

---

## 图书在版编目(CIP)数据

陈国达全集/陈国达著. —长沙:中南大学出版社,2008.4  
ISBN 978-7-81105-645-7

I. 陈... II. 陈... III. ①陈国达-文集②大地构造学-文集 IV. P54-53

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2008)第 027502 号

---

## 陈国达全集

第七卷 活化构造成矿学

---

☐责任编辑 刘石年

☐责任印制 汤庶平

☐出版发行 中南大学出版社

社址:长沙市麓山南路

邮编:410083

发行科电话:0731-8876770

传真:0731-8710482

☐印 装 湖南省地质测绘印刷厂

---

☐开 本 787×1092 1/16 ☐印张 39 ☐字数 956 千字 ☐插页 3

☐版 次 2008 年 4 月第 1 版 ☐2008 年 4 月第 1 次印刷

☐书 号 ISBN 978-7-81105-645-7

☐全套定价 2280.00 元

---

图书出现印装问题,请与经销商调换

- “十一五”国家重点图书出版规划项目 ·
- “十一五”湖南省重点图书出版规划项目 ·
- 湖南省科学技术学术著作出版基金资助出版项目 ·

# 陈国达全集

The Complete Works of Chen Guoda

第七卷 活化构造成矿学

Volume VII Activated Tectonometallogeny

## 《陈国达全集》编辑出版委员会

顾 问 王淀佐 叶连俊 叶大年 郭令智 黄培云 翟裕生

主 任 孙 枢

副主任 黄伯云 何继善 王柯敏 尹飞舟 邹志强

委 员 (以下姓名按姓氏笔画排列)

王京彬 王海东 文援朝 左铁镛 古德生 邓吉牛

龙淑贞 刘业翔 刘宝琛 刘代志 刘国璞 刘继顺

杨心宜 邱冠周 吴延之 李昌佳 陈广浩 陈松林

金展鹏 范蔚茗 周裕藩 钟 掘 荣 诚 姜育文

黄 耀 彭省临 赖健清 戴塔根

常务编辑 刘石年 梅敦诗

---

## 资 助 者

---

《陈国达全集》之得以付梓，实赖下列单位和个人对编辑和出版工作的慷慨资助，陈国达亲属以及《陈国达全集》编辑出版委员会，谨对他们表示衷心感谢。

### 资助机构

中南大学

湖南省新闻出版局

湖南省科学技术厅

湖南省科学技术协会

中国科学院长沙大地构造研究所

中南大学地学与环境工程学院

### 个人资助

邓吉牛 彭省临 戴塔根 刘代志

刘继顺 吴玺虹 赖健清 木士春

学习陈老的精神  
发展地洼学说

周光召

（中国科学技术协会名誉主席，  
曾任全国人大常委会副委员长、中国科学院院长、中国科学技术协会主席）

真知灼見揚海外  
畢生心血獻中華

賀地洼學說創建50  
周年暨“陳國達全集”出版  
黃伯雲

（中國科學技術協會副主席、中南大學校長、中國工程院院士）

地洼學說  
創新紀  
道法文章  
勉後人

地洼學說創建五十年

暨《陳國達全集》出版

何建善恭賀



（中国工程院矿产与能源学部主任，湖南省科学技术协会主席，中国工程院院士）

为 21 世纪活化构造与成矿学发展创新国际学术研讨会题词

# 继承不泥古 发展不离新

对于任何一个前人的科学理论，都要一分为二，通过扬弃，发扬其精华，弃去其糟粕。并根据实践检验结果，修正其不符合客观实际之处，从事“创新”并发展它。

对于地洼学说(活化构造理论)也应如此，继承它时，不要受前人的看法所束缚，要根据实践检验结果和创新来实现，这样才能加以修正和发展。

陈国达

2001 年 10 月 29 日



# 独立思考 自主创新\*

(代自序)

清代学者叶燮曾说：“唯有识，才能是非明；是非明，才能取舍定。既不跟古人脚印，亦不跟今人脚印。”这句箴言如果用在今天来指导科学研究，依我个人的理解，就是对于前人的理论，要准确地了解清楚，分清其精华和糟粕，在批判地继承的基础上加以扬弃，并根据自己观察和实验的结果，独立思考，自主创新。它对我一生的科学事业都起了很大的作用。

我从青年时期开始，就有喜欢思考、验证的习惯。对一些认为值得怀疑的学术理论或观点，往往想到先去设法检验，或至少了解其有无充分事实依据，才愿意相信和接受。后来从事大地构造研究，正是由于这一习惯使我得到不少益处。

自19世纪后期以来，在地质学中，世界上最流行的有关地壳演化的理论为美国学者赫尔(J. Hall, 1859)、德那(J. D. Dana, 1873)以及奥地利学者徐士(E. Suess, 1885)相继提出并确定的“地槽-地台学说”。百余年来，这种学说一直流行于整个地球科学，被视为不需怀疑的真理。根据这个学说，中国东部大部分地区，向来被划为地台区，“中国地台”之名久被采用，并被人所深信不疑。我根据自己的长期观察与反复研究，结合对前人留下的大量资料的分析发现，这一地区在中生代中期(两亿年前)之前，虽然经历过“地槽区-地台区”阶段，与槽-台学说的论点无异，但自中生代中期开始，这个著名的“中国地台”上却先后不一地出现了新的情况：地壳运动转为强烈，尤以水平运动十分显著为特色，出现了陆内造山作用，断裂、褶皱、逆掩、推覆等构造众多，形成了反差很大的构造-地貌，高峻山脉与深浚盆地相间，出现盆-岭格局。同时有大量岩浆活动和变质作用，带来了以富于有色金属为特色的矿产。以“有色金属之家”著称于世的南岭，其矿产即主要在这一时期形成，其中不乏大至超大型矿床。这一地区目前新构造运动强烈，地震多见。有些地方，如黑龙江省五大莲池，200年前还有火山喷发。所有这些，都不是地台区作为稳定区(克拉通)应有的特征，而显然是活动区(造山带)的典型标志。这就使得槽-台学说难以解释，阻碍了人们对这一地区大地构造性质的正确认识，也就无法合理利用、改造自然，有效地寻找地下资源和消减自然灾害。

科学研究的目的是，准确地了解自然、掌握自然规律、服务生产、发展国民经济、为人类谋幸福。如果能解决中国东部现阶段大地构造性质问题，更全面地认识这一地区的地壳发展史，从而有助于了解其蕴藏的矿产特点和时空分布规律，更有成效地指导找矿，将会对我国社会主义建设和世界地质学的发展作出较大贡献。为此，我在中国各省有关地区进行野外考察及专题研究，收集第一手材料，并在参考前人资料的基础上，于1954年确定了这一研究题目，结合教学工作开展科学研究。经过两年时间的进一步补充观察、搜集材料和整理、归纳、对比、分析、推理，第一篇论文于1956年发表。这就是后来被人们称为地洼学说诞生标志的

\* 载《科学的道路》，中国科学院院士工作局编，上海：上海教育出版社，2005

《中国地台“活化区”的实例并着重讨论“华夏古陆”问题》。这篇文章提出用“活化区”(1959年又称为“地洼区”这个概念描述中国东南地区自中生代中期以来的现阶段的大地构造性质。以后,我又继续增加论证,充实修改,逐步深入提高,终于形成比较完整的理论体系。经过几十年的求索,从孕育到诞生,逐步形成和不断发展。今天,地洼学说已从最初用以刻画中国东南地区为代表的大陆地壳现阶段构造特征,限于专门研究大陆地壳构造,特别是陆内造山带为对象的一个相对单纯的地洼构造(包括地穹山脉和地洼盆地)概念,演变成为把全球岩石圈构造演化-运动结合起来,统一研究,具有五个组成部分和多个衍生学科,兼顾大陆与海洋的理论体系。

上述研究成果,经过30多年的时间考验和国内外地质工作者的实践检验,已经证明具有如下几方面的意义和作用。

1. 它阐明了中国东部自中生代中期以来,其大地构造体制实际上属于活动区(造山带)。它的性质与地台区相反,但其各方面的特征表明与地槽区也不同,而系另一种新发现的活动区型的大地构造单元。最早命名为“(地台)活化区”(1956年)。目前在国内外“活化区”与“地洼区”两名并用,作为同义词。

2. 在理论上冲破了近百年来一直视为真理的“非槽即台”的传统思想的束缚,在大陆壳区发现了后地台区阶段的一种新型活动区,即槽台以外的大陆地壳第三基本构造单元。

3. 地洼区(活化区)概念发源于中国,但已被实践证明具有世界意义。

4. 反映出大陆地壳的演化-运动过程,是通过活动区同“稳定区”之间的互相转化、交替更迭,由简单结构到复杂结构,螺旋式上升,波浪式前进的。

5. 地洼区具有重要的成矿作用。由于它的发现,促使成矿学的发展进入新的阶段,增添了新内容。

由于第三基本构造单元或地洼区理论具有上述几方面的科学意义和社会效益,已被国际上评为“决定当代地质学发展”的“新学说”之一,是找矿工作中“具体预测研究的基础”(苏联Tomson, 1977)。美国《经济地质》杂志1976年评价活化区成矿的重要性时指出:功劳归于中国。地洼学说已逐渐形成了一个起源于我国,称中国学者为“第一代引路人”的国际性学派体系。1988年第一届国际地洼构造与成矿学讨论会上,各国代表通过在中国设立国际地洼构造与成矿研究中心的议案。1991年及1992年,该中心俄罗斯及蒙古分中心也相继成立。1990年国际矿床成因协会理事会在加拿大召开时,决定在矿床大地构造委员会中成立构造-岩浆活化(地洼)研究组。1993年,国际地质协调计划执委会批准设立《东亚中生代活化带(地洼)成矿》研究项目,列为IGCP361,使地洼构造成矿的研究进一步纳入国际协作计划。

这一成果之所以能够取得,主要由于我在科学研究的过程中注意了下列几点:

**正确对待前人理论,学百家之长,自主创新** 对任何与自己研究领域有关的科学理论,都应虚心学习,以求全面深入了解,但不作无原则的全盘接受,要一分为二,只取其精华。就是说,要根据实际材料,检验原有理论,肯定和继承其符合事实的部分,而对其未经验证或经不起检验的部分,加以探索,作为选题对象,以求创新。我主张尊重前人劳动成果,从中获得知识,但不受其束缚,而根据自己的材料和思路去寻求真理。对前人未解决的问题,树立信心,矢志不渝,务求达到水落石出。

**面向国民经济,密切联系生产** 我在选题时,在把了解客观世界、掌握客观规律作为主

要科研任务的同时，特别注意国民经济建设的需要。我认识到，实际意义较大的课题，所取得的成果其社会效益和经济效益也较大，因而也就较容易得到社会的重视和推广，早日获得实践检验，同时也早日使成果得到充实和提高。

**注意研究方法，演绎与归纳并重** 演绎法可使人想象丰富，思想开敞，作出无数假说。但在未得到证明之前，纵使动听诱人，仍然只是假说，不一定真正反映客观实际。如果是华而不实，即使可以推行一时，也终难逃过实践的检验。只有演绎法与归纳法并重，交替使用，随时验证自己假说的正确性，才能易于获得接近客观实际的结论。

**重视野外观察，宏观与微观结合** 地洼构造理论之所以具有一定的实用性，被认为“以十分让人信服的论据，论证了这种地区是与地槽区和地台区并列的一级构造单元”(苏联 Sherglov, 1968)，即得益于此。如果轻视任何一方都会影响科研的质量。近年有些国家轻视野外工作之风吹到我国，不宜模仿。

**讲究思想方法，重视辩证思维** 基础理论问题常常涉及科学中的带根本性的问题。在整个科学研究活动中，运用自然辩证法将会获得有益的指导作用。就大地构造来说，过去强调地壳演化研究，采用历史 - 分析法，重视垂直运动，近年则强调研究岩石圈块体的运动；采用动力分析法，重视水平运动。各有优点，也各有不足之处，主要在于两者都有偏颇。如能运用辩证思维，把两者结合起来建立历史 - 动力大地构造学及壳体概念，将岩石圈块体的演化与运动融为一体，采用历史动力综合分析法，统一研究，既强调它们在时间上的动态，又强调它们在空间上的动态，即发展观点与联系观点结合，时间空间兼顾，水平运动垂直运动并重，将能更全面认识地球，建立的理论将会更有成效地指导生产。我之所以能够发现地洼区这个新型活动区，成为地洼学说基础的最原始部分，即是受益于这样的思维方式；该学说的其他组成部分以及其整体的指导思想和思维方式有别于槽 - 台学说和板块理论，也主要在此。

陈国达

1998 年

# 前言

陈国达(1912—2004)是中国科学院资深院士,国家一级教授,教育家和社会活动家;国际著名地质学家、大地构造学家、成矿学家、国际活化构造与成矿理论体系——地洼学说原创者及其国际性学派创始人、国际地科联(IUGS)矿床成因协会(IAGOD)矿床大地构造委员会(CTOD)副主席兼构造—岩浆活化(地洼)学组主席。

曾任中南矿冶学院(现中南大学)地质系首任系主任,中南矿冶学院副院长,湖南省地质学会首任理事长,中国科学院长沙大地构造研究所首任所长,中华人民共和国成立后中国地质工作计划指导委员会委员,中国地质学会副理事长,全国人大第四、五、六、七、八届代表,全国先进工作者,全国高等学校科技先进工作者,湖南省特等劳动模范,湖南省首届科技之星。

他一生以大地为伍,从事区域地质、构造地质、成矿学、地貌学、地震、古植物学等多个领域的研究与教学工作70余年,硕果累累,桃李满天下。据不完全统计,他在国内外公开发表论著420多篇(本),还有未发表论著及学术报告50余篇(本),内容广泛,形式多样,既有对理论大地构造学和成矿学的重大建树,也有对地质基础和新兴学科的出色贡献。他的最大建树在于创立了大地构造新理论——地洼学说(活化构造及成矿理论),为推动地球科学的发展和矿产资源开发做出了卓越贡献,产生了深远的国际影响。地洼学说的创立突破了近百年来统治地球科学的槽—台学说的束缚,被列为20世纪世界科学史上的大事之一。经过半个多世纪的不断发展、完善和实践的检验,地洼学说已得到国内外地质学界的承认与高度评价,从而成为源于中国、称陈国达为“第一代引路人”的国际性学派体系。

他为中华民族赢得了荣誉,更是中国科技精英中的杰出代表。

## 一

陈国达,原名陈祖达。1912年1月22日生于广东省新会县五福里一个贫苦的店员家庭。他年幼时就聪颖好学、爱动脑筋。他经常随父亲翻山越岭,渐渐地对山和海产生了兴趣。大自然的熏陶,使他自小养成了探究山川奥秘和好奇求索的个性,以及求真务实、细心观察、勤于思考、刻苦钻研的习惯。

1925年,陈国达考入新会一中。1928年,他以优异的成绩越级考取中山大学理学院预科。两年后直升本科,并且选择了地质学。大学期间,陈国达师从我国著名地质学家张席禔、古生物学家乐森珥、大地构造学家李承三等教授,还有瑞士构造学家A.哈安姆,奥地利著名古生物学家K.古力齐等外籍学者。他学习十分刻苦,坚持理论与实践并重,不满足于学校安排的课外实习,经常利用节假日到广州郊外考察……

年轻的陈国达才华横溢。大学四年,他先后发表三篇颇有见地的论文。第一篇论文《广

东新会地质试勘》，这是他利用暑假回乡考察后写下的，后来获国立北平研究院地质矿产研究奖金。另一篇《广州三角洲问题》，他以实际资料为依据，大胆提出它并非真正的三角洲，而是由基岩准平原被珠江泛滥平原冲积物覆盖及基岩残丘共同组成的地貌景观。这篇论文被刊登在中国科学社主编的《科学》(1934)刊物上，并获中国科学社颁发的奖金和一枚刻有“格物致知，利用厚生”的金质奖章。第三篇论文(毕业论文)《广东之红色岩系》，是他前往广东省仁化丹霞山等地考察后写下的，首次阐明了关于中生代红层的沉积环境，并提出了“丹霞山地形”。该文与1938年题为《中国东南部红色岩系之时代划分》的英文论文，是他后来创立地洼学说，命名“地洼区”、“地洼沉积层”的最原始的依据。因其论文见解新颖、富有独创性，再次获得国立北平研究院地质矿产研究奖金。

1934年，陈国达大学毕业后，获美国洛克菲勒文化基金资助被直接选送到北平研究院地质研究所当研究生，师从著名地质学家、中国中生代造山运动——燕山运动的发现者与创名者翁文灏教授，兼在北京大学随著名植物学家斯行健教授和美国大地构造学家葛利普教授学习。在这期间，他先后考察了河北、山东、山西、内蒙古等地，收集到大量的第一手实际资料，发表了《山西太谷沉积中之水成变形》《山东荣城县马鞍山碱性正长岩之探讨》等四篇论文。通过潜心研究，他发现当时按传统的地槽—地台理论所划定的“华北地台”，与他在华北地区观察到的中生代造山运动地质构造现象不相符合。这一怀疑，标志着一种新的大地构造思想在他脑海里孕育。1935年，陈国达结束了研究生学习，回到广州，在两广地质调查所任技士，兼任中山大学地质系的教学工作。

1936年4月1日，广东灵山地区发生了强烈地震。陈国达冒着余震的危险，赶赴灾区现场考察，写出了具有深远影响的《广东灵山地震志》专著，对传统理论认为中国缺少地壳活动性和系少震国家的论断提出了质疑。该著作被载入了新中国成立前我国具有开创意义的震例研究之中。

1937年，日本侵华，广州沦陷。陈国达到江西地质调查所任技正。八年抗战期间，他辗转迁徙，踏遍华南诸省考察地质，进入虎狼出没之地，住破庙，吃干粮，过着风餐露宿的野外生活，使他患上了风湿病，后来又得了肺结核，但他不仅以顽强的意志战胜了病魔，而且还对江西以至中国东南部的燕山运动以及地质与矿产进行了广泛的调查研究。在江西工作期间，陈国达的研究内容更为广泛，发表论文数十篇。他在《江西贡水流域地质》和《崇仁宜黄间地质矿产》两项研究中，正式提出的“丹霞地貌”术语。现已被广泛引用于描述以奇峰著称的丹霞式红层地貌，被誉为红层地貌学研究的奠基人之一。在江西贡水，他还发现了大羽羊齿(*Neuropteris gigantea*)植物化石，突破了前人关于江西省只有二叠纪煤系的看法，确证了江西境内有石炭纪煤层的存在，从而扩大了该省的找煤方向。

1945年8月，陈国达重返中山大学，任地质系教授、系主任。1947年，他去广东沿海考察，研究中国海岸地貌，在其后的《广州附近上升浪蚀阶地及粤省复式岸线之成因》及《中国岸线问题》等文章中，以令人信服的依据纠正了长期流行的德国地质学家李希霍芬(Riehthofen)关于中国岸线是南升北降的简单结论，提出了由块断差异升降复合成因的新论断；更具深远意义的是，获得了中国大陆东部近代地壳运动(新构造运动)活跃的事实依据。陈国达这一时期的科学实践，及持续近20年的科学积累，证实了从中生代“燕山运动”到新生代，直到现代新构造运动，都大范围地表现出地壳的活动性特征。学术思想上的解放，为

他开启理论大地构造学“继承与创新”的探索与研究,清除了主要障碍,成为其后创立“地台活化说”的基础。因此,这一时期成为其后创立地洼学说的孕育时期。

1948年,他去广东茂名等地调查油页岩,发表《广东油页岩简报》和《中国油页岩概论》等论著,为新中国成立后开发油页岩矿产提供了最早的、可靠的地质依据。1949年,陈国达在广州十二科学团体联合会共同举办的学术讨论会上宣读了《粤南油页岩的开发问题》一文,不仅引起众多地学工作者的兴趣,而且得到政府官员对矿产开发的高度重视。

1951年,他被中央人民政府政务院任命为中国地质工作计划指导委员会委员。

1952年,全国院校调整,随着中山大学地质系并入中南矿冶学院,陈国达调入中南矿冶学院工作,先后任系主任、科研部主任、副院长、学术顾问。1954年确定了研究题目,他把主要精力集中向地球科学的“上层建筑”——大地构造学中关于地壳演化与运动问题进军。他系统整理历年来野外考察积累的实际资料和成果,于1956年在《地质学报》上发表了《中国地台“活化区”的实例并着重讨论“华夏古陆”问题》,对美、奥学者提出的一百多年来在世界流行的地槽-地台说提出了挑战,通过批判性的继承和扬弃创新,提出了地台活化说,这是地洼学说的初创,被国际上认为是地洼学说在中国诞生的标志。这年,他加入了中国共产党,并被当选为湖南省地质学会第一任理事长和省科协副主席。1956年1月,他赴北京列席第一届全国政协第二次会议,在中南海受到当时的中共中央主席毛泽东和国务院总理周恩来的亲切接见。

