

勘探地层学与环境分析

安延恺 李汉瑜 编 著

石油工业出版社

39498



00270465

勘探地层学与环境分析

安延恺 李汉瑜 编著



200395027



SYB9/29



石油工业出版社

内 容 提 要

本书从地层学原理出发,分析了大陆、边缘海及海洋环境的相模式,并对地史时期中的陆表海进行了探讨。书中有关古气候标志的分析对研究显生宙内的古气候有一定帮助,对前寒武纪也进行了专门的论述。最后还重点讨论了地层与大地构造的关系,并涉及沉积盆地的分析研究方面的内容。

本书可供从事于地质勘探及科学研究人员使用,特别是对勘探地质专业广大师生来讲,是一本不可多得的参考书。

勘探地层学与环境分析

安延恺 李汉瑜 编著

*

石油工业出版社出版

(北京安定门外安华里二区一号楼)

北京顺义燕华营印刷厂排版印刷

新华书店北京发行所发行

*

787×1092 毫米 16 开本 7¹/₂ 印张 178 千字 印 1—2,000

1989 年 3 月北京第 1 版 1989 年 3 月北京第 1 次印刷

ISBN 7-5021-0224-8/TE·220

定价: 1.70 元

序

本书作者昔年攻读于北洋大学，50年代初毕业后，先任教于清华大学石油工程学系，以后曾长期执教于北京石油学院。二人均讲授过多种课程，编写之教材及其它文字亦颇多。多年来，随着地质科学的进展，他们又留意于许多新的知识，并将国外一些重要专著译为中文介绍于国内；从而使自身的水平有所提高。

近年来，地质科学领域渐与其它学科相互渗透，益加注重于联系实际，以解决矿产资源尤其是能源勘探问题。因此，地层学在联系到地层沉积环境的同时，也涉及到成矿环境与控制沉积和成矿的构造环境。在这一方面，60年代以来的新的大地构造观点无疑产生了重要的影响。

本书从地层学原理出发，充分注意到上述各点，除以对照方式论述了大陆环境与海洋环境的沉积特征之外，着重探讨了陆表海的问题。由于现代世界上缺乏地史期中广泛存在过的陆表海，因而在地质科学中如何应用现实主义原理或均变论是值得注意的。此外，本书对于古气候与古地磁资料解释方面应考虑的问题，各种标志的意义，结合板块构造环境予以阐述，也有特色。对研究显生宙内古气候的变迁，当有助益，所述气候框架也颇有启迪，弥补了过去以固定论观点解释古气候时所感到的不足。

本书的最后两章，在论述地层与大地构造条件的关系以及如何进行沉积盆地的分析研究方面，基于众多的国内外文献及作者本身多年教学与研究工作中的体验，论述尤多，几占全书篇幅的1/3，为精辟篇章。

综观全书，内容精练，文字流畅，能深入浅出概括论述有关的基础理论，指出研究工作中应予注意的问题，又多结合中外实际情况；在将地层学密切结合矿产资源勘探工作方面，为一难得的著作。所附外文术语及必要的注释，对于许多人也是大有裨益的。

我想本书对于有关地质专业师生及广大地质工作人员都是值得一读的；在得阅原稿后，有感于有为学人的成长，至为欣慰，是以序。

中国科学院学部委员
中国地质大学地层古生物研究室教授

杨遵仪 1987年8月

目 录

第一章 地层的相分析与矿产资源勘探	(1)
一、地层记录与地层学研究	(1)
二、相的概念与控制因素	(2)
三、地层与矿产资源勘探的关系	(5)
第二章 古代沉积环境分析的原理与方法	(8)
一、沉积环境分析的概念与原理	(8)
二、古代沉积环境的分析方法	(9)
三、构造运动对沉积作用的控制	(11)
第三章 大陆环境和边缘海环境的相模式	(15)
一、河流环境的沉积相	(15)
二、风成环境的沉积相	(19)
三、冰川环境的沉积相	(21)
四、湖泊环境的沉积相	(23)
五、三角洲及沿岸平原环境的沉积相	(24)
第四章 海洋环境的相模式	(31)
一、浅海环境的沉积相	(31)
二、深海环境的沉积相	(40)
第五章 地史期中的陆表海	(46)
一、关于潮差的问题	(48)
二、关于停滞作用的趋向	(48)
三、异常盐度问题	(51)
四、关于其它一些较特殊的沉积相	(52)
第六章 古气候的标志与显生宙的古气候变化	(56)
一、古气候的标志	(56)
二、关于古温度的研究	(58)
三、显生宙内的古气候	(59)
第七章 前寒武纪环境的特征	(67)
一、海相环境与非海相环境的区别	(67)
二、冰川作用	(67)
三、潮差问题	(68)
四、大陆的演化	(69)
五、大气圈与水圈的演化	(70)
六、生物圈的演化	(71)
第八章 地层与大地构造的关系	(74)
一、概况	(74)

二、扩张环境中的地层记录	(76)
三、俯冲作用环境中的地层记录	(77)
四、与转换断层有关的地层记录	(80)
五、大陆碰撞环境下的地层记录	(81)
第九章 沉积盆地分析与矿产勘探	(83)
一、沉积盆地分析的原理与方法	(83)
二、沉积盆地的成因与类型	(90)
三、关于沉积盆地物源区构造性质的问题	(103)
四、关于矿产资源的问题	(106)
参考文献	(109)
后记	(111)

第一章 地层的相分析与矿产资源勘探

一、地层记录与地层学研究

通常所讲的地层，实际上就是在自然环境中沉积下来的沉积物经成岩作用后所形成的岩层。然而，当我们使用地层这一术语时，是对这些沉积岩层加上了地质时代的概念。

作为天体的地球，从其形成以来，大约已有46亿年的历史了；而对于地壳或岩石圈来讲，它的形成历史是要短一点。在地质学的研究上，要认识地质历史，就必须了解地层记录。换言之，就是应当研究在漫长的地质历史时期中保留下来的这些沉积岩层。简单地讲，所谓岩层是指成为层状的沉积岩；但实际上，地层中也常常夹有呈层状的岩浆岩，例如一些基性的熔岩流或中、酸性的熔岩流，它们是可以占有一定的层位的。这里所讲的地层记录，从广义的角度上看，自然也可包括这些夹层，虽然它们不属于沉积岩类。

