

中华人民共和国地质矿产部

地质专报

三 岩石 矿物 地球化学 第 21 号

亚东—格尔木岩石圈地学断面综合研究

青藏高原岩浆活动 及岩石圈演化

黄怀曾 王松产 黄路桥 张忆平 肖宜君 杨建军 著

地质出版社

56.5083
295-2
3-24

中华人民共和国地质矿产部

地质专报

三 岩石矿物地球化学 第21号

亚东—格尔木岩石圈地学断面综合研究

**青藏高原岩浆活动及
岩石圈演化**

黄怀曾 王松产 黄路桥 著
张忆平 肖宜君 杨建军

地质出版社

(京)新登字085号

内 容 提 要

本书根据亚东—格尔木地学断面走廊域及邻区碰撞以来构造岩浆活动的总体特点,划分出南喜马拉雅、北喜马拉雅、冈底斯与青海高原四个构造岩浆带和逆冲叠覆、挤压褶皱、走滑作用和断块活动四个构造阶段,以及碰撞期I型、碰撞期S型、走滑期A型橄榄安粗质和断块期A型碱性四个岩浆系列,另区分出B型俯冲期I型岩浆系列;揭示了不同构造岩浆带、不同构造阶段、不同岩浆系列的地球化学特点,建立了彼此间对比和区分的标志;探讨了岩浆形成的物理化学条件和岩石圈的物质组成;结合实验岩石学、地球物理学等方面的综合研究,对地球动力学与运动学进行了分析,阐明了构造应力对岩浆活动的制约作用,进而推断碰撞造山带岩石圈由表及里所发生的深刻变化,由于上地幔结构和组分的不均一性,深部可能因重力滑动和剪切力偶作用造成了幔内俯冲而诱发了陆壳内部的碰撞。

本书对从事区域地质研究的地学工作者有重要参考价值。

中华人民共和国地质矿产部 地质专报

三 岩石矿物地球化学 第21号

亚东—格尔木岩石圈地学断面综合研究

青藏高原岩浆活动及岩石圈演化

黄怀曾 王松产 黄路桥 著
张忆平 肖宜君 杨建军

责任编辑:谭惠静

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 字数: 155000

1993年11月北京第一版·1993年11月北京第一次印刷

印数: 1—500册 定价: 5.15元

ISBN 7-116-01430-6/P·1169

项 目 总 序

“亚东—格尔木岩石圈地学大断面综合研究”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—格尔木岩石圈地学大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》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

张炳熹

1991年7月

前 言

居于我国西部的青藏高原，尤其是西南边陲的喜马拉雅山脉，经历了强烈隆升和地壳缩短，形成面积达数百万平方公里的高原和山地，是显生宙以来最巍巍壮观的造山带，并保留了最新和最完整的地质记录，无论是构造变形、热变质事件还是岩浆活动和盆地沉积，都显示出十分清晰的碰撞造山带和碰撞后造山带特征。与此相应的岩石圈结构构造亦十分独特，颇大的地壳厚度，冷而薄的岩石圈地幔，强烈的地震波衰减，巨大的布格重力负异常带，所有这一切，都赋有鲜明的特色，而引起世人的瞩目。国内外地学工作者均以青藏高原作为突破口，力求去认识造山带的成因以及活动造山带逐渐稳定的过程，最终达到揭示大陆岩石圈的演化以及查明其形成机理的目的。近二三十年来，大量的地质、地球化学、地球物理调查，积累了一些资料，获得了许多新的认识。我们以亚东—格尔木一线为主要研究区域，以岩石地球化学为主线，并尽可能地结合地质观察和地球物理测量进行探讨，提出一些并不完全成熟的看法，其目的仅仅是参与这一讨论，将青藏高原的研究持续深入地进行下去。由于造山带的复杂性，研究程度又低，尤其是深部缺少令人信服的可靠依据，况且仍有许多问题尚未涉足，因此主要还是停留在定性的推断上。

