

吐格尔明背斜核部片岩的年代学与构造意义

何登发¹ 樊 春¹ 雷刚林² 袁 航¹ 李 涤¹ 常秋生³

(1.海相储层演化与油气富集机理教育部重点实验室,中国地质大学(北京) 100083;2.中国石油塔里木油田公司勘探开发研究院,新疆 库尔勒 841000;3.中国石油新疆油田公司勘探开发研究院,新疆 克拉玛依 834000)

摘要:盆地基底是制约盆地形成演化与构造变形的关键因素之一,研究盆地基底是剖析盆地构造特征的重要途径。塔里木盆地北部处于负磁异常区,推测其基底为变质沉积岩。本文对这一推断利用塔里木盆地北部库车坳陷吐格尔明背斜核部出露的元古宙片岩进行了锆石 U-Pb 年代学和岩石地球化学研究。研究表明,片岩中锆石的 $^{206}\text{Pb}/^{238}\text{U}$ 年龄集中在 $(775.3 \pm 5.8) \text{ Ma} \sim (787.1 \pm 6.8) \text{ Ma}$, 表明它们形成于新元古代早期,代表约 800 Ma 发生的晋宁运动,这一构造事件形成了塔里木盆地北部的基底。片岩 SiO_2 含量大于 70%, 长英质组分含量高, Al_2O_3 、 K_2O 富集; 稀土元素总量 (ΣREE) 平均为 166×10^{-6} , 稀土元素配分曲线呈微右倾型, 具有弱的负 Eu 异常; 高场强元素 Ta、Nb、Ti 等具有负异常, 大离子亲石元素 Rb、Ba 等具有正异常。通过原岩恢复, 判断该变质岩是一套由石英砂岩类变质形成的副变质岩。这与塔北航磁异常特征吻合, 这种性质的基底强度较小, 在后期表现出构造沉降幅度大与构造变形强烈。

关键词:吐格尔明背斜; 片岩; U-Pb 定年; 副变质岩; 基底; 塔里木盆地

中图分类号: P597^{+.3} **文献标志码:** A **文章编号:** 1000-3657(2011)04-0809-11

盆地的基底性质对于研究盆地的构造变形行为, 盆地与周缘山系过渡转变的地球动力学背景与耦合方式^[1], 以及盆地盖层的油气地质条件与油气分布规律都非常重要。

塔里木盆地沿北纬 40° 一线分布着一条高磁异常带, 以其为界, 北侧为弱的负磁异常区, 南侧为北东向的正、负相间的强磁异常区, 这种结构特点被认为是南、北塔里木基底岩相的不同所致^[2,3]。塔里木北部平静宽缓的负磁异常被推测为元古宙副变质岩引起, 即认为塔里木北部基底为元古宙变质沉积岩。但这一推断由于沙漠覆盖, 探井也难以钻及, 一直没有得到直接验证。

目前在塔里木盆地西北缘的阿克苏附近发现了元古宙阿克苏群完整的蓝片岩-绿片岩系列^[4-6]; 在盆地东北缘的库鲁克塔格地区也相继发现了大量前寒武纪岩石, 特别是 3.3 Ga 片麻岩——托格拉克布拉克群杂岩的发现^[7], 肯定了库鲁克塔格地区发育

有太古宙岩石, 库鲁克塔格地区也因此被认为是新疆前寒武系出露最好的地区^[8-10]。但这些岩石组合尚难代表塔里木地块内部的基底构成特点。

在塔里木盆地北部的库车坳陷, 在吐格尔明背斜核部发育一套元古宙片岩, 这为研究塔里木北部的基底提供了有力的直接依据。因此, 开展其年代学和原岩恢复具有十分重要的意义。

1 地质背景

库车坳陷位于塔里木盆地北部, 为塔里木盆地内的一个二级构造单元, 走向北东东, 与南天山南缘相平行, 地处南天山造山带和塔北隆起之间。该坳陷北部以南天山山前断裂带为界, 南部以亚南断裂和温宿北断裂为界, 东西延伸约 600 km, 南北宽 10~70 km, 面积约 31200 km²。吐格尔明背斜呈北西—南东东向位于库车地区东部(图 1)。该背斜南、北翼中、新生代地层发育特征有所不同, 北翼三叠系

收稿日期: 2011-04-10; 改回日期: 2011-05-20

基金项目: 国家自然科学基金重点项目(40739906)和国家重点基础研究发展计划项目(2006CB202300)联合资助。

作者简介: 何登发, 男, 1967 年生, 教授, 博士生导师, 构造地质学与石油地质学专业, 长期从事沉积盆地构造分析与油气勘探研究工作;

