文章编号:1671-4814(2007)03-171-08

巴布亚新几内亚波格拉斑岩型铜一金矿床 富 Nb 碱性火成岩成因新解[®]

朱章显,杨振强

(宜昌地质矿产研究所,湖北宜昌 443003)

环太平洋成矿带是巨型斑岩矿床成矿带,其构造环境可分为三种:晚期大洋岛弧,大陆 弧和后碰撞弧。其中,巴布亚新几内亚著名的波格拉(Porgera)斑岩铜─金矿床就产于弧─ 陆碰撞后的大陆环境,而拉多拉姆(Ladolam)金矿则赋存于晚期大洋岛弧中^[1,2]。

近十年来,有些学者十分注意大陆弧环境钾质火成岩与斑岩矿床的关系,认为世界上许 多斑岩型铜一金矿与钾质火成岩和橄榄玄粗岩(shoshonite)在空间产出上密切相关,但是, 实际情况则较复杂。此类钾质火成岩常见的有橄榄粗玄岩、橄榄粗安岩(meteorite)和橄榄 玄粗岩(shoshonite)。在某些成矿带上以橄榄玄粗岩为主,例如伊朗始新世至现代的斑岩 铜一金矿带以 K₂O/Na₂O 比值大于1 为特征^[3],而在另一些成矿带上则以高钠为特征,例如 巴布亚新几内亚的波格拉矿床的火成岩。

岩石化学特征表明:巴布亚新几内亚境内与波格拉斑岩铜一金矿床属于同一个成矿带上的其它世界级斑岩铜一金矿床(例如 Grasberg, Ok Tedi, Frida 矿床等),与其成矿有关的 侵入岩和火山岩,不但是高钾,而且也是高钠的富 Nb 碱性火成岩^[4,5]。因此,在研究斑岩 型金属矿床成因时,除了注意与矿床成因有直接或间接联系的高钾火成岩(如橄榄玄粗岩) 类岩石类型以外,还必需注意高钠富 Nb 碱性火成岩的特殊构造环境意义。

① 收稿日期:2007-03-21
 基金项目:中国大陆周边地区主要成矿带成矿规律对比及潜力评价(项目编号:1212010661308)资助。
 第一作者简介:朱章显(1959~),男,硕士,长期从事区调、矿产工作。现从事境外地质矿产编图工作。

本文目的在于总结和揭示与波格拉矿床有关的高钠的富 Nb 碱性侵人岩和火山岩的地 球化学特性,探讨该火成岩形成的构造环境与成矿作用的成因联系,以便拓宽思路,在该成 矿带以及其它地区发现更多的大陆 OIB 碱性侵人岩或与其相似岩石类型,研究和对比这类 岩石形成的构造环境,指导今后进一步的研究工作。

1 区域构造背景

波格拉斑岩型铜一金矿床也是世界级金矿床,其浅成热液金矿储量超过600吨^[6],侵入 岩的 K – Ar 同位素年龄为7~14 Ma^[4]。

波格拉铜一金矿床的侵入岩和火山岩位于巴布亚新几内亚中央造山带南西侧,斯托勒一拉盖普断裂(Stolle – Lagaip Fault)南西 25 km 处。该断裂呈北西一南东走向,是分隔巴布亚新几内亚中部中央造山带(位于断裂北东侧)与澳大利亚地台北缘褶皱逆冲带(位于断裂的南西侧)的一条深大断裂。它是中一晚渐新世大陆和岛弧(即澳大利亚大陆板块和俾斯麦海板块)发生碰撞形成的断裂(图1)。这个弧一陆碰撞事件在晚中新世至早上新世时造就了该大陆边缘巨大的造山带(巴布亚造山带)。巴布亚新几内亚一些世界级斑岩铜一金矿多位于这条北西—南东向造山带内。该造山带内绝大多数矿床成因与碰撞后的钙碱性至碱性岩的侵入和喷发密切相关。



图 1 新几内亚现代板块构造背景轮廓和 4 个地体的划定 Fig. 1 Outline of the present-day plate tectonic setting of New Guinea and the four terrenes

