老恒星) 爆发残余物质污染过的星际气体—尘埃云 (次生星云) 演化而成的; 并且认为超新星爆发对充分挤压、分裂星云和触发太阳系星体初始形成方面有重要作用^[7]。现在看来, 支持这个假说者多得很, 我国著名科学研究者范时清 (1982) 就是其中之一^[3]。范时清支持康德—拉普拉斯提出的“整个太阳系由同一星云收缩形成”和“落在生长着的行星上的质量把角动量带给它”的观点, 但认为康德—拉普拉斯关于包括太阳系在内的所有天体均是从原始星云 (稀薄的原始气态星云) 中形成的说法, 是不够完善的。特别是对地球或太阳系是否同宇宙所有天体一起, 直接从这种稀薄的氢原子气体组成的原始气态星云中诞生的观点持否定的见解。

此外, 范时清还着重指出, 次生星云说之所以受到许许多多科学研究者 (包括他在内) 的支持或被接受, 不无原因。其中主要是近年来的物质分析证明或表明: 现今已知太阳系存在 94 种稳定的放射性元素, 包括同位素共约 200 多种。其中, 在地球海洋的海水中就发现有 80 多种化学元素。而地球上所有的元素, 在太阳里面大多数也有。组成太阳系 (包括地球) 的绝大部分元素, 特别是比铁还重的 Co、Ni、Cu、Zn、Pb、Ag、I、Pt、Au、Hg、Ra、La、Th、V 等, 是在太阳形成前, 创造我们现在所见到的地球物质的宇宙烈火中留存至今的最后一点余烬。例如在地球与海洋中所发现的铀, 它应当是在太阳系形成之前就存在了, 它一定比太阳系的年龄还要大些; 诚然, 有人通过理论计算, 证明地球里的铀是 65 亿年前生成的。由此可以使我们作出这种推断: 即在太阳系生成之前, 在太阳系即将出现的位置附近, 一定曾发生过超新星爆发。这种大规模爆发过程生成相对原子质量 ≥ 70 的重元素和超铀元素, 并将合成的物质和先前恒星内部生成的碳、氧、氮、氦、镁、硅、硫、铁……那样较重元素驱回星际空间, 并污染星际尘埃云, 从而使得该处的星际气体—尘埃云中混合有许多重元素。而这些受污染的气体—尘埃云 (即“次生星云”) 就是后来形成地球或太阳系的原始材料。

其次, 从早期太阳抛射出的部分物质加入星云, 又增加了它的转动速度。这时候, 在星云赤道面里, 自转离心力和吸引力达到相对平衡状态, 而它内部却发生激烈的变化, 尘埃物质达到作为凝聚的核心聚集成“星子”, 并下沉到赤道面, 形成星世盘。星世盘由于引力不对称, 通过一系列引力吸积作用, 星子碰撞粘合成团块, 团块间碰撞粘合又增大而生成行星胎, 最后形成行星 (包括地球)。

另外, 近年来科学研究者获得一些从陨石得来的新证据, 如美国加州理工学院的 G. J. 瓦塞保领导的小组所研究的那些从陨石得来的微粒是碳粒陨石中显微包体, 这些陨石被认为是代表太阳系中最古老的物质。而这种物质同超新星爆发有关。总之, 仅仅据上所述, 笔者认为“次生星云说”确比康德—拉普拉斯的“原始星云说”前进了一大步。但是这种假说,

可能还有问题。譬如按照张庆年（1985）在某些陨石中发现的同位素异常，使人们觉察到在太阳系形成时，常有一些不属次生星云本身的外来物质的加入。这就使得许多人猜测，原始星云从原来均匀稀疏的稳定状态开始吸积、演变，很可能与邻近空间的超新星爆发引起的扰动有关。又如宇宙航行还发现在土星附近的某个区域，存在着一团比太阳温度还要高出十万倍的气体。这个气体团的发现，使人们不禁要问，它在太阳系的形成和发展过程中究竟占有什么样的地位呢^[8]？

综上所述，关于地球起源问题还有待于广大自然科学研究者特别是天文学家、地球物理学者、海洋学者和地质学者等进一步深入探索。

1.2 地球的形态、大小和质量^[9]

地球的真正形态、大小和质量，是极其复杂的，它不与任何数学法表示的图形相吻合。在本世纪 60 年代前，许多科学家认为地球体与两极呈稍扁平的旋转椭圆体（二轴椭圆体）相差是极其微小的。这就涉及扁平率的问题。

地球的扁平率，一般又称扁率，它是描述地球形状最主要的一个数字。扁平率的定义是： $e = (a - c) / a$ ，它与扁心率不同，后者的定义是： $e = \sqrt{a^2 - c^2} / a$ 。

