

沉积相·环境研究丛书

岩相古地理基础 和工作方法

刘宝珺 曾允孚 主编

地质出版社

沉积相·环境研究丛书

岩相古地理基础和工作方法

刘宝珺 主编
曾允孚

地质出版社

沉积相·环境研究丛书
岩相古地理基础和工作方法

刘宝珺 主编
曾允孚

*
责任编辑：马志先

地质出版社出版
(北京西四)

地质出版社印刷厂印刷
(北京海淀区学院路29号)

新华书店北京发行所发行·各地新华书店经售

*
开本：787×1092¹/₁₆ 印张：28 插页：1 字数：663,000

1985年5月北京第一版·1985年5月北京第一次印刷

印数：1—9,285册 定价：5.80元

统一书号：13038·新98

前 言

“岩相古地理学”是一门综合性很强的基础地质学科。开展岩相、古地理研究与编图工作，对发展基础地质理论和指导矿产预测、成矿远景区划工作都具有十分重要的意义。根据地质矿产部的安排，我们编写了《岩相古地理基础和工作方法》一书，其目的是为推动全国岩相、古地理研究工作的开展，向从事区域地质调查及矿产普查、勘探和承担岩相、古地理编图工作的科技人员普及基础理论和工作方法，以促进岩相、古地理研究水平的提高，加快地质矿产工作的步伐。

本书以理论和应用并重，比较系统地介绍了沉积学及古地理学的基础理论和岩相、古地理研究与编图的工作方法及实例。重点阐述了以下三方面的内容：

1. 以近代沉积学理论为基础，以沉积环境的成因标志为线索，分析剖面层序，建立沉积相模式，恢复古沉积环境。

2. 以水力学的一般原理来阐明沉积构造的形成，解释古水动力状态；根据岩石学、古生物学、地球化学及同位素地质等方法，来分析陆源区性质及古盆地的盐度、温度、深度和古气候等古地理特征。

3. 以国内一些典型实例的经验总结为基础，并吸取了国外的一些经验，较系统地介绍了岩相、古地理研究与编图工作方法，并简要阐述了岩相划分的主要依据及其对某些矿产的控制作用。

本书在基本原理、工作方法的阐述上；在对我国当前实际经验的总结和引用上，基本反映了国内外岩相古地理工作的现状。对当前工作的开展具有一定的指导意义。在方法应用上，我们主张应根据不同情况采用多种研究途径进行探索。沉积相的分析强调了野外宏观定“相”这一环节，既要有统一的要求，又要重视工作效率和经济效益。本书适用于地质生产、科研单位的广大科技人员及院校师生参考。

本书由地质矿产部岩相、古地理工作协作组负责组织编写，地质矿产部成都地质矿产研究所和成都地质学院为主要编写单位，参加编写的单位有地质矿产部宜昌地质矿产研究所、湖南省地质科学研究所、贵州省地质局区域地质调查大队、贵州省地质局科学研究所、地质矿产部第八、第三普查勘探大队。刘宝珺、曾允孚两位教授担任主编，参加编写的共18人，第一、二章由刘宝珺编写，第三章由林文球、魏沐潮编写，第四章由余光明编写，第五章由王正瑛编写，第六章由余光明、张锦泉编写，第七章由曾允孚编写，第八章由张锦泉编写，第九章按章节顺序由王宜生、吴应林、刘宝珺、沈德麒、林文球、魏沐潮、王正瑛、余光明、陈耀钦、曾允孚、张锦泉等编写，王宜生负责全章的统编整理，王立亭、熊申甫提供了本章部份章节的基本素材，第十章由吴应林、沈德麒、刘文钧、熊申甫、周棣康、叶德胜、杨昌贵、王立亭、陈士杰等编写。王宜生担任本书定稿送印前的责任编辑并协助主编参与了部分统编审定工作，崔述德负责本书插图清绘、植字的组织安排及其编辑、整饰。

罗中流、张崇贤等承担了本书全部插图的清绘，贺宏群等负责插图的植字。全书编写

的整个过程中以及初稿提交评审等阶段，得到了地质矿产部科学技术司、区域地质矿产地质司、石油地质海洋地质局，中国地质科学院，成都地质矿产研究所，成都地质学院以及参加编写单位的各级领导的关怀、重视和支持。成都地质矿产研究所的不少同志参与了书稿的抄写、打字和部份图件的贴字整饰工作。本书编写过程中还得到了地质矿产部情报研究所奚瑾秋工程师的热心帮助、提供资料并提出宝贵意见，在此一并表示衷心地感谢。

本书初稿于1983年1月由地质矿产部组织了评审。中国科学院学部委员、地质矿产部南京地质矿产研究所所长业治铮教授任评审委员会主任委员并负责主审；学部委员、地质矿产部科技顾问委员会委员关士聪总工程师，地质矿产部区域地质矿产地质司余鸿彰副总工程师，成都地质矿产研究所顾问路兆洽研究员，宜昌地质矿产研究所副所长章人骏研究员，地质出版社马志先高级工程师为副主任委员。参加评委会的还有地质矿产部袁润广、罗益清、简人初、丘东洲（代）工程师，中国地质科学院乔秀夫（代）副研究员，地质矿产部地质研究所马丽芳副研究员，武汉地质学院李树誉副教授，贵州省地质局廖士范副总工程师，湖南省地质科学研究所庄锦良副总工程师，贵州省地质局区域地质调查大队陈文一高级工程师，江西省地质局区域地质调查大队魏秀喆高级工程师，西南石油地质局综合研究大队曾学思工程师等12位委员。评委会对本书进行了反复审阅、讨论。此外，参加评审会议的28位代表也对本书提出了修改补充的宝贵意见。经过对初稿的充分讨论，使我们的修改定稿工作得以顺利地完成，在此特表衷心谢意。地质矿产部于3月2日以“办秘（1983）第18号”文批准了对本书的评审证书。

