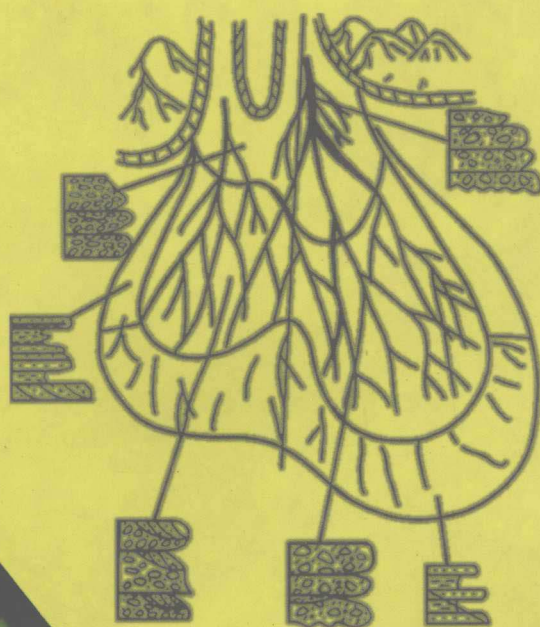


陆相储层沉积微相 与微型构造



李兴国 著

石油工业出版社

陆相储层沉积微相与微型构造

李兴国 著

石油工业出版社

内 容 提 要

本书主要论述了陆相储层沉积微相的划分、描述,储层划分与对比,微型构造与剩余油分布的关系等。本书是作者在胜利油田多年来实践的总结,其中的论点和方法,尤其对开发中后期老油田的再认识,对其他油田也具有重要的参考价值。

本书可作为从事油田开发地质的科技人员及院校的相关师生的参考用书。

图书在版编目(CIP)数据

陆相储层沉积微相与微型构造/李兴国著.

北京:石油工业出版社,2000.4

ISBN 7-5021-2978-2

I. 陆…

II. 李…

III. 陆相-储集层-沉积作用-研究

IV. P618.130.2

中国版本图书馆CIP数据核字(2000)第07181号

石油工业出版社出版

(100011 北京安定门外安华里二区一号楼)

地矿部河北地勘局测绘院印刷厂印刷

新华书店北京发行所发行

*

787×1092毫米 16开本 16印张 400千字 印1—1000

2000年4月北京第1版 2000年4月北京第1次印刷

ISBN 7-5021-2978-2/TE·2310

定价:28.00元

序

储层沉积微相和微型构造研究,作为油田开发地质工作中最重要和必须完成的两项工作,早已列入我国石油工业主管部门制定的规程、规范中,目前也已成为两项常规技术工作,在全国得到普及和推广,在油田开发各个阶段发挥着重要作用,尤其是油田开发中后期的开发调整过程中,更是起着不可替代的作用。然而至今,把这两项储层描述的基础工作,从理论阐述、实际操作到生产应用有机地联系在一起,系统地以专著形式面世,国内外还无先例。李兴国先生的专著“陆相储层沉积微相与微型构造”的出版,理所当然地应该是我们石油开发地质界一件值得非常庆幸的事件。

李兴国先生是新中国第一批油田开发地质工作者之一。半个世纪来,从玉门到胜利油区一直从事油田开发地质科研工作,经历了数十个油田的开发实践。他勇于探索,敢于突破旧习,不断发现新鲜事物,并善于把它们上升为一般规律,为我国陆相储层开发地质学的发展作出了很多贡献,如本书中介绍的“清洁砂”和生产出砂的关系,叠加河道砂体的小层对比,各类湖盆砂体静动特征的揭示等等,作者都有自己的发现和见地。其中最为卓越的贡献是:“储层的微型构造对注水开发过程中的油水运动起着非常重要的控制作用”,这一客观规律的发现。作者是国内外首次提出这一观点和应用这一技术的创始人,由于他过去鲜于发表论文,虽然这一理论已为国内普遍承认,其技术方法在国内已广为流传,这一理论核心也似乎类似于哥伦布立鸡蛋的发明。但可能还有很多人,特别是新加入开发地质队伍的年轻人,并不知道有一位“老黄牛”式的老开发地质家,却为之付出了近20年的孜孜探索,和在生产中不断验证积累的辛勤劳动。因此,今天这本书的正式问世也可以说是在开发地质学的发展史上记录了应有的一页。

读者们还可以发现,本书中实例的丰富是同类著作中鲜有的,虽然绝大多数实例来自一个颇具个性的含油气盆地,但由于作者的着意升华,这些实例无不可为陆相碎屑岩储层的借鉴。本书另一个特点是,读来可操作性很强,正是因为几乎所有实例都是作者亲身实践之硕果,才能使读者感到如此易于借鉴和应用,这正是当前少数学术著作多半来自相互借用者所不及的。

我作为石油开发地质界一个老兵,与作者长期共事,经常相互切磋,相互学习,有着深厚的战友之情,在久久渴望之中,终于见到这一专著的出版,怎能不为之欢欣动容,不邀自荐,欣然命笔,写下这一些多余的话,除向同行们,尤其是为后来者推荐这一专著外,也愿作一个历史的见证人,立此为凭。

