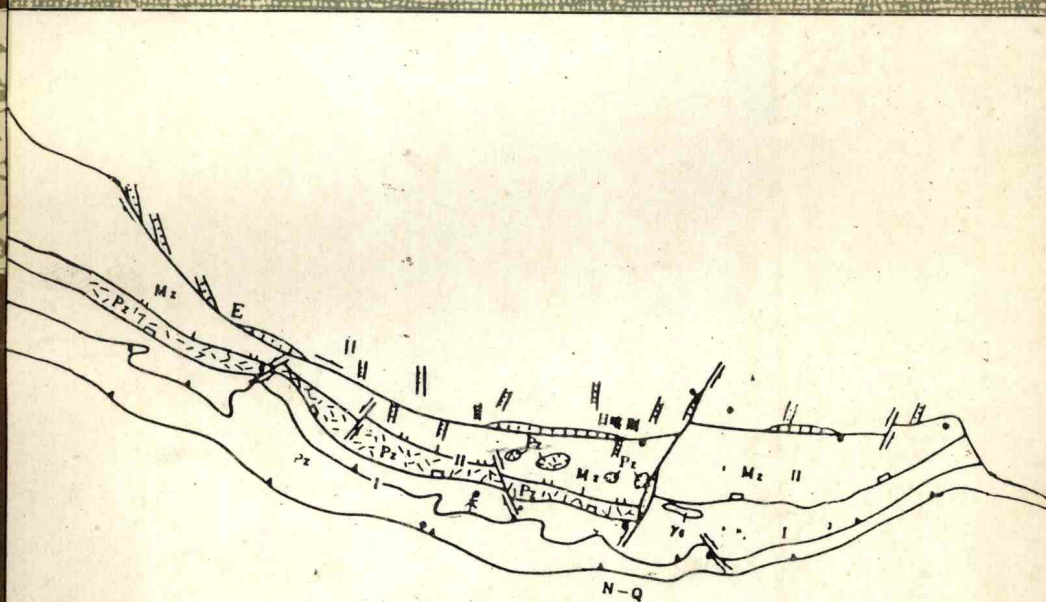


四维动态成矿理论 的探索与实践

——以西藏罗布莎铬铁矿区为例

李德威 李先福 著



中国地质大学出版社

四维动态成矿理论的探索与实践

——以西藏罗布莎铬铁矿区为例

李德威 李先福 著

中国地质大学出版社

• (鄂)新登字第 12 号 •

内 容 简 介

本文以西藏罗布莎豆荚状铬铁矿的研究成果为例,系统地阐述了四维动态成矿分析的基本理论和研究思路,分析了大陆构造样式及其动力学机制,对陆间伸展海盆中蛇绿岩的特征和成因进行了探讨。在深入研究构造背景的基础上,运用构造解析学、成矿动力学、比较成矿学的原理和方法,讨论了矿田构造型式、构造控矿成矿规律、成矿演化的构造过程、动力成矿机理和动力成矿模式,提出了“层流隆陷”、“构造成矿序列”、“动力成矿模式”、“成矿场”、“成矿相”、“剪切动力成矿作用”等新概念。

本书内容丰富、观点鲜明、思路开阔、认识新颖、综合性强。对大陆构造和矿田构造研究都具有一定的启示意义,可供地质、矿产、地化等专业的教学、科研和生产人员参考。

④ 四维动态成矿理论的探索与实践

——以西藏罗布莎铬铁矿区为例

李德威 李先福 著

出版发行 中国地质大学出版社(武汉市·喻家山·邮政编码 430074)

责任编辑 朱志澄 刘士东 责任校对 熊华珍

印 刷 中国地质大学出版社印刷厂

开本 787×1092 1/16 印张 6.125 字数 160 千字

1993 年 9 月第 1 版 1993 年 9 月第 1 次印刷 印数 1—500 册

ISBN 7-5625-0862-3/P·295 定价: 8.50 元

序

研究造山带深部结构和阿尔卑斯型铬铁矿床的成矿作用及过程一直是构造学家和矿床学家们众所瞩目的课题。展布于雅鲁藏布江南岸的蛇绿岩带和罗布莎铬铁矿正是从事这项研究的最佳活动舞台。在那里,强烈的造山作用、大规模的构造拆离、推覆和隆升,把深埋上百公里的地幔岩石带到了世界屋脊,从而打开了人们直接窥测大陆岩石圈深部的地质构造的窗口,也把一个绵延30多公里的特大型铬铁矿奉献给中国人民。然而,怎样才能揭示这一运动的过程和实质?怎样才能做到该矿床的成矿预测的科学性和准确性?除了应用当代最新技术方法和测试手段而外,还应具有以活动的构造观为指导的解析方法和思路。令人欣喜的是,参加攀登这一高峰的两位不满30岁的年青人,由于他们在工作中应用当代最先进的大陆动力学的理论和构造解析的思路与方法,在十分艰苦的条件下顽强拼搏,对罗布莎铬铁矿带的成矿构造背景和成岩、成矿的构造过程以及成矿期后的改造,进行了有效的成矿四维动态分析,并建立起一个既有理论意义又具实际价值的构造动力成岩成矿模式。他们的工作,不仅在项目评审中博得众多赞誉,而且在后继找矿工作中得到了充分的肯定。

成矿构造分析应以成矿建造研究为基础。按照大陆岩石圈及地壳变形动力学和构造动力成岩成矿的理论思维,全面地应用多种学科和多种技术手段的调查研究成果,跨学科地全面解析成矿的源(矿源、热源、水源)、媒(地球化学媒介)、场(构造应力场、变形场和与之相关的物理场、化学场)、相(构造变形相及其相关的沉积相、变质相、矿物相),源媒相关地、场相相宜地去观察、分辨、分析和处理构造与成矿之间的关系,把沉积、侵位、变质、变形的各种运动与成矿作用统一起来,把构造序列与成矿过程联系起来,从时、空、力、物、境五个方面对成矿区的构造和成矿进行多尺度、多层次、多体制、多因素和多世代的四维动态分析,具有极其重要的意义。

