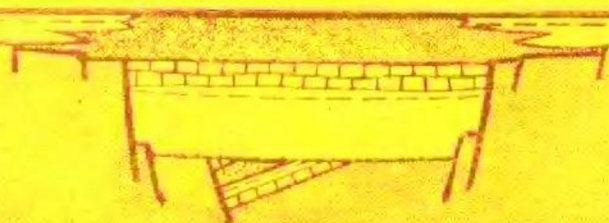


沉积相解释 与地层记录

[英] A. Hallam



地质出版社



50492

200394545

沉积相解释与地层记录

[英] A. Hallam

张志娴 沈德麒 译
李树誉 李鸿超 校



00266598



50492



地质出版社

内 容 简 介

本书作者利用丰富的实际资料和综合测定方法,从地层学角度进行沉积相解释。全书共十章,前三章介绍沉积相分析的原理和方法,对现代沉积环境及其古代相的同期地层进行详细论述。后七章按七个专题精辟地讨论了生物界的演化、分布范围及其与环境变化的关系。在分析过程中涉及海平面升降变化、古气候、生物灭绝和缺氧事件以及沉积作用和板块构造关系等问题。

本书适用于地质院校高年级大学生和研究生学习或作为教程,也可供从事有关专业科研及生产工作的地质人员参考。

Facies interpretation and the stratigraphic record

A. Hallam

W. H. Freeman and Company 1981

沉积相解释与地层记录

〔英〕A. Hallam

张志娴 **沈德麒** 译

李树誉 李鸿超 校

*

责任编辑:郑长胜

地质出版社出版发行

(北京和平里)

地质出版社印刷厂印刷

(北京海淀区学院路29号)

新华书店总店科技发行所经销

*

开本: 850×1168¹/₃₂ 印张: 7.75 插页: 2 页 字数: 197000

1991年5月北京第一版·1991年5月北京第一次印刷

印数: 1—1240册 国内定价: 6.10元

ISBN 7-116-00818-7/P·700

译 者 的 话

本书作者A. Hallam, 是英国著名沉积地层学家。《沉积相解释和地层记录》是作者近年来所编著的一本, 既可用为地质院校高年级学生和研究生教程, 又可作为从事有关专业科研、生产工作的专业地质人员的参考书。

该书特点在于编排新颖, 打破传统教科书的编写方式、方法, 采取专题讨论的形式, 但又相当重视基础理论。该书前三章介绍了沉积相的基本原理和方法, 同时对不同沉积环境类型进行了分析; 后七章实际上是本书重点讨论的七个专题, 主要讨论沉积环境和沉积相、沉积作用和大地构造、生物界的演化和沉积环境的变化等问题。并以典型实例从沉积岩石学、地层学、古生态学、地球物理学、板块构造等诸学科的角度进行综合分析, 重点放在分析和解释上, 从而避免了大量实际资料的列举和堆砌, 使读者易于理解专题的基本内容、发展现状和存在问题, 以及进一步探索的途径和研究方法。

更应强调的是, 作者所列的专题, 特别是后七个专题, 都是属于全球规模的重大研究课题。而这些课题, 正与译校者1986年参加在澳大利亚召开的第十二届国际沉积学大会上制订的《全球沉积地质学研究规划》(简称GSGP)所规定的内容相符合。因此, 将本书介绍给我国读者, 将对我国进一步开展全球性沉积地质学有关课题研究, 可能会有一定的启迪和裨益。

本书译者, 第一章至第三章, **沈德麒**; 第四章至第十章, 张志娴。全文校订, 李树誉、李鸿超。在译校过程中对书中的内容作了部分删节。顾德林对全书图、文技术性工作给予很大帮助。在出版过程中得到地矿部宜昌地质矿产研究所沉积室的大力协助, 在此一并致谢。

译者

1988年9月

序 言

沉积地层及其所含化石，对于想要研究地球历史的人来说，是真正的宝库；但是，对于如何把大学地层学这门课程教得尽善尽美，仍然存在着许多不同意见。一些人认为需要一个体系一个体系地精确论述其对比和专门术语。然而，这样做容易变成单调乏味的列举，对理解许多概念没有重要的参考价值；岩层和化石的简单罗列，再加上死板的定义，不仅使广大学生厌烦，而且还会使之茫然无措。有人把重点放在对环境的解释上；现已被称为动力地层学，或“非重力测量地层学”。遗憾的是，对沉积岩石学专业或古生态学专业的课程而言，许多精选的材料经常被删掉了，结果，导致地层学课程只是空洞的，有时甚至是相当模糊的概念堆砌。

