

文章编号: 1009-3850(2004)01-0056-06

吐鲁番坳陷北部山前带地质热历史 ——磷灰石裂变径迹法研究实例

金 玮¹, 柳益群², 王成善¹

(1. 成都理工大学 地球科学学院, 四川 成都 610059; 2. 西北大学 地质系, 陕西 西安 710069)

摘要: 笔者应用磷灰石裂变径迹法对吐鲁番坳陷北部山前带的地质热历史进行了综合研究。重点对恰 1 井、照 2 井、大步 1 井的裂变径迹测试结果进行研究, 得出北部山前带总体上磷灰石裂变径迹表观年龄随温度增高而逐渐减小, 北部山前带的地温梯度古高今低和东高西低的认识。研究结果表明, 三叠纪、侏罗纪的烃源岩在侏罗纪开始成熟, 两套烃源岩均在侏罗纪末期达生烃高峰, 从而得出北部山前带可成为油气勘探可选区的结论。

关键词: 吐鲁番坳陷; 磷灰石裂变径迹; 地温梯度; 烃源岩; 新疆

中图分类号: P631.6⁺21

文献标识码: A

沉积盆地的地质热历史是当今地学领域重要而活跃的课题, 对于含油气盆地尤其如此^[1]。运用磷灰石裂变径迹研究地质热历史是一个行之有效的办法。裂变径迹技术对于解释和定量模拟以烃源岩为目的的沉积盆地的热历史是一种新的尝试, 这种方法能有效的确定地层经历的最高温度, 而且可以同时给出地温变化的时代信息^[2]。磷灰石裂变径迹的退火温度为 70~125℃, 能够有效地反映油气生成等重要的石油地质古地温^[3], 因而在盆地热史对油气的影响研究方面以及沉积盆地分析方面有其独特的优势。

1 吐哈盆地地质演化

博格达山是由准噶尔-吐哈微板块内火山裂陷槽演化而来, 主体表现为石炭纪和二叠纪地层向南和向北逆冲推覆, 呈正扇形结构; 博格达山构造区的推覆构造影响范围很大, 推测推覆距离已经超过 15~20km, 局部构造发育, 变形强烈, 形成时间较

晚^[4]。博格达山西南与依连哈比尔比尕山构造带呈雁列相连, 东北则与喀尔里克山构造带斜列相连(图 1)。

晚石炭世—早二叠世, 博格达山进入裂陷活动的伸展时期, 形成受正断层所控制的近东西向裂陷槽, 并伴随有一定程度的火山喷发和岩浆活动^[4]。裂陷槽轴部主要为深水—半深水火山碎屑浊积岩, 两侧发育浅水碳酸盐岩台地和陆架风暴沉积。南侧主断裂应为火焰山断层, 北侧主断裂应为阜康断层。晚二叠世开始, 裂陷槽的地堑构造格局已逐渐消失, 形成相互连通的陆架盆地。三叠纪发育超覆型大型湖相沉积。三叠纪后吐哈盆地进入广盆形成阶段, 逐渐演化为北深南浅、北断南超的箕状盆地^[5]。中侏罗世以来, 盆地西北侧的喀拉乌成山剧烈隆升, 在坳陷西部形成布尔加凸起及依拉湖-肯德克高台阶带, 北部凹陷带成为吐哈盆地的主体沉降带。伴随着博格达山的隆升, 开始进入类前陆盆地阶段^[7,8]。这一时期北部博格达山自北向南冲掩, 沉积中心位

