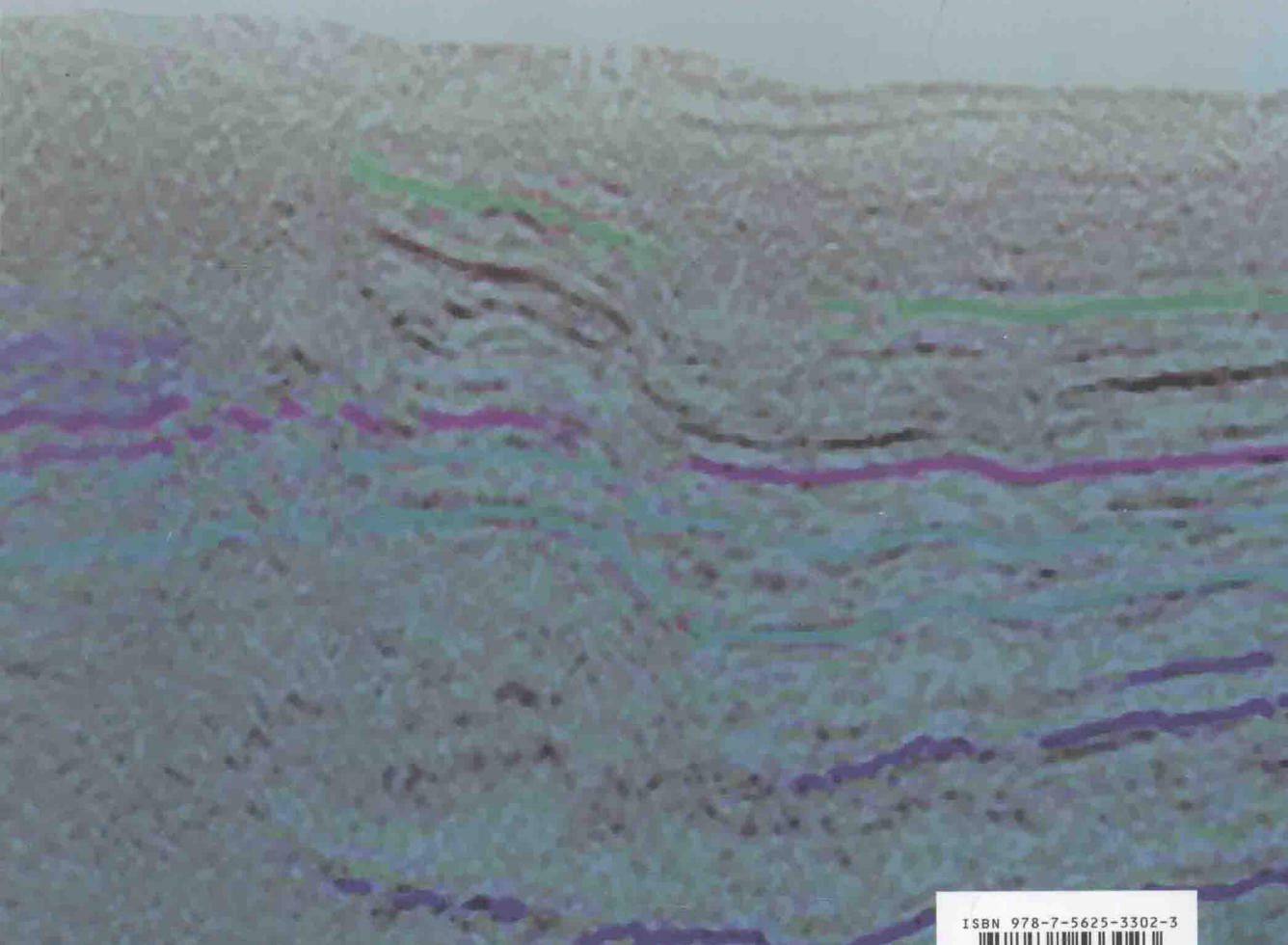


选题策划：张晓红
责任编辑：周华 张 琰
封面设计：魏少雄



ISBN 978-7-5625-3302-3



9 787562 533023 >

定价:68.00元

图书在版编目(CIP)数据

东营凹陷砂砾岩体地震描述方法/于正军著. —武汉:中国地质大学出版社,2013.12

ISBN 978-7-5625-3302-3

I. ①东…

II. ①于…

III. ①砂岩油气田-地震勘探-研究-东营市

IV. ①P618.130.8

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2013)第 301069 号

东营凹陷砂砾岩体地震描述方法

于正军 著

责任编辑:周华 张琰

策划:张晓红

责任校对:张咏梅

出版发行:中国地质大学出版社(武汉市洪山区鲁磨路 388 号)

邮政编码:430074

电 话:(027)67883511

传真:67883580

E-mail:cbb@cug.edu.cn

经 销:全国新华书店

<http://www.cugp.cug.edu.cn>

开本:787 毫米×1092 毫米 1/16

字数:326 千字 印张:12.75

版次:2013 年 12 月第 1 版

印次:2013 年 12 月第 1 次印刷

印刷:荆州市鸿盛印务有限公司

印数:1—1 000 册

ISBN 978-7-5625-3302-3

定价:68.00 元

如有印装质量问题请与印刷厂联系调换

序 言

我国石油资源大都分布在中、新生代陆相断陷盆地中,随着勘探程度的提高,许多重要的含油气盆地的陡坡带已进入以砂砾岩扇体油藏为主要勘探目标的阶段。砂砾岩体由于其特殊的地震地质特点,一直是地球物理技术攻关研究的对象。

本书在东营凹陷多年地震勘探实践的基础上,以现有地震资料、地质资料、开发资料为基础,开展砂砾岩体岩石物理测试和特征研究,明确地震信息描述储层的地球物理基础。通过正演模拟和统计分析建立砂砾岩体识别模式,分析与认识不同处理技术对砂砾岩体反射特征的影响,为砂砾岩体精细处理技术及储层预测研究奠定基础。分析影响砂砾岩体成像效果因素,研究以提高信噪比、有效反射能量恢复与补偿、叠前及叠后各种反褶积等为主要内容的提高砂砾岩体地质分辨率的方法,以提高砂砾岩体成像精度技术,解剖砂砾岩体内幕结构。研究以地震、测井等不同资料划分沉积旋回的方法,建立井震关系,明确期次划分原则,形成基于地震地质手段的砂砾岩体期次精细划分方法。分析储层岩石物理与地震正演特征,建立叠前和叠后地震属性、联合反演与储层物性之间的定量关系,形成有效储层地震描述方法。开展圈闭综合评价,落实分布范围和储量规模,提高砂砾岩体油藏勘探开发效益。

