

山东沂水汞丹山凸起麻粒岩 相岩石特征及其地质意义

金隆裕 阎守民 周志胜

牛良柱

(山东省地质矿产局实验室)

(山东省地质科学研究所)

提要 汞丹山凸起的麻粒岩类岩石可分为二辉麻粒岩、角闪二辉麻粒岩和紫苏混合花岗岩等。

其主要矿物有斜长石(An_{26-34})、紫苏辉石、单斜辉石、普通角闪石、黑云母、条纹微斜长石、石英等。副矿物有磁铁矿、磷灰石、锆石、石榴石、金红石等。

借助于多勃列佐夫(1971)的判别式,判别本区二辉麻粒岩类岩石属较低温的角闪麻粒岩亚相。

按不同计算公式估算:

麻粒岩相形成温度为 898.8°C 、 828.2°C 、 957.7°C ;形成时的压力低于 0.5GPa 。

一、地质概况

山东省中部的郯庐断裂带中段(沂沭断裂带),除四条主干断裂外,于主干断裂之间还发育有中生代、新生代凸起和凹陷。大致可分为三个部分:北部为昌潍凹陷的一部分;南部是郯城凹陷;中部则较为复杂,由西而东分三个部分,西部以沂水为界,其北为马站凹陷,南为苏村凹陷,中部为汞丹山凸起,东为安丘—莒县凹陷。(图1)

汞丹山凸起主要由太古界泰山群、上元古界土门群、和古生界寒武—奥陶系组成(图2)

太古界泰山群:区内出露三个组(由上而下):

山草峪组:

- | | |
|---------------------------|--------|
| 3. 眼球状黑云钾长片麻岩 | >1800米 |
| 2. 粗粒白云母钾长片麻岩 | 600米 |
| 1. 眼球状白云母石英片岩及电气石白云母钾长片麻岩 | 200米 |

雁翎关组:

- | | |
|----------------------------|------|
| 4. 白云母磁铁石英岩夹白云母石英片岩及黑云角闪片岩 | 100米 |
|----------------------------|------|

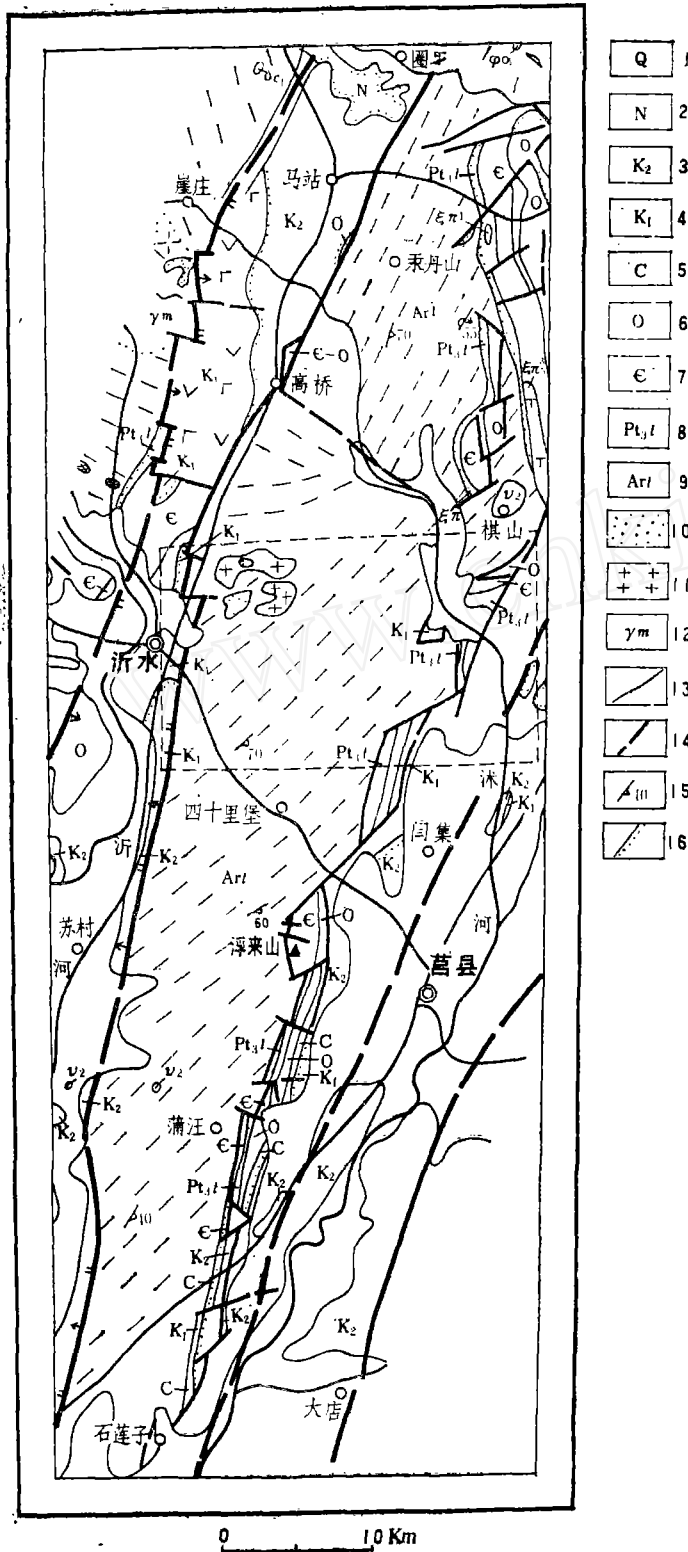


图1 矛丹山凸起地质图

- 1.第四系; 2.第三系; 3.上白垩统;
- 4.下白垩统; 5.石炭系; 6.奥陶系;
- 7.寒武系; 8.土门群; 9.泰山群;
- 10.麻粒岩; 11.紫苏混合花岗岩;
- 12.混合花岗岩; 13.地质界线; 14.断层;
- 15.地层产状; 16.不整合面

