

塔里木盆地中部辉绿岩脉 LA-ICP-MS 锆石 U-Pb 年龄及其地质意义

李 行¹, 吕海涛², 蒲仁海¹
LI Hang¹, LÜ Haitao², PU Renhai¹

1. 西北大学地质学系, 陕西 西安 710069;

2. 中国石化西北油田分公司, 新疆 乌鲁木齐 830011

1. Department of Geology, Northwest University, Xi'an 710069, Shaanxi, China;

2. Sinopec Northwest Oilfield Branch, Urumqi 830011, Xinjiang, China

摘要:塔里木盆地塔中地区地震资料显示,寒武系、奥陶系、二叠系中发育大量辉绿岩岩脉,在塔中隆起断裂带附近采集了侵入到志留系与奥陶系中的辉绿岩脉样品(中1井、中16井岩心)。用LA-ICP-MS测定技术,测定了其中锆石的U-Pb年龄和微量元素。锆石U-Pb年龄显示,这些辉绿岩岩脉形成于早二叠世(273~296Ma);测得的700~930Ma(新元古代)、396~544Ma(古生代)年龄显示,盆地早期有构造岩浆活动;121.0±8.5Ma(早白垩世)锆石存在,显示其形成与盆地内部同期热液活动有关。

关键词:塔里木盆地;辉绿岩;热液活动;白垩纪;LA-ICP-MS 锆石 U-Pb 年龄

中图分类号:P588.12⁺4;P597⁺.3 **文献标志码:**A **文章编号:**1671-2552(2017)06-1010-12

Li H, Lü H T, Pu R H. LA-ICP-MS zircon U-Pb age of dykes from central Tarim Basin and its geological significance. *Geological Bulletin of China*, 2017, 36(6):1010-1021

Abstract: Seismic data obtained from the central Tarim Basin show that lots of diabase dykes are developed in Cambrian, Ordovician and Permian strata. Diabase dykes that invaded into Silurian and Ordovician strata were collected near the fault zone (Zhong 1 well, Zhong 16 well core). Using LA-ICP-MS determination technology, the authors determined U-Pb age and trace elements in zircon. Zircon U-Pb age shows that the diabase dykes were formed in the Early Permian period of 273~296Ma. Measured 700~930Ma (Late Proterozoic) and 396~544Ma (Paleozoic) show the tectonic-magmatic activity when basin was formed. 121.0±8.5Ma (Early Cretaceous) zircon indicates that the formation was related to hydrothermal activities in the same period.

Key words: Tarim Basin; diabase; hydrothermal activity; Early Cretaceous; LA-ICP-MS zircon U-Pb dating

塔里木盆地位于中国西北部,被天山造山带、昆仑造山带和阿尔金造山带环绕,面积约56×10⁴km²(图1)。近年中国石油化工总公司在塔里木盆地顺南4井奥陶系灰岩钻遇工业气流,该灰岩储层的溶洞与附近的断裂、岩脉关系密切,其成因可能与热液有关。前人通过对塔里木盆地柯坪地区

肖而布拉克剖面晚震旦世(古生物定年)^[1]玄武岩进行⁴⁰Ar/³⁹Ar同位素定年及年龄谱分析,认为塔里木盆地发育4期主要的地质热事件,分别为震旦纪—寒武纪、早中奥陶世、早二叠世、白垩纪的地质热事件^[2]。其中早二叠世,受北面古天山褶皱带形成及南缘古特提斯洋俯冲活动的影响,塔里木盆地发生

收稿日期:2015-12-09;修订日期:2017-01-03

资助项目:中国石化西北油田分公司勘探开发研究院协作项目《顺南1井区三维工区海西期断裂与火山活动机制研究》(编号:KY2013-S-033)

作者简介:李行(1988-),男,在读硕士生,从事地震解释方面的研究。E-mail:871258599@qq.com

通讯作者:蒲仁海(1962-),男,博士,教授,从事沉积和地震资料解释研究。E-mail:purenhai@126.com

伸展作用,处于大陆裂谷型的构造环境,导致盆地中部、西部及北部地区出现大范围岩浆侵入及火山喷发活动^[3-5]。其中二叠纪岩浆作用最强烈,在塔里木盆地分布最广泛,影响也最大^[6-13];前人认为,白垩纪热事件规模不大,主要局限于塔里木盆地周边地区,具有热液蚀变特征,在盆地内部未有这期地质热事件的显示^[2]。近年来,对于盆地内部是否存在白垩纪的热液活动存在分歧,多数学者认为,塔中45井萤石的成因与二叠纪强烈的岩浆活动有关^[14-16],但是新的研究认为,塔中地区萤石形成于晚燕山期—喜马拉雅期,与海西期岩浆期后热液无必然联系^[17]。另外,白垩纪是塔里木盆地一个重要的晚期生油和成藏阶段,晚期生油和成藏可能与热液活动有关。白垩纪热液活动年代的确定,对油气运移储存等地质研究有重要的意义。

为此,本文以塔里木盆地中央隆起带塔中隆起中1井、中16井为研究对象,以奥陶系及志留系中的辉绿岩脉锆石U-Pb定年分析为主要研究手段,力图获得更多的有关该区岩浆或热液活动期次的信息。

1 样品的采集与实验分析

中1井钻在近直立的断裂带杂乱反射中,断裂自下而上切穿奥陶系、志留系和二叠系,附近断层都具有双层特征,即下古生界与基底关系密切的早期断层和上古生界与火成岩活动有关的晚期断层,早期断层形成于加里东中—晚期,在基底隆起的背景下形成,以逆断层形式存在,晚期断层主要是火成岩事件的产物,也不否认后期构造运动的影响,大部分存在于火山口附近。中1井取样层位塔塔埃尔塔格组主要为灰色、浅灰色火山角砾岩、凝灰质砾岩、细砂岩、粉砂岩、泥质粉砂岩与灰色、深灰色泥岩、粉砂质泥岩呈不等厚互层,夹厚层状深灰色、灰色辉绿岩、凝灰岩。样品编号、岩性、产状见表1。深电阻率曲线呈不规则齿状,一般为 $10\sim 80\Omega\cdot m$,局部高达 $500\Omega\cdot m$;自然电位呈平直曲线,电位值为 $50\sim 70mV$;自然伽玛值曲线呈细齿状、锥状夹齿化箱状,火山岩段值最低,为 $35\sim 40API$,泥岩段值较高为 $100\sim 120API$,砂岩段值为 $45\sim 100API$;声波时差曲线呈齿状、锥状,值为 $55\sim 80\mu s/ft$,底部与下伏奥陶系顶部深灰色灰岩呈角度不整合接触(图2-A、图3-A)。

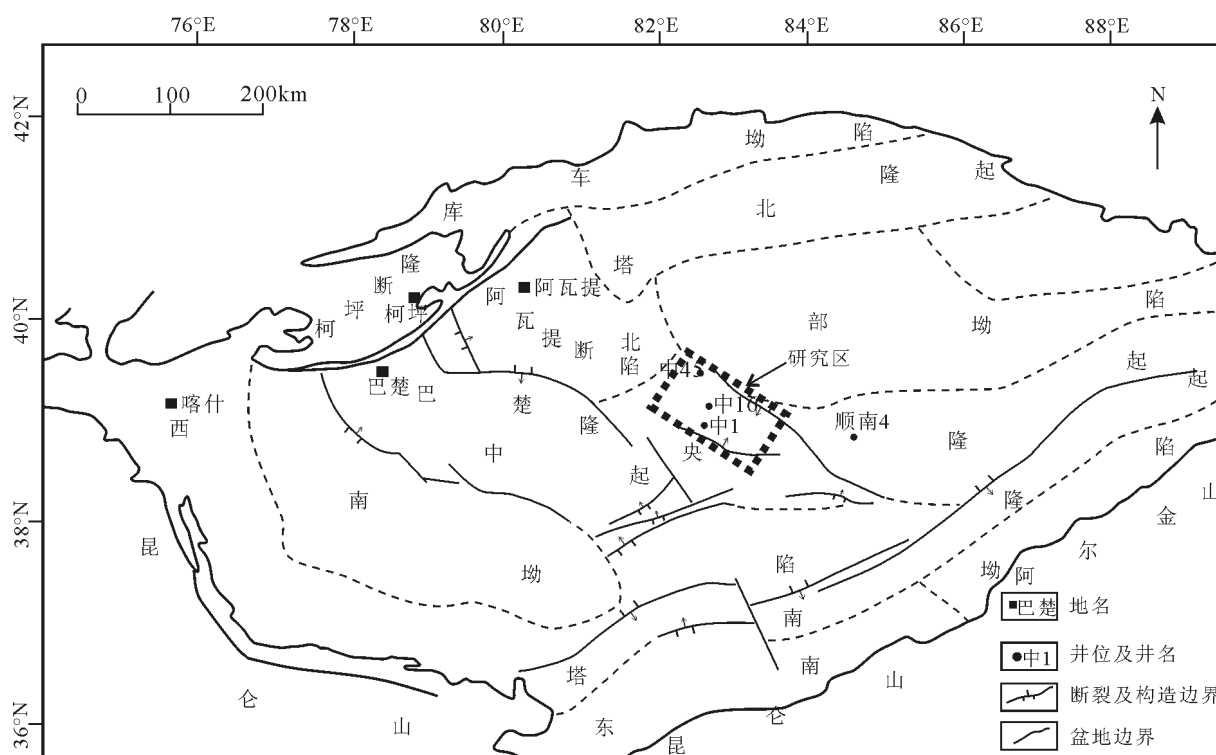


图1 研究区位置图

Fig. 1 Location of the study area in Tarim Basin

表1 测定锆石U-Pb年龄的辉绿岩样品岩心特征
(中1井和中16井)

