文章编号：1006-6616（2011）03-0262-12

塔里木盆地巴楚地区二叠纪以来构造应力场解析

李　乐[1,2,3]，侯贵廷[1,2,3]，潘文庆[4]，琚　岩[4]，张庆莲[1,2,3]，
舒武林[1,2,3]，肖芳锋[1,2,3]，鞠　玮[1,2,3]

（1. 北京大学地球与空间科学学院，北京　100871；2. 北京大学造山带与地壳演化教育部重点实验室，北京　100871；3. 北京大学石油与天然气研究中心，北京　100871；
4. 塔里木油田分公司勘探开发研究院，库尔勒　841000）

摘　要：通过构造地质演化分析，将塔里木盆地西北部巴楚地区二叠纪以来具有较强构造变形的构造应力场分为 3 期：晚古生代二叠纪末、中生代三叠纪—古近纪和新生代新近纪以来。通过对巴楚地区岩墙、节理、擦痕、褶皱与断层等应力感构造的测量分析，对各时代地层中应力感构造的发育特征进行对比与分期总结，同时对节理等进行分期配套，发现巴楚地区二叠纪末最大主压应力方向为北西向，与中天山岛弧和塔里木板块的斜向碰撞有关；三叠纪—古近纪为北北东向，可能与侏罗纪塔里木盆地的顺时针旋转受到抑制有关；新近纪以来由于印度板块与欧亚板块相互碰撞，巴楚地区最大主压应力方向为南北向。利用二维有限元方法对巴楚地区新近纪构造应力场进行了数值模拟，模拟结果与实际情况拟合较好。

关键词：塔里木盆地；巴楚地区；构造应力场；最大主压应力
中图分类号：P542　　**文献标识码**：

区域构造应力场的研究不仅从历史演化角度，而且在力学机制上对阐明沉积盆地形成、演化的大地构造环境有着不可替代的功能。同时，构造应力场对于研究裂缝发育与油气运移的关系，进而找寻有利油气圈闭也具有重要的指导作用[1]。前人已对塔里木盆地构造应力场进行总结，认为盆地经历了多期构造运动，但对巴楚地区构造应力场分期未作系统分析。本文将通过盆地周缘应力感构造测量与数据处理分别论述各时期应力场特征。

1　区域构造背景

研究区位于塔里木盆地的西北缘，地处阿恰断裂带与色力布亚断裂带之间。西北与柯坪塔格逆冲推覆构造带相邻，东北以阿恰断裂带与阿瓦提凹陷分隔，西南以色力布亚断裂带与麦盖提斜坡相连，东南为巴楚隆起[2~3]。该区在地质历史时期经历了多期构造运动，对其进行构造应力场研究不仅有助于盆地内部构造形变的分析，而且有助于对整个盆地的构造演化

收稿日期：2011-03-22
基金项目：国家自然科学基金项目（编号：40772121）和塔里木油田资助。
作者简介：李乐（1985-），男，北京大学地球与空间科学学院在读博士，构造地质学研究方向。E－mail：ye41lile@163.com

