

东秦岭八里坡钼矿床地球化学 特征与深部成矿预测

袁海潮¹, 焦建刚^{2,3}, 李小东²

(1. 西北有色地质勘查局 712 总队, 咸阳 712000; 2. 长安大学地球科学与资源学院, 西安 710054;
3. 西部矿产资源与地质工程教育部重点实验室, 西安 710054)

[摘要] 东秦岭地区八里坡钼矿床是近年在金堆城钼矿床外围找矿中新发现的, 野外地质观察显示岩体与矿体北东倾伏, 有向南西深部延伸的趋势, 而且最厚矿体出现在西南边界(ZK2101); 地球化学研究证明岩体具有高硅、富碱、富钠特征, 高钾钙碱性系列岩类, 具有成钼多金属矿的潜力; 石英包裹体测温与矿物电子探针分析指示了八里坡钼矿床具有中高温、高盐度热液成矿特征, 具有很好的成矿条件, 而且平均温度与平均盐度向南西有增大的趋势, 值得加强矿区西南深部矿体的探测。

[关键词] 岩石化学 气液包裹体 成矿预测 八里坡钼矿床 东秦岭

[中图分类号] P618.43 [文献标识码] A [文章编号] 0495-5331(2009)04-0367-07

Yuan Hai-chao, Jiao Jian-gang, Li Xiao-dong. Geochemical characteristics and deep metallogenic prognosis of Balipo porphyry Mo deposit in east Qinling[J]. *Geology and Exploration*, 2009, 45(4): 367-373.

位于华北板块南缘的东秦岭钼矿带, 产出了金堆城、南泥湖、三道庄、上房沟、东沟等超大型钼矿床和雷门沟等 10 多个钼多金属矿床, 钼矿的成矿作用多与燕山期花岗斑岩体或斑状花岗岩有关^[1-6], 含矿斑岩体出露面积一般小于 1 km²。因此, 围绕燕山期小斑岩体找矿成了近年找矿工作中的热点^[7,8], 并且有较大的突破^[9-10]。八里坡钼矿床位于东秦岭钼矿带西部, 是近年在金堆城钼矿床外围找矿中新发现的, 距离金堆城钼矿床 260°方向约 7 km。2008 年经过普查, 规模达到中型以上, 属于斑岩型钼矿床。普查过程中钻孔未能穿透岩体, 矿化分段出现, 其深部是否有成矿潜力尚存在争议。文章通过野外地质观察、地球化学分析、石英包裹体测温、矿物电子探针分析, 对比金堆城钼矿床, 研究八里坡钼矿床的深部成矿潜力并提出找矿方向。

1 地质背景

东秦岭地处华北克拉通南缘与秦岭造山带相接的地带, 中生代以前为华北克拉通的组成部分, 具有典型的克拉通边缘特征^[11]。在中新生代经历了秦岭

造山带的陆内造山运动, 成为秦岭造山带的北缘组成部分^[12]。区内结晶基底为新太古代太华群深变质岩系, 主要由 TTG 片麻岩、斜长角闪岩和石榴二辉麻粒岩以及大理岩和磁铁石英岩等组成, 变质作用达高角闪岩相和麻粒岩相。由于受板块边界深断裂和秦岭褶皱带长期活动的影响, 构造形态复杂, 断裂与褶皱均较发育, 区域构造格架为近东西向与北北东向两组构造相互交织成的格子状。区内断裂以近东西向最为发育, 其次为北北东向, 近东西向断裂与北北东向断裂交汇部位常常控制燕山期中酸性小侵入体的分布。东秦岭地区以产出有多个大型-超大型钼矿而闻名, 而且矿床的形成与燕山期花岗岩关系密切。

2 矿床地质

陕西省华县八里坡钼矿床是近年在金堆城钼矿床外围找矿中新发现的斑岩型钼矿, 2008 年矿床普查, 初步获得 334 钼矿石量 1392.34 × 10⁴ t, 钼平均品位 0.066%, 计算规模达到中型以上。矿区出露岩层主要为熊耳群火山岩(安山岩、变质安山岩), 南部出露有少量的下元古界铁洞沟组石英岩(图 1)。

