

UPLIFTING OF TIBETAN PLATEAU
WITH ITS ENVIRONMENTAL EFFECTS

青藏高原隆升 与环境效应

郑 度 姚檀栋 等 著

 科学出版社
www.sciencep.com

国家重点基础研究发展规划项目(G1998040800)

青藏高原隆升与环境效应

郑 度 姚檀栋 等 著

科 学 出 版 社
北 京

内 容 简 介

本书是国家重点基础研究发展规划项目“青藏高原形成演化及其环境、资源效应”实施5年来全面系统阐述其突出研究进展的一部学术专著。

本书在大量原始数据和资料的基础上,通过加强学科交叉和综合研究,总结了印度大陆与欧亚大陆初始碰撞时限、青藏高原南北缘山盆岩石圈尺度的构造关系、新生代高原北部重大的构造变形隆升事件序列、高原隆升对亚洲季风发展变化的影响、高分辨率气候动态过程及变化趋势、高原不同生态系统类型温室气体吸收与释放等诸多方面取得的主要研究进展和创新成果。

本书内容丰富、资料翔实,可供地学、生物学、环境等领域的科研工作者以及高等院校师生参考。

图书在版编目(CIP)数据

青藏高原隆升与环境效应/郑度,姚檀栋等著. —北京:科学出版社,2004
ISBN 7-03-014581-X

I. 青… II. ①郑…②姚… III. ①青藏高原-地球动力学-研究 ②青藏高原-环境效应-研究 IV. ①P548.27 ②X321.27

中国版本图书馆CIP数据核字(2004)第116865号

责任编辑:朱海燕 吴三保 李久进/责任校对:钟 洋

责任印制:钱玉芬/封面设计:王 浩

科 学 出 版 社 出 版

北京东黄城根北街16号

邮政编码:100717

<http://www.sciencep.com>

中国科学院印刷厂 印刷

排版制作:科学出版社编务公司

科学出版社发行 各地新华书店经销

*

2004年12月第 一 版 开本:787×1092 1/16

2004年12月第一次印刷 印张:36 1/2 插页8

印数:1~1 000 字数:836 000

定价:120.00 元

(如有印装质量问题,我社负责调换〈科印〉)

序

作为地球上一个独特的自然地域单元，青藏高原在晚新生代以来的强烈隆升及其对周边地区气候与环境的深刻影响，一直为科学界所瞩目，成为国际上地球科学、生命科学、资源与环境科学的研究热点和关键区域。

青藏高原早期的综合科学考察具有填补空白、积累基本科学资料的特点。随着科学考察工作的深入，已逐步发展到围绕中心课题开展研究。1992年“青藏高原形成演化、环境变迁与生态系统研究”被列入国家攀登计划项目，强调从以定性为主向定量、定性相结合研究转化和深入；从静态研究向动态研究转化和深入；从单一学科研究向综合研究转化和深入；从区域研究向与全球环境变化相联系转化和深入。

1997年，“青藏高原环境变化与区域可持续发展研究”被列为国家“九五”攀登计划预选项目和中国科学院“九五”重大项目。1998年“青藏高原形成演化及其环境、资源效应”被选列入国家重点基础研究发展规划(973)的第一批项目。该项目选择青藏高原的典型地区为重点，空间上特别注意从高原与毗邻地区的联系，以及从全球尺度探讨高原的各种过程，目标集中在板块碰撞过程和高原隆升过程，以过程为主线贯通碰撞机制、环境变化和资源分布规律的研究；时间上着重新生代以来，在不同时间尺度上定量地描述碰撞和隆升的动态过程及环境变化。自实施以来，项目组完成了野外剖面布设、试验观测，考察采样，定位、半定位的系统观测研究，室内样品整理、分析、测试以及试验模拟等，取得了预期研究成果。项目组成员围绕预期目标，深入分析，加强学科交叉和综合研究，在印度大陆与欧亚大陆初始碰撞时限，青藏高原南北缘山盆岩石圈尺度的构造关系，新生代高原北部重大的构造变形隆升事件序列，高分辨率气候动态过程及变化趋势，高原隆升对亚洲季风发展演化的影响以及高原不同生态系统类型温室气体吸收与释放等方面取得了突出进展，共发表学术论文 600 余篇，其中 SCI 收录刊物论文 169 篇，国内核心期刊论文 433 篇。在此基础上，项目组集中力量撰写完成了《青藏高原隆升与环境效应》这部学术著作。该书的主要作者系一批从事青藏高原研究、有较丰富科研实践经验的中青年科学家，他们瞄准国际学术前沿，立足高原，脚踏实地，取得了可喜的创新性成果。该书的出版体现了国家对青藏高原研究的重视，反映出我国中青年科学家在高原研究领域的新进展，也为对青藏

高原进行深入研究，提供了有益的参考和继续攀登的阶梯。

进入 21 世纪，中国青藏高原的综合科学考察研究事业，面临着新的机遇与挑战。从广度上讲，一方面要拓宽研究领域，从地球科学、生命科学、资源与环境科学、社会经济学等多学科角度，研究青藏高原形成、演化及其资源环境效应以及与全球环境变化的互动作用；另一方面要越来越多地与青藏高原地区可持续发展相结合，为资源合理开发利用、环境保护、生态建设、经济发展、社会进步提供更多的科学依据、技术支撑和咨询建议，服务于国家和地方的重大战略需求。从深度上讲，一方面要提高科学研究的精确度，加强野外观测试验网络建设，由简单定量向精确定量深化，由静态研究向动态研究深化；另一方面，促进地学与生物学、地学与信息科学、地学与社会学之间的学科交叉、渗透和集成，重点研究高原环境变化与人类活动的关系，研究高原环境变化与全球变化的关系，研究高原可持续发展的机理与途径。我希望有志于从事青藏高原科学研究事业的中青年科学家能够继续瞄准国际学术前沿，面对国家需求，不断努力，取得更大的成就，登上新的台阶。



