

四川攀西地区新街岩体的岩浆分异作用与金属矿物的成因

四川地质局攀西地质大队

李存帅

徐盛林

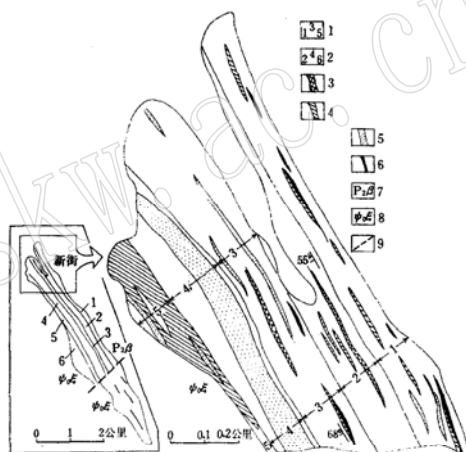
一、概 述

新街岩体属地台型单斜层状侵入体, 岩石组合以橄榄岩—辉石岩—辉长岩为主。岩体呈北西向伸延, 长7公里, 宽1.5公里; 倾向南西, 倾角 55° — 70° 。其东侧为二叠系峨眉山玄武岩, 西侧主要是后期侵入的石英正长岩。此处二叠系玄武岩相当于裂隙式喷发的火山管道相。对接触带的详细研究, 证明玄武岩生成比岩体晚。

岩体产出的地质位置属康滇地轴中段。岩浆侵入活动受安宁河深断裂的次级构造控制, 侵位较浅, 成岩时代为华力西早期。在区域性的基性超基性岩体群中, 新街岩体属富铁质岩浆系列。

岩体的分异作用显著。根据岩石组合特征与含矿性的变化, 自上而下可将呈叠层状产出的各类岩石划分为六个岩相带(表1)。

岩相带总的变化趋势是下部层位基性程度较高, 向上降低, 并且, 具有明显的多旋迴性质。矿化作用在下部层位以铂矿和钽铌磁铁矿为主, 兼有铬矿化与铜镍矿化。至中上部层位钽铌磁铁矿逐渐减少, 并逐渐被钛铁矿取代。



新街岩体地质略图

1—下、中、上超基性岩相带, 2—下、中、上基性岩相带; 3—钽铌磁铁矿矿带; 4—钽铌磁铁矿表外矿; 5—钽铁磁铁矿矿带; 6—铂矿带; 7—二叠系玄武岩; 8—印支期石英正长岩; 9—断层

岩体的原生构造有层状构造、条带状构造、流状构造以及分离体等。层状构造主要见于不同的岩石种属之间, 如橄榄岩、橄辉岩、辉石岩、辉长岩及辉绿辉长岩, 它们彼此之间, 往往有层面分割。比较厚大的、具流状构造的岩层, 如含长橄辉岩层, 橄长

新街岩体的岩相带划分

表1

岩相带	岩石组合	厚度(M)	矿化
上部辉长岩相带	以流纹及条带状辉长岩为主。夹有辉长岩、斜长辉石岩、斑杂状辉长岩。偶见见到含石英闪长岩。	不全, >420	具微弱的钛铁矿化。
上部超基性岩相带	以辉石岩、斜长辉石岩为主。夹有暗色辉长岩、辉长岩、橄辉岩及橄辉岩。	440	靠下部有贫钛铁矿层和贫钛磁铁矿层。
中部浅色辉绿辉长岩相带	以辉绿辉长岩为主。下部夹有橄辉岩、橄辉岩及橄辉辉长岩。局部夹有辉长闪长岩。辉绿辉长岩的暗色矿物较少, 具中粒结构和辉绿结构, 并且流纹构造普遍发育。	120	有厚大的贫钛铁矿层。
中部超基性岩相带	以橄辉岩、橄辉岩、斜长辉石岩为主。夹有暗色辉长岩、橄辉辉长岩。	100	具贫钛磁铁矿和贫钛铁矿层。偶夹铂矿薄层。
下部橄辉辉长岩相带	以橄辉辉长岩和辉长岩为主。夹有橄长岩、斜长岩、橄辉岩及橄辉岩薄层。基性岩具流纹构造。	90—150	靠下部见似层状或透镜状钛磁铁矿, 多为中矿、贫矿, 富矿很少。向上逐渐被贫钛铁矿层取代。
下部超基性岩相带	以橄辉岩、橄辉岩、辉石岩及斜长辉石岩互层为主。夹有暗色辉长岩与橄辉辉长岩。	不全, >230	靠下部富集形成厚度1—4M的铂矿层数层。在橄辉岩内, 局部地段具含铬的钛磁铁矿化和富铬的铁矿条, 并常具铜镍硫化物矿化。

岩—辉长岩层, 辉绿辉长岩层, 其内部也常有许多相互平行的层面(图版 I—1)。大量观察表明, 与层面垂直的横节理面一般不切穿层面, 通常只限于上下两个层面之间。

条带状构造很普遍, 表现为铁镁矿物、铁钛氧化物、斜长石等分别相对集中成条带状。条带厚度由不足一厘米至数十米。条带之间有时为逐渐过渡, 有时界线分明。对整个岩体可以划分出许多大小不等的、由暗色到浅色交替组成的韵律层。大的韵律除色率、岩石种属发生变化外, 造岩矿物的固溶体成分, 金属矿物的种类、组合及类质同象等都显示出规律性的变化。

流纹构造在基性岩内比较发育, 在超基性岩内一般不大明显。具流纹构造的岩石往往含斜长石和铁钛氧化物较多, 前者呈定向排列, 后者作线状分布。

流纹构造、条带状构造、层状构造及岩相带的分布均与岩体的延伸方向一致, 它们相互平行构成了单斜层状侵入体。

各类岩石的化学成分及数字特征列入表2。由表可以看出:

1. 各类岩石的化学成分及数字特征具明显的递变规律。其岩石化学类别均属正常系列。

2. M/F值均较低, 超基性岩一般为2.0—2.4, 局部可达2.8—2.9; 基性岩为0.6—2.3, 除暗色辉长岩和暗色橄辉辉长岩外, 其余多数为0.7—0.9。

与本岩区其它含钛磁铁矿的岩体作比较, 新街岩体的M/F值略为偏高(表3), 钛磁铁矿的成矿不好, 但铂、铬及铜镍等元素则较为丰富, 而且具有一定程度的富集。

3. 超基性岩内ac值均较高, 为6.3—

新街岩体各类岩石的化学成分及数字特征

表 2

顺序号	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15
岩石名称	橄 榄 岩	橄 榄 岩	含 铁 橄 榄 岩	橄 榄 岩	辉 石 岩	辉 石 岩	暗 辉 石 岩	含 辉 石 岩	暗 色 辉 石 岩	辉 石 岩	含 铁 辉 石 岩	含 铁 辉 石 岩	辉 石 岩	辉 石 岩	含 闪 石 岩
样品件数	5	1	1	2	5	1	1	1	2	2	1	2	1	1	1
SiO ₂	41.04	41.40	37.45	42.47	47.74	48.28	43.78	40.34	47.08	42.25	40.10	44.07	49.18	52.76	54.63
TiO ₂	1.67	1.25	2.23	2.53	2.52	2.20	2.75	6.42	3.05	6.18	4.75	6.30	4.00	3.50	3.06
Al ₂ O ₃	3.49	2.65	3.43	4.49	5.61	3.80	5.25	6.69	7.81	14.63	13.33	12.44	13.24	13.47	13.28
Cr ₂ O ₃	0.210	0.200	0.87	0.177	0.121	0.240	0.108	0.14	0.085	0.008	0.018	0.014	0.003	0.006	0.004
Fe ₂ O ₃	6.44	6.53	6.11	4.84	3.38	3.06	4.89	5.70	4.20	5.87	9.38	5.85	6.47	5.36	6.77
FeO	11.93	10.68	14.75	11.24	8.13	6.88	9.66	10.63	7.74	9.19	9.29	9.76	8.24	7.03	4.19
MnO	0.24	0.239	0.29	0.22	0.19	0.174	0.22	0.20	0.18	0.18	0.20	0.21	0.22	0.18	0.15
MgO	23.87	25.95	23.38	18.99	13.66	16.30	18.70	14.03	12.18	6.33	6.20	6.09	4.90	3.85	3.14
CaO	7.13	8.07	6.27	10.57	15.28	17.01	10.18	12.68	13.75	10.50	11.09	9.69	8.43	6.56	6.28
Na ₂ O	0.27	0.17	0.28	0.43	0.96	0.47	0.59	0.57	1.29	2.17	1.64	2.09	2.66	3.24	3.61
K ₂ O	0.33	0.11	0.23	0.73	0.51	0.35	0.76	0.22	0.52	0.67	0.68	1.08	1.77	2.44	2.94
P ₂ O ₅	0.14	0.039	0.10	0.18	0.33	0.032	0.16	0.12	0.16	0.29	0.40	0.27	0.46	0.44	0.54

岩石化学数字特征 (按王恒升法)

ac	6.34	4.63	6.30	8.52	10.83	7.04	10.20	12.66	14.95	29.04	26.50	25.72	26.90	28.15	28.49
m	34.16	36.40	34.48	27.69	10.80	23.14	27.06	21.42	17.83	9.62	9.65	9.42	7.23	5.77	4.58
f	20.16	20.09	22.12	22.16	23.12	23.77	20.23	24.20	21.07	17.94	21.99	19.25	16.92	13.75	12.85
t	39.34	38.88	37.10	41.62	46.24	46.05	42.51	41.42	46.14	43.40	41.85	45.62	48.95	52.32	54.07
m'	62.88	64.44	60.92	55.54	46.13	49.33	57.21	46.96	45.84	34.90	30.50	32.85	29.95	29.57	26.28
f'	26.41	23.38	30.04	25.83	21.44	16.73	24.41	29.91	24.51	45.86	49.50	46.16	49.26	51.22	49.49
ca	10.71	12.19	9.03	18.63	32.43	33.94	18.37	23.14	29.65	19.24	20.00	21.00	20.79	19.21	24.23
na	23.81	20.00	25.00	21.05	42.11	32.65	28.17	25.64	41.18	37.84	31.90	40.33	45.83	49.76	52.97
k	14.29	6.67	10.00	24.56	13.16	16.33	25.35	5.13	9.80	7.57	8.59	14.25	19.79	23.92	28.31
ca	61.90	73.33	65.00	54.39	44.74	51.02	46.48	69.23	49.02	54.59	59.50	44.43	34.38	26.32	18.72
cr	0.17	0.17	0.65	0.12	0.12	0.17	0.06	0.12	0.06						
ti	1.21	0.90	1.66	1.82	1.84	1.60	2.04	4.94	2.30	4.81	3.76	4.91	2.99	2.56	2.32
ca'	79.53	84.72	76.79	83.60	87.55	91.75	81.87	76.00	79.67	45.99	51.01	55.78	56.00	53.39	63.39
M/F	1.7	1.8	1.6	1.3	0.9	1.0	1.3	0.9	0.9	0.5	0.4	0.5	0.4	0.4	0.4
M/F*	2.4	2.8	2.0	2.2	2.2	3.0	2.3	1.6	1.9	0.8	0.6	0.7	0.6	0.6	0.5

* 按 $Mg/(Fe + Mn)$ 。

11.0, 且ca为54.3—65.0, 这与岩石中普遍含有少量基性斜长石有关。ac和ca值说明超基性岩是由基性岩浆派生的。

4. 基性—超基性岩ca'高达51.0—87.6, 表明岩浆中钙质成分相当丰富。

5. 与本岩区铁质岩浆系列的同类岩石

相比, 超基性岩含碱质稍偏低, 而基性岩则往往含碱质稍偏高。基性岩比本区华力西期拉斑玄武岩含碱质稍贫。

6. cr、ti与M/F、S值有关。随着M/F的增高和S值降低, cr相应增高, 而ti则相应降低。这种变化趋势决定了cr、ti的分离, 使

几个含钛铁磁铁矿岩体的M/F值比较

表3

	新街岩体	攀枝花岩体	白马岩体	红格岩体	太和岩体	中于沟岩体
橄 榄 岩	2.1—2.4		0.6—0.9	0.9—1.6		0.9—1.6
橄 辉 岩	2.1—2.2			0.8—1.9		
辉 石 岩	2.0—2.2			0.6—1.9		0.8—1.2
橄榄辉长岩	1.6—2.3		0.7—1.6			
暗色辉长岩	2.3					
辉 长 岩	0.6—2.1 (0.7—0.9)	0.5—1.2 (0.5—0.8)	0.6—1.7 (0.6—0.8)	0.6—1 (0.6—0.8)	0.6—1.6 (0.6—0.8)	0.6—0.7

