

选矿工艺学

冶金工业出版社

选 矿 工 艺 学

(英) B.A. 威尔斯 著

胡力行 傅维义 黄淦祥 译

冶金工业出版社出版

(北京东黄城根北街27号)

新华书店北京发行所发行

冶金工业出版社印刷厂印刷

850×1168 1/32 印张 14 3/4 字数 378 千字

1985年 0 月第一版 1985年 9 月第一次印刷

印数00,001~3,480册

统一书号: 15062·4076 定价3.20元

译 者 的 话

《选矿工艺学》(Mineral Processing Technology)系《国际材料科学与技术丛书》之一,第一版于1979年由英国 Pergamon 出版公司出版。1980年原作者对第一版作了增订,扩展和充实了内容,收录了最新文献,比原书篇幅增加100余页。第二版于1981年出版。中文本据第二版翻译出版。

本书概述了选矿各个过程的基本原理,介绍了所用设备和生产流程以及七十年代选矿领域的最新进展。内容精姘、取材新颖、图文并茂,所引文献达320篇,读者可据以深入探讨有关问题。

本书可供采矿和冶金专业人员参考,对在职的选矿工程技术人员以及广大的选矿技术工人亦有参考意义,亦可用作矿冶院校选矿专业教学参考书。

本书由傅维义(第一章~第七章)、黄淦祥(第八、九章)和胡力行(第十章~第十六章及附录)译出,全书译稿最后由胡力行作了统一校订。由于水平所限,错误及不妥之处难免,恳请读者批评指正。

目 录

第一章	导论	1
第二章	矿石的倒运	19
第三章	金属平衡计算和控制	35
第四章	粒度分析	61
第五章	粉碎	92
第六章	碎矿机	100
第七章	磨矿机	131
第八章	工业筛分	164
第九章	分级	168
第十章	重选	223
第十一章	重介质选矿	253
第十二章	泡沫浮选	273
第十三章	磁选和高压电选	342
第十四章	拣选	372
第十五章	脱水	379
第十六章	尾矿处理	414
附录一	金属矿物	424
附录二	常见非金属矿石	440

第一章 导 论

矿物和矿石

矿 物

蕴藏于地壳和海底矿床中的金属状态，取决于金属与其周围环境，尤其是与氧、硫和二氧化碳的反应能力。金和铂族金属基本上呈自然状态或金属状态。银、铜和汞，有呈自然状态的，也有呈硫化物、碳酸盐和氯化物的。较易反应的金属总是呈化合物状态，如铁的氧化物和硫化物，铝和铍的氧化物和硅酸盐。天然存在的化合物叫做矿物，许多矿物已根据它们的组成而命名（如方铅矿-硫化铅， PbS ；闪锌矿-硫化锌， ZnS ；锡石-二氧化锡， SnO_2 ）。

按照定义，矿物是具有一定化学组成和原子构造的天然无机物。但是，该定义允许某些灵活性。许多矿物呈现类质同晶型，其晶体结构中的一些原子被类似原子取代但不影响原子构造。例如，橄榄石这种矿物的化学组成为 $(Mg, Fe)_2SiO_4$ ，但镁原子与铁原子之比在不同橄榄石中变化不定。然而，所有橄榄石中镁、铁原子总数与硅、氧原子总数之比相等。矿物亦可呈现同质多晶型，即不同矿物虽具有相同的化学组成，但因原子结构不同而使其物理性质产生明显差异。如石墨和金刚石这两种矿物的组成完全相同，全由碳原子组成，但由于碳原子在晶格内的排布不同，两者的性质相差悬殊。“矿物”这一术语的运用往往比上述定义广泛得多，包罗了由地下开采出的任何有经济价值的物料。例如，煤、白垩、粘土和花岗岩并不包括在矿物定义之内，但这些原料的生产细节通常却都被收入国家矿产数据之中。此类物料实际上是岩石，它们的化学和物理组成不如矿物那样均匀，而且一般是由若干矿物组成，并占据地壳的一大部分。例如，花岗岩由三种

