南秦岭地区花桥富碱辉长岩地球化学特征及其含矿性

王 伟[1],宿晓虹[1],荆 平[2],李智明[1],宋忠宝[1],孙 健[2],全守村[1],
李宗会[1],郭周平[1],李天虎[1],罗小平[1],张 欣[1],彭桥梁[1]
WANG Wei[1], SU Xiao-hong[1], JING Ping[2], LI Zhi-ming[1], SONG Zhong-bao[1],
SUN Jian[2], QUAN Shou-cun[1], LI Zong-hui[1], GUO Zhou-ping[1],
LI Tian-hu[1], LUO Xiao-ping[1], Zhang Xin[1], PENG Qiao-liang[1]

1. 中国地质调查局西安地质调查中心,陕西 西安 710054;
2. 陕西省地质矿产勘查开发局第一地质队,陕西 安康 725000
1. *Xi'an Center of Geological Survey, China Geological Survey, Xi'an 710054, Shaanxi, China;*
2. *The 1st Geological Team of Shaanxi Bureau of Geology and Mineral Resources Exploration and Development, Ankang 725000, Shaanxi, China*

摘要:南秦岭花桥钛磁铁矿床赋矿岩石为富碱辉长岩,含矿岩相主要为黑云母辉石岩,岩石由含钛普通辉石和黑云母组成。含矿辉长岩体属典型钠质型碱性岩类,$Na_2O>K_2O$,Na_2O/K_2O 值在 2.55~5.23 之间,碱度率在 1.24~1.29 之间,MgO 含量为 5.32%~6.74%,TiO_2 含量为 3.82%~5.84%,Al_2O_3 含量为 13.27%~15.06%;属富铁质系列,m/f 值为 0.37~0.56。在 $FeO-MgO-Al_2O_3$ 图解上判别为大陆板内环境。稀土元素总量相对较高,轻稀土元素富集显著,有弱的正 Eu 异常。花桥钛磁铁矿矿石具有富 Fe、Ti、MgO 和 SiO_2 不饱和的特点;矿石矿物钛磁铁矿 TiO_2 含量 0.415%~23.69%,FeO 含量为 69.7%~96.18%,Cr_2O_3 含量为 0.062%~0.761%。研究表明,南秦岭花桥钛磁铁矿是扬子陆块北缘早古生代幔源低程度部分熔融产物上侵分凝成矿作用的产物。

关键词:南秦岭;富碱辉长岩;钛磁铁矿床;地球化学特征
中图分类号:P588.12+4; P595 **文献标志码**:A **文章编号**:1671-2552(2012)07-1184-08

Wang W, Su X H, Jing P, Li Z M, Song Z B, Sun J, Quan S C, Li Z H, Guo Z P, Li T H, Luo X P, Zhang X, Peng Q L. Geological and geochemical characteristics and ore-bearing potential of alkali-rich gabbro in Huaqiao, southern Qinling area. *Geological Bulletin of China,* 2012,31(7):1184-1191

Abstract: The ore-bearing rock of the Huaqiao titanomagnetite deposit in southern Qinling area is alkali-rich gabbro, and its ore-bearing petrofacies is mainly biotite-pyroxenolite composed of titaniferous augite and biotite. The ore-bearing gabbro belongs to typical agpaitic alkaline rock, in which $Na_2O>K_2O$, Na_2O/K_2O is 2.55~5.23, alkalinity ratio (AR) is 1.24~1.29, MgO is 5.32%~6.74%, TiO_2 is 3.82%~5.84%, Al_2O_3 is 13.27%~15.06%, and m/f=0.37~0.56, belonging to ferruginous rock. It occurred in an intraplate environment, as judged by the $FeO-MgO-Al_2O_3$ graphical method. The Huaqiao alkali-rich gabbro is also characterized by a relatively high total REE content and a marked enrichment of LREE as well as weak Eu anomaly. The titanomagnetite ores in Huaqiao are enriched in Fe, Ti and MgO, but its SiO_2 is unsaturated. In the magnetite, TiO_2 is 0.415%~23.69%, FeO is 69.7%~96.18%, and Cr_2O_3 is 0.062%~0.761%. All these characteristics show that the Huaqiao titanomagnetite deposit resulted from magmatic segregation and mineralization of the low-degree partial fusing product of mantle source material on the northern edge of the Yangtze block in the early Paleozoic period.

