

秦—昆三向联结构造及其构造过程的 同位素年代学证据

孙延贵^{1,2} 张国伟¹ 郭安林¹ 王 瑾²

(1.西北大学地质学系,陕西 西安 710069;2.青海省地质调查院,青海 西宁 810012)

摘要:同属中央造山系的西秦岭和东昆仑两造山带之间的衔接转换关系,长期以来一直是有关中国中央造山系研究中的一个争论的焦点。本文在前人对发育于两造山带衔接区的布青山、阿尼玛卿以及苦海—赛什塘 3 条蛇绿构造混杂带大量研究的基础上,通过进一步的调查以及同位素年代学研究发现,这 3 条蛇绿构造混杂带并非相互独立存在,它们在物质组成、结构构造、几何形态、同位素年代学特征上构成较为典型的三向联结构造,即秦—昆三向联结构造。该构造系统基本经历了自泥盆纪的 GGG 型经石炭纪—二叠纪的 RRA 型到二叠纪晚期的 SSS 型三向联结构造类型的时空转化过程,最终在晚三叠世时期结束并使西秦岭与东昆仑完成了有机的衔接。

关键词:西秦岭;东昆仑;秦昆三向联结构造;构造过程;同位素年代学

中图分类号: P597+.3 **文献标识码:** A **文章编号:** 1000-3657(2004)04-0372-07

中央造山系^[1]秦岭与昆仑两条造山带之间的衔接转换关系历来是我国地质学家们长期争论的一个问题,且已成为有关我国中央造山系研究中的一个症结性问题^[2]。一些学者认为秦岭与昆仑并不属于统一造山带^[3-4],但多数研究者仍坚持二者的统一性,只是对它们之间的衔接方式以及构造过程持有不同的观点^[5-15]。产生诸多分歧的一个主要原因在于秦、昆间共和—同德地区广泛发育着早中三叠世隆务河群复理石岩系^[16-17]以及第四纪沉积盆地,使东西遥相呼应的两条造山带中许多前三叠纪构造线出现不连续现象,形成所谓的“共和缺口”或“共和盆口”^[18,19]。通过深入的调查研究发现,这种现象正是秦—昆三向联结构造(Qin-kun triple junction)的客观反映。它由分布于东昆仑南部的布青山、西秦岭南缘的阿尼玛卿以及柴达木东缘的苦海—赛什塘等 3 条在平面上呈倒“T”字形的蛇绿构造混杂岩带构成,几何形态上类似于现今沿日本海沟发育的 Boso^[20]和沿 Honshu 岛弧东南沿岸发育的 Fuji^[20] 三向联结构造,它们不仅保留有较为完整的物质组成以及三向联结的空间几何形态,而且在其形成演化过程中所出现的一系列构造事件的同位素年代学信息同样很好地反映出该三向联结构造的统一构造过程。显然,对它们进行综合深入的研究无疑对西秦岭与东昆仑两条造山带东西衔接

方式及其构造过程的探索应具有十分重要的意义。

1 秦—昆三向联结构造的基本特征

由东昆仑南部布青山、西秦岭南缘阿尼玛卿以及柴达木盆地东缘和东昆仑东端的苦海—赛什塘 3 条晚古生代蛇绿构造混杂岩带所构成的三向联结构造几何形态(图 1)是秦岭与昆仑两条造山带衔接区域最为显著的地表地质特征之一,它们的物质组成、结构构造特征基本反映了秦—昆三向联结构造的类型及其变化。

1.1 东昆仑南部布青山蛇绿构造混杂岩带

东昆仑南部布青山蛇绿构造混杂岩带呈北西西向延展构成秦—昆三向联结构造的西支,东延与阿尼玛卿带连结已成为出露于秦昆造山带南缘的一条统一的蛇绿构造混杂岩带。自北而南明显存在 3 条亚一级构造带,即北部的岛弧火山岩岩带、中部的蛇绿混杂岩带和南部的复理石带。蛇绿混杂岩以大小不等的蛇绿岩岩块构造嵌入灰—灰黑色砂板岩内为特征,蛇绿岩各岩石单元主要有变质橄榄岩(多为强蛇纹石化方辉橄榄岩)、苦橄岩、辉石岩、均质辉长岩、堆晶辉长岩、辉绿岩岩墙、枕状玄武岩和块状玄武岩等。不同岩石单元之间均为韧性断层接触,超镁铁质岩石已发生强烈的变形,

