

中国地质科学院研究报告 0053

华南花岗岩类岩石中微量元素地球化学统计 分析研究专题汇编

(之一、之二)

P596.2
贵州省图书馆

矿床地质研究所

1983年

《长江中下游地区中—酸性岩浆岩的成因及其与成矿关系的因子分析研究报告》评审意见

报告应用R型和Q型因子分析方法处理了岩石化学数据(52×12)，揭示了长江中下游地区含矿岩体的演化特点、不同岩石类型的区域分布及其与矿床成因类型的关系。

报告能较清楚地论述长江中下游地区的岩浆成因类型及其与矿床的关系，结论明确，方法(R型和Q型因子分析)适宜，为开展《华南花岗岩类岩石中微量元素地球化学统计分析研究》进行了大胆地尝试，积累了经验。

报告在内容上虽然具有一定特色，但使用资料具有局限性，若能利用其它地质资料或地球化学资料综合考虑论证将更加充分，说服力更强。

报告对研究花岗岩成因类型有一定的参考价值，建议国内发表。

矿床所学术委员会

82. 5. 25

目 录

前 言

| | |
|-------------------------|-------|
| 一、概述..... | (1) |
| 二、数据模型..... | (2) |
| 三、岩石化学成分与岩浆成因类型的关系..... | (3) |
| 四、岩石化学成分与矿床成因的关系..... | (7) |
| 五、矿床的岩浆成因分类..... | (15) |

前 言

“长江中下游地区中——酸性岩浆岩的成因及其与成矿关系的因子分析”研究课题是根据“华南花岗岩中微量元素地球化学统计分析研究”项目确定的试验课题之一。长江中下游地区的地质工作程度较高，积累了大量实际资料，为了使用定量描述方法处理，综合这些资料，故在1980年就开始着手收集该区的有关资料。根据众多的实际资料及该区矿床与岩浆岩的成矿专属性，最后确定以岩浆岩的岩石化学数据为原始资料，应用R型和Q型因子分析方法处理，其结果将为论证该区的岩浆岩的成因类型和它与矿床类型之间的关系提供依据。

本报告是使用多元统计分析中的R型因子分析和Q型因子分析方法处理岩石化学数据，把反映中酸性岩浆岩的氧化物重量百分比转换为反映岩浆成因和造岩元素的地球化学行为的数据形态。其目的是探索因子分析方法在研究岩浆成因课题中的效用，积累一些有关使用统计方法研究花岗岩成因类型工作中的经验，为将来全面开展“华南花岗岩类岩石中微量元素地球化学统计分析研究”打下方法学的基础。

本报告取用岩石化学数据，在因子分析方法处理后，从中择取了岩浆岩的演化，造岩元素和岩浆成因之间的关系及造岩元素与矿床成因类型关系的信息，因此它涉及到岩浆成因类型等重大的地质课题。

本报告与通常的岩浆岩岩石学的研究方式不同，和通常的岩浆岩成矿专属性的研究也不同，它是从众多的原始数据统计推断的结果，把地质作用和成因概念定量化，在逻辑推断和地质成因特征之间建立有机的联系——地质解释的综合归纳，从而得出合理的地质结果。从综合归纳来讲报告是对长江中下游地区中——酸性侵入岩的基本总结，也是对该地区与中——酸性侵入岩有关的矿床的概括。报告中涉及到的许多基本问题从逻辑形式上有具体结论，但从统计推断方法的局限性来看可以说只是我们的看法，供有关同志讨论。还应指出，本报告中对于数学地质方法在地质研究工作中应用，在不同地区地质特征不同，数学地质方法的使用也灵活多样，切勿套用。

一、概 述

近年来，对花岗岩类岩石成因问题的研究取得了很大进展，在传统方法基础上强调了微观和宏观研究相结合，并应用了定量描述和实验研究等新手段，从而使花岗岩类成因问题的研究建立在更为科学的基础之上。多元统计方法中的因子分析就是其中之一。

长江中下游地区系指从湖北鄂城至江苏镇江之间沿江两岸的狭长地带。它是我国铁、铜矿床富集的地区之一，有“矽卡岩乡”之称。区内赋存的矿床有玢岩铁矿、矽卡岩型铁铜矿（或铜铁）、斑岩型铜钼矿床。与玢岩铁矿有关的火山—侵入岩类属辉长闪长岩和辉石闪长玢岩类系列的次火山岩；与矽卡岩型矿床有关的中-酸性岩类属闪长岩—花岗闪长岩-石英

二长岩—花岗岩类的岩浆侵入岩系列；与斑岩型矿床（包括矽卡岩型和斑岩型复合矿床）有关的属闪长斑岩—花岗闪长斑岩类的岩浆侵入岩，其岩石化学成份与花岗闪长岩—石英二长岩—花岗岩系列的岩类基本相似。据现有的资料说明，研究区内与侵入岩类有关的铁、铜、钼和硫矿床分布在苏皖的宁芜、安徽的庐枞火山岩盆地和湖北的鄂东、江西的瑞昌、安徽的铜陵、江苏的宁镇和安徽的月山地区。这些地区可以说是“矿化集中区”。这里所指的矿化集中区系指在一定的地区范围内成矿物质具有固定的源地、在固定的地区出现而又不受成因类型、固定地质构造和地质时代限制的矿床聚集区，总之，它是具有经济价值矿床的聚集区。一个矿化集中区是由数个矿床，甚至数十个矿床组成，其中有一、二个是主要矿床，其储量可以占整个矿化集中区的半数或半数以上，围绕这些主矿床分布有少量的所谓卫星矿床。集中区内的每个矿床可能分属不同的成因类型，或同一矿床也可能是多成因的复合矿床，且还可分属不同的成矿时代。基于上述的说明，我们可以认为“矿化集中区”是描述长江中下游地区成矿带的次级单元。过去虽然对研究区内的成矿规律作过较为详细的研究，但对其侵入岩类岩浆的成因类型及它同内生金属矿床的成因关系探索仅限在某些区域（如宁芜地区）。为此本文用因子分析方法探索和揭露区内侵入岩类母岩浆的来源、演化和其与成矿的关系。

因子分析是帮助地质学家对大量地质观察资料进行分析和解释的多元统计方法之一。它将彼此具有错综复杂关系的地质数据归结为数量较少的几个因子。每个因子意味着地质变量间的一种基本组合关系，即有可能说明成因联系。而对原始数据的信息损失无几。也就是说，因子分析可以把反映地质现象的原始观察数据转换为反映地质成因概念的数据形式，成为连接原始地质观察数据同地质成因概念之间的一座桥梁。

因子分析获得的结果在用它解决地质问题的过程中仅是一种中间结果，它的地质意义要靠地质学家运用自己的经验和地质理论作出推断，赋予每个因子所包括的地质成因概念。

应用因子分析方法，探索长江中下游地区的中—酸性侵入岩的成因，应解决以下几个问题：

1. 识别原始岩浆的成因类型及其标志；
2. 不同成因类型岩浆的演化过程与成矿关系；
3. 探索与侵入岩类有关矿床的空间分布规律，即在最少漏失矿床的前提下最大限度缩小矿化集中区的范围，而又能清晰地描述区域矿床的分布规律。

