

文章编号:0253-9985(2013)01-107-05

塔里木盆地皮羌断裂晚期活动 ESR 年代学证据及其地质意义

王鹏昊^{1,2}, 汤良杰^{1,2}, 邱海峻³, 陈绪云⁴, 张宇航^{1,2}

(1. 中国石油大学 油气资源与探测国家重点实验室, 北京 102249; 2. 中国石油大学 地球科学学院, 北京 102249;

3. 国土资源部 油气资源战略研究中心, 北京 100034;

4. 中国石化 西北油田分公司 勘探开发规划设计研究院, 新疆 乌鲁木齐 830001)

摘要:皮羌断裂是塔里木盆地北缘柯坪隆起上北西方向的走滑断裂。该断裂在卫星图片上整体表现出以左行走滑为主, 南段则为局部右行走滑的特征。位于盆地周缘隆起的皮羌断裂与盆地内巴楚隆起色力布亚断裂具有良好空间对接关系, 因此皮羌断裂活动的年代学证据对于塔里木盆地的晚期构造变形研究具有重要意义。野外调查表明皮羌断裂将柯坪隆起古生界错断, 并通过拖曳作用牵引至地表。该地区古生界奥陶系主要以碳酸盐岩为主, 地层内部经断裂错断以及后期流体结晶充填等综合作用, 发育大型的方解石脉体。通过断裂带内方解石脉体的 ESR 电子自旋共振年龄的测定, 发现皮羌断裂在晚期可记录的年龄为 $(6.2 \sim 6.6) \times 10^4$ a, 而中段可记录的年龄为 $(358.3 \pm 35.0) \times 10^4$ a, 南、北段相近的年代学数据说明在晚期皮羌断裂具有同步活动的特点。通过对皮羌断裂方解石脉年代差异的成因分析, 认为柯坪隆起在南西向推覆作用之后, 仍存在有原地体垂向隆升的可能, 而这种隆升作用也是皮羌断裂南、北两端差异调节的结果。

关键词:ESR 年代学; 走滑断裂; 晚期构造变形; 皮羌断裂; 柯坪隆起; 塔里木盆地

中图分类号: TE122.1

文献标识码: A

Chronology evidence of ESR dating for the late movements of the Piquang fault in the Tarim Basin and its geological implication

Wang Penghao^{1,2}, Tang Liangjie^{1,2}, Qiu Haijun³, Chen Xuyun⁴ and Zhang Yuhang^{1,2}

(1. State Key Laboratory of Petroleum Resource and Prospecting, China University of Petroleum, Beijing 102249, China;

2. College of Geosciences, China University of Petroleum, Beijing 102249, China;

3. Strategic Research Center of Oil and Gas Resources, Ministry of Land and Resources, Beijing 100034, China;

4. Design and Planning Institute, SINOPEC Northwest Petroleum Company, Urumqi, Xinjiang 830001, China)

Abstract: The Piquang fault is a NW-trending strike-slip fault in the Keping uplift on the north margin of Tarim Basin. Satellite images of the fault show a left-lateral strike-slip faulting structure with local right-lateral characteristics in the south. The Piquang fault and Selibu fault on the Bachu uplift in the basin shows well spatial matching relationship. Therefore, chronology evidence of ESR dating of the Piquang fault bears great significance to the study of late deformation of Tarim Basin. Field surveys shows that the fault offset the Paleozoic in the Keping uplift and dragged it to the surface. The Ordovician in the area is dominated by carbonates and contains well-developed large calcite veins due to faulting and late fluid filling and crystallization. The dating of calcite veins in the fault belt indicates that the age recorded by the Piquang fault at late stage is 62–66 ka, and that recorded by the middle part of the fault is 358.3 ± 35.0 ka. The similar chronological age data of the southern and northern parts shows that the Piquang fault has the characteristics of synchronous activity during the later period. Based on the genetic analysis of the big age differences of the calcite veins in the Piquang fault, it is suggested that the Keping uplift still possibly experienced vertical uplifting even after overthrusting of Keping Uplift in SW direction. The verti-

收稿日期: 2012-02-24; 修订日期: 2012-12-31。

第一作者简介: 王鹏昊(1983—), 男, 博士研究生, 构造地质学。

基金项目: 国土资源部项目(2009GYXQ02-05)。

cal uplifting in turn is the result of differential modification at the south and north ends of the Piqiang fault.

