

西北地区含油气盆地动力学演化

郑孟林¹, 邱小芝², 何文军¹, 费李莹¹, 唐 勇¹, 贾希玉¹,
陈 磊¹, 孔玉华¹, 吴海生¹

(1. 中国石油新疆油田分公司勘探开发研究院, 新疆 克拉玛依 834000;

2. 石家庄经济学院 资源学院, 河北 石家庄 050031)

摘 要:根据石油勘探资料和前人成果,对昆仑造山带以北、贺兰山构造带以西的塔里木盆地、准噶尔盆地、柴达木盆地及阿拉善—河西走廊—中祁连地区的盆地结构进行了分析。结果表明:盆地都赋存在稳定的板块(地块)之上,具有多期叠合与改造特征,不同时期具有不同的盆地类型;震旦纪—早二叠世主要受古亚洲洋构造域控制,以板块(地块)之间的开合与盆地的形成、消亡为特征,中生代为欧亚大陆的组成部分,盆地、山脉的形成受特提斯洋及深部构造背景的影响,新生代受印度板块与欧亚板块碰撞产生的远距离效应,形成了现今盆地构造格局;盆地深部构造与盆地之间的相互作用、盆地深部构造与造山带深部构造的相互作用以及浅层盆地与造山带之间的相互作用构成了西北地区盆地动力学演化的基础;西北地区含油气盆地经历了洋-陆转化和陆内演化两大盆地演化阶段,在两大盆地演化期间,新疆北部、塔里木、柴达木及阿拉善—河西走廊—中祁连地区的盆地形成与消亡改造的关键构造事件具有一致性;受区域大地构造的控制,准噶尔盆地、塔里木盆地以及阿尔金构造带以东地区的沉积建造、构造活动特征存在显著差异,控制了盆地烃源岩发育部位与层系,形成了具有不同特征的古隆起和山前构造带,使得各盆地油气聚集的控制因素也存在差异性。

关键词:盆地动力学;叠合演化;油气聚集;区域构造;西北地区

中图分类号:P618.130.2;TE121 **文献标志码:**A

Geodynamic Evolution of Petroliferous Basins in Northwest China

ZHENG Meng-lin¹, QIU Xiao-zhi², HE Wen-jun¹, FEI Li-ying¹, TANG Yong¹,
JIA Xi-yu¹, CHEN Lei¹, KONG Yu-hua¹, WU Hai-sheng¹

(1. Petroleum Exploration and Development Institute, Xinjiang Oilfield Company, PetroChina, Karamay 834000, Xinjiang, China; 2. School of Resources, Shijiazhuang University of Economics, Shijiazhuang 050031, Hebei, China)

Abstract: According to petroleum exploration data and previous results, the structures of Tarim Basin, Junggar Basin, Qaidam Basin and the basin groups of Alxa-Hexi Corridor-Middle Qilian in the north of Kunlun orogenic belt and the west of Helan mountain structural belt were analyzed. The results show that those basins, which are superposed and transformed in many periods, exist on the stable plate (block), and have different types in different periods; Northwest China is in the paleo Asian tectonic zone from Sinian period to Paleozoic, basins are formed and disappeared by the open and closure between plates (blocks) during that time, to Mesozoic, Northwest China becomes part of Eurasian continent, the formations of basins and mountains are affected by Tethys ocean and the deep tectonic background, the far distance effect produced by the collision

收稿日期:2015-03-04

基金项目:国家重点基础研究发展计划(“九七三”计划)项目(2011CB201101,2014CB239001);
国家科技重大专项项目(2011ZX05001-06)

作者简介:郑孟林(1968-),男,河北博野人,教授级高级工程师,工学博士,E-mail:zhengmlbasin@163.com。

of India plate and Eurasia plate in Cenozoic forms the present basin-mountain structure; the interaction effects between the deep tectonic and basin, between the deep tectonics of basin and orogenic belt, and between the shallow basin and orogenic belt, form the foundation of the basin dynamic evolution in Northwest China; petroliferous basins in Northwest China experience two basin evolution stages, that is, the ocean continent transformation and the intra continental evolution; the key tectonic events about the basin formation and disappearance reconstruction are consistent in the north of Xinjiang, Tarim Basin, Qaidam Basin and the basin groups of Alxa-Hexi Corridor-Middle Qilian during the basin evolution periods; controlled by the regional geotectonics, there are significant differences between the sedimentary formation and the characteristics of tectonic activity in Junggar Basin, Tarim Basin and the east area of Arkin tectonic belt; the regional geotectonics control the development regions and strata of source rocks in the basin, form paleo uplifts and piedmont tectonic belts with different characteristics, and make the oil and gas accumulation controlling factors different in each basin.

Key words: basin dynamics; superposed evolution; petroleum accumulation; regional tectonic; Northwest China

0 引言

西北地区一般指贺兰山以西、昆仑山以北的广大区域,面积约 $270 \times 10^4 \text{ km}^2$,该区发育了塔里木、准噶尔、吐哈、柴达木等大型能源盆地和一系列的中小盆地,蕴藏着丰富的石油、天然气、煤炭、铀矿以及非常规的页岩气和煤层气等资源,是中国能源重要基地,也始终是国内外基础地质研究和应用研究的重点地区。前人在区域构造格局、沉积演化特征^[1-3]、盆地叠合特征^[4]、不同地区和不同世代的盆地叠合演化及对油气的控制作用^[5-13]等方面进行了深入研究,取得了丰硕成果,特别是近十年来,中国石油、中国石化加大了西部含油气盆地的勘探和研究力度,投入了大量的实物工作量,获得了很多重大发现。国家科技重大专项项目和国家重点基础研究发展计划(“九七三”计划)项目在基础地质研究领域也取得了很多新成果和新认识。这些成果为本次区域解剖研究奠定了基础。本文在对前人研究成果分析的基础上,通过区域构造格架和盆地构造的深化研究,对盆地形成的构造背景、板块(盆地)基底特征及相互关系、盆地地质结构及形成的动力学、盆地构造演化对油气的控制作用等方面进行了探讨。

1 盆地基底

对于稳定板块而言,应存在稳定的变质基底;对于赋存于板块之上的盆地而言,不同时期盆地形成之前的地质属性及结构、构造特征是盆地的基底,一般控制着盆地的形成与演化。中国西北地区沉积盆

地现今表现为被造山带围限。对于中国西北及邻区的区域构造格局的划分,一般是以发育蛇绿岩带的造山带为界进行板块构造的划分(图1)。在阿尔金以西地区,一般以斋桑—额尔齐斯缝合带、主乌拉尔—突厥斯坦—阿特巴什—依内里切克—南天山和赫拉特—北帕米尔—康西瓦缝合带为界^[14-20],自北而南划分为西伯利亚板块、哈萨克斯坦—准噶尔板块和卡拉库姆—塔里木板块。阿尔金以东地区以北祁连缝合带、南祁连缝合带和东昆仑缝合带为界,划分为阿拉善—河西走廊、中祁连地块、柴达木板块。不同时代的盆地主要赋存于造山带之间的地块之上^[21]。

塔里木板块、柴达木板块、阿拉善地块和中祁连地块存在稳定的前震旦系变质基底已形成共识,而对于新疆北部地区准噶尔、吐哈地块是否存在前震旦系变质基底始终存在争议^[1,22]。事实上,塔里木与西伯利亚之间存在一系列的造山带与微小地块^[15,23],哈萨克斯坦—准噶尔板块是由一系列地块及其之间的造山带、构造带组成^[15],没有统一的前寒武纪基底^[24]。中国存在准噶尔、伊犁(中天山)、吐哈、塔城等较大的地块(图1);物探、钻井及邻区地质资料证实,准噶尔地块由玛纳斯地体和乌伦古地体拼贴形成^[25],拼贴时代为前石炭系^[13]。伊犁(中天山)地块的前寒武纪基底由其南部和北部露头区的元古界变质岩系和长城系、蓟县系、青白口系、震旦系印证,寒武系、奥陶系不整合在蓟县系、震旦系之上。准噶尔、吐哈地块之上被上古生界—新生界覆盖,周缘露头区出露最古老地层为西准噶尔的中下奥陶统火山岩、火山碎屑岩和硅质岩,东天山的

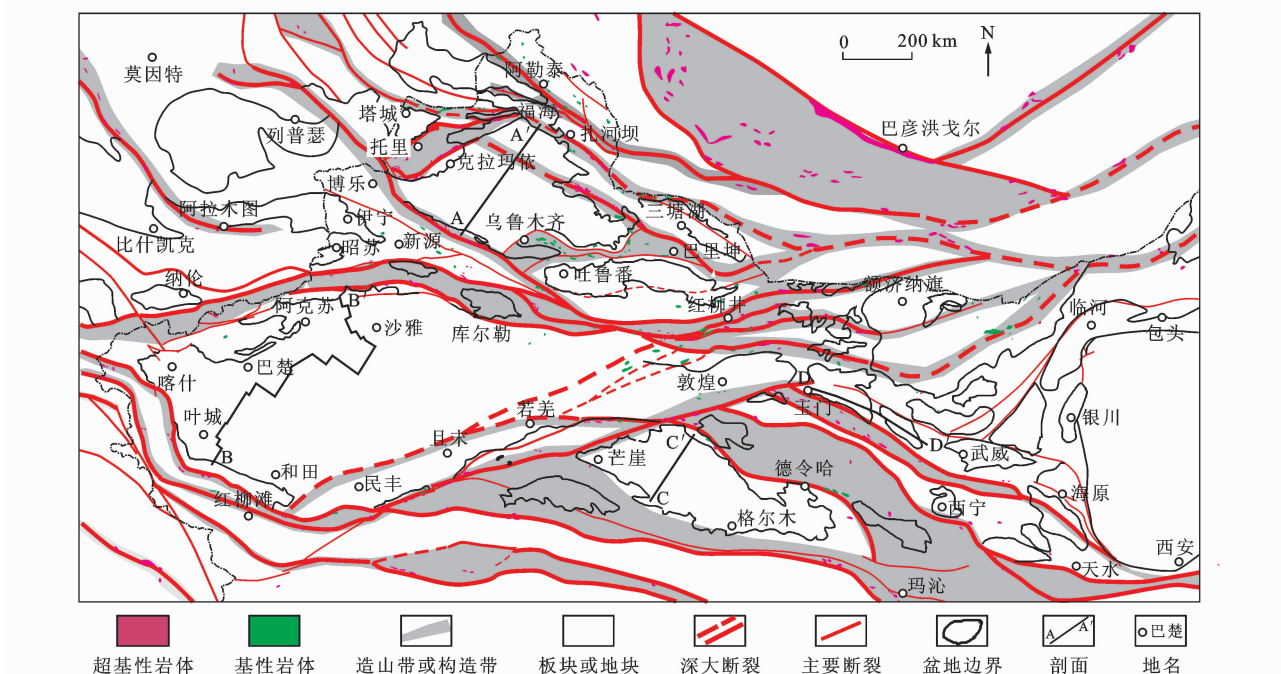


图1 中国西北及邻区大地构造区划

Fig.1 Tectonic Division of Northwest China and Its Adjacent Areas

中上奥陶统变质岩、火山碎屑岩和火山岩等。因此,准噶尔、吐哈地块的基底有洋壳^[15,21,26-27]、陆壳或双层基底^[22,28]、岛弧体系拼合体^[29]等不同观点。盆地钻井岩芯和露头碎屑岩锆石年代学成果证实,该区存在新元古界至中元古界的岩浆杂岩^[1,22];这就隐含了该区并非古生代洋壳板块,存在前寒武纪陆壳基底。但准噶尔盆地在石炭系发现了自生自储的天然气,在西准噶尔的和丰地区发现了上泥盆统自生自储的古油藏^[30-31]。泥盆系、石炭系都存在含碳质泥岩、泥岩的碎屑岩建造,并含有丰富的植物化石,代表了海陆交互相—陆相的环境。准噶尔盆地乌参1井钻穿石炭系火山岩,其下钻遇1411 m的凝灰质泥岩夹砂质泥岩,伦2井在火山岩之下也钻遇了泥岩。北准噶尔的洪古勒楞地区在中志留统沙尔布尔组底砾岩中发现了蛇绿岩砾石和含晚奥陶世化石的灰岩角砾和岩块^[32]。中上奥陶统和志留系凝灰质砂岩、粉砂岩、灰岩建造及其与蛇绿岩的不整合接触关系不仅反映了西准噶尔一些蛇绿岩的侵位时代在志留系沉积之前,还可以推断该区存在中上奥陶统的陆源碎屑建造和相对稳定的台地沉积环境。由此可直接推断,准噶尔的玛纳斯地块、乌伦古地块基底形成于前奥陶纪。综合地层学、年代学、地球物理学信息,准噶尔盆地赋存于稳定地块之上,该地块具有前震旦纪变质基底,是前石炭纪由玛纳斯地块和乌伦古地块拼贴而成^[25],而准噶尔石炭纪以来的盆