顾名思义，地层学自然就是研究地层的科学，也即以地质年代的先后顺序和地理分布的观点来研究保存于地壳内的岩层。早在距今约两百年前，丹麦的N. Steno即认识到含有生物化石的岩层，乃是地质历史的记录，提出了著名的三定律，即：层序律(law of Superposition)，连续律(law of continuity)与水平律(law of horizontality)。概括这三条定律，也就是讲，对于未经构造变动的地层，应当是新地层叠覆于老地层的上面；地层应为连续分布，厚度的变化可以使它在横向上逐渐变薄以至尖灭；同时，由于地层是沉积物受重力作用影响而沉积下来形成的，所以产状一般均呈水平或近于水平，这些，至今也还是可以沿用的。待到距今约百年前，英国的W. Smith以生物化石厘定地层，编出地层表、地层柱状剖面图及地层剖面图，奠定了近代生物地层学或化石地层学(Biostratigraphy)的基本原理与研究方法之后，地层学的研究也就日臻完善。

地层的研究，可以说是最为基础的地质工作。对于一个研究区域，建立起地层层序，通过生物化石的研究判明各地层的地质时代；或用测定放射性元素来厘定其绝对年龄，并分析研究沉积岩层的宏观及微观特征，然后综合起来以推断当时的沉积环境，已是现今地质工作的常规要求。通常所编制的各种比例尺的地质图件，首先是将各地质时代的地层的空间分布情况填绘于地形图内，绘成地质图，再附以必要的区域性横剖面图及地层柱状剖面图。这也是在一个地区进行较详细的地质勘探和研究工作的基础图件。

当然，生物化石的保存需要一定的条件，含有丰富生物化石群落(community)的地层固然很常见，但在地层中没有发现生物化石的哑层或哑带(barren zone)也并不少见。近年来，对于遗迹化石(trace fossils)的研究日益深入，以至形成专门的遗迹化石学(ichnology)。与此同时，古生态学(paleoecology)也有了很大的发展，英国的W. S. McKerrrow教授所主编的《化石生态学》可作为此方面的代表性著作。从研究古生物的遗迹来讲，一些过去所认为的哑层也就不算“哑”了。德国的A. Seilacher对此方面作了许多奠基工作，可谓别开生面。我国近年在此方面的研究工作，也已获得了可喜的成果。

另一方面，作为地层记录的岩层，除非有长期的侵蚀与沉积间断(hiatus)，它总是比较

容易保存下来的。一个地区被侵蚀时,所剥蚀下来的物质总要被搬运到相邻的地区沉积下来;前者即剥蚀区或隆起区(uptift),而后者即沉积区,实质上也就是一般所讲的沉积盆地(sedimentary basin),它在接受沉积时,从地形上讲也是一个低洼的区域,也可称为坳陷(depression)。我们在这里所讲的地层,即形成于这种沉积区内。然而,由于地质历史时期中曾有过若干次构造运动(即tectonic cycle),因此,不但地层水平方向的延续分布未必能保存,甚至可以产生层序的倒转(overtun)。这样,在人们查明地质构造特征之前,就很难认识地层的正常层序。在现今的一些褶皱带(foldbelt)内,尤其如此。对于沉积间断期间,究竟缺失了哪些时代的地层,这是可以研究清楚的。然而缺失的地层该有多么厚,或者说隆起区被剥蚀掉的地层究竟有多厚?这是一个非常令人感到困惑的问题。现在我们如果绘制某一地区某一地质时期的古地理图,对于陆地(称为古陆,即ancient land或oldland)部分就不可能标绘出地形等高线(contour line)。至今世界各国尚未能够解决这一难题。

从地层学研究的历史上可以看出,有很大一部分内容是在于分层与对比。地层的划分趋于详细,然而在划分得过细之后又可能造成对比上的困难。岩性上相同的地层未必具有等时性,这就进一步令人们深思。本世纪60年代初,举世闻名的地层学家,美国耶鲁大学的C.O.Dunbar教授与J.Rodgers教授出版了具划时代意义的《地层学原理》这一巨著。他们从沉积环境的角度探讨了地层的形成过程与各种环境下的地层特征,给了人们很多启迪,在地层的成因类型与划分、对比上令人顿开茅塞,为总结性的重要经典著作。到进入70年代,美国布朗大学的R.K.Matthews教授进一步发挥了Dunbar与Rodgers两教授的观点,写出了《动力地层学》,1984年出版了第二版新书,其副标题为“对沉积作用和地层学的一册导论”,总结了60年代以来的沉积学研究的进展,分述了各种动力沉积环境中所沉积出的地层特点,介绍了新的研究方法以及板块构造运动对沉积作用的重要影响。这可以反映出当前地层学研究的方向与水平,和距今三十几年前出版的法国地质学家M.Gignoux所著的《Géologie Stratigraphique》一书已有很大不同,完全脱离了世界各地区性的地层描述,从而避免了繁琐的资料,这是很值得注意的一点。因为区域性地层资料是随时间而与日俱增的,而对地层的研究,必然要考虑它的成因,以及它在时间、空间两方面的变化规律,进而结合矿产资源的勘探工作,有必要掌握若干种矿床的成矿规律,从而使地层学由单纯学理的研究转变为具有在社会生产实践中能够发挥重大作用的应用科学,也就是“勘探地层学”(Exploration Stratigraphy)。

