

<http://www.geojournals.cn/dzxb/ch/index.aspx>

东秦岭陡岭杂岩中存在新太古代物质组成 ——SHRIMP 锆石 U-Pb 和 Sm-Nd 年代学证据

张寿广 张宗清 宋彪 唐索寒 赵子然 王进辉

中国地质科学院地质研究所, 北京, 100037

内容提要 出露于豫、陕交界处的陡岭杂岩是秦岭造山带中一个不大的构造岩块, 它可能是在 1.95~2.10 Ga 期间由于构造作用将不同时代、不同源区的岩石组合叠置在一起而形成的。出露在其西部的透辉变粒岩的 T_{DM} 为 2.67~2.76 Ga, 残余锆石 SHRIMP 年龄为 2.5~2.6 Ga, 表明透辉变粒岩的物质主要来自新太古代, 基本没有或少有太古宙以后的陆壳物质混合, 同时也说明透辉变粒岩的原岩形成时在其附近应该有新太古代岩块存在。

关键词 陡岭杂岩 新太古代 物质组成 SHRIMP 锆石年龄

陡岭杂岩出露于豫、陕交界的河南西峡县田关、淅川县大陡岭一带(图 1), 出露面积不足 500 km²。由于后期侵入体的吞噬, 陡岭杂岩变得支离破碎, 它

的南界与新元古代的毛堂群姚营寨组变质酸性火山岩, 北界与晚古生代的砂板岩均为断层接触。地球物理也证明陡岭杂岩是无根的(袁学诚等, 1994)。因此

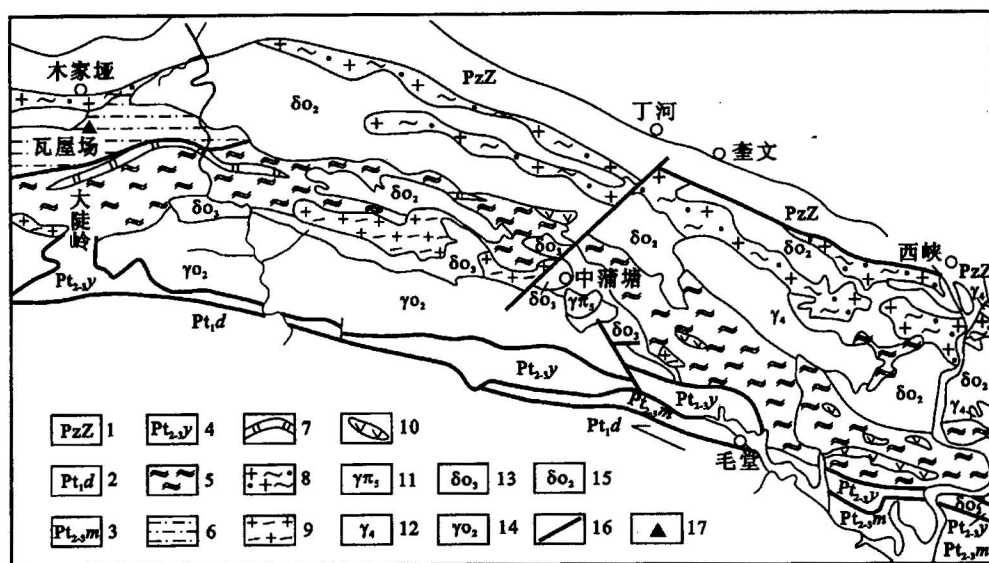


图 1 河南西峡县—木家垭陡岭杂岩地质图(据张寿广等, 1996, 略有改动)

Fig. 1 Geological map of the Douling complex from Mujiaya, Henan Province (modified after Zhang et al., 1996)

1—古生界周进沟组砂板岩; 2—震旦系灯影组灰岩为主, 局部有陡山沱组砂岩; 毛堂群: 3—马头山组变基性火山岩, 4—姚营寨组变酸性火山岩; 陡岭杂岩: 5—片麻岩(原岩以泥砂质岩石为主, 夹中酸性和基性火山岩), 6—透辉变粒岩(原岩以钙硅酸粒岩为主, 夹泥钙质、泥砂质岩石), 7—大理岩, 8—混合片麻岩(原岩大部为深成片麻岩), 9—花岗片麻岩(原岩为花岗岩), 10—斜长角闪岩(原岩为辉长岩类); 11—燕山期花岗岩斑岩, 12—海西期花岗岩; 13—加里东期英云闪长岩; 14—晋宁期斜长花岗岩; 15—晋宁期英云闪长岩; 16—断层; 17—采样位置
1—Psammitic slate of the Palaeozoic Zhoujingou Formation; 2—limestone of the Sinian Dengying Formation, locally containing psammities of the Doushantuo Formation; 3—meta-basic volcanics of the Matoushan Formation, Maotang Group; 4—meta-acidic volcanics of the Yaoyingzhai Formation, Maotang Group; 5~10—Douling complex: 5—gneisses of supracrustal derivation; 6—diopside leptynite; 7—marble; 8—migmatitic gneiss; 9—granitic gneiss; 10—amphibolite (from gabbro); 11—Yanshanian granite; 12—Hercynian granite; 13—Caledonian tonalite; 14—Jinningian plagiogranite; 15—Jinningian tonalite; 16—faulty; 17—sample locations

