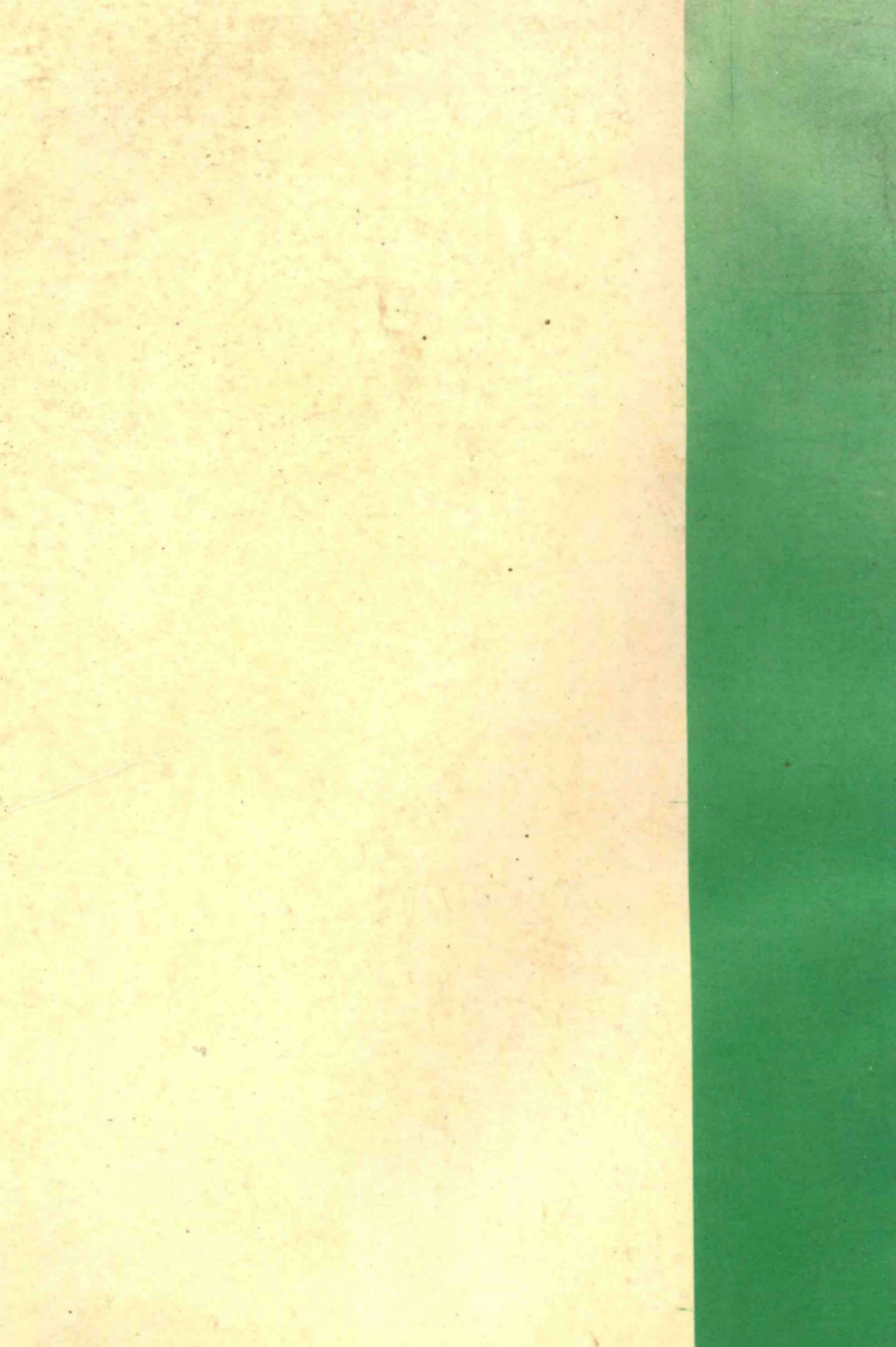


岩相古地理学教程

刘宝珺 等编
余光明

地质矿产部岩相古地理工作协作组

1990.7 成都



会委编《野考等野世古地岩》

岩相古地理学教程

(地质部地质研究所编)

