

文章编号: 1000-0550(2003)01-0010-09

沉积地球科学的历史回顾与展望

何起祥

(青岛海洋地质研究所 山东青岛 266071)

摘要 沉积地球科学自上世纪初从地层学中分出,成为独立的地球科学分支,经历了沉积岩石学、沉积学和沉积地质学三个发展阶段。沉积岩石学以沉积岩的特征、分类、产状和成因为主要研究对象;沉积学以沉积作用及沉积岩的形成为主要研究任务;沉积地质学探讨四维空间里沉积物运动的规律性,是沉积地球科学的新的拓展和升华。本文回顾了沉积岩石学、沉积学、沉积地质学的发展历史及其中蕴含的科学思维与方法学的重要变革,从认识论和方法学方面总结和讨论了本学科的发展轨迹,并在此基础上讨论了未来的发展方向。

关键词 沉积岩石学 沉积学 沉积地质学

作者简介 何起祥 男 1936年出生 研究员 沉积学

中图分类号 P512.2 **文献标识码** A

1 沉积岩石学的诞生与发展

沉积岩(含沉积物)是地球上出露最多的岩石。“均变论”或“现实主义原理”以“将今论古”作为其认识论的基础,但在当代地球上,人们所能目睹并身历其境的地质作用过程并不多。只有沉积环境和沉积作用,才是人类认识自然的天然实验室。因此,在地质学的发展历史中,沉积地球科学一直占有十分重要的地位。

沉积岩是地层信息,尤其是化石和年代信息的载体。在地球科学发展的早期,沉积岩石学是地层学的一部分。地层学家按照成分和粒度将沉积岩分为砾岩、砂岩、页岩和灰岩,用以描述地层在纵向和横向上的变化。

19世纪末, Sorby 率先将显微镜用于沉积岩的鉴定,开创了沉积岩石学研究的历史纪元^[1]。同岩浆岩与变质岩一样,沉积岩的成分、结构、构造等岩类学特征和成因受到了极大的重视。

20世纪初期,人类的能源结构发生了巨大的变化。石油逐渐取代煤炭成为最重要的能源资源。石油勘探和开发都要和沉积岩打交道。人们对沉积岩有关信息的期望越来越高。沉积岩的研究方法有了极大的发展。沉积岩石学的基本理论渐趋成熟,一支专门研究沉积岩石学的队伍逐渐形成并不断壮大。沉积岩石学作为一门独立的地球科学分支学科的时机已经成熟。

1913年, Hatch F H的《沉积岩石学》一书出版,标志着沉积岩石学作为一门独立的地球科学分支学科

的诞生^[2]。1922年, Milner H B所著《沉积岩石学导论》问世^[3]。1928年,两卷本的《沉积岩石学》出版^[4]。

1920年,美国国家研究院地质学和地理学分院沉积委员会决定出版一本沉积学专著,以满足日益增长的需要,并请著名古生物学家和沉积岩石学家 Twenhofel W 负责此事。1925年,由 Twenhofel 主编的《沉积作用教程》问世^[5]。六年后,《沉积作用教程》再版,以后又多次重版。1939年,他出版新著《沉积作用原理》^[6]。

1931年,“沉积岩石学杂志”(Journal of Sedimentary Petrography)在美国出版发行。在苏联,沉积岩石学也受到了高度的重视。1932年,什维佐夫出版《沉积岩石学》一书,并被定为高等院校通用教材^[7]。以后又出版了普斯托瓦洛夫的《沉积岩石学》(1940)和鲁欣的《沉积学原理》^[8]。

从20世纪的30年代至50年代,是沉积岩石学发展的鼎盛时期。沉积岩石学的岩类学基础和描述岩石学系统不断完善,陆续出现了一批重要论著。1957年, Pettijohn 的《沉积岩》一书问世。这是沉积岩石学达到成熟阶段的重要标志,也是对半个世纪以来沉积岩石学发展的历史总结^[1]。

地质学的基本任务之一是恢复和重建地质历史。因此,古相沉积物的沉积环境和沉积作用一开始就受到沉积学家的极大关注。早在十九世纪末叶,人们就认识到,必须从岩石组合而不是从个别的岩石来研究这一问题。1838年,瑞士学者 Gressly 提出了“相”的概

念^[9]。他在研究瑞士索罗森附近侏罗山东段的三叠纪和侏罗纪地层时,发现“每一个地层单位在水平方向上都有岩石成分和古生物特征的显著变化。这种变化均为一定的和不变的规律所支配。”他把这种岩石的和古生物的特征统称为“相”(facies)

Gressly 的原始定义虽未提出相与沉积环境之间的关系,但这些古生物和岩石学“特征”都是环境的产物和标志则绝无疑义。相的研究在逻辑上势必导向沉积环境的恢复和重建。于是,区域岩相古地理研究和岩相古地理编图很快发展起来。从理论上说,古地理的概念是瞬时的,但在实际上,要找到一个瞬时的区域性等时面,不仅在过去是不可能的,即使在现在和将来也是不可能的。因此,实践中都是选择一个地层单位来进行编图。所选的时段间隔越小,精度越高,工作难度也就越大。这种图既是动态的,又是静态的。从多幅古地理图了解一个地区的时间演化,是动态的;从一幅图了解某一时间的古地理分布,是静态的。因此,古地理研究是认识地质历史的十分成功和有效的手段。这一工作在我国和前苏联受到高度重视。美国在这方面的工作,相比之下稍欠系统性。他们认为,古地理是一种分析和解释,带有强烈的作者的主观认识,而相图是实际情况的描述,可供任何人使用。因此,他们提倡编制岩相图。

Sloss Dapples & Krumbein 早在上世纪五十年代就曾组织他们的学生编绘了美国全国各时代的小比例尺岩相图,是极有应用价值的一套图件^[10]。岩相古地理研究是沉积岩石学的自然延伸,反过来又促进了沉积岩石学的发展。

然而,任何一个沉积环境都是由一组边界条件限制的,并通过沉积作用影响沉积物的形成。环境决定作用,作用决定产物(沉积物)。“环境-过程-反应”(environment-process-response)是有机联系在一起的^[11]。所谓“相分析”,就是由产物反推环境的思维过程。而对沉积作用的研究正是其中最关键的一环。