袁烽楠

2000年4月

前 言

因受客观条件限制,本书资料来源于胜利油区。在其他地区,陆相储层可能各有其自身的特点,不一定与胜利油区完全相同,但作者认为书中的某些论点和方法,可能对其他地区仍具有一定参考意义。

本书涉及的某些内容,前人很少或从未论述过,属于探讨性质,必然会存在问题。如某些论点,系工作中的体会,这些体会不一定都正确,可能有片面性和错误。本书本着繁荣学术和提高开发地质水平的愿望,作者毫无保留地提出了这些论点,希望能获得批评与指正。对不同微型构造油井控制开采油层范围的问题,书中只分析了正微井与负微井间油层切面积的变化,这不全面,只有单井控制油层体积的变化,才能全面反映实际情况,而单井控制油层体积,不仅是正微与负微两井间的问题,还与该二井四周各相邻井有关,在通常情况下,正微井控制油层体积与负微井控制油层体积的比值应大于该二井控制油层切面积的比值。还有,综合考虑微型构造、沉积微相和动态因素对油井生产的影响,整体部署油田开发注采井网,也仅是一个设想。这些问题,有待在今后生产实践中逐步得到解决。

本书是集体劳动的成果,自1981年以来,先后有胜利石油管理局地质科学研究院夏瑜、邱隆英、李光和、廖运涛、袁向春、杨家福、周长运、王政文、徐启云、陈新效、马万飞,及东辛采油厂李乃信、宋西云、王先礼、彭尚谦、周玉华、李玲、张素珍等与作者密切合作并参与研究工作;刘显太、邵慧敏、古文光、孙国、王铭宝、邢正岩、李培基、郭迎春、陶国秀、盛文波、陈立群、孙民生、曹叔彬,和东辛采油厂刘振、谢开宁、李雪、河口采油厂刘忠厚、赵淑萍等,提供研究成果和有关资料。如果没有同志们的帮助,本书难以写成。孙焕泉、王秉海、杜贤樾、刘时霖等院领导和周建国同志,给予大力支持和鼓励,使本书能顺利出版,在此,谨向领导和同志们表示最诚挚的感谢。

李兴国

胜利石油管理局地质科学研究院

2000年2月

目 录

第一章 引言	(1)
第一节 注水开发油田面临的问题	(1)
第二节 剩余油分布研究概况	(1)
第三节 对剩余油平面分布研究的设想	(4)
第二章 陆相碎屑岩储层沉积相的判别	(5)
第一节 颜色	(5)
第二节 沉积构造	(7)
第三节 粒度分析	(10)
第四节 测井资料	(18)
第五节 砂体几何形态	(20)
第六节 古生物	(20)
第七节 地球化学	(21)
第八节 砂岩成分	(22)
第三章 陆相碎屑储层单砂层划分与对比	(23)
第一节 概述	(23)
第二节 确定标准层	(23)
第三节 沉积旋回划分	(28)
第四节 测井曲线的应用	(32)
第五节 应用测井曲线划分对比单砂层的具体方法	(33)
第四章 单砂层沉积微相划分	(47)
第一节 对储层渗透率的理解	(47)
第二节 应用单砂层沉积微相研究储层渗透率变化规律探讨	(49)
第三节 单砂层沉积微相划分	(53)
第四节 单砂层沉积微相划分举例	(54)
第五节 有关沉积微相的其他问题	(60)
第五章 陆相储层沉积相分述	(65)
第一节 冲积扇	(65)
第二节 水下扇	(72)
第三节 浊流沉积	(79)
第四节 河流沉积	(103)
第五节 三角洲沉积	(125)
第六节 其他湖相沉积砂体	(151)
第六章 储层微型构造	(164)
第一节 油层微型构造简介	(165)
第二节 油层微型构造与油井生产	(169)

第三节	油层微型构造应用效果举例·····	(189)
第七章	油层微型构造影响油井生产的机理研究·····	(192)
第一节	剩余油在油层内的分布·····	(192)
第二节	油层微型构造影响剩余油分布·····	(204)
第三节	油层微型构造影响注入水的驱油方向, 从而影响油井生产·····	(205)
第四节	油层微型构造影响油井供油面积·····	(210)
第五节	需要强调的两个问题·····	(230)
第八章	应用微型构造、沉积微相和动态因素综合分析油井生产·····	(232)
第一节	各类微型构造油井生产的综合分析·····	(232)
第二节	梁家楼油田各断块油井生产的再认识·····	(241)
第三节	油田注采井网问题探讨·····	(244)
参考文献	·····	(247)

第一章 引言

当前国内外碎屑岩储层油田流行注水开发,这种方法得到广泛而持久应用的原因,克雷格(Forrest F.Craig)认为有以下方面:①一般都有可供利用的水;②注水是相对容易的,因注水井中的水柱本身具有一定的水压;③水在油层中具有扩展的能力;④水在驱油方面是有效的^[1]。