二、数据模型

用以研究岩浆岩成因的地质资料很多，但在长江中下游这样大范围内能获得适合于作因子分析的资料不很多，其中仅岩石化学资料有比较统一的化验项目和近似的化验精度，具备了统一对比的基础，为此我们选用含矿岩体的岩石化学数据作为因子分析的基础资料。在研究区内，岩石化学数据资料较多，但我们考虑到原始数据对含矿岩体的代表性并尽可能减少某些人为因素的干扰而确定挑选样品的准则如下：

1. 选用含矿岩体内属内部相的新鲜样品；
2. 在符合上述准则的前提下，凡样品中各氧化物的总和大于101%或小于99%者舍

弃；

3. 个别样品虽然符合上述准则，但由于样品中某一项或几项氧化物出现特高或特低值，而又与地质特征有明显的矛盾时，也将它舍弃；
4. 在单个岩体上挑选的样品数多于 2 时，则求其平均值作为该岩体的代表样品；

根据上述准则，从上千个样品中选出 219 个分属 52 个含矿岩体的岩石化学样品，每个样品包括 SiO_2 、 TiO_2 、 Al_2O_3 、 Fe_2O_3 、 FeO 、 MgO 、 MnO 、 CaO 、 Na_2O 、 K_2O 、 P_2O_5 和烧失量（系指 H_2O^+ 、 CO_2 、 SO_3 、S、F、Cl，或烧失量的总和）共 12 项化验项目，即 12 个变量。另外考虑到不同成因类型的矿床与岩石化学成份之间的依赖关系，根据矿物组合中造矿元素的组合类型，确定了 Fe-O；Fe-V-Ti-P-O；Fe-S；Pb-Zn-S；MO-S；W-O；Cu-S 七个变量。这七个变量的取值方法是在该岩体所属的矿床上出现这种元素组合时取值为 1，否则为 0，称之为伪变量。这样在原有 12 项氧化物基础上又加进了 7 个伪变量，最后分别得到 52×12 和 52×19 二个数据矩阵作 R 型和 Q 型因子分析。

在花岗岩类侵入岩成岩过程中，各造岩元素独立演变的可能性极小，它们往往彼此制约，表现出某种分离和聚集作用。这种作用，本质上是由各元素的地球化学性质决定的。地球化学性质相似的元素，常在成岩作用的同一阶段析出，使它们聚集在一起；地球化学性质差异较大的元素，在成岩的不同阶段析出，造成了它们的分离。据此，我们可以应用因子分析方法归纳出造岩元素的基本组合关系。根据造岩元素组合的地球化学行径可能剖析它们在演变过程中的分离和聚集状态，即花岗岩类岩石中氧化物在分离和聚集作用和这种作用间的相互关系。总之，因子分析方法可以从岩石化学数据中择取关于论证分离和聚集作用的基本信息。

R 型因子分析在于找到具有类似行为的一组变量的组合，用变量组合来识别和阐明地质成因概念或地质成因意义；Q 型分析则在于找到具有类似行为的一组样品的组合，然后用样品组合来识别和阐明地质成因概念或地质成因意义。在这个意义上，R 型和 Q 型因子分析是可以互相沟通的。在实际应用中，R 型更强调地质成因（或地质作用）之间的逻辑联系；Q 型分析揭示了地质作用对样品中的氧化物变化（分散和聚集）的过程，即成因作用在空间上的展布。上述列出的 52×12 和 52×19 二个数据模型就是为此目的而选定的。

三、岩石化学成分与岩浆成因类型的关系

本文应用主因子 PROMAX 斜旋转的结果揭示岩石化学成分与岩浆成因类型之间的关系。

为了便于地质解释工作的进行，我们将方差极大旋转因子载荷矩阵列出来（表 1）。从表 1 可知，当选择前六个因子时，方差贡献累计达 89.67%。因此，可以认为前六个因子就已经包含了原始变量中的绝大部分信息，所以 PROMAX 斜旋转就是在 6 个公共因子组成的空间中进行的。

利用 PROMAX 斜因子分析论述岩石化学成分与其岩浆成因类型之间关系的基本思想是首先应用斜主模型矩阵确定变量组合，阐明这些变量组合在一起的地质和地球化学意义，然后利用斜因子相关矩阵讨论各斜因子所代表的地球化学条件和地质成因概念的相互关系。

由表1—2的PROMAX斜主因子相关矩阵可知, F_4 与 F_1 、 F_2 、 F_3 、 F_5 和 F_6 呈负相关, 且方差贡献最大(在表1中相对方差贡献达29.2%), 这样可以断定 F_4 是该研究区内具最重要成因意义的一个因子; F_1 和 F_2 、 F_3 、 F_5 、 F_6 之间呈正相关, 这五个因子虽然在表1中的相对方差贡献的总和达60.47%, 但这些信息都分散在五个因子上, 其中仅 F_1 达17.37%。所以我们重点是分析 F_1 和 F_4 两因子的成因意义。

方差极大旋转因子载荷矩阵 表1

| 变 量 | 因 子 | | | | | | 公共因子方差 |
|--------------------------------|---------|---------|---------|---------|---------|---------|--------|
| | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 | |
| SiO ₂ | -0.5612 | -0.2160 | -0.2915 | 0.6003 | -0.1874 | -0.3622 | 0.893 |
| TiO ₂ | 0.3553 | 0.2602 | 0.2501 | -0.6181 | 0.2232 | 0.3624 | 0.820 |
| Al ₂ O ₃ | 0.1945 | 0.2989 | 0.6073 | -0.5215 | 0.0484 | 0.1721 | 0.800 |
| Fe ₂ O ₃ | 0.1676 | 0.3266 | 0.2313 | -0.2883 | 0.3042 | 0.7283 | 0.894 |
| FeO | -0.1137 | 0.2161 | 0.0088 | -0.8723 | 0.1689 | 0.2363 | 0.905 |
| MnO | -0.3642 | 0.9370 | 0.0812 | -0.1323 | 0.1835 | 0.1723 | 0.967 |
| MgO | 0.3799 | 0.0500 | 0.1115 | -0.7742 | 0.0719 | 0.3188 | 0.865 |
| CaO | 0.6878 | 0.0390 | 0.0821 | -0.5973 | 0.0931 | -0.1740 | 0.877 |
| Na ₂ O | -0.0266 | 0.0207 | 0.9396 | -0.0994 | 0.1255 | 0.1060 | 0.921 |
| K ₂ O | -0.2252 | 0.0268 | -0.3495 | 0.7733 | -0.2159 | 0.0980 | 0.828 |
| P ₂ O ₅ | 0.0715 | 0.2125 | 0.1517 | -0.2485 | 0.9026 | 0.1927 | 0.987 |
| 烧失量 | 0.9430 | -0.0619 | -0.0207 | -0.0541 | 0.0189 | 0.1661 | 0.924 |
| 方差贡献 | 2.0845 | 1.2892 | 1.6241 | 3.5044 | 1.1332 | 1.1255 | |
| 方差贡献 累计(%) | 17.37 | 28.11 | 41.65 | 70.85 | 80.29 | 89.67 | |