地基底形成于前石炭纪。

塔里木板块稳定的太古界、中下元古界变质基底出露于盆地北部的库鲁克塔格隆起和南部的铁克里克隆起。库鲁克塔格隆起辛格尔地区灰色片麻岩 Sm-Nd 等时线年龄为 3 263 Ma^[33],近年来在库尔勒北部片麻岩中获得锆石 U-Pb 年龄为 2 650 Ma 的数据^[34]。在板块南部的铁克里克隆起花岗片麻岩、斜长角闪岩和变质辉绿岩中分别获得锆石 U-Pb 年龄为 1 970、2 480、2 200 Ma 的数据。塔中隆起的塔参 1 井花岗岩 SHRIMP 锆石 U-Pb 年龄为 757.4 Ma^[35],塔东 2 井角闪花岗岩锆石 U-Pb 年龄为 (1 908.2 ± 8.6) Ma^[36]。地震与钻探资料证实,沙雅隆起的震旦系碎屑岩、碳酸盐岩和前震旦系变质岩系被中生界不整合覆盖^[37]。上述基底岩系的年龄存在南、北差异性,特别是航磁异常所反映的基底特征也存在明显的南、北分区性^[38]。郭召杰等认为塔里木中央航磁异常带代表了南、北塔里木地块的拼贴缝合带,红柳沟—拉配泉蛇绿岩带是其地表露头区^[39],其蛇绿岩中辉长岩的 SHRIMP 锆石 U-Pb 年龄 (479.4 Ma)^[40]代表了早古生代的洋盆。但塔里木盆地的钻井、地震资料显示,沿巴楚隆起的康 1 井—和 3 井到塔中隆起的塔参 1 井,再到塔东地区的塔东 1、塔东 2 井,缺失了寒武纪初期的沉积^[41],存在近 EW 向的隆起区,之后沉降被膏泥岩、泥岩和碳酸盐岩整体覆盖,不存在寒武纪的深水建造。因此,塔里木板块如果是南、北

两大地块的拼贴,其拼贴时代至少应该在前寒武纪,寒武纪以来的盆地叠合演化受到了前寒武系基底的控制。

红柳沟—拉配泉蛇绿岩所代表的早古生代洋盆将阿尔金地块划分为南阿尔金地块和北阿尔金地块^[42]。既然该洋盆没有向塔里木板块内部延伸,南、北阿尔金地块的变质岩系还是否为塔里木板块变质基底的地表出露?郑孟林等对塔里木盆地地质结构进行了精细的编图研究^[12]。阿尔金地块与塔里木板块以车儿臣—星星峡断裂存在明显的地质界限,阿尔金地块以车儿臣—星星峡断裂向塔里木板块仰冲,在唐古兹巴斯坳陷存在上奥陶统向阿尔金方向增厚的楔型沉积体,火山岩、火山碎屑岩及侵入岩发育。红柳沟—拉配泉蛇绿岩可能朝 SW 向与车儿臣—星星峡断裂带的南段相接,因此,南阿尔金地块是奥陶纪末期与塔里木板块拼贴的地块,而北阿尔金地块则与塔里木板块属于一体,出露的太古界一般认为是塔里木盆地的基底。南阿尔金地块出露下元古界变质岩系,长城系、蓟县系、青白口系以及震旦系浅变质碎屑岩和碳酸盐岩;残存的下奥陶统碎屑岩、中奥陶统角砾状碳酸盐岩和上奥陶统碎屑岩与塔里木盆地内建造存在差异性。

2 盆地地质结构

中国陆上大型含油气盆地都具有多旋回演化的叠合盆地特征^[43-44],具体表现为存在多个区域不整合面、多种盆地类型、多动力背景等,归属为改造盆地类型^[44-48]。西北地区含油气盆地的多期叠合研究成果丰富^[12,49-50],判别和划分叠合盆地中的相对独

立盆地,确定其上、下叠置特征及改造面貌,是研究盆地叠合演化的基础。

2.1 准噶尔盆地

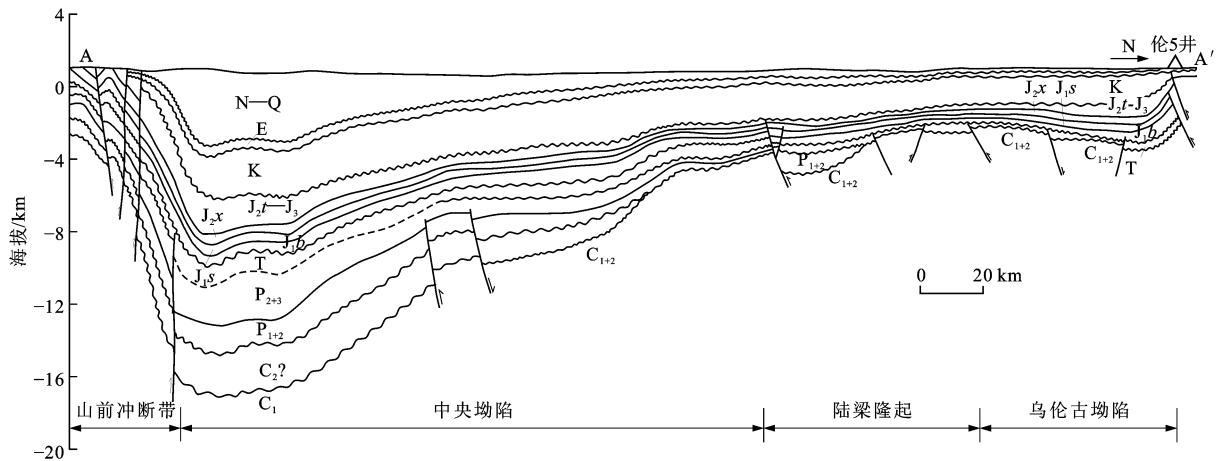
准噶尔盆地是被北天山造山带、西准噶尔造山带、克拉美丽造山带、博格达造山带所围限的多期残余叠合盆地。该盆地近年的勘探和研究获得以下认识:

(1)准噶尔盆地西北缘存在海西晚期的前陆盆地。根据地震和钻探资料,二叠纪西准噶尔向盆地的冲断作用形成了前陆盆地和山前冲断带,虽然之后发生多次构造作用,该前陆盆地和前陆冲断带逐渐被三叠系、侏罗系、白垩系、新生界不整合所覆盖,该区后期构造活动逐渐减弱。

(2)新的地震资料显示,克拉美丽造山带与盆地之间没有形成冲断前陆结构,更多地表现为走滑变形,走滑作用导致了侏罗系及其下部地层的褶皱、变形和隆升剥蚀。

(3)北天山造山带向盆地的逆冲推覆作用发生在新近纪—第四纪,形成了北天山山前的前陆盆地结构,二叠纪是否存在与西北缘一样的前陆结构还需要证据支持和进一步研究。

(4)盆地内存在前石炭系、石炭系、二叠系、三叠系、侏罗系、白垩系、古近系和新近系—第四系 8 个构造层(图 2)。石炭系赋存于由玛纳斯地块和乌伦古地块拼贴的准噶尔地块之上,存在下石炭统塔木岗组—滴水泉组—山梁砾石组 and 上石炭统巴塔玛依内山组—石钱滩组—六棵树组两大构造层,分别受西准噶尔洋盆、北天山洋盆和博格达裂谷的控制^[13],在地块之上赋存了中基性、中酸性火山岩,海



C_{1+2} 为石炭系; C_1 为下石炭统; C_2 为上石炭统; P_{1+2} 为中下二叠统; P_{2+3} 为中上二叠统; T 为三叠系; J_1b 为上侏罗统八道湾组; J_1s 为上侏罗统三工河组; J_2x 为中侏罗统西山窑组; J_2t-J_3 为中侏罗统头屯河组—上侏罗统; K 为白垩系; E 为古近系; $N+Q$ 为新近系—第四系

图 2 准噶尔盆地地质结构剖面 A-A'

Fig. 2 Geological Structure Profile A-A' in Junggar Basin

陆交互相、浅海相碎屑岩,沉积地层由地块腹部向洋盆方向增厚的楔形地质体组成,是石炭纪非汇水盆地演化的结果。

(5)二叠系下统(西北缘和腹部佳木河组、风城组,南缘石人子沟组、塔什库拉组,东部金沟组)、中统(西北缘和腹部夏子街组、下乌尔禾组,南缘乌拉泊组、井井子沟组、芦草沟组、红雁池组,东部将军庙组、平地泉组)和上统(西北缘和腹部上乌尔禾组,南缘和东部泉子街组、梧桐沟组)在盆地分布、厚度存在差异。下统主要在西北缘和南缘发育,厚度大,岩性由成盆初期的粗碎屑岩、火山岩向上为泥岩、碳酸盐岩建造转化,向腹部和东部明显减薄,至大面积缺失,局限分布;中统全盆地开始发育,由早期(夏子街组、乌拉泊组、井井子沟组、将军庙组)以砂岩为主的建造向晚期(下乌尔禾组、芦草沟组、红雁池组、平地泉组)以泥岩、油页岩、碳酸盐岩为主的清水泛盆沉积演化;上统是盆地消亡期,以粗碎屑岩建造为主,地层厚度变化不大,一般为400~800 m。但二叠系的分布仅限于陆梁隆起的南部,乌伦古地区始终处于隆升剥蚀区。二叠纪末的构造事件导致了西北缘逆冲带的大规模发育。

(6)三叠系构造层在盆地西部不整合于二叠系、石炭系之上,在盆地东部则平行不整合、整合在二叠系之上,北部的乌伦古坳陷形成并接受沉积,不整合于石炭系或前石炭系之上,为准噶尔大型坳陷盆地发育期,形成了以泥岩、砂岩为主的建造,沉积中心在盆地南部—腹部和乌伦古地区,一般厚度为600~1 600 m,成为盆地油气有效的盖层层系。三叠纪末的构造事件结束了三叠纪盆地演化,导致了盆地区域性的构造变形、抬升剥蚀。