E-mail: hedengfa282@263.net。

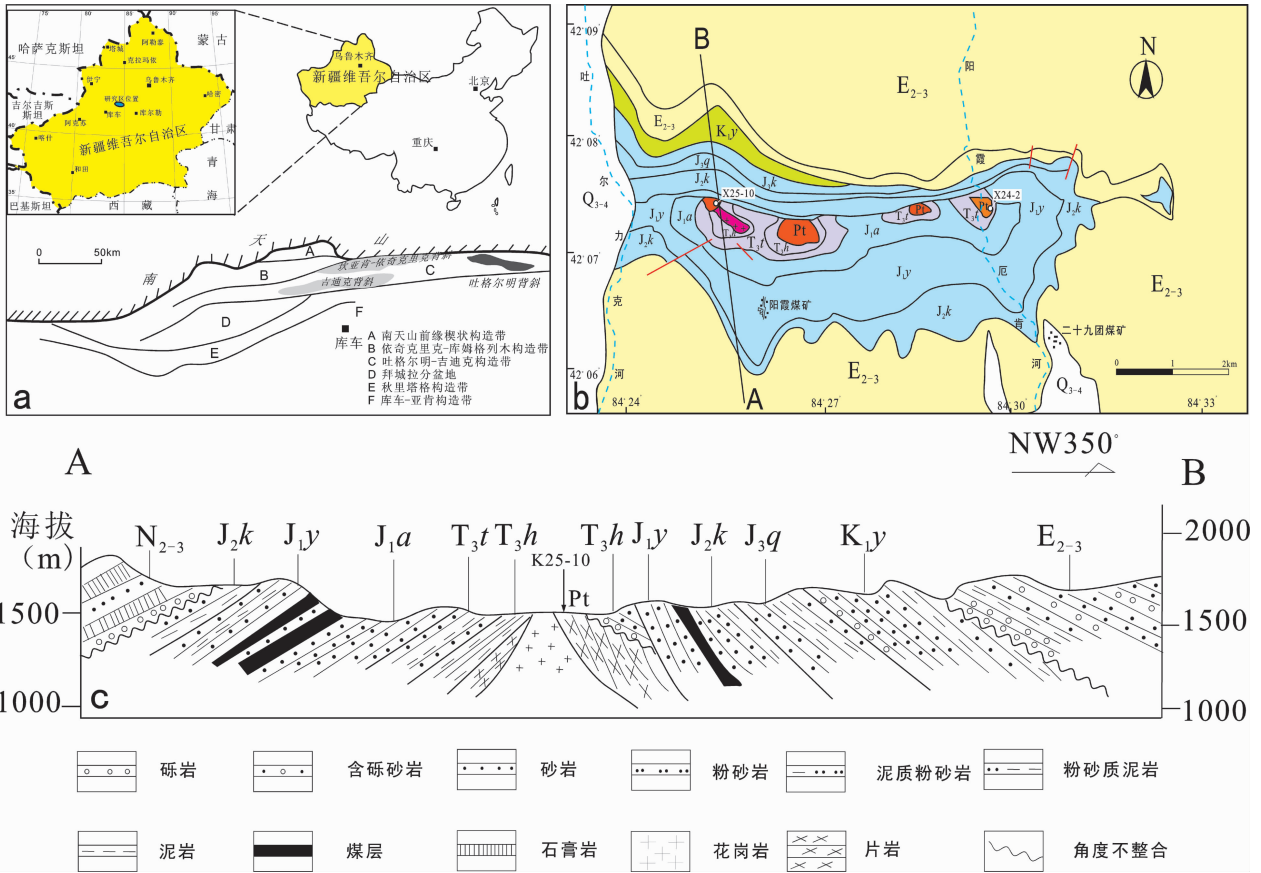


图 1 吐格爾明背斜核部片岩出露的地理位置(a)、吐格爾明背斜构造纲要图(b)及构造地质剖面(c)
 Pt—元古界; T_{3h}—上三叠统黄山街组; T_{3t}—上三叠统塔立其克组; J_{1a}—下侏罗统阿合组; J_{1y}—下侏罗统阳霞组; J_{2k}—中侏罗统克孜勒努尔组; J_{3q}—上侏罗统齐古组; J_{3q}—上侏罗统喀拉扎组; K_{1y}—下白垩统亚格列木组; E₂₋₃—始—渐新统苏维依组
 Fig.1 Location of schist at the core of Tugerming anticline(a), structural outline map of Tugerming anticline(b) and structural geological cross-section(c)

Pt—Proterozoic; T_{3h}—Upper Triassic Huangshanjie Formation; T_{3t}—Upper Triassic Taliqike Formation; J_{1a}—Lower Jurassic Ahe Formation; J_{1y}—Lower Jurassic Yangxia Formation; J_{2k}—Middle Jurassic Kezilielur Formation; J_{3q}—Upper Jurassic Qigu Formation; J_{3q}—Upper Jurassic Kalaza Formation; K_{1y}—Lower Cretaceous Yageliemu Formation; E₂₋₃—Eocene—Oligocene Suweiyi Formation

至第四系均发育,地层倾角为 45°~60°;南翼地层缺失中侏罗统上部至古近系,地层倾角为 30°~35°。背斜的核部出露元古宙片岩和原认为是海西期的花岗岩体。

2 吐格爾明背斜核部片岩锆石离子探针 U-Pb 同位素测年

2.1 锆石 U-Th-Pb 同位素分析样品特征及分析方法

整个塔里木盆地中的变质岩基底出露很少。在盆地北缘的库车坳陷中有小面积的片岩出露,具体位置在吐格爾明背斜核部的阳霞厄肯河以及西侧的阳霞煤矿一带(图 1),这为认识盆地基底的岩性特

征和年代学特征提供了条件。出露地层为元古宙云母石英片岩。岩石新鲜,风化较弱,内部构造变形强烈,小构造很发育,有石英脉穿插,也一起发生变形。片岩中有花岗岩侵入,上部被三叠纪碎屑岩角度不整合覆盖。在片岩中采集 2 个样品(X24-2 和 X25-10)进行锆石 SHRIMP U-Pb 年龄测试,位置见图 1。

锆石的 SHRIMP U-Th-Pb 同位素测定在北京离子探针中心的远程实验室进行。将待测样品的锆石晶体和产于澳大利亚的标样锆石样品 TEMORA^[35,36]一起制成样品靶,抛光至锆石中心部位暴露,进行可见光和阴极发光(CL)照像,以便在进行 SHRIMP 测定时,避开锆石晶体中的裂纹和包裹体而更合理地选择测点位置。详细的实验流程见

宋彪等^[13]的文章。用实测的 ²⁰⁴Pb 进行普通铅校正。每个数据点的年龄误差为 1σ 绝对误差,同位素比值误差为 1σ 相对误差。对于小于或者大于 1 Ga 的测定点,分别采用 ²⁰⁶Pb/²³⁸U 年龄或者 ²⁰⁷Pb/²⁰⁶Pb 年龄,年龄加权平均值为 95% 的置信度。

2.2 吐格爾明背斜核部片岩的年龄

样品 X24-2 采自阳霞厄肯河一带,锆石多为半自形柱状或等粒状,少数具有较好的长柱状晶形。该样品共进行了 19 个点的分析,结果见表 1、图 2-a 和图 3。锆石年龄集中分布在 3 个区间内(图 4): (771.6±5.5)Ma ~ (787.1±6.8)Ma, 其中 11.1、12.1、16.1 这 3 个最年轻的锆石 ²⁰⁶Pb/²³⁸U 年龄平均值为

(775.3±5.8)Ma; (1834 ± 35) Ma ~ (1948 ± 19)Ma; (2794 ± 15)Ma。800 Ma 左右的测点有 11 个。

(771.6±5.5) Ma ~ (787.1 ± 6.8)Ma 的颗粒环带发育,晶形自形程度高,为测点有岩浆成因锆石;在 1800~1900 Ma 的颗粒环带一般不发育,自形程度低,等粒状,有一定程度磨圆,应属于继承锆石。

样品 X25-10 采自阳霞煤矿一带,锆石多为半自形柱状或等粒状,少数具有较好的长柱状晶形。阴极发光图像显示部分颗粒有生长边,但厚度较小,无法测定。该样品共进行了 17 个点的分析,结果见表 1、图 2、图 5 和图 6。与样品 X24-2 相比,锆石年龄更分散,但在 800 Ma 左右也有一个峰值,共 10 个测

