

金川南延地区基性-超基性小岩体类型与特征

彭桥梁¹, 曾南石², 李天虎¹, 王伟¹, 覃艳引²

(1. 西安地质矿产研究所, 国土资源部岩浆作用成矿与找矿重点实验室,
陕西 西安 710054; 2. 桂林理工大学地球科学学院, 广西 桂林 541004)

摘 要: 金川铜镍矿南延地区出露基性-超基性小岩体(群)近百处, 主要分布在塔马子沟附近的下元古界及白儿泉沟附近的震旦系中。小岩体规模小, 形态多为脉状、岩株状、岩墙状, 产状总体倾向南西, 倾角 70°左右。根据镜下特征及 X 射线粉晶衍射分析结果, 将这些岩体分为基性的变辉绿岩类和超基性的变辉橄岩类两大类。岩石化学分析结果显示, 这些岩体 Ni 含量为 $58 \times 10^{-6} \sim 1\,900.8 \times 10^{-6}$, Cr 含量为 $65.1 \times 10^{-6} \sim 4\,518.2 \times 10^{-6}$, ΣREE 含量变化于 $22.57 \times 10^{-6} \sim 308.20 \times 10^{-6}$, 具轻稀土富集而重稀土分异较弱的特征。与含矿岩体对比研究结果表明, 研究区出露的变辉橄岩与金川矿区含矿岩体具有相似的稀土配分形式, AFM 图上投影点都落入镁铁-超镁铁堆积岩区, 且同具高 Cr 富 Ni 的地球化学特征, 认为它们为同源岩浆异地侵入形成。

关键词: 金川; 基性超基性小岩体; 岩石学; 地球化学

中图分类号: P588.12 **文献标识码:** A

金川矿床是世界著名的超大型铜镍硫化物矿床之一, 自 20 世纪 50 年代发现以来, 许多地质学家对该地区的区域地质、矿床成因、地质构造特征等进行了研究。综合这些资料可以得知, 金川铜镍硫化物矿床是基性-超基性岩浆深部熔离贯入形成的超大型岩浆矿床(甘肃省地质矿产局第六地质队, 1984; 汤中立, 1995, 2006, 2007)。矿体的成因既有岩浆熔离作用的特点, 又有后期改造作用的特征, 其形成经历了 3 个阶段: 富含 Cu、PGE 岩浆深部熔离-脉动贯入、构造活化富集和后期热液叠加(高亚林等, 2009)。而田毓龙(2009)则认为含矿岩体存在岩浆通道型。金川超基性岩体可分解为“南岩带”与“北岩带”, 并将金川矿区构造变形事件分为: 岩体侵位前、侵位时及侵位后 3 个阶段(汪劲草, 2011)。

小岩体一般是指规模小, 在区域上与大岩体具有成因联系的浅成-深成侵入体。而小岩体矿床的

主要特征就是岩体小、矿床大而富。汤中立(2011)认为, 除了 Sudbury 矿床这个特殊的实例之外, 国内外所有具有经济意义的 Ni-Cu 矿床都寄生于小岩体中并自成一个成矿系统, 这类小岩体矿床仍是中国今后的主要勘查研究方向。李文渊(2007)也指出, 金川超大型岩浆 Cu-Ni-PGE 矿床外围找矿潜力较好的地区主要是与基性-超基性岩体相关的小岩体。

金川矿床含矿岩体为超基性岩, 因此对矿床外围出露的基性-超基性小岩体的研究对金川外围找矿有一定的意义。笔者主要探讨了南延地区出露的基性-超基性小岩体的岩石学及地球化学特征, 并与金川含矿岩体进行对比研究, 为金川外围进一步找矿勘查研究提供参考。

1 地质概况

金川铜镍硫化物矿床分布于华北克拉通阿拉善

地块西南边缘的前震旦纪龙首山隆起带内（图 1）。研究区位于现开采矿区的西南，面积约 24.3 km²。出露地层主要有太古界、元古界和古生界，其中太古界与元古界出露面积约占研究区面积的 90%。

地层呈北西向带状展布，倾向南西，似为复式背斜的一翼。断裂构造发育，以北西向压性断裂为主，近东西向平移断裂次之，大小断裂纵横交错，极为复杂。

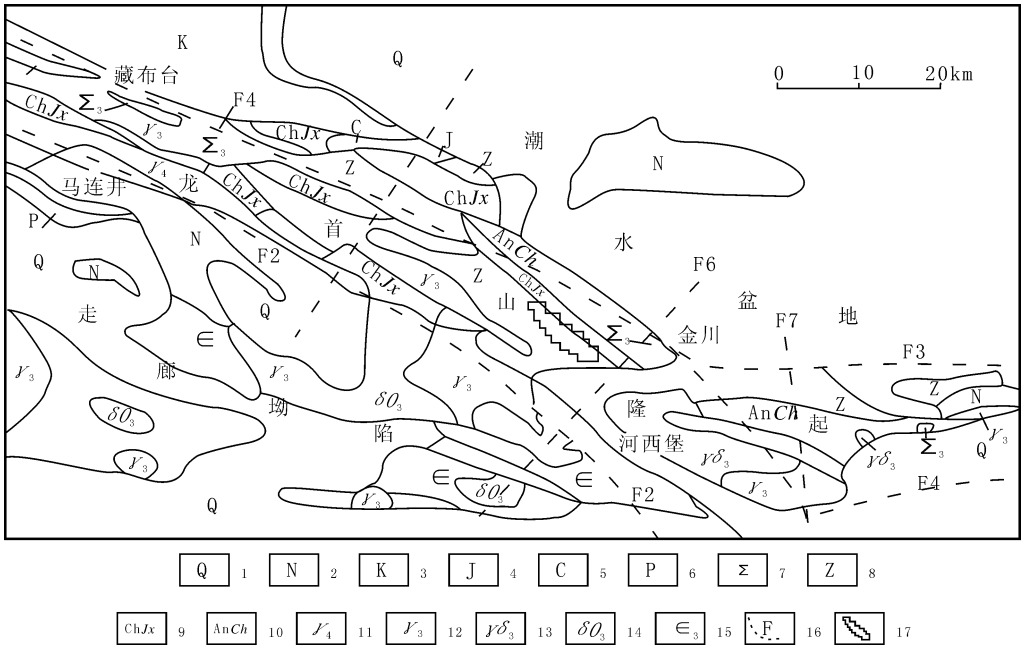


图 1 金川地区区域地质图

Fig. 1 Regional geologic map in Jinchuan area

1. 第四系；2. 新近系；3. 白垩系；4. 侏罗系；5. 石炭系；6. 二叠系；7. 寒武系；8. 震旦系；9. 长城—蓟县系墩子沟群；10. 前长城系；11. 海西期花岗岩；12. 加里东期花岗岩；13. 加里东期花岗闪长岩；14. 加里东期石英闪长岩；15. 加里东期超基性岩；16. 推断深断裂带；17. 研究区

