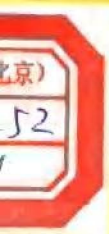
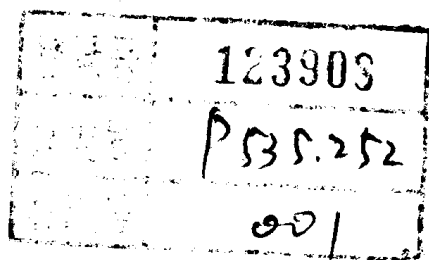


胶莱盆地的形成和演化

主编 陆克政 戴俊生·石油大学出版社

山东省自然科学基金资助项目





胶莱盆地的形成和演化

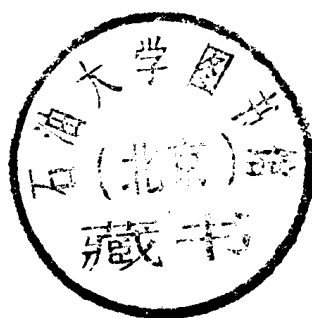
SY24/12

主 编 陆克政 戴俊生

副主编 陈书平 熊继辉 宋全友 王 毅



石油0117375



石油大学出版社

鲁新登字 10 号

内 容 简 介

本书系统地介绍了走滑盆地的基本特征和主要研究方法；通过地面地质、钻井、地震、重力、磁力、古地磁、卫星遥感、地球化学等资料的分析，研究了胶莱盆地这一白垩纪走滑-拉分盆地的构造几何学、运动学和动力学特征；对盆地形成和演化及构造应力场进行了数学模拟和物理模拟；评价了盆地的含油气远景。

本书可作为石油高等院校石油地质、石油物探等专业本科学生及研究生的教学参考书，对石油地质、石油物探科研及生产人员均有参考价值。

胶莱盆地的形成和演化

主编 陆克政 戴俊生

*

石油大学出版社出版

(山东省东营市)

新华书店发行

石油大学印刷厂印刷

*

开本 787×1092 1/16 11.5 印张 29.44 千字

1994 年 12 月第 1 版 1994 年 12 月第 1 次印刷

印数 1—1500 册

ISBN 7-5636-0548-7/TE·90

定价：15.00 元

绪 论

胶莱盆地位于山东省东部，南迄五莲、诸城、胶县，北达平度、莱阳，西抵安丘、莒县，东越海阳、乳山入黄海，其陆上面积约 12000km²，胶莱盆地因胶莱河横贯全境而得名。它是一个中国东部白垩纪的陆相沉积盆地。

新中国成立前主要开展了古生物地层学方面工作。谭锡畴（1923）调查山东省中生代地层时在山东东部建立了莱阳层、青山层和王氏系，定其时代为白垩纪。周赞衡、葛利普等同时研究了各类化石，为地层划分和时代提供了依据。秉志（1928）又研究了盆地的昆虫化石。王恒升（1930）调查研究了山东东部地质。黄汲清（1945）指出在鲁东，海相沉积几乎完全缺失，说明自寒武纪以来就已成为陆地。无论从地质学和形态学上来说，山东都可分为两个部分：鲁东或山东半岛和鲁西。对该区主要矿产调查是金矿。

新中国成立后开展了系统的区域地质调查和专题研究工作。山东省地质局、水文工程局、煤炭局、北京地质学院、长春地质学院等作了大量区域地质测量工作，编出全区 1:20 万和部分地区 1:5 万地质图，对于盆地及其周围地层、构造、岩浆活动及矿产均作了详细研究。山东省地质局 805 队对中生代地层曾作过专题研究。地球物理工作相继展开，1958~1960 年地质部航磁大队作过 1:50 万航磁测量完成胶莱盆地航空磁测 ΔT 平面图，地质部中原物探大队进行了高密、平度一带 1:20 万重力测量，1960 年山东省地质局 803 队在平度、高密之间进行 1:10 万重磁力勘探。同年，山东省煤炭局物探队紧接 803 队工区在莱西、即墨、胶县以西进行了 1:20 万重力普查及 1:5 万电法勘探。对于盆地深部地质构造轮廓有了进一步认识。

以找油为目的的地质调查工作始于 1958 年，1959~1961 年地质部第一普查大队较全面地研究了盆地地质、油气显示分布、生储层条件、圈闭条件和保存条件等，发现了莱阳西朱儿宅的龙旺庄组七层含油砂岩，并在宋家庄以东大蟒山钻了莱 1 孔，揭开了找油工作的序幕。

自 1970 年起山东省地质局综合三队、807 队为找煤共钻浅井 12 口（莱阳 ZK₁₋₄、CK₁、CK₂、栖霞 ZK₂、ZK₃、海阳 CK₁、CK₂ 等）发现了大量的液态原油、沥青等油气显示，其中尤以莱阳 ZK₁、ZK₂（井深 93~170m）、栖霞 ZK₃（井深 115~193m）孔所见显示最多，在黑色页状白云岩和砂质页岩的裂隙中多处充满黑色原油，以无可辩驳的事实证明了本区的含油远景。

1971 年胜利油田地质调查指挥部 2158 队开始在盆地西部平度、高密、胶县、莱西之间的第四系覆盖区进行地质条件研究，获得有意义的地震资料。

胜利油田和华东石油学院组成的胶莱坳陷石油地质综合研究队（1972）研究了莱阳组水南段生油层、生储盖组合；进行了区域构造单元划分；重点研究盆地断块构造和圈闭；详细调查了油气显示；综合各方面成油条件提出了含油气远景评价，提出了进一步开展物探和钻探的意见。

胜利油田于 1979~1981 年开展了地震普查，完成三条区域大剖面的二维地震工作，共 1099km，并对高密凹陷和诸城凹陷作了概查，证实了高密凹陷中有平度、胶县和集王疃 3 个

洼陷并进行了地震地质构造解释。在此基础上在高密凹陷钻了3口参数井（胶参1井、胶参2井、胶参3井）。

80年代以来，许多学者对本区地质构造进行了多学科研究，提出了各自的观点。中国科学院和山东地矿局李殿河（1981）以断块构造的观点研究本区构造特征及其演化。郭令智等（1984）引入了地体的概念，认为由郯城-庐江深断裂分割的鲁东和鲁西两个不同构造单元区可能是两个地体，两区的沉积、古生物、构造、岩浆活动及演化历史截然不同。