1957—1960年是陈国达创新理论发展中的重要时期。期间,他与苏联科学家西尼村一道,考察湘、赣、粤、闽、浙等省的“活化地台”地质构造。随后相继发表了《关于怎样辨识活化地台》《中国地台活化区矿产的分析》《地壳的第三基本构造单元——地洼区》《地洼区的第三构造层——地洼沉积层》《划分基本构造单元的一项新标准——结构》以及《地壳动“定”转化递进说——论地壳发展的一般规律》等二十多篇有关地洼学说的论文,还出版了《地台活化说及其找矿意义》专著。至此,形成了地洼学说最初的理论结构雏形。1965年,作为中国大地构造主要学派之一的代表,陈国达用多元论的观点,在《中国大地构造问题》论著中发表了《地洼区——后地台阶段的一种新型活动区》。第一次对他所创立的地洼学说的立论基础——地洼区作出了全面系统的论述。该成果获中国科学院自然科学二等奖。

1961年,国务院批准在长沙设立了专门研究机构——中国科学院中南大地构造与地球化学研究室,陈国达担任主任。

1966年,河北邢台发生大地震。根据国务院的安排,陈国达率主要骨干赶赴灾区进行考察。后来又承担了安阳地区地震烈度区划及地震烈度鉴定的任务,受到好评。

“文化大革命”期间,中南大地构造与地球化学研究室被撤销。虽然受到各种阻力,他仍然忘我笔耕,完成了《成矿构造研究法》专著初稿。1975年,该专门研究机构恢复为湖南省大地构造研究所,陈国达任所长。并于1977年创办《大地构造与成矿学》,亲自任主编。

随着“文化大革命”的结束和1978年全国科学大会的召开,陈国达也迎来了他的科学生涯的春天,他所创立的地洼学说进入了全面充实发展和拓展的阶段。1978年,他的专著《成矿构造研究法》出版,其后他主编了《中国大地构造图》(1:400万)。该图和《中国大地构造概要》1978年获得两项全国科学大会奖励。是年,湖南省大地构造研究所重归中国科学院,易名为中国科学院长沙大地构造研究所,陈国达先后任所长、名誉所长。

1979年,陈国达当选为中国地质学会副理事长。1980年,他当选为中国科学院学部委员(1993年改称院士)。同年,他应邀到德国法兰克福大学讲学,这是他出国传授地洼学说的开端。接着代表我国出席在巴黎召开的第26届国际地质大会,宣读《地洼学说及其实践意义》论文,《成矿构造研究法》专著和《中国大地构造图》(1:400万)被选送巴黎第26届国际地质大会展览。会上他当选为国际地科联矿床成因协会(IAGOD)矿床大地构造委员会(CTOD)副主席,受聘为《全球构造与成矿学》顾问编委。会后,考察了波罗的海活化(地洼)区构造及瑞典基鲁纳大铁矿和芬兰乌罗士铜锌硫化物矿床。以此为开端,在1981~1989年,他先后应邀前往纽约大学、哥伦比亚大学、科罗拉多大学、美洲大学、李海大学、莱哈大学、得克萨斯大学等美国九所大学和四个研究所讲授地洼学说,受到赞誉。期间他还对美国西部活化(地洼)区、大河谷、科罗拉多高原、Tularosa地洼盆地等进行实地考察。

1982年,他的《地壳的第三基本构造单元——地洼区》和《地洼区——后地台阶段的一种新型活动区》获国家自然科学二等奖;其后,有关地洼学说的论著分别获得省、部级成果奖励。

1982年,他作为中苏科学交往中断20多年后第一个受到邀请的中国科学家到苏联莫斯科大学、全苏地质研究所和列宁格勒矿业学院、苏联科学院前寒武纪地质与地球年代学研究所讲学访问,并被特邀出席在第比利斯举行的第六届国际矿床成因协会会议,担任大会执行主席,并在会上作特邀报告《多因复成矿床并从地壳演化规律看其形成机理》。他所提出的多因复成矿床新概念,其后发展成为地洼学说中递进成矿理论的重要组成部分。会后他还考察了中亚与西亚地质,受到隆重接待。陈国达此行被认为是中苏“科学外交”的里程碑。这一年他还被国务院批准为首批博士生导师;以后又被批准为首批博士后研究人员及访问学者导师。

1983年,陈国达主持了首届全国构造地球化学讨论会(长沙),作了《关于构造地球化学几个问题》的学术报告。这门交叉学科自陈国达1961年提出设想,经长期实践和积累后,成为地洼学说理论结构中的新增部分。1983年6月,他去张家界考察武陵山脉石英砂岩峰林地貌,并受聘为武陵源国家风景区科学顾问;9月,他应日本学术振兴会邀请前往日本新潟大学、京都大学、山口大学、广岛大学、鸟根大学、松山爱媛大学、名古屋大学、信川大学、大坂大学、东北大学及日本地质研究所、构造地质研究会、温泉研究所等十余所大学及研究所讲学访问;并考察了中央构造线、陷没构造、阿苏火山和九重山地质构造等。

1984年7月,应南斯拉夫科学艺术院邀请前往讲学,并访问塞尔维亚、波黑及马其顿,实地考察这些地区的活化(地洼)构造。同年9月,他应国际地质大会组委会特邀,出席第27届国际地质大会,在会上作了《论汾渭地堑的大地构造性质——一个裂谷型地洼系》的特邀报告。在开、闭幕式上,他被安排在大会主席台前排就座。这是自有国际地质大会以来享受这种礼遇的第一位中国科学家。

1986年,他应邀赴香港地区讲学,受到隆重礼遇;同年11月,他主持召开第一届全国地洼构造与成矿学学术会议。中共中央书记处书记邓力群等领导到会祝贺。会上成立了中国地洼学说研究会(筹),陈国达被推选为理事长。1987年他还分别出席了“国际岩石圈北京会议”和“中苏海洋地质讨论会”。由于他的一系列的学术交流与讲学,地洼学说(活化构造与成矿理论)被进一步推向世界。

1988年,他主持召开首届国际地洼构造与成矿学学术讨论会。会上,由各国代表倡议成立了国际地洼构造与成矿学研究总中心,总中心设在中国长沙,陈国达任主席。1989年他率中国科学家代表团访问蒙古,进行学术交流并实地考察了蒙古活化(地洼)构造和著名的额尔德尼泰因鄂情铜铅矿山。随后,俄罗斯、蒙古两个分中心相继于1991年及1992年成立。

20世纪90年代,活化(地洼)构造及成矿理论的研究,成为国际地科联(IUGS)有组织、有计划地进行国际合作的一部分。1990年8月14日,国际地科联矿床成因协会理事会决定,在矿床大地构造委员会中设立“构造-岩浆活化(地洼)”学组,陈国达任主席。这是第一个以中国学者创立的学说命名的国际性学术组织。同年,他在国际第十五届地质科学史会议上发表了《“燕山运动”的历史意义》一文,从国际领域发展的角度,强调了中生代造山运动的客观地质记录,对大陆构造与成矿研究具有重大作用和深远意义。1989年起他将《大地构造与成矿学》创办成由IAGOD/CTOD WORKING GROUP4和TECTONO-MAGMATIC ACTIVIZATION(DIWA)共办的国际性中、英文期刊。

1991年,陈国达与苏联科学院院长A. П. 杨申院士共同主持,在苏联召开了第二届国际地洼构造与成矿学学术讨论会。1992年他还与苏联、日本等国的地质学家一道,承担完成1:300万《东亚火山构造图》。1993年经国际地质对比计划执委会批准设立《东亚中生代活化带成矿》(IGCP)361国际协作研究项目,他担任该项目第一副组长。地洼学说被进一步纳入国际协作计划。

陈国达倡导并注重大地构造与矿床学研究相结合发展成矿学理论,把大地构造理论与找矿实践并重作为地洼学说的基本学术路线。从20世纪80年代起,他从成矿学的角度,提出了多因复成矿床理论,进一步充实了地洼学说与成矿学的内容,并用上述理论指导中国科学院长沙大地构造研究所和中南工业大学地质系承担完成了数十项国家和省、部级科研课题,取得了一批科研成果,相继获得国家部和省级奖励。

1990年起直到2004年4月逝世前,陈国达对其所创立的地洼学说,进行了涉及理论学科范畴、研究范围与方向,研究目的与方法等方面的系统性的总结以及全面性的拓展、增新。他分别于1996年和2000年出版了中、英文版的《地洼学说——活化构造与成矿理论体系概论》,该书是向国内、国际地球科学界系统阐明活化(地洼)构造及成矿理论体系的较全面的最新专著。1991年,他又倡导建立历史-因果论综合大地构造学,将其创立的大地构造及成矿学理论体系推进到全球构造的更高层次。1992年他发表了中、英文版《历史-因果论大地构造学刍议》,倡议将全球陆、洋岩石圈块体(壳体)的演化-运动相结合统一研究,采用“历史-动力综合分析法”,并据此创建“壳体大地构造学”新学科,这是他所创立的地洼学说的持续创新。随后于1994年主持编制出版了《亚洲陆海壳体大地构造图》(1:800万),获中国科学院自然科学二等奖。在1996年他又向第30届国际地质大会提交了《壳体构造——一种综合大地构造学新概念》的论文;1998年他所主笔的《亚洲陆海壳体大地构造》专著出版,书中提出的亚洲壳体演化-运动历程中的三个重大事件的创见,被学术界誉为国际地学前沿研究的三大课题。该专著获国家图书奖提名奖暨科技进步奖(科技图书)二等奖。2003年,陈国达从理论基础与基础研究两个方面,对递进成矿演化论的核心内容,以及中国主要非金属、金属和能源矿产的成矿演变特征及其时、空规律性和典型成矿类型实例,进行系统性论述的《活化构造成矿学》专著出版。此专著获2004年第十四届中国图书奖。在地洼学说拓展



和再创新的阶段,他共发表了近 40 篇(本)论著。直到 2004 年逝世前,他还完成了《自主创新研究亚洲陆海大地构造与成矿学之必要》及《亚洲大陆中部壳体东-西部历史-动力学的构造分异及其意义》两文。

自 1956 年始,半个世纪以来,陈国达创立的地洼学说(活化构造及成矿理论)经历了初创、充实发展、拓展再创新几个阶段;经历了国际与其接轨到其与国际接轨、相辅相成的发展历程。陈国达将他生命最后 20 多年的大部分精力,都用在把中国学者原始自主创新的理论推向世界并促进国际合作研究,为地球科学的发展,为振兴中华科学技术,扩大在国际上的影响,做到了“鞠躬尽瘁,死而后已”。

## 二

地洼学说提出后,首先得到国外地质学家的赞同。许多地质学家先后撰文著书,系统地引用和详细地介绍这一理论。1959 年,苏联科学院 A. Л. 杨申院士首先把“地洼”(Diwa)直译为“дива”介绍给该国地质界。随后,谢格洛夫和卡赞斯基以及巴西学者阿尔梅达、日本学者滕田至则等,此外还有朝鲜、蒙古、越南、印度、美国、澳大利亚、西欧等许多国家和地区的学者,都相继撰文或引用。“地洼区”或“活化区”已被收入苏联《地质辞典》(1978)、日本《地学事典》(1971)、中国的《辞海》及《地学辞典》等。事实上,“地洼区”并非中国独有,而是在世界大陆普遍存在。如《朝鲜地质》(1968)一书记述了朝鲜地质发展从三叠纪进入地洼区阶段,中生代成矿期对该国矿产形成的重要作用;1977 年苏联地质学家汤姆逊在评价《活化区成矿分析》一书中指出:“现阶段地质学的发展,决定于两个新学说,一是板块构造,二是构造-岩浆活化(地洼)过程所决定的第三构造发展类型,这两个科学方向都成为重新审查成矿理论的基础。”1976 年,美国《经济地质》杂志刊登介绍《活化区成矿》一书的署名文章指出:“功劳归于中国的陈国达……”苏联科学院通讯院士 A. Д. 谢格洛夫,在 1983 年访问长沙大地构造研究所和南京大学的学术报告中,高度评价中国在大地构造与成矿学方面取得的成就,指出“苏联构造-岩浆活化学说,是建立在地洼学说上的”;称“陈国达教授是我们学说的第一代引路人”;“陈国达教授是构造-岩浆活化论在国际上的支柱力量”;他还一再强调“地洼学说发源于中国,陈国达教授创立,但不仅仅适用于中国,它有着世界意义”。

不仅如此,地洼学说在指导找矿上也卓有成效。在国外,苏联首先运用地台“活化区”(地洼区)新观念,开展找矿实践,在长期以来被认为是无找矿远景的外贝加尔地区,运用地洼学说理论找到了丰富的钨、锡矿床;还有巴西北部的锡矿,澳大利亚的萤石、汞、锑矿,捷克、法国、加拿大等国的许多金属矿,都是运用地洼学说理论找到的。2000 年俄罗斯在彼得堡举行的《矿物资源和地质调查科学大会》上重点讨论了活化(地洼)构造的成矿问题。彼得洛维奇院士指出:“中生代构造活化是个全球性现象,许多重要矿床与之有关;以铀矿为例,世界意义的超大型铀矿床……均产于地洼构造中,因此地洼构造成矿研究,具有普遍意义。”

在中国运用地洼学说指导找矿成功更是不乏其例。如石油工作者根据地洼区的构造特点,在新疆、华北找到了大型油田;新疆阿尔泰山原生金矿的首次发现,使该地区找矿工作获得新的进展;海南在原认为无成矿远景的抱板地区也发现了金矿带;广西首次发现大型三水铝土矿;在云南老厂铅银铜矿、个旧锡矿、湘西金矿、湘东钨矿、湖南花垣铅锌矿、广东凡

口铅锌矿、湖北大冶铁矿、安徽铜陵铜矿、甘肃金川镍矿等大批金属矿深、边部及外围,运用地洼学说成矿学理论,找到了新的隐状矿产资源等。此外,地洼学说在地震预报、五强溪水电站和柘溪水电站工程选址方面,都发挥了重要作用。充分地反映了该学说理论与实践并重、创新与拓展并行的特色。

由于地洼学说在大地构造学领域中所起的开拓性作用,这个地壳演化新理论已在日本弘文堂出版、伊东俊太郎主编的《科学史技术史大事典:简明世界科学技术史年表》中,把“1956年陈国达(中国)发表地洼理论”列为大事之一<sup>①</sup>。20世纪80年代末至21世纪初陈国达在国际地学界的学术交流与合作,受邀讲学访问,不但向世界各国地学界宣讲了地洼学说(活化构造及成矿学理论),扩大了这一创新理论在国际上的影响;而且向全世界显示了中国人民及其科技人员的勤奋努力和聪明才智,为中华民族赢得了荣誉。正如著名地质学家叶连俊资深院士在《怀念大地构造学家陈国达院士》文中<sup>②</sup>的赞誉评价:“陈国达院士是受国际地球科学界尊重的地球科学家”;“陈国达院士为我国地质事业的前进与发展奋斗了一生,务实求真,为祖国地质事业的不断前进与发展,孜孜不倦地奋起重挥远征帆”;“他提出的第三大地构造单元理论——地洼学说,被国际大地构造学界公认为是一项最新的大地构造学说,在国际上为中国地质科学界获得了荣誉”;“晚年,他仍然不顾年老体弱,始终惜时若金,不停步地向前迈进。他于1991年提出了《壳体构造》这一论说,即把岩石圈的演化与运动统一起来,加以研究的新的学术思想,代表着当今地球科学界的一项新的探索目标”。

陈国达在学术上的突出贡献,使他获得了崇高的声望。除了在科学技术界担任过20多个职务外,还被选为湖南省第一、二、三届人大代表;第四、五、六、七、八届全国人大代表。1989年被评为湖南省特等劳动模范和全国先进工作者;1988年至1989年间,他曾入选美国《国际杰出领先者名人录》和《国际名人辞典》、英国《世界五千名人》;1990年被国家教委、国家科委授予全国高等院校先进科技工作者;1996年又被评为湖南省首届科技之星;2000年,湖南省科协主持组织为他雕塑两座铜像,分别矗立在中南大学校园和中国科学院长沙大地构造研究所内,以此表达对这位科学大师的敬仰。

### 三

陈国达是个土生土长的中国科学家。他在科学事业的长河中之所以能激起令人奋进的浪花,与他敢于坚持真理、勇于求真务实以及他的治学思想和科学方法密不可分。“坚恒、勇慎、严实、德勤”,既是他为中国科学院长沙大地构造研究所制定的“八字”所训,也是他半个多世纪以来在科学探索中的治学格言和经验总结。正如他在1939年处于创新理论的萌芽孕育阶段时所写下的《携锤颂·七律》:“十载携锤欲尽山,兴来哪识路艰难;晨风飒飒驰荒漠,暮霭苍苍渡苇关;衡岳云端笑断壁,蓬莱海角战狂澜;前尘回首休惆怅,奋起重挥远征帆。”

陈国达认为,一个科学工作者首先必须有攀登科学高峰的坚定志向,任何处境下保持坚

<sup>①</sup> 伊东俊太郎等.《科学史技术史大事典:简明世界科学技术史年表》,日本弘文堂出版;译本:哈尔滨工业大学出版社,1983年,第145页

<sup>②</sup> 叶连俊.《怀念大地构造学家陈国达院士》,大地构造与成矿学,2005,29(1):131~132

定不移的恒心。正是这种志向使他在“十年动乱”期间顶住了来自多方面的压力，没有中断过工作。无论是处于逆境或受到推崇，始终平静坦然面对，正如在 1996 年纪念地洼学说（活化构造及成矿理论）创立 40 周年时，他作了如下诗句自我概括：“踏破万水与千山，人为险阻攻更难；半纪求真坎坷路，雪山过后终开颜。”

他经常告诫他的学生，要敢于创新，要有超越前人的精神；工作中要勇字当头，但在观察、实验的时候，必须谨慎细致，一丝不苟；公布发现和发明要适时，成功面前要谦虚。

他认为，严肃、严格、严密的工作作风和实践、踏实、求实、诚实的品德是一个科学工作者取得成功的关键。他特别重视科学研究的哲学思想与方法。在他发表的论著中，有相当数量的论文，贯穿和体现了这种唯物辩证法的思想与方法。他不但年轻的时候勤于实际观察，就是年逾古稀时也仍然坚持工作在科研第一线，足迹遍及祖国各地和亚欧、美洲等著名矿山。

他认为，科学道德和职业道德是一个科学工作者最基本的、不可缺少的素质之一。一个合格的科学家，要有高尚的道德和良好的品质以及勤劳不息、勤俭节约的精神。凭着这种精神，他在长达 70 余年的地质科研与教学生涯中，勤奋笔耕，发表论著 420 余篇（本）。他还被评为中国 20 世纪 100 名论著最具国际影响的科学家之一。

他博学多才，具有深厚的文学功底。他在探索大自然奥秘之余，还写下了近百首风格上朴素自然、寓意辽阔深远的科学诗。1995 年出版了《陈国达诗选》，1998 年再版。

陈国达虚怀若谷，热心育人，桃李满天下。除了教育成千上万的大学本科生外，从 20 世纪 60 年代起，他为国家培养了百余名硕士，50 多名博士和数十名博士后高级人才。其中许多人已成为教学、地质科研和生产战线的科技精英。

他严于律己、宽以待人。痛恨那些慷国家之慨、损公肥私的恶习，他的生活十分简朴，家里除了琳琅满目的书籍杂志之外，几乎没有一件像样的家具。讲课时，舍不得扔掉所剩的粉笔头；写作时甚至连旧信封也要翻过来用。……然而，为了推动地洼学说的发展，激励后辈，他慷慨地把自己所获的国家自然科学奖奖金和部、省级奖金以及个人所得的稿费和其他收入捐出来设立“地洼学说奖励基金”，奖励那些在研究该学说理论上有较大发展或生产实践中做出较大贡献的地学工作者。自 1983 年设立该基金以来，共颁发了 12 次奖金，80 余人获此殊荣。此外，他还为青年学者的论著题词作序，鼓励年轻一代奋发成才。

