

中国石油大学(华东)“211工程”建设重点资助系列学术专著

断陷盆地油气输导体系 与成藏作用

Migration Pathway and Entrapment of Hydrocarbons in Faulted Basins

■ 查 明 吴孔友 曲江秀 陈中红 著

中国石油大学出版社

中国石油大学(华东)“211工程”建设重点资助系列学术专著

断陷盆地油气输导体系 与成藏作用



Migration Pathway and Entrapment of Hydrocarbons in Faulted Basins

查明 吴孔友 曲江秀 陈中红 著

中国石油大学出版社

图书在版编目(CIP)数据

断陷盆地油气输导体系与成藏作用/查明等著. —东营:
中国石油大学出版社, 2008. 11
ISBN 978-7-5636-2702-8

I. 断… II. 查… III. ①断陷盆地—油气勘探—研究
②断陷盆地—油气藏—形成—研究 IV. P618. 13

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2008)第 209635 号

书 名: 断陷盆地油气输导体系与成藏作用
作 者: 查 明 吴孔友 曲江秀 陈中红

责任编辑: 李 锋(电话 0546—8392791)

封面设计: 九天设计

出 版 者: 中国石油大学出版社(山东 东营, 邮编 257061)

地 址: 山东省东营市北二路 271 号

网 址: <http://www.uppbook.com.cn>

电子信箱: shiyoujiaoyu@126.com

排 版 者: 青岛海讯科技有限公司

印 刷 者: 青岛星球印刷有限公司

发 行 者: 中国石油大学出版社(电话 0546—8392791)

开 本: 180×235 印张: 14.5 字数: 307 千字

版 次: 2008 年 11 月第 1 版第 1 次印刷

定 价: 46.00 元

总序

“211工程”是新中国成立以来,由国家立项展开的规模最大、层次最高的高等教育建设工程,是国家为振兴高等教育、建设人力资源强国而做出的重大教育发展决策。“211工程”抓住学科建设、师资队伍建设等决定高校水平提升的核心内容,通过重点突破带动高校整体发展,探索了一条高水平大学建设的成功思路。经过十多年的努力,“211工程”取得了显著成效,在学科建设、人才培养、科技创新等方面取得了丰富成果,使中国的高等教育产生了重大变化,大幅度拉近了我国高等教育与世界高等教育的距离,对于相关高校整体水平的提升产生了巨大的推动作用。

1997年,中国石油大学跻身“211工程”重点建设高校行列,形成了学校更好地开展高水平大学建设的重大历史机遇。经过“九五”、“十五”两期建设,进入“十一五”第三期建设,三期建设有机衔接,从重点学科建设到学科群建设,再到创新队伍建设和创新人才培养,学校“211工程”建设始终围绕提升学校水平这个核心,不断拓展建设思路和建设内容,其“以优势带整体,以特色促水平”的建设思想与学校发展整体思路实现了高度吻合。所以,十多年来,“211工程”建设的轨迹就是标识学校发展的一条主要线索。

“211工程”建设所取得的成效带来了学校办学水平的全面提升。依托“211工程”,经过十多年的建设和发展,学校主干学科优势和特色更加突出,带动了相关学科水平的提高,学科结构更加优化,学校进一步获得了国家对“优势学科创新平台”项目建设的支持;师资队伍建设成效显著,高层次人才明显增加,特别是培育发展起一些高水平团队;科技创新能力大幅提升,突出了在基础理论研究、应用研究等方面的优势,已初步建立起有学校特色的科技创新体系,在十多个研究领域居国内领先水平,有些达到国际先进水平,科技成果转化取得巨大社会效益和经济效益;人才培养质量明显提高,逐步建立起以素质教育为主导的科学的教育教学体系,有效保证了创新人才的培养;国际学术交流与合作不断深入,学校开放办学和国际化程度得到大大推进;办学条件大幅改善,建成了先进的公共服务系统,形成了良好的软硬条件支撑。总体

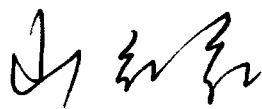
上,在“211工程”建设的推动下,办学水平大幅提升,学校办学特色更加鲜明,开创了学校建设高水平大学的良好局面。

