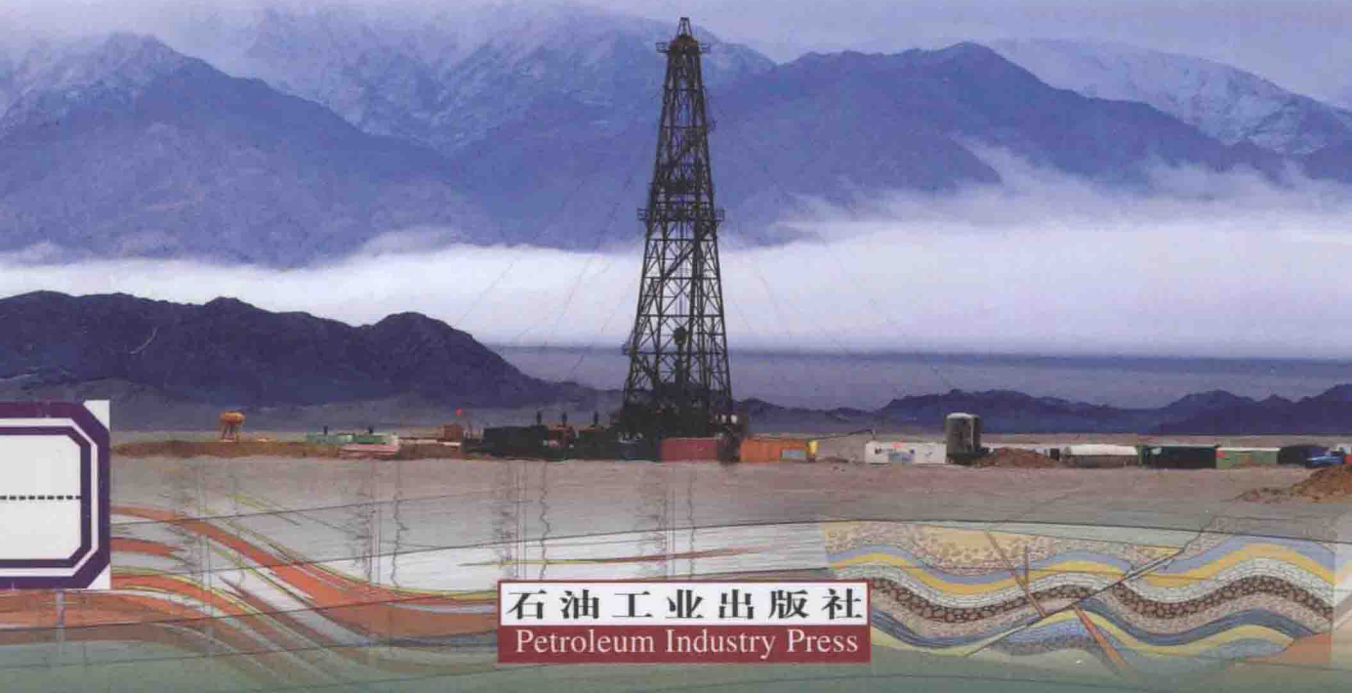


高等学校教材

油藏构造分析

丁文龙 金文正 樊春 何金有 编著



石油工业出版社
Petroleum Industry Press

高等学校教材

油 藏 构 造 分 析

丁文龙 金文正 樊 春 何金有 编著

石 油 工 业 出 版 社

内 容 提 要

本书以油气藏为对象,旨在解决油气田开发过程中遇到的构造地质问题,广泛吸收了国内外最新油气构造地质理论和勘探成果,力求反映当前国内外油气开发构造分析的现状及进展,重点介绍了油藏构造精细描述、断层封闭性、岩石力学性质、地应力、裂缝、储层力学改造等内容。

本书可作为高等院校石油工程专业本科生教材,也可作为从事油气勘探与开发的工作人员、项目管理人员以及其他相关学科的研究人员参考。

图书在版编目(CIP)数据

油藏构造分析/丁文龙等编著.
北京:石油工业出版社,2013.6

(高等学校教材)

ISBN 978-7-5021-9370-6

I. 油…

II. 丁…

III. 石油天然气地质-地质构造-高等学校-教材

IV. P618.130.2

中国版本图书馆 CIP 数据核字 (2012) 第 276251 号

出版发行:石油工业出版社

(北京安定门外安华里 2 区 1 号 100011)

网 址: <http://pip.cnpc.com.cn>

编辑部: (010) 64523574 发行部: (010) 64523620

经 销: 全国新华书店

印 刷: 北京中石油彩色印刷有限责任公司

2013 年 6 月第 1 版 2013 年 6 月第 1 次印刷

787×1092 毫米 开本: 1/16 印张: 14

字数: 352 千字

定价: 28.00 元

(如出现印装质量问题, 我社发行部负责调换)

版权所有, 翻印必究

前 言

随着油气勘探开发一体化进程的不断深入，油藏构造分析在油气田开发中的重要性日渐突出。针对石油工程本科专业在油气藏开发生产过程中遇到的构造分析理论与实践问题，本书以油气藏研究为对象，以服务于油田开发的实际应用为主要目的，利用钻井、地震、测井和油田开发动态资料等信息，重点介绍与油田开发紧密相关的构造地质理论与方法技术，主要包括油藏构造精细描述、断层封闭性、岩石力学性质、地应力、裂缝、储层力学改造等章节，使石油工程专业的本科生能够了解油气藏构造分析的基本理论与方法，提高油气藏构造综合分析能力。本书对油气藏开发中出现的相关构造地质问题进行了合理解释，可为油气藏开发方案的制订提供科学依据。因此，油藏构造分析不仅能够丰富和完善油气构造地质学理论体系，而且对满足石油工程专业的本科教学和加快油气藏高效开发的步伐均具有重要价值。

