中国科学: 地球科学 2013 年 第 43 卷 第 1 期: 33 ~ 43
www.scichina.com earth.scichina.com
《中国科学》杂志社
SCIENCE CHINA PRESS

论 文

塔里木盆地中央隆起带中、西段及邻区中、下寒武统盐相关构造及其变形机理

汤良杰[①②*], 黄太柱[③], 邱海峻[④], 漆立新[③], 杨勇[①②], 谢大庆[③], 余一欣[①②], 赵钊[①②], 陈书平[①]

① 油气资源与探测国家重点实验室, 北京 102249;
② 中国石油大学盆地与油藏研究中心, 北京 102249;
③ 中国石化西北油田分公司, 乌鲁木齐 830011;
④ 国土资源部油气资源战略研究中心, 北京 100034
* E-mail: tanglj@cup.edu.cn

收稿日期: 2011-12-15; 接受日期: 2012-04-05
国家自然科学基金(批准号: 41172125, 40972090, 40802030, 40672143 和 40472107)、国家重点基础研究发展计划(编号: 2012CB214804, 2005CB422107 和 G1999043305)、全国油气资源战略选区调查与评价专项(编号: 2009GYXQ02-05)、教育部博士点基金(编号: 200804250001)和国家科技重大专项(编号: 2011ZX05002-003-001HZ)资助

摘要 塔里木盆地中央隆起带中、西段及邻区中、下寒武统广泛发育盐岩层系. 本文通过地震和钻井资料综合解释和分析, 发现这套盐岩层系形成时代老, 埋藏深度大, 流动聚集幅度较小, 厚度分布不均匀, 它们作为区域滑脱层对该区盐上古生界构造变形起着重要控制作用, 形成一系列含油气圈闭构造. 同时, 由于寒武系盐岩层系提供的优质盖层和封闭条件, 大大提升了该区盐下震旦-寒武系目的层系的油气勘探价值. 研究表明, 该区中、下寒武统盐相关构造主要包括盐枕构造、盐滚构造、盐(上)背斜构造、盐刺穿构造、盐拱-盐上断块构造组合、基底断裂-盐背斜构造组合、基底断块-盐丘构造组合、盐岩滑脱-断层相关褶皱组合、基底断块-盐拱-盐上叠瓦冲断组合. 这些盐相关构造的形成演化和变形机理主要受控于基底断裂作用、挤压缩短作用、塑性流动聚集作用、上覆层系重力作用和盐上层断裂滑脱作用等, 盐相关构造主要沿基底断裂或断块构造带成排成带分布.

关键词
盐相关构造
中、下寒武统
变形机理
中央隆起带中、西段
塔里木盆地

塔里木盆地中央隆起带油气勘探近年来取得了重大进展, 找到了塔中Ⅰ号富油气构造带, 在巴楚隆起和麦盖提斜坡也找到了油气田(藏), 展示了该区巨大的油气勘探潜力[1~5]. 对塔里木盆地中央隆起带中、西段构造特征已开展过大量研究工作, 提出了克拉通内古隆起的重要认识[4,6], 总结了塔中隆起和巴楚隆起的断裂构造模式和展布规律, 提出该区构造变形样式复杂, 发育多种类型的逆冲断层、反冲断层和走滑断层等[7~9], 明确了塔中隆起和巴楚隆起在变形时代、构造样式、构造演化和成因机理上的差异性[8~14],

中文引用格式: 汤良杰, 黄太柱, 邱海峻, 等. 塔里木盆地中央隆起带中、西段及邻区中、下寒武统盐相关构造及其变形机理. 中国科学: 地球科学, 2013, 43: 33–43
英文引用格式: Tang L J, Huang T Z, Qiu H J, et al. Salt-related structure and deformation mechanism of the Middle-Lower Cambrian in the middle-west parts of the Central Uplift and adjacent areas of the Tarim Basin. Science China: Earth Sciences, 2012, 55: 1123–1133, doi: 10.1007/s11430-012-4414-3

探讨了构造特征与油气成藏和油气远景的关系[4~5,14].

地震和钻探成果已经证实, 塔里木盆地中央隆起带中、西段及邻区中、下寒武统广泛发育盐岩层系, 它们作为区域滑脱层对该区盐上古生界构造变形起着重要控制作用, 形成一系列含油气圈闭构造[15~17]. 同时, 由于寒武系盐岩层系提供的优质盖层和封闭条件, 大大提升了该区盐下震旦-寒武系目的层系的油气勘探价值.

近年来, 伸展环境和挤压环境含油气盆地(如墨西哥湾、北海、波斯湾和塔里木盆地库车坳陷等)盐构造研究取得了重大进展[18~23]. 我国的一些大型含油气盆地, 如塔里木、四川、江汉和渤海湾盆地等, 广泛发育多期盐岩层系和多种类型的盐构造, 盐岩层系形成时代涉及寒武系、石炭系、三叠系、古近系和新近系. 已经对这些盆地的盐构造开展过研究并取得进展, 包括渤海湾盆地新生代伸展环境下的盐构造变形研究[24,25], 四川盆地中、下三叠统海相碳酸盐岩层系中的盐相关构造变形研究[26,27], 江汉盆地的盐构造变形研究[28,29], 塔里木盆地库车前陆褶皱-冲断带挤压环境下的盐相关构造及其变形机理研究等[30~35]. 资料表明, 国外盐构造研究大都针对被动陆缘盆地或板块缝合带附近的前陆盆地, 盐岩层系规模和厚度巨大, 盐岩流动性极强, 盐构造变形样式复杂多变. 而对于克拉通内古隆起背景下时代古老、厚度较薄的盐层及其变形构造的研究相对较少, 这些形成早、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, 涉及到特殊动力学背景条件下非常规盐构造形成和演化的理论模式. 尽管塔里木盆地中央隆起带中、西段及邻区已开展大量研究工作并取得丰硕成果, 但该区盐相关构造研究仍是薄弱环节. 本文试图通过地震剖面解释和钻井资料分析, 对下述问题做一探讨: 1) 时代为早、中寒武世的古老盐岩层系变形样式; 2) 深层盐相关构造分布模式; 3) 克拉通内古隆起不均匀展布的薄层盐岩层系变形的运动学模式; 4) 不同于库车和川东北前陆挤压环境的克拉通内古隆起盐构造及其相关构造的变形机理.