由于编写时间比较紧迫，加之编者水平和实践不够，无论在理论和方法的阐述上或对某些实例的总结概括上均感不足，错漏之处敬希广大读者不吝指教。

编者

1984年9月

目 录

前言

第一章 绪论	I
第一节 基本概念.....	1
第二节 岩相古地理学的发展简述.....	4
第三节 岩相古地理学研究的现状.....	6
第四节 我国岩相古地理学的发展与现状.....	11
第五节 岩相古地理学的研究内容、任务、方法和展望.....	13
第二章 判别环境的标志	15
第一节 流体的基本概念——有关沉积物搬运机理的基本知识.....	15
第二节 作为环境标志的物质成分.....	23
第三节 沉积岩结构的环境意义.....	31
第四节 原生沉积构造的成因意义.....	38
第五节 沉积产状的环境意义.....	50
第三章 判别环境的生物标志	58
第一节 门类生物组合、生态特征.....	58
第二节 沉积相的化石特征.....	86
第四章 大陆环境及相模式	90
第一节 残积相.....	90
第二节 坡积相.....	91
第三节 冲积扇.....	92
第四节 沙漠相.....	94
第五节 冰川相.....	96
第六节 河流环境及相模式.....	98
第七节 湖泊环境及相模式.....	105
第八节 沼泽环境及相模式.....	115
第九节 大陆火山碎屑沉积.....	117
第五章 海陆过渡环境及相模式	120
第一节 三角洲环境及相模式.....	120
第二节 河口湾环境.....	131
第三节 陆缘近海湖环境.....	133
第六章 海洋陆源碎屑沉积环境及相模式	138
第一节 无障壁型海岸亚环境及相模式.....	139
第二节 有障壁型海岸亚环境及相模式.....	145
第三节 浅海陆棚亚环境及相模式.....	154
第四节 次深海、深海沉积亚环境及相模式.....	160

第七章 海洋碳酸盐沉积环境及相模式	176
第一节 海洋碳酸盐沉积环境特点.....	176
第二节 海洋碳酸盐沉积相模式.....	177
第三节 碳酸盐沉积相分述.....	185
第四节 碳酸盐沉积相模式的变化.....	195
第五节 碳酸盐沉积层序.....	200
第六节 碳酸盐与陆源碎屑的混合沉积.....	206
第八章 古地理分析	210
第一节 概述.....	210
第二节 陆源区的分析.....	210
第三节 古盆地的古地理分析.....	216
第四节 古气候分析.....	226
第五节 古流向分析.....	228
第六节 古构造分析.....	229
第九章 岩相古地理研究与编图工作方法	238
第一节 目的要求.....	238
第二节 工作准备.....	240
第三节 野外工作.....	241
第四节 室内工作.....	254
第五节 岩相、古地理图的编制方法.....	331
第六节 沉积岩的分类与命名.....	370
第十章 岩相、古地理研究与编图实例	375
第一节 西南地台区三叠纪成盐期岩相、古地理研究.....	375
第二节 湘、桂、粤区中泥盆世末期岩相古地理及含矿性研究.....	381
第三节 湘中中泥盆世棋梓桥期岩相古地理及其与层控铅锌、黄铁矿床 关系的研究.....	387
第四节 贵州中泥盆世岩相古地理研究与编图.....	397
第五节 鄂尔多斯盆地北部早二叠世山西组岩相古地理研究与编图.....	404
第六节 贵州早二叠世岩相古地理研究与编图.....	411
第七节 贵州赫章铁矿山地区中泥盆世岩相古地理与菱铁矿关系的研 究.....	425

第一章 绪 论

地球表面约有75%的面积覆盖着沉积岩，它与人类的生活有密切关系。这不仅仅是因为它直接构成了人类的生活环境，更重要的是其中蕴藏着大量的种类繁多的极其重要的矿产资源，如煤、石油、各种金属和非金属矿床。其中有一些是只赋存于沉积岩之中。为了搞清楚这些矿床的赋存规律并进而扩大其开采范围，人们开始注意研究沉积岩的各种性质及其与矿床在成因上及空间上的联系。随着研究的不断深入，地质学者们发现，古环境或古地理不仅控制着沉积层状矿床的形成，而且也控制着许多“热液矿床”的形成与富集。因之，研究沉积岩（及沉积矿床）形成时的自然地理环境就是很重要的了。同时重建沉积岩形成时的古地理也是沉积学本身的重要内容。

第一节 基本概念

环境是从地理学中引进来的概念。地理学家把地球表面划分出若干不同的地理景观单位，如山脉、河流、湖泊、沙漠、海洋等。这就是所谓的自然地理环境。沉积学者所研究的是物质沉积时的自然地理环境，称之为沉积环境。按照 R. C. 塞利(R. C. Selley, 1976)的意见，沉积环境乃是“在物理学上、化学上和生物学上均有别于相邻地区的一块表面”。也就是说，象沙漠、湖泊、三角洲等这些环境（自然地理景观单位）都是可以划分出来的一块块地球表面。

在划分环境单位时，可能是根据上述三项标准中的一两个或几个。这些划分标准包括：

物理学的：风、波浪和流水的速度、方向和变化，气候和风化作用，温度的变化，降雨量、降雪量。

化学的：覆盖着沉积环境的水的成分，汇集区的岩石的地球化学性质。

生物的：包括动物和植物两类生物的作用。

由此可见，环境是表述现代的概念，指的是现代的一块地球表面。其单位可以根据上述三项沉积参数（标准）进行划分，对于古代（某一时代）来说，古环境乃是古代曾经出现过的地球一块表面。然而沉积学者所面临的（其重要研究对象）乃是沉积岩（物），它是古代沉积环境的遗迹。古代沉积环境已不能直接观察到，因此，就引入了“相”和“岩相”的概念。

在地层学和古生物学的研究中，早已注意到了一方面有一些生物化石只存在于一定的地质时间间隔内；另一方面也有一些生物虽然生存的时间很长，但只出现在一定类型的岩石中。波里沃斯特(Prevost)考虑了这种情况，在1838年提出用“组”(formation)来表示岩石地层单位。他指出，不同的“组”可能形成于同一地质时代，同样的“组”也可

