

# 工藝礦物

PROCESS MINERALS

(译文专辑之一)

中国有色金属学会选矿学术委员会  
中国选矿科技情报网

1987.6

1987年6月

工 艺 矿 物

专辑

---

美国工艺矿物学论文集(第二卷)  
译文专辑之一

中国选矿科技情报网

# 工 艺 矿 物

第1期 (总第11期)

1987年6月

## 目 录

- 矿物学工业应用之回顾..... *G. C. Amstutz* (1)
- 通用图像处理系统 (GIPSY) 应用于选矿研究..... *J. R. Craig*等 (5)
- 亚拉巴马州伯明翰沉积铁矿石中含磷矿物颗粒的性质及其可选性的评价.....  
..... *R. D. Hagni*等 (13)
- 工艺矿物学的过去, 现在和将来..... *R. D. Hagni* (24)
- 尾矿中损失的矿物之电子探针自动检测..... *G. Springer* (29)
- 岩相显微镜在波特兰水泥制造和有关质量控制中的应用..... *R. L. Werner* (33)
- 钛磁铁矿集合体在新西兰铁矿重选中的作用..... *J. L. Watson*等 (37)
- 从含砷镍矿中分离砷..... *A. S. Block-Bolten*等 (45)
- 含金黄铁矿精矿的焙烧..... *F. J. Arriagada*等 (50)
- 用作胶凝材料的磨细粒状高炉渣..... *F. J. Hogan* (58)
- 优选法配料在橄榄石耐火材料方面的应用..... *R. E. Moore* (65)
- 密苏里煤脱硫..... *M. H. Ertien* (71)

# 矿物学工业应用之回顾

G. C. Amstutz

矿物学工业应用这一题目牵涉到一个广阔的领域，它足以单独地写一本大部头的书，要不然是在花二至三学期进行讲授的课程。本文应工艺矿物学委员会的要求，回顾在该领域中作者的经历。

因此，本文主要是对工业矿物问题的叙述，这些问题是从我的学生时代起就曾涉及到的。虽然，我将只是概括地论述其应用之各个方面，但还是希望能对该领域的学生们举例说明矿物学方法之应用是何等多样。在这一方面，我想强调对矿物学老师来说在他们的课程中更加经常地指出矿物学方法的用处是很重要的。这不仅是为工业发展帮助训练经验不足的专业工艺人员，而且对世界科学工作者而言要唤起他们的普遍的责任感，这也是很重要的。当教授们在他们的矿物学方法的讲授中利用各种应用实例时，那学生们对学习这些方法的意义就会有更好的理解，并珍视这多年的必要的大学准备。

第一项大约是在1944年，我作为Paul Niggli教授的学生被卷入从事矿物学方法的应用。他被邀请研究飞机两翼上冰花结晶的问题。这种冰形成于高空和冬季。这并非超越了他的专业领域，因为他是瑞士雪花研究所的主要创始人。我相信该研究所的工作在促进其后在美国军事雪花研究中心进行雪花研究方面是一个重要的因素。这一研究中心在当时是位于靠近墨西哥州的Willmette。Paul Niggli的早期学生之一的Bader博士是当时在Willmette的研究所所长，并在日后连任了很多年。

一个矿物学家——结晶学家能对更好地了解雪花与冰花的形成、雪崩的危险和预防冰雹等问题作出重要的贡献。雪花结晶的习性主要是和温度与湿度有关，同时根据这些参数制图，把雪花形成的条件供作为预报天气的辅助手段。

为了雪崩的预报，定期调查了雪层的岩石学。雪层是属一种沉积岩类型，它经受了成岩作用的堆积压实，并以非常类似于其它沉积岩的方式再结晶，尽管这些过程通常以比较快的速度发生。雪花与冰花层的切片必须在零下的试验室中进行研究以防止其融化。为此，定期地用偏光显微镜测定粘附凝聚的程度和由于增压溶解，临时融化，或两种因素都具有而引起的再结晶所形成的块体。除了对极地的勘探和冰川学有重要意义外，雪花的研究在北极的防务规划中亦起了重要的作用。

所谓的人工降雨和那些致力于阻止破坏性冰雹出现的地区，多少是与上述主题有关的。我和这一领域的接触是在我首次作为专业雇员期间，那是在秘鲁的安第斯山。冰花细微结晶体具有如同云母、粘土和大概是碘化银的六方片状结晶，其结晶的基本原则建立在成核与外延生长的联合作用上。将这些粒子射入空中或由飞机撒入云层上。尽管这些努力的成功尚有许多争论，而且错误结果的解释一直很困难，但矿物的成核作用与外延生长的原则是在这一应用背后的基本概念。

当我还是一个学生时，我应邀协助一位讲师分析瑞士南部土壤中的矿石与粘土碎屑，该

地区的羊遭受显然是由于有毒的微量元素引起的病害。测定土壤中的风化产物或矿物碎屑，以及归根结蒂测定土壤中施放有毒微量元素的原有的造岩矿物和岩石是很重要的。硒是这种元素，它有选择地聚集在某种植物中，羊吃了这些植物而闹病。