马杏垣老师曾经指出:地质构造的发展可以运动学地描述为一个序列,最终导致我们现今观察到的状况,为寻求对地质构造发生和演化过程及其驱动力的理解,需要探讨在所有尺度地体中起作用的互相依存的许多过程和原因(马杏垣,1987)。应用四维动态成矿分析方法来研究矿田、矿床构造,一反过去那种单纯的构造与矿产之间的就事论事的描述、堆砌和演绎,把立足点放在整个构造序列的演化与成矿总过程之间的运动学和动力学的联结上,把区域的和显微的、深层的和浅层的、成矿的和就位的构造的研究结合起来。只有这样,才能弄清楚哪些世代的构造只是作为成矿的“场地准备”;哪些世代的构造控制矿源、热源和水源;哪些世代的构造控制着工业矿体的形成;哪些世代的构造仅起到预集的作用,而哪些世代的构造改造、破坏和保护已形成的矿床。只有这样,才能在成矿预测中科学地建立起四维的动态的控矿构造模式,而不是经验的描述性的含矿构造图形。使之能在同类矿床的寻找和远景评价上,收到“窥一斑而见全豹”的效益。

本书两位青年作者,在这方面已作出了显著的成绩。他们在书中阐明的四维动态成矿理论、方法和实践,可供读者借鉴。

雅鲁藏布江的急流日夜奔腾,后浪紧推前浪,在他们的而立之年,衷心祝贺他们的专著正式出版。

傅昭仁

1993. 5. 1

前 言

矿田构造研究,对于认识矿床成因、指导隐伏矿床预测都具有十分重要的意义。近年来的研究和实践表明,传统的构造形态控矿模型和静态成矿理论需要发展,建立在多学科交叉研究基础之上的动力成矿模式和动态成矿理论正显示出强大的生命力。深入研究多尺度、多层次、多体制、多类型和多期次控矿成矿构造,剖析一些典型矿床的成矿背景、成矿系统、成矿空间、成矿演化和成矿机理,进行四维动态成矿分析,不仅能够解决一些长期争论的矿床的成因问题,而且,还可以更进一步认识特定大地构造环境的成矿规律和矿床标志。

本文所要阐述的四维动态成矿理论,主要研究在岩石圈深部及其下部物质运动导致地壳高度活动的构造背景下,特定成矿系统所具有的空间配置和组合规律、成矿演化的构造过程以及构造动力成岩成矿机理。

我国大陆构造具有特殊的活动性,并制约了成矿的规律性。我国老一辈地质学家十分重视构造成矿规律的研究,在四维动态成矿理论的不同研究领域进行了开拓性工作,提出了成矿构造学、构造地球化学、多因复成矿床、改造成矿理论、动力成岩成矿理论等。作者以此书为尝试,通过对罗布莎铬铁矿床的研究,力求进一步探索构造与成矿的一些重要问题。主要包括以下几个方面:

1. 成矿的大地构造背景以及不同大地构造单位的成矿规律。可以说,运用板块构造理论研究大陆岩石圈的成矿规律和成矿机制,还处于探索阶段。从青藏高原区域构造特征出发,进行大陆动力学分析和构造成矿规律研究,可以建立具有我国特色的大地构造与成矿理论。

2. 深部构造活动的成矿意义以及蛇绿岩的成因。越来越多的人认识到,地壳构造演化和成矿作用与地幔物质活动和构造热动力作用密切相关,蛇绿岩不一定是古大洋中脊的产物。著名的雅鲁藏布江蛇绿岩带及其东段罗布莎铬铁矿床的系统研究,可以说给这些问题作出一个有据的答案。

3. 构造系统与成矿系统的关系。不同层次、不同级别、不同类型的构造组合对多级成矿系统的制约关系是研究矿床空间分布规律的核心问题,涉及到区域构造格架、多类构造组合、多级构造分带、矿带构造特征、矿田构造型式、成矿构造形迹、控矿构造类型等内容。

4. 构造演化与成矿演化的关系。在研究控矿成矿构造系统的继承、叠加、干扰、改造和交切关系,解析构造系统与成矿系统的时空关系和成生联系之后,深入分析成矿演化的构造过程,总结矿田构造的发展规律,建立构造成矿序列,是成矿构造演化研究的基本内容和主要思路。

5. 动力成矿机理和动力成矿模式。在搞清成矿背景,总结成矿规律,研究成矿源、成矿场、成矿期和成矿相的基础上,探讨一定类型的矿床的动力成矿机理,建立动力成矿模式,既可进一步认识矿床的成因机制、又能指导隐伏矿床的系统勘查和定量预测。

本书是作者在参加地矿部科研项目《西藏曲松县罗布莎铬铁矿成矿预测》基础上,吸收了“七五”国家重点科技攻关项目《中国东部隐伏矿床研究》和“七五”国家科委科技引导项目《全国固体矿产成矿预测系统综合研究》下属课题的部分理论研究成果,进一步提炼而成。本书第五章由李先福执笔,其余部分由李德威撰写并统编全书稿。

在野外工作、室内整理和本书撰写、出版过程中，自始至终得到了傅昭仁教授和李紫金教授的指导和帮助；朱志澄教授、张本仁教授和单文琅教授审阅了全文，提出了宝贵的意见；与郭铁鹰教授进行过多次很有启发的讨论；傅昭仁教授为本书作了序。在此表示衷心感谢。

工作中曾得到曹佑功、璞兆华、巴登珠、张宜智、薛君治、邹海卿、吴钦、夏斌、张华平、郭建慈、张时健、赵令湖、杨槐、邓爱琼、尼桑等同志的支持和帮助。在此表示深切谢意。

部分图件由朱彩霞同志清绘。作者十分感谢。特别还应该感谢夏芳，她不仅给予大力支持，还协助整理和清抄文稿。

需要指出的是，西藏地矿局第二地质大队 20 多年的辛勤勘查工作为研究矿区构造及成矿规律积累了丰富的资料，并为这一成果的出版发行创造了条件。

无疑，仅凭这本小册子要把四维动态成矿理论和方法阐述清楚，是很不够的，就现有的工作程度而言，也是十分困难的。本书所作的一些尝试性探讨，肯定仍存在许多不足之处，恳请读者指正。

作者

1992. 12. 6

目 录

第一章 成矿的大陆构造背景及其动力学过程.....	(1)
一、大陆构造基本型式.....	(1)
二、青藏高原构造样式.....	(3)
三、喜马拉雅构造分带.....	(5)
四、造山造盆机制探讨.....	(8)
第二章 雅鲁藏布江蛇绿岩带构造及成因	(13)
一、地质概况	(13)
二、构造特征	(16)
三、上地幔流变状态	(21)
四、蛇绿岩成因的初步分析	(24)
第三章 罗布莎铬铁矿矿区地质概况	(27)
一、沉积建造特征	(27)
二、岩体地质特征	(28)
三、矿床地质特征	(30)
第四章 罗布莎铬铁矿矿田构造型式	(35)
一、韧性剪切系统	(35)
二、透镜网络系统	(40)
三、脆性断裂系统	(45)
第五章 罗布莎铬铁矿的控矿构造解析	(52)
一、罗布莎铬铁矿的产出状态	(52)
二、脆性断裂系统对含矿带的改造	(54)
三、罗布莎铬铁矿的就位构造分析	(57)
第六章 成矿演化研究	(59)
一、矿田构造的发展规律	(59)
二、成矿演化的构造过程	(62)
三、构造成矿序列	(64)
第七章 矿床的四维动态分析	(66)
一、成矿动力学的一些基本问题	(66)
二、罗布莎铬铁矿的形成机制	(71)
结束语	(78)
参考文献	(79)
英文摘要	(84)

