

大麻坪二道沟二辉橄榄岩 岩体成因研究

周永璋

大麻坪超镁铁岩主要以两种产状产出，一是以包体形式寄生在碧玄岩、碱性橄榄玄武岩中，二是地幔底辟体侵位至近地表形成二辉橄榄岩岩体。

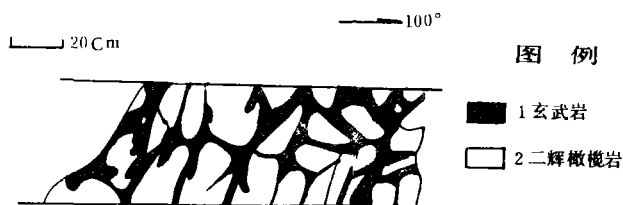
二道沟二辉橄榄岩体相对规模大，露头较好，岩石新鲜，其中橄榄石颗粒粗大，色泽鲜艳，现被当作宝石矿加以开采利用。同时也吸引了不少专家、学者在此作了大量研究工作。关于它的成因问题，多数学者认为它是包体堆积成因^{〔1〕〔2〕〔3〕}。通过近两年野外和室内工作，笔者认为二道沟二辉橄榄岩岩体并非包体堆积，而是二辉橄榄岩固态侵入体。

二道沟岩体长380米，宽70—80米，呈NNW330度方向延伸。岩体切穿白垩系土井子组砂砾岩，位于大麻坪玄武岩最底层。

岩体与土井子组砂砾岩接触界面较陡，在K6号槽附近测得界面倾角为70度左右。

岩体与围岩土井子组砂砾岩接触界面外侧有20—40厘米宽的退色蚀变带，砂砾岩呈灰白色、白色。

岩体外缘有20—50厘米宽的挤压带，岩石破碎、疏松。（图一）



图一Ab附近槽探一侧表描图

岩体片理发育，就岩体9个不同部位统计测量，结果列于表1中。岩体片理产状与界面产状近于一致。（图二）

岩体中发育脉状玄武岩，据不同部位13个点共14.1平方米面积统计测量，结果列于表2中。岩体中平均含18.4 wt %的脉状玄武岩。

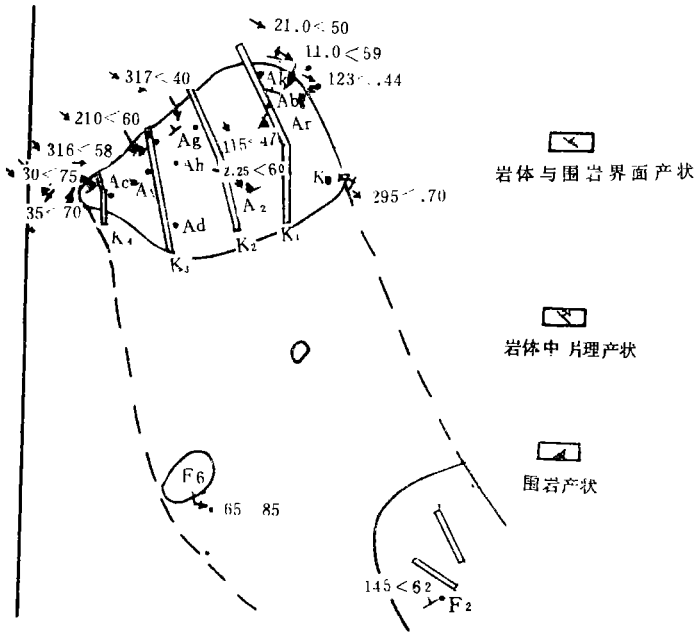
脉状玄武岩多呈规则的直线状延伸。在平面上见两组各自大致平行，彼此相交；交汇点玄武岩汇集呈双凹四边形，将岩体分割成圆形或椭圆形状。在三维空间上，交汇点玄武岩汇集呈双凹六面体，将岩体分割成一个个体呈球或椭球体形状。块体大小一般30×20×10厘米³，最大可达80×60×40厘米³。

在少数橄榄岩块体中见包裹有玄武岩团块，与脉状玄武岩并不相通。岩体中局部见极少纯橄榄岩、二辉岩呈团块状、蜂窝状，被脉状玄武岩从中穿插分割，但是它们并不失去其整体形态。

