

中华人民共和国国土资源部 资助  
国家自然科学基金委员会

# 喜马拉雅山 及雅鲁藏布江缝合带 深部结构与构造研究

赵文津及 INDEPTH 项目组 著

地质出版社

中国农村经济体制改革与农村发展  
中国农村经济体制改革与农村发展

# 中国农村经济体制改革与农村发展 中国农村经济体制改革与农村发展 中国农村经济体制改革与农村发展

中国农村经济体制改革与农村发展



中华人民共和国国土资源部 资助  
国家自然科学基金委员会

# 喜马拉雅山及 雅鲁藏布江缝合带 深部结构与构造研究

赵文津及 INDEPTH 项目组 著

地质出版社

· 北 京 ·

## 内 容 简 介

喜马拉雅山的崛起与青藏高原的隆升是当代地学中的重大科学问题。《国际喜马拉雅和西藏高原深剖面及综合研究》(简称 INDEPTH)计划就是为深化这一科学问题研究而提出的大型国际合作研究计划。本书是《国际喜马拉雅和西藏高原深剖面及综合研究》计划的第一阶段——喜马拉雅山区深地震反射试验和第二阶段——雅鲁藏布江缝合带南北的深部结构与构造研究的综合成果。这两阶段的主要成果——五项重要发现和四项新技术开发,和基于新发现所提出的藏南地壳上地幔的结构和构造运动模式,已获得 2000 年国家自然科学二等奖。本书是以大量的深部地球物理调查的实际资料及地表地质调查研究为基础的,研究中力求体现深部地球物理调查与地表地质调查研究的结合,多种深部地球物理调查方法的结合,希望本书能引起广大同行读者的重视与评论。

## 图书在版编目(CIP)数据

喜马拉雅山及雅鲁藏布江缝合带深部结构与构造研究/赵文津等著. -北京:地质出版社,2001. 5  
ISBN 7-116-03351-3

I. 喜… II. 赵… III. 大地深部构造-研究-青藏高原 IV. P542

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2001)第 14170 号

---

责任编辑:郝汝尔 马宏 陈磊

责任校对:王素荣

出版发行:地质出版社

社址邮编:北京海淀区学院路 29 号,100083

电 话:82324508(邮购部);

网 址:<http://www.gph.com.cn>

电子邮箱:[zbs@gph.com.cn](mailto:zbs@gph.com.cn)

