

中华人民共和国地质矿产部

地质专报

五 构造地质 地质力学 第15号

辽东—格尔木岩石圈地学断面综合研究

青藏高原速度结构
和深部构造

崔作舟 尹凤勋 高思元 卢德源 傅维洲

地质出版社

中华人民共和国地质矿产部

地 质 专 报

五 构造地质 地质力学 第15号

亚东—格尔木岩石圈地学断面综合研究

青藏高原速度结构与深部构造

崔作舟 (中国地质科学院 562 综合大队)

尹周勋 (中国科学院地球物理所)

高恩元 (长春地质学院)

卢德源 (岩石圈研究中心)

傅维洲 (长春地质学院)

著

地 质 出 版 社

(京)新登字 085 号

内 容 摘 要

本书是亚东—格尔木岩石圈地学断面研究成果之一，属应用基础丛书。它是目前青藏高原有关深地震测深方面最全面和最系统的成果总结。全书共分九章，其中的第一、二、三章概述了区域地质及地球物理研究现状；第四章叙述了该区爆炸地震资料的一维解释结果；第五章介绍了二维解释方法及结果；第六章概述了Q值的计算方法和试算结果；第七章建立了青藏高原三层地壳结构模型，并阐述了其深部构造特征；第八章综述了青藏高原及邻区天然地震的活动规律及现代地壳构造应力场特征；第九章讨论了青藏高原的形成机制和有关地球动力学问题。

本书可供从事地球物理学和基础地质学理论研究及从事生产、教学工作人员参考。

中华人民共和国地质矿产部 地质专报
五 构造地质 地质力学 第15号
亚东—格尔木岩石圈地学断面综合研究
青藏高原速度结构和深部构造
崔作舟 尹周勋 高恩元 卢德源 傅维洲

*
责任编辑：林清溪

地质出版社 出版发行

(北京和平里)

北京地质印刷厂印刷

(北京海淀区学院路29号)

新华书店总店科技发行所经销

*

开本：787×1092¹/₁₆ 印张：7.75 字数：170000

1992年7月北京第一版·1992年7月北京第一次印刷

印数：1—1000册 定价：7.50元

ISBN 7-116-01097-1/P·927

项目总序

“亚东—格尔木岩石圈地学断面综合研究”是我国参加的“国际岩石圈计划”中的重要项目——“全球地学大断面计划(GGT)”内的一项。亚东—格尔木岩石圈地学断面也是我国所承担的大断面中最先完成的一条。

“国际岩石圈计划”是在国际地学界于80年代之前进行过的“上地幔计划”和“地球动力学计划”的基础上，为使固体地球研究更向地球内部深入，并进一步探讨一些重大的地质学问题而拟定的。计划本身即标志着地球科学发展的前缘和它的多学科性与全球性。为此，在固体地球科学的两个国际联合会，即国际地质科学联合会(IUGS)和国际大地测量和地球物理学联合会(IUGG)的共同要求下，国际科学联合会理事会(ICSU)于1980年建立了国际岩石圈委员会来负责组织进行这项计划。

岩石圈的研究涉及面广，计划的内容几乎包括了岩石圈研究的全部内容，以期能通过这项计划解决地质学中存在的一些重大问题。岩石圈委员会于1985—1986年间重新将其内部组织和任务加以调整。目前共有6个工作组和7个协调委员会。“全球地学大断面计划”由其中的第七协调委员会负责执行。

该项计划是参照“北美地质学陆-洋断面10年计划”的模式提出的。因为它包括了岩石圈计划的许多基本原则，所以被认为是最能体现国际岩石圈计划的精神。它的目标是：综合有关的地质、地球物理、地球化学和大地测量的资料和数据，作出横切地球上具有关键性意义的地质和构造地区，如火山带、地堑、沉积盆地和容易遭受地震、火山等灾害区的岩石圈断面，以达到能够进行直接对比研究的要求。为此，对地学大断面的编制就需要有一个统一的规范性要求。目前已在全球范围内部署了175条这样的地学断面，同时希望能够在这些关键性地带的地学断面所提供的基本资料基础上，检查有关岩石圈性质和演化的各种假说，并且发现需要在下一步用先进手段深入进行工作的地区或地段。

“亚东—格尔木地学大断面综合研究”项目的完成，标志着我国地学研究已进入一个新的阶段。特别是对于地质条件特殊、举世瞩目的青藏高原这个具有重要意义的地区来说，由于它的系统地质-地球物理工作起步较晚，而如今能在较短的时间内就跃居世界固体地学研究的前缘，确实难能可贵。所以当这项成果的初稿于1989年在美国华盛顿第28届国际地质大会上展示时，便立即得到国际上知名专家的高度评价。以后又吸取了一些专家的意见加以充实和提高，同时国际岩石圈委员会也决定出版作为国际交流的第一批成果。现在，项目的综合研究报告和其中11个课题和专题报告的出版，除了反映这条大断面本身的研究成果之外，无疑也将促进我国岩石圈研究的加速前进。

