

doi:10.12097/j.issn.1671-2552.2023.01.011

新疆西昆仑独尖山地区黄羊岭组碎屑锆石 U-Pb 年龄及其对特提斯洋构造演化的指示

唐名鹰^{1,2}, 张宇^{3*}, 崔霄峰³, 何玉良³, 丁正江^{4,5}, 董振昆^{1,2}, 丁文洁^{1,2}
TANG Mingying^{1,2}, ZHANG Yu^{3*}, CUI Xiaofeng³, HE Yuliang³, DING Zhengjiang^{4,5},
DONG Zhenkun^{1,2}, DING Wenjie^{1,2}

1. 山东省第八地质矿产勘查院, 山东 日照 276826;

2. 山东省地矿局有色金属矿找矿与资源评价重点实验室, 山东 日照 276826;

3. 河南省地质研究院, 河南 郑州 450053;

4. 山东省第六地质矿产勘查院, 山东 威海 264209;

5. 山东省深部金矿探测大数据应用开发工程实验室, 山东 威海 264209

1.No.8 Institute of Geology and Mineral Resources Exploration of Shandong Province, Rizhao 276826, Shandong, China;

2.Key Laboratory of Nonferrous Metal Ore Exploration and Resource Evaluation of Shandong Provincial Bureau of Geology and Mineral Resources, Rizhao 276826, Shandong, China;

3.Henan Academy of Geology, Zhengzhou 450053, Henan, China;

4.No.6 Institute of Geology and Mineral Resources Exploration of Shandong Province, Weihai 264209, Shandong, China;

5.Shandong Provincial Engineering Laboratory of Application and Development of Big Data for Deep Gold Exploration, Weihai 264209, Shandong, China

摘要:新疆西昆仑独尖山地区巴颜喀拉盆地北部发育黄羊岭组,岩性为一套灰色长石岩屑砂岩、灰白色石英砂岩、灰黑色粉砂岩等细碎屑岩组合,中部夹大量凝灰质成分,局部夹碳酸盐岩透镜体,含丰富的生物化石,指示时代为中二叠世。为进一步查明区域上黄羊岭组沉积时代及沉积区物质来源,在黄羊岭组一段顶底采集了2件碎屑岩样品,利用LA-ICP-MS对锆石U-Pb年龄及微量元素含量进行分析。其中,碎屑锆石²⁰⁶Pb/²³⁸U年龄主要集中于264~276 Ma、292~317 Ma、369~373 Ma、500~503 Ma、694~702 Ma五个区间,最年轻的锆石峰值年龄为266.1±0.89 Ma,表明该地区黄羊岭组开始沉积的时间为中二叠世中期。通过锆石微量元素判别图解对锆石的成岩类型进行判别,结合所取得的年龄数据,综合对比区内特提斯洋构造演化,认为264~276 Ma碎屑锆石来源于海西运动中昆仑造山带内的花岗质岩石和基性火山岩,292~317 Ma碎屑锆石来源于北侧喀什塔什地区石炭系—二叠系托库孜达坂岩组内的火山岩建造,500~503 Ma碎屑锆石来源于古特提斯洋主体形成时的岩浆构造演化,694~702 Ma碎屑锆石则来自于原特提斯洋北侧的塔里木陆块或大洋中的北美塘微陆块,而369~373 Ma的碎屑锆石来源于晚泥盆世古特提斯洋裂解初期小规模火山活动。

关键词:黄羊岭组;中二叠世;碎屑锆石U-Pb年龄;LA-ICP-MS;物质来源;独尖山地区;西昆仑

中图分类号:P534.46;P597+.3;P54 **文献标志码:**A **文章编号:**1671-2552(2023)01-0122-14

Tang M Y, Zhang Y, Cui X F, He Y L, Ding Z J, Dong Z K, Ding W J. Detrital zircon U-Pb age of Huangyangling Formation in Dujianshan area from West Kunlun, Xinjiang: implications for tectonic evolution of Tethyan Ocean. *Geological Bulletin of China*, 2023, 42(1): 122-135

Abstract: Huangyangling Formation is developed in the northern part of the Bayankara Basin in the Dujianshan area, western Kunlun, Xinjiang, which is composed of a series of fine clastic rocks such as gray feldspar lithic sandstone, gray-white quartz sandstone and gray-

收稿日期:2020-03-24;修订日期:2020-05-14

资助项目:新疆地勘基金中心项目《新疆西昆仑红山顶南一带1:5万四幅区域地质调查》(编号:16-1-LQ10)和《新疆西昆仑温泉—独尖山一带1:5万五幅区域地质调查》(编号:15-1-LQ21)

作者简介:唐名鹰(1990-),男,工程师,从事区域地质调查与矿产勘查工作。E-mail:353635085@qq.com

*通信作者:张宇(1986-),男,博士,工程师,从事区域地质矿产调查和成矿规律研究。E-mail:656504807@qq.com

black siltstone, and there are a lot of tuff and carbonate lens in the middle part, which are rich in fossils, indicating the Middle Permian age. In order to further identify the sedimentary age and material source of the Huangyangling Formation in the region, two clastic rock samples were collected from the top and bottom of the first member of the Huangyangling Formation, and the zircon U-Pb age and micronutrient content were analyzed by LA-ICP-MS. The $^{206}\text{Pb} / ^{238}\text{U}$ ages of detrital zircon are mainly concentrated in the five ranges of 264~276 Ma, 292~317 Ma, 369 ~ 373 Ma, 500~503 Ma, 694~702 Ma. The youngest zircon has a peak age of 266.1 ± 0.89 Ma, indicating that the Huangyangling Formation began to deposit in the Middle Permian. Based on the zircon micronutrient diagram, the diagenetic types of zircons and the age data obtained, the tectonic evolution of the Tethys Ocean in the region is compared, and it is considered that the detrital zircon of 264~276 Ma originates from granitic rocks and basic volcanic rocks in the Kunlun orogenic belt during the Hercynian movement, the detrital zircon of 292~317 Ma originates from the volcanic formations in the carboniferous-permian Tuokuzidaban Formation in the Kashitashi area, the 500~503 Ma detrital zircon is derived from magmatic tectonic evolution during the formation of the Paleo-Tethys Ocean body, while the 694~702 Ma detrital zircon is derived from the Tarim Block on the northern side of the Proto-Tethys Ocean or the northern Qiangtang microblock in the ocean, the detrital zircon of 369 ~ 373 Ma is inferred to be from a small-scale volcanic activity during the early cracking of the Paleo-Tethys Ocean in the Late Devonian.

Key words: Huangyangling Formation; Middle Permian; detrital zircon U-Pb age; LA-ICP-MS; material sources; Dujianshan area; West Kunlun

青藏高原北部的昆仑—阿尔金地区发育典型的昆仑造山带,区内以阿尔金断裂为界,将昆仑造山带分为东、西两部分。在西昆仑弧盆系、南昆仑结合带和羌塘地块之间,发育近东西向展布的巴颜喀拉地块,北为康西瓦—木孜塔格—阿尼玛卿缝合带,南为郭扎错—西金乌兰—金沙江缝合带,其构造演化及成因类型复杂(张雪亭等,2005;陈守建等,2011)。巴颜喀拉盆地内广泛发育巨厚的三叠系巴颜喀拉山群浊积岩,仅在盆地北缘部分地区出露少量的二叠系及侏罗系—第四系。

西昆仑独尖山地区位于东、西昆仑交汇部位,以晚古生代—中生代出露的弧后盆地沉积和大规模中生代岩浆岩侵入为主要特征(李荣社等,2009)。现阶段,随着大比例尺地质填图工作的开展及研究程度的进一步加深,对于该沉积盆地岩石组成、岩浆变质作用和构造解析方面的研究已取得初步认识。西昆仑东部康西瓦—羊湖一带巴颜喀拉山群之下广泛发育黄羊岭组陆源碎屑复理石沉积建造,局部夹碳酸盐岩透镜体,自羊湖地区往西,在独尖山—确尔库勒一带出露规模巨大的含火山碎屑岩建造。关于这套地层,前人围绕其沉积时限开展过相关研究,齐德义^①将木孜塔格以西独高山、黄羊岭一带出露的该套地层确立为黄羊岭组,并通过采集到的 *Misellina*、*Neoschwagerina*—*Polydiexodina* 类动物群进行古生物化石比对,将其时代确定为中二叠世晚期;张振福等^②通过对盼水河地区黄羊岭组碳酸盐岩岩隆中大量产出的腕足、腹足类化石进行研究,从中识别出 *Stenosisma purdoni*

Varvigenta Diener, *Punctospirifer alpheus* Hnuang, *Stenosisma shanhsiensis* (Ozaki) 等,将其时代确定为中二叠世中晚期;吕金刚^③亦在卧龙岗一带的黄羊岭组灰岩中采集到大量菊石、腕足类等大生物化石,同时经微体古生物鉴定发现 *Mesogondolella idahoensis* (Youn-gouist et al) 爱达荷中舟刺、*M. cf. siciliensis* (Kozur) 西西里中舟刺和 *Macrocypris* sp. 巨星介,进一步确定黄羊岭组的时代为中二叠世中晚期。从上述数据看,区内对地层的讨论仅限于生物化石,本次通过对区内出露的黄羊岭组碎屑岩样品进行地球化学特征及碎屑锆石 LA-ICP-MS U-Pb 年龄研究,系统分析其沉积时代、物源区特征,并通过碎屑锆石的年龄信息,对区内特提斯洋新元古代—早中生代构造演化进行探讨。

1 地质概况

研究区位于青藏高原北缘,东、西昆仑结合部位,以阿尔金断裂为界,北西侧为苏巴什蛇绿混杂岩带,南东侧为巴颜喀拉地块沉积盆地(姜春发等,1992;李兴振等,2002;杨万志等,2005;李博秦,2007)。黄羊岭—独高山地区黄羊岭组较发育,自 1:100 万区域地质调查以来,其地层归属均为二叠系,区内对于黄羊岭组的认识差别仅限于各段的岩性组合划分。研究区黄羊岭组主要分布在中南部,底部与卡拉勒塔什群、顶部与三叠系巴颜喀拉山群均呈断层接触,东南侧被第四系大面积覆盖(图 1)。