陈国达惜时如金。即使步入耄耋之年，患有高血压、冠心病等多种疾病，但仍和年轻时一样，从来没有节假日和星期天。尽管行动不便，但仍坚持忘我笔耕。

1996 年以后，他相继出版了《地洼学说——活化构造及成矿理论体系概论》（中、英两种版本）《亚洲陆海壳体大地构造》《活化构造成矿学》《云南铜—多金属壳体大地构造成矿学》等专著和数十篇学术论文。直到逝世前的几小时，他还在为“教育天地”刊物题词；还在与他的助手和学生在电话中探讨学术问题。真可谓“春蚕到死丝方尽”。

2004 年 4 月 8 日凌晨 4 时 23 分，陈国达因心肌梗塞在长沙逝世，享年 93 岁。

## 四

按陈国达健在时的意愿和嘱托以及逝世后其亲属的委托，由陈国达生前所在的两个工作单位——中南大学和中国科学院长沙大地构造研究所牵头，组成了包括有部分两院院士和专

家、学者的编辑出版委员会，负责主持编辑出版《陈国达全集》；中南大学出版社受陈国达亲属委托负责出版有关的具体事宜。陈国达的论著及作品十分丰富，为了将他在这些论著中所反映的创造性发现，他所创立的地洼学说（活化构造及成矿理论）的体系内容、创新发展阶段及奋斗历程等汇集出版，供国内外同仁参考，经《陈国达全集》编辑出版委员会历时3年多的收集整理，共收集有陈国达独著或为第一作者的论著450多篇（本）（包括部分未发表的以及虽发表过但以前未列入陈国达著作总目录的）。按照内容和时间结合分卷的原则，经编辑出版委员会部分在长专家座谈会讨论确定，共分九卷，每卷100万字左右。

第一卷 地洼学说的孕育——中国区域地质矿产调查（1932—1955 年中英文论著）

第二卷 地洼学说（活化构造及成矿理论）的初创（1956—1960）

第三卷 地洼学说（活化构造及成矿理论）的充实（1960—1977）

第四卷 地洼学说（活化构造及成矿理论）的拓展（1977—1992）

第五卷 地洼学说的再创新——历史—因果论壳体大地构造学（1992—2005）

第六卷 地洼学说——活化构造及成矿理论体系概论（中、英文版合卷）

Diwa Theory—Outline on Activated Tectonics and Metallogenic Theoretic System

第七卷 活化构造成矿学

第八卷 Works on Activated (Diwa) Tectonics and Metallogeny Written in Foreign Language

[活化(地洼)构造及成矿理论的外文论著(1956—2005)]

第九卷 科学思想与方法，科普作品与诗词（1933—2005）

上述九卷中的第六、七两卷为活化(地洼)构造及成矿理论体系的系统论述专著，是作者经长期理论研究及科学实践所提出并闻名于世的“地洼学说”理论体系的系统总结，分别于1996年和2003年出版。

《陈国达全集》的收录范围自作者从20世纪30年代至21世纪初他逝世前所发表的论文、著作以及反映其学术思想和奋斗精神的文字作品，这些作品均具有原创性。对于作者编著的教材(6部)、文选(3部)、译著以及主要属于与陈国达合作的作者所写的合著作品，除个别重要内容收入正文外，一般均放在附录中进行了简要介绍；除此之外，附录还包括了《陈国达年谱》和《陈国达论著目录(1932—2005)》；陈国达应邀赴国内、外所作学术报告或访问讲学的简况；培养的研究生(硕士、博士及博士后)名单及其论文题目；主持有代表性的科研项目、获奖情况等；“地洼学说”奖励基金奖励人员及论著名称；“地洼学说”陈列馆与国际期刊《大地构造与成矿学》创办历史及简况；活化(地洼)构造及成矿学国际学术会议的主办及活动情况等。其中，作者应邀在一些单位所作的学术报告，有部分内容较重要而又在以后未正式发表的，也选入了全集正文。但有些学术报告其部分内容与已发表的论文有所重复的，则采用节略及节要的方式收录。

由于作者论著写作时限较长，格式编排不一，此次《陈国达全集》的编辑采用了国际标准编排法，对论著中的章、节、小节等一律用1, 1.1, 1.1.1……表示，其下再按1)、(1)、①、A、(a)等编排。图表在论文中用单数列编号，如图1, 表1；在著作中用章号加图号的复数列编号，如图2-2, 表2-2等；图版如为照相制版，找不到原底版的，只能扫描复制；大图(如1:400万中国大地构造图及1:800万亚洲陆海壳体大地构造图)则只能缩制，以便能收入书内。注释分两类，作者的原注用①、②、③等排于页下，编者所加的注释则一般用带\*号的

脚注形式表示(如作品发表的书刊名、卷、期、页、时间)。参考文献仍置于每篇论文或著作之后,但按先中文后外文进行了调整;因作者论著中的参考文献大部分采用哈佛体系著录法,因此全集的中文卷(第一至七卷及第九卷)按此进行了统一;中文论文后的外文摘要仍随文放在各卷中,独立篇(本)的外文论著则汇编成外文卷(第八卷),外文卷的参考文献仍采用顺序编码体系。

根据陈国达生前的嘱托,为了使读者对其创新理论发展进程中涉及新概念、新观点的一些重要论著的历史背景、要点及意义有所了解,特由有关编委撰写了每卷的编者说明,以说明该卷的论著数目和特点,以及一些重要论著的历史背景、要点及其意义。此外,还根据陈国达生前嘱托代为修正了相关文章中的印刷错漏、专门用语的欠妥和规范不统一等问题。

在《陈国达全集》资料收集集中得到了中国科学院长沙大地构造研究所、中南大学地学与环境工程学院及陈国达院士的亲属的支持和大力协助。此外,还获得了北京国家图书馆、中国地质图书馆、全国地质资料馆、中国地质学会、湖南省地质学会、湖南省图书馆、广州中山图书馆、中山大学图书馆、中南大学档案馆和图书馆、中南大学地学与环境工程学院资料室等众多单位的鼎力帮助,在此一并致谢!

在《陈国达全集》的编辑和出版过程中,始终得到中国科学院叶连俊、孙枢、翟裕生等院士和中国工程院黄培云、黄伯云、何继善等院士的热情鼓励和支持;以及一些单位和个人在出版经费上的大力资助(见资助者题名页),原全国人大常委会副委员长、中国科学院院长、中国科学技术协会主席,现任名誉主席周光召院士以及中国科学技术协会副主席、中南大学校长黄伯云院士欣然为本书题词,中国工程院矿产与能源学部主任、湖南省科协主席何继善院士专门为本书题词并题写了书名。在此,我们深表谢意!

《陈国达全集》的“前言”,是由中国科学院长沙大地构造研究所和中南大学两单位陈国达生前的行政秘书和学术助手等,参照包括陈国达院士本人的历年相关的档案、资料撰稿,后经征求编辑出版委员会全体成员的意见,经反复修改,并经院士、专家学者最后审定。《陈国达全集》的总序,经编辑出版委员会在长沙专家座谈会商定,采用陈国达亲自撰写的《独立思考 自主创新》一文<sup>①</sup>,作为代自序,放在全集各卷前。

我们怀着崇敬的心情搜集整理编辑陈国达的论著,看到凝结着编委会心血的《陈国达全集》的面世,内心感到无比欣慰。因为这不仅是陈国达毕生从事地质事业,创立和发展地洼学说(活化构造及成矿理论)的历史记录和科学总结,而且也是留给中华民族乃至国际地学界的一份宝贵的科学文化遗产。但因陈国达从事地质科研和教书育人工作的时间跨度很长,中间又经历了八年抗战、解放战争的伟大历史时期和建国后的“文化大革命”等几个较动荡的阶段,以致收集整理工作艰巨繁难,错漏之处在所难免,敬请有关专家和读者批评指正。对于被遗漏的未能编入《陈国达全集》的著作,我们将在机会成熟之时再编辑出版续集。

《陈国达全集》编辑出版委员会

2007年8月25日

<sup>①</sup> 见《科学的道路》,中国科学院院士工作局编,上海教育出版社出版,2005

## 编者说明

本卷收入作者 2003 年出版的《活化构造成矿学》专著,它是活化(地洼)构造及成矿理论的系统论著之二。活化构造成矿学及递进成矿论,是作者在 20 世纪 50 年代首先发现后地台活化构造区并于 1956 年在论述活化区成矿特点时开始提出,后经扩充并系统化逐步形成的。该专著即是作者在 1956 年原始自主创新,按大地构造理论与找矿实践并重的学术观点与路线创立的地洼学说(活化构造及成矿理论)基础上,在经受 40 余年国内外学者的共同实践检验和持续积累、拓展增新后,从历史-动力综合大地构造学的理论层次,作出的系统化总结。因而本专著是具有里程碑意义的重要学术成果,代表了活化构造成矿理论开拓发展的新水平。

《活化构造成矿学》专著,奠定了由历史-动力大地构造理论范畴与活化(地洼)区矿床学交叉产生的活化构造成矿学这一新兴成矿学学科的基础。该论著总结了作者近 70 年期间所从事的地质科研和实践,包括对苏联、美国、法国、日本、蒙古、瑞典、芬兰、南斯拉夫等国地质矿产的实地考察,以及承担从“一五”至“十五”国民经济发展规划的一系列重大找矿项目研究和开展多个国际合作项目研究,且借鉴与引用国内和国际活化(地洼)成矿学派众多学者的成果资料。但作为一个新兴的交叉学科,有待进一步充实发展与完善。

该论著的学术特色及基本要点有:①对活化构造成矿学的理论基础和基本观点——递进成矿论进行了较扼要的论述与阐明;②对活化构造成矿学的基本研究途径与方法——历史-动力综合成矿分析法,作出了全面性概述;③着重对递进成矿的客观事实依据及标志性矿床——多因复成矿床新类型及其主要复成成矿模式,以代表性的金属、非金属及能源矿床实例为依据,作出了实证性的详尽阐明与分析;并以典型矿床为例提出了“复合型多因复成矿床”新概念;④从全球性大地构造演化-运动综合构造区——壳体构造新概念,建立了壳体构造成矿及其递进成矿演化动力源机制的基本论点;并以兰坪金顶超大型铅锌矿床和白云鄂博超大型铁-稀土矿床为例,对“幔-壳体多因复成矿床”进行了阐明;⑤对中国大陆及陆缘海域的主要非金属矿产、能源矿产、金属矿产的壳体构造成矿特征进行了概述,编制了小比例尺(1:3 000 万)中国区域壳体构造成矿图。

《活化构造成矿学》专著,系受中国科学院资环局重点资助项目和湖南省基金委院士基金资助项目的最终成果,并获 2004 年第十四届中国图书奖。

# 陈国达全集

## 第七卷 地活化构造成矿学<sup>\*</sup>

---

\* 本专著系受中国科学院资环局和湖南省基金委院士基金项目资助的成果，由陈国达院士及其特别助理杨心宜研究员整理成书，曾由湖南教育出版社于 2003 年出版，2004 年获第 14 届中国图书奖。此次汇编《陈国达全集》时，由杨心宜对本书进行了修订。

# 内 容 简 介

本书从理论基础与基本研究方法两个方面，对活化构造成矿学这门历史－因果论综合大地构造学与矿床学交叉的新学科，进行了系统而全面的论证。其中对活化(地洼)构造成矿区、大地构造递进成矿演化、多因复成矿床类型、递进成矿演化动力源机制等核心内容，作了重点论述；并运用壳体大地构造演化－运动的创新观点和研究方法，对中国主要非金属、金属和能源矿产的大地构造成矿类型及其成矿演变特征，产出与布局的时空特点及规律性，作出了新的论证。

全书系统、全面地反映了活化构造成矿学创立近半个世纪以来，在理论基础与实践应用上，不断充实发展和开拓创新取得的系列成果；内容翔实，文图并重，实证性鲜明。

## Synopsis

In terms of theoretical foundation and basic research methods, this book systematically and completely demonstrates the activated tectonometallogeny, a new and overlapping fields of learning of geotectonics and mineral deposit synthesized by historiccausationism. In particular, it lays stress on contents such as activated (diwa) tectonometallogenetic areas, progressive geotectonic and metallogenetic evolution, polygenetic compound deposit types and dynamo-source mechanism of progressive metallogenetic evolution. Furthermore, concerning the major nonmetals, metals and energy resources in China, innovative ideas and new research methods are used to demonstrate the geotectonometallogenetic types and their evolution characteristics, the space-time features of distribution and its regularity.

This book also gives a comprehensive description of a series of achievements achieved since the establishment of the activated tectonometallogeny nearly half a century ago. It is authentic and substantial in content with excellent essays and their accompanying pictures.



## 目 录

序 言 .....	( -1 - )
Preface .....	( -3 - )
1 成矿学的一般概念 .....	(1)
1.1 成矿学 (Metallogeny; Металлогения) .....	(1)
1.2 成矿学简史 .....	(1)
1.3 成矿学的研究目的及意义 .....	(3)
1.4 成矿学的研究范围 .....	(3)
1.5 成矿学的研究任务及分科 .....	(4)
2 代表性大地构造成矿学理论的简介及评述 .....	(6)
2.1 概述 .....	(6)
2.2 历史大地构造成矿学理论(槽 - 台成矿学理论) .....	(6)
2.3 动力大地构造成矿学理论(地质力学构造体系成矿分析、板块成矿论) .....	(12)
3 活化构造成矿理论的基本概念 .....	(19)
3.1 概述 .....	(19)
3.2 活化构造成矿理论的组成 .....	(21)
4 活化(地洼)构造成矿区 .....	(31)
4.1 后地台阶段成矿构造新单元的发现 .....	(31)
4.2 活化(地洼)构造成矿区的地质发展过程 .....	(32)
4.3 活化(地洼)构造成矿区的综合地质特征 .....	(34)
4.4 活化(地洼)构造成矿区的成矿学特征 .....	(69)
5 已知大地构造成矿单元及其基本特征 .....	(80)
5.1 已知大地构造成矿单元及其演化关系 .....	(80)
5.2 不同大地构造单元的地球化学特点与成矿关系 .....	(84)
5.3 成矿构造单元常见的成矿建造及其组合特点 .....	(92)
5.4 成矿构造单元常见矿产的产出特点 .....	(102)
5.5 已知成矿构造单元及成矿构造区的成矿控制特点 .....	(109)
5.6 活化(地洼)成矿区与地槽、地台型成矿区的成矿特征对比 .....	(116)
6 递进成矿演化 .....	(119)
6.1 引言 .....	(119)
6.2 活化(地洼)构造成矿区——地壳演化史中动“定”转化递进成矿的重要例证 .....	(119)
6.3 动“定”转化递进成矿演化的规律性 .....	(122)

6.4	动“定”转化递进成矿演化的特征 .....	(129)
6.5	“递进成矿”的理论及实际意义 .....	(141)
6.6	运用大地构造递进成矿的规律性进行找矿预测的实例 .....	(143)
7	多因复成矿床 .....	(155)
7.1	概述 .....	(155)
7.2	多因复成矿床的定义和特点 .....	(156)
7.3	多因复成矿床的主要成矿模式 .....	(156)
7.4	多因复成矿床形成的大地构造条件及其成矿大地构造演化组合类型 .....	(196)
7.5	关于“复合型”多因复成矿床 .....	(217)
8	壳体演化—运动与成矿 .....	(225)
8.1	壳体研究简史 .....	(225)
8.2	壳体演化—运动及大地构造成矿 .....	(225)
8.3	壳体演化—运动与成矿的动力源机制 .....	(233)
8.4	地幔蠕动与成矿 .....	(234)
8.5	幔—壳型多因复成矿床实例 .....	(236)
9	历史—动力综合成矿分析法概述 .....	(260)
9.1	历史—动力综合成矿分析法 .....	(260)
9.2	历史—动力综合成矿分析与研究的基本要求与原则 .....	(260)
9.3	历史—动力综合成矿分析与研究中的成矿大地构造分析 .....	(265)
9.4	成矿构造及其分级 .....	(266)
10	大型成矿构造分析与研究 .....	(273)
10.1	概述 .....	(273)
10.2	构造区的成矿构造分析与研究 .....	(274)
10.3	成矿构造单元及其成矿专属性分析 .....	(309)
10.4	大地构造单元的矿产继承性及成矿递进性分析 .....	(315)
10.5	成矿的多阶段和不平衡性分析 .....	(316)
10.6	构造成矿区中不同分区的控矿特点分析 .....	(320)
11	中、小型成矿构造分析与研究 .....	(328)
11.1	褶皱构造的成矿控制分析与研究 .....	(328)
11.2	断层构造的成矿控制分析与研究 .....	(345)
11.3	侵入岩成矿构造的分析与研究 .....	(368)
11.4	火山岩成矿构造的分析与研究 .....	(391)
12	中国主要非金属矿产的成矿特征 .....	(404)
12.1	概论 .....	(404)
12.2	中国菱镁矿矿产的成矿特征 .....	(412)
12.3	中国磷矿矿产的成矿特征 .....	(413)
12.4	中国重晶石矿产的成矿特征 .....	(415)
12.5	中国云母矿产的成矿特征 .....	(416)

12.6	中国硫矿矿产的成矿特征 .....	(417)
12.7	中国萤石矿产的成矿特征 .....	(420)
12.8	中国石墨矿产的成矿特征 .....	(423)
12.9	中国硼矿矿产的成矿特征 .....	(424)
12.10	中国钾盐、钠盐矿产的成矿特征 .....	(426)
12.11	中国滑石、石棉矿产的成矿特征 .....	(428)
12.12	中国芒硝、天然碱、石膏矿产的成矿特征 .....	(429)
12.13	中国沸石、珍珠岩及膨润土矿产的成矿特征 .....	(432)
12.14	中国硅灰石矿产的成矿特征 .....	(433)
12.15	中国耐火粘土矿、高岭土矿产的成矿特征 .....	(434)
12.16	中国硅藻土矿产的成矿特征 .....	(436)
<b>13</b>	<b>中国主要能源矿产的成矿特征 .....</b>	<b>(438)</b>
13.1	概论 .....	(438)
13.2	中国煤矿矿产的成矿特征 .....	(444)
13.3	中国石油矿产的成矿特征 .....	(469)
13.4	中国天然气矿产的成矿特征 .....	(477)
13.5	中国铀矿产的成矿特征 .....	(495)
<b>14</b>	<b>中国主要金属矿产的成矿特征 .....</b>	<b>(532)</b>
14.1	概述 .....	(532)
14.2	中国主要黑色金属矿产的成矿特征 .....	(540)
14.3	中国主要有色金属矿产的成矿特征 .....	(546)
14.4	中国贵金属矿产的成矿特征 .....	(563)
14.5	中国稀土和稀有分散金属矿产的成矿特征 .....	(570)
<b>参考文献 .....</b>		<b>(575)</b>
<b>后 记 .....</b>		<b>(585)</b>
<b>Postscript .....</b>		<b>(587)</b>
<b>彩色图版</b>		
图版 I (Plate I) 中国大陆区主要非金属矿壳体构造成矿简图 .....		(卷首)
图版 II (Plate II) 中国大陆区主要金属矿壳体构造成矿简图 .....		(卷首)
图版 III (Plate III) 中国大陆及部分海域能源矿产成矿简图 .....		(卷首)

# Contents

1	General Concept of Metallogeny .....	(1)
1.1	Metallogeny .....	(1)
1.2	Brief History of Metallogeny .....	(1)
1.3	Intention and Significance of Metallogenetic Research .....	(3)
1.4	Scope of Metallogenetic Research .....	(3)
1.5	Research Tasks and Disciplines of Metallogeny .....	(4)
2	Brief Introduction and Review on Representative Geotectonometallogeny .....	(6)
2.1	Introduction .....	(6)
2.2	Historical Geotectonometallogeny (Geosyncline-Platform Metallogeny) .....	(6)
2.3	Dynamogeotectonic Metallogenetic Theory (Mineralization of Geomechanical Tectonic System, Metallogenetic Theory of Plate) .....	(12)
3	Basic Concepts of the Theory of Activated Ore Formation .....	(19)
3.1	Introduction .....	(19)
3.2	Composition of Theory of Activated Ore Formation .....	(21)
4	Activated (Diwa) Tectonometallogenetic Areas .....	(31)
4.1	Discovery of a New Post-latform Metallotectonic Element .....	(31)
4.2	Developing Process of Activated (Diwa) Tectonometallogenetic Areas .....	(32)
4.3	Integrated Geological Characteristics of Activated (Diwa) Tectonometallogenetic Areas .....	(34)
4.4	Metallogenetic Characteristics of Activated (Diwa) Tectonometallogenetic Areas .....	(69)
5	Known Geotectonometallogenetic Elements and Their Basic Characteristics .....	(80)
5.1	Known Geotectonometallogenetic Elements and Their Evolution .....	(80)
5.2	Relationship Between Geochemical Characteristics of Different Geotectonic Elements and Ore Formation .....	(84)
5.3	Common Metallogenic Formations of Metallotectonic Elements and Their Associated Characteristics .....	(92)
5.4	Outcrop Characteristics of Common Mineral Resources of Metallotectonic Elements .....	(102)
5.5	Characteristics of Ore Formation Control of Known Metallotectonic Elements and Metallotectonic Areas .....	(109)
5.6	Comparison of Metallogenetic Characteristics Between Activated (Diwa)	