有一种相当普遍的观点，常以一种轻率的方式表示出来，认为地层学是“古典”地质学的一部分。在早期，地层学一直占据大学课程的中心位置。然而，近些年来，由于其它更为专门化的学科不断产生，这种统治地位已逐渐下降。人们经常认为地球科学的现代进展在很大程度上与新的研究领域发展有关。另一种广泛持有的观点是，如果某一学科的研究工作需要一些较复杂的仪器设备，那么这门学科就会莫名其妙地被认为是更科学的。地层学通常与大量测试仪器设备没有什么关联，尽管近几十年来测试仪器设备事实上一直起着日益重要的作用，包括 α -射线和电测井仪，地磁仪和质谱仪（用于磁性和同位素地层学），以及用于钻井和地震反射研究的高级仪器设备等。尽管如此，用人们习以为常的简单工具，如锤子和岩石显微镜，依然能够完成许多有益的工作。用Samuel Butler的话说，“在一把古老的小提琴上，能够演奏出许许多多和谐优美的曲调”。事实上，仪器设备的复杂性

与某一特定学科具有多少科学价值往往不大相关，因为科学的精髓在于批判性地评价及对概念的检验。

我深切感到，现阶段在我们的科研工作中，应该更加积极地反对无端的学科分裂。在沉积岩石学和古生态学方面的最早工作中，已经屡次要求为有效研究目标，应把集中点局限在一定范围之内。然而，对这种既原始、又重要的研究工作来说，进一步能完成的事总是有限的。在信息交流迅速的今天，科研成果很快就融会进学科的主体，并被汲取到大学的教学中去。要进一步推动学科进步，我们必须把信息“反馈”到地层学的主流中去，以解决地质学中有重大价值的新、老问题。对于忽视沉积物的古生态学家、或者对于无视化石和地层的沉积岩石学家来说都没有再为自己辩解的更多理由了。两个学科都必须对大地构造学和海洋地质学的新进展予以适当的注意。

事实上我所呼吁要记取的是，60年代末70年代初地球科学发生的一场革命给我们带来的启迪。当时，古生态学家、岩石学家和地球物理学家这样一些毫无联系的一批人，为了一个共同的目标走到一起来了，他们比以往任何时候都更紧密地通力合作。我们从中清楚地看出学科交叉研究的价值。

Lyell所著的“地质学原理”一开始就意味深长地讲到：“地质学是研究在有机的和无机的‘自然王国’中一直发生着的、循序渐进变化的一门科学；这门科学研究这些变化的原因，并研究它们在使我们这个星球的地表和外部构造发生变化的过程中所产生的影响”。

这一叙述今天看来仍然非常精辟。它指出地层学的重要作用。就其广义来说，地层学与历史地质学是同义词；究其本质，它是一门综合性学科。从不同的研究领域吸收相关资料，集中解决地球历史诸多问题的能力是一个优秀地质工作者的标志。因此，除了从地层学的角度研究各学科所获得的独到见解之外，还需要有判断能力和熟练的技巧。这正是那些受过物理学、化学或生物学方面高等教育之后开始从事地质学研究的人们常被拒之门

外的原因所在，不管他们在自己的学科中造诣有多深，都难于达到这个标准。

本书旨在为恢复地层学作为地质学的核心学科这一公正地位作出贡献。所以，我选了一些重要课题来作分析，引用一些切题的、各式各样区域和年代的实例，而屏弃竭力通过地层柱状图去死扣的传统方法。本书主要是作为高年级大学生和研究生的教材而设计的，当然我也希望这本书对那些终日忙于自己的专业，而没有时间去大量阅读其专业范围以外的书籍的地质工作者有些使用价值。阅读本书应具备沉积岩石学、古生态学和地层对比原理的基础知识。阶（期）术语采用的是地层学家们的“混合语言”，并在本书中经常提到，在许多术语还不为学生特别熟悉的情况下，我便把那些较为广泛常用的术语列表于本书附录中*。