“211工程”建设所取得的经验是学校办学的宝贵财富。首先,重点突破的策略保证了学校可以抓住影响办学水平的学科建设、创新能力等重点工作和任务,集中资源、队伍和时间进行重点建设及发展,有效提升了学校的核心竞争力;其次,滚动发展的思路保证了学校找准优势并不断强化优势,以点带面不断完善整体结构,促进了学校的协调发展和可持续发展;另外,以项目为平台进行系统组织的机制保证了学校加强统筹规划、资源集成、队伍整合,加强了对各个环节、各种因素的系统优化,建立了一系列行之有效的工作制度。

“211工程”建设也锻炼形成了一支甘于奉献、勇于创新队伍,促进了全校在这样一个综合平台上的协同配合。在十多年的建设过程中,许多同志全身心投入有关工作,坚持不懈地追求更高水平和更高目标,有关部门协调一致,切实保证了各项建设任务的顺利实施。所以“211工程”也是学校的一项事业工程、合力凝聚工程。

学校现在已经展开“211工程”三期建设,同时正在进入建设“国内著名、石油学科国际一流的高水平研究型大学”的奋斗征程,“211工程”建设将继续成为学校实现新的发展目标的重要支撑。总结前期“211工程”建设的成功经验,充分展示“211工程”建设的丰富成果,对于更好地推动“211工程”建设,实现学校的奋斗目标,具有重要的现实意义。为此,学校决定设立专项资金,资助出版“211工程”建设有关的系列学术专著,分门别类地介绍和展示学科建设、学术发展、科技创新和人才培养等方面的成果和经验。虽然“211工程”建设作为一项综合性的重大工程,对其进行系统全面的总结存在一定难度,但相信这套丛书完全可以从不同的侧面、从一些具体的内容,展示我校“211工程”建设的巨大成绩和发展思路,对今后“211工程”建设和学校总体发展起到应有的启示和促进作用。

中国石油大学(华东)校长



二〇〇八年十月

序

当前油气理论研究和生产实践证明,输导体系是油气藏形成和分布的关键控制因素。烃源岩生成的油气只有经过有效的输导体系才能进入圈闭,形成油气藏。随着现代油气成藏理论不断发展,油气输导体系已逐渐成为含油气盆地成藏研究的核心问题,目前正成为继烃源岩、圈闭后的又一石油地质主要研究方向。

输导体系包括连通砂体、断层、不整合面、裂缝带和流体底辟构造等多种类型,它们的通道空间由孔隙、裂缝及其二者复合构成。通常断陷盆地中较多发育的输导体系是上述两种或两种以上输导要素的组合,如断裂-砂体、砂体-不整合面或断裂-砂体-不整合面输导体系。不同形式的输导体系对油气藏类型、分布起着不同的控制作用。近年来,输导体系研究越来越受到众多石油地质学家的广泛关注,也取得了一系列重要研究成果,但至今仍存在诸多问题需要进一步探究和深化,如不整合面上下地层油气藏的分布规律、胶结成岩作用在断层形成封闭过程中的意义及其评价手段、不同类型输导体系油气运移能力的定量模型、输导体系成藏过程物理模拟等。《断陷盆地油气输导体系与成藏作用》一书主要针对以上问题展开研究。书中分析了输导体系的研究现状及存在的问题,阐明了不整合的封盖作用、输导作用、破坏作用及其成藏规律;评价了断裂对油气成藏的综合控制作用;提出了连通砂体的研究方法及其在油气成藏研究中的应用;建立了断裂、不整合及连通砂体油气输导能力的理论和数学模型,利用油气成藏机理物理模拟实验装置,再现了断裂、不整合、连通砂体及透镜状砂体在连续和幕式充注条件下的油气成藏过程。书中以准噶尔盆地腹部陆梁地区实例,阐明了断裂、不整合及连通砂体在空间的配置关系及其对油气成藏的控制作用,提出断裂-不整合-连通砂体形成的复合输导体系是一个高效的输导网络,是油气快速运聚、成藏的重要条件。

当前我国陆相断陷盆地的油气勘探正在进入一个由构造油气藏勘探逐步转向以隐蔽油气藏勘探为主的新阶段。输导体系的深入研究能明确分辨油气

来源和运移方向,揭示油气聚集成藏过程及其机理,从而拓宽隐蔽油气藏的勘探空间和范围,进而确定出勘探方向和具体勘探目标,所有这些对我国油气资源挖潜和深入勘探都具有重要的理论意义与实际应用价值。

本书是以查明教授为首的科研团队多年研究成果的系统总结和辛勤劳动的结晶,不仅有理论分析,还有油田实例剖析;不单有定量的数学物理模型,还有大量的实际观测资料和数据。总之是一部既有理论、又有实际,既有继承、又有创新的高水平论著,我期待着它的早日问世。

