

# 全球构造格局及其动力学机制

中国地质科学院地质力学研究所

一九九九年十二月



# 目 录

前言 .....	1
<b>第一章、全球构造格局及其展布规律 .....</b>	<b>5</b>
第一节、全球主要构造类型 .....	5
一、大洋中脊与转换断层 .....	5
二、俯冲构造体系 .....	7
三、大陆造山带 .....	9
四、大陆裂谷系 .....	15
五、大陆活动地块与活动构造体系 .....	15
六、走滑断裂系 .....	17
七、环状构造系统与弧形构造带 .....	19
第二节、全球构造系统及展布规律 .....	21
一、现今全球洋脊系统与转换断层的分布规律 .....	21
二、现今全球转换断层分布的基本特征 .....	23
三、大陆造山带的空间展布规律 .....	24
四、大陆中生代断裂分布规律 .....	26
五、极区辐射状构造格局 .....	30
<b>第二章、全球构造运动与地球自转的相关性 .....</b>	<b>33</b>
第一节、全球造山运动与地球自转的相关性 .....	33
第二节、全球岩石圈稳态水平运动与地球自转的相关性 .....	36
一、现今全球岩石圈水平运动的观测方法与基本结果 .....	36
二、现今全球岩石圈水平速度矢量场在中新生代地质历史时 期的代表性 .....	38
三、全球岩石圈稳态绝对水平运动与地球自转的相关性 .....	43
第三节、地球圈层不等速西向运动与地球自转的相关性 .....	44
一、现今地球各圈层稳态水平运动的基本特征 .....	44
二、不同圈层稳态水平运动的相似性、差异性以及与地球自转 的相关性 .....	48
第四节、地震、火山的统计分布与地球自转的相关性 .....	49
一、全球地震与火山在时间上的统计分布特征 .....	50
二、地震与火山活动在空间上的统计分布特征 .....	52
<b>第三章 典型构造带分析 .....</b>	<b>55</b>
第一节、大西洋中脊构造带 .....	55
一、大西洋中脊的基本特征 .....	55
二、大西洋中脊的分段扩展 .....	58
三、大西洋中脊的分段机制和形成发展过程探讨 .....	60

第二节、中国大陆中部南北向构造带 .....	61
一、中国大陆中部南北向构造带展布特征 .....	61
二、中国大陆中部南北向构造带的形成演化 .....	63
第三节、三联点构造分析 .....	63
一、三联点构造基本特征及结构分类 .....	63
二、洋脊三联点的几何形态和运动学 .....	66
三、洋脊三联点演化过程探讨 .....	66
<b>第四章 全球构造宏观不均匀性和协调性 .....</b>	<b>70</b>
第一节、概述 .....	70
第二节、全球构造不均匀性概述 .....	70
一、大洋中脊构造不均匀现象 .....	70
二、大陆构造不均匀现象 .....	76
第三节、全球构造协调性探讨 .....	79
一、全球构造的宏观协调性探讨 .....	79
二、构造协调现象的实例分析 .....	80
第四节、全球断裂构造分形分析 .....	84
一、概述 .....	84
二、洋脊断裂构造分形分维 .....	86
三、大陆断裂系统分形分析 .....	88
<b>第五章 现今全球构造应力场及其模拟实验研究 .....</b>	<b>91</b>
第一节、现今全球构造应力场的基本特征 .....	91
第二节、现今全球构造应力场模拟实验研究 .....	92
一、现今全球构造应力场模拟实验 .....	92
二、现今全球构造运动及有关问题讨论 .....	96
第三节、大洋中脊成因机制模拟实验研究 .....	102
一、大洋中脊构造应力场模拟实验 .....	102
二、大洋中脊成因机制有关问题讨论 .....	103

# 前 言

全球构造与地球动力学既是地球科学长期研究的重大基础理论问题，也是国际地学界的重大难点、热点问题。本世纪以来，从李四光的地球旋转学说——到地质力学全球构造体系的厘定；从魏格拉的大陆漂移假说——到板块构造的兴起；从地壳表层研究到地球深部探测，从地表观测到空间测量……；特别是 80 年代以来随着深海探测、全球定位（GPS）系统和大陆深钻等一系列新技术、新方法的应用，全球地学断面计划、国际岩石圈计划、大陆动力学计划、盆岭对比计划、裂谷对比计划和造山带对比计划等一系列构造对比研究计划的实施，使有关全球构造的基本格架、演化过程、地球深部结构、地球不同层圈运动方式和运动量及全球性动力来源等方面的研究取得了重大进展和成果。但是，随着研究的逐渐深入，所发现的疑难问题也逐步增多，从而吸引更多的学者为之奋斗和探索，正是在这种背景下，地质力学研究所开始了本项目的立项申请和研究。

## 一、项目来源和主要任务

1995—1996 年初地质力学研究所提出《全球构造格架与动力学机制》基础研究项目的立项申请，由陈庆宣和崔盛芹负责组织立项可行性论证。在此过程中，崔盛芹等提出大洋中脊每隔纬度  $90^{\circ}$  等距离分布特征，其中，澳大利亚中脊为一未发育起来的洋中脊；在东亚，贝加尔裂谷系和汾渭裂谷系大体上分布在同一经度带。随后，又发现洋中脊玄武岩的年龄不仅沿中脊向外（向两侧）逐渐变老，而且也有沿低纬度向高纬度变老的趋势。这表明洋中脊沿走向不是一次拉张形成的，而是多次扩展形成的，或是在分段扩展基础上，逐步连接贯通而形成现今全球洋脊系统。这些巨型构造现象，连同大陆其他有规律分布的巨型纬向和经向构造带的成生机制，需要进一步研究探索。基于这种目的，我们向国家科委和原地矿部科技司提出该项目立项申请，得到部科技司的支持。经专家论证评审，将本项目列为原地矿部“九·五”重点基础研究项目。项目起止时间为 1996 年 6 月—1998 年 12 月，研究经费 20 万元；主要研究任务包括：

