【发现与进展】

doi: 10.12029/gc20220125

甘肃马鬃山地区新元古代变质沉积岩碎屑锆石U-Pb年龄及其对北山造山带沉积底界的限定

王红杰[1,2],马驰[1,2],赵海波[1,2],郭峰[1,2],冯乃琦[1,2],王盘喜[1,2]

(1.中国地质科学院郑州矿产综合利用研究所,自然资源部多金属矿综合利用评价重点实验室,河南 郑州 450006;2.西北地质科技创新中心,陕西 西安 710054)

U-Pb age of detrital zircons from Neoproterozoic metamorphic sedimentary rocks in Mazongshan, Gansu and its limitation to the sedimentary floor of the Beishan orogenic belt

WANG Hongjie[1,2], MA Chi[1,2], ZHAO Haibo[1,2], GUO Feng[1,2], FENG Naiqi[1,2], WANG Panxi[1,2]

(1. Zhengzhou Institutes of Multipurpose Utilization of Mineral Resouse,China Academy of Geological Sciences,Key Laboratory for Ploy-metallic Ores' Evaluation and Utilization of Ministry of Natural Resources, Zhengzhou 450006, Henan , China;2.Northwest China Center for Geosience Innovation, Xi'an 710054, Shaanxi, China)

1 研究目的(Objective)

作为前寒武纪基底明水—旱山微陆块的演化过程对于重建中亚造山带构造演化历史具有重要意义,由于后期多期次造山和岩浆活动影响,造成明水—旱山微陆块前寒武纪地质演化研究相对薄弱,前人多将区域上前寒武纪变质程度较高的岩石称为"敦煌岩群"或"北山岩群",该套变质岩组合受多期俯冲造山及陆内造山活动,变质变形强烈,岩石分布零散,接触关系不清晰,多以断层接触,根据《甘肃省岩石地层》和《甘肃省地质志》,该套岩石组合时代归属依据为:"具有古老地壳岩层的一般特征,比上覆地层古硐井群(Pt_2G)具有更深的变质程度和更强的变形,Sm-Nd法测年多数集中在2200~2900 Ma,因此将其时代暂归属到新太古代—古元古代"。本研究的目的是通过对明水—旱山微陆块前寒武纪变质沉积岩进行系统的碎屑锆石U-Pb年龄研究,确定该套变质岩石组合时代归属。

2 研究方法(Methods)

研究区在大地构造位置上属马鬃山构造单元明水—旱山地块,区内岩石普遍风化强烈,出露较多的副变质岩,主要岩性有斜长角闪岩、石英片岩、石英岩、大理岩等,1:25万马鬃山幅区域地质调查将其归属为新太古代—古元古代敦煌岩群,也有学者将该套地层称为北山岩群,本次研究在马鬃山夏尔陶勒地区采集3处石英岩样品(样品编号Kb-1、2、3),开展锆石U-Pb同位素测年工作。测试工作在中国地质调查局西安地质调查中心岩浆作用成矿与找矿重点实验室完成,测试结果见电子版附表1。

3 结果(Results)

石英岩样品的锆石形态、大小差异较大,磨圆比较明显,多数锆石具有核边结构,具有变质边,锆石内部结构种类较多,既有典型中酸性岩浆锆石清晰的振荡环带,也有基性岩浆岩具有的宽缓的振荡环带,还有典型变质锆石特有的无分带特征、斑杂状分带、海绵状分带等(图1b)。对锆石的Th/U比值进行统计,仅4颗锆石Th/U比值小于0.1,98颗锆石Th/U比值介于0.1~0.4,138颗锆石Th/U比值大于0.4,结合锆石CL图像,样品中主体为岩浆锆石,存在少量变质锆石。对3个石英岩样品各取80个点进行测年,共获得239个有效锆石U-Pb年龄。3个样品具有相似的年龄分布特征,样品中最年轻锆石谐和年龄为(894±11)Ma,代表其最大沉积年龄;0.9~1.5 Ga为锆石年龄直方图中