地质部 地质研究所 编 (试用本)

地质部 地质研究所 编

第一章 绪论

第一节 绪论 刘宝珺 余光明 魏沐潮 张锦泉

第二节 岩相古地理学的发展

第三节 岩相古地理学的基本概念 刘效曾 王成善 刘文均

第四节 岩相古地理学的主要任务

第五节 岩相古地理学的环境意义 编写

第六节 岩相古地理学的发展前景

第七节 岩相古地理学的环境意义

第八节 岩相古地理学的发展前景

第九节 岩相古地理学的环境意义

第十节 岩相古地理学的发展前景

第十一节 岩相古地理学的环境意义

第十二节 岩相古地理学的发展前景

第十三节 岩相古地理学的环境意义

第十四节 岩相古地理学的发展前景

第十五节 岩相古地理学的环境意义

第十六节 岩相古地理学的发展前景

第十七节 岩相古地理学的环境意义

第十八节 岩相古地理学的发展前景

第十九节 岩相古地理学的环境意义

第二十节 岩相古地理学的发展前景

第二十一节 岩相古地理学的环境意义

第二十二节 岩相古地理学的发展前景

第二十三节 岩相古地理学的环境意义

第二十四节 岩相古地理学的发展前景

第二十五节 岩相古地理学的环境意义

第二十六节 岩相古地理学的发展前景

第二十七节 岩相古地理学的环境意义

第二十八节 岩相古地理学的发展前景

第二十九节 岩相古地理学的环境意义

第三十节 岩相古地理学的发展前景

地质矿产部岩相古地理工作协作组 编

第一章	绪论	88
第二章	岩相古地理学的发展	89
第三章	岩相古地理学的基本概念	100
第四章	岩相古地理学的主要任务	103
第五章	岩相古地理学的环境意义	114
第六章	岩相古地理学的发展前景	117

《岩相古地理学教程》编委会

主 编:刘宝珺 曾允孚
编 委:(以姓氏笔划为序)

王成善 王宜生 刘文均 刘宝珺
刘效曾 余光明 李文汉 林文球
张锦泉 曾允孚 魏沐潮

责任编辑:王宜生 李文汉

岩相古地理学教程

(内部试用)

地质矿产部岩相古地理工作协作组办公室编辑出版

(成都市一环路北三段新 82 号)

成都电脑激光印书公司 印刷

(成都市一环路北三段新 82 号)

· 开本:787×1092毫米 1/16 印张:13.25 字数:339千字
1990年7月第一版 1990年10月第一次印刷 工本费:5.40元

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。地质矿产部系统的岩相古地理工作，自70年代后期即已分阶段、有计划地陆续开展。为配合这一工作部署，相应有计划地安排了不同层次的各项专业技术培训。同时，部分地质院校在沉积岩教学课程中也设置了岩相古地理课程。10余年来，这一专业教学领域已积累了较系统的经验，因此，为进一步总结和普及、推广多年的教学、科研成果，适应地质找矿工作需要，根据地质矿产部教育司、科学技术司的安排，并以“地教发、地技发(1987)029号”文下达了录制《岩相古地理基本知识》电教片及其教材的编写任务。在电教片录制完成的基础上，由讲课教师对电教片的讲课内容作了进一步深化、补充，其目的是既能配合电化教学，又能独立地作为专业培训和院校讲课的教材，定名为《岩相古地理学教程》，向全国推荐试用。

《岩相古地理学教程》取材以理论和应用并重，较系统地吸取、总结了我国沉积学、岩相古地理学学科理论和10余年工作的实践经验成果，并在较多方面介绍了国际沉积学界具前沿性的研究成果及新的学科理论和方法，基本反映了国内、外沉积学、岩相古地理学的研究水平和发展现状，适用于教学和工作的需要。

教材由地矿部岩相古地理工作协作组办公室负责组织编写，聘请成都地质学院和地矿部成都地质矿产研究所的专家、教授组成教材编委会，由刘宝珺、曾允孚教授任主编；余光明教授，张锦泉、林文球、魏沐潮、刘效曾、刘文均、王成善副教授，王宜生、李文汉高级工程师任编委。教材各单元编写分工是：绪论、第一单元、第七单元由刘宝珺编写；第二单元由魏沐潮编写；第三单元、第四单元由余光明编写；第五单元由张锦泉编写；第六单元由刘效曾、王成善编写；第八单元由刘文均编写。全书的统编、校定、编辑及交付出版由王宜生、李文汉负责完成。