值得注意的是这批报告，尤其是许多课题和专题报告的内容，不仅反映了工作成果，而且也包括了所运用的深部地球物理方法和技术方面的新成果。由于深部研究的特点，取得第一性数据的手段和方法以及数据的处理和解释也需要不断地针对实际情况加以改进和提高。在这方面提供的材料和经验也是具有重要意义的。

目前国际地学界关注的一个问题是：由于各分支学科的快速的发展，各自运用了许多新

技术、新方法，而且不断吸取其它基础学科方面的新成就，致使各分支学科之间的了解增加了困难。一方面某学科的成就不易及时被相邻的分支学科了解和利用，另一方面又使某一学科内还未成熟的新成果被相邻学科当作已被公认的东西来使用。多学科之间的相互了解和协作是促进本来是一个整体的地球科学的健全而快速发展的必由之路。希望这批报告的出版能在增进我国地质学和地球物理学之间在探讨深部问题时的相互了解、相互促进方面起到积极的作用。

人类对自然界的认识是无止境的，对青藏高原的地球科学研究也绝不是一次能够完成的。《亚东—格尔木地学大断面综合研究》系列专著中提出的若干观点当然还有待于今后多方面的检验、充实和修正。由于实际情况的限制，地球化学资料还显得不足，这应是今后需要大力补充的一个方面。

中华人民共和国地质矿产部
科学技术高级咨询中心主任
中国科学院地学学部委员
国际地质科学联合会副主席

张炳燾

1991年7月

前 言

本书由《中国亚东—格尔木地学断面综合研究》的《地震资料二维解释》专题提交的《青藏高原地壳—上地幔速度结构和深部构造特征及其形成与演化》报告修改而成。研究课题属国家自然科学基金资助和地矿部“七五”科技攻关项目。书中介绍了青藏高原区域地质构造背景和地球物理场研究概况，比较翔实地阐述了亚东—格尔木地学断面爆炸地震测深及解释结果，介绍了在一维解释基础上建立的二维地壳速度结构模型。本书还综合分析了各种不同观点，推断和论述了高原三分结构模型、各层特点及物质组成；划分了以断裂带为边界的六个构造带，分析了断裂的性质；配合亚东—格尔木走廊域天然地震研究，讨论了高原地壳结构和构造特征以及形成演化问题。初步认为青藏高原是由南、北两地块的双向相对挤压作用导致地壳沿经向缩短、沿垂向增厚、沿纬向滑移，在中生代形成雏型，至始新世、更新世大面积急剧隆升的结果。而喜马拉雅的崛起可能是在全新世。

本书是在专题研究参加单位——中国地质科学院 562 综合大队、中国科学院地球物理研究所和长春地质学院深部物探研究室等单位提交的报告和论文基础上，由专题组长崔作舟高级工程师综合编纂而成。在成文过程中孙克忠副研究员和吴苓、李秋生工程师提供了部分素材，周燕玲工程师清绘了全部图件，吴万新高级工程师受专题组长委托在文字和图件方面作了一些技术处理工作，在此一并表示感谢。

目 录

第一章	绪言	1
第二章	区域地质构造背景	3
第三章	区域地球物理研究概述	8
第四章	爆炸地震资料及其解释	16
一、	资料及其来源	16
二、	主要地震剖面概况及解释	17
第五章	爆炸地震资料二维解释及非纵剖面核查	29
一、	资料处理及解释方法概述	29
二、	地震资料二维解释结果	32
三、	非纵剖面核查	52
第六章	Q 值计算的试验	55
一、	Q 值计算意义及研究概况	55
二、	Q 值计算方法	55
三、	Q 值计算结果	59
第七章	青藏高原地壳结构与构造	60
一、	编图原则	60
二、	地壳—上地幔结构模型划分	61
三、	青藏高原地壳—上地幔速度结构及其变化	64
四、	青藏高原地壳构造特征	69
第八章	亚东—格尔木走廊域及邻区的天然地震	73
一、	走廊域资料概况	73
二、	地震活动的空间分布	73
三、	现代构造应力场特征	80
四、	地震能量释放情况	89
第九章	青藏高原形成和演化问题	92
结束语		98
参考文献		99
英文摘要		101