Table 1 Diabase core characteristics
of zircon U-Pb ages

样品编号	井名	采样深度/m	围岩	围岩岩性
S-33	中1井	5041	S _{1t}	泥质粉砂岩
S-28	中16井	4747	S _{2y}	砂岩
S-27	中16井	5592	O _{1y}	灰岩
S-30	中16井	5590.5	O _{1y}	灰岩
S-31	中16井	5591.4	O _{1y}	灰岩

注:S_{1t}—志留系塔塔埃尔塔格组;S_{2y}—志留系依木干塔乌组;O_{1y}—奥陶系鹰山组

中16井位于岩溶圈闭高部位,所在部位受北东向断层控制,岩脉沿直立的断裂带发育,断裂向上延伸至上二叠系,岩脉发育在二叠系及其以下地层中,呈杂乱反射,越向下杂乱反射的宽度越大,宽度约1km,岩脉向上刺穿下二叠统库普库兹满组(P_{1kpk}),但未刺穿上二叠统开派雷兹组(P_{1kps}),故其可能与二叠系火山岩同期形成(图2-B,图3-B、C)。

样品编号、岩性、产状见表1。手标本鉴定辉绿岩有一定的破裂、蚀变、溶蚀,被后期方解石充填。薄片下岩石裂缝被后期方解石所充填,辉石呈短柱状、蚀变严重,有一定的溶蚀,溶蚀形成的空隙被方解石充填(图版I)。

本次工作还对辉绿岩锆石进行U-Pb定年。选取S-27、S-28、S-30、S-31、S-33共5个辉绿岩样品分选锆石单矿物,分选工作在河北廊坊地质勘察院完成。原岩破碎成粉末,使其全部通过200目的网筛,经淘洗、电磁选、重液分选等步骤得到含一定杂质的重砂试样,再在双目镜下挑选出锆石颗粒。在西北大学大陆动力学国家重点实验室制作锆石样品靶,在双目镜下选取包裹体少、无明显裂缝的颗粒粘贴在双面胶上,再用环氧树脂固定,固结后制成锆石靶,将靶打磨和抛光,至大多数锆石颗粒的中心部位暴露出来,然后拍摄锆石颗粒的可见光照片,使用Quanta 400 FEG扫描电镜拍摄锆石的阴极发光(CL)图像。锆石U-Pb年龄用交替测定的标准锆石91500外标校正,元素含量采用标准玻璃NIST 610为外标、²⁹Si为内标校正。原始数据采用4.0版Glitter程序处理,选取谐和度在90~110之间的作为谐和年龄数据,其中对于年龄大于1000Ma的用²⁰⁷Pb/²⁰⁶Pb和

1σ对应的年龄,对于小于1000Ma的用²⁰⁶Pb/²³⁸U和1σ对应的年龄;加权平均计算及U-Pb谐和图的绘制采用3.0版Isoplot程序完成^[18-23]。

2 锆石特征及U-Pb同位素测定结果

2.1 中1井辉绿岩脉锆石(围岩为志留系泥质粉砂岩)特征

中1井S-33样品中锆石多为无色透明—浅黄色、形态各异。锆石CL图像显示,结晶较小,部分有环带,且存在一定程度的破损,大小介于50~150μm之间(图4)。对其中谐和度介于90%~110%的68个分析点进行年龄统计(表2)。锆石年龄分布如图5所示,这些分析点的年龄分布于新元古代930~700Ma、寒武纪—泥盆纪396~544Ma和早二叠世273~296Ma三个主要年龄组。3个年龄组内部的锆石绝大部分具有较明显的振荡环带,部分锆石核幔边界清晰,有部分破损。锆石Th、U含量变化幅度较大,仅少部分偏离3个年龄的锆石具有较低的Th、U含量,3个年龄组内的锆石具有较高的Th、U含量,分别为 $70 \times 10^{-6} \sim 595 \times 10^{-6}$ 和 $91 \times 10^{-6} \sim 857 \times 10^{-6}$,具有较好的正相关关系,Th/U值绝大部分大于0.4,仅有3颗锆石的Th/U值小于0.4,但仍大于0.1(图6)。前人的研究表明,不同成因类型的锆石具有不同的Th、U含量及Th/U值,这是因为Th⁴⁺较U⁴⁺具有更大的离子半径,在锆石晶格中Th较U更不稳定,变质重结晶过程中,Th较U更容易被逐出锆石的晶格,造成重结晶变质锆石具有较低的Th/U值,所以岩浆锆石的Th/U值一般大于0.4;变质锆石的Th、U含量较低,Th/U值一般小于0.1。

测得的锆石年龄有多组,其中最年轻的一组有9个数据,其²⁰⁶Pb/²³⁸U年龄介于 $296 \pm 6 \sim 274 \pm 5$ Ma之间,给出的年龄加权平均值为 286.2 ± 5.0 Ma(MSWD=1.9)(图7),应代表岩浆最后活动的时间。结合构造背景推断,岩脉是盆地内部早二叠世辉绿岩岩浆上侵形成的。新元古代700~930Ma年龄组的锆石年龄峰值为770~820Ma,可能代表在此期间盆地内部发生较强烈的构造运动和岩浆上涌、锆石结晶。古生代396~544Ma年龄组跨时较长,早寒武世—早石炭世都有分布,在440~465Ma(中、晚奥陶世)出现峰值(图5-B)。在地震剖面上,塔中地区的3组不同方向的断裂最早在中寒武世已经形成,随后发生多起张扭或压扭性间歇性活动,所以岩脉中

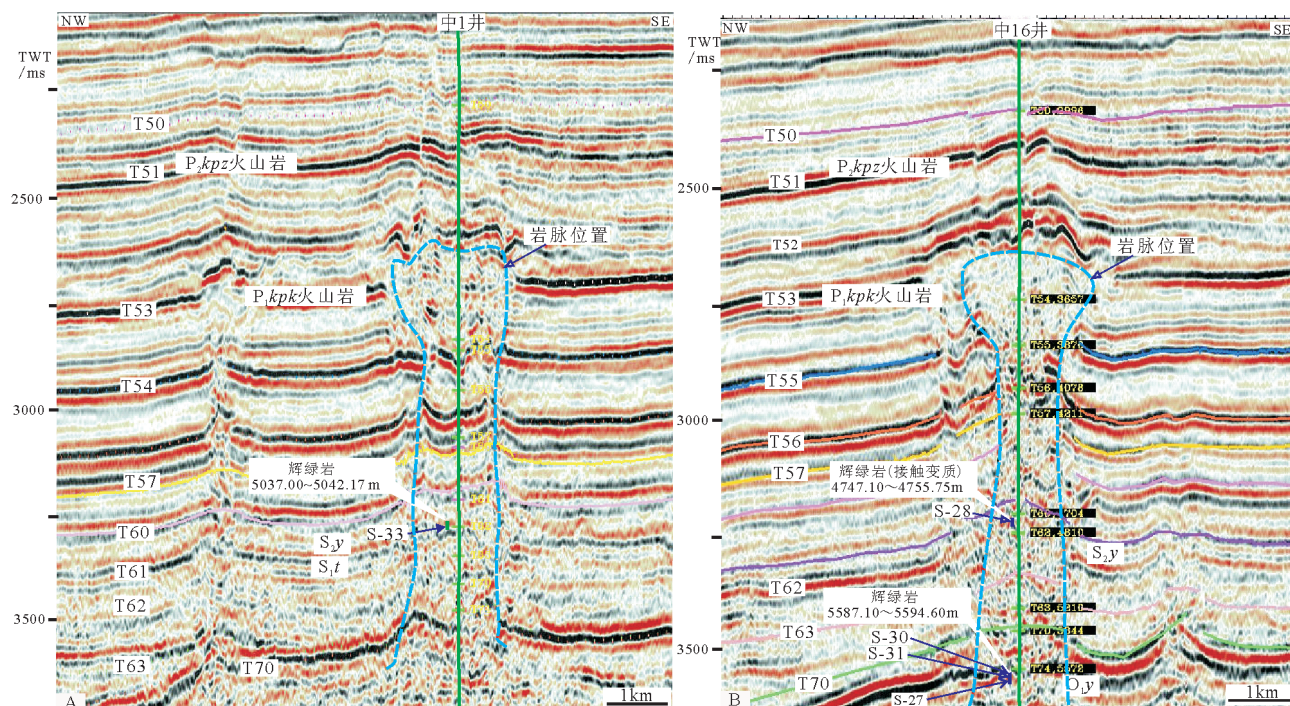


图2 过中1井、中16井北西向三维地震剖面
(沿断裂带发育的岩脉呈杂乱反射, 钻井正好钻在断裂带及岩脉之上)