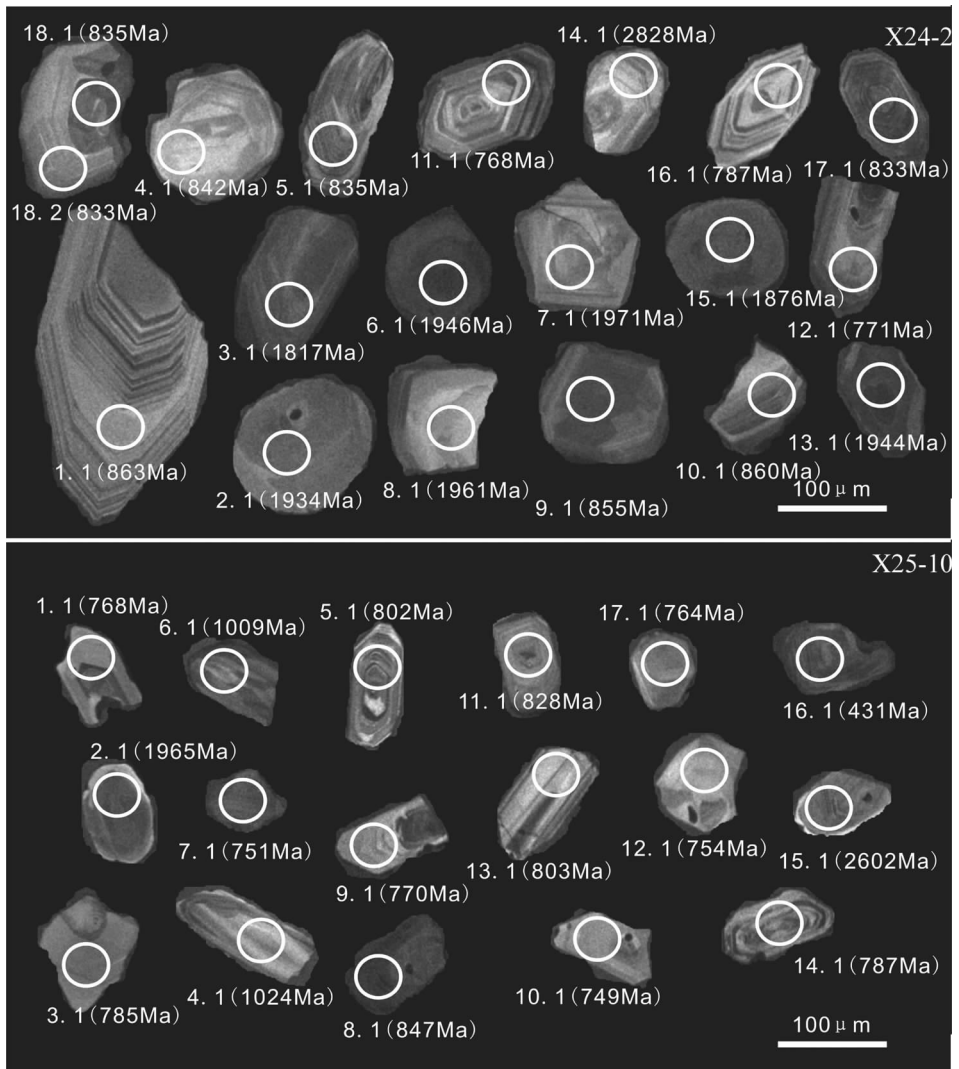


图 2 吐格爾明背斜核部片岩锆石特征、测试点位置和年龄

Fig.2 Zircon characteristics, test point position and age of schist from the core of Tugerming anticline

表 1 片岩(样品 X24-2, X25-10)中锆石 SHRIMP U-Pb 数据
Table 1 Zircon SHRIMP U-Pb data of schist (sample x24-2 and x25-10)

测定点 编号	²⁰⁶ Pbc /%	U /10 ⁻⁶	Th /10 ⁻⁶	²³² Th/ ²³⁸ U 比值	²⁰⁶ Pb* /10 ⁻⁶	²⁰⁷ Pb*/ ²⁰⁶ Pb* 比值	±%	²⁰⁷ Pb*/ ²³⁵ U 比值	±%	²⁰⁶ Pb*/ ²³⁸ U 比值	±%	²⁰⁶ Pb/ ²³⁸ U 年龄/Ma	误差	²⁰⁷ Pb/ ²⁰⁶ Pb 年龄/Ma	误差
X24-2															
1.1	0.67	76	18	0.24	9.43	0.0629	2.9	1.242	3.1	0.1433	1	863	±8.3	704	±62
2.1	0.08	126	60	0.49	37.9	0.11854	0.8	5.72	1.1	0.3499	0.75	1,934	±13	1,934	±14
3.1	0.38	67	54	0.83	18.9	0.1121	1.9	5.03	2.2	0.3256	1	1,817	±17	1,834	±35
4.1	0.64	70	36	0.53	8.44	0.0652	5.1	1.255	5.3	0.1396	1.1	842.1	±8.9	782	±110
5.1	0.27	249	89	0.37	29.7	0.06584	1.4	1.257	1.5	0.13842	0.55	835.7	±4.3	801	±29
6.1	0.04	272	233	0.88	82.4	0.11826	0.67	5.747	0.88	0.3525	0.56	1,946.30	±9.5	1,930	±12
7.1	0.22	87	112	1.33	26.9	0.1195	1.1	5.894	1.4	0.3578	0.86	1,972	±15	1,948	±19
8.1	0.5	52	52	1.04	16	0.117	1.7	5.74	2.1	0.3556	1.1	1,961	±19	1,911	±31
9.1	0.2	250	280	1.16	30.5	0.0672	2.1	1.315	2.2	0.14188	0.58	855.3	±4.6	844	±44
10.1	0.21	220	107	0.5	27.1	0.06668	1.4	1.314	1.5	0.14286	0.6	860.8	±4.8	828	±29
11.1	0.35	170	179	1.08	18.6	0.0642	2.9	1.12	3	0.12652	0.7	768	±5.1	748	±61
12.1	0.71	151	96	0.66	16.6	0.061	3.3	1.07	3.4	0.12714	0.75	771.6	±5.5	641	±71
13.1	0.02	407	291	0.74	123	0.11818	0.45	5.737	0.65	0.3521	0.46	1,944.50	±7.8	1,928.90	±8.1
14.1	0.16	89	46	0.53	42.1	0.1961	0.91	14.89	1.3	0.5508	0.95	2,829	±22	2,794	±15
15.1	0.11	136	128	0.97	39.7	0.114	0.89	5.314	1.2	0.3379	0.77	1,877	±13	1,865	±16
16.1	0.02	92	61	0.69	10.2	0.071	2.8	1.271	3	0.1299	0.92	787.1	±6.8	956	±57
17.1	0.02	608	211	0.36	72.2	0.06778	0.62	1.2904	0.71	0.13807	0.35	833.7	±2.8	862	±13
18.1	0.6	317	113	0.37	38	0.0675	1.9	1.288	2	0.13843	0.52	835.8	±4.1	853	±40
18.2	0.05	296	149	0.52	35.2	0.0684	0.8	1.305	1.1	0.1383	0.76	835.2	±6.0	881	±17
X25-10															
1.1	0.95	101	100	1.02	11.1	0.0629	4.4	1.098	4.5	0.1266	1	768.6	±7.4	705	±93
2.1	0.03	219	115	0.55	67	0.11817	0.49	5.807	0.72	0.3564	0.53	1,965.10	±9.0	1,928.70	±8.8
3.1	0.49	109	81	0.77	12.2	0.0635	5.6	1.135	5.7	0.1296	0.91	785.5	±6.8	725	±120
4.1	0.34	145	125	0.89	21.5	0.0732	2.5	1.74	2.6	0.1723	0.71	1,024.80	±6.7	1,021	±50
5.1	0.17	386	321	0.86	44.1	0.06682	1.2	1.222	1.3	0.13263	0.45	802.8	±3.4	832	±25
6.1	0.09	278	56	0.21	40.5	0.07306	0.91	1.708	1	0.16957	0.52	1,009.70	±4.8	1,016	±18
7.1	0.28	244	149	0.63	26	0.066	1.8	1.125	1.9	0.12363	0.53	751.4	±3.8	807	±37
8.1	0.04	564	225	0.41	68.1	0.06801	0.65	1.3175	0.73	0.14051	0.34	847.5	±2.7	869	±13
9.1	0.5	60	82	1.41	6.6	0.0673	4.3	1.178	4.4	0.127	1.1	770.9	±7.8	846	±89
10.1	0.64	91	69	0.78	9.66	0.0645	3.4	1.096	3.5	0.1233	0.93	749.5	±6.5	757	±72
11.1	0.42	250	265	1.09	29.5	0.0637	2.3	1.204	2.4	0.1371	0.57	828.2	±4.5	732	±49
12.1	2.91	28	78	2.9	3.05	0.0565	17	0.97	17	0.1241	1.9	754	±14	471	±380
13.1	0.58	58	29	0.52	6.6	0.0684	7.9	1.252	8	0.1327	1.3	803.2	±9.5	881	±160
14.1	0.13	133	149	1.16	14.8	0.0671	1.8	1.202	1.9	0.12986	0.75	787.1	±5.6	842	±37
15.1	0.09	178	73	0.43	76	0.17267	0.42	11.842	0.78	0.4974	0.65	2,603	±14	2,583.70	±7.0
16.1	0.83	157	90	0.59	9.43	0.0537	5.2	0.513	5.3	0.06929	0.81	431.9	±3.4	357	±120
17.1	0.92	135	256	1.95	14.8	0.0647	5.3	1.124	5.4	0.1259	0.83	764.6	±6.0	765	±110

注:误差为 1σ;Pbc 和 Pb* 分别为普通铅和放射成因铅;未知样品测定期间,与其交替测定并用于校正未知样品的标准样品 TEMORA 加权平均值的误差为 0.17%(1σ)。