我的老师之一Francis de Quervain博士当时是土工技术问题瑞士委员会的负责人，这一委员会是在Paul Niggli的倡议下创立的，他担任了委员会的首任主席。该委员会的主要任务与包括岩石物理性质、岩石力学、风化以及编制瑞士土工图在内的诸问题有关。

de Quervain教授的一个主要业务涉及到建筑石料的风化，特别是通过应用阻碍剂来阻止其风化的方法研究。由于他的工作使我其后变得对李塞根(Liesegang)环和天然剥落的问题感到兴趣。随后在统计上将这两种现象联系起来，并表明李塞根环的宽度主要与岩石、建筑石料或任何人造团粒的颗粒大小有关是可能的。在某种条件下这些李塞根环或带可能导致剥落。将各种组分渗入多介质中的近代实验已使得抑制或延缓李塞根环的扩展和剥落成为可能。

另一方面值得注意的是褐铁矿的李塞根扩散环在建筑石料中不是总能避免的。有些建筑师选择象Solnhofen——结晶片岩板这样一种石料作为装饰。而宝石工业甚至当作画石以昂贵的价格来出售这些岩板。

首先在罗拉，接着在海得尔堡进行广泛的扩散试验，导致了在其它应用领域如矿石成因方面取得显著效果，将扩散环的统计结果应用于矿床中氧化带的空间分布研究，可以毫无例外地看到扩散面的分布在统计上不一致是很明显的。随后，据四种不同途径所得到的论据，排除了选择性迁移和选择性置换有利层位或岩石类型的理论。因此，均一性至少与这种外成的扩散或迁移元素的传输方式是不相容的。取矿石的薄片与光片进行显微镜观察也得到了同一结论。由于矿物学在矿石成因和勘探方面应用的范围是如此广泛和重要，因此这些应用有待另找时间来讨论。

我与工业矿物学打交道的另一未意料到的机会是我对Locarno钟表宝石工厂的参观，在该厂用Verneuil工艺生长人造红宝石晶体，然后垂直结晶轴切割。靠大约十几名妇女用偏光显微镜来检查这些定向小薄片。她们迅速地检查定向的质量，排除那些偏离中心太远的薄片。就当时而言，我从未见过任何学院像这个钟表宝石工业那样有那么多偏光显微镜。

在大学和工学院所教的矿物学方法的另一工业应用是以适应的正确的方法选择云母叠片并切割它用作炉子的观测窗孔和焊接用防护罩。长期以来云母废料被丢弃浪费了，直到有人发明了抗水纸Syntosile——这是一项现在为许多国家(包括美国)所使用的瑞士专利。对地质制图而言，由这一非常坚韧的矿物纸制作的地形图和制图纸是理想的，特别是在潮湿地区和地下。

如果我们能将天然和人造的矿物按许多工业上的应用进行分类，重新应用的废料物质的种类会是相当多的。发现原来被废弃物质的用途之调查显示出了许多创造性的想法。这些想法通常是由于提出它们的岩石学家努力的结果。这些岩石学家都注视着相邻领域并且与他们自己的工作与公司紧密结合在一起。

在这次AIME年会上，本论文集和各章中都约有5~10%的论文是论及废弃物料或利用或可能利用方面情况的。如像从飞灰中回收金属和从尾矿中提取矿物和金属这种课题是两个例子。将圣海伦山(St. Helen)火山灰用于陶瓷也许是多少有关的又一个例子。

废料重新利用的独创性和财政上的投资是保护我们环境的很有建设性的和积极的办法。

只要用政治上和某些环境学者的过激组织之激进演讲的进取力一半的力量来直接投入前述废料重新利用的工艺研究项目上，那我们周围的这个世界将会是一个更美好、更安宁的地方。

言归正传，我想简要地记述工程地质上的岩石学、岩相学和矿物学方法的广泛应用。一个地质学家或一个岩石学家具有岩石风化、蚀变、应力与变形现象方面的坚实知识，可以对一个岩石巷道墙在没有混凝土挡板的情况下就如何竖立好与竖立多长时间的问题提供一个较确切的判断，在不知道所谓的工程问题和岩石力学的情况下也能对付。此外，在岩矿鉴定方面有坚实基础的人能易于识别粘土矿物蚀变的有害迹象或硬石膏带。在许多地基和道路施工问题上的应用可以作出同样的叙述。那些叫做路面碎石或覆盖粒料的东西以及磨料的质量都是和原料矿物学和化学性质直接相关的，使用中应有技术说明。

由于在本学术讨论会上大约有30%的论文涉及到矿物学在陶瓷、水泥和炉渣方面的应用，我想从个人的经验中只提两个例子。我在秘鲁服务的那个公司生产他们自己的硅砖，常规检验窑中出来的砖是我的矿物实验室的职责，检验石英转变为方石英、鳞石英、中间玻璃以及未转变的或亚稳定的石英的数量和比例。将转化很少的物料象用过的砖一样与进厂的石英砂原料一起再磨。证明了玻璃相在炼焦炉中是很有害的，需小心避免产生。这一事实是在矿物实验室中通过系统的显微镜鉴定后确定的。

另一实例是显微镜方法应用于炉子中砖墙的损坏研究，以确定这种损坏的矿物学原因。发现在电热炼锌炉内铬镁砖是由于熔融而受侵蚀，这种侵蚀只限于基体，而方镁石与铬铁矿颗粒依然保持完整。

再回到硅砖制造方面的应用上来，我们进行了包括有廉价和昂贵的添加剂在内的许多试验，其目的是降低转变温度和节约燃料。对许多不同产地的石英岩进行试验以后发现对任何添加剂而言上好的料是天然的受过构造应变的石英岩。对此易于在显微镜下进行观察。呈现高度波状消光的石英表明其晶格已预先产生了畸变。应力变形的石英颗粒所贮存的晶格能显然有助于改善向较高温度转变的条件。