及所处的大地构造背景的进一步研究。研究区的区域构造位置处于柯坪逆冲推覆构造带和巴楚隆起的结合部位（见图 1）。

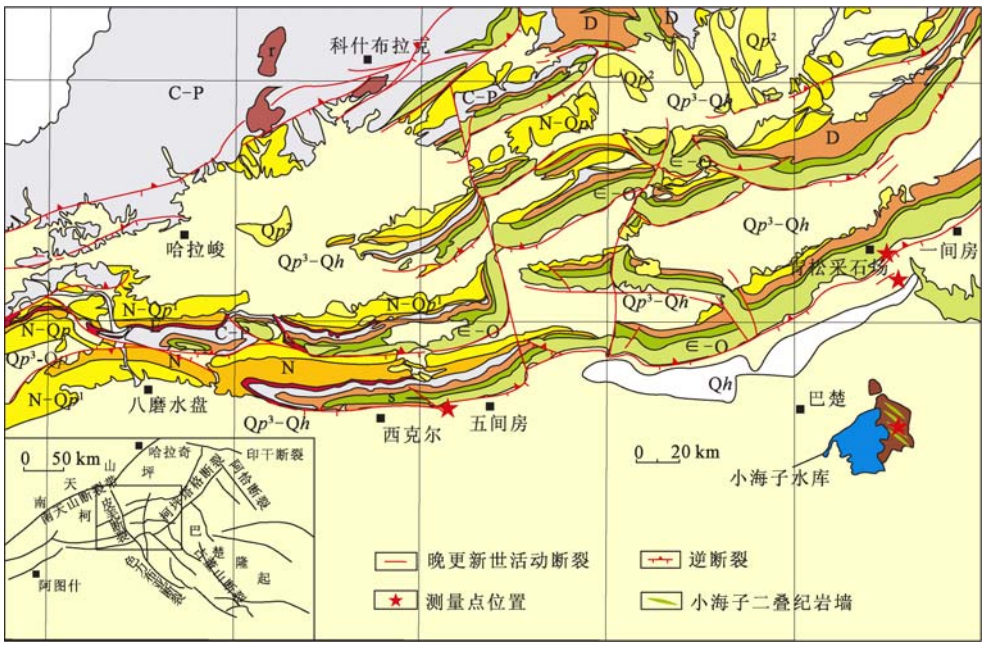


图 1　塔里木盆地西北缘地区构造简图及工作路线

Fig. 1　Simple structural map of the northwest region of Tarim basin

古生代时期，柯坪塔格逆冲推覆构造带与巴楚隆起带无论在地层系统、岩石组合、古生物和沉积相特征等方面均存在可比性，表明柯坪塔格逆冲推覆构造带和巴楚隆起带在前中生代是连为一体的，同属塔里木盆地西北缘的一部分[4]。该区在晚石炭世中期为克拉通内拗陷碳酸盐岩台地，并一直持续到早二叠世早期。早二叠世晚期，由于古特提斯洋向北俯冲，使已经成为欧亚大陆南缘的塔里木板块处于弧后伸展环境，深部地幔热物质上涌，并伴随岩浆活动，而此时本区处于盆地的西北部，岩浆活动强烈，形成了巴楚小海子水库东部的麻扎塔格基性岩体以及数以百计的岩墙和岩脉[5]。随后，在中生代三叠纪末期，由于塔里木的南缘羌塘地体与塔里木陆块碰撞增生，形成塔里木西部的柯坪—巴楚隆起，并且在侏罗—白垩纪持续隆升，一直到古近纪早期[3]。中生代柯坪构造带和巴楚隆起带形成雏形，并且它们之间的断裂活动加强。新近纪以来由于印度板块与欧亚板块碰撞的远距离效应和西南天山地区板内造山影响，陆陆碰撞剧烈的构造作用不仅使盆地南缘的昆仑山系抬升，其远距离效应导致了天山山系重新崛起，其构造活动在本区表现明显，造成了强烈的冲断抬升和推覆。在上新世末—更新世初柯坪构造带沿柯坪塔格—沙井子断裂发生强烈挤压，形成五排逆冲推覆构造带，逆冲到巴楚隆起的北部之上[5]。

综上分析得出，二叠纪以来塔里木盆地西北部巴楚地区经历了 3 期较为明显的构造运动，具有较强构造变形的构造应力场分为 3 期：二叠纪、三叠纪末—古近纪初、新近纪以来。

2　盆地周缘应力感构造测量与数据处理

在进行古构造应力场研究时，最基本的方法是利用野外岩石中现存的构造形变特征反推

形变作用发生时的构造应力状态，而将这些可被利用的构造变形形迹称之为具有应力感的构造[6~7]。应力感构造包括：节理、褶皱、断层、擦痕、岩墙、构造线理等[8~10]。在野外充分根据现场情况和前人的研究成果，对各时代地层中应力感构造的发育特征进行对比与分期总结，同时利用限制、切错、叠加、置换等关系及节理尾端特征，对节理等进行分期配套。

研究区广泛发育各种应力感数据，如：共轭节理、断层擦痕、褶皱两翼产状和轴面劈理产状等。数据处理主要利用赤平投影求最大主应力方位：①根据墙群的产状及时代确定某时期的构造应力场方向；②分别根据每对共轭节理的产状，求出其所代表的最大主应力方位（两个节理面的锐角平分线），最后求出所有最大主应力优势方位；③根据褶皱两翼地层的产状用贝塔图解求出褶皱轴面及褶皱两翼的平均产状，然后求得主应力方位；④根据擦痕和断层产状（正、逆断层），利用断层形成应力条件确定最大主应力方位。

根据上述对应力感构造的处理方法，沿着柯坪塔格逆冲推覆构造带从柯坪地区开始，经过一间房地区、巴楚地区对研究区内所有野外测量的褶皱、共轭节理、擦痕、断层等应力感构造进行处理，得出最大主压应力走向等密度图（见图2a）与最大主压应力走向玫瑰花图（见图2b）。

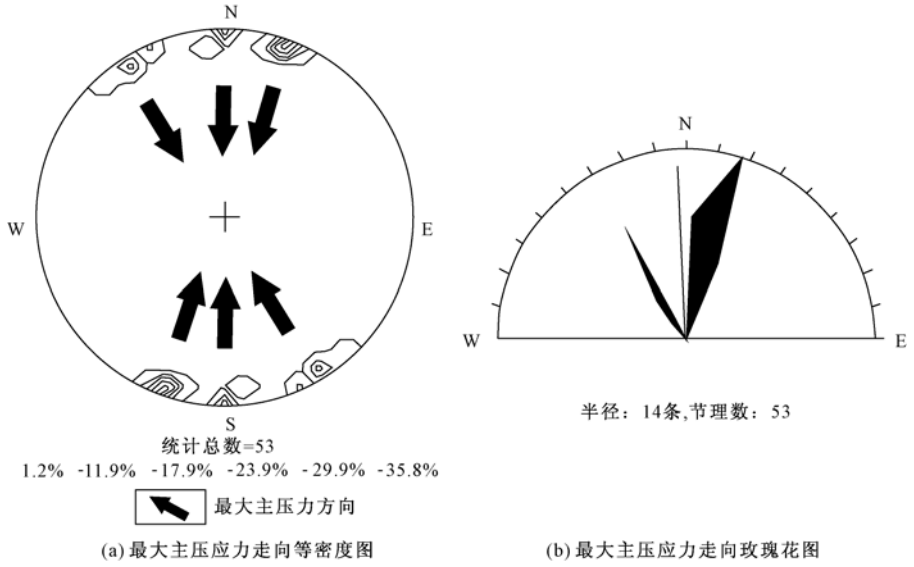


图2 巴楚地区最大主压应力方位图

Fig. 2 Directions of maximum principal stress in Bachu area

由图2可以明显得出研究区最大主压应力存在3个优势方位，其方向分别为北西—南东方向、北北东—南南西方向、近南北向。根据获得的应力感数据和统计结果，依次按晚古生代、中生代、新生代的顺序分析本区的构造应力场。

3 二叠纪应力场构造解析

3.1 岩墙构造应力解析

岩墙群代表一种区域性的构造节理系统，反映了岩墙侵位时古构造应力场作用下的脆性破裂[11]。岩墙群实际上是在一定的应力系统作用下形成的小节理群或薄弱面，后期继承扩展成为大节理群，随后基性岩浆侵位到这些先存的大节理群内形成的。未变形未变质的基性岩墙群一般产状直立，走向稳定，具有区域地质对比意义，成为构造应力场的有效标志。张

性节理所形成的岩墙，一般具有追踪张特征，或具有锯齿状或波状边界形态，从而区别于剪节理形成的岩墙，其走向指示最大主压应力方向，垂直于岩墙的走向为伸展方向[12~13]。研究这样的大型岩墙群有助于建立区域古应力场和了解岩墙形成前后的变形事件[14]。