我们在区域构造研究基础上，论述了青藏高原碰撞期间与碰撞期后岩浆岩的时空分布特征，划分了南喜马拉雅、北喜马拉雅、冈底斯和青海高原四个构造-岩浆带与逆冲叠覆、挤压褶皱、走滑作用和断块活动四个构造-岩浆期以及碰撞期I型、碰撞期S型、走滑期A型橄榄安粗质和断块期A型碱性四个岩浆系列。此外，亦涉及到B型俯冲期间陆缘造山带I型岩浆系列。不同构造-岩浆活动期有不同类型的岩浆岩组合，而不同构造带又往往叠加了不同期次、不同类型的岩浆活动。我们以典型的或具有代表性的深成岩体和火山岩层为实例，分析了各岩浆系列的岩石化学、微量元素、稀土元素及同位素地球化学特征，继而结合实验岩石学、地球物理、地热流测量成果，探讨了岩浆岩的成因与演化，阐述了各岩浆系列形成时的物理（温度和压力）化学（物质成分）条件，进而说明了不同构造-岩浆带、同一构造-岩浆期或同一构造-岩浆带、不同构造-岩浆期的岩石组合、特征差异的原因。通过岩浆活动、地质、地球物理资料所作的不同构造带构造应力与物质成分的分析，推断碰撞期由于岩石圈地幔和软流圈不均一性，深部可能存在的重力滑动和剪切力偶，即陆壳下的“幔内俯冲”，恐怕是导致青藏高原强烈隆升和地壳缩短的主要原因，而在地壳内派生出剪切挤压应力和重熔花岗岩，即出现A型俯冲。青藏高原普遍发育的碰撞型花岗岩和相应的挤压构造变形与热事件，自北而南逐步增新，标志着A型俯冲随着时间延伸，逐步向南迁移。随着岩石圈地幔和软流圈逐步向均一方向转化，构造活动减弱，甚至转为开张机制，从而出现了亚碱性和碱性岩浆活动。从地球动力学变化所孕育出不同的岩浆系列中推断，高原隆升和地壳缩短是不同构造-岩浆期和不同构造-岩浆带分别以不同机制由表及里连续演化的结果，可能并非是周边地区双向或单向挤压作用所致，也非同一机制下整体隆升的产物，而是经历了时间和空间交错在一起复杂变化的过程，实质上反映了造山带内由活动到稳定的演变历程。

本项研究是国家自然科学基金会和地质矿产部联合资助的“亚东—格尔木岩石圈GGT断面综合研究”项目下设置的一个专题。在中国地质科学院前副院长赵文津大力支持下，在项目负责人吴功建、肖序常、李廷栋指导下，在其它各专题组的协助下，才得以完成本专题任务。王乃文、冯昭贤、刘国惠、吴功建、李廷栋、肖序常、陈毓川、洪大卫、赵逊（以姓氏笔划为序）审查了专题报告，提出了宝贵意见，仅致以衷心的感谢。由于受经费限制，不能开展大量野外实际调查和深入的室内研究。因此，专题研究报告是前人资料与自己实际工作的结合。

本专著是在专题研究报告的基础上进一步修改而成的。由于水平所限，错误在所难免，恳请批评指正。

作者

目 录

第一章 地质构造背景.....	1
第二章 岩浆系列及其时空分布特点.....	4
第三章 岩石化学和微量元素地球化学.....	10
一、俯冲期 I 型岩浆系列.....	10
二、碰撞期 I 型岩浆系列.....	16
三、碰撞期 S 型岩浆系列.....	22
四、走滑期 A 型橄榄安粗质岩浆系列与钙碱性岩浆系列.....	26
五、断块期 A 型碱性岩浆系列.....	31
第四章 稀土元素地球化学.....	36
一、俯冲期 I 型岩浆系列.....	36
二、碰撞期 I 型岩浆系列.....	38
三、碰撞期 S 型岩浆系列.....	42
四、走滑期 A 型橄榄安粗质岩浆系列和钙碱性岩浆系列.....	44
五、断块期 A 型碱性岩浆系列.....	46
第五章 同位素地球化学.....	49
一、俯冲期 I 型岩浆系列.....	49
二、碰撞期 I 型岩浆系列.....	51
三、碰撞期 S 型岩浆系列.....	54
四、走滑期钙碱性岩浆系列.....	56
第六章 岩浆的成因与演化.....	57
一、俯冲期 I 型岩浆系列.....	57
二、碰撞期 I 型岩浆系列.....	58
三、碰撞期 S 型岩浆系列.....	61
四、走滑期 A 型橄榄安粗质岩浆系列和钙碱性系列.....	64
五、断块期 A 型碱性岩浆系列.....	65
第七章 岩石圈演化与地球动力学.....	68
一、碰撞造山作用驱动力.....	68
二、岩浆活动在青藏高原隆升中的作用.....	71
三、岩石圈与软流圈的性质.....	72
第八章 结束语.....	76
参考文献.....	78
英文摘要.....	83