全书共分为七章。第一章绪论主要介绍了油藏分析的概念、研究对象与内容、研究现状及意义。第二章油藏构造精细描述重点介绍了油藏三维地震精细构造解释、油藏构造特征精细描述、油藏微构造分析及应用等。第三章断层封闭性主要介绍了断层封闭机理、封闭类型、封闭能力、封闭性影响因素、封闭性评价方法、断层封闭性差异性及演化史、注水开发后断层的封闭性等。第四章岩石力学性质包括岩石物理性质、力学性质和力学参数试验测试与测井方法计算等。第五章地应力主要介绍了地应力测量方法和构造应力场数值模拟等。第六章裂缝主要介绍了裂缝的类型及形成机理、裂缝识别与特征描述、裂缝预测方法、裂缝与油气的关系等。第七章储层力学改造主要介绍了砂岩、碳酸盐岩、页岩、火成岩、煤等不同类型储层特征和力学改造。第一章、第三章和第六章由丁文龙编写，第二章、第七章由金文正编写，第四章由何金有编写，第五章由樊春编写。全书由丁文龙、金文正负责统稿。

在本书编写过程中，得到了许多专家学者的支持，同时也得到了国内各相关高等院校同仁的热情帮助。本书参考和吸收了国内外其他高等院校和专家的科学研究与教学成果，中国地质大学（北京）教务处和能源学院等单位的领导和老师对本书的编写给予了大力支持与帮助，在此一并表示衷心感谢。

由于水平有限，书中难免有缺点和不妥之处，欢迎广大读者批评指正。

编 者

2012年8月

目 录

第一章 绪论.....	1
第一节 油藏构造分析意义.....	1
第二节 主要研究内容.....	2
第三节 研究方法与技术.....	3
第四节 发展趋势.....	6
第二章 油藏构造精细描述.....	8
第一节 三维地震资料精细构造解释与成图.....	8
第二节 油藏构造特征精细描述	16
第三节 油藏微构造分析	34
思考题	38
第三章 断层封闭性	39
第一节 概述	39
第二节 断层封闭机理与封闭类型	43
第三节 断层封闭性影响因素	47
第四节 断层封闭能力计算	53
第五节 断层封闭性评价方法	55
第六节 断层封闭性差异性及演化史	82
思考题	85
第四章 岩石力学性质	86
第一节 概述	86
第二节 岩石物理性质	87
第三节 岩石的变形与破裂	89
第四节 岩石力学参数的测井方法计算.....	104
思考题.....	106
第五章 地应力.....	107
第一节 概述.....	107
第二节 地应力测量.....	111
第三节 构造应力场模拟.....	121
思考题.....	132
第六章 裂缝.....	133
第一节 裂缝类型及形成机理.....	133
第二节 裂缝识别与发育特征.....	141

第三节 裂缝分布预测.....	179
思考题.....	186
第七章 储层力学改造.....	187
第一节 储层类型及特征.....	187
第二节 储层力学改造.....	201
思考题.....	208
参考文献.....	209

第一章 绪 论

第一节 油藏构造分析意义

一、国家石油工程特色专业建设的需要

本教材的编写是基于以地质为基础的“国家教学质量工程（石油工程）特色专业”和“国家人才培养模式创新实验区”建设的需要。它与资源勘查工程专业的“石油构造分析”主干课程不同，是以油气藏（田）为研究对象，利用钻井、岩心、地震、测井、实验分析测试和油气藏（田）开发动态资料等信息，综合分析油气藏的构造特征及不同类型的构造因素对油气田开发的影响，重点介绍与油田开发方案设计和产能等紧密相关的构造因素基本地质理论分析和实例解剖，使石油工程专业的学生能够了解基本的油气藏（田）构造分析理论与方法，对石油工程中出现的相关油藏构造问题进行合理的解释。本书不仅能够满足石油工程专业构造分析方面的课堂理论教学需要，而且还可以使学生或读者在油气藏开发实践过程中，有效地提高对油气藏构造的综合分析能力。

二、油气藏勘探开发的实践意义

油藏构造分析是油气藏开发的重要理论基础之一。当前，随着油气藏勘探开发一体化进程的不断深入，特别是在我国油气田进入开发晚期的高含水阶段和低孔、低渗致密性储层油气开采生产过程中，采收率的提高面临着许多与油气藏（田）开发效果密切相关的地质构造问题。

例如，在油气藏开发过程中，断层封闭性的失效将会导致剩余油的分布更加复杂。断层密封性对断块生产井况有着重要的影响，主要表现在两个方面。当注采比较高时，若断层原始不密封，虽然注采比较高，但注水外溢量大，注水后断层两侧井有可能同时受益，套管变形井数相对较少，部分断层封闭性不好；若断层原始具有密封性，注采比较高，注水井外溢会沿断层上窜，使上部地层膨胀，致使生产井套管剪切错断或缩径变形，这对于封闭性断块更易出现事故，应根据实测资料判断断层、断块密封性，结合现场资料，确定不同断块合理注采比。当注采比较低时，地层压降大。由于油井能量不足，油井生产不正常，注水见效差，一个重要原因是一些小断层未被识别出来。目前对这种问题多采用注水井补孔、油井转注。但也可以加大泵压，使其大于断面承受的正应力，使断面开启或封闭失效，让许多断层表现为开启性，这对于完善注采井网是有价值的（赵密福，2003）。因此，只有详细掌握了油气藏的微构造特征、注水开发后断层的封闭性特征、断层封闭史与油气水分布之间的动态关系、裂缝发育特征及分布规律与油气可采储量之间的关系、储层压裂改造和产量之间的关系、地应力与裂缝发育分布、储层岩石物理和力学性质与油层改造方式等，才能够制订出更为合理的开发方案，对油气藏（田）高效开采具有重要的生产实践意义。