收稿日期:2003-10-24;改回日期:2004-05-17

基金项目:国家自然科学基金重点项目(40234041)资助。

作者简介:孙延贵,男,1959 年生,博士生,高级工程师,从事构造地质学及遥感地质研究工作;E-mail:ygzx@public.xn.qh.cn。

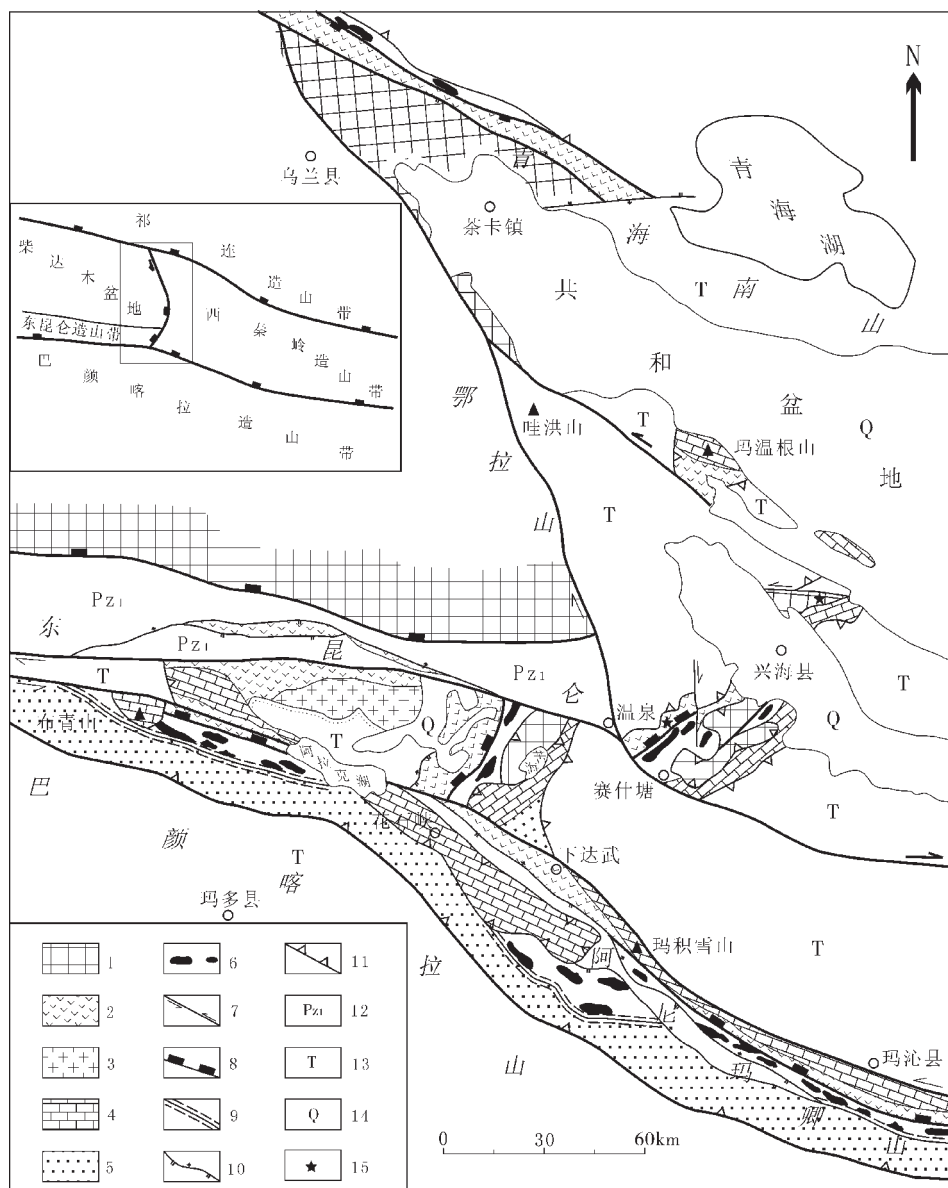


图 1 西秦岭—东昆仑衔接区秦—昆三向联结构造略图

1—前寒武纪变质岩;2—二叠纪岛弧火山岩系;3—二叠纪碰撞花岗岩;4—石炭纪—二叠纪浅海碳酸盐岩;5—石炭纪—二叠纪被动陆缘沉积;
6—晚古生代蛇绿混杂岩;7—平移断层;8—古缝合带;9—韧性断裂;10—逆冲断层;11—推覆构造;12—早古生代被动陆缘火山—沉积岩系;
13—早中三叠世前陆盆地复理石沉积;14—第四系;15—本文辉绿岩墙及陆缘弧型火山岩采样点

Fig.1 Schematic map of the Qinling—Kunlun triple junction in the conjugalional region between the West Qinlin and East Kunlun
1—Precambrian metamorphic rocks; 2—Permian island arc-type volcanic rocks; 3—Late Permian collision-type granite; 4—Carboniferous—Permian
neritic carbonate rocks; 5—Carboniferous—Permian passive continental—margin deposits; 6—Late Paleozoic ophiolitic mélangé; 7—Strike-slip fault;
8—Suture; 9—Ductile fault; 10—Thrust; 11—Nappe structure; 12—Early Paleozoic passive continental—margin volcanic—sedimentary rocks;
13—Early—Mid Triassic forland basin flysch; 14—Quaternary; 15—Sampling locality

蛇纹石化普遍。蛇绿岩中的玄武岩具典型 N—MORB 的地球化学特点,显示大洋中脊的系列属性^[5,8-10]。与蛇绿混杂岩带紧邻的北侧岛弧火山岩带由玄武岩、玄武安山岩、安山岩、英安岩、流纹岩以及中性火山碎屑岩组成,为钙碱性系列,伴生

有大陆岛弧环境的复理石^[11]沉积。蛇绿混杂岩带南侧的复理石带东西延伸相对较为稳定(图 1),以含有大量的碳酸盐岩滑塌岩块以及碱性玄武岩^[12]为特征,显示被动陆缘沉积环境,而且其稳定的延伸使东昆仑南部布青山蛇绿构造混杂岩带

