

带,断裂发育处;

(二)燕山晚期次火山岩分布区或预测有隐伏斑岩体的地段;

(三)水化学或分散流、金属量测量有Cu、Mo、Pb、As 异常的地区,地表次生晕钼量在150 $\gamma$ /g以上者,下部可能有工业矿体存在;

(四)地球化学异常具有内带W、Sn、Mo,中带Cu、W<sub>Ca</sub>、Bi,外带Pb、Zn、Ag,边缘带As的同心环状分带的地区;

(五)围岩具广泛面状蚀变带或带状蚀变带,尤其是石英—绢云母化发育的地区,地表有褐铁石英细网脉出现的地区。

本矿床围岩蚀变分布范围大于矿床范围数倍,围岩蚀变是寻找斑岩铜钼矿床的主要标志之一;由于地表多为褐铁矿细脉,难以断定矿化富集部位,这时只能利用石英—绢云母化带圈定矿化富集部位,指导找矿评价工程的正确部署。本矿区以前认为是石英网脉型钼矿床,现根据钼(钨)矿与花岗闪长(斑)岩有成因关系,矿石为细网脉浸染状,围绕岩体有一套面状蚀变等标志,确定矿床成因为高中温热液斑岩钼(钨)矿床,这也说明围岩蚀变的研究,有助于解决矿床的成因问题。

## 赤铁矿型锆矿石中锆的赋存状态研究

武汉地院北京研究生部 杨光明

近三十年来,锆的半导体性质在现代工业和技术上获得了越来越广泛的应用。锆的主要来源除少数从其独立矿物中提取外,绝大部分是从铅锌矿石、煤灰和有机岩中提取。有关赤铁矿中锆的报道甚少。因此,开展对该类新型锆矿床床学和锆的地球化学研究,有一定的理论和实际意义。

由于水平低,实验条件有限,加之对该类新型矿床缺乏先例借鉴,错误之处,希望批评指正。

### 矿床地质简介

湖南某地赤铁矿型锆矿床产于衡山隆起之南岳花岗岩外接触带,石桥铺向斜西南仰

起端;矿体分布于北东为主的多组断裂破碎带中。出露的地层主要为泥盆、石炭系灰岩、砂页岩。区内岩浆岩颇发育,北面1公里处为南岳花岗岩,其他多为各种酸性脉岩。围岩蚀变强烈,以赤铁矿化、重晶石化、硅化为主。受北东向断裂构造控制。锆富集于赤铁矿中,构成具有一定规模的赤铁矿型锆矿床。

### 矿石基本特征

1. 矿石化学组成 矿石化学分析结果列于表1。从表1可见,锆的含量均在0.008%以上,平均可达0.012%,高者达0.024%,符合铁矿中含锆工业指标要求,若以单独锆

表 1

| 样号        | Ge     | Fe    | As    | Pb    | WO <sub>3</sub> | V     | P     | S     | BaSO <sub>4</sub> | SiO <sub>2</sub> | Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub> | CaO  | MgO  | SrO   | Zn   |
|-----------|--------|-------|-------|-------|-----------------|-------|-------|-------|-------------------|------------------|--------------------------------|------|------|-------|------|
| TC<br>8-7 | 0.0235 | 57.35 | 0.690 | 0.568 | 0.132           | 0.004 | 0.085 | 0.67  | 3.95              | 8.42             | 0.70                           | 0.07 | 0.10 | 0.051 |      |
| TC<br>8-8 | 0.0162 | 53.40 | 0.415 | 0.445 | 0.140           | 0.008 | 0.090 | 1.67  | 11.17             | 7.10             | 1.68                           | 0.27 | 0.20 | 0.088 |      |
| TC<br>8-9 | 0.0236 | 60.80 | 0.385 | 0.360 | 0.140           | 0.008 | 0.065 | 1.04  | 6.85              | 2.31             | 0.89                           | 0.00 | 0.10 | 0.062 |      |
| B-5B      | 0.0087 | 44.75 | 4.867 | 6.604 | 0.096           | 0.044 | 0.200 | 2.11  | 14.07             | 2.27             | 0.74                           | 0.54 | 0.30 | 0.059 |      |
| T-<br>16B | 0.0140 | 56.00 | 1.002 | 0.805 | 0.048           | 0.020 | 0.034 | 0.00  | 0.08              | 13.70            | 0.89                           | 0.20 | 0.10 | 0.028 |      |
| 选 I 号     | 0.0214 | 51.80 | 1.110 | 0.251 | 0.125           |       | 0.030 | 1.004 |                   | 14.02            | 3.82                           | 0.34 | 0.29 |       | 0.17 |
| 选 II 号    | 0.0115 | 44.60 | 3.640 | 2.579 | 0.115           |       | 0.025 | 0.665 |                   | 21.05            | 2.82                           | 0.20 | 0.00 |       | 0.22 |