传 真:010—82310759

印 刷:北京印刷学院实习工厂印刷

开 本:787×1092 1/16

印 张:24.375 图版:4 页

字 数:594 000

印 数:800

版 次:2001 年 5 月北京第一版·第一次印刷

定 价:80.00 元

ISBN 7-116-03351-3/P·2169

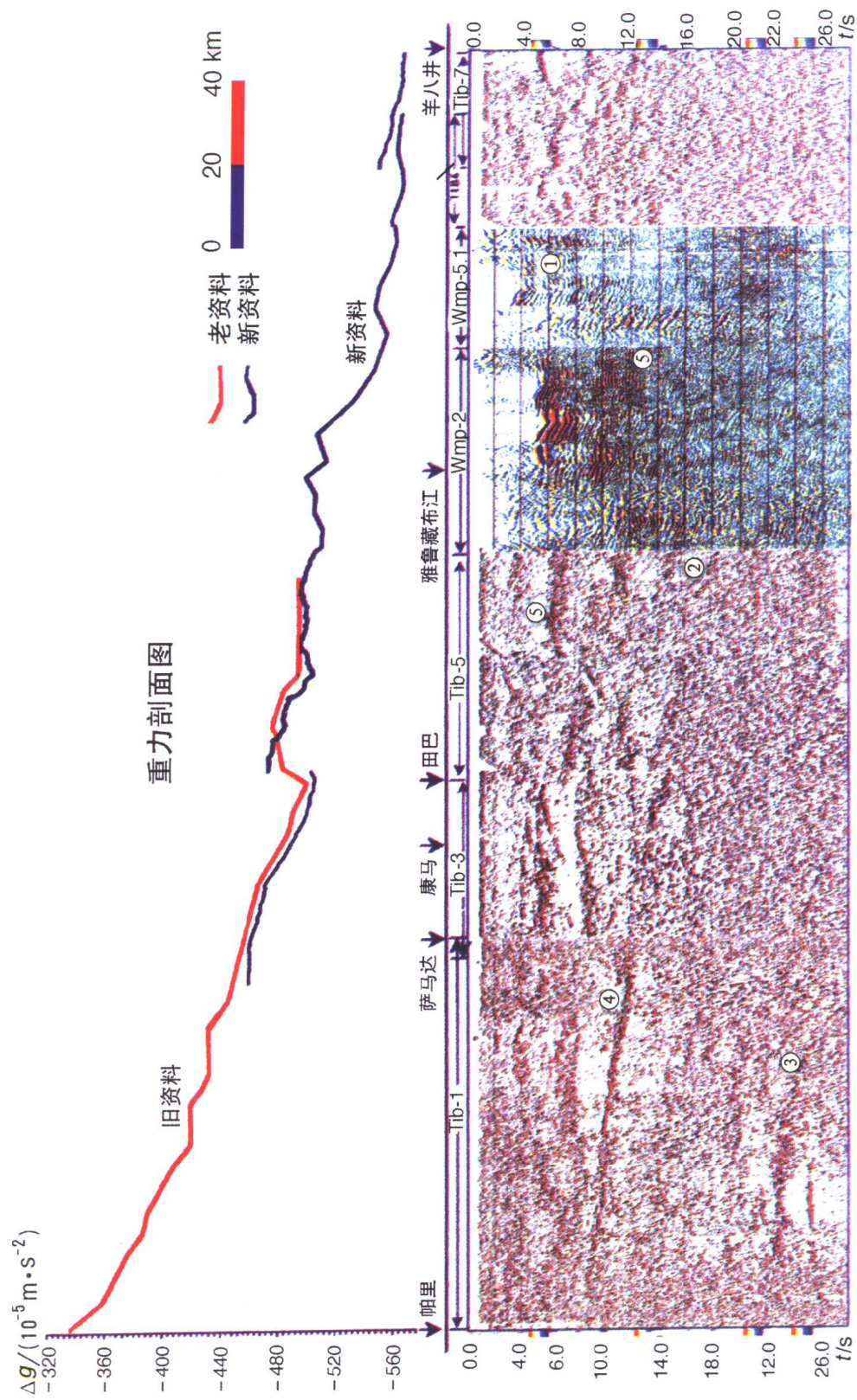
---

(凡购买地质出版社的图书,如有缺页、倒页、脱页者,本社发行处负责调换)

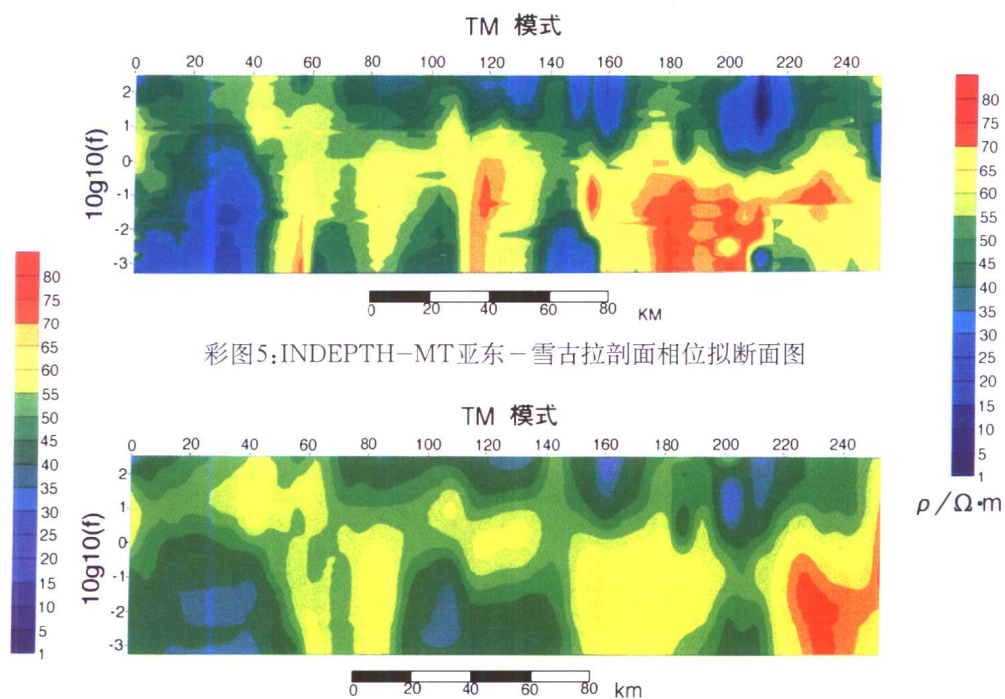
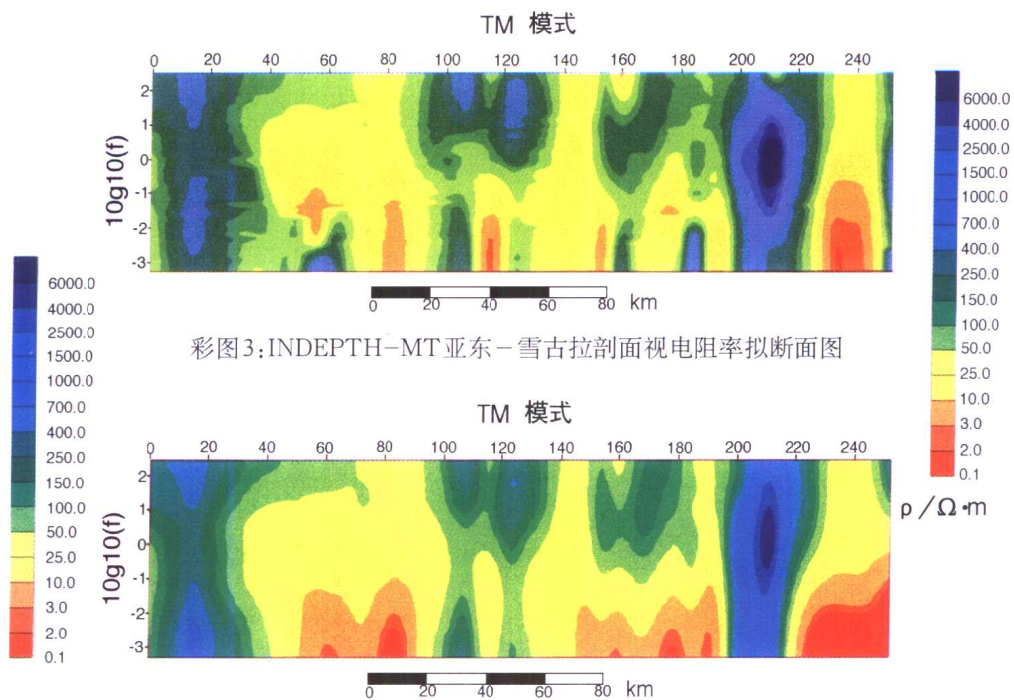


