

<http://www.geojournals.cn/georev/ch/index.aspx>

试论河北矾山铁磷矿床含矿岩体 多旋回岩盆构造类型的成因

许 晓 峰

(中国有色金属工业总公司华北地质勘探公司, 天津)

河北矾山铁磷矿床的薄层多旋回岩盆岩体由四个以上的旋回组成。较完整的旋回自下而上为: 辉石岩→黑云母辉石岩→磷灰石岩→磁铁磷灰石岩→云朵状含辉石正长岩。根据岩石的结构构造和化学成分, 岩浆粘度变化及矿物标型特征等分析, 这种构造类型的形成是岩浆一次呈层状侵入, 在岩浆冷却过程中, 扩散热与矿物生成热达到平衡形成岩浆结晶区, 这种岩浆结晶区按罗森布什规律与鲍恩反应序列晶出成上述旋回。薄层状多旋回构造形成后, 由于岩浆管道中岩浆冷却收缩下降, 导致旋回构造相应下沉而形成岩盆。

河北矾山铁磷岩浆矿床含矿岩体受东西与北东向两组断裂控制, 属偏碱性超基性岩, 形成于海西晚期。早阶段形成的辉石岩类分布于岩盆中心, 呈薄层状多旋回, 由四个以上旋回组成⁽¹⁾ (表1)。完整的旋回从底部向上为辉石岩→黑云母辉石岩→磷灰石岩→磁铁磷灰石岩→云朵状含辉石正长岩。磁铁磷灰石矿床赋存于岩盆的中上部。

目前对这种与成矿有关的构造类型的成因研究的人很多^{(2), (1)}, 认识上尚未统一。我们经过野

表 1 矾山含矿岩体辉石岩类旋回划分表

Table 1 Dividing cycles in pyroxenitic rocks from Fanshan ore-bearing rocks

	岩 石 名 称	岩层厚度 (m)
第四旋回*	磁铁辉石岩	35
第三旋回	黑云母辉石岩 辉石岩	52 40
第二旋回	云朵状含辉石正长岩 磁铁磷灰石岩 磷灰石岩 黑云母磷灰石岩 黑云母辉石岩 辉石岩	7 >5 >3 15 18 5
第一旋回	云朵状辉石正长岩 黑云母磁铁磷灰石岩 磷灰石岩 黑云母磷灰石岩 黑云母辉石岩 辉石岩	5 2—5 ≥2 20 30 220

* 第四旋回不全。

1) 李秉新, 1984, 河北省涿鹿县矾山偏碱性超基性岩—正长岩杂岩体岩石学特征及其与矿产的关系。地质研究, 第3期。

本文1986年7月收到, 12月改回, 沈晓毅编辑。

外勘探和室内研究，对这种构造类型的成因有一些新认识，本文拟从岩石、矿物特征、岩浆侵位特征及岩浆演化等方面，对其成因进行探讨。

一、矿物特征及黑云母的成因

1. 矿物的共生组合特征

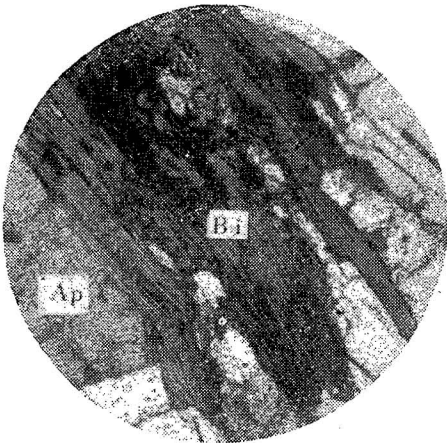
各旋回构造中矿物呈明显的规律性变化（表2），标志矿物按照链状（次透辉石）→层状（黑

表 2 旋回中矿物含量(%)及其共生组合表

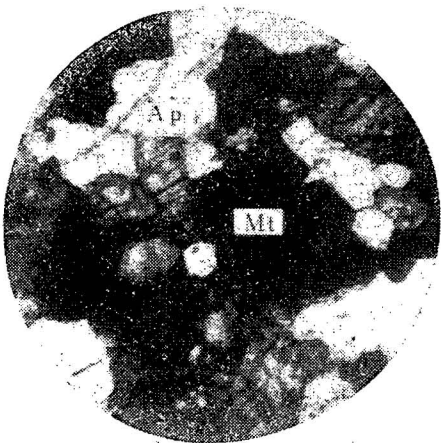
Table 2 Mineral contents in cycles and mineral intergrowth in combination

