



造山带沉积地质与圈层耦合

龚一鸣 杜远生 冯庆来 颜佳新著 中国地质大学出版社

献给第30届国际地质大会

国家自然科学基金
高等学校博士学科点专项科研基金 联合资助
国家科委基础研究重大项目(SSLC)
中国地质大学学术著作出版基金

造山带沉积地质与圈层耦合

龚一鸣 杜远生 冯庆来 颜佳新 著

刘本培 指导

中国地质大学出版社

内 容 简 介

本书侧重从流态圈的角度和圈层耦合、内外力地质作用耦合、盆山耦合的高度,系统地阐述了当代造山带沉积地质研究的理论、方法,以及作者在中国天山—准噶尔、秦岭、三江造山带及邻区取得的大量新资料和新认识。在造山带非史密斯地层学,板块沉积学,古地理、古海洋重塑,层序地层,非暖水-暖水碳酸盐沉积等的具体研究和理论概括方面有较多的创新和突破。

全书附图 70 幅,附表 24 张,彩色照片 48 幅,黑白照片 64 幅。本书内容丰富,资料翔实,结构新颖,立论有据,富于创新,可供地学类科研、教学和生产人员参考。

图书在版编目(CIP)数据

造山带沉积地质与圈层耦合/龚一鸣、杜远生、冯庆来、颜佳新著. —武汉:中国地质大学出版社,1996.
ISBN 7-5625-1057-1

I. 造…

II. ①龚…②杜…③冯…④颜…

III. ①造山带-沉积地质②圈层-耦合

IV. P542

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 李继英 责任校对 熊华珍 版面设计 俞霓芬

印 刷 武汉测绘院地图印刷厂

开本 880×1230 1/16 印张 9.5 字数 300 千字 图版 12

1996 年 6 月第 1 版 1996 年 6 月第 1 次印刷 印数 1-600 册

定价:29.80 元

序

自从 19 世纪后半叶几位欧美地质大师 (E. Suess, 1875; G. E. Haug, 1900; J. Hall, 1859; J. D. Dana, 1873) 对阿尔卑斯山和阿巴拉契亚山系开始研究以来, 造山带一直被视为地质科学的摇篮。中国是一个多造山带的国家。对西北部的天山-准噶尔造山带和中部的秦岭造山带及西南部的三江造山带的研究在中国乃至世界的大陆地质学中都占有重要地位。

“七五”和“八五”期间, 龚一鸣博士等青年学者, 在刘本培教授指导下, 对天山-准噶尔、秦岭和三江等造山带及邻区进行了艰苦的野外工作和室内研究, 取得了丰富的资料和创新的认识, 并逐渐形成了以造山带沉积地质研究为特色的学科集体。我觉得这本专著具 3 方面的特色和优点。

第一, 专著有一个明确的学术指导思想和较完整的学科体系, 即以著者们的工作为基础, 试图从流态圈 (大气圈、水圈、生物圈) 的角度和圈层耦合的高度, 对上述造山带及邻区的地层、沉积和构造进行总结论述; 将造山带沉积地质学的研究内容概括为造山带非史密斯地层学、板块沉积学和造山带古地理、古海洋、古气候学 3 个方面, 三者既相互独立, 又共同构成造山带沉积地质学这一学科整体。在名词体系和概念、方法的理论阐述和具体实践方面均具有一定的创新性。这一特色贯彻在第一章总论及后续的分论中。

其次, 专著基础资料丰富、翔实、涉及面广、时空跨度大。在对天山-准噶尔、秦岭和三江造山带区域沉积地质的论述中, 在对反应圈层耦合关系较灵敏的地质记录——沉积层序、海平面变化和非暖水-暖水碳酸盐沉积的论述中, 都做到了既有实际资料的详细记述, 也有富含新意的综合分析, 得出富有启迪意义的认识和结论。

第三, 专著内容包括“七五”和“八五”期间的多个课题、多个地区和不同方面。年轻的著者们对造山带地质中意义和难度都较大的前沿研究领域, 如造山带非史密斯地层, 板块沉积, 造山带古地理、古海洋再造等进行了联合研究和总结, 在不太长的时间内完成了这部具有相当集成度和显示度的专著, 是值得欣慰和钦佩的。这个学科集体是一个团结、互助、求实、进取的集体, 这种精神值得弘扬和提倡。

专著中的论述尚存有待进一步完善之处。但我认为它不失为 90 年代造山带沉积地质研究的一项较高水平的成果, 其公开出版必将进一步推动造山带地质、沉积地质及相关学科的发展, 对地质科学研究、生产和教学都将发挥良好的作用。

王鸿祯

1996 年 1 月于北京

前 言

造山带不仅是揭开大陆与海洋的起源和演化及其相互作用、转化之谜的关键地区,也是探讨地史时期盆山耦合、内外力地质作用耦合和圈层耦合的重要场所。10余年来,造山带岩石圈等地球固态圈层的研究已引起国内外地质学家们的高度重视,取得了丰硕成果。与之相比,侧重从水圈、大气圈和生物圈等地球流态圈的角度和圈层耦合的高度对造山带进行沉积地质、生物地质(Licari, 1978; 殷鸿福, 1994)的综合研究和系统总结明显不足。

在“七五”和“八五”期间,笔者们在导师刘本培教授指导下,分别在我国阿尔泰、天山-准噶尔、秦岭和三江造山带进行了大量具体的野外和室内研究,完成博士论文3篇,发表研究论文50余篇,参与完成研究报告5部,取得了大量的第一手资料,初步形成了一定特色的学术思想和理论方法。本书即在此基础上完成。因此,本书研究起点高,时空跨度大,实际资料丰富,理论总结基础雄厚,具鲜明的中国地质特色和学科交叉特点。

在野外和室内研究过程中,得到国家自然科学基金重大项目、面上项目,国家“七五”、“八五”重点科技攻关项目(305项目, 101项目),高等学校博士学科点专项科研基金项目,国家“八五”基础性研究重大关键项目(SSLC项目)和地质矿产部“七五”、“八五”重点科技攻关项目等的资助,以及新疆、云南、陕西、甘肃、广西地质矿产局,成都、西安地质矿产研究所,成都理工学院,西北大学和中国科学院地质研究所岩石圈构造演化开放实验室等兄弟单位和地质同行的大力支持和帮助,在此深表感谢!