与阿尼玛卿蛇绿构造混杂岩带更具统一性。

1.2 阿尼玛卿蛇绿构造混杂岩带

阿尼玛卿蛇绿构造混杂岩带呈北西—南东向延伸且组成秦—昆三向联结构造的东支,在区域上属秦岭造山带南部边缘的阿尼玛卿—文县—勉略古缝合带的西段^[7-10,22-25],与三向联结构造西支东昆仑南部布青山蛇绿构造混杂岩带同样均为东古特提斯洋北支于晚古生代末期封闭并使华南板块与秦岭—柴达木微板块^[7]拼贴缝合的一条在中国大陆基本构造格局中具有非常重要意义的构造带。所以它们不论是在物质组成上还是构造带的结构上都非常地相似,即主体同样由北部的岛弧火山岩^[9]岩带、中部的含较为典型洋脊型蛇绿岩^[10,23]的蛇绿混杂岩带和南部为形成于被动陆缘环境的复理石带等3条亚一级构造带组成。

1.3 苦海—赛什塘蛇绿构造混杂岩带

苦海—赛什塘蛇绿构造混杂岩带分布在东昆仑造山带的东端和柴达木盆地东缘,呈北东—南西向延伸,在一系列北西向西向横推走滑断裂的作用下使其延展的完整性遭到一定程度的破坏,但基本仍保留着秦—昆三向联结构造北支的总体形态。该带的南段较宽,向北逐渐变窄,且消失在共和盆地南缘的玛温根山一带。南段自西向东明显存在3个构造亚带,即陆缘弧型火山岩带、蛇绿混杂岩带以及由前寒武裂解岩块和石炭纪—二叠纪浅海碳酸盐岩块体组成的岩片叠置带。北段前两个构造亚带消失,仅存在强变形的岩片叠置带,但有意义的是,前寒武纪变质岩块中发育于初始伸展裂解时期的基性岩墙群则保存完整。分布在南段苦海、赛什塘地区的蛇绿混杂岩,其不同组分岩石单元呈规模形态不同的岩块构造混杂在石炭纪—早二叠世泥砂质板岩以及中高压、低绿片岩相的构造岩之中。岩块主要有强蛇纹石化纯橄岩、强蛇纹石化斜辉橄榄岩、辉长岩、辉绿岩岩墙、玄武岩以及硅泥质板岩等。与代表秦昆三向联结构造的东、西支的阿尼玛卿和布青山蛇绿混杂岩明显不同,这些组分均相对独立分布,在一条剖面上很难见到较为完整的蛇绿岩组合,其中玄武岩属WPB—E—MORB型,显示形成于板内成熟裂谷—初始洋盆的过渡型构造环境^[24]。陆缘弧型火山岩带发育于柴达木地块的东部边缘,岩石组合与东昆仑南部布青山蛇绿构造混杂岩带的北部岛弧火山岩岩带类似,在空间上断续相接,故使一

些研究者认为二者是形成于柴达木地块东南缘的一条统一的弧形火山活动带,即扬子板块向柴达木地块之下发生双向俯冲的典型产物^[3-4]。

上述组成秦—昆三向联结构造的3条蛇绿构造混杂岩带显然应是该构造系统发展演化的最终产物,从其中共有并极具规律性的亚一级分带性及其物质组成特征可以比较容易地反演出该三向联结构造的类型及其变化。三带中蛇绿混杂岩的构造属性显示,东昆仑南部布青山蛇绿岩所代表的洋脊东延与阿尼玛卿蛇绿岩所代表的洋脊和苦海—赛什塘蛇绿岩所代表的坳拉谷^[7]在柴达木东南缘交汇构成的RRA (Ridge—Ridge—Aulacogen)型三向联结构造曾是秦—昆三向联结构造在伸展扩张时期的主要构造形式,3条弧火山岩带则代表了秦—昆三向联结构造在挤压收缩时期由RRA型向SSS型(Subduction—Subduction—Subduction)的转变,而发育于属早期裂解变质岩块中的基性岩墙群则可能是该构造系统在初始伸展时期GGG(Graben—Graben—Graben)型三向联结构造存在的“遗迹”。

2 秦—昆三向联结构造的同位素年代学信息

许多研究者对东昆仑南部布青山、阿尼玛卿以及苦海—赛什塘蛇绿构造混杂岩带中的蛇绿岩曾分别进行了深入的研究,尽管对它们形成的确切时代的认识目前还不尽相同,但多数研究成果表明其主体应出现在泥盆纪晚期—二叠纪早期。阿尼玛卿蛇绿岩中玄武岩的同位素年龄为345.3Ma(⁴⁰Ar/³⁹Ar)^[23],苦海—赛什塘蛇绿岩中的辉长岩年龄在368.6Ma(⁴⁰Ar/³⁹Ar)^[24]左右,对布青山蛇绿岩的研究目前虽尚未获得可靠的同位素年龄,但在其中的硅质岩以及泥质硅质岩内则发现了石炭纪放射虫化石^[9]。这些年代学信息均可表明泥盆纪晚期—石炭纪是秦昆RRA型三向联结构造的主要发育形成时期,该时期也是西秦岭与东昆仑衔接区域蛇绿岩的主要形成时期。