迄今为止,尚未发现完全可以取代水的注入剂和比注水更有效的常规增产方法。可以预期在今后较长时期,注水仍将是油田开发的主要方法。

采用注水开发油田对保持油层压力,提高采油速度和采收率等方面,效果都很显著,但也会不断产生一些问题,这些问题必须随时研究找出原因并加以解决,才能使生产顺利进行。

第一节 注水开发油田面临的问题

注水开发油田面临的问题主要有以下两方面。

一、油层水淹

在油田开发初期,储层油水关系接近原始状态,随着开发时间的延续,油水关系日趋复杂,在生产中将暴露很多问题,有的还相当严重。例如某些油井含水上升和产量下降,成为高含水井,有的油井暴性水淹停产,有的注入水并不向各个方向均匀推进,而是某些方向推进很快,另一些方向则很慢甚至徘徊不前。还有,在纵向上某些油层或油层中的某一小段注入水推进很快,另一些层或段则推进缓慢,形成所谓平面矛盾、层间矛盾或层内矛盾。这些问题涉及注入水在油层内的运动状况,必须研究其运动的规律性,才能因势利导、趋利避害或化害为利,使注入水充分发挥驱油效果。这个问题通过裘怿楠等人的研究已取得重大进展。

二、油层剩余油分布^①

油田投入注水开发,即使进入中、高含水期,油井虽普遍大量产水,但剩余油储量仍很可观、特别是稠油油藏。据研究,胜利油区稠油层在综合含水高达60%时,采出量还不到地质储量的20%,即还有将近一半的剩余油有待采出。这些剩余油并不是均匀分布,在垂向上和平面上的分布和富集规律,也是必须研究的重要问题。如因认识不够清楚,在制定油田调整方案,钻加密生产井时,常打出一些含水高产量低,有的甚至投产后即因含水太高不能正常生产,造成很大浪费。因此,油层剩余油分布规律的研究,在国内外均普遍受到重视。

第二节 剩余油分布研究概况

剩余油分布规律的研究,包括以下两个方面。

① 剩余油系油层内尚余可供采出的油,即剩余油储量=可采储量-采出量。

一、剩余油垂向分布

应用电阻率测井和密闭取心等方法判别油水层及油层内油水饱和度的垂向变化,在我国广泛使用,均取得良好效果,判别精度不断提高。还有某些新方法如中子寿命(测一注一测)法,在我国开展试验也取得成功。据国外报道还有许多新方法,其中以核磁(测一注)测井效果最好,总的认为这个问题已经初步得到解决。尽管取心分析剩余油饱和度与测井解释剩余油饱和度存在一定差异(一般取心值偏小),但对应关系良好,即在垂向上油的富集段或高含水段两者的结果一致。

二、剩余油平面分布

这个问题尚处于研究阶段,以美国为例,他们开展了较多的研究,这些研究主要在一些注水开发水淹已到经济极限的油藏进行。采用的办法是利用三次采油试验钻加密井,进行取心、电阻率测井和其他特殊测井求残余油饱和度^①并与数值模拟相结合,研究残余油的平面变化取得以下认识:

(1) 沿着液流方向存在着含水饱和度梯度,甚至当水油比为 20/1 到 100/1 时也是如此。例如伊利诺斯·罗宾逊油田在注水体积等于 76% 孔隙体积后,五点法井网八分之一面积上平面残余油饱和度的分布(图 1-1),这个理论分布被水淹后所钻的井所证实,这些井是在该油田 119-R 区的 40 英亩胶束溶液三次采油试验期间,钻在五点法井网的注采井之间的液流线上,由图 1-1 所见,残余油饱和度(从电阻率测井所得)在注水井附近为 30%,中间井为 40%,到生产井附近为 44%。

