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

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

□**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** 45 □**字数** 1107 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

第五卷　地洼学说的再创新——历史－因果论壳体大地构造学

（1992—2005）

中南大学出版社

《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　刘国瑛　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

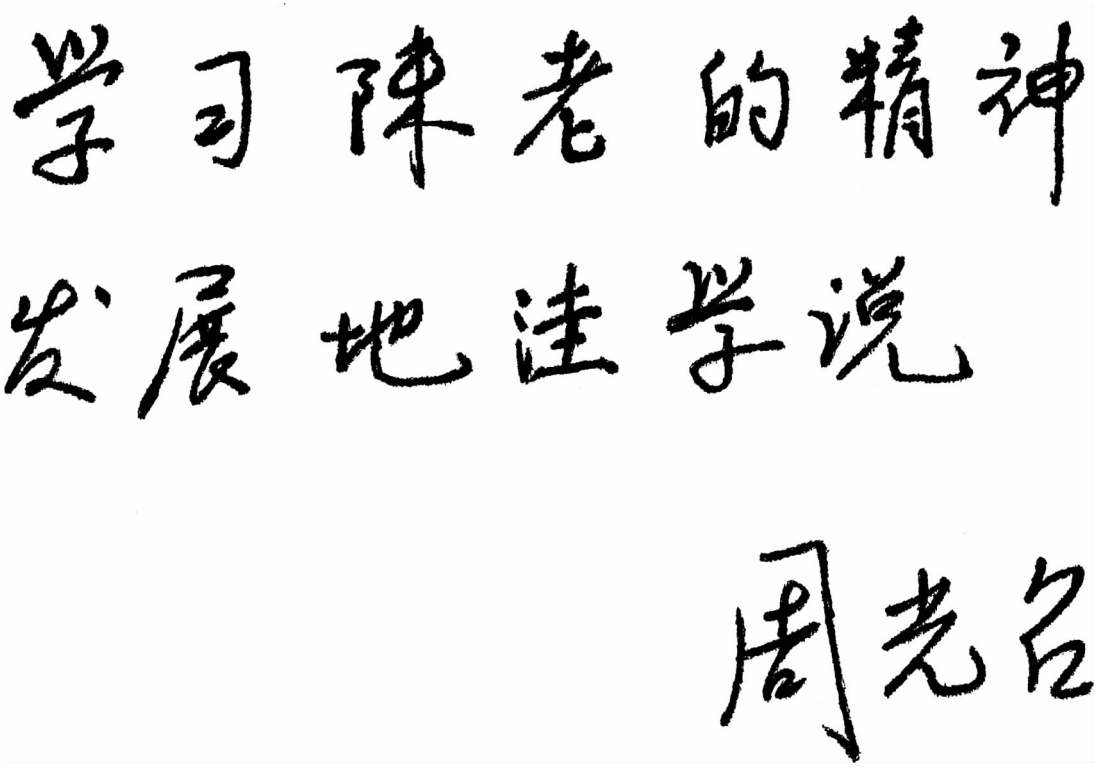
中国科学院长沙大地构造研究所

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　吴堑虹　赖健清　木士春



（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）

真知灼見杨海外

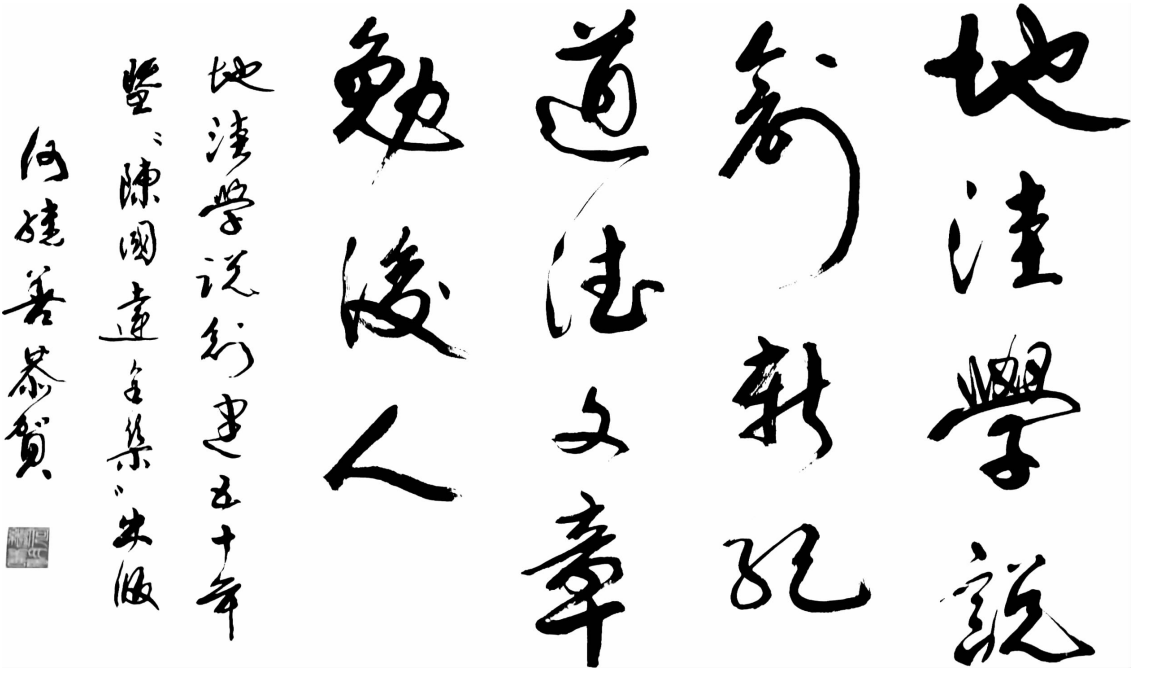
毕生心血献中华

贺地注学说创建50

周年暨"陈国达全集"出版

黄伯云

（中国科学技术协会副主席、中南大学校长、中国工程院院士）



（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 Sheglov，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、古生物学家乐森琿、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，首次阐明了关于中新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、Tularasa 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钼矿山。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. Л. 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，相继获得国家和部、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本研究两个方面，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[①]。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[②]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

① 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

② 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①，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

① 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 1992 年至 2005 年期间，公开发表的论文 17 篇，专著 2 部，附图（彩色图版）3 幅，另在附录中介绍了陈国达与其所指导的博士等研究人员合著的专著 2 本及论文两篇。

作者这一时期的主要论著集中反映了其原始自主创新的大地构造与成矿学理论——地洼学说（活化构造及成矿理论），从 1956 年起经过 36 年国内外学者的实践检验和作者持续的充实积累和拓展增新后，在理论结构与衍生学科上，已开拓创新发展到历史－因果论综合大地构造学的理论范畴，在研究内容和方法上扩展到运用历史－动力学综合分析法和壳体构造概念，研究陆海岩石圈演化与运动规律，以及形成的矿产资源的时空规律，并探究其演化与运动的根本原因和力源机制。因此，这些论著代表了地洼学说（活化构造及成矿理论）开拓发展进入更高理论层次的新阶段，其中重要的论著有：

《历史－因果论大地构造学刍议》是作者把地洼学说（活化构造及成矿理论）开拓再创新并提高到理论大地构造学高层次的标志性代表论著；也是作者遵循“学百家长，自主创新”理念，从 1977 年总结中国大地构造演化与运动特征时提出“壳体”概念，经 1988 年起编制《亚洲陆海壳体大地构造图（1∶800 万）》的长期实践检验之后，从理论大地构造学上进行的开拓性论述。因此，该论著在地洼学说（活化构造及成矿理论）的发展历史进程上具有再自主创新的里程碑意义。该论著发表的 1992 年也成为了地洼学说（活化构造与成矿理论）进入开拓再创新发展时期的起点。此专著的基本要点，一是作者强调倡导建立历史－因果论综合大地构造学是运用壳体概念研究地球构造的理论基础；二是提出了壳体构造概念，作为把岩石圈的演化与运动相结合，融为一体进行统一研究大地构造与成矿学问题的基本概念；三是强调壳体大地构造研究的内容，既要求较全面地认识岩石圈演化与运动的时空规律和探究其演化与运动的根本原因和力源机制，又要求认识随壳体演化－运动形成的资源特征，作为有效指导预测找矿和其他有关生产实践问题的依据。

《亚洲陆海壳体大地构造》论著，是与《亚洲陆海壳体大地构造图（1∶800 万）》和包括编图理论依据及方法简介，以及陆海壳体演化－运动基本特征的说明书相配套的专著。图、说明书及专著三者在理论学术思想、研究途径与方法和资料内容等方面，都是紧密联系的，是作者运用其创立的壳体构造这一新概念，通过对全球范围内大陆面积最大的欧亚大陆东部——亚洲大陆及其海域的陆海壳体大地构造的研究，加以检验的初步成果。其主要理论与方法的特色：一是采用了历史－因果论综合大地构造学中的壳体构造的基本概念作为亚洲陆海的主体构造单元，将岩石圈的演化与运动融为一体，统一进行了历史－动力分析法的运用，在重塑研究区岩石圈块体的历史－演化进程时，阐明岩石圈块体平向与垂向以及整体和体内的运动历史特点。全面探索亚洲陆、海岩石圈演化与运动的时、空规律性；二是对亚洲陆海大地构造的主体构造单元——壳体构造的组成、壳体性质、演化阶段、运动方式，及其演化

与运动历史进程中的诸多大事件存在争论的重大问题，作出了重点探讨：如西北太平洋地区及亚洲东部陆缘海域“沟－弧－盆”地带的地壳性质及演化阶段问题；大陆壳区克拉通的陆内演化与造山－造盆作用的岩石圈块体现阶段的属性及动力学问题；青藏高原隆升原因与印度壳体同亚洲大陆汇聚接合事件的时间和力学关系问题等，都依据作者观察积累及收集了解到的实际资料，按新的思路和研究方法提出了自己的见解，为一些重大问题的早日解决提供了新的途径。这一专著成果，也代表了在亚洲陆海大地构造与成矿问题研究中最新阶段取得的重要成果，有助于更进一步推进对诸多重大事件继续深入研究。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)。

《青藏高原隆升的历史背景和机因》(1997)《东亚陆缘扩张带——一条离散式大陆边缘成因的探讨》(1997)《亚洲大陆型壳体的活化(地洼)构造与成矿特点》(1998)《论亚洲东部的陆缘型壳体》(1999)以及《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》(2005)5 篇论文的命题，是作者在其创立的“壳体构造”新概念基础上，并将壳体构造概念运用于亚洲陆海大地构造与成矿的开拓性研究中，所指出的在亚洲陆海岩石圈演化与运动历程中出现的 4 个重大事件，作者将之列为亚洲陆海大地构造基础研究的重大前沿性课题。这一认识得到国际与国内地学界的广泛认同。上述论著即系作者针对这些重大事件分别作出的系列性论述。

其中，《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》一文，是在开展“云南铜－多金属壳体大地构造成矿学”专门研究中，按大陆壳体是在陆核基础上相对独立、长期演化－运动、成长、增生、扩大形成的概念，对云南区域壳体演化－运动史的背景加以检验后，作出的重要修正。其根据是以中国大陆中部大体沿银川－昆明的 SN 向构造带为界所出现东、西部大陆在中新生代演化发展上存在的差异，并非是不同陆核各自成长过程所致，实系由同一陆核在其演化－运动成长过程中由于中新生代陆内深部动力作用机制控制造成的构造分异现象，故将原《亚洲陆海壳体大地构造图》(1994)中划分的东亚、中亚壳体，合并更名为东－中亚壳体。鉴于东－中亚壳体在中新生演化与运动发生的东、西部构造分异控制了二者资源、矿产和自然地理、生态环境的显著不同，因此，同一大陆壳体在其演化－运动中陆内发生的构造分异，是亚洲陆海岩石圈演化与运动历程中新被认别出的重大事件之一，对其进一步深入研究与探索，有着重大的理论与实践意义。

《云南铜－多金属壳体大地构造成矿学》专著是作者将其 1956 年原始自主创新的大地构造与成矿理论进一步推向再创新及实际应用的代表性重要论著之一。

该专著的重要意义：一是运用壳体大地构造新概念，在其学术研究梯队长期对云南区域铜－多金属的大地构造与成矿学研究积累的基础上，从更高理论层次上开展的专门性实例分析与研究，它成为把壳体构造新概念运用于成矿学研究的开端，对壳体大地构造学作出了理论与实践相结合的进一步充实；二是对云南区域壳体演化－运动基本特征分析与研究，作出区划并编制了《云南省壳体大地构造图》①，为区域壳体大地构造图的编制方法与步骤作出了示范。它概述了壳体成矿学研究的基本内容和研究方法，以及壳体历史－动力综合成矿研究的要求与原则和壳体成矿构造的分级划定；并通过编制《云南省铜－多金属壳体大地构造成

①② 原书出版时此二图的比例尺为 1∶350 万，此次汇编出版时缩为 1∶380 万。

矿简图》[②]的示范，对区域壳体成矿类型的划分等提供了研究实例；三是对壳体成矿学的基本概念——成矿系列演化体系及成矿综合模式的建立原则和方法进行了探讨并阐明了其理论与实践意义，并据此对云南壳体铜—多金属成矿系列演化体系和成矿综合模式，作出了初步设定；并对云南铜—多金属壳体成矿演化的阶段性、递进性和多成矿体制性、块带专属性等区域壳体成矿特征，进行了初步阐明。在上述基础上阐明了运动铜－多金属成矿预测与找矿方向。该书于2006年获第七届湖南图书奖二等奖

《跨世纪中国地质学发展的途径》(1994)一文，系作者据其一生从事大地构造与成矿学研究和自主创新理论，坚持发展地球科学使其更好地为发展国民经济服务的理念，针对国际与国内地球科学基础理论研究现状，经深思熟虑后，对21世纪中国地球科学中大地构造与成矿学研究领域，从指导思想上、研究途径和研究方法上、研究重点上，所提出的见解。它强调了发挥我国地域特色、坚持野外实地检验，用自主创新改变追随模仿的被动状况的必要性，指出应把亚洲陆海岩石圈演化与运动的研究途径，作为自主创新研究与发展中国大地构造与成矿学理论的优先领域。该文事实上成为了作者坚持长达七十年对发展中国地球科学基础理论研究留下的遗愿。

目　录

历史－因果论大地构造学刍议 …… (1)
历史－因果论大地构造学 …… (71)
燕山运动——最先发现的地洼型造山运动 …… (82)
造盆作用及成矿盆地的历史－动力综合分类 …… (88)
壳体构造——一种综合大地构造学新概念 …… (110)
亚洲陆海壳体大地构造图(1∶8 000 000)(说明书) …… (127)
跨世纪中国地质学发展的途径 …… (154)
青藏高原隆升的历史背景和机因 …… (159)
初议壳体大地构造学 …… (173)
东亚陆缘扩张带——一条离散式大陆边缘成因的探讨 …… (178)
亚洲大陆型壳体的活化(地洼)构造与成矿特点 …… (187)
论亚洲东部的陆缘型壳体 …… (197)
关于多因复成矿床的一些问题 …… (204)
壳体演化－运动与大地构造成矿作用 …… (207)
中国华南活化区历史－动力学的初步研究 …… (211)
关于活化区动力学研究的几个问题 …… (223)
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 …… (233)

亚洲陆海壳体大地构造 …… (243)
前　言 …… (245)
Introduction …… (247)

上编　亚洲陆海壳体大地构造综述

1　导　论 …… (250)
1.1　前人研究小史 …… (250)
1.2　本项研究的指导思想 …… (252)
1.3　本项研究依据的基础理论——壳体大地构造理论 …… (252)
1.4　研究方法及技术路线 …… (254)
2　壳体大地构造理论简介 …… (256)
2.1　壳体构造概念的含义 …… (256)
2.2　壳体构造概念与别种构造单元概念的关系和区别 …… (257)
2.3　壳体大地构造理论的内容要点 …… (258)

3 从壳体理论分析亚洲陆海地壳的构造特点 …… (281)
3.1 亚洲陆海地区地壳构造特点概述 …… (281)
3.2 亚洲陆海地区的地球物理特征 …… (286)
4 亚洲陆海地区壳体构造区分述 …… (306)
4.1 大陆壳型壳体 …… (306)
4.2 陆缘区壳体 …… (311)
4.3 雏陆壳型壳体 …… (315)
4.4 大洋壳型壳体 …… (316)
5 亚洲陆海壳体演化-运动及亚洲大陆成长增生历程综述 …… (319)
5.1 亚洲陆海壳体演化-运动概观 …… (319)
5.2 亚洲陆海壳体演化-运动历程综述 …… (320)
6 本区壳体演化-运动历程中几个重大事件的历史-动力综合分析 …… (328)
6.1 陆内造山带的出现及克拉通的活化问题 …… (328)
6.2 青藏高原隆升的历史背景和机因问题 …… (337)
6.3 东亚陆缘扩张带形成机理及其壳体演化-运动历史背景——
东亚离散式大陆边缘成因的探讨 …… (350)
结 语 …… (362)

下 编 亚洲陆海壳体构造区(综合大地构造单元)各论

7 中亚壳体构造区 …… (363)
7.1 地台区 …… (363)
7.2 地洼区 …… (366)
8 北亚壳体构造区 …… (395)
8.1 地台区 …… (395)
8.2 地洼区 …… (399)
9 东亚壳体构造区 …… (410)
9.1 地台区 …… (410)
9.2 地洼区 …… (415)
10 西亚壳体构造区 …… (439)
10.1 地槽区 …… (439)
10.2 地台区 …… (440)
10.3 地洼区 …… (441)
11 南亚壳体构造区 …… (446)
11.1 地槽区 …… (446)
11.2 地台区 …… (448)
11.3 地洼区 …… (450)
12 北冰洋壳体区 …… (455)
12.1 大洋壳活动区 …… (455)

12.2 大洋壳稳定区 …… (456)
13 北亚陆缘壳体区 …… (457)
13.1 地洼区 …… (457)
14 东北亚陆缘壳体区 …… (460)
14.1 地槽区 …… (460)
14.2 地洼区 …… (464)
15 东亚陆缘壳体区 …… (469)
15.1 地槽区 …… (469)
15.2 地洼区 …… (478)
16 西太平洋壳体区 …… (489)
16.1 大洋壳活动区 …… (489)
16.2 大洋壳稳定区 …… (492)
17 菲律宾海壳体构造区 …… (496)
17.1 地槽区 …… (496)
18 东南亚陆缘壳体区 …… (501)
18.1 地槽区 …… (501)
18.2 地洼区 …… (509)
19 北印度洋壳体区 …… (513)
19.1 大洋壳活动区 …… (513)
19.2 大洋壳稳定区 …… (515)
20 西亚陆缘壳体区 …… (519)
20.1 地槽区 …… (519)
20.2 地洼区 …… (521)
参考文献 …… (523)
后　记 …… (531)

云南铜－多金属壳体大地构造成矿学 …… (533)
前　言 …… (535)

第一编　云南壳体大地构造及铜－多金属成矿学总论

1 壳体大地构造概述 …… (537)
1.1 壳体及壳体大地构造的基本概念 …… (537)
1.2 壳体的特点 …… (542)
1.3 壳体大地构造学及其研究方法 …… (543)
2 云南省壳体大地构造分析与区划 …… (550)
2.1 中国陆海壳体大地构造演化－运动的基本特征 …… (550)
2.2 云南区域壳体地质、地球物理及地球化学特征 …… (552)
2.3 区域壳体大地构造演化与运动分析 …… (559)

2.4 区域壳体大地构造基本格局的厘定 …… (565)
2.5 云南壳体大地构造图的编制与区划(附1∶380万区划图) …… (570)
3 壳体大地构造成矿学概述 …… (576)
3.1 壳体演化-运动与大地构造成矿 …… (576)
3.2 壳体大地构造成矿学研究的基本方法 …… (584)
3.3 壳体大地构造成矿学研究的基本内容 …… (595)
4 云南铜-多金属壳体大地构造成矿分析 …… (598)
4.1 云南铜-多金属壳体大地构造成矿图的编制及成矿区划 …… (598)
4.2 云南铜-多金属壳体大地构造成矿区、带的划分 …… (599)
4.3 云南铜-多金属壳体大地构造主要成矿类型 …… (602)
第二编 云南铜-多金属矿床主要类型及其成矿作用
5 东-中亚扬子壳块古元古代优地槽型铁铜成矿类型 …… (605)
5.1 壳体大地构造成矿背景 …… (605)
5.2 典型矿床——大红山铁铜矿床特征 …… (605)
5.3 成矿作用、定位机制与成矿模式 …… (605)
5.4 优地槽的演化与大红山式地幔分异演化成矿 …… (605)
6 东-中亚扬子壳块中元古代地槽裂谷型铜成矿类型 …… (605)
6.1 壳体大地构造成矿背景 …… (605)
6.2 因民组稀矿山式铁铜矿床 …… (605)
6.3 落雪组东川式铜矿床 …… (605)
6.4 黑山组桃园式铜矿床 …… (605)
6.5 陡山沱组及滥泥坪式铜矿床 …… (605)
6.6 昆阳裂谷演化与东川矿田的壳幔成矿系列 …… (605)
7 东-中亚扬子壳块地台型铜-多金属成矿类型 …… (605)
7.1 壳体大地构造成矿背景 …… (605)
7.2 地台期与铜成矿有关的火山-沉积建造特征 …… (605)
7.3 地台型铜-多金属矿的主要类型及分布 …… (605)
7.4 典型矿床类型及其特征 …… (605)
7.5 地台型壳体成矿作用及找矿方向 …… (605)
8 东-中亚扬子壳块地洼型砂岩铜矿成矿类型 …… (605)
8.1 壳体大地构造成矿背景 …… (605)
8.2 典型矿床特征 …… (605)
8.3 多因复成成矿作用与富集规律 …… (605)
9 东-中亚扬子壳块地洼型酸性岩浆气液成矿作用及矿床类型 …… (605)
9.1 壳体大地构造成矿背景 …… (605)
9.2 典型矿床——个旧锡、铜-多金属矿床特征 …… (605)
9.3 成矿作用与成因分析 …… (605)

10　东－中亚扬子壳块边缘地洼型沉积改造铅锌铜成矿类型 ……（606）
10.1　壳体大地构造成矿背景 ……（606）
10.2　典型矿床之一——金顶超大型矿床特征 ……（606）
10.3　典型矿床之二——白秧坪矿床特征 ……（606）
10.4　区域成矿规律与找矿方向 ……（606）
11　东－中亚壳体活化造山型富碱斑岩成矿类型 ……（606）
11.1　壳体大地构造成矿背景 ……（606）
11.2　富碱斑岩的特征及成因 ……（606）
11.3　富碱斑岩矿床类型及典型矿床特征 ……（606）
11.4　壳体演化－运动与成矿作用分析 ……（606）
12　东－中亚壳体南缘地槽型中酸性岩铜成矿类型 ……（606）
12.1　壳体大地构造成矿背景 ……（606）
12.2　典型矿床——雪鸡坪铜矿床地质特征 ……（606）
12.3　矿床成因模式与区域找矿标志 ……（606）
13　南亚腾－保壳块地台裂谷型火山岩铜－多金属成矿类型 ……（606）
13.1　壳体大地构造成矿背景 ……（606）
13.2　典型矿床——澜沧老厂铅银铜矿床特征 ……（606）
13.3　成矿作用与成因分析 ……（606）
13.4　找矿标志与找矿方向 ……（606）
14　东－中亚与南亚壳体接合带地台期超基性－基性岩浆型铜镍成矿类型 ……（606）
14.1　壳体大地构造成矿背景 ……（606）
14.2　典型矿床——白马寨铜镍矿床特征 ……（606）
14.3　构造岩浆活动与成矿作用分析 ……（606）
第三编　云南壳体构造演化与铜－多金属矿床成矿作用综合模式
15　区域壳体大地构造演化与成矿的深部作用机制 ……（607）
15.1　地幔蠕动热能聚散与壳体动“定”转化递进规律 ……（607）
15.2　壳体演化－运动与成岩成矿的深部动力学分析 ……（609）
15.3　云南壳体演化－运动及成岩成矿的特点 ……（628）
16　区域壳体成矿系列演化体系及成矿综合模式 ……（633）
16.1　壳体大地构造成矿学的成矿系列演化体系及成矿综合模式问题 ……（633）
16.2　云南壳体铜－多金属成矿演化规律、成矿系列演化体系及成矿综合模式 ……（639）
17　云南铜－多金属成矿预测与找矿方向 ……（655）
17.1　云南铜－多金属矿产资源的特点分析 ……（655）
17.2　云南铜－多金属壳体大地构造成矿条件与成矿特征分析 ……（655）
17.3　云南铜－多金属成矿潜力与找矿远景分析 ……（656）
17.4　云南铜－多金属成矿主要密集区或富集区 ……（657）
17.5　云南铜－多金属壳体大地构造找矿远景的预测 ……（659）
参考文献 ……（664）

附 录 ……(673)
附录1 《地洼构造与金成矿》简介 ……(673)
附录2 《东亚－西太平洋壳体大地构造》简介 ……(673)
附录3 滇中及邻区大地构造演化－运动特征……(674)
附录4 滇中地区前地槽大地构造演化－运动特征……(682)
彩色图版
图版Ⅰ 亚洲陆海壳体大地构造图(1∶26 000 000) ……(卷首)
图版Ⅱ 云南省壳体大地构造图(1∶3 800 000) ……(卷首)
图版Ⅲ 云南省铜－多金属壳体大地构造成矿简图(1∶3 800 000) ……(卷首)

历史－因果论大地构造学刍议*

文前提要 随着大地构造学的不断发展，出现过的理论很多，它们此起彼落更替频繁，究其原因，要从高层次来分析。

地质学史上，关于地质学的研究目的，一向存在两种不同的看法：一种认为主要在于对地球历史的重建，并把研究重点放在追索地质事件的时间序列上，可称为历史论地质学；另一种则认为主要在于对地球变革的理解，并把重点放在探究支配地球变化的一般规律，可称为因果论地质学，作为地质学中涉及地球科学许多根本性问题的大地构造学，这种分歧自然尤为突出，并形成了历史论大地构造学和因果论大地构造学。

在历史论大地构造学的理论中，最流行的为地槽－地台理论，它主要研究地壳演化的阶段划分，构造单元的出现顺序和历史生因关系。在因果论大地构造学的理论中，著名的有地质力学和板块理论。前者主要探究诸种构造的力学性质和成因，以及构造体系的划分；后者则主要探索岩石圈块体的移动和互相间的力学关系，以及移动的力源机制。由于历史论和因果论各有其主要的研究对象和研究方法，因而各有其自己方面的优点和长处，而且两方面都是解决地球构造问题所需要的，都具有重大的意义和作用，缺一不可；另一方面，由于各自的主要研究目的和研究对象的要求，来不及重视另一方面的优点和长处，遂致两方面都难以适应全面地解决地球构造多方面问题的要求，如果把它们两方的研究目的兼顾，统一研究，并把两方研究方法和长处结合起来，融为一体，就会互相补益、相辅相成，能够比较全面地研究地球构造及其所成矿产的时间－空间分布规律，更有成效地指导找矿。作者设想的这样一门综合性大地构造学，叫做“历史－因果论大地构造学”。

体现把历史论同因果论大地构造学两方面研究对象结合起来，融为一体的研究思路和途径，主要是建立一个把岩石圈演化与运动统一研究的综合性的构造概念，叫做“壳体”。壳体的定义是这样：“地球硬壳（相当于岩石圈）在其形成和发展过程中，可能先后不一地出现于不同地域，在诞生、成长、运动、变化和发展等方面分异进行；既在演化又在运动（包括移动）的时空综合的全球性基本构造单元。”它们在形式上表现为岩石圈的既不断发展又变化位置的块体，各有其自身的诞生时代、成长方式和发展历程，演化阶段和成熟度，物质组成及地壳性质，垂向及平向结构，构造单元组成，面积、厚度、形状及其变化，整体及体内运动，地球物理、地球化学、生物演化、成矿演化及其时空规律等方面的特点。不同壳体可由不同数目（或）不同性质类别的大地构造体制的构造区组成。

历史因果论大地构造学的研究指导思想和研究方法，主要包括下列几点：①发展观点同联系观点结合；②时间观念同三维空间观念结合；③水平运动同垂直运动并重；④壳体的整体运动同体内运动并重；⑤构造层划分与构造系划分结合；⑥洋壳同陆壳兼顾；⑦远古与近代并重；⑧全球与地区兼顾；⑨岩石圈演化与运动并重。

主题词 历史－因果论大地构造学，历史－动力综合分析法，壳体，壳体演化－运动学，壳体成矿学。

* 国家自然科学基金资助课题“亚洲陆海壳体大地构造图”及“亚洲陆海壳体大地构造演化特征与生演机理”的阶段成果论文之十四，发表于《大地构造与成矿学》，1992，16(1)：1～71

1　引　论

1.1　缘　　起

随着大地构造学的不断发展，出现过的理论很多。它们此起彼落，兴衰更替频繁。当某一方面的理论兴盛时，以为它是最值得崇尚的，但经过实践验证，又会常常发现新崇尚的也未必尽如人意。作者于彷徨之余，静思原因何在，似乎需要从高层次的分析来看这问题。

地质学史上，关于地质学的研究目的，正如科学史研究者英国劳丹(R. Laudan，1944)所指出，一直存在着两种不同的看法(诸大健，1990)。一种认为其目的主要是在于对地球历史的重建，即把地质学看作是自然史的一部分，要求写出详尽的地球史，并把研究重点放在追索地质事件的时间序列上，尤其重视遥远过去的事件；特别重视由“岩石建造”代表的地质体；这可称为历史主义或历史论地质学。致力于这方面研究的代表者有水成论者德国人魏尔纳(A. C. Werner，1750—1817)；还有英国地层古生物学家史密斯(W. Smith，1767—1839)等。另一种则认为，它的目的主要是在于对地球变革的理解，即把地质学看作是自然哲学的一部分，并把研究重点放在探究支配地球变化的一般性规律；而对于地质史记录的细节则注意较少，大都是附带性的，主要是为了满足检验所提地质定律的需要，并且大多倾向于选择最近的过去；因其对于研究对象来说最为完整；这可称因果论地质学。致力于这方面研究的代表学者有均变论者英国人郝屯(J. Hutton，1726—1791)和莱伊尔(Charle Lyell，1797—1875)等。作为地质学中常常涉及地球科学许多根本性问题的大地构造学，这种分歧自然更为明显，并形成了历史论大地构造学和因果论大地构造学两种理论。这不独表现在研究目的上，尤其表现在研究对象的选择，以及所采用的研究方法等方面的分歧。例如，在历史论大地构造学理论中，有些主要探究地壳演化的阶段划分、构造单元的出现顺序和历史生因关系(如地槽－地台理论)。而在因果论大地构造学理论中，则有些主要探索地壳中诸种构造的力学成因和体系划分(如地质力学)；另一些主要探索岩石圈块体的移动情况、互相间的力学关系，以及移动的力源机制(如板块理论)。因为主要研究对象不同，遂致主要研究途径和方法各有侧重。前述的困惑现象之所以出现，似乎主要同这些分歧及其两方各自优缺点有关。因此，要解决这一问题，就有必要从两者结合入手，以便互为补益，使两者的优点能够更好地发挥作用，而缺点得到消除或减少。其理由如下：

从科学研究的宗旨来看，其目的是认识自然并据以利用自然、改造自然。要达到这个目的，就必须做到既知其然还要知其所以然。另一方面，欲知其所以然又必须先知其然。因此，依作者的理解，无论历史论还是因果大地构造学都是以某一方面的客观事实为主要研究对象的，都有其重大的作用和意义。问题是在于它们偏重各自的主要研究对象而来不及较多注意另一方的对象。从研究全球构造来说，两者轻一不可，但由于它们研究对象的局限性，就只有双方互相结合，融为一体，建立双方同等兼顾、目的比较全面的新型大地构造学，才能较全面地认识地球(现阶段主要为岩石圈)的形成、运动、变化和发展的过程和规律，以及它们发生的根本原因和力源机制，从而较易了解矿产的时空规律性，更有效地指导生产。

据此理解，作者(陈国达，1962)先从两种目的论的研究方法，即历史分析法和动力分析

法(当时吸收的为地质力学的应力分析法的适用部分)的结合开始进行试验。随后在编制《中国大地构造图》时撰写的《中国大地构造概要》(陈国达，1977)及《成矿构造研究法》(陈国达，1978)等书文中加以引申，略增体会，此外还试提出了兼有演化和运动含义的全球性、综合性构造单元——“壳体”的概念，以及与壳体的演化和运动的主要原因和力源机制有关的“地幔蠕动热能聚散交替假说”(陈国达，1977)①，以适应历史论同因果论融合的大地构造学研究的需要。近年在编制《亚洲陆海壳体大地构造图》及撰述《亚洲陆海壳体大地构造演化与生演机理》专著过程中，对此问题有了进一步的认识。

这个问题不是一人之力所能解决的，认识也还只是初步设想，很不成熟，还有赖于广大地质工作者的共同努力。特概述于此，以作引玉之砖，敬希指正。如能引起读者对此问题发生兴趣，从新的角度开辟新的思路，开展研究，有助于大地构造学的进展，当深感激！

本文撰写过程中，蒙郭令智教授、杨心宜、周裕藩、刘以宣同志及其他许多同志帮助，提供资料，提出意见，协助绘图等，陈欣、莫国宏同志为本文刊出做了大量工作，谨此致谢！

1.2 历史论与因果论大地构造学及其研究方法结合的必要性和可能性

在大地构造学的发展史上，关于研究目的的认识分歧，存在已久。无论历史论还是因果论的理论，其研究方法都有各自的特色，但又都有为达到同类理论相同研究目的的共同特征。归纳起来，它们可划分为相应的两大类，即历史论的研究方法和因果论的研究方法。其中，历史论大地构造学的研究方法，最著名的为历史分析法。它强调恢复和阐明地壳或岩石圈构造的形成、运动、变化和发展的历程，并以采用归纳法为主。因果论大地构造学的研究方法，以动力分析法(含地质力学的应力分析法)为常见。它强调探索地壳构造形成的动力和起因，并以采用演绎法为主。这两类理论及其研究方法，都有其优点，但它们大多数偏于重视各自的优点而较少注意对方的长处。其结果是在单纯运用它们中无论哪一类理论和方法去解决大地构造问题时，都难免顾此失彼，不易求得比较完满的答案。

依作者的看法，大地构造学的研究目的，是既要研究地球，目前主要是地球的硬壳(相当于岩石圈)的诞生、成长、运动、变化和发展的全部史实(包括细节)，同时又要弄清造成这些史实的根本原因和力源机制。因为无不运动的物质，也没有无物质的运动；物质是第一性的。只有既弄清事物运动、变化和发展的历史，又探索其演化和运动的原因和力源，才能真正认识事物的本质及其发展规律，达到据以利用自然和改造自然的目的。而历史论大地构造学及其采用的历史分析法优点，正是在于要求能够依据大量的地质及地球物理实际资料，主要运用归纳法的长处，全面地恢复和阐明地球硬壳自诞生以来长达 38 亿年以上的成长、运动、变化和发展和历程。并且，它们的作用不只是认识这个历程，还为探索该历程的根本原

① “壳体”是 1977 年作者提出的一个构造概念，指的是地球硬壳(相当于岩石圈)在其形成和发展过程中，可能先后不一地出现于不同地域，在诞生、成长、运动、变化和发展等方面分异进行，既在演化又在运动(包括移动)的时空综合的超级基本构造单元。它们在形式上表现为地球硬壳的既在不断发展又在变化位置的块体，具有各自的诞生时代，成长方式和发展历史阶程，演化阶段和成熟度，物质组成及地壳性质，垂向及平向结构，构造单元组成、面积、厚度、形状及其变化，整体及体内的运动，地球物理、地球化学、生物演化，成矿演化及其时空规律等方面的特点。不同壳体可由不同数目和(或)不同性质类别的大地构造体制的构造区组成(详见第3 章)。这概念是地洼学说的第四组成部分，体现该学说的“历史－因果论大地构造学”的学科范畴特色。

因和力源机制提供充分的、可靠的史实依据。另一方面，因果论大地构造学及其采用的动力分析法的优点，则是在于要求它能够敞开思路，运用演绎法提出假说并发挥其想象功能，为寻找地球硬壳成长、运动、变化和发展的根本原因和力源机制提供线索。并且，它的作用不只可使人们认识其中的因果关系，还可使人们对地壳或岩石圈演化和运动历程及其规律性获得更高一步和更深一层的认识，还可据以预测未来。它们两方面都有其自身的作用，但又不能代替对方的作用，即轻一不可。

由此可见，从科学发展的规律看，要能比较全面地促进大地构造学的发展，一门同时吸收历史论同因果论大地构造学两方的长处，即把两者的适用部分有机地结合起来，融为一体的综合性新型全球大地构造学，是十分需要的。因为只有这样一门兼容并包的学科，才能兼顾双方目的，比较周到地考虑问题；并能综合运用两种研究方法，合成“历史－动力综合分析法”，以便互补不足，相得益彰，更有利于认识地球硬壳的演化史、因果关系及其规律性，以及由它们产生并控制的矿产特点和时空分布规律，解决比较复杂的大地构造及成矿学问题，从而有可能更有效地指导找矿。这种融合，无论从学术理论上还是从指导找矿实践上说，都是有重大意义的。作者设想的这样一门综合性大地构造学，建议称它为“历史论－因果论综合大地构造学”，简称“历史－因果论大地构造学”(Historistic-causationist geotectonics)。