[收稿日期] 2009-05-06; [修订日期] 2009-06-01。[责任编辑] 杨欣。

[基金项目] 国家自然科学基金(编号: 40534020、40702015)资助。

[第一作者简介] 袁海潮(1969 年—), 男, 1992 年毕业于成都地质学院, 获学士学位, 高级工程师, 现主要从事矿产勘查工作。

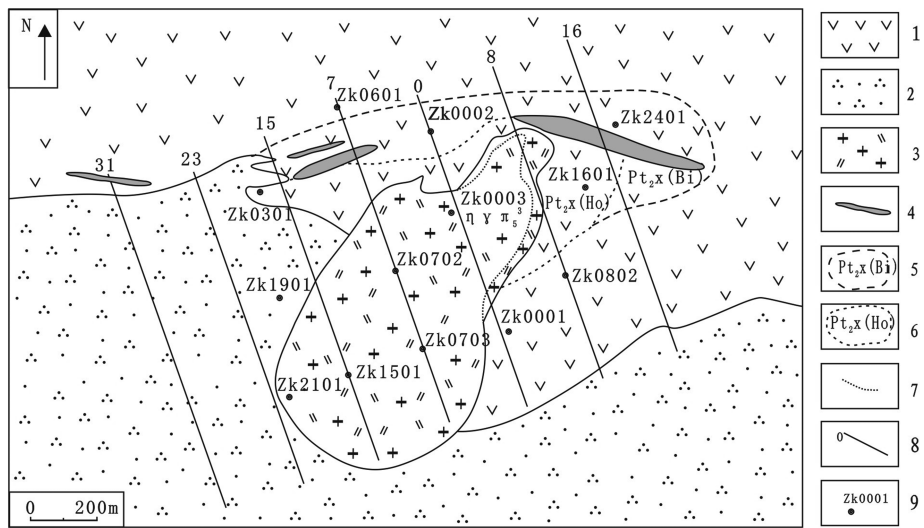


图1 八里坡钼矿床地质图

Fig.1 Geological map of Balipo porphyry molybdenum deposit

1—中元古界熊耳群火山岩;2—下元古界铁洞沟组石英岩;3—二长花岗斑岩;4—矿化蚀变带;5—黑云母化;6—角岩化;7—过渡界线;
8—勘探线;9—钻孔
1—metavolcanics of Middle Proterozoic Xiong'er Group;2—quartzite of Lower Proterozoic Tiedonggou Group;3—monzonitic granitic porphyry;
4—erosion belt of mineralization;5—biotitization;6—hornfelsation;7—transition boundary line;8—prospecting line;9—drills

八里坡花岗岩体呈北东-南西向延伸,出露长度大于 1000m,宽度 200 ~ 500m,面积约 0.4km²。北东段宽度较小,向南西逐渐变大,地表形似“葫芦”状。产状北陡南缓,向北东侧伏。北缘接触面倾角 45° ~ 70°,南缘接触面倾角 20° ~ 30°。主要由(黑云母)二长花岗斑岩组成,可分为两个岩相带,二者为渐变过渡关系。中心相岩石为灰白色、淡肉红色,中粒似斑状、斑状花岗结构,块状构造。主要成分为石英(30% ~ 40%),斜长石(钠-更长石,25% ~ 45%)、钾长石(微斜长石,15% ~ 25%,局部可见有正长石),次有少量的黑云母。岩石中多见黄铁矿呈细粒星散状分布。斑晶主要为钾长石,一般 0.5cm×0.3cm,个别达 1.5cm×1cm;边缘相岩石呈灰白色,中-细粒花岗结构,局部为似斑状结构,块状构造。主要矿物为石英(50%左右),斜长石(40%左右),次有少量的黑云母,岩石中普遍发育有绢云母化及黄铁矿化,局部可见绿泥石化。

八里坡钼矿床产于花岗斑岩体内部及外接触带附近。多见有后期形成的石英脉、石英-辉钼矿细脉、石英-黄铁矿-辉钼矿细脉,偶见钾长石-石英脉、石英-黄铁矿-萤石脉,脉体一般厚 20 ~ 40cm,少量厚 5 ~ 10cm,个别厚大于 1m。脉体中普遍见有黄铁矿化,多见有辉钼矿化,偶见有方铅矿化及黑钨矿化。矿床的围岩蚀变由中心向边缘大致可分为硅化-钾长石化

带(强蚀变带)与硅化-绢云母化带(弱蚀变带)。岩体中心的硅化-钾长石化带主要蚀变类型有钾长石化、硅化,绢云母化次之,由于强烈钾长石化,岩体中斜长石常被交代,硅化多呈细脉状、网脉状分布,脉体中多伴生有黄铁矿、辉钼矿,偶见有黑钨矿,由于多期次硅化叠加形成岩石中矿化较强,岩体北侧边部常见硅化-绢云母化带,在 ZK2401、ZK0002 等钻孔中极为普遍,主要蚀变类型有硅化、绢云母化,绿帘石化、钾长石化次之,硅化多呈细粒状,局部见脉状分布,绢云母多沿粒间及解理面交代,局部形成黄铁绢英岩化,或发育不完整的高岭土化。岩体外接触带不明显,大致可分为硅化-绢云母化-角岩化蚀变带及黑云母-绿泥石化蚀变带。

该矿床普查过程中,施工的 12 个钻孔中有 10 个见矿,以 ZK2101 中见矿最好,总厚度达到 28.12m。矿体 334 资源量达到中型以上,但是普查过程中钻孔没有穿透岩体,矿化分段出现(图 2),岩体面积小,导致物探探测的效果不好,其深部是否有成矿潜力尚存在争议。