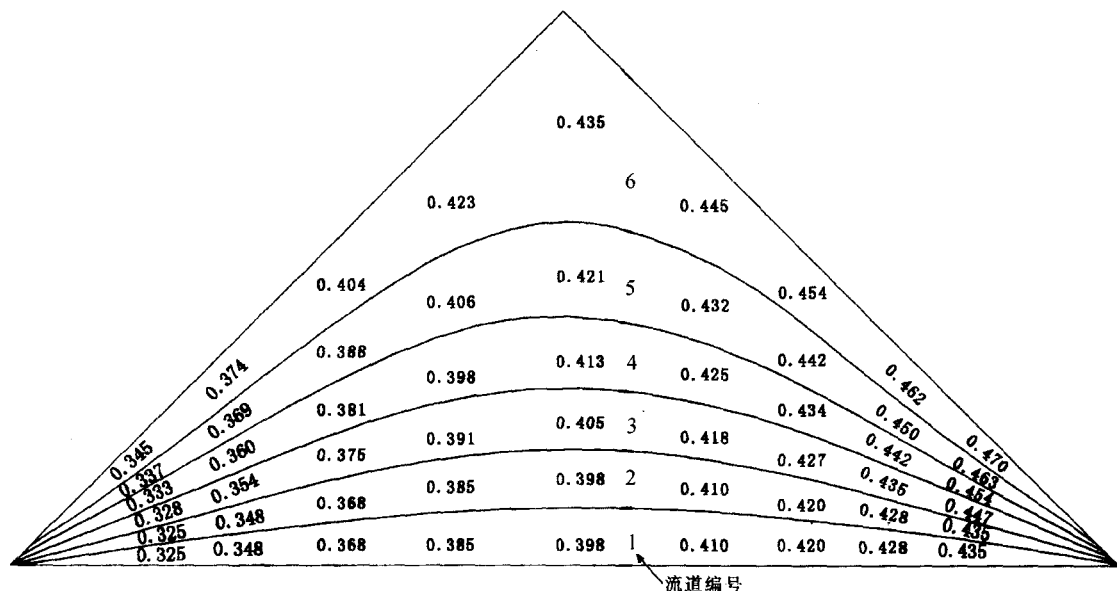


图 1-1 八分之一五点式注水井网在注入 0.7 倍孔隙体积水后残余油饱和度的理论分布
伊利诺斯·罗宾逊油田, 119-R 区数学模拟研究(据科迪纳等)

宾夕法尼亚州布雷福德油田 2.9 英亩五点法井网也表明面积注水流线对残余油饱和度有

^① “残余油饱和度”指束缚油饱和度,为剩余油变为不流动或者完全被束缚时的饱和度。实际上,除在靠近注入井或冲刷带有可能接近残余油饱和度外,在其余地压仍有数量不等的剩余油。故仍可看作采出程度更高的剩余油饱和度。

影响。水淹后钻的五口井均取心，并用电阻率测井求出了残余油饱和度。钻在 2 口注水井中点的井，即所谓五点法的死点，含油饱和度为 50%，钻在注采井中点上的其他 4 口井，平均含油饱和度为 35%。

(2) 某些相邻井和生产井组间含油饱和度相差很大，原因尚待研究。堪萨斯州埃尔多拉多油田阿德米尔砂岩油藏，油层厚 650 英尺，注水开采达到很高的油水比后被废弃，后选作胶束—聚合物三次采油小型试验，为此试验打了 55 口井，所有井都进行了自然电位、伽马射线、中子、密度、声波、侧向、井径及感应测井，其中 25 口井还取了岩心，所有岩心和测井资料均用于残余油饱和度研究，各井的井距为 264~528 英尺，结果主要有以下方面：

①取心井的测井含油饱和度较岩心含油饱和度高。取心井的测井含油饱和度在油层内平均为 33.6%，在井壁冲洗带为 30.5%；这些值在对应的相同井段的岩心含油饱和度平均值为 26.0%，岩心含油饱和度值偏低，据认为是取心时岩心被水严重冲刷和岩心到地面时因脱气而损失少量原油。

②测井含油饱和度的差别与面积注水井网预计的平面扫油效率是一致的。即沿注采井的主流线含油饱和度梯度增加，非主流线的含油饱和度较高，但也有些井的测井含油饱和度与理论不符合。

③测井含油饱和度在某些相邻井或井组间相差较大。各井平均测井含油饱和度如图 1-2，线条表示原来的注水井网，注水井位于各线交点，生产井位于“×”符号处，圆点为新钻试验井，图中某些井的测井含油饱和度与相距 204 英尺的邻井相差达 10%~20% 饱和度；图中下面带横线的数字表示五点法井组的测井含油饱和度的平均值，每个井组的面积大约为 14 英亩，注意相邻五点井组的平均含油饱和度可相差 8%~10% 饱和度，西北方向五点井组（平均含油饱和度为 40.7%）与西南方向五点井组（平均含油饱和度为 26.7%）相距 1300 英尺，含油饱和度相差达 14% 饱和度^[2]。