第二节 主要研究内容

油藏构造分析的主要研究内容与其他构造类课程不同，主要是针对油气藏开发生产过程中遇到的构造分析理论与实践问题，以实际应用为主要目的，重点介绍油藏构造精细描述、断层封闭性、岩石力学性质、地应力、裂缝和储层力学改造等内容。

一、油藏构造精细描述

油藏构造精细描述主要利用地震、钻井、测井和油田开发动态等资料，采用三维地震资料精细构造解释与成图、断层与微构造分析、构造建模等多种技术和方法，深入研究油气藏三维构造形态和特征。油藏构造精细描述主要包括油藏局部构造的三维地震资料断裂和褶皱的精细解释与成图、控制油藏分布的三级与四级断裂和微构造（圈闭）的剖面 and 平面分布特征精细描述、微构造分析及其在油气藏开发中的应用等。

二、断层封闭性

断层的开启与封闭不仅控制着油气运移、聚集和成藏过程以及后期油气藏的破坏，而且还可以预测断层圈闭有效性，降低油气勘探开发风险；有助于开发井网的合理部署，提高油气藏的开发效果。研究内容主要包括断层封闭机理与封闭类型，影响断层侧向和垂向封闭性的主要因素及作用方式，断层侧向和垂向封闭油气的能力，断层封闭性评价的地质学方法、数学地质方法和计算机处理技术及综合评价，断层封闭性差异性及其演化史等。

三、岩石力学性质

岩石力学是近代发展起来的一门新兴学科和边缘学科，是力学的一个分支学科，是一门应用性和实践性很强的基础学科，其研究对象是各类岩体。不同类型岩石的物理和力学性质不仅影响着油气区内断层和褶皱的变形及储层中裂缝发育程度与分布特征，而且还影响着油气储层的改造方式，因此，需要详细研究岩石的物理性质、破裂形式、破裂机理、岩石的强度和岩石破裂准则等，并通过单轴压缩和拉伸试验、三轴压缩实验和测井计算方法等多种手段确定不同类型岩石的力学性质，如弹性模量、泊松比、岩石破裂强度（抗张强度、抗压强度和抗剪强度）、内聚力和内摩擦角等参数。

四、地应力

地应力是地壳中的应力总和，指地下岩石介质各个部分之间通过接触而相互作用的力。岩石介质内部的这种相互作用力是岩石发生变形和运动的动因。研究地应力的目的是查明地下物质内部相互作用力的时空变化及其所遵循的规律。地应力在油气藏勘探开发中具有十分重要的作用，它不仅是油气运移的动力之一，而且还影响着油气藏采收率的提高和油田的整体开发效益。古地应力场影响着地质历史中油气的运移和聚集过程，而现今地应力场则影响着油气田在开发过程中油、气、水的动态变化。现今地应力的测量和分布研究可为注采井网的布置、调整及开发方案设计提供科学的背景资料。研究内容主要包括地应力基本概念，影响地应力的主控因素，地应力在油气勘探开发中的作用，地应力测量方法（如水压致裂法、

声发射实验地应力最大主应力测试法、井壁崩落法、晶格位错密度法、成像测井方法和震源机制分析法等), 此外, 还包括构造应力场数值模拟与主要应力的分布预测。

五、裂缝

裂缝是岩石中没有明显位移的断裂。它既是油气储集空间, 也是渗流(运移)通道, 特别是对于致密砂岩、碳酸盐岩、页岩、火山岩和变质岩、煤系岩层等低孔低渗致密性储层来说, 裂缝的存在不仅能够大大提高低渗透致密性储层的渗透率(性), 改善储层的渗流条件, 而且其发育程度决定着储层的有效产能, 对井网部署、注水和压裂等均有重要影响, 是控制低渗透油气藏(致密油气藏)开发效果的关键性因素。致密储层天然裂缝系统发育程度直接影响着致密性油气藏的品质和开采效益, 油气产量的高低与储层内微裂缝发育程度有关。油气可采储量最终取决于储层内裂缝产状、密度、组合特征和张开程度。那些拥有较高渗透能力或可改造条件的致密性储层裂缝发育带是油气勘探开发的核心区(甜点)。低泊松比、高弹性模量储集层段是早期寻找高产井的主要目的层。因此, 裂缝类型及形成机理、裂缝识别方法、裂缝发育特征表征、裂缝特征参数估算(裂缝密度、裂缝孔隙度、渗透率、张开度等)、裂缝纵向和平面分布预测等方面研究, 是油藏构造分析的一项重要内容。

六、储层力学改造

储层是能够储存油气并能使油气在其中渗滤的岩石。油气储层主要分为碎屑岩储层和碳酸盐岩储层两大类, 此外还有岩浆岩储层和变质岩储层。不同类型的储层具有不同的孔渗特征、岩石力学性质和裂缝系统, 导致油气藏储层改造和提高采收率方式的差异。储层力学改造的主要内容包括砂岩、碳酸盐岩、页岩、火山岩、煤等不同类型储层的岩性特征、矿物组成、储集物性(孔隙度和渗透率)、储集空间类型(孔、洞、缝)、孔隙结构特征、成岩改造作用等; 还包括不同类型储层力学改造方法及效果分析, 主要有大型压裂、分层压裂、水平井分段压裂、酸压、水力压裂、直井连续油管分层压裂、高能气体压裂(HEGF)等技术方法的原理、实施步骤。