3 矿床地球化学特征

3.1 岩体岩石化学

通过对八里坡岩体含矿二长花岗斑岩的地球化学特征研究发现,该区二长花岗斑岩 SiO₂ 含量为

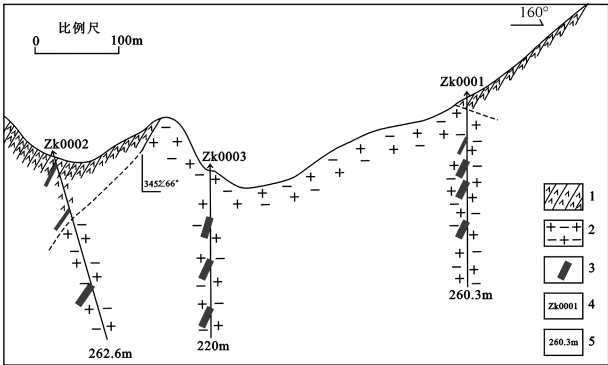


图 2 八里坡钼矿床中 0 线勘探线剖面图

Fig.2 Section map of 0 prospecting line in Balipo porphyry molybdenum deposit

1—熊耳群安山岩;2—二长花岗斑岩;3—钼矿化体;4—钻孔编号;5—钻孔深度

1—metavolcanics of Xiong'er Group;2—monzonitic granitic porphyry;
3—Mo ore-bearing body;4—number of drills;5—depth of drill

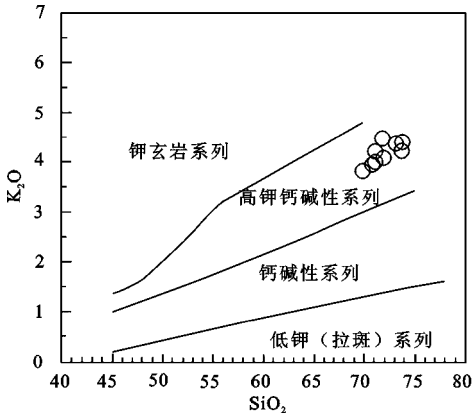


图 3 八里坡岩体样品 K_2O-SiO_2 图解^[13]

Fig.3 K_2O-SiO_2 diagram of Balipo granite samples^[13]

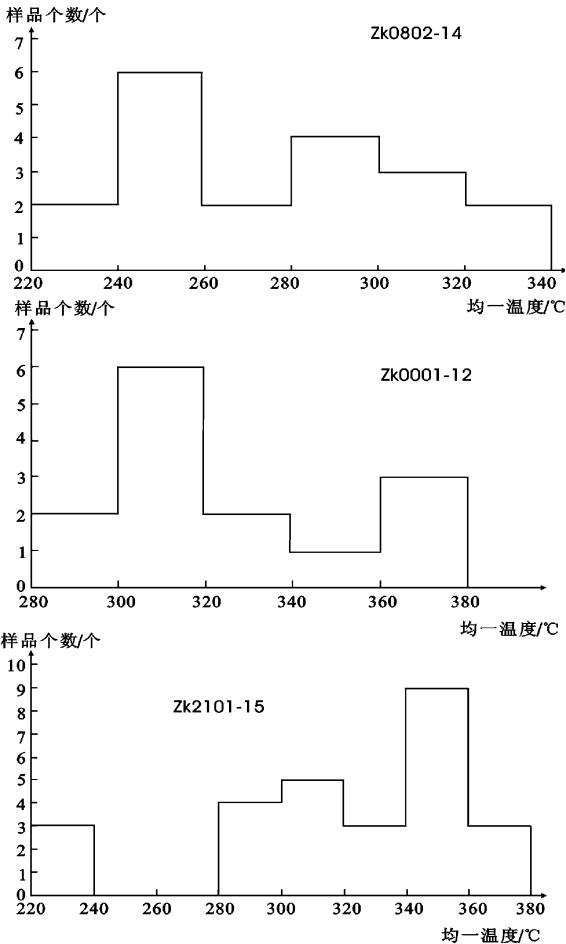


图 4 八里坡岩体钻孔中石英脉的气液包裹体均一测温度统计图

Fig.4 Diagram of equality temperature of quartz vein fluid inclusion in Balipo deposit

表 1 八里坡岩体主量元素分析数据 (wt%)

Table 1 The major element analysis result of Balipo granite (wt%)

样品号	SiO ₂	TiO ₂	Al ₂ O ₃	Fe ₂ O ₃	MnO	MgO	CaO	Na ₂ O	K ₂ O	P ₂ O ₅	LOI	TOTAL	δ	ANCK	K ₂ O/Na ₂ O
B0001-3	73.76	0.11	13.74	2.10	0.10	0.33	1.70	3.36	4.31	0.05	0.82	100.38	1.91	1.03	0.85
B0001-4	73.11	0.10	14.24	1.99	0.11	0.25	1.76	3.43	4.41	0.05	0.48	99.93	2.04	1.04	0.85
B0001-7	73.64	0.11	14.15	1.62	0.07	0.23	1.73	3.44	4.43	0.05	0.83	100.30	2.02	1.04	0.85
B0003-8	71.62	0.14	14.81	1.97	0.09	0.30	2.11	3.67	4.10	0.06	0.66	99.53	2.11	1.03	0.74
B0003-9	70.80	0.16	15.53	2.30	0.13	0.34	2.37	3.97	3.98	0.07	0.61	100.26	2.27	1.02	0.66
B2101-10	71.11	0.16	15.22	2.33	0.12	0.36	2.18	3.70	4.24	0.08	0.88	100.38	2.24	1.04	0.76
B2101-11	69.87	0.21	15.74	2.65	0.16	0.46	2.74	3.72	3.85	0.09	0.86	100.35	2.13	1.03	0.68
B0802-17	71.02	0.15	15.13	2.36	0.14	0.34	2.20	3.97	4.00	0.08	0.85	100.24	2.27	1.02	0.66
B0802-18	71.95	0.12	14.54	1.86	0.10	0.25	1.77	3.58	4.51	0.05	0.86	99.59	2.26	1.04	0.83
JD-1	74	0.2	13	1.89	0.1	0.3	1	2.2	6	0	1.5	100	2.17	1.08	1.8
JD-10	73.2	0.15	12.6	2.09	0.09	0.37	1.08	1.63	6.61	0.04	2.08	99.9	2.25	1.07	2.67