CONTENTS

I . INTRODUCTION	1
II . REGIONAL GEOLOGIC STRUCTURAL SETTING.....	3
III . BRIEF OF REGIONAL GEOPHYSICAL INVESTIGATIONS.....	8
IV . EXPLOSIVE SEISMOLOGIC DATA AND THEIR INTERPRE- TATION	16
1. Explosive Seismologic Data and Their Sources	16
2. Briefing of Major Seismic Profiles and Their Interpretation.....	17
V . TWO-DIMENSIONAL INTERPRETATION OF EXPLOSIVE SEISMOLOGIC DATA AND CHECK-UP OF BROADSIDE PROFILES	29
1. Data Processing and Interpretation Methods	29
2. Result of Two-Dimensional Interpretation of Seismological Data.....	32
3. Check-up of Broadside Profiles	52
VI . TRIAL OF Q VALUE CALCULATION	55
1. Implication of Q Value Calculation and Its Studies	55
2. Method of Q Value Calculation	55
3. Result of Q Value Calculation	59
VII . CRUSTAL STRUCTURE AND TECTONICS OF QINGHAI- TIBET PLATEAU.....	60
1. Compilation Criteria	60
2. Classification of Crust-Upper Mantle Structural Models	61
3. Velocity Structure of Crust-Upper Mantle on Qinghai-Tibet Plateau and Its Variations	64
4. Characteristics of Crustal Structure on Qinghai-Tibet Plateau.	69
VIII . NATURAL EARTHQUAKES OCCURRING IN YADONG— GULMOD CORRIDOR AND ITS ADJACENT AREAS	73
1. General Information About Natural Earthquakes Taking Place in the Corridor	73
2. Spacial Distribution of Earthquake Events	73
3. Characteristics of Modern Tectonic Stress Field.....	80
4. Seismic Energy Release	89
IX . PROBLEMS CONCERNING FORMATION AND EVOLUTION OF QINGHAI-TIBET PLATEAU.....	92
CONCLUDING REMARKS.....	98
REFERENCE	99
ABSTRACT	101

(京)新登字 085 号

内 容 摘 要

本书是亚东—格尔木岩石圈地学断面研究成果之一，属应用基础丛书。它是目前青藏高原有关深地震测深方面最全面和最系统的成果总结。全书共分九章，其中的第一、二、三章概述了区域地质及地球物理研究现状；第四章叙述了该区爆炸地震资料的一维解释结果；第五章介绍了二维解释方法及结果；第六章概述了Q值的计算方法和试算结果；第七章建立了青藏高原三层地壳结构模型，并阐述了其深部构造特征；第八章综述了青藏高原及邻区天然地震的活动规律及现代地壳构造应力场特征；第九章讨论了青藏高原的形成机制和有关地球动力学问题。

本书可供从事地球物理学和基础地质学理论研究及从事生产、教学工作人员参考。

中华人民共和国地质矿产部 地质专报
五 构造地质 地质力学 第15号
亚东—格尔木岩石圈地学断面综合研究
青藏高原速度结构和深部构造
崔作舟 尹周勋 高恩元 卢德源 傅维洲

*
责任编辑：林清溪
地质出版社 出版发行
(北京和平里)
北京地质印刷厂印刷
(北京海淀区学院路29号)
新华书店总店科技发行所经销

*
开本：787×1092¹/₁₆ 印张：7.75 字数：170000
1992年7月北京第一版·1992年7月北京第一次印刷
印数：1—1000册 定价：7.50元
ISBN 7-116-01097-1/P·927

第一章 绪 言

人们探索地球的起源、发展和活动,是因为认识到地球是人类赖以生存的物质源泉。人类若想合理地开发和利用地球资源,就必须更多地了解地球,研究它的起源、发展和活动规律。

研究地球必须是国际性的和多学科的。因为地球不仅是一个整体,属于全人类,同时它又是一个极其复杂的物理、化学和生物体系。局部的和少数人的努力,单学科和独立分散的研究是很难奏效的。

由于地球科学界的专家们认识到国际间的合作是何等重要,所以自20世纪50年代后期开始,国际大地测量地球物理联合会和国际地质科学联合会相继提出和执行了“国际地球物理年(1957—1959)”、“上地幔计划(1960—1969)”、“地球动力学计划(1970—1979)”等一系列国际合作计划。这些计划取得了显著的科学成就,但也还有许多重大问题仍未解决。鉴于此,地球科学家们又精心设计了“国际岩石圈计划(1980—1989)”。这个新的国际多学科研究计划,对促进地球科学的进展是必不可少的。1985年8月岩石圈委员会(ICL)在东京的会议上又提出了“全球地球科学断面计划(Global Geoscience Transects Project),简称GGT”,作为岩石圈计划后五年的具体计划。此计划推出了一幅可能的全球断面分布图,其中包含一条穿越我国青藏高原近南北向分布的GGT断面。

中国地质科学院岩石圈研究中心,不失时机地于1986年末提出了《中国亚东—格尔木地学断面综合研究计划》。此计划拟以中国科学院青藏高原综合考察,中-法喜马拉雅国际合作,中-英青藏高原联合考察,以及地质矿产部组织的青藏高原地质调查为基础,并补充少量实测工作。此计划得到了国家科学基金委员会和地质矿产部科学技术司的大力支持和资助,并于1987年初立项。该课题共设8个专题,《地震资料二维解释》是其中的专题之一。

因本项目实属《全球地球科学断面计划》,且在立项时即准备参加1988年在中国召开的“亚洲地区GGT断面工作会议”和1989年7月在美国华盛顿召开的第28届国际地质大会,并拟在会议上展示此断面。因此,该项目对各专题的要求是以J. W. H. Monger等编制的CONTINENT; OCEAN TRANSECT B 2 JUAN DE FUCA PLATE TO ALBERTA PLAINS为样板,以全球地学断面(GGT)编图指南为标准。总体任务要求在1988年内完成样图和文字说明初稿;1989年7月前必须完成正式参展剖面图和说明书。