出现在不同的地质时代。

几乎在同一时间，瑞土地质学家格列斯利 (A. Gressly, 1838) 在阿尔卑斯的研究工作中亦获得同样的结论。他首先采用“相”这个术语表示岩石的单位，他认为具有相同的岩石学特点和古生物学特点的岩石单位，才能作为一个“相”。格列斯利对于“相”的概念的说明原文如下：“首先，有两个主要的事实可以标示我所称之为地层单位的相 (facies) 和象 (aspects) 的诸变化的总和：一方面是具有有一定岩性特点的地层单位到处都是与相同古生物群相联系的；另一方面常见于其它相中的化石属和种在这个生物群中是没有的”。

“相”这个术语虽然是早在1669年由丹麦地质学家斯坦诺 (N. Steno) 引入地质文献中的，但是赋予沉积学的近代概念还是从格列斯利开始，因为斯坦诺只是用“相”来表示“时期”和阶段。在19世纪中叶，地质学家已经把不同的岩石单位称之为“组”或“相”了，但是在此以后，这两个术语的使用逐渐区分开来，“组”的用法有比较严格的限制，而“相”则在比较广泛的意义上被人使用。到现在，“组”这个术语在地层学中已有严格的和明确的定义，在沉积学界中已再没有人提起波里沃斯特原来的定义和用法了。

但是，由于沉积学中对古环境分析的工作日益发展，当把环境的含义加进来以后，“相”这个术语的使用范围就进一步扩大了。莫西索维克斯 (Mojsisovics) 早在1879年就写到：“在格列斯利与奥佩尔 (Oppel) 之后，人们现在习惯上用相这个术语表示在不同环境下所形成的沉积”。也就是说一定的沉积环境均有其相对应的相。例如：交错层砂岩相 (陆棚浅滩环境)、生物丘石灰岩相 (生物礁环境)、黑页岩相 (停滞深水环境)、粒序砂岩相 (浊流环境) ……等。

塞利 (1970) 提出从五方面来限定“相”：即沉积岩体的几何形态、岩石学特点、古生物特点、沉积构造特点和古流向特点。

由上述可知，目前世界上大多数学者都趋向于把“相”理解为“沉积环境的古代产物” (塞利, 1976)，亦即专指环境的“物质表现”，这样比较接近它的原始涵义。因之，可以有红层相、蒸发盐相、复理石相、黑页岩相这样的名称。

苏联一些学者对于相的理解和术语的使用与上述不同。例如任竹日尼科夫 (1957) 的定义为：“相乃是一定岩层 (层) 的生成和沉积环境，这个环境是根据岩性特征、生物化石、地球化学差异和其它特征推断出来的”。从这个定义可以看出，他显然把相与沉积环境等同起来了。鲁欣 (Л. Б. Рухин, 1953) 的定义是：“相就是能表明沉积条件的岩性特征和古生物特征的有规律综合。因此，相是沉积物形成条件的物质表现”。鲁欣的定义看起来强调“物质表现”，与“相”的原始定义较为吻合，但是他的分类表中用的却是环境分类。

由上述可见，相的概念不应与环境等同，它是环境的物质表现，因之它主要用于古代沉积。一定的环境有其特定的物质表现，即“相”，其在生物学的综合表现即“生物相”，在岩性方面的综合表现即“岩相”。

在沉积学中还常用模式或沉积模式这一术语，波特和裴蒂庄 (Potter and Pettijohn, 1963) 对沉积模式所下的定义是：“沉积模式实质上是描述了再现的沉积作用的面貌”。沃克 (R. Walker, 1978) 认为沉积模式乃是对沉积特征的一种全面的概括。我们认为这种概括应包括两方面，一是其特征的概括，二是对其形成机理的概括。因之，模式是具有解释性的。例如有人把某一红色岩层解释为海陆过渡带形成物，即海陆交互模式；或有人

解释为河流形成的，即河流模式；或有人解释为湖泊沉积物，即湖泊相模式。由于它是解释性的，故所制定的（或所提出的）模式可以用文字表示，用公式表示，或用各种图件表示。

沉积模式可以清楚地解释古代沉积的机理，并在实际上可指出一些规律性（如砂体或矿床的分布规律），其形式多样，简单，明确，因而常被人们所采用。

岩相的概念已如上述。古地理亦即指古代的地理景观，或古代环境。“岩相、古地理”一词在我国流传很广，泛指有关相及古环境方面的内容。所谓岩相古地理研究亦即指有关相和古环境方面的研究，事实上，在不同情况下，这种研究可以有不同的内容。例如在小比例尺大面积范围内，详细研究岩相不大可能，故一般只作古地理研究，这与工作要求也是符合的。因为在这种情况下，只对一般的海陆分布有所了解就可以了。而在大比例尺小面积范围内，则一般只能做岩相的研究，因为这个面积范围很小，它可能完全处于一个地理景观单位内。但岩性组合（岩相）则通常会有程度不等的差异性，亦即在较小的范围内，岩相经常会有所变化的。

环境即是地理景观，其分类亦按地理景观，建议的分类如表1—1。

表 1—1 沉积环境的分类

大陆环境	残积带 坡积带 沙漠 冰川 河流 湖泊 沼泽 冲积扇		
	三角洲 河口湾		
过渡环境			
海洋环境	滨海(海岸)	有障壁海岸(局限海)	潮坪、障壁岛、泻湖
		无障壁海岸(广海)	后滨、前滨、近滨
		生物礁、滩 浅海陆棚 次深海 深海	

