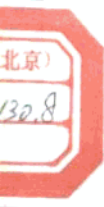
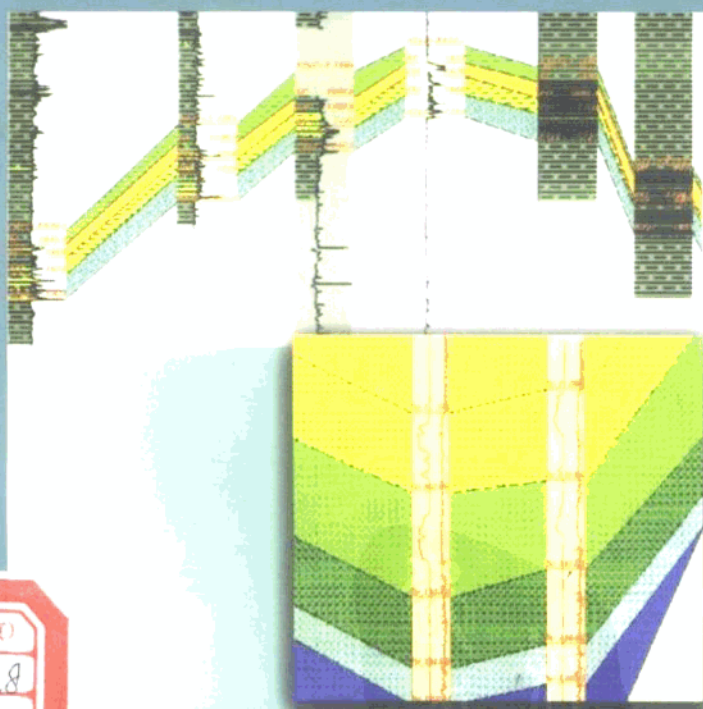


现代油气勘探理论
和技术培训教材

中国石油天然气总公司勘探局 编

现代地层学在油气勘探中的应用



石油工业出版社

登录号	126143
分类号	P618.130.8
种次号	026

现代油气勘探理论和技术培训教材·一

现代地层学在油气勘探中的应用

中国石油天然气总公司勘探局 编

5052/04



石油0121436

石油工业出版社

内 容 提 要

本书分四章。第一章对我国油气勘探中的常规地层学方法的应用效果进行了分析,列举了 30 个实例,强调多学科相互渗透、不同方法的相互结合和验证是地层对比的最佳方法。后三章介绍了国内外现代地层学研究的稳定同位素地层学、磁性地层学和事件地层学新方法及其应用。

本书可供从事地层、沉积、构造等石油地质勘探相关专业的科研技术、管理人员和大专院校师生参考。

图书在版编目(CIP)数据

现代地层学在油气勘探中的应用/中国石油天然气总公司
勘探局编.

北京:石油工业出版社,1998.5

现代油气勘探理论和技术培训教材 1

ISBN 7-5021-2328-8

I. 现…

II. 中…

III. 地层学-应用-油气勘探-教材

IV. P618.13

中国版本图书馆 CIP 数据核字(98)第 13980 号

石油工业出版社

(100011 北京安定门外安华里二区一号楼)

北京密云华都印刷厂排版印刷

新华书店北京发行所发行

*

787×1092 毫米 16 开本 5 $\frac{1}{8}$ 印张 130 千字 印 0—3000

1998 年 5 月北京第 1 版 1998 年 5 月北京第 1 次印刷

ISBN 7-5021-2328-8/TE·1941

定价:12.00 元

《现代油气勘探理论和技术培训教材》

编委会

主 任 邓隆武

副主任 朱筱敏

委 员 (按姓氏笔划排序)

孙镇城 张厚福 张 霞 陆克政 李承楚 金之钧

赵澄林 尚作源 钟宁宁 欧阳健 周家尧 高德利

《现代地层学在油气勘探中的应用》

著 者 孙镇城 杨 藩等

序

石油工业的迅速稳步发展必须依靠先进的油气勘探理论和能切实解决生产难题的技术。中国数十年油气勘探实践已证明，油气勘探方面的理论发展和技术进步在深入油气勘探、增加油气储量、提高勘探效益等方面发挥着极为重要的作用。

自 1978 年以来，中国原油产量已超过亿吨，并保持稳步发展的势头，成为世界产油大国之一。中国油气资源是丰富的，但与世界石油资源平均探明程度和常规天然气资源平均探明程度相比，中国油气资源的探明程度还很低，所以油气资源勘探潜力还比较大。众所周知，对于具有复杂地质结构的中国含油气盆地，随着勘探程度的加深，油气资源勘探的难度越来越大。在本世纪末至下世纪初，中国石油工业的发展都将坚持“稳定东部、发展西部、油气并举，以及合理利用国外油气资源”的勘探战略。

为了贯彻实施中国石油工业发展的战略方针，使中国油气产量及储量处于世界前列，就必须发挥科学技术是第一生产力的作用，造就一大批既懂先进油气勘探理论，又熟悉现代油气勘探技术；既有丰富的油气勘探实践经验，又能从事石油勘探经营管理的油气勘探高级人才。为此，中国石油天然气总公司勘探局先后多次组织各油田的勘探处长、勘探公司经理和总地质师进行现代油气勘探理论和技术以及经营管理的继续教育。为了更好地提高油气勘探高级管理技术人才的油气勘探理论和技术水平，中国石油天然气总公司勘探局决定，成立《现代油气勘探理论和技术培训教材》编委会，公开出版相关系列教材。本套教材共计 11 册，包括 6 册油气勘探理论基础、4 册油气勘探技术和 1 册油气勘探经营管理。即第一册《现代地层学在油气勘探中的应用》、第二册《石油构造地质学》、第三册《储层沉积学》、第四册《层序地层学原理及应用》、第五册《石油地质学新进展》、第六册《石油地球化学进展》、第七册《油气资源评价技术》、第八册《地震勘探新技术》、第九册《油气钻探新技术》、第十册《测井新技术与油气层评价进展》和第十一册《油气勘探经营管理》。与其他教材相比，本教材着重反映国内外油气勘探新理论、新方法、新技术，结合国内外油气勘探实例分析，解决实际问题。希望这套教材的出版能在提高广大油气勘探技术和管理人才的油气勘探综合素质方面发挥积极的作用。