在成书过程中,本书的基本设想和预期目标经过11个月的反复酝酿和多次讨论,书面拟定提纲8次,最后在一个基本共识下分工撰写,即立足中国资料和笔者们的具体实践,侧重从流态圈的角度和圈层耦合、内外力地质作用耦合、盆山耦合的高度,对造山带及邻区沉积地质学的理论、方法和中国典型造山带沉积地质资料、认识及指示圈层耦合关系较灵敏的地质记录——层序地层与海平面变化、非暖水与暖水碳酸盐沉积进行较系统的阐述和总结。前言、第三章由龚一鸣撰写,第一章、第五章由龚一鸣、杜远生撰写,第二章由冯庆来撰写,第四章由杜远生撰写,第六章由颜佳新撰写,全书由龚一鸣、杜远生统纂定稿,并得到刘本培教授的热情指导。本书的英文摘要分别由各章撰写者译成,由颜佳新、龚一鸣最后审定。

在成书过程中得到王鸿祯、刘宝珺、殷鸿福三位院士的关怀与鼓励。在百忙中,王鸿祯、殷鸿福院士抽出时间为本书作序写跋,向读者介绍、推荐本书。本书的详细提纲和初稿完成后,经中国地质大学学术著作出版基金评委会审定,给予资助。中国地质大学出版社为本书的出版做了大量工作,地史古生物教研室陈北岳、陈忆元、全秋琦、张克信教授,对本书的出版均给予关心和帮助;本书的插图由中国地质大学(武汉)绘图室的魏国鹏、王香莲和潘莉等清绘。谨此致谢!

目 录

序	(V)
前言	(VI)
第一章 造山带沉积地质研究的理论与方法	(1)
第一节 造山带区域地层学——非史密斯地层学	(1)
一、非史密斯地层特征和分类	(1)
二、非史密斯地层的时空结构分析	(4)
三、非史密斯地层学与地层学的第三次革命	(6)
第二节 造山带板块沉积学	(8)
一、板块沉积学概念的由来及主要研究内容	(8)
二、造山带地层的沉积动力和相动力分析	(8)
三、造山带地层的层序旋回分析与板块沉积分区	(11)
第三节 造山带古地理、古海洋、古气候与圈层耦合关系	(11)
一、造山带古地理、古海洋概念与特色	(11)
二、重塑造山带古地理、古海洋、古气候的方法和步骤	(12)
三、中国造山带沉积地质研究与圈层耦合分析	(15)
第二章 三江北段造山带区域地层及古特提斯演化	(17)
第一节 研究区概况	(17)
一、自然地理概况	(17)
二、大地构造轮廓及研究简史	(17)
第二节 金沙江构造带区域地层	(18)
一、中咱地块西缘斜坡地层带	(18)
二、洋盆地层带	(22)
三、岛弧地层带	(23)
四、昌都地块东(缘陆)坡地层带	(23)
五、活动海盆地层系统	(24)
六、小结	(24)
第三节 澜沧江构造带北段区域地层	(24)
一、昌都地块西缘地层带	(25)
二、察隅地块东缘地层带	(27)
三、洋盆地层带	(28)
四、活动海盆地层系统	(28)
五、小结	(28)
第四节 甘孜-理塘构造带盆地相地层	(28)
一、剖面介绍	(29)
二、盆地地层带的演化	(30)
第五节 三江北段古特提斯多岛洋演化及圈层耦合关系	(31)
一、三江北段古特提斯多岛洋演化	(31)

二、三江古特提斯多岛洋生物古地理及圈层耦合关系	(32)
第三章 天山-准噶尔海西造山带板块沉积学研究	(36)
第一节 阿尔泰-北准噶尔活动大陆边缘沉积区	(37)
一、地层特征及典型剖面描述	(37)
二、作用相、环境相类型和序列	(47)
三、岩石大地构造及生物古地理	(50)
第二节 东哈萨克斯坦板块多岛洋沉积区	(55)
一、南天山沟弧盆沉积区作用相、环境相类型和特征	(55)
二、南天山构造古地理演化	(59)
第四章 秦岭造山带泥盆纪古地理和古海洋	(61)
第一节 泥盆纪沉积古地理	(62)
一、秦岭加里东末期的古地形特征	(62)
二、早泥盆世洛赫考夫期—布拉格期古地理	(62)
三、早泥盆世埃姆斯期古地理	(66)
四、中泥盆世艾菲尔期古地理	(68)
五、中泥盆世吉维特期古地理	(70)
六、晚泥盆世弗拉斯期古地理	(73)
七、晚泥盆世法门期古地理	(75)
第二节 泥盆纪古海洋	(77)
一、古构造特征	(77)
二、古地磁特征	(79)
三、生物古地理	(80)
四、岩石大地构造	(81)
五、古海洋再造	(82)
六、秦岭造山带及邻区泥盆纪表层圈层作用及耦合关系	(84)
第五章 中国泥盆纪层序旋回划分对比和海平面变化节律及圈层耦合关系	(87)
第一节 引言	(87)
一、基本思路及技术路线	(87)
二、关于几个概念的理解和使用	(87)
第二节 泥盆纪层序和 T-R 旋回划分对比	(88)
一、华南板块	(88)
二、秦岭板块和西伯利亚板块南部活动大陆边缘	(100)
第三节 泥盆纪海平面变化节律及圈层耦合关系	(100)
一、海平面变化的时间属性——节律	(100)
二、节律的成因类型及其圈层耦合关系	(100)
第六章 非暖水-暖水碳酸盐沉积及其圈层耦合意义	(103)
第一节 碳酸盐沉积与圈层耦合	(103)
一、概述	(103)
二、研究思路	(103)
第二节 非暖水-暖水碳酸盐沉积特征与古气候	(104)

一、非暖水碳酸盐沉积特征	(104)
二、暖水碳酸盐沉积特征	(107)
第三节 碳酸盐沉积的圈层耦合意义.....	(107)
一、显生宙碳酸盐沉积的时空结构	(107)
二、碳酸盐沉积在长周期旋回中的圈层耦合意义	(109)
三、碳酸盐沉积在中、短周期旋回中的圈层耦合关系.....	(111)
四、小结	(114)
参考文献.....	(116)
详细英文摘要.....	(121)
图版说明(图版 I—XI)	(142)
跋.....	(145)

第一章 造山带沉积地质研究的理论与方法

造山带沉积地质学是指通过对造山带现存沉积地壳的形成和变成特征的综合研究,再造造山带沉积地壳时空结构、沉积、生物、构造古地理、古气候和古海洋原型,从全球和演化角度反演古大陆与古大洋、流态圈与固态圈相互耦合关系及其演化的一门地球科学的分枝学科。造山带沉积地质学是造山带地质学、大陆动力学乃至地球动力学、广义地球表层学的重要组成部分,对建立造山带乃至整个沉积地壳的原始时空坐标系,展示中、长时空尺度环境、生物、资源演变规律,将发挥其他地球科学分枝学科不可替代的作用。尽管造山带沉积地质学覆盖面广,涉及地球科学的众多领域,但作为构成学科特色的研究范围和分枝学科群主要包括造山带区域地层学、造山带板块沉积学和造山带古地理、古海洋、古气候三大组成部分。