在拉龙洼地区,对发育于苦海—赛什塘构造带内裂解变质岩块中的辉绿岩墙采用⁴⁰Ar/³⁹Ar方法进行了同位素侧年,测试工作由中国科学院地质与地球物理研究所Ar—Ar定年实验室完成,获得辉石年龄谱主坪年龄为(393.5±3.0)Ma(表1,图2)。但考虑到辉石虽然对放射性成因Ar的保存性较强,又常因K与放射性成因Ar含量低微而造成测量误差偏大,所以

表1 拉龙洼基性岩墙辉石⁴⁰Ar—³⁹Ar中子活化测年结果

Table 1 ⁴⁰Ar—³⁹Ar neutron activation dating of augite from the Lalongwa basic dike swarm

加热阶段	加热温度 (°C)	(⁴⁰ Ar/ ³⁹ Ar) _m	(³⁶ Ar/ ³⁹ Ar) _m	(³⁷ Ar/ ³⁹ Ar) _m	(³⁸ Ar/ ³⁹ Ar) _m	³⁹ Ar _k × 10 ⁻¹² mol	(⁴⁰ Ar*/ ³⁹ Ar) _k ± 1σ	³⁹ Ar _k (%)	视年龄 (Ma) ± 1σ
1	460	85.102	0.2449	2.3428	0.3061	0.13	19.24 ± 0.26	1.79	329 ± 15
2	650	34.603	0.0688	6.0792	0.2011	0.20	14.87 ± 0.11	2.77	259 ± 6
3	800	25.918	0.0374	1.9857	0.1156	0.58	15.06 ± 0.08	8.02	262 ± 4
4	900	26.173	0.0370	2.2599	0.1564	0.79	15.45 ± 0.08	10.9	268 ± 5
5	1000	34.066	0.0549	4.7091	0.1172	0.34	18.29 ± 0.09	4.70	314 ± 6
6	1100	27.593	0.0148	1.1339	0.1056	1.16	23.31 ± 0.09	16.0	391 ± 8
7	1200	27.818	0.0141	0.7833	0.0509	2.37	23.72 ± 0.10	32.8	397 ± 8
8	1300	30.317	0.0238	1.6092	0.0936	1.35	23.43 ± 0.11	18.6	393 ± 8
9	1500	73.203	0.1373	2.0944	0.1765	0.31	33.01 ± 0.23	4.28	531 ± 22

表 2 拉龙洼基性岩墙斜长石 ^{40}Ar - ^{39}Ar 中子活化测年结果

Table 2 ^{40}Ar - ^{39}Ar neutron activation dating of plagioclase from the Lalongwa basic dike swarm

加热阶段	加热温度(°C)	$(^{40}\text{Ar}/^{39}\text{Ar})_m$	$(^{36}\text{Ar}/^{39}\text{Ar})_m$	$(^{37}\text{Ar}/^{39}\text{Ar})_m$	$(^{38}\text{Ar}/^{39}\text{Ar})_m$	$^{39}\text{Ar}_k \times 10^{-12} \text{ mol}$	$(^{40}\text{Ar}/^{39}\text{Ar}) \pm 1 \sigma$	$^{39}\text{Ar}_k (\%)$	视年龄 (Ma) $\pm 1 \sigma$
1	480	69.23	0.1484	1.1330	0.1868	0.19	25.66 ± 0.22	0.75	426 ± 17
2	620	56.78	0.1356	1.0922	0.1779	0.25	16.96 ± 0.17	0.98	293 ± 11
3	740	30.57	0.0598	0.6239	0.1192	0.42	13.06 ± 0.10	1.65	229 ± 4
4	850	20.96	0.0192	0.2814	0.0712	1.12	15.29 ± 0.07	4.39	265 ± 3
5	950	18.84	0.0136	0.2176	0.0465	2.13	14.82 ± 0.06	8.38	258 ± 3
6	1060	16.06	0.0033	0.0601	0.0155	10.81	15.07 ± 0.05	42.5	262 ± 3
7	1250	22.84	0.0058	0.1102	0.0259	6.22	21.12 ± 0.07	24.4	358 ± 3
8	1340	24.43	0.0093	0.1398	0.0234	3.59	21.68 ± 0.08	14.2	366 ± 4
9	1450	50.70	0.0837	0.5232	0.1256	0.46	26.08 ± 0.15	1.81	432 ± 16

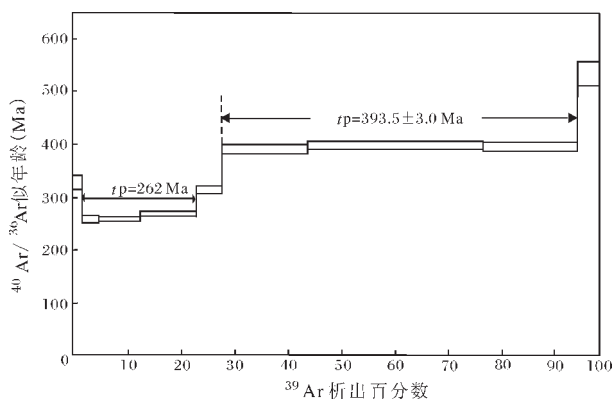


图 2 拉龙洼基性岩墙群辉石 $^{39}\text{Ar}/^{40}\text{Ar}$ 年龄谱
Fig. 2 $^{39}\text{Ar}/^{40}\text{Ar}$ age spectrum of augite from the Lalongwa basic dike swarm

