



中国石油大学（北京）学术专著系列

库车前陆褶皱—冲断带 盐相关构造与油气聚集

汤良杰 贾承造 等 著



科学出版社

www.sciencep.com

中国石油大学(北京)学术专著系列

库车前陆褶皱-冲断带 盐相关构造与油气聚集

汤良杰 贾承造 等 著

科学出版社

北 京

内 容 简 介

本书以现代盆地构造解析和盐构造分析理论为指导,通过野外地质调查、地震剖面解析、平衡剖面分析、岩石力学参数分析测试、构造物理模拟实验、差异构造变形和油气地质综合分析,揭示中国西北塔里木盆地库车前陆褶皱-冲断带盐相关构造样式,分析盐构造变形的几何学特征,建立盐相关构造变形地质模型,确定盐相关构造分布规律。通过探讨库车前陆褶皱-冲断带盐相关构造形成过程和演化阶段,确定盐相关构造的运动学特征。针对库车前陆褶皱-冲断带特定构造背景和地质条件,分析盐相关构造形成条件、变形机制及其对油气聚集的控制机理。

本书可供地质、石油院校师生以及从事含油气盆地分析、构造地质、石油地质和油气勘探工作专业人员参考。

图书在版编目(CIP)数据

库车前陆褶皱-冲断带盐相关构造与油气聚集/汤良杰,贾承造等著.
—北京:科学出版社,2010
(中国石油大学(北京)学术专著系列)
ISBN 978-7-03-026887-7

I. ①库… II. ①汤… ②贾… III. ①含油气盆地-冲断层-地质构造-库车县 ②含油气盆地-油气聚集-研究-库车县 IV. ①P618.130.2

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2010)第 035017 号

责任编辑:黄 海 刘希胜/责任校对:陈玉凤
责任印制:钱玉芬/封面设计:王 浩

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>

双 青 印 刷 厂 印 刷

排版制作:科学出版社编务公司
科学出版社发行 各地新华书店经销

*

2010 年 5 月第 一 版 开本: B5 (720 × 1000)

2010 年 5 月第一次印刷 印张: 12 1/4 插页: 1

印数: 1—1 500 字数: 224 000

定价: 49.00 元

(如有印装质量问题,我社负责调换)

《库车前陆褶皱-冲断带盐相关构造与油气聚集》

编写人员名单

汤良杰 贾承造

余一欣 陈书平

金文正 万桂梅

丛 书 序

大学是以追求和传播真理为目的，并为社会文明进步和人类素质提高产生重要影响力和推动力的教育机构和学术组织。1953年，为适应国民经济和石油工业发展需求，北京石油学院在清华大学石油系并吸收北京大学、天津大学等院校力量的基础上创立，成为新中国第一所石油高等院校。1960年成为全国重点大学。历经1969年迁校山东改称华东石油学院，1981年又在北京办学，数次搬迁，几易其名。在半个多世纪的历史征程中，几代石大人秉承追求真理、实事求是的科学精神，在曲折中奋进，在奋进中实现了一次次跨越。目前，学校已成为石油特色鲜明，以工为主，多学科协调发展的“211工程”建设的全国重点大学。2006年12月，学校进入“国家优势学科创新平台”高校行列。

学校在发展历程中，有着深厚的学术记忆。学术记忆是一种历史的责任，也是人类科学技术发展的坐标。许多专家学者把智慧的涓涓细流，汇聚到人类学术发展的历史长河之中。据学校的史料记载：1953年建校之初，在专业课中有90%的课程采用前苏联等国的教材和学术研究成果。广大教师不断消化吸收国外先进技术，并深入石油厂矿进行学术探索。到1956年，编辑整理出学术研究成果和教学用书65种。1956年4月，北京石油学院第一次科学报告会成功召开，活跃了全院的学术气氛。1957~1966年，由于受到全国形势的影响，学校的学术研究在曲折中前进。然而许多教师继续深入石油生产第一线，进行技术革新和科学研究。到1964年，学院的科研物质条件逐渐改善，学术研究成果以及译著得到出版。党的十一届三中全会之后，科学研究被提到应有的中心位置，学术交流活动也日趋活跃，同时社会科学研究成果也在逐年增多。1986年起，学校设立科研基金，学术探索的氛围更加浓厚。学校始终以国家战略需求为使命，进入“十一五”之后，学校科学研究继续走“产学研相结合”的道路，尤其重视基础和应用基础研究。