点,²⁰⁶Pb/²³⁸U 加权平均年龄为(766±7.2)Ma。

由于样品 X25-10 与 X24-2 均采自同一地层,且空间位置上相隔不远,因此 2 个样品的锆石 SHRIMP 年龄可以综合起来讨论。2 个样品中均有

超过一半的测点年龄集中在 800 Ma 左右,表明在此期间有一次重要的地质事件,可能代表塔里木盆地地底的形成时间,即晋宁运动发生的时间。此外,还存在一组太古宙的年龄数据,表明片岩中有太古

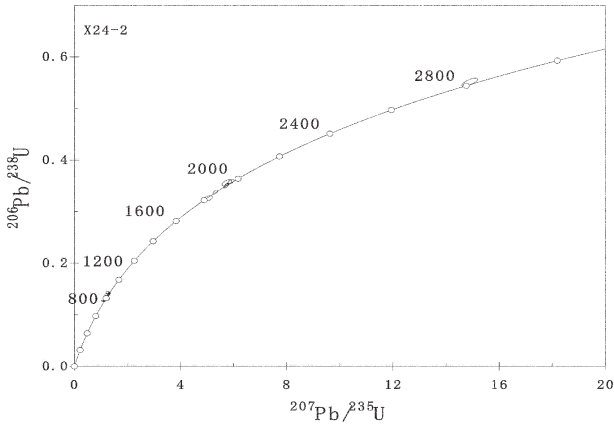


图 3 吐格爾明背斜核部片岩样品(X24-2)的锆石 U-Pb 谐和图

Fig.3 Zircon U-Pb age concordia diagram of schist (X24-2) from the core of Tugerming anticline

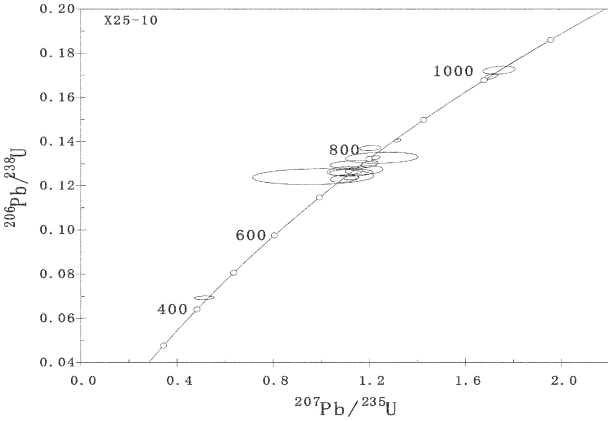


图 5 吐格爾明背斜核部片岩样品(X25-10)的锆石 U-Pb 谐和图

Fig.5 Zircon U-Pb age concordia diagram of schist (X25-10) from the core of Tugerming anticline

宙成分的加入。所有锆石显示出明显的岩浆锆石的环带特征, Th/U 比值大于或接近 0.1, 可以说明片岩变质对岩浆锆石的影响较小, 可能为产生新生锆石, 另外样品 X25-10 中出现一个 431 Ma 的年龄值, 其地质意义还有待探讨。

3 吐格爾明背斜核部片岩的地球化学特征

吐格爾明背斜地区的片岩(图 1)仅小范围分布于阳霞厄肯河东岸的吐格爾明背斜核部, 出露面积小。除新疆地质局区测队 1967 年研究库车地区 1:20 万区域地质图涉及过该套地层外, 前人并未进行过深入研究, 因此有必要对其开展进一步的地球化学

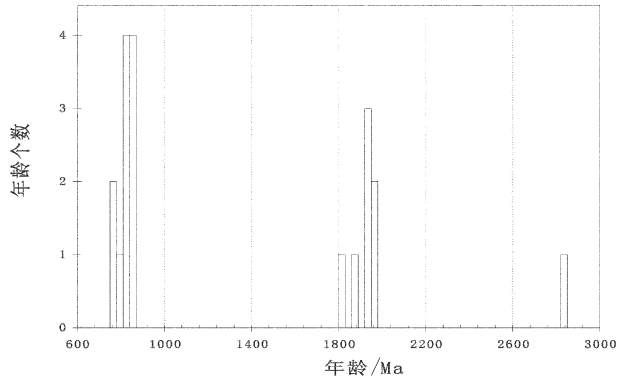


图 4 吐格爾明背斜核部片岩样品(X24-2)中锆石年龄直方图

Fig.4 Zircon age histogram of schist (X24-2) from the core of Tugerming anticline

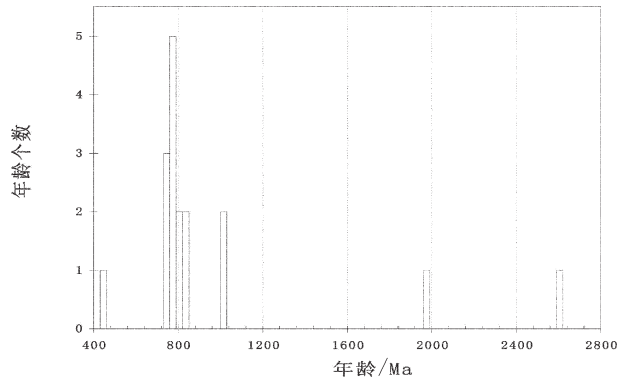


图 6 吐格爾明背斜核部片岩样品(X25-10)中锆石年龄直方图

Fig.6 Zircon age histogram of schist (X25-10) from the core of Tugerming anticline

分析与讨论, 探究其原岩性质, 判断其成岩环境及地球动力学背景。

3.1 岩石岩相学特征

吐格爾明背斜核部片岩(图 7)具有典型的变晶结构, 片状构造。主要组成矿物为钾长石 50%、石英 45%、云母(黑云母、白云母和绢云母)4%、副矿物(磷灰石, 磁铁矿等)1%, 长英质矿物结晶小, 排列紧密, 石英多为他形。岩石揉皱现象明显, 片理化发育。黑云母多发生绿泥石化且绿泥石化物质含量相对较高。片理化过程错断了早期形成的微裂缝, 其间部分亦被绿泥石充填。暂未发现典型的变质特征矿物, 该岩石为区域变质作用的产物, 变质程度较低。综上所述, 将此类岩石定名为云母石英片岩。

