

文章编号: 1000-6524(2001)02-0156-06

矾山杂岩体中磷灰石组成特征及其地质意义

蔡俊军¹, 吴淑华², 曾凡刚³, 曾贻善⁴

(1. 中国地质科学院地质研究所, 北京 100037; 2. 孝感第一高级中学, 湖北 孝感 432100;

3. 中央民族大学生物化学系, 北京 100081; 4. 北京大学地质学系, 北京 100871)

摘要: 用电子探针和红外光谱测定矾山岩系小尺度第六韵律岩层中磷灰石的元素含量和阴离子组成, 结果表明该单元中磷灰石的主要元素含量呈微小幅度的起伏性变化; 由该韵律单元的底部到顶部分, 磷灰石 $A_{10}(ZO_4)_6X_2$ 结构中的 X 位置, 起初为 F^- 、 Cl^- 交替占据, 然后主要为 Cl^- 占据, 直至完全为 Cl^- 占据, 成为氯磷灰石。初步推断, 这是引起磁铁矿和磷灰石岩沉积层位异常现象和矾山岩系韵律性变化的主导原因之一。

关键词: 磷灰石; 层状杂岩体; 磁铁矿磷灰石矿床; 河北涿鹿

中图分类号: P619.21⁺3 **文献标识码:** A

河北矾山层状岩体富含挥发性组分, 磷的高度富集是矾山层状岩体的重要特征, 其中厚层磷灰石岩构成铁磷矿床的主要矿体。磷灰石矿物结构中存在复杂的类质同象现象^[1], 矾山层状岩体中磷灰石的化学通式为 $A_{10}(ZO_4)_6X_2$, X 位置主要是 F^- , 其次为 OH^- , 再次是 Cl^- , 但不清楚其阳离子和挥发性元素在 X 占位的变化规律^[2]。挥发性组分对岩浆结晶有重要的作用, 因此研究矾山层状岩体磷灰石中阴离子(挥发性元素)和阳离子的分布规律, 对认识矾山层状岩体韵律结构中磁铁矿和磷灰石岩沉积层位异常现象和矾山岩系韵律性变化的原因具有重要意义。

1 矾山层状岩体地质概况

矾山偏碱性(钾质)层状超镁铁岩-正长岩杂岩体位于河北省涿鹿县矾山镇附近, 为隐伏岩体, 岩体长约 5~6 km、宽 4~5 km、面积 20~30 km², 空间上呈漏斗形, 平面上为环状。环状杂岩体由外向内依次出现: 钛榴石辉石正长岩-粗粒辉石正长岩-粗粒正长辉石岩带; 由辉石岩和黑云母辉石岩为主组成的含矿岩带; 由似粗面状辉石正长岩及似斑状辉石正长岩等组成的岩带。这三个岩带所占面积分别为 37.5%、28.6% 和 33.8%。

杂岩体可划分出三期侵入活动和晚期脉岩活动: 第一期为层状超镁铁岩系, 该岩系层状构造发育良好; 第二期为似层状辉石正长岩系; 第三期为似粗面状斑状辉石正长岩系; 晚期为正长岩、碳酸岩脉^[2,4-8]。

根据矾山层状岩系中不同岩层岩石的结构构造和矿物成分特征, 层状岩系可分成九个

收稿日期: 2000-05-26; 修订日期: 2001-04-02

基金项目: 高等学校博士学科点专项科研基金资助项目(9700153)

作者简介: 蔡俊军(1966-), 男, 博士, 目前从事岩浆作用地球化学和成矿作用地球化学的研究工作。

韵律单元^[2]。所有的韵律单元都包括辉石岩及黑云母辉石岩,最明显表现为辉石岩层和黑云母辉石岩层形成极好的韵律结构。矾山整个层状岩系的韵律单元厚度一般大于1 m,惟第六韵律单元韵律厚度仅为厘米尺度,甚至更小,它是矾山层状岩系韵律单元中厚度可以再细分且岩石类型出露较全的单元,从底部到顶部依次产出辉石岩、黑云母辉石岩、磷灰石岩和磁铁磷灰石岩,代表整个韵律结构岩石类型。因此,本研究重点是第一期岩石的第六韵律单元。