注：白马岩体的橄榄岩均为浸染状或海绵陨铁状铁矿物。括号内的数字系大多数辉长岩的M/F值。

它们分别在岩体的一定部位和一定的岩相带内集中分布。

新街岩体兼有多种矿化。各种强弱不等的矿化常相互叠加重合，对这些矿化进行一些必要的研究，将有助于正确认识成岩作用。

二、原生造岩矿物的特征与

岩浆分异作用

新街岩体的原生造岩矿物主要是普通辉石、贵橄榄石和基性斜长石，次要或少量为普通角闪石、中长石、斜方辉石、黑云母及石英等。

橄榄石的含量变化在0—61%之间。产于超基性岩的橄榄石一般结晶较早，呈半自形—自形粒状，并常被熔蚀呈浑圆状。产于基性岩的橄榄石往往结晶较晚，一般呈不规则粒状。据2V值测定 $F_0=70-87$ ，多数是72—82。在岩体下部的橄榄岩中选出了两个橄榄石单矿物样品进行化学分析，并计算出其 F_0 值为73—74，与费氏台测定结果 $F_0=76-77$ 基本吻合（参见表4）。

在新街岩体内，呈类质同象进入橄榄石的NiO达0.16—0.18%。对于富铁质岩浆系列来说，这个数字已相当高，它反映了岩浆成分中含镍比较丰富。

在岩浆期后阶段，橄榄石大部分已蚀变成透闪石和伊丁石，少数被滑石、蛇纹石交代。基性岩的橄榄石蚀变更为强烈。

普通辉石分布广泛，呈自形—它形短柱状。 $Nm=1.697-1.702$ ， $(+)2V=46^{\circ}-51^{\circ}$ ， $Ng \wedge C=35^{\circ}-45^{\circ}$ 。据单矿物化学分析（表4），含铝、钛均不高， $Al_2O_3 2.34-3.54\%$ ， $TiO_2 1.02-1.50\%$ ，这说明它们虽然生成于比较富铁钛的岩浆，却并不属于钛普通辉石或钛辉石。分子式计算的结果，在Di—Hd—En—Fs四组份图解中，成分点均落在靠近透辉石端员组份的钙质普通辉石区。矿物晶格中Ca、Mg、Fe的原子比变化不大，Ca原子相当稳定， $Mg/(Mg+(Fe))$ 随着岩石基性程度的增高略为增大。在比较富镁质的普通辉石内，含有较多的Cr和Ni（表5）。

普通辉石被棕色角闪石、黑云母交代一般很弱，但常具明显的次闪石化。

斜方辉石仅见于橄榄岩及橄辉岩中，较橄榄石它形，含量0—2%，属于古铜辉石。

斜长石分布也很广泛。在暗色辉长岩、辉长岩及辉绿辉长岩内，均见拉长石；在橄辉长岩与橄长岩内，除拉长石外，常含有较多的培长石；在辉长闪长岩内为中—拉长石；在辉石闪长岩内主要是环带发育的中长石。此外，超基性岩也普遍含有少量斜长石，它们呈填隙状产出，因蚀变强烈，An

表4 橄榄石与普通辉石的化学成分及化学式

编号	矿物	产出部位及 岩石名称	重量 %													合 计	
			SiO ₂	TiO ₂	Al ₂ O ₃	Cr ₂ O ₃	FeO	MnO	MgO	CaO	NiO	Co	Cu	S	K ₂ O		Na ₂ O
R599	橄榄石	岩体下部橄榄岩	37.76	0.15	0.27	0.03	1.69	22.28	0.36	36.12	0.79	0.15	0.024	0.013	0.023	0.05	99.67
R608	橄榄石	岩体下部橄榄岩	37.84	0.10	0.12	0.01	1.59	22.28	0.36	37.48	0.22	0.18	0.024	0.011	0.010	0.05	100.26
R631	普通辉石	岩体中部辉长岩	50.36	1.50	3.05	0.04	2.88	6.31	0.18	15.12	20.64	0.02	0.006	0.006	0.008	0.00	100.40
R641	普通辉石	岩体中部含长辉石岩	50.46	1.25	2.72	0.32	2.14	5.28	0.16	15.81	20.96	0.03	0.006	0.016	0.039	0.00	99.44
R634	普通辉石	岩体中部含长橄榄岩	50.78	1.28	3.54	0.20	1.93	6.32	0.18	15.45	20.31	0.03	0.005	0.011	0.019	0.00	100.36
R599	普通辉石	岩体下部橄榄岩	51.00	1.02	2.34	0.48	2.06	5.37	0.15	16.78	20.65	0.03	0.006	0.003	0.023	0.00	100.14
R608	普通辉石	岩体下部橄榄岩	51.52	1.25	2.48	0.44	1.62	5.91	0.16	16.62	20.33	0.04	0.006	0.007	0.008	0.00	100.62
化 学 式	R599	橄榄石	(Ca _{0.92} Mg _{0.08} Fe _{0.02} Mn _{0.01} Fe _{0.02} Al _{0.01}) _{1.93} (Si _{1.00} O ₄)														
	R608	橄榄石	(Ca _{0.91} Mg _{0.07} Fe _{0.02} Mn _{0.01} Fe _{0.02}) _{1.90} (Si _{1.00} Fe _{0.01} O ₄)														
	R631	普通辉石	(Ca _{0.98} Na _{0.02} Fe _{0.02}) _{1.00} (Mg _{0.98} Fe _{0.02} Mn _{0.01} Fe _{0.02} Ti _{0.01}) _{1.99} (Si _{1.00} Al _{0.12}) _{2.00} O ₄														
	R641	普通辉石	(Ca _{0.98} Na _{0.02} Fe _{0.02}) _{1.00} (Mg _{0.98} Fe _{0.02} Mn _{0.01} Fe _{0.02} Cr _{0.01} Ti _{0.01}) _{1.99} (Si _{1.00} Al _{0.12}) _{2.00} O ₄														
	R634	普通辉石	(Ca _{0.98} Na _{0.02} Fe _{0.02}) _{1.00} (Mg _{0.98} Fe _{0.02} Mn _{0.01} Fe _{0.02} Al _{0.02} Cr _{0.01} Ti _{0.01}) _{1.99} (Si _{1.00} Al _{0.12}) _{2.00} O ₄														
	R599	普通辉石	(Ca _{0.98} Na _{0.02} Fe _{0.02}) _{1.00} (Mg _{0.98} Fe _{0.02} Cr _{0.01} Ti _{0.01}) _{1.99} (Si _{1.00} Al _{0.10} Fe _{0.02}) _{2.00} O ₄														
R608	普通辉岩		(Ca _{0.90} Na _{0.02} Fe _{0.02}) _{1.00} (Mg _{0.91} Mn _{0.01} Fe _{0.02} Cr _{0.01} Ti _{0.01}) _{1.90} (Si _{1.00} Al _{0.12}) _{2.00} O ₄														

注: 黄氏台测定R599橄榄石F₀ = 76, R608橄榄石F₀ = 77.