2004 年 4 月

前 言

青藏高原是全球海拔最高的一个独特地域单元，是 65~55Ma 来印度板块与欧亚板块碰撞的结果，是全球唯一仍在活动中的板块碰撞区。它在近几百万年以来大范围的快速抬升，成为地球演化史上最重大的事件之一。青藏高原是研究岩石圈形成演化，探讨地壳运动机制的理想区域。晚新生代以来高原的隆起对其自身及毗邻地区自然环境的演化和分异影响深刻。高原是亚洲季风区气候变化的敏感区，和全球环境变化研究息息相关。高原的自然环境和生态系统在全球占有特殊地位，它现今异常活跃的构造运动，强烈地影响着其本身及周边地区人类赖以生存发展的自然环境、资源和能源的配置以及各种地质灾害的发生。因此，青藏高原是我国具有全球特色的优势研究领域，对解决岩石圈地球动力学和全球环境变化有重要意义，对高原区域可持续发展也有重要而广泛的实际意义。

“青藏高原形成演化及其环境、资源效应”自 1998 年被批准作为国家重点基础研究发展规划项目以来，在依托部门及国家自然科学基金委员会的领导下，组织专家对项目建议书的目标与内容做了深入讨论并进行课题设计，在组织上予以落实。项目研究目标是：选择青藏高原的典型地区为重点，特别注意高原与毗邻地区的联系，从全球尺度探讨高原演化的各种过程。在内容上集中研究新生代以来碰撞过程和高原隆升过程及其影响，以过程为主线，揭示青藏高原形成演化动力学及其环境、资源效应。本项目的主要研究内容包括以下四个方面。

1) 大陆岩石圈碰撞过程及其成矿效应：以建立碰撞过程的时间坐标为主线，研究新生代碰撞变形的几何学、运动学和年代学；高原深部三维物性结构、物质状态及其形成的动力学过程；陆壳与岩石圈形成和演化的时空坐标；板块碰撞过程中壳幔物质与能量交换、盆山转换过程对巨型矿集区形成及油气聚集的制约作用。

2) 高原隆升过程与东亚气候环境变化：通过对高原地貌、新生代剖面、湖泊沉积、冰芯、树轮等证据的研究，揭示高原隆升过程的时空序列；高原环境变化及其对构造事件的响应；高分辨率气候环境动态过程及变化趋势；高原隆升过程对周边地区环境变化的影响。

3) 青藏高原现代表生过程及相互作用机理：通过对高原现代表生过程的

观测分析,研究高原现代气候与环境变化规律;高原冰川冻土动态变化趋势和区域差异;高原生态系统界面过程及其与气候变化的相互作用;高原土地利用与土地覆被变化机理与驱动力。

4) 青藏高原区域系统相互作用的综合研究:主要研究高原岩石圈构造、演化时空分布特征及动力学;高原隆升与气候环境演化的时空耦合;高原环境与生态资产的空间格局;高原气候、生态与环境演化趋势;高原环境与发展协调对策。

自项目实施以来,项目组根据各课题的计划与安排,进行了多次野外考察,全面完成了设计的剖面布设、试验观测和地球物理数据采集、野外地质地貌考察和采样工作,冰芯、湖岩芯、树轮、古生态等钻探取样;对地面气候、大气辐射、冰冻圈过程以及生态系统类型碳循环等进行定位、半定位的系统观测研究和生态与环境的样带与路线调查。在室内对所采集的大量各类样品、标本进行分析、测试和鉴定,开展室内模拟实验研究等,完成了许多图件的整编和卫片图像解译等工作,按计划完成了预期的研究任务。

在此基础上,各课题围绕项目的预期目标,深入分析,加强学科交叉和综合研究,在青藏高原地球动力学、环境变化和生态系统过程等基础研究领域取得了原始性创新成果。自1999年以来,共发表论文656篇,其中SCI收录刊物论文169篇,EI论文3篇,国内核心期刊论文433篇。根据中国科学院资源环境科学信息中心关于青藏高原研究的文献计量分析报告,中国的青藏高原研究在国际上名列前茅,并有几个成果突然增长期。其中最近一次增长期,就是在本项目执行以后出现的。据统计,1999年(“973计划”青藏高原项目启动)后,中国青藏高原研究论文数量迅速上升,本项目发文量约占该领域中国发文量的1/4~1/3,提高了我国在青藏高原研究领域的国际地位。

为了让读者比较全面、系统地了解本项目研究的最新进展,我们组织了部分成员撰写这部学术专著,着重阐述本项目已取得的突出进展。作者按照拟定的写作大纲分头执笔撰写,组织讨论修改,再经审定完稿。项目学术顾问孙鸿烈院士为本书作序,项目学术秘书林振耀,办公室主任冯雪华等同志为本书的编撰和出版付出了辛勤的劳动,特在此表示衷心的感谢。我们希望通过这部专著以及5年来陆续发表的650余篇论文,能够对青藏高原形成演化及其环境、资源效应领域的深入研究做出自己的贡献,也衷心期望得到学术界的批评指正。

Introduction

Uplifting of Tibetan Plateau with Its Environmental Effects

The Tibetan Plateau is an ideal natural laboratory for studies on the earth dynamics of lithosphere and the environmental change, with broad applying prospective for the regional sustainable development of the plateau. By taking the Tibetan Plateau as a key region, the project has especially focused on linkages with surrounding regions and the globe. The project emphasizes the study of the process of continental collision and uplift process of the Plateau, while the processes are considered as a key clue through the studies on collision mechanism, environmental changes and resource effects. The research is devoted to quantitatively depict the dynamic processes of tectonic collision & uplift and environmental changes at different time scales since the Cenozoic Era. By applying synthetic and interdisciplinary methods combined with earth sciences, life sciences, environmental sciences and their hybridized integration, the important theoretical issues such as continental collision dynamics, environmental changes, contemporary epigenetic processes and interactions between biosphere, hydrosphere, cryosphere and atmosphere has been studied, which has provided scientific bases for the resource exploitation and environment harnessing on the Plateau.