Key words: ESR Dating, strike-slip fault, late structural deformation, Piqiang fault, Keping uplift, Tarim Basin

皮羌断裂是塔里木盆地西北缘柯坪隆起内的右行走滑断裂,该断裂具有明显的差异活动的特征,表现为北中段具有右行走滑、南段左行走滑。前人针对皮羌断裂展开大量的研究,认为皮羌断裂起始于24 Ma左右,为柯坪隆起形成阶段^[1-2]。也有学者鉴于柯坪隆起的皮羌断裂与巴楚隆起的色力布亚断裂具有良好对接关系^[3],认为皮羌断裂是色力布亚断裂在柯坪隆起的延伸,深部具有逆冲性质,浅层受差异推覆作用则表现出走滑特征。研究该断裂对整个塔里木盆地西部变形具有重要的年代学意义^[4-7]。通过对皮羌地区基性火成岩年代学的测试,得出区域构造热事件发生在46 Ma左右,滞留的岩浆所产生的高温可能是导致后期浅部变形的主要因素^[8]。笔者针对皮羌断裂构造特征开展实地野外工作,针对皮羌断裂晚期构造年代,选取破碎带内的方解石脉进行电子自旋共振(ESR)年代学分析,揭示皮羌断裂晚期活动的具体年代。

1 地质概况

皮羌断裂位于塔里木盆地西北缘柯坪隆起内,为一条近南北向发育的具有调节性质的走滑

断裂,断裂北西始于天山造山带内,南东方向终止于柯坪推覆体前缘,错开了柯坪隆起上的奥伊布拉克推覆体、卡拉干塔什推覆体与萨尔干推覆体等(图1)。皮羌断裂亦有多期活动的特征,卫星图片与区域地质图共同显示,皮羌断裂南北两段具有位移相反的水平断距,说明皮羌断裂在整体形态形成后,仍发生过局部调整。同时,皮羌断裂北段沿断层侵入的古近纪辉长岩被后期的断层活动错开,亦可证明断裂的多期活动性质。皮羌断裂带核部构造变形主要表现为地层陡立带与断层破碎带。皮羌断裂虽然整体线性构造明显,但断裂带仍具有一定宽度。早期形成的构造角砾岩被后期挤压、扭错,形成构造透镜体,其上发育多组方向的节理,擦痕和阶步。断层带内发育30~50 m的断层碎裂带,带内碎裂石、糜棱岩、断层泥、大理岩化十分发育。断层两层的拖曳现象明显,越接近断层,地层走向越趋近于断层走向,倾角越陡,甚至直立倒转,最终卷入破碎带中。皮羌断层两侧火成岩发育,北段有基性火成岩顺断层侵入,主干断层旁侧的分支断层亦有辉绿岩脉贯入,局部可见岩墙和岩脉相互穿插,岩脉走向与断层走向近似平行。