2 岩石系列和地球化学特征

岩石化学证据表明:巴布亚新几内亚的富钠碱性火山岩是弧—陆碰撞带这种特殊的构造环境的产物。在下面叙述中,我们将引用文献中已经发表的43个岩石化学结果^[4,5,8-10] 以及根据这些数据处理后所做的微量元素判别构造环境图,探讨其成矿构造背景。

ľ	73
---	----

表1 巴布亚新几内亚波格拉矿床碱性火成岩的主元素和微量元素地球化学表^[3]

Table 1 Major and trace element geochemistry of alkaline volcanic rooks from Porgera deposit⁽⁸⁾

	碱性辉长岩	夏威夷岩	橄榄粗安岩
	最大值~最小值	最大值 ~ 最小值	最大值~最小值
SiO ₂	45.1~42.1	50.15 ~44.42	55.02~47.56
TiO ₂	1.2 ~ 1.14	1.4~1.11	1.12~0.79
AL ₂ O ₃	13.2 - 12.27	18.55 ~ 15.32	19, 1 ~ 16, 73
Fe ₂ 0,	3.73 ~ 3.26	4.93 - 1.81	4.48 ~ 3.29
FeO	6.18 ~ 5.64	7.08 ~4.45	4.59~3.05
MnO	0. 19 ~0. 17	0.21 ~0.15	0.2~0.14
MgO	15.23 ~ 13.69	9.09~4.93	6.23~3.03
CaO	11.9 - 11.02	12.76 ~ 9.8 9	10. 89 ~ 8. 19
Na ₂ O	2.83 - 1.96	5.01 ~ 3.39	5.68~3.6
K20	1.63~0.85	1.74 ~0.86	2.27~1.1
P205	0.7~0.59	0.68~0.54	0.63~0.35
H ₂ O _p	3.53~3.1	3.11-0.2	2.51 - 1.63
H ₂ O	0.45 ~0.37	2.42~0.12	0.38~0.18
CO2	2.58 - 1.46	5.68 ~ 1.74	4.55~0.37
Ba	330 ~ 235	475 ~ 285	505 ~ 265
RЬ	45 - 19.5	42 ~ 13.5	47.5 - 13.5
Sr	725 ~ 630	845 ~ 680	840 ~ 665
Ta	2.8	2.9~2.7	4.1~3.3
Nb	54 ~ 47.5	77 ~ 47.5	82 ~ 59
Hf	2.5	2.9 ~ 2.7	3.64~3.07
Zr	120 - 114	172 ~ 129	187 ~ 121
Y	16 - 15	20 ~ 17	19 ~ 15
Th	7.5 ~ 5.4	10 ~4.7	11 ~6
U	1.5 - 1	3.5~1	2.7-1.6
Cr	845 ~ 775	292 ~ 27	292 ~ 6
Ni	388 ~ 374	12 ~ 11	69 ~ 8
Sc	32 ~ 28.9	38 - 22	14
V	243 ~ 232	338 ~ 244	292 ~ 197
Cu	76 ~ 66	133 ~ 45	198 - 33
РЬ	36 - 7	26 ~ 5	10 - 3
Zn	195 ~ 79	165 ~ 97	106 ~ 57
La	38.1~29	37.9-27	43 - 29
Ce	76.5-60	75.6 ~ 55	84 ~ 58
Yb ·	1.36	1.56 - 1.49	1.95~1.48
Lu	0.22	0.26 - 0.25	0.296~0.234
87 St/86 Sr	0. 703666 ~ . 703579	0.70413 ~ 0.703557	0. 703583 ~0. 703508
(La/Yb)N	18.9	16.2 ~ 14.7	15.2 - 13.9

注解:主要元素为%,微量元素含量为×10-6.