作者简介:王红杰,男,1990年生,助理研究员,主要从事区域地质和造山带研究;E-mail:cugbhongjie@163.com。

通讯作者:马驰,男,1981年生,高级工程师,主要从事构造地质研究;E-mail:machi111@126.com。

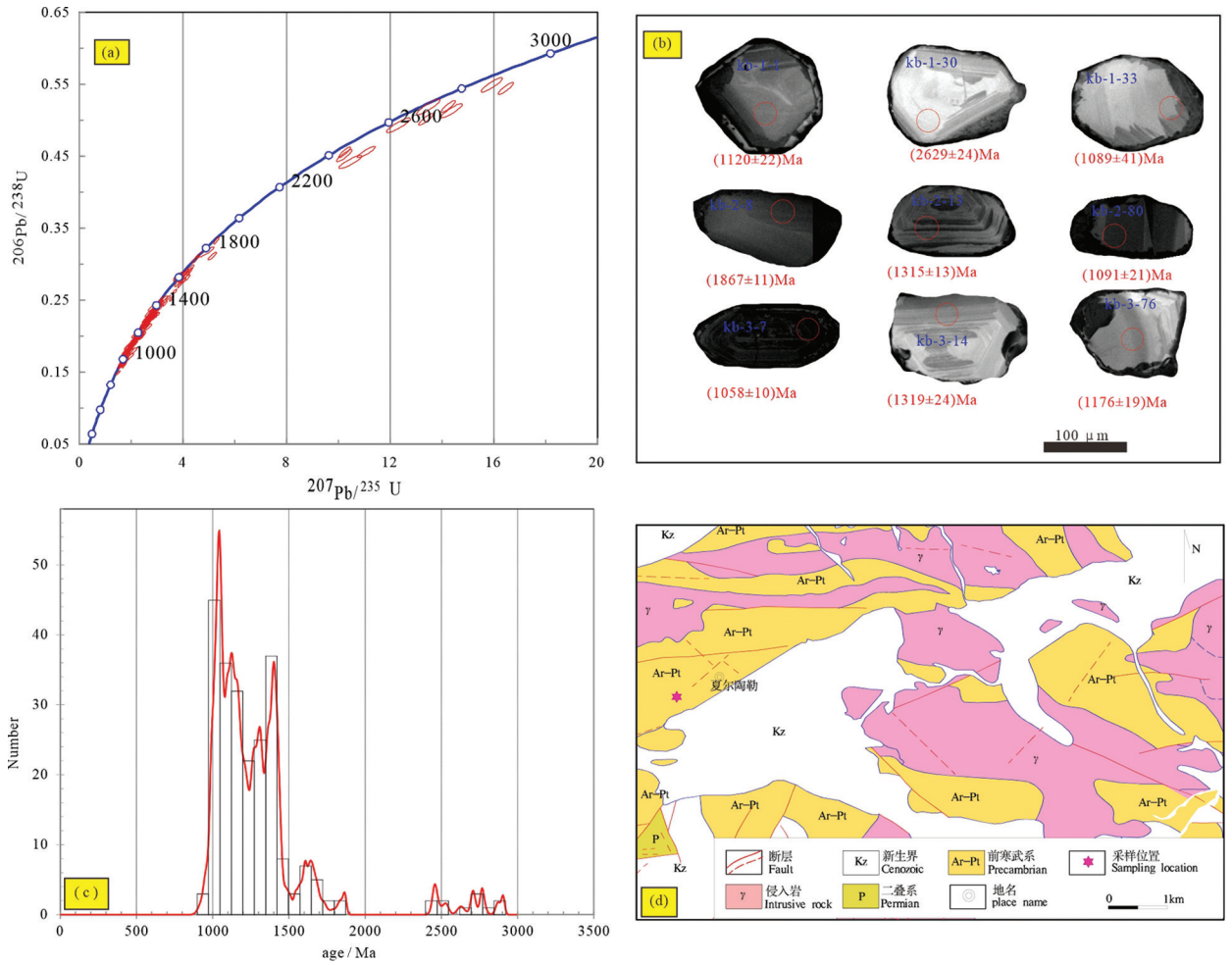

图1 甘肃马鬃山石英岩样品锆石U-Pb年龄谐和图(a)、部分典型锆石CL图像(b)、锆石U-Pb年龄直方图(c)及采样位置图(d)

Fig.1 Harmonic graph of Zircon U-Pb ages(a), CL images of some typical zircons(b), Histograms of Zircon U-Pb ages(c) and Sampling location(d) of the quartzite from Mazongshan, Gansu Province

最为连续峰期,约占年龄总体的88.7%,该连续峰期中最明显的年龄峰值约1 Ga,其次为约1.1 Ga、1.3 Ga;1.5~1.8 Ga也连续分布着一些较为谐和的年龄,约占总体的6.3%;2.4~2.8 Ga也存在11个较为谐和的年龄,约占总体的4.6%,最老的锆石年龄记录为2.82 Ga(图1c)。从样品的锆石U-Pb谐和图可知,大部分锆石的U-Pb年龄均在谐和线上或谐和线附近,少量锆石U-Pb年龄在谐和线以下,与其Pb丢失有关(图1a)。

4 结论(Conclusions)

本次采集的石英岩样品锆石U-Pb测年结果显示石英岩的最大沉积年龄(894±11) Ma,即其形成时代的下限,为重建中亚造山带在北山地区构造演化补充了晚青白口纪沉积侵蚀证据,为北山地区"敦煌岩群"或"北山岩群"地层厘定和时代归属提供新的证据,限定了北山造山带沉积下限。

5 基金项目(Fund support)

本文为中国地质调查局项目"东天山昌吉—双沟山地区区域地质调查(中国地质科学院郑州矿产综合利用研究所)"(DD20190067)和"长江中游黄石—萍乡—德兴矿山集中区综合地质调查"(DD20190269)资助的成果。

