

石绿花岗闪长岩体的地质地球化学特征

罗少高 刘芳正

(广东有色地质939队)

阳春盆地位于东亚新华夏系第二隆起带的西南段、吴川—四会大断裂带中段的东南侧。盆地由一系列北北东—北东向背斜和向斜构成,并有成组成带的北北东—北东向断裂构造出现,燕山旋回的岩浆侵入活动受这组断裂构造控制。

盆地内各类内生金属矿产,均与两种类型的花岗岩体有成因联系。其中与I型(岗美—石绿型)花岗岩有关的矿床有:石绿夕卡岩铜钼矿、天堂斑岩铜钼多金属矿、黑石岗黄铁矿等;与S型(小南山—锡山型)花岗岩有关的矿床有:英武岭钨锡钼矿、锡山锡矿、小南山钨锡钼矿等。因此,研究这两种类型的花岗岩对普查找矿有重要的意义。本文仅对I型花岗岩中的石绿岩体的地质地球化学特征进行总结,并探讨其成岩条件和成矿物质来源,以帮助寻找同类矿床。

岩体的地质产状

石绿岩体为燕山四期中酸性花岗闪长岩侵入体,其锆石U—Pb法年龄为126百万年,黑云母K—Ar法年龄为125百万年。

岩体在平面上呈北东向延长,东南缘呈突向围岩的形态复杂的岩株,面积约5 km²。剖面上岩枝呈指状穿插或倒灌超覆,除局部与围岩层理整合接触外,其余皆以极陡之产状与围岩呈大角度交切。岩体的形态、产状受北西、北东两组交叉断裂控制。其中心部位岩石多为自形、半自形晶结构、不等粒结构,边缘及超覆部位具斑状、似斑状结构,并常见椭圆形的与围岩界线清晰的闪长质暗色深源包体。

石绿岩体是一个多相岩体,从南到北可以划分为石英闪长岩、斜长花岗岩及花岗闪长岩三个岩相带(图1)。各岩相带在空间上彼此互相交替、渐变过渡。

岩体的周边分别与寒武系、泥盆系及中上石炭系的变质砂页岩、灰岩呈陡倾斜侵入接触和超覆接触。在构造及岩性的有利部位,形成许多大小不等的似层状、透镜状、囊状、不规则状的夕卡岩型铁铜、铜钼、钨钼矿体,矿化深度超过1000米。

岩体与围岩的同化混染作用强烈,表现在近围岩部分的斜长石较基性,边缘的斜长石具反环带结构,岩体的边缘接触带附近暗色矿物含量增高,普通角闪石具单斜辉石的反应边,黑云母为普通角闪石所包围,透辉石、透闪石、蛇纹石等矿物在混杂带中出现等等。说明围岩与熔融岩浆接触时,通过双交代作用,围岩的成分进入了岩浆,特别是Ca²⁺、Mg²⁺的加入,改变了岩浆的酸度,形成了一定规模的同化混染带。