郭振一等（1985）曾报在盆地南缘莱阳组下部砾岩中灰岩砾石中含晚石炭世海相化石。陈丕基（1986）以构造迁移的观点研究山东中生代火山活动的迁移。

杨志坚（1989）在研究胶东地块古构造演化方面对传统的“胶辽地块”的连接图式提出质疑，认为胶东地块过黄海应与朝鲜半岛京畿地块相接（称胶东-京畿地块）；其北的“假蓬莱群”应与朝鲜的泥盆纪临津江群相连，是中朝地台上裂解的狭长裂陷槽带（称为烟南-临津江断槽带）；向北与燕山-渤海-辽南-北黄海-朝鲜半岛北部平南坳陷相连（称为燕辽-平南坳陷带）；更北由山海关、辽东地块与朝鲜狼林地块连为一体（称为山海关-辽东-狼林地块）。

蔡乾忠（1989）以地体理论重新解释鲁东地体是个外来地体，它不应属于中朝地台范畴，而应归属于扬子地台。指出鲁东地体与鲁西地块在基底变质程度、年代、地壳结构以及区域重磁特征等都有显著差异。在晚印支期鲁东地体才从古太平洋陆块分裂位移到郯庐断裂，与鲁西地块发生热拼贴。

王战、白立仑等（1982，1985，1986，1990）以波浪运动和镶嵌构造的观点研究鲁东地区构造和矿产分布规律。曹国权等（1990）则提出胶南地体，其北部边界就是五莲-荣城断裂。

徐嘉伟（1980，1984，1992）、任安身（1991）将本区发育与郯庐断裂带长期多次的平移活动联系起来。任安身认为盆地形成和构造与沂沭断裂带的活动都是统一应力场多次变换作用的结果。

石油大学和胜利油田地质科学院（1990~1991）再次协作研究胶莱盆地区域地质特征及生储油气条件。根据地面地质、钻井资料、重力、地震、遥感等资料重新解释盆地构造单元、线性构造、凹陷发育、沉积特征。根据成油基本条件分析，评价了各单元含油气远景及最有利地区。在新一轮研究中确定莱阳组时代为早白垩世，在诸城凹陷也有道仙庄段沉积。除莱阳组水南段外，道仙庄段也是胶莱盆地的生烃岩系，指出自生自储自盖组合是有利的生储盖组合。认为含气远景大于含油远景，含油气远景最佳区是诸城凹陷中、北部、莱阳凹陷等区。

作者等在以往研究的基础上于1991年得到山东省自然科学基金的资助，得以开展胶莱盆地的形成机制和演化的研究。即在盆地构造形态分析和地史分析基础上，重点解决胶莱盆地的性质、运动学和动力学问题。深入研究盆地构造形态、断裂性质、断裂系统及组合样式、断裂与岩浆活动、沉积作用关系、盆地性质及演化，建立盆地演化地质模型，选取参数用有限单元法数值模拟计算各时期构造应力场特征，研究断裂与成油凹陷关系，根据盆地成油气条件，提出进一步勘探的建议。

为此，进一步开展了野外地质调查285人·天工作量，对主要断裂带和节理观察、测量统计，统计构造点位210个，采集定向标本和生油岩样近100块，拍摄构造、沉积等照片100余张，获取了第一性资料。野外与室内研究结合、宏观和微观结合，在实验室内磨制和观察薄片41片，每片统计石英颗粒40个，利用经验岩石物理参数（杨氏模量和泊松比等），以弹性平面问题为基础，对盆地形成和演化的四个阶段的平面应力场做了数学模拟，包括地质模型的建立、边界条件的确定、有限元法应力场数学模拟源程序移植（机型386）、岩石物理参

数的选择和各期应力场的反复多次试算。总计上机时间超过 100 小时。

在研究工作中大量收集了不同层次的资料,包括遥感卫星照片、地面资料、钻井和各种地球物理资料(地震、重力、磁力资料)进行综合分析。对古地磁样品数据进行了计算和分析。实测布格异常图和胜利油田计算中心提供的“胶莱地区布格重力异常趋势面分析图册(1:20万)”为分析研究增添了新依据。

研究工作加强定量化,使定性与定量研究结合。对盆地 1061km 的地震资料重新进行了解释,在此基础上研究了盆地伸展量、升降量、走滑量。作了干酪根 R_o 测量以估算剥蚀量。对计算机处理的重力、遥感资料也作了定量的解释。

主要研究成果包括:

(1) 胶莱盆地是中国东部一个白垩纪发展起来的陆相碎屑岩及火山岩盆地。盆地性质是走滑-拉分盆地,其发育与周缘沂沭大断裂和五莲-荣城大断裂发育有密切关系,尤其沂沭大断裂活动对盆地的形成起控制作用,其大规模左旋平移活动最终导致了胶莱走滑-拉分盆地形成。

(2) 胶莱盆地及其周围的基底不单纯是前寒武纪基底,而是多期的、拼合的基底。盆地是在复杂基底之上形成和发育的。

(3) 胶莱盆地的主要构造类型是断块构造。北北东向、北东向、东西向、北西向各组断裂将盆地切割成不同方向、不同等级、不同形状的断块构造。

(4) 断块构造造成基底起伏大(可达 8000 余米)、控制盆地内次级构造单位,盆地的主要七个次级构造单元是:诸城凹陷、柴沟地垒、高密凹陷、大野头凸起、莱阳凹陷、牟平-即墨断裂带和海阳凹陷。

(5) 胶莱盆地的断层发育与伸展和走滑两个相互关联的构造系统有关,以正断层和平移断层为主。断面有铲形和板形两类。断层剖面组合样式有地堑式、地垒式、板式掀斜、铲式掀斜、“Y”字型和负花状等。平面组合样式有平行式、雁列式、“λ”字型、交叉式、放射状等。

(6) 盆地演化前本区经受挤压隆起,盆地演化由初期的走滑-拉分(莱阳期)—强烈地壳减薄、火山喷溢、火山岩、火山碎屑岩发育期(青山期)—拉分后期(王氏期)盆地塌陷的过程。早第三纪黄县期盆地萎缩和反转。盆地演化控制着沉降中心形成及其迁移。王氏期盆后阶段的抬升使原盆地遭受严重剥蚀。

