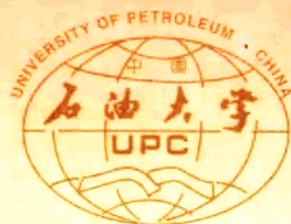


献给石油大学成立45周年庆典

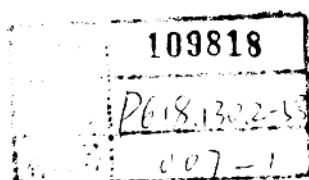
石油地球科学文集

(一)

鲍志东 刘震 主编



石油工业出版社



献给石油大学成立四十五周年庆典

石油地球科学文集

SY14/3/1 (-)

鲍志东 刘 震 主编



石油0112419



石油工业出版社

内容提要

本文集收录了石油地球科学领域的论文共 26 篇, 内容涉及石油地质学、地层古生物学、沉积岩石学、构造地质学、储层地质学、有机地球化学、测井地质学、地球物理学和环境保护科学等多个学科及计算机技术应用。

图书在版编目(CIP)数据

石油地球科学文集/鲍志东, 刘震主编.
北京: 石油工业出版社. 1998 年 9 月.
ISBN 7-5021-2444-6

I. 石...
II. ①鲍...②刘...
III. 石油天然气地质-研究-文集
IV. P618.130.2.53

中国版本图书馆 CIP 数据核字 (98) 第 29015 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印刷
新华书店北京发行所发行

*
787×1092 毫米 16 开本 10.5 印张 264 千字 印 1—1000 册
1998 年 10 月北京第 1 版 1998 年 10 月北京第 1 次印刷
ISBN 7-5021-2444-6/TE·2015
定价: 26.00 元

——谨以此书献给石油大学建校 45 周年

前 言

本文集的出版旨在展示石油大学(北京)地球科学系科学研究工作的动态并促进我系与国内外的学术交流,同时也是向石油大学45周年华诞献礼。

国家经济建设的持续高速发展,为石油工业的振兴提供了良好的契机。“九五”以来,在中国石油天然气集团公司的扶持和各油气田企业的支持下,我系师生承担了大量的国家科技攻关项目和石油集团公司重点科技工程项目。这里收集的25篇论文只是这些项目研究成果的一部分,但仍可涵盖石油地球科学的各个领域,包括地层古生物学、沉积地质学、构造地质学、储层地质学、有机地球化学、测井地质学、地球物理学及环境保护科学等。这些论文有的属研究工作的阶段成果,部分认识可能尚待深入,但总体上还是反映了本学科的前沿动态,如“微体化石研究与辽河断陷盆地新生代逆断层的发现”显示了微体化石研究在地层对比、构造研究与油气勘探中的意义,指出了科研工作中多学科渗透融合的必要性;“应力对油气初次运移作用的理论模型”分析了地应力和油气初次运移的相互关系,建立了地应力作用下的微裂缝排烃理论模型;“伸展构造区平衡地质剖面的建立及其在古构造恢复中的应用”强调了古构造恢复中地质剖面分析的平衡原理;“中国南方二叠系遗迹化石的类型及特征”正演了化石与各种沉积环境的藕合关系;“中国西部主要含油气盆地重油油藏形成与分布”分析了我国西部主要含油气盆地重油的分布特征,并预测了其勘探前景。“碳酸盐岩储层研究进展综述”总结了国内外碳酸盐岩储层研究的主要内容及发展趋势;“预测裂缝分布规律的模糊数学与地质统计学方法”针对困扰许多油气田勘探部署的储层裂缝预测问题而提出一种较好的对策;“储层建模中随机模型的地质适用性分析”评述了不同随机模型的适用性,指出了提高随机建模精度应注意的问题;“复杂断块油田流场流体特征及相互作用分析”揭示了流场对油气运聚散失的影响,阐明了流体在流场中的渗流机理;“双河油田开发过程中长期水洗对储层性质的影响”和“温米油田三间房组岩石物理相研究”从不同侧面展示了油藏描述研究新进展;“圈闭评价模式在塔里木盆地的应用”以油气系统理论为指导建立了盆地圈闭评价模式;“葡北油田侏罗系储层流体包裹体特征及其成藏过程分析”论述了研究区包裹体特征及其在成藏分析中的应用;“钙质泥岩的油气生成模拟研究”模拟了钙质泥岩的油气生成序列;“我国新生界咸化湖相原油和生油岩的地球化学指标及其环境识别意义”评述了咸化湖相生油岩和原油的特征及环境意义;“并行化技术与三维叠前深度偏移”导出了一种可使反射波和绕射波归位到其空间真实位置的地震信息重组反演方法;“井间地震透射波旅行时的地震拾取”推出了井间地震层析成像技术中的初至拾取新方法;“裂缝性油气藏地震响应的数值模拟”在介质模拟的基础上,导出了双相各向异性介质界面上弹性波反射和透射系数的计算方法,提供了裂缝性油气藏勘探又一新途径;“转换波AVO分析”中采用的中位数回归方法具有较强的抗数据失真能力;“非零偏移距VSP资料与测井资料联合反演成像”探讨了可以获取地下介质速度精确分布的新方法;“沉积微相测井资料神经网络判别方法研究”展示了神经网络法在测井沉积学中的应用,而“关于测井地质学的研究内容及其方法的讨论”则较全面论述了测井地质学的研究对象及其技术流程;