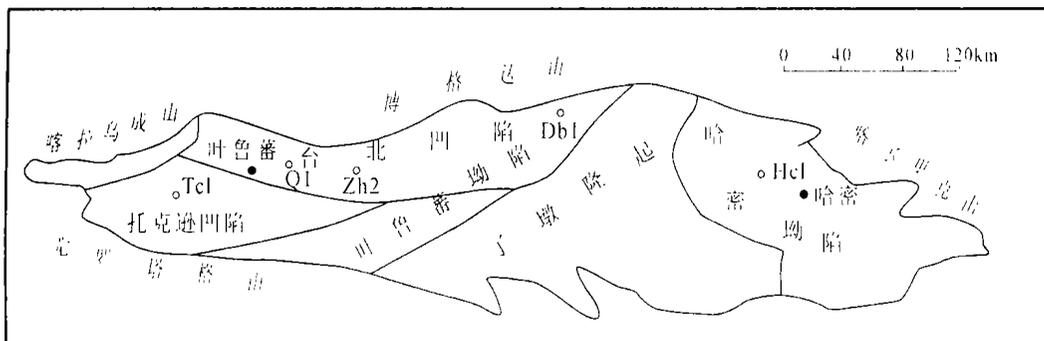


图1 吐鲁番拗陷北部山前带构造简图及井位图(据文献^[9]修改)

Q₁, 恰1井; Zh₂, 照2井; Db₁ 大步1井; Tc₁, 托参1井; Hc₁, 哈密1井

Fig. 1 Generalized tectonic map and well location in the northern piedmont zone of the Turpan depression, Xinjiang (modified from Tong Chongguang, 1999)

Q₁= Qia-1 well; Zh₂= Zhao-2 well; Db₁= Dabu-1 well; Tc₁= Tuocan-1 well; Hc₁= Harcan-1 well

于北部山前。台北凹陷为沉降中心, 因而成深湖相沉积, 其北侧随着博格达山的不断隆升, 除发育山前大型逆冲断裂带外, 还使中、新生界普遍发生向南节节断降的断阶和褶皱, 总体走向东西, 表现出北部山前带褶皱固有的活动特点^[9, 10]。吐哈盆地自二叠纪以来是一个由热向冷变化的盆地^[11], 北部山前带也不例外。

2 磷灰石裂变径迹方法原理

磷灰石裂变径迹法在沉积盆地分析中得以应用和发展的基础就是裂变径迹的退火特性。影响裂变径迹稳定性的诸多物理、化学因素中, 温度是最重要的, 其他因素可以忽略^[1]。所有矿物中的裂变径迹都具有随温度增加而径迹密度减少和径迹长度缩短直到其完全消失为止的特性, 这一特性称为退火。从原理上可以这样认为^[1]: 裂变径迹是矿物中²³⁸U自发裂变的产物, 它是裂变碎片在矿物晶体中入射而留下的辐射损伤。加热给受到辐射损伤的晶格提供了能量, 促使被位移的原子返回到它原来的位置, 从而使辐射损伤不同程度的愈合, 径迹密度减小, 即径迹长度、表观年龄随之减少, 直至为零。在几千万年时间里, 磷灰石裂变径迹退火带为70~125℃, 此温度范围与生油窗吻合。目前正处于最大埋藏温度的地层岩石, 在裂变径迹年龄(*t*)和温度(*θ*)图上存在3个带^[12]: ①未退火带, 径迹尚未受到退火作用, 此带*t*值总是大于或等于地层的沉积年代; ②部分退火带, 径迹开始受到退火作用, *t*值逐渐减小并趋于零; ③完全退火带, 径迹消失, *t*值等于零。如果地层在达到最大埋藏温度之后冷却下来, *t*-*θ*图上

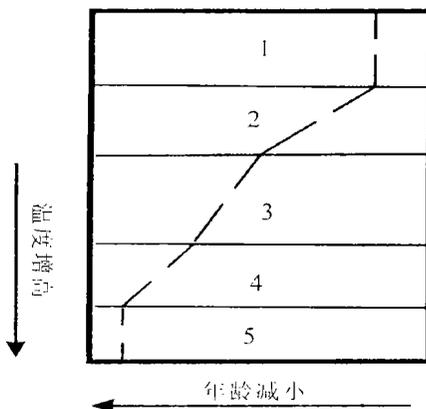


图2 受到一次退火后的磷灰石裂变径迹年龄与温度关系及分布图(据文献^[13]修改)

