

祁连造山带及邻区前寒武纪深变质基底的时代和组成

万渝生 许志琴 杨经绥 张建新

(中国地质科学院地质研究所, 北京, 100037)

摘 要 本文对祁连造山带及邻区前寒武纪深变质基底变泥砂质岩石和壳源花岗质岩石的地质、年代学、地球化学和 Nd 同位素组成进行了研究。主要结论为: ①祁连造山带深变质基底主要由变泥砂质岩石和壳源花岗岩组成, 主体形成于 0.8~1.0 Ga(晋宁期); ②大多数变泥砂质岩石和壳源花岗岩具有较强的负铕和负钡异常, t_{DM} 和 $\epsilon_{Nd}(1.0\text{ Ga})$ 分别为 1.87~2.26 Ga 和 -8.54~-4.06, 显示出较高的成熟度; ③花岗质岩石为典型的陆-陆碰撞产物, 可能与全球新元古代 Rodinia 超大陆形成事件有关。本文还探讨了祁连造山带及邻区深变质基底的构造归属, 认为祁连-柴北缘地体和阿拉善-敦煌地体在晋宁期以前相互分离, 分属华北克拉通和扬子地台不同的板块体系。祁连造山带和秦岭造山带至少在晋宁期就有相同或相似的演化历史。

关键词 祁连造山带 年代学 Nd 同位素 地球化学 前寒武纪基底

The Precambrian High-grade Basement of the Qilian Terrane and Neighboring Areas : Its Ages and Compositions

WAN Yusheng XU Zhiqin YANG Jingsui ZHANG Jianxin

(Institute of Geology, CAGS, Beijing, 100037)

Abstract Based on geological, chronological, geochemical and Nd isotopic studies of the high-grade basement of the Qilian terrane, the authors have drawn the following main conclusions: ①the high-grade basement of the Qilian terrane consists mainly of meta-argillo-arenaceous rocks and granites and its bulk part was formed in the period of 0.8~1.0 Ga(the Jinningian period); ②most of the meta-argillo-arenaceous rocks and granitic rocks have strong negative Eu and Ba anomalies ($Eu/Eu^* = 0.47 \sim 0.71$ and $Ba/Ba^* = 0.16 \sim 0.64$), with t_{DM} and $\epsilon_{Nd}(1.0\text{ Ga})$ ranging from 1.87 to 2.26 Ga and from -8.54 to -4.06 respectively, showing relatively high maturity; and ③ the Jinningian granitic rocks seem to be a typical product of continent-continent collision, probably related to the formation of the supercontinent Rodinia. The above understanding, combined with the study of high-grade basement rocks near the Qilian terrane, has led the authors to believe that the Qilian-Qaidam northern-margin terrane and Dunhuang-Alxa terrane were separated from each other before the Jinningian period, belonging respectively to the plate system of the North China craton and that of the Yangtze platform. The Qilian orogenic belt was the same as or similar to the Qiling orogenic belt in terms of the geological evolution history at least before the Jinningian period.

Key words Qilian orogenic belt chronology Nd isotope geochemistry Precambrian basement

祁连造山带由不同时代、不同成因的地质体组成, 前寒武纪变质基底占有相当比例。对其深入研究可为祁连造山带基底性质的确定及区域对比提供科学依据。祁连造山带前寒武纪基底可分为浅变质和深变质 2 个部分(Wan 等, 2000)。本文重点对深变质基底的时代和组成进行了研究。

1 地质背景

深变质基底主要分布于中祁连地体(图 1), 由

壳源花岗质岩石和变质岩系组成。壳源花岗质岩石包括花岗闪长岩、二长花岗岩和钾长花岗岩(Wan, 2000)。变质岩系以变泥砂质岩石为主, 另有一定数量的大理岩和变质基性岩。可把变泥砂质岩石划分为 3 种类型: ①富泥质岩石, 包括各种类型的片岩, 以富含云母类矿物为特征, 局部也有石榴石、夕线石等; ②富砂质岩石, 包括各种类型的变粒岩-片麻岩, 通常含有一定数量的黑云母和/或白云母; ③富硅质岩石, 为纯度不同的石英岩, 出露较少。3 种类型空