岩体的矿物成分

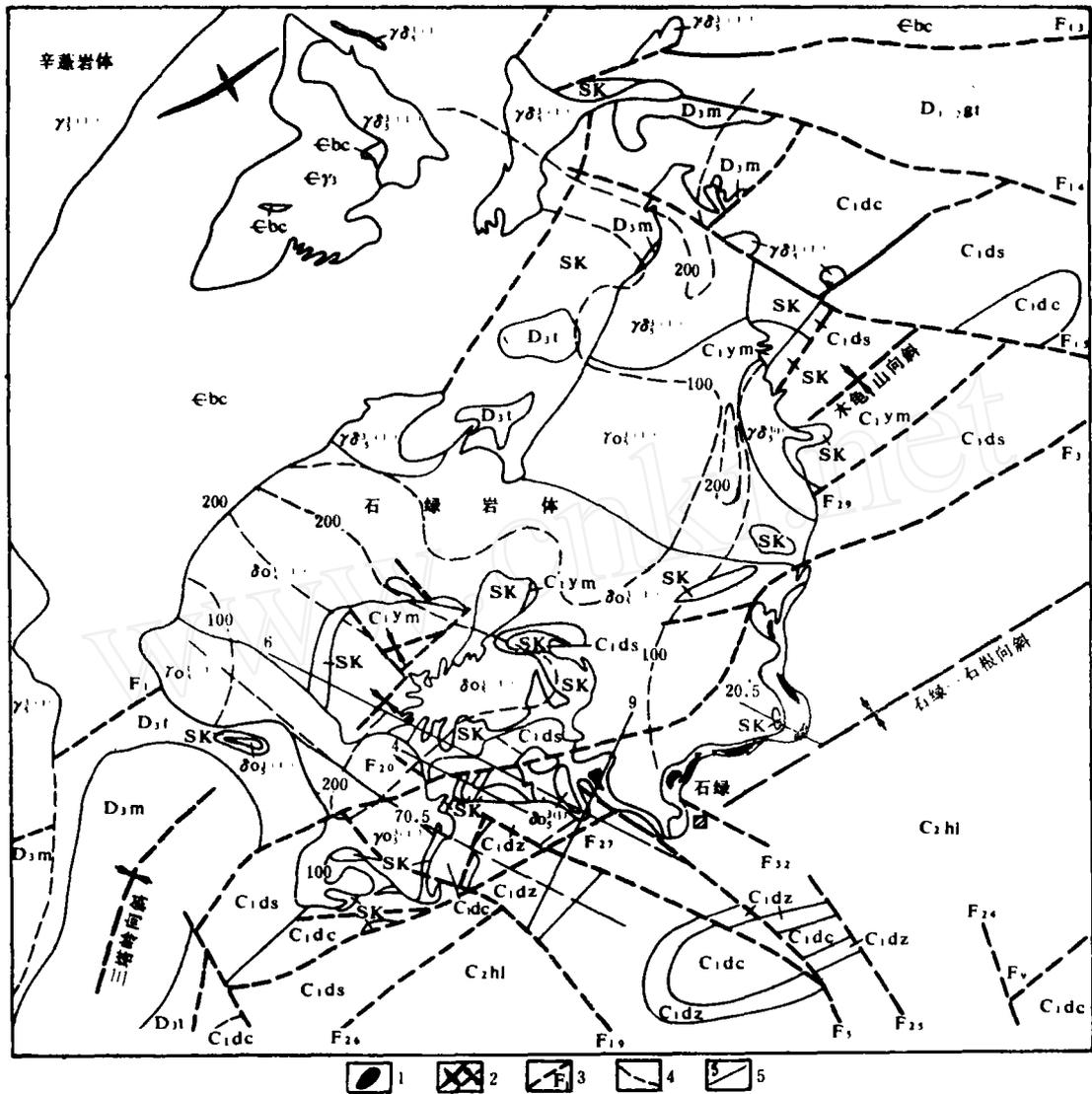
石绿岩体各相带矿物含量见表1。钾长石多属微斜长石类:斜长石以奥—中长石为主,An=25~50,以30~40为最普遍。有序度为0.75~1.0,以1.0为主。这表明岩体是在缓慢冷却及相对稳定的环境下形成的。石英含量变化大,从5~30%;暗色矿物含量较高,总量达10~15%,且黑云母含量高于角闪石,属Mg—Fe云母类;不透明矿物含量高,且绝大部分为磁铁矿、黄铁矿。

岩体的岩石化学特征

石绿岩体为钙碱性正常、铝过饱和系列的岩石。岩石化学成分及其参数计算结果如表2所示。与中国同类岩石相比,有以下特点:

(1) SiO₂含量偏高。

(2) K₂O、Na₂O含量明显偏低。(K₂O+Na₂O为4.20~6.20%),其碱值增长率和钠值增



石绿铜矿区地质图

Q—第四系洪、冲积层；C₁hl—中石炭统黄龙群灰岩、白云岩；C₁dz—下石炭统梓门桥段砂岩、页岩、灰岩、白云岩；C₁dc—下石炭统测水段砂页岩及灰岩；C₁ds—下石炭统石磴子段灰岩；C₁ym—下石炭统孟公坳组砂页岩；D₁m—上泥盆统帽子峰组砂页岩；D₁t—上泥盆统天子岭组条带灰岩；D_{1-gt}—中—下泥盆统桂头群砂（砾）岩；Ebc—寒武系八村群片岩；γ₃⁽¹⁾—燕山四期中细粒黑云母花岗岩；γ₀⁽¹⁾—燕山四期斜长花岗岩；γ₀⁽²⁾—燕山四期花岗闪长岩；δ₀⁽¹⁾—燕山四期石英闪长岩；ε₇—加里东旋回眼球状花岗质混合岩；SK—夕卡岩；1—原生铜矿体；2—背斜及向斜；3—实测、推测断层及编号；4—铜量等值线（ppm）；5—剖面及编号。