此外，在原料石英岩的显微镜检验方面有害伴生矿物如粘土、云母、过多的长石，铁的氧化物等的检出也有同样重要的意义。

在秘鲁的矿物实验室中曾将反光显微镜应用于其它工业方面。冶炼厂管理部门曾经报导过在锌矿石球团焙烧过程中锌的大量损失。显微镜研究指出在某些情况下，闪锌矿中的铁与锌和残留的黄铁矿中的铁结合生成了硅锌矿\*，这是一种Zn—Fe氧化物的固溶体。在焙烧成红锌矿和磁铁矿的过程中所需要的是纯粹的分别分解。曾在试验场所进行显微镜观察以图确定避免锌通过与铁的结合而造成的损失。这种矿物学故障的查明对火法冶炼有重要帮助。

工艺矿物学的一个非常有意义的领域是钼与炉渣的显微镜研究。这些产品可被看作是人工造岩浆岩，因而一个有宽阔思路的岩石学家会认识到在那些炉渣与钼中的相及结构与自然界所发现的火成岩中的相和结构极为相似。事实上，早在本世纪中期矿物学家——岩石学家C. C. von Leonhard就撰写了一本关于自然界的岩浆岩过程与冶炼过程极为相似的书。

当我受雇于秘鲁 Cerro de Pasco 公司作为一名工艺矿物学家工作时，给我的实验室提出的问题之一是确定炉渣的组成以及渣中铜损失的原因，要求鉴定那些渣中转炉产出的磁铁矿的形成程度与相互关系，并与反射炉生产的磁铁矿相比较。这需要了解哪一种磁铁矿变体捕获损失于尾矿中铜的大部分。经反光显微镜研究指出渣中的磁铁矿基本上是树枝状的。

\*原文如此。实为铁酸锌——译注。

反射炉渣中的磁铁矿是细粒状，相当困难的问题是铜以一种铜的铁酸盐——铜铁矿的形式损失。其根本原因要追溯到矿山中矿石性质的变化。一个矿山含有局部富集的赤铜矿矿囊，开采者非常高兴将这种原料与普通硫化矿一起装运，因为赤铜矿有助于增加他们每月的铜产量。为了解决这个问题需要他们将几乎等量的硫化矿精矿和赤铜矿配在一起。众所周知过量的赤铜矿引起在渣中铜的铁酸盐的生成。经反光显微镜研究 出铜铁矿生长在粗粒反射炉所产磁铁矿晶体上，因此有些铜的损失是与粗粒反射炉磁铁矿有关的。其它类型的渣存在一些不同的问题。例如铅渣中部分铅可含在玻璃质或长石基体里。

有事业心的工艺矿物学家在许多部门中可以是一个重要助手，例如他能帮助警察和律师解决工厂中由于粗心或故障出现的问题。有一次，我收到被扔到马达要害部位的一个小砂袋，矿物分析有助于追查物质的来源和可能的肇事者。

铜精炼厂中的一个问题涉及到生长在两个电极间的铜枝状晶体的形成过程。这一原因追溯到始极板的晶粒大小。细晶粒板延缓枝晶的生长。

我在秘鲁期间，在密苏里采矿学校（现在是密苏里—罗拉大学）时，以及甚至在今天，我一直是致力于选矿显微镜研究的，而到海德堡大学时，我非常高兴地看到我与Ramdohr教授共同分享这种兴趣。

本论文集集中有几篇精彩的论文论及到本课题。我谨向本领域中正在开展有成效工作的同行们特别是向Claudia Gasparini, Petruk和Hagni博士们祝贺。我当然非常高兴地听到大约廿年前由美国地质研究所发表的我的连生体论文至今仍然是有用的而且不需要修改。基本连生类型的分类通过与Cerro de Pasco公司选矿部门的紧密合作已制定出来。那个部门的负责人Vandel先生是Gaudin教授的早期学生，因此熟知矿相显微镜能为浮选做些什么。

我认为这一点是很重要的，那就是勘探的管理部门与领导要认识到考虑一个新的地区潜在的有用矿物的选矿问题决不是过早的事情。有无数未经充分鉴定所有矿石矿物是否能富集之前就进行矿山与工厂施工的例子。完全依靠矿石的化学分析是不够的。同样重要的是进行花钱相对不多的矿物学研究。这种研究应包括矿物的组成，粒度和连生形式以及分石中是否有有害的矿物相。通常鉴定矿石成分是物理的结合还是化学的结合，这一矿石将是否适于分选。

扫描电子显微镜的方法（许多基本原理在我们学院通过Giger数学博士与矿物学家——岩石学家Erkan博士合作而得到了很大发展）在选矿显微镜研究中也是有用的。它们在岩组学和岩石矿物的模型分析中是同样也是有用的。在岩石和金属机械强度性质的试验方面，它们是有帮助的，这些性质是与结构的非均匀性和连生特征的类型及强度有关的。

总之，上述的例子说明了矿物学应用于生产过程的一些方面，更多重要的领域的事例尚未被讨论者包括生物矿物学，考古学，包括古地理学，众多的陶瓷工艺以及应用于电子工业方面的压电晶体等广阔的领域。在宝石学方面矿物学有许多应用事例，由宝石的勘探开始到非常有意思的导致这些天然和人造矿物晶体着色的原因研究皆然。其它一些方面的应用包括工业矿物的许多领域，如沸石，硅藻土、蓝晶石、磨料和其它。还有用液体包体和石墨碳有机物质的反射率来测量地质温度。在石和矿石油的勘探方面这些方法将变得日益重要。