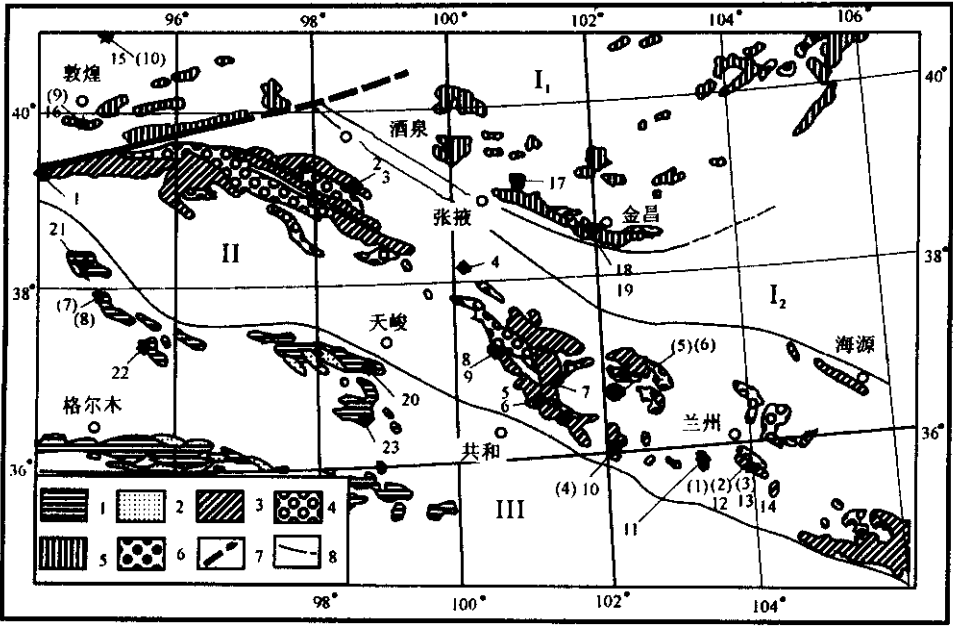


图 1 祁连造山带及邻区前寒武纪基底的空间分布(据 Wan 等 2000 修改)

Fig. 1 Sketch map of the Qilian orogenic belt and its adjacent areas showing the distribution of Precambrian masses (modified after Wan et al., 2000)

I-华北克拉通 ;I₁-阿拉善地体 ;I₂-河西走廊加里东过渡带 ;II-祁连加里东褶皱带 ;III-柴达木地体 ;1-柴北缘深变质基底 ;2-柴北缘浅变质基底 ;3-祁连造山带深变质基底 ;4-祁连造山带浅变质基底 ;5-敦煌-阿拉善地体深变质基底 ;6-敦煌-阿拉善地体浅变质基底 ;7-断层 ;8-地质界线 ;样品位置在图中给出 ,有括号的为锆石年龄样品 ,无括号的为 Nd 同位素样品

I-North China craton ;I₁-Alxa terrane ;I₂-Hexi Corridor Caledonian transitional belt ;II-Qilian Caledonian fold system. III-Qaidam terrane ;1-high-grade basement of the Qaidam terrane ;2-low-grade metamorphic basement of the Qaidam terrane ;3-high-grade basement of the Qilian terrane ;4-low-grade metamorphic basement of the Qilian terrane ;5-high-grade basement of the Dunhuang and Alxa terranes ;6-low-grade metamorphic basement of the Dunhuang and Alxa terranes ;7-fault ;8-boundary ;The sample localities are also marked in the map ,numbers with and without parentheses are localities of samples for age determination in Table 1 and Nd isotopic analyses in Table 2 , respectively

间上常以不同规模互层产出 ,组成上也显示出相互过渡的性质。变质岩系为一套成熟度较高的岩石组合 ,部分具有孔兹岩系的组成特征(Dash 等 ,1987 ; Chacko 等 ,1992)。

2 同位素年代学

表 1 给出了祁连造山带及邻区深变质基底岩石的锆石年龄数据。所测对象包括花岗岩和表壳岩系中的变质中酸性火山岩。

3 地球化学

祁连造山带深变质基底变泥砂质岩石常量元素组成存在较大变化。12 个分析样品 ,SiO₂ 占 61.78%~74.75% ;Al₂O₃ 占 11.87%~19.79% ;TF₂O 占 0.96%~6.99% ;MgO 占 0.96%~5.06% ;CaO 占 0.40%~3.60% ;Na₂O 占 1.68%~2.83% ;K₂O 占 1.63%~4.70%。富泥质岩石的 SiO₂、CaO 和 Na₂O 含量相对较低 ,Al₂O₃、TF₂O 和 MgO 含量相对较高。富砂质岩石则正好相反。显然造岩矿物的种类和比例极大地影响了岩石常量元素的组成。