1. 中、新生代全球构造格局及其演化趋势研究；
2. 典型经向构造带研究；
3. 全球和典型构造体系构造模拟实验研究

## 二、研究思路和设想

在地球表面所观察到的岩石变形或地壳变形，不论规模大小，都是它们自生成以来所经历构造运动的记录。年龄越老的岩石或岩体、地体，所经历的构造变动次数越多；年龄越新的岩体或地体所经历的构造变动次数越少。为了使问题简化，我们试图从联合古陆未分裂之前，大约从中侏罗世（180 百万年）开始，来研究地球表面主要巨型构造的分布规律，探讨它们的形成机理。

鉴于地球表面构造形迹普遍具有明显的方向性、规律性及与地球自转的相关性，我们不能不考虑这些构造现象是在一个转动的地球上发生的。我们将主要用地质力学方法和原理来分析全球构造变形，同时充分吸收地球科学近年来研究的新进展与新资料，特别是板块构造的新成就和新认识，力求全面、系统地分析全球构造格局的成因和起源。

地球在其形成早期，随着地球多层圈（包括地球内部多圈层）结构的逐步形

成，地球物质向地心集中，地球自转速度越来越快。而在地球多圈层形成之后，主要由于潮汐作用，地球自转速度又逐步变慢。这个时间应晚于地壳已知最古老岩石的年龄，即晚于 3800 百万年。60 年代，科学家们利用生物钟可以较准确地测定地球自转速率，在古生代中、后期，一年有 400 天左右，多出现今 30 多天，这表明地球自转速率在总体上是逐渐减慢。如果洋中脊溢出的地幔玄武岩量大于返回地幔的量，将进一步加大地球自转变慢的速率，这意味着，在海底扩张期间，地球将随时间进一步减慢自转速率；相反，如果溢出量小于返回地幔的岩量，则会减小地球自转变慢的速率或使自转速率相对加快，也就是说，在海底缩小或闭合消亡阶段，地球自转速率将在总体变慢的趋势下，经历一个相对加快的过程。地球浅部不同组成部分，由于介质密度差异，它们对地球自转变慢的反应快慢不一，会引起它们之间相对运动。如果相邻两个地块，东面地块的密度大于西邻地块的密度，则对于地球自转变慢的反应要慢于其西邻地块，他们之间就会出现引张，相反则出现挤压。

分析地球内部结构，物理上最重要的不连续面是密度不连续面；垂向上最重要的是壳幔界面（即莫霍面）和核幔界面（即古登堡不连续面）。地壳物质的侧向密度也存在显著变化，即侧向不连续面。核幔界面如果隆起 1km，可在地幔底部引起 20Mpa 的应力差（Bott M. H. P., 1982）；同样，地壳中这样的侧向密度界面也可引起相应的应力差。我们考虑地球的侧向密度界面在地球自转变慢过程中起着相当重要的作用，它既是相对软弱的结构面，容易产生变形；又可在变慢过程中引起地壳各部分的相对运动—引张、挤压或平移运动。

### 三、项目执行情况及工作量

由于本项研究所涉及的内容和问题都比较多，加之时间紧迫、经费有限，所以只能重点围绕中生代全球构造格架及动力学中若干实质性的论题展开综合性分析研究，主要包括：全球构造的定向性、规律性及其与地球自转的相关性、宏观不均匀性和协调性、地球层圈运动差异及其耦合作用、岩石圈应力分布规律和趋势、典型构造带的分段扩展过程、构造动力来源的多样性和统一性等方面的分析研究。

其中，96 年制订分阶段研究的详细计划，主要成员都参加了 30 届国际地质大会，充分利用大会交流、专题演讲和展讲、野外考察、会后讨论和拜访专家等方式搜集全球构造资料、交换认识并与国内外相关专家建立了学术联系，搜集某些典型构造带的研究资料和信息。会后又追踪查找、搜集新出版的各种版本的全球性地质、构造图，全球构造和地球物理学研究的新进展、新资料的总结性成果，全球合作性研究（勘测）计划及其所获得的新数据和新成果；了解全球构造研究的热点、难点问题。

97 年，重点研究全球构造展布规律、大洋中脊构造分段、典型构造带的动力学背景、地球层圈运动差异和当代岩石圈应力分布趋势，并结合其他项目对典型大陆造山带进行野外地质调查，完成项目中期研究成果总结，在国内外公开发表相关论文 2 篇。

98 年，重点探讨与模拟实验研究相关的地球层圈运动差异与耦合及其表层（地壳上部）构造效应、全球动力来源的多样性、主导性和统一性，构造不均匀性和协调性，全球及典型构造带的动力学过程和机制模拟实验研究，公开发表相关论文 2 篇。

99 年，模拟实验研究，项目研究总结，发表相关论文 1 篇，编写研究报告，

完成工作量见表 0-1。其中，前言（陈庆宣执笔）简要论述项目来源、研究思路、执行情况、新认识和新进展；第一、第二章（吴珍汉执笔）重点讨论全球构造系统的分布规律、方向性和及其与地球自转之间的关系；第三、第四章（吴树仁执笔）讨论全球主要构造带变形不均匀现象和协调现象，重点是大洋中脊与转换断层之间的协调发展关系；第五章（谭成轩执笔）论述全球中新生代构造和典型洋脊构造带的数字模拟和物理模拟实验，探索全球构造运动的动力来源与驱动机制。报告全文最后由陈庆宣和吴树仁统编定稿。

**表 0-1 项目主要工作量简表**

野外工作	检索资料	查阅资料	参加会议	项目讨论	建立实验模型	统计分析数据	模拟计算机时	发表论文
3 月/3 人	6854 篇	568 篇	6 次	8 次	12 种	146 组	368	5 篇