关于波格拉矿床侵入杂岩的岩石类型,在早期文献中被定为辉石角闪闪长岩、角闪闪长 岩、长石斑岩、角闪闪长玢岩和安山岩。弱蚀变相的角闪闪长岩和安山岩富钠($Na_2O > K_2O$),而强蚀变相(强绢云化)的火成岩以富钾为特征^[9-10]。后来这套岩石经 Richards (1990)研究肯定为辉长岩(碱性玄武岩)→夏威夷岩(富钠粗面玄武岩)→橄榄粗安岩 套^[4,8]。其中碱性辉长岩 SiO₂ 含量为 42.10% ~ 45.10%,夏威夷岩 SiO₂ 含量变化于 44.42% ~ 50.15% 之间,橄榄粗安岩 SiO₂ 含量为 47.56% ~ 55.02%(表 1),构成了一个连 续的岩石系列。该碱性火成岩以 Al₂O₃ 含量高(变化于 15.32% ~ 19.1% 之间),P₂O₅ 和 TiO₂ 含量低为特征。Na₂O 含量为 3.4% ~ 5.68%(Na₂O > K₂O),一般 Na₂O + K₂O 的含量 >5%。Mg#值(Mg/(Mg+Fe₂+)为 44.63~63.66。波格拉火成岩在(Na₂O+K₂O) - SiO₂ 图解上集中在碱性玄武岩一夏威夷岩一橄榄粗安岩和粗面安山岩的范围内(图 2a)。



图 2 波格拉矿床碱性火成岩的地球化学的构造判别图解

Fig. 2 Geochemical tectonic discrimination diagrams for alkaline volcanic rocks from Porgera deposit.

微量元素总体特征是富集大离子亲石元素(LILE)(Sr、Ba)和高场强元素(HFSE)(Zr、 Nb、Th)。在微量元素蛛网图上(图 2g)显示 Th、Nb、U 的峰和 Ti、Hf、Y 的谷,不具岛弧岩浆 所具有的 Nb,Ta 负异常特征。

稀土元素在 REE 分配模式图上(图 2h)表现为轻稀土元素强烈富集的向左倾斜曲线类型,具有弱的铕正异常(δEu≥1.02)和较大的(La/Yb)N 比值(13.9~18.9),为大陆板内碱 性玄武岩的特征。

波格拉矿床侵人岩的微量元素与埃达克岩的微量元素特征十分相似,都是以高钠 ($Na_2O > K_2O$),高 Sr(640×10⁻⁶~845×10⁻⁶),低 Y(20×10⁻⁶)和低 Yb(1.95×10⁻⁶)为特 征。但是,波格拉矿床碱性岩的最大特点是高 Nb 含量(47.5×10⁻⁶~82×10⁻⁶),在微量元 素丰度图上表现为 Nb 和 Th 的正异常峰,而这一点与埃达克岩和典型的岛弧型安山岩贫 Nb 和 Th 的特征不尽相同。因此,尽管波格拉矿床的碱性岩与埃达克岩岩套的地球化学特征具 有若干相似之处,但肯定不属于岛弧环境。

3 成矿背景的构造判别解释

笔者对波格拉矿床火成岩岩石化学和微量元素分析结果进行构造背景判别图解分析, 发现在许多构造背景判别图上的判别结果都比较一致。归纳起来有下列特点:

3.1 大陆边缘造山带碱性火山岩

在 TiO₂ - MnO - P₂O₅ 的判别图上所有样品都落在碱性岩的范围内(图 2b)。这套岩石 含有霞石标准矿物,可以肯定为一套板内的碱性玄武岩系列。在微量元素 Zr/Y - Zr 图解 上,样品都落在十分靠近板内玄武岩区而远离岛弧玄武岩区内(图 2c);在 Th - Hf/3 - Nb/ 16 图解上,波格拉火成岩集中在板内碱性岩的范围内(图 2d);在 TFeO - MgO - Al₂O₃ 三角 图解上,本区样品集中在造山带内(图 2e);在 Zr × 3 - Nb × 50 - Ce/P₂O₅ 三角图解上则全集 中在后碰撞火山弧的范围内(图 2f)。因此,可以认为这套岩石形成于大陆边缘的碰撞造山 带,而不是岛弧环境的产物,与矿床现在所在的板块构造背景位置相吻合。