表 1—2 常见的相及其形成环境

相	环境	
红土相 热灰流相 泥石流相 沙漠相、石漠相 冰碛相 冲积相 红层相 蒸发岩相(内陆萨勃哈) 黑页岩相, 淡水介壳相, 淡水灰岩相 泥炭沼泽相 扇砾岩相, 筛积相, 磨拉石相	残积带 火山 坡积带 沙漠 冰川 河流 河湖 盐湖 淡水湖 沼泽 冲积扇	大陆
顶积相, 前缘斜坡相(河口砂坝相) 前三角洲相 潮汐砂坝相	三角洲 河口湾, 入潮口	过渡区
泥坪相, 砂坪相, 混合坪相 萨勃哈相, 藻席相, 膏盐相(蒸发岩相), 白云岩相 鲕状灰岩相, 礁灰岩相, 塌积相 席状砂岩相 黑页岩相, 笔石页岩相 浊积岩相, 复理石相	潮坪, 泻湖 台地浅海 海滩 停滞深水 次深海, 深海	海洋

相是环境的物质表现，例如砂岩可以在各种环境中堆积形成（河流、湖泊、沙漠、海洋……），粉砂岩和泥岩同样也可以在各种环境中形成。而同一环境中又可沉积出几种类

型的沉积物。因之，很难制定一个理想的“相”的分类，然而“相”这个概念又是沉积学和古地理学中经常要用到的。它有许多常用的术语，在广泛的领域内流通使用。表1—2列出了文献中常见的相的名称及其所代表的环境。要指出的是，各种环境中的沉积类型是多种多样的，绝不仅限于表1—2中所列的几种。例如在碳酸盐岩或某些陆源沉积岩中，也常

把一些岩石的成因类型称之为“相”或“微相”。

在我国，长期以来还习惯用海相、深海相、浅海相、河流相、湖泊相……等这样的名词，即在“相”之前冠以环境的名称。用这样的名称表示古环境的沉积特征，例如用“浅海相”来表示古浅海环境所造成的一套特征的沉积组合（包括岩性、古生物……等的综合特征）；用“河流相”表示古河流的特征的沉积组合，等等。我们应该了解，“河流环境”与“河流相”这两个名词的意义是不相同的。前者表示现代的地理景观单位，而后者则常指古代环境中形成的一套沉积组合。

至于模式，则因其主要是解释性的概念，虽应用很广，更难做出分类。

第二节 岩相古地理学的发展简述

岩相古地理学脱胎于沉积学，它的发展与沉积学的发展有密切关系。1830年莱伊尔出版了他的划时代的著作《地质学原理》，他所确立的现实主义原则是岩相、古地理学最重要的基础。按照这个原则，沉积层的形成作用可以在现在正进行的作用的基础上以及实验的结果来解释。1905年盖基（Archibald Geikie）提出“现代是打开过去的钥匙”，进一步发展了现实主义的原则。

最早应用现实主义原则的是阿加西兹（L. Agassiz, 1840），他自幼生活在瑞士，曾观察过阿尔卑斯的冰川沉积物，以后到剑桥、马萨诸塞等地，发现许多地方都有类似现代冰碛的物质，但该地并无冰川存在。因之他认为这些沉积是过去冰川作用的产物，并把冰川活动的时期命名为更新世（Pleistocene Epoch）。更有成就的是德人瓦尔特（1860—1937），他发展了研究现代沉积的实用方法，如沙漠、现代碳酸盐陆棚、现代河流，都当作解释地质历史的依据。瓦尔特旅行了世界很多地方，对现代环境作了观察，写了很多文章，特别是对红海南部海湾亚喀巴（Aqaba）、澳大利亚及北美得克萨斯西部的沙漠的研究，很有意义。所发表的著作是用现代环境解释古代沉积岩形成条件的先驱性文章。瓦尔特首先指出相变的规律，成为沉积学中的相律。

1837年及1842年达尔文曾研究过珊瑚礁，并用之判别古气候。1877年奥克西纽斯（C. O. chsenius）研究过现代蒸发盐，1891年莫莱和伦纳德（Murray and Renard）研究了深海沉积物，都成为很有意义的著作。索尔贝（H. C. Sorby）是沉积学界的一位重要人物，他一生对沉积学做出很大贡献。1850年他把岩石显微镜法引入沉积学的研究中，关于石灰岩的微观岩石学的文章是他的代表作。沉积学界的另一位巨匠吉尔伯特，在1877年发表了亨利山和1890年关于邦涅维尔湖的研究文章，可以说是关于大陆沉积作用的里程碑性的著作，对后世影响极大。

葛利普（1913）是著名的地层学家，但他在岩相古地理学的研究中也起了不小的作用，瓦尔特的观点在当时并未得到重视（甚至包括他的学生在内），只是由于葛利普的提倡，瓦尔特的观点才得以被后世所接受。

在第二次世界大战前的二十世纪初叶，新的科学的沉积学获得了巩固和发展，出现了一些总结性的著作。杰出的沉积岩石学家童豪夫（W. H. Twenhofel）继承了瓦尔特和葛利普的事业，他所著的《沉积作用论文集》（1962）概括了以前的沉积学中的重要进展。1939年他所发表的《沉积作用原理》，从方法上论述了现代沉积环境的特点，提供了解释古

代地质历史的工具。特拉斯克 (Trask, 1939) 的《现代海洋沉积》是另一部具有重要意义的总结性著作。

虽然早在1881年托列特 (J. Thoulet) 就把重矿物分离的方法用以研究撒哈拉沙漠沉积, 但利用重矿物分析的结果来判断沉积物源区, 则是到1902年才由托马斯 (H. H. Thomas) 开始的, 此后重矿物分析即成为岩相古地理研究中的重要内容。

由伍登 (J. A. Udden)、温德华 (C. K. Wentworth) 等人提出的碎屑颗粒的粒度分级很有意义, 以2的幂次作为划分碎屑沉积颗粒的粒级界限, 符合流体力学规律及颗粒的对数正态分布规律, 已被多年的实践所证明。法人卡耶对沉积岩所作的显微岩石学的研究, 对后来工作的深入有很大影响。