1 塔里木盆地中央隆起带中、西段及邻区构造-层序组合划分及主要特征

塔里木盆地中央隆起带中、西段及邻区, 位于塔里木盆地中部地区, 包括塔中隆起、巴楚隆起及相邻的麦盖提斜坡、塘古巴斯坳陷和顺托果勒隆起等地区(图 1), 该区构造变形复杂, 经历了长期构造演化, 构成了横亘塔里木盆地中部、以不同时代大型古隆起为特征的巨型构造带.

以中、下寒武统盐岩层系为界, 可以将塔里木盆地中央隆起带中、西段及邻区划分为 3 个大的构造-地层层序组合(图 2).

1.1 盐下构造-地层层序组合

由震旦系和下寒武统组成, 属于一套海相碳酸盐岩和碎屑岩层系为主的沉积, 简述如下: 下震旦统在该区分布较局限, 可能仅分布在中央隆起带中、西段北翼地区, 主要为一套海相碎屑岩、碳酸盐岩和火山碎屑岩建造; 上震旦统沉积广泛, 为一套台地相碳

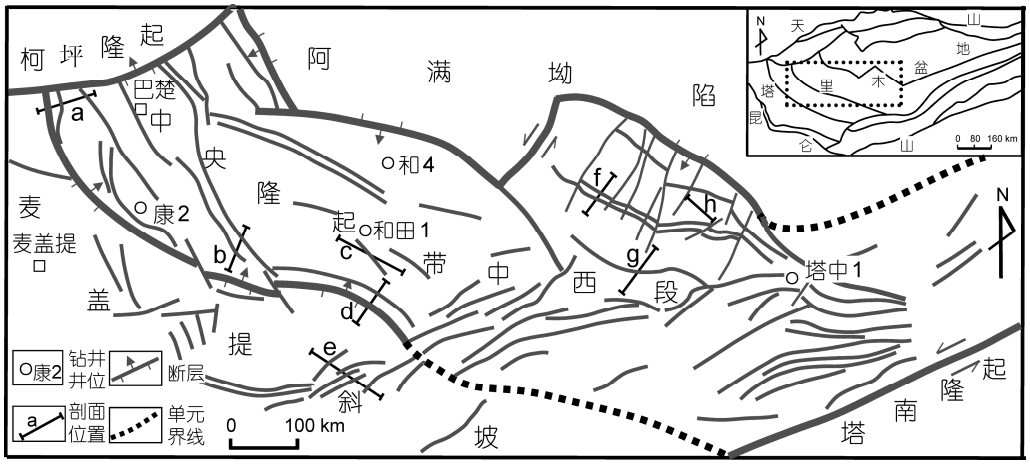


图 1 塔里木盆地中央隆起带中、西段构造位置略图

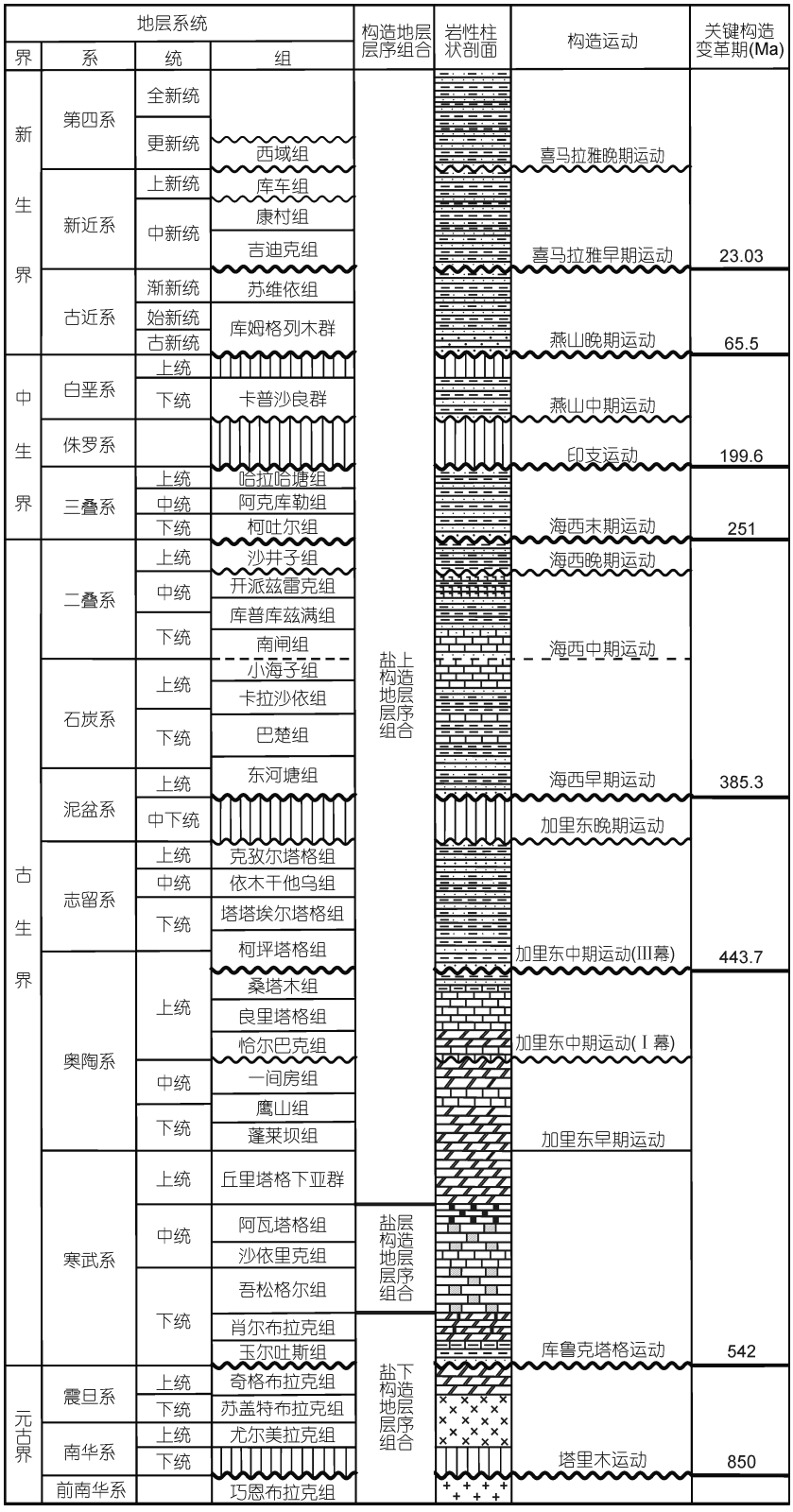


图 2　塔里木盆地中央隆起带中、西段及邻区构造-地层层序组合

酸盐岩沉积, 厚约 500~800 m, 角度不整合在南华系或基底变质岩系之上; 下寒武统中、下部玉尔吐斯组和肖尔布拉克为一套开阔台地相碳酸盐岩沉积, 岩性为灰色中-细晶白云岩夹藻白云岩、泥晶灰岩及钙质泥岩.

