

熊家镛 张志斌 蔡麟荪 胡建军 张伟明 著



陆内造山带 1:50000 区域地质填图 方法研究

——以哀牢山造山带为例

中国地质大学出版社



陆内造山带 1 : 50000 区域地质填图方法研究

——以哀牢山造山带为例

顾问 秦德厚(教授级高级工程师)

熊家镛 张志斌 蔡麟荪

胡建军 张伟明

(云南地勘局区域地质矿产调查大队)

中国地质大学出版社

内 容 简 介

本书在现代地质学的新理论、新技术、新方法、新成果指导下,以云南哀牢山造山带的研究为基础,重点论述陆内造山带 1:5 万区调填图工作方法。全书共分八章,系统讨论了陆内造山带非史密斯地层的划分,蛇绿岩及变形、变质花岗岩的研究,区域变质岩岩石学特征、原岩恢复、变质作用特征、叠加变质作用及混合岩化作用研究,论述了构造解析的基本原则和方法、构造形迹的识别与观察以及韧性剪切带特征和陆内造山带的主要结构样式,讨论了区域地质事件研究与区域地质事件序列及造山带发展演化阶段的划分与演化模式的建立。最后论述了造山带 1:5 万区调工作程序。第八章讨论了哀牢山造山带的发展与演化。

本书可供区调、地质普查、科研人员,特别是从事造山带地质工作的技术人员和大专院校有关专业师生参考使用。

图书在版编目(CIP)数据

陆内造山带 1:50000 区域地质填图方法研究/——以哀牢山造山带为例/熊家镛等著
—武汉:中国地质大学出版社,1998.8
ISBN 7-5625-1345-7

I. 陆…

II. ①熊…②张…③蔡…④胡…⑤张…

III. ①区域-地质调查-造山带②区域-地质填图-造山带

IV. P62

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 张晓红 责任校对 徐润英

印 刷 湖北省地质图印刷厂

开本 787×1092 1/16 印张 12.5 字数 320 千字 图版 5

1998 年 8 月第 1 版 1998 年 8 月第 1 次印刷

定价:25.00 元

ISBN 7-5625-1345-7/P·489

序

造山带是地质工作的热点，对于区域地质调查而言，这类地区则是公认的难点。开展造山带的区域地质调查，需要涉及地质学的几乎所有领域。无论是对沉积岩、火山岩、侵入岩、变质岩，在一般地区行之有效的研究方法，到了造山带往往都会变得难尽人意；造山带的构造更是纷繁复杂；造山带原有的种种标志，甚至整套岩石或者支离破碎，或者面目全非，甚至荡然无存。云南西部是一个经历了多期造山活动并受到新生代陆内造山强烈叠加改造的复合造山带，上述情况更是屡见不鲜。

和其他地区区域地质调查一样，造山带的区域地质调查、特别是像1:50000这样较大比例尺的区域地质调查，首要的任务就是要填好一幅地质图。为此，有许多问题亟待解决：造山带的地层多被变形、变质改造，成为“构造地（岩）层”，属于“非史密斯地层”范畴，在地层单位（亦即填图单位）划分时，无论是划分标志、单位称谓、等级序列诸方面均不能完全套用一般沉积岩区的原则和方法；造山带岩浆岩十分复杂，且其时空状态、构造环境属性、岩石矿物和地球化学组成等均发生不同程度的变异，简单的岩石矿物学、地球化学、同位素地质学等研究方法也遇到强烈的挑战；造山带（特别是滇西各造山带）的变质岩均呈狭长带状，早期的变形和变质形迹可被后期（陆内）造山作用均一化改造而模糊不清，给区分不同变质地质体并将变质带有效解体造成极大困难。在填好图的基础上，建立造山带地质事件序列、研究洋（盆）陆（山）转化关系及演变过程，是造山带区域地质调查的又一重要研究内容，在这方面，已有的一些研究方法和途径仍需要进一步探索和完善。

《陆内造山带1:50000区域地质填图方法研究》就是针对上述情况而设置的攻关课题。它以著名的哀牢山构造变质带为首选试验区，同时关注点苍山变质带等地区区调工作实践，试图总结出一套适合云南造山带特点的区调工作方法。研究之中，运用构造解析、变形-变质分析、构造层次和构造（变形）相划分，以及运动学标志调查等原则和方法，强调变质地质学、同位素地质学、变质岩原岩及原岩建造恢复、造山带典型构造和组合样式等方面的资料收集和综合研究，获得了较好的阶段性成果。当然，这项工作自始至终都是在《变质岩区1:50000区域地质填图方法指南》的指导和启发下进行的。这一研究成果的完成和本书的出版，必将使云南，特别是云南西部造山带区域地质调查工作水平登上新的台阶，更有效地在实施西南三江特别是找矿计划和跨世纪工程中作出自己的贡献。