CONTENTS

Chapter 1 Continental Tectonic Setting of Metallogeny and its Dynamic Process	(1)
1. Basic patterns of the continental tectonics	(1)
2. Tectonic styles of the Qinghai-Tibet Plateau	(3)
3. Tectonic zonation of the Himalayan orogenic belt	(5)
4. Formation mechanism of orogenic belts and basins	(8)
Chapter 2 Structure and Genesis of the Yarlung Zangbo River Ophiolite Belt	(13)
1. Geologic aspects	(13)
2. Structural features	(16)
3. Rheomorphic state of the upper mantle	(21)
4. Genetic analysis of the ophiolite	(24)
Chapter 3 Geologic Aspects of Luobusha Chromite Area	(27)
1. Features of sedimentary formations	(27)
2. Geologic features of the magmatic bodies	(28)
3. Geologic features of the deposits	(30)
Chapter 4 Structural Patterns of the Luobusha Chromite Field	(35)
1. Ductile shear system	(35)
2. Lenticular network system	(40)
3. Brittle fault system	(45)
Chapter 5 Ore-Controlling Structure Analysis of Luobusha Chromite	(52)
1. Attitude of Luobusha chromite	(52)
2. Reformation of brittle fault system for Luobusha chromite-bearing ore belt	(54)
3. Emplacement structure analysis of Luobusha chromite	(57)
Chapter 6 Study on Metallogenic Evolution	(59)
1. Developing regularities of ore field structure	(59)
2. Structural process of metallogenic evolution	(62)
3. Tectono-metallogenic sequence	(64)
Chapter 7 Four-Dimensional Dynamic Analysis of Deposits	(66)
1. Some basic problems of metallogenic dynamics	(66)
2. Metallogenic mechanism of Luobusha chromite	(71)
End Words	(78)
References	(79)
Abstract in English	(84)

第一章 成矿的大陆构造背景及其动力学过程

不同性质、不同类型的大地构造单元铸造了不同的地质背景和成矿环境，按不同方式产出不同类型、各具特色的矿床，并在其成矿演化和空间分布上表现出一定的规律性。因此，进行动力成矿分析，不能脱离大地构造背景。

一、大陆构造基本型式

大陆构造不仅是人们开采和勘查的矿产资源的主导控制因素之一，而且也是固体地球科学的主要研究内容之一。近 10 余年来，在大陆构造研究和构造地质学方面取得了许多重大进展和突破性的新认识，如地体移置与拼贴、岩石圈分层拆离构造、逆冲推覆构造、韧性剪切带、变质核杂岩及剥离断层、走滑-拉分作用等等。上述研究成果表明：大陆岩石圈与大洋岩石圈之间在结构和性质上存在很大的差异。大陆岩石圈不完全是刚性体，具有物质不均一性、分层流变性、构造多旋回性、变形多样性、“板内”活动性、隆坳相关性、垂平转换性。所以，从海洋地质中诞生的经典板块构造在解释大陆构造上遇到重重困难。

大量的地质资料表明，大陆构造格局是以分层结构、断块构造和隆坳组合为主要特征。它们是进行成矿分析的宏观因素，也是研究大陆动力学的地质基础。

（一）圈层构造

在“国际地球物理年”、“上地幔计划”、“岩石圈计划”和“地球动力学计划”等的推动下，岩石圈深部地质研究取得的最大成果之一是确立了岩石圈分层结构模型。不论是大陆还是大洋，都具有多层结构，大陆岩石圈更为复杂，壳幔内部具有不同构造层次的低速层和大规模顺层滑脱拆离构造，而且，越往岩石圈深处，低速滑脱层的厚度越大，对上覆圈层的影响也越大。

地球物理资料表明，青藏高原岩石圈中发育多层大型低速滑脱层。吴功建等（1989）通过亚东-格尔木地学断面的系统工作，认为青藏高原壳内存在两个低速高导层，上部低速高导层出现在 20—30km 深处，层厚 4—9km，与滕吉文（1985）的研究结果基本一致。下部低速层在 50km 深处，层厚在 14km 以下。赵文津等（1993）通过深地震反射剖面研究，认为在 30—35km 也存在壳内滑脱层。至于更深和更浅处，仍然有低速层存在，如藏南出现小于 10km 的低速层（袁学诚等，1985）；地震资料还反映了地幔 90—100km 深处出现低速层（滕吉文，1985）。这些低速层既是构造活动界面，制约和调节了不同圈层的构造变形方式和不协调运动状态，同时，也是大规模物质层流地带，与此相关的部分熔融和动力重熔物进一步改造了青藏高原岩石圈的热结构和热状态。

（二）断块构造

与顺层滑脱拆离构造显著不同的另一种重要构造型式是深断裂。深断裂常以高角度切割地壳和上地幔，构成一些重大构造单元的分界。大陆岩石圈被一系列不同方向、不同性质的深断裂围限成许多隆块、陷块和旋块。

深断裂按其力学性质可分为引张型、挤压型和剪切型三类。实际上，地表出露的深断裂一般是这三种基本形式的复合、转化和叠加，它们随着区域构造演化而继承性发展。以雅鲁藏布江深断裂带为例，中生代具有引张性质，控制了裂陷海盆的发育、地幔物质侵位和三叠—白垩纪海相沉积；中生代末至新生代初，陆间海盆敛合，中生代形成的构造和建造均受到强烈的挤压改造，张性深断裂在浅层次变为分散的背冲式逆冲断层。沿着张性深断裂侵位并焊结两侧陆块的镁铁质、超镁铁质岩发生强烈肢解和透镜体化，中生代海相沉积物强烈褶皱；在高原隆升阶段，雅鲁藏布江断裂带表现为区域性走滑作用和表壳层次伸展裂陷作用，控制了近东西向长条状山间上叠断陷盆地中第三纪磨拉石建造。多期构造演化导致雅鲁藏布江断裂带呈现复杂的构造组合。