Fig. 2 Northwestward 3D seismic profile through well Zhong 1 and Zhong 16

A—中1井北西向三维地震剖面; B—中16井北西向三维地震剖面; P.kpz—中二叠统开派雷兹克组; P.kpk—下二叠统库普库兹满组; S.y—中志留统依木干塔乌组; S.t—下志留统塔塔阿尔塔格组; O.y—下奥陶统鹰山组

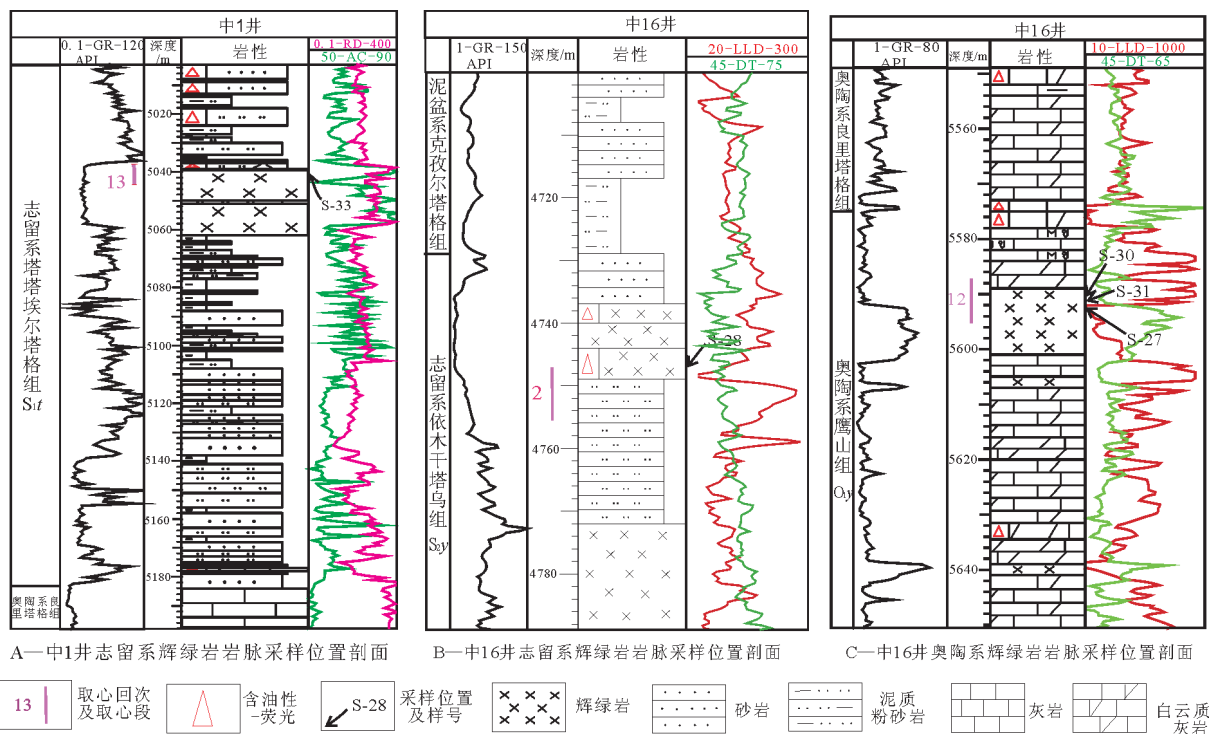
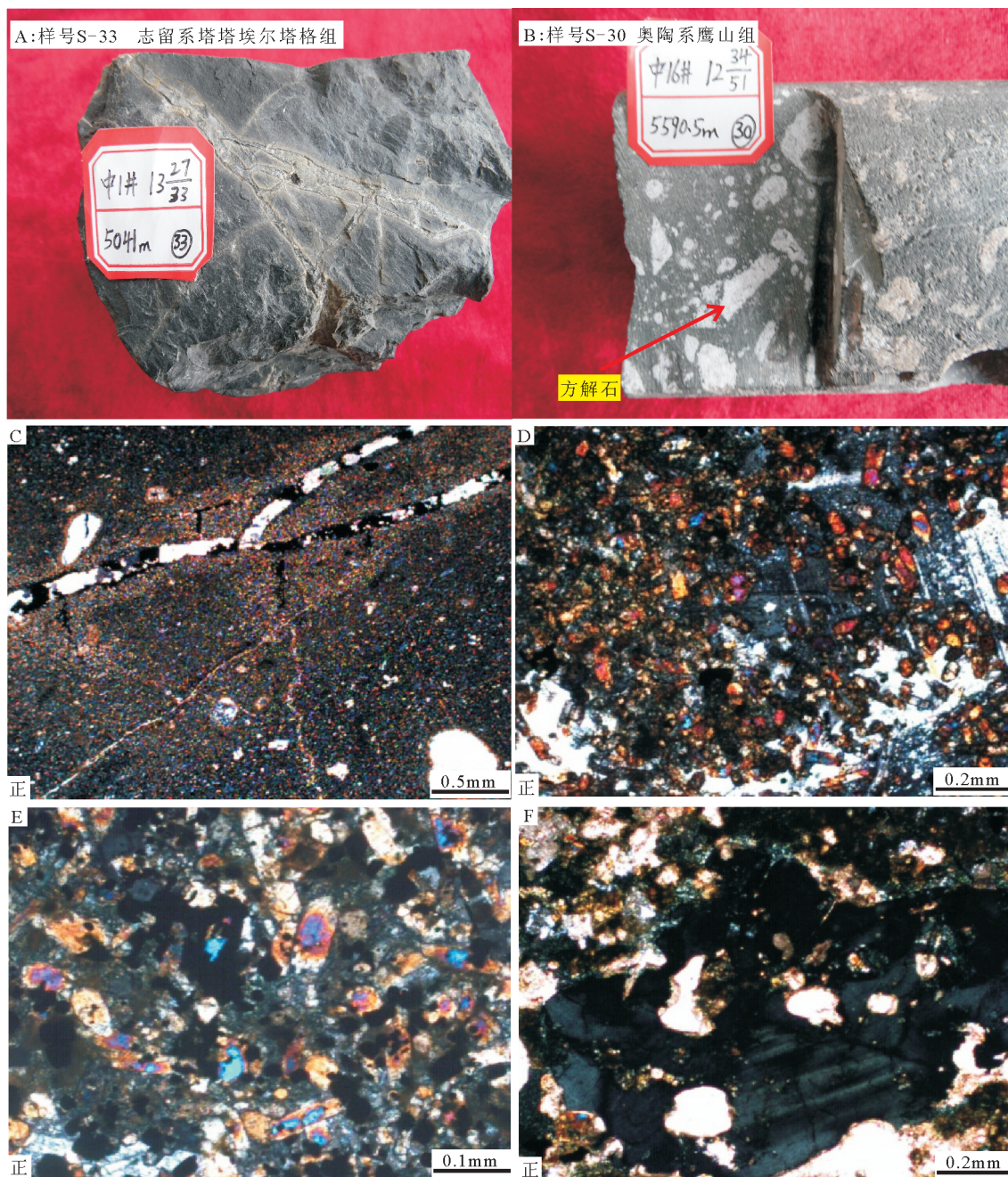


图3 中1井、中16井采样位置剖面

Fig. 3 Sampling position in well Zhong 1 and Zhong 16 profile

图版 I Plate I



A. 中1井志留系塔塔埃尔塔格组, 辉绿岩发生破裂, 裂缝被方解石充填; B. 中16井奥陶系鹰山组, 辉绿岩发生溶蚀, 形成空隙, 被后期方解石充填; C. 中1井志留系塔塔埃尔塔格组, 辉绿岩裂缝被后期方解石充填; D. E. 中16井奥陶系鹰山组, 辉绿岩发生严重蚀变, 可见短柱状蚀变辉石; F. 中16井奥陶系鹰山组, 长石发生溶蚀, 被方解石充填