项目负责单位对本专题的要求是明确的,首先是不再重新做野外观测;尽可能利用原有的爆炸地震资料,在原有资料的基础上统一认识,统一方法;对地震纵剖面必须使用适用于曲界面的二维射线追踪法的SEIS-81或83程序进行正演拟合;对非纵剖面进行核查;试作 Q 值计算;收集天然地震资料并作综合分析。编制地壳结构断面图,分析高原地壳结构和构造特征,推断其物质组成和高原的形成与演化,为多学科的综合研究提供资料和素材。

由于该区的爆炸地震工作,主要是中-法喜马拉雅联合考察队完成的,故资助部门明确指出,本项目必须尽可能地吸收中-法合作期间做过爆炸地震工作的单位参加。因此,中国

地质科学院 562 综合大队、中国科学院地球物理研究所和长春地质学院深部物探研究室应邀参加了此专题。地质科学院 562 综合大队为牵头单位，崔作舟高级工程师任专题组长，尹周勋高级工程师和高恩元副教授任副组长。经参加单位协商，作如下分工：

1. 中国地质科学院 562 综合大队负责 TG 剖面的二维解释和专题成果汇总工作；
2. 中国科学院地球物理研究所负责 DY 和 SPY 两条纵剖面的二维解释；
3. 长春地质学院深部物探研究室负责 PDP 纵剖面的二维解释、非纵剖面的核查和天然地震资料的收集和研究。

本专题组基本上按计划完成了任务，提交了以下五篇论文和两份说明书：

1. 青藏高原地壳结构构造及其与地震的关系（崔作舟执笔）；
2. 青藏高原亚东至当雄地带二维地壳结构的研究（尹周勋执笔）；
3. 青藏高原北缘色林错—蓬错—雅安多地带二维速度结构及断裂分布特征（刘宏兵执笔）；
4. 青藏高原北部沱沱河—格尔木地区的地壳结构和深部作用过程（卢德源执笔）；
5. 亚东—格尔木走廊域及其邻区的地震活动特征（傅维洲执笔）；
6. 亚东—格尔木地学断面爆炸地震资料的二维处理与解释（说明书）（崔作舟执笔）；
7. 亚东—格尔木地学断面天然地震研究（说明书）（傅维洲执笔）。

在上述资料的基础上，专题组长崔作舟收集了有关该区的地质及其它地球物理研究成果，并进行了综合分析和整理，最后编撰成文。

第二章 区域地质构造背景

对青藏高原的范围，多数地质学家认为：从阿尔金山和祁连山以南，包括柴达木盆地在内，直到锡瓦利克山，皆属青藏高原。但据地貌特征和地质构造体系综合考虑，高原的北界似划在昆仑—秦岭山脉北缘为宜。若仅从地质构造体系角度看，昆仑—秦岭纬向构造带以南的一套弧形构造带构成了高原的主体^[1]。任纪舜等（1980）则认为青藏高原属于古亚洲构造域的地槽区和特提斯—喜马拉雅构造域的地槽区^[2]。

青藏高原地旷人稀，自然条件恶劣，交通不便，给地质调查带来了极大的困难。解放前，只有少数外国地质学家和探险者进入过西藏局部地区，作过一些路线地质调查及零星的地层和古生物方面的研究。

解放后，于1951年中国科学院派出西藏科学考察队。其后地质部曾先后于1956和1960年两度建立西藏地质局，并派遣地质队伍入藏。但在此期间仍以路线地质调查或以找矿为目的的局部地质填图工作为主。60年代后期，四川及青海等相邻省份才开展了1:1 000 000的区域地质填图工作。1972年第三届西藏地质局成立以后，开始进行1:1 000 000区域地质调查，自1974年开始了1:1 000 000区域地质图的编制工作。

显然，西藏地区的地表地质研究工作无论广度和深度皆较差。西藏地质局在已有的资料基础上于1981年首次出版了比例尺为1:1 500 000的西藏自治区地质图，随后又进行了修编，重新印刷出版。

由于各方面条件的限制，青藏高原的地质构造研究程度较低，一些问题不能取得一致的认识。尽管如此，仍有一些明显的规律可循。现据新编西藏地质图及其有关资料和文献，就青藏高原的构造轮廓和基本特征描述如下：

1. 据青藏高原的地层、岩相、岩浆岩及构造等分布特征，青藏高原由北向南可划分为以下六个构造带：

- 柴达木地块
- 昆仑北缘隐伏断裂带
- (I) 北昆仑构造带
- 昆仑中央断裂带
- (II) 南昆仑构造带
- 昆仑南缘断裂带
- (III) 巴颜喀拉构造带
- 金沙江断裂带
- (IV) 羌塘构造带
- 怒江断裂带
- (V) 冈底斯构造带
- 雅鲁藏布断裂带
- (VI) 喜马拉雅构造带