二、相的概念与控制因素

相的外文facies一词,源于拉丁文,意为面貌、图像、外观或条件。现在我们可依照C.Teichert在1958年所发表的意见,只应用于沉积岩层的研究中,所以可称为“岩相”,也即在英文中可加一前缀而成为lithofacies。在地层的研究中,还必须考虑岩层内所含的生物化石,从古生物的生活环境考虑,也就引伸出生物相(biofacies)的概念。这种结合二者的考虑,是出自上一世纪瑞士的地质学家A.Gressly,当时他曾用来描述侏罗山的晚侏罗世地层。但与他同时的法国地质家F.Prévost则使用formation一词。后来,奥地利的地质学家E.van Mojsisovics又曾将isopic一词用于相同的相,而以heteropic用于不相同的相。因此,若译为中文,前者应为“同相的”,即指同一种相的沉积岩层,或者以相同或极相似的岩石类型为特征的相。而后者则为“异相的”,即指不同相的沉积岩层,或者以不同岩石类型为特征的相。由上所述,我们可以体会到,现在通常所讲的相,是表示沉积下来的地层所具备的

能反映其成因与沉积环境全部面貌的特征，这当然包含了岩层中所含有的生物化石以及一些遗迹化石。

相之间的关系，早在上世纪就已首先由德国的J. Walther所注意，他那时即提出相的对比定律，但实际上他所称的law，应当作为规律（rule）来看待。1973年时，G. V. Middleton对此作了解释，他写道：“同一相区的不同沉积物以及不同相区的全部岩层均形成于彼此相邻的空间内……虽则在一条地质横剖面上，我们现今所见到的相是重叠的……”这也就表明，若无重大的沉积间断，那么，在相互整合的垂向层序内的岩相都应该是在横向上相邻的沉积环境中形成的。但从近年的研究工作中，业已认识到侧向加积作用的重要性，而并不完全是垂向叠加。这也可以认为是对于地层层序律的补充。在本书以后的章节中，我们将会涉及并作较详细的论述。

在野外追踪地层时，我们往往可以看到岩性上的变化，对同一层位的岩性变化，可以视为沉积环境有所变化的反映，因此即称之为“相变”（facies change），它也包括古生物特征方面的改变。虽然相变可以指同时期沉积的地层在横向（也即侧向）上和垂向上不同时期沉积特征的变化，但是，一般认为不同时期有沉积环境的改变是很自然的事，所以在使用相变这一术语时，经常是指横向上的岩性或化石特性的改变。对于垂向上经历一定时期的相的逐渐变化，由于反映了沉积环境和沉积作用条件的逐渐变化，所以常称为相演化（facies evolution）。这样也就便于和横向上的相变相区别了。

有些生物化石，其存活时期只能适应于某种比较狭隘的环境，或者讲适应于某种生态环境，这样它们就经常指示某一固定的相，遂成为“指相化石”（facies fossil），它和常用的“标准化石”（index fossils）的涵义是有所不同的。

由相演化而形成的垂向上相的叠加，即构成相序列（facies sequence），也可简称为相序，如图1-1。若在某一指定的地层单位内可区分出不同的岩相，并在一个区域内，将各种岩相的变化与分布编绘于图件中，即可成为相图（facies map），或称岩相图，如图1-2。由于在考虑沉积环境时必然会涉及海陆分布等古地理面貌，因而将二者结合起来，即通常所谓的“岩相古地理图”，如图1-3所示。同时，可以附加上沉积等厚线（isopach），或者加上根据岩相和生物相所推测出的水体等深线（isobath）。

这种岩相古地理研究，早在60年代初期，美国著名沉积学家W. C. Krumbein及L. L. Sloss教授即在《Stratigraphy and Sedimentation》一书中作过介绍。由于此书当时无中文译本，所以我国地质学界对于此方面的认识，大多来自于苏联的书刊。特别是1959年，苏联

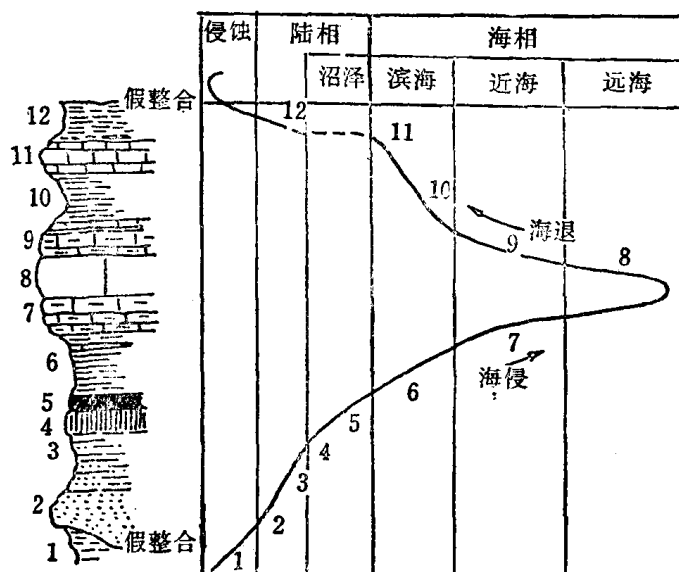


图1-1 北美石炭系旋回沉积层系内所含的岩相，此图即表示相序及沉积环境的变化

1—页岩；2—陆相砂岩；3—陆相砂质粘土；4—煤下根土；5—煤；6—海相页岩，含滨海化石；7—泥质灰岩，含近海化石；8—石灰岩，含瓣化石；9—泥质灰岩，含近海化石；10—海相页岩，含滨海化石；11—藻类灰岩；12—咸水及陆相页岩（据R. C. Moore, 1949图经修改）