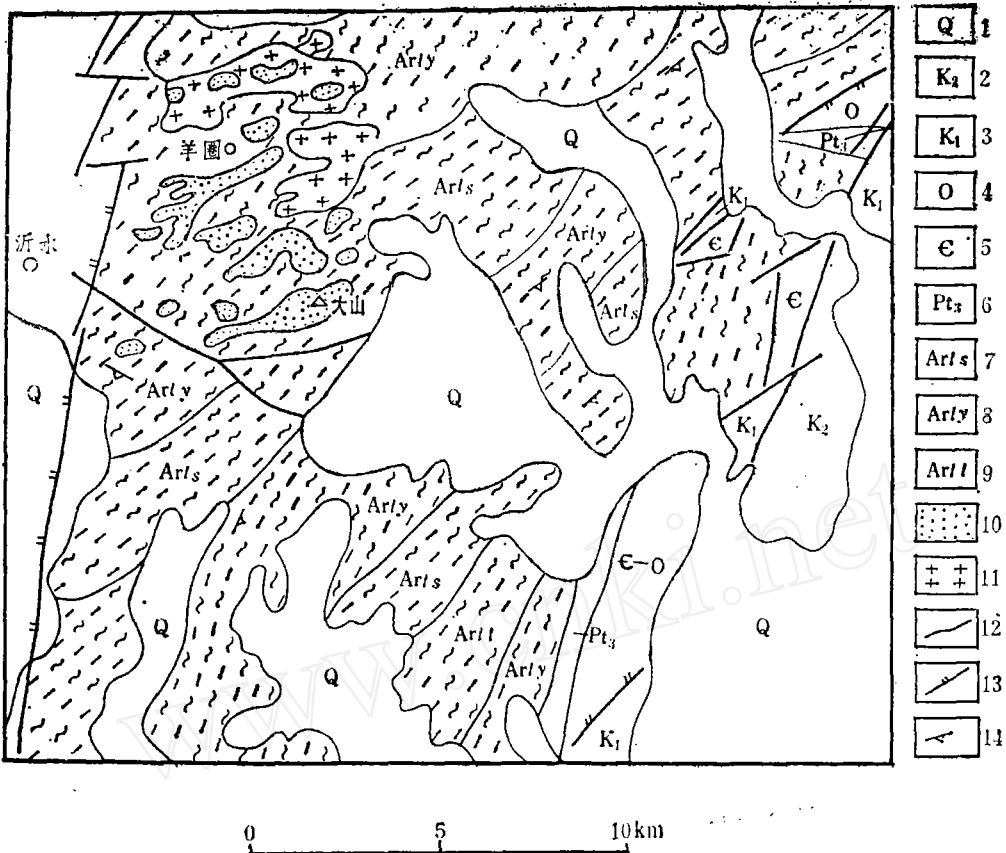


图2 沂水汞丹山凸起麻粒杂岩块体地质略图

1.第四系；2.上白垩统；3.下白垩统；4.奥陶系；5.寒武系；6.上元古界；7.泰山群山草峪组；8.泰山群雁翎关组；9.泰山群太平顶组；10.麻粒岩；11.紫苏混合花岗岩；12.地层界线；13.断层；14.地层产状

- | | |
|---------------------|-------|
| 3.斜长角闪岩，可相变为角闪斜长片麻岩 | 400米 |
| 2.角闪片岩 | 500米 |
| 1.斜长角闪岩 | 400米 |
| 太平顶组： | |
| 4.细粒黑云片岩 | 100米 |
| 3.条带状硅线石黑云斜长片麻岩 | 1200米 |
| 2.角闪斜长片麻岩 | 350米 |
| 1.黑云二长片麻岩 | >500米 |

在凸起的东缘，分布有震旦系土门群和古生界寒武系、奥陶系，呈NNE、NNW或NW向长条状展布；白垩系越出主干断裂超复于古生界之上。

在汞丹山凸起的中段，即沂水羊圈一带广泛分布一套由紫苏混合花岗岩、二辉麻粒岩等麻粒岩相的岩石组合。其出露面积大于20km²。

汞丹山的麻粒杂岩主要由二辉麻粒岩、黑云角闪二辉麻粒岩、角闪二辉麻粒岩、紫苏混合花岗岩等岩石组成。紫苏混合花岗岩和麻粒岩呈渐变接触关系，间夹有混合岩化

二辉麻粒岩、二辉混合岩等(图3)。

二辉麻粒岩、角闪二辉麻粒岩块体呈大小不等的透镜体、扁豆体和厚薄不一的条带状的残留体。

紫苏混合花岗岩体内伟晶岩脉、伟晶块体、微斜长石的巨型变晶发育。

麻粒岩块体被中生代燕山晚期的角闪辉长岩、辉长辉绿岩脉等穿插。

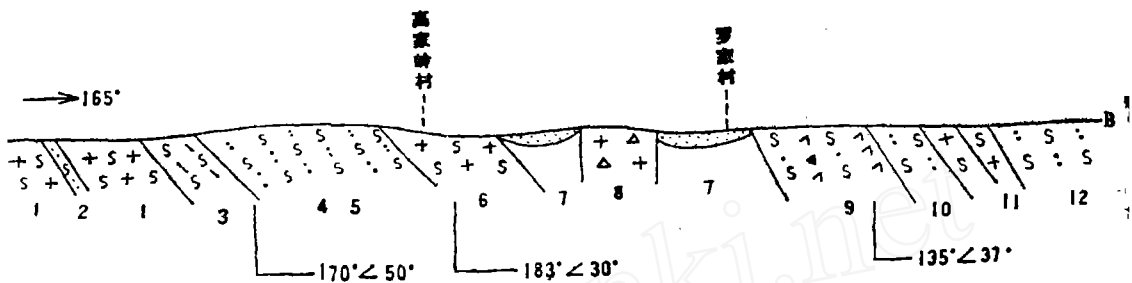


图3 羊圈——罗家庄一带地质剖面图

(1:10000)