附表1 石英岩锆石U-Pb定年数据

Table 1 U−Pb isotopic data of zircons of the the quartzite

点号	元素含量/10^{-6}		Th/U	同位素比值						年龄/Ma			
	Th	U		$^{207}Pb/^{206}Pb$	1δ	$^{207}Pb/^{235}U$	1δ	$^{206}Pb/^{238}U$	1δ	$^{207}Pb/^{235}U$	1δ	$^{206}Pb/^{238}U$	1δ
样品编号:kb-1													
1	20.78	78.22	0.27	0.0792	0.0027	2.0126	0.0652	0.1845	0.0024	1120	22	1092	13
2	56.75	54.68	1.04	0.105	0.0029	4.1019	0.1099	0.2836	0.0037	1655	22	1610	18
3	38.63	92.25	0.42	0.0935	0.0023	3.1393	0.0747	0.2438	0.0029	1413	23	1401	15
4	31.85	75.58	0.42	0.0971	0.0026	3.3754	0.0852	0.2524	0.0031	1472	24	1446	16
5	71.34	188.33	0.38	0.0844	0.0017	2.4953	0.0491	0.2146	0.0023	1271	14	1253	12
6	154.62	629.48	0.25	0.0933	0.0012	3.1183	0.039	0.2427	0.0023	1410	12	1396	12
7	58.6	97.56	0.6	0.0829	0.0023	2.2264	0.059	0.1949	0.0023	1140	26	1141	13
8	65.89	239.03	0.28	0.077	0.0016	1.9105	0.0384	0.18	0.0019	1063	16	1064	10
9	54.55	69.41	0.79	0.1067	0.0028	4.1142	0.1024	0.2798	0.0035	1657	20	1591	18
10	411.14	322.86	1.27	0.1843	0.0022	11.7106	0.1316	0.4611	0.0045	2530	19	2420	23
11	60.25	467.21	0.13	0.0851	0.0013	2.2511	0.0337	0.1921	0.0019	1162	11	1127	10
12	105.99	443.24	0.24	0.0861	0.0014	2.1986	0.034	0.1854	0.0019	1129	13	1089	10
13	532.51	603.29	0.88	0.0781	0.0012	1.9387	0.0281	0.1801	0.0018	1095	10	1068	10
14	108.41	532.01	0.2	0.0783	0.0013	1.821	0.028	0.1689	0.0017	1011	12	1000	9
15	56.5	105.94	0.53	0.0725	0.0027	1.4857	0.0534	0.1488	0.0019	925	22	894	11
16	30.58	45.34	0.67	0.0801	0.0036	1.9663	0.0856	0.1782	0.0028	1104	29	1057	15
17	56.66	67.74	0.84	0.0791	0.0029	2.0399	0.0724	0.1872	0.0026	1129	24	1106	14
18	474.56	435.48	1.09	0.0789	0.0014	1.7736	0.0302	0.1632	0.0017	1036	11	974	9
19	20.37	50.4	0.4	0.0818	0.0033	2.1296	0.0837	0.189	0.0028	1158	27	1116	15
20	40.06	98.6	0.41	0.1007	0.0024	3.7887	0.085	0.2732	0.0032	1590	18	1557	16
21	61.32	91.58	0.67	0.0807	0.0025	2.1213	0.0637	0.1909	0.0024	1156	21	1126	13
22	30.08	134.52	0.22	0.0772	0.0021	1.9265	0.051	0.1812	0.0021	1090	18	1073	12
23	53.14	115.88	0.46	0.0872	0.0023	2.6474	0.0663	0.2203	0.0026	1284	24	1279	14
24	44.49	140.84	0.32	0.0746	0.0021	1.6933	0.0465	0.1647	0.002	1006	18	983	11
25	223.96	411.97	0.54	0.0929	0.0014	3.1365	0.0451	0.2449	0.0024	1415	16	1407	13
26	37.27	42.17	0.88	0.073	0.004	1.6201	0.0857	0.161	0.0028	978	33	962	15
27	81.24	62.56	1.3	0.0781	0.0032	1.8462	0.0723	0.1715	0.0025	1062	26	1021	14
28	36.95	119.81	0.31	0.0776	0.0024	1.7935	0.053	0.1678	0.0021	1014	23	996	12
29	36.62	71.25	0.51	0.088	0.0028	2.8389	0.0869	0.2342	0.0031	1366	23	1356	16
30	36.02	49.62	0.73	0.1851	0.0038	12.6419	0.249	0.4955	0.0063	2629	24	2582	29
31	77.52	125.7	0.62	0.0865	0.0023	2.5976	0.0653	0.2178	0.0026	1271	26	1266	14
32	127.51	101.62	1.25	0.0827	0.0025	2.2576	0.0669	0.1982	0.0025	1199	21	1166	14
33	13.97	26.12	0.53	0.0816	0.0051	1.9224	0.1174	0.1709	0.0034	1089	41	1017	19
34	53.97	173.44	0.31	0.0815	0.002	2.1235	0.0499	0.1891	0.0022	1139	19	1114	12
35	81.63	109.68	0.74	0.1039	0.0024	4.1008	0.0896	0.2865	0.0034	1598	27	1612	18
36	57.76	130.19	0.44	0.0872	0.0022	2.6849	0.0654	0.2235	0.0026	1284	23	1294	14
37	40.19	218.73	0.18	0.0927	0.0018	3.1105	0.0579	0.2435	0.0026	1435	14	1405	14
38	161.15	561.4	0.29	0.076	0.0013	1.8418	0.0293	0.1758	0.0018	1047	13	1042	10
39	150.12	319	0.47	0.0786	0.0015	2.1015	0.0392	0.1939	0.002	1149	13	1143	11
40	7.18	22.16	0.32	0.0807	0.0052	2.1773	0.1366	0.1957	0.0041	1174	44	1152	22
41	13.74	17.92	0.77	0.0813	0.0068	1.9848	0.1612	0.1771	0.0044	1110	55	1051	24
42	142.01	400.58	0.35	0.0793	0.0014	2.0543	0.0357	0.1879	0.0019	1116	15	1107	11
43	30.91	90.98	0.34	0.0776	0.0026	2.0505	0.0675	0.1917	0.0025	1132	22	1130	14
44	17.88	35.1	0.51	0.0836	0.005	1.7942	0.1029	0.1557	0.003	1043	37	933	17
45	44.7	125.11	0.36	0.09	0.0023	2.8121	0.0695	0.2267	0.0027	1359	19	1317	14
46	30.61	89.31	0.34	0.0793	0.0029	1.8016	0.0641	0.1648	0.0023	1046	23	984	13