脉状玄武岩中杏仁发育，一般大小为3—5厘米，最大可达10厘米以上，与围岩玄武岩

岩体不同部位片理产状界面产状围岩产状 表 1

测点号	片理产状		与围岩接触面产状		围岩产状	
	走向	倾角	走向	倾角	走向	倾角
Aa	55	60				
Ab	25	75	110	59	110	50
Ac	219	66	227	40		
Ae	226	58	225	70	210	40
Af	123	44				
Og			205	70		
F ₁	1.5	80				
F ₂	235	62				



图二 岩体中岩石片理产状与界面产状及围岩产状关系图

区别明显。

二道沟岩体岩性单一，主体为尖晶石二辉橄榄岩，极少纯橄岩，橄榄二辉岩和二辉岩。
(表 2)

而在大麻坪碧玄岩、碱性橄橄榄玄武岩中所含包体、巨晶种类繁多,有尖晶石二辉橄榄岩，

二道沟岩体中脉状玄武岩含量统计表

表 2

百分含量 统计点编号	超 镁 铁 岩								玄 武 岩		统 计 面 积	备 注
	二辉橄辉岩		纯 橄 岩		橄辉二辉岩		其 它					
	V %	Wt %	V %	Wt %	V %	Wt %	V %	Wt %	V %	Wt %	M ²	
Aa	67	69.5	1	1	7.5	8.5			2.46	21	1 × 2	Ab Ad Ag Ak 统计线距 为20厘米 其它均为 10厘米
Ab	79	82							21	18	0.5 × 1	
Ac	73	77					2	2	25	21	0.5 × 0.7	
Ad ₁	79	82							21	18	1 × 1	
Ad ₂	78	81						1	21	18	1 × 1.7	
Ae	69	73	4	4				2	25	21	1 × 1.7	
Af	80	83					1	1	19	16	1 × 1.2	
Ag	79	82							19	16	1 × 1	
Ah	85	87							15	13	1 × 1	
Ai	83	86							17	14	0.7 × 0.7	
Ak	79	82							21	18	1 × 1	
F ₁	77	80	4	4					19	16	1 × 0.5	
F ₂	80	83							20	17	1.5 × 1	
加权平均 价 (%)	75.8	79.0	0.8	0.8	1.3	1.4	0.04	0.4	21.7	18.4	14.01	
B ₁	68	70.6	2	2	2	2	3	3.5	25.2	22	1 × 1	火山颈相 统计资料
B ₂	27	31	1	1			2	2	70	66	0.9 × 0.4	

注：玄武岩比重3.257（据乔治）超镁铁岩比重3.38（据A、E林伍德、1969 引自威利的动力地球学）以此将统计体积百分比换算为重量百分比。

二道沟岩体中造岩矿物化学成分

表 3

矿物	斜方辉石	单斜辉石	尖晶石	矿物	斜方辉石	单斜辉石	尖晶石
编号	A O I	A O I	A O I	编号	A O L	A O L	A O L
SiO ₂	54.35	51.83	2.14	Si	1.89	1.88	0.06
TiO ₂	0.11	0.31	0.09	Ti		0.01	0.002
Al ₂ O ₃	3.05	5.61	51.80	Al	0.13	0.24	1.59
Fe ₂ O ₃	1.56	0.49	1.30	Fe ³⁺	0.04	0.01	0.03
FeO	5.39	2.04	10.46	Fe ²⁺	0.16	0.06	0.23
MnO	0.20	0.09	0.09	Mn	0.01		
MgO	33.76	16.66	20.44	Mg	1.75	0.90	0.79
CaO	0.49	19.46	0.48	Ca	0.02	0.76	0.01
Na ₂ O	0.15	1.43		Na	0.01	0.10	
K ₂ O	0.01	0.01		K			
P ₂ O ₅	0.03	0.06		P			
Cr ₂ O ₃	0.55	1.37	13.19	Cr	0.02	0.04	0.27
NiO	0.10	0.07	0.34	Ni			0.01
H ₂ O ⁺				WO		41	
H ₂ O ⁻				En	0.89	55	
总计	99.75	99.43	100.33	Fs _n		9 %	
				Jd			
				Tsch		7 %	