(7) 利用平衡剖面原理求得盆地构造在各时期水平伸展量及伸展率。胶莱盆地南北向伸展总量大于 28.9km,总伸展率为 35%。

盆地区与周围山区在白垩纪以来有强烈的差异升降运动,差异升降幅度逾万米。除郯庐断裂已证实有大规模水平位移外,区内大断裂均有明显水平位移,牟平-即墨断裂两盘地质体被错开约 60km。古地磁资料表明龙旺庄地区自白垩纪早期至今向北移动距离至少 300km。

(8) 盆地断裂构造控制岩浆活动。中生代火山活动是沿断裂分布的中心式喷发,主要有两个火山喷发带,火山喷发有五期,火山岩以中酸性、酸性为主,属钙碱系列。在盆地范围内,火山活动对油气生成和破坏影响不大。

盆地断裂控制沉降和沉积。莱阳组由两大沉积旋回组成。盆地发育初期为局限性盆地,在诸城、莱阳形成两个凹陷。正处于受拉张最强烈部位。水南期盆地为高水位,变成统一盆地。龙旺庄一曲格庄期,地形高差又增加。古水流分析表明盆地北、东、南和大野头隆起都是物源供给区。

(9) 采用了弹性力学平面问题的有限单元法对胶莱盆地形成演化的四个阶段(莱阳初期、青山初期、王氏初期及王氏后期)的应力场进行了平面反演模拟,得出了四个地质模型,四期构造应力场的主应力方向图和剪应力等值线图,分析了各期应力场的变化特点,从理论上验证了胶莱盆地的形成演化机制,对主应力方向、剪应力分布与盆地内部构造、边界断层的活动的关系进行了探索性研究。

盆地各期应力场变化的区域构造背景可能是太平洋板块和欧亚板块相对运动关系的变化所致。在盆地形成中应力变化起直接的和主导的作用,而热力及重力也起了重要作用。

(10) 确定两个旋回中期即道仙庄中期和水南期为湖侵期,其暗色泥页岩和碳酸盐岩即是有利的生油层。分析了生储盖圈闭条件,指出断块圈闭和地层岩性圈闭是重要的圈闭类型。对各构造单元的含油气远景评价作了分析。多沉降中心和诸城凹陷有道仙庄组,提高了对诸城凹陷北部的评价。然而,作者认为尽管已对生油层作过许多研究,成套的、深埋的生油层和深生油凹陷尚未找到(有的地区如莱阳凹陷生油条件虽好,但已出露,而有些地区深埋如高密凹陷尚未钻到生油层,还有些地区生油层好的层位多处于夹层状态)。因此,目前胶莱盆地找油需要解决的主要问题,仍是生油层的问题。另外,由于受样品密度的限制,本次古地磁资料尚未能用于地质时代的确定和地层对比,同样由于定向标本采集的局限性(仅在五莲-荣城断裂附近)和由于统计的颗粒数量的不足,因此本次没有用于构造特征分析。

参加本项研究工作的有陆克政、戴俊生、陈书平、熊继辉、宋全友和王毅。宋全友的硕士论文《胶莱坳陷地质构造特征及演化》就是本课题的组成部分,他自始至终的参加了最近两期的胶莱盆地研究工作。

应当说,本项目是在石油大学与胜利油田两次合作项目完成的基础上进行的,是该两项工作的深入和继续。参加1971年研究工作的有徐梦虹、张家环、吴崇筠、冯增昭、倪丙荣、陆克政、管守锐、许维忠、李昭仁等。在1991年完成的“胶莱盆地区域地质特征及生储油气条件研究”中,参加研究的有陆克政、熊继辉、袁炳存、谢传礼、戴俊生、苏海桥、陆基孟、陈崇和、宋若微、陈清华、王毅、姜在兴、陈增智、王留奇、宋全友等。

在胶莱盆地研究中始终得到胜利油田的帅德福总地质师、王秉海院长、王捷总地质师、杨申饒、任安身、杜公仪、赵德义等高级工程师、任景民等同志的大力支持、指导、帮助和密切合作研究,他们同样付出了巨大的劳动。此外,胜利油田地质研究院有关研究单位、化验室、绘图室、油田计算中心及油田物探公司也给予各方面的支持与帮助,在此,谨致衷心的感谢。

作 者

1994.10

目 录

绪论

第一章 走滑构造和走滑盆地的基本理论	(1)
第一节 走滑断裂及其构造组合	(2)
一、走滑断裂的基本概念及类型	(2)
二、走滑带的构造组合	(3)
第二节 走滑断层带的鉴别	(6)
一、剖面标志	(6)
二、平面标志	(7)
第三节 基底扭动与盖层构造	(9)
第四节 走滑-拉分盆地	(12)
一、走滑型盆地	(12)
二、拉分盆地的形成条件	(14)
三、拉分盆地的演化	(17)
四、拉分盆地的类型	(18)
五、国外拉分盆地实例	(19)
六、中国拉分盆地实例	(26)
七、拉分盆地的反转和走向滑移旋回	(28)
八、拉分盆地与油气生成、聚集	(28)
第五节 走向滑移断层与滑线场理论	(28)
第二章 地层层序和沉积特征	(33)
第一节 基底构造层	(33)
一、地层特征	(33)
二、构造特征	(34)
三、胶北地块与胶南地体的差异	(35)
第二节 盖层构造层	(36)
一、莱阳组	(36)
二、青山组	(41)
三、王氏组	(43)
四、黄县组	(46)
第三章 岩浆活动	(47)
第一节 概述	(47)
第二节 岩浆侵入活动	(47)
一、印支期侵入岩	(47)
二、燕山期侵入岩	(48)
第三节 岩浆喷发活动	(49)
第四章 构造特征	(55)