附表1

点号	元素含量/10^{-6}		Th/U	同位素比值						年龄/Ma			
	Th	U		$^{207}Pb/^{206}Pb$	1δ	$^{207}Pb/^{235}U$	1δ	$^{206}Pb/^{238}U$	1δ	$^{207}Pb/^{235}U$	1δ	$^{206}Pb/^{238}U$	1δ
47	54.1	64.46	0.84	0.0914	0.0032	2.8386	0.0948	0.2253	0.0032	1366	25	1310	17
48	54.27	100.51	0.54	0.0728	0.0027	1.5832	0.0573	0.1577	0.0022	964	23	944	12
49	28.73	44.82	0.64	0.0737	0.004	1.753	0.0921	0.1726	0.003	1028	34	1026	16
50	30.18	120.63	0.25	0.1036	0.0024	4.0512	0.0897	0.2836	0.0033	1588	21	1597	17
51	84.48	116.92	0.72	0.0896	0.0025	2.7866	0.0735	0.2256	0.0028	1352	20	1312	15
52	55.89	140.93	0.4	0.0876	0.0022	2.6241	0.0645	0.2173	0.0026	1276	22	1263	14
53	30.38	72.35	0.42	0.1647	0.0034	10.2269	0.1992	0.4506	0.0056	2456	18	2398	25
54	40.45	107.51	0.38	0.0854	0.0026	2.4725	0.0721	0.2101	0.0027	1227	26	1224	14
55	46.02	108.14	0.43	0.0741	0.0026	1.7415	0.0599	0.1705	0.0023	1024	22	1015	13
56	26.7	81.28	0.33	0.0783	0.003	2.0625	0.0772	0.1911	0.0027	1136	26	1127	15
57	176.07	506.1	0.35	0.0856	0.0014	2.4246	0.0385	0.2056	0.0021	1223	15	1201	11
58	112.7	227.32	0.5	0.0738	0.0019	1.7068	0.0419	0.1679	0.0019	1011	16	1000	11
59	40.96	53.3	0.77	0.0739	0.0038	1.7431	0.0875	0.1711	0.0029	1025	32	1018	16
60	80.35	131.56	0.61	0.102	0.0023	3.9313	0.0858	0.2796	0.0033	1620	18	1590	16
61	40.49	444.67	0.09	0.0931	0.0015	2.9295	0.0458	0.2282	0.0023	1358	12	1320	12
62	25.94	65.1	0.4	0.0864	0.0034	2.431	0.0922	0.2041	0.003	1175	34	1185	16
63	87.77	268.89	0.33	0.0881	0.0017	2.8189	0.0532	0.2321	0.0025	1335	17	1341	13
64	45.96	29.64	1.55	0.0756	0.0052	1.8584	0.125	0.1784	0.0037	1066	44	1058	20
65	111.27	271.92	0.41	0.0749	0.0018	1.7605	0.0397	0.1705	0.0019	1031	15	1015	10
66	80.6	208.8	0.39	0.0855	0.0019	2.5791	0.0562	0.2188	0.0025	1265	20	1271	13
67	113.55	330.1	0.34	0.0908	0.0017	2.9981	0.0536	0.2394	0.0025	1407	14	1384	13
68	19.64	43.06	0.46	0.086	0.0042	2.5442	0.1193	0.2147	0.0037	1285	34	1254	20
69	109.07	219.19	0.5	0.0914	0.0019	3.0366	0.0616	0.2409	0.0027	1386	21	1386	14
70	137.84	285.27	0.48	0.0762	0.0017	1.8609	0.0409	0.1771	0.002	1037	20	1047	11
71	82.36	266.38	0.31	0.0776	0.0018	2.0026	0.0443	0.1872	0.0021	1116	15	1106	11
72	92.46	83.08	1.11	0.1788	0.0035	11.0076	0.2023	0.4466	0.0054	2477	26	2359	27
73	24.62	29.39	0.84	0.0749	0.0056	1.7034	0.1235	0.1649	0.0037	1010	46	984	20
74	81.69	72.59	1.13	0.1191	0.0033	5.2503	0.1375	0.3197	0.0043	1797	37	1772	23
75	117.61	299	0.39	0.0911	0.0017	2.9544	0.0535	0.2353	0.0025	1396	14	1362	13
76	16.43	44.86	0.37	0.0791	0.0041	2.0813	0.1054	0.1907	0.0033	1143	35	1125	18
77	91.65	204.71	0.45	0.0818	0.002	2.2237	0.0529	0.1972	0.0023	1167	21	1157	13
78	134.36	150.09	0.9	0.0732	0.0023	1.6507	0.0505	0.1635	0.0021	990	19	976	11
79	11.15	28.18	0.4	0.0873	0.0053	2.697	0.158	0.224	0.0045	1328	43	1303	24
80	73.29	209	0.35	0.0816	0.0021	2.0763	0.0506	0.1846	0.0022	1087	21	1084	12
样品编号:kb-2													
1	109.3	153.86	0.71	0.2194	0.0028	16.4731	0.1973	0.5441	0.0056	2905	11	2801	23
2	86.61	96.15	0.9	0.0779	0.0022	1.9967	0.0555	0.1858	0.0023	1114	19	1098	12
3	138.19	245.46	0.56	0.1989	0.0027	14.2473	0.1842	0.519	0.0055	2766	12	2695	23
4	23.8	61.98	0.38	0.0838	0.0027	2.5738	0.0786	0.2226	0.0029	1293	22	1296	15
5	38.41	61.34	0.63	0.0772	0.0028	2.0003	0.0699	0.1878	0.0026	1116	24	1109	14
6	108.38	222.67	0.49	0.078	0.0016	1.9932	0.0401	0.1852	0.002	1113	14	1095	11
7	79.71	105.01	0.76	0.163	0.0025	10.2432	0.1521	0.4554	0.005	2457	14	2419	22
8	142.11	304.11	0.47	0.1152	0.0016	5.2892	0.0691	0.3326	0.0033	1867	11	1851	16
9	54.45	215.26	0.25	0.0833	0.0016	2.4594	0.0463	0.2139	0.0023	1260	14	1250	12
10	41.31	584.46	0.07	0.0747	0.0012	1.7906	0.0267	0.1737	0.0017	1042	10	1032	10
11	36.29	58.49	0.62	0.0784	0.003	2.0242	0.0737	0.187	0.0027	1124	25	1105	14
12	110.02	224.96	0.49	0.0855	0.0016	2.6516	0.0478	0.2249	0.0024	1315	13	1308	13
13	35.65	143.46	0.25	0.082	0.0019	2.2634	0.0513	0.2002	0.0023	1201	16	1176	12