Main research contents of the project include the following aspects: the collision process of continental lithosphere and its effect on mineralization; uplift process of the Tibetan Plateau and environmental evolution in East Asia; contemporary epigenetic processes of the Tibetan Plateau and their interaction mechanisms; dynamics of regional system on the Tibetan Plateau and its relationship with global change.

Since its implementation in 1998, the project has carried out many field investigations, during which field geological, geographical and ecological survey and sampling have been finished. Meanwhile, systematic long-term and temporary observation in the field and research, and laboratory analysis, testing, and identification of collected samples and specimens were carried out. The following achievements have been acquired: to find out the initial age of collision between Indian and Eurasian continents; to explain the tectonic-geological relationship at a mountain-basin lithosphere scale in the northern and southern margin of the Plateau; to put forward tectonic systems and to evaluate the mineralization belt and oil gas resources of the Plateau; to establish a series of major tectonic-deformation and uplift events in the northern of the plateau during the Cenozoic Era; to reveal a high solution dynamic process and change tendency of climate; to elaborate the effects of the plateau uplifting on the evolution and changes of the Asian monsoon; to clarify absorption and release of the green-house gas of main ecosystem types on the plateau; to predict changes of frozen ground with climate changes on the Plateau and to illustrate land-cover changes as well as the rehabilitation and management of the degraded land of the Plateau.

