

北秦岭西段早古生代埃达克岩地球化学特征及岩石成因

陈隽璐^{1,2)}, 徐学义¹⁾, 王洪亮^{1,4)}, 王宗起³⁾, 曾佐勋²⁾, 李平¹⁾, 王超¹⁾

1) 中国地质调查局西安地质矿产研究所, 西安, 710054; 2) 中国地质大学地球科学学院, 武汉, 430074;
3) 中国地质科学院地质研究所, 北京, 100037; 4) 西北大学, 西安, 710069

内容提要:唐藏石英闪长岩体出露于北秦岭造山带西段, 侵入于丹凤群火山-沉积岩系之中, 主要矿物组成为斜长石、角闪石、石英、钾长石、黑云母等, 形成时代为 454Ma。该岩体 $\text{SiO}_2 = 62.02\% \sim 64.26\%$; $\text{Al}_2\text{O}_3 = 16.55\% \sim 17.45\%$, $\text{MgO} = 1.71\% \sim 2.09\%$, $\text{Sr} = (1069 \sim 1296) \times 10^{-6} (> 400 \times 10^{-6})$, $\text{Y} = (11.6 \sim 13.81) \times 10^{-6} (< 18 \times 10^{-6})$, $\text{Yb} = (0.96 \sim 1.14) \times 10^{-6} (< 1.9 \times 10^{-6})$, $\text{Sr/Y} = 80.98 \sim 108.19 (> 40)$, 稀土总量 ($\Sigma \text{REE} = 217.88 \times 10^{-6} \sim 355.07 \times 10^{-6}$) 较高, LREE 强烈富集, 重稀土亏损, Eu 负异常不明显 ($\text{LREE/HREE} = 17.72 \sim 25.82$; $\text{La}_N/\text{Yb}_N = 44.56 \sim 53.85$; $\delta \text{Eu} = 0.82 \sim 1.0$), 显示出典型埃达克岩的岩石地球化学特点。在以原始地幔标准化的微量元素分布图中, 大离子亲石元素 (LILE) K、Th、Rb、Ba、Sr 等富集, 高场强元素 (HFSE) Ta、Nb、Y、Yb 等较相邻元素相对亏损, 微量元素曲线分布形式及稀土元素配分模式与典型地区埃达克岩分布形式一致。研究表明, 该岩体 $\text{Na}_2\text{O} = 4.99\% \sim 6.91\%$, $\text{Na}_2\text{O} - 2> \text{K}_2\text{O}$, $\text{Mg}^\# = 0.59 \sim 0.63$, $\text{A/CNK} = 0.82 \sim 1.01$, $\sigma = 4.24 \sim 2.24$, 为富钠偏铝质高镁埃达克岩。唐藏埃达克岩体岩浆源于早古生代秦岭商丹洋向北俯冲消减洋壳板片的部分熔融, 岩浆在上升过程中与地幔楔发生反应。北秦岭早古生代埃达克岩的确定为探讨秦岭早古生代构造演化提供了新的证据。

关键词: 埃达克岩; 石英闪长岩体; 地球化学特征; 岩石成因; 北秦岭西段

北秦岭造山带通常指商丹构造带以北, 宝鸡—铁炉子—黑沟断裂以南的区域。对北秦岭造山带早古生代的构造格局及演化历史, 目前认识并不统一, 争议较大。归根结底是对北秦岭是否发育早古生代商丹洋盆, 以及是否经历了洋壳的俯冲作用。一种观点认为北秦岭早古生代不存在商丹洋盆, 当时北秦岭主要为裂谷构造体制 (董申保, 1986; Drummond M S, 1990; 杨志华等, 1991; 张传林等, 2000), 或为陆内俯冲碰撞造山带 (张维吉等, 1996; 裴先治等, 1997, 2003; 李伍平等, 2001; 张宗清等, 2006); 另一种观点认为北秦岭存在早古生代商丹洋盆, 但对商丹洋盆消失闭合的时限及方式认识不一, 有加里东碰撞造山带 (任纪舜等, 1999; 许志琴等, 1988)、加里东俯冲造山带 (张国伟等, 2001; 张本仁等, 2002)、晚加里东—早华力西期俯冲增生造山带 (王宗起等, 2001) 等不同观点。由此可见, 早古生代北秦岭商丹洋盆存在与否, 对秦岭造山带乃至中国中部构造格局及其演化研究至关重要。北秦岭造山

带分布大量不同时代、不同成因类型的中酸性岩体, 这些中酸性岩体均形成于北秦岭造山带的不同构造演化阶段, 对这些中酸性岩体的成因类型研究, 可为探讨北秦岭早古生代构造格局、演化历史提供证据; 埃达克岩由于其特殊的成因以及形成构造环境的特殊性, 近年来得到了地质学家高度重视, 被认为在造山带古构造研究中与蛇绿岩同等重要 (罗照华等, 2002)。北秦岭地区早古生代埃达克岩相关研究较少, 目前仅有东部灰池子岩体 (李伍平等, 2001) 报道。本文将从岩石学、元素地球化学特征研究入手, 对具有埃达克岩特征的唐藏石英闪长岩体进行详细的岩石学和地球化学研究, 分析该岩体形成的构造背景及可能的成因, 为进一步探讨北秦岭早古生代构造格局及其演化历史提供新的资料。

1 地质背景与岩石学特征

研究区位于北秦岭造山带西段的陕西凤县唐藏一带, 由商丹构造带往北, 该地区出露的主要地层依

注: 本文为国家科技支撑计划 (编号 2006BA B01A 11)、中国地质调查局国土资源大调查研究项目 (编号 1212010610319、1212010611807)、自然科学基金 (40773044) 资助的成果。

收稿日期: 2008-01-03; 改回日期: 2008-03-15; 责任编辑: 郝梓国。

作者简介: 陈隽璐, 男, 1964 年生, 博士研究生, 高级工程师, 主要从事区域地质构造研究。电话: 029-87821712; Email: chjl0116@163.com。

© 1994-2012 China Academic Journal Electronic Publishing House. All rights reserved. <http://www.cnki.net>

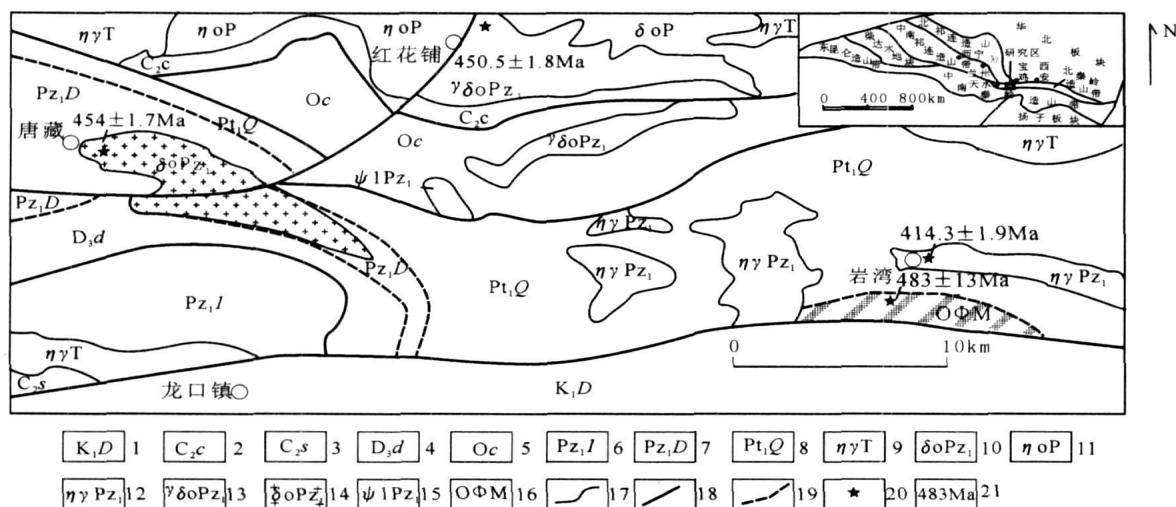


图 1 北秦岭唐藏地区区域地质简图

Fig. 1 Sketch Geologic map of Tangzang area in North Qinling

1—东河群; 2—草凉驿组; 3—四峡口组; 4—大草滩组; 5—草滩沟群; 6—罗汉寺岩组; 7—丹凤群; 8—秦岭群; 9—三叠纪二长花岗岩; 10—早古生代二叠纪石英闪长岩; 11—二叠纪角闪石英二长岩; 12—早古生代二长花岗岩; 13—早古生代英云闪长岩; 14—早古生代石英闪长岩; 15—早古生代辉石岩; 16—岩湾蛇绿岩; 17—地质界线; 18—断裂; 19—商丹构造带; 20—采样点; 21—同位素年龄