附表1

点号	元素含量/10^{-6}		Th/U	同位素比值						年龄/Ma			
	Th	U		$^{207}Pb/^{206}Pb$	1δ	$^{207}Pb/^{235}U$	1δ	$^{206}Pb/^{238}U$	1δ	$^{207}Pb/^{235}U$	1δ	$^{206}Pb/^{238}U$	1δ
14	27.1	96.45	0.28	0.074	0.0024	1.7403	0.0536	0.1705	0.0022	1024	20	1015	12
15	51.64	142.58	0.36	0.0872	0.0032	2.3913	0.0857	0.1988	0.0029	1240	26	1169	16
16	25.35	69.72	0.36	0.0894	0.0028	2.848	0.0851	0.231	0.003	1368	22	1340	16
17	13.62	28.75	0.47	0.0926	0.0042	2.9182	0.1272	0.2284	0.0039	1339	41	1318	21
18	199.33	474.2	0.42	0.1035	0.0014	3.8699	0.0494	0.2711	0.0027	1607	10	1547	14
19	23.39	154.9	0.15	0.0814	0.0019	2.2258	0.0494	0.1983	0.0022	1179	16	1164	12
20	47.74	130.35	0.37	0.0765	0.0021	1.8657	0.0487	0.1768	0.0021	1069	17	1050	12
21	19.72	173.89	0.11	0.0792	0.0019	2.0784	0.0471	0.1902	0.0022	1142	16	1122	12
22	30.6	118.95	0.26	0.1061	0.0022	4.245	0.0849	0.2901	0.0033	1683	16	1642	16
23	46.82	417.76	0.11	0.1023	0.0016	3.56	0.0526	0.2524	0.0026	1541	12	1451	13
24	118.62	316.47	0.37	0.084	0.0015	2.3606	0.0392	0.2037	0.0021	1231	12	1195	11
25	98.92	148.98	0.66	0.0855	0.0019	2.6058	0.0551	0.221	0.0025	1302	16	1287	13
26	118.62	208.72	0.57	0.0849	0.0017	2.6398	0.0491	0.2253	0.0024	1312	14	1310	13
27	48.52	51.1	0.95	0.087	0.0032	2.7078	0.0948	0.2255	0.0032	1331	26	1311	17
28	58.85	84.49	0.7	0.083	0.0026	2.2411	0.0669	0.1959	0.0025	1194	21	1153	14
29	15.61	34.7	0.45	0.0731	0.0042	1.8059	0.0998	0.1791	0.0032	1048	36	1062	17
30	11.11	26.12	0.43	0.0759	0.0048	1.9474	0.1207	0.1861	0.0037	1098	42	1100	20
31	142.16	286.59	0.5	0.0911	0.0015	3.0783	0.0484	0.2449	0.0025	1427	12	1412	13
32	92.99	285.33	0.33	0.089	0.0015	2.9477	0.0474	0.24	0.0025	1394	12	1387	13
33	30.75	64.3	0.48	0.0764	0.0031	1.7802	0.0709	0.1689	0.0025	1038	26	1006	14
34	25.06	57.73	0.43	0.077	0.0031	1.9889	0.0776	0.1874	0.0028	1112	26	1107	15
35	36.33	55.68	0.65	0.0794	0.0033	2.0679	0.0832	0.1888	0.0029	1138	28	1115	16
36	52.66	91.62	0.57	0.0834	0.0049	2.3092	0.1323	0.2007	0.004	1215	41	1179	22
37	45.12	89.01	0.51	0.083	0.0025	2.4031	0.0697	0.21	0.0027	1244	21	1229	14
38	66.67	173.62	0.38	0.0912	0.0019	3.1435	0.062	0.2499	0.0027	1443	15	1438	14
39	62.24	143.39	0.43	0.0893	0.002	2.8993	0.0629	0.2354	0.0027	1361	21	1359	14
40	61.72	112.28	0.55	0.1937	0.0029	13.3873	0.1907	0.5012	0.0055	2707	13	2619	23
41	77.49	383.52	0.2	0.0757	0.0014	1.9329	0.0347	0.1852	0.0019	1093	12	1095	10
42	6.22	31.22	0.2	0.0859	0.0044	2.5735	0.1264	0.2173	0.0039	1293	36	1268	21
43	120.04	149.04	0.81	0.0736	0.0021	1.6463	0.0459	0.1621	0.002	988	18	968	11
44	65.15	133.17	0.49	0.0851	0.0027	2.4002	0.0723	0.2046	0.0027	1189	28	1192	15
45	139.31	353.93	0.39	0.0758	0.0014	1.8445	0.0335	0.1765	0.0018	1039	16	1045	10
46	28.42	78.71	0.36	0.0714	0.0028	1.748	0.0675	0.1777	0.0025	1026	25	1054	14
47	52.18	82.83	0.63	0.076	0.0029	1.7606	0.0654	0.168	0.0024	1031	24	1001	13
48	36.92	98.22	0.38	0.0952	0.0026	3.161	0.0829	0.2407	0.003	1392	25	1380	16
49	73.55	193.9	0.38	0.0795	0.0018	2.1468	0.0478	0.1958	0.0022	1164	15	1153	12
50	97.27	112.18	0.87	0.0742	0.0024	1.7982	0.0553	0.1758	0.0022	1045	20	1044	12
51	134.21	395.09	0.34	0.0843	0.0014	2.5253	0.0396	0.2172	0.0022	1266	14	1265	12
52	47.5	45.83	1.04	0.0757	0.0038	1.7278	0.0846	0.1655	0.0028	1019	32	987	15
53	84.29	300.86	0.28	0.0967	0.0017	3.2159	0.054	0.2411	0.0025	1441	15	1389	13
54	12.61	36.4	0.35	0.0904	0.0043	2.8304	0.1298	0.2271	0.0039	1364	34	1319	21
55	29.68	104.33	0.28	0.086	0.0025	2.6241	0.0731	0.2214	0.0028	1307	20	1289	15
56	26.94	78.51	0.34	0.0767	0.003	1.6912	0.0639	0.1599	0.0023	1005	24	956	13
57	66.41	224.51	0.3	0.0751	0.0018	1.8073	0.0406	0.1746	0.0019	1048	15	1037	11
58	91.72	91.78	1	0.1026	0.0027	4.0243	0.1003	0.2845	0.0035	1639	20	1614	18
59	65.45	197.78	0.33	0.092	0.002	3.0246	0.0614	0.2384	0.0026	1414	15	1378	14
60	33.77	59.07	0.57	0.078	0.0035	1.9747	0.0861	0.1838	0.0029	1107	29	1087	16
61	28.19	50.29	0.56	0.0877	0.0034	2.6494	0.0988	0.2192	0.0032	1314	27	1278	17