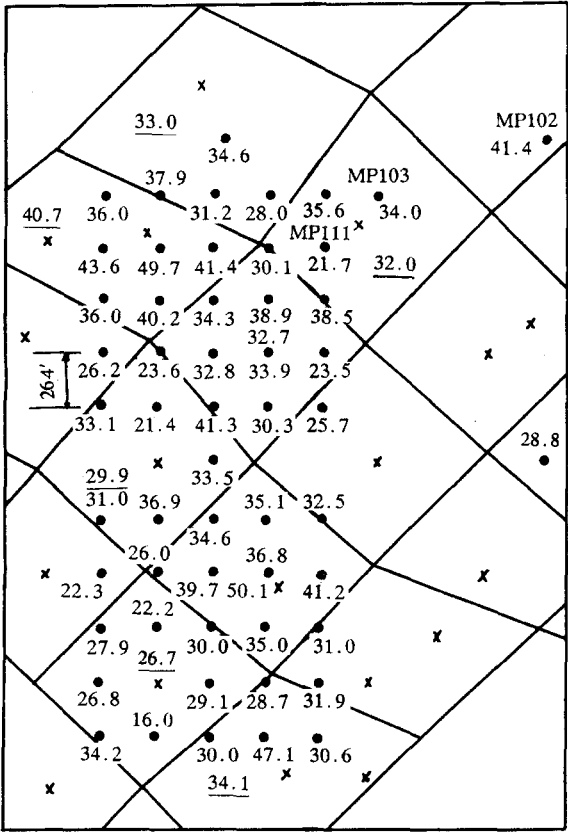


图 1-2 测井得出的残余油饱和度的平面分布
肯萨斯·埃尔多拉多油田胶束—聚合物驱油试验区（据 D.C 邦德等）

现认为上述试验研究结果并不理想，首先是试验区面积太小，很难认为能代表全油田的残余油饱和度的分布状况。埃尔多拉多油田在不到 1km² 面积内新钻井 55 口，连同原有的生产井 18 口和注水井 17 口，合计 90 口井。获得大量地质资料，有条件对储层作精细研究，但文中未涉及地质方面的问题。

第三节 对剩余油平面分布研究的设想

埃尔多拉多油田含油饱和度的差异，作者主要从工艺技术上和动态因素^①方面找原因，论述了流线对残余油饱和度的影响，对岩心残余油饱和度和测井残余油饱和度作了测定和研究，对邻井间残余油饱和度的差异，认为是“感应测井定性控制不充分”和“地层电阻率记录值的差异”。

现认为该项研究应与地质条件密切结合，该油田油层厚达 650 英尺，期间很可能存在不渗透夹层将油层分隔为若干个互不连通的单砂层，由于单砂层平面非均质性及起伏变化产生的重力作用，当然也有动态因素的影响，在纵向上，各个单砂层的残余油饱和度应有差异，即某些层较高，另一些层则较低；在横向上各单砂层的残余油饱和度也不是平均分布，某些部位为富集区，另一些部位则为高含水区，残余油饱和度接近束缚油区。即各个单砂层残余油饱和度在纵向和横向上都不尽相同，各有其自身分布的规律。埃尔多拉多油田的残余油饱和度只能认为是“大平均”数据，不能反映各单砂层的残余油分布，难以研究残余油分布的规律性。

以上说明，仅仅依靠大量钻井取心和测井求取数据的办法，虽然耗资巨大，并不能圆满解决问题。钻井取心和测井是获取储层信息的重要手段，取得的资料也非常宝贵。应当充分利用，对储层作精细对比研究，作出正确认识和描述。为此设想应进行以下地质研究。

一、研究储层的分隔状况

研究划分垂向上受夹层分隔而不连通或只有小部分连通而全层大部分不连通的单砂层作为研究对象，多个砂层混合的大平均数据，可能与单个砂层的数据有很大差异，不利于精细研究工作。

二、研究单砂层自身的起伏变化

笔者长期的研究证明，单砂层自身起伏变化和构造形态对剩余油分布有很大影响，必须作精细研究，有助于解决剩余油的平面分布问题。

三、沉积相和沉积微相研究

剩余油的分布还受储层物性在纵向上和平面上的变化，即储层非均质性的影响，这种物性变化与储层沉积微相关系密切。研究储层沉积微相可帮助解决油层水淹及剩余油分布等问题。

四、动静结合研究

除上述静态因素的研究外，动态因素如井距、生产井与注水井的配置、注水驱油方向、注水流线等的变化，也对剩余油分布产生影响，应与静态研究相结合作出综合判断。

本书将按照这一思路，对前述有关问题作探索性研究和讨论。

^① 动态因素指井网密度、注水方式、注水流线等人为因素。

第二章 陆相碎屑岩储层沉积相的判别

沉积相一词,学者有不尽相同的定义和解释。如沉积相是“沉积环境的古代产物”,或“沉积环境的物质表现”。冯增昭等人定义为:“沉积环境及在该环境中形成沉积岩特征的综合”^[3]。沉积环境包括自然地理条件、气候条件、构造条件、沉积介质的物理条件和化学条件等;沉积岩特征系指岩性特征、古生物特征和地球化学特征。因此沉积环境是形成沉积岩特征的决定因素,沉积岩特征则是沉积环境的物质表现。这一论述,较为全面和清晰。

沉积岩是分布很广的岩石,占大陆面积的70%,海洋几乎是100%被沉积岩或沉积物覆盖。沉积岩蕴藏多种人类生活必需的资源,如可燃性矿产资源,包括石油、天然气、煤和油页岩,还有其他金属和非金属矿产,故沉积相研究在理论上和经济上均有重要意义。

油气较其他固体矿藏有其特殊性,即埋藏较深,又是流体,能在地层中运移,勘探和开发面临的问题远较其他矿产复杂。对于勘探来说,要掌握油气的生成、运移、储集以及在空间和地质历史时期的分布规律;对于开发,应是通过研究解决油田开发生产过程中油水运动规律和剩余油分布规律等问题。这些研究均与沉积相密切相关。在我国,现在的情况是大部分油均产自陆相碎屑沉积岩。因此,本章也着重讨论陆相碎屑沉积相的判别,因限于资料,所涉及的内容主要是胜利油区。