3.2 富 Nb 大陆 OIB 型火山岩

特别要指出的是:近几年来发展起来的 Ta - Th - Hf 和 Th - Nb - Zr 大地构造环境判别 图解,在区别大洋板内和大陆板内及其汇聚边缘的微量元素地球化学特征方面起到特别好 的判别效果^[11-13],应用这些判别图能够有效地区别大陆碱性岩和洋岛 OIB 岩石类型。例 如本区所见的夏威夷岩(OIB)的 Nb/Zr 比值 >0.4 和 Ta/Hf 比值 >1,Th/Ta 大于 1.74 以及 Th/Nb 大于 0.09,显然是落在大陆拉张带(或初始裂谷)玄武岩区,属于大陆富 Nb 碱性 OIB 岩石类型,而不是夏威夷群岛所见的大洋岛(OIB)玄武岩。在 Ta - Th - Hf/3 判别图上和 Th - Hf/3 - Nb/16 判别图上,本区样品都落在大陆板内裂谷碱性玄武岩的范围内(图略)。 特别要指出的是,在 Th/Yb - Ta/Yb 图上^[14](图 3),所有样品都落在板内碱性岩的范围内, 比较接近主动大陆边缘的橄榄玄粗岩(SHO)。

因此,我们得到了一个重要的启示:高钠富 Nb 碱性侵人岩和火山岩(夏威夷岩和橄榄 粗安岩)可产于大陆汇聚边缘,它是弧一陆碰撞的大陆裂谷的产物。由此可见,高钠碱性 OIB 侵人岩和火山岩不仅是大洋岛常见的岩石类型,也可见于大陆边缘的后碰撞环境。

3.3 大陆 OIB 岩 可能与地幔柱活动有关

据文献报道, 高钠富 Nb 碱性火成岩实际上是 OIB 岩。OIB 型岩浆在世界上许多大陆



图 3 Th/Yb-Ta/Yb 判别图解

Fig. 3 Th/Yb-Ta/Yb discrimination diagram TH-拉班玄武岩: CA-钙碱性玄武岩: SHO-橄榄玄粗岩: WPB-板内碱性岩: TR-过渡火山弧玄武岩: VAB-火山弧玄武岩 MORB-洋中脊玄武岩

裂谷均有发现。大陆裂谷轴部的碱性 OIB 岩以钠质为主, Na, O/K, O>1^[14]。波格拉矿床侵 人岩的 Na₂O 含量与此相同。

大陆裂谷火山岩的另一个重要特征是在微量元素蛛网图上显示很宽的 Ba, Th 和 Nb (Ta)向上隆起(humps)。这种特征被认为是富集地幔柱活动的结果^[15]。波格拉矿床火山 岩在微量元素蛛网图上也正是属于 Ba. Th 和 Nb(Ta) 降起的曲线类型,与美国西部哥伦比 亚河玄武岩组(CRBG)所见的微量元素蛛网曲线,特别是与 Oregon Coast Range 的晚始新世 Cascade Head 玄武岩的微量元素蛛网曲线^[16]完全可以对比。这种类型的微量元素蛛网曲 线被认为是富集地幔柱活动的结果。从而说明了波格拉矿床火山岩与碰撞后大陆边缘富集 地幔柱活动有一定的关系。

由上所述,碱性玄武岩,包括 OIB 夏威夷岩和橄榄粗安岩可以是板内裂谷的产物。事 实上, 高钠富 Nb 夏威夷岩(OIB) 广泛分布于我国东部环太平洋带和西部晚古生代—新生代 造山带[17-28],特别是晚古生代古特提斯三江造山带有过高 Nb 的 OIB 玄武岩的报道,并且 作为洋岛玄武岩的证据^[18,21]。根据波格拉矿床火山岩的实例,笔者有理由对上述地区的 OIB 岩石的洋岛属性提出质疑,这些所谓的 OIB 岩在 Ta - Th - Hf 和 Th - Nb - Zr 大地构造 环境判别图解上绝大多数落在大陆板内玄武岩区内,显然是属于大陆 OIB 类型。可以认 为,我国西部晚古生代一新生代造山带,特别是"三江"造山带与本矿床大地构造环境条件 十分相似,都是属于碰撞造山带,与主动大陆边缘富集地幔柱活动有关。