根据岩石学特征、构造关系及有关基础地质资料,将研究区地层序列分作 4 个单元层(曾南石, 2009):①太古界白家嘴子组。由花岗质混合岩、混合片麻岩、片麻岩和蛇纹石大理岩组成,是一套高角闪岩相的深变质岩系。②下元古界塔马子沟组。主要由变粒岩、石英片岩、片麻岩及含碳质大理岩组成,其变质程度较前者低,为低角闪岩相变质作用的产物。③中上元古界震旦系烧火筒群组与古生界寒武系。主要由砾状白云岩、薄层状白云质灰岩、含砾千枚岩及深色绢云母千枚岩组成,属冰水沉积碎屑岩建造,这是一些相当于绿片岩相变质的产物,为研究区的盖层底部。④泥盆系。由不显变质特征的钙质砂岩组成。

2 小岩体形态、规模与类型

2.1 形态与规模

根据野外调查,研究区内出露的基性-超基性

小岩体(群)主要分布在塔马子沟附近的下元古界及白儿泉沟附近的震旦系中,共有大小岩体近百处,呈串珠状断续分布(图 2)。小岩体形态多为岩脉状、透镜状、岩株状、岩墙状,平面形态一般近等轴状、椭圆形,有的为不规则状、纺锤状和长条状,也有为上大下小的漏斗状等。小岩体产状总体倾向南西,倾角 70°左右。岩体规模都较小,最大的仅为 0.05 km²,其他的岩体均不足 0.01 km²。地表出露范围大部分长 20~500 m,宽 5~50 m。其中,最大一条岩脉地表出露长约 1 500 m,最小宽度为 16 m,最大宽度为 50 m。岩体具分支、复合现象,与围岩接触面多不规则,以岩枝、岩脉侵入围岩。岩体多陡倾斜或直立,与围岩界限清楚,这是小岩体被动侵位时的空间形态造成的。

2.2 岩石类型

早期的地质调查对研究区内的基性-超基性小

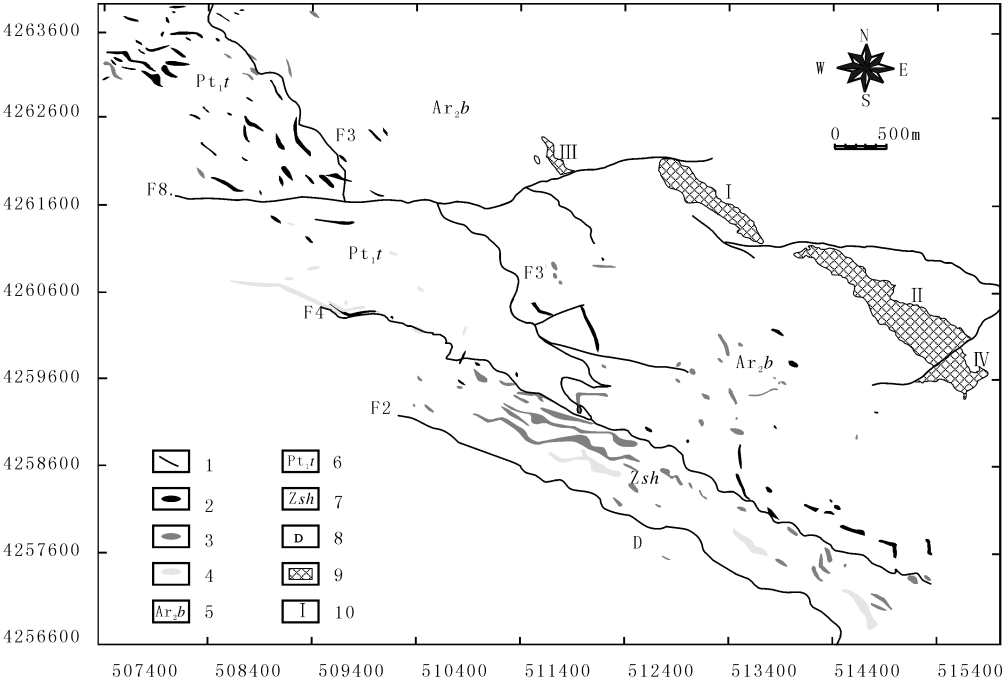


图 2 金川南延地区基性-超基性岩分布图

Fig. 2 Distribution of basic-ultrabasic intrusions in the southwest of Jinchuan deposit

1. 断层; 2. 斜长角闪岩; 3. 变辉绿岩; 4. 变辉橄岩; 5. 上太古界白家嘴子组; 6. 下元古界塔马子沟组;
7. 上元古界烧火筒群; 8. 泥盆系; 9. 金川岩体; 10. 金川岩体编号

岩体略有涉及,但多数仍局限于早年的小比例尺区调工作,且至今尚未有一个比较系统的论述。据野外调查,区内出露的小岩体分布明显受到构造控制,断裂使得早期形成的岩体经历了较强的变形变质作用,其内部的原生组构多数已被破坏,岩石类型比较复杂。本次研究中,笔者对研究区所产出的基性-超基性小岩体进行了系统采样,所采岩石标本首先在室内进行分类,然后磨制光薄片,在镜下对岩石组构、蚀变特征和交代关系等进行了详细观察。对镜下较难定名的岩石标本全部磨制粉末样进行X衍射粉晶衍射物相分析(使用仪器为荷兰帕纳科公司X'Pert PRO),同时辅助以能谱分析(EDS)(使用仪器为英国牛津公司生产IE 350型),以确定矿物组成及含量特征。在此基础上,对各岩石标本分别作了准确定名。根据研究结果,将这些岩体按被改造特征及蚀变作用分为三种类型:斜长角闪岩、基性的变辉绿岩类及超基性的变辉橄岩类(彭桥梁,2009)。