Contents

Chapter 1	Geological settings	1
Chapter 2	Magma series and their temporal-spatial distribution.....	4
Chapter 3	Petrochemistry and geochemistry of trace elements.....	10
	(1) Subduction-related I-type magma series.....	10
	(2) Collision-related I-type magma series.....	16
	(3) Collision-related S-type magma series.....	22
	(4) A-type shoshonite and calc-alkaline series of strike-slip stage	26
	(5) A-type alkaline series of fault-block stage	31
Chapter 4	REE geochemistry.....	36
	(1) Subduction-related I-type magma series	36
	(2) Collision-related I-type magma series.....	38
	(3) Collision-related S-type magma series.....	42
	(4) A-type shoshonite and calc-alkaline series of strike-slip stage	44
	(5) A-type alkaline series of fault-block stage	46
Chapter 5	Isotopic geochemistry.....	49
	(1) Subduction-related I-type magma series.....	49
	(2) Collision-related I-type magma series.....	51
	(3) Collision-related S-type magma series.....	54
	(4) A-type shoshonite and calc-alkaline series of strike-slip stage	56
Chapter 6	Genesis and evolution of magma.....	57
	(1) Subduction-related I-type magma series	57
	(2) Collision-related I-type magma series.....	58
	(3) Collision-related S-type magma series.....	61
	(4) A-type shoshonite and calc-alkaline series of strike-slip stage	64
	(5) A-type alkaline series of fault-block stage	65
Chapter 7	Evolution of the lithosphere and geodynamics.....	68
	(1) Motive force of collision orogenics.....	68
	(2) Magmatism in uplifting process of Qinghai-Tibet Plateau.....	71
	(3) Lithospheric and asthenospheric characteristics	72

Chapter 8 Conclusion76
References78
Abstract in English83

第一章 地质构造背景

青藏高原内岩浆岩分布广泛,从北至南不同地区内,有不同期次、不同组合类型的深成岩和喷出岩。显然,岩浆活动同特定的构造环境息息相关。在地质历史演化的过程中,由于构造环境的演替,从而在同一地区不同时期内叠置了不同性质的岩浆系列,或不同时期构造背景类同、生成相近或相同的岩浆序列。恢复各地质历史时期的岩浆活动,可以揭示蕴含在青藏高原内的地质演化历史,从而可以获知,自北而南不同块体曾经历过裂解、漂移、俯冲、拼合、碰撞、固结的过程。本文主要以亚东—格尔木地学断面控制的范围和通过碰撞造山带碰撞期及碰撞期后的岩浆活动特征,探讨碰撞造山带的形成和演化。

如果从时空四维的角度窥视青藏高原陆-陆碰撞以来的构造演化景观,那么,在空间坐标上可分四个构造带,即由南至北为南喜马拉雅带、北喜马拉雅带、冈底斯带和青海高原带(图1-1)。在时间坐标上,从早到晚可分为四个构造阶段:第一阶段以发育陆内A型俯冲或韧性剪切带为主,称逆冲叠覆阶段;第二阶段以地壳内强烈挤压褶皱和构造叠覆为主,称挤压褶皱阶段;第三阶段以大幅度走向滑动和物质横向流动为主,称走滑作用阶段;第四阶段以断块活动为主,称断块活动阶段。前二个阶段隶属于碰撞期间强烈抬升的构造活动,既可发生在大陆边缘,也可出现在大陆内部;后二个阶段隶属于碰撞期后的构造作用,应归为陆内造山活动,其中第四阶段属于相对稳定固结期间的构造作用。

各构造带分别经历了不同的构造演化阶段(表1-1)。

南喜马拉雅带:仅显示碰撞第一阶段的地质构造特征,而且是20 Ma以来最新的构造事件,它奠基在覆有稳定地台型沉积的克拉通基底之上。中新世开始,沿地壳内部的一些薄弱面产生多层次的滑动,在地表发育一些逆断层,在上地壳下部形成韧性剪切带或滑脱带,使原来地壳浅部物质与基底脱离,形成一些无根的逆冲岩席。南喜马拉雅带进一步可分为高喜马拉雅区和低喜马拉雅区。其中高喜马拉雅区中的叠瓦状岩席由厚度巨大的元古宇变质结晶基底组成,逆覆于古生代(可能包括晚前寒武纪)地层之上;低喜马拉雅区中的叠瓦逆冲岩席则由古生界组成,逆覆于新生代锡瓦里克群之上。该带很少褶皱,岩层一般向北缓倾,并发育巴罗型逆向高温变质。