	岩石名称	次透辉石	黑 云 母	氟磷灰石	正 长 石	磁 铁 矿	钛 榴 石
第四旋回*	辉石岩	63.5	14.4	5.6	4.0	10.0	2.5
第三旋回	黑云母辉石岩	38	25	15	12	7.5	1.5
	辉石岩	75.5	6.6	3.5	4.5	7.5	2.4
第二旋回	云朵状正长岩	16.4	4.5	6.5	68.6	4.0	0
	磁铁磷灰石岩	6.8	8.8	43.9	0	40.5	0
	磷灰石岩	2.5	1.5	96.0	0	0	0
	磷灰石黑云母辉石岩	54.4	20.0	19.7	0	5.7	0
	黑云母辉石岩	63.7	16.0	14.8	2.9	2.0	0.6
	辉石岩	80.0	2.0	4.0	2.0	10.5	1.5
第一旋回	云朵状正长岩	10	2.0	2.0	80	6.0	0
	磷灰石岩	1.0	6.0	91	0	2.0	0
	黑云母磷灰石岩	1.5	34.5	61	0	3.0	0
	黑云母辉石岩	45	35	15	0	2.0	3.0
	辉石岩	65.5	4.5	7.5	4.6	14.4	3.5

* 因剥蚀不全。



照片 1 磷灰石岩
Photo 1 Apatite rocks
(正交 3.2×8)
Ap—磷灰石；Bi—黑云母



照片 2 磁铁磷灰石岩
Photo 2 Magnetite-apatite rocks
(正交 3.2×8)
Ap—磷灰石；Mt—磁铁矿

云母)→架状(正长石)的顺序晶出。其变化规律是次透辉石集中在每个旋回的底部,向上减少;黑云母分布于每个旋回的中下部;氟磷灰石富集于旋回中上部,尤其是在岩体中上部的第二旋回中富集;正长石主要聚集于旋回顶部;磁铁矿赋存于磷灰石岩之上,与氟磷灰石共生形成磁铁磷灰石岩;钛榴石与次透辉石共生,多出现在旋回的底部。

矿物共生组合的特点是:辉石岩主要由次透辉石、钛榴石及钛磁铁矿组成;黑云母辉石岩由次透辉石、黑云母、氟磷灰石组成,但黑云母稍晚于次透辉石,氟磷灰石又稍晚于黑云母晶出;磷灰石岩及磁铁磷灰石岩中黑云母常呈带状(照片1),磷灰石沿其解理挤入,使其弯曲或断裂,磁铁矿则充填于磷灰石环眼中,组成网环构造(照片2)。

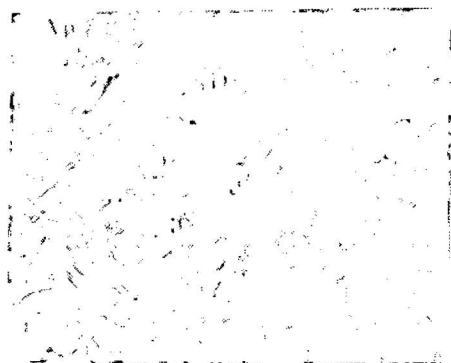
2. 黑云母的成因

(1) 从旋回中岩石的结构构造特征来看,黑云母辉石岩中黑云母充填于次透辉石晶粒间,形成填间结构(照片3),与辉石岩界线条较为清楚,且接触边界规则;黑云母磷灰石岩中黑云母与氟磷灰石共生,绕次透辉石晶体充填其间,呈绕生结构(照片4)¹⁾,在每个旋回中这种结构构造较为常见。从各旋回中黑云母与次透辉石之间未见交代作用的痕迹,而上述的结构构造特征(照片1—4)则清楚地表明黑云母是岩浆结晶的产物。



照片 3 黑云母辉石岩
Photo 3 Biotite pyroxenite
(放大 3.2×8)

Di—透辉石; Bi—黑云母; Mt—磁铁矿



照片 4 黑云母磷灰石岩
Photo 4 Biotite apatite rocks
(×1/2)