	Metallogenetic Areas and Geosyncline and Platform Metallogenetic Areas .....	(116)
6	Progressive Ore Formation Evolution .....	(119)
6.1	Introduction .....	(119)
6.2	Activated (Diwa) Metallogenetic Area—A Significant Example of Progressive Ore Formation with Transformation Between Active and Stable Areas During Crustal Evolutional History .....	(119)
6.3	Regularity of Progressive Ore Formation with Transformation Between Active and Stable Areas .....	(122)
6.4	Characteristics of Progressive Ore Formation with Transformation Between Active and Stable Areas .....	(129)
6.5	Theory of “Progressive Ore Formation” and Its practical Significance .....	(141)
6.6	Examples of Rospecting Based on Regularity of Geotectonic Progressive Ore Formation .....	(143)
7	Polygenetic Compound Ore Deposit .....	(155)
7.1	Introduction .....	(155)
7.2	Definition and Characteristics of Polygenetic Compound Ore Deposit .....	(156)
7.3	Chief Metallogenetic Model for Polygenetic Compound Ore Deposit .....	(156)
7.4	Geotectonic Conditions of Formation of Polygenetic Compound Ore Deposit and Its Associated Types of Geotectonic Evolution .....	(196)
7.5	Polygenetic Compound Ore Deposit of “Compound type” .....	(217)
8	Crustobody Evolution-Movement and Metallogeny .....	(225)
8.1	Brief research history of crustobody .....	(225)
8.2	Evolution-Movement of Crustobodies and Geotectonic Ore Formation .....	(225)
8.3	Dynamo-source Mechanism of Progressive Ore Formation .....	(233)
8.4	Mantle Creep-flow and Ore Formation .....	(234)
8.5	Examples of Mantle-crust Type Polygenetic Compound Depos .....	(236)
9	Introduction to Historical-Dynamic Integrated Metallogenetic Analysis Approach .....	(260)
9.1	Historical-dynamic Integrated Metallogenetic Analysis Approach .....	(260)
9.2	Basic Requirements and Principles of Historical-Dynamic Integrated Metallogenetic Analysis and Research .....	(260)
9.3	Metallogeotectonic Analysis of Historical-Dynamic Integrated Metallogenetic Analysis and Research .....	(265)
9.4	Metallotectonics and Their Classification .....	(266)
10	Large Metallotectonic Analysis and Research .....	(273)
10.1	Introduction .....	(273)
10.2	Metallotectonic Analysis and Research of Metallogenetic Areas .....	(274)
10.3	Metallotectonic Elements and Their Metallogenetic Specialization .....	(309)
10.4	Succession of Mineral Resources of Geotectonic Elements and Metallogenetic	

Progressiveness .....	(315)
10.5 Multi-stages and Disequilibrium of Ore Formation .....	(316)
10.6 Ore-controlling Features of Different Zones in Tectonometallogenetic Areas .....	(320)
11 Middle-Small Metallotectonics Research and Analysis .....	(328)
11.1 Research and Analysis of Metallotectonics Related to the Folded .....	(328)
11.2 Analysis and Research of Metallotectonics Related to the Fault .....	(345)
11.3 Research and Analysis of Metallotectonics of Intrusive Rocks .....	(368)
11.4 Research and Analysis of Metallotectonics of Volcanic Rocks .....	(391)
12 Metallogenetic Characteristics of Major Nonmetallic Mineral Resources in China .....	(404)
12.1 Introduction .....	(404)
12.2 Metallogenetic Characteristics of Magnesite Mineral Resources in China .....	(412)
12.3 Metallogenetic Characteristics of Phosphorus Mineral Resources in China .....	(413)
12.4 Metallogenetic Characteristics of Barite Mineral Resources in China .....	(415)
12.5 Metallogenetic Characteristics of Mica Mineral Resources in China .....	(416)
12.6 Metallogenetic Characteristics of Sulphur Mineral Resources in China .....	(417)
12.7 Metallogenetic Characteristics of Fluorite Mineral Resources in China .....	(420)
12.8 Metallogenetic Characteristics of Graphite Mineral Resources in China .....	(423)
12.9 Metallogenetic Characteristics of Boric Mineral Resources in China .....	(424)
12.10 Metallogenetic Characteristics of Leopoldite and Sodium Salt Resources in China .....	(426)
12.11 Metallogenetic Characteristics of Talc and Asbest Resources in China .....	(428)
12.12 Metallogenetic Characteristics of Mirabilite, Tronite and Gypsum Resources in China .....	(429)
12.13 Metallogenetic Characteristics of Zeolite, Pearlite and Bentonite Resources in China .....	(432)
12.14 Metallogenetic Characteristics of Rivaite Mineral Resources in China .....	(433)
12.15 Metallogenetic Characteristics of Fire-resistant Tenacity Clay and Kaolin Mineral Resources in China .....	(434)
12.16 Metallogenetic Characteristics of Diatomaceous Earth in China .....	(436)
13 Metallogenetic Characteristics of Major Energy Resources in China .....	(438)
13.1 Introduction .....	(438)
13.2 Metallogenetic Characteristics of Coal Mineral Resources in China .....	(444)
13.3 Metallogenetic Characteristics of Petroleum Mineral Resources in China .....	(469)
13.4 Metallogenetic Characteristics of Gas Resources in China .....	(477)
13.5 Metallogenetic Characteristics of Uranium mineral Resources in China .....	(495)
14 Metallogenetic Characteristics of Major Metallic Mineral Resources in China .....	(532)

14.1	Introduction .....	(532)
14.2	Metallogenetic Characteristics of Major Ferrous Metallic Mineral Resources in China .....	(540)
14.3	Metallogenetic Characteristics of Major Nonferrous Metallic Mineral Resources in China .....	(546)
14.4	Metallogenetic Characteristics of Precious Metallic Metallic Mineral Resources in China .....	(563)
14.5	Metallogenetic Characteristics of Rate Earth and Rare Disperse Metallic Mineral Resources in China .....	(570)
References .....		(575)
Postscript .....		(587)
Attached Map		
Plate I	The Crustobody Tectonometallogeny Map of Major Matallic Mineral Resources in China .....	( Head of Volume VII )
Plate II	The Cruetobody Tectonometallogeny Map of Major Ferrers Mineral Resources in China .....	( Head of Volume VII )
Plate III	The Enegy Resources Map of Chinese Continental and Partlal Ocean Region .....	( Head of Volume VII )

# 序 言

任何科学理论要不断发展,都有赖于继承积累、开拓创新;需要提倡“继承不泥古,发展不离新”的科学求实精神。由历史-动力大地构造学与矿床学交叉产生的活化构造成矿学及递进成矿论,其形成与发展,也不例外。

20 世纪 50 年代,后地台活化构造区这类客观地质实体在中国首先被发现,使传统大地构造学和成矿学发生了变革。活化构造成矿学及递进成矿论,即是 1956 年在论述活化区成矿特点时开始提出,后经扩充并系统化逐步形成的。它为探索地壳中矿产形成与产出的时空规律,以及有效地指导找矿,另辟了新的思路。

活化构造成矿学的创立,其主旨是根据活化区成矿的事实特征,提出成矿学研究的新途径,摆脱只从三维空间角度研究成矿的传统观点,转向从四维时空并重的成矿演化的角度来研究地壳成矿的规律。

活化构造成矿学是从不同类型地壳“稳定”(克拉通)构造区与活动构造区之间递进演化的角度,强调与之同步的成矿同样也是递进演化的,并据此建立了“递进成矿论”。

依据对递进成矿演化形成的标志性矿床的识别,著者提出了多因复成矿床这种新的矿床成因类型。它具有多成矿大地构造阶段、多源成矿物质、多成矿作用类型、多种控矿因素和多成因类型的“五多”成矿特征。这类矿床在演化程度相对高的活化区尤为发育,且常成为超大型或特大型的矿床。

根据构造在成矿作用的先天条件(成矿前构造和物质基础的历史背景)、临产条件(成矿时的构造环境和成矿作用类型)及后天条件(成矿后的构造变动)中,所发生的叠加富集和再造富化、改造富化等一系列成矿作用的客观事实,著者提出了“构造成矿”的概念。

为了阐明同类大地构造区在演化-运动史不同的地域中成矿特点差异悬殊的原因,著者建立了演化与运动相统一的“壳体”概念,强调了成矿过程除受到壳体大地构造“定”递进演化的制约之外,还受到不同地域壳体大地构造分异演化差异的制约。这就为更深层次地探索不同演化史地域之间成矿大地构造体制演变的规律性开拓了一条新途径;并为“壳体成矿学”新学科的建立奠定了初步基础。

为探求递进成矿演化及壳体之间大地构造造成成矿特点差异的热动力机制根源,著者提出了“地幔热能聚散交替”制约成矿演化的假说和设想,即造成地壳中递进成矿演化特点在时空上不一致性表现的原因根源于地幔热能聚散交替机制的不一致性。通过对地幔热能聚散与成矿关系的阐明,著者还建立了幔-壳成矿和壳-幔成矿概念的雏形。



近半个世纪以来，活化构造成矿学及递进成矿论组成内容的充实与发展，凝聚了国内外无数学者的智慧和贡献，属于科学集体不断实践检验取得的共同成果。

《活化构造成矿学》一书的出版，意在总结过去，开创未来。这门应用性很强的学科，未来发展的领域更为广阔，更需坚持发扬“继承不泥古，发展不离新”的科学求实精神。对于活化构造成矿学及递进成矿论，继承它时，不应受原有看法的束缚，更需要通过实践，再实践，不断检验，加以修正和充实，使之得到进一步的创新与开拓发展。

陈国达

（中国科学院院士）

# Preface

The constant and steady development of any scientific theory depends on inheritance, accumulation and innovation. The scientific exploration spirit and matter-of-fact attitude—“Inheritance without pedantry, development through innovation”—need to be advocated. The formation and development of the activated tectonometallogeny and the progressive ore-forming theory is no exception, which have resulted from the interaction of historic-dynamic geotectonics and mineral deposit learning.

In the 1950s such objective geological entities as activated tectonics areas first discovered in China altered the traditional geotectonics and metallogeny. Activated tectonometallogeny and the progressive ore-forming theory was first put forward in 1956 during the discussion on the metallogenetic features of activated areas, then extended and gradually systemized. And it has brought many new ideas and solutions to exploring the space-time system of distribution of mineral deposits in the crust and to effectively guiding the exploration of mineral resources.

The main purpose of the establishment of the activated tectonometallogeny is to find out new ways to study metallogeny on the basis of the factual metallogenetic features of activated areas so that we can study the system of distribution of mineral deposits in the crust from an angle of four-dimensional space-time metallogenetic evolution instead of from an angle of traditional three-dimensional space metallogeny.

Activated tectonometallogeny emphasizes, from an angle of progressive evolution from multi-type crustal “stabilization”(craton) tectonic areas to active tectonic areas, that its synchronized ore-formation also follows progressive evolution likewise and thus the progressive ore-forming theory has been established accordingly.

On the basis of the discrimination of marker beds formed through progressive ore-forming evolution, the author presents this new metallogenetic type—polygenetic compound ore deposit, which has the following metallogenetic features (five “multi-”s)—multi-stages of geotectonic evolution, multi-sources of ore-forming material, multimodes of action of ore formation, multi-factors of ore control and multi-types of ore formation. Such ore deposits have been developing well, especially in those highly-evolved activated areas and they have sometimes become super huge or even extra super huge ones.

The author also presents the concept “tectonometallogensis” according to objective facts of a series of metallogenetic effects such as repeated mineral enrichment, remade enrichment and improved enrichment that tectonics has in congenital conditions (historical background of tectonics and material base before ore formation), in parturient conditions (tectonic environment and

metallogenesis types during ore formation) and in acquired conditions (tectonic transformation after ore formation).

In order to explain why the differences of the metallogenetic features of the geotectonic areas of the same type are so great in areas with different evolution. movement history, the author has established the concept “crustobody” integrating evolution with novement that emphasizes the course of ore formation iS restricted by the actively and “stably” progressive evolution of the crustobody geotectonics, as well as by the evolutionary differences of crustobody geotectonics. Therefore it has opened up a new way to further study the regularity of metallogectectonic evolution in areas with different evolutionary history and has laid the preliminary foundation of establishing a new branch of learning—“crustobody metallogeny”.

In addition, in order to seek the sources of thermokinetic mechanism of progressive ore-forming evolution and the differences of metallogenetic features resulting from geotectonics among crustobodies, the author has put forward a hypothesis—“mantle and geothermal energy coacervation-diffusion alternation” restricting ore-forming evolution, i. e. the causes which lead to the space-time differences of progressive ore-forming evolution have their source in the differences of the mechanism of mantle geothermal energy coacervation-diffusion alternation. By describing the relationship between mantle geothermal energy coacervation-diffusion and ore formation, the author has also proposed the embryo of a concept—mantle-crust and Crust • -mantle ore formation.

For nearly half a century, the wisdom and contribution of numerous scientists and scholars at home and abroad is embodied in the enrichment and development of the activated tectonometallogeny and the progressive metallogenetic theory. Therefore it is common achievement achieved by the above-mentioned scientists and scholars through continuous practice and tests.

The purpose of the publication of this Activated Tectonometallogeny is to summarize the past and open a new prospect. This is a branch of learning of strong application and vast vistas. We should stick to the scientific exploration spirit and matter-of-fact attitude—“Inheritance without pedantry, development through innovation”. In other words, when we carry forward the activated tectonometallogeny and the progressive metallogenetic theory, we should not be fettered by existing views concerned. Instead we are expected to constantly develop them and bring forth new ideas through practice, more practice, continuous tests for further amendments and enrichment.

*Chen Guoda*

Academician

Chinese Academy of Science

# 1 成矿学的一般概念

## 1.1 成矿学(Metallogeny; Моталлогения)<sup>①</sup>

关于成矿学的定义和研究内容,在不同学者的著作中有不同的看法。按照最先提出这个术语的法国地质学家 L. de Launay 于 1882 年的看法,它是“研究地壳里面元素分布、组合和分配规律”的。1906 年,该学者又强调研究矿床与区域大地构造联系的重要性,并据以提出“大地构造成矿学”一词。他于 1913 年还进一步阐明:“成矿学研究矿床,其目的是寻找矿床的空间分布规律,以及矿床随深度的变化规律。”他把矿床学的全部内容和地球化学的一部分内容都包括进去;就矿种上,在最初的成矿图上,除了金属矿之外,还试图探讨油田的分布规律。1928 年,英国学者 Holmes 则认为:“成矿学是从时代、区域大地构造和岩石学等方面对矿床进行成矿研究。”在 20 世纪 30—40 年代,С. С. Смирнов 在使用 Holmes 的术语时,探讨了成矿作用与广大地区的地质特点的联系。Ю. А. Билибин(1947)认为:“成矿学是用矿床时空分布规律的观点来思考金属成矿显示的总和。”Е. Т. Шаталов(1964)认为:成矿学的研究对象是“成矿带、成矿省、成矿区、矿区、矿带、矿结,查明含矿区和矿床的时空分布规律,研究成矿作用与影响成矿过程地质条件的联系的准则,预测新的含矿区”。1978 年,前苏联出版的《地质辞典》则把它视为“矿床学的一部分,研究金属矿床在空间和时间上分布的地质规律”。1980 年,美国出版的《地质辞典》中,认为成矿学是“关于矿床生成的学问,着重研究矿床的时空分布规律与区域大地构造特征和区域岩石特征的关系”。

综合上述各点,著者认为,成矿学可以定义为:“从大地构造学的角度来研究矿床的形成机理和在地壳中的时空分布规律,即把矿床学这个相对较狭的领域与大地构造学结合起来,用以探索成矿理论的一门综合性的边缘科学。”它的研究内容是:①矿床的形成和分布规律同大地构造的关系;②在矿种上,金属矿和非金属矿均应包括在内。

## 1.2 成矿学简史

成矿学这个术语,虽然在 19 世纪末就已出现(L. de Launay, 1882),但在地球科学的发展史中建立的时间较晚,而且较大的发展则系 20 世纪中叶的事。在 20 世纪 40 年代后期,С. С. Смирнов(1946)和 Ю. А. Билибин(1947)分别研究太平洋成矿带及其他地区的成矿规律时,在这方面进行了大量工作,做出了很多贡献;Билибин 且以研究金成矿学的突出成就而著名。这些贡献使成矿学得到迅速的成长,形成了苏联的成矿学派。他们被公认为成矿学

---

① 此名词的意思是“矿石的来源”,也有用 Minerageny, Минероаяения 的。但由于 Metallogeny, Моталлогения 提出在先,故按照习惯,使用较多。

的奠基人。随后,许多重要的成矿学专著陆续问世。И. Г. Магакъян 于 1974 年出版的《成矿学》,把成矿的大地构造类型划分为三种,即在地槽型、地台型之后加入了中国学者首先提出的第三类型,叫做“活化(地洼)构造型”,与前两型并列。А. Д. Щеглов (1986) 的《地洼区成矿》,В. И. Казанский (1972) 的《活化区成矿构造》,以及 И. Н. Томсон (1977) 的《活化区成矿分析》,均对第三构造单元的成矿学作了系统的论述。Щеглов 1980 年出版了《成矿分析原理》一书,在成矿学研究的理论和方法方面有较详细的阐述。此外,Щеглов 还提出了“平行成矿”和“非线性成矿”的新概念。所谓“平行成矿”,是认为“一个构造单元或一个成矿区域内,不同成矿温度的不同矿种同时出现,如高温的钨、金矿床与低温的汞、萤石矿床同在一起产出。其原因可能是地幔深部存在着不同的矿源体,在构造应力作用下,在时间和空间上同时平行成矿”。这种设想,有待证实,尤其是地壳深部的地质工作要做。至于“非线性成矿学”,依 Щеглов 在 1985 年出版的《非线性成矿学及地球深部》书中的说明,就是针对以往的线性成矿概念而提出的。他认为:“所谓线性成矿,是指成矿作用只与一两个因素呈线性关系。但事实上,成矿作用与控矿因素之间并非线性关系;成矿作用与多种因素有关,受多种因素制约。”1988 年,Л. В. Григори耶娃提出前寒武纪地洼区的存在,将其命名为原(始)地洼区(protodiwa),同时阐述了它的成矿特点,并与中新世的地洼区进行了比较。这使得构造区成矿学方面的研究,又有了新的突破。

在其他国家,成矿学的研究也已受到重视。1972 年,在第 24 届国际地质大会上,巴西的 F. F. M. de Almeida 提交了《南美地台的构造岩浆活化与伴生矿化》一文。1976 年,美国的 E. A. Alexandrov 在《经济地质》杂志中撰文对 А. Д. Щеглов 的《地洼区成矿》一书作了评价。为了推动成矿学的发展,在国际地科联矿床成因协会(IAGOD)矿床大地构造委员会(CTOD)之下设有“全球构造与成矿学学组”。由该学组主办、J. Kutina 主编的世界发行杂志《全球构造与成矿学》于 1979 年创刊,对于推动成矿学研究的开展起了相当大的作用。该矿床大地构造委员会于 1981 年提出了“从地壳演化看成矿作用”(Metallogenesis in the Context of Crustal Evolution)的研究专题,由各国学者分头开展工作。1986 年,加拿大 P. Laznicka 发表的《北美陆壳活化成矿——中国地洼成矿的复本》一文,是比较成矿学的一例。