的研究内容及其方法的讨论”则较全面论述了测井地质学的研究对象及其技术流程;“岩心电阻率成像系统的数据仿真”介绍了三维仿真计算程序及其应用实例;“双侧向双感应测井电阻率反演方法与应用研究”和“电法测井的实用化多参数反演”则反映了测井资料处理研究领域日新月异的理论与技术;“合理开发资源保护生态环境”以持续发展的战略观点提出了当代中国亟需注意基本问题与对策。

文集组稿时间仓促,文本中不够完善之处在所难免,敬请指正。朱筱敏教授对本文集的出版给予了很大的关注,同时得到了石油工业出版社的大力支持,在此一并致以诚挚的谢意!

1998年金秋十月是石油大学(原北京石油学院,后曾改名为华东石油学院)成立45周年校庆。在过去的几十年,石油大学为国家石油工业培养了大批优秀人才,为中国石油大厦构建了坚强的脊梁。谨以此文集作为石油大学成立四十五周年庆典的献礼,祝愿石油大学的明天更加辉煌。

鲍志东 刘震

1998年9月

目 录

微体化石研究与辽河断陷盆地新生代逆断层的发现	孙镇城 王仁厚 等 (1)
地应力对油气初次运移的影响及理论模型	董亨茂 (7)
伸展构造区平衡地质剖面的建立及其在古构造恢复中的应用	王子煜 陆克政 等 (15)
中国南方二叠系遗迹化石的类型及特征	金振奎 刘建功 (22)
中国西部主要含油气盆地重油油藏形成与分布	方朝亮 黄志龙 (28)
碳酸盐岩储层研究进展综述	季汉成 (32)
预测裂缝分布规律的模糊数学与地质统计学方法	黄述望 彭仕宓 等 (40)
储层建模中随机模型的地质适用性分析	吴胜和 熊琦华 等 (47)
复杂断块油田流场流体特征及相互作用分析	王志章 赵立民 等 (54)
双河油田开发过程中长期水洗对储层性质的影响	蔡 毅 赵立民 等 (58)
温米油田三间房组岩石物理相研究	刘宇红 吴胜和 等 (65)
圈闭评价模式在塔里木盆地的应用	吴欣松 王福焕 (70)
葡北油田侏罗系储层流体包裹体特征及其成藏过程分析	黄志龙 冷胜荣 等 (76)
钙质泥岩的油气生成模拟研究	高 岗 郝石生 (81)
我国新生界咸化湖相原油和生油岩的地球化学指标 及其环境识别意义	张枝焕 杨 藩 等 (87)
并行化技术与三维叠前深度偏移	王润秋 牟永光 等 (95)
井间地震透射波旅行时的地震拾取	蔡志光 吴 律 (103)
裂缝性油气藏地震响应的数值模拟	刘 洋 李承楚 (108)
转换波 AVO 分析	寻 浩 董敏煜 (113)
非零偏移距 VSP 资料与测井资料联合反演成像	王守东 吴 律 (120)
关于测井地质学的研究内容及其方法的讨论	王贵文 (126)
沉积微相测井资料神经网络判别方法研究	唐为清 郭荣坤 等 (130)
岩心电阻率成像系统的数据仿真	柯式镇 张玉玲 等 (136)
双侧向双感应测井电阻率反演方法与应用研究	高 杰 冯启宁 等 (142)
电法测井的实用化多参数反演	杨 韦华 冯启宁 (149)
合理开发资源保护生态环境	楚泽涵 翁庆萍 等 (156)

微体化石研究与辽河断陷新生代逆断层的发现

孙镇城¹ 王仁厚 渠永宏 冯晓杰
石油大学(北京) 辽河石油勘探局 石油大学(北京)

摘要 70年代,根据钻井岩屑中的微体化石鉴定,就已经发现了辽河断陷第一个新生代逆断层,但限于当时的构造学观点及地震技术,这一发现没有得到公认。随着勘探工作的深入展开,12年之后,这一逆断层得到了确认,并在断层下盘发现了逆断层遮挡的下第三系沙河街组一、二段和沙河街组三段油藏,获得了一定的储量。

本文论述了辽河断陷下第三系层序及化石组合;利用钻井岩屑中微体化石对比地层的方法;冷家堡逆断层的井下微体化石识别。冷家堡逆断层遮挡油藏的发现,充分显示了微体化石研究在油气区地层对比、构造研究与油气勘探中的意义。

主题词 微体古生物 辽河断陷 下第三系 逆断层 介形类 藻类 孢粉

70年代初,辽河下游地区开展了大规模的石油和天然气勘探,在辽河断陷西部凹陷冷家堡地区的勘探过程中,从钻井岩屑中分析到的冷1井微体化石组合在断层上下出现重复的现象,古生物研究人员提出了本区发育有逆断层的观点,但是,由于当时受到中国东部渤海湾盆地新生代属于张性盆地,不可能出现逆断层的构造观点影响,加之地震解释人员未能解释出逆断层,石油勘探家只得把正确的生物地层学研究观点搁置一旁。微体古生物研究人员又分析了冷15井、冷102井等多口井的微体化石,都发现了东营组、沙河街组一段、二段、三段介形类、孢粉和藻类化石组合在同一口井的上下依次重复,再次证实冷家堡地区发育有新生代逆断层。勘探十多年后,直到80年代勘探家才确认逆断层的存在并公布于众,证实冷家堡逆断层(带)南北长20km,东西宽1km,面积约20km²(图1),并在断层带下盘发现了沙河街组一、二段和三段两套油气层,控制了一定储量。