电教片录制和教材编写的全过程，一直得到地矿部教育司、科学技术司、中国地质科学院的关心、重视，并在工作期间曾来成都予以指导、审查；成都地质学院及沉积矿产研究所、成都地质矿产研究所及第八、第九研究室等有关部门的同志，在整个工作中给予了大力支持和通力合作，为工作开展创造了有利条件，在此一并致以衷心的感谢。

整个工作的绝大部分是在业余时间完成的，再加之工作期间因受聘教师的变动和教师本职工作的需要，曾先后多次调整计划，致使整个计划有较大的推迟，敬希读者及预订者予以谅解。

本教材为内部试用本，加之计划变更，时间紧迫，因此，它必有许多不足及错漏之处，敬希有关单位和广大读者不吝指教，以便在今后修订中予以改正。

编 者

1990年7月于成都

目 录

前 言	1
绪 论	1
第一节 环境、相、模式的概念	1
第二节 岩相古地理学的发展简述	4
第一单元 判别环境的标志	8
第一节 流体的基本概念——有关沉积物搬运机理的基本知识	8
第二节 作为环境标志的物质成分	14
第三节 沉积岩结构的环境意义	17
第四节 原生沉积构造的成因意义	22
第五节 沉积产状的环境意义	30
第二单元 判断沉积环境的生物标志	40
第一节 生物与环境的基本概念	40
第二节 化石的矿物成分及显微结构	45
第三节 藻类标志	46
第四节 无脊椎动物化石标志	50
第五节 遗迹化石标志	60
第六节 各沉积环境生物标志	62
第三单元 大陆环境及相模式	67
第一节 冲积扇环境及相模式	67
第二节 河流环境及相模式	71
第三节 湖泊环境及相模式	78
第四单元 三角洲环境及相模式	82
第一节 三角洲沉积作用特点	82
第二节 三角洲的沉积组合及其特征	84
第三节 古代三角洲的一般识别标志	88
第五单元 陆源碎屑海洋沉积环境	89
第一节 陆源碎屑海岸沉积环境	89
第二节 浅海陆棚沉积环境	100
第三节 深海沉积环境及相模式	103
第六单元 碳酸盐岩及沉积环境	114
第一节 碳酸盐岩的结构	114

第二节	碳酸盐岩的分类及命名	119
第三节	海洋碳酸盐沉积环境特点	122
第四节	海洋碳酸盐沉积相模式	128
第五节	海洋碳酸盐沉积环境及沉积相分述	142
第六节	向上变浅的浅水碳酸盐序列	154
第七单元	沉积、岩相、盆地和古地理演化过程中的成矿作用	156
第一节	概述	156
第二节	沉积演化过程与矿化富集作用	161
第三节	成岩—后生—表生成岩变化过程中控制成矿的因素	163
第四节	关于成矿模式的讨论	174
第五节	结 语	176
第八单元	岩相古地理研究与编图工作方法	178
第一节	概述	178
第二节	编图工作的设计和准备	182
第三节	野外工作	183
第四节	室内工作	192

绪 论

岩相古地理学的发展是与沉积学的发展密切联系的,早期的沉积学基本上是描述沉积岩石的科学。人们的研究着重在沉积岩石的外部特征,相互的区别,也企图对沉积岩石的形成进行解释。但是由于当时缺乏理论的指导,这种解释往往不脱臆测。人们常用的方法是古今对比,即根据对现代沉积物形成的环境、条件及气候对古代沉积岩的形成环境进行推断,这就是“将今比古”的研究。对于沉积岩石来说,主要任务是推断其形成时的古环境特征。一些人还根据同时代的不同沉积岩的分布及所推测的岩石形成环境编制了古地理图,但是确切地说,这些图的编制基础主要是生物地层学。随着科学的发展,学科的渗透,其它学科的一些理论被引入沉积岩石学中,使得对沉积环境的分析和推断变得有了理论依据,综合性的高层次的研究包括古地理图的编制也成为有理论指导的偏重沉积学的工作。因此,岩相古地理学能成为一门学科分支,是与沉积岩石学发展为沉积学的过程分不开的,也就是说,岩相古地理研究的主要基础是沉积学。