高瑞祺

1997 年 4 月

前 言

地层学是地质学的重要基础学科之一。石油天然气勘探的全过程离不开地层划分与对比。地层学又为岩相古地理、构造、盆地分析等研究,提供了丰富的地质历史、环境变化等时间与空间方面的重要信息。

数十年来在我国石油天然气勘探过程中,已形成了一套行之有效的地层划分、对比研究的方法。为贯彻中国石油天然气总公司勘探局的指导思想,要造就一大批既懂先进石油勘探理论,又熟悉现代油气勘探技术;既有丰富的油气勘探实践经验,又能从事石油勘探经营管理的油气勘探高级人才,我们承担了《现代油气勘探理论和技术培训教材》第一册《现代地层学在油气勘探中的应用》的编写工作,我们认为从当前实际情况出发,油气勘探中的区域地层研究,一方面需要引进现代地层学若干新概念和新方法,拓宽思路;另一方面应当强调常规地层对比方法的综合研究,挖掘现有对比方法和地层资料研究的巨大潜力。

作者根据 40 多年现场油气勘探区域地层对比的经历,特别是区域地层对比结果直接影响到油气勘探成败的亲身体会,编写了本教材,呼吁勘探家对基础地层研究予以足够的重视。在本书第一章油气勘探中常规地层学方法及应用效果分析中,列举了 30 个实例,对我国油气勘探中岩石地层学、生物地层学和地球物理学等方法对比地层的效果进行了分析,说明每种方法都有成功的一面,也有局限性的一面。可以说,目前还没有任何单一方法可以解决所有的地层对比问题,而多学科的相互渗透,不同方法的相互结合和验证是地层对比最现实的好方法。后三章主要是国内外现代地层学研究的新方法,介绍了我国现代地层学研究卓有贡献的代表吴瑞棠、张守信等教授的理论体系,以及在油气勘探中若干行之有效的方法。其中,第二章稳定同位素地层学,介绍了中国石油天然气总公司在新疆莎车阿尔塔什剖面应用 $\delta^{13}\text{C}$ 划分第三系—白垩系分界的成果,还介绍了塔里木盆地柯坪地区上震旦统与寒武—奥陶系碳、氧同位素地层标准剖面,及其在油气勘探地层对比中的应用。第三章磁性地层学,介绍了柴达木盆地第三系和第四系磁性地层柱及其在地层对比中的应用,和古湖泊的磁组构学研究在辽河油田的油气勘探中预探区砂体分布预测成功的实例,还介绍了古地磁测井新技术。第四章事件地层学,介绍了美国俄克拉荷马州埃姆斯陨石坑湖泊沉积中油田产能的简况,还介绍了巴伦支海陨击坑的地震解释。

本教材着重区域勘探地层对比及研究,由于篇幅有限,地层对比特别是油田细分层对比以及常用的测井方法等未作展开叙述。我们衷心希望这本教材有助于勘探家们在油气勘探工作中扩展思路,并为我国石油天然气储量增长做出贡献。

本教材主要由孙镇城、杨藩编写。马纪参加了部分编写工作。由于水平有限,文中难免有错误与缺点,恳请各位领导、专家和勘探家批评指正。

著 者

1998 年 4 月

目 录

第一章 油气勘探中常规地层学方法及应用效果分析	(1)
第一节 岩石地层学方法	(1)
第二节 生物地层学方法	(5)
第三节 地球物理学方法	(10)
第二章 稳定同位素地层学	(21)
第一节 基本概念	(21)
第二节 氧同位素地层学	(22)
第三节 碳同位素地层学	(24)
第四节 硫同位素地层学	(35)
第三章 磁性地层学	(39)
第一节 基本原理	(39)
第二节 磁性地层单位及地磁极性年代表	(40)
第三节 磁性地层学的应用及实例	(42)
第四节 古地磁测井	(55)
第四章 事件地层学	(57)
第一节 基本原理	(57)
第二节 事件地层学的基础——地质事件	(58)
第三节 自然地层界线——事件界线	(67)
第四节 油气勘探实例	(71)
第五节 尤尔纳构造的地震解释——陨击坑	(71)
参考文献	(74)

第一章 油气勘探中常规地层学方法及应用效果分析

石油天然气勘探中地层划分、对比是石油地质研究的基础。地层作为一个地质体具有多方面的特征，如矿物成分、化学组分、岩石的结构构造、层理层面特征、地磁性质、对地震波反射吸收性质、导电性、同位素年龄以及化石内容等。因此人们就能够根据这些不同的特征去认识地层，划分、对比地层。

地层划分、对比的结果就产生了一个地区或含油气盆地的地层系统。地层系统包括两个要素：一是组成地层序列的各种地层单位，二是这些单位之间的相互级别关系。由于地层划分、对比方法的不同，可以产生不同种类的地层单位。《国际地层指南》（1976）提出：“地层有多少种属性，就可以划分出多少种地层单位”。这就是多重地层单位学术思想产生的根据。