中国科学院院士



前言

自陆相生油理论提出并逐渐被国内外学者接受以来,陆相油气成藏理论研究得到了快速发展,并自成体系,其中包括源控理论、复式油气聚集带理论、陆相含油气系统理论、油气成藏体系、成藏动力学系统、断坡控烃理论等。随着这些油气成藏理论不断发展,油气输导体系已经逐渐成为含油气盆地成藏研究的核心问题之一。

断陷盆地是我国主要的含油气盆地类型,由于受多期构造运动的影响,其中的断裂和不整合众多,同时盆地内发育的一、二级断裂大都为长期活动的生长性断裂,对砂体形成和空间展布起着明显的控制作用,因此断陷盆地输导体系发育。在断陷盆地中有效烃源岩是成藏的物质基础,油藏的空间展布形态是成藏要素和成藏作用在时间和空间上匹配的结果,而油气运移的输导体系则是油气成藏过程中最为活跃的因素,是连接源岩和圈闭的“桥梁”,它决定着油气运移的路径和方向,并将成藏要素和成藏作用有机地统一成一个整体,控制着油气成藏。故油藏与输导体系的关系常被喻为“瓜”和“藤”的关系:“顺藤摸瓜”即利用输导体系寻找油气藏;反之,“顺瓜找藤”可以“牵”出输导体系。

宏观上,输导体系可分为连通砂体、断层、不整合面、裂缝带和流体底辟构造五种类型,它们的通道空间是由孔隙、裂缝及二者的联合构成。由于裂缝规模小,难以进行长距离运移,主要作为油气初次运移的通道,而流体底辟构造分布较为局限。因此,断陷盆地主输导体系为连通砂体、断层和不整合面。通常断陷盆地中较多发育的输导体系是上述两种或两种以上输导要素的组合,如断裂-砂体、砂体-不整合面或断裂-砂体-不整合面输导体系。输导体系的不同形式对油气藏类型、分布起着不同的控制作用。如果主力输导体系为一种地质因素,则圈闭类型往往单一,如地层圈闭、断层圈闭等;如果输导体系为多种类型,则往往形成复合圈闭,如断层-岩性圈闭。油气在沿输导体系运移过程中,若因输导体系的演变或控制地质因素的改变而形成遮挡条件,即可聚集成藏。如油气在沿不整合运移过程中,若遇超覆砂体,即可形成地层超覆油气藏;若遇不整合面遮挡的风化岩溶带,即可形成地层遮挡油气藏;油气沿砂体运移,如遇岩性上倾尖灭,即可形成岩性油气藏。目前我国陆相断陷盆地的油气勘探已由构造油气藏勘探逐步转向以隐蔽油气藏勘探为主的新阶段。输导体系研究不仅能够明确油气来源和运移方向,揭示成藏过程和机理,而且对拓宽隐蔽油气藏的勘探空间,确定与之有关的勘探方向和具体目标,加快我国油气资源挖潜具有重要的理论与实践意义。

近年来,输导体系研究越来越受到众多石油地质学家的广泛关注,也取得了一系列重要研究成果,但至今仍存在诸多问题需要进一步明确和深化,如不整合面上下地层油气藏

的分布规律、成岩胶结作用在断层形成封闭过程中的意义及评价手段、不同类型输导体系运移油气能力的定量模型、输导体系成藏过程物理模拟等,这些问题也是编写本书的动力和主要目的。

本书共包括七章,第1章分析了输导体系的类型、研究现状及存在的问题;第2章研究了不整合剖面类型、特征及平面分布规律,纵向结构划分、测井响应、分层厚度及控制因素,岩性配置关系及发育模式,不整合的封盖作用、输导作用、破坏作用及成藏规律;第3章阐述了断裂封闭性的主控因素及封堵模式,研究了断裂封闭史和模糊综合评判方法,结合实例利用定性手段和定量方法,评价了渤海湾盆地惠民凹陷和柴达木盆地柴北缘断裂对油气成藏的综合控制作用;第4章总结了砂体连通性的研究方法 with 预测手段,分析了砂体空间连通性及控制因素,研究了连通砂体的油气成藏意义;第5章建立了断裂、不整合及连通砂体输导油气能力的理论和数学模型,利用油气成藏物理模拟实验装置,模拟了断裂、不整合、连通砂体及透镜状砂体在连续和幕式充注条件下的油气成藏过程;第6章以准噶尔盆地腹部陆梁地区为实例,阐述了断裂、不整合面及连通砂体在空间的配置关系及其对油气成藏的控制作用,明确了断裂-不整合-连通砂体形成的复合输导体系是一个高效的输导网络,是油气顺利运聚、成藏的重要条件;第7章为结论与认识。