橄榄二辉岩、铬透辉石岩、柎榴石橄榄二辉岩、尖晶石柎榴石二辉橄榄岩、条带状柎榴石二辉橄榄岩、尖晶石金云母二辉橄榄岩、二辉岩。有似黑曜岩状普通辉石巨晶、歪长石巨晶、似巨晶状顽火透辉石捕虏晶。还有辉石岩包体等。

岩体中尖晶石二辉橄榄岩,黄绿色,碎斑结构,基质粒状变晶结构,块状构造。主要矿物橄榄石 $Fo_{89.5}Fa_{10.5}$, 顽火辉石 En_{89} , 铬透辉石 $Wo_{41}En_{55}Fs_{54}$, 次要矿物为镁铬尖晶石 (化学成分参见表 3 AOI)

橄榄石碎斑,一般粒径 4—7 毫米,它形拉长状,普遍发育扭折带 (KB) 一个颗粒可有 2—5 条。扭折带边界 (KBB) 平直,清晰,橄榄石碎斑约占橄榄石的 60%,个别橄榄石碎斑见两组扭折带 (KB) 呈 35 度左右角度相交。

基质橄榄石,粒径 0.5 毫米左右,不同程度拉长状,多发育扭折条带或补丁消光。约占橄榄石的 30%。约有 10% 的重结晶新品粒,粒径 0.1 毫米左右。

岩石记录下了最后两次较大的应力应变事件,第一次使 40% 的橄榄石重结晶,残留 60% 的橄榄石碎斑。第二次剪切应力方向较第一次略有改变,两者相交约 35 度左右。

顽火辉石,粒径 0.5—9 毫米不等,近 50% 具不太清晰的扭折条带,局部见有波状消光。

铬透辉石,绿色,粒径 0.3—3 毫米,形状不规则,普遍发育“海绵边”。其中见有斜方辉石出溶页片。

二辉橄榄岩中常见极细的、0.5 毫米宽窄的玄武岩脉穿插其中,镜下观察玄武岩细脉与单斜辉石“海绵边”和斜方辉石反应边贯通。可见,玄武岩细脉是岩体局部熔融的产物。

深褐色铬尖晶石呈园粒状、它形散粒状,前者少量包含于橄榄石、斜方辉石中,后者填隙于各矿物粒向,近于定向排列。

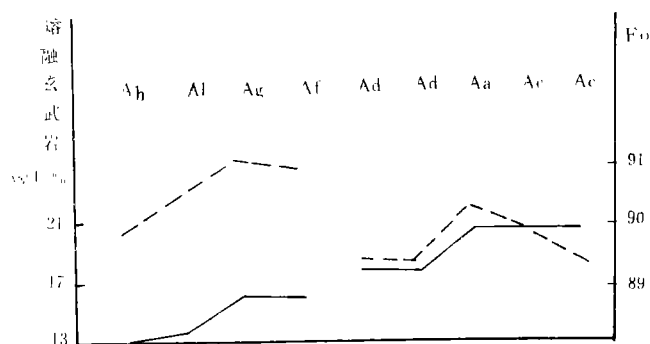
大麻坪碧玄岩、碱性橄榄玄武岩中寄生的地幔包体,碎斑结构,基质板粒结构。块状构造。橄榄石碎斑占橄榄石的 10% 左右,一般粒径 2—5 毫米,发育不清晰的扭折条带。近于垂直扭折带边界 (KBB) 见有阶梯状消光或补丁消光。基质橄榄石拉长定向排列,边界较平直,长宽比为 5:1~10:1,发育与长轴方向近于垂直的扭折条带。边界 (KBB) 清晰、平直。约占橄榄石的 80% 左右。有 10% 无明显光性变化的重结晶新品粒。可见,二道沟岩体中橄榄石记录下的最后两次应力应变事件都没有地幔包体二辉橄榄岩强烈。

部分二辉橄榄岩包体与玄武岩接触边呈一圈灰黑色的环带构造,环圈一般宽 0.5~4 厘米不等^[5]。二道沟岩体中二辉橄榄岩块体无环带构造。可见,二道沟岩体二辉橄榄岩与包体二辉橄榄岩经历了不同的热运动过程。