区内黄羊岭组按岩性可分为 3 段,一段主要由长石岩屑砂岩、岩屑砂岩组成,岩屑成分含量较多,

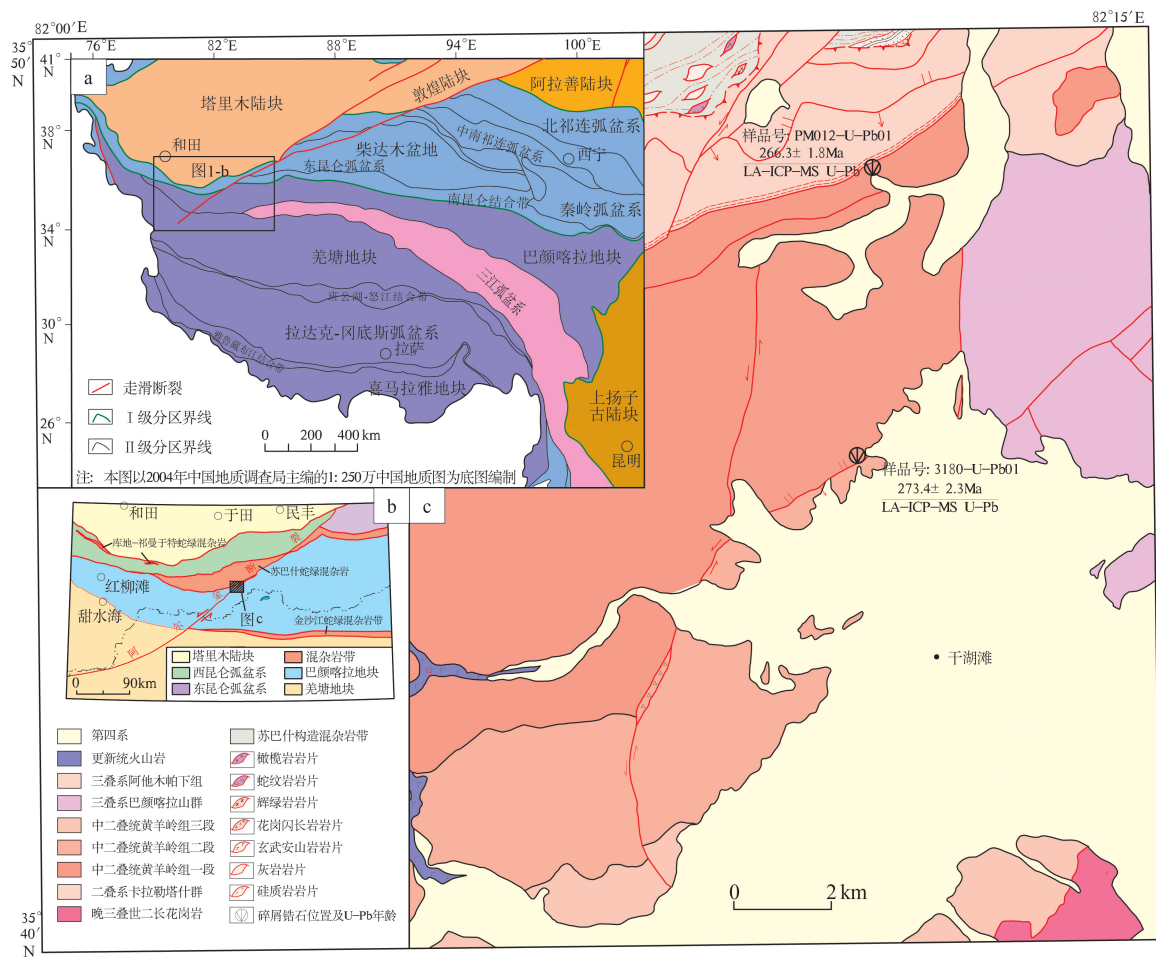


图1 独尖山地区大地构造图(a)、地质构造分区略图(b)和区域地质图(c)

Fig. 1 Geotectonic map (a), geological structure zoning map (b) and regional geological map (c) of the Dujianshan area

碎屑磨圆度、分选性较差,多呈次棱角—棱角状,底部与卡拉勒塔什群接触部位见大量底砾岩,砾石成分复杂;二段包括下部杂砂岩层和上部的凝灰岩层,下部杂砂岩层以出现大量杂砂岩为特征,杂基含量较高(15%~25%),凝灰岩层以砂岩中出现大量凝灰质成分为特征,脱玻化火山灰含量为10%~25%,凝灰岩层整体为浅灰绿色,未见灰黑色的泥质岩;三段由下部复理石层、中部石英砂岩层和上部粉砂岩层组成,复理石层以出现大量砂岩与泥质岩互层为特征,石英砂岩层以一套风化面为褐色的硬度较高的砂岩为特征,粉砂岩层以薄层—极薄层状泥质—粉砂岩为主。

2 样品采集与测试

2.1 样品特征

本次研究共采取了2件样品,第1件样品位于

PM12地质剖面中二叠系卡拉勒塔什群和黄羊岭组交界部位南侧黄羊岭组一段(图2-a),地理坐标为北纬35°48'31",东经82°11'19",样品编号PM012-U-Pb01,岩性为深灰色细粒岩屑长石砂岩,镜下岩石陆源碎屑颗粒大小多在0.1~0.5 mm之间,次棱角—次圆状,受构造活动影响,长轴大致定向排列,颗粒多定向分布,填隙物由泥质杂基与胶结物组成,胶结物由铁质矿物、长英质与碳酸盐组成,大部分长英质矿物沿长石、石英碎屑次生加大重结晶(图2-b)。第2件样品位于研究区东南侧黄羊岭组一段顶部,地理坐标为北纬35°45'10"、东经82°11'08",样品编号3180-U-Pb01,岩性为深灰色细粒长石岩屑砂岩(图2-c),镜下岩石陆源碎屑颗粒大小在0.1~1.0 mm之间,次棱角状,填隙物由泥质杂基蚀变物与铁质胶结物组成,泥质矿物杂基变质生成绿泥石、绢云母等矿物,充填分布于碎屑之

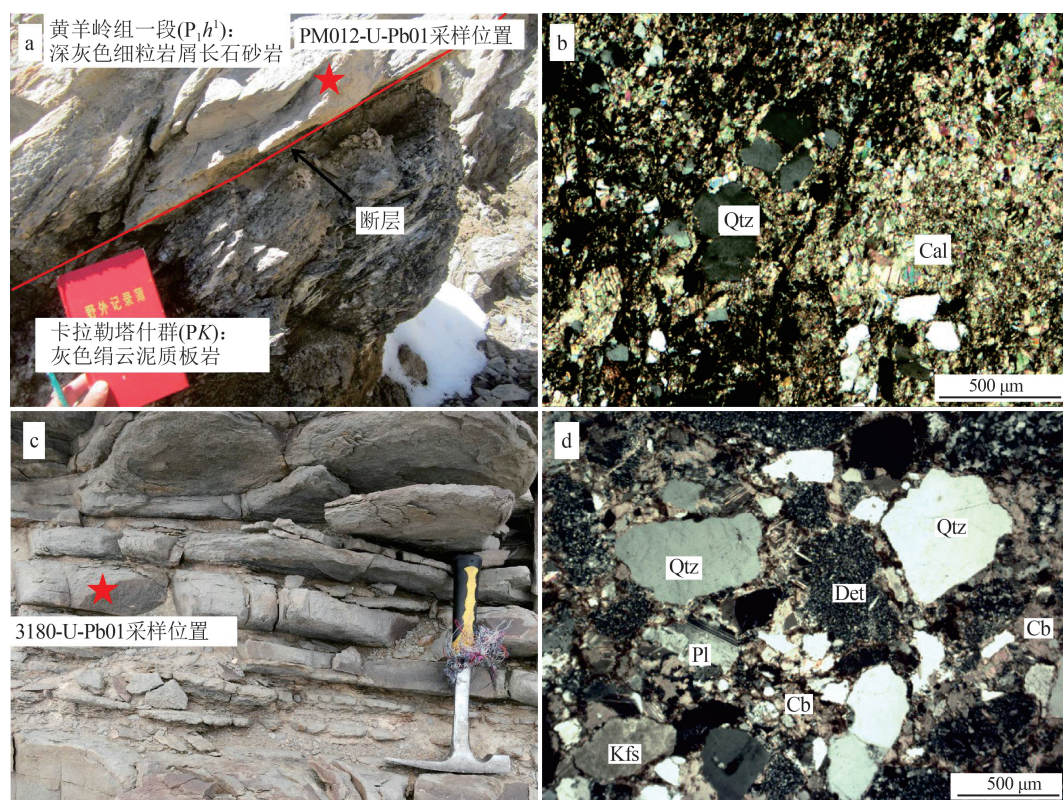


图 2 黄羊岭组一段碎屑岩野外(a、c)及镜下照片(b、d)

Fig. 2 Photographs(a, c) and microphotographs(b, d) of detrital rocks from the first member in Huangyangling Formation
a—底部岩屑长石砂岩野外照片; b—底部岩屑长石砂岩镜下照片(+); c—底部长石岩屑砂岩野外照片; d—顶部长石岩屑砂岩镜下照片(+); Qtz—石英; Cal—方解石; Pl—斜长石; Kfs—钾长石; Det—岩屑; Cb—碳酸盐矿物