1.2 盐层构造-地层层序组合

由下寒武统上部吾松格尔组和中寒武统沙依里克组、阿瓦塔格组组成, 一般可划分为 4 个岩性段: 1) 下部膏盐岩段: 为中层-厚层状灰色膏盐岩、灰白色膏岩、膏质云岩、泥质云岩、灰褐色云质膏岩夹褐灰色云质泥岩; 2) 盐间灰岩段: 主要为灰色泥晶灰岩夹深灰色白云岩; 3) 中部膏盐岩段: 为中-厚层状灰白色膏岩、泥质膏岩、膏盐岩夹褐色膏质泥岩; 4) 上部含膏云岩段: 深灰色含膏云岩、膏质泥岩为主夹灰色白云岩和红褐色泥岩. 总体来看, 含盐层系沉积较稳定, 分布广泛, 以膏岩、膏盐岩、膏质云岩、含膏泥岩为主, 纯盐岩层系不发育. 与世界上其它含盐盆地相比, 盐岩层系厚度较小, 钻井揭示厚度在 200~700 m 之间(表 1), 地震资料揭示厚度可达 1200 m 以上, 流动聚集现象明显, 分布不均一性强, 是重要的区域性滑脱层系. 盐岩层系埋藏深度大, 与全球大部分盐构造研究区为伸展或挤压环境不同, 区域构造背景环境为克拉通内古隆起, 含盐层系时代老、埋藏深、厚度小. 盐岩层系埋藏深度自西向东逐渐加深, 最大埋藏深度达到 7000 m 以上. 盐岩层系主要通过塑性流动变形来影响上覆层构造变形, 总体来看, 中央隆起带中、西段及邻区盐岩层系塑性流动特征比较明显. 由于该区盐岩层系厚度偏小, 同时盐间云岩和灰岩夹层分布较稳定, 因此在地震剖面上, 盐岩层系总体仍然呈现出似层状反射特征, 但该层段同相轴明显紊乱, 形成各种与盐岩层系塑性流动有关的透镜状、丘状等比较杂乱的反射特征, 局部聚集增厚, 有规模不太大的盐丘或盐背斜形成, 但较少形成盐刺穿构造.

1.3 盐上构造-地层层序组合

盐上组合厚度巨大, 由上寒武统至第四系组成, 其中上寒武统和奥陶系为一套台地相灰色白云岩、灰岩、泥灰岩和钙质泥岩等, 厚 2500 m 以上; 志留-泥盆系为海相陆源碎屑岩沉积, 厚达 1300 m 以上; 石炭-二叠系为海陆交互相碳酸盐岩、碎屑岩夹火山岩, 厚达 3000 m 以上; 中生界为陆相碎屑岩建造, 发育不全, 厚达 1000 m 以上, 塔中隆起缺失侏罗系, 巴楚隆起大部缺失三叠系、全部缺失侏罗系和白垩系; 古近系和新近系为陆相碎屑岩建造, 最厚达 3000 m 以上; 第四系为洪积、冲积和风积松散砂和砂砾堆积, 厚数十至数百米.

2 塔里木盆地中央隆起带中、西段盐相关构造样式

塔里木盆地中央隆起带中、西段塔中、巴楚地区, 经历了多期差异构造变动, 塔中地区主要受加里东中期、加里东晚期-海西早期构造运动的影响, 后期构造改造逐渐减弱. 巴楚地区正好相反, 加里东和海西早期运动与塔中相比明显要弱, 海西晚期岩浆活动强烈, 中生代强烈隆升遭受剥蚀, 喜马拉雅期强烈逆冲推覆和走滑位移. 对于深层中、下寒武统盐岩层系来说, 其构造变形主要受挤压或走滑-挤压控制, 形成了一系列盐相关构造样式.

2.1 盐枕构造

塔里木盆地中央隆起带中、西段及邻区寒武系盐枕构造较为发育, 是中、下寒武统盐岩层系本身发生流动聚集形成的“枕状”构造. 由于中、下寒武统盐岩层系本身厚度较小, 形成的盐枕规模也较小, 幅度较低, 形态表现为上凸下平. 盐岩层系局部聚集形成的盐枕构造, 也影响到其上覆层系发生变形, 在盐枕构造之上形成盐上背斜构造, 构造幅度由深层往浅层逐渐变小(图 3).

表 1 钻井揭示中、下寒武统盐岩层系厚度表 a)

地层系统	同 1 井		康 2 井		方 1 井		和 4 井		和田 1 井		中 4 井	
	底界深度 (m)	厚度 (m)	底界深度 (m)	厚度 (m)	底界深度 (m)	厚度 (m)	底界深度 (m)	厚度 (m)	底界深度 (m)	厚度 (m)	底界深度 (m)	厚度 (m)
上寒武统	3944	881	4938	600	3833	868	5002	755	6161	639	6752	1224
中下寒武统盐岩层系	4652	708	5634.5▼	696.5	4614	781	5903	563	6813.5▼	652.5	7220▼	468

a) 据中国石化西北油田分公司资料简化修改. ▼表示未钻穿

2.2　盐滚构造

塔里木盆地中央隆起带中、西段及邻区中、下寒武统盐岩层系发育的另一类盐构造是盐滚构造，其几何形态主要表现为盐岩层系底部平整或呈极平缓的背斜形态，盐岩层系顶部的一侧与上覆地层呈整一接触关系，另一侧呈断层接触关系，盐体本身呈现为“三角”形态，靠近断裂部位盐岩层系急剧增厚，远离断裂盐岩层系迅速减薄(图 4). 在断裂下盘的盐滚