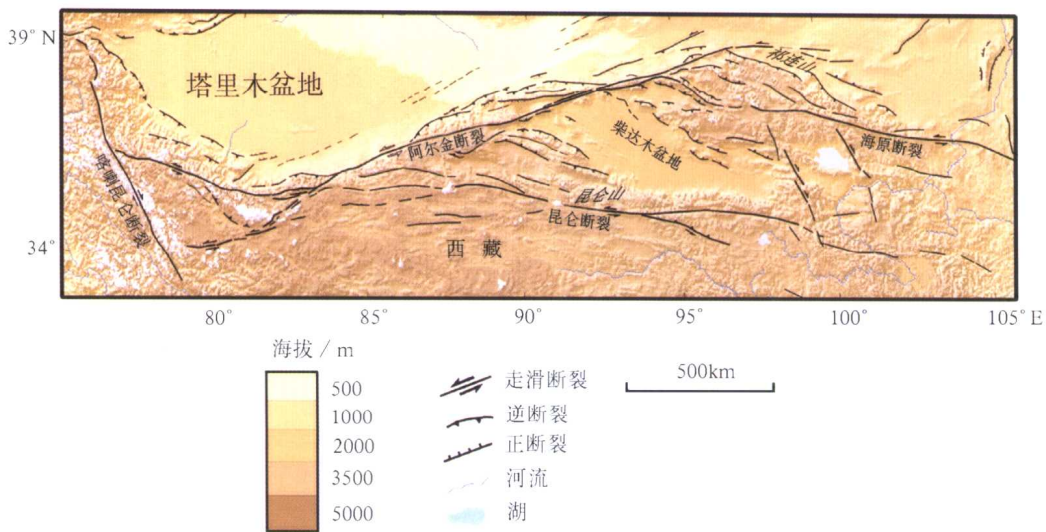


图 1.3 高原北部边界主要由阿尔金走滑断裂和西昆仑逆冲断裂及北祁连逆冲断裂组成

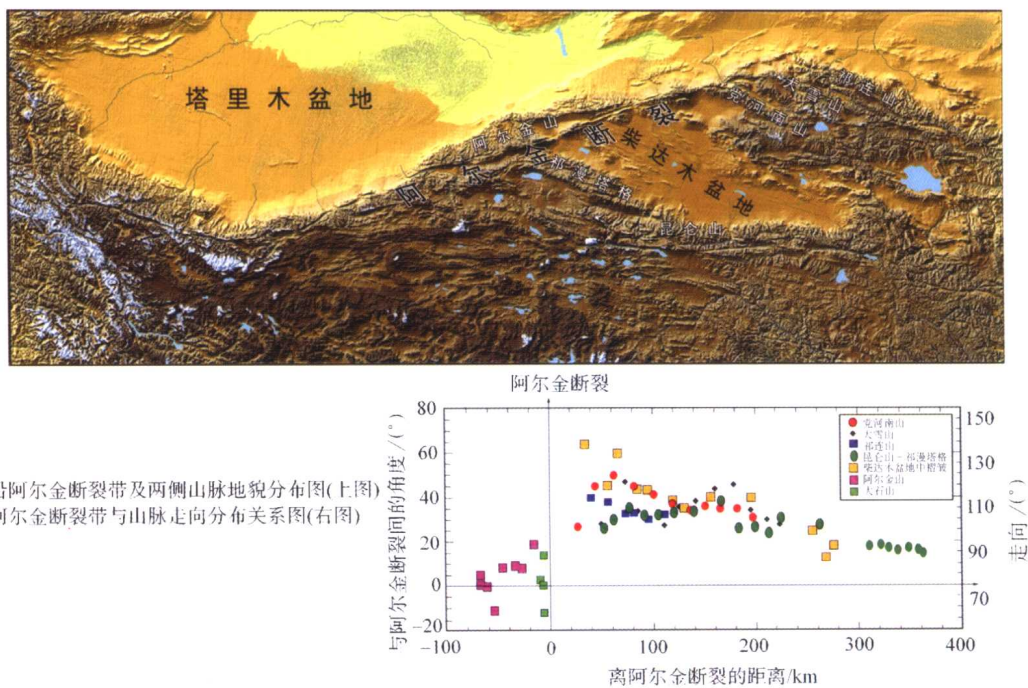


图 1.5 青藏高原北部阿尔金断裂与山脉分布

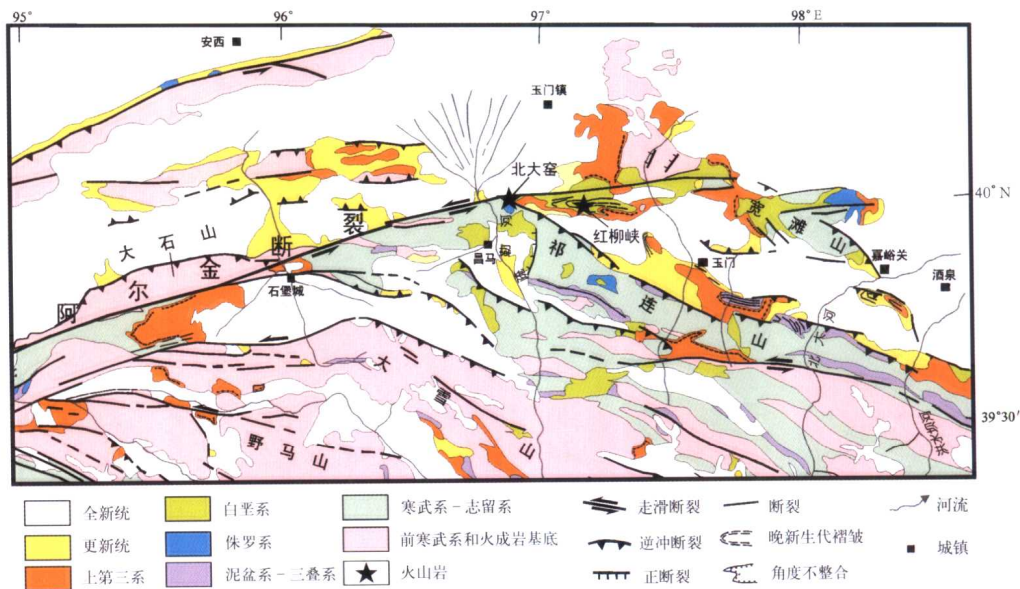