间(图 2-d)。采样位置见图 1。

2.2 样品处理及分析方法

碎屑锆石年龄样品的破碎及锆石挑选、制靶、阴极发光(CL)图像拍摄均在河北省区域地质矿产调查研究所实验室完成。锆石微区原位 U-Pb 同位素年龄及微量元素分析均在中国地质大学(武汉)地质过程与矿产资源国家重点实验室 LA-ICP-MS 仪器上用标准测定程序进行,激光剥蚀系统为美国 Newwave 公司生产的 UP193FX 型 193nm ArF 准分子系统,激光器来自于德国 ATL 公司,ICP-MS 为 Agilent 7500a。激光器波长为 193 nm,脉冲宽度小于 4 ns。本次所用斑束直径为 25 μm 。采用锆石标样 91500 进行外标校正。分析方法及流程详见侯可军等(2009)。样品的同位素比值及元素含量计算采用 Glitter-ver 4.0 程序,锆石 U-Pb 年龄谐和图的绘制和 MSWD 的计算用 Isoplot 3.0 程序完成(Ludwig, 2003)。

3 测试结果

锆石 CL 图像显示,锆石多呈无色透明或略呈浅棕色的短柱状—不规则的粒状,粒径多介于 50~100 μm 之间,锆石较破碎,长宽比多在 2:1~1:1 之间,环带不明显或呈不规则状。碎屑锆石同位素年龄及微量元素分析结果见表 1 和表 2。在锆石球粒陨石标准化稀土元素配分图(图 3)上,具有较强的轻稀土元素亏损现象,有一定程度的负 Eu 异常及强烈的正 Ce 异常(Boynton, 1984),说明样品中碎屑锆石基本保留了岩浆锆石的特点(雷玮琰等, 2013; Meng et al., 2014)。

样品 3180-U-Pb01 共获得 48 个有效数据年龄,除去谐和度低于 90% 的 2 个数据点,剩余 46 个数据年龄在 264~2659 Ma 之间(表 1)。统计数据年龄显示,主要有 4 组年龄,分别为 264~276 Ma、369~373 Ma、500~503 Ma、694~702 Ma(图 4)。从锆石分组看,锆石的磨圆度随着年龄的增大变好,年轻的锆石多呈次棱角—棱角状,较老的锆石呈次

表 1 黄羊岭组碎屑锆石 LA-ICP-MS U-Th-Pb 同位素分析结果

Table 1 LA-ICP-MS U-Th-Pb data of detrital zircons from Huangyangling Formation

采样 编号	点号	含量/ 10^{-6}		同位素比值								年龄/Ma						谐和度/%
		Th	U	Th/U	$^{207}\text{Pb}/$	1σ	$^{207}\text{Pb}/$	1σ	$^{206}\text{Pb}/$	1σ	$^{207}\text{Pb}/$	1σ	$^{207}\text{Pb}/$	1σ	$^{206}\text{Pb}/$	1σ		
					^{206}Pb		^{235}U		^{238}U		^{206}Pb		^{235}U		^{238}U			
3180- U-Pb01	25	35	87	0.41	0.053	0.029	0.306	0.166	0.042	0.002	333	896	271	129	264	14	97	
	14	99	194	0.51	0.052	0.018	0.303	0.105	0.043	0.002	268	538	269	82	269	13	100	
	23	158	303	0.52	0.054	0.008	0.321	0.047	0.043	0.001	382	285	283	36	271	6	96	
	26	294	1095	0.27	0.054	0.002	0.321	0.009	0.043	0.001	382	44	283	7	271	3	96	
	43	70	299	0.24	0.053	0.025	0.313	0.147	0.043	0.002	326	776	277	113	271	12	98	
	7	61	125	0.49	0.053	0.006	0.316	0.037	0.043	0.001	335	217	279	28	272	6	97	
	16	110	231	0.48	0.049	0.003	0.292	0.020	0.043	0.001	156	124	260	16	272	5	96	
	2	63	112	0.56	0.052	0.006	0.312	0.033	0.043	0.001	296	195	276	26	273	6	99	
	38	60	112	0.53	0.049	0.007	0.294	0.044	0.043	0.001	167	271	262	35	273	6	96	
	45	73	149	0.49	0.050	0.010	0.297	0.058	0.043	0.001	184	330	264	45	273	6	97	
	11	141	223	0.63	0.051	0.003	0.308	0.019	0.043	0.001	261	112	273	15	274	4	100	
	32	105	288	0.37	0.051	0.003	0.307	0.017	0.043	0.001	253	101	272	13	274	4	99	
	46	53	143	0.37	0.053	0.006	0.316	0.034	0.043	0.001	323	205	279	26	274	5	98	
	12	117	218	0.54	0.053	0.004	0.317	0.021	0.044	0.001	321	123	280	16	275	4	98	
	24	80	213	0.38	0.051	0.004	0.309	0.021	0.044	0.001	263	126	273	17	275	5	99	
	29	153	340	0.45	0.051	0.003	0.304	0.018	0.044	0.001	221	110	270	14	275	4	98	
	33	71	195	0.37	0.051	0.006	0.305	0.035	0.044	0.001	232	221	270	27	275	6	98	
	39	63	122	0.51	0.048	0.008	0.290	0.046	0.044	0.001	107	279	258	37	275	6	98	
	44	46	99	0.47	0.054	0.007	0.324	0.042	0.044	0.001	366	251	285	32	275	6	96	
	42	127	255	0.50	0.052	0.010	0.315	0.063	0.044	0.001	290	361	278	48	276	6	99	
	3	70	141	0.49	0.053	0.005	0.428	0.040	0.059	0.001	311	180	362	28	369	6	98	
	22	169	618	0.27	0.054	0.002	0.436	0.016	0.059	0.001	353	59	368	11	370	5	99	
	36	104	240	0.44	0.052	0.004	0.427	0.032	0.059	0.001	306	140	361	22	370	6	98	
	19	70	152	0.46	0.054	0.004	0.440	0.032	0.059	0.001	366	138	370	23	371	5	100	
	18	138	202	0.69	0.055	0.003	0.451	0.026	0.059	0.001	415	104	378	19	372	6	98	
	35	48	126	0.38	0.054	0.009	0.444	0.075	0.060	0.001	374	326	373	52	373	9	100	
	27	87	215	0.40	0.058	0.003	0.639	0.033	0.081	0.001	511	85	502	20	500	8	100	
	30	61	152	0.40	0.060	0.010	0.667	0.114	0.081	0.002	601	340	519	69	501	12	96	
	15	31	485	0.06	0.057	0.002	0.642	0.022	0.081	0.001	509	51	503	13	502	6	100	
	28	50	146	0.34	0.058	0.005	0.647	0.061	0.081	0.001	525	178	507	37	503	8	99	
	21	388	471	0.82	0.060	0.002	0.948	0.026	0.114	0.001	608	38	677	14	698	8	97	
	48	41	72	0.57	0.063	0.008	0.988	0.120	0.114	0.003	696	221	698	61	698	17	100	
4	78	233	0.33	0.064	0.002	1.005	0.029	0.114	0.001	728	40	706	15	699	8	99		
40	167	225	0.74	0.060	0.002	0.945	0.036	0.115	0.002	599	59	675	19	699	9	97		
6	13	59	0.22	0.061	0.010	0.962	0.161	0.115	0.003	633	320	684	84	700	20	98		
37	125	265	0.47	0.061	0.003	0.964	0.046	0.115	0.002	639	77	685	24	700	10	98		
1	36	231	0.15	0.063	0.002	1.004	0.031	0.115	0.001	721	44	706	16	701	9	99		
8	154	197	0.78	0.063	0.003	1.002	0.042	0.115	0.002	715	64	705	21	701	10	99		
47	126	223	0.56	0.061	0.004	0.971	0.057	0.115	0.002	649	95	689	29	701	12	98		
10	118	169	0.70	0.061	0.002	0.975	0.035	0.115	0.002	655	54	691	18	702	9	98		
13	178	261	0.68	0.071	0.002	1.464	0.041	0.150	0.002	953	36	916	17	900	11	98		
20	52	109	0.47	0.074	0.003	1.845	0.065	0.180	0.003	1053	48	1062	23	1066	14	99		
5	106	118	0.90	0.079	0.002	2.116	0.062	0.195	0.003	1162	37	1154	20	1149	14	99		
41	96	94	1.02	0.116	0.005	5.826	0.229	0.364	0.007	1896	44	1950	34	2002	32	95		
31	111	440	0.25	0.119	0.002	5.899	0.102	0.359	0.004	1944	15	1961	15	1978	20	98		
17	48	106	0.46	0.181	0.003	13.030	0.242	0.523	0.007	2659	15	2682	17	2712	29	98		