注: 本文为国家自然科学基金项目(编号 40072071)资助成果。

收稿日期: 2004-02-18; 改回日期: 2004-08-10; 责任编辑: 刘淑春。

作者简介: 张寿广, 男, 1937 年生。研究员, 长期从事变质地质学研究。Email: shouguangzhang@yahoo.com.cn。

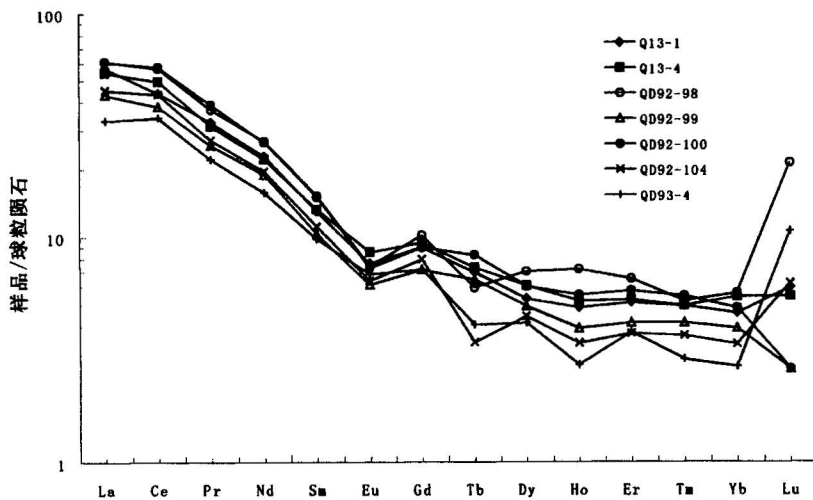


图2 透辉变粒岩的稀土模式图

Fig. 2 REE patterns of the Di-leptynite

图中样品号同表1 (the sample number are the same to those in table 1)

陡岭杂岩是秦岭造山带中一个规模不大的无根岩片(张寿广等,1996)。它是夹持于华北、扬子两大板块间边界地质体中少有的几个古老岩块之一,有着长期的演化历史,能为秦岭造山带的演化过程提供难得的信息。

以往在该区进行区域地质调查时,划分出了陡岭群,在“陡岭群”下面划分了若干组。国家自然科学基金“八五”重大项目“秦岭造山带岩石圈结构、构造及成矿背景”研究过程中,沈洁^①、魏春景等(1994)、赵子然等(1995)、张寿广等(1996)、沈洁等(1997)、张宗清等(2002)分别对陡岭杂岩的变质作用,地球化学特征、形成与演化、同位素年代学等多方面进行了研究,取得了一些比较重要的进展。

(1) 查明了陡岭杂岩的基本组成和地球化学特征。陡岭杂岩不是一个简单的地层单位,其组成比较复杂,它由长英质片麻岩、透辉变粒岩、斜长角闪岩和少量大理岩、石墨片岩、石墨大理岩及极少量的石英岩构成。长英质片麻岩的原岩既有泥砂质沉积岩,也有类似于TTG成分的深成岩。斜长角闪岩的原岩为非大洋区的拉斑玄武岩及玄武质凝灰岩,少量为遭受陆壳物质污染的基性侵入岩。透辉变粒岩

的原岩是沉积成因的,很可能是英云闪长岩和碳酸盐岩双源混合沉积经变质而成。

(2) 查明陡岭杂岩至少经历了两期变质作用。早期为中压高角闪岩相,变质温度为650~700℃,压力为0.7~0.87 GPa;晚期为绿片岩相,估计温度约为400~500℃之间。

(3) 综合运用单颗粒锆石逐级蒸发法、全岩 Sm-Nd 法、全岩 Rb-Sr 等时线法、矿物⁴⁰Ar-³⁹Ar 法,大致测定了陡岭杂岩的形成年龄、模式年龄和变质年龄。

沈洁^①对西部透辉变粒岩样品进行锆石逐层蒸发法实验时曾获得一组²⁰⁷Pb/²⁰⁶Pb 年龄为2457~2519 Ma,平均为2494±27(1σ)

Ma。对于这一组年龄是否有普遍性?它的地质意义等问题都需进一步研究。在国家自然科学基金资助下,笔者等从2001年开始再次对陡岭杂岩,尤其是其中的透辉变粒岩进行了地质和同位素年代学的研究。

1 陡岭杂岩中透辉变粒岩的地球化学特征

陡岭杂岩的组成十分复杂,赵子然等(1995)曾做过研究。本次仅在透辉变粒岩中补采了部分样品。

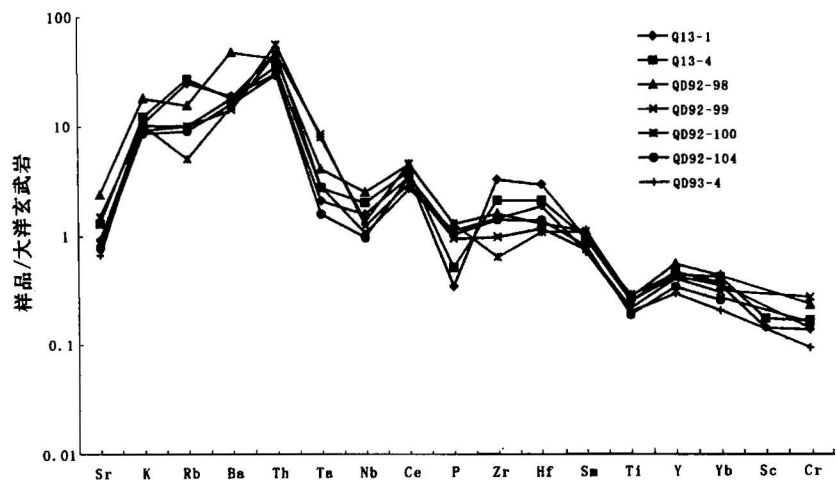


图3 透辉变粒岩的岩石-MORB 元素图解

Fig. 3 Rocks-MORB elements diagrams of the Di-leptynite

图中样品号同表1 (the sample number are the same to those in table 1)