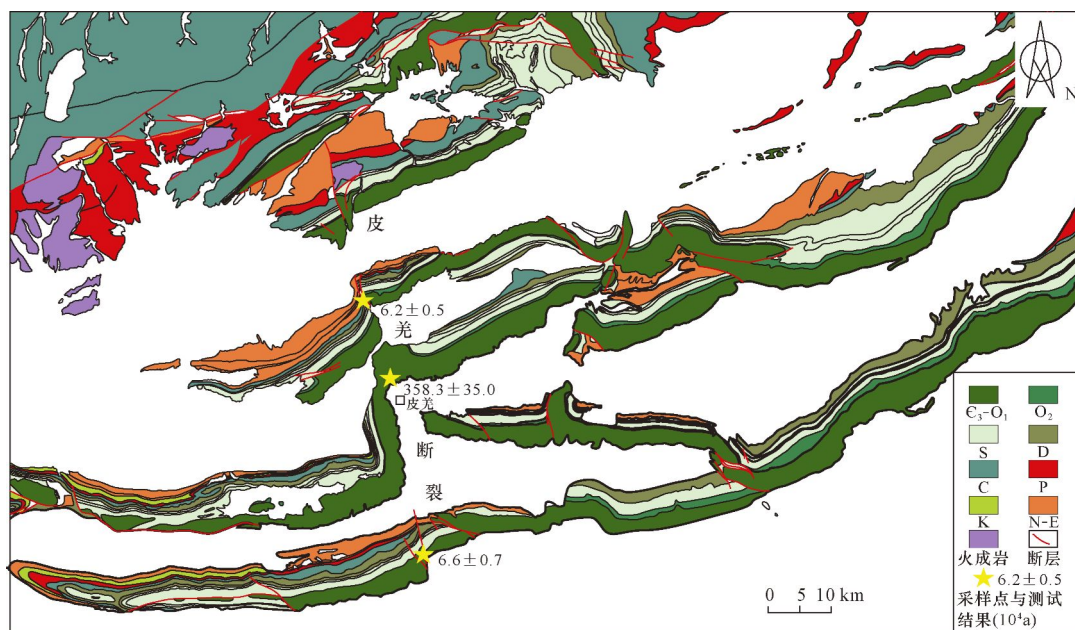


图1 塔里木盆地柯坪地区地质图

Fig. 1 Geological map of Keping area in the Tarim Basin

2 皮羌断裂 ESR 采样位置

PQ-32-1 样品取自皮羌村以北, S306 国道 ($N40^{\circ}33.208'$, $E77^{\circ}34.616'$) 附近。此处为皮羌断裂向北延伸的出露点, 以两侧地层产状的突变为特征。断层核部地层破碎, 有大量方解石脉充填, 两侧地层陡立 (图 2)。

PQ-32-2 样品取自皮羌村采矿场以北 ($N40^{\circ}23.981'$, $E77^{\circ}37.016'$), 萨尔干山口处, 皮羌断裂断层带破碎强烈, 在流水作用下形成冲沟。断裂带内部地层陡立, 充填了大量的方解石脉, 并可见辉绿岩侵入, 断裂带内部石炭系灰岩受热动力变质作用而发生大理岩化 (图 3)。断裂带两侧地层发生揉皱, 具有多期褶皱的特点。

皮羌断裂南段位于皮羌村南部, 断裂带内可见寒武系、奥陶系、志留系、泥盆系和石炭系。断层两侧地层的拖拽现象明显, 越接近断层, 地层走



图 2 皮羌石炭系产状突变点 (断层核部)

Fig. 2 Occurrence discontinuity of the Carboniferous in the Piqiang fault (core of the fault)



图 3 皮羌断层北段石炭系灰岩大理岩化

Fig. 3 Marbleization of the Carboniferous limestone in the northern part of the Piqiang fault



图 4 皮羌断层北段断层破碎带

Fig. 4 Fractured zone in the northern part of the Piqiang fault

向越趋近于断层走向, 地层倾角增大, 甚至直立倒转, 最终卷入到破碎带中 (图 4)。

PQ-44-1 样品取自皮羌断裂南端, 乌喀公路 1 275 km 处, 柯坪推覆体前缘破碎处 ($N39^{\circ}54.403'$, $E77^{\circ}46.314'$)。皮羌断裂向南延伸, 切过柯坪塔格推覆体前缘进入塔里木盆地内部。皮羌断裂在该处仍表现为一个断裂带, 断裂带内部地层破碎强烈, 节理发育, 充填有许多方解石脉, 断裂带两侧地层产状相差较大。

3 ESR 年代学样品测试与分析

运用电子自旋共振 (ESR) 方法测试断裂带活动规律已得到众多学者的认可^[9-11], 该方法在针对断裂带晚期活动年代学的测试上, 具有样品制备以及精度方面的优势。