2 沉积学的兴起与发展

当历史进入到 20 世纪 50 年代,研究现代沉积作用的呼声日益高涨。沉积岩石学已经无法包容日益拓宽的研究领域。1946 年,国际沉积学会(International Association of Sedimentologists)成立。1951 年,美国学者 Douglas 发表“从沉积岩石学到沉积学”一文,正式提出了以沉积学作为沉积岩石学发展一个新的阶段和归宿,为地球科学开拓了一个新的领域^[1]。1962 年,“沉积学杂志”(Sedimentology)创刊。

沉积学的研究内容与沉积岩石学有许多共性,但其主要任务是利用物理学、化学、生物学和数学的原

理,研究沉积物搬运和堆积过程,为解释沉积岩的成因提供基础。早在上世纪的三十年代, Bagnold 就研究过沉积作用的物理过程,并用以解释层理构造的动力学,开创了沉积学研究的先河^[1]。

沉积学的进展是与现代沉积作用的研究分不开的。浊流沉积作用的发现为当代沉积学研究提供了一个范例,是沉积地球科学发展史上的一个里程碑。

浊流的概念最早由 Daly 于 1936 提出^[1],并认为浊流是海底峡谷形成的主要原因。1937 年,荷兰学者 Kuenen 用水槽实验证实了 Daly 的设想。1950 年, Kuenen 与 Migliorini 合作,证实了递变层理的浊流成因^[12],并确认浊流是一种深海地质作用。由此为复理石的形成机制找到了合理的解释和现代实例。复理石一词本是瑞士阿尔卑斯山的一个地层名词,是指当地晚白垩世至渐新世的一套砂泥质沉积,以杂砂岩和页岩的互层为特征。在地槽论的早期,关于地槽的沉积环境有着尖锐的争论。正统的地槽论者认为,地球上根本没有深水沉积。地槽是浅水环境下的构造深凹陷。复理石是地槽回返时地壳频繁震荡形成的一种浅水沉积。而欧洲的一些学者则认为,地槽不仅是构造上的深凹陷,也是沉积上的深盆地,相当多的地槽沉积属于深水沉积。两派争执多年。浊流理论的出现不仅给这一历史悬案作了结论,也为板块理论的诞生扫清了障碍。

二次大战之后,海洋地质调查有了空前的发展。而社会经济的快速发展又对以石油为主的能源工业提出了更高的要求。这种大的形势为沉积学的发展,尤其是现代沉积作用的研究,创造了条件,终于在 20 世纪 60 年代引发了沉积地球科学的一场革命。

沉积岩石学一直把沉积岩按其搬运和沉积方式分为碎屑岩、黏土岩和化学-生物化学岩三类。三者各有其分类系统和成因分析方法。上世纪五十年代,美国的一批年轻沉积学家到巴哈马群岛和波斯湾地区进行现代碳酸盐沉积作用的研究。他们很快发现,碳酸盐沉积物也是由粒度不同的颗粒组分组成的。这些颗粒虽有不同的前期历史,但它们在沉积过程中的行为,却与陆源碎屑颗粒无异,也服从沉积动力学的规律。碳酸盐岩与陆源碎屑岩之间,虽然物质组成和物质来源不同,但其成因机制并无本质上的区别。1959 年, Folk 提出了石灰岩的结构成因分类^[13]。揭示了碳酸盐岩与陆源碎屑岩在形成过程和形成机制方面的同一性。这是沉积学理论体系的一次意义深远的革命,其意义决不在浊流岩之下。

与此同时,美国的沉积学家还在波斯湾、巴哈马、美国大盐湖等地开展了对叠层石的研究。发现这些长期有争议的沉积物是蓝藻的生物化学作用的产物。它

们的形态取决于环境的动力条件,因而是极好的指相标志。从而结束了多年来的历史争论^[14]。

自 20 世纪 50 年代以来,沉积学的研究不断取得新的进展,成为地球科学中最活跃的学科领域之一。除了碳酸盐岩和浊积岩外,在蒸发岩、磷块岩、沉积构造、河流沉积作用、三角洲沉积作用、湖泊沉积作用、生物礁沉积作用、深海沉积作用和风成沉积作用等方面,都取得了令人瞩目的进展。沉积模拟实验也普遍受到重视。通过水槽实验研究“交错层理-底形类型与规模-水流速度与水流性质”之间的相互关系,取得重大突破,为定量沉积学研究奠定了基础^[15]。这一时期也是沉积学在理论上进行升华的时期,出现了一大批具有里程碑意义的重要著作。如, Potter 和 Pettijohn 的《古水流和盆地分析》^[16], Middleton 主编的《原生沉积构造及其水力学解释》^[17], Allen 的《水流波纹》^[18], Collinson 和 Thompson 的《沉积构造》^[19], Ham 主编的《碳酸盐岩分类》^[20], Bathurst 的《碳酸岩沉积物及其成岩作用》^[21,22], Blatt, Middleton 和 Murray 的《沉积岩的成因》^[23], Reading 的《沉积环境与相》^[24], Reinck 和 Singh 的《陆源碎屑沉积物的沉积环境》^[25], Wilson 的《地质历史中的碳酸盐相》^[26], Selley 的《古代沉积环境》^[27], Hams 等合著的《根据沉积构造和沉积序列解释沉积环境》^[15], Walker 主编的《相模式》^[28], 和 Scholle, Bebout and Moore 主编的《碳酸盐沉积环境》^[29]等。

比较沉积学的诞生是沉积学进一步趋向成熟的重要标志。

自从相的概念提出以后,沉积相的研究受“均变论”的影响,长期徘徊于相参数或环境边界条件的判定。例如,要判定一个砂体是否属于河流相,就要看它的几何形态是否鞋带状的,有无单向水流的标志,沉积物的粒度是否足够粗,有无淡水的证据等。由于这些标志的确定本身就有极大的复杂性和多解性,相的解释也往往具有很大的主观随意性和不确定性。