第一节 造山带区域地层学——非史密斯地层学

一、非史密斯地层特征和分类

在克拉通区,运用地层层序律、地层原始水平律、地层原始侧向连续律(Steno, 1669)、化石层序律(Smith, 1815)和瓦尔特定律(Walther, 1894)等地层学的基本原理和方法,我们能较好地查明露头、剖面、区域,甚至洲际地层的时空结构。当将上述原理和方法运用于造山带地层时,却受到了严峻的挑战。是地层学的基本原理和方法错了?还是我们对造山带地层所知甚少?回答当然是后者。

我们知道,地层学的上述基本定律仅适用于地层未遭变形、变质、变位或地层遭受的变形、变质、变位作用较小,不足以破坏地层的原始时空结构的条件。在造山带,由于造山期和后造山期多阶段、多期次变形、变质作用等构造-热事件的影响、破坏,造山带现存地层的时空结构与沉积时相比已大相径庭,甚至面目全非。造山带中的现存地层如同一遭浩劫破坏的积木堆,这积木堆中积木的现存形态、物态(岩性、物性)、位态和序态(时序和位序)是形成作用(沉积作用、生物作用等)和变成作用(变形作用、变质作用等)综合叠加的产物,且与强度最大、离现在最近的变成作用关系最密切。在不同的造山带,尤其在造山带的不同构造部位,这积木堆的弄乱程度是大不相同的。一般来说,从造山带的核部向外地层的有序度(与原生地层的接近程度)增大,地层遭受的变形、变质作用减弱。因此,我们有理由认为,造山带地层的序态(y)是其变形强度(x_1)、变质强度(x_2)和变位强度(x_3)的函数,即

$$y=f(x_1, x_2, x_3) \quad (1)$$

x_3 主要表征造山带中块体(板块或地体)的整体位移,主要影响造山带及邻区古地理、古海洋、古气候的空间有序度,即位序。

y 包括两方面的含义,即时序(temporal-sequence)和位序(spatial-relationship),时序是指地层间的叠置关系,位序则指地层间的毗邻关系, x_1 、 x_2 不仅影响造山带地层的时序,也影响其位序,因此,可将(1)式简化为

$$y=f(x_1, x_2) \quad (2)$$

如果将变形作用分解为连续变形作用(x_c)和不连续变形作用(x_d), (2)式则可改写为:

$$y=f(x_c, x_d, x_2) \quad (3)$$

根据(3)式,并考虑地层的原生沉积特征,我们可对造山带及邻区地层作如下划分(图 1-1、表 1-1):

表 1-1 史密斯地层和非史密斯地层类型划分及特征

Table 1-1 Classification of smith stratigraphy and non-smith stratigraphy and their characteristics

类型与特征		变 成 特 征				形 成 特 征						地 层 系 统
		形 态	物 态	位 态	序 态	原始倾角	侧向延伸	作用相	环境相	加积方式	构造环境	
非史密斯地层	杂岩类	以深度变形、变质、混杂、融合为特征		深构造层次,下部及以下	无序	0°—90°	面状 墙状 带状 远、连续 不远、不连续	内力事件相发育,如爆发相、溢流相	深海、半深海相占重要比例	垂向 侧向 热侵位	活动大陆边缘,多岛洋大陆斜坡	杂岩 ↓ 岩群 岩段 岩片 ↓ 群组 段层
	初变地层类	韧性剪切变形,中低级变质为主;主导变形机制是压扁作用和流动作用		深构造层次,上部为主	整体、长程 无序;部分、 短程有序							
	褶皱断片型 地层类	脆、韧性变形,浅变质或不变质;主导变形机制是剪切作用和穹滑作用		浅、表构造层次								
史密斯地层	沉积地层类	弱变形、弱变质,或不变形、不变质		表构造层次	有序	一般<5°	面状 远、连续	正常相和外力事件相较发育	以浅水相、陆相为主	侧向 垂向	克拉通	群组 段层

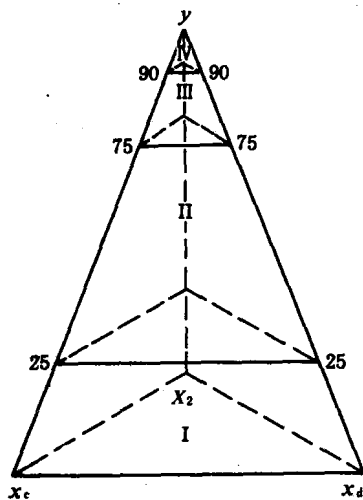


图 1-1 史密斯地层与非史密斯地层分类图

Fig. 1-1 Tetrahedral diagram showing the classification of both smith stratigraphy and non-smith stratigraphy

I—史密斯地层(沉积地层型); II、III、IV—非史密斯地层;
I—褶皱地层型; II—初变地层型; IV—杂岩型; y—地层的序
态(有序度); x_1 —连续变形作用; x_2 —不连续变形作用; x_3 —变
质作用; 25、75、90—地层遭受的变形、变质作用强度

1. 史密斯^[1] 地层

是指那些不变形、不变质,甚至不变位,或仅具弱变形、弱变质、弱变位,现存形态、物态、位态、序态与沉积时基本相同或相似的有序地层体或地层区(带)。史密斯地层主要发育于克拉通区,也可见于造山带的稳定地块或弱变形变质域中。史密斯地层具有水平或近水平的原始倾角,远距离的横向追踪可比性,以正常沉积、外力事件沉积,浅水、陆相沉积和相应古生物组合为主,可直接用传统地层学原理、方法,如地层层序律、化石层序律等划分地层单位,建立地层层序,并进行区域甚至全球性的地层对比。史密斯地层从形成以来一直处于地壳表层,保存有地层形成阶段地球流态圈、固态圈特征及耦合关系的丰富信息。不仅如此,史密斯地层也是传统地层学理论、方法产生的摇篮。