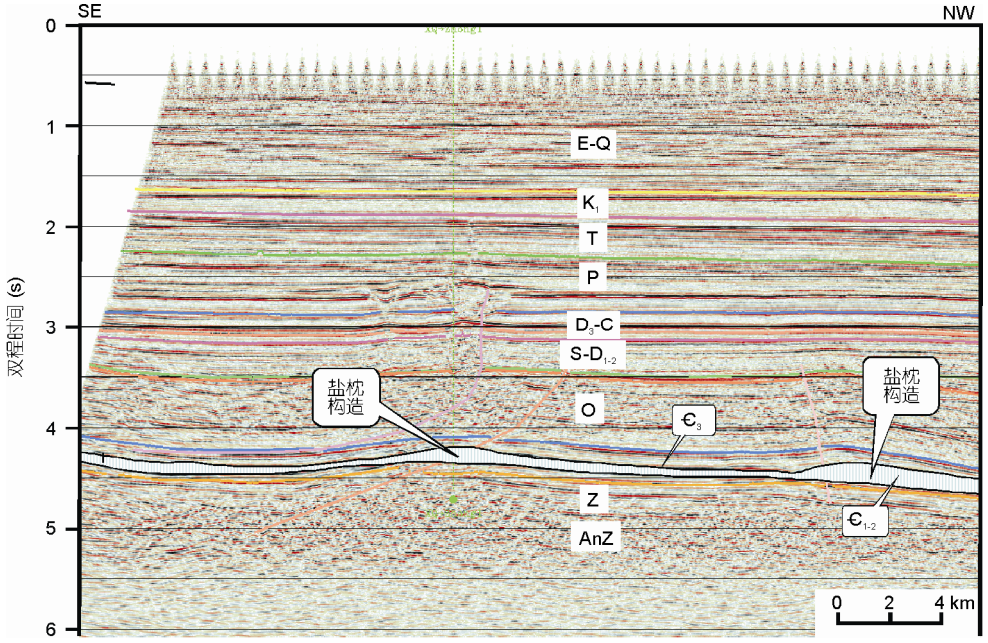


图 3　盐枕构造

据 TZL1312 地震剖面解释，剖面位置见图 1-h

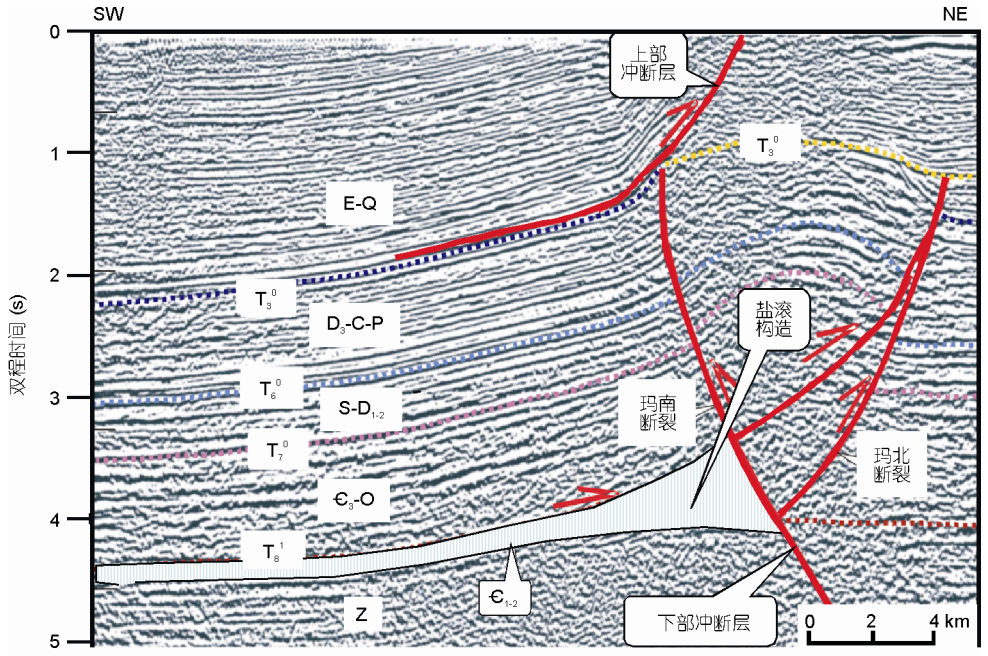


图 4　盐滚构造

据 MZ94-228 地震剖面解释，剖面位置见图 1-d

构造之下, 平缓的背斜可以形成良好的油气圈闭, 盐岩层系本身作为盖层, 具有良好的封盖性能.

2.3 盐(上)背斜构造

中、下寒武统盐枕构造之上的地层, 受盐岩层系局部聚集形成枕状构造的影响, 发生褶皱形成盐上层背斜构造. 盐上背斜构造的成因与盐枕构造的形成密切相关, 盐上背斜构造的形态与盐枕构造十分相似, 形成时代也与盐枕构造同期(图 5). 盐上背斜也是一种有利的圈闭构造, 其闭合面积和闭合幅度受控于盐枕构造的规模.

2.4 盐拱-盐上断块构造组合

如图 6 所示, 中、下寒武统盐岩层系在断夹块之间聚集增厚形成盐拱构造, 断夹块外侧的盐层厚度小于断块内部. 盐上地层受盐岩拱起的影响, 形成盐上断块或断褶构造, 盐上构造的规模由深层往浅层逐渐增大. 盐下地层也形成断块构造, 但其规模小于盐拱构造, 盐上、盐下都可以形成良好的圈闭构造, 其中盐下构造有盐岩做为盖层, 具有良好的保存条件.