应当说明，多种多样的地层单位可以概括为两大类型：一是着重体现地层实体固有特性（岩性、电性、化学性等）的物质性地层单位系统，这类系统对地质生产工作有很大实用价值，但往往具有穿时性；二是着重体现地层时间属性的时间地层单位系统，是研究地质历史必不可少的重要基础要素。

我国油气勘探的区域地层对比研究中最常用的方法有：岩石地层学、生物地层学、地球物理学等，每种方法在一定范围内都有其肯定的效果，但每种方法的应用都不能不顾其适用范围或条件作绝对的肯定。实践证明，由于单一地层对比方法使用的绝对化所造成的地层对比失误，给油气勘探带来损失的例子屡见不鲜，对此应有足够的认识。

第一节 岩石地层学方法

一、基本原理

岩层的岩性（颜色、成分、结构、构造等）、岩石叠置顺序、沉积旋回和岩相特征等，都可以作为地层划分和对比的依据，这是地层学中重要的方法之一。之所以可以利用岩石来划分对比地层，因为在地质发展过程中无机界具有明显的周期性和不可逆性的规律。在同一剖面中，不同时代的岩层，尽管某些岩石的外表特征看起来很相似，但实际上具有差异性，这种差异性表现在岩石本身的物理化学性质的变化上。岩石地层学方法是指根据组成地层的岩石本身的成分、颜色、结构、构造的变化来划分、对比地层的方法。这种方法在油气勘探地层对比中得到了广泛有效的应用，主要有：岩性法、沉积旋回法、标志层法、重矿物法等。

二、岩石地层学方法的应用与实效分析

1. 岩性法

沉积岩的岩性特征反映了其形成时的古地理环境。在一个剖面上，岩性的变化意味着

古地理环境随着时间推移而改变。在地面露头 and 钻井地质剖面中, 常常根据岩性特征来划分地层, 这种划分在一定区域范围内是准确的, 这就是常用的岩性对比法。

在渤海湾油气区中、上元古界的地层研究中, 岩性对比法的应用卓有成效。例如, 高于庄组沉积末期华北地区上升成陆, 受到剥蚀, 到了杨庄组沉积期华北北部再次下降, 海水侵入, 由于地形平坦, 气候炎热干旱, 主要沉积了紫红色泥质白云岩夹膏岩; 到雾迷山组沉积期华北地区广泛海侵, 沉积地层以白云岩为主, 含大量燧石为其特征。这些特征岩石成功地应用于华北及东北南部的地面或井下地层的划分对比。尤其在华北和辽河两大油田古潜山油气藏的勘探中, 很大程度上应用岩性法成功地解决了井下罕见化石的中、晚元古代地层对比。

但是, 在不同时代的相同环境中, 也会沉积岩性相似的地层, 在实际工作中, 往往难以识别异层同相的地层, 会出现误把不同时代岩性相似的地层当做同一时代的沉积物, 有时还会误把穿时的岩相界面当作等时的地层界线。因此, 仅仅依据地层岩性单项资料对比地层导致失误的实例也不少, 举例如下。

1) 辽河断陷古潜山油藏地层的修正

七八十年代, 对辽河油田井下古潜山油藏的地层研究, 仅仅依据碳酸盐岩的岩性、颜色等特点, 将地层都划归中、上元古界。直至 90 年代中期, 从古潜山地层岩石薄片见到化石壳体碎片, 经仔细追索研究才发现了丰富的牙形石、微古植物化石, 证实了曙光地区高、中、低古潜山带均存在下古生界。根据岩性、电性、古生物、同位素测年以及上下地层产出层位之间的关系, 重新确定了该区古潜山地层层序, 自下而上分别为基底太古界混合花岗岩、中元古界大红峪组、上元古界青白口系下马岭组和景儿峪组、下古生界寒武系中一下统、上寒武统及下奥陶统。

由于地层对比结论的重大更正, 导致了区域构造的重新解释。按照以往研究, 认为该区古潜山地层均为中、上元古界, 地层产状以西倾为主, 且从低潜山带向高潜山带地层由老变新 (图 1—1), 整个潜山构造形态呈近东西向的半向斜形态。根据新的地层结论则认为, 该区古潜山表层钻遇地层以下古生界为主, 局部出露上元古界, 而中元古界及太古界仅在潜山带边部出露, 地层产状除高潜山带以西倾为主外, 中、低潜山带地层产状变化较大, 并出现南倾和东南倾条带状, 平面上表现为一系列被错断的宽缓背斜、向斜形态, 其轴部一般呈北东向展布。由于地层时代的修改, 对曙 56 井—曙 103-1 井剖面构造形态也作

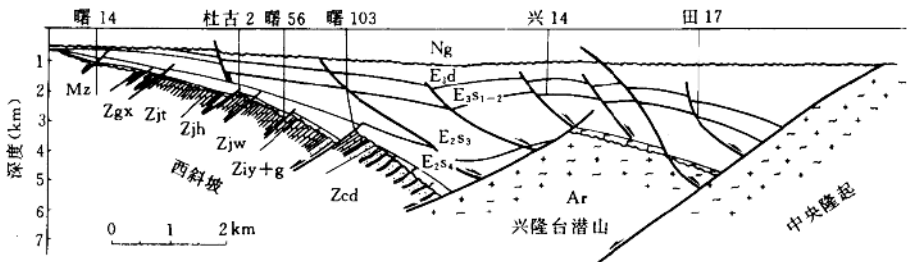


图 1—1 曙光古潜山带曙 14 井—田 17 井地层构造剖面 (1996 年以前)①

①②据王仁厚, 1997, 辽河油田西部凹陷中段前中生界古潜山地层及储层研究, 未刊资料。

了相应的更改(图 1—2)。一些向斜的核部常构成低潜山带的山头(图 1—2),是潜山勘探的重要目标,经钻探有的井获工业油流。这说明地层研究与油气勘探目标选择紧密相关,简单的岩性对比法导致地层划分的失误,进而影响油气勘探效益。