第一节 深部构造	(55)
一、地震资料的解释	(55)
二、重力资料解释结果	(56)
三、基本构造特征	(61)
第二节 构造单元的划分及其特征	(63)
一、诸城凹陷	(63)
二、柴沟地垒	(63)
三、高密凹陷	(65)
四、大野头凸起	(67)
五、莱阳凹陷	(68)
六、牟平-即墨断裂带	(68)
七、海阳凹陷	(69)
第三节 断裂构造	(70)
一、断裂构造的重、磁场特征	(70)
二、断裂构造的卫星影象特征	(71)
三、断裂分级	(75)
四、断裂组合型式	(77)
第四节 褶皱构造	(81)
第五节 节理构造	(83)
第六节 五莲-荣城断裂带石英 C 轴组构分析	(94)
第五章 盆地构造运动学及动力学特征	(97)
第一节 伸展构造及伸展量分析	(97)
一、伸展构造与伸展作用	(97)
二、伸展量估算的原理及方法	(97)
三、胶莱盆地伸展量分析	(99)
第二节 差异升降运动与盆地埋藏史分析	(101)
一、差异升降运动	(101)
二、基底沉降分析的原理及方法	(101)
三、胶莱盆地基底沉降	(102)
第三节 断块掀斜运动	(104)
第四节 走滑构造及相对走滑运动	(106)
一、走滑构造	(106)
二、相对走滑运动	(106)
三、古地磁资料的应用	(106)
第五节 盆地形成及演化	(109)
一、拉分盆地发育初期	(109)
二、火山岩、火山碎屑岩盆地发育期	(109)
三、拉分盆地发育后期	(111)
四、盆地萎缩期	(111)
五、盆地形成和演化的物理模拟	(112)

第六章 构造应力场的有限单元法数学模拟·····	(115)
第一节 概述·····	(115)
第二节 弹性力学平面问题的有限单元法原理·····	(115)
一、弹性力学基本方程·····	(116)
二、单元分析·····	(118)
三、整体分析·····	(122)
第三节 胶莱盆地构造应力场的数学模拟·····	(122)
一、地质模型的建立·····	(122)
二、模拟结果分析·····	(129)
第七章 从构造特征和演化看盆地油气条件及潜能·····	(145)
第一节 油气显示·····	(145)
第二节 生储盖层特征·····	(150)
一、生油岩系和生油凹陷·····	(150)
二、储层特征·····	(153)
三、盖层特征·····	(153)
第三节 圈闭及保存条件·····	(153)
一、背斜圈闭·····	(154)
二、断块圈闭·····	(154)
三、岩性、地层圈闭·····	(154)
第四节 油气远景·····	(154)
一、I类有利地区·····	(154)
二、II类有利地区·····	(154)
三、III类不明地区·····	(154)
四、IV类不利地区·····	(154)
图版·····	(156)
参考文献·····	(166)

第一章 走滑构造和走滑盆地的基本理论

走向滑移（简称走滑）是岩石圈或地壳水平运动的重要表现，在全球构造中占有重要位置，它是指岩石圈或地壳在扭或剪应力作用沿断面走向运动产生的各种构造变形样式或型式、体系。随着国际地球动力学计划、大陆岩石圈动力学计划以及勘探的推动，断裂谷和冲断推覆研究热之后，走滑构造也取得了新的进展。从 70 年代以来，Wilcox 等（1973）、Moody（1973）、Harding（1974、1979、1983、1990）、Crowell（1974）、Tapponier 和 Molnar（1974、1975、1976、1977）、Sylvester（1976、1984、1988）、Ramsay（1980）、Rdges（1980）、Reading（1980）、Aydin（1982）、Bally（1983）、Lowell（1984）、Miall（1984）、Riqassi（1986）、Gibs（1987）、Allen（1990）、Zolnai（1991）等发表的文章和著作集中地反映了国外 20 余年来对走滑构造和走滑盆地专门研究的状况。我国一些著名地质学家也曾对走滑或扭动构造研究作出了重要贡献。李四光等早就以地质力学方法研究全球和东亚构造体系，提出华夏系、新华夏系及各种走滑型式的构造，各种构造体系复合和构造体系控制含油气盆地及其构造等。黄汲清等在研究深断裂多旋回发展中详尽地解析了中国各大平移断层带的特征和演化历史。张文佑等提出全球性剪切断裂网络和中国大陆浅部和深部断裂网络，研究了 X 型剪切破裂理论为基础的断块构造对于盆地形成、发育、改造的控制以及断块构造控矿、控油气问题。朱夏等指出晚华力西-印支运动联合成的中国板块是不稳定的，后来又由于印度板块进侵和太平洋板块东退，沿一些老的大断裂发生平移滑动和块体间旋扭。马杏垣及国家地震局的许多学者从研究地震活动、地震机制和地震预报需要出发，进行了包括地学断面。深部地震在内的多种学科研究，编制了中国及邻近海域岩石圈动力学图及图集，对中国大陆及邻近海域的扭动作用开展了广泛深入的研究。李春昱等在编制亚洲大地构造图及王鸿祯、刘和甫等在编制亚洲地质图中皆分析了亚洲大陆平移断裂系的分布及其演化中的作用。地质部航磁大队地震局，徐喜伟等详细研究了中国东部最重要的郯庐断裂带的走滑性质。正是这条断裂带串联了中国东部各大重要油区。郑剑东等研究了西部阿尔金山断层的特征和演化，指出它是西藏高原的边界，分开西部塔里木和柴达木两大盆地，并在该地区动力演化中起了重要作用。还有许多学者在研究造山带和盆地中均注意分析了走滑构造。

然而，正如一些国内外学者所指出的，对于大陆内部走滑构造所起的作用容易被忽视和低估。过去传统的地槽-地台学说自不必说，现今也有之。通常将构造区仅分为张性区和挤压区，将盆地仅划分成裂谷型和造山型两类，就难免不导致缺少对走滑构造的专门注意。此外，也与走滑变形、扭动方向和位移量确定和估计的困难有关，在盆内构造就愈加困难。张性和压性变形在剖面上都易于观察到，地层被错断的标志清楚地指示了垂直位移，而经过定时的垂直标志被水平错开的直接证据要贫乏得多。如果不是专门深入研究，人们自然易于接受用纯挤压或伸展机制去解释，尽管都承认块体运动常常具有双重性质。