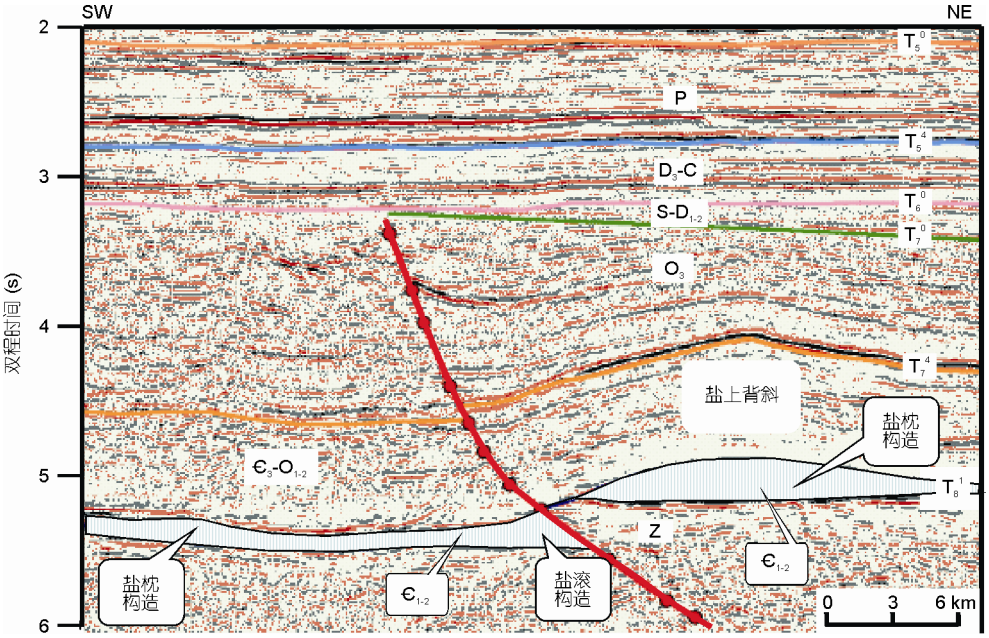


图 5 盐枕构造和盐(上)背斜

据 TZ07-452.8SN 地震剖面解释, 剖面位置见图 1-g

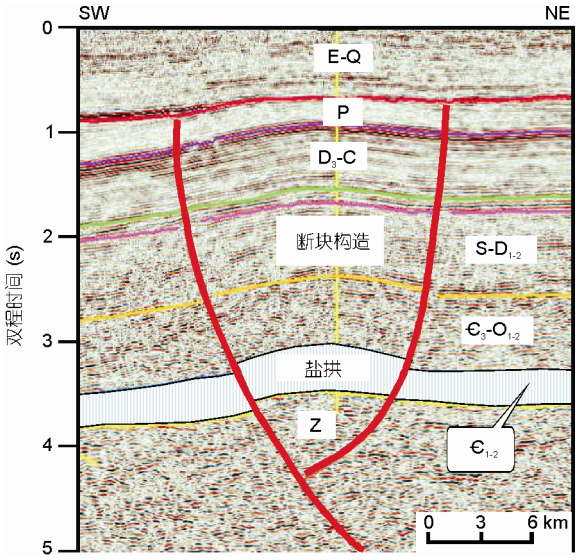


图 6 盐拱-盐上断块构造组合

据 BC07-SN168 地震剖面解释, 剖面位置见图 1-b

2.5 基底断裂-盐背斜构造组合

基底断裂-盐背斜构造组合一般受深部基底断裂带控制, 在基底断裂带上盘, 盐岩层系发生流动聚集, 形成盐背斜构造. 盐上地层发生断裂作用, 断层一般不切穿盐岩层系进入基底, 而是在盐岩层系顶面或盐岩层系内部发生滑脱, 最终消失在滑脱层中. 滑脱断层往上扩展, 可以形成断层相关褶皱或花状构造(图 7).

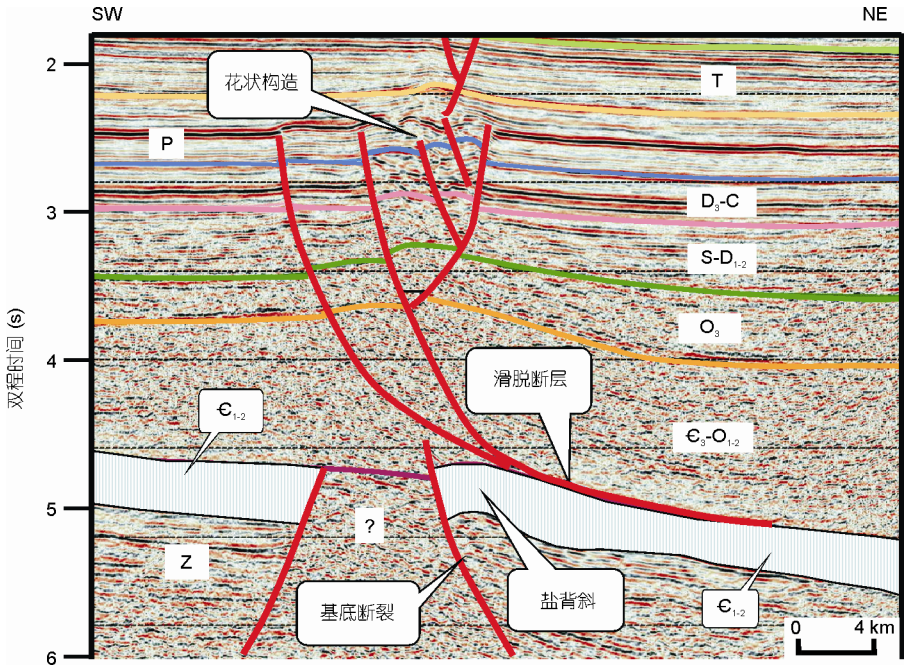


图 7　基底断裂-盐背斜构造组合

据 TZ07-434.9SN 地震剖面解释, 剖面位置见图 1-f

2.6　基底断块-盐丘构造组合

在塔里木中央隆起带中西段及邻区, 受基底断裂控制, 常形成前震旦系基底和震旦系断块构造. 在基底断块构造之上, 往往有中、下寒武统盐岩层系流动聚集, 形成盐丘构造. 盐丘构造之上发育盐上背斜构造, 盐下、盐层和盐上多层次盐相关构造相互叠置, 构成复杂的构造变形图案(图 8).

2.7　盐岩滑脱-断层相关褶皱组合

如 HTH-206.2EW 地震剖面所示, 中、下寒武统盐岩层系流动变形比较明显, 在盐岩滑脱带内形成一些小规模盐拱构造, 幅度不大. 盐上层系发生断裂作用, 断层往下进入盐岩层系发生滑脱作用, 断距逐渐消失在盐岩滑脱带中; 断层往上扩展, 可以形成一系列断层相关褶皱(图 9).

2.8　基底断块-盐拱-盐上叠瓦冲断组合

如 MGT09-112EW 地震剖面所示, 前震旦系基底形成一系列断块构造, 在断块之上盐体流动发生局部聚集, 形成盐拱构造, 盐上地层出现一系列断裂构造, 断层往深层在盐拱部位沿盐岩滑脱层发生滑脱作用, 往上形成叠瓦状冲断块体. 叠瓦冲断块体主体由上寒武统和奥陶系构成, 是加里东中期运动的产物. 志留系至中泥盆统往叠瓦冲断块体的高部位超覆, 上泥盆统和石炭系不整合覆盖在下伏地层之上, 与下伏冲断块体构成典型的潜山-披覆构造组合(图 10).

3　塔里木盆地中央隆起带中、西段寒武系盐构造变形机理

塔里木盆地中央隆起带中、西段及邻区深层寒武系盐相关构造变形受基底断裂作用、挤压缩短作用、塑性流动作用、上覆层系重力作用和断裂滑脱作用等多重因素控制(图 11).