表 1 透辉变粒岩岩石化学成分(%)、稀土和微量元素($\mu\text{g/g}$)含量

Table 1 Major(%), rare earth and trace element contents ($\mu\text{g/g}$) of the Di-leptynite

样品号	Q13-1	Q13-4	QD92-98	QD92-99	QD92-100	QD92-104	QD93-4
SiO ₂	66.56	63.36	60.78	69.35	65.88	67.82	67.97
TiO ₂	0.36	0.41	0.39	0.31	0.36	0.27	0.29
Al ₂ O ₃	5.76	7.79	8.39	5.18	7.89	4.23	4.74
Fe ₂ O ₃	0.42	1.28	0.82	1.06	1.27	0.48	0.97
FeO	2.37	1.98	3.27	1.22	2.34	1.54	1.54
MnO	0.07	0.06	0.09	0.06	0.08	0.04	0.05
MgO	7.74	6.00	6.68	4.66	6.00	4.56	4.72
CaO	11.70	13.16	11.11	13.03	10.14	12.23	12.54
Na ₂ O	0.72	0.72	1.25	0.76	1.22	0.66	0.74
K ₂ O	1.59	1.82	2.70	1.37	1.53	1.29	1.52
P ₂ O ₅	0.04	0.06	0.15	0.11	0.15	0.12	0.13
H ₂ O	1.34	1.00	1.06	1.08	1.22	1.06	1.34
CO ₂	0.72	1.88	2.84	2.50	1.84	5.66	3.50
总量	99.39	99.52	99.53	100.69	99.92	99.96	100.05
La	21.5	20.5	23.00	16.30	22.90	17.10	12.50
Ce	33.8	38.2	43.70	29.40	44.40	33.40	26.20
Pr	4.42	4.26	5.05	3.48	5.29	3.68	3.01
Nd	16.4	15.9	19.20	13.60	19.00	14.00	11.30
Sm	2.98	3.05	3.51	2.37	3.47	2.56	2.25
Eu	0.66	0.74	0.64	0.53	0.63	0.55	0.59
Gd	2.80	2.93	3.17	2.22	2.80	2.47	2.23
Tb	0.41	0.43	0.35	0.38	0.49	0.20	0.24
Dy	2.07	2.37	2.74	1.92	2.35	1.73	1.62
Ho	0.43	0.46	0.64	0.35	0.49	0.30	0.24
Er	1.30	1.34	1.66	1.06	1.47	0.95	0.96
Tm	0.19	0.19	0.20	0.16	0.21	0.14	0.11
Yb	1.14	1.35	1.40	0.98	1.20	0.83	0.66
Lu	0.23	0.21	0.83	<1.10	<0.10	0.24	0.41
TREE	88.33	91.93	106.09	72.75	104.70	78.13	62.32
Y	12.2	12.8	15.90	11.70	13.40	9.75	8.41
Cu	4.53	7.62					
Ni	11.9	11.0	21.00	13.00	12.00	11.00	8.70
Zn	79.5	75.1					
Ba	374	357	943.00	281.00	299.00	316.00	357.00
Co	7.67	8.79	11.00	6.10	5.50	6.40	4.30
Cr	32.3	39.4	55.00	64.00	37.00	37.00	22.00
Pb	10.1	30.9					
Rb	49.4	53.7	31.00	20.00	10.00	18.00	20.00
Sc	5.43	6.61					
Sr	110	156	287.00	106.00	178.00	93.00	80.00
Th	5.94	6.94	8.20	9.20	11.00	5.80	9.20
U	1.43	1.52	2.10	1.30	1.90	1.70	1.50
Hf	6.80	4.86	3.00	2.70	2.50	3.20	4.30
Nb	5.39	6.86	8.60	4.20	4.60	3.30	3.60
Ta	0.37	0.49	0.72	1.50	1.40	0.28	0.50
Zr	285	183	139.00	85.00	56.00	122.00	126.00

注:表中数据由国家地质实验测试中心测定,主元素由XRF测定,微量元素由ICP-MS测定,其余用等离子光谱测定;QD92-98、99、100、104, QD93-4 资料引自赵子然等(1995)。

透辉变粒岩的矿物组合为:透辉石(10%~

30%)+奥长石($An=10$)+透闪石+石英+方解石+白云母。副矿物以锆石为主,还有少量榍石、磷灰石和不透明矿物。锆石多为浅黄至浅棕色,少数为无色透明及深棕色,短柱状,长宽比一般为2:1,少量为3:1,最长达300 μm 左右,少数为150 μm 以下,部分锆石具有磨蚀的外形,似为碎屑锆石。岩石的常量、稀土和微量元素含量见表1、图2和图3。

透辉变粒岩的常量元素组成以低 Al_2O_3 、 TiO_2 ,高 CaO 、 MgO ,特别是高 CO_2 含量为特征。稀土组成表现为稀土总量不高(62.32~106.09 $\mu\text{g/g}$),轻重稀土分异较强并有不同程度的Eu负异常,稀土模式与英云闪长岩比较相似(图2),但常量元素相差甚远。在岩石-MORB图上(图3),该类岩石相对富集大离子亲石元素,而高场强元素含量较低。