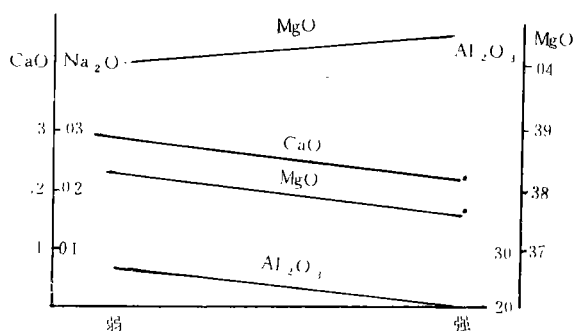
二道沟岩体中橄榄石呈新鲜的橄榄绿色,透明度好,颗粒粗大,裂理不太发育,是理想的橄榄石宝石材料。而大麻坪二辉橄榄岩包体中橄榄石,一般呈绿黄色,透明度差,裂理发育,即使大小 (0.5 厘米) 够上宝石级也会因为裂纹太多而不能被作为宝石利用。

图三是二道沟岩体中不同部位熔出玄武岩量的野外统计值与其中橄榄石的 Fo 含量相关图。局部脉状玄武岩量多,橄榄石则富 Mg 而贫 Fe 。可见,脉状玄武岩为附近橄榄岩局部熔融的产物。

对岩体中几块较大的块体,就其中心部位与边部橄榄石的 Fo 值对比,均为边部橄榄石比中心部位更富 Fo ,说明岩体熔融玄武岩是不均一的 (表 4)。



图三 岩体中局部熔融玄武岩的量与FeO相关图



图四 强弱亏损型二辉 橄 榄 岩 氧 化 物 变 化 图

岩体中二辉橄榄岩比A·E·林伍德的模拟上地幔岩亏损SiO₂、TiO₂、Al₂O₃、CaO、K₂O、Na₂O，属亏损易熔组分类型。其亏损程度也有差别，岩体6个二辉橄榄岩岩石全分析样（表5）AOL、AK、Aa为弱亏损型；A₂₄、Ai、Ah为中等亏损型。分别对两组取MgO、Al₂O₃、CaO、Na₂O，其变化趋势如图四所示。显而易见，随熔融程度增加，二辉橄榄岩Na₂O、CaO、Al₂O₃含量下降，MgO含量增高。足见，岩体二辉橄榄岩是难熔残留。

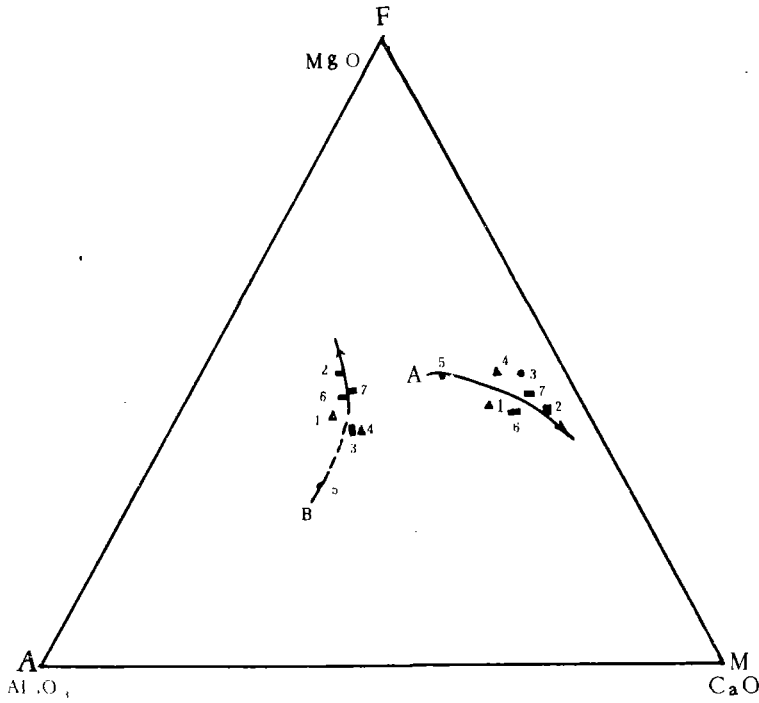
大麻坪地幔包体寄主岩是同层位的碧玄岩或碱性橄 榄 玄 武 岩。二道沟岩体中脉状玄武岩成分变化大，有碧玄岩、碱性橄 榄 玄 武 岩、橄 榄 拉斑玄武岩。分布很不均匀（表6）。将它们的化学成分点投在M—F—A（MgO—<FeO>—Na₂O+K₂O）和MgO—Al₂O₃—CaO三角图中（图五），由碧玄岩向碱性