矾山磷铁矿床赋存于第一期侵入岩层状岩系中,受层状岩系控制。根据P₂O₅含量的工业指标,在层状岩系中自上而下圈定六个工业矿体。其中II、III号矿体品位最高。II号矿体位于第六韵律单元顶部的中粗粒黑云母辉石岩中,铁主要集中在II号矿体上部,主要呈磁铁磷灰石岩产出;III号矿体位于第六韵律单元底部及第五韵律单元的顶部^[2]。

2 采样及分析

从总长度为150 m的穿脉中取26件岩石样品代表层状岩系的第六韵律单元。第六韵律的样品包括从顶部至底部的的五种岩石:磁铁磷灰岩、磷灰石岩(共两层,依次为II号及III号矿体)、细粒辉石岩、黑云母辉石岩和辉石岩。取样位置如图1。



图1 矾山层状岩系470中段5号穿脉和515中段13号穿脉第六韵律单元坑道取样综合示意图

Fig. 1 Schematic diagram showing sampling from 6th rhythmic unit in No. 13 ort of 515 level and No. 5 ort of 470 level in Fanshan layered rocks

2.1 第六韵律单元不同岩性磷灰石中主要阳离子元素含量变化

用电子探针测定了从515中段坑道(即第六韵律岩层)系统采集的22件岩石样品中的磷灰石主要元素含量。分析的结果列表如下(表1):

总的来说,在第六韵律单元中磷灰石中Ca、P、Si的含量变化不大,而Na、Mg和Al的含量有起伏,分别为0~0.37%、0~0.27%、0~0.26%。Mn和Ti含量很低,多数样品低于检测限。总体上看,第六韵律单元(小尺度韵律)中的磷灰石的主要元素含量都有起伏,但起伏幅度都很微小。

2.2 第六韵律单元磷灰石中阴离子组成的变化趋势

2.2.1 分析方法

磷灰石是矾山层状岩系中最常见又是最重要的矿物。研究磷灰石A₁₀(Z₄)₆X₂结构中X位置上的阴离子组成有助于了解矾山岩体韵律单元中不同岩性挥发份组分的变化。为

此,对第六韵律中的磷灰石(30件)进行了红外光谱测试分析。

表1 矾山层状岩系第六韵律单元磷灰石电子探针主要元素分析结果 $w_B/10^{-2}$

Table 1 Main elements content of apatite from the sixth rhythmic unit in Fanshan layered rocks