#### 四、主要认识和进展

1. 依据当代全球地质和地球物理探测资料和成果，比较系统地分析了全球主要构造型式特征，剖析了全球构造展布的定向性、等距性及其与地球自转的相关性。

2. 分析了全球造山运动、岩石圈水平运动、地球层圈不等速西向运动规律及全球地震与火山统计分布规律；从不同方面论证了全球构造运动与地球自转的相关性，探讨了西向引潮力驱动构造运动的可能性。

3. 以大西洋中脊构造系统和三联点构造为例，初步分析了典型构造带的不均匀性、分段结构和分段层次及其分段扩展过程和机制；概述了三联点构造的主要类型、轨迹结构特征和演化过程及其全球构造意义。

4. 在综合分析地球表层构造系统宏观不均匀性、分段扩展和相互协调现象的基础上，初步提出了大洋中脊构造系统的 5 级分段结构划分和超 1 级分段的基本原理及其构造意义；初步揭示了全球构造系统在空间上的几何相容共存和彼此迁就利用、运动学上的彼此抑制和补偿及动力学上的相互调整和对干扰耗散等方面的宏观协调现象。

5. 利用分形分维技术，分别统计测量全球各个大洋中脊断裂构造系统的分形分维值及每个大陆断裂构造的分形分维值，计算结果表明：每个洋脊和每个大陆的断裂构造具有其特征性的分维曲线；其中，在洋脊断裂系统中，南大西洋中脊的分维值最高  $D=1.745$ ，印度洋中脊分维值最低  $D=1.111$ ；而在大陆断裂构造系统中，欧亚大陆分维值最高  $D=1.764$ ，南美大陆分维值最低  $D=1.376$ 。

6. 地球壳幔转动变慢所损失的总角动量，必须由地核加快转动获得相等的角动量加以补偿，以维持地球角动量守恒不变。根据 Song Xiaodong 和 P. G. Richards (1996) 的研究成果，大约 300—400 天，地核比壳幔多转一圈。这种转速差异将会在液态外核中引起怎样的搅动，从而会对地磁场和全球构造应力场产生什么样的影响，有待进一步探讨。

7. 现今全球构造应力场数学模拟实验表明，在经度  $360^\circ$  范围内（经度间隔  $10^\circ$ ）不同圈层相对差异旋转角速度出现有规律的变化，与 Song Xiaodong 和 P. G. Richards (1996) 关于地球内核相对壳幔绕地球自转轴更快的东向运动 ( $1.1^\circ/a$ ) 具有一致的方面，并且量值大小相近或同一量级范围；局部也存在不一致的现象，即地核相对壳幔绕地球自转轴也存在较慢的东向运动。这可能与地球不同圈层的非均质性、现今地球岩石圈构造格架等有关。

8. 大洋中脊古构造应力场即联合古陆（距今 180Ma）全球构造应力场数学模

拟结果表明, 拟裂开大西洋两侧相对处于拉张状态, 东侧相对位移较西侧大, 差值在赤道最大, 向两极逐渐变小。而现今应力场模拟结果也表现为大洋中脊两侧处于拉张状态(除南纬  $40^{\circ}\sim 50^{\circ}$ ), 且北半球较南半球拉张显著, 差值在北纬  $10^{\circ}\sim 20^{\circ}$  最大。这与现今大洋中脊两侧拉开距离、大洋中脊分段及其裂开年龄数据资料等资料相吻合。

9. 全球构造的动力来源具有多样性和多源性, 其中, 与地球自转相关的构造驱动力具有主导性和普遍存在的特征; 除此之外动力来源还包括: ①地球自转(向心离心力)引起在赤道突出, 产生向赤道的推挤和平行于纬度方向的引张; ②地球侧向密度变化引起作用于密度界面上的水平应力; 特别是地壳或岩石圈的侧向密度变化, 引起地球在自转变慢过程中地壳各部分之间的相对运动, 产生彼此之间的引张、挤压或平移; ③地球圈层角动量转换所引起的构造驱动力; ④地球内部的热动力。

## 致 谢

孙殿卿院士始终关心本项研究工作并给予指导与帮助; 崔盛芹教授和吴淦国教授为本项目立项作了大量前期准备工作, 提供了许多相关资料; 马宗晋院士关心本项研究工作, 并与项目成员进行交流和讨论, 对本项研究有所启发和帮助; 肖庆辉、崔作舟、吴锡浩、王小凤和廖椿庭研究员等参入了立项期间的讨论, 为项目研究提过重要建议, 在此一并致谢! 地矿部科技司有关领导、地科院领导和历届所领导曾支持和关心本项目研究进展, 在此表示感谢。

由于本项研究时间短促, 经费有限, 因此在研究和报告编写过程中难免存在一些缺陷、疏忽和错误, 希望批评指正。



# 第一章、全球构造格局及其展布规律

全球构造及其动力学机制，是百余年来国际地学界普遍关注的重大科学问题，不同时期形成不同研究热点，不断涌现出新的全球构造理论与学说。国际上，本世纪六十年代以前，先后问世了地球收缩说、地球膨胀说、槽台学说、大陆漂移说等有较大影响的全球构造假说。六十年代，基于全球海洋地质调查、地震地球物理探测与古地磁研究等方面重大成果之上，提出了海底扩张假说与板块构造学说。八十年代以来，相继提出了地体构造、颤动构造与地幔羽构造等新的大地构造理论。在国内，本世纪中期先后提出了地质力学、多旋回学说、断块构造、地洼学说、波浪镶嵌学说、重力构造、活动地块等大地构造理论或假说。这些全球与大地构造学说，均建立在一定地区、一定技术方法、长期研究成果、丰富地质构造资料的基础上，都在一定时期对地球科学的发展产生过较大或重大影响；但也都不同程度地受到历史条件、地域和实际资料的限制，存在不同的缺点和问题。