附表1

点号	元素含量/10^{-6}		Th/U	同位素比值						年龄/Ma			
	Th	U		$^{207}Pb/^{206}Pb$	1δ	$^{207}Pb/^{235}U$	1δ	$^{206}Pb/^{238}U$	1δ	$^{207}Pb/^{235}U$	1δ	$^{206}Pb/^{238}U$	1δ
62	41.39	83.19	0.5	0.0911	0.0025	3.0651	0.082	0.2441	0.003	1424	20	1408	16
63	142.9	443.16	0.32	0.1002	0.0015	3.4988	0.0481	0.2532	0.0025	1509	13	1452	13
64	226.07	691.18	0.33	0.0896	0.0012	2.9619	0.0376	0.2398	0.0023	1398	10	1386	12
65	80.38	173.97	0.46	0.0761	0.0019	1.8271	0.0446	0.1743	0.002	1033	21	1033	11
66	105.08	149.6	0.7	0.1029	0.002	4.1016	0.0774	0.2891	0.0032	1655	15	1637	16
67	37.62	317.44	0.12	0.0727	0.0015	1.5744	0.0316	0.1571	0.0017	951	13	939	9
68	162.39	21.94	7.4	0.0851	0.0053	2.3502	0.1431	0.2003	0.0041	1228	43	1177	22
69	22.74	45.81	0.5	0.0964	0.0035	3.2368	0.1137	0.2436	0.0036	1372	36	1389	19
70	53.58	122.44	0.44	0.0848	0.0021	2.6607	0.0644	0.2275	0.0027	1318	18	1322	14
71	42.92	144.19	0.3	0.0863	0.002	2.6359	0.0584	0.2216	0.0025	1287	19	1286	13
72	98.43	293.87	0.33	0.0901	0.0015	2.9629	0.0478	0.2387	0.0024	1383	15	1377	13
73	54.9	56.7	0.97	0.2105	0.0038	15.9216	0.2724	0.5489	0.0066	2872	16	2821	28
74	27.02	65.8	0.41	0.0886	0.0029	2.9704	0.0929	0.2432	0.0033	1400	24	1403	17
75	133.9	286.47	0.47	0.0913	0.0016	3.0641	0.0505	0.2435	0.0025	1424	13	1405	13
76	41.5	213.33	0.19	0.0793	0.0018	2.0625	0.0436	0.1888	0.0021	1119	16	1113	11
77	21.22	31.41	0.68	0.0769	0.0043	1.9493	0.107	0.184	0.0033	1098	37	1089	18
78	50.99	139.09	0.37	0.0873	0.002	2.8439	0.0631	0.2364	0.0027	1367	17	1368	14
79	97.94	36.41	2.69	0.1886	0.0044	13.4745	0.2987	0.5183	0.0072	2713	21	2692	30
80	53.26	89.44	0.6	0.0773	0.0025	1.9294	0.0607	0.1811	0.0023	1091	21	1073	13
样品编号kb-3													
1	140.75	620.73	0.23	0.0748	0.0012	1.6539	0.0248	0.1604	0.0016	991	9	959	9
2	29.82	71.63	0.42	0.0905	0.0026	2.9719	0.0823	0.2382	0.0031	1400	21	1377	16
3	285.19	321.16	0.89	0.0746	0.0015	1.7054	0.0323	0.1657	0.0018	1011	12	988	10
4	80.11	265.77	0.3	0.0877	0.0015	2.8344	0.0483	0.2345	0.0025	1365	13	1358	13
5	123.34	169.15	0.73	0.0768	0.0019	1.9076	0.0448	0.1801	0.0021	1084	16	1068	11