3.2 岩石地球化学特征

岩石化学分析在中国地质大学(北京)测试中

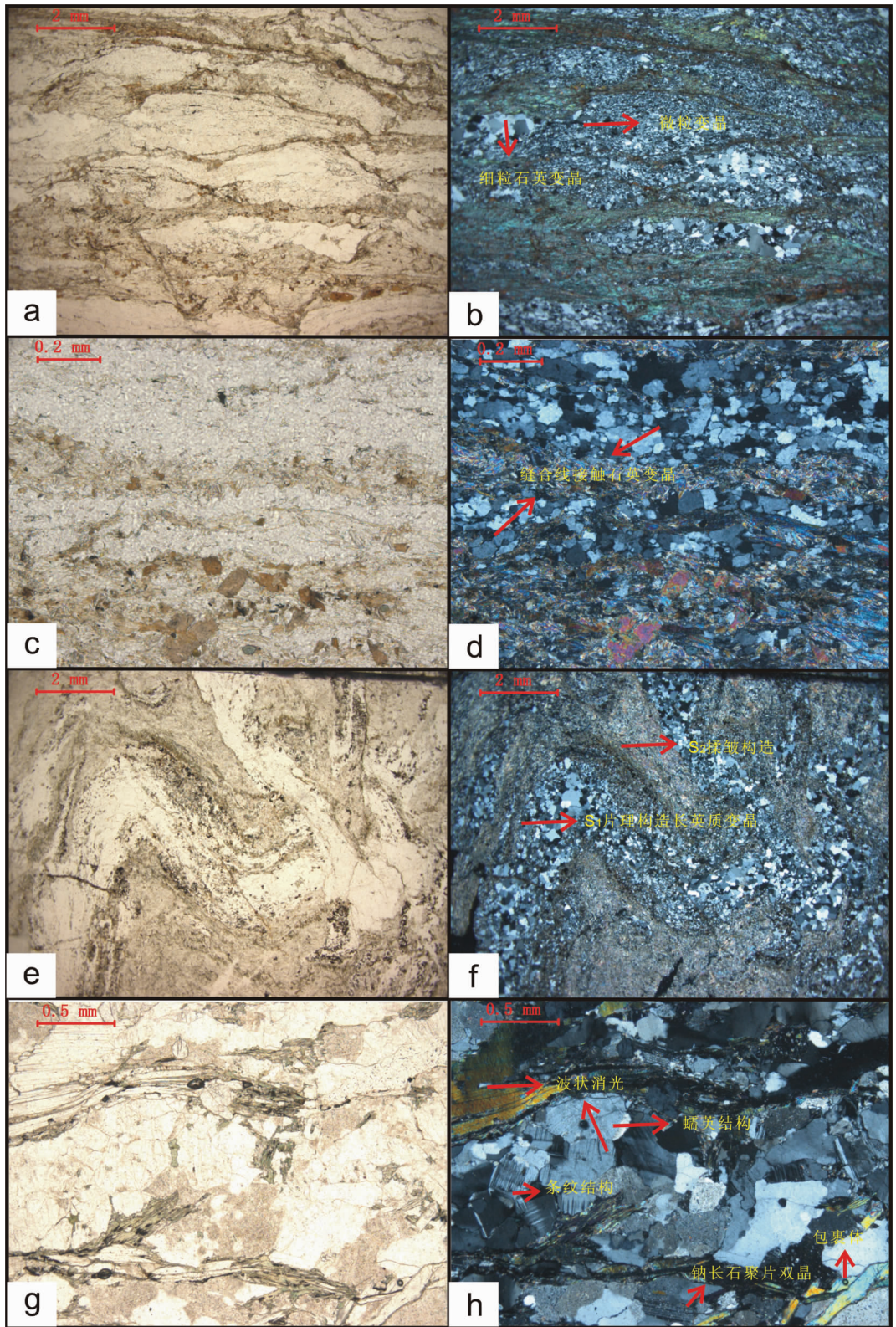


图 7 吐格爾明背斜核部片岩鏡下特征(左图:单偏光;右图:正交偏光)

(a,b,c,d 为样品 X24-2;e,f,g,h 为样品 X25-10)

Fig.7 Microscopic characteristics of schist from the core of Tugerming anticline

(a, b, c, d refer to sample X24-2; e, f, g, h to sample X25-10)

心完成。其中,主量元素测试是在美国 Leeman 公司生产的 PS-950 型等离子发射光谱仪上进行;微量元素测定在美国安捷伦公司生产的 Agilent 7500a 型离子质谱仪上进行。分析过程中使用美国地质调查局标样 AGV2 和中国地质大学测试中心岩石标样 R₁ 和 R₂ 进行分析质量监控。分析数据误差: Ni、Co、Cr、Sc 为 10%~15%,其他元素小于 10%。云母石英片岩的主量和微量元素分析结果见表 2。

云母石英片岩的 SiO₂ 含量均大于 70%,长英质组分含量高。岩石中 Al₂O₃、K₂O 富集,推测原岩泥质成分相对较大。Na₂O/K₂O 值,样品 X24-2 和 X25-10 分别为 0.04、0.05,非常低,表明其原岩可能含有陆源碎屑物质成分。

2 个云母石英片岩样品的稀土含量中等,分别为 157.24×10⁻⁶ 和 166.16×10⁻⁶,LREE/HREE 为 9.1 和 2.1,轻稀土明显富集。稀土配分曲线(图 8)表现为左高右低的倾斜曲线,显示出明显的负铈异常。铈元素在矿物中易富集在斜长石中,负铈异常的出现,标志着云母石英片岩的原岩成分中斜长石的含量很低。

2 个云母石英片岩样品的大离子亲石元素 Rb 含量为 93.45×10⁻⁶ 和 77.23×10⁻⁶,Ba 为 415.2×10⁻⁶ 和 286×10⁻⁶,Sr 为 35.93×10⁻⁶ 和 52.68×10⁻⁶,含量相

对丰富;高场强元素 Zr 为 171×10⁻⁶ 和 149.2×10⁻⁶,Ta 为 0.8×10⁻⁶,含量中等。Mo、Hf、Sc 等元素含量很低,可能是变质过程中发生了迁移作用所致。在样品的原始地幔标准化蛛网图上(图 8),清楚地表现为大离子亲石元素与高场强元素富集,亏损 Sr、Ba、Ti 等元素,具有壳源成因特征。

4 原岩恢复及讨论

确定变质作用前岩石的微量元素组成是较困难的。只可能比较变质的和未变质岩石中同一种微量元素的变化。一般是将活动性较低或基本不活动的元素作为原岩恢复的标志;而随变质作用进行其浓度呈有规律变化的元素,可作为变质作用特征的标志。Ti、Zr、Ni 是常见不活动性元素,常常用于变质岩原岩恢复。

沉积岩和火成岩中 TiO₂ 和 SiO₂ 含量呈负相关,但在 SiO₂ 含量相同的情况下沉积岩一般比火成岩含有较高的 TiO₂。SiO₂-TiO₂ 图解较多应用于前寒武纪长英质片麻岩(灰色片麻岩)成因研究,判断属于变质沉积岩或变质火成岩。该图对于区分碎屑沉积岩与中酸性火成岩效果较好。如图 9 所示,岩石样品落在变质沉积岩区。

表 2 吐格爾明背斜核部片岩主(%)、微量(10⁻⁶)元素分析结果
Table 2 Major element (%) and trace element (10⁻⁶) analyses of schist from the core of Tugerming anticline

样品	X24-2	X25-10	样品	X24-2	X25-10	样品	X24-2	X25-10	样品	X24-2	X25-10
SiO ₂	66.32	72.13	La	35.52	26.98	Sc	9.02	5.50	Hf	4.41	4.63
TiO ₂	0.46	0.22	Ce	63.67	54.33	Ti	2770.00	1283.00	Ta	0.8	0.8
Al ₂ O ₃	13.35	10.29	Pr	7.61	5.73	V	57.04	39.17	Pb	19.54	32.71
TFeO	7.00	3.25	Nd	28.17	20.74	Cr	42.70	12.72	Th	9.96	13.45
MnO	0.19	0.17	Sm	5.42	4.17	Mn	1427.00	1274.00	U	1.95	2.02
MgO	1.04	1.73	Eu	1.27	0.60	Co	10.68	8.76	Nb	10.96	10.07
CaO	2.05	2.78	Gd	4.73	3.82	Ni	23.77	16.55	Cs	15.32	5.32
Na ₂ O	0.08	0.10	Tb	0.68	0.61	Cu	16.18	20.17	Ba	415.20	286.00
K ₂ O	2.38	1.95	Dy	4.05	3.86	Zn	98.01	94.29	稀土总量	157.24	127.80
P ₂ O ₅	0.06	0.08	Ho	0.79	0.82	Ga	17.17	14.08	(La/Yb) _N	10.72	6.68
LOI	6.25	6.69	Er	2.38	2.52	Rb	93.45	77.23	(La/Sm) _N	4.12	4.07
总量	99.18	99.39	Tm	0.34	0.40	Sr	35.93	52.68			
K ₂ O/Na ₂ O	29.75	19.5	Yb	2.24	2.73	Y	21.62	22.82			
K ₂ O+Na ₂ O	2.46	2.05	Lu	0.37	0.49	Zr	171.00	149.20			

