

# 宁芜玢岩铁矿中伴生磷灰石矿的地质特征和应用前景

赵玉琛

(安徽省地矿局 322 地质队·马鞍山市)

宁芜玢岩铁矿中普遍伴生磷灰石,一般含  $P_2O_5$  0.99% ~ 2.5%,折合  $P_2O_5=30\%$  的标矿为小—中型规模。本文研究了宁芜地层、火山岩及各类型铁矿伴生的磷矿地质特征、矿物学和形成条件,以期引起重视。在缺磷地区尤应综合利用,提高社会效益。

关键词 伴生磷灰石矿 玢岩铁矿 地质特征 应用前景

宁芜地区

我国磷矿资源丰富,对农业的发展起着积极的作用,但分布很不均衡。据统计<sup>①</sup>,品位( $P_2O_5$ 含量) >25% 的磷矿,全国储量的 99.5% 集中在云、贵、川、湘、鄂五省;品位在 10% ~ 25% 的磷矿全国储量 95.5% 也集中在上述五省;而品位 <10% 的磷矿全国储量的 92.5% 分布于五省以外的其他省(区)。可见,它们分布的特征相差悬殊,使我国北方广大地区成为缺磷省份。以往缺磷地区解决磷矿原料的办法主要依靠“南磷北调”和进口。这明显地增加了交通运输的负担,加大磷肥成本,极难满足缺磷地区磷肥工业长期稳定和高速发展。

磷矿工业类型主要有两种:其一为非晶质磷块岩型,多为中高品位大型矿床,呈层分布,以中元古界—震旦系出露最广,分布地区主要为前述五省。另一种为晶质磷灰石矿床,零星分布于前述五省以外的广大地区,原矿品位一般 ≤8%,但经简单浮选可使品位提高到 30% 左右,在缺磷地区逐渐被采用。据统计,目前这种磷矿在世界储量中已占 10% ~ 15%,且应用规模仍在不断

扩大;其主要成因类型有:① 基性片麻岩型磷灰石矿;② 沉积变质—碳酸盐型磷灰石矿;③ 基性—超基性岩磷灰石矿;④ 碱性岩—碳酸盐型磷灰石矿;⑤ 火山岩型磷灰石矿;⑥ 气成或热液交代—伟晶岩型磷灰石矿。

宁芜(包括类似的庐枞)玢岩铁矿床是我国著名的铁矿类型,分布于长江中下游沿江地带,跨越苏皖两省,地处著名的农作物经济区,但磷矿资源缺乏。该区玢岩铁矿内的副产品——磷灰石矿相当丰富,大部分伴生在铁矿石中;在铁矿带(或矿体)边缘,局部构成可单采的磷灰石囊状矿体和大脉。以往对铁矿中伴生的磷灰石常视为有害杂质在采矿过程中被抛弃或在选矿中流入尾砂。据 322 队(1981)对宁芜中段凹山矿床统计,历年累计开采铁矿石约 4000 万吨,伴生磷的平均含量为 1.34% (折合  $P_2O_5$  为 3.07%),依此计算丢失的纯磷约 50 万吨,折合含  $P_2O_5$  的标矿为 385 万吨,相当于一个小型矿床的规模。可见,研究伴生磷矿的地质特征以供综合利用很有必要。

本文 1993 年 4 月收到,侯庆有编辑。

① 《磷矿地质选集》,1975 年。

# 1. 宁芜地层、火山岩特征和磷的分布

宁芜中生代 ( $J_3 \sim K_1$ ) 火山岩分五组, 自上而下是娘娘山组、山边村组 (白头山组)、姑山组、大王山组和龙王山组, 均由中—酸偏碱性的火山岩与次火山岩组