注:主量元素由西北大学地球动力学国家实验室用 RIX-2100 型 X 荧光光谱仪测试完成。

69.87% ~ 73.76%, 全碱 ($\text{Na}_2\text{O} + \text{K}_2\text{O}$) 含量为 7.57 ~ 8.90, K_2O 含量均大于 Na_2O 含量, $\text{K}_2\text{O}/\text{Na}_2\text{O}$ 分子数比值介于 0.66 ~ 0.85, Al_2O_3 含量较高 (13.74% ~ 15.74%), 具有高硅富碱的特征; 铝饱和指数 ANCK 变化范围为 1.02 ~ 1.04, 属弱过铝质系列; 里特曼指数范围 $\delta = 1.02 \sim 2.27$, 均小于 3.3, 指示其属钙碱性岩石系列。在 $\text{K}_2\text{O}-\text{SiO}_2$ 图解^[13] 上 (图 3), 样品点投在高钾钙碱性系列区。

花岗岩岩石的含矿性与岩石地球化学特征有一定的关系, 钼矿的岩石化学成矿标志一般为 $\text{SiO}_2 > 70\%$, $\text{Na}_2\text{O} + \text{K}_2\text{O} > 8\%$, $\text{K}_2\text{O} > \text{Na}_2\text{O}$, 而 CaO 、 FeO 和 Fe_2O_3 含量较低^[14]。对于岩体含矿性评价, 很多人提出了含矿性的指标, 这里我们沿用酸度和碱度评价方法: 一般钼成矿岩体以酸度高、富碱、高钾为特征, SiO_2 含量 72% ~ 77%, $\text{Na}_2\text{O} + \text{K}_2\text{O}$ 总量大于 7%, $\text{K}_2\text{O}/\text{Na}_2\text{O}$ 比值大于 1.3, 里特曼指数范围为 1.8 ~ 3.3, 岩体属于钙碱性系列岩类。以铜为主的成矿岩体, 多以 SiO_2 含量偏低、富碱富钠为特征, SiO_2 含量 62% ~ 71%, $\text{Na}_2\text{O} + \text{K}_2\text{O}$ 总量大于 6%, $\text{K}_2\text{O}/\text{Na}_2\text{O}$ 比值小于 1.3, 里特曼指数范围为 1.8 ~ 3.3, 岩体属于钙碱性系列岩类^[15]。八里坡岩体的相关数据特征, 总体上与以铜为主的成矿岩体表现一致或介于铜钼成矿特征之间, 与金堆城比较, 主量元素相似 (表 1), 但是金堆城岩体更富钾, $\text{K}_2\text{O}/\text{Na}_2\text{O} > 1$, 八里坡岩体相对富钠, $\text{K}_2\text{O}/\text{Na}_2\text{O} < 1$ 。综上所述, 八里坡岩体有成铜钼多金属矿床的潜力。

3.2 气液包裹体测温与盐度

为了研究成矿温度与形成条件, 该次研究测定了八里坡岩体中 3 个钻孔内含石英脉的气液包裹体均一温度, 并计算了盐度 (表 2, 图 4)。

显微镜下, 八里坡岩体中石英脉的气液包裹体一般表现为无色-灰色, 椭圆状或半自形状, 含一个气泡, 气液比为 10% ~ 20%, 包裹体大小一般 $3\mu\text{m} \times 4\mu\text{m} \sim 12\mu\text{m} \times 24\mu\text{m}$, 主要为无色原生成因包裹体。测试工作在西部矿产资源与地质工程教育部重点实验室完成, 冷热台生产厂家及型号: 英国科学仪器有限公司, LinkamTHMS 600 型, 测温范围: $-196 \sim 600^\circ\text{C}$, 精度: $\pm 0.1^\circ\text{C}$, 实验室温度: 恒温 20°C 。

八里坡岩体北东边钻孔 ZK0802-14 中石英脉的气液包裹体测温、盐度计算显示: 均一温度为 $220.3 \sim 333.2^\circ\text{C}$, 一般大于 250°C , 平均温度 277.4°C , 属于中高温成矿, 与金堆城石英脉中气液包裹体成矿前的均一温度一致 (表 3); 气液包裹体的盐