主边界断裂带

印度地块

青藏高原广布中生代地层，而古生代和前古生代地层出露零散，研究程度较差。现有资料似乎表明，前古生代地层变质程度较深，并为古生代不同层系地层所不整合覆盖。此不整合所反映的构造运动被称为珠穆朗玛运动^[3]（郭铁鹰等，1981）。古生代地层变质较浅，为一套浅海相碳酸盐岩、泥质岩所组成，所含动物群与扬子区有密切关系。古生代不同层系之间多呈整合或假整合接触。青藏高原在前古生代曾一度为一广阔的地槽区，珠穆朗玛运动使其回返褶皱形成结晶基底，由地槽转向地台发展。至古生代西藏地区已成为稳定的地台区。

晚二叠世地台开始抬升，故青藏高原普遍缺失上二叠统。至中生代，下二叠统被中生代不同层系不整合覆盖。它所代表的属晚华力西运动，又被称为“藏南运动”^[3]。此次运动是高原地壳发展中的一次重大转折。它使古生代的地台不断解体，沉积带和海水随构造运动的发展由北往南逐步迁移，隆起与沉降，稳定与活动地带不断置换。

(I)北昆仑构造带：以往的地质资料多笼统地将该区划为东昆仑褶皱带或布尔汗布达褶皱带。此次GGT断面研究的地质构造专题组将其划分为北昆仑和南昆仑两个地体，其分界为昆仑中央断裂带^[4]。

北昆仑构造带的北缘由昆仑北缘隐伏断裂将其与柴达木地块分开。长春地质学院程庆云教授近几年的大地电磁测深资料表明，昆仑北缘断裂很可能为一倾角较缓的朝南倾斜的逆冲断层。钻探结果证明部分较老的地层或岩石覆盖在柴达木盆地第三系陆相湖盆沉积地层之上。

北昆仑构造带的结晶基底在地表出露的为元古代长城系金水口群和蓟县系一青白口系冰沟群。其上覆盖着下古生界（可能属上奥陶统）的变质砂岩、板岩、结晶灰岩、白云岩及火山岩等，为活动的地槽型沉积。但晚泥盆世形成了造山期后的磨拉石沉积，属黑山沟组。这表明该带的部分地区为早古生代的地槽，加里东晚期褶皱回返。然而向东仍可见泥盆—石炭纪的海相—海陆交互的砂岩、页岩夹火山岩。下、中三叠统则出现磨拉石建造，而且其后则为陆相沉积。这表明该构造带的褶皱回返主要是从加里东晚期开始，延续至华力西期结束。

(II)南昆仑构造带：昆仑南侧及布尔汗布达山地区的结晶基底在地表出露的为万宝沟群，由千枚岩、板岩、大理岩及变质火山岩组成，可能属上元古界。在此带的结晶基底之上为一套浅变质绿片岩夹碳酸盐岩层以及火山碎屑岩，通常称为纳赤台群，据已采得的化石证明该层可能为中奥陶统。对南昆仑下古生界的认识不一，有人认为属地台型沉积，但也有人认为属地槽型沉积。在该区虽未见到纳赤台群与上部古生代地层的直接接触关系，但在此带南侧的部分地带上部古生代仍处于海侵时期，并接受了厚度逾万米的晚古生代海相或海陆交互沉积，其间富含火山沉积，有人认为属裂隙槽型沉积。下、中三叠统为一套巨厚的杂砂岩、页岩夹灰岩和火山岩沉积。直至上三叠统才出现八宝山群磨拉石建造。这表明该带属华力西海槽，至印支期又开始回返褶皱。

此带之南侧为巴颜喀拉构造带，两带之间为昆仑南缘断裂带所分隔。沿此断裂带于早、晚三叠世之间形成了蛇绿岩、放射虫硅质岩和玄武岩共生带。

(III)巴颜喀拉构造带：此带以广泛分布的三叠系地槽型沉积为特点。三叠系的巴颜喀

拉群为一套复理石建造，厚度至少在万米以上。沿此带北缘发现有上石炭统及二叠系的复理石和碳酸盐岩层。但在该带南部大部分地带内为三叠系复理石沉积，其中以中、上三叠统复理石为主。古生代地层只有零星出露，该带内的寒武系—中奥陶统与扬子地台的极为相似。该带是在华力西期开始形成的海槽，但主要发育于印支期的中—晚三叠世。由于在川西的阿坝地区发现晚三叠世的诺利克阶小塘子组的磨拉石沉积不整合覆盖于较它为早的地层之上，故而推测褶皱回返发生在印支期晚三叠世中期。

此构造带南侧有西金沙江断裂带，将其与羌塘构造带分割开。沿此断裂带超基性岩体成线状分布，地表可见岩体侵入于下二叠统及上三叠统，可能属印支中、晚期。断裂带由一系列高角度逆冲断层组成。

(IV)羌塘构造带：该构造带出露的古生代地层有下石炭统、泥盆系、志留系，甚至有更老的变质岩系。在藏北地区的泥盆系至二叠系为浅海稳定的地台型碎屑岩和碳酸盐岩，含丰富的化石。上部古生代地层中的生物群以华南型为主要特色，但石炭—二叠系的冰水沉积层的冷水动物群则被认为属冈瓦纳型。因此，有人认为羌塘地块为冈瓦纳的基底；但也有人认为它的基底属扬子地台型。该区在晚古生代至三叠纪时期，为稳定的地台，可能有加里东期的褶皱基底。