主要矿物组分——长石、石英和云母构成；它总一种是丰富的火成岩，即由地壳内的熔融物料（岩浆）冷却而形成的岩石。在不同的花岗岩中，甚至在同一花岗岩体的不同部分之中，上述三种均质矿物的组分的比例变化不等。

就地质意义而言，煤并非矿物，而是由死的成分累积而成的层状岩石。绝大多数煤层是在三亿余年以前，由当时覆盖地球某些区域的茂密热带森林植物腐烂分解而形成的。在煤层形成的早期阶段，腐朽的植物形成厚泥炭层；泥炭可见于沼泽地带，是植物分解后尚未固结的一种产物。泥炭随后被页岩、砂岩、泥浆和淤泥覆盖，在压力和温度不断增长的作用下，随着时间的推移，泥炭层发生变蚀或变质而形成沉积岩，称之为煤。按变蚀程度区分煤的品级，最低品级（褐煤）表示变蚀程度很低，而最高品级（无烟煤）则几乎是纯石墨（碳）。

金属矿石

丁·纳丁（Nutting）教授在就任英国金属学会会长的演说中⁽¹⁾，强调了文明社会对金属的迫切需求，他针对金属作为“负荷载体及能量输送体”的不断需要，直接提出金属在未来的可获量问题。冶金工业因利用能源处理矿石并生产纯金属，已改变了自然界的分布。

现今处理的矿石的金属含量，可能除铁外，都在不断下降，未来矿石的可获量将与究竟什么是“工业有价矿石”这一概念有关。

这是一个有时代性的工业用语，是指在一定的成本水平下允许开发的海底及大陆地壳岩石中极低品位的矿产资源。

金属在地壳中储量的估计值⁽²⁾以及深度在3.5公里以内的最常用金属的实有量⁽³⁾列于表1-1。

海洋中的金属储量与地壳中的储量有一定关系，因为前者来自地壳岩石的风化，但除此而外，还有酸性雨水对矿物的浸滤作用。所以，表1-2中所示来自海水的金属可获量⁽³⁾与地壳储量不完全一样。在不久的将来，海床可能成为金属的重要开发资源，

因为所谓“锰结核”不仅含锰，还含各种其它金属^[4,5]。这些锰结核还在不断地在富氧水域，尤其是太平洋一带形成。

表 1-1 各种金属在地壳中的蕴藏量

元 素	蕴 藏 量 %	地壳 3.5 公里 内蕴藏 吨	元 素	蕴 藏 量 %	地壳 3.5 公里 内蕴藏量 吨
(氧)	46.4		钒	0.014	$10^{14} \sim 10^{15}$
硅	28.2		铬	0.010	
铝	8.2	$10^{16} \sim 10^{18}$	镍	0.0075	$10^{13} \sim 10^{14}$
铁	5.6		锌	0.0070	
钙	4.1	铜	0.0055		
钠	2.4	钴	0.0025		
镁	2.3	$10^{16} \sim 10^{18}$	铅	0.0013	$10^{11} \sim 10^{12}$
钾	2.1		铀	0.00027	
钛	0.57	$10^{15} \sim 10^{16}$	锡	0.00020	
锰	0.095		钨	0.00015	
钼	0.043		汞	8×10^{-6}	$< 10^{11}$
锶	0.038		银	7×10^{-6}	
稀土	0.023		金	$< 5 \times 10^{-8}$	
铂	0.017	$10^{14} \sim 10^{16}$	铂族金属	$< 5 \times 10^{-8}$	

表 1-2 各种金属在海洋中的蕴藏量

元 素	海水中的蕴藏量 吨	元 素	海水中的蕴藏量 吨
镁	$10^{15} \sim 10^{16}$	钒	$10^2 \sim 10^3$
硅	$10^{12} \sim 10^{13}$	钛	
铝	$10^{10} \sim 10^{11}$	钴	$10^3 \sim 10^9$
铁		银	
钼		钨	
锌		$10^9 \sim 10^{10}$	铬
锡	金		
铀	铂		
铜	钯		