“十五”以来学校的科研实力和学术水平明显提高，成为石油与石化工业的应用基础理论研究和超前储备技术研究以及科技信息和学术交流的主要基地。

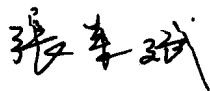
在追溯学校学术记忆的过程中，我们感受到了石大学者的学术风采。石大学者不但传道授业解惑，而且以人类进步和民族复兴为己任，做经世济时、关乎国家发展的大学问，写心存天下、裨益民生的大文章。在半个世纪的发展历程中，石大学者历经磨难、不言放弃，发扬了石油人“实事求是、艰苦奋斗”的优良作风，创造了不凡的学术成就。

学术事业的发展有如长江大河，前浪后浪，滔滔不绝，又如薪火传承，代代相继，火焰愈盛。后人做学问，总要了解前人已经做过的工作，继承前人的成就和经验，在此基础上继续前进。为了更好地反映学校科研与学术水平，凸显石油科技特色，弘扬科学精神，积淀学术财富，学校从2007年开始，建立“中国石油大学(北京)学术专著出版基金”，专款资助教师们以科学研究成果为基础的优秀学术专著的出版，形成《中国石油大学(北京)学术专著系列》丛书。受学校资助出版的每一部专著，均经过初审评议、校外同行评议、校学术委员会评审等程序，确保所出版专著的学术水平和学术价值。学术专著的出版覆盖学校所有的研究领域。可以说，学术专著的出版为科学研究的先行者提供了积淀、总结科学发现的平台，也为科学研究的后来者提供了传承科学成果和学术思想的重要文字载体。

石大一代代优秀的专家学者，在人类学术事业发展尤其是石油石化科学技术的发展中确立了一个个坐标，并且在不断产生着引领学术前沿的新军，他们形成了一道道亮丽的风景线。“莫道桑榆晚，为霞尚满天”。我们期待着更多优秀的学术著作，在园丁们灯下伏案或电脑键盘的敲击声中诞生，展现在我们眼前的一定是石大寥廓辽远、星光灿烂的学术天地。

祝愿这套专著系列伴随新世纪的脚步，不断迈向新的高度！

中国石油大学(北京)校长



2008年3月31日

序

天山造山带是世界上最年轻与最宏伟的陆内造山带之一，是研究印度大陆对欧亚大陆碰撞的关键部位，引起国内外地质学界的极大关注和浓厚兴趣。该区壳幔结构、动力作用和地史过程复杂，上下深浅构造不协调，直接控制着天山南北前陆盆地油气资源的分布。天山造山带两侧不同的叠合盆地多旋回沉积有利于油气的生储盖保组合，盆地的持续下沉有利于油气的生成与转化，盆地构造运动产生的断裂、不整合和圈闭有利于油气的运移和聚集。因此，需要重新思考天山盆地-山演化的影响，探讨大陆岩石圈结构构造和动力学过程对油气成藏的控制作用，这些都具有重要的科学意义。

位于天山南缘的库车前陆褶皱-冲断带，发育大量盐构造，在我国含油气盆地盐构造研究中，具有较好的典型性和代表性。前人对库车前陆褶皱-冲断带的构造特征，如变形样式和期次、构造叠置和分带等已开展过大量的研究工作，建立了断层相关褶皱构造模式，认识到库车前陆构造变形样式极为复杂，发育多种类型的逆冲断层、反冲断层、叠瓦冲断带和双重构造等，进而利用同冲断构造的“生长地层”，确定了褶皱-冲断带形成时期等，取得的进展以断层相关褶皱构造模式最为引人注目，有效地指导了库车前陆褶皱-冲断带的构造研究和油气勘探。由于古近系和新近系盐岩层系的发育，库车前陆并不完全遵循断层相关褶皱模式，而是广泛发育盐构造或盐相关构造变形。而且，它们的这些变形明显不同于墨西哥湾或波斯湾盆地的盐构造：一是库车前陆盐岩层系厚度相对较小，盐刺穿构造不太发育；二是库车前陆盐岩层系展布面积相对较小，盐岩流动变形的范围规模明显小于墨西哥湾或波斯湾盆地；三是库车前陆盐构造核部的塑性物质不是单一纯净的盐岩，而是由盐、膏、泥岩等混合组成，它们在挤压作用下的变形样式也不同于墨西哥湾或波斯湾盆地，其构造变形几何形态更为复杂。

由汤良杰教授和贾承造院士等撰写的《库车前陆褶皱-冲断带盐相关构造与油气聚集》一书，是他们在主持承担的国家自然科学基金项目、国家“973”计划课题、国家重点科技攻关专题以及油田企业专项研究成果的基础上完成的。该书阐述了盐岩层系变形导致的各类盐相关构造及其与油气聚集的关系，在以下几方面取得了重要进展：