| 序号 | 样号 | Na ₂ O | MgO | Al ₂ O ₃ | SiO ₂ | K ₂ O | CaO | TiO ₂ | MnO | FeO | P ₂ O ₅ |
|----|----|-------------------|------|--------------------------------|------------------|------------------|-------|------------------|------|------|-------------------------------|
| 1 | 43 | 0.24 | 0 | 0 | 1.25 | 0.06 | 54.43 | 0.06 | 0 | 0.37 | 41.26 |
| 2 | 41 | 0.23 | 0.07 | 0.19 | 1.12 | 0 | 55.11 | 0.17 | 0 | 0 | 40.92 |
| 3 | 40 | 0.14 | 0.27 | 0.11 | 1.43 | 0.04 | 55.58 | 0 | 0 | 0.14 | 41.36 |
| 4 | 13 | 0.13 | 0.15 | 0.19 | 1.07 | 0.02 | 55.62 | 0.02 | 0 | 0.08 | 41.09 |
| 5 | 12 | 0.16 | 0.02 | 0.13 | 1.11 | 0.06 | 55.39 | 0.07 | 0.07 | 0.07 | 40.86 |
| 6 | 10 | 0.13 | 0.05 | 0.19 | 1.19 | 0.06 | 54.92 | 0.02 | 0 | 0 | 41.76 |
| 7 | 9 | 0.16 | 0.04 | 0.17 | 1.41 | 0.04 | 54.49 | 0.07 | 0 | 0.24 | 41.02 |
| 8 | 7 | 0.23 | 0.15 | 0.07 | 1.14 | 0.02 | 54.37 | 0.05 | 0 | 0 | 41.3 |
| 9 | 4 | 0.41 | 0.13 | 0.08 | 1.28 | 0.11 | 54.49 | 0.06 | 0.07 | 0.19 | 41.45 |
| 10 | 3 | 0.05 | 0 | 0.15 | 1.5 | 0 | 55.2 | 0 | 0.06 | 0 | 41.01 |
| 11 | 2 | 0.2 | 0 | 0 | 0.98 | 0 | 54.17 | 0 | 0 | 0 | 42.28 |
| 12 | 1 | 0.16 | 0.09 | 0.04 | 1.2 | 0.06 | 54.24 | 0 | 0 | 0.19 | 41.68 |
| 13 | 32 | 0.11 | 0 | 0 | 1.18 | 0 | 54.38 | 0 | 0 | 0.28 | 41.85 |
| 14 | 31 | 0 | 0 | 0.11 | 0.9 | 0 | 54.7 | 0.01 | 0.01 | 0.17 | 41.65 |
| 15 | 28 | 0.08 | 0.03 | 0.26 | 1.11 | 0 | 54.93 | 0.16 | 0 | 0.13 | 42.25 |
| 16 | 27 | 0.21 | 0 | 0 | 1.03 | 0.12 | 54.73 | 0.09 | 0.04 | 0 | 41.84 |
| 17 | 25 | 0.27 | 0 | 0 | 1.18 | 0.1 | 55.9 | 0 | 0 | 0.12 | 40.75 |
| 18 | 24 | 0.1 | 0.15 | 0.01 | 1.44 | 0 | 54.64 | 0.03 | 0 | 0.28 | 41.25 |
| 19 | 23 | 0 | 0.09 | 0 | 1.25 | 0 | 55.21 | 0 | 0 | 0 | 41.47 |
| 20 | 36 | 0.2 | 0.13 | 0 | 1.25 | 0.16 | 55.19 | 0.06 | 0.05 | 0.36 | 41.32 |
| 21 | 35 | 0.31 | 0.25 | 0 | 1.25 | 0.06 | 55.29 | 0.06 | 0 | 0.15 | 41.85 |
| 22 | 34 | 0.37 | 0.08 | 0.01 | 1.03 | 0.01 | 55.35 | 0.15 | 0.07 | 0.09 | 41.43 |

注:由北京大学地质系电子探针室舒桂明同志测定。

对整个穿脉(第六韵律单元)不同岩层的标本,按肉眼可观察到的层(这种层有时只有几厘米)挑选红外光谱测试样品。红外光谱分析样品均用KBr压片技术制样,用PerKin-Elmer621型红外分光光度计进行测定,全部实验在北京大学地质系红外光谱测试室完成。分析条件:扫描时间0.9 min;光栅刻度为1.3 μ m;扫描波数范围为180~4000 cm^{-1} ;分辨率6.4 cm^{-1} 。

2.2.2 结果

研究文献表明,自由 PO_4^{3-} 离子有四个基频频率;即对称伸缩振动 $\nu_1(\text{A}_1)$;弯曲振动 $\nu_2(\text{E})$;反对称伸缩 $\nu_3(\text{F}_2)$;弯曲振动 $\nu_4(\text{F}_2)$ 。在各种磷灰石光谱中, ν_1 带出现在960 cm^{-1} 处,在氟磷灰石和羟磷灰石中, ν_1 带相对较强且十分锐。 ν_2 带的频率位置至今仍是一个争论的问题,多数科学家把470 cm^{-1} 处的弱带归因于 ν_2 带(Blakeslee, 1971; Klee, 1970),含氟磷灰石的 ν_2 带一般出现在317~320 cm^{-1} 之间,而对于含羟磷灰石, ν_2 带相应地移到345~355 cm^{-1} 之间。对于 ν_3 带,在氟磷灰石、羟磷灰石和碳氟磷灰石光谱中都清晰地分裂成1040和1090 cm^{-1} 两个强带和一个吸收带(1060 cm^{-1})。 ν_4 带在各种磷灰石的光谱中都表现为600 cm^{-1} 和560~575 cm^{-1} 两个强带,在氟磷灰石中这两个强带分裂, $\Delta\nu$ 为25 cm^{-1} 。另外,不同的磷灰石中 ν_3 带与 ν_4 带分裂相差甚大。一般来说,若在305~308 cm^{-1} 、320 cm^{-1} 和345 cm^{-1} 处出现吸收带可分别视为存在 Cl^- 、 F^- 和 OH^- [1,9~12]。