长率均为负值，而钾值增长率则可达2.27~9.0%（据桂林冶金地质研究所，1973年9月），说明岩体贫钠富钾，属亲硫性岩浆。

(3) Fe₂O₃ + FeO + MgO 总量偏低。其中 FeO 的含量高于 Fe₂O₃，Fe³⁺ / (Fe³⁺ + Fe²⁺ + Mn) = 0.17~0.36（见表5），表明岩体中是以 Fe²⁺ 为主，铁的氧化度 (Fe₂O₃ / FeO = 0.44~0.47，与我国同类含矿岩体的氧化度

相近，说明它具备了形成矿床所需的氧化还原条件。

(4) 高铝贫碱。Al₂O₃ / (K₂O + Na₂O + CaO) 值的大小是判断含矿岩体与非含矿岩体的重要标志之一，石绿岩体的 Al / (K + Na + 1/2Ca) = 0.94~1.07（见表5），其主要成矿元素集出现在热液—硫化物期，而在早期的接触交代期，仅有硅酸盐矿物出现。

石绿岩体各相带矿物组含量表

表 1

岩相	矿 物 含 量 (%)					副 矿 物	斜长石 有序度
	斜 长 石	钾长石	石英	黑云母	角闪石		
花岗闪长岩	40~50 An: 33 内环An: 36~18 外环An: 18~22	10~30	15~25	5~10		主要: 磁铁矿、锆石、磷灰石 次要: 榍石、黄铁矿 少量: 黄铁矿、辉钼矿、赤铁矿、方铅矿	0.75
斜长花岗岩	55~65 An: 38 内环An: 40~48 外环An: 28~36	2~10	15~20	3~10	2~10	主要: 磁铁矿、磷灰石、锆石、榍石、黄铁矿 次要: 绿帘石 少量: 黄铜矿、辉钼矿、黑钨矿、锡石、褐帘石	1.0
石英闪长岩	70~80 An: 43	2~10	7~15	3~10	2~10	主要: 磁铁矿、磷灰石、锆石、榍石、黄铁矿 次要: 绿帘石 少量: 黄铜矿、辉钼矿、方铅矿、绿泥石	0.8

(5) 岩石的里特曼组合指数 $\delta = 1.36 \sim 1.41$, 皮科克钙碱系数 $CA = 64$, 与我国长江中下游含铜岩体的数值相近。

(6) 岩体的分异指数 $DI = 63.8$, 与世界花岗闪长岩的分异指数相近。岩体的固结指数为 $17.18 \sim 19.95$ 。

石绿岩体的上述岩石化学特征, 与我国长江中下游地区含铁铜岩体相似, 但由于它又具有酸度偏高、碱度偏低及 K_2O 略高于 Na_2O 的特点, 因此岩体的含矿性由铁铜向铁钨矿化方向演化。

岩体的副矿物特征

(1) 石绿岩体的副矿物为磁铁矿—锆石—磷灰石—褐帘石及金属硫化物的组合类型。以磁铁矿含量高为特征(最高可达10千克/吨), 有时磁铁矿含量虽仅有数百克/吨, 但黄铁矿含量可达万余克/吨, 且前者被后者交代。各相带磁铁矿的晶形简单, 晶面条纹相同(见表3)。

(2) 锆石特征

① 锆石颜色较浅, 多为无色透明, 少量呈浅黄色、浅玫瑰色, 并含有黑色星点状包裹体。

② 岩体中发育有两种锆石聚形, 一种为柱面{100}发育的{110}、{111}、{311}复杂聚形, 另一种是复正方双锥面普遍出现和比较发育的双

锥体。

③ 锆石的长宽比一般大于3, 仅在岩体的边缘部分出现长宽比大于5的长柱状晶体, 可能与岩体的同化混杂作用有关。

岩体的微量元素特征

石绿岩体的微量元素含量如表4、5所示, 与世界酸性花岗岩平均含量相比, Li, Be, Nb, Ta, Rb, F 含量明显偏低, 而Cr, Ni, Co, Sr 含量明显偏高。且Li, Be, Nb, Ta, Rb 的含量均与F 的含量呈正相关关系。K/Rb, Ba/Rb 的比值较高, Rb/Sr 值较低。