秦德厚

1998年2月

目 录

绪言	(1)
第一章 造山带研究中的几个基本问题	(3)
第一节 造山带成因理论思路的发展	(3)
第二节 几个基本理论问题	(6)
第二章 造山带 1:5 万区调工作中的地层研究	(10)
第一节 造山带的地层划分	(10)
第二节 构造地层的研究方法和内容	(15)
第三节 构造岩层的研究内容与方法	(21)
第三章 陆内造山带的岩浆岩研究	(24)
第一节 蛇绿岩的研究	(24)
第二节 造山带变形、变质花岗岩的研究	(28)
第四章 造山带区域变质岩与变质作用研究	(31)
第一节 区域变质岩	(32)
第二节 区域变质岩原岩恢复工作	(51)
第三节 变质带、变质相和变质相系的划分	(55)
第四节 区域变质作用类型的划分	(56)
第五节 变质作用期次划分与叠加变质作用的识别	(60)
第六节 区域变质作用的压力-温度-时间变化关系的研究	(61)
第七节 混合岩和混合岩化作用	(64)
第八节 动力变质岩及其分类	(78)
第五章 陆内造山带构造的研究	(83)
第一节 造山带构造研究中的几个基本问题	(83)
第二节 构造解析的基本原则与方法	(89)
第三节 构造形迹的观察与研究	(90)
第四节 叠加构造的观察与研究	(100)
第五节 韧性剪切带的研究	(104)
第六节 陆内造山带的主要结构样式	(113)
第六章 区域地质事件研究与区域地质事件序列	(117)
第一节 区域地质事件研究涉及的内容	(117)
第二节 变形事件与变质事件、岩浆活动及沉积事件的关系	(118)
第三节 同位素地质年代学研究	(122)
第四节 区域地质事件序列的建立	(124)
第五节 造山带发展演化阶段的划分及演化模式的建立	(126)
第七章 造山带 1:5 万区调工作程序	(129)
第八章 哀牢山造山带的发展与演化	(144)
主要参考文献	(189)
图版说明及图版	(193)

绪 言

区域地质调查是一项具有战略性、综合性和服务面极广的基础地质工作。它不仅为地质行业的矿产寻找和预测,为水文、工程、环境地质及教学、科研等部门提供基础地质资料,而且要为国民经济其他部门如交通、基本建设、城市建设、国土规划、国防建设等提供地质依据。随着我国国民经济建设的飞速发展和科学技术的发展与进步,区域地质调查工作的重要性 and 作用将愈来愈显著。

我国系统的区域地质调查工作起步于 50 年代中期 (1956), 经过近 30 年的努力, 全国 1:100 万区调工作已基本完成, 1:20 万区调工作也已完成国土面积的 70%。但 1:5 万区调工作 80 年代初期才全面启动, 目前仅完成国土面积的 15%。特别是在区调填图工作方法上, 与发达国家差距很大。近 20 年来, 现代地学理论的发展日新月异, 新理论、新观点、新技术、新方法层出不穷。我们若还以传统的地质理论和方法指导区调工作, 所填制的地质图件, 无论是表达地质信息, 还是对地质科学理论的运用, 已远远不能满足地质科学发展的需要。因而改革传统的区调填图方法, 创造出既满足地质科学发展需要, 又适合我国特点的新的 1:5 万区调新方法, 已成为当务之急。为此, 地质矿产部 (简称地矿部) 1986 年设立了“1:5 万区调中地质填图方法研究”项目, 下设沉积岩、岩浆岩、变质岩 1:5 万填图方法研究三个课题, 经过四年的努力, 1991 年编著出版了《沉积岩区 1:5 万区域地质填图方法指南》、《花岗岩区 1:5 万区域地质填图方法指南》、《变质岩区 1:5 万区域地质填图方法指南》三本专著, 1993 年又编著出版了《1:50000 区调地质填图新方法》。这些成果把当代地质科学领域中的新理论、新观点、新技术和新方法运用于区域地质调查工作中, 总结和创立了一套适合于我国地质特色的沉积岩区、花岗岩区和变质岩区的 1:5 万区域地质填图方法。它们和 1992 年部颁《区域地质调查总则 (1:50000)》一起, 改革了我国传统的区调填图方法, 推动了我国区域地质调查工作的发展和深入, 对我国区域地质调查工作逐步赶上和达到国际先进水平有着不可磨灭的功绩。

云南区调工作始于 1958 年。经过 40 年的努力, 完成了全省 1:100 万和 1:20 万区域地质调查, 但 1:5 万区域地质调查工作 1982 年才全面启动, 目前仅完成全省面积的 15%。从 1987 年开始, 我们在 1:5 万区域地质调查工作中开始学习和应用新方法, 但由于地处边疆, 相对封闭, 且地质构造复杂, 在新方法的学习和应用上和兄弟省比起来差距还很大。为了使云南的 1:5 万区域地质调查工作能在《区域地质调查总则 (1:50000)》和方法指南的指导下, 尽快地上一个新台阶, 使云南的 1:5 万区调成果能尽快地满足地质科学发展的需要, 1991 年云南省地质矿产局设立了“云南沉积岩区、变质岩区 1:5 万填图新方法推广、应用与研究”课题。下设“云南沉积岩区 1:5 万填图方法研究”和“陆内造山带 1:5 万填图方法研究”两个专题。课题负责人为熊家镛高级工程师 (教授级), 课题顾问为秦德厚高级工程师 (教授级)。课题的指导思想是: 以《区域地质调查总则 (1:50000)》和沉积岩区、花岗岩区、变质岩区三本工作方法指南为指导, 结合云南实际, 把当代地质科学的新理论、新观点、新技术和新方法运用于云南 1:5 万区调工作中, 改革传统的区调工作方法, 总结出适合云南实际的地质填图新方法。使云南的区调工作尽快地赶上和达到国内外先进水平。