1. 盐相关构造样式鉴别和地质建模：通过野外地质调查、地震剖面解释和地质资料综合分析，鉴别和划分了库车前陆盐构造变形样式，提出了“盐相关构造”

的概念, 并进行了地质建模研究。提出库车前陆盐相关构造样式可划分为盐上构造、盐层(盐间)构造和盐下构造三大类。盐上构造主要包括重力滑动构造、盐冰川、逆冲断层及相关褶皱、逆冲推覆构造、背冲断块构造和三角带构造等。盐层(盐间)构造包括盐枕或盐丘、盐层内部断褶构造、外来盐席、鱼尾构造、盐焊接和断层焊接等。盐下构造样式主要包括叠瓦冲断带、双重构造、断层相关褶皱、背冲断块和断褶构造等。就此构造地质模型, 创建了盐构造平面综合分带模式和剖面叠加组样式, 揭示了盐相关构造分带、分段和分层差异变形特征。

2. 盐相关构造平衡剖面分析和运动学过程: 该书发展了挤压区盐构造平衡剖面分析方法——分层复原法, 用弯滑机理的层长平衡法复原盐上层和盐下层; 用面积平衡法复原盐岩层, 在保持面积平衡的基础上, 使盐岩层长度与盐上层和盐下层的长度相等。通过盐相关构造平衡剖面分析和复原剖面制作, 划分了盐构造演化阶段, 认为古近纪为盐岩层及盐上层稳定沉积阶段; 上新世库车期为盐构造初动阶段, 形成机理为重力滑动作用和由密度倒置引起的浮力作用; 喜马拉雅晚期为盐构造强烈活动期, 盐构造的形成机理为构造挤压、重力滑动、重力扩展和逆冲推覆。估算了库车前陆的构造缩短量, 提出主要缩短期发生在上新世库车期末, 这一时期发生的地层缩短量约占总缩短量的 80%, 表明库车前陆盐相关构造形成很晚。

3. 盐相关构造物理模拟实验和动力学机制: 通过库车前陆盐岩及相关岩石的力学参数测试, 揭示了盐岩层系属于软弱层, 在应力作用下极易发生变形, 同时为盐相关构造变形物理模拟实验提供了实验参数和理论依据。在建立盐相关构造地质模型的基础上, 通过建立盐相关构造物理模拟实验模型和合理选择模拟材料, 确定盐相关构造变形边界条件, 在实验室对盐岩卷入的逆冲推覆构造、盐枕构造、受基底古隆起和构造斜坡控制的盐构造等进行了物理模拟实验, 较好地再现了典型盐相关构造的形成和演化过程。通过物理模拟实验揭示了盐相关构造形成的运动学过程, 建立了前陆挤压环境下盐相关构造的动力学模式, 认为构造隆升、挤压推覆、重力滑动和重力扩展作用共同控制盐相关构造变形。

4. 盐相关构造油气圈闭和油气聚集: 该书详细分析了库车前陆褶皱-冲断带盐相关构造圈闭样式, 总结了盐相关构造圈闭的分布规律。从纵向上看, 库车前陆褶皱-冲断带油气圈闭类型可分为盐上构造圈闭、盐层(盐间)构造圈闭和盐下构造圈闭。从平面上看, 构造圈闭分布与盐层厚度分布密切相关: 盐相关构造圈闭大致沿盐岩层流动增厚带呈近环带状展布。盐岩层系作为优质盖层构成最优越的油气遮挡条件, 使得盐下层系成为最有利的油气聚集场所。该书探讨了库车前陆褶皱-冲断带盐相关构造与油气聚集的关系, 总结了盐相关构造油气成藏主控因素, 提出了盐构造油气成藏模式, 认为库车前陆中、新生界储盖组合可分为盐上组合、盐间组合和盐下组合, 导致了该区 3 种与盐相关构造有关的油气成藏模式,

指出了盐相关构造油气勘探方向。

该书是第一本针对我国复杂叠合含油气盆地盐相关构造进行专题研究的专著，有了一个好的起步和开端。库车前陆褶皱-冲断带盐相关构造及其对油气聚集控制机理的研究进展，已在塔里木盆地油气勘探实践中得到广泛应用，为含油气盆地构造分析增添了新的内容。勘探成果证明，在塔里木、四川、渤海湾和江汉等盆地广泛发育多期盐岩层系和多种类型的盐构造，这些盆地油气聚集与盐岩层系及盐相关构造密切相关，盐岩层系作为区域滑脱层控制盐相关构造变形及油气圈闭的形成和演化，盐岩层系本身为油气聚集提供了优越的盖层和保存条件。深入探讨含油气盆地盐相关构造变形机理，有助于深化复杂叠合盆地构造变形和油气成藏的总体认识，揭示油气藏形成及分布规律，具有重要的理论意义和广阔的应用前景。