2. 非史密斯地层

是指那些经历过不同程度变形、变质、变位,现存形态、物态、位态、序态与沉积时明显不同,甚至面目全非的无序或部分有序地层(岩石)体或地层(岩石)区(带)。非史密斯地层具有从水平到近直立的原始倾角,在现存沉积地壳中难于远距离横向追踪、对比;内力事件相,如爆发相、溢流相等发育,深海、半深海沉积常占一定比例;地层的加积方式除垂向、侧向加积外,尚有

[1] 史密斯(William Smith, 1769—1839),英国地层学家,在采矿和土地测量工作中,他敏锐地发现,英国中生代地层所含化石各有不同,根据相同的化石可进行地层对比。史密斯(1796)的重要发现开创了生物地层学的研究方法,为地质年代和地史学的建立奠定了科学基础。1815年他绘制了第一幅英格兰和威尔士地质图,创立了绘制地质图的基本工作方法。因此,他被后人推崇为“地层学之父”和“英国地质学之父”。

热侵位加积,如大洋中脊、热点-地幔柱上的熔岩地层,这类地层常呈墙状、带状、斑块状延伸,原始产状可近直立。非史密斯地层主要发育于造山带,曾经历过不同构造层次和特点的变形、变质,不同位移量的水平位移。根据其变形、变质特征(图 1-2)的不同,非史密斯地层可划分为褶皱地层类、韧变地层类和杂岩类(图 1-1,表 1-1)。

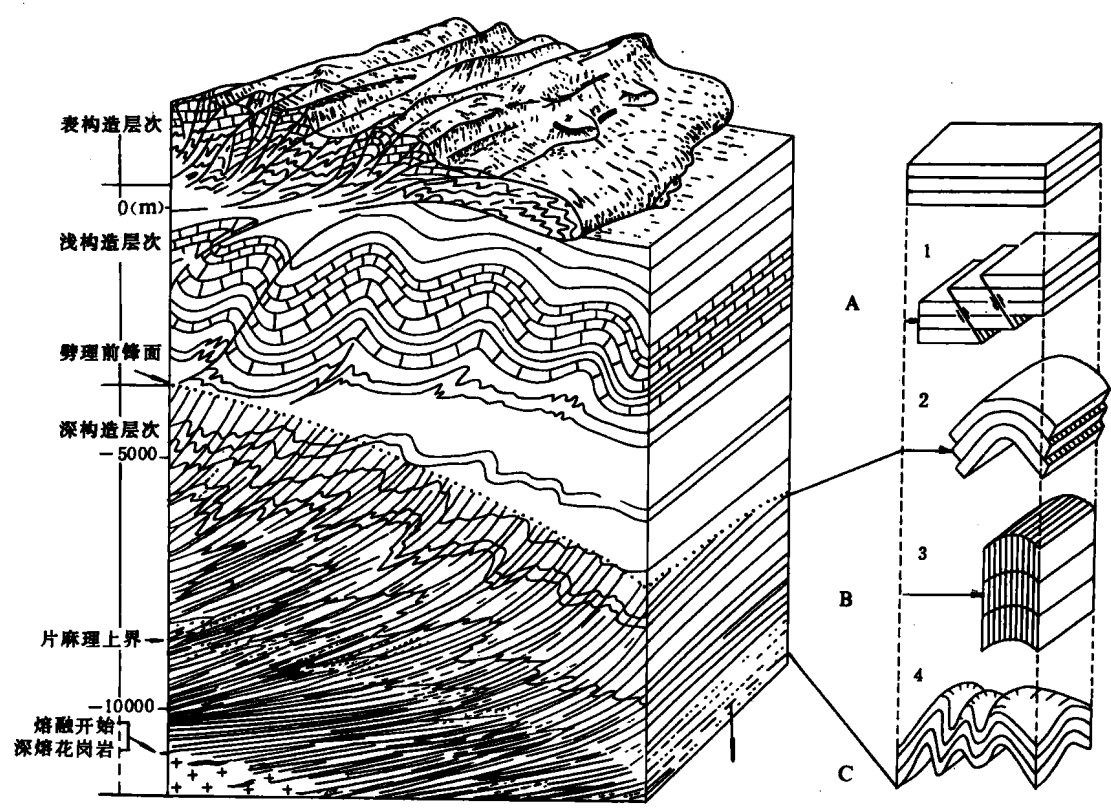


图 1-2 造山带非史密斯地层垂向变形环境、构造样式和变形机制
(据 Mattauer, 1980 综合改编)

Fig. 1-2 Deformation environments, tectonic styles and deformation mechanism of non-smith stratigraphy of an orogenic belt in the vertical upper crust

A—褶皱地层类变成区;B—韧变地层类变成区;C—杂岩类变成区。

1—剪切作用;2—弯滑(挠曲)作用;3—压扁作用;4—流动作用;

说明:不同机制有着不同的缩短量,压扁时,缩短量最大;流动时,缩短量等于零

褶皱地层类(图版 I, 1—5) 地层以脆、韧性变形、浅变质或不变质为特征,表、浅构造层次通常是其主要的变形、变质环境,主导变形机制是剪切作用和弯滑作用,在露头上地层通常表现为重复、缺失、不连续,厚度失真。根据变形、变质强度、方式和地层产出状态的不同,褶皱地层类可细分为断褶型、断片型和混杂型。

断褶型(图版 I, 1—3) 地层以连续变形为主,褶皱是控制地层序态的主体,当地层的岩性、物性均一,且以脆性为主时,地层往往表现为等厚褶皱;当以韧性为主时,地层往往表现为相似褶皱;当地层的岩性、物性、层厚不均一时,地层常表现为不协调褶皱。尽管断褶型地层的现存形态、序态与沉积时不同,但由于大多数层面仍连续可追踪,因此,这类地层层序和厚度的恢复并非特别困难。

断片型(褶断型)和混杂型(图版 I, 4, 5) 地层以不连续变形、不同位移量的构造搬运、混杂为特征。在断片型非史密斯地层中,断裂是控制地层序态的主体,地层被切割成一个个的岩片或断片,断片内,当褶皱作用不太强烈时,层与层之间基本保持有地层形成时的原生时空关系,服从地层学的基本原

理和定理,可用史密斯地层学的方法对其进行研究。在断片型非史密斯地层中,由于参与变形的基本单元是断片,因此,断片间地层之间的叠置、毗邻关系及总体特征服从区域和局域构造应力场的应力分布规律,不具有地层学、沉积学意义上的新老、相变关系。