Di—透辉石; Ap—磷灰石; Bi—黑云母

(2) 岩浆结晶的黑云母 TiO_2 含量较交代形成的黑云母高,一般 TiO_2 含量大于3.5%,而 Fe^{2+} 含量大于 Fe^{3+} 。本区各旋回黑云母辉石岩中黑云母 TiO_2 平均为4.35%; FeO 为11.61—15.36%,平均13.78%; Fe_2O_3 为3.95%—5.15%,平均为4.53%, Fe^{2+} 含量远多于 Fe^{3+} 。黑云母晶格中铁、钛的含量从一个侧面为岩浆结晶提供了信息^[3]。

(3) 从包裹体形态看,本区多旋回黑云母辉石岩中黑云母包裹体形态分布规则,成群分布,呈条带状;定向排列,且条带宽度变化不大。表明其是结晶作用形成的矿物包裹体,而非交代作用所形成。

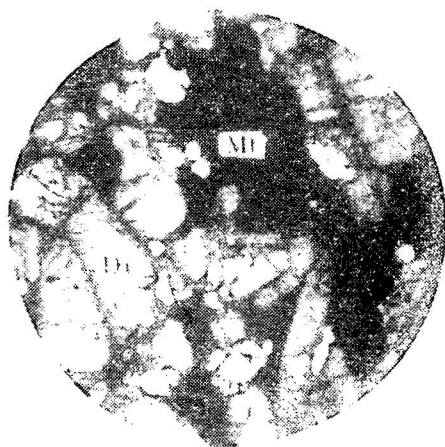
另外,矿物的演化与矿物标型特征也表明黑云母是岩浆结晶的产物,而不是由残余岩浆流体交代早生成的辉石所形成的交代矿物^[2]。

1) 张树业, 1978, 岩浆岩结构。长春地质学院学报, 第1期。

二、岩浆侵位特征

该区各旋回之间未出现超覆现象, 亦无冷凝边。而且各旋回构造底部辉石岩中次透辉石晶体间充填了稍后结晶的他形钛磁铁矿, 致使次透辉石在钛磁铁矿充填物间呈海绵状分布, 状似沉积岩中基底胶结结构的海绵陨铁结构(照片5), 这种结构表明该辉石岩是岩浆演化到晚期的产物, 各旋回岩石都属岩浆晚期。因而, 多旋回岩体应为一次侵位, 而且是在不同岩浆结晶区内形成的。

另外, 各旋回中黑云母辉石岩中次透辉石晶格中铁的配位特征, 也表明岩浆是一次侵位的。从图1和表3中可以看出, Fe^{3+} 、 Fe^{2+} 峰位稳定; $\text{Fe}^{3+}/\text{Fe}^{3+} + \text{Fe}^{2+}$ 值变化范围很小, 为0.39—0.40; 氧化系数($\text{Fe}^{3+}/\text{Fe}^{2+}$)较高, 为0.63—0.78, 变化范围也很小。各旋回黑云母辉石岩中次透辉石晶格内 Fe^{3+} 、 Fe^{2+} 的含量如此相似, 证明各旋回的物理化学条件是相近的, 这种相似性



照片5 辉石岩

Photo 5 Pyroxenite

(正交 3.2×8)