(7)侏罗系广泛不整合在三叠系之上,在盆地周缘不整合在泥盆系、石炭系、二叠系之上,是西北地区超大型沉积盆地发育期,将准噶尔二叠纪、三叠纪盆地埋藏,形成一套湖相的煤系建造。侏罗纪末的构造事件在盆地内形成了NE向、NNE向、近SN向展布的背斜构造,其中发育规模最大的为发育在盆地中部从车排子向莫索湾、石南方向倾伏的古隆起,高点核部西山窑组剥蚀殆尽,三工河组上部也遭受剥蚀^[51-52],盆地东部的这种变形、隆升剥蚀还受到了早期构造的控制。

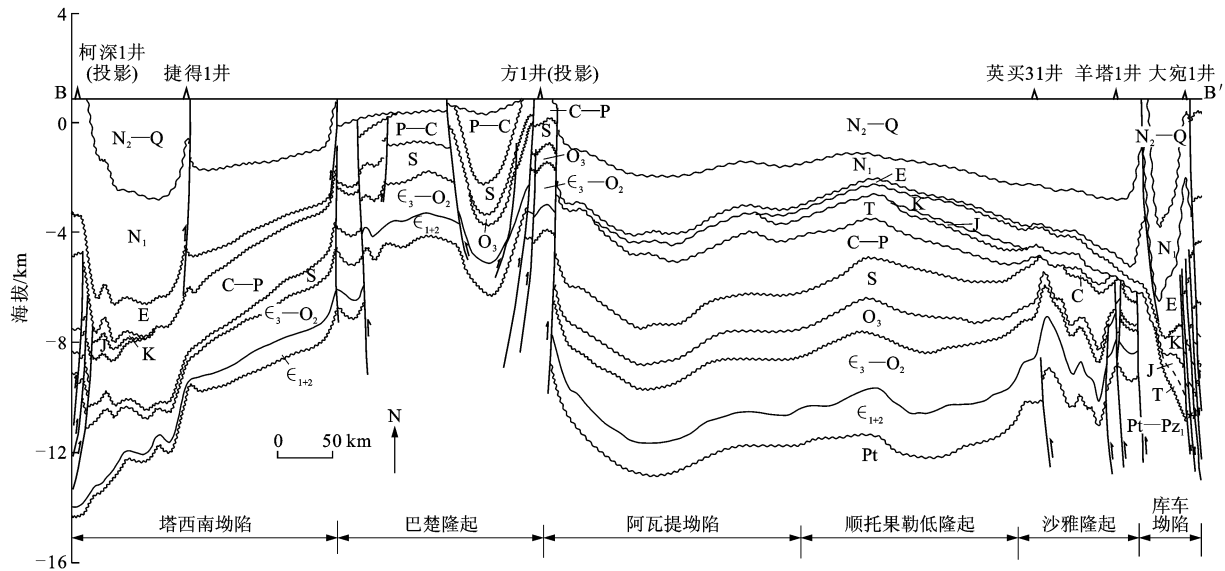
(8)白垩系不整合覆盖在遭受褶皱变形和隆升剥蚀后的侏罗系之上,西北缘超覆于山前冲断带的石炭系之上,盆地的沉降、沉积中心逐渐向南迁移,但厚度变化平稳。古近系分布广泛,不整合于白垩

系之上,盆地东部隆升剥蚀,虽然向南缘增厚,但盆地山高差有限。新近纪—第四纪,准噶尔盆地向南大规模的倾斜,沉积了向北天山山前急剧增厚的地层,乌伦古地区、陆梁地区隆升剥蚀。

2.2 塔里木盆地

塔里木盆地周缘造山带向盆地都表现为冲断特征,只是不同区段表现特征存在差异^[12,50]。近年来,盆地内部的地质结构研究取得了重要进展^[12]:①寒武系—中下奥陶统在盆地内塔中—塔西南和沙雅隆起北部—库车坳陷带存在两大剥蚀区,剥蚀区内中奥陶统一间房组残存分布,上奥陶统不整合覆盖在下伏剥蚀隆起之上,将早期变形发育的断裂不整合覆盖,在唐古兹巴斯坳陷的上奥陶统向阿尔金山前楔形增厚,发育火山岩、火山碎屑岩建造,车儿臣—星星峡断裂带在且末—民参1井段形成了向盆地的冲断带,在巴楚隆起的东段、唐古兹巴斯坳陷形成了与车儿臣—星星峡断裂平行的逆断层;雅克拉断凸及南、北两侧的冲断层在奥陶纪末形成^[12,35,37];②志留系不整合在奥陶系不同层位之上,残存于盆地中部,并将早期断层不整合覆盖,除盆地山前残存有泥盆系浅海相碎屑岩、碳酸盐岩建造,盆地内部缺失了泥盆系沉积(图3)^[12,53];③前中生界曾发生了自NE朝SW向的抬升、剥蚀,这种构造变形受到了NW向构造的控制,主要表现为盆地东部、北部、民丰、巴楚地区的隆升;④库车—沙雅隆起区二叠系沉积前的石炭系曾经遭受了抬升剥蚀,中下二叠统不仅不整合在被剥蚀的石炭系之上,还不整合在下古生界碳酸盐岩层系之上;⑤三叠系残存于盆地中部和库车坳陷区,完全不整合于前三叠系之上,地层向巴楚方向表现为强烈的剥蚀尖灭(图3),原始沉积具有向巴楚方向增厚的趋势;⑥侏罗系残存于盆地边缘的山前,东部将车儿臣—星星峡断裂不整合覆盖,车儿臣—星星峡断裂的东段在侏罗纪后活动微弱;⑦白垩系在塔西南地区不整合于侏罗系和二叠系之上,在沙雅隆起区不整合于元古界—侏罗系等不同层位之上,在塔东地区将车儿臣—星星峡断裂不整合覆盖,上白垩统在盆地大部分地区遭受了剥蚀^[54];⑧古近系分布广泛,虽然向塔西南、库车山前增厚,但变化平缓,为膏泥岩、泥岩、砂岩建造,库车、塔西南山前坳陷主要形成于新近纪—第四纪。

综上所述,塔里木盆地的叠合演化比以前的研究认识要复杂,盆地沉积盖层可划分为寒武系—中奥陶统、上奥陶统、志留系、石炭系—二叠系、三叠系、侏罗系、白垩系、古近系—第四系等构造层序。



Pt—P₂ 为元古代—早古生代;Pt 为古生代;E₁₊₂ 为中下寒武统;E₃—O₂ 为上寒武统—中奥陶统;O₃ 为上奥陶统;S 为志留系;C—P 为石炭系—二叠系;T 为三叠系;J 为侏罗系;K 为白垩系;E 为古近系;N₁ 为中新统;N₂—Q 为上新统一第四系;图件引自文献[12]

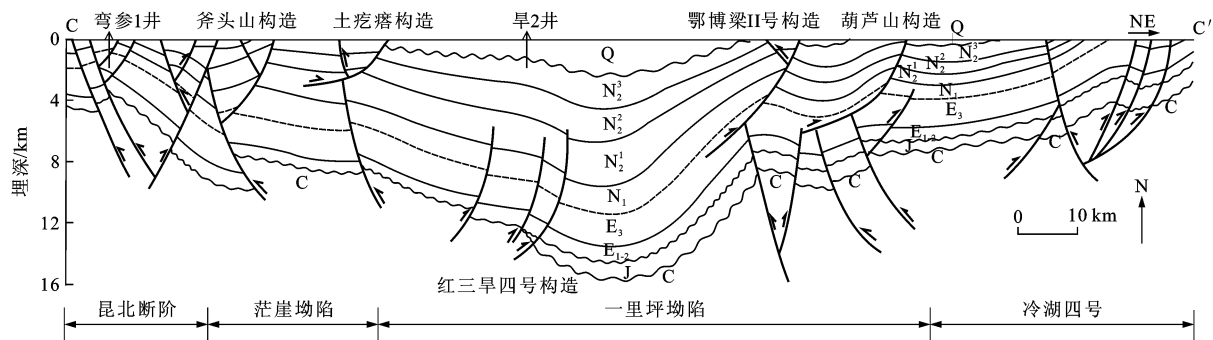
图 3 塔里木盆地地质结构剖面 B-B'

Fig. 3 Geological Structure Profile B-B' in Tarim Basin

2.3 柴达木盆地

柴达木盆地受到阿尔金南缘断裂带、东昆仑造山带和南祁连造山带的围限,表现为周缘断裂带向盆地的逆冲,而盆地的沉积、沉降中心并非在山区,

而是在盆地内(图 4)。古近系沉积、沉降中心靠近阿尔金山前,新近系在盆地中部,第四系在盆地东部。新生代盆地沉积表现为自西向东的迁移,不具有典型前陆盆地的结构特征(图 4)。



C 为石炭系;J 为侏罗系;E₁₊₂ 为古新统一始新统路乐河组;E₃ 为渐新统下干柴沟组;N₁ 为中新统上干柴沟组;N₂¹ 为上新统下油砂山组;N₂² 为上新统上油砂山组;N₂³ 为上新统狮子沟组;Q 为第四系

图 4 柴达木盆地地质结构剖面 C-C'

Fig. 4 Geological Structure Profile C-C' in Qaidam Basin

柴达木盆地周缘残存分布着下古生界,但到目前为止,盆地内部还没有发现下古生界沉积岩系的规模存在。柴达木地块在早古生代始终是隆起剥蚀区还是沉积地层被改造剥蚀殆尽,还需要进一步的证据支持。盆地周缘和盆地内的地震、钻井资料证实,盆地内确实存在石炭系^[55]。由于地震资料对深地层分辨差,应用非地震资料对盆地内石炭系进行了预测^[56]。盆地内石炭系分布广泛,狮子沟、绿草滩、东柴山一线西南部缺失石炭系,塔尔丁、黄石—落雁山、冷湖七号—南八仙和干柴沟局部缺失

石炭系,其他地方都被石炭系所覆盖,存在多个残余厚度中心,厚度最大为 2 500 m,上述预测成果可能也包含了二叠系的残存分布。受西秦岭—宗务隆山裂谷和东昆仑有限洋的控制,柴达木板块之上赋存的晚古生代盆地为非汇水盆地。

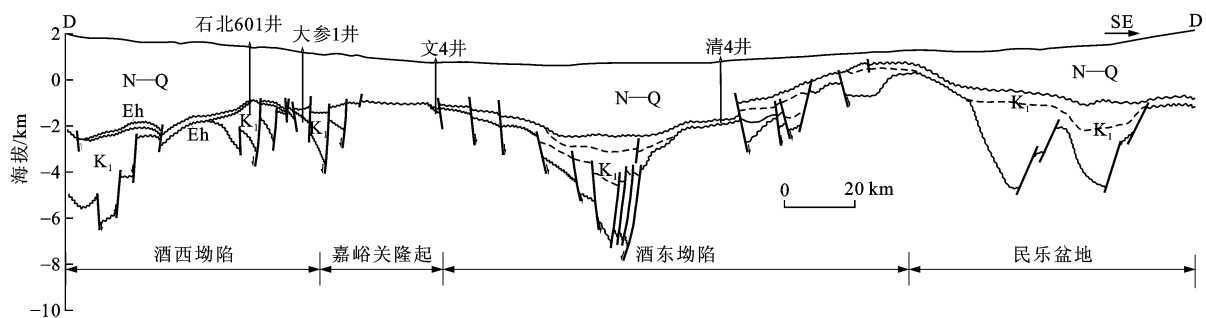
柴达木盆地侏罗系残存于柴西—柴北缘,受近 EW 向和 NW 向构造的控制^[57],不整合在石炭系、前石炭系基底之上。中下侏罗统为煤系、泥岩、油页岩、砂岩建造,受正断层的控制;上侏罗统一白垩系为干旱环境的粗碎屑岩建造,残存分布从阿尔金山