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,而且也控制着许多层控矿床的形成与富集。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,沉积岩石学和沉积学研究的一个重要归宿点,也就是重建沉积岩形成时的古地理,古气候和古构造等特点。

第一节 环境、相、模式的概念

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为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小块地球表面。

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条件,它们包括:

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，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1888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，瑞士地质学家格列斯利(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，并认为具有相同的岩石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”：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。

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”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;或解释为河流形成的,即河流模式;或解释为湖泊沉积物,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、公式,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。

表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	
过渡环境	三角洲 河口湾	
海洋环境	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2 常见的相及其形成环境

相	环境		
红土相	残积	大 陆	
热灰流相	火山		
泥石流相	坡积带		
沙漠相、石漠相	沙漠		
冰碛相	冰川		
冲积相	河流		
红层相	河湖		
蒸发岩相(内陆萨勃哈)	盐湖		
黑页岩相,淡水介壳相,淡水灰岩相	淡水湖		
泥岩沼泽相	沼泽		
扇砾岩相,筛积相,磨拉石相	冲积扇		
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	潮坪,泻湖		海 洋
鲕状灰岩相,礁灰岩相,塌积相,席状砂岩相	台地浅海 海 滩		
黑页岩相,笔石页岩相 浊积岩相,复理石相	停滞深水 次深海,深海		

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)。更有成就的是德国人瓦尔特(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,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。瓦尔特首先指出的相变规律,后来成为沉积学研究中广为应用的相律。他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。

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,这些都是很有意义的著作。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20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,提出了有名的“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. V. 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(E. 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JDIDES)进行的深海取样计划,由格罗马(Glomar)钻进船在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。这艘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。

在有关古代环境的解释方面,除了古生物和古生态的特征而外,沉积动力学的研究有重要意义。人们通常是根据沉积岩的构造(层理和层面构造)以及沉积组构如砾石的排列方向等对古环境进行解释,因之层理就成为岩相古地理重建的重要特征。虽然贝利(E. B. Bailey)早在1930年就把层理分成两类,即流水层理和粒序层理,并指出这两种层理构造多少是相互排斥的,即不共生的。但是,直到1950年以后,即有关浊流的理论提出以后,才能从形成机理对其进行解释,它们事实上代表了两种性质不同的流动——牵引流和重力流——的产物。

在1960年前后,在美国的地质学者和水力工程学者之间进行了极有意义的交流,对沉积学家有很大的启发。这一交流导致沉积学家在更深的层次把泥沙运动力学的原理和方法引进到沉积学中来,发展成为沉积动力学,成为岩相古地理分析的重要基础之一。水力工程学家所研究的是床沙表面颗粒运动与水动力状况的关系,以及床沙表面形态的变化,而沉积学家所关心的是泥沙埋藏以后,它们在沉积物内部所显示的形态,即层理特征。1962年西孟斯和李查逊(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,并用来解释沉积构造的层序。1964年美国SEPM学会召开了一个讨论会,深入研讨和总结了几年来这方面研究的成果和经验,会议出版了SEPM特刊,在学术界影响很大。由于此后岩相古地理的研究有了沉积动力学做为基础,因之自60年代以后,岩相古地理的分析和研究就有了飞跃的发展。

板块构造理论的提出是近代地球科学发展中的里程碑性的事件,它使得许多学科都不得不考虑自身的理论是否符合这一基本事实,即地质历史的发展和演化乃是一些陆块和洋块漂移运动的过程,其中古地理的研究首先受到冲击。因为在此以前古地理的研究是基于槽台学说,即地壳的原地升降导致海陆的变迁,可称之为固定论的观点。从活动论的观点出发,沉积学家和古地理研究者必须考虑构造作用和板块运动对沉积作用及古地理变迁的影响,要把大地构造学与沉积学结合起来进行研究,其结果是发展为一门新兴的分支学科——盆地分析。盆地分析一经提出,即马上成为国际学术界的热点。到80年代,盆地分析已经成为地球物理、沉积学、地层学、构造学、有机地球化学和矿床学等诸学科相互渗透并使用计算机模拟的一门综合性研究,它广泛用于解决地质学基本理论问题及油气开发、矿产预测等各方面的问題。