矾山层状岩系第六韵律单元中磷灰石的红外光谱分析结果为, ν_1 带在 963 cm^{-1} 出现, 出现位置几乎不变化, 整个剖面上磷灰石的 ν_1 带在 $963\sim 964\text{ cm}^{-1}$ 之间变动; 个别情况下, ν_2 带在 470 cm^{-1} 出现; ν_3 带出现在 $1091\sim 1093\text{ cm}^{-1}$ 处, 变动不大; ν_4 带出现在 $602\sim 603\text{ cm}^{-1}$ 和 $571\sim 573\text{ cm}^{-1}$ 处, 都比较稳定。根据上述文献和 ν_2 带出现的波数可知, 由该韵律单元的底部到顶部, 磷灰石 $A_{10}(ZO_4)_6X_2$, 结构中的 X 位置, 起初为 F^- 、 Cl^- 交替占据, 然后主要为 Cl^- 占据, 直至完全为 Cl^- 占据, 成为氯磷灰石(图 2)。

3 讨论与地质意义

据上述磷灰石中挥发性元素 F^- 、 Cl^- 、 OH^- 的变化, 可以推断在矾山杂岩体形成期间, 层状岩系演化时其挥发份组分如 F^- 、 Cl^- 、 OH^- 含量增多, 岩浆侵入后, 在结晶分异过程中残余岩浆中挥发性元素 F、Cl 不断变化, 最终导致气体压力的变化引起矿物成核速度减小, 阻止了晶出矿物的熔体成分向某一定方向变化的趋势^[13]。对于磷灰石的结晶而言, 这样的过程多次重复使磷灰石中类质同象的 Na、Mg、Al、Mn、Ti 等阳离子含量起伏变化, 表现出引起微小尺度上的韵律变化; 在岩浆结晶晚期以挥发性组分 Cl^- 为主, 这种变化可能影响了某些矿物如磁铁矿和磷灰岩结晶的顺序, 致使在矾山层状岩系第六韵律单元的中上部产生层位异常现象(韵律中反粒级现象^[14~16]), 即: 磷灰岩层产出于磷灰石岩层之上的层位次序表现为密度大的磁铁位于密度较小的磷灰石岩之上。这表明矾山层状岩系中, 磷灰石中挥发性组分对岩浆结晶具有重要, 即表现在部分熔融过程中挥发性组分的加入, 不仅引起主要元素富