岩体中16种稀土元素的总量达到 $0.007586 \sim 0.015152\%$, 其中以轻稀土元素较为富集(表6), $(\sum Ce-Gd) / \sum Y = 3.2 \sim 7.1$, $(\sum Ce-Eu) / (\sum Gd-Y) = 2.8 \sim 5.7$ 。并且Eu 无明显亏损 ($\delta Eu = 0.74 \sim 0.99$)。

矿化元素Cu, Mo, W 在岩体中的含量较高, 同生铜量值为 $24 \sim 93 ppm$, 平均 $56 ppm$ 。并且有从早期到晚期, 从石英闪长岩 ($76 ppm$) 到斜长花岗岩 ($47 ppm$)、花岗闪长岩 ($44 ppm$) 其同生铜量有逐渐降低的趋势。同生钼含量 $10 \sim 25 ppm$; 同生钨含量 $< 10 \sim 180 ppm$ 。为中酸性岩平均含量的 $2 \sim 10$ 倍。

表 2

石 绿 岩 体 岩 石 化 学 成 份 表

顺 序 号	岩 石 名 称	氧										物 重 量										分 数			MgO + CaO	<FeO> + MgO	K ₂ O K ₂ O + Na ₂ O
		SiO ₂	TiO ₂	Al ₂ O ₃	Fe ₂ O ₃	FeO	MnO	MgO	CaO	Na ₂ O	K ₂ O	H ₂ O	P ₂ O ₅	灼失量	总 和	Na ₂ O + K ₂ O											
1	石英闪长岩	64.04	0.43	16.36	1.24	2.78	0.08	2.17	5.13	3.27	2.81	0.11	0.18	0.40	99.00	6.08	7.30	6.19	0.46								
2	"	66.00	0.29	15.95	1.05	2.34	0.05	1.91	3.98	2.83	3.04	0.40	0.16	1.17	99.17	5.87	5.89	5.30	0.52								
3	"	64.56	0.42	15.88	1.64	2.59	0.05	2.14	4.85	3.12	2.48	0.24	0.16	1.01	99.14	5.60	6.99	6.37	0.44								
4	"	65.10	0.40	15.72	1.34	2.80	0.04	2.10	4.65	3.01	2.63	0.18	0.15	0.94	99.06	5.64	6.75	6.24	0.47								
5	"	62.62	0.50	13.54	1.56	1.60	0.07	3.82	4.60	1.20	2.48	—	0.20	6.90	100.04	3.68	8.42	6.98	0.67								
6	"	63.90	0.50	13.86	1.24	1.67	0.05	2.14	5.97	2.15	3.23	—	0.25	3.48	99.24	5.38	8.11	5.05	0.60								
7	"	59.41	0.68	17.31	1.01	4.13	0.05	3.27	6.93	1.94	2.32	2.38	0.24	0.14	99.81	4.26	10.20	8.41	0.54								
8	斜闪花岗岩	66.16	0.35	15.67	1.11	2.56	0.01	1.81	4.17	3.02	2.84	0.22	0.15	0.82	99.89	5.86	5.98	5.18	0.48								
9	"	65.63	0.36	15.60	1.16	2.72	0.05	1.98	4.64	2.80	2.80	0.26	0.14	1.46	99.00	5.60	6.62	5.86	0.50								
10	"	64.72	0.44	16.66	1.61	2.87	0.05	2.11	4.08	2.72	2.32	2.40	0.14	0.12	100.19	5.04	6.14	6.59	0.46								
11	花岗闪长岩	67.17	0.31	15.00	1.32	1.58	0.05	1.75	4.84	2.33	2.12	0.46	0.15	2.46	99.54	4.45	6.59	4.65	0.48								
12	"	67.69	0.32	15.33	0.85	2.31	0.04	2.01	3.96	2.90	3.30	0.19	0.16	0.72	99.78	6.20	5.97	5.17	0.53								
13	"	64.75	0.42	16.96	1.38	1.91	0.04	1.46	1.26	1.70	3.30	1.90	0.15	5.74	100.97	5.00	2.72	4.75	0.66								
14	二云花岗岩	74.32	0.12	13.60	0.90	1.24	0.09	0.55	0.79	3.12	4.52	0.65	0.10	—	—	7.64	1.34	2.69	0.59								
15	花 岗 岩	71.27	0.25	14.25	1.24	1.62	0.08	0.80	1.62	3.79	4.03	0.56	0.16	—	—	7.82	2.42	3.64	0.51								
16	花岗闪长岩	64.98	0.52	16.33	1.89	2.49	0.09	1.94	3.70	3.67	2.95	0.83	0.32	—	—	6.62	5.64	6.32	0.45								
17	石英闪长岩	60.51	0.73	16.70	2.84	3.49	0.14	2.54	4.63	3.68	2.65	0.88	0.46	—	—	6.33	7.17	8.87	0.42								
18	闪 长 岩	57.39	0.89	16.42	3.10	4.15	0.18	3.77	5.58	4.26	2.57	0.89	0.37	—	—	6.83	9.35	11.02	0.38								