第三节 研究方法与技术

鉴于本书对油藏构造分析内容的基本定位是对影响油气藏开发生产实践中各种构造因素的综合分析, 所以, 必须以多学科理论为指导, 综合利用地震、钻井、测井和油气藏动态等多种资料, 采用多种方法与技术, 才能做好油藏构造分析, 达到预期目的。油藏构造分析的研究方法与技术主要包括地质学分析方法、三维地震构造精细解释技术、钻井地质评价技术、测井地质解释技术、地震裂缝检测技术、断层封闭性评价方法、实验测试分析技术、开发动态分析技术、数学地质方法、计算机处理技术和多因素综合评价方法等。

一、地质学分析方法

该方法是油藏构造分析的基本方法, 主要是从实际地质条件出发, 根据地质、钻井、测井、岩心、实验分析、压力测试和油气藏(田)开发动态数据等, 通过数据统计、主要指标参数计算和图件编制等, 直接或间接地对油气藏构造进行定性或半定量到定量的综合分析,

如油气藏构造圈闭和三级或四级断层特征的精细描述、断层封闭性定性和半定量法评价、裂缝类型及形成机理分析、裂缝识别与特征参数计算及分布预测等。

二、三维地震构造精细解释技术

三维地震构造精细解释的目的是油气藏构造的精细描述，落实油藏的微构造的圈闭特征和三级或四级断层系统等，主要是依据油气藏三维地震工区内的大量钻井、测井（包括声波、密度、电阻率和 VSP 测井）和开发生产动态等资料，在油层测井小层或单砂层、高分辨率层序地层划分对比的基础上，采用钻井合成地震记录与 VSP 测井相结合的方法，井震紧密结合，准确标定细分层的地震反射标准层位；根据地震反射波组特征追踪对比，进行断层和褶皱构造精细解释。首先，准确确定控制油藏分布的三级断层和使油藏油气水分布关系复杂化的四级断层位置、断距大小在纵向上的变化、断层在剖面上的组合样式、不同组系和级别断层之间的交切关系等，并在平面上对不同级次的断点进行合理的组合，落实油藏开发层段的断层系统和油气藏构造圈闭的形态、高点位置、闭合面积、闭合高度，其次，还要结合油气藏开发中油气水的实际生产动态情况对前期构造精细解释成果和图件进行多次的修改调整，如油气生产实际中对断层位置和数量的调整、构造圈闭高点埋深、位置及圈闭幅度及闭合面积等方面的细微调整等，从而使该技术更好地为油气藏构造精细描述及油气合理与高效开发提供有力的支持。

三、钻井地质评价技术

钻井（包括录井）可以直接获得油气藏生产层（油层）的埋藏深度、分层数据、岩性组合特征、岩心、含油气性（级别）、地层的重复或缺失情况、断点位置、断距大小和油气圈闭的埋深等重要的油气藏开发地质基础参数。利用这些第一手资料可以建立钻井综合地层剖面，不仅可以详细研究油气藏的储层特征，而且还可以为三维地震构造的解释与成图以及先期解释成果的校正提供可靠的钻井地质依据，使油气储层评价和油藏构造剖面 and 平面成果图件的精度更高，与地下实际情况相吻合得更好，能够为油气藏开发方案的制订和调整提供重要的构造地质依据。

四、测井地质解释技术

地球物理测井系列，主要包括常规测井系列和全井眼地层微电阻率扫描成像测井（FMI）。其中，前者主要有声波、密度、中子、双侧向、自然伽马、自然电位、自然伽马能谱等测井。这些不同类型的测井曲线或数据是油气勘探开发的重要基础资料，包含着极为丰富的地质信息，具有广泛的用途：（1）常规测井资料可以进行油气藏储层的小层或单层的划分与对比、测井相分析、四性关系与油气水判别标准建立、划分储集层段和油气水层、测井物性解释（孔隙度和渗透率）、含油气饱和度计算；（2）常规测井资料可以有效识别储层裂缝发育段，致密砂岩、碳酸盐岩、页岩、火山岩和变质岩等低孔、低渗致密性储层裂缝在不同类型常规测井上响应特征均存在着比较明显的差异，而且同一储层中不同产状（倾角）的裂缝（水平裂缝、低角度裂缝、高角度裂缝和垂直裂缝）在不同测井上的响应特征也存在着比较大的差别，这些也正是利用常规测井能够识别不同类型裂缝的重要地球物理依据；（3）利用测井（主要是电阻率）资料可以计算裂缝特征参数，如裂缝的孔隙度、渗透率和张

开度等,采用测井方法也可以计算岩石力学参数;(4)利用声波时差测井资料不仅能够预测地层异常高的孔隙流体压力带,而且还能够评价断层的垂向封闭性,根据断裂带处声波时差曲线的特征变化来确定断层的垂向封闭与开启性,二者在声波测井上表现出了不同信息(响应)特征;(5)成像测井可以准确直观地识别裂缝,而且还能够确定裂缝的延伸方向、倾角和倾向。

五、地震裂缝检测技术

地震资料用于砂岩、碳酸盐岩、页岩、火山岩和变质岩等储层裂缝的识别和预测现今仍处于探索阶段。近年来,逐步发展了许多以地震为主要手段的裂缝预测技术,主要有地震相干体技术、地震属性分析技术、地震反演技术、纵波裂缝检测技术、横波分裂技术、构造曲率分析方法等。可用于裂缝段识别的地震属性有地震波速度、频率、波阻抗、振幅、地震反射特征、地震反射相、频率衰减等。不同类型的致密储层裂缝的地震属性总体具有以下特征:(1)地震波速度明显降低;(2)频率明显下降;(3)波阻抗降低;(4)振幅突然变化;(5)频率衰减属性差异明显;(6)硅质灰岩及致密灰岩裂缝为连续强振幅相,泥质灰岩裂缝为不连续中弱振幅相;(7)泥岩裂缝段在正极性剖面上表现为负反射系数的地震反射特征。