这一过程一方面显示了微体化石研究在油气勘探中的重要作用,另一方面也说明了多学科渗透、融合和综合研究的必要。

1 辽河断陷下第三系层序及主要化石组合

本文仅就与冷家堡逆断层有关的地层层序及主要介形类、藻类、孢粉化石,由新到老概述如下:

东营组一段为红色泥岩夹砂岩,化石罕见。

东营组二段为杂色泥岩、砂岩互层,东营组三段为灰色泥岩偶夹炭质泥岩。介形类依次为弯脊东营介(*Dongyingia inflexicostata*)组合与单峰华花介(*Chinocythere unicuspidata*)组合。藻类主要有疏刺刺球藻 *Baltisphaeri diumlaxi spinosum*、粒面角凸藻 *Prominangularia granulata*、细刺藻 *C. Spinatum*;孢粉中蕨类孢子(主要为水龙骨单缝孢属

¹ 第一作者简介 孙振城,男,1935年生,教授,博士生导师。1956年毕业于北京石油学院地质系。现从事研究石油地质与勘探、微体古生物地层、古生态、古地理、古气候。

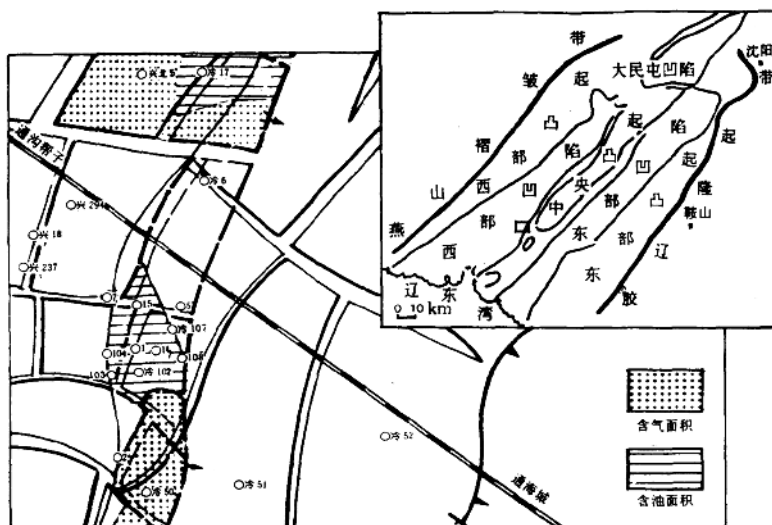


图1 冷家堡逆断层与冷1、冷15、冷102井位置图

Polypodiaceasporites)、桫木粉属 *Alnipollenites*、浮萍粉属 *Lemna* 含量较高, 榆粉属 *Ulmipollenites* 含量一般高于栎粉属 *Quercoidites*。

沙河街组一段岩性为灰色泥岩夹油页岩。介形类为惠民小豆介 (*Phacocypris huiminensis*) 组合, 由上而下分为三个亚组合, 依次为李家广北介 (*Guangbeinia lijiaensis*) 亚组合、辛镇广北介 (*G. xinzhensis*) 亚组合、普通小豆介 (*Phacocypris vulgata*) 亚组合。藻类主要有薄球藻属 *Tenua* (分叉薄球藻 *T. bifidis*、双饰薄球藻 *T. biornatis*) 和菱球藻属 *Rhombodella* (变异菱球藻 *R. variabilis*、管突菱球藻 *R. tubiforma*)。

沙河街组二段为杂色砂砾岩、泥岩互层, 介形类为椭圆拱星介 (*Camarocypris elliptica*) 组合。藻类化石仅零星见到下伏沙三段延续上来的子遗和毛球藻属 *Comasphaeridium*。孢粉化石主要见较多弯脊脊肋双孔孢 *Stridiporosporites inflexus*、麻黄粉属 *Ephedripites*、杉粉属 *Taxodiaceapollenites*、棘粉属 *Meliaceoidites*、芸香粉属 *Rutaceipollis*。

沙河街组三段以深灰色、灰色泥岩为主夹多组灰白色厚层状砂岩, 偶夹油页岩。介形类为中国华北介 (*Huabeinia chinensis*) 组合, 由上而下分为三个亚组合, 依次是惠东华北介 (*H. huidongensis*) 亚组合、脊刺华北介 (*H. costatispinata*) 亚组合、隐瘤华北介 (*H. obscura*) 亚组合。藻类主要有粒皱锥藻 *Conicoidium granorugosum*、皱网渤海藻 *Bohaidina retirugosa*、光面渤海藻 *B. laevigata*、粒面渤海藻 *B. granulata*、污脏棒球藻 *Filisphaeridium aspersum*、平滑具角藻 *Angularia glabra*、双凸方胜藻 *Horologinella biconvexa*、细网面球藻 *Dictyotidium microreti culatum*。栎粉属含量明显高于榆粉属。