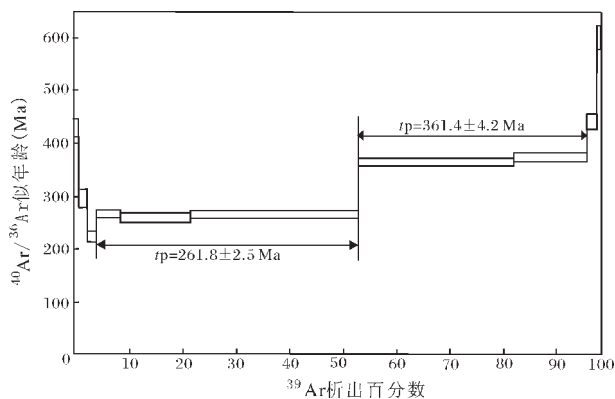


图 3 拉龙洼基性岩墙群斜长石 $^{39}\text{Ar}/^{40}\text{Ar}$ 年龄谱
Fig. 3 $^{39}\text{Ar}/^{40}\text{Ar}$ age spectrum of plagioclase from the Lalongwa basic dike swarm

同时又对辉绿岩中的斜长石进行了表面年龄的测定 (表 2, 图 3), 获得斜长石高温坪年龄为 $(361.4 \pm 4.2) \text{ Ma}$ 。上述同位素年代测定结果表明, 拉龙洼地区基性岩墙群的侵位时代应主要在泥盆纪时期, 而辉石和斜长石共同显示的非常一致的低温坪年龄则清晰地反映出伴随裂解岩块后期俯冲碰撞所发生的变质变形事件。基于基性岩墙群代表着地壳伸展环境的一般认识并结合区域研究成果分析, 上述同位素信息应为秦—昆三向联结构造初始伸展时期一次构造岩浆事件的记录, 代表了 RRA 形成前 GGG 型三向联结构造的发育形成时期。

在苦海—赛什塘构造带西侧的陆缘弧型火山岩带中南段得格龙地区英安岩中所获得的锆石 U—Pb 年龄 (表 3, 图 4) 为 $(263.9 \pm 2.1) \text{ Ma}$, 基本可以确定该陆缘弧型火山岩系形成于早二叠世晚期。这一年代信息与阿尼玛卿蛇绿构造混杂岩带北侧下达武岛弧火山岩的形成时代 $(260 \pm 10) \text{ Ma}$ 是一致的, 与沿苦海—赛什塘蛇绿构造混杂岩带伴随俯冲碰撞所发生的变质变形年龄 (本文的辉绿岩墙 $^{40}\text{Ar}/^{39}\text{Ar}$ 262 Ma 的低温坪年龄、蛇绿岩中的辉长岩 $^{40}\text{Ar}/^{39}\text{Ar}$ 278 Ma 的低温坪年龄^[24] 等) 也是较为吻合的, 它们无疑给秦昆三向联结构造由伸展扩张期的 RRA 型向挤压收缩期的 SSS 型动力学机制转换提

供了非常重要的年代学信息。

3 秦—昆三向联结构造的构造过程讨论

上述秦—昆三向联结构造在不同发展演化阶段所出现的几个非常重要的构造事件的同位素年龄研究结果表明, 秦岭与昆仑两条造山带的形成和衔接过程与秦—昆三向联结构造不同类型的形成和转变过程密切相关。在泥盆纪地壳初始伸展背景下形成的 GGG 型三向联结构造应是秦—昆三向联结构造的初始形式, 进一步的伸展扩张使该三向联结构造的柴达木地块南缘一支 (西支) 和西秦岭地块南缘一支 (东支) 分别发展形成东昆仑南部布青山和阿尼玛卿有限洋盆, 但柴达木与西秦岭地块之间的一支 (北支) 则发生“夭折”而形成共和坳拉谷 (aulacugen), 在石炭纪—二叠纪它们联合构成 RRA 型的三向联结构造, 这一构造系统成为东昆仑与西秦岭造山带及其衔接区的构造原型。进入二叠纪晚期, 在大区域构造背景制约下由伸展扩张向挤压收缩转变, 随东昆仑南部布青山有限洋盆和阿尼玛卿有限洋盆在共和坳拉谷两侧分别向北的俯冲消减, 同时共和坳拉谷南段也发生向西的有限俯冲, 秦—昆三向联结构造随之由 RRA 型向 SSS 型转