注: ① <FeO> = Fe₂O₃ + FeO; ② 14~18为斜闪形 (1963) 中国各类火成岩平均数字。

石绿岩体各相带磁铁矿特征对比表

表 3

岩石名称	样品数量	磁 铁 矿 特 征 对 比					
		含量 (g/kg)	晶 形	颜 色	光 泽	粒 度	晶 面
石英闪长岩	4	0.701~6.598	等轴状八面体	铁黑色	金属光泽	粗粒 多有脉石矿物连晶	具平行于棱面长对角线之条纹、晶面常有浅蓝靛色
斜长花岗岩	4	5.362~7.591	等轴状八面体, 个别菱形十二面体	铁黑色	金属光泽	不规则粒状, 多有脉石物连晶	常有菱形条纹
花岗闪长岩	4	0.359~6.221	等轴状八面体	铁黑色	金属光泽	粗粒, 多有脉石矿物连晶	常有菱形条纹

岩体的黑云母成分特征

岩体中黑云母含量一般为 3~10%，其多色

性为暗褐色—浅黄棕色，沿边缘或解理常有绿泥石化。

黑云母单矿物全分析结果见表 7。

黑 云 母 单 矿 物 全 分 析 结 果

表 7

成 分	SiO ₂	TiO ₂	Al ₂ O ₃	Fe ₂ O ₃	FeO	CaO	MgO	MnO	K ₂ O	Na ₂ O	Li ₂ O	F	H ₂ O ⁺	H ₂ O
含量 (%)	35.48	3.22	14.90	5.15	10.93	1.58	13.86	0.14	6.66	0.21	0.035	0.38	5.05	0.73

分析结果表明石绿岩体的黑云母具有如下特点:

(1) 富Mg 贫Li, 富Ti 贫Fe, 属Mg—Fe 云母类矿物。其 $(K_2O + Li_2O)/(MgO + TiO_2) = 0.31$, $(FeO + Fe_2O_3)/(FeO + Fe_2O_3 + MgO) = 0.53$ 。

(2) 富Fe²⁺ 贫Fe³⁺, $Fe_2O_3/(FeO + Fe_2O_3) = 0.31$ 。

(3) 含Mg 黑云母中富含F。

(4) 黑云母中的Cr, Ni, Co, V 含量较高。

(5) K₂O 的含量远远高于Na₂O。

(6) 矿化元素Cu在各相带的黑云母中含量高达0.009~0.047%，并且从石英闪长岩—斜长花岗岩—花岗闪长岩Cu的含量逐渐增高，这一现象表明铜金属离子绝大部分是呈分散状态进入到硅氧四面体空隙中，只有当岩体与钙镁质岩石发生双交代作用时，分散状态的铜离子通过迁移集中方能富集成矿。

黑云母的上述特征与我国长江中下游地区含

铜岩体的黑云母特征相似。

岩体的稳定同位素特征

岩体的全岩、斜长石、钾长石、黑云母的Rb—Sr同位素年龄为122±1百万年，Sr⁸⁷/Sr⁸⁶ 值为0.7086 (图2)，比值偏高的原因可能与同化混染较强有关。

岩体的氧同位素属贫O¹⁸型，δO¹⁸的变化范围为7~8.8。

从岩体到内、外接触带至围岩，硫同位素S³²/S³⁴的平均值为22.228，其中80%以上的样品为22.15~22.20。δS³⁴ (‰)的变化范围较窄，绝对值小，且靠近0值 (见图3)，其平均值为-0.44‰，接近陨硫，说明从岩体至围岩硫同位素组成非常接近。它们具有同一的硫源——来自地壳下部的上地幔。从岩体至围岩，S³²/S³⁴ 的值由大到小，δS³⁴‰有增大的趋势，最大负值为-6.63‰，表明岩体内富集S³²，围岩中富集S³⁴，围岩中的硫化物生成时间较长，两者可能存在不同的硫源。