经过不懈探索,在提高资料品质、剖析内部结构、明确展布规律、提高经济效益等方面开展研究,围绕目标处理是基础、期次划分是关键、物性预测是中心等等方面进行技术攻关,大大提高了基于地震资料的砂砾岩体储层定量描述的精度。创新技术包括砂砾岩体精细成像技术、砂砾岩体期次划分方法、砂砾岩体精细描述技术等,实现了该类油藏勘探由“定性预测”到“定量描述”的飞跃。研究成果可广泛应用于断陷盆地陡坡带的勘探和开发,同时对提高其他类型岩性油藏的勘探开发效益也将起到有益的指导作用,具有广阔的应用和市场前景。

笔 者

2013年5月

目 录

第一章 绪 论	(1)
第一节 地质背景与勘探现状	(1)
第二节 前期研究进展及存在问题	(7)
第三节 研究成果及应用	(9)
第二章 岩石物理与正演模拟特征	(12)
第三章 高精度砂砾岩体成像技术	(51)
第一节 影响砂砾岩体成像因素分析	(51)
第二节 提高砂砾岩体成像精度关键处理技术	(56)
第三节 处理效果分析	(85)
第四章 砂砾岩体期次划分方法	(88)
第一节 砂砾岩体期次划分的必要性	(88)
第二节 砂砾岩体期次发育特征	(89)
第三节 砂砾岩体期次划分方法	(97)
第四节 期次划分应用效果分析	(116)
第五章 砂砾岩体储层预测技术	(118)
第一节 砂砾岩体相带预测技术	(118)
第二节 基于叠后属性的储层预测技术	(128)
第三节 基于叠前信息的储层预测技术	(145)
第四节 多信息融合的有效储层预测方法	(163)
第五节 应用效果分析	(172)
第六章 技术创新与应用效果	(178)
第一节 技术创新成果	(178)
第二节 勘探应用效果	(180)
第三节 开发效果分析	(187)
参考文献	(195)

第一章 绪论

渤海湾盆地济阳拗陷共发育了东营、惠民、沾化、车镇 4 个箕状凹陷,其陡坡带以各种成因的砂砾岩扇体沉积为主。其中,东营凹陷中 9 个油田砂砾岩体的油藏探明储量近 3.5 亿吨。陡坡带在复杂的构造背景下形成了各种类型的砂砾岩扇体沉积,它们分别具有不同的岩性、电性及地震识别特征,沿陡坡带有规律地组合、叠置、展布,构成陡坡带的主要储集体类型。湖盆的北侧是高凸起,为内侧下降盘提供了充足的物源。随着盆地断陷活动和块断运动的不断进行,山地河流携大量的陆源碎屑物质经断崖进入湖盆,快速卸载,扇体的沉积由洼陷至盆缘呈有规律的组合、叠置,其组合特征随陡坡带基岩倾没型式的差异及后期构造演化的强弱变化而不同。总体来看,在空间上形成了一套从冲积扇—扇三角洲—深水浊积扇的完整或不完整的砂砾岩体沉积序列。纵向上,不同时期形成的扇体由老到新逐渐向后退缩,依次叠置,各期扇体构造高点迁移的方向就是物源方向。平面上,各期扇体的各相带逐渐向凸起方向迁移,垂向上自下而上则表现为扇根—扇中—扇端,构成了向上变细变薄的垂向层序。陡坡带广泛发育的砂砾岩体油藏是胜利油田增储上产的重要勘探目标。

第一节 地质背景与勘探现状

一、东营凹陷地质特征

东营凹陷是济阳拗陷东南部的一个次级构造单元,其南部为鲁西隆起,北为陈家庄凸起,东为青坨子凸起,西为滨县凸起和青城凸起。古近纪,在基底断陷体控制作用下,构造上呈现断裂发育而褶皱少见的特点,断层多具同生盆倾正断层的性质。总体而言,北部断裂活动强烈,南部相对较弱,从而构成北陡南缓的箕状断陷盆地(图 1-1)。北部陡坡带主要发育太古宇泰山群、古生界、古近系沙河街组、新近系馆陶组和明化镇组。在基岩古断剥面上充填、沉积了以砂砾岩扇体堆积为主体的古近系沙河街组四段、三段(可简称沙四、沙三, E_{s4} 、 E_{s3})。

东营凹陷北部陡坡带砂砾岩体处于陡坡前端边缘,近物源、近油源,构造圈闭的形成受陡坡带基底演化和沉积物类型及堆积规模双重控制,沉积相为沿陡坡带发育的冲积扇、扇三角洲、近岸水下扇沉积。这些扇体为多期快速沉积,纵向上多期叠合、平面上交叉叠置展布,形成了复杂的沉积格局。

根据古近系—新近系地层和构造发育特征可将东营凹陷的构造演化分为 5 个阶段。

1. 初陷期($E_k - E_{s4}^f$)

该时期为凹陷的初始断陷期,地壳开始断陷,主断裂如陈南断层、高青—平南断层和石村断层等继承了中生代末期的特点,持续活动,对地层沉积分布和凹陷格局起到控制作用。高青、博兴、金家、陈官庄等新的断裂不断产生并开始活动,形成了凹陷现今构造的雏形。