关于能否把历史论与因果论的大地构造学及其研究方法结合起来的问题，可能存在不同的看法。或以为两者是水火不相容的，只能存在其一。其实，从实质上看，它们只是从不同角度去研究地球构造的某些侧面。它们各自的主要研究对象都是研究地球构造所需要能解决的问题。它们只是研究对象和方法有别而不是对立，因而并非互相抵触，更不会因为两者融合而使其中一方的目的消失，或者其研究方法降低作用。相反，依作者的实践经验，只要把它们两者的适用部分有机地结合起来并融为一体，不但不存在困难，并且看问题更为全面和深入，相辅相成，成为真正的研究全球大地构造的科学。它们两者的融合并发展，乃是历史的必然趋势；历史－因果论大地构造学的建立，将有可能加快大地构造学及相关学科如成矿学等的发展进程。

1.3　历史－因果论大地构造学的研究任务

作为一门包括历史论同因果论在内的综合性学科，历史－因果论大地构造学的研究任务自然是兼其两者的任务而有之，从事统一研究，即全面地既研究地球(现阶段主要是地球硬壳，相当于岩石圈)的诞生、成长、运动、变化和发展的全过程，同时又探索这个过程的发生和演变的根本原因和力源机制。这些任务里面，特别着重地包括了组成地球硬壳的各个不同壳体的诞生、成长、运动、变化和发展的全部历程的细节，它们的形成和演化方式、整体运动和体内运动、水平运动和垂直运动，物质组成、地壳性质、成熟度、演化阶段、垂向及平向结构、构造单元组成、厚度和面积及形态的变化、类型划分，运动与相对运动的方式、进退弯旋等运动的变化、分裂离散与汇聚接合的变迁，演化和运动、诞生与消亡的共同根本原因和力源机制等。在此基础上，进而总结地球硬壳及其中各个壳体的形成、运动、变化和发展的规律及因果关系，据以预测未来。此外，认识自然是为了利用自然和改造自然，为发展生产或消减灾害服务。在掌握地球硬壳及其中各个壳体的演化和运动规律的同时，还要总结由这些规律所制约的成矿规律，以及和自然灾害的关系，并据以认识各种矿床在时间上的出现规律

和在空间上的分布规律，指导找矿，以及解决其他生产问题和消减灾害问题。

1.4 历史－因果论大地构造学的研究方法

由于历史－因果论大地构造学要求从事兼有历史论同因果论大地构造学的研究目的、任务和对象，无论就理论上说还是就生产意义上说，其研究方法自应同时吸收两方面的适用部分，综合起来，即如上所述，把历史分析法与动力分析法互相结合，形成历史－动力综合分析法。它的具体要求，自 1962 年作者提出初步设想以来，经过了逐步的补充修改，主要有下列几点。其中既包括工作方法方面，也包括思想方法方面，两者不可分割。

1.4.1 发展观点与联系观点结合

以往大地构造学的研究方法，由于受研究目的的限制，观点大都难免有所偏倚。例如，历史论者采用历史分析法，主要为了阐明和重建地壳或岩石圈的演化史，故发展观点十分明确，而联系观点较差。因果论者采用动力分析法，主要为了探索地壳或岩石圈各个块体或地段的相对位置变化和应力场，因而联系观点特别重视，而发展观点较少注意。历史－动力分析法是两者相结合的方法，它首先要求把地球硬壳及其中各个壳体都看作如同其他事物一样，是在不断地运动、变化和发展着的。与此同时，要承认它们既不断发展又有发展阶段之分。在它们的演化过程中，于不同时期其活动强度、地壳运动性质、特征、表现方式等，都可不相同，因而形成了各个不同性质的发展阶段，出现了相应的大地构造体制，表现为相应的大地构造单元。与此同时，由于事物发展总是不平衡的，在地球各个壳体之间，壳体内各个次级或更次级壳体之间，其演化和运动都可发生差异。从而在每个地质时代中都形成了各自的、复杂多变的、在全球范围分异进行的演化－运动综合场面，构成了逐幅不同的画图。而在这些画图里，每个构成部分都与其他部分互相联系着，不宜孤立地去研究。总之，既要研究全球范围内每个壳体在不同地质时代的运动和变化，及其在时间发展上的和在历史生因上的联系，又要研究每个地质时代中全球各个不同壳体的运动和变化，以及它们互相之间在空间变迁上的和在力学上的联系。

1.4.2 时间观念与三维空间观念结合

历史－动力综合分析法所需要强调的第二点是既要着眼于时间又要着眼于空间，不宜偏重其一。并且，在空间方面，还要既着眼于平面（二维空间）又要着眼于立面（垂直的一维），而不要偏重一方。在以往的研究方法中，历史分析法重点放在地壳或岩石圈演化过程中的阶段划分，以及不同大地构造体制之间的历史生因关系和转化历程，因而时间观念很强。但由于放松地壳或岩石圈不同部分或地段之间的空间变化和力学联系，以致较少注意空间观念，且侧重垂直的一维。动力分析则把重点放在地壳或岩石圈不同部分或地段之间的位置变化和应力关系上，因而空间观念很强。但由于较少注意它们各自在时间上的变化以及新旧发展阶段之间的生因联系，以致时间观念相对淡薄。而且，在空间联系方面，又常把重点放在平面上。运用历史－动力综合分析法，则要求既兼顾时间和空间，又兼顾平面和立面，即要求四维思维。并且运用地球物理方法同地质方法相结合，加大垂直的一维的认识，即注意三维空间。这样就能比较全面地分析问题，这与上文所述发展观点同联系观点相结合的方法是相呼应的。

1.4.3 水平运动与垂直运动并重

这一点是要求注意地壳运动(岩石圈运动)既有水平运动又有垂直运动，两者同是地壳运动(岩石圈运动)的表现方式，不宜偏重任何一方。虽然水平运动的尺度通常可以较大，在平面图上的变化又较易察觉，因而更引起人们的注意和兴趣，但垂直运动仍需同样重视。以往的研究方法，常有所轩轾。例如历史分析法由于主要通过构造层增积过程的研究以重建地壳或岩石圈发展史，所以重视升降运动及由此引起的海水进退或盆地消长和所成有关的建造记录，而对水平运动则研究较少。动力分析法由于主要通过构造形迹、古生物群、古地磁等方面的研究以探索地壳或岩石圈不同部分或地段的位移和互相之间的聚合或离散等，所以重视水平运动，而对垂直运动则不够注意。采用历史－动力分析法，则有可能发挥两者的长处。事实说明：水平运动与垂直运动都是地壳运动的两个方面，只有在地壳演化和运动的不同发展阶段或同一发展阶段的不同时期，可以由其中之一占据主导地位。依现有资料所知，一般说来，在一个壳体演化过程中，当它(或其中某个次级壳体地段)处于构造－岩浆－变质活动强烈的发展阶段时，大部分时期以水平运动为主导；当其转入构造－岩浆－变质活动微弱的发展阶段时，则大部分时期以垂直运动显出(相对的)优势。

1.4.4 壳体的整体运动与体内运动并重

地球各个壳体的运动，既包括它们的整体运动，也包括它们体内的各个次级壳体或地段的运动。这两方面都是地壳运动的表现，同等重要，不宜有所偏颇。以往的研究方法中，历史分析法集中注意研究壳体演化过程中各个发展阶段内的体内运动，包括各个次级壳体或地段在水平方向和垂直方向的运动和相对位移，以及由此所产生的平面上和立面上的应力场，并其所成的有关构造；但它很少涉及整体运动，特别是整体的水平移动。动力分析法则大多集中精力研究整体运动，特别是整体的水平移动和相邻诸壳体之间的相对地理位置变化，以及由此产生的壳体之间的汇聚或离散现象和相应的应力场及有关构造。历史－动力综合分析法要求两者兼顾，即既重视整体运动，也同样重视体内运动。

1.4.5 构造层划分与构造系划分结合

构造层原是槽－台学说研究方法所创立的概念。它确切的用法依作者(1956，1978)的体会是指在地球硬壳某个块体或其中某个地段的演化和运动过程中，于一定大地构造体制的发展阶段所成的，由具有属于相应大地构造体制的共同特征和认识标志的建造，包括岩浆建造、沉积建造及(或)变质建造所组成，并受过同期伴生构造作用改造过(即具有属于相应大地构造特征的构造型相)的地质组合。这个概念在历史论大地构造学研究中是历史分析法的一个重要的依据；但在因果论大地构造学的动力分析法中则罕见使用之。从历史－动力综合分析法的角度考虑，它确很有作用。因为它们是该处壳体各个发展阶段的地壳运动的性质和当时大地构造体制的物质记录；也是这种地壳运动和大地构造体制的生亡时代及存在时间长短、影响范围和面积大小的历史记录；同时还是有关矿产形成的有利环境条件的历史记录。它们是阐明及重建地球硬壳及其中各个壳体的演化和运动历程以及所成矿产时间出现规律的事实依据。

构造层可因其差别显著程度及范围大小而划分为多级。最高级的是由不同的壳层为代表，即现已知的硅铝质构造层、硅镁质构造层及地幔岩构造层，它们自上而下依次相当于硅铝壳(上地壳)、硅镁壳(下地壳)及地幔岩层(内地壳，说明见后)，这些称为超级构造层。在

超级构造层中，可以分为若干个构造层。例如，在硅铝质构造层中，在有它们发育齐全的构造区或地段，依目前研究程度，依正常层位自上而下可以区分出地洼型构造层、地台型构造层、地槽型构造层及前地槽型构造层（其中包含有多个亚构造层，详后）。在这些构造层里面，还可区分出中构造层及小构造层（可见以前的地洼学说著作中，此处不重述）。有必要指出的是：硅铝质构造层只发育于大陆壳及过渡壳。它们是目前运用历史分析法研究地壳演化史时的主要依据。至于硅镁层及地幔岩层中，应如何划分构造层，有必要开展研究。

附带说明，关于构造层（当前仅指硅铝质构造层）的划分法有两种：一种是按其所属地壳运动期来划分，如“加里东构造层”、“海西构造层”等。另一种则是按其大地构造属性来划分，如“前地槽构造层”、“地槽构造层”、“地台构造层”、“地洼构造层”等。从反映地壳演化史的需要来看，其中以第二种较为合适。因为它能表达各种构造层在其形成时期的地壳演化阶段的大地构造体制，以及所包含的沉积建造、岩浆建造、变质建造及构造型相的构造属性，因而有可能恢复所论地区的地壳演化史，判断当时的成矿作用的大地构造属性，以及所成矿产的特点和分布规律。其次，第二种划分法还有一种优点，那就是它更能充分地反映地壳的演化分异情况和地壳发展的不平衡性。因为不同地区其地壳演化进程是不同的。如同是在加里东旋回，华北地区已演进到地台区阶段，形成了地台型构造层，而东南诸省则处于地槽区阶段；所形成的为地槽型构造层。再有，同是地槽型构造层，虽在东南诸省是属于加里东旋回，但在华北者其时代属于吕梁旋回，而在东北诸省大部分及内蒙地区者，其时代一直延到海西旋回。由于这样的原因，如果不按大地构造属性来划分构造层，把上述几个地区于同一代时所成的构造层都统称加里东构造层或其他地壳运动期的构造层，就无法反映当时不同地区之间的大地构造体制的差别，以及成矿作用的异同。因为“加里东构造层”一类名词只有时间含义而无大地构造属性含义，不能作为鉴别成矿作用的依据。由此可见，上述二种用法中，以第二种用法更具有明确的理论意义和实用意义。

构造系是在地质力学所称的“构造体系”这个术语的基础上引申和发展而来的。它与后者的区别在于强调同一构造系里面各种构造成分的同时性。依作者在 1941 年初步拟出的定义以及其后（1978）的陆续补充修改，它是指地球硬壳于其演化过程中，在一定应力场范围内，例如一个壳体的某些部分，或相邻两个壳体的某些部分，于某一时代里同时形成的并具有一定的分布配合方式、具有力学成因联系的由各种构造成分（褶皱、断裂等）组成的构造组合。它们是当时地壳运动留下的构造形迹。这个概念虽然目前在研究大地构造中使用已较少，但从历史－动力综合分析法的角度看来，它仍有作用。因为在研究壳体运动时，根据它们可以有实际根据地重建当时的平面古应力场，以及相邻壳体或地段之间的相对移动关系：汇聚挤压、拉伸离散或（及）剪切错移和各自水平运动和方式（进退弯旋），并据以追溯有关地区各个地质时代的应力场变化情况和有关壳体或其中有关地段的地理位置变迁史。还可认识由这些构造所形成和（或）控制的矿产的空间分布规律。构造系常见于地球硬壳的硅铝层，也可发生于硅镁层以至地幔岩层。它的组织成分既包括壳体内部及边缘的各种褶皱、断裂等构造，也包括那些发展成为壳体分界线的深大断裂带。因为它们都是所在范围内，由地幔蠕动的动力场所导致的岩石圈应力场的产物。

在以前的研究方法中，历史分析法只重视构造层的鉴别和划分，而对构造系不加注意；动力分析法则重视构造系或构造力学性质的鉴别和划分，及其反映的有关地壳块体的相互移

动关系，而较少注意构造层。由于两法均有偏重，遂难以了解地壳构造的全貌，以及全面地认识矿产的时空分布规律。在运用历史－动力综合分析法时，就要求把两者结合起来(陈国达，1962，1978，1988)。即是说：在划分构造层时，需要同时注意它形成时及形成后所受控制或影响的构造系的形态特点，及其反映的古应力场和当时所在壳体(地段)的运动特点；另一方面，在划分构造系时，需要同时注意所控制或影响的构造层的建造特点，及其反映的当时所在的大地构造体制环境和壳体演化阶段。

1.4.6 洋壳与陆壳兼顾

陆壳是地球硬壳演化过程中，由洋壳演化而成的，其标志构造层即硅铝层。它一般地是以洋壳的标志构造层即硅镁层以及下伏的地幔岩层为基础而发育的，两者之间具有历史生因关系。另一方面，目前经研究所及的大洋壳，其年龄都很小，不超过 220 Ma，而大陆壳远为年老，已知最大的年龄至少达 38 亿年。并且，大陆壳中保存有为大洋壳中所无的、演化进入陆壳阶段以来各个时代、各个发展阶段、代表各种陆壳型大地构造体制的构造层。这些构造层，足以反映地壳演化中这一段漫长的、经受过无数次强弱交替的运动，以及发生过十分复杂变化的历史记录。因此，历史－动力分析法要求既重视占有地球表面 72% 的洋壳资料，也不忽视足以说明和重建地球硬壳发展过程中长近 40 亿年这段历史的陆壳资料。只有两方兼顾所总结出来的认识，才能更较顺利地解决全球性的大地构造问题。

1.4.7 远古与近代并重

要把历史论同因果论两种大地构造学的主要研究对象融为一体、统一研究，有必要把两方面的研究重点结合起来，同等兼顾，即既重视远古地质时代的史实的细节，也重视较新地质时代的史实的细节。在此基础上，重建全部的地球(岩石圈)的大地构造史，并作为探索这些大地构造事件的发生原因和力源机制，达到认识其因果关系和一般性规律的依据。

1.4.8 全球与地区兼顾

历史－因果论大地构造学的研究对象包括整个地球，也考虑到其他天体的影响。虽然现阶段主要研究范围在地球的硬壳，但也涉及更深部的作用。因此，它必须着眼于全球。另一方面，要使它总结出来的理论其适用范围能包括全球，就必须以组成全球硬壳的各个壳体和所有地区的资料为基础。虽然各个地区有其具体的构造特点，但也必然同时具有与其他地区相一致的共同构造特征，可作为研究全球构造一般性规律的依据。只有这样的研究方法，才能真正认识地球。历史－动力综合分析法就是要求注意这一点。

关于联系中国实际总结大地构造理论的重要性和必要性，已有许多学者注意到并已提出了一些这方面的理论。依作者的体会，强调和加深这种认识是有十分重大的学术意义和生产意义的。因为中国地区所在几个壳体既是组成全球硬壳的一个广大部分，国境的面积又十分辽阔，并且包括有广大的大陆壳和一部分洋壳，以及介于大陆壳与大洋壳之间，由于东亚陆缘扩张而成的，为世界上最辽阔的陆洋壳区之间的中间地带的一部分。同时，中国陆壳的年龄古远，有过悠长的变化复杂的演化和运动的历程，无论垂向还是平向结构都是十分复杂。中国的科学工作者正可以利用这些优越条件发挥应有的作用：既着眼于全球，追踪世界学科进展的前沿；又更多重视中国的地质构造特征，两者兼顾，从中找出共同规律，以求创造出既有世界意义又能更加切合中国实际、更有效地为生产服务的新理论。希望同仁共勉之。

1.4.9 岩石圈演化与运动并重

历史－因果论大地构造学在研究地球构造的各种问题时，都宜尽量同时注意其历史和运动两个方面的内容，并把两者密切结合起来，以达到两者统一研究的要求。举例说：在研究活动带、造山作用及造山带等的时候，既要阐明它的动力成因、运动性质、运动过程、所在位置等，又要同时分辨它们的大地构造属性、产生于所在壳体演化史中的哪个发展阶段和成长期、产生的历史背景和发育基础等，并据以区分出各种不同属性和类型的活动带、造山作用及造山带(包括地槽型或地洼型等)。如台湾东海岸山脉、日本诸岛的东西部的活动带为地槽型活动带(造山带)，而台湾西部及日本西部则为地洼型活动带(造山带)；别的例子还有，研究裂谷(带)时，有必要区分出它是活动区型还是稳定区型(后者特称断拉槽－aulacogen，莎特斯基术语)。在活动区型裂谷(带)中，还需要再区分出地槽型还是地洼型；后者相当于E. E. Milanovsky 的世界裂谷分类中的“后地台型裂谷(带)”。如此类推。再有，研究岩石圈块体或其中某一地段的运动方式、强度等时，要同时分析这些运动发生时期该壳体或其中相应地段的演化阶段和成长期，结合考虑，才能对这些运动的发生原因获得理性的认识。因为它们与有关地区当时的大地构造性质(活动区还是稳定区)互相关联，并且同是由于地幔蠕动情况(处于活跃期还是相对宁静期)加上历史背景和发育基础所决定的。这就是需要建立“壳体”这个综合构造概念的重要原因。

岩石圈演化与运动并重的重要性，在解决许多构造问题时都可以表现出来。例如，关于华南地区究竟是地台区还是造山带这一问题，直到目前还有人在争论，依据实际资料分析，它既是地台区又是造山带。地台区是它在晚古生代时的情况，称后加里东古地台区。造山带则曾至少经过两次(前地槽区造山带遗迹未计)，分别属于两种大地构造类型。一次是晚古生代时，属地槽型造山带，即华南加里东期古(地槽型)褶皱带。另一次是中生代以来，属地洼型(活化型)造山带，可称燕山期(也称华夏期)地洼断褶带。又如，天山山脉究竟是海西期地槽型造山带，还是地洼型造山带？它的发展史表明，它既是地槽型，又是地洼型。前者是指晚古生代时的海西期古地槽区褶皱带；后者则是指新生代以来的中亚期(喜马拉雅期)地洼区断褶带。因为第一次出现的造山带已于白垩纪以前被削低夷平，转化为地台区了。目前所见的天山为第二代造山带，其大地构造属性为地洼区，同晚古生代时不同。由此可见，上述的问题，只要把演化与运动并重，融合全面考虑，再加上强调时间观念与三维空间的观念结合，就易于找到明确的答案。

以上几点，只是作者初步设想，是否全面和是否恰当，还有赖于读者思考。

2 建立历史－因果论大地构造理论的途径

根据前章关于建立历史－因果论大地构造学的理由，需要一些相应的大地构造理论。历史－因果论大地构造理论的建立途径可有多种，现就作者个人所知提出一个初步设想。

2.1 以历史论及因果论大地构造学两方主要理论的长处为基础

历史论和因果论的大地构造理论很多，可作为建立历史－因果论大地构造理论者也不少。此处试就它们两者中各选其主要的一种取其各自的长处，以作基础。

依作者见解，历史论的大地构造理论中可选其优点作为基础的是地槽－地台学说，它的

优点在于：①在理论上阐明了大陆地壳中最早被人们认识的两种构造单元，即属于活动区的地槽区和属于稳定区的地台区，以及它们的历史生因关系和转化顺序，从而提示了地壳发展史长河中最早被认识的一段历程和部分规律。②在实用上它划分出两种最先为人们认识的成矿作用大地构造类型，即地槽型和地台型，以及它们所成矿产的特点及分布规律。所以，它于1859诞生以后的一百多年中，被广泛运用于区域大地构造和成矿规律研究，以及指导找矿实践，作出了很多贡献。缺点则在于：①它具有一般历史论大地构造理论及其研究方法的短处，即没有足够重视将地壳平面上的位移运动作为重要的研究方面之一；并较少注意地壳演化及运动的根本原因和力源机制的探索。长于论其然而未及深究其所以然，因而在多数情况下就事论事，未能更好地掌握地壳的演化规律和预测未来。②它认为地壳演化只有两个阶段及只形成了两个构造单元，即地槽区→地台区。因此，它不能完满解释世界上有许多像中国东部这样地区于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，即地台区通过活化转变为活动区，并由活动区型的岩浆、变质、构造、沉积作用带来了自有特色的丰富矿床。因此，在运用于研究这些地区的区域大地构造和指导找矿时，难免遇到困难，故只要克服了这两个方面的缺点，即在重建地壳演化史时兼顾运动，并在继承它的优点的基础上加以创新，即从多单元，多阶段角度去看地壳发展，便可起更大的作用。

在因果论大地构造理论中，可选其优点作基础的理论不止一种，尽管它们的立论基础不同，甚至差异很大，但仍各有精华可取。例如，地质力学的应力分析法及构造系概念的适用部分；以及板块构造理论的岩石圈块体移动概念及其动力学的有据部分等，是其著例。

地质力学的适用部分，主要是运用应力分析法划分构造系。不足之处在于有时不够注意时间概念。因此，只要与构造层的划分相结合，强调构造成分的时间性，按其时代的异同划分相应的构造系，据以重建不同时代的古应力场，便可用作阐明有关的岩石圈块体或地段相对运动及其随着时间变化的依据。

板块理论的优点为：①把主要研究放在岩石圈的运动学和动力学方面，并注意岩石圈块体的水平移动。它主要以大洋的大量地球物理资料为依据探索现代大洋壳的形成和发展，以及陆壳、洋壳之间的汇聚接合、分裂离散等过程及其力源机制，并提出了一系列新概念和新看法，使人耳目一新。②有助于解释某些大陆边缘自中生代以来所产生的构造、岩浆、变质作用，以及一些有关山脉、盆地及地震带的力学成因。它的不足之处则在于：①具有一般因果论大地构造理论的共同缺点，即没有足够重视地壳演化和运动全部历程的探究和重建；长于究其所以然，但由于在史实依据方面有些欠缺而显示出心有余而力不足。②它主要是以现代大洋的资料加上现代大陆某些边缘所见的一些事实为依据建立起来的。而现代的大洋壳被测定年龄不超过2.2亿年。它们目前是尚处于低级发展阶段的、婴年期的、未成熟的壳体。从这一方面的资料总结出来的少数简单概念和模式当移用于大陆壳之上，要求它们通行全球，用来解释包括离大陆边缘远达数千公里的陆内的构造－岩浆－变质作用时，以及用于解决那些已经成熟、并已部分地达到高级发展阶段的所有大陆壳中(有些地段至少自38亿年前就已开始的)，各个不同演化阶段内在不同大地构造体制下所出现的、各种各样的现象和复杂问题时，并不都能得心应手。③特别是从生产的实用意义来说，在陆壳中有许多矿床，尤其是一些大型－超大型者，其形成往往经历过多个大地构造发展阶段、多种大地构造体制的成矿作用、以及具有多物质来源的特点。它们都有各自的先天条件(历史背景和发育基础)、

临产条件(当时的大地构造体制环境)和后天条件(各种富化、富集作用)。这些矿床既具有悠久的，复杂的生成史，如不弄清它们的诞生、形成和发展的全过程，自难于透彻认识其蕴藏及分布的时空规律，据以更有效地指导找矿。因此，在研究岩石圈块体运动时，只要同时注意其演化史的重建，就作用更大。

由此可见，上述历史论和因果论两方面的大地构造理论各有其长处。虽然也各有其不足之处，但只要继承其优点，加以吸收，把它们两者结合起来，并克服其缺点，仍可作为建立历史－因果论大地构造理论的基础。换句话说，对两方应同等重视，不宜因某一方有缺点而对之全盘否定；但也不宜看到某一方的优点而不加分析验证，全盘照套。比较易被接受的做法是对两者均应在批判的前提下将它们继承，在继承的同时还要创新发展。

2.2 把上述两方面理论的优点结合起来

在批判地继承和创新发展上述历史论和因果论两方面理论作为基础的同时，还要把它们两者的长处结合起来。两者结合的必要性和可能性是至为明显的，其理由有三：

第一，由于研究目的的侧重，该两方面理论是从不同角度研究地球构造的不同的侧面。两者不存在矛盾，因而并非互相排斥。同时，两者又都是只侧重地球构造的一个方面，未及探究地球构造的另一方面。如能结合起来，就可互相补益，看到全貌，成为真正的全球性大地构造理论。

第二，彼此的研究方法乃是适用于不同的研究对象的，它们并不互相抵触。但两者又均是主要适用于各自的研究对象，而不能代替对方。有必要将两者融合起来，才能相得益彰，达到了解地球构造全貌的综合性目的，实现建立全球大地构造理论的目标。

第三，两者中任何一方所创立的学术概念和学术观点，都有其解决各自范围内学术问题的理论意义和实际意义，它们并非互不相容。同时，它们任何一方的概念和观点，又不能取代对方的概念和观点。只有把两者融合起来，才能同时从两个方面互相配合去阐述地球的构造，并获得较全面的认识，适应全球性大地构造理论的需要。

由于地槽－地台学说自19世纪中期至今，一直用于地球科学界，并且在理论上和生产中都作出了很多贡献，因此，直至目前，它仍为不少学者所习惯运用，视为不可触犯的真理。事实上它确是现代历史大地构造学理论中最强大的学派。有人据此认为已无需因果论的大地构造理论了。另一方面，就因果论的大地构造学来说，自从20世纪早期地质力学出现并在中国大力推行以后，曾有人以为它是唯一有用的理论，其他一切理论可以不必存在。到了20世纪中后期板块构造理论兴起以来，迅速流行，于是又有人据此认为，这个理论已经成为今后解释全球构造的唯一有用的理论，可以完全代替历史论的大地构造理论，并认为地槽区及地台区这样的概念已经根本上失去存在价值，全应抛弃，或另作解释。

根据上文指出的上述两方面理论的优缺点，以及两者结合的必要性和可能性。作者认为，它们中无论哪一方都不能否定对方的作用，而且各自都有其难免的局限性，分则顾此失彼，合则两者的优点都可发挥更大的作用。为了保持某个理论的纯洁性而拒绝接受别种理论的合乎实际之点，是没有必要的。

还应指出：以槽－台学说的一些概念为例，其中的地槽区和地台区概念(附带说明：还有在批判地继承槽－台学说并在地台“活化区”基础上创立的地洼学说中的地洼区概念)，乃是

运用或主要运用历史分析法根据大量地质及地球物理实际资料总结出来的。它所代表的乃是客观存在的地质实体，它们的存在，并不依赖于任何动力学假说才能被认识出来的，因而不会因为某一假说的兴衰更替而获得或失去其在科学发展和指导生产中的作用。更无理由以某种假说的兴衰更替作为判定其存在价值和研究意义的依据。

2.3　结合的途径和方式——融合

关于历史论大地构造学同因果论大地构造学的结合，已经有不少学者作过了尝试(陈国达，1962，1977，1978)。但在结合途径和方式问题上，还有不同的看法。例如张文佑(1983)把槽－台学说的历史分析法同地质力学的应力分析法结合，提出“断块学说”。以槽－台说同板块说两者的结合而论，朱夏(1980)曾提出过如下的方案：中生代以前为槽－台体制，中生代以来为板块体制。这意味中生代以前的大地构造研究用历史论及历史分析法，而中生代以后者则改用因果论及动力分析法。这种结合途径和方式，无论从理论上说，还是实践证明，都似乎还不太理想。因为中生代以来仍有地槽区及地台区继续发育或诞生；而中生代以前也有大地构造运动(包括地球硬壳块体的移动)及其力源机制问题。不易按时代把两者截然分开。此外还有其他学者提出“槽－台说叙述，板块说解释”，等等。这些方案虽未尽善，但都有启发作用。

直到目前，一个比较实用的结合途径，是按照建立历史－因果论综合大地构造学的办法，把上述两方面大地构造理论的目的及其研究方法的长处融合起来。例如把历史论的地槽－地台学说的构造单元概念，同因果论中地质力学的构造系概念，以及板块学说的岩石圈块体移动概念，并注重运动学、动力学的研究，互相结合，融为一体，对两方面的主要研究对象即岩石圈的演化与运动进行统一研究，形成一个新的综合性的理论。由这种融合途径和方式建立的理论可以很多，地洼学说是属于其中之一(陈国达，1991)。

2.4　建立综合性大地构造理论的具体做法举例

把分属于历史论和因果论大地构造学范畴的地槽－地台理论和地质力学及板块理论，融合以建立综合性理论的做法可以不止一种。以地洼学说的做法为例，可能是其中的一个。其具体如下所述。

2.4.1　*在研究范围方面*

这个属于历史－因果论范畴的综合性大地构造理论，其研究范围是：既阐明地球(现阶段主要为地球硬壳)演化和运动全部历程中各个阶段所出现的大地构造单元，包括地槽－地台说早已阐述过的地槽区和地台区，以及新划分出来的地洼区及前地槽区和后地洼区构造单元(均不止一种)，还有这些构造单元之间的生长衰亡更替过程、历史生因关系和转化顺序，以及由此反映出来的动定转化递进一般性规律。同时，它又论述各个地质时代中地球硬壳各个块体的内部运动和整体运动特点和方式，包括它们的进、退、弯、旋，以及相互之间的挤压、拉伸、剪切、汇聚接合、分裂离散、错移，还有由此形成的古应力场及有关构造系等。此外还要探索这些块体的诞生和消亡、演化和运动的各种原因及力源机制。

2.4.2　*在研究途径方面*

这个综合性理论采用的历史－动力综合分析法，即既发挥槽－台理论的历史分析法的长处，又发挥板块理论的动力分析法的优点，同时吸收地质力学的应力分析法的长处，并把它们融合起

来；既通过构造层的划分来重建演化－运动的历程，同时又通过构造系的划分来恢复各个时代的古应力场，以及由它们反映出来的不同块体之间当时的相对运动方式和特点(详见前章)。

2.4.3 *在建立概念方面*

历史－因果论大地构造理论要求建立一些新的、综合性的概念。这些概念宜配合该理论的发展需要而逐步建立。地洼学说中的“壳体”概念可为其中之一[为该学说于 1977 年提出的第四个组成部分(陈国达，1977；1991)]。它是为了适应把岩石圈块体的演化与运动统一研究的需要而提出来的。其定义见第 3 章 3.1 节。

2.4.4 *在提出假说方面*

在历史－因果论大地构造学的综合性理论中，要求提出足以同时兼顾壳体的演化和运动两方面的总因和统一的力源机制的综合性解释。地洼学说中的“地幔蠕动热能聚散交替假说”[属于地洼学说于 1977 年提出的第五个组成部分(陈国达，1977；1991)]可为其中之一。其内容要点为：根据壳体发展过程中出现的热动力事件变化情况同大地构造体制更迭及地壳运动强弱交替的密切联系，设想壳体之所以分异发展和它的演化－运动过程之所以通过动定转化、交替更迭、递进发展，还有壳体的诞生与消亡等方面的根本原因，以及壳体内部运动及整体运动，和壳体中有关构造系的形成等方面的主要力源机制，均是在于地幔物质和温度的不均一性所引起的地幔蠕变及流动，前者是由于地幔蠕动的速度及提供热能多少的变化，即活跃期与相对宁静期交替，以及由此导致热能增积与消减交替所引起的；后者则是由于地幔蠕动的动力场的状况及其变化，并因此牵引壳体或其中各个有关地段发生相应的应力场和运动方向及运动方式变化的结果。此外，这假说还探索由地幔蠕动直接或间接导致的成矿作用，以及地幔蠕动同深部构造反差强度、深部构造控矿的关系[详见另文(陈国达，1989，1990，1991)]。

综观上述诸方面，地洼学说可作为建立历史－因果论大地构造学理论基础的内容，可以概括为如下几点。

1) ***在研究方法上***

①把历史分析法同动力分析法相结合(陈国达，1962)；

②划分构造区时把构造系的异同作为依据之一(陈国达，1960、1977)；

③在建立的新学科“成矿构造学”中，强调研究成矿大地构造时把构造层同构造系融合一起，并把有关矿床的形成与改造的构造作用统一研究(陈国达，1978)；

2) ***在理论建立上***

①提出了关于地壳演化的一般规律——地壳动定转化递进说(陈国达，1959)；

②建立了新的交叉学科“构造地球化学”，把构造运动过程中的机械作用与化学作用结合起来、把物质与运动结合起来统一进行研究(陈国达，1983 等)；

③提出了壳体综合概念——用作统一研究地壳演化与运动过程和规律的一个时空综合构造单元(陈国达，1977)；

④提出了地幔蠕动热能聚散交替假说——用以探索壳体演化运动的共同原因和力源机制(陈国达，1977)。

3　历史－因果论大地构造的综合概念——壳体

3.1　概　说

3.1.1　建立综合构造概念的必要性及其要求

这是实施把地球硬壳演化与运动相统一的综合研究途径之一。按照历史－因果论大地构造学的目的，该学科的建立，是为了能比较全面地既阐明地球硬壳的运动、变化和发展的史实，又探索造成这些运动、变化和发展的根本原因和力源机制。这就有必要运用历史－动力综合分析法研究并建立相应的综合性构造概念。这个新的概念应具备下列的几个条件。

①既能反映地球硬壳中一个地域在其演化中所经历的各个不同地质时期的发展过程，又能反映其各个相应时期的整体及内部的、平向及垂直的运动状态，以及所成的有关构造系。

②既有时间意义又有三维空间意义。

③既能反映现象又能反映本质。

④能够适用于全球硬壳中无论目前处于哪个发展阶段的、成熟度如何的各个部分；既适用于洋壳，也适用于陆壳。

⑤能够适用于地球硬壳的全部演化史，既适用于新近的地质时代，也适用于远古的地质时代。

3.1.2　壳体概念的提出

根据上述的需要和要求，作者提出了壳体这个新的综合构造概念，作为实施把岩石圈的演化与运动统一研究的需要的基本概念。

1)研究小史

1977 年，著者在其著述《中国大地构造概要》的有关部分(第 4 章 4.3 节)中，第一次提出壳体的概念。当时是在主编《中国大地构造图》(1∶400 万，按地洼说及递进说编制)(1977)的基础上，初步认为中国的地壳在中生代中期以前，依其发展史的差异，可以划分为中国北部、东部及西部三个壳体。进入中生代中期以后，中国银川－昆明南北大断裂带的向北延伸，北部壳体因此分为东西两段分异演化，并且这两地段于这一时期分别与其南侧的原东南两壳体相结合一起，便形成了目前所见的、扩大到中国全境东、西两半部的较大的东、西两壳体，并出现了中生代以来的较大范围内地壳分异演化，以及在地质和地球物理特征上的差别(陈国达，1977)。

经过了十多年的继续研究，特别是从 1986 年开始编制《亚洲陆海壳体大地构造图》的过程中，由于有关同志们的共同努力和帮助，对于壳体概念在地球硬壳演化及运动过程的研究中适用时空范围的广泛性，以及它们在特征、诞生、形成、运动、变化和发展过程上的某些共同规律性等方面，已有了更进一步的认识。初步建立起比较完整的概念，成为可供研究历史－因果论大地构造学的基本综合构造概念。本文仅就目前的资料和认识所及，把这个综合性构造概念作一简要的综述，以供今后更加深入研究和进一步阐明的参考。并以此谨对参加编制《亚洲陆海壳体大地构造图》的全体同志以及对本文提供宝贵意见的其他同志致以衷心感谢。

2)壳体的定义

壳体(Crustobody)是在地球硬壳(相当于岩石圈)形成和发展过程中,可能先后不一地出现于不同地域,在诞生、成长、运动、变化和发展等方面分异进行;既在演化又在运动(包括移动)的时空综合的全球性基本构造单元(简称演化－运动综合构造单元)。它们在形式上表现为组成地球硬壳的既在不断发展又在变化位置的不同块体,具有各自的诞生时代、成长方式和发展历程、演化阶段和成熟度、物质组成地壳性质、垂向及平向结构、构造单元组成、面积、厚度、形状及其变化,整体及体内运动、地球物理、地球化学、生物演化、成矿演化及其时空规律等方面的特点。不同壳体可由不同数目和(或)不同性质类别的大地构造体制的(大地)构造区组成。因此,它们在大地构造区域划分上比构造区范围更大、层次更高。

附带指出:当原生的壳体形成后,也可以裂成为较小的壳体,但那是次生的壳体。次生壳体也可继续成长、运动、变化和发展,属于上述定义的范畴。

根据上文所述的定义,壳体概念既吸收并继承了历史论和因果论大地构造学两方面的构造单元概念的某些特点;同时又和它们两者有别。它是把岩石圈块体的演化与运动统一研究的综合构造新概念。其区别主要如下。