PROMAX 斜主因子相关矩阵 表2

| 因子 | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 |
|----|---|--------|--------|---------|---------|---------|
| 1 | 1 | 0.2711 | 0.4250 | -0.6647 | 0.2453 | 0.2673 |
| 2 | | 1 | 0.4213 | -0.5328 | 0.4162 | 0.5901 |
| 3 | | | 1 | -0.5967 | 0.3439 | 0.3398 |
| 4 | | | | 1 | -0.4374 | -0.4402 |
| 5 | | | | | 1 | 0.3755 |
| 6 | | | | | | 1 |

由表3的PROMAX斜主模型矩阵可知, 在 F_4 上正值最大者是 K_2O (0.8972), 载荷最高者为 FeO (-1.2665), MgO (-0.8962) TiO_2 (-0.524) 和 CaO (-0.4899)。很显然, FeO 、 MgO 、 TiO_2 、 CaO 组合是岩浆中基性组分的典型代表, 它表明侵入岩的基性程

度。在 F_4 上的 K_2O ，从地球化学原理可知，它在中基性岩中的含量要比中-酸性岩中的含量低，一般在酸性岩中 K_2O 的平均值为 3.8%，中性岩中为 3.2%（据 S·R·Nockolds）其差值为 0.6%。但在研究区的 52 个含矿岩体中的 K_2O 平均值为 2.75%， SiO_2 为 59.61%，它低于中性岩类的数值，看来它与中-基性岩相似。可是在本区的玢岩中 K_2O 的平均值为 2.19%（宁芜地区），而以花岗闪长岩为主的鄂东地区为 3.22%，其差值达 1.03%，说明研究区内中-酸性侵入岩类的变化要比正常的中酸性岩类的变化大。因此，在 F_4 上的 K_2O 这个因子不可能单单用原始岩浆酸度变化的地质规律予以说明。

若我们进一步考察上地幔岩的组分就知道，上地幔岩的 K_2O 仅达 0.13%； SiO_2 为 45.16%（据 A.E.Ringwood）；而地壳的平均化学成分 K_2O 为 3.2%， SiO_2 为 60.5%（戈尔德斯密特）。两者的差值极大，此外，根据已有的研究证明，研究区内的中-酸性侵入岩类属同一岩浆侵入系列的产物^[7]。并已论证宁芜、庐枞火山岩盆地的闪长玢岩来自偏碱性的玄武安山质岩浆，属地幔型物质^{[1][3]}。据此可以认为：在研究区内燕山期的岩浆侵入活动的母岩浆来自地幔。这类母岩浆当处在有利于火山-侵入活动的区域地质构造条件的控制下，例如象宁芜、庐枞这类火山岩盆地，岩浆沿断裂喷溢或侵入，形成了闪长玢岩类的次火山岩，在岩浆侵入时可能与上部地壳相互发生的作用不很强烈，其基本保持了原始母岩浆的化学成分特点。因此，它的基性程度较高^[1]， FeO 、 MgO 、 TiO_2 、 CaO 组合揭露的就是这类地质作用的过程^[2]；当地幔岩浆被上部较厚的地壳复盖，象褶皱隆起区这样的区域地质构造条件的控制下，岩浆不利于喷发。处在深部的原始岩浆产生的热动力作用首先对上层地壳物质发生影响，使组成地壳主要成分的低融组分（象钾长石、钠长石、 SiO_2 等）达到低融温度之上时，发生选择性熔融，形成熔体。由于较基性的原始岩浆与较酸性的由低融组分组成的熔融体之间的差异极大，在热动力的驱使下易于发生物质交换，基性的原始母岩浆吸收了低融组分中的 K_2O 、 Na_2O 、 CaO 等组分，使酸度增高，形成闪长岩-花岗闪长岩-花岗岩系列的母岩浆。当它侵入到地壳上部时，就形成了目前我们所观察到的中-酸性岩类，这就是中-酸性侵入岩类中造成 K_2O 这种变化程度的地质作用，这就是 K_2O 这个因子所包含的地质成因。至此可知： F_4 代表了研究区内两种主要的地质作用：富含 FeO 、 MgO 、 TiO_2 、 CaO 深源中基性岩浆的火山-侵入作用和同熔作用造成富含 K_2O 的中-酸性岩浆的侵入活动。前者以辉长闪长岩-辉石闪长玢岩为代表；后者以闪长（斑）岩-石英闪长（斑）岩-石英二长（斑）岩-花岗闪长（斑）岩-花岗（斑）岩这个完整系列为代表。由于在不同地区同熔作用强弱不一样，同熔作用强的地区原始岩浆的酸度大，形成花岗闪长岩和花岗岩类为主的侵入岩；同熔作用弱的地区，形成闪长岩和石英闪长岩为主的中基性侵入岩。当然实际情况要比它复杂得多，但 F_4 揭露的这种地质作用过程在研究区内的岩浆侵入和成矿过程中起到支配作用。

F_1 上正值最高者是烧失量(1.186)和 CaO (0.6319)；而负值最高者为 FeO (-0.5054)和 SiO_2 (-0.4467)。又由于 F_1 与 F_4 呈负相关。则烧失量、 CaO 组合与 FeO 、 MgO 、 TiO_2 、 CaO 组合呈正相关关系； FeO 、 SiO_2 组合与 K_2O 组合呈正相关关系。但由于 F_1 上的 FeO 、受 FeO 、 MgO 、 TiO_2 、 CaO 组合的影响而在平面图上（图 1）偏离了 F_1 的位置而与 F_4 相吻合。同样原理 CaO 也偏离了 F_1 的正常位置而与 F_4 相吻合（后文要详述）。这样在 F_1 上，实质上载荷最大的变量是烧失量；负值最高者为 SiO_2 。正如在对 F_4 解释中论述的那样， SiO_2

是地壳被原始母岩浆同熔作用过程中，主要从地壳吸收的成分，增加了母岩浆的酸度。所以 SiO_2 代表了同熔岩浆的酸度。烧失量这一变量，主要是指挥发组分。由于它与 FeO 、 MgO 、 TiO_2 、 CaO 呈正相关，似乎说明了原始岩浆中富含挥发分时，其粘度小，易于沿断裂上升，区内的火山—侵入作用及它形成的次火山岩—闪长玢岩属于这种地质作用。在火山—侵入作用和成岩过程中又经历了一个气液分离作用^[3]的过程。由于这一地质过程的存在，使闪长玢岩经历强烈的蚀变作用，它与玢岩铁矿的成矿作用迭加在一起组成一个完整的成矿蚀变的地质作用过程。因此， F_1 揭露的是气液分离作用和同熔作用过程。