Key words: southern Qinling; alkali-rich gabbro; titanomagnetite deposit; geochemical characteristics

收稿日期:2011-09-19;**修订日期**:2012-02-08
资助项目:中国地质调查局项目《陕西平利—镇坪地区矿产远景调查》(编号:1212011085107)
作者简介:王伟(1979-),男,硕士,助理研究员,从事矿床学和区域成矿规律研究。E-mail: xawwei_2004@sina.com
© 1994-2012 China Academic Journal Electronic Publishing House. All rights reserved. http://www.cnki.net

南秦岭紫阳—岚皋—平利—镇坪一带的早古生代浅变质岩系内,出露一条碱性杂岩带,由粗面岩和碱性超基性、基性岩构成。该岩带向东穿过武当地块,断续延伸至湖北竹溪一带,长达近 1000km,成为南秦岭岩浆活动的一大显著特色。岩体规模宽数十米到数百米,长数百米至数千米,沿北西向展布。许多学者曾对该岩浆岩带地质特征、成因进行过研究和论述[1-7]。岩脉具高钛、富铁、低硅和低镁的特点,属高钛富铁的碱基性岩类。

南秦岭地区富碱辉长岩脉成群发育,其中钛磁铁矿化较普遍。近年来,在平利—镇坪一带新发现的花桥钛磁铁矿化富碱辉长岩体具有中型矿床规模。本文介绍花桥钛磁铁矿床地质地球化学特征,对其成因进行探讨。

1　成矿地质背景

1.1　大地构造位置

秦岭造山带以其长期复杂的演化历史、特有的构造样式和重要的大地构造位置而备受中外地质学家的广泛关注。前人对秦岭造山带的构造单元划分、构造演化等进行过系统研究[8-11]。

花桥富碱辉长岩体产于南秦岭北大巴山加里东裂谷带内,位于南秦岭印支褶皱带高滩-兵房街印支褶皱束中,红椿坝-曾家坝断裂带南侧(图 1)。在早古生代,该区属于古商丹洋盆南侧的被动大陆边缘[12]。奥陶纪—志留纪本区处于板内裂谷环境,基性岩浆侵入活动较为发育[1-2],有利于 Ti、Fe 等元素富集成矿。

1.2　岩体特征

花桥富碱辉长岩体外围出露地层为下奥陶统高桥组(O_1g)(图 2),为一套外陆棚—半深海盆地相岩石组合,可分为上、下 2 部分。下部为灰色钙质板岩、砂质灰岩、钙质粉砂岩与条带状灰岩互层;上部为灰黑色含炭板岩,灰色粉砂岩、粉砂质板岩夹灰岩透镜体。花桥富碱辉长岩体与高桥组下部岩层为侵入接触关系,外接触带发育宽 5~10m 不等的热接触变质带,以角岩化为主,形成强硅化褪色带。蚀变矿物主要为石英、透闪石等。

花桥岩体顺层侵位(图 2),产状与围岩近于一致。花桥矿区整体为向北倾斜的单斜地层,区内构造简单,辉长岩脉呈层状成群产出,一般未被构造破坏。

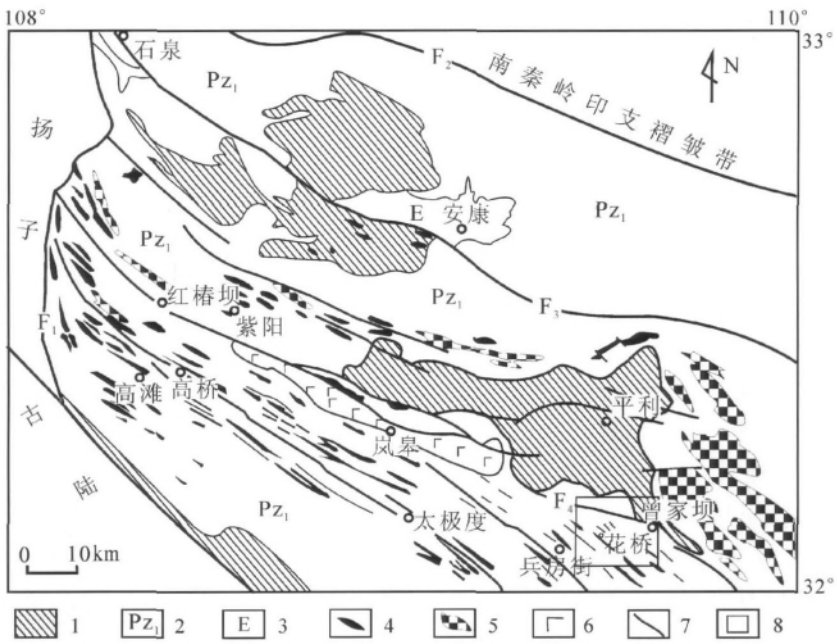

图 1　南秦岭安康地区碱性岩分布图(据参考文献[12]修改)