（三）隆坳构造

隆升山系与沉陷盆地的规律组合是大陆最显著的构造地貌特征，并具有深远的地质意义。据作者初步研究，隆坳构造具有如下特点：

（1）造山带与盆地在空间上相互依存，定向分布，相间排列，而且二者的规模呈正相关。中国大地构造格局分东、西两大构造域。东部盆地和造山带主要呈北北东向展布，包括两个大陆内沉陷带：一个是滨太平洋由松辽盆地、华北盆地、苏北盆地构成的我国陆内第一沉陷带；另一个是由二连盆地、鄂尔多斯盆地、四川盆地等组成的陆内第二沉陷带，其间多为中生代形成的山脉。中国西部为近东西向“盆岭”构造，规模巨大，主体分为两大构造单元：北部是由伊宁盆地、准噶尔盆地、哈密-吐鲁番盆地、塔里木盆地、柴达木盆地、酒泉盆地组成的巨型沉陷带，南部是著名的青藏高原。其内均发育次一级的隆起带（或造山带）和坳陷带，它们具有相同方向的构造线。

（2）造山带与盆地在物质上相互转化，互为补偿。造山带与相邻盆地往往具有共同的或基本相似的基底，更深层的地壳分层结构和物质性质基本相同。盆地接受来自相邻造山带的碎屑沉积物，同时伸展盆地底部物质发生层流并转移到周围的造山带之中，从深部获得热流物质的隆升山脉经剥蚀之后，将碎屑物带到相邻沉陷盆地中补偿沉积，随着构造演化，构成盆岭物质动态循环体系。

（3）造山带与盆地具有不同的构造样式。平面上呈线性分布的造山带核部出露古老的变质基底，常伴有造山花岗岩主动侵位。基底与盖层的接触关系往往不是过去一直强调的角度不整合，而是表现为顺层基底剥离断层，它与揭顶之后的隆升（底辟）基底杂岩一起，构成厚壳变质核杂岩。一些造山带，如喜马拉雅、科迪勒拉等造山带，具有构造不对称性：盆岭反差显著的一侧，表现为逆冲推覆和伸展滑覆；另一侧发生伸展拆离作用。相比而言，构成负地势的面状盆地中心接受最新沉积，下伏岩层大规模拉伸减薄，热活动十分显著，快速沉降的断陷盆地边部发育生长断层，同时，也受到相邻山体侧向扩展作用的改造，形成逆冲推覆构造和飞来峰以及一些盆缘逆冲断层和滑覆构造，因而，伸展盆地往往具有压陷边缘。

二、青藏高原构造样式

豆荚状铬铁矿，或称为阿尔卑斯型铬铁矿，一般产于造山带内部蛇绿岩中。造山带的构造演化和蛇绿岩的形成环境在很大程度上控制了豆荚状铬铁矿的成矿特征、成矿规律、成矿机理和成矿演化。罗布莎铬铁矿床位于青藏高原南部、喜马拉雅造山带北侧的雅鲁藏布江蛇绿岩带的东段，成矿构造背景十分复杂，还涉及到许多当今地质科学研究的热点和争论的焦点问题。因而，青藏高原，不仅是揭示大陆构造的窗口，而且也是建立和尝试四维动态成矿理论的理想基地。

青藏高原以地势高、地壳厚、隆升晚、构造典型而吸引众多国内外地质学家，已取得丰硕的地质成果。概括起来，青藏高原具有如下主要构造特征：

1. 垂向分层物聚增厚 大量资料表明，青藏高原尽管具有双倍于正常地壳的厚度，但不是双壳重叠结构。不管地壳模型是三层还是四层结构，都反映了高原中部地壳显著增厚，向边缘减薄。羌塘地区最厚，为70—75km，喜马拉雅在50km左右，格尔木一带约55km。这种似盆状异常地壳是由顺层方向和穿层方向物质散聚调整铸成的。岩石圈内近水平的剪切带和滑脱层是前者的反映，岩浆底辟和变质岩底辟是后者的表现。

2. 平面分块开合剪滑 青藏高原被一系列深断裂带分割成条条块块。控制雅鲁藏布江、班公湖—怒江和金沙江等蛇绿岩带的深断裂带，代表已消亡的晚古生代至中生代伸展裂陷槽的张裂轴，也是新生代消亡盆地的压缩轴。高角度深断裂带经历了控制超镁铁质岩被动侵位的裂谷环境和导致蛇绿岩构造就位和强烈肢解的褶皱逆冲和走滑改造，成为特提斯构造演化的离合中心。

阿尔金、鲜水河、南昆仑等大型走滑断层在运动学和动力学上与塔里木盆地、恒河盆地、四川盆地的“楔入”作用协调一致。但是，这种平面应变不足以导致高原隆升。隆升可能是在“高原”内部消失的东西向裂陷槽南北收缩、地壳恢复到正常状态基础上，再从沉陷盆地底部抽出大量物质并运移到高原底部顶托上地壳造成的。脆性上地壳沿着改造后的深断裂发生差异升降，形成巴颜喀拉、昌都、羌塘、冈底斯、喜马拉雅等隆块。由盆地底流层带动的、处于沉陷过程中仍向高原腹地迁移的盆地刚性壳层楔入高原后产生的走滑断层分割出祁（连）昆（仑）、松潘甘孜等旋块（图1-1），它们绕直立轴发生顺时针旋转。

3. 周缘扩展侧向叠覆 青藏高原显著的构造特征之一是周缘山体向前陆盆地大规模逆冲，在喜马拉雅山脉、昆仑山脉、祁连山、龙门山等造山带外侧构成叠瓦状冲断带。它们具有如下特点：①从推覆体根带至锋带，逆冲断层由高角度变为低角度，局部出现反倾现象；②逆冲断层自腹陆向前陆扩展；③轴面与断面近于一致的褶皱从锋带向根带减弱；④盆缘出现向中心递减的褶皱冲断构造。此外，造山带上部侧向扩展与盆地底层物质运动共同作用导致盆地盖层在基底之上滑脱，形成侏罗山式褶皱。

上述特点表明，在高原隆升过程中，随着隆坳反差增大，山体向外侧向扩展，并由挤压推覆体发展成伸展滑覆体。它们只能看作是造山调整机制，而不能作为造山成因机制。

4. 多层剪切滑脱拆离 喜马拉雅岩石圈发育多层韧性剪切系统。幔型、壳幔型韧性剪切带中镁铁质糜棱岩矿物拉伸线理和流变状态反映了岩石圈深部的水平剪切作用。大量地球物理资料也一致反映青藏高原下地壳和上地幔中存在低速高导层（滕吉文，1985）和多层次叠覆式特殊热结构（沈显杰，1991）。许多学者已认识到多层拆离与高原形成有一定的关系，它