表 4

石 绿 岩 体 微 量 元 素 含 量 (ppm)

元 素	Li	Be	Nb	Ta	Cr	Ni	Co	Rb	Sr	Ba	F	Cl	Rb/Sr	K/Rb	Ba/Rb	Sr/Ba
含量范围	5~84	1~7	4~18	0.8~7	7~110	8~100	100~87	54.8~272	500~1100	350~1100	200~1500	100~900	0.08~1.67	130.4~301.9	2.1~6.0	0.6~2.9
平均值	21	3.9	10.3	1.9	34.8	25.8	19.4	186.9	667.2	625.2	696	244	0.33	161.6	3.7	1.2
维氏值	40	5	20	3.5	25	8	5	200	300	830	800	240	0.70	167	4.2	0.4

维氏值: 维诺格拉多夫 (1962), 花岗岩、花岗闪长岩。

(据宜昌地矿所)

表 5

石 绿 岩 体 微 量 元 素 分 析 结 果 表

样品编号	分 析 结 果 (%)										Na/K	Na ₂ O/K ₂ O	Al/(K + Na + $\frac{1}{2}$ Ca)	Fe ³⁺ /(Fe ³⁺ + Fe ²⁺ + Mn)
	Li ₂ O	BeO	Cr ₂ O ₃	NiO	CoO	Nb ₂ O ₅	Ta ₂ O ₅	Ba	Sr					
IG-116	0.018	0.0013	0.008	0.001	0.0014	0.0014	0.0002	0.052	0.066	1.39	0.93	0.96	0.31	
IG-118	0.005	0.0012	0.001	0	0.0008	0.0026	0.0002	0.072	0.08	1.26	0.82	1.03	0.26	
IG-120	0.007	0.0014	0.011	0.001	0.011	0.0015	0.0005	0.070	0.070	1.46	0.98	1.07	0.17	
IG-123	0.001	0.0014	0.012	0.001	0.0016	0.0012	0.0002	0.050	0.050	1.69	1.09	0.96	0.32	
IG-125	0.005	0.0009	0.006	0.001	0.0014	0.0013	0.0001	0.072	0.082	1.44	0.94	0.98	0.36	
IG-137 (岩脉)	0.001	0.0016	0.013	0	0.0002	0.0019	0.0001	0.022	0.027	0.79	0.51	0.99	0.30	
IG-141	0.004	0.0013	0.004	0.001	0.0011	0.0019	0.0003	0.064	0.066	1.62	1.07	0.94	0.28	
IG-144	0.00	0.0009	0.006	0.001	0.0013	0.0013	0.0001	0.062	0.070	1.63	1.10	0.98	0.35	
IG-145	0.003	0.0009	0.007	0.001	0.008	0.0018	0.0001	0.056	0.070	1.57	1.03	0.99	0.31	

(据宜昌地矿所)

样 品 编 号	分 析 结 果 (%)									
	0.8526 La ₂ O ₃	0.8537 CeO ₂	0.8277 Pr ₂ O ₃	0.8573 Nd ₂ O ₃	0.8624 Sm ₂ O ₃	0.8638 Eu ₂ O ₃	0.8673 Gd ₂ O ₃	0.8504 Tb ₂ O ₃	0.8712 Dy ₂ O ₃	0.8729 Ho ₂ O ₃
IG-116	0.0024	0.0044	0.00072	0.0022	0.00044	0.00010	0.00028	0.00015	0.00028	0.000078
	24 20.5	44 37.6	7.2 6.0	22 18.9	4.4 3.8	1.0 0.86	2.8 2.4	1.5 1.3	2.8 2.4	0.78 0.68
IG-118	0.0020	0.0042	0.00058	0.0019	0.00038	0.000092	0.00026	0.00013	0.00026	0.000072
	20 17.1	42 35.9	5.8 4.8	19 16.3	3.8 3.3	0.92 0.79	2.6 2.3	1.3 1.1	2.6 2.3	0.72 0.63
IG-137 (岩脉)	0.00095	0.0018	0.00025	0.00070	0.00016	0.000044	0.00016	0.000066	0.00020	0.000049
	9.5 8.1	18 15.4	2.5 2.1	7.0 6.0	1.6 1.4	0.44 0.38	1.6 1.4	0.66 0.55	2.0 1.7	0.49 0.43
IG-141	0.0020	0.0042	0.00058	0.0018	0.00032	0.000076	0.00026	0.000098	0.00019	0.000038
	20 17.1	42 35.9	5.8 4.8	18 15.4	3.2 2.8	0.76 0.66	2.6 2.3	0.98 0.82	1.9 1.6	0.38 0.33
IG-144	0.0020	0.0042	0.00056	0.0020	0.00032	0.000094	0.00030	0.000098	0.00030	0.000062
	20 17.1	42 35.9	5.6 4.6	20 17	3.2 2.8	0.94 0.81	3.0 2.6	0.98 0.82	3.0 2.6	0.62 0.54