20 世纪 60 年代相模式的出现使比较沉积学的认识论发生了一次意义深远的质的飞跃。

早在 1894 年, Walther 就指出,在没有沉积间断的情况下,相的纵向序列也就是其横向环境序列的反映^[26]。也就是说,只有在横向上相依的相,才能形成纵向的叠置关系而不出现间断。这是自然界连续性和有序性的物质表现。这就是众所周知的“Walther 相律”^[24]。例如,辫状河流环境由有序的河道、边滩、泛滥平原、天然堤等亚环境组成。随着河道的摆动,边滩、泛滥平原等沉积物依次叠覆到河道沉积之上,形成一个由下而上由冲刷面-河道沉积-边滩沉积-泛滥平原

沉积组成的纵向序列。其中的每一个组分都是必要条件。它们的序列关系是不能改变的,完全可以作为一种判别河流相的比较标准。这就是人们常说的“相模式”。相模式反映的都是必要组分。天然堤不属于必要组分,因此不包括在河流相模式之中。当然,也有人认为,相模式只是从设定的环境变量或边界条件出发,对某一沉积环境的整体或一部分(现实的或想象的)的成因、特征、习性和演化过程的描述。其判别和解释环境的功能是有限的^[30]。

沉积体系的提出是相分析理论的进一步发展。这一概念首先由美国德克萨斯经济地质局于六十年代末期应用于墨西哥湾。以后,由 Fisher and McGowen, Fisher, Brown and Fisher, Frazier, Glaeser, Casey, Handford and Dutton 等加以发展^[31]。沉积体系的思想是 Walther 相律的进一步延伸和深化。一个沉积体系是由不整合或相的间断面限定的一个沉积地质体。即使它有自己的确定的横向环境序列和纵向产物序列,但相邻的沉积体系之间,却没有相序上的必然联系。例如,一个三角洲沉积体由前三角洲、三角洲前积层和三角洲顶积层三部分组成。当三角洲向前进积时,三角洲沉积可以覆盖在滨海或浅海之上。因此,三角洲沉积虽然经常与浅海沉积共生,二者却并不属于同一个沉积体系。

应当指出,比较地质学和比较沉积学的思想在地球科学发展的早期就已有。但是,只有在相模式的概念和方法产生之后,才有了真正具有科学内涵的比较沉积学。当代的比较沉积学,已不是岩石类型或成因标志的简单类比,而是模式的对比。沉积学家已经通过地质记录的观察、现代沉积作用的研究和实验模拟,建立了诸沉积相的标准模式或一般模式。甚至可以定量地描述某些环境的边界条件。因此,比较沉积学已经成为具有其独立的、完整的理论和方法学体系的沉积学分支。

事件沉积学的兴起,是 20 世纪 70 年代以来沉积学发展的另一令人瞩目的成就。

白垩纪末期事件的提出,再一次点燃了地学界争论的烽烟。它使地球科学家不得不承认,在较短时间内以极快速度发生的事件地质作用,同人们常见的均变地质作用一样,具有极其重要的地质意义,都在地质历史演化的过程中发挥过重要作用。从而向统治地球科学一百多年的“均变论”发出了挑战,并导致了“新灾变论”的诞生。

150 年前,“灾变论”在与“均变论”的一场论争中,因法国比较解剖学家 Cuvier 借此宣扬神创论而遭到 Lyell 和 Darwin 的批判。恩格斯因此盛赞 Lyell 第一

次把理性带进了地质学”。从此以后,“均变论”占据了主导地位。

其实,早在 Lyell 和 Darwin 时代,欧洲地质学家就已经发现了冰期和冰碛物,并由此得出结论,在晚近地质时期内,曾经出现过快速的灾难性的气候变冷现象。白垩纪-第三纪之间大规模生物间断在当时也是众所周知的事实。Cuvier 的“灾变论”就是对它的一种解释。Darwin 为了捍卫“均变论”,用沉积间断来解释地质历史上生物群的不连续现象。由于当时还没有同位素测年技术,加以 Darwin 在学术界的崇高威望,在相当长的一段时间内,都没有人怀疑这一结论的正确性^[32]。

20 世纪 60 年代,是一个地球科学界解放思想、锐意创新的年代。于是白垩纪-第三纪界线生物灭绝事件又被重新提起,成为事件地质作用的范例。那种在极短时间内以极快速度发生的地质作用就是事件(event 或 episode),由事件本身或其衍生作用所形成的沉积物就是事件沉积物,如火山沉积物、风暴沉积物、浊流沉积物、洪水沉积物、地震沉积物等。也有许多事件表现为沉积记录的间断,如硬底和冲刷面。除了白垩纪末期事件及其他界线事件外,地中海干化、中白垩世大西洋缺氧事件、冰期-间冰期交替事件等,都是重要的地质事件。

事件是叠加在均变过程之上的一种突发性地质作用。事件沉积物不受沉积环境的限制,与上下沉积物之间,既无任何成因上的联系,也无相序上的连续性,是一个独立的沉积体系。因此,在建立正常沉积物的相模式时要加以剔除。但事件沉积物也有其内在的相序,同正常沉积物一样,也有自己的沉积模式。

事件沉积学的发展又促进了事件地层学的兴起。实践已经证明,突变和均变是地质历史上物质运动的两种不同的形式。只有同时研究这两种地质作用,才能正确解释地质历史。

3 沉积地质学——不是历史的简单回归

沉积学以沉积作用为主要对象,在三维空间内研究沉积物的运动规律。但是,实践证明,离开时间坐标要真正认识这些规律是不可能的。形势要求重新将沉积过程纳入到时间的框架内加以研究。于是,沉积地球科学的一个新分支,沉积地质学就应运而生了。1966 年,《沉积地质学》(Sedimentary Geology)杂志创刊。历史发展似乎出现了一个戏剧性的回归。沉积岩石学本是地层学的一部分,到上世纪初才从地层学中独立出来,在长达数十年的时间内蓬勃发展,成为地球科

学中最活跃的一个学科领域。现在却因沉积地质学的出现而再度与地层学结合起来了。

人们对沉积地质学的理解还存在着分歧。有人说,沉积地质学就是沉积学^[33]。也有人说,沉积地质学是沉积学与地层学的结合。这些说法都反映了问题的一个侧面,但都不十分准确。实际上,沉积地质学所要研究的,并不是一组地层的沉积学特征,而是地壳某一个地段的沉积环境、沉积作用及其物质表现在时间和空间上的变化,包括性质、规模和速率的变化,进而探讨这种变化的原因和驱动力^[34]。它与传统地层学有交叉之处。但它的主体还是沉积学以及沉积作用在时空上的演变。因此,应当把它看作是沉积学的新发展,是沉积学和地层学在新的形势要求下和更高层次上的交叉,是沉积地球科学发展的一个新阶段。