PROMAX 斜主模型矩阵

表 3

| 变 量 | 因 子 | | | | | |
|-------------------------|---------|---------|---------|---------|---------|---------|
| | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 |
| SiO_2 | -0.4467 | -0.0447 | -0.0960 | 0.3968 | -0.0032 | -0.2601 |
| TiO_2 | 0.1809 | 0.0771 | 0.0482 | -0.5240 | 0.040 | 0.2658 |
| Al_2O_3 | -0.0170 | 0.2118 | 0.5428 | -0.3639 | -0.1420 | 0.0380 |
| Fe_2O_3 | 0.0768 | 0.0222 | 0.0856 | -0.0818 | 0.1034 | 0.7770 |
| FeO | -0.5054 | 0.0172 | -0.2558 | -1.2665 | -0.0056 | 0.1200 |
| MnO | -0.0747 | 1.0746 | -0.0913 | 0.1533 | 0.0232 | 0.0213 |
| MgO | 0.1509 | -0.1651 | -0.1185 | -0.8962 | -0.1050 | 0.2295 |
| CaO | 0.6319 | 0.0878 | -0.1066 | -0.4899 | 0.0370 | -0.3759 |
| Na_2O | -0.1643 | -0.1064 | 1.1136 | 0.2013 | 0.0282 | 0.0771 |
| K_2O | 0.0635 | 0.1292 | -0.2118 | 0.8972 | -0.1260 | 0.2754 |
| P_2O_5 | -0.0085 | 0.0284 | 0.0093 | -0.0270 | 0.9043 | 0.1390 |
| 烧失量 | 1.1860 | -0.0732 | -0.1177 | 0.3900 | -0.0125 | 0.1404 |

F_3 上正载荷最大为 Na_2O (1.1136)、 Al_2O_3 (0.5428)，负载荷最高者为 FeO (-0.2558)· K_2O (-0.2118)。 Na_2O 、 Al_2O_3 组合和 FeO 、 K_2O 组合，由于它与 F_4 呈负相关，则 FeO 、 K_2O 组合与 F_4 的 K_2O 呈正相关，由于 K_2O 的载荷在 F_4 上很高，故在 F_3 上可不加考虑； FeO 又与 MgO 、 TiO_2 、 CaO 组合具较强的相关，则在 F_3 上的 FeO 也可暂不考虑。为此，对 F_3 来说，重点只要考虑 Na_2O 、 Al_2O_3 这一组合的地质意义。由岩石学可知， Na_2O 和 Al_2O_3 是组成钠长石的主要氧化物。通过区内中-酸性侵入岩的岩石学研究可知闪长玢岩在形成过程中钠长石首先晶出^[注]，且经历了一个强烈的钠质交代作用，加上 Na_2O 、 Al_2O_3 组合与 FeO 、 MgO 、 TiO_2 、 CaO 组合呈正相关关系可知 Na_2O 、 Al_2O_3 组合与次火山岩关系密切，因此 F_3 揭露的正是闪长玢岩中的钠质交代作用（或称碱交代作用）^[3]。这样可以断定 F_3 是碱质交代作用的因子。

F_6 上正载荷最大的有 Fe_2O_3 (0.777) 和负载荷最高为 CaO (-0.3759)， SiO_2 (-0.2601)。很显然 F_6 这一因子表示岩浆中 Fe_2O_3 的变化趋势，指示着岩浆中在氧化程度较高时（氧

[注] 见关于地球化学若干问题，（河北省地质局地球化学学习班印）

逸度增高) 铁质熔体析出的地质环境。由表 2 可知 F_6 与 F_4 呈负相关, 故 Fe_2O_3 因子与 FeO 、 MgO 、 TiO_2 、 CaO 这个因子呈正相关, 则说明 Fe_2O_3 这个因子与闪长玢岩有关, 表示闪长玢岩母岩浆在火山-侵入作用过程中处于氧化环境里形成的铁质熔体。故有些玢岩铁矿属矿浆贯入型, Fe_2O_3 与 P_2O_5 的相关系数达 0.58%, 进而说明, 在玢岩铁矿成矿过程中磁铁矿-磷灰石矿浆呈不混溶流体分离出来^[3]。这就是铁质矿浆的分离作用。 CaO 、 SiO_2 这一因子, 不言而喻, 它是接触交代作用(双交代作用)的因子。所以 F_6 揭露的是铁质矿浆分离作用和接触交代作用的地质成因过程。

由于 F_2 和 F_5 与其它因子有较强的相关(正或负), 其地质成因概念也比较接近, 在此不再一一说明。

通过 F_4 、 F_1 、 F_3 和 F_6 四个因子的地质解释可知。原始母岩浆含较高的挥发分、粘度小, 属中偏基性的母岩浆来自地幔。当它处在断裂构造发育, 有利于火山-侵入作用的火山岩盆地内(即宁芜、庐枞地区)喷发、侵入, 经历了强烈的交代作用(碱质交代)和分离作用(气液分离作用和矿浆分离作用), 形成了玢岩铁矿; 在褶皱隆起区内(铜陵、鄂东、宁钰地区)原始母岩浆主要经受混染作用(同熔作用)改变了原来的成分(SiO_2 、 K_2O 增加, 挥发分, FeO 、 MgO 、 TiO_2 减少), 后经过接触交代作用而形成了矽卡岩型矿床。当原始岩浆以经受同熔作用为主, 接触交代作用为副时, 形成的是斑岩型矿床(或矽卡岩型和斑岩型复合矿床)。

PROMAX 斜主模型矩阵是把变量看成为斜因子的线性组合。根据表 3, 我们可以把 CaO 写成下列形式:

$$CaO = 0.6319 F_1 + 0.0878 F_2 - 0.1066 F_3 - 0.4899 F_4 + 0.037 F_5 - 0.379 F_6。$$

据此表达式可知 CaO 是由三个因子提供的。即 F_1 、 F_4 和 F_6 。 F_1 由气溶分离作用导致 CaO 在气液中富集; F_4 是由岩浆本身的特征, 即深部同化作用促使 CaO 的富集^[3]; F_6 是接触交代作用过程中吸取了碳酸盐围岩中的 CaO 而促使 CaO 的富集。在其它因子上, 它处于分散状态。

其它象 SiO_2 、 FeO 等都经受了多种地质作用过程, 而有些变量象 Fe_2O_3 、 MgO 、 Na_2O 、 P_2O_5 等, 经受的以一种地质作用为主。

四、岩石化学成分与矿床成因的关系

如概述中所述, 应用因子得分矩阵作出的因子得分空间分布图, 是探索地质成因特征在空间的分布特征和论证矿化集中区矿床成因类型的基础资料。为了进一步说明这个问题, 我们借助 PROMAX 斜主因子得分矩阵(表 4)来探索。

根据表 2 和表 3 的数据首先作出 F_1 和 F_4 的斜主模型因子载荷平面图(图 1)。 F_1 和 F_4 的相关系数为 -0.6647, 求得夹角为 $-48^\circ 20'$, 然后将各变量的因子载荷, 按座标位置投到由 F_1 和 F_4 组成的二维平面图上。从图 1 可知 12 项氧化物共分成 4 个组合。即 FeO 、 MgO 、 TiO_2 、 Al_2O_3 、 CaO 组合, 它是 F_1 、 F_2 和 F_3 的几种成因概念的总和; K_2O 、 SiO_2 组合为因子 F_4 、 F_1 的成因概念的表示; 烧失量, 这个因子是 F_1 气液分离作用的地质过程; Na_2O 、 MnO 、 P_2O_5 、 Fe_2O_3 组合由于它们的因子载荷较小, 在此平面图上则对形成