近二十多年以来，随着全球对比计划的实施和高新技术方法的应用，国际地学界相继开展了世界地质构造编图、国际海洋钻探、大陆超深钻探、全球地学断面、世界应力图、全球空间测量、全球地震层析等综合性探测研究计划，取得了多方面震动性重大成果，揭示了很多重要的地质构造现象，提出了大量有待于进一步研究的新的科学问题，向已有地质构造理论提出了新的挑战，为认识全球构造格局及其动力学机制，为发展跨实际地球动力学理论，提供了可靠的资料和坚实的基础。

## 第一节、全球主要构造类型

### 一、大洋中脊与转换断层

大洋中脊与转换断层，是占地球表面积 71% 的海洋洋底规模最大、最宏伟、最壮观的构造—地貌单元，也是地球表面最主要、最重要的构造类型之一。

#### 1 大洋中脊

大洋中脊亦称中央海岭，是大洋中部宽度一般约 1000—2000km、相对于洋盆高度一般约 2000—3000m、规模宏大的海底山脉，在太平洋、大西洋、印度洋、北冰洋各大洋盆连续延伸，成为总长度达约 80000km 的环球山系。脊顶水深大多为 2000—3000m，少数火山成因的山峰露出海面，成为规模不等的洋中岛屿，如属于北大西洋中脊部分的冰岛。大洋中脊的地形非常复杂，地貌在纵向上呈波状起伏的形态，总体上中间高，向两侧变低，并逐步过渡为大洋盆地（图 1—1）。大致平行于大洋中脊走向，存在一系列相间分布的山岭和谷地。岭、谷起伏的幅度，一般在中脊中心部位附近较大，向两侧逐步减小。沉积物厚度在大洋中脊顶部很薄甚至缺乏，向两翼逐步增加（图 1—2）。在大西洋与印度洋的洋中脊轴部，发育宽数十—百余公里、深约 1—2km 的裂谷（图 1—2）。



大洋中脊地壳厚度一般小于正常大洋地壳，轴部地壳厚度可减薄至 2—6km。大洋中脊的地壳结构也明显不同于正常的大洋地壳，表现为上覆沉积物薄，缺乏正常洋壳下部常见的辉长岩与超镁铁质侵入岩层，主要由海底喷发的基性、超基性火山岩组成，海底火山岩层直接盖于地幔低速带（或异常上地幔、软流圈）之上（图 1—3）。由于地壳与岩石圈薄，大洋中脊显示出高热流值特征，构成全球最显著的高热异常带。

大洋中脊是全球构造—岩浆活动最强烈的地带之一，火山喷发与浅源地震活动频繁。自大洋中脊轴部向外，火山岩的时代与海底磁异常条带发生规律性变化。轴部火山岩年龄小，向两侧火山岩年龄逐步增大（Pitman et al., 1974），反映海底扩张与洋壳增生规律。



图 1—1 大西洋洋底地形图  
(据 B.C. Heezen et al., 1968)

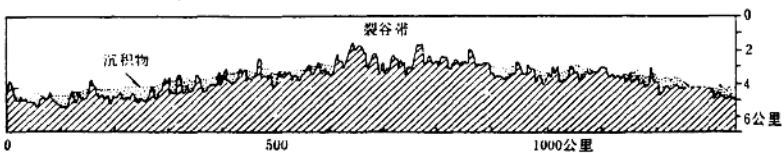


图 1—2 大西洋中脊北纬 40°横剖面图  
(据 Ewing et al., 1967)

大洋中脊的构造—地貌特征、结构构造特点、火山岩地球化学组成及岩石年龄的规律性分布，均反映其张性或裂谷构造属性。

## 2 转换断层

与大洋中脊紧密伴生的构造是海底另外一种重要的构造类型，即转换断层（Wilson, 1965）。转换断层近垂直于大洋中脊展布，横断大洋中脊（图 1—1），但其运动特点明显不同于一般的平移断裂，是自洋中脊轴部向两侧海底扩张所引起的一种特殊的断层类型（图 1—4）。

转换断层的规模很大，长度达到数千—上万公里，一些转换断层横切整个大洋盆地，并延伸至大陆，控制部分海底地震与大陆地震的分布（图 1—5）。地球物理探测资料表明，转换断层的切割深度大，横切整个岩石圈。沿海底转

转换断层，发育断崖与槽谷，断层崖高达 2km 以上。转换断层尚伴有较强烈的动力变质作用，发育角砾岩化、糜棱岩化、片理化与蛇纹石化、绿片岩化、角闪石化等剪切变形—变质作用。一些转换断层还兼有张性或压性活动特点。

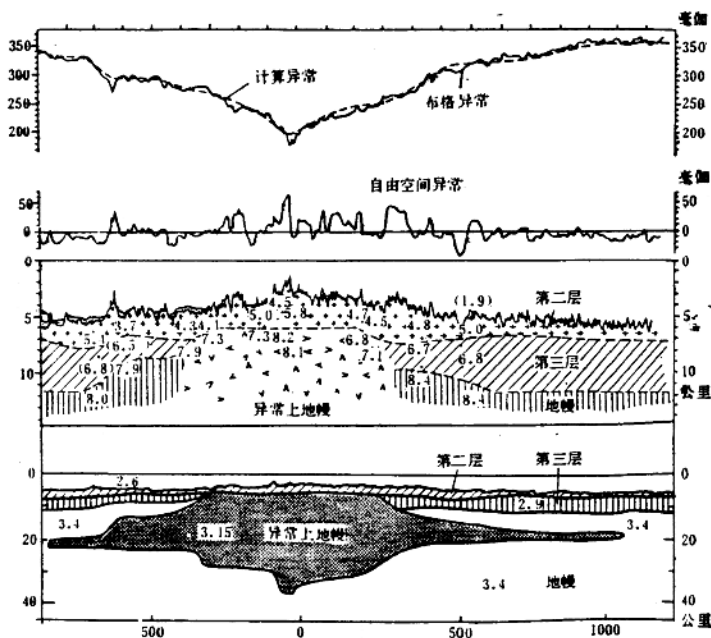


图 1—3 北大西洋中脊的地壳结构和重力异常剖面图  
(据 Talwani et al., 1965)