各种岩石中普通辉石的Ca、Mg、Fe原子比与Cr、Ni的含量

表 5

样 号	岩石名称	产出部位	原 子 比		重 量 %	
			Ca, Mg, Fe	Mg/(Mg + (Fe))	Cr ₂ O ₃	NiO
R631	辉 长 岩	岩体中部	42, 43, 15	0.74	0.04	0.017
R641	含长辉石岩	岩体中部	43, 45, 12	0.79	0.32	0.028
R634	含长橄辉岩	岩体中部	42, 45, 13	0.78	0.20	0.031
R599	橄 榄 岩	岩体下部	42, 47, 11	0.81	0.48	0.034
R608	橄 榄 岩	岩体下部	41, 47, 12	0.80	0.44	0.038

值很难正确测定,但从蚀变产物可以看出,其基性程度比较高。

对两个钻孔的基性岩作了斜长石 An 值

的测定(表6)。其变化规律是,随着岩石基性程度的降低,或随着橄榄石数量及铁镁矿物数量的减少,斜长石的 An 值明显降低。

ZK104 及 ZK143 孔各种基性岩的斜长石的 An 值

表 6

编 号	孔 深 (m)	岩 石 名 称	An
ZK104—1	60	浅色辉绿辉长岩	57
ZK143—1	75	辉 长 岩	66
10	112	暗色橄辉辉长岩	环带内核87, 环带外侧64
16	141	暗色辉长岩(含铁)	70
26	227	辉长闪长岩	47—52
38	300	辉 长 岩(含铁)	67
42	327	浅色橄辉辉长岩(含铁)	69
50	386	橄 榄 辉 长 岩(含铁)	83

在蚀变作用的影响下,基性斜长石常具黝帘石化、绢云母化、纤闪石化及微弱的绿泥石化;中长石的环带内部见绢云母化及黝帘石化。

棕色角闪石和黑云母的数量很少,一般小于0.5—1%。它们是岩浆后期交代普通辉石、橄榄石或斜长石的产物。绿色角闪石仅见于局部的辉长闪长岩及辉石闪长岩内。石英很少出现,在辉绿辉长岩与辉长岩的早期矿物间隙中,有时能见到细小的石英,含量小于0.5%。在辉石闪长岩及辉长闪长岩内,石英和石英—长石文象连生体可达3—5%。它们均属岩浆结晶作用晚期的残余组份。

在上述矿物学研究的基础上,结合矿物组合特征、矿物间相互关系、岩石结构以及

流状、条带状构造等,可以对岩浆演化或岩浆分异作用作出解释。岩浆演化主要有两种可能性,一是分离结晶作用,二是岩浆的液态重力分异。从新街岩体的岩石矿物特征看来,应是后一种岩浆分异方式。其依据为:

1. 系统的薄片观察表明,各岩相带中各种岩石的结构几乎总是与它本身的矿物组成、数量比例以及矿物种属有关。譬如,岩体各个部位的橄榄岩与橄辉岩,均无例外的由橄榄石与普通辉石构成嵌晶结构。斜方辉石的数量很少,它是晚于橄榄石,早于或与普通辉石同时结晶的。当有少量基性斜长石时,则均呈填隙状出现。这种岩石结构的基本情况可以用Fo—Di—Q系予以解释,它说明橄榄岩与橄辉岩是由一定成分的超基性岩

浆结晶而成。

辉长岩的结构形式,也反映出非常清楚的结晶作用规律。当辉石数量为60—85%或更多时,便形成嵌晶状结构,先结晶的辉石镶嵌在斜长石内,或斜长石呈较粗大的它形晶生成在辉石粒间。当辉石数量为40—60%时,一般表现为辉长结构,但其中局部可以见到斜长石包裹辉石或辉石中包含小板状斜长石。当辉石数量介于20—40%时,一般是柱晶状结构或辉绿结构,基性斜长石的结晶明显比辉石早。橄榄辉长岩的结构变化大体上与辉长岩相似。这些结构变化大略可以用1—2千巴压力条件下Di—An—Ab系予以解释。它说明各种结构的辉长岩,是由成分与其相当的基性岩浆结晶而成,即相当于暗色辉长岩成分的岩浆结晶成暗色辉长岩,其它如此类推。由此看来,无论是超基性岩或者基性岩,在结晶作用发生之前,岩浆均发生过液态分异作用。

2. 岩体内流状构造甚为发育,而条带状构造可谓成百上千。

流状构造是岩浆流动的遗迹和标志。在攀西地区含钒钛磁铁矿的基性超基性岩体内,形式和特点相同的流状构造相当普遍。到处都可以看到流状辉长岩与岩体顶底板或岩体边界平行排列;当有岩枝贯穿围岩时,亦见流状构造,其矿物排列方向与岩枝延伸、弯曲相一致;当流状辉长岩内出现捕虏体时,流线或流面环绕捕虏体边界分布,并且沿裂隙贯入捕虏体的部分也显示流状构造;如果流状辉长岩的原生造岩矿物具环带构造,则拉长的方向总是与流状构造排列的方向相同。这些现象说明岩浆曾受挤压而发生流动,在岩浆流动过程中伴随着结晶作用。

条带状构造与流状构造的生成关系十分密切,二者融为一体,产状完全一致。在流状构造中包涵着条带,而条带之内,矿物的

定向排列或线状分布也很清楚。如果说流状构造已证明岩浆的流动性质,那么,条带状构造则反映了岩浆的不均一性,不同成分的即经过液态分异的岩浆,在流动中可以形成比较稳定的层流状态。那些比重较大的熔离岩浆,总是倾向于往下沉聚,而流体运动又拽引着它们沿流动方向分布,经过相继发生的结晶作用之后,就构成了各种岩石的叠层状更替和条带状构造。反之,用分离结晶作用很难对岩体的叠层状构造和条带状构造作出令人满意的解释,因为不能设想一个岩浆房的结晶作用会发生如此频繁的反复。用岩浆脉动补给和多次结晶重力分离的观点,对于那些细微、密集、相互过渡而又呈陡倾角产出的条带状构造,也不大可能作出切合实际的解释。