- | | | |
|---------------|-------------|--------------|
| 1. 伟晶状混合花岗岩; | 5. 角闪二辉麻粒岩; | 9. 黑云斜长片麻岩; |
| 2. 混合岩化二辉麻粒岩; | 6. 紫苏混合花岗岩; | 10. 角闪二辉麻粒岩; |
| 3. 二辉斜长片麻岩; | 7. 第四系; | 11. 紫苏混合花岗岩; |
| 4. 二辉麻粒岩; | 8. 破碎带; | 12. 二辉麻粒岩 |

二、岩石特征

(一) 二辉麻粒岩块体

1. 岩性

二辉麻粒岩块体呈条带状、透镜状、扁豆体等定向排列。单个块体大小不等，宽窄不一，边部为二辉混合岩或混合岩化二辉麻粒岩、黑云角闪麻粒岩、角闪麻粒岩等。

二辉麻粒岩呈灰绿色至绿黑色，块状构造和定向构造，等粒或不等粒变晶结构、柱粒状变晶结构，局部出现斑状变晶结构，变斑晶为微斜长石。主要矿物有条纹微斜长石、斜长石、石英、紫苏辉石、透辉石~普通辉石、黑云母、普通角闪石等。普通角闪石系退化变质产物，黑云母多数可能为混合岩化作用之产物。

各类岩石的矿物成分及其实测体积百分数如表1所示。

本区角闪二辉麻粒岩、二辉麻粒岩的矿物组合有如下特征：

(1) 斜方辉石(紫苏辉石)是本区麻粒岩、紫苏混合花岗岩的特征矿物，在二辉麻粒岩中，它与普通角闪石共生。表明 $Hb + Q = O_{PX} + C_{PX} + Pl + H_2O$ 的反应未进行彻底，其结晶温度应在反应线的附近(即700℃左右)^[2]。

表1 二辉麻粒岩的矿物成分及其实测含量(%)

样号	岩石名称	斜长石	钾长石	石英	紫苏辉石	单斜辉石	黑云母	普通角闪石	磁铁矿	其它
1	羊-3 黑云母化二辉麻粒岩	51.67	8.92	3.18	5.78	15.79	10.19	2.41	1.61	0.45
2	F-28 黑云母化辉石麻粒岩	39.97	14.39	16.85	0.78	11.45	14.03	1.12	0.88	0.53
3	85395 黑云母化二辉麻粒岩	41.56	0.58	4.42	34.97	9.17	7.17		1.11	1.03
4	85396 黑云母化二辉麻粒岩	22.22		1.03	9.63	57.01	7.65		2.24	0.22
5	85393 黑云母化紫苏麻粒岩	53.87	2.03	19.81	12.94	0.35	10.62			0.37
6	85397 //	48.53	6.92	20.86	12.87	1.59	7.82		0.95	0.47
7	85398 黑云母化二辉麻粒岩	45.75	5.57	20.08	13.13	7.87	6.53		1.06	
8	85407 //	52.29	17.03	6.88	6.13	10.46	5.81		0.16	1.25
9	85408 //	57.84	9.01	2.62	7.18	11.98	9.41		1.56	0.40
10	85410 //	21.35	1.81	10.03	14.68	22.08	29.30		0.65	0.11
11	85411 角闪二辉暗色麻粒岩	7.67	0.19	6.88	21.54	7.35	5.65	50.59	0.08	0.06
12	85412 黑云母化二辉麻粒岩	39.07	7.77	7.98	19.34	12.38	11.77		0.91	0.78
13	85413 黑云母化二辉麻粒岩	41.31	4.48	11.30	22.46	8.01	10.98		1.28	0.19
14	85414 黑云母化二辉麻粒岩	31.84	19.09	9.79	17.26	5.53	14.78		0.75	0.25
15	85415 黑云母化二辉麻粒岩	62.57	2.31	1.90	9.45	5.29	17.42		0.59	0.44

(2) 区内未见 $G_t + C_{PX} + Pl + Q$ 的矿物组合,该组合代表麻粒岩相的高压亚相^[2],故表明本区的变质压力偏低。

2. 主要造岩矿物特征

斜长石: 他形板状、长板状。钠长石聚片双晶较发育,略遭受粘土化、绢云母化,内有园粒状石英和副矿物的包体。个别晶体边部出现蠕英长石。费氏台测定 $An = 26 \sim 34$,有序度为0.6。X光测定 $An = 26$ (表2)。

钾长石: 他形板状个体。显微镜下可分二种,一种是具条纹构造的微纹长石;另一种是不具条纹构造,但具格子双晶的微斜长石。前者交代现象不明显,属原生矿物,后者具明显的交代现象,属后期生成之产物。费氏台测定具条纹构造的钾长石,其 $2V_{NP} = 62 \sim 80^\circ$ 、 $\Delta = 0.6$ 、 $ST = 0.90$,属无格微斜长石。X光测定数据见表2。