关于碎屑沉积作用的机理问题, 早在1879年多布里 (A. Daubree) 即进行过河流的水力学研究。1914年吉尔伯特 (G. K. Gilbert) 为了解决美国加利福尼亚州砂金矿的水力开采问题, 进行了水槽实验, 它是最早的有关床沙形体与流动动态关系的研究。1922年米尔纳 (H. B. Milner) 在其著作中, 着重叙述了沉积岩中用重矿物研究陆源区和地层对比的问题, 对后来很长时间内研究有重要影响。另外, 值得提出的是, 在二十世纪初叶, 国外已出现了用英文、德文和俄文出版的专业性杂志。

第二次世界大战开始以后, 由于资源, 特别是能源资源的需要, 也促使沉积学及岩相、古地理学迅速地发展。新技术、新方法也不断引进本学科领域 (如X-射线衍射法的运用, 粒度分析中数理统计法的应用等)。

1935年裴蒂庄首次绘制出沉积矿物成分等值线图; 1949年出版了《沉积岩》, 对沉积岩分类的研究并联系到地层与大地构造环境有极好的论述, 也是当时国外最为完备的一本沉积岩教科书。1940年美国哈尔博蒂 (M. T. Halbouty) 等人详细研究了墨西哥湾沿岸的第三纪沉积, 包括物源、海水进退、古岸线、地层的尖灭与地层圈闭的形成以及沉积等厚线图的使用、含油气远景评价等。

1945年克鲁宾对沉积环境所作的定量研究中, 使用了碎屑的圆度和形状, 指出边界条件、颗粒、能量为沉积体系中的三个主要因素。德人布林克曼 (R. Brinkmann) 和克鲁斯 (E. Cloos) 曾第一次系统地用古水流方向和岩相分析研究了沉积盆地。

在童豪夫的影响下, 美国除了致力于古地理研究外, 开始认识环境与岩相, 并联系到构造控制。1947年达普洛斯 (E. C. Dapples) 与克鲁宾、史洛斯 (L. L. Sloss) 探讨了岩性组合的大地构造控制。以后, 莫尔 (R. C. Moore) 又在研究地层的基础上探讨了岩相的意义及相变。克里宁 (P. D. Krynine) 对于沉积分异作用与地槽演化的关系、沉积岩分类、红层的成因, 以及储油砂岩的岩石学特征, 都有相当的研究。

在沉积作用的机理方面, 巴格诺尔德 (R. A. Bagnold) 对风携带砂的研究比较突出。1936年谢尔兹 (A. Shields) 关于水力剪切与颗粒运动关系的研究, 对以后的研究有较大的影响。

1950年以后沉积学和岩相古地理学进入了现代的研究阶段, 奎恩 (P. H. Kuenen) 的浊流理论的提出是沉积学中里程碑性的事件。其后鲍马 (A. H. Bouma, 1962) 在奎恩的指导下研究了浊流沉积复理石沉积物, 指出了有名的“鲍马层序”模式。七十年代沃克 (R. G. Walker) 与穆蒂 (E. Mutti) 又作了浊积相和相的共生方面的研究。

这个阶段内, 大量的高水平的总结性专著出版。如道格拉斯 (D. J. Doeglas, 1951)

的《沉积岩石学到沉积学》，斯特拉霍夫 (H. M. Страхов) 的《沉积成因理论基础》、裴蒂庄和波特 (1963) 的《古水流和盆地分析》、布拉特等 (H. Blatt et al, 1972) 的《沉积岩的成因》、莱奈克和辛格 (H. E. Reineck and I. B. Singh, 1973) 的《陆源碎屑沉积环境》、恩格尔哈特、费希特鲍尔和米勒 (W. V. Engelhardt, H. Füchtbauer and G. Müller, 1974) 的《沉积岩》三卷集、里丁 (H. G. Reading, 1978) 的《沉积相与沉积环境》、弗里德曼与桑德斯 (G. M. Friedman and J. E. Sanders, 1978) 以及费尔布里奇 (R. W. Fairbridge) 等编的《沉积学百科全书》，都有重要意义。

福克 (R. L. Fork, 1959, 1962) 发表了关于石灰岩的分类的著作，在碳酸盐岩沉积相研究方面是一个重要的突破，自此以后，关于碳酸盐岩石学及沉积环境的研究即获得了突飞猛进的发展。比较重要的著作有奇林格 (G. V. Chilingar) 等人编著的《碳酸盐岩》、巴瑟斯特 (R. G. C. Bathurst, 1971) 的《碳酸盐沉积物及其成岩作用》……等。

在此时期内，大规模开展了近代沉积的研究，并取得极其重要的成果。如费斯克 (H. N. Fisk) 关于密西西比河三角洲的研究，伊令 (L. V. Illing) 等关于巴哈马滩的研究，爱莫利 (Emery, 1956) 等对波斯湾的研究……等。近年来对于深海沉积物的研究，由于联合海洋机构 (即“深部地球取样联合海洋学会”简称 JOIDES) 进行的深海取样计划，由格罗马 (Glomar) 钻井船在世界各大洋进行多航次深海钻探，采得大量海底岩样而得到惊人的进展。这支万吨级钻探船上集中了许多国家的研究人员，合作了较长时间，其中也曾包括许靖华教授在内，对海洋学本身及海底构造以及确立板块构造理论，都有着重要意义。

第三节 岩相古地理学研究的现状

可以分为相标志与相——环境 (或模式) 两个重要的方面来叙述。在相标志方面最重要的要算是沉积构造的水力学解释了。

1960年前后，在美国，地质学者和水力工程学者之间进行了极有意义的交流，对沉积学者深入了解层理和波痕形成的水动力条件很有启发。1962年西孟斯和理查孙 (Simons and Richardson) 有成效地把水槽实验中水流动态的概念予以公式化，并用来解沉积构造的层序。随后出现的一篇最完善的著作是哈姆斯等 (Harms et al., 1965) 的关于里奥格朗德河的现代沉积的著作。1964年美国经济古生物学家和矿物学会 (简称“SEPM”) 开了一个讨论会，对以后的研究工作有很大影响。根据西孟斯等 (1962) 的实验，当流速加大、深度减小时，则非粘性床沙可出现无运动平坦床沙—沙纹—沙垅—过渡区—平坦床沙—逆行沙波—冲坑和冲槽的床沙形体顺序。1963年卡伯特和考文在实验中，发现了一种属于沙纹与沙垅间的过渡产物，名之为沙浪。以后又由波拉特和史密斯 (1972) 等描述。1975年索沙德列出了沙垅与沙浪的区别特征。沙纹的迁移形成沙纹交错层及上叠沙纹交错层；沙垅形成大型槽状交错层；沙浪则形成大型板状交错层。

