doi:10.3799/dqkx.2016.508

渤海走滑转换带及其对大中型油气田形成的控制作用

徐长贵

中海石油(中国)有限公司天津分公司渤海石油研究院,天津 300452

摘要:渤海海域郑庐走滑断裂带是重要的油气富集带,但是长期以来,该带对大中型油气田控制作用不明确.利用覆盖渤海郯 庐断裂带的三维地震资料和 400 多口钻井资料对渤海海域走滑转换带特征及其与大中型油田形成关系进行了系统的分析.研 究认为,新生代以来,渤海海域发育了多类型、多成因、多级次、多期次的走滑转换带;根据转换带在走滑断裂带中发育的位 置,可以将渤海海域走滑转换带划分为断边转换带、断间转换、断梢转换带三大类,进一步根据断层的相互作用以及转换带的 形态,可以将渤海海域转换带分为 S型转换带、叠覆型转换带、双重型转换带、帚状转换带、叠瓦扇型转换带、共轭转换带的 发合转换带 7 种类型;根据局部应力状态可以分为增压型转换带和释压型转换带;根据转换带的规模,渤海海域走滑转换带可 以分为一级转换带、二级转换带和三级转换带;增压型转换带控制了大型有效圈闭的发育、运移条件通畅等大中型油田基本 成藏要素,进而控制了大中型油气田的分布.

关键词:走滑断裂;增压型转换带;释压型转换带;大中型油田;渤海海域;石油地质.

中图分类号: P624 文章编号: 1000-2383(2016)09-1548-13 收稿日期: 2016-02-16

Strike-Slip Transfer Zone and Its Control on Formation of Medium and Large-Sized Oilfields in Bohai Sea Area

Xu Changgui

Bohai Oil Reseach Institute, Tianjin Branch of China National Offshore Oil Corporation, Tianjin 300452, China

Abstract: Tan-Lu strike-slip fault in Bohai sea area is an important hydrocarbon enrichment zone. But it is not clear whether strike-slip transfer zone controls on the formation of medium and large-sized oilfields. This paper systematically analyzes the Tan-Lu strike-slip transfer zone and its control on the development of medium and large-sized oilfields on the basis of detailed interpretation of 400 wells and 3-D seismic data over the fault zone. Three types of transfer zones developed in the Tan-Lu strike-slip fault zone are recognized according to the position of the transition zone in the strike-slip fault zone, which are named as fault-edge transfer zones, fault-overlap transfer zones and fault terminal transfer zones respectively. These transitions can be further divided into seven types, which are sigmoid, overlapping, duplex, broom-like, shingled, conjugated and compound types of transfer zones. According to the local stress state, each type of transfer zone is further subdivided into contractional and extensional types of transfer zones. Contractional transfer zones control the formation of large-scale traps, whereas extensional transfer zones control the formation of small-scale traps. Geological oil reserves related to contractional transfer zones account for up to 81% of total geological oil reserve of the Tan-Lu strike-slip fault zones. Therefore, contractional transfer zones developed in the strike-slip fault zones should serve as excellent exploration targets for the large-scale oilfield with great potential.

Key words: strike-slip fault; contractional transfer zone; extensional transfer zone; medium and large-sized oilfield; Bohai sea area; petroleum geology.

基金项目:国家重大科技专项项目(No.2011ZX05023-006).

作者简介:徐长贵(1971-),男,教授级高工,博士,主要长期从事石油地质与勘探研究.E-mail: xuchg@cnooc.com.cn

引用格式:徐长贵,2016.渤海走滑转换带及其对大中型油气田形成的控制作用.地球科学,41(9):1548-1560.

0 引言

转换带(transfer zone)的概念是由 Dahlstrom (1970)在研究挤压变形中褶皱一逆冲断层的几何形 态时首次提出的,是指在挤压变形带中,当逆冲断层 带沿走向变化时,可以见到一条主逆冲断层通过其 他型式的构造(如分支断层或褶皱)传递到或者变换 为另一条主逆冲断层, Dahlstrom 把这种首尾主逆 冲断层之间的构造带称为传递带或者转换带.Morley et al.(1990)将这种传递带概念应用于研究伸展 构造,是指首尾相接的两条控凹断层之间的变形构 造.近年来,国内学者在中国油区伸展盆地中对转换 带构造做了许多有益的研究,在伸展盆地中的转换 带概念及分类(陈发景,2003;陈昭年等,2005)、转换 带的成因与特征(周建生等,1997;邬光辉和漆家福, 1999; 王纪祥等, 2003; 孙思敏等, 2006; 张林等, 2012;田巍等,2015)、转换带对沉积的控制作用(陈 发景等,2004;刘恩涛等,2013)以及转换带对油气的 控制作用(漆家福,2007;劳海港和陈清华,2012)等 方面都有较为深入的研究,转换带概念的内涵和外 延得到了极大的丰富,转换带概念在伸展盆地的油 气勘探中越来越受到重视并发挥了重要的作用.但 是在走滑作用强烈的地区,转换带的研究相对薄弱, 特别是在走滑作用强烈地区走滑转换带对大中型油 气田形成的控制作用研究鲜见文献报道.