沉积作用是在一定的地质构造环境中发生的。沉积作用与大地构造的关系一直是沉积学家和构造地质学家关注的焦点,也是沉积地质学所要研究的主要内容。1897 年, Bertrand 将地槽沉积分为片麻岩、片岩、复理石和磨拉石四种“相”或沉积建造^[1],并与地槽的发展阶段相联系。以沙茨基和别洛乌索夫为代表的前苏联学者进一步将建造论推向了顶峰。在美国, Jones, Krynine, Pettijohn 和 Krumbein *et al.* 也对地槽沉积作用进行了大量的研究工作^[1]。这些工作不仅是对大地构造研究的贡献,也促进了沉积地质学的发展。

地槽论在刚刚度过它的百岁华诞之后不久即盛极而衰。1963 年, Harry Hess 提出海底扩张的思想,很快得到地质界的热切响应。60 年代后期,板块构造理论诞生,关于造山运动的观念发生了革命性的变革。沉积建造理论受池鱼之殃。大量资料,特别是海洋地球物理的资料证明,造山运动是由板块的持续俯冲与幕式构造事件相结合的一种既有连续性、又是阶段性的地质运动。按照板块构造理论,所谓地槽沉积,并不是原地的沉积物堆积体,而是在活动边缘由于板块碰撞而造成的异地混杂岩带。地球科学哲学这一历史性的变革要求沉积学家从活动论的立场研究沉积作用及其历史。沉积作用与构造运动的关系必须用新的理论重新加以审视。这对沉积地质学的发展无疑具有十分重要的意义。在这一时期内,许多地球科学家,如 Mitchell and Reading, Dewey and Bird, Dickinson 和许靖华等做出了重大的贡献^[24]。

沉积地质学的另一重要发展是盆地分析理论的提出及其在油气勘探及资源评价中的应用。油气勘探到上世纪的中期,遇到了十分严峻的挑战,急需寻找新的油区和勘探基地。而没有理论和方法学的突破,要做到这一点是不可能的。沉积学研究,这一为油气工业立下

了不朽功勋的地质分支学科,必须采用新的科学哲学才能继续发挥它的作用。那就是与地层学、构造地质学相结合,利用地球物理等先进手段,在时空四维格架内研究盆地的演化历史和油气生成、运移、聚集和保存的规律。这就是盆地分析。沉积学的发展、板块构造理论的出现、沉积体系的提出、地震地层学和层序地层学的发展、年代地层学的发展以及计算机模拟技术的成熟,为盆地分析奠定了理论和方法学基础^[29]。

4 中国沉积地球科学的发展与成就

中国的地质工作始于上世纪初。古生物学和地层学的研究早在建国以前就在世界上占有一席之地。沉积岩石学的研究也得到了相应的发展。但较系统的沉积学研究,却是从五十年代开始的。

随着新中国的建立和社会主义建设事业的开展,国家对资源,尤其是油气、煤炭和铁、铝、磷等矿产的需求与日俱增。这就对沉积岩石学的研究和研究人才的培养提出了要求。地质院校开设了沉积岩石学课程。翻译出版了一大批前苏联的沉积岩石学专著和教科书。到了六十年代中期,我国已形成了一支水平较高的专业队伍。出版了一批范围涉及理论沉积学和应用沉积学的论文和著作。在此期间,以叶连俊、业治铮、吴崇筠为代表的老一代科学家和以孙枢、刘宝珺、曾允孚、冯增昭、宋天锐、何镜宇等为代表的中年科学家,在岩类学和区域岩石学方面做了大量工作,奠定了我国沉积岩石学基础。到六十年代中期,我国的沉积岩石学基本上已能与国际学术界同步发展。例如,当国际上刚刚出现基于机械成因的石灰岩分类时,业治铮等就结合我国实际,提出了石灰岩的结构成因分类^[35]。在其他领域,特别是沉积成矿作用的研究,也取得了相当突出的成就(叶连俊等、刘宝珺、傅家谟等)^[36]。

在这一时期,岩相古地理的研究工作有了长足的进展。以岩比图为手段,研究沉积岩组合空间分布规律的工作在石油地质部门受到了广泛的重视。在一些主要的含油气盆地,都进行了岩相古地理的编图,不仅促进了沉积岩石学和相分析理论的发展,而且为生产实践做出了贡献。

“文化大革命”的十年,正是地学革命高潮迭起,科学哲学发生历史性变革的时期。我国的地质工作却陷于停顿。中国地质学家失去了亲自参加这一科学革命的机会。“文化大革命”的结束和改革开放政策的实施,为我国地球科学的发展注入了强大的活力,使我国地质学家有可能从中国的国情出发,在吸取国外成功经验的基础上发展我国自己的沉积地球科学。一大批沉积地球科学工作者深入实际,运用新的理论和方法研

究和解决问题,出版了许多重要著作。如曾学思、叶德胜等对我国西南上古生代岩相古地理的研究,关士聪等编著的《中国晚元古代至三叠纪海陆分布、变迁及海域沉积相图》,吴崇筠对中国东部含油盆地湖泊相和三角洲相的总结,何镜宇对黄骅盆地沉积相的研究,曾允孚对我国西南古生代和中生代碳酸盐岩和生物礁沉积的研究,云贵湘地矿系统对层控矿藏的研究,潘随贤关于华北石炭纪煤系地层沉积相的研究,李思田关于霍林河盆地及俞桂英关于陕西焦坪侏罗系的研究。叶连俊、孙枢对内容涉及从震旦纪到现代的各种岩相及重要沉积矿产的总结,以及袁见齐、郑绵平、吴必豪、吴应林、韩仰基等对我国盐湖沉积作用的研究等,都代表了我国沉积学研究的巨大成就(转引自刘宝珺^[36])。一批重要的专著和教科书的出版,标志着我国沉积学的飞速发展。其中比较重要的有,刘宝珺主编的《沉积岩石学》^[37],何起祥编著的《沉积岩和沉积矿床》^[38],华东石油学院勘探系主编的《沉积岩》^[39]、曾允孚主编的《沉积岩石学》^[40]和何镜宇、孟祥化编著的《沉积岩和沉积相模式及建造》^[41]等。与此同时,冯增昭、李汉瑜、王英华等翻译出版了一大批欧美的沉积学著作。