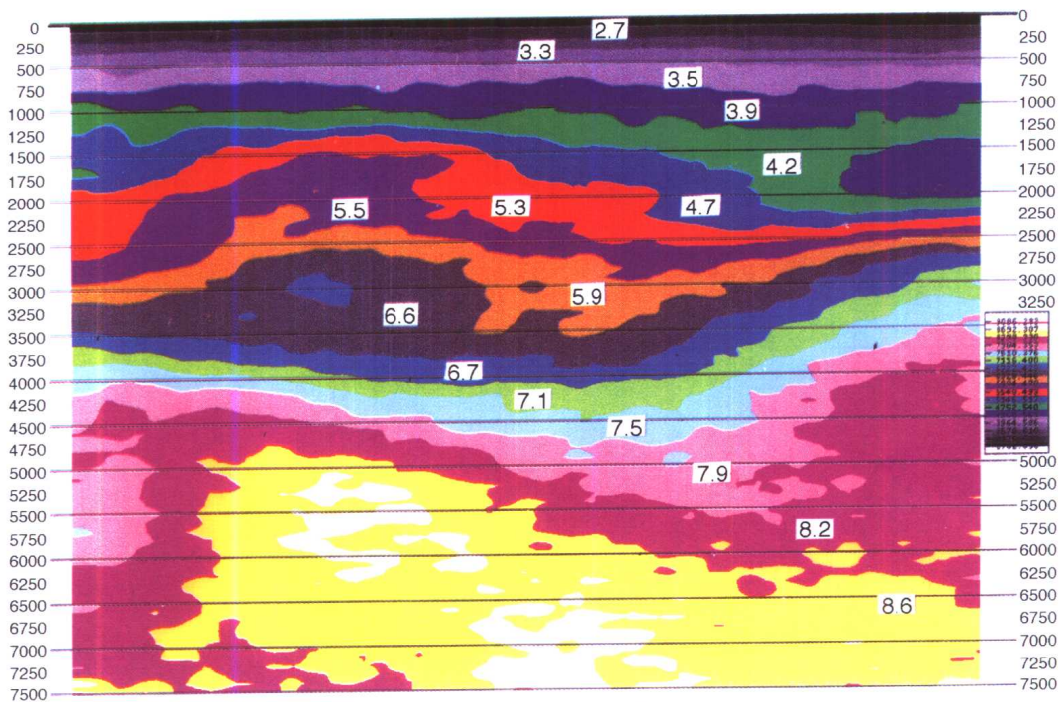
彩图 1: 召开 INDEPTH 学术研讨会

- 前排: 左 2—美国新墨西哥大学 J.Ni 教授; 左 3—中国国家自然科学基金会张之非教授; 左 4—美国康奈尔大学 L.Brown 教授;  
左 5—中国地质矿产部张宏仁副部长; 左 6—美国锡拉丘兹大学 D.Nelson 教授; 左 7—美国斯坦福大学 S.Klemperer;  
左 8—中国国家科学技术委员会王志雄司长; 右 5—日本北海道大学 K.Arita; 右 1—中国地质科学院赵文津研究员;
- 右 4—中国地质矿产部矿床所张安禄研究员
- 二排: 左 3—国家地震局地质所高名修研究员; 左 4—中国地质矿产部科技司左汝强司长; 左 5—中国地质科学院陈毓川院长;  
左 6—美国哥伦比亚大学 J.Kuo(郭宗汾)教授; 左 7—中国地质矿产部李廷栋院士; 左 8—中国地质矿产部地质所肖序常院士
- 四排: 左 1—中国国家自然科学基金会朱志文教授