从表1-1可见，有八种元素占地壳的99%以上；其中，硅和氧占74.6%，工业上重要的金属之中只有三种（铝、铁和锰）的含量在2%以上。所有其它有用金属的含量都低于0.1%；例如，最重要的有色金属——铜只有0.0055%。有意思的是，所谓普通金属——锌和铅的蕴藏量还不如稀土金属（铈、钍等）丰富。

显而易见，如果含重要金属的矿物在整个地球上均匀地分布，它们就会因极其分散而不可能经济地开采。

然而，矿物在自然界中的赋存状态受制于矿物存在期间的地质条件^[6]。一种特定矿物可能同一种岩石共生（如锡石主要同花岗岩共生），或者可能与火成岩和沉积岩均共生；早期岩石因水、冰的机械风化作用以及化学分解作用而生成的物料沉积生成沉积岩。例如，当花岗岩风化时，锡石可能迁移并重新沉积成冲积矿床。由于许多此类自然现象的作用，才能经常发现富集程度足以使金属能有利回收的矿床。正是这些富集作用以及因研究和开发结果而发展的需求，才使天然矿物资源转化成有用矿石。大多数矿石都是有用矿物与称为脉石的无用岩石物料的混合物。

矿石可以简单地视为能被经济提取且数量足够的矿物聚集体。这一定义决定金属的市场价格，而市场价格又是这一定义的重要判据，同时这个定义将随工业要求而发生变化。随着时间的推移以及较高和易于取得的物料的耗尽，一种矿物资源可以升级为有用矿石。冶金提取方法的改进以及新方法的采用，也是使至今被视为无经济价值的矿床成为可采矿床的一些因素。譬如，浮选方法在选矿中应用，就使从过去以为是废石、含铜仅0.5%的物料中提取铜成为可能。同样，溶剂萃取法在赞比亚恩昌加联合铜矿公司（Nchanga Consolidated Copper Mines）采用后，每年可处理九百万吨浮选尾矿，从原来被视作废料的尾矿中年产八万吨精铜^[7]。

采掘和处理矿石的品位（金属含量）取决于许多因素，而且一般而言，处理较低品位矿石的选厂处理量大于品位较高矿石的选厂。

决定一个矿床是否适于经济开采和选矿处理的因素可概括如下：

1. 矿床的地理位置和规模。

2. 原矿的品位、矿物组成和结构。矿石结构系指矿石中有价矿物的聚集状况（粒度）和嵌布程度（分布）。在某些场合下，矿物可能粗粒聚集，肉眼可见矿物颗粒。但往往存在着细粒嵌布结构，必须利用显微镜来鉴定研究其产状^[8]。矿物的天然性质很重要，因为选矿要求有价矿物和脉石矿物的某种物理性质有明显差别。

3. 财政因素——投资额，可筹得资金和借款费用，税款，以及矿区租借使用费。

4. 开采费用。深部地下开采的费用要比露天作业和砂矿开采高，只是在矿石品位较高时经济上才合理。地下开采的锡矿品位通常介于0.3~1.5%Sn^[9]，而冲积矿床的品位肯定可以低得多，例如，马来西亚的大型挖掘采锡场可处理含锡0.02%或更低的砂矿。

5. 辅助作业，如供电、供水、交通运输和尾矿堆存等的费用。

6. 矿石可选性——处理流程，生产费用，精矿品位，可得金属回收率。

7. 金属的需求量和价值，金属精矿的价格，以及在矿山订购精矿的价值。

必须了解，金属的市场价格并不完全或直接适用于精矿。冶炼厂订购价格通常以标准精矿品位为基础，品位低于标准的精矿要罚款，其金额与金属含量直接相关。金属的冶炼和精炼费用要扣除，同时还扣除加工损失的某一个百分比。对杂质含量高于规定限度的精矿也要罚款，但对可由精矿中回收的贵金属则给予价格补贴。可见，精矿的市场价格随其品位和杂质含量而变动。

