



当代
杰出青年
科学文库

超压盆地生烃 作用动力学与 油气成藏机理

郝芳等著



科学出版社
www.sciencep.com

当代杰出青年科学文库

超压盆地生烃作用动力学 与油气成藏机理

郝 芳 等 著

国家杰出青年科学基金项目(No. 40125008)

国家重点基础研究发展计划项目(G1999043309) 资助

教育部科学技术研究重大项目(No. 10419)

科 学 出 版 社

北 京

内 容 简 介

全书分为4部分。第一部分系统总结了沉积盆地超压系统的地质、地球化学特征和发育、演化机理;第二部分通过实例分析、模拟实验和数值模拟的相互印证,系统论述了超压环境生烃作用动力学特别是超压对有机质热演化和生烃作用的差异抑制作用和动力学机理;第三部分系统论证了超压流体流动的层次、动力学机制和流动样式,阐述了超压流体流动的油气成藏效应和幕式流体流动的热力学和地球化学识别标志;第四部分讨论了超压盆地的压力结构、不同压力环境油气富集的主控因素,重点论述了超压盆地浅部低能环境油气幕式成藏和深层高能环境油气成藏的能量配置。

本书可供有关高等院校盆地、沉积学、有机地球化学和油气地质学领域的教师、博士和硕士研究生,科研机构相关领域的研究人员,石油企业的广大石油地质工作者阅读参考。

图书在版编目(CIP)数据

超压盆地生烃作用动力学与油气成藏机理/郝芳等著. 北京:科学出版社, 2005

(当代杰出青年科学文库)

ISBN 7-03-014875-4

I. 超… II. 郝… III. 含油气盆地-石油生成-研究②含油气盆地-油气藏-形成-研究 IV. P618.130.1

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2004)第 002864 号

责任编辑:谢洪源 刘卓澄/责任校对:钟 洋

责任印制:钱玉芬/封面设计:陈 敬

科学出版社 出版

北京东黄城根北街16号

邮政编码:100717

<http://www.sciencep.com>

源海印刷有限责任公司印刷

科学出版社发行 各地新华书店经销

*

2005年2月第 一 版 开本:B5(720×1000)

2005年2月第一次印刷 印张:26 3/4 插页:8

印数:1—1 300 字数:534 000

定价:78.00 元

(如有印装质量问题,我社负责调换〈新欣〉)

前 言

超压(地层压力明显高于同深度的静水压力)和负压(地层压力明显低于同深度的静水压力)均是地下流体的非平衡状态。人类早在 1878 年就已注意到超压的存在(Gulishambarov, 1878), 1953 年, Dickinson 对美国湾岸(Gulf Coast)地区超压的研究开创了异常压力研究的新时代。20 世纪 80 年代中期以前, 对超压的研究主要出于钻井安全和完井工作的需要。随着油气勘探开发研究的深入特别是人类对超压及其发育机制、超压与油气生成、运移和聚集关系研究的不断深入, 超压在油气勘探、开发和资源评价中的意义日益受到重视。由于超压的重要意义, 各国学者进行了大量研究, 相继出版了多本专著, 其中仅 AAPG (美国石油地质学家协会) 在 1994~2002 年间就出版了 4 部以超压为主题或与超压有关的专著(Ortoleva and Al-Shaieb, 1994; Surdam, 1997; Law et al., 1998; Huffman and Bowers, 2002), 我国学者亦开展了大量研究并出版多部专著(如马启富, 陈斯忠, 张启明, 2000; 王振峰, 罗晓荣等, 2003), 在超压的分布与成因机理、超压的预测等方面取得了一系列重要研究成果。

尽管各国学者进行了大量研究并在很多方面取得了长足的进展, 但有关沉积盆地中超压的发育和演化、超压的动力学作用特别是超压环境的生烃作用动力学、超压盆地的流体流动和油气成藏机理等方面仍存在一系列有待深入研究的科学问题。