度为 $7.59 \sim 17.87$, 一般大于 10, 与金堆城石英脉中气液包裹体成矿前的盐度非常相似。岩体中部钻孔 ZK0001-12 中石英脉的气液包裹体测温、盐度计算结果显示: 均一温度为 $191.7 \sim 368.4^\circ\text{C}$, 一般大于 300°C , 平均温度 317.4°C , 属于中高温成矿, 高于金堆城石英脉中气液包裹体成矿期的均一温度; 气液包裹体的盐度为 $9.73 \sim 17.52$, 一般大于 10, 与金堆城石英脉中气液包裹体的盐度非常相似。岩体南西部钻孔 ZK2101-15 中石英脉的气液包裹体测温、盐度计算显示: 均一温度为 $225.1 \sim 376.2^\circ\text{C}$, 一般大于 300°C , 平均温度 319.4°C , 属于中高温成矿, 高于金堆城石英脉中气液包裹体成矿期的均一温度; 气液包裹体的盐度为 $9.47 \sim 17.08$, 一般大于 10, 与金堆城石英脉中气液包裹体的盐度非常相似^[16,17]。

比较八里坡岩体的 3 个钻孔样品 (ZK0802、ZK0001、ZK2101), 平均温度和平均盐度具有从北东到南西方向依次增加的趋势 (表 3)。根据野外地质研究结果, 岩体向北东侧伏, 北东浅, 南西深。由此可以推测, 八里坡岩体向南西方向深部具有更好的成矿条件, 实际钻孔也证实, 岩体南西部钻孔 ZK2101 中发现的矿脉是目前最厚的地段, 厚度达到 28.12 m。综上所述, 八里坡岩体中含石英脉的气液包裹体具有高的成矿温度和高盐度特征, 成矿温度较金堆城岩体高, 盐度与金堆城成矿过程中的盐度相似。由于中高温条件有利于形成钨钼铜多金属矿床, 高的盐度更有利于热液成矿, 因此, 八里坡岩体具备成矿的有利条件。

3.3 硫化物的微区电子探针分析

八里坡钼矿中含有辉钼矿、黄铁矿、黄铜矿、方铅矿、闪锌矿等, 与金堆城钼矿的硫化物组合特征基本一致, 为了对比金堆城和八里坡钼矿床中硫化物的成分差别, 利用电子探针重点分析了两个岩体中的辉钼矿等硫化物 (表 4)。显微镜下, 八里坡岩体内的辉钼矿多产在黄铁矿的边部, 或石英脉裂隙中, 呈现放射状或条带状, 条带密集程度不大或密集的辉钼矿条带状出现少。金堆城岩体内的辉钼矿多产在长石、石英表层或裂隙中, 部分位于石英脉裂隙中, 呈现稠密放射状、团块状或条带状。因此, 八里坡钼矿的品位相对金堆城钼矿的品位低。

两个矿床的硫化物电子探针分析显示: 八里坡矿床中辉钼矿比金堆城矿床中的辉钼矿更富集 Re、Pt、W (表 4), 一方面暗示了八里坡的钼矿可能形成 W、Mo、Cu 多金属矿床, 另一方面暗示成矿温度较高,

表 2 八里坡岩体中石英脉的气液包裹体温度与盐度

Table 2 Table of equality temperature and salinity of quartz vein fluid inclusion in Balipo ore deposit