3.1　基底断裂作用

航磁和地震资料揭示, 塔里木盆地中央隆起带中、西段及邻区基底断裂比较发育, 基底断裂往上扩展进入盐岩层系, 可能导致在盐岩层系中发生应力集中或形成虚脱空间, 在差异应力作用下, 盐岩层往基底断裂顶部流动聚集, 从而形成盐拱构造. 地震剖面解释和钻井资料揭示, 几乎所有的盐相关构造, 如同岗构造(同 1 井)、卡北构造(方 1 井)、和 4 号断背

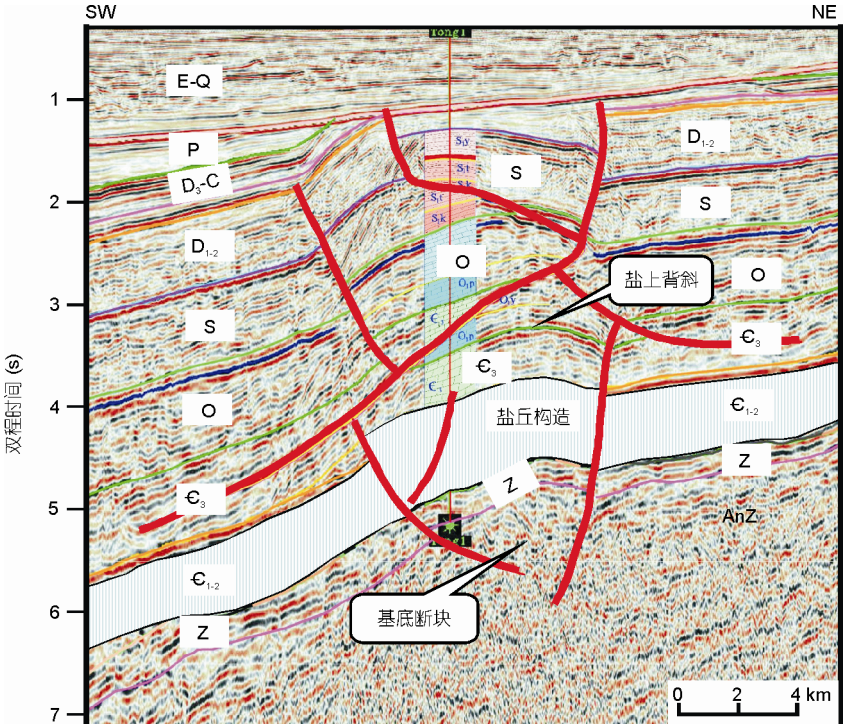


图 8　基底断块-盐丘构造组合

据 BC94-NE157 地震剖面解释，剖面位置见图 1-a

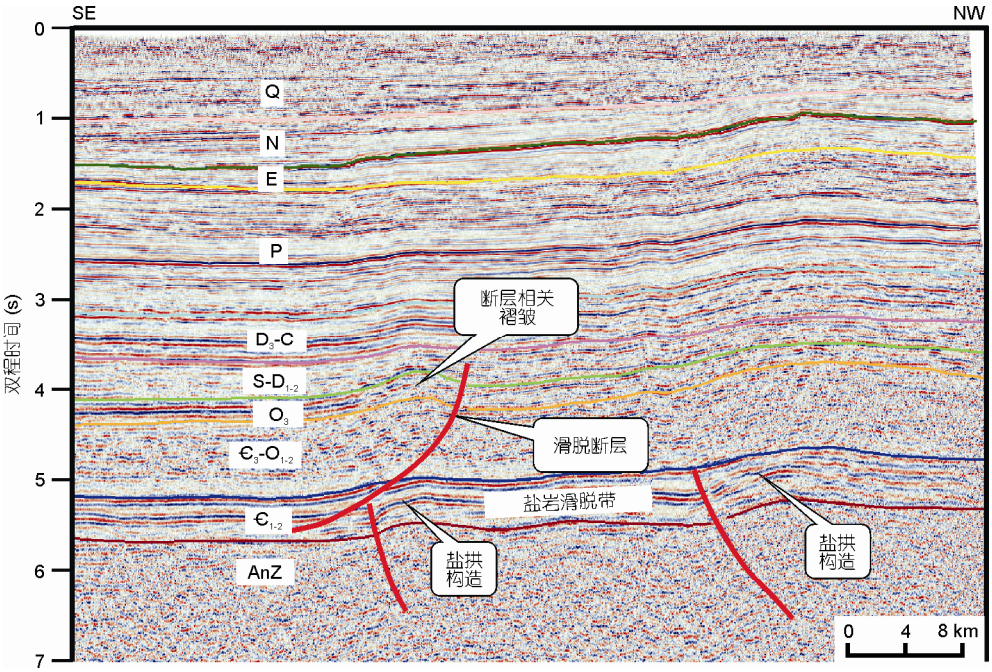


图 9　盐岩滑脱-断层相关褶皱组合

据 HTH-206.2EW 地震剖面解释，剖面位置见图 1-c

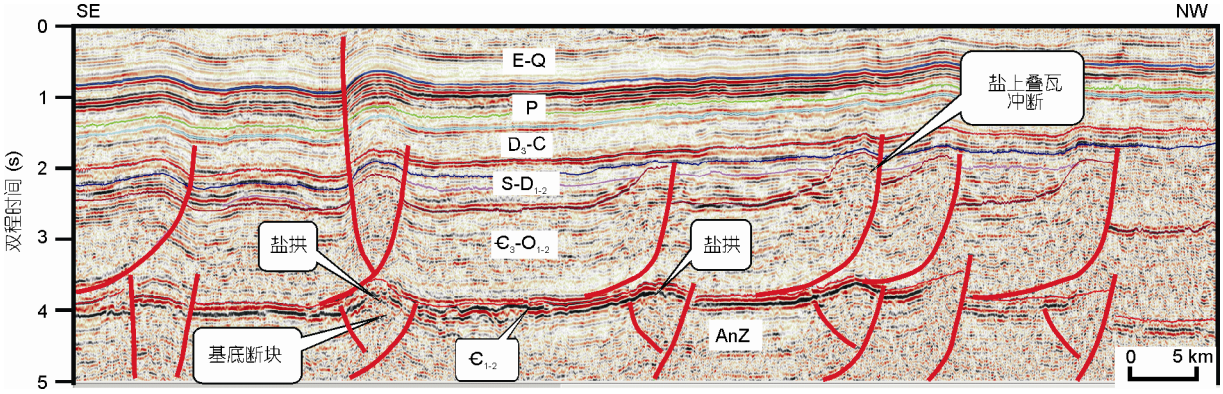


图 10　基底断块-盐拱-盐上叠瓦冲断组合

据 MGT09-112EW 地震剖面解释, 剖面位置见图 1-e

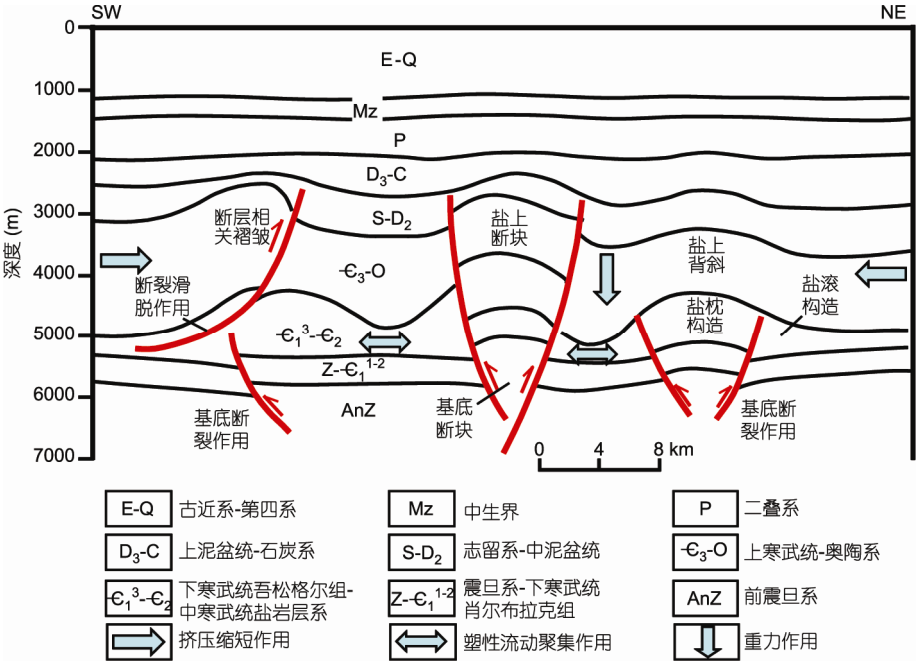


图 11　塔里木盆地中央隆起带中、西段盐相关构造成因模式图

斜(和 4 井)以及海米东构造(巴探 5 井)等, 可能都与盐下先存基底断裂带的活动有关. 在盐相关构造形成时期, 这些先存基底断裂带可以往上进入盐岩层系或盐上层系. 盐相关构造的分布受到先存基底断裂的制约, 一系列盐相关构造沿基底断层的上盘或基底断块分布, 具有分排分带分布的特征. 例如, 沿着康塔库木、海米罗斯、玛扎塔格、卡拉沙依、塔中 2 号和塔中 5 号断裂带分布的盐相关构造. 这就表明, 先存基底断裂带对盐相关构造的形成和分布起着重要控制作用(图 10, 11).

3.2　挤压缩短作用

如图 2 所示, 塔里木盆地中央隆起带中、西段及邻区经历多期构造变动, 主要表现为多期强烈挤压、断裂、褶皱、隆升和剥蚀作用. 在塔中隆起, 最重要的挤压缩短作用发生在加里东中期(图 5, 7), 在此后的多期构造运动中, 挤压作用逐渐减弱. 而在巴楚隆起和麦盖提斜坡, 影响盐相关构造形成的强烈挤压

作用发生在加里东中期和海西早期(图 4, 6, 8~10), 在海西晚期和喜马拉雅期, 经受了强烈的构造改造和调整作用(图 4, 6, 8). 深层中、下寒武统盐岩层系受挤压缩短作用影响, 发生塑性流动, 形成盐拱或盐背斜构造. 这种挤压缩短作用也是该区断裂和褶皱构造形成的主要控制要素, 如前所述, 基底断裂作用与盐构造形成演化密切相关, 也说明挤压缩短作用对盐相关构造形成演化具有重要控制作用.