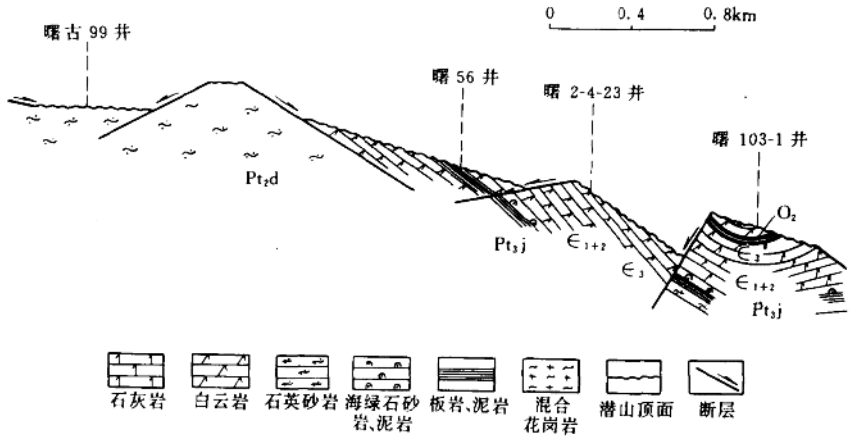


图 1—2 曙 56 井—曙 103-1 井地层构造示意^③

2) 柴达木盆地乌参 1 井地层的错定

1969 年在柴达木盆地南缘钻乌参 1 井,至井深 3200m 全无化石,自上而下是山麓洪积相沉积,为一套强氧化环境下的棕红色为主的红层。当时又没有品质好的地震剖面,勘探人员只根据岩性的粗细成分、泥质岩颜色等划分对比地层,认为 3200m 井深已钻达下第三系路乐河组(表 1—1)。1982 年、1986 年、1992 年多次全盆地统层对比,基本上沿用此方案(表 1—1),直到 1997 年,仍以此方案作为东柴达木盆地地震 468 测线地区下第三系以下有 3000m 中、古生界油气勘探目的层的根据之一,乌参 1 井的分层涉及到东柴达木盆地又一勘探领域的重大问题。

表 1—1 乌参 1 井地层分层对比一览表

地层划分方案 (原用符号)	32108 地质组 (1969)	青海石油管理局 研究所地层表 (1982)	青海石油管理局 地震统层报告 (1986)	青海石油管理局 研究院地层表 (1992)	石油大学、青海 石油管理局分层 (1997)
七个泉组(Q)	345m	345m	T ₀ 260m	666.5m	770m
狮子沟组(N ₁ ³)	675m	675m	T ₁ 590m	995m	1246m
上油砂山组(N ₁ ²)	977.5m	977.5m	T ₂ ['] 900m	1443.5m	2369m
下油砂山组(N ₁ ¹)	2077m	2077m	T ₂ 2000m	1992m	3200m ∇ T ₂ 4070m
上干柴沟组(N ₁)	2594m	2594m	T ₃ 2630m	2458m	T ₃ 4922m
下干柴沟组(E ₃)	3106m	3200m ∇	3200m ∇ T ₃ 4700m	3200m ∇	T ₃ 7077m
路乐河组(E ₁₊₂)	3200m ∇		T _R 5150m		T _R 8900m

注: ∇ 表示完井深度尚未钻穿该组地层

后来,依据西柴达木盆地多个标准化石带,沿地震测线 1086—1089 向东并折向南 246 测线,作了 350km 的反射波组追踪,证明该井尚未钻穿中新统下油砂山组(表 1—1),实

际地层年代与以往认识相差了三千多万年。由此可见，使用单一的岩性法对比地层造成的误差是多么惊人。

2. 沉积旋回法

沉积旋回法是指在纵向剖面上一套岩层按一定生成顺序有规律地交替重复，如岩石粒度由粗到细，再由细到粗的变化，通常把沉积岩的这种规律性交替出现的现象叫做沉积旋回。海相沉积旋回的连续性表现为一个海进系列逐渐过渡到海退系列，在纵向剖面上岩石粒度自下而上由粗到细为海进系列，而从细到粗为一个海退系列。在一定范围内用沉积旋回法来划分、对比地层是行之有效的。

陆相沉积中湖水进退同样也可以造成岩性出现规律变化的沉积旋回。辽河断陷下第三系沙河街组至东营组沉积反映了湖泊的三进三退，从宏观上讲，在整个渤海湾盆地都可以进行地层对比，因为相同沉积基本上是同时的，但从盆地边缘至中心的对比中，粗细分界在一定范围内又有穿时现象，绝对地强调单一的沉积旋回方法对比地层，往往会遇到同相异层问题，由此对比出一条不等时的岩相界线。

由于受晚期喜马拉雅运动的影响，天山加速隆升，在天山南麓和北麓沉积了巨厚的西域砾岩，天山南麓库车组浅棕黄色砂泥岩与其上的西域组砾岩的分界，曾被作为第三系与第四系分界的等时界面到处对比或套用。天山南麓库车河附近西域砾岩厚达六七百米，但对比到塔北隆起库南1井地区时，第四系西域砾岩仅厚80m，而上新统库车组厚逾2000m，这是不正确的。后来经过古生物与地震反射界面联合追索，以及应用磁性地层学等综合地层研究，发现库南1井所谓上新统库车组上部数百米砂泥岩时代应改划为第四纪，证明天山南麓的西域砾岩向南相变为砂泥岩，被人们误认为是上新统库车组。因此，简单地以由细变粗的沉积旋回对比，划分结果实际上不是一条等时界线，而是一条同相异层的岩相界线（图1—3）。