3. 原生造岩矿物的某些产出特征,亦可作为岩浆发生液态重力分异和流动分异的依据。(1) 橄榄石在不同的岩石内晶出的先后关系颇不相同。在橄榄岩、橄榄岩、暗色橄榄辉长岩内,它晶出最早。在橄榄辉长岩内,它的结晶时间大致与普通辉石、基性斜长石相同。而浅色橄榄辉长岩及橄长岩内,它的结晶比基性斜长石稍晚。这些橄榄石的Fo值彼此都比较接近。因此,不能设想它们是岩浆房的堆积晶体。如前所述,橄榄石与伴生矿物的数量比例及其生成关系表明,它们是一定成分的熔离岩浆经过结晶作用而形成的。(2) 普通辉石的Ca、Mg、Fe原子比及Cr、Ni含量,斜长石的An值,都在垂直层状构造的方向,随着岩石基性程度的变化而变化(表5、6)。这种现象更是晶体堆积所难以解释的。但用液态分异和各种熔离岩浆分别进行结晶作用就能比较合理地解释其变化规律。(3) 岩体中、上部的辉长岩、辉绿辉长岩及辉长闪长岩内,常含有少量的石英及矽英石(石英—长石微文象体)。在这些岩石之间,夹有多层含橄榄石的超基性

岩。这种分布关系,用各种熔离岩浆如辉长岩浆、辉长闪长岩浆、橄辉岩浆分别进行结晶作用来加以解释比较合适。

4. 由于岩浆侵入活动是一个相当缓慢的过程,所以在结晶作用发生之前,岩浆可以长时间的处于液态。在这样的前提下,根据硅酸盐熔体具离子性质和存在群聚态组的理论,可以认为岩浆进行液态重力分异是可能的。

当岩浆分解成群聚态组时,各种形式的硅氧络阴离子必然有选择的吸引和携带某些相适合的阳离子。从新街岩浆房的成分看来,岛状硅氧络阴离子主要是吸引 Mg^{2+} 、 Fe^{2+} ;链状硅氧络阴离子主要是吸引 Ca^{2+} 、 Mg^{2+} 、 Fe^{2+} ;架状硅氧络阴离子主要是吸引 Ca^{2+} 、 Na^{+} 。两类离子的相互吸引使岩浆趋向中性,同时,离子对的存在使岩浆的比重产生差异^[1],这就促使了岩浆发生液态重力分异。

5. 对金属矿物的成因研究,亦可补充说明岩浆的液态重力分异作用。拟在后面再作讨论。

三、硫化物的成因

岩体内原生硫化物绝大多数均分布在早

期结晶的造岩矿物粒间,它们常与岩浆晚期凝结的钛铁氧化物呈熔接状。含量一般是0.1—1%,局部达1—2%。常见的矿物为黄铜矿、磁黄铁矿、黄铁矿、镍黄铁矿、硫镍钴矿和针镍矿,少量或偶见为斑铜矿、方黄铜矿、墨铜矿、闪锌矿、方铅矿、镍辉砷矿、砷铂矿、自然铂、硫锑矿及硫钨矿等。由于各种岩石中硫化物的数量很少,且多呈细粒散染分布,重力聚集的现象很不明显,因此,可以认为硫化物在液态岩浆阶段是呈溶解状态。随着造岩矿物发生结晶作用,它便逐渐还熔离出来,并且基本上是在原地散布于凝结的岩石中。

这些基本上是在原地熔离—结晶而形成的硫化物,在化学成分上与其母岩的性质有密切的关系(表7)。从表7可以看出,Ni和Ni/Cu随岩石基性程度降低而降低,Co在基性岩内往往较高,在超基性岩内相对较低,S和Se的变化趋势大略是基性岩高于橄辉岩,Cu、Fe受硫化物矿物组合的支配含量不稳定。

硫化物的矿物共生组合有两种基本形式。(1)在橄辉岩内,为黄铜矿—磁黄铁矿—镍黄铁矿—方黄铜矿组合,其中磁黄铁矿有时比镍黄铁矿多,但有时缺少;(2)在辉

硫化物的化学成分(重量%)

表 7

样号	岩石名称	S	Fe	Cu	Ni	Co	Se	合计	Ni/Cu	S/Se
E 20、21、24	橄辉岩(含铁、铂)	36.42	35.21	22.46	5.47	0.26	0.023	99.84	0.24	1,583
E 13	橄辉岩(含铁)	48.00	29.72	17.18	3.46	1.59	0.027	99.98	0.20	1,778
E 12	辉长岩(含铁)	38.32	32.07	28.67	0.44	0.45	0.040	99.99	0.02	958
E 25	辉绿辉长岩(含铁)	44.66	48.08	6.01	0.13	0.26		99.14	0.02	

长岩内,为黄铜矿—黄铁矿—硫镍钴矿—针镍矿组合。前者代表还原环境,后者代表氧化电位较高。这两种矿物组合,随着岩石基性程度的变化而逐渐发生递变。当岩石由超基性向基性方向变化时,第一种矿物组合中

的磁黄铁矿、镍黄铁矿、方黄铜矿将相应减少,而第二种组合中的黄铁矿、硫镍钴矿、针镍矿则相对增加。反之,当岩石由基性向超基性方向变化时,第二种组合中的矿物也将逐渐递减。

硫化物的化学成分和矿物组合的递变规律,以及硫化物在各种岩石中的含量变化,主要决定于岩浆的液态分异作用及元素的晶体化学性质。为了便于说明这些问题,这里根据1081个化学分析资料计算了新街岩体各种岩石、矿石中Mg、Fe、Co、Ni、Cu、S的平均含量(表8)。按照对岩浆液态分异作用的理

解,表8所列数字反映了诸元素在各种熔离岩浆中的相对浓度。

1. 由表8可以看出,各种熔离岩浆对于硫或硫化物的溶解度是不尽相同的。火法冶金熔体的研究已经表明,在硅酸盐熔浆的主要组份中,铁的亲硫性最强,硫或硫化物主要是通过铁的媒介作用而溶解的,而Ca、Al、

各类岩石中元素的平均含量(重量%)