但是，此构造带广泛分布着侏罗系，该系地层厚度较大，近万米。其中的雁石坪群为类复理石建造，虽不十分典型，但仍属地槽型沉积范畴。在此构造带北缘的巴塘群，由砂板岩夹中酸性火山岩及碳酸盐岩组成，并有次深海的类复理石，可能亦属地槽沉积。由此可见，该构造带可能从侏罗纪开始由地台转化为地槽，并在侏罗纪末回返褶皱，隆升为陆。至白垩纪海水完全撤出该区，白垩纪的陆相地层不整合覆盖于侏罗纪地层之上。

该带南缘的怒江断裂带为此构造带与南部的冈底斯构造带的分界。沿此断裂带有大量超基性岩、含放射虫的硅质岩及火山岩分布。超基性岩侵位于侏罗系，而白垩系又盖于超基性岩体之上。这表明该断裂带为燕山运动中期的产物或在燕山运动中期活动比较强烈。

(V)冈底斯构造带：该带的前寒武系结晶基底出露于念青唐古拉山东坡，被称为念青唐古拉群，由一套副片麻岩夹花岗岩及角闪岩组成。据锆石等时线法测定其年龄为 1 250 Ma。另外还出露有上部古生代地层，但大部分地区为中生代地层所覆盖。

已有资料表明该带以措勤—嘉黎断裂为界又可分为南北两个亚带。而这两个亚带又被北东向的那曲—当雄断裂带截为东西两段。这种格局明显地反映在地层的分布、岩相的差异和岩浆活动强度等方面。就北亚带而言，西段地层以侏罗系及海相下白垩统为主；东段则以三叠系为主，白垩系为陆相地层且分布零星。火成岩的分布，东段以燕山晚期的花岗岩为主；西段以燕山期超基性岩出露较为普遍，东段则很少。但是，南亚带则不同，西段地层以上白垩统为主，可能包含第三系，且多为晚白垩世或始新世中—酸性火山喷发岩和碎屑岩；东段则以上部古生界为主，早—中三叠世火山活动频繁，晚燕山期至喜马拉雅期形成冈底斯岩带，并有喜马拉雅期的超基性岩分布。

本带的下部古生代盖层为地台型沉积。泥盆系为碳酸盐岩—碎屑岩建造；石炭—二叠系为冰水沉积，并含冷水动物群化石。至三叠纪该带开始转化，出现复理石沉积，分布最广的上侏罗—下白垩统为复理石和类复理石建造，其中夹安山岩和安山凝灰岩，总厚达万米。早白垩世期间发生过强烈构造运动，使下白垩统下部及其以前的地层发生强烈褶皱，并在措勤—嘉黎断裂带北侧附近出露燕山期的花岗岩带。由此推断该带的北亚带地槽回返

褶皱发生于早白垩世。但其南亚带地槽回返褶皱可能较北亚带为晚。南亚带的上白垩统被一区域性不整合面分为两部分，下部为杂色条带砂、页岩互层，并形成紧密倒转褶皱；上部为第三系的中酸性火山碎屑岩或磨拉石层所不整合覆盖。故推断此带为晚白垩世晚期的褶皱带。其南缘的冈底斯花岗岩带为晚燕山—喜马拉雅期的产物。

该构造带南缘由雅鲁藏布断裂带将它与喜马拉雅构造带分开。沿此断裂带有大量超基性岩成线状分布。在泽当和大竹卡等地均可见三叠系覆盖在侏罗—白垩系之上。断裂面多向南倾，倾角一般为 40° — 70° ，局部地段倾角仅 20° — 30° 。断裂带宽度为20—50 km不等。

(VI)喜马拉雅构造带：该构造带的基底由一套结晶片岩和片麻岩组成，出露于高喜马拉雅南坡，其同位素年龄为600—1200 Ma。古生界及下、中三叠统盖层多属稳定的地台型沉积，至晚三叠世构造环境开始转化和分异。高喜马拉雅开始仍保持稳定的地台状态，只是靠近雅鲁藏布断裂带的地带变得活跃起来——不断沉陷，沉积了巨厚的复理石建造。其后活跃的地槽向南扩展至洛扎—日喀则一带。上白垩统的日喀则群是一套典型的地槽型沉积建造，几乎遍布整个地槽带。此地槽带在晚侏罗世前曾发生过一次构造运动，但地槽全面回返褶皱是发生在晚始新世的喜马拉雅运动，上新—更新世的构造运动最为强烈，导致高原的急剧隆起。

在高喜马拉雅的南坡和低喜马拉雅山区，为一逆掩构造带。逆掩构造面几乎全部北倾。它们主要分布于喜马拉雅带基底变质岩系内，主要形成于晚喜马拉雅构造运动。此带南缘为主边界逆掩断裂带，它为喜马拉雅带与印度地块的分界断裂带。其南侧则为锡伐利克山前坳陷带。坳陷带内沉积了巨厚的上新—更新世磨拉石建造，这标志着喜马拉雅的剧烈隆升和恒河平原不断沉陷相伴。