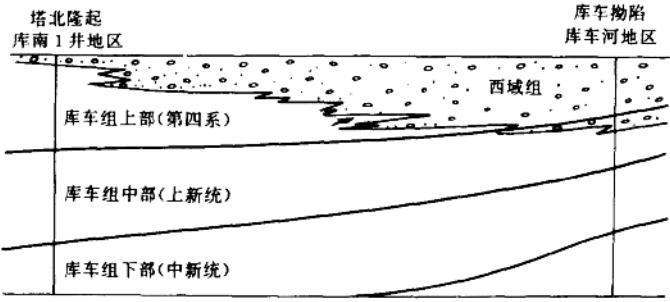


图 1—3 天山南麓穿时的沉积旋回对比界线示意

3. 标志层法

在复杂的岩层中有一些特殊的岩层，它们具有厚度不大、岩性特征突出、在区域地层中分布比较稳定等明显特征，这种岩层可称为标志层。例如，四川、贵州下、中三叠统嘉陵江组与雷口坡组的绿豆岩，无论在井下或地表都有发现，层位比较稳定，而且厚度不超过10m。还有，渤海湾盆地沙河街组一段下部的具有微细层理的“钙片泥岩”，也普遍发现于该盆地各油田的井下，岩性特殊，易于辨认，分布广泛。利用标志层法对比地层在油气钻探中已得到广泛应用。

但是，这种方法往往适用于相似的沉积相带内，因为标志层也存在着相变问题。例如，辽河断陷沙河街组一段中部顶有一层分布比较广泛的油页岩，无论岩性及其在视电阻率曲线上都易于辨认与对比，不失为井下对比的标志层，但这个层在西部凹陷的西斜坡上相变为浅水相的富含腹足类、介形类的泥灰岩，俗称“螺灰岩”，由此相变为另一个标志层。因此，利用标志层法进行地层对比时需要研究人员谨慎地追踪，研究清楚标志层在空间上的变化规律，避免地层对比中出现失误。

4. 重矿物法

沉积岩中矿物按其相对密度可以分为两类：相对密度大于 2.09 的叫重矿物，小于 2.09 的叫轻矿物。重矿物如锆英石、磷灰石、电气石、金红石、钛铁矿等。在不同的地层层位内重矿物组合和含量是变化的。在同一物源区的前提下，它可作为地层划分、对比的依据。我国中、新生界以陆相为主，一个沉积区往往受到多个沉积物源的影响，地层对比成效不很明显，一般情况不常使用此法。

第二节 生物地层学方法

一、基本原理

18 世纪末英国工程师史密斯发现不同岩层中所含的化石各不相同，可以根据相同的化石来对比地层并证明属同一时代，这就是后来受到一致推崇的化石层序律，开创了生物地层学研究方法。地层年代的概念，必须建立在生物地层学的基础上。地质历史发展过程中，不外乎是无机界和有机界（即生物界）的演化发展过程，而生物界的演化比无机界的发展具有更加显著的阶段性和不可逆性。只要地层所含化石或化石组合相同或相似，它们的地质时代就相同或大致相当，这就是使用古生物化石划分对比地层的理论依据。古生物学法是确定地层相对地质年代的基础。

在油气勘探中，由于分析样品都是体积不大的岩心或岩屑，所以鉴定岩心或岩屑中的微体化石及超微化石进行地层对比，显得更为重要。生物地层学方法尤其在各油田的区域地层对比研究中成为不可缺少的重要方法。中国石油天然气总公司下属各研究单位近 50 年的工作，极大地推动了我国在这一学术领域的发展，无论在实践应用或理论研究中都取了令人瞩目的成就。

二、生物地层学方法的应用

1. 标准化石法

在一个地层单位中，选择少数特有的生物化石，它们在该地层上下层位中基本上没有，这种化石只在该段地层里出现，它们是特定地质时代的产物，这些化石就叫做标准化石。根据标准化石来进行地层划分和对比的方法叫做标准化石法。所谓标准化石也是相对的，但它具有明显特征：①生存时代短；②分布范围广；③数量多，易于发现，保存完好，易于鉴定。

标准化石在海相地层对比中发挥着重要作用，化石带往往可以作洲际对比。例如，奥陶系内部分阶主要是根据笔石建立的。按照英国早期研究标准，奥陶系可以分为三个统、

六个阶和 15 个笔石带。我国根据穆恩之的研究把奥陶系划分为三个统、六个阶和 24 个化石带，可以进行国内外的对比，这也是塔里木盆地油气勘探中奥陶系西河口阶、红花园阶、大湾阶、牯牛潭阶、庙坡阶、宝塔阶、临湘阶、五峰阶等阶一级的地层对比的重要根据。另外，塔里木石油勘探指挥部赵治信等在《塔里木盆地井下奥陶纪牙形石及地层》研究中发现了 *Aphorognathus* 带等 14 个牙形石带，能与国内外相应的地层进行对比，为塔里木油气勘探地层对比工作提供了标准化石带的依据。

陆相地层由于沉积环境复杂，相变急剧，砂砾岩和红层比较多，化石稀少，比海相地层对比难度更大，但通过中国石油天然气总公司各油田古生物特别是微体古生物研究人员四五十年的努力，发现了大量的各门类标准化石，进行了电子显微镜扫描并编制成图册，成为陆相中、新生界油气勘探地层对比的重要依据，在油气勘探中发挥了重要作用。