本书前言、第1章、第2章、第7章由吴孔友编写;第3章至第5章由曲江秀编写;第6章由陈中红编写。全书由查明教授审核并定稿。另外,研究生高长海、邱贻博、张小莉、赵卫卫、牟雪梅、杨勇、李琳琳等参加了相关研究工作。在研究中还得到了新疆油田勘探开发研究院、大港油田勘探开发研究院、青海油田勘探开发研究院、胜利油田等单位的大力协助,同时书中有关不整合结构特征及其成藏作用的研究内容获得了国家自然科学基金项目(编号:40772081)和山东省自然科学基金项目(编号:2008E16)的联合资助,在此一并表示感谢!

受作者水平所限,书中错误与不足在所难免,敬请读者批评指正。

作 者

二〇〇八年九月

目 录

第 1 章 油气输导体系类型与研究现状	(1)
1.1 油气输导体系类型	(1)
1.2 油气输导体系研究现状	(3)
1.2.1 不整合研究现状	(3)
1.2.2 断层封闭性研究现状	(6)
1.2.3 砂体连通性研究现状	(8)
第 2 章 不整合结构特征及成藏作用	(11)
2.1 不整合剖面类型及分布规律	(11)
2.1.1 不整合剖面类型及地震响应特征	(11)
2.1.2 不整合类型的分布规律	(15)
2.2 不整合纵向结构及发育模式	(21)
2.2.1 不整合纵向结构特征	(21)
2.2.2 不整合纵向结构测井响应	(24)
2.2.3 不整合纵向结构分层厚度	(26)
2.2.4 不整合纵向结构配置关系及发育模式	(32)
2.3 不整合油气成藏意义	(35)
2.3.1 不整合对油气的封盖作用	(35)
2.3.2 不整合对油气的输导作用	(37)
2.3.3 不整合对油气的圈闭作用	(44)
2.3.4 不整合对油气的破坏与重建作用	(49)
2.3.5 不整合油气成藏规律	(52)
第 3 章 断层封闭性与控藏作用	(54)
3.1 断层的控藏作用及断层封闭性的主控因素	(54)
3.1.1 断层控藏作用的主要表现	(54)
3.1.2 断层封闭性的主控因素	(55)
3.1.3 断层封堵模式	(57)
3.2 断层封闭性的评价方法	(59)
3.2.1 断层活动期与油气运移期的配置	(60)

3.2.2	断层面两侧对置岩性分析	(63)
3.2.3	断面泥岩涂抹系数及断裂带充填物泥质含量分析	(65)
3.2.4	断层封堵系数	(71)
3.2.5	断面正应力分析	(74)
3.2.6	断面紧闭指数分析	(78)
3.2.7	断裂带附近的温压异常	(81)
3.2.8	断裂带成岩胶结作用	(83)
3.2.9	断裂带粘土矿物异常	(85)
3.2.10	断裂带封闭-开启性能与流体性质响应	(87)
3.2.11	断裂带附近的流体包裹体特征	(91)
3.2.12	断层封闭性的模糊评判方法	(93)
3.3	断层封闭史研究	(100)
3.4	典型地区断裂对油气成藏的综合控制作用	(108)
3.4.1	断层发育特征	(109)
3.4.2	断层封闭性研究	(110)
3.4.3	断层对油气成藏的控制作用	(112)
第4章	砂体连通性及其成藏作用	(116)
4.1	砂体连通性研究方法 with 预测手段	(116)
4.1.1	地震方法	(118)
4.1.2	地质统计分析与随机模拟技术	(119)
4.1.3	油藏地球化学方法	(121)
4.1.4	非均质性综合指数法	(122)
4.1.5	井间砂体对比	(122)
4.2	砂体空间连通性分析	(123)
4.3	砂体连通性的影响因素	(126)
4.3.1	沉积作用	(127)
4.3.2	成岩作用	(127)
4.3.3	异常压力	(127)
4.3.4	构造作用	(127)
4.4	砂体连通性的油气成藏意义	(128)
第5章	输导体系定量模型及物理模拟	(131)
5.1	输导能力定量模型研究	(131)
5.1.1	油气运移的概念模型	(131)
5.1.2	断裂带输导能力的定量模型研究	(134)
5.1.3	连通砂体和不整合面输导能力的定量模型	(136)