地质成因概念来说不起重大作用。这样在 F_1 、 F_4 组成的平面图上除接触交代作用和混溶铁质矿浆的分离作用不包括在内以外，有关斜因子所揭露的其它地质作用都已综合反映出来。由于 F_1 和 F_4 的累计方差贡献达 46.57%，接近于原始地质数据方差的一半。因此 F_1 和 F_4 揭露的地质作用过程在研究区内具有较好的代表性。其因子得分见表 4，图 2。根据 52 个含矿样品来自辉石闪长玢岩、闪长（斑）岩、花岗闪长（斑）岩和花岗（斑）岩四类岩性，按其样品得分值在相应因子上的位置组成有次序的排列，因而可以按其四类岩性将 F_1 和 F_4 二因子轴划分成四个相应的区间。由图 2 可知：按四类岩性，在 F_1 上因子得分大于 -0.04 ， F_4 上小于 -0.38 时为辉长闪长岩-辉石闪长玢岩区； F_1 在 $-0.04 \sim -0.5$ 之间， F_4 在 $0.5 \sim -0.38$ 间为辉石闪长玢岩、闪长（斑）岩和石英闪长（斑）岩的区间； F_1 在 $-0.5 \sim -1.0$ ， F_4 在 $0.5 \sim 1.5$ 之间为花岗闪长（斑）岩； F_1 小于 -1 和 F_4 大于 1.5 时，属于花岗岩，二长花岗岩区间。由图 1—2 可知，在 F_1 上随着因子得分的减小，其岩性由辉石闪长玢岩依次变为闪长岩、石英闪长岩、花岗闪长岩、花岗岩；而 F_4 上随着因子得分的减小，其岩性由花岗岩依次变为花岗闪长岩、石英闪长岩、闪长岩、闪长玢岩。这些岩性有次序地渐变关系说明研究区内含矿岩体是由中基性到酸性，即由辉石闪长岩→闪长岩→花岗闪长岩→花岗岩完整的演化系列^[7]。这个演化系列正好被 F_1 和 F_4 的样品得分清楚地揭露出来。所以，在探索岩石化学成分与矿床成因之间的关系时可以应用因子得分与岩石系列之间的这种关系作成的图 2 进行直观分析。

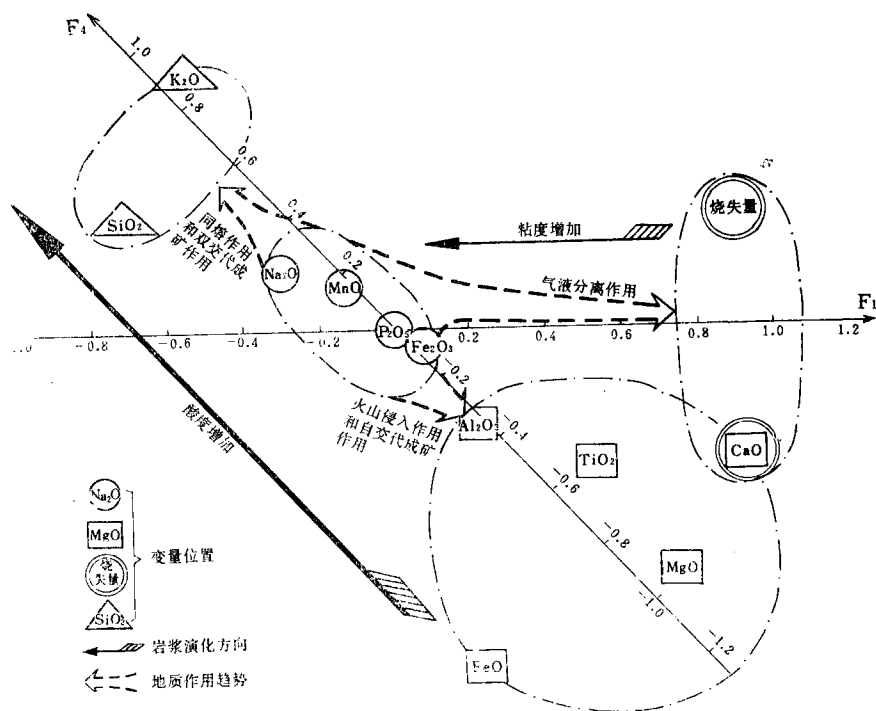


图 1 长江中下游地区含矿岩石化学样品斜主因子 F_1 、 F_4 载荷平面点聚图

长江中下游地区中-酸性岩类岩石化学数据的因子分析结果 表 4

| 序号 | 岩石名称 | 样品号 | 岩石名称 | R-型 promax 斜主因子得分矩阵 | | | | | | Q-型 Miesch 斜因子组分载荷矩阵 | | |
|----|------|-----|--------|---------------------|---------|---------|---------|---------|---------|----------------------|--------|--------|
| | | | | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 | 1 | 2 | 3 |
| 1 | 梅山 | 2 | 辉石闪长玢岩 | 1.6615 | 0.7691 | 0.3076 | -1.1117 | 3.4710 | 0.6465 | -0.0099 | 0.1170 | 0.8934 |
| 2 | 泰山 | 2 | " | 2.0393 | 0.1695 | 0.9953 | -1.4344 | 0.2413 | -0.9157 | -0.0175 | 0.0846 | 0.9329 |
| 3 | 牛首山 | 2 | " | 1.1104 | 0.9699 | -0.6668 | -1.6818 | 1.1068 | 1.1663 | 0.0124 | 0.0157 | 0.9720 |
| 4 | 卧儿岗 | 2 | " | 1.7733 | 0.3994 | 0.3593 | -1.6843 | -0.5301 | -0.2570 | 0.0000 | 0.0000 | 1.0000 |
| 5 | 吉山 | 3 | " | 0.7772 | 0.6395 | 0.4922 | -1.6847 | 0.6901 | -0.2166 | 0.0059 | 0.0420 | 0.9521 |
| 6 | 凹山 | 2 | " | 0.1416 | 0.5736 | 1.2977 | -0.9613 | 0.3125 | 1.2770 | -0.0196 | 0.1619 | 0.8577 |
| 7 | 陶村 | 1 | " | -0.4517 | -0.1465 | 0.9358 | -1.1798 | -0.5655 | 0.8722 | -0.0115 | 0.1273 | 0.8842 |
| 8 | 落星 | 1 | " | -0.4047 | -0.0201 | 1.4539 | -0.3898 | 0.4247 | 1.4882 | -0.0269 | 0.2864 | 0.7405 |
| 9 | 和尚 | 1 | " | -0.3362 | 0.7169 | 0.7106 | -1.2276 | 1.3539 | 1.4592 | -0.0014 | 0.1331 | 0.8683 |
| 10 | 南山 | 2 | " | -0.1061 | 0.9952 | 1.6055 | -0.9872 | 0.4422 | 1.4678 | 0.1616 | 0.1200 | 0.1784 |
| 11 | 向山 | 1 | " | -0.0650 | 1.3670 | -0.3781 | -1.7398 | -0.0454 | 0.8460 | 0.2051 | -0.285 | 0.8234 |
| 12 | 马鞍山 | 1 | " | -0.0543 | 2.7330 | 1.7025 | -0.6164 | 2.7802 | 1.3743 | 0.1433 | 0.1722 | 0.6845 |
| 13 | 黄山 | 1 | " | -0.0532 | 1.5675 | 1.6256 | -1.2020 | 1.4450 | 1.4469 | -0.0090 | 0.1363 | 0.8727 |
| 14 | 和山 | 2 | " | 0.7962 | 1.8153 | 1.0819 | -1.2180 | 0.5151 | 0.9675 | -0.0181 | 0.1173 | 0.9008 |
| 15 | 姑山 | 4 | " | 2.1604 | -0.6750 | 0.3676 | -0.8020 | -0.0008 | 0.6112 | -0.0396 | 0.1444 | 0.8952 |
| 16 | 白象山 | 3 | " | 1.8870 | -0.5130 | 1.5667 | -0.9574 | 0.1334 | -0.9477 | -0.0419 | 0.1600 | 0.8819 |
| 17 | 钟山 | 5 | " | 0.3510 | 0.2090 | 0.1070 | 0.2797 | -0.2811 | 0.5568 | -0.0358 | 0.3802 | 0.6556 |
| 18 | 其林山 | 1 | " | 0.965 | 0.3459 | 1.4880 | -0.9192 | -0.3807 | -0.1126 | -0.0277 | 0.1848 | 0.8430 |
| 19 | 凤凰山 | 1 | " | 2.0710 | 0.1950 | 1.0258 | -0.5859 | -1.9588 | -0.5470 | -0.0371 | 0.2338 | 0.8033 |
| 20 | 龙山 | 1 | " | 0.2425 | 2.3815 | -0.7033 | 0.6412 | -0.1354 | 3.0676 | -0.0347 | 0.3739 | 0.6608 |
| 21 | 钓鱼山 | 1 | " | 1.6766 | -0.7836 | -0.2630 | 0.0373 | 0.1164 | 0.6592 | -0.0533 | 0.2791 | 0.7742 |