介形类半美星介 (*Hemicyprinotus*) 作为柴达木盆地上干柴沟组上部地层的标准化石，经历了 40 多年油气勘探地层对比的检验，普遍获得了地质家的认可。它不仅在柴达木盆地内部而且在整个西北的远隔盆地之间的对比中也发挥了重要的作用。即使从岩屑分析中所获得的半美星介，也能相当准确地对比逆断层上、下盘的上干柴沟组上部地层（图 1—4）。类似的还有南星介、微湖花介等数十个标准化石属或标准化石种，在整个柴达木盆地新生界对比中发挥着重要作用。

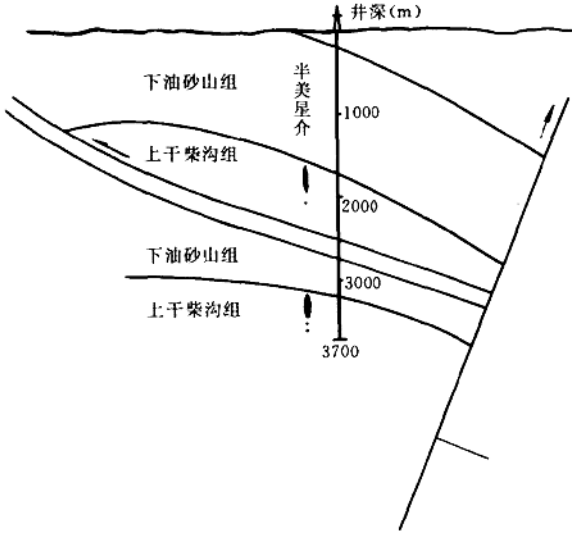


图 1—4 分析自岩屑的半美星介对比断层上下盘地层

渤海湾盆地第三系也有数以百计的介形类、腹足类、藻类、轮藻标准化石，在渤海湾盆地地层对比中发挥了重要作用。例如，沙河街组三段的华北介 (*Huabeinia*)、沙河街组二段的椭圆拱星介 (*Camarocypris elliptica*) 等等，还有的如沙河街组四段上部的南星介 (*Austrocypris*)，不仅是本区的标准化石属，也是我国西北各盆地和中亚地区的标准化石，可以横跨中国东西并与国外进行对比，迄今还没有比标准化石法更为有效的方法，能在陆相沉积远隔盆地间作这样远距离的地层对比。

2. 化石组合法

在地质历史中,同一生活环境中不止一类生物,而是多种生物共生在一起组成一个生物群体。生物的演化决定于生物本身,外界环境是条件。在不同时代不同生活环境中,由于各种生物适应能力不同,产生的组合就不同。生物群及其变化,在一定程度上,反映了该地层形成时期生物群的总体面貌。生物群是随着地质历史发展而不断演化的,特别在地史转变时期,地理环境也随之改变,生物群也要重新组合。生物界的发展阶段,是和地表自然地理环境的变化相吻合的,因而利用生物群组合来划分地层界线,它并不是偶然的分界,是客观地反映地质演变的界线。

例如,渤海湾盆地沙河街组三段不仅有介形类的华北介组合,还有腹足类坨庄旋脊螺(*Liratina tuozhuangensis*)组合和藻类的渤海藻—副渤海藻(*Bohaidina—Parabohaidina*)组合等,它们组成一个包含各门类化石的组合,用它来对比地层可以防止个别标准化石在特殊沉积环境中,由于穿时现象造成地层对比错误的弊病。化石组合法已十分普遍而且成功地运用于我国的油气勘探中。

3. 种系演化法

每一物种最初都只在一个地方产生,其后尽它的迁移及生存能力,再从那个地方向外迁移。达尔文指出:“同一物种的个体即使现在栖居于遥远且隔离的地区,也必发生于一个它们祖先最初被产生的地点”。“种别不同的亲体产生出完全相同的个体是不可相信的”。这就是物种起源的单中心的观点,应用到地层对比中,即不同地点保存有同一种演化谱系中某个过渡类型个体,那么它们应该是同一时代的产物,即应该是等时的。

柴达木盆地上新统上部,在许多地面露头 and 钻井剖面中保留了由网纹微湖介(*Microlimnocythere reticulata*)向中华微湖花介(*M. sinensis*)的演化过程,前者壳面有网纹,后者壳面光滑(图 1—5),还有介于这两者间的过渡类型,即具有模糊的网纹,这是该两种演化过程中的中间类型,并由此构成了一个演化序列。在 60 年代初地震技术比较落后的时代,用这个种系演化法成功地进行了地面露头与探井井下的地层对比,为东柴达木气田的发现奠定了地层对比基础。70 年代以来地震技术蓬勃发展,经柴达木盆地的地震反射界面追索,完全证实了早年种系演化法的对比成果。

生物地层学方法不仅在一个盆地内部的地层对比中有重要意义,而且在互不连通的远隔盆地间的地层对比中更有其独特的作用。地震反射波组追踪无法解决柴达木盆地与共和盆地之间地层对比一类的问题(图 1—5)。因为这种方法是建立在地层物理性质变化的基础上,无法跨越盆地变质岩老山边界追踪反射波组。与此相反,生物地层学方法则依据生物物种能够跨越盆地广泛传布的特点,可以成功地作远隔盆地之间的地层对比。也就是说,尽管迅速发展地震方法已成为现代地层对比的重要手段,但从根本原理上至今无法取代生物地层学方法。

三、生物地层学方法在油气勘探地层对比中的局限性

生物地层学方法无疑已成为现今油气勘探地层对比的重要手段,但在对比实际操作中遇到不少问题,既有化石鉴定主观认识上的,也有客观上地质环境复杂多变等的原因,都不同程度地造成了地层划分对比的差错,从而影响了油气勘探进程。