二叠纪以前形成的锆石可能与这些断裂带发生的较早的岩浆活动有关, 反映在中晚奥陶世, 盆地内部发生了强烈的构造运动和岩浆上涌、锆石结晶。

2.2 中16井辉绿脉(围岩为奥陶系灰岩)锆石特征

采集于中16井4747m处的志留系塔塔埃尔塔格

组辉绿岩样品(S-28), 测得的锆石年龄数据很少, 其中最小的年龄为早二叠世。

中16井5590.5~5592m处奥陶系鹰山组的辉绿岩岩脉(S-27、S-30、S-31)中锆石结晶较好, 环带清晰, 棱角分明(图8)。

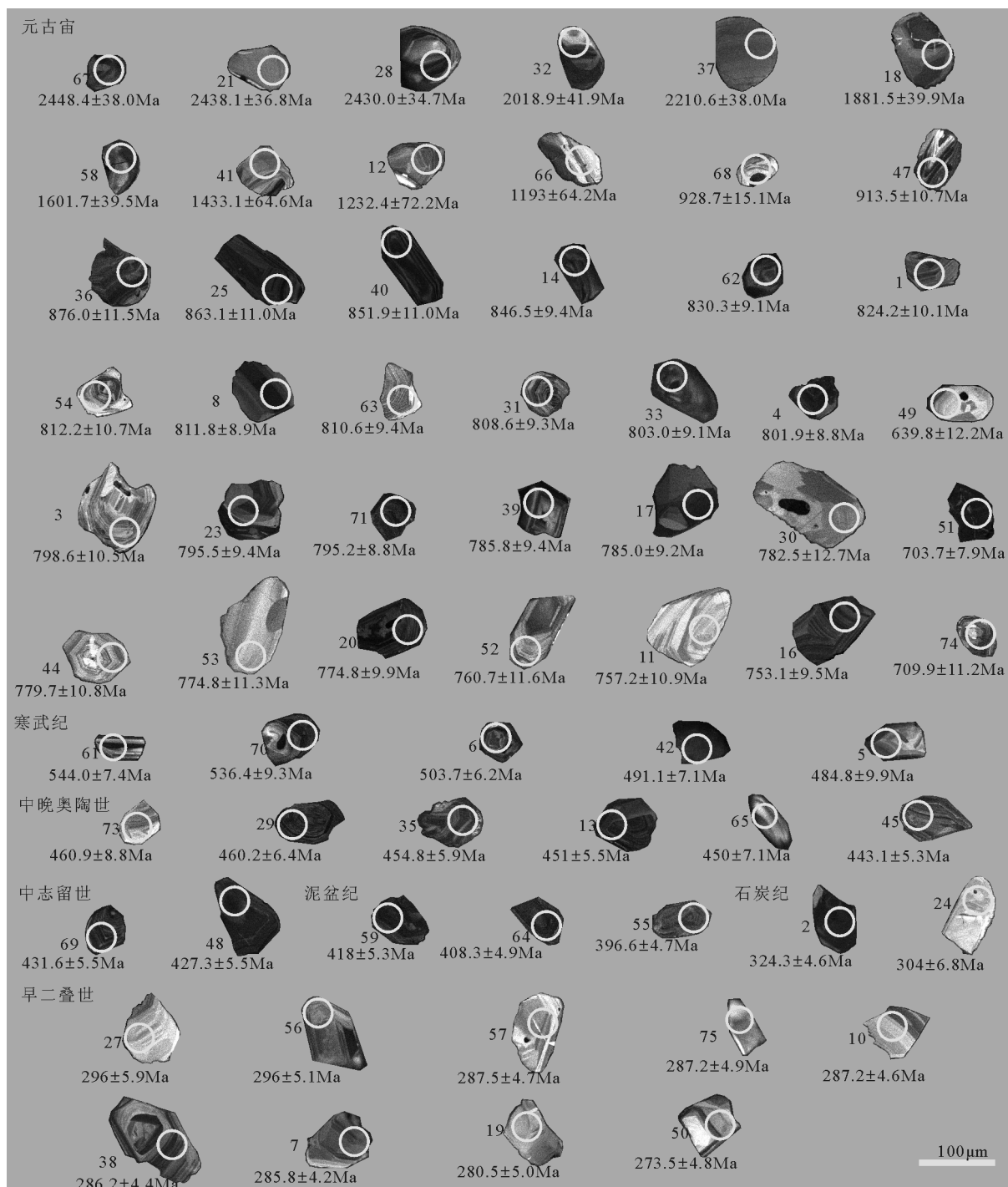


图4 中1井志留系塔塔埃尔塔格组泥质粉砂岩中辉绿岩岩脉(样品S-33)锆石 CL 图像及年龄

Fig. 4 Zircon CL images and the age of diabase dyke (sample S-33) in the Silurian argillaceous siltstone, well Zhong 1

在S-30样品中共计挑选70余颗锆石,从锆石的CL图像可以明显地看出,锆石被强烈溶蚀形成一些小的溶孔,仅能对其中的5颗锆石进行分析测

试,且只有1颗锆石年龄结果符合精度要求。在S-27、S-31样品中共计挑选出30余颗锆石,但受到实验仪器精度、数据精度的约束,仅得到谐和年龄数

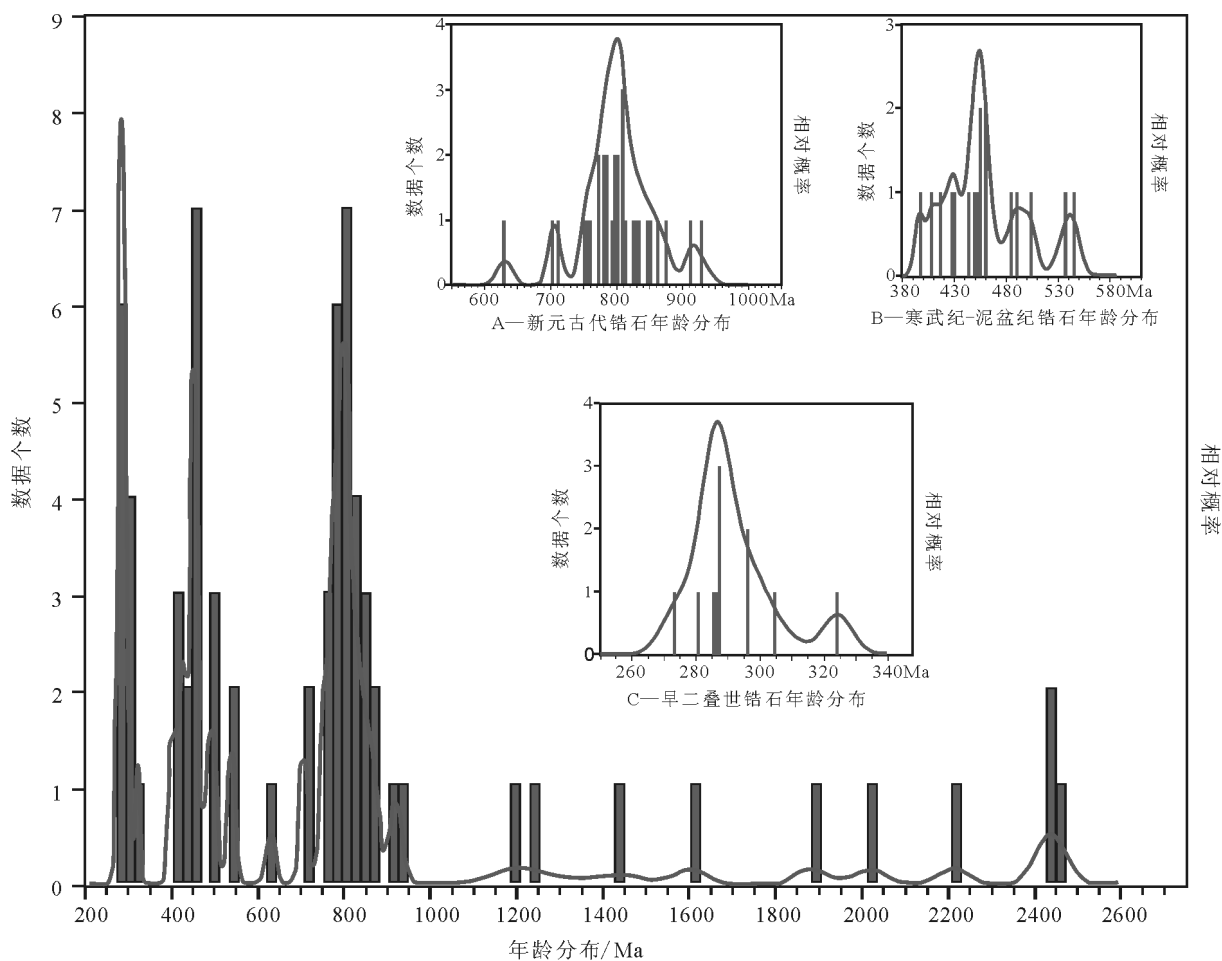


图5 中1井S-33样品锆石年龄分布

Fig. 5 The distribution of the ages of zircon sample S-33, well Zhong 1

据的锆石 15 颗(表 3)。

S-27、S-30 和 S31 三个样品的 15 个锆石年龄分布如图 9 所示。根据锆石年龄及锆石形态特征，

其年龄分为 3 组进行讨论：元古宙、早二叠世、早白垩世。

元古宙锆石共计 3 颗，可能来源于岩浆上涌过

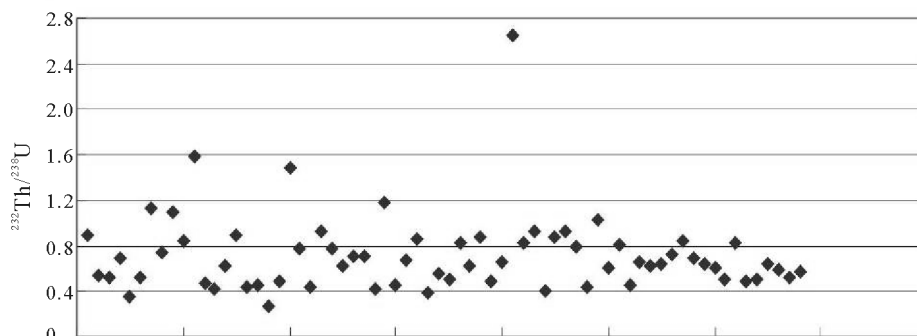


图6 中1井S-33样品锆石Th/U值

Fig. 6 The ratio of Th/U from zircon sample S-33, well Zhong 1

表 2 中 1 井辉绿岩样品(S-33)LA-ICP-MS 锆石 U-Th-Pb 同位素数据

Table 2 LA-ICP-MS zircon U-Th-Pb dating of diabase
(sample S-33) in the Zhong 1 well