1—Donghe Group; 2—Caoliangyi Formation; 3—Sixiakou Formation; 4—Dacaotan Formation; 5—Caotangou Group; 6—Luohansi Formation; 7—Danfeng Group; 8—Qinling Group; 9—Triassic monzonitic granite; 10—Permian granodiorite; 11—Permian quartz monzonite; 12—Early Paleozoic monzonitic granite; 13—Early Paleozoic tonalite; 14—Early Paleozoic quartz diorite; 15—Early Paleozoic pyroxenite; 16—Yanwan ophiolitic melange; 17—broderline; 18—fault; 19—Shangdan suture; 20—Sampling location; 21—age

次有: 早古生代丹凤群、古元古代秦岭群、早古生代草滩沟群及石炭纪草凉驿组; 再往北被宝鸡复式杂岩体侵入占位。唐藏石英闪长岩体位于商丹构造带北侧(图 1), 呈不规则岩株状侵入于早古生代丹凤群火山—沉积岩之中; 岩体面积约 20km^2 ; 与围岩之间呈清楚的侵入接触关系, 局部呈构造接触。岩体边部呈弱的片麻状构造, 片麻理走向与区域北西向主构造线展布方向近于平行; 岩体中发育较多的角闪质暗色包体, 包体形状为透镜状、不规则状, 长轴略呈北西向定向排列, 大小在 $2\sim 20\text{cm}$, 与围岩界线清楚—过渡关系。

唐藏岩体呈灰绿色、块状构造, 糜棱岩化较强, 其中细粒半自形结构, 主要矿物成分: 斜长石呈半自形板状, $An=30$, 为更长石, 具环带构造, 占矿物总量的 $60\%\sim 70\%$; 钾长石呈他形粒状, 为微斜长石和条纹长石, 占矿物总量的 $5\%\sim 10\%$; 石英呈他形粒状, 占矿物总量的 $5\%\sim 10\%$; 暗色矿物为角闪石、黑云母, 占矿物总量的 $5\%\sim 20\%$, 其中角闪石呈半自形柱状, 黑云母呈半自形片状; 副矿物为磁铁矿、锆石; 岩石遭受绢云母化、绿帘石化、绿泥石化、碳酸盐化蚀变。

唐藏岩体形成于早古生代, 该岩体锆石 LA-

ICP-MS $454\pm 1.7\text{Ma}$ 年龄(陈隽璐等, 2008), 与同一地区红花铺英云闪长岩(王洪亮等, 2006)、草滩沟群中基性火山岩(未发表), 及北秦岭东部资峪南沟丹凤群奥长花岗岩形成年龄一致(孙勇等, 1991)。

2 样品采集及分析结果

由岩体边部向岩体内部, 不等间距采集蚀变弱、较新鲜且具代表性的样品进行分析(图 2)。主量元素、微量元素含量测定在西北大学大陆动力学国家重点实验室完成, 主量元素除 FeO 、 LOI 采用标准湿化学法分析外, 其它主量元素测定采用 XRF 方法完成, 精度优于 5% ; 微量元素测定用 ICP-MS 方法完成, Co 、 Ni 、 Zn 、 Ga 、 Rb 、 Y 、 Zr 、 Nb 、 Hf 、 Ta 及 REE (Hf 、 Lu 除外) 等元素分析精度优于 5% , 其它低浓度元素分析精度介于 $5\%\sim 10\%$ 。具体测定方法详见 Gao S. 等(1999), 张成立等(2004)的相关介绍。

3 主量、微量元素特征

3.1 主量元素特征

用以分析的 5 个样品的主量元素分析结果见表 1, 为便于与世界典型地区同类岩石对比, 表 1、表 2 及相关判别图中同时显示了阿留申安山岩

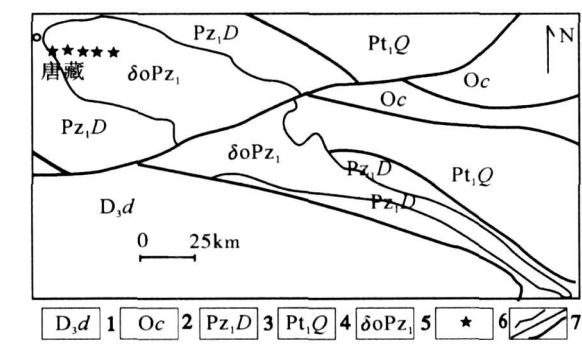


图 2 唐藏岩体地质略图

Fig. 2 Sketch Geologic map of Tangzang quartz-diorite pluton

1—大草滩组; 2—草滩沟群; 3—丹凤群; 4—秦岭群;
5—早古生代石英闪长岩; 6—采样点; 7—岩体界线及断裂
1—Dacaotan Formation; 2—Caotangou Group; 3—Danfeng Group; 4—Qinling Group; 5—Early Paleozoic quartz diorite;
6—sampling location; 7—borderline and fault

(V3841Y2)、西南日本英安岩(Kd6-1)、菲律宾英安岩(P90-20)、新生代埃达克岩(Xn)样品。由表 1 可知,唐藏岩体 SiO₂变化于 62. 02% ~ 64. 26% (≥ 56%), Al₂O₃ 介于 16. 55% ~ 17. 45% (> 15%), Na₂O 介于 4. 99% ~ 6. 91% (> 4. 5 %), Na₂O / K₂O > 1, 与钠质埃达克岩

的主量元素成分一致。MgO = 1. 71% ~ 2. 09%, $Mg^{\#} [Mg^{2+} / (Mg^{2+} + Fe^{total})] = 0. 59 \sim 0. 63 (> 0. 47)$, 应属富 Mg 埃达克岩; A / CNK = 0. 82 ~ 1. 01, σ = 4. 24 ~ 2. 24, 为偏铝质钙碱系列埃达克岩。在 K₂O-SiO₂关系图(图 3)投入钙碱性区。各氧化物百分含量与 SiO₂ 的 Harker 图解显示, CaO、Al₂O₃与 SiO₂含量正相关,其他常量元素含量与 SiO₂呈反消长关系, P₂O₅、K₂O 与 SiO₂ 含量之间缺少相关性(图略)。

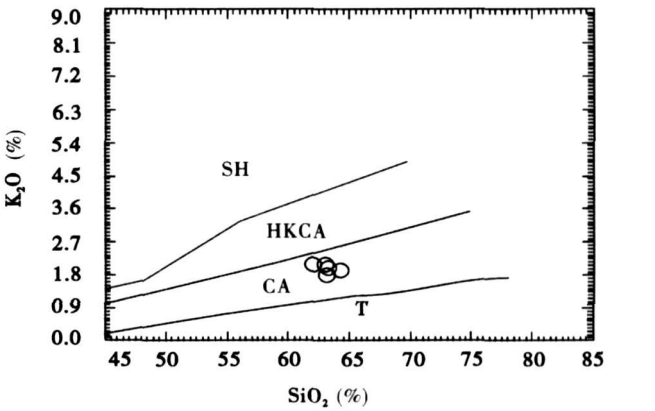


图 3 唐藏岩体 K₂O-SiO₂关系图

Fig. 3 K₂O vs. SiO₂ plots for Tangzang quartz-diorite pluton

表 1 唐藏岩体主量元素分析结果表(%)