Mt—磁铁矿; Di—透辉石

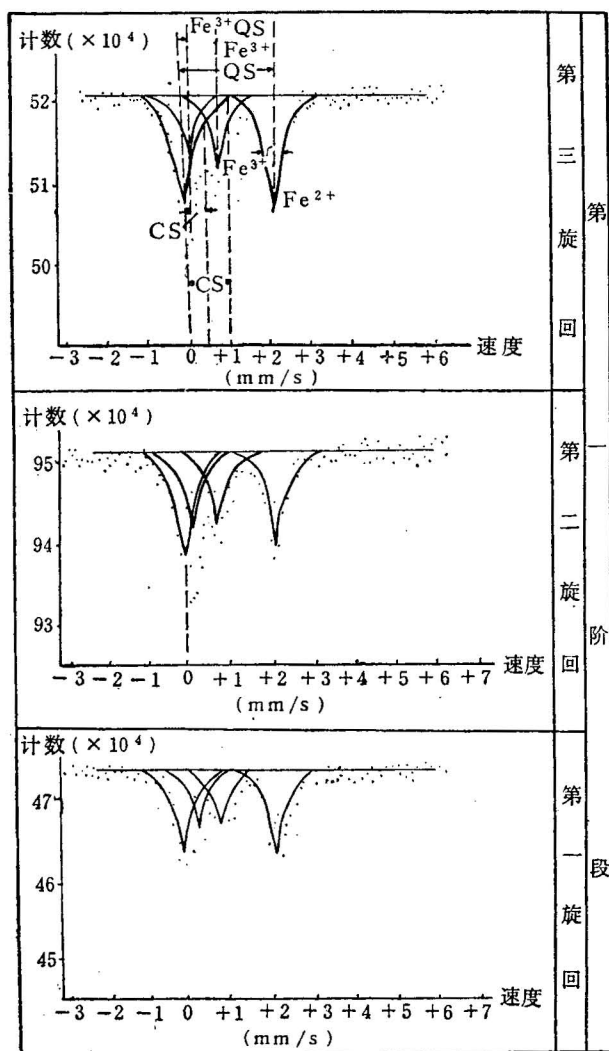


图1 矾山偏碱性超基性岩辉石穆斯堡尔谱线对比图

Fig. 1 Comparison of Mössbauer spectra of the diopsides in Fanshan subalkali-ultrabasic rocks

(中国科学院地质所应育甫测)

表 3 偏碱性超基性岩中次透辉石穆斯堡尔谱线值
Table 3 Numerical value of Mössbauer spectra of diopsides
in Fanshan subalkali-ultrabasic rocks

	岩石名称	Fe ³⁺			Fe ²⁺			$\frac{\text{Fe}^{3+}}{\text{Fe}^{2+} + \text{Fe}^{3+}}$	$\frac{\text{Fe}^{3+}}{\text{Fe}^{2+}}$	X ²
		CS (mm/s)	QS (mm/s)	线 宽 (mm/s)	CS (mm/s)	DS (mm/s)	线 宽 (mm/s)			
第三旋回	黑云母辉石岩	0.52	0.62	0.41	1.06	2.19	0.47	0.39	0.65	227
第二旋回	黑云母辉石岩	0.50	0.59	0.38	1.05	2.17	0.43	0.40	0.67	207
第一旋回	黑云母辉石岩	0.58	0.56	0.42	1.05	2.23	0.45	0.39	0.63	264

注：中国科学院地质所应育甫测。

只有在岩浆一次侵位后，岩浆冷却，从外向内不断形成岩浆结晶区，才有可能出现。

综上所述，该区薄层状多旋回构造是早阶段的辉石岩类岩浆一次侵位于震旦亚界雾迷山组白云质灰岩中形成的，而非多次侵位所致。

三、岩浆演化与旋回构造类型

矾山含矿辉石岩类岩浆呈层状侵位后，上部的岩浆扩散热大于底部，底部矿物结晶速度较上部的慢，因而旋回构造特点基本相同，但岩浆下部旋回较上部的完全。岩浆演化过程中，具有下列规律。

1. 旋回中矿物晶出顺序与共生组合

各旋回中矿物晶出顺序均为次透辉石→黑云母→氟磷灰石（磁铁矿）→正长石，是按照罗森布什规律和鲍恩反应系列进行的，说明每个旋回是一个岩浆结晶区的产物。各旋回矿物共生组合特征见前述。值得提出的是，富挥发组分的氟磷灰石在第一、二、三旋回中的平均（厚度加权）含量分别为12.79%、21.41%和10.50%，而且氟磷灰石聚集在层状岩体的中上部（第二旋回），表明在岩浆由外向内冷却过程中，挥发组分逐渐聚集于岩浆的中上部。

2. 岩浆粘度演化特征

岩浆粘度电算资料为：第一旋回 $\text{Ln}(V)=7.425-6.60$ ， $\text{LG}(V)=3.225-2.866$ ；第二旋回 $\text{Ln}(V)=6.049-5.337$ ， $\text{LG}(V)=2.629-2.318$ ；第三旋回 $\text{Ln}(V)=7.237-6.424$ ， $\text{LG}(V)=3.143-2.790$ 。显然，层状岩浆粘度值上部与下部的接近，而中上部的（第二旋回）较小，标志岩浆的冷却过程是从下向上，同时从上向下进行的，而岩浆的中上部则由于挥发组分的聚集，降低了岩浆的粘度，所以是后结晶的。每个旋回构造内从底部往上，岩浆粘度演化的总趋势是由大变小，中上部粘度最小，这也是挥发组分氟在岩浆结晶区的中上部聚集所致。最后分熔出的富碱金属熔浆聚集于岩浆结晶区顶部^[4]，形成含辉石云朵状正长岩。