(1) 沉积盆地超压的发育和演化。应力作用(压实不均衡或构造挤压)、流体体积膨胀(生烃作用、黏土矿物脱水和水热增压)、流体流动是国内外学者提出的可能产生超压的主要机制。但一些机制在沉积盆地超压发育、演化过程中的贡献和意义存在激烈争议。例如, Hunt 等(1994, 1996)认为生烃作用是沉积盆地超压发育的最重要因素之一, 而 Swarbrick 和 Osborne (1998)认为生烃对超压的实际贡献值得怀疑。Swarbrick 和 Osborne (1998)认为水热增压、黏土矿物脱水对超压的实际贡献有限, 但部分学者认为水热增压和黏土矿物脱水是一些盆地超压发育的主要因素。与此同时, 成岩作用在超压发育中的作用日益受到重视。例如, Nordgård¹⁾ Bolås 等(2004)对北海盆地中侏罗统一上白垩统超压页岩的系统研究发现, 超压页岩的孔隙度并不高于埋藏深度相近、处于正常压力的同组页岩, 因此超压页岩并不存在欠压实, 而生烃作用(包括原油裂解生气)、水平应力(构造挤压)、水热增压等均不可能是超压的主要原因。据此 Nordgård Bolås 等(2004)认为, 成岩反应是超压发育的主要原因。不仅不同生压机制的有效性和实际贡献存在争

议,封闭层的有效性及其在超压保存中的作用亦存在争议,并存在动态超压学派和静态超压学派。超压的发育和保存机理是认识超压的地质、地球化学作用,研究超压环境生烃作用动力学和油气成藏机理的基础。

(2) 超压的化学动力学作用及超压环境生烃作用动力学。传统的油气生成模式没有考虑压力的作用。关于压力在有机质热演化和生烃过程中的作用,不同学者曾提出三种相互矛盾的观点:①压力对有机质热演化和生烃作用无明显影响(Monthiux et al., 1986; Hunt, 1979; Tissot and Welte, 1984);②压力的增大促进有机质热演化特别是烃类的热裂解(Braun and Burnham, 1990);③压力的增大抑制有机质热演化和生烃作用(Cecil et al., 1977; McTavish, 1978, 1998; Domine and Enguehard, 1992; Connan et al., 1992; Price and Wenger, 1992; Price, 1993; Dalla Torre et al., 1997; Hao Fang et al., 1995, 1998; Quick and Tabet, 2003)。全球发育 180 多个超压盆地,超压在有机质热演化中的作用不仅直接影响超压盆地的油气资源评价,而且与深层油气成藏及保存密切相关(郝芳等, 2002),因此得到了广泛关注。各国学者进行了大量模拟实验和实例观测,但模拟实验和实例观测似乎都提供了相互矛盾的证据。一些模拟实验揭示压力可以抑制有机质热演化(Price and Wenger, 1992; Dalla Torre et al., 1997),而另一些模拟实验表明压力对镜质体反射率等热演化参数无明显的影响(Huang, 1996)。在实例观测中,一方面在很多盆地[如北海盆地(McTavish, 1978, 1998; Carr, 1999, 2000a, b)、美国 Unita 盆地(Fouch et al., 1994)、加拿大 Sable 盆地(Carr, 1999),我国莺歌海盆地(Hao Fang et al., 1995, 1998)及准噶尔盆地(周中毅, 1997;潘长春等, 1997;查明等, 2002)]中证明了超压对有机质热演化的抑制作用;另一方面在很多盆地[如我国琼东南盆地(Hao Fang et al., 1995)、美国绿河盆地(Law, 2002)和澳大利亚西北陆架区(He Sheng and Middleton et al., 2002)]中证明超压对镜质体反射率等有机质热演化参数未产生可识别的影响。很显然,目前还缺乏能够系统解释模拟实验和观测结果的超压环境有机质热演化理论。

(3) 超压流体流动机制、流动样式及其油气成藏效应。近 10 年来,流体的流动机制得到各国学者的广泛研究(Garven, 1995; Person et al., 1996; Bachu, 1999),不同构造活动背景、不同压力环境下盆地流体的流动样式成为重要的研究焦点(O'Brien et al., 1999; Stover et al., 2001; Cobbold et al., 2001)。就超压流体流动而言,存在如下 3 个亟待深入研究的科学问题:①超压流体流动样式。周期性地发生水力破裂(hydraulic fracture)和流体穿层运移(cross-formation migration)是超压流体流动的最重要特征之一,因此超压地层开始发生水力破裂的时间或深度及超压流体的空间排放点(leak-off points)是认识超压流体流动的关键。目前至少存在两种超压流体流动模式:早期分散型超压流体流动模式(Cartwright, 1994a, b),即超压地层从早期浅埋藏(深度 $<1000\sim1500\text{m}$)开始在盆地范围内普