1. 未退火带; 2. 部分退火带; 3. 冷却带; 4. 部分退火带; 5. 完全退火带

Fig. 2 Plot showing the relationship between the apatite fission track ages and temperatures after the first-phase annealing (modified from Green et al., 1986)

1= unannealed belt; 2= locally annealed belt; 3= cooling belt; 4= locally annealed belt; 5= completely annealed belt

应出现5个带(图2): ①未退火带; ②部分退火带; ③冷却带, 认为地层达到最大埋藏温度, 径迹完全退火后, 受到冷却, 又产生出新的径迹, 并指出此带*t*值、*t*-*θ*曲线的斜率以及厚度可以提供冷却事件发生的时间、速率及地层抬升量方面的信息; ④部分退火带, 冷却事件之后产生的新径迹与冷却之前可能存在的老径迹又受到退火作用, *t*值减小并趋于零; ⑤完全退火带。综合不同学者^[12, 13]提出的退火模型及将实验室退火的时间和温度关系外推到地质时

间,得到了适用于地质时间内矿物裂变径迹退火程度(r)、加热时间(t)及古地温(T)之间的关系:

$$\{[(1-r^{2.7})/2.7]^{0.35}-1\}/0.35=-4.87+0.000168T(\ln t+28.12)$$

根据实际测得的退火率,选择合适的有效加热时间,就可以计算出有效加热时间内的古地温^[14]。

3 北部山前带的磷灰石裂变径迹特征及解释

根据北部山前带3口井(照2井、大步1井、恰1井)的磷灰石裂变径迹的分析,得知北部山前带属于缓慢冷却型年龄(仅有未退火带和部分退火带),反映了该区岩层仅经历了缓慢的低温退火过程,今退火带位置高于古退火带位置,表明由于燕山运动期间地层抬升剥蚀致使退火带位置变浅,说明古地温略高于今地温。

3.1 照2井的磷灰石裂变径迹特征

该井未钻穿上三叠统,缺失整个侏罗系,8个样品均采自上三叠统郝家沟组。浅部有5个样品的平均表观年龄(215Ma)与地层年龄(220Ma)基本一致(图3),表明该井段的磷灰石是由快速抬升侵蚀的

物源供给的,磷灰石继承的径迹很少,大多数径迹是在沉积以后形成的,属于未退火带,径迹长度为12.5 μ m左右。深部3个样品的平均表观年龄(170Ma)小于地层年龄(230Ma),表明在沉积以后的某个时期,所属地层随着埋深温度逐渐升高大部分径迹已退火,只是在燕山运动时由于地层遭受剥蚀,地层抬升,温度冷却到接近某个温度后才重新累积径迹,后又经部分退火,所以属于部分退火带,径迹长度为11.8 μ m左右。根据钻井资料,该区的现今退火带上限温度为61.2 $^{\circ}$ C,而按有效受加热时间计算出的退火带温度范围为88~148 $^{\circ}$ C,所以古地温高于今地温,古地温梯度为2.36 $^{\circ}$ C/100m。由该井的裂变径迹长度配分图(图3)可以看出浅部样品多数呈单峰,说明仅经历了一次热事件,而深部样品多呈双峰,说明经历了两次热事件(印支运动晚期或燕山运动早期)。

3.2 大步1井的磷灰石裂变径迹特征

该井遇有断层,表现为三叠系覆盖在侏罗系之上。图4中样品深度为经断层校正后的深度。裂变径迹结果分析显示浅部样品的裂变径迹平均表观年龄(180Ma)与地层年龄基本一致,径迹长度为12 μ m