橄 榄 玄 武 岩、橄 榄 拉斑玄武岩变化的趋势为MgO、CaO增加，K₂O+Na₂O、Al₂O₃减少。说明脉状玄武岩是岩体本身不同程度熔融的产物。笔者在岩体不同部位注意采集了对紧密共生在一起的二辉橄 榄 岩和脉状玄武岩样本，从二辉橄 榄 岩及与其共生的脉状玄武岩的MgO、CaO、Na₂O、Al₂O₃成分变化看，它们成相互消长的关系。可见脉状玄武岩是附近二辉橄 榄 岩不同程度熔融的产物。

将对应的氧化物以其重量百分比加权平均，可大致求出各点地幔原始成分，取其平均值，可以代表本区上地幔平均成分。它与A·E·林伍德估计值基本吻合^[4]（表7）。其中SiO₂、MgO<FeO>略偏低。

将岩体中脉状玄武岩分别与大麻坪同类玄武岩进行对比（表8），岩体中脉状玄武岩所含SiO₂、Al₂O₃、Na₂O+K₂O、<FeO>均较大麻坪同类玄武岩低，而MgO则相对含量高。推测岩体中脉状玄武岩为岩体本身局部熔融而未经分凝作用，是在封闭环境中上升冷凝而成岩的。

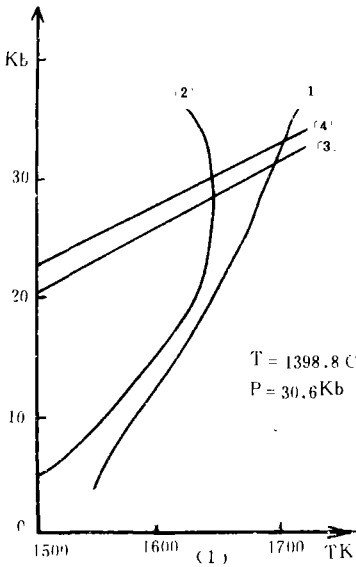
通过岩体脉状玄武岩与二辉橄 榄 岩平衡的温压计算（图六）碧玄岩形成温度T=1399℃，压力P_a=30.6Kb，碱性橄 榄 玄 武 岩形成温度T=1379℃，压力P_a=32.2Kb。证实了岩体中脉状玄武岩与附近的大麻坪玄武岩形成于不同的物理化学条件。