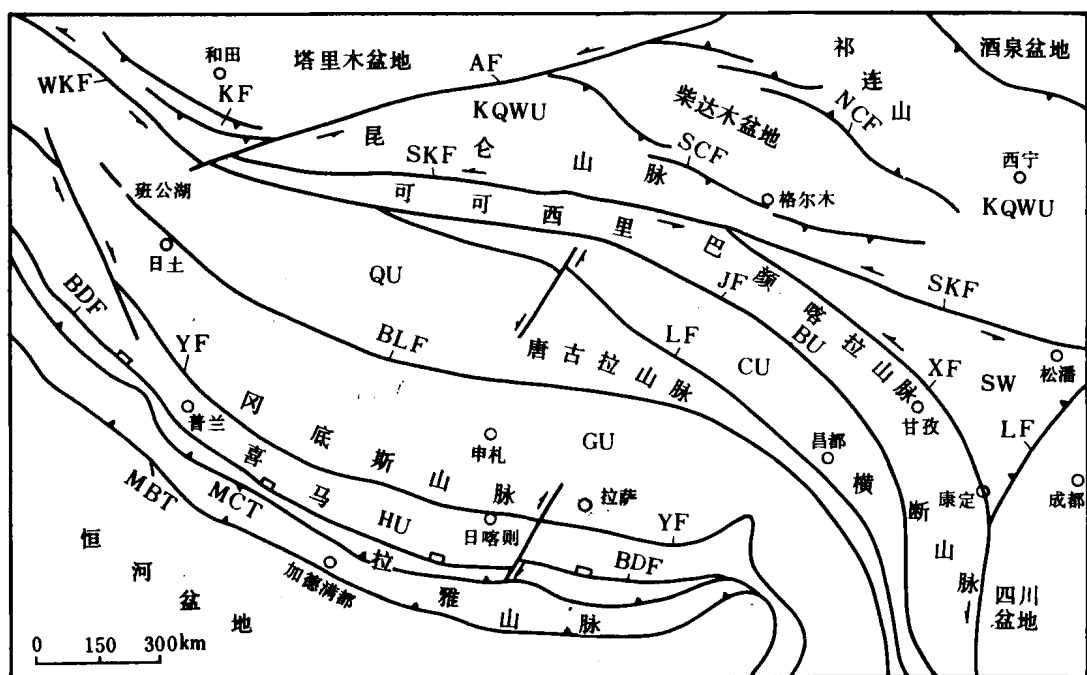


图 1-1 青藏高原构造略图

Fig. 1-1 Schematic tectonic map of the Qinghai-Tibet Plateau

KQWU. 祁昆旋(隆)块; BU. 巴颜喀拉隆块; CU. 昌都隆块; QU. 羌塘隆块; GU. 冈底斯隆块; HU. 喜马拉雅隆块; SW. 松潘旋块; MBT. 主边界逆冲断层; MCT. 主中央逆冲断层; BDF. 基底剥离断层; YF. 雅鲁藏布江深断裂; BLF. 班公湖-怒江深断裂; LF. 澜沧江深断裂; JF. 金沙江深断裂; XF. 鲜水河走滑断层; SKF. 昆仑南缘走滑断层; SCF. 柴南缘逆冲断层; NCF. 柴北缘逆冲断层; AF. 阿尔金走滑断层; WKF. 西昆仑走滑断层; KF. 昆仑山前逆冲断层; QF. 祁连山前逆冲断层; LF. 龙门山前逆冲断层

们在地壳厚度增减和物质垂平转换中起重要作用。具有不同的物性、热状态和粘度的相邻圈层以不同的流变速率运动，导致圈层之间大规模的拆离作用和耦合作用，实现圈层间能量和物质的交换和转化。主要表现之一是不同构造层次的部分熔融和构造重熔物质底辟上涌，形成诸如喜马拉雅和冈底斯之类的 S 型和 I 型花岗岩带。

5. 四维伸缩动态转换 许多学者十分强调青藏高原的挤压作用。实际上，高原演化过程中自始至终存在伸展作用与收缩作用密切相关的构造组合。除中生代面型伸展裂陷槽和层型伸展拆离外，高原隆升过程中也具有显著的伸展作用。在平面上，与高原边缘逆冲推覆相对应的是山体内侧大规模的带状伸展，如喜马拉雅变质核杂岩及其剥离断层系统。从高原边缘向中心形成逆冲推覆带、伸展剥离带和堑-垒构造带。在剖面上，似盆状地壳的下部强烈挤压，上部地壳侧向扩展。

6. 各向异性差异形变 青藏高原及邻区岩石圈结构具有显著的不均一性，这不仅反映在造山带与毗邻盆地的表壳构造格局上，而且也表现在圈层结构上。岩石圈下部圈层以塑性流变、顺层滑脱为主，构成分层剪切系统；上部圈层主要表现为块断运动，形成沉陷隆升系统、透镜网络系统和岩片叠牌系统。

综上所述，青藏高原以多圈层耦合作用、深断裂离合作用、断块旋转隆升作用、高原与

盆地转换作用为特征，俯冲说、碰撞说、楔入说都不能圆满解释这些现象。青藏高原的隆升与深部地质作用和周缘盆地发展密切相关。

三、喜马拉雅构造分带

长期以来，喜马拉雅一直作为大陆碰撞、陆内俯冲、逆冲堆叠、缩短加厚的典型地区。实际上，在前新生代多次“开”、“合”演化基础上形成的喜马拉雅新生代强烈变形的构造格局，也存在伸缩体制的时空统一。中法地质科考队首次确定高喜马拉雅结晶基底与上覆沉积盖层之间不是逆冲断层，而是向北缓倾的大型正断层（Burg 等，1984）。近年来，作者通过研究喜马拉雅造山带多层次、多类型的伸展构造及其与逆冲推覆构造的关系，重新划分了该区的构造单位（图 1-2）。