前向柴北缘东部迁移。古近系在柴达木盆地分布广泛,沉积、沉降中心在柴西的阿尔金山前^[58]。古近系受近EW向的正断层控制,形成于断陷盆地^[59-60],是盆地重要的烃源岩发育层系,多数控制古近系沉积的正断层由于后期改造强烈难以识别,表现为强烈的反转构造,现今表现为陡倾的逆断层,褶皱构造变形较弱。盆地新近系主要发育滑脱断层,分布于柴北缘和柴西地区,下干柴沟组、上干柴沟组和下油砂山组的泥岩是重要的滑脱层,滑脱层具有由西向东、由北向南逐渐变新的特点,多数表现为由盆地内向盆地外逆冲^[60]。该套滑脱断层与深部发育的高陡断层形成了不同的构造变形层。

2.4 阿拉善—河西走廊—中祁连地区

现今的阿拉善—河西走廊—中祁连地区分布着西宁、民和、酒泉、民乐、六盘山、潮水、雅布赖、巴彦浩特等一系列中小盆地。这些盆地的时代为侏罗纪或白垩纪,叠加在残余分布的石炭系—三叠系、下古生界或前寒武系的变质岩系之上。该区的下古生界主要残存于北祁连造山带、南祁连造山带和阿拉善地块南缘和东部。石炭系—三叠系主要残存分布于中祁连—南祁连西部、阿拉善地块,其他地区零星分

布。近几年对该区的石炭系—二叠系研究成果较多^[61-62],石炭系在巴彦浩特盆地残存厚度虽然上千米,但由于后期改造强烈,分布局限,保存条件差。沉积岩相古地理恢复显示,石炭纪—三叠纪在中祁连地块与阿拉善地块于志留纪晚期—泥盆纪早期闭合后^[63],沿河西走廊—阿拉善—中卫地区形成了海陆交互相—陆相的坳陷沉积,在侏罗系沉积前遭受了强烈的隆升剥蚀。侏罗纪中小盆地在此基础上叠合改造,形成了中小盆地群;这些侏罗纪中小盆地主要受到近EW向或NW向构造的控制^[64-65],形成了早中侏罗世断陷盆地与晚侏罗世坳陷盆地。白垩纪盆地受NE向构造的控制,形成NE向断陷带(图5),叠加在前期盆地之上^[6]。新生代盆地局限在河西走廊地区,仅在北祁连造山带与阿尔金南缘断裂交汇区段表现出前陆盆地的结构^[66],向东到民乐盆地则主要表现为坳陷盆地,东部的六盘山盆地则受到鄂尔多斯周缘断陷带的控制,形成断陷盆地。由此可见,侏罗纪—新生代,阿拉善—河西走廊—中祁连地区由于中小盆地在不同方向的叠合改造,导致石炭纪—三叠纪盆地的支离破碎和残存分布,同时导致该区盆地构造的复杂性。



K₁ 为下白垩统; Eh 为古近系火烧沟组; N—Q 为新近系—第四系

图5 河西走廊盆地群地质结构剖面 D-D'

Fig. 5 Geological Structure Profile D-D' in Hexi Corridor Basin Groups

3 盆地动力学演化

西北地区在不同的地质历史时期处于不同的大地构造背景下,形成了不同特征的沉积盆地和造山带。众多学者对盆山耦合构造背景进行了研究^[67-69],认为强活动性、活跃深部作用是西北地区盆地动力学演化中的重要特点^[70]。稳定板块(地块)之间的相互作用、盆山耦合以及盆地动态演化与深部作用过程是西北诸盆地动力学演化的基础^[71]。

3.1 深部动力学

西北地区大型沉积盆地特别是阿尔金断裂带东、西两大地区的柴达木、塔里木和准噶尔盆地的结

构、形成、演化、热结构特征存在差异。西北地区深部构造对沉积盆地的作用主要表现在两个方面:①盆地深部构造与盆地结构之间的耦合作用关系;②盆地深部构造与造山带深部构造的相互作用关系及上地壳盆地与造山带的相互作用关系之间的耦合。

塔里木、准噶尔、柴达木等盆地的重力场形态反映了盆地具有高密度的核部或者基底隆起,呈刚性,是高速异常区^[72-73];航磁异常场主要表现为团状强磁场区,与四周造山带变化剧烈的线性异常形成对比,地壳、上地幔电性结构在西北地区呈分块和分带特征^[74]。这种复杂的深部结构决定了盆地结构的复杂性和各盆地构造演化的差异性。

在阿尔金断裂带以西地区,塔里木、准噶尔盆地 Moho 面的起伏与盆地沉积结构类似,由盆地向造山带地区埋深增大^[75-76]。塔里木盆地塔中隆起区 Moho 面埋深浅,平均 45 km,向南、北造山带前陡然变深^[73],西昆仑山北坡深 54 km,南天山沙雅地区埋深 48 km^[77],显示了 Moho 面与盆地基底同步隆、坳的特征。盆地地壳平均速度高,地壳中部未见明显低速层,表明盆地地壳的刚性程度大于两侧山区。塔里木盆地地壳南、北分别向造山带下俯冲^[77],与塔里木新生代盆地在山前形成坳陷、向中部隆起的结构一致。

在阿尔金断裂带以东地区,柴达木盆地的结构与 Moho 面的起伏呈镜像结构,盆地中部地层沉积超过 10 000 m, Moho 面埋深最小,地壳厚度一般为 50~53 km,盆地北缘地壳厚度达 60 km^[78]。盆地在造山带前沉积最薄,没有形成山前坳陷带,造山带向盆地的挤压表现为断裂的冲断作用,不同于塔里木山前的大规模推覆。盆地深部存在的低阻层、地幔上隆与盆地中部沉降最为强烈有着重要关系,这种深部结构也是导致盆地发育冲断构造的重要原因。西北地区大型盆地深部结构的差异使得塔里木盆地和准噶尔盆地地壳平均地温梯度低,而柴达木盆地地壳平均地温梯度比较高^[74]。

不同地区造山带深部与盆地深部构造之间的相互关系存在差异,这种差异体现了浅层盆地和造山带之间耦合的多样性。天山造山带的壳-幔间是以多个薄层过渡的,塔里木盆地北缘与准噶尔盆地的壳-幔间不具有这种特点,其壳-幔间主要表现为一级间断面^[79]。但塔里木盆地与天山造山带、西昆仑造山带之间表现为塔里木地壳向造山带的俯冲作用^[80],而天山低速体与准噶尔盆地高速体至少在 130 km 深度范围内呈垂直接触,暗示可能发育一个岩石圈尺度的剪切断裂^[77],这是塔里木盆地山前向盆地逆冲推覆作用强烈,而准噶尔盆地南缘山前以具有雁列组合的冲断构造组合为特征的原因之一。

3.2 动力学演化

西北地区含油气盆地经历了洋-陆转化和陆内演化两大盆地演化阶段。在两大盆地演化期,新疆北部、塔里木、柴达木及阿拉善—河西走廊—中祁连地区的盆地形成与消亡改造的关键构造事件具有一致性。

震旦纪—奥陶纪是西北地区古大陆解体、海相非汇水盆地形成的演化期,形成众多小地块及其间的深海槽或海底裂谷带。大陆“开”的过程中,陆内

拉张盆地、陆间裂谷盆地、洋壳-过渡性洋壳盆地、板缘盆地和板内坳陷盆地形成。中昆仑地块与塔里木板块之间的洋壳出现于寒武纪^[81],阿尔金红柳沟和阿尔金南缘洋壳出现于震旦纪—寒武纪^[40,82]。塔城地块与准噶尔地块的分离是在震旦纪—寒武纪(以唐巴勒超基性、基性带为代表)^[83]。柴达木地块与中祁连地块的分离是在中寒武世^[84],形成南祁连裂谷。伊犁地块与塔里木地块的分离是在奥陶纪^[85],并逐渐形成南天山有限洋。在这种伸展构造背景中形成了伸展盆山体系。塔里木盆地寒武纪泥岩、膏泥岩、碳酸盐岩和早中奥陶世碳酸盐岩建造就是在这种构造背景中形成。中奥陶世末,洋壳开始向板块俯冲,直接导致塔里木盆地内上奥陶统与下伏地层的不整合以及盆地内构造古隆起的形成。奥陶纪末,南阿尔金地块与塔里木板块拼贴,唐古兹巴斯前陆盆地形成,雅克拉断凸发生冲断作用^[11]。西昆文库地北片岩的黑云母 Ar-Ar 等时线年龄为 $(399.55 \pm 4.46) \text{ Ma}$ ^[86],指示了与加里东造山作用有关的变质作用^[87]。志留纪晚期—泥盆纪末,祁连山造山带、北昆仑造山带形成。泥盆纪末,塔里木板块与伊犁地块在库车北部拼贴,南天山中段造山带形成,准噶尔的玛纳斯地块与乌伦古地块拼贴,克拉美丽造山带形成。北祁连山前形成志留纪—泥盆纪前陆盆地^[88]。可见,志留纪晚期—泥盆纪末的构造事件在西北地区的盆地演化中具有划时代意义,是盆地消亡并遭受改造的关键构造期,塔里木盆地在该时期遭受了强烈的隆升、剥蚀,盆地内部缺失了泥盆系^[11]。

石炭纪—早二叠世,西北地区进入新的构造演化阶段,整体处于伸展构造背景,大陆的裂离主要发生在新疆北部—北山地区和昆仑—西秦岭地区。准噶尔南缘山前石炭纪基性和超基性岩带、博格达山和觉罗塔格山及北山地区石炭纪—早二叠世基性火山岩带、西昆仑石炭纪玄武岩、东昆仑玄武岩的发育是伸展构造作用的结果,塔里木中部早二叠世中基性火山喷发作用显示了盆地为伸展性质。

古特提斯洋关闭和西伯利亚板块向南的挤压作用形成了西北地区晚二叠世—三叠纪陆内挤压盆山体系^[89-91]。早中二叠世晚期或末期,西北地区各地块发生会聚,裂陷槽关闭,整体处于挤压构造背景,古造山带形成,西昆仑造山带山前、西准噶尔造山带山前等形成挤压坳陷盆地,具有前陆盆地的结构。但对于西北地区而言,以阿尔金构造带为界,东、西部存在差异,西部塔里木、准噶尔盆地二叠纪末的构

造事件表现强烈,导致三叠系与前三叠系的广泛不整合,三叠系以煤系、泥岩建造为特征,是盆地内的重要烃源岩系;东部阿拉善—河西走廊—中祁连地区的三叠系以干旱环境的碎屑岩建造为特征,与二叠系主要表现为连续沉积。

侏罗纪—古近纪,西北地区处于陆内弱伸展盆山体系,这与大陆南缘的开合作用相关。早—中侏罗世,青藏地区斑公湖—怒江有限洋逐渐形成^[92],西部土兰地块南缘也处于伸展构造背景,西北地区处于造山挤压后的应力松弛背景,在这种背景下形成了数量众多、散布范围广的湖盆地,山脉、盆地高差不大,并主要沿山前带或古造山带内形成,准噶尔稳定地块内则形成大型的拗陷盆地。侏罗系沉积虽然都是一套煤系,但阿尔金构造带东、西两侧有别,西侧是大型湖盆地的煤系建造,东侧阿拉善—祁连—柴达木地区发育中小盆地,侏罗系广泛发育油页岩,是盆地重要的烃源岩系。早白垩世,西北地区仍然处于拉张构造背景,沉降区主要在稳定地块和山前带形成,塔西南沉降强烈,海水侵入。祁连山以北地区成为海拉尔—二连—酒泉裂谷带的组成部分,形成与其他地区走向不同的断陷盆地。印度板块向欧亚大陆的碰撞作用首先在西部的构造结部位发生^[93],这种作用使得塔里木地块向北、向东运动,导致阿尔金断裂带的右旋走滑作用,在断裂带的东南侧形成柴达木古近纪断陷盆地^[5,94]。塔里木古近纪盆地也处于一种弱的伸展构造背景中^[95]。