遍发生水力破裂和流体排放;晚期汇聚型超压流体流动模式,即时间上,超压地层长时间保持封闭-半封闭系统,流体未被排出(流体在超压地层内累积)(Price, 1994; Hao Fang et al., 1998),在空间上,超压流体通过某些流体排放点集中排放而不是在盆地范围内普遍排放(Caillet et al., 1997; Hao Fang et al., 1998; 郝芳等, 2001)。不同的超压流体流动样式具有不同的流体活动强度、不同的水岩相互作用强度、成藏效应和明显不同的油气分布规律。②超压环境断裂的流体行为。近年来,断裂带的流体输导行为得到了各国学者的广泛关注并在断裂的输导/封闭性能及其控制因素方面取得了重要进展(Knipe et al., 1998; Moretti, 1998; Aydin, 2000)。流体通过断裂带的流动可能是幕式的(如 Roberts, 1996),但流体沿断层幕式流动的诱发机制尚不清楚(刘亮明, 2001),构造加压(如 Byerlee, 1993; Gudmundsson, 1999)和深源超压(如 Sibson, 1992)对断裂带超压流体排放的作用和机制尚存在争议(Gudmundsson, 2001)。③超压流体流动的油气成藏效应。盆地流体流动具有重要的物质和能量效应,从而可对各种地质过程产生重要的影响。20 世纪 90 年代以来,各国学者通过大量地质观测和模拟实验研究,证明盆地流体流动对有机质热演化和生烃作用(Person and Garven, 1992; Hulen et al., 1994; Duddy et al., 1994; Person et al., 1995, 1996; Toupin et al., 1997)、储层成岩作用(Wojcik et al., 1997; Bjørlykke et al., 1998)、油气二次运移路径(England et al., 1987; Hindle, 1997, 1999; Dahlberg, 1995)及油/水和气/水界面具有重要影响(Berg et al., 1994);但对流体流动对源岩排烃和初次运移的影响、流体流动对盖层有效性的影响未开展研究;另一方面,各国学者研究的流体驱动机制类型主要限于地形差异驱动的地下水流动(重力流),一些学者认为在不发育地形差异驱动的流体系统、地下水不能得到持续补给的沉积盆地中,流体活动不会对盆地的温度场(Bjørlykke et al., 1994)、油气源岩的成熟作用(Toupin et al., 1997; Lee and Bethke, 1994)及储层成岩作用(Bjørlykke et al., 1998)产生明显的影响,超压流体流动的油气成藏效应尚未进行系统研究。

(4) 超压盆地油气成藏机理与油气分布。超压盆地的油气成藏与分布得到了各国学者的广泛关注和大量研究。这些研究表明,超压盆地油气倾向于在浅部常压系统富集,特别是超压顶界面附近。有关超压盆地的油气成藏机理与分布,仍存在一系列有待深入研究的问题:①超压盆地中油气在浅部常压环境聚集的过程和动力学驱动机制。很多学者认为,在超压盆地中,浅部常压系统的油气聚集是油气非连续性(瞬态)充注的结果,但不同构造、超压背景下瞬态流体/油气充注的驱动类型及不同驱动类型的油气非连续性成藏的差异和识别标志尚未进行系统研究。②超压环境流体/油气汇聚途径及优势运移通道。大型油气田的形成需要汇聚大范围源岩生成的烃类。近年来国内外学者的研究已初步揭示了油气优势运移通道及其在油气成藏中的作用(Hindle, 1997; 张厚福、金之钧, 2000; Bekele et al.,