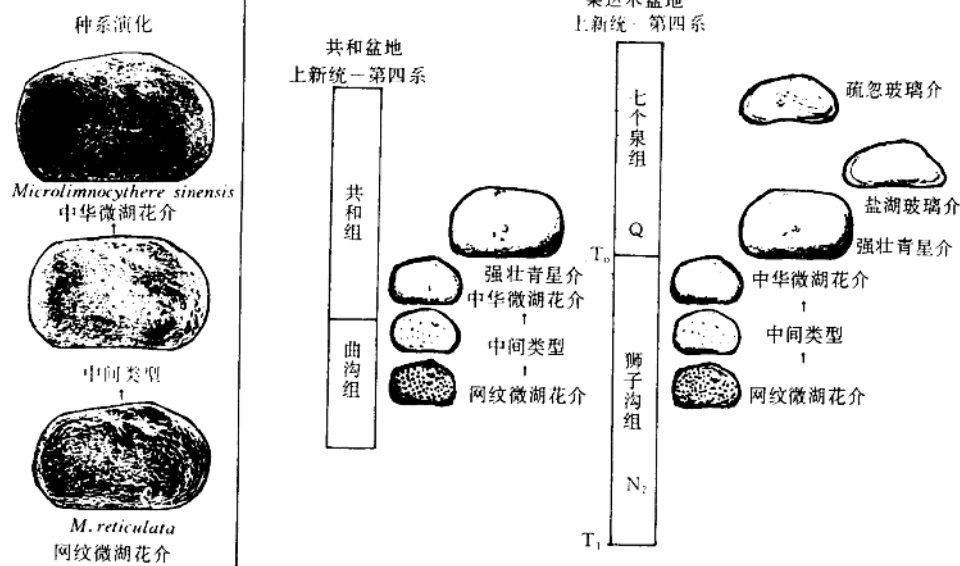


图 1—5 介形类种系演化法对比

1. 化石鉴定的分歧

80 年代，扶余油田梨树凹陷有一口参数井，自上而下钻穿了白垩系的明水、四方台、嫩江、姚家、青山口、泉头、登楼库各组，接着又钻入有侏罗系与白垩系之争的含有热河生物群的阜新、沙海、九佛堂、义县各组地层。在热河生物群中的软体动物化石被定为侏罗系，在该化石出现地层之下的岩样经过微体化石介形类、孢粉研究后鉴定为白垩系，勘探人员对这两种互相矛盾的地层对比观点都信以为真，推测可能井下有大逆断层，当时正值推覆体下找油思路风行，但扶余油田勘探家在该井岩性、电测曲线剖面上又找不到逆断层及其断点，只好请求各方咨询讨论。其实，关于含有热河生物群的地层归属于侏罗系还是白垩系之争，已有数十年之久，主要是不同门类化石的研究人员之间出现不同的观点，这一争论恰又集中体现在这口井的地层划分上，从而引出了井下有大逆断层的错误解释。当勘探家了解了不同门类古生物学家争议的底细后，否定了断层，才使勘探工作得以顺利

进行。

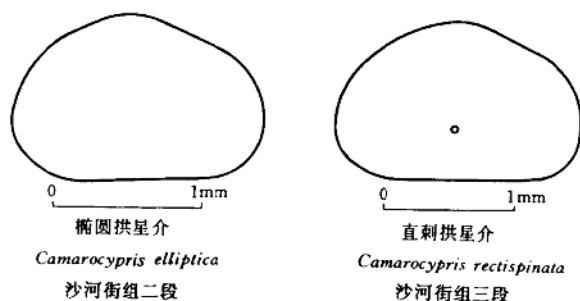


图 1—6 直刺拱星介与椭圆拱星介之比较

辽河断陷东部凹陷龙 2 井曾长期依据 1978m, 2000m 处所定的标准化石椭圆拱星介定为沙河街组二段，由此认定该区有分布广、厚达上千米的沙河街组二段地层，多年之后，经仔细复查发现该标本壳面上有一掉了刺的痕迹，又改定为直刺拱星介（*Camarocypris rectispinata*）（图 1—6），因此，地层改定为沙

河街组三段。由此可见，化石壳面上直径仅为百分之几毫米的一刺之差，造成地层对比千米之错，导致多年来东部凹陷地层、沉积、构造的错误解释，影响到油气勘探的思路与决策。类似这样的鉴定错误，不胜枚举。

2. 地质环境的复杂多变

1) 相变与古生物化石的穿时性

任何生物总是适应于一定的环境而生存，不是所有化石都可用作为油气勘探地层对比中的标准化石，有许多只能起到指相化石的作用，甚至有些在多年油气勘探中很有作用的标准化石在一些沉积环境变化复杂的区域，出现有不同程度的穿时现象，使地层对比陷入困境。

西营介 (*Xiyingia*) 普遍出现在渤海湾盆地的沙河街组一段较深水沉积中，故被认为是标准化石，但是，随着油气勘探向更广泛的领域展开，发现东营组三段下部较深水沉积中也有少量西营介与东营介 (*Dongyingia*) 共生。同是古生物专家，出现了对该地层划归沙河街组一段上部还是东营组三段下部的不同意见，长期未能统一。辽河断陷西部凹陷南区锦 1 井等一批井就出现这个分歧，有的主张以东营介的出现划分东营组底界，有的则以西营介的消失作为分界，分歧达到数十米甚至二三百米。实际上，沙河街组一段沉积期属于湖进期，湖水既深又宽广，喜深水的西营介因此得以广布，当东营组沉积期来临，湖泊大规模退缩，原来分布很广的西营介在这一湖退背景下大量消亡，被东营介所取代，但是仍有少量退缩到南部较深水区的西营介仍能适应环境，得以延续到东营组沉积期，并与东营介共生或互生，或成为子遗分子，这一事实已通过地震反射波组连续追踪及小井距钻井对比结果得到了证实。由此联系到黄骅拗陷的地层对比认为，大港油田依据微体古生物对比的东营组下段的下部实际上应相当渤海湾盆地的沙河街组一段的上部或中上部，这里也涉及一个古生物学的子遗分子和前驱分子问题。因此，单纯依靠生物地层学方法来准确划分地层界线，在复杂情况下是很难操作的，有其局限性，地层界线划分需要综合多种方法。