样号	均一温度/℃	冰点/℃	盐度/%	样号	均一温度/℃	冰点/℃	盐度/%
ZK802-14-01	320.8	-4.8	7.59	B001-12-13	372.8	-8.6	12.39
ZK802-14-02	314.5	-6.8	10.24	B001-12-14	297.4	-6.9	10.36
ZK802-14-03	272	-9.7	13.62	B001-12-15	191.7	-7.6	11.22
ZK802-14-04	283.4	-8.3	12.05	ZK2101-15-01	341.3	-10.3	14.25
ZK802-14-05	333.2	-9.4	13.29	ZK2101-15-02	347.5	-10.1	14.14
ZK802-14-06	317.1	-8.5	12.28	ZK2101-15-03	343.7	-9.8	13.72
ZK802-14-07	296.4	-7.9	11.58	ZK2101-15-04	302.6	-13.2	17.08
ZK802-14-08	251.3	-7.5	11.1	ZK2101-15-05	237.4	-10.4	14.36
ZK802-14-09	257.1	-10	13.94	ZK2101-15-06	225.1	-8.9	12.73
ZK802-14-10	291.6	-9.5	13.4	ZK2101-15-07	341.8	-6.5	9.86
ZK802-14-11	220.3	-7.5	11.1	ZK2101-15-08	350.6	-8.5	12.86
ZK802-14-12	241.6	-10.3	14.25	ZK2101-15-09	356.6	-9.1	12.96
ZK802-14-13	248.7	-8.7	12.51	ZK2101-15-10	286.6	-7.7	11.34
ZK802-14-14	254.3	-9.6	13.51	ZK2101-15-11	297.2	-8.1	11.81
ZK802-14-15	299.2	-11.3	15.27	ZK2101-15-12	306.2	-11.2	15.17
ZK802-14-16	260.3	-14.1	17.87	ZK2101-15-13	368.7	-7	10.49
ZK802-14-17	235.1	-10.4	14.36	ZK2101-15-14	313.9	-6.8	10.24
ZK802-14-18	245.6	-9.3	13.18	ZK2101-15-15	326.7	-6.4	9.73
ZK802-14-19	327.9	-12.2	16.15	ZK2101-15-16	330.4	-6.2	9.47
B001-12-01	301.4	-10.1	14.04	ZK2101-15-17	297.7	-6.7	10.11
B001-12-02	307.9	-13.7	17.52	ZK2101-15-18	376.2	-12.7	16.62
B001-12-03	322.1	-8.4	12.16	ZK2101-15-19	365.7	-12.4	16.34
B001-12-04	314.7	-9.6	13.51	ZK2101-15-20	235.5	-8.3	12.05
B001-12-05	319.4	-11.4	15.37	ZK2101-15-21	297.6	-8.5	12.28
B001-12-06	289	-12.2	16.15	ZK2101-15-22	302.6	-13.2	17.08
B001-12-07	362.4	-7.8	11.46	ZK2101-15-23	336	-12.1	16.05
B001-12-08	358.9	-8.2	11.93	ZK2101-15-24	341.3	-10.3	14.25
B001-12-09	368.4	-12.3	16.24	ZK2101-15-25	347.5	-10.1	14.04
B001-12-10	317.6	-8.8	12.62	ZK2101-15-26	343.7	-9.8	13.72
B001-12-11	312.6	-6.4	9.73	ZK2101-15-27	302.6	-13.2	17.08
B001-12-12	324.1	-8.7	12.51				

注:气液包裹体测温在西部矿产资源与地质工程教育部重点实验室分析完成。

表 3 金堆城岩体和八里坡岩体中石英脉的气液包裹体温度与盐度比较

Table 3 Comparisons of temperature and salinity of quartz vein fluid inclusion in Jinduicheng and Balipo granites

岩体	成矿期	宿主矿物	数据个数	冰点范围/℃	均一温度范围/℃	温度平均值/℃	盐度范围/%	盐度平均值/%
金堆城岩体	成矿前	石英脉	6	-15.30 ~ -13.50	220 ~ 370	279	17 ~ 19	18
	成矿中	石英脉	18	-11.10 ~ -9.80	137 ~ 254	193	13 ~ 15	14
	成矿后	石英脉	7	-10.60 ~ -6.20	90 ~ 202	135	9 ~ 15	12
八里坡 ZK0802	成矿中	石英脉	19	-12.20 ~ -4.80	220.30 ~ 333.20	277.4	7.59 ~ 17.87	13.02
八里坡 ZK0001	成矿中	石英脉	15	-13.70 ~ -6.40	191.70 ~ 368.40	317.4	9.73 ~ 17.52	13.15
八里坡 ZK2101	成矿中	石英脉	27	-13.20 ~ -6.20	225.10 ~ 376.20	319.4	9.47 ~ 17.08	13.33

注:金堆城岩体数据根据参考文献[16,17];八里坡岩体数据为本项目测试。

表 4 八里坡和金堆城钼矿床中辉钼矿电子探针分析数据 (×10⁻²)

Table 4 Electron microprobe analytical data of molybdenum in Balipo deposit (×10⁻²)

	B0001-1	B0001-2	B0001-3	B0001-4	B0001-5	B0001-6	B0001-7	B0001-8	B0001-9	B0001-10	JDC-1	JDC-2	JDC-3
S	40	39.8	38.89	38.88	40.54	40.25	39.84	40.13	39.43	39.67	40.42	40.65	39.64
Bi	0.115	0.651	0.512	0.562	—	0.153	0.359	0.591	0.617	0.384	0.115	—	0.497
Mo	58.65	59.49	57.87	58.49	59.01	60.39	58.88	58.65	57.97	58.26	60.02	58.85	58.69
Re	—	0.302	0.137	—	—	—	0.043	0.464	0.423	0.106	0.04	0.227	—
Fe	—	0.049	1.38	1.19	1.05	0.06	0.833	0.064	—	0.108	0.018	0.003	—
W	0.094	0.161	0.222	—	—	—	0.169	0.378	—	0.142	—	—	—
Pt	—	—	—	—	0.929	0.635	—	—	1.03	0.186	0.053	0.106	—
Total	98.86	100.453	99.011	99.122	101.529	101.488	100.124	100.317	99.47	98.856	100.666	99.836	98.827

注:辉钼矿成分测试在西部矿产资源与地质工程教育部重点实验室电子探针(EPMA-8100 型)完成;样品号中 B0001 代表八里坡岩体样品,JDC 代表金堆城岩体样品。