上述正常的化石组合序列却在冷1井中出现了重复现象, 否认逆断层的勘探家解释断

层下盘各化石来源于上覆地层内化石下掉。至今还有些勘探家与地层古生物研究人员仍怀疑岩屑中微体古生物能不能对比地层并判断逆断层,为此,本文专门对此作如下讨论。

2 利用钻井岩屑中的微体化石对比地层

2.1 方法

由于钻井取心成本昂贵,钻井速度很慢,当前国内外石油公司很少在油气探井中大量取心,主要用岩屑来分析研究井下的地质、地层、化石等信息。钻头把岩层切削成碎屑,通过钻井液循环把岩屑携带到地面。研究人员采集这些岩屑(也称砂样)进行古生物分析鉴定,对比地层,砂样的深度由井口地质人员采用投物实验测定迟到时间后计算而得,一般都能比较准确地满足区域地层对比的需要。这种方法已成功地应用了近40年,积累了丰富的经验,对参数井、区域探井系统采样,每10m取砂样1包,每包至少100g,鉴定对比中主要抓住标准化石带或组合的上界(未现面),进行化石序列的逐带对比,结合测井曲线和岩性划定地层分界。应当承认,上覆地层所含的个别或少数化石,尤其是微体化石,不可避免地会混入到下伏地层的岩屑中,正由于这一原因,出现了对该法的怀疑。70年代冷1井逆断层的否定,也就在于这一点。

2.2 岩屑中微体化石对比地层和逆断层的可靠性

50年代勘探家和地层古生物研究人员普遍怀疑,能不能用钻井岩屑来对比地层。为了加速油气勘探速度,原石油工业部给青海石油管理局下达了研究这一课题的任务。经过在冷湖地区、达布逊地区多年钻井现场试验并与露头区化石序列比较研究,得到了肯定的结论。在60年代初提交的科研报告中,提出了系统的采样分析、鉴定、对比地层的方法,以及排除钻井液坩土内的化石、钻井水源中微体生物和工程原因等影响因素的措施。60年代初,该研究成果获得了国家科委、原石油工业部的奖励,并推广至今。在各油田数十年操作实践,不断完善的基础上,80年代原中国石油天然气总公司编制了探井微体古生物分析鉴定的行业标准,得到制度化,已成为各油田探井区域地层对比中不可缺少的重要手段。

这一方法在几个油田成功地判断出了逆断层。例如,柴达木盆地花8井、花19井等许多井被准确地识别出了断距千米左右的逆断层,在这些井的断层上、下盘都出现了两或三个化石组合的重复,主要的有中新统上油砂山组丰富的正星介(*Cyprideis*)带、下油砂山组的油砂山介(*Youshashania*)组合与渐新统上干柴沟组上部丰富的标准化石半美星介(*Hemicyprinotus*)带。

尽管上覆地层化石不可避免地会混入下伏较老地层的岩屑中,但毕竟是少数,不会严重影响逆断层的判断,由于钻井液对井壁有保护作用,大大地减少了上覆地层所含化石随上返钻井液混入下伏地层岩屑中的可能,就是说或然率不高。再者通过化石颜色、保存情况、化石矿化程度等也能识别化石的混入问题。因此,这种方法能有效地识别逆断层,而且断距越大越易识别。

3 冷家堡逆断层的井下微体化石识别

70年代初,冷1井的藻类、孢粉和介形类化石研究结果,不约而同地提出有逆断层的观点(图2),依据如下:

1095m以下,藻类主要有薄球藻属,孢粉主要有蕨类孢子、桉木粉属、麻黄粉属、杉

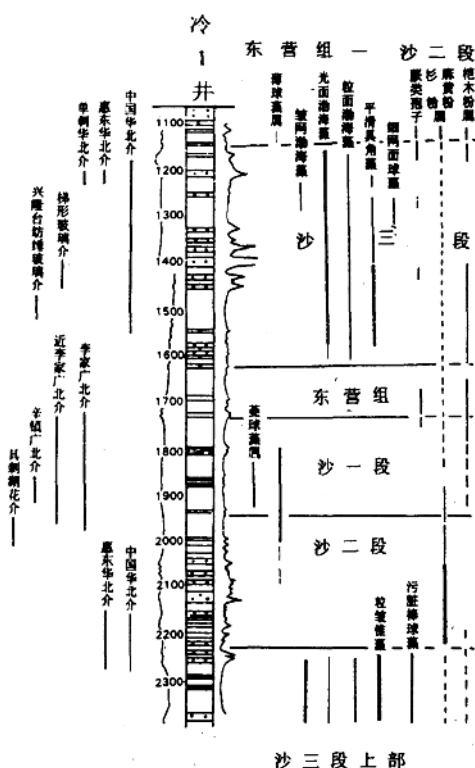


图2 冷1井藻类孢粉和介形类分布图
(据郑岳芳, 1997, 有修改)

粉属等, 岩屑中主要发现东营组一沙河街组二段的藻类和孢粉(郑岳芳等, 1997)。

1142m 以下, 藻类主要有渤海藻属的皱网渤海藻、光面渤海藻、粒面渤海藻, 还有平滑具角藻、细网面球藻。介形类发现有大量沙三段中国华北介、惠东北介、单刺华北介、梯形玻璃介、兴隆台纺锤玻璃介等。无疑这是沙河街组三段地层。大约在 1560m 左右进入逆断层带。