中国大陆及其邻近海域地处三大板块交汇处，走滑构造普遍发育于东西部，表现出扭张，

扭压结合的双重性和多期性。由于走滑作用控制着盆地形成、演化和改造、反转，在许多地区还控制着区带和圈闭，故走滑构造的重要性愈来愈被石油地质工作者所重视。因此，吸取国内外各路对走滑构造研究的成果，用于分析盆地基底和盖层构造，分析盆地成因和发展，是油区构造地质学中一项不可缺少的工作。

第一节 走滑断裂及其构造组合

一、走滑断裂的基本概念及类型

走滑构造中以走滑断裂最为重要。走滑断层 (Strike-slip fault) 和扭动断层 (Wrench fault)、平推断层 (Transcurrent fault) 是同义词，是指断面近于直立、沿断面走向断层一盘相对于另一盘作近水平的活动。

大的走滑变形和盆地可形成于各种地动力条件下，走滑断裂可以发生在各种板块构造背景下，包括板缘的和板内的走滑断层，板缘走滑断层中也有离散边缘的、聚敛俯冲边缘的、碰撞缝合带边缘的和守恒转换边缘的走滑断层。

Miall (1984) 以板块构造活动和走滑带的关系，将走滑断层分为 4 类：① 板块边界转换断层 (如加州圣安德列斯断层)；② 离散边缘转换断层 (如大西洋罗曼奇、太平洋门德西诺)；③ 聚敛边缘转换断层 (如苏门答腊)；④ 缝合带平移断层 (如土耳其比阿纳托利亚)。

关于转换断层，有人认为这是一种特殊型式的走滑断层，其位移突然终止，型式和方向突然改变的走滑断层。但也有人强调转换断层与平移断层具有不同性质。Sylvester (1988) 的分类中则将切穿深层的、分隔板块的板间走滑断层叫“转换断层”，而限于地壳内、不切穿地壳的板内走滑断层称之为“平移断层” (表 1-1)。

表 1-1 Sylvester (1988) 的走滑断层分类

1. 板间“转换断层”	2. 板内“平移断层”
1-1 脊转换断层	2-1 与碰撞楔进和逸脱有关的断层
1-2 边界转换断层	2-2 与楔进无关的大陆内部走滑断层
1-3 与海沟有关的走滑断层 (在斜向俯冲背景下)	2-3 撕裂断层
	2-4 变换断层

撕裂断层 (Tear fault) 曾译作掀断层，是指发育于浅层次盖层的横推断层，过去如用于低角度逆掩断层、辗掩推覆体上盘，现也用于伸展区。Sylvester 认为撕裂断层是调节异地推覆体内和边缘的差异位移的。

变换带 (Transfer zone) 也有译作转变带、调节带、传递带、转接带等，Dahstrom (1970) 将这一概念应用于大陆逆冲推覆构造研究中。近年来，这一概念也被引入到伸展构造的研究中。变换带是使主断层不同地段应变量保持守恒或呈有规律变化的构造要素。变换断层 (Transfer fault) 是典型的、常见的变换带，它是指联接主断层的一些横向或斜向断层，起着类似于大洋板块构造系统中转换断层的角色。这种断层在盆地发育历史中长期存在，并对沉积物搬运、沉积相有控制作用，并可成为油气运移的通道。在表 1-1 中，Sylvester 则专指连接平行叠覆带或雁列走滑断层的板内平移断层。

按照走滑断层切穿层次和深度可以分别是切穿沉积盖层的、切穿基底的、切穿上地壳的、切穿中地壳的、切穿地壳的和切穿地幔岩石圈的。使地幔卷入的走滑构造是厚皮的，切穿浅层的属于薄皮的。

按照走滑断层与区域构造的关系通常分为纵、横、斜向走滑断层。

按照两盘相对移动情况可分为左旋（行）和右旋（行）。

走滑断层按其形成可以是纯剪模式或单剪模式的结果。纯剪（Pure shear）是指初始应力是挤压或拉张，没有转矩的方式。沿着共轭剪切面滑动，从锐角边滑进，沿钝角边滑出，即沿着一个主轴缩短，而沿着另一主轴伸长，在共轭剪切面上只有剪应力作用，没有正应力的应变状态（图 1-1）。纯剪只有内部旋转，无外部旋转，故又叫做非旋转变形。变形时由于北东—南西向剪切面顺时针旋转和北西—南东向反时针旋转，其共轭剪切面交角增加。纯剪形成的断层型式是对称的和共轭的，破裂多是闭合的，褶皱多是对称的。单剪（Simple shear），即简单剪切，指各点有一力偶或转矩效应，所有各点顺一座标轴变位而发生剪切。在几何学中可用无限密集的平行平面的滑动来解释此类变形，犹如“纸牌”的剪切。在这种应变中，最大应变轴和最小应变轴随变形进行而发生旋转，故称旋转应变。单剪除内部旋转外，还有外部旋转。单剪断层型式是不对称的或非共轭的，破裂最经常是张开的，断裂和褶皱多以雁列型式出现。对于自然界大量存在的与单剪有关的扭动变形都是承认的，但对于与纯剪有关变形的重要性认识看来还存在着异议。

走滑变形是在不同层次相邻块体间发生侧向运动，但实际上纯侧向运动是很少的，位移多为斜向，即卷入一定量的正向和逆向的倾滑运动。故斜滑可能是走滑带的相当普遍的特征。走滑运动与压、张两种变量结合所造成的应力体制分别叫做走滑挤压和走滑拉张，或扭压、扭张，或斜压和斜张。