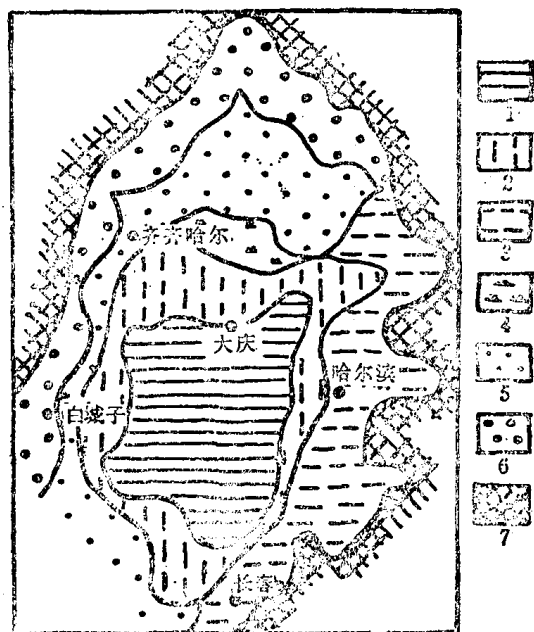


图1-2 松辽盆地白垩系青山口组沉积相图

1—深水-半深水湖相；2—三角洲前缘相及滨湖-浅湖相；3—淤积平原相；4—滨湖沼泽相；5—冲积平原及三角洲分流平原相；6—洪积相；7—物源区（据李永康等1980；图经修改）

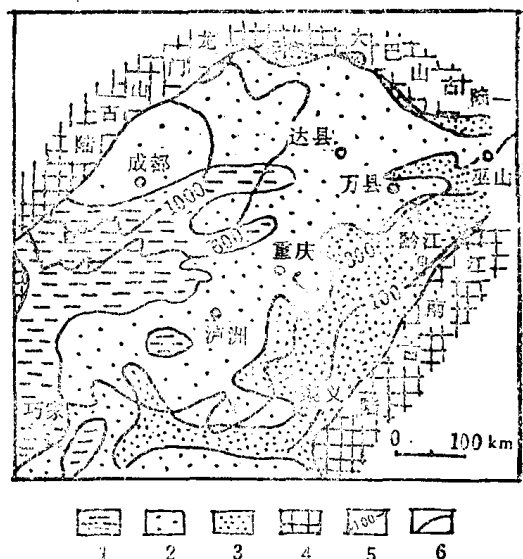


图1-3 四川盆地晚三叠世岩相古地理图

1—湖相；2—湖滨三角洲相；3—冲积相；4—物源区；5—沉积地层等厚线，以m计；6—相区界线（据杨起等，1980；图经修改）

的С.Г.Саркисян教授来我国访问，曾为石油工业部门的地质人员系统讲述了以重矿物分析为中心的岩相古地理研究方法，并编绘了我国松辽盆地及四川盆地的岩相古地理图。他自己认为是继承了苏联著名地质学家В.П.Батурин的研究方法。但实际上，这也是更早些年英国岩石学家H.B.Milner的方法。Milner曾执教于伦敦的皇家科学技术学院，专长于和石油勘探关系密切的沉积岩石学，他的经典著作《Sedimentary Petrography》早经多次再版，迄今仍有参考价值。Саркисян的讲解，大部取自此书。那时另一位苏联专家А.П.Резников教授也曾在我国讲授过沉积岩石学与岩相古地理研究方法。他的沉积岩石学内容基本上与美国约翰·霍浦金斯大学的F.J.Pettijohn教授的《沉积岩》第二版相若。由于在沉积成岩过程中各种作用的变化相当复杂，所以重矿物分析方法对于岩相古地理的研究并不很可靠，除了像ZTR指数（即锆石-电气石-金红石组合）之外，现下许多学者已不再单独使用重矿物方法。而且，有逐渐注意于轻矿物（主要为石英及长石）研究的趋势。

关于在陆相地层中使用重矿物分析方法作为地层的划分与对比并探寻物源区的问题，在50年代中，叶连俊教授也曾著有专文介绍。通过30多年来的工作，现今我们也已有了许多新的认识，在研究工作中获得了可贵的经验。

美国地质学家R.C.Moore曾经主张用沉积相(sedimentary facies)来包括一种或更多种岩相。他认为相乃是代表着沉积环境的记录(record)，也就是迄今我们所见到的岩层及其中所含的生物化石。然而，如果仅仅指沉积环境本身——即若干万年前的古环境，现今在该地区是早已不存在的，那么，就可以用岩境(lithotope)及生物境(biotope)来专指环境。生物境实质上为一生态学上的术语。关于综合相分析，在L.L.Sloss, W.C.Krumbein, E.C.Dapples诸人看来，需要考虑到影响或控制相的若干因素，诸如：

物源区(provenance)其岩石组成显然会在一定的程度上控制着新形成的沉积物的组

成。这当然也和地形起伏程度以及气候条件有关,因为后者显然决定了风化作用的类型。

搬运介质(transporting media)——如风、水和冰。由于搬运介质的物态(phase)不同,以及物理-化学性质的不同,例如水的温度与盐度,加上动力条件的不一致,则被搬运的物质也呈现不同的形式。譬如可以有拖曳、牵引、悬移和溶解等各种形式的搬运,这当然要影响到相的特征。

沉积环境(sedimentary environment) 这可能是相对来讲最为重要的控制因素,诸如水体的深度、温度、盐度,距岸边(无论海或湖,甚至河岸)的距离远近,风浪或波浪的大小,浪底(或称波基, wave base)的位置,风暴事件(storm)影响的深度,层流(laminar flow)与边界流(boundary flow)的情况,湍流(turbulent flow)与等深流(contour current)的影响,沉积物的沉积速度与被埋藏的速度,沉积介质在此环境中的物理-化学动力。上述这些,对沉积作用无疑有很重要的控制作用。此外,也应当重视生物的作用,生物的生存对周围的介质自然会有影响,许多沉积物均与生物化学作用有关,这也是早已周知的事实。生物骨骼本身可以成为岩层或者造礁(reef-building)则更是显而易见的。介质的物理-化学动力对沉积物的磨蚀、分选、溶解也是不难理解的。

另外,还有沉积环境的边界条件,就是这一环境的开阔或封闭,例如广海环境是开阔的或敞开的,而泻湖环境和内陆湖沼环境就是封闭的,或至少是半封闭的,也即是局限的(restricted)环境。对海岸边,主要视障壁岛(barrier island)或障壁滩(barrier beach)的存在与否,再配合上湿度、温度条件,控制了蒸发量,这就决定了这类环境的水质究竟会咸化或者淡化(salinize or freshening),既影响生物相也影响岩相。