Table 1 Main elements data(%) of Tangzang quartz-diorite pluton

地点	唐藏岩体					阿留申安山岩	西南日本英安岩	菲律宾英安岩	新生代埃达克岩
样号	TZ ₁	TZ ₂	TZ ₃	TZ ₄	TZ ₅	V3841Y2	Kd6-1	P90-20	Xn= 140
SiO ₂	63. 25	62. 95	64. 26	62. 02	63. 04	59. 70	64. 01	64. 50	63. 89
TiO ₂	0. 33	0. 45	0. 31	0. 47	0. 38	0. 89	0. 45	0. 38	0. 61
Al ₂ O ₃	17. 38	16. 96	17. 45	16. 55	16. 98	15. 43	16. 54	17. 95	17. 40
FeO	1. 81	2. 37	2. 17	2. 22	1. 98	1. 89			
Fe ₂ O ₃	1. 35	1. 42	1. 14	1. 67	1. 87	1. 65	4. 04	4. 10	
MnO	0. 06	0. 07	0. 06	0. 07	0. 07	0. 04	0. 06	0. 09	0. 08
MgO	1. 71	2. 09	1. 76	1. 93	1. 96	4. 76	1. 93	1. 57	2. 47
CaO	3. 77	3. 72	3. 81	3. 66	4. 16	7. 48	4. 58	5. 18	5. 23
Na ₂ O	5. 90	5. 15	4. 99	6. 91	5. 28	3. 69	4. 12	4. 13	4. 40
K ₂ O	1. 97	2. 07	1. 91	2. 07	1. 77	2. 08	2. 05	1. 24	1. 52
P ₂ O ₅	0. 29	0. 32	0. 29	0. 33	0. 33	0. 39	0. 21	0. 14	0. 19
LOI	1. 53	1. 67	1. 33	2. 30	1. 58	1. 30	97. 99	0. 91	
TOTAL	99. 35	99. 24	99. 48	100. 20	99. 40	99. 30	97. 99	100. 19	100. 77
FeOT	3. 02	3. 64	3. 19	3. 73	3. 66	3. 38	3. 64	3. 69	4. 21
A / CNK	0. 93	0. 97	1. 01	0. 82	0. 93	0. 70	0. 95	1. 02	0. 95
σ	3. 06	2. 61	2. 24	4. 24	2. 48	1. 99	1. 81	1. 34	1. 68
MgO [#]	0. 50	0. 51	0. 50	0. 48	0. 49	0. 72	0. 49	0. 43	0. 51
资料来源	1	1	1	1	1	2	3	4	5

注: 1—TZ₁—TZ₅ 本项目, 西北大学大陆动力学国家重点实验室测定; 2—V3841Y2, 引自 Kay R W. 1978; 3—Kd6-1 引自 Morris P S. 1995; 4—P90-20 引自 Sajona et al, 1994; 5—Xn 引自肖庆辉等, 2002。

表 2 唐藏岩体微量元素分析表(×10⁻⁶)
Table 2 Trace elements data(×10⁻⁶) of Tangzang quartz-diorite pluton

地点	唐藏岩体					阿留申安山岩	西南日本英安岩	菲律宾英安岩	新生代埃达克岩
样号	TZ1	TZ2	TZ3	TZ4	TZ5	V3841Y2	Kd6-1	P90-20	Xn(140个样平均值)
Sc	7.04	7.73	6.93	7.55	8.03	8.90	8.00	9.40	9.10
Co	84.70	87.30	85.30	83.10	85.40	17.00		12.00	13.00
Ni	15.40	17.60	15.80	17.50	17.10	126.00	9.70	21.00	39.00
Cr	28.90	31.10	28.60	30.40	31.70	161.00	20.00	41.00	54.00
Rb	38.90	37.00	27.20	36.50	24.10	13.00	51.40	26.00	30.00
Ba	2031.00	2164.00	2370.00	2476.00	2017.00	320.00	375.00	240.00	485.00
Th	13.20	19.80	11.70	13.00	11.10	2.88	6.70		3.52
U	1.06	1.54	1.25	1.28	1.19	0.97	1.90		0.99
Nb	12.80	14.50	11.20	13.90	13.40		11.60	2.00	8.30
Ta	1.00	1.04	0.79	0.96	0.96	0.23	0.70		0.53
Sr	1257.00	1219.00	1255.00	1069.00	1296.00	2366.00	864.00	464.00	869.00
Zr	161.00	189.00	170.00	161.00	192.00		142.00	58.00	117.00
Hf	1.00	1.04	0.79	0.96	0.96	0.23	0.70		0.53
Y	12.70	13.80	11.60	13.20	13.60		15.20	10.00	9.50
Cs	0.72	0.56	0.56	0.64	0.70	0.09			1.19
La	57.00	88.30	51.10	58.70	50.80	30.30	23.40	6.50	17.55
Ce	111.00	165.00	97.00	114.00	101.00	70.90	41.60	15.00	34.65
Pr	12.10	17.00	10.70	12.30	11.30				
Nd	46.60	61.20	40.70	46.80	44.60	39.80	20.80	8.50	20.14
Sm	7.09	8.29	6.22	7.19	7.14	6.85	2.90		3.15
Eu	1.89	2.04	1.76	1.88	1.89	1.74	0.77	0.50	0.97
Gd	5.22	6.22	4.62	5.38	5.37				2.25
Tb	0.61	0.68	0.54	0.63	0.64	0.48	0.26		0.37
Dy	2.73	3.02	2.47	2.88	2.93			1.50	1.43
Ho	0.48	0.51	0.43	0.49	0.51				
Er	1.20	1.32	1.10	1.26	1.30			1.00	0.76
Tm	0.16	0.18	0.14	0.17	0.17				
Yb	1.02	1.14	0.96	1.09	1.14	0.62	0.55	0.85	0.91
Lu	0.15	0.17	0.14	0.16	0.17	0.07			0.15
ΣREE	247.25	355.07	217.88	252.93	228.96	150.76	90.28	33.85	82.33
LREE/HREE	20.37	25.82	19.95	19.97	17.72	127.85	110.46	9.10	13.03
CeN/YbN	28.15	37.44	26.14	27.05	22.92	29.58	19.56	4.56	9.85
Rb/Sr	0.03	0.03	0.02	0.03	0.02	0.01	0.06	0.06	0.03
La/Nb	4.45	6.09	4.56	4.22	3.79		2.02	3.25	2.11
δEu	0.95	0.87	1.00	0.92	0.93				1.11
Sr/Y	98.98	88.33	108.19	80.98	95.29		56.84	46.40	91.47
La/Yb	55.88	77.46	53.23	53.85	44.56	48.87	42.55	7.65	19.29
Zr/Sm	22.71	22.80	27.33	22.39	26.89		48.97		37.14

注:资料来源,同表1。

3.2 微量元素特征

从表2可见,唐藏岩体各微量元素含量变化较小,Rb=24.1×10⁻⁶~38.9×10⁻⁶,Sr=1069×10⁻⁶~1296×10⁻⁶,Ba=2017×10⁻⁶~2476×10⁻⁶,Y=11.6×10⁻⁶~13.81×10⁻⁶,Nb=11.2×10⁻⁶~13.9×10⁻⁶,Ta=0.79×10⁻⁶~1.04×10⁻⁶。在以原始地幔标准化的微量元素配分曲线图中,大离子亲石元素(LILE)K、Th、Rb、Ba、Sr等富集,高场强元素(HFSE)Ta、Nb、Y、Yb等相对亏损且向右逐渐降低。微量元素含量具俯冲带岩石特