测定扁平率的方法，过去都是用几何法测量，这种方法很麻烦而且精确度很低。人造地球卫星出现以后，扁平率的精确度大大提高，这是因为地球形态对卫星轨道变化有极灵敏的影响。由此可以观测卫星轨道面的转动速度，精确地求出 $e = 1/298.25$ ，准确到三万分之一。

1971 年，根据第 15 届国际大地测量和地球物理协会决议，采用有关地球形态和重力的数据如下：

a = 地球赤道半径 = 6378.160 km；

c = 地球的极半径 = 6356.755 km；

$\frac{2a + c}{3}$ = 地球平均半径 = 6371.00 km；

$e = \frac{a - c}{a}$ = 地球的扁平率 = 1/298.25；

g_e = 地球赤道重力加速度 = 978.0318 cm/s²；

g_p = 地球两极重力加速度 = 980.2177 cm/s²；

ω = 地球自转角速度 = 7.2921×10^{-5} rad/s。

由此可以计算：

$m = \omega^2 a / g_e = 3.46776 \times 10^{-3} = 1/288.371$ 。

1975 年 9 月，国际大地测量学和地球物理联合会在格勒诺布尔举行的第 18 届全会推荐了下列大地测量常数的代表值：

真空中的光速 = $c = (299\,792.458 \pm 1.2)$ m/s。

牛顿的引力常数 = $G = (6672 \pm 4.1) \times 10^{-14}$ m³/cm²·kg。

地球旋转的角速度 = $\omega = 7\,292\,115 \times 10^{11}$ rad/s。

包括大气在内的地心引力常数：

$$GM = (3\,986\,005 \pm 3) \times 10^8 \text{ m}^3/\text{s}^2。$$

$$GM_A = (35 \pm 0.3) \times 10^7 \text{ m}^3/\text{s}^2。$$

$$\text{地球赤道半径} = G = (6\,378\,140 \pm 5) \text{ m}。$$

$$\text{赤道的标准重力加速度:} \quad R_e = (978\,032 \pm 1) \times 10^{-5} \text{ m/s}^2。$$

$$\text{地球扁平率的倒数:} \quad 1/f = (298.257 \pm 1.5) \times 10^{-3}。$$

$$\text{大地水准面势:} \quad \omega_0 = (6\,263\,683 \pm 5) \times 10 \text{ m}^2/\text{s}^2。$$

$$\text{重力势的基准常数:} \quad R_0 = (6\,363\,676 \pm 5) \text{ m}。$$

上面的 m 为赤道离心加速度与地球引力加速度的比值，是一个可以另外测定的参数，和 e 相比是相同数量级的小数。阿西摩夫 (Asimov, 1972) 据此提出通过赤道的地球直径比通过两极的地球直径长 42.5km (亦即前者为 12682.2 km, 后者为 12639.7km)。但徐宝荣等 (1983) 认为南北两极不对称，南极较北极离地心近一些，在北极凸出 18.9 m, 在南极凹入 25.8 m; 又在北纬 45° 地区凹陷，在南纬 45° 则隆起。因此，徐宝荣等认为地球的形态既不是正球体，也不是扁球体，而是一个似梨非梨不规则的外形。但是，范时清 (1982) 认为地球是两极略呈扁平，赤道微向外鼓的椭球体。人造地球卫星还发现一些前所未有的现象，如北半球和南半球不对称，在中纬度某些地区略有凸出，所以地球既不是正球体，也不是扁球体，而是一个梨状体。北极位于梨柄处，南极位于梨底。显然，这些结论，还有待于进一步验证。

准确了解地球的形态和大小，就可以计算出地球的体积为 $1083320 \times 10^{12} \text{ km}^3$ 。

如果忽略地球的自转和扁平率，则地球表面的重力加速度应该是一个常数，等于 GM/a^2 。所以通过 g 的测量，可以计算出地球的质量：

$$M = 5974 \times 10^{21} \text{ t}^{[9]}$$

显然，地球的质量比太阳的质量小 333420 倍 (太阳的质量为 $1.983 \times 10^{33} \text{ g}$)。

1.3 地球的构造及其物理化学特征

关于地球的构造，通常把它分为地球外部构造及地球内部构造两大部分。外部构造又可分为大气圈、水圈、生物圈，它的物理化学特征将在后面阐述，这里首先介绍地球内部构造及其物理化学特征。