Fig. 1　Distribution of alkali rocks in Ankang area of southern Qinling

1—震旦系;2—下古生界;3—古近系;4—辉长-辉绿岩类;5—玄武岩类;6—正长岩-正长斑岩-霞石正长岩类;7—深大断裂;8—研究区

F_1—大巴山断裂;F_2—小岭-白河断裂;F_3—安康断裂;F_4—红椿坝-曾家坝断裂

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

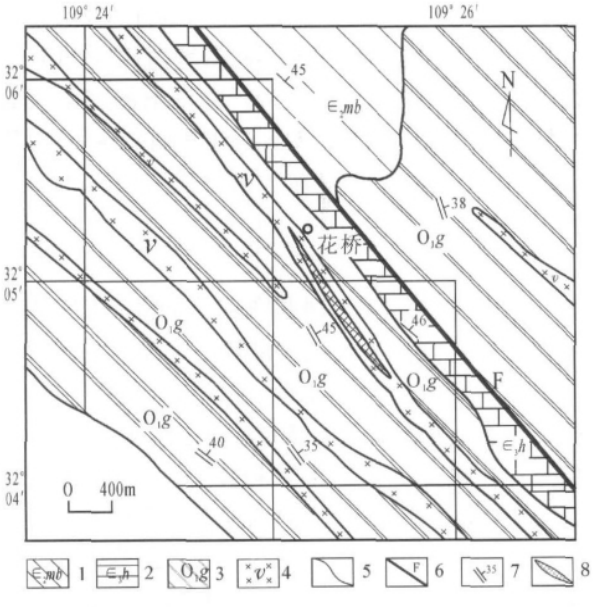

图 2 花桥钛磁铁矿区地质简图

Fig. 2 Geological sketch map of the Huaqiao titanomagnetite deposit

1—中寒武统毛坝关组;2—上寒武统黑水河组;3—下奥陶统高桥组;4—辉长岩;5—地层界线;6—断层;7—地层产状;8—矿(化)体

岩体群整体呈 NWW 向展布，主岩体长约 6000m，中段宽约 200m，向北陡倾。主要岩石类型为辉石岩、辉长岩，属铁质、镁铁质系列。围岩蚀变有绿泥石化、绿帘石化等。辉长岩体野外呈灰绿色—灰黑色，中—细粒结构，块状构造。岩体内部分异较好，自上而下分为 5 个平行的岩相带(图 3)：第一带为顶部边缘相带(①)，可见厚约 5m，主要为浅灰白色微—细粒碱性辉绿岩。第二带为浅色岩相带(②)，厚 20~60m，上部为灰白色细粒斜长岩，向下过渡为下部灰色细—中粒辉长岩。由上部到下部粒度由小变大，暗色矿物逐渐增多。第三带为暗色含矿岩相带(③)，厚 8~85m，走向上连续，主要为深灰—灰黑色中粒钛磁铁矿化辉石岩，是矿体主要的产出部位。第四带为灰色岩相带(④)，一般厚 30~50m，主要为灰黑色中粒含长辉石岩，也有小型磁铁矿体出现。第五带为底部边缘相(⑤)，厚 1~8m，主要为灰黑色中粗粒辉石岩。

辉长岩岩石主要由斜长石组成，其次为含钛普通辉石，另含少量钛闪石、黑云母，具辉长结构，局部呈辉绿结构，层状构造。斜长石多为自形板柱状，少

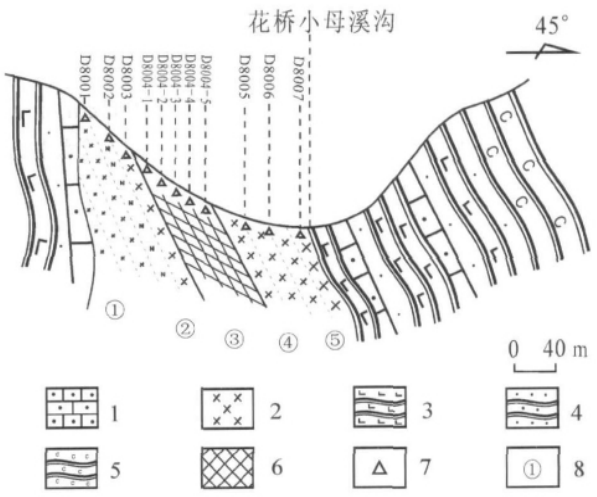

图 3 花桥岩体剖面示意图

Fig. 3 Diagrammatic geological section of Huaqiao rock mass

1—砂质灰岩;2—富碱辉长岩;3—钙质板岩;4—砂质板岩;5—炭质板岩;6—钛磁铁矿化体;7—采样点;8—岩相带编号

量为短柱状或不规则状，粒径介于 0.5~2mm 之间，偶见钠黝帘石化，含量为 40%~65%；含钛普通辉石多为半自形柱状、短柱状及不规则状，粒径 2mm 左右，具绿泥石化，含量为 25%~30%；钛闪石呈半自形短柱状，粒径 1.5mm 左右，含量约 1%；黑云母呈褐色片状，含量约 4%。

研究区南部镇坪县茨竹基性侵入岩体 Rb-Sr 同位素年代学测定表明，该类岩体的全岩等时线年龄为 447.9Ma±10.6Ma，属晚奥陶世的产物[13]。

对研究区西部紫阳—镇巴地区基性侵入岩体采用 LA-ICP-MS 法进行锆石 U-Pb 年龄测定，该类岩体的锆石 U-Pb 年龄加权平均值为 437.7Ma±2.3Ma，属早志留世早期的产物[14]。

