

国外沉积岩石学研究的一些动向

卢书铨

近十几年来,在沉积岩石学方面,由于新技术和其他学科先进理论的引进,沉积岩石学的研究正以一个崭新的面貌出现。沉积岩石学研究涉及到岩石的物质组成、结构和构造、岩石的分类、岩石的成因、沉积相和沉积环境等许多方面。下面结合石油地质谈一下国外沉积岩石学研究中的一些动向。

一、沉积相研究工作的重视

国外很重视沉积相的研究工作,这主要是由于世界大油气田的分布都与一定的沉积相带有关。正如第九届世界石油会议上曾经指出,碳酸盐岩储层大多与碳酸盐台地边缘沉积区(包括浅滩相、生物礁相和前缘斜坡相)有关,并以礁体中含油最丰富,而砂岩储层大部分属于三角洲相,其中包括许多古三角洲,这是有些老油区在若干年后的现在才认识的。

譬如,在三角洲相方面,由于近二十年来三角洲沉积研究的发展,使人们认识到世界上的油田和三角洲沉积有关的愈来愈多,而且其中很多是大型和特大型的。如科威特的布尔干油田(世界上第二特大油田,可采储量为94亿吨),委内瑞拉的玻利瓦尔沿岸油田(世界上第三特大油田,可采储量为42亿吨),加拿大阿萨巴斯卡沥青砂(稠油原地储量约为1000亿吨),美国著名最大的东得克萨斯油田(可采储量为8亿吨)以及美国产油最多的墨西哥湾盆地的大部分油田等等。

在碳酸盐台地边缘沉积区方面,由于在浅滩相带内发育粒状灰岩及白云岩,往往形成良好储集条件,如沙特阿拉伯的加瓦尔油田及阿布奎克油田,利比亚的泽尔坦油田等。在生物礁相内,如美国二迭盆地,墨西哥湾盆地北部,加拿大的阿尔伯达盆地,利比亚的锡尔特盆地,墨西哥的金巷油区,苏联乌拉尔山前拗陷,以及印尼的爪哇和苏门答腊盆地都发现了礁型大油田。在前缘斜坡相内沉积物以角砾状碎屑和砂级碎屑为主,有时可以形成有利的含油气相带,如墨西哥的波扎里卡油田、三兄弟油田、雷佛尔玛油田等。

正是由于油气田的分布与一定的沉积相带密切相关,所以,国外在这方面研究人员也占了相当的比例。例如,据统计,在加拿大的石油地质工作者中有30%的人从事沉积岩石学的研究工作。

在这些沉积相研究工作中最值得注意的是碳酸盐岩的研究。

四十年代以来,由于在中东发现了碳酸盐岩大油田,这就促进了在世界各地寻找碳酸盐岩油田,大大推动了碳酸盐岩的研究。据统计,到目前为止,碳酸盐岩中的油气储量已接近世界油气总储量的一半,而其产量则已达到总产量的60%以上。

美国石油地质学家协会于1962年成立了碳酸盐岩分会后,相继召开了多次学术讨论会,并

出版了专集,如1962年讨论了碳酸盐岩的分类,1965年讨论了白云岩化和石灰岩的成岩作用,1969年讨论了碳酸盐岩的沉积环带等等。苏联也相当重视碳酸盐岩的研究,特别是裂隙性碳酸盐岩储集层更是讨论的重点。

现代对碳酸盐岩的新认识主要有以下几点:

1.以往把碳酸盐岩大都看作是单纯的化学沉积,仅根据其化学成分和颜色作单调的重复性的描述,通过深入研究,彻底改变了对碳酸盐岩的旧有概念,发现它和碎屑岩一样,含大量的碎屑物质,过去认为碎屑岩特有的斜层理、波痕、干裂、波状层理等构造,也同样在碳酸盐岩中普遍发育。因此,有人把碎屑岩的结构分类的观点系统地引进碳酸盐岩中来,提出了异化颗粒及异常化学岩的概念。在分类中也不再是仅仅根据成分和某些结构构造,为了更本质地反映碳酸盐岩的成因特点,有人把反映波浪和水流作用的碎屑/泥晶的比值和反映沉积水介质环带的定量标志——能量指数作为碳酸盐岩的分类依据。

2.以前,人们大都笼统地认为碳酸盐岩是浅海环带(即位于平均低潮面以下的浅海地区)的产物;现在认识到它的生成环带大大超出了浅海的范围,在潮间带(即平均高潮面与平均低潮面之间的地带)、潮上带(平均高潮面之上地带,只有在特大风暴时,潮水才能达到该带)、深海、湖泊以及陆上环带,均可生成碳酸盐岩。有人对古代碳酸盐岩作了一些统计后认为有一半以上是平均低潮面以上的沉积。因此,对碳酸盐岩沉积环带的研究,提高到了一个新的水平。