3 岩石学特征

研究区出露的基性-超基性岩结构比较复杂,

且发生了较强的蚀变,原生的矿物成分及结构构造也发生了较大的变化。根据前面的研究,可分为斜长角闪岩、基性的变辉绿岩类及超基性的变辉橄岩类,具体特征如下。

3.1 斜长角闪岩

斜长角闪岩化的基性侵入体多呈暗绿色或墨绿色,具中粗粒变晶结构,块状构造。主要产在白家嘴子组和塔马子沟组等老地层中的北西—北西西向剪张裂隙中。其主要造岩矿物组合为普通角闪石(40%~60%)、基性斜长石(30%~50%),矿物粒度为0.2~0.8 mm。角闪石呈半自形-他形柱状,黄绿色—深绿多色性,集合体呈宽窄不一的断续条纹。粒度大的普通角闪石晶体内常包嵌有石英等矿物包裹体,但一些粒度细小的角闪石常和细粒斜长石相互穿插呈定向分布。斜长石呈他形粒状和板柱状,聚片双晶发育,有些颗粒有绿帘石化和绢云母化现象;石英呈他形粒状,集合体不均匀地分布在角闪石颗粒间,少数较小颗粒的石英和斜长石常包嵌于角闪石晶体内部,构成筛状变晶结构。副矿物有绿泥石、黑云母、石英、榍石、磁铁矿等。这是一套经受了相当于低角闪岩相变质作用改造的矿物组

合。根据次要矿物的含量以及特征、变质矿物种类,又可以将斜长角闪岩细分为黑云斜长角闪岩、透辉斜长角闪岩及绿泥斜长角闪岩等。该类岩石主要呈岩枝状分布在下元古界塔马子沟组地层中。

3.2 变辉绿岩

变辉绿岩呈绿色和浅绿色,中粒结构,块状构造。主要呈脉状和岩枝状产于各个时代的地层。侵入到白家嘴子组和塔马子沟组等老地层北西—北西向剪张裂隙中的辉绿岩体已经历了相当于绿片岩相至角闪岩相的变质作用,被改造成斜长角闪岩。多数岩石在剖面上与其他岩石有明显边界,其矿物组成中以斜长石、阳起石(透闪石)为主。副矿物有含磷灰石、黑云母、石英、榍石等。

分布在震旦系及其他老地层中的相对浅色的基性侵入体经历了相当于绿片岩相低级变质作用,矿物组分以角闪石、斜长石为主,镜下可见的角闪石多为相当于透闪石-阳起石系列的浅色闪石,而斜长石则保留下来交代残余的辉石、橄榄石构成辉绿结构。

侵入到泥盆系的变辉绿岩脉呈棕黑色,镜下X衍射分析表明,它们受到伊丁石化或蒙脱石化等后期蚀变作用,可能为晚期低级变质或热液或风化作用的产物。

3.3 变辉橄岩

变辉橄岩呈墨绿—灰绿色,多具中粗粒结构,镜下常见包橄结构及鳞片变晶结构,块状构造。岩石因受后期热液蚀变,多出现强透闪石化,矿物成分发生很大变化,一般橄榄石很少保留原生晶体,同时沿其解理、裂纹常分布有尘状或微粒状的磁铁矿。在受蛇纹石化的晶体内部,还伴有透闪石、滑石、碳酸盐等热液蚀变矿物,它们可能是橄榄石受多期热液蚀变的产物,并呈微细脉交代或鳞片状集合体充填于早期造岩矿物粒间。副矿物主要为铬尖晶石、金云母和磁铁矿等。蚀变矿物有蛇纹石、透闪石、绿泥石、磁铁矿和伊丁石等。

变辉橄岩小岩体主要呈透镜状、长条状或脉状分布。它们多与受浅变质的变辉绿岩脉相伴,主要出现在研究区南部的塔马子沟组和震旦系中。空间分布明显受到北西向张性断裂的控制,在研究区南部形成一条断续的串珠状岩带。

根据前面的研究,结合矿物学及岩相学笔者认为,金川南延地区出露的基性-超基性岩大致经历

了3期主要的变质作用:①白家嘴子组基性-超基性岩均经历了高角闪岩相区域变质作用,该变质阶段的代表性矿物组合为褐色普通角闪石+斜长石+石榴石。②塔马子沟组主要经历了低角闪岩相区域变质作用,此变质矿物组合为浅绿色普通角闪石+斜长石+石英+黑云母。③经历了前面两期变质作用后,白家嘴子组、塔马子沟组及研究区南部的震旦系一起经历了相当于绿片岩相区域低温动力变质作用,其变质标志是岩石中出现浅色阳起石(透闪石)+斜长石+绿泥石组合,表现为褐色角闪石、单斜辉石退变为绿色角闪石而保留残余核,这一变质矿物组合是后期变质作用叠加的结果。

4 岩石地球化学特征

4.1 样品采集及分析方法

本次研究在塔马子沟与白儿泉沟附近共采集基性-超基性岩石样品199件,岩性为斜长角闪岩、变辉绿岩及变辉橄岩。经镜下鉴定及X射线粉晶衍射后,对不同岩性的样品选取了风化较弱的代表性岩石进行岩石化学分析,分析由桂林矿产地质研究院岩矿测试中心完成。其中主量元素测试使用日本理学3080E3型X射线荧光光谱仪分析,微量元素和稀土元素测试采用美国X series等离子体质谱仪分析,分析精度均优于5%。

4.2 主量元素

研究区内岩体以区域变质作用为主,因此常量元素特征在很大程度上反映了超基性岩中造岩矿物的化学成分特征,即岩浆的主要成分特征。由表1中可以看出,样品 SiO_2 含量为39.01%~50.53%,平均46.68%,变化范围比较稳定,均属基性-超基性岩的成分范围。随着岩石中 SiO_2 含量的增加, Al_2O_3 、 $\text{Na}_2\text{O}+\text{K}_2\text{O}$ 含量增加,而 MgO 、 TFeO (全铁)则减少,这意味着研究区内的岩性差异主要是由结晶分异作用引起的,岩石向贫Mg、Fe富Si碱的方向演化。 $\text{Na}_2\text{O}+\text{K}_2\text{O}$ 与 MgO 之间的负相关关系(图3)也和此结论相符。 CaO 含量为3.89%~12.80%,平均为8.29%,变化范围较大,可能因碳酸盐化及绢云母化的变质程度所引起。 Na_2O 、 K_2O 含量变化均较大,可能因后期绿片岩相和角闪岩相变质作用使其发生迁移,致使浓度降低或发生地壳流体交代而富集。 $\text{Mg}^\#$ 主要集中在

表 1 金川南延地区基性-超基性岩化学分析结果 (%)

Tab. 1 Analysis results of basic-ultrabasic rocks in the southern of Jinchuan (%)