3.1 碳酸钙 (方解石) 电子自旋共振测年实验依据

碳酸钙分子由负二价碳酸根离子 [CO_3^{2-}] 与钙离子结合而成。在碳酸根基团内部, C—O 共价键形成一个较稳固的基团, 而在碳酸钙分子中碳酸根与 Ca 彼此以离子键方式连结。碳酸钙晶胞内的碳酸根离子 [CO_3^{2-}] 基团在 γ, β, α 射线轰击下能发生位移从而形成大量负二价的碳酸根离子 [CO_3^{2-}] 空位。由于岩石中存在大量的自由电子, 一个负二价的碳酸根离子 [CO_3^{2-}] 空位可以捕获一个自由电子, 产生一个顺磁中心。碳酸钙结晶年龄越老, 岩石中放射性越强 (以年剂量度量), 则单位质量的碳酸钙样品的顺磁中心个数 (顺磁中心浓度或古剂量) 越多。如果碳酸钙自结晶之后没有经受较强烈的构造作用 (热作用), 则测定出的古剂量及岩石本

身产生的年吸收剂量之后即可得到其结晶年龄。

实验指出,如果碳酸钙在结晶之后的某个时间经受了强烈的构造作用(热作用),并且 ESR 样品取自构造强烈活动部位(如明显的断裂破碎带、断面擦痕处等),在该地质构造作用之前积累的顺磁中心浓度可丧失殆尽,此种情况下样品反映出的年龄为该构造活动的年龄。另外,在一些地区的断层处的裂缝中包含次生的碳酸钙,这类次生的碳酸钙是构造活动之后所充填形成,此时 ESR 样品给出的年龄可以认为是强烈构造活动年龄的上限,即构造活动年龄不小于矿物形成年龄。

3.2 样品处理流程

样品自然风干后,粉碎至 0.20~0.125 mm 以下粒度,用 KJD-2000N 低本底伽马仪和微机数据采集系统测定 α 和 γ 天然放射性,同时进行含水量校正。

分选出 0.125、0.20、0.45 mm 粒度的单矿物样品,每份质量 120 mg,在钴-60 辐射场中进行吸收量辐照,用重铬酸钾和丙氨酸剂量计进行吸收剂量监测,丙氨酸剂量计由中国计量科学研究院颁布。

经过辐照的样品需要冷却一周,然后用 ER-200D-SRC 电子自旋共振仪定其古剂量值。

3.3 样品采集及数据分析

本次测试 ESR 样品分别取自皮羌断裂北段、中段、南段,具体位置参见图 1,样品分别为来自断

表 1 皮羌断裂方解石 ESR 样品测试结果

Table 1 ESR testing results of calcite samples from the Piqiang fault

样品编号	岩性	古剂量/ (10^{-4} T)	年剂量/ (10^{-7} T)	年龄/(10^4 a)
PQ-32-1	方解石	58.3	0.973	6.2 ± 0.5
PQ-32-2	方解石	3192.6	0.891	358.3 ± 35.0
PQ-44-1	方解石	50.9	0.775	6.6 ± 0.7

裂带内近垂直发育的方解石脉。

测试发现,方解石样品在 $g = 2.0062 - 2.0020$ 处具有碳酸钙电子自旋共振信号。此时对古剂量值进行测定并得出方解石脉在后期构造变动时的年龄,受 ESR 电子自旋共振实验精度本身制约,样品年代学精度控制在 $\pm 10\%$ 以内(表 1;图 5)。

4 结论

1) 皮羌断裂晚期活动的具体时间分别为:北段 $(6.2 \pm 0.5) \times 10^4$ a,中段 $(358.3 \pm 35.0) \times 10^4$ a 与南段 $(6.6 \pm 0.7) \times 10^4$ a。从 ESR 电子自旋共振原理分析可知,后期的构造活动与热事件会改变样品电子自旋共振属性,因此皮羌断裂可记录的晚期活动年代截止于上述时间段。皮羌断裂后期仍有活动,例如近年来地震台网数据显示,阿合奇-皮羌地区深部仍有小规模地震活动^[12],但活动强度不足以改变矿物的 ESR 年龄。