矿物学在勘探方面的应用已在南非举行的矿物工业中的矿物学应用国际讨论会上我的专题讲座中讨论过了。在这里我要强调的是对矿石中和矿体外围共生矿物研究的重要性。在过去的廿五年中，由我的学生和同事对五大洲沉积形成的矿石研究表明，围岩的成岩结晶次序包括了金属矿物，只有极少例外。这一信息对密西西比河谷和其它不同类型矿床的勘探是重

要的。它的重要性在于这一事实，即勘探应集中在地层学、沉积学和岩相分析上面而不是把重点放在未知的假定深部的某些“来源”上。

在矿石成因中，问题的顺序现在被颠倒了。今天我们首先问，“相对于脉石矿物来说有用矿物是什么时候生成的？”，金属从什么地方来的问题退居次要地位，这个问题已变得不如以前重要了。而且，通过应用显微镜方法而知道了矿石矿物的形成时间时对后一问题有时就作了部分回答，或者减少了可能的答案数目。

参考文献1篇（略）

田福纯 译 秋实 校

## 通用图象处理系统(GIPSY)应用于选矿研究

J. R. Craig, R. H. Yoon, R. M. Haralick,  
Ting Chen Pong, Woo Zin Choi

### 摘 要

通用图象处理系统现正用于对北美阿巴拉契山脉(Appalachians)南部和中部的复杂硫化矿进行定量结构分析，以及用于测定磨矿时矿物组分的解离特性。由装在显微镜上的电视摄像机或35毫米胶片得到的光学图象先转换成数字图象，再由通用图象处理系统的一个可传输的图象处理软件包进行分析。用此通用图象处理系统可以测定的性质包括：矿物组成的空间分布、颗粒大小、形状、取向，以及矿物的共生赋存状态。

### 图象处理在选矿中的应用

近年来，自动到半自动的图象处理系统在提供和分析矿石及其选矿产品的矿物学和解离数据方面已开始证明是有用的。这些系统将变得日益重要，因为它们比目前使用的人工方法能够更多更快地处理和分析数据。这些数据对于从大量较低品位的矿石中高效率提取金属是必要的，而这些较低品位的矿石将用于满足美国和世界的金属需要。

本文试图叙述通用图象处理系统对表征和分析矿石样品及选矿产品的实用性。证实了该系统的某些通用性；更详细的应用说明将在以后的文章中描述。

### 通用图象处理系统 (GIPSY)

通用图象处理系统是一个通用的图象处理软件包，采用人机对话形式，其设计便于使用、容易掌握、易于修改，也便于计算机之间的通用。它以单一的或复杂的图象作为处理对象，通过通用图象处理系统的指令，以整数或实数格式，可以进行180多种操作运算，对图象进行滤清、分类、几何图形空间转换传输、数字和符号形式的邻域递归处理、分区，以及建立相应的文件。通用图象处理系统便于用户使用，其全部文件编制是在线的和通过通用图象处理系统指令执行的。



通用图象处理系统的硬设备包括：一台Leitz Orthoplan显微镜，一台Hamamatsu 滨松C-1000型电视摄像机，一个用于传输图象的光导纤维系统，计算机用的调制-解调器，一个彩色电视监控器以及一台VAX11/780计算机。所处理的图象是直接来自显微镜，或取自从显微镜中拍摄到的原始图象的35毫米负片。负片的图象数字化是通过一台激光扫描器进行的，而显微镜的图象则是由Hamamatsu C-1000型摄像机进行在线数字化。所得数据存储在磁盘或磁带上。操作者可以在本校校园内的任何地方用声耦合器或标准电话机等方式与VAX计算机联系：即将指令输入调制-解调器，后者再通过电话线将指令输给计算机。在对话指令的指示下，通用图象处理系统将 $512 \times 512$ 图象显示于电视监控器上。这样，人们就可以用多种方式处理此图象，接收数据于调制-解调器中，于电视萤光屏上或在高速打印机上。将矩形图摄像系统与电视监控器相连接，可摄下35毫米的彩色照片，或在电视监控器上看到 $8 \times 10$ 吋的彩色图象。

同大多数其他系统一样，通用图象处理系统进行图象分析时也要先把原始图象再分成为 $N \times N$ 个象元（ $N$ 可由1000到5000）。由35毫米胶卷负片或直接由装在显微镜上的电视摄像机得到的原始图象，经数字化后存储于磁带或磁盘上。单个的颗粒，通常是根据它们不同的反射率（灰度级）来进行区分的。在目前使用的大多数其他系统中，是按灰度对象元逐一进行分类的。而通用图象处理系统则是通过确定包围每一个均匀相区域的边界，把图象分为若干小区来处理的（图1）。

对于边界算符及其函数，Haralick已有严密的数学上定义和描述，本文仅作定性介绍。



图1 由图4中图象分解成的各个小区，这些小区都是由通用图象处理系统确定进行分类和分析。小区的最小尺寸可以调节，以便在样品内消除不规则的表面。

所谓“小面模式”，在这里是用于进行分步边界检测。其原理实质是，据若干相邻象元

灰度值所作的任何分析均有其最终的与其灰度有关的可靠值，而相邻象元被视为干扰物。

有些是具有相同灰度的象元构成一个区域，而在有些象元构成的区域内灰度的情况却比较复杂。我们规定：如仅当一个象元中心的非零梯度方向上存在方向导数为零的点时，该象元为边界点。