4 结论

波格拉矿床高钠富 Nb 碱性火成岩的地质意义在于它提供了—个新生代碰撞后大陆板 内碱性玄武岩的实例,其岩浆岩系列为富钠的碱性玄武岩系列(碱性玄武岩—夏威夷岩— 橄榄粗安岩一粗面安山岩);其夏威夷岩形成环境不是洋岛环境,而是大陆板内裂谷,是 弧一陆碰撞后的岩浆活动产物。岩浆成因与碰撞后大陆边缘富集地幔柱活动有一定的关 系。

参考文献

- [1] Muller D, D I Crove. 钾质火山岩、橄榄粗玄岩与金矿的直接与间接的关系[J]. 世界地质, 1994, 13(2):6-16, 64.
- [2] Müller D, Frang L, Herzig P M, et al. Potassic igneous rocks from the vicinity of epithermal gold mineralization, Lihir Island, Papua New Guinea [J]. Lithos, 2001, 57(1):163-186.
- [3] Aftabi A, Atspour H, Regional aspects of shoshonitic volcanism in Iran [J]. Episodes, 2000, 23(2):119-125.
- [4] Richards J P, Chappell B W, McCulloch MT. Intraplate type magmatism in a continent-island-are collision zone: Porgera, intrusive complex, Papua New Guinea[J]. Geology, 1990a, 18(10): 958-961.
- [5] Richards JP, Chappell BW, McCulloch MT. 大陆—岛弧碰撞带中的板内型岩浆作用-巴布亚新儿内亚波尔盖拉侵 入杂岩体[J]. 国外火山地质,1991(2):20-25.
- [6] Sillitoe R H. Characteristics and controls of the largest porphyry copper-gold and epithermal gold deposits in the circum-Pacific region [J]. Austra. Jour. of Ear. Sci, 1997, 44(3):373-388.
- [7] Gow P A, Upton P, Zhao C, et al. Copper-gold mineralization in New Guinea: numerical modeling of collision, fluid flow and intrusion-related hydrothermal systems [J]. Austral, Jour. of Ear. Sci., 2002, 49(4):753-771.
- [8] Richards J P. Petrology and geochemistry of alkali intrusive at the Porgera gold deposit, Papua New Guinea [J]. Jour of Geochem. Explor. 1990c, 35(1-3):141-191.
- [9] Fleming A W, Handey G A, Williams K L et al. The Porgera gold deposit, Pupua New Guinea [J]. Econ. Geol., 1986, 81,660-680.
- [10] Flemming A. W, Handy G A, Williams K L, 等. 巴布亚新几内亚的波格拉金矿床[J]. 地质科技情报,1989,8(1): 69-75.
- [11] 汪云亮, 张成江, 修叔芝. 玄武岩类形成的大地构造背景的 Th/Hf-Ta/Hf 图解判别[J]. 岩石学报, 17(3): 2001,413-421.
- [12] 孙书勤, 汪云亮, 张成江. 玄武岩类岩石大地构造环境的 Th、Nb、Zz 判别[J]. 地质论评, 2003, 49(1): 40-47.
- [13] 孙书勤,张成江,黄润秋.板块汇聚边缘玄武岩大地构造环境的Th、Nb、Zr 判别[J].地球科学进展,2006,21
 (6):593-598.
- [14] Pearce J A. Trace element characteristics of Laras from destructive plate boundaries. In: Thorpoe K S (Ed.) [A]. Andesites: Organic Andesites and Related Rocks[C]. John Wiley & Sons. 1982:525-548.
- [15] 徐义刚. 拉张环境中的大陆玄武岩浆作用:性质及动力学过程[A]. 郑永飞(主编):化学地球动力学[C]. 科学出版社,北京:1999:119-159.
- [16] Brandon A D, Goles G G. A Miocene subcontinental plume in the Pacific Northwest; Geochemical evidence [J]. Ear. Plant. Scie. Lett., 1988, 88(4/3) :273-283.
- [17] 董云鹏,朱炳泉,常向阳,等. 滇东师宗一弥勒带北段基控火山岩地球化学及其对华南大陆构造格局的制约[J]. 岩石学报,2002,18(1):37-46.
- [18] 侯增谦,莫宜学,朱勋文,等."三江"古特提斯地幔热柱一洋岛玄武岩证据[J].地球化学,1996,17(4):343-375.
- [19] 匡永生,赵书跃,秦秀峰,等.大兴安岭北段早石炭世洋岛型玄武岩的确立及成因意义[J]. 吉林大学学报(地球科 学版),2005,35(4);423-429.
- [20] 王岳军,廖超林,范蔚茗,等. 赣中地区早中生代碱性玄武岩的厘定及构造意义[J]. 地球化学, 2004,33(2):109-116.
- [21] 魏君奇. 滇西羊拉矿区火山岩痕量元素地球化学[J]. 矿物岩石地球化学通报, 1999, 18(3): 155-159.
- [22] 吴昌志,顾连兴,任作伟,等.板缘向板内环境的过渡一辽河盆地古近纪玄武岩地球化学[J].中国科学 D 辑, 2005.35(2):117-118.
- [23] 肖 龙,徐义刚,梅厚钩,等。云南宾川地区峨眉山玄武岩地球化学特征;岩石类型及随时间演化规律[J]. 地质科