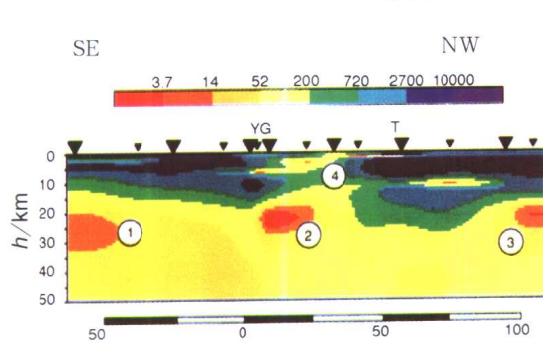


彩图 2: 雅鲁藏布江缝合带的双陆内俯冲构造

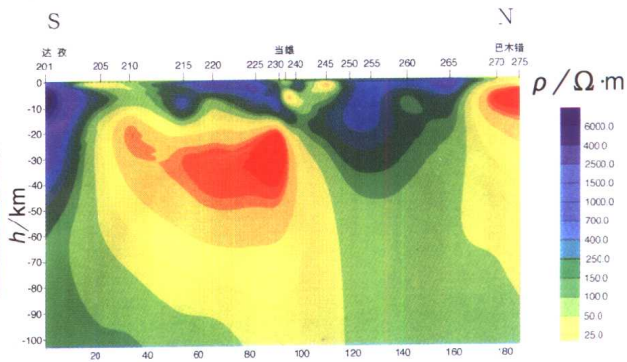




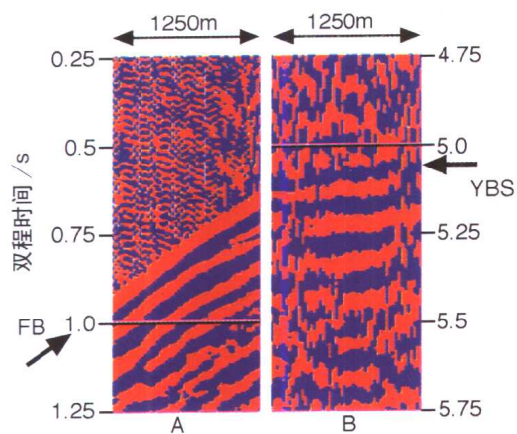
彩图 7: Tib-1 速度结构剖面分析图



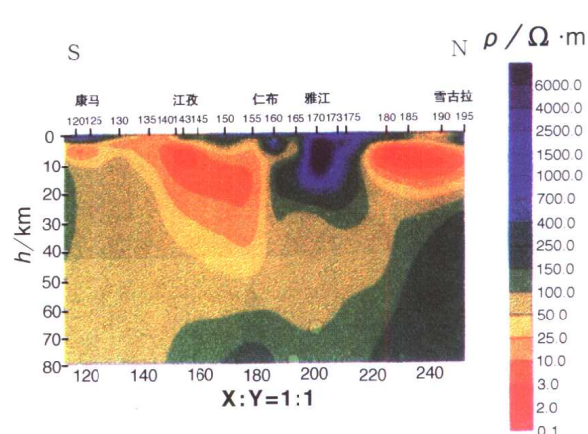
彩图 8: 200 线大地电磁剖面图  
大倒三角为 LIMS 测点; 小倒三角为 V5 侧点



彩图 9: INDEPTH-MT  
达孜-巴木错剖面二维联合反演模型图



彩图 10: YBS 负极性响应图



彩图 11: 雅鲁藏布江附近二维联合反演模型图

# 序 一

喜马拉雅山及雅鲁藏布江缝合带一书是举世瞩目的青藏高原的地壳深部结构与高原隆升过程与机制问题研究的关键部分,即一般被认为是印度次大陆与欧亚大陆直接碰撞挤压变形地带。

《喜马拉雅山及雅鲁藏布江缝合带深部结构与构造研究》由 1991 年以来中美合作的“INDEPTH(在深部)”研究两个阶段取得的成果编著而成。书中不仅反映了在该地区用多种先进的地球物理方法所得到的大于一般深部研究所达到的深度,而且观察数据的收集和处理加工也远远超过此类工作一般达到的精度和分辨率的成果,并且在对不同地球物理方法所得数据加以综合运用与解释,对前人的有关认识和构造地质资料加以讨论的基础上提出了本研究现阶段所得出的新认识。

除了书中丰富的科学成果外,我们还应当注意此项研究过程中所体现的多方面的创新精神。我感到特别值得我们注意的,首先是研究者在缜密的组织安排下,勇于面对重大而难于探索的问题,在所谓“地球的第三极”上,不畏艰苦的自然工作条件,积极创造施工条件,加强并延长观测时间,取得了可靠的最新数据。其次是,在上述总的精神指引下,创造性地运用多种新技术、新仪器、新的数据处理方法,在多学科材料(包括地质构造资料)的基础上,不受前人已有观点甚至理论的约束,有依据地提出新见解。第三,在多学科协同攻关的同时,也必然涉及多部门的团结合作,在本项工作中也达到了以往其他重大项目所未能达到的新境界。第四,在国际合作方面也创造了重要的新经验,最初是中美双方的科研、教学单位间的接触,由于成果突出,先后得到政府机关(中)和国家科学基金会(美)的资助。后来又有德国和加拿大参与,形成中、美、德、加四国的合作项目。

以上成果和各方面创新的成就还涉及国际合作谈判,工作组织管理,财务预算与执行,与外方人员合作过程中出现问题的妥善解决,以及在广漠的人烟稀少的条件下生活,取得当地藏民的支持和帮

11/5/06

助等方方面面,无一不需要以创新精神带动一切,取得工作的成功。

认识地球,特别是认识深部,不是能“毕其功于一役”的。本书所代表的只是高原南侧国内的一部分。广阔的青藏高原,还需要我们长期地持续地努力研究,继续以创新的精神,不断提高我们工作的效率和精度,以及认识的广度与深度。本书所反映的丰富成果,以及其中蕴含着的创新精神正是我们需要继承和发扬的。

谨此,容我向本书作者和参与工作的同志们祝贺、致敬,并预祝今后工作中取得更大成就。

张炳奎

2000年5月19日

## 序 二

在行将过去的 20 世纪里,人类对自己的家园——地球的认识有了长足的进步。活动论以 20 世纪初魏格纳的大陆漂移学说为开端,历经反复,到板块理论的兴起而确立了它在全球大地构造中的统治地位。在这一过程中,大量海洋地质数据的取得,无疑起了决定性的作用。由于当时历史条件的限制,我国地球科学家没有足够的机会参与这一进程。

当板块学说在各大洋经历了高歌猛进的阶段以后,必然要在地质学的发源地——大陆上证实其普遍意义。这一过程并不像当初想象的那样简单。大陆的历史比大洋要长得多。新的地壳变动掩盖了较老的地壳变动的痕迹。如果说“将今论古”的原则在一定程度上仍然有效的話,那么,对比较新的地壳变动的研究可以为全球大地构造历史的重建提供重要线索。

按照板块学说,地球上的构造变形主要发生在板块之间。由于板块既包括洋壳也包括陆壳,板块之间的碰撞就可能有三种组合:陆壳-洋壳、洋壳-洋壳、陆壳-陆壳。印度板块与欧亚板块之间是典型的陆壳与陆壳之间的碰撞。它造成了地球上最高的山脉——喜马拉雅山,和最宏伟的高原——青藏高原。碰撞的过程至今仍在继续。因此,这一地区近二十多年来成为全球地学家关注的焦点之一。研究表明,这一碰撞带远比人们原来设想的要复杂得多。在许多重大问题上至今未能取得一致。