在中国,从 20 世纪 50 年代起就已有地质工作者做过构造区成矿学研究的尝试,如《中国活化区矿产的分析》(陈国达,1958),《活化地台凹地型沉积矿床》(陈国达,1958),《地台活化说及其找矿意义》(陈国达,1960),《地洼型油气田的成矿条件》(陈国达,1963)等,均比苏联 Щеглов (1968)、Казанский (1972)、Томсон (1977) 等的有关地洼区成矿的著作发表得早些。随后还有一些涉及成矿学的著作发表。例如,袁奎荣(1963)、黄瑞华(1963)对地洼型花岗岩的地球化学特征与成矿作用的研究,均早于苏联 В. Л. Масайтис 等(1963, 1965)的同类研究。关于地洼区的断裂变质作用及其成矿的重要性,莫柱荪于 1963 年就已提出了创造性的见解。其后,《中国大地构造概要》(陈国达等,1977)及《成矿构造研究法》(陈国达,1978)的出版,对中国地洼区的成矿作用及其与别种构造区成矿作用的差别,做了比较系统的分析。“多因复成矿床”概念(陈国达,1979, 1982)的提出,为那些既有内生特征又有外生特征的许多重要矿床,对其成因问题长期争论而无法解决,以致找矿方向也无从确定的困难,提供了解决的途径;有关的论文曾于 1982 年在苏联第比利斯的第六届国际矿床成因协会讨论会上被特邀宣读。此外,专门刊物《大地构造与成矿学》的创刊(1977),对于成矿学研究

的开展,也起了推动的作用。关于地洼花岗岩与钨成矿的关系,刘家远(1986)做了独到的分析。陈勤伍(1982)、王学增、姚振凯(1985)等对地洼区中铀的成矿规律有新的认识。许善明、杨政权(1983)、刘志坚(1985)对地洼区煤的改造和变质作用作了论述和分类。关于中国各种大地构造类型油田,包括古潜山型油藏的特征、形成机理和分布规律,陈国达、费宝生(1979, 1980, 1984)进行了比较系统的分析。张国军(1985)对华北邯郸式铁矿的成矿构造做出了透彻的阐述。陈文明(1984)在研究中国的斑岩铜矿时,指出它与地洼成矿作用具有密切的关系。

### 1.3 成矿学的研究目的及意义

成矿学是作为一门新的边缘学科提出来的,其研究目的和意义是十分明确和重大的。它是通过矿床学与大地构造学的结合,把两者联系起来进行研究,从矿床形成的大地构造背景入手,既以地壳演化规律的控矿特点为依据去分析矿床分布的时间规律,又根据不同大地构造区域的控矿特点去分析矿床的空间分布规律。它一方面吸取了矿床学的研究方法,对矿床的形成过程、环境条件等作出微观的认识,另一方面又在大地构造学的研究方法指导下,对矿床的形成机理、时空分布规律作出宏观的认识和阐明。因此,它能同时兼备这两门科学的特点,跳出矿床学相对狭小的研究领域,能够更好地指导找矿,以及对包括大、中、小各级新的含矿区的矿产进行预测。

总的说来,成矿学的研究目的意义是把地质构造单元与成矿物质单元结合,把构造活动与成矿物质迁移、富集作为一个整体,来研究成矿的机理和演化规律,以及所成矿产的时空分布规律,以求更好地预测新的含矿区,选择靶区,为进行有效的资源勘探提供科学的理论依据。

成矿学虽属基础研究,但对于国民经济的发展具有明显的实用价值和经济效益。苏联学者运用它找矿取得的成效,即是很好的证明。在一些例子中,最著名的是后贝加尔等处。这些过去按传统槽-台成矿论被认为是无矿或找矿远景极小的地区,在找矿上一直不予重视。后来,经过构造区成矿学结合比较成矿学的研究结果,根据地洼区的成矿特点,并与中国的地洼区成矿条件进行对比,改变了战略部署,把该地带列为重点勘探区,终于找到了原来短缺的矿种,如稀有金属、萤石、钨、锡等矿床(中国地质科学研究院情报室,1978)。

### 1.4 成矿学的研究范围

成矿学的研究范围包括:①各种金属和非金属矿床产出的大地构造环境、条件和形成机理,特别是它们的形成和变化与不同大地构造单元的沉积建造、岩浆建造、变质建造、构造型相、地球化学、地球物理、深部地质作用等方面的关系;②这些矿床在时间上和空间上的分布规律、所受大地构造单元类别及其演化阶段的控制情况;③各种矿床在不同大地构造单元中的产出特点及其规律。

## 1.5 成矿学的研究任务及分科

成矿学的任务,总的说来,主要是从地壳演化规律的角度,探索各种大地构造单元的成矿专属性,大地构造环境及其物理、化学、生物等条件,对矿产形成时的影响或形成后的改造,以及对所成矿产在时间上和空间上分布规律的控制。至于具体任务,则视分科而不同。关于它的分科,著者认为主要有如下几方面。

(1)构造单元成矿学 从事于不同大地构造单元(如地槽区、地台区、地洼区等,或出现于不同地质时代的这些构造单元),或者同一类别的某种构造单元(如某种地槽区、某种地洼区等)的成矿专属性的分析,包括其中的主要矿种组合特点、主要矿床类型组合特点、含矿建造、成矿条件和所受各种控制因素(包括沉积建造、岩浆建造、变质建造、构造型相、构造地球化学等方面)的影响在其发展过程中的矿化特点及其演化规律,以及所成矿产的时空分布规律等,如陈国达(1958)的《中国活化区矿产的分析》,А. Д. Щеглов(1968)的《地洼区成矿》,В. И. Казанский(1972)的《活化区成矿构造》,И. Г. Магакъян(1974)的《成矿学》,И. Н. Томсон(1977)的《活化区成矿分析》,Ю. Г. Старицкий等(1968)关于地台成矿学的著作和В. И. Смирнов(1962)的《地槽成矿学》等。

(2)构造区成矿学 从事于各个不同构造区或其内部不同级别的构造分区(如某个地槽区中的地向斜、地背斜或山间盆地),某个地洼区中的地洼系(或列)、地穹系(或列)或地洼盆地等成矿特征的分析研究,包括其中的特征性矿床类型组合,成矿背景条件和成矿特点,以及时空分布及演变规律等。

(3)历史成矿学 从事于研究在地壳发展史中各个不同地壳运动期或大地构造发展阶段(如前地槽区阶段、地槽区阶段、地台区阶段、地洼区阶段等)的成矿作用特征、矿产组合、成矿演化规律、矿产继承性、成矿递进性、叠加成矿作用、后来成矿作用对先成矿产的改造或再造、各个地壳演化阶段所成矿产的空间分布规律等。

(4)区域成矿学 查明地壳中一定范围内的区域大地构造特征与矿床形成和时空分布规律的关系,区域内不同性质的各个构造分区及大、中、小含矿区的成矿专属性特征和形成条件,以及矿化分带性及其原因等,据以预测新的或隐伏的含矿区,如Е. А. Радкевич(1976)的《太平洋带成矿学概要》,В. Б. Черницын(1977)关于大高加索成矿研究的论著。

(5)全球成矿学 以构造单元成矿学和构造区成矿学的研究结果为基础,从全球的观点分析大、中型成矿带在地壳中的分布规律和它们具有的成矿专属性,据以预测新的成矿带或其中的较次级含矿区。

(6)元素成矿学 即单矿种的成矿学研究,属于“专门成矿学”范畴,专门分析、研究某些成矿元素在地壳演化史的不同阶段中逐步增积、形成矿床,以及所成矿床逐步叠加、富化等规律;在同一时期不同大地构造区中的成矿差异,所成矿床的产出条件、形成机理、含矿建造类型,与岩浆、沉积、变质作用的关系和分布规律,据以预测新的含矿区,例如金成矿学、铀成矿学、锡成矿学、煤成矿学、油气成矿学等。这是目前研究中的重点,有很大的实际意义,例如С. Д. Шер(1974)关于金成矿学的著作,Н. А. Солодов(1978)关于亲石稀有金属成矿学的专著,В. И. Казанский等(1978)关于铀成矿演化过程和时空规律的论著。

(7) 矿床成矿学 专门研究某一类型的矿床, 或某一矿种的某些矿床类型(主要按成因类型, 例如火山岩型铁矿床、斑岩型铜钼矿床、多因复成矿床等; 有时也可按产出类型, 如层控铅锌矿床、脉状钨矿床等)产生的大地构造条件, 形成机理, 含矿建造类型, 与岩浆、沉积、变质作用的关系, 在地壳发展史中的演化规律和时空分布规律, 据以预测新的含矿区。这也涉及“专门成矿学”范畴。

(8) 比较成矿学 对不同矿种或同一矿种不同成因类型的矿床形成的大地构造条件、形成机理、分布规律等进行对比研究, 或对不同大地构造区或两个以上大地构造性质相同的不同地域的成矿特点进行对比研究, 等等, 据以预测新的含矿区, 或预测某些矿种或矿床类型。如 P. Laznicka(1986)的《北美陆壳活化成矿——中国地洼成矿的复本》。

(9) 普通或理论成矿学 从事于研究成矿学的一般性基础理论问题, 包括成矿学的研究任务和范围, 研究方法和手段及其更新, 作为一门科学的诞生、形成和发展史、研究现状、今后发展的趋势和方向, 与各个有关科学的联系和交叉, 含矿区的划分和评价的原则与方法等, 例如 В. И. Смирнов(1963)的《成矿学概念》, И. Г. Магакъян(1974)的《成矿学》, А. Д. Щеглов(1980)的《成矿分析原理》等。陈国达 1960 年的《地台活化说及其找矿意义》和 1978 年及 1985 年的《成矿构造研究法》也属于此分科范畴。

(10) 多因复成矿床成矿学 它是从大地构造学和矿床学相结合的角度, 研究矿床形成的多个大地构造发展阶段和与之同步的多种成矿作用类型、多物质来源、多类构造层及其构造控矿和多成因类型。主要是针对成因复杂的一类矿床, 通过研究查明其矿床形成的先天、临产及后天条件对其时空规律性的控制及影响。这是突破传统三维空间研究矿床的思路, 转向从四维时空角度的研究。研究范畴涉及“专门成矿学”及“元素(或单矿种)成矿学”。如陈国达(1979)的《多因复成矿床并从地壳演化规律看其形成机理》, 姚振凯等(1998)的《多因复成铀矿床及其成矿演化》, 魏洲龄等(1993)的《华北多因复成油气藏》等, 是其例。

(11) 幔-壳成矿学 这是从岩石圈地壳角度进行历史-动力学成矿作用及矿床形成的一个新的研究方向, 除了着重阐述地幔动力作用过程同矿床形成的关系, 研究与地幔物质来源及富集成矿物质的动力上有直接的关系, 又掺和有或叠加有地壳再造矿床的成矿因素而形成的一类特征复杂的幔-壳复成矿床(尹汉辉, 杨心宜, 1989)或壳-幔复成矿床(陈国达, 1991)。它的研究内容和范畴包括了普通或理论成矿学及多因复成矿床学的一些部分, 如 А. Д. Щеглов(1985)的《非线性成矿学及地球深部》, 陈国达(1991, 1997)的《壳体演化-运动成矿的地幔作用》等。



## 2 代表性大地构造成矿学理论的简介及评述

### 2.1 概 述

如前所述,成矿学理论是从大地构造学角度,研究和阐明地壳中矿床形成的机理及其时空规律性,为矿产资源的预测、找寻及开发利用,提供科学依据的一种理论。所以,成矿学理论也称大地构造成矿学理论。

在成矿学史上,出现过众多不同的成矿学理论,其间差异的实质,在于各自建立在不同的大地构造学理论与研究方法的基础之上。因此,就成矿学理论与大地构造学理论之间的关系而言,著者认为,大地构造成矿学理论依其所属的大地构造学理论的不同范畴,基本上可分为:历史大地构造成矿学理论,动力大地构造成矿学理论,以及历史-动力学综合大地构造成矿学理论。

### 2.2 历史大地构造成矿学理论(槽-台成矿学理论)

#### 2.2.1 简 述

历史大地构造成矿学理论也称槽-台成矿论,是20世纪50年代中期前占据统治地位的一种经典、传统的大地构造成矿学理论。这一成矿学理论主要是以在19世纪J. Hall和J. D. Dana创立的地槽学说基础上发展形成的地槽-地台大地构造理论为依据,在此理论基础上建立的大地构造成矿学理论,故称“槽-台成矿论”。槽-台大地构造理论认为:地槽区与地台区是组成地壳的两种基本大地构造单元(或构造区),前者是地壳运动强烈、活动差异性大的构造区,后者则是地壳运动相对稳定、活动差异性小的构造区。两者间的演化关系主要分为两个阶段,起先出现地槽活动构造区,其后经褶皱形成地槽-褶皱山脉渐固结(克拉通化)并被削平转化为准平原,使之转化进入地台稳定构造区阶段。地槽区是地台区发育的基础,地台区则是由地槽区转化而成的。在地台区沉积盖层之下常可见到地槽区形成的褶皱基底,便是这种历史生因和转化关系的客观地质事实的有力证实。

从20世纪30—40年代起,主要是由苏联学者在历史大地构造学地槽-地台学说的基础上,逐步发展建立了槽-台成矿学理论。其中有Ю. А. Билибин(1937, 1947, 1948, 1955, 1961)和С. С. Смирнов提出的关于内生矿床与各种不同的岩浆岩系有着密切的关系,它们有规律地产生在地槽带的发展过程中,并且与沉积作用和构造活动紧密地联系在一起,以及在地槽活动带发展阶段中构造-岩浆旋回期内各种不同内生矿床连续出现的概念等;В. И. Смирнов(1962, 1967)的《地槽成矿学》专著关于不同类型地槽活动带的地质发展及其成矿的不同,以及地槽构造带中内生矿床出现的特征与地槽内部不同构造单元的相互联系等的论

述; Г. А. Твапчрелидзе(1972, 1977)有关优地槽和拗地槽各具不同沉积建造、岩浆建造, 具有不同的成矿特征和矿床组合, 以及拗地槽的内生成矿微弱等的论述, 等等; Ю. Г. Старицкий(1958, 1965, 1973)关于西伯利亚地台的矿床分布规律, 以及世界地台区成矿学的详细对比研究, 指出地台区的构造演化及成矿与地槽区之间具有原则上的差别; 此外, 还有 И. Г. Магакъян(1959, 1974)有关大陆成矿学的专著等; 上述学者对地槽区和地台区的成矿研究, 为槽-台成矿学理论奠定了坚实的基础。与此同时, 前苏联学者提出了地质建造分析将其作为成矿学研究的基本方法(如 Е. Т. Шаталов, 1969; Н. П. Херасков, 1967 等), 认为建造分析对研究矿床形成与分布的一般性规律具有重要的意义, 它可以确定出矿产与各种大地构造单元的不同发展阶段的不同级别构造之间的内在的成因联系。

主要由苏联学者建立的槽-台成矿学理论, 对成矿学的发展曾起了积极的推动作用, 对世界各国的成矿学研究有重大的影响, 故也被称为苏联成矿学学派。诸如: 美国和加拿大的 M. Ramovic: (1968)、P. Guill (1971)、P. G. Warren (1972) 等的成矿研究; 以及印度 1:2 000 000 成矿图(1963), 澳大利亚 1:5 000 000 成矿图(1972), 罗马尼亚(G. L. Cumming 等, 1969)、波兰(1968)编制的本国成矿图; V. Sattran(1966)关于捷克地块成矿学的著作及 П. Лаффит(1969)的《法国成矿学》等, 都广泛地或在很多方面运用了槽-台成矿学理论及其厘定的方法与原则。

## 2.2.2 槽-台成矿学理论的主要论点

### 2.2.2.1 组成地壳的基本大地构造单元

分为地槽-褶皱区和地台区。两者彼此间在地质构造发展过程中及其范围内的沉积、岩浆、变质建造, 构造格局和深部地壳结构, 以及成矿学特征都有明显的不同。因此, 地槽成矿区和地台成矿区是决定地壳中矿床形成与时空分布规律的两种最基本的成矿构造区。

### 2.2.2.2 地槽-褶皱区成矿演化的基本特征

严格受地壳地槽-褶皱活动带发展阶段的制约, 不同发展阶段各具有不同的一套沉积岩、岩浆岩和与之相关的矿床。

(1)地槽活动带发展的早期成矿阶段 伴随最初形成总体沉陷占优势的地槽发育, 大断裂的活动形成沉积-火山岩建造和火山岩建造。其中占优势的有细碧-角斑岩组合, 安山-玄武岩组合或安山-英安岩组合, 以及沿断裂带形成的超基性和基性侵入体(橄榄岩、辉石岩、苏长岩、辉长岩)。与超基性岩建造有关的矿床有: 铬、镍、石棉、滑石、钴矿床; 与橄榄岩-辉长岩建造相关的铂、铁、钛矿床或与细碧角斑岩有关的黄铁矿型多金属矿床; 以及与海相碳酸盐建造、泥质-页岩建造或含硅质、碧玉建造有关的铝土矿、菱铁矿、锰矿、含铁硅质岩和含钒页岩矿床等。其后随着断裂活动的加剧, 出现与初期本质上不同的岩浆作用, 形成与辉长-闪长岩建造和辉长-花岗正长岩建造小侵入体相关的矽卡岩型铜铁矿床。早期阶段的岩浆矿床的成矿元素主要来自壳下岩浆。当有的地槽活动带出现局部褶皱回返时, 则可形成与斜长花岗岩、闪长岩、二长岩、正长岩和辉长岩岩基体相伴的铁、铜、钼和钨的成矿, 以及与小型或次火山型的石英钠长斑岩、花岗岩、花岗闪长岩有关的热液汞、锑、金、钼矿床。

(2)地槽活动带发展的中期成矿阶段 该阶段相当于地槽区全面褶皱回返的褶皱造山带

形成时期。中期阶段的沉积岩系以复理石、类复理石建造特别发育为其特征,沉积-火山岩建造、砂质-泥灰质建造和碳酸盐建造居次要地位。同褶皱造山深成岩基体的形成是中期阶段的重要标志,其前常见与花岗岩类、石英闪长岩和闪长岩小侵入体相伴的金-白钨矿或含砷、锑的成矿作用。与大型花岗岩类深成岩体具有成因联系的主要为矽卡岩型钨矿床和钼矿床,成矿岩体通常具有复杂成分和多种岩性的特点(从石英闪长岩、花岗闪长岩、斜长花岗岩到黑云母花岗岩、黑云母-角闪花岗岩)。此外,与另一类大型酸性和超酸性花岗岩深成岩体有关的成矿,主要有斑岩型、热液型以及综合型的稀有金属矿床,如伴生有铍、锂或铌、钽的钼金钨矿床,少数可出现铍、锂、铌、钽的独立矿床。中期发展阶段主要为稀有金属成矿,其成矿物质主要来自重熔地壳花岗岩浆及其岩浆期后溶液从岩体中的吸取。

(3)地槽活动带发展的晚期成矿阶段 此时期由于地槽褶皱造山带的形成和构造活动性的减弱,地槽区进入了山间和山前(边缘)盆地以地表条件下沉积作用为主的发展阶段。主要发育磨拉石建造、碳酸盐-陆屑建造或具有不同成分的陆相火山建造,以及杂色陆相-潟湖相的含盐建造和含煤建造等。晚期阶段的内生成矿在规模、强度上均显著减弱,主要是与裂隙型小侵入体(岩株、岩墙、岩床)共生的内生成矿作用,随小侵入体成分的不同分别具有:金钼、锡-多金属、铅锌、汞锑和萤石-重晶石等不同的矿床类型。地槽区晚期发展阶段内生成矿的物质来源较为复杂,或是壳下基性岩浆来源的,或是壳内岩浆来源的,也有围岩中提供的。

根据对众多不同地区和不同时代地槽区成矿学的实例研究,证实上述这种地槽-褶皱区成矿演化的一般性模式,从总体上反映了地槽区演化发展过程中,呈现出阶段性和方向性变化的成矿演化的特性。但是,在优地槽与拗地槽不同类型的地槽构造区,由于优地槽发育的典型建造为碳酸盐-页岩建造和火山建造,并有基性和超基性岩浆出现,拗地槽则以陆屑建造、砂-页岩建造和复理石建造为特征,并发育有花岗岩浆作用,因而两者的成矿特征明显产生差异。另一方面,同种类型地槽区之间也会因其不同发展阶段发育程度的差别,或因其中某一发展阶段的欠发育,造成在具体成矿演化特征上的不同。例如 Ю. А. Билибин(1948)划分的西欧型、远东型和乌拉尔型三种地槽成矿区类型。又如 В. И. Смирнов(1963)关于地槽区典型地质发展特征及其成矿特征上不同划分的四种类型地槽成矿区:①A型地槽成矿区(如乌拉尔海西地槽区),其特征是地槽早期发展阶段的喷发和侵入岩浆作用及成矿作用特别强烈,包括:与海底喷发建造有关的含铜黄铁矿型矿床和硫矿床,超基性岩建造的铬、铂、镍岩浆矿床,基性岩建造的钛铁矿-磁铁矿岩浆矿床,以及由基性岩浆分异的斜长花岗岩和正长岩的矽卡岩型铁、铜矿床。中期为与花岗岩体有关的伟晶岩型、热液型和矽卡岩型稀有金属矿床,但岩浆规模和成矿强度比早期小得多。晚期则只形成一些较小的多金属、金矿床。②B型地槽成矿区(如小高加索地槽成矿区),与A型的区别是其发展早期的岩浆喷发作用及成矿作用很强烈,形成与厚大海底火山喷发岩系伴生的铅、锌和重晶石矿床,含铜黄铁矿矿床;中期则广泛形成热液型钼矿床和铜钼矿床。③C型地槽成矿区(如南天山、东哈萨克斯坦海西地槽区),其成矿特征为早期阶段岩浆作用极其少见和微弱,缺乏与之相关的矿床;中期阶段的成矿为与大型深成花岗岩体共生的伟晶岩型、云英岩型锡、钨矿床,以及与高度酸性花岗岩有关的含白钨矿矽卡岩矿床;晚期阶段则是与各种不同成分小侵入体共生的多金属、铋、铜和萤石矿床,同时还有与岩浆作用没有直接关系的低温汞、锑、铅和锌矿床。这类