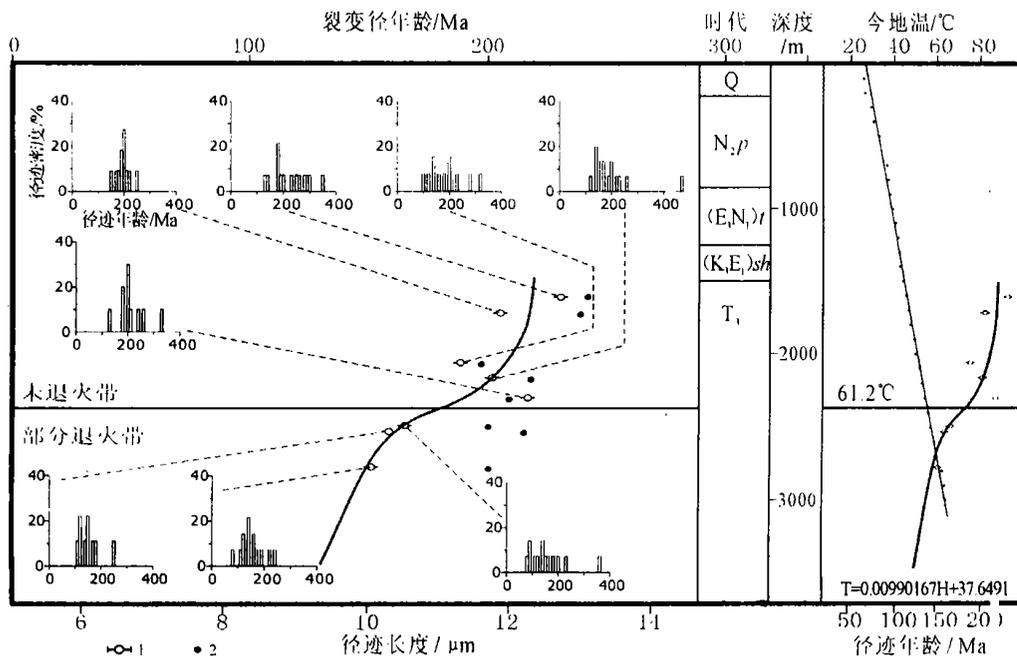


图3 照2井裂变径迹年龄、径迹长度分布及退火带位置展布图(据柳益群等,2000,有修改)

(坐标位置根据裂变径迹年龄或径迹长度与深度确定,下同)

1. 裂变径迹年龄; 2. 裂变径迹长度

Fig. 3 Distribution of the fission track ages, fission track lengths and annealed belts in the Zhao-2 well (modified from Liu Yiqun et al., 2000)

1= fission track age; 2= fission track length

左右,属于未退火带;深部样品的裂变径迹表观年龄(151Ma)小于地层年龄(235Ma),径迹长度为 $11.5\mu\text{m}$ 左右,属于部分退火带。据钻井资料,3个样品的现今温度为 $40.55\sim 53.4^\circ\text{C}$,说明样品的退火是在断层发生之前达到的,而断层发生在燕山运动中晚期^[4],所以径迹的退火是在燕山运动中晚期前,三叠系、侏罗系烃源岩在侏罗纪末进入成熟阶段。该区现今退火带的上限为 84°C ,按有效受热时间 62.4Ma 计算出的退火带温度为 $88\sim 149^\circ\text{C}$,说明古地温高于今地温,古地温梯度为 $2.67^\circ\text{C}/100\text{m}$ 。由该井的裂变径迹长度分配图(图4)可以看出3个样品径迹分布呈双峰,说明该区至少经历了两次热事件,但后期的对前期的影响不大。

3.3 恰1井的磷灰石裂变径迹特征

该井的磷灰石裂变径迹特征(图5)显示,浅部3个样品的平均表观年龄(220Ma)大于地层年龄,径迹长度为 $11.4\mu\text{m}$ 左右,属于未退火带,由于径迹的年龄具有随深度变浅而变小的趋势,说明未退火带内地层可能发生了重复,应代表一次新的构造事件的发生(燕山运动);深部2个样品的裂变径迹表观年龄(70Ma、140Ma)均小于地层年龄,径迹长度为 $9\mu\text{m}$ 左右,属于部分退火带。根据钻井资料得知现