六、断层封闭性评价方法

断层封闭性研究是油气藏勘探与开发中重要的一项内容。目前对断层封闭性的评价方法主要有三大类:

(1)地质学方法,包括定性分析和半定量分析。前者主要从分析影响断层封闭性的主要因素入手,定性评价断层的封闭能力或好坏。后者主要是依据地震、钻井、测井(主要是声波时差)、岩心、压力测试和油气田开发生产动态数据等,通过编制 ALLAN 图(断层面图),建立断层两侧地层并置对接模型;利用断层面压力计算、声波时差资料和断层带充填物中泥质含量等方法研究断层垂向封闭性;采用泥岩涂抹潜力(CSP)、涂抹因子系数(SSF)及断层泥比率(SGR)计算,建立 SSF、SGR 与断层两侧地层的压力差关系图、断距与储层厚度关系图等,可以半定量评价断层封闭程度。

(2)数学地质方法,有逻辑信息法、非线性映射分析法、断层压力计算法、模糊评判分析法及概率法等。

(3)计算机处理技术,有构造应力场模拟、地震资料特殊处理技术、断层封堵性专业模拟软件(FAPS)等。不同方法的基本原理、适用条件及应用效果也不同。

七、实验测试分析技术

与油气藏构造分析相关的实验测试内容,主要包括岩石力学性质实验测试、地应力测试、致密储层微裂缝实验检测等。

(1)岩石力学实验测试:主要是在实验室对不同类型的岩石样品的力学性质进行实验测试,包括岩石的单轴压缩和拉伸实验和三轴压缩实验等,可以直接测出或通过公式换算方法,获取不同类型岩石的力学性质参数,如岩石密度、杨氏弹性模量、泊松比、内聚力、内摩擦角、岩石破裂强度(抗张、抗压和抗剪强度)等。

(2)地应力测试:目前,地应力测量的方法很多,其中,声发射法、井壁崩落法和井斜

统计法等是确定水平主应力方向的有效方法。声发射法不仅能够计算现今最大主应力，而且能够计算各个构造期的古最大主应力。水力压裂法是计算现今最小水平主应力的有效方法。在斜井的情况下，井壁崩落法还能够计算现今水平主应力。另外，还有晶格位错密度法和利用成像资料分析构造应力场。

(3) 致密储层微裂缝实验检测：主要有高倍扫描电镜、CT 扫描、氩离子抛光、核磁共振扫描图像、荧光铸体薄片等技术。

八、开发动态分析技术

在油气藏开采生产过程中可以获得井下储层的含油、气、水资料以及井间油水动态资料等。应用这些资料既可以检验构造研究成果的准确性，如断层的连通与否、分层是否正确等，又可以为油藏构造深入研究提出新课题，如注水后断层封闭性特征、油藏构造的形态局部变化等，以便配合其他资料使断层和构造圈闭的解释更为准确，更加符合地下的真实情况，这在油藏开发后期显得尤为重要。

第四节 发展趋势

一、从单学科向多学科发展

随着油气藏开发程度的不断提高，油藏构造分析面临的问题越来越复杂，涉及的学科也越来越多，需要的技术难度和创新也越来越高，导致油藏构造分析由单一构造地质学科向多学科发展，如构造地质学、地球物理学（地震、测井）、岩石力学、地下水动力学、油田地球化学、油气藏开发工程、数学地质和计算机学科等。

二、由定性分析向半定量或定量方向发展

随着油气勘探开发的不断深入，对构造研究精度提出了更高要求，计算机手段在地质研究中的广泛应用和与构造地质学相关的边缘学科的发展，使构造研究逐渐由定性化向量化发展。(1) 在几何学方面，地球物理参数与构造形态的数学关系式已建立 (Ahdelrahman, 1989; Jhnson, 1998)。(2) 在运动学方面，可用宏观和微观方法确定位移方向、位移量的方法和标志，利用平衡剖面方法计算伸展量和压缩量。(3) 在动力学方面，盆地构造沉降量的计算、剥蚀量恢复、构造应力场数值模拟、构造变形物理模拟等都属于定量研究方法。(4) 裂缝研究在逐步由定性向定量方向发展，主要有利用数值模拟、分形分维等方法对裂缝进行定量预测。大量的研究表明，采用分形来表征裂缝已成为裂缝定量分析的一种新方法 (Velde B. 和 Duboes J. 等, 1990)。(5) 随着有限元方法的日益成熟，构造裂缝的数值模拟取得了重大进展，发展为从构造应力场和应变场入手的有限元数值模拟法 (Ramstad L. R., 1977; 李定龙, 1994)，因而，也就从褶皱区张（剪）性裂缝的定量预测发展到多种地质构造条件、多层状和复杂边界条件下的张性、剪性裂缝的定量预测。

三、从平面和剖面构造分析向三维可视化方面发展

位于地下深部的油藏是具有一定空间展布特征的复杂地质体，早期的油藏构造分析主要

是通过构造剖面图、不同目的层位构造图、断层系统图、平衡地质剖面图等，分析不同地质历史时期的油藏构造特征；但是，随着计算机、数据库、地理信息系统 GIS 和虚拟现实等相关学科技术的快速发展，使地下深部油气藏构造的空间展布形态实现了三维可视化动态显示，为数字油田的建设和开发井位的部署提供可靠的油藏构造空间结构形态。

四、由静态描述向动态分析发展

随着油气藏开发进程的逐渐深入，油气水之间的关系和压力系统变得越来越复杂，油气藏的实际生产动态资料也更加丰富，如油层含油气水情况、井间油水动态情况、原油物性变化、折算压力和油水界面的差异、断层两侧动态注采反映（效果）、含水饱和度变化、油气产量随时间的变化等。因此，为了更好地满足油气藏开发生产实践的需求，油藏构造分析必须从早期（传统）的静态构造地质特征的精细描述，逐渐向动态构造分析方面延伸（转化）。