一方面,对于历史论大地构造单元的各种构造区来说,壳体既包含了这些概念在时间上的动态,即这些构造区的诞生与衰亡、历史生因关系、发展顺序及其反映的地球硬壳的演化历程,同时又反映它们在空间上的动态,即它们所在的岩石圈块体在诞生以来各个地质时代中所处的地理位置,以及它们作为后者的组成部分随着移动的情况,与相邻构造区地理位置之间的互相关系、力学联系及其变化。并且,它还包含有这样的含义:由于各种构造区及其中各个地段的地理位置是随着时间的进程而不断变化的,目前所见的坐标和布局乃是自诞生以来长期运动和变迁到现阶段时的结果。

另一方面,对于因果论大地构造单元的各级板块(包括地体)来说,壳体既包含了这些概念在空间上的动态,即它们的运动和地理位置变化(但强调整体运动和体内运动,水平运动和垂直运动并重)、互相之间的相对运动、空间关系和力学联系及其变化(包括进、退、弯、旋,汇聚挤压,拉伸离散,错移剪切等),生长与消亡,以及它们演化、运动、生消的原因和机理;同时又强调它们及其各个地段在时间上的动态,即它们从地壳初步形成时起,就已开始有先有后地分别诞生于不同地域,以及在其演化运动的全部历程中从古到今的迁移、聚散情况。此外还特别强调其内部于各个地质时代所出现的大地构造体制的变迁、大地构造单元的转化关系、发展过程和演化规律。这体现在所揭示的垂直及水平运动的变化、构造层的增积、垂向及平向增生等方面。并且,它还包含有这样的含义:由于岩石圈各个块体的各种地质、地貌、地球物理、地球化学等特征,以及厚度、面积、形状和整个面貌,都是随着它们的成长、运动、演化进程而不断地变化和发展的,目前所见的各方面特征和面貌乃是长期演化和运动到现阶段的综合结果。总之,壳体的含义和划分依据不只考虑岩石圈块体形态及范围的现状,而且追溯其全部演化历史及成长特点。

3)壳体与板块的区别

关于板块的定义,不同学者的说法不大相同,根据各自的体会而有出入。依Encyclopacdia America 22 分册(1980,p233)在关于板块构造学中的叙述,有如下文:“Plate tectonics, tektoniks, is a branch of geology that deals with the origin, structure, deformation and

movement of plates, which are division of the Earth's crust."其次,《地学革命风云录》(1985)中介绍许靖华的意见是这样,"地球的刚性外壳即所谓岩石圈已经破裂成许多地段",这些地段就是岩石板块,或者简称板块。再有,依金性春(1984,p41)的阐明,其原文如下:

"板块"这一术语,系1965年威尔逊在论述转换断层时首先提出。因为在中脊与中脊、中脊与海沟、海沟与海沟之间都可以由转换断层连接起来,中脊、转换断层、海沟(或年青造山带)这三种构造活动带就好似没有端点,它们连绵不断地从一种活动带转换成另一种活动带,直到最后封闭住自己的端部。这样,整个地球表壳(岩石圈)并不是连续完整的圈层,它被这几种首尾相接的活动带分割成若干大小不一的块体,叫做岩石圈板块,简称板块。

从上述的定义看来,似乎可以这样理解(但不一定正确):板块是岩石圈被中脊、转换断层及海沟(或年青造山带)三种首尾相接的活动带分割而成的大小不一的块体。

对比上述所提出的壳体定义,则壳体与板块的主要区别,有如下表所列:

	壳　体	板　法
含义	在岩石圈形成和发展过程中可能先后不一地在不同地域出现的、具有各自诞生、成长、运动、变化和发展等特点、既在演化又在运动(包括移动)的时空演化－运动综合的全球性基本构造单元	岩石圈被三种连接一起的活动带即俯冲带、转换断层及断裂带(或年青造山带)分割所成的若干大小不一的块体
形成过程	从岩石圈开始形成时起,即已由于诞生、成长、运动、变化及发展分异进行而或先或后地逐步出现和演化、增生扩大,才有今天的面貌。	由于一系列不同的活动带把岩石圈分割,因而形成
与岩石圈关系	岩石圈由各个壳体的陆续诞生、生长、扩大组成的:壳体是组成岩石圈的胞体	板块由岩石圈被分割所产生:板块是岩石圈的裂块

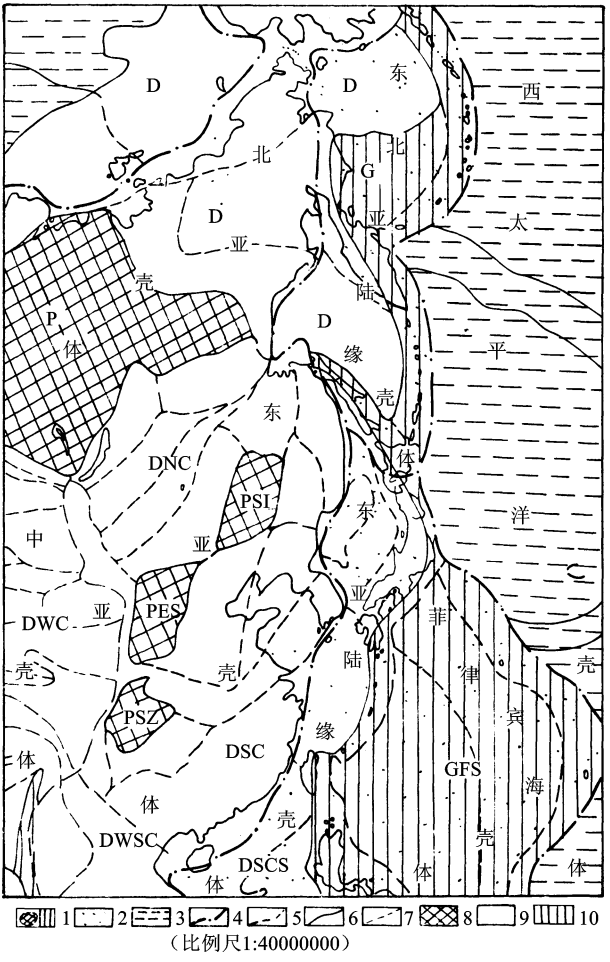
注1:壳体概念还在其他方面,如演化成长历程、垂向结构、边界、构造单元组成、大地构造体制、其中的造山带及活动带的类型划分和分布、运动力源机制等方面的特点同板块概念相区别,详后。

4)壳体的垂向界限

依照上述定义,壳体的垂向界限包括岩石圈的厚度全部,即不只包括莫霍面以上的、习惯上所称的地壳,而且包有地幔岩在内。之所以叫做壳体,其理由如下。

关于地壳的界限,目前有两种看法。一种认为只限于地球硬壳中自莫霍面以上的部分,即硅镁层和硅铝层。这是狭义的地壳,在地球物理概念中常用之。另一种则认为应包括自软流圈以上的地球硬壳的全部。也就是说,还应包括地幔岩层在内,即相当于岩石圈。这是广义的地壳。著者的体会是这样:所谓地壳,它的最初含义就是地球外面的硬壳;它应是由岩石所组成。至于这些岩石是什么种类,它们是属于什么性质的,则并无限制,只是随着人们对其认识的加深而逐步清楚。虽然起初的认识以为只有硅镁质岩和硅铝质岩,后来知道了下面还有地幔岩,这是很自然的,没有必要把后者从壳中排除出去,而应承认它是地壳的一个理所当然的组成部分。其次,地球的硬壳不是一成不变的,而是不断地成长和增生的。就其主体而论,在它发展过程中,总的趋向主要是随着时间的推移而朝内外两方逐渐增厚的。就内方而言,当上地幔的顶部在不同地区先后不一地逐步固结时,便相应地有新成的岩石从壳

底陆续加入成为硬壳的一部分。换句话说，地幔岩层的增厚过程，就是地壳朝下方增厚的过程。因此，上述两种看法中。以第二种较为合理。但由于从地球物理学角度只把 M 面以上称为地壳，已为人们所习惯，故仍可沿用之。



（比例尺1:40000000）

图 1　亚洲东部大陆型壳体、混杂型壳体以及太平洋西部大洋型壳体分布图，并示由混杂型壳体组成的东亚陆缘扩张带

1—大陆壳体及其组成构造单元；2—陆洋过渡带壳体；3—大洋壳体；4—陆－洋过渡带界线；5—壳体分界线；6—壳体组成构造单元线；7—构造单元内分区界线；8—地台区（P—西利伯亚、PSL—松辽；PES—伊陕，PSZ—四川；9—地洼区或活化区（DWSC—中国西南，DWC—中国西部；DSC—中国南部；DVC—中国北部）；10—地槽区（G），（GFS—菲律宾海地槽区）

本文所称的壳体，是指地球硬壳即岩石圈的块体，它的垂向界限就应包括上述的狭义地壳和地幔岩层在内。为免混乱及便于阐述，建议在需要加注说明的地方，把壳体的外部即狭义的地壳称外地壳或浅层地壳，而地幔岩层则称内地壳或深层地壳，又或直称地幔岩壳，两者以莫霍面为界。

3.2　壳体的一般特征

地壳（岩石圈）物质组成是不均匀的，其发展是不平衡的，具体说来，不同壳体各有其自己的诞生时代和成熟度，物质组成和地壳性质，垂向及平向结构，构造单元组成、面积、厚度、形状及其变化，内部运动及整体运动，地球物理、地球化学、生物演化、成矿演化及时空规律等方面的特点。但一般说来，它们又具有某些共同的一般特征，就发展至现阶段的情况

而论，主要如下。

3.2.1 物质组成及地壳性质

在物质组成上，以目前所见的壳体来说，可有多种。依照上文所说的壳体的垂向界限，它们一般地除了具有内地壳的地幔岩层和外地壳下部(下地壳)的硅镁层这一共同特征外，还各有下列的具体差别：有些壳体或其主要部分只由上述的两个壳层所构成，而缺乏其他壳层，它们分布在大洋区内，称为大洋型壳体。如太平洋、大西洋、印度洋中一些地区所见属之。另有一些壳体则物质组成比较复杂，除了上述两个壳层之外，还有一个硅铝壳层，即外地壳的上地壳。这类壳体或其主要部分分布于大陆壳区内，称为陆壳型壳体，如亚洲、北美、南美、欧洲、大洋洲、南极洲诸大陆上所见者，即均属之。此外还有一种壳体，其物质组成的复杂程度介于上述两者之间，即在地幔岩层及硅镁层之上，盖有较厚的但尚在固结过程中的、以陆源碎屑为主的沉积物。这些沉积物只是陆壳的雏形，故称雏陆壳，有时叫过渡壳。具有这样物质组成的壳体，就称为雏陆壳型或过渡型壳体。这类壳体分布在大洋区与大陆区之间或大陆区与大陆区之间，从地理位置上说，也称为中间地带型壳体。前者如菲律宾海壳体，后者如地中海壳体。

在亚洲大陆区与太平洋大洋区之间的中间地带，存在着几个陆缘壳体，其物质组成尚有不同的看法。其中计有东北亚、东亚、东南亚陆缘壳体(图1)，包括位于亚洲东部大陆边缘的大陆架的一些陆缘海如鄂霍茨克海、日本海、南海，以及北起千岛，经日本、琉球、台湾，南至菲律宾及加里曼丹的岛弧地带，以至转向西北延伸的苏门答腊岛。西面以大体上接近并约略沿着海岸延伸的大断裂带(例如闽、粤滨海断裂，南澎-香港断裂等)同大陆壳区分界；东面则以诸岛弧外侧的海沟断裂带(例如日本海沟、琉球海沟、菲律宾诸岛等断裂)为界。这些壳体的大部分由陆壳构成，如大陆架的地带、日本诸岛、台湾岛、菲律宾诸岛等。另一部分则由过渡壳构成，如琉球岛弧(裴伟，1980)。日本海有人认为可能是过渡壳；有人则认为是洋壳。但据 Karp(1991)报道，日本海的三个海盆(日本、大和及对马盆地)，于沉积物之下，均有厚 10~15 km 的与大洋壳有明显区别的“过渡层”盖在洋壳之上。其处地壳总厚 20 km。在海底隆起对该“过渡层”采样研究，其岩石组成、时代及成因，均已证明为类似于周围大陆的岩石，属大陆壳范围，其地壳厚 30~40 km。关于南海的地壳性质，有两种看法，一为过渡壳，一为陆壳。

菲律宾海壳体范围包括整个菲律宾海域(图2)。西以日本海沟、琉球海沟、菲律宾海沟等断裂同上述诸陆缘壳体分界，东面以伊豆—小笠原海沟、琉球海沟、马里亚纳海沟诸断裂带同西太平洋壳体分界。东南面则以雅浦海沟、帛琉海沟等断裂同澳大利亚壳体分野。本壳体内仅有零星陆壳或薄化陆壳存在于一些岛屿地区，如马里亚纳岛弧。其余大片海域如菲律宾海盆的性质，有两种意见：一种认为是过渡壳(Santo，1966)；另一种认为是洋壳(Murauchi，1968)。依现在资料以归入过渡壳较合理，因为它属雏陆壳，有如上述。

有必要说明：第一，上述亚洲东部东北亚、东亚及东南亚三个陆缘壳体里面，习惯上所称的“过渡壳”，其大部分并非真正的过渡壳。按过渡壳应指那些从洋壳向陆壳转化过程中的过渡阶段，即半成熟的地壳，如雏陆壳属之。而亚洲陆缘上述三个壳体的大部分实属成熟地壳，具硅铝质构造层数目较多，有些地段且已形成了地台甚至地洼构造层，即其演化已经到达青年期甚至中年期。只是由于新生代以来陆缘扩张(中科院南海海洋研究所，1988)，通过

拉断伸展等作用而被“薄化”。这可称为“薄化陆壳”。所以，单纯根据厚度来判别地壳性质是不足的。此外，由这些陆缘壳体组成的地带，习惯上称为“过渡带”。依上述严格说来，也不太合适，不如直接叫做“陆缘扩张带”为宜。因为它不是自洋壳向陆壳发展的过渡阶段或过渡地带。如要称“过渡带”则只具地理位置的意义，不如称“中间地带”更为明确。

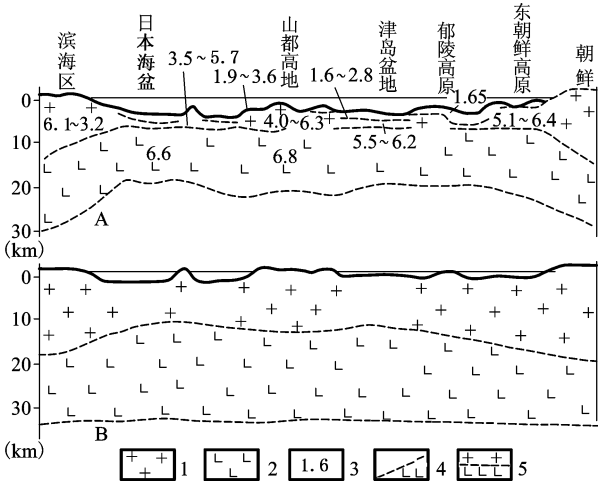


图 2　日本海地壳结构并示地面与莫霍面的倒影关系(依 B. Ya. Karp 等，1991)

A. 现代地壳横断面；B. 根据地球化学资料再造的新生代地壳横断面

1—过渡层；2—下地壳；3—纵波速度(km/s)；4—构造边界；5—壳层间界面

第二，关于东北亚、东亚及东南亚诸壳体的地壳质性问题，意见不一。除上面指出的习惯所称的“过渡壳”外，还有像日本海、南海中央等海盆，有时被列为洋壳。根据 И. К. Туезов (1991)的报道，地球物理、海底挖掘及深水钻探资料均已指出：这条包括上述海盆的地带实际上“是沉在水下的亚洲大陆的东部边缘”，其处存在着“不均匀的大陆型基底”。这些研究结果进一步证实了作者所指出的：亚洲－太平洋之间的“中间地带”的这一部分，乃是亚洲大陆自新生代以来，由于其下的区域性地幔蠕动流的拖曳，大体上向 E 及 SE 拉断伸展而形成的一条巨型陆缘扩张带。其中的陆缘海，包括日本海、南海等海盆，实非洋壳，而是被拉断伸展薄化了的陆壳中特别减薄部分所成的张性断陷盆地，沉降到海面之下而已。因在其表面被从断裂喷出的玄武岩掩盖，遂致隐伏。这样的结构，显与洋壳有别。从岩石化学特征角度确定这些玄武岩的大地构造环境，是解决这个问题的途径之一。杨洪之等的新近研究，是其一例。

3.2.2　壳体的类型划分

综上所述，可以看出，壳体的类型，可以不同的角度来划分：

1)从发生程序划分的类型

(1)原生壳体　为在岩石圈形成过程中逐步诞生、成长的壳体。

(2)次生壳体　指由原生壳体分裂而成的壳体。

2)从演化阶段划分的类型

就它们目前所已达到的发展阶段来说，壳体可以划分为下列几种类型：

(1)洋壳型壳体　主要由大洋壳所构成，其中仅有地幔岩构造层和硅镁壳构造层，上有极薄的表层松散沉积物(一般0～0.5 km)覆盖。其演化尚在婴年期。通常分布在大洋壳区内。如西太平洋、东太平洋、北印度洋等壳体是。

(2)雏陆壳型壳体　是由大洋壳型壳体向大陆型壳壳体演化的过滤阶段，即在地幔岩构造层及硅镁壳构造层之上覆盖有由较厚但尚在固结过程中的以陆源碎屑为主的沉积物(有时可夹有以基性为主的火山物质)所组成的陆壳构造层雏形。这种壳体可称过渡型壳体；它是半成熟的壳体；其演化尚在幼年期。这类壳体多见于大陆壳型壳体与大洋壳型壳体的接触带上。如菲律宾海壳体是。也可见于陆壳型壳体之间，如地中海壳体属之。

(3)陆壳型壳体　由在地幔岩壳构造层、硅镁壳构造层之上覆盖有硅铝壳构造层所组成。这类壳体是已成熟的壳体，其演化已达到青年或中年期。它们主要见于大陆壳区。其中又可因变异而分为两个亚型：

①一般陆壳型壳体——指正常的大陆壳型壳体，通常简称陆壳型壳体，位于大陆壳区的主体部分。如亚洲大陆的东亚、北亚、西亚诸壳体是[①]。

②薄化陆壳型壳体——指正常陆壳型壳体因受后来的拉断伸展(或兼有其他原因)作用而致厚度减薄的壳体。由于它们的地壳厚度比正常陆壳型者小，遂往往被误称为过渡型地壳。例如在亚洲东部自大陆架至岛弧，包括其中的大多数海盆，其地壳都与过渡型地壳有别。它们实系已经成熟的地壳，其演化已达到青中年期，只是自入新生代以来，由于其下面的地幔发生了向E及SE分散的蠕动流，以致产生陆缘扩张运动，才被拉断伸展薄化而呈现今天的面貌，如东北亚、东亚及东南亚诸陆缘壳体属之。

3)从复杂性划分的壳体类型

(1)单一壳体　壳体全区成熟度一致，由同一性质的地壳构成的壳体。例如，中亚壳体、东亚壳体等，单纯由大陆壳构成。西太平洋壳体，属单一大洋壳型。

(2)复杂壳体　壳体的不同部分其成熟度有差异，即包含有两种以上的地壳性质的地段。它们大多数基本上或大部分由某一种性质的地壳构成，又同时有其他性质的地壳出现于区内；后者大都存在于壳体的边缘地带，但有时也可见于其他部位。如东亚陆缘壳体，主要部分为薄化陆壳(里面有时还有一般陆壳)，在其东缘有时分布有雏陆壳。复杂壳体在按地壳性质分类中通常以占据主要面积的部分来归类。在命名时，则可依各部分面积的大小顺序给予复合名称，如东亚陆缘壳体为“薄化陆壳－雏陆壳复杂型壳体。”

4)从地理位置划分的类型

就壳体所处的地理位置来说，它们可以划分为下列几种类型：

(1)大洋区型　为位于大洋范围内的壳体，各个洋壳型壳体均属于此类。

(2)陆缘区(带)型　指位于大陆区边缘地带，即大洋区与大陆区之间的中间地带的壳体，也称中间(地)带型。其中又可分为三种不同地壳性质的类型：

①过渡带型壳体——以过渡型壳(雏陆壳)为标志，如菲律宾海壳体属之。

---

① 作者在2004年的研究指出，以前人们所指的亚洲大陆东亚和中亚两壳体，实际是同一大陆壳体即东－中亚壳体自身历史－动力学构造分异的结果(见《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》，载大地构造与成矿学，2005，29(1)：7～16

②陆缘扩张带型壳体——例如亚洲东部的薄化陆壳型壳体属于此型，这类壳体有人也称过渡带型壳体，但由于此名易于误解与雏陆壳型者相同，不宜使用。

(3)陆间区型　即位于两个大陆区之间的海域地带的壳体。它们多属于雏壳体型，如地中海壳体。

(4)大陆区型　即位于大陆区内的壳体，如一般陆壳型壳体属之。

上述四个划分方案，以第二个方案比较好。因为从演化阶段的角度来划分，有利于把岩石圈的演化与运动结合起来，统一研究，即可便于对现存壳体目前综合特征及运动情况的探索，又可便于重建各个壳体的演化运动的发展历程。其余方案在论述需要时也可使用。

3.2.3　垂向结构、演化阶段及成熟度

壳体在垂向结构上有些是较简单的，另有些则是较复杂的，这决定它的目前所处的演化阶段和成熟度，同时与它的地壳性质相对应。壳体垂向结构的复杂程度，是由构造层的数目和性质(或类型)来反映的。目前演化阶段低，尚处于洋壳性质阶段，即大洋型壳体者，仅有上地幔岩构造层和硅镁质构造层(简称硅镁层)；例如：西太平洋壳体现在尚处于低级发展阶段，尚未成熟，故尚未有硅铝层发育；而演化阶段较高、已经成熟、全部已达到陆壳性质阶段，即大陆型壳体者，则在上地幔岩层及硅镁层(通常称为狭义地壳的下地壳)之上，增加了硅铝质构造层(简称硅铝层，通常所称的狭义地壳的上壳)。还有，在大陆型壳体中，视演化阶段的高低，其硅铝层的结构复杂程度(即硅铝质构造层的数目)也有明显差别。在目前尚处于地槽区阶段晚期，即低成熟(表现为地槽褶带山脉)者，仅有地槽型构造层[有时包括下面更老的一些构造层，有待分出，即作者所称的 X(陈国达，1962，1986)]。目前已进入地台区阶段，即中成熟者，在地槽型构造层之上，增添了地台型构造层，形成习惯所称的所谓“双层结构”。还有些是已进入型地洼阶段，即高成熟的，则在上述的诸构造层之上又增叠了地洼型构造层，形成所谓“三层结构”。这些硅铝质构造层，并非在整个大陆型壳体中都同样发育。其发育与否及发育程度如何，决定于壳体各个不同地段的演化阶段差异以及具体条件的不同(如正负构造分区、保存情况等)。亚洲大陆上几个壳体，如北亚、东亚、中亚、南亚、西亚等，均已演化到高级阶段，故硅铝层都发育广泛。其中，东亚壳体的演化程度最高，大部分已进到地洼阶段的余动期，地洼型构造层发育齐全(包括余动期亚构造层)，分布面积广大；仅有松辽、伊陕及四川三小区目前仍处于地台区阶段，尚未有地洼型构造层发育。其次为中亚壳体，小部分目前处于地洼阶段的初动(—剧烈)期。南亚壳体除仅有极小面积(如雅江地区)仍留在地槽区阶段的后期外，其余有一部分已进入到地洼区阶段的初动期—剧烈期(如南喜马拉雅山脉)，另一部分则处于在地台区阶段。西亚壳体几乎全部处于地台区阶段，即阿拉伯地台；仅西缘靠近红海地带，以及东缘的阿曼山脉，已进入地洼区阶段的初动期。这些壳体的各个不同地区，大都出现了相应发展阶段的构造层，具有相应复杂程度的硅铝层结构。至于某些硅铝质构造层中的某些层的缺失，则是常见的现象。例如在地洼区内，有时缺失地台型构造层。

介于陆壳区与洋壳区之间的陆缘区型(中间地带型)壳体，结构常各有特色；同一壳体的不同部位其复杂程度也多差异。从未成熟或半成熟到成熟，从低级成熟到高级成熟的地壳，都可见到。以东亚－西太平洋中间地带的东亚及东南亚陆缘壳体为例：陆缘海及部分岛屿，为已成熟地壳，且发展阶段高，大都已达到地洼区阶段的余动期(如中国诸陆缘海、日本海、

南海大部分、日本诸岛西部、台湾岛西大部、海南岛等)；均具有地洼区的多构造层结构特点。其次，有些地区现在是属于地槽区阶段的后期，表现为地槽褶皱带山脉，具有较简单的硅铝层结构，如日本诸岛的东南海岸山脉、台湾的东海岸山脉。

还有一些地区，例如菲律宾海盆；可能尚属半成熟地壳，即从洋壳(未成熟地壳)向陆壳转化的过渡阶段；它们以只有地槽区阶段前期沉积的形成、而尚未达到褶皱回返的硅铝质构造层雏形(硅铝层胚胎)为标志。因而结构复杂程度不及陆壳，可称为雏(准)陆壳。

3.2.4　壳体的构造单元组成

不同壳体之间，由于成熟度和演化阶段的差异，其中所包括的构造单元的性质、类型、复杂程度，以及由这些构造单元形成的相应体制的构造区，在种类和数目上都各有特色。大洋型壳体中一般地只存在着大洋活动区和大洋稳定区，前者主要为大洋型裂谷和海岭，分别代表负、正单位；其构造地貌呈线状展延。如西太平洋壳体所见的皇帝海岭、南鸟－威克海岭、加罗林海岭是。后者主要为大洋盆地，如西太平洋壳体中的东北太平洋、西北太平洋、马里亚纳及加罗林海诸盆地等是。

在陆缘区型壳体中，构造单元组成则另有特色，并且较为复杂，例如介于东亚壳体与西太平洋壳体之间的几个陆缘区型壳体中，一方面，既可有雏陆壳，其处出现地槽型盆地，如海沟，即为地槽区的前期，槽中发生了地槽前期沉积，有时(例如在优地槽)有海底喷发(以基性岩为主)，与地槽沉积共同组成了“蛇绿岩套”。另一方面，在那些以具有较薄的硅铝质层为标志的广泛分布的薄化陆壳上，以及有时存在的一般陆壳上，又常可出现地槽褶皱带(地槽区后期)和一些较高发展阶段的构造单元(如地洼区)。例如东北亚陆缘壳体、东亚陆缘壳体、东南亚陆缘壳体及菲律宾海壳体均有此情况。仅以东亚陆缘壳体及菲律宾海壳体为例，其中的菲律宾海盆为一地槽型盆地，吕宋岛上则有地槽褶皱带，又有地洼区，在陆缘区型壳体中，有时可见到地洼断褶带与地槽褶皱带并列出现，形成“双活动带”的现象，如日本诸岛、台湾岛等处。

大陆型壳体中都包括有成熟地壳的构造单元，从地槽褶皱带到地台区及地洼区几种体制均可出现，只是发育程度上各有不同，以及有单一还是多种构造体制之分而已。例如西亚壳体，主要部分为地台区，两侧有较小面积的地洼区(红海滨及阿曼山)。中亚壳体全部为地洼区(初动—激烈期)，是一个单一体制的大陆型壳体。而东亚壳体则大部分为地洼区(余动期)，如华北、华中、东南等地洼区是。仅有松辽、伊陕和四川是三个小的地台(但均已受过不同程度的地洼型活动影响)。

3.2.5　壳体的年龄及成长期

不同壳体之间，其年龄差别可以很大，主要决定于它目前所处的成熟和演化阶段。一般说来，高发展阶段的大陆型壳体往往已经很老，其硅铝层的原始部分(陆核)有些在30多亿年前就已开始诞生，并形成了较早的硅铝质或硅镁－硅铝质过渡型构造层(前地槽构造层，即作者所称的X)。这类壳体称为老壳体。如东亚壳体内的地洼区中，其太古宇年龄已知达3 800 Ma。

另一方面，目前尚处于低发展阶段的大洋壳，其年龄往往很轻。据现有报道，其最大年龄不超过220 Ma。

至于陆缘区型壳体，年龄颇不一致。同一壳体的不同部分也有差异。例如，在东亚陆缘壳体中。西部的巴拉印岛、三宝颜岛，可能还有民都洛岛西部，由变质的细碧岩、硅质岩类

和硬砂岩组成基底杂岩(地槽构造层),其年龄都属石炭—二叠纪(在巴拉印岛且有人报道找到早古生代的三叶虫)(裴伟,1980)。而菲律宾群岛的主体则是由中生代杂岩组成,其余大部分地区为白垩纪末才形成的雏陆壳(裴伟,1980)。

划分壳体年代新老,还有一个比较简单的方案,就是以它的成长期为准,即看它里面目前已出现的最高级大地构造体制作为鉴别标准,凡目前尚处于太洋型活动区和稳定区体制者,为婴年期;尚在地槽区体制前期(地槽期)者,为少年期;已进入地槽区体制后期(褶皱带期)或地台区体制者为青年期;已发展到地洼区体制为中年期(见表1)。这样的划分方案,是否恰当,有待于读者讨论。

3.2.6 壳体的厚度

壳体的厚度不一。在不同成熟度和演化阶段的壳体之间固然有显著差别;同一壳体的不同地段也可有很大不同。一般说来,壳体或其中的各个地段的厚度是随着成熟度的增高而增大的。由于现知的资料所限,通常仅就已有较多数据的莫霍面以上部分(即狭义地壳或本文所称的外地壳)计算,大陆型壳体者较厚,其外地壳(以下同)一般大于30 km,以东亚壳体的山西地区为例,厚37 km(临汾)至41 km(柳林)(吴世迎,1991)。其中硅镁层18~22 km,硅铝层17~19 km。大洋型壳体者较薄,一般仅4~12 km。过渡带型及亚洲"陆缘扩张带"中的"薄化陆壳"型壳体的厚度变化较大,在主要以过渡型地壳及(或)"薄化陆壳"构成的壳体,以东亚陆缘壳体及菲律宾海壳体为例,其外地壳大部分为10~25 km,但在陆壳部分者则较厚,可达32~40 km,如台湾岛、吕宁岛是。在雏陆壳部分,如菲律宾海盆,则只有5 km。

中亚壳体是世界上地壳厚度最大的壳体,仅就其外地壳而论,在青藏高原就厚达70 km,帕米尔达80 km。但其北部塔里木盆地,只有42~44 km(图6)。世界上其他壳体的外地壳厚度为(Fuchs,1984):北亚32~47 km,南亚39~42 km,西亚40~70 km,北美20~60 km,南美20~76 km,澳洲28~60 km,非洲20~52 km,北欧29~48 km,俄罗斯35~50 km,东欧28~50 km,西欧29~57 km,南欧20~50 km,地中海9~11 km,西太平洋4~9 km,东太平洋6~17 km,印度洋4~20 km。

如果把上地幔岩的厚度计算在内(指广义地壳即岩石圈厚度),依目前不多的资料推测,其厚度一般可达100~200 km或更大。例如,依R. A. Kerr(1986)报道,CAT面波波速,以及大陆Kimberite金刚石形成的温压条件的研究表明,由地幔岩组成的大陆根延伸深度至少有数百公里,不过在壳体的不同地段,其内外地壳的总厚度可以有很大的差异。例如东亚壳体吕梁台隆厚达82 km(柳林),而汾渭地洼系只有68 km(临汾)。又如,根据1987—1989年所作的台湾—黑水大断面(GGT),中国大陆境内大部分约100 km,但在西段的四川华山断裂带以西,逐渐增厚,至川西的黑水达150 km,东段在湘中地段,局部可增厚至320 km(图3)。而自赣闽边境的邵武—石城断裂带以东,则减薄至80 km(秦葆瑚,1991)。

在中国大陆壳体的约100 km的厚度中,包括5层、自上而下为:

①地洼构造层及(或)地台构造层(沉积盖层):碎屑岩层,4 km,地震波速从地表的约5 km/s,逐渐增大到6 km/s。

②地槽构造层(褶皱基底):浅变质岩层(Pt_{2-3}),17 km。地震波速稳定,为6.0~6.4 km/s。

③前地槽构造层(结晶基底):成分近似花岗岩或闪长岩的糜棱岩组成,约10 km。地震

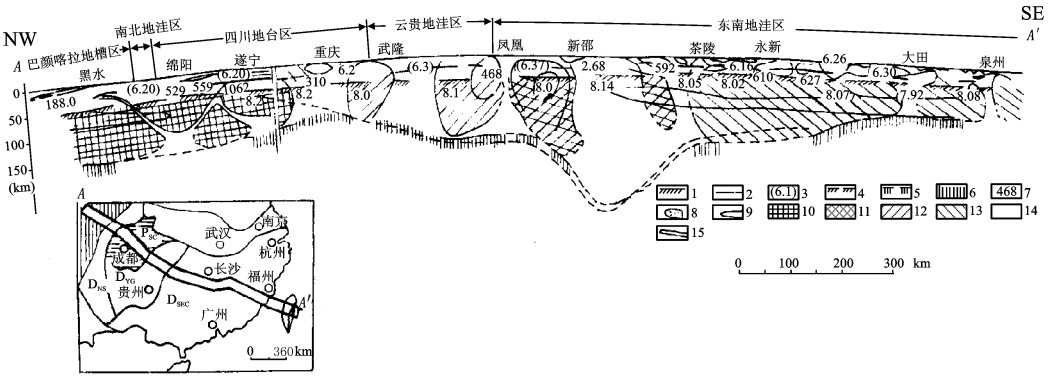


图 3a　台湾－黑水地学大断面深部地质地球物理解释

(据秦葆珊资料, 1991, 改编)

1—莫氏面; 2—低速层; 3—地壳平均速度; 4—地幔顶部速度; 5—幔内低阻层; 7—莫氏面温度; 8—高密度体; 9—幔内低密度体; 10—中太古代地幔肾; 11—新太古代地幔肾; 12—同上, 测线通过地幔肾边缘; 13—早元古代地幔肾; 14—地幔软体; 15—GGT 位置; D_{SBC}—东南地洼区; D_{YG}—云贵地洼区; D_{NS}—南北地洼区; P_{SC}—四川地台区; $A-A'$—大断面位置

波速 6.5～7.0 km/s。

④尖晶石－二辉橄榄岩, 约 40 km。

⑤石榴子－石二辉橄榄岩, 约 30 km。

在不少情况下, 特别是在地洼区中, 常可见到地壳厚度在地貌上有一定程度的表现。在同一壳体或不同壳体中, 地势越高之处, 例如地穹山脉, 其莫霍面越深, 表现为幔坳, 形成了“山根”。与此相反, 在地面较低之处, 例如地洼盆地, 则表现为幔隆。即地面与莫霍面呈“倒影关系”。如上举的临汾地洼系, 海拔高度 1 000 m, 其莫霍面深 37 km。而其东邻的山西地穹列, 海拔高度 2 000 m, 其莫霍面深 42 km, 是其一例。又如东亚壳体地面海拔高度0～4 km, 莫霍面深度 20～40 km; 中亚壳体地面海拔高度 5～8 km, 莫霍面深度 40～70 km。

其次, 新的资料证明, 在不同壳体中, 甚至同一壳体的不同地段, 其地壳各层厚度以及总厚度, 都可有很大变化, 有些层甚至不一定连续。例如, 依上述台湾—黑水大断面所揭示, 在东亚壳体的华南部分, 就缺失了硅镁层。上地幔岩也只是断续地存在, 并表现为川滇、雪峰、武夷、罗霄四个地幔块(硬)体, 被几个宽窄不一的地幔软体(其中较大的有大娄地幔软体及湘赣软体)所分隔(图 3b)(易建斌, 1991)。一般说来, 在目前为稳定区(例如地台区)范围内, 其地幔硬体的连续性较好; 而在活动区(例如地洼区), 则连续性较差, 即地幔软体较发育。前者如四川地台区, 后者如东南地洼区内所见者是(图 3b)。这种现象与中国东南部的古地台区于中生代中期转化为地洼区后, 大地热流增高, 致使上地幔岩部分地、断续地产生地幔交代软化有关; 而四川中部的硬体连续性较好, 乃是该处目前仍为地台, 里面的上地幔岩层受地幔交代软化影响较少, 得以基本上保持原状所致。