西北地区现今的盆山结构是新近纪以来,印度板块与欧亚板块碰撞后持续挤压的陆内效应^[96-97]。持续挤压作用于新近纪传播到西北地区,造成盆地周边古老造山带以及边界断层的再次活动。随着山脉的急剧隆升,盆地快速沉降,除柴达木盆地外,沉降中心都在山前带形成,沉积了巨厚的陆相碎屑岩。

综上所述,西北地区不同时期处于不同的地球动力学背景,形成了不同的盆山构造体系,震旦纪—早二叠世形成的伸展或挤压盆山构造体系的特点是形成了与广海相通的非汇水盆地,并主要受古亚洲洋开合作用的控制。进入陆内演化阶段,伸展或挤压盆山构造体系形成主要受到特提斯洋开合作用的控制。

4 盆地构造演化对油气分布的控制作用

西北地区寒武系—奥陶系、石炭系—二叠系、侏罗系烃源岩和柴达木盆地的古近系烃源岩等主要形成于拉张盆地环境,为西北地区大型油气盆地的油气聚集奠定了物质基础。在烃源岩的构造控制特征

上,以阿尔金断裂带为界,东、西部存在差异:西部塔里木、准噶尔、吐哈等大型盆地内至少存在古生界和中生界两套优质烃源岩,并对盆地油气的聚集具有重要贡献,如塔里木盆地寒武系—奥陶系、石炭系—二叠系、三叠系、侏罗系,准噶尔盆地和吐哈盆地石炭系、二叠系、侏罗系;东部众多中小盆地内一般存在一套烃源岩,或侏罗系,或下白垩统,或古近系,石炭系—二叠系烃源岩由于后期改造强烈,支离破碎,其有效性有待勘探证实。柴达木盆地内存在侏罗系、古近系和第四系烃源岩,分别构成了独立的油气成藏系统。西北全区的中、下侏罗统都是重要的烃源岩系,但阿尔金断裂带以东地区富含油页岩。新疆北部地区的二叠系普遍发育油页岩,是主要烃源岩系,其他地区二叠系的生烃潜力还需要进一步研究。烃源岩的分布和岩性特征充分体现了区域大地构造的控制作用。

盆地构造演化对油气聚集的控制作用是盆地挤压变形形成的构造圈闭或盆地形成、消亡过程中发育的地层圈闭,主要表现为古隆起、褶皱构造带、断块圈闭和地层不整合圈闭。古隆起带主要发育在阿尔金断裂带以西的大型油气盆地内,隆起的发育控制了后期盆地沉积的沉积相带展布,也就控制了储层和生油岩的发育与分布。塔里木盆地的塔中和沙雅隆起、准噶尔盆地的陆梁隆起、吐哈盆地的火焰山隆起等都是被后期盆地叠合理藏的古隆起带,形成时间较早,在长期的隆升剥蚀中,地层的淋滤风化对地层储层性能具有重要改造作用,形成地层不整合圈闭,隆起的后期超覆埋藏在翼部形成超覆不整合圈闭。这些圈闭与烃源岩的主生烃期匹配好,成为盆地内重要的油气聚集带。阿尔金断裂带以东的柴达木盆地、酒泉盆地等缺少大型中央隆起带。

西北地区盆地的另一重要油气聚集带是各盆地的山前褶皱冲断带,准噶尔西北缘山前冲断带是被后期盆地叠合理藏的重要油气聚集带。准噶尔盆地南缘、塔里木盆地的南、北山前,吐哈盆地的博格达山前,酒泉盆地的祁连山前和柴达木盆地周缘山前等都是古造山带在新生代复活形成的向盆地逆冲的冲断带,断层相关褶皱发育,断裂组合复杂,形成了背斜、断背斜、断块等圈闭,成为重要的油气聚集带。总结西北地区断裂冲断带的结构、构造特征,以阿尔金断裂带为界,东、西部有别:西部塔里木盆地、准噶尔盆地的山前带结构复杂,推覆构造发育,断层转折褶皱、断层传播褶皱和断层滑脱褶皱都很发育,形成的构造圈闭丰富;东部柴达木盆地等以发育基底卷

入构造为特征,发育断层传播褶皱和转折褶皱。因此,阿尔金断裂带东、西两侧对油气聚集的控制特点是存在差异的。

西北地区多期盆地叠合演化是其重要特点,地层间不整合发育。地层不整合的存在说明下伏地层遭受了一定时间的剥蚀,地层淋滤风化形成的风化壳成为油气聚集的重要储层,如准噶尔盆地石炭系火山岩表面形成的风化壳储层,塔里木盆地古生界岩溶风化壳储层等。不整合面在盆地内成为油气运移的重要通道,准噶尔盆地白垩系与前白垩系、侏罗系与前侏罗系、三叠系与前三叠系的不整合面与断裂构造共同控制了盆地内相关油气的分布。地层不整合的存在在塔里木盆地、准噶尔盆地形成了众多地层剥蚀不整合圈闭、地层超覆不整合圈闭及与其他构造共同形成的复合不整合圈闭等。塔里木盆地这样的大型不整合圈闭广泛发育^[4,12],并与褶皱、断裂等组合形成不同的圈闭组合,成为控制油气聚集的重要型式。

构造对油气聚集的破坏作用主要表现在对烃源岩的破坏,如阿尔金以东地区石炭系一二叠系的抬升剥蚀和肢解残存。对油气藏的破坏是盆地的抬升与改造导致油气藏的破坏,如塔里木盆地志留系沥青砂的存在。构造型式对油气的散失也具有重要控制作用,如柴达木盆地发育的基底卷入断裂多冲至地表,是油气散失的重要通道。

5 结 语

(1)西北地区大型含油气盆地赋存于具有稳定基底的板块、地块或拼贴后的地块之上,不同时期具有不同的盆地类型,盆地在叠合演化过程中经历了多期构造事件,形成了多期不整合面。奥陶纪末、志留纪晚期一泥盆纪、二叠纪末、三叠纪末、侏罗纪末及新生代晚期的构造事件对西北地区盆地的形成演化与叠合改造具有重要影响。

(2)盆地深部构造与盆地之间的相互作用、盆地深部构造与造山带深部构造的相互作用以及浅层盆地与造山带之间的相互作用构成了西北地区盆地动力学演化的基础。震旦纪一早二叠世形成的伸展或挤压盆山构造体系的特点是形成与广海相通的非汇水盆地,并主要受古亚洲洋开合作用的控制。进入陆内演化阶段,伸展或挤压盆山构造体系形成主要受到特提斯洋开合作用的控制。

(3)西北地区盆地的多期叠合演化过程中形成了优质的源(烃源岩)-盖(盖层)组合和储(储层)-圈

(圈闭)配置,为西北地区含油气盆地油气聚集奠定了基础。一方面在多期成盆演化过程中控制了古隆起的迁移演化和多套烃源岩发育,以南天山造山带、阿尔金构造带为界,各盆地主力烃源岩的发育存在差异;另一方面,盆地演化中的多期构造事件导致盆地多期不整合和多期构造变形,形成了众多与构造、地层相关的圈闭,为油气的聚集奠定了必要条件,但由于以南天山造山带、阿尔金构造带为界的构造变形区内造山带与盆地相互作用的时间和方式的差异,导致各盆地油气聚集与破坏的复杂性。

参考文献:

References:

- [1] 何治亮,高山林,郑孟林. 中国西北地区沉积盆地发育的区域构造格局与演化[J]. 地学前缘, 2015, 22(3): 227-240.
HE Zhi-liang, GAO Shan-lin, ZHENG Meng-lin. Regional Tectonic Framework and Evolution of Superimposed Basins in Northwestern China[J]. Earth Science Frontiers, 2015, 22(3): 227-240.
- [2] 宋博文,徐亚东,梁银平,等. 中国西部新生代沉积盆地演化[J]. 地球科学, 2014, 39(8): 1035-1051.
SONG Bo-wen, XU Ya-dong, LIANG Yin-ping, et al. Evolution of Cenozoic Sedimentary Basins in Western China[J]. Earth Science, 2014, 39(8): 1035-1051.
- [3] 郭宏莉,朱如凯,邵龙义,等. 中国西北地区石炭纪岩相古地理[J]. 古地理学报, 2002, 4(1): 25-35.
GUO Hong-li, ZHU Ru-kai, SHAO Long-yi, et al. Lithofacies Palaeogeography of the Carboniferous in Northwest China [J]. Journal of Palaeogeography, 2002, 4(1): 25-35.
- [4] 汤良杰,贾承造,金之钧,等. 中国西北叠合盆地的主要构造特征[J]. 地学前缘, 2003, 10(增): 118-124.
TANG Liang-jie, JIA Cheng-zao, JIN Zhi-jun, et al. The Main Tectonic Characteristics of Superimposed Basins, Northwest China[J]. Earth Science Frontiers, 2003, 10(S): 118-124.
- [5] 郑孟林,曹春潮,李明杰,等. 阿尔金断裂带东南缘含油气盆地群的形成演化[J]. 地质论评, 2003, 49(3): 277-285.
ZHENG Meng-lin, CAO Chun-chao, LI Ming-jie, et al. Formation and Evolution of Petroliferous Basins on the Southeast Side of the Fault Belt[J]. Geological Review, 2003, 49(3): 277-285.
- [6] 李明杰,郑孟林,曹春潮,等. 北山—阿拉善地区侏罗—白垩纪盆地的叠合演化[J]. 石油与天然气地质, 2004, 25(1): 54-57.