表 1 祁连造山带及邻区深变质基底岩石的锆石年龄
Table 1 Zircon ages of granitic and intermediate-acid meta-volcanic rocks from the Qilian terrane and its adjacent areas

序号	样品号	岩石名称	位置	锆石年龄/Ga	资料来源
1	Q9739	黑云变粒岩-片麻岩	马街山	0.94±0.03	本项目
2	Q9753	片麻状二长花岗岩	马街山	0.93±0.07	Wan 等 , 2000
3	Q9742	片麻状花岗闪长岩	马街山	同上	同上
4	Q98100	片麻状钾质花岗岩	化隆南	0.75±0.03	同上
5	BQ97354	花岗岩	湟源东	0.92±0.01	郭进京等 , 1999
6	AQ97062	角闪变粒岩	湟源东	0.91±0.00	同上
7	N-32-2	片麻状白云母花岗岩	柴北缘	1.03±0.04	本项目
8	97A-6-7	片麻状白云母花岗岩	柴北缘	1.02±0.04	同上
9	307	片麻状英云闪长岩	敦煌水峡口	2.67±0.01	梅华林等 , 1998
10	251	片麻状花岗岩	敦煌北柳园	0.88±0.03	梅华林等 , 1999

注 :1~6 取自祁连造山带 ,7~8 取自柴北缘 ,9~10 取自阿拉善地体和敦煌地体 ;7 和 8 为杨经绥、张建新等未发表资料 ;样品位置见图 1 ;本文年龄的测定方法为单颗粒锆石 U-Pb 稀释法 ,由国土资源部天津地质矿产研究所完成。

变泥砂质岩石常量元素组成存在较大变化,但稀土和微量元素组成特征却较为相似。TREE = 120.4~320.8 $\mu\text{g/g}$, $\text{Eu}/\text{Eu}^* = 0.47 \sim 0.71$ (La/Yb)_n = 8.15~15.5(图 2-a、c、e)。在元素-岩石/MORB 图上,除元素 Nb、P、Ti 相对亏损外,还出现了较强的负钡异常($\text{Ba}/\text{Ba}^* = 0.16 \sim 0.64$)(图 2-b、d、f)。在 $\text{Ba}/\text{Ba}^* - \text{Eu}/\text{Eu}^*$ 图上,大多数变泥砂质岩石样品投入了高成熟度泥砂质岩区和 S 型花岗岩区,部分样品投入了过渡型花岗岩区(图 3)。

图 3 还给出了祁连造山带同时代花岗岩、阿拉

善和柴北缘深变质基底变泥砂质岩石和花岗岩的样品,它们也大都位于高成熟度泥砂质岩区、S 型花岗岩区或过渡型花岗岩区及其附近,元素组成上与祁连造山带深变质基底变泥砂质岩石相似(图 4,图 5)。