征,其微量元素配分曲线样式与阿留申安山岩(Kay R W. 1978)、西南日本英安岩(Morris P S. 1995)、菲律宾英安岩(Sajona et al, 1994)、新生代埃达克岩(肖庆辉等, 2002)相似(图4)。唐藏岩体稀土总量较高(ΣREE=217.88×10⁻⁶~355.07×10⁻⁶),LREE/HREE=17.72~25.82,轻稀土富集,重稀土亏损,δEu=0.82~1.0,没有或呈弱负Eu异常。稀土元素配分曲线向右陡倾(图5),与所选参考样品稀土配分曲线形式一致。

微量元素的分析表明,唐藏岩体微量元素Sr含

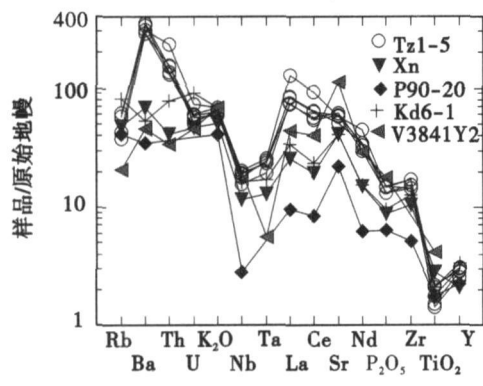


图 4 唐藏岩体微量元素原始地幔标准化蛛网图
(标准化值引自 Sun and McDonough, 1989)

Fig. 4 Primitive mantle-normalized trace element patterns for Tangzang quartz-diorite pluton (Normalized data after Sun and McDonough, 1989)

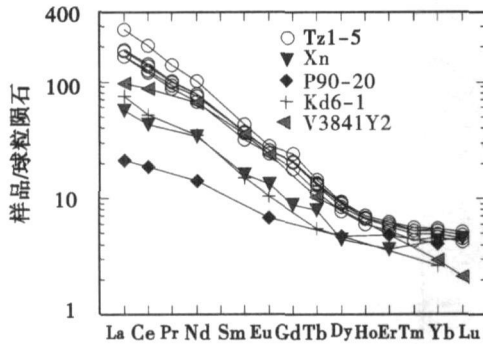


图 5 唐藏岩体稀土元素球粒陨石标准化配分图
(标准化数值据 Boynton 等, 1984)

Fig. 5 Chondrite-normalized REE patterns for Tangzang quartz-diorite pluton (Normalized data after Boynton et al., 1984)

量高, Y、Yb 低, REE 强烈分异, 高场强元素 (HFSE) 强烈亏损, Eu 没有或呈弱的负异常, $La/Yb > 50$, $Sr/Y > 80$, $Zr/Sm > 20$; 与典型的埃达克岩微量元素地球化学特征相似 (Defant and Drummond, 1990, 1993; Stern 等, 1996; 钱青, 2001; 王焰, 2000; 张旗等, 2002a; 董申保, 2004)。在 $Sr/Y-Y$ 图解中 (图 6), 所有样品点落入埃达克岩区域。

4 构造环境及岩石成因讨论

埃达克岩的最初定义为新生代俯冲带中由年轻而热的俯冲板片高压下发生部分熔融形成的一类富 Al_2O_3 、 Na_2O 和高 Sr、低 Y 和 HREE 的中酸性岩石, 其源区的残留相包括辉石、石榴石、角闪石和金红石等 (Defant and Drummond, 1990)。因此, 埃达克岩的产出指示年轻洋壳 (或大洋中脊) 消减带的存在。但随着对埃达克岩研究的不断深入, 非年轻大

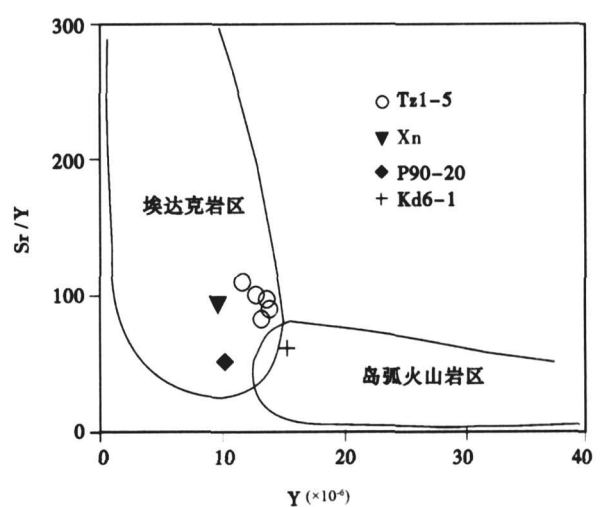


图 6 唐藏岩体 $Sr/Y-Y$ 图解
(引自 Atherton M P 和 Petford N, 1996)

Fig. 6 $Sr/Y-Y$ diagram for Tangzang quartz-diorite pluton (Diagram after Atherton M P and Petford N, 1996)

洋板片俯冲环境同样可以形成具有类似埃达克岩元素地球化学特征的埃达克质岩石 (Smithies, 2000; Martin, 1999; Xu et al., 2000, 2002)。除新生代俯冲带中俯冲板片部分熔融的成因外, 这类岩石还可以由某些老洋壳 (大于 40Ma) 俯冲过程中的部分熔融或地幔中残留消减板片的部分熔融形成, 或形成于与板片俯冲无关的碰撞造山带、大陆板内或活动大陆边缘等环境。总之埃达克质岩石是玄武质的源区岩石在相当于榴辉岩相的条件下发生部分熔融形成的, 并在源区残留石榴石-角闪石等矿物。

张旗 (2001, 2002a)、Kay 等 (2002) 根据埃达克岩化学成分的差异及其产出的大地构造环境的不同, 将埃达克岩划分为 O 型和 C 型, 前者是以 MORB 为源岩的消减挤压板块发生部分熔融的产物 (Defant 等, 1990), K_2O 含量低, 平均不超过 1.72%; 后者主要出现于大陆地区, 或形成于活动陆缘地壳加厚地区, 板块碰撞导致的地壳加厚地区和高原底部等环境 (Peacock S M et al., 1994; Petford N et al., 1996; Sheppard S et al., 2001; Atherton M P et al., 1993; Rapp R P et al., 2001), K_2O 的含量显著偏高, 一般介于 2.9%~3.9% 以上。唐藏石英闪长岩除符合埃达克岩所有的主量和微量元素条件外, 另一显著特点就是 K_2O 含量低, 一般小于 2.07%, 应属 O 型埃达克岩, 形成于俯冲环境, 结合该埃达克岩形成时代为早古生代 (454Ma), 并与早古生代岛弧火山岩系密切共生的特点, 有理由认为

其源岩浆为早古生代消减大洋板片(类似于 MORB 成分)部分熔融的产物。

埃达克岩 $Mg^\#$ 大小可以比较灵敏的反映埃达克质源岩浆是否受到地幔物质的混染(Martin H, 1993; Smithies R H, 2000), 实验岩石学研究表明玄武岩部分熔融产生的熔体 $Mg^\#$ 一般小于 0.45 (Rapp et al., 1997), $Mg^\#$ 大于 0.45 的高 $Mg^\#$ 埃达克岩可能是初始埃达克质源岩浆与俯冲带上面的楔型地幔橄榄岩之间发生了反应的缘故(Kay R W, 1993; Kay S M, 1993; Sajona F G, 1994; 邓晋福等, 2004; Martin, 1999)。唐藏岩体 $Mg^\# > 0.5$, $Ni > 15 \times 10^{-6}$, $Cr > 28 \times 10^{-6}$, 与典型高镁埃达克岩一致而有别于正常岛弧安山岩(Kushiro I, 1990; Arculus R J, 1994; 张旗, 2004), 因此唐藏石英闪长岩体源岩为俯冲的洋壳, 为低钾拉斑玄武岩或 MORB, 源岩发生部分熔融后形成的初始埃达克质岩浆在向上迁移的过程中与上覆地幔楔发生反应, 造成岩浆 $Mg^\#$ 升高, Cr, Ni 含量变高。