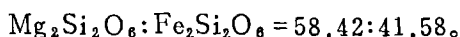
紫苏辉石: 他形柱状个体,薄片呈淡红至淡绿色,具多色性, Ng : 淡红, Nm : 淡黄, Np : 淡绿,在细而密的解理内有钛铁矿、磁铁矿片晶,周边有单斜辉石、普通角闪石出现,并被黑云母交代。费氏台测定 $2V_{NP} = 76^\circ$,多数为平行消光,个别为斜消光, $C \wedge Ng = 11^\circ$ 。X光测定数据见表2。

紫苏辉石的化学成分见表3。其端员组分为: $NaFe^{5+}Si_2O_6(Ac)0.78\%$, $Mg_2Si_2O_6$ 。

表2 二辉麻粒岩中主要矿物X射线分析数据

斜长石 (An=26)		微斜长石		单斜辉石		紫苏辉石	
d	I/I ₀	d	I/I ₀	d	I/I ₀	d	I/I ₀
6.41	2	6.46	3	3.35	3	4.55	3
4.21	2	4.21	4	3.23	7	3.33	3
3.75	6	3.75	6	2.988	8	3.18	10
3.46	4	3.46	5	2.941	10	2.94	4
3.33	7	3.30	6	2.89	3	2.88	9
3.23	10	3.23	10	2.56	2.57	2.72	3
3.17	9	2.97	5	2.52	4	2.55	5
2.988	3	2.89	4	2.29	2	2.48	5
2.92	2	2.76	2	2.15	3	2.127	4
2.89	2	2.57	3	2.13	3	2.10	3
2.84	2	2.16	3	2.10	2	2.03	4
2.28	3	1.797	4	2.04	2	1.99	4
2.16	3			1.834	2	1.96	4
1.79	3			1.75	4	1.74	4

(En)57.96%, Fe₂Si₂O₆(Fs)41.26%。



含铁度 $[f = 100(\text{Fe}^{3+} + \text{Fe}^{2+} + \text{Mn}) / (\text{Mg} + \text{Fe}^{3+} + \text{Fe}^{2+} + \text{Mn})]$ 为45.03%

单斜辉石：他形柱状晶体，薄片微微带绿色。被普通角闪石、黑云母交代。费氏台测定 $2V_{Ng} = 54^\circ$, $C \wedge Ng = 37^\circ$ 。X光测定数据见表2。单斜辉石的化学成分见表4。

按Ca—Mg—Fe(±Al)组合的单斜辉石亚类的分类和命名(据波尔德瓦尔特和赫斯, 1951)确定为次透辉石。端员组分: NaAlSi₂O₆:3.31%, CaTiAl₂O₆:0.22%, NaFe³⁺Si₂O₆:4.58%, Ca₂Si₂O₆:39.29%、Mg₂Si₂O₆:39.02%、Fe₂Si₂O₆:13.58%。

含铁度 $f = 32.08\%$, Ca的离子数为0.799, 低于莱西~平度地区的麻粒岩中的单斜辉石(0.892), 近代实验研究证明, 单斜辉石中Ca的含量随温度的降低而增高。故推测本区麻粒岩中的单斜辉石形成温度高于莱西~平度地区麻粒岩中的单斜辉石。本区麻粒岩中的单斜辉石Al₂O₃含量为2.44%, 高于莱西~平度地区麻粒岩中的单斜辉石(2.38%)^[7], Gasparik(1984)研究表明, 单斜辉石中Al₂O₃的含量受温度、压力及共生矿物等多种因素的影响, 而AL^{VI}主要决定于压力。Добрецов, Н.Л等(1971)指出: 单斜辉石中的硬玉分子和钙契尔马克分子随压力的增大而增加。本区麻粒岩中单斜

表3 二辉麻粒岩中紫苏辉石的化学成分

样品编号	羊-4	以氧6为基础的离子数	
分析号	8400954		
SiO ₂	51.34	Si	1.973
TiO ₂	0.05	Al ^{IV}	0.027
Al ₂ O ₃	1.65	Al ^{IV}	0.049
Fe ₂ O ₃	3.33	Ti	0.003
FeO	22.95	Fe ³⁺	0.097
MnO	0.37	Fe ²⁺	0.736
MgO	18.03	Mg	1.034
CaO	0.00	Mn	0.014
Na ₂ O	0.17	Ca	0
		Na	0.014
		Ca+Na+K	0.74(%)
		Mg	54.56(%)
		Fe ³⁺ +Fe ²⁺ +Mn	44.70(%)

分析单位: 山东省地矿局实验室

辉石的硬玉分子和钙契尔马克分子总和(3.31%)低于莱西~平度地区麻粒岩中单斜辉石(6.54%)^[7], 因此推测本区麻粒岩中单斜辉石形成时的压力低于莱西~平度地区麻粒岩中单斜辉石。

石英: 他形粒状个体, 多呈集合体出现, 具定向拉长现象, 波形消光发育, 含量变化大。聚集成扁豆体或与长石构成浅色条带。

黑云母: 片状, 棕褐色, 多色性极明显, Ng: 棕褐色, Nm: 褐黄色, Np: 浅褐黄色。晶体内有磷灰石、磁铁矿包体, 沿晶体周边和解理交代辉石, 并有辉石残晶分布于黑云母中。

普通角闪石: 不规则的长柱状个体, 多色性明显, Ng: 深绿色, Nm: 绿色或黄绿色, Np: 淡黄色或淡黄绿色。费氏台测定 $C \wedge Ng = 22^\circ$, $2V_{NP} = 77^\circ$ 。有的属于交代辉石而成。