为确定一个象元是否为边界点，要根据其邻域象元求出其灰度值。在这里利用一个由离散张量的线性组合构成的方程式来计算方向导数。一旦诸边界点全部确定，它们界定的区域也就确定了。为了区别于“颗粒”，我们称这种区域为“小区”。

当一个图象已经分成若干小区后，就可以根据其各自的状态对其进行处理。我们规定：每一小区全部象元灰度值的平均值即为该区的灰度值。灰度级共有255个，而小区的灰度平均值据报道精确到一个级的0.001。小区的大小，可以表示为该区的象元总数，或它所占总面积的百分数，或占同种状态面积的百分数。小区的形状，是根据其边界与理想形状的相关值确定。小区的位置，则是由其重心的X-Y座标来确定。

### 通用图象处理系统检测实例

撰写本文时，通用图象处理系统的程序为图象中的每一个小区提供13个独立的数据片(表1)。操作者可以于萤光屏上或在线打印机的复制件中选择所需要的数据。下面介绍应用通用图象处理系统的程序来研究北美阿巴拉契亚山脉南部和中部的细粒嵌布复杂块状硫化矿的结果。研究的样品是美国鸭城块状含铜和锌的磁黄铁矿-黄铁矿的矿石。原矿和经细磨及分级后的选矿产品的样品浇铸在冷凝固的环氧树脂中，并按文献所述的步骤进行抛光。

表1 用通用图象处理系统测定每一小区的选择参数

1. 面积=象元数；
2. 最大灰度值；
3. 最小灰度值；
4. 平均灰度值；
5. 灰度值方差；
- 6-7. 质量中心——行+列；
8. 短长轴比(该小区最接近的椭圆之短轴与长轴的比值)；
9. 圆度(半径标准离差与平均半径的比值)；
10. 最接近的椭圆之长轴与坐标纵轴(或横轴)的夹角；
11. 周长；
12. 梯度；
13. 斜面误差；

### 矿物鉴定

把图象分析应用于大多数矿物学的研究，都需要有一种区分不同矿物类型的方法。绝大多数的技术都是根据反射率的差异来区分的。如果矿物反射率之间的差异很大(例如黄铁矿的 $R\% = 53$ ，磁黄铁矿的 $R\% = 37$ ，闪锌矿的 $R\% = 17$ ，脉石的 $R\% = 5$ )，区分起来就比较容易。但是，如果 $R$ 的差异很小或可变(例如抛光、双反射、高密度包裹体或断口引起的)，区分就比较困难了。人们已经发现，有时虽然能够用肉眼区分黄铜矿与磁黄铁矿(根据其黄色的差别)，但图象分析系统(根据黑白灰度)却无能为力，因为这两种矿物对白光的反射率很接近。这种性质及其解决办法，可见图2和图3，其中表示了黄铁矿、磁黄铁矿、

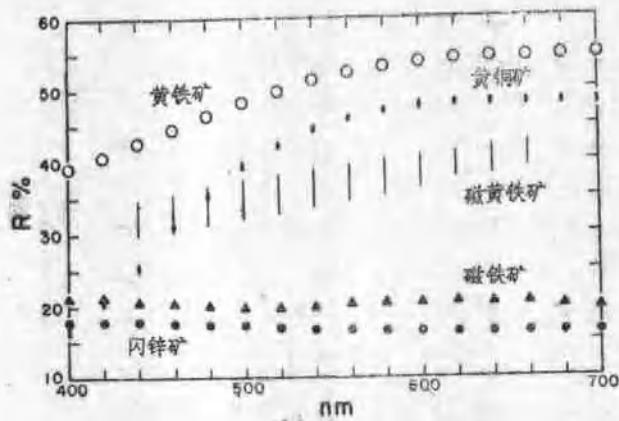


图2 北美阿巴拉契亚山脉中部和南部的块状硫化矿中几种常见矿物的反射率曲线



图3 使用单色光对物相分布的影响

(A) 用波长578nm的单色光，视场宽度0.6毫米。中心的连生体颗粒由黄铜矿（亮区）和磁黄铁矿组成，其余均为单矿物颗粒。

(B) 与(A)相同视域，但单色光波长为446nm。其中黄铜矿略于相邻的磁黄铁矿。

黄铜矿、磁铁矿和闪锌矿几种矿物在波长400—700nm间的反射率曲线及使用单色光进行鉴定的一个实例。在各种波长的光照下，黄铁矿、磁黄铁和磁铁矿之间的反射率差异均较明显；这种差异使得在良好抛光的样品中区分上述几种矿物比较容易。而黄铜矿的反射率曲线在波长小于460nm时是在磁黄铁矿的反射率曲线之下；但在波长约大于500nm时则在磁黄铁矿的反射率曲线之上。这样，如果所用单色光的波长范围在440—460nm或560—620nm时，区分这两种矿物就很容易实现。在440—460nm范围内，黄铜矿比磁黄铁矿暗一些，而在560—620nm范围内，黄铜矿则比磁黄铁矿亮一些。我们发现，用波长约580nm的单色光照射含黄铜矿的富磁黄铁矿矿石，然后用通用图象处理系统对所得图象进行分析，效果良好。