注:(La/Yb)_N 为球粒陨石标准化后的比值。

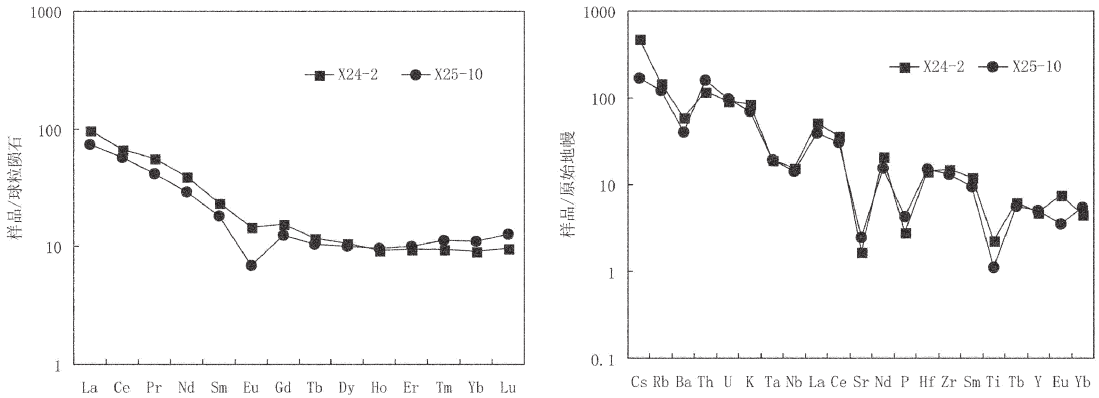


图8 吐格爾明背斜核部片岩稀土元素配分图和微量元素蛛网图

Fig.8 Chondrite-normalized REE patterns and trace element diagram of schist from the core of Tugerming anticline

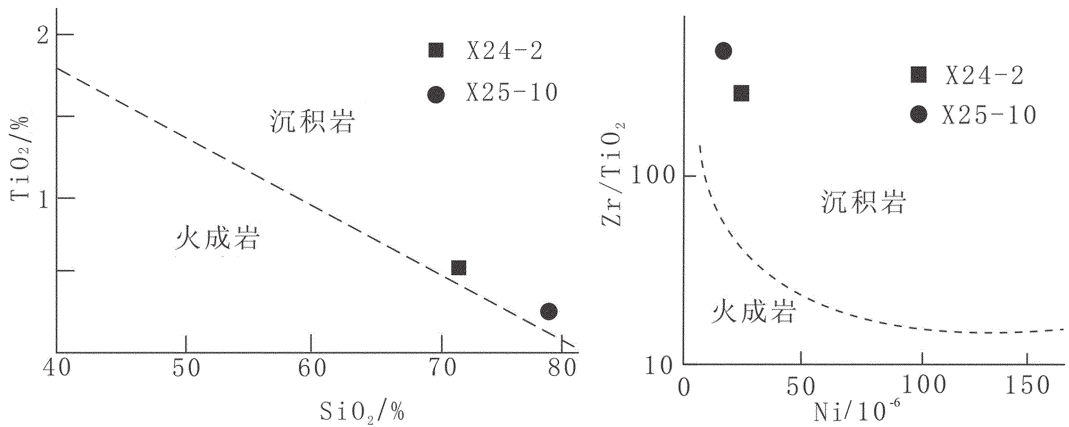


图9 吐格爾明背斜核部片岩 SiO₂-TiO₂ 和 Ni-Zr/TiO₂ 图解

Fig.9 Discrimination diagram of SiO₂-TiO₂ and Ni-Zr/TiO₂ for schist

Ni-Zr/TiO₂ 图解中分界线是根据大量未变质火成岩和沉积岩的投影点划分的,利用 Zr、Ti、Ni 这三种相对不活泼元素,该图能比较准确地地区别变质沉积岩和变质火成岩。如图9所示,样品投点在变质沉积岩范围。综上所述,推测这两个片岩均属于副变质岩大类。

自中元古代以来,吐格爾明地区一直处在滨浅海稳定沉积环境中,发育以石英砂岩、长石石英砂岩、砂质泥岩、砂砾岩为主的沉积地层。800 Ma 的晋宁运动使其发生变质、变形,成为塔里木盆地的基底。此后,经历了以下构造事件:①Pt₃-O:伴随新元古宙 Rodinia 超大陆裂解,伊犁地块等从塔里木北缘裂离^[13-17],在二者之间逐渐形成南天山洋,在塔里木北缘形成被动大陆边缘^[3,10,18-25];②S-C:南天山

洋扩张并向中天山地块之下俯冲,石炭纪—早二叠世末期南天山洋自东向西剪刀状闭合并产生弧-陆斜向碰撞^[25,26-28];③P₂₋₃-T:中天山古岛弧与塔里木大陆碰撞,在塔里木北缘形成陆内岩浆弧;在三叠纪形成前陆盆地;④J-E:塔里木北缘处于碰撞后弱伸展阶段,在盆-山过渡部位形成一系列断陷、坳陷盆地,靠近山脉一侧厚度较大,呈不对称箕状;⑤N-Q:受喜马拉雅碰撞影响,发生强烈的陆内造山作用^[29],库车地区形成再生前陆盆地^[3,28,30-31]。吐格爾明背斜核部发育的这套中—新元古代的云母石英片岩,由以石英砂岩为主的碎屑沉积岩变质形成,是前寒武纪变质基底存在的直接证据,并在塔里木盆地北部多期次区域构造运动的影响改造下,最终出露于地表。与此同时,笔者在研究区发现的侵位于此套片

岩中的花岗岩体,在物质组成、稀土元素球粒陨石标准化稀土配分型式和原始地幔标准化微量元素蛛网图上与这套片岩十分相似。对花岗岩体的地球化学分析表明,它是通过地壳物质的重熔再生形成的。推测这套云母石英片岩可能为侵位其中的花岗岩的物质源岩。

由上所述,库车坳陷的基底形成于约 800 Ma 的晋宁构造运动,它是 Rodinia 古陆形成在这一地区的具体体现。这表明库车地区下伏有前震旦系的变质基底。古生代期间,库车地区是在该基底上发展形成了北倾的被动大陆边缘,地层厚 2000~4000 m²。它们在晚二叠世之前被褶皱,构成后期前陆盆地的基底。

需要指出的是,由沉积岩变质形成的基底,航磁异常为负异常,其强度往往较小,在后期受到周围块体的作用时,其构造变形非常强烈。例如,构造沉降幅度很大,隆、拗分异明显;在隆起部位断隆发育,断背斜构造常见^[32];在块体边缘,由于基底性质较软,发育形成多个构造楔相叠置的结构^[30],在地壳深层,出现分层或“层间相互插入”的地质结构。这种结构影响与控制了盆地内部的构造变形,这是研究盆地油气地质条件时需要密切关注的。

参考文献(References):