整个科学史表明:原有学说遇到的困难,往往孕育着新的突破。喜马拉雅山脉和青藏高原正是人类探索地球奥秘的不可多得的场所。如果说我国的地质学家过去没有赶上大洋调查最沸腾的时代,至今由于财力方面的条件而仍受到局限的话,那么在大陆地质方面却有广阔的施展才华的机会。

实际观测数据是一切研究的基础和出发点,对青藏高原的研究也不例外。例外的是,对青藏高原的研究,单纯依靠地表观测是远远

不够的。要解决地质学家所面临的任务,必须取得巨大深度范围内反映地质构造情况的数据。为此,必须大量依靠地球物理探测方法,而且只靠某一种方法往往很难作出令人信服的判断,还不得不依靠多种手段,并对所取得的数据综合分析。另一个重要的例外是青藏高原极其困难的工作条件。这一地区不仅高寒缺氧,而且地形条件复杂,交通不便,后勤补给线长,是世界上其他地区所罕见的。

从 1992 年起,先是中国和美国的科学家,以后又有德国和加拿大的科学家加入,合作进行了为期六年的代号为 INDEPTH-1 的喜马拉雅山区深反射地震与代号为 INDEPTH-2 的雅鲁藏布江缝合带深部结构构造研究。这一工作的首要贡献,在于为举世瞩目的代表性陆壳与陆壳碰撞的焦点地区提供了系统的科学数据。这些数据,为今后进一步的研究提供了重要的基础,也是检验各种假说的根据。四国科学家汇集了当今世界上最先进的、适合于这个地区具体条件的技术手段和方法,为今后这方面的工作积累了宝贵的经验,培养了人才。如果说,在大洋上有国际合作的大洋钻探计划 ODP,那么 INDEPTH 可以说是大陆上国际合作的对等计划。INDEPTH 的成果丰富了人类对大陆构造变形过程的认识。

作为当时负责支持 INDEPTH 的政府工作人员,对中外科学家在工作成果的基础上提出的论点妄加评论显然是不合适的。但我和我的同事们衷心感谢所有为 INDEPTH 作出过贡献的人们。特别应当指出的是在赵文津教授领导下,在艰苦、复杂的环境中所进行的卓有成效的组织领导工作,对保证项目的顺利完成是必不可少的。青藏高原是一个复杂的客体,相应的研究工作需要反复地进行,以逐渐深化我们的认识。INDEPTH 所积累的宝贵经验对今后类似的项目具有很重要的意义。可以预期,随着我国综合国力的逐渐加强,对基础地质研究的支持强度将会日益加大,而具有开创意义的 INDEPTH 将是研究史上重要的一页。

張宏仁

2000 年 12 月 12 日

# 绪 论

本书是“国际喜马拉雅和青藏高原<sup>①</sup>深剖面及综合研究”计划的第一阶段项目“喜马拉雅山区深反射地震可行性研究”及第二阶段项目“青藏高原南部雅鲁藏布江缝合带的深部结构和构造研究”两个阶段或两个项目研究成果的综合反映。

1. “国际喜马拉雅和青藏高原深剖面及综合研究”计划的英文名称为 International Deep Profiling of Tibet and the Himalayas, 字头拼写为 INDEPTH, 简称 INDEPTH 计划或 INDEPTH 项目, 含义为“在深部”。它以整个喜马拉雅和青藏高原为对象开展研究, 计划完成一条横穿喜马拉雅和青藏高原的多学科的地学大断面, 取得高质量、高分辨率的实测资料, 并进行综合研究, 以争取得到一些新的科学发现和一些重要的科学结论。工作规划安排如图 1 所示。

“国际喜马拉雅和青藏高原深剖面及综合研究”计划的第一个项目为地质矿产部“八五”