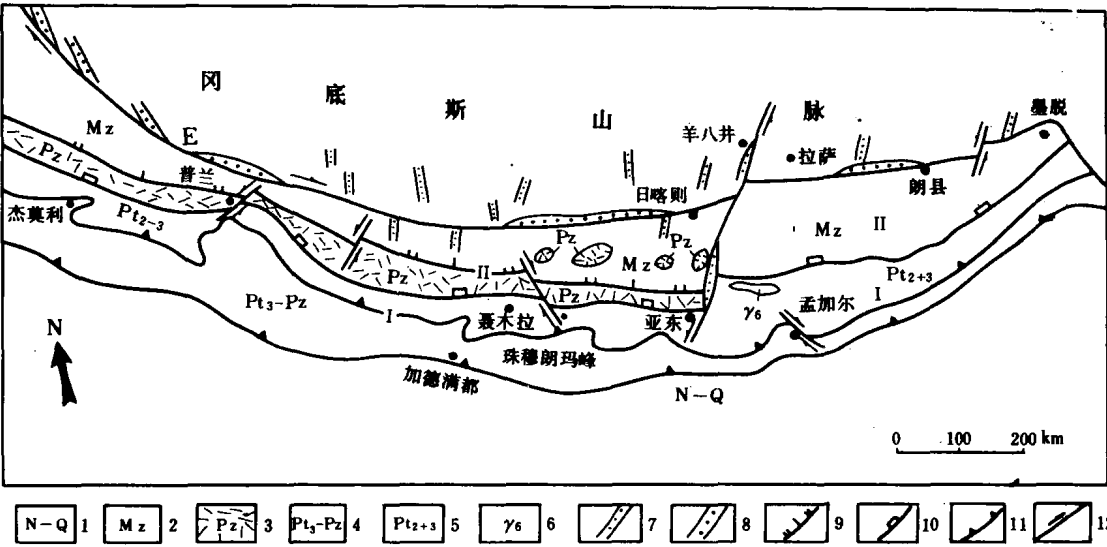


图 1-2 喜马拉雅构造略图

Fig. 1-2 Schematic tectonic map of the Himalayas

- 1. 上第三系—第四系构造层；2. 中生界构造层；3. 古生界构造层；4. 上元古界—古生界构造层；5. 中、上元古界构造层；6. 喜马拉雅期花岗岩；7. 第四系断陷盆地；8. 第三系断陷盆地；9. 剥离断层；10. 基底剥离断层；11. 逆冲断层；12. 走滑断层；I. 南喜马拉雅逆冲堆叠带；II. 北喜马拉雅伸展剥离带

（一）南喜马拉雅逆冲堆叠带

位于中印、中尼边境的高喜马拉雅出露大片狭长分布的元古界结晶岩系，主中央逆冲断层和主边界逆冲断层将元古界和部分古生界向南依次逆冲，并沿着前陆盆地边坡滑覆，锋带可达恒河盆地锡瓦利克群磨拉石建造之上（图 1-3）。

主中央逆冲断层是北部高原与南部低山带的分界。由片麻岩、混合岩组成的上推覆体从锋带到根带，轴面北倾的褶皱从倒转式过渡为斜歪式，再变成宽缓式，根部发育中新世（同位素年龄值一般为 10—20Ma 或 20—30Ma）淡色花岗岩和糜棱岩带。同时恒河盆地开始出现来自低喜马拉雅的中中新世细碎屑沉积。造山带南侧冲断作用与岩浆活动、动力变质、前陆

盆地沉积作用具有十分密切的时空关系和成生联系。

沿着喜马拉雅山链与恒河盆地边界发育的主边界逆冲断层，将下推覆体逆冲并滑覆于中新世至中更新世锡瓦利克群之上，并导致前陆盆地东部数千米厚的陆相碎屑沉积岩层发生向盆地中心挤压变形强度递减的褶皱作用。显然，主边界逆冲断层晚于主中央逆冲断层。吴锡浩等（1992）认为，主边界逆冲断层是早更新世晚期羌塘运动（1.5—1.2Ma）时期形成的。

（二）北喜马拉雅伸展剥离带

北喜马拉雅伸展剥离带和南喜马拉雅逆冲堆叠带都以结晶岩系为其重要组成部分，二者之间没有明确的界线。根据伸展构造的规模、类型和组合特征，北喜马拉雅伸展剥离带分为如下四个亚带（图 1-3）。

1. 高喜马拉雅变质核杂岩 高喜马拉雅出露多期变形的元古界角闪岩相片麻岩，并伴有喜马拉雅期浅色花岗岩。基底岩系与上覆特提斯沉积岩系之间呈断层接触，该断层既不是传统的逆冲断层，也不是简单的正断层，而是一条大型基底剥离断层。基底岩系与不同时代的沉积岩层以顺层剥离断层接触，这是基底抽出过程中近断层的古生界强烈拆离减薄造成的。减薄的盖层经强烈的侵蚀作用之后，在老地层之上残存由剥离断层圈闭的新地层，称之为滑来峰。如珠穆朗玛峰顶部出现古生界的滑来峰（图 1-3）。

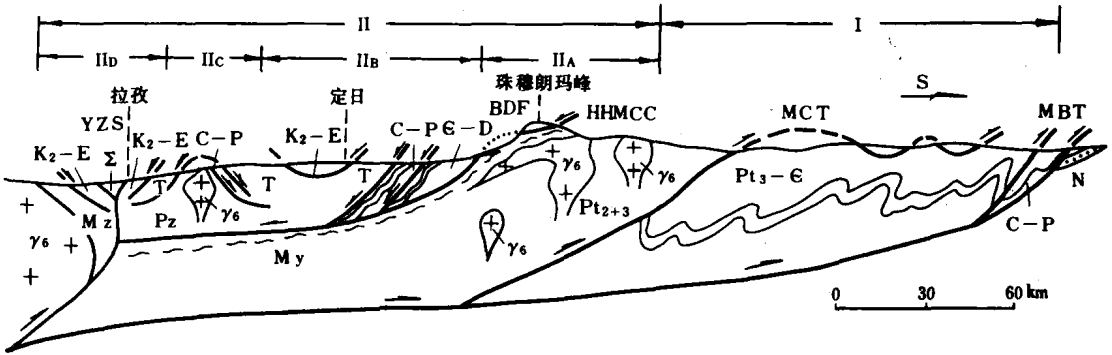


图 1-3 横过喜马拉雅山脉构造剖面示意图

Fig. 1-3 Schematic tectonic section across the Himalayas

N. 上第三系；K₂-E. 上白垩统一下第三系；T. 三叠系；Mz. 中生界；C-P. 石炭系—二叠系；E-D. 寒武系—泥盆系；Pz. 古生界；Pt₃-G. 上元古界—寒武系；Pt₂₊₃. 中、上元古界；γ₆. 喜马拉雅期花岗岩；My. 糜棱岩；Σ. 基性、超基性岩；YZS. 雅鲁藏布江缝合带；BDF. 基底剥离断层；MCT. 主中央逆冲断层；MBT. 主边界逆冲断层（HHMCC）；I. 南喜马拉雅逆冲堆叠带；II. 北喜马拉雅伸展剥离带；IIA. 高喜马拉雅变质核杂岩；IIB. 普兰-亚东剥离断层亚带；IIC. 萨迦-康马链状隆伸亚带；IID. 雅鲁藏布江坳-垒构造亚带