储层深埋地下,很少有地面露头,沉积相研究所需资料主要是岩心及其分析鉴定资料和测井资料,岩心资料一般数量少,分布零星不系统,应用单项资料可能产生片面性,应尽可能利用所有可能获得的资料进行综合研究对比,相互印证,获得全面的认识。下面将论述有关沉积相的判别依据。

第一节 颜色

颜色是最直观醒目的标志,是鉴别沉积岩、划分和对比地层、判别沉积相的重要标志之一。但并不是所有颜色都具上述功能,首先需要进行分类。按成因可分为原生色和次生色。

一、原生色,可分为继承色和自生色

1. 继承色

主要是碎屑本身的颜色,如某些长石砂岩呈浅红色,这是继承长石碎屑的颜色;纯石英砂岩呈白色,系无色透明石英碎屑形成。

2. 自生色

系沉积岩内原生沉积矿物或早期成岩过程中自生矿物的颜色,为大部分粘土岩、化学岩和部分碎屑岩所具有。如含 Fe^{3+} 的泥岩就呈红色或黄褐色。

二、次生色

是后生作用阶段或风化作用过程中由原生色发生次生变化而形成。如红色泥岩中局部的 Fe^{3+} 还原成 Fe^{2+} ,使岩石变为绿色。同样,绿色泥岩中局部的 Fe^{2+} 氧化成 Fe^{3+} ,使岩石由绿色变为红色。

三、原生色与次生色的区别

原生色的特点是颜色浓淡一致，即分布均匀；而次生色多呈斑点状分布不均，或沿裂缝孔洞分布，可穿过层理，在风化带或由地下水活动形成，还有原生色与次生色相混合，出现红、绿、褐、黄等多种颜色，称为“杂色”，多与风化作用有关。

四、颜色与沉积环境

沉积岩的颜色变化，除取决于成分外，还与其沉积环境密切相关。因此，原生色对判别沉积环境有利。其中自生色由色素形成，色素通常只有百分之几，甚至小于1%，但对岩石颜色有很大影响。最主要的色素为有机质和铁质，通常有机质含量增加，岩石颜色变深变暗；如有 Fe^{2+} 呈绿色， Fe^{3+} 呈红色。

1. 应用原生色判别沉积环境

沉积岩颜色种类繁多，但通常用作判别沉积环境的只有以下几种。

1) 暗色（包括灰色和黑色）

沉积岩中含有机质（碳质和沥青），分散状硫化铁（黄铁矿、白铁矿）则呈暗色，含量愈高，颜色就愈深。说明岩石形成于还原环境或强还原环境。通常碳质反映浅水沼泽弱还原环境，沥青质和分散状硫化铁则反映深水或较深的停滞水环境。

2) 红色与褐黄色

通常由于沉积岩中含有 Fe^{3+} （如赤铁矿、褐铁矿），反映氧化或强氧化环境，如河流、水上冲积扇等。在海洋沉积中有时也呈红色，原因较复杂，故红层不一定是陆相沉积。如我国西南三叠系飞仙关页岩为紫红色，据认为系古气候燥热，氧化作用强烈；南美亚马逊河口，红色沉积系河流搬运大量红色沉积物入海后迅速埋藏。

3) 绿色

系沉积岩中含有 Fe^{2+} 的矿物，如海绿石、绿泥石和菱铁矿，反映弱氧化或弱还原环境。

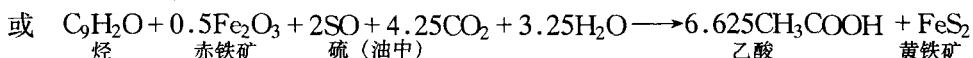
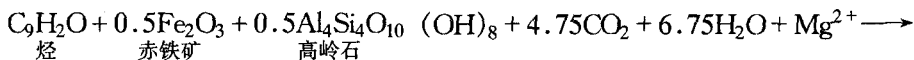
孤岛油田馆陶组上段馆3组曲流河沉积浅绿色并含黑色炭化植物碎片，泥岩中曾发现菱铁矿，可能反映河岸低处积水沼泽环境。

此外，如沉积岩富含角闪石，绿帘石、孔雀石等绿色矿物，也呈绿色，不反映沉积环境。

2. 次生色有时可能混淆环境

胜利油区河流相油层岩心所见，在紧邻含油砂岩顶部和底部，即与油层接触部的泥岩均全呈绿色，此段绿色泥岩一般厚0.2~0.3m，最厚可达0.5m，过此段后泥岩仍为红色。

这些绿色泥岩，常被误看作原生色，但如仔细观察，可见颜色不同的两段泥岩为连续沉积，岩性完全相同，绿色与红色界面不清，为一过渡带，在界面附近为两种颜色混杂。据罗纳德（Ronald, C. Surdam）等的研究，系烃与泥岩接触浸染，使红色泥岩发生次生还原作用所引起^[4]。其化学反应式为：