混杂型非史密斯地层可看作是断片型非史密斯地层遭受变形、变质(剪切)作用进一步强化的产物,从板块构造的角度看,混杂型非史密斯地层可区分为板缘混杂和板间混杂两大类,前者尚可进一步划分为构造地层带内和带间混杂两种。在混杂型非史密斯地层中,地层(或地层-岩石)明显地由两部分组成,即基质和岩块(包括原地和外来的)。基质通常是易变形、变质的泥岩、页岩、泥灰岩、凝灰岩等,基质常有不同程度的片理化。岩块常是较难变形、变质的部分,可有原地和外来两种,其大小可从厘米级、米级至公里级。岩块常有不同的岩性和时代,呈漂砾状、扁豆状、透镜状,漂浮于片理化的基质中。Franciscan 混杂岩是板间混杂型非史密斯地层最经典、最典型的实例。

韧变地层类(图版 I, 6) 地层以韧性剪切变形、中级变质为主,地层层面和原生沉积组构通常发生不同程度的横向和纵向构造置换。 S_0 和变余组构仅能在弱变形域或大的构造透镜体中识别出。深构造层次的上部构造亚层次是其主要变形、变质环境,主导变形机制是压扁作用和流动作用。

杂岩类 由于构造置换、混杂、混染和融合作用等的强烈改造,地层的原生特征已不复存在。严格地讲,杂岩类“地层”已不是严格意义上的地层,我们仅能对其进行原岩的恢复工作,地层层序的建立、地层形成时代的确定已很难进行。

综上所述,在三大类非史密斯地层中,从褶皱地层类到韧变地层类及杂岩类,地层的变形、变质强度增加,地层中保存的原生特征减少。在空间上,褶皱地层类主要分布于造山带的外带和内带,韧变地层类主要分布于造山带的内带,杂岩类主要分布于造山带的核部或构成造山带的基底;在时间上,杂岩类、韧变地层类往往遭受过多期、多幕构造作用和变质作用的叠加影响。因此,从时间与空间的结合上,首先查明非史密斯地层遭受的变形、变质作用的特点,特别是变形作用的几何学、运动学和动力学特征,这在非史密斯地层研究中占有特别重要的地位。

二、非史密斯地层的时空结构分析

非史密斯地层的时空结构分析包括二方面的内容:其一,现存地层时空结构分析,即查明变形、变质、变位地层的类型、时代及空间分布规律。一般来说,现存地层的空间分布在很大程度上反映区域和局域构造应力场。其二,原生地层时空结构分析,即根据地层时代和原生沉积标志及板块构造背景,对变形、变质、变位地层作复原、复位。前者是基础,后者是目的。通过对我国天山-准噶尔、秦岭和三江造山带地层的研究,我们认为,非史密斯地层的时空结构分析应借鉴如下研究方法和技术路线(图 1-3),现仅就有关内容阐述如下。

(1)分类、分区(带)、分块(片):在综合研究前人资料和区域踏勘的基础上,对造山带地层进行变形、变质特征的空间划分,其目的是了解造山带地层分布状况,选择非史密斯地层研究的突破口。一般说来,造山带中断片型、混杂型地层往往是非史密斯地层研究工作突破的关键。

(2)构造地层解析:是指以地层的形成标志分析为基础,通过系统观测、分析不同时空尺度上各种变形变质要素及其组合的几何学、运动学(图 1-4)、动力学特征及变形变质相、变形变质序列特征,揭示不同构造层次,构造形态和变形变质组构间的原始时序、位序关系。对于生物、年代地层基础和沉积学基础较好的构造地层断面,可进行变形剖面的复原或平衡分析,实现定量恢复变形地层原始时空结构的目标,详细内容和实例参见本章第三节。

(3)生物地层、年代地层分析:在确定地层时代和建立地层层序方面,不论在克拉通区还是在造山带,生物地层和年代地层工作均是最重要的方法之一。被变形、变质、变位的造山带地层如同一乱积木堆,生物地层、年代地层分析就是通过对乱积木堆中一个个积木的时代和层序的确定、编号,再造乱积木堆的时空结构原型。因此,分区(带)、分块(片)进行系统的生物地层和年代地层工作,特别是微体古生物地层,如放射虫、牙形刺、孢粉生物地层等研究,对造山带地层时代和层序的确立将发挥关键作用。

(4)沉积学分析:生物地层工作虽能在构造地层解析工作的配合下,较好地查明被弄乱地层的时代

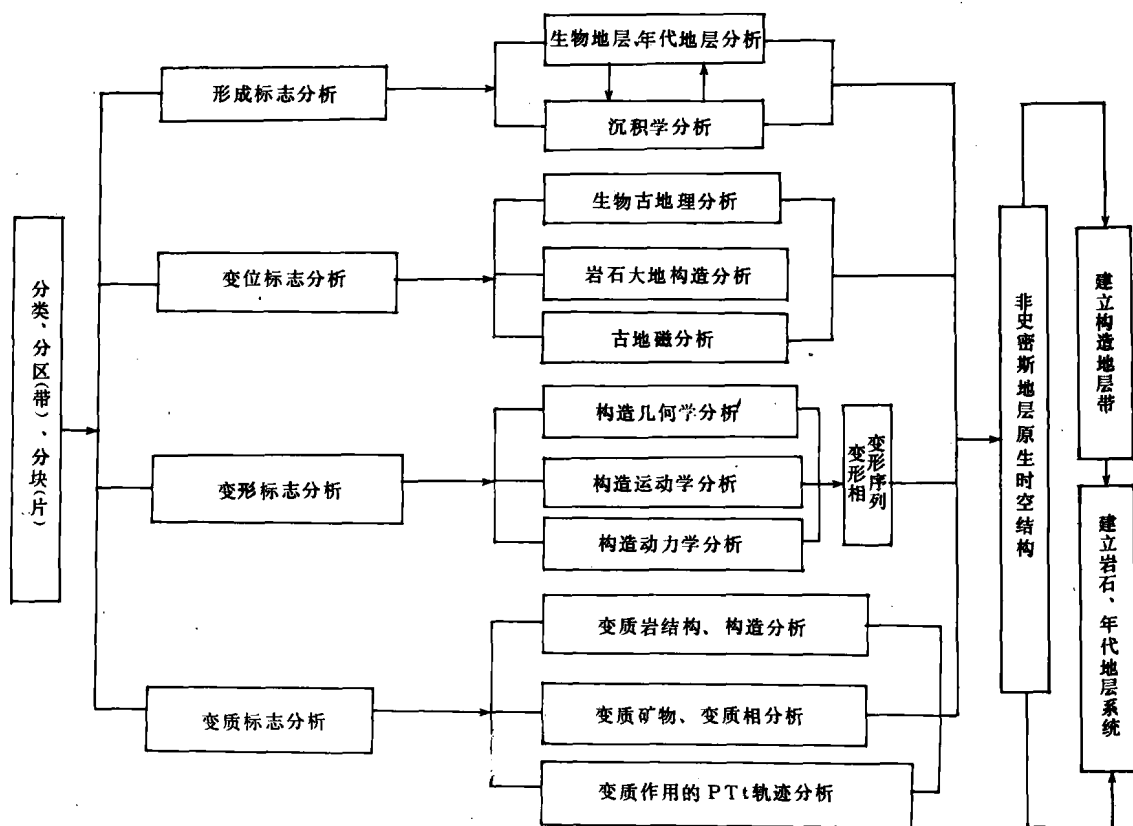


图 1-3 非史密斯地层时空结构分析内容和技术路线

Fig. 1-3 Contents and technical program of the temporal and spatial architecture analysis for non-smith stratigraphy