北喜马拉雅带:中生代早、中期为被动陆缘,自始新世—中新世(40—20 Ma)期间经历了第一构造阶段。三叠纪复理石岩层组成了叠瓦状逆冲岩席,在康马地区的韧性剪切带上发育平卧或同斜褶皱,南北向拉伸线理和水平流劈理以及高温变质作用(许志琴,1988;张旗等,1986)。中新世(20Ma)开始转入第二阶段,在表层出现重褶曲和破劈理,直立褶皱轴面和直立劈理面切割早期韧性剪切带,同时发育底辟构造,在残留的零星的山间盆地内堆积了磨拉石沉积,与挤压褶皱同时的中新世区域变质作用(许荣华,1990)叠置在第一阶段热动力变质作用之上。

冈底斯带:南部火山-岩浆弧上,于晚白垩世末—第三纪初、古新世—始新世和始新世以来相继经历了三个阶段的演化序次。第一阶段的鞘状褶皱和南北向拉伸线理及剪切带上的热动力变质作用,标志着剪切构造变形;第二阶段的陡立褶皱轴面和放射状流劈理穿

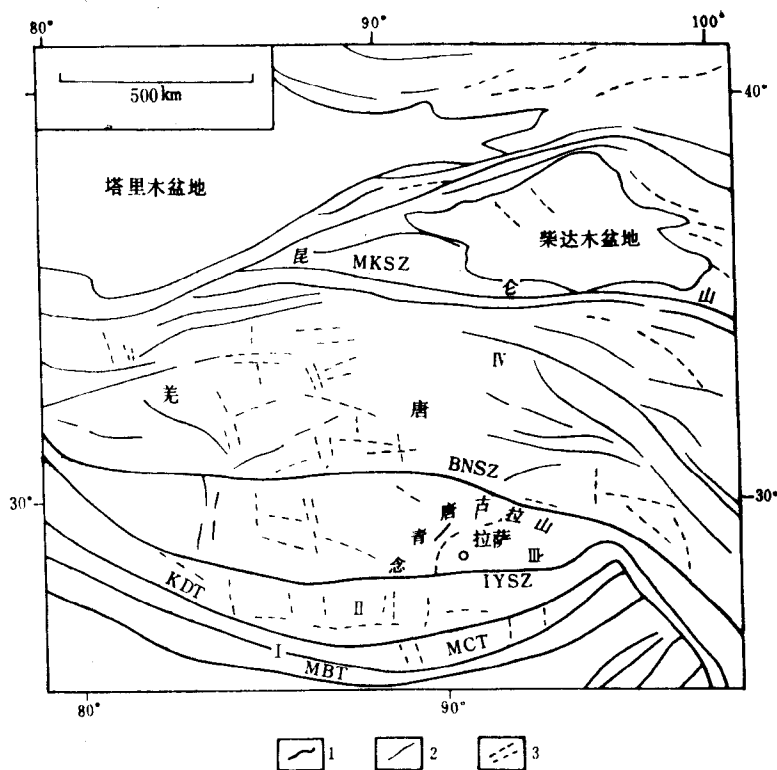


图 1-1 青藏高原碰撞期间构造分区示意图

1—构造带界线；2—主要断裂带；3—线性构造（褶皱轴、破碎带、断层）

I—南喜马拉雅带；II—北喜马拉雅带；III—冈底斯带；IV—青海高原带；

MBT—主边界冲断层；MCT—主中央断层；KDT—康马-定日冲断层；IYSZ—印度河-雅鲁藏布江缝合带；BNSZ—班公湖-怒江缝合带；MKSZ—中昆仑缝合带

Fig. 1-1 Simplified map of tectonic divisions during collision in Qinghai-Xizang (Tibet) Plateau

表 1-1 构造阶段的划分

Table 1-1 Division of tectonic stage

构造带 构造阶段	南喜马拉雅带	北喜马拉雅带	冈底斯带		青海高原带
			冈底斯弧	念青唐古拉地区	
第一阶段 (逆冲叠覆阶段)	新第三纪以来 (20 Ma 后)	始新世—中新世 (40—20Ma)	白垩纪末—第三 纪初	早白垩世晚期— 晚白垩世早期	晚三叠世—白 垩纪经历了三个 阶段的构造演化
第二阶段 (挤压褶皱阶段)		新第三纪以来 (20Ma后)	古新世—始新世 (65—40Ma)	白垩纪末—第三 纪初	
第三阶段 (走滑作用阶段)			始新世以来 (40Ma后)	晚古新世以来	
第四阶段 (断块活动阶段)					新生代