2 同位素年龄分析结果与讨论

由于本次工作的重点是要获取陡岭杂岩中是否有新太古代的物质组成,因此对透辉变粒岩中锆石进行了SHRIMP测定和全岩Sm-Nd测定,同时对以往的同位素数据也进行了综合分析。

2.1 锆石的SHRIMP测试结果与讨论

离子探针分析在北京离子探针中心的SHRIMP-II型离子探针上用标准条件进行,分析流程标准样和数据处理见文献(Williams et al., 1987; 刘敦一等, 1988; Compston et al., 1992; 宋彪等, 2002; 简平等, 2003)。本次工作中对粘贴在环氧树脂上的锆石在抛光后进行透射光、反射扫描照相,由于工作的重点是寻找老的年龄信息,因此在每粒锆石的中间部位选测了一个数据,只对个别样品的边部,可能为增生带的部位也测了一个数据(图4)。分析结果列于表2和图5。

根据上述数据,可以得出以下几点认识:

(1) 这些锆石样所测微区含 $\text{U}=31\sim 511\text{ }\mu\text{g/g}$, $\text{Th}=4\sim 300\text{ }\mu\text{g/g}$, Th/U 比值为0.01~2.26,其中除Q12-16.1、Q12-18.1和Q12-26.2的 Th/U 值小于0.1以外,其余均大于0.18,表明除上述3个锆石微区的年龄可能为变质年龄或有Pb丢失的混合年龄外,其他锆石的微区年龄都可能代表的是源区岩浆锆石的年龄或是岩浆锆石有Pb丢失后的混合年龄。

(2) 对Q12-16和Q12-26两粒锆石各测了两个数据:其中中心微区:Q12-16.2的 $\text{Th/U}=2.26$, $^{207}\text{Pb}/^{206}\text{Pb}$ 年龄为 $2650\pm 14(1\sigma)\text{Ma}$; Q12-26.1的 $\text{Th/U}=1.07$, $^{207}\text{Pb}/^{206}\text{Pb}$ 年龄为 $2500\pm 10\text{Ma}$;而边

表 2 透辉变粒岩中单颗粒锆石年龄离子探针测定数据

Table 2 Zircon SHRIMP dating data of Di-leptynite

样品号	$^{206}\text{Pb}_c$ (%)	$\text{U}(\times 10^{-6})$	$\text{Th}(\times 10^{-6})$	$\frac{^{232}\text{Th}}{^{238}\text{U}}$	$^{206}\text{Pb}^*$ ($\times 10^{-6}$)	$\frac{^{206}\text{Pb}}{^{238}\text{U}}$ 年龄 (Ma)	$\frac{^{207}\text{Pb}}{^{206}\text{Pb}}$ 年龄 (Ma)	不和谐 性(%)	$\frac{^{207}\text{Pb}^*}{^{206}\text{Pb}^*}$	$\pm\%$	$\frac{^{207}\text{Pb}^*}{^{238}\text{U}}$	$\pm\%$	$\frac{^{206}\text{Pb}^*}{^{238}\text{U}}$	$\pm\%$	误差相 关性
Q12-1.1	—	190	98	0.54	58.9	1,991 ± 38	2064 ± 15	4	0.1275	0.88	6.36	2.4	0.3619	2.2	0.931
Q12-2.1	0.30	119	149	1.29	36.1	1940 ± 39	2068 ± 33	6	0.1278	1.9	6.19	3.0	0.3510	2.3	0.776
Q12-3.1	0.16	176	61	0.36	45.3	1687 ± 38	1949 ± 21	13	0.1195	1.2	4.93	2.8	0.2991	2.6	0.909
Q12-4.1	0.13	287	120	0.43	84.6	1898 ± 36	1948 ± 14	3	0.11944	0.76	5.64	2.3	0.3424	2.2	0.944
Q12-5.1	0.03	160	84	0.54	66.2	2532 ± 47	2654 ± 12	5	0.1802	0.71	11.95	2.4	0.481	2.2	0.953
Q12-6.1	0.37	112	44	0.41	44.4	2428 ± 52	2574 ± 22	6	0.1717	1.3	10.83	2.9	0.457	2.6	0.888
Q12-7.1	0.36	64	96	1.55	27.2	2583 ± 51	2543 ± 23	-2	0.1685	1.4	11.45	2.8	0.493	2.4	0.268
Q12-8.1	0.21	138	113	0.84	40.2	1874 ± 38	1940 ± 22	3	0.1189	1.2	5.53	2.6	0.3374	2.3	0.883
Q12-9.1	0.93	31	9	0.29	13.5	2609 ± 59	2584 ± 39	-1	0.1727	2.3	11.88	3.6	0.499	2.7	0.762
Q12-10.1	0.10	346	126	0.38	105	1940 ± 37	1957 ± 15	1	0.1201	0.86	5.81	2.4	0.3511	2.2	0.931
Q12-11.1	0.51	179	214	1.24	56.2	2004 ± 39	2002 ± 27	0	0.1231	1.5	6.19	2.8	0.3646	2.3	0.829
Q12-12.1	0.10	157	71	0.47	51.5	2085 ± 40	1983 ± 20	-5	0.1218	1.1	6.41	2.5	0.3819	2.2	0.892
Q12-13.1	0.21	163	206	1.31	58.6	2255 ± 43	2324 ± 17	3	0.1481	0.97	8.55	2.4	0.4189	2.2	0.919
Q12-14.1	0.30	227	193	0.88	53.6	1564 ± 31	1777 ± 22	12	0.1087	1.2	4.11	2.6	0.2745	2.2	0.880
Q12-14.2	0.18	224	263	1.22	59.4	1734 ± 34	1910 ± 19	9	0.1170	1.1	4.98	2.5	0.3087	2.2	0.903
Q12-15.1	0.09	81	113	1.45	24.7	1964 ± 41	2058 ± 27	5	0.1271	1.5	6.24	2.9	0.3562	2.4	0.845
Q12-16.1	1.41	381	11	0.03	43.9	801 ± 17	611 ± 70	-31	0.0602	3.3	1.099	3.9	0.1324	2.2	0.560
Q12-16.11	0.83	270	48	0.18	36.6	937 ± 19	1361 ± 40	31	0.0870	2.1	1.878	3.0	0.1565	2.2	0.726
Q12-16.2	0.22	112	245	2.26	48.4	2624 ± 49	2650 ± 14	1	0.1796	0.87	12.44	2.4	0.502	2.3	0.934
Q12-17.1	0.01	464	251	0.56	171	2298 ± 42	2403 ± 8	4	0.15513	0.46	9.16	2.2	0.4282	2.2	0.978
Q12-17.2	0.16	206	134	0.67	72.2	2202 ± 41	2408 ± 15	9	0.1555	0.87	8.73	2.4	0.4071	2.2	0.932
Q12-18.1	0.06	511	4	0.01	139	1776 ± 33	1955 ± 11	9	0.11995	0.60	5.25	2.2	0.3172	2.2	0.964
Q12-19.1	0.13	502	177	0.36	131	1709 ± 32	1782 ± 12	4	0.10898	0.68	4.56	2.3	0.3036	2.2	0.954
Q12-20.1	0.10	226	243	1.11	63.4	1822 ± 35	1938 ± 17	6	0.1188	0.93	5.35	2.4	0.3266	2.2	0.922
Q12-21.1	0.57	88	67	0.79	28.6	2060 ± 41	2070 ± 29	0	0.1279	1.6	6.64	2.9	0.3766	2.3	0.819
Q12-22.1	0.37	214	136	0.66	63.2	1897 ± 36	1899 ± 19	0	0.1162	1.1	5.48	2.5	0.3421	2.2	0.901
Q12-23.1	0.25	80	67	0.86	31.2	2400 ± 60	2431 ± 20	1	0.1577	1.2	9.81	3.2	0.451	3.0	0.927
Q12-24.1	0.07	218	267	1.27	69.8	2044 ± 39	2368 ± 13	14	0.1520	0.75	7.82	2.3	0.3732	2.2	0.948
Q12-25.1	0.24	126	67	0.55	50.2	2453 ± 47	2609 ± 51	6	0.1753	3.1	11.19	3.9	0.463	2.3	0.600
Q12-26.1	0.11	290	300	1.07	113	2414 ± 47	2501 ± 10	3	0.16434	0.59	10.29	2.4	0.454	2.3	0.970
Q12-26.2	0.22	399	22	0.06	50.6	885 ± 18	834 ± 31	-6	0.06687	1.5	1.357	2.6	0.1472	2.2	0.828
Q12-27.1	0.31	197	106	0.56	72.2	2285 ± 43	2513 ± 13	9	0.1655	0.80	9.71	2.4	0.4255	2.2	0.940