走滑转换带是指与走滑断层相伴生的或者说由 断层的走滑运动"转换"而成的各类张性、压性或张 扭性、压扭性构造(叶洪,1988),宋鸿林(1996)把指 沿断层的走滑运动在断层末端或转变部位转换成 张、压或斜向滑动的构造称之为走滑转换构造.本文 所指的走滑转换带是指走滑运动在断层内部、断层 之间、断层末端、共轭断层之间等转变部位形成的各 类张性、压性、张扭性和压扭性构造. 郯庐断裂带从 南向北穿过整个渤海海域,发育了大量的走滑转换 带.近年来,笔者利用覆盖郯庐断裂带的三维地震资 料和 400 余口钻井资料,对渤海海域郯庐断裂走滑 转换带进行了系统的解剖,对渤海海域走滑转换带 特征及其对成藏的控制作用进行了精细的研究,认 为在郯庐走滑断裂带中,并非所有的走滑转换带都 是有利于油气成藏的地方,只有增压型走滑转换带 才是渤海郯庐断裂带大中型油气田形成的重要场 所,这一认识有效指导了渤海郯庐断裂带的精细勘 探.近5年来,这一认识指导渤海海域郯庐断裂断裂 带勘探获得了巨大的成功,发现石油地质储量近10 亿吨油当量, 郑庐断裂带的勘探成功率达 60%以上. 增压型走滑转换带控藏认识对其他类似地区也有着 重要的借鉴意义.

1 渤海海域走滑断裂带基本地质特征

渤海海域位于渤海湾盆地东部,是在华北克拉 通上发育起来的新生代裂陷盆地,面积5万多平方 千米.渤海湾盆地海域可分为辽东湾坳陷、渤中坳 陷、渤南坳陷、渤西坳陷4个二级构造单元.辽东湾 坳陷是下辽河坳陷向海域的延伸,渤南坳陷是东营 坳陷向海域的延伸,渤西坳陷是黄骅坳陷向海域的 延伸,只有渤中坳陷是渤海自身独有的单元.

郑庐断裂带是中国东部一条重要的巨型走滑断裂带,绵延数千千米,它从渤海海域南部的青东地区进入渤海,经过莱州湾、黄河口、渤中、渤东、辽东湾等地区后,从渤海海域北部的营口地区出海,呈北东方向延伸,横贯整个渤海海域东部地区,南北长度达400余千米,东西宽约50~80km,涉及渤海海域东部地区众多凸起和凹陷(图1),涉及的范围占整个渤海海域面积的2/3,不同的学者对郯庐断裂带在渤海海域发育的时期有着不同的认识(万天丰等,1996;刘顺等,2006;龚再升等,2007;徐亚东等,2014),本文所研究的郯庐走滑断裂带活动时期是指新生代以来发育的断裂活动,虽然不同段的郯庐断裂活动性差异明显,但总体来看,包括2个主要的走滑活动时期:渐新世的右旋走滑伴随拉分活动和新近纪的右旋走滑压扭活动(龚再升等,2007).

除了郑庐走滑断裂外,渤海海域还存在一条北 西向的左旋走滑断裂,即张家口一蓬莱断裂带(以下 称"张蓬断裂带"),该断裂由一系列断续相连的北西 至近东西向断裂组成,总体走向 NW60°左右,海域 长 200 余千米,宽约 50~100 km.这些断裂往往是 古近纪断陷盆地的边界,古近纪时主要表现为伸展 活动,新近纪以来随着构造应力场的变化,出现左旋 平移的活动特性,平面上出现一系列斜列的羽状构 造,剖面上表现为花状构造.由于在地震剖面上反映 的信息较弱,北西向的张蓬断裂带和秦皇岛一旅顺 断裂带在早期并未引起石油勘探人员的太多关注, 但随着近年来三维地震技术的应用,张蓬断裂带也 开始引起了石油勘探研究人员的注意.

正是郯庐断裂的走滑作用与盆地的伸展作用、 郯庐断裂的走滑作用同张蓬断裂的走滑作用相互叠 加、相互影响,形成了复杂多样的走滑转换带,这些



图 1 渤海海域区域地质图 Fig.1 Regional geological map of Bohai Sea area

走滑转换带对油气的聚集具有重要的影响.

2 渤海海域走滑转换带类型及其特征

刻画走滑转换带的类型及其特征是分析走滑转 换带对油气成藏控制作用的基础.新生代以来,渤海 海域在地幔热隆起(伸展动力)和斜向挤压(走滑动 力)双动力共同作用下形成走滑的转换带具有多类 型、多成因、多级次、多期次等特点,这些复杂的转换 带对渤海海域的大中型油气田的形成起到了重要的 控制作用. 关于伸展断层形成的转换带分类已经有比较成 熟的分类方案(陈发景,2003;陈昭年等,2005).走滑 转换带虽然已经引起国内外不少学者的注意(叶洪, 1988;宋鸿林,1996),但至今为止还没有一个统一的 分类方案.本文利用三维地震资料在对渤海海域新 生代以来发育的所有转换带进行详细分析的基础 上,从油气勘探实用的角度,根据转换带发育的位 置、几何形态以及转换带应力特征,进行了较为系统 的分类.