综合以上研究成果，认为该类基性岩体应形成于加里东中期。

1.3 矿体特征

已控制的地面出露矿体长度约 3600m，宽度 5.6~44.8m。1:1 万地面高精度磁测剖面反演拟合强度为(894×0.01)A/m，模型部分 dx:dz=1:1，磁性体接近顺层磁化，向下延伸 300m 以下，宽度 2~20m，倾向北东。矿石品位为 TFe：15.2%~18.4%(磁性铁含量 MFe 12.6%~16.4%)，平均品位16.33%；TiO_2 6.1%~8.2%，平均品位 6.84%；P_2O_5 0.8%~2.6%。

矿化产于岩体浅色相与暗色相的过渡部位，层状、似层状产出，与围岩呈过渡关系。

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

主要含矿岩相为黑云母辉石岩，主要由含钛普通辉石组成,其次是黑云母,见微量磷灰石、榍石、磁铁矿。其中含钛普通辉石为 80%~90%，黑云母为 10%~15%,磷灰石 2%~3%,榍石 1%~3%,磁铁矿 2%~4%。此外还有少量直闪石。榍石和磁铁矿则是辉石或云母蚀变析出物。未见长石矿物。含钛普通辉石具有淡粉色多色性，黑云母具红褐—褐红色多色性,表明含钛较高。2 种矿物具有自形—半自形晶结构。前者为柱状,后者为板状到叶片状,常填充在辉石粒间。

矿石矿物:钛铁矿矿石成分复杂,钛磁铁矿、黄铁矿易氧化为赤铁矿、褐铁矿,故矿石风化外表常多呈层状或同心圆状的球形体。风化强者即呈含铁的残积粗砂,一般品位愈高风化愈烈。矿石呈灰黑色或深灰色,主要为自形、半自形、它形粒状结构,稠密浸染状构造。矿石矿物主要为钛磁铁矿、钛铁矿、磁铁矿和少量黄铁矿。

由矿石岩石化学全分析和电子探针数据(表 1、表 2)可以看出,矿石具有富 Fe、Ti、MgO 和 SiO_2 不饱和的特点。矿石矿物钛磁铁矿中 TiO_2 含量为 0.415%~23.69%,FeO 含量为 69.7%~96.18%,Cr_2O_3 含量为 0.062%~0.761%，表明花桥钛磁铁矿是扬子陆块北缘早古生代幔源低程度部分熔融产物上侵分凝成矿作用的结果。

2　岩石地球化学

本次研究对花桥钛磁铁矿化辉长岩体 5 个岩相带系统采取了岩石样品(图 3),进行了主量、微量、稀土元素定量分析测定。根据测试结果对花桥岩体岩石地球化学特征进行分析,如下所述。

2.1　硅酸盐特征

花桥岩体岩石主量元素数据(表 3),与国内外同类含矿岩体相比(表 4),以富 Fe、Ti 和 SiO_2 不饱和为特点。

将花桥富碱辉长岩体岩石主量元素含量中 LOI 剔除，再加权百分比算出各氧化物的含量，通过全碱-硅图解投图(图 4),样品点均位于碱性岩区,属碱性系列的岩石。但与一般辉长岩相比,SiO_2 含量较低，已获样品岩石主量元素含量经换算后显示,SiO_2 含量在 44.28%~46.52%之间,其中 Na_2O 含量大于 K_2O 含量,Na_2O/K_2O 值在 2.55~5.23 之间，碱度率在 1.24~1.29 之间,属典型钠质型碱性岩类;MgO

表 1　花桥钛磁铁矿矿石主量元素分析结果

Table 1　Major elements data of ores from the Huaqiao titanomagnetite deposit　%

样 号	SiO_2	TiO_2	Al_2O_3	TFe_2O_3	MnO	MgO	CaO	Na_2O	K_2O	P_2O_5	烧失量	总和
BX051	35.85	6.61	7.78	20.94	0.17	9.23	15.31	0.25	0.29	0.8	2.31	99.54
HD2010	33.95	6.73	7.62	22.57	0.22	9.26	16.27	0.34	0.3	0.61	1.65	99.52

注:样品由西北大学大陆动力学国家重点实验室 X 荧光光谱仪测定,2007

表 2　花桥岩体钛磁铁矿矿石电子探针数据

Table 2　Electron microprobe analyses of magnetite ores from Huaqiao rock mass　%

元素	1	2	3	4	5-1	5-2	5-3	6	7	8	最小值	最大值	平均值	σ
B_2O_3	1.333	—	0.322	—	4.56	0.648	—	—	0.982	—	—	4.56	0.784	1.41
TiO_2	0.415	1.401	13.59	10.37	23.69	14.6	22.09	11.62	17.62	3.12	0.415	23.69	11.852	8.215
V_2O_3	0.405	0.347	0.94	0.797	3.19	2.12	2.95	1.61	2.43	0.503	0.347	3.19	1.529	1.082
FeO	96.18	95.36	81.75	87.64	69.7	81.11	72.11	86.88	80.89	94.43	69.7	96.18	84.605	9.268
NiO	—	0.051	0.056	0.07	0.007	—	—	—	—	0.163	—	0.163	0.035	0.053
PbO	—	—	0.004	—	—	0.01	0.012	0.055	—	—	—	0.055	0.008	0.017
Cr_2O_3	0.769	0.226	0.193	0.269	0.062	0.125	0.127	0.135	0.086	0.124	0.062	0.769	0.212	0.206
MoO_3	0.104	—	—	—	—	—	0.058	0.106	0.012	0.024	—	0.106	0.03	0.043
Total	99.206	97.385	96.856	99.146	101.209	98.613	97.347	100.41	102.02	98.364	96.855	102.02	99.055	1.716