5.2 输导体系成藏作用的物理模拟	(136)
5.2.1 物理模拟实验装置简介	(137)
5.2.2 断层和连通砂体成藏作用物理模拟	(137)
5.2.3 断层断穿的单砂岩透镜体物理模拟实验	(150)
5.2.4 单砂岩透镜体与断层断穿砂岩透镜体对比物理模拟实验	(154)
5.2.5 不整合油气运移作用物理模拟	(161)
第6章 输导体系与油气成藏作用实例分析	(167)
6.1 油气分布及地质概况	(167)
6.2 断裂与油气运聚成藏	(168)
6.2.1 主要断裂体系发育特征	(168)
6.2.2 断层封闭性研究	(171)
6.2.3 断裂对油气运聚的控制作用	(173)
6.3 不整合面与油气成藏作用	(175)
6.3.1 区域分布概况	(175)
6.3.2 不整合面发育类型与油气运聚的关系	(176)
6.3.3 不整合类型的分布特征	(177)
6.3.4 不整合面岩性发育特征与油气运聚关系	(179)
6.4 砂体与油气运聚成藏	(184)
6.4.1 砂体发育特征与油气运聚的关系	(184)
6.4.2 砂泥组合特征与油气成藏的关系	(186)
6.5 油气成藏系统划分与输导体系模式	(189)
6.5.1 玛湖凹陷-环玛湖东斜坡油气成藏子系统	(189)
6.5.2 盆1井西凹陷-石南油田油气成藏子系统	(193)
6.5.3 盆1井西凹陷-陆梁油田油气成藏子系统	(198)
6.6 成藏系统及其输导体系总体评价	(201)
第7章 结论与认识	(204)
参考文献	(207)

第1章 油气输导体系类型与研究现状

油气从源岩到圈闭之间的运移是整个含油气系统的重要环节(Schowalter, 1979; England et al., 1987),是油气成藏过程中最为活跃的因素,同时也是油气成藏研究相对薄弱的部分。当前理论研究和生产实践证明,油气的运移并非是在三维空间作等效运移,而是被限制在一定的路径上进行,存在油气运移的主干道(Hindle, 1997),具空间上的有效性和有限性(郝雪峰等, 2005)。输导体系的提出和研究有助于解决油气怎样从源岩中排出、什么时候排出、排出多少、排到什么地方、可能在哪里聚集、至今还能保存多少(李明诚等, 1994),同时也使人们对油气运移路径的认识从具体、单一提高到更加综合、系统的层面。深入研究输导体系的类型、特征、分布、影响因素、时空关系,有助于认识油气运移的动态过程,揭示油气成藏规律(张卫海, 2003)。输导体系与油气运聚相辅相成,已成为继烃源岩、圈闭研究后的又一石油地质主要研究方向(付广等, 2001; 张照录等, 2000)。

1.1 油气输导体系类型

1

所谓油气输导体系是指连接源岩与圈闭的运移通道所组成的输导网络(付广等, 2001),它是源与藏之间的“桥梁与纽带”,是油气藏形成和分布的关键控制因素。烃源岩生成的油气只有经过有效的输导体系才能进入圈闭,形成油气藏(林社卿等, 2004)。刘震等(2003)认为输导体系是相对某一独立的油气运移单元——含油气系统而言的,是含油气系统中所有运移通道及其相关围岩的总和。不同的含油气盆地具有不同的输导体系,输导体系不同油气运移的方式就不同,而含烃流体的运移反过来又可改造甚至形成新的输导体系。

国内外学者对输导体系的类型做过大量研究。龚再升等(1999)将流体输导体系分为3类:一是有一定孔渗条件的岩体,二是具有渗透能力的断裂或裂隙体系,三是可作为流体运移通道的不整合面。姜建群等(2000)认为除以上三类输导体系外,某些具有特殊地质条件地区的流体底辟也可作为油气的运移通道。谢泰俊等(1997)在研究南海北部大陆边缘盆地时,根据不同类型通道在运移中的作用和具体地质情况,划分了4类输导体系,即以断裂带为主的输导体系、与古构造脊有关的输导体系、与活动热流体底辟作用相关的输导体系及与不整合有关的输导体系。Galeazzi(1998)在研究 Malvinas 盆地时,根据其含油气系统基本元素的特征及其构造-地层格架样式,将该盆地 Lower Inoceramus Spring-hill 含油气系统输导体系划分为由输导层构成的主输导体系和由断层-输导层构成的次输