单位: %

矿利用, 钨、铅均可综合回收。

2. 矿石主要组成矿物及特征 最常见的透明矿物是重晶石、石英, 其次是粘土矿物; 不透明矿物分布最广的是赤铁矿, 少量褐铁矿、磁铁矿、黄铁矿、硬锰矿、钛铁矿及铁泥质物; 铅的次生矿物有砷铅矿、砷铅铁矿, 其次是钨铅矿、钼铅矿、斜钨铅矿、锰铁钼铅矿等。赤铁矿、铅的次生矿物集中

在矿体内, 其余以脉石矿物或造岩矿物分布于矿体和围岩中。

赤铁矿有两种产出状况(表2)。锆集中富集在致密块状、葡萄状、皮壳状赤铁矿中。土状、尘点状赤铁矿中贫锆或不含锆。富锆赤铁矿和贫锆赤铁矿可能由于各自的成矿条件不同, 所含杂质元素亦不相同, 反映在矿物的物理、光学性质上的差异。将上述

表 2

| 特<br>征<br>矿<br>物 | 形<br>态       | 颜<br>色 | 光<br>泽 | 电<br>磁<br>性 | 非<br>均<br>质<br>性 | 产<br>出<br>部<br>位 |
|------------------|--------------|--------|--------|-------------|------------------|------------------|
| 富锆赤铁矿            | 致密块状、葡萄状、皮壳状 | 较深     | 较强     | 较强          | 清楚               | 矿体为主             |
| 贫锆赤铁矿            | 土状、尘点状       | 较浅     | 暗淡     | 弱           | 弱                | 围岩为主             |

两种赤铁矿在相同实验条件下进行X光衍射分析, 发现富锆赤铁矿较贫锆赤铁矿的面网间距普遍增大(图3, 表10)。

锆在矿石中的分布与赋存状态

1. 锆在矿石中的分布 各种单矿物光谱半定量分析结果列于表3。常见单矿物化学分析见表4。根据单矿物化学分析和显微镜下大量的矿物定量测定, 矿石中锆的分布作了综合计算, 元素平衡结果列于表5。从表5可见, 90%以上的锆分布于赤铁矿中, 其中又以致密状、葡萄状、皮壳状赤铁矿占绝

对优势。可见这类赤铁矿是锆元素的最好载体。其他矿物中锆的总量不过10%。这与矿石人工重砂定量分析分配结果(表6)是相符的。

锆在赤铁矿中含量变化较大。同一块标本上可见核心部位致密块状赤铁矿含锆最高, 其周围葡萄状、皮壳状赤铁矿锆含量由内向外降低。在选I号矿样两块标本上, 挑选赤铁矿作化学分析, 锆的含量变化见表7。可见, 成矿溶液中随赤铁矿的大量形成, 锆的浓度迅速降低。这也证明了土状赤铁矿与葡萄状赤铁矿不属同期的产物, 因此贫锆。

表 3

| 矿物名称      | 元素 (%) | Ge | Pb | Mo | V | W |
|-----------|--------|----|----|----|---|---|
| 褐黑色皮壳状赤铁矿 | 0.0200 | ⊗  | ●  | ⊗  | ⊗ | ⊗ |
| 褐黑色带状赤铁矿  | 0.0150 | ⊗  | ●  | ⊗  | ⊗ | ⊗ |
| 褐红色土状赤铁矿  | 0.0005 | ⊗  | ●  | ⊗  | ⊗ | ⊗ |
| 棕红色蜂窝状赤铁矿 | 0.0020 | ⊗  | ●  | ⊗  | ⊗ | ⊗ |
| 黄铁矿假象褐铁矿  | 0.0000 | ●  | ●  | ⊗  | ⊗ | ⊗ |
| 土红色浑圆状褐铁矿 | 0.0000 | ●  | ●  | ⊗  | ⊗ | ⊗ |
| 钼 铅 矿     | 0.0030 | ●  | ●  | ⊗  | ● | ● |
| 钨 酸 铅 矿   | 0.0030 | ●  | ●  | ⊗  | ● | ● |
| 重晶石 (棱柱状) | 0.0000 | ●  | ●  | ⊗  | ⊗ | ⊗ |
| 砷 铅 矿     | 0.0000 | ●  | ⊗  | ●  | ⊗ | ⊗ |
| 砷 铅 铁 矿   | 0.0000 | ●  | ⊗  | ●  | ⊗ | ⊗ |
| 石 英       | 0.0000 | ⊗  | ⊗  | ⊗  | ⊗ | ⊗ |