为进一步佐证唐藏岩体源岩性质, 采用图 7、8 进行投点分析, 所投各样品均落入变质火山岩部分熔融区域, 与参考样品一致。在图 9 中, 样品投入板片来源的埃达克岩及地壳来源的埃达克岩重叠区域, 与阿留申安山岩、安第斯安山岩、菲律宾英安岩相似, 而略别于新生代埃达克岩, 总体说明唐藏岩体源岩来自于俯冲板片熔融, 与阿留申安山岩、安第斯安山岩、菲律宾英安岩、新生代埃达克岩形成构造环境相似。

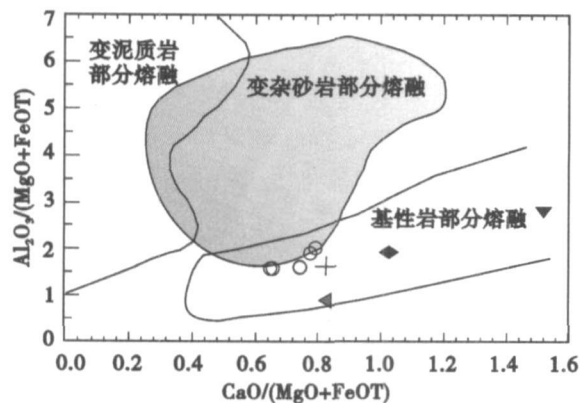


图 7 唐藏岩体 $[Al_2O_3/(FeOT + MgO)]_{mol} - [CaO/(MgO + FeOT)]_{mol}$ 图解(引自 Alther R, et al, 2000; 图例同图 4)

Fig. 7 $[Al_2O_3/(FeOT + MgO)]_{mol} - [CaO/(MgO + FeOT)]_{mol}$ diagram for Tangzang quartz-diorite pluton (after Alther R, et al, 2000; Samples are as same as Fig. 4)

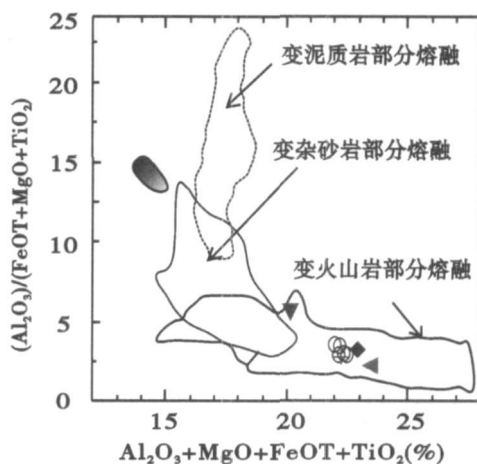


图 8 唐藏岩体 $Al_2O_3/(FeOT + MgO + TiO_2) - (Al_2O_3 + FeOT + MgO + TiO_2)$ 图解(引自 Pati no Douce, 1999, 图例同图 4)

Fig. 8 $Al_2O_3/(FeOT + MgO + TiO_2) - (Al_2O_3 + FeOT + MgO + TiO_2)$ plots for Tangzang quartz-diorite pluton(after Pati no Douce, 1999; samples are as same as Fig. 4)

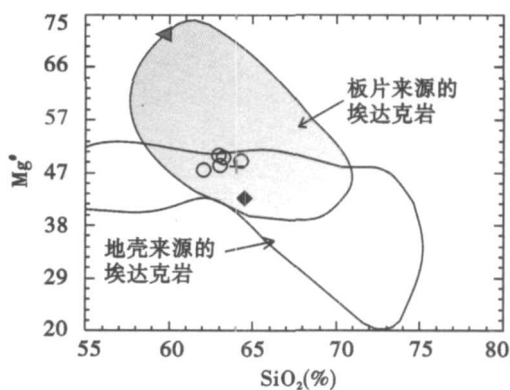


图 9 唐藏岩体 $Mg^\# - SiO_2$ 图解
(据 Sheppard 等, 2000; 图例同图 4)

Fig. 9 $Mg^\# - W(SiO_2)$ diagram for Tangzang quartz-diorite pluton(after Sheppard et al, 2000; samples are as same as Fig. 4)

5 地质意义

近年来地质大调查发现, 沿商丹构造带在北秦岭西段的天水关子镇、凤县岩湾、太白县鹦鸽嘴一带发育早古生代蛇绿混杂岩及 MORB 型玄武岩, 为早古生代商丹洋盆存在的地质记录。其中关子镇蛇绿混杂岩形成年龄为 $544 \pm 47 Ma$ (全岩 Sm-Nd 等时线)(裴先治等, 2004) - $471 \pm 1.4 Ma$ (锆石 LA-ICP-MS, 杨钊等, 2006); 岩湾蛇绿混杂岩形成年龄为 $483 Ma$ (陈隽璐等, 另文发表), 黑河地区侵入于早古生代 N-MORB 玄武岩的淡色花岗岩锆石 SHRIMP

U-Pb 年龄 $442 \pm 7 \text{ Ma}$ (闫全人等, 2007); 北秦岭造山带东部具埃达克岩性质的灰池子岩体形成时代为 $450 \sim 486 \text{ Ma}$ (张宏飞等, 1996, 陈能松等, 1991)。唐藏石英闪长岩体为埃达克质岩石的厘定再次证明早古生代时期沿商丹一线存在的商丹洋盆, 以及洋盆演化过程中发生了向北的俯冲消减作用。

北秦岭已有埃达克岩报道, 均出露于北秦岭东部地区, 可分为三期。一期为新元古代埃达克岩, 如商南岩体、吊庄岩体, 为新元古代俯冲洋壳板片部分熔融产物 (裴先治等, 2003); 二期为早古生代埃达克岩, 已报道有灰池子复式花岗岩体, 为新元古代底侵于下地壳的玄武岩石部分熔融的产物 (李伍平等, 2001); 三期为印支-燕山期埃达克岩, 已在西秦岭夏河-礼县地区 (金维浚等, 2005)、留坝县西坝地区 (张成立等, 2002) 有报道, 前者形成于板块消减的活动大陆环境, 为特提斯洋俯冲板片部分熔融产物 (金维浚等, 2005); 后者代表扬子与华北两大板块主碰撞造山带壳增厚背景下的下地壳部分熔融的产物, 指示秦岭地区燕山期可能发生了下地壳拆沉作用 (张成立等, 2002)。唐藏岩体为早古生代埃达克岩, 其成因机制不同于早古生代灰池子岩体, 它侵入于早古生代丹凤群岛弧火山沉积岩系之中, 形成于俯冲作用的早中期阶段, 其岩浆是古丹凤洋壳俯冲板片部分熔融的源岩浆与楔型地幔橄榄岩发生反应的产物, 对北秦岭地区早古生代洋陆转化历史具有重要的指示意义。秦岭地区三期不同成因的埃达克质岩石提供了不同地质历史时期秦岭地壳的增生方式、造山作用性质及壳幔相互作用信息, 深入研究埃达克质岩石可为进一步研究秦岭造山带构造演化及其地球动力学机制提供新的资料, 获得新的成果。

6 结论

主量和微量元素地球化学特征显示唐藏岩体为典型的埃达克质岩石, 其 $\text{Mg}^\# > 0.5$, $\text{Ni} > 15 \times 10^{-6}$, $\text{Cr} > 28 \times 10^{-6}$, 具高镁埃达克岩 (II 型) 特点, 其源岩浆为早古生代俯冲的商丹洋壳板片部分熔融的产物, 该源岩浆与地幔楔发生反应的产物形成了唐藏埃达克岩岩浆。

唐藏埃达克质岩石形成于早古生代 (454 Ma), 构造环境为岛弧环境, 即洋壳俯冲作用的早中期。该埃达克质岩石的厘定, 为早古生代商丹洋盆及其洋壳板片俯冲作用的存在提供了新依据, 也为早古生代北秦岭造山带构造体制、构造格局及演化历史提供了新的资料。

致谢: 野外工作得到陕西省区域地质矿产研究院陈家义教授级高工、李海平教授级高工、张占武高工及 1: 25 万宝鸡市幅区调项目其他同志的鼎力帮助, 郝梓国研究员对文稿审阅提出了建设性意见, 谨致谢忱!