(据宜昌地矿所)

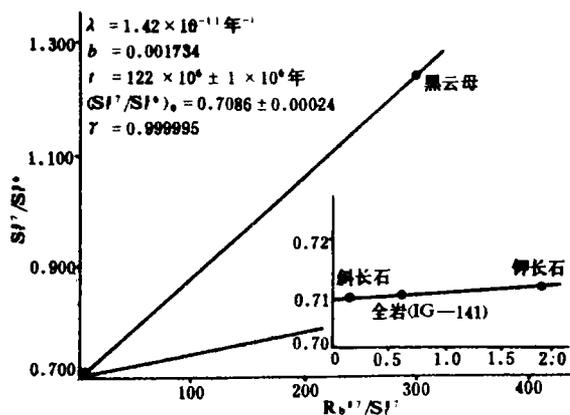


图2 石绿花岗岩内长岩体 Rb—Sr 内部等时线图
(宜昌地矿所)

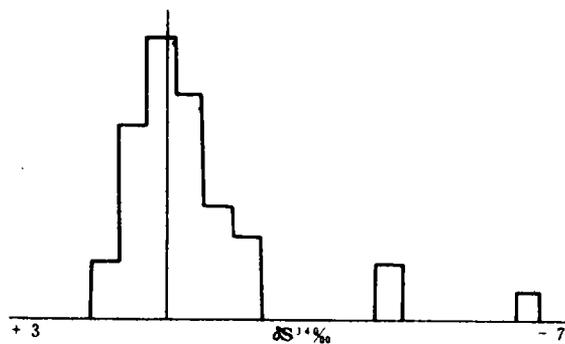


图3 石绿铜矿床硫同位素组成塔式图

从 S^{32}/S^{34} 值的变化及矿物组合特征看, 矿床是在高硫低氧环境中形成, 矿床主要矿物为金属硫化物。

岩体形成条件

综上所述, 石绿岩体具有较高的氧逸度、较大的 $Fe_2O_3/(FeO + Fe_2O_3)$ 值以及黑云母富含 MgO 等特点, 表明岩体的成岩条件是在氧逸度较高的环境中形成的。正如 Chinner (1960年) 指出的那样: 随着氧逸度的增高, 黑云母变得愈来愈富 MgO 。

按 C. I. P. W. 法计算标准矿物, 投影到 $Ab-Or-Q-H_2O$ 图解上, 可以看出石绿岩体的形成温度约为 $700^{\circ}C$ 、压力约为 2000 巴 (见图 4)。按地热增温率计算, 形成深度相当于地壳深处 25 公里, 由地壳硅铝层重熔而成。

按照岩浆原始物质特点及侵位时的物理化学条件, 石绿岩体的主要特征, 基本上与查佩尔和怀特的 I 型花岗岩特征相吻合, 即副矿物以磁铁矿为主; $Sr^{87}/Sr^{86} = 0.7086 \pm 0.00024$; 岩石的氧化度大于 0.29; $Al/(K + Na + \frac{1}{2}Ca) = 0.94 \sim 1.07$; δO^{18} 的变化范围为 $7 \sim 8.8$; 斜长石