点 号	含 量/10 ⁶				同 位 素 比 值								年 龄/Ma								谐和 度/%	
	Pb*	²⁰⁶ Pb	²³² Th	²³⁸ U	²⁰⁷ Pb/ ²⁰⁶ Pb	1σ	²⁰⁷ Pb/ ²³⁵ U	1σ	²⁰⁶ Pb/ ²³⁸ U	1σ	²⁰⁸ Pb/ ²³² Th	1σ	²⁰⁷ Pb/ ²⁰⁶ Pb	1σ	²⁰⁷ Pb/ ²³⁵ U	1σ	²⁰⁶ Pb/ ²³⁸ U	1σ	²⁰⁸ Pb/ ²³² Th	1σ		
1	8.161	136.5	104.0	216.2	0.0656	0.0020	1.2341	0.0318	0.1364	0.0018	0.0426	0.0008	794	63	816	14	824	10	842	16	99	
2	227.142	180.5	596.0	857.8	0.0466	0.0022	0.3313	0.0145	0.0516	0.0008	0.0166	0.0004	27	110	291	11	324	5	333	7	90	
3	64.250	72.7	86.3	122.6	0.0656	0.0023	1.1929	0.0367	0.1319	0.0018	0.0413	0.0008	793	72	797	17	799	10	818	15	100	
4	61.781	301.3	309.8	502.1	0.0650	0.0016	1.1882	0.0213	0.1325	0.0016	0.0415	0.0005	776	50	795	10	802	9	823	10	99	
5	66.013	63.8	173.3	197.1	0.0559	0.0042	0.6019	0.0429	0.0781	0.0017	0.0239	0.0008	447	158	478	27	485	10	478	16	99	
6	43.086	116.7	275.4	297.7	0.0555	0.0018	0.6222	0.0174	0.0813	0.0010	0.0250	0.0004	433	71	491	11	504	6	500	8	98	
7	26.463	39.6	117.9	202.4	0.0518	0.0025	0.3237	0.0147	0.0453	0.0007	0.0153	0.0004	275	108	285	11	286	4	308	8	100	
8	84.608	241.9	321.0	409.6	0.0655	0.0016	1.2121	0.0220	0.1342	0.0016	0.0427	0.0005	790	50	806	10	812	9	845	10	99	
9	29.902	116.3	155.8	353.6	0.0554	0.0019	0.5597	0.0167	0.0733	0.0010	0.0232	0.0005	426	75	451	11	456	6	464	9	99	
10	45.101	39.7	98.1	198.7	0.0521	0.0029	0.3273	0.0169	0.0456	0.0008	0.0147	0.0005	290	121	288	13	287	5	294	9	100	
11	66.691	57.2	75.9	91.0	0.0646	0.0027	1.1102	0.0413	0.1246	0.0019	0.0391	0.0008	761	84	758	20	757	11	776	15	100	
12	33.654	190.8	215.5	196.6	0.0815	0.0031	2.7053	0.0919	0.2408	0.0040	0.0720	0.0014	1232	72	1330	25	1391	21	1405	27	89	
13	9.370	132.1	258.3	426.4	0.0558	0.0018	0.5575	0.0152	0.0725	0.0009	0.0237	0.0004	443	70	450	10	451	6	474	8	100	
14	40.787	282.8	204.1	472.4	0.0672	0.0017	1.3007	0.0246	0.1403	0.0017	0.0433	0.0007	844	51	846	11	847	9	856	13	100	
15	34.628	676.3	73.4	225.5	0.2634	0.0052	20.6802	0.2419	0.5692	0.0065	0.1602	0.0023	3267	31	3124	11	2905	27	3004	40	112	
16	91.859	133.9	132.5	213.2	0.0637	0.0021	1.0893	0.0309	0.1239	0.0017	0.0402	0.0009	733	69	748	15	753	10	796	17	99	
17	22.961	131.4	92.9	201.5	0.0653	0.0018	1.1656	0.0266	0.1295	0.0016	0.0423	0.0010	783	58	785	12	785	9	837	20	100	
18	37.749	437.0	139.5	269.8	0.1151	0.0026	5.6729	0.0859	0.3574	0.0043	0.1083	0.0015	1882	39	1927	13	1970	20	2078	28	96	
19	121.020	27.9	74.7	143.6	0.0514	0.0034	0.3155	0.0201	0.0445	0.0008	0.0139	0.0005	260	147	278	16	281	5	279	10	99	
20	59.188	128.0	84.1	215.8	0.0638	0.0022	1.1236	0.0333	0.1277	0.0017	0.0402	0.0009	735	71	765	16	775	10	797	18	99	
21	55.789	265.4	70.8	129.3	0.1584	0.0035	10.2080	0.1547	0.4674	0.0058	0.1336	0.0020	2438	37	2454	14	2472	26	2535	36	99	
22	24.460	19.5	49.9	99.3	0.0686	0.0047	0.4109	0.0266	0.0434	0.0009	0.0152	0.0006	888	135	350	19	274	5	305	11	128	
23	5.633	168.1	207.9	290.1	0.0653	0.0019	1.1820	0.0280	0.1313	0.0017	0.0409	0.0006	782	60	792	13	796	9	810	12	100	
24	51.847	13.2	40.9	64.1	0.0489	0.0051	0.3258	0.0327	0.0483	0.0011	0.0143	0.0007	144	226	286	25	304	7	286	14	94	
25	82.234	203.4	208.3	336.7	0.0657	0.0022	1.2981	0.0371	0.1433	0.0020	0.0430	0.0006	797	68	845	16	863	11	852	12	98	
26	168.909	207.4	98.6	168.2	0.1089	0.0029	4.2798	0.0876	0.2849	0.0038	0.0841	0.0015	1781	47	1690	17	1616	19	1633	28	110	
27	126.122	18.8	55.6	91.4	0.0522	0.0043	0.3383	0.0266	0.0470	0.0010	0.0146	0.0006	294	176	296	20	296	6	293	12	100	
28	22.593	718.2	194.0	375.0	0.1576	0.0033	9.6838	0.1251	0.4455	0.0051	0.1230	0.0015	2430	35	2405	12	2375	23	2344	28	102	
29	33.922	220.3	550.0	693.8	0.0559	0.0023	0.5700	0.0214	0.0740	0.0011	0.0229	0.0005	446	90	458	14	460	6	457	9	100	
30	72.082	74.0	86.9	127.5	0.0685	0.0033	1.2187	0.0541	0.1291	0.0022	0.0382	0.0011	883	96	809	25	783	13	757	21	103	
31	52.454	219.5	329.1	354.6	0.0640	0.0018	1.1795	0.0260	0.1336	0.0016	0.0418	0.0006	742	58	791	12	809	9	827	11	98	
32	20.343	244.9	56.0	156.8	0.1243	0.0030	6.2828	0.1110	0.3665	0.0047	0.1036	0.0020	2019	42	2016	15	2013	22	1992	37	100	
33	3.965	188.3	243.2	315.6	0.0662	0.0018	1.2108	0.0256	0.1327	0.0016	0.0399	0.0006	812	55	806	12	803	9	791	11	100	
34	16.171	11.8	31.1	57.9	0.0451	0.0053	0.2812	0.0324	0.0452	0.0012	0.0152	0.0008	0	216	252	26	285	7	305	17	88	
35	6.820	98.2	313.9	307.2	0.0525	0.0021	0.5296	0.0185	0.0731	0.0010	0.0226	0.0004	309	86	432	12	455	6	452	7	95	
36	40.164	229.6	162.1	379.8	0.0652	0.0023	1.3094	0.0408	0.1456	0.0021	0.0462	0.0011	782	73	850	18	876	12	912	21	97	
37	91.767	284.2	104.5	149.7	0.1387	0.0031	8.1970	0.1240	0.4286	0.0052	0.1197	0.0016	2211	38	2253	14	2300	24	2285	29	96	
38	12.054	36.5	119.1	184.1	0.0520	0.0029	0.3257	0.0169	0.0454	0.0007	0.0147	0.0004	287	122	286	13	286	4	295	8	100	
39	71.363	155.5	323.2	272.4	0.0650	0.0020	1.1624	0.0288	0.1296	0.0016	0.0379	0.0005	775	62	783	14	786	9	753	10	100	
40	227.070	216.8	330.5	369.5	0.0693	0.0023	1.3508	0.0389	0.1413	0.0019	0.0436	0.0007	909	68	868	17	852	11	862	13	107	
41	77.161	85.3	59.0	79.8	0.0904	0.0031	3.0106	0.0911	0.2416	0.0037	0.0736	0.0015	1433	65	1410	23	1395	19	1435	29	103	