表 8

岩(矿)石名称	Mg	Fe	Co	Ni	Cu	S
橄 榄 岩	14.2	13.8	0.015	0.12	0.13	0.20
橄 辉 岩	11.3	11.9	0.012	0.08	0.12	0.21
辉 石 岩	8.2	9.1	0.008	0.04	0.06	0.10
橄辉辉长岩	9.8	11.6	0.008	0.03	0.07	0.11
辉 长 岩	3.6	9.4	0.007	0.02	0.03	0.06
辉长闪长岩	3.0	9.8	0.006	0.005	0.03	
辉石闪长岩	2.3	9.3	0.004	0.004	0.02	0.03
橄辉辉长岩型富铁矿	2.9	47.1	0.028	0.08	0.09	
橄辉辉长岩型铁矿	3.7	33.8	0.020	0.06	0.13	0.20
橄辉辉长岩型贫铁矿	3.3	24.8	0.015	0.04	0.10	0.12
含铁辉长岩	4.1	15.4	0.009	0.03	0.08	

注:本表是1081件化学分析样品的统计结果。

Si、等却具有相反的作用^[2]。这些实验结果表明,随着熔离岩浆基性程度的降低,硫的溶解数量也依次减少。如果某些熔离岩浆含铁钛氧化物较多,则能够增加硫或硫化物的溶解数量。当这些成分不同的熔离岩浆结晶时,其中溶解的硫化物也将随其母岩相继晶出,因而造成硫化物在各种岩石中分布不均的现象。

2. 在硫含量相当低的情况下,岩浆中大部分Ni²⁺倾向与硅氧络阴离子结合。由于Ni²⁺的离子半径和对氧的极化能力与Mg²⁺、Fe²⁺接近,因此,Ni²⁺必然优先替代Mg²⁺、Fe²⁺,并且易受有效电价高的岛状络阴离子吸引^[3]。在链状硅氧络阴离子周围,Ni²⁺的数量显著减少。这样,经过岩浆熔离作用后,就导致橄辉岩的镍含量较高,而其它成分

的岩浆,随着基性程度的降低,镍的含量也依次减少。

镍具有很强的亲硫性。据观察分析,熔离岩浆中硅酸镍是否能够进一步转化为硫化镍,主要取决于两个因素,一是硅酸镍和硫的丰度,二是氧化—还原条件。硅酸镍和硫的含量高有利于镍的转移。熔离岩浆的基性程度愈高,硫的氧化程度就愈低,所形成的硫离子必然以S²⁻占优势,S²⁻比[S₂]²⁻能够吸引更多的Ni²⁺。由于这两个原因,就使橄辉岩的硫化物含镍比较高,而其它岩石随着基性程度的降低硫化物含镍也相应降低。

3. 钴是亲铁元素,它对于硫的亲合力比铜、铁低。在各种熔离岩浆中,Co²⁺的分布与Fe²⁺的关系密切,并且也易受岛状硅氧络阴离子的吸收和携带。因此,Co的含量变

化也随岩浆基性程度的增高和铁钛氧化物的增多而逐渐增加。但在熔离岩浆结晶时,由于橄榄石晶格允许进入较多的Co(含钴0.024%),而普通辉石晶格则限制Co的进入(含钴0.006%),所以橄榄岩中与硫结合的Co较少,基性岩中与硫结合的Co较多。如果熔离岩浆含铁钛氧化物较多,也会提高钴的含量,所熔离出来的硫化物含钴亦相应增高。

4. 新街岩浆房的初始岩浆成分约相当于橄榄辉长岩浆,因此铜的含量比较丰富,且 $Cu > Ni$ 。在高温熔融条件下,铜对于硫的亲合力大于铁、镍,有限的硫离子显然会优先与铜离子发生相互作用。与此同时,硫离子和铜离子又受数量上占优势的铁离子支配,它们随着铁离子在岩浆熔离过程中进行转移。因此,在各种熔离岩浆中,铁、硫和铜离子的含量变化趋势是一致的,其所生成的硫化物中铜含量比较高,在矿物成分上常以黄铜矿为主。

5. 据岩石氧化指数计算,由超基性岩至基性岩 $OX^0 = 0.22-0.4$ 左右。它说明熔离的超基性岩浆比基性岩浆更加缺氧,更趋于还原条件。赋存在这些熔离岩浆中的硫离子势必发生价态变化,从而对硫化物的矿物组合产生直接影响。

四、富铁铬磁铁矿的成因

铬的分布与其母岩有着十分密切的关系。在不同种类的岩石及其相应的钒钛磁铁矿石内,铬的含量具有明显的差别(表9)。其赋存状态有三种:(1)以副矿物富铁铬磁铁矿的形成,出现于橄榄岩、橄辉岩及辉石岩内。它们常在普通辉石内偶尔也在橄榄石内呈嵌晶状产出。含量由 $<0.5-2\%$;(2)以类质同象的形式进入普通辉石。根据5个普通辉石单矿物样的化学分析,橄榄岩、含

不同岩(矿)石类型的铬分布 表9

岩(矿)石类型	Cr_2O_3 重量%	
	一般	局部富集
橄 榄 岩	0.22—0.45	2.05
橄 辉 岩	0.08—0.22	1.04
辉 石 岩	0.08—0.22	0.33
暗色辉长石	0.06—0.19	0.20—0.40
橄辉辉长岩	0.03—0.09	0.12
辉 长 岩	0.01—0.05	0.10
辉绿辉长岩	0.00—0.03	0.04—0.10
辉石闪长岩	0.00—0.01	

长橄榄岩、含长辉石岩的普通辉石含 Cr_2O_3 0.20—0.48%,而辉长岩的普通辉石含 Cr_2O_3 仅0.04%;(3)以类质同象的形式不同程度的取代钛磁铁矿的 Fe^{3+} ,形成含铬的钛磁铁矿及富铁铬磁铁矿。

在岩体中,下部的橄榄岩内,铬与铁、钛的富集趋势基本一致。当铬的富集程度较低时,形成含铬的钒钛磁铁矿;当铬的富集程度较高时,则形成橄榄岩型富铁铬磁铁矿条带。

含铬的钒钛磁铁矿呈稀疏浸染状,具间隙状结构。铁钛氧化物生成较橄榄石、普通辉石晚。矿石中铬的80%分布于钛磁铁矿内;钛磁铁矿含 Cr_2O_3 2.7—8.7%。这类矿石富含铁铬磁铁矿很少。

橄榄岩型富铁铬磁铁矿条带仅出现在岩体下部的橄榄岩及橄辉岩内,其矿物组成主要是橄榄石、普通辉石和富铁铬磁铁矿,少量为粒状钛铁矿。富铁铬磁铁矿占30—80%,它们与橄榄石、普通辉石构成假斑嵌晶状、假斑状及网环状结构(图版I—2.3)。钛铁矿多数是充填在富铁铬磁铁矿粒间。此种矿条含铁、钛、钒较高,含 Cr_2O_3 为6.69—17.02%(表10),在化学成分上基本还是属钒钛磁铁矿。