3. 岩石化学成分变化特征

各旋回构造中由底部向上，氟、磷及二氧化碳含量有逐渐增高的趋势。如第二旋回辉石岩中F为0.19%， P_2O_5 为3.89%；黑云母辉石岩F为0.62%， P_2O_5 为8.67%；磷灰石岩F为1.95%， P_2O_5 为37.74%；云朵状含辉石正长岩中 P_2O_5 为0.86%，氧化系数为1.40—1.86。各旋回底部先晶出离子半径较小的 Ca^{2+} 、 Fe^{2+} 、 Mg^{2+} 、 Ti^{4+} 、 Y^{3+} 及 La^{3+} ，逐渐晶出半径较大的阳离子 K^{+} 、 Ce^{4+} 、 Sr^{2+} 或半径极小的阳离子 P^{5+} 。

各旋回中挥发组分（ P_2O_5 、 CO_2 及F）含量第一旋回为5.01%，第二旋回为16.77%，第三旋回为5.56%。上下旋回中挥发组分含量接近，比较低，挥发组分聚集在层状岩体的中上部。

4. 岩石结晶温度演化特征

各旋回构造中岩石形成温度按矿物包裹体均一法测定及矿物对氧同位素组成计算得出。辉石岩晶出温度为 750℃ 左右, 黑云母辉石岩晶出温度为 750—650℃, 磷灰石岩及磁铁磷灰石岩按 $\delta^{18}\text{O}_{\text{Di}} = 6.5—8.6\text{‰}$, $\delta^{18}\text{O}_{\text{Mt}} = 2.4—5.3\text{‰}$ 的地质温度计计算, 晶出温度为 450—560℃, 按此温度求得成矿流体 $\delta^{18}\text{O} = 8.7—9.3\text{‰}$, 表明为岩浆水成因的矿床 (岩浆水 $\delta^{18}\text{O} = 7.5—9.3\text{‰}$)。由于挥发组分聚集于各旋回及岩体的中上部, 因而使这些部位矿物固结温度大大降低。

5. 岩石稀土配分特征

各旋回构造中岩石稀土总含量小于 1%, 以 TR_2O_3 总量为 100%, 计算出岩石中稀土配分丰度值 (表 4)。表中明显看出, 各旋回构造底部属 La 及 Y 的混合选择配分型, 向上逐渐过渡为 Ce 轻稀土单一的选择配分型。各岩浆结晶区内, 在岩浆结晶早期主要是重稀土元素 Y 和轻稀土元素 La 进入矿物晶格中, 晚期为单一的轻稀土元素 Ce 进入矿物晶格中。层状岩体中的稀土配分也是这样, 早期结晶的第一、三旋回为重稀土 Y 和轻稀土 La 混合选择配分型, 晚期形成的第二旋回为轻稀土 Ce 单一的选择配分型。

表 4 旋回构造中岩石稀土配分表(%)

Table 4 REE patterns of cycles and rocks in the cycles(%)

	La	Ce	Nd	Yb	Y	合 计
含辉石正长岩	21.01	49.48	18.63	0.38	10.49	99.99
磷灰石岩	21.22	46.75	24.44	—	7.56	99.97
黑云母辉石岩	17.68	35.35	32.82	—	14.14	99.99
辉石岩	57.13	—	—	—	42.86	99.99
第三旋回	38.75	16.35	14.33	0.10	30.57	100
第二旋回	19.70	46.65	20.25	0.10	13.30	100
第一旋回	40.65	15.50	12.5	—	31.35	100

注: 林桂冶金地质研究所分析。

6. 次透辉石的标型特征

主要表现为次透辉石被它形钛磁铁矿胶结形成海绵陨铁结构 (照片 5), 反映岩浆属晚期岩浆。而且不同旋回构造黑云母辉石岩中次透辉石的穆斯堡尔效应 (图 1、表 3), 也表明岩浆是一次侵位, 自上向下, 同时自下向上逐渐冷却形成旋回构造。