切了第一阶段构造，区域变质作用轻微（普鲁斯特等，1984）；第三阶段在持续挤压应力作用下，岩层形变愈来愈少地受早期俯冲形成的非对称机制的影响，以至渐渐形成或多或少对称的扇状排列的构造变形，并向更大的范围扩展和（或）在块体间产生剪切走向滑动和旋转，导致物质侧向流动。走滑作用形成的东西向拉伸线理切割了前两个阶段的构造，并沿剪切方向发育拉分盆地。在垂直于挤压方向上发育次一级的地堑或地垒，以及与走滑断层呈正交的共轭张性断层。走滑带上可见糜棱岩化和退变质作用。冈底斯带北部念青唐古拉地区同样经历了上述三个构造阶段，只是碰撞时间较早，发生于白垩纪，碰撞后的走滑活动始于古新世。

青海高原带：在加里东—印支期，不同时期的沟弧（盆）系块体拼合之后，从晚三叠世到白垩纪，自北而南依次经历了第一、二、三三个构造阶段的演化序次，白垩纪后，已完全焊结成一整体，一同进入相对稳定的固结阶段，即第四阶段。这一阶段构造热活动减弱，地质作用趋向均一，由于不再有强烈的逆冲、挤压、走滑等构造变动，突出了剥蚀作用，出现十分醒目的高原夷平面。在应力处在相对松弛的状况下，呈现为断块活动。

由上可知，现今的青藏高原由不同发育阶段互相衔接在一起的各个构造块体组成，而且原先的地质背景也不完全相同。但不同构造带在相同的构造阶段，具有基本类似的构造特征，不同构造带处在不同的构造阶段，由于构造性质的差异，构造特征也不一致。

第二章 岩浆系列及其时空分布特点

岩浆活动总是伴随着不同阶段的构造活动而发育的。不同构造-岩浆阶段均有相应的不同性质的岩石组合类型。逆冲叠覆阶段和挤压褶皱阶段的岩浆活动特征基本类同，笼统归为碰撞期。俯冲（B型）期及碰撞期后走滑活动阶段与断块活动阶段的岩浆活动则有一定的差异。青海高原带经历了俯冲期、碰撞期、走滑期至断块期全过程，依次于不同时间和不同地区内叠置了四个期次的岩浆活动；冈底斯带先后发育了俯冲期、碰撞期和走滑期的岩浆序列，北喜马拉雅带和南喜马拉雅带仅有碰撞期的岩浆作用。这种规律性演变完全可与其它地区类比，在阿拉斯加中—西部的科迪勒拉地区，与逆冲叠覆有关的碰撞期花岗岩和碰撞后走滑活动有关的花岗岩分别生成于早白垩世和晚白垩世。在澳大利亚东部新英格兰褶皱带也有同样先后顺序的岩浆活动（Sylvester, 1989）。

尤其要指出，叠加在火山-岩浆弧上的碰撞期岩浆活动，受原先地质构造背景的制约，有两种类型岩浆岩：一种是类似于B型俯冲的幔源为主混有壳源成因的深成相及喷出相，另一种是纯壳源成因的深成相，无对应的喷出相。由于俯冲期以幔源成因为主（壳源混染相对轻微）的与以碰撞期壳幔混合成因的岩浆岩主体皆属于钙碱系列，特征颇为相似，总是混生在一起，又常呈连续过渡关系，故难以分辨。人们凭借钙碱系列普遍与消减作用密切相关的事实，将这两种钙碱性岩类一同视为俯冲的产物，以致对火山-岩浆弧上的岩浆活动分期，存在重大分歧。