马宗晋

2009.7.22

前 言

《库车前陆褶皱-冲断带盐相关构造与油气聚集》一书,是在国家自然科学基金项目“塔里木盆地库车前陆褶皱带第三系盐构造及其形成机理”(批准号:40172076)、“库车前陆褶皱-冲断带盐构造分段性和差异变形机理”(批准号:40472107),国家重点基础研究发展计划“973”课题“中国典型叠合盆地应力场分析与构造变形三维解析”(批准号:G1999043305),国家“九五”重点科技攻关项目(99-111)下属专题“库车拗陷西段第三系盐构造样式及圈闭特征”以及中国石油塔里木油田公司研究项目“却勒-西秋地区构造形成机制与构造建模研究”(批准号:41004050009)研究成果的基础上,经过进一步总结和提炼而成的。

盐相关构造(salt-related tectonics)指的是受盐岩、膏岩等蒸发岩塑性流动变形的影响,盐岩、膏岩及其围岩发生变形形成的构造总和,可分为盐上构造、盐层(盐间)构造和盐下构造等。盐构造研究是当前世界含油气盆地构造研究的热点问题之一,在墨西哥湾盆地、北海盆地、西非被动陆缘盆地、波斯湾盆地、滨里海盆地等伸展和挤压环境盆地中取得了许多重大进展和新认识。

前人主要从前陆盆地变形和断层相关褶皱变形的角度,来探讨库车前陆褶皱-冲断带的构造属性和构造变形特征,但进一步深入研究就可发现,库车前陆发育具有塑性流动变形特征的古近系和新近系盐岩层系,使得该区构造变形与断层相关褶皱变形模式有很大差异。同时,与全球大型含盐盆地(如墨西哥湾盆地、波斯湾盆地、非洲大陆边缘盆地等)相比,该区盐岩层系厚度相对较小,展布范围相对局限,盐岩与泥岩和砂岩等碎屑岩层系互层发育,使得该区构造变形与典型盐构造变形模式也有较大差异,如不发育盐刺穿构造等。

库车前陆褶皱-冲断带盐构造具有明显的差异变形特征。盐岩层系在库车前陆褶皱-冲断带东、西段的发育时代和分布层位不同,盐体在西秋里塔格山西段和大宛其一带聚集厚度最大,盐枕构造的发育具有分段性,不同规模和形态的盐枕构造不仅控制盐体两侧及盐上层和盐下层的变形样式,而且控制油气藏的分布。本书试图通过野外地质调查和地震剖面解释,运用盆地构造解析、平衡剖面分析和构造复原、构造物理模拟等多种方法手段,综合分析库车前陆褶皱-冲断带盐构造及其盐上层和盐下层构造组合样式,建立挤压环境下盐构造三维地质模型,揭示前陆褶皱-冲断带盐构造形成机理、动力学模式及其与油气聚集成藏的关系。

库车前陆褶皱-冲断带盐相关构造样式研究涉及的主要科学问题包括以下几

个方面：一是揭示库车前陆褶皱-冲断带盐相关构造样式，分析其几何学特征，并建立构造变形地质模型，确定盐相关构造分布规律；二是探讨前陆褶皱-冲断带盐相关构造形成过程和演化阶段，确定盐相关构造运动学特征；三是针对库车前陆褶皱-冲断带特定构造背景和地质条件，分析盐相关构造的形成条件和变形机理。

全书共分 9 章。第一章综述盐构造和盐相关构造的研究现状和主要进展，盐构造以其构造变形的特殊性和油气富集的重要性，在世界上许多大型含油气盆地都有广泛深入的研究，取得了许多重要的理论成果和勘探进展，但在我国盐构造研究程度总体还较低，存在一系列有待深入探讨的科学问题。

第二章简要概述库车前陆褶皱-冲断带盐相关构造形成的地质背景，将构造-地层层序划分为盐上层序、盐间层序和盐下层序，确定了以盐岩层系为主滑脱带，并控制构造变形和油气聚集的沉积层序划分方案。

第三章阐述库车前陆褶皱-冲断带盐相关构造变形样式，确定了野外露头、盐上层、盐间层和盐下层构造变形地质模型，揭示了盐相关构造样式的分布特征，建立了盐构造平面综合分带模式和剖面叠加组合样式。