成。火山岩的盖层为零星分布的下白垩统一第三系粗屑砂质碎屑岩; 下伏地层为三叠系—侏罗系砂质碎屑岩、泥岩和部分灰岩, 统称火山基底。各岩石磷的含量统计列如表 1。

表1 宁芜地区地层、火山岩磷含量统计表

| 组 段                                   |                  |                             | 主 要 岩 性                             | 样 数                  |     | P <sub>2</sub> O <sub>5</sub> 含量 (%) |                                 |       |
|---------------------------------------|------------------|-----------------------------|-------------------------------------|----------------------|-----|--------------------------------------|---------------------------------|-------|
|                                       |                  |                             |                                     |                      |     | 范 围                                  | 平均值                             |       |
| 火山岩<br>盖 层                            | 方山组<br>赤山组       |                             | 玄武岩<br>红色砂砾岩                        | 6<br>未测              |     | 0.21~ 0.76<br>—                      | 0.504<br>—                      |       |
| 宁<br><br>芜<br><br>火<br><br>山<br><br>岩 | 酸性侵入岩            |                             | 石英二长岩 — 花岗岩                         | 85                   |     | 0~ 1.9                               | 0.171                           |       |
|                                       | 娘娘<br>山组         | 火 山 岩<br>次火山岩               | 响岩及其熔结凝灰岩<br>粗面斑岩—假白榴斑岩             | 21<br>25             | 46  | 0.06~ 0.38<br>0.025~ 0.714           | 0.130<br>0.338                  | 0.243 |
|                                       | 山边<br>村组         | 火 山 岩<br>次火山岩               | 石英粗面岩<br>云辉粗安斑岩                     | 29<br>14             | 43  | 0.16~ 0.62<br>0.25~ 0.41             | 0.286<br>0.321                  | 0.297 |
|                                       | 姑山<br>组          | 火 山 岩<br>次火山岩               | 角闪石英安山岩—英安岩<br>英安玢岩                 | 25<br>5              | 30  | 0~ 0.38<br>0.2~ 0.3                  | 0.207<br>0.236                  | 0.212 |
|                                       | 大王<br>山组         | 火 山 岩<br>次火山岩               | 辉石安山岩<br>辉石闪长玢岩                     | 47<br>101            | 148 | 0.2~ 0.55<br>0.044~ 1.62             | 0.308<br>0.337                  | 0.328 |
|                                       | 龙王<br>山组         | 火 山 岩<br>次火山岩               | 角闪粗安岩<br>角闪粗安玢岩                     | 26<br>16             | 42  | 0.18~ 0.56<br>0~ 0.53                | 0.329<br>0.293                  | 0.315 |
|                                       | 火<br>山<br>基<br>底 | 西横山组<br>象山群<br>黄马青组<br>周冲村组 | 泥灰岩<br>石英砂岩<br>紫红色粉砂质泥岩、泥岩<br>白云质灰岩 | 2<br>2026<br>13<br>1 |     | 0.05~ 13.8<br>0~ 0.109<br>痕~ 0.33    | 6.93<br>0.052<br>0.150<br>0.170 |       |

注: 数据引自宁芜科研报告和区调报告 (1973~1986)。

由表 1 可见: ① 全区地层及岩浆岩除西横山组泥灰岩夹层因样品少, 含磷波动极大需另作研究外, 其余含磷均很低 ( $P_2O_5$  约 0.2%), 按我国低品位磷矿试采的最低要求, 如辽宁庄河城山磷矿, 其  $P_2O_5$  含量也需  $>1\%$ <sup>②</sup>, 故宁芜地区地层及岩浆岩本身无工业利用价值; ② 五组火山岩中, 以中基性的大王山组含磷最高 (平均 0.328%), 而偏碱 (娘娘山组、山边村组) 偏酸 (姑山组) 的岩石  $P_2O_5$  含量依次降

低。它符合一般规律, 且含量与黎彤 (1982) 和戴里的平均值也相近; 前者自中性到酸性为 0.49%~0.16%, 后者为 0.3%~0.15%; ③ 除龙王山组反常外, 各组次火山岩含磷均高于其火山岩及火山碎屑岩约 1.09~2.6 倍。这显然和磷挥发组分在地表浅部及喷发过程中容易逸失有关。宁芜玢岩铁矿中含磷能达到工业利用价值, 主要与中偏基性岩体在蚀变和成矿过程中磷的活化迁移富集有关, 地层起的作用甚微。

② 《磷矿地质选集》, 1975 年, 第 175 页。

## 2. 玢岩铁矿带伴生磷灰石矿的地质特征

宁芜玢岩铁矿产于中生代火山岩系中,呈矿带状集中于断裂喷发侵入岩带内,分南、北、中三段:宁芜北段以江苏梅山铁矿为中心,北西向延展 >18km,宽约 3km;宁芜中段以安徽凹山铁矿为中心,北东向延伸约 24km,宽 3~6km;宁芜南段以姑山铁矿为中心,南北向延伸 >20km,宽 6km,均伴生有磷矿分布(图 1)。