以冈底斯火山-岩浆弧为例，一些岩石学家们认定俯冲作用一直持续到古新世，甚至到始新世中期（45—40Ma），即将表1-1中所述的65—40Ma碰撞期岩浆活动归于碰撞前俯冲期内。其实，以两大陆拼合其间洋壳全部消减为标志的俯冲期结束，岩浆活动并非是唯一衡量的准则。众多的地质证据表明，沿雅鲁藏布江带的俯冲，始于晚侏罗世，结束于晚白垩世早—中期。例如：蛇绿岩套中硅质岩放射虫时代为晚侏罗世提塘期—早白垩世阿尔布期；日喀则弧前盆地浊积岩于晚白垩世消失；构造混杂体中基质为晚白垩世早期浊积岩，外来岩块则为早白垩世、侏罗纪、三叠纪、二叠纪的硅质岩、碎屑岩和碳酸盐岩；沉积相分析，白垩纪晚期以后，只是在西段巴基斯坦盐岭地区洋壳封闭稍晚，而在冈底斯带东段与北喜马拉雅带之间已不存在半深海—深海环境，只有洋壳消减后的残留海。况且，俯冲的结束，并不意味着地幔楔中洋壳物质已经耗尽，滞后效应可继续使地幔楔中残留岩浆于碰撞期间注入地壳，生成类似于B型俯冲的碰撞期花岗岩。在南喜马拉雅带和北喜马拉雅带没有类似于B型俯冲型的碰撞花岗岩，因为它不存在B型俯冲，而只发育与A型俯冲有关的壳源型碰撞花岗岩。据Harris等（1986）报道，碰撞型壳幔混合成因的岩浆活动在伊比利亚半岛和阿尔卑斯均有见及。尚须指出，有关南昆仑和中昆仑主造山期的争议，岩石学家与地层学家的意见不一，也属于同一性质的问题。

值得注意的是，人们还普遍认为冈底斯带中与逆冲叠覆相伴生的浅色壳源花岗岩生成于始新世后，这亦是以45—40Ma为俯冲期与碰撞期分界为依据。实际上，无论从其与围岩的接触关系，还是从共生的构造变质变形形成的时间来看，都不能排除至少有一部分浅

色花岗岩属于65—40Ma间的碰撞期。如在拉萨岩体中见到黑云母花岗岩侵入到浅色花岗岩中,而黑云母花岗岩的年龄值约为52—43Ma(许荣华,1990),在色拉寺东属于65—40Ma期间侵入的石英闪长岩含有浅色花岗岩包裹体,并切割了浅色花岗岩。

如果我们承认在碰撞期间,也可能产生大规模钙碱性岩浆活动,包括类似于俯冲的碰撞花岗岩和与A型俯冲有关的壳源型碰撞花岗岩,那么,钙碱性组合分布范围就相当宽广。因此,用这一标准区分碰撞期和俯冲期岩浆活动的差异是困难的。然而,目前我们还无法摆脱钙碱性、偏碱性、碱性这一为人们普遍使用的分类方案,因为它毕竟是岩石重要的基本特征之一。即使如此,由于人们对其含意的理解不完全相同,从而造成了相当大的混乱。我们借用Wright的碱度率概念,通过 SiO_2 -lgAR图解区分不同岩石类型的属性。不过,含有碱性辉石和碱性闪石的典型碱性花岗岩并不与Wright所述的碱性系列一致,而是与它的过碱性系列相当,Wright所指的碱性仅相当于一般所述的偏碱性(或亚碱性)岩类。因此,在我们所作的图解中,以偏碱性代替Wright的碱性,以碱性代替他的过碱性。对于火山岩来说,存在同样的问题,由于判别的准则不同,同一种岩类可能分属不同的系列。实际上有些火山岩与深成岩来自同一岩浆源,在判别标准上应力求一致,因此,我们也统一在上述的标准之下。