以上二式分别反映赤铁矿被油还原成绿泥石或黄铁矿，颜色由红色被还原成绿色。又在油层底部与泥岩界面处，普遍有直径1~2mm的次生黄铁矿晶粒。对应用颜色判别沉积环境时，应引起注意。

第二节 沉积构造

沉积构造是沉积岩在沉积过程中或沉积后固结成岩前形成的构造现象。前者称原生沉积构造；后者称准同生变形构造。它们可提供沉积介质的性质和能量强弱，成为判别环境的重要标志之一。

由于岩心直径很少超过 100mm，范围太小，某些大型沉积构造仅能取出其中的一部分，不能观察全貌。如槽状交错层在岩心描述中称为弧形斜层理，板状交错层被描述为直线斜层理，还有不平行的直线斜层理，可能为楔状交错层。一些小型沉积构造如小波痕层理、爬升波痕纹理、水平纹理以及冲蚀面、剥离线理及生物搅动构造，显示比较清楚。偶见生物遗迹构造，如爬迹、潜穴等。压裂痕很难见到。尽管如此，垂向上有一定次序的沉积构造组合仍具有判别作用，采用先粗后细的判别方法，可识别一些比较普遍的陆相碎屑沉积。

一、区分重力流与牵引流沉积

重力流以泥石流和浊流最常见，沉积构造组合常为块状层理（又名均匀层理）、递变层理，及鲍马序列，准同生变形构造如负载构造、球状构造和枕状构造、滑塌构造、旋卷层理和碟状构造均较普遍，交错层理较少见（图 2-1、图 2-2）。

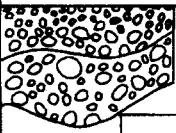
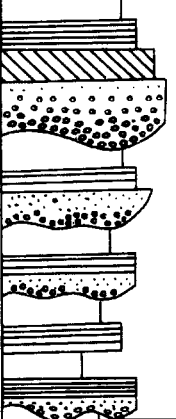
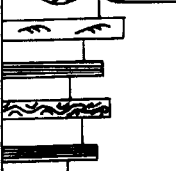
	段	代表性的原生沉积构造	共生的沉积构造	一般岩性	环境解释
	4	均匀层理和递变层理	底面为冲蚀面	砾岩	扇根
	3	递变层理和平行层理	冲刷痕和压刻痕的铸型，负载构造，碟状构造，大型交错层理	砾状砂岩，砂岩	扇中
	2	经典的鲍马序列	水流波痕层理，变形层理，水平纹理，均匀层理	砂岩	扇端
	1	均匀层理和水平纹理	韵律层理，互层层理	泥岩，夹碳酸盐岩	正常深水

图 2-1 近岸水下扇沉积的原生构造序列及其环境解释（据陈景山等）

	段	代表性的原生沉积构造	共生的沉积构造	一般岩性	解 释
	5, E	均匀层理	水平纹理, 遗迹化石	泥岩	悬浮沉积
	4, D	水平纹理		粉砂岩, 粉砂质泥岩	低流态平底(?)
	3, C	水流波痕层理或变形层理	爬升波痕纹理, 大波痕层理, 变形构造	细砂岩, 粉砂岩	低流态
	2, B	平行层理	偶见剥离线理	砂岩	高流态平底
	1, A	递变层理	各种冲刷痕和压刻痕的铸型, 偶见逆行沙丘, 底面为冲刷面	砂岩, 含砾砂岩, 砂砾岩	高流态, 快速沉积

图 2-2 浊流沉积的原生构造序列及其环境解释 (据景山等)

牵引流主要为河流、三角洲沉积, 以交错层为主, 包括大波痕层理 (槽状交错层、板状交错层和楔状交错层), 小波痕层理和爬升波痕纹理等, 并有水平纹理, 递变层理和变形层理的少见 (图 2-3、图 2-4、图 2-5)^[5]。

二、区分泥石流与浊流沉积

在水下扇和冲积扇的扇根, 均可能有泥石流沉积, 其中水下扇与浊流沉积有其共同特点, 如均具鲍马序列和变形层理, 最主要的不同点为泥石流沉积具粗碎屑组成的块状层理, 砾石粗细混杂, 充填泥砂基质, 岩心观察因表面基质被冲刷, 出露棱角状砾石, 颇像“狼牙棒”。浊流无此种沉积, 递变层理较发育, 岩性较细, 分选也较好 (图 2-1、图 2-2)。

三、区分河流与三角洲前缘沉积

这两种沉积可根据沉积构造序列予以区分, 河流相沉积交错层规模由底部向上由大逐渐变小, 下部多为大波痕层理, 向上为小波痕层理, 爬升波痕纹理, 波状层理和水平纹层, 层理倾角也是下部较大, 向上逐渐变小; 三角洲前缘则与河流沉积相反, 交错层规模由下向上由小变大, 并有透镜状, 波状和脉状层理。