根据转换带在走滑断裂带中发育的位置,可以 将渤海海域走滑转换带划分为断边转换带、断间转



图 2 渤海海域断边转换带两种类型实例

Fig.2 Two types of transition zones developed at the edge of the fault in Bohai Sea area a.S型转换带(辽西走滑带锦州 20 段);b.帚状转换带(辽东走滑带锦州 23 段)



图 3 渤海海域增压型走滑转换带与释压型走滑转换带发育模式

Fig.3 Model of the restrain and releasing strike slip transition zone in Bohai Sea area

a.右旋走滑 S 型转换带;b.左旋走滑 S 型转换带;c.右旋走滑帚状转换带;d.左旋走滑帚状转换带;e.右旋走滑叠覆型转换带;f.左旋走滑叠覆型 转换带;g.右旋走滑双重型转换带;h.左旋走滑双重型转换带;i.共轭型转换带;j.右旋走滑叠瓦扇型转换带



图 4 辽西走滑带锦州 25-1 油田叠覆型转换带圈闭发育特征

Fig.4 The trap distribution of overlapping transition zone in Jinzhou 25-1 oil field of Liaoxi strike-slip fault zone 左图:为锦州 5-1 油田沙二段顶面构造简图,显示右旋左阶增压型叠覆型转换带形成大型反转背斜圈闭,右旋右阶释压型转换带形成小型断 鼻型圈闭;右图:两种类型转换带形成的圈闭剖面特征

换带、断梢转换带三大类,进一步根据断层的相互作 用以及转换带的形态,可以将渤海海域转换带分为 S型转换带、叠覆型转换带、双重型转换带、帚状转 换带、叠瓦扇型转换带、共轭转换带以及复合转换带 7种类型,其中S型转换带和帚状转换带属于断边 转换带,叠覆型转换带、双重型转换带和共轭转换带 属于断间转换带,叠瓦扇型转换带属于断梢转换带. 根据局部应力状态可以将渤海海域转换带分为增压 型转换带和释压型转换带.

2.1 断边转换带

断边转换带是指发育在一条走滑断裂的边部位 置或者是在一条断层内形成的转换带,常见的为一 条走滑断裂弯曲段形成的S型走滑断裂以及多条断 层首尾相接在断层的边部形成帚状的转换带.断边 转换带是走滑断裂中最常见的转换带.

2.1.1 S型转换带 任何一条走滑断层都不可能在 长距离的走滑运动中保持产状不变,常常会由于走 滑断层两盘岩性的差异导致走滑受阻而形成局部的 弯曲段,这种局部弯曲段就是常见的S型走滑转换 带(图 2a).这种S型转换带有的规模较大,在渤海规 模较大的S型转换带可达 5~10 km,弯曲弧度达 30°~60°,规模小的S型转换带延伸长度不足1 km, 弯曲弧度仅有几度.段内S型转换带根据弯曲方式 又可分为左阶 S 型转换带和右阶 S 型转换带两个 亚类.

不同阶式弯曲转换带受力状态是不同的. 郑庐 断裂在古近纪以来为右旋走滑断裂, 所以在郑庐断 裂带中, 右旋左阶 S 型转换带处于挤压应力状态, 属 于增压型转换带, 而右旋右阶 S 型转换带处于伸展 应力状态, 属于释压型转换带(图 3a). 张蓬走滑断裂 古近纪以来为左旋走滑断裂, 所以在张蓬断裂带中, 左旋左阶 S 型转换带处于伸展应力状态, 属于释压 型转换带, 而左旋右阶 S 型转换带则属于增压型转 换带(图 3b). 增压型转换带和释压型转换带往往是 成对出现的.

增压S型转换带由于局部挤压作用常常形成大型的鼻状构造或半背斜构造,有利于形成大型圈闭. 释压型转换带由于局部的伸展作用常形成负地形或 者小型的伸展断块构造,不利于大型圈闭发育.

2.1.2 帚状转换带 走滑作用强烈时,主走滑断层 常常不分叉,当走滑作用减弱的的时候,形成尾部发 散、向主走滑带汇聚且相互搭接的转换带,类似于"扫 帚形状",故称其为帚状转换带(图 2b).帚状转换带常 常与 S 型转换带相伴生,形成复合类型的转换带(图 3c,3d).帚状转换带各分支断裂规模大形成的圈闭就 大,若各分支断裂规模小,形成的圈闭规模就小.

双程时间(s)

3

2.2 断间转换带

断间转换带是在两条或两条以上的走滑断层之间由于断层与断层的相互作用而形成的转换带.根据断层与断层的位置关系可以进一步划分为叠覆型转换带和双重型转换带.在渤海海域,由于北东向郯庐走滑断裂与北西向的张蓬断裂组成共轭断裂,因此形成了一种特殊的断间转换带,即共轭转换带.

2.2.1 叠覆型转换带 叠覆型转换带是指多条主 走滑断裂首尾相互重叠但不互相连接地交替排列, 在这些排列的断层之间形成的过渡区称之为叠覆型 转换带.根据断裂的排列方式可以进一步细分为左 阶叠覆型转换带和右阶叠覆型转换带两种类型.郯 庐断裂带中存在右旋左阶叠覆型转换带和右旋右阶 叠覆型转换带两种类型(图 3e),在张蓬断裂带中存 在左旋左阶叠覆型转换带和左旋右阶叠覆型转换带 阶叠覆型转换带都属于增压型转换带,而右旋右阶 叠覆型转换带和左旋左阶叠覆型转换带都属于释压 型转换带.

增压型叠覆转换带常形成反转背斜类构造,且 规模较大,是圈闭的有利发育位置,如渤海锦州 25-1油田的南区(图 4).释压型叠覆转换带常常形成小 型凹槽,若转换带规模大,则可形成拉分性质的凹 陷,如渤海海域的莱州湾凹陷就是郯庐走滑断裂的 两支拉分形成的凹陷.