2002),但沉积盆地中油气优势运移通道的控制机制尚有待研究。在侧向稳定的非均质输导层中,油气运移路径的主控机制尚存在最小阻力控制(Rhea et al.,1994)和最大动力控制(Hindle,1997)两种观点的争议。油气优势运移通道的形成和油气聚集是盆地演化过程中生烃凹陷、输导格架和能量场及其演化共同控制的结果。在稳定的构造背景和静水压力条件下,由封闭层底面三维几何形态控制的油气侧向汇聚已得到研究和证实(Hindle,1997;Hantschel et al.,2000;Terken and Frewin,2000;Terken et al.,2001;Bekele et al.,2002)。但在超压可引起地层的天然水力破裂和流体穿层运移(Hold,1998;郝芳等,2001)的情况下,流体/油气垂向大规模汇聚的机制尚未开展系统研究。③流体/油气快速运移、充注的相态、流体-岩石相互作用及其岩石学、地球化学响应和识别标志。近年来的研究表明,超压流体流动和伴生的油气快速成藏具有间歇性,即幕式流体活动(Whelan et al.,1994a,b;Losh et al.,1999;Hao Fang et al.,2000)。迄今,流体快速充注过程中油、气和水的相态关系及其历史记录和识别标志研究还十分薄弱。流体是热能的重要载体,流体活动常引起一定程度的地温异常,因此一些热灵敏参数(如镜质体反射率、黏土矿物成岩转化等)常被用做古流体活动的证据(例如,Duddy et al.,1994)。同时流体的流动将引起水-岩相互作用,从而引起矿物的溶解和/或沉淀。地形差异驱动连续流体流动及其温度响应(Person et al.,1995,1996;Toupin et al.,1997)和成岩效应(Wojcik et al.,1997;Fishman,1997;Chen Zhensheng et al.,2001)已得到较深入的研究,但非连续性(瞬态)流体活动的热效应及其与连续流动流体的区别、温度和压力快速变化的间歇性流体活动中油、气、水的相态分异及其成藏流体响应尚有待深入研究;不同期次流体之间、流体与岩石之间的相互作用及其岩石学、地球化学响应和识别标志尚未开展系统研究。

针对上述科学问题,在国家杰出青年科学基金项目(No.40125008)、国家重点基础研究发展计划项目(G1999043309)及教育部科学技术研究重大项目(No.10419)的资助下,我们先后对莺歌海盆地、琼东南盆地、渤海湾盆地和准噶尔盆地进行了系统研究,并开展了有机质热演化和生烃作用的高温高压模拟实验及油气连续和非连续(幕式)充注的模拟实验,取得了如下进展和认识:

(1)在超压的系统性及超压系统的发育、演化机理方面,证明了沉积盆地超压的多样性、超压演化的系统性,划分了静态和动态两类超压,证明了动态超压与盆地沉降、大地热流和生烃作用的动态耦合关系。沉积盆地中的超压地层不仅是一个地层压力明显高于静水压力的地层单元,而且是一个矿物基质、有机-无机流体构成和流体相态均与静水压力地层明显不同的多过程伴生、多过程相互影响的物理-化学系统。不同沉积盆地的超压系统具有明显的多样性,特定盆地超压系统的演化具有强烈的“系统性”,并伴随着多层次的相互作用,包括超压系统与常压系统的相互作用(主要表现为超压系统与常压系统的物质交换和能量传递)、超压系统

内的流体-岩石相互作用及超压系统内的有机-无机相互作用。从超压生成和保存的相互关系的角度,沉积盆地存在两类超压系统,即静态超压系统(封隔型超压系统)和动态超压系统。静态超压系统发育理想的封闭层且超压带内单元化程度(分割性)明显,因此超压可以在“生压”过程终止后长期得到保存;动态超压系统则缺乏理想的封闭层,超压的发育是“生压速率或生压强度” $>$ “泄压速率或泄压强度”的结果,“生压”过程终止后超压会逐渐消失。

(2) 在超压环境有机质热演化和生烃作用动力学方面,证明了不同热演化反应对超压的差异响应,提出了超压对有机质热演化和油气生成的差异抑制作用及层次,阐述了差异抑制作用的动力学机理。在沉积盆地中,对有机质热演化起作用的是超压而不是压力,在静水压力系统,压力的增大不会对有机质热演化产生抑制作用。不同盆地超压系统的多样性及有机质热演化反应的多样性和复杂性决定了超压对有机质热演化和生烃作用影响的复杂性。有机质热演化由一系列平行而连续的反应构成。不同热演化反应具有不同的活化能分布、产物浓度变化速率和体积膨胀效应,其对超压的响应程度可以明显不同,决定了超压对不同热演化反应和不同成熟度指标的差异抑制作用和层次。通过对莺歌海盆地、琼东南盆地和渤海湾盆地东濮凹陷不同压力系统有机质热演化的综合对比分析,识别出超压抑制有机质热演化的4个层次:①超压抑制了有机质热演化的各个方面,包括不同干酪根组分的热降解(生烃作用)和烃类的热演化;②超压仅抑制了烃类的热演化和富氢干酪根组分的热降解,而对贫氢干酪根组分的热演化不产生重要影响,因此镜质体反射率未受到抑制;③超压抑制了烃类的热裂解,而对干酪根的热降解未产生明显影响;④超压对有机质热演化的各个方面均未产生可识别的影响。超压抑制有机质热演化的各个方面是源岩早期超压(超压在有机质成熟度较低时开始发育)和长期保持封闭流体系统的结果。超压发育过晚、超压强度低、超压流体频繁释放等都可能对超压对有机质热演化的各个方面均不产生可识别的影响。在很多情况下,超压对有机质热演化的抑制作用属于第二和第三层次,需要用多种参数识别超压抑制作用。