在巴楚小海子地区发育的大量二叠纪岩墙群的优势走向为北西向（见图 3）。本区的小海子岩墙群，其空间分布受到了区域性的张性构造控制，具有追踪张、锯齿状、波状边界形态特征，未变质或轻微变质，并且倾角以近直立为主，所以它保持了岩墙形成时的应力状态。遥感影像中岩墙的线性影纹方位可以代表其岩墙的走向[15]，所以可以利用遥感影像技术，对巴楚小海子地区的岩墙走向进行统计，统计结果表明，走向介于 0°~45°的岩墙共有 10 条，走向介于 45°~90°的岩墙共有 7 条，走向介于 90°~135°的岩墙共有 14 条，走向介于 135°~180°的岩墙共有 81 条。

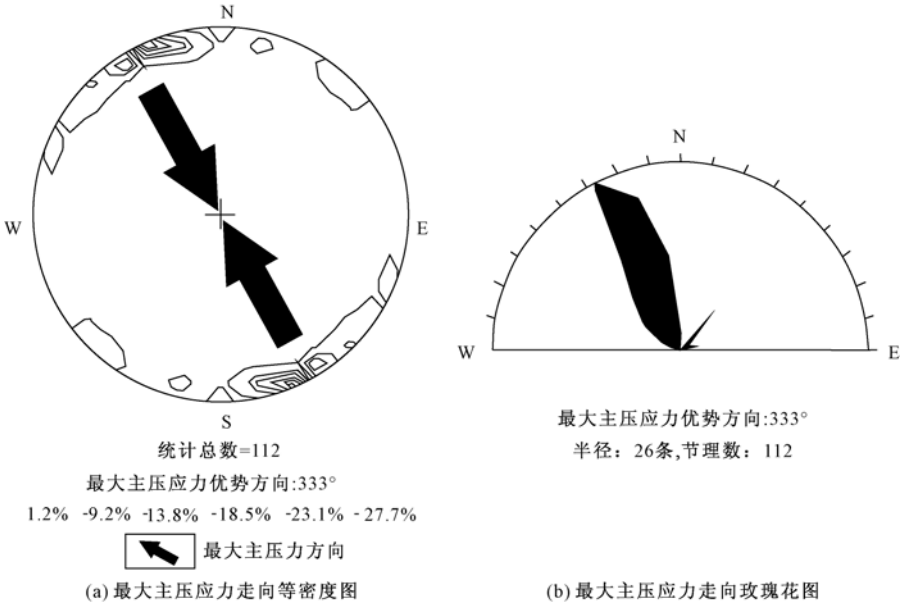


图 3　巴楚地区小海子岩墙指示二叠纪末最大主压应力方位图

Fig. 3　Directions of Permian maximum principal stress derived from Permian dykes in Xiaohaizi, Bachu area

根据前人研究，小海子岩墙群正长岩体的年龄为 277~282 Ma，辉绿岩脉的年龄为 266~278 Ma，正长斑岩脉的年龄为 269~277 Ma[16~18]，为二叠纪岩墙群。根据统计的岩墙走向，作出最大主压应力走向等密度图（见图 3a）与最大主压应力走向玫瑰花图（见图 3b）。

根据岩墙走向玫瑰花图和岩墙走向优势方位图（见图 3）所显示的结果，可知最大主压应力方向为北西—南东向（约 333°），这与野外测量的应力感构造得出的一期较强构造变形应力场的方向也是一致的（约 332°）（见图 2）。因此，柯坪—西克尔地区在二叠纪时期的构造应力场最大主压应力的方向为北西—南东向。

邻区塔里木盆地东北缘库鲁克塔格地区分布有数以千计的紧密排列近平行的铁镁质岩墙，走向为北西—南东向（330°）。岩墙群 K-Ar 等时线年龄为 287 Ma，这也指示二叠纪时期最大主压应力方向为北西[19~20]。该期构造应力场的形成与早二叠世南天山弧后盆地和北部古大洋消亡，塔里木板块与中天山地块、哈萨克斯坦—准噶尔板块最终碰撞拼贴有关[21]。

3.2　褶皱构造应力解析

在宏观上，褶皱可以反映与它们的走向相垂直的水平挤压应力的存在，即褶皱轴面的倾

向与同期最大主压应力方向相同[22]。巴楚西侧西克尔地区石炭-二叠系中普遍发育褶皱构造，类型以向斜为主，无强烈挤压特征，并在上覆地层中亦无同类构造出现，仅出露于石炭-二叠系。依据4个向斜剖面的野外产状数据，用向斜贝塔图解（见图4）可以明显地看出4向斜所求得水平最大主应力方向为340.5°，336.8°，343.1°和325.4°，为北西向。因此，巴楚地区二叠纪构造应力场的最大主压应力方向为北西向。