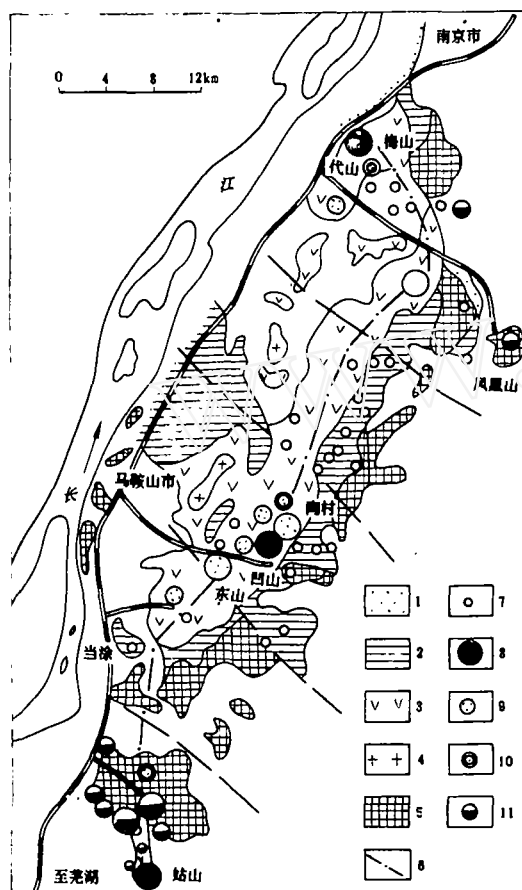


图 1 宁芜地区伴生磷矿分布略图

- 1—火山岩盖层; 2—火山岩; 3—大王山组火山岩、次火山岩; 4—花岗岩; 5—火山基底; 6—断裂喷发侵入岩带(脊线); 7—火山沉积型铁矿; 8—矿浆型铁(磷)矿; 9—浸染型铁(磷)矿; 10—浸染型磷(铁)矿; 11—火山基底接触交代型铁(磷)矿

(1) 玢岩铁矿中伴生磷的含量分布 玢岩铁矿产出部位与火山岩、火山构造的相对

关系,可分上、中、下三部<sup>[1]</sup>。上部矿一般露出地表,整合产于火山碎屑岩中,属火山沉积型。似层状、透镜状和矿饼群体,约占宁芜铁矿总储量 5%,伴生磷含量很低,除个别地段含  $P_2O_5$  达 6% 外,一般在 0.5% 以下,平均 0.3%~0.7%,不具利用价值。中部矿埋深 0~500m,产于大王山组次火山岩(辉石闪长玢岩)、火山岩接触带(次要)及岩体本身内部裂隙带中,属接触类夕卡岩型(中段梅子山)、火山气液交代型(南山、陶村、吉山)和矿浆型(北段梅山、中段凹山、南段姑山等)。矿体呈似层状、囊状、似脉状、环状和岩筒状,占宁芜铁矿总储量 90% 以上,伴生磷含量丰富,但极不均匀;一般矿浆型含磷较高,伴生  $P_2O_5$  最高达 11%~26%,平均 1.85%~2.52%;次为岩筒型及环状矿脉,伴生  $P_2O_5$  最高为 2.4%~6.4%,平均 1%~2%;火山气液交代成因的浸染状矿体规模最大,伴生  $P_2O_5$  最高为 2.25%~4.5%,但平均 <0.5%。据采样研究,伟晶—粗粒结构的矿石含磷最高;矿体顶部比下部含磷高。下部矿产于次火山岩根部闪长岩与火山基底接触带上,似层状,占总储量 3%~5%;除凤凰山矿体出露地表外,一般埋深 300~1000m(大山),含磷类似中部的浸染矿,但统计研究不足。

玢岩铁矿各类型伴生磷含量列于表 2。

(2) 矿体与矿石特征 伴生磷灰石矿的铁磷矿体以中部矿为主。按采选条件及矿石类型等可分 4 个基本类型。① 脉状铁(磷)矿体:产于岩筒或矿浆型主矿体周边,常呈帚状和环状大脉,如凹山主矿体周边就有 50 余条,一般延长数百米,宽 2~50m,延深 100m 左右。矿体具明显的矿物结晶分带(图 2)。一般自边缘向内为细晶阳起石(纤闪石)+磷灰石+钠长石+磁铁矿共结带(M),约占脉体总宽度 1/5;粗晶阳起石晶带(At),占总宽度 1/3;粗晶磷灰石