20世纪80年代以来,是我国沉积学蓬勃发展的时期。1979年,中国矿物岩石地球化学学会沉积学分会、中国地质学会沉积专业委员会成立。1983年,《沉积学报》创刊。我国沉积学家与国外的交往日益频繁。各院校纷纷建立培养高级人才的硕士、博士生点。大批高质量的年轻科学家的加入,极大地推动了我国的沉积学研究工作。缩短了我国与国外的差距。尤其是在岩相古地理的研究方面,继承从前的优势,注重理论和方法的更新,逐渐形成了我国的特色。1981年,《岩相古地理》杂志创刊。这一时期也是我国沉积学界成果最丰硕的时期。一大批研究成果先后问世,如,王鸿祯的《中国古地理图集》、刘宝珺等的《中国南方岩相古地理图集》、吴崇筠等的《中国含油气盆地沉积学》、曾允孚等的《关于华南泥盆纪盆地岩相古地理研究》、田在艺的《中国含油气沉积盆地论》、李思田对中国东部大型盆地的分析及鄂尔多斯中生代层序地层的研究、林畅松对二连盆地研究方法的探索、刘焕杰关于海相成煤盆地的岩相古地理研究、王东坡等对盆地形成演化机制和油气远景预测的研究、许效松等的《中国西部大型盆地地球动力学研究》、王英民在塔里木所做的盆地动力学模拟、赵重远对西北地区沉积盆地的研究、刘宝珺、王成善等在西藏进行的中新生代深水沉积演化、盆地形成及其与板块构造的关系的研究、裘怿楠等对陆相盆地岩相古地理的研究、侯方浩、方少仙等对深海碳酸岩沉积学研究、李育慈和高振中等关于浊流沉

积的研究,曾鼎乾关于生物礁的研究,宋天锐、乔秀夫和唐天福等关于震旦纪岩相古地理的研究,吴应林、王英华、沙庆安等的碳酸盐古地理研究,张国栋等对于东部第三纪沉积的研究,孟祥化对沉积建造的研究,张纪易对冲积扇的研究,赵澄林对东部盆地岩相的研究,范德廉对锰矿沉积环境的研究,王成善对等深流沉积的研究,刘宝君和许效松对碳酸盐岩风暴沉积和磷酸盐岩风暴成因的研究,冯增昭对北方奥陶纪和南方二叠纪岩相古地理的研究,殷鸿福对南方的岩相古地理研究等(转引自刘宝君^[36])。

在这一时期,我国沉积学家对现代沉积的研究,尤其是我国海洋地质工作者对海洋沉积物和海洋沉积作用的研究,取得了巨大的进展。如,秦蕴珊等对中国海洋沉积作用和区域海洋地质的研究^[42-44]、业治铮、张明书、何起祥等对西沙晚第四纪风成石灰岩的研究^[45]、业治铮、何起祥^[46]、张明书^[47,48]、王国忠^[49]等对生物礁沉积学和沉积地质学的研究,成国栋等对黄河三角洲的研究^[50]、黄慧珍等对长江三角洲的研究^[51]、龙云作等对珠江三角洲的研究^[52]、严钦尚、陈吉余^[53]、李从先^[54]等对河口海岸和三角洲沉积作用的研究,汪品先等对南海古海洋学和东亚季风的研究^[55-57]、赵一阳等对中国海沉积地球化学的研究^[58,59]等。还有一大批学者对海平面变化、海底资源、海洋环境和海洋灾害有关的沉积学问题进行了探讨。这些研究工作不仅对认识我国海洋的历史有着十分重要的意义,而且是对沉积学和沉积地质学理论宝库的贡献。中国的东海和南海是世界上最大的边缘海。边缘海是发育在活动边缘岛弧内侧的一个特殊海域,它由岛链与大洋分开,与大洋的水体交换受到限制,与大洋几乎没有物质交换。它的沉积作用与开阔海有很大的不同。中国边缘海同喜马拉雅一样,是地球科学的两个重要研究地区。中国学者对边缘海的研究,不仅是对我国,也是对世界沉积学的贡献。

5 沉积地球科学的展望

沉积岩石学、沉积学和沉积地质学标志着沉积地球科学的三个发展阶段。三者之间相互依存,互为补充,并不存在互相排斥或互相取代。发展是历史的延续和进步,而不是简单的否定。而且历史是不可逾越的。因此沉积学的诞生不是对沉积岩石学的否定。沉积地质学则更需要沉积岩石学和沉积学作为它的支撑。

历史已经证明,沉积地球科学是地球科学的基石,也是地球科学的认识论的基础。它的发展与地球科学的发展息息相关。因此,未来的沉积地球科学向何处去,是地学界共同关心的问题。

无论是沉积学还是沉积地质学,都还有许多基本的理论问题需要解决。由于沉积物和沉积环境之间并无简单的一一对应关系,许多复杂的沉积现象都存在着多解性,结论往往要以研究者的经验为依归。这种现象在地球科学中具有普遍性,在相当长的时间内不会有根本性的改变。因此,沉积地球科学的发展必须是多方面的。

理论沉积学无疑是亟待发展的一个领域。沉积学中的许多基础理论问题,还必须用数学、物理学、化学、生物学和水动力学的基本理论和方法,加以深入的研究,以期搞清沉积过程中各种变量与边界条件之间的关系,从定性向定量发展。沉积作用是一个多变量的函数,用数字表示地质现象是地球科学发展的需要。因此,沉积现象的数学表述,是理论沉积学的重要探索方向之一。