- LI Ming-jie, ZHENG Meng-lin, CAO Chun-chao, et al. Evolution of Superposed Jurassic and Cretaceous Basins in Beishan-Alxa Area[J]. Oil and Gas Geology, 2004, 25(1): 54-57.
- [7] 郑孟林, 金之钧. 准噶尔盆地北东向构造及其油气地质意义[J]. 地球科学, 2004, 29(4): 467-472.
- ZHENG Meng-lin, JIN Zhi-jun. NE-trending Structures and Their Significance on Petroleum Geology in Junggar Basin[J]. Earth Science, 2004, 29(4): 467-472.
- [8] 彭楠. 北祁连—北山地区早白垩世沉积盆地分析及古地理特征[D]. 北京: 中国地质大学, 2013.
- PENG Nan. Basin Analysis and Paleogeography of Early Cretaceous Sedimentary Basin in North Qilian Mountain-Beishan Area[D]. Beijing: China University of Geosciences, 2013.
- [9] 戴霜, 张明震, 彭栋祥, 等. 中国西北地区中—新生代构造与气候格局演化[J]. 海洋地质与第四纪地质, 2013, 33(4): 153-168.
- DAI Shuang, ZHANG Ming-zhen, PENG Dong-xiang, et al. The Mesozoic-Cenozoic Evolution of the Tectonic and Climatic Patterns, NW China[J]. Marine Geology and Quaternary Geology, 2013, 33(4): 153-168.
- [10] 匡立春, 张越迁, 查明, 等. 新疆北部石炭纪构造背景及演化[J]. 地质学报, 2013, 87(3): 311-320.
- KUANG Li-chun, ZHANG Yue-qian, ZHA Ming, et al. Carboniferous Tectonic Setting and Evolution in Northern Xinjiang, China[J]. Acta Geologica Sinica, 2013, 87(3): 311-320.
- [11] 王绪龙, 唐勇, 陈中红, 等. 新疆北部石炭纪岩相古地理[J]. 沉积学报, 2013, 31(4): 571-579.
- WANG Xu-long, TANG Yong, CHEN Zhong-hong, et al. Carboniferous Lithofacies Paleogeography in the North of Xinjiang[J]. Acta Sedimentologica Sinica, 2013, 31(4): 571-579.
- [12] 郑孟林, 王毅, 金之钧, 等. 塔里木盆地叠合演化与油气聚集[J]. 石油与天然气地质, 2014, 35(6): 925-934.
- ZHENG Meng-lin, WANG Yi, JIN Zhi-jun, et al. Superimposition, Evolution and Petroleum Accumulation of Tarim Basin[J]. Oil and Gas Geology, 2014, 35(6): 925-934.
- [13] 唐勇, 王刚, 郑孟林, 等. 新疆北部石炭纪盆地构造演化与油气成藏[J]. 地学前缘, 2015, 22(3): 241-253.
- TANG Yong, WANG Gang, ZHENG Meng-lin, et al. Carboniferous Basin Evolution and Its Hydrocarbon Accumulation in the North of Xinjiang[J]. Earth Science Frontiers, 2015, 22(3): 241-253.
- [14] 张湘炳, 杨新岳. 阿尔泰山地区大地构造演化体制及其形成机理[M]//涂光炽. 新疆北部固体地球科学新进展. 北京: 科学出版社, 1993: 173-184.
- ZHANG Xiang-bing, YANG Xin-yue. The Geotectonic Evolution System and Its Formation Mechanism of Altai Area[M]//TU Guang-chi. New Progress of Solid Geosciences in Northern Xinjiang. Beijing: Science Press, 1993: 173-184.
- [15] 施央申, 卢华复, 贾东, 等. 中亚大陆古生代构造形成及演化[J]. 高校地质学报, 1996, 2(2): 134-145.
- SHI Yang-shen, LU Hua-fu, JIA Dong, et al. Origin and Evolution of Tectonics in Central Asia[J]. Geological Journal of China Universities, 1996, 2(2): 134-145.
- [16] 王务严, 吴绍祖, 吴晓智, 等. 新疆北部福海地区大地构造特征[J]. 新疆石油地质, 1997, 18(1): 18-23.
- WANG Wu-yan, WU Shao-zu, WU Xiao-zhi, et al. Tectonics Characteristics in Fuhai Area in Northern Xinjiang[J]. Xinjiang Petroleum Geology, 1997, 18(1): 18-23.
- [17] 成守德, 刘通, 王世伟. 中亚五国大地构造单元划分简述[J]. 新疆地质, 2010, 28(1): 16-21.
- CHENG Shou-de, LIU Tong, WANG Shi-wei. The Brief Description of the Division of Tectonic Units in the Five Countries in Central Asia[J]. Xinjiang Geology, 2010, 28(1): 16-21.
- [18] CHIKOV B M, ZINOVIEV S V, DEYEV E V. Post-Late Paleozoic Collisional Framework of Southern Great Altai[J]. Acta Geologica Sinica: English Edition, 2012, 86(5): 1093-1104.
- [19] 王玉往, 王京彬, 龙灵利, 等. 新疆北部大地构造演化阶段与斑岩—浅成低温热液矿床的构造环境类型[J]. 中国地质, 2012, 39(3): 695-716.
- WANG Yu-wang, WANG Jing-bin, LONG Ling-li, et al. Tectonic Evolution Stages of Northern Xinjiang and Tectonic Types of Porphyry-epithermal Deposits[J]. Geology in China, 2012, 39(3): 695-716.
- [20] BUSLOV M M. Tectonics and Geodynamics of the Central Asian Foldbelt: The Role of Late Paleozoic Large-amplitude Strike-slip Faults[J]. Russian Geology and Geophysics, 2011, 52(1): 52-71.
- [21] 江远达. 关于准噶尔地区基底问题的初步探讨[J]. 新疆地质, 1984, 2(1): 11-16.
- JIANG Yuan-da. A Preliminary Approach to the Basement of Junggar District[J]. Xinjiang Geology, 1984, 2(1): 11-16.
- [22] 李亚萍, 李锦轶, 孙贵华, 等. 准噶尔盆地基底的探讨: 来自原泥盆纪卡拉麦里组砂岩碎屑锆石的证据[J].

- 岩石学报, 2007, 23(7): 1577-1590.
- LI Ya-ping, LI Jin-yi, SUN Gui-hua, et al. Basement of Junggar Basin: Evidence from Detrital Zircons in Sandstone of Previous Devonian Kalamaili Formation [J]. *Acta Petrologica Sinica*, 2007, 23(7): 1577-1590.
- [23] BUCHAN C, PFANDER J, KRONER A, et al. Timing of Accretion and Collisional Deformation in the Central Asian Orogenic Belt: Implications of Granite Geochronology in the Bayankhongor Ophiolite Zone [J]. *Chemical Geology*, 2002, 192: 23-45.
- [24] 李春昱. 亚洲大地构造图说明书[M]. 北京: 地质出版社, 1982.
- LI Chun-yu. The Manual of Asian Geotectonic Map [M]. Beijing: Geological Publishing House, 1982.
- [25] 况 军. 地体拼贴与准噶尔盆地的形成演化[J]. 新疆石油地质, 1993, 14(2): 126-132.
- KUANG Jun. Terrene Connection, Formation and Evolution of Junggar Basin [J]. *Xinjiang Petroleum Geology*, 1993, 14(2): 126-132.
- [26] CARROLL A R, LIANG Y H, GRAHAM S A, et al. Junggar Basin, Northwest China: Trapped Late Paleozoic Ocean [J]. *Tectonophysics*, 1990, 181(1/2/3/4): 1-14.
- [27] 胡霁琴, 韦刚键. 关于准噶尔盆地基底时代问题的探讨: 根据同位素年代学研究结果[J]. 新疆地质, 2003, 21(4): 398-406.
- HU Ai-qin, WEI Gang-jian. A Review of Ages of Basement Rocks from Junggar Basin in Xinjiang, China: Based on Studies of Geochronology [J]. *Xinjiang Geology*, 2003, 21(4): 398-406.
- [28] 赵俊猛, 黄 英, 马宗晋, 等. 准噶尔盆地北部基底结构与属性问题探讨[J]. 地球物理学报, 2008, 51(6): 1767-1775.
- ZHAO Jun-meng, HUANG Ying, MA Zong-jin, et al. Discussion on the Basement Structure and Property of Northern Junggar Basin [J]. *Chinese Journal of Geophysics*, 2008, 51(6): 1767-1775.
- [29] 王方正, 杨梅珍, 郑建平. 准噶尔盆地岛弧火山岩地体拼合基底的地球化学证据[J]. 岩石矿物学杂志, 2002, 21(1): 1-10.
- WANG Fang-zheng, YANG Mei-zhen, ZHENG Jian-ping. Geochemical Evidence of the Basement Assembled by Island Arc Volcanics Terranes in Junggar Basin [J]. *Acta Petrologica et Mineralogica*, 2002, 21(1): 1-10.
- [30] 匡立春, 齐雪峰, 王绪龙, 等. 新疆西准噶尔布龙果尔古油藏的发现及其石油地质意义[J]. 地质学报, 2011, 85(2): 224-233.
- KUANG Li-chun, QI Xue-feng, WANG Xu-long, et al. Discovery of Bulongguoer Ancient Reservoir in West Junggar, Xinjiang and Its Petroleum Geologic Significance [J]. *Acta Geologica Sinica*, 2011, 85(2): 224-233.
- [31] 陈新发, 匡立春, 查明, 等. 火山岩油气成藏机理与勘探技术[M]. 北京: 科学出版社, 2014.
- CHEN Xin-fa, KUANG Li-chun, ZHA Ming, et al. Oil and Gas Accumulation Mechanism and Exploration Technology in Volcanic Rock [M]. Beijing: Science Press, 2014.
- [32] 黄建华, 金章东, 李福春. 洪古勒楞蛇绿岩 Sm-Nd 同位素特征及时代界定[J]. 科学通报, 1999, 44(9): 1004-1007.
- HUANG Jian-hua, JIN Zhang-dong, LI Fu-chun. The Sm-Nd Isotopic Characteristics and the Age Definition of the Hongguleleng Ophiolite [J]. *Chinese Science Bulletin*, 1999, 44(9): 1004-1007.
- [33] HU A Q, ROGERS G. Discovery of 3.3 Ga Archean Rocks in North Tarim Block of Xinjiang, Western China [J]. *Chinese Science Bulletin*, 1992, 37(18): 1546-1549.
- [34] 龙晓平, 袁 超, 孙 敏, 等. 库鲁克塔格地区最古老岩石的发现及其地质意义[J]. 中国科学: 地球科学, 2011, 41(3): 291-298.
- LONG Xiao-ping, YUAN Chao, SUN Min, et al. The Discovery of the Oldest Rocks in the Kuluketage Area and Its Geological Implications [J]. *Science China: Earth Sciences*, 2011, 41(3): 291-298.
- [35] 邬光辉, 张承泽, 汪 海, 等. 塔里木盆地中部塔参 1 井花岗岩闪长岩的锆石 SHRIMP U-Pb 年龄[J]. 地质通报, 2009, 28(5): 568-571.
- WU Guang-hui, ZHANG Cheng-ze, WANG Hai, et al. Zircon SHRIMP U-Pb Age of Granodiorite of the Tacan 1 Well in the Central Tarim Basin, China [J]. *Geological Bulletin of China*, 2009, 28(5): 568-571.
- [36] 邬光辉, 李浩武, 徐彦龙, 等. 塔里木克拉通基底古隆起构造-热事件及其结构与演化[J]. 岩石学报, 2012, 28(8): 2435-2452.
- WU Guang-hui, LI Hao-wu, XU Yan-long, et al. The Tectonothermal Events, Architecture and Evolution of Tarim Craton Basement Palaeo-uplifts [J]. *Acta Petrologica Sinica*, 2012, 28(8): 2435-2452.
- [37] 谢大庆, 郑孟林, 蒋华山, 等. 塔里木盆地沙雅隆起形成演化与油气分布规律[J]. 大地构造与成矿学, 2013, 37(3): 398-409.
- XIE Da-qing, ZHENG Meng-lin, JIANG Hua-shan, et al. Formation and Evolution of the Shaya Uplift and Constraints on Oil and Gas Distribution in the Tarim