三角洲前缘之上的分流河道沉积, 沉积构造与通常的曲流河相似 (图 2-3、图 2-4、图 2-5)。

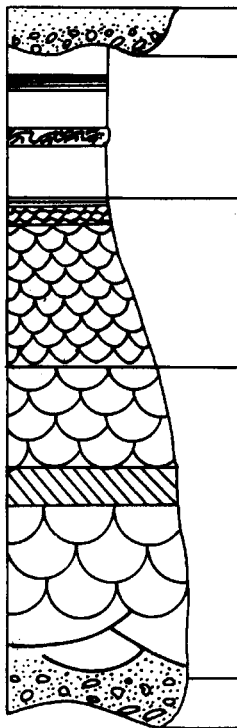
	段	代表性的原生沉积构造	共生的沉积构造	一般岩性	环境解释
	4	水平纹理和均匀层理	旋卷层理, 爬升波痕纹理, 干裂, 植物根痕	泥质粉砂岩, 粉砂质泥岩	洪泛平原 河心沙坝
	3	小波痕层理	爬升波痕纹理, 水平纹理	中、细砂岩	
	2	大波痕层理	单组大型板状交错层理, 逆行沙丘交错层理, 复活面	砂岩, 砂砾岩	
	1	均匀层理	叠瓦状构造, 底面为冲蚀面	砂砾岩	河床滞留沉积

图 2-3 辫状河沉积的原生构造序列及其环境解释 (据陈景山等)

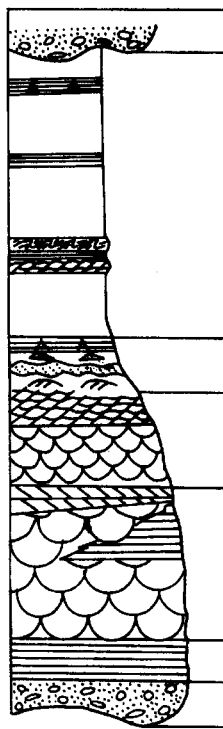
	段	代表性的原生沉积构造	共生的沉积构造	一般岩性	环境解释
	6	均匀层理和水平纹理	爬升波痕纹理, 旋卷层理, 干裂, 植物根痕, 潜穴, 钙质和铁质结核	泥岩, 粉砂岩	洪泛平原
	5	波状层理和水平纹理	小波痕层理, 透镜状层理, 爬升波痕纹理, 干裂, 植物根痕	粉砂岩, 粉砂质泥岩	天然堤
	4	小波痕层理和爬升波痕纹理		粉砂岩	曲流沙坝
	3	大波痕层理	平行层理	中、细砂岩	
	2	平行层理	剥离线理	砂岩	
	1	均匀层理	叠瓦状构造, 底面为冲蚀面	含泥砾砂岩, 砾状砂岩	河床滞留沉积

图 2-4 蛇曲河沉积的原生构造序列及其环境解释 (据陈景山等)

	段	代表性的原生沉积构造	共生的沉积构造	一般岩性	环境解释	
	6	均匀层理和水平纹理	砂泥水平互层层理,波状和透镜状层理,冲淤构造,植物根痕,生物扰动构造,铁质和钙质结核	泥岩,粉砂岩,夹炭质泥岩和煤层	三角洲	分流间沼泽和湖泊
	5	水流波痕层理	波状和透镜状层理,平行层理,冲淤构造,底面为冲蚀面	砂岩		分流河道
	4	水平纹理和透镜状层理	生物扰动构造,孤立波痕,韵律层理	泥岩,粉砂岩,夹碳酸盐岩	三角洲前缘	分流间湾
	3	交错层理	水流波痕和浪成波痕,气泡空洞,滑塌构造,重力断层	砂岩,粉砂岩		河口沙坝
	2	透镜状、波状和脉状层理	水平纹理,砂泥水平互层层理,小波痕层理,生物扰动构造	粉砂岩,泥岩		远端沙坝
	1	水平纹理和均匀层理	遗迹化石,生物扰动构造,韵律层理,偶有递变层理	泥岩,粉砂质泥岩		前三角洲

图 2-5 河控三角洲沉积的原生构造序列及其环境解释 (据陈景山等)

第三节 粒度分析

确定沉积岩或沉积物中不同粗细颗粒含量的方法,称为粒度分析,通常用筛析法或沉降法,也可用薄片分析法。粒度分析取样要求不高,筛析法用 20g、沉降法通常用 10g (最少 5g) 岩心或井壁取心样品,或用油层物性测定后的样品均可作分析,故此项分析资料较易获得,在沉积相研究中普遍应用。对胶结疏松、颗粒易于分离的储层,粒度分析精度较高;胶结致密的储层,颗粒不易分离或在分离过程中,可能有部分颗粒破碎影响精度,可采用薄片分析,但这种分析视域有限,观察到的颗粒为一任意切面,有相当部分粒径可能偏小。据实验,薄片分析求得的视直径仅为真直径的 0.765 倍,需要进行校正。

粒度分析资料用于研究:①沉积物搬运介质,如水、空气和冰;②搬运介质的能量,如流速、起动能力;③沉积物的搬运方式,如牵引、跳跃和悬浮。以上可为沉积环境的判别提