我们对沉积现象的许多共性的认识还远没有达到自由王国的境地。20世纪60年代碳酸盐岩的突破,从本质上来说,只不过就是发现和肯定了碳酸盐岩与陆源碎屑岩中普遍存在的在形成机制上的同一性。但是,这种思想路线的深远意义不能低估。关于金属矿床和油气藏的成因问题,历来都认为是水火不相容的。但是,层控和层状金属矿床的研究却证明,这些层状金属矿床,虽然与内力地质作用过程关系密切,但是,其形成过程也有矿源层、金属元素的迁移和地球化学圈闭的捕集作用这样一个成矿过程。与油气藏的形成何其相似乃尔。这说明在有用物质的集聚过程中有着许多具有普遍性的东西。自然界最基本的法则往往是最简单的。探索这些基本法则,或者探索外动力作用过程中带有普遍性的规律,正是理论沉积学在今后的一项重要任务。

地质历史上的沉积作用存在着许多明显的特点。遗憾的是,我们对这些特点的成因了解得还太少。例如,巨厚白云岩的分布差不多都是在晚元古代以前;磷质在海洋中含量很低,却在地质历史的某些特定时期形成巨厚的矿床,而且有着某种时间上的周期性;Milankovitch旋回,应当是自然界的一种普遍规律,但是,像第四纪晚期那样的冰期-间冰期交替,在别的时代似乎并不存在。这些虽然不是简单的沉积学问题,但却是沉积学家无法回避的。

近20多年来,全球变化引起了国际社会和科学家的普遍关注。所谓全球变化,狭义的理解,是指近代由于人类活动导致大气圈中二氧化碳浓度增加,引起温室效应,使地球气温升高,两极冰盖消融,海平面上升,致使地球生态环境发生灾难性破坏的一个连锁的地质作用过程。有些学者过分强调当代的全球变化,忽视全

球变化的普遍意义,这是一种偏见。其实,地质历史上重大的地质事件都会激起一系列连锁反应,并在不同程度上影响地球环境或外动力作用的历史进程。例如,冈瓦纳古陆解体后,南极大陆逐渐移动到现在的位置。渐新世时,德雷克海道形成,南美洲和南极洲最后分离。南极绕极流形成,使南极处于热孤立状态。气温日益下降,终于形成大陆冰盖。海平面因此大幅度下降。从而开始了第四纪冰期、间冰期交替的历史。由南极冰盖引起的海平面下降,导致地中海的盐度危机,形成了深盆浅水蒸发岩沉积,这就是米辛尼亚事件。整个过程是一环套一环的连锁反应。实际上,这就是一种历史上的全球变化。

白垩纪末期事件和恐龙灭绝是另一个由事件引起全球变化的例子。有一种假说认为,在距今 6500 万年前,一个巨大的地外星体在墨西哥湾附近撞击地球。由撞击激起的尘埃冲上同温层,太阳辐射受到屏蔽,地球表面气温急剧下降,出现核冬天。撞击作用和有害元素的毒化作用使海洋生物,尤其是藻类大批死亡。海洋与大气圈二氧化碳平衡遭到破坏。大量二氧化碳从水圈转到大气圈,由此引起的温室效应使地球气温升高,伴之而来的酸雨、风暴及气候反常现象使陆地植被同样遭到毁灭性的破坏。全球环境急剧恶化,使恐龙及其他大型爬行动物先后灭绝。这也是由一次事件引起的连锁反应,是历史上的又一次重要的全球变化。

研究地质历史上全球变化的历史及机理,毫无疑问是理论沉积学所关注的命题之一。

在诸多地质事件中,构造运动无疑是最重要、也是最为学术界所关注的一类地质事件。许多沉积学家都试图从沉积物的特征或组合来讨论沉积作用与构造运动的关系。但仍然停留在定性描述的阶段。这一主题仍将是理论沉积学试图探索的重点领域之一。

实验沉积学将进一步发展。相模式作为比较沉积学的一种基本手段,虽然为沉积相的确定和古环境的重建提供了一条捷径。但是许多边界条件都被简化了。因此,环境边界条件或相参数的定量研究,仍然是沉积学和沉积地质学进一步发展的需要。沉积学中的许多数学问题只能从实验得到解决。要开展更多的物理的、化学的模拟实验,确定沉积变量之间的关系,并将之应用到古相岩石的成因分析中去。在此基础上发展以定量表述沉积现象为主要目标的物理沉积学。

应用沉积学将成为沉积学的一个重要分支得到发展。矿床成因、江河治理、水库建设、水电站建设、海底工程和海岸带综合治理,无一可以离开沉积学的研究。在建立人与自然协调和谐的互动关系的过程中,应用沉积学大有用武之地。在油气开发和地下水利用方面,

更有许多应用沉积学问题需要研究解决。

在理论沉积学、实验沉积学和应用沉积学的研究过程中,比较沉积学和事件沉积学将提供有力的理论指导和方法学支撑。加强对比较沉积学和事件沉积学的研究对沉积地球科学的发展,将有决定性的意义和影响。

未来的沉积地球科学将从理论和技术方法方面更多地与其他学科交叉,并在互动中发展自己。一些交叉学科,如沉积动力学、古海洋学、古湖泊学、古气候学、层序地层学、事件地层学、地震地层学、盆地分析、沉积大地构造学等的进一步发展,势必给沉积地球学带来无限生机和机遇。

参考文献 (References)