岩石类型		样号	SiO ₂	TiO ₂	Al ₂ O ₃	Fe ₂ O ₃	FeO	MnO	MgO	CaO	Na ₂ O	K ₂ O	P ₂ O ₅	烧失量	总量	Mg [#]
南延地区	变辉橄岩	B-32	41.15	0.33	5.01	3.74	8.74	0.11	25.20	3.89	0.30	0.08	0.04	9.06	97.64	83.84
		B-13	45.71	0.27	8.67	1.26	8.68	0.16	21.14	6.82	0.22	0.09	0.02	6.11	99.15	81.43
		b-32	43.85	0.29	5.41	4.23	9.07	0.13	26.12	3.84	0.22	0.07	0.04	4.43	97.70	83.83
		B-34	39.01	0.25	4.83	3.98	8.46	0.11	24.52	5.08	0.16	0.05	0.53	10.66	97.66	83.92
	斜长角闪岩	B-71	47.15	3.30	14.75	0.51	12.08	0.23	6.06	8.81	2.69	0.48	0.46	1.69	98.20	47.44
		B-75	47.75	3.26	11.54	3.40	12.25	0.23	5.33	8.96	2.38	0.90	0.32	2.59	98.91	43.92
		C-20	47.86	2.78	12.91	4.28	10.98	0.20	4.87	7.95	2.54	1.31	0.49	2.82	98.99	44.39
		B-76	47.92	3.45	14.11	0.21	12.48	0.24	5.64	9.54	2.32	0.82	0.51	0.95	98.19	44.87
	变辉绿岩	b-29	50.14	2.30	13.52	0.94	10.06	0.17	5.94	10.68	1.85	0.37	0.29	2.21	98.47	51.51
		B-23	46.60	1.82	15.92	4.81	6.27	0.17	6.96	9.53	2.70	0.66	0.48	2.98	98.90	66.64
		b-24	47.42	1.29	15.50	3.32	5.75	0.13	8.16	7.29	3.58	2.23	0.69	3.50	98.86	71.87
		B-36	45.23	2.40	13.32	6.95	2.34	0.10	5.84	12.80	1.62	0.77	0.38	7.53	99.29	81.79
	变辉绿岩	b-9	49.54	0.53	9.29	3.51	9.25	0.16	12.77	10.01	0.87	0.37	0.07	2.25	98.62	71.31
		b-2	50.53	3.05	12.26	0.46	12.32	0.22	5.60	9.94	1.52	0.50	0.79	0.93	98.14	45.02
金川矿区	二辉橄榄岩	26-01	38.50	0.10	1.76	0.80	11.01	0.12	37.07	1.79	0.00	0.02	0.03	8.03	99.23	85.84
		26-02	38.19	0.12	1.70	1.70	10.40	0.14	35.56	0.18	0.00	0.00	0.02	11.47	99.48	86.02
		26-04	37.51	0.10	1.44	1.20	10.03	0.13	36.96	0.87	0.01	0.00	0.02	12.05	100.32	86.90
	二辉岩①	81	43.37	0.58	7.04	2.37	9.09	0.13	24.67	5.01	0.38	0.28	0.09	\	93.01	83.01
		82	42.20	0.40	6.74	3.20	10.67	0.10	24.56	4.90	1.08	0.27	1.01	\	95.13	80.56
		83	43.77	0.54	6.98	2.37	8.99	0.13	24.81	5.06	0.46	0.24	0.09	\	93.44	83.24
	含二辉橄榄岩①	25	40.63	0.23	5.44	2.28	9.33	0.12	29.93	3.64	0.37	0.05	0.08	6.20	98.30	85.24
		26	41.05	0.32	3.98	2.59	9.82	0.15	29.38	3.54	0.61	0.26	0.07	6.30	98.07	84.34
		27	40.16	0.41	4.55	1.50	10.40	0.19	29.91	4.23	0.34	0.19	0.09	6.64	98.61	83.81
	纯橄岩②	jc-1	35.27	0.22	1.06	7.91	6.04	0.11	35.27	1.06	0.39	0.10	0.03	11.24	98.70	91.31
		jc-2	27.83	0.10	3.95	5.05	7.11	0.05	33.17	5.40	1.55	0.08	0.05	13.94	98.28	89.36
	辉石岩②	jc-3	44.18	0.58	9.34	2.85	8.20	0.16	17.59	9.86	0.83	0.37	0.09	4.97	99.02	79.43
中国超基性岩			43.67	0.90	4.53	4.22	7.77	0.25	25.34	8.79	0.90	0.41	0.11	3.11	100.00	85.44
中国基性岩			48.25	2.08	14.90	4.17	7.61	0.21	6.93	8.27	3.30	1.72	0.56	2.00	100.00	62.11

注：Mg[#] = 100 × Mg²⁺ / (Mg²⁺ + Fe²⁺) (摩尔比率) ①据汤中立，1995；②据梁有彬，1997。

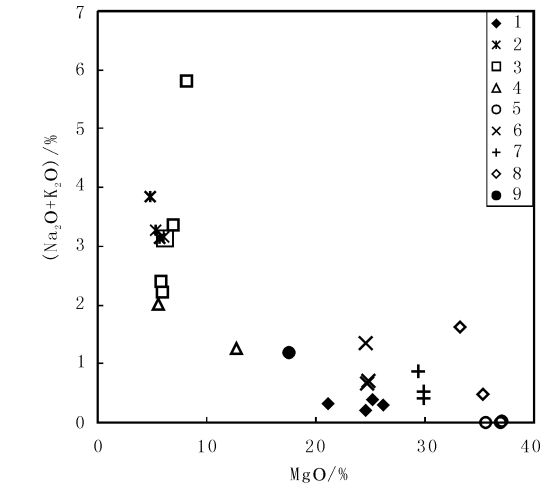


图 3 Na₂O+K₂O 与 MgO 相关关系图

Fig. 3 Related diagram of Na₂O+K₂O and MgO
◆. 变辉橄岩; ×. 斜长角闪岩; □. 变辉绿岩; △. 变辉长岩; ○. 二辉橄橄岩; ×. 二辉岩; +. 含二辉橄橄岩; ◇. 纯橄岩; ●. 辉石岩

在 40~50、80~90 两个区段，且基性程度越高的岩石 Mg[#] 也越大。

对比金川含矿岩体，南延地区出露的变辉橄岩与含矿岩体主量元素含量很相近，同属超基性岩。在 Na₂O+K₂O 与 MgO 图上，变辉橄岩与含矿岩体落入同一区域中。而在 AFM 图解上（图 4），南延地区和矿区岩石样品投影点都落在大陆拉斑玄武岩区，且在靠近 MF 一边的位置，反映它富 Fe、Mg 的特点，仅 1 个样品落入钙碱性岩区，说明这些样品具有相同的岩石系列特征与类型。其形成是地幔物质上涌而产生具有大洋性质的拉斑玄武质系列岩浆，并沿着裂隙通道分期侵入形成。其中南延地区变辉橄岩和矿区岩石样品落入镁铁-超镁铁堆积岩区，表明它们具有相类似的源区特征，且主要表现出矿物的堆积作用。而其他样品则主要表现出岩浆的分离结晶作用。在 Harker 图解中（图 5），