流态的概念及雷诺数和福劳德数的概念引进沉积学中后，大大促进了对沉积构造的水力学解释及形成机理的研究。在水力学中，流态常在两种不同的方式上应用。广义的是指许多不同的流动类型；狭义的是专指水槽 (河床) 中的流动，亦即指具有砂或砾质的床沙。在广义的情况下，用动态来区别两种 (或多种) 流动，如从层流向紊流的过渡 (以某临界雷诺数为标志)；从临界下流动向超临界流动过渡 (以 $F = 1$ 为临界值)。罗伯逊和罗士 (1941)

把以上两对结合起来，共分出四种明渠流的动态。1956年巴格诺尔德又分出了两种颗粒流类型——粘性流和惯性流。

沉积学者常是在狭意上使用流态概念的，很多人做过流动条件下床沙形体顺序的观察。各种不同的床沙形体的水力学临界值，曾被许多人研究过。艾伦(Allen)编制的包括了威廉斯(1967)的资料的图解曾被很多人引用。1975年索沙德发表了不同粒度的床沙形体的深度——速度图5幅，以及根据前人资料综合出来的粒度——速度图2幅。流动动态的概念目前已广泛用于垂向沉积剖面上沉积构造顺序的解释，但也存在一些困难，主要在于：(1)实验室是在“平衡流动”状况下制定的流态，而自然界是冲刷——沉积速度变化很快的条件；(2)动态的概念只是来自规则小——中型的单向水流形成的床沙形体，而自然界是大规模的或是波浪及振荡性水流造成的；(3)一定类型的构造可有几种或不肯定的解释；(4)非明渠的流动(如密度流)可能不符合动态的临界性质。

粒序层构造是非牵引流流体造成的另一种类型的层理构造。1953年奎恩描述了最常见的粒序层理。粒序层理可能以不同方式形成，包括钻孔生物的活动(Rhoads和Stanley, 1965)和飓风效应(Hayes, 1967)。莱奈克(1972)报导过潮坪沉积物中的厚度 $<1\text{mm}$ 的粒序层，然而粒序层理最常见的还是在浊流和其它密度流沉积中。1964年巴塔卡伊和史密斯研究了火山碎屑岩中的逆粒序构造，随后培蒂加斯考恩用巴格诺效应解释了泥石流中的逆粒序。1968年费希尔等用伯诺利原理解释了逆粒序的形成机理。

除上述而外，近年来沉积构造的研究方面还应提到以下几项成果：

- (1) 发展了工程人员所不做的实验，如对于粒序层理、槽模形成机理的研究；
- (2) 床沙形体的数学描述，如诺丁等(1966, 1971)、肯尼迪(1971, 1974)等人致力于光谱分析的研究，取得了一些效果；
- (3) 野外观察与非平衡效应的研究(因为小型的室内水槽实验不能满足要求)；
- (4) 沉积埋藏后由于泄水作用而产生的诸如包卷层理、碟状构造、碎屑岩脉等的泄水构造，虽不是同生构造，但它亦能指明沉积环境，这方面1975年已由劳埃(Lowe)做了很好的总结。

沉积岩中的定向组构，很早就引起人们的注意，五十年代苏联一些研究人员的工作(Вассоевич和Рухцн)，都说明沉积组分的定向性对于研究古地理的重要性。它对于查清物源区、古地形、古流向及古流动性性质有重要意义。近来由于海底扩张和板块学说的发展，查明物源及流向的课题又获重视，它可以作为大陆漂移的证据，並有助于勾划大陆的轮廓。1970年比加里拉发表的“大陆漂移与古流向分析”一文中，对非洲与南美之间古流向所作的比较是一个很好的研究实例。

砾石的定向性曾被很多人研究过，约翰逊(1965)等发现冲积的扁平砾石具叠瓦状排列，向上游倾斜 $15-30^\circ$ 。基尔斯顿(1958)发现，在干谷中倾角可达 50° 。不少人对于浊流砾石、海滨砾石、长形砾石及长形生物的定向性(Füchtbauer, 1974; Seilacher, 1960等)、平底上和不规则底上砾石的定向性(Brinkmann, 1955)作了研究。

对砂粒的定向性进行研究的曾有奥尼昂斯和米德尔顿(1968)、斯波兹(1964)……等。研究的范围限于长/宽比 >1.3 或 >1.5 的颗粒，其定向性的规律与砾石的相似。冲积砂中多具叠瓦，海成砂中常发育一种不太明显的横向极大值，快速沉积的砂粒的横向定向特别明显，浊积岩中则可有各种不同的定向……等等。

交错层的定向不仅能指示流向，而且可以根据露头上所测数据计算出来的方差判别其形成环境。布林克曼（1933）首先比较了各种不同河流沉积中交错层的标准偏差。以后汉勃林（Hamblin, 1958）对现代河流进行了研究。江斯特（Jungst, 1938）指出过几种主要环境（河流、三角洲、浅海）沉积中交错层的方位变化范围。佩尔蒂埃（Pelletier, 1958）总结了风成交错层的标准偏差与冲积物中的差别。