万方数据

学,2003,38(4):478-494.

- [24] 赵宇,张传林,郭坤一,等.西昆仑山东段石炭纪火山岩岩石地球化学特征及其形成的构造背景[J].火山地质与矿 产,2001,22(3):186-197.
- [25] 朱弟成, 潘桂棠, 莫宜学,等. 青藏高原中部中生代 OIB 型玄武岩的识别:年代学、地球化学及其构造环境[J].地 质学报,2006,80(9):1313-1328.
- [26] 朱弟成,王立全,福桂棠,等. 藏南特提斯喜马拉雅带中段中侏罗统遮拉组 OIB 型玄武岩浆的识别及其意义[J]. 地质科技情报,2004,23(3):1524.
- [27] 支貫臣, 陈道公, 杨晶, 等. EMI型皖东上第三系大陆碱性玄武岩 Nd, Sr 同位素证据[J]. 中国科学技术大学学报, 1995, 25(2):167-171.
- [28] 段其发,杨振强,王建雄,等. 青藏高原北羌塘盆地东部二叠纪高 Ti 玄武岩的地球化学特征 [J]. 地质通报,2006, 25(1-2):156-162.

New explanation for Nb-enriched alkali igneous rocks in Porgera porphyry copper-gold deposit, Papua New Guinea

ZHU Zhang-xian, YANG Zhen-qiang

(Yichang Institute of Geology and Mineral Resources, Yichang, 443003, China)

Abstract

The intrusive complex in Porgera prophyry copper-gold deposit, Papua New Guinea, is considered as alkali basalts-hawaiites-meteorites rock type. The trace elements in the deposit are characterized by enrichments in large-ion lithophytes element(LILE) (Sr, Ba) and high-field strength elements(HFSE) (Zr, Nb, Th). It shows positive in Th, Nb, U and Ti, Hf, and Y on the spider diagrams of trace elements. The hawaiites and meteorites in the deposit are intraplate Nb-enriched alkali basalt series belonging to continental alkali OIB instrument, which are related to mantle plum activity, not belonging to oceanic island (OIB) series. Evidences suggest that the Porgera intrusive complex was formed in arc-continental collision environment. It is one of the representative examples of alkali basalt for Cenozoic active continental margin.

Key words: Porgera; prophyry copper-gold deposit; hawaiites OIB; Nb-enriched alkali igneous rock