“陆内造山带 1:5 万填图方法研究”专题由张志斌、蔡麟荪高级工程师任专题负责人。于 1992 年 7 月开展工作, 1995 年 12 月提交研究报告, 共历时 3 年半。专题以云南哀牢山造山带为研究基地, 并与云南区调所工作于哀牢山区的 1:5 万区调分队紧密配合。在整个工作过程中, 针对我国 1:5 万区调工作已有不同岩类填图方法指南的实际, 结合云南造山带的具体情况, 研究工作重点放在造山带非史密斯地层——构造岩层的划分与研究, 构造形迹的识别、分解与组合研究, 造山带构造层次的研究与多期次变形变质作用的叠加与复合研究, 变质岩与变质作用的研究及造山带 1:5 万填图工作方法、剖面测制工作方法和造山带地质事件序列表建立的研究工作上, 提出了造山带的 1:5 万区调工作必须以构造解析为纲, 构造研究要与地层岩石的研究同步进行。要不断地学习和运用当代地学的新理论、新观点、新技术和新方法, 力争填制出符合造山带客观实际的新一代地质图来。希望通过我们的工作, 使陆内造山带的 1:5 万区调工作能在前人工作的基础上, 有一个新的发展。

1997 年 9 月, 地质矿产部云南地勘局聘请殷鸿福院士、陈克强教授级高工、游振东教授、索书田教授、曾允孚教授、魏家庸教授、张翼飞教授级高工、颜景耀教授级高工、丁俊教授级高工和周耀军教授级高工为鉴定委员, 对该成果进行了认真的鉴定。鉴定的意见认为: “该成果的学术水平和实用价值达到国内先进水平, 其中陆内造山带区调方法的系统总结在国内尚不多见, 处于领先地位。”“希望修改之后尽快公开出版, 提供区域地质调查及科研教学部门参考使用。”

该书是由本专题的研究报告提炼而成的。全书除绪言外共分七章, 分别论述了造山带地层、岩浆岩、变质岩和构造的研究内容和方法, 讨论了造山带地质事件表的建立, 论述了造山带 1:5 万区调工作程序, 还专门论述了哀牢山造山带的基本特征和发展演化。其中绪言和第一章由熊家镛执笔, 第二、三章由熊家镛、胡建军执笔, 第四章由蔡麟荪、张伟明执笔, 第五章由张志斌执笔, 第六章由张志斌、熊家镛执笔, 第七章由熊家镛执笔, 第八章由熊家镛、张志斌、蔡麟荪、胡建军执笔, 全书由熊家镛、张志斌统稿。

在整个研究工作过程中, 得到了技术顾问秦德厚高级工程师的热情指导和帮助, 得到了陈克强教授的具体指导, 得到了云南地勘局区域地质矿产调查大队区调所二分队、七分队和九分队的支持和协助; 王陶高级工程师、胡长寿高级工程师参与了部分野外工作。报告中的插图由云南区调所绘图室清绘, 在此表示衷心的感谢。

方法研究是一项永无止境的工作, 我们恳切地期望着读者的批评和建议, 以使之不断趋于完善。

第一章 造山带研究中的几个基本问题

现代地质科学的发展,使岩石圈和全球变化成为当代地学前缘研究的两大主题。在大陆岩石圈的研究中,造山带又一直是其研究的中心课题。因为造山带是打开行星地球演化历史奥秘的最有用的钥匙,是研究岩石圈地质作用过程的最重要的天然实验室。但由于大陆岩石圈结构、构造的复杂性,人们对其认识还有待进一步深入,所以造山带虽已有百余年的研究历史,但至今仍然还是一个未根本解决的地质科学命题。为了搞好造山带的基础地质研究,搞好造山带的1:5万地质填图,重新认识、分析已有的关于造山带的地质理论与知识,了解掌握现代地质学新的学术思想与理论,在新的起点上对造山带进行研究和探讨,就成为我们面临的重要任务。因而在本书的开始部分简要地介绍有关造山带研究的新思路、新认识与新理论,看来是必要的。

第一节 造山带成因理论思路的发展

一、造山带的基本概念

造山带是指地壳中存在的由岩石圈构造运动所形成的巨大而狭长的强烈构造变形带。在这一变形带内,岩石圈横向收缩,垂向加厚,褶皱、断裂发育,许多重要的区域构造都集中于此。这里也是岩浆作用、变质作用最强烈的地带,也是岩石圈演化历史中各种事件记录最详细的地带。因而人们把造山带认为是研究岩石圈地质作用过程的最重要的天然实验室。

造山带在地壳表面往往在地貌上表现为相对隆起的线状山系。但这并不是绝对的。古老的造山带,不少已被夷平;近代的造山带,主要构造部分可能还未出露地表,山脉只是造山带的顶部形象。

早在100多年前,造山运动(或造山作用)一词已在欧洲大陆使用,并被定义为通过构造作用而形成山脉的过程。但这一定义由于没有反映出造山运动的内涵,近百年来一直为人们所修正。1919年Stille提出了关于造山运动的一个最清楚的并很快被野外地质学家采用的定义,即造山运动是一个改变岩石组构的幕式过程。随着板块学说的发展,1990年Sengor提出一个以板块构造为基础的造山运动的定义,即造山运动是一个用以表征会聚板块边缘所有地质过程的集合名词。近年来大陆岩石圈研究的新成果和新发现,说明在大陆内、板块内也存在造山作用,并形成造山带。陆内造山带的形成与演化,并不能简单地用板块会聚来解释。因而现今人们对造山运动的理解是:在地球深部构造动力学的背景下,发生的岩石圈剧烈构造变动和物质结构的重新组建的复杂地质过程。实际上造山运动是指形成造山带的复杂地质过程。