参 考 文 献

- 陈能松, 韩郁菁, 游振东, 等. 1991. 豫西东秦岭造山带核部杂岩全岩 Sm-Nd, Rb-Sr 和单晶锆石 ^{207}Pb - ^{206}Pb 计时及其地壳演化. 地球化学, 3: 219~228.
- 陈隽璐, 徐学义, 王洪亮, 等. 2008. 北秦岭西段唐藏岩体形成时代及地质意义. 现代地质, 22(1): 45~52.
- 董申保. 1986. 中国变质作用及其地质演化的关系. 北京: 地质出版社.
- 董申保, 田伟. 2004. 埃达克岩的原义、特征与成因. 地质前缘 (中国地质大学, 北京), 11(4): 585~594.
- 邓晋福, 罗照华, 苏尚国, 等. 2004. 岩石成因、构造环境与成矿作用. 北京: 地质出版社.
- 金维浚, 张旗, 何登发, 等. 2005. 西秦岭埃达克岩的 SHRIMP 定年及意义. 岩石学报, 21(3): 959~966.
- 李伍平, 王涛, 王晓霞. 2001. 北秦岭灰池子花岗岩复式岩体的源岩讨论——元素一同位素地球化学制约. 地球科学——中国地质大学学报, 26(3): 269~278.
- 罗照华, 柯珊, 谏宏伟. 2002. 埃达克岩的特征、成因及构造意义. 地质通报, 21(7): 436~440.
- 裴先治. 1997. 东秦岭商丹构造带的组成与构造演化. 西安: 西安地图出版社.
- 裴先治, 王涛, 丁仁平, 等. 2003. 东秦岭商丹带北侧新元古代埃达克质花岗岩及其地质特征. 中国地质, 30(4): 372~381.
- 裴先治, 丁仁平, 胡波, 等. 2004. 西秦岭天水地区关子镇蛇绿岩的厘定及其意义. 地质通报, 23(12): 1202~1208.
- 钱青. 2001. Adakite 的地球化学特征及成因. 岩石矿物学杂志, 20(3): 297~306.
- 任纪舜, 牛宝贵, 刘志刚. 1999. 软碰撞、叠覆造山和多旋回缝合作用. 地质前缘, 6(3): 85~93.
- 孙勇, 于在平. 1991. 夭折了的东秦岭加里东运动. 见: 叶连俊, 等主编. 秦岭造山带学术讨论会论文集. 西安: 西北大学出版社, 167~173.
- 王洪亮, 何世平, 陈隽璐, 等. 2006. 北秦岭西段红花铺俯冲型侵入体 LA-ICPMS 定年及其地质意义. 现代地质, 20(4): 536~544.
- 王焰, 张旗, 钱青. 2000. 埃达克岩 (adakite) 的地球化学特征及其构造意义. 地质科学, 35(2): 251~256.
- 王宗起, 王涛, 闫臻, 等. 2002. 秦岭晚古生代弧前增生的背驮型盆地体系. 地质通报, 21(8-9): 456~464.
- 肖庆辉, 邓晋福, 马达栓, 等. 2002. 花岗岩研究思维与方法. 北京: 地质出版社.
- 许志琴, 卢一伦, 汤耀庆, 等. 1988. 东秦岭复合山链的形成—变形、演化及板块动力学. 北京: 中国环境科学出版社.
- 闫全人, 陈隽璐, 王宗起, 等. 2007. 北秦岭小王洞枕状熔岩中淡色侵入岩的地球化学特征、SHRIMP 年龄及地质意义. 中国科学 (D 辑): 地球科学, 37(10): 1301~1313.