油藏构造动态分析的目的是要查明不同开采时期油藏发生各种变化与构造因素之间的动态演变关系，如油气生产实际中对断层位置和数量的调整、油藏注水开发后断层的封闭性特征等与构造有关问题的细致分析。

例如，在水驱油过程中（注水），断层主要表现为开启、高压下开启和封闭等类型。不同条件下断层的开启与封闭类型则具有不同油藏开发效果。

（1）注水后表现为开启的断层主要有两种情况：①顺断层串水，导致油井过早水淹，在地层埋藏浅或高压注水的情况下容易出现；断层面进水后，断层内聚力降低，加之水本身又起润滑作用，可造成断层蠕动以至套管变形，直接影响油田生产。②与断层走向垂直或斜交的局部层位串通。串水可能是一部分层位，而不是所有层位。断层某地段部分层位封闭性不好，在注水开发过程中，发生油气的再运移，为其他开发井提供了大量的油气来源，使油气水平面分布矛盾更加突出。

（2）高压下开启的断层在低压注水时是密封的，而在高压注水时却成为开启的。但当注水压力重新降低后，也成为一种开启或局部开启断层。这种现象在低级序小断层发育区出现得比较多。

（3）注水后断层不封闭的原因，一是泥岩涂抹作用，靠泥岩涂抹封堵，在断层断距小于 20m 情况下，在注水开发过程中，很容易出现断层封闭失效。二是储层与泥岩并置：①油藏部位注水压力与断面正应力的关系；②断层两侧压力差的变化。以上与油藏开采动态密切相关的构造因素分析，可以为油气藏（田）开发方案的及时调整提供重要科学依据。

第二章 油藏构造精细描述

第一节 三维地震资料精细构造解释与成图

油藏构造精细描述中的地震解释与预测技术的主要任务是综合运用地震、地质、测井资料进行地震资料的精细解释，建立区域地层格架，阐明沉积体系的成因和展布，预测储层分布和储集参数及油藏分布，为油藏描述提供可靠的油藏几何形态及空间展布的定量数据。它是勘探阶段油藏描述研究的关键技术之一，也是岩性油藏描述的突破性技术。

层次性是地质研究中所要遵循的普遍原则，油藏构造精细描述遵循从大到小的描述原则，进行逐级细致研究，逐级重新落实，得到可靠的结论（图 2-1）。研究思路如下：首先，在地震资料重新解释的基础上，利用多井资料的重新标定，确定主控断层和大断裂的位置、产状以及落差等一系列断层要素；其次，落实新解释资料中可分辨的、原资料中没有或多余的断层；最后，在井资料及综合分析动态资料的研究中，确定地震资料不可识别的小断层。

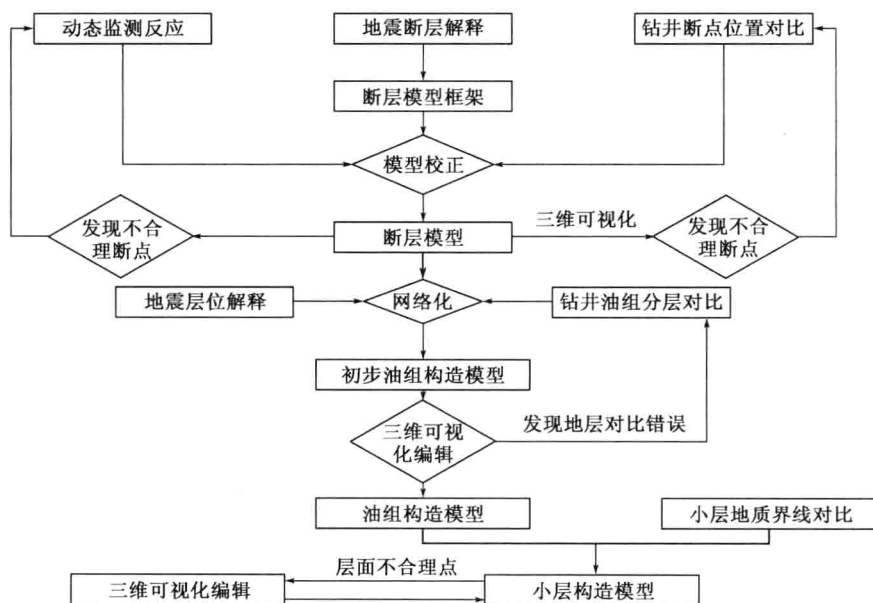


图 2-1 油藏构造精细描述工作流程图（据中国石油勘探与生产分公司，2006）

一、地震地质层位的标定

地震地质层位标定是将井下已知地质层位与井旁地震剖面的反射波相结合，建立井下地层与井旁地震反射界面的对应关系，从而给地震反射界面赋予某一地质属性。准确的地震地

质层位标定可为地震精细构造解释和储层横向预测提供可靠的保证。

常规的地震层位标定是采用合成地震记录与 VSP 测井资料相结合的方法，利用工区内重点井的声波测井曲线分别制作合成地震记录，并结合部分重点井的测井资料和井下地层分层数据分别与各井旁地震剖面进行对比，从而确定出剖面上各主要反射界面与井下地层界面之间的对应关系（图 2-2）。