3.对于碳酸盐沉积物的成岩作用及生物在碳酸盐岩中的作用,有了更深入的认识。过去常认为石化作用只有在某种高的温度和压力下才能产生,即当沉积物埋藏很深时才能够变成岩石。虽然这种说法对于陆沉碎屑沉积物来说也许是对的,但是国外最近20年来一种日益明显的新趋向是:碳酸盐沉积物的大规模的胶结作用能够在大气环带的常温常压下进行。认为成岩作用主要发生在大气水控制的地带,流通于碳酸钙沉积物中的粒间水是成岩作用的主要营力;在碳酸钙沉积物的原来沉积环带中,或在地下深处,成岩作用都是相当弱的。生物在形成碳酸盐岩的过程中有十分重要的作用。它不仅是碳酸盐岩的重要组成部分,而且有些生物,如无脊椎动物、藻类在产生碳酸盐泥、粪粒等颗粒以及某些沉积构造上起了重要作用。另外,由于应用电子显微镜,发现绝大多数中新世的碳酸盐岩的基质是由大量放大3000至7000倍才能鉴认的生物遗骸堆积而成,加深了生物在碳酸盐岩形成中的作用的認識。

4.对白云岩的成因有了新的认识。白云岩的问题比石灰岩复杂,其成因问题长期以来有争论。在国外相当长时期内,有些人总认为几乎所有的白云岩都是由石灰岩的白云岩化作用所生成的。近年来,用X射线衍射技术对近代碳酸盐沉积物进行研究,发现原生沉积的白云石,进一步证实了古代原生白云岩的存在。对白云岩成因问题的解决,有助于搞清白云岩及其中所含油气的分布规律,因而是很重要的。

5.对碳酸盐岩中的油、气生成,碳酸盐岩的储集性能及油、气在碳酸盐岩中分布规律等问题,有了更深入的研究和认识。如有人系统地研究了自潮汐带至深海的碳酸盐沉积物及其生物化石,根据沉积特点和其它环带标志等,将沉积环带详细划分为九个相带,同时摸索油气生成、富集与岩相古地理的关系,认为油气富集主要与台地边缘的浅滩相、生物礁相以及前缘斜坡相有密切关系。

当前国外碳酸盐岩主要研究课题有:

1. 碳酸盐岩的分类、化石岩石学的兴起;
2. 碳酸盐岩的沉积环坳与沉积相;
3. 现代海洋碳酸盐沉积;
4. 生物礁;
5. 蒸发岩;
6. 碳酸盐岩的成岩作用;
7. 碳酸盐岩储集岩;
8. 研究碳酸盐岩的新技术与新方法。

从国外沉积相研究来看具有以下特点:

首先,从现代沉积研究入手来分析对比古代沉积岩,建立沉积模式,探讨沉积相带和油气聚集的关系;其次,研究的重点是确定三级相,如河流中的河漫滩相、河床相,三角洲内的前缘相,浅海碳酸盐台上的浅滩相、生物礁相等;再有,沉积相的研究方法朝快速直观划相,定量研究沉积相方向发展。

国外由于通过对沉积相带的深入研究工作使得有些国家的油气勘探工作获得了较显著的进展。例如尼日利亚早在1908年就开始勘探石油,直到1955年以前未认识到三角洲的重要性,一直在油苗区对白垩系进行勘探而无结果。近年来才认识到尼日尔河三角洲是一个波浪破坏型的大的弧形三角洲,其油气圈闭在与同生断层伴生的滚动构造中。十年来打了500多口探井,找到了120多个油气田,拿到储量20亿吨,使原油产量达到一亿吨的水平。又如墨西哥的雷佛尔玛油田也是由于加强了沉积相的研究,认为生物礁前应是前缘斜坡相,做了地震勘探,进而打钻发现的。

为了更广泛地研究沉积相和建立沉积模式,指导勘探,国外还设有“地质银行”,在这种银行中储有世界各国一些盆地的沉积模式及有关资料,可供所需的部门在分析沉积相时作对比和模拟之用。

当然,研究沉积相带不仅仅是为了寻找储集层,通过相带的研究能够了解生储盖层的组合,如三角洲沉积区的前三角洲相,碳酸盐台地边缘向深海方向的盆地相等等,通过相带的划分可以使我们对在横向与纵向剖面上的各种沉积的分带性有一个规律性的了解,这对于寻找油气分布的有利带是非常重要的。