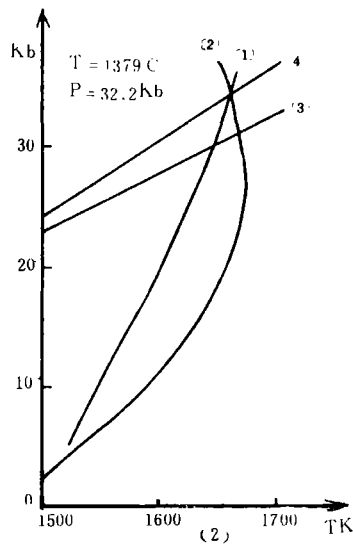
图五 脉状玄武岩 M—F—A、MgO—Al₂O₃—CaO 成份变异图

● 碧玄岩 △ 碱性橄榄玄武岩 ■ 橄榄拉斑玄武岩

图五、A 为 M—F—A (MgO—FeO—Na₂O) B 为 MgO—Al₂O₃—CaO 变化趋势



图六 Aa 碧玄岩与 A0I 二辉橄榄岩平衡曲线



Aa 碱性橄榄玄武岩与 M50 二辉橄榄岩平衡曲线

二辉橄榄岩块体中心和边部橄榄岩成分变化表

表 4

位 置	中 部 Fo	边 部 Fo
Af	89.5	90
Ag	91.3	91.5
Ai	90.5	91.5

岩 石 化 学 成 分 表

表 5

样品号	AOL	A ₂₄	A ₂	Ak	Ah	Ai	模拟上 地幔岩	岩 体 橄 榄 岩 均 值
岩石名称	尖 晶 石 二 辉 橄 榄 岩							
SiO ₂	42.51	44.48	44.64	43.90	44.35	44.54	45.16	44.15
TiO ₂	0.14	0.12	0.17	0.21	0.15	0.22	0.71	0.16
Al ₂ O ₃	1.93	2.14	2.80	3.21	0.14	2.82	3.54	2.31
Fe ₂ O ₃	0.61	1.20	1.83	1.62	7.79	1.30	0.46	1.27
FeO	6.60	6.49	7.10	2.73	7.58	7.98	8.04	7.22
MnO	0.11	0.15	0.19	0.19	0.19	0.23	0.14	0.17
MgO	44.26	41.90	38.64	38.22	41.48	38.09	37.47	40.61
CaO	2.84	2.48	2.25	3.18	1.79	2.78	3.08	2.62
K ₂ O	0.05	0.05	0.02	0.01	0.01	0.01	0.13	0.06
Na ₂ O	0.25	0.25	0.20	0.23	0.05	0.22	0.57	0.21
P ₂ O ₅	0.10	0.18	0.05	0.08	0.08	0.08	0.06	0.10
H ₂ O ⁺	0.28	0.60	1.12	0.89	0.86	0.94	0.43	0.71
H ₂ O ⁻		0.42	0.33	0.43	0.25	0.32	0.20	
Cr ₂ O ₃	0.22	0.15	0.37	0.37	0.38	0.34		
NiO	0.29	0.29	0.23	0.26	0.22	0.25		
总 合	100.19	100.89	99.94	100.53	100.32	100.12	99.90	99.57
※以上由中科院化分室分别完成								

二道沟岩体中脉状玄武岩化学成分 表 6

氧化物 \ 样号	Aa	Ac	Af	Ag	Ah	Ai	Ak
SiO ₂	41.92	39.1	40.72	40.50	42.62	41.19	38.55
TiO ₂	2.63	2.45	2.27	2.62	2.62	2.55	2.46
Al ₂ O ₃	11.96	10.89	11.79	11.33	13.93	11.13	11.18
Fe ₂ O ₃	3.45	3.51	3.49	3.80	3.16	3.45	4.42
FeO	8.37	8.95	9.06	9.45	8.29	8.01	8.70
MnO	0.08	0.18	0.24	0.18	0.16	0.12	0.18
MgO	12.89	16.14	12.43	12.51	9.27	14.14	15.04
CaO	7.63	6.98	9.40	9.30	8.66	7.47	8.19
Na ₂ O ₂	2.22	0.87	1.02	1.53	2.69	1.36	1.00
K ₂ O	1.74	0.88	0.66	1.46	2.04	1.77	1.10
P ₂ O ₅	0.76	0.79	0.67	0.85	0.85	0.85	5.55
H ₂ O ⁺		6.78	4.27	4.11	3.31	5.11	5.55
H ₂ O ⁻		1.87	2.78	2.17	2.09	2.03	2.65
NiO		0.04	0.03	0.06	0.03	0.04	0.04
Cr ₂ O ₃		0.04	0.04	0.06	0.03	0.04	0.04
合 计	100.32	99.65	100.17	100.01	99.75	100.74	100.11

CIPW 标准矿物成分

AP	1.79	2.20	1.8	2.2	2.1	2.2	2.2
Ilm	5.34	5.0	4.6	5.3	5.3	5.3	5.4
Mt	10.69	5.5	5.5	6.0	4.9	5.5	7.0
Or	15.66	5.4	4.2	8.9	13.0	13.4	7.3
Ab	18.69	7.9	9.1	12.3	14.4	12.5	9.1
An	7.19	25.0	28.2	21.1	21.2	20.5	24.8
Wo	5.25	2.8	7.6	9.6	7.9	5.9	5.8
En	1.27	4.8	5.3	6.5	5.3	4.4	4.2
Fs	1.27	0.0	1.7	2.2	2.0	1.0	1.1
En'		13.4	10.2			5.3	4.2
Fs'		3.4	6.9			1.1	1.1
fo	20.41	19.3	12.9	18.1	13.4	20.0	22.6
fa	5.87	5.3	2.0	6.8	5.4	4.9	5.3
Ne	2.42			1.0	5.1		
合 计	100.01	100.00	100.00	100.00	100.00	100.00	100.00
	碱性橄 玄 武 岩	橄辉拉斑玄武岩	碱性橄 玄 武 岩	碧玄岩	橄辉拉斑玄武岩		