和层序,但它很难具体、准确地阐明同时代地层沉积时的空间分布规律及毗邻关系,沉积学中的作用相、环境相分析则能较好地解决这一问题。不仅如此,沉积学分析也能为合理、客观的构造地层解析、变形地层剖面的复原提供重要资料。

(5)生物古地理、岩石大地构造和古地磁分析:详见本章第三节。

(6)构造地层带和地层系统的建立:通过上述分析,一般来说,我们能对变形、变质、变位地层的沉积类型、时代和空间分布规律有个较系统的了解。在板块构造背景下,对弄乱的造山带地层进行复原、复位和构造地层带的确立和划分是造山带区域地层学追求的重要目标,也是造山带岩石、年代地层系统建立的基础。三江地区的工作表明,对接型和叠接型造山带可划分出如下构造地层带:洋盆地层带、洋岛海山地层带、海沟地层带、岛弧地层带、弧后盆地地层带、被动大陆边缘地层带等。我们认为不同的构造地层带应建立不同的岩石地层系统,造山带中的岩石地层系统或岩石地层单位不仅应有明确的客观特征、时间和沉积环境、沉积作用属性,也应具有明确的大地构造属性,现今造山带中的岩石地层系统,由于建立在史密斯地层学研究的基础上,因此,不可避免地造成不同构造地层带、甚至不同板块间岩石地层系统、单位的混杂、滥用,给地质历史的正确恢复带来困难。

造山带地层系统的建立可分两步走:第一步,建立描述性地层-岩石单元系统(如某某岩区、岩带,某某岩群、岩组、岩片等)或变成地层-岩石单元系统(如外来地块相、混杂相、主剪切相等大地构造相),这类地层-岩石单元系统主要反映变成机制和变成过程及其时空结构;第二步,建立造山带内具有真正地层学意义的岩石、年代地层系统和构造地层带。对具有非史密斯性(即原生地质体被破坏、肢解、混杂而表现出的复杂性或无序性)的造山带现存地层-岩石体来说,无论是造山带非史密斯地层学研究,还是造山带区域地质调查,两者都是不可偏废的统一体。只注重第一步而忽略第二步将造成本末倒置,仅注重

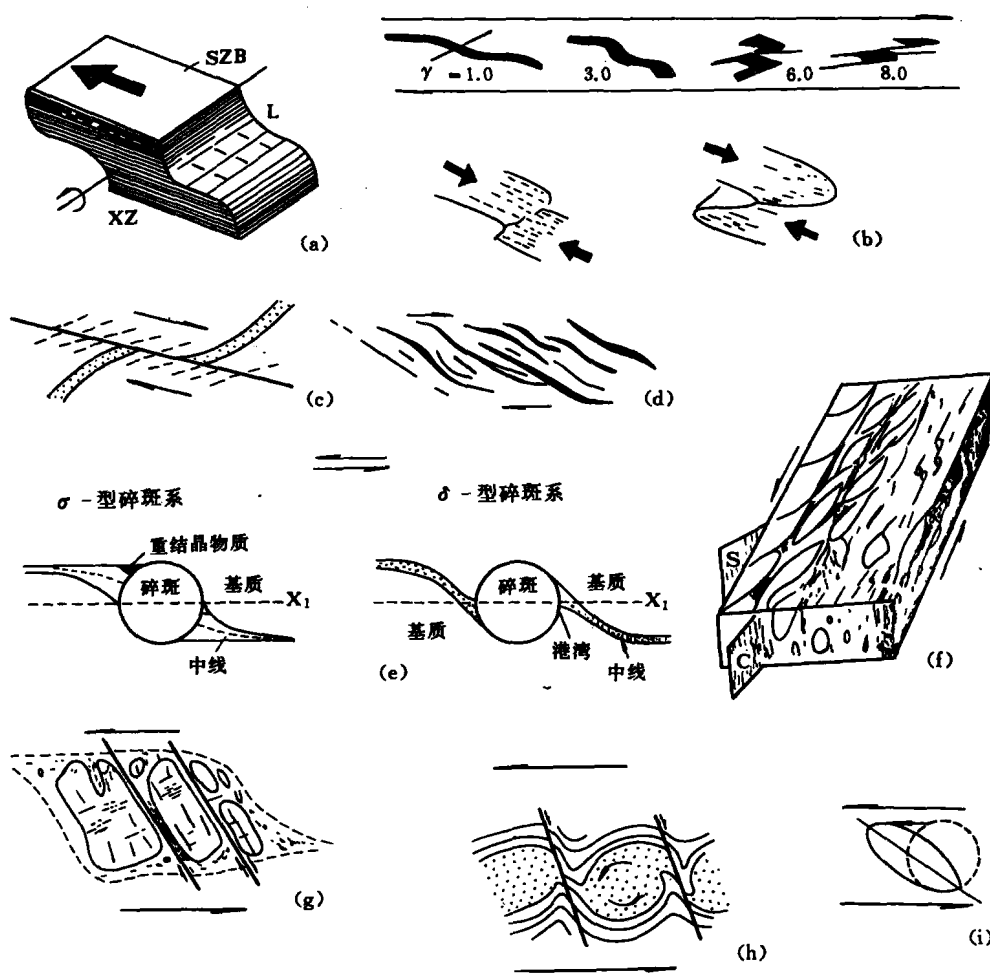


图 1-4 韧性变形岩的运动学标志

(据单文琅等,1991)

Fig. 1-4 Kinematic indicators of tenacious deformation rocks

a—拉伸线理(L)(SZB为剪切面,XZ为主应变面);b—不对称褶皱及梳褶皱(γ 为剪应变);

c—错开岩层或岩脉;d—S型雁列脉;e—旋转碎斑系;f—S-C面理;g—多米诺(书斜式)碎斑系;h—旋转石香肠;i—应变状态解析
第二步而忽略第一步将导致主次不分,难识造山带地质的真面目。