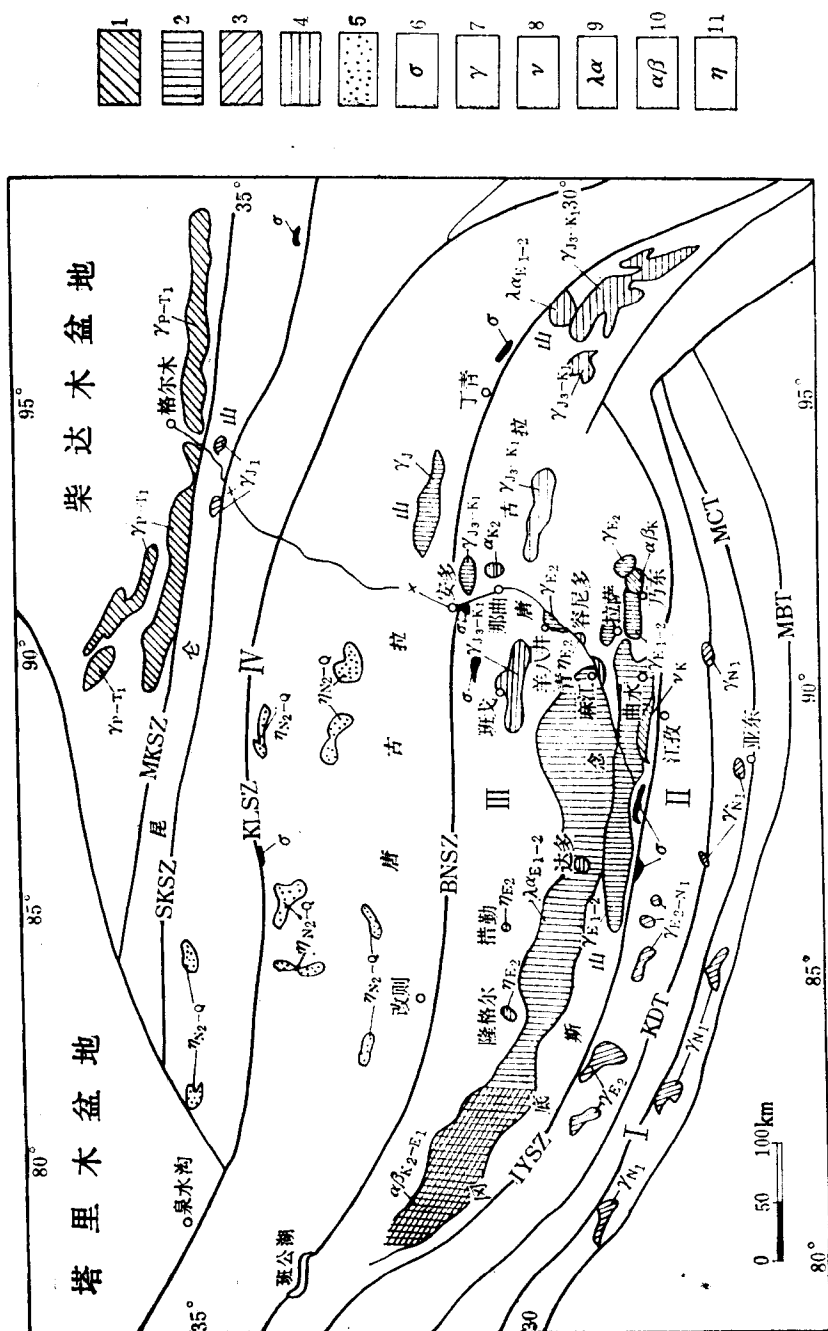
以往人们在讨论花岗岩类时,偏重于岩石和矿物分类,将不同构造环境的同一种岩石类型归拼到一起,并以此对比。本文中岩石类型与构造背景紧密地结合在一起,并结合青藏高原的具体情况,提出了分类命名系统,并具体划分成下列五种岩浆系列:大陆边缘弧上的俯冲I型;汇聚后隆起带上的碰撞I型;大陆碰撞和韧性剪切带上的S型;碰撞后走滑期A型偏碱性橄榄安粗质系列和钙碱性系列以及断块期A型碱性系列。各岩浆系列分布情况如图2-1所示。

俯冲期I型岩浆系列:总是伴随着洋壳的消减出现在俯冲带的上盘。在自北而南的中昆仑、南昆仑、喀喇昆仑—金沙江—澜沧江、班公湖—怒江、印度河—雅鲁藏布江不同时期的俯冲过程中,均有这类岩浆活动,其时代依次增新,相应为加里东晚期、海西晚期、印支期、燕山早—中期以及燕山中—晚期。

碰撞期I型岩浆系列:发育于俯冲结束后的火山-岩浆弧隆起带上,分布范围亦像俯冲I型一样广泛,而且紧紧尾随其后,其时代自北而南亦由老到新,并与俯冲I型共同构成巨大的岩浆岩带。

碰撞期S型岩浆系列:这类岩浆活动时代同样是由北至南逐步增新。例如,昆仑山南麓西大滩一带者生成于印支期;巴颜喀拉—羌塘地区者生成于燕山早—中期;念青唐古拉地区者生成于燕山中—晚期;冈底斯地区者生成于燕山晚期—喜马拉雅早期;拉轨岗日地区者生成于喜马拉雅早—晚期;高喜马拉雅地区者生成于喜马拉雅晚期。这种变化最清晰地反映出碰撞作用由北至南逐步迁移并呈连续递进的序列。