2) ESR 数据另一个信息揭示出皮羌断裂在晚期 $[(6.2 \sim 6.6) \times 10^4$ a] 活动时,作为一个整

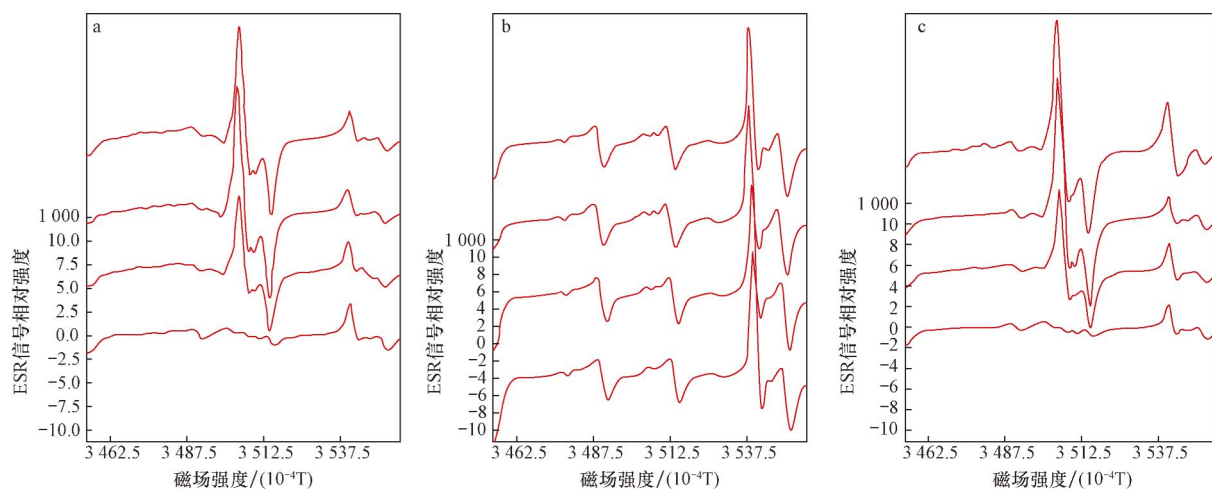


图 5 方解石样品 ESR 信号强度曲线

Fig. 5 Curves showing the ESR signal intensity of calcite samples

a. PQ-32-1; b. PQ-32-2; c. PQ-44-1

体,南北段同步活动,虽然从卫星遥感图片解译,该断裂在南北段存在差异活动特点,但是晚期活动在时间上仍具有一致性。而皮羌断裂中段地区方解石脉测试结果为 $(358.3 \pm 35.0) \times 10^4$ a,并没有记录到晚期 $[(6.2 \sim 6.6) \times 10^4$ a]活动所带来的电子自旋共振的变化信息。这种现象表明:柯坪隆起存在原地体晚期垂向弧形隆升的过程。皮羌断裂南北两端断距明显小于断裂中段断距,说明在断裂南北两端断距受到调整。而二者在活动年代上的一致性支持了这种假设。原地体弧形隆升,断裂带中段呈现垂向调节性质,整体垂向向上抬升,断距未发生明显变化,活动能力较弱;而断裂两端以水平走滑调节性质为主,断距明显发生变化,活动能力较强。因此断裂带两端能够记录晚期的构造活动时间 $(6.2 \sim 6.6) \times 10^4$ a,而中段只能记录早期的 $(358.3 \pm 35.0) \times 10^4$ a。