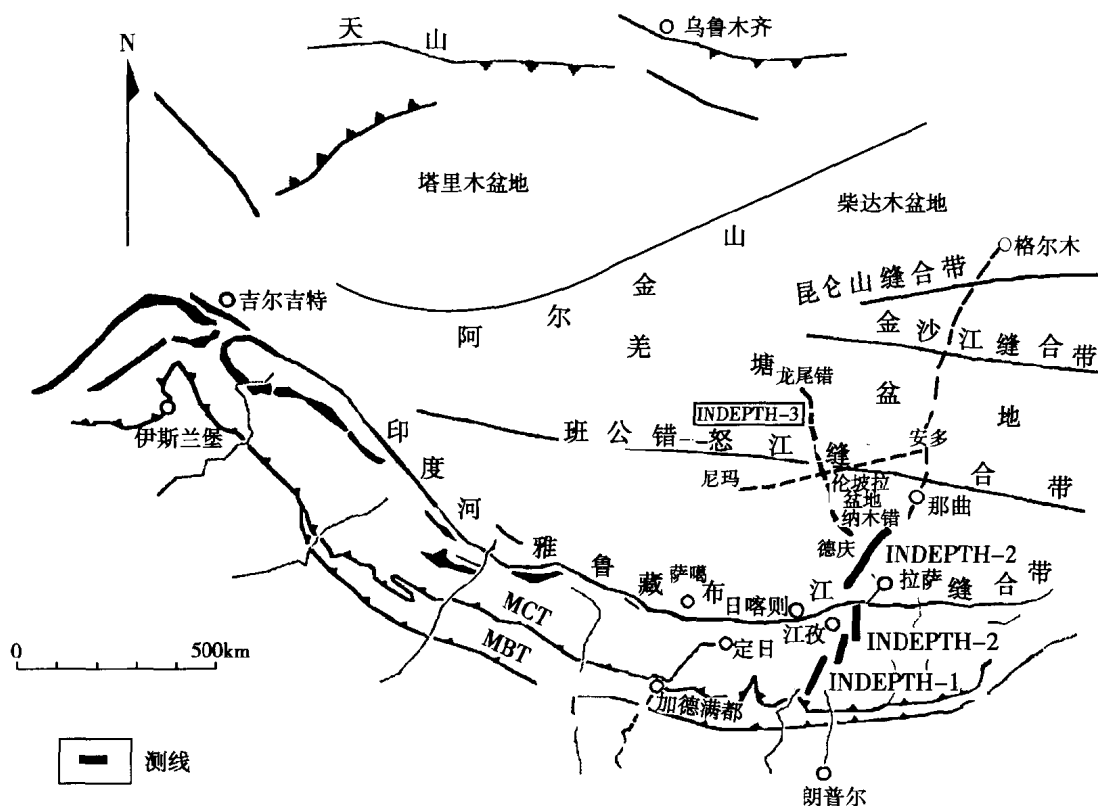


图 1 INDEPTH 计划与施工测线分布图

<sup>①</sup> 青藏高原是一个标准的地理名词。本书的项目名称中用 Tibet 代表, 主要是强调青藏高原的西藏部分, 中外地质学家还常常将其简称为西藏高原。本书中不同作者用不同的表达方法, 请注意。

深部研究项目之一,编号为 8506206,又是国家自然科学基金会资助项目,编号为 49254002;计划安排的第二个项目是第一个项目的延伸,地质矿产部在“八五”深部研究计划中立了项,编号为 8506215,1994 年 10 月该项目又被列入国家科委“八五”重点攻关的滚动计划之中,编号为 9252012。这是一项由中美合作开始,逐步扩大成多国合作的计划。

2. 喜马拉雅山脉的形成与西藏高原的出现是地球上两个十分突出的典型地壳构造变形事件,它们是印度次大陆和欧亚大陆相碰撞所产生的。这两个地质构造变形事件,由于它们的规模最大,变形强度最突出,生成时间最新,构造相对简单而成为当代岩石圈、大陆动力学研究的热点。

从 20 世纪 70 年代末以来,法国、美国等国一直积极推动国际合作开展喜马拉雅山脉的形成与西藏高原隆升机制的研究,并开展了激烈的科学竞争,争取在发展现代大陆动力学科学理论方面作出重大贡献,走在国际前列。

1977 年国际板块代表团访问西藏地区以后,在考察报告中指出“现今的地质学家们,对大陆碰撞现象了解很差,而印度—欧亚带正是近代碰撞作用的最好范例。这种碰撞作用大约始于 40Ma 或 50Ma 以前,显然经不断变化一直持续至今。这一碰撞带之所以具有特殊意义,一则是因为可以认识喜马拉雅山脉——西藏地区(包括地球上最高最大的高原)本身的特征和成因,二则是因为通过了解现代碰撞,可以促进对以前洋盆关闭和其他大陆碰撞的认识,大大有利于基础科学和应用科学的发展”。

1978 年法国通过外交部向中国提出联合开展喜马拉雅地壳和上地幔研究的建议,在中国外交部的授意下,中方作了积极响应,地质矿产部孙大光部长亲赴法国进行了合作谈判,双方达成了共识,签订了合作协议,这是中国对法国所作的友好姿态,第一次对外国开放喜马拉雅和青藏高原地区;合作研究在 1980~1982 年进行,按照国家安排,中国科学院也参加了这次合作,除构造地质、地层、岩石学、同位素地质、新构造、地热流密度测定等研究内容外,重点是完成三条广角地震剖面 and 一条大地电磁测深剖面。这次中法合作的特点是国际合作、多学科和采用了法国当时的最新技术,深部调查与地表地质研究相结合,与此前青藏高原开展的单纯地质研究相比,更具有现代地球科学研究特征,因此,应当说这是第一轮现代意义上的喜马拉雅和青藏高原研究。这一项目的进行在国际上掀起了喜马拉雅和青藏高原的研究高潮,随后提出的喜马拉雅和青藏高原多个构造模式都是以这一次调查研究的实际发现为基础的,这里主要有上地壳底部存在的一低速高导层——喜马拉雅山和青藏高原构造变形的主要拆离滑动面,莫霍层在喜马拉雅山北坡的变浅,以及存在多条大错断等等。

3. 中国对喜马拉雅和青藏高原的研究一直很重视。

青藏高原主体在中国,包括高原四周邻区,总面积约占中国国土面积的二分之一,对中国经济发展和环境变化有着广泛的影响,西藏东部和南部又是中国的大地震带,高原上的地质灾害,特殊的工程地质条件又是对中国工程建设的严峻挑战,所以中国政府有关部门历来十分关心该地区的工作。

地质矿产部早在 20 世纪 60~70 年代便在高原开展了系统的地质调查研究,先后完成了全区的 1:100 万区域地质调查,高原东部地区的 1:20 万区域地质调查,东部及北部的 1:100 万航空磁测调查,以及许多矿产普查勘探项目。为了对这些地质调查结果进一步深化,1979 年专门成立了青藏高原地质研究所,负责高原调查与综合研究。