1622m 以下, 主要有蕨类孢子, 桫椤粉属, 榆粉多干桫椤粉属。

1727m 以下, 藻类又连续大量出现沙河街组一段的薄球藻属、菱球藻属。介形类主要有沙河街组一段标准化石李家广北介、辛镇广北介、具刺湖花介等。

1932m 以下, 藻类化石较少, 孢粉化石中主要为麻黄粉属、杉粉属等反映沙河街组二段的特点。

2217m 以下, 又连续大量出现渤海藻属的皱网渤海藻、光面渤海藻、粒面渤海藻等, 还有粒皱锥藻、污脏棒球藻等。介形类又连续大量出现中国华北介、惠东北介等。地层无疑属于沙河街组三段。

断层下盘再次大量、连续依次出现沙河街组一、二、三段的标准化石组合, 决非上覆沙河街组内化石下掉的结果, 岩屑下掉化石的特点是少量或个别, 不连续或零星, 不依次或无序。此外在化石颜色、保存状况、矿化程度上也有一定区别, 可以鉴别。

位于冷1井北750m的冷15井也得到了与冷1井相同的化石鉴定对比结果。1090.5m以下见东营组至沙河街组二段化石, 1137m以下见大量沙三段化石。过了断层带于1702m以下又发现东营组化石组合, 1870m以下再次出现沙一段化石组合, 2047m以下为沙二段, 2252m以下再次大量连续出现沙三段介形类、藻类、孢粉组合。得到类似结果的还有冷102井等, 都显示了井下有逆断层的存在。

4 逆断层的确认与逆断层遮挡油藏的发现

在微体古生物研究人员提出冷1井、冷15井、冷102井等的逆断层12年后, 石油勘

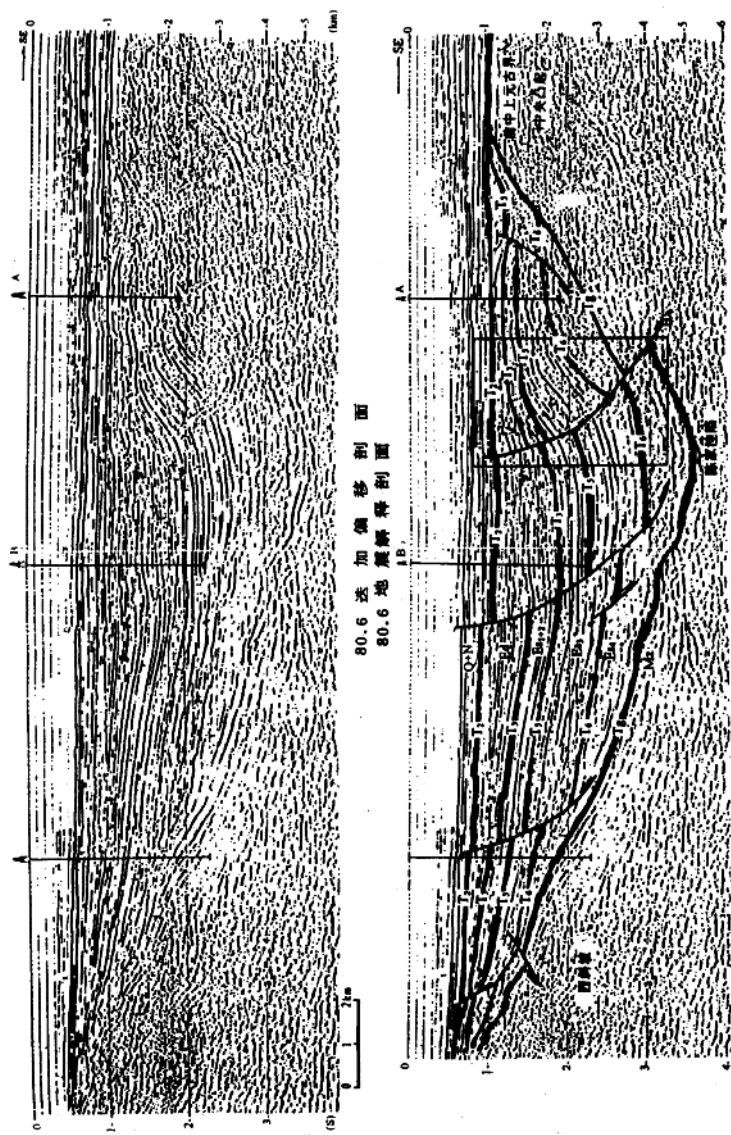


图 3 西部凹陷 80.6 迭加偏移剖面 and 地震解释剖面 (据张国栋, 1989)

探家确认了冷家堡逆断层。这是辽河断陷油气勘探中首次发现的逆断层,以 80.6 剖面(图 3)为例,正断层较多,逆断层只有一个,冷家堡逆断层地震响应明显, T_3 、 T_5 、 T_6 、 T_9 波组逆断, T_2 波组扭曲,断面也有反映,逆断层上盘的 A 井和下降盘一侧 B 井的实际资料与地震解释层位相吻合。辽河石油管理局的勘探家指出:“70 年代初,钻探实际资料已说明可能有