3.3 塑性流动聚集作用

塔里木盆地中央隆起带中、西段及邻区深层中、下寒武统盐岩层系埋藏深度大, 一般埋深超过 5000 m, 具有较高的温度和压力. 深层盐岩层系在较高的温压条件下, 易于发生塑性流动变形, 导致形成盐背斜等盐相关构造. 这种由高温压条件引发的塑性流动作用, 可能也与区域挤压缩短的触发因素有关.

3.4 上覆层系的重力作用

塔里木盆地中央隆起带中、西段及邻区深层中、下寒武统盐岩层系本身厚度不大, 但上覆有巨厚的盖层, 盐岩层系受上覆巨厚盖层的差异重力作用控制, 不同深埋条件下的盐岩层系, 可以发生重力滑动或重力扩展作用, 形成盐背斜构造等.

3.5 盐上层断裂滑脱作用

盐上地层发生断裂作用, 断裂往深层遇到中、下寒武统盐岩层系, 一般不会穿过盐岩层系进入盐下地层, 而是在盐岩层系中发生滑脱作用, 断距逐渐减小直至消失. 这种盐上地层发生的断裂滑脱作用, 可以在盐上层系中形成盐上背斜、断层相关褶皱等盐相关构造.

4 讨论和结论

(1) 塔里木盆地中央隆起带中、西段及邻区中、下寒武统广泛发育盐岩层系, 对该区古生界构造变形产生重要影响, 以这套盐岩层系为界, 可以划分为盐下层、盐层和盐上层三个构造-地层层序, 各构造-层序组合可以形成不同的盐相关构造样式.

(2) 研究区中、下寒武统盐相关构造变形复杂, 主要包括盐枕构造、盐滚构造、盐(上)背斜构造、盐刺穿构造、盐拱-盐上断块构造组合、基底断裂-盐背斜构造组合、基底断块-盐丘构造组合、盐岩滑脱-断层相关褶皱组合、基底断块-盐拱-盐上叠瓦冲断组合等.

(3) 塔里木盆地中央隆起带中、西段及邻区中、下寒武统盐相关构造的形成演化和变形机理主要受控于基底断裂作用、挤压缩短作用、塑性流动聚集作用、上覆层系重力作用和盐上层断裂滑脱作用等, 盐相关构造主要沿基底断裂或断块构造带成排成带分布.

(4) 研究区深层中、下寒武统盐岩层系, 作为区域滑脱层对盐上古生界构造变形起着重要控制作用, 形成一系列含油气圈闭构造. 同时, 由于寒武系盐岩层系提供的优质盖层和封闭条件, 提升了该区盐下震旦-寒武系目的层系的油气勘探价值. 但由于该区盐岩层系形成时代老, 埋藏深度大, 厚度分布不均匀, 流动聚集幅度较小, 圈闭识别和落实难度较大, 盐岩层系和盐相关构造对油气聚集成藏的控制作用有待进一步深入研究.