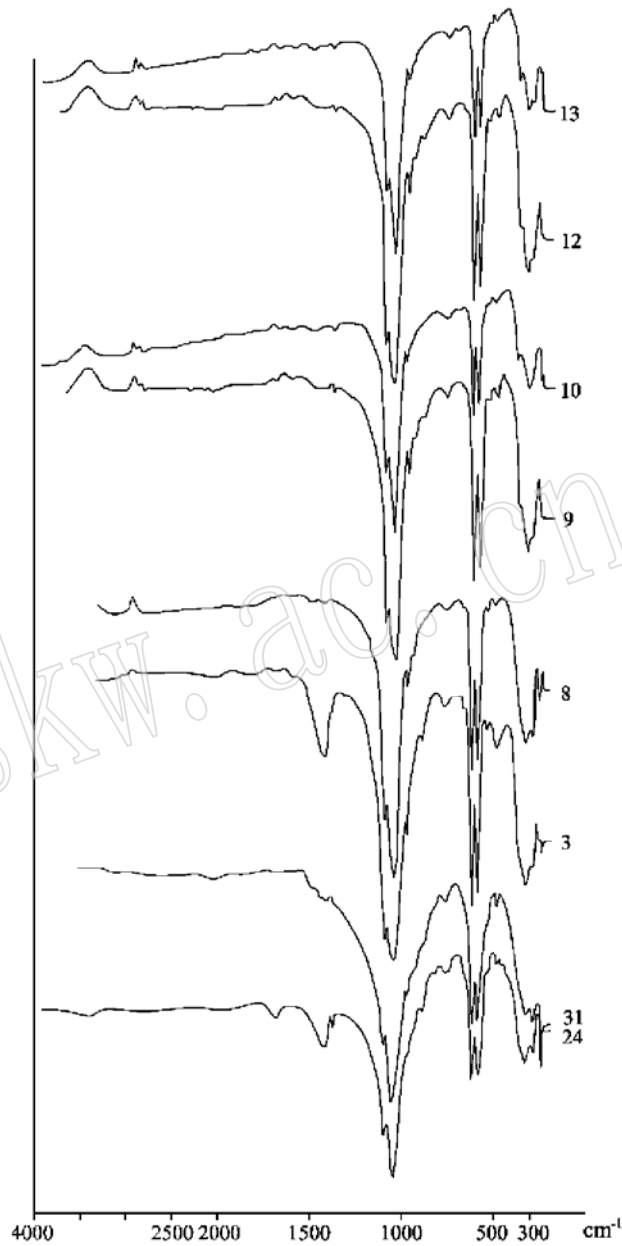


图 2 矾山层状岩系第六韵律单元磷灰石红外光谱图
Fig. 1 Infrared spectral pattern of apatite from 6th rhythmic unit in Fanshan layered rocks

集与分散地球化学行为,而且会影响矿物结晶的顺序。这与其他研究者相类似的研究是一致的^[13, 17~20]。

矾山铁磷矿床为超镁铁岩层状侵入体中赋存的大型矿床,该类研究为国内外地质地球化学界普遍关注。矾山层状岩系与南非的 Bushveld、美国的 Stillwater、格陵兰的 Skaargard 等层状超镁铁岩-镁铁岩体有许多相似之处,例如,物质都是源自上地幔,均具有层状构造和韵律结构等;但矾山层状岩体比较特殊,与上述国外著名的岩体不同。其独特之一是,富挥发组分(水、磷、硫、二氧化碳、氟和氯等)的矿物如磷灰石和黑云母等,特别是磷灰石的富集形成磷灰石矿床^[2]。因此在矾山层状岩系中,含卤素以及其他等挥发组分的磷灰石组成变化记录了该岩浆演化和结构形成的历史,对该磷灰石的研究可以探讨岩浆演化过程中挥发组分对铁磷分异聚集所起的作用,这无疑对认识矾山层状岩体异于其他层状岩体的特点和揭示其成矿理论极具价值。但如何定量的研究磷灰石中 F^-/Cl^- 、 Cl^-/OH^- 的变化对矾山层状岩系的形成还有待进一步探讨。

致谢 本研究野外工作得到了河北省涿鹿县矾山磷矿周友庭、程春、边振辉等同志的大力协作;室内测试工作得到本系朱炜炯、舒桂明老师的帮助,并得到北京大学大型仪器开放测试基金的赞助,特此致谢。

参考文献:

- [1] 刘永康. 磷灰石类质同象置换的限度[J]. 矿物学报, 1985, 5(1): 62~65.
- [2] 牟保磊, 江培谟, 等. 矾山杂岩体磷铁矿床[M]. 北京: 北京大学出版社, 1988.
- [3] Sorensen H & Larsen L M. Layering in the Ilimaussaq Alkaline intrusion, South Greenland[A]. Parsons I. Origins of Igneous Layering[C]. Dordrecht: Reidel, 1987, 1~28.
- [4] 傅洪涛. 河北矾山环状钾质碱性杂岩体的岩性特征及岩类归属初探[J]. 矿物岩石, 1983, 3(1): 66.
- [5] 江培谟. 河北矾山磷铁矿床含矿岩石平衡的计算及其地质意义[J]. 地质学报, 1980, 4: 275~283.
- [6] 江培谟. 河北矾山铁磷矿床含矿岩体韵律层结构的成因[J]. 地质学报, 1985, 59(1): 33~35.
- [7] 牟保磊, 强德美. 矾山杂岩体含矿带磁铁矿-辉石氧同位素及同位素平衡温度[J]. 北京大学学报(自然科学版), 1981, (2): 85~93.
- [8] 许海峰. 华北某液体岩体一些岩石学特征及所含铁磷矿床的成因探讨[J]. 地质学报, 1980(3): 233~247.
- [9] 韩秀伶. 碳氟磷灰石的红外吸收光谱[J]. 地质科学, 1982, 4(2): 156~165.
- [10] 彭文世, 刘高魁. 矿物红外光谱图集[M]. 北京: 科学出版社, 1982.
- [11] 彭文世, 刘高魁. 氟磷灰石的因子群分析[J]. 矿物学报, 1984, 4(1): 8~11.
- [12] 彭文世, 刘高魁, 柯丽琴, 等. 某些磷灰石矿物的红外吸收光谱[J]. 矿物学报, 1986, 6(1): 26~34.
- [13] Cawthorn R G. Layered intrusions[M]. Elsevier Science B. A. 1996.
- [14] Campbell I H. A study of macro_rhythmic layering and cumulate processes in the Jimberlana intrusion, western Australia. Part I: The Upper Layered Series[J]. J. Petrology, 1977, 18: 185~215.
- [15] Hess H H. Stillwater igneous complex[J]. Mem. Geol. Soc. Am. 1960, 80: 1~230.
- [16] Jackson E D. Primary texture and mineral associations in the Ultramafic zone of the Stillwater complex, Montana. U. S [J]. Geol. Sur. Prof. Paper. 1961, 358: 1~106.
- [17] Boudreau A E & Meurer W P. Chromatographic separation of the platinum-group elements, gold, base metal and sulfur during degassing of a compacting and solidifying crystal pile[J]. Contributions to Mineralogy and Petrology, 1999, 134: 174~185.
- [18] Meurer W P, Willmore C C & Boudreau A E. Metal redistribution during fluid exsolution and migration in the Middle

- Banded Series of the Stillwater Complex, Montana[J]. *Lithos*, 1999, 47: 143~ 156.
- [19] Parsons I & Becker S M. Layering, compaction and post_magmatic processes in the Klokken intrusion[A]. Parsons I. *Origins of Igneous Layering*[C]. Dordrecht: Reidel, 1987, 29~ 92.
- [20] Willmore C C & Boudreau & Kruger F J. The halogen geochemistry of the Bushveld Complex, Republic of South Africa: Implication for chalcophile element distribution in the Lower and Critical Zones[J]. *Journal of Petrology*. 2000, 41(10): 1 517~ 1 539.

Characteristics and Geological Implications of Apatite from Fanshan Igneous Complex

CAI Jun_jun

(Institute of geology, CAGS, Beijing 100037)

WU Shu_hua

(The first Xiaogan high school, Xiaogan 432100)

ZENG Fan_gang

(Department of biology and chemistry, Central University of Nationalities, Beijing 100081)

ZENG Yi_shan

(Department of geology, Peking University, Beijing 100871)

Abstract: Through the infrared spectroscopic and electron microprobe analysis of the small_scale 6th rhythmic unit, the content of cations and anions was determined. The result shows that the content of major elements rise and fall indistinctly while F^- in the apatite near the bottom of No. 3 orebody was replaced by Cl^- , forming chlorapatite. This seems one of the reasons for the inversely graded layers and the rhythmic structure of the layered rocks in the Fanshan igneous complex.

Key words: apatite; layered complex; apatite_magnetite deposit