地槽成矿区的特征是从早期到晚期发展阶段,成矿强度不断增大。④D型地槽成矿区(如维尔霍扬斯克地槽成矿区),在地槽发展早期内成矿作用未出现;中期阶段出现较复杂的矿床组合,比较发育的为较早形成的金-白钨矿矿床和较晚形成的锡钨矿床;晚期阶段主要形成与小型侵入体(裂隙型)有关的锡、钨、铅、锌和钴矿床,与成矿密切相关的小型侵入体既在中期也在晚期发育。

### 2.2.2.3 地台稳定构造区成矿演化的基本特征与地槽-褶皱区具有本质上的区别

地台区是比地槽-褶皱区相对稳定、具有双层结构的大型固结壳块,它的基底是由不同时代的地槽-褶皱区的地槽建造组成,其上发育相对平整的沉积岩,局部发育火山岩组成的沉积盖层。基底和盖层具有不同的成矿特征:

(1)地台区基底的成矿作用及矿床 这是指原先的地槽-褶皱区发展阶段形成的矿产经过区域变质作用,叠加和准平原化剥蚀、削平改造之后保留下来的那部分矿床。由于地槽-褶皱区经固结稳定后成为地台区的基底而继承成为地台区中的矿床,故它们有的属于前地台期地槽区发展阶段成矿作用形成的矿床,有的则属前地槽发展的多种阶段形成的矿床(如缺少地台盖层的古老地盾区)。例如,俄罗斯地台和西伯利亚地台中的地盾特有的是一套从变质成因到沉积成因、岩浆成因的复杂矿床组合,主要的金属矿床有铁、镍、铜、钛、金,次要的有铅、锌、锡、钨、钼、铌,特征性的非金属矿床为萤石、白云母、霞石、磷灰石和石煤(A. Д. Щеглов, 1980)。

(2)地台盖层的成矿作用及矿床 它是与地台区发展过程同步形成的矿床,是真正意义上由于地台区本身特有的成矿作用形成的矿床。地台区发展时期的基本特征是以大陆状态的大型拗陷盆地沉积作用为主,长期、缓慢和反差运动微弱的沉积环境,在地台盖层中形成了诸如铁、锰、铜和盐类、煤、铝土矿、磷灰石等大型的沉积或风化-沉积型矿床。外生成矿作用占据主导地位 and 沉积成矿作用的广泛发育,是地台区成矿的特有标志。受地台区发展阶段中构造、岩相古地理和沉积成矿条件变化的控制,有些沉积矿床的形成曾不止一次地发生。例如在西伯利亚地台的沉积盖层中曾出现三个时期的含铜建造、七个时期的磷灰石聚集成矿和四个时期的沉积铁矿聚集成矿。地台区的内生成矿作用,不仅在成矿类型、规模和强度上与地槽区成矿相比大为逊色,且具有地台区固有的矿种及成矿专属性特征。地台区普遍缺少酸性岩浆岩的发育及其相关的矿床。对于地台区而言,具有的特征性岩浆建造及其成矿主要是:基性(暗色岩)的、碱性-超基性和粗面玄武岩建造。这三类地台区特有的岩浆建造虽然类型有限,但它们的分布范围或体积则可超过地槽区。(a)复杂的暗色岩建造是地台区最具代表性的岩浆产物,与这种建造相关,形成大量、各种不同矿物成分的矿床。例如西伯利亚地台的诺里尔地区和南非地台的铜镍岩浆熔离矿床;以及南西伯利亚地台(科尔舒诺夫、伊利姆、卢齐等)和北美地台(瓦尔维克、弗连齐-克里克)产于爆破岩筒和其外围岩层中的铁矿床。与暗色岩有关且具特征性的另一种矿床是冰洲石矿床,如西西伯利亚地台、印度地台、非洲地台和北美地台都有所见;(b)与地台区的碱性-超基性岩建造相关,形成特有的一些矿床组合,如与地台区特有的复杂、多岩相环状基性-碱性岩侵入体伴生的碳酸岩型稀土、磷、铀及萤石矿床;与成分复杂的霞石正长岩体有关的大型磷灰石矿床、霞石矿床;(c)地台区所特有的、极具特征性的另一类岩浆岩建造及其矿床是金伯利岩脉和爆破岩筒状金伯利岩中的金刚石矿床,例如,西伯利亚地台区的雅库特地区产于台隆和结晶基底突起中的含

金刚石的金伯利岩,就与碳酸岩的稀土矿床相伴生。

地台成矿区与上述各种岩浆建造有关的内生成矿,在空间上主要受地台区大型断裂构造的控制,通常产于地台内部大型构造的边界上或者在地台区与地槽区交界的地台边缘带上;在时间上,成矿作用产生的时代则主要与地台区发展过程中地台区构造格局发生显著变化的构造活动期相一致。

#### 2.2.2.4 槽-台成矿理论进行成矿分析的基本方法是以地质建造分析为基础的历史分析法

地质建造是指:在地壳基本构造单元(或构造区)内,依其大地构造发展阶段产生的、具有生因联系和地质历史序次关系的岩石(沉积的、沉积-火山的、岩浆的和变质的)组合。地槽型和地台型地质建造是两种基本的建造类型,它们是所属构造单元的指示剂。各种不同成矿作用与基本建造类型的生因关系,是槽-台论成矿分析的基本内容,同时也是判定成矿作用大地构造类型的地质依据。建造分析可以根据有关建造与成矿作用的关系,阐明矿床在时空上的分布规律性。例如,由于地槽-褶皱区的岩浆建造总体上具有下述特征:地槽早期阶段大量出现基性、超基性岩浆,中、晚期阶段代之以酸性岩浆,晚期最终阶段可再次出现少量基性岩浆,因此,根据地槽区岩浆活动的这种阶段性的演化特征及其在地槽区内部产出与分布的构造特点,可查明与各种地槽型岩浆建造相关的矿床。在地槽成矿区内的早期构造带发育铬、镍、钴和铂、钛、铁等矿床,到中期及其构造带则大量发育有色、稀有金属矿床这样的时空分布及其成矿演化的特点,并用作指导矿产预测的科学依据。此外,根据建造成矿分析确定的某些建造的矿产专属性,对于制定具体的矿产预测规划和对建造含矿性的远景评价,将会发挥重要的作用。因此,槽-台成矿论强调建造历史分析法是成矿学研究的基础,它对研究矿床形成与分布的一般规律具有重要的意义。

### 2.2.3 历史大地构造成矿理论(槽-台成矿论)的主要优缺点

#### 2.2.3.1 主要优点

依著者意见(陈国达,1956、1978),地槽区和地台区是根据大量客观地质事实及研究成果总结后识别出的,所代表的乃是客观存在的两种地质实体。同样,与这两种大地构造体制发展阶段中的沉积建造、岩浆建造和变质建造同时期、具有生因联系形成的各类矿产,同样也是客观存在的物质实体。这些矿产与地槽区和地台区存在的生因联系和由此造成的时空分布及演化规律,不会因为某些大地构造理论的兴衰更替,改变其在认识成矿规律和指导找矿中理论与实践上的重要作用及科学意义。具体地讲,历史大地构造成矿理论——槽-台成矿论的优点和功绩有如下方面:

①在成矿理论上,它阐明了大陆地壳演化与运动史中,最早被人们认识的两种大地构造成矿体制的成矿构造单元,即属于活动构造区的地槽成矿区和属于相对稳定构造区的地台成矿区,以及因地槽区经稳定化后形成地台区的这种历史生因关系和转化关系,从而揭示出了大陆地壳成矿演化的历史长河中,最先被认识的一段成矿演化的历程和部分规律性。

②在实际应用上,它划分出了两种最早被识别出的成矿作用大地构造类型——地槽型成矿和地台型成矿,揭示了两种成矿类型的生因关系,即由于地台区是由地槽区转化后形成的,它除了继承有作为地台区基底中的地槽型含矿建造及矿产之外,还新增添了产于地台构造层(盖层)中与之同时形成的地台型含矿建造及矿产。因此,地台区比地槽区具有更为复

杂、多样的成矿类型以及找矿远景,同时两者所成矿产的特点及分布规律各异。20 世纪 50 年代,占统治地位的历史大地构造成矿理论——槽-台成矿论,被广泛运用于世界各国的区域大地构造成矿规律的研究,以及用于矿产资源的寻找、开发与利用,为社会发展与经济的增长做出了很多贡献,功不可没。

③槽-台成矿论把成矿学研究的目的是,置于对地球历史的重建和追索地质事件的时间序列之上,通过研究地壳演化的槽-台阶段的划分,及其出现顺序和历史生因关系,查明与其地质建造(沉积的、岩浆的、变质的)同步的各种成矿作用形成的矿产,在时间上、空间上的分布特征及演化关系。其采用的地质建造成矿分析法,经大量的找矿实践检验是一种有效的成矿学历史分析方法。

#### 2.3.3.2 主要不足之处

由于历史大地构造学理论本身存在的局限性(陈国达,1992),也使建立在历史大地构造学槽-台论基础上的槽-台成矿论,具有下述方面的不足:

①它具有一般历史论大地构造理论及其研究方法的短处,即没有对与地壳演化过程中同时存在的地壳块体间的运动(或移动)及其相互作用,予以足够的重视与研究,并较少注意控制地壳演化及运动和成矿的根本原因以及力源机制的探索。对槽、台大地构造成矿,长于论其然而未及深究其所以然,因而在多数情况下尚处于根据客观成矿作用事实,采用以归纳法为主就事论事的表述,缺乏对揭示地壳演化及运动的规律,并据此进一步论证制约地壳中各种矿产形成与分布的历史-动力学的各种综合因素。

②历史大地构造成矿理论认为地壳的成矿演化,只有地槽体制和地台体制两种大地构造成矿阶段,只形成地槽成矿区和地台成矿区两种。地槽成矿区-地台成矿区即构成了大地构造成矿演化的全部历史过程。因此,从理论与实践上它不能完满解释世界上有许多像中国大陆东部这类地区,在经历了或长或短的地槽区阶段→地台区阶段之后所出现的新的情况,即地台区通过活化解体转变为后地台活动区[亦称活化(地洼)区或活化(地洼)造山区],并由活化造山区型的岩浆、沉积、变质、构造作用带来了自有成矿特色的丰富矿床。因此,在运用槽-台成矿论研究像这些地区那样,演化史比较复杂的区域大地构造成矿问题和用于指导找矿时,难于解决和阐述清楚其成矿规律。

③槽-台成矿论的成矿学研究,由于历史原因和受传统矿床学中岩浆成矿作用为主的观点的束缚,在成矿作用研究上多侧重于内生成矿作用,对岩浆活动发育的地槽区成矿,研究也较为详尽。相比之下,对于外生成矿作用及非金属矿种,以及岩浆活动欠发育的地台区,成矿研究程度则较薄弱。另一方面,在成矿研究的区域范围上主要限于大陆地壳,对大洋地壳的成矿研究尚未及涉足。此外,槽-台成矿论虽然客观、正确地认识了地槽成矿区是以地壳中内生成矿广泛发育为其特色的重要成矿区域,而且随着地槽区的沉降→褶皱隆升造山发展过程的旋回性及其地质时代的演化,建立了地槽-褶皱造山带成矿期、成矿旋回,以及成矿区、带划分的相关概念,对揭示地槽造山带成矿作用的时空特点及演化特征做出了贡献。但随着地质调查的深入,已有大量新的事实证据表明:造山成矿作用并不止地槽型一种,依据地槽造山带发展过程厘定的成矿期和成矿旋回的划分具有片面性(陈国达,1990)。包括笔者在内许多学者陆续发现,并不是世界上所有山脉之形成都与地槽区有关;它们并非发生于所在地区的地槽区的背景之上,而大都是在早先已经形成的地槽-褶皱带山脉被剥蚀削平、

变成地台区之后才发生的,也就是在该地区地壳演化史的地台区阶段之后,由另一期造山运动造成的。因这类山脉的产生与地槽区无关,故也称做“非地槽型造山带”“二次造山带”“后地台活化(地洼)造山区”等。例如,欧亚大陆的东部中生代燕山运动造成的造山带,特别明显的是中国东部,它们于经历了地槽区→地台区阶段之后,却又出现了属于造山型强烈地壳运动形成的山脉,高山之间出现深凹的盆地,形成构造-地貌起伏反差很大的盆-岭相间的格局,发育有地壳的拱曲,地层的褶皱、断裂以及环形构造,伴随造山运动还有强烈的岩浆活动的侵入与喷出,带来许多矿产,如有色金属、稀有金属、贵金属(金、银等)、放射性元素(铀、钍等)。以“有色金属之家”驰名世界的南岭山脉里蕴藏的丰富的钨、锡、铋、钼、铜、铅、锌、锑、汞等矿床,即其著例。在盆地中则赋存有大量的煤、油气、油页岩和沉积铁、锰、铝、铜、铀、石膏、钾盐、钠盐等矿产。这种造山区的特征与地槽造山带显著不同,不能认为是地槽造山历史的重演。因为它里面没有海槽而代之以陆相盆地为主,所成的地质建造在岩石种类、岩性岩相特征、变质情况等都与地槽型建造有别。其由造山运动产生的岩浆活动及其岩石种类、化学成分、演化顺序等,也均与地槽造山带不同,所成构造褶皱、断裂等也别具特色,块断构造十分发育。经研究,这类造山区及其造山运动并不限于中生代,一些中外学者已陆续发现于世界上的其他地区和其他时代,如新生代的南喜马拉雅造山带、晚古生代俄罗斯的顿涅茨和美国维几大等造山带。由于这类不同于地槽造山带及其造山运动的成矿作用十分重要,其矿产又另有自己的特色,所以无论从成矿理论意义上或是指导找矿上,都与槽-台成矿论的地槽造山带成矿不同。这也是槽-台成矿论不能包容的另一类意义重大的造山成矿作用。

④在槽-台成矿论中对于矿床类型的划分,均沿袭传统矿床学矿床成因论的观点,分为外生矿床和内生矿床两种。这种简单化的成矿分析,有碍于研究从地壳发展演化的不同大地构造体制阶段的生因与转化替代的演化关系,即从后成大地构造体制发展阶段或同一体制发展过程的不同阶段,对先成矿产的继承、叠加和改造的成矿演化的角度,来认识矿床形成作用的多样性、复杂性及其所成矿床类型的特殊性。据著者的研究,大地构造成矿除了外生和内生矿床两种类型之外,还存在另一类“多因复成矿床”(陈国达,1987)。这是一类新的成因类型的矿床,它们是由于在同地区、不同大地构造体制或同种构造单元前后不同发展阶段,因成矿作用的叠加和改造的交织关系而形成的一类复杂的矿床。这类矿床往往既有内生成因的特征,又有外生成因的特征,以致关于它们的成因问题和找矿方向问题长期争论未决。这类矿床大多数具有多个成矿大地构造阶段、多种成矿作用、多种成矿物质来源、多种成因类型、多种控矿因素的成矿特征。

## 2.3 动力大地构造成矿学理论 (地质力学构造体系成矿分析、板块成矿论)

### 2.3.1 简述

属因果论大地构造学范畴的地质力学构造体系和板块构造理论,都是建立在地球动力学研究基础之上的两种大地构造理论。因此,关于构造体系与成矿关系和板块构造与矿床的阐

述,分别反映并代表了当今动力大地构造成矿学理论方面的一些基本论点。

地质力学及其构造体系的成矿分析,是由中国著名地质学家李四光在 20 世纪 30 年代创立后发展起来的(李四光,1935,1962)。其特点是从地球动力学的角度,侧重于对大陆地壳中(特别是针对中国境内)的构造体系及其对矿产形成控制作用的阐述。其中,又以对石油资源的普查勘探方面为研究重点。如 1955 年《从大地构造看我国石油资源勘探的远景》一文(李四光,1955),在指导石油资源的普查开发上作出了突出的贡献,取得了突破性的成效;1959 年在《东西复杂构造带和南北构造带》一文论述了两大巨型构造体系的控岩、控矿特征(李四光,1959)。除此以外,后继者还将构造体系广泛应用于区域性、矿区、矿田和矿床的成矿构造研究与分析,以及运用于诸如《南岭花岗岩的演化及其成矿作用的区域构造条件》(李尚淮等,1989)、《关于构造体系控矿规律的若干问题》(刘迅等,1982)和《关于构造体系多级控矿问题》(刘迅,1992)等方面的成矿构造分析。

著者(陈国达,1943)在发表《粤北山字型构造的轮廓》一文后,在对构造体系的运用实践基础上,于 1962 年发表的《从历史分析法的角度看地质力学分析法及二者的关系》一文和 1978 年出版的《成矿构造研究法》专著中,从大地构造成矿学的角度,将地质力学作为成矿构造的重要内容之一,并且专门论述了构造体系(简称构造系)与成矿的关系,认为一定的构造系往往有一定的控矿特点,其某些特定部位和构造系之间某些叠加、交接或干扰的关系和方式往往是有利的成矿条件和成矿部位;另一方面构造系的发生与形成可以跨越不同大地构造阶段,分布在不同的构造区,因而对于叠加、改造成矿或多因复成矿床的形成,起着独特而重要的成矿构造作用。

板块构造自 1967 年问世后,20 世纪 70 年代初期才开始把成矿作用与板块构造边界联系起来开展研究,奠定了矿床与板块构造四种主要边界(裂谷、俯冲带、碰撞带和转换断层)成矿构造环境密切相关的动力成矿学概念[如 R. H. Sillitoe (1970, 1972), A. K. Snelgrove (1971), P. W. Guild (1971) 等的论述]。但此成矿学概念多涉及与俯冲作用有关的岩浆弧产生的斑岩铜矿,以及与玄武质海底熔岩、富硅质火山岩有关的层状块状硫化物矿床。前者的实例为产于新生代晚期日本岩浆弧中的黑矿矿床[如 Sankins (1972) 和 P. W. Guild (1972) 的论述],后者的实例为产于塞浦路斯的第四纪海底富含金属的软泥(R. H. Sillitoe, 1972)。此外,运用板块构造理论解释的矿床还有位于亚洲和南美洲大陆边缘的锡钨矿床,认为它们的形成与毕鸟夫带有联系(A. H. G. Mitchell, 1973)。80 年代以后,矿床与板块构造的研究范围包括了除石油以外的各种各样的诸多矿床。这些研究内容集中反映在由 A. H. G. Mitchell 和 M. S. Garson (1981) 合著的《矿床与全球构造》(*MINERAL, DEPOSITS AND GLOBAL TECTONIC SETTINGS*)专著中。

### 2.3.2 地质力学构造体系与成矿的主要论点

(1) 根据地质力学分析产生构造体系和构造形式的动力源主要是来自地球自转角速度的变化(李四光,1973) 当地球自转速率发生变化时,离心惯性力发生变化,同时尚有 EW 方向的纬向惯性力,它们将引起全球应力场的改变,这种应力场分布的特点与构造体系的形成和构造形式的分布具有对应关系(王连捷等,1997)。