4 Nd 同位素

祁连造山带深变质基底变泥砂质岩石和花岗岩的 Nd 同位素组成十分相似。除 Q98100 和 Q98109 的 Nd 同位素组成有较大变化外,其余 12

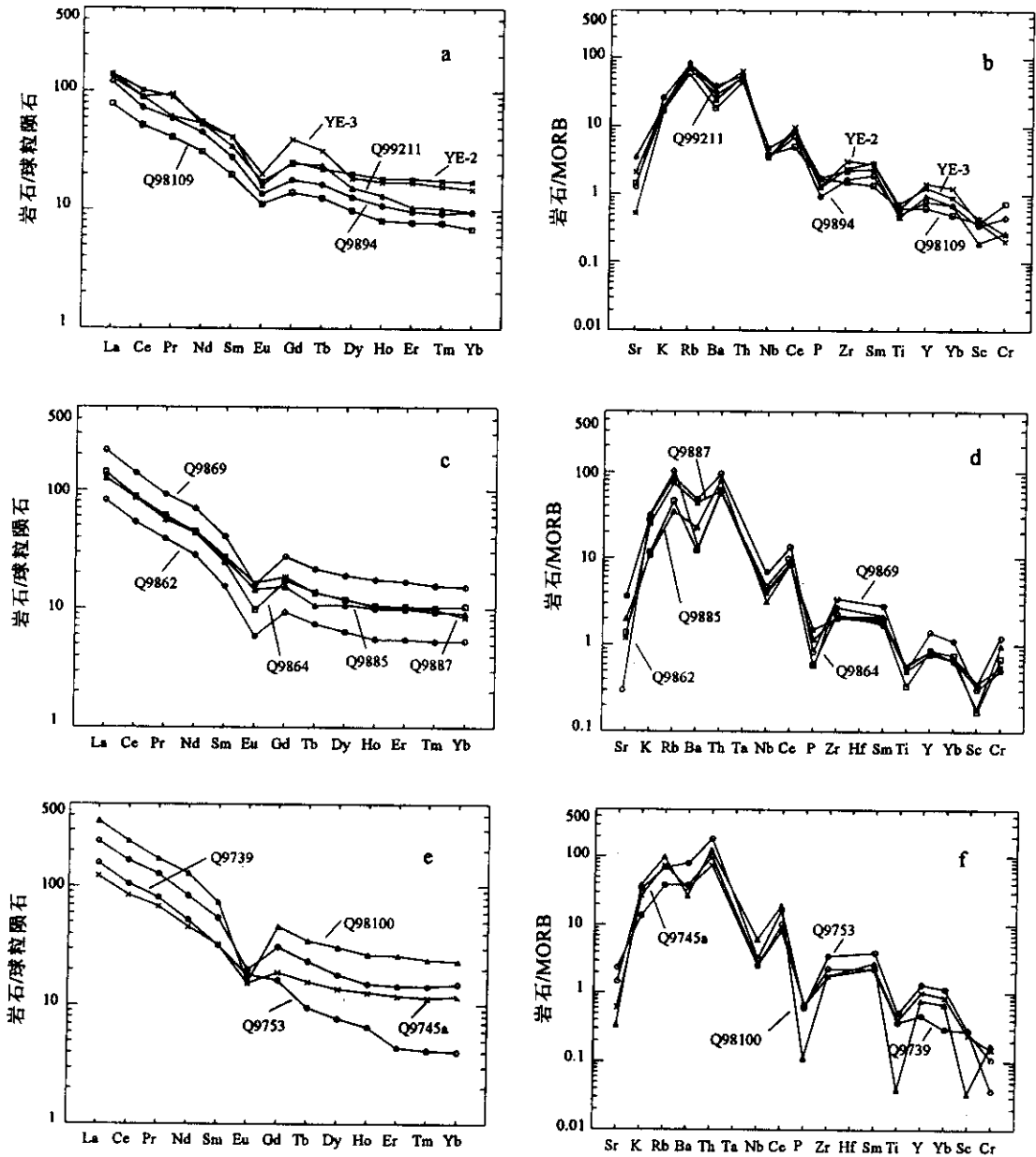


图 2 祁连造山带深变质基底岩石的地球化学图解

Fig.2 Geochemical diagrams of rocks from the high-grade basement of the Qilian terrane

a c e-REE 模式 b d f-岩石/MORB-元素图解 除图 e 和 f 中的 Q9753 和 Q98100 为花岗岩外,其余均为变泥砂质岩石,岩石名称见表 2

a c e-REE patterns b d f-Rock/MORB-element diagrams All of them are meta-argillo-arenaceous rocks except granite samples Q9753 and Q98100

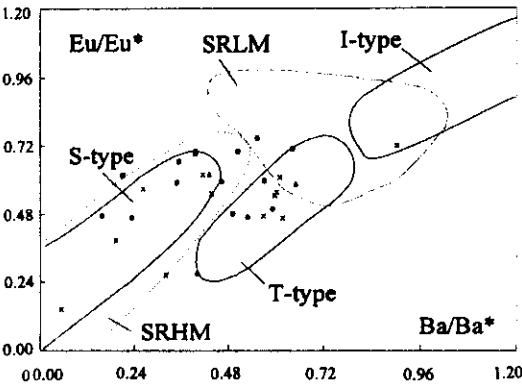


图 3 祁连造山带及邻区深变质基底岩石的 Ba/Ba* -Eu/Eu* 图解 (Wan, 1999)

Fig. 3 Plot of Ba/Ba* versus Eu/Eu* of rocks from the high-grade basement of the Qilian terrane and its adjacent areas (after Wan, 1999).