分析单位:中国地质科学院地质研究所同位素研究室,北京离子探针中心。误差为 1σ , Pb_c 和 Pb^* 分别代表普通铅和放射成因铅,标准校正误差为 0.39%(不包括以上误差,但在不同峰值数据对比需要)。普通铅用 ^{204}Pb 校正。

缘微区:Q12-16.1 的 $\text{Th}/\text{U}=0.03$, 年龄为 611 ± 70 (1σ)Ma(由于该样品普通铅含量高,数据误差大), Q12-26.2 的 $\text{Th}/\text{U}=0.06$, 年龄为 834 ± 31 (1σ)Ma。显然这两组相差甚远的年龄应代表两种不同成因锆石的形成年龄或有 Pb 丢失后的混合年龄。

2.2 全岩 Sm-Nd 年龄测定结果与讨论

Sm、Nd 含量用同位素稀释法测定。质谱测定用 MAT-261 质谱仪,整个测试工作在中国地质科学院地质研究所同位素地质室按标准条件进行(张宗清等,1987)。测试结果见表 3。

10 个 Sm-Nd 同位素年龄数据构不成等时线。分析出的模式年龄除只有一个数据为 2432 Ma 外,其余均为 2.50 Ga 以上,平均为 2673 ± 11 (2σ)Ma。

透辉变粒岩模式年龄的一致以及该岩石中残余锆石的结晶年龄为 2.50~2.65 Ga,说明透辉变粒岩的物源主要来自新太古代。

2.3 对本次和以往同位素测年结果的讨论

沈洁^①。沈洁等(1997)曾对陡岭杂岩中各主要岩石类型进行多种方法的同位素年龄测定(表 4)。综合本次工作和沈洁^①、沈洁等(1997)的工作,可以得出以下认识:

(1) 本次和沈洁^①共测了 13 个透辉变粒岩样品,除 Q13-8 的 T_{DM} 为 2432 Ma 以外,其他的 T_{DM} 均在 2.50 Ga 以上,两次测定的 T_{DM} (平均)分别为 2673 ± 11 (2σ)Ma 和 2760 ± 63 (2σ)Ma。联系到透辉变粒岩中残余锆石 SHRIMP 年龄为 2.50~2.65