| 序号 | 岩体名称 | 样品数 | 岩石名称 | R-型 promax 斜主因子得分矩阵 | | | | | | Q-型 Miesch 斜因子组分载荷矩阵 | | |
|----|-----------|-----|--------|---------------------|---------|---------|---------|---------|---------|----------------------|---------|---------|
| | | | | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 | 1 | 2 | 3 |
| 22 | 鄂城 | 22 | 二长花岗岩 | -1.8580 | -2.2546 | -1.4270 | 2.3219 | -0.5157 | -1.6066 | 0.0000 | 1.0000 | 0.0000 |
| 23 | 铁山 | 48 | 石英闪长岩 | -0.27150 | -0.4731 | 0.7027 | 0.6013 | 0.0691 | -0.5501 | 0.3835 | 0.4163 | 0.2002 |
| 24 | 金山店 | 54 | 二长花岗岩 | -0.9831 | -0.7907 | -0.1917 | 1.5055 | 0.2552 | -0.5408 | 0.0242 | 0.7320 | 0.2438 |
| 25 | 灵乡 | 23 | 黑云母闪长岩 | -0.6882 | 0.1043 | 1.0072 | -0.0364 | 0.5341 | -0.2361 | 0.3943 | 0.2921 | 0.3136 |
| 26 | 阳新(铜录山地区) | 82 | 石英闪长斑岩 | -0.5241 | 0.5880 | -0.3384 | 0.3079 | -0.7954 | -0.4359 | 0.4102 | 0.3718 | 0.2180 |
| 27 | 阳新(东南端) | 16 | 花岗闪长斑岩 | -0.9537 | -0.2151 | -0.7378 | 0.6394 | -0.1690 | 0.0816 | 0.7352 | 0.1840 | 0.0808 |
| 28 | 殷祖 | 6 | 石英闪长岩 | -0.9418 | 0.1614 | -0.7275 | -0.4189 | -0.0801 | -0.6686 | 1.0679 | -0.3809 | 0.3130 |
| 29 | 姜桥 | 4 | 花岗闪长岩 | -1.2617 | 2.3195 | -0.2378 | 1.3254 | -0.7706 | -1.2454 | 0.0641 | 0.5916 | 0.3443 |
| 30 | 铜山口 | 9 | 花岗闪长斑岩 | -0.4329 | -0.2097 | -1.4072 | 1.2859 | -0.5436 | -0.9281 | 1.0000 | -0.0000 | -0.0000 |
| 31 | 何锡铺 | 3 | " | -1.7024 | -0.9063 | -0.0109 | 1.8912 | -1.2150 | -0.1249 | 0.3755 | 0.6248 | -0.0003 |
| 32 | 龙角山(付家山) | 2 | " | -0.8554 | -0.6571 | -1.1301 | 0.5243 | -1.0207 | -0.8207 | 0.6545 | -0.1315 | 0.4770 |
| 33 | 封山洞 | 5 | " | -0.07647 | -1.6117 | -0.8871 | 1.1267 | -1.5784 | -0.8428 | 0.6691 | 0.3433 | -0.0124 |
| 34 | 东雷湾 | 4 | 石英闪长斑岩 | -0.6861 | -0.7237 | -0.8030 | 0.1830 | -1.5988 | -0.9742 | 0.7974 | 0.1215 | 0.0810 |
| 35 | 武山 | 8 | 花岗闪长斑岩 | -0.0892 | -1.0615 | -1.1317 | 1.2007 | -0.8556 | -1.5119 | 0.6861 | 0.3551 | -0.0411 |
| 36 | 城门山 | 11 | 花岗闪长斑岩 | -0.3953 | -1.7364 | -2.2647 | 1.4669 | -0.8274 | 0.2664 | 0.6701 | 0.3563 | -0.0264 |
| 37 | 铜官山 | 8 | 石英闪长岩 | -0.7200 | -0.3274 | -0.0992 | 0.2068 | 0.2706 | -0.9761 | 0.6077 | 0.2162 | 0.1761 |