表 2 玢岩铁矿伴生磷含量统计表

| 类 别         | 铁矿产地                                           | 产 出 部 位                                                                          | Fe含量, %        | 伴生P <sub>2</sub> O <sub>5</sub> 含量, % |       |       |
|-------------|------------------------------------------------|----------------------------------------------------------------------------------|----------------|---------------------------------------|-------|-------|
|             |                                                |                                                                                  |                | 最高                                    | 最低    | 平均    |
| 上<br>部<br>矿 | 火<br>山<br>沉<br>积<br>型                          | 龙 旗 山                                                                            | 大王山组下段         | 20~ 40                                | 6.53  | 0.048 |
|             |                                                | 渣 塘                                                                              | 大王山组下段         | 30~ 56                                | 0.344 | 0.115 |
|             |                                                | 竹 园 山                                                                            | 大王山组沉积夹层       | 35.21~ 47.88                          | 0.229 | 0.115 |
|             |                                                | 小 牛 山                                                                            | 大王山组沉火山碎屑岩     | 32.63~ 52.39                          | 0.328 | 0.273 |
|             |                                                | 龙 虎 山                                                                            | 大王山组碎屑岩        | 37.81                                 | 0.504 | 0.092 |
|             |                                                | 烤 山                                                                              | 大王山组沉凝灰岩       | 36                                    | 0.15  | 0.028 |
|             |                                                | 河 塘                                                                              | 大王山组碎屑岩        | 40.17                                 |       | 0.069 |
|             |                                                |                                                                                  |                |                                       |       | 0.067 |
| 中<br>部<br>矿 | 类夕卡岩型                                          | 牛 首 山<br>梅 子 山                                                                   | 火山岩接触带         | 13.97~ 47.12                          | 3.43  | 0.02  |
|             |                                                |                                                                                  |                | 29.66~ 54.77                          | 1.26  | 0.27  |
|             | 火<br>山<br>气<br>液<br>交<br>代<br>—<br>矿<br>浆<br>型 | 南 山<br>凹 山<br>东 山<br>和 尚<br>陶 桥<br>小 村<br>姑 东<br>尖 山<br>钟 山<br>代 九<br>吉 山<br>樟 山 | 闪长玢岩内部浸染带      | 25~ 66.45                             | 2.64  | 0.12  |
|             |                                                |                                                                                  |                | 21~ 65                                | 26.05 | 0.02  |
|             |                                                |                                                                                  |                | 32.6~ 65.9                            | 2.25  | 0.2   |
|             |                                                |                                                                                  |                | 20~ 49                                | 2.91  | —     |
|             |                                                |                                                                                  |                | 20~ 28                                | 4.50  | 0.02  |
|             |                                                |                                                                                  |                | 33~ 60                                | 6.35  | —     |
|             |                                                |                                                                                  |                | 53                                    |       | 1.85  |
|             |                                                |                                                                                  |                | 20~ 42                                | 2.43  | 0.02  |
|             |                                                |                                                                                  |                | 25~ 59                                | 11.07 | 0.09  |
|             |                                                |                                                                                  |                | 17.4~ 59.7                            | 17    | 1.5   |
|             |                                                |                                                                                  |                | 15~ 29.3                              | 3.71  | —     |
|             |                                                |                                                                                  |                | 33.47~ 60.06                          |       | 0.52  |
|             |                                                |                                                                                  |                |                                       |       | 0.799 |
| 下<br>部<br>矿 | 接<br>触<br>交<br>代<br>型                          | 凤 凰 山<br>大 山<br>白 象 山                                                            | 火山基底沉积岩与闪长岩接触带 | 34.52~ 49.45                          | 12.01 | —     |
|             |                                                |                                                                                  |                | 39.54                                 |       | 0.032 |
|             |                                                |                                                                                  |                | 46.94                                 |       | 0.82  |
|             |                                                |                                                                                  |                |                                       |       |       |

注：数据引自宁芜地区有关区调报告（1986）。

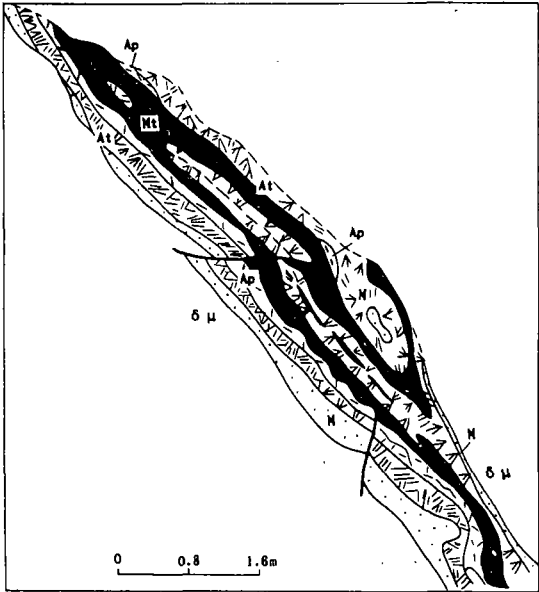


图 2 脉状铁（磷）矿体的矿物结晶分带  
(图例见正文)