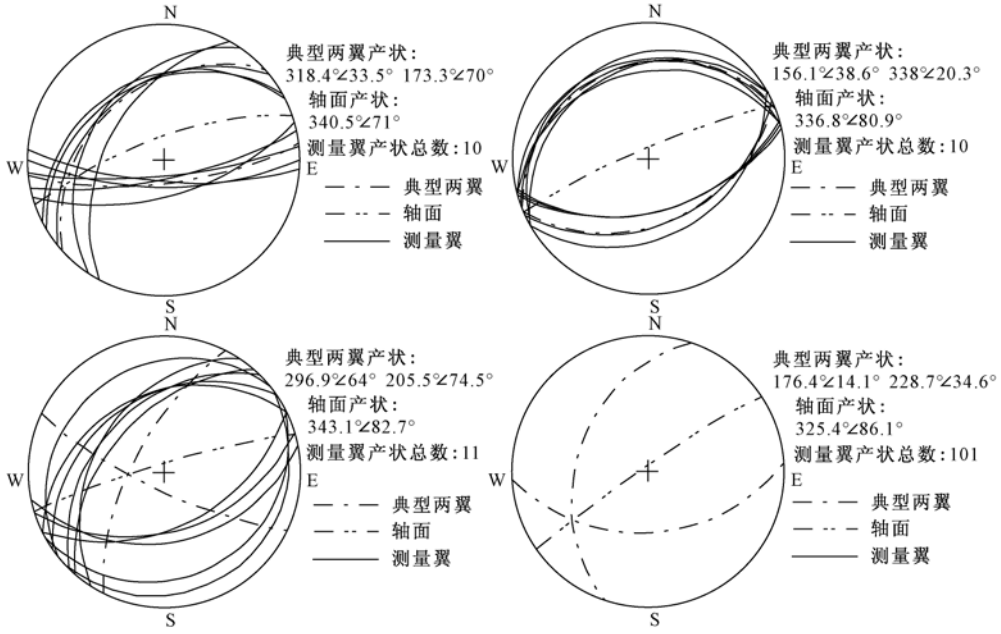


图4 西克尔地区二叠系向斜贝塔图

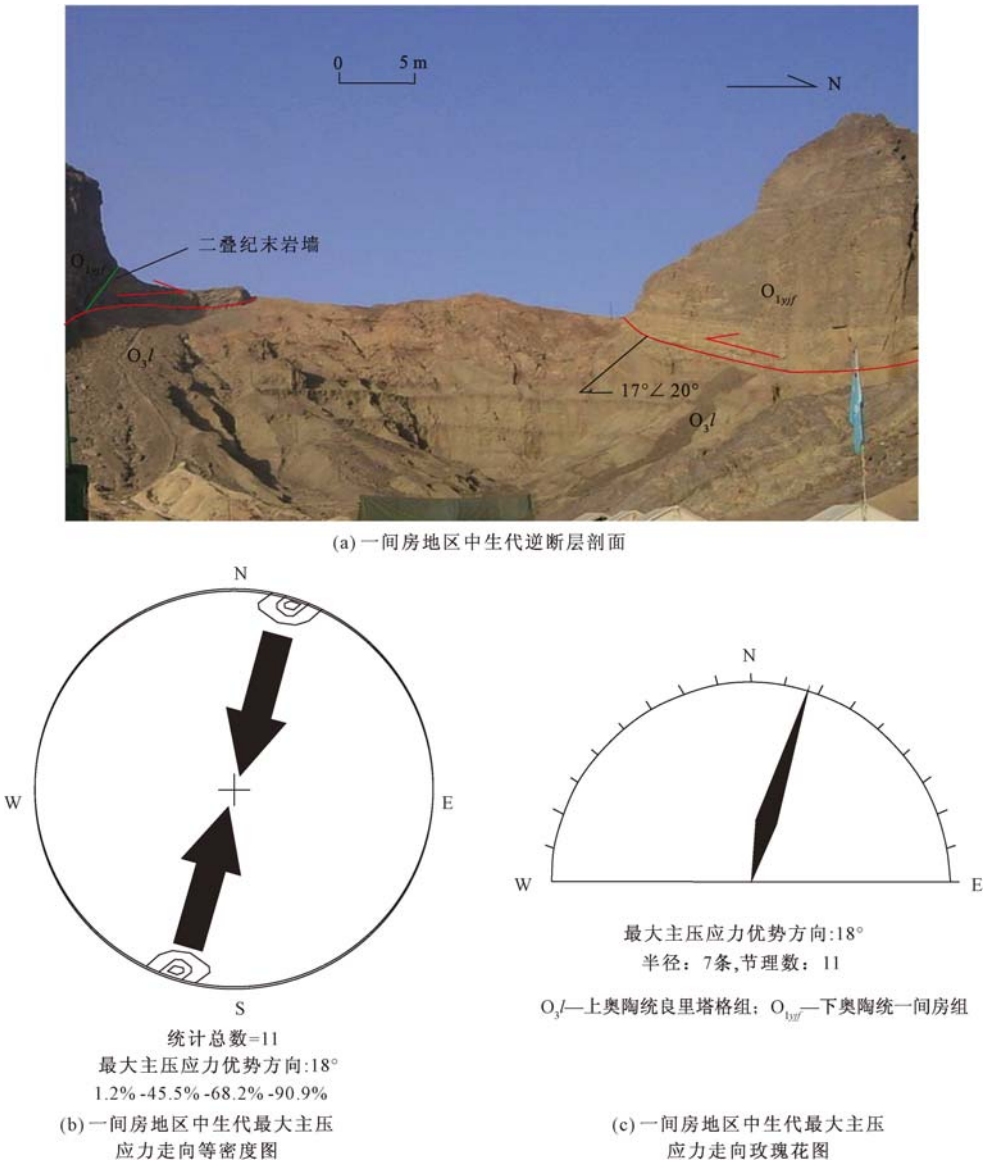
Fig. 4 Beta analysis of Permian folds, Xikeer area

4 中生代应力场构造解析

三叠纪塔里木盆地板块南缘发生古特提斯洋向北强烈俯冲，羌塘地块与塔里木板块碰撞，进入前陆盆地构造发展阶段。三叠纪末，塔里木盆地在经历了二叠纪—三叠纪的挤压作用后，最大主压应力方向为36°。侏罗纪—古近纪进入应力松弛状态，为断陷盆地发展时期，侏罗纪—古近纪古纬度未发生明显变化，巴楚地区侏罗纪局部应力场最大主压应力方向为北北东向，主压应力轴方位为北北东向17°。白垩纪构造应力场基本延续了侏罗纪的特点，主压应力轴方位15°[23]。这表明晚三叠纪末开始研究区是北北东—南南西向的区域挤压背景，塔里木盆地及周缘山系抬升，缺失沉积，这种背景可能与侏罗纪塔里木盆地的顺时针旋转受到抑制有关。塔里木盆地的边界并非自由边界，在经历一段时间的旋转调整之后受到阻碍，从而出现短期的挤压背景，导致南天山山前冲断带复活，地形变陡，出现扇三角洲、冲积扇沉积。同时这种冲断负荷作用造成板缘的挠曲沉降，堆积了磨拉石建造。这些都反映了塔里木盆地北缘中生代存在挤压作用。古近纪的构造应力场仍延续白垩纪构造应力场[23]。

利用断层和擦痕的产状及断层性质求最大主应力方向的方法前人早有研究[24~25]。从野外测量结果来看，一间房地区广泛发育断层及擦痕，巴楚隆起上的一间房地区逆断层切割二

叠纪岩墙（见图 5a），并被新生代的柯坪塔格构造带逆掩推覆，也说明巴楚隆起上的这些构造是中生代构造。对该区中生代逆断层及擦痕构造产状进行统计分析，可以得出最大主压应力走向等密度图（见图 5b）与最大主压应力走向玫瑰花图（见图 5c），表明中生代本区的最大主压应力优势方位为 17°，是北北东向。