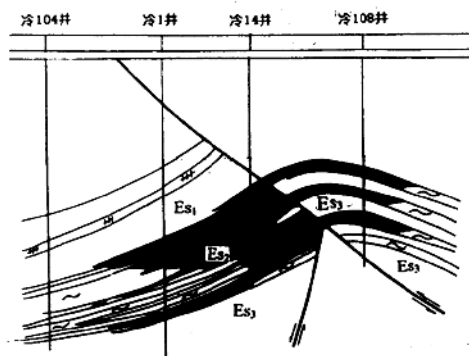


图 4 冷 104 井—冷 108 井油藏剖面图
(据辽河石油勘探局, 1985)

地层及古生物重复出现的现象,但由于当时认为坳陷盆地不可能出现逆断层,加之地震资料质量较差,逆断现象展示不清楚,无法验证这一事实而被搁置。”“80 年代初地震技术的不断发展,根据板块理论建立了辽河裂谷的概念,又重新来认识这一事实。随后钻探的 8 口井,均证实有地层重复段出现,由此,逆断现象才被广泛用于资料解释”(张国栋, 1989)。冷家堡逆断层(带)“根据地震资料可控制逆断层带南北约长 20km,东西宽为 1km,面积约 20km²,并在断裂带内发现了沙河街组一、二段,沙河街组三段两套油气层,控制了一定储量”(图 4)。由此可见,冷东逆断

层遮挡油藏的发现过程,充分反映了微体古生物研究所起到的重要作用,利用岩屑分析到的微体化石,古生物研究人员,在勘探家作出结论之前 12 年,就正确地对比了地层,判断了逆断层的存在,发现了辽河油田第一个逆断层,为发现该油藏奠定了地层学和构造学的基础,为油气勘探作出了直接贡献。

参考文献

- 郝诒纯、茅绍智. 微体古生物学教程(第二版). 武汉: 中国地质大学出版社, 1993
- 石油化学工业部石油勘探开发规划研究院、中国科学院南京地质古生物研究所. 渤海沿岸地区早第三纪孢子花粉. 北京: 科学出版社, 1978
- 石油化学工业部石油勘探开发规划研究院、中国科学院南京地质古生物研究所. 渤海沿岸地区早第三纪沟鞭藻类和疑源类. 北京: 科学出版社, 1978
- 石油化学工业部石油勘探开发规划研究院、中国科学院南京地质古生物研究所. 渤海沿岸地区早第三纪介形类. 北京: 科学出版社, 1978
- 张国栋. 辽河拗陷西部凹陷冷家堡逆断层的解释经验, 见陆邦干主编. 中国典型地震剖面图集. 北京: 石油工业出版社, 1989, 218~219
- 郑岳芳、司琦. 西部凹陷冷 1 井和冷 15 井藻类孢粉化石组合重复出现及其影响因素. 见马玉龙、牛仲仁主编. 辽河油田勘探与开发(勘探分册). 北京: 石油工业出版社, 1997
- Sun Zhencheng. On the Ostracod fauna in Early Tertiary lake of the Liaohe fault depression basin, China. In: Gall, J C (ed), Proceedings of the 1st International Congress on Paleocology, Lyon, 1984, 357~366

地应力对油气初次运移的影响及理论模型

童亨茂¹

石油大学(北京)

摘要 本文在构造力学和流体力学相结合的基础上,分析研究了地应力与油气初次运移的相关关系,建立了地应力作用下的微裂缝排烃的理论模型。指出地应力对排烃的作用主要表现为两个方面:形成排烃的通道(微裂缝)和作为油气初次运移的动力(改变烃源岩的孔隙流体压力)。研究结果表明,地应力分量中对排烃起决定作用的是最大差应力;在应力作用下,排烃方向为微裂缝的延伸方向,即平行于最大主压应力方向;不同类型盆地中地应力对排烃的影响方式和影响程度是不一致的,其中挤压盆地影响较大,伸展盆地影响相对最小。

关键词 排烃 微裂缝 压实排烃 地应力 构造应力

油气的初次运移指的是油气从生油层向储集层中的运移,这是一个极为复杂的过程。油气初次运移主要存在三种机理:压实机理、异常压力作用下的微裂缝机理和扩散机理。引起油气初次运移的动力主要有压实作用、水热增压作用、粘土矿物脱水作用、毛细管力作用和烃类气体的形成等。但地应力对油气初次运移的影响一直被忽略。地应力与油气初次运移的关系, Jean du Rouchet (1981) 作了开创性的研究^[1], 指出了应力对油气运移存在重要影响, 认为微裂缝是重要的排烃通道, 分析了岩石破裂形成微裂缝的条件, 建立了在地应力条件下石油如何从微裂缝进入孔隙储层的数学模型。郝石生等(1994)对微裂缝排烃模型作了进一步的论述^[2]。地应力与油气初次运移关系的研究取得了一些进展, 但至少还存在以下几个方面的问题: ①地应力主要在微裂缝排烃机理中产生作用, 但微裂缝排烃在油气初次运移中的相对重要性还没有明确的认识; ②地应力对排烃的影响方式和影响程度; ③微裂缝排烃模型中的力学分析采用一维模型, 即把盆地简化为只受重力作用的弹性体, 而根据大量的地应力测量发现, 不同盆地、不同演化阶段的地应力状态可以有很大的差异, 忽略构造作用与实际情况偏差较大。本文在构造力学和流体力学相结合的基础上, 进一步探讨了地应力与油气初次运移的关系, 建立了在地应力作用下的微裂缝排烃模型, 并分析了不同类型盆地中, 地应力对油气初次运移的影响程度。