3.2.7　壳体的面积

壳体的面积, 相差可以悬殊。一般较大, 可达千万平方公里, 但也有较小的, 仅几百万

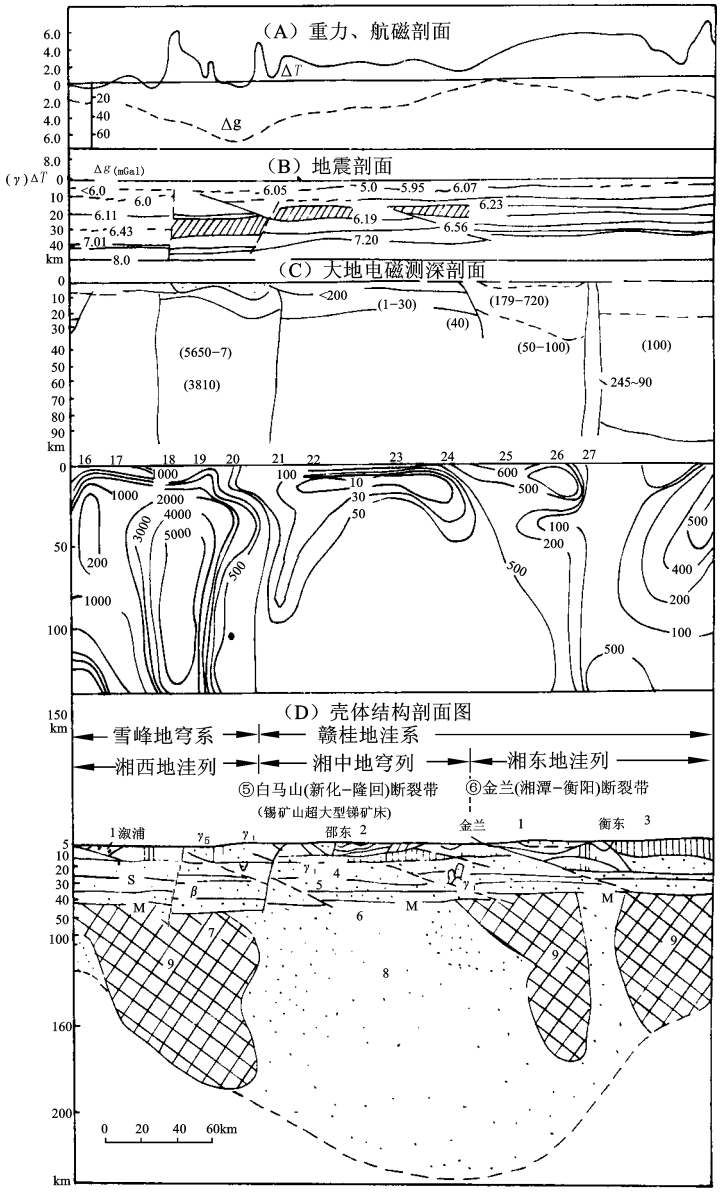


图 3b　华南湖南凤凰—茶陵段剖面

（据易建斌，1991）

浅部结构：1—地洼构造层；2—地台构造层；3—地槽构造层

壳体结构：4（包括 1、2、3）—硅铝质壳体构造层；5—准硅铝质壳体构造层；6—壳－幔混合壳体构造层；7—硅铝质壳体构造层；8—尖晶石、石榴子石－二辉橄榄岩（交代上地幔地幔软体）壳体构造层；9—二辉橄榄岩（未交代上地幔地幔硬体）壳体构造层；M—莫霍面

平方公里。就大陆型壳体的多数来说，老年壳体由于成长时间较长，平向增生较多，且发展阶段大都较高，加上有时出现的扩张、外加、联合等作用结果，面积可以很大。例如欧亚大

陆，实际上是由许多个老年壳体联合一起，又有陆缘扩张和并入外来壳体碎块等历史，因而形成超级巨型复式壳体，总面积达 5 360 万 km^2。而其中的南亚壳体则较小，面积仅有 295 万 km^2，澳洲壳体(可能为复式)面积为 896 万 km^2。

3.2.8　壳体的运动、变化、发展与成长

壳体如同其他一切事物那样，是在不断地运动、变化和发展的。上文关于壳体的一些基本特征，只是就目前所见的壳体的一般现状说的。它们之所以有今天的面貌，是由于各自经历了数目不同、长短不一的演化和运动阶段，几经变化和成长过程才形成的。所以，研究壳体有必要探究它们的运动和变化，以及演化和成长。

任何壳体都是既在不断地演化和成长，又在不断运动和变化的。它们的成长和变化过程，就是演化和运动过程。演化、运动、变化和成长诸方面是结合进行的，不可分割。下文分别论述，仅是为了便于阐明而已。

4　壳体的演化运动与成长

4.1　壳体演化的途径

如前所述，壳体是地壳形成发展过程中的一个演化和运动的综合基本构造单元；每个壳体都有其自己的诞生、成长、运动、变化和发展的历史特点。不过，它们的演化和成长过程也有一定的共同规律性。试以现知诞生不久的一些大洋型壳体以及在前太古宙时可能以当时的大洋型壳体的硅镁层为基础进一步演化而成的一些大陆型壳体的发展史为例，进行剖析；它们一般地是遵循着从诞生开始，逐步由婴年期及幼年期经过少年期及青年期向中年期及老年期发展，即由未成熟逐步向成熟、由低级阶段向高级阶段推进的(表 1)。

壳体演化在婴年期的情况，似可以现知的一些大洋型壳体来探索(但不一定全同)。例如西太平洋壳体，其现知最老的地段通常认为是诞生于侏罗纪，年龄不超过 220 Ma。其中有大洋型活动区和大洋型稳定区。前者以线状结构区如大洋中隆的海岭等为代表，后者以面状构造区如大洋盆地为代表。它们的历史生因关系有待研究。

东亚壳体是世界上历史悠久、研究较详的大陆壳体之一。以它在中国境内的中南段为例：在前太古宙时的情况，因限于现有资料，尚待今后探索。古太古代时，已开始有以超镁铁质(即硅铝－硅镁过渡型)的早期硅铝壳构造层形成的记录，其时形成了已知最早年龄为 3.8 Ga 的、以由结晶基底组成的现知最老的前地槽构造层为代表。据刘敦一等(黄立言，1990)测定结果，产于冀东黄柏峪的铬云母石英岩中的锆石，其年龄为 3.65～3.72 Ga。可以推测，东亚壳体的陆核有可能约为 4 Ga 前就已开始形成；构成这个陆核的构造层，可能属于由包括上述铬云母石英在内的结晶基底代表的前地槽期构造层，即相当于作者所称的 X 大地构造发展阶段(有可能包括不止一个阶段)的产物。依现有资料，其中可能至少包括萌陆壳活动区(X－4)及萌陆壳稳定区(X－3)(见表 1)。白瑾等根据地球物理资料(陆松年等，1990；地矿部天津地矿研究所，1991)认为，在华北地区这些最老的前地槽构造层起初只是分散的小块，诞生于当时地壳原始部分硅镁层顶面几个隆起地段(原始构造区，即 X－n)之上。这群小块的前地槽构造层，已知分布地区计有东胜、临汾、济宁、渤海、赤峰及辽东等六处，它们是东亚壳体中段最初出现的萌陆

核。以后，至新太古代时，才由后续出现的、较新的硅铝壳构造层，即原陆核活动区[X－2，地盆(区)构造层]及原陆壳稳定区[X－1，地原(区)构造层]把它们联系一起，并逐步增生，形成了较大的原陆核。自萌陆核(可能还有胚陆核)阶段至原陆核阶段可称为壳体的幼年期，由于地壳发展的不平衡性，壳体的其他部分，前地槽硅铝壳构造层的出现时间较晚。大致上说，从上述该原陆核向外逐步推迟相继形成硅铝壳前地槽构造层，致使陆壳相应地进一步增生扩大。例如华北豫皖地区(孙大中，1985)，新太古代时伴随裂谷作用形成了登封群，代表原陆壳活动区(相当于地盆区，X－2)。在中条山地区，其相当地层为涑水群，依孙大中等(1991)的资料推断，其年龄为2.45～2.8 Ga(图4)，经过嵩阳运动(2.5～2.6 Ga)使登封群褶皱后，转化为原陆壳稳定区(地原区，X－1)，再往南，华中地区，在新太古代至元古宙初，也出现了前地槽期硅铝壳构造层[2.5～2.9 Ga(黄立言，1990)或3.2 Ga(张理刚，1991)]，使陆核扩大至该处。及至早元古代，陆核进一步扩大至华南，以年龄为2.24 Ga(福建清流)(蔡加尤，1986)或者说2.5 Ga(张理刚，1991)的前地槽期硅铝壳构造层为代表。再南至海南岛，前地槽期构造层的年代更晚，为1.7～2.6 Ga(陈惠芳，1991)。

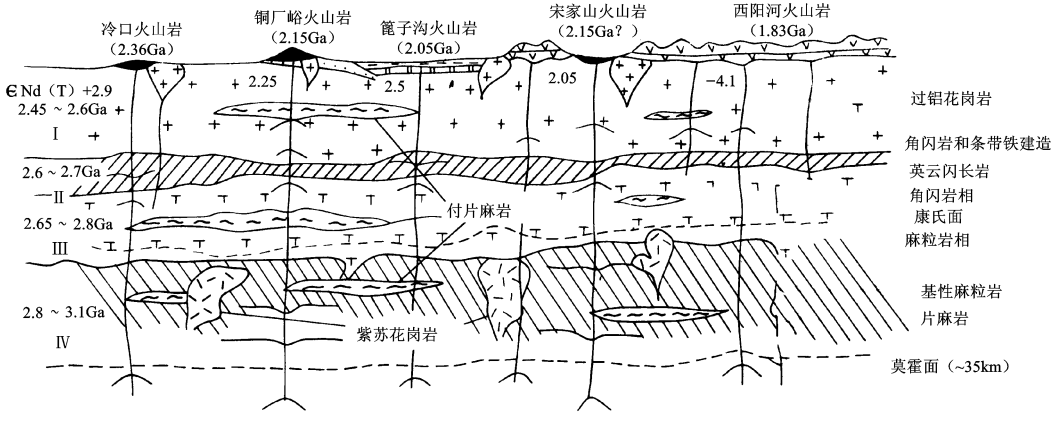


图4　东亚壳体华北地洼区中条山古元古代年代－地壳结构模式(孙大中，1991)

在陆核最早出现的华北地区，其地壳演化在元古宙初开始进入地槽区阶段前期，标志该处壳体成长进入少年期。这时形成了以下元古界滹沱群及其相当岩系组成的地槽期构造层；在中条山地区则以中条山群及担山石群为代表(孙大中，1985)。当时基性火山喷发强烈，依孙大中等(1991)研究，其年龄以2～2.4 Ga之间为最多，并往往属于张裂环境的产物。古元古代末(1.7～1.9 Ga)，吕梁运动期间，地槽闭合，其中沉积褶皱回返，形成地槽褶皱带，以陆核为中心的陆壳便进一步增生扩大。标志东亚壳体该地段开始进入青年期的前期。再后，褶皱带山脉被准平原化，于中元古代初(1.7 Ga)转化为地台区，代表东亚壳体该地段已进入青年期的后期。同样由于地壳发展是不平衡的，大致上在离陆核愈远之处，其进入少—青年期的时间愈晚，例如，在华中及华南地区，依次在晋宁期和加里东期才结束地槽区发展前期并进入褶皱带期，并随后接着转化为地台区(陈国达，1977)。

表 1　东亚壳体的演化成长历程

壳体成长期	大地构造体制		壳*层	壳体成熟度		壳体演化阶段	地壳性质	华北地区地质时代距今年数(Ga)(注)		东南地区地质时代距今年数(Ga)(注)	
中年期	Y_1		硅铝壳	成熟	高	高级	陆壳	未来	0.0	未来	0.0
	地洼区							J_2−Q	0.2	T_3^3−Q	0.2+
青年期	地台区				中	中级		Pt_2−T	1.5	D−T_3^2	0.3
	地槽区	后期			低			Pt_1	1.8	Pt_2−S	
少年期		前期							2.5		1.7
幼年期	原陆壳稳定区(地原区X−1)		硅铝|硅镁壳	半成熟		低级	雏陆壳	Ar	2.6	Pt_1	2.6
	原陆壳活动区(地盆区X−2)										
	萌陆壳稳定区(X−3)									Ar	
	萌陆壳活动区(X−4)										
	胚陆壳构造单元(X−?)								3.8		?
婴年期	原始地壳构造单元(X−n)		硅镁壳	未成熟			洋壳	?		?	

(注)：由于地壳发展的不平衡性，在不同壳体或同一壳体的不同地区，其相同演化阶段的地质时代及距今年数均可有所差别，大致上距萌陆核愈远者，时代愈晚，参考上文。

* 标志壳层

地洼区阶段的出现是壳体演化进入中年期的标志。东亚壳体中南段地壳发展的中年期开始于中生代早中期。开始的具体时间自南而北逐步推迟，即华南为晚三叠世后期，华北为早侏罗世，东北为中侏罗世(陈国达，1977)。

综上所述，可以看出，以东亚壳体为例，一个壳体的完整的演化和成长过程，是经历许多变化、可划分为许多阶段、十分复杂的。这个历程可列表如表 1。但由于地壳发展的不平衡之故，可以出现下列情况：①不同壳体或同一壳体的不同地段，其目前已发展到任何一阶段很不一致，有些现在已发展到地洼区阶段，即中年期的成熟的高级陆壳阶段，另一些则还处于婴年期，即未成熟的低级的洋壳阶段。②不同壳体或同一壳体的不同地段其演化过程可以缺失(即超越)某个或某些阶段。例如最常见的为在远离陆核部位，其陆壳的前地槽区阶段可以部分甚至全部缺失；在后一种情况表现为地槽型构造层直接发育于硅镁层(洋壳)之上。

4.2　壳体演化运动的深部表现的研究

壳体演化就其历程上来说，依现有研究程度及资料所及，还主要限于浅部的壳层，特别是主要在于大陆壳的硅铝层，以及在大洋壳的硅镁层中的可及部分。在硅铝层中，主要以硅铝质构造层增积的数目及其性质和类型的划分作为重建壳体演化史的依据。至于深部情况如

何，所知甚少。从地洼学说看来，地壳演化的根本原因主要在于地球内部。兹以大陆型壳体为例，当其演化进行中，于不同演化阶段在硅铝层中产生不同的构造层时，其下伏的、作为来自地球内部的物质、热能和动力通往地球浅处通道的硅镁层及地幔岩层，按理也必然发生与硅铝质构造层相对应的特点，可资区别。同样道理，在大洋型壳体演化过程中，发生在不同演化阶段中的变化，也必然在其下的地幔岩层中产生相应的表现。因此，宜尽可能充分利用随着科学发展而获得的深部信息，包括地质、深钻、幔源包体、地球物理、地球化学等方面的资料，扩展这方面的研究，是很有意义的课题。

再从岩石圈分异演化的角度来看，目前在大陆型壳体中划分构造区的依据，主要在于硅铝层中所表现出来的差异，深部的构造差别虽有注意，但仍为薄弱环节。随着上述的不同演化阶段深部构造特点相应变化的研究的开展，以及各方面资料的增多，重视深部差异与浅部差异的结合作为划分构造区的依据，是很有意义和作用的。例如台湾－黑水 GGT 资料(秦葆瑚，1991)表明，华南岩石圈目前演化到达地洼区阶段的部分(特别是东南诸省)，其地幔岩层已被软化部分颇多，而四川残留地台区则所受地台活化作用影响较小(详后)。这类深部资料，即可为今后研究的启示。

4.3 壳体成长及外表变化

以大陆型壳体而论，一般情况下，它们在其演化过程中，都是逐步成长壮大的。随着成长壮大的进行，无论它的体积还是它的形状都在不断发生变化。这些变化，主要表现在面积和厚度两个方面。

4.3.1 面积方面的变化

壳体面积的变化，是最容易显现的一个方面，且其结果导致壳体平面形态的变化，因而最受人注意。这方面的变化，既有扩大的一面，也有缩小的一面。壳体面积扩大通常为壳体成长在水平方面的主要表现。对于大陆型壳体来说，其面积大多数趋向于扩大。就全球来说，其总的趋势是大陆型壳体的面积在增大，而大洋型壳体者则相对地在减少(地球面积变化因素另计)。

1)面积的扩大

就大陆型壳体而论，其面积扩大有 4 种方式。

(1)自我增生式(autonomus accreting－type)简称自增式　这是通过硅铝壳的侧向增生，逐步扩大的方式。尚在萌陆壳至原陆壳时期，一般地是在胚陆核的周缘，通过较后形成的前地槽区构造层的相继产出而增长。如前所述的东亚壳体华北区太古宙的前地槽区构造层的依次出现过程，是其一例。及至进入地槽区阶段以后，则通过在前地槽区构造层之上或沿陆核边缘出现的地槽中发生沉积物，后来地槽沉积遭受地槽封闭时挤压造山的作用，形成褶皱带山脉，成为陆壳的新成的，但仍属低成熟度的部分。随着陆缘地槽的相继侧迁(lateral migration)，并相继封闭形成褶皱带，便使壳体面积逐步扩大。这一过程，就是人们习称的“大陆增生”过程。先后形成的各个褶皱带先后准平原化而转化为地台区后，便导致了“地台扩大”。因此，大陆的增生扩大在一些地区有一段时期，其实质就是地台区的增生扩大。东亚壳体南段的中国东部，从中元古代至中生代初，中国古地台区向东南方扩展的情况，可为一例：华北为后吕梁期古地台区，向东南依次为扬子后晋宁期古地台区及东南后加里东古地

台区。

(2)外来块体添加式(external adding-type)简称外加式　这是由于外来陆壳碎块(即习称的“地体”)的加入，使原有壳体加大的方式。这种方式是面积突然扩大的，同时也是机遇的。在北美西缘的一些“地体”，是人们谈论较多的。东亚壳体东南边缘地带，有人认为也是由于外来块体的加入而面积扩展的，但尚待确证。确定是否存在着外来块体的证据，学者们已提出过不少。它们中主要的都是把壳体的某些地质或地球物理特征与被认为外来块体的相应特征进行对比。在外来块体被接纳添加之前，两方的发展史和各方面特征应有明显的差异，只有在接纳以后才统一起来。据此看法，还可确定后者被接纳添加的时间。已采用过作为对比的特征，计有地壳演化史、地层、古动物群、古植物群、古气候带位置、古地理、古地磁等。但都有争论。依作者的体会，其中以古植物群疑问较少。例如印度壳体原为冈瓦纳古大陆的一个碎块，于古生代末加入亚洲大陆。因此，在它境内，古生代以冈瓦纳植物群广泛发育为特色，而自中生代以后，则其植物群与亚洲大陆者混同，因此可以作为比较有说服力的证据。

(3)拉断伸展式　这种方式是壳体或其中某些部分因受外向的地幔蠕动流的牵引而被往外拉伸，通过壳层和其中地层的张性断裂活动而伸展及扩大面积。这些断层是在水平拉张力作用下产生的。其上段虽然由于壳体浅处岩石脆性较强，断层面倾角大都较陡。但往下延伸，则由于岩石脆性逐渐减弱，韧性增强，致使代表应变椭球体中剪切面之一的断层面与张应力主轴的交角变小，倾斜变缓，从而形成铲状断层。又因断层面倾角较小，即使垂直断距不太大，其水平断距也可以较大，遂使壳体的平向扩展往往较大。刘以宣(1984)称这种作用为“张性断扩”。例如东亚壳体的东南段，自新生代以来，形成了无数以 NE 及 NNE 向为主的张性断层成群成带[其中包括许多张性地洼盆地，如华北临靖地区(图5)，渤海(图6)及珠江口等新生代含油盆地等]，致使该处陆壳面积向 E 及 SE 方扩展，形成了亚洲东南部著名的“陆缘扩张”现象(刘以宣，1984；中科院南海海洋研究所，1988)。这种扩展面积的方式，通常伴有壳体自身的薄化(即厚度减小)。

(4)塑流延展式　这是壳体或其中某些部分在高温条件下，因受外向地幔蠕动流牵引力的影响，通过自身物质塑性流动而延展，扩大面积。这种方式通常也伴有壳体自身的薄化。多见于该壳体或其中有关地段的演化正处于以大地热流高为特征的活动区阶段。

上列诸种方式，常可结合进行。如东亚壳体的东南部的面积扩大，即既有由新生代地槽褶皱带的形成所表现的自我增生式，又有由广泛分布的张性断层及张性盆地表现的拉断伸展式。此外还有可能存在着塑性延展式或(及)外来块体添加式(有待详究)。

2)**面积的减少**

壳体的演化及成长过程中，面积也可以减少，兹仍以大陆型壳体为例，其面积减少的方式可有下列4种。

(1)累叠收缩式　例如由于壳体或其中某些地段下方地幔的汇聚式蠕动流的内向拖曳，或者是因受邻侧壳体或地段在较大范围内的汇聚式地幔蠕动的作用下发生的挤压(或碰撞)结果，造成褶皱及逆冲，通常表现为岩层或壳层的褶曲、推覆而致累叠，并使相应部位的壳体面积缩小。这种方式的面积缩小常伴随有壳体或其相应的地段的厚度增大。

(2)塑流收缩式　这是在高温条件下，由于地幔汇聚式蠕动流的拖曳，壳体或其中某些地段的物质朝内方呈塑性流动，因而面积缩小。这种缩小方式通常也伴随有厚度增大。

(3)裂解(fragment-type)式　壳体的某一部分从主体中裂开并分离出去，以致面积骤然缩小。

(4)侧蚀式　这是对于大陆型壳体来说较易发生的一种方式。它是通过面临海洋的一侧的硅铝壳因受海浪的侧蚀而出现海岸后退，并致面积有所减少。

上列几种面积减小方式，有时可有一种以上在同一壳体或地段中起作用。

3)面积变化的不一致性

举拉断伸展和累叠收缩以及塑性延展和塑性收缩为例，由于地幔蠕动方式和方向的不一致性之故，同一壳体的各个不同地段其变化情况可不相同。当某一地段的面积扩大时，其邻侧地段可能是正在缩小。在壳体的整体面积正在扩大的同时，局部地段也可出现缩小的现象，这种现象在以盆岭相间的构造－地貌为特色的地洼区内，最为显著。这是因为其处地幔蠕动分异强烈的结果，例如在东亚壳体的东南部，由于该处自入新生代以来，区域性的地幔蠕动是朝向东及东南往外流的，其总的面积主要通过拉断伸展(可能参与有塑性延展)方式而扩大，地洼盆地均为张性。但在地穹山脉的地段，则因受局部汇聚式地幔蠕动流的影响而呈局部面积缩小，其表现为挤压，以形成褶皱及逆冲构造，累叠收缩(可能还参与有塑性收缩)为标志，又如，在中亚壳体的中南段，因受该处下方的南北向的汇聚式地幔蠕动流的拖曳，面积呈南北向缩小，表现为累叠及塑性收缩。但在它的里面，介于地穹山脉之间的地洼盆地，则仍有些部分(例如塔里木盆地)为张性，显示面积扩大，主要为拉断伸层(可能兼有塑性延展)。

4.3.2　厚度方面的变化

壳体厚度的变化，既有增大的一面，也有减小的一面，但总的趋势是以增大为主，壳体厚度增大通常为壳体成长在垂直方向的主要表现。

1)厚度的增大

壳体厚度的增大，可有 5 种方式。

(1)通过浅部壳层的增积加厚　浅部壳层指的是外地壳，即硅镁层和硅铝层。它们的厚度增大均是按照构造层的增积来实现的。如前所述，构造层指的是在地壳演化各个阶段中所产生的、由一定类型的建造(包括岩浆、变质及/或沉积建造)组成并具有相应构造型相的地质组合(详见 1.4 节)。不同的构造层具有不同的特色，代表着它们各自所属地壳演化阶段的大地构造体制。

壳体通过构造层的增积来加厚，是属于垂向增生方式之一；它是随着壳体的成长进程于各个不同体制的大地构造发展阶段；自老而新、自下而上地，循序产出，逐一叠置，朝上方增生的。一般说来，在任何一个地质时代中，一个壳体或其中某个地段，其构造层的数目及当时最新构造层的性质，同该处壳体当时的成熟度及成长期是相对应的(只有时可以由于某种原因而缺失某些构造层)。因此，通常其演化阶段及成熟度愈高，构造层的增积愈多，壳体厚度也就一般地愈增大。例如，还处于洋壳阶段的未成熟壳体，其表部壳层只有硅镁质构造层，由玄武岩层组成，洋壳与陆壳过渡阶段的半成熟壳体或壳体中的地段，则在上述构造层之上(在缺失硅镁层的地段则直接在深部壳层之上，如图 3 黑水－台湾大断面的华南段所见)增积了前地槽期构造层(硅铝－硅镁过渡型构造层)及(或)地槽区体制前期亚构造层(地槽沉积物)，形成了雏陆壳。已成熟的壳体，即大陆型壳体(一般地以地槽回返，其中的沉积物褶皱隆起成山脉为标志)，则在上述诸构造层之上，更增积了地槽区体制后期亚构造层(磨拉石

建造),以及随后相继出现的地台型及(或)地洼型构造层等。

(2)通过深部壳层的增积加厚　深部壳层指的是内地壳,即地幔岩层。这是壳体垂向增生的另一方式,它是朝下方增生的。随着地壳演化的进程,一般地说,地幔岩层朝下方增生愈来愈厚,使壳体厚度相应地增大。在东亚壳体东南地洼区湘中地段,地幔岩层目前厚度320 km(可能兼有塑性流动厚化);在东南地洼区其他地段厚100 km。

(3)通过累叠厚化　这是指在以水平方向为主的地壳运动作用下,壳层之间或壳层内部一些构造层或地层之间发生褶皱(或)推覆,因而累叠起来,以致壳体的厚度增大。

(4)通过塑性流动厚化　壳体或其中某地段,又或其中某些壳层或岩层,由于其中的组成物质在高温的条件下,被汇聚式平向地幔蠕动流的拖曳而朝内部平向流动和聚集,致使厚度增大。

(5)通过热胀作用厚化　单纯由于壳体或其中某些地段又或某些壳层或岩层,因受热而膨胀,也可使壳体厚度增大。这种增厚过程常可伴有因受围压所限而产生内部互相挤压,导致壳层、岩层褶叠推覆来实现,加强增厚程度。

上述5种方式,常常结合进行。例如中亚壳体的青藏高原地段,其厚度增大速度之显著,为世界之最,单以外地壳(浅部壳层)而论,目前厚度就大于70 km,致使地面大大增高,平均海拔5 000 m。而据一些学者计算,在40 Ma前,该处地面高度只相当于海平面;5 Ma前的高度也只有海拔3 000 m(克鲁白塞,1989)。依李吉均(1979)推测,自晚更新世到现在,约16万年内,青藏高原地面上升了1 500 m,即平均每年10 mm。又据张青松等(1991)的测量,沿青藏公路等12条国家一等水准路线102个水准基点,自1959—1961年至1979—1981年的20年间,平均每年上升5.8 mm;并作南强北弱的整体上升,在喜马拉雅山北侧为平均每年上升8.9 mm。现有资料表明,这是由于下列几个方面的原因互相配合所致(陈国达,1979):①该处目前所处的演化阶段已高,大部分达到高级成熟壳体的地洼阶段,构造层增积较多;②自新生代以来,该区正处于地洼发展的激烈期,大地热流值高,壳体整体因高温而膨胀;③由于本区域性地幔平向蠕动流是汇聚式的,导致相应方向的拖曳力,以及由此原因所引起的、主要来自南方(南亚壳体)的外部的挤压,致使在地热增高的条件下,物质向内部挤压;④由于同上原因所生的、主要为南方的水平挤压作用,加上壳体膨胀的内部挤压,地层褶叠推覆构造十分发育。

2)**厚度的减小**

壳体厚度的减小,其方式可有五种:

(1)通过顶蚀减薄　这是来自上方的剥蚀,是壳体垂向削减的另一种方式。它是外营力作用的结果。

(2)通过底蚀减薄　来自下方的熔蚀或剥蚀,是壳体垂向削减的另一种方式。它是内营力所致,主要是由于来自地幔软流层的热传导从壳体底部把已成的地幔岩层进行热侵蚀(thermal erosion),即是使壳体该部分温度重新增高而再度熔融的结果。

(3)通过平向拉断伸展薄化　当壳体或其中某些地段,又或某些地层,在朝向外方的地幔蠕动流的拖曳所生的平向拉力的作用下,往外扩张,以致发生众多的张性断裂和张裂盆地,从而导致壳体厚度减少。如华北地洼区的临清地区及渤海盆地(陈景达,1985),均是其例(图5、6)。由于这些张性断层常可为铲状正断层,有如上述(应力分析不重述),故其上段

即使倾角较陡，往下也可变缓。当水平断距较大时，垂直断距也相应地增大，从而导致壳体被拉断伸展过程中，其厚度也随着变小。依 B. Ya. Karp(1991)的资料，日本海盆的成因，即是主要由于晚白垩世—早古新世时与陆块的破坏相伴随的，其外地壳因此被拉薄，比前新生代时的要小 15 km(图 2 的 A 及 B 比较)。

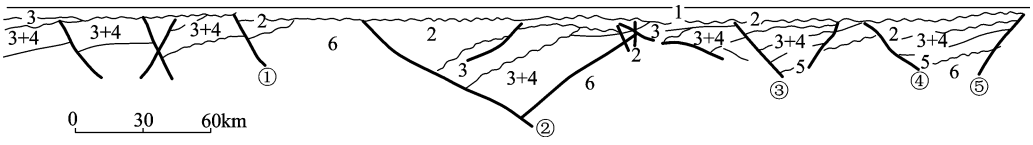


图 5　东亚壳体华北地洼区临清地区地震综合剖面构造解释图

示地壳的拉断伸展及薄化(据胡火炎，1991)

1—新第三系＋第四系；2—早第三系沙河街组；3—中生界；4—古生界；5—下古生界；6—太古界；

①巨鹿断裂；②广宗断裂；③馆陶断裂；④堂邑断裂；⑤兰聊断裂

(4)通过平向塑流延伸薄化　由于壳体或其中某些地段又或某些壳层或地层，在高温条件下，因受外向地幔蠕动流的拖曳而发生平向塑性流动，朝外延伸扩展，从而引起壳体厚度减小。

(5)通过冷缩作用薄化　在热能消散过程中，特别是其浅部壳层，因散热而体积逐步收缩，致使壳体厚度减小。

上列诸种方式，通常由一种以上的方式结合一起来进行。最典型的例子是东亚壳体的中国东部及大陆架的陆缘地带。该处由于自新生代以来区域性的分散式地幔蠕动流的拖曳，产生了大规模的陆缘扩张运动，形成了一条宽广的陆缘扩张带(详后)，以致壳体通常有所减薄。其处壳体厚度，包括深部壳层即地幔岩在内，在大陆型壳区一般地只有 100 km，在现代裂谷地带，例如汾渭地洼型裂谷带，由于平向拉断薄化局部增强，其壳体厚度仅 68 km(临汾地区)，其周围也只有 82 km(柳林地区)(吴世迎，1991)。在上述的陆缘地带，岩石圈厚度更小，一般只 80 km(如东亚陆壳壳体)(秦葆瑚，1991)，或更小(如日本海)。仅就外地壳而论，则大部分只有 10～30 km。这一地带形成了一条宽达 800～1 000 km 的广阔的、介于东亚壳体与西太平洋壳体之间的地带。为亚洲几个著名的陆缘区型(中间地带型)壳体的所在。该处壳体厚度减薄的主要原因包括：平向拉断伸展(可能兼有平向塑性延伸)、地洼区体制余动期的冷缩作用，顶蚀等。

4.3.3　壳体厚度变化的不一致性和相对性

以累叠增厚和拉断伸展减薄，或者塑性流动增厚和减薄为例，壳体的不同地段，由于地幔蠕动局部应力场的不一致性的影响，遂可使增厚减薄变化很不一致。在区域性的增厚中可出现局部的相对减薄的地段；在区域性的减薄中也可出现相对增厚的地段，例如在中亚壳体的中南段，在新生代其总的趋向是厚度增大，在青藏高原仅以外地壳(硅镁层及硅铝层)而论，就达 70 km，已如上述，但其中还有许多盆地(如塔里木、准噶尔等大型盆地)，其处厚度相对较薄(图 7)，又如，东亚壳体南段自入新生代以来，总的趋向是厚度减小，但在地穹山脉与邻侧地洼盆地比较，却相对增厚(图 8)。

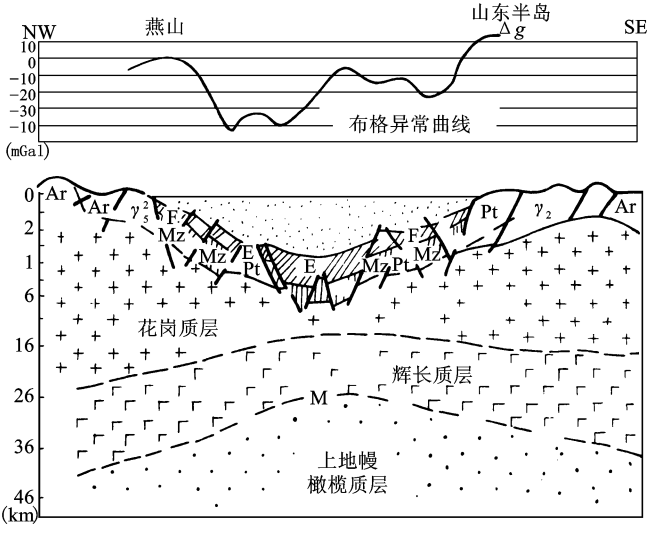


图 6　东亚壳体渤海湾地洼地质－地震－重力剖面示意图(引自陈景达，1985)

4.4　壳体演化进程与运动的关系

如前所述，壳体的演化是遵循动定转化递进律进行的。这个进程，与壳体的运动及其变化息息相关。因为它们两者是有共同的根本原因和力源机制，同为地幔蠕动及其变化的结果(详后)。

在壳体构造不同演化阶段所出现的大地构造体制，其大地热流、岩浆活动、构造变动、变质作用等方面的特点和程度等方面的证据表明，凡活动区(包括地槽区、地洼区以及前地槽区阶段的一些活动区，如 X－2，X－4 等)出现时期，由于地幔蠕动活跃，致使壳体的运动相应地处于活跃时期，尤以水平运动最为显著。这时，裂谷作用及(或)褶皱、推覆作用盛行，遂致产生反差强度很大的构造－地貌地伏，同时大地热流增高，岩浆、构造、变质作用强烈。反之，每当稳定区(如地台区，以及前地槽区阶段的一些稳定区，如 X－1，X－3 等)出现时期，由于地幔蠕动已变为相对宁静，壳体运动也就相应地转入相对宁静时期；由于这时水平运动转趋和缓，故垂直运动显得占据相对优势。

其次，壳体运动的形式，在不同性质的演化阶段、不同大地构造体制下，也有不同。当其处于活动区阶段时，无论同一壳体的不同地段之间还是不同壳体之间的水平相对移动和垂直差异升降，都可十分强烈。汇聚挤压或分裂拉伸，均甚显著。而当其出现稳定区时，则无论体内还是体间的移动，都转为和缓，而差异升降，则转为相对明显。

再有，在同一演化阶段的不同时期，壳体的运动也有强弱及形式的变化。例如，活动区阶段的激烈期同初动期及余动期比较，稳定区阶段的和缓期同初定期及余动期比较，其运动的强度和形式。也均有差别，详见下文。

4.4.1　地槽区阶段的壳体运动特点

关于前地槽区阶段的壳体运动与壳体演化的关系，尚待详究。仅以显生宙以来的一些壳

体演化－运动史来说，地槽区的发展前期，在有关地带由于地幔的分散式蠕动流活跃，相邻二壳体例如大陆型或过渡带型壳体与大洋型壳体之间，又或同一壳体不同地段之间被拖引而发生拉离，产生地槽型裂谷，通常表现为海槽或海沟。随着海槽的扩张，火山活动出现，地幔高温物质上涌，大地热流增高，从邻侧陆壳运来的陆源碎屑沉积物与火山物质一起沉积，或交替成层，便形成了巨厚的地槽沉积，由于这种沉积是在拉离运动－幔源火山作用伴随频繁振荡运动的大地构造动力环境中形成的，故往往以蛇绿岩套发育为特色。到了地槽区发展后期，由于区内地幔蠕动流转变为汇聚式，遂致该处的壳体运动方式相应被拖曳转变为汇聚式，致海槽闭合，并使海槽中沉积物遭受强烈褶皱及逆掩，升露海面，形成褶皱带山脉，加入到大陆型壳体的前缘，成为“大陆增生”的新增部分。这就是通常所称的“地槽回返”。在海槽闭合过程中，由于邻侧大陆型壳体或过渡型壳体一方的地势较高，大洋型壳体一方较低，褶皱升起的地槽沉积物通常主要朝大洋型壳体仰冲，遂形成或加强了大洋型壳体的俯冲现象。