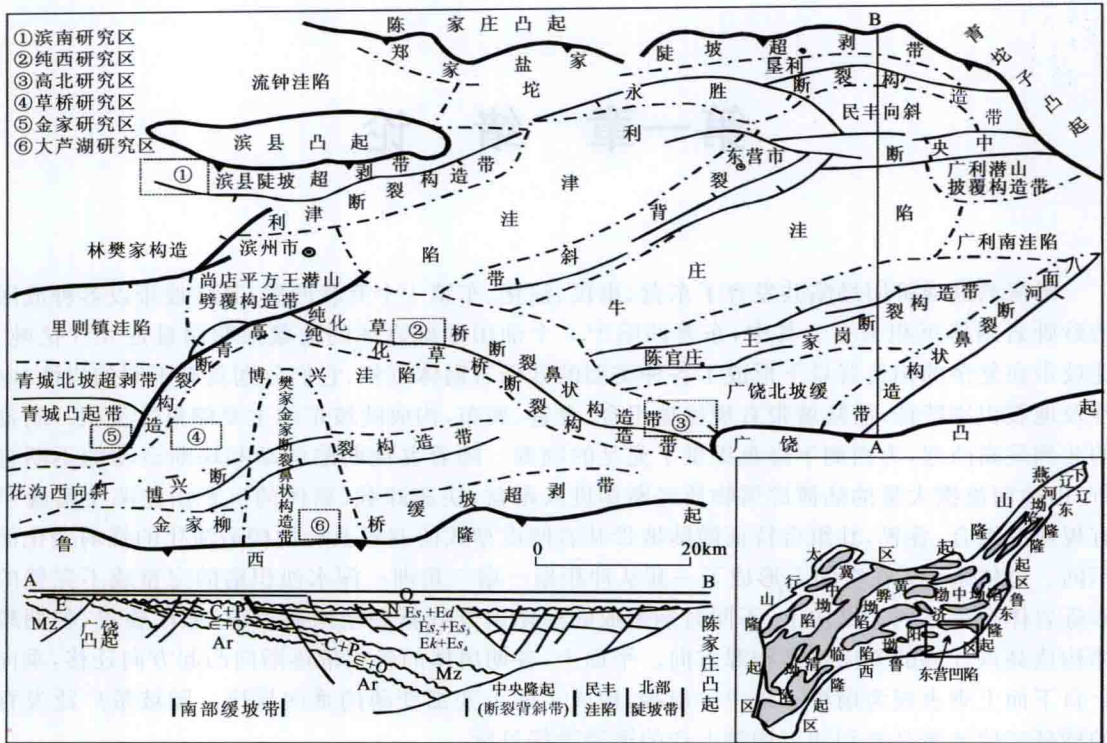


图 1-1 东营凹陷现今构造面貌图

2. 深陷期 ($E_{s_4}^{\pm} - E_{s_3}^{\pm}$)

该时期以强烈的基底沉陷为特征,伴随济阳运动 I 幕发生,块断运动加剧,盆地扩张速度快,沉降幅度大,湖盆水位逐渐加深,盆地主断层均处于发育的高峰期,新生断层大都发育在北部陡坡和凹陷的中央带及南斜坡。中央背斜带在沙四上沉积时期开始拱起,造成东营凹陷东半部分化,使民丰洼陷和牛庄洼陷逐渐分异出来;在沙三下一沙三中沉积时期,由于陈南大断层的活动及古近纪一新近纪早期塑性地层上拱的共同作用,中央背斜带进一步向上拱张、断裂,导致东营凹陷进一步分离形成牛庄、民丰、利津等次级洼陷。

3. 收敛期 ($E_{s_3}^{\pm} - E_{s_2}$)

裂陷活动进入晚期后,大量次级断裂对初始构造带进行了改造,中央背斜带及其上部地堑继续发展。由于早期的充填,到此期水体变浅,构造活动平缓,盆地开始收缩。

4. 再次拗陷期 (E_{s_1})

由于济阳运动 II 幕的发生,湖盆再次沉降和扩张,但与深陷期相比,沉降幅度与速度都小得多。由于该时期凹陷边界断裂活动减弱,盆地性质由断陷向断拗转化。

5. 萎缩期 (E_d)

断陷湖盆再次收缩变浅,中央背斜带进一步拱张定型。东营运动末期,凹陷的主要构造格局已经定型。

由上述可见,东营凹陷的发育演化是由大规模的断陷活动和大范围的整体抬升两大因素

有机地组合而成的。

二、东营凹陷陡坡带构造特征

东营凹陷北部陡坡带是东营凹陷的一个二级构造单元,西起滨县凸起,东到青坨子凸起,南起洼陷带,北到陈家庄凸起,呈近东西向展布,勘探面积约 2 000km²。从构造的观点看,其北部是陈南断层,东部为青西断层,西接利津断裂带,南部由一系列同生断层与洼陷相沟通。研究发现,边界断裂是最能反映北部陡坡带构造特征的地质要素,总体上具有以下特征(图 1-2)。

1. 陡峭

一般坡度在 15°~35°,且剖面形态大多呈上陡(倾角 50°~60°)、下缓(倾角 15°~35°)的铲形。

2. 深而窄

由于长期继承性的断陷活动,古近系—新近系底面落差均在 2 000m 以上,一般为 3 000~4 000m,最大可达 6 000 多米,造成坡脚很深,但水平距离较窄,一般仅几千米,最大也只有十几千米。

3. 长而曲折

东营凹陷北部陡坡带由控凹边界断层组成,绵延距离长,在 100km 以上,但平面形态曲折多变,总体上均呈北西、北东两组断层耦合而成的锯齿状。

东营凹陷北带陡坡带的次级构造单元,大致可包括 1 个潜山披覆构造带、2 个断裂带、3 个凸起和 4 个洼陷带。其中陈南断层自始至终控制着盆地的发生和发展,其主走向为北东东—北西西向,倾角东陡西缓,延伸距离 80km 左右;滨南—利津、坨—胜—永断裂带,是两个同生断层发育区,主要断层在沙四段末期开始活动,最大断距可达 1 200m,次级断层断距较小,一般不大于 300m,其中滨南—利津断裂带为北东向延伸,延伸距离 30km 左右;坨—胜—永断裂带近东西向展布,延伸距离 50km 左右,其主要断层胜北断层在胜利村背斜东北分叉形成两组断裂,其中断层主体向东南延伸形成一弧形断层,另一组继续向东延伸形成民丰—永安镇断裂。陈家庄凸起、滨县凸起、青坨子凸起,是东营凹陷最北端的正向构造单元,为北部陡坡带的物源区。利津、董集、民丰和青南洼陷带,沙四段晚期开始形成,沙三段晚期继承性发育形成负向构造单元,为主要的生油区。

纵观东营凹陷北带构造景观,可以看到后期断裂依附于先成断裂,且没有对先成断裂构造格局形成质的破坏,只是使其进一步复杂化。根据北部陡坡带的构造和地层发育特点,可将其划分为 3 个台阶,即凹陷最北端包括凸起南部边缘的高台阶,滨南—利津及坨—胜—永断裂带以南的低台阶以及高低台阶之间的二台阶,研究区处于二台阶之上。

三、砂砾岩体成藏特征

砂砾岩体油藏勘探始于 1965 年东营凹陷永 1 井的勘探,经过 20 世纪 70—80 年代的探索,“八五”、“九五”期间相继在多个地区发现砂砾岩体,随着沟扇对应、断坡控砂等理论的产生和三维资料的应用,勘探开发了一批富集高产砂砾岩体油藏。从钻探深度上看,不断下移,已钻至沙四下亚段。从油藏类型上看,经历了地层型—背斜型—岩性型的转变过程。烃类相态