致谢:向在成文过程中给予帮助的吕修祥老师,在 ESR 测试过程中给予指导的梁兴中老师,以及在野外工作中给予协助的赵钊、杨勇等人,一并表示衷心的感谢。

参 考 文 献

- [1] Sobel E R, Chen J, Heemance R V. Late Oligocene-Early Miocene initiation of shortening in the southwestern Chinese Tian Shan: Implications for Neogene shortening rate variations[J]. *Earth and Planetary Science Letters*, 2006, 247: 70–81.
- [2] Hendrix M S, Dumitru T A, Graham S A. Late Oligocene-Early Miocene unroofing in the Chinese Tian Shan: An early effect of the India-Asia collision[J]. *Geology*, 1994, 22: 487–490.
- [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): 201–207.
Yang Geng, Shi Xin, Jia Chengzao, et al. Spatial relationship between Piqiang fault and Selibuya fault in Keping-Bachu district, northwest Tarim basin[J]. *Uranium Geology*, 2008, 24(4): 201–207.
- [4] 方成名,黄泽光,段铁军,等.中国中西部盆地差异构造演化与碎屑岩层系油气聚集分布[J]. *石油与天然气地质*, 2012, 33(4): 571–577.
Fang Chengming, Huang Zeguang, Duan Tiejun, et al. Differential tectonic evolution and hydrocarbon distribution in clastic strata of petroliferous basins in central-western China[J]. *Oil & Gas Geology*, 2012, 33(4): 571–577.
- [5] 张仲培,刘士林,杨子玉,等.塔里木盆地麦盖提斜坡构造演化及油气地质意义[J]. *石油与天然气地质*, 2011, 32(6): 909–919.
Zhang Zhongpei, Liu Shilin, Yang Ziyu, et al. Tectonic evolution and its petroleum geological significances of the Maigaiti Slope, Tarim Basin[J]. *Oil & Gas Geology*, 2011, 32(6): 909–919.
- [6] 楼仁兴,董清水,聂辉,等.塔里木盆地巴楚-麦盖提地区志留-泥盆纪岩相古地理特征及其油气勘探前景[J]. *石油实验地质*, 2011, 33(6): 580–586.
Lou Renxing, Dong Qingshui, Nie Hui, et al. Lithofacies-Paleogeography and petroleum exploration potential in Silurian-Devonian, Bachu-Maigaiti region, Tarim Basin[J]. *Petroleum Geology & Experiment*, 2011, 33(6): 580–586.
- [7] 孟庆强,朱东亚,解启来,等.塔中和巴楚地区深部流体活动控制因素及有利区预测[J]. *石油实验地质*, 2011, 33(6): 597–601.
Meng Qingqiang, Zhu Dongya, Xie Qilai, et al. Controlling factors for deep fluid activity and prediction of positive effect area in middle Tarim and Bachu regions[J]. *Petroleum Geology & Experiment*, 2011, 33(6): 597–601.
- [8] 李德东,罗照华,黄金香,等.皮羌盆地新生代基性岩浆活动的年代学及其地质意义[J]. *地学前缘*, 2009, 16(3): 270–281.
Li Dedong, Luo Zhaohua, Huang Jinxiang, et al. The chronological and geological implications of the Cenozoic basic magmatic activities in Piqiang Basin, Xinjiang, China[J]. *Earth Science Frontiers*, 2009, 16(3): 270–281.
- [9] 张宇,潘金花,刘畅,等.新甘交界北山地区大泉断裂走滑特征及 ESR 测年证据[J]. *北京大学学报:自然科学版*, 2008, 3(1): 59–66.
Zhang Yu, Pan Jinhua, Liu Chang, et al. Electron spin resonance dating and strike-slip characteristics of the Daquan fault in the Beishan area on the Border between Xinjiang and Gansu Province[J]. *Acta Scientiarum Naturalium Universitatis Pekinensis*, 2008, 3(1): 59–66.
- [10] 贾丽,鲍继飞,尹功明,等.方解石脉 ESR 定年信号和测量条件的研究[J]. *地震地质*, 2006, 28(4): 668–674.
Jia Li, Bao Jifei, Yin Gongming, et al. Study on ESR signal centers and measurement conditions for dating of calcite[J]. *Seismology and Geology*, 2006, 28(4): 668–674.
- [11] 黄培华.用电子自旋共振(ESR)测年法测定断层活动年代的探讨[J]. *地震地质*, 1994, 16(3): 269–274.
Huang Peihua. Study on electron spin dating of fault resonance (esr) movement[J]. *Seismology and geology*, 1994, 16(3): 269–274.
- [12] 杨成荣,吴传勇,聂晓红.2009年4月19日新疆阿合奇5.4级地震[J]. *内陆地震*, 2010, 24(4): 315–322.
Yang Chengrong, Wu Chuanyong, Nie Xiaohong. Study on Aheqi 5.4 earthquake in Xinjiang on Apr. 19, 2009[J]. *Inland Earthquake*, 2010, 24(4): 315–322.