(a) 一间房地区中生代逆断层剖面

(b) 一间房地区中生代最大主压应力走向等密度图

(c) 一间房地区中生代最大主压应力走向玫瑰花图

图 5　巴楚地区一间房地区逆断层及最大主压应力方向

Fig. 5　The profile of YJF reverse fault in Bachu area and the maximum principal stress directions

根据全区应力感构造的最大主应力走向等密度图（见图 2a）和最大主应力走向玫瑰花图（见图 2b）分析，奥陶纪以来地层中存在 3 组最大主压应力方向，即北西向、北北东向和近南北向。新近纪的应力感构造表明最大主压应力为近南北向（详见下文），而二叠纪末本区最大主压应力方向为北西向，由此把地层复平之后，也可以得出本区中生代最大主压应力方向为北东—南西向。

5 新近纪以来应力场的构造解析及数值模拟

塔里木盆地西北缘的新生代构造应力场与塔里木盆地和天山地区的新生代构造演化及周边板块的碰撞密切相关。新生代新近纪以来塔里木板块巴楚区域构造应力场主要为近南北向的挤压作用[26]，局部由于受到先存褶皱冲断带或基底断裂的影响发生较小偏转。中新世以来印度板块与欧亚板块的碰撞及其持续挤压推移的远程效应控制了塔里木盆地近南北向挤压的构造应力场，如：柯坪塔格逆冲推覆构造带的褶皱轴向近东西向，现今最大主压应力方向为近南北向，与压扭性、压性构造线近于正交[3~4,27]；同时青松采石场及托普朗地区未充填的共轭节理所记录的最大主压应力方向也为近南北向（见图6），这些构造切错或改造了所有前期的构造。各种应力感构造反映研究区新近纪以来构造应力场特征为区域性近南北向挤压应力场起主要控制作用。