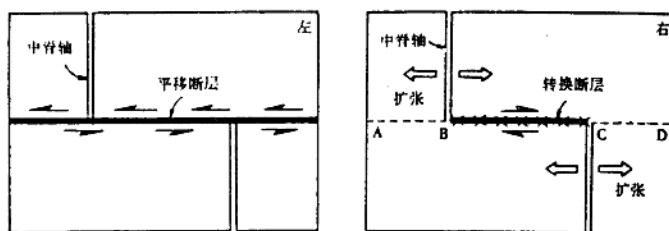


图 1—4 平移断层（左）与转换断层（右）平面示意图  
(据金性春, 1984)

沿转换断层，尚有软流圈物质上涌，出现火山活动，局部形成新的洋壳。部分转换断层表现出与大洋中脊、海沟复杂的联合、复合关系。

## 二、俯冲构造体系

在太平洋周缘与印度洋北缘，广泛发育俯冲构造体系。大洋岩石圈板块俯



缘的智利海沟、太平洋北缘的汤加海沟等，海沟深度均达数千—上万公里，产生地球表面地形高差最大的构造—地貌带。板块俯冲伴有剧烈的火山活动（图 1—6、1—8），构成全球规模最宏伟的火山带，如西太平洋岛弧火山岩带、东太平洋安底斯火山岩带等，火山岩的岩石成分与化学成分（ $K_2O$ ）自海沟向大陆方向发生规律性变化（图 1—8）。全球 3/4 的活火山分布在板块俯冲带。俯冲带在海沟侧发育高压低温变质作用，在岛弧侧发育高温低压变质作用，形成双变质带（图 1—8）。俯冲带尚伴有地球上最大的负重力异常带，也是地球表面热流最低的构造单元。

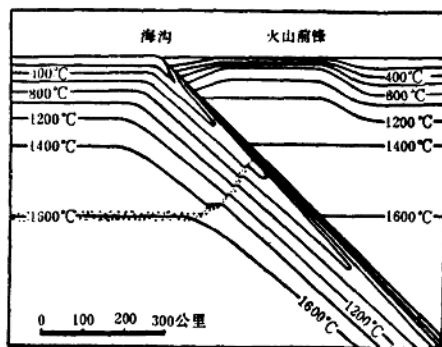


图 1—7 俯冲带等温线分布图  
(据 Boillot, 1979)

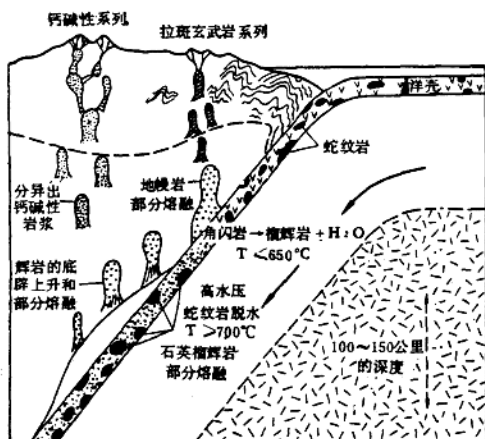


图 1—8 俯冲带岩浆岩与变质岩分布图  
(据 Ringwood, 1974)

在安第斯型构造—岩浆带，发育广泛的中酸性岩浆侵入、火山喷发与强烈的逆冲推覆构造活动（图 1—9）。地质历史时期，上述两种类型俯冲带可发生转化（Dewey and Bird, 1970）。

### 三、大陆造山带

造山带是大陆最重要的构造类型，是地质科学的摇篮，是百余年来国际地质学界最主要的野外研究基地，是当代大陆动力学研究的野外实验室，不同时期形成不同的研究热点。

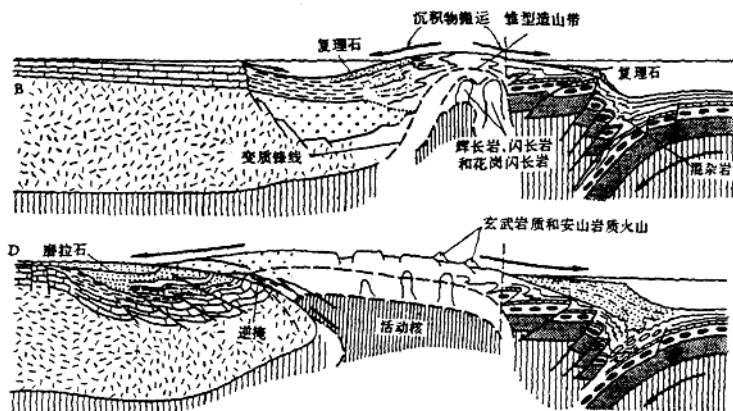


图 1—9 太平洋型俯冲带 (B) 与安第斯型俯冲带 (E) 剖面图

(据 Dewey and Bird, 1970)

### 1 造山带基本特点

显生宙的造山带在地貌上呈现出带状山系，发育多期强烈的地壳运动，压性与压扭性构造变形居主导地位，形成复杂的褶皱构造、逆冲推覆构造与韧性剪切带，常伴有多期岩浆侵入、广泛的火山喷发、特殊的沉积建造（磨拉石建造）、不同程度的区域变质作用与多种类型的金属内生矿作用（Sengor, 1990；崔盛芹, 1999）。仅个别造山带，如阿尔卑斯造山带与八面山造山带，岩浆—热事件微弱。