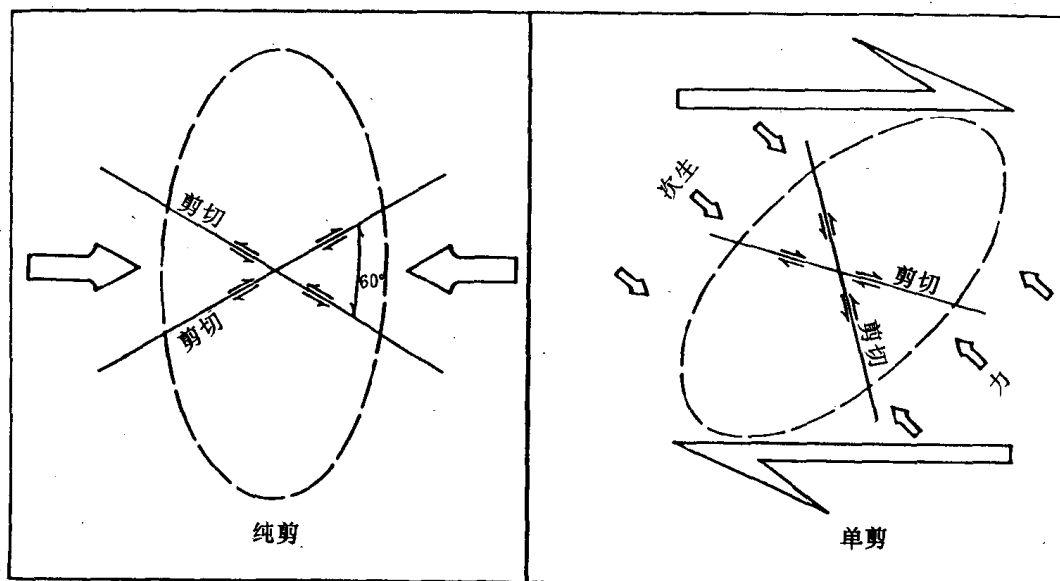


图 1-1 纯剪和单剪
(据 Thomas, 1971)

二、走滑带的构造组合

虽然走滑断层在扭动变形中是最重要的成分，但许多其他构造也伴随发展，形成各种有

规律的组合，称为走滑带的构造组合或扭动组合。

在上述构造组合中包括有下列基本构造型式：①雁列剪切节理或走向滑移断层；②雁列张节理或正断层；③雁列褶皱和冲断层；④主位移带。这些不同成分的构造可结合在一个走滑带中。认识这些成分中任何一个或更多的要素有助于确定其他要素和主位移带的方向和位移，因此，研究构造组合为分析断层作用的力学和区别其他构造样式提供了有力的依据。

图 1-2 是一个应变椭球体，它代表简单平行扭动下扭动带中一个圆的变形，一对右行力偶

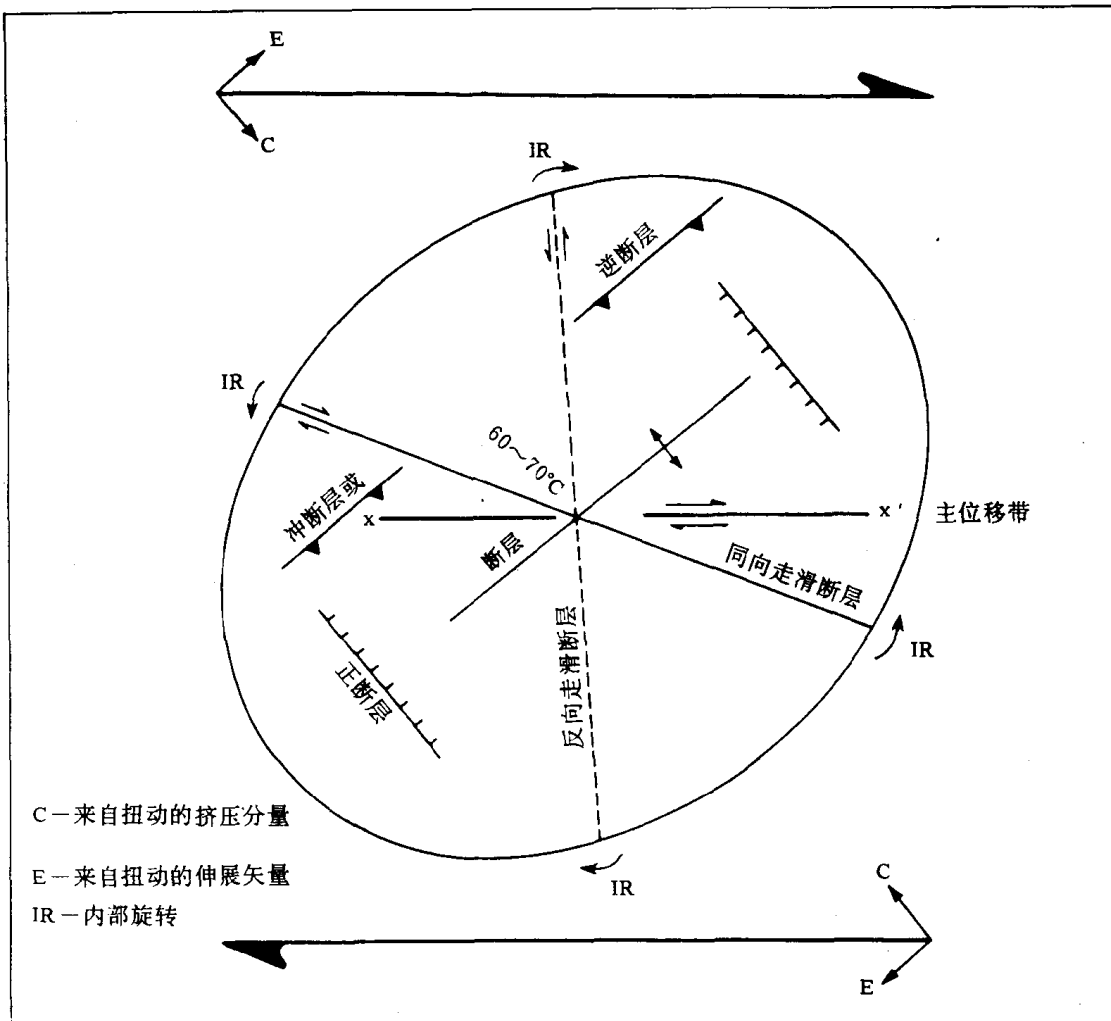


图 1-2 右行力偶产生的扭动组合

(据 Harding, 1974 修改)

产生旋转剪切，它有一个挤压分量和一个拉张分量。椭球长轴平行于褶皱轴和压性断裂，短轴为张节理或正断层的方向，斜交的两组为雁列共轭剪切节理或走滑断层方向，X—X'为主位移带方向。