1980~1985 年地质矿产部立项并进行了“青藏高原形成演化与主要矿床分布规律”的

研究,这是新的大规模的地质调查研究,共组成了 20 个专题队,有 204 人(其中地质人员有 150 人)参与;以地质调查和地质专题研究为基础编出了高原全区 1:150 万地质图,1:250 万构造体系图,1:400 万大地构造图及 1:400 万矿产图,系统地论述了青藏高原地质及其形成发展,主要矿产的分布规律及找矿方向,提出了 22 份研究报告和图件,如青藏高原的古生代地层及古生物、三叠系、喜马拉雅的前寒武系及变质作用、新生代构造演化、第四纪地质与环境、花岗岩类地球化学等等。

国内的系统地质研究与中法合作从事的地表地质与深部调查相结合的研究大大地深化了人们对青藏高原构造演化的认识。

1986~1989 年进行了亚东—格尔木地学大断面研究,这是在地质矿产部和国家自然科学基金会联合资助下开展的,中国科学院有关研究所也参加了研究;剖面总长 1400km,工作内容包括有地质(沉积岩及沉积作用、变质岩及变质作用、岩浆岩及岩浆作用)、构造地质、古地磁、重力、磁力、大地电磁、地热流及计算机模拟和动力学分析等,加上 1983 年地质矿产部开展的沱沱河—格尔木广角地震剖面工作成果,使中国地学断面研究在使用地学资料的丰富性,分析与编制的严谨与规范化方面达到了一个较高的水平,使已有的地质、地球物理、地球化学资料得到了系统的总结与提高。这一成果后来被国际地学大断面协调委员会推荐为 GGT 的样板,供有关国家从事地学大断面工作时参考。

1992~2000 年又实施了中美德加四国合作的“国际喜马拉雅和青藏高原深剖面及综合研究”计划,具体内容见本书的第一篇和第二篇。这一项目美国是从 1977 年开始寻求中方合作单位的,经过多次调查与探寻,最后找到地质矿产部。

中国科学院在 1977 年沿藏南亚东—纳木错进行了广角地震工作;1986 年又与英国合作沿亚东—格尔木一线进行了地质构造调查研究;1993~1996 年启动了中国科学院与国家的重大基础项目“青藏高原形成演化、环境变迁与生态系统研究”,在高原中西部的吉隆—萨嘎—措勤—改则—鲁谷—三个湖一线 400 多千米地段开展了广角地震、大地电磁、重力及磁测以及一些地质研究。

国家地震局在 1991 年与美国联合开展了西藏宽频天然地震观测(11 个台站),获得了高原内部高质量的地震记录;此外还与有关单位合作,利用少量固定地震台站记录的天然地震作了地震 CT 分析,获得了高原深部宏观速度结构资料。此外还重点对西藏的大地震区作了地震地质与震源分析,探讨地震产生的机制等等。

4. 为什么要开展这新一轮的调查研究呢?为什么说“国际喜马拉雅和青藏高原深剖面及综合研究”计划是青藏高原岩石圈研究的第二轮研究?

上述各项研究成果对深化青藏高原结构和构造的认识都起了很大作用,但是研究藏南—印度大陆与拉萨地块相互会聚与碰撞并产生广阔变形的地带的细结构和构造,需要有更高的时间和空间分辨率资料,以便对已提出的几十个构造模式进行检验。现有的资料主要有以下三个方面的不足:

(1)广角地震所得出的速度结构较粗,而且 500km 长的主剖面,沿南北向延伸,是个扇形剖面,只能得出莫霍层错动(而且这一点还有待进一步证实),完全得不到地壳内的分层结构;两条东西向纵剖面平行构造走向,得出的几个速度柱子,仅能反映东西向的变化,而不能反映南北向构造变动;地震 CT 结果也还比较宏观;

(2)MT 数据工作频率过高,探测深度过浅,而且所测参数不全,数据处理方法也显得简

单,不足以适应地层电性各向异性强特点的要求;

(3)构造地质研究及其与地球物理调查结果相结合有待扩大和加强,特别是对断裂及其活动,岩浆岩及岩浆活动的时间和性质的分析以及深源包体的研究等等。对高原和喜马拉雅的隆升取证十分不足。

为了深化喜马拉雅山和青藏高原研究,我们一直寻求开展高分辨率深反射地震探测方法的试验和应用。1977年美国也寻找机会和合作对象,希望在喜马拉雅山和青藏高原进行近垂直深反射地震方法试验,中国地质矿产部对美方作了积极响应,愿意和美国等西方国家共同作出努力开展这项试验研究,争取对当代地学理论的发展共同作出贡献,并推动西藏地区的进步。中国地质矿产部和以美国康奈尔大学为代表的美国科学家群体,经过多年的讨论、谈判,终于在1991年10月达成协议,决定拟定和实施一项长期合作计划,每年具体工作安排将根据需要解决的科学问题和多方集资情况分阶段来进行。在中国地质矿产部、中国自然科学基金会及美国国家科学基金会共同资助下,于1992年初开始了第一阶段工作,任务主要是进行深反射地震方法探测巨厚地壳的可行性研究。

1992年5月开始了野外试验工作,研究近垂直深反射地震方法探测巨厚地壳细结构的可行性,并通过取得的实际资料,对一些科学问题进行探讨,对方法的作用作出评价。

试验工作部署在藏南高喜马拉雅和特提斯喜马拉雅地带,沿亚东—谷露裂谷进行。

试验剖面,南起喜马拉雅山脊之南亚东县的帕里镇,经堂拉(山脊处)、堆纳、多庆、嘎拉到萨马达,总长96.3km,剖面称Tib-1;此外,为了检查在山脊下部发现的深莫霍层,在堆纳附近加作了一条横剖面,长8.7km,两条剖面共长105km。为15次叠加剖面。此外,还顺着(Piggy-back)进行了少量的宽角反射试验。