虽然矿物鉴定通常都是通过反射率的差异（灰度级）来实现的，但通用图象处理系统还能够根据粒度、形状或表面结构（即蚀孔度或包裹体数目）来进行鉴定。

### 面积分布

矿石或岩石中的矿物形状取决于矿物生长特征（例如黄铁矿和石榴石之类矿物具有较强的“结晶力”和特征的自形外貌）、最初成矿的环境（例如孔隙与结晶熔融的关系等）、过去沉积的历史（例如由于变质作用的再结晶或再碎裂）等因素。矿物颗粒的形状，反过来又可能影响破碎、磨矿及解离的方法。通用图象处理系统可根据短长轴比和圆度来定量确定颗粒的形状。短长轴比是与颗粒最相近的椭圆之短轴与长轴的比值。圆度是在旋转和标度颗粒之后进行计算，使其最相近的椭圆变成一个圆周。这样做以区分短长轴比与圆度的影响效应。圆度是换算后的颗粒半径标准离差与平均半径的比值，此平均半径是取自换算后的颗粒的质量中心。在Haralick提出的文献中介绍了这些参数的严密数学定义。在图4和表2中列出了几种理想形状和一些复杂硫化物矿石中实际颗粒的短长轴比和圆度测定的实例。这种形状分析法也可用于分析不同选矿阶段的颗粒。

表2 理想的和实际的图形的短长轴比和圆度参数

理想图形是由通用图象处理系统的操作指令产生的。实际图形对应于图的编号颗粒。

图中形状或颗粒编号	圆度	短长轴比
等边三角形	3.110	0.984
正方形	1.745	1.000
五边形	1.149	0.995
六边形	0.696	0.999
七边形	0.555	0.992
八边形	0.388	1.000
九边形	0.386	0.993
十边形	0.271	0.995
圆形	0.140	0.999
1	2.141	0.609
2	2.532	0.862
3	6.537	0.347
4	1.349	0.837
5	2.831	0.706
6	3.181	0.707
7	2.743	0.212



图4 鸭城的磁黄铁矿-黄铁矿的典型实例  
显示出磁黄铁矿基体（灰色）中黄铁矿的斑状变晶（白色），黑色区为空洞。颗粒编号是按形状参数由通用图象处理系统定义的（参见正文和表2）。视场宽度1毫米。

## 形状分析

矿石或选矿产品的矿物组成，是根据每一种矿物在光片或薄片中所占的面积来测定的。在理想情况下，一种给定的矿物相的每一部分都应具有相同的反射率，因而在给定范围内具有相同反射率的象元的总和就定义为该种矿物的面积。但实际上，抛光对于颗粒边缘的影响和颗粒内部的缺陷（划痕、包裹体等），经常造成反射率的较大差异和由此而来的状态混淆。通用图象处理系统通过计算每一小区（颗粒或部分颗粒）的平均反射率，将这种错误减至最小。并且通过一些方法（如滤除噪声干扰等），来消除或减轻划痕或抛光突起对颗粒边缘带来的阴影效应。图4示出了图3中的矿物反射率对图象分布的一个典型的直方图。一旦范围确定之后，通用图象处理系统的程序就很容易列出每种物相的面积百分数。各种矿物的实际分布，可用不同的颜色或结构表示，也可用直方图或百分数表示。任一给定物相的非随机分布可由图象中的X—Y坐标或与其他物相的相互关系（即趋于共生或是相互隔离）来确定。

共生情况的测定也是十分重要的，因为由此可以确定：（1）以连生体颗粒出现的物相的百分数；（2）连生颗粒的百分数；（3）某种矿物与其他各种矿物的相互关系。

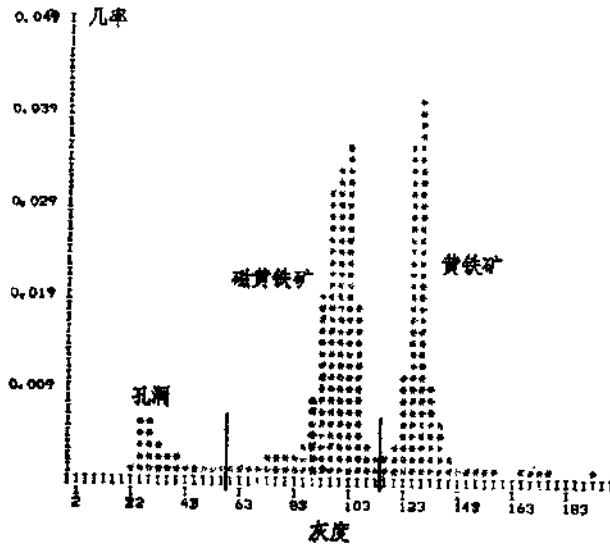


图5 图4中以反射率表示的矿物图象含量的通用图象处理系统直方图  
反射率级序分别对应于黄铁矿、磁黄铁矿和空洞

## 粒度测定

不同矿物颗粒的大小及其在样品中分布的测定是很重要的。通用图象处理系统是通过规定为“颗粒”的小区内的象元面积进行这一测定。各个小区可由调制-解调器键盘上控制的光标来定位。图象中的颗粒（所有颗粒或仅是某一反射率的颗粒）分布，可显示于萤光屏上或打印成直方图形式。