(2) 地质力学强调,研究地壳构造和地壳运动规律对了解矿产的形成有着重要作用 首



先要着眼于区域构造现象的分析,查明这些构造现象或构造形迹的规律性和各邻近构造彼此间不可分割的成因联系,即对这些彼此自成一套系统的构造体系做出划分。

从构造体系的观点出发,中国东部中生代以来的 NE—NNE 向构造构成的华夏型构造体系或华夏多字型构造体系,按其形成时期、变形特点、空间分布,划分为华夏系、中华华夏系和新华夏系三个构造体系(李四光,1935,1948;张书范,王治顺,1989),它们分别具有不同的控岩控矿特征:①华夏构造体系形成于震旦纪或古生代一直延续到三叠纪早、中期,控制了中国东部 NE—SW 向早古生代至中三叠纪末的海盆沉积成岩成矿。印支运动形成了诸如龙门山、天目山、雪峰山、闽—粤—赣构造带和苏皖、华北五台山、吕梁山等 NE 向复背斜带,以及吉—黑海西花岗岩带等次级构造,共同组成若干 NE—SW 向巨型构造带且整体抬升,结束了中国东部海相沉积的历史;②中华华夏构造体系,指晚三叠世形成并被早侏罗世沉积充填凹陷,而后形成 NE30°~40°走向的褶皱伴生冲、横断层的陆地隆起山脉带。它控制了晚三叠世—中晚侏罗世陆相沉积含矿盆地的展布和燕山早期花岗岩带,对中国东部印支—燕山早期的内、外生矿产起显著的控制作用。如川、鄂、湘、黔呈平行斜列的 NNE 向构造带,丽水—衢州构造带或褶皱带及莲花山动热变质带等。中华华夏构造体系在中国东部的成岩成矿演化中具有重要的意义,同时也是太平洋金属成矿带中控岩控矿的主要构造体系之一(张书范等,1989);③新华夏体系,指大体上是中生代末期早白垩世开始出现到早第三纪末成型,由一系列 NNE 向大型隆起带和沉降带及相伴的大型扭压性断裂带组成的巨型构造带,包括斜交的 NEE 向泰山式、NNW 向大义山式扭性和横向张性断裂,构成 NWW—SEE 向挤压的应变图像。自东向西包括了岛弧隆起带、陆缘海沉降带、锡霍特—武夷山隆起带、松辽—江汉沉降带、兴安—雪峰隆起带、伊陕—四川盆地沉降带和贺兰山—雾中山—锦屏山构造带等。上述三条沉降带均被出露的或隐伏的纬向构造带分割为若干段落。这些段落均为长期沉降区,同属新华夏体系中的凹陷带,均为区域范围较大、构造相对比较稳定和生油、储油条件比较相似的含油区,由西向东和自北向南分别产出有海拉尔—巴音和硕—伊陕—四川含油区,松辽—华北平原—江汉平原含油区,渤海湾—黄海—东海—北部湾含油区(孙殿卿,1989)。

### 2.3.3 板块构造与矿床的主要论点

(1)板块构造认为全球构造是由有限的大型岩石圈刚性板块构成的。它们在地幔对流动力的作用下相互作用,新的地壳在大洋扩张带生成,一些地壳则在大洋边缘的俯冲带消亡、碰撞并合,因而,全球构造格局处于不断运动和发展变化之中。因此,根据板块构造可以划分出一系列与板块相互作用的主要边界相对应的动力学构造环境和亚环境。

(2)板块构造成矿论认为,动力构造环境是成矿作用最根本性的控制因素。局部的沉积环境、岩浆活动环境也是控制因素,但其意义比较狭窄(A. H. G. Mitchell 等,1981)。因此,板块构造的动力构造环境与其产出的矿床之间的联系,被看成是成矿特征的基本反映,也是进行矿床分类的主要基础。这种仅按成因和含矿主岩的矿床分类,被认为与矿床形成时的构造环境没有直接的相关性。

(3)根据 Mitchell 等(1981)的概括总结,矿床形成的板块构造环境被划分为 ①在大陆热点、裂谷和拗拉槽中形成的矿床;②在被动大陆边缘内部盆地中形成的矿床;③大洋中脊、大洋盆地、大洋转换断层和大洋线状岛屿、海山链中形成的矿床;④与俯冲有关的海沟及外

弧、岩浆弧、外弧槽、弧后岩浆带及冲断层带、弧后挤压克拉通盆地、弧后引张克拉通盆地、弧后边缘及弧间盆地等形成的矿床；⑤与碰撞有关的残留、剩余大洋盆地，缝合线带及碰撞蛇绿岩片，仰冲板块后陆边缘，前陆冲断层带，前陆盆地和后陆盆地及其山间槽、地堑中形成的矿床；⑥陆壳中转换断层、线性构造中形成的矿床。在上述各种动力构造环境中，火山、侵入、沉积、变质和变形作用都可发生，并形成其环境所特有的沉积岩、火山岩系、深成岩和变质岩。这些构造环境的演化主要是由板块相对于其下的软流圈的运动决定的。

(4)关于矿床形成与分布的时空演化，是按板块构造的威尔逊旋回来解释阐述的 威尔逊旋回中的成矿作用如图 2-1 所示。其演化发展全过程为：

①热点岩浆活动和大陆内裂谷作用时期(图 2-1 中 A)。威尔逊旋回在大陆内部开始，下伏软流圈上的大陆板块受地幔柱(图 2-1 中箭头所示)作用，使上覆岩石圈升温产生地壳穹隆，在其软弱带发生以碱性为主(富硅质为主，但也有玄武岩)的岩浆侵入活动，形成含磷灰石、磁铁矿、蛭石和烧绿石矿化的碳酸岩；含锡、钨、铌和贱金属的过铝质花岗岩；含铀的碱性或过碱性环状花岗杂岩。进一步的穹隆状隆升导致放射状裂谷系的发育，最终形成如图 2-1 中 B 的连续系统。由此而产生与碱质不饱和岩和过碱性岩相关的碳酸岩、含磷灰石、烧绿石、稀土、菱锆矿、铜、铀和斜锆石矿化；含金刚石的金伯利岩；裂谷轴部的基性-超基性铬、镍、铂、铜矿和碱性花岗岩斑岩钼矿；以及裂谷内碎屑岩中的层控、层状硫化物大型铜和铜钴矿床，“沙利文型”银铅锌矿床。在夭折的裂谷内，可有蒸发岩钠、钾、菱镁矿和磷酸盐矿，非海相为主的砂岩型铀矿床、脉状铅锌矿和萤石矿。

②随大陆分离和扩张洋隆的侵位形成两侧大洋盆地时期(图 2-1 中 C)。此时大陆分裂为  $a_1$ 、 $a_2$ 、 $a_3$  三个块体，在地幔柱上形成的碱性玄武岩可能有达宝石级的刚玉矿床共生，扩张脊的岩石一般不含矿。但在不断扩张的洋隆裂谷中可形成层状富铜矿和洋隆上的热液铁锰矿床，以及在洋脊转换断层上及其邻侧的重晶石、层状硫化物矿，还有在洋脊翼部及大洋盆地、地形高地的铜、镍、钴含量高的锰结核矿；以及产于纯橄榄岩的岩浆型豆荚状铬铁矿和基性-超基性岩中的稀有、镍、铁、钛、金和铂。另一方面，在分离的大陆裂谷或被动边缘上，在低纬度带可形成碎屑岩中的层状铜矿、沉积磷块岩、富金属的黑色页岩和含钛矿物的砂矿；以及碳酸盐岩中的层状铅锌矿床和重晶石-萤石矿床。当洋脊转换断层延伸到大陆的地区后(图 2-1 中 C 的中间块体东缘)，可产出含金刚石的金伯利岩，碳酸岩，基性-超基性岩的铜、镍、钛、金和铂矿。

③洋底俯冲和弧后扩张的构造发展时期(图 2-1 中 D)。因洋壳冷却和密度增大，有关的洋底俯冲产生浅倾的毕鸟夫带，在侧向挤压形成的大陆边缘弧洋壳钙碱性火山弧中，在花岗闪长岩上部产出斑岩铜钼矿床，以及与花岗岩岩体有关的钨锡矿床、自然硫及原生金矿床。在面向西的火山弧靠大陆一侧的弧后冲断层带和岩浆带，因地壳构造带加厚，产生重熔花岗岩的锡-多金属矿及岩浆热液矿床。弧后冲断层带因地壳下陷产生挤压盆地，砂岩型铀矿床是此类弧后盆地的特征矿床，同时还可有蒸发岩和煤矿的形成。外弧中则有与低级变质作用有关的含金石英脉和塞浦路斯型硫化物、豆荚状铬铁矿或锰结核，以及在超基性岩中形成的石棉、滑石、菱镁矿。与外弧岩石部分熔融形成的花岗岩，其初始  $w(^{87}\text{Sr})/w(^{86}\text{Sr})$  比值多变，可能形成斑岩铜矿和锡矿化。对于面向东的弧系，发育于边缘盆地中的矿床可能与洋壳、最上部地幔的矿床相同，在火山岛弧内或在其翼部则为与流纹岩火山活动有关的海底热



流作用的黑矿型锌铅铜(金银)层状硫化物矿床,而大洋火山弧则可能含有汞、硫(产于与流纹岩有关的玄武岩)及与闪长岩岩体有关的金矿。

④大陆-岛弧和大陆-大陆碰撞时期(图2-1中E、F)。当洋底继续俯冲时,残留盆地封闭,使弧与大陆碰撞。当没有较大的叠瓦状复理石外弧时,碰撞时原先喷出的蛇绿岩将逆冲到大陆前陆上,形成蛇绿岩片并有相应的成矿作用;在靠陆一侧前陆冲断层带发育,地壳加厚,产生重熔型、高初始 $w(^{87}\text{Sr})/w(^{86}\text{Sr})$ 比值的花岗岩及其钨、锡、铀矿,偶尔有银、镍和钴-砷化物矿床,发展中的前陆盆地则形成与花岗质源岩有关的层控砂岩型铀钼铜矿。当残留大洋封闭时,则产生陆-陆碰撞,逆冲岩片的剥蚀会使缝合线带中的硬玉、软玉及伟晶岩型的宝石刚玉矿出露地表。在碰撞后重新形成统一大陆时,板块聚敛停止发生,此时地堑内可形成砂岩型铀矿、火山岩层控铀矿,以及煤、蒸发岩。

按板块构造理论,当陆-陆碰撞后则进入后碰撞的发展时期,直到大陆后碰撞裂谷重新受到地幔柱穿透,形成热穹隆,发生岩浆活动,另一个新的威尔逊旋回的构造成矿则又开始。

### 2.3.4 动力成矿论简评

#### 2.3.4.1 地质力学成矿论的优缺点

##### (1)主要的优点和作用

如前所述,地质力学的构造体系主要是与地球自转及其角速率变化有动力成因联系的,并且主要是分布在大陆地壳中的构造系统,且对中国及其邻域的研究详尽,特别是对中国大陆中生代华夏型构造体系的阶段性发展和变化,及其与经向、纬向构造体系的复合、叠加和干扰的阐述,客观地反映了现今中国区域地质构造的基本特征中的部分事实。其中尤以对华夏构造体系对内生金属成矿控制作用和新华夏构造体系对石油成矿区、含油盆地的时空控制作用方面的论述,对认识其成矿的时空规律(特别是空间展布规律)及指导找矿实践起了重要的指导作用。该成矿论也是任何一种成矿学理论,运用于研究中国成矿学问题应当继承和进一步创新发展的科学成果。

##### (2)不足之处

大地构造成矿学理论的主旨和研究的目的、任务,就是要查明与地壳构造演化-运动同步的矿产形成与分布的地质特征及基本规律。因此,无论是历史大地构造成矿学理论还是动力大地构造成矿学理论,既要阐明对成矿作用起主要控制作用的构造问题,又需同时阐明造成成矿物质聚集成为工业矿床的沉积作用、岩浆作用和变质作用等综合控制的各种地质条件,尤其是应充分重视和阐明这些成矿地质条件随地质时代和大地构造环境的方向性演变。因此,就目前有关地质力学构造体系与成矿关系论述的内容来看,尚处于以成矿构造分析为主的发展时期,其阐述的范围和内容尚主要是中生代构造体系的控矿作用,还未形成较为系统的成矿学理论,尚仅代表一种属于动力成矿的基本论点和方法。

#### 2.3.4.2 板块成矿论的优缺点

##### (1)主要的优点和作用

板块构造论借助大洋地质的研究,从动力学、运动学的角度建立了全球构造的刚性板块结构格局。这种板块结构格局受深部地幔对流动力机制的控制,通过洋脊扩张、洋底俯冲和转换断层,以及大陆-岛弧、陆-陆碰撞等板块边界的相互作用,使板块处于不断增生和消

灭的运动变化之中。板块构造论对于大地构造成矿学研究的重要意义,一是强调并揭示了组成地壳构造的块体的运动(主要是水平移动)及其相互间多种类型的板缘构造作用所造成的各种成矿动力环境;二是对认识矿床分布的全球性规律开拓了新的思路;三是对地壳中矿产的形成与分布,强调了与地幔动力作用过程的紧密联系,对大地构造成矿的动力学研究开创了新的途径和研究方向,标志着推动成矿学研究进入注重全球动力学成矿的发展时期,将被称之为《活动论成矿学》(А. А. Ковалев, 1972)的研究提到研究日程上,对理论成矿学的进一步发展,起到了积极的推动作用。

## (2) 不足之处

如上所述及图2-1所示,有关板块构造环境与矿床关系的阐述,尚处于对已知矿床在空间分布上与现今各种板块构造边界类型的对照分析和尝试性的推理解释,缺乏联系矿产形成历史地质背景和成矿物质基础及条件的具体地质事实作为依据;并且局限于地理位置上分布在板块构造边界上的为数有限的矿床,更多的、大量产于地壳块体内部各类矿床被排除在其成矿分析之外。同时,被其论及的一些分布在板块边界的矿床,如产于安第斯山脉的许多斑岩矿床的时代要比新生代板块俯冲产生的火山弧的时代老,但仍被看成是俯冲边界生成的矿床;又如产于中国大陆内部的华南钨、锡成矿带,已被普遍公认为是由陆内活化造山区构造控制形成的侏罗纪的典型矿床,但被板块构造成矿分析作为俯冲相关的矿床实例。诸如类似的实例甚多。因此,图2-1显示的矿床与板块构造不同类型边界的成矿关系,尚存在相当程度上的推断和主观臆想。这一板块构造与成矿的构造模式,由于缺乏对矿床产出与形成的实际地质构造背景的具体分析,因而反映的实际上不是矿床地理分布与板块构造的对应关系。正如А. Д. Щеглов(1980)指出的,“只能被看成是全球构造及成矿的第一个总模式,而不能看做是能够解释所有地质现象,其中包括矿床分布规律的成矿新理论”。К. Л. Волочкович(1978)曾以中亚地槽-褶皱区为例,在论证了运用板块构造概念进行成矿分析的可能性后指出,在进行中、小比例尺成矿研究时,比较有用的还是地槽区发展的经典概念而不是板块构造概念。后者在成矿分析时没有考虑它们的发展阶段性,以及在时空演化过程中产生的不同构造阶段成矿特点的差异。В. И. Смирнов(1977)则指出:“将所有不同形式的岩浆和内生矿床毫无例外地用大洋板块向大陆下的俯冲方式进行解释的论断,属于幻想的范畴,这些论断不应该把我们引向脱离对岩浆作用及其成矿发展的地质条件进行分析的方面去。”

## 3 活化构造成矿理论的基本概念

### 3.1 概 述

活化构造成矿学的基本理论,也称地洼成矿论、递进成矿论或活化(地洼)构造成矿论。

活化构造成矿理论,是建立在著者倡议的“历史-因果论综合大地构造学”和“历史-动力综合成矿分析法”基础之上的一种大地构造成矿学的新理论。这一理论是1956年著者在论述活化区成矿特点时开始提出,以后逐渐扩充并系统化而形成的(陈国达,1956、1958、1960、1978、1992、1997)。它从地壳大地构造演化与运动递进发展规律的新角度,阐明与之同步的成矿作用也依据和遵循递进发展演化这个规律,探索所成矿产形成的时间、空间分布与演化规律,为人们找矿提供了新的思路。

从20世纪50年代起,著者(陈国达,1956)就将大地构造学与成矿学紧密结合起来,加以统一研究,即把成矿作用看作是在地壳运动支配下,与大地构造演化中地质建造与改造过程不可分割的组成部分,对大地构造与成矿的关系提出了一种新的思路与研究途径。因此,活化构造成矿学理论是与活化(地洼)构造理论同步形成与发展的。著者1956年在对中国东部大陆中生代地台活化造山区大地构造性质进行研究时,开始把区域矿产类型作为鉴别大地构造体制的一项标志(陈国达,1956)。其后,著者又于1958年发表的《中国活化区矿产的分析》一文中,以阴山、冀辽、华夏及浙、赣、湘、桂——中国大陆矿产资源最为丰富多样的中生代活化造山区作为例证,对内、外生矿产进行了活化前和活化期的综合成矿分析,阐明了活化区的成矿既有继承它前身即地槽区及地台区阶段的矿产,又增添了活化时形成的矿产,揭示了活化造山区矿产的累积性和新生性的基本特点,说明了它与地槽区及地台区在矿产特征上的显著不同。这是对“活化区”(即活化造山区,又称“地洼区”)这一大地构造新单元的首例专门性成矿分析,并据此提出“活化区成矿”新概念。随后,著者分别在1960年出版的《地台活化说及其找矿意义》一书及1975年发表的《大地构造与富铁矿成矿规律》一文中,进一步对活化造山区(地洼区)成矿的多样性和综合性,从地壳动“定”转化递进演化律的角度,阐述了矿产的继承性和成矿的专属性。基于对地壳演化具有多阶段性、不均一性,与之同步的成矿作用也是多阶段、不平衡递进演化的认识,著者又分别提出了“递进成矿”这个成矿演化的新概念和“矿床多因复成性”这一矿床大地构造综合成因新概念(陈国达,1960,1975)。继后,著者于1978年出版的《成矿构造研究法》专著中,进一步从构造区与构造系相结合的途径,提出了“成矿构造”和“构造成矿”分析的新概念(陈国达,1978),即根据构造地球化学的原理,强调了构造与成矿的关系,不只有被动控矿的一面,即矿产的形成受不同级次构造的控制,而且有主动参与成矿的主要一面,即有其在地球运动的驱使下,随地壳阶段性发展并且遵循基本构造单元的递进演化,在不同构造区以不同的方式(沉积的、岩浆的、变质的)主动成矿的一面。由于地壳演化的递进转化生因关系,使成矿作用随之得到加强。前者称为

“成矿构造”；后者则称为“构造成矿”，即构造(区)的演化成矿。随着“壳体”构造概念的提出和1992年有关“壳体演化—运动与成矿”的论述，1997年，则又从历史—因果论综合大地构造学理论范畴的更高层次和地壳演化—运动的历史—动力学综合分析角度，对活化构造成矿理论作了新的充实与发展(陈国达，1992、1997)。

综上所述，活化构造成矿理论，正是随着上述一系列有关大地构造成矿新概念的提出，以及通过对具体构造区、综合或单一矿种的成矿实例的研究，逐步扩充、系统化而形成的。

活化构造成矿理论可以理解为：是从组成地壳壳体的演化与运动的历史发展过程中活动构造区与稳定构造区递进转化的新角度，阐明与之同步的成矿作用也是遵循这个规律递进演化成矿的，并由此探究、阐明大地构造演化成矿及其矿产时空分布规律性的一种地壳大地构造演化与运动成矿的新理论。

由于活化构造成矿理论最初的创立，是著者在1956年建立“活化造山区”概念时同时提出的[最初系统的阐述是《中国活化区矿产的分析》(1958)一文和《地台活化说及其找矿意义》(1960)专著]，故也称“活化区成矿论”(简称“活化成矿论”)；后随“地洼区”(陈国达，1959)的命名和“地壳动‘定’转化递进说”(陈国达，1959)的阐明，故又称为“地洼区成矿论”(简称“地洼成矿论”)或“递进成矿论”。