二、造山带成因理论的发展与演变

造山带成因学说和观念的形成和发展与现代地球科学的发展紧密相联系。近 30 年也是这一学科发展最迅速的时期。归纳起来可分为三种造山带的成因观念。

1. 地槽回返造山说

地槽回返造山说是地槽说的重要组成部分,是最早最系统的造山带成因学说。在 60 年代以前,地槽说是对地学界影响最深、最广泛的理论,统治了地学界相当长的时期。它的理论基础是固定论,认为岩石圈地壳相对于地幔不可能发生任何大规模的水平位移,因而其地球构造观便立足于造山带是原地壳内的沉积槽地,因后期褶皱回返而成山。这一理论是人类对地球认识不同阶段的总结,推动了地球科学的发展。但由于当时对于海洋和深部地质知之甚少,因而其认识有着明显的局限性。更由于其指导思想是固定论,因而其学说的生命力就难以继续发展了。

2. 板块俯冲碰撞造山说

50 年代到 60 年代,海洋地质和地球物理研究取得了巨大进展。在大量海洋地质成果的基础上,板块构造假说应运而生。这一学说以活动论为基本观点,提出了全新的对全球地质构造的认识,很快为人们所接受,并取代地槽说而成为在地学领域占支配地位的学说。这一学说的出现,是地质科学发展史上划时代的重大事件,是地质科学向现代科学理论迈进的标志。这一学说的造山带成因学术观念是:造山带是岩石圈板块在其侧向运动中相互作用的结果,是洋与洋、洋壳与陆壳的俯冲或陆与陆碰撞的构造产物。也就是说,造山带的形成与演化主要决定于岩石圈板块的相对运动和相互作用。从而根本改变了地槽说的壳内槽地沉积作用和回返造山作用的学术观念。使人们对造山带的认识又前进了一大步。

3. 多成因造山说

板块构造理论的提出,不仅拓宽了人们的思路,也给地球科学带来了活力。经过 70 年代大洋与大陆研究的验证,这一学说得到了进一步的肯定。但是,随着对大陆区域地质调查的深入,发现大陆板块与大洋板块有着很大的差异,用刚性板块运动学原理,很难解释大陆板内复杂的构造变形过程。大陆内的许多造山带,不仅发育于板块边缘,不少也发生在大陆内或板块内,同样存在大规模的侧向位移而形成岩石的叠置推覆、构造变形和地壳增厚,从而构成山系。这些大陆造山带的形成,很难简单地用板块俯冲碰撞造山所解释。也就是说,板块构造登陆还存在很多问题。在这种情况下,从 80 年代起国际岩石圈的研究重点已由海洋转向大陆,而大陆研究的重点又在造山带。在大陆造山带的研究中,不少新的造山带成因学说应运而生,如“陆内造山说”、“岩石圈分层说”、“滑线场理论”等。多成因造山说的出现,说明造山带研究的学术思路和观念又发生了新的变化,也意味着地质科学的又一次重大发展的到来。

从地槽回返造山—板块俯冲碰撞造山—多成因造山,再次突出了大陆地质问题。90 年代是地质学者重新认识大陆造山带成因的时代。

三、造山带分类方案的讨论

近 20 年来地学研究的新进展,特别是大陆岩石圈和造山带研究的成就,使人们认识到:再把造山带简单地看成是板块运动的结果,显然是过于简化了的造山带的地质学。在岩石圈的研究中流变学理论和方法的引入,大陆岩石圈和大洋岩石圈差异性的认识,给造山带的运

动学和动力学提供了大量的新思维。人们逐渐认识到,造成造山带形成和复杂性的主要原因,不再只是板块运动,而应该是板块运动和岩石圈流变学。在造山带的研究中,也出现了以研究造山带的板块运动为主线逐渐转向以研究造山带的岩石圈变形作用为主线。板块运动与岩石圈流变学两者结合起来对造山带进行解释,已成为近年来的主要潮流。

自从板块构造理论引入造山带的研究起, 表 1-1 关于地壳破裂和造山带形成的一般分类 一些学者就开始用板块运动学术观点进行造山带的分类。其中代表性的分类是 Dewey 和 Bird (1970)提出的把造山带分为岛弧型造山和碰撞型造山两大类。但这种简单的运动学分类不足以刻画造山带的复杂性。随着岩石圈研究的进展,到 80 年代后期,建立新的造山带分类方案已引起不少地质学者的重视。Howell (1989)首先从岩石圈变形作用的角度,对全球造山带进行了系统分类,按照四种动力机制把造山带划分为八种类型 (表 1-1)。

Wilson (1990) 和 Songor (1990) 分别进一步把岩石圈变形作用和板块运动方式结合起来,对造山带进行了分类。其中 Songor 的分类更系统全面 (表 1-2),他把造山带分为四大类,20 个类型,并提出了陆内造山带类型。但总的来讲,这些分类都还没有突破板块运动造山的这一模式。因而造山带的分类目前还在不断探讨与完善之中。

表 1-2 造山带的类型
(据 Sengor, 1990)

目 (order)	总科 (superfamily)	科 (family)	属 (genera)
A. 扭压造山带	I. 非对称扭压造山带 II. 对称扭压造山带		1. 陆内 2. 大陆边缘 3. 洋内 4. 陆内
			5. 洋内 6. 大陆内缘
B. 俯冲造山带	III. 伸展岩浆岛弧造山带 IV. 中性岩浆岛弧造山带 V. 挤压岩浆岛弧造山带		7. 洋内 8. 大陆边缘 9. 洋内 10. 大陆边缘
			11. 大陆边缘
C. 仰冲造山带			
D. 碰撞控制的造山带	- D' 大陆叠覆型碰撞造山带 - D'' 非大陆叠覆型碰撞造山带	非对称性俯冲控制的大陆叠覆型碰撞造山带	12. 被动陆缘-岛弧碰撞 13. 陆-陆碰撞 14. 弧-弧碰撞
		VI. 非对称俯冲控制的非大陆叠覆型碰撞造山带	15. 岛弧-被动边缘碰撞 16. 岛弧-活动边缘碰撞 17. 陆-陆碰撞
		VII. 对称俯冲控制的非大陆叠覆型碰撞造山带	18. 弧-弧碰撞 19. 岛弧-活动陆缘碰撞 20. 陆-陆碰撞