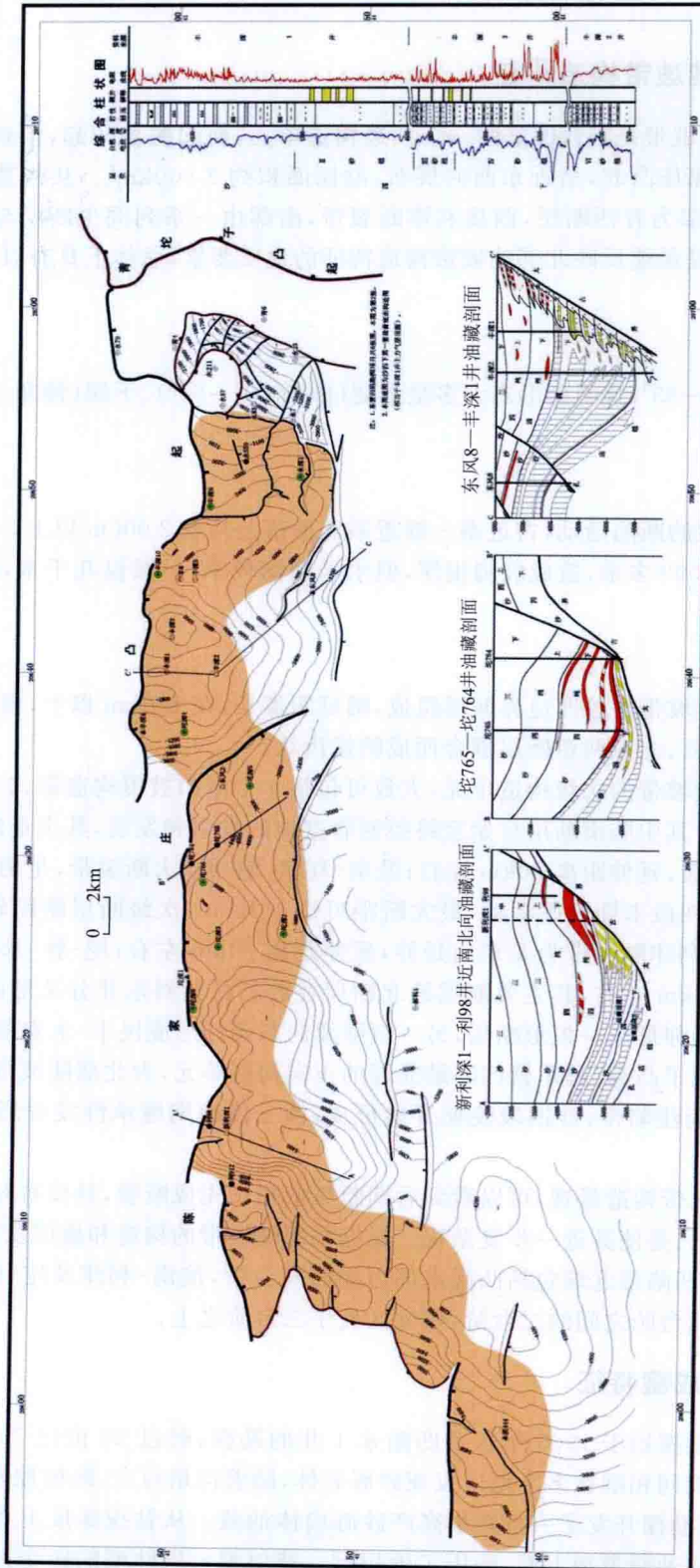


图1-2 东营北部陡坡带结构及沉积构造特征

由浅层的稠油到中层稀油到深层的裂解气。

东营凹陷砂砾岩体的勘探大致可分为3个阶段:第一阶段是20世纪60年代,胜利油田以寻找大中型构造油藏为主,东营北带砂砾岩体油藏只是偶然钻遇,尚未引起重视。1965年的永1井首次钻遇砂砾岩体油藏,以后在东营北带不同地区也偶见砂砾岩油层或油气显示。第二阶段是70—80年代,以二维地震资料为基础,以寻找复式油气藏为主,对北带砂砾岩体开始了有目的的勘探,发现了以砂砾岩体油藏为主的单家寺大型油田。但该阶段人们对砂砾岩体的认识、研究程度还远远不够,一些地区部署的探井不理想。第三阶段是90年代,随着东营凹陷勘探程度的提高以及三维地震资料的大量应用,北带砂砾岩体的勘探开始由兼探进入主探,相继发现并开发了许多具有陡坡带沉积特色的砂砾岩体油藏,逐渐走出了一条比较成功的砂砾岩扇体勘探道路。

砂砾岩扇体成藏的好坏,主要受控于以下几个方面的因素。

1. 油源条件

东营凹陷北部的民丰洼陷主要有沙四、沙三段两套烃源岩,厚度分别为300~1400m和200~800m,最大埋深大于4000m,是盆地内最好的生油洼陷之一。因此临近民丰洼陷的陡坡带具有丰富的油源条件。

2. 油气的运移

从油气的运移条件看,本区具有动力足、通道多的特点。油气运移的通道主要有3类,即断层、地层不整合及扇体内的孔隙、裂缝等,它们在空间上相互配合,构成了本区油气运移的立体通道。

3. 储集性能

砂砾岩体的强非均质性导致不同相带扇体物性有较大差异,从而造成含油的不均一性。一般来说,扇中亚相物性较好,最有利于储油,而扇根成分混杂、粒度较粗,扇端主要为泥岩夹粉细砂岩,岩性太致密,二者都不利于储油。

4. 扇体的形成时期

由于不同时期供给母岩的变化,扇体的岩石组合不同,储层物性差异较大。在湖盆的初陷期(孔店组—沙四下)主要剥蚀的是古生代地层,相应形成了富含灰质砾石的扇体,这类扇体岩性致密、物性差、含油性差。而沙四末及以后形成的扇体,由于凸起已开始有大规模的太古宇花岗片麻岩裸露,则主要形成了以花岗片麻岩为母岩的砂砾岩扇体,岩性以较细的含砾砂岩为主,储层物性好,油层产能高。

5. 生储盖组合关系

陡坡带砂砾岩体主要分布在沙三下、沙四,而沙三、沙四的巨厚生油泥岩既是生油岩又可以作为盖层,这样就形成了良好的生储盖组合模式。经过勘探实践,该区主要发育盐上和盐下两套独立的成藏系统(图1-3)。

根据控盆断层的形态及古地貌特点,可将东营北部陡坡带划分为3种类型,不同的类型发育不同的沉积体系和成藏模式。受西部台地式边界断裂控制,宽缓的高台阶大面积发育洪积扇、扇三角洲,二台阶发育水下扇体;中部阶梯式边界断裂倾角小、坡度平缓,二台阶以上发育水下扇和扇三角洲,低台阶发育深水浊积扇,扇体平面上延伸一般为5~8km;东部的铲式边