续表 4

| 序号 | 岩体名称 | 样品数 | 岩石名称 | R-型 promax 斜主因子得分矩阵 | | | | | | Q-型 Miesch 斜因子组分载荷矩阵 | | |
|----|---------|-----|--------|---------------------|---------|---------|---------|---------|---------|----------------------|---------|---------|
| | | | | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 | 1 | 2 | 3 |
| | | | | | | | | | | | | |
| 38 | 金口岭 | 7 | " | -0.4580 | -0.5889 | 0.1817 | 0.3319 | -0.2238 | -0.9186 | 0.6111 | 0.2153 | 0.1736 |
| 39 | 狮子山 | 2 | " | -0.3265 | 0.1748 | -0.1497 | 0.4930 | -0.7988 | -0.8371 | 0.6574 | 0.2531 | 0.0895 |
| 40 | 凤凰山(铜岭) | 26 | 花岗闪长岩 | -0.7785 | -0.5540 | -0.4361 | 0.6793 | -0.3272 | -0.6938 | 0.6753 | 0.2773 | 0.0474 |
| 41 | 小江山(南岭) | 3 | " | -1.1114 | -1.0638 | -0.4749 | 1.1591 | -0.4457 | -1.0492 | 0.6741 | 0.3612 | -0.0353 |
| 42 | 新桥 | 6 | " | -0.4389 | -0.4393 | -1.0805 | 1.3011 | -0.5245 | -0.1195 | 0.5100 | 0.3516 | 0.1384 |
| 43 | 月山 | 11 | 闪长岩 | -0.2086 | -0.4544 | 1.0584 | -0.1784 | 0.4069 | -0.4764 | 0.5791 | 0.1540 | 0.2669 |
| 44 | 大鲍庄 | 2 | 闪长玢岩 | 0.8365 | -0.3798 | 1.3236 | -0.3391 | 0.9037 | 0.0104 | -0.0501 | 0.2690 | 0.7811 |
| 45 | 杨山 | 4 | 正长闪长岩 | 0.4324 | 0.0264 | 0.1255 | 0.5802 | -1.0388 | 0.9084 | 0.0458 | 0.4186 | 0.6272 |
| 46 | 罗河溪 | 2 | 闪长玢岩 | 1.3474 | 0.8472 | -1.1089 | -0.1112 | 0.5682 | 0.9586 | -0.0285 | 0.2754 | 0.7531 |
| 47 | 沙溪 | 13 | 闪长斑岩 | -0.1298 | 0.0773 | 0.2459 | 0.2559 | 0.2603 | 0.9561 | 0.8048 | -0.1128 | 0.3079 |
| 48 | 铜山(贵池) | 2 | 花岗闪长岩 | -0.8179 | -0.6396 | -1.3247 | 0.4739 | -0.4758 | -0.4839 | 0.5176 | 0.3956 | 0.0868 |
| 49 | 射鸟山—九华山 | 5 | 花岗闪长斑岩 | -0.8853 | -0.8889 | -0.1600 | 0.8743 | -0.1480 | -0.8222 | 0.6766 | 0.3025 | 0.0209 |
| 50 | 下蜀—高资 | 4 | 花岗闪长岩 | -0.5969 | -0.5891 | -0.9605 | 0.7106 | -0.5130 | -0.5905 | 0.6743 | 0.2813 | 0.0445 |
| 51 | 徐湾—韦岗 | 4 | 花岗闪长斑岩 | -0.3337 | -0.7854 | -1.4849 | 0.5451 | 2.1488 | -1.4533 | 0.5270 | 0.3907 | 0.0824 |
| 52 | 徐县铜矿 | 10 | 石英闪长玢岩 | -0.9502 | -1.2395 | -1.1825 | 0.3677 | -0.0859 | 0.8152 | 0.6219 | 0.1984 | 0.1797 |

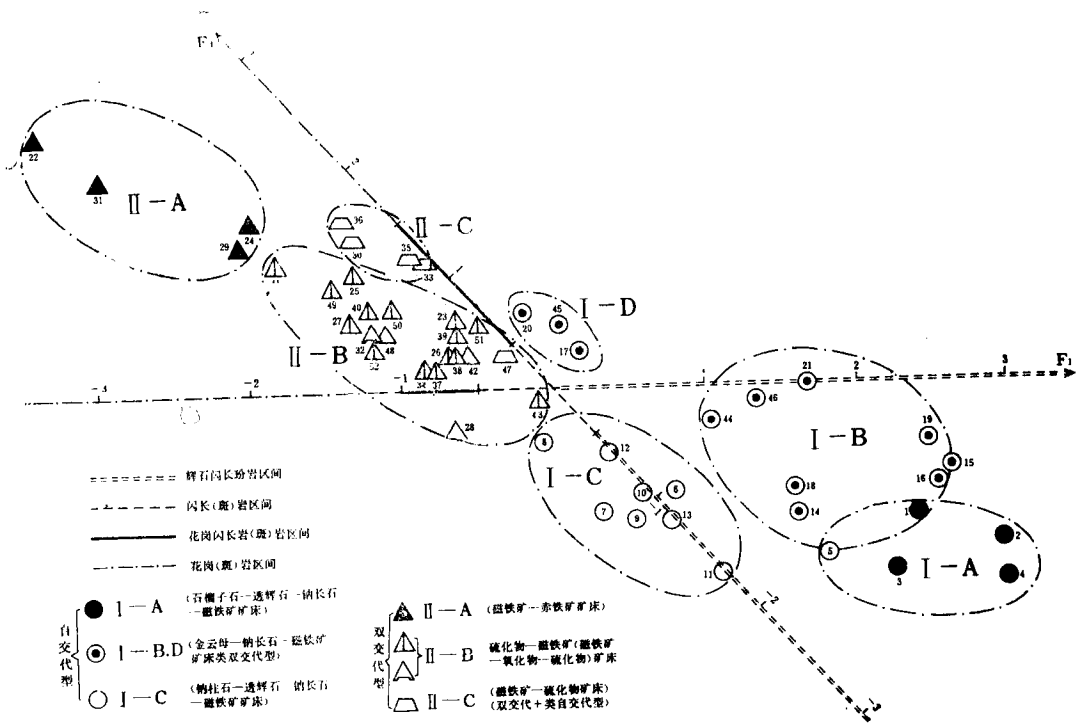


图 2 长江中下游地区含矿岩体岩石化学样品斜主因子 F_1 、 F_4 得分平面点聚图

根据图 2 上各样品与因子的关系可以把 52 个含矿岩体的样品分成 I 和 II 二组。I 组样品有 25 个，分布在由 F_1 和 F_4 组成的辉石闪长玢岩的范围内，它们是玢岩铁矿的成矿母岩。II 组样品共 27 个，分布在 F_1 和 F_4 的闪长岩、石英闪长岩、花岗闪长岩和花岗岩区间组成范围内，它们是矽卡岩型矿床、斑岩型矿床和复合矿床的成矿母岩。因此，图 2 的 I 组属中-基性岩类的分布区；II 组属中-酸性岩类的分布区。

又按样品的自然分布趋势可将 I 组样品分成若干亚组它们是：

- I—A 亚组，属宁芜火山岩盆地北段的梅山成矿区，它是碱质交代作用和气液分离作用的过程中铁质矿浆分离后的贯入矿床，与这类矿床有成因联系的辉石闪长玢岩的基性程度在区内最高；
- I—B 亚组，属宁芜火山岩盆地南段为主的凤凰山式和姑山式铁矿床，该矿床虽然都经受了碱质交代、气液分离作用和矿浆贯入的地质作用过程，但气液分离作用对它的影响更突出，所以它是属于强烈气液分离后铁质矿浆贯入的矿床；
- I—C 组，属宁芜火山岩盆地中段的芜湖附近的陶村、凹山式矿床，该类矿床主要受强烈的碱质交代作用后形成的岩体内浸染型矿化为主的玢岩铁矿床；
- I—D 亚组，属庐枞火山岩盆地为主的具凤凰山式特征的铁矿床，它受气液分离作用的影响和兼有同熔岩浆特征的一类矿床，与其有成因联系的母岩浆的酸度比 I—A、B、C 都高。