续表2

点 号	含 量/10 ⁴				同 位 素 比 值								年 龄/Ma								谐和 度/%	
	Pb*	²⁰⁶ Pb	²³² Th	²³⁸ U	²⁰⁷ Pb/ ²⁰⁶ Pb	1σ	²⁰⁷ Pb/ ²³⁵ U	1σ	²⁰⁶ Pb/ ²³⁸ U	1σ	²⁰⁸ Pb/ ²³² Th	1σ	²⁰⁷ Pb/ ²⁰⁶ Pb	1σ	²⁰⁷ Pb/ ²³⁵ U	1σ	²⁰⁶ Pb/ ²³⁸ U	1σ	²⁰⁸ Pb/ ²³² Th	1σ		
42	27.786	97.9	117.4	285.8	0.0520	0.0024	0.5680	0.0245	0.0792	0.0012	0.0251	0.0007	287	104	457	16	491	7	502	14	93	
43	38.568	147.4	109.8	241.9	0.0669	0.0020	1.2731	0.0308	0.1379	0.0017	0.0428	0.0008	835	60	834	14	833	10	847	15	100	
44	72.606	86.0	133.0	153.6	0.0652	0.0026	1.1561	0.0408	0.1286	0.0019	0.0392	0.0008	781	81	780	19	780	11	776	15	100	
45	29.899	227.0	344.4	749.1	0.0554	0.0017	0.5432	0.0143	0.0712	0.0009	0.0236	0.0004	427	68	441	9	443	5	471	8	99	
46	13.971	50.7	65.2	87.8	0.0732	0.0030	1.3212	0.0480	0.1308	0.0020	0.0396	0.0009	1020	80	855	21	793	12	785	17	129	
47	65.329	114.4	69.3	146.7	0.0696	0.0020	1.4615	0.0336	0.1523	0.0019	0.0453	0.0008	917	58	915	14	914	11	895	15	100	
48	38.757	98.0	196.8	314.2	0.0573	0.0021	0.5419	0.0177	0.0685	0.0009	0.0216	0.0004	504	80	440	12	427	6	431	8	103	
49	73.957	22.2	32.0	49.1	0.0615	0.0043	0.8719	0.0584	0.1028	0.0021	0.0329	0.0012	657	143	637	32	631	12	654	23	101	
50	23.759	31.2	97.9	169.2	0.0515	0.0036	0.3080	0.0206	0.0433	0.0008	0.0138	0.0005	264	153	273	16	274	5	277	10	100	
51	53.193	293.9	279.2	568.5	0.0636	0.0017	1.0110	0.0214	0.1153	0.0014	0.0374	0.0006	727	56	709	11	704	8	743	11	101	
52	32.604	99.6	85.8	169.9	0.0696	0.0031	1.2027	0.0485	0.1253	0.0020	0.0439	0.0012	918	88	802	22	761	12	868	23	105	
53	3.497	99.0	96.6	173.0	0.0657	0.0028	1.1568	0.0451	0.1277	0.0020	0.0410	0.0010	796	87	780	21	775	11	813	19	101	
54	36.624	105.0	270.3	181.7	0.0676	0.0024	1.2518	0.0391	0.1343	0.0019	0.0406	0.0006	857	73	824	18	812	11	804	11	101	
55	9.830	133.0	395.6	473.4	0.0532	0.0017	0.4656	0.0127	0.0634	0.0008	0.0202	0.0003	339	71	388	9	397	5	405	6	98	
56	34.702	28.5	69.6	135.7	0.0521	0.0032	0.3377	0.0198	0.0470	0.0008	0.0145	0.0005	291	135	295	15	296	5	291	10	100	
57	69.157	30.8	126.2	152.9	0.0520	0.0032	0.3270	0.0188	0.0456	0.0008	0.0147	0.0004	285	133	287	14	288	5	294	7	100	
58	11.946	661.0	592.8	526.8	0.0988	0.0021	3.8727	0.0524	0.2843	0.0032	0.0802	0.0008	1602	40	1608	11	1613	16	1559	15	99	
59	42.537	172.2	341.6	539.4	0.0552	0.0020	0.5103	0.0163	0.0670	0.0009	0.0194	0.0004	422	79	419	11	418	5	389	7	100	
60	23.296	370.0	401.6	360.5	0.0948	0.0021	2.9961	0.0456	0.2293	0.0026	0.0638	0.0007	1523	42	1407	12	1331	14	1250	13	114	
61	27.301	78.1	537.9	202.9	0.0587	0.0024	0.7130	0.0266	0.0881	0.0013	0.0251	0.0003	557	88	547	16	544	7	501	7	100	
62	134.314	249.1	108.2	404.1	0.0681	0.0018	1.2911	0.0253	0.1375	0.0016	0.0419	0.0008	872	53	842	11	830	9	830	15	101	
63	5.973	155.2	115.1	257.9	0.0677	0.0020	1.2509	0.0289	0.1340	0.0017	0.0399	0.0007	860	59	824	13	811	9	791	14	102	
64	8.346	210.2	475.2	654.6	0.0548	0.0018	0.4941	0.0135	0.0654	0.0008	0.0202	0.0003	405	70	408	9	408	5	404	6	100	
65	87.150	38.3	94.2	117.2	0.0612	0.0032	0.6101	0.0297	0.0723	0.0012	0.0217	0.0005	647	109	484	19	450	7	433	11	107	
66	11.669	81.3	81.0	96.0	0.0798	0.0027	2.0840	0.0593	0.1893	0.0027	0.0591	0.0010	1193	64	1144	20	1118	14	1160	20	107	
67	40.221	354.8	161.0	181.7	0.1593	0.0036	9.5022	0.1490	0.4326	0.0054	0.1214	0.0016	2448	38	2388	14	2318	24	2315	29	106	
68	18.317	62.2	143.8	90.4	0.0692	0.0035	1.4780	0.0685	0.1550	0.0027	0.0484	0.0009	904	99	921	28	929	15	955	18	97	
69	29.900	114.1	228.5	350.5	0.0548	0.0020	0.5231	0.0170	0.0693	0.0009	0.0207	0.0004	404	80	427	11	432	5	414	7	99	
70	27.963	73.3	156.1	188.1	0.0538	0.0033	0.6437	0.0379	0.0868	0.0016	0.0332	0.0009	363	134	505	23	536	9	661	17	94	
71	226.458	586.5	381.0	919.9	0.0674	0.0018	1.2203	0.0250	0.1313	0.0016	0.0397	0.0007	851	55	810	11	795	9	788	13	102	
72	7.586	52.2	49.8	83.2	0.0807	0.0033	1.5653	0.0577	0.1406	0.0022	0.0496	0.0012	1215	79	957	23	848	12	979	23	143	
73	15.952	43.5	121.1	131.6	0.0560	0.0044	0.5723	0.0433	0.0741	0.0016	0.0218	0.0008	453	166	460	28	461	10	435	15	100	
74	11.161	73.1	118.2	135.2	0.0633	0.0031	1.0163	0.0460	0.1164	0.0020	0.0339	0.0008	719	101	712	23	710	11	674	16	100	
75	65.116	26.1	64.1	128.7	0.0509	0.0034	0.3194	0.0201	0.0456	0.0008	0.0138	0.0005	235	146	281	16	287	5	276	10	98	

注:Pb*指放射成因铅的总含量

程中从周围岩体中捕获的早期结晶锆石。早二叠世锆石共计2颗,结合盆地的构造背景及盆地内部岩浆活动的特征,其可能代表该套岩浆岩上涌、冷凝、结晶的年代,与早中二叠世发生的大面积火山活动时间一致。

白垩纪锆石样品共计9颗,其年龄分布如图9

所示,年龄谐和度较高(图9)。

3 白垩纪锆石成因浅析

S-27、S-30、S-31三个样品部分锆石的CL图像显示,锆石结晶较好、颗粒细小、环带清晰且多数呈柱状,但可以看到明显的溶蚀现象,显示锆石可

表 3 中 16 井辉绿岩(样品 S-27、S-30、S-31)LA-ICP-MS 锆石 U-Th-Pb 分析结果

Table3 LA-ICP-MS zircon U-Th-Pb dating of diabase (sample S-27、S-30、S-31) in the zhong 16 well