致谢 论文撰写过程中得到马宗晋院士、贾承造院士、金之钧教授、翟晓先教授和韩革华教授的热情指导和帮助. 中石化西北油田分公司在基础地质资料方面给予大力支持. 审稿专家提出宝贵修改意见和建议. 一并致以深切谢意.

参考文献

1 刘高波, 施泽进, 余晓宇. 巴楚-麦盖提的区域构造演化与油气分布规律. 成都理工大学学报, 2004, 31: 157–161
2 何治亮, 陈强路, 钱一雄, 等. 塔里木盆地中央隆起区油气勘探方向. 石油与天然气地质, 2006, 27: 769–778
3 李丕龙. 塔里木盆地中央隆起带油气突破领域与勘探方向. 石油与天然气地质, 2007, 28: 576–583
4 焦志峰, 高志前. 塔里木盆地主要古隆起的形成、演化及控油气地质条件分析. 天然气地球科学, 2008, 19: 639–646
5 吕修祥, 杨海军, 白忠凯, 等. 塔里木盆地麦盖提斜坡东段油气勘探前景. 石油实验地质, 2010, 32: 521–526
6 何登发, 周新源, 杨海军, 等. 塔里木盆地克拉通内古隆起的成因机制与构造类型. 地学前缘, 2008, 15: 207–221

7 肖安成, 杨树锋, 王清华, 等. 塔里木盆地巴楚-柯坪地区南北向断裂系统的空间对应性研究. 地质科学, 2002, 37(增刊): 64–72
8 肖安成, 杨树锋, 李曰俊, 等. 塔里木盆地巴楚隆起断裂系统主要形成时代的新认识. 地质科学, 2005, 40: 291–302
9 余一欣, 黄太柱, 汤良杰, 等. 塔里木盆地塔中低凸起内部构造变形特征. 现代地质, 2010, 24: 1029–1034
10 何文渊, 李江海, 钱祥麟, 等. 塔里木盆地巴楚断隆中新生代的构造演化. 北京大学学报, 2000, 36: 539–546
11 张振生, 李明杰, 刘社平. 塔中低凸起的形成和演化. 石油勘探与开发, 2002, 29: 28–31
12 李明杰, 郑孟林, 冯朝荣, 等. 塔中低凸起的结构特征及其演化. 西安石油大学学报, 2004, 19: 43–45
13 丁文龙, 林畅松, 漆立新, 等. 塔里木盆地巴楚隆起构造格架及形成演化. 地学前缘, 2008, 15: 242–252
14 李铁军, 闫相宾. 塔里木盆地沙雅、卡塔克和巴楚隆起油气成藏主控因素对比与评价. 石油与天然气地质, 2007, 28: 721–730
15 王宏语, 樊太亮, 魏福军, 等. 塔里木盆地巴楚中部地区寒武系盐下构造发育特征. 石油与天然气地质, 2004, 25: 554–558
16 蔡习尧, 李越, 钱一雄, 等. 塔里木板块巴楚隆起区寒武系盐下勘探潜力分析. 地层学杂志, 2010, 34: 283–288
17 余一欣, 黄太柱, 汤良杰, 等. 塔里木盆地塔中隆起盐相关断层. 地质学报, 2011, 85: 179–184
18 Khatun S, Doser D I, Imana E C, et al. Locating faults in the Southern Mesilla Bolson, West Texas and Southern New Mexico, using 3-D modeling of precision gravity data. J Environ Engin Geophys, 2007, 12: 149–161
19 Davison I, Alsop I, Birch P, et al. Geometry and late-stage structural evolution of Central Graben salt diapers, North Sea. Marine Petrol Geol, 2000, 17: 499–522
20 Jackson M P A, Hudec M R, Jennette D C, et al. Evolution of the Cretaceous Astrid thrust belt in the ultradeep-water Lower Congo Basin, Gabon. AAPG Bull, 2008, 92: 487–511
21 Koyi H A, Ghasemi A, Hessami K, et al. The mechanical relationship between strike-slip faults and salt diapirs in the Zagros fold-thrust belt. J Geol Soc, 2008, 165: 1031–1044
22 汤良杰, 贾承造, 皮学军, 等. 库车前陆褶皱带盐相关构造样式. 中国科学 D 辑: 地球科学, 2003, 33: 38–46
23 Chen S P, Tang L J, Jin Z J, et al. Thrust and fold tectonics and the role of evaporite in deformation in the western Kuqa foreland of Tarim Basin, northwest China. Mar Petrol Geol, 2004, 21: 1027–1042
24 余一欣, 周心怀, 汤良杰, 等. 渤海海域莱州湾凹陷 KL11-2 地区盐构造特征. 地质学报, 2008, 82: 13–19
25 于建国, 李三忠, 王金铎, 等. 东营凹陷盐底辟作用与中央隆起带断裂构造成因. 地质科学, 2005, 40: 55–68
26 汤良杰, 郭彤楼, 余一欣, 等. 四川盆地东北部前陆褶皱-冲断带盐相关构造. 地质学报, 2007, 81: 1048–1056
27 汤良杰, 杨克明, 金文正, 等. 龙门山冲断带多层次滑脱带与滑脱构造变形. 中国科学 D 辑: 地球科学, 2008, 38(增刊Ⅰ): 30–40
28 杨长清. 江陵凹陷盐构造及与油气聚集的关系. 断块油气田, 2004, 11: 4–6
29 唐文旭, 陈凤玲, 范传军. 潜江凹陷王场盐构造的油气成藏特征. 资源环境与工程, 2007, 21: 385–387
30 汤良杰, 李京昌, 余一欣, 等. 库车前陆褶皱-冲断带盐构造差异变形和分段性特征探讨. 地质学报, 2006, 80: 313–320
31 Yu Y X, Tang L J, Yang W J, et al. Thick-skinned contractional salt structures in the Kuqa depression, the northern Tarim Basin: constraints from physical experiments (in Chinese). Acta Geol Sin, 2008, 82: 327–333
32 邬光辉, 王招明, 刘玉魁, 等. 塔里木盆地库车坳陷盐构造运动学特征. 地质论评, 2004, 50: 476–483
33 雷刚林, 谢会文, 张敬洲, 等. 库车坳陷克拉苏构造带构造特征及天然气勘探. 石油与天然气地质, 2007, 28: 816–820
34 汤良杰, 余一欣, 杨文静, 等. 库车坳陷古隆起与盐构造特征及控油气作用. 地质学报, 2007, 81: 145–150
35 汪新, 王招明, 谢会文, 等.塔里木库车坳陷新生代盐构造解析及其变形模拟. 中国科学: 地球科学, 2010, 40: 1655–1668