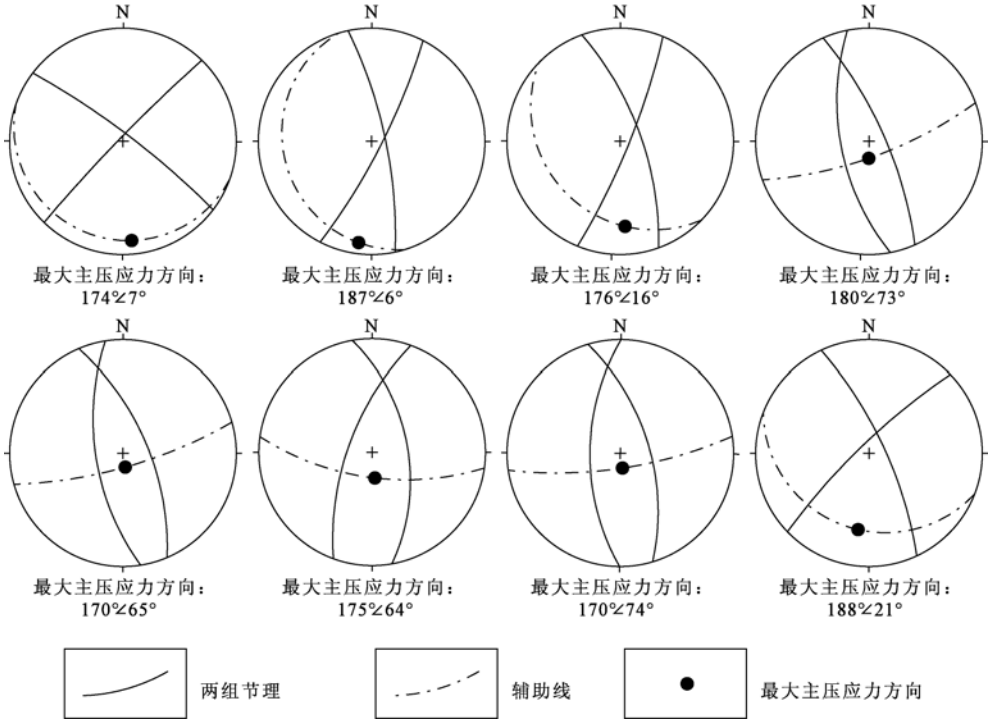


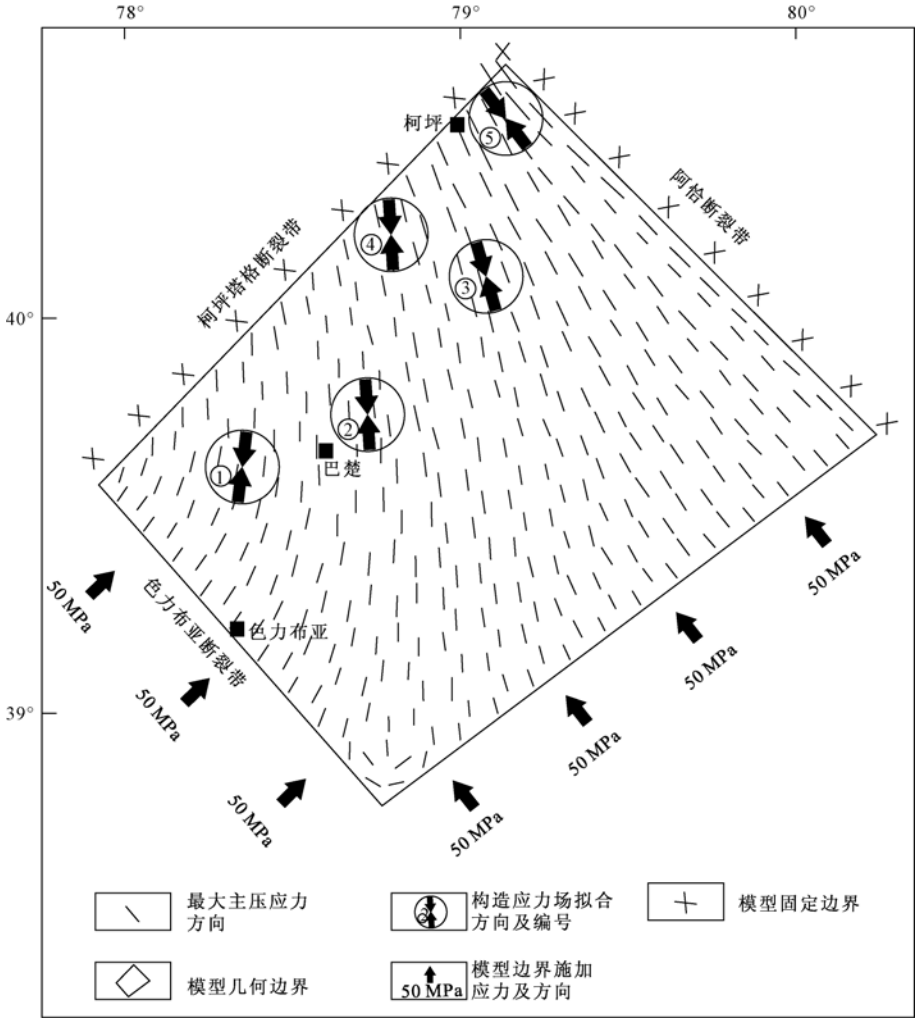
图6 青松采石场及托普朗地区新近纪以来共轭解理解析图

Fig. 6 Map of the maximum principal stress derived from conjugate joints in Qingsong quarry and Tuopulang area

为了进一步了解构造应力场的空间分布与变化特征，利用二维有限元方法对巴楚地区新近纪构造应力场进行了数值模拟。二维有限元模拟可分为以下几个步骤：地质模型的建立；几何模型和力学模型的建立（包括岩石力学参数和边界条件的选择）；加载计算（本文采用的有限元模拟软件为 Ansys10.0）；结果分析。

为了简便起见，设该模型块体为均质体，即各项同性的纯弹性体。杨氏模量 E 取值 40 GPa，泊松比 υ 取值 0.25。边界条件确定方面，北西边界采用柯坪塔格逆冲推覆构造带，北东边界采用阿恰断裂带，南西边界为色力布亚断裂带，南东边界为各个断裂的起点或终点的连线。由于巴楚地区主要受西端向东南方向和东端构造系向西南方向两种构造力的作

用[28]，因此固定北西边和北东边，对南西边和南东边加载，载荷大小为 50 MPa。计算几何模型、边界条件、加载以及结果见图 7。



拟合标志：①伽师东北部；②巴楚地区；③巴楚东北部；④柯坪塔格逆冲推覆构造带；⑤柯坪地区

图 7　塔里木盆地巴楚地区新近纪构造应力场模拟

Fig. 7　Simulation of the structural stress fields since Neogene, Bachu area

巴楚西南缘柯坪塔格逆冲推覆构造带的形成时代为新近纪，其构造迹线是良好的构造应力场拟合标志（见图 7）；根据震源机制解分析伽师地区东北部最大主压应力方向为北北东向[29]；钻孔崩落、断层滑动等地应力数据统计结果表明巴楚地区最大主压应力方向为南北向，其东北部为北北西向。同时，柯坪塔格逆冲推覆构造带中部所记录的最大主压应力方向也为近南北向[30~31]。模拟结果在以上各区拟合非常理想，由此验证了模拟结果的可信度。

6　讨论与结论

由以上结果可进一步对塔里木盆地西北缘巴楚地区新近纪以来构造应力场及构造活动进行分析：

① 整个盆地最大主压应力方向以南北向为主；巴楚地区最大主压应力为南北向，巴楚西南方向延伸至色力布亚断裂区域最大主压应力方向为北东向；整个东部地区最大主压应力方向为北西向。

② 根据模型，西北部沿柯坪塔格逆冲推覆构造带一线构造应力场的最大主压应力方向在空间上发生旋转（见图7），断裂带东部为北北西向而西部变为近南北向断裂。

③ 巴楚地区西南方向色力布亚断裂是先存断裂，为加里东中期在低幅度隆起背景上形成，早期是深层的北东向南西方向逆冲[32]。到了新近纪晚期，由于受到来自西南方向的挤压作用力，此应力状态使该断裂带发生逆转，转变为由西南向东北对冲逆掩（见图7），形成色力布亚浅层逆掩推覆断裂。

综上所述，塔里木盆地北缘巴楚地区二叠纪以来构造应力场分为3期：二叠纪末、中生代和新近纪，其最大主压应力方向分别为北西向、北北东向和南北向。这3期构造应力场分别对应了3期区域构造作用，即二叠纪末塔里木盆地中天山岛弧与塔里木板块斜向碰撞事件、中生代北北东—南南西向的挤压作用和新近纪近南北向的天山陆内造山作用。

参 考 文 献

[1] 王延欣，侯贵廷，李江海，等. 塔北隆起中西部新近纪末构造应力场数值模拟［J］. 北京大学学报：自然科学版，2008，44（6）：902～908.
WANG Yan-xin，HOU Gui-ting，LI Jiang-hai，et al. Numercial simulation of tenconic stress field at the end of Neocene in the midwest of northern Tarim Basin［J］. Acta Scientiarum Naturalium Universitatis Pekinensis，2008，44（6）：902～908.

[2] 杨庚，郭华. 塔里木盆地西北缘柯坪逆冲构造带与巴楚隆起的叠加关系［J］. 铀矿地质，2003，19（1）：1～7.
YANG Geng，GUO Hua. Superposed relationship between Kalping thrust belt and Bachu uplift，northwest Tarim［J］. Uranium Geology，2003，19（1）：1～7.

[3] 杨庚，石昕，贾承造，等. 塔里木盆地西北缘柯坪—巴楚地区皮羌断裂与色力布亚断裂空间关系［J］. 铀矿地质，2008，24（4）：201～205.
YANG Geng，SHI Xin，JIA Cheng～zao，et al. Spatial relationship between Piqiang fault and Selibuya fault in Keping-Bachu district，northwest Tarim basin［J］. Uranium Geology，2008，24（4）：201～205.