I-I 型花岗岩 ;S-S 型花岗岩 ;T-过渡型花岗岩 ;SRLM-低成熟度泥砂质岩石 ;SRHM-高成熟度泥砂质岩石 ;实心圆 :祁连造山带深变质基底变泥砂质岩石 ;实心方框 :敦煌-阿拉善地体深变质基底变泥砂质岩石 ;实心三角 :柴北缘深变质基底变泥砂质岩石 ;乘号 :祁连造山带深变质基底花岗岩 ;星号 :柴北缘深变质基底花岗岩

I-type-igneous-type granite ;S-type-sedimentary-type granite ;T-type-transitional-type granite ;SRLM-sedimentary rocks with low maturity ;SRHM-sedimentary rocks with high maturity ;circle-meta-argillo-arenaceous rocks from the high-grade basement of the Qilian terrane ;box-meta-argillo-arenaceous rocks from the high-grade basement of the Alxa terrane ;triangle-meta-argillo-arenaceous rocks from the high-grade basement of the Qaidam northern-margin terrane ;x-granitic rocks from the high-grade basement of the Qilian terrane ;asterisk-granitic rocks from the high-grade basement of the Qaidam northern-margin terrane

样品 $^{147}\text{Sm}/^{144}\text{Nd}$ 和 $^{143}\text{Nd}/^{144}\text{Nd}$ 变化范围分别为 $0.1001\sim 0.1257$ 和 $0.511658\sim 0.511942$, t_{DM} 和 ϵ_{Nd} (1.0 Ga) 分别为 $1.87\sim 2.26$ Ga 和 $-8.54\sim -4.06$ 。柴北缘深变质基底变泥砂质岩石的 Nd 同位素组成与之相似,而祁连造山带北部阿拉善地体

和敦煌地体深变质基底岩石的 Nd 同位素组成与之存在一定区别 (表 2)。

5 讨论

祁连造山带深变质基底的 6 个锆石年龄分布于 $0.75\sim 0.94$ Ga 之间。所分析样品既有表壳岩系中酸性变质火山岩,又有同时代的花岗岩,其年龄为晋宁期沉积作用、变质变形和花岗岩岩石侵入等重大地质事件群发生、发展的时间记录。祁连造山带深变质基底的主体应形成于晋宁期 (尽管存在更古老岩石的可能性不能排除),Nd 同位素组成也支持了这一认识。祁连造山带深变质基底变泥砂质岩石和花岗岩岩石的 t_{DM} 变化很小,主要在 $1.87\sim 2.26$ Ga 之间。泥砂质岩石具较高成熟度,为经历过搬运沉积等壳内再循环作用的产物。其模式年龄应大致反映泥砂质岩石源区母岩主体的形成时代,给出的仅是深变质基底形成时代的下限。泥砂质岩石的形成时代应明显小于 1.8 Ga。

泥砂质岩石可反映其物源区的组成特征。祁连造山带深变质基底以变泥砂质岩石为主,岩石高钾低钠,稀土总量较高,轻重稀土分离不强,具有明显的负钕负钡异常,组成上显示出较高的成熟度。显然,成熟度较高的富铝富钾花岗岩岩石和/或碎屑沉积岩构成了源区物质的重要组成。由于泥砂质岩石的 t_{DM} 变化很小,很可能来自时代相同 (吕梁期) 的同一源区,高的成熟度和长的地壳滞留时间表明,演化历史较长、规模较大的陆壳基底在晋宁期之前已经存在。另一方面,花岗岩岩石组成特征与同时代变泥砂质岩石相似,为壳内再循环部分熔融的产物。地幔添加作用十分微弱。所有这些都显示晋宁期具

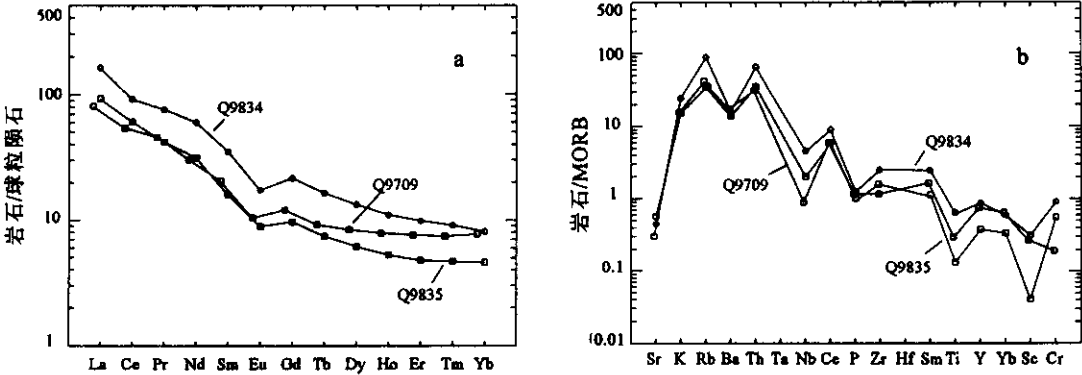


图 4 敦煌-阿拉善地体深变质基底变泥沙质岩石的地球化学图解

Fig. 4 Geochemical diagrams of meta-argillo-arenaceous rocks from the high-grade basement of the Dunhuang-Alxa terrane