表 3 得格龙英安岩锆石 U-Pb 测定结果
Table 3 Zircon U-Pb data for the Degelong dacite

样品号	JD4238-1	岩 性	英 安 岩					
点号	样 品 特 征	重 量 (μ g)	浓 度		普 通 铅 含 量 (ng)			
点号	锆石类型及特征		U (μ g/g)	Pb (μ g/g)				
1	柱状双锥无色透明自形大晶体	50	138	9	0.017			
2	长方柱状浅黄透明自形晶	45	168	10	0.004			
3	长方柱状浅黄透明自形晶	40	107	7	0.004			
4	细长柱状无色透明自形晶	50	88	6	0.018			
同 位 素 原 子 比 率			表 面 年 龄 (Ma)					
点号	²⁰⁶ Pb/ ²⁰⁰ Pb	²⁰⁶ Pb/ ²⁰⁶ Pb	²⁰⁶ Pb/ ²³⁸ U	²⁰⁷ Pb/ ²³⁵ U	²⁰⁷ Pb/ ²⁰⁶ Pb	²⁰⁶ Pb/ ²³⁸ U	²⁰⁷ Pb/ ²³⁵ U	²⁰⁶ Pb/ ²⁰⁴ Pb
			0.0619	0.4593	0.02381			
1	1598	0.1382	(104)	(115)	(91)	387.3	383.8	363.0
2	6838	0.1050	(103)	(108)	(82)	381.8	380.9	375.5
3	3840	0.1223	0.06063	0.4465	0.05341			
4	949	0.1515	(92)	(94)	(71)	379.5	374.8	346.4
			0.06048	0.4504	0.05402			
			(161)	(175)	(138)	378.5	377.6	371.8

注：由天津地质矿产研究所分析；同位素原子比率栏括号内数字为 2σ 绝对误差。

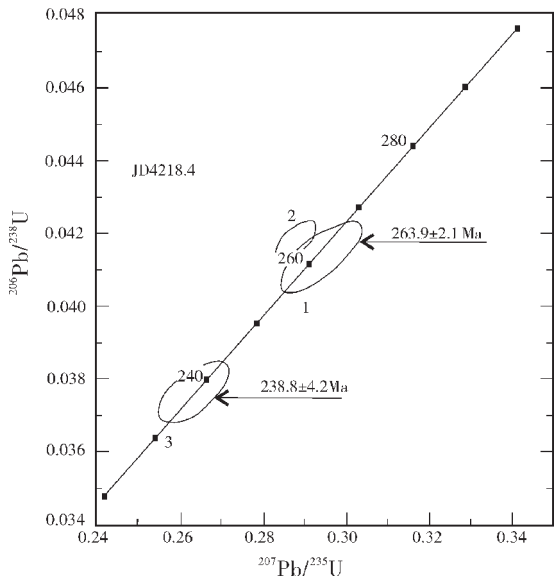


图 4 得格龙英安岩锆石 U-Pb 谐和图

Fig.4 Zircon U-Pb concordia diagram for the Degelong dacite

变，同时出现对应的同位素年龄在 263.9~ 260 Ma 的 3 条弧火山岩浆带。SSS 型三向联结构造基本持续至二叠纪末期，不同板块或陆块沿它们发生碰撞拼贴，于晚古生代末期形成包含在上述不同三向联结构造类型发育时期形成的多种构造岩块的古缝合带。它们基本以东昆仑南部布青山蛇绿构造混杂岩带、阿尼玛卿蛇绿构造混杂岩带以及苦海—赛什塘蛇绿构造混杂岩带为具体的表现形式，并成为东昆仑、西秦岭及其衔接区域造山带的基础性构造。区域上对地表地质的综合研究表明，中生代早期秦—昆三向联结构造仍处在持续挤压

收缩的动力学状态下，巴颜喀拉、柴达木、西秦岭以及祁连等多陆块间的在秦—昆三向联结构造约束下的持续俯冲碰撞，不仅在东昆仑—西秦岭南部形成广阔的巴颜喀拉三叠纪前陆盆地，同时在柴达木东侧原共和坳拉谷区域造成后坳拉谷性质的早中三叠世复理石盆地。晚三叠世时期发生全面的碰撞造山作用，致使西秦岭与东昆仑造山带最终完成以秦—昆三向联结构造演化结束为标志的有机衔接。

4 结 论

发育于东昆仑南部布青山、西秦岭南缘阿尼玛卿以及柴达木盆地东缘和东昆仑东端的苦海—赛什塘 3 条晚古生代蛇绿构造混杂岩带并不是孤立存在的，它们应是秦—昆三向联结构造的缩影，也是西秦岭与东昆仑两条造山带转换衔接的实质性构造系统。对它在不同演化时期所造成的主要构造事件的同位素年代学研究结果表明，其初始伸展发生在泥盆纪时期，GGG 型可能为其早期的三向联结构造型式。强烈的伸展扩张期出现在石炭纪—二叠纪，三向联结构造类型属 RRA 型。大约在 264~ 260 Ma 已明显进入挤压收缩期，构造类型亦转化为 SSS 型，该类型基本持续到了印支运动末期，且在 SSS 型三向联结构造的约束下发生全面的碰撞造山作用，西秦岭与东昆仑两条造山带也基本完成了它们之间的有机结合。

参考文献 (References):

[1] 张国伟,柳小明.关于“中央造山带”几个问题的思考[J].地球科学——中国地质大学学报,1998,23(5):443~447.
Zhang Guowei,Liu Xiaoming.Some thoughts on “Central Orogenic Belts”[J].Earth Science—Journal of China University of Geosciences,