第四章主要讨论盐岩层系变形与盐下古构造形成和演化的关系，提出前古近纪盐下古构造识别标志，分析前古近纪盐下古构造形成阶段，揭示前古近纪盐下古构造形成机理，探讨前古近纪古构造对上覆层特别是盐相关构造变形的控制作用。

第五章针对盐岩层系塑性流动的特点，根据平衡剖面分析和构造复原剖面制作结果，分析库车前陆褶皱-冲断带盐相关构造活动阶段，估算缩短量和缩短率，揭示喜马拉雅晚期运动是控制库车前陆褶皱-冲断带盐相关构造变形的主要定型期。

第六章提出库车前陆褶皱-冲断带前缘秋里塔格构造带具有盐下古构造变形、盐构造变形和前陆褶皱-冲断带前缘构造相叠置，盐下层系、盐岩层系和盐上层系三者的变形在垂向上表现为既有统一性、又有差异性的“三位一体”叠加构造变形特征。

第七章以盐相关构造地质模型和岩石力学参数测试结果为依据，应用构造物理模拟实验的方法，对盐推覆构造、盐枕构造、古隆起对盐构造形成的影响、构造坡折带对盐相关构造形成的影响等进行物理模拟实验研究，揭示盐相关构造的形成过程，探讨盐相关构造的变形机理，提出构造隆升、挤压推覆、重力滑动和重力扩展作用控制盐相关构造变形，建立基于上述控制因素的动力学模式。

第八章对盐相关构造圈闭样式及分布特征进行分析，认为库车前陆褶皱-冲断带盐相关构造圈闭样式可分为盐上构造圈闭、盐间构造圈闭和盐下构造圈闭，揭示盐相关构造圈闭的分布规律，从油气保存条件分析，盐下构造圈闭最有利于油气的聚集和保存。

第九章探讨盐相关构造与油气聚集的关系。库车前陆褶皱-冲断带烃源岩演化、盐相关构造演化与油气运聚和成藏期具有良好的配置关系，总结出 3 种与盐

相关构造有关的油气成藏模式,即盐上型、盐间型和盐下型油气成藏模式,确定盐相关构造油气成藏主控因素,指出有利的油气勘探方向。

本书前言、第一章、主要结论和问题讨论由汤良杰和贾承造编写,第二章由陈书平和余一欣编写,第三章由汤良杰和陈书平编写,第四章由汤良杰和余一欣编写,第五章由汤良杰、陈书平、余一欣、万桂梅和金文正编写,第六章由汤良杰、余一欣和金文正编写,第七章由汤良杰、陈书平和余一欣编写,第八章由余一欣和陈书平编写,第九章由汤良杰、余一欣和万桂梅编写。全书由汤良杰和贾承造统编定稿。

衷心感谢马宗晋院士为本书作序,在盐相关构造研究过程中,马宗晋院士一直给予热情关心、指导和帮助,特别是在盐构造差异变形和成因机理研究方面,马宗晋院士给予了大量具体的指导和前瞻性的指点。衷心感谢国家重点基础研究发展计划“973”项目首席科学家金之钧教授的指导,多年来,金之钧教授始终关心、支持、指导盐构造研究工作,提出了许多研究工作建议和意见,全力推动研究工作的进展。

在国家自然科学基金委员会、科技部和石油企业的资助下,通过多年的努力,在库车前陆褶皱-冲断带盐相关构造研究领域,取得了多项研究成果,完成了一批博士和硕士论文,在 *Journal of Petroleum Science & Engineering*、*Science in China Ser. D, Earth Sciences*、*Marine and Petroleum Geology*、*Acta Geologica Sinica* 以及国内核心期刊发表论文 40 余篇。以盐相关构造创新性认识为核心内容的研究成果,获得新疆维吾尔自治区科技进步二等奖 1 项。尽管如此,本书对库车前陆褶皱-冲断带盐相关构造尝试性的探索还处于起步阶段,取得的一些认识是初步的,在很多方面还有待于进一步深入研究。