板块构造的理论为理解沉积相和生物组合的大范围展布,以及地球外壳物质的迁移情况提供了一个新的概念性的格局。它促使沉积学家和岩相古地理工作者在大区域范围以致全球范围内来理解沉积作用和古地理的变化,70年代的后期至80年代,层序地层学(P. Vail, 1978)、缺氧事件(S. Schlanger, 1978)、旋回地层学(米兰科维奇旋回的研究)……等的提出,为进行全球性的研究提供了很好的基础和方法。80年代如《旋回及事件地层学》(G. Einsele 等, 1981)等著作的出版,为深化研究沉积作用及环境的细节的鉴别提供了更为丰富细致的知识,大大推进了沉积学和古地理研究的进展。1986—1987年在金兹堡(R. N. Ginsberg)的倡议和组织下,一个崭新的富有生命力的国际组织——国际地科联全球沉积地质委员会(IUGB—GSGC)成立起来了,这个组织倡导和组织的全球研究项目,立即得到各国大多数沉积学家的响应。因此,20世纪的后25年被视为全球性时代的开端。由25位著名的沉积学家于1986年在美国迈阿密所归纳提出的有关全球沉积地质研究的课题包括:

- (1) 地层中的全球性韵律和事件: 海平面升降和全球性韵律、米兰科维奇旋回、中白垩世缺氧事件、大气圈、水圈和生物圈演化的沉积反映;
- (2) 全球性演化的沉积记录: 盆地分析、时限沉积相、沉积物通量、第三代的古地理图、消失了的古海洋的古海洋学;
- (3) 沉积相的全球分析: 作为一定的板块构造和古气候条件的反映的沉积相、时间—空间上的沉积相模式、沉积相研究的扩展、沉积相的序列和演化。

IUGS—GSGC 倡导的第一个试点项目是白垩世的韵律、事件和资源(CRER),已由各国著名沉积学者进行协作。第二个试点项目已确定为二叠—三叠纪 Pangea 超大陆的演化,将于1990年起实施。全球研究的结果,肯定会大大改变或深化以前的一些概念和论点,可以认为70年代末—80年代初开始的全球研究是沉积学和岩相古地理学发展中的重要里程碑。



以上三图展示了沉积相的分布模式。图1为盆地沉积相的横切面示意图，显示了中心高地和周边低地。图2为盆地沉积相的平面示意图，显示了中心高地和周边低地。图3为盆地沉积相的纵切面示意图，显示了中心高地和周边低地。

第一单元 判别环境的标志

古代环境在地质历史记录中表现为沉积层的各种特征,这些特征乃是特定的古代环境的物质表现。所谓的物质表现应包括沉积岩石学的全部内容,如成分、结构、构造、生物、定向性、层序、砂体形态、剖面结构……等方面的特征。它们是判别古环境的标志。因为它们具有成因意义,和可用以鉴别和划分沉积相,故亦分别称为成因标志和相标志。

大部份成因标志在其形成时均遭受强度不等的水动力的影响,不同的水动力条件下,可形成不同类型的相标志。因之水动力学乃是分析成因标志的基础,所以,予以概略介绍。

第一节 流体的基本概念——有关沉积物搬运机理的基本知识

说明流体的特征有粘度、密度、可忽略不计的剪切阻力,以及在近似条件下形成流动紊流的能力。流体的剪切阻力随切变率而变,当为低切变率时,剪切阻力随切变率的一次方而变;当为高切变率时,则随切变率的平方而变。在低切变率时,流体所表现出的状态称为层流,它的定义是“流体的各部份沿着与流体边界相一致的面彼此滑过”(图 1—1A)。在高切变率时,出现复杂的流动路线,典型的是曲线状的以及螺旋状的流动路线,称之为涡流。以涡流为特征的流体的流动是紊流(图 1—1C)。增加射流速度可促进从层流向紊流转化。粘性(流体对变形的摩擦阻抗的量度)也是流体运动的重要力学性质。但就流体运动来说,重要力学性质首先应是密度,它是流体惯性的量度。再有就是长度,它也是重要的因素。