3. 副矿物特征

(1) 副矿物组合

二辉麻粒岩中的副矿物组合简单, 主要副矿物为磁铁矿, 次要矿物为磷灰石、锆石、黄铁矿, 少量和个别矿物有钛铁矿、石榴石、金红石、方铅矿等。

副矿物总量为8236.8克/吨, 其中磁铁矿占97%, 含量高达8000克/吨, 其次是磷灰

表4 二辉麻粒岩中单斜辉石的化学成分

样品编号	羊-3		
分析号	8400953		
以氧6为基础的离子数			
SiO ₂	51.32	Si	1.958
TiO ₂	0.15	Al ^{IV}	0.042
Al ₂ O ₃	2.44	Al ^{VI}	0.068
Fe ₂ O ₃	2.90	Fe ³⁺	0.083
FeO	7.73	Fe ²⁺	0.246
MnO	0.15	Mg	0.707
MgO	12.46	Mn	0.005
CaO	19.60	Ca	0.799
Na ₂ O	0.80	Na	0.06
		Ti	0.005
		Ca+Na+K	44.16(%)
		Mg	36.35(%)
		Fe ³⁺ +Fe ²⁺ +Mn	19.49(%)

分析单位：山东地矿局实验室

石，含量为203克/吨，占总量的2.5%，锆石含量和黄铁矿含量相等，都是16.9克/吨，分别占总量的0.2%。

根据副矿物组合和含量确定，二辉麻粒岩属锆石——磷灰石型组合类型。

(2) 主要副矿物特征

磷灰石：无色，透明或半透明，玻璃光泽，短柱状，多为园柱状，棱角园滑，晶面不清晰，浑园较好。粒度变化范围一般为0.1~0.5mm、， $l:d=1:1\sim 2:1$ ，少数达3:1。

石榴子石：橙红色，玻璃光泽，半透明，多为碎块状。

锆石：颜色较单一，多为紫色至浅紫色。金刚光泽，半透明至透明，个别为无色透明。短柱状晶体。棱角趋圆滑，锥面不清晰，横向裂纹发育。粒度变化范围 $l=0.1\sim 0.3\text{mm}$ ， $d=0.05\sim 0.15\text{mm}$ ， $l:d=2:1\sim 3:1$ 。

锆石的结晶类型：

主要型：由复四方柱{100}、{110}与复四方双锥面{111}、{311}、{131}组成之聚形晶体。其中{110}>{100}和{111}>{311}或{311}>{111}；或者{100}>{110}，{311}>{111}成{111}>{311}，以前者为主，后者次之，这种类型锆石以紫色为主。

个别型：由四方柱{100}及锥面{111}、{311}组成之聚形晶体，其中{100}面发育，{110}面消失或极不发育，锥面一般是{311}>{111}。这种类型锆石以无色为主，常发育成细长柱状晶体(图4)

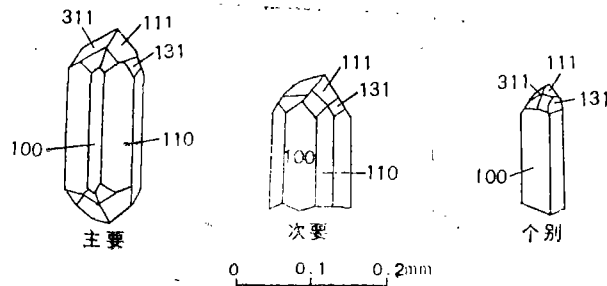


图4 二辉麻粒岩中锆石晶形图

4. 岩石化学特征

沂水羊圈一带的二辉麻粒岩类岩石的化学成分见表5，其岩石化学特征值见表6。

从表5、表6中可看出，羊圈一带的麻粒岩类岩石的岩石化学特征是：

(1) 酸度： SiO_2 含量为53.14~62.00%，酸度值为3.60~7.45，多数样品出现标准矿物“Q”，个别的则出现“O1”。基本上是 SiO_2 过饱和的中性岩类。

(2) 组合指数为2.27~2.65，属钙碱性岩系列，其碱度率为1.96~3.12，钠钾比值为1.34~3.98， $\text{Na} > \text{K}$ ， $\text{Na}_2\text{O} > \text{K}_2\text{O}$ 。