基底剥离断层下盘是数十米厚的糜棱岩带，带内岩石已退变质到绿片岩相。拉伸线理和剪切标志指示向 NNE 方向正向韧性剪切。

显然，上述构造组合具有变质核杂岩的基本特征，但又与科迪勒拉型变质核杂岩的结构有所差异，基底岩系一侧逆冲，另一侧伸展并在盖层岩系中发育一系列剥离断层，故称之为喜马拉雅型变质核杂岩。

2. 普兰-亚东剥离断层亚带 特提斯喜马拉雅带沉积岩系南带以古生界为主，近东西向呈条带状分布。在岩石力学性质显著不同的岩性界面之上形成一系列向北倾斜的顺层断层，主

要出现在奥陶系与志留系、志留系与泥盆系、泥盆系与石炭系、二叠系与三叠系之间，其中下古生界与上古生界、上古生界与中生界之间的断层作用最强。过去一直认为它们是逆断层，然而，断层上盘较新地层强烈减薄和部分构造缺失以及下盘较老地层中出现轴面与断面近于一致的顺层掩卧褶皱和顺层韧性剪切带，表明它们是典型的剥离断层。它们向下可能收敛于基底剥离断层（图 1-3）。

该带剥离断层具有如下特征：①剥离断层沿着不同时代地层的岩性界面顺层发育，往往是大套碳酸盐岩与碎屑岩的界面，二者的岩石力学性质差别较大，有利于顺层滑脱。如泥盆系碎屑岩与石炭系碳酸盐岩之间，二叠系碳酸盐岩与三叠系碎屑岩、板岩之间；②剥离断层上盘地层强烈减薄，局部地段经层间剥离后出现构造缺失。这种现象在亚东-羊八井断裂带以西表现得非常明显；③剥离断层下盘岩石塑性变形很强，出现轴面向北倾斜的顺层掩卧褶皱、鞘褶皱和剪切带；④剥离断层带内常见糜棱岩、断层角砾岩和断层泥；⑤露头上表现为低角度的正断层，倾角一般为 $20^{\circ}-45^{\circ}$ 。

尽管本区剥离断层顺层滑脱，难以估算位移量，但是，从断裂带的发育规模、断层面的缓倾产状以及上盘地层强烈拆离减薄等现象可以推知，喜马拉雅造山带形成之后，曾出现过较大规模的水平伸展作用。由于这些剥离断层被 NW 和 NE 向两组走滑断层切割，可以初步确定它们形成于区域性逆冲推覆作用与地壳浅层次脆性剪切作用之间。

3. 萨迦-康马链状隆伸亚带 本带位于北喜马拉雅伸展剥离带中部的康马—萨迦一定日一带，平面上表现为三叠系内出现一系列以前奥陶系为核的穹状背斜，它们分段出露，链状分布。

图 1-4 中的链状“穹隆”并不是简单的褶皱，而是具有复杂的几何结构和特征的构造型式，包括三个主要组成部分：①隆升变质核；②底辟花岗岩；③环状滑脱层。

隆升变质核是由一套前奥陶系浅变质岩组成的穹状背斜核，沿其轴部叠加有以岩浆底辟方式主动侵位的喜马拉雅期花岗岩，在花岗岩周缘形成片理化带。隆升变质核周围是圈层状分布的石炭系、二叠系和三叠系，彼此之间以放射状伸展型断层接触（图 1-4）。由于伸展量的差异，隆升变质核不同的部位与不同时代的新地层接触。

需要指出的是，链状隆伸体系是在早期叠加褶皱的基础上形成的。早期褶皱作用还伴随有加里东期中酸性岩浆活动，在东部尤其显著，可能具有多期热隆伸展和相关的褶皱作用。

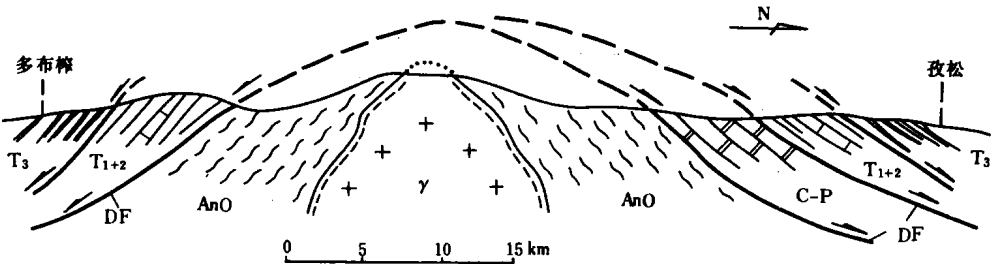


图 1-4 多布棒—孜松构造剖面示意图

（据西藏地矿局第二地质大队资料编制）

Fig. 1-4 The Schematic structural section through Duobuzha to Zisong
T₃. 上三叠统板岩；T₁₊₂. 中、下三叠统碎屑岩、灰岩；C-P. 石炭—二叠系灰岩；
AnO. 前奥陶系变质岩；γ. 花岗岩；DF. 剥离断层

关于造山带边缘基底链状隆起的成因一直存在争议。喜马拉雅北缘链状隆伸构造的上述特征表明它们不是水平挤压的产物,与高喜马拉雅变质核杂岩之间存在亲缘关系,可能是由基底拆离作用、热隆伸展作用和物质均衡作用复合形成的。

4. 雅鲁藏布江坳-垒构造亚带 本带坳-垒构造可分为横向和纵向两组。纵向坳-垒构造主要沿着雅鲁藏布江断裂带分布,往往发育不全,形成箕状断盆(半地坳)和抬掀断块。狭长的坳陷带内充填渐新世至中新世粗碎屑沉积物。