富铁铬磁铁矿呈自形一半自形八面体,

橄榄岩型富铁铬磁铁矿条带的
化学成分(重量%) 表 10

样 号	Fe	TiO ₂	V ₂ O ₅	Cr ₂ O ₃
H23	39.53	9.96	0.40	17.02
H33—34	40.36	9.92	0.41	13.00
H38—39	35.55	8.33	0.33	12.37
E 01	27.60	6.00	0.25	7.98
H40—41	26.54	4.97	0.26	6.69

粒度 0.03—0.36mm, 反射率明显较磁铁矿低, 抗磨硬度介于粒状钛铁矿与磁铁矿之间。其内部常含有少量细小的钛铁矿片晶和微量镁铁尖晶石。对两种产状(副矿物和橄榄岩型矿条)的富铁铬磁铁矿作了化学分析或电子探针分析(表11), 经扣除钛铁矿片晶之后计算了化学式。它们在H. B. 巴甫洛夫铬尖晶石分类的三角图解中, 成分点均落在不混溶空白区, 但都很靠近富铁铬磁铁矿区域。这种矿物可能属于钛磁铁矿—铬钛磁铁矿—铬铁矿系列, 是含铬较高的富铁质岩浆经过分异作用的产物。

铬的分布规律与赋存状态的研究, 为岩浆液态分异的观点提供了有说服力的依据。比较系统的单矿物测定证明(表4, 13), 从辉长岩→辉石岩→橄榄岩, 普通辉石的铬含量逐渐增高, Cr₂O₃由0.04—0.48%。与此同时, 其中钛磁铁矿的铬含量也依次增高, Cr₂O₃由0.03—8.68%, 甚至出现少量富铁铬磁铁矿。由于钛磁铁矿、普通辉石、富铁铬磁铁矿在各类岩石中生成先后很不一致, 所以, 用岩浆首先发生液态分异, 形成基性程度不同、铬的浓度也不同的各种分化岩浆, 然后分别进行结晶作用的观点, 去解释上述铬的变化关系就比较好理解。倘若认为各种岩石是按结晶重力分异的方式形成, 对于旋迴性变化十分频繁的层状岩体来说, 普通辉石铬含量变化能够与钛磁铁矿铬含量

变化如此协调一致, 是不大可能的。再者, 铬进入普通辉石和钛磁铁矿的数量, 主要取决于岩浆中铬离子的浓度, 在一个发生结晶重力分异的岩浆房内, 铬离子的浓度也不可能发生很频繁的变化。

五、铁钛氧化物的成因

新街岩体各类岩石都含有少量铁钛氧化物, 含量一般不超过10%, 当含量>15—20%时, 构成钛铁矿矿石或钒钛磁铁矿石。矿石类型主要有橄榄辉长岩型钒钛磁铁矿、橄榄岩型钒钛磁铁矿(含铬较高)、辉绿辉长岩型钛铁矿等。钒钛磁铁矿主要分布在岩体下部, 而钛铁则大多出现在岩体中、上部。

铁钛氧化物与含矿母岩的生成关系密切, 它常以如下几种方式出现: (1) 沿着含矿母岩的流状构造方向形成条带; (2) 在含矿母岩内呈均匀浸染分布; (3) 在早期结晶的造岩矿物粒间呈填隙状并生成反应边。少数颗粒结晶于岩浆早期, 则形成嵌晶状或网环状结构; (4) 在结晶粒度上往往是随含矿母岩的粗细而相应变化。这些组构特点, 说明铁钛氧化物主要生成于岩浆晚期。B. A. 瓦赫鲁绍夫认为^[4], 金属矿物是矿化与侵入杂岩成因联系的标志, 他根据磁铁矿或钛磁铁矿的元素混入物进行了一些有效的判断。当矿化与侵入杂岩有成因联系时, 客观的标志是可以直接对比矿化带和侵入体中磁铁矿、钛磁铁矿的元素混入物含量。新街岩体的铁钛氧化物在化学成分上都与其母岩的性质密切相关。当母岩的基性程度较高, 其中硅酸盐矿物含Mg、Cr、Ni较高时, 钛磁铁矿的Mg、Cr、Ni含量与钛铁矿的Mg含量也随之增高(表13)。上述铁钛氧化物的组构特点和Mg、Cr、Ni等元素的成因联系证明, 各种岩石及矿石是岩浆发生液态分异之后, 从成分不同的熔离岩浆中结晶出来的。

表 11

富铁磁铁矿的化学成分及化学式

编 号	产 状	重 量 %							
		TiO ₂	Al ₂ O ₃	Cr ₂ O ₃	V ₂ O ₅	FeO	MnO	MgO	NiO
新E02	副矿物		4.6	20.2		42.32	27.76	1.2	1.6
新14(1)	副矿物	3.1	5.6	25.0		34.47	29.44	0.7	2.3
S II-1B	橄榄岩型矿条	1.84	5.96	14.60	0.67	44.32	30.01	0.51	1.91
新E01	橄榄岩型矿条	7.50	3.64	15.99	0.24	37.46	27.57	0.48	3.05
S-1V	橄榄岩型矿条	2.80	3.78	19.15	0.78	41.33	29.85	0.27	1.69
S I-1B	橄榄岩型矿条	2.78	6.40	23.46	0.64	34.27	28.35	0.40	2.87
S I-1C	橄榄岩型矿条	2.93	6.41	26.20	0.58	33.16	31.74	0.83	1.24
新E02		(Fe _{0.98} ²⁺ Mg _{0.02} Mn _{0.02}) _{1.00} (Fe _{1.26} ²⁺ Cr _{0.80} Al _{0.93}) _{1.00} O ₄							
新14(1)		(Fe _{0.98} ²⁺ Mg _{0.12} Mn _{0.02}) _{1.00} (Fe _{0.98} ²⁺ Cr _{0.76} Al _{0.93}) _{1.00} O ₄							
S II-1B		(Fe _{0.97} ²⁺ Mg _{0.11} Mn _{0.02}) _{1.00} (Fe _{1.24} ²⁺ Cr _{0.64} Al _{0.93} V _{0.02}) _{1.00} O ₄							
新E01		(Fe _{0.97} ²⁺ Mg _{0.12} Mn _{0.02} Ni _{0.01}) _{1.00} (Fe _{1.22} ²⁺ Cr _{0.86} Al _{0.93} V _{0.02}) _{1.00} O ₄							
S-1V		(Fe _{0.98} ²⁺ Mg _{0.10} Mn _{0.02}) _{1.00} (Fe _{1.21} ²⁺ Cr _{0.93} Al _{0.93} V _{0.02}) _{1.00} O ₄							
S I-1B		(Fe _{0.98} ²⁺ Mg _{0.10} Mn _{0.02}) _{1.00} (Fe _{0.98} ²⁺ Cr _{0.71} Al _{0.93} V _{0.02}) _{1.00} O ₄							
S I-1C		(Fe _{0.97} ²⁺ Mg _{0.08} Mn _{0.02}) _{1.00} (Fe _{0.93} ²⁺ Cr _{0.77} Al _{0.93} V _{0.02}) _{1.00} O ₄							