- [1] 赵俊猛,程宏岗,裴顺平,等.塔里木盆地北缘的深部结构[J].科学通报,2008,53(8):946-955.
Zhao Junmeng, Cheng Honggang, Pei Shunping, et al. Deep structure on the northern margin of Tarim Basin[J]. Chinese Science Bulletin, 2008, 53(8): 946-955 (in Chinese).
- [2] 何登发,李德生.塔里木盆地构造演化与油气聚集[M].北京:地质出版社,1996:1-173.
He Dengfa, Li Desheng. Tectonic Evolution and Hydrocarbon Accumulation in Tarim Basin [M]. Beijing: Geological Publishing House, 1996: 1-173 (in Chinese).
- [3] 贾承造.中国塔里木盆地构造特征[M].北京:石油工业出版社,1997:348-364.
Jia Chengzao. Tectonic Characteristics and Petroleum, Tarim Basin, China [M]. Beijing: Petroleum Industry Press, 1997: 1-295 (in Chinese).
- [4] 肖序常,汤耀庆,李锦轶,等.试论新疆北部大地构造演化[M].北京:地质出版社,1990.
Xiao Xuchang, Tang Yaoqing, Li Jinyi, et al. On the Tectonic Evolution of the Northern Xinjiang, Northwest China Geoscience of Xinjiang[M]. Beijing: Geological Publishing House, 1990 (in Chinese).
- [5] 肖序常,汤耀庆,李锦轶,等.新疆北部及邻区大地构造[M].北京:地质出版社,1992:1-169.
Xiao Xuchang, Tang Yaoqing, Li Jinyi. Tectonic Evolution of Northern Xinjiang and its Adjacent Regions [J]. Beijing: Geological Publishing House, 1992: 1-169 (in Chinese with English abstract).
- [6] 肖序常,汤耀庆,王军,等.中国南天山造山带蓝片岩及其构造意义[J].地球学报,1994,34:54-64
Xiao Xuchang, Tang Yaoqing, Wang Jun, et al. Blueschist belts and their tectonic implications of the S. Tianshan Mts., N.W. China [J]. Acta Geoscientia Sinica, 1994, 34: 54-64 (in Chinese with English abstract).
- [7] 胡霁琴,格雷姆·罗杰斯.新疆塔里木北缘首次发现 33 亿年的岩石[J].科学通报,1992,37:627-630.
Hu Aiqin, Rogers G. The first discover of 3.3 Ga rocks on the north margin of Tarim, Xinjiang, China [J]. Chin. Sci. Bull., 1992, 37: 627-630 (in Chinese with English abstract).
- [8] 高振家,陈晋镰,陆松年,等.新疆北部前寒武系[M].北京:地质出版社,1993.
Gao Zhenjia, Chen Jinlian, Lu Songnian, et al. Precambrian System in Northern Xinjiang [M]. Beijing: Geological Publishing House, 1993 (in Chinese).
- [9] 胡霁琴,韦刚健,邓文峰,等.天山东段 1.4 Ga 花岗闪长质片麻岩 SHRIMP 锆石 U-Pb 年龄及其地质意义 [J]. 地球化学, 2006, 35 (4): 333-345.
Hu Aiqin, Wei Gangjian, Deng Wenfeng, et al. 1.4 Ga SHRIMP U-Pb age for zircons of granodiorite and its geological significance from the eastern segment of the Tianshan Mountains, Xinjiang, China [J]. Geochimica, 2006, 35 (4): 333-345 (in Chinese with English abstract).
- [10] 朱文斌,张志勇,舒良树,等.塔里木北缘前寒武基底隆升剥露史:来自磷灰石裂变径迹的证据 [J]. 岩石学报, 2007, 23(7): 1671-1682.
Zhu Wenbin, Zhang Zhiyong, Shu Liangshu, et al. Uplift and exhumation history of the Precambrian basement, Northern Tarim: Evidence from apatite fission track data [J]. Acta Petrologica Sinica, 2007, 23(7): 1671-1682 (in Chinese with English abstract).
- [11] Williams I S, Claesson S. Isotope evidence for the Precambrian province and Caledonian metamorphism of high grade paragneiss from the Seve Nappes, Scandinavian Caledonides, II. Ion microprobe zircon U-Th-Pb [J]. Contributions to Mineralogy Petrology, 1987, 97: 205-217.
- [12] 宋彪,张玉海,万渝生.锆石 SHRIMP 样品靶制样、年龄测定及有关现象讨论[J].地质论评,2002,48(增刊):26-30.
Song Biao, Zhang Yuhai, Wan Yusheng, et al. Mount making and procedure of the SHRIMP dating [J]. Geological Review, 2002, 48 (supp.): 26-30 (in Chinese with English abstract).
- [13] 陈哲夫,梁云海.新疆天山地质构造几个问题探讨[J].新疆地质,1985,3(2):1-3.
Chen Zhefu, Liang Yunhai. Research on several problems of structural geology in Tianshan, Xinjiang [J]. Xinjiang Geology, 1985, 3(2): 1-3 (in Chinese with English abstract).
- [14] 王作勋,郭继勇,吕喜朝,等.天山多旋回构造演化与成矿[M].北京:科学出版社,1990,1-217.