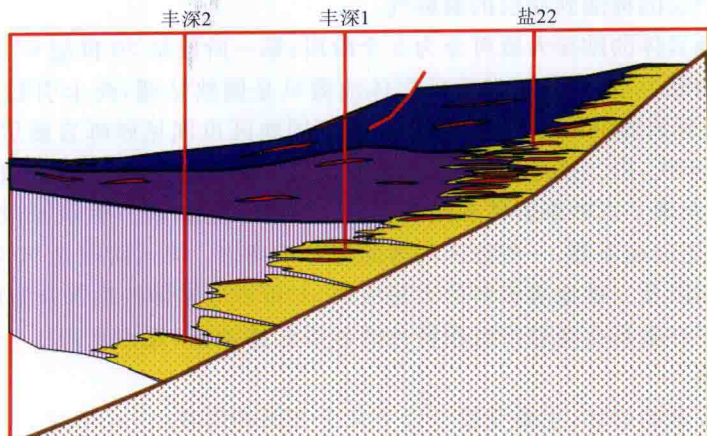


图 1-3 丰深 2—盐 22 成藏模式图

界断裂倾角大、坡度陡,主要发育水下扇,纵向相互叠置,横向上延伸距离一般为 3~5km。

在以往认识的基础上,通过开展对砂砾岩扇体沉积、储层、成藏的研究,取得以下几个方面的认识。

1. 陡坡结构控制扇体类型

(1) 陡坡结构样式控制不同扇体平面分布。

台地式、阶梯式边界断裂二台阶之上及铲式边界下降盘以发育近岸水下扇为主;台地式、阶梯式边界断裂二台阶之下以发育深水浊积扇为主。

东营北带沙四段近岸水下扇受控于剥蚀区古地貌及物源量大小,表现为“沟扇对应、叠合分布”的沉积特点。深水浊积扇受控于沉积古地形,平面上沿边界断裂前方呈土豆状相间分布,与近物源方向水下扇体具有一定对应关系。表现出“底形控砂、相间分布”的沉积特点。

(2) 陡坡结构演化控制扇体沉积演化。

陡坡带现今结构样式是长期构造演化的结果,在不同的演化阶段断坡类型不同,有必要考虑不同时期构造演化对断坡类型的控制作用,将“断坡控砂”模式由“静态”向“动态”进一步深化。

通过研究发现,沙四上沉积以前,东营北带具有统一的边界断裂模式——铲式;沙四上沉积之后,二台阶断层开始发育,逐渐分化为铲式、阶梯式、台地式 3 种结构样式。沙四上一沙三下,构造运动强烈,二台阶同生断层剧烈活动并开始控制沉积,在其前方发育规模较大的深水浊积扇体。

2. 沉积相带控制有效储层展布

通过对近岸水下扇和深水浊积扇的深入分析,认为在各种沉积类型中,油气富集都不同程度地受到相带的控制;近岸水下扇扇中控制油气富集;浊积扇的内扇、中扇均是有利的储集相带,往往形成高产。

3. 沉积成岩控制油藏类型

(1) 深水浊积扇。

一般为高压油藏,具有富集高产的特点,目前仅在胜坨、利津地区有所发现,在盐家—永北

揭示较少。深水浊积扇油藏受控于沉积岩性边界,油藏类型以岩性透镜体油藏为主,具有“沉积封闭、主体富集、高压高产”的特点。

(2) 近岸水下扇。

以常压油藏为主,产量中等,产能稳定,是目前东营北带发现的主要油气藏类型。近岸水下扇油藏主要有两种类型:构造及扇根封堵岩性油藏。后者一般具有“扇中富集、含油连片”的特点。勘探实践表明,在陡坡带深层,扇根封堵的岩性油藏是主要的油藏类型。而浅层扇体成藏往往要求有一定的构造形态。

实践表明,并不是任何深度扇根都能封堵。因此对扇根封堵的临界条件分析显得至关重要。通过分析认为扇根封堵具有以下特点:沙四上近岸水下扇扇根为块状砾岩,见棱角状大砾石,扇根亚相为干层,可以作为有效的封堵层;扇根分选差,随着深度的加大,扇根压实程度比扇中更加强烈,形成封堵;母源性质不同,造成东营北带扇根封堵临界深度的差异,东部的盐家地区在 3 200m 之下是有效封堵,3 200~2 200m 是过渡带,小于 2 200m 扇根不封堵,利津、胜坨地区碳酸盐岩屑含量较高,扇根成岩作用强烈,成岩分界线在 3 400m,临界深度较东段浅。

通过以上分析可以看出:近岸水下扇与深水浊积扇在沉积分布、储层特征、控藏因素等多个方面都存在明显的差异。近岸水下扇:沟扇对应、叠合分布、成岩控藏、扇中富集、连片含油。深水浊积扇:底形控砂、相间分布、沉积封闭、主体富集、高压高产。针对不同扇体类型,其评价、描述的特色勘探技术方法有所不同。

第二节 前期研究进展及存在问题

一、前期研究进展

砂砾岩体油藏作为隐蔽油气藏的重要类型之一,多发育在陆相断陷湖盆之陡坡带。国外对此类油藏的研究并不多,且多归结于低渗透储层一类。

在包括砂砾岩体在内的低渗透储层属性预测方面,国外根据钻井结果进行储层范围与厚度预测,但经常发生不吻合。就技术层面来看,声波阻抗和最大振幅属性等相结合的多种属性分析(Bo Zhao, 2008)被用来减少多次波干扰产生的影响,用基于神经网络的属性预测技术评估给定目的层受多次波干扰的不良影响。经实验室岩芯样本研究显示,气体的存在把速度比降低到小于 1.6 的异常值,从多分量地震数据估算的 v_p/v_s 证实了该结果(Eldar Guliyev, Thomas L Davis, 2007)。利用井试验数据对储层进行解释(Fernando A Neves et al., 2003),以显示储层的双孔隙度特性。利用 3D 宽方位全炮检距地震数据进行 P 波振幅随炮检距、方位角变化(AVOA)和方位速度分析,基于方位各向异性测量值利用 P 波估算裂缝方向和密度。根据低渗透储层的地质特征和影响因素,国外学者提出了一种以基质系统为基础、以裂缝系统为焦点、以应力场系统为制约因素的低渗透储层综合评价方法。

国外对于低渗透储层预测未来的发展趋势主要有 3 个方面。

(1) 运用多种属性相结合及属性定量分析方法来预测储层。

(2) 以多分量地震数据的纵横波速度分析来评价储层优劣。

(3) 利用方位速度和 AVO 地震数据对低渗透储层进行裂缝描述。

国内对发育在断陷湖盆陡坡带砂砾岩扇体的研究和油气勘探已有相当长的历史,高瑞祺等(2001)按成因将砂砾岩体分为冲积扇、水下扇、浊积扇、扇三角洲、三角洲5类,并对渤海湾盆地不同砂砾岩体的油气成藏条件进行了系统总结。吴崇筠(1992)系统总结了6种湖泊相砂砾岩体的类型和沉积特征。