三、非史密斯地层学与地层学的第三次革命

地层学是地球科学中最古老而又最富活力的基础学科之一,由于地层学与时间的不解之缘,决定了它在地球科学中的重要地位及与众多地球科学分支学科的密切关系。地层学从17世纪60年代末走上理性轨道以来,曾一度衰落(20世纪60年代),本世纪70年代以后又成为地球科学的当采学科(肖庆辉等,1994)。随着科学技术的发展和人们认识自然能力的不断提高,地层学对地质作用、过程和产物定时的思想、方法和精度也不断提高。

地层学的三定律(地层层序律、地层原始水平定律、地层原始侧向连续定律,Steno,1669)告诉我们,通过地层的空间关系和现存状态可以确定地层形成的时间序列和遭构造变动特点。这三个定律是如此简单,但又是如此的重要,没有这三个定律就没有地层学和地质年代表。如果说“只是莱依尔(Lyell)才第一次把理性带进地质学中”(恩格斯,自然辩证法,1971,13页),我们可以毫不夸张地说,只是地层学三定律才第一次把理性带进地层学中。但是,我们也应看到地层学三定律的局限性,以地层层序律为例,其一,它仅能适用于不变形、不变质或变形、变质作用不足以破坏地层的原始时空结构的那些地层;其

二,地层的堆积方式以垂向加积为主;其三,它仅能适用于露头尺度,并且地层出露连续可追踪。显然,上述条件对克拉通区露头、局域尺度的地层学工作是可以满足的,但要进行造山带地层的研究时,上述条件就很难满足了。

地层学发展过程中的第二个里程碑是 Smith(1815)的化石层序律(不同时代的地层所含化石不同,含有相同化石的地层属同一时代)的建立。由于生物演化的不可逆性、阶段性和生物较强的迁移能力,可以将地层中的化石作为一种指示时间先后的符号。用地层所含化石的划分、对比代替地层本体的划分、对比,这不论就其指导思想,还是操作方法、精度等方面都较地层层序律先进得多。化石层序律既能用于露头、局域尺度的地层划分、对比,也适用于大区域、洲际、全球尺度的地层划分、对比。利用 Smith 开创的生物地层方法,19 世纪 70 年代末,古生代以来的纪(系)已在欧洲全部建立,为地质学的研究建立了统一的时间坐标。不仅如此,Smith 的化石层序律也开辟了利用地层中所含各种符号、特征这些能独立于地层本体之外的标志进行地层划分、对比的新途径,如利用地层的磁性、电性、化学性质、标志层(如界线粘土层)等进行地层的划分、对比。从这个意义上说磁性地层、化学地层、事件地层等的划分、对比方法均可看作是化石层序律思想、方法的延续和扩展。因此,生物地层学、岩石地层学、磁性地层学、化学地层学、事件地层学等均可归入史密斯地层学的研究范畴。史密斯地层学有三点显著特征:其一,认为地层的现存特征与沉积、成岩时特征一致或基本一致,如地层的岩性、磁性、电性、化学特征等;其二,认为地层的现存时序和位序是原生时序和位序的体现;其三,同一地层体不应含有不同时代的化石。

地层学发展过程中的第三个里程碑是本世纪 60 年代末许靖华教授关于北美西部圣弗兰西斯科半岛混杂岩的工作。这一工作开辟了造山带地层学或非史密斯地层学研究的新方向,揭示出造山带内部地层现存特征与原生特征之间的复杂性与不确定性关系。

我们知道 20 世纪 70 年代以来,自然科学的最重要进展之一就是复杂性科学的迅速崛起与广泛应用。从耗散结构论、协同学、突变论、超循环理论到分形几何学、混沌动力学,复杂性科学已经形成显著区别于传统科学的思想、理论与方法体系,获得了一系列举世瞩目的重要成果,并对近代科学的思想、理论体系提出了严峻的挑战,地球科学和古老的地层学也不例外。许靖华教授关于“混杂岩原则及其在阐明 Franciscan-Knoxville 疑题时的意义(1968)”,“加利福尼亚海岸山脉的中生代地质——一种新的假说(1966)”,“圣弗兰西斯科半岛的混杂岩——典型 Franciscan 杂岩的地质新释”等一组文章,既是对传统地层学理论、方法提出的挑战,也是非史密斯地层学的奠基之作。

90 年代以前,非史密斯地层(学)一词除许靖华教授在不同场合下口头倡导外,在国内外正式文献中均未见有报道。随着造山带地质、造山带地层学研究的广泛、深入开展,非史密斯地层(学)一词逐渐见于正式文献(冯庆来,1993;罗建宁,1994;王乃文等 1994;杜远生等,1995),并分别从不同的侧面论述了非史密斯地层学的定义、研究内容和研究方法以及非史密斯地层的类型划分,为非史密斯地层学作为一个正式的学科名词的形成、传播和发展发挥了重要作用。

非史密斯地层学的思想精髓是构造搬运和构造混杂概念的确立。正因为构造搬运和构造混杂作用在造山带的广泛发育,在造山带地层、沉积地质,甚至造山带地质的研究中,必须牢记以下 5 条准则:

准则 1:地层现存叠覆关系不都服从地层层序律;

准则 2:地层现存环境相和作用相的空间毗邻关系不都服从瓦尔特相律和作用相的自身分布规律;

准则 3:地层现存产状和空间延展性不都服从地层原始水平和侧向连续定律;

准则 4:地层所含化石不都是与地层体同步沉积的,地层体的形成时代可新于地层体中化石指示的时代;

准则 5:地层现存岩性、物性及变化并不都是地层沉积特征的真实反映。

需要说明的是非史密斯地层学不是要对 300 余年来形成和建立的史密斯地层学理论、方法的全盘否定,而是要使史密斯地层学的基本理论和方法进一步扩展和深入,使长期以来研究薄弱的造山带地层工作得以快速、健康地发展。

第二节 造山带板块沉积学

一、板块沉积学概念的由来及主要研究内容

板块构造对沉积盆地、沉积作用和沉积产物的控制作用及后者对前者的沉积响应自 60 年代末以来已引起地学家们的高度重视(许靖华,1985;Dickinson,1974,1979;Reading,1978,1982),提出了许多新概念和学科名词来概括这一领域,如沉积大地构造学、大陆边缘沉积学、造山带沉积学、活动论岩相古地理等。我们认为板块沉积学(plate-tectonic sedimentology)一词最能概括这一研究领域和研究方向,其理由有三:第一,板块构造具鲜明的全球性、相关性和演化特色;第二,自全球沉积地质计划(GSGP)项目开展(1986)以来,一个立足露头、剖面、区域,着眼沉积记录的全球性、相关性和演化性的大沉积学研究正方兴未艾;第三,板块沉积学一词言简意明,概括力强,能从不同的时空尺度上体现水圈、生物圈、大气圈与岩石圈的相互耦合关系。