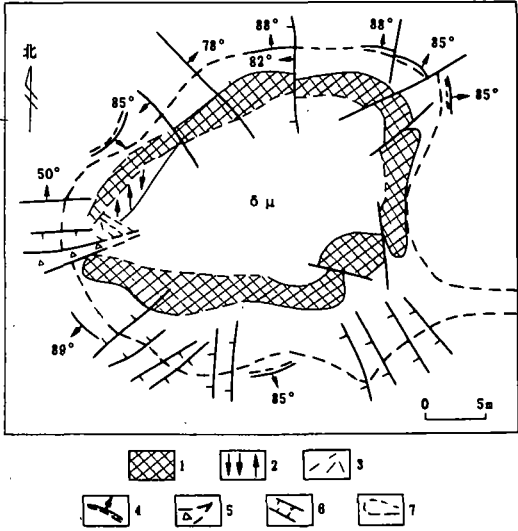


图 3 落星环状铁（磷）矿体地质图

1—铁（磷）矿体；2—粗晶阳起石单晶段；  
3—粗晶磷灰石单晶段；4—闪长玢岩；5—  
环状裂隙；6—构造活动带；7—放射状裂隙；  
8—采矿坑

晶带或晶线 (Ap), 占脉体宽度  $0 \sim 1/6$ , 核部为块状磁铁矿带 (Mt), 一般粗晶磷灰石带宽度可达  $0.2 \sim 1\text{m}$ 。另外, 在环状矿脉构造错动带上, 往往形成一些不连续、呈囊状的阳起石、磷灰石单晶段, 如落星环状铁矿西北部 (图 3)。这些磷灰石单晶段, 均由自形一半自形,  $3 \sim 30\text{cm}$  大小的磷灰石晶体聚合体组成, 可做为磷灰石富矿单采。

② 角砾斑杂状铁 (磷) 矿体: 主要赋存于矿浆型和岩筒型矿体的中上部, 以囊状体居多, 平面多呈等轴状, 延长  $600 \sim 800\text{m}$ , 宽  $400 \sim 500\text{m}$ , 延深  $200\text{m}$  左右。矿石角砾成分复杂, 但以矿化闪长玢岩和早期贫矿体为主, 胶结质为四组合矿物, 即钠长石、阳起石、磷灰石和磁铁矿, 各矿物均为粗晶—伟晶状。在凹山、东山一带, 胶结质常显陨铁结构, 即磷灰石自形晶为块状磁铁矿包裹。在上部矿体中常见铁磷矿呈圈层状和轮状构造 (图 4), 如凹山  $59 \sim 120\text{m}$  台

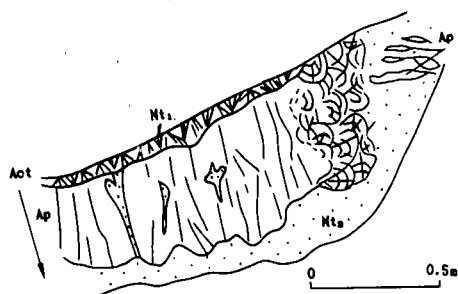


图 4 凹山铁磷矿圈层构造素描图

(据武汉地质学院矿物教研室, 1973)

Mt<sub>1</sub>—细粒磁铁矿; Act—阳起石单晶段;

Ap—粗晶磷灰石; Mt<sub>2</sub>—粗粒磁铁矿。环

圈示球状磁铁矿, 箭头示矿物生长方向

阶, 其核心为细粒浸染状矿石, 外缘为垂直内核生长之粗晶磷灰石和球状磁铁矿, 此种单晶磷灰石聚合体, 一般能达到  $0.2 \sim 1.5\text{m}$  以上的规模。在机械化开采中可手选出磷灰石富矿。

③ 浸染状铁 (磷) 矿体: 产于闪长玢岩体内, 受岩体轮廓、流层理和微裂隙群控制。矿体呈似层状、鞍状, 少量为脉状。据中段陶村大型矿区研究, 中粗粒

( $0.5 \sim 6\text{mm}$ ) 矿石位于矿体顶部和中部, 伴生  $\text{P}_2\text{O}_5$  含量较高 (一般  $>1\%$ ), 局部可达  $9.32\%$ ; 细粒 ( $0.01 \sim 0.5\text{mm}$ ) 矿石位于矿体下部和边缘, 伴生  $\text{P}_2\text{O}_5$  含量较低, 一般  $<1\%$ 。矿石主要矿物组合为钠长石 + 阳起石 + 磷灰石 + 磁铁矿。由于磷灰石颗粒细小、分散、含量低 ( $<10\%$ ), 故矿石均需浮选富集后方可利用。