图 1.12 阿尔金断裂带东段火山的位置及地质背景简图

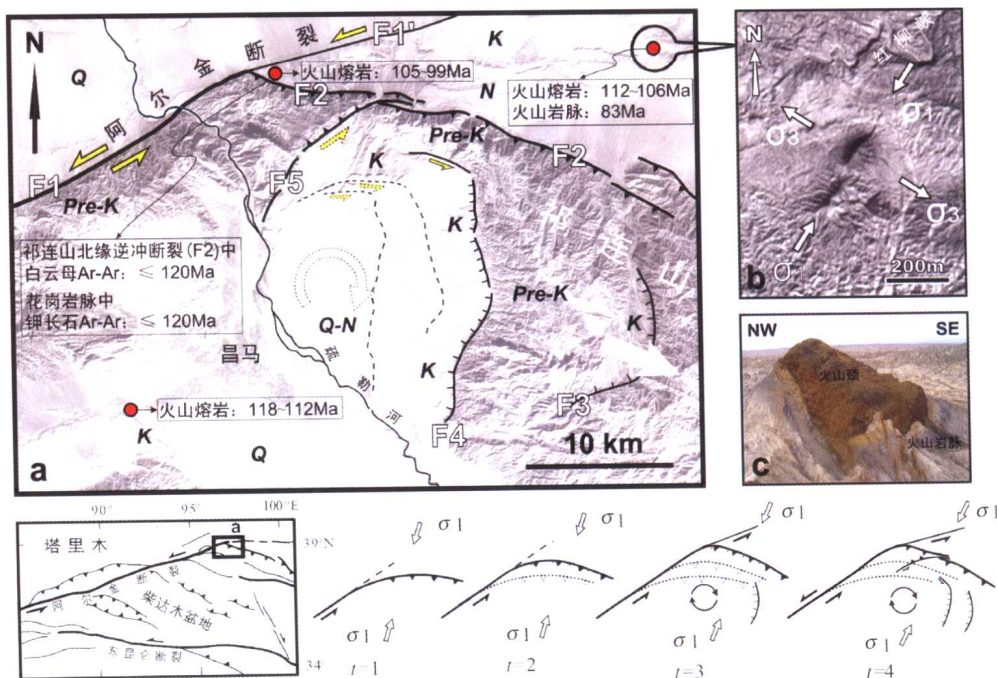


图 1.13 祁连山西段 SPOT 卫星影像及构造简图

a、b 为红柳峡地区出露的火山岩(岩颈相和熔岩相及火山岩脉)及引力场特征; c 为红柳峡火山岩颈和火山岩脉的野外照片; 北祁连的边界断裂演化过程从 $t=1$ 至 $t=4$, Ar-Ar 同位素年龄为 120 Ma