注：样品由长安大学国土资源部成矿作用及其动力学开放研究实验室电子探针测定,2007。其中 1~4 号点是从矿石样品 BX051 上选取的,其余点是从矿石样品 HD2010 上选取的

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

表 3 花桥富碱辉长岩主量元素分析结果

Table 3 Major elements data of alkali gabbro in Huaqiao area %

样品号	SiO_2	TiO_2	Al_2O_3	Fe_2O_3	FeO	MnO	MgO	CaO	Na_2O	K_2O	P_2O_5	LOI	H_2O^+	SUM
D8001	44.45	3.82	14.8	2.33	10.19	0.24	6.4	9.74	2.22	0.85	0.54	3.91	2.63	99.49
D8002	44.32	3.86	14.75	1.9	10.66	0.2	6.64	9.91	2.14	0.84	0.54	3.88	2.63	99.66
D8003	44.5	3.85	14.6	1.84	10.71	0.19	6.5	9.89	2.21	0.77	0.53	3.86	1.81	99.45
D8005	42.94	5.84	15.06	1.34	11.33	0.22	5.32	10.99	2.72	0.52	0.7	3	1.82	99.98
D8006	42.82	4.26	13.72	0.25	11.29	0.2	6.74	12.74	2.38	0.49	0.69	4.9	2.18	100.48
D8007	44.95	4.27	13.27	2.63	9.89	0.18	5.92	11.83	2.55	0.64	0.51	2.85	1.81	99.48

注：样品由西安地质矿产研究所实验测试中心 X 荧光光谱仪分析测定，2007

表 4 花桥岩体与国内外典型含矿辉长岩 FeO、Fe_2O_3、TiO_2 含量对比

Table 4 Comparison of FeO, Fe_2O_3, TiO_2 content between Huaqiao rock mass and typical alkali gabbros in the world %

产地 岩类	花桥 辉长岩	攀枝花 辉长岩	红格 辉石岩为主	白马 辉长岩	太和 辉长岩	国内 辉长岩	国外 辉长岩
FeO	11.12	8.4	9.52	9.30	9.01	7.61	5.76
Fe_2O_3	1.79	4.59	6.37	4.85	5.27	4.17	3.16
TiO_2	4.49	2.91	5.66	3.21	3.61	2.08	0.97

注：除花桥岩体数据外，其余数据引自参考文献[15]

含量为 5.49%~7.05%，TiO_2 **含量为** 4.00%~6.02%，Al_2O_3 **含量为** 13.73%~15.53%；m/f **值为** 0.41~0.57，**属富铁质系列。通过** FeO−MgO−Al_2O_3 **图解投图(图** 5)，**判别为大陆板内环境。**

2.2 微量、稀土元素特征

对岩石样品数据(表 5)**通过**(Mg/Fe′)−(Mg+Fe′)/Si **变异图投图(图** 6)，**花桥岩体样品数据点落入铁镁质区—铁质区。**

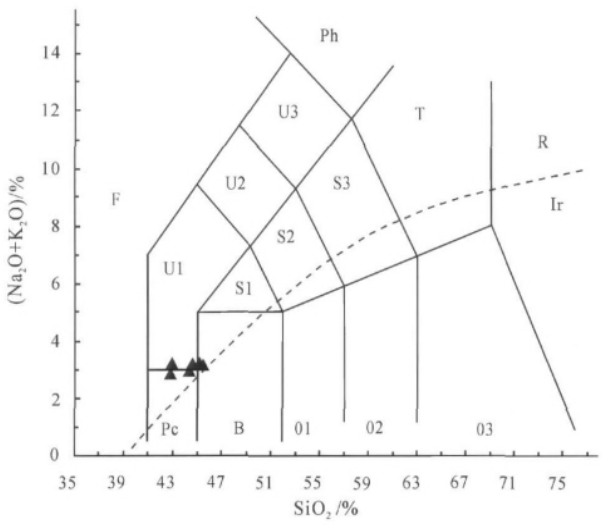

图 4 花桥岩体全碱−硅图解(底图据 Blackwell, Oxford, 1989)