导体系。张照录等(2000)按油气运移主要通道的不同将输导体系划分为断层型、输导层型、裂隙型和不整合型。油气随着其他流体从烃源层中排出后,先进入邻近的输导层,然后主要通过由较高孔渗的输导层、古沉积间断面和断裂及裂缝系统组合形成的输导体系,在各种动力的作用下向低势区运移,滞留于合适的圈闭中形成油气藏。在输导体系中,较高孔渗的储集层和不整合面主要是油气侧向运移的通道,断裂则既可成为油气聚集的遮挡层,又可充当油气垂向运移的通道。赵忠新等(2002)认为在含油气盆地中,可以先将油气运移从逻辑上分为直接型和间接型。直接型是指油气从烃源岩直接排到圈闭中,没有经过二次运移,主要表现在透镜型和岩性型的油气藏中;间接型是指油气从烃源岩中排出后,在输导体系中经过二次运移进入圈闭,它可以分为输导层(高孔渗砂体)、不整合面、断层和裂缝以及这4种类型的组合类型。付广等(2001)从构成输导体系的微观机理出发,认为孔隙、裂缝及其二者的组合是构成输导体系的三要素,它们可以单独构成简单的运移输导体系,也可以组合起来构成相对复杂的运移复合输导体系。简单输导体系包括:① 连通砂体输导体系;② 断层输导体系;③ 不整合面输导体系。复合输导体系包括:① 砂体-不整合面组成的输导体系;② 砂体-断层组成的输导体系;③ 不整合面-断层组成的输导体系;④ 砂体-断层-不整合面组成的输导体系。张卫海等(2003)以油气运移主输导层划分大类,以运移(微观)通道划分具体类型,并结合影响油气运移的地质要素和作用进行综合分类,首先根据储集层、断层和不整合面基本的输导层,划分出储集层输导体系、断裂输导体系、不整合输导体系3大类,再根据运移通道的类型进一步划分出8种基本输导体系类型(表1-1)。

表1-1 油气输导体系分类(据张卫海等,2003)

输导体系	类型	运移主通道	影响运移的地质要素和作用
储集层输导体系	砂/砾岩体型	连通孔隙、裂缝、层面	储集层分布与连通性、孔洞缝发育程度
	碳酸盐岩型	连通溶蚀孔、洞、缝	输导层配置关系、原始产状
	其他岩类型	连通孔隙、裂缝	
断裂输导体系	张性及张扭性断层型	断层	断裂规模、组合、活动史
	压性及压扭性断层型		
	裂缝型	裂缝	发育程度及规模
不整合输导体系	角度不整合型	不整合面	规模、分布及上下地层配置关系
	平行不整合型		

另据外刊《沉积学研究》杂志报道,压溶、位移蠕变、断裂作用和小型断层作用等颗粒级变形机理产生的变形带对砂岩储层中的含油气潜力有重要影响。由厚度在1 mm以下的狭长岩层构成的变形带以强烈的局部断裂为特征,是控制储层砂岩中流体流动的重要的小型构造。

由以上对输导体系的分类可以总结出,微观上,孔隙和裂缝构成输导体系的两个基本

组成元素,它们进一步可衍生出溶孔、溶缝及溶蚀喉道。由于变形带其实也是裂缝发育带,因此,宏观上,输导体系可分为连通砂体、断层、不整合面、裂缝带和流体底辟构造5种类型,它们的通道空间是由孔隙、裂缝及其二者的联合构成。由于裂缝规模小,难以进行长距离运移,主要作为油气初次运移的通道,而流体底辟构造目前主要发育在莺歌海盆地,分布较局限。因此,含油气盆地主输导体系为连通砂体、断层和不整合面,它们也是本书阐述的重点。

输导体系的不同形式对油气藏类型、分布起着不同的控制作用。以断层为主要运移通道形成的油气藏,由于断层具有良好的垂向输导能力,常可形成于距烃源层时空跨度较大的层位,在断层带附近可以形成多层叠置的油气藏。以连通砂体为主要运移通道形成的油气藏,常形成于距烃源层较近或相邻的层位,油气在砂体中的分布位置主要取决于砂体物性的非均质性,油气常在砂体的相对高孔渗部位聚集成藏。以不整合面作为油气的运移通道,往往可以使油气进行长距离的侧向运移,形成各种与不整合面有关的地层油气藏(刘震等,2003)。