6	126.18	446.59	0.28	0.0747	0.0013	1.8059	0.0294	0.1754	0.0018	1048	11	1042	10
7	37.34	651.68	0.06	0.0761	0.0011	1.8352	0.0266	0.175	0.0018	1058	10	1040	10
8	63.91	199.18	0.32	0.0735	0.0017	1.7175	0.0393	0.1696	0.0019	1015	15	1010	11
9	88.83	157.24	0.56	0.0734	0.002	1.6637	0.0432	0.1644	0.002	995	16	981	11
10	82.79	224.26	0.37	0.0767	0.0017	1.93	0.0407	0.1824	0.002	1092	14	1080	11
11	77.38	94.21	0.82	0.0731	0.0024	1.7843	0.0565	0.1771	0.0023	1040	21	1051	13
12	107	266.74	0.4	0.0791	0.0015	2.1544	0.0397	0.1976	0.0021	1166	13	1163	11
13	75.64	185.69	0.41	0.0813	0.0018	2.3036	0.0484	0.2055	0.0023	1213	15	1205	12
14	31.35	57.35	0.55	0.0836	0.0028	2.6644	0.0877	0.2312	0.0032	1319	24	1341	17
15	28	75.1	0.37	0.0765	0.0027	1.9873	0.0673	0.1884	0.0026	1111	23	1113	14
16	142.44	144.63	0.98	0.0728	0.002	1.7421	0.0464	0.1736	0.0021	1024	17	1032	11
17	53.79	136.55	0.39	0.0782	0.002	2.0449	0.0512	0.1896	0.0023	1131	17	1119	12
18	304.4	259.92	1.17	0.085	0.0016	2.2795	0.0425	0.1946	0.0021	1170	27	1141	13
19	251.91	187.35	1.34	0.0888	0.0018	2.8274	0.0557	0.2309	0.0026	1363	15	1339	13
20	12.88	27.36	0.47	0.0839	0.0046	2.2958	0.1216	0.1985	0.0037	1211	37	1167	20
21	52.27	101.02	0.52	0.0909	0.0023	3.051	0.0755	0.2434	0.003	1420	19	1404	15
22	25.92	56.39	0.46	0.0809	0.0031	2.2782	0.0841	0.2042	0.003	1206	26	1198	16
23	25.98	76.84	0.34	0.0788	0.0028	2.097	0.0715	0.1931	0.0027	1148	23	1138	14
24	38.39	56.04	0.69	0.0765	0.0033	1.8413	0.0775	0.1745	0.0027	1060	28	1037	15
25	51.06	171.69	0.3	0.0886	0.0018	2.9528	0.0587	0.2419	0.0027	1396	15	1396	14
26	100.95	216.52	0.47	0.0747	0.0017	1.8124	0.0401	0.1761	0.002	1050	14	1046	11
27	119.8	173.23	0.69	0.0815	0.0019	2.2782	0.05	0.2028	0.0023	1206	15	1190	12
28	96.66	91.55	1.06	0.1057	0.0025	4.2797	0.0982	0.2937	0.0036	1689	19	1660	18
29	44.35	108.06	0.41	0.0859	0.0027	2.4874	0.0762	0.21	0.0028	1268	22	1229	15
30	37.12	112.77	0.33	0.0775	0.0023	1.9046	0.0554	0.1782	0.0023	1083	19	1057	12
31	68.84	157.59	0.44	0.0901	0.002	2.972	0.0621	0.2392	0.0027	1373	20	1377	14