在第一章介绍关于相分析的原理和方法并在第二章、第三章详细论述现代沉积环境及其古代沉积相的同位地层，之后，紧接着便是一章接一章的七篇重点专题。每一章虽都可作为一个独立的整体，然而这些章却是按一定顺序审慎地作了编排，各章有相互呼应参照处。我希望前后连贯为一总体，容括整个地球科学的一大主题——生物界的演化、分布范围及其与环境变化的关系。尽管“沉积相分析”这一术语适合于绝大多数研究人员所从事的有限主题的详细研究，但是我在本书标题中还是用了“沉积相解释”，因为第四章到第十章的专题也涉及到大量综合测试的手段。

所有的教师都应当竭力在讲授知识与鼓励独立思考之间取得平衡。因为这本书不是一本专题论文，所以我已尽量避免以数据资料来难为读者，而是把力量集中于突出的实例上。但是，丰富的参考文献可为那些希望更详细地从事特定专题的研究者提供方便。鼓励独立思考是较难保证的，有时不得不挑起不同的意见。当我对某些问题有一种明确的观点后，我便设法集中注意力于那些不够精确的领域。

* 鉴于作者列入附录的仅是欧洲的海相地层分阶，译者删去

不言而喻，若没有许多朋友和同事们的鼓励 和 协 助，我是不会尝试写这样一本著作的。他们或以自己的想法鼓舞我，对我的著作作出建设性评论，向我提供利于成书的情 报 资 料，或指示给我有关的文献以供参考。我要特别对 Nick Badham, John Imbrie, Hugh Jenkyns, Erle Kauffman, Gerry Middleton, Bruce Sellwood, Finn Surlyk, Peter Vaij, Jerry Van Andel 以及 Jim Valentine 等诸学者一并表示深切的谢意。我还应当特别提到的是 Perce Allen，是他最初建议我就地层学的角度写一本关于沉积相解释的书。当然，对书中所写的内容由我个人负责，只希望上面提到的那些学者们会赞同我的成果。最后，我还要对协助我完成打字原稿的 Christine Sturch 表示衷心感谢。

A. Hallam

1980

目 录

第一章 沉积相分析的原理和方法	1
一、相的概念.....	1
二、方法.....	2
三、相模式.....	11
四、关于统计技术的一点说明.....	12
第二章 大陆和边缘海环境与相	14
一、冲积沉积物.....	14
二、风成沉积物.....	19
三、湖泊沉积物.....	22
四、冰川沉积物.....	23
五、三角洲和滨海平原沉积物.....	25
第三章 海洋环境和相	36
一、浅海动态.....	36
二、深海动态.....	50
第四章 沉积作用和大地构造	58
一、与扩张有关的环境.....	61
二、与俯冲作用有关的环境.....	66
三、与转换/走向滑动断层有关的环境	70
四、与大陆碰撞有关的环境.....	71
五、威尔逊旋回.....	72
六、克拉通内部的盆地沉降.....	79
七、与石油蕴藏有关的沉积作用和构造	80
第五章 古陆表海	83
一、小潮差.....	86
二、向停滞作用发展的趋势.....	87

三、异常含盐量·····	94
四、其它有特色的相·····	99
第六章 全球性海平面的变化·····	111
一、分析方法·····	112
二、显生宙的主要海面升降变化·····	121
三、海面升降的原因·····	127
四、海平面变化的定量评价·····	129
五、结论·····	132
第七章 显生宙气候·····	134
一、气候标志·····	134
二、氧/同位素分析·····	136
三、寒武纪和奥陶纪·····	138
四、志留纪和泥盆纪·····	139
五、石炭纪和二叠纪·····	140
六、三叠纪和侏罗纪·····	143
七、白垩纪·····	147
八、第三纪·····	149
九、第四纪·····	157
十、总论·····	160
第八章 中生代和新生代海洋·····	163
一、碳酸盐线的变动和古海洋测深法·····	163
二、沉积速率、间断及洋流·····	166
三、硅质沉积物·····	168
四、缺氧沉积物·····	169
五、Fischer 和Arthur 模式·····	172
六、地中海蒸发岩盆地·····	177
第九章 前寒武纪环境·····	183
一、海洋环境和非海洋环境的区别·····	183
二、冰川作用·····	184
三、潮差·····	186