与气液包裹体测试结果一致。八里坡和金堆城钼矿中黄铁矿的微量元素非常相似(表略),暗示其成因相同,都具备热液成矿作用的矿物标型特征。由此可见,八里坡钼矿床具备形成中高温矿床的有利条件,应当加强深部钨钼铜多金属成矿的探测。

4 成矿条件及找矿方向

1) 根据野外地质研究,八里坡二长花岗岩斑岩产状北陡南缓,向东北侧伏,主岩体可能在南西侧深部;实际工程显示,钻孔 ZK2101 中发现的矿脉总厚度是目前最厚的地段,厚度达到 28.12 m,暗示矿体具有向西南方向深部延伸的趋势;

2) 八里坡岩体的岩石化学数据显示:SiO₂ 一般大于 70%,K₂O>Na₂O,Na₂O+K₂O>6%,K₂O/Na₂O<1,具有高硅、富碱、富钠的特征;里特曼指数范围为 1.8~3.3,岩体属于高钾钙碱性系列岩类。这些特征与以铜为主的成矿岩体一致,部分特征介于铜钼成矿岩体特征之间,证明八里坡岩体具有成铜钼多金属矿的潜力;

3) 岩体中石英包裹体测温结果显示:八里坡矿床中含石英脉的气液包裹体具有高的成矿温度和高盐度特征,从岩体北东方向的 ZK0802,到中部的 ZK0001,再到南西方向的 ZK2101,均一温度峰值与平均温度都逐渐升高,平均盐度也有增大的趋势,暗示岩体南西方向深部成矿潜力更大;

4) 硫化物矿物的电子探针分析指示了八里坡钼矿床深部可能形成中高温的 W、Mo、Cu 多金属矿,值得加强南西方向深部矿体的探测。

[参考文献]

[1] 李永峰,毛景文,胡华斌,郭保健,白凤军. 东秦岭钼矿类型、特征、成矿时代及其地球动力学背景[J]. 矿床地质, 2005, 24(3): 292-304.

Li Yong-feng, Mao Jing-wen, Hu Hua-bin, Guo Bao-jian, Bai Feng-jun. Geology, distribution, types and tectonic settings of Mesozoic molybdenum deposits in East Qinling area[J]. Mineral Deposits, 2005, 24(3): 292-304.

[2] 张正伟,朱炳泉,常向阳,强立志,温明星. 东秦岭钼矿带成岩成矿背景及时空统一性[J]. 高校地质学报, 2001, 7(3): 307-315.

Zhang Zheng-wei, Zhu Bing-quan, Chang Xiang-yang, Qiang Li-zhi, Wen Ming-xing. Petrogenetic metallo-genetic background and time space relationship of the East Qinling molybdenum ore belt, China [J]. Geological Journal of China University, 2001, 7(3): 307-315.

[3] 卢欣祥,于在平,冯有利,王义天,马维峰,崔海峰. 东秦岭深源浅成型花岗岩的成矿作用及地质构造背景[J]. 矿床地质, 2002, 21(2): 168-178.

Lu Xin-xiang, Yu Zai-ping, Feng You-li, Wang Yi-tian, Ma Wei-feng, Cui Hai-feng. Mineralization and tectonic setting of the deep-hypabyssal granites in East Qinling Mountain [J]. Mineral Deposits, 2002, 21(2): 168-178.

[4] 毛景文,张作衡,余金杰,王义天,牛宝贵. 华北及邻区中生代大规模成矿的地球动力学背景:从金属矿床年龄精测得到启示[J]. 中国科学(D 辑), 2003, 33(4): 289-299.

Mao Jing-wen, Zhang Zuo-heng, Yu Jin-jie, Wang Yi-tian, Niu Bao-gui. The geodynamics setting of Mesozoic large-scale mineralization in North China: The revelation from accurate timing of metal deposits[J]. Science in China (Series D), 2003, 33(4): 289-299.

[5] 毛景文,谢桂青,张作衡,李晓峰,王义天,张长青,李永峰. 中国北方大规模成矿作用的期次及其地球动力学背景[J]. 岩石学报, 2005, 21(1): 169-188.

Mao Jing-wen, Xie Gui-qing, Zhang Zuo-heng, Li Xiao-feng, Wang Yi-tian, Zhang Chang-qing, Li Yong-feng. Mesozoic large-scale metallogenic pulses in North China and corresponding geodynamic setting [J]. Acta Petrologica Sinica, 2005, 21(1): 169-188.

[6] 李永峰,毛景文,白凤军,王雨,李俊平. Re-Os 同位素体系及其地质应用[J]. 地质与勘探, 2004, 40(1): 64-67.

Li Yong-feng, Mao Jing-wen, Bai Feng-jun, Wang Yu, Li Jun-ping. Re-Os isotopic system and its application in geology[J].

Geology and Exploration, 2004, 40(1):64-67.

[7] 马红义,吕伟庆,张云政,黎红莉,田修启,马雁飞. 河南汝阳东沟超大型钼矿床地质特征及找矿标志[J]. 地质与勘探, 2007,43(4):1-7.