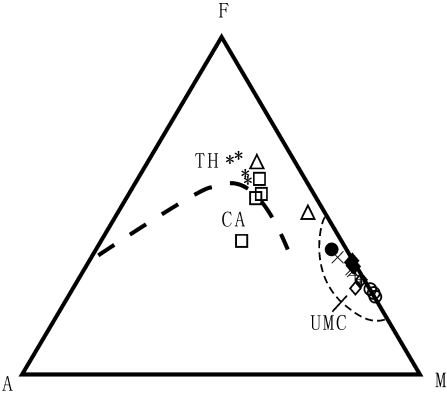


图 4 AFM 图解

Fig. 4 AFM diagram

TH. 拉斑玄武岩区；CA. 钙碱性玄武岩区；
UMC. 镁铁超镁铁堆积岩
(图例同图 3)

SiO₂、FeO、Na₂O、TiO₂、P₂O₅ 含量随着 MgO 含量的升高而降低，说明岩浆演化时曾发生过橄榄石、辉石和钛铁矿等结晶分异作用，同时 Al₂O₃ 含量也随之降低，这与岩浆结晶的一般特征相符。

4.3 微量元素

众所周知，过渡族及主成矿元素能反映基性-超基性岩石的演化与成因，Ni、Cr 异常可反映橄榄石（Ni）和单斜辉石或尖晶石（Cr）的作用。由表 2 可以看出，金川南延地区岩体总体显示出相容元素（Ni、Cr、Co 等）含量高，不相容元素（Rb、Ba 等）含量低的特点。样品中 Rb、Sr、Ba 变化较大，Ni 含量为 $58\times10^{-6}\sim1900.8\times10^{-6}$ ，Cr 含量为 $65.1\times10^{-6}\sim4518.2\times10^{-6}$ ，基性程度越高 Cr 和 Ni 含量越高，这反应了基性-超基性岩高 Cr

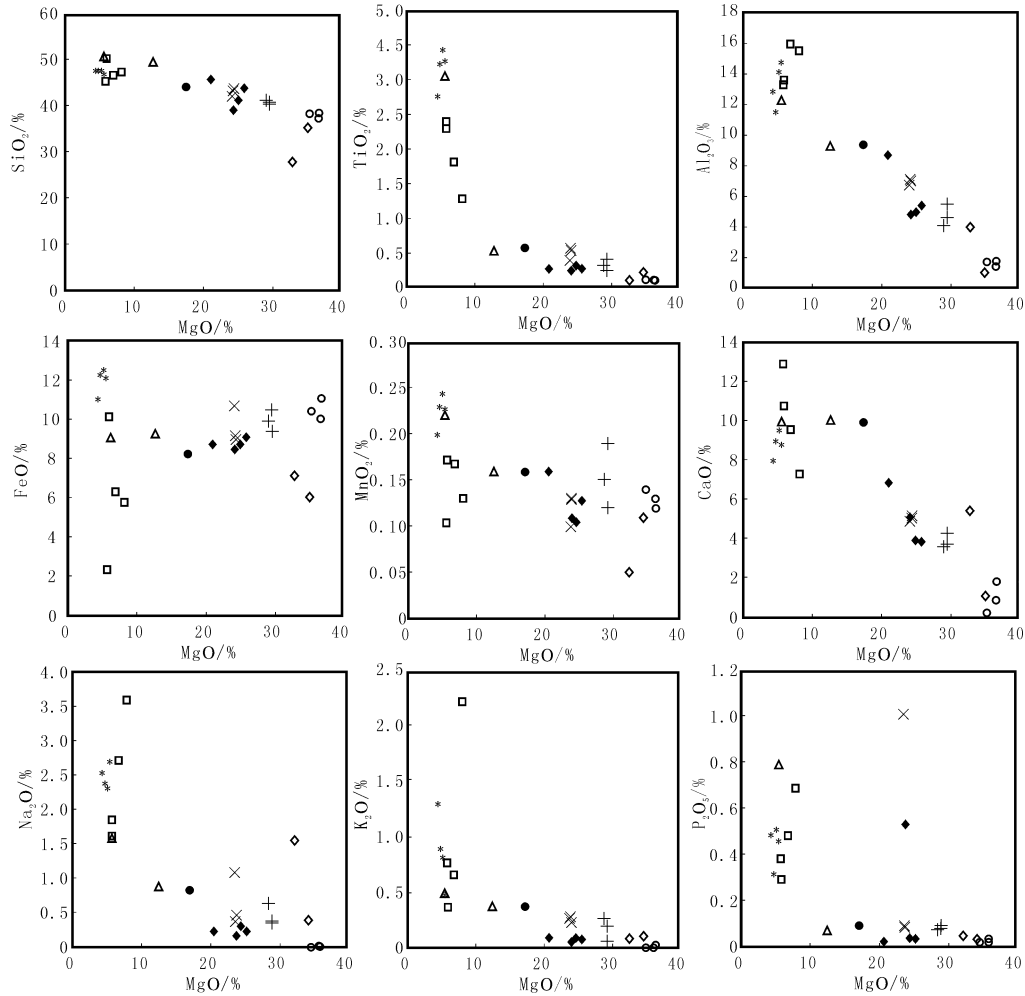


图 5 金川南延地区基性超基性小岩体 Harker 图解

Fig. 5 Harker diagram of the basic-ultrabasic intrusions in the southwest of Jinchuan
(图例同图 3)

表 2 金川南延地区基性-超基性岩微量元素分析结果

Tab. 2 Trace element analysis results of basic-ultrabasic rocks in the southern of Jinchuan