板块沉积学概念自 90 年代初正式提出(龚一鸣,1990,1992;龚一鸣、刘本培,1993;方国庆、张晓宝,1993)以来,已在造山带沉积地质研究中取得了初步进展。尽管板块沉积学的研究内容和理论方法涉及广泛(表 1-2),但作为其核心的研究内容是地层的沉积动力和相动力分析及建立在此基础上的层序、旋回分析(时间的)和板块沉积分区(空间的)。地层的层序、旋回特征和板块沉积分区既是沉积圈时间演化和空间分异的具体体现,也是水圈、大气圈、生物圈、表层岩土圈共同作用和相互耦合的产物。

表 1-2 板块沉积学的理论与方法
Table 1-2 Theories and methods of plate-tectonic sedimentology

	层 次 分 析				综 合 分 析		类比分析
	技术路线	研究内容	时间层次(Ma)	空间层次	内 容	方 法	
板 块 沉 积 学	区域地层分析	地层划分、对比 地层分布、分区 地层沉积类型	$>10^n^*$	中间层次	宏观与微观 特征与成因 状态与过程 时间与空间 定性与定量	非史密 斯地 层学 沉积学 岩石大地 构造学 板块构造学	将今论古 将古论古 将古论今 将地比天 将天比地
	沉积动力分析	岩石、生物和火山-沉积构造 的特征及其物理和地质成因	$<<10^n$	低层次			
	相动力分析	作用相和环境相的类型、特 征、时空结构及相互关系	$10^n \pm$	中间层次			
	层序和旋回分析	层序界面、层序、体系域和旋 回的类型、特征及其与海平面 变化和区域板块开合的关系					
	板块沉积分区	板块边界和沉积区边界的 确定及沉积区特征,板块与沉积 的控制响应关系	$>10^n$	高层次			

(据龚一鸣、刘本培,1993 改编) * $n=0,1,2,\dots$

二、造山带地层的沉积动力和相动力分析

沉积动力分析是以特征研究为基础,以作用、过程和背景分析为目的,侧重对瞬间或较短地史时期内形成的相标志和地层特征分门别类地进行深入研究。笔者认为:每一相标志和地层特征的形成均可分解为普遍的物理成因规律和特殊的地质成因条件,对同一相标志和地层特征而言,其物理成因是唯一的、相同的,具有跨时代、跨地区的普遍性、不变性;其地质成因则复杂多变,如,我们熟知的递变层理(高杂基含量的递变层理),其物理成因为密度流(非牛顿流体)的搬运和沉积作用,这种成因机理不受地质

时代、地区和环境条件的制约,这种物理成因解释也是唯一的、毋庸置疑的。其地质成因则具有多解性,就地质作用的种类而言,递变层理可反映风暴流、洪泛流、浊流、火山碎屑流等内、外力地质事件的沉积作用;其形成环境可以是陆相,也可以是海相,可以是浅水,也可以是深水等。地质成因解必须综合考虑与递变层理共生的各种相标志和地层特征及相互关系。具体的地质成因解,因时、因地等各种边界条件的不同而不同,在其他相标志缺少和区域地层的总体背景不清楚的条件下很难得出令人信服的地质成因解。沉积动力分析就是要在区域地层的总体框架下,综合分析各种相标志和地层记录特征,寻求他们的物理成因和地质成因解,为相动力分析、层序地层分析和古地理、古海洋分析奠定坚实的基础。

自从 Gressly(1838)提出相的概念以来,有关相的概念就存在不同的理解和表述,概括起来有二大类:其一,描述型相,如砂岩相、灰岩相;其二,解释型相(成因相),如浊流相、浅海相、复理石相,它们分别代表了解释型相的三个不同方面,即作用相、环境相和大地构造相。尽管复理石相、磨拉石相等大地构造相的概念由来已久,由于反映大地构造性质的特殊沉积类型有专门的概念表述,如沉积组合、沉积建造,故沉积学家们倾向于将解释型相的概念仅限定在沉积环境和沉积作用或直接诱发沉积作用的驱动机制范畴内。

作用相,是指反映沉积作用类型或直接诱发沉积作用的地质作用类型、性质的物理、化学和生物特征的总和。作用相的分布空间我们称之为作用场或动力场,作用场包括三个要素:即形态、规模和分布特征。根据作用的起因及其在时空上的变化特点,作用相可划分为事件相和正常相两大类及其细分类型(表 1-3)。

表 1-3 作用相类型划分
Table 1-3 Classification of process-facies

类 型 划 分						特 点
事 件 相	地内事件相	外力的	洪积岩相 风暴岩相	冰碛岩相 洪积相	反映气候、纬度,甚至海陆分布、行星状态	沉积作用在时间上具幕式性或突发性,作用场通常具跨环境、盆地、板块的等时追踪对比性
		内力的	爆发相 溢流相 震积岩相	热水化学岩相 稠土岩相	反映岩石圈的活动性和壳幔关系	
	地外事件相		撞击岩相 界线粘土岩相		反映天体对地球的影响	
	多因事件相	沉积的	塌积相 碎屑流相 流体化流相 液化流相	浊流相 凝缩层相 缺氧相	同一作用相可由不同的地质(天文)因素诱发或叠加	
			无沉积的	软底相 硬底相		
		负沉积的		侵蚀相或冲刷相		
正 常 相			风成相 成土相 冲积相 潮汐相 波浪相	底流相 面流相 远洋相 内潮流相 内波浪相	与沉积环境的关系较密切	沉积作用在时间上具持续性

事件相,是指那些在时间上具突发性或幕式性,在空间上具跨环境、跨区域等时对比性的作用相。正常相,是指在时间上具持续性,在空间上具较强的环境专属性的作用相。在造山带板块沉积学研究中,正确识别和区分事件相与正常相,特别是正确识别和区分内力事件相往往有特别重要的意义。因为内力事件相的类型、出现频率及随时间的演变,能动态地展示板块构造过程及与沉积作用、沉积盆地之间的关系。

大量的研究表明:不同的作用相、作用场具有不同的复发时间、能量大小、空间形态、规模和分布规