- Wang Zuoxun, Wu Jiyi, Lv Xichao, et al. Polycyclic Tectonic Evolution and Metallogeny of the Tianshan Mountains [M]. Beijing: Science Press (in Chinese), 1990: 1–217 (in Chinese).
- [15] 何国琦, 李茂松, 刘德权, 等. 中国新疆古生代地壳演化与成矿 [M]. 乌鲁木齐: 新疆人民出版社, 1994: 1–437.
- He Guoqi, Li Maosong, Liu Dequan, et al. Paleozoic Evolution and Metallogenesis in Xinjiang, China [M]. Urumqi: Xinjiang People's Publishing House and Hongkong Educational and Cultural Press Ltd., 1994: 1–473 (in Chinese).
- [16] 何国琦, 李茂松, 韩宝福. 中国西南天山及邻区大地构造研究 [J]. 新疆地质, 2001, 19(1): 7–11.
- He Guoqi, Li Maosong, Han Baofu. Geotectonic research of southwest Tianshan and its west adjacent area, China [J]. Xinjiang Geology, 2001, 19(1): 7–11 (in Chinese with English abstract).
- [17] 汤耀庆, 高俊, 赵民, 等. 西南天山蛇绿岩和蓝片岩 [M]. 北京: 地质出版社, 1995: 1–133.
- Tang Yaoqing, Gao Jun, Zhao Min, et al. The ophiolite and blueschists in the Southwestern Tianshan orogenic belt Xinjiang, Northwestern China [M]. Beijing: Geological Publishing House, 1995: 1–133 (in Chinese).
- [18] 郝杰, 刘小汉. 南天山蛇绿混杂岩形成时代及大地构造意义 [J]. 地质科学, 1993, 28(1): 93–95.
- Hao Jie, Liu Xiaohan. Ophiolite melange time and tectonic evolution model in South Tianshan area [J]. Scientia Geologica Sinica, 1993, 28 (1): 93–95 (in Chinese with English abstract).
- [19] 郭召杰, 马瑞士, 郭令智, 等. 新疆东部三条蛇绿混杂岩的比较研究 [J]. 地质论评, 1993, 39(3): 236–247.
- Guo Zhaojie, Ma Ruishi, Guo Lingzhi, et al. A comparative study on three ophiolitic melange belts in eastern Xinjiang [J]. Geological Review, 1993, 39(3): 236–247 (in Chinese with English abstract).
- [20] 蔡东升, 卢华复, 贾东, 等. 南天山古生代板块构造演化 [J]. 地质论评, 1995, 41(5): 432–443.
- Cai Dongsheng, Lu Huaifu, Jia Dong, et al. Paleozoic plate tectonic evolution of southern Tianshan [J]. Geological Review, 1995, 41 (5): 432–443 (in Chinese with English abstract).
- [21] Gao J, He G, Li M, et al. The mineralogy, petrology, metamorphic PTdt trajectory and exhumation mechanism of blueschists, south Tianshan, northwestern China [J]. Tectonophysics, 1995, 250: 151–168.
- [22] Gao J, Li M, Xiao X, et al. Paleozoic tectonic evolution of the Tianshan orogen, northwestern China [J]. Tectonophysics, 1998, 287: 213–231.
- [23] 高俊, 龙灵利, 钱青, 等. 南天山: 晚古生代还是三叠纪碰撞造山带? [J]. 岩石学报, 2006, 22(5): 1049–1061.
- Gao Jun, Long Lingli, Qian Qing, et al. South Tianshan: a Late Paleozoic or a Triassic orogen? [J]. Acta Petrologica Sinica, 2006, 22(5): 1049–1061 (in Chinese with English abstract).
- [24] 李锦轶. 新疆东部新元古代晚期和古生代构造格局及其演变 [J]. 地质论评, 2004, 50(3): 304–322.
- Li Jinyi. Late Neoproterozoic and Paleozoic tectonic framework and of evolution eastern Xinjiang, NW China [J]. Geological Review, 2004, 50(3): 304–322 (in Chinese with English abstract).
- [25] 张立飞, 艾永亮, 李强, 等. 新疆西南天山超高压变质带的形成与演化 [J]. 岩石学报, 2005, 21(4): 1029–1038.
- Zhang Lifei, Ai Yongliang, Li Qiang, et al. The formation and tectonica evolution of UHP metamorphic belt in southwestern Tianshan, Xinjiang [J]. Acta Petrologica Sinica, 2005, 21 (4): 1029–1038 (in Chinese with English abstract).
- [26] 高长林, 崔可锐, 钱一雄, 等. 天山微板块构造与塔北盆地 [M]. 北京: 地质出版社, 1995: 1–284.
- Gao Changlin, Cui Kerui, Qian Yixiong, et al. Macroplate tectonics in the Tianshan and the Northern Tarim basin [M]. Beijing: Geological Publishing House, 1995: 1–284 (in Chinese).
- [27] 李曰俊, 宋文杰, 买光荣, 等. 库车和北塔里木前陆盆地与南天山造山带的耦合关系 [J]. 新疆石油地质, 2001, 22(5): 376–381.
- Li Yuejun, Song Wenjie, Mai Guangrong, et al. Characteristics of Kuqa and Northern Tarim foreland basins and their coupling relation to south Tianshan orogeny [J]. Xinjiang Petroleum Geology, 2001, 22 (5): 376–381 (in Chinese with English abstract).
- [28] 李曰俊, 吴根耀, 雷刚林, 等. 新疆库车新生代前陆褶皱冲断带的变形特征、时代和机制 [J]. 地质科学, 2008, 43(3): 488–506.
- Li Yuejun, Wu Genyao, Lei Ganglin, et al. Deformational features, ages and mechanism of the Cenozoic Kuqa foreland fold-and-thrust belt in Xinjiang [J]. Chinese Journal of Geology, 2008, 43 (3): 488–506 (in Chinese with English abstract).
- [29] 李向东, 王克卓. 中国西天山南缘盆山构造转换解析 [J]. 新疆地质, 2000, 18(3): 203–219.
- Li Xiangdong, Wang Kezhao. On orogenic to basinal tectonic transfer along the southern margin of west Tianshan mountains, China [J]. Xinjiang Geology, 2000, 18 (3): 211–219 (in Chinese with English abstract).
- [30] 卢华复, 贾承造, 贾东, 等. 库车再生前陆盆地冲断构造楔特征 [J]. 高校地质学报, 2001, 7(3): 257–271.
- Lu Huaifu, Jia Chengzao, Jia Dong, et al. Features of the thrust wedge of deformation belt in Kuqa rejuvenation foreland basin [J]. Geological Journal of China Universities, 2001, 7 (3): 257–271 (in Chinese with English abstract).
- [31] 杨树锋, 陈汉林, 程晓敢, 等. 南天山新生代隆升和去顶作用过程 [J]. 南京大学学报(自然科学版), 2003, (1): 1–8.
- Yang Shufeng, Chen Hanlin, Cheng Xiaogan, et al. Cenozoic uplifting and unroofing of southern Tian Shan, China [J]. Journal of Nanjing University (Natural Sciences), 2003, (1): 1–8 (in Chinese with English abstract).
- [32] He Dengfa, Zhou Xinyuan, Yang Haijun, et al. Geological structure and its controls on giant oil and gas fields in Kuqa depression, Tarim basin: A clue from new shot seismic data [J]. Geotectonica et Metallogenia, 2009, 3(1): 19–32.
- [33] Compston W, Williams I S, Kirschvink J L, et al. Zircon U–Pb ages for the Early Cambrian time-scale [J]. Journal of the Geological Society (London), 1992.
- [34] Williams IS. U–Th–Pb geochronology by ion microprobe [J].

Reviews in Economic Geology, 1998, 7:1-35.

[35] Lance P Black, Sandra L Kamo, Charlotte M Allen, et al. TEMORA 1: A new zircon standard for Phanerozoic U-Pb geochronology [J]. Chemical Geology, 2003, 200:155-170.

[36] Lance P Black, Sandra L Kamo, Ian S Williams, et al. The application of SHRIMP to Phanerozoic geochronology: a critical appraisal of four zircon standards [J]. Chemical Geology, 2003, 200:171-188.

Chronology of Proterozoic schist at the core of Tuggermin anticline in northern Tarim basin and its tectonic significance

HE Deng-Fa¹, FAN Chun¹, LEI Gang-lin², YUAN Hang¹, LI Di¹, CHANG Qiu-Sheng³

(1. Key Laboratory of Marine Reservoir Evolution and Hydrocarbon Accumulation Mechanism, Ministry of Education, China University of Geosciences, Beijing 100083, China; 2. Institute of Exploration and Development of Tarim Oil Field Company, PetroChina, Korle 841000, Xinjiang, China; 3. Institute of Exploration and Development of Xinjiang Oil Field Company, Karamay 834000, Xinjiang, China)

Abstract: Basin basement is one of the key factors to control basin evolution and its structural deformation. The study of basement is an important way to analyze the basin's tectonics and structures. The northern part of Tarim basin is in the negative magnetic anomaly, suggesting that the basement is composed of meta-sedimentary rocks. Utilizing the data of zircon U-Pb chronology and geochemistry of Proterozoic schist at the core of Tuggermin anticline in Kuqa depression in the north of Tarim Basin, this paper conducted the studies. The results show that zircon $^{206}\text{Pb}/^{238}\text{U}$ dating ages are concentrated on $775.3 \pm 5.8 \text{ Ma} \sim 787.1 \pm 6.8 \text{ Ma}$, which demonstrates that the schist was formed in the early Neoproterozoic, and the basement of northern Tarim basin was formed during Jinning movement. SiO_2 content of schist is more than 70%, with high felsic constituents and enriched Al_2O_3 and K_2O ; the average value of ΣREE is 160 ppm. Chondrite-normalized REE patterns are rightly-oblique, the rocks possess weak Eu anomalies; primitive mantle standardized trace elements characterized by LILE (Rb, Ba etc.) are relatively enriched, while HFSE (Ta, Nb, Ti etc.) are depleted. Through the restoration of the proto-rock, it can be determined that the metamorphic rock is parametamorphic rock formed from a quartz sandstone, which is in good agreement with the negative aeromagnetic anomalies in the north of Tarim Basin. The basement had low rigidity, which resulted in large-scale tectonic subsidence and intense structural deformation in the subsequent evolution of the basin.

Key words: Tuggermin anticline; schist; U-Pb dating; parametamorphic rock; basement; Tarim Basin

About the first author: HE Deng-fa, male, born in 1967, professor, supervisor of doctor candidates, engages in sedimentary basin analysis and oil-gas exploration research; E-mail: hedengfa282@263.net.