今退火带上限温度为 61.2°C ,而按有效受热时间计算出的退火带温度范围为 $65\sim 115^\circ\text{C}$,说明古地温高于今地温,古地温梯度为 $2.97^\circ\text{C}/100\text{m}$ 。由该井的裂变径迹长度分配图(图5)可看出样品径迹分布呈单峰,说明本井区仅经历了一次热事件。恰1井的地温特征应代表了侏罗纪末期山前断裂带发育地区的地质热历史。

上述资料表明,吐鲁番坳陷北部山前带与吐哈盆地具有相似的演化特征。北部山前带受燕山运动的影响较大,侏罗纪末期地温梯度增大。该地区三叠纪、侏罗纪的烃源岩多在侏罗纪达到成熟,聚集在晚燕山运动形成的圈闭中。

4 结 论

- (1) 磷灰石裂变径迹测定结果表明北部山前带为持续埋藏增温型凹陷。
- (2) 北部山前带地温梯度表现为古地温梯度高于现今地温梯度,古地温高于今地温,区域上古地温具有东高西低的特点。
- (3) 磷灰石裂变径迹长度分布多呈单峰,表明山前带以一次热事件为主,且温度不高,仅达到轻微退火,大步1井呈双峰,说明有过两次热事件。

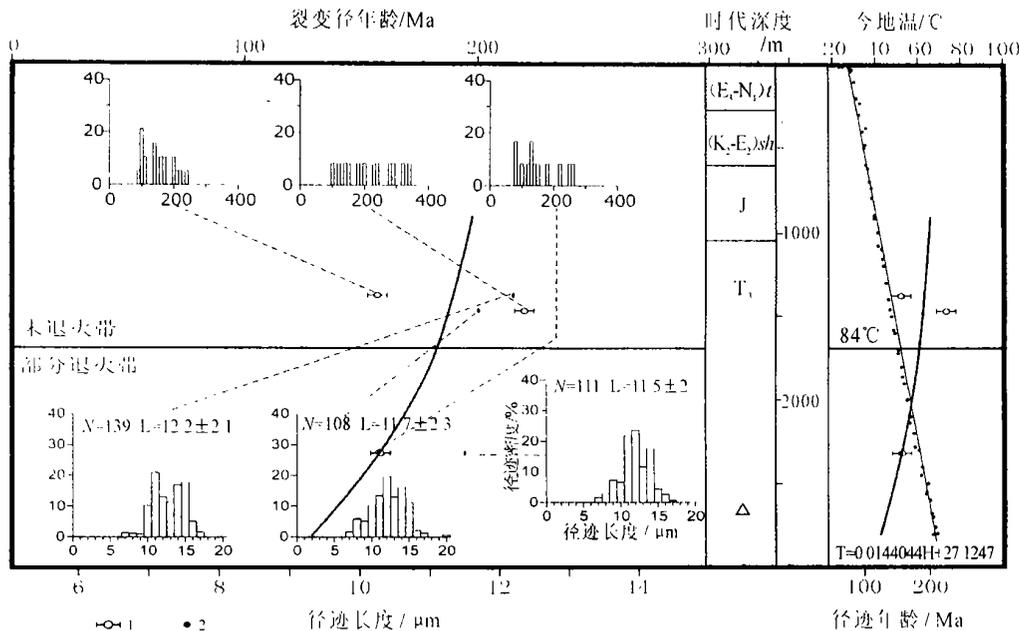


图4 大步1井裂变径迹年龄、径迹长度分布及退火带位置展布图(据柳益群等,2000,有修改)

1. 裂变径迹年龄; 2. 裂变径迹长度; N. 裂变径迹数; L. 平均径迹长度

Fig. 4 Distribution of the fission track ages, fission track lengths and annealed belts in the Dabur-1 well (modified from Liu Yiquan et al., 2000)

1= fission track age; 2= fission track length. N= fission track number; L= mean fission track length