全部由研究生部化分室完成

表 7

本区上地幔平均组成 (估算)

组成 标本号	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	Cr ₂ O ₃
Ah	44.13	0.47	2.80	1.97	7.67	0.19	37.29	2.68	0.27	0.39	0.18	0.33
Aa	44.07	0.89	4.74	2.17	7.37	0.17	33.23	3.38	0.62	0.38	0.20	
Al	44.07	0.55	3.98	1.68	7.98	0.21	34.74	3.44	0.38	0.26	0.19	0.30
Alk	42.94	0.65	9.64	2.12	7.90	0.19	34.05	4.08	0.37	0.21	0.22	0.31
本区平均地幔 组成	43.80	0.59	4.04	1.97	7.73	0.19	44.83	3.40	0.41	0.31	0.20	0.31
林匹德原始地 幔组成	45.16	0.71	3.54	0.46	8.04	0.14	37.47	3.08	0.57	0.13	0.06	0.43

表 8

玄武岩成分对比表

Wt % 岩石名称	氧化物	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	合计
碧玄岩	1	42.62	2.62	13.93	3.16	8.29	0.16	9.27	8.66	2.69	2.04	0.85	
	2	43.72	2.57	13.90	4.43	8.23	0.17	7.43	8.18	4.75	1.85	1.05	
碱性橄橄	1	41.21	2.62	11.45	3.63	8.91	0.12	12.70	8.17	1.89	1.60	0.81	
	2	42.85	2.71	13.48	4.60	8.63	0.16	8.60	8.84	2.89	1.47	0.82	
玄武岩	1	40.36	2.45	11.54	3.80	8.34	0.18	13.07	8.27	1.14	1.10	0.17	
	2	49.14	1.70	14.43	3.19	7.39	0.14	7.60	8.16	3.00	1.21	0.31	

注: 1—岩体中脉状玄武岩 2—大麻坪玄武岩

综上所述,无论从地质、岩石、岩石化学、岩石物理化学等特征来看,二道沟二辉橄榄岩岩体不可能是包体堆积体。笔者认为,二道沟二辉橄榄岩岩体是一个热态侵位的地幔底辟体。地幔底辟体由于局部升温而导致上升。可能在底辟上升过程中熔出玄武岩脉体,后者又作为“润滑剂”、促使底辟沿断裂继续上侵,直至先期喷溢的玄武岩层底部,侵位至土井子组砂砾岩与玄武岩层之间,形成了二道沟二辉橄榄岩岩体。

池际尚教授,赵大升,鄂莫岚付研究员,邱家骧、孙善平付教授提出了有益的指导意见。全文承邓晋福、路风香副教授审阅,特此表示感谢。

主 要 参 考 资 料

- (1) 刘若新等:《华北地区新生代碱性玄武岩中超镁铁质岩捕虏体的初步研究》地震地质1981年第三期
- (2) 从柏林:《万全大麻坪玄武岩及其超镁铁质岩包体的稀土地球化学》科学通报1982年第七期。
- (3) 冯家麟:《河北万全大麻坪超基性—基性岩岩球堆积体》河北地质学院学报1980年第一期。
- (4) A·E林伍德等,(杨美娥等译):《地幔的成分与岩石学》1981。
- (5) 周永璋《河北万全大麻坪中新世玄武岩成因研究》1984、天津地质志

PETROGENESIS OF DAMAPIN- ER DAUGOU LHERZOLITE , WANGQUAN , HEBEI

Zhou Yong Zhang

Abstract

Field geological observation, petrographic investigation, chemical analysis and thermodynamic calculation on Damapin-Erdaugou spinel-lherzolite and the coexisting dike-like basalt suggest that this spinel-lherzolite is a diapir of fragments of the upper mantle emplaced near the surface along a deep fracture zone, rather than an accumulation of ultramafic nodules carried by alkali basalt on the surface.