Fig. 4 Alkali−silica diagram of Huaqiao rock mass

Ir−Irvine 分界线，上方为碱性，下方为亚碱性

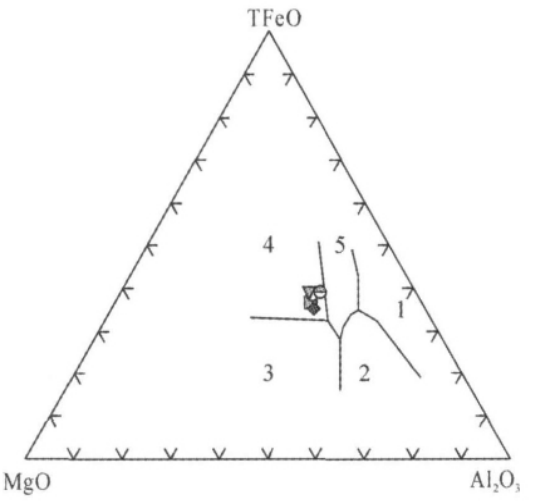

图 5 花桥岩体 FeO−MgO−Al_2O_3 图解(底图据 Pearce T H, 1977)

Fig. 5 FeO−MgO−Al_2O_3 diagram of Huaqiao rock mass

1—洋中脊及洋底；2—大洋岛屿；3—造山带；

4—大陆板块内部；5—扩张中心岛屿(冰岛)

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

表 5　花桥岩体微量元素分析结果

Table 5　Trace elements data of Huaqiao rock mass　　10^{-6}

样品号	Cu	V	Mo	Co	Ni	Cr	Zn	B
D8001	120	418	3.48	51.0	64.5	87.9	812	3.5
D8002	107	369	1.05	49.9	66.4	90.9	167	3.07
D8003	59.4	374	1.66	48.6	65.8	80.2	145	2.74
D8004-1	62.0	696	0.77	68.3	45.4	260	111	2.54
D8004-2	139	500	0.11	93.9	77.2	201	127	2.54
D8004-3	101	696	1.21	73.3	59.4	222	101	2.31
D8004-4	125	708	1.96	77.8	57.2	233	135	2.84
D8004-5	142	731	1.87	84.9	72.4	240	128	2.18
D8005	61	403	1.72	49.3	6.1	6.6	124	2.54
D8006	99.5	336	3.35	44.2	12.0	14.3	144	3.63
D8007	24.4	356	0.39	43.1	8.28	17.6	374	2.58

注:样品由西安地质矿产研究所实验测试中心测定,其中 Cu、V、Mo、Co、Ni 采用 ICP-MS 分析,Cr、Zn 采用 X-荧光光谱仪分析,B(定量)采用一米平面光栅摄谱仪分析,2007

花桥岩体稀土元素分析结果见表 6，稀土元素总量相对于同类岩石显著偏高，∑REE 为 164.92×10^{-6}~350.55×10^{-6},LREE/HREE 为 6.62~9.63,呈显著的轻稀土元素富集型,球粒陨石标准化 $(La/Yb)_N$= 10.13~18.92,δEu 为 0.93~1.29,δEu 呈轻微正异常,球粒陨石标准化 REE 配分模式为强烈右倾型,大部分样品有 δEu 微弱正异常(图 7)。

两组配分模式：一组轻稀土元素含量较高,无 Eu 异常,是边缘相岩石;另一组轻稀土元素含量较低,呈轻微的 Eu 正异常,是内带含矿化岩石。这是由分离结晶作用中斜长石的晶出引起的轻稀土元素亏损，而在矿化带内出现 Eu 正异常反映此时残余岩浆的氧逸度应该有所降低，这都属于分异结晶过程的产物。

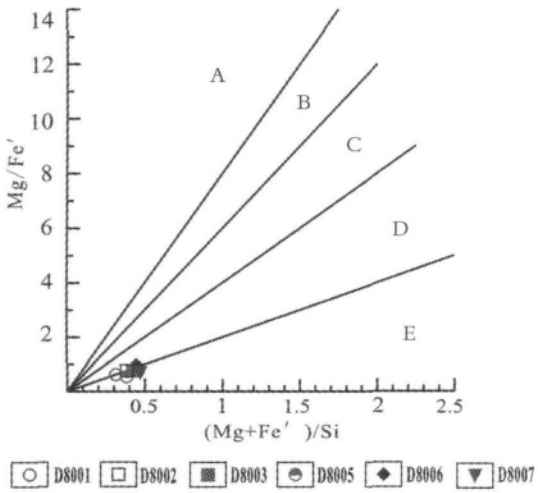

图 6　Mg/Fe′)-(Mg+Fe′)/ Si 变异图

(底图据 Zhang 等,1976)