续表 1

采样 编号	点号	含量/ 10^{-6}		同位素比值							年龄/Ma						
		Th	U	Th/U	$^{207}\text{Pb}/^{206}\text{Pb}$		$^{207}\text{Pb}/^{235}\text{U}$		$^{206}\text{Pb}/^{238}\text{U}$		$^{207}\text{Pb}/^{206}\text{Pb}$		$^{207}\text{Pb}/^{235}\text{U}$		$^{206}\text{Pb}/^{238}\text{U}$		谐和度/%
					1σ	1σ	1σ	1σ	1σ	1σ	1σ	1σ	1σ	1σ	1σ	1σ	
PM012- U-Pb01	7	125	342	0.36	0.049	0.002	0.283	0.012	0.042	0.0005	145	80	253	10	265	3	95
	14	119	225	0.53	0.051	0.006	0.294	0.031	0.042	0.0011	234	192	262	24	265	7	99
	25	143	299	0.48	0.054	0.006	0.314	0.035	0.042	0.0012	387	202	277	27	265	7	95
	29	72	165	0.44	0.054	0.004	0.312	0.023	0.042	0.0008	366	131	276	17	265	5	96
	35	128	397	0.32	0.052	0.005	0.303	0.026	0.042	0.0009	302	154	269	20	265	6	98
	36	229	517	0.44	0.053	0.003	0.305	0.019	0.042	0.0007	320	110	270	15	265	4	98
	1	47	107	0.44	0.050	0.006	0.293	0.036	0.042	0.0011	213	226	261	28	266	7	98
	10	241	528	0.46	0.053	0.002	0.306	0.008	0.042	0.0004	315	46	271	7	266	2	98
	17	182	315	0.58	0.052	0.004	0.303	0.023	0.042	0.0008	300	136	269	18	266	5	99
	24	104	159	0.65	0.052	0.004	0.303	0.024	0.042	0.0008	297	146	269	19	266	5	99
	38	75	126	0.60	0.053	0.006	0.307	0.036	0.042	0.0012	322	212	272	28	266	7	98
	4	130	411	0.32	0.053	0.004	0.312	0.024	0.042	0.0008	349	136	276	18	267	5	97
	9	99	359	0.27	0.051	0.004	0.297	0.020	0.042	0.0007	240	124	264	16	267	4	99
	13	647	1454	0.44	0.053	0.001	0.307	0.005	0.042	0.0003	311	22	272	4	267	2	98
	27	200	571	0.35	0.053	0.002	0.308	0.011	0.042	0.0004	325	60	273	8	267	3	98
	26	167	265	0.63	0.050	0.004	0.294	0.022	0.042	0.0008	208	137	262	17	268	5	98
	28	44	164	0.27	0.051	0.003	0.298	0.019	0.042	0.0007	240	117	265	15	268	4	99
	46	79	383	0.21	0.053	0.002	0.341	0.012	0.046	0.0005	345	59	298	9	292	3	98
	21	127	254	0.50	0.054	0.004	0.365	0.023	0.049	0.0008	359	114	316	17	310	5	98
	3	315	387	0.82	0.055	0.002	0.373	0.010	0.049	0.0004	399	43	322	7	311	3	96
	11	240	516	0.46	0.056	0.002	0.384	0.013	0.050	0.0005	462	56	330	10	311	3	94
	31	74	161	0.46	0.057	0.003	0.387	0.019	0.049	0.0007	486	84	332	14	311	4	93
	30	40	131	0.31	0.053	0.003	0.360	0.023	0.050	0.0008	309	119	312	17	312	5	100
	41	111	226	0.49	0.051	0.003	0.346	0.019	0.050	0.0007	221	101	301	14	312	4	96
	43	111	319	0.35	0.052	0.003	0.354	0.019	0.050	0.0007	273	95	307	14	312	4	98
	16	227	483	0.47	0.054	0.002	0.372	0.011	0.050	0.0005	382	49	321	8	313	3	97
	22	73	228	0.32	0.050	0.003	0.346	0.020	0.050	0.0007	215	108	301	15	313	5	96
	34	56	166	0.34	0.057	0.003	0.390	0.019	0.050	0.0007	486	83	335	14	313	4	93
	37	95	158	0.60	0.047	0.004	0.321	0.029	0.050	0.0011	39	160	283	22	313	6	90
	44	144	280	0.51	0.050	0.002	0.340	0.016	0.050	0.0007	174	88	297	12	313	4	95
	45	246	427	0.58	0.054	0.002	0.372	0.015	0.050	0.0006	381	69	321	11	313	4	97
	33	197	226	0.87	0.056	0.005	0.383	0.035	0.050	0.0012	442	164	329	26	314	7	95
	39	167	234	0.71	0.048	0.004	0.329	0.028	0.050	0.0010	93	151	289	22	314	6	92
	40	86	186	0.46	0.053	0.004	0.364	0.029	0.050	0.0010	330	143	316	21	314	6	99
	48	81	233	0.35	0.050	0.002	0.348	0.014	0.050	0.0006	202	74	303	11	317	3	96
	47	286	1071	0.27	0.053	0.001	0.382	0.006	0.052	0.0004	341	23	328	5	327	2	100
	42	286	539	0.53	0.053	0.003	0.412	0.025	0.057	0.0009	315	108	350	18	356	6	98
	8	119	427	0.28	0.058	0.001	0.615	0.012	0.077	0.0006	540	29	487	8	476	4	98
	32	86	126	0.68	0.056	0.002	0.803	0.027	0.103	0.0011	470	56	598	15	633	6	94
	20	47	176	0.27	0.063	0.002	0.909	0.027	0.104	0.0011	720	46	657	14	638	6	97
	18	87	153	0.57	0.058	0.002	1.088	0.027	0.135	0.0012	545	37	747	13	817	7	91
	6	322	627	0.51	0.067	0.001	1.269	0.016	0.138	0.0010	830	14	832	7	833	6	100
	23	567	604	0.94	0.067	0.001	1.336	0.016	0.144	0.0010	843	14	862	7	869	6	99
	19	90	173	0.52	0.077	0.003	1.593	0.068	0.149	0.0014	1129	89	967	26	898	8	92
	15	135	252	0.54	0.071	0.002	1.541	0.052	0.158	0.0013	954	73	947	21	944	7	100

棱角一次圆状,反映最年轻的一组锆石为近距离搬运后沉积的(图4)。其中最年轻一组锆石共有20粒,Th/U值为0.24~0.63,普遍大于变质成因锆石的Th/U值,显示出岩浆锆石的特征,所测锆石的表面年龄($^{206}\text{Pb}/^{238}\text{U}$)均落在谐和线上及其附近,其 $^{206}\text{Pb}/^{238}\text{U}$ 年龄加权平均值为 273.6 ± 1.1 Ma(图5-a)。

样品PM12-U-Pb01共获得46个有效数据年龄,除去谐和度低于90%的1个数据点,剩余45个数据年龄分布在265~944 Ma之间(表1)。统计数据显示,主要有2组年龄,分别为265~268 Ma、292~317 Ma(图4)。该样品以年轻锆石居多,磨圆度普遍较差,仅个别较老的锆石呈次棱角状,反映该组锆石主要是近距离搬运后沉积的(图4)。其中最年轻一组年龄共17粒锆石,Th/U值为0.27~0.65,普遍大于变质成因锆石的Th/U值,显示岩浆锆石的特征,所测锆石的表面年龄($^{206}\text{Pb}/^{238}\text{U}$)均落在谐和线上及其附近,其 $^{206}\text{Pb}/^{238}\text{U}$ 年龄加权平均值为 266.1 ± 0.89 Ma(图5-b)。

4 讨论

4.1 沉积时代

一直以来,对于黄羊岭组形成时代判别的主要依据为区内地层中发现的中二叠世早中期栖霞阶的*Misellina claudiae*类动物群、*Mesogondolella idahoensis*牙形刺及晚期的*Neoschwagerin-polydiexodina*类动物群,所采集的标本具有较大的参考意义^{①③}。但在研

究区北部黄羊岭组中分布有大量的火山岩建造,岩性主要为沉凝灰质碎屑岩,局部发育沉凝灰岩透镜体,其时代前人均未进行过研究。本次通过对研究区北部黄羊岭组一段底、顶部采集的2件碎屑岩样品进行LA-ICP-MS锆石U-Pb测年,显示介于264~276 Ma之间的碎屑锆石为黄羊岭组沉积岩中主要的组成年龄,其峰值在265 Ma和275 Ma均有分布,最年轻锆石年龄为264 Ma,最年轻的峰值年龄为 266.1 ± 0.89 Ma,表明该地区黄羊岭组沉积的开始时间为中二叠世中期。

4.2 物质来源

西昆仑地区自Grenville期造山后,于新元古代进入后碰撞伸展期和裂解期,并在寒武纪达到裂解鼎盛时期,同时在西昆仑及周缘形成一系列沉积、构造-岩浆事件,以变质片麻状花岗岩体、基性岩及双峰式火山岩沉积为主,获得年龄在494~917 Ma之间(刘良等,1998;张传林等,2003;崔建堂等,2007a;张占武等,2007;高晓峰等,2013);随着原特提斯洋在新元古代—寒武纪早中期的裂解、发育、发展,于寒武纪晚期—早奥陶世开始进入俯冲、消减阶段,在区内形成了早古生代规模巨大的岩浆弧,主要表现为麻扎-康西瓦向北俯冲在西昆仑南带形成一系列俯冲型侵入体,时代为431~447 Ma的晚奥陶世—早志留世(崔建堂等,2006;韩芳林,2006;崔建堂等,2007b);随着大规模洋壳俯冲消减的结束,原特提斯洋开始转入闭合及地块的碰撞和后碰撞造山阶段,形成一系列的小规模同碰撞型岩浆岩及一定数量的后碰撞型侵入体,时代主要为419~442 Ma的志留纪(韩芳林,2002;2006;Ye et al., 2008;罗金海等,2009)。上述年龄结果亦反映原特提斯洋不同区带俯冲碰撞时间的差异。

随着原特提斯构造演化的结束,区内自早泥盆世开始进入古特提斯构造演化阶段,并于晚泥盆世—早石炭世形成初始洋盆,在奥依塔格—库地—苏巴什形成的昆盖山裂陷盆地(姜春发等,1992;韩芳林,2006)中获得奥依塔格斜长花岗岩锆石Lu-Hf亏损地幔模式年龄为359.1 Ma(李广伟等,2009),为古特提斯洋最早的裂解年龄,主要年龄集中在323.8~330.7 Ma的早石炭世晚期(张传林等,2006;Jiang et al., 2008;刘成军,2015);自早石炭世晚期开

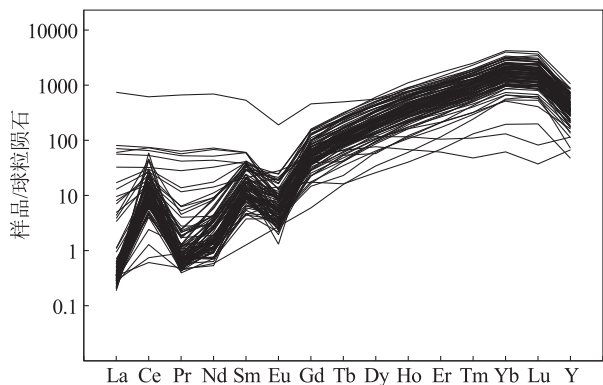


图3 黄羊岭组碎屑锆石球粒陨石标准化稀土元素配分图
(球粒陨石标准化数据据 Boynton, 1984)

Fig. 3 The chondrite-normalized REE distribution patterns for detrital zircons of Huangyangling Formation

表 2 黄羊岭组碎屑锆石 LA-ICP-MS 微量元素分析结果

Table 2 LA-ICP-MS trace element composition of detrital zircons from Huangyangling Formation