2.2.2 双重型转换带 双重型转换带是指两条或 多条走滑断层相互叠覆并相连接围合形成双重构造 带,在剖面上呈现花状构造,走滑双重构造也是两条 走滑断层相互转换的一种形式.根据主走滑断裂的 排列方式,双重型转换带也可以分为左阶式走滑双 重转换带和右阶式走滑双重转换带.在渤海海域张 蓬断裂带中双重型转换带不发育,而在郯庐断裂带



图 5 渤海海域双重型走滑转换带特征

Fig.5 Characteristics of duplex transition zone in Bohai Sea area

左图:蓬莱 19-3 油田增压型双重走滑转换带;右图:金县 1-1 油田释压型双重走滑转换带

中,双重型转换带则常见.郑庐断裂带中的左阶式走 滑双重转换带属于增压型转换带,右阶式走滑双重 转换带属于释压型转换带(图 3g,3h).

增压双重转换带由于局部的挤压作用常形成复杂的断裂背斜构造,且规模较大,如渤海蓬莱19-3油田就是在增压双重转换带发育起来的断裂背斜圈闭, 圈闭规模超过50km².而释压型的双重转换带由于局部的伸展作用,常常形成塌陷型断块,如渤海金县1-1 油田的东块就是典型的释压型双重转换带(图5).

2.2.3 共轭转换带 叠覆型转换带和双重型转换 带都是发育在走向相同的同一走滑断裂系中的转换 带,而在渤海海域还有另外一种断层间的转换带,就 是两条走向近于垂直的走滑断裂之间形成的共轭走 滑转换带.

郯庐右旋走滑断裂和张蓬左旋走滑断裂是两组 方向不同、旋向相反、基本同时发育的两条共轭断裂 带,这两条巨型的断裂带在渤海海域多个位置交叉 叠置,形成了典型的共轭转换带,在共轭转换带中也 存在增压型共轭转换带和释压型共轭转换带中也 存在增压型共轭转换带和释压型共轭转换带(图 4i),如渤海西部海域曹妃甸 5-5 地区,在北东方向 的郯庐走滑断裂和北西方向的张蓬断裂的共同作用 下形成了典型的共轭转换带,在这个共轭型转换带 中,增压带圈闭规模大,而释压带圈闭规模一般较小 (图 6).渤海的黄河口凹陷的垦利地区也发育多处共 轭型转换带,垦利 9-1 油田就是在共轭转换带增压 带形成的典型的大中型油田.

2.3 断梢转换带

断梢转换带是发育在走滑断层两端的转换带. 叠瓦扇型转换带是断梢转换带最常见的转换带,常 常表现为马尾状的一组断层组成扇型.在剖面上常 常表现为复杂的"半花状构造"或者复式的"Y"形构 造样式.根据叠瓦断块的活动特点,可以将叠瓦扇型 转换断层分为两类,活动性最强的断层在前缘的称 之为前缘型叠瓦扇转换带,反之则称之为为后缘型 叠瓦扇.在右旋走滑断裂体系中,前缘型叠瓦扇转换 带是增压型的,后缘型叠瓦扇是释压型的(图 2j).

2.4 复合转换带

走滑断裂在初始发育阶段都是由呈雁行排列的 断裂和褶皱构成,随着走滑位移量的增加以及断层 规模的扩大,原先雁行排列的断裂开始彼此连接在 一起,并且在走滑断裂系统中连接的区域沿主走滑 位移带呈现局部聚敛和离散交替出现的现象(Cunningham and Mann,2007),因此,走滑转换带常常 以复合形式存在,增压型转换带与释压型转换带是



图 6 渤海海域曹妃甸 5-5 地区共轭转换带特征 Fig.6 Characteristic of conjugated transition zone in Caofeidian 5-5 of Bohai Sea area



图7 初母廷东口起北权复合转换带付征 Fig. 7 Compound transition zone characteristics in the northern Liaodong uplift of Bohai Sea area

交替出现的.

渤海海域转换带单一类型独立存在的较少,常 常也是以多类型复合、多级次叠加的形式出现,如在 郯庐断裂辽东凸起北段,在整体呈现双重型转换带 的背景下,左支走滑为成对出现的大型 S 型走滑转 换带,该 S 型走滑转换带也不是一个简单的 S 型转 换带,同时还叠加了帚状转换带,是一个非常复杂的 走滑转换带(图 7).

3 渤海走滑转换带级次

渤海海域在多期次、伸展和走滑双动力作用下, 形成了不同规模、不同级次的转换带.根据转换带对 构造差异性分区的作用、转换带的规模,可将渤海海 域走滑转换带可以分为一级转换带、二级转换带和 三级转换带(图 8).

一级转换带规模大,由其分割的构造区构造活动 差异明显,常常是一级构造单元的分界.根据断裂活 动的差异性,将渤海海域郯庐断裂带划分为3个一级 走滑转换带,从北向南依次为旅大27一旅大21转换 带、蓬莱19-3转换带、莱北转换带(图8a),这3个一 级转换带将郯庐断裂渤海海域段分为4段,即辽东湾 段、渤东段、渤南段以及莱青段,这4个段构造特征存 在明显的差异.郯庐断裂辽东湾段,走滑断裂整体呈 北东向走向,断裂主要活动期位于古近纪,新近纪以 来活动性差,属于早断早衰型断裂带;渤东段主走滑 断裂也呈北东走向,但与辽东湾段相比,更加偏北方 向,渤东段晚期活动性更强;渤南段主走滑断裂走向 星北北东方向,晚期断裂活动性强,是典型的早断晚 衰型断裂带,走滑调节断裂呈近东西走向;莱青段的 主走滑断裂走向与渤南段基本一致,但是晚期活动性 明显不如渤南段.这3个一次走滑带的形成主要受控 于北西走向的张家口一蓬莱断裂带的分割作用.