- 1998,23(5):443~447(in Chinese with English abstract).
- [2] 张国伟,董云鹏,姚安平.关于中国大陆动力学与造山带研究的几点思考[J].中国地质,2002,29(1):7~13.
Zhang Guowei,Dong Yunpeng,Yao Anping.Some thoughts on study of continental dynamics and orogenic belts [J].Geology In China,2002,29(1):7~13(in Chinese with English abstract).
- [3] 潘桂棠,陈智梁,李兴振,等.东特提斯地质构造形成演化[M].北京:地质出版社,1997.86~98.
Pan Guitang,Chen Zhiliang,Li Xingzhen,et al.Geological-Tectonic Evolution in the Eastern Tethys[M]. Beijing:Geological Publishing House,1997.86~98(in Chinese with English abstract).
- [4] 许强,潘桂棠,李兴振,等.秦祁昆交界区地质构造特征及演化模式[A].见:国家计委国土司,地矿部科技司编.地质科学研究论文集[C].北京:中国经济出版社,1996.176~184.
Xu Qiang,Pan Guitang,Li Xingzhen.Geologic structural characteristics and developing model of connection area of Qinling,Qilian and Kunlun [A].In:Land Department of the State Planning Commission and Department of Science and Technology of the Ministry of Geology and Mineral Resources (ed.),Contributions to the Geological Sciences [C].Beijing:Economic Publishing House of China,1996.176~184(in Chinese).
- [5] 姜春发,杨经绥,冯秉贵,等.昆仑开合构造[M].北京:地质出版社,1992.11~168.
Jiang Chunfa,Yang Jingshui,Feng Binggui, et al.Opening-Closing Tectonics of Kunlun Mountains [M].Beijing:Geological Publishing House,1992.57(in Chinese with English abstract).
- [6] 程裕祺,等.中国区域地质概论[M].北京:地质出版社,1994.448~480.
Cheng Yuqi,et al.Survey of Regional Geology in China [M]. Beijing:Geological Publishing House,1994.165~238(in Chinese).
- [7] 张国伟,张本仁,袁学诚,等.秦岭造山带与大陆动力学[M].北京:科学出版社,2001.130~150.
Zhang Guowei,Zhang Benren,Yuan Xuecheng,et al.Qinling Orogenic Belt and Continental Dynamics [M].Beijing:Science Press,130~150(in Chinese).
- [8] 边千韬,罗小全,李红生,等.阿尼玛卿早古生代和早石炭世—早二叠世蛇绿岩的发现[J].地质科学,1999,34(4):523~524.
Bian Qiantao,Luo Xiaoquan,Li Hongsheng,et al.Discovery of early Paleozoic and early Carboniferous-early Permian ophiolites in the A'nyemaqen,Qinghai Province,China [J].Scientia Geologica Sinica,1999,34(4):523~524(in Chinese with English abstract).
- [9] 边千韬,罗小全,李涤薇,等.青海省阿尼玛卿带布青山蛇绿混杂岩的地球化学性质及形成环境[J].地质学报,2001,75(1):45~55.
Bian Qiantao,Luo Xiaoquan,Li Dihui,et al.Geochemistry and formation environment of the Buqingshan ophiolite complex,Qinghai Province,China [J].Acta Geologica Sinica,2001,75(1):45~55(in Chinese with English abstract).
- [10] 陈亮,孙勇,裴先治,等.德尔尼蛇绿岩:青藏高原最北端的特提斯岩石圈残片[J].西北大学学报(自然科学版),1999,29(2):141~144.
Chen Liang,Sun Yong,Pei Xianzhi.Derni Ophiolite:Northernmost Tethys lithosphere relics in Tibet Plateau [J].Journal of Northwest University(Natural Science Edition),1999,29(2):141~144(in Chinese with English abstract).
- [11] 许志琴,杨经绥,陈方远.阿尼玛卿缝合带及“俯冲—碰撞”动力学[A].见:张旗主编.蛇绿岩与地球动力学研究[C].北京:地质出版社,1996.185~189.
Xu Zhiqin,Yang Jingshui,Chen Fangyuan.The Anyemaqen suture zone and the dynamics in subduction and collision[A].In:Zhang Qi (ed.)Study on Ophiolites and Geodynamics [C].Beijing:Geological Publishing House,1996.185~189(in Chinese with English abstract).
- [12] 杨经绥,许志琴,宋述光,等.青海都兰榴辉岩的发现及对中国中央造山带内高压—超高压变质带研究的意义[J].地质学报,2000,74(2):156~168.
Yang Jingsui,Xu Zhiqin,Song Shuguang, et al.Discovery of eclogite in Dulan,Qinghai Province and its significance for studying the HP-UHP metamorphic belt along the central orogenic belt of Chiina [J].Acta Geologica Sinica,2000,74(2):156~168(in Chinese with English abstract).
- [13] 殷鸿福,张克信.中央造山带的演化及其特点[J].地球科学——中国地质大学学报,1998,23(5):437~441.
Yin Hongfu,Zhang Kexin.Evolution and features of Central Orogenic Belts [J]. Earth Science——Journal of China University of Geosciences,1998,23(5):437~441(in Chinese).
- [14] 孙延贵,田琪,王青海.西秦岭与东昆仑的侧向碰撞与造山[J].青海地质,2001,10(2):18~24.
Sun Yangui,Tian Qi,Wang Qinghai.Lateral collision and orogeny of west Qinling and east Kunlun [J].Qinghai Geology,2001,10(2):18~25(in Chinese with English abstract).
- [15] Sun Yangui,Chen Zhengxing,Liu Yong'an,et al. Junction and evolution of the Qinling,Qilian and Kunlun orogenic belts [J]. Acta Geologica Sinica,2000,74(2):223~228.
- [16] 殷鸿福,杨逢清,黄旗胜,等.秦岭及邻区的三叠系[M].武汉:中国地质大学出版社,1992.1~121.
Yin Hongfu,Yang Fengqing,Huang Qisheng,et al.The Triassic of Qinling mountains and neighboring areas [M].Wuhan:China University of Geosciences Press,1992.1~121(in Chinese with English abstract).
- [17] 青海省地质矿产局.全国地层多重划分对比研究——青海省岩石地层[M].武汉:中国地质大学出版社,1997.104~214.
Qinghai Bureau of Geology and Mineral Resources.Lithostratigraphy of Qinghai Province [M].Wuhan:China University of Geosciences Press,1997.104~214(in Chinese with English abstract).
- [18] 石宝颐,张峻太.论秦—昆构造带的共和“缺口”[J].青海地质,1982,(3):21~29.
Shi Baoyi,Zhang Juntai.Discussion to the Gonghe “gap” of Qin-Kun tectonic zone[J]. Qinghai Geology,1982,(3):21~29(in Chinese with English abstract).
- [19] Ogawa X,Seno T,Akiyoshi H,et al.Structure and development of the Sagami Trough and the Boso Triple junction [J].Tectonophysics,1989.160:135~150.
- [20] Huchon,P.,and P.Labaume.Central Japan triple junction:A three-