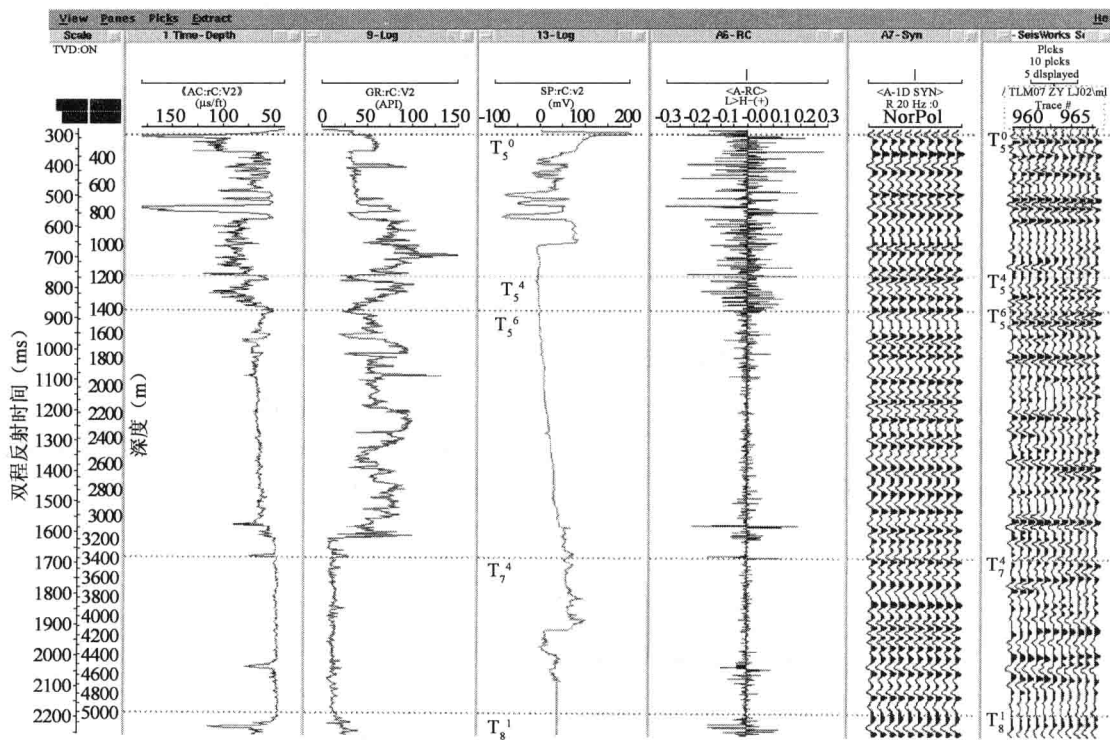


图 2-2 和 4 井地震地质层位标定图

二、构造精细解释与成图

根据地震地质层位标定结果，对工区进行主要层位的精细解释，在剖面上主要依据地震反射波、波组中断情况对剖面断面位置进行描述。研究区一般都经历了多期构造运动的叠加，断层组系多，形成时期多，断层解释必须以地震反射特征为基础，结合研究区构造发育史，对断层准确位置、断层切割关系等作出合理的解释（图 2-3）。

在地震资料精细解释过程中，往往需要多种实际资料的补充和证实。

首先是实际钻井资料。在复杂断块油田中，由于斜井较多以及斜井复杂的井身结构，会使地震地质解释难度较大。为了充分利用每一口斜井的钻井地质分层数据，解释过程中通过切过斜井井径的任意线作控制进行地震解释，这样可以确保地震解释与地质分层数据、断点数据的一致吻合（丁可新，2008）。

其次是油田的开发动态分析资料。油藏动态资料包括井下地层含油气水情况、井间油水动态情况等。利用这些动态资料可检验构造研究的成果，给构造提出问题，以便配合其他资料解决构造问题。

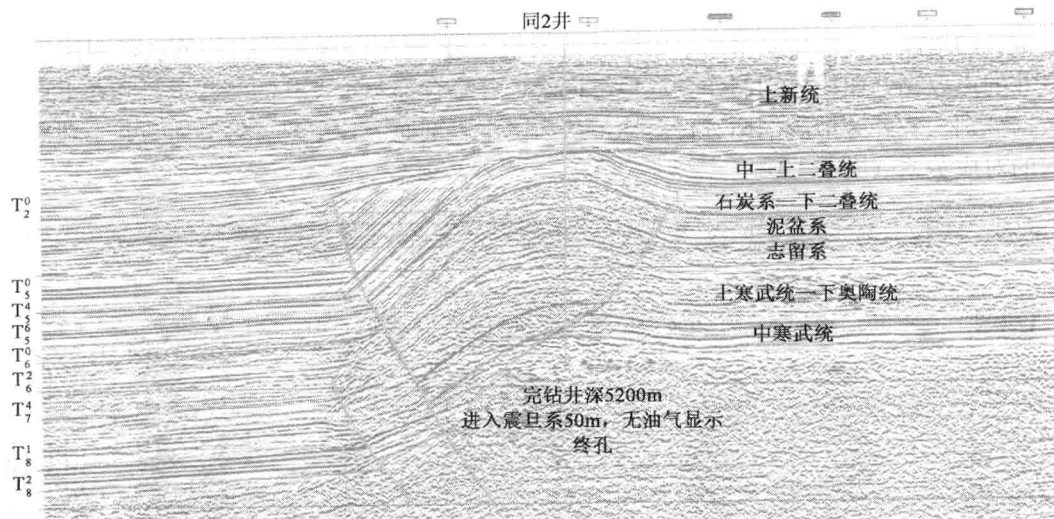


图 2-3 塔里木盆地巴楚隆起同岗断裂南部 (NE133 测线) 构造解释剖面

第三是原油物性的变化。由于断层的切割，同一油层成为互不连通的断块。各断块中的油气是在不同地球化学条件下聚集并保存起来的，因而石油物性出现明显差异，使同一油层的石油密度曲线、含胶量和含蜡量曲线在断层的两侧有明显的差异（图 2-4）。