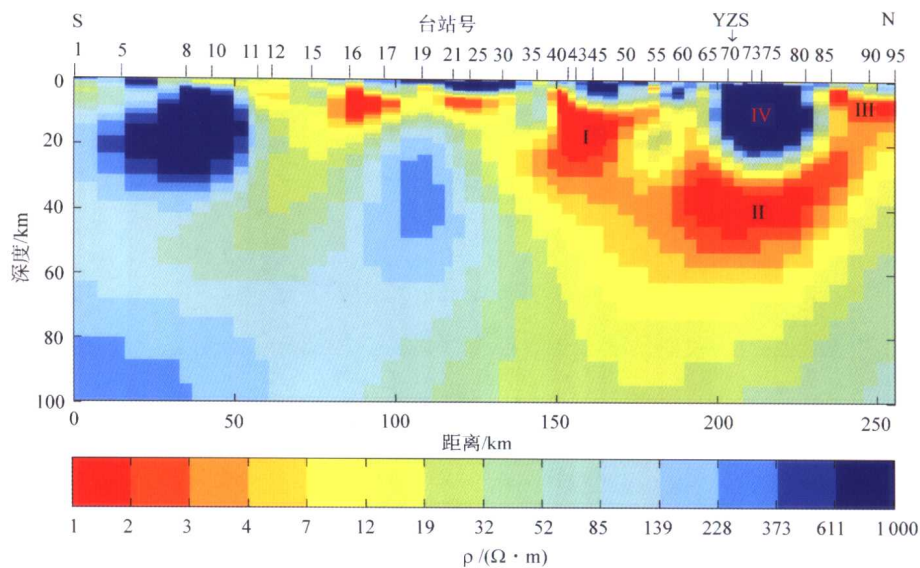


图 2.8 错那-墨竹工卡剖面电阻率模型
YZS: 雅鲁藏布江缝合带

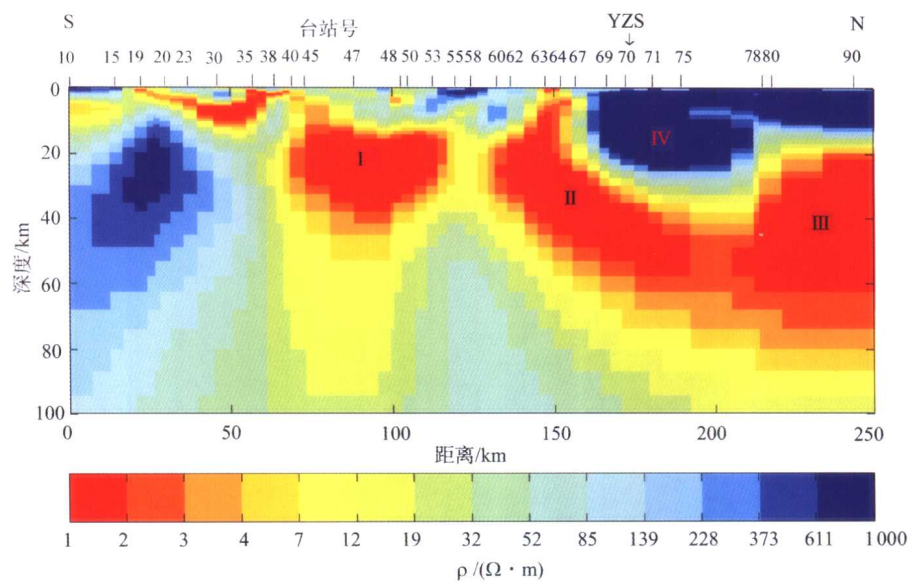


图 2.9 亚东-雪古拉剖面电阻率模型
YZS: 雅鲁藏布江缝合带

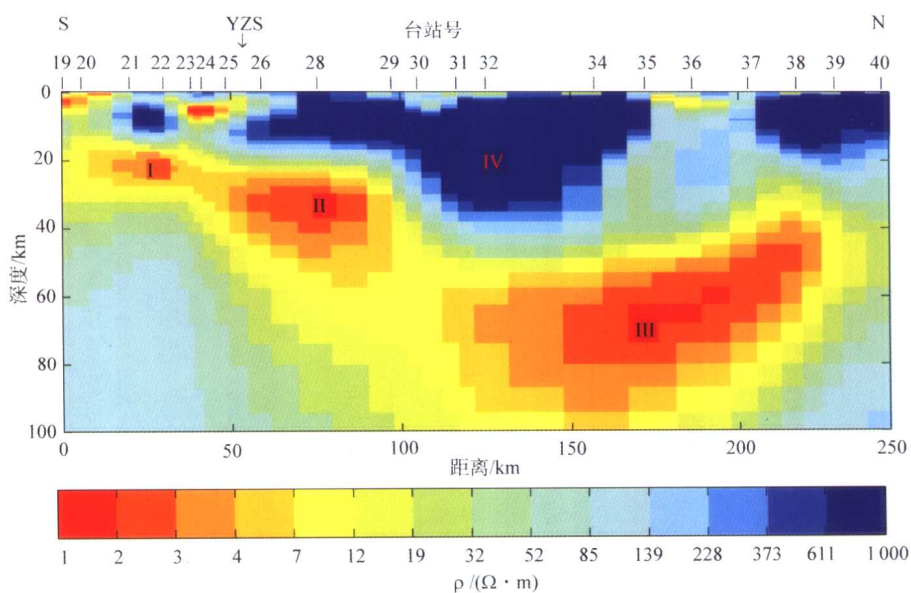


图 2.10 吉隆 - 措勤剖面电阻率模型
YZS: 雅鲁藏布江缝合带

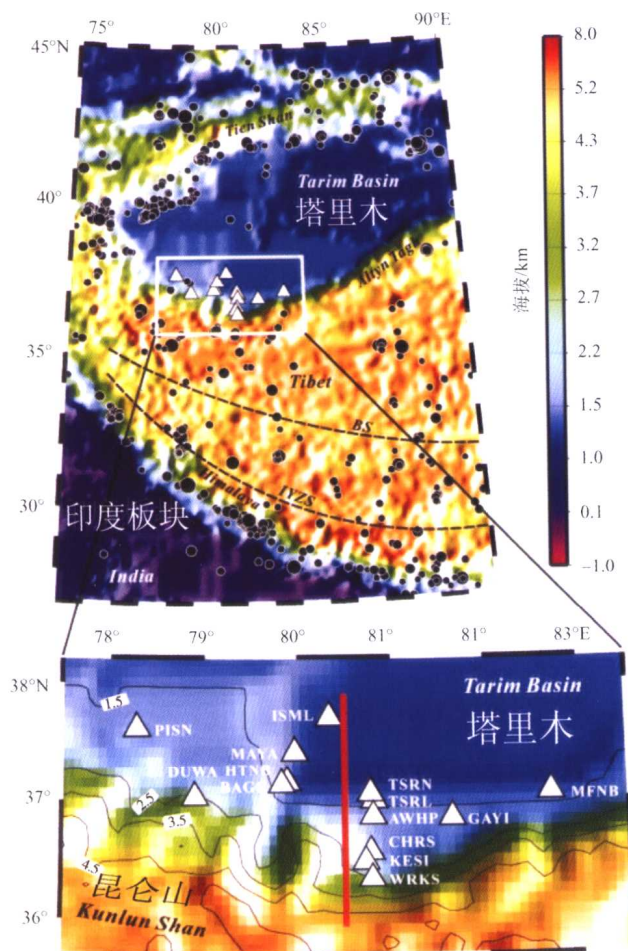


图 2.15 研究区地形和台站布置图
三角形表示台站; 沿着 80.5° 展布的红粗实线表示图 2.16 所示剖面位置; 圆点表示地震震中;
虚线表示雅鲁藏布江缝合带 (YZS) 和班公错 - 怒江缝合带 (BS) 大致位置