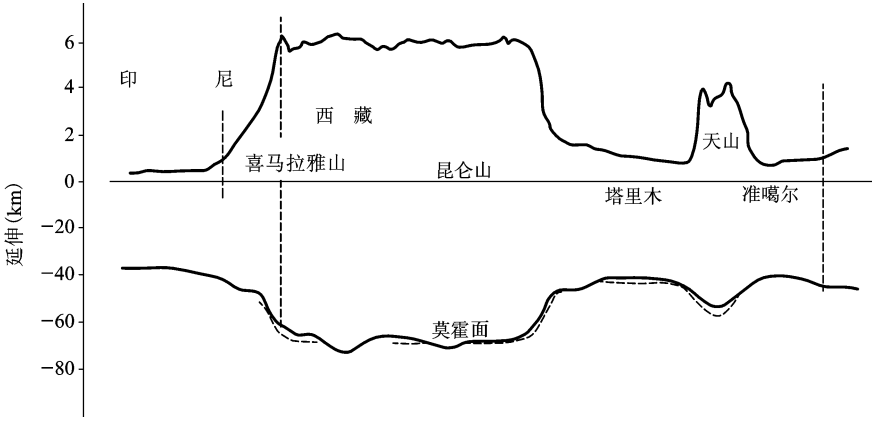


图 7　中亚壳体西藏至准噶尔(沿 85°E)的外地壳厚度分布，并示地形与莫霍面的倒影关系

（据王谦身，1979）

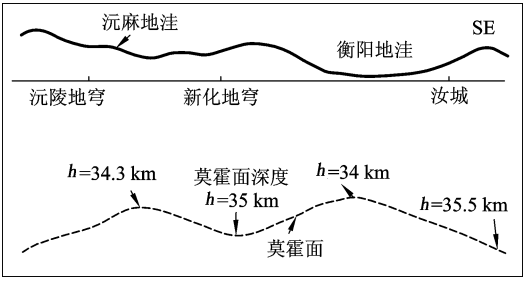


图 8　东亚壳体中国东南地洼区湘西至湘东外地壳厚度分布并示地形与莫霍面的倒影关系

（据刘代志，1987，根据重力反演）

介于西太平洋壳体(大洋型)与东亚陆缘壳体(薄化陆壳型)之间的菲律宾海壳体，是现代地槽区发展前期的一例，该壳体东缘有马里亚纳海沟，位于东经130°20′～130°30′，北纬10°～22°，SN延伸而向E突出，呈弧形长带状，它是一优地槽。其西有西马里亚纳海脊及帕里斯－维拉海脊，均为地背斜。再西为帕里斯－维拉海盆，可能为一渺地槽。更西还有几条海脊与海盆相间，构成了辽阔的菲律宾海地槽区。马里亚纳海沟轴部水深3 600～3 700 m。自5 Ma前以来，以该轴部为中心按平均每年1.5～1.7 cm的半扩张速率扩张着。在轴部有许多断裂深谷，形成地堑型构造；火山活动强烈，从其中上涌的高温地幔物质使热流值超过正常值50倍，最高可达2 mW/m^2。其热流形成了有特色的硫化物矿物(吴世迎，1991)。

在地槽褶皱带形成过程中，与该地段挤压的同时，由于其下地幔汇聚流的拖曳，便在其邻侧产生岩石圈的拉裂，形成新的地槽。这就是地槽侧向迁移的动力机制。

4.4.2　地台区阶段的壳体运动特点

壳体演化至地台阶段，由于这时其下的地幔蠕动已转为相对宁静时期，平向蠕动流微弱，分异不显著，遂致壳体内水平差异运动较少，垂向差异运动不大，并表现为以大范围内整体和缓升降为主的造陆运动。但必须指出：首先，作为稳定区的地台区，其活动性只是相对地减弱，并以其大部分面积的大范围内的整体运动为主，即所在壳体的相应地段当时处于缺少造山运动的相对和缓时期，而不是绝对不动。其次，稳定区只是在大地构造体制上相对于壳体演化和运动的活动性强烈的活动区而言，这个概念并不等于“固定区”。即是说，稳定区不意味着它在地球上永远固着在一处，而是仍然和活动区一样地，随着它发生所在的壳体或地段的移动，包括局部的和整体的移动而改变着其地理位置，即既在演化也在运动。

这一时期，因为以前在地槽区阶段所成的褶皱带型高山脉已在槽－台转化过程中被削低夷平，转化为准平原地貌，反差微弱，起伏和缓，坡度不大，遂致海水进退频繁而受影响面积则很大。因此，虽或只有数米幅度的沉降，海水可以侵进数百公里，形成宽广型的陆相盆地；反之，几米之微的隆起，又可使海退几百公里，使宽广盆地生命结束。地台区沉积物之所以通常在厚度、岩相、岩性诸方面均以平向稳定性大，分选性好，面状分布，而垂向则海陆交替多见，即属此故。其次，由于这时热流低，岩浆活动较弱，又因壳体内部各个地段的差异运动不显，断裂作用及由此引起的火山作用较罕见，故在地台型沉积物中火山物质或夹层一般较少。

不过，上述诸种特征在地台区发展的不同时期，其显著程度也有差异。在它发展的早期，即初定期，由于前一阶段即地槽区阶段活跃的地幔蠕动及相应的壳体运动方式与强度的残余影响，过渡阶段特征尚未完全消除，故有时会出现断拉谷(aulacogen)。这种构造是由于局部分散式的地幔平向蠕动流所直接或间接引起壳体内部不同地段裂开的拉张构造。这种构造是属于地台型的裂谷构造。由于断裂割切较深，故可有岩浆活动的伴随，遂可有时形成一些侵入岩或火山岩。松辽地台区三叠纪—早侏罗世时的断拉谷及有关的岩浆活动，可能属之。

地台区体制发展的中期，即和缓期，是地幔蠕动处于最为宁静的时期。因此，壳体的运动相应地处于最为和缓的阶段，无论水平还是垂直方向的运动，分异最为不显，大地热流也处于最低时期，以致无论在沉积、岩浆及变质方面抑或构造型相方面，其稳定区型特征都最为典型。

当地台区发展进入晚期，即余定期，其时地幔蠕动的宁静状态已趋减弱，分异开始恢复显著，故壳体运动也相应地增强，分异也在局部地区开始明显，热流补给开始增多，遂在个别地段发生较著的断裂及岩浆活动，如中国云贵川诸省的二叠纪峨眉山玄武岩是其例子。同时还出现相应的沉积建造特征，例如华北地区的二叠、三叠系石千峰组是。余定期的这些特点，已表现出地台区即将活化，是向新的活动区转化的前奏。

4.4.3 地洼区阶段的壳体运动特点

壳体演化到了地洼区阶段，正是地幔蠕动又已进入活跃时期。这时由于地幔蠕动速度再度增大，分异再度明显。壳体的不同地段相应地出现明显的水平和垂直差异运动。这时应力场复杂，拉张、挤压及剪切交织，并可派生出弯力及扭力，形成了多种多样的构造型相。其中包括褶皱、推覆构造、韧性或脆性剪切带，块状断裂，铲状断裂，以及拱曲、环形构造等。视其当时所在的应力场部位（挤压、拉伸、压剪、张剪等）而定，这些各式各样的构造成分，构成了多种相应的复杂的构造系。因此，造山作用再度出现，构造－地貌反差又转为强烈，高山深谷相间。在区域性的挤压区或拉张区内，均可形成地穹山脉和地洼盆地。挤压区主要为褶皱（含推覆构造）型或张性断层堑－垒型盆岭，而拉张区则主要为张性块断型（张性断层堑垒型）盆岭。但在不少情况下，由于局部性挤压区与拉张区相间，可以出现压岭张盆的构造地貌格局。无论何种情况，张性盆地均可以发展成裂谷型。又无论何种力学性质的地洼盆地，由于均是造山作用所致的差异升降运动强烈环境的产物，其中堆积快速，因而大都形成以分选不良、变化性大为特色的山间盆地型沉积建造（它们属于类磨拉石建造）。同时由于来自地幔的热能补给大增，大地热流增高，岩浆活动、变质作用也相应地增强，这些活动区型特征以见于地洼区体制的发展中期，即激烈期为最典型。以东亚壳体华夏型地洼区而论，一般说来，当地洼区初动—激烈期（中生代中后期），由于地幔蠕动活跃渐强，热能补给加快，大地热流逐步增高，壳体相应部位趋向以膨胀为主，故以挤压构造广见为特点，这种现象以位于汇聚式地幔蠕动流的地段最为多见。及至余动期（新生代），由于热流开始降低，壳体相应部位以收缩为主，故张性构造（包括裂谷）广见。同时，由于这一时期东亚壳体下面的区域性地幔平向蠕动流主要往 SE 及 SEE，故所成张性断裂及张性盆地（包括裂谷），其走向大多数为 NE—NNE（其中有不少是利用中生代时的同方向的压性断裂面改造而成）。

4.4.4 地洼区与地槽区体制下的壳体演化运动背景的区别

这是一个较常遇到的问题。地洼区与地槽区同是活动区，同是壳体演化过程中地幔蠕动活跃期的产物，而其特征却有不同。原因何在？

依现有资料，可以解释为这是主要由于下列几个方面的条件差异。

①在演化顺序上，地洼区是发生于地台区及（或）地槽区之后的，因此，它发育于大陆型壳体之上，并以后者为基础。而地槽区则是大多数发生于大陆型壳体（或由其裂生的壳体）的前缘，其大部分（主要为朝洋壳一侧）直接以大洋型壳体为基础。

②地洼区由于上述的原因，再加上初动—激烈期时，因为大地热流渐增而致壳体膨胀明显，壳体内部或相邻壳体之间挤压占据优势，故其发生的地表环境是大幅度隆起，这与地槽区发展前期主要以裂谷型拉张、地面沉陷为特征者不同。

③基于第二项原因，地洼区的沉积建造基本上为陆相，只有在壳体的临海边缘或由于相对沉降地面较低之处偶有海相沉积或海陆交互相（或过渡相）沉积。故与地槽区前半期以海

相沉积为标志者相异。

④演化达到地洼区阶段的壳体，已有较厚的、大部分为固结的硅铝质构造层(特别是结晶基底和褶皱基底的前地槽型和地槽型构造层，还有地台型构造层)的形成，刚性较强。因此，虽在强烈的水平挤压下，所产生的构造型相除也可为褶皱及逆掩外，还可有刚性或半刚性者出现，成为特色。刚性构造主要为块状断裂，半刚性构造为拱曲构造；它们发生自地洼区所特有的拱曲作用(arcogenesis)(帕甫洛夫斯基，1956)，此外，褶皱也多为短轴状宽展型。这与地槽区之塑性构造多见、主要属长线状、褶皱发育者不同。

⑤地洼区由于它是以较厚的硅铝质构造层作为发育基础，当该处从活跃地幔蠕动流提供的热能，自内地壳(地幔岩层)下方向上传导(有时还兼有热侵蚀)而致软流层向外地壳接近而使硅铝层积热增高时，就可导致其岩浆建造有很大一部分来自这些先成的构造层的重熔，或有其物质的参与，故重熔型花岗岩发育较多。其化学成分大都高硅、高碱而低铁镁，属酸性至超酸性。这与地槽型花岗岩之大都低硅而高铁镁者有别。这些花岗岩往往在地洼区发展初动—激烈期出现，且缺乏基性的“先头岩浆”，又由于这一原因，致使地洼型岩浆出现顺序一般地大体上由酸中性到基性，与地槽型者又是一区别。地洼区的大量基性喷发往往发生于余动期，即上地壳地热降低刚性增强、块状断裂大量出现时期。

⑥在变质作用方面，地洼区由于上述的构造和岩浆作用的特点，产生了以断裂变质为主的动力变质作用，以及与岩浆活动和地热有关的热力变质作用多见，而缺乏区域性变质，遂与地槽区者有别。

4.5　壳体演化－运动进程的遭受干扰

如前所述，壳体演化进程是循着活动区与稳定区互相转化，递迭前进的，而这个进程与壳体运动强弱交替紧密联系，它们直接间接同受地幔蠕动的活跃与相对宁静交替所制约。因此，当地幔蠕动进程发生变化时，壳体的演化－运动进程也可随之发生变化，常见的例子有如下两种。

(1)*发展阶段的超越或缩短*　例如，比较常见的是地洼区中的地台型构造层呈区域性的缺失，以致地洼型构造层直接发育于地槽型或前地槽型构造层之上，表现为只有“双层构造”的地洼区。如天山、阿尔泰山、蒙古高原、大兴安岭等地所见的情况，即经常受到许多研究者的注意和引为超越阶段的例证。这一现象通常被认为地洼区是直接由地槽褶皱完成区转化而成的。其原因可能有二：一个是由于地幔蠕动的先后两个活跃期之间的宁静期很短，以致壳体运动的相对和缓期也很短，从而造成地台阶段十分短暂，另一个则是由于根本没有经历地台阶段，如果属于后一情况，即缺失地台区阶段，就可以认为壳体演化运动进程受过的干扰较大。但如果起因于地台区阶段很短，则进程仍属正常，只不过是看起来似乎两个活动区阶段连接一起罢了。两种情况的区别，可根据地洼区阶段开始之前，地槽褶皱带山脉是否已被剥蚀达到准平原化。假如在地洼型构造层之下存在着区域性的古夷平面(有时还可见到古风化壳)，则是仍然经历过地台区阶段的证明；只是由于该处当时处于地台区的正单位(台盾、台隆或台凸等)，属于剥蚀区而不是沉积区(沉积区一般在地台区的负单位如台坪、台陷或台凹等里面)，因而没有发生沉积物并形成地台构造层罢了，可根据实际资料进行具体分析。

此外，在陆核以外地区，地槽型构造层之下大都没有存在（或没有出露）前地槽型构造层。这有可能是超越了前地槽诸阶段或其中某些阶段，以致地槽型构造层直接发育于硅镁壳构造层之上。发生时代较新的地槽区，较多此现象。

（2）发展阶段再现问题　有时，当壳体演化到某一阶段，例如地台区阶段或地洼区阶段，由于相邻两个大陆型壳体之间，或同一个大陆型壳体内部的相邻两个地段之间，出现了分散式的平向地幔蠕动流，以致两方离散，中间出现新成的硅镁壳，并在其上形成了新的地槽区。这类现象，有一种看法认为，这是地台区或地洼区倒过来转化为地槽区的实例，是地壳演化可逆再生的例证。不过深入分析，并非真实，因为这样发生的地槽区，如果确有存在的话，它是直接发育于新的洋壳之上的，而并非以地台区或地洼区为发育基础的，因为这时所成的地槽型构造层之下并不存在代表这些序次较后的构造单元的相应构造层。自然不能把它视为系由地台区或地洼区转化而来的。而且，该新成的地槽区发生之前原有的地台区或地洼区并没有衰亡，仍然活着在它的侧旁，故并非真的由它们衰亡转化而成的。它们只是由于壳体的移动而让出空间位置给地槽区诞生而已。所以，这样产生的地槽区，合理地只能称为让位地槽区，而并非地壳演化可逆再生的产物。

5　壳体的生消、迁移和离合

5.1　壳体的发生和消亡

在地球硬壳的不断运动、变化和发展的进程中，既时有新壳体的发生，也时有旧壳体的消亡。壳体发生的方式，可能通常是通过地幔物质的分异及冷凝。依目前知识，似可推测，在地球历史的较早时期，随着表面温度的逐渐降低及地幔物质的分异，在一些地区先后不一地开始形成硅镁层，随后其下可能还逐步形成地幔岩层。这种婴年期壳体，通过侧向增生而面积逐渐扩大；同时由于新壳体的相继出现，其数量也逐步增加，便连接构成了地球的早期硬壳。其次，可能还在冥古宙时，依已知材料则至少在太古宙早期，在上述婴年期壳体的隆起地段，先后不一地出现最早的硅铝层，使该处的洋壳转化为最早的陆壳——雏陆壳。如东亚壳体华北地区太古宙时陆核的形成过程，即其一例，经过了雏陆壳的几个发展阶段以后，在长期的演化过程中，才进一步逐渐发育成为今天在各个大陆上所见的陆壳（见表 1）。

壳体消亡的方式主要是通过重熔。依现有知识推测，可能这种方式在地球硬壳发生和演化的早期最为盛行，且壳体的发生与消亡周期比后来地质时代者远较短暂。其原因在于：①这一时期（主要是冥古宙，可能在部分地区延至太古宙初），地幔的温度尚很高［依有些学者估计，根据科马提岩的存在，当时的上地幔温度要比现在高 250～300 ℃（甘盛飞，1988）］。因此地幔蠕动流很不稳定，易生变化，旦活跃程度大，分异性强。②初成的壳体厚度不大，刚性也不太强，易受不稳定的、很活跃的、分异性强的地幔蠕动流的拖引而被扯裂或错断，化成碎块，并易受高温而重熔，或被地幔所淹没。遂致有不少其演化及成长还只处于婴年期或幼年期的壳体即遭夭折。

到了地球硬壳演化的较后期，壳体的生亡周期一般地逐渐变长。不过也还有些壳体其演化仅进入青年或中年期即已部分地趋向消亡。如亚洲大陆的东亚壳体东南部，自新生代以来

所出现的情况即为一例。该处由于下面的区域性地幔蠕动这一时期是主要流向 E 及 SE，致使东亚壳体，特别是其东南边缘地带，因受地幔流的牵引而呈拉断式地向 E 及 SE 方向伸展并薄化，产生了亚洲大陆的著名的“陆缘扩张带”，并形成了该处宽度最大可达 1 000 km 以上的、辽阔的陆洋过渡地带(中间地带)，一如上述。在这条过渡地带里面，有因拉断伸展及壳体薄化而形成的、大多数为 NNE 至 NE 轴向的张性断陷盆地成群出现。在盆地中有些断块如果陷落较深，以致被地幔所淹没，便会因被重熔而消亡。大陆型壳体或其中一部分按这种方式消亡，可以认为这是大陆壳向大洋壳转化的一种方式。不过这样转化而成的洋壳，其物质组分与原来的洋壳不会相同。这只是事物按照螺旋式发展过程在其更高阶段的相似，而不是可逆发展的历史重演或回到出发点的复归。

5.2　壳体的运动与迁移

5.2.1　壳体运动迁移的一般特点

作为地壳形成和发展过程中演化和运动的综合巨型构造单位，任何壳体都可随着它演化的进展而不断地发生运动和位置变化的。这些运动迁移具有下列各个方面的特点。

(1)*运动的形式*　这是指运动的表现形式。其中可分为体内运动和整体运动，体内运动主要表现在壳体内部某个地段的运动，以及各个地段之间的相对运动。整体运动则表现为壳体全部作为一个单位进行运动。同时也包括相邻诸壳体之间的相对运动(另详见下文)。

(2)*运动的方向和方式*　壳体的运动，无论是范围大小，无论是体内的还是整体的，都是三维空间的。即既有侧向(水平)运动也有垂向(垂直)运动：它们乃是地壳运动的两个互相联系并可互相转化的方面，同时存在于任何壳体之中，只是在壳体的演化过程中于不同阶段及不同地段以某一方面为主(决定于具体情况，详后)。在体内运动中，水平运动主要表现为某一地段朝着某个侧向移动，或相邻诸地段(或次级壳体)之间的侧向相对移动，又或某个地段的侧向伸缩或相邻地段之间的差异伸缩。垂直运动则主要表现为某一地段的升降运动或倾斜，又或某个地段的上下胀缩或相邻地段之间的垂向差异胀缩。这两方面的运动在壳体内部的平面上和剖面上分别产生了各种应力场，其中包括压、剪、弯、扭诸种应力及它们的复合应力，从而产生了各种相应的线性构造、隆起构造、陷落构造、环状构造等，组成了各种构造系及其构成的山脉和盆地等。整体水平运动则表现为整个壳体朝某一方向依某种方式(进、退、弯、旋等)移动，以及相邻诸壳体之间的相对移动(包括各种方式，详后)，在大范围内形成了平面上的区域应力场，从而在邻接壳体各自有关的边缘地带产生了与当地主应力相适应的构造(压性、张性、剪性等构造)，组成了各种构造系。整体垂直运动则表现为整个壳体的升降运动或倾斜运动，以及相邻壳体之间的差异升降运动，从而在邻接壳体各自有关的边缘地带产生了相应的构造。与此同时，壳体的整体运动也可有垂向运动及相邻壳体之间的相对差异垂向运动。

无论对于壳体内部各地段之间抑或整体与相邻壳体之间的相对水平运动和相对垂直运动来说，都是可以把上述的各种有关构造作为恢复运动史的依据，因为它们是这些运动的形迹记录。至于体内和整体的目前的水平运动情况，包括方向、方式和速度，则还是采用各种精密测量来鉴别(让－保罗. 克鲁瓦塞，1989；Dan Mckenzic，1990)。目前的垂直运动情况则还可通过下列的证据获知：①精密水准测量；②第四纪以来地貌的特征及其变化；③有关的新

构造运动特征等。

壳体运动的速度，大小不一。这在不同壳体的整体运动来说固然如此；同一壳体的不同地段也是这样。就水平运动而论，现知实例其速度最高可达几厘米。根据法国斯波特地球观测卫星的精密远距测量结果，中亚壳体南段的西藏高原，1986 年至 1989 年的四年间，以每年好几厘米向 NE 移动。但其北部移动速度较大，沿阿尔金断层向东滑动的速度为每年 4～5 cm，而其南部则几乎只有 1 cm 多一点（克鲁瓦塞，1989）。就垂直运动而论，以南极大陆壳体为例，目前以每年 1 cm 以上的速度在上升（无名氏，1991）。

关于壳体的水平运动人们注意较多，但其垂向运动也不可忽视。在水平运动中，对于整体运动注意较多，但对于体内运动也宜注意。

（3）*运动的强度、性质和类型*　壳体运动的强度可有大小。以体内运动为例，强烈的运动通常以水平运动占据优势、分异明显为特色，并发生于壳体或其中某一地段演化过程中的活动区阶段，例如地槽区阶段和地洼区（活化区）阶段。它表现为相应大地构造类型的地壳运动，已知地槽型地壳运动及地洼（活化）型地壳运动。活动区型地壳运动一般地属于造山运动，相应地可分为地槽型造山运动及地洼型（活化型）造山运动。较弱的运动通常以垂向运动占据优势、分异不显为特色，并发生于壳体或其中某一地段演化过程中的稳定区阶段，例如地台区阶段。它表现为相应大地构造类型的地壳活动。已知有地台型地壳运动。稳定区型地壳运动一般地属于造陆运动，主要是大面积的整体升降运动，如地台型造陆运动是。

5.2.2　*壳体之间的相对运动*

相邻诸壳体或次级壳体，又或地段之间，由于各自整体运动的方向、方式和（或）速度的差异，遂形成了彼此之间相对关系的变化，表现为相对的运动并产生了相应的应力场。这种相对关系的变化以水平运动最为明显易见。水平相对运动包括如下。

（1）*汇聚、碰撞和挤压运动*　当两个相隔一定距离的壳体之中的一方朝着对方移近，或双方互相靠拢（有时兼有旋转）终于结合一起，这称汇聚运动。如果两者贴拢时，一方或双方继续移动不止，便发生碰撞和挤压［有时为（或兼）压剪］。这种运动以结果造成了一方或双方壳体有关边缘地带的相应力学性质（压性或压剪）的构造或构造系为标志，如南喜马拉雅地洼区的推覆构造带，即系中新生代以来，发生于古印度地台区北缘，由于这样相对壳体运动方式所成的。目前印度壳体仍继续向北移动挤压。在外加式增生扩大的壳体中，本部和外来地体的一方或双方有关边缘地带可以见之。

对于原来就已贴近的相邻壳体之间，以及相邻次级壳体或地段之间来说，这种运动只有挤压（或压剪）作用，也可形成相应的构造。

（2）*拉裂和离散运动*　原来结合或贴近一起的相邻两个壳体——在更多的情况下是本来属于一个较大壳体的两个次级壳体或地段，当其被拉伸并分裂时，便产生了相应力学性质的裂缝，形成张性或张剪性断裂构造。红海及东非大裂谷两侧壳体之间的张性断裂带，即其实例。如果分裂后继续被拉伸，则成为离散运动，即一方或双方壳体自奔或各奔前程。如晚古生代时冈瓦纳大陆巨型古壳体的分裂离散，是著名的例子。

5.2.3　*裂谷作用及裂谷的历史－动力学分类*

裂谷是在壳体运动的拉张动力环境下所形成的、受深大断裂带控制的张性断陷盆地。由于其处断裂深切到达地幔，故在岩浆活动及所成矿产往往与地幔热活动及幔源物质有关。

另一方面，裂谷可以发生于壳体演化过程中的任何发展阶段。它以在活动区阶段为多见，但也可以出现于稳定区阶段，在前地槽的活动区阶段(例如地盆阶段等)裂谷作用固很盛行，在地槽区及地洼阶区段也很强烈。在地台区阶段的裂谷作用多见于其初定期；在余定期有时也可出现。

由于不同发展阶段壳体的结构复杂程度不同，所成裂谷虽然发生于拉张动力环境，但其发育的物质基础不同，当时所处的大地构造体制不同，因而地质、地球化学、地球物理特征也有差异。特别是沿深大断裂上升的幔源岩浆及幔源成矿物质，由于通过的构造层数目和属性不同，所受混染有别，所成矿床特点自然各有特色。因此，把裂谷的形成同壳体的演化结合起来，统一研究，并从历史-动力分析的角度划分裂谷类型，是既有理论意义又有实用意义的。

就现有研究程度来说，裂谷可以划分为下列几种类型：

1)**大洋壳型裂谷**

发生于大洋型壳体间或壳体内的裂谷。目前所知，主要见于大洋型活动区。如大西洋及印度洋中脊里面的裂谷是其例，在大洋型稳定区(例如海盆)中有无发育，尚待研究。

2)**雏陆壳型裂谷**

发生于雏陆壳与大洋壳间或其体内。其中可分为下列类型。

(1)前地槽型裂谷(其中还可以分出多种大地构造类型) 这些类型的裂谷常与以超镁铁火山物质为标志的绿岩带型金矿床的形成密切相关。这类裂谷目前衰亡，仅遗留建造上的证据。

(2)地槽型裂谷 多发育于地槽区阶段的前期，产生海槽，并形成蛇绿岩套及有关的矿产。如菲律宾海壳体内，以及东北亚、东亚陆缘壳体与西太平洋壳体之间的诸海沟，是其例子。

3)**大陆壳型裂谷**

主要发生于大陆型壳体之间，也可见于壳体的内部。

目前所知可分为下列两类。

(1)地台型裂谷 以发育于初定期为多见，余动期也可出现。相当于莎特斯基所称的aulacogen(中文译断拉谷或奥拉谷等)。例如松辽地台区侏罗纪(初定期)时的断裂及岩浆活动，即是当时断拉谷的产物。

(2)地洼型裂谷 在东非型地洼区中特别发育，如东非裂谷带及红海裂谷带是。在华夏型地洼区的余动期也多见，如汾渭裂谷系是。

5.3 壳体的复合

从壳体的相对运动及由之产生的结果来看，按照侧向结构的特点差异，壳体可以划分为单式及复式两大类。

5.3.1 单式壳体

这式壳体的侧向结构比较简单，其中包含一个单一的壳体。依其构造成因和演化特点，又可分为两式：

(1)自生型单式壳体 以大陆型壳体为例，这种壳体里面通常只有一个壳体演化系统，

按照一般的自我增生方式逐步成长扩大，例如北亚壳体。

(2)裂生型单式壳体　这是指从原来某个较大的壳体通过分裂离散运动分离出来而成的单式壳体。它从母壳体分离出来后，其演化方式可以是继续保持原来壳体演化系统的该部分特点，也可以是在原有基础上按照自己的演化方式另成独自的演化系统。南亚(印度)壳体，就是由一个从冈瓦纳大陆古壳体于古生代末裂离出来的碎块所成的单式壳体。

无论何种单式壳体，都可以独立存在，也可以同别的壳体连结成为复式壳体。

另一方面，在较大的单式壳体里面，如果不同地段的演化运动的历史及进程分异显著，又有明显的分界线，在理论意义和找矿等实际应用意义上有必要时，可以划分为次级以至更次级壳体。明显的分界线大多数为深大断裂(带)。例如，在东亚壳体的中国境内，已知可以划分为东北、华北及华南三个次级壳体，分别以白云鄂博—开原深大断裂带和长江中下游一线分界。中亚壳体的中国境内已知可以划分为北疆、南疆及藏北三个次级壳体，其分界线依次为天山南麓深大断裂带和昆仑山脉及其延伸的 NWW—SEE 一线。

从演化阶段来说，无论自生型还是裂生型单式壳体，既可以属于大洋壳型，也可以是属于雏陆壳型或大陆壳型。就壳体所处的地理位置来说，它们既可以是属于大洋区型，又可以是属于陆缘区型、陆间区型或大陆区型。无论何种类型的独立存在的单个壳体，在地理上都可以成为一个相应面积并具有相应名称的壳区，例如大陆壳型壳区(简称大陆壳区)等。

5.3.2　复式壳体

这是指由两个以上的单式壳体组合而成的、平向结构复杂的壳体，在地理上表现为一壳区。例如亚洲壳体，是由北亚、东亚、中亚、西亚及南亚五个大陆壳体和东北亚、东亚、东南亚三个薄化陆壳型壳体及菲律宾海雏陆壳型壳体组成的复杂壳体。复式壳体的面积大多数较大，但也有较小的。亚洲复式壳体是大型的；澳大利亚复式壳体较小。有时，二个以上的复式壳体(或复式壳体与一些单个壳体)联结一起，形成超级复式壳体，如欧亚壳体，是由亚洲及欧洲二个大型复式壳体联结而成的大型超级复式壳体。

1)**分类**

复式壳体或按其形成方式的不同划分为三类。

(1)接合型(connection type)复式壳体　由两个或多个原来不在一起或不连成一起的壳体接合而成。例如，中亚壳体与南亚(印度)及西亚(阿拉伯)壳体的关系，就是由不在一起的三个壳体汇聚接合而成的。又如，据一些学者意见，澳大利亚壳体是由四个壳体接合而成的复式壳体。

(2)分裂型(division type)复式壳体　由一个壳体分裂为两个或多个壳体，分异演化，但没有离散，仍然合在一起而成的复式壳体。如东亚壳体与中亚壳体的关系，就是由于分异演化，其中以中蒙南北深大断裂带为界，但仍粘贴一起，是其例子。

(3)混合型复式壳体　其组成方式既有接合型，也有分裂型的壳体或其碎块。例如在亚洲复式壳体中，北亚与东亚及中亚二壳体的关系为接合型，中亚壳体与南亚及西亚两壳体也是接合型的。但东亚与中亚壳体之间则为分裂型的。

2)**接合方式**

复式壳体的接合方式可分下列几种，它们由相应的接合线(connecting line)联结一起。

(1)增生接合式(accreting－connection type)　简称增合式，指由某个壳体通过自身或其

中某些壳层(例如硅铝层)的增生方式扩大，其前沿向邻近壳体逐步移近，终于与后者相遇，接合一起的过程。它也可由于双方或多方均增生扩大而致多个前沿互相移近并最终结合。例如古生代时北亚壳体与中国的东部及西部两个壳体的接合过程即是属于此种方式。在太古宙时，北亚壳体的陆核较小，可能只限于现在所见的西伯利亚地台的范围。从元古宙开始，通过贝加尔期、加里东期、海西期几个时期地槽褶皱带的产生及随后地台区的建立，其硅铝层逐步向南增生扩展。其扩展的前沿终于在古生代末到达天山南麓—白云鄂博—开原—赤峰一线，因受中国西部两个壳体的北缘的拦阻，而被迫中止增生扩展，并与后两者硅铝层接合一起。这种结合方式的接合线叫增生式接合线，简称增合线(accreting－connecting line)。

(2)延伸接合式(stretching－connection type)　这是指一个壳体通过其自身或其中某些壳层的塑性流动延展方式，或者是拉裂伸展方式，其前沿逐步移近邻近壳体而最终与后者接合的现象。这种结合方式也可通过双方或多方壳体的各自延伸而致前沿互相移近来实现。这种结合方式的接合线称为延伸式接合线(stretching－connecting line)。并视具体延伸方式而简称延合线或伸合线。

(3)汇聚接合式(converging－connection type)　简称聚合式。即由于某一壳体向邻近壳体整体移动而与后者逐步靠拢，终于接合；或者是双方或多方壳体互相移近而最终拉合一起。这种方式的接合线，叫做汇聚接合线。简称聚合线(converging－connecting line)；等于通常所称的缝合线(suture line)。如阿拉伯壳体和印度壳体，于古生代末从冈瓦纳古大陆分裂出来后，向北移动，逐步靠近中亚壳体，最终与后者汇聚并接合，分别成为西亚及南亚壳体，是其例子。这两个壳体与中亚壳体之间的汇聚式接合线位置，已有不少学者提出过，但由于各自所用的依据不一致，因而方案也有不同。依作者看法，较有说服力的一种方案是依冈瓦纳古植物群同华夏古植物群的分界线作为证据(李星学，1991)，即是沿班公湖至丁青，随后循怒江河谷南下，经滇西的保山之北，以及古浪、泸水一带，斜接澜沧江，在昌宁之东南下，从双江西侧到拉祜，进入缅甸。以后即循东经100°南下到印尼，直穿苏门答腊而至爪哇海沟，转向NE而达新几内亚。

上述三种接合方式，在大型的接合复式壳体中常可以有两种以上同时出现。作为超大型复式壳体的亚洲大陆，便是既是增生接合线，也有汇聚接合线。

复式壳体可根据其包括的壳体目前的演化阶段划分为大洋壳型、大陆壳型等。其次，它们还可根据包含的单个壳体所处的地理位置的异同划分为大陆区型等。此外，又可依其中壳体类型的复杂程度划分为单一型和混杂型。三种划分都可以在地理上表现为相应命名的壳区，如大陆壳区等。混杂型复式壳体在命名时，则可采用复合名称，依面积大小为序。例如欧亚壳体，为一种“大陆壳－薄化陆壳－雏陆壳型复式壳体”

5.4　壳体的分界线

每个壳体都有其边界，或者说有与相邻壳体之间的分界线。在一个复式壳体里面的单个壳体也是这样。

5.4.1　壳体界线类型

壳体界线可有多种类型。

1)一般深断裂带型

这种类型的分界线多数见于下列几种场合。

(1)两个相邻大洋区型壳体之间的分界线　这种分界线多为大洋型裂谷，如把大西洋及印度洋各分为两部分、洋中脊里面的裂谷带，均是其例。在太平洋的中隆虽然未见裂谷带，但可能有深大断裂带存在。在大地构造体制上，它们是大洋型活动区。

(2)大洋区型壳体与中间地带型壳体的分界线　这类分界线多表现为海沟，有些为陆壳增生扩大的前沿，如西太平洋壳体与东亚陆缘的一些中间地带型壳体之间的界线，其中包括菲律宾海壳体东缘的马里亚纳海沟，东亚陆缘壳体的日本海沟等。在大地构造体制上它们是属于地槽区发展的前期，其海沟即相当地槽。其中裂谷(地槽型裂谷)发育，基性岩浆喷出活跃，这些现代地槽中已产生了地槽沉积，代表地槽构造层的胚胎，覆盖在硅镁层之上，构成了雏陆壳，为该处壳体演化正达洋－陆过渡阶段的标志。这些海沟的西侧分布有较新时代(多为新生代)升起的地槽褶皱带山脉，由相应时代及其以前的地槽构造层所构成，代表陆壳的初生地带，为该处中间地带型壳体新近增生扩大的前沿产物。

(3)中间地带型壳体与大陆区型壳体的分界线　这类界线主要为超外地壳深断裂带，有幔源岩浆喷出。如东亚壳体与东亚陆缘几个中间地带型壳体(东北亚、东亚及东南亚诸陆缘壳体，见图1)的分界线是其例。该处大致上沿大陆架与大陆坡的转折线及其邻侧，深大断裂十分发育，目前地震频度高，烈度大。中国东南沿海的南澳－长乐大断裂、闽粤滨海大断裂等，均是著名的地震带。这些地带的地壳演化目前均已到达地洼区阶段，在余动期中因陆缘扩张而形成陆缘扩张带，遂以深大断裂同大陆壳体本部分隔。

(4)大陆区型裂生壳体之间的分界线　当一个原属较大壳体已经分裂成为二个以上的裂生壳体后，在尚未离散，即仍保持邻接关系期间的两个单个壳体之间，其分界线通常为深大断裂带。例如东亚与中亚两壳体之间的分界线，为自蒙古人民共和国北缘至中国银川—昆明的深大断裂带。这条深断裂带南段(银川—昆明段)在中生代以前已经伴随中国东部及西部两壳体之间的分异演化而出现，到了晚三叠世至早侏罗世，随着蒙古东西两部地壳的分异演化，分裂为两个地段，分别加入成为东亚和中亚两个壳体的一部分，这条深大断裂带也向北延伸，遂形成了目前所见，长达3 500 km的亚洲巨型SN深大断裂带。它在大地构造体制上现阶段为地洼区，即著名的亚洲南北地洼区，它同时也是一条著名的地震带及重要的成矿构造带。

2)接合线深大断裂带型

在接合型复式壳体里面，相邻的单个壳体之间的分界线，通常即为接合线。但由于接合线往往是一条薄弱地带，当两方壳体再发生相对运动(无论水平或垂直运动)时，在某种应力(压、张、剪等)作用下，很易被利用错移，发生断裂，而且大都深达内地壳(地幔岩层)，故也常为深大断裂带。不过这种深大断裂带由于具有接合线的历史背景，是以接合线为基础发展而成的，与上述的一般深大断裂带有别。合理地应称为接合线(型)深大断带。这类型深大断裂带依其历史背景的具体差异还可细分下列3种。

(1)增合线型深大断裂带　即以增生接合线为基础发育而成的深大断裂带。如东亚及中亚两壳体里面，自天山南麓经白云鄂博至开原—赤峰的EW向深大断裂带，原为北亚壳体的硅铝层向南增生扩大，于晚古生代时与中国东部及西部两壳体北缘接合的地带。即是说它是

以该条接合线为基础发育而成的深大断裂带。

(2)伸合线型深大断裂带　这是以伸展式(包括拉断伸展式或塑流延展式)接合线为基础发育而成的深大断裂带。

(3)聚合线型深大断裂带　即以两壳体之间，或外来块体同壳体本部之间的汇聚接合线(包括通常所称的缝合线)为基础发育而成的深大断裂带。例如中亚壳体与南亚(印度)及西亚(阿拉伯)壳体之间的分界线(详见上文)属之。