所以,国外也正是由于在勘探实践中,逐渐认识到沉积相与油气田分布的密切关系,从而加强了沉积相的研究,提高了勘探效率。从“解释地质”向预测远景方向前进了一步。

二、基础理论研究的加强

国外基础理论研究加强的重要表现之一是成因沉积学,实验沉积学或沉积造岩作用机理的研究的迅速发展。

现代沉积作用是认识沉积造岩作用本质的天然大实验室。多年来,有些国家对现代碳酸盐沉积物作了大量的研究工作,主要包括了对碳酸盐颗粒的岩石学研究,系统地探讨了世界上有名的现代碳酸盐沉积,如巴哈马、佛罗里达、巴塔巴诺湾和波斯湾等沉积环坳,研究了大气下淡水环坳中的成岩作用、海底成岩作用、胶结作用、压溶和成岩作用中的新生变形作用等等当代取得重大进展的方百。这些通过现代沉积的研究所涉及到的基础理论,对分

析古代沉积物的成因和沉积环境,建立沉积模式,探讨沉积相带和油气生成聚集的关系是非常重要的。例如,现代沉积学研究中最大的进步之一是在离开藻坪和正常的高潮面以上的内陆,由盐壳地面形成的称之为萨勃哈的盐坪带的成岩作用的发现,特别是石膏、硬石膏和白云石的地下生长,为讨论古代白云岩的成因问题提供了第一性资料,提出了所谓毛细管浓缩作用和渗透回流作用等成因理论。

特别是成岩作用的研究不仅可以了解沉积环境,再造古地理面貌和原始的物质成分,同时还可以了解沉积物和岩石变化历史和强度及其对油气生成和储集的影响,这些认识对找出有利于油气生成和聚集的层段和区域,指导油气的勘探是有实效的。近年来大量新的资料表明成矿(包括油气)作用与同生、成岩和后生等作用之间有密切的成因联系。例如,法尔勃立杰(1967)把成岩作用分为初期成岩作用、中期成岩作用和后期成岩作用三个阶段来说明,其中与烃的初次运移有关的是初期和中期成岩作用。日本的专柳宏一和浅川忠(1977)将初期成岩作用到中期成岩作用的泥质沉积物的颗粒和孔隙的变化划分为初期压密阶段、后期压密阶段和重结晶阶段,同时,详细地研究了这些阶段中自生粘土矿物、沸石和石英的转换以及间隙水和层间水排出的规律,在此基础上较深入地讨论了成岩作用下烃的初次运移。

国外还从石油勘探深钻井获得了晚成岩作用研究的直接资料。关于非常早期的变质作用方面,主要在新西兰和澳大利亚开始了一些研究,这为了解地球深部作用开辟了重要途径。

这里值得指出的是,在储集岩孔隙中,当矿物在没有被有机物包围的情况下,它将经受由岩石原生孔隙率所决定的各种变化,即取决于渗入砂岩的层间水、间隙水的量以及这些水的特性,但是当这些矿物被有机物浸染后,它的成岩阶段和后生阶段的变化实际上就不发生了,甚至当矿物进入了不适宜它们存在的条件下,有机物的保护膜能使它免于变化,这个结论已被大量例子所证实。这一现象主要是由于在矿物质点周围的残留水呈薄膜分布,而残留水具有冰的结构。石油烃分子进入这种具冰结构的薄膜空隙,并充满空隙。空隙的消失使水的位移运动停止。这样,水失去了它能溶解的性能,而这种溶解对新矿物的形成是必须的,因此也就造成矿物形成过程的停止。

所以,成岩后生作用对油层储集性能的影响,要看它在某地层或某地区到底发展到那一个阶段。如果油气形成较早就可以形成冻结型油气藏。譬如在次生胶结、压溶现象形成以前已有油渗入,形成油气芒,这样就会阻碍成岩后生的变化,反之,则成岩后生作用就明显。因此确定成岩后生作用的时期对勘探工作意义是很大的。现在找圈闭,就要考虑冻结型油芒,如加拿大的帕宾纳油田就是冻结型油气芒,所以要加强成岩作用的研究。

实验沉积学的迅速进步和成因沉积学相似,都是沉积造岩作用基本理论研究深入和达到何种水平的重要标志。

风化、搬运、沉积、成岩和后生作用的模拟实验可以验证和丰富现代沉积和沉积岩石研究之不足,有助于追溯沉积作用之实质。

砂岩虽是沉积岩中已经研究得较为深入的一类岩石,近年来也有很大的发展变化。这主要是由于数理统计和流体力学的引进以及实验沉积学和现代沉积物的研究。例如,艾伦在评述现代冲积沉积物之几何形态、结构、构造和生物特征时,着重从河流流体力学及流水动力学等方面研究沉积物的机械搬运——沉积作用的机理,并应用数理统计方法提出了鉴别古冲