(3) 在超压流体流动机制、流动样式及成藏效应方面,论证了超压流体流动的层次、动力学机理和流动样式,从源岩生烃作用、油气初次运移、储层成岩作用和盖层有效性等方面论证了汇聚型超压流体流动的油气成藏效应,提出了幕式流体流动的识别标志。超压流体的排放包含二个层次:从超压泥岩向邻近输导层的初次排放和从超压系统向上覆常压系统或相对低超压系统的二次排放。超压流体的初次排放即可以通过先存孔隙/裂隙以连续缓慢的流动方式进行,亦可以通过地层的天然水力破裂进行;超压流体的初次排放可在大范围内甚至盆地范围内发生,因此属于离散型流体流动。超压流体的二次排放是沉积盆地演化过程中,封闭层周期性破裂引起的超压流体向上排放过程。超压流体通过优势通道汇聚性排放,优势

通道受应力状态、封闭层性质特别是抗张强度和超压强度及其分布的控制,其本质上是断裂发育、分布特征和超压强度及分布共同控制的汇聚型流体流动过程,即断-压双控汇聚型流体流动过程。汇聚型超压流体流动具有重要的物质和能量效应,可以明显地影响盆地温度场、强化有机质热演化和生烃作用、强化黏土矿物转化和储层成岩作用,并导致储层孔隙度降低。间歇性(幕式)穿层流动是超压流体流动的最重要特征。从流体运动学的角度,幕式流体活动的最重要特征是流体流动的不连续性、流体活动过程中温度、压力的快速变化及流体活动的多期性和周期性,超压流体幕式流动可以通过流体组成的非均质性、流体流动的瞬态温度响应、多期流体的相互作用和相态分异加以识别。

(4) 在超压盆地油气成藏机理与分布方面,提出了幕式和事件型两类非连续性流体流动机制和六种油气成藏模式,阐述了超压盆地浅部低能环境油气幕式快速成藏的动力学类型、有利场所、识别标志及其与突发性成藏的差异;阐述了超压盆地深部高能环境油气成藏的能量配置。综合考虑盆地演化阶段[建造期(盆地保持沉降、充填状态,源岩处于生、排烃阶段,超压的产生过程仍在进行,因此超压释放后可以得到动态补给)或改造期(盆地沉降、充填停止,处于抬升、剥蚀和构造变形状态,源岩生、排烃作用已终止,超压的产生过程已经终止,超压释放后不能得到补给)]、瞬态(非连续性)流体流动的方式(幕式或事件型)和驱动机制(超压主导、超压-构造活动联合控制或构造事件引起),将瞬态流体流动和相应的油气瞬态成藏分为两类六种类型,即幕式流体流动和幕式油气成藏(包括超压主导型、构造活动-超压联控型、超压-构造活动联控型)和事件型流体流动和突发性油气成藏(包括建造期构造事件型、改造期构造事件型和改造期超压-构造活动联控型)。幕式充注形成的油气藏属于阶段性聚集的原生油气藏,而突发性事件形成的油气藏属于次生油气藏。不同驱动机制的幕式和突发性成藏,流体的充注效应、运移相态分异及构造活动与油气分布的关系均明显不同。

本专著前言由郝芳编写,第1章由郝芳、邹华耀编写,第2章由邹华耀和姜建群编写,第3章、第4章、第6章由郝芳编写,第5章由郝芳编写,模拟实验由 M. Lewan 和郝芳完成,第7章由郝芳、邹华耀编写,第8章由郝芳、金之钧编写,第9章由朱芳冰编写,第10章由郝芳、金之钧、曾溅辉编写,第11章第1节和第4节由郝芳、胡建武编写,第11章第2节由邹华耀编写,第11章第3节由曾溅辉编写,全书由郝芳统稿。方勇、史建南、曾治平、胡海燕、陈斌、鲍晓欢、李平平、王敏芳等参加了资料收集整理及图件清绘和文字校对工作。