碰撞后走滑期A型橄榄安粗质与钙碱性岩浆系列:橄榄安粗质岩系仅发育于冈底斯火山-岩浆弧以北地区,分布不广,在念青唐古拉山一带,沿山前地区容尼多—达多—隆格尔一线断续出露,主要为火山岩,于古新世—始新世喷溢而成,同位素年龄值界于53—42Ma间(王松产,1990;Coulou等,1986)。走滑期内尚有钙碱性陆相火山岩,出露于拉萨以北的林周、马曲一带,同位素年龄值集中在60—50Ma,相当于古新世—始新世。青海南部高原区唐古拉一带亦见有偏碱性橄榄安粗质岩系和钙碱性岩系,也生成于同样的走滑活动



构造背景,但火山喷发的时间更早,地层时代表明,其形成于白垩纪期间(王培生等,1990)。

碰撞后断块期A型碱性岩浆系列:仅见于青海高原带,北至昆仑山南到唐古拉山宽阔的区域内,均可寻觅到碱性岩浆活动的踪迹,尤其是在藏北湖区—可可西里湖—巴毛穷宗一带有大面积出露。 $^{39}\text{Ar}/^{40}\text{Ar}$ 年龄值为 $38.7 \pm 4.9\text{Ma}$,与沉积夹层化石记载的时代(始新世末—渐新世)完全一致(杨大雄和王培生,1988)。据青海高原带断块活动期诱发的构造变形和火山岩中所夹的沉积岩时代判断,断块期岩浆活动可能贯穿于整个新生代。

在陈述了岩浆岩分布概况后,尤其要指出,受研究程度所限,目前尚不可能就青藏高原每一构造带和每一个构造阶段岩浆演化系列作出详尽的阐述,只能对一些典型岩体和火山岩层进行归纳和概括。显然,所选择的不同构造背景下的样本时代是否可靠、有无代表性则是问题的关键。所以以构造背景为主线,以研究较详的岩浆系列为实例,作为探讨问题的基础。

俯冲期I型岩浆系列

冈底斯火山-岩浆弧上俯冲期岩浆活动可作为这一类型的代表。它以发育钙碱性岩套为特征,主要为辉长岩、石英二长闪长岩、花岗闪长岩组合,由不协调的花岗岩类岩基组成,属于高位侵入体。典型岩体有鸭拉、林岗—卡热、大竹卡等,向西延伸,印度的Ladakh地区的Kargil岩体和巴基斯坦Kohistan地区的Matum Das岩体均属这一类型。这些岩体呈东西向窄条状沿印度河—雅鲁藏布江断续出露。岩体相互间的穿插关系揭示,生成顺序为辉长岩→石英二长闪长岩→花岗闪长岩。岩体中常含有壳下来源的残留物质。岩体与围岩接触关系清晰,在曲水大桥南、林岗等地侵入到三叠—白垩纪地层中,在大竹卡和Ladakh等地被第三纪砾岩覆盖,这与同位素年龄(110—70Ma)相符。同时代的火山岩沿印度河—雅鲁藏布江北岸断续分布,均以钙碱系列为主,少量为拉斑系列。东段曲水—加查—郎县一带,以乃东县温区桑日群中火山岩发育最好,剖面系统而完整,时代较为可靠,在沉积夹层中有菊石*Acanthoceras* sp.,双壳类*Pachytraga* sp.,*Monopleura* sp.,*Nuculana* sp.等^①,由玄武安山岩、安山岩、英安岩及少量流纹岩组成。玄武安山岩、安山岩层位偏下,英安岩、流纹岩集中在上部层位,且以前者为主;中段阿里地区狮泉河、江巴一带以及革吉县岗仁布齐峰北坡的广大地区内,出露橄榄玄武岩、安山岩、英安岩;西段印度Ladakh地区Dras火山岩系,主要由玄武质、粗玄质和安山质岩流、火山碎屑流和灰流组成,所含化石指示火山岩时代为中侏罗世末卡洛期到晚白垩世初赛诺曼期(Honegger等,1982)。这类岩浆活动伴随有高温变质作用和弱构造应力作用下的无劈理开阔褶皱。

碰撞期I型岩浆系列

兹以冈底斯陆缘弧区为例,典型岩体有恰莎—努玛、曲水、拉萨、尼木、古荣、吞达、羊八井等。碰撞I型岩体通常位于俯冲I型岩体内侧,显示岩浆活动向陆内迁移的趋势,主要发育于65—40Ma间,即古新世—始新世,属于高位侵入的花岗岩岩基,主要由石英二长闪长岩、花岗闪长岩、角闪花岗岩、石英二长岩、黑云母花岗岩组成。野外可见本期的石英二长闪长岩侵入到早先俯冲期生成的辉长岩、石英闪长岩中,同时又被稍晚的花

① 据西藏自治区地质调查大队