 10^{-6}

测试点	La	Ce	Pr	Nd	Sm	Eu	Gd	Tb	Dy	Ho	Er	Tm	Yb	Lu	Y
3180-25	0.12	5.78	0.11	0.66	1.69	0.18	7.33	2.65	33.93	12.54	55.66	13.07	138.75	19.72	367.80
3180-14	0.09	4.24	0.08	1.18	1.45	0.25	9.77	3.75	43.07	15.57	64.67	14.83	153.98	21.74	431.61
3180-23	230.13	497.35	81.02	414.90	103.81	13.99	118.57	23.61	179.85	56.14	217.81	41.58	409.86	57.32	1495.83
3180-26	0.09	9.36	0.09	0.43	1.93	0.18	15.49	7.82	112.79	47.60	220.21	53.99	598.70	85.93	1374.79
3180-43	0.22	4.67	0.15	0.96	1.89	0.33	10.16	1.95	30.80	15.19	88.97	21.82	266.17	37.23	352.27
3180-7	0.12	7.54	0.09	0.68	1.74	0.46	9.17	3.81	50.91	19.76	85.62	20.43	218.93	31.97	577.06
3180-16	0.11	5.87	0.06	0.84	1.33	0.27	5.92	2.04	31.13	13.76	72.05	19.03	251.32	41.69	435.94
3180-2	0.11	7.55	0.10	0.57	2.38	0.61	10.54	3.99	53.66	21.00	96.11	23.33	254.95	38.70	637.93
3180-38	0.16	6.40	0.08	1.07	3.21	0.78	15.60	6.42	76.78	31.39	142.02	32.78	375.23	53.05	879.72
3180-45	0.34	9.29	0.21	1.13	1.73	0.58	12.84	4.61	55.94	26.00	109.13	27.79	351.78	47.53	725.31
3180-11	0.09	10.12	0.09	1.76	3.22	0.63	22.12	8.03	107.00	39.73	185.94	40.94	447.40	64.89	1185.76
3180-32	2.48	15.76	0.78	6.67	4.67	0.25	9.57	5.10	57.87	22.57	109.88	25.02	291.65	42.03	725.42
3180-46	2.95	12.77	0.49	2.52	1.67	0.22	5.84	2.54	18.52	8.74	43.96	10.32	138.46	18.51	297.90
3180-12	0.18	10.94	0.05	1.01	2.99	0.68	14.88	5.88	72.62	29.05	142.72	38.06	465.67	75.48	990.87
3180-24	0.08	6.39	0.05	1.18	1.55	0.24	9.67	3.85	52.74	23.35	119.97	33.67	411.58	67.70	738.41
3180-29	4.01	21.61	1.42	8.53	4.16	0.64	19.28	7.97	111.07	46.10	208.51	49.01	543.83	76.20	1248.14
3180-33	0.13	6.18	0.11	0.89	1.51	0.19	9.09	3.81	56.55	21.67	109.49	27.25	308.91	44.20	705.36
3180-39	0.29	7.21	0.11	0.86	2.62	0.43	9.52	3.90	57.86	21.98	103.43	25.16	291.44	44.37	665.96
3180-44	0.12	6.19	0.13	0.78	1.89	0.43	14.01	3.87	43.65	17.03	81.87	19.15	210.43	28.01	611.45
3180-42	25.03	59.99	7.73	43.42	11.76	0.93	19.27	6.44	72.20	26.77	124.01	29.70	342.72	47.31	783.61
3180-3	0.11	3.66	0.08	0.79	2.15	0.40	12.92	5.19	65.89	27.29	125.70	29.53	314.74	46.83	763.56
3180-22	0.10	5.37	0.13	1.47	2.16	0.14	13.40	5.99	83.71	34.11	146.69	36.55	406.70	61.35	1007.68
3180-36	0.16	6.31	0.16	0.81	3.51	0.70	17.00	5.26	69.95	28.19	120.18	27.14	305.15	42.33	818.46
3180-19	0.11	5.38	0.10	1.96	4.74	0.71	21.26	8.10	91.79	35.48	152.12	36.05	359.80	52.37	975.38
3180-18	21.96	52.66	6.40	30.90	11.63	0.57	38.17	11.98	138.22	49.75	215.75	46.87	451.80	65.03	1484.20
3180-35	0.15	5.00	0.09	0.92	1.09	0.65	16.30	4.99	70.67	27.67	112.05	26.54	259.47	36.70	739.75
3180-27	0.11	5.56	0.06	1.58	4.04	0.37	15.00	4.85	62.30	23.30	99.58	23.06	246.75	36.86	709.13
3180-30	0.13	6.32	0.22	2.68	6.66	0.77	20.18	6.19	71.64	24.46	93.27	19.41	211.54	27.07	627.79
3180-15	0.11	0.49	0.06	0.56	2.74	0.10	25.08	12.54	163.09	54.08	228.05	48.36	497.52	62.94	1767.46
3180-28	0.09	1.95	0.15	2.02	4.74	0.22	18.04	5.40	68.15	24.28	105.22	23.32	235.18	32.87	690.60
3180-21	0.11	37.26	0.07	2.26	6.39	0.59	25.44	10.14	121.39	44.39	190.55	43.29	438.92	57.38	1285.38
3180-48	0.20	9.63	0.10	2.11	3.36	0.41	11.64	3.17	35.19	11.62	44.74	10.40	107.45	13.13	336.70
3180-4	0.11	13.00	0.22	2.35	4.09	2.05	12.32	3.64	42.68	15.96	69.99	17.54	205.15	32.88	493.39
3180-40	0.13	34.86	0.14	1.61	2.40	1.04	4.51	0.77	8.35	2.89	14.41	4.25	40.72	6.39	98.65
3180-6	0.15	3.67	0.07	0.54	2.09	0.30	8.45	2.84	41.57	16.21	71.99	16.36	180.33	25.79	471.48
3180-37	0.11	7.73	0.29	5.28	5.69	1.39	17.88	6.78	77.57	27.86	131.51	30.10	329.03	50.41	828.40
3180-1	0.09	0.60	0.11	1.66	3.97	0.17	14.05	3.12	24.64	4.86	12.85	1.55	12.89	1.20	140.67
3180-8	0.10	47.76	0.10	1.00	3.89	0.87	17.49	5.87	74.87	28.52	134.59	33.39	360.94	54.02	893.15
3180-47	0.18	18.42	0.28	2.58	5.81	0.60	17.27	5.96	74.42	25.76	115.58	25.21	275.01	34.91	752.21
3180-10	0.09	9.79	0.07	2.09	3.34	0.63	12.95	5.11	54.35	19.05	82.32	18.13	199.17	27.19	592.49
3180-13	0.13	12.00	0.20	3.45	7.51	0.39	34.52	12.07	136.56	47.58	191.47	41.72	418.83	55.07	1355.05
3180-20	0.17	10.70	0.10	0.43	1.73	0.18	9.97	4.68	64.36	26.80	122.47	29.69	359.58	53.95	763.22
3180-5	0.07	11.18	0.09	1.15	2.53	0.66	14.01	4.49	58.65	20.25	87.66	20.38	219.56	30.21	618.07
3180-41	0.10	22.41	0.14	2.19	5.47	1.56	20.01	5.73	68.57	23.63	99.36	22.99	249.86	32.63	708.48
3180-31	0.19	14.37	0.15	0.68	0.86	0.27	3.80	1.09	19.63	8.19	43.90	13.83	179.83	31.55	281.39
3180-17	0.18	3.32	0.10	0.95	2.19	0.22	15.43	5.01	37.49	8.32	22.01	3.56	27.41	2.64	239.64