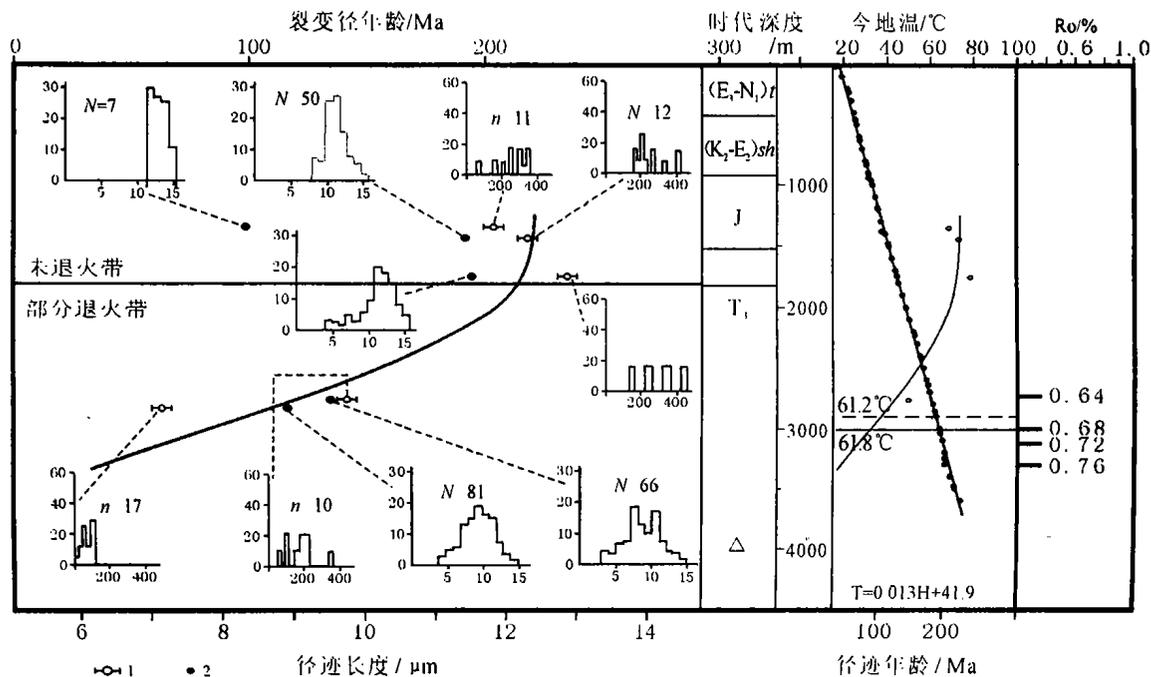


图5 恰1井裂变径迹年龄、径迹长度分布及退火带位置展布图(据柳益群等,2000,有修改)

1. 裂变径迹年龄; 2. 裂变径迹长度; N. 裂变径迹数; n. 磷灰石颗粒数

Fig. 5 Distribution of the fission track ages, fission track lengths and annealed belts in the Qia-1 well (modified from Liu Yiqun et al., 2000)

1=fission track age; 2=fission track length. N=fission track number; n=apatite grain number

(4) 北部山前带的的烃源岩自三叠纪末依次进入成熟期,并在侏罗纪末达生烃高峰。只要存在好的圈闭,就会形成油气聚集带,所以北部山前带可成为油气的有利区段。

由于磷灰石裂变径迹生成的连续性,并有了较清楚的裂变径迹退火的动力学模型,所以裂变径迹热史分析在沉积盆地热史评价及油气勘探中显示出较其他热指标更多的优越性。

参考文献:

[1] 周中毅,潘长春. 沉积盆地古地温测定方法及其应用[M]. 广州: 广东科技出版社, 1993.
 [2] 柳益群,冯乔,等. 吐哈盆地吐鲁番坳陷二叠系三叠系含油气系统评价[M]. 西安: 西北大学出版社, 2000.
 [3] P. F. Green, I. R. Duddy, A. J. W. Gleadow, J. F. Lovering, 何会强译. 磷灰石裂变径迹分析——油气勘探的古地温指标[J]. 石油勘探开发情报, 1993, (5): 13—25.
 [4] 吕锡敏. 吐哈盆地构造特征与油气赋存[J]. 江汉石油学报, 2001, 23(2): 75—79.