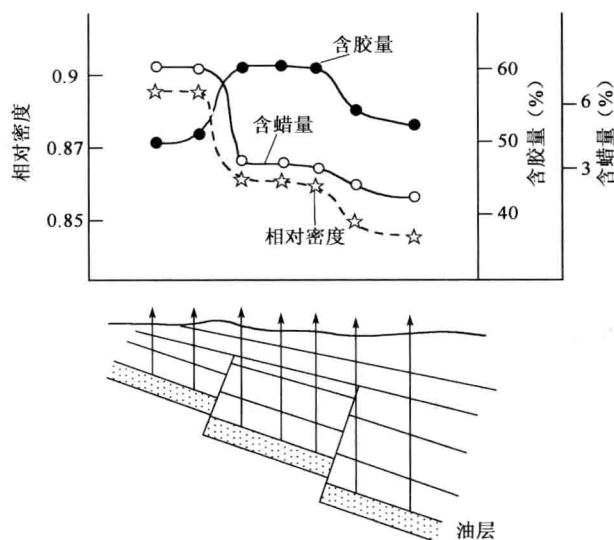


图 2-4 断层引起石油物性变化示意图 (据吴元燕等, 1996)

第四是折算压力和油水界面的差异。断层的切割作用，使其两侧的油层处于不同深度、互不连通，各自形成独立的压力系统。在同一压力系统中，压力互相传导，直到平衡。因此，各井油层折算压力相等，而不同的压力系统折算压力完全不同。同理，油水界面的高程在断层两侧也是完全不同的（王秀娟等, 2003）。

第五是测井资料的反映。地层倾角测井（HDT）可以从测井角度对钻井钻遇地层的倾角特征进行定量分析（图 2-5），可以识别小级别断层，并确定小断层的产状，对地层变

化、构造演化及断层展布等方面的研究提供依据。

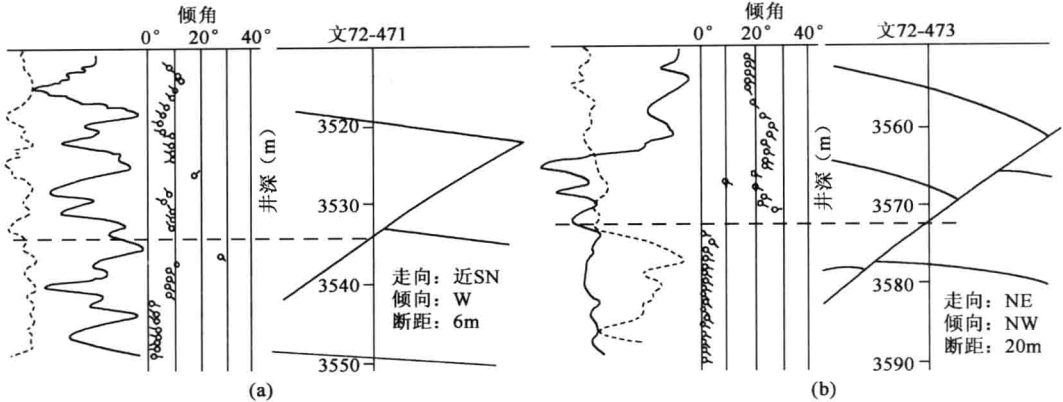


图 2-5 文 72 断块 HDT 测井与小断层识别 (据徐守余, 2005)

最后是动态注采的反映。由于断层的屏蔽和导流作用, 当断层一侧的井注水时, 大量的水会沿着断层面流失, 不能到达断层另一侧的井中, 致使另一侧的井显示注水效果不明显。例如, 在大港油田南部油区段六拨油田中, 通过注采资料分析官 2212 井断层, 显示其对两边的井没有起到很好的遮挡作用。段 35-50 井注水, 位于原解释断层另一侧的官 2206 井断层见效明显; 段 37-47 井注水, 位于原解释断层另一侧的官 2212 井见效 (图 2-6)。通过以上几个方面的分析, 取消了其存在的可能性。

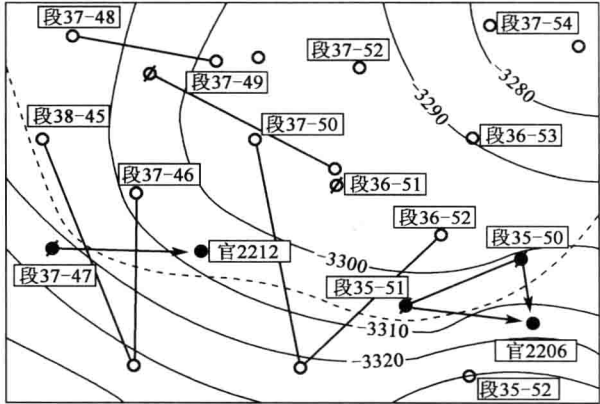


图 2-6 动态注采资料反映断层的存在性 (据王秀娟等, 2003)

然后参考主要联络线的地震特征编制 t_0 平面图。为获得深度剖面, 需要得知地震声波传播速度与时间的变化规律。以吐哈油田四道沟构造为例, 选取哈 2 井, 对其声波平均速度与 VSP 平均速度随双程旅行时间 (t_0) 变化的散点数据进行多项式曲线拟合。图 2-7 中三阶多项式拟合曲线与各散点数据符合程度高, 对图中三条拟合曲线进行时深转换后的深度误差分析, 最终采用了图 12-7 (c) 中的三阶多项式拟合曲线:

$$v_{\text{平均}} = 2 \times 10^{-7} t_0^3 - 0.0013 t_0^2 + 3.2956 t_0 + 811.61 \quad (2-1)$$

利用式 (2-1), 对编制的各 t_0 时间数据进行时间—深度转换, 编制与上述 t_0 平面图对应的深度平面图 (即构造图或者埋深图) (图 2-8 至图 2-10)。