(3) 含铝性为1.22~1.61，不出现标准矿物“C”属正常类型岩石。

总之，沂水羊圈地区的二辉麻粒岩类岩石的岩石化学属正常类型钙碱性系列的中性岩类。

(二) 紫苏混合花岗岩

1. 岩性

紫苏混合花岗岩呈浅肉红色、灰肉红色。块状构造或似片麻状构造，花岗变晶结构和斑状变晶结构，变斑晶为微斜长石。

按辉石的种属及其含量可细分为单斜辉石混合花岗岩、二辉石混合花岗岩、紫苏混合花岗岩。

紫苏混合花岗岩内的交代结构，尤其是交代的蠕虫结构特别发育，以微斜长石的交代作用显著。

2. 主要造岩矿物特征

紫苏混合花岗岩类岩石的矿物成分及其含量见表7。

主要矿物有斜长石、微斜长石、石英，次要矿物有黑云母、单斜辉石、紫苏辉石、普通角闪石等。

斜长石呈半自形~它形板状晶体，周边有较多的蠕英长石，费氏台测定 $\text{An} = 13$ 。钾长石仅出现一种具明显交代现象的格子双晶发育的微斜长石。

3. 副矿物特征

表5 麻粒岩类岩石的化学成分

样品号	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	H ₂ O ⁺	CO ₂	合计		ap	il	mt	or	ab	an	di		hy		ol		Q	
														wo	en							fs	en	fs	fo	fa			
1 F-28	60.98	0.55	14.49	0.67	5.80	0.111	4.34	4.94	3.67	2.86	0.26	0.67	0.28	99.621	0.621	0.050	0.97	16.90	31.05	14.62	3.42	1.78	1.55	9.03	3.85				9.86
2 Y15	61.58	0.49	14.19	1.58	4.88	0.09	4.10	4.77	3.28	3.72	0.24	0.44	0.67	100.030	0.570	0.932	29.21	98	27.73	13.02	4.12	2.34	1.61	7.90	5.41				11.20
3 Y16	59.58	0.45	15.20	1.48	5.87	0.11	4.23	5.19	3.80	2.80	0.28	0.58	0.58	100.150	0.670	0.852	15.16	53	32.14	16.16	3.61	1.89	1.61	8.65	7.41				7.51
4 81047	62.00	0.74	15.42	1.42	4.62	0.10	3.29	4.79	4.40	2.17	0.23	0.49	0.20	99.870	0.541	1.412	06.12	80	37.22	15.91	2.96	1.62	1.24	8.57	5.03				11.95
5 Y29	53.14	0.61	16.20	1.16	8.40	0.15	6.29	7.98	3.75	1.43	0.33	0.73	0.18	100.350	0.771	1.151	1.69	8.46	31.72	23.14	6.42	3.33	2.92	6.13	5.37	4.35	4.20		

2-5 根据杨惠南、何锡鹏 1984

分析单位：山东地矿局实验室

表6 麻粒岩类岩石的岩石化学特征值

样品编号	组合指数	碱度率	含铝性	酸度	碱度	钠钾比	分子指数
1 F-28	2.37	2.01	1.61	6.07	11.11	1.95	57.81
2 Y15	2.64	2.17	1.22	6.39	10.90	1.34	60.91
3 Y16	2.63	1.96	1.31	5.72	12.06	2.06	56.18
4 81047	2.27	1.96	1.31	7.45	10.08	3.09	61.97
5 Y29	2.65	3.12	1.42	3.60	16.70	3.98	40.18

表7 紫苏混合花岗岩、混合岩的矿物成分及其实测含量(%)

顺序号	样品号	岩石名称	斜长石	钾长石	石英	紫苏辉石	单斜辉石	普通角闪石	黑云母	磁铁矿	其它
1	F-20	混合岩化辉石麻粒岩	55.79	16.21	12.66	0.18	7.28		6.72	0.97	0.19
2	85398	"	45.75	5.58	20.08	13.13	7.88		6.53	1.06	
3	85409	"	43.40	9.79	15.98	6.39	6.97		15.97	0.67	0.82
4	F-21	辉石麻粒岩质混合岩	45.03	22.08	17.15	0.50	5.08		9.01	1.01	0.14
5	F-23	紫苏混合花岗岩	42.21	30.86	22.38	0.54	0.27	0.54	2.52	0.48	0.20
6	F-27	"	40.92	29.54	25.12	1.62	1.29		0.94	0.46	0.12
7	85399	"	49.12	17.32	34.00	0.59		0.41	0.27	1.30	
8	85405	"	39.32	19.10	21.49	5.27		1.26	10.75	1.30	1.52
9	85394	"	47.64	9.83	23.12	1.57		13.49	2.63	1.29	0.44

副矿物组合简单, 主要副矿物有磁铁矿, 其次是磷灰石、锆石, 个别为褐铁矿等。

副矿物总量为7906.9克/吨, 磁铁矿占96%, 含量高达7600克/吨, 其次是磷灰石, 含量为210克/吨, 约占2.7%, 锆石含量为96.9克/吨, 约占1.2%。表明紫苏混合花岗岩中副矿物种类少。属锆石—磷灰石型副矿物组合。与二辉麻粒岩相似。

磷灰石: 主要为无色透明, 其次为淡黄色半透明, 玻璃光泽, 短柱状晶形为主, 晶体棱角圆滑, 具一定的浑圆现象, 多为圆柱状, 表面略显粗糙, 体内一般纯净, 少包体。粒度变化范围在 $l=0.15\sim0.5\text{mm}$, $d=0.1\sim0.2\text{mm}$, $l:d=1.5:1\sim3:1$, 少数达 $4:1$ 。

锆石: 色调单一, 呈深紫—浅紫色, 金刚光泽, 半透明至透明, 短柱状晶体, 晶形完整, 但棱角略有圆滑, 晶面不清晰, 表面光滑, 个别见平行连生体。粒度不均匀, $l=0.15\sim0.5\text{mm}$, $d=0.08\sim0.15\text{mm}$, $l:d=2:1\sim3:1$, 个别大于 $3:1$ 。

锆石结晶类型简单, 主要类型为由复四方柱和复四方双锥组成的聚形晶体, 柱面 $\{110\}>\{100\}$, 或 $\{100\}$ 极不发育, 锥面 $\{111\}>\{311\}$ 、 $\{131\}$, 偏锥面 $\{311\}$ 、 $\{131\}$ 一般不发育。次要类型由正方柱 $\{110\}$ 与复四方双锥 $\{111\}$ 、 $\{311\}$ 组成的聚形, 偏锥面 $\{311\}$ 、 $\{131\}$ 一般不发育, $\{111\}>\{131\}$ (图5)。

4. 岩石化学特征

沂水羊圈一带的紫苏混合花岗岩类岩石的化学成分见表8, 其岩石化学特征值见表9。

从表8、表9可看出, 自混合岩化麻粒岩演变为二辉混合岩、紫苏混合花岗岩, 其岩石的化学成分演化的特征是:

(1) SiO_2 含量从 $64.24\%\rightarrow66.10\%\rightarrow70.92\%$; 酸度从 $9.75\rightarrow11.71\rightarrow50.91$; 基度从 $8.00\rightarrow6.96\rightarrow2.71$; 标准矿物“Q”从 $14.22\rightarrow18.00\rightarrow26.43$ 。