生物因素 近年的研究表明,细菌和藻类(algae)可以起着巨大的作用。对于碳酸盐岩相尤其重要。自1959年,美国的R.L.Folk提出对碳酸盐岩成因的新认识与新的分类方案以来,此方面的研究日益增多,英国的R.G.C.Bathurst教授对此方面作了举世公认的重要贡献。这是1986年8月在澳大利亚堪培拉所召开的第12届国际沉积学会议上明确肯定的。

此外,在沉积之后的成岩后生阶段,沉积物所经历的压实、胶结、重结晶、交代、溶蚀作用以及再生和自生矿化作用都会发生重大的影响,使沉积相有相当程度的变化。

构造因素 对于相的控制作用所占有重要地位日益被人们所重视。这是因为地壳中的构造运动决定了沉积区与物源区的分布,控制了沉积环境,从而也控制了沉积相带的分布,地层的性质、发育与缺失情况也均由构造运动所控制,所以这种因素是最根本的、起决定性作用的。对于能够表示某一构造环境中沉积作用特征的地层来讲,它的确能反映出构造境(tectotope)。它应当是与岩境和生物境共存于同一时代和同一区域内,然而又是更为重要的。从60年代后期,板块构造学说逐渐兴起以来,沉积学与大地构造学的关系更加密切,而对于沉积相的研究已归入到沉积盆地的分析与研究之内。这在第12届国际沉积学会议上已有充分的体现。此外,代表一种或多种构造境的所谓构造相(tectonic facies),实际上为一定构造阶段的产物,常称建造(formation)。

在进行综合相分析以归纳和推论古地理环境时,以上各种因素都是应当慎重考虑的。

三、地层与矿产资源勘探的关系

地层与矿产资源之间的关系大体上有两种情况:一是地层本身几乎完全由某些矿产所组

成,例如煤层、铁矿层、锰矿层、铝土矿层、磷矿层、岩盐层等等,它们在地层剖面中占有一定的层位,构成有重大经济意义的矿床。另一种情况是地层中含有某些矿产资源,例如在地层的孔隙和裂隙中以流体形式存在的石油和天然气以及水和卤水等,并且还有含铜砂岩之类的层控矿床(strata-bound ore deposit),至于含金、铀、钒的地层,其经济价值自不待言。

在沉积物的成岩后生作用阶段,常伴生矿化作用(mineralization),从而形成层控矿床。早在50年代初期,我国著名的地质学家侯德封教授即曾发表“从地层学观点对找寻中国铁锰矿床提供几点意见”的重要论文,并亲自作有学术报告。1955年,在美国芝加哥大学执教八载的彭淇瑞教授归国,向地质界介绍了和传统矿床学概念大不相同的“冷液说”。因此,我们可以认为自那时起,已经开始了解到层控矿床的形成机理。从地质找矿勘探的角度来讲,许多矿产资源在地层上的分布规律是众所周知的。诸如:呈条带状的磁铁矿石岩或称碧玉铁质岩(jaspilite)层只出现于太古代,国外简称为BIF,意即条带状含铁建造(banded iron formation)或燧石质含铁层(cherty ironstone)。在太古代以后的地层中从未再出现过,这就是我国的“鞍山式铁矿”,世界其它各地的同类型铁矿,其层位也是相同的,表明它形成于一种特定的环境下。鲕状和肾状(或豆状)的赤铁矿则出现于元古代及以后的地层中,如我国北方的“宣龙式铁矿”属于元古代,南方的“宁乡式铁矿”属泥盆纪,表明是有相同的沉积环境才有同一类型的沉积矿床。中生代时,我国南方又有菱铁矿层形成,层位也是稳定的。其它的如锰矿、磷矿的层位,也是一定的,并不随机出现。至于作为可燃性有机岩的煤和石油及天然气,与地层的关系更为密切。我们研究若干种沉积矿藏的形成和分布规律,并用以指导今后的矿产勘探工作,于是就可以发展出“勘探地层学”(Exploration Stratigraphy),最近美国G.S. Visher的专著,即为一总结性的宏篇巨作,这也反映了提高地层学的实用价值的趋向。在这方面,为了勘探矿产资源的目的是只研究对矿藏赋存有利的相带显然是不够的,国内外的经验都表明应当分析并研究整个的沉积盆地。沉积学的进展是和石油工业的突飞猛进分不开的。许靖华教授在1979年回国讲学中即谈到他自己在美国壳牌石油公司工作时期的体验:在石油地质勘探工作中,需要进行多方面的基础工作,要研究整个沉积盆地,从原生沉积构造特征入手,了解沉积盆地内的古水流方向,判断所形成的生、储、盖层的配合情况,对储集油气有利的相带分布情况作出预测,是比具体确定探井井位还要重要一些。作为有广博学识和全球性经验的许氏,他的经验谈是足供我们借鉴的。

对世界上几百个沉积盆地的分析研究结果表明,油气资源以中、新生代地层中含量最丰。然而人们也曾注意到,老地层中的天然气储量是丰富的,而且也有石油;相对地讲,量虽少些,但原油质量是比较好的,可能是由于地温梯度的关系,热裂解的时间又较长,所以轻质馏分要含得多一些。由于1975年在荷兰的一个实验中心对细菌和藻类加热后确实生成了液体烃类,因而现今对于广泛存在于海洋和陆上的微生物的生油潜力,已无疑虑。此外,法国的B.P. Tissot教授与西德的D.H. Welte教授的实验研究也证实了这一点。加拿大的石油地质学家W.C. Gussow对于我国陆相第三系的生油潜力也已深信不疑。但值得注意的是我国在前寒武纪地层中发现了储量可观的油气,也可以讲属于意外的发现。在前寒武纪时已有极为丰富的藻类,在形成碳酸盐岩及石油和天然气的过程中起着重要作用。此外,在油源研究上,目前也已了解到第三纪地层中所形成的油气可以运移到作为储集层的老地层内,但也并不完全排除前寒武纪地层本身的生油潜力。在我国南方的震旦系白云岩晶洞中早就发现过沥青充填,可作为佐证。在此也可以附带说明的是前寒武纪的藻类化石到50年代末,世界上已鉴定出若干属种;而在