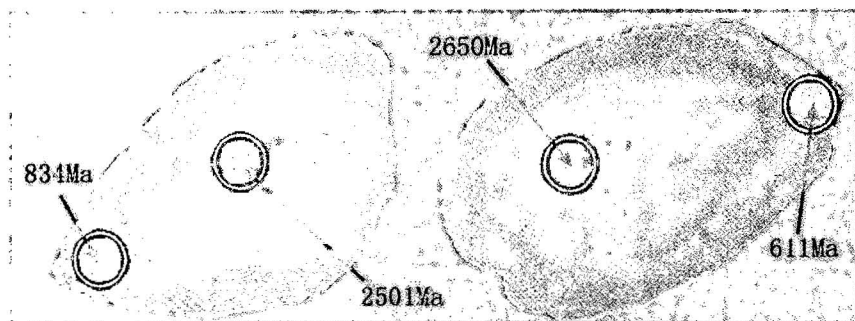


图 4 透辉变粒岩锆石透射光图像

Fig. 4 Transmission light images of zircon from Di-leptynite

表 3 透辉变粒岩 Sm-Nd 同位素数据

Table 3 Sm-Nd isotopic data of Di-leptynite

样品	Sm($\times 10^{-6}$)	Nd($\times 10^{-6}$)	$^{147}\text{Sm}/^{144}\text{Nd}$	$^{143}\text{Nd}/^{144}\text{Nd}$	$\pm 2\sigma$	T_{CHUR} (Ma)	T_{DM} (Ma)	ϵ_{Nd} (O)
Q13-1	2.725	15.467	0.1066	0.511357	9	2161	2538	-25.02
Q13-2	2.652	14.040	0.1142	0.511390	7	2299	2681	-24.38
Q13-4	2.998	17.184	0.1055	0.511252	9	2309	2658	-27.08
Q13-6	3.514	19.890	0.1069	0.511298	6	2268	2628	-26.18
Q13-8	2.561	15.728	0.0985	0.511303	21	2067	2432	-26.08
Q13-9	3.075	17.145	0.1085	0.511372	10	2182	2562	-24.73
Q13-11	2.108	11.150	0.1144	0.511376	13	2330	2707	-24.66
Q12-4	3.282	18.099	0.1097	0.511314	12	2312	2676	-25.87
Q12-9	3.224	11.904	0.1130	0.511305	24	2417	2776	-26.04
Q12-16	3.589	19.500	0.1113	0.511238	13	2489	2829	-27.35

注: 质量分馏用 $^{146}\text{Nd}/^{144}\text{Nd} = 0.72190$ 校正, Sm, Nd 流程空白为 11^{-11}g , $T_{\text{CHUR}} = 1/\lambda \ln \{1 + [(^{143}\text{Nd}/^{144}\text{Nd})_{\text{s}} - (^{143}\text{Nd}/^{144}\text{Nd})_{\text{CHUR}}] / [(^{147}\text{Sm}/^{144}\text{Nd})_{\text{s}} - (^{147}\text{Sm}/^{144}\text{Nd})_{\text{CHUR}}]\}$, $T_{\text{DM}} = 1/\lambda \ln \{1 + [(^{143}\text{Nd}/^{144}\text{Nd})_{\text{s}} - (^{143}\text{Nd}/^{144}\text{Nd})_{\text{DM}}] / [(^{147}\text{Sm}/^{144}\text{Nd})_{\text{s}} - (^{147}\text{Sm}/^{144}\text{Nd})_{\text{DM}}]\}$, S 代表样品值, $\epsilon_{\text{Nd}}(0) = [(^{143}\text{Nd}/^{144}\text{Nd})_{\text{s}}(0) / (^{143}\text{Nd}/^{144}\text{Nd})_{\text{CHUR}}(0) - 1] \times 10^4$.

Ga, 可以说明透辉变粒岩的物质来自新太古代, 基本没有或少有太古宙以后陆壳物质的混合。同时也说明透辉变粒岩形成时在其附近应该有新太古代岩块存在。

(2) 陡岭杂岩中长英质片麻岩和斜长角闪岩的模式年龄远小于透辉变粒岩的模式年龄, 表明它们的物质来自不同的源区。斜长角闪岩与长英质片麻岩的原岩性质不同, 但它们的模式年龄基本一致, 说明它们的组成物质从亏损地幔源分离出来的时间是相近的。所谓“混合片麻岩”其主要部分应为深成片麻岩, 它获得的模式年龄可以比陡岭杂岩其他组成部分的模式年龄年轻。

(3) 本次测定的透辉变粒岩样品 Q12-18.1 的 SHRIMP 年龄为 $1955 \pm 11\text{ Ma}$, 其 $\text{Th}/\text{U} =$

0.01 (实际测定为 0.007), 它应代表变质年龄 (陈道公等, 2001; 简平等, 2003)。由于仅有一个这样的数值重复性小, 难以说明问题。但以往沈洁^①在长英质片麻岩中得到 Sm-Nd 等时年龄为 $1878 \pm 256(2\sigma)\text{ Ma}$, 这应大致代表岩石形成后 Sm-Nd 同位素系统重新发生均一化的时间。这两个数据可以相互佐证的说明, 陡岭杂岩在 1.9 Ga 左右曾发生过一次变质作用。据本次测定的 Q12-26.2 SHRIMP U-Pb 年龄

为 $834 \pm 31\text{ Ma}$ ($\text{Th}/\text{U} = 0.06$) 和沈洁^①测定的斜长角闪岩中角闪石 $^{40}\text{Ar}/^{39}\text{Ar}$ 年龄 $833 \pm 17(1\sigma)\text{ Ma}$ 一致, 可以认为在 834 Ma 左右, 即晋宁期, 在陡岭杂岩中又发生了一次重要的变质作用。