- 1 Pettijohn F J. Sedimentary Rocks [M]. New York: Harper and Row, 1949, 1957, 1975
- 2 Hatch F H, Rastall R H. The Petrology of the Sedimentary Rocks [M]. London: George Allen & Unwin Ltd, 1913
- 3 Milner H B. Introduction to Sedimentary Petrography [M]. Thomas Murby, 1922
- 4 Milner H B. Sedimentary Petrography [M]. London: George Allen & Unwin Ltd, 1928
- 5 Twenhofel W H. Treatise on Sedimentation [M]. Williams & Wilkins, 1926, 1932
- 6 Twenhofel W H. Principles of Sedimentation [M]. New York: McGraw-Hill, 1939, 1950
- 7 什维佐夫. 沉积岩石学 (中译本) [M]. 北京: 地质出版社, 1954 [Svitsov. Sedimentary Petrology (Chinese translation) [M]. Beijing: Geological Publishing House, 1954]
- 8 鲁欣. 沉积岩石学原理 (中译本) [M]. 北京: 地质出版社, 1956 [Lushin. Principles of Sedimentary Petrology (Chinese translation) [M]. Beijing: Geological Publishing House, 1956]
- 9 Gressly Y A. Observations géologiques sur le Jura Soleurois [J]. Neue Denksch allg. Schweiz, Ges. ges. Naturw. 1938, 2 1~ 112
- 10 Sloss L L, Dapples E C, Krumbein W C. Lithofacies Maps: An Atlas of the United States and Southern Canada [M]. New York and London: John Wiley & Sons, Inc. 1960
- 11 Krumbein W C, Sloss L L. Stratigraphy and Sedimentation [M]. San Francisco: Freeman, 1951, 1963
- 12 Kuenen Ph H, Migliorini C L. Turbidity current as a cause of graded bedding [J]. J. Geol., 1950, 58 91~ 127
- 13 Folk R L. Practical petrographic classification of limestones [J]. Bull Am Ass Petrol. 1959, 43 1~ 38
- 14 Ginsburg R N. Controversies about stromatolites: Vices and virtues [A]. In Muller D W, et al. Controversies in Modern Geology [C]. London: Academic Press, 1991. 25~ 36
- 15 Harms J C, Southard J B, Spearing D R, Walker R G. Depositional environments as interpreted from primary sedimentary structures and stratification sequences [M]. Lecture Notes, Soc Econ Paleon Mineral Short Course 2, Dallas. 1975
- 16 Potter P E, Pettijohn F J. Paleocurrents and Basin Analysis [M].

- Berlin Springer-Verlag, 1963
- 17 Middleton G V. Primary Sedimentary Structures and Their Hydrodynamic Interpretation[M]. Special publication, Soc Econ Paleont Miner, 1965
- 18 Allen J R L. Current Ripples[M]. Amsterdam: North-Holland, 1968
- 19 Collison J D, Thompson D B. Sedimentary Structure[M]. London: Allen & Unwin, 1982
- 20 Ham W E. Classification of Carbonate Rocks—A Symposium[M]. Mem Am Ass Petrol Geol 1, Tulsa, 1962
- 21 Bathurst R G C. Carbonate Sediments and Their Diagenesis[M]. Developments in Sedimentology 12, Amsterdam: Elsevier, 1971
- 22 Bathurst R G C. Carbonate Sediments and Their Diagenesis[M]. 2nd enlarged edition. Amsterdam: Elsevier, 1975
- 23 Blatt H, Middleton G V, Murray R C. Origin of Sedimentary Rocks[M]. New Jersey: Prentice-Hall, 1972, 1980
- 24 Reading H G. Sedimentary Environments and Facies[M]. Oxford: Blackwell Scientific Publications, 1978, 1986
- 25 Reineck H E, Singh L B. Depositional Sedimentary Environments—With Reference to Terrigenous Clastics[M]. Berlin: Springer-Verlag, 1973
- 26 Wilson J L. Carbonate Facies in Geologic History[M]. New York: Springer-Verlag, 1975
- 27 Selley R C. Ancient Sedimentary Environments[M]. London: Chapman & Hall, 1970
- 28 Walker R G. Facies Models[M]. Geoscience Canada Reprint Series, J Geol Soc Canada Waterloo, 1979, 1984
- 29 Scholle P A, Bebout D G, Moore C H. Carbonate Depositional Environments[M]. Mem Am Petrol Geol, 33 Tulsa, 1983
- 30 Anderson R. Clastic facies models and facies analysis[A]. In: Brenchley P J, Williams P J, ed. Sedimentology: Recent Developments and Applied Aspect[C]. 1985
- 31 Miall A D. Principles of Sedimentary Basin Analysis[M]. New York: Springer-Verlag, 1984
- 32 Hsu K J. Challenger at Sea: A Ship that Revolutionized earth Science[M]. Princeton University Press, 1992
- 33 Lombard A. Sedimentology[A]. In: The Encyclopedia of Sedimentology[C]. Dowdon: Hutchinson and Ross, Inc. 1978
- 34 何起祥. 沉积地球科学若干理论问题的沿革与启示[J]. 海洋地质与第四纪地质, 1997, 17(3): 1~6 [He Qixiang. History of some theoretical problems in sedimentary earth sciences and their implication[J]. Marine Geology and Quaternary Geology, 1997, 17(3): 1~6]
- 35 业治铮, 孟祥化, 何起祥. 石灰岩的结构—成因分类[J]. 地质论评, 1964, 22(5): 378~386 [Ye Zhizheng, Meng Xianghua, He Qixiang. A textogenetic classification of limestones[J]. Geological Review, 1964, 22(5): 378~386]
- 36 刘宝善. 中国沉积学的回顾与展望[J]. 矿物岩石, 2001, 21(3): 1~7 [Liu Baojun. Sedimentology of China: a review and look forward[J]. Journal of Mineralogy and Petrology, 2001, 21(3): 1~7]
- 37 刘宝善. 沉积岩石学[M]. 北京: 地质出版社, 1980 [Liu Baojun. Sedimentary Petrology[M]. Beijing: Geological Publishing House, 1980]
- 38 何起祥. 沉积岩和沉积矿床[M]. 北京: 地质出版社, 1978 [He Qixiang. Sedimentary Rocks and Depositional Ore Deposits[M]. Beijing: Geological Publishing House, 1978]
- 39 华东石油学院勘探系. 沉积岩[M]. 北京: 石油化学工业出版社, 1977 [Department of Exploration, Huadong College of Petroleum. Sedimentary Rocks[M]. Beijing: Petro-chemical Industry Publishing House, 1977]
- 40 曾允孚, 夏文杰主编. 沉积岩石学[M]. 北京: 地质出版社, 1986 [Zheng Yunfu, Xia Wenjie ed. Sedimentary Petrology[M]. Beijing: Geological Publishing House, 1986]
- 41 何镜宇, 孟祥化. 沉积岩和沉积相模式及建造[M]. 北京: 地质出版社, 1987 [He Jingyu, Meng Xianghua. Sedimentary Rocks, Facies Model and Sequences[M]. Beijing: Geological Publishing House, 1987]
- 42 中国科学院海洋研究所海洋地质研究室. 渤海地质[M]. 北京: 科学出版社, 1985 [Marine Geology Section, Institute of Oceanography, Chinese Academy of Sciences. Geology of the Bohai Sea[M]. Beijing: Science Press, 1985.]
- 43 秦蕴珊, 赵一阳, 陈丽蓉等. 东海地质[M]. 北京: 科学出版社, 1987 [Qin Yunshan, Zhao Yiyang, Chen Lirong, et al. Geology of the East China Sea[J]. Beijing: Science Press, 1987.]
- 44 秦蕴珊, 赵一阳, 陈丽蓉等. 黄海地质[M]. 北京: 科学出版社, 1989 [Qin Yunshan, Zhao Yiyang, Chen Lirong, et al. Geology of the Yellow Sea[M]. Beijing: Science Press, 1989]
- 45 业治铮, 何起祥, 张明书等. 中国西沙石岛晚更新世风成生物砂屑灰岩的沉积构造和相模式[J]. 海洋地质与第四纪地质, 1985, 3(1): 1~15 [Ye Zhizheng, He Qixiang, Zhang Mingshu, et al. Sedimentary structures and facies model of Late Pleistocene eolian biocalcarenite in Shidao of Xisha Archipelago, China[J]. Marine Geology and Quaternary Geology, 1985, 3(1): 1~15]
- 46 何起祥, 张明书. 中国西沙礁相地质[M]. 北京: 科学出版社, 1986 [He Qixiang, Zhang Mingshu. Reef Geology of Xisha Islands, China[M]. Beijing: Science Express, 1986]
- 47 张明书, 何起祥, 韩春瑞等. 西沙礁相第四纪地质[A]. 海洋地质研究所集刊(一)[C]. 济南: 山东科技出版社, 1987 [Zhang Mingshu, He Qixiang, Han Chunrei, et al. Quaternary Reef Geology in Xisha Islands[A]. Collection of The Institute of Marine Geology (1)[C]. Jinan: Shandong Science and Technology Press, 1987]
- 48 张明书, 何起祥, 业治铮等. 西沙生物礁碳酸盐沉积地质学研究[M]. 北京: 科学出版社, 1989 [Zhang Mingshu, He Qixiang, Ye Zhizheng, et al. Sedimentary Geology of Reef Carbonate Deposits in Xisha Islands[M]. Beijing: Science Press, 1989]
- 49 王国忠. 南海珊瑚礁区沉积学[M]. 北京: 海洋出版社, 2001 [Wang Guozhong. Reef Sedimentology in the South China Sea[M]. Beijing: Ocean Press, 2001]
- 50 成国栋, 薛春汀. 黄河三角洲沉积地质学[M]. 北京: 地质出版社, 1997 [Cheng Guodong, Xue Chunting. Sedimentary Geology of the Yellow River Delta[M]. Beijing: Geological Publishing House, 1997]
- 51 黄慧珍, 唐宝根, 杨文达等. 长江三角洲沉积地质学[M]. 北京: 地质出版社, 1997 [Huang Huizhen, Tang Baogeng, Yang Wenda. Sedimentary Geology of the Changjiang River Delta[M]. Beijing: Geological Publishing House, 1997]