[4] 张臣，郑多明，李江海. 柯坪断隆古生代的构造属性及其演化特征［J］. 石油与天然气地质，2001，22（4）：314～318.
ZHANG Chen，ZHENG Duo-ming，LI Jiang-hai. Attribute of Paleozoic structures and its evolution characteristics in Keping fault-uplift［J］. Oil & Gas Geology. 2001，22（4）：314～318.

[5] 陈杨. 塔里木盆地巴楚隆起构造演化与含油气关系研究［D］. 四川：成都理工大学，2007.
CHEN Yang. Analasis of Relationship between tectonic evolution and oil-gas in Bachu uplift in Tarim Basin［D］. Chengdu University of Technology，2007.

[6] 万天丰. 古构造应力场［M］. 北京：地质出版社，1988：4～10.
WAN Tian-nian. Paleotectonic stress field［M］. Beijing：Geological Publishing House，1988：4～10.

[7] 肖芳锋，侯贵廷，王延欣，等. 准噶尔盆地及周缘二叠纪以来构造应力场解析［J］. 北京大学学报：自然科学版，2010，46（2）：224～230.
XIAO Fang-feng，HOU Gui-ting，WANG Yan-xin，et al. Study on structural stress fields since Permian Junggar Basin and adjacent areas［J］. Acta Scientiarum Naturalium Universitatis Pekinensis，2010，46（2）：224～230.

[8] 王宏强. 鄂尔多斯中生代盆地构造应力场特征及其转换与沉积-构造格局［D］. 西安：西北大学，2001.

WANG Hong-qiang. Tectonic stress field characteristics and its transition laws and tectonic-sedimentary framework in Mesozoic Ordos Basin [D]. Xi'an: Northwest University, 2001.

[9] 操成杰. 川西北地区构造应力场分析与应用 [D]. 北京：中国地质科学院，2005.
CAO Cheng-jie. Tectonic Stress Field Analysis and Application in the Northwest Sichuan Basin [D]. Beijing: Chinese Academy of Geological Sciences, 2005.

[10] 马宗晋,邓启东. 节理力学性质的判别及其分期、配套的初步研究 [M]. 北京：科学出版社，1965：15～30.
MA Zong-jin, Deng Qi-dong. Study on judgement, major division of geological time、mating of mechanical property of joints [M]. Beijing: Science Press, 1965, 15～30.

[11] 侯贵廷，张臣，钱祥麟，等. 华北克拉通中元古代基性岩墙群形成机制及构造应力场 [J]. 地质论评，1998，44（3）：309～314.
HOU Gui-ting, ZHANG Chen, QIAN Xiang-lin, et al. The formation mechanism and tectonic stress field of the Mesoproterozoic mafic dike swarms in the North China Craton [J]. Geological Review, 1998, 44 (3): 309～314.

[12] 侯贵廷，李江海，金爱文，等. 鲁西前寒武纪基性岩墙群 [J]. 地质学报，2005，79（2）：190～200.
HOU Gui-ting, LI Jiang-hai, JIN Ai-wen, et al. The Precambrian basic dyke swarms in the western Shandong Province [J]. Acta Geologica Sinica, 2005, 79 (2): 190～200.

[13] Hou, Guiting, Liu, Yulin, Li, Jianghai, Qian, Xianglin. The evidence of 1. 8 Ga extension of North China Craton from the mafic dyke in Shandong Province, Eastern Block [J]. Journal of Asian Earth Science, 2006, 27 (4): 392～401.

[14] 邵济安,张履桥，魏春景，等. 北京南口中生代双峰式岩墙群的组成及其特征 [J]. 地质学报，2001，75（2）：205～212.
SHAO Ji-an, ZHANG Lu-qiao, WEI Chun-jing, et al. Composition and features of the Mesozoic bimodal dike swarm in Nankou area, Beijing [J]. Acta Geologica Sinica, 2001, 75 (2): 205～212.

[15] 张自力，秦其明，田伟，等. 塔里木麻扎尔塔格基性岩墙群的侵位特征和空间分布规律研究 [J]. 岩石学报，2008，24（10）：2273～2280.
ZHANG Zi-li, QIN Qi-ming, TIAN Wei, et al. Emplacement characteristics and spatial distribution of Permian Mazhartager basic dike swarms in Bachu area, Tarim basin [J]. Acta Petrologica Sinica, 2008, 24 (10): 2273～2280.

[16] 杨树锋,厉子龙，陈汉林，等. 塔里木二叠纪石英正长斑岩岩墙的发现及其构造意义 [J]. 岩石学报，2006，22（5）：1405～1412.
YANG Shu-feng, LI Zi-long, CHEN Han-lin, et al. Discovery of a Permian quartz syenitic porphyritic dyke from the Tarim Basin and its tectonic implications [J]. Acta Petrologica Sinica, 2006, 22 (5): 1405～1412.

[17] 李勇,苏文，孔屏，等. 塔里木盆地塔中-巴楚地区早二叠世岩浆岩的 LA-ICP-MS 锆石 U-Pb 年龄 [J]. 岩石学报，2007，23（5）：1097～1107.
LI Yong, SU Wen, KONG Ping, et al. Zircon U-Pb ages of the Early Permian magmatic rocks in the Tazhong-Bachu region, Tarim Basin by LA-ICP-MS [J]. Acta Petrologica Sinica, 2007, 23 (5): 1097～1107.

[18] 孙林华，王岳军，范蔚茗，等. 新疆巴楚辉绿岩岩脉的岩石成因和大地构造意义 [J]. 岩石学报，2007，23（6）：1369～1380.
SUN Lin-hua, WANG Yue-jun, FAN Wei-ming, et al. Petrogenesis and tectonic significances of the diabase dikes in the Bachu area, Xinjiang [J]. Acta Petrologica Sinica, 2007, 23 (6): 1369～1380.

[19] ZHANG Zhi-cheng, GUO Zhao-jie, LIU Shu-wen. Age and tectonic significance of the mafic dyke swarm in the Kuruktag region, Xinjiang [J]. Acta Geologica Sinica, 1998, 72 (1): 29～36.