(4) 关于陡岭杂岩的形成时间, 到目前为止的同位素测年工作还不能提供比较直接的依据, 但已有的资料可以做出有根据的推测。如 1878~1955 Ma 是陡岭杂岩经受第一期变质作用的时间, 2123~2197 Ma 是陡岭杂岩中两种重要组成部分——长英质片麻岩和斜长角闪岩的源岩物质从亏损地幔分离出来的时间, 那么陡岭杂岩的形成时间大约应在 1.95~2.10 Ga 之间。陡岭杂岩中透辉变粒岩的 Sm-Nd 模式年龄和残余锆石的结晶年龄都远大于杂岩中其他组成部分, 因而透辉变粒岩的形成时间和物源都应有别于杂岩的其他部分。现在陡岭杂岩中透辉变粒岩做为一个小的岩石—地层单位与其他单位

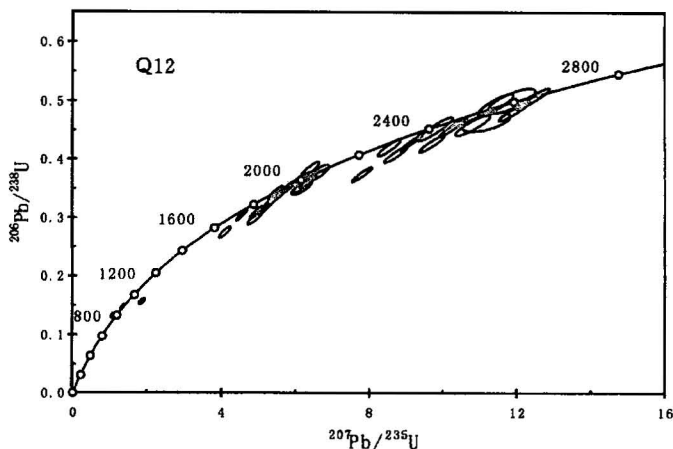


图 5 透辉变粒岩锆石 SHRIMP 测年谐和图

Fig. 5 Concordia age diagram for zircon SHRIMP from the Di-leptynite

之间为构造接触。可以认为,陡岭杂岩的整体可能是在 1.95~2.10 Ga 之间由于构造作用将它们叠置拼合在一起的。

表 4 陡岭杂岩同位素年龄数据(据沈洁^①;沈洁等,1997)

Table 4 Isotopic ages of the Douling complex
(after Shen Jie^①;Shen Jie et al., 1997)

岩石类型	单粒锆石逐层 蒸发 ²⁰⁷ Pb/ ²⁰⁶ Pb 年龄(Ma)	全岩 Sm-Nd 法		全岩 Rb-Sr 等时年 龄(Ma)	角闪石 ⁴⁰ Ar/ ³⁹ Ar 年龄(Ma)
		模式年龄 <i>T_{DM}</i> (Ma)	等时线 年龄(Ma)		
长英质 片麻 岩类	1657±22 (2σ)	2123±16 (1σ)	1878±256 (2σ)	422±16 (2σ)	
斜长 角闪 岩类		2197±64 (1σ)			833±17 (1σ) 323±8 (1σ)
透辉 变粒岩	2519±4(2σ) 2506±3(2σ) 2457±3(2σ) 2020±13(2σ) 1842±22(2σ)	2760±63 (1σ)		932 ^①	
混合片 麻岩 ^②	1918±2(2σ) 1905±5(2σ) 787±12(2σ)	2014± 104 (1σ)			

注:①7个样品数据分散,该数据仅为6个样品计算的参考数据;②此表所称的混合片麻岩系根据原区调资料,实际上相当大部分应为深成片麻岩。

3 结论

(1) 陡岭杂岩中有部分物源来自新太古代岩块,其他大部分物质来自 2.1~2.2 Ga 从亏损地幔分异出来的物质。

(2) 陡岭杂岩是由不同时代、不同源区的岩石地层单位在 1.95~2.10 Ga 的古元古代,由于构造作用将它们叠置拼合在一起的。

(3) 陡岭杂岩形成以后,经历了 1.95 Ga、晋宁期和晚加里—海西期的变质作用。

致谢 感谢杨崇辉、任留东研究员,杜利林助理研究员和周玮女士在本文最终完成中给予的帮助。

注 释

①沈洁. 1994. 陡岭群同位素年代学研究. 中国地质科学院研究生部研究生学位论文.

参 考 文 献

陈道公,李彬贤,夏群科,等. 2001. 变质岩中锆石 U-Pb 计时问题评述——兼论大别造山带锆石定年. 岩石学报, 17(1): 129~138.
简平,刘敦一,张旗,等. 2003. 蛇绿岩及蛇绿岩中浅色岩的 SHRIMP U-Pb 测年. 地学前缘, 10(4): 439~459.
刘敦一,赵敦敏. 1988. 用热离子发生质谱计直接测定单颗粒锆石²⁰⁷

Pb/²⁰⁶Pb 年龄. 地质论评, 34(6): 496~505.

沈洁,张宗清,刘敦一. 1997. 东秦岭陡岭群变质杂岩 Sm-Nd、Rb-Sr、⁴⁰Ar/³⁹Ar、²⁰⁷Pb/²⁰⁶Pb 年龄. 地球学报, 18(3): 248~254.

宋彪,张玉海,万渝生,简平. 2002. 锆石 SHRIMP 样品靶制作、年龄测定及有关现象的讨论. 地质论评, 48(增刊): 26~30.