a-REE 模式 ;b-岩石/MORB-元素图解

万方数据

a-REE pattern ;b-Rock/MORB-element diagram

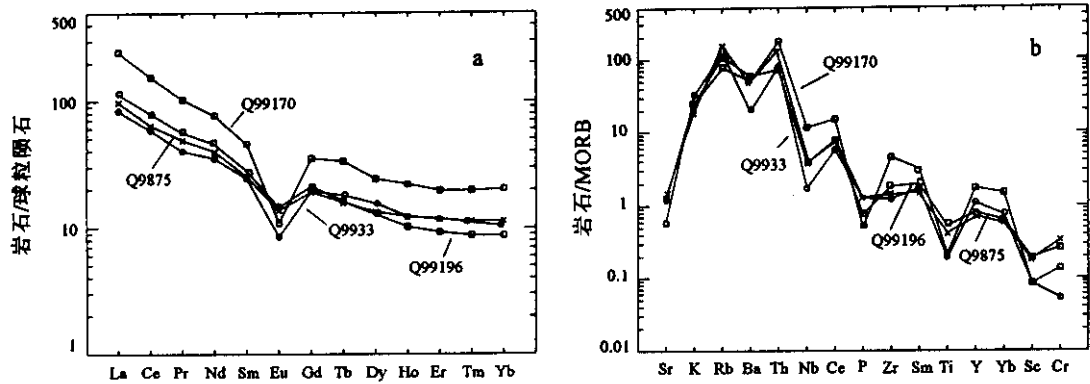


图 5 柴北缘深变质基底变泥沙质岩石 (Q9875, Q99169, Q99170) 和片麻状花岗岩 (Q9933) 的地球化学图解

Fig. 5 Geochemical diagrams of meta-argillo-arenaceous rocks (Q9875, Q99169, Q99170) and gneissic rocks (Q9933) from the high-grade basement of the Qaidam northern-margin terrane
a-REE 模式 b-岩石/MORB-元素图解
a-REE patterns b-Rock/MORB-element diagram

表 2 祁连造山带及邻区深变质基底岩石的 Nd 同位素组成及计算参数

Table 2 Nd isotopic compositions and parameters of the rocks from the high-grade basement of the Qilian terrane and its adjacent areas

序号	样品号	样品名称	采样位置	$^{147}\text{Sm}/^{144}\text{Nd}$	$^{143}\text{Nd}/^{144}\text{Nd}$	2σ	$f_{\text{Sm}/\text{Nd}}$	t_{DM}	$\epsilon_{\text{Nd}}(1.0)$	$\epsilon_{\text{Nd}}(0)$
1	Q99211	云母石英片岩	当金山口	0.1257	0.511841	6	-0.361	2.26	-6.54	-15.55
2	YE-2	黑云斜长片麻岩	祁连鱼儿红	0.1232	0.511851	8	-0.374	2.18	-6.02	-15.35
3	YE-3	黑云斜长片麻岩	祁连鱼儿红	0.1220	0.511942	7	-0.380	2.00	-4.06	-13.58
4	Q9862	二云石英片岩	祁连牛心山	0.1049	0.511672	7	-0.467	2.06	-7.18	-18.84
5	Q9885	角闪黑云斜长片麻岩	湟源洞科寺	0.1136	0.511683	7	-0.422	2.22	-8.09	-18.63
6	Q9887	黑云斜长片麻岩	湟源洞科寺	0.1171	0.511719	8	-0.405	2.25	-7.83	-17.93
7	Q9894	含石榴二云石英片岩	湟源东	0.1179	0.511755	7	-0.401	2.21	-7.22	-17.22
8	Q9864	黑云变粒岩-片麻岩	海晏	0.1133	0.511658	5	-0.424	2.26	-8.54	-19.12
9	Q9869	二云石英片岩	海晏	0.1115	0.511727	6	-0.433	2.11	-6.95	-17.77
10	Q98100	片麻状钾质花岗岩	化隆南	0.1121	0.512169	9	-0.430	1.47	1.70	-9.15
11	Q98109	黑云斜长片麻岩	永靖	0.1189	0.512170	7	-0.396	1.57	0.84	-9.13
12	Q9739	黑云变粒岩-片麻岩	马街山	0.1001	0.511749	9	-0.491	1.87	-5.04	-17.34
13	Q9745a	云母石英片岩	马街山	0.1176	0.511787	7	-0.402	2.15	-6.55	-16.60
14	Q9753	片麻状二云花岗岩	马街山	0.1096	0.511859	7	-0.443	1.88	-4.10	-15.20
15	215	糜棱岩化花岗闪长岩	北山柳园	0.1116	0.512126	50	-0.433	1.53	0.92	-9.99
16	307	英云闪长岩	敦煌水峡口	0.0860	0.510905	4	-0.563	2.66	-19.87	-33.81
17	Q9709	石榴云母石英片岩	永昌红湖寺	0.1134	0.511495	10	-0.423	2.50	-11.77	-22.30
18	Q9834	白云石英片岩	金昌墩子沟	0.1151	0.511562	7	-0.415	2.44	-10.67	-20.99
19	Q9835	白云石英片岩	金昌墩子沟	0.1029	0.511191	6	-0.477	2.68	-16.41	-28.23
20	Q9875	黑云变粒岩	乌兰察汗诺	0.1247	0.512005	8	-0.366	1.95	-3.17	-12.35
21	Q99170	夕线黑云变粒岩	达肯大坂	0.1173	0.51186	9	-0.404	2.04	-5.17	-15.27
22	Q99169	夕线黑云片麻岩	锡铁山	0.1147	0.51193	14	-0.417	1.88	-3.43	-13.89
23	Q9933	片麻状二云母花岗岩	砂柳河	0.1408	0.51201	9	-0.284	2.37	-5.14	-12.23