经过多年的勘探开发,国内也探索发展了一些较为适用的砂砾岩体储层预测技术,主要集中在储层描述部分,可分为外部几何特征的描述和内部结构的识别等,并在实际工作中取得一定的效果。主要表现在基于钻井岩芯和测井资料为主的预测研究(鄢继华等,2005;孙怡等,2007;徐晓辉等,2003;于长华等,2003;张鑫等,2008),以及基于地震地层学和层序地层学原理为主的预测研究(曾洪流等,1988;宋宁,2004;赵俊青等,2005;武恒志,2001;宋荣彩等,2007;陈萍,2006;董艳蕾等,2007;陈清华等,2007),这些研究成果为我们建立了近岸水下扇的地层划分对比标志、宏观地震反射结构和特征的识别模式。在用地震参数信息和地震方法技术预测近岸水下扇内幕结构和扇体内有效储层方面,虽然前人对地震属性分析技术、地震波阻抗反演技术、层拉平技术、切片技术、分频解释技术等(夏连军等,2008;陈萍,2006;李廷辉等,2005;林松辉等,2005)取得了一定的成果认识,但由于砂砾岩扇体内部成层性差、地震反射强度弱,造成多数可有效预测其他类储层的地震方法技术在预测砂砾岩体储层中应用效果很不理想。因此,目前尚缺乏新的、有效的砂砾岩体储层描述方法。

二、存在问题

经过多年的勘探,埋藏较浅、具有良好的构造形态的近岸砂砾岩已经勘探殆尽,砂砾岩体的勘探与开发必须向深湖区、埋藏更深的砂砾岩体发展。近年来的勘探突破揭示东营凹陷陡坡带沙三下一沙四段砂砾岩体储层具有巨大的勘探潜力,但是由于砂砾岩储层存在着强烈的非均质性,勘探中存在着许多急需解决的问题,主要有以下几个方面。

1. 砂砾岩体精细成像精度有待进一步提高

砂砾岩体由于是多期叠置形成的,受地震资料品质的影响,其包络面反射特征相对比较明显,内部反射结构较难识别,陡坡带目前的地震成果资料由于受地震资料难以准确成像及纵横向分辨率的限制,隐蔽性砂砾岩体沉积期次难以有效划分,边界控制断层的成像质量不高。在随机噪声和干扰背景下,加之陡坡带砂砾岩体地震反射特征的复杂性,使得这些地震反射信号有时时隐时现,有时微弱的有效信号淹没在随机噪声和干扰中,造成反射波同相轴难于追踪,这使得深层有效反射波的频带窄、主频不高、信噪比低,导致了陡坡带砂砾岩体地震资料品质总体上比较差,难以搞清陡坡带复杂的砂砾岩体沉积模式,制约了陡坡带砂砾岩体油气资源的勘探与开发。因此,非常有必要开展精细地震资料处理技术研究,提高砂砾岩体成像质量及地质分辨能力。

2. 砂砾岩扇体内幕结构精细描述没有达到定量化程度

沉积规律决定了砂砾岩体是多期叠置的,其内幕结构非常复杂。目前,常规地震资料所描述的只是扇体的外包络面及一些特殊扇体的可分辨的内幕特征,对大多数的砂砾岩体而言,目前的描述技术还不能深入到扇体内幕,主要原因是地震资料的分辨率低,内幕有效能量少,反射特征不清楚。因此,要在提高信噪比和分辨率的基础上,进一步完善和发展扇体内幕结构精细描述技术,以期充分发挥地震勘探的优势,为砂砾岩体油藏的滚动开发奠定良好的基础。

3. 砂砾岩扇体有效储层预测难度大

砂砾岩体扇体规模较大,纵横向叠合连片,有着极为丰富的储集空间,而有效储层的综合判别是储层描述的一个重要内容。从近期钻井情况看,砂砾岩体纵横向变化十分复杂,储层非均质性极强,严重影响开发效果,储层物性好,单井产能高。而沉积相带决定了储层物性的优劣,相带展布往往可用区带地质特征和地球物理特征来描述,因此,如何针对砂砾岩体非均质展布的特点综合预测有效储层的发育情况,是目前该类型油藏迫切需要解决的技术问题。

鉴于以上原因,目前的储层的描述技术已不能满足砂砾岩体的识别及后续的油藏研究,迫切需要建立一套不同沉积期次非均质砂砾岩体储层预测的有效方法和技术系列。因此,开展砂砾岩体储层精细对比,加强砂砾岩体储层描述,寻找有利储层发育带就成为勘探开发中必须解决的技术问题。

第三节 研究成果及应用

一、近期研究成果

“十一五”以来,尤其是近3年,东营凹陷砂砾岩体勘探开发成果丰富,针对性地震勘探技术亦有了长足进步,业已形成并完善了相对配套技术系列。主要以现有地震资料、地质资料、开发资料为基础,开展砂砾岩体岩石物理测试和特征研究,明确地震信息描述储层的地球物理基础。通过正演模拟和统计分析建立砂砾岩体识别模式,分析与认识不同处理技术对砂砾岩体反射特征的影响,为砂砾岩体精细处理技术及储层预测研究奠定基础。分析影响砂砾岩体成像效果因素,研究以提高信噪比、有效反射能量恢复与补偿、叠前及叠后各种反褶积等为主要内容的提高砂砾岩体地质分辨率方法,形成以提高砂砾岩体成像精度技术,解剖砂砾岩体内幕结构。研究地震、测井等不同资料划分沉积旋回的方法,建立井震关系,明确期次划分原则,形成基于地震地质手段的砂砾岩体期次精细划分方法。分析储层岩石物理与地震正演特征,建立叠前及叠后地震属性、联合反演与储层物性之间的定量关系,形成有效储层地震描述方法。开展圈闭综合评价,落实分布范围和储量规模,提高砂砾岩体油藏勘探开发效益。

1. 取得的主要成果

(1)以分区带和类型为基础解剖已开发典型砂砾岩体岩性组合及地球物理特征,明确了在特定双参数(如 $Z_p - v_p/v_s$)空间中储层物性的分布特征,为后续储层预测奠定了良好的数理基础。

(2)明晰了砂砾岩体高速特征对时间域和深度域成像差异和频率、道距等敏感参数对分辨能力的影响,为处理方法、储层预测方法的选择提供比较可靠的依据。

(3)通过对提高信噪比技术、高保真振幅补偿技术、反褶积子波处理、精细速度分析及叠前成像方法等方面的针对性处理技术系列的开发和使用,最终形成了一套能够提高陡坡带砂砾岩体成像精度的处理流程,取得了较好的处理效果。

(4)在盐下能量补偿、提高砂砾岩体分辨能力、速度分析及深度模型建立优化方面取得了创新成果,解决了砂砾岩体成像的关键问题,形成了较为完善的叠前时间偏移和叠前深度偏移两套技术系列。

(5)形成了相位、数据双驱动层序精细划分方法,克服了模型控制的不足,实现了时间域—地质年代域—时间域,完成了复杂地区砂砾岩体层序精细对比和划分。

(6)建立了砂砾岩体期次划分技术流程,完成了砂砾岩体典型井多级沉积旋回划分,利用S变换时频分析和Wheller域层次划分等技术精细识别砂砾岩扇体内幕结构,分析了砂砾岩体的测井相与地震相特征,为砂砾岩体的精细描述提供了坚实基础。