魏春景,赵子然,张寿广. 1994. 秦岭造山带中陡岭群的变质作用及其地质意义. 见: 岩石圈地质科学. 北京: 地震出版社, 94~104.

袁学诚,徐明才,唐文榜,等. 1994. 东秦岭反射地震剖面. 地球物理学报, 37(6): 749~758.

张寿广,魏春景,赵子然,等. 1996. 东秦岭陡岭杂岩的形成与变质演化. 中国科学(D辑), 26(增刊): 74~77.

张宗清,叶笑江. 1987. 稀土元素的质谱同位素分析和¹⁴³Nd/¹⁴⁴Nd 的精确测定方法. 中国地质科学院地质研究所所刊, 17: 108~128.

张宗清,张国伟,唐索寒. 2002. 南秦岭变质地层同位素年代学. 北京: 地质出版社, 176~190.

赵子然,万渝生,张寿广,魏春景. 1995. 早元古陡岭变质杂岩的岩石地球化学特征. 岩石学报, 11(2): 148~159.

References

- Chen Daogong, Li Binxian, Xia Qunke. 2001. An evaluation of zircon U-Pb dating for metamorphic rocks and comments on zircon ages of Dabie orogen. *Acta Petrological Sinica*, 17(1): 129~138 (in Chinese with English abstract).
- Compston W, Williams I S, Kirshvink J L, et al. 1992. Zircon U-Pb ages of early Cambrian time-scale. *J. Geol.*, 149: 171~184.
- Jian Ping, Liu Dunyi, Zhang Qi, et al. 2003. SHRIMP dating of ophiolite and leucocratic rocks within ophiolite. *Earth Sciencce Frontiers*, 10(4): 439~459 (in Chinese with English abstract).
- Liu Dunyi, Zhao Dunmin. 1988. Direct determination of the ²⁰⁷Pb/²⁰⁶Pb age of singlegrain zircon by use of the thermal emission mass spectrometer. *Geological Review*, 34(6): 505~514 (in Chinese with English abstract).
- Shen Jie, Zhang Zongqing, Liu Dunyi. 1997. Sm-Ni, Rb-Sr, ⁴⁰Ar/³⁹Ar, ²⁰⁷Pb/²⁰⁶Pb age of the Douling metamorphic complex from Eastern Qinling orogenic belt. *Acta Geoscienita Sinica*, 18(3): 248~254 (in Chinese with English abstract).
- Song Biao, Zhang Yuhai, Wan Yusheng, Jian Ping. 2002. Mount making and Precedure of the SHRIMP dating. *Geological Review*, 48(Supp): 26~30 (in Chinese with English Abstract).
- Wei Chunjing, Zhao Ziran, Zhang Shouguang. 1994. Metamorphism and its geological significance of the Douling Group from the Qinling orogenic belt. In: *Lithospheric, Geoscience*. Beijing: Seismological Press, 94~104 (in Chinese).
- Williams I S, Claesson S. 1987. Isotope eviden for the precambrian province and Caledonian metamorphism high grade paragneiss from the Seve Nappes. *Scadinavian Caledonides*, II. Ion microprobe zircon U-Th-Pb. *Contrib. Mineral Petrol.*, 97: 205~217.
- Yuan Xuecheng, Xu Mingcai, Tang Wenbang, et al. 1994. Eastern Qinling seismic reflection profiling. *Acta Geophysica Sinica*, 37(6): 749~758 (in Chinese with English Abstract).
- Zhang Shouguang, Wei Chunjing, Zhao Ziran, et al. 1996. Formation and metamorphic evolution of the Douling complex from the East Qinling Mountains. *Science in China (series D)*, 39(supp.): 80~86.
- Zhang Zongqing, Ye Xiaojang. 1987. Mass-spectrometric isotope

dilution analysis of REE and precise measurement of $^{143}\text{Nd}/^{144}\text{Nd}$ ratios. Bulletin of the Institute of Geology CAGS, 17:108~128 (in Chinese).
Zhang Zongqing, Zhang Guowei, Tang Suohan. 2002. Isotopic chronology of the metamorphic strata from the Southern Qinling Mountains.

Beijing: Geological Publishing House, 176~790 (in Chinese).
Zhao Ziran, Wan Yusheng, Zhang Shouguang, Wei Chunjing. 1995. The geochemical features of the Douling metamorphic complex. Acta Petrological Sinica, 11(2): 148~159 (in Chinese with English Abstract).

On the Existence of Neoarchean Materials in the Douling Complex, Eastern Qinling

——Evidence from U-Pb SHRIMP and Sm-Nd Geochronology

ZHANG Shouguang, ZHANG Zongqing, SONG Biao, TANG Suohan, ZHAO Ziran, WANG Jinhui
Institute of Geology, Chinese Academy of Geological Sciences, Beijing, 100037

Abstract

The Douling complex, which occurs at the boundary area between Henan and Shaanxi provinces, central China, is a tectonic block of restricted extent. Our study demonstrates that the complex formed in the period of 1.95~2.10 Ga ago due to structural amalgamation of several rock groups of different times and sources. The diopside leptynite present in the western part of the complex gives a T_{DM} age of 2.67~2.76 Ga and a detrital zircon SHRIMP age of 2.5~2.6 Ga, suggesting that the leptynite was derived from the Neoarchean source and that there was no or almost no hybridization of post-Archean continental materials. It also implies the presence of Neoarchean rock blocks nearby when the protolith of diopside leptynite was formed.

Key words: Douling complex; Neoarchean; materials; zircon SHRIMP age

~~~~~