图 1—1 层流和紊流示意图

假如在两个以上的实验中,处于平衡时的几个量(净粘性力、净压力和惯性力)全是在几何相似处相应的流体质点上测量出来的,它们尽管不是大小分别相等,但具有相同的比例,则这些实验称“动力学相似”的。就牛顿力学来说,这些实验实际上是等价的。已经证明,对

一系列几何相似物体所做的不同实验,只要长度、速度、密度和粘性这些量的一种特殊组合在不同实验中完全相同,它们便是动力学相似的。这个组合就是雷诺数。

$$\text{雷诺数 } Re = \frac{\text{密度} \times \text{速度} \times \text{长度}}{\text{粘性}} = \frac{D \times V \times L}{\mu}$$

动力学相似的重要实际意义在于,动力学相似条件使得一个非寻常的事情变成可能,例如我们能够利用室内测量塑料小球在水中的阻力来预测氦气球在空气中的阻力。

雷诺数有其物理意义,因为惯性力是以质量与加速度的乘积度量的,即

$$\text{惯性力} \propto DL^3 \times V^2/L = DL^2V^2$$

而粘性力由粘性剪切应力与作用面积的乘积来确定,即

$$\text{粘性力} \propto \mu \frac{V}{L} \times L^2 = \mu VL$$

$$\frac{\text{惯性力}}{\text{粘性力}} \propto \frac{DL^2V^2}{\mu VL} = \frac{DV^2}{\mu} \text{ (即雷诺数)}$$

流体的密度、粘度、速度均可影响流动的性质,而雷诺数正是这些变量的组合,因之雷诺数的大小可以表明其为层流或紊流。 $Re < 2000$ 时的流动为层流型, $Re > 10000 \sim 12000$ 时为紊流型, $Re = 2000 \sim 12000$ 时为过渡型。

紊流旋涡内流体的向上流动是运动着的颗粒的能量来源,只要是旋涡内向上的流速超过了颗粒的沉降速度,颗粒就会呈悬浮状态,保持在流体的内部。

福劳德数(Fr)与雷诺数相似,它也可看作是两种力的比率。它是表示惯性力与重力间比率的无量纲数。对于运动速度为V的单位流体(水的)质量来说,惯性力应等于使单位水体在L距离内减速到停息状态所需的力,这个力应等于V/t(因单位水体的质量为1),而所需时间为 $t=L/V$,故惯性力与V/t成正比,即与 V^2/L 成正比。而作用于单位质量水体的重力则应为g,所以

$$Fr = \frac{\text{惯性力}}{\text{重力}} = \frac{V^2}{L} = \frac{V^2}{gL}$$

大多数工程人员都以福劳德数定义为一数量的平方根,即:

$$Fr = \frac{V}{\sqrt{gL}}$$

如果是在明渠中流动,水深为D时,则福劳德数可定义为:

$$Fr = \frac{V}{\sqrt{gD}}$$

式中V为水的平均流速。可以看出,如果重力波的波长可以和水深相比拟的时候,即当重力波波长等于水深时,则此重力波的速度等于 \sqrt{gD} ,此时 $Fr=1$ 。这样就提出了福劳德数的一个重要含义,如果福劳德数大于1时,则由于向下游的流速大于向上游传播的波速,就不可能有向上游传播的波。因此,当 $Fr > 1$ 时,流水的流动特点,是一种急流或称超临界流动(临界上的流动),它代表的是一种水浅流急的动态,又称为高流态。而在 $Fr < 1$ 时所出现的则是缓流或临界下的流动,它代表的是一种水深流缓的动态,又称为低流态。