(7)东营凹陷不同层段砂砾岩体有效储层的物性下限不同,可分为沙三、沙四上和沙四下3个层段,其有效储层的孔隙度下限分别是8%、5%和3%,其中,沙四下与前两个层系不同的是其以深层裂解气层为主。

(8)建立砂砾岩体测井与地震响应的数理关系,通过地震属性参数与储层孔隙度离散数据的趋势性分析,形成了多元回归砂砾岩体孔隙度平面预测方法,并就预测精度和适用性进行了分析。

(9)通过岩石物理分析及叠前正演,明确了砂砾岩体储层属I类AVO特征,建立了叠前反演的技术流程,形成了基于叠前信息的砂砾岩体有效储层描述的技术系列。

(10)明确了表征砂砾岩体有效储层的孔隙度参数与表征流体性质的 v_p/v_s 之间关系,首次基于深度域叠前反演技术进行了砂砾岩体有效储层的预测,与实钻资料吻合程度较高。

(11)形成了针对砂砾岩体有效储层的多信息融合评价技术,实现了基于叠前、叠后信息的多体融合,体现了地震、地质、测井、开发等多手段结合的优势,进一步提高了有效储层描述精度。

(12)利用开发的技术,完成了东营凹陷陡坡带砂砾岩体的精细评价,分析了不同地区的成藏特征,明确了有利相带的展布规律和潜力规模,提高了勘探开发效益。

2. 技术进步

(1)提高了砂砾岩体成像精度精细处理技术。

针对陡坡带砂砾岩体发育区速度变化特点,明确影响砂砾岩体成像效果的主要因素。综合采用不间断变速叠加扫描速度分析方法、均方根速度迭代分析方法和基于剩余延迟时的模型修正与剩余速度分析技术,建立适应陡坡带砂砾岩体速度变化特点的叠前深度域初始速度模型。通过基于剩余曲率的层析反演模型优化技术,进行速度模型优化,最终形成准确的速度—深度模型。开展砂砾岩体高精度成像技术研究,建立一套有针对性的提高陡坡带砂砾岩体成像精度的精细处理技术系列,进一步提高陡坡带砂砾岩体的成像精度及地质分辨能力。

(2)砂砾岩体精细期次划分方法。

建立陡坡带地层等时格架和井震关系,通过单井与地震资料的相互标定和约束,划分出砂砾岩体大尺度的沉积期次。根据地震响应变化规律,通过时频分析、约束反演等技术精细描述砂砾岩扇体内幕特征,精细划分砂砾岩体沉积期次。研究并形成砂砾岩体大、小尺度沉积期次的精细划分技术,明确影响砂砾岩体展布的主控因素和不同地区、不同层系的期次变化规律,实现了该类型油藏的定量描述。

(3)砂砾岩体有效储层描述技术。

建立砂砾岩体有效储层的识别标志,研究有效储层的地震属性预测技术,明确了深度域反演的数理基础和技术流程,反演结果对储层厚度、物性、含油气性的描述精度较高,预测误差在10%左右。探索叠前、叠后联合反演定量描述有效储层的方法,形成地震、地质、测井和动态资料联合识别和描述有效储层的技术系列,可提高储量动用程度。

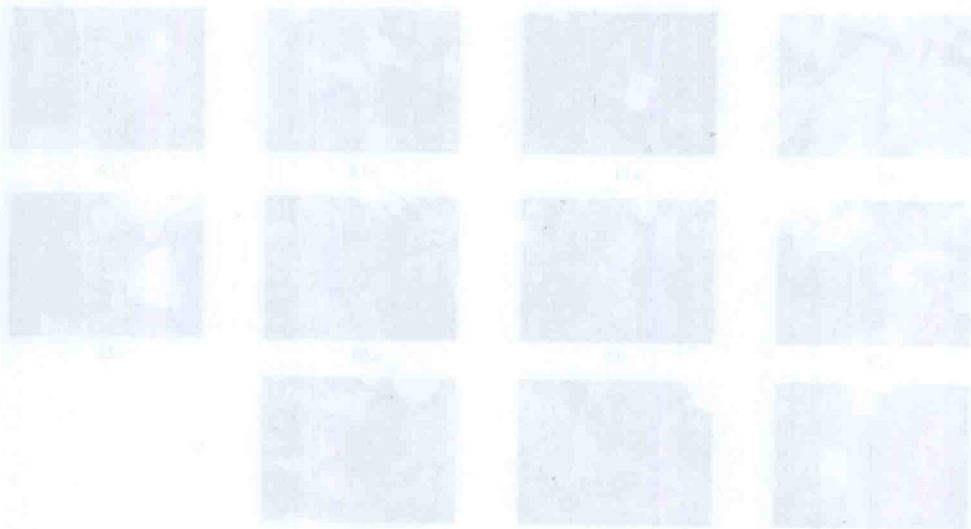
二、应用效果

通过多年的技术研究和勘探实践,形成砂砾岩体精细成像处理技术,有效识别内幕特征;形成砂砾岩体沉积期次精细划分方法,井震符合率达到 90%;形成基于叠前、叠后地震信息的有效储层描述技术系列,明确分布规模。

根据期次划分的结果,对东营北带砂砾岩体进行了分期次的地震属性分析和有利相带的预测,发现了多个有利的勘探区块,共描述沙三段砂砾岩体期次 3 个,沙四段砂砾岩体期次 11 个,覆盖面积近 300km²,预测石油地质储量 15 360×10⁴t。

应用技术研究成果,针对东营北部陡坡带共部署了 47 口探井,相继完钻 26 口,成功率为 73.1%。应用项目所开发的技术上报东营凹陷砂砾岩体油藏可观的储量并新建了产能,充分展示了东营凹陷陡坡带巨大的勘探开发潜力,取得了良好的经济效益和社会效益。

本技术成果对陡坡带砂砾岩体油藏的开发工作起到了良好的指导作用,在东营凹陷陡坡带发现了一批富集高产的中深层砂砾岩扇体油藏,掀起了胜利油田砂砾岩扇体油藏的又一次勘探高潮。



第二章 岩石物理与正演模拟特征

东营凹陷北部陡坡带是砂砾岩体发育主要地区,随着近年来针对古近系砂砾岩体所部署钻探的丰深 1、丰深 3、盐 22、永 920 等井的成功以及部分钻探井的失败(如丰深 2 井),证实了广阔的勘探前景和有效储层发育的复杂性。由于区域地质、构造条件的变化使得砂砾岩体结构及成因复杂,储层非均质性突出,加之埋藏深,造成了该区地震波的传播速度变化较大,使得在地震资料砂砾岩体内幕特征不清晰、储层和非储层难以识别、储层中的物性变化和含油性大小难以区分等,给目前的勘探开发造成了很大困难。通过岩芯测试和正演模拟,分析其岩石参数变化特征,建立储层模式与地震响应特征的对应关系,明确地震信息描述储层的地球物理基础及内在因素,为砂砾岩体针对性精细处理技术及储层预测研究奠定基础。