④ 浸染状磷 (铁) 矿体: 亦产于闪长玢岩体内, 与铁 (磷) 矿体特征一致, 仅以铁磷相对含量变化而区分。磷 (铁) 矿体一般产于主铁矿体的上部或旁侧, 如北段的代山、中段的陶村北部和南段钟九铁矿上部的平顶山等地。一般可作为晶质磷灰石贫矿单独开采。

以代山磷 (铁) 矿为例 (图 5), 矿体呈扁豆状、透镜状或纺锤状, 雁行状排列, 一般延长  $400 \sim 600\text{m}$ , 宽  $180 \sim 340\text{m}$ , 延深  $130 \sim 310\text{m}$ , 厚  $4 \sim 17\text{m}$ 。矿石矿物为磷灰石、磁铁矿、假象赤铁矿、菱铁矿和少量黄铁矿、黄铜矿等。主要矿物组合为透辉石 + 磷灰石 + 磁铁矿。细粒浸染状磷灰石含  $\text{P}_2\text{O}_5$   $1.5\% \sim 4\%$ ; 团块状—细脉浸染状矿石含  $\text{P}_2\text{O}_5$   $5\% \sim 17\%$ ; 局部见块状磷灰石, 含  $\text{P}_2\text{O}_5$  最高达  $15\% \sim 24\%$ 。

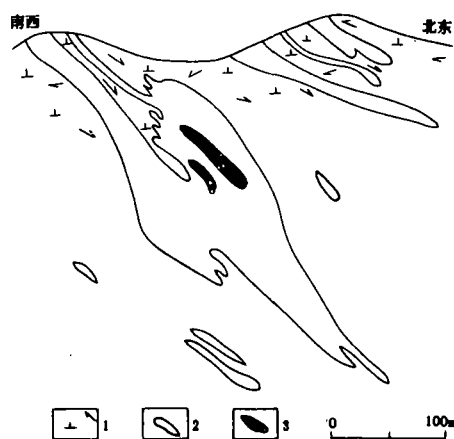


图 5 代山磷 (铁) 矿体剖面图

(据宁芜北段区调报告, 1986)

1—辉石闪长玢岩; 2—磷灰石矿体; 3—磁铁矿体

### 3. 磷灰石的矿物学研究

磷灰石是宁芜玢岩铁矿中遍在性矿物, 常与阳起石、钠长石、磁铁矿组成矿石, 彼此紧密嵌接, 按矿物产状可分4种: ① 细粒磷灰石, 粒径0.03~0.5mm, 主要构成浸染状铁(磷)或磷(铁)矿体, 一般为无色—乳白色, 局部色调较深, 为深棕、褐色及桔黄色等。它形粒状为主, 折屈率(2个)  $N_o=1.6347 \sim 1.6392$ , 晶胞参数(2个)为  $a=9.3313\text{\AA}$ ,  $c=6.8676\text{\AA}$ <sup>②</sup>, 边缘多溶蚀成港湾状, 常含大量气液和固体包裹体。② 粗晶磷灰石, 粒径0.5~2mm, 主要构成角砾斑杂状矿石, 一般为浅蓝、浅紫和浅绿色等, 多呈自形柱状晶体, 各类包裹体更多,

折屈率  $N_o=1.6356$ 。③ 伟晶磷灰石, 多为自形晶, 大者可达20cm×40cm, 产于单晶带和角砾斑杂状矿石的晶洞或矿囊中。一般为深肉红色, 折屈率(2个)  $N_o=1.6367 \sim 1.6398$ , 晶胞参数(3个)  $a=9.3313 \sim 9.3570\text{\AA}$ ,  $c=6.8211 \sim 6.8676\text{\AA}$ <sup>③</sup>。晚期磷灰石, 穿插于矿石裂隙中, 无色透明, 柱状、晶簇状或粒状集合体, 局部为绿色皮壳状, 折屈率  $N_o=1.6347$ , 晶胞参数  $a=9.3313\text{\AA}$ ,  $c=6.8676\text{\AA}$ 。

据历年对33个磷灰石单晶的分析, 各类型晶体化学成分统计列于表3; 可见属氟磷灰石, 且化学成分均近似, 但CaO和P<sub>2</sub>O<sub>5</sub>含量普遍较标准磷灰石偏低<sup>④</sup>, 而稀土含量较高, 其中以粗晶和伟晶磷灰石最高。