- dimensional compression model[J]. *Tectonophysics*, 1989, 160: 117~133.
- [21] 张克信, 黄继春, 骆满生, 等. 东昆仑阿尼玛卿混杂岩带沉积地球化学特征[J]. *地球科学—中国地质大学学报*, 1999, 24(2): 111~116. Zhang Kexin, Huang Jichun, Luo Mansheng, et al. Sedimentary geochemical features of Animaqing mélange zone in eastern Kunlun mountain [J]. *Earth Science—Journal of China University of Geosciences*, 1999, 24(2): 111~115 (in Chinese with English abstract).
- [22] 陈亮, 孙勇, 裴先治. 青海省德尔尼蛇绿岩的岩石地球化学特征及其大地构造意义[J]. *岩石学报*, 2000, 16(1): 106~110. Chen Liang, Sun Yong, Pei Xianzhi, et al. Geochemistry of Derni ophiolite and its tectonic significance [J]. *Acta Petrologica Sinica*, 2000, 16(1): 106~110 (in Chinese with English abstract).
- [23] 陈亮, 孙勇, 裴先治, 等. 德尔尼蛇绿岩 $^{40}\text{Ar}-^{39}\text{Ar}$ 年龄——青藏高原最北端古特提斯洋盆存在和延展的新证据 [J]. *科学通报*, 2001, 46(5): 424~325. Chen Liang, Sun Yong, Pei Xianzhi, et al. Northernmost Paleotethyan oceanic basin in Tibet: geochronological evidence from $^{40}\text{Ar}/^{39}\text{Ar}$ age dating of Dur'ngoni ophiolite [J]. *Chinese Science Bulletin*, 2001, 46(5): 424~426 (in Chinese).
- [24] 王秉璋, 张智勇, 张森琦, 等. 东昆仑东端苦海—赛什塘晚古生代蛇绿岩的地质特征 [J]. *地球科学—中国地质大学学报*, 2000, 25(6): 592~598. Wang Bingzhang, Zhang Zhiyong, Zhang Senqi, et al. Geological features of lower palaeozoic ophiolite in Kuhai—Saishitang region, eastern section of eastern Kunlun [J]. *Earth Science—Journal of China University of Geosciences*, 2000, 25(6): 592~598 (in Chinese with English abstract).

Qinling–Kunlun triple junction and isotope chronological evidence of its tectonic process

SUN Yan–gui^{1,2}, ZHANG Guo–wei¹, GUO An–lin¹, WANG Jin²

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

2. *Qinghai Institute of Geological Survey, Xining 810012, Qinghai, China*)

Abstract: The conjunctive and transitional relation between the West Qinling and East Kunlun orogenic belts, both of which belong to the Central Orogenic System, has long been a focus of dispute in the study of the Central Orogenic System of China. Based on many previous studies of the Buqin Mountain, A'nyêmaqên and Kuhai–Sêrtang ophiolitic mélange zones in the junction between the two orogenic belts and through further survey and isotope chronological study, the authors find that the three ophiolitic mélange zones are not independent but form a typical triple junction with respect to the composition, textures and structures, geometry and isotope chronology, i.e. the Qinling–Kunlun triple junction. This tectonic system generally experienced a temporal–spatial transition process from the Devonian graben–graben–graben (GGG) type through the Carboniferous–Permian ridge–ridge–aulacogen (RRA) type to the Late Permian subduction–subduction–subduction (SSS) type of triple junction. In the Late Triassic, the process ended, and thus the junction between the West Qinling and East Kunlun was finally completed.

Key words: West Qinling; East Kunlun; Qinling–Kunlun triple junction; tectonic process; isotope chronology