本专著是作者多年研究成果的总结。在多年的研究中,汪集旸院士、戴金星院士、马宗晋院士、龚再升教授、李思田教授、张一伟教授、蔡希源教授、李丕龙教授、侯洪斌教授、董伟良教授、朱伟林教授、杨甲明教授和张启明教授对研究工作给予了大力支持和热情指导;中国石化石油勘探开发研究院西部分院何治亮院长、武恒

志书记、中石化西部勘探指挥部宋国奇副总地质师、秦都处长、张育民副处长、牟泽辉副处长,中国海洋石油总公司研究中心武文来副主任、李绪暄总师、蔡东升总师及王伟元、王振峰、易平、张敏强、吴景富、宗国强、胡忠良、于水、蔡世祥、黄保家、张功成、杨计海等同志,辽河油田分公司任芳祥副总经理、祝永军院长、张占文副院长、吴铁生教授及李晓光、陈振岩、郭克园、李金友等同志给予了大力帮助和支持,在此一并致以深切的谢意!

由于作者水平有限,书中错误在所难免,敬请专家和读者批评指正。

郝 芳

2004年6月16日

目 录

前言

第一部分 沉积盆地超压的发育和演化

第1章 超压与超压盆地	3
1.1 沉积盆地的压力状态	3
1.1.1 地层的压力状态及研究意义	3
1.1.2 地层压力状态分类	4
1.1.3 沉积盆地的地下压力状态及类型	6
1.2 超压系统的地质地球化学特征	8
1.2.1 孔隙流体相态和组成	9
1.2.2 黏土矿物组成与成岩作用	14
1.2.3 水-岩相互作用	15
1.3 超压盆地的分布	17
第2章 超压的发育和演化	19
2.1 沉积盆地超压的发育机理	19
2.1.1 沉积盆地的主要生压机理	19
2.1.2 超压的成因类型及特征	27
2.2 封闭层的发育与超压的保存	29
2.2.1 封闭层类型	29
2.2.2 封闭层的流体动力学封闭机理	35
2.2.3 封闭层的有效性与超压的保存	36
2.3 超压发育演化的多因素耦合——以大民屯凹陷为例	36
2.3.1 大民屯凹陷热史与温度场演化	37
2.3.2 大民屯凹陷压力场演化	40
2.3.3 超压发育机理及超压发育、演化的多因素耦合	42

第二部分 超压环境生烃作用动力学

第3章 常压环境有机质的热演化——时温双控模式	47
3.1 常压环境有机质热演化及其控制因素	47
3.1.1 有机质类型、结构和性质的影响	48

3.1.2 温度的作用	52
3.1.3 时间的作用	53
3.1.4 矿物基质的作用	54
3.2 镜质体的成熟作用和镜质体反射率模型	55
3.2.1 镜质体的成熟作用	55
3.2.2 镜质体反射率模型	56
3.3 镜质体自身结构和性质变化引起的反射率异常	58
3.3.1 不同沉积-成岩环境镜质体组成和结构的差异	60
3.3.2 氧化-还原条件对有机质活化能和热稳定性的影响	62
3.3.3 镜质体自身结构差异引起的反射率异常的原因和机制	68
3.3.4 异常镜质体反射率值的识别和校正	68
第4章 超压环境有机质的热演化和生烃作用——实例分析	73
4.1 实例分析的基本思路 and 原则	73
4.1.1 地质实例的选取原则	73
4.1.2 实例分析的技术路线	74
4.2 莺歌海盆地乐东 30-1-1A 井:超压抑制作用及其识别标志	76
4.2.1 地质背景	76
4.2.2 潜在源岩发育特征	77
4.2.3 有机质热演化的超压抑制作用	80
4.3 有机质热演化超压抑制作用的其他实例	88
4.3.1 准噶尔盆地	89
4.3.2 渤海湾盆地东濮凹陷	90
4.3.3 其他实例	92
4.4 超压系统有机质热演化未受到抑制的实例	93
4.4.1 琼东南盆地崖 19-1-1 井	94
4.4.2 琼东南盆地崖 21-1 构造	95
4.4.3 其他实例	96
第5章 有机质热演化的高温高压系列模拟实验	98
5.1 国内外学者的高温高压生烃模拟实验结果简介	98
5.2 实验条件和实验样品	102
5.3 系列模拟实验结果及讨论	102
5.3.1 有机质成熟度和残余生烃能力	103
5.3.2 排出原油和残余沥青量	105
5.3.3 产物的组成和性质	108
第6章 超压环境生烃作用动力学:差异抑制作用及其控制因素	113