续表 2

测试点	La	Ce	Pr	Nd	Sm	Eu	Gd	Tb	Dy	Ho	Er	Tm	Yb	Lu	Y
PM012-07	10.10	26.00	3.43	19.55	8.05	0.28	26.21	8.48	103.87	39.37	171.72	37.75	381.72	53.85	1060.72
PM012-14	0.08	22.91	0.06	0.91	2.70	0.67	15.40	6.78	89.14	42.10	205.72	52.06	593.47	93.75	1236.70
PM012-25	0.10	8.06	0.07	0.88	0.86	0.55	11.68	3.80	51.76	22.27	127.29	32.57	416.08	72.62	826.80
PM012-29	0.06	7.55	0.08	0.64	1.25	0.50	5.82	2.53	33.55	14.76	76.55	20.89	261.78	43.56	463.53
PM012-35	0.09	6.92	0.07	0.71	2.53	0.21	15.72	6.26	91.12	37.20	187.31	48.78	515.88	78.82	1096.16
PM012-36	0.10	13.52	0.06	0.56	1.25	0.37	7.92	3.46	42.58	16.85	78.53	22.12	281.22	40.80	508.66
PM012-01	0.09	6.70	0.05	0.43	1.05	0.21	11.46	4.54	65.59	26.88	127.16	31.24	347.88	54.69	784.35
PM012-10	0.09	18.23	0.08	1.45	3.53	0.28	23.47	8.93	112.65	44.03	198.38	47.81	531.57	74.76	1253.14
PM012-17	1.52	11.41	0.34	1.68	1.76	0.53	9.52	3.77	46.47	19.20	102.63	24.68	307.60	53.85	627.82
PM012-24	0.11	12.35	0.12	2.55	5.72	1.83	39.65	14.48	195.50	79.63	357.44	81.13	881.56	130.70	2218.09
PM012-38	0.11	12.60	0.09	0.65	1.96	0.39	13.28	5.67	69.67	30.13	138.54	36.18	405.25	61.18	882.94
PM012-04	0.06	10.21	0.08	0.92	2.66	0.37	11.06	4.32	61.22	24.20	130.02	33.96	464.07	63.50	790.86
PM012-09	0.08	7.03	0.06	0.32	1.80	0.23	13.99	5.64	74.54	29.89	147.07	38.81	461.64	66.08	904.14
PM012-13	0.16	18.36	0.26	1.95	4.09	0.63	26.20	11.50	156.01	63.92	299.94	74.97	832.76	117.81	1831.40
PM012-27	18.66	59.10	6.94	40.93	11.64	0.67	26.07	7.66	94.74	38.71	166.49	41.05	502.54	65.95	1040.67
PM012-26	0.10	21.32	0.08	2.39	4.09	0.79	21.96	7.19	83.52	31.44	136.88	33.02	392.84	51.52	921.43
PM012-28	0.08	1.04	0.05	0.60	0.91	0.16	6.58	2.28	29.53	12.41	60.75	16.15	199.05	29.84	385.76
PM012-46	0.08	3.26	0.05	0.35	0.54	0.13	1.54	0.75	11.05	4.35	24.19	7.86	117.11	20.32	150.53
PM012-21	0.09	10.32	0.07	0.38	1.16	0.33	7.41	2.98	38.36	14.97	71.91	19.23	224.41	37.82	461.39
PM012-03	2.17	18.92	0.76	5.42	6.67	1.36	32.03	11.45	144.51	54.98	243.87	58.55	652.74	94.77	1578.08
PM012-11	0.06	12.78	0.06	0.81	2.33	0.36	17.18	7.13	105.91	43.49	216.03	55.10	679.47	93.85	1346.93
PM012-31	17.44	42.93	5.11	26.12	7.37	0.67	15.30	4.76	56.31	21.35	94.05	22.82	254.23	35.24	607.82
PM012-30	0.09	3.95	0.09	0.42	0.73	0.28	4.26	1.96	27.85	11.60	58.12	17.18	213.69	31.36	369.05
PM012-41	0.10	8.86	0.08	0.62	1.82	0.56	10.26	4.34	60.40	25.85	129.25	35.21	426.76	68.51	829.21
PM012-43	0.07	7.59	0.06	0.69	2.07	0.34	11.99	5.44	76.73	30.95	150.07	39.00	457.82	63.78	923.06
PM012-16	5.27	24.32	1.68	10.50	7.73	0.98	28.78	9.83	122.77	45.90	191.98	42.73	448.25	58.76	1198.74
PM012-22	0.11	6.96	0.08	0.57	1.83	0.20	12.92	5.77	74.48	32.95	151.84	37.09	450.56	59.70	906.64
PM012-34	0.08	3.86	0.06	0.71	1.65	0.44	9.77	4.22	55.16	22.79	114.66	30.79	377.88	58.45	700.90
PM012-37	0.11	6.88	0.10	0.45	1.65	0.44	7.48	3.61	45.91	19.62	91.45	24.51	279.25	45.17	578.72
PM012-44	0.07	8.16	0.07	0.89	2.76	0.68	16.91	6.01	82.62	33.06	154.18	38.70	442.79	62.37	952.10
PM012-45	0.11	11.53	0.07	1.09	2.34	0.39	9.66	4.20	58.09	26.35	128.24	34.66	409.44	66.04	780.20
PM012-33	1.04	14.28	0.64	5.52	5.76	1.20	32.58	12.08	137.72	53.03	230.20	54.03	585.46	87.12	1517.86
PM012-39	0.11	10.87	0.30	4.96	8.25	1.40	33.21	12.49	145.15	53.84	220.83	49.95	519.22	64.85	1454.86
PM012-40	0.13	10.39	0.07	1.60	2.84	0.42	13.58	5.14	70.78	28.22	119.11	28.76	311.14	40.83	771.26
PM012-48	0.11	7.92	0.08	0.93	2.98	0.49	14.11	5.97	80.31	34.57	168.56	42.48	490.43	76.81	1002.63
PM012-47	0.09	5.21	0.07	1.32	4.21	0.17	25.01	10.51	142.56	55.86	253.72	63.86	705.55	99.30	1512.05
PM012-42	0.34	13.92	0.23	2.05	2.14	0.28	19.64	7.92	104.58	46.56	233.08	58.65	661.97	110.67	1433.05
PM012-08	0.07	6.66	0.08	0.71	1.69	0.29	10.57	4.21	55.95	22.41	108.81	26.89	313.35	45.53	664.91
PM012-32	0.11	16.90	0.08	0.46	0.92	0.31	4.56	1.65	20.69	7.71	35.81	9.52	112.46	17.12	234.33
PM012-20	0.09	4.91	0.15	3.64	7.00	0.78	33.09	11.13	123.82	41.92	168.92	36.62	360.21	49.03	1139.99
PM012-18	0.08	9.75	0.16	3.91	7.24	1.78	39.12	13.72	165.36	61.53	258.26	59.74	633.08	83.26	1770.61
PM012-06	1.19	23.95	0.26	2.53	3.39	1.46	17.24	6.36	80.79	32.37	157.58	41.30	514.58	80.38	991.20
PM012-23	1.34	36.01	0.55	5.01	8.08	1.22	41.38	15.06	180.83	65.33	276.81	62.88	645.98	84.65	1840.09
PM012-19	0.11	21.92	0.11	1.53	3.34	0.36	13.67	4.86	60.70	23.94	113.30	29.26	329.28	48.90	707.12
PM012-15	0.07	14.46	0.07	0.87	1.81	0.48	10.76	3.99	46.91	18.46	85.61	21.83	254.53	37.88	567.04

图 4 黄羊岭组碎屑锆石阴极发光 (CL) 图像及 $^{206}\text{Pb}/^{238}\text{U}$ 年龄Fig. 4 CL images of detrital zircons from Huangyangling Formation and their corresponding $^{206}\text{Pb}/^{238}\text{U}$ ages

始,古特提斯洋开始俯冲消减,二叠纪进入大规模的俯冲消减阶段,在苏巴什—大红柳滩一带形成了以二叠系硫磺达坂砂岩为代表的俯冲海沟沉积,以二叠系卡拉孔木组和卡拉勒塔什群为代表的与弧相关的盆地沉积,以及以中二叠世黄羊岭组深水相细碎屑岩夹少量火山岩建造为代表的弧后盆地沉积(李博秦,2007);自晚二叠世开始,区内进入古特

提斯洋的俯冲消减、碰撞及后碰撞阶段,形成了一系列不同性质的花岗岩,主要年龄为 201~258 Ma 的晚三叠世—晚二叠世(汪玉珍,1987;姜春发等,1992;Xiao et al., 2005;詹华明,2005;张传林等,2005;李博秦等,2006;吕金刚等,2006;刘建平等,2010;陈琳等,2014;蒋文成等,2015;刘成军,2015),至晚三叠世末期,进入陆内发展阶段。

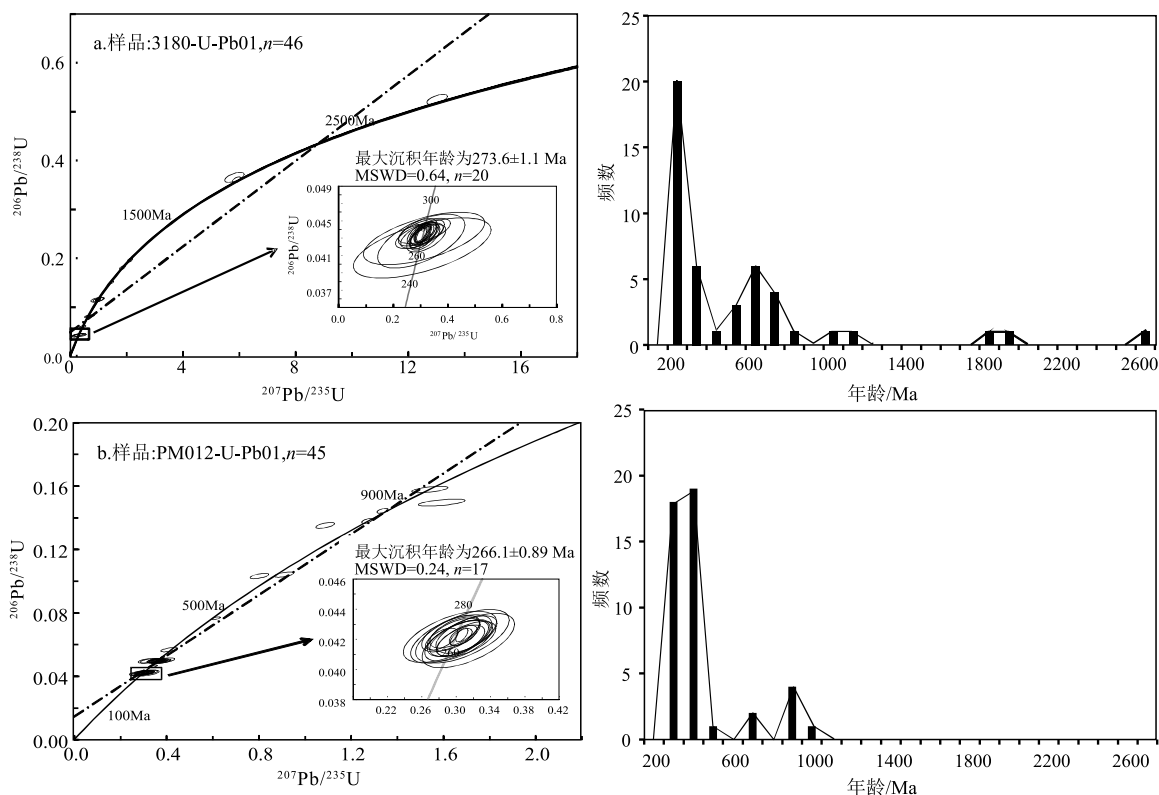


图5 黄羊岭组碎屑锆石 U-Pb 同位素年龄谐和图及频率直方图

Fig. 5 U-Pb concordia diagram and age frequency histogram of detrital zircons from Huangyangling Formation

新元古代—早中二叠世的构造—岩浆活动为研究区黄羊岭组提供了丰富的沉积物来源。通过锆石微量元素判别图解,可判定岩石的成岩类型,结合取得的年龄数据,判别其物质来源。同时,特殊岩石类型中的锆石在一些微量元素判别图中很特别,例如金伯利岩、碳酸岩和伟晶岩,但其他成因的锆石在大多数图中表现为不同程度的重叠。因此,单一的判别图仅可以辨别出特殊岩石类型(如金伯利岩和霞石正长岩)中的锆石(Belousova et al., 2002)。要准确限定锆石的原岩类型,需综合几个判别图进行识别。根据样品 3180-U-Pb01、PM12-U-Pb01 中锆石年龄的集群分布,将不同世代的锆石微量元素进行投影(图 6)。