在大陆相方面近20年以来，成就最大的是关于河流沉积的研究，五十年代即出现不少有关河床类型及冲积作用的文章（Sundborg, 1956；Leopold和Wolman, 1957等）。1962年道格拉斯给两种端元河流——辫状河及曲流河下了定义，按照他的意见，辫状河应该是流量及流速变化大、坡降陡、下切侵蚀作用强、主要微地貌单元是心滩；曲流河的特点是流量及流速变化小、坡降缓、侧向侵蚀作用明显、主要的微地貌是边滩。

道格拉斯（1962）所提出的关于法国砂质辫状河的论文是沉积学中的重要参考文献。列昂波德等（1964）、拉斯特（1972）以及史密斯（1970, 1971）等人对辫状河的流速范围和流动型式都进行过讨论。河流的辫状性质是由大小不等的暂时性砂坝（心滩）造成的。切尔齐（1972）、史密斯（1974）曾按形式的不同对砂坝进行了细分，有些砂坝的形成和发展是十分迅速的，史密斯所报导的普拉特河下游的砂坝的寿命大约4—5天。辫状河砂坝或心滩中的层理及垂向层序（剖面结构）也曾由许多人研究过（Rust, 1972；Smith, 1971；Harms和Fahnestock, 1965, 等），如平行层理、交错层理、逆行沙波层理和冲刷——充填构造都很特征，指点是高流态为主。

曲流河模式是冲积相模式中研究得最好的一种，最成功的例子如密西西比河下游（Fisk 1944, 1947）、布拉左斯河（Bernard等, 1962, 1970）、恩德利克河（Bluck, 1971）和沃巴什河下游（Jackson, 1973, 1975）等。1965年艾伦对曲流河的流动体系和水力学做了详细描述，1964年他还提出了著名的向上变细的层序，它在古代沉积剖面中也得到证实。到现在尚为大家所引用。

1970年（麦戈文和加尔纳）区别出两种搬运性质的河流（包括辫状河与曲流河）——推移质搬运的河流与混合搬运的河流，也是很有意义的。1966年穆地斯图亚特在研究斯匹茨卑尔老红砂岩中冲积相的特点时，提出高弯度河与低弯度河的区别特征，曾为很多人所引用。现代砂质及砾质低弯度河如尼日尔河（Nedeco, 1959）、布拉马普特拉河（Coleman, 1969）、黄河（钱宁, 1961）以及南美、西伯利亚许多河流，都被详细研究过。

冲积扇是一种特殊的相，组成它的沉积物中，除了牵引流沉积外，尚有许多块状流沉积，如筛积物（Hooke, 1967）、泥石流、颗粒流等沉积物，因之引起沉积学者的重视。有关冲积扇的形成过程、沉积特征及垂向层序（向上变粗）、曾由虎克（1967、1968）、丹尼（1967）、巴尔（1972）、斯皮令（1975）等详细研究过。

已发表的有关湖泊相的研究文章不多。比较重要的有布莱德利（1948, 1963）、哈钦森（1957）、别德勒（1974）、皮卡德等（1972, 1973）的著作。国外研究得较好的有关现代湖泊方面的文章，所涉及的问题包括水化学性质、湖水温度、分层、水位变化、湖水运动和流动体系以及沉积物性质和沉积机理……等。例如，1957年哈钦森的湖泊分类，仍是目前应用最广的分类。堀江正治领导的小组目前正在琵琶湖进行1500米深的湖中取芯研究，已出版专集若干卷，都很有参考价值。对于古代湖相沉积研究得较好的有美国西部的绿河组（始新世）、北美东部的三叠纪内陆断陷盆地、加拿大沿海地区的晚古生代盆地、苏

格兰东北部泥盆纪的奥斯汀盆地等。1972年皮卡德等评论了古代湖泊相沉积的鉴别标志,某些作者对湖泊沉积旋回的研究 (Van Houten, 1964; Picard等, 1968) 以及对某些盐湖的研究 (Surdam和Wolfbauer, 1975) 等, 都很有意义。

与河流相相比, 关于冰川沉积的研究, 是研究程度较差的一个课题。冰碛是19世纪用来指欧洲和北美广大区域含有各种类型岩石的巨大块石的一种沉积物。对它的研究涉及到冰川的理论, 亦即关于这些堆积物的成因, 在接受了冰川的学说以后, 才算解决。二十世纪五十年代用冰川学说论证古代岩系中的冰碛岩 (混屑岩mixtite)。当浊流学说出现以后, 对混屑岩的成因有了另一种不同的看法, 认为是海底滑动和块体流动造成的 (Creswell, 1957)。混屑岩现在能以非冰川机理阐明, 而冰川成因的混屑岩则不能全依靠岩石的结构来论证 (Dott, 1961)。有一些地质学家曾企图确定出冰川成因的混屑岩的标志 (如Harland, Herod和Kransley, 1966; Flint, 1975), 如分选不好, 有外来岩屑、砾石或铺盖岩面上有擦痕、倾向延伸广, 以及纹层状页岩中类滴石等。由于冰川环境难以接近, 故不易找到一个令人满意的有关其沉积作用的普遍理论。而且由于它流动缓慢, 需要长期观察才能作出有关其机理的结论。

对于现代冰川的研究, 涉及到其流动、热态 (thermal regime)、物质平衡、环境分带、作用过程等问题。克罗威尔等 (1972) 讨论过许多国家的冰川沉积 (如南非的Karoo盆地等), 加利和阿麦德 (1961) 所提出的冰川海洋模式, 曾由里丁和沃克 (1966) 应用于古代沉积, 以后又被不少人广泛应用。有关冰湖沉积曾有阿什利 (1975) 等研究过, 关于冰水冲积环境有帕莱斯 (1973) 等的文章。

风的搬运与沉积作用曾经很多人研究过 (Scheidegger, 1961; Williams, 1964), 而风成的主要形成物——沙纹和沙丘则更是讨论的重点。1963年萨尔分出了两种类型的沙纹 (砂质的和砾质的), 而研究沙丘的文章就更多了 (如Mckee和Tibbitts, 1964; Morton, 1961等)。1974年斯皮令列举了沙丘的内部构造, 1977年洪特尔描述了小型沙丘层理的基本类型……, 都是很有价值的。