5.4.2　壳体界线的变化

壳体界线并非是一成不变的。随着相邻两方壳体的演化过程的变化，早先的界线可以移动改变位置或者消失，原来没有界线或界线不明显之处，可以新增界线或者变得明显，例如，在大陆型壳体增生扩大的前沿，由于地槽侧向迁移，新成的地槽裂谷带依次出现，便引起大陆型壳体边界陆续向大洋型壳体方向迁移，又如，古生代时中国境内的北部壳体与东部及西部两壳体之间的界线原是位于天山南麓—白云鄂博—开原—赤峰一线的东西向深大断裂带，它是辽阔的古亚洲北部壳体向南增生到达该处时与中国东部及西部两壳体北缘的接合线。与此同时，中国东、西两部壳体之间的界线即银川—昆明的南北向深大断裂带，其北缘原止于银川之北的上述的东西向深大断裂带。但自进入中生代中期以后，由于银－昆深大断裂带向北延伸，同时中国北缘和蒙古人民共和国东西两部其地壳演化自进入地洼区阶段以后东西两部发生分异，分别与原有的中国东部及西部两壳体特征相似而联结一起，并致原有 EW 向界线消失，便形成了东亚及中亚两个较大面积的壳体。其间的分界线相应的地延长至额尔登纳德，成为亚洲的巨型南北向深大断裂带。同时，原来的亚洲北部壳体的南界也因此向北迁移，面积缩小，变为今天所见的北亚壳体；其大部分目前仍处于仅略受地洼构造影响的地台体制。

5.4.3　壳体界线的活动性质及其与地震关系

壳体界线所在地带通常由于两侧壳体的整体差异运动(包括水平及垂直运动)显著，导致相邻两壳体之间的相对位移[包括挤压、拉伸或(及)剪切]活跃。因此，它们往往是巨型构造活动带的所在，形成相应的构造系，并可出现(或在某些历史时期中出现)强烈的岩浆活动和变质作用，还常可形成包括裂谷在内的构造盆地。

地震通常是主要发生于壳体或其中目前正处于活动区阶段、新构造(特别是现代构造)运动强烈的地带。它可见于相邻壳体的分界线上，也可以见于壳体内部，特别是较次级的各级壳体或地段之间的分界线上。这是由于这些分界线大都为断裂带以至深大断裂带的所在。尤其是相邻壳体的分界线，其深大断裂带往往规模较大，活动强度较高；不论它是接合线型还是一般的深大断裂带，均可成为强烈的地震构造带。例如，环太平洋地震带的西环，是由东亚陆缘扩张带几个过渡带型壳体与西太平洋大洋型壳体分界线上的深大断裂带所构成，其处目前正处于壳体演化的活动区阶段，一部分为新生代地槽褶皱带，另一部分为新生代地洼型块断带或断褶带(如日本诸岛、台湾岛等地带)。又如，东亚及中亚两壳体的分界线，即亚洲中部的巨型 SN 向地洼型活动构造带(自贝加尔湖及蒙古中部之南至中国银川及昆明)，也是著名的强烈地震带；仅以中国境内而论，有记录有 6 级以上地震一百余次，其中 8 级以上的三次(陈国达，1977，1979)。

关于壳体演化运动同地震的关系，以及地震的分布及时空迁移规律，魏柏林已作过研究

(陈国达, 1977)。刘代志(1990)则从地幔蠕动流对岩石圈所产生的拖曳应力场计算结果入手, 对地震危险区划方面作过研究。他认为, 中国境内的南北地洼区为东、西两部壳体下面地幔蠕动的转换地带, 即东西两方地幔蠕动流相对汇聚, 至该处转向北或向南蠕动。今后开展这几方面的研究, 对于中长期预报地震很有作用。

6 壳体的演化和运动的起因及力源机制

依现有资料所及, 关于壳体的演化和运动的根本原因和力源机制问题, 只能暂作假说。作者认为, 既有内因, 也有外因。内因是源于地壳的内部, 其中主要的是可能由于地幔物质(包括放射性元素等)的不均一性, 引起温度和密度的差异, 导致地幔蠕动(包括蠕变与流动)。外因则有地球自转速度的变化、均衡作用(例如南极壳体目前由于冰盖融化、重压减轻而上升, 每年超过 1 cm), 其他星体的引力(例如地球随着太阳运行时所遇宇宙引力场)的变化等。所有上述各方面的因素均有必要综合考虑。不过其中以内因为主, 在一般情况下其余均较次。由于内因中又以地幔蠕动为最重要, 故本文先对它作重点分析。

6.1 壳体演化及运动的根本原因

如前所述, 一个壳体自诞生以后, 其演化过程是从婴年期开始, 通过幼年期及少青年期向中年期及老年期发展。在目前仍为洋壳性质的壳体尚处于未成熟阶段, 因目前对其认识甚浅, 其演化及运动的历程及原因有待研究。兹以雏陆壳型及大陆壳型壳体而论, 它们从幼年期即前地槽区诸成长期开始, 一直经历了活动区与稳定区互相转化交替、递迭前进的曲折过程。以已知的构造单元计算, 其中包括的动定旋回有萌陆壳活动区(X－4)和萌陆壳稳定区(X－3), 原陆壳活动区(X－2)和原陆壳稳定区(X－1), 地槽区和地台区, 以及地洼区(其后可能还有后地洼稳定区 Y_1…)。壳体演化进程的这个一般性规律产生的根本原因, 作者(1977, 1989)根据不同性质构造单元的地热状态, 岩浆活动、变质作用和构造作用的强度, 以及地壳运动的类型(造山型抑或造陆型)等方面的差异所作初步分析结果, 认为可能在于地幔蠕动活跃期同相对宁静期(或称和缓期)的交替。

如同前文(陈国达, 1977, 1989)已经提出, 地幔的物质(包括放射性元素等)是不均一的。在热能(包括放射热能等)积聚较多部分, 由于温度增高, 密度降低, 便形成了上升蠕动流。当其升达岩石圈底面时, 该处壳体或其中的相应地段便因受热而增温。因此, 凡遇地幔蠕动活跃并带来热量增多时期, 该处壳体或地段便因热能的积聚加速而大地热流增高, 构造作用、岩浆活动及变质作用强烈, 地质及地球物理特征分异显著, 发生造山型地壳运动, 出现反差大的构造－地貌起伏, 形成了活动区, 例如萌陆壳及原陆壳活动区(X－4 及 X－2), 以及地槽区、地洼区等。反之, 遇到地幔蠕动转入相对宁静时期, 则该处壳体或地段就会因热能补给减少而地热降低, 构造作用、岩浆活动及变质作用微弱, 地质及地球物理特征分异不显著, 地壳运动转为造陆型, 构造－地貌反差减少, 形成了稳定区, 例如萌陆壳及陆壳稳定区(X－3 及 X－1), 以及地台区等。

以东亚壳体的中南段的华北地区为例: 早中太古代时, 为萌陆壳活动及稳定区时期; 前者以由老绿岩带(花岗－绿岩组合)及高级变质岩系(片麻岩－混合岩－麻粒岩杂岩体)所成

构造层[最老岩石年龄为3.65～3.72 Ga(张理刚, 1991)]为代表。新太古代时, 为原陆壳活动区及稳定区时期; 前者以新绿岩带及高级变质岩系(如豫皖地区的登峰群)经受过嵩阳运动(年龄>2.5～2.6 Ga)(孙大中, 1985)后所成构造层为代表。这些绿岩带构造层, 均系该处地热增高, 裂谷作用盛行, 大量岩浆(特别是镁铁质及超镁铁质岩浆)广泛喷出或侵入, 变质作用强烈时期的产物, 为当时地幔蠕动活跃的证明。至早元古代, 进入地槽区阶段, 这又是活动区阶段, 其强烈的构造－岩浆活动及区域变质作用, 同样反映出当时正值地幔蠕动活跃, 地热增高的时期。中元古代吕梁运动以后, 开始转入地台区阶段, 这时构造－岩浆活动微弱, 变质作用缺乏, 地质及地球物理特征分异不显著, 地壳运动以大面积和缓升降的造陆型为特色, 构造－地貌反差小, 凡此各种特征都表明, 乃是地幔蠕动转为相对宁静、地热降低的结果, 自中生代中期燕山运动以来, 该处地壳演化进程到了地洼区阶段, 又出现大地热流增高, 地壳膨胀, 构造、岩浆及变质作用均十分强烈; 地质及地球物理分异显著。地壳运动为造山型; 构造－地貌反差很大, 形成盆－岭相间。所有这些特征, 则又表明非地幔蠕动转为活跃无以致之。根据地洼区发展的余动期大地热流已经逐渐降低, 岩浆、构造及变质作用均已转趋减弱等事实, 可以预测, 在未来的地质年代, 地洼区即将为一个新的稳定区(Y_1)所代替。这是地幔蠕动正在趋向转入相对宁静阶段的显示。

由于上述地幔蠕动活跃与相对宁静交替所导致的壳体演化运动的动定交替历程中, 后成的活动区和稳定区与先成者虽然大地构造性质相似, 但类型并不相同。这种非可逆性发展的主要原因是在于不同发展阶段其具体环境条件、历史背景和发育基础等, 均各有特色。例如, 地洼区虽然与地槽区同属活动区, 但由于它是在地台及(或)地槽构造层之上产生的, 当其出现时期, 其处壳体的垂向结构比诸地槽区形成时期者已更为复杂。硅铝壳厚度较大, 刚性也增强。因此, 当造山作用进行时, 即使在地热增高的情况下, 该处地壳表现仍为刚性或半刚性反应, 所成构造以拱曲、块断及宽展型褶皱为主, 环状构造广泛发育。由于以断裂为主要构造, 断裂变质(包括线性分布的混合岩化)至为发育; 又由于硅铝壳较厚, 在因地热增高而膨胀时, 大部分时期在地面隆起高出海面, 所成沉积建造以陆相山间盆地沉积(类磨拉石)为主, 等等。

壳体演化运动的强烈时期与和缓时期交替的根本原因在于地幔蠕动的活跃期与相对宁静期交替, 其证据可从下列事实证明: 在东亚壳体的燕山(华夏)期地洼区, 目前已发展至余动期, 其下的地幔蠕动流速已较小, 而中亚壳体的中亚期(喜马拉雅期)地洼区, 目前正处于初动－激烈期, 其下的地幔蠕动流速较大(图9)(刘代志, 1989)。

6.2　壳体演化运动与地幔关系的深部表现

上文曾经指出: 对于壳体的演化进程及其在不同演化阶段的特征变化, 虽然现在研究材料多来自浅部, 但这不等于说, 壳体的动定转化只表现在上地壳中不同属性的硅铝质构造层的增积, 它必然还在下地壳以至内地壳中有相应的变化迹象可寻。的确, 以前述关于壳体演化的根本原因主要在于地球内部, 并受地幔蠕动的活跃与相对宁静交替的控制这一点为例, 其证据就还可见于壳体深部的变化及其与壳体上部变化的对应情况。例如: 图3a所示的台湾—黑水地质地球物理大断面表明, 在华南的岩石圈结构, 其东西两段特征不同: 西段的四川地台区, 其地幔岩层比较完整, 硬体部分几乎占据全部范围, 仅在断裂地带出现局部软体

部分。东段的广大地区，特别是东南地洼区，其处地幔岩层的硬体部分很不连续，形成几个肾状的地幔硬体，称为“地幔肾”，分别被地幔软体所分隔（秦葆瑚，1991）。这一现象，可有两种解释：一种认为这是华南东部岩石圈演化还未达到地台区阶段的证明；那里是个“准地台”。另一种解释则认为该处于经历了古生代（或晚古生代）地台区阶段以后，因中生代以来发生地台活化变成地洼区的表现。

根据现有资料分析，似以第二种解释较为合理。因为该大断面表明，地幔岩层的软体部分系沿硬体部分里面两组交叉的断裂呈网格状分布的，显然系硬体部分先成，然后有软体部分循着它里面的裂隙发育。在东段因地台活化的作用较强，已完全转化为地洼区，故地幔岩层受大地热流增高作用而软化的地段扩展范围较大。而在西段，则因受地台活化的影响较轻，故仍基本上保持地台区的刚性特征；其软化部分仅在局部沿断裂发育，尚未扩展，使该处目前尚为一个“残留地台区”。

6.3 壳体运动及有关构造形成的力源机制

6.3.1 壳体运动与地幔蠕动的关系

无论壳体的体内运动还是整体运动，其与地幔蠕动的关系都十分密切。尤其是壳体的水平运动与地幔横向蠕动之间的关系最为明显。

当地幔蠕动上升流到达地壳（岩石圈）底面时，将会沿底面转为平向蠕动流。由于地幔平向蠕动流的拖曳力，覆于其上的壳体或壳体内部的有关地段就会被带着朝相应的方向移动。

一般说来，地幔的上升蠕动流造成分散式的地幔平向蠕动流，而下降蠕动流则造成汇聚式的横向蠕动流。分散式蠕动流可拖曳壳体或其中有关地段平向拉伸扩展及离散；而汇聚式平向蠕动流则拖曳壳体或其中有关地段聚合挤压及缩短。

在大多数情况下，壳体整体移动起因于大区域性的、大规模的地幔平向蠕动，而体内运动则缘于局部或小区域性的、小规模的地幔平向蠕动（图 9）。浅部的地幔蠕动，大部与深部的地幔蠕动流有关（图 10）。

此外，地幔垂向蠕动可以直接导致壳体或其中有关地段发生相应的升降运动。例如，地幔上升运动可使壳体或其中有关地段上拱；地幔下降运动则可使壳体或其中有关地段下陷。

6.3.2 体内运动及有关构造的形成

在同一个壳体范围内，各个不同地段在不同方式的地幔平向蠕动流的拖曳下，可以产生复杂或比较复杂的水平应力场，使这些不同地段之间出现了异向或差速的移动，形成相应力学性质的构造，包括张性、压性、剪性、弯曲、扭曲及它们中两种以上的复合构造。它们每成群出现，组成了相应的构造系。

以中亚壳体中南段目前已演化到达地洼区阶段的地区为例：在地幔分散式蠕动流之上的地段，由于相背式的地幔蠕动拖曳力，便出现了拉张区，成为张性构造地段；该处地壳被挤拉断伸展及薄化，地面下陷而形成张性地洼盆地。这类盆地多为地堑型，当其断裂深达深部时，便发展成裂谷型。在地幔汇聚式蠕动流之上（通常位于紧接分散式蠕动流的邻侧）的地段，则由于相向式的地幔蠕动拖曳力，便出现了挤压区，成为压性构造段，该处地壳被挤压褶叠或推覆缩短及厚化，地面上隆而形成地穹山脉（图 9）。地洼区中常见的盆岭相间的构造－地貌特征，就是由于这样原因而形成的。

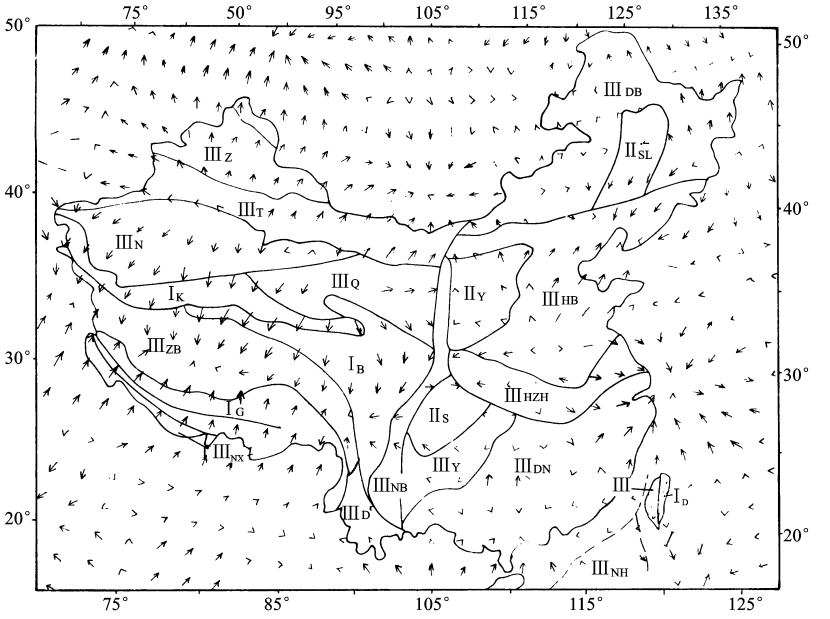


图 9　中国及邻区岩石圈底部切向应力场(据刘志, 1989)

Ⅰ—地槽区；Ⅱ—地台区；Ⅲ—地洼区(下标为分区代号)

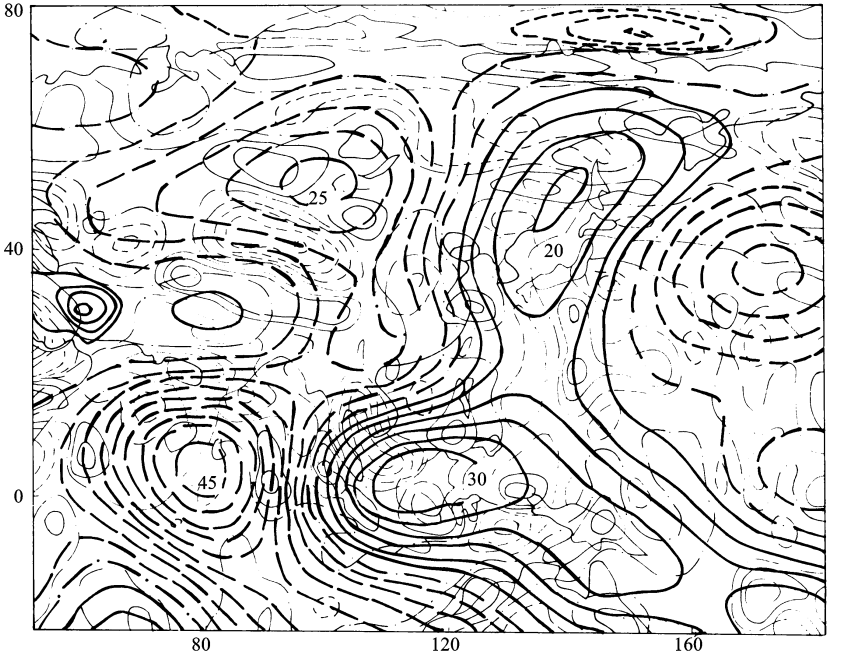


图 10　亚洲东南部地区自由空气重力异常低阶(2 < *n* < 12)(粗线，间距 5mGal)及高阶(13 < *n* < 36)(细线，间距 5mGal)综合图

(据曾维鲁, 1985)

在壳体范围内的较大范围的地幔平向蠕动流，可以导致产生较大规模的构造。例如在中亚壳体中南段，既有塔里木、准噶尔、柴达木，塔什干、乌兹别克等大型地洼盆地系列，其南又有青藏高原及帕米尔的巨型地穹系列(图7)。关于青藏高原隆起的原因，意见不一。依作者的见解，从地幔平向蠕动流的拖曳力方面去寻找原因，似乎比较切合实际。根据人造卫星的资料，在中国西部诸壳体之下，目前的地幔平向蠕动方向为(图9)(刘代志，1989)：塔里木地区为分散流，青藏高原地区为汇聚流。中亚壳体的相应地段受这些地幔蠕动流的拖曳，便使塔里木为拉伸区，地壳被拉断伸展及薄化，并致地面下陷成为大型的地洼盆地系列。而青藏地区则为挤压区，形成褶皱推覆，地壳缩短及厚化，并致地面上隆成为大型的地穹高原(此外还加上该处目前处于地洼区发展的激烈期，大地热流特高，地壳膨胀特甚等因素)。

附带指出：在挤压区由于地壳厚化而形成的山脉，其下常有山根。M面下陷形成幔坳，山愈高根愈深，呈双凸镜状。而拉伸区因地壳薄化而形成盆地，其处M面常上拱，形成幔隆，呈双凹镜状。例如山西地穹系平均海拔高度2 000 m，M面深度40～50 km；而西侧的汾渭地洼系海拔1 000 m，M面深27～38 km(图11)(陈国达，1987)，其下正是地幔蠕动的分散流(图9)(刘代志，1989)。天山地穹列高4 000 m，M而深可达58 km；而里面的吐鲁番地洼系高度为－154 m，M面深度44 km；南侧的塔里木盆地中部仅41～42 km；北侧的准噶尔盆地中部44 km(图7)。这些地壳厚度变化，与其下的地幔蠕动流方式相对应(图9)(刘代志，1989)。日本海东西两侧的日本滨海区及朝鲜半岛，M面深30 km，而海盆最深处则只有20 km (B. Ya. Karp，1991)(图2)。又如欧洲波兰与南斯拉夫间的外Carpathians山脉M面深40～50 km，而苏联与匈牙利间的Pannonian盆地M面深仅23 km；苏联外贝加尔地区M面深40～47 km，而贝加尔湖则M面深仅38～39 km；北美落基山脉M面深40～52 km，而大河裂谷M面深仅33～35 km，非洲肯尼亚的东非高原M面深43 km，而肯尼亚裂谷者仅19 km。这种现状，上文已称之为“倒影关系”。这种地面起伏同M面起伏的反对应关系，适足以证明壳体中挤压厚化地区与拉伸薄化区的形成及其相间或相邻出现的分布特色，乃是由于地幔差异蠕动与壳体体内不同地段差异运动所造成的结果，今后对世界上各个壳体中这种关系的详细研究，是很有理论和实用意义的课题。

6.3.3 *壳体整体运动及有关构造形成*

关于壳体的整体运动，以最易受人们注意的水平运动，以及由此形成的壳体之间的相对移动而论，如前所述，可能与大区域性的、大规模的地幔横向蠕动有关。这种假说，比较容易解释古生代末期冈瓦纳古大陆的分裂解体以及印度和阿拉伯两壳体与亚洲大陆接合(成为南亚及西亚壳体)的现象。前者是由于当时该古陆之下为分散式平向蠕动流，而后者则是由于汇聚式平向蠕动流的作用结果。

对于一个尚为整体的壳体来说，分散式的平向地幔蠕动流可使它的不同地段遭受相背式的拖曳力，在薄弱地带拉断产生深大断裂带式的裂缝，有时表现为裂谷带，它把本属整体的壳体分裂成两个或多个壳体。这些裂生壳体无论后来离散与否，都可能在它们的有关边缘地带看到一些伴随主裂缝出现时期产生的张性(或兼剪性)构造。东非地洼区随着地洼构造活动而出现的大裂谷系，其形成机理及其两侧的伴生张性断裂的发生原因，即其著例。红海地洼区及其两侧的张性断裂带，其成因也可能在此。

被汇聚式平向地幔蠕动流拖曳而相向(或一方向另一方)移动，彼此逐步互相靠拢而终于

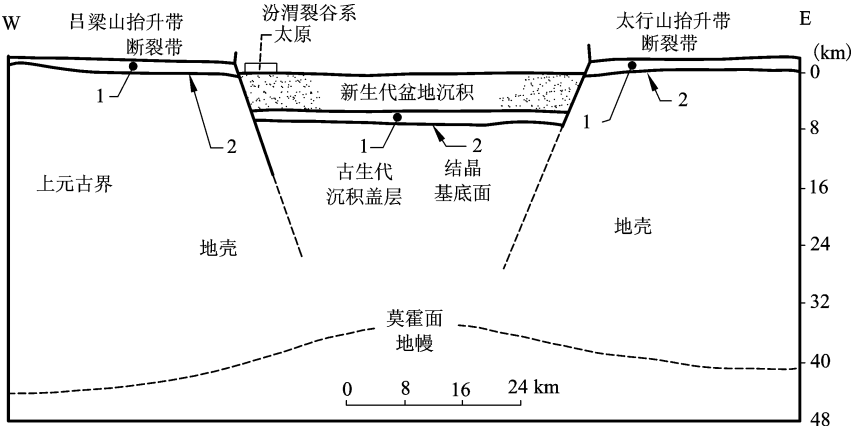


图 11　华北汾渭裂谷型地洼系地壳剖面
示地壳厚度以及地形与 Moho 面的倒影关系(陈国达, 1987)

聚合的两个壳体之间，由于聚合时的碰撞及挤压，常可产生相应的压性(或兼剪性)构造。在一个复式壳体内部两个相邻壳体的分界线两侧，在汇聚式横向蠕动流的拖曳作用下，也可因壳体之间的挤压而发生压(剪)性构造。无论在上述的何种情况，这类构造多只见于壳体的有关边缘地带。如印度壳体向亚洲大陆移动终于接合成为南亚壳体过程中，由于碰撞和挤压的结果，致使印度壳体北缘原属印度地台区一部分的地带发生一系列的推覆构造，累叠成为高峻雄伟的世界屋脊——南喜马拉雅地穹山脉，是其著例(图 8、10)(陈国达, 1985)。

6.4　壳体运动的主动和被动，内因和外因

6.4.1　*壳体的主动运动与被动运动的区别*

壳体的运动，无论整体还是内部运动，都是既可以由于自己发生的运动，也可以是由于受邻侧壳体运动的影响所致。前者叫做主动运动，后者叫做被动运动。有时同一壳体，既有主动也有被动部分，甚至两者共同作用于同一地段。

主动运动是指由于壳体本身的下伏地幔蠕动流的拖曳而发生的运动。被动运动则是指由于邻侧壳体的运动而受到牵连，或者驱使随同或被迫发生的运动。它们与地幔蠕动的关系，前者是直接由地幔蠕动所引起，后者则是由于邻侧壳体下伏的地幔蠕动流通过邻侧壳体的运动而间接起作用。但无论何者，其根本原因都同是在于地幔蠕动。

导致发生被动运动的直接力源，通常主要来自邻侧壳体的水平运动，特别是势能较大的整体运动，其中又以邻侧壳体的碰撞或压挤又或压剪诸力所起的作用为大。

就其运动的范围来说，主动运动既可表现在壳体的整体运动，也可同时或单独表现在体内运动。体内运动既可以发生在全壳体各个地段，也可以发生在壳体中的某些地段，视地幔蠕动流的分异情况及所成动力场的范围大小及位置而定。被动运动一般地说，以发生在受邻侧壳体直接接触的边缘地段为最强烈，远离则减弱。但有时也可波及其他地段。这决定于邻侧壳体运动的强度和规模，以及被动壳体自身对应力的传导条件。

印度壳体朝中亚壳体移近而终于接合成为南亚壳体，是壳体整体主动运动的一例。东亚壳体自新生代以来，由于大区域性地幔蠕动流朝向 E 及 SE，导致大规模的陆缘扩张运动，是壳体大范围自动内部运动的显著实例。同时，由此所成的辽阔的陆缘扩张带朝东面的西太平洋壳体扩展，便形成了东亚壳体通过几个陆缘海型壳体的产生而表现为实际上的自动整体运动。

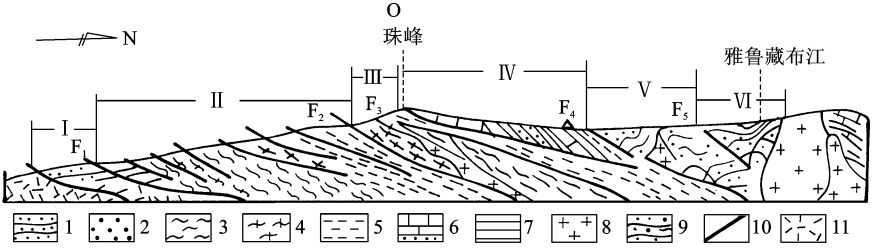


图 12　南喜马拉雅地洼区雅江—喜马拉雅地槽区剖面概略示意图（依周云生等，1981）

1—复理石；2—磨拉石（北段）及类磨拉石（南段）；3—片麻岩；4—混合岩；5—片岩；6—灰岩和砂岩；7—页岩；8—花岗岩；9—蛇绿岩复理石；10—主要冲断层；11—印度台盾基底。主要冲断层有：F_1—主边界断层；F_2—主中央冲断层；F_3—主北冲断层；F_4—藏南隐伏断裂；F_5—雅鲁藏布江南主断裂。构造公区包括：Ⅰ～Ⅳ—南喜马拉雅地洼区（其中：Ⅰ—西瓦利克地洼系；Ⅱ、Ⅲ、Ⅳ—高喜马拉雅地穹系）；Ⅴ、Ⅵ—雅江－喜马拉雅地槽区（其中：Ⅴ—北喜马拉雅渺（冒）地槽褶皱系；Ⅵ—雅鲁藏布江优地槽褶皱带及山间拗陷系）

中亚壳体目前所见的大型压岭张盆构造（包括青藏高原和塔里木盆地以及它们内部的次级盆岭构造），其成因一方面既有主动体内运动，另一方面又可能有由于印度壳体北移碰撞挤压所发生的被动运动。

无论主动运动还是被动运动，其运动所经的历程和古应力场，均可通过有关构造及其组成的高低各级的构造的性质、类型和方位来恢复。对于体内运动来说，体内各个有关地段之间或里面的构造及构造系是恢复这些地段之间当时的相对运动的主要有力依据。对于整体运动来说，其与有关邻侧壳体接触的边缘上的较高级构造系，是恢复有关二壳体之间当时的相对运动的可靠依据之一。

6.4.2　构造形成的内因与外因问题

在壳体内部的构造，特别是远离边缘的构造，一般地说，主要是壳体主动体内运动的产物；就起因上说，它们是由于内因。至于发生在边缘地带的构造，特别是那些与边界线构造具有力学成因而与该壳体其他部位的构造不同格局者，很有可能是由于被动运动所发生；就其起因来说，它们是由外因所成。有时，在边缘地带的构造虽然与边界构造有力学成因上的联系，但与壳体内部其他构造也有力学上的一致性，就需要更深入研究才能区别它们究竟是成于被动还是主动运动，外因还是内因了。

再有，壳体的汇聚接合通常是由于汇聚式的地幔蠕动流，因而它们的运动往往是相对的。因此，由于壳体间的碰撞、挤压（或压剪）而在一方或双方边缘地带产生的构造，其成因究竟是内因还是外因，不易区分，它们既是壳体主动又是被动运动的产物。又即使是发生在明显地属于主动运动一方壳体边缘上的、由于碰撞挤压所成的构造，也不易肯定为纯粹由于主动运动所生成，因为如果没有被动壳体一方的反作用力，这些构造是不能产生的。例如，

在印度壳体北缘，在以印度前寒武纪古地台区为基础发育而成的新生代南喜马拉雅地洼区(图10)，其EW向的弧形构造系，是发生在主动运动的印度壳体一方。从这一点来说，它是壳体整体主动运动的产物。但另一方面，它是由于印度壳体与中亚壳体碰撞及随后继续互相挤压时所产生的。这又可以解释为由于受中亚壳体的阻力而被动产生的。实际上可以说是主动与被动两方的共同作用结果。一些很有意义的资料说明，据刘代志(1989)的计算，介于中亚壳体与印度壳体之间的汇聚式地幔蠕动流，其来自北方的流速大于来自南方的流速(图7)。这现象同喜马拉雅弧形构造系的弧顶指向南偏西的事实结合一起考虑，其形成的主要作用在于中亚壳体是更有可能的。

亚洲东部诸陆缘海型壳体与西太平洋大洋型壳体分界线上的岛弧，其力学性质及成因问题，颇多争论。一种看法认为，它们是洋壳俯冲带上的碰撞挤压构造带。这样就似可理解为主要属于亚洲大陆边缘上的被动运动产物。另一种看法则认为，它们主要是拉张构造带。例如，据H. S. Gnibidenko的推导①，苏联海洋地质与地球物理研究所与日本地质调查所联合实地调查，通过地球物理探测结果，就当时探测手段可及的深度情况来说，被认为最典型俯冲带的千岛海沟，只发现二条逆断层，其余均为正断层，倾向太平洋。日本海沟则全由正断层所成，朝东倾斜。这样，又可以理解为属于东亚陆缘扩张带主动运动在边缘上所成的构造。据现有资料看来，它们东面的断层，大部分为张性，小部分为压性(有人说“上张下压”)，并且弧形构造的弧顶多指向东偏南，是否有可能既是东亚陆缘扩张的主动运动产物，又因受西太平洋壳体的反作用力或主动压力而有被动因素的参与？这是有待于进一步研究的问题。

在同一壳体的演化过程中的不同时期，主动运动和被动运动是可以不同的，它可随着地幔蠕动的方式和流向的变化而更换。例如，在亚洲东部，中生代的地洼区阶段初动－激烈期时所成的北东(含NNE至NEE)构造系，由褶皱、逆掩等压(剪)性构造所组成，反映出当时的壳体内部运动是属于由区域性的汇聚式地幔蠕动流所导致的左旋区域性压剪性主动运动(这一区域性的左旋压剪力可能是由东亚壳体与西太平洋壳体之间的左旋错移运动所生的剪力派生的。因此，这些构造的形成实际上也包括上被动的因素，暂不多论)。到了新生代的地洼区阶段余动期时，由于东亚壳体之下的地幔区域性蠕动流已转变为朝向E及SE扩散，遂致壳体内部运动也相应地转变为拉伸，形成了大范围广布、属于北东(含NNE至NEE)构造系的张(剪)性断层及张性盆地。

6.4.3　主动活化与被动活化问题

A. Л. 谢格洛夫(1968)把活化区分为两类：一为自治活化区，另一为反射活化区。前者是由于自身地壳演化致使地台活化的结果，即内因；后者则是由于地台受到邻侧地槽区强烈地壳运动的影响所致，即外因。随后有些文献中改称为主动活化和被动活化。被动活化大都是见于与邻侧活动区接触的边缘局部地区，远离边缘即逐渐减弱。

当壳体或其中某一部分的演化到达地台区阶段以后，发生了强烈的、造山型的地壳运动，以致转化为活动区，即活化区(陈国达，1956)或地洼区(陈国达，1959)，这一过程无论起因于主动还是被动，都可称为地台活化。主动活化固然是本区地壳演化进程到达地洼区阶段的产物，即使是被动活化，如果是完全性和彻底性的，即活化的强烈程度使各方面的表现

① 1987年9月18日，第一次中苏海洋地质讨论会上的学术报告，苏联纳霍德加市。

(包括构造、岩浆、变质及沉积等)都已具备地洼区特征、并且延续时间之长已足使地台区彻底转化为地洼区者，可视为地壳演化到达地洼阶段的结果。因为这已表明该处的地幔也已同随或邻侧地区的地幔一起处于活跃时期，致使壳体或其有关地段出现相应的强烈活动。也就是具备了内因。但如果这种被动活化只是不完全性和短暂性的，区内的地台区特征仍继续占据优势，或者强烈活动只是插曲性的，即该处地壳演化尚未进入地洼阶段，则这种被动活化是由于外因，在苏联文献中有时所见的“活化地台”，可用以指此种情况(但与 1956 年作者所用的“活化地台”有别，后者相当于作者同年所提出的“活化区”或 1959 年提出的地洼区)。

白云鄂博铁矿区地处华北地洼区的北缘，晚古生代时该处是中国东部壳体的北缘，其时的地壳演化进程处于地台区阶段，而其北邻当时为地槽区，属于北亚壳体的南缘的陆缘海槽。两者之间以当时已经存在的以一条地槽型裂谷带为代表的深大断裂带(位置大约相当于目前的天山南麓至赤峰的东西向深大断裂带)为界。蒙古地槽区发展的激烈期在晚古生代，回返时期一方面形成了海西期地槽构造层，使北亚壳体的硅铝壳向南增生，最后扩展至与中国东部壳体接合(增生式)；另一方面又有些岩浆活动越界侵入中国东部壳体的华北地台区北缘，形成了许多海西期花岗岩侵入体(以致白云鄂博铁矿，有时曾被认为是形成于地槽区的变质矿床，实际上该矿是形成于中元古代长城纪的地台型矿床，于中生代地洼区阶段受到叠加、改造而变为一种多因复成矿床(陈国达，1982)。这是反射(被动)活化的一例。

需要指出：判别一个地台区或其中某一部分发生的活化现象是否系被动的，有必要注意邻侧地槽区(或其他活动区)的激烈期时代与本区地台活化的出现时期是否相对应。东亚壳体中生代时出现的地台活化现象，有时被认为是受东邻的新生代地槽区活动影响所致，并把中国东部的地洼区列入反射(被动)型。是否恰当，似宜从时代先后的角度进一步研究。

6.4.4 *关于外来构造层*

有时，在地台区里面，比较多见的是其与邻侧地槽区(或其他活动区)接境的边缘地带，可以见到地台构造层被一些由地槽型沉积建造组成的地层所覆盖，并因此形成了“构造层叠置异常”的现象。于是容易引起这样的解释：“地台区转化为地槽区。”经过仔细观察，以及地质资料分析，这些具备地槽型沉积建造特点的地层，并非地台区自身的产物，而是从邻侧地槽区进来的。这叫做外来构造层。其进来的方式有二：一是由于该地槽区发展过程中，有时活动范围加大，扩展至地台区内，以致当时所成的地槽沉积物也扩大面积，伸入并覆盖在地台沉积物之上所致。这可称为侵进式外来构造层；由此所成的构造层位异常相应地叫做侵覆式构造层叠置异常，例如在塔里木地洼区。