四、大陆的演变·····	186
五、气圈和水圈的演变·····	191
六、生物圈的演变·····	196
第十章 沉积相和显生宙的化石记录·····	200
一、整个地质时期的多样性变化·····	201
二、寒武-奥陶纪的辐射演化·····	205
三、大量灭绝幕·····	206
四、大量灭绝的原因·····	212
五、动物区·····	224

第一章 沉积相分析的原理和方法

一、相的概念

“相”来自拉丁文 *facies*, 意指面貌、外形、外观、外表、面容或状态。这是一个抽象的概念, 它被地质学家用于许多方面, 但是本文只涉及它在沉积岩研究中的用途 (Teichert 1958)。

目前公认的相概念是指一定地层单元内岩石特征和动物群特征的总和, 这是由瑞土地质学家 Gressly (1838) 提出的。他在描述侏罗山 Solothurn 地区上侏罗统地层时提出了这一术语。几乎在同时, 法国的 Prévost 提出一个类似的概念, 但他用的是“组”。后来澳大利亚地质学家 Mojsisovics 提出用术语“同相的”来表示相同的岩石; “异相的”表示不同相的岩石, 但这些都没有被广泛采用。

19世纪德国地质学家 Johannes Walther 对相的相互关系作了最深刻的论述。由于他的“相系定律”, Walther 至今尚受到人们的称颂 (实际上我宁愿使用“法则”这个术语——物理学才有定律, 而地质学只有法则。提出这样的异议, 部分是为了开玩笑)。所谓“定律”或“法则”有各种各样的解释, Middleton (1973) 曾努力排出各种可能出现的混乱, 他的方法就是回到 Walther 原始的陈述上去。Middleton 对 Walther 的有关章节 (Walther 1894, P. 979) 翻译如下:

虽然我们看到同一相区的不同沉积物以及不同相区的类似的岩石, 在剖面上总是互相叠置, 但它们形成时, 在空间上彼此相邻……这是一个具有深远意义的根本陈述, 即: 只有那些在现代彼此相邻的相和相区才能在原来的剖面上互相叠置。

这一陈述的一般解释表明：在一个整合的垂直地层层序中出现的相，形成于横向上相邻的环境里。虽然要求作现实主义的对比，但Walther在别处指出：有一些相可能没有现代的代表。他还强调：他的“定律”只能应用于没有侵蚀面或地层缺失这类大的间断的连续层序。

直到几十年前，相概念在欧洲大陆仍然比在大不列颠与北美活跃得多。例如，Heim与其他人非常成功地应用了相的知识去解释阿尔卑斯山构造的复杂性。他们识别出一些不同的相单元，现在紧靠在一起；而过去必然沉积在分隔遥远的地方。相反，本世纪早期英国的Buckman和美国的Ulrich有影响的地质教学却完全不顾相差异的意义，将同一地区不同相的岩石看作不同时代的产物，这几乎成了公理。比较一下Arkell (1933)对Buckman以及Dunbar和Rodgers (1975)对Ulrich的批判文章(这是一本有益的读物)，就显示出这些独立工作的古生物学家（指Buckman和Ulrich——译者）在思想上有显著相似之处。

当然，在现代几乎每个人都意识到相差异的意义，但是“相”这个术语却仍然被不加区别地用于一些臆测的环境，例如，地槽相、三角洲相、滨海相。在适当的场合，这也许并不会受到太大的反对，但无论如何这总会陷入一定程度的主观判断。因此就使得人们使用更为描述性的术语，例如，沥青质页岩相、珊瑚礁灰岩相，并继之以环境解释，这似乎是令人满意的。在分别涉及地层单元的岩石学和动物或植物特征时，区分出岩相和生物相是有用的。虽然严格地讲，岩相乃是相的总称，因为化石构成了岩石的一部分。

二、方 法

相分析需要进行综合分析，在分析过程中，来自各个方面的证据都有助于古环境的解释。没有哪一个研究领域是特别重要的，每一研究领域都有它自己独特的长处和短处。但是在特殊情

况下，其中某些领域显然可能比其它领域更为重要和相关。

1. 无机沉积构造

交错层理、粒序层理、波痕、负荷模和槽模是野外观察到的许多沉积岩的最显著的特征。尽管著名的先驱者，英国的 Sorby 和美国的 Gilbert 的有关工作可以追溯到19世纪，然而奇怪的是，直到20年前，这些特征还没有被深入地研究。现在，这一研究领域已上升到重要地位，与此同时，人们普遍承认沉积学是一门独立学科，这可以从部分或全部用于描述和解释沉积构造的许多教科书与专题论文中反映出来。