锆石 U-Pb 定年结果显示,黄羊岭组沉积岩样品包括大量 264~276 Ma 的碎屑锆石年龄($n=37$)(表 1),其数据投点基本落入花岗岩 3 型和基性岩的重叠区,表明 264~276 Ma 的碎屑锆石主要来自于同时期的花岗岩或基性岩类。区内古特提斯洋在中二叠世开始大规模向南、北两侧消减收缩,北

侧沿昆仑南缘缝合带俯冲消减,使昆仑造山带在早二叠世除少量的基性火山岩活动外,同时侵入了大量海西期二长花岗岩及花岗闪长岩,与本次碎屑锆石年龄接近的有阿克阿孜山地区花岗闪长岩中黑云母 K-Ar 年龄 274 Ma、278 Ma,奥依塔格村东玄武岩锆石 U-Pb 年龄 270 Ma(李永安等,1997),康西瓦—再依勒克河地区二长花岗岩中黑云母 K-Ar 年龄 267 Ma^④,那更地区奥长花岗岩锆石 U-Pb 年龄 268.6 Ma(李建亮等,2017),希望沟地区基性—超基性杂岩体中辉长岩锆石 U-Pb 年龄 270.7 Ma(李玉龙等,2018),以及卡拉勒塔什群酸性凝灰岩、玄武岩中取得的锆石 U-Pb 年龄 $262.6 \pm 2.0 \sim 284.2 \pm 1.6$ Ma(张宇等,2021)。上述研究表明,区内该期次的锆石来源于海西运动中昆仑造山带内的花岗质岩石和基性火山岩。

除样品中分布较集中的中二叠世锆石外,样品 PM12-U-Pb01 中还分布一组晚石炭世—早二叠世的锆石年龄($n=19$),分布区间为 292~317 Ma,峰值为 313 Ma,该组年龄在样品 3180-U-Pb01 中未

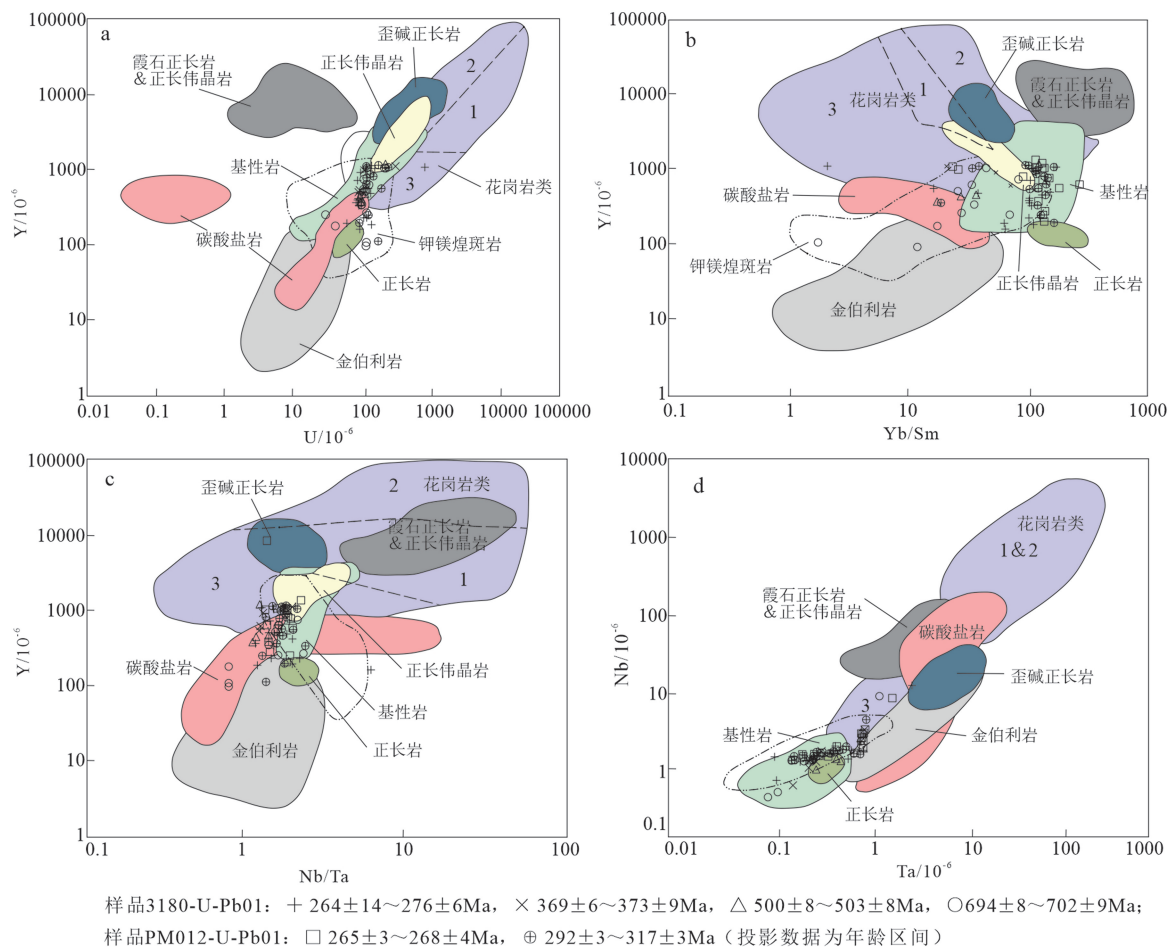


图 6 黄羊岭组碎屑锆石微量元素岩性判别图解(底图据 Belousova, 2002)

Fig. 6 Detrital zircons lithological discrimination diagrams of trace element from Huangyangling Formation

1—细晶岩、浅色花岗岩;2—花岗岩;3—花岗闪长岩、英云闪长岩

见分布。同时,在样品 3180-U-Pb01 中,亦分布 3 组不同时代的锆石样品,分别为 369~373 Ma (晚泥盆世, $n=6$)、500~503 Ma (晚寒武世, $n=4$)、694~702 Ma (新元古代, $n=10$)。

从碎屑锆石微量元素岩性判别图(图 6)可以看出,样品 PM12-U-Pb01 中年龄在 292~317 Ma 之间的锆石基本落入基性岩区,少量分布在花岗岩区。年龄区间位于晚石炭世—早二叠世,区内自早石炭世古特提斯开始俯冲消减,但无相应的岩浆活动年龄证据,北侧喀什塔什地区石炭系—二叠系托库孜达坂岩组中发育少量英安质凝灰岩建造,其碎屑锆石来源于该地层中火山物质的可能性大。

样品 3180-U-Pb01 中年龄在 369~373 Ma 之间的锆石基本落入基性岩区,年龄区间为晚泥盆世。区内在晚泥盆世最晚的岩浆记录为奥依塔格

斜长花岗岩锆石 Lu-Hf 亏损地幔模式年龄 359.1 Ma (李广伟等, 2009), 其余均未见岩浆活动记录,推断在晚泥盆世古特提斯洋裂解初期,有过小规模火山活动,在南侧巴颜喀拉盆地中沉积,早二叠世古特提斯洋向北俯冲消减,使原有沉积物质剥离后搬运沉积在黄羊岭组中。

样品中分布在 500~503 Ma、694~702 Ma 的 2 组年龄的锆石点基本落入基性岩区,少量为花岗岩区,年龄区间为晚寒武世、新元古代。大量年代学及古生物资料表明,麻扎-康西瓦-苏巴什原特提斯洋至少在新元古代晚期已经存在,可信的锆石测年和古生物资料显示,原特提斯洋主体形成时代为 526~489 Ma 的寒武纪 (韩芳林, 2002; 李博秦, 2007; 黄朝阳等, 2014; Qiao et al., 2021), 因此,样品 3180-U-Pb01 中年龄在 500~503 Ma 的锆石来源

于古特提斯洋主体形成时的岩浆构造演化,而年龄在 694~702 Ma 的锆石可能来自北侧的塔里木陆块或大洋中的北美塘微陆块。样品 3180-U-Pb01 中 369~373 Ma、500~503 Ma、694~702 Ma 这 3 组锆石年龄均未在样品 PM12-U-Pb01 中出现,主要原因在于黄羊岭组一段顶部陆源碎屑物质来源较多,搬运距离较长,获得的年龄峰值较多,而底部陆源碎屑物质为快速近源沉积的产物,锆石来源较集中,使携带有上述 3 个区间锆石年龄的陆源碎屑物质未在黄羊岭组一段底部沉积,同时样品 PM12-U-Pb01 中介于 292~317 Ma 区间年龄的锆石对应的陆源碎屑由于快速风化剥蚀及近源沉积,年龄主要反映在该组地层底部。

5 结 论

(1)新疆西昆仑独尖山地区黄羊岭组沉积岩中的碎屑锆石 LA-ICP-MS U-Pb 测年显示,264~276 Ma 为黄羊岭组沉积岩中主要的碎屑锆石年龄组成,其峰值在 265 Ma 和 275 Ma 均有分布,表明海西运动中昆仑造山带内的花岗质岩石和基性火山岩是黄羊岭组最重要的物源,最年轻岩浆锆石年龄为 264 Ma,最年轻峰值年龄为 266.1 ± 0.89 Ma,表明该地区黄羊岭组的最大沉积年龄不早于中二叠世中期。

(2)通过碎屑锆石取得其余 4 组区间年龄 292~317 Ma、369~373 Ma、500~503 Ma、694~702 Ma,综合对比区内特提斯洋的构造演化,认为 292~317 Ma 碎屑锆石来源于区内北侧喀什塔什地区石炭系—二叠系托库孜达坂岩组内的火山岩建造,500~503 Ma 碎屑锆石来源于古特提斯洋主体形成时的岩浆构造演化,694~702 Ma 碎屑锆石来自于原特提斯洋北侧的塔里木陆块或大洋中的北美塘微陆块,而 369~373 Ma 的碎屑年龄区内未找到对应的地层沉积和岩浆活动证据,推断在晚泥盆世古特提斯洋裂解初期,小规模火山活动形成的物质在古特提斯洋北侧巴颜喀拉盆地中沉积,早二叠世向北俯冲消减,使原有沉积物质剥离后搬运沉积到黄羊岭组中。

致谢:野外工作得到新疆有色地勘局 704 队金红帅工程师的帮助;中国地质大学(武汉)地质过程与矿产资源国家重点实验室在锆石测年、Lu-Hf 同位素测定方面给予具体指导和帮忙;审稿专家对论

文提出了宝贵的修改建议,谨此表示诚挚的谢意。

注释

- ①齐德义.昆仑山玉龙喀什河上游-喀拉米兰河一带 1:100 万区域地质调查报告[R].新疆地矿局第一区域地质调查大队,1986.
- ②张振福,魏荣珠,柴金钟,等.1:25 万黑石北湖幅区域地质调查报告[R].山西省地质调查院,2003.
- ③吕金刚.新疆民丰县昆仑山卧龙岗一带 1:5 万区域地质矿产调查报告[R].新疆地矿局第一区域地质调查大队,2005.
- ④崔建堂,边小卫,王炬川,等.1:25 万康西瓦幅区域地质调查报告[R].陕西省地质调查院,2006b.