1. 雁列剪切破裂

(1) 雁列共轭剪节理或走滑断层 扭动早期造成两组相交的共轭破裂，也叫吕德剪切面(图 1-3)。其中一组 R 剪切面与主位移带走向成低角度。在典型情况下与主位移带呈 $12^\circ \pm 1^\circ$ 。另一组 R' 剪切面与扭动带走向呈高角度，R' 与主位移带呈 $78^\circ \pm 1^\circ$ 。右行剪切产生左阶步破裂，左行剪切产生右阶步破裂。这两组共轭破裂在理论上是 90° 交角，但通常为 $60 \sim 70^\circ$ ，其

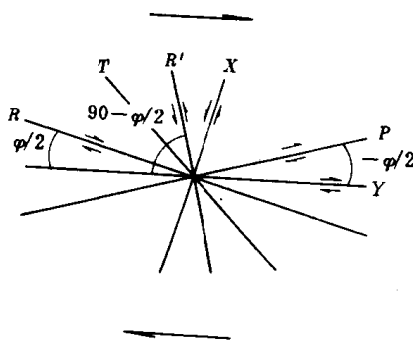


图 1-3 右旋扭动中所产生的 $R \cdot R'$ 、 $P \cdot Y$ 剪切面方位及滑动方向
(据 Barlett 等, 1981)
 T —张性破裂; φ —内摩擦角

大小取决于岩性和变形。此角为最大压应力平分。在相交的锐角中的楔形体是位移的。当变形继续时, 楔形体向着椭圆中心位移。两条共轭的走向滑移断层的滑移方向是相反的。由于低角度断层与主位移带有同样的位移方向, 故也称作同向走滑断层。相反, 共轭是滑断层中的高角度断层的位移方向与主位移带方向相反, 故称作反向走滑断层。当共轭剪切破裂继续变形时, 两断层间的锐角扩大, 造成内部旋转, R 破裂与主位移带的夹角由 $12^\circ \pm 1^\circ$ 减至 4° 左右, 而 R' 破裂由于主位移方向呈较大夹角, 故在旋转时变弯曲呈 S 形, 扭动中也产生外部旋转, 从椭圆轴的旋转可以判断出右旋扭动时有顺时针外部旋转, 而左旋扭动断层有一反时针的外部旋转。在所有粘土模拟试验中, 同向断层比反向断层发育得更好, 位移

更大。

(2) P 剪切节理或走滑断层 P 剪切破裂与同向的 R 剪切面方向相反和对称, 与主位移带夹角一般在 10° 左右。其错动方向与主位移带错动方向相似。它们是在扭动过程中较晚期形成的, 也称作次生同向断层。 R 和 P 破裂旋转最后趋于达到主位移带方位, 形成由 R 和 P 破裂组成的位移带。

2. 雁列张性破裂

张性破裂平行于变形椭球体的短轴, 垂直于张性矢量和褶皱轴方向, 并平分共轭剪切面间的锐角。雁列张性破裂可能在变形最初阶段沿着剪切面形成, 但随着扭动位移增加它们易被破坏。在扭动的粘土模型中张性破裂不常见, 这是由于粘土有很强的粘着力。若粘土表面加水粘着力消失, 则可形成大的雁列张性破裂, 而排除其他破裂和褶皱的形成。在张性破裂中常充填有岩脉和矿脉。

3. 雁列褶皱或冲断层

雁列褶皱或冲断层与应变椭球体短轴垂直, 与长轴平行。构造沿一线性带排列, 单个褶皱彼此平行, 但与主扭动带有相同的交角。褶皱的雁列排列反映了走滑断层的滑动方向。右阶步雁列褶皱发育在右行走滑断层带上, 而左阶步雁列褶皱形成在左行走滑断层带上。在一个带中的所有雁列褶皱通常有相似的形状。雁列褶皱轴与主位移带的交角开始近 45° , 随着扭动作用进行, 其间夹角常小于 45° 。大多数用粘土所作的扭动实验证明它们的交角仅约 30° 。利用这种夹角关系有时可预测扭动带的褶皱。早期褶皱多是开阔、向两端倾伏、轴线较直。但有些因素可影响雁列褶皱方向和形状, 使其成为弯曲状, 如块体聚敛活动、扭动断层走向变化、大的垂直位移分量、基底活动性、非均匀变形、岩性厚度变化等。

伴随主位移带的雁列组合在发展中经历了不同阶段。背斜由外向内发展。用粘土模拟过其不同阶段的发展。变形可停止在任何阶段, 也可一直发展下去。初始褶皱未受断裂破坏, 可提供较完整的圈闭。继而被断层所破坏, 早期位移不大未破坏背斜完整性。在扭动中期, 随着块体平移, 褶皱可被错开或完全被移开, 形成半背斜。当扭动位移继续增大, 在晚期或成熟阶段, 扭动带加宽和上隆, 扭动带附近的褶皱被强烈断层破坏和侵蚀, 而扭断层本身可能在上倾方向上形成圈闭。雁列褶皱的内部复杂程度取决于各方向剪切破裂 (R 、 R' 和 P) 的破坏程度。

雁列是沿走滑带中最重要和最有油气远景的构造。形成早的构造在早期油气运移中就可提供圈闭。雁列构造的典型代表是圣华金盆地，在圣安得列斯断层附近紧密褶皱受断裂破坏和受剥蚀，而完整背斜仅在盆内第三系中。加州洛杉矶盆地中的新港-英格乌德（或译作炉木）断裂带中的褶皱也是一种受复杂破坏的实例。

4. 主位移带 (PDZ—Principle Displacement Zone) 穿透的主位移带是在变形早期的最后阶段才开始的，在褶皱和共轭断裂作用之后产生。开始于几个点上，随着扭动继续、主扭断层带逐渐将较早的同向剪切破裂(R)和其对称的P破裂连接为一体，成为一个复杂的断层带，其中包括了辫状、网状、分支、交叉等断层组合，形成豆荚状、菱形、棋盘格状、三角形等各种断块。关于主位移带的剖面特征详见下节。

走滑构造组合中各组要素的出现不是同时的，也不是同等程度的。在某一地点通常只有某些构造是明显的。但所有构造都是以各自的雁列型式出现。因此，雁列型式是扭动组合样式所独具的特征。