在盐相关构造研究过程中,得到了国家自然科学基金委员会、科技部、中国石油天然气股份有限公司、中国石油化工股份有限公司的大力支持和帮助。中国石油塔里木油田分公司、科技处、勘探开发研究院有关领导和专家给予了热情的指导和有力的支持。参与研究工作的还有中国石油塔里木油田分公司和中国石油大学(北京)的皮学军、谢会文、彭更新、雷刚林、马玉杰、叶林、罗俊成、王子煜、李振宏、崔泽宏、郭兵等。王鸿祯院士、刘光鼎院士、翟光明院士、戴金星院士、汪集旻院士、王铁冠院士、张一伟教授、贝丰教授、刘和甫教授、李思田教授、王清晨教授、罗治斌教授、周新源教授、翟晓先教授、王招明教授、漆立新教授、江同文教授、吕修祥教授、王清华高级工程师、杨文静高级工程师、黄太柱高级工程师、云露高级工程师等有关专家学者给予了热情指导和帮助。陈绪云、王俊鹏、陈群、朱勇、杨孝群、赵钊、杨勇等帮助清绘了部分插图。中国石油大学(北京)盆地与油藏研究中心办公室的刘红英、陆晓燕、石海霞等给予了诸多帮助,著者在此一并致以诚挚的谢意。

书中观点和资料不妥之处,敬请读者批评指正。

目 录

丛书序

序

前言

第 1 章 盐构造或盐相关构造	(1)
1.1 盐构造或盐相关构造概念	(1)
1.2 盐构造或盐相关构造研究现状与进展	(1)
1.3 含盐层系概述及盐(膏)岩力学和变形行为	(6)
1.4 盐构造样式分类	(8)
1.5 盐构造研究方法	(10)
1.6 盐构造形成机理	(12)
1.7 盐构造圈闭和油气聚集	(14)
1.8 塔里木盆地多期盐构造与油气聚集	(15)
1.9 库车前陆褶皱-冲断带研究现状及存在问题	(24)
第 2 章 地质背景	(26)
2.1 大地构造背景	(26)
2.2 库车前陆褶皱-冲断带及邻区地质概要	(30)
2.3 深部地质结构	(32)
2.4 构造单元划分	(35)
2.5 构造-地层层序	(37)
第 3 章 盐相关构造样式和地质建模	(42)
3.1 盐上构造	(42)
3.2 盐层(盐间)构造	(54)
3.3 盐下构造	(59)
3.4 盐构造剖面叠加组合样式及综合分带模式	(61)
本章小结	(63)
第 4 章 盐相关构造与盐下古构造关系	(65)
4.1 前古近纪盐下古构造识别标志	(65)
4.2 前古近纪盐下古构造形成期次分析	(69)
4.3 前古近纪古构造对上覆层变形的控制作用	(70)
4.4 前古近纪盐下古构造形成机理	(73)

本章小结	(74)
第 5 章 盐相关构造平衡剖面分析和运动学特征	(76)
5.1 平衡剖面基本原则	(76)
5.2 库车前陆褶皱-冲断带盐相关构造平衡剖面制作方法	(77)
5.3 构造复原结果分析	(81)
5.4 盐构造活动阶段	(86)
本章小结	(88)
第 6 章 盐相关构造差异变形和分段性	(89)
6.1 盐相关构造垂向差异变形特征	(89)
6.2 盐相关构造分段差异变形特征	(89)
6.3 “三位一体”叠加变形盐相关构造分布特征	(95)
6.4 “三位一体”叠加变形盐相关构造形成机理	(97)
本章小结	(104)
第 7 章 盐相关构造物理模拟实验与动力学机理	(106)
7.1 构造物理模拟实验技术	(106)
7.2 岩石力学参数测试	(107)
7.3 模拟实验材料选择	(110)
7.4 典型盐相关构造模拟过程和结果分析	(110)
7.5 盐岩溶解物理模拟实验	(118)
7.6 盐相关构造形成的动力学机制	(121)
本章小结	(123)
第 8 章 盐相关构造圈闭类型和分布	(125)
8.1 盐构造圈闭类型	(125)
8.2 盐上构造圈闭类型	(126)
8.3 盐层(盐间)构造圈闭类型	(128)
8.4 盐下构造圈闭类型	(129)
8.5 圈闭构造平面分布特征	(135)
本章小结	(136)
第 9 章 盐相关构造与油气聚集	(137)
9.1 烃源岩特征及其演化	(137)
9.2 储盖组合及其发育分布	(145)
9.3 盐相关构造油气成藏主控因素	(148)
9.4 盐相关构造油气成藏模式	(151)
本章小结	(159)
主要结论与问题讨论	(162)
参考文献	(167)