岩石类型		样品编号	Y	Sc	Cr	Co	Ni	Cu	Rb	Sr	Zr	Ba
南延地区	变辉橄岩	B-32	7.8	32.1	4518.2	57.5	1632.2	14.6	13.1	28.7	26.7	167.2
		B-13	12.2	26.9	2850.0	65.0	795.0	40.5	2.7	14.9	32.3	253.0
		b-32	8.4	19.7	4035.8	49.6	1612.7	40.7	5.6	19.6	18.9	110.6
		B-34	11.2	24.6	4489.4	38.2	1900.8	26.7	8.4	23.4	32.5	132.6
	斜长角闪岩	B-71	24.1	45.9	76.0	43.8	98.6	42.3	30.6	157.1	28.7	294.7
		B-75	40.1	42.8	90.3	47.0	58.0	218.0	28.4	272.0	21.4	378.0
		C-20	35.1	37.3	154.0	46.4	56.7	59.5	49.8	401.0	35.2	607.0
		B-76	19.5	28.7	65.1	36.9	90.3	64.7	45.2	210.6	76.8	183.6
	变辉绿岩	b-29	31.5	31.2	124.8	38.1	103.0	29.6	65.7	731.5	93.4	534.1
		B-23	27.9	18.7	144.1	29.6	133.5	51.8	83.4	367.8	68.4	376.6
		b-24	23.5	25.7	291.0	31.7	139.0	52.2	78.6	1092.0	145.0	719.0
		B-36	24.5	26.1	270.7	32.1	159.8	69.4	64.8	267.3	92.1	429.5
	变辉长岩	b-9	17.4	42.5	1501.0	54.0	270.0	21.7	21.8	65.6	29.5	71.1
		b-2	15.6	40.3	134.6	49.3	91.0	38.4	31.5	73.5	38.7	89.4
金川矿区	二辉橄榄岩	26-01	3.0		4515.0	155.0	1904.0	0.0	2.0	45.0	11.0	0.0
		26-02	4.0		5435.0	111.0	1474.0	0.0	2.0	10.0	14.0	0.0
		26-04	3.0		4246.0	101.0	1425.0	0.0	1.0	21.0	10.0	0.0
	纯橄岩①	I-13	1.6	7.1	4580.0	197.0	2653.0		17.9	1.2	11.1	
		I-18	2.3	5.4	4843.0	213.0	4269.0		4.7	12.3	16.8	
	二辉橄榄岩①	I-4	4.1	8.9	5172.0	176.0	2143.0		9.6	21.7	24.0	
		I-8	3.9	7.8	5129.0	139.0	2005.0		6.2	31.3	19.8	
	橄榄二辉岩①	I-25	3.9	21	4118.0	301.0	4641.0		2.4	76.0	17.3	
		I-29	3.8	11.9	5803.0	242.0	4688.0		2.0	81.4	26.0	
	上地幔丰度②		5.0	10.0	1600.0	160.0	1500.0	40.0	2.6	120.0	50.0	76.0

注：①据汤中立，2006；②据黎彤，1982。含量： $w_B/\times 10^{-6}$ 。表中空白处表示未分析该项。

富 Ni 的地球化学背景。变辉橄岩的 Cr、Ni 含量与金川矿区含矿岩体较接近，暗示其间存在成因上的演化继承关系及岩浆源区的相似性。由于在岩石鉴定中并未发现铬铁矿，故推断 Cr 和 Ni 的富集主要受橄榄石和单斜辉石结晶的控制。分析的几个样品中 Co 含量较低且稳定，为 $31.7\times 10^{-6}\sim 65\times 10^{-6}$ ，Cu 含量大部分在 50×10^{-6} 左右，个别达 218×10^{-6} ，可能与后期的变质活动有关。

4.4 稀土元素

稀土元素在岩石中的丰度分布及其聚集迁移的规律性和特征有助于研究岩浆的起源、演化和岩石成因类型等岩石学问题。由表 3 中看出，南延地区的岩体 ΣREE （不含 Y）变化于 $22.57\times 10^{-6}\sim$

308.20×10^{-6} ，且变变辉绿岩>斜长角闪岩>变辉橄岩，基性程度越高，稀土总量越低。 $\Sigma\text{Ce}/\Sigma\text{Y}$ 、 LaN/YbN 均明显大于 1，显示 LREE 富集的特点。LREE/HREE 变化于 3.46~14.08，大部分在 5 左右。 δEu 变化于 0.47~0.95，异常不明显，显示在样品中没有发生明显的斜长石分离结晶作用，也反映了岩浆经历了一定的地壳物质混染，这和主量元素分析结果相一致。而金川矿区 ΣREE （不含 Y）介于 $13.94\times 10^{-6}\sim 63.91\times 10^{-6}$ ，总体含量偏低，南延地区中的变辉橄岩稀土总量也位于此区间中，表明它们之间存在相似的岩浆源区。

而在稀土元素配分图上（图 6-a），配分曲线右倾，同样显示 LREE 富集的特点，HREE 表现为

表 3 金川南延地区基性-超基性岩稀土元素分析结果 (×10⁻⁶)

Tab. 3 REE analysis results of basic-ultrabasic intrusions in the southern of Jinchuan (×10⁻⁶)

岩石类型		样品编号	La	Ce	Pr	Nd	Sm	Eu	Gd	Tb	Dy	Ho	Er	Tm	Yb	Lu	Y	ΣREE	La _N /Yb _N	δEu
南延地区	变辉长岩	B-32	4.34	11.37	1.21	4.24	1.05	0.18	1.28	0.27	1.49	0.3	0.82	0.12	0.84	0.14	7.79	27.65	3.71	0.47
		B-13	5.09	19.52	1.68	5.3	1.31	0.26	1.7	0.33	2.19	0.42	1.35	0.19	1.21	0.18	8.39	30.85	3.87	0.73
		b-32	4.64	13.2	1.33	4.72	1.22	0.3	1.27	0.26	1.57	0.31	0.91	0.13	0.86	0.13	24.46	40.73	3.02	0.53
	斜长角闪岩	B-75	17.03	34.86	5.42	26.53	6.65	2.11	7.4	1.29	7.79	1.53	4.11	0.6	3.5	0.53	40.08	119.35	3.49	0.92
		C-20	36.3	94.01	11.01	43.8	8.35	2.47	8.14	1.25	7.02	1.28	3.85	0.54	3.3	0.48	35.14	116.78	7.89	0.90
	变辉绿岩	b-24	57.8	126	16.98	72.81	11.41	2.76	8.52	1.07	4.96	0.88	2.37	0.33	1.99	0.32	23.51	132.23	7.36	0.93
		B-36	21.66	46.05	6.52	29.56	6.7	2.09	6.94	0.99	5.39	0.97	2.62	0.33	2.11	0.3	12.19	308.20	20.83	0.82
	变辉长岩	b-9	8.87	18.58	2.47	10.23	2.51	0.59	2.88	0.5	3.23	0.66	1.86	0.27	1.77	0.27	17.38	54.69	3.59	0.67
金川矿区	橄榄二辉岩①	86LB-404	14.00	26.40	3.60	10.40	1.90	0.27	1.50	0.23	1.90	0.44	1.40	0.32	1.20	0.35	8.80	63.91	8.37	0.47
	橄榄二辉岩①	86LB-252	11.60	20.80	3.60	10.80	2.80	0.80	2.50	0.34	2.40	0.50	1.30	0.36	1.00	0.38	9.60	59.18	8.32	0.91
	纯橄岩①	87Y73	2.00	4.90	0.61	3.00	0.80	0.12	0.68	0.10	0.68	0.14	0.49	0.06	0.31	0.05	2.80	13.94	4.63	0.48
	含辉橄岩 贫矿石②	YC-1	3.83	7.99	0.96	5.02	1.12	0.34	1.01	0.15	0.93	0.18	0.49	0.07	0.42	0.06	5.10	22.57	6.54	0.96
	二辉橄岩 贫矿石②	YC-2	5.34	13.01	1.49	7.16	1.50	0.44	1.47	0.23	1.47	0.28	0.77	0.11	0.65	0.09	6.99	34.01	5.89	0.90
	斜长二辉橄 榄岩②	YC-3	5.47	10.78	1.36	6.54	1.47	0.46	1.45	0.23	1.38	0.27	0.76	0.11	0.66	0.10	7.23	31.03	5.94	0.95
	橄榄辉石岩③	YC-4	3.61	8.96	1.27	5.05	1.10	0.32	1.08	0.16	1.10	0.21	0.58	0.09	0.52	0.08	5.85	24.13	4.98	0.89
	二辉岩③	Px-2	6.04	14.60	1.79	7.97	1.71	0.53	2.05	0.19	1.75	0.33	0.80	0.11	0.58	0.08	\	38.53	7.47	0.86
	二辉橄岩④	jc04-11	2.87	6.31	0.80	3.24	0.68	0.20	0.68	0.10	0.61	0.12	0.34	0.05	0.35	0.05	3.17	16.40	5.88	0.89
	二辉橄岩④	jc-1	6.27	14.00	2.04	9.63	2.34	0.64	2.42	0.41	2.49	0.52	1.34	0.22	1.30	0.20	13.60	43.82	3.46	0.82