0.8744 Hr ₂ O ₃	0.8759 Tm ₂ O ₃	0.8782 Yb ₂ O ₃	0.8793 Lu ₂ O ₃	0.7874 Y ₂ O ₃	0.6505 Sc ₂ O ₃	Σ	La Yb	$\frac{\Sigma Ce - Gd}{\Sigma Y}$	$\frac{\Sigma Ce - Eu}{\Sigma Gd - Y}$
0.00019 1.9 1.7	0.000034 0.34 0.39	0.00026 2.6 2.28	<0.00002 0.2 0.18	0.0020 20 15.7	0.0016 16 10.4	135.16 114.69	9.0	$\frac{90.06}{24.58}$ 3.7	$\frac{87.66}{26.57}$ 3.2
0.00018 1.8 1.57	0.000030 0.30 0.26	0.00022 2.2 1.93	<0.00002 0.2 0.18	0.0022 22 17.3	0.00090 9.0 5.9	125.24 105.76	8.9	$\frac{80.49}{25.27}$ 3.2	$\frac{78.19}{27.57}$ 2.8
0.00014 1.4 1.2	0.000029 0.29 0.25	0.00042 4.2 3.69	0.000058 0.58 0.51	0.0020 20 15.7	0.00056 5.6 3.6	70.26 58.81	2.2	$\frac{34.78}{24.03}$ 1.4	$\frac{33.38}{25.43}$ 1.3
0.000080 0.8 0.69	<0.00001 0.1 0.09	0.00052 0.52 0.46	<0.00002 0.2 0.18	0.00088 8.8 6.9	0.00096 9.6 6.2	106.04 90.30	37.2	$\frac{78.96}{11.07}$ 7.1	$\frac{76.66}{13.37}$ 5.7
0.00018 1.8 1.57	0.000026 0.26 0.23	0.00019 1.9 1.67	0.000032 0.32 0.28	0.0019 19 15	0.0014 14 9.10	122.62 103.52	10.2	$\frac{80.81}{22.71}$ 3.6	$\frac{78.21}{25.31}$ 3.1

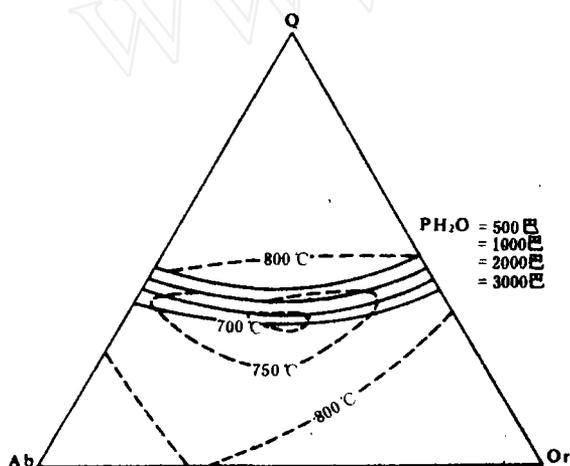


图 4 石绿岩体平均化学成分的 Ab—Or—Q—H₂O 图解 (宜昌地矿所)

的牌号较高；矿物中透辉石常见；岩体中常有椭圆形的闪长质暗色深源包体；岩石类型属花岗岩闪长岩系列，形成铁铜、铜钼、钨钼组合矿床以及成岩物质来源于地壳深部或上地幔等等。但是它也具有一些 S 型花岗岩的特征，如： $Fe^{3+}/(Fe^{3+} + Fe^{2+} + Mn) = 0.26 \sim 0.36$ ； $Na > K$ ， $Na/K = 1.26 \sim 1.69$ 等。

成矿物质来源分析

石绿岩体的成矿物质来源于地壳深部或上地

幔，在岩浆侵入的过程中，带进各种丰富的有用组分：Cu, Mo, Ag, Fe, S, W 等，这些组分在岩浆期后热液阶段富集成矿。其证据如下：

(1) 岩体中磁铁矿内的微量元素 Ni, Co, V, Ti 及黄铁矿内的微量元素 Ni, Co, Se, Te, Ag 的含量与矿石中的含量相近。区域地层中各类岩石内 Ni, Cr, V, Ti, Co, Ag 的平均含量见表 8。

表 8

岩石	Ni	Cr	V	Ti	Co	Ag
砂岩	26.06	96	87	3139	6.32	0.053
页岩	32.73	108	119	3814	6.01	0.050
碳酸盐岩	34.71	28	21	616	25.59	0.038

(2) 从岩体—接触带—矿体，其硫同位素组成平均值相似，接近陨硫硫，说明岩体与矿体具有同一的硫源。

(3) 矿石中的黄铜矿、黄铁矿、辉钼矿等单矿物中，其伴生的 Pa, Pt, Re 等组分，都是地壳深部或上地幔的特征元素。

(4) 岩体中的 Cu, Al, Sn, W, Pb, Zn, Mo 等的含量远远高于同类岩石的克拉克值，而围岩中的这些元素含量却接近于克拉克值，说明成矿物质不可能来自围岩。