二级转换带是在二级构造带内起分割作用的转换带(图 8b),如辽西1号断裂绥中30-1断内增压型S型转换带,它把辽西1号断裂分为南、北两段,南北两段的活动性和成藏特征明显不同,北段断裂带主要在沙河街组时期活动,油气成藏层系主要在沙河街组,如锦州25-1、锦州25-1南亿吨级轻质油气田,南部断裂带主要在东营组沉积时期活动,油气成藏层系主要在东营组,如绥中36-1亿吨级油田.

三级转换带规模较小,但数量多,主要是三级构 造带内的转换带,但对构造的形成具有重要的作用 (图 8c).由于构造应力在空间上的均衡作用,三级转 换带两种应力状态的出现往往具有对偶性,有增压 区,必定在某个地方存在释压区,在图 7 中可以看 到,南部出现大规模的增压区,发育了大规模的构 造,在北部就出现了一个较大规模的释压区,圈闭不 发育.这种对不同应力状态的转换带对偶出现的特 征对圈闭发育具有良好的预测作用.

4 增压型走滑转换带对大中型油气田 的控制作用

渤海海域郯庐断裂带是油气的富集区,但是渤 海油田在郯庐断裂带进行的多轮次勘探中,有成功,



Fig.8 Characteristics of strike slip transition zone orders in Bohai Sea area

也有失败,到底是什么因素控制了郯庐断裂带油气的富集?什么位置是大中型油气田的主要场所?笔 者通过多年的研究与勘探实践,认为郯庐断裂的油 气分布存在明显的差异性,增压型走滑转换带是郯 庐走滑断裂带油气富集的主要场所,是寻找大中型 油气田的有利位置.

4.1 增压型走滑转换带控制了大型圈闭的发育 转换带虽然类型多样,但从转换带内的应力状

转换带类型		转换带局 部应力特征	圈闭发 育部位	圈闭类型	圈闭规模	圈闭 侧封性	油田实例			
							典型油田名称	平面图	剖面图	储量丰度(10 ⁴ t/km ²)
断边转换带	"S"型 转换带	增压型	右旋左阶拐弯处、 左旋右阶拐弯处	半背斜、 断鼻	规模较大 一般大于 5 km ²	良好	金县1-1油田南区、 旅大6-2油田南区、 旅大21-2油田	释 正 」区 2		700~1 100
		释压型	右旋左阶拐弯处、 左旋右阶拐弯处	断块	小且破碎, 一般小于 3 km ²	较差	金县1-1油田北区、 旅大6-2油田北区	增压区	剖面②	350~400
	帚状 转换带	增压型	右旋左阶帚状 叠置处、 左旋右阶帚状 叠置处	大型断块	规模较大 一般大于 5 km ²	良好	旅大5-2油田、旅 大5-2北油田南区	释 匠 区 2		1 400~1 500
		释压型	右旋右阶帚状 叠置处、 左旋左阶帚状 叠置处	小型断块	小且破碎, 一般小于 3 km ²	较差	锦州23-1构造、 锦州4-1构造	增压区	割面②	200~300
断间转换带	叠覆型 转换带	增压型	右旋左阶叠置处、 左旋右阶叠置处	反转背斜、 半背斜、 鼻状	规模较大 一般大于 5 km ²	良好	锦州25-1油田 6井区	增压[7]	剖面()	800~850
		释压型	右旋右阶叠置处、 左旋左阶叠置处	小型鼻状、 单斜断块	中等-较小, 一般小于 5 km ²	较差	锦州25-1油田 10D井区			400~500
	双重型转换带	增压型	右旋左阶叠置处、 左旋右阶叠置处	反转背斜、 断裂背斜	规模大 一般大于 10 km ²	良好	蓬莱19-3油田、 锦州23-2油田	增压区		1 500~2 000
		释压型	右旋右阶叠置处、 左旋左阶叠置处	断块	中等-较小, 一般小于 5 km ²	较差	金县1-1油田 7井区	释 居 文 人		300~400
	. 共轭 转换带	增压型	共轭增压处	半背斜、 断鼻	规模较大 一般大于 5 km ²	良好	垦利9-1油田、 垦利3-2油田、 垦利9-5/9-6油田			400~500
		释压型	共轭释压处	小型断块、 小型断鼻	小且破碎, 一般小于 3 km ²	较差	垦利3-1构造	▲ 「 」 」 」 」 」 「 」 」 」 「 」 」 」 」 】 】 】 】 】 】 】 】 】 】 】 】 】		50~200
断梢转换带	叠瓦扇 転換带	增压型	右旋走滑前缘 型叠瓦扇处	大型断块	规模较大 一般大于 5 km ²	良好	锦州20-2北油田	増圧区	**	600~700
		释压型	右旋走滑 后缘型叠 瓦扇处	小型断块	小且破碎, 一般小于 3 km ²	较差	暂未发现油田	释 正 正		
→ 走滑断层 → 伸展断层 ● 圈闭 ● 含油面积 → ① 剖面位置 ■ 圈闭(剖面) 油层										

图 9 渤海海域不同类型走滑转换带圈闭特征

Fig.9 Traps characteristics of the different types strike slip transition zone in Bohai sea area

态看主要有两种类型,一种是增压型转换带,例如, 右旋左阶 S 型转换带、右旋左阶叠覆型转换带、右旋 左阶式走滑双重转换带等;另一种是释压型转换带, 如右旋右阶 S 型转换带、右旋右阶叠覆型转换带、右 旋右阶式走滑双重转换.