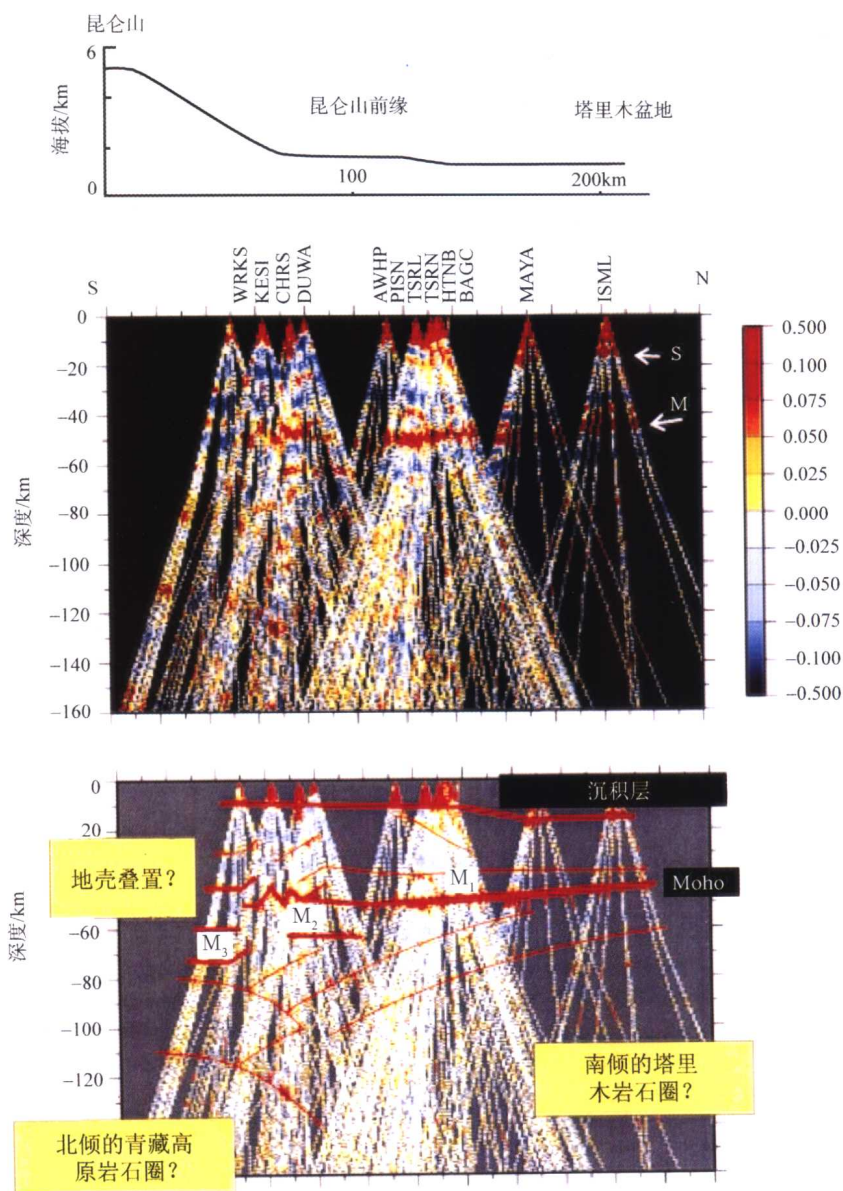


图 2.16 横过西昆仑山前到塔里木南缘的地震图像
不同色块表示 P 波至 S 波转换得到的振幅强度高低

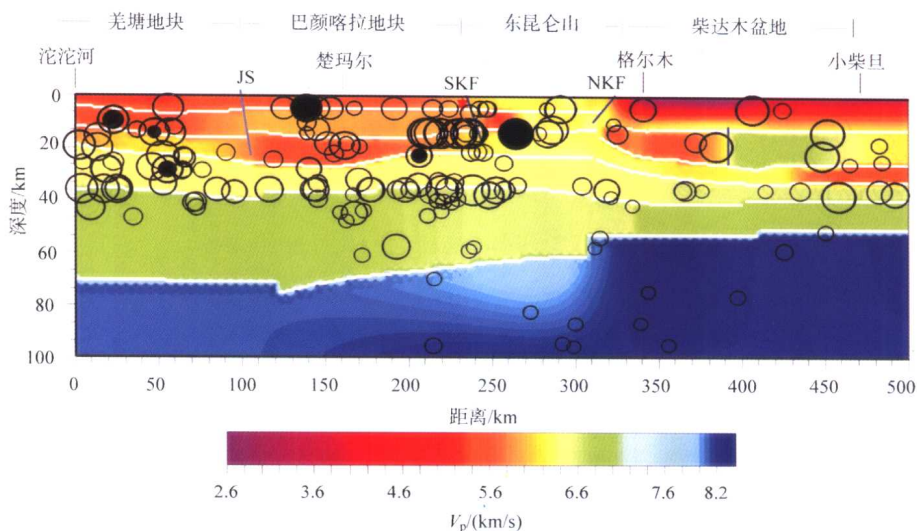


图 2.19 青藏高原北部东昆仑山及邻区地壳上地幔速度结构二维图像

JS: 金沙江缝合带; SKF: 东昆仑南缘断裂; NKF: 东昆仑北缘断裂; 空心圆: 1964 ~ 2003 年期间青藏高原北部及邻区 $M_s > 5.0$ 震源在剖面内投影, 空心圆大小不等示意震级不同, 其中的实心圆示意 1980 ~ 2003 年期间 $M_s > 6.0$ 震源在剖面内投影; 数据来自 IRIS 网站, 以纬向投影成图