一、实验测量及其质量控制

1. 岩芯基本情况

通过对东营凹陷北部陡坡带砂砾岩分布区带进行分析,选取了位于不同地区、不同相带的探井进行岩芯采集,共选取了 9 口井(丰深 1、丰深 2、新利深 1、盐 222、利 95、利 96、坨 764、盐斜 228、永 936),采集了 84 块岩芯样品,根据薄片鉴定结果确定了岩芯的岩性类型,样品的岩芯包括:泥岩、含砾砂岩(图 2-1)、粗砂岩、中砂岩、细砂岩、盐岩、片麻岩等。

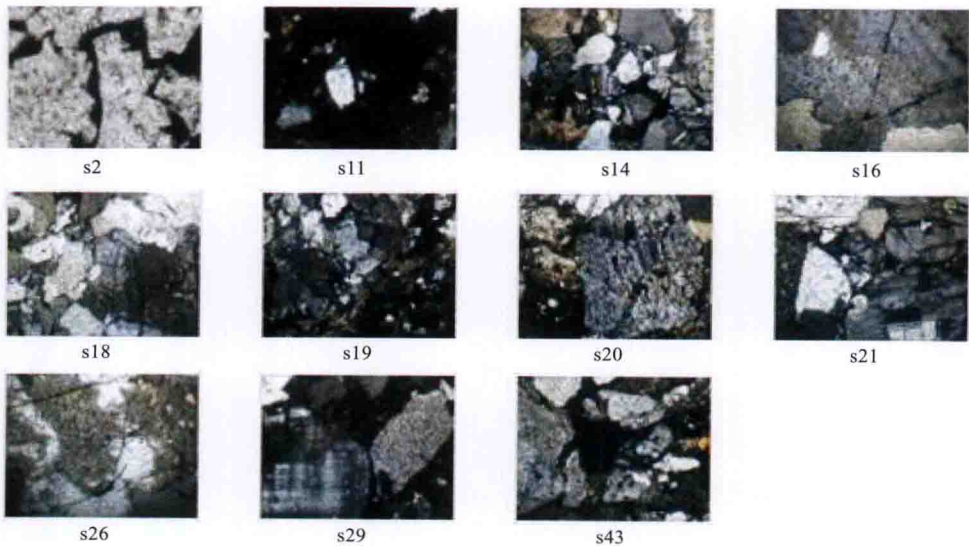


图 2-1 含砾砂岩微观照片

2. 岩石样品物性测量

1) 岩石样品密度、孔隙度测量方式

采用游标卡尺测定圆柱形样品的直径和高度,游标卡尺的精度为 0.01mm。采用电子天平测定干岩样的重量,电子天平的精度为 0.001g。采用测定的几何尺寸计算岩样的体积,然后用岩样的体积除以重量计算岩样的密度。

采用气体孔隙度仪器测定样品的孔隙度。

2) 参数测量方式

采用图 2-2 的测定系统,在模拟地下各种温度、(静岩)压力、孔隙流体压力、不同流体饱和度条件下,对井下岩石样品进行了波速和密度测定,确定了相应条件下岩石样品的杨氏模量、体积模量、剪切模量、泊松比、P 波模量、拉梅常数、纵横波速度比、纵横波波阻抗等基本弹性参数。

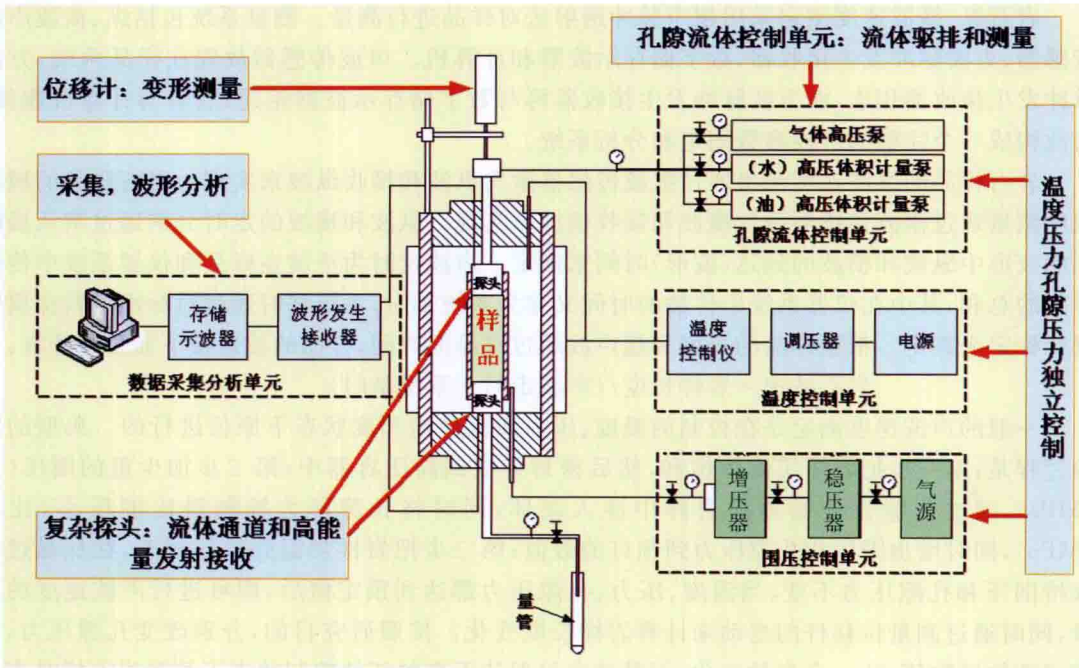


图 2-2 岩石原位物性测定系统

该测量系统具有温度、压力和孔隙流体压力、流体饱和度独立控制功能,最高温度可达 120℃,最大压力可达 80MPa,最大孔隙压力可达 40MPa。

岩石物性测量是在高温高压的岩石物性测定系统上完成的。该系统的压力控制包括围压控制和孔隙压力控制,围压用来模拟上覆地层重量引起的压力,孔隙压力模拟地层流体的压力。压力测定用 0.4 级的精密压力表标定,分辨率为 0.1MPa。孔隙压力通过流体从岩样的一端加入,从岩样的另一端同时观察,以确保孔隙压力在岩石样品内部达到平衡。

温度加热是采用高压容器外加热方式,尽可能使高压容器内温度场比较均匀。加热过程中采用热电偶进行监测,热电偶直接插入高压容器里测量围压流体的温度,并输出信号给温度