第 1 章 盐构造或盐相关构造

1.1 盐构造或盐相关构造概念

盐构造(salt tectonics)指的是由盐岩、膏岩等沉积体本身发生塑性流动变形形成的各种形态迥异的构造,如盐枕、盐蘑菇、盐墙、盐篷、盐冰川和盐滚动构造等。而盐相关构造(salt-related tectonics)指的是受盐岩、膏岩等沉积体塑性流动变形的影响,盐、膏岩沉积体及其围岩发生变形形成的构造总和,可分为盐上构造、盐层(盐间)构造和盐下构造等。含油气盆地盐构造的研究对构造地质学理论探讨和油气勘探都具有重要意义,盐构造或盐相关构造研究是当前世界含油气盆地构造研究的热点问题之一(Jackson et al., 1994; Jackson, 1995; Edgell, 1996; 贾承造等, 2003; 汤良杰等, 2005; Hudec and Jackson, 2007),除墨西哥湾盆地和北海盆地伸展构造环境盐构造研究进展外(Jackson and Vendeville, 1994; Rowan, 1995; Rowan and Jackson, 1999; Buchanan et al., 1996; Tari et al., 2003; Hudec and Jackson, 2004; Rowan and Vendeville, 2006; Khatun et al., 2007),波斯湾盆地等挤压环境下盐构造研究也取得许多新认识(Letouzey et al., 1995; Edgell, 1996; Talbot and Alavi, 1996; Volozh and Talbot, 2003; Talbot and Aftabi, 2004; Schoenherr et al., 2007)。盐岩层系与油气聚集有着极为密切的关系,盐体变形及其对沉积相带和砂体分布的影响可以形成不同的构造圈闭和地层-岩性圈闭(Halbouty, 1980; Jenyon, 1986; Rowan, 1993; 周江羽等, 1999a),盐层本身是含油气盆地中最有效的盖层。波斯湾盆地石油蕴藏量占世界石油最终可采储量的 65%,其中约 60%的最终可采储量与盐构造作用有关(Edgell, 1996)。墨西哥湾、北海、波斯湾盆地等盐构造的研究进展极大地丰富了构造地质学理论(McBride et al., 1998),揭示盐构造研究是当前含油气盆地构造分析的热点基础问题之一,同时也表明盐构造研究对于油气勘探开发具有广阔的应用前景,与盐构造相关的油气藏将是今后极为重要的油气储量增长点(贾承造等, 2003)。

1.2 盐构造或盐相关构造研究现状与进展

国外伸展盆地(如墨西哥湾盆地、北海盆地、西部非洲被动陆缘盆地)和挤压环境盆地(如波斯湾盆地)盐构造研究都已取得重大进展(Rowan, 1995; Buchanan et

al., 1996; Talbot and Alavi, 1996; Letouzey et al., 1995; Edgell, 1996; McBride et al., 1998; Davison et al., 2000a, 2000b; Gee and Gawthorpe, 2006; Ings and Shimeld, 2006; Jackson et al., 2008; Koyi et al., 2008; Tang et al., 2008a; Yu et al., 2008), 但仍然存在不少前沿基础性问题。国外盐构造研究大多针对被动陆缘盆地或板块缝合带附近的前陆盆地中规模和厚度巨大的盐岩层系以及流动性极强的盐构造变形, 而对于前陆挤压环境下规模较小、厚度较薄的盐层及其变形构造的研究相对较少。这些规模小、厚度薄的盐岩层系变形时的力学行为以及对其围岩变形的控制作用, 与在特殊动力学背景条件下非常规盐构造变形有关。对库车前陆褶皱带挤压构造环境下盐构造的研究来说, 小规模、薄层盐岩层系的差异变形及其控制机理以及由此引起的构造分带性和分段性等, 不仅涉及在特殊动力学背景条件下盐相关构造形成的理论模式, 而且对于寻找大型油气田具有重要指导意义。

国际上含盐盆地和盐构造研究已经取得大量成果, 主要表现在盐构造变形样式、盐构造地质建模与三维可视化、盐构造平衡剖面 and 构造复原、盐构造物理模拟、盐构造数值模拟、盐构造与油气聚集等方面。