表3 各类型磷灰石化学成分表

| 矿物类型                           | 细粒磷灰石         |        | 粗晶磷灰石         |       | 伟晶磷灰石         |        | 晚期磷灰石  |
|--------------------------------|---------------|--------|---------------|-------|---------------|--------|--------|
| 样品数(个)                         | 21            |        | 8             |       | 3             |        | 1      |
| 含量(%)                          | 范围            | 平均值    | 范围            | 平均值   | 范围            | 平均值    |        |
| SiO <sub>2</sub>               | 0.96 ~ 3.75   | 2.16   | 0.083 ~ 9.5   | 2.53  | 1.18 ~ 9.5    | 3.96   | 9.6    |
| TiO <sub>2</sub>               |               | 0.01   | 0.01 ~ 0.02   | 0.015 |               | 0.02   | 0.01   |
| Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub> | 0.38 ~ 0.9    | 0.56   | 0.002 ~ 0.79  | 0.32  | 0.18 ~ 0.79   | 0.57   | 0.79   |
| Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub> | 0.04 ~ 0.5    | 0.2    | 0.12 ~ 0.22   | 0.18  | 0.1 ~ 0.22    | 0.17   | 0.22   |
| FeO                            |               | —      |               | 0.06  |               | 0.18   | —      |
| MnO                            | 0.01 ~ 0.052  | 0.032  | 0.002 ~ 0.055 | 0.037 | 0.026 ~ 0.055 | 0.04   | 0.055  |
| MgO                            | 0.03 ~ 0.15   | 0.09   | 0.09 ~ 0.7    | 0.30  | 0.03 ~ 0.14   | 0.09   | 0.09   |
| CaO                            | 43.18 ~ 55.12 | 52.66  | 46.62 ~ 54.68 | 51.85 | 49.57 ~ 54.37 | 52.76  | 49.57  |
| SiO                            | 0.034 ~ 1.47  | 0.34   | 0.28 ~ 0.96   | 0.23  | 0.073 ~ 0.64  | 0.057  | 0.073  |
| Na <sub>2</sub> O              | 0.28 ~ 2.15   | 1.22   | 0.1 ~ 0.42    | 0.26  | 0.25 ~ 0.33   | 0.29   | 0.25   |
| P <sub>2</sub> O <sub>5</sub>  | 35.01 ~ 42.58 | 40.17  | 34.8 ~ 40.52  | 38.68 | 34.28 ~ 40.65 | 38.23  | 34.80  |
| F                              | 1.64 ~ 3.72   | 2.49   | 1.66 ~ 2.65   | 2.18  | 2.18 ~ 2.65   | 2.48   | 2.62   |
| Cl                             | 0.028 ~ 1.14  | 0.55   | 0.028 ~ 1.14  | 0.55  | 0.037 ~ 0.86  | 0.36   | 0.037  |
| CO <sub>2</sub>                | 0.19 ~ 0.42   | 0.25   | 0.19 ~ 1.27   | 0.48  | 0.03 ~ 1.27   | 0.65   | 1.27   |
| H <sub>2</sub> O <sup>+</sup>  | 0.15 ~ 0.52   | 0.36   | 0.28 ~ 0.45   | 0.36  | 0.26 ~ 0.37   | 0.32   | 0.37   |
| H <sub>2</sub> O <sup>-</sup>  |               | 0.24   |               | 0.16  |               | 0.20   | 0.16   |
| S                              |               | —      |               | 0.04  |               | —      | —      |
| TR <sub>2</sub> O <sub>3</sub> | 0.319 ~ 1.020 | 0.555  | 0.276 ~ 0.928 | 0.694 |               | 0.840  | 0.573  |
| CeO <sub>2</sub>               | 0.129 ~ 0.514 | 0.249  | 0.129 ~ 0.456 | 0.313 |               | 0.320  | 0.274  |
| ThO <sub>2</sub>               | 0.012 ~ 0.032 | 0.019  |               | 0.025 |               | 0.025  | —      |
| La <sub>2</sub> O <sub>3</sub> | 0.02 ~ 0.24   | 0.121  | 0.064 ~ 0.217 | 0.156 |               | —      | 0.160  |
| Nd <sub>2</sub> O <sub>3</sub> | 0.03 ~ 0.184  | 0.097  | 0.07 ~ 0.182  | 0.115 |               | 0.067  | 0.098  |
| Y <sub>2</sub> O <sub>3</sub>  | 0.01 ~ 0.095  | 0.048  | 0.03 ~ 0.124  | 0.064 |               | 0.124  | 0.04   |
| YbO <sub>3</sub>               |               | 0.001  | 0.001 ~ 0.002 | 0.001 |               | —      | —      |
| 总计                             |               | 101.88 |               | 98.93 |               | 101.22 | 100.39 |