- 杨志华. 1991. 秦岭造山带的构造格架及有关问题的讨论. 引自: 秦岭造山带学术讨论会论文集. 西安: 西北大学出版社.
- 杨钊, 董云鹏, 柳小明, 等. 2006. 西秦岭天水地区关子镇蛇绿岩锆石 LA-ICP-MS U-Pb 定年. 地质通报, 25(11): 1321~ 1125.
- 张本仁, 高山, 张宏飞, 等. 2002. 秦岭造山带地球化学. 北京: 科学出版社.
- 张传林, 董永观, 杨志华. 2000. 秦岭晋宁期的两条蛇绿岩带及其对秦岭—大别构造演化的制约. 地质学报, 74(4): 313~ 324.
- 张成立, 罗静兰. 2002. 东秦岭西坝花岗岩体及花岗斑岩脉的地球化学特征及其地质意义. 见: 埃达克岩及其地球动力学意义学术讨论会文摘. 北京: 中国科学院地质与地球物理研究所, 73~ 76.
- 张成立, 刘良, 张国伟, 等. 2004. 北秦岭新元古代后碰撞花岗岩的确定及其构造意义. 地学前缘(中国地质大学. 北京), 11(3): 33~ 42.
- 张宏飞, 骆庭川, 张本仁. 1996. 北秦岭漂池岩体的源区特征及其形成的构造环境. 地质论评, 42(3): 209~ 241.
- 张国伟, 张本仁, 袁学诚, 等. 2001. 秦岭造山带与大陆动力学. 北京: 科学出版社.
- 张旗, 王焰, 钱青, 等. 2001. 中国东部燕山期埃达克岩的特征及其构造—成矿意义. 岩石学报, 17: 236 ~ 244.
- 张旗, 王焰, 刘伟, 等. 2002a. 埃达克岩的特征及其意义. 地质通报, 21(7): 431~ 435.
- 张旗, 许继峰, 王焰, 等. 2004. 埃达克岩的多样性. 地质通报, 23(9-10): 959~ 965.
- 张维吉, 王全庆, 胡能高, 等. 1996. 东秦岭地质走廊研究. 西安: 陕西科学技术出版社, 1~ 283.
- 张宗清, 张国伟, 刘敦一, 等. 2006. 秦岭造山带蛇绿岩、花岗岩和碎屑沉积岩同位素年代学和地球化学. 北京, 地质出版社.
- Alther R, Holl A, Hegner E, et al. 2000. High-potassium, calc-alkaline I-type plutonism in the European Variscides: northern Vosges (France) and north Schwarzwald (Germany). Lithos, 50: 51~ 73.
- Arculus R J. 1994. Aspects of magma genesis in aces. Lithos, 33: 189~ 208.
- Atherton M P, Pertord N. 1993. Generation of sodium-rich magmas from newly undeplicated basaltic crust. Nature, 362: 144~ 146.
- Atherton M P, Petford N. 1996. Plutonism and the growth of Andean crust at 9°S from 100 to 3 Ma. J. South Am. Earth Sci., 9: 1~ 9.
- Chen Junlu, Xu Xueyi, Wang Hongliang, et al. 2008. LA-ICP-MS dating of zircon U-Pb and tectonic significance of Tangzang quartz-diorite pluton in the west segment of Northern Qinling Mountains. Geoscience, 22(1): 45~ 52 (in Chinese with English abstract).
- Chen Nengsong, Han Yuqing, You Zhendong, et al. 1991. Whole-rock Sm-Nd, Rb-Sr and single grain zircon ^{207}Pb - ^{206}Pb dating of complex rocks from the interior of the Qinling Orogenic Belt, Western Henan and its evolution. Geochemica, 3: 219~ 227 (in Chinese).
- Defant M J, Drummond M S. 1990. Derivation of some modern arc magmas by melting of young subduction lithosphere. Nature, 346: 662~ 665.
- Defant M J, Drummond M S. 1993. Mount St. Helens: potential example of partial melting of subducted lithosphere in a volcanic arc. Geology, 21: 547~ 550.
- Deng Jinfu, Luo Zhaohua, Su Shangguo, et al. 2004. Rock cause of formation and tectonic condition, mine effect. Beijing: Geological Publishing House.
- Dong Shenbao Tian Wei. 2004. The nomenclature, characteristics and petrogenesis of adakite. Earth Science Frontiers (China University of Geosciences, Beijing), 11(4): 585~ 594 (in Chinese with English abstract).
- Dong Shenbao. 1986. The metamorphism and its geological evolution of China. Beijing: Geology Press. 1986 (in Chinese).
- Drummond M S, Defant M J. 1990. A model for trondhjemite-tonalite-dacite genesis and crustal growth via slab melting: Archean to modern comparisons. J. Geophys. Res., 95(B13): 21503~ 21521.
- Gao S, Ling W, Qin Y, et al. 1999. Contrasting geochemical and Sm-Nd isotopic compositions of Archean metasediments from the Kongling high-grade terrain of the Yangtze craton: Evidence for cratonic evolution and redistribution of REE during crustal anatexis. Geochim Cosmochim Acta, 63: 2071~ 2088.
- Jin Weijun, Zhang Qi, He Dengfa, et al. 2005. SHRIMP dating of adakites in western Qinling and their implications. Acta Petrologica Sinica, 21(3): 959~ 966 (in Chinese with English abstract).
- Kay R W, Kay S M. 2002. Andean adakites: Three ways to make them. Acta Petrologica Sinica, 18: 303 ~ 311.
- Kay R W, Kay S M. 1993. Delamination and delamination magmatism. Tectonophysics, 19: 177~ 189.
- Kay R W. 1978. Alutian magnesian andesites: melt from subduction Pacific ocean crust. J. Vol. geotherm. Res., 4: 117~ 132.
- Kay S M, Ramos V A, Marques M. 1993. Evidence in Cerro Pampa Volcanic Rocks for Slab-Melting Prior to Ridge-Trench Collision in Southern South America. J. Geol., 101: 703~ 714.
- Kushiro I. 1990. Partial melting of mantle wedge and evolution of island arc crust. J. Geophys. Res., 95: 15929~ 15939.
- Li Wuping, Wang Tao, Wang Xiaoxia. 2001. Source of Huichazi granitoid complex pluton in Northern Qinling, central China: constrained in element and isotopic geochemistry. Earth Science Journal of China university of Geosciences, 26(3): 269~ 278 (in Chinese with English abstract).
- Luo Zhaohua, Ke Shan, Chen Hongwei. 2002. Characteristics, petrogenesis and tectonic implications of adakite. Geological bulletin of China, 21(7): 436~ 440 (in Chinese with English abstract).
- Martin H. 1999. Adakitic magmas: modern analogues of Archean granitoids. Lithos, 46: 411~ 429.
- Martin H. 1993. The mechanisms of petrogenesis of the Archean continental crust—comparison with modern processes. Lithos, 30: 373~ 388.
- Morris P S. 1995. Slab melting as an explanation of Quaternary volcanism and aseismicity in southwest Japan. Geology, 23: 395

- ~ 398.
- Patiño Douce A. E. 1999. What do experiments tell us about the relative contributions of crust and mantle to the origin of granitic magmas? In *Understanding Granites: Integrating New and Classical Techniques* (eds A. Castro, C. Fernandez and J. L. Vigneresse), 55~ 75. Geological Society of London, Special Publication no. 168.
- Peacock S. M., Rushmer T., Thompson A. B. 1994. Partial melting of subducting oceanic crust. *Earth Planet. Sci. Lett.*, 121: 227~ 244.
- Pei Xianzhi, Ding Sanping, Hu Bo, 2004. Definition of the Guanzizhen ophiolite in Tianshui area, west Qinling, and its geological significance. *Geological Bulletin of China*, 23 (12): 1202~ 1208 (in Chinese with English abstract).
- Pei Xianzhi, Wang Tao, Ding Saping et al. 2003. Geochemical characteristics and geological significance of Neoproterozoic adakitic granitoids on the north side of the Shangdan zone in the East Qinling. *Geology in China*, 30 (4): 372~ 381 (in Chinese with English abstract).
- Pei Xianzhi. 1997. Composition and Tectonic Evolution of the Shangdan Structural Zone in the East Qinling, China. *Xian: Xian Cartographic Publishing House* (in Chinese).
- Petford N., Atherton M. 1996. Na-rich partial melts from newly underplated basaltic crust: the Cordillera Blanca Batholith, Peru. *J. Petro.*, 37: 1491~ 1521.
- Qian Qing. 2001. Adakite: geochemical characteristics and genesis. *Acta Petrologica et mineralogica*, 20 (3): 297~ 306 (in Chinese with English abstract).
- Rapp P. R., Shimizu N., Norman M. D., Applegate G. S. 1997. Reaction between slab-derived melts and peridotite in the mantle wedge: experimental constraints at 3.8 GPa. *Chem. Geol.*, 160: 335~ 356.
- Rapp P. R. 2001. A review of experimental constraints on adakite petrogenesis. in: *Symposium on adakite-like rocks and their geodynamic significance* (abstract). Beijing, China, 10~ 12.
- Ren Jishun, Niu Baogui, Liu Zhigang. 1999. Soft collision, superposition orogeny and polycyclic suturing. *Earth Science Frontiers*, 6 (3): 85~ 93 (in Chinese with English abstract).
- Sajona F. G., Bellon H., Maury R. C., et al. 1994. Magmatic response to abrupt changes in geodynamic settings: Pliocene-Quaternary calc-alkaline and Nb-enriched lavas from Mindanao (Philippines). *Tectonophysics*, 237: 47~ 72.
- Sheppard S., Griffin T. J., Tyler, et al. 2001. High- and low-K granites and adakites at a Paleoproterozoic plate boundary in northwestern Australia. *J. Geol. Soc. London*, 158: 547~ 560.
- Smithies R. H. 2000. The Archaean tonalite-trondhjemite-granodiorite (TTG) series is not an analogue of Cenozoic adakite. *Earth planet Sci Lett*, 182: 115~ 125.
- Stern C. R., Kilian R. 1996. Role of the subducted slab, mantle wedge and continental crust in the generation of adakites from the Austral volcanic zone. *Contrib Miner Petrol*, 123: 263~ 281.
- Sun Yong, Yu Zaiping. 1991. The aborted Caledon movement of the east Qinling. In: *Ye Lianjun, A selection of Papers presented at the Conference on the Qinling Orogenic Belt*. Xi'an: Northwest University Press, 167~ 173 (in Chinese).
- Wang Hongliang, He Shiping, Chen Junlu, et al. 2006. LA-ICPMS Dating of Zircon U-Pb and Tectonic Significance of Honghuapu Subduction-Related intrusions in the West Segment of Northern Qinling Mountains. *Geoscience*, 20 (4): 536~ 544 (in Chinese with English abstract).
- Wang Yan, Zhang Qi, Qian Qing. 2000. Adakite: geochemical characteristics and tectonic significances. *Scientia geologica sinica*, 35 (2): 251~ 256 (in Chinese with English abstract).
- Wang Zongqi, Wang Tao, Yan Zhen, et al. 2002. Late Paleozoic forearc accretionary piggyback type basin system in the South Qinling, Central China. *Geological Bulletin of China*, (8-9): 456~ 464 (in Chinese with English abstract).
- Xiao Qinghui, Deng Jinfu, Ma Daquan, et al. 2002. The ways of investigation on granitoids. Beijing: Geological Publishing House, (in Chinese).
- Xu J. F., Shinjo R., Defant M. J., et al. 2002. Origin of Mesozoic adakitic intrusive rocks in the Ningzhen area of east China: Partial melting of delaminated lower continental crust?. *Geology*, 30: 1111~ 1114.
- Xu J. F., Wang Q., Yu X. Y. 2000. Geochemistry of high-Mg andesites and adakitic andesite from the Sanchi block of the Miaolue ophiolitic melange in the Qinling Mountains, Central China: Evidence of partial melting of the subducted Paleozoic Tethyan crust. *Geochemical Journal*, 34: 359~ 377.
- Xu Zhiqing, Lu Yilun, Tang Yaoqing, et al. 1988. The formation, metamorphose, evolution and plate dynamics of the east Qinling complex mountain chain. Beijing: China environment science press, (in Chinese).
- Yang Zhao, Dong Yunpeng, Liu Xiaoming, et al. 2006. LA-ICP-MS zircon U-Pb dating of gabbro in the Guanzizhen ophiolite, Tianshui, West Qinling, China. *Geological Bulletin of China*, 25 (11): 1321~ 1325 (in Chinese with English abstract).
- Yang Zhihua. 1991. The tectonic and related problem of Qinling orogenic. A selection of Papers presented at the Conference on the Qinling Orogenic Belt. Xi'an: Northwest University Press, (in Chinese).
- Zhang Benren, Gao Shan, Zhang Hongfei, et al. 2002. Geochemistry of Qinling Orogenic Belt. Beijing: Science press, (in Chinese).
- Zhang Chanlin, Dong Yongguan, Yang Zhihua. 2000. Two Ophiolite Belts in the Qinling Orogen and Their Constraints on the Tectonic Evolution of the Qinling-Dabie Orogen. *Acta Geologica Sinica*, 74 (4): 313~ 324 (in Chinese with English abstract).
- Zhang Chengli, Liu Liang, Zhang Guowei, et al. 2004. Determination of Neoproterozoic post collisional granites in the north Qinling Mountains and its tectonic significance. *Earth Science Frontiers* (China University of Geosciences, Beijing), 11 (3): 33~ 42 (in Chinese with English abstract).
- Zhang Chengli, Luo Jinglan. 2001. Geochemical characters and geological significance of Xiba granite and granite porphyry in