Fig. 6 (Mg/Fe′)-(Mg+Fe′)/ Si variation diagram

A—超镁质区;B—镁质区;C—镁铁质区;D—铁镁质区;E—铁质区

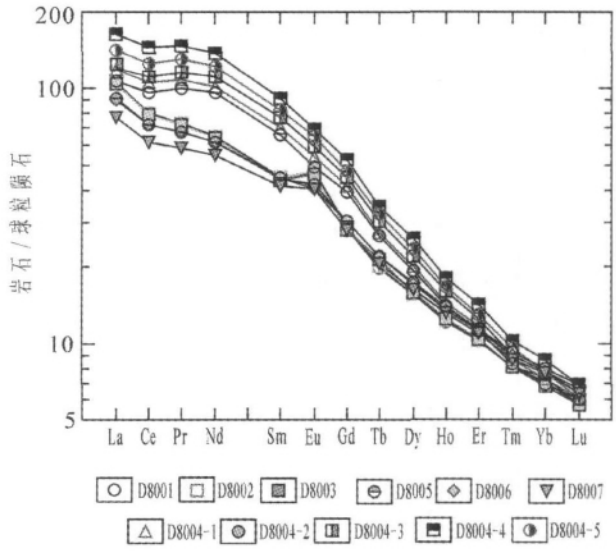

图 7　花桥岩体球粒陨石标准化 REE 配分模式

(底图据 Boynton,1984)

Fig. 7　Chondrite-normalized REE patterns of Huaqiao rock mass

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

表 6 花桥岩体稀土元素分析结果

Table 6 REE data of Huaqiao rock mass

10^{-6}

	Y	La	Ce	Pr	Nd	Sm	Eu	Tb	Gd	Dy	Ho	Er	Tm	Yb	Lu	ΣREE	ΣLREE	ΣHREE	LR/HR	δEu	$(La/Yb)_N$
D8001	21.20	32.50	64.90	8.87	38.60	8.54	3.42	0.94	7.32	5.00	0.87	2.15	0.26	1.48	0.19	196.24	156.83	18.21	8.61	1.29	14.81
D8002	21.00	32.80	65.30	8.90	39.20	8.73	3.47	0.95	7.40	5.01	0.88	2.15	0.26	1.54	0.19	197.78	158.40	18.38	8.62	1.29	14.36
D8003	20.80	32.30	64.40	8.85	38.60	8.49	3.39	1.01	7.26	5.09	0.89	2.18	0.26	1.42	0.19	195.13	156.03	18.30	8.53	1.29	15.34
D8004-1	23.90	37.20	85.90	13.30	61.30	13.80	3.98	1.29	10.70	6.48	1.04	2.45	0.28	1.51	0.20	263.33	215.48	23.95	9.00	0.97	16.62
D8004-2	23.20	33.30	77.90	12.30	57.80	12.90	3.62	1.26	10.20	6.18	1.01	2.36	0.27	1.44	0.20	243.94	197.82	22.92	8.63	0.93	15.59
D8004-3	25.90	37.50	90.00	14.20	67.00	15.00	4.37	1.43	11.60	7.06	1.15	2.62	0.29	1.61	0.20	279.93	228.07	25.96	8.79	0.98	15.71
D8004-4	29.70	50.50	117.00	18.00	82.30	17.80	5.07	1.64	13.60	8.28	1.30	3.00	0.33	1.80	0.23	350.55	290.67	30.18	9.63	0.96	18.92
D8004-5	27.20	44.00	102.00	15.90	73.60	16.00	4.75	1.54	12.30	7.53	1.20	2.73	0.31	1.62	0.22	310.90	256.25	27.45	9.34	1.00	18.31
D8005	23.50	28.50	58.10	8.20	36.90	8.67	3.08	1.04	7.80	5.55	0.99	2.40	0.30	1.67	0.23	186.93	143.45	19.98	7.18	1.12	11.51
D8006	22.90	28.20	58.20	8.22	37.00	8.77	2.96	1.05	7.78	5.51	0.97	2.36	0.29	1.61	0.21	186.03	143.35	19.78	7.25	1.17	11.81
D8007	21.60	23.90	49.60	7.16	32.80	8.07	2.98	0.98	7.25	5.26	0.94	2.30	0.28	1.59	0.21	164.92	124.51	18.81	6.62	1.07	10.13

注:样品由西安地质矿产研究所实验测试中心 ICP-MS 分析测定,2007

3 成矿作用探讨

本区富碱辉长岩的研究程度较低,因而对矿床成因尚在讨论中。根据花桥钛磁铁矿化岩体的一些具典型成因意义的特征,对本区的成矿作用获得了下述认识。

(1)岩体具有原生流动构造。矿体呈层状、似层状,岩石、矿石常呈现出流层状、条带状等构造。

(2)矿化产于岩体浅色相与暗色相的过渡部位,层状、似层状产出,与围岩呈过渡关系,界线不清。这是岩浆结晶分异作用的显著特征,对本区成矿作用获得了下述认识。

(3)花桥富碱辉长岩岩体自上而下可划分为 5 个明显的岩相带,并具韵律结构,这是岩浆分异-分凝矿床的典型特征,也是判别岩体含矿与否的重要标志。基性—超基性层状岩体都发育有很好的韵律层理,在野外即能看到浅色和暗色岩石的相间排列,类似于沉积岩的层理,通常为火成岩特有的"韵律"。这是岩浆结晶分异到一定程度磁铁矿从堆晶间相变为含量比较高的堆晶相的结果[16],也即岩浆结晶分异作用的典型特征之一。因此证明花桥钛磁铁矿化是富碱辉长岩体岩浆结晶分异作用就地分凝的产物。