1 含油气盆地的应力状态

地壳内每一点的应力状态都可以由 3 个相互垂直的主应力表示, 而且往往是水平方向和竖直方向的。地壳内部总有几对力引起的应力作用在岩体上, 岩体的变形总是这些应力联合作用的结果。最主要的力是构造力和重力。岩石变形时, 这二种力是同时作用在岩体上的。重力引起的应力和构造应力差不多是同一数量级。

¹ 第一作者简介 童亨茂, 男, 讲师, 1967 年出生, 1992 年毕业于北京大学地质系, 获硕士学位。现在石油大学(北京)地球科学系从事储层裂缝、构造应力场和构造物理模拟等方面的研究工作。

重力应力状态的最大主应力是垂向的。在岩石非线性弹性变形的假设条件下, 可求得垂直方向和水平方向的重力应力分别为 (王平, 1993):

$$\sigma_{gv} = \rho gh \quad (1)$$

$$\sigma_{gh} = \sigma_{gv} \times \left[\frac{\mu}{1-\mu} \right]^{1/n} \quad (2)$$

上二式中 ρ ——上覆岩石的平均密度;

h ——深度;

g ——重力加速度;

μ ——泊松比;

n ——与非线性压缩有关的常数, 一般岩石采用 0.67。

构造作用引起的构造应力可以有很大的变化, 在张性盆地、压性盆地以及在盆地演化的不同阶段都有很大的变化, 但构造应力在盆地中基本上总是水平的。

地壳内的应力状态就是各种应力叠加后得到的总应力状态, 是作用在该点上所有作用力影响的总和 (式 3、4)。

$$\sigma_{h1} = \sigma_{gv} \times \left[\frac{\mu}{1-\mu} \right]^{1/n} + \sigma_{ta} \quad (3)$$

$$\sigma_{h2} = \sigma_{gv} \times \left[\frac{\mu}{1-\mu} \right]^{1/n} + \sigma_{ti} \quad (4)$$

上二式中 σ_{h1} 、 σ_{h2} ; σ_{ta} 、 σ_{ti} ——分别为水平方向的两个主应力和水平方向的两个构造应力。

这样, σ_{h1} 、 σ_{h2} 、 σ_{gv} 代表含油气盆地一个点的三个主应力, 但大小和排列顺序由盆地的性质、构造活动的情况和深度来决定。

盆地内的应力状态, 沿水平方向和垂直方向都在变化着, 而且实际情况比一般想象的要复杂得多。但不管地应力状态的数量怎样, 地应力状态可以划分为三个类型 (王平, 1993), 分别为 I、II、III 类地应力状态。地应力的类型是按照最大和最小主应力的方位来划分的 (图 1)。

1.1 I 类地应力状态

最大主应力在垂直方向, $\sigma_{h1} < \sigma_{h2} < \sigma_{gv}$ 。在这种地应力状态作用下, 一般形成倾角为 $60^\circ \sim 70^\circ$ 的正断层和近直立的张裂缝。伸展盆地都属于 I 类地应力状态。I 类地应力状态比较普遍。

1.2 II 类地应力状态 (挤压应力状态)

最小主应力为垂直方向, $\sigma_{h1} > \sigma_{h2} > \sigma_{gv}$ 。在这种应力状态下达到破裂条件时, 产生的断层是倾角为 30° 左右的逆断层, 走向和 σ_{h2} 方向平行。挤压盆地在构造活动期属 II 类地应力状态。

1.3 III 类地应力状态 (走滑应力状态)

中间主应力为竖直方向, $\sigma_{h1} > \sigma_{gv} > \sigma_{h2}$ 。产生的断层为平移断层, 断面近于直立, 走向与最大主压应力 σ_{h1} 的夹角为 30° 左右。

由于影响重力的岩石密度在不同盆地的变化幅度比较小, 按深度计算的重力应力在不

同盆地及盆地的不同部位的差别较小。岩石泊松比对地应力的影响也比较小,所以确定地应力的类型和数量的主要因素是区域构造力的性质和大小。也就是说,构造应力状态基本上决定着地应力状态。

不同性质的盆地,构造应力的大小有很大的差别。根据王平(1993)对发生断裂时的地应力估算(表1),挤压盆地的活动期的构造应力比伸展盆地的伸展构造应力大一个数量级以上。

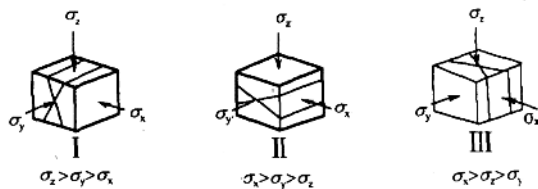


图1 三种类型的地应力状态

表1 不同类型盆地发生断裂时的应力估算表(据王平, 1993)