[20] 刘玉琳，张志诚，郭召杰，等. 库鲁克塔格基性岩墙群 K-Ar 等时年龄测定及其有关问题讨论 [J]. 高校地质学报，1999，5（1）：54～58.
LIU Yu-lin, ZHANG Zhi-cheng, GUO Zhao-jie, et al. K-Ar isochron dating of Kuluktag mafic dykes, Xinjiang Autonomous region, and discussion on some related questions [J]. Geological Journal of China Universities, 1999, 5 (1): 54～58.

[21] 肖序常. 新疆北部及其邻区大地构造 [M]. 北京：地质出版社，1992.

XIAO Xu-chang. Tectonic evolution of northern Xinjiang and its adjacent regions [M]. Beijing: Geological Publishing House, 1992.

[22] 戴俊生. 构造地质学及大地构造 [M]. 北京: 石油工业出版社, 2006.
DAI Jun-sheng. Structural geology and tectonics [M]. Beijing: Petroleum Industry Press, 2006.

[23] 王喜双, 李晋超, 王邵民, 等. 塔里木盆地构造应力场与油气聚集 [J]. 石油学报, 1997, 3: 77~82.
WANG Xi-shuang, LI Jin-chao, WANG Shao-min, et al. Oil and gas accumulation and structural stress field in Tarim basin [J]. Acta Petrolei Sinica.. 1997, 3: 77~82.

[24] 马宗晋, 邓启东. 节理力学性质的判别及其分期、配套初步研究 [M]. 北京: 科学出版社, 1965: 15~30. 划分.
MA Jin-chao, DENG Qi-dong. Preliminary study on mechanical property discrimination, stage division and system division of joints [M]. Beijing: Science Press, 1965: 15~30.

[25] 何绍勋. 构造地质学中的赤平极射投影 [M]. 北京: 地质出版社, 1997.
HE Shao-xun. Stereographic projection in structural geology [M]. Beijing: Geological Publishing House, 1997.

[26] 曲国胜, 李亦纲, 陈杰, 等. 柯坪塔格推覆构造几何学、运动学及其构造演化 [J]. 地学前缘, 2003, 10 (特): 142~152.
QU Guo-sheng, LI Yi-gang, CHEN Jie, et al. Geometry, Kinematics and tectonic evolution of Kepingtage thrust system [J]. Earth Science Frontiers. 2003, 10 (Supp.): 142~152.

[27] 马德明, 陈江力, 曾昌民, 等. 塔里木盆地西北缘柯坪冲断带的构造变形特征 [J]. 地质力学学报, 2007, 13 (4): 340~347.
MA De-ming, CHEN Jiang-li, ZENG Chang-min, et al. Structural deformation characteristics of the Kalpin thrust belt on the northwestern margin of the Tarim basin [J]. Journal of Geomechanics, 2007, 13 (4): 340~347.

[28] 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 [J]. 北京大学学报: 自然科学版, 2000, 36 (4): 539~546.
HE Wen-yuan, LI Jiang-hai, Qian Xiang-lin, et al. The Meso-Cenozoic evolution of Bachu fault-uplift in Tarim Basin [J]. Acta Scientiarum Naturalium Universitatis Pekinensis, 2000, 36 (4): 539~546.

[29] 高国英, 温和平. 帕米尔东北侧现代构造应力场与地震活动特征研究 [J]. 中国地震, 2000, 16 (2): 176~184.
GAO Guo-ying, WEN He-ping. Recent tectonic stress field and seismicity of northeast Pamir [J]. Earthquake Research in China, 2000, 16 (2): 176~184.

[30] 崔效锋. 伽师及周围地区现代构造应力场特征研究 [J]. 地震学报, 2006, 28 (4): 347~356.
CUI Xiao-feng. Characteristics of recent tectonic stress field in Jiashi, Xinjiang and adjacent regions [J]. Acta Seismologica Sinica, 2006, 28 (4): 347~356.

[31] 王盛泽, 高国英. 新疆及其邻近地区现代构造应力场的区域特征 [J]. 地震学报, 1992, 14 (增): 612~620.
WANG Sheng-ze, GAO Guo-ying. Regional characteristics of recent tectonic stress field in Xinjiang and adjacent regions [J]. Acta Seismologica Sinica, 1992, 14 (Supp.): 612~620.

[32] 赵明, 孙兆于, 岳勇, 等. 巴楚隆起西段色力布亚断裂演化及其封闭性研究 [J]. 石油天然气学报, 2008, 30 (4): 28~32.
ZHAO Ming, SUN Zhao-yu, YUE Yong, et al. Evolution and sealing research of Selibuya Fault in the west of Bachu uplift [J]. Journal of Oil and Gas Technology, 2008, 30 (4): 28~32.

STUDY ON STRUCTURAL STRESS FIELDS SINCE PERMIAN, BACHU AREA, TARIM BASIN

LI Le[1,2,3], HOU Gui-ting[1,2,3], PAN Wen-qing[4], JU Yan[4], ZHANG Qing-lian[1,2,3], SHU Wu-lin[1,2,3], XIAO Fang-feng[1,2,3], JU Wei[1,2,3]

(1. *School of Earth and Space Science, Peking University, Beijing* 100871, *China*;
2. *The Key Laboratory of Orogenic Belts and Crustal Evolution, Ministry of Education, Beijing* 100871, *China*;
3. *Institute of Oil and Gas Research, Peking University, Beijing* 100871;
4. *Institute of Exploration and Development, Tarim Oil and Gas Branch Company, Korla* 841000, *Xinjiang, China*)

Abstract: Three periods of structural stress fields can be recognized since Permian in northwest of Tarim Basin and adjacent areas based on structural evolution analysis, which is the end of Permian, the Triassic to paleogene and Neogene. Based on the research of stress-response structures of dykes, joints, slickensides, folds and faults, and analysis of the comparison characters of field of stress, it is found that the direction of the maximum principal stress formed by the collision of middle Tianshan island arc and Tarim basin was NW. The direction of maximum principal stress Triassic to paleogene was NNE, which developed by repression of dextrorotary of Tarim basin. And it was N-S direction since Neogene in Bachu area as a result of the collision of Indian plate with Eurasian plate. Furthermore, the authors simulated the stress field since Neogene based on 2D finite-element method, to deeply analyze the distribution and direction of stresses in the research area.

Key words: Tarim Basin; Bachu area; structural stress fields; maximum principal stress