现代自然环境中,走滑转换带的增压段和释压段 在地球表面广泛分布,从大型山系到裂谷盆地的级别 再到野外露头的级别均可见到(Swanson,2005).增压 段为地形隆升、地壳缩短和结晶基底暴露的环境(Segall and Pollard,1980),而释压段是以地形下沉、地壳 伸展形成沉积盆地、高热流值以及可能的火山活动为 特征的环境(Aydin and Nur,1982).所以,增压段和释 压段形成的地形特征是不同的.

在地质历史时期内,这两种转换带内发育的圈 闭特征也是存在明显的差异.增压型转换带内由于 处于挤压应力环境或挤压应力占优势的应力环境 中,在该转换带下发育的圈闭具有两个重要特点: (1)圈闭规模比较大,在渤海海域,增压型转换带发 育的构造圈闭通常可达 5~10 km²,大者可达 20 km²,圈闭幅度一般为 250~350 m;(2)圈闭类型 往往是背斜类、断裂背斜类或鼻状构造为主的圈闭 (图 9),如蓬莱 19-3 大型油田的圈闭就是增压型的 走滑双重转换带断裂背斜类圈闭.增压型走滑转换 带对大型圈闭发育的控制是大中型油田形成的基 础;而释压型转换带内处于张性引力环境或以张性 应力环境为主的应力环境中,在该转换带下发育的 圈闭往往规模比较小,圈闭类型以小型断块型圈闭 为主(图 9).

4.2 走滑转换带调节断裂控制了转换带油气运移 转换带的主干断裂附近常常发育一系列对应力 状态起调节作用的断裂,本文统称为转换带调节断裂,它们发育的时期与主干断裂一致,与主干断裂的 产状不同.转换带调节断裂是转换带油气运移的重 要通道,特别是在增压型转换带,增压型转换带主干 断裂往往具有压性或压扭性特点,主干断裂并不起 主要运移作用,而是主干断裂的调节断裂起主要运 移作用,调节断层的断至层位控制油气成藏层系,调 节断裂的密度控制油气的富集程度.渤海金县 1-1 油田和旅大 6-2 油田中,断层断至的层位就是油气 富集的层位,调节断层的密度控制了油气的丰度,旅 大 6-2 油田南区调节断层发育,油气丰度高,储量丰 度达 1 030×10⁴ m³/km²,北区调节断层不发育,油 气丰度低,储量丰度仅为 300×10⁴ m³/km²(图 10).

4.3 增压型走滑转换带控圈断层具有良好的侧封性

渤海海域是复杂的陆相断陷盆地,第三纪以来, 构造活动强烈,在复杂的构造作用下,各种与断层相 关的圈闭最为发育,控圈断层的侧向封闭作用对油 气的保存具有重要的作用,控圈断层的侧封性能影 响油气藏的丰度,增压型走滑转换带由于处于局部 压扭应力环境,主控断层具有良好的封闭作用.物理 模拟实验表明(图 11),在走滑断裂的增压段,断裂 处于挤压构造应力场中,呈闭合状态,且闭合程度较 高.随着走滑位移量的增大,调节断裂的挤压幅度逐 渐变大,断裂逐渐封闭,并出现旋扭的现象,使增压 型走滑转换带具备了遮挡流体继续运移的重要条 件.对比同一实验中的释压型走滑转换带位置,断裂 明显处于开启状态,难以阻止流体的运移.所以在走 滑转换带发育的不同位置,同一条断裂的封闭性差 异较大,走滑增压段断层闭合程度更强,是油气保存 的有利位置.



图 10 旅大 6-2 油田转换带调节断裂与油气富集的关系

Fig.10 Relationship between the adjustment fault and the hydrocarbon of the transition zone a. 旅大 6-2 油田 X 井油藏剖面图; b. 旅大 6-2 油田东二下段顶面构造图



图 11 S型走滑转换带增压带与释压带圈闭侧封性差异物理模拟(右旋走滑)

Fig.11 The physical modeling of the difference of trap side sealing between restrain and releasing belts of sigmoid strike slip transition zone(dextral strike-slip)

a.走滑量 2 cm;b.走滑量 6 cm.物理模拟表明,增压区断裂的闭合程度强于释压区,随着走滑距离的增加,增压区闭合程度增加



图 12 渤海走滑转换带与主要大中型油气田分布

Fig.12 The strike slip transition zones and main large-middle scale oil-gas fields in Bohai Sea area

由于增压型走滑转换带良好的侧向封堵作用, 在渤海海域,增压型走滑转换带的油藏高度往往大 于释压型走滑转换带的油藏高度,如旅大 6-2 油田, 增压带的油藏高度为 150~200 m,而在释压带的油 藏高度仅有 40~80 m;在增压型转换带,常常可见 砂岩和砂岩对接的情况下,主控断层也能起到良好 的侧封作用,如旅大 21-2 油田、锦州 20-2 北油田以 及锦州 25-1 油田.