## 方位测定

在成矿过程或过去沉积的变质作用下，可能会在矿石中留下明显的线性或二维的构造。另外，不同的研磨方法也可能在矿物颗粒中形成不同的断面。通用图象处理系统的程序能够进行任何线性特征的长度和方位测定。图5和图6分别表示磁黄铁矿中单向应力变形的情况和黄铁矿中直交的一组裂纹。这两图中的(B)是由频度直方图表示的方位测定数据。

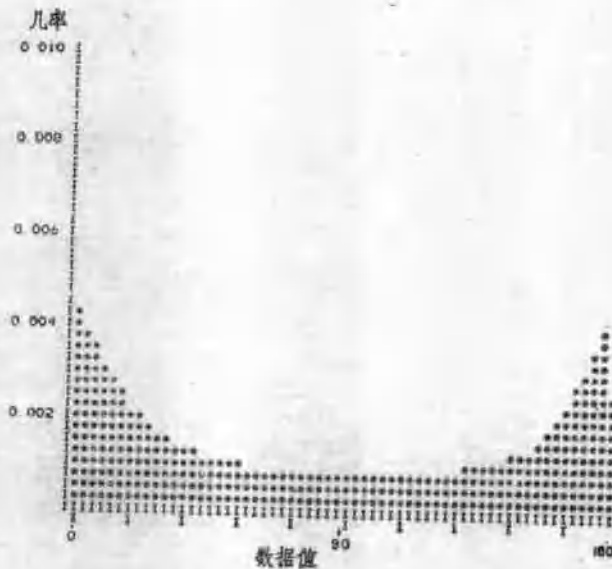


图6 (上) 在正交偏光下观察到的变形后黄磁铁矿的显微镜照片, 注意双晶片的单向性。视场宽度1毫米。

(下) 显示磁黄铁矿晶片的单峰分布的通用图象处理系统的直方图。其中 $0^\circ$ 为垂直方向,  $90^\circ$ 为水平方向。

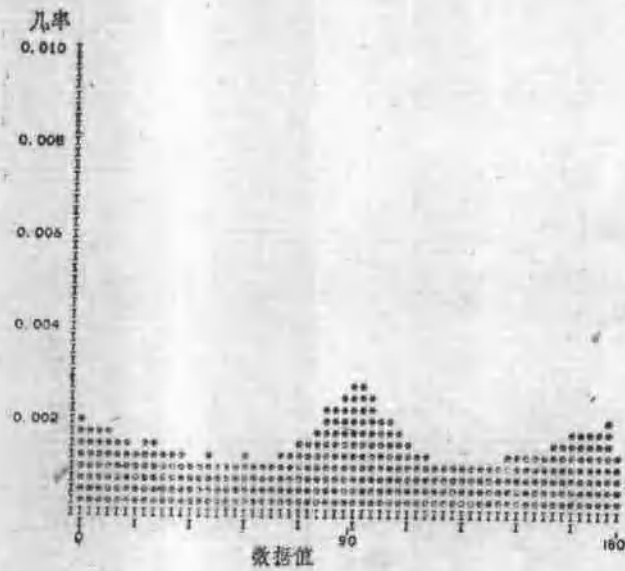
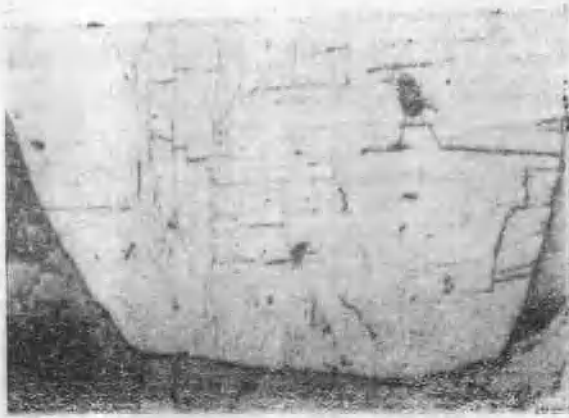


图7 (上) 具有几乎直交裂理的黄铁矿断面显微照片。视场宽度2毫米。  
 (下) 显示断面双峰分布的通用象处理系统的直方图。其中 $0^\circ$ 为垂直方向， $90^\circ$ 为水平方向。

## 颗粒分布

无论按X—Y座标或按共生矿物表示一种或多种颗粒的非随机分布，都是很重要的。通用图象处理系统可基于颗粒的重心来确定这些颗粒的空间分布。这种分布可以是样品中所有各种矿物的全部颗粒的分布，也可以只是某一种矿物的所有颗粒的分布，还可以是某一指定的粒度范围内的所有颗粒的分布。而且，通用图象处理系统还能够确定一种矿物与其他矿物在分布上的相关程度。

参 考 文 献 8篇(略)

肖柯 柯家骏 译 田福纯 校

# 亚拉巴马州伯明翰沉积铁矿石中 含磷矿物颗粒的性质及其可选性的评价

R.D.Hagni M.Cooper

经挑选的代表亚拉巴马伯明翰志留系沉积铁矿石未风化样品的微观研究，已充分揭示了含磷矿物颗粒的性质。这些颗粒由磷—锶磷灰石组成（胶磷矿），粒径从1微米到2.25毫米，显示出与赤铁矿的各种类型连生关系。在阴极发光下所进行的典型分析，提供了15种含磷矿物颗粒类型分布量的定量数据，因而有可能评价四种类型铁矿石中磷的可解离性。结果表明，伯明翰地区西部铁矿石中含磷总量的27%、东部矿中含磷总量的60%可望通过细磨解离。