值得强调指出的是，一定地区的造山作用主要发生在一定的地质历史时期。主造山期形成的山岳地貌在经历深部重力均衡、固态塑性流变与地表的风化剥蚀之后，在百万年一千万年的时间尺度内，将被夷为平地，形成夷平面。现今地表所见到的绝大部分造山带，其主造山作用都发生在早第三纪以前，所形成的古山脉均已夷平；现今山岳地貌是晚第三纪以来形成的，现今山脉隆升过程与主造山期地壳运动、构造—岩浆活动不存在直接的动力学成因联系；因此，拟将主造山期的造山作用与现今山岳地貌的形成过程区分开来。如中国大陆东部的山脉或山系，以强烈挤压构造变形—岩浆活动为特点的造山作用均发生在新生代之前，与此相关的古山脉均已夷平，形成北台期、唐县期、兴安期等夷平面；现今山岳地貌，如东南沿海山系、南岭、武夷山、太行山、阴山、燕山、大兴安岭等山脉，都是在古夷平面基础上，在东亚西滨太平洋带伸展构造背景下，于晚喜马拉雅期隆升起来的。一些学者将造山带古山脉被夷平之后的现今山脉隆升过程称为后造山作用、重造山作用或地貌造山作用（Cui Shengqin et al., 1996, 1997；吴珍汉等, 1998）。仅喜马拉雅山、安第斯山、太平洋西缘岛弧带等少数造山带，晚喜马拉雅期发育主造山作用与强烈的地壳运动，因此其构造—岩浆活动与现今山脉隆升同步进行，并存在动力学成因联系。

## 2 不同类型造山带的地质特征

造山带存在不同类型 (Sengor, 1990)。据所处构造部位, 将造山带划分为陆缘俯冲型、陆间碰撞型与陆内型, 陆内型造山带可进一步划分为陆内挤压型、陆内伸展型与陆内走滑型。尚有其他的造山带分类方案 (Sengor, 1990; 崔盛芹, 1998)。

陆缘俯冲型造山带发育于俯冲的大洋板块前缘, 在太平洋板块周缘广泛分布, 如安第斯造山带、太平洋西缘岛弧造山带等。大洋板块向大陆岩石圈下俯冲作用所产生的强大构造挤压力导致强烈的构造变形与岩浆活动, 形成规律性展布的褶皱构造、逆冲推覆构造与韧性剪切带 (图 1—10), 伴有强烈的岩浆侵入、火山喷发与区域变质作用, 形成构造成因冷侵位的蛇绿岩套、混杂堆积、双变质带。

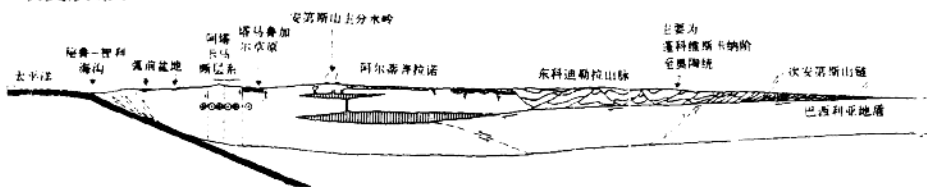


图 1—10 安第斯造山带剖面图

(Jordan et al., 1983)

陆间碰撞型造山带亦称陆—陆碰撞型造山带, 发生于两个大陆岩石圈板块的挤压、汇聚部位, 如喜马拉雅造山带。在陆间碰撞型造山带, 常有一个大陆块体俯冲至另外一个大陆块体之下, 导致上覆大陆地壳的剧烈构造变形与规律性的构造—地貌组合。如印度—亚洲陆—陆碰撞带, 由于印度大陆俯冲至亚洲大陆之下 (图 1—11), 在东亚大陆以喜马拉雅为中心的数千公里的范围内, 产生非常强烈的挤压构造变形, 自南向北依次形成西瓦利克山前凹拗陷、世界最高山—喜马拉雅山脉、世界最大最高的高原—青藏高原及其周缘的众多大型山系 (图 1—12)。部分学者尚认为印度—亚洲陆—陆碰撞的远程构造效应波及整个亚洲 (Tapponnier et al., 1975, 1993)。

陆内造山带发育于大陆岩石圈板块内部, 一般远离陆洋边界达 500—1000km 以上, 既非地槽封闭造山, 也非板缘俯冲或陆—陆碰撞造山, 缺乏典型陆缘、陆间造山带常见的蛇绿岩套、混杂堆积与磨拉石建造及广泛的区域变质作用, 但褶皱变形、逆冲推覆构造变形、韧性剪切变形及中酸性岩浆侵入、火山喷发活动非常强烈, 其造山机理难以据传统的板块构造理论予以合理解释。中国东部的燕山陆内造山带, 中生代发育典型的陆内造山作用, 是古克拉通基础上的典型陆内造山带 (Cui Shengqin et al., 1996, 1997; 崔盛芹, 1998)。燕山陆内造山带的克拉通结晶基底形成于太古宙—古元古代, 中新元古代—古生代发育稳定的滨浅海相—海陆交互沉积盖层, 构造变形与岩浆活动微弱 (Cui Shengqin et al., 1997; 吴珍汉等, 1998); 仅在燕山北缘, 由于受到古亚洲洋封

闭与板缘俯冲造山的影响，而发育一些压性与压扭性构造变形及岩浆侵入活动。中生代，燕山地区发育多期强烈的地壳运动与构造—岩浆活动，形成燕山陆内造山带。中生代以陆内挤压型造山作用居主导地位，以多期强烈的褶皱变形、韧性剪切变形、逆冲推覆、中酸性岩浆侵入与广泛的火山喷发为主要特征，形成不同方向的褶皱构造、韧性剪切带、逆冲推覆构造系统与遍及全区的火山—沉积建造、数百个规模不等的花岗岩体及百余个大中型金多金属矿床（图 1—13、1—14）。