在地球科学取得飞跃发展,特别是大陆岩石圈的研究取得巨大进展的今天,我们研究、探讨造山带的分类,首先应考虑的是造山带的成因机制,即动力学机制。在大陆地质取得巨大进展的今天,人们已逐渐认识到大陆岩石圈与大洋岩石圈存在明显的差异,大陆岩石圈存在明显的层圈性,大陆内部的造山带成因,绝不能简单地用板块动力学来解释。从目前的研究程度来看,我们认为,应将全球造山带首先分为两大类:①陆内造山带类,出现于大陆内部,受控于大陆动力学和岩石圈流变学。②板块碰撞俯冲造山带类,发生于大洋内或大陆活动边缘,受控于板块动力学和运动学。

在大类划分的基础上,再根据各自的运动学特征进行造山带类型的划分。

第二节 几个基本理论问题

一、大陆岩石圈流变学

80年代以来构造学的一个突出特点,是将物理学与构造学紧密结合,用物理学的理论与思维方法研究构造现象,解决固体地球科学不同领域的实际问题,形成了一门新的边缘学科——地球流变学。

流变学是物理学的一个分支,是研究物体变形和流动现象的学科。即研究物体在应力作用下所产生的变形和流动行为。它强调物体在应力作用下,固体的流变行为不仅取决于物体本身的特征,而且还取决于压力、温度、时间等物理环境。流变学的研究方法,一是从固体的宏观现象上确立应力、应变关系及随时间的变化,即连续力学方法。又称之为宏观流变学。二是从原子、晶格尺度,研究宏观流动现象的微观机制,获得应变速率等本构关系式,又称之为显微流变学。两种方法都强调定量研究固体的流变行为。

组成固体地球物质的变形和流动现象是随时随地都存在的。地球科学的许多分支学科所研究的各种尺度的构造现象,都可以说是地球物质不同尺度的变形和流动的结果,如岩石的变形、流动和破裂,褶皱作用和断裂作用,造山带、盆地、裂谷的发育,板块构造及运行机制等。因而,流变学的理论和方法的引入,就成了定量研究地质和地球物理现象的理论基础和重要手段。

近年来,自然和人工矿物或岩石的高温高压控制应变速率的试验不断取得进展,大量岩石变形实验结果运用到地质学里来,使得地质学者对上地幔和地壳的物质组成、结构、物理状态和流变学特征有了更理论化和系统化的认识,有关岩石圈运动学和动力学的解释已不再停留在假设和推断阶段。这也激励地质学者努力运用流变学的知识来处理地球科学中的各种问题。地球流变学的研究和广泛应用,已被视为构造地质学现代化的重要标志之一。

二、大陆岩石圈的结构分层和流变性质

80年代以来,岩石圈研究的重大进展是发现大陆岩石圈的结构和流变学特征与大洋岩石圈有着明显的差别。这在岩石圈的深度-强度剖面图(Molnar, 1988)上看得很清楚(图1-1)。在该图上,大洋岩石圈的屈服包络线很简单,即由岩石圈上部的脆性域,通过一个脆塑性过渡域,进入塑性域。包络线呈单峰式;而大陆岩石圈的屈服包络线,即使在最简单的情况下也是双峰式,即大约在深20~60km范围内,出现一个塑性域,其上、下各出现一个强大的脆性域及脆塑性过渡域,这就是所谓的“三明治”式流变学剖面模式。近年来,地质、地

球物理和实验资料都揭示出，无论是上、中或下地壳甚至地幔上部都有一些薄弱带或强流变带存在。这些薄弱带主要出现在10~15km、20~28km、25~40km和60~85km深度范围内，据此可以将大陆岩石圈划分出多个不同的层圈，在这些层圈的分界处即薄弱带上，聚集了促使岩石圈流动的主要应力，这个部位也是地壳拆离和滑动的主要场所。上述认识改变了长期以来认为大陆岩石圈与大洋岩石圈是一个相对刚性的整体的看法，两者无论在结构、厚度、组成、强度和密度上都存在明显的差异，因而我们再不能完全用建立在大洋岩石圈研究基础上的经典板块构造理论来解释大陆岩石圈的构造，不能再把所有的造山带都简单地看成是板块运动的结果。人们逐渐认识到，大陆岩石圈的结构分层与广泛流变等特点，是探讨大陆动力学的基础，是控制大陆构造形成演化、大陆构造变形的主导因素，是形成陆内造山带的主要内因。陆内造山带内组成物质之所以能够发生大规模拆离、强烈缩短增厚，也在于大陆岩石圈的流变学分层性。