[5] 董崇光. 新疆构造演化与吐哈盆地油气特征[J]. 成都理工学院学报, 1999, 26(1): 8—13.
 [6] 王昌桂,程克明,等. 吐哈盆地侏罗系煤成烃地球化学[M]. 北京: 科学出版社, 1998.
 [7] 杨明慧,刘池洋. 中国中西部类前陆盆地特征及含油气性[J]. 石油及天然气地质, 2000, 21(1): 46—49.
 [8] 袁明生,牛仁杰,焦立新,等. 吐哈盆地前陆冲断带地质特征及勘探成果[J]. 新疆石油地质, 2002, 23(5): 376—379.
 [9] 新疆油气区石油地质志编写组. 中国石油地质志(卷15)·塔里木、吐哈及其它主要盆地[M]. 北京: 石油工业出版社, 1995.
 [10] 柳益群,吴涛,等. 新疆吐鲁番—哈密盆地的古地温梯度及地质热历史[J]. 中国科学(D辑), 1997, 27(5): 431—436.
 [11] 田在艺,张庆春. 中国含油气岩相古地理与油气[M]. 北京: 地质出版社, 1997.
 [12] LASLETT G M, GREEN P F et al. Thermal annealing of fission tracks in apatite. 2. A quantitative analysis [J]. Chemical Geology (Isotope Geoscience Section), 1987, 65(1): 1—13.
 [13] GREEN P F et al. Thermal annealing of fission tracks in apatite. 1. A qualitative description [J]. Chemical Geology (Isotope Geoscience Section), 1986, 59(1): 237—253.
 [14] 高峰,王岳军,等. 利用磷灰石裂变径迹研究鄂尔多斯盆地西缘热历史[J]. 大地构造与成矿学, 2000, 24(1): 87—91.

The application of the apatite fission track dating to the geothermal history in the northern piedmont zone of the Turpan depression, Xinjiang

JIN Wei¹, LIU Yi-qun², WANG Cheng-shan¹

(1. Chengdu University of Technology, Chengdu 610059, Sichuan, China; 2. Northwestern China University, Xi'an 710069, Shaanxi, China)

Abstract: The geothermal history in the northern piedmont zone of the Turpan depression is treated by using the apatite fission track dating, with the emphasis on the Qia-1, Zhao-2 and Dabu-1 wells. The analyses show that the apatite fission track apparent ages are generally decreased with the increase of temperatures, and that the geothermal gradients display the trend of being higher in ancient times and lower in modern times, and higher in the eastern part and lower in the western part of the piedmont zone. The Triassic and Jurassic source rocks got matured during the Jurassic and went up to the maximum hydrocarbon production during the latest Jurassic. It follows that the northern piedmont zone of the Turpan depression may be selected as a prospective area of oil and gas.

Key words: Turpan depression; apatite fission track dating; geothermal gradient; source rock; Xinjiang

资料简介

贵州白市幅(H-49-39-B)、远口幅(H-49-39-D)1:5万化探报告

行政区域: 贵州省黔东南州天柱县、锦屏县

完成单位: 成都地质矿产研究所

内容简介: 测区工作面积为 917.8km², 在原 1:20 万区域化探所发现金异常区布置每平方米采 8 件样, 其余地区采 4 件水系沉积物样, 经三级质量检查质量可靠。Au、As、Hg、Sb、Ag 等元素均作了分析, 较好地反映了工作区的实际情况。经工作后, 查明了工作区水系沉积物中元素分布和浓集特征以及各主要地层单元的基本地球化学参数, 圈定金异常 30 处。综合元素异常 10 处, 划分找矿远景区 7 处, 进一步缩小了找矿靶区, 基本查明区内金矿以种类型产出: 一是石英脉型; 二是赋存于过渡性剪切带中的构造蚀变型金矿; 三是砂金矿。并指出几个金远景区。

(由中国地质调查局西南资料分馆提供)