1.3.1 地球内部构造及其物理化学特征

地球内部由地壳、地幔和地核这 3 个物理化学特征不同的基本部分组成，它们约各占地球总质量为 (%)：地壳 (A) 0.8，地幔 (B) 0.4、(C) 16.4、(D) 41.0；地核 (E) 及 (F) 共为 31.5，(G) 为未知数 (见表 1.1)。

表 1.1 地球构造 (据古登堡-布伦)

(转引自简明地球化学手册, 1977 年)

壳 层	深 度 (km)	密 度 ($\text{g}\cdot\text{cm}^{-3}$)	体 积 百 分 比 (%)	质 量 (10^{25}g)	占整个质量的 百分比(%)
地壳(A)	0~33	2.7~3.0	1.55	5	0.8
地 幔	(B) 33~400	3.32~3.65	16.67	62	10.4
	(C) 400~1000	3.65~4.68	21.31	98	16.4
	(D) 1000~2900~	4.68~5.69	44.28	245	41.0
	(E) 2900~5000	9.40~11.5	15.16	188	31.5
地 核	(F) 5000~5100	11.5~12.0	0.28		
	(G) 5100~6371	12.0~12.3			

(一般认为 B 及 C 为上地幔, D 为下地幔; E 为外核, F 为液态, G 为内核。)

就目前来说, 虽然对地球深部物理状态和组成尚有争议, 但古登堡-布伦地球构造和组成模型被多数人接受。^[25]

1.3.1.1 地壳

地壳是指地球最上部 (或外部) 的一层硬壳。其空间范围是从地表到莫霍洛维奇分界面 (简称莫氏面或 M 界面)。也就是说, 莫氏面下面是上地幔 (B) 层圈 3。

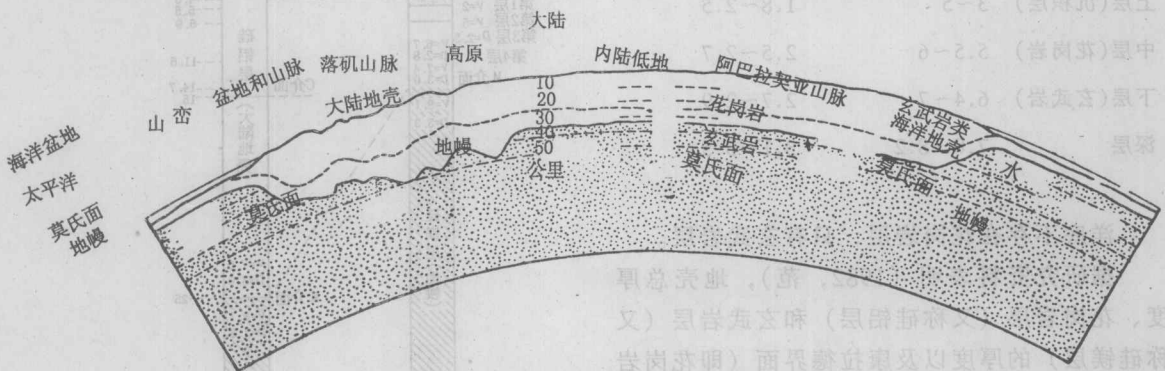


图 1.1 北美大陆剖面显示出莫氏面深度的变化 (据 A. 斯特拉勒, 1965 年)

莫氏面不论在大陆下面还是在海洋下面都可以用地球物理方法探测到, 它在整个地球表面基本上形成连续一圈的分布, 但是它在大陆下面和洋底下面的厚度并不一样, 图 1.1 十分清楚地表明地壳厚度的变化^[10]。一般的情况是: 大陆区 (块) 隆起越高的地方, 它下面的莫氏面埋藏得越深, 洋底越低洼的地方, 它下面的莫氏面出现的深度越浅。如果从我国的青藏高原到南海盆地把地壳 “切开” (见图 1.2), 那么可以看到在青藏高原下面, 莫氏面大约出现在 65~70 km 左右的深度, 到了我国东南沿海的平原地带和大陆架浅海下面, 莫氏面的深度平均只有 20~30 km, 到了南海深盆地下面, 莫氏面的深度只有 10 km 左右。如果越过菲律宾群岛继续往太平洋方向切过去, 可见莫氏面在洋底下面的深度减少到 5~6 km, 甚至 “尖灭” 掉。这就表明地壳既是在大陆地区厚, 在海洋区域薄, 形成不均匀的分布, 又是海陆地壳结构的第一个差异 (如图 1.3)^[11]。

在莫氏面上, 由于物质发生急剧的变化, 使面下层地震纵波 (P 波) 传播速度大于面上层纵波传播速度。这就是弹性波的传播速度 (平均 5~6 km/s) 和地壳各部分的密度 (平均