符号说明  
● 多 (大于工业指标)  
● 少 (小于工业指标)  
⊗ 无或极少 (小于克拉克值)

表 4

| 元素    | 矿物名称<br>致密块状赤铁矿    | 葡萄状赤铁矿             | 皮壳状、环带状赤铁矿         | 土状、尘点状赤铁矿 | 蜂窝状赤铁矿 | 重晶石   | 石英    | 砷铅矿   | 砷铅铁*<br>铁矿* |
|-------|--------------------|--------------------|--------------------|-----------|--------|-------|-------|-------|-------------|
| Ge    | ②<br>0.0360~0.0388 | ②<br>0.0192~0.0198 | ③<br>0.0137~0.0260 | 0.0067    | 0.0012 | 0.003 | 0.000 | 0.000 | 0.000       |
| Fe    | 65.50              | 64.70              | 64.15              | 63.70     | 43.90  | 0.40  | 0.10  | 0.80  | 24.14       |
| Pb    |                    |                    |                    |           |        |       |       | 47.80 | 24.44       |
| As    |                    |                    |                    |           |        |       |       |       | 37.00       |
| 单矿物纯度 | >93                | >93                | >93                | >90       | >95    | 98    | 98    | >95   | 98          |

\* 据光谱定量分析。②一指两个单矿物分析值变化范围；③一指六个单矿物分析值变化范围。

表 5

| 矿石名称         | 矿物名称           | 矿物重量(%) | Ge品位(%) | Ge金属量  | Ge金属占有率 | 累计(%)  |
|--------------|----------------|---------|---------|--------|---------|--------|
| 富锗赤铁矿矿石(选I号) | 致密状赤铁矿         | 42      | 0.0360  | 1.5120 | 70.70   | 70.70  |
|              | 葡萄状、皮壳状、环带状赤铁矿 | 18      | 0.0198  | 0.3564 | 16.70   | 89.40  |
|              | 土状、尘点状赤铁矿      | 10      | 0.0067  | 0.0670 | 3.10    | 90.50  |
|              | 褐铁矿            | 1       | 0.0012  | 0.0012 | 0.05    | 90.55  |
|              | 钨铅矿+钼铅矿        | 1       | 0.0030  | 0.0030 | 0.14    | 90.69  |
|              | 重晶石            | 15      | 0.0030  | 0.0450 | 2.10    | 92.79  |
|              | 砷铅矿+砷铅铁矿       | 3       | 0.0000  | 0.0000 | 0.00    |        |
|              | 石英             | 7       | 0.0000  | 0.0000 | 0.00    |        |
|              | 其它             | 3       | —       | —      |         |        |
|              | 总计             |         |         | 1.9846 | 92.79   | 92.79  |
| 原矿           |                | 100.0   | 0.0214  | 2.1400 | 100.00  | 100.00 |
| 差值           |                |         |         |        |         | -7.20  |

表 6

| 样品分级    | 细泥部分 | 轻砂部分 | 无电磁性部分 | 电磁性部分 |
|---------|------|------|--------|-------|
| 锗金属回收率% | 0.89 | 4.50 | 0.38   | 94.33 |

表7

| 单矿物编号 | Ge(%)  | Fe(%) | 部位 | 取样素描示意图 |
|-------|--------|-------|----|---------|
| 单-11  | 0.0137 | 64.40 | 外壳 |         |
| 单-12  | 0.0260 | 64.90 | 内壳 |         |
| 单-13  | 0.0360 | 65.20 | 核心 |         |
| 单-16  | 0.0203 | 63.90 | 外壳 |         |
| 单-17  | 0.0388 | 65.80 | 核心 |         |

## 2. 矿石中锗的赋存状态

为查明锗的状态,作了电渗析、选择性溶解、相对浸出实验以及X光扫描衍射分析。实验结果讨论如下:

(1) 矿样的电渗析实验 选择含锗、铁都高的矿样(以下实验样相同),不同电渗条件下实验结果表明,同一矿样,不论如何改变电渗条件,所获得的电渗率都很低,一般在2~3%,证明电渗液中锗呈离子状态在电力迁移过程中从赤铁矿解吸的数量极少。可见锗在赤铁矿中不是以吸附态存在。

(2) 选择性溶解实验 由于成矿溶液中存在大量的 $\text{SO}_4^{2-}$ ,锗有可能以 $\text{Ge}(\text{SO}_4)_2$ 形式迁移。从化学观点上看, $\text{Ge}(\text{SO}_4)_2$ 是存在的,但这种化合物容易水解,生成 $\text{GeO}_2$ 和 $\text{Ge}(\text{OH})_4$ 。锗有可能呈氧化物或氢氧化物存在。因此,选择碱性溶剂( $\text{NaOH}$ ),并在强氧化剂( $\text{H}_2\text{O}_2$ )作用下,于80℃水浴上浸出试样,实验结果列于表8。实验证明,无论改变溶液浓度或加长浸出时间,锗的析出率都不高,一般在1~2%,而溶液中亦无铁析出(说明赤铁矿晶格并没有破坏),

可见矿石中的锗不是呈锗的氧化物或氢氧化物存在的,否则在强碱( $\text{pH}>12$ )、强氧化剂和较高的温度条件下会有明显溶解的。

(3) 相对溶解实验 赤铁矿是锗的主要载体,  $\text{HCl}$ 是溶解赤铁矿的最佳溶剂。为证明锗与铁的地球化学关系,选用不同当量的盐酸溶液浸出试样,在冬季室温经96小时和118小时连续浸出,锗、铁的浸出率均低,效果不佳。改在水浴上连续浸出2小时(于不同浓度盐酸中加1:1  $\text{H}_2\text{SO}_4$  作控制剂),浸液和残渣分别作化学分析,铁在不同浓度盐酸中的析出率呈现规律性的增加(在9 N盐酸溶液中浸出率已大于95%),但锗的析出率却发生一种有趣的现象,即锗随浸液浓度的增加其浸出率从6 N盐酸浸液中开始逐渐下降,而且锗竟“不翼而飞”。产生这种现象的原因是生成物 $\text{FeCl}_3$ 不易挥发,而生成物 $\text{GeCl}_4$ 在高温条件下易挥发,且随盐酸浓度增加而增加。据此,将样品置于密闭连通浸出装置中进行,将热浴浸出过程中所有挥发物全部收入碱溶液,最终将浸液和吸收液在骤冷条件下迅速转入容量瓶,立即进行萃取,效果较好,其实验结果列于表9。

表 8

| 矿石名称   | 原矿号   | 化验号 | 二克样中含金属量(毫克) |      | 实 验 条 件                             |        | 溶液中金属量(毫克) |      | 析出百分数 |      |
|--------|-------|-----|--------------|------|-------------------------------------|--------|------------|------|-------|------|
|        |       |     | Ge           | Fe   | 溶 剂 性 质                             | 时间(小时) | Ge         | Fe   | Ge    | Fe   |
| 富锗赤铁矿石 | Tc8-7 | 45  | 0.470        | 1126 | 1%NaOH + 1:4 $\text{H}_2\text{O}_2$ | 2      | 0.0066     | 0.00 | 1.39  | 0.00 |
|        |       | 46  | "            | "    | 2% " + "                            | 2      | 0.0064     | 0.00 | 1.40  | 0.00 |
|        |       | 47  | "            | "    | 3% " + "                            | 2      | 0.0000     | 0.00 | 0.00  | 0.00 |
|        |       | 48  | "            | "    | 4% " + "                            | 6      | 0.0148     | 0.00 | 3.15  | 0.00 |
| 富锗赤铁矿石 | 选 I 号 | 49  | 0.428        | 1036 | 1% " + "                            | 2      | 0.0074     | 0.00 | 1.73  | 0.00 |
|        |       | 50  | "            | "    | 2% " + "                            | 2      | 0.0060     | 0.00 | 1.40  | 0.00 |
|        |       | 51  | "            | "    | 3% " + "                            | 2      | 0.0088     | 0.00 | 2.06  | 0.00 |