注: 数据引自宁芜科研报告, 1973。

② 据武汉地质学院矿物教研室, 1975。

③ 中科院地质所, 1977。

另据宁芜北段16个、南段10个铁(磷)矿石中磷灰石和6个闪长玢岩中磷灰石样品的稀土元素Y、Ce、La三元配分研究,两者配分值非常接近,而与典型的基鲁纳铁矿床中磷灰石(2个)差别较大,主要是宁芜地区磷灰石Ce低而Y、La配分值偏高。

#### 4. 伴生磷灰石的形成条件

宁芜铁(磷)矿体主要产于大王山组闪长玢岩体内。据宁芜铁(磷)矿石、闪长玢岩、花岗岩及瑞典基鲁纳铁矿中磷灰石稀土三元配分(表4)可见,宁芜铁(磷)矿石与闪长玢岩较近似,与花岗岩,特别是产于碱性岩中的基鲁纳铁矿差别较大。说明宁芜铁(磷)矿床与闪长玢岩有密切的成因联系。另外,据宁芜南段钟姑矿田Fe、P元素及测温资料分别所作的四次趋势面变化特征均极为吻合,又说明铁、磷矿具有统一成因,密切共生。

表4 磷灰石稀土元素三元配分值

| 类别     | 样品数(个) | 平均配分值(%) |       |       |
|--------|--------|----------|-------|-------|
|        |        | Y        | Ce    | La    |
| 铁(磷)矿石 | 26     | 12.07    | 52.75 | 35.18 |
| 闪长玢岩   | 6      | 13.62    | 55.61 | 30.77 |
| 花岗岩    | 3      | 14.85    | 58.44 | 26.71 |
| 基鲁纳铁矿  | 2      | 5.65     | 72.85 | 21.50 |

如前所述,闪长玢岩本身含磷虽不高,但在阳起—钠长石化(深色蚀变)过程中能大量聚集迁出,据南段5孔7个样品定量计算:铁阳离子带出量为1.32~9.25g,平均为5.98g/100cm<sup>3</sup>;磷阳离子带出量为0.02~0.09g,平均为0.058g/100cm<sup>3</sup>。再据中段341个见矿孔统计,此种蚀变岩带的厚

度是铁矿体的2~7倍以上,经平衡估算足以形成现今的铁(磷)矿体<sup>①</sup>。

#### 5. 应用前景

近年一些研究单位和矿山已经注意到伴生磷的综合回收利用。以凹山铁矿为例,经多次小型试验、连选试验和工业试验,所获磷精矿品位为15.72%(折合含P<sub>2</sub>O<sub>5</sub>为36.02%),相对原矿的回收率为76.94%,产率为6.02%。因系在铁矿选矿流程上仅加一级浮选柱捕获,故成本较低,在经济上是合理的。

凹山铁矿储量达数亿吨,计算伴生磷折合成含P<sub>2</sub>O<sub>5</sub>=30%的标矿约数千万吨,相当于一个中型磷矿床。以此推算,宁芜玢岩铁矿总储量达数十亿吨,伴生磷灰石标矿将达大型规模,其利用前景相当可观。

值得指出,伴生磷灰石在矿体上部氧化带中常分解并与含铜、铝的泥化火山岩结合成皮壳状、结核状、团块状或脉状的绿松石[Turquoise, CuAl<sub>6</sub>(OH)<sub>8</sub>(PO<sub>4</sub>)<sub>4</sub>·5H<sub>2</sub>O],是一种中低档的宝石,目前已广泛开采,有很大的经济价值。最近,在某矿区外围风化淋滤带底部发现脉状铁(磷)矿体中的磷灰石巨晶常被交代成假象绿松石,结构细腻,颜色鲜艳、美观,属高档宝石,极为珍贵。另外,伴生磷灰石中含氟和稀土元素较高,将来也可利用;加之附近常产出含钾较高(K<sub>2</sub>O>7%~14%)的含钾岩石,可制作高效磷钾复合肥,促进农业进一步发展。80年代就此酝酿的“星火计划”应加速实施,必有深远的战略意义和经济意义。

#### 参考文献

- [1] 赵玉琛, 矿床地质, 1990, 第1期。

### Geological Characteristics and Using Prospects of Associated Apatites Ores within the Porphyritic Iron Deposit in Nanjing—Wuhu Area

Zhao Yuchen

① 322地质队, 1976年。