我国,只有旧时所称的Collenia及Gymnosolen确定为藻类化石。现今前者译为聚环叠层石,后者则即为锥管藻或译裸枝叠层石,虽则叠层石(即Stromatolites)形态不同,但二者均属藻类,可无疑问,实际上也仍可作为厘定地层时代的准绳, Collenia不会超出志留纪,而Gymnosolen只限于震旦纪。

若干种盐类矿床,由于形成时需要较强的蒸发环境,而后来又易于被溶解转移。所以迄今除了岩盐以外,很难发现其它盐类矿床,例如钾盐,在苏联及加拿大均经几十年细致工作方有突破。再如天然碱〔trona, 成分 $\text{Na}_2(\text{CO}_3) \cdot \text{Na}(\text{HCO}_3) \cdot 2\text{H}_2\text{O}$ 〕,极易溶解,在我国二百多个盆地中只有一个小盆地产出固体天然碱,同时也产热的天然碱卤水,有一定层位,其形成机理的研究自有重要意义。

至于煤层及铝土矿层、锰矿层与磷矿层和地层及沉积相的密切关系,更是早为世人所共知。但值得注意的是一般认为造山运动后期所形成的磨拉斯相(Molasse-facies)多为粗碎屑红层(red bed),实则不然,如欧洲鲁尔区有88层煤都是属于磨拉斯相的。这可以充分表明古代气候及生物(主要是植物群,即flora)的重要作用,而出现层位则与大地构造旋回有关,鲁尔区含煤层系主要为石炭系,恰为海西构造旋回(在德国称Variscan,即华力西)后期。此种构造控制沉积相及沉积矿床的实例,比比皆是,可谓不胜枚举。

本世纪30年代初即曾有所谓历史大地构造学一说,近年王鸿祯教授认为它主要是“查明地史上各阶段大区 and 全球构造格局的形成及其发展演化,构造格局的演变为一个包括多种作用的复杂过程,它主要利用地层类型和沉积组合的研究重塑各阶段的古构造格局”。我们应当看出这一构造格局也就是控制沉积盆地的形成和发育,控制沉积作用、古生物群落,甚至于岩浆活动的主导因素,当然也是分析岩相古地理环境的决定性因素。对于研究地层与矿产资源之间的关系以指引今后的找矿勘探工作,其重要性自不待言。但应当注意到从勘探地层学的角度来讲,须得侧重于在区域地质背景上编制中比例尺甚至大比例尺的有关图件,才能更具有实际意义。

第二章 古代沉积环境分析的原理与方法

一、沉积环境分析的概念与原理

现代的沉积环境可以由现今地壳表面的各种自然地理环境中获得认识。早在60年代初期, W.C. Krumbein与L.L. Sloss曾认为沉积环境是“沉积物堆积的物理、化学和生物条件的总和”。那么, 也就表明了物理、化学和生物方面的因素或参数决定了沉积环境的特征。到70年代, 英国地质学家R.C. Selley对于沉积盆地也下了类似的定义, 因为沉积环境就是出现于沉积盆地中的, 只是在一个沉积盆地中有可能出现若干种沉积环境与微环境 (microenvironment)。反映在地层或岩相上, 就是出现若干岩相带或相域 (facies tract)。特别是对于石油和天然气, 储集层的分布与一定的岩相带密切相关; 而油气的圈闭机理、地热演化历史与油气运移时的流体动力条件等都是与沉积盆地的形成和发展演化有关的。不同成因类型的沉积盆地具有不同的含油气潜力, 这也就表明了油气资源如何受沉积盆地的控制。那么, 分析古代的沉积环境, 找寻有利的生、储油气相带, 对于油气资源的勘探, 显然是极其重要的。尤其是在目前阶段, 比较容易发现的构造圈闭已经很难再有重大突破, 世界上多数产油国家已不得不重视地层圈闭时, 研究岩相古地理以及地层之间的相变或超覆关系就更为重要。在这一方面, 世界知名的美国石油地质学家A.I. Levorsen曾作了深入的研究工作。另一著名的美国石油地质学家R.E. King也曾充分地注意到这一点。当然, 对于其它各种矿产资源的勘探, 同样也要了解成岩与成矿的关系, 圈定对成矿有利的相带, 以指导勘探工作。

现在我们所讲的岩相古地理研究, 主要自苏联学来。欧美各国原先也使用相分析, 古地理学研究, 但近年来, 许多书刊中逐渐用环境分析 (environmental analysis) 这一术语。从涵义上讲, 这一术语概括较为全面, 因为它包含了构造方面的影响。最近更发展到以沉积学的研究成果作为论证大地构造的依据, 而有沉积大地构造学 (即Sedimentary tectonics), 是值得注意的动向。

分析地质历史时期中的古沉积环境所用的原理和研究方法, 实际上仍是地质学上由C. Lyell在上世纪提出的“将今论古”的原理, 即根据对现代各种沉积环境的认识, 类推到对古沉积环境的理解上。例如现代沉积环境下形成的各种沉积物的特征以及生物的生态特征应当能够与古代沉积环境中形成的相类比, 但绝不相同。因为以前的均变论 (uniformitarianism) 这样的经典概念已应当作一定的修订。现今业已证明, 在整个地球发展演化的历史上, 地质作用是不可能以同样的速度和强度表现出来的。地质事件的变化速度和变化程度都可以是不同的, 尤其是可以有局部的比较特殊的变化, 这也就表明了 in 漫长的均变中是可以有灾变的, 所谓的灾变论 (catastrophism) 也并不是毫无根据的, 不应归之于唯心论 (idealism)。这方面, 地质学上有相当多的证据。实际上, 地史期中的自然环境和现代自然环境是有差别的。即以受到海洋潮汐作用影响的沉积作用为例, 则由于前寒武纪时月球和地球之间的距离仅有现今距离的一半左右, 当时的引潮力显然要比现今大得多, 相应的潮差幅度也比现在大得多。因此, 沉积相的特点自然也就不会完全一致, 尽管同样受潮汐影响, 但效果并不相同。