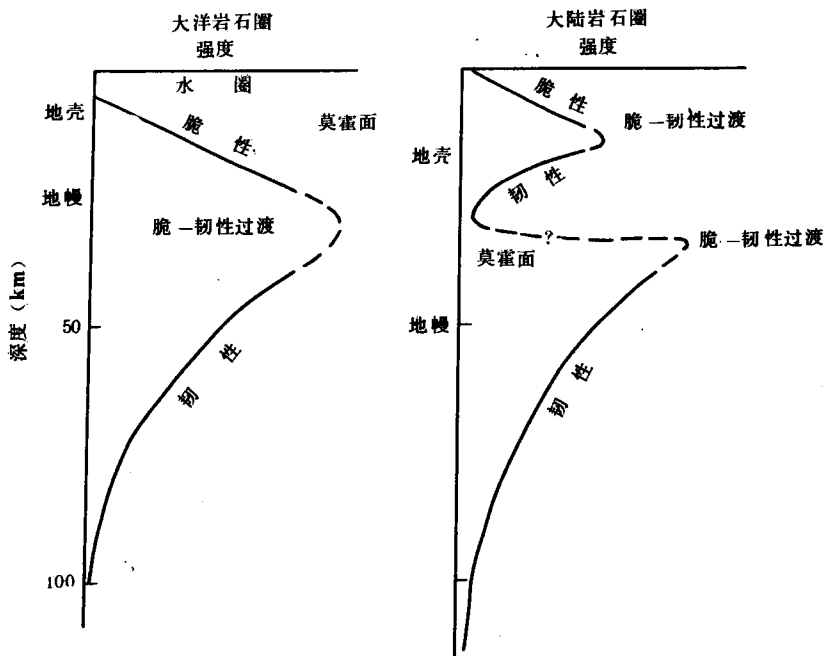


图 1-1 大洋与大陆岩石圈强度-深度剖面图 (据 Molnar, 1988)

三、岩石圈的应变软化和应变局部化作用

1. 应变软化与应变局部化

应变软化作用 (strain softening) 在力学上是指相同应变速率条件下，应力的减小或应力一致条件下应变速率增加的现象。应变软化作用的结果，是造成窄的力学弱化带。这种应力、应变局部集中的地带，称之为应变软化带。由于应变软化带总是局限于窄的带内，所以应变软化带就是应变局部化带。

导致应变软化作用发生的因素很多，主要有变形岩石的强度差、变形机制的改变、几何学和组构的变化、连续重结晶作用、变质反应、流体效应、剪切热化作用等。上述作用对应

变作用的影响,在不同的岩石及不同的物理条件下不同,其中几何(组构)软化作用和连续重结晶作用是最主要的应变软化机制。

应变软化和应变局部化现象在岩石圈内普遍存在,在不同尺度上都可以找到它的踪迹。从物理冶金学的概念出发,造山带就是板块尺度的应变软化带或局部化带。应变软化与局部化作用,在地壳浅表层次主要表现为断裂作用;在中深层次则表现为韧性剪切带的发育。在岩石圈内,造山带的出现,大型长而深的线性构造、大型滑脱及拆离面,在晶格尺度上位错及缺陷,都是不同尺度应变软化和局部化的表现。在应变软化或局部化带内,其应变速率大于带外围岩应变速率的8~250倍。

应变软化和应变局部化的主要控制因素是陆壳岩石的强度差和流变强度变化。岩石的强度差和流变强度变化又取决于温度、压力、差异应力、流体等物理化学环境。由于地壳结构和组成的不均一性,力学不稳定性往往从强度较低的面或带开始发生,出现应变软化和应变局部化带。这些带的出现,使得地壳的不均一性增大,导致应力更加向这些应变软化和应变局部化带集中。这就是地壳内部大型拆离构造、走滑断层和推覆构造产生的基本成因。

2. 变形分解作用 (deformation partitioning)

变形或应变分解的思想,在60年代初期已有人提出,但比较系统的提出变形分解理论并用来解释地质构造问题的当首推Bell等人。最初,Bell等人主要是从显微尺度来研究变形分解作用的,因而当时所指的变形分解作用的涵义带有局限性。1983年以来Bell和许多学者把变形和应变分解作用的内容进行了扩展,并用来解释造山带尺度的构造问题,显示了其广阔的发展前景。1988年王增春首先向中国地质工作者介绍了Bell的变形分解作用的概念,紧接着马杏垣教授(1989)又指出了中深层次强烈变形分解作用的重要性。从此,变形分解作用的理论在我国逐渐得到了推广应用。

狭义的变形分解作用是指在变形历史的某一瞬间,变形体内的变形或应变场可分解成不同性质的几部分。以非共轴递进非均匀缩短作用为例(图1-2):变形场可分解为①无应变,②主要为递进缩短应变(即共轴递进变形),③递进缩短与剪切应变叠加(即非共轴递进变形),④递进剪切应变

(即递进非共轴变形)四部分。从广义上来讲,变形和应变分解作用是指在某种尺度上的总应变或总变形分解成为不同体制的若干分量的过程和现象。

变形分解或应变分解反映了变形地质体组成及结构的不均一性,同时也受各种变形物理

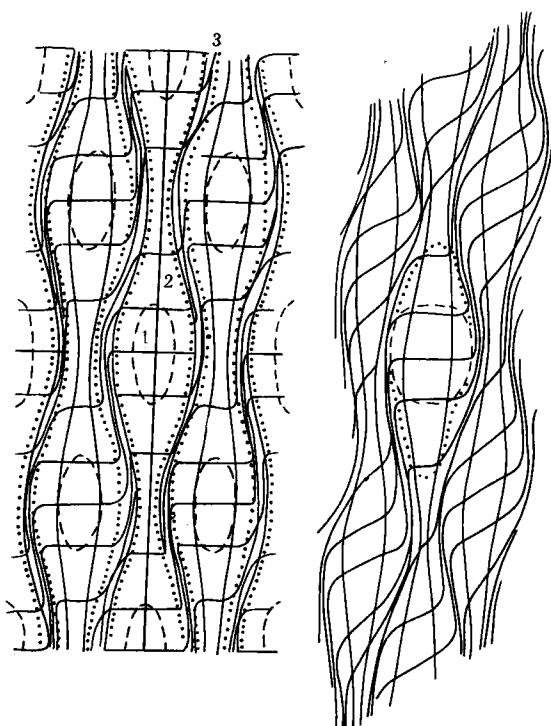


图1-2 非共轴递进非均匀缩短作用应变场中的变形分解 (据Bell, 1985)