注：①据杨轩柱，1991；②据梁有彬，1997；③据汤中立，2006；④据焦建刚，2006。

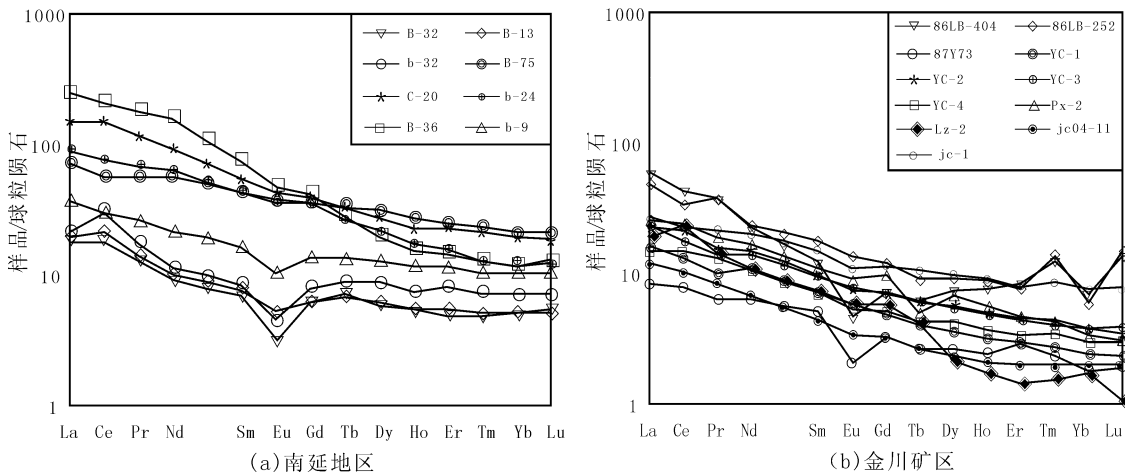


图 6 金川矿区及南延地区基性-超基性岩稀土元素球粒陨石标准化分布型式对比图

Fig. 6 Comparative diagram of the distribution of REE of basic-ultrabasic intrusions in Jinchuan deposit and its southern

近平行的分布曲线，表明岩体源于富集地幔源区。曲线形态上轻稀土部分右倾斜率大，而重稀土部分较平坦，说明轻稀土本身分异明显，而重稀土分异较弱，这些特点总体上和金川矿区含矿超基性岩体稀土配分形式相似（图 6-b）。

5 结论

（1）金川南延地区出露基性-超基性小岩体（群）近百处，主要分布在塔马子沟附近的下元古界及白儿泉沟附近的震旦系中，形态多为脉状、岩

株状、岩墙状, 倾向南西, 倾角 70° 左右。根据矿物组合特征、岩石变质作用特征等, 将南延地区出露的基性-超基性小岩体(群)分为 3 种类型: 斜长角闪岩、基性的变辉绿岩及超基性的变辉橄岩。

(2) 南延地区岩石样品表现出低 SiO_2 、 K_2O 、 Na_2O 、 TiO_2 、 P_2O_5 , LREE 富集而 δEu 异常不明显。根据其与金川含矿超基性岩对比研究可知: 它们的分布均受到北西向断裂的控制, 原始矿物成分相似。尤其是南延地区出露的变辉橄岩与金川含矿岩体地球化学特征上具有极大的相似性: 它们基性程度相当; 都具有高 Cr 富 Ni 的地球化学特征; 且同具相近的总稀土含量及相类似的稀土配分形式; AFM 图上投影点都落入镁铁-超镁铁堆积岩区, 暗示其间存在成因上的演化继承关系及其岩浆源区的相似性。认为它们为同源岩浆异地侵入形成。

参考文献 (References):

甘肃省地质矿产局第六地质队. 白家咀子硫化铜镍矿床地质 [M]. 北京: 地质出版社, 1984.

The No. 6 bureau of geology and mineral resources of Gansu province. Mineral deposits of Baijiazui Cu-Ni sulfide deposit [M]. Geological Publishing House, Beijing, 1984.

汤中立, 李文渊. 金川铜镍硫化物(含铂)矿床成矿规模及地质对比 [M]. 北京: 地质出版社, 1995.

Tang Zhongli, Li Wenyuan. Mineralization scale and geologic contrast of Jinchuan Cu-Ni (platinum) sulfide deposit [M]. Geological Publishing House, Beijing, 1995.

汤中立, 钱壮志, 姜常义, 等. 中国镍铜铂岩浆硫化物矿床与成矿预测 [M]. 北京: 地质出版社, 2006.

Tang Zhongli, Qian Zhuangzhi, Jiang Changyi, et al. Ni-Cu-Pt magma sulfide deposits and metallogenic prediction in China [M]. Geological Publishing House, Beijing, 2006.

汤中立, 闫海卿, 焦建刚, 等. 中国小岩体镍铜(铂族)矿床的区域成矿规律 [J]. 地学前缘, 2007, 14 (5): 92-103.