2. 青藏高原的岩浆岩极为发育，根据它们各方面的特征和侵位时期^[5,6]，大致可划分为五个与前述构造带相对应的岩浆岩带。

I、II带：以华力西期岩浆岩为主，其次为印支期，偶见元古代及加里东期岩浆岩。华力西期以中、酸性的黑云母花岗岩、花岗闪长岩及石英闪长岩为多，以小型出露岩体和岩基为主，多侵入于下古生界及上泥盆统，并被石炭—二叠系和三叠系覆盖，同位素年龄为260—280 Ma。基性和超基性岩可能属加里东期或华力西期产物。

III带：以印支期的基性—超基性岩和中—酸性黑云母花岗闪长岩为主，同位素年龄为198—215 Ma。此带尚见燕山早期的中—酸性岩浆岩，其同位素年龄为111—195 Ma。它们在北部多侵入于二叠系和三叠系，在南部多侵入于上三叠统，似有北老南新的趋势。

IV带：以燕山中—晚期黑云母花岗岩及花岗斑岩为主，但规模较小，多呈岩株或岩枝，个别呈岩基产出。它们主要侵入于侏罗系及白垩系，被第三系不整合覆盖。此外尚有喜马拉雅期的花岗斑岩及花岗闪长岩，侵入于白垩系，为第三系不整合覆盖。

V带：岩浆岩的分布也可分为南北两个亚带。北亚带以燕山晚期的基性和超基性岩为主，其次有喜马拉雅早期的花岗岩和花岗闪长岩，同位素年龄为80—145 Ma^[5]，侵入于侏罗系和白垩系，被第三系覆盖；南亚带以中—酸性的花岗闪长岩为主，其次有闪长岩和黑云母花岗岩，常呈巨大的岩基，具多期活动的特点，侵入于白垩系及第三系，同位素年龄分别为70—90 Ma，30—50 Ma^[6]，分属燕山晚期及喜马拉雅早期的产物。基性—超基性岩无确切的年龄数据，野外证据表明其侵入时期晚于上白垩统。

VI带：以喜马拉雅期的二云母花岗岩和电气石花岗岩为主，岩体一般较小。前者主要

分布于北侧的低分水岭地带，同位素年龄为 20—30 Ma；后者主要分布于高喜马拉雅地带，同位素年龄为 10—20 Ma^[6]。

以上除岩浆岩带具有自北而南时代逐渐变新的明显规律外，火山岩或喷发岩的时代也有自北而南逐渐变新的趋势。岩浆岩的侵入与构造带的形成在时空上虽然不完全一致，但基本接近。

3. 前述构造带和岩浆岩带多被延伸较远和深度较大的巨型断裂带所分割，并沿断裂带形成了基性—超基性岩带。含有基性—超基性岩带的巨型断裂带自北而南依次有：

(1) 昆仑中央断裂带：此断裂带即过去所谓的修沟—托索湖断裂带。它为 I 与 II 构造—岩浆岩带的分界断裂。此带由走向逆冲断层组成，切割了二叠系及三叠系。应属印支期或其以前形成的断裂，断裂面可能向南倾斜。沿断裂带的东延部分偶有超基性岩体分布。

(2) 昆仑南缘断裂带：此断裂带分布于南昆仑山口以南，向东在玛多以北通过。它为 II、III 构造带的分界断裂。南昆仑构造带以古生代地层分布为主，断裂带以南的巴颜喀拉构造带则以三叠系的巴颜喀拉群为主。断裂带朝北陡倾，可能形成于印支期或更早。

(3) 金沙江冲断带可能为 III 与 IV 构造—岩浆岩带的分界断裂带。沿此断裂带亦有基性—超基性岩断续分布。它们侵入于上泥盆统、二叠系和三叠系中。沿金沙江及通天河一带发现有混杂堆积。

(4) 怒江冲断带为 IV 与 V 构造—岩浆岩带的分界断裂带。断裂带可能北倾。此带内基性—超基性岩出露较多(赋存具有工业价值的铬铁矿床)，它们侵入于上古生界、三叠系和上侏罗—下白垩统中。丁青超基性岩体为上白垩统或第三系不整合覆盖，形成于燕山中—晚期。断裂带附近局部发现混杂堆积。

(5) 雅鲁藏布冲断带为 V 与 VI 构造—岩浆岩带的分界断裂带。沿此冲断带有大量基性—超基性岩及具有工业价值的铬铁矿床分布。它们侵位于三叠系、侏罗系及上白垩统，为第三系不整合覆盖。其侵位时期可能为始新世，属喜马拉雅运动的产物。沿该断裂带的南侧有混杂堆积。