2) “哑”层

油气勘探地层对比中经常钻遇无化石的“哑”层，主要有砾岩、粗砂岩、红层（红色砂泥岩）、膏盐层、白云岩等，这些地层在沉积时往往就不适于生物尤其是水生生物的生存，或难以保存生物形成化石。因此，也就无法应用生物地层学方法解决这些“哑”层的时代归属问题。例如，渤海湾盆地中、新生界三套红层应属中生界侏罗—白垩系，还是下第三系孔店组或沙河街组四段；西北天山南北的山麓堆积砾岩哪些是第四系，哪些又是第三系；还有柴达木盆地西部半深湖相含膏盐泥岩的时代归属等都是数十年来无法解决的地层问题，这反映了生物地层学方法的局限性。

3) 再沉积化石

80 年代，东北依兰—伊通断堑油气勘探早期，曾依据钻井岩屑样品中发现白垩系孢粉而误把油层定为白垩系，后经扶余油田与辽河油田有关人员共同对比，找到了相当于渤海湾盆地沙河街组与东营组的孢粉—藻类组合，改定为下第三系，他们认为所见白垩系孢粉只是再沉积化石，从而提出该断陷内为下第三系生油并储油的石油地质新认识。

不能准确识别再沉积化石而使地层对比出现错误的例子屡见不鲜。有一些情况下可以根据化石表面受风化等特点加以识别，但无法识别的情况也是常有的，这也是生物地层学方法的一大难题。

第三节 地球物理学方法

在石油天然气勘探中已普遍采用地震、测井等地球物理学方法,它们在地层对比工作中也发挥着重要作用。测井技术在开发地质和油田细分层对比中发挥着主力作用,在区域地层对比中也有重要意义。地震资料对比地层在区域地层对比中更是举足轻重。限于篇幅,在此只就地震资料对比区域地层的应用与局限性作简要阐述。

地震勘探中获得的反射波资料是地层的地震响应。同一反射界面的反射波有相同或相似的特征,如反射波振幅、波形、频率、反射波波组的相位个数等等。根据这些特征,沿横向对比追踪出同一反射界面的反射,也就实现了对同一地质界面的对比。反射波组对应的地质层位是根据钻井资料和地质资料来标定的。

利用地震资料对比地层有其不可取代的重要作用,许多实例表明,在一定条件下,它正确地揭示出岩石地层学与生物地层学方法的缺陷与弊端,并予以修正。另一方面,这一方法也有其局限性,并不能完全取代别的方法。

一、追踪地震反射波组实现地层对比

1. 覆盖区地层划分对比的重要手段

油气勘探过程中区域地层的对比工作,需要采用综合的方法,在诸多方法中,重要的方法之一是地震反射波组追踪对比,通过地面露头或钻井确定地层年代后,由地震反射波组追踪对比地层是常用的也是最有效的方法。英国石油公司在渤海湾盆地勘探时,一位孢粉地层专家不仅统计孢粉组合百分比,绘制成图,而且对过井地震剖面也做了认真研究,把不同层段的孢粉组合标定到地震相位上,据此可作数十公里远距离的追踪对比,进行综合地层研究。油气勘探不仅需要地层古生物专家和地震专家,更需要的是多学科互相渗透融合的综合研究人员。

在没有钻井或钻井资料很少的地区,地震反射波组追踪是最有用的方法,随着钻探工作的开展,不一定要求每口井都进行微体古生物分析才能对比地层,而主要可以依靠反射波组追踪实现地层对比。柴达木盆地井深 6018m 的早 2 井的地层对比,涉及到东柴达木盆地 7 万 km² 勘探目的层的问题,该井长期存在两种不同的地层对比方案:第一方案认为井深 3000m 以下已进入渐新统上干柴沟组;第二方案认为井深 6018m 尚未钻穿下油砂山组,当然没有钻入渐新统上干柴沟组,这一对比方案的差别,涉及到格尔木一带基岩上有无厚约 3000m 的中生界、古生界勘探目的层的问题,决定着东柴达木盆地的勘探部署问题。

由于早 2 井全井化石稀少,难以用生物地层学方法来对比早 2 井及其以东广大覆盖区的地层,唯一的办法是从西柴达木盆地通过仅有的一条长度超过 400km 的东西向测线 1086—1089 来实施,把盆地西部尖顶山油田尖 6 井等的多个化石带标定到 054 地震测线上(图 1—7),向西南追踪到 1086—1089 测线上,然后再折向东沿反射波组进行 100 多 km 的追踪直到早 2 井。由此研究结果否定了第一方案,肯定了该井 6018m 尚未钻穿下油砂山组,约 6700m 才能钻遇上干柴沟组顶部标准化石半美星介(*Hemicyprinus*)。再由该井继续向东追踪 250 多 km 又向南沿南北向测线 410, 414 等追踪对比,认为该区下第三系直接覆盖在基岩上。后经格参 1 井钻井证实,井深 4020m 钻遇基岩,新生界直接覆盖在花岗岩基底上。