参考文献

- Belousova E A, Griffin W L, O'Reilly S Y, et al. Igneous zircon: Trace element composition as an indicator of type [J]. Contributions to Mineralogy and Petrology, 2002, 143: 602-622.
- Boynton W V. Geochemistry of the rare earth elements: meteorite studies [C]// Henderson P. Rare earth element geochemistry. Elsevier, 1984: 63-114.
- Jiang Y H, Liao S Y, Yang W Z, et al. An island arc origin of plagiogranites at Oyttag, western Kunlun orogen, northwest China: SHRIMP zircon U-Pb chronology, elemental and Sr-Nd-Hf isotopic geochemistry and Paleozoic tectonic implications [J]. Lithos, 2008, 106: 323-335.
- Ludwig K R. User's manual for Isoplot/Exersion 3.00: a geochronological toolkit for Microsoft Excel [J]. Berkeley Geochronology Center: Special Publication, 2003, (4): 1-70.
- Meng E, Liu F L, Liu P H, et al. Petrogenesis and tectonic significance of Paleoproterozoic meta-mafic rocks from central Liaodong Peninsula, northeast China: Evidence from zircons U-Pb dating and in situ Lu-Hf isotopes, and whole-rock geochemistry [J]. Precambrian Research, 2014, 147: 92-109.
- Qiao G B, Li W M, Li T H. SHRIMP zircon U-Pb dating and O isotopic analysis of the dunite from Kudi ophiolite in the West Kunlun [J]. China Geology, 2021, 5: 1-3.
- Xiao W J, Windley B F, Liu D Y, et al. Accretionary tectonics of the western Kunlun orogen, China: A Paleozoic Early Mesozoic, long-lived active continental margin with implications for the growth of southern Eurasia [J]. The Journal of Geology, 2005, 113(6): 687-705.
- Ye H M, Li X H, Li Z X, et al. Age and origin of high Ba-Sr appinite-granites at the northwestern margin of the Tibet Plateau: Implications for Early Paleozoic tectonic evolution of the western Kunlun orogenic belt [J]. Gondwana Research, 2008, 13(1): 126-138.
- 陈琳, 汤鸿伟, 任清军, 等. 对西昆仑赛力亚克达坂胜利桥岩体再认识 [J]. 西北地质, 2014, 47(4): 61-72.
- 陈守建, 李荣社, 计文化, 等. 巴颜喀拉构造带二叠—三叠纪岩相特征及构造演化 [J]. 地球科学—中国地质大学学报, 2011, 36(3): 393-408.
- 崔建堂, 王炬川, 边小卫, 等. 西昆仑康西瓦一带早古生代石英闪长岩的地质特征及其锆石 SHRIMP U-Pb 测年 [J]. 地质通报, 2006, 25

- (12): 1450-1457.
- 崔建堂,王炬川,边小卫,等.西昆仑康西瓦北侧蒙古包—普守一带早古生代花岗岩锆石 SHRIMP U-Pb 测年[J].地质通报,2007a,26(6): 710-719.
- 崔建堂,王炬川,边小卫,等.西昆仑康西瓦北部冬巴克片麻状英云闪长岩锆石 SHRIMP U-Pb 测年[J].地质通报,2007b,26(6): 726-730.
- 高晓峰,校培喜,康磊,等.新疆塔什库尔干塔阿西一带火山岩成因及地质意义[J].地球科学—中国地质大学学报,2013,38(6): 1169-1182.
- 韩芳林.西昆仑其曼于特蛇绿混杂岩带及地质意义[D].中国地质大学(北京)硕士学位论文,2002.
- 韩芳林.西昆仑增生造山带演化及成矿背景[D].中国地质大学(北京)博士学位论文,2006.
- 侯可军,李延河,田有荣.LA-MC-ICP-MS 锆石微区原位 U-Pb 定年技术[J].矿床地质,2009,28(4): 481-492.
- 黄朝阳,王核,刘建平,等.西昆仑柯岗蛇绿岩地质地球化学特征及构造意义[J].地球化学,2014,43(6): 592-601.
- 姜春发,王宗起,李锦轶.中央造山带开合构造[M].北京:地质出版社,2000.
- 蒋文成,贾琦,王艳辉,等.新疆卧龙岗二长花岗斑岩地球化学特征及其岩石成因[J].吉林大学学报(地球科学版),2015,45(增刊1): 1503.
- 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.
- 李博秦,姚建新,计文化,等.西昆仑叶城南麻扎地区弧火成岩的特征及其锆石 SHRIMP U-Pb 测年[J].地质通报,2006,25(1/2): 124-132.
- 李博秦.从地层角度探讨西昆仑麻扎—康西瓦—苏巴什结合带的演化过程[D].中国地质科学院博士学位论文,2007.
- 李广伟,方爱民,吴福元,等.塔里木西部奥依塔克斜长花岗岩锆石 U-Pb 年龄和 Hf 同位素研究[J].岩石学报,2009,25(1): 166-172.
- 李建亮,鲁海峰,陈静,等.东昆仑东段地区银多金属矿控矿因素及找矿潜力分析[J].地质找矿论丛,2017,32(2): 172-179.
- 李荣社,计文化,杨永成,等.昆仑山及邻区地质[M].北京:地质出版社,2009.
- 李兴振,尹福光.东昆仑与西昆仑地质构造对比研究之刍议[J].地质通报,2002,21(11): 777-783.
- 李永安,曹运动,孙东江.昆仑山西段中国—巴基斯坦公路沿线构造地质[J].新疆地质,1997,15(2): 116-133.
- 李玉龙,蔡生顺,常涛,等.东昆仑东段中二叠世洋陆俯冲的新证据:来自希留沟辉长岩 U-Pb 年龄的约束[J].矿物岩石,2018,38(1): 91-98.
- 刘成军.西昆仑造山带(西段)及周缘早古生代—早中生代物质组成与构造演化[D].长安大学博士学位论文,2015.
- 刘建平,王核,李社宏,等.西昆仑北带喀依孜斑岩型铜矿床地质地球化学特征及年代学研究[J].岩石学报,2010,26(10): 3095-3105.
- 刘良,车自成,王焰,等.阿尔金茫崖地区早古生代蛇绿岩的 Sm-Nd 等时线年龄证据[J].科学通报,1998,43(8): 880-883.
- 罗金海,车自成,刘良,等.西昆仑北带早志留世构造作用及其区域地质意义[J].西北大学学报(自然科学版),2009,39(3): 517-521.
- 吕金刚,王炬川,褚春华,等.青藏高原可可西里带西段卧龙岗二长花岗斑岩锆石 SHRIMP U-Pb 定年及其地质意义[J].地质通报,2006,25(6): 721-724.
- 汪玉珍,方锡廉.西昆仑山、喀喇昆仑山花岗岩类时空分布规律的初步探讨[J].新疆地质,1987,5(1): 9-24.
- 杨万志,张维洲,屈迅.西昆仑山东段库克断裂与康西瓦断裂、阿尔金断裂关系的地球化学证据[J].地质通报,2005,24(4): 316-321.
- 詹华明.晚造山阶段岩浆底侵与岩石圈拆沉——以昆仑造山带为例[D].中国地质大学(北京)硕士学位论文,2005.
- 张传林,杨淳,沈加林,等.西昆仑北缘新元古代片麻状花岗岩锆石 SHRIMP 年龄及其意义[J].地质论评,2003,19(3): 239-244.
- 张传林,叶海敏,王爱国,等.塔里木西南缘新元古代辉绿岩及玄武岩的地球化学特征:新元古代超大陆(Rodinia)裂解的证据[J].岩石学报,2004,20(3): 473-482.
- 张传林,于海锋,王爱国,等.西昆仑西段三叠纪两类花岗岩年龄测定及其构造意义[J].地质学报,2005,79(5): 645-652.
- 张传林,于海峰,叶海敏,等.塔里木西部奥依塔格斜长花岗岩:年龄、地球化学特征、成岩作用及其构造意义[J].中国科学(D 辑),2006,36(10): 881-893.
- 张雪亭,王秉璋,俞建,等.巴颜喀拉残留洋盆的沉积特征[J].地质通报,2005,24(7): 613-620.
- 张宇,唐名鹰,崔霄峰,等.西昆仑东段苏巴什洋向北俯冲:来自早—中二叠世火山岩的证据[J].现代地质,2021,35(3): 763-775.
- 张占武,崔建堂,王炬川,等.西昆仑康西瓦西北部库尔良早古生代角闪闪长岩、花岗闪长岩锆石 SHRIMP U-Pb 测年[J].地质通报,2007,26(6): 720-725.