又如在泥盆纪以前,陆生植物很少,则地表情况与以后的植被覆盖面貌完全不同,这对于风化作用、剥蚀作用无疑会带来巨大影响,从而反映到沉积相上。这是我们必须运用辩证的(dialectic)观点来分析研究以获得正确认识的原因。

但是,无论如何,研究现代沉积环境仍然是很重要的一环。近年来,国外沉积学研究的进展是与他们在这一方面的深入研究分不开的。在人类的历史上,地层可以视为稳定不变的客观存在,然而对于地层中沉积相的分析研究与认识,以及由此来重塑古地理面貌与沉积环境,会随着人们的学术观点的改变而变化。但也只有用新观点才能获得新认识。

二、古代沉积环境的分析方法

这里所涉及的问题,除了在沉积环境中沉积下来的岩层和生物化石这样的物质基础之外,还应包括介质条件及构造背景。因此,在分析研究中应当从这几方面着手。

首先可以根据地层记录来考虑岩相,在距今40年前,J. W. Wells曾经创造出lithotope一词以代表岩石的形成环境条件,即译为岩石环境,简称岩境,它包括依据沉积物质的全部特性来显示出的岩石沉积环境。换言之,在地层单位中所识出的各种岩性的岩石沉积环境即称为lithotope。岩境为控制岩相的环境,现今固然已不复存,但能够由岩相特征推知。如果将每一种岩性均归之于一种岩境,则有可能遇到一种岩相内包含一种以上的岩境。然而这只能是微环境,而与之相应者应为微相(microfacies)。

此外,Wells也曾认为岩境在概念上也包含着生物方面的意义。例如由于物源的不同,在相同的动力条件下可以构成不同的生态环境,使生物化石的面貌有所不同。反之,若同样的生物化石出现于不同的岩性中,则可反映动力条件虽有不同,但对某些生物可以适应生存,或者是在形成埋藏群时,经过动力作用才堆集到一起来的。埋藏群落(taphocoenose)也称尸体群落,只反映化石的保存环境,而并不一定就是生物当初生存的原地环境。当然这是从微环境来讲的,若将整个沉积盆地作为沉积环境考虑,是可以忽略这类差异的。生物的生存环境或生态环境(ecologic environment)对于生物的影响是显而易见的。所以在本世纪30年代时,即已出现生物境(biotope)这一术语。由于除了一些生物层(如biosome或bioherm)及生物礁体(reefs)之外,生物化石主要是埋藏于沉积物内,所以,在生物境和岩境之间应当有着统一的关系。但由于化石记录常有间断,所以对某一种生物境来讲,它和岩境之间可以发生重合或交叉。这意味着在岩境发生改变时,生物境可能尚未改变;但同一岩境内,却因水体深度、温度及含盐量的不同,甚至还有对于生物生存的营养条件的不同,从而能出现多种生物境。

生物相(biofacies)这一术语在使用中常需依地层单位中包含的若干生物境来厘定。通常均与岩石性质的描述或古地理环境中所划分的区划单位连用。例如“笔石页岩岩相”实质上也就是“页岩生物相”。此外,也有过“软体动物相”及“泻湖生物相”之类的用法。总的看来,对生物相的用法并不统一,国内用得也较少。但值得注意的是,近年来由于对古生态学研究的进展,发展出生态带(ecologic zone)和生态相(ecologic facies),以生态地层单位(ecostratigraphic unit)为基础来建立起生态地层学(Ecostratigraphy)。世界著名的地质学家、国际地层划分小组委员会(ISSC)主席,美国的H. D. Hedberg教授则认为这就是依沉积物的形成方式或形成环境来研究并划分呈层状的岩层。

40年代末期,E. C. Dapples等曾经特别注意沉积物所反映出的沉积区的构造运动,并创

用了构造境 (tectotope) 一词, 意即构造环境, 它能够表示出一层或一组地层的沉积特征所反映出的构造背景。同时, 认为用这一术语可以代替以往使用的岩性组合 (lithologic association)。实际上, 如果再作一些引伸, 加上构造阶段的概念, 就可以和沉积建造 (sedimentary formation) 所反映的构造背景相似, 而只是在时间上可能要短得多。

现在, 我们可以将在构造上和相邻近的同一地层不相同的一组地层称为构造相 (tectonic facies)。这样, 某一构造相也同样可以和岩相与生物相形成重叠或交叉关系。

在考虑环境参数时, 沉积介质条件是很重要的, 它会影响沉积作用, 也影响着成岩、后生作用, 从而控制着沉积物和沉积岩的性质。应当了解或推算古代的水深, 并用放射性同位素方法来测定古代的海水温度。在这一方面, 美国的著名学者 H. C. Urey 在 50 年代初作有卓越的工作, 他利用碳酸盐中的氧同位素成分研究测定古温度的方法, 获得成功。由于所用标本为美国白垩系 Peedee 组的 Belemnite (箭石) 化石, 所以后来就成为世界广泛通用的 PDB 标准。我们在本章以后的有关章节中再作详细介绍。

当在一定的区域范围内对某一地层单位进行环境分析或者对一个沉积盆地内所有的地层依次进行环境分析时, 均应从最基础的地层工作开始, 研究沉积岩层本身的性质, 诸如成分、结构、沉积构造、分选性、组成颗粒的特征 (圆度、球度、表面微观特征)、层序特征 (如向上变细或向上变粗、交互层等), 分析出岩境。同时也应仔细研究岩层中所含的各种生物化石的特征, 尤其是生态特征, 它可以更多的反映古生物的生存环境。这里所讲的化石也包括遗迹化石, 在许多情况下, 生物遗迹化石更为常见, 其重要性业已为人们所共知。由此可以分析出生物境。