Tang Zhongli, Yan Haiqing, Jiao Jiangang, et al. Regional metallogenic controls of small intrusion hosted Ni-Cu (PGE) ore deposits in China [J]. Earth Science Frontiers, 2007, 14 (5): 92-103

高亚林, 汤中立, 宋谢炎, 等. 金川铜镍矿床隐伏富铜矿体成因研究及其深部找矿意义 [J]. 岩石学报, 2009,

25 (12): 3379-3395.

Gao Yalin, Tang Zhongli, Song Xieyan, et al. Study on genesis of the concealed Cu-rich ore body in the Jinchuan Cu-Ni deposit and its prospecting in depth [J]. Acta Petrologica Sinica, 2009, 25 (12): 3379-3395.

田毓龙, 包国忠, 汤中立, 等. 金川铜镍硫化物矿床岩浆通道型矿体地质地球化学特征 [J]. 地质学报, 2009, 83 (10): 1515-1525.

Tian Yulong, Bao Guozhong, Tang Zhongli, et al. Geological and Geochemical Characteristics of the Magma Conduit-Type Orebodies of Jinchuan Cu-Ni Sulfide Deposit [J]. Acta Geologica Sinica, 2009, 83 (10): 1515-1525.

汪劲草, 汤静如. 金川超基性岩体形态演变对矿区构造的制约 [J]. 地质学报, 2011, 5 (3): 323-329.

Wang Jincan, Tang Jingru. Morphological Evolution of the Ultrabasic Intrusions in the Jinchuan Mine Area and Its Constraints on the Tectonic Process [J]. Acta Geologica Sinica, 2011, 5 (3): 323-329.

汤中立, 钱壮志, 姜常义, 等. 岩浆硫化物矿床勘查研究的趋势与小岩体成矿系统 [J]. 地球科学与环境学报, 2011, 33 (1): 1-9.

Tang Zhongli, Qian Zhuangzhi, Jiang Changyi, et al. Trends of Research in Exploration of Magmatic Sulfide Deposits and Small Intrusions Metallogenic System [J]. Journal of Earth Sciences and Environment, 2011, 33 (1): 1-9.

李文渊. 岩浆 Cu-Ni-PGE 矿床研究现状及发展趋势 [J]. 西北地质, 2007, 40 (2): 1-28.

Li Wenyuan. The Current Status and Prospect on Magmatic Ni-Cu-PGE Deposits [J]. Northwestern Geology, 2007, 40 (2): 1-28.

曾南石, 罗先谔, 彭桥梁, 等. 金川南延地区 Cu-Ni 矿化区地质特征和勘探 [J]. 西北地质, 2009, 42 (增刊): 78-81.

Zeng Nanshi, Luo Xianrong, Pen Qiaoliang, et al. The Exploration of Prospecting in the Southern Part of the Jinchuan Ni-Cu Sulfide Deposit, Gansu Province, China [J]. Northwestern Geology, 2009, 42 (Suppl.): 78-81.

彭桥梁, 曾南石, 罗先谔, 等. 金川南延地区基性超基性岩活动规律研究-类型、分布与改造 [J]. 西北地质, 2009, 42 (增刊): 64-66.

Pen Qiaoliang, Zeng Nanshi, Luo Xianrong, et al. Research on Basic-Ultrabasic Magmatic Activities in the Southern Part of Jinchuan Cu-Ni Sulfide Ore Deposit,

- Gansu Province, China-Types, Distribution and Metamorphism [J]. *Northwestern Geology*, 2009, 42 (Suppl.): 64-66.
- 梁有彬, 朱文凤, 宋国仁, 等. 金川铜镍型铂族元素矿床地质地球化学特征 [J]. *矿产与地质*, 1997, 1 (11): 1-11.
- Liang Youbin, Zhu Wenfeng, Song Guoren, et al. Geological and geochemical characteristics of the Jinchuan platinum group element deposit of the Cu-Ni type [J]. *Mineral Resources and Geology*. 1997, 1 (11): 1-11.
- 杨轩柱, 安三元, 侯世军, 等. 金川岩体稀土元素特征及其成因意义 [J]. *西安地质学院学报*, 1991, 13 (1): 16-22.
- Yang Xuanzhu, An Sanyuan, Hou Shijun, et al. The REE characteristics and the genesis significance of the Jinchuan ore-bearing ultrabasic intrusive [J]. *Journal of Xi'an College of Geology*, 1991, 13 (1): 16-22.
- 焦建刚, 闫海卿, 刘瑞平. 龙首山几个镁铁-超镁铁质岩体比较 [J]. *地质与勘探*, 2006, 42 (5): 60-65.
- Jiao Jiangang, Yan Haiqing, Liu Ruiping. Comparison of several mafic-ultramafic intrusions in the longshoushan mountain [J]. *Geology and Prospecting*, 2006, 42 (5): 60-65.

Types and Characteristics of Basic-Ultrabasic Small Intrusions in the Southwest Region of Jinchuan Ni-Cu Deposit

PENG Qiao-liang¹, ZENG Nan-shi², LI Tian-hu¹,
WANG Wei¹, QIN Yan-yin²

(1. *Key laboratory for the study of Focused Magmatism and Giant ore Deposits*, MLR, Xi'an Institute of Geology and Mineral Resources, Xi'an 710054, China;
2. *College of Earth Science, Guilin University of Technology, Guilin 541004, China*)

Abstract: More than 100 basic-ultrabasic small intrusions outcrop in the southwest of Jinchuan Ni-Cu mining area. They mainly distribute in the Lower Proterozoic stratum nearby Tamazi ditch and in the Sininan stratum along Baierquan ditch. Small intrusions are small size, shallow buried in the form of, vein, stock and dike. The attitude in general tends to southwest with a dip angle of about 70 degrees. Base on the characteristics of microscopy and X-ray powder diffraction, these intrusions are roughly divided into two kinds, there are the basic diabase and the ultrabasic josefite. The analysis results of petrochemistry show that the content of Ni and Cr of these intrusions are 58×10^{-6} - 1900.8×10^{-6} and 65.1×10^{-6} - 4518.2×10^{-6} , and the content of REE ranges from 22.57×10^{-6} to 308.20×10^{-6} . The enrichment of LREE is a typical characteristic of these intrusions, and the differentiation of the HREE is weak. Compared study results show that the josefite in the research area have similar mineral composition, similar content of trace elements and the similar distribution of REE with the ore bearing intrusions, indicating that they are evolved from the same magma activity.

Key words: Jinchuan; basic-ultrabasic small intrusions; petrology; geochemical