## 引 言

尽管由于邻近有丰富的铁和煤资源而早已建立了巨大的亚拉巴马伯明翰钢铁生产区，而且该区仍保有5.2亿吨的巨大铁矿石储量，然而这个巨大的国内储量的利用已日趋下降。伯明翰铁矿石大规模的开采于1962年停止，而1973年全部结束。目前，伯明翰地区高炉原料主要从委内瑞拉进口的铁矿石和烧结氧化铁构成。由于此种供应来源易受政府更替的政治变化干扰，因而，提出一项足以改善伯明翰铁矿石选矿的措施，以便经济地提取铁，是美国最大利益所在。

存在若干与提取伯明翰铁有关的问题，这些问题是矿石品位低、粒度细和较高的磷含量。原先的选矿工艺在生产足够品位的精矿方面是成功的，然而，大部分产品含磷太高。鉴于磷组分的有害影响和缺乏有关磷矿物的资料，归结于本文中的显微研究在于鉴定矿物、测定其粒度、形状和分布。

**研究目的** 确定伯明翰铁矿石中磷的赋存状态构成本报导的主要研究目标，原先试图鉴定磷矿物的研究者仅发现个别的或数量甚少的颗粒。本次研究已发现了大量含磷矿物颗粒。根据粒度和形状，把这些颗粒区分为15种类型。为了进行典型分析，在23块代表非氧化矿石



的光薄片上，分别计算了1000个磷矿物颗粒。根据这些分析结果，分别计算出四种铁矿石中含磷矿物的分布量，并预测了各类铁矿石中磷的可解离性。

**研究方法** 从伯明翰铁矿石各个部分（主要是已经集中开采的西部和保有巨大储量的东部）采取了未风化的伯明翰矿石钻井岩芯。另外，从一个矿区中获得一个总样。由采集的岩芯样和总样中挑选出的标本制备了总计83块光片、薄片和光薄片供显微镜研究。

使用八种显微镜的和电子探针的组合方法鉴定含磷矿物颗粒，确定其特征。这些方法包括：1) 透光；2) 透光和反光并用；3) 垂直反射光；4) 阴极射线显微镜；5) 扫描电镜(SEM)；6) 扫描电镜—X射线能谱分析(SEM—EDX)；7) 电子探针；8) X射线衍射。

应用自动图象分析方法测定各类粗粒含磷矿物颗粒分布量，借助阴极射线发光显微镜统计各类型细粒含磷矿物颗粒分布量。

## 伯明翰红铁矿矿石的一般特征

亚拉巴马州伯明翰红铁矿矿石产于志留纪典型的(克林顿型)沉积岩中。矿石呈薄层状，一般厚24英尺或更薄。这些矿层组成红山建造的一部分，该建造主要由砂岩、页岩和薄透镜状灰岩组成。大矿层部位含有本区最重要的矿石储量，其平均品位：铁36—37%左右。低品位矿石产于红山建造中大矿层之上的含铁砂岩内。组成大矿层的沉积物大概是原先在泻湖或沙堤内沉积而成的。

铁矿石的主要成分是赤铁矿、方解石和石英。大部分铁结合在极细的赤铁矿中。赤铁矿以化石碎屑、同心条带鲕粒、扁长状、亚麻子状鲕粒以及化石碎屑与鲕粒混合物的形式产出。较少的赤铁矿以粗颗粒产出，其中很少量作为鲕粒核心，而较粗粒镜铁矿代替了一些鲕粒核心。与鲕粒混合的厚约0.5—1微米的鲕绿泥石薄层中含有少量的铁。在局部地区发现有针铁矿。极细的黄铁矿颗粒少见。苔藓虫、腕足动物、棘皮动物、三叶虫、介形虫的方解石碎屑和内条带状似晶方解石胶结物是丰富的。石英和少量钾长石、斜长石形成园—扁园形的细—粗粒颗粒。

**铁矿石岩性变化** 伯明翰铁矿石的显微镜研究表明，按组成可辩别的岩石单元主要部分的矿物颗粒的特征形状，能分出四种类型的矿石，各称为：1) 含化石的，2) 砂质的，3) 鲕状的，4) 亚麻子状的四种类别。

含化石铁矿石主要由方解石质化石碎屑组成，后者部分地或全部地为赤铁矿所交代。本类型矿石含有少量石英颗粒、赤铁矿质鲕粒和褐铁矿质亚麻子状鲕粒。砂质铁矿石主要由石英颗粒组成，含有较多的亚麻子状鲕粒。赤铁矿质鲕粒和方解石质化石碎屑较少。鲕状矿石具有数量占优势的球形—椭球形赤铁矿质鲕粒，有少量亚麻子状鲕粒和化石碎屑。本类矿石虽然缺乏粗粒石英<sup>\*</sup>，但它的确含一些细石英颗粒。比鲕状铁矿石更为丰富的亚麻子状矿石含有一些化石碎屑和石英颗粒。四种铁矿石中，各种主要成分的数量及组成变化范围见图1。

**含磷矿物颗粒类型** 在伯明翰地区，四种类型铁矿石中能分出15种类型的含磷矿物颗粒(表1)。按照组成颗粒粒径、形状和分布可辨别出这些类型中的每一种。大部分颗粒由淡褐均质物组成，其在岩相学术语中通常称为胶磷矿。

<sup>\*</sup>用于本文中的粗、中、细粒度术语，参照以下标准：粗粒(2—0.5mm)，中粒(0.5—0.25mm)，细粒(0.25—0.0625mm)。