从物理学上来看,有两种最基本的物质搬运类型,即悬浮载荷(悬移质)和床沙载荷(推移质),相对应的有两种搬运形式,悬浮搬运和推移搬运。

悬浮搬运 空气或水流把细的沉积物弥散开来(如粉砂、粘土级颗粒以及不同比例的砂

级颗粒),并使它们在流动的内部本体内进行搬运。最基本的驱动力就是紊流,它可以把颗粒上举起来,使之悬浮于流体内部,进行搬运。

与水有关的悬浮搬运即水悬浮体(aqueous suspension),它是一种水-沉积物的流动混合物,如果这种流体的密度在 2.0g/cm^3 左右,则紊动可持续存在。有一种悬浮体,内部沉积物的分布随亚层(substrata)而变,即数量和粒度分布向上呈递减,这就是粒序悬浮。如果悬浮体内部沉积物的分布与亚层无关,即载荷在其内部的分布比较均匀一致(数量与粒度),则称均匀悬浮。

低密度的悬浮体可以向高密度的悬浮体过渡,可成为巨厚的糊状体或碎屑流(泥石流或泥流)。紊动的水悬浮体向碎屑流的转化,是半干旱气候带最常见的作用。一般说来,密度小的流动可以悬浮较小的颗粒,密度大的流体则可悬浮巨大的石块。

大气中产生颗粒悬浮的基本原理(或风成悬浮体)与产生水悬浮体的原理相同,由于空气的密度和粘度很低,它们均由很细的颗粒组成。由于地球大气圈的构造,悬浮颗粒的运移可在两个不同的高度上进行,因而造成高、低海拔的两种悬浮体。低海拔的悬浮体限于低于2—5公里的大气圈。在此带内存在的是被很强的地表风向上吹扬的悬浮体以及由于火山喷发而产生的火山热灰云。低海拔悬浮体中,悬浮物的供给区与最终沉积区之间存在着明显的关系,层的厚度和沉积物颗粒的平均粒径,愈远离源区愈变小。

高海拔的悬浮体乃是地球高海拔处的喷射流所搬运的风成悬浮体,颗粒从地表向上运移进入喷射流,仅仅在有特殊的能量循环的情况下(如核爆炸,超常态的火山喷发)才发生。一旦发生,即形成一种特殊的灰云,它是均匀的悬浮体,被一种经常不下落的风所作用,直到灰云运移到某些风的向下拖曳处,才再次回到地表上来。高海拔风成悬浮体常含细砂,这种沉积与源区之间不存在明显的联系。已知的实例如匈牙利中部的细屑沉积来自非洲的撒哈拉;1947年4月在芬兰东南部的火山碎屑来自冰岛的 Hekla 火山。

推移质搬运 在沉积学中称之为牵引搬运(traction),这一术语乃是作为沉积物以床沙载荷(推移质)形式运移的所有作用过程的集合名词。牵引作用是颗粒惯性的产物,它们有许多因碰撞而产生。研究了风搬运砂子的情况后,牵引作用的原理就很容易理解了。

主要以床沙载荷(推移质)方式进行搬运的流体称为牵引流,它们通常密度和粘度均小。与之相对应的是密度流(重力流、块状流),则是一种密度和粘度均大的,在重力作用下呈块状整体的流动,是以悬浮载荷方式进行搬运。

流体质点能够而且的确经受巨大的变形,但流体质点抗拒变形。固体变形的抵抗力取决于变形量,而流体的抵抗力取决于变形率。代表抵抗形变能力大小的这种流体性质称为粘性。设原为正方的流体(图1—2)经受一定量的剪切变形,用角度 α 量度, α 为开始两边(虚线)形成的直角与最后相同两边(实线)形成的斜角之差。那么粘性阻力本身表现为产生一定剪切变形速率所需要的切向或剪切应力。故流体的粘性可定义为:

$$\text{粘性} = \frac{\text{剪切应力}}{\alpha \text{角的时间变化率}}$$

具有固定不变粘性的流体(亦即流体的变形率与所施加的剪切应力成正比),称之为牛顿流体。内部含颗粒少的(低密度的)以床沙载荷方式进行搬运的牵引流流体(如正常的河水、海浪、风)都是牛顿流体。浓度很高的含颗粒在30%以上的流体(块状流、重力流)则不具牛顿流体的性质,形成构造分散体,可能有几种情况:(1)分散体无强度,其粘度随剪切速率而变(具可变粘性),即非牛顿流体;(2)分散体可能有较大强度,至超过它的屈服强度后才变