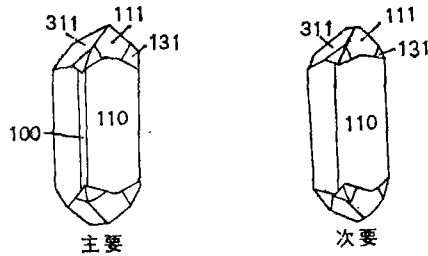


图5 紫苏花岗岩的锆石晶形图

(2) 组合指数从2.71→2.61→2.46; 碱度率从2.26→2.46→2.77, 均属钙碱性岩系列。

(3) 岩石中含铝性变化不大, 都在1.60左右, Al_2O_3 含量也非常相近, 都在15~16%之间。除紫苏混合花岗岩中出现标准矿物“C”属铝过饱和类型外, 其余都为正常类型。

(4) Na/K值从1.79→1.39→1.26, 从 $Na_2O > K_2O$ 演化为 $K_2O > Na_2O$ (%)。

(5) 分异指数从69.53→73.30→84.95。

三、麻粒岩相形成环境的判别

(一) 根据二辉麻粒岩中含有的单斜辉石和斜方辉石判别:

1. 多勃列佐夫(1971)提出下列判别式, 判别辉石的成因:

$$(1) \quad D(x) = 0.0596Al^{IV} + 0.0166Fe^{3+} + 0.0212Fe^{2+} + 0.016Mn \\ - 0.0051Mg + 0.0009Na - 13.5$$

若 $D(X) > 0$, 为麻粒岩相(无石榴石)的斜方辉石。若 $D(X) < 0$, 则为岩浆成因的辉长岩类的斜方辉石。

$$(2) \quad D(X) = -183.8 + 0.0378Si + 0.0113Al^{VI} - 0.054Ti + 0.052Fe^{3+} \\ + 0.0309Fe^{2+} - 0.023Mn + 0.0218Mg + 0.285Ca + 0.0357Na$$

$D(X) > 0$, 为二辉麻粒岩的单斜辉石; 若 $D(X) < 0$, 则为岩浆成因的辉长岩类的单斜辉石。

$$(3) \quad D(X) = -4282 + 0.683Si + 2.192Al^{VI} + 2.181Fe^{3+} + 1.44Fe^{2+} \\ + 1.455Mn + 1.442Mg + 1.427Ca + 0.77(Na + K)$$

如果 $D(X) > 0$, 属于高温的辉石麻粒岩亚相的斜方辉石; 若 $D(X) < 0$, 则属于低温的角闪麻粒岩亚相的斜方辉石。

借助于上述三个判别式, 研究本地区的二辉麻粒岩中的斜方辉石和单斜辉石。

其斜方辉石 $D(X) = 0.286(1)$ 式;

$$D(X) = -28.86(3)式;$$

表8 紫苏混合花岗岩、混合岩的岩石化学成分(%)及其化学参数

顺序号	样品号	岩石名称	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	H ₂ O ⁺	CO ₂	合计
									wo	en	fs	en	fs			
1	F-20	混合岩化辉石麻粒岩	64.24	0.40	15.66	1.45	3.21	0.07	2.74	3.95	4.10	3.49	0.21	0.37	0.06	99.95
2	F-21	辉石麻粒岩质混合岩	66.10	0.38	15.03	1.28	2.90	0.06	2.22	3.33	3.70	4.06	0.16	1.93	0.04	101.19
3	F-23	紫苏混合花岗岩	70.92	0.15	15.47	0.40	1.06	0.018	0.31	2.18	3.76	4.52	0.10	0.57	0.06	99.518
顺序号	样品号	岩石名称	ap	il	mt	or	ab	am	wo	en	fs	en	fs	Cc	Q	
1	F-20	混合岩化辉石麻粒岩	0.50	0.76	2.10	20.62	34.69	14.02	1.60	0.95	0.57	5.88	3.51	0.14	14.22	
2	F-21	辉石麻粒岩质混合岩	0.38	0.72	1.86	23.99	31.31	12.41	1.28	0.73	0.50	4.80	3.26		18.00	
3	F-23	紫苏混合花岗岩	0.24	0.29	0.58	26.91	31.81	9.78				0.77	1.40	0.14	26.43	

分析单位: 山东地矿局实验室

表9 紫苏混合花岗岩、混合岩的岩石化学特征值

样品号	组合指数	碱度率	含铂性	酸度	碱度	钠钾比	分子指数
1	F-20	2.71	2.26	1.64	9.75	8.00	1.79
2	F-21	2.61	2.46	1.59	11.71	6.96	1.39
3	F-23	2.46	2.77	1.65	50.91	2.71	1.26
							69.53
							73.30
							84.95

单斜辉石 $D(X) = 148.17(2)$ 式。

所以可以认为沂水羊圈一带的二辉麻粒岩属于角闪麻粒岩亚相。

(二) 温、压条件的估算

1. 压力

因实际资料所限, 压力无法计算, 但依单斜辉石中的硬玉分子和钙契尔马克分子, 随压力增大而增加的原理, 本区二辉麻粒岩内的单斜辉石中的硬玉分子和契尔马克分子总和为 3.31, 明显低于内蒙千里山地区麻粒岩 (10.4)^[6] 和山东莱西——平度一带的麻粒岩相岩石 (6.54)^[7], 表明其压力低于千里山地区 (5.6~6.5 千巴) 和莱西——平度一带的二辉麻粒岩。