表 9

| 矿石名称              | 化验号 | 二克样中含金属量(毫克) |      | 浸 出 条 件 |        |       | 溶液中金属总量(毫克) |      | 析出百分数 |       |
|-------------------|-----|--------------|------|---------|--------|-------|-------------|------|-------|-------|
|                   |     | Ge           | Fe   | 盐酸浓度(N) | 时间(小时) | 温度(℃) | Ge          | Fe   | Ge    | Fe    |
| 富锗赤铁矿石<br>(Tc8-7) | 1   | 0.4700       | 1126 | 2       | 2      | 80    | 0.048       | 80   | 10.21 | 7.10  |
|                   | 2   | "            | "    | 4       | 2      | "     | 0.116       | 288  | 24.68 | 25.58 |
|                   | 3   | "            | "    | 6       | 2      | "     | 0.280       | 764  | 59.57 | 67.85 |
|                   | 4   | "            | "    | 7.5     | 2      | "     | 0.304       | 830  | 64.68 | 73.71 |
|                   | 5   | "            | "    | 9       | 2      | "     | 0.400       | 1070 | 85.11 | 95.03 |

实验结果表明,只有当赤铁矿晶格受到盐酸破坏时,锗才可能随着铁的析出而按比例析出,说明锗、铁二者呈正相关关系(图1)。这一结果与电渗析实验、选择溶解实验结果一致。因此,赤铁矿中的锗是呈类质同象存在的。

据14个岩矿样和2个选矿大样锗、铁的化学分析结果做出图2,图中可见锗、铁略显共增关系,尤以矿体中样品这种关系比较明显(以⊗示之)。但从总体来看,二者并非严格为共增关系。因为锗只选择富集在某种特定的晶体化学和地球化学作用过程所形成的赤铁矿中,而矿体围岩或顶底板普遍分布着与该赤铁矿在成矿条件和时间上有着本质差别的赤铁矿。因此在矿区内锗高,铁一定高,反之则不然,铁高,锗不一定都高。

(4) X光衍射分析实验 对本矿石中的富锗赤铁矿与贫锗赤铁矿分别作X光衍射扫描分析(图3),并测定其对应的粉晶数据(表10)。从图3可以看出,富锗赤铁矿与贫锗赤铁矿的X光扫描图象极为相似,说明二者属同一种晶体构造类型,但富锗赤铁矿的面网间距比贫锗赤铁矿普遍大,也反映在两种赤铁矿晶胞大小上的差异。经计算,富锗赤铁矿 $c_0 = 13.81 \text{ \AA}$ ,  $a_0 = b_0 = 5.03 \text{ \AA}$ ,  $a_0 : c_0 = 1 : 2.745$ ; 贫锗赤铁矿 $c_0 = 13.67 \text{ \AA}$ ,  $a_0 = b_0 = 5.02 \text{ \AA}$ ,  $a_0 : c_0 = 1 : 2.723$ 。产生这种变化的原因主要是锗类质同象置换赤铁矿晶格中的铁所引起的。

表10

| 富 锗 | I | 8      | 2      | 10     | 10     | 5      | 2      | 2      | 7      | 9      | 2      | 4      |
|-----|---|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|
| 赤铁矿 | d | 2.9750 | 2.7763 | 2.6992 | 2.5163 | 2.2065 | 2.0300 | 1.8672 | 1.8408 | 1.6930 | 1.6370 | 1.6003 |
| 贫 锗 | I | 8      | 2      | 10     | 10     | 5      | 2      | 2      | 7      | 9      | 2      | 4      |
| 赤铁矿 | d | 2.9662 | 2.7659 | 2.6895 | 2.5100 | 2.1994 | 2.0235 | 1.8645 | 1.8366 | 1.6905 | 1.6362 | 1.5992 |