Ma Hong-yi, Lv Wei-qing, Zhang Yun-zheng, Li Hong-li, Tian Xiu-qi, Ma Yan-fei. Geological characters and prospecting indication of Donggou Mo deposit in the Ruyang area, Henan[J]. Geology and Exploration, 2007,43(4):1-7.

[8] 杨泽强. 河南省商城县汤家坪钼矿围岩蚀变与成矿[J]. 地质与勘探, 2007,43(5):17-22.

Yang Ze-qiang. Wallrock alteration and mineralization in the Tangjiaping Mo deposit of Shangcheng county, Henan province [J]. Geology and Exploration, 2007,43(5):17-22.

[9] 郭保键,李永峰,王志光,叶会寿. 熊耳山 Au-Ag-Pb-Mo 矿集区成矿模式与找矿方向[J]. 地质与勘探, 2005,41(5):43-46.

Guo Bao-jian, Li Yong-feng, Wang Zhi-guang, Ye Hui-shou. Metallogenic model and prospecting direction of Au-Ag-Pb-Mo mine concentrated area in Xiong'er mountains [J]. Geology and Exploration, 2005,41(5):43-46.

[10] 梅友松. 成矿规律若干问题研究[J]. 地质与勘探. 2005, 41(6):3-14.

Mei You-song. Study on some issues of metallogenic law [J]. Geology and Exploration, 2005,41(6):3-14.

[11] 赵振华,涂光炽. 中国超大型矿床(D) [M]. 北京:科学出版社, 2003:523-542.

Zhao Zhen-hua, Tu Guang-Zhi. Superlarge-scale deposits in China(D) [M]. Beijing: Science Press, 2003: 523-542.

[12] 张国伟,张本仁,袁学诚. 秦岭造山带与大陆动力学[M]. 北京:科学出版社, 2001:1-729.

Zhang Guo-wei, Zhang Ben-ren, Yuan Xue-cheng. Qinling Belt and Continental Dynamics[M]. Beijing: Science Press, 2001:1-729.

[13] Muller D, Heithersag P S, Groves D I. The shoshonite porphyry Cu-Au association in the Gronumbla district, N. S. W., Australia [J]. Mineral Petrol, 1993, 51:299-321.

[14] 邱家骧. 应用岩浆岩石学[M]. 武汉:中国地质大学出版社, 1991:1-206.

Qiu Jia-xiang. Application of magma petrology [M]. Wuhan: Press of China University of Geoscience, 1991:1-206.

[15] 罗铭玖,张辅民,董群英. 中国钼矿床[M]. 郑州:河南科学技术出版社, 1991:119-131.

Luo Ming-jiu, Zhang Fu-min, Dong Qun-ying. Chinese Molybdenum Deposit [M]. Zhengzhou: Henan Science and Technology Press, 1991:119-131.

[16] 徐兆文,杨荣勇,刘红樱,陆现彩,徐文艺,任启江. 陕西金堆城斑岩钼矿床成矿流体研究[J]. 高校地质学报, 1998, 4(4):423-431.

Xu Zhao-wen, Yang Rong-yong, Liu Hong-ying, Lu Xian-cai, Xu Wen-yi, Ren Qi-jiang. Study on the ore-forming fluid of the Jinduicheng porphyry molybdenum deposit, Shaanxi Province [J]. Geological Journal of China University, 1998, 4(4):423-431.

[17] 刘孝善,孙晓明. 金堆城钼矿成矿流体包裹体及稳定同位素研究[J]. 地质与勘探, 1989, 25(2):12-19.

Liu Xiao-shan, Sun Xiao-ming. Ore-forming fluid inclusions and stable isotopes of Jinduicheng porphyry molybdenum deposit [J]. Geology and Exploration, 1989, 2(25):12-19.

Geochemical Characteristics and Deep Metallogenic Prognosis of Balipo Porphyry Mo Deposit in East Qinling

YUAN Hai-chao¹, JIAO Jian-gang^{2,3}, LI Xiao-dong²

(1. 712 Team of Northwestern Geology Exploration Bureau for Nonferrous Metal Resources, Xianyang 712000; 2. School of Earth Science and Resources, Chang'an University, Xi'an 710054; 3. Key Laboratory of Western China's Mineral Resources and Geological Engineering, Ministry of Education, Xi'an 710054)

Abstract: Balipo Mo deposit is newly discovered in the periphery of Jinduicheng Mo deposit in East Qinling. From the field geology study, the granitic porphyry body and orebody stretches to southwest and the thickest orebody lies on the margin of southwest (ZK2101). The porphyry is geochemically characteristic of high Silicon, high Alkali, high Natrium in content, and high K Cal alkaline series, which are beneficial for Cu-Mo metallogeny. Study on Quartz vein fluid inclusion and micro-analysis of sulfide minerals proves Balipo deposit characterizes with meddle high temperature and high salinity hydrothermal genesis, as are good conditions for forming Cu Mo deposit, and there is an augmentation trend in average temperature and average salinity from northeast to southwest of the mine area. It is worthy of further prospecting in the southwest of the mine area.

Key words: geochemistry, fluid inclusion, metallogenic prognosis, Balipo Mo deposit, east Qinling