沉积岩的三向模型。

关于成岩后生作用,近来研究较多的是石油有机质转化的模拟。1969年霍金斯和惠顿用化学成分上与杂砂岩相似的砂作实验,在250℃和1000巴的静水压力之下产生了基质矿物。这些研究结果证明了一种看法,即杂砂岩的基质可以在成岩过程中形成,并不需要碎屑的细粒部分重结晶。这就为依据基质进行成因环玢解释的概念带来了需要考虑的新问题。关于成岩作用和构造作用时岩石晶体重新定向的研究,亦曾开尸模拟实验。

三、新技术新方法的引进

微观的研究沉积岩石学的主要手段还是显微镜,这是由它的直观性所决定的。在这方面除了常用的染色法、化学分析法、差热分析法、揭片法、X射线衍射分析法和电子显微镜法以外,国外近些年来还出现了些较新的研究沉积岩石学的方法,虽然这些方法目前还仍处于探索阶段,但已取得一定的成果。

(1) 扫描电子显微镜

扫描电镜由于具有分辨率高、景深长、视场大、图象特别具有立体感(看上去很真实)、放大倍数的范围宽以及样品制备简单等优点,已得到广泛的应用。在沉积岩石学方面它主要用来①研究碳酸盐岩的沉积环玢和超微化石;②研究岩石的成因和成岩变化;③研究微型储集空间的特征。

(2) 同位素法

现在大都用 $^{18}\text{O}/^{16}\text{O}$ 、 $^{13}\text{C}/^{12}\text{C}$ 、 $^{24}\text{Mg}/^{26}\text{Mg}$ 等同位素比值来解决碳酸盐岩中的问题。

$^{18}\text{O}/^{16}\text{O}$ 比值用于确定古温度,区分同生的、成岩的、热液的和变质的碳酸盐,辨别海洋和淡水沉积等。

$^{13}\text{C}/^{12}\text{C}$ 比值用于区分海洋与淡水或陆源的碳酸钙沉积,白云岩及石灰岩的成因研究,碳酸盐成岩变化的研究等。

Mg同位素研究,对区分不同成因的白云岩及其他含镁的碳酸盐岩,也提供了有益的资料。

此外, $^{43}\text{Ca}/^{45}\text{Ca}$ 在带壳生物的沉积作用方面,也取得了一定的成果。

(3) 电子显微探针法

用于测定碳酸岩晶体及其微小包裹体的成分。

(4) 热发光法

用于碳酸盐岩地层对比、相对年龄测定以及沉积环玢(古温度和压力)的测定等。

(5) 顺磁共振法

研究过渡族元素在矿物晶格中之分布,如研究 Mn^{2+} 在碳酸盐矿物中的置换、分布状况,探讨碳酸盐岩的成因。

(6) 图像显微解析仪

它可以与微型电子计算机连接，自动化定量地统计岩石薄片或任何照片中各种物质的数量和粒度，因此对于岩相古地理研究具有重要意义。

(7) 放射性碳测定年令法

用放射性碳 ^{14}C 测定近代碳酸盐沉积物的绝对年龄，已取得很好的成果。

以外，值得注意的是，由于五十年代电子计算机在地质学中的运用，统计分析方法，大为普及。六十年代随机体系控制论和熵息论的应用使数学地质跃进到一个新的阶段。同样，在沉积岩石学的数据处理分析过程中，引进了如回归分析、趋势面分析、因素分析、判别分析、时间序列分析、群分析、模拟模型以及马尔可夫过程模型等等数学地质方法，提高了分析的可靠性。更有意义的是，利用计算机和数学模型的计算模拟，可以进行原来无法进行的实验。如在沉积学中，流体运动微分方程描述的蒸发盆地的数字模型，模拟盆地沉积的形成发展过程。只要在理论上的阐明是全面的和严密的，那么利用计算机进行的模拟实验，就会具有真正的意义。还有人使用电子计算机根据地质数据的统计分析划分沉积相，包括地质数据的统计分析，沉积过程的动态模拟和地质数据储存处理等等。

随着这些新技术新方法的引进，沉积岩石学的研究一方百分工愈来愈细，研究愈来愈深，同时各种技术方法之间的相互联系愈来愈密切，愈来愈朝着综合的方向发展。

总之，当前在沉积岩石学研究中，新的事实和概念正在不断出现，陈旧的观念已被抛弃，定量的统计规律和成因本质的研究正在逐渐代替区域性、描述性和定性的研究，向微观深入，向其它领域扩广，沉积岩石学的研究正在经历着深刻的变革。