7. 黑云母的化学成分标型特征

第一旋回中辉石岩、黑云母辉石岩及磷灰石岩中黑云母的资料见表 5。从表中可以看出, 黑云母碱性系数从旋回底部向上有降低的趋势, 说明在碱性环境中黑云母大量晶出形成黑云母辉石岩, 随后当环境变为弱碱性时, 氟磷灰石大量沉淀而形成磷灰石岩。从黑云母的还原系数 $[\text{Fe}^{2+}/(\text{Fe}^{2+} + \text{Fe}^{3+})]$ 分析, 从旋回底部往上, 可能是还原→较强还原→还原环境, 黑云母辉石

表 5 旋回中黑云母化学成分表

Table 5 Chemical composition of biotites in the cycles

	岩石名称	F (%)	$\frac{\text{Fe}^{3+} + \text{Fe}^{2+}}{\text{Fe}^{3+} + \text{Fe}^{2+} + \text{Mg} + \text{Mn} + \text{Ti}}$	$\frac{\text{K}^+ + \text{Na}^+}{\text{Ca}^{2+} + \text{Mg}^{2+}}$	$\frac{\text{Fe}^{3+}}{\text{Fe}^{2+} + \text{Fe}^{3+}}$
第一旋回	磷灰石岩	0.23	0.325	0.410	0.743
	黑云母辉石岩	0.15	0.387	0.500	0.801
	辉石岩	0.08	0.314	0.491	0.708

岩中的黑云母可能是在较强还原环境中沉淀的。

8. 氟磷灰石中F、Sr含量变化

磷灰石含挥发组分氟较高,变化范围为1.57—2.66%,铈含量变化于0.34—0.70%之间。氟和铈含量在旋回构造中的变化规律是,底部辉石岩的磷灰石中含量最低,向上逐渐变大,磷灰石岩中磷灰石的氟、铈含量最高。表明黑云母大量晶出后,流体内 Ca^{2+} 不能满足磷酸需求, Sr^{2+} 则以类质同象进入磷灰石晶格。

9. 碱性长石的标型特征

云朵状含辉石正长岩中碱性长石属正长石系列,其成分多为 Or_{98-99} , $\text{Ab}_{0.6-0.7}$, $\text{An}_{0-0.7}$,有序度 $S_M=0.64-0.65$,结构状态属中间微斜长石,单斜有序度资料表明正长石不是在残浆中晶出,而是由岩浆结晶过程中分熔的富钾、铝硅酸盐熔浆中晶出的。正长岩化学成分特征: $\text{SiO}_2/\text{MgO}=27.58$, $\text{K}_2\text{O}/\text{CaO}=2.28$, $\text{FeO}/\text{MgO}=1.21$, $(\text{K}_2\text{O}+\text{Na}_2\text{O})/\text{SiO}_2=0.24$,粘度 $(\text{Si}+\text{Al})=70.50$,也证实了正长石是熔浆中晶出的。

四、薄层状多旋回岩盆构造类型的形成

1. 岩浆结晶区的形成

偏碱性辉石岩类岩浆沿东西与北东向两组断裂交叉处上侵,以层状侵位于震旦亚界雾迷山组中。在冷却过程中,当层状岩浆扩散热与矿物生成热逐渐达到平衡时,岩浆房内自下而上,同时自上而下形成岩浆结晶区。岩浆结晶区的平衡保持到区内岩浆结晶基本完成,形成旋回构造为止。然后向内又形成第二个岩浆结晶区,这样直至整个岩浆结晶为止。