- Basin[J]. *Geotectonica et Metallogenia*, 2013, 37(3): 398-409.
- [38] 徐鸣洁,王良书,钟 锴,等.塔里木盆地重磁场特征与基底结构分析[J]. *高校地质学报*, 2005, 11(4): 585-592.
- XU Ming-jie, WANG Liang-shu, ZHONG Kai, et al. Features of Gravitational and Magnetic Fields in the Tarim Basin and Basement Structure Analysis[J]. *Geological Journal of China Universities*, 2005, 11(4): 585-592.
- [39] 郭召杰,张志诚,贾承造,等.塔里木克拉通前寒武纪基底构造格架[J]. *中国科学: D 辑, 地球科学*, 2000, 30(6): 568-575.
- GUO Zhao-jie, ZHANG Zhi-cheng, JIA Cheng-zao, et al. The Precambrian Basement Tectonic Framework of the Tarim Craton[J]. *Science in China: Series D, Earth Sciences*, 2000, 30(6): 568-575.
- [40] 杨经绥,史仁灯,吴才来,等.北阿尔金地区米兰红柳沟蛇绿岩的岩石学特征和 SHRIMP 定年[J]. *岩石学报*, 2008, 24(7): 1567-1584.
- YANG Jing-sui, SHI Ren-deng, WU Cai-lai, et al. Petrology and SHRIMP Age of the Hongliugou Ophiolite at Milan of North Altun[J]. *Acta Petrologica Sinica*, 2008, 24(7): 1567-1584.
- [41] 蔡习尧,窦丽玮,蒋华山,等.塔里木盆地塔东地区寒武系划分与对比[J]. *石油实验地质*, 2014, 36(5): 539-545.
- CAI Xi-yao, DOU Li-wei, JIANG Hua-shan, et al. Classification and Correlation of Cambrian in Eastern Tarim Basin[J]. *Petroleum Geology and Experiment*, 2014, 36(5): 539-545.
- [42] 杨经绥,吴才来,史仁灯.阿尔金山米兰红柳沟的席状岩墙群:海底扩张的重要证据[J]. *地质通报*, 2002, 21(2): 69-74.
- YANG Jing-sui, WU Cai-lai, SHI Ren-deng. Sheeted Dike Swarm in Hongliugou, Northwest of the Altun Region: Evidence for Seafloor Spreading[J]. *Geological Bulletin of China*, 2002, 21(2): 69-74.
- [43] 何登发,贾承造,童晓光,等.叠合盆地概念辨析[J]. *石油勘探与开发*, 2004, 31(1): 1-7.
- HE Deng-fa, JIA Cheng-zao, TONG Xiao-guang, et al. Discussion and Analysis of Superimposed Sedimentary Basins[J]. *Petroleum Exploration and Development*, 2004, 31(1): 1-7.
- [44] 刘池洋.后期改造强烈:中国沉积盆地的重要特点之一[J]. *石油与天然气地质*, 1996, 17(4): 255-261.
- LIU Chi-yang. Strong Late-reformation: One of the Important Characteristics of Sedimentary Basins in China[J]. *Oil and Gas Geology*, 1996, 17(4): 255-261.
- [45] 刘池洋,杨兴科.改造盆地研究和油气评价的思路[J]. *石油与天然气地质*, 2000, 21(1): 11-14.
- LIU Chi-yang, YANG Xing-ke. Thinking for Researches and Oil-gas Assessment of Reformed Basins[J]. *Oil and Gas Geology*, 2000, 21(1): 11-14.
- [46] 刘池洋.叠合盆地特征及油气赋存条件[J]. *石油学报*, 2007, 28(1): 1-7.
- LIU Chi-yang. Geologic Characteristics and Petroleum Accumulation Conditions of Superimposed Basins[J]. *Acta Petroli Sinica*, 2007, 28(1): 1-7.
- [47] 刘池洋.沉积盆地动力学与盆地成藏(矿)系统[J]. *地球科学与环境学报*, 2008, 30(1): 1-23.
- LIU Chi-yang. Dynamics of Sedimentary Basin and Basin Reservoir(Ore) Forming System[J]. *Journal of Earth Sciences and Environment*, 2008, 30(1): 1-23.
- [48] 李思田.沉积盆地动力学研究的进展、发展趋向与面临的挑战[J]. *地学前缘*, 2015, 22(1): 1-8.
- LI Si-tian. Advancement, Trend and New Challenges in Basin Geodynamics[J]. *Earth Science Frontiers*, 2015, 22(1): 1-8.
- [49] 金之钧.中国典型叠合盆地油气成藏研究新进展之一:叠合盆地划分与研究方法[J]. *石油与天然气地质*, 2005, 26(5): 553-562.
- JIN Zhi-jun. New Advancement in Research of China's Typical Superimposed Basins and Reservoiring Part I: Classification and Research Methods of Superimposed Basins[J]. *Oil and Gas Geology*, 2005, 26(5): 553-562.
- [50] 王桂梁,据宜文,郑孟林,等.中国北部能源盆地构造[M].徐州:中国矿业大学出版社,2007.
- WANG Gui-liang, JU Yi-wen, ZHENG Meng-lin, et al. Tectonics of Energy Resource Basins in the Northern China[M]. Xuzhou: China University of Mining and Technology Press, 2007.
- [51] 纪友亮,周 勇,况 军,等.准噶尔盆地车—莫古隆起形成演化及对沉积相的控制作用[J]. *中国科学: 地球科学*, 2010, 40(10): 1342-1355.
- JI You-liang, ZHOU Yong, KUANG Jun, et al. The Formation and Evolution of Chepaizi-Mosuowan Palaeo-uplift and Its Control on the Distributions of Sedimentary Facies in the Junggar Basin[J]. *Science China: Earth Sciences*, 2010, 40(10): 1342-1355.
- [52] 李晓君.准噶尔盆地车—莫古隆起的发育演化特征及其对沉积的控制作用[J]. *油气地球物理*, 2013, 11(1): 65-67.
- LI Xiao-jun. Features of the Development and Evolution of the Che-Mo Palaeohigh of Jungger Basin and

- Its Control on the Sedimentation[J]. *Petroleum Geophysics*, 2013, 11(1): 65-67.
- [53] 赵文金, 王士涛, 王俊卿, 等. 新疆柯坪—巴楚地区志留纪含鱼化石地层序列与加里东运动[J]. *地层学杂志*, 2009, 33(3): 225-240.
- ZHAO Wen-jin, WANG Shi-tao, WANG Jun-qing, et al. The Subdivision and Correlation of the Silurian Fish-bearing Strata and Caledonian Movement in Kalpin and Bachu Regions, the Tarim Basin, Xinjiang [J]. *Journal of Stratigraphy*, 2009, 33(3): 225-240.
- [54] 贾进华. 库车前陆盆地白垩纪巴什基奇克组沉积层序与储层研究[J]. *地学前缘*, 2000, 7(3): 133-143.
- JIA Jin-hua. Depositional Sequence and Reservoir of Cretaceous Bashijiqike Formation in Kuqa Foreland Basin [J]. *Earth Science Frontiers*, 2000, 7(3): 133-143.
- [55] 商琳, 戴俊生, 夏瑞杰, 等. 柴达木盆地北缘东段石炭纪至白垩纪构造演化模式及地层缺失原因探讨[J]. *地质论评*, 2014, 60(4): 780-790.
- SHANG Lin, DAI Jun-sheng, XIA Rui-jie, et al. Study on Tectonic Evolution Pattern from Carboniferous to Cretaceous and Stratum Loss Reasons of the Eastern Section of North Qaidam [J]. *Geological Review*, 2014, 60(4): 780-790.
- [56] 尹成明, 王财富, 马寅生, 等. 柴达木盆地石炭系地球物理特征及解释[J]. *地球物理学进展*, 2013, 28(4): 1869-1876.
- YIN Cheng-ming, WANG Cai-fu, MA Yin-sheng, et al. Geophysical Characteristics and Explanations of Carboniferous in Qaidam Basin [J]. *Progress in Geophysics*, 2013, 28(4): 1869-1876.
- [57] 郑孟林, 李明杰, 曹春潮, 等. 柴达木北缘西段侏罗纪盆地构造特征及其演化[J]. *石油实验地质*, 2004, 26(4): 315-318, 323.
- ZHENG Meng-lin, LI Ming-jie, CAO Chun-chao, et al. Structural Characteristics of the Jurassic Basin in the West Part of the Northern Margin of the Qaidam Plate and Their Evolution [J]. *Petroleum Geology and Experiment*, 2004, 26(4): 315-318, 323.
- [58] 郑孟林, 王学军, 冯朝荣, 等. 柴达木新生代盆地形成演化的主控因素[J]. *四川师范大学学报: 自然科学版*, 2010, 33(增): 187-190.
- ZHENG Meng-lin, WANG Xue-jun, FENG Chao-rong, et al. The Main Control of the Formation and Evolution of the Qaidam Cenozoic Basin [J]. *Journal of Sichuan Normal University: Natural Science*, 2010, 33(S): 187-190.
- [59] XIA W C, ZHANG N, YUAN X P, et al. Cenozoic Qaidam Basin, China: A Stronger Tectonic Inversed, Extensional Rifted Basin [J]. *AAPG Bulletin*, 2001, 85(4): 715-736.
- [60] 郑孟林, 李明杰, 曹春潮, 等. 柴达木盆地新生代不同层次构造特征[J]. *地质学报*, 2004, 78(1): 26-35.
- ZHENG Meng-lin, LI Ming-jie, CAO Chun-chao, et al. Characteristics of Cenozoic Structures of Various Levels in the Qaidam Basin [J]. *Acta Geologica Sinica*, 2004, 78(1): 26-35.
- [61] 杜芳鹏. 宁南地区石炭纪地层沉积特征及油气远景初步评价[D]. 西安: 西北大学, 2014.
- DU Fang-peng. The Carboniferous Sedimentary Characteristics and Oil-gas Prospect Preliminary Evaluation in Ningnan Area [D]. Xi'an: Northwest University, 2014.
- [62] 刘智, 崔红庄, 许淑梅, 等. 中卫及周缘地区石炭纪主要海泛期沉积体系[J]. *海洋地质前沿*, 2014, 30(9): 1-10.
- LIU Zhi, CUI Hong-zhuang, XU Shu-mei, et al. Sedimentary Systems in Maximum Flooding Period of Carboniferous in Zhongwei Area and Adjacent Regions [J]. *Marine Geology Frontiers*, 2014, 30(9): 1-10.
- [63] 徐亚军, 杜远生, 杨江海. 北祁连造山带晚奥陶世—泥盆纪构造演化: 碎屑锆石年代学证据[J]. *地球科学*, 2013, 38(5): 934-946.
- XU Ya-jun, DU Yuan-sheng, YANG Jiang-hai. Tectonic Evolution of the North Qilian Orogenic Belt from the Late Ordovician to Devonian: Evidence from Detrital Zircon Geochronology [J]. *Earth Science*, 2013, 38(5): 934-946.
- [64] 郑孟林, 曹春潮, 李明杰, 等. 北山—阿拉善地区侏罗纪盆地构造特征及其演化[J]. *世界地质*, 2003, 22(2): 124-128.
- ZHENG Meng-lin, CAO Chun-chao, LI Ming-jie, et al. The Structural Characteristics of Jurassic Basins and Their Evolution in Beishan-Alaxa Area [J]. *Global Geology*, 2003, 22(2): 124-128.
- [65] ZHENG M L, CAO C C, LI M J, et al. Structural Characteristics and Evolution of Jurassic Basins in the East of Middle Qilian Block [J]. *Journal of China University of Mining and Technology*, 2003, 13(1): 35-39.
- [66] 潘良云, 曾佐勋, 李明杰, 等. 酒泉中新世代断拗叠合盆地及控油作用[J]. *地质学报*, 2012, 86(4): 535-547.
- PAN Liang-yun, ZENG Zuo-xun, LI Ming-jie, et al. Mesozoic and Cenozoic Fault Superposition Basin in Jiuquan and Its Oil-controlling Significance [J]. *Acta Geologica Sinica*, 2012, 86(4): 535-547.