另一种方式则是由于地槽构造层通过逆冲作用被推进来，推覆在地台构造层之上。可称为推进式外来构造层；由此所成的构造层位异常叫做推覆式构造层叠置异常。

7 壳体演化运动与造山作用

7.1 造山作用发生的历史动力环境条件

造山作用一词，以前常专指见于地槽区的，由于地槽回返时期地槽沉积物被褶皱升起而成为山脉的过程。自地洼区这个新被认识的构造单元划分出来后，造山作用的发生已被证明

为并非限于地槽区，而且可以见于地洼区。其次，造山作用又已被证明为不一定是由褶皱作用所引起的。有些山脉，特别是在地洼区，可以通过断裂作用而造成。此外，在其他一些大地构造环境、以及(或者)通过其他构造作用也可发生造山作用。例如在代表前地槽期的活动区阶段(作者所称的 X－2，X－4 等)的构造层(通过所称的"结晶基底")中所见，其强烈的构造变形、岩浆活动和变质作用等，均显示出其时造山作用强烈(详见上文)。这样的前地槽期构造层，乃是当时的造山带被夷平以后的遗迹。

造山过程除了必然有强烈的构造变形作用如褶皱、断裂(含逆掩、推覆构造)、拱曲等外，还常常伴有高的大地热流值，强烈的岩浆活动(侵入及喷出)及变质作用(包括区域变质、断裂变质、接触变质)。又除了壳体上部的诸种构造作用外，还包括下部的塑性褶皱、逆掩、断裂、韧性剪切，以至莫霍面的起伏和地幔岩层中的深部构造作用等。再有，壳体中除了块体移动外，还有层外的滑动。这些特点，反映出造山作用的发生地区，其壳体运动是特别强烈而复杂的。

就含义的范围说，造山作用不仅指山脉的形成，还包括与山脉密切联系和伴生、在动力上和在构造－地貌上不能孤立的造盆(造谷、包括裂谷)作用。即是说，正负构造－地貌单元的形成都要综合来考虑。在造山作用进行过程中，既有山脉的隆起或相对隆起，也有盆地(谷地)的陷落或相对陷落。这些地壳变形反映在造山时期的壳体强烈运动中，包括有强烈的、反差很大的升降运动在内。这些强烈的垂向运动，既可由壳体的水平运动派生，也可以为垂直运动的直接表现。

一般说来，造山作用主要发生于壳体演化的活动区阶段；不管它的成熟度和生长期如何，均是如此。因为活动区阶段是起于壳体或其中有关地段正处在地幔蠕动的活跃期，地幔流和分异显著，动力场复杂，导致壳体之间或体内相邻地段之间的相对运动(包括水平运动和垂直运动)强烈，出现相应复杂的应力场，造成相应的构造型相及构造系，并因此容易产生起伏大的构造－地貌反差，形成山脉。如婴年期壳体中的大洋活动区型造山作用，以及青年期和中年期大陆壳体中的地槽型和地洼型造山作用，均是其例。稳定区阶段缺乏或很少这种深部作用条件以及相应产生的壳体运动条件，故以大面积的整体升降运动最为明显，表现为造陆[含造海(талассогенез)，E. B. 帕甫洛夫斯基(1956)术语]作用，有如地台区及大洋稳定区中所见。

7.2 造山作用及造山带的历史动力分类

造山作用在大多数情况下形成于壳体之间或体内不同地段之间的碰撞或挤压(含压剪)。前者见于原属有一定距离的两壳体或地段的汇聚接合，后者则见于原属邻接的两壳体或地段的互相挤压(或压剪)。例如，地槽褶皱带山脉的形成，是起因于地槽区发展激烈期内，地槽回返过程中两侧壳体的挤压(或碰撞)作用，致使地槽沉积褶皱、逆掩、断裂等。有关的两侧壳体可为大陆壳型与雏陆壳型或大洋壳型，或者是雏陆壳型与大洋壳型。地洼型断褶带山脉主要成于地洼区阶段初动－激烈期，相邻两壳体或壳体内部两地段之间互相挤压(或碰撞)。有关的壳体一般地为大陆壳型，或者是薄化陆壳型，它们主要见于拱裂型(例如华夏型)地洼区。在块断型(例如中亚型)地洼区中所产生的那些以压性堑垒型盆岭构造－地貌为特征的地洼块断带山脉，也是由挤压型造山作用所成。

与此同时，造山作用也可产生于相邻壳体之间或体内相邻地段之间的裂离拉张。例如，大洋型活动区中所见的中脊、海隆，即是形成于这种造山作用。在块断型地洼区中，除上述的压性块断造山带外，更常见的是以张性堑垒型盆岭构造－地貌为特征的地洼型块断带。它们是由于相邻壳体(大都为大陆壳型，也可为薄化陆壳型)之间或体内相邻地段之间的裂离拉张而引起的造山作用所产生。如东非地洼区中所见的，是其著例；红海乃是由于与这种造山作用密切联系的造盆作用所成。此外，在拱裂型地洼区的余动期，由于这时该处大地热流降低，地壳刚性增强，造山作用也可转变为拉张型。如东亚壳体的新生代许多张性堑垒型盆岭构造－地貌，即系这样形成的(这时该处的区域性地幔蠕流朝向 E 及 SE 并由此导致大范围的陆缘扩张，也是其形成的另一因素)。

依东亚及中亚两壳体所见，地洼区中有不少地段由于地幔蠕动的分异明显，引起该处的壳体在区域性的挤压或拉张应力场中，还可出现局部性的拉张区或挤压区，即压中有张或张中有压。这样的复杂应力场产生了压张相间排列的构造格局。其中挤压区往往是地穹山脉，而拉张区则为地洼盆地，遂形成了以张盆压岭为特色的盆岭造山带。谭克仁等(1991)在阿尔泰地洼区所见，即其一例。产生这样造山带的造山作用，可称为张压型造山作用。

综上所述，根据壳体演化－运动与造山带的作用的关系，可以提出造山作用及造山带的历史动力综合分类初步方案。

7.2.1 造山作用综合分类

(1)大洋壳活动区型造山作用(带) 现知以拉张型为主，如中脊及裂谷带。

(2)雏陆壳活动区型造山作用(带) 现知以挤压型(或碰撞型)为主，如地槽褶皱带型造山作用(带)。

(3)大陆壳活动区型造山作用(带) 现知均是地洼型，可分为三种式类(如下所述)。

7.2.2 造山带的综合分类

现知的造山带均是地洼型，可分为下列三种式类。

(1)挤压式(含碰撞式) 包括二亚式。

①压性断褶带盆岭式 主要见于拱裂型(特别是华夏型)地洼区。

②压性块断带盆岭式 主要见于块断型(例如中亚型)地洼区。

(2)拉张式 现知有张性块断带盆岭式。已见于：

①东非型地洼区；

②拱裂型(例如华夏型)地洼区的余动期

(3)压张式 以张盆－压岭为特征。已见于：

①华夏型地洼区的余动期，如东亚壳体的陆缘扩张带中。

②中亚型地洼区。

造山作用及造山带的划分，历史分析法主要从历史发展特点(发育基础及产生时的大地构造体制)来进行，而动力分析法则主要以动力环境及力学成因为根据。按照历史－动力综合分析法的要求，从壳体的演化运动综合的角度，同时兼顾，全面考虑两方面的特点，进行综合性分类，就有可能起到更大的理论意义和实际作用。例如，天山山脉，从历史分析角度划分它是地洼型造山带。由于这种造山带是非地槽型的，是继该处地槽型造山带衰亡之后的第二次造山作用(deuteroorgenesis)(Moisenko，1988)造成的，故又称第二次造山带(简称二

次造山带)。从动力分析的角度划分，则是挤压型(有人称碰撞型，待证)造山带。而运用历史－动力综合分析法来划分，它可称为挤压(或碰撞)式地洼型(或二次)造山带，也可反过来，叫做地洼型挤压(或碰撞)造山带。这样的综合分类，在理论意义上说，可使人们易于认识天山是在地洼构造体制下由于挤压(或碰撞)造山作用所成的造山带，而不是过去所认为的地槽型造山带。因为该处古生代时的海西期地槽褶皱带山脉(第一代天山)在中生代中期以前已经因被侵蚀削低而衰亡，变成准平原而转化为地台区。因当时该处是一个台盾(名中亚古台盾)，即地台区的二级正单位，故缺乏地台构造层的形成[有些学者叫它做“地槽褶皱完成区”。另有些学者认为这是缺失(超越)地台区阶级，实际上不一定如此，见上文]。目前天山顶上所见几级辽阔的夷平面，即为代表该古台盾平坦地貌特征的古准平原，于后来被地洼区阶段的块断型差异升降运动破坏后的残留部分。今天所见的天山山脉，已是该处古地台区于白垩纪末转化为地洼区后重新升起而成的第二代天山。

在实用意义上说，这一综合分类名称可使人们易于认识该处蕴藏的矿产至少包括两代活动区矿种组合及重点矿床的叠加，形成“多代同堂”现象，即既有地洼区本身的矿产，又有继承自以前的地槽区的矿产，分别受相应的两个发展阶段中所成的构造型相(地洼型以及先成的地槽型)和构造系的控制，从而更有利于分别研究其成矿规律及所成的矿产的分布特点，从而有可能全面地研究并分别确定找矿方向。附带指出：“多代同堂”的矿产还可包括介于地槽、地洼两个活动区阶段之间的稳定区(地台区)的矿产，以及前地槽区阶段的其他构造单元的矿产(此处从略)。

7.3　地洼型造山作用与地槽型造山作用的区别

根据上列的造山带的分类，可以看出，从历史－动力综合分析的角度看来，在不同大地构造体制所成的造山带，虽然同是活动带，并且同是与地幔蠕动活跃期相对应的壳体运动强烈时期的动力学环境中的产物，但实际上无论在历史特点上还是在力学成因上，都仍有明显的差别，不宜简单化统称造山带或活动带。例如，以目前研究较详的地槽型同地洼型两种造山带而论，仅就其涉及的上地壳构造层来说，地槽型造山带只有地槽构造层，而地洼型造山带则有地槽、地台(有时可以缺失)及地洼构造层。就力学成因上说，地槽型造山带一般地属于挤压型，而地洼型造山带则既可以是挤压型，也可以是拉张型或压张型，视所在壳体中当时的古应力场的具体变化而定。

7.4　地洼型造山运动序列的建立

以往建立的造山运动期(旋回)名称，都是来自某一标准地区的地槽回返的地质时代。例如，吕梁运动期、晋宁运动期、加里东运动期、海西运动期等，都是起名自相应地质时代形成的地槽型造山带。从上面所述的造山带分类看来，仅就大陆型壳体中目前所见的而论，现存的造山带实际上不只有地槽型，而且有地洼型。这两型造山带虽然都是壳体水平运动强烈时期的活动区环境中的产物，但它们的大地构造体制并不相同。

1972 年，翁文灏提出“燕山运动”一名。它在地质学史上的贡献不只在于阐明了广泛发育于东亚壳体及其他有关地区中生代的一次重要造山作用。更大的意义还在于它揭示出造山作用的一种新类型(陈国达，1990)。根据作者的实地观察，“燕山运动”的标准地，其现在的

山脉形成时的造山作用并非发生在地槽区，而是在地洼区。又如“喜马拉雅运动”的标准地，其山脉以前一直被认为是地槽褶皱带。根据大量的资料证明，它实际上是由印度古地台区北缘于新生代活化转变为地洼区后所成的地洼断褶带(陈国达，1985)。在造山带的历史－动力分类上它属于碰撞式地洼型造山带，是由于印度壳体与中亚壳体于中生代汇聚接合后继续挤压所生成的。还有在其他地质时代的造山运动，也有一些是属于地洼型的。例如，欧洲的顿涅茨(Donetzian)运动(D—C)，其标准地为顿涅茨地洼区。北美洲的维几大(Wichita)运动(密西西比亚世)及阿尔卜刻勒(Arbuckle)运动(宾夕法尼亚世)，其标准地为维几大地洼区(陈国达，1960)。此外，更老的地洼型造山运动，尚见发生于澳大利亚的中部的元古代(姚振凯，1988)。据报道，此外，前寒武纪的地洼型造山运动见于北欧、加拿大等地，有待详究。

不同大地构造体制的造山作用，虽然其动力机制有时可以相同或相似。但由于历史背景不同、发生所在的或涉及的构造层数目和性质不同、成矿的物理化学条件不同，所成的构造型相有异，因而蕴藏的矿产特点(包括主要矿种组合及主要矿床类型)、成矿条件和控矿条件都有明显的区别。所以，地洼型造山带与地槽型造山带的区分的必要性和重要性，目前已为不少学者所了解。

由此可见，无论从理论意义还是从找矿意义来说，除已经研究较详的地槽型造山运动序列外，还有建立地洼型造山运动序列的必要。现已认识的地洼型造山运动及其时代；有如表2所示；进一步充实，是今后很有意义的工作。

表2　地洼型造山运动及其时代

地洼型造山运动(旋回)名称	发生地质时代	其他地区已知大致相当的造山运动(旋回)
喜马拉雅运动	新生代	日本的岛弧运动
印支运动及燕山运动	中生代	日本的广岛运动及格林塔夫运动；美国的拉拉米旋回
顿涅茨运动	晚古生代	美国的维几大运动及阿尔卜刻勒运动
？	早古生代	
名未定	新元古代	澳洲北部
名未定	中元古代	澳洲南部
名未定	古元古代	加拿大

7.5　壳体演化－运动与造山带的结构、形态及分布规律

造山带是一种活动带。通常是壳体或其中某些地段，其演化正值活动区阶段的产物。这时由于地幔蠕动活跃，分异显著，致使被拖曳的诸壳体或壳体内部诸地段之间发生了相应的应力场，在不同部位发生强烈的压、张、剪等应力或其复合应力，导致产生了强烈的属于造山型的地壳运动，因而形成造山带。因此，从历史－因果论大地构造学看来，造山带不仅可以发生于壳体分界线上或其边缘地带，而且也可以形成于壳体内部的任何地区，只要其处当时是处于壳体演化－运动正值活动区阶段，就有产生造山作用条件，形成相应时代的造山

带。只是由于相邻壳体之间的分界线两侧相对运动强度一般说来较高，所成造山带的规模一般地也较大，易受人们注意罢了。无论从理论意义还是找矿意义来看，壳体内部的造山带是不容易忽视的①。

论其所属的大地构造体制，较新时代形成的地槽型造山带一般地多见于大陆型壳体与大洋型壳体或与雏陆壳型壳体的分界线上或边缘地带，并且走向大体上与后者一致；形成时代较新的地洼型造山带，以及由地洼型造山带继承作为发育基础的古地槽造山带(或其残迹)，则大多数既见于相邻大陆型壳体之间也见于其内部。如广布于亚洲、南北美洲、非洲、南极洲诸壳体的燕山(华夏)期地洼区中的中生代地洼型造山带，见于中亚、南亚等壳体的喜马拉雅(中亚)期地洼区中的新生代地洼型造山带，以及见于欧洲、北美洲的顿涅茨期地洼区中的晚古生代地洼型造山带，均是其例。

不同大地构造类型的造山带在结构及展布形态上常有区别。例如地槽型造山带多呈长带状，并由长线状褶皱的地槽构造层(及其继承的前地槽期构造层)所构成。地洼型造山带则大多数呈短带状，且多成群分布，并由多属短线状褶皱及块状断裂的地洼型构造层及(或)其继承的地槽区及前地槽区诸构造层所构成。它们大多数呈盆岭式的构造－地貌格局，如中国东部、美国西部地洼区中所见的，是其著例。

运用历史－动力综合分析法对诸种不同大地构造性质和类型的造山带的分布规律作进一步详细研究，是有利于阐明矿产时空分布规律及找矿预测的今后研究课题。

8　壳体演化及运动与成矿

研究壳体演化及运动，对于成矿规律及找矿预测的探索具有重大的实际意义。这可从下列几个方面来分析：

8.1　壳体演化及运动与矿床形成

如前指出(陈国达，1977，1978，1985，1986)，不同大地构造体制的地壳演化阶段具有不同的成矿专属性，与此同时，按照构造地球化学(陈国达，1984，1988)所阐明的关于构造成岩和构造成矿(陈国达，1978)的原理，在不同的应力环境所形成的岩石及矿床其化学元素富集特点也可不相同。这些现象形成的原因，可以推测是这样：成矿作用的时空规律是受壳体的演化和运动的动定转化递进律制约的。而壳体的演化和运动的根本原因及其力源机制是在于地幔蠕动热能聚散交替，有如上述。因此，壳体演化与运动及其成矿作用的递进律，两者皆是起源于地幔蠕动与热能聚散交替的控制下，壳体之间及壳体内部不同地段之间的相对运动的方式及强度也随着发生变化，便导致相应壳体部位的力学环境发生变化，以及由此产生了相应的构造型相及构造系。它们直接间接控制或影响成矿元素的富集特点及所成矿产的分布规律。

一般说来，当一个壳体或其中某些地段，其下的地幔蠕动正值活跃时期，即表现为活动区，并因此产生相应的活动区型成矿作用及形成相应的活动区型矿种组合及矿床主要类型。

① 太古代、元古代在1990年以后改为太古宙、元古宙；而太古界、元古界则改为太古宇、元古宇，后同(编者注)

反之，当其下的地幔蠕动转入相对宁静时期，则转变为稳定区，并因此产生相应的稳定区型成矿作用及形成相应的稳定区型矿种组合及矿床主要类型。再有，在活动区及稳定区中，由于它们在壳体演化过程中的出现顺序、发育基础及产生环境条件的不同，各可分为不同的类型，如活动区中可分为地槽区、地洼区及一些前地槽型活动区，稳定区中分为地台区及一些前地槽型稳定区。由于这些不同活动区和稳定区在岩浆、变质和沉积建造及构造型相等方面各有特色，遂形成了各种成矿作用，并产生了相应的矿产，从而出现了大地构造单元的成矿专属性。

与此同时，在壳体演化运动成矿的动定转化递进过程中，较后演化阶段的构造单元可以继承较先阶段所成的矿床，从而形成了成矿的递进性。因此，一个壳体里面或其中某个地段蕴藏的矿产其复杂程度如何，有何种大地构造类型的矿种组合和何种重点矿床类型等，首先决定于该壳体或该地段目前已达到的成熟度、演化阶段及成长期，以及当时的壳体运动（包括整体及体内运动）特点。例如，目前尚处于婴年期的壳体，由于尚在未成熟的低级阶段，里面只存在着洋壳活动区型和洋壳稳定区型的矿产，其矿种及矿床类型比较简单，主要与硅镁壳及地幔岩两种构造层有关。在大洋活动带常见的有由于洋壳型裂谷的拉张运动所导致发生的、形成不久及目前尚在继续产生的、与海底溢流基性岩浆有关的矿床，如 Cu、Fe、Zn 等硫化物矿床。

当一个壳体或其中某些地段演化进入幼年期，便从未成熟的阶段转变为半成熟阶段，在性质上由洋壳转变为雏陆壳。但因其时该处硅铝层刚刚诞生，只有最早的一些硅铝－硅镁质（过渡型）构造层形成于较小的范围，构成陆核，厚度不太大；同时硅镁质构造层及地幔岩构造层也较薄，故总厚度尚小，易受变动破裂。特别是在活动区阶段，包括萌陆壳活动区（X－4）及原陆壳活动区（X－2 即地盆区），由于地幔蠕动活跃，在较大的平向蠕动流的拖曳下，在拉张区裂谷作用盛行，导致幔源岩浆喷出活动强烈，便产生了一些与之有关的重要的矿床，特别是以形成陆壳中最早的金元素富集层为最著名。如在一些大陆型壳体的陆核中所见的，形成于它的诞生初期（最老已知年龄为 3.8 Ga），赋存在由太古宇及元古宇结晶基底组成的前地槽期构造层中的、与变质的科马提岩系列镁铁质－超镁铁质火山岩有关的绿岩带型及高级变质区型金矿床（陈惠芳等，1991），是其著例。此外还有条带状硅镁质结晶片岩中的铁矿（例如加拿大的上湖式铁矿，中国的鞍山式铁矿等），也属此期产物。华北中条山区，其涑水群石英岩中的条带状磁铁矿层，依张大中等（1991）测定，年龄为 2.6～2.7Ga。

少年期是一个壳体演化的半成熟阶段晚期，所出现的大地构造体制为地槽区阶段的前半期。这时也正值地幔蠕动活跃期，无论是在前地槽期构造层之上发育的还是由于缺失前地槽期构造层而直接发育于硅镁层之上的地槽，均是起因于地幔平向蠕动流的拖曳，由拉张区的裂谷作用所产生的。伴随一般地以铁质基性、超基性岩浆为特色的海底喷发，便形成了一些有关的矿床，如白银厂式细碧角斑岩型铜矿，镜铁山式铁矿等，是其例子（陈国达，1977，1978），马里亚纳海槽的成矿作用，可以作为现代地槽区发展前期成矿作用的一种类型。该处海底热液烟囱体基本上存在着两种成因类型；一为高温型的“黑烟囱”，形成以黄铁矿、白铁矿为代表的海底块状硫化物。另一为中低温型的“白烟囱”，形成以非晶质蛋白石为主要矿物成分的硅酸盐，以及以重晶石为代表的硫酸盐（吴世迎等，1991）。

当地槽区阶段发展到后期，是壳体演化到达青年期的开始。这时由于壳体内部或壳体之

间的挤压缩短，地槽封闭，出现造山作用，地槽沉积被褶皱隆起，成为褶皱带山脉。在造山作用进行过程中，常有花岗岩及其他有关岩类(大都以低硅高铁镁为特色)侵入体形成，并带来了许多有关矿产。因此，在褶皱带山脉中，既存在有地槽区发展前期与海底喷发有关的矿产，又蕴藏有与后期岩浆侵入有关的矿产。在这些地带，常见的矿种以铂、铬、镍、钴、钛、钒、铁、镁、锰、磷等为主，其他如金、锑、钨、锡、铅、锌等也很主要。在山间拗陷及山前拗陷中，则形成了以磨拉石建造为特色的地槽构造层上亚层，其中可蕴藏有煤、油气及其他沉积矿床。

地台区阶段是壳体或者其中某些地段演化转入相对宁静的阶段，属于它演化的青年期后期。其时地幔蠕动处于相对宁静时期，平向蠕动不明显，故壳体内部地质及地球物理分异不大，而以整体垂向运动为主。只有在个别地段出现拉张区，形成断拉谷(aulacogen)。这种构造属地台型裂谷盆地，多发生于地台区建立的早期(初动期)，反映地槽区阶段强烈地壳运动的残余影响，在断拉谷中，可有岩浆喷出或侵入；多属中基性。及至地台区阶段晚期(余定期)，在局部地区还可以出现张性断裂，导致基性岩浆喷出或侵入。中国南部云、贵、川的二叠纪峨眉山玄武岩及其带来的铜矿，以及攀枝花式钛铁矿，即属于此演化阶段形成的矿产。由于地台区阶段内，整体及体内运动均常以整体或大面积垂向运动为主，陆壳大面积的升降运动通常形成了宽广的陆相盆地或海盆，遂产生了丰富的、以面状分布为特色的外生矿床，包括煤、油气、铁、铝、盐类等，以及铁、锰、磷、铅、铜、铀等沉积矿床。

一个壳体或其中的某些地段演化到达中期的标志是地洼区阶段的出现。这又是一个活动区型成矿阶段，并且是特别重要的成矿阶段。这时，地幔蠕动活跃，地热增高，岩浆活动及变质作用强烈。由于地幔平向蠕动流分异很强，分散流与汇聚流相间密集；同时还兼有地幔垂向运动，幔隆及幔坳时见。因此，在区域性的地壳膨胀及拱曲作用所引起的挤压与拉张交织的区域性应力场中。壳体内部挤压区与拉张区以及隆起区与相对陷落区也相应地广布。由于地质及地球物理分异明显，构造－地貌反差大，形成了地穹山脉与地洼盆地相间，线性构造与环形构造交织，地球化学分异也显著的特点。地穹(或地穹列、地穹系)为寻找各种内生矿床的主要对象，有色金属、贵金属、稀散金属、放射性元素等矿床丰富多彩；地洼(或地洼列、地洼系)则为油气、煤、油页岩、盐类，以及其他各种外生矿床的所在。由于地洼区是以地台区及(或)地槽区为发育基础的，在壳体中位于硅铝质构造层较多、较厚的地段。当活跃的地幔蠕动流带来热能积累增高时，特别是在其发展的激烈期，壳体下部(内地壳)的地幔岩层，因增温而受热侵蚀作用强烈、厚度减小时，其下软流层顶面上升，朝外地壳接近，热增积更快。当热传导使硅铝层热流增高而发生重熔时，岩浆(特别是重熔型花岗岩浆)活动广泛出现。其化学成分是铝高铁镁低。上述的以有色金属为主的大量矿产即是形成于此时。及至余动期，随着地热转弱，地壳刚性复强，块状断裂发育。由于已被热侵蚀或拉张减薄了的地壳易被穿过；尤其是裂谷带，深断裂十分发育，故基性岩浆广泛喷出，并形成了地洼型岩浆活动先酸、中性后基性的顺序。基性岩的产生，便带来了与之有关的矿床。在地洼区，特别有利的成矿构造部位是穹－洼过渡地带，其处大多数既是挤压－隆起(山脉)区与拉张－陷落(盆地)区的交接带，往往有断裂密集，其下又可以是地幔蠕动分散流与汇聚流转换带，以及幔隆与幔坳过渡带(与莫霍面的急剧过渡带相对应)；又因该处断裂带大都下端深达地幔，常可为寻找与地幔或幔－壳成矿作用有关的大型至特大型矿床的优先靶区。例如东亚壳体华南

地区著名的锡矿山锑矿及柿竹园锡多金属矿，就是形成于具有这样特征的构造部位（图 3b）（陈国达、尹汉辉；1991，易建斌，1991）。

8.2 壳体演化－运动成矿的地幔作用

由于壳体演化及运动的力源是在于地幔蠕动。因此，伴随壳体的演化－运动而产生的矿床，都在不同程度上直接、间接与地幔成矿作用有关。这在壳体演化处于与地幔蠕动活跃期相对应的活动区阶段最为明显。地幔成矿作用表现在下列五个方面。

8.2.1 地幔提供物质成矿

这是地幔蠕动成矿作用所通过的直接途径。在地幔蠕动活跃时期，地幔物质沿着活动的深大断裂或裂谷上侵，在适宜的构造部位形成矿床。这类矿床在物质来源和富集作用的动力上，都是直接与地幔流体或幔源岩浆有关，可归入“地幔矿床”，它们大多数产于活动区。例如广见于世界各个古老大陆型壳体的前地槽阶段活动区（如 X－4、X－2）构造层中与科马提岩系列超镁铁火山岩有关的老、新绿岩带型金矿床，是其著例。与金伯利岩有关的金刚石矿床，在地演化史中有两个产出高峰时代，均在活动区阶段；一为元古宙地槽区阶段，一为中生代地洼区阶段，并以后者特别多见。如山东、辽宁等处的金刚石矿属之；湖南西部的金刚石，至少有一部分最近已发现来自中、新生代煌斑岩。

8.2.2 提供地幔物质与地壳物质混熔成矿

这是一方面由于幔源物质上侵，另一方面又由于地热增高导致硅铝壳重熔及花岗岩化，两者混熔一起，致令从地壳的先成矿床或矿源层（岩）中析出并富集的成矿物质与幔源成矿物质混合，形成矿床。这叫幔－壳成矿作用。如湖南锡矿山锑矿、柿竹园钨多金属矿，以及滇西金顶铅锌矿，均有幔源物质的参与，可称幔－壳矿床。又如，在长江中下游一带地洼型铜矿床，其硫同位素组成特征所示，$\delta^{34}S‰$分布范围为 $-4 \sim +6$，在矽卡岩铜矿为 $-8 \sim +8$（陈杨民，1979）。可见其硫源主要来自地壳下部及上地幔。

8.2.3 提供幔源热能导致硅铝层重熔成矿

这主要是通过花岗岩化、混合岩化作用，使硅铝层里面的矿源层中的成矿物质析出来，富集成矿；有时也提供小部分幔源物质参与。这叫壳－幔成矿作用。所成矿床可称壳－幔矿床。这类矿床以在壳体演化过程中出现在序次较后的地洼区中，尤显重要。依刘家远（1990）的研究，中国南部南岭地区，其壳型花岗岩可分为三期，即晋宁期、加里东期及印支－燕山期。它们都形成了相应时期的金属成矿作用。在壳体演化顺序上，前者相当于该地区的地槽区阶段，后者相当于地洼区阶段。其中，主要成矿期是在燕山期，以大规模工业成矿为标志。而这一成矿期恰恰是地洼区阶段的激烈期。很明显，这是由于多次地幔蠕动活跃期中的地壳多次重熔及其所产生的多次成矿作用的叠加，导致成矿物质多次富集的结果；同时也是在地幔成矿作用的参与下的递进成矿的一种表现形式。例如广东河台金矿，其成因即系与混合岩化有关，为地洼型变质作用（断裂变质）混合岩化的产物（尹意求，1990）。

8.2.4 引起构造成矿

这是通过由地幔蠕动致使壳体运动，包括整体运动及（或）体内运动，产生相应的各种构造。然后通过“构造成矿”作用（陈国达，1978），促使矿源层中的成矿元素活化、迁移并富集，从而形成矿床。构造成矿作用特别多见的为断裂构造成矿作用，包括各种断裂变质作

用，其中包括混合岩化成矿作用，多见于地洼区。

8.2.5　提供成矿空间条件

通过由于壳体运动所产生的各种及各级构造的形成及其活动，为上述各种成矿作用所需成矿物质提供运移通道及沉积的有利空间。

上述关于壳体演化－运动成矿过程中由地幔所起的作用，以在活动区(无论地槽区、地洼区抑或前地槽区阶段的各个活动区)发展时期为最明显。因为这时地幔蠕动活跃，一方面促使壳体运动强烈，易产生深大断裂和裂谷并引出地幔物质，又可产生许多导矿、容矿构造以提供成矿空间。另一方面还可使壳体热流增高重熔，岩浆活动广泛，形成大量有关的矿床，包括壳源，壳－幔及幔－壳物质的矿床。另一方面的作用，以在地洼区发展时期特别重要，因为这种构造单元具有最多的继承构造层，有条件提供最多的成矿物质，通过重熔富集形成丰富多彩的矿床。

直接与幔－壳成矿作用有关的矿床，主要分布于壳体之间的接合线和分裂线型的深大断裂带及其邻侧地带。壳体内部不同块体之间的深断裂带也可是远景所在。

8.3　壳体演化及运动与多因复成矿床

多因复成矿床(陈国达，1979，1982)的主要特点为“五多”，即多大地构造阶段、多成矿作用、多物质来源、多成因类型及多控矿因素。它们的形成过程比较复杂，在一般情况下，都具有一个或多个有利的先成物质基础，例如先成的矿源层或矿源岩，或先成的矿床。其后，在此基础上，通过当时(有时不止一次)的成矿作用，使先成矿源层(岩)中的成矿物质活化析出并富集，或使先成矿床受到改造及(或)叠加而富化，从而形成了达到工业品位或比前品位更高、规模更大的矿床。它们有时可以成为复杂的矿床，也可以成为大型至超大型矿床。世界上不少已知的超大型矿床，就是属于多因复成矿床。

从形成条件来分析，这类矿床，特别是其中的大型至超大型矿床，往往具有下列三个阶段的成矿条件：①先天条件、即成矿的大地构造背景和发育基础；②临产条件，即主要成矿时期的大地构造环境、物理化学条件、古构造－地貌条件等；③后天条件，即后期的大地构造环境的特点和变化，以及由此所出现的再造或(及)改造作用。上述三个方面的条件，不一定在任何一个多因复成矿床的形成过程中都是同样重要的，也不是都能截然分开的。例如，在有些矿床，其后期改造的重要富集或(及)富化的重要性，并不亚于主要成矿期的成矿作用。这样，后天条件与壳体演化就可以说是合而为一。

根据上述的形成条件，多因复成矿床与壳体演化及运动的关系，可以归纳为下列几点。

①其有利的先天条件可由壳体的任何一个成长期中、任何一个发展阶段的任何相应大地构造体制所提供。即它们中无论哪一个或几个有利的先成构造层及(或)其中所含的矿源层(岩)或先成矿床，都可以作为多因复成矿床的发育基础或提供成矿物质来源。这些矿源层(岩)或先成矿床可以是幔源、幔－壳、壳－幔或壳源物质的岩浆、变质或沉积建造，或者与它们有关的矿床，视该多因复成矿床形成以前的壳体演化运动历程的具体情况和特点而定。

②有利的临产条件对于以内生作用为主要成矿条件的多因复成矿床来说，在大多数情况下，以活动区阶段的相应大地构造体制为最好。因为这时由于地幔蠕动活跃，壳体运动强烈，大地热流增高，构造－岩浆－变质作用盛行，因而最能产生所需的有利成矿条件。许多

主要成矿作用主要与地热、岩浆活动、变质作用或构造作用有关的多因复成矿床，都形成于活动区。例如辽宁弓长岭式铁矿，就是以前地槽区构造层太古宇鞍山群中的沉积变质铁矿为基础，后经热液改造和叠加，因而富化所成。云南的大洪山式铁矿，则是由地槽型火山沉积变质矿床，通过后来的热液成矿作用叠加所成的多因复成矿床。

对于以外生作用为主要成矿条件的多因复成矿床来说，则大多数以稳定区阶段的相应大地构造体制为最有利。因为如前所指出，这时由于地幔蠕动处于相对宁静时期，分异不显，壳体运动以大面积的升降为主之故，特别适宜于形成以大面积分布、厚度及品位稳定性好的沉积矿床。但与此同时，活动区阶段的相应大地构造体制下，也可形成这类多因复成矿床。例如，苏联外贝加尔巴列依(Валей)的砾岩型金矿床，是产于一地洼列中，主要由地洼盆地沉积作用富集了前地槽区、地槽区及地洼区早期各期矿源层(岩)的含矿风化产物(其中包括地洼花岗斑岩金矿砾块)所成(此外还有火山作用)，储量达 600 t。我国黑龙江省侏罗纪地洼沉积中，已发现类似矿床，颇有远景，内蒙古也值得注意，该处可能有来自苏联矿带的延伸。

③无论对于何种形成过程的多因复矿床来说，其后天条件一般地是以壳体演化的活动区阶段中的相应的大地构造体制最能提供有利条件。因为这时由于地幔蠕动处于活跃期、壳体运动分异明显，热流增高，构造－岩浆－变质作用强烈，成为对先成矿源层(岩)的再造富集，以及对先成矿床的改造富化或(及)叠加富化的活跃因素。如大冶式的多因复成铁矿床，就是以地台构造层下三叠统大冶组灰岩中的菱铁矿为基础，后经地洼区阶段的热液交代改造成为磁铁矿(储量达 1.5 亿 t)。目前尚有一部分(1 000 万 t)改造后残留下来的菱铁矿，其中有受过轻微交代熔融痕迹，可作证明。又如，在东南地区以上古生界各个地层为含矿层的铀矿，主要属于是以该处地台区阶段所成的沉积建造为矿源层，后经地洼区阶段的地下热水的再造富集而形成的多因复成矿床。

按照上文诸方面的分析，可以总结，壳体演化及运动的多因复成矿床成矿条件主要是这样：前地槽诸种构造区、地槽区、地台区，以及地洼区的初动期，都可以为这类矿床的形成提供有利的先天条件和临产条件。地槽区及地洼区(特别是它的激烈期)，既可提供先天及临产条件，又可为以前地槽区或前地洼区阶段的矿源层(岩)及先成矿床为基础的多因复成矿床提供有利的后天条件，即把它们的基础再造或改造。特别是地洼区，由于它既是活动区，又是壳体演化史中出现最晚的大地构造单元，可以经过它的再造、改造或(及)叠加成矿作用而变成多因复成矿床的基础矿源层(岩)，且先成矿床最多，因此，在它里面蕴藏的多因复成矿床无论在数量上还是在矿种式类上，都是最为丰富，成为寻找此类大型至超大型矿床的最有远景的大地构造区。

8.4 壳体演化及运动与矿产分布规律的关系

随着壳体演化运动在各种大地构造体制、环境、条件下所成的各种类型的矿床，其分布规律决定于两个方面的因素。一个是代表壳体演化运动进程所成的、与矿床形成及改造有关的构造层的分布特点；另一个是随着壳体演化运动进程所成的、与矿床的形成和改造有关的构造系(包括壳体内部的各种构造成分及壳体分界线上的深大断裂带)的形式和方位。这两方面的因素均有必要统一研究，才能更较有效地阐明成矿规律和找矿预测。

一般说来，无论内生还是外生矿床，或者无论以内生或外生为主要因素的多因复成矿

床，大都是蕴藏在与成矿有主要关系的构造层的出露或隐伏的分布地带，受同期及(或)先成的沉积、岩浆及(或)变质成矿作用和构造系的控制或影响，并可受后成的诸种成矿作用和构造系的叠加、改造或再造。这是从历史－因果论角度看来的一般情况。至于具体的特点，还要根据具体情况进行分析。这是研究任何地区的成矿规律时所需要的。

可举这样的一个例子来说明：沿着贝加尔湖南端向南延伸，以蒙古中部至中国的银川及昆明，这条南北向的重要成矿构造带内，有许多著名的矿床，包括蒙古的鄂尔登纳德的大型斑岩铜矿和中国个旧的大型锡矿床，是位于东亚与中亚两个壳体的分界线上，既受地洼型构造层及先成的诸构造层的有关岩浆建造及其他建造的控制或影响，又受主要活动成矿期在地洼区阶段的、以蒙古—昆明深大断裂为主体的 *SN* 构造系的控制和改造。