2. 旋回构造在岩浆结晶区内的形成^{〔6〕}

在每个岩浆结晶区内,首先晶出次透辉石,由于重力作用,次透辉石堆集于旋回底部形成辉石岩。在较强还原环境下,黑云母大量晶出,充填于次透辉石晶粒间,形成黑云母辉石岩。在次透辉石、黑云母晶出过程中,挥发组分氟、磷等浓度增大,流体体系内溶解能力增强,粘度降低,固结温度也大大降低,此时岩浆结晶区内熔浆分熔^{〔4〕}出比重较轻的富碱金属熔浆,集中于岩浆结晶区的顶部;比重较重的富含 SiF_4 、Fe、 $\text{Ca}(\text{OH})_2$ 、硅酸等的熔浆处于封闭状态,尤以下部及内部岩浆结晶区演化较明显,当流体转为弱碱性或弱酸性时,大量磷灰石沉淀形成磷灰石岩。在磷灰石沉淀过程中,流体内铁与磷酸结合成的铁的磷酸盐络合物等较稳定地存在于体系内。当磷灰石大量晶出后,氟和磷酸浓度降低,体系内逐渐转变为碱性,在碱性溶液作用下,铁的磷酸盐络合物分解,晶出磁铁矿和磷灰石,形成磁铁磷灰石岩。最后,岩浆结晶区顶部的富钾、铝硅酸盐熔浆在碱性条件下晶出正长石,形成正长岩。因温度相对降低,硅酸与铝过饱和,在高氧逸度氧化环境下,粘度增大,因此晶出细粒正长石,呈云朵状和团块状,形成云朵状含辉石正长岩。

每个岩浆结晶区都是由链状(次透辉石)→层状(黑云母)→架状(正长石)演化顺序进行的,因而形成旋回构造。当管道岩浆收缩下沉,导致旋回构造相对下沉,而呈岩盆状产出。后期由于控制岩体的断裂再次强烈活动,岩盆遭受破坏,演化到晚期的碱性岩浆沿断裂上侵,形成肉红色正长岩岩墙切割岩盆。

参 考 文 献

- 〔1〕 许晓峰,1980,华北某岩体一些岩石学特征及所含铁磷矿床的成因探讨。地质学报,第54卷,第3期,第233—247页。
- 〔2〕 江培谟,1985,河北矾山铁磷矿床含矿岩体韵律层结构的成因。地质学报,第59卷,第1期,第33—45页。
- 〔3〕 芮宗瑶、徐珏、齐国明、黄崇轲、张洪涛,1984,中国斑岩铜(钼)矿床。第78—92页,地质出版社。
- 〔4〕 王述平,1977,岩浆多次分熔和控制铬矿的岩相构造、物理化学条件。地质学报,第51卷,第1期,第43—53页。

页。

- [5] 许晓峰, 1983, 矾山岩体中辉石和黑云母的特征。矿物学报, 第4期。
- [6] 欧文, T. N., 史密斯, C. H., 1977, 穆斯科克斯侵入体层状岩组中原生氧化物。岩浆矿床 (论文集), 第40—57页, 地质出版社。

ON THE GENESIS OF THE STRUCTURAL TYPE OF THE ORE BEARING POLYCYCLIC LOPOLITH OF THE FANSHAN IRON-PHOSPHORUS DEPOSIT, HEBEI PROVINCE

Xu Xiaofeng

(North China Geological Exploration Corp., China National Nonferrous Metals
Industry Corporation, Tianjin)

Abstract

There occurs a late Hercynian quasi-equiaxial thinlayered polycyclic lopolith in the intersection site of two sets of fractures on the margin of the western sector of the Yanshanian subsidence belt. A magmatic magnetite-apatite deposit occurs in the middle and upper parts of the lopolith. The entire lopolith is composed of rocks of more than four cycles, each of which consists from the base upwards of pyroxenite→biotite pyroxenite→apatite rocks→magnetite-apatite rocks→cloud-shaped pyroxene-bearing syenite.

According to the textures and structures, petrochemical composition and REE patterns of the rocks and variation of the magma viscosity of each cycle, calculation of the oxygen isotope composition of pyroxene-magnetite and some typomorphic characteristics of different minerals, it is considered that the structural type is not formed by metasomatism or multiple magmatic intrusions but by a single emplacement into dolomitic limestone. As the diffusion heat and mineral formation heat reach a balance during the cooling process of magmas, a magmatic crystallization region is formed from below upwards and from above downwards. According to Rosenbusch's law and Bowen's reaction series, the crystallization of silicate minerals from inosilicates (salite) →phyllosilicates (biotite) →tectosilicates (orthoclase) results in a thin-layered polycyclic structure.

After the formation of the above-mentioned structural type, the magmatic withdrawal in the magma vent leads to the subsidence of the cyclic structure, thus forming the lopolith.