1.2 油气输导体系研究现状

1.2.1 不整合研究现状

不整合是地层中保留下来的地层缺失所呈现出的一种不协调的接触关系,代表着区域性的沉积间断和剥蚀事件,是构造运动和海平面升降的产物(Adams,1954;程日辉等,1998)。早在1788年,James Hutton在苏格兰Siccar Point观察位于陡倾斜志留系之上的红色砂岩时,首先认识到这种不协调的地层接触关系,Jamenson从宗教用语中得到启发,将这种不协调的地层关系称为不整合(unconformity)。不整合是地面露头和地震剖面上常见的地质现象(陈发景,2004),然而对不整合的研究仅是在20世纪30年代以来因其与成矿作用有关才受到广泛关注(刘波等,1997)。AAPG曾出版多期专刊研究不整合与油气成藏的关系(Levoren,1934)。Bates和Jackson(1980)在总结前人研究成果的基础上认为不整合是相接触岩层的构造关系,以沉积间断、风化作用,特别是新岩层沉积前的陆上或水下侵蚀作用为特点,常常表现为地层间的非平行接触关系。当代地质学的全球化和系统化使得不整合的应用范围不断扩大,研究程度日益加深(程日辉等,1998)。不整合研究已成为分析盆地中事件和过程的关键之一,如研究抬升和埋藏曲线,解释湖(海)平面变化,进行层序划分(Shanmugam,1988),分析盆地的形成、演化和改造等(陈发景,2004);同时也成为油气成藏要素研究中的重要内容,不整合不仅是油气区域性运移的良好通道,而且能够形成与之相关的油气藏(翟光明等,1998;吴孔友等,2002)。

不整合的分类方法有多种,1957年以前以Billings的分类方案为代表,他将不整合分为角度不整合、假整合、局部不整合和非整合4种类型。Dunbar和Rodgers(1957)按照地

层之间接触关系的性质划分为非整合、不整合、假整合和准整合。非整合为一侵蚀面,其下由深成的火成岩及变质岩组成,其上被层状沉积岩所覆盖;准整合则系指上、下地层间无明显的沉积间断,然而时间间断是存在的,因为某段化石缺失。Brown 和 Fisher(1979)从层序地层学的观点出发,根据反射终止与不整合面的关系,将不整合划分为侵蚀型和沉积型两类,并把削截称为侵蚀型不整合,而将上超、顶超和下超归为沉积型不整合。Visher(1984)从描述的角度曾将不整合分为间断、假整合、侵蚀不整合、准整合、角度不整合、非整合和超覆不整合等 7 种类型。以上分类主要依据不整合面上、下地层间的产状关系及缺失情况,没有考虑沉积相或环境的变化。Bally(1981)在研究被动大陆边缘地质特征时,依据上、下地层沉积相及构造特征的差异,提出破裂不整合(break-up unconformity)的概念。在震积岩研究中,Seilacher(1984)将地震扰动层与上覆的滑来震积层之间的一规模不等的接触面称为震积不整合。在发育滑来震积层的剖面上,震积不整合面自然地存在于地震扰动层和滑来震积层之间;在不发育滑来震积层的剖面上,震积不整合面在地震扰动层和未扰动层之间。Anadon P 等(1986)研究了西班牙东北部 Ebro 盆地边缘古近系的构造和沉积作用,提出在冲积扇砾岩层内发育一种层内复合的递进型同构造不整合。当发生大规模海侵时,海平面上升速率很大,超过了台地的生产及堆积速率,原来地形相对较高的碳酸盐台地会被淹没,从而在浅水台地沉积地层之上发育半深水—深水盆地相凝缩段地层。Schager W(1991)将这种由环境突然变深而沉积物供应不上所产生的间断称为淹没不整合,其特征是凝缩段直接覆盖在层序界面之上,主要用来研究碳酸盐沉积区的层序地层(梅冥相,1995、1996)。