注: 1~14 采自祁连造山带深变质基底; 15~19 采自阿拉善地体和敦煌地体; 20~23 采自柴北缘。2 和 3 数据引自毛景文等(1997), 15 和 16 引自梅华林等(1998, 1999)。模式年龄计算: $t_{\text{DM}} = (1/\lambda) \ln \{ (^{143}\text{Nd}/^{144}\text{Nd}) / 0.51315 \} / \{ (^{147}\text{Sm}/^{144}\text{Nd}) - 0.2137 \} + 1$ }。 ϵ_{Nd} 值计算中的年龄单位为 Ga。样品位置见表 1。测定由中国科学院地质研究所完成。

有陆-陆碰撞造山的性质,可能与全球新元古代 Rodinia 超大陆形成过程有关。

柴北缘深变质基底壳源花岗岩形成于晋宁期,变泥砂质岩石 4 个样品(包括一个花岗岩样品)的 t_{DM} 为 1.88~2.37 Ga(表 2),与祁连造山带深变质基底的岩石组成和组成特征十分相似。表明晋宁期

祁连造山带和柴北缘同属一基底,具有相同或类似的早期演化历史。这一认识对柴北缘加里东榴辉岩高压变质带的成因研究具有重要意义。从地质上看,把柴北缘地体称之为祁连南缘地体更为恰当。

然而,敦煌和阿拉善地体深变质基底变泥砂质岩石的元素组成虽显示出成熟度高的类似元素组成

特征,但与祁连造山带和柴北缘深变质基底相比, t_{DM} 有一定程度的偏高(3个样品的变化范围为2.44~2.68 Ga)。在敦煌地体已发现新太古代TTG花岗质岩石存在(表1)。这些似乎表明,阿拉善地体和敦煌地体深变质基底是由不同时代地质体组成,太古宙物质占有相当的比例。

祁连造山带及邻区古老基底的古构造归属存在许多争论。一些人认为,中祁连地块是由华北克拉通分离而来。但现有资料并不支持这一看法。华南板块中晚元古代以来不同时代不同类型陆壳物质的 t_{DM} 大多集中在1.5~2.2 Ga之间(洪大卫等,1999;Chen等,1999),表明其基底主要形成于吕梁期。祁连-柴达木地体组成上与之具有明显的亲缘关系,很可能为华南板块组成部分之一。另一方面,华北克拉通主体形成于太古宙(伍家善等,1998)。吕梁运动虽十分强烈,但主要表现为壳内再改造,地幔添加作用较弱。阿拉善地体和敦煌地体主体的形成时代较老,应归属于华北克拉通。中祁连-柴达木地体和阿拉善-敦煌地体在晋宁期以前相互分离,分属华北克拉通和华南板块不同的构造体系。这一问题的最终解决需要更多的资料,其中,阿拉善地体的时代归属和组成特征最为关键。