最大挤压应力(挤压盆地)(MPa)	埋深(m)	最大张应力(伸展盆地)(MPa)
120	1000	3
177	2000	6
222	3000	9

2 不同排烃阶段地应力对排烃的影响方式和影响程度

根据上面的分析,地应力主要由重力应力和构造应力两部分叠加而成,地应力对排烃的影响也主要由这两种应力产生。重力应力作用产生的排烃就是压实排烃,这方面已有较系统的研究成果。本文研究地应力对排烃的影响主要针对构造应力。

根据烃源岩在地下所处的环境及其排烃特点,可将油气运移划分为两个主要阶段^[2]:压实排烃阶段和微裂缝排烃阶段。

第一阶段是当烃源岩埋深较浅,孔隙度和渗透率较高的浅埋藏阶段,烃源岩中的孔隙流体,可以在压实作用的影响下顺利地排出而不受阻碍。这一阶段称为压实排烃阶段。

第二阶段是当烃源岩埋藏较深,孔隙度和渗透率很小的深埋藏阶段。这一阶段的特点是烃源岩已经成岩,岩石的可压缩性很小,压实作用对流体的排出不起主要作用。在这一阶段,流体的排出受阻,随着上覆压力的增大、温度的增高、粘土矿物的脱水、烃类的生成(尤其是甲烷气的生成)等多种因素的影响,必然导致孔隙压力的升高,形成异常高孔隙流体压力。这一阶段,烃源岩中的烃类,主要是在异常高压力的作用下,通过微裂缝排出。

在浅埋藏的压实排烃阶段,烃源岩结构比较松软,是软弱的非能干层,构造应力值很小,这一阶段构造应力对排烃的影响很小,可以不加考虑。在深埋藏的微裂缝排烃阶段,烃源岩已经成岩,结构比较紧密,受正常构造应力的作用。构造应力对排烃的影响主要出现在这一阶段。由于构造应力只有在微裂缝排烃阶段才对排烃产生影响,要了解构造应力对排烃的影响程度,必须对微裂缝排烃的相对重要性有正确的认识。

根据已有的认识,油气的初次运移,压实作用是起决定作用的因素^[3, 4]。但根据我们的

研究,这一结论存在偏差。不同类型的盆地排烃机制应有较大的差异。

只有在烃源岩成熟点深度之下,才有可能出现压实排烃,在成熟点深度之上压实作用排出的液体只能是水。不同类型盆地、不同时代的成熟点深度存在很大的差异(表2)。地温梯度较高的地区,有机质不用埋藏太深就可以转化为烃类。如我国渤海湾盆地冀中、黄骅两凹陷的下第三系沙河街组(距今25~30Ma)成熟点深度为1500m。在这样的裂谷作用阶段的热盆地,压实排烃应在油气初次运移中占主导地位。而在地温梯度较低的冷盆地,成熟点深度较大。烃源岩开始生烃时,烃源岩的压实作用已基本完成。这样靠进一步的压实作用产生的排烃数量就十分有限。这时,排烃的机理转化为在地应力条件下的生成的烃类通过微裂缝排出,即进入第二阶段的排烃。

表2 世界若干含油气盆地生油岩成熟点的温度与深度(据Connan,1974)

盆 地	岩 石 类 型	成熟点温度(℃)	成熟点深度(m)
加利福尼亚文图拉盆地	页岩?	127	2740
法国巴黎盆地	页岩	60	1400
喀麦隆杜阿拉盆地	粉砂质粘土岩	65	1200
法国西南部阿奎坦盆地	泥质石灰岩	90	3300
法国东南不卡马尔盆地	碳酸盐岩	106	3250
新西兰塔拉纳基盆地(海上)	粉砂质页岩	80	2900
巴西亚马逊盆地	页岩	62	1570

因此,对于地温梯度较高,成熟点深度较小的盆地,压实排烃占主导地位;地温梯度较低,成熟点深度较大的盆地,微裂缝排烃可能起主要作用。

3 地应力作用下微裂缝排烃模型

地应力对烃源岩排烃的影响主要表现为两个方面:产生排烃的通道(微裂缝)和作为排烃的动力。

3.1 微裂缝的形成与地应力的关系

通过微裂缝排烃,首先必须有微裂缝的形成。岩石发生破裂形成微裂缝的条件,很多作者都作了论述^[1,2]。他们假定沉积盆地的最大主应力 σ_1 总是直立的,其数值等于地静压力,并假定地下岩石受弹性方式承受上覆重力载荷的条件下,岩石初次破裂形成微裂缝的条件为:

$$p \geq \frac{\mu}{1-\mu} \rho gh + R \quad (5)$$

已闭合的微裂缝再次张开需要的临界压力为:

$$p = \frac{\mu}{1-\mu} \rho gh \quad (6)$$

上二式中 p ——流体压力;

R ——岩石的抗张强度。

上述微裂缝的形成条件中忽略了构造应力的作用,但实际上,不同地区和不同类型盆地的地应力测试结果表明,不同盆地在同一深度水平方向的地应力值有很大的差异,这是由于构造应力作用的结果。因此,不考虑构造应力的作用微裂缝形成模型不符合盆地的实际情况