有关沙漠中流水作用的研究, 主要指的是某些冲积扇, 或短时的洪泛作用, 如北非和阿拉伯的干谷, 1967年澳大利亚中部的洪泛等均有研究 (Williams, 1970等); 沙漠湖和内陆萨勃哈亦有报导 (Clennie, 1970), 然而最多的是关于海滨风成沙丘的研究。至于古代沙漠沉积物的鉴别, 应提到格仑尼 (1970) 的全面总结性文章, 也有不少人个别地区的某些古代沙漠沉积做了较深入的研究, 如北非和阿拉伯的尼比亚型砂岩 (Mckee, 1962; Busson, 1967)、欧洲二叠纪风成砂岩 (Glenme, 1972)、欧洲西北部三叠纪末的风成沉积 (Thompson, 1969)、美国西部侏罗纪的风成沙丘沉积 (Poole, 1964; Spearing, 1974) 等。

关于海相沉积的研究, 近20年以来取得飞跃的进展, 在海岸方面有关潮坪和海滩的论文特别多。例如在潮坪方面所研究的内容涉及到潮汐流的性质、作用、其搬运和沉积作用、潮坪的地貌、沉积物类型、古代潮坪沉积的鉴别……等。目前研究得较好的地区有荷兰的瓦登海、德国的西北海岸、英格兰东海岸的沃什湾、加拿大芬迪湾的米纳斯盆地、不列颠哥伦比亚的边界海湾、澳大利亚的北部海岸和墨西哥邻近科罗拉多河三角洲的下加利福尼亚地区。1975年出版的由金兹堡主编的《潮汐沉积》一书是一本极为全面的有代表性的论著 (包括瓦登海)、多列特等 (1965) 关于法国的圣米耶尔以及芬迪湾的论述、鲍尔 (1967)

关于佛罗里达和巴哈马碳酸盐潮坪的论述……等，都是很有价值的文章。由于海洋学中关于海岸动力研究的进展及其成果的引进，也大大促进了海岸和海滩沉积的研究。无障壁（以海浪作用为主）海岸的动力分带，曾由布柏仑宁克梅尔（1973）、克里夫顿等（1971）、英格尔（1966）和克马尔（1971）等提出，现已引用到沉积相的研究中。各带（滨外带、破浪带、激浪带、冲洗带）的动力状况、侵蚀、搬运与沉积作用亦经布柏仑宁克梅尔等详细讨论过。不少人曾研究过近岸沉积的特点及形成作用（如Cliffon等，1971），还有些人做过实验室模拟（Rector，1954等）。关于浅海陆棚沉积作用的研究，也扩大了人们的眼界，如斯皮令（1974）所描述的奥陶纪St. Peter砂岩，提到浅海陆棚的悬浮降落沉积、海底席状砂沉积、浅滩沉积和暴风浪沉积。1970年肯杨等关于欧洲陆棚的研究、1965年艾伦关于尼日尔陆棚的研究、1975年斯皮令关于浅海砂的论述以及斯坦利（1969）关于大陆边缘沉积的专著都是很有价值的。特别值得提出的是近年来对于高纬度海域（如南极地区）的陆棚沉积作用的研究，取得了重要的成果。

关于半深海及深海沉积的研究，近年来取得了重大突破，其中特别重要的是关于浊流和等深流沉积的研究。浊流理论的提出是地质学中的里程碑性的事件，研究的内容涉及到浊流的性质、动力学、流动状况、海底地形、浊流的分布、地质作用、形成机理、和浊积岩的辨认标志，以及世界大洋大湖中浊积岩的特点等。

1965年西孟斯以及沃克采用实验方法研究了浊积岩沉积构造的流动动态，1973年出版的由米德尔顿和鲍马主编的《浊积岩及深水沉积》一书中收集了许多有价值的文章（例如有米德尔顿和汉普顿根据实验及大量文献所做的很好总结）。

等深流首先由赫森和希奈德尔（1966）所描述，其对北大西洋西部陆隆的等深流的研究，乃是地质学界的另一重大成就。到目前为止，已知描述得较好的海底取总样（1—10米的样品）有赫森等（1966）关于百慕大陆隆，希奈德尔等（1967）关于布莱克巴哈马外陆隆的文章。霍利斯特和赫森（1972）关于北大西洋西部等深流的研究，提供了很好的实例。艾英等（1973）曾报导，南极洋流向北越过阿根廷盆地，在南大西洋造成了陆隆下部厚度超过3000米的堆积物。古代等深积岩是魏泽尔（1969）首先描述的，1972年鲍马描述了荷兰阿代尔鲍登附近下Niesenflysch的古代等深积岩，它与胡柏特所描述的北大西洋西部的沉积相似。

三角洲可以说是沉积相领域内研究最多的一个课题。已发表有大量的很好的文章和专著，这主要是由于三角洲本身的经济意义所促使的。在这个领域中，有关现代三角洲的研究起了决定性的作用。现代三角洲中研究得最好的是密西西比三角洲和尼日尔三角洲，密西西比三角洲是一个以河流能为主的鸟足状三角洲，它由一个深水三角洲和六个次级浅水三角洲组成，经过费斯克等人研究，建立的模式已被广大研究人员引用。尼日尔三角洲与密西西比三角洲不同，它是另一种类型的三角洲。其沉积物输入量较小，波浪作用和潮汐作用较明显，艾伦（1965，1970）曾对它做了详细而全面的总结。除上述二者以外，象塞内加尔三角洲、巴生-朗加河三角洲、奥德河三角洲、尼罗河三角洲以及恒河——布拉马普特拉河三角洲等，都有很好的研究。1976年美国石油地质学家学会（简称AAPG）出版的由列布兰克编的重印文集18号（AAPG Reprint Ser. 18）中收集了历年来重要的有关现代三角洲的研究文章。

有关古代三角洲的研究文章也很多，研究得比较详细的如北美石炭二叠纪（密西西比