4.4 渤海海域走滑转换带大中型油田分布特征

从大中型油气田个数来看,渤海海域郯庐走滑 断裂带到目前为止大中型油气田或含油气构造有 33个,其中有 30个分布在不同类型的增压型转换 带中(图 12),分布在 S 型增压转换带的有 15个,分 布在走滑双重型增压转换带的有 4个,分布在叠覆 型增压转换带的有 9个,分布在叠瓦扇型增压转换 带和共轭型增压转换带的分别只有 1个.从储量来 看,渤海郯庐断裂带发现石油地质储量 33 亿吨,超 过渤海总石油地质总储量的 60%,其中增压型转换 带石油地质储量占郯庐断裂带总地质储量的 81%. 渤海海域勘探实践表明,增压型走滑转换带在走滑 断裂体系中的油气勘探中具有重要的地位,是寻找 大中型油气田的主要场所.

5 结论

新生代以来,渤海海域发育了众多的多类型、多 成因、多级次、多期次的走滑转换带:根据转换带在 走滑断裂带中发育的位置,可以将渤海海域走滑转 换带划分为断边转换带、断间转换带、断梢转换带三 大类,进一步根据断层的相互作用以及转换带的形 态,可以将渤海海域转换带可以分为S型转换带、叠 覆型转换带、双重型转换带、帚状转换带、叠瓦扇型 转换带、共轭转换带以及复合转换带7种类型;根据 局部应力状态可以分为增压型转换带和释压型转换 带;根据转换带的规模,渤海海域走滑转换带可以分 为一级转换带、二级转换带和三级转换带;增压型转 换带控制了大型有效圈闭的发育、运移条件通畅等 大中型油田基本成藏要素,进而控制了大中型油田 的分布.渤海海域增压型转换带石油地质储量占郯 庐断裂带总地质储量的 81%.增压型转换带是寻找 大中型油气田的主要场所,在受走滑改造作用强烈 的盆地进行油气勘探应该要加强转换带特征的研 究,重视增压型转换带的勘探.

致谢:感谢中国工程院院士邓运华教授、中国石 油大学(华东)吴智平教授、中国石油大学(北京)余 一欣副教授在本课题研究中和本文编写中给予的指 导和意见,感谢渤海石油研究院任健、柳屿博在图件 清绘中提供的支持,感谢本文评审专家的宝贵意见.

References

- Aydin, A., Nur, A., 1982. Evolution of Pull-Apart Basins and Their Scale Independence. *Tectonics*, 1(1):91-105.doi: 10.1029/tc001i001p00091
- Dahlstrom, C. D. A., 1970. Structural Geology in the Eastem Margin of the Canadian Rocky-Mountains. Bull of Canadian Petroleum Geology, 18(3):332-406.
- Chen, F.J., 2003. Accommodation Zone (or Transfer Zone) of the Basic Concepts and Classification. *Geoscience*, 17 (2):186 (in Chinese).
- Chen, F. J., Jia, Q. S., Zhang, H. N., 2004. Transfer Zone and Its Relation with Distribution of Sand Bodies. *Oil & Gas Geology*, 25(2):144-148 (in Chinese with English abstract).
- Chen, Z. N., Chen, F. J., Wang, Q., 2005. Types of Normal Faults, Soft Linkage and Corresponding Transfer Zones. *Geoscience*, 19(4): 495-499 (in Chinese with English abstract).
- Gong, Z.S., Cai, D.S., Zhang, G.C., 2007. Dominating Action of Tanlu Fault on Hydrocarbon Accumulation in East-

ern Bohai Sea Area.*Acta Petrolei Sinica*,28(4):1-10 (in Chinese with English abstract).

- Lao, H. G., Cheng, Q. H., 2012. The Tectonic Evolution of Lateral Transitional Zone in Southern Jiyang Depression and Its Hydrocarbon Accumulation. *Geological Review*, 58(5):893-900 (in Chinese with English abstract).
- Liu, E.T., Wang, H., Li, Y., et al., 2013. Control of Transfer Zone over Sequences and Depositional System in Fushan Sag, Beibuwan Basin. Journal of China University of Petrole-um (Science & Technology Edition), 37(3):17-22,29 (in Chinese with English abstract).
- Liu, S., Shen, Z.M., Si, J.T., 2006. Dynamics of the Evolution of the Tanlu Fault Zone: A Multiforce in Multiphase Acting Model. Journal of Chengdu University of Technology (Science & Technology Edition), 33(5): 473-477 (in Chinese with English abstract).
- Morley, C. K., Nelson, R. A., Patton, T. L., 1990. Transfer Zones in the East African Rift System and Their Relevance to Hydrocarbon Exploration in Rifts (1). AAPG Bulletin,74(8):1234-1253. doi: 10.1306/0c9b2475-1710-11d7-8645000102c1865d
- Qi,J.F.,2007.Structural Transfer Zones and Significance for Hydrocarbon Accumulation in Rifting Basins. *Marine Origin Petroleum Geology*, 12(4):43-50 (in Chinese with English abstract).
- Segall, P., Pollard, D. D., 1980. Mechanics of Discontinuous Faults. Journal of Geophysical Research : Solid Earth, 85(B8):4337-4350.doi:10.1029/jb085ib08p04337
- Song, H. L., 1996. Oblique Slip and Strike-Slip Transform Structures. Geological Science and Technology Information, 15(4): 33 - 38 (in Chinese with English abstract).
- Sun, S. M., Peng, S. M., Huang, S. W., 2006. Characterics and Origin of Transverse Accommodation Zones in the Dongpu Subbasin, Bohai Gulf Basin, and Their Role in Regional Segmentation. *Journal of Geomechanics*, 12 (1):55-63 (in Chinese with English abstract).
- Swanson, M. T., 2005. Geometry and Kinematics of Adhesive Wear in Brittle Strike-Slip Fault Zones. Journal of Structural Geology, 27(5): 871-887. doi: 10.1016/j. jsg.2004.11.009
- Cunningham, W. D., Mann, P., 2007. Tectonics of Strike-Slip Restraining and Releasing Bends. Geological Society, London, Special Publications, 290(1):1-12. doi: 10. 1144/sp290.1
- Tian, W., He M., Yang Y.J., et.al., 2015. Complex Linkage and Transformation of Boundary Faults of Northern Huizhou Sag in Pearl River Mouth Basin. Earth Sci-