6.1	相关模型分析	113
6.1.1	时间-温度-压力模型	113
6.1.2	时间-温度-超压模型	115
6.2	超压抑制作用的发育条件和控制因素	118
6.2.1	超压环境有机质热演化的系统性和复杂性	119
6.2.2	超压抑制指数及其控制因素	119
6.3	超压抑制作用的层次及控制因素	126
6.3.1	超压抑制作用层次	126
6.3.2	超压抑制作用层次的控制因素	127
6.4	超压对油气组成和性质的影响	128
6.4.1	源岩内混合作用	129
6.4.2	有机反应的差异抑制和热稳定性不同的有机组分的差异演化	131
第三部分 超压流体流动机制、流动样式及油气成藏效应		
第7章	超压流体流动机制和流动样式	137
7.1	超压流体流动的层次、方式和通道	138
7.1.1	超压流体流动的层次	138
7.1.2	超压流体的流动方式	139
7.2	超压流体的初次排放	140
7.2.1	连续稳态流体排放	140
7.2.2	泥/页岩的天然水力破裂与幕式流体排放	150
7.2.3	源岩的幕式排烃	160
7.3	超压系统内的流体侧向运移及超压流体的二次排放	162
7.3.1	超压系统内的流体侧向运移	163
7.3.2	超压流体的二次排放	168
7.4	超压流体流动样式	180
第8章	超压流体流动的油气成藏效应	183
8.1	超压流体流动对源岩生烃作用的影响	183
8.1.1	超压界面附近幕式流体排放引起的温度场叠加	184
8.1.2	超压流体通过断裂运移引起的地温异常和有机质成熟度增高	185
8.1.3	超压流体通过底辟释放引起的生烃作用强化	190
8.2	超压流体流动的抽提、萃取作用	195
8.3	超压流体流动对储层成岩作用的强化	200
8.4	超压流体流动对盖层有效性的影响	207

第9章 超压流体幕式流动的识别标志	209
9.1 流体非均质性与幕式流体流动	209
9.1.1 流体非均质性及其控制因素和研究意义	210
9.1.2 流体非均质性与幕式流体充注	220
9.2 幕式流体流动的瞬态温度响应	221
9.2.1 现今温度异常	222
9.2.2 古流体温度的振荡性变化	222
9.2.3 输导层与上覆非输导层古地温的截然变化	224
9.2.4 负地温梯度	224
9.3 多期流体相互作用与相态变化和组分分异	225
9.3.1 相态分异原理及控制因素	225
9.3.2 相态分异过程中的组分变化	227
9.3.3 相态分异与幕式流体流动	233
9.4 幕式流体活动的综合识别	234
第四部分 超压盆地油气成藏机理及实例分析	
第10章 超压盆地油气成藏机理	239
10.1 超压盆地的油气成藏环境和成藏组合	239
10.1.1 超压盆地的压力结构	239
10.1.2 油气成藏环境和成藏组合	241
10.1.3 不同成藏环境中的油气分布	242
10.2 超压盆地浅部低能环境油气幕式成藏	245
10.2.1 幕式快速成藏的物质基础:超压引起的烃类累积	245
10.2.2 幕式成藏的驱动机制和动力学类型	246
10.2.3 超压流体的优势排放通道——幕式成藏的有利场所	249
10.2.4 幕式成藏过程	251
10.2.5 断裂带油气瞬态(幕式)充注模拟实验	251
10.2.6 幕式成藏与突发性成藏的差异及识别标志	253
10.2.7 幕式成藏的油气勘探意义	254
10.3 超压盆地深部高能环境油气成藏的能量配置	257
10.3.1 深层超压环境的有利成藏条件	257
10.3.2 深部超压环境油气成藏的能量配置	260
第11章 超压盆地油气成藏实例分析	268
11.1 超压主导型油气幕式成藏——以莺歌海盆地东方1-1气田为例	268