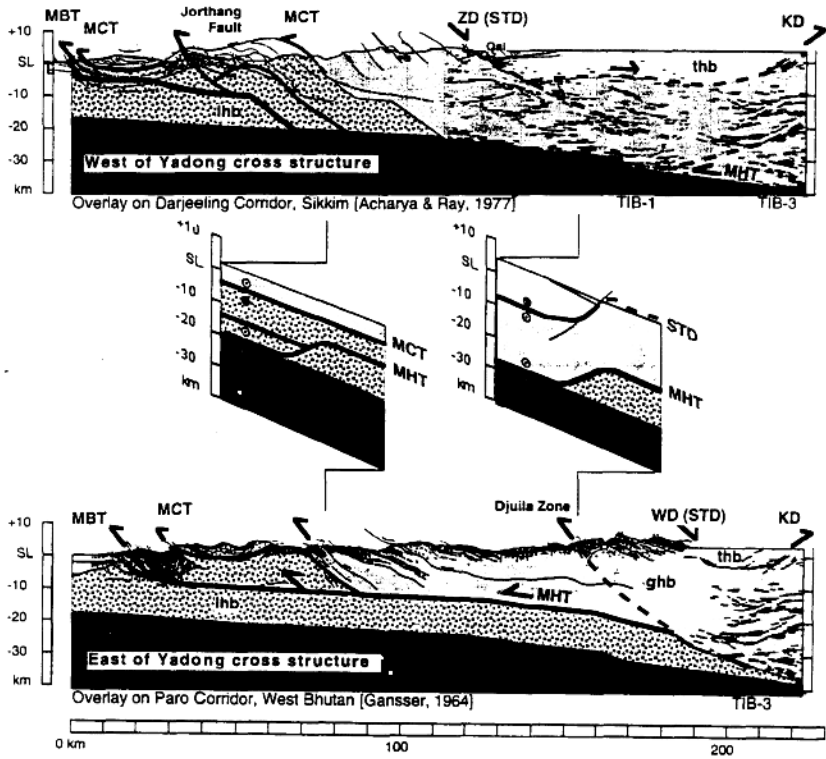


图 1—11 印度—亚洲陆—陆碰撞带构造组合  
(Hauck and Nelson et al., 1998, 据 INDEPTH 深部探测资料)

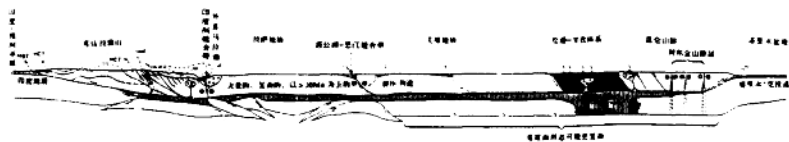


图 1—12 恒河平原—青藏高原—塔里木盆地剖面图  
(据 Sengor, 1991)



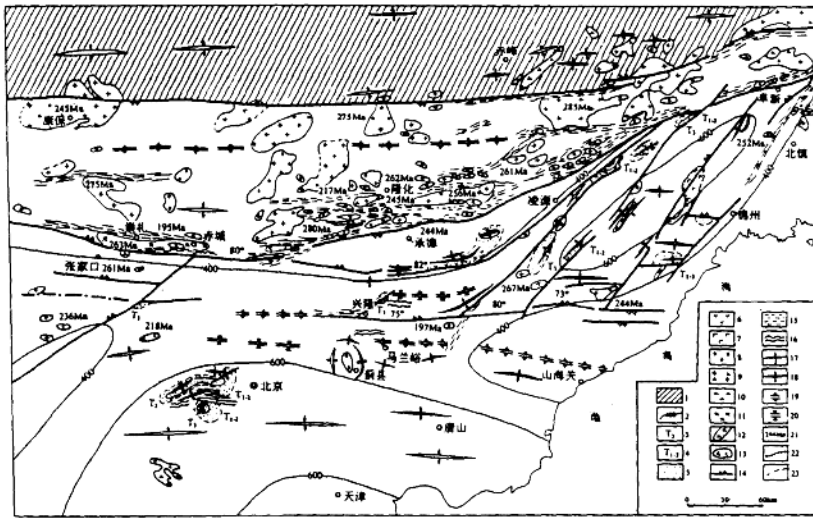


图 1—13 燕山陆内造山带晚华力西—印支期古构造图

1 兴蒙褶皱系；2 台区石炭—二叠纪地层等厚线；3 上二叠统；4 中下二叠统；5—13 分别为砂砾岩、安山岩、玄武岩、花岗岩、花岗闪长岩、闪长岩、碱性岩、辉绿岩和基性—超基性岩；14 逆冲断裂；15 韧性剪切带；16 固态流变构造；17 和 18 背、向斜；19 复背斜；20 复向斜；21 同位素年龄；22 角度不整合。