- 52 龙云作等. 珠江三角洲沉积地质学 [M]. 北京: 地质出版社, 1997 [Long Yunzuo, *et al.* Sedimentary Geology of the Pearl River Delta[M]. Beijing Geological Publishing House, 1997]
- 53 陈吉余, 王宝灿, 虞志英主编. 中国海岸发育过程和演变规律 [M]. 上海: 上海科学技术出版社, 1989 [Chen Jiyu, Wang Baocan, Yu Zhiying. Development and Evolution of the Chinese Coast [M]. Shanghai Shanghai Science and Technology Press, 1989]
- 54 李从先, 汪品先等. 长江晚第四纪河口地层学研究 [M]. 北京: 科学出版社, 1998 [Li Congxian, Wang Pinxian, *et al.* Late Quaternary Estuary Stratigraphy of the Changjiang River [M]. Beijing Science Press, 1998]
- 55 汪品先. 古海洋学概论 [M]. 上海: 同济大学出版社, 1989 [Wang Pinxian. Introduction to Paleooceanography [M]. Shanghai Tongji University Press, 1989]
- 56 汪品先等. 十五万年来的南海 [M]. 上海: 同济大学出版社, 1995 [Wang Pinxian, *et al.* The South China Seas in last Fifteen Thousand Years [M]. Shanghai Tongji University Press, 1995]
- 57 业治铮, 汪品先主编. 南海晚第四纪古海洋学研究 [M]. 青岛: 青岛海洋大学出版社, 1992 [Ye Zhizheng, Wang Pinxian. Study on Late Quaternary Paleooceanography [M]. Qingdao Qingdao Ocean University Press, 1992]
- 58 赵一阳. 中国海大陆架沉积物地球化学的若干模式 [J]. 地质科学, 1983, (4): 307~ 314 [Zhao Yiyang. Models for Geochemistry of Chinese Continental Shelf [J]. Scientia Geologica Sinica, 1983, (4): 307~ 314]
- 59 赵一阳, 鄢明才. 中国浅海沉积物地球化学 [M]. 北京: 科学出版社, 1996 [Zhao Yiyang, Yan Mingcai. Geochemistry of the Shallow Sediments in China Seas [M]. Beijing Science Press, 1996]

Sedimentary Earth Sciences Yesterday, Today and Tomorrow

HE Qi-xiang

(Qingdao Institute of Marine Geology, Qingdao Shandong 266071)

Abstract Sedimentary earth sciences, since its separation with stratigraphy to become an independent branch of earth sciences in the early years of last century, has passed through three stages from sedimentary petrology, to sedimentology and to sedimentary geology. Sedimentary petrology deals with sedimentary rocks with focus on their characters, classification, occurrence and origin. Sedimentology lays its study interest in the natural processes related to transportation and deposition of sediments. Sedimentary geology deals with the evolution of sediments in a four dimensional framework, i. e. the change of sediments, sedimentary processes and sedimentary environments with time. This paper provides the readers with a historical review and the perspective of the development of this branch of earth sciences based on the background of the revolutions of earth sciences.

Key words sedimentary petrology, sedimentology, sedimentary geology