11.1.1 油气的成因及来源	268
11.1.2 成藏流体层间非均质性 & 天然气充注历史	275
11.1.3 天然气生成模式 & 其成藏流体响应	278
11.1.4 底辟构造带天然气幕式成藏机理	279
11.1.5 幕式快速成藏的识别标志	283
11.2 构造活动-超压联控型油气幕式成藏——以渤海湾盆地渤中坳陷 为例	287
11.2.1 东营组沉积期以来的快速沉降-充填 & 其成藏效应	289
11.2.2 新构造活动期(5.1Ma 至今)的断裂活动	297
11.2.3 油气晚期快速成藏机理	299
11.3 超压-构造活动联控型油气幕式成藏——以东营凹陷胜北断裂带 为例	301
11.3.1 胜北断裂带流体的穿层运移 & 油气来源	302
11.3.2 幕式流体充注 & 油气成藏和分布	307
11.4 琼东南盆地崖 21-1 构造成藏条件分析——高能环境油气成藏的 能量配置	314
11.4.1 烃源条件分析:源岩发育特征 & 生烃凹陷的比较评价	314
11.4.2 从生烃凹陷到潜在油气聚集区的能量配置	320
11.4.3 储层 & 盖层的能量配置:油气通过“隐性”通道的穿层运移	323
主要参考文献	326
Kinetics of Hydrocarbon Generation and Mechanisms of Petroleum Accumulation in Overpressured Basins (Abstract)	349
图版说明	404
图版	

CONTENTS

Introduction

Part I: Development and Evolution of Overpressures in Sedimentary

Basins

Chapter 1	Overpressure and Overpressured Basins	3
1.1	The pressure states of sedimentary basins	3
1.1.1	The pressure states of strata and their significance	3
1.1.2	The classification of pressure states	4
1.1.3	The pressure states of sedimentary basins and their types	6
1.2	The geological and geochemical characteristics of overpressured systems	8
1.2.1	The phase and composition of the pore fluids	9
1.2.2	The composition of clay minerals and their diagenesis	14
1.2.3	The water-rock interaction	15
1.3	The distribution of overpressured basins in China	17
Chapter 2	Development and Evolution of Overpressure in Sedimentary Basins	19
2.1	The mechanisms for generating overpressures in sedimentary basins	19
2.1.1	The main mechanisms of overpressure generation	19
2.1.2	The genetic types and characteristics of overpressures	27
2.2	The development of pressure seals and preservation of overpressure	29
2.2.1	The types of seals	29
2.2.2	The sealing mechanisms	35
2.2.3	The effectiveness of seals and the preservation of overpressure	36
2.3	The coupling of multiple-factors in the development and evolution of overpressure-A case study from the Damintun Sag	36
2.3.1	Thermal history and the evolution of temperature field	37
2.3.2	The evolution of the pressure regime	40
2.3.3	The mechanisms of overpressure generation and the coupling of multiple-factors for the evolution of overpressure	42

Part II: Kinetics of Hydrocarbon Generation in Overpressured Environments

Chapter 3	Organic Matter Maturation under Normally-Pressured Conditions	47
3.1	OM maturation under normally-pressured conditions and its controlling factors	47

3.1.1	The influences of the types and structures of the organic matter	48
3.1.2	The role of temperature	52
3.1.3	The role of time	53
3.1.4	The role of the matrix minerals	54
3.2	The maturation of vitrinite and vitrinite reflectance models	55
3.2.1	The maturation of vitrinite	55
3.2.2	Comparison of different vitrinite reflectance models	56
3.3	Reflectance anomalies caused by changes in the structure of vitrinite itself	58
3.3.1	The differences in composition and structure among vitrinites deposited in different sedimentary-diagenetic conditions	60
3.3.2	The influence of the redox conditions on the activation energy and thermal stabilities of organic matter	62
3.3.3	The cause and mechanism of vitrinite reflectance anomalies	68
3.3.4	Rectification of anomalous vitrinite reflectance values	68
Chapter 4	Organic Matter Maturation and Hydrocarbon Generation under Overpressured Conditions – Case Studies	73
4.1	Principles of case studies	73
4.1.1	The principle of case selection	73
4.1.2	The procedures for case studies	74
4.2	Well LD30-1-1A, Yinggehai Basin: Overpressure retardation and its distinguishing markers	76
4.2.1	Geological setting	76
4.2.2	The characteristics of potential source rocks	77
4.2.3	The overpressure retardation of organic matter maturation	80
4.3	Other cases of overpressure retardation of organic matter maturation ...	88
4.3.1	Junggar Basin	89
4.3.2	Dongpu Depression, Bohai Bay Basin	90
4.3.3	Other cases	92
4.4	The cases that OM maturation has not been retarded by overpressure	93
4.4.1	Well YA19-1-1, Qiongdongnan Basin	94
4.4.2	Well YA21-1-2, Qiongdongnan Basin	95
4.4.3	Other cases	96
Chapter 5	High Temperature, High Pressure Simulation Experiments of OM Maturation	98
5.1	Previous works	98