注: S II-1B、S-1V、S I-1B、S I-1C根据卢纪仁资料。除新E 01为化学分析结果外,其余均为电子探针结果。计算化学式时,扣除了铁硅片晶,新E 01还扣除了适量的NiO。

钛磁铁矿、钛铁矿、硅酸盐矿物的镁、铬、镍含量(重量%)

表 12

样号	岩石名称	钛磁铁矿			钛铁矿	硅酸盐矿物		
		MgO	Cr ₂ O ₃	Ni	MgO	MgO	Cr ₂ O ₃	Ni
E 24	橄榄岩型贫铁矿	2.19	8.68	0.17	2.48	23.40	0.23	0.07
E 02	橄榄岩型贫铁矿	1.72	7.12	0.33	1.85	24.02	0.24	0.08
E 20	橄榄岩	1.44	6.55	0.13	1.25	19.90	0.21	0.05
E 21	橄榄岩	1.48	4.50	0.14	1.26	21.10	0.22	0.06
E 11	橄榄辉长岩型贫铁矿	0.80	1.19		0.81	14.50	0.12	0.05
E 13	橄榄辉长岩型铁矿	0.98	0.04	0.07	0.79	9.08	0.004	0.03
E 12	辉长岩型贫铁矿	0.40	0.03	0.08	0.40	5.48	0.004	0.02
E 04	辉长岩	0.20	0.03	0.01	0.14	7.03	0.00	0.004

在岩浆发生液态重力分异的过程中,铁、钛等元素逐渐由离子状态转变为铁钛氧化物,这种氧化物与硅酸盐熔体的群聚态组在相互关系上不是很密切,它们也同样可以发生重力分异并在下部聚集形成不同浓度的铁钛氧化物矿浆。对新街岩体来说,由于岩浆中铁、钛等元素不是很丰富,镁铁比值较高,以及比较贫铝等因素不利于铁钛氧化物的富集,因而所形成的铁钛磁铁矿规模较小,矿体也比较分散。

参 考 文 献

- (1) 王恒升, 1980年, 有关铬铁矿床形成方面的几个实验和一些意见,《成岩与成矿实验》, 专辑 276—277页, 地质出版社。
- (2) O.A. 易新等, 1954年, 火法冶金过程的物理化学, 第二卷下册 486—498页, 高等教育出版社。
- (3) 南京大学地质系, 1979年, 地球化学, 224—226页, 科学出版社。
- (4) B.A. 瓦赫鲁绍夫, 1975年, 火成岩的金属矿物及其在岩石学研究中的意义, 55—57页, 华东地质科学研究所译印。

The Magmatic Differentiation and The Origin of Metallic Minerals of The Xin Jie Basic and Ultrabasic Rocks in The Panzhuhua—Xichang Area, Sichuan

Li Cunshuai, Xu Shenglin

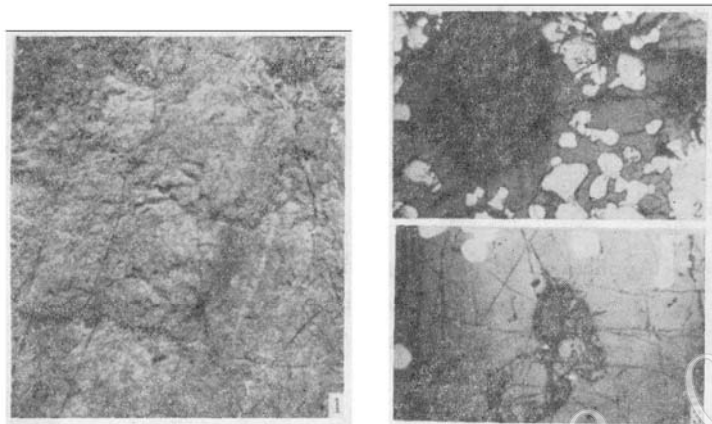
Abstract

Having studied in detail the primary rock-forming minerals, metallic minerals and petrological features of the Xin Jie layered basic and ultrabasic rocks, the authors suggest that the rocks may have been formed by crystallization from a liquated magma in different compositions after having undergone gravitative and liquid differentiations. The main evidences are: (1) The contents

of Mg, Cr, and Ni in silicates, in oxides of iron and titanium, and in picotites, all increase along with the basicity of the layered rocks. This is obviously related to the concentration and distribution of Mg, Cr and Ni in the liquated magma, (2) The chemical composition and the mineralogical assemblages of sulphides change regularly with the basicity of host rock. The relatively high content of Ni and the very low oxidizing potential of sulphur in sulphides from ultrabasic rocks indicate that they might have been formed from a ultrabasic liquated magma relatively rich in Ni and poor in oxygen, whereas the relatively low content of Ni and the rather high oxidizing potential of sulphur in sulphides from basic rocks reveal that they might have been formed from a basic liquated magma with relatively high fugacity of oxygen and poor in Ni, (3) The studies of the paragenesis of the primary rock-forming minerals and the composition of solid solution, as well as the synthetic analysis of the textures and the mechanism of the formation of fluidal and banded structures have proved that the layered rocks may have been formed by equatation at first and crystallization later.

图版 I

李存帅、徐盛林：四川攀西地区新街岩体的岩浆分异作用与金属矿物的成因



图版说明

- I—1 橄榄辉长岩与含长橄榄岩显示流状、条带状构造。具顺层节理。
 I—2 富铁铬磁铁矿与橄榄石和普通辉石构成假斑嵌晶状—网环状结构。光片， $\times 16$ 。
 I—3 富铁铬磁铁矿在普通辉石内呈自形嵌晶及骸晶。灰色浑圆者为橄榄石。光片， $\times 16$ 。