研究上述构造的重大意义在于：可从中获得大量关于形成沉积物的运移和沉积原因的水或空气运动的性质、能量、水流特点和方向等资料；在某些情况下，还可获得关于沉积速率和沉积物源（如爬升波痕构造一般意味着高速率）。冰碛岩的特殊构造和一般岩石特征是冰川环境的最好证据。沉积构造的局限性主要在于很少提供关于诸如水体深度、温度和含盐度等沉积环境的一般特点，在区分牵引流和浊流、风和潮流、风成沙丘和某些浅海沙丘的影响时，它们是不太可靠的。

2. 粒度分布和结构

对这些特征的分析是依据实验室筛析和显微镜观察进行的。沙质沉积物的粒度分布已研究多年，而且也比较成熟。如河流沙的分选要比海滩沙的分选差得多。近些年来逐渐使用更精确的统计学方法，特别是偏态和峰态分析方法（Friedman 1961, 1967, 1979; Visher 1969）。石英砂颗粒表面结构的电子显微镜研究可以提供关于冰川、海岸或风成沉积环境的信息（Krinsley 和 Donahue 1968; Krinsley 和 Doornkamp 1973）。

遗憾的是，石英砂颗粒的强抗蚀性使它们能轻易地从一种沉积动态转移到另一种沉积动态，并从较老的沉积组合再循环进入较新的沉积组合。成岩作用的溶蚀和结晶质的次生加大，可明显地改变颗粒的原始大小和结构。生物扰动（这在海洋中最为常见）使粒度分布遭到破坏。由于上述原因，并且由于普遍认为沉

积构造通常能提供更丰富的资料，所以近年来粒度分布和结构研究已渐趋减弱。

另一方面，结构研究在碳酸盐沉积研究中是非常重要的。因为石灰岩和白云岩只有在显微镜下才能揭露其奥秘。这些岩石都是成岩作用产物，因此，在任何试图解释沉积物的原生特征之前，必须先进行成岩组构分析。关于这一研究，Bathurst (1975) 已写出了优秀的教程。

3. 矿物学

显微镜下的矿物学分析对于区分各类砂岩，例如正石英砂岩、长石砂岩和杂砂岩等显然是必要的，并且还能提供关于沉积物来源、内陆风成作用以及沉积环境等方面的重要资料 (Green-smith 1978)。在两次世界大战之间，砂岩的重矿物，如电气石、锆石、金红石、十字石和蓝晶石等的分析十分流行，实际上，重矿物分析几乎变得与沉积岩石学同义。虽然这种分析在适当情况下能够提供关于沉积物来源的有用资料，却也存在着一系列意外的困难。比较稳定的重矿物，如锆石，有很强的抗蚀能力，因此能经历几个沉积旋回而保存下来；而稳定性较差的重矿物可被成岩作用所破坏。而且分析工作是一种不寻常的体力劳动，获得的结果却（经常是）十分有限。因此，目前对重矿物分析已不太感兴趣。

矿物学分析对碳酸盐岩是相当不灵敏的，其重要的矿物只有方解石和白云石。对一些化学沉积物而言，这种不灵敏就不存在了，如蒸发岩（它们可提供干旱气候的确切证据）、铁岩和磷岩，根据矿物学研究所作出的推测，对这些岩石具有重要的意义。要警惕的是，不要过于相信在显微镜下的矿物学研究一定会提供有关沉积环境的信息。众所周知，蒸发岩矿物易受成岩交代作用的影响 (Stewart 1963)，根据菱铁矿、黄铁矿与磁铁矿的分布就刻板地推定形成铁岩环境的原生沉积条件（如Garrels 1960；James 1966）也是不合理的，因为这些矿物是在成岩作用期间形成的。

通常，沉积岩石学家明显地分为两个很少交流的阵营——砂岩研究者和碳酸盐岩研究者。而且两者都忽视所有的最重要的沉积物，也就是具有一定容积的粘土岩。然而，粘土矿物的X射线衍射方法并不是特别深奥的方法，这一方法已为大多数沉积岩石学家所掌握。如 Grim (1968) 和 Millot (1970) 编写的教科书提供了合适的背景材料。