横向坳-垒构造在雅鲁藏布江两侧最发育,它们控制了热(温)泉、湖泊和第四系断陷盆地的分布,并切割了东西向构造,形成横过雅鲁藏布江的坳-垒构造。

两组坳-垒构造都具有多级性。大规模的坳-垒构造带宽数百公里,小者可见于单个露头。横切雅鲁藏布江蛇绿岩带的坳-垒构造对于铬铁矿找矿勘探具有重要意义。

除上述伸展构造类型外,喜马拉雅造山带还发育拉分盆地和重力滑动构造。前者与走滑断层伴生,后者分布十分广泛,多为滑片型,具多层、多级组合。

四、造山造盆机制探讨

近20年来,国内外学者对青藏高原构造演化及隆升机理进行了大量的研究,根据一定的地质事实和地球物理研究成果,提出了众多的构造模式,大大深化了青藏高原的认识。然而,至今还没有一种模式能够圆满地解释青藏高原及邻区的各种地质现象。作者在前人大量工作的基础上,从区域构造规律出发,提出了岩石圈深部层流、浅部隆陷的大陆动力学模式^①。下面试图以此对青藏高原地质构造格局进行尝试性解释。其要点如下:

(一) 构造模型

研究青藏高原的地质学家们在如下几个重要问题上具有共识:①青藏高原是新第三纪以来开始大规模抬升的,可分为两个抬升期,即中新世晚期至上新世末高原北早南晚缓慢抬升和早更新世晚期以来高原整体快速抬升;②控制青藏高原蛇绿岩的几条深断裂都是直立或陡倾的,向下延伸可达到上地幔;③地表隆升的高点(如珠穆朗玛峰)并非对应地壳的“根部”,缺乏均衡作用所必需的“山根”,而是在现代伸展裂陷作用十分强烈的青藏高原中部地壳最厚;④冈瓦纳相石炭-二叠系含砾板岩和冷水型动物群落不仅越过了雅鲁藏布江“缝合带”,甚至跨越了更北的构造边界。因而,简单地用板块俯冲和碰撞理论是难以解释上述现象的。

青藏高原及邻区的地质特征和地壳结构,反映在三维空间上具有显著不同的应力状态(图1-5)。高原内部地壳最厚,一般为70—75km。然而,与周缘相比,挤压变形很弱,伸展裂陷发育,山体高度较低,壳幔物质大规模上涌。高原边部地壳厚度虽然只有50—60km,却环绕高原中部形成冠状隆起的山链,隆升的山体相对前陆盆地具有大量的剩余位能,在高原边缘形成强大的水平扩展带,并以推覆和滑覆的方式释放剩余位能。中上地壳发育由下地壳部分熔融和逆冲断层根部剪切动力重熔产生的壳源底辟花岗岩,其中含有深层变质岩。高原周缘分布的一系列沉陷盆地,其地壳厚度一般为30—35km,其中包括厚度为公里级的磨拉石沉积。例如青藏高原北缘坳陷沉积带中新世至早更新世粗碎屑沉积物厚度达2km(吴锡浩等,

① 李德威,1992,层流隆陷——一种大陆动力学模式。中国科协首届青年学术年会湖北卫星会议论文集。

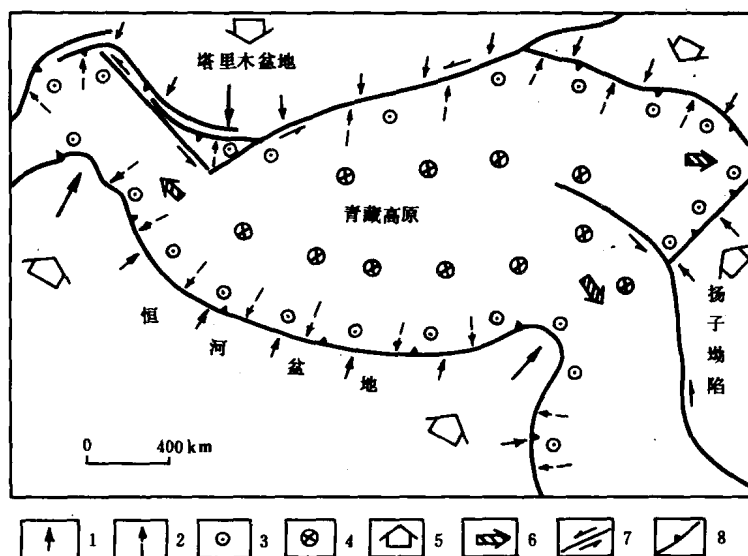


图 1-5 青藏高原物质流动体系示意图

Fig. 1-5 Material flow system of the Qinghai-Tibet Plateau

1. 盆地下部粘塑性物质层流方向；2. 隆升山体侧向扩展方向；3. 壳源上升流；4. 幔源及壳幔混源上升流；
5. 盆地块体运动方向；6. 高原挤出物质流向；7. 走滑断层；8. 逆冲断层

1992)。这是由于盆地底部物质向相邻山根迁移而导致盆地地壳减薄，断陷沉积而成(李德威，1992)。盆地上部刚性层在下部流动物质带动下向高原中心不均匀推进过程中，在相邻盆地的结合部位构成高原物质挤出通道，在高原西部、东北部和东南部形成三个冲击茎，构成三个构造结，相应地形成强烈的挤压褶皱山系，大规模走滑断层和水平旋转的三角地带(图 1-5)。

青藏高原上述构造特征可概括于五层两域的层流隆陷构造模式中(图 1-6)。此动力学模式表明：粘性上地幔和粘塑性下地壳是主要的层流层，具有极为强大的热平流；包括表壳在内的脆性上地壳以断裂作用和块断运动为主，伴有由断裂作用和热活动产生的塑性变形；弹性中地壳主要起调节作用。盆地或拗陷带由于底部物质散发式层流，导致地壳减薄、断陷沉积。高原则因会聚式层流引起地壳增厚、底辟式隆升。复合造山造盆作用构成一幅时空协调、物质补偿、动力转换、垂平转化的动态画面。

(二) 地质效应

在高原和造山带，层流隆陷的构造效应表现为：①在下地壳和上地幔中发育低速高阻的滑脱层和近水平的韧性剪切带；②由区域性伸展作用形成的裂隙槽内的深断裂带在高原形成过程中多次活动，并发生由张性—压性—压扭性—张性的性质转化，作为活动中心，主断面始终保持高角度；③由于隆起伸展作用和山体侧向扩展作用，从高原边缘向中心形成由变质核杂岩→剥离断层→堑-垒构造组成的递减伸展系列；④周边隆升山体外侧由于盆地挤入和重力扩展形成大规模推覆构造和滑覆构造；⑤以蛇绿岩为中心的海槽沉积带在造山初期受到强烈挤压，形成紧闭褶皱和逆冲断层带；⑥高原边部走滑断层作用甚强，形成花状构造和旋块构造。

在建造方面，主要表现为：①出现与隆升伴生的山间盆地和前陆盆地磨拉石建造；②高