走滑组合样式包括有三种次级样式：①平行走滑；②聚敛的走滑，即压扭或横压；③离散的走滑，即张扭或横张。上述各种次级样式的出现取决于：①块体间断层线的方向；②块体相对于断层线活动的变化（图 1-4）。不同次级样式下所产生的成分是各异的。

精细的构造型式是由许多因素控制的，其中包括：①聚敛走滑、离散走滑和平行走滑的运动学；②位移的大小；③在变形带中岩石和沉积充填的物质性质；④先存构造提供地质结构。

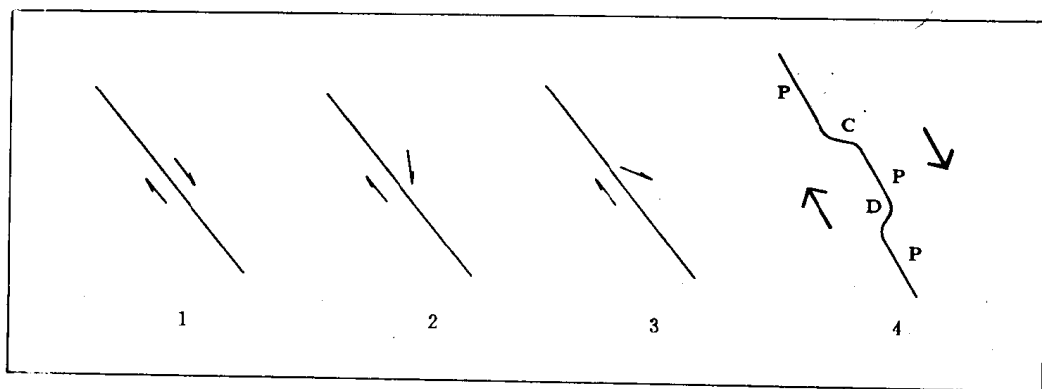


图 1-4 块体活动变化和断层方向变化产生
平行、离散和聚敛走滑活动
1—平行右行；2—聚敛右行；3—离散右行；
P—平行；C—聚敛；D—离散

第二节 走滑断层带的鉴别

在地震剖面上，主位移带与一些挤压、伸展构造很相似，容易误判，为避免落入“陷阱”，需要有一个以剖面 and 平面标志结合的鉴别方法。

一、剖面标志

(1) 大走滑断层的主位移带是陡倾的。某些走滑断层可能在深部与低角度剥离面相连。

(2) 深部火成岩和变质岩基底被切穿(图 1-5) 错位, 在破碎窄带的两侧基底类型有明显的差别。

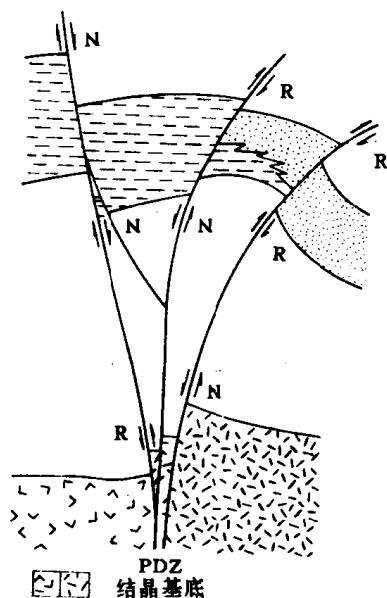


图 1-5 理想的走滑断层在剖面上的主要特征
(据 Christie-Blick 和 Biddle, 1985)

N—正断距; R—逆断距; PDZ—主位移带

注意图中表示基底卷入、主位移带深切陡直、向上分支, 呈花状构造, 基底在断层两侧有明显差别、上部地层岩相厚度突变, 同一剖面有正、逆断层, 同一断层上下有正、逆距离

(3) 自底部陡倾窄带逐渐向上分支, 在上部沉积盖层中成为分散的变形, 这种断层分叉或分支现象已命名为“花状构造”(Flower structure)。其中正花状构造(Positive flower structure)的主要特征是主位移带及分支断层多具逆断距, 撒开断层间具地垒断片, 地层表现为背形。负花状构造(Negative flower structure)的主要特征是主位移带及分支断层多具正断距, 撒开断层间具地堑断片, 地层表现为向形。

(4) 主位移带两侧层序、厚度、岩相、倾斜、地震特征的突变。

(5) 在扭动断层面倾斜方向相同的情况下, 在一个横穿断层的剖面上看是正断层, 而在另一处剖面则显示为逆断层。即相邻剖面的相对上升盘、滑距类型和方向不同。这种现象也叫“海豚效应”(Dolphin effect)(图 1-6)。

(6) 扭动断层面总的看近于直立, 但沿其走向其倾斜方向有变化, 结果造成有视“正”断层和视“逆”断层的表现。这种现象也被称作“丝带效应”(Ribbon effect)(图 1-6)。

(7) 地震测线上的空白区(Gap)的存在, 可能是由于断层带剧烈破裂的复杂的内部构造或糜棱岩带存在。

(8) 在相同剖面上一组近直立的断层, 其中一些显示为正断距, 而另一些则显示逆断距, 这种并存现象也可能是平行断面扭动运动的指示。

(9) 各种块体以垂直凸镜体或杏仁状体夹于主扭动断裂带中, 这也包括从深层(甚至来自地幔物质)而来的各种奇异的外来块体(图 1-7)。

二、平面标志

(1) 主扭断层通常是窄、直、长、贯通的单条主断层或断层带, 切穿其他构造, 有时有分支及辫状型式。

(2) 以高角度或垂直于主断层线排列的一些特征被扭动断层所移动或错开, 这些特征包括次级断层、褶皱轴、尖灭线、等厚线、相带、特征夹层、地层界线、礁带、古河道系统、侵入体、岩脉(群)、火山岩体、变质带、矿带, 甚至是较大的构造带、造山带和各级地貌、构造单元等, (图 1-8, 图 1-9)。

(3) 扭动带一侧或两侧有雁列式褶皱或断裂, 它们可以是压性、张性或剪切的, 限于在一个窄线性带内。雁列背斜常受垂直于背斜轴的正断层或斜交于背斜轴的剪切断裂的切割。

(4) 沿主扭断层走向, 其相对上升盘、离距方向、断层倾向有变化。