秦岭造山带近十余年来研究取得了巨大进展,但在西延问题上仍存在较大争论。大量研究表明,秦岭造山带晋宁期构造作用十分强烈,由不同方法测定1.0 Ga左右的年龄数据已获得20余个,其中包括花岗质岩石(游振东等,1991;杨崇辉等,1992;张宗清等,1993)。与祁连造山带类似,变质基底中的变质泥砂质岩石和晋宁期壳源花岗岩的Sm-Nd模式年龄都在2.0 Ga左右(张宗清等,1993)。从变质基底的对比看,祁连造山带和秦岭造山带十分相似,很可能为同一巨型中央造山带的不同部分,至少在晋宁期以前就有相同或相似的地质发展历史。但二者之间也存在一定区别:晋宁期祁连造山带主要表现为壳内再循环改造作用,秦岭造山带还存在较强烈的地幔添加作用。需进一步从更大的时空尺度对整个中央主造山带的形成演化进行对比研究。

6 结 论

祁连造山带深变质基底主体形成于0.8~1.0 Ga(晋宁期),主要由变泥砂质岩石和壳源花岗质岩石组成。泥砂质岩石源区物质主要形成于吕梁期,由成熟度高的富铝富钾花岗质岩石和/或沉积岩构成,并有相当规模。晋宁期花岗岩为陆-陆碰撞的

产物。敦煌和阿拉善地体由不同时代但主要为太古宙地质体组成。祁连-柴北缘地体和敦煌-阿拉善地体在晋宁期以前相互分离,分属华北克拉通和华南板块不同的构造体系。祁连造山带为秦岭造山带的西延部分,至少在晋宁期以前二者就有相同或相似的地质发展历史。

致谢 野外工作中得到台湾成功大学董国安博士等的帮助。深表谢意。

参 考 文 献

- 郭进京,张国伟,陆松年等.1999.中国新元古代大陆拼合与Rodinia超大陆.高校地质学报,2(2):148~156.
- 梅华林,李惠民,陆松年等.1999.甘肃柳园地区花岗质岩石时代及成因.岩石矿物学杂志,18(1):14~17.
- 梅华林,于海峰,陆松年.1998.甘肃敦煌太古宙英云闪长岩:单颗粒锆石U-Pb年龄和Nd同位素.前寒武纪研究进展,21:41~45.
- 伍家善,耿元生,沈其韩等.1998.中朝古大陆太古宙地质特征及构造演化.北京:地质出版社,1~212.
- 杨崇辉,张寿广,张宗清.1992.陕西户县沙坪古花岗岩体的特征和意义.中国地质科学院地质研究所所刊,25:127~136.
- 张宗清,刘敦一,富国民.1994.北秦岭变质地层同位素研究.北京:地质出版社,1~191.

References

- Chacko T, Kumar G R R, Meen J K, Rogers J W. 1992. Geochemistry of high-grade supracrustal rocks from the Kerala Khondalite Belt and adjacent massif charnockites, South India. In: D. D. van Reenen, C. Roering, L. D. Ashwal and M. J. de Wit (editors), The Archaean Limpopo Granulite Belt: Tectonics and Deep Crustal Processes. Prec. Res., 55: 469~489.
- Chen C H, Jhan B M, Lee T et al. 1990. Sm-Nd isotopic geochemistry of sediments from Taiwan and implications for the tectonic evolution of southeast China. Chem. Geol., 88: 317~332.
- Dash B, Sahu K N, Bowes D R. 1987. Geochemistry and original nature of Precambrian khondalites in the Eastern Ghats, Orissa, India. Trans. R. Soc. Edinburgh, 78: 115~127.
- Martin H. 1994. Archean grey gneisses and continental crust origin. In: Condie, K. C. (ed.): Archean crustal evolution. Amsterdam: Elsevier, 205~259.
- Nance W B, Taylor S R. 1976. Rare earth element patterns and crust evolution. I. Australian post-Archean sedimentary rocks. Geochim. Cosmochim. Acta, 40: 1539~1551.
- Pearce J A, Harris N B W, Tindle A G. 1984. Trace element discrimination diagram for the tectonic interpretation of granitic rocks. J. Petrology, 25: 956~983.
- Taylor S R, McLennan S M. 1985. The Continental Crust: Its Composition and Evolution. Oxford: Blackwell Scientific Publications, 1~312.
- Wan Yusheng. 1999. Ba anomaly and its geochemical significance. Continental Dynamics, 4(1): 84~87.
- Wan Yusheng, Yang Jinsui, Xu Zhiqin, Wu Cailai. 2000. Geochemical characteristics of the Maxianshan Complex and Xinglongshan Group in the eastern segment of the Qilian Orogenic Belt. Geol. Rev., 43(1): 52~68.