在地质矿产部科技司领导的主持下,通过招标和投标,研究组选定中南石油地质局第五物探大队来承担深反射的野外施工任务,双方签署了协议。1992年5月22日,中南石油地质局542地震队首批人员、车辆抵达嘎拉工地,27日地震队全部人员、设备到位。6月7日放响第一炮,开始进行正式施工前的试验,目的是试验井深、炸药量及偏移距。6月19日美方科学家进入工地,双方共同研究后,决定先作干扰波调查,以确定干扰波情况和压制措施,6月20日完成预试验工作。6月21日到8月13日进行了正式试验生产。因出现某些意外情况,全队不得不在多庆停工达一周多。在部有关部门领导的大力支持下,问题很快得到解决,这对胜利完成试验任务起了决定性的作用,对此INDEPTH研究队全体人员表示非常感激,也给中外科学家留下深刻的印象。中方聘请了地质矿产部北京计算中心的车敬凯高级工程师担任中方现场的技术负责人,负责现场和美方一起研究解决问题,进行质量监督。

计划完成100km长的共中点(CMP)叠加剖面,实际完成计划的105%;计划有效物理点504个,已按计划完成;共打了炮井504个,钻井总进尺21138m,为计划钻探进尺的83.4%,共消耗炸药26634kg。采集的资料经现场中美联合科学家小组现场验收,质量合乎要求。

野外数据采集结束后,中美双方分别进行了数据处理和解释,中方数据处理工作由地质矿产部北京计算中心承担,解释工作由中国地质科学院负责。

1992年12月初美国地球物理联合会旧金山秋季年会期间,1993年4月美国纽约伊萨卡INDEPTH会议期间,1994年1月北京INDEPTH学术研讨会期间都作了成果交流和讨论。每次交流讨论后双方就分头进行改进,然后在下一次会上再交流研讨。最后中方接受挑

战,到美方实验室进行实际操作,作出一张好的地震剖面图。在多次对比讨论中,中方向美方学到很多好的经验,积累了深部资料处理和解释经验,也提出了许多有待深化解决的问题。这样中国科学技术人员的深部工作水平获得了迅速提高,增强了自信心和为国争光的勇气与力量。中国人有决心、有能力跻身于世界之林,在深部地质、岩石圈和大陆动力学研究上作出自己的贡献。

工作中也深深地感受到,必须有我国自己的专家,同时还必须进行一系列的体制改革,将许多不适应开展国际科学竞争的思想和作法加以改革,使中国科技人员获得一个充分发挥聪明才智的环境。

第一阶段研究的初步结果已分别发表在1993年12月的《Nature》Vol. 366、1996年5月的《地球学报》Vol. 17 No. 2 专刊、1996年9月《地球物理学报》Vol. 39 No. 5 和1996年10月《TECTONICS》Vol. 15 No. 5 上,共有11篇文章。

INDEPTH-1 阶段试验取得的主要结果有以下三方面:

1. 用美国 DFS5 数字地震仪和主频 10 周的检波器,检波点距为 50m,每点 36 个检波器组合,炮检距为 200m,用炸药作震源,每炮 50kg,井深 50m(多数井并不到这一深度),15 次叠加,在亚东—谷露裂谷内沿弯曲测线观测,记录时间为 50s,取得了几秒到 48s(双程时间)的深部反射,同相轴有较长延伸,深部信息丰富。发展了超深地震反射探测技术。证明在具有巨厚地壳的喜马拉雅地区深反射是可以取得丰富的深部反射信息的,试验是成功的。

我们所用的深部资料处理方法是成功的,所取得的 50s 深反射共中点 15 次叠加剖面的质量是很高的。这一试验结果得到美国同行们的高度评价,和国际上任何深反射(50s)叠加剖面(15 次)相比都不逊色。

2. 试验的主要发现有五点。

(1)在地壳中部 28km(南部)~40km(北部)深处有一组强反射带,呈多相位显示,有一定厚度,以约  $9^{\circ}\pm 2^{\circ}$  向北倾斜。命名为主喜马拉雅逆冲断裂带(Main Himalaya Thrust,简称 MHT)或主喜马拉雅逆冲拆离带。印度大陆的地壳或下地壳沿着这一拆离带向拉萨地块下俯冲下去,有力地支持了俯冲说。

(2)喜马拉雅山脊处——堂拉及其以南的帕里,莫霍层——壳幔边界的深度可达 75km (23.4s),有一定厚度,向北延伸和倾斜下去,深度逐渐加大,沿莫霍层反射带的特征是有变化的。还在更深的部位发现存在第二个莫霍层。这和过去得到的结果有所不同。

(3)上地幔内 32.0~36.4s、34~41.6s 和 38.0~46.2s 深处有延续较长的同相轴,可能是岩石层和软流圈内的反射层,表明在本区用人工地震方法进行上地幔探测是可行的。岩石圈地幔厚度约为几十千米,变形较小,反映了它的刚性较大,未见明显的莫霍断裂;相反,软流圈内变形较大。

(4)上地壳内呈现叠瓦状结构和陡坡结构,反射图案十分复杂,表明上地壳具有较大的脆性,构造现象显示清楚而复杂,有明显的叠覆增厚现象。藏南滑脱系(STD)有显示,但是具体的追索有待进一步工作。这一构造层厚度大约为 10~20km。

(5)下地壳呈现出和上地壳不同的反射图案,反射同相轴短而近乎平行,形成几个反射条带,有起伏,有断错,这些同相轴互相交叉的较少。总体上显示了更多的塑性或韧性流变性。

3. 已试用的探测技术还应作改进。如对广角反射工作,重视不够,当时主要考虑经费不