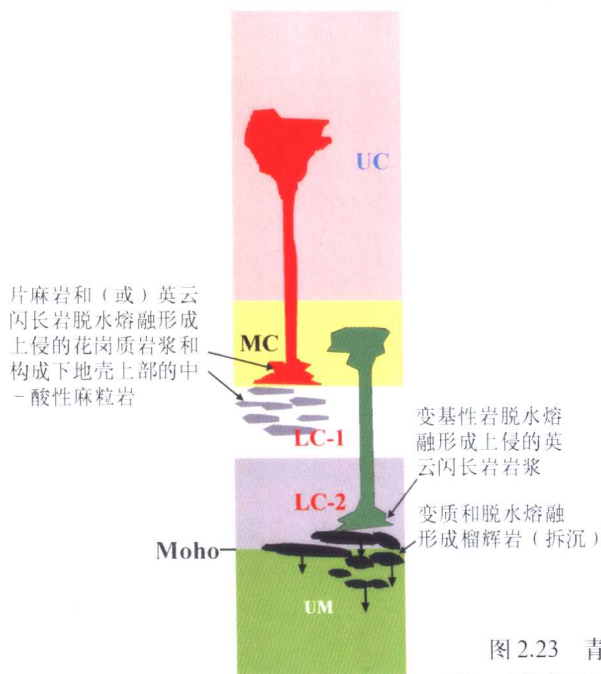


图 2.23 青藏高原地壳分异演化模型

UC: 上地壳; MC: 中地壳; LC-1: 下地壳上部;
LC-2: 下地壳下部; UM: 上地幔

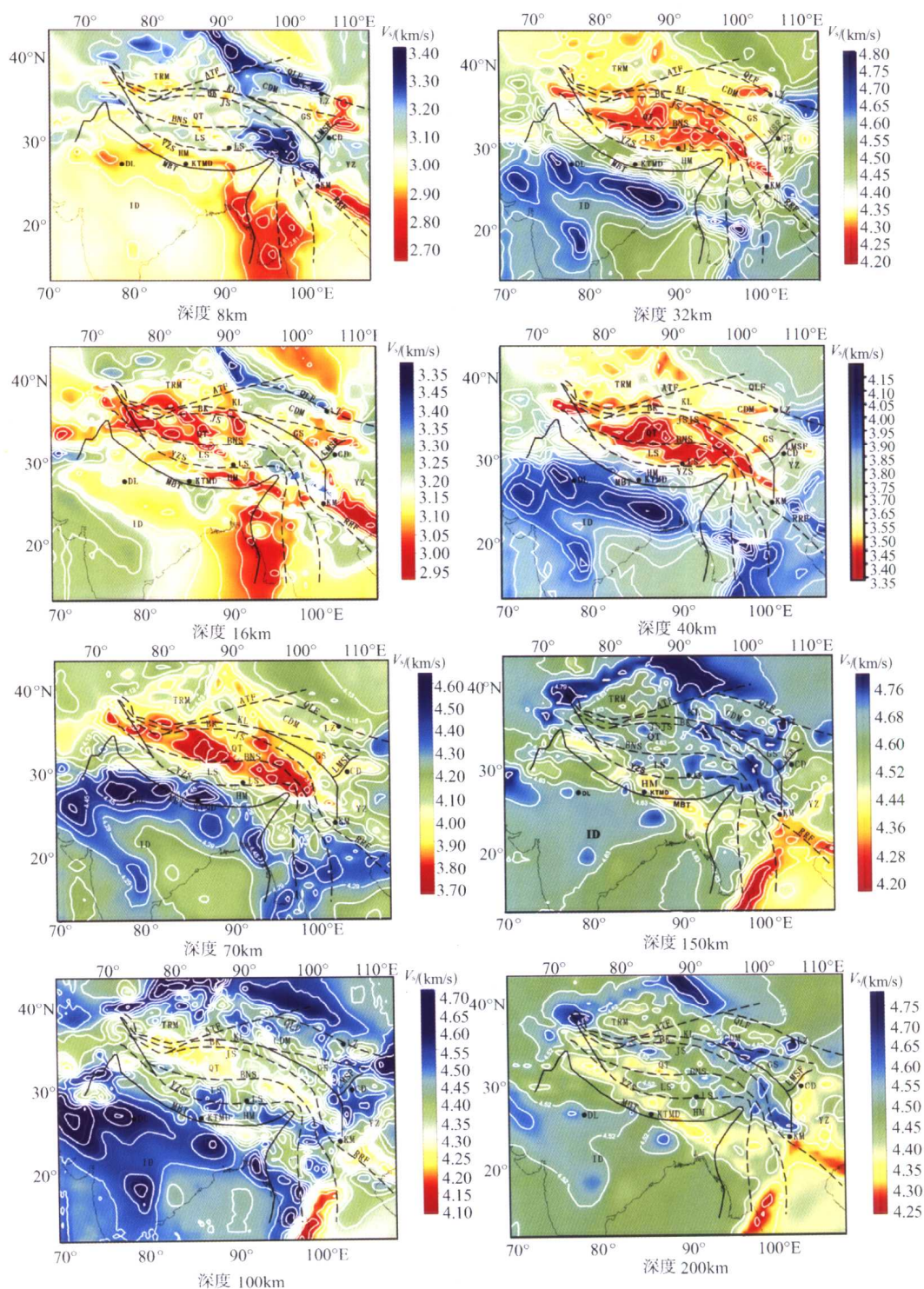


图 2.25 青藏高原及相邻区域面波不同深度的层析成像图

ID: 印度板块; HM: 喜马拉雅地块; LS: 拉萨地块; QT: 羌塘地块; BK: 巴颜喀拉地块; KL: 昆仑地块; CDM: 柴达木地块; GS: 甘孜-松潘地块; YZ: 扬子地块; TRM: 塔里木地块; MBT: 主边界断裂带; YZS: 雅鲁藏布江缝合带; BNS: 班公错-怒江缝合带; JS: 金沙江缝合带; RRF: 红河断裂带; LMSF: 龙门山断裂带; ATF: 阿尔金断裂带; QLF: 祁连山断裂带; DL: 新德里; KTMD: 加德满都; LS: 拉萨; KM: 昆明; CD: 成都; LZ: 兰州



图 3.4 青藏高原新生代变形的三种构造体制作用示意图

图 3.5 曲水岩体中的
含铜暗色微粒包体

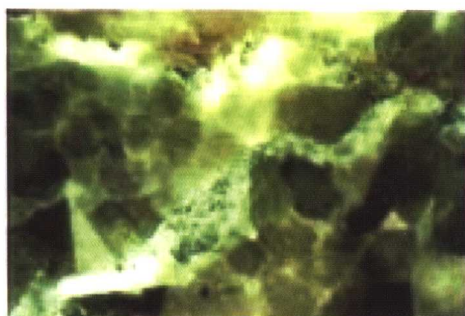
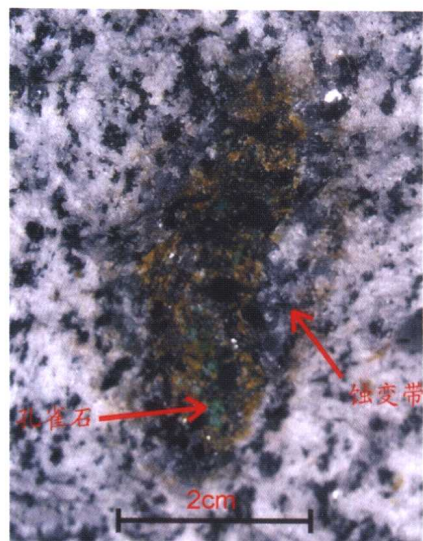


图 3.9 油质沥青的荧光显微镜照片
油质沥青为沿张裂缝和晶间孔充填的蓝白色荧光

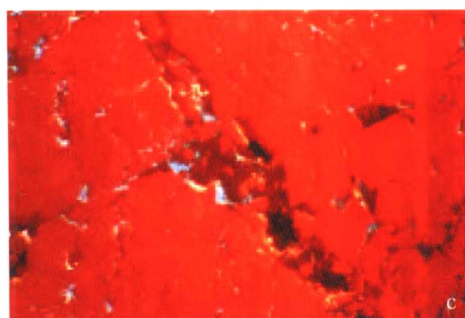


图 3.10 荧光显微镜照片(a、b)和
阴极发光显微镜照片(c)

a. 方解石脉中的有机包裹体; b. 晶间溶洞充填褐色
油质沥青; c. 蓝色为渗出油质沥青