点 号	含量/10 ⁻⁶			同位素比值								年龄/Ma								谐和 度/%
	¹⁷⁸ Hf	²³² Th	²³⁸ U	²⁰⁷ Pb/ ²⁰⁶ Pb	1σ	²⁰⁷ Pb/ ²³⁵ U	1σ	²⁰⁶ Pb/ ²³⁸ U	1σ	²⁰⁸ Pb/ ²³² Th	1σ	²⁰⁷ Pb/ ²⁰⁶ Pb	1σ	²⁰⁷ Pb/ ²³⁵ U	1σ	²⁰⁶ Pb/ ²³⁸ U	1σ	²⁰⁸ Pb/ ²³² Th	1σ	
S-27-1	9809.5	65.3	156.3	0.0532	0.0036	0.3926	0.0254	0.0535	0.0010	0.0181	0.0007	336	146	336	19	336	6	362	13	100
S-27-2	10204.5	2472.7	4253.8	0.0504	0.0013	0.1333	0.0026	0.0192	0.0002	0.0061	0.0001	213	58	127	2	122	1	122	2	104
S-27-3	10461.0	2280.7	1319.4	0.0521	0.0021	0.1159	0.0043	0.0161	0.0002	0.0049	0.0001	288	91	111	4	103	1	98	1	108
S-27-4	8358.4	352.3	360.2	0.0462	0.0028	0.1169	0.0067	0.0183	0.0003	0.0061	0.0001	8	140	112	6	117	2	122	3	96
S-27-6	10697.4	74.0	252.1	0.0714	0.0023	1.5841	0.0426	0.1610	0.0022	0.0529	0.0013	967	63	964	17	963	12	1043	25	100
S-27-7	10176.9	11059.5	15088.5	0.0530	0.0013	0.1373	0.0024	0.0188	0.0002	0.0064	0.0001	329	54	131	2	120	1	128	1	109
S-27-11	11077.3	423.2	1069.0	0.0481	0.0019	0.1513	0.0053	0.0228	0.0003	0.0074	0.0002	106	89	143	5	146	2	148	3	98
S-27-12	11004.6	940.0	614.0	0.0483	0.0031	0.1202	0.0072	0.0181	0.0003	0.0055	0.0001	112	143	115	7	116	2	112	2	100
S-27-13	11438.9	1579.1	3217.0	0.0489	0.0014	0.1406	0.0033	0.0209	0.0003	0.0065	0.0001	142	66	134	3	133	2	131	2	100
S-30-1	7443.6	111.9	60.5	0.0516	0.0143	0.1628	0.0442	0.0229	0.0012	0.0063	0.0004	269	534	153	39	146	7	127	8	105
S-31-1	10412.6	174.2	373.7	0.0728	0.0018	1.7067	0.0331	0.1700	0.0020	0.0498	0.0008	1008	50	1011	12	1012	11	983	15	100
S-31-2	13805.5	812.2	2194.6	0.0485	0.0016	0.1323	0.0039	0.0198	0.0002	0.0062	0.0001	125	77	126	3	126	2	125	2	100
S-31-3	73.9	442.8	45.5	0.0526	0.0147	0.3408	0.0943	0.0470	0.0021	0.0124	0.0003	311	535	298	71	296	13	249	6	101
S-31-4	9572.8	59.5	170.4	0.0564	0.0041	0.3363	0.0233	0.0432	0.0009	0.0146	0.0008	467	154	294	18	273	5	294	17	108
S-31-5	12338.4	257.8	553.2	0.0705	0.0021	1.2567	0.0307	0.1293	0.0016	0.0438	0.0009	942	60	826	14	784	9	867	17	105

注:Pb*指放射成因铅的总含量

能经历了热液改造作用。

不同成因锆石(岩浆锆石、变质锆石和热液锆石)具有特征各异的微量元素组成^[24-26]。对白垩纪 3 个样品 S-27、S-30、S-31 锆石中的稀土元素进行分析,其稀土元素含量从 La 至 Lu 渐渐增高,具有 Ce 的正异常和 Eu 的负异常,与中 1 井新元古代、早中奥陶世及早二叠世的锆石稀土元素分布模式相同。对 4 个时代的锆石的⁸⁹Y、¹⁷⁸Hf 元素分析表明,早白垩世锆石具有

明显较高的⁸⁹Y、¹⁷⁸Hf 含量(表 4),同时早白垩世锆石 Th、U 含量也较高。以上特征表明,白垩纪锆石受到后期热液活动蚀变或重结晶作用影响。

白垩纪是塔里木盆地一个重要的晚期生油和成藏阶段,晚期生油和成藏可能与热液活动有关。前人对塔中地区志留系油藏成藏期次的研究表明,在燕山运动末期存在第二期油气成藏^[27]。张兴阳等^[28]认为,晚燕山期—喜马拉雅期(110.4~