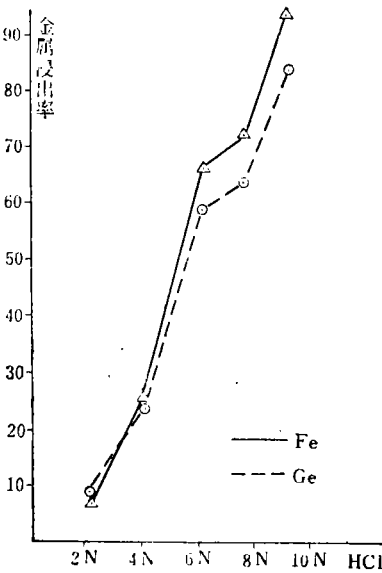


图1 赤铁矿在不同浓度盐酸中锗、铁析出关系曲线

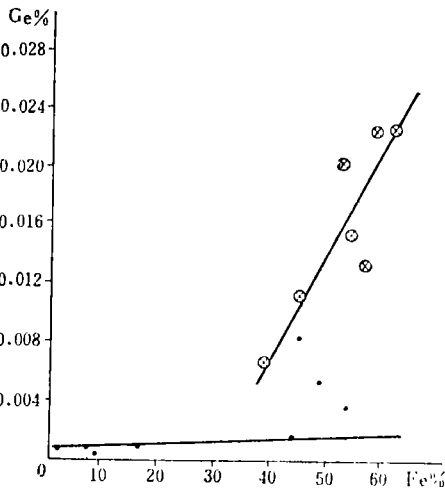


图2 含锗赤铁矿矿石中锗、铁含量关系  
(据16个化学分析样作出)

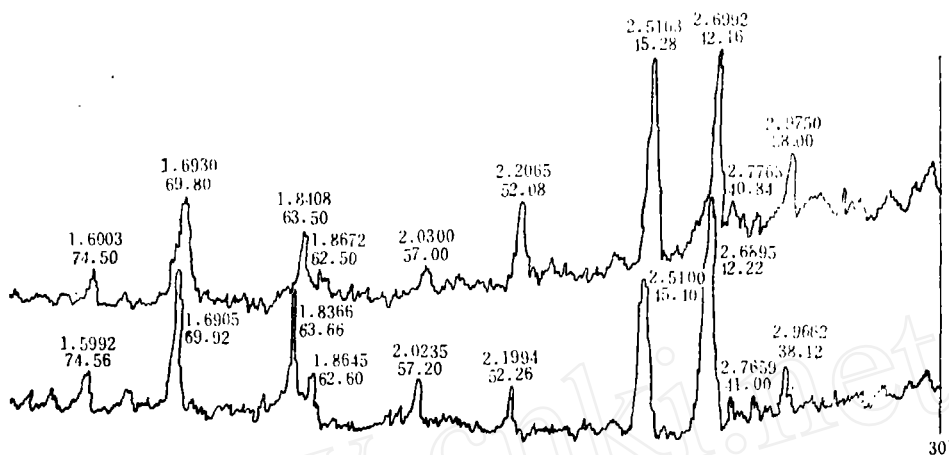


图3 富钴赤铁矿(上图)与贫钴赤铁矿(下图)X光衍射曲线对比

## 结 语

1. 该矿床属赤铁矿型锆矿新类型, 锆在铁矿石中都达到独立开采的工业品位。铅、钨均可考虑综合回收。

2. 矿石中的赤铁矿是锆元素的主要载负体。上述各种实验表明, 锆在赤铁矿中是呈类质同象存在的。

3. 矿石中锆含量高, 铁含量一定高, 反之, 铁含量高, 锆含量不一定高。这是由于

锆只选择富集在某种特定的晶体化学与地球化学作用过程形成的赤铁矿所造成的。因此, 铁含量不能作为圈定锆矿体的主要依据。

4. 根据锆的分布与存在状态特点, 在安排选别流程时, 主要应考虑如何有效地富集赤铁矿, 以达到富集锆的目的。欲使铁精矿中锆的品位提高, 将富锆与贫锆赤铁矿有效地选别是十分重要的。根据两类赤铁矿磁性的差异, 将二者选别分离是可能的。



数学地质

## 地质统计学在研究矿体地质中的应用

陈伯茂

地质统计学是数学地质中关于研究区域化变量空间相关的一个新兴的分支。我国从1974年起陆续翻译介绍过这方面的资料, 1977年美国采矿地质学家H.M. Parker来我国进行过有关地质统计学专题的技术座谈。从1978年开始了这一方法的研究, 并且在几个矿床上应用点克立格法试算储量。随着我国地质勘探事业的发展, 国外先进技术的引进以及国外合办矿山企业的增多, 采用地

质统计学方法估算储量将愈来愈多, 也将会促使地质统计学在我国的发展。我们试图用“地质统计学”方法对某铜矿的矿体地质进行研究。

### 四川某铜矿床地质勘探工作

该矿床产于前震旦纪会理群的一套酸性浅成—超浅成变质岩(黑云片岩、二云片岩及钠长岩)中。矿床由50个矿体组成, 其