对于构造境的研究要复杂一点, 某一组地层或岩层组合, 可以反映出一定的构造环境, 当然也就指示了构造运动的特点。然而, 在很长时期内, 人们并不能真正的认识到, 甚至发生了误解, 作出错误的分析。譬如苏联科学院的 B. B. Белоусов 通讯院士, 为世界著名的大地构造学家, 他认为复理石 (flysch) 沉积建造 (也即复理石相) 反映了地壳的振荡运动 (oscillatory tectonic movement)。根据 50 年代以来的研究, 尤其是荷兰的学者 Ph. H. Kuenen 和他的学生 A. H. Bouma 详尽地研究了浊流的沉积机理之后, 可以讲业已否定了 Белоусов 的看法。

由分析出的岩境、生物境、构造境归纳概括出岩相、生物相、构造相的特点, 然后才可以作出对沉积环境和构造背景 (tectonic settings) 的判断与解释。同时, 再加上对古气候 (paleoclimate) 的了解与推断, 人们终于可以重塑研究区或一个沉积盆地的古地理环境。这对于位于稳定的 (stable) 构造单元 (tectonic element) 上的沉积区或沉积盆地无疑是可行的, 国内外均已从 50 年代以来的研究工作中积累了许多可贵的经验。然而对于许多褶皱带 (foldbelt), 在岩相古地理与构造相的研究上, 仍有许多尚待解决的疑难问题。虽然世界上著名的褶皱带均已被研究过多年, 但被视为褶皱带前身的地槽 (geosyncline) 自 J. Hall 和 J. D. Dana 从上一世纪提出之后已逾 100 年, 研究程度不能说很低。但在环境分析方面, 的确作得很不够。自 60 年代以来, 板块构造学说逐渐在地质科学领域内取得了主导地位, 基本上取代了过去的固定论 (fixism), 这才使得对褶皱带的研究与认识有了前进的方向。近年来, 苏联科学院的几位地质学家分析研究了乌拉尔褶皱带, 利用古地磁的资料 (paleomagnetic data), 终于编绘出从距今 6.5 亿年一直到距今 2.2 亿年期间的 12 幅古地理图 (paleogeographic map), 对从前寒武纪开始直到三叠纪初结束的这一条经历了加里东构造旋回 (Caledonian cycle) 和海西构造旋回 (Hercynian cycle) 的巨大褶皱带的南段进行了发展演

化模式的分析,得知当初的“地槽”原来是一个宽度超过1700公里的原生大洋盆地。倘若仍用固定论观点将“地槽”限于约有500公里宽的褶皱带内,则绘出的古地理图真可谓失之千里了!

对于褶皱带的环境分析,还应当注意使用一些新的设备,包括扫描电子显微镜(SEM)、电子探针(electron probe)、阴极发光(cathodoluminescence)显微镜以及作放射性同位素分析所用的仪器。在古地磁样品的测试与分析上,现今的实验设备是可以达到我们所要获得的精度的。然而在数据的使用上会遇到一个令人困惑的问题,即地球磁极(magnetic pole)的迅速迁移,根据近150年中的追踪测定,地磁北极已移动了大约800公里,平均每日可移动14米左右,如以此平均速度计算,则地磁的反向也只是在4000年即可发生的事件,所以也许真正的地磁反向事件(magnetic reversal events)要比人们现今所识出的要多若干倍(具体可参见图2-1所示)。

总之,研究古代沉积环境和构造背景,需使用各种手段,也就是综合方法;而不是依赖于某一种新方法。事实上,由于自然环境的复杂性和各种地质作用之间的相互作用与影响,对地层记录的认识很不容易,需要考虑的因素很多,绝不可失之于片面、主观。要掌握所用的各种方法,就必须随时吸收新的成就来充实并取代过时的知识。

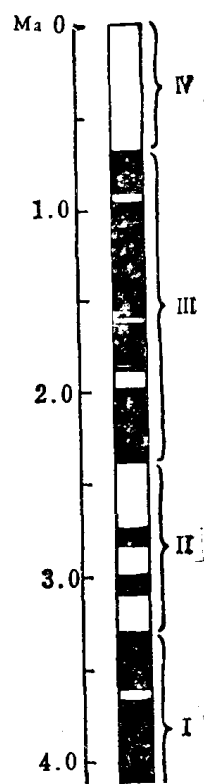


图2-1 用钾-氩法测定绝对年龄,并作古地磁研究后所获得的地磁层序

I—吉尔伯特(Gilbert)反向期; II—高斯(Gauss)正向期; III—松山(Matuyama)反向期; IV—布容(Bruhnes)正向期;
Ma—百万年,下同

三、构造运动对沉积作用的控制

在此我们要特别分析一下构造运动对沉积作用的重要影响。因为这是一个不太容易理解而又非常重要的问题,所以有必要略作解释,以免被忽略。通常一个接受沉积物的区域就是沉积盆地,例外情况不多。当沉积盆地的底盘(floor)因受构造运动控制而有不同的沉降速度(subsiding rate)时,相邻的物源区(source area)也可以有不同的上升隆起(uplifting)速度,与此相关联的就有风化作用(weathering)和侵蚀作用(erosion)的速度、物源供给的数量及水动力条件或介质性质的不同,从而也就影响了沉积物的沉积速度。这些因素之间有着很多较为复杂的关系,既能够影响并改变水体深度,也能控制岩相带与生物相带的分布格局。构造运动对沉积的影响可参看图2-2及图2-3。下面分析一下可能出现的几种典型情况。

1. 快速沉降与快速沉积

如果沉积区的底盘沉降速度相当快,而与此同时,物源区或构造上的正向区(positive area)也以较快的速度上升时,即有可能供给大量或充足的物源,导致快速沉积。在这种情况下,沉降幅度可被沉积充填的厚度所补偿,因此水体深度的改变很小或者基本上未发生变化。由于先沉积的沉积物被后沉积的沉积物迅速埋藏,从而可很快脱离水体的影响。这样就