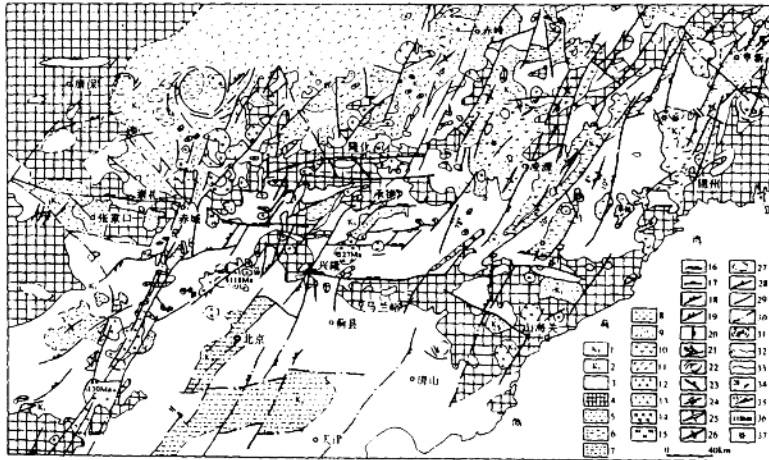


图 1—14 燕山陆内造山带晚燕山期古构造图

1 上白垩统；2 下白垩统；3 中新元古代—侏罗纪构造层；4 太古宙—古元古代构造层；5 砾岩；6 砂页岩互层；7 泥、砂、砾岩互层；8 陆相含煤岩系；9—11 分别是酸性、中性和基性火山岩；12 花岗岩；13 闪长岩；14 碱性杂岩；15 辉长岩；16 纬向压扭性构造带；17 纬向张扭性构造带；18 北东向逆冲断裂；19 北东向压扭性断裂；20 经向张扭性断裂；21 帚状构造体系；22 旋卷构造体系；23 北西向张扭性断裂；24 平移断裂；25 背斜；26 向斜；27 一般环状构造；28 同沉积断裂；29 性质不明断裂；30 隐伏断裂；31 变质核杂岩；32 角度不整合；33 地质界线；34 推测地层产状；35 断裂产状；36 同位素年龄；37 火山口。

(图 1—13 和 1—14 据吴珍汉, 1997, 1998)

新生代以陆内伸展造山作用居主导地位,褶皱变形微弱,张性—张扭性断裂活动强烈,裂谷作用显著,在周缘裂谷盆地快速裂陷的同时,燕山山脉不均匀快速隆升,形成现今盆—山构造—地貌格局(Cui Shengqin et al., 1997; )。

在漫长的地质历史时期,不同类型的造山作用可发生相互转换。如喜马拉雅造山带,在古特提斯洋消亡之前,发育陆缘俯冲型造山作用;在新生代早期古特提斯洋消亡之后,转化为陆—陆碰撞造山作用。燕山及邻区,自晚古生代晚期—中生代—新生代,相继发育陆缘俯冲造山、陆内挤压造山与陆内伸展造山作用,不同时期不同类型的造山作用具有不同特征,形成不同的区域构造格局(表1—1)。

表1—1 燕山及邻区显生宙造山类型及基本特征对比表

造山类型	新生代陆内伸展造山	中生代陆内挤压造山	晚古生代陆缘俯冲—碰撞造山
大地构造环境	欧亚大陆东部,离陆缘俯冲带大于1000km	欧亚大陆东部,离当时俯冲带大于800km	古亚洲洋南部活动大陆边缘
构造变形特点与构造格局	通向不均匀升降居主导地位,水平方向以强烈伸展为特征;裂陷作用显著,形成现今盆—山构造地貌格局;地震活动性强,褶皱变形微弱	存在南北向与北西—南东向强烈挤压作用,形成多期褶皱变形、多方向多层次滑脱与逆冲推覆、韧性剪切及固塑性流变等构造类型;尚发育一些同沉积断裂与变质核杂岩构造	自古亚洲洋向南,依次为深海盆地—俯冲带—岛弧带—弧后盆地—活动大陆边缘—稳定克拉通,形成以近东西向为主的逆冲推覆、褶皱及韧性剪切构造
主要构造线方向	北东—北东东向与东西向同沉积断裂,北西向扭性—压扭性断裂	早印支期以东西向构造为主,晚印支—早燕山期以北东向与东西向构造为主,晚燕山期以北东向构造为主	近东西向构造居主导地位
侵入岩组合	侵入岩出露很少,仅在京北白河堡出露少量辉长岩体,在冀北坝上高原等地出露一些辉绿岩脉	花岗岩—花岗闪长岩—闪长岩—二长岩—正长岩—碱性杂岩,局部地区发育少量基性—超基性侵入岩	基性—超基性岩,花岗岩—花岗闪长岩—闪长岩—二长岩—碱性岩
火山岩组合	大碱碱性—钙碱性玄武岩类	陆内多期火山喷发,以基性—中性—中酸性—酸性火山岩为主,局部发育碱性火山岩系	槽区发育多期基性—超基性火山岩系及中性—中酸性—中酸性火山岩系,一些具典型枕状构造,台区火山活动微弱
变质特点	未变质	接触热变质作用为主,区域变质作用微弱	低绿片岩相区域变质为主
区域金、多金属成矿特点	矿化微弱,仅形成一些砂金矿点与氧化矿体,局部伴有火山热液型金铜矿化	矿化强度高,构成最重要成矿时期,矿床规模大、数量多、类型复杂,形成大量砂卡岩型铜铅锌矿床、热液型脉状金、银、铂、铀、钨矿床、斑岩型铜钼矿床、火山—次火山岩型金铜矿、蚀变岩型金矿与碱性岩型金矿床类型	矿化强度较大,在槽区形成块状硫化物型多金属矿,在陆缘构造—岩带带形成基性—超基性岩型铜钼矿、韧性剪切型金矿、斑岩型钼矿等矿床类型
区域构造应力场及其动力来源	最大主压应力以北东—南西向为主,最小主压应力以北西—南东向为主,构造动力来源于印度—欧亚大陆碰撞所产生的强大挤压力	最大主压应力以北西—南东向为主,最小主压应力以北东—南西向为主,构造动力主要来自于太平洋板块向西俯冲所致强大挤压力,早期尚有较强南北向挤压	最大主压应力以南北向为主,最小主压应力以东西向为主,构造动力主要来自于古亚洲洋板块向南俯冲所致挤压力
造山机制	与中生代挤压造山后应力松弛、重力作用、深部热隆及北东向挤压所致张效应多种动力因素的联合作用有关	既非地槽封闭造山,也非板缘俯冲、陆—陆碰撞造山,更非地体拼贴造山,而与大陆岩石圈内部的高热状态、深层滑脱、强烈挤压所致陆内变形等动力因子的联合作用密切相关	板缘俯冲—碰撞造山机制,形成典型的古沟—弧—盆体系及俯冲—碰撞造山带
构造域归属	喜马拉雅构造域	西滨太平洋构造域	古亚洲洋构造域