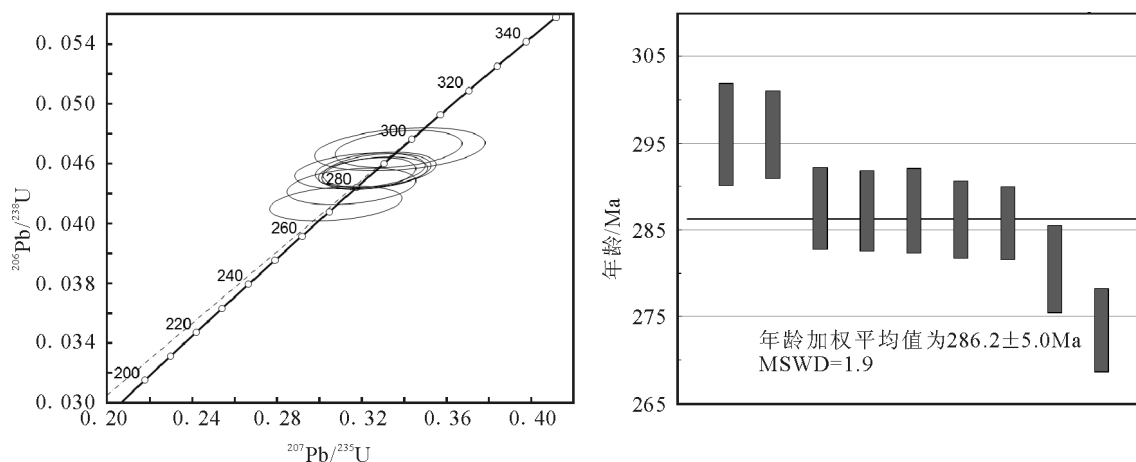


图 7 中 1 井二叠纪锆石 U-Pb 年龄谐和图及年龄

Fig. 7 U-Pb plots and weighted average age of Permian zircon age in well Zhong 1

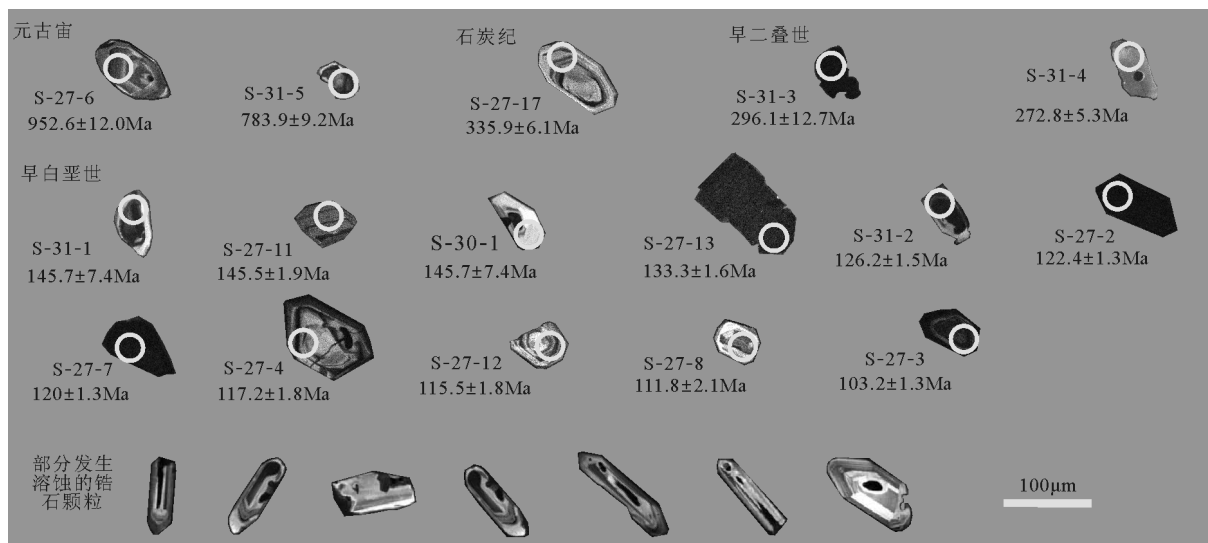


图8 中16井奥陶系鹰山组灰岩中辉绿岩岩脉样品锆石阴极发光图像及年龄

Fig. 8 Zircon CL image and age of diabase dyke in the Ordovician

Yingshan Formation limestone, well Zhong 16

30.8Ma)塔中地区发生了成矿热液与成藏流体的大规模运移事件,为重要的油气调整期。热液活动可以降低原油粘度、减小油水界面张力,减小油气运移阻力并

能携带部分油气,从而促使油气沿断裂裂缝体系向浅部地层运移^[29-30]。

中16井辉绿岩内部早白垩世锆石可能为沿

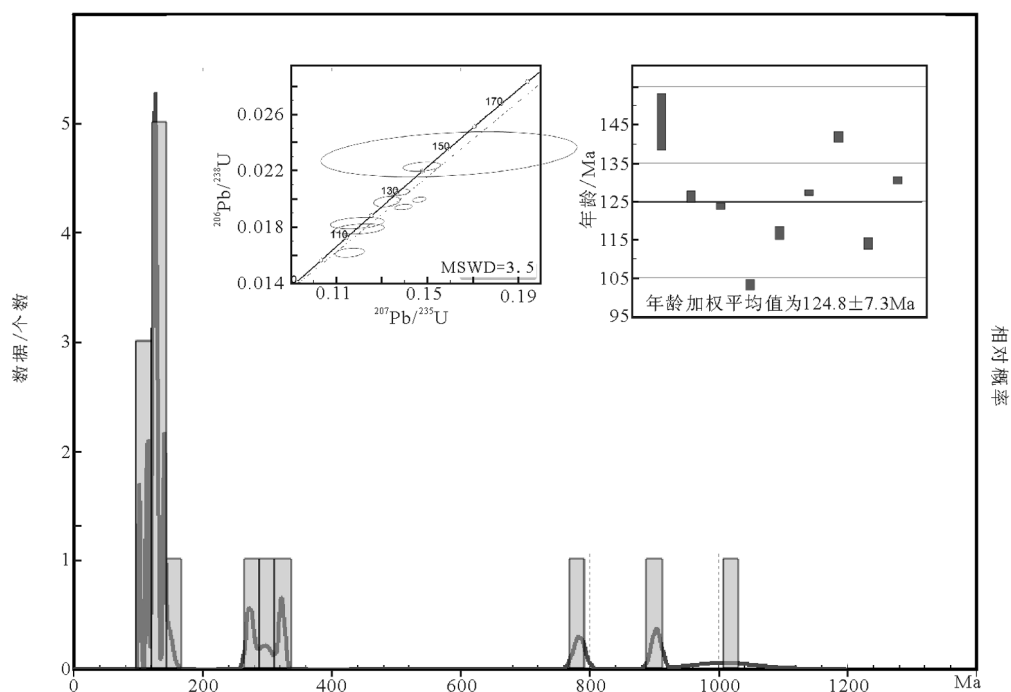


图9 中16井锆石年龄分布、早白垩世锆石U-Pb谐和图及年龄加权平均图

Fig. 9 The distribution of the ages of zircon sample from well Zhong 16, and U-Pb plots and weighted average age of Early Cretaceous zircons

表 4 不同时代锆石 ^{89}Y 、 ^{178}Hf 含量Table 4 ^{89}Y , ^{178}Hf content of different ages of zircons

元素含量平均 值/ 10^{-6}	中 1 井 新元古代	中 1 井 寒武纪—泥盆纪	中 1 井 早二叠世	中 16 井 早白垩世
^{89}Y	695	821	844	4164
^{178}Hf	9059	8755	8932	9982

断裂活动的热液流体与辉绿岩发生交代或重结晶作用形成。

4 结 论

(1)塔里木盆地塔中地区钻井在奥陶系—志留系中钻遇的辉绿岩岩脉存在 4 组锆石年龄,分别为新元古代、中晚奥陶世、早二叠世、早白垩世。其中新元古代及中晚奥陶世的锆石可能反映了盆地内部 2 期构造运动及岩浆活动。

(2)二叠纪岩脉中早白垩世锆石可能反映,塔里木盆地在早白垩世发生过一次热液改造作用。

(3)井下辉绿岩的多期锆石年龄测定结果反映,除二叠纪岩浆期后热液作用外,可能存在多期热液交代和溶蚀作用,它们对深部奥陶系碳酸盐岩热液储层的形成与改造具有重要意义。

参考文献

- [1]高振家,彭昌文.新疆天山前寒武系[J].新疆地质,1985,3(2):14-25.
- [2]陈汉林,杨树峰,董传万,等.塔里木盆地地质热事件研究[J].科学通报,1997,42(10):1096-1098.
- [3]贾承造.塔里木盆地构造特征与油气聚集规律[J].新疆石油地质,1999,20(3):177-183.
- [4]Zhang C L, Li Z X, Li X H, et al. a Permian large igneous province in Tarim and Central asian orogenic belt, NW China: Results of a ca. 275 Ma mantle plume[J]. Soc. Am. Bull., 2010, 122: 2020-2040.
- [5]Yang S F, Li Z L, Chen H L, et al. ^{40}Ar - ^{39}Ar dating of basalts from Tarim Basin, NW China and its implication to a Permian thermal tectonic event[J]. J. Zhejiang Univ., 2006, 7(Supp II): 170-174.
- [6]陈汉林,杨树峰,董传万,等.塔里木盆地二叠纪基性火山岩带的确定及大地构造意义[J].地球化学,1997,26(6):77-87.
- [7]陈汉林,杨树峰,厉子龙,等.塔里木盆地二叠纪大火成岩省发育的时空特点[J].新疆石油地质,2009,30(2):179-182.
- [8]于峻川,莫宣学,董国臣,等.塔里木北部二叠纪长英质火山岩年代学及地球化学特征[J].岩石学报,2011,27(7):2184-2194.
- [9]边伟华,王璞珺,孙晓猛,等.塔里木盆地库鲁克塔格地区二叠纪末—中三叠世基性岩床的发现及其地质意义[J].岩石学报,2010,26(1):274-282.
- [10]Yang S F, Chen H L, Li Z L, et al. Early Permian Tarim Large Ig-

neous Province in northwest China[J]. Science China: Earth Sciences, 2013, 12:2015-2026.

- [11]金之钧,朱东亚,胡文瑄,等.塔里木盆地热液活动地质地球化学特征及其对储层影响[J].地质学报,2006,80(2):245-253.
- [12]杨树峰,陈汉林,厉子龙,等.塔里木早二叠世大火成岩省[J].中国科学:地球科学,2014,44(2):187-199.
- [13]杨树峰,陈汉林,冀登武,等.塔里木盆地早—中二叠世岩浆作用过程及地球动力学[J].高校地质学报,2005,11(4):504-511.
- [14]钟广法,马在田,刘瑞林,等.塔里木盆地奥陶系萤石脉—油气叠合成藏作用——高分辨率成像测井资料提供的证据[J].高校地质学报,2000,6(4):576-582.
- [15]王嗣敏,吕修祥.塔中地区奥陶系碳酸盐岩储层特征及其油气意义[J].西安石油大学学报(自然科学版),2004,19(7):72-76.
- [16]朱东亚,胡文瑄,宋玉才,等.塔里木盆地塔中 45 井油藏萤石化特征及其对储层的影响[J].岩石矿物学杂志,2005,24(3):205-215.
- [17]张兴阳,顾家裕,罗平,等.塔里木盆地奥陶系萤石成因及其油气地质意义[J].岩石学报,2006,22(8):2220-2228.
- [18]李长民.锆石成因矿物学与锆石微区定年综述[J].地质调查与研究,2009,33(3):161-174.
- [19]吴元堡,郑永飞.锆石成因矿物学研究及其对 U-Pb 年龄解释的制约[J].科学通报,2004,49(16):1589-1604.
- [20]Cherniak D J, Watson E B. Pb diffusion in zircon[J]. Chemical Geology, 2000, 172: 5-24.
- [21]Cawood P A, Nemchin A A, Smith M, et al. Source of the Dalradian Supergroup constrained by U-Pb dating of detrital zircon and implication for the East Laurentian margin[J]. Journal of the Geological Society, London, 2003, 160: 231-246.
- [22]Cawood P A, Nemchin A A, Strachan R A, et al. Laurentian provenance and an intracratonic setting for the Moine Supergroup, Scotland, constrained by detrital zircons from the Loch Eil and Glen Urquhart successions[J]. Journal of the Geological Society, London, 2004, 161: 861-874.
- [23]任光明,庞维华,孙志明,等.扬子西缘会理地区通安组角闪岩锆石 U-Pb 定年及其地质意义[J].矿物岩石,2014,34(2):33-39.
- [24]雷玮琰,施光海,刘迎新.不同成因锆石的微量元素特征研究进展[J].地学前缘,2013,20(4):273-284.
- [25]江卓斐,伍皓,崔晓庄,等.四川盆地古近系柳嘉组碎屑锆石 U-Pb 年代学研究及其地质意义[J].矿物岩石,2013,33(4):76-84.
- [26]Belousova E, Suzanne G W, Fisher Y. Igneous zircon: Trace element composition as an indicator of source rock type[J]. Contrib Mineral Petrol., 2002, 143: 602-622.
- [27]李宇平,王勇,孙玉善,等.塔里木盆地中部地区志留系油藏两期成藏特征[J].地质科学,2002,37(增刊):45-50.
- [28]张兴阳,张水昌,罗平,等.塔中地区晚燕山—喜马拉雅期油气调整与热液活动的关系[J].科学通报.2007,52(增刊):192-198.
- [29]金之钧,朱东亚,孟庆强,等.塔里木盆地热液流体活动及其对油气运移的影响[J].岩石学报,2013,29(3):1048-1058.
- [30]陈业全.塔中地区火山岩形成分布与油气关系[D].中国科学院博士学位论文,2005.