国内对不整合的研究相对较晚。梁定益等(1991,1994)、王根厚等(2000)在研究扬子地台西缘及藏南地区海西期以来的伸展作用时提出伸展不整合的概念。伸展不整合指的是在伸展构造环境下,发生于水下或地壳总体沉陷或裂陷过程中产生的不整合,伴随有不同程度的地层缺失。邓自强等(1994)在前人研究的基础上提出古岩溶不整合的概念,它特指碳酸盐岩地区发育的一种不整合。艾华国等(1996)根据地震反射波的终止方式及剖面特征,将塔里木盆地前石炭系顶面不整合划分为褶皱不整合、断褶不整合、超覆不整合和平行不整合 4 种类型,并提出褶皱不整合和断褶不整合的概念。在此基础上,吴亚军等(1998)将塔里木盆地不整合总结为构造不整合、沉积不整合和复合不整合 3 大类,6 种基本类型(图 1-1),并提出底辟不整合。1999 年,葛孟春等(1999)将水平引张作用下形成的不整合接触系统称为变异不整合,它包括裂开不整合、毗连不整合、震积不整合、伸展不整合、裂陷不整合和裂谷不整合等。吴孔友等(2003)在研究准噶尔盆地不整合结构特征时,将角度不整合总结为褶皱不整合、断褶不整合、超覆不整合和削截不整合 4 种类型。陈发景等(2004)进一步将削截不整合划分为:① 低角度($<20^{\circ}$)区域单斜层削截不整合;② 中等角度($20^{\circ}\sim 45^{\circ}$)区域单斜层削截不整合;③ 陡角度($>45^{\circ}$)单斜层甚至直立岩层削截不整合;④ 褶皱削截不整合;⑤ 叠瓦状褶皱-冲断层削截不整合;⑥ 倒转褶皱和推覆体削截不整合等 6 个亚类。由于地质背景的差异,标准不一,目前对不整合的分类尚难统一。

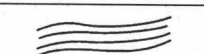
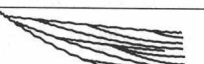
成因机制	基本类型	样 式
构造不整合	褶皱不整合	
	断褶不整合	
	底辟不整合	
沉积不整合	超覆不整合	
	平行不整合	
复合不整合	渐进不整合	

图 1-1 塔里木盆地不整合类型(据吴亚军等,1998)

相对不整合类型而言,不整合纵向结构的研究起步较晚。不整合面可作为成矿流体运移的重要通道已成为广泛共识(Levorsen,1934;潘钟祥,1983;何登发等,1995;吴亚军等,1998;Ziegler,2000),但关于其内部结构及控矿机理研究较少。张克银等(1996)在研究塔北隆起碳酸盐岩顶部不整合时,首次提出了不整合的 3 层结构模型,即不整合面之上发育残积层、不整合面之下为渗流层、渗流层之下为潜流层,并讨论了不整合结构层的控矿意义。其实不论是渗流层还是潜流层,均属于基岩半风化的产物。基岩遭受长期风化剥蚀以及地下水的淋滤作用,在其表层常出现一个风化孔隙带,使其孔隙性和渗透性大大增强(Shanmugam G,1988;Saller H A,1994;艾华国等,1998)。这种风化孔隙带的厚度取决于岩性、气候、地形、构造、生物和地下水的深度等因素(刘波等,1997;付广等,2001)。一般气候温暖潮湿、生物繁盛、地形突起、表面裂隙多的地带,其厚度可达几十米,甚至几百米(白玉雷等,1992;陈建平,2002)。何发岐(2002)根据岩溶水动力特征,自上而下将基岩风化壳分为地表岩溶带、垂直渗流岩溶带及水平潜流岩溶带。地表岩溶带位于地下水渗流带上部,形成一些溶洞、溶缝,常被地表残余物和洞壁塌陷物等充填;垂直渗流岩溶带是地下水沿裂缝向下渗流,发生淋滤溶蚀形成垂直或近于垂直的溶蚀缝或串珠状的小型溶洞;水平潜流岩溶带位于地下水潜流带上部,溶蚀作用强烈,可形成众多的规模较大的水平溶洞。以上对不整合结构的研究主要强调了基岩风化的不均一性及纵向分层性。实际上,长期的风化作用,尤其是生物风化作用能在基岩之上形成一层粘土层(詹姆斯等,1992),即古土壤层,同时当后期水进或水侵时在不整合面之上常形成水进砂体或底砾岩(Levorsen,1934;艾华国等,1996)。吴孔友等(2002,2003)在前人研究的基础上,以准噶尔盆地发育的沉积间断面为研究对象,通过地震和测井资料解释,以及岩心和野外露头观察,将不整合在纵向上划分为完整的 3 层结构:不整合面之上岩石(水进砂体或底砾岩)、风化粘土层及半风化岩石。

在不整合成矿研究方面,20 世纪 80 年代以前,主要集中在固体矿产及地层划分上;