1. 无应变;
2. 递进缩短应变为主;
3. 递进缩短和剪切应变叠加

环境（温度、压力、孔隙流体压力、化学水溶液、应力、应变速率等）的控制，且随时间的变化而发生明显的改变。变形地质体内部，线状强应变带与透镜状弱应变域的规律组合型式就是变形分解作用的具体结果。变形分解作用可以在各种地质尺度上进行，如岩石圈尺度上的流变学分层性，地壳内剪切带的应变软化和局部化作用，造山带内带与外带变形的差异，不同尺度透镜体的发育，各种面状、线状构造的形成与置换，变斑晶的成核、生长和“旋转”等，无不打上变形分解作用的烙印。不同尺度上剪切透镜体构造的发育，就是变形分解作用的具体例证。剪切透镜体（shear lens）是指在流变场或剪切体制下形成的透镜体构造。这种构造由边缘剪切带和透镜体两个结构要素组成（图 1-3）。一系列的透镜体拼贴或堆叠在一起，边缘剪切带相互连接或分叉，就形成了不同尺度上的网结状强应变带或应变软化带与弱应变域的剪切透镜体呈规律性排列。不同尺度上网结状地质构造样式，它们有着几何学上的自相似性，说明它们之间存在共同的力学-流变学成因机制。反映了不同尺度的变形分解作用和应变局部化的过程。因而在地质构造的研究中，学习和应用变形分解作用的理论，解决所遇到的实际问题，是有很大大意义的。

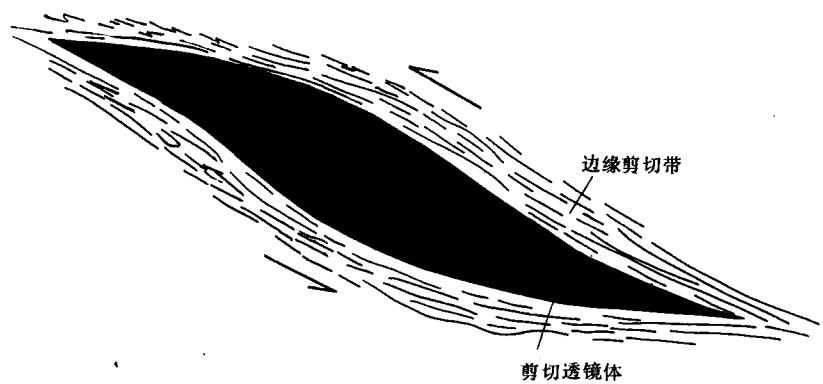


图 1-3 剪切透镜体的结构要素

第二章 造山带 1:5 万区调 工作中的地层研究

第一节 造山带的地层划分

一、造山带地层研究历史的回顾

地层学自产生 300 余年来,一直以地层层序律、地层原始水平律、地层原始侧向连续律、化石层序律和瓦尔特定律等基本原理和方法为原则,对正常沉积地层进行研究。由于这一研究始于威廉·史密斯(W. Smith, 1769—1839),因而人们将其称为史密斯地层学(Smith Stratigraphy)。发育于造山带内的地层,虽均为变质地层,但由于认识上的原因,在相当长的时期内,人们仍将其与未变质的沉积岩区的岩石地层一样对待,将造山带变质岩石中发育的透入性面理当作原生层理,并认为这些层状构造分割的不同成分的层状岩石,代表着原沉积作用形成的层状岩系;它们之间的叠置关系代表着沉积作用形成的正常叠置关系……;因而理所当然地运用史密斯地层学的基本原理进行造山带地层的研究和划分工作,并和未变质的沉积地层一样进行地层的群、组、段划分,进行厚度丈量。云南几大造山带内的哀牢山群、崇山群、高黎贡山群等就是在上述思想指导下建立的。

近 20 年来地质科学飞跃发展,新理论、新观点、新技术和新方法不断涌现,并被逐步应用到区域地质调查特别是造山带的区域地质调查工作中,使造山带的地层研究也起了一个质的飞跃。人们逐渐认识到:传统的史密斯地层学的基本原理已难以适应和满足造山带地层研究的要求。造山带内的地层,由于经受了造山带形成、演化过程中的改造与再造,多已全部或部分地改变了它们的原貌,原生层理、结构、构造已很少保留,普遍出现多期形变与变质作用的叠加。强烈的构造置换作用,大量新生面理的出现,虽然使岩石仍显“层状”外貌,但已不能代表原来的层理;这些由新生面理分割看似“层状”排列的岩石组合,已不是原沉积岩层的正常叠置,而是多个构造岩片的堆叠或拼合。不同岩石组合之间,即过去划分的“组”与“组”或“段”与“段”之间,均为构造(剪切带)接触,它们之间谁上、谁下的关系已很难弄清。岩石中出现的大量相互平行的成分层,并不是原岩层理的残留,而是强烈构造置换作用而形成的分异层理或分异成分条带。这些特点说明:发育于造山带内的地层与发育于克拉通区不变形、不变质的地层差异明显,史密斯地层学的基本原理,无法应用于造山带地层的划分与研究。岩石地层单位的名称——群、组、段,也不能在造山带地层中照搬照用。总之,造山带内的地层鉴于它本身的特性,应有一套相应的划分方案以显示它的特征并与正常的岩石地层相区别。