附表1

点号	元素含量/10^{-6}		Th/U	同位素比值						年龄/Ma			
	Th	U		$^{207}Pb/^{206}Pb$	1δ	$^{207}Pb/^{235}U$	1δ	$^{206}Pb/^{238}U$	1δ	$^{207}Pb/^{235}U$	1δ	$^{206}Pb/^{238}U$	1δ
32	89.04	91.5	0.97	0.0854	0.0025	2.5384	0.0715	0.2155	0.0027	1283	21	1258	14
33	30.3	90.98	0.33	0.089	0.0025	2.8537	0.0782	0.2325	0.0029	1370	21	1348	15
34	44.2	130.98	0.34	0.073	0.0023	1.631	0.049	0.162	0.002	982	19	968	11
35	157.41	330	0.48	0.0889	0.0017	2.0716	0.0382	0.1691	0.0018	1139	13	1007	10
36	84.06	197.68	0.43	0.0785	0.002	1.713	0.0416	0.1583	0.0018	1013	16	947	10
37	47.6	205.5	0.23	0.077	0.0018	1.8145	0.0419	0.1709	0.0019	1032	17	1014	11
38	57.97	133.42	0.43	0.0883	0.0022	2.6326	0.0642	0.2162	0.0026	1310	18	1262	14
39	55.22	160.86	0.34	0.0777	0.0021	1.7998	0.0473	0.1681	0.002	1045	17	1002	11
40	53.3	165.07	0.32	0.0922	0.0021	2.9499	0.0635	0.232	0.0027	1395	16	1345	14
41	194.25	240.02	0.81	0.1018	0.0019	3.665	0.0641	0.2613	0.0028	1564	14	1496	14
42	125.73	316.86	0.4	0.0775	0.0016	1.779	0.0359	0.1664	0.0018	1038	13	992	10
43	103.68	204.07	0.51	0.0758	0.0018	1.8351	0.0422	0.1757	0.002	1058	15	1043	11
44	127.92	368.37	0.35	0.0981	0.0023	3.1069	0.0707	0.2299	0.0027	1400	21	1328	14
45	35.91	108.58	0.33	0.0912	0.0024	3.1103	0.078	0.2475	0.003	1435	19	1426	16
46	27.52	50.6	0.54	0.0807	0.0035	2.1379	0.0903	0.1922	0.003	1161	29	1133	16
47	33.53	65.52	0.51	0.0898	0.0031	2.8145	0.0925	0.2274	0.0032	1324	31	1315	17
48	21.82	362.6	0.06	0.078	0.0015	1.882	0.0346	0.1751	0.0019	1061	12	1038	10
49	38.95	97.86	0.4	0.0911	0.0025	3.0109	0.0785	0.2398	0.003	1410	20	1386	15
50	44.95	86.04	0.52	0.0752	0.0028	1.8003	0.0642	0.1738	0.0024	1046	23	1033	13
51	25.3	201.29	0.13	0.0825	0.0019	2.2293	0.0485	0.196	0.0022	1177	16	1152	12
52	20.29	87.66	0.23	0.0846	0.0027	2.3731	0.0728	0.2035	0.0027	1235	22	1194	14
53	50.89	374.08	0.14	0.0795	0.0016	1.7659	0.0335	0.1613	0.0017	1033	12	964	9
54	69.84	249.98	0.28	0.0738	0.0017	1.7807	0.0388	0.1751	0.0019	1038	14	1040	11
55	66.68	158.85	0.42	0.0858	0.0021	2.4221	0.0563	0.2048	0.0024	1214	21	1195	13
56	24.04	106.17	0.23	0.0878	0.0025	2.5849	0.0705	0.2136	0.0027	1296	20	1248	14
57	42.58	67.41	0.63	0.0851	0.003	2.5956	0.0891	0.2214	0.0031	1299	25	1289	16
58	318.27	254.09	1.25	0.0977	0.0018	3.3064	0.0565	0.2454	0.0026	1483	13	1415	13
59	124.28	156.65	0.79	0.0812	0.002	2.2653	0.0544	0.2023	0.0023	1202	17	1188	13
60	87.62	205.75	0.43	0.0911	0.0018	3.0301	0.0586	0.2413	0.0026	1415	15	1394	14
61	84.58	141.29	0.6	0.0914	0.0021	3.0144	0.0673	0.2394	0.0028	1411	17	1384	14
62	195.54	363.47	0.54	0.0833	0.0015	2.1857	0.038	0.1904	0.002	1177	12	1123	11
63	67.15	205.34	0.33	0.0802	0.0019	2.1114	0.0473	0.1911	0.0022	1153	15	1127	12
64	33.16	59.04	0.56	0.0784	0.0033	2.1093	0.0852	0.1952	0.0029	1152	28	1149	16
65	100.63	196.23	0.51	0.0767	0.0019	1.8739	0.0446	0.1772	0.002	1072	16	1052	11
66	196.28	726.51	0.27	0.0741	0.0012	1.6492	0.0246	0.1616	0.0016	989	9	965	9
67	37.85	142.73	0.27	0.0939	0.0022	3.159	0.071	0.2442	0.0028	1447	17	1408	15
68	190.84	386.06	0.49	0.0799	0.0015	2.0323	0.036	0.1845	0.0019	1126	12	1091	10
69	95.16	489.28	0.19	0.0893	0.0023	2.7148	0.066	0.2205	0.0026	1318	19	1282	14
70	70.58	118.81	0.59	0.1196	0.0026	5.1257	0.1054	0.3109	0.0037	1840	17	1745	18
71	77.99	211.07	0.37	0.0867	0.0019	2.4404	0.0512	0.2042	0.0023	1255	15	1198	12
72	22.85	61.71	0.37	0.0771	0.0033	1.8837	0.0776	0.1772	0.0027	1075	27	1052	15
73	79.09	221.84	0.36	0.1053	0.0019	4.0037	0.0675	0.2758	0.0029	1635	14	1570	15
74	42.28	99.03	0.43	0.0914	0.0025	2.9741	0.0792	0.2361	0.0029	1401	20	1366	15
75	33.18	72.27	0.46	0.0909	0.003	2.6588	0.0859	0.2124	0.0029	1317	24	1241	15
76	59.55	127.42	0.47	0.0815	0.0023	2.1848	0.0598	0.1945	0.0024	1176	19	1146	13
77	26.62	50.63	0.53	0.2034	0.004	14.3841	0.2704	0.5132	0.0065	2775	18	2670	28
78	123.72	104.11	1.19	0.106	0.0024	4.4779	0.0958	0.3066	0.0036	1727	18	1724	18
79	22.77	30.42	0.75	0.0751	0.0053	1.9323	0.1331	0.1868	0.0041	1092	46	1104	22
80	136.69	494.3	0.28	0.0758	0.0014	1.7996	0.0307	0.1723	0.0018	1045	11	1024	10