- [67] 刘池洋,王建强,赵红格,等. 沉积盆地类型划分及其相关问题讨论[J]. 地学前缘, 2015, 22(3): 1-26.
LIU Chi-yang, WANG Jian-qiang, ZHAO Hong-ge, et al. The Classification of Sedimentary Basins and Discussion on Relevant Issues[J]. Earth Science Frontiers, 2015, 22(3): 1-26.
- [68] 王清晨,李 忠. 盆山耦合与沉积盆地成因[J]. 沉积学报, 2003, 21(1): 24-30.
WANG Qing-chen, LI Zhong. Basin-orogen Coupling and Origin of Sedimentary Basins[J]. Acta Sedimentologica Sinica, 2003, 21(1): 24-30.
- [69] 郭令智,朱文斌,马瑞士,等. 论构造耦合作用[J]. 大地构造与成矿学, 2003, 27(3): 197-205.
GUO Ling-zhi, ZHU Wen-bin, MA Rui-shi, et al. Discussion on the Structural Coupling[J]. Geotectonica et Metallogenia, 2003, 27(3): 197-205.
- [70] 刘池洋,赵重远,杨兴科. 活动性强、深部作用活跃: 中国沉积盆地的两个重要特点[J]. 石油与天然气地质, 2000, 21(1): 1-6, 23.
LIU Chi-yang, ZHAO Zhong-yuan, YANG Xing-ke. Strong Activity and Active Deep Action: Two Important Features of Chinese Sedimentary Basins[J]. Oil and Gas Geology, 2000, 21(1): 1-6, 23.
- [71] 刘池洋. 盆地构造动力学研究的弱点、难点及重点[J]. 地学前缘, 2005, 12(3): 113-124.
LIU Chi-yang. The Weakness, Difficulty and Key Point in the Study of Basin Tectonic Dynamics[J]. Earth Science Frontiers, 2005, 12(3): 113-124.
- [72] 汪素云,许忠淮,裴顺平. 中国大陆 Pn 速度结构与强震孕育的深部背景[J]. 地球物理学报, 2003, 46(6): 779-785.
WANG Su-yun, XU Zhong-huai, PEI Shun-ping. Pn Velocity Variation Beneath China Mainland and Deep Structure Background for Major Earthquake Generation[J]. Chinese Journal of Geophysics, 2003, 46(6): 779-785.
- [73] 宋晓东,李江涛,鲍学伟,等. 中国西部大型盆地的深部结构及对盆地形成和演化的意义[J]. 地学前缘, 2015, 22(1): 126-136.
SONG Xiao-dong, LI Jiang-tao, BAO Xue-wei, et al. Deep Structure of Major Basins in Western China and Implications for Basin Formation and Evolution[J]. Earth Science Frontiers, 2015, 22(1): 126-136.
- [74] 徐常芳. 中国大陆岩石圈结构、盆地构造和油气运移探讨[J]. 地学前缘, 2003, 10(3): 115-127.
XU Chang-fang. The Study of Lithospheric Tectonics and Basin Formation of Chinese Mainland and Migration of Oil and Gas[J]. Earth Science Frontiers, 2003, 10(3): 115-127.
- [75] 林关玲,刘春涌. 试论新疆深部构造基本特征[J]. 新疆地质, 1995, 13(1): 56-66.
LIN Guan-ling, LIU Chun-yong. Basic Characteristics of Deep-seated Tectonics in Xinjiang[J]. Xinjiang Geology, 1995, 13(1): 56-66.
- [76] 胥 颐,刘福田,刘建华,等. 中国西北大陆碰撞带的深部特征及其动力学意义[J]. 地球物理学报, 2001, 44(1): 40-47.
XU Yi, LIU Fu-tian, LIU Jian-hua, et al. Deep Features of Continental Collision Belts in Northwestern China and Their Dynamic Implications[J]. Chinese Journal of Geophysics, 2001, 44(1): 40-47.
- [77] 高 锐,肖序常,高 弘,等. 西昆仑—塔里木—天山岩石圈深地震探测综述[J]. 地质通报, 2002, 21(1): 11-18.
GAO Rui, XIAO Xu-chang, GAO Hong, et al. Summary of Deep Seismic Probing of the Lithospheric Structure Across the West Kunlun-Tarim-Tianshan[J]. Geological Bulletin of China, 2002, 21(1): 11-18.
- [78] 崔作舟,李秋生,吴朝东,等. 格尔木—额济纳旗地质断面的地壳结构与深部构造[J]. 地球物理学报, 1995, 38(增 2): 15-28.
CUI Zuo-zhou, LI Qiu-sheng, WU Chao-dong, et al. The Crustal and Deep Structures in Golmud-Ejinaqi GGT[J]. Acta Geophysica Sinica, 1995, 38(S2): 15-28.
- [79] 赵俊猛,张先康,赵国泽,等. 不同构造环境下的壳-幔过渡带结构[J]. 地学前缘, 1999, 6(3): 165-172.
ZHAO Jun-meng, ZHANG Xian-kang, ZHAO Guo-ze, et al. Structure of Crust-mantle Transitional Zone in Different Tectonic Environments[J]. Earth Science Frontiers, 1999, 6(3): 165-172.
- [80] 赵俊猛. 中国西部陆-陆碰撞与俯冲的深部结构特点[C]//中国地球物理学会. 2014 年中国地球科学联合学术年会论文集. 北京: 中国地球物理学会, 2014: 1867.
ZHAO Jun-meng. Deep Structure Characteristics of Continent-continent Collision and Subduction of Western China[C] // Chinese Geophysical Society. Symposium of 2014 China Earth Science Joint Annual Conference. Beijing: Chinese Geophysical Society, 2014: 1867.
- [81] 李天福,张建新. 西昆文库地蛇绿岩的二辉辉石岩和玄武岩锆石 LA-ICP-MS U-Pb 年龄及其意义[J]. 岩石学报, 2014, 30(8): 2393-2401.
LI Tian-fu, ZHANG Jian-xin. Zircon LA-ICP-MS U-Pb Ages of Websterite and Basalt in Kudi Ophiolite and the Implication, West Kunlun[J]. Acta Petrologica

- Sinica, 2014, 30(8): 2393-2401.
- [82] 刘良, 车自成, 王焰, 等. 阿尔金茫崖地区早古生代蛇绿岩的 Sm-Nd 等时线年龄证据[J]. 科学通报, 1998, 43(8): 880-883.
LIU Liang, CHE Zi-cheng, WANG Yan, et al. The Evidence of Early Paleozoic Ophiolite Sm-Nd Isochron Age in Mangya Area, Altun[J]. Chinese Science Bulletin, 1998, 43(8): 880-883.
- [83] 夏林圻, 夏祖春, 徐学义, 等. 天山古生代洋陆转化特点的几点思考[J]. 西北地质, 2002, 35(4): 9-20.
XIA Lin-qi, XIA Zu-chun, XU Xue-yi, et al. Some Thoughts on the Characteristics of Paleozoic Ocean-continent Transition from Tianshan Mountains[J]. Northwestern Geology, 2002, 35(4): 9-20.
- [84] 夏林圻, 夏祖春, 徐学义. 北祁连山构造-火山岩浆演化动力学[J]. 西北地质科学, 1995, 16(1): 1-28.
XIA Lin-qi, XIA Zu-chun, XU Xue-yi. Dynamics of Tectono-volcano-magmatic Evolution from North Qilian Mountains, China[J]. Northwest Geoscience, 1995, 16(1): 1-28.
- [85] 梁云海, 李文铅. 南天山古生代开合带特征及其讨论[J]. 新疆地质, 2000, 18(3): 220-228.
LIANG Yun-hai, LI Wen-qian. Discussion of Opening-closing Tectonic Belt of Paleozoic in South Tianshan Mountains, China[J]. Xinjiang Geology, 2000, 18(3): 220-228.
- [86] 姜春发, 王宗起, 李锦轶. 中央造山带开合构造[M]. 北京: 地质出版社, 2000.
JIANG Chun-fa, WANG Zong-qi, LI Jin-yi. Opening-closing Tectonics of the Central Orogenic Belt[M]. Beijing: Geological Publishing House, 2000.
- [87] 边千韬, 赵大升, 叶正仁, 等. 初论昆祁秦缝合系[J]. 地球学报, 2002, 23(6): 501-508.
BIAN Qian-tao, ZHAO Da-sheng, YE Zheng-ren, et al. A Preliminary Study of the Kunlun-Qilian-Qinling Suture System[J]. Acta Geoscientia Sinica, 2002, 23(6): 501-508.
- [88] 杜远生, 张哲, 周道华, 等. 北祁连—河西走廊志留纪和泥盆纪古地理及其对同造山过程的沉积响应[J]. 古地理学报, 2002, 4(4): 1-8.
DU Yuan-sheng, ZHANG Zhe, ZHOU Dao-hua, et al. Silurian and Devonian Palaeogeography of Northern Qilian-Hexi Corridor and Its Sedimentary Response to Synorogenesis of North Qilian Orogenic Belt[J]. Journal of Palaeogeography, 2002, 4(4): 1-8.
- [89] KHAİN V E, SOKOLOV B A, KLESHCHEV K A, et al. Tectonic and Geodynamic Setting of Oil and Gas Basins of the Soviet Union[J]. AAPG Bulletin, 1991, 75(2): 313-325.
- [90] THOMAS J C, COBBOLD P R, SHEIN V S, et al. Sedimentary Record of Late Paleozoic to Recent Tectonism in Central Asia: Analysis of Subsurface Data from the Turan and South Kazak Domains[J]. Tectonophysics, 1999, 313: 243-263.
- [91] ALLEN M B, ENGOR A M C, NATAL'IN B A. Junggar, Turfan and Alakol Basins as Late Permian to Early Triassic Extensional Structures in a Sinistral Shear Zone in the Altaid Orogenic Collage, Central Asia[J]. Journal of Geological Society, 1995, 152: 327-338.
- [92] 郑孟林. 羌塘中生代海相盆地形成与后期改造[D]. 西安: 西北大学, 1998.
ZHENG Meng-lin. The Formation and Later Transformation of the Mesozoic Marine Basin in Qiangtang [D]. Xi'an: Northwest University, 1998.
- [93] 郑来林, 潘桂棠, 金振民, 等. 喜马拉雅造山带西构造结研究的启示[J]. 地质论评, 2001, 47(4): 350-355.
ZHENG Lai-lin, PAN Gui-tang, JIN Zhen-min, et al. Preliminary Study of Western Himalayan Syntaxis and Its Enlightenments[J]. Geological Review, 2001, 47(4): 350-355.
- [94] 汤良杰, 李萌, 杨勇, 等. 塔里木盆地主要前陆冲断带差异构造变形[J]. 地球科学与环境学报, 2015, 37(1): 46-56.
TANG Liang-jie, LI Meng, YANG Yong, et al. Differential Structural Deformation of Main Foreland Thrust Belts in Tarim Basin[J]. Journal of Earth Sciences and Environment, 2015, 37(1): 46-56.
- [95] 何光玉, 卢华复, 王良书, 等. 塔里木盆地库车地区早第三纪伸展盆地的证据[J]. 南京大学学报: 自然科学, 2003, 39(1): 40-45.
HE Guang-yu, LU Hua-fu, WANG Liang-shu, et al. Evidence for Paleogene Extensive Kuqa Basin, Tarim [J]. Journal of Nanjing University: Natural Sciences, 2003, 39(1): 40-45.
- [96] 刘池洋, 赵红格, 张参, 等. 青藏—喜马拉雅构造域演化的转折时期[J]. 地学前缘, 2009, 16(4): 1-12.
LIU Chi-yang, ZHAO Hong-ge, ZHANG Can, et al. The Important Turning Period of Evolution in the Titet-Himalayan Tectonic Domain[J]. Earth Science Frontiers, 2009, 16(4): 1-12.
- [97] 王佟. 中国西北赋煤区构造发育规律及构造控煤研究[D]. 北京: 中国矿业大学, 2012.
WANG Dong. Tectonic Development Law and Tectonic Coal-controlling of Northwest China Coal Hosting Area[D]. Beijing: China University of Mining and Technology, 2012.