ence,40(12):2037-2051 (in Chinese with English abstract).

- Wan, T. F., Zhu, H., Zhao, L., et. al., 1996. Formation and Evolution of Tancheng-Lujiang Fault Zone: A Review. *Geoscience*, 10(2): 159-168 (in Chinese with English abstract).
- Wang, J.X., Chen, F.J., Li, C.Y., 2003. Character of the Extensional Structures and Accommodation Zones in the Huimin Depression, Shandong Province. *Geoscience*, 17 (2):203-209 (in Chinese with English abstract).
- Wu, G. H., Qi, J. F., 1999. Characteristics and Origin of First Order Transfer Zones in Huanghua Basin. Oil & Gas Geology, 20(2):125-128 (in Chinese with English abstract).
- Xu, Y. D., Liang, Y. P., Jiang, S. S., et. al., 2014. Evolution of Cenozoic Sedimentary Basins in Eastern China. *Earth Science*, 39(8): 1079-1098 (in Chinese with English abstract).
- Ye, H., 1988. Application of Fault Block Tectonics Theory in the Study of Strike Slip Transformation Structure. In: Sun, S., ed., Fault Block Structure Theory and Its Application. Science Press, Beijing, 22-31 (in Chinese).
- Zhang, L., Wu, Z.P., Li, W., et al., 2012. Research on the Extensional Transfer Structures in the Jiyang Depression. *Geotectonica et Metallogenia*, 36(1):24-31 (in Chinese with English abstract).
- Zhou, J. S., Yang, C. Y., Chen, F. J, et al., 1997. Structural Characteristics and Origin of Transverse Transfer Zone in Huanghua Subbasin.*Geoscience*, 11(4):426-433 (in Chinese with English abstract).

附中文参考文献

- 陈发景,2003.调节带(或传递带)的基本概念和分类.现代地 质,17(2):186.
- 陈发景,贾庆素,张洪年,2004.传递带及其在砂体发育中的 作用.石油与天然气地质,25(2):144-148.

- 陈昭年,陈发景,王琦,2005.正断层软联接及其传递带类型. 现代地质,19(4):495-499.
- 龚再升,蔡东升,张功成,2007.郯庐断裂对渤海海域东部油 气成藏的控制作用.石油学报,28(4):1-10.
- 劳海港,陈清华,2012.济阳坳陷南部横向变换带构造演化及 其油气聚集规律.地质论评,58(5):893-900.
- 刘恩涛,王华,李媛,等,2013.北部湾盆地福山凹陷构造转换 带对层序及沉积体系的控制.中国石油大学学报(自然 科学版),37(3):17-22,29
- 刘顺, 沈忠民, 司建涛, 2006. 郑庐断裂带演化动力学——多 力源多时期分段作用模式. 成都理工大学学报(自然科 学版), 33(5): 473-477.
- 漆家福,2007.裂陷盆地中的构造变换带及其石油地质意义. 海相油气地质,12(4):43-50.
- 宋鸿林,1996.斜向滑动与走滑转换构造.地质科技情报,15(4):33-38.
- 孙思敏,彭仕宓,黄述旺,2006.渤海湾盆地东濮凹陷横向调 节带特征、成因及其区域分段作用.地质力学学报,12 (1):55-63.
- 田巍,何敏,杨亚娟,等,2015.珠江口盆地惠州凹陷北部边界 断裂复合联接和转换.地球科学,40(12):2037-2051.
- 万天丰,朱鸿,赵磊,等,1996.郯庐断裂带的形成与演化:综 述.现代地质,10(2):159-168.
- 王纪祥,陈发景,李趁义,2003.山东惠民凹陷伸展构造及调 节带特征.现代地质,17(2):203-209.
- 邬光辉,漆家福,1999.黄骅盆地一级构造变换带的特征与成 因.石油与天然气地质,20(2):125-128.
- 徐亚东,梁银平,江尚松,等,2014.中国东部新生代沉积盆地 演化.地球科学,39(8):1079-1098.
- 叶洪,1988.断块构造理论在研究"走滑转换构造"中的应用. 见:孙枢,编,断块构造理论及其应用.北京:科学出版 社,22-31.
- 张林,吴智平,李伟,等,2012.济阳坳陷伸展背景下的变换构 造研究.大地构造与成矿学,36(1):24-31.
- 周建生,杨池银,陈发景,等,1997.黄骅坳陷横向变换带的构造特征及成因.现代地质,11(4):426-433.