1.2.1 盐构造变形样式

含油气盆地盐构造样式差异性极大, 盐岩层系塑性流动可以导致形成形态极为复杂的盐构造, 如盐丘、盐墙、盐刺穿、盐枕、盐盖、盐蘑菇、盐焊接构造、盐滚动构造和盐冰川等(Jackson and Talbot, 1989; Jackson and Vendeville, 1990, 1994; Vendeville and Jackson, 1992a, 1992b; Coward and Stewart, 1995; Jackson et al., 1995; Peel et al., 1995; Schuster, 1995; Alsop et al., 1996; Koyi, 1998; McBride et al., 1998; Rowan and Jackson, 1999; Davison et al., 2000a, 2000b; Hudec and Jackson, 2007)。近年来, 对盐滚动背斜的外部形态和内部结构开展了精细研究(Fort et al., 2004a, 2004b; Fort and Brun, 2004c; Gradmann et al., 2005; Brun and Mauduit, 2008)。典型的盐滚动背斜一翼以整合关系与上覆层接触, 另一翼以正断层与上覆层接触, 表明盐滚动背斜是上覆沉积物中发育的正断层作用与盐相互作用的结果, 盐滚动背斜的内部结构受到正断层底部韧性层底辟流动和上覆沉积物减薄的影响(Fort et al., 2004a, 2004b; Gradmann et al., 2005; Brun and Mauduit, 2008)。关于被动边缘和造山带外来盐席的扩展, 认为主要取决于盐席顶部覆盖层的几何形态和厚度, 提出了4种扩展方式(Hudec and Jackson, 2006): 挤出扩展、“坡脚出露”扩展、逆冲断层扩展、盐翼侵入。走滑背景下的盐构造研究引人注目(Larsen et al., 2002; Brun and Fort, 2004; Ge et al., 2008; Koyi et al., 2008; Smit et al., 2008), 通过对死海盆地盐构造的研究, 认识到在走滑构造背景下广泛发育的盐相关构造, 如雁列盐脊、大型盐底辟、横向斜正断层、盐墙

和盐滚动构造等,将盆地内各种盐相关构造置于左旋走滑剪切变形框架下的一个完整构造系统。不同类型的盆地盐构造样式差异性极大,这种盐构造的差异变形已经引起了人们的广泛重视(Rowan, 1995; McBride et al., 1998; Velaj et al., 1999; Rowan and Jackson, 1999; Davison et al., 2000a; Larsen et al., 2002; Fort et al., 2004a; Gradmann et al., 2005; Hudec and Jackson, 2006; Koyi et al., 2008; Smit et al., 2008)。

1.2.2 盐构造地质建模与三维可视化

从地质建模的角度看,盐构造主要发育在两种类型的沉积盆地中:一类为伸展盆地;另一类为前陆盆地。伸展盆地盐构造的研究相对比较成熟,盐岩层在张应力、差异负荷、热对流等作用下发生流动而影响上覆层的构造发育,形成各种类型的盐构造(Jackson et al., 1995; Higgins and Harris, 1997; McBride et al., 1998; Davison et al., 2000a, 2000b; Withjack and Galloway, 2000)。在区域挤压型盆地或前陆盆地中,盐在变形中的作用不像伸展区那样以主动的方式影响上覆层的变形,而主要是起一个滑脱面的作用(Harrison, 1995; Stewart, 1996; Velaj et al., 1999),盐及其厚度变化对变形样式和变形的传递起着重要作用(Harrison, 1995)。挤压区的盐较少发育到刺穿阶段,大多停留在主动底辟或盐枕阶段。盐构造三维建模及三维可视化研究近年来取得较快的发展,能够达到动态分析盐构造演化的程度(Guglielmo et al., 1997, 1999, 2000)。基于野外实例,提出了活动盐底辟上部断层相关变形的三维运动学模型(Yin and Groshong, 2007),主要包括:圆形平面视图、径向分布正断层的偏移、断裂发育或者平整的盐上部、相对未发生应变的两翼、中央地堑的高应变。

1.2.3 盐构造平衡剖面 and 构造复原

对盐构造二维地质建模和构造复原已经开展了大量研究工作,初步建立了盐构造剖面平衡的几何学准则和方法(Hossack, 1995; Rowan, 1993; Brewer and Groshong, 1993; Petersen and Lerche, 1993),可以采用分层复原盐岩层、盐上层、盐下层,利用回剥法进行去压实和均衡调整制作盐构造平衡剖面(Bishop et al., 1995; Talbot and Alavi, 1996),在复原过程中可先不考虑盐体的流动,盐下层位置的确定是通过计算均衡调整量得到的(Rowan, 1993; Bishop et al., 1995)。随着计算机技术的发展,对盐构造剖面进行三维复原也已成为可能(Talbot and Alavi, 1996),平行弯滑去褶皱作用模型可对盐刺穿构造进行三维平衡和恢复(Yin and Groshong, 2006)。利用各地质时代等深度图,以三维回剥技术为基础,建立了波罗的海东南部及邻区三维构造模型,考虑盐流量变化引起的上覆地层负载的分布以及每次回剥的均衡反弹和沉积压实,分析了构造特征和沉积物分布的关系,进