II 组可划分为：

- II—A 亚组，分布在鄂东南地区内，与花岗岩和二长花岗岩密切相关，以 Fe—O 建造

为主。与该类矿床有关的侵入岩的原始岩浆是在地壳深部经过强烈同熔作用、侵入到地壳后又与钙质围岩发生接触交代作用后形成的矽卡岩型铁矿床，其母岩浆的酸度和粘度都比较大。

II—B 亚组，共有 20 个含矿岩体，分别分布在鄂东南、铜陵、宁镇等地区。其成矿元素组合较复杂，有 Fe—O、Fe—S、Mo—S、Cu—S、Pb—Zn—S 和 W—O 等建造。与这类建造有关的岩性属闪长岩-石英闪长岩-花岗闪长岩类和相应的斑岩类。其母岩浆是经过强烈同熔作用后侵入到地壳上部，又与钙质围岩发生接触交代作用的地质成因类型的特征决定了相应的矽卡岩型矿床的成矿特征。它们与花岗闪长岩和闪长岩关系密切。

II—C 亚组，分布在赣西北的九江—瑞昌地区，其成矿元素组合极为复杂，在同一个矿床上可同时出现 Fe—O、Fe—S、Mo—S、Cu—S、Pb—Zn—S 等建造，其中以硫化物建造为主。与这类矿床有关的侵入岩类属花岗闪长斑岩，其母岩浆在地壳深处经过强烈同熔后，侵入到壳层上部时，岩体中造岩矿物冷却结晶的同时，硫化物随后在岩体中分离交代成矿，但在接触带上，也有部分地段发生接触交代作用而形成属矽卡岩型的铜、铁矿床，因而这一亚组属矽卡岩-斑岩型复合矿床。

为进一步论证上述的有关论断，我们选用 Miesch 斜因子组分载荷矩阵（表 4）的恒定和组分数据（即 52 × 19）。取用前三个因子达到累计方差贡献为 87%。根据因子载荷作成的三角形图解（见图 3），据样品在三角图解上的自然分布，我们可以将三角形划分为 I、

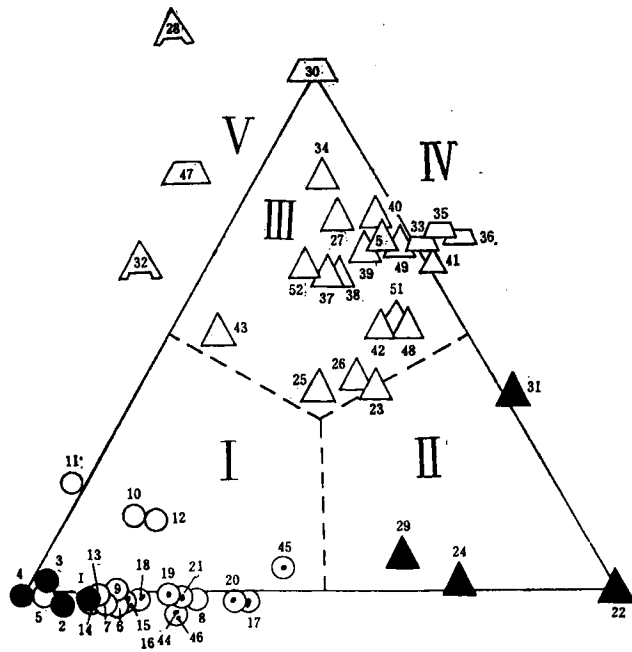


图 3 Miesch 斜因子组分载荷图解（图例同图 2）

F₁—岩浆同熔作用（类自交代）双交代氧硫化物（W—Mo）型矿床

F₂—岩浆同熔作用双交代磁铁矿—赤铁矿矿床

F₃—火山—侵入作用自交代磁铁矿矿床

II、III、IV、V五个区，其中：

I区—与图2中的I—A、I—B、I—C、I—D相对应；

II区—与II—A相对应；

III区—与II—B相对应；

IV区—与II—C相对应，它是由斑岩型和矽卡岩型矿床同时出现的复合型矿床分布区，且逐渐向斑岩型矿床过渡；

V区—是斑岩型向玢岩型过渡的矿床分布区，其矿物组合主要是MO—S、W—O、Cu—S建造，基本特征与玢岩铁矿的建造相近，但其成矿母岩浆经过同熔作用后侵入到上层地壳形成的岩体和矿床。

综上所述，我们将研究区内的矿床划分成六类（详见表5）。并将表5的分类标在长江中下游地区矿化集中区分布图上（图4）。

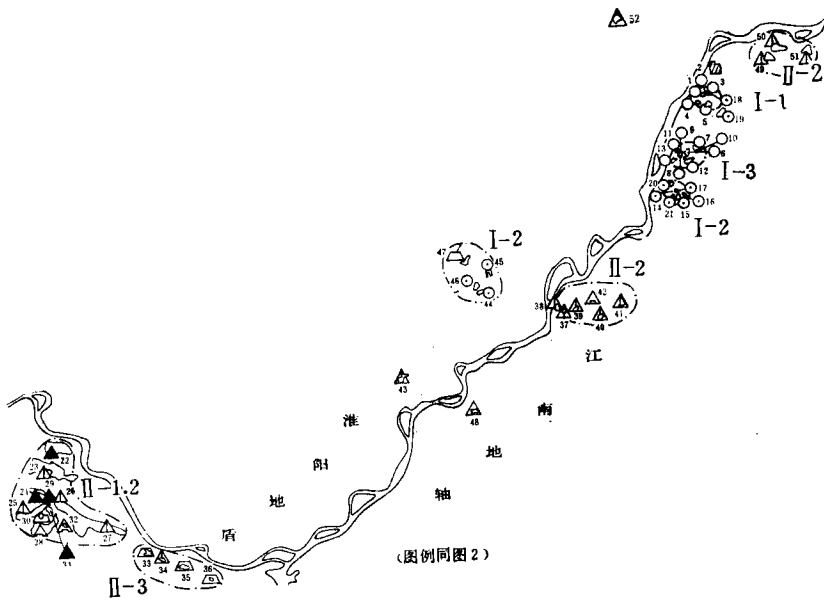


图4 长江中下游地区矿床岩浆成因分类和矿化集中区分布图（图例同图2）

这样我们把长江中下游地区划分成以下八个矿化集中区：

1. 宁芜火山岩盆地北段矿化集中区（I—1）；
2. 宁芜火山岩盆地南段矿化集中区（I—2）；
3. 宁芜火山岩盆地中段矿化集中区（I—3）；
4. 庐枞火山岩盆地矿化集中区（I—2）；
5. 鄂东南矿化集中区（II—1和II—2）；
6. 铜陵矿化集中区（II—2）；
7. 宁镇矿化集中区（II—2）；
8. 九江-瑞昌矿化集中区（II—3）。