2. 温度

(1) 根据伍德和板野 (Wood 和 Banno, 1973), 适用于天然系统的二辉石 (OPX—CPX) 地质温度计公式:

$$T^{\circ}\text{K} = \frac{-10202}{\ln \left(\frac{a_{\text{Mg}_2\text{Si}_2\text{O}_6}^{\text{CPX}}}{a_{\text{Mg}_2\text{Si}_2\text{O}_6}^{\text{OPX}}} \right) - 7.65X_{\text{Fe}}^{\text{OPX}} + 3.88 \left(X_{\text{Fe}}^{\text{OPX}} \right)^2 - 4.6}$$

计算本地区的二辉麻粒岩形成温度为 898.8°C。

(2) 根据内赫鲁和威利 (Nehru 和 Wyllie, 1974) 计算公式:

$$T^{\circ}\text{K} = \frac{-5006}{\ln \left(\frac{a_{\text{Mg}_2\text{Si}_2\text{O}_6}^{\text{CPX}}}{a_{\text{Mg}_2\text{Si}_2\text{O}_6}^{\text{OPX}}} \right) - 3.75X_{\text{Fe}}^{\text{OPX}} + 1.90 \left(X_{\text{Fe}}^{\text{OPX}} \right)^2 - 1.72}$$

计算结果, 本地区的二辉麻粒岩形成温度为 828.2°C。

(3) 根据韦尔斯 (Wells, 1977) 的计算公式:

$$T^{\circ}\text{K} = \frac{7341}{3.355 + 2.44X_{\text{Fe}}^{\text{OPX}} - \ln k}$$

计算结果, 本地区二辉麻粒岩形成温度为 957.7°C。

四、讨 论

1. 沂沭断裂带纵贯山东省中部, 呈北北东方向延伸, 是鲁东和鲁西隆起区之间的结合带, 是两个较大地块相对运动的枢纽。在山东境内它不是一条单纯的岩石圈断裂, 而是由多条断裂、凹陷和凸起等构成的。

汞丹山是一个凸起, 四周被断裂割开, 凸起内出露地层主要是太古界泰山群变质岩系, 是鲁西隆起区的一个组成部分。

多年来区域调查和专题研究结果表明, 太古界泰山群变质岩系其特征变质矿物以十字石为主, 红柱石仅局部见到。变质基性岩中 Hb + Pl + Plm 矿物组合分布较普遍; 在新泰雁翎关的二云母变粒岩和韩旺地区的泰山群变质岩中的白云母 b. 值为 9.028 Å (±), 相当中压区间内 (中压区白云母 b. = 9.000~9.040 Å), 因此, 认为泰山群的变质作用

类型属区域动力热流变质作用的中压相系（局部为中—低压过渡），变质程度属低角闪岩相。

汞丹山凸起内的角闪麻粒岩相岩石的出现表明，鲁西太古界泰山群变质岩系，除有绿片岩相、角闪岩相外，还有角闪麻粒岩相，具有递增变质现象。以角闪岩相为主，绿片岩相仅局部出现，而角闪麻粒岩相岩石则在特殊的构造环境中出现。

2.按麻粒岩相岩石的温、压估算结果得知，本区麻粒岩形成温度为 957.7°C （按Wells, 1977）、 898.8°C （按Wood和Banno, 1973）和 828.2°C （按Nehru和Wyllie, 1974），形成时压力低于5千巴，形成深度低于20km。

根据中国科学院地质研究所三室的大地测深资料，郯庐断裂带中段临沂地区的莫霍面深度为35~37km，表明本区麻粒岩相岩石形成于下地壳，后因构造上上升到现在的位置。与上元古界土门群一般均呈断层接触。

参 考 文 献

- 〔1〕 贺同兴、卢良兆、李树勋、兰玉琦，1980，变质岩岩石学。地质出版社。
- 〔2〕 温克勒，H.G.F, 1980，变质岩成因。科学出版社。
- 〔3〕 都城秋穗著，周云生译，1979，变质作用与变质带。地质出版社。
- 〔4〕 勒是琴、李鸿超编著，1986，成因矿物学概论。吉林大学出版社。
- 〔5〕 阎月华，1983，内蒙千里山群变质矿物及变质作用 P-T 条件的研究。岩石学研究，第二辑，第61~74页。
- 〔6〕 孙大中主编，1984，冀东早前寒武地质。天津科学技术出版社。
- 〔7〕 勒是琴、李殿超、李宪洲，刘福来，1987，胶东莱西——平度一带麻粒岩相岩石的变质作用特征。地质学报，第3期。

THE PETROLOGICAL CHARACTERISTICS OF GRANULITE FACIES ROCKS ON GONGDAN-SHAN UPLIFT IN YISHUI, SHANDONG, AND THEIR GEOLOGICAL SIGNIFICANCE

Jin Longyu, Yan Shouming and Zhou Zhisheng
(*the Laboratories, Shandong Bureau of Geology and Mineral Resources*)

Niu Liangzhu
(*Shandong Institute of Geological Sciences*)

Abstract

The granulite facies rocks distributed on the Gongdan-shan uplift can be divided into twopyroxene granulite, hornblende two-pyroxene granulite, hypersthene migmatitic granite, etc., with its essential minerals including plagioclase (An₂₆₋₃₄), hypersthene, clinopyroxene, hornblende, biotite, perthite-microcline, quartz, etc; whereas accessory minerals including magnetite, apatite, zircon, garnet, rutile, etc.

By aid of Doblezov's discriminant (1971), the two-pyroxene granite in this area can be recognized as low temperature hornblende granulite subfacies.

It is estimated that the forming temperatures of the granulite facies rocks are: 898.8°C, 828.2°C and 957.7°C, while the pressure is less than 0.5 G pa, according to various calibrations of geothermometers and geobarometers.