关于造山带地层的划分及地层类型问题,已引起了越来越多地质学家的注意。在国内,早在 30 年前程裕淇先生就提出了对造山带地层或变质地层应该用不同于未变质区地层的划分单位来显示它与正常岩石地层的区别。他在《变质岩的一些基本问题和工作方法》(1963) —

书中指出：一套巨厚而组分复杂的变质岩系，可称为变质杂岩。后期的变质变形比较弱时，可借助变余的原生结构构造将杂岩划分为不同的群和组。变质很深、原岩不易恢复或变形很强已不能恢复其层序时，可根据变质岩组合及变质程度、混合岩化的强弱划分为不同的“岩带”。1966年该书第三版中又进一步指出：在构造复杂、变质程度深、混合岩化和花岗岩化作用强烈的地区，建立系统的地层层序和确定地层上下关系有困难时，可采用岩组、岩段来代替组、段作为填图单位。1991年，程裕淇先生在主编的1:500万中国地质图说明书中，进一步把“岩群”定义为“对于构造复杂或受高度混合岩化作用的影响，或强烈花岗质岩浆活动的干扰，或出露不全而无法建立完整层序的变质表壳岩等，一律称为岩群”，以别于层序基本可信的变质的群。1986年，地矿部设立了“1:5万区调中地质填图方法研究”科研课题，在其成果报告《变质岩区1:50000区域地质填图方法指南》(1991)和《1:50000区调地质填图新方法》(1993)两书中，对造山带变质地层的划分提出了更为明确的意见，认为“变质岩区划分岩石地层单位除了遵循岩石特征的一致性这一基本准则外，还必须考虑原岩建造和后期改造与再造”。“由于后期改造与再造程度的不同，原岩特征的标志保存多少亦不一样，有的原岩已被改造得面目全非，有的还可据蛛丝马迹追索其原岩面貌；有的虽改造，但原岩特征基本上保留；”因而变质岩系的地层划分应根据其具体情况分为成层有序、层状无序和块状无序三种类型，并相应地采用构造地层、构造岩层和构造岩石三种划分方案与岩石地层相并列，首次提出了我国不同类型地层单位划分术语方案(表2-1)。这一方案是我国对广义地层学首次提出的全面分类方案，它使我国地层学的研究涉足到当代地层学研究的前缘。

在国外，对造山带地层划分的研究当首推外籍华人许靖华先生。他从80年代开始，多次在口头上提出和倡导“非史密斯地层学”(Non-Smith Stratigraphy)这一新的地层学概念，指出非史密斯地层学就是研究造山带地层性质的科学。从这以后，虽然有关非史密斯地层学系统的研究成果尚未见及，但在中文期刊中介绍、论述非史密斯地层学的文章已逐步出现，使人们对这一新的地层学概念有了初步了解。

综上所述，可以说地层学的研究已进入了一个新的阶段。现代地层学的研究内容，不仅应包括史密斯地层学部分，即以地层学的基本原理为基础，研究那些发育于克拉通区、层序正常、构造简单、不变质、可以远距离追索对比且分布广泛的岩石地层；还应包括非史密斯地层学部分，即研究那些发育于造山带内不符合或不完全符合地层学基本原理、经历过不同程度变形、变质改造、很难弄清正常叠置关系、发育新生面理、以半深海相为主体的无序或部分有序的地层。因而本文提出如表2-2所示的地层类别划分与地层单位等级术语方案。对于史密斯地层的研究，已在《沉积岩区1:50000区域地质填图方法研究》一书中述及。本文将重点讨论非史密斯地层。

二、造山带地层——非史密斯地层的划分

前已述及，造山带内的地层，由于经受造山期及后造山期多阶段、多期次的变形、变质作用的改造、再造，原岩结构、构造多已被破坏而出现新生的面理、线理，不同时代、不同背景的沉积因构造作用而无序地堆叠在一起，使以地层叠覆律为代表的史密斯地层学原理难以在造山带地层中应用，因而提出非史密斯地层学这一新的地层学概念作为造山带的地层类型是恰当的，也是必要的。

由于造山带发育历史及过程的差异，造山带地层经受改造特征的不同，非史密斯地层可划分为构造地层、构造岩层和构造岩石三类(表2-2)。

表 2-1 中国沉积岩、变质岩、花岗岩类岩石地层单位划分与术语方案(据周维屏等,1993)

岩类	沉积岩类	变质岩类										侵入岩类 (以花岗岩为主)
		变质等级增加 →					← 变质等级增加					
		变质沉积			火山堆积岩系		原岩性质		变质侵入体			
		浅变质	中浅变质	中深变质	层状无序	块状无序	不明		中深变质	浅变质		
鉴别标志	岩性与层序律	岩性与构造			岩性		岩性	岩性	岩性	岩性与序列		
岩石地层单位类型	岩石地层单位	构造—地(岩)层单位			岩石地层单位		岩石单位	岩石潜系单位			岩石潜系单位	
岩石地层单位等级	正式单位	超群(Supergroup) 群(Group) (亚群)(Subgroup) 组(Formation) 段(Member) 层(流)(Bed/Flow)	超岩群(Complex super-group) 岩群(Complex group) 岩组 岩段 岩层(流)			副片麻岩群 副片麻岩组		片麻岩套 片麻岩		超单元组合(Superunits association) 超单元(Superunits) 单元(Units)		
	非正式单位	岩性段 标志层 岩楔、岩舌、礁滩				变质表壳岩组合		片麻岩片岩		序列侵入体		
不具等级意义单位	沉积杂岩				变质杂岩						岩脉杂岩	