有利的是，有少量具有重要地质作用的粘土矿物。最常见的“伊利石”并不具有特殊的信息，但高岭石的高比例似乎是表明靠近或来源于一个温暖潮湿的陆块(Griffin 等, 1968; Hallam, 1975)。相反，沉积在干燥条件下咸化湖泊和近海环境的粘土则常以那些富镁类型如海泡石和山软木为特点(Jeans 1978)。大部分或全部由蒙脱石和同源沸石组成的粘土可能表明为火山来源(Hallam 1975; Jeans 1977)。丰富的绿泥石(并非典型的粘土矿物)则可能表明来源于变质岩的弱风化，如现代北大西洋沿岸的高纬度地区(Griffin 等 1968)。

值得一提的还有另一些最适于作X射线衍射分析的粘土矿物或矿物。除一些尚未确定的例外，海绿石似乎是海洋环境的良好标志；含胶磷矿（钙磷灰石）则表明沉积速率缓慢；含有赤铁矿的铝氧化物——水软铝石和硬水铝石是铝土矿和红土中具有气候意义的典型类别。

4. 地球化学

60年代，对泥质岩中的某些微量元素做了大量工作，目的在于估价它们作为古盐度标志的价值。Potter (1963) 研究了北美许多具有不同年龄、源区、构造状况、沉积速率和气候状况的沉积物样品。对现代的与古代的沉积物样品分析结果是非常相似的，这表明微量元素的含量在沉积后的变化微乎其微。通常，硼、铬、铜、镓、镍和钒在海相沉积物中比在非海相沉积物中更富集。

硼比其它微量元素更引人注意(Harder 1970)。虽然它作为古盐度标志似乎有价值，但仍有许多明显的限制。它将随粘土的

矿物学特性和粒度以及温度而变化。元素被吸收必须经历很长时间才能达到其吸收容量，样品将在矿物、粒度和成岩历史方面与标准样品比较，硼含量对盐度的迅速变动显然并不敏感，分析生物群比这要好得多。分析硼及其它微量元素(如上列诸元素)的最大价值可能在于确定那些缺乏任何动物群的岩石，例如元古代沉积物。

在50年代首次研究了化石介壳的氧同位素比值，可作为可能的古温度计。然而，这一比值同样随盐度变化而变化，而且还由于沉积后的成岩交代，雨水(经过岩石)的循环作用等影响，比值增加明显，用 $^{18}\text{O}/^{16}\text{O}$ 比值来确定现今出露在陆地上的岩石的古温度(如 Hallam 1975)是不可靠的。另一方面，在深海岩心中发现的自晚白垩世以来的有孔虫介壳引起人们的兴趣，并获得明显可靠的结果，这将在第七章论及。然而，把它与氧同位素、 $^{13}\text{C}/^{12}\text{C}$ 比值相结合，可获得有关边缘海和非海相环境盐度变化的宝贵资料，并表明成岩作用的影响可能很小(Keith 等 1964; Tan 和 Hudson 1974)。对于前第三纪常见的灰岩来说，结合 $^{18}\text{O}/^{16}\text{O}$ 与 $^{13}\text{C}/^{12}\text{C}$ 分析可能是碳酸盐成岩作用研究的最有效手段(Hudson 1977a)。然而燧石的氧同位素很有希望作为古温度的标志，甚至前寒武纪的岩石也可使用(Knauth Epstein 1976)。

5. 动物群和植物群

环境解释对含有化石的岩石来说是非常容易的。象珊瑚、腕足、棘皮、头足或苔藓这样的狭盐度无脊椎动物群足以证明为海相环境。一般说来，化石乃是我们现有最好的盐度标志(图1.1)。它们也是海水深度的最佳标志之一，但可靠性稍差(图1.2)。与海洋环境相比较，沿岸和边缘海环境是以生物种类单调而个体丰富为特征。

陆生植物化石是气候良好的标志。假如植物群很年轻，与现代植物有密切关系，因此温度能非常精确地确定(Wolfe 1978)。在海相无脊椎动物中，造礁珊瑚可能是热带环境的最好标志。

介壳定向、关节脱落及破碎情况等生物遗体沉积学研究可提