由于活化(地洼)造山区阶段是地壳演化与运动发展史中一个特别重要的成矿阶段，因此，活化(地洼)造山区是一种特别重要的成矿区。但活化构造成矿理论并非限于这个狭窄范围，而是运用关于地壳构造演化的递进说，阐明地壳全部发展过程中的各种壳体大地构造体制的成矿作用及其演化规律，以及全球各类壳体中各种构造区内部及它们之间的矿产分布规律。所以，这一理论所论及的基本内容，包括了“成矿构造”和“构造成矿”的新概念，关于成矿专属性，矿产的继承及叠加、改造，成矿作用的递进演化，以及矿床的大地构造综合成因和与之相关的“多因复成矿床”新类型等一系列成矿演化的理论。历史—动力综合成矿分析方法问题，并不仅限于阐述地洼区这一种活化造山区的成矿特征，因而，它也适用于其他类型活化区的成矿分析。诸如：J. Kutina (1971, 1972)对加拿大地盾元古宙裂谷带的成矿研究；Я. Н. Бенивчев 等人 (1973, 1975)对乌克兰地盾元古宙活化带的成矿研究；В. Луура 等 (1976)对波罗的地盾南坡构造活化带的研究；以及著名学者 В. И. Казанский (1972, 1975, 1988)对东亚广大地区活化区的成矿研究及前寒武纪含矿构造演化的研究；А. Д. Щеглов (1968, 1971, 1972, 1975, 1980)对全球各大陆活化区进行的成矿研究；Л. В. Григорьев (1988)对前寒武纪活化区成矿的研究和 А. А. Бухаров (1987)对《老地台的原始活化区》的成矿分析等等的运用。

活化构造成矿理论的创立，在国际上得到广泛、迅速的传播与运用。这一新的大地构造成矿理论，在找矿实践上取得了新的突破和显著成效(中国地质科学院情报研究所，1978)，并获得高度的评价。1976年，美国《经济地质》杂志评价活化区成矿的重要性时指出：“功劳归于中国的陈国达……”1977年 H. N. Tomson 在《活化区成矿分析》一书中认为，“地壳第三类构造类型(指活化造山区或地洼区)”“是决定现阶段地质学发展的两个新学说之一”(另一学说为板块理论)，“是重新审查成矿理论的基础，并且是具体预测(找矿)的基础”。И. Г. Магачев (1974)则将活化(地洼)型成矿，列为与地槽型、地台型成矿并列的第三种成矿类型。В. И. Смирнов (1975)评价该新理论“从地槽区阶段到地台区阶段及其后的活化区阶段连

贯起来,从理论上对成矿规律进行研究……是内生成矿理论的基本内容”。

## 3.2 活化构造成矿理论的组成

活化构造成矿理论,是一种建立在大地构造学理论与方法基础上,探究地壳中矿产的形成机理和时空分布及其历史演化规律性的成矿学理论。它的产生、充实和发展,是与地洼学说的形成、充实和发展同步的。所以,活化构造成矿理论是地洼学说——活化构造及成矿理论体系中不可分割的重要组成部分(陈国达,1997),又是地洼学说大地构造理论与找矿实践兼容并重的鲜明特色的具体体现。在大地构造学理论范畴上,它们同属“历史-因果论综合大地构造学”(陈国达,1992)。但是另一方面,从成矿学这门独立新兴学科的角度来看,活化构造成矿理论又有其自身的理论和学科上的独立特色。在研究范围和研究内容与方法上,它与其他成矿学理论(如前章所述)不同,是成矿学学科中的另种独立的大地构造成矿学理论。因此,活化构造成矿理论与地洼学说之间,是辩证统一的关系。它既是地洼学说理论体系中的组成部分,同时也是一门独立的成矿学理论。

活化构造成矿理论自1956年创立和奠定其初步的理论基础之后,历经40余年国内外广大学者和地质科技工作者的运用与实践,得到了不断的充实与发展,逐步建立了一系列新的成矿学概念,扩展了研究范围,充实了研究内容与方法,还衍生了一些新的学科。目前该理论已构成包括五个组成内容和五门衍生学科、初具端倪的一种大地构造成矿学的理论体系。

### 3.2.1 组成内容

活化构造成矿理论体系的组成部分,目前包括如下的内容。

#### 3.2.1.1 大陆地壳新型成矿构造单元——后地台活化造山成矿区即活化(地洼)成矿区

这个新被识别的成矿构造单元(陈国达,1959),是目前已知的第三成矿构造单元或第三种大地构造成矿区类型(陈国达,1956、1959、1977、1986;И.Г.马加克扬等,1974)。它指的是大陆地壳中除已熟知的地槽成矿区和地台成矿区之外的第三种,是形成于后地台区阶段的另一种成矿构造区。其成矿的综合地质特征和独特的矿床组合及其具有的分布规律,以及矿床类型特征等,都与地槽成矿区和地台成矿区有着本质上的不同。这种认识突破了传统槽-台成矿学理论关于成矿构造单元“非槽即台,非台即槽”的大地构造成矿学的观点,阐明了大陆地壳的成矿区及其成矿演化历史过程,不只两个而是多个,不只两种阶段而是多种阶段。

#### 3.2.2.2 地壳成矿演化的动定转化递进成矿论

根据活化(地洼)成矿区的发现及其地壳结构和其他方面的综合特征与地槽成矿区、地台成矿区的区别,以及它们之间的历史生因和转化的关系(陈国达,1956、1959、1978、1997),表明地壳成矿演化的发展过程,是通过构造活动成矿区同构造“稳定”成矿区之间的互相转化、交替更迭,由简单形式到复杂形式,由低级阶段到高级阶段,螺旋式地向前发展变化的。这种与地壳演化发展的递进律(陈国达,1959)同步产生的不同成矿区间的递进成矿作用的演化发展特征,称为“递进成矿”(陈国达,1959)。递进成矿演化的这种新认识,使之能从新的角度沿新的思路重新思考和演绎大地构造成矿中的大地构造单元成矿专属性,矿产的继承性和递进性,成矿作用的叠加和改造,矿床形成的成因(内生、外生)和多因复成等有关地壳成



矿规律的诸多理论与实践意义的重大的成矿学问题。

### 3.2.2.3 多因复成矿床及其构造类型

多因复成矿床概念最初是作为内生、外生之外的一大类新被认识的矿床成因类型而提出的(陈国达,1982、1986)。继后的研究说明,它不但对于一些对成因及寻找方向问题长期争论无法解决的矿床,在其成矿勘探工作中已起了有效的作用(参见本书其他有关章节),更为有意义的是,这类矿床作为客观存在的一种地质实体,对地壳大地构造成矿演化的阶段性、继承性和递进性给予了证实。因此,多因复成矿床是递进演化成矿的一种标志性矿床类型。它的存在和被认识,有助于摆脱以往单一大地构造阶段、单一成矿作用类型和单成因矿床成矿理论的束缚,打开思路,兼顾时控、构控及建控(即通过所谓的层控或岩控,实际上是大地构造的建造控矿),从新的理论角度,揭示和认识矿产形成与分布的时空规律性。

这类新的综合成因类型的矿床,是由于递进演化中不同大地构造发展阶段和(或)发展时期成矿作用的叠加和改造的交织关系,而形成的一类复杂的矿床。其基本的特征表明,它们是由于多个大地构造发展阶段的多种成矿作用叠加、改造所成的。作者之所以称它为“多因复成矿床”,是因为这类矿床大多数以具有“五多”为特征,即多成矿构造阶段、多成矿作用类型、多物质来源、多成因类型及多控矿因素。已知的成因模式,可分为三种,即叠加富化、改造富化和再造富集。它们有时可两种以上结合在一起。其成矿的大地构造条件则可分为多种组合类型,例如:①地槽(及前地槽)沉积或火山沉积变质矿床+地洼型岩浆矿床叠加富化;②地台沉积矿床+地洼型岩浆矿床叠加富化;③地槽(及前地槽)型矿床+地洼型岩浆(或/构造、变质、热水等)改造富化;④地台型矿床+地洼区的诸种成矿作用改造富化;⑤地槽(或前地槽、地台)阶段所成矿源层(或矿源岩)+地洼构造(或/及岩浆、热水、变质等)再造富集;⑥前地洼区阶段矿床+地洼区阶段富集等等。

多因复成矿床类型的被鉴别及其概念的建立,一方面指明在大地构造成矿理论及其成矿分析与研究中,对矿床形成的先天条件、临产及后天条件三个方面,以及成矿方式和成矿作用类型都需要从历史-动力学角度予以全面注意;另一方面,应当运用这一矿床类型的新概念去检查已知的一些成因复杂的矿床,重新给予认识和评价;或者以此来研究大型矿床或贫中求富矿的找矿方向,以探索取得重大突破的可能性。舒见闻等(1983)在湖南花垣铅锌矿寻找大型富矿的成功经验,可资借鉴。需要指出:这类矿床的成矿构造阶段,既可以是地壳演化史中各个有关的体制发展阶段,也可以是其中的亚阶段。这类矿床虽然以在地洼区为多见,但并非限于地洼区。

### 3.2.2.4 壳体构造演化-运动成矿

这是从组成地壳的超级综合构造区的更高层次,阐明全球性成矿构造演化发展及其成矿动力环境和深部力源机制,在时空上的不均一性、特殊性和差异性等,与组成地壳岩石圈的块体(即壳体)——这种处于不断发展变化中的巨型综合构造区——之间的时空演化-运动及相互生因的联系。由于不同的壳体具有各自的诞生时代、生长方式和发展历程,以及演化阶段和成熟度,具有不同的物质组成及地壳性质,垂向及平向结构和构造单元组成,以及因整体间及体内运动产生的面积、厚度、形状的变化和地球物理、地球化学的综合特征等,因而造成成矿演化及其时空规律等方面的不同特点。壳体构造演化-运动成矿,与地壳演化的动“定”转化递进律和壳体演化-运动的根本原因和力源机制,即与地幔热能聚散交替作用息

息相关。该成矿理论从历史-动力综合分析的角度阐述了地槽、地台和地洼区大地构造成矿的壳体运动特点和壳体演化不同成长期的成矿类型,壳体成矿的地幔作用,壳体演化-运动与多因复成矿床的形成,壳体演化及运动与矿产分布规律的关系,以及壳体演化-运动的“过渡际成矿”等一系列壳体构造成矿的专门性问题。

#### 3.2.2.5 地幔热能聚散交替的历史-动力成矿演化的假说

这是著者(陈国达,1977、1989)关于地壳构造按动“定”转化递进规律演化-运动和发展的动因与力源机制假说,在大地构造成矿学中的运用与深化。该假说依地壳大地构造演化阶段中顺次出现的各种成矿构造单元的特征及其差别,阐明了其深部原因应主要来自地球内部地幔热能聚散交替的作用过程,由此导致的地壳中热能聚散变化的过程,与矿产形成及成矿作用的递进演化之间,存在密切的因果关系。一些成矿物质显然直接来源于地幔的矿床,以及成因与地幔作用有直接关系的矿床,大多集中发育在地壳运动剧烈的构造活动区(如地槽和地洼成矿区)。而这种构造活动区无论地质构造作用、岩浆活动及其地球物理、地球化学等的综合特征,都证实其正处于地幔活跃和热能聚集的时期。与之相反形成鲜明对照的,则是构造相对稳定的构造区(如地台成矿区)。其成矿作用主要与地表外生成因的过程有关,形成大量的外生(沉积的为主)矿床,而与地幔作用过程直接相关的幔源成矿作用则要比构造活动区微弱得多。地台成矿区在地质构造、岩浆作用和其地球物理、地球化学等方面的综合特征,与构造活动区有原则上的差别,反映的是地幔活动处于平静、和缓的失热状态时期。构造活动成矿区与构造稳定成矿区在古地热状态及古地温数值上的显著差异,即可作为例证。

#### 3.2.2.6 相关的衍生学科

在活化构造成矿理论不断充实、发展与完善的历程中,也不断形成一些衍生的新兴学科,它们与活化构造成矿理论存在着紧密的联系,其中包括已成为独立学科的构造地球化学和成矿构造学,以及近来正在形成,尚待充实、完善的壳体大地构造学和构造地球物理学等。

(1)构造地球化学 这是一门介于构造地质学同地球化学之间,研究构造作用同物质运动之间的密切关系的边缘学科。自1961年开始设想,逐渐形成的一个新的学科(陈国达、黄瑞华,1984)。它的主要任务是把上述两种学科的研究方法结合起来,研究各种地质构造作用过程与地壳中化学元素的分配和迁移、分散与富集等关系,即阐明地质构造作用不仅是物理过程,而且还有化学过程,据以研究形成与形变、建造与改造之间的辩证统一关系。它既研究构造作用中的地球化学过程,又研究地球化学过程所引起的构造作用。这门学科创立的实用意义,在于阐明构造作用可以导致通过化学作用促使地壳物质组成与结构的分异演化及其成熟度的提高,以及促使矿床的形成或富化,或促使矿源层(岩)中原属分散的成矿元素富集形成工业矿床。这已成为地壳分异演化及其构造成矿作用的理论依据。

(2)成矿构造学 它是专门研究与矿床形成及改造有关的地质构造的一门新学科,于1965年开始提出,并逐步形成的(陈国达,1978)。它的中心思想是以构造地球化学原理为主要根据,阐明构造与矿床的关系:不只有被动控矿的一面,而且有主动促使或参与成矿的一面。其研究任务是把有关矿床的形成和改造的构造作用进行统一研究。其范围为大、中、小型成矿构造,并包括直接、间接控制、影响或参与一个含矿区内的内生或外生矿床的发生原因,物质来源,历史背景(先天条件),形成环境(包括古构造、古地理、古生物及古地质等环境),发生和发展过程,在时间上的出现序列及变化规律,在空间上的分布组合及变化规律、

赋存部位、形态及产状,以至形成以后的变形改造及保存情况,还有通过叠加、改造或(及)再造等作用把先成矿床富化或成矿物质富集,形成新的或具有工业意义的矿床的大、中、小各级地质构造。

(3)壳体大地构造与成矿学 壳体大地构造与成矿学是一门新兴的学科,它也是属于地洼学说及其成矿理论体系的一个高层次组成部分。

1977年,著者在主编《中国大地构造图》(1:4 000 000)及主撰《中国大地构造概要》(中、英文版,1977、1988)专著时,试图同时兼顾地球硬壳(岩石圈)的演化与运动两方面研究的需要,提出“壳体”概念,以后逐步充实。1992年著者倡议建立历史-因果论(历史-动力)综合大地构造学时,壳体大地构造学便成为它的代表。1994年及1998年先后出版的《亚洲陆海壳体大地构造图(1:8 000 000)》及相关的《亚洲陆海壳体大地构造》专著,为试行实践检验,曾把壳体作为该图(书)阐述的主体构造单元。1998年著者在第30届地质大会上发表了《初议壳体大地构造学》一文,又作了较为系统的阐明。

壳体大地构造与成矿学的定义是:运用壳体概念研究地球构造及成矿的科学。详细地说,就是从壳体构造入手,通过这种构造的特征及其演化与运动的研究以探索地球,现阶段主要为地球硬壳(岩石圈)的构造及成矿特征、演化-运动规律及其起因的一种大地构造学科。

壳体大地构造与成矿学的建立目的、研究对象和任务,主要是把岩石圈的演化与运动,凭借壳体概念结合在一起、融为一体,从事统一研究,以求较全面地认识岩石圈运动变化和发展的历程,演化-运动规律及其根本原因和力源机制,以探索随着壳体演化-运动而形成的地下资源和能源的时空规律,更有成效地指导找矿勘探,以及解决其他有关生产问题。

壳体大地构造学一方面有别于偏重演化和时间含义的历史论大地构造单元概念的经典大地构造学,虽取其长处,但加强了空间上的动态;另一方面又有别于偏重运动和空间含义的因果论构造单元概念的板块大地构造学,取其长处,但加强了时间上的动态。

壳体大地构造学其内容要点如下:地球硬壳简称地壳,是由岩石组成的,故也叫地壳岩石圈。如同一切事物那样,地壳是在不断地运动、变化和发展着的,从平向结构上看,它是由许多巨型块体组成。这些块体对于地壳的关系,犹如细胞与其组成的生物躯体之间的关系,又因它们在形式上为组成地壳的块体,故叫壳体。壳体是在地壳孕育、形成和发展过程中先后不一地出现于不同地域,既在不断演化又在不断运动(包括移动)的演化-运动和时空综合的超级构造单元。壳体中又包含着次级的(可能是最低的或基本的)、可以划分为多种大地构造体制的构造单元(故基本构造单元也叫体制构造单元),若干种大地构造体制的基本构造单元相互结合,便构成了壳体;许多壳体通过自身的演化与运动历程,逐步增长、移动,互相拼接,便组合成为地壳岩石圈。当它们组成地壳后,仍然继续演化与运动。因事物发展是不平衡的,不同壳体或同一壳体里面的不同部分其目前的演化阶段不一定相同,遂决定了地球上不同地区其现在的大地构造环境以及蕴藏矿产的差异。我们人类是生活和生产于大陆型地壳上面的,主要由我们所在的壳体为我们提供着生活和生产所需要的一切,首先是饮食、衣、住、行所需要的各种资源和能源,同时又通过它的地质地貌特点及各种地质矿产特点等,决定了当地的气候、水文等方面的地质地理及地球化学环境条件、地质灾害特点、地方病的特点及其发生情况,影响着我们的工农业布局、生产方式、生活条件、人身安全和健康,以至

文化特点(例如青铜文化)等等。

(4)构造地球物理学 构造地球物理学是构造地质学与地球物理学这两门传统地质学科交叉衍生的一门边缘新兴学科(陈国达,1997),主要从事研究各种大、中型地质构造作用所产生的物理性质(包括磁、重、电、热等)的变化,与对应尺度的各种地球物理场特征之间的相互关系。其主要任务是研究地质构造作用与地球物理场之间的关系,即把物质分异、演化、运动和物性改变在时间、空间和成因上的关系系统一起来,从形成与形变、建造与改造联系起来的角度加以研究。地质构造则除指各类壳体构造区、大地构造单元及构造区、构造系等巨型、大型构造之外,尚包括褶皱带、断裂带及岩浆岩带等中型构造。地球物理场则是地球深部和浅部因上述各种与地质构造相关的物性变化造成的叠加综合效应。因此,构造地球物理的研究,一方面是从构造的角度研究地球物理因物性改变产生的各种物理场的效应及其蕴含的沉积、岩浆及构造活动等多方面的信息;另一方面则是根据地质构造模型对地球物理资料的定性、定量解释和正、反演计算,揭示出各类地球物理场所反映出的地质构造特性。例如反射地震成果可以精细地反映沉积盖层的结构、构造,结合地震相识别沉积相,判定沉积环境;反射地震与折射地震的联合成果,能够详细反映出地壳及其上地幔的结构、构造的横、垂向的差异变化和岩石圈壳层界面的起伏。又如重力场的布格、空间、均衡等重力异常的多种表现形式,都是与地质构造相关的密度变化的综合反映;磁异常场则是反映磁性体和中、上地壳磁化率不同的界面。鉴于不同地球物理场仅能从一个侧面反映地质构造,因此构造地球物理研究中的联合反演和综合解释,具有重要的作用,同时也是其学科研究的特点之一。

构造地球物理学在成矿研究中的目的,是为揭示出成矿物质组分在各种构造条件和环境下的赋存规律,作为进行查明成矿特点、总结成矿规律和开展预测找矿、指导勘探生产的科学依据。

(5)幔-壳成矿学 著者(1977)在《中国大地构造概要》中提出壳体初步概念的同时,根据地壳发展过程中出现的热动力事件变化情况与大地构造体制更替的密切联系,设想组成地球硬壳的壳体演化-运动之所以分异发展和它的演化过程之所以存在动“定”转化、交替更迭、递进发展的根本原因,以及壳体内部及整体运动和壳体中有关构造形成的力源机制,均主要在于地幔物质和温度的不均一性引起的地幔热能变化及流动。前者是由于地幔热流的速度及提供热能多少的变化;后者则是由于地幔动力场的状况及其变化,并因此牵引岩石圈地壳有关部位发生相应力场和运动方向变化的结果。其后,著者还从历史-因果论综合大地构造学的角度,探讨了与地壳演化发展同步的成矿演化,根据槽、台、洼不同成矿基本构造单元(或成矿区)之间,矿产的继承、增新及递进演变的相互关系的客观事实,进而揭示了地幔活动及其相关的热能聚散过程对地壳中矿产的形成所起的作用。除了地壳成矿物质的再造成矿外,另外还有一类是在成矿物质和(或)富集成矿作用的动力上,有地幔作用过程的直接参与,表现出多种不同复杂程度的叠加或改造富化等的关系,形成幔-壳复成矿床或壳-幔复成矿床。因此,研究地幔过程在地壳成矿中直接或间接的作用,及其在递进成矿演化过程的时空变化规律,应是大地构造成矿学的一个基本组成部分和重要研究方向。著者(1989)在《地洼学说编图的指导思想》一文中,根据其研究的重点和内容,称之为幔-壳成矿学,将其作为成矿学中一门新的衍生学科,并指出它是从地球内部动力过程,探索与研究地壳构造演化-运动史中,矿产形成与分布规律及递进成矿演化根本原因的一门成矿学学科。这一学科