4. 纵观青藏高原构造形态特征，主要表现为：

(1) 青藏高原总体构造的平面形态很像一个“胃”的形状，中部膨大，向两端延伸构造带逐渐改变走向并收敛变窄。膨大的中部多由近东西走向的褶皱和冲断层组成，均为压性结构面；往西渐转为北西走向与帕米尔“结”相连；向东渐变为南东走向，再往南与东南亚—菲律宾弧相连。李四光教授将其称为“青藏滇缅歹字型构造体系”。

(2) 青藏高原总体构造断面的形态具有明显特征。其南侧多为北倾的低角度逆冲或逆掩断层，局部可见大的推覆构造。该区的褶皱轴面多向南倒转或向北倾斜，甚至可见平卧褶皱。而高原北缘的逆冲断裂面多向南倾，褶皱轴面向北倒转或向南倾斜。总体呈“扇形”或“冠状”^[3,5]。

(3) 青藏高原的南、北两侧山前均有较深的新生代拗陷带。其中沉积了始新一上新统的巨厚磨拉石建造，它们可能是高原快速隆升阶段的产物。

(4) 青藏高原南侧的高喜马拉雅山脉，较藏南的拉轨岗日山脉地区的平均海拔高度要大，但分水岭并不在高喜马拉雅山脉，而是在拉轨岗日山脉，因此人们称此分水岭为“低分水岭”。这一现象表明高喜马拉雅山脉地势高度是在全新世后期才逐渐超过藏南低分水岭的。由此可见高原的隆升并非完全同时。

第三章 区域地球物理研究概述

青藏高原的地球物理探测和研究较区域地质研究更为薄弱，至今尚未进行全面、系统的综合探测和研究。多数探测出于找矿目的，少数工作出于研究目的。现仅就几个主要方面的研究结果概述如下：

1. 重力研究^[7-10]

重力测量和研究是该区使用最早和较广泛的方法。印度、意大利、日本、尼泊尔、美国等国的一些地球物理学家在该区进行过重力测量和研究，并编制了各种重力图。

解放后，我国地球物理学家也做过不同比例尺和不同地区范围的测量和研究。美国的卫星重力测量覆盖了全区（图 3—1）。据已有的资料和文献综合起来有以下几点值得注意：

（1）沿青藏高原四周为布格重力异常等值线的密集梯度带，它可能是高原与其周围地区地壳结构有明显差异的反映。

（2）整个高原以高负值重力异常为特征。高原内绝大部分地区的异常值在 -400 mGal^①以上，异常变化平稳均匀，最高负值异常为 -500 — -600 mGal，这表明高原内

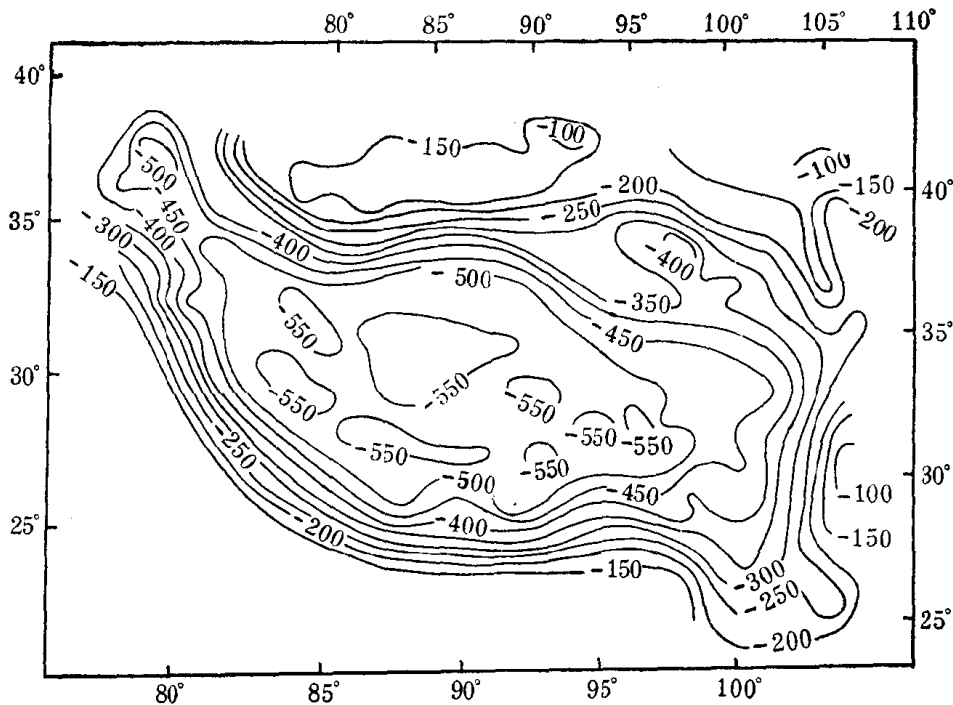


图 3—1 青藏高原 $1^\circ \times 1^\circ$ 重力布格异常图（单位为 mGal^①）

Fig. 3—1 $1^\circ \times 1^\circ$ gravity Bouguer anomaly of the Qinghai-Tibet Plateau

（引自美国加州大学地球物理实验与技术报告，1977）

① 1 mGal = 10 g.u.