8.5　壳体演化－运动与“过渡际成矿”

1987 年，陈勤五在研究地洼区成矿特点时曾经阐明：在中国南部中新生代地洼区阶段一些内生矿床，如铀、锡、钨、铜、铅、锌、锑、汞等矿床，在地壳动定转化过程中，其最主要的成矿时期，以铀矿为例，是在地洼构造由激烈期向余动期过渡的转变时期，也就是由挤压构造作用转向拉张构造作用的过渡时期；另一方面，在大地构造分区上说，这些矿床在地洼区内定位的最重要部位，是在于正单位(即地穹、地穹列和地穹系等)同负单位(即地洼、地洼列及地洼系等)的过渡衔接地带，即是受这些地带通常存在的大断裂带的控制。

陈氏这些见解，很有理论意义和实用意义。看来，壳体的不同演化阶段(包括大阶段中的各个次级阶段)转变的过渡时期，正是新旧不同大地构造成矿因素互相交织、作用加强之际，故能有较多较大的矿床产出，成为在时间上的重要成矿期。另一方面，介于正、负构造单位或不同壳体或地段之间的边际过渡地带，往往是岩石圈块体相对运动(包括平向及垂向运动)特别强烈，应力场复杂，各种应力(包括压、张、剪及其各种复合应力)互相交错的地带。并且，这些差异运动及断裂又常可深达地幔。例如上文已经提及，在华南湘中的柿竹园钨矿和锡矿山锑矿这两个超大型矿床，依次位于浙粤地穹系及雪峰地穹系分别同赣桂地洼系的分界处的断裂带内，其下均是幔坳与幔隆的过渡地带，即莫霍面急剧变化的梯度带上(湘中为幔隆，东西两侧为幔坳)。因此，从活跃的地幔蠕动流提供的成矿物质，以及地热和动力作用，通常主要集中于这些地带，成为在空间上的重要成矿带。

上述的过渡期成矿及过渡带成矿(合称“过渡际成矿”)的重要性，是大地构造成矿控矿的一种方式，可为探索成矿作用时空规律的线索之一。这个概念能否适用于壳体演化运动过程中地洼区阶段以外的其他大地构造发展阶段，以及是否也适用于其他地区及其他矿种，值得多加研究。

参 考 文 献

[1] 帕甫洛夫斯基 B E 著(陈国达译). 地壳发展的某些共同规律性. 中南矿冶学院学报，1956. 1(1)

[2] 陈国达. 地壳运定转化递进说——论地壳发展的一般性规律. 地质学报，1959，39(3)：279～292

[3] 陈国达. 地台活化说及其找矿意义. 北京：地质出版社，1960

[4] 陈国达. 从历史分析法的角度看地质力学以及两者的关系. 中国地质，1962(8－9)：21～27

[5] 陈国达主编. 中国大地构造图(1∶400 万, 按地洼说和递进说编制). 北京: 地图出版社, 1977
[6] 陈国达, 等. 中国大地构造概要. 北京: 地震出版社, 1977
[7] 陈国达. 成矿构造研究法. 北京: 地质出版社, 1978
[8] 陈国达. 南北地洼区及其与中国地壳演化分异及青藏高原隆起原因的关系. 大地构造与成矿学, 1979, 3(1): 1~10
[9] 陈杨民. 长江中下游一些铜矿的硫同位素组成特征. 冶金部桂林矿冶究院, 1979
[10] 李吉均, 等. 中国科学, 1979(6): 608~616
[11] 王谦身, 等. 中国区域重力场和地壳厚度分布及与铁矿分布关系的一些探讨. 中国科学院地球物理研究所, 1979
[12] 朱夏. 试论中国中生代油气盆地地球动力学背景. 中国中生代盆地构造和演化, 1980
[13] 裴伟. 菲律宾海底地质, 1980. 刘昭蜀译. 青岛: 海洋出版社, 1990
[14] 肖禧祇. 湖南益阳玄武岩质科马提岩及其形成环境. 中南矿冶学院学报, 1983.(4): 106~113
[15] 张文佑. 中国及其邻区海陆大地构造图. 北京: 地质出版社, 1983
[16] 陈国达, 黄瑞华. 关于构造地球化学的几个问题. 大地构造与成矿学, 1984, 8(1): 7~18
[17] 刘以宣. 一种新型地洼区——南海大地构造概述. 大地构造与成矿学, 1984, 8(2)
[18] 刘以宣. 南海大地构造与陆缘活化. 大地构造与成矿学, 1984, 8(3)
[19] 金性春. 板块构造学基础. 上海: 上海科学技术出版社, 1984
[20] 孙枢等. 华北断块区南部前寒武纪地质演化. 冶金工业出版社, 1985
[21] 陈国达. 南喜马拉雅地洼区. 大地构造与矿学, 1985, 9(1): 1~16
[22] 许靖华. 地学革命风云录(中译本). 北京: 地质出版社, 1985
[23] 陈国达. 陈国达地洼学说文选. 长沙: 中国工业大学出版社, 1986
[24] 蔡嘉猷. "华夏古陆"的讨论. 第一届全国地洼学说成矿学讨论会论文摘要汇编. 1986
[25] 陈勤五. 地洼学说在地质找矿中的应用. 大地构造与矿学, 1987, 11(3): 271~273
[26] 陈国达, 等. 亚洲陆海壳体大地构造图(1∶800 万)(征求意见稿). 第一届国际地洼构造学与成矿学讨论会论文摘要集. 1988
[27] 中科院南海海洋研究所, 南海地质构造与陆缘扩张. 北京: 科学出版社, 1988
[28] 甘盛飞. 太古代板块运动浅谈. 中国地质报, 1988－6－27
[29] 陈国达. 地洼学说编图的指导思想. 大地构造与成矿学, 1989, 13(4): 1~21
[30] 让－保罗·克鲁瓦塞. 从空中了解西藏的变迁. 法国费加罗报, 1989－8－29
[31] 黄立言. 我国对中国大陆及邻海岩石圈研究的进展. 地质论评, 1990, 36(6): 564~569
[32] 肖增兵等. 雷广州半岛新生代玄武岩及超镁铁岩包体岩石学特征. 河北地质学院学报, 1990, 13(2): 157~167
[33] Dan Mckenzie. 旋转的大陆(译文). 地球科学进展. 1990(6): 81~82
[34] 诸大建. 重建地质学的思想基础. 哲学研究, 1990(5): 110~115
[35] 陆松年. 前寒武纪几个基本地质问题及当代主要进展. 1990, 1~13, 地矿部天津地质矿产研究所
[36] 刘家远, 等. 南岭壳型花岗岩类成岩成矿的基本原理. 广西地质, 1990, 3(1): 1~14
[37] 刘代志. 变粘滞度地幔蠕动流的数学模型研究及其应用(一). 大地构造与矿学, 1990. 14(4): 89~93
[38] 吉 雄. 闽－粤沿海地体碰撞与活化作用. 广东地质, 1991, 6(2): 28~40
[39] 刘代志. 变粘滞度地幔蠕动流的数学模型研究及其应用(二). 大地构造与成矿学, 1991, 14(4): 89~93
[40] 张青松, 等. 现代青藏高原上升速度问题. 科学通报, 1991, 36(7): 529~531

[41] 吴世迎, 等. 马里亚纳海槽海底热液活动和热液硫化物研究. 中国科学, 1991(2): 198~204
[42] 地矿部天津地矿研究所. 前寒武纪地质与金矿(上册)1991
[43] 张理刚, 等. 中国东部中(新)生代构造同位素地质学研究. 桂林地质学院学报, 1991, 11(1): 35~48
[44] 陈慧芳. 海南岛存在古老结晶基底. 中科院长沙大地构造研究所, 1991
[45] 陈慧芳. 海南岛发现科马提类岩石. 中科院长沙大地构造研究所, 1991
[46] 秦葆瑚. 台湾—黑水地学大断面简介兼论湖南深部构造. 湖南省地质学会, 1991
[47] 无名氏. 南极大陆在上升. 日本经济新闻. 1991-5-13
[48] 王增润. 关于矿床学方面的新进展. 湖南省地质学会, 1991
[49] Karp B Ya. 日本海地壳层的地质结构、组成和演化. Tectono physics, 1990(181): 277~283; 译文见海洋地质译丛, 1191(4): 54~58
[50] 谭克仁, 等. 新疆阿尔泰红山咀、吉木乃等地区金矿成矿规律与勘察综合研究. 中国科学院长沙大地构造研究所, 1991
[51] 孙大中. 中条山前寒武纪年代学、年代构造格架和年代地壳结构模式的研究. 地质学报, 1991(4): 216~231
[52] 陈国达. 地洼学说的理论结构与发展纲领(摘要). 地球科学进展, 1991(5): 1~19; 全文, 大地构造与成矿学, 1991, 15(4): 1~19
[53] 陈国达. 活化(地洼)构造理论的历史回顾和发展现状. 中南矿冶学院学报, 1991, 22(5): 471~486
[54] Туеов И К. 亚洲—澳洲—太平洋带的大地构造、地球物理、地球动力学和地质特征. 地球物理学进展, 1991, 16(1): 99~113
[55] 陈国达、刘代志. 中国东南地洼区的深部构造及其演化. 大地构造与成矿学, 1991, 15(1): 1~6
[56] 易建斌. 中国湖南锡矿山超大型地洼锑矿床构造地球化学特征及壳体幔-壳成矿模式研究. 中科院长沙大地构造研究所硕士论文, 1991
[57] Santo T A. Division of the SW Pacific Area into 7 Regions in Each of Which Rayleigh Waves Have the Sand Dispersion Character. Bull. Earth. Res. Inst. Tokyo Univ. 1966(39)
[58] Murauchi S, *et al*. Crustal Structure of the Philippine Sea. J. Geophys. Res. 1968(33)
[59] Fuchs K, *et al*. Geophysics of the Solid Earth, the Moon and the Planets. 1984(2), LANDOLT-RO′RN-STEIN
[60] Chen Guoda, On the Geotectonic Nature of the Fen-Wei Rift System. Tectonophysics, 1978(143): 217~223
[61] Moisenko R I, *et al*. Deuteroorogesis and Metallogenesis of Southern. Soviet Far East. 第二届中际地洼构造与成矿学讨论会论文摘要, 1988: 英文本. 282~283; 中文本: 189
[62] Yao Zhenkai, *et al*. Time and Spacc Distribution of Uranium Metallogenesis in Diwa Regions. Chiangsha Uranium Geology Institutc, China, 1988
[63] Chen Guoda. A Gigantic N-S Trending Metallogenic-Tectonic Belt in Eastern Asia. Abstracts, IV th Chinese-USSR Symposium on Tectonics of E. Asia and W. Pacific. 1990
[64] Chonglakmani C, *et al*. Note on the Continental Deposits of Peninsular Thailand with a Deseription of Some Conchostracans. Oil&Gas Geol, 1990, 11(1): 31~37
[65] Chen Guoda. On the Theory of Activeted or Geodepression(Diwa) Tectonics. Geotectonica el Metallogenic(English Edition), 1990, 14(2): 95~107
[66] Chen Guoda. Historical Significance of "Yanshanian Orogeny". Abstracts XV International Sympo-sium of the INHIGEO, 1990: 2~3

Historistic-Causationist Geotecotnics

Abstract Many theories have been proposed during development of geotectonics. They replaced each other frequently. The reason needs to be analysed from a high level.

In the history of geology there were two different views regarding the aim of geological research. One school aims geological research primarily at the reconstruction of Earth history and puts stress on tracing the chronology of geological events. It may be named historistic geology. The other aims geological research at the understanding of Earth revolution and places emphasis on exploring the general regurality governing Earth change. It may be called causationist geology. Such a divergence manifests itself, of course, particularly prominently in geotectonics, a branch of geology dealing with many fundamental problems of Earth sciences. As a result, two disciplines, historistic geotectonics and causationist geotectonics, emerged.

Among the theories of historistic geotectonics the most prevalent is geosyncline－paltform theory. It studies stage division in crustal evolution, occurrence sequence of tectonic elements and historic-genetic relationship between them. Among the theories of causationist geotectonics the most famous are geomechanics and plate tectonics. The former principally probes into the mechanical behaviour and origin of structures and division of them into tectonic systems. The latter explores primarily the motion of lithospheric plates, their mechanical relationships and the dynamic mechanism for their motion. On the one hand, as historism and causationism have their respective objects and methods of studing, they have their respective merits and strong points. Moreover, both are necessary for, and play an important role in, solving tectonic problems. On the other hand, restricted by its own aim an object of studying, one school is unable to pay attention to the merits and strong points of the other. As a consequence, both schools are difficult to meet the requirements for an overall settlement of many-sided tectonic problems. If the aims of the two schools are taken into concurrent consideration and put into united study, and if the strong points of the two schools are integrated with each other, they will supplement one another, and we can study the structure of the Earth and the temporal-spatial distribution pattern of resultant ores in an all-round way to more effectively guide mineral prospecting. Such a comprehensive geotectonics, proposed by the author, is called historistic-causationist geoteconics.

The thinking and method of studying, reflecting the integration of the objects studied by historistic and causationist geotectonics, is to set up a comprehensive tectonic concept, the concept of "crustobody", which concurrently studies the evolution and motion of the lithosphere. Crustobodies are defined as "gigantic comprehensive units in temporal and spatial tectonic evolution and motion, which originate in different domains at different times in the process of formation and development of the earth's hard crust (lithosphere) and which differentiate in growth, motion, modification and development. Formally they appear as lithospheric blocks, constantly evolving and moving, each associated with particular birth age, growth mode, development course, evolutional stages, maturity

degree, material composition, crustal type, vertical and lateral crustal construction, tectonic element makeup, area, thickness, shape and their change, overall and internal movements, geophysics, geochemistry, organism evolution, metallogenic evolution and temporal – spatial distribution pattern of mineral deposits. Different crustobodies consist of tectonic regions with different numbers and/or different tectonic regimes.

The guiding ideology and method of studying used by historistic-causationist geotectonics mainly comprise the following points: ①development view combined with relation view; ②conception of time combined with conception of three-dimentional space; ③laying equal stress on both horizontal and vertical movements; ④laying equal stress on both overa and intenal movements of crustobodies; ⑤tectonic layer division combined with tectonic system division; ⑥consideration given to both oceanic and continental crust; ⑦laying equal stress on both remote antiquity and present stage; ⑧consideration given to both the globe and regions; ⑨laying equal stress on both evolution and motion of the lithosphere.

Key words historistic-causationist geotectonics, historic-dynamic comprehensive analysis method, crustobody, crustobody evolution-kinematics, crustobody metallogeny.

历史－因果论大地构造学*

1 历史－因果大地构造学

地质学研究目的有二看法：①重建地球历史，重点在追索地质事件时间序列：历史论；②对地球变革的理解，重点在探究支配地球变化的一般规律：因果论。大地构造学相应地分类发展，各有研究对象、方法、优点，但都不全面。

历史－因果论大地构造学是为了把两者长处结合，兼顾双方目的统一研究，综合两者研究方法适用部分，融为一体，兼容并包，互补不足，较全面地解决地球构造问题，探索矿产的时空规律，更好地为找矿及其他生产服务而建立的综合性全球性大地构造学。从研究方法说也称历史－动力大地构造学。

2 研究任务

兼历史论及因果论两者，全面地研究地球（现主要是硬壳－岩石圈）诞生、形成、运动、变化和发展全过程，又探索该过程发生、演变根本原因及力源机制，特别着重组成岩石圈的各个壳体诞生、成长、运动、变化和发展全部历史细节，形成、演化方式，整体、体内运动，水平及垂直运动，物质组成、地壳性质、成熟度、演化阶段，垂向及平向结构，构造单元组成，厚度、面积及形态变化，类型划分，运动方式（进、退、弯、旋）、相对运动方式（分裂离散、汇聚接合），演化－运动、诞生、消亡原因及力源；地球及壳体形成、运动、变化、发展规律及因果关系，预测未来；总结由这些规律制约的与自然灾害的关系；指导找矿，消减灾害。

3 研究（思想及工作）方法

一个综合——历史－动力综合分析法：把历史论和因果论大地构造学研究方法综合运用。体现在下列几点：

二个兼顾——洋壳与陆壳兼顾；全球与地区兼顾。

三个结合——发展观点与联系观点结合；时间观念与三维空间观念结合；构造层与构造系划分结合。

四个并重——水平运动与垂直运动并重；壳体的整体运动与体内运动并重；远古与近代并重；岩石圈演化与运动并重。

---

* 纪念中国地质学会成立70周年学术会议论文（提要），1992年10月25日。

4　历史－动力综合概念——壳体(crustobody)

定义——“组成地壳的胞体，具有自己的演化－运动史和边界”。详言之是：在地球硬壳(＝岩石圈)孕育、形成和发展过程中可能先后不一地出现于不同地域，在诞生、成长、运动、变化和发展等方面分异进行；既在演化又在运动(包括移动)的时空综合全球性巨型超级构造单元。为了把岩石圈的演化与运动统一研究而建立的构造概念，在形式上表现为组成地壳的既在不断发展又在变化位置的不同块体，具有各自诞生时代、成长方式和发展历程，演化阶段和成熟度，物质组成及地壳性质，垂向及平向结构，构造单元组成，面积、厚度、形状及其变化，边界类型，整体及体内运动，地球物理、地球化学、生物演化、成矿演化及其时空规律等方面特点。

不同壳体可由不同数目和(或)不同性质类别的大地构造体制的(基本)构造单元组成——在大地构造区域划分上比(基本)构造区范围更大、层次更高的巨型超级构造区。

岩石圈就是由这些具有不同演化－运动历程的壳体逐步增长、移动，通过互相联结、拼接，组合而成。

5　壳体与板块区别

	壳体	板块
含义	组成地壳(岩石圈)的胞体；演化－运动综合性巨型超级构造单元	岩石圈裂块
形成过程	在岩石圈孕育过程中先后在不同地域分别诞生、增长而成，组成岩石圈后，它们仍继续运动、变化、发展	在岩石圈形成之后，被一系列不同活动带切割，遂裂解成为大小不同的块体
与岩石关系	先有壳体，才由它们组合成为岩石圈	先有岩石圈，才由它分裂成为板块

6　壳体分级

依平向结构复杂程度可分：

(1)超级(复式)壳体　大都由多个基本壳体联结复合而成，少数由一较大壳体破裂后尚未离散组成。面积常比其中的基本壳体大。复式壳体的联结复合方式有多种。

(2)基本壳体(简称壳体)　通常由具有共同特征的构造单元组成，系分界线明确的地球硬壳块体。就大陆型壳体论，常具有从最先出现的陆核开始，逐步展开的壳体演化系统，即前地槽区阶段→地槽区阶段→地台区阶段→地洼区阶段……但由原生壳体分裂而成的次生壳体这个演化系统不一定完整，分界线常为深大断裂带，类型有多种。

(3)次级(亚)壳体　面积较大的基本壳体因各部分分异演化十分显著并有明确分界线，有必要再细分出的较小壳体，分界线为较小的深大断裂带。范围一般不小于一个基本构造区

(如陆壳中的地槽区、地台区、地洼区)。

7 壳体分类

7.1 依发生程度划分

7.1.1 原生壳体

在岩石圈孕育及形成过程中逐步诞生、增长的壳体。

7.1.2 次生壳体

由原生壳体破裂而成或分裂出来的壳体。

7.2 依目前演化阶段属性及成熟度划分

7.2.1 大洋壳型

简称大洋型或洋壳型。由或主要由大洋壳所构成，在垂向结构上仅有地幔岩壳构造层和硅镁壳构造层，上有极薄的表层松散沉积物(一般0～0.5 km)覆盖；演化尚在婴年期，通常分布在大洋壳区内，如西太平洋、东太平洋、北印度洋等壳体。

7.2.2 雏陆壳型

由大洋壳型壳体向大陆壳型壳体演化的过渡阶段，即在地幔岩壳构造层及硅镁壳构造层之上盖覆有由巨厚但尚在固结过程中的、以陆源碎屑为主的沉积物(有时可夹以基性为主的火山物质)所组成的陆壳(硅铝壳)构造层雏形，可称过渡型壳体；为半成熟壳体，演化尚在幼年期；多见于大洋型壳体与大陆型壳体的接触带(过渡地带或中间地带)，如菲律宾海壳体。也可见于大陆壳型壳体之间，如地中海壳体。

7.2.3 大陆壳型

简称大陆型或陆壳型。在地幔岩壳构造层、硅镁壳构造层之上盖覆有硅铝壳构造层。属已成熟壳体，演化区达青年—中年期，主要见于大陆壳区，可因变异分为二亚型：

(1)正常陆壳型 厚度与一般大陆壳平均厚度接近的大陆壳型壳体，通称陆壳型，位于大陆壳区主体部分。如亚洲大陆的东亚、北亚、中亚、西亚、南亚诸壳体。

(2)薄化陆壳型 由正常陆壳型壳体因受后来拉断伸展作用(或兼有其他原因)而致厚度减小的壳体。如亚洲东部自大陆架至岛弧(包括大多数海盆)的东北亚、东亚、东南亚壳体。因较薄，曾误认为过渡壳，但垂向结构、性质与真正过渡壳有别，为成熟地壳，达青－中年期，因新生代以来受地幔蠕动拖曳向东及东南扩展、拉断薄化。

7.3 按复杂性划分

7.3.1 单一壳体

全区成熟度一致，由同一性质地壳构成。中亚、东亚壳体为单纯大陆壳；西太平洋壳体，为单纯大洋壳。

7.3.2 复杂壳体

不同部分成熟度有异，包含有两种以上地壳属性的地段。大都以某一属性地壳为主；其

他属性大都见于边缘或其他部位。东亚陆缘壳体主要部分为薄化陆壳(夹有正常陆壳)，东缘有时为雏陆壳。依面积大小顺序复合命名。

7.4　依地理位置划分

7.4.1　大洋区型

位于大洋范围内，各大洋壳型壳体是。

7.4.2　陆缘区型

在大陆区边缘地带，即陆洋中间地带，也称陆洋中间地带(或过渡地带)型。可分属雏陆壳型及混杂型，前者如菲律宾海壳体，后者如东亚陆缘壳体。

7.4.3　陆间区型

位于两大陆区之间海域地带，多属雏陆壳型，如地中海壳体。

7.4.4　大陆区型

在大陆区内的壳体，如正常壳体属之。上述四方案以第二个较好，因从演化角度分有利于把岩石圈演化与运动综合统一研究，便于探索现存壳体目前综合特征及运动情况，又便于重建它们演化及运动历程。需要时可采取二方案以上综合分类命名。

8　东亚壳体演化成长历程

壳体成长期	大地构造体制	标志壳层	壳体成熟度	壳体演化阶段	地壳属性	华北地区地质时代距今年数（Ga）		东南地区地质时代距今年数（Ga）	
中年	Y_1	硅铝壳	成熟	高级	陆壳	未来	0.0	未来	0.0
	地洼区					J_2−Q	0.2	T_3^3−Q	0.2
青年	地台区			中级		Pt_2−T	1.5	$D-T_3^2$	0.3
	地槽区 后期					Pt_1	1.8	Pt_2−S	
少年	地槽区 前期		半成熟	低级	雏陆壳		2.5		1.7
幼年	X−1	硅铝|硅镁壳				Ar	2.6	Pt_1|Ar	2.6
	X−2								
	X−3								
	X−4								
	X−?						3.8		?
婴年	X−n	硅镁壳	未成熟		洋壳	?		?	

9 壳体成长中的外表变化

9.1 面积的变化

9.1.1 面积增大——4 种方式

(1)自我增生式 通过硅铝壳平向演化式增生，逐步扩大。如北亚、东亚壳体。

(2)外来块体添加式 “地体”加入，使面积加大，突然性或机遇性。

(3)拉断伸展式 受分散式地幔蠕动流牵引被向外拉伸，通过断裂(多为铲状)活动：张性断扩，伴有薄化。

(4)塑流延展式 高温条件下，受地幔蠕动流拖引，物质塑性流动向外延展、伴有薄化。

9.1.2 面积减小——4 种方式

(1)累叠收缩式 受汇聚式地幔蠕动流拖曳，或受邻侧壳体挤压(或碰撞)，岩层或壳层褶曲、逆冲、推覆累叠，伴有厚化。

(2)塑流收缩式 在高温条件下，受汇聚式地幔蠕动流拖引，物质向内塑性流动，伴有厚化。

(3)裂解减小式 某一部分从主体中裂开并分离出去。

(4)侧蚀减小式 大陆壳较易发生，硅铝壳受海浪侧蚀，海岸后退。

面积增减的不一致性——因地幔蠕动方式、速度、方向不一致性可引起区域性伸展/延展，其中可有局部性收缩地段，区域性收缩中有局部性伸展/延展地段。

9.2 厚度的变化

9.2.1 厚度增大——5 种方式

(1)浅层增厚式 壳层或构造层的向上增积：朝上垂向增生。

(2)深层增厚式 内地壳(地幔岩层)朝下增厚：朝下垂向增生。

(3)累叠厚化式 因汇聚式地幔蠕动流拖引，或邻侧壳体挤压，地层或壳层褶皱、推覆、累叠，伴有面积缩小。

(4)塑流厚化式 在高温条件下，汇聚式地幔蠕动流拖引，或邻侧壳体挤压，物质朝内塑性流动，伴有面积缩小。

(5)热胀厚化式 因热流增高而膨胀，特别是在围压所限而产生内部互相挤压，地层或壳层推覆累叠时加强。

9.2.2 厚度减小——5 种方式

(1)顶蚀减薄式 来自上方的垂向削减，由外营力所致。

(2)底蚀减薄式 来自下方的垂向削减，内力：热侵蚀。

(3)平向拉断伸展薄化式 伴随面积的断性扩张而出现。

(4)平向塑流延展薄化式 伴随面积的塑流延展而发生。

厚度变化的不一致性——由于地幔蠕动流的方式、速度、方向不一致性可于区域性厚化中出现局部性的薄化地段；在区域性的薄化中出现局部性的厚化地段。

10　壳体演化进程与运动关系

循动定转化递进律，与壳体运动变化相关，同为地幔蠕动及其变化结果。

活动区阶段　地幔蠕动活跃，致壳体间及体内运动强，水平运动显著，裂谷作用及造山作用、褶皱、推覆盛行，构造－地貌反差强度大，热流增高，岩浆、构造、变质、沉积作用强烈。如 X－4，X－2，地槽区、地洼区。

稳定区阶段　地幔蠕动相对宁静，致壳体间及体内运动弱，水平运动不强而显出垂直运动相对优势，缺造山作用，大面积和缓升降，构造－地貌反差小，热流降低，岩浆、构造、变质、沉积作用微弱，如 X－3，X－1，地台区。

同一演化阶段不同时期，壳体运动也有强弱和形式变化，如活动区的初动－激烈－余动期；稳定区的初定－和缓－余定期。

10.1　地槽阶段壳体运动特点

前期拉伸，形成地槽型裂谷(海槽、海沟)，火山活动强烈，幔源物质上涌，热流增高。巨厚陆源碎屑(分选性差，变化性大，复理式韵律)与火山物质构成“蛇绿岩套”。后期挤压，地槽闭合，其中沉积物褶皱，推覆，升露海面(地槽回返)，形成褶皱带山脉(造山带)，加入邻侧大陆型壳体前缘，成为“大陆增生’新增部分，并仰冲邻侧洋壳之上，形成或加强了大洋型壳体的俯冲。现代地槽例子：菲律宾海壳体。与地槽回返挤压同时，在邻侧产生拉裂，形成新地槽——地槽侧迁的动力机制。

10.2　地台区阶段壳体运动特点

地幔蠕动相对宁静，分异不显，壳体内部水平差异运动较少，垂向运动也不大；大范围内整体(面状)和缓升降为主，系造陆运动。

初定期(偶为余定期)可在局部拉伸，形成地台型裂谷——断拉谷(aulacogen)。

10.3　地洼区阶段壳体运动特点

地幔蠕动又进入活跃期，壳体运动强且分异明显，华夏式地洼区初动—激烈期热流渐高，挤压强烈，褶皱、推覆广泛；余动期地热渐降，以拉伸为主，裂谷时见。张盆张岭广泛发育，有时出现张盆压岭。东非式以拉伸占优势。

地洼区与地槽区相异的壳体演化运动背景：

①演化顺序：地槽区→地台区之后，大陆型壳体之上，有较厚硅铝壳构造层为基础。

②基于上因，加上早中期地热渐增，壳体膨胀渐显，挤压占优势，地面大幅度隆起。

③基于以上二因，沉积建造以陆相为主。

④有较厚大部分为固结的硅铝质构造层，刚性较强，出现刚性－半刚性构造——拱曲；褶皱为短轴状、宽展型。

⑤地热高，重熔花岗岩多(化学成分大都高硅、高碱而低铁镁)。缺“先头岩浆”，基性岩浆在后，见于拉张块断运动时期。

⑥断裂变质发育。

11 壳体的运动与迁移

11.1 运动形式与方向

(1)运动形式 体内运动、整体运动。
(2)运动方向 三维空间。

11.2 运动方式

(1)水平运动
①壳体或体内各个地段的运动——进、退、弯、旋。
②相邻壳体或地段之间的相对运动及所成平面应力场——拉伸离散、汇聚(碰撞)挤压、错移剪切。
(2)垂直运动
①壳体或体内各个地段的运动——升、降、倾斜。
②相邻壳体或地段之间的相对运动及所成垂面应力场——差异升降、剪切。

12 裂谷作用及裂谷的历史－动力分类

12.1 大洋壳型裂谷

大洋型壳体之间或壳体内部；见于大洋型活动区，如大西洋、印度洋中脊等。

11.2 雏陆壳型裂谷

雏陆壳与大洋壳间或其体内。
(1)前地槽型裂谷 如结晶基底中绿岩带所示，有绿岩带型金矿床。
(2)地槽型裂谷 如马里亚纳海沟；地槽构造层中有蛇绿岩套矿产。

12.3 大陆壳型裂谷

(1)地台型裂谷 多生于初定期，偶在余定期：断拉谷(aulacogen)。
(2)地洼型裂谷 东非型地洼区多见(东非裂谷，红海)；华夏型地洼区余动期也有发育(汾渭裂谷)。

13 壳体的复合

二个以上单式壳体可组合成复式壳体。

13.1 复式壳体分类

(1)接合型 二个以上原来不在一起或不联结的壳体接合而成。

(2)分裂型　由一壳体分裂为二个以上，分异演化但没有离散，仍合一起所成。

(3)混合型　组成方式兼有接合型和分裂型，如亚洲复式壳体。

13.2　接合方式

(1)增生接合式　某壳体自身或某壳层(如硅铝层)增生扩大，与邻近壳体接合，或双方如此扩大，互相接合。古生代北亚壳体硅铝层向南增生扩展至天山南麓—白云鄂博—开原—赤峰一线，与中国西部及中朝两古壳体接合是其例。接合线称增合线。

(2)延伸接合式　某壳体自身或某壳层塑性流动延展，或拉断伸展，与邻近壳体接合，又或双方如此扩展互相接合。接合线叫延合线或伸合线。

(3)汇聚接合式　某壳体整体移动，与邻近壳体接合，或双方移近互相接合。接合线名聚合线(＝缝合线)。如阿拉伯及印度二壳体，从冈瓦纳古大陆分裂出来，于古生代末与亚洲大陆接合，成为西亚及南亚壳体；聚合线依冈瓦纳古植物群与华夏古植物群分界线，沿班公湖至丁青，循怒江河谷南下，经滇西保山入缅甸、印尼、爪哇海沟至新几内亚。

14　壳体界线类型

14.1　一般深大断裂带型

(1)两个相邻大洋区型壳体之间　大洋型裂谷是。

(2)大洋区型壳体与中间地带型壳体之间　海沟(地槽型裂谷)；亚洲东部陆缘扩张带的前沿。

(3)中间地带型壳体与大陆区型壳体之间　如东亚诸陆缘壳体与东亚壳体的分界线。

(4)大陆壳型裂生壳体之间　如东亚与中亚壳体之间的中蒙南北深大断裂带(中蒙南北地洼区)。

14.2　接合线深大断裂型

以各种接合线为基础的深大断裂带

(1)增合线型深大断裂带。

(2)延伸接合线型深大断裂带　以拉断伸展式或塑流延展式接合线为基础。

(3)聚合线型深大断裂带。

15　壳体演化－运动的起因及力源机制

内因为主，并有外因。

地幔蠕动热能聚散交替假说：地幔物质(包括放射性元素等)及热能积聚不均一引起蠕变及流动。温高部分密度减小，往上蠕动，遇岩石圈底面转为平向蠕动流。凡地幔蠕动活跃期，相应部位的壳体或有关地段地热积累增高，地壳运动强烈，分异显著，水平运动明显，发生造山运动，构造－地貌反差大，构造－岩浆－变质－沉积作用强烈，形成活动区。反之，

遇地幔蠕动相对宁静期，则相应部位的壳体或有关地段地热补给减少而降低，地壳运动转弱，分异不显，水平运动不著而垂直运动相对占优势。以造陆运动为主，构造－地貌反差小，构造－岩浆－变质－沉积作用较弱，转化为稳定区。

后成活动区和稳定区各与先成者虽然大地构造性质相似，但类型不同。非可逆发展原因在于不同发展阶段的构造单元其具体环境条件不同，历史背景及发育基础等各有特色。地洼区是在地台及(或)地槽构造层之上产生的，当时该处壳体的垂向结构比地槽区者复杂，构造层数目增多，硅铝壳较厚，刚性增强。在造山作用时，虽地热增高，仍为刚性或半刚性反应，形成拱曲、块断及宽展型褶皱为主，环状构造广布，断裂变质(包括线状混合岩化)发育；地面隆起，以陆相山间盆地沉积(假磨拉石)建造为主。硅铝层重熔花岗岩多见。地壳动定转化递进律就这样形成。

16 造山作用及造山带历史－动力分类

16.1 大洋壳活动区型造山作用(带)

现知拉张型为主：大洋中脊及大洋裂谷带

16.2 雏陆壳活动区型造山作用(带)

挤压型(碰撞型)为主，如地槽褶皱带型。

16.3 大陆壳活动区型造山作用(带)

均是地洼型，包括：

(1)挤压式(含碰撞式) 压性断褶带盆岭式：拱裂型(特别是华夏型)。压性块断带盆岭式：块断型(如中亚型)。

(2)拉张式 张性块断带盆岭式：东非型；拱裂型(如华夏型)余动期。

(3)张压式 张盆压岭。华夏型余动期；中亚型。

17 地洼型造山运动序列的建立

地洼型造山运动(旋回)名称	发生地质时代	其他地区已知大致相当的造山运动(旋回)
喜马拉雅运动	新生代	日本岛弧运动
印支运动及燕山运动(太平洋运动)	中生代	日本广岛运动及格林塔夫运动，美国拉拉米旋回。
顿涅茨运动	晚古生代	美国维几大运动及阿尔卜刻勒运动
?	早古生代	
未定名	新元古代	澳洲北部
未定名	中元古代	澳洲南部
未定名	古元古代	加拿大

18　造盆作用与盆地历史－动力分类

18.1　大洋壳型盆地

(1)大洋壳活动区型盆地　拉张型：大洋裂谷。幔源喷硫硫化物矿床。

(2)大洋壳稳定区型盆地　拗陷型：大洋洋盆。

18.2　雏陆壳型盆地——活动区型盆地

(1)前地槽区活动区型盆地　拉张型：前地槽区裂谷。产出有绿岩带型金矿、鞍山式、上湖式铁矿等。

(2)地槽前期盆地　拉张型：地槽型裂谷(海沟)。产出有蛇绿岩套矿床，白银厂式铜矿、海南石碌式铁矿等。

18.3　大陆壳型盆地

(1) 大陆壳活动区(造山带)型盆地

①地槽区后期盆地：山前、山间拗陷，主要为挤压型，末期可能有拉张型。产出有煤、油页岩、油气等矿产。

②地洼区盆地：

a 挤压型：顿涅茨型地洼区，华夏型地洼区早中期，中亚型地洼区一部分。产出有煤、油页岩等。

b 拉张型：东非型地洼区，华夏型地洼区余动期，中亚型一部分。产出有油、气、膏盐等。

(2) 大陆壳稳定区(克拉通)型盆地

①拗陷型：台陷盆地。产有沉积铁锰磷铝，煤、油页岩、油气。

②拉张型：地台型裂谷如断拉谷(aulacogen)。

19　壳体演化－运动成矿的地幔作用

多表现在地幔蠕动活跃期，以见于活动区为主；偶也可见于稳定区的初定期和余定期。

(1)地幔提供物质成矿　是直接途径，物质来源和富集作用动力上与地幔流体或地幔岩浆有关：地幔矿床，如绿岩带型金矿、金刚石。

(2)提供地幔物质与上地壳物质混熔成矿　幔源物质上侵，与硅铝壳重熔及花岗岩化混合一起：幔－壳矿床，如锡矿山、柿竹园；长江中下游铜矿。

(3)提供幔源热能导致硅铝层重熔成矿　花岗岩化、混合岩化，矿源层成矿物质析出富集成矿：壳－幔矿床，如南岭壳型花岗岩成矿，多次重熔、多次富集金属成矿；与断裂变质混合岩化有关的金矿。

(4)引起构造成矿　壳体运动造成各种构造，驱动矿源层中成矿元素活化、迁移、富集：