- East Qinling. In: Abstracts of Symposium on Adakite-like Rocks and Their Geodynamic Significance. Beijing: Institute of Geology and Geophysics, Chinese Academy of Sciences, 73~76 (in Chinese).
- Zhang Guowei, Zheng Benren, Yuan Xuecheng, et al. 2001. Qinling Orogenic belt and continental dynamics. Beijing: Science Press (in Chinese).
- Zhang Hongfei, Luo Tingchuan, Zhang Benren. 1996. The source and tectonic setting of the Piaoichi batholith in the north Qinling. *Geological Review*, 42 (3): 210~214 (in Chinese).
- Zhang Q, Wang Y, Qian Q, et al. 2001. The characteristics and tectonic-metallogenic significances of the Mesozoic adakites in eastern China. *Acta Petrol Sinica*, 17: 236~244 (in Chinese with English abstract).
- Zhang Qi, Wang Yan, Liu Wei, et al. 2002a. Adakite: Its characteristics and implications. *Geological bulletin of China*, 21 (7): 431~435 (in Chinese with English abstract).
- Zhang Qi, Xu Jifeng, Wang Yan, et al. 2004. Diversity of adakite. *Geological bulletin of China*, 23 (9-10): 959~965 (in Chinese with English abstract).
- Zhang Weijie, Meng Xianxun, Hu Jianmin, et al. 1996. Tectonics in the joint of Qilian and North Qinling orogenic belts and their orogenic processes. Xi'an: Northwest University Press, 1~283 (in Chinese).
- Zhang Zongqing, Zhang Guowei, Liu Dunyi, et al. 2006. Isotopic geochronology and geochemistry of ophiolites, granitoidlastic sedimentary rocks in the Qinling orogenic belt. Beijing, Geological Publishing House (in Chinese).

Geochemical Characteristics and Petrogenesis of Early Paleozoic Adakitic Rock in the West Segment of North Qinling

CHEN Junlu^{1,2)}, XU Xueyi¹⁾, WANG Hongliang^{1,4)}, WANG Zongqi³⁾,
ZENG Zuoxun²⁾, LI Ping¹⁾, WANG Chao¹⁾

1) *Xian Institute of Geology and Mineral Resources, CGS, Xi'an, 710054;* 2) *Faculty of Earth Science, China University of Geosciences, Wuhan, 430074;* 3) *Institute of Geology, Chinese Academy of Geological Sciences, Beijing, 100037;*
4) *Northwest University, Xi'an, 710069*

Abstract

The Tangzang quartz diorite pluton, distributed in the western part of North Qinling and intruding into the volcano sedimentary rocks of Paleozoic Danfeng Group, is consist mainly of plagioclase, amphibole, quartz, alkali feldspar and biotite with the form age of 454Ma. Major and trace elements studies show that the pluton is characterized by typical adakite features with $\text{SiO}_2 = 62.02\% \sim 64.26\%$; $\text{Al}_2\text{O}_3 = 16.55\% \sim 17.45\%$, $\text{MgO} = 1.71\% \sim 2.09\%$, $\text{Sr} = (1069 \sim 1296) \times 10^{-6} (> 400 \times 10^{-6})$, $\text{Y} = (11.6 \sim 13.81) \times 10^{-6} (< 18 \times 10^{-6})$, $\text{Yb} = (0.96 \sim 1.14) \times 10^{-6} (< 1.9 \times 10^{-6})$, $\text{Sr/Y} = 80.98 \sim 108.19 (> 40)$, enriched LREE and depleted HREE, lack negative Eu anomalies ($\text{LREE/HREE} = 17.72 \sim 25.82$; $\text{La}_N/\text{Yb}_N = 44.56 \sim 53.85$; $\delta\text{Eu} = 0.82 \sim 1.0$). Primitive mantle normalized trace elements patterns reveal that LILE (K, Th, Rb, Ba, Sr) is enriched, but HFSE (Ta, Nb, Y, Yb) are depleted compared with adjacent elements, which is similar to that of typical adakite. The research also showed that the pluton is characterized with $\text{f Na}_2\text{O} (4.99\% \sim 6.91\%)$, $\text{Na}_2\text{O} > \text{K}_2\text{O}$, $\text{Mg}^\# (0.59 \sim 0.63)$, $\text{A/CNK} (0.82 \sim 1.01)$ and $\sigma (4.24 \sim 2.24)$, suggesting that the Tangzang quartz diorite pluton belongs to Na-rich, magnesium adakitic rocks. Parent magma of the adakitic rocks originated from partial melting of the subducted ocean slab of the Qinglin Shangdan oceanic plate toward north, and reacted with the mantle when twhen the magma was ascending. The discovery of the Tangznag adakitic rocks in the west segment of North Qinling provides new evidence for studying Paleozoic tectonic evolution in Qinling Mts.

Key words: Adakitic rocks; quartz-diorite pluton; geochemistry characteristics; petrogenesis; west segment of North Qinling