(4)岩浆结晶分异过程形成了岩体的韵律结构[17]。韵律结构标志矿浆的多次补给,从而导致成矿的多旋回性和过程的漫长性;流层构造则显示岩浆冷却缓慢、分异彻底且富有节奏,使整个成矿作用进行得更彻底更充分,从而富集成有价值的工业矿床。

4 结 论

秦岭花桥钛磁铁矿化富碱辉长岩,含矿岩相主要为黑云母辉石岩。含矿辉长岩体属典型的钠质型碱性岩类。与一般辉长岩相比,花桥岩体 SiO_2 含量较

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

低,SiO_2 含量在 44.28%~46.52 %之间,其中 Na_2O 含量大于 K_2O 含量,Na_2O/K_2O 值在 2.55~5.23 之间,碱度率在 1.24~1.29 之间,MgO 含量为 5.49%~7.05%,TiO_2 含量为 4.00%~6.02%,Al_2O_3 含量为 13.73%~15.53%;m/f 比值为 0.41~0.57,属富铁质系列。花桥富碱辉长岩体形成于大陆板内环境,应为大陆裂谷的产物。花桥岩体稀土元素总量相对较高,有显著的轻稀土元素富集,有弱的 Eu 正异常。花桥钛磁铁矿矿石具富 Fe、Ti、MgO 和 SiO_2 不饱和的特点;矿石矿物钛磁铁矿 TiO_2 含量 0.415%~23.69%,FeO 含量为 69.7%~96.18%,Cr_2O_3 含量为 0.062%~0.761%。以上研究结果表明,研究区钛磁铁矿是扬子陆块北缘早古生代幔源低程度部分熔融产物上侵分凝成矿作用的产物。

笔者认为,在早古生代该区属古商丹洋盆南侧的被动大陆边缘,奥陶纪—志留纪本区进入板块碰撞造山阶段,动力转化为热量,前寒武纪古老的地幔发生低程度部分熔融生成了含 Fe、Ti 的基性岩浆。岩浆上侵后,经结晶分异作用,轻重矿物分离和聚集,在此过程中矿浆经多次补给,并缓慢冷却、彻底分异,从而富集形成有价值的钛磁铁矿矿床。

致谢:在成文过程中得到西安地质调查中心李文渊、徐学义、杨合群研究员和长安大学李永军教授的悉心指导,在此一并致谢。

参考文献

[1]黄月华,任有祥,夏林圻,等.北大巴山早古生代双模式火山岩套:以高滩辉绿岩和嵩坪粗面岩为例[J].岩石学报,1992,8(3):243-256.

[2]黄月华.岚皋碱性镁铁—超镁铁质潜火山杂岩中金云角闪辉石岩类地幔捕虏体矿物学特征[J].岩石学报,1993,19(4):367-378.

[3]邱家骧,等.秦巴碱性岩[M].北京:地质出版社,1993:5-42.

[4]周鼎武,张成立,王居里,等. 武当地块基性岩墙群初步研究及其地质意义[J]. 科学通报,1997,2(23):2546-2549.

[5]张成立,高山,张国伟,等.南秦岭早古生代碱性岩墙群的地球化学及其地质意义[J].中国科学(D 辑),2002,32(10):819-829.

[6]胡健民,赵国春,孟庆任,等.武当地块基性侵入岩群的地质特征与构造意义[J].岩石学报,2003,19(4):601-611.

[7]高长林.扬子板块北部古被动大陆边缘的地球化学特征[J].岩石矿物学杂志,1991,10(4):330-337.

[8]黄汲清,任纪舜,姜春发,等.中国大地构造演化[M].北京:科学出版社,1980:12-189.

[9]张国伟,梅志超,李桃红.秦岭造山带南部被动大陆边缘[C]//张国伟,等.秦岭造山带的形成及其演化.西安:西北大学出版社,1988:32-112.

[10]张国伟,孟庆任,赖绍聪. 秦岭造山带的结构构造[J]. 中国科学(B 辑),1995,25(9):994-1003.

[11]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,1998,23(5):443-448.

[12]刘淑文.南秦岭古生代盆地演化中幕式流体成岩成矿作用研究[M].西安:长安大学出版社,2006:9-14.

[13]何建坤,卢华复,朱斌. 东秦岭造山带南缘北大巴山构造反转及其动力学[J].地质科学,1999,34(2):139-153.

[14]张欣.南秦岭紫阳—镇巴地区基性侵入体动力学机制及地质意义讨论[D]. 西安:长安大学硕士学位论文,2010.

[15]段成龙.试论攀枝花式铁矿的成因问题[J].四川冶金,2000,(3):1-5.

[16]Willson M. Igneous petrogenesis[M]. London: Allen and Unwin, 1989.

[17]袁见齐,朱上庆,翟裕生. 矿床学[M].北京:地质出版社,1985: 38-50.

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