对适于作矿石开采的矿床所要求的金属最低品位，因不同金属而异，据以上诸因素而定。许多有色金属矿石的开采品位低至

1%，而且往往还要低得多。从只含5ppm金的矿石中回收金可能有利可得，而含铁约低于20%的矿石则被视作低品位铁矿。

有许多选矿厂处理尾矿，在二次回路中回收矿物，其给矿品位比经济地处理新采矿石的品位低得多。钨矿石选矿的原矿品位通常介于0.5~1.5%WO₃，而美国克莱马克斯钨选厂日处理尾矿45000吨，其给矿品位却低于0.1%WO₃；该厂是美国生产钨精矿的两大厂之一^[10]。

加拿大不列颠哥伦比亚萨利文矿的铅锌和铜铅锌选厂，以及提敏斯附近基德-克里克选厂的尾矿均约以1万吨/日的规模再进行处理以回收锡。两处的给矿品位分别约0.66%和0.15%Sn^[9]。

处理老尾矿场的开采费用比常规采矿费用低，在许多有大量老尾矿可资处理利用的老矿区已建立了尾矿处理厂^[11]。东兰德金铀公司(ERGO)处理南非东兰德金矿区的老选厂尾矿，生产金、铀和硫酸。尾矿坝用水枪冲采，即采用高压喷水冲采工作面。所得矿浆自流入邻近每一尾矿坝的转移泵站，再泵至中心处理厂。该厂月处理尾矿泥150万吨，其品位为0.53ppm金，40ppmU₃O₈，1.04% S^[12]。

现在世界各国日益认识到资源的有限性，为此付出了很大代价，而且大型新矿山的开发费用又日益增长。在有足够尾矿物料可资利用的地区，对于大规模再处理老尾矿这一课题，值得非常认真地加以研究^[13]。

矿石常常按有价矿物的性质来分类。在天然矿石中金属呈元素状态存在；硫化矿石所含金属呈硫化物，而氧化矿石中的有价矿物可能是氧化物、硫酸盐、硅酸盐、碳酸盐或它们的某种水合物。复杂矿石是含一种以上有价矿物、且其量利于开采的矿石。金属矿物往往在某种程度上共生（参见附录一），在连生体中它们可能是粒度范围很广的混合物，或者呈各种单相固溶体或各种化合物存在。例如，方铅矿和闪锌矿常常共生，次之为各种硫化铜矿物与闪锌矿共生。黄铁矿(FeS₂)又最常与上述矿物共生。

矿石也按其脉石性质分类，如钙质或碱性矿石（富含氯化

钙)，硅质或酸性矿石（富含二氧化硅）。

非金属矿石

根据矿物的用处不同，可将有经济价值的矿石分为金属矿石和非金属矿石两类。开采和处理某些矿物可能不只一个目的。在一种分类中，某种矿物可能是金属矿，即用它来制取金属，如用铝土矿（水合氧化铝）生产铝。另一种分类是按化合物而划为非金属矿，例如铝土矿或天然氧化铝，用来生产耐火砖或磨料。

许多非金属矿物同金属矿物共生（参见附录二），并且一同被开采和处理，例如，方铅矿——铅主要资源往往同萤石（ CaF_2 ）和重晶石（ BaSO_4 ）共生，而后两者是重要的非金属矿物。

金刚石矿石是现今开采的所有矿石中品位最低的，金刚石含量通常介于0.03至0.15ppm。开采此种矿石主要是为了生产工业钻石，其量约占总产量的80%，其次也用于制做宝石。正是由于开采用作珠宝的极其昂贵的宝石金刚石，才补贴了从品位如此低的矿床中开采相对价廉的工业金刚石所付出的费用。目前开采的最低品位金刚石矿是在莱索托的莱特森·拉·特拉伊（Letseng-La-Terai），其品位仅0.007ppm。开采此种矿石经济上合算，是因为偶尔可发现质量可作宝石的特大金刚石^[14]。

选矿的范畴

“采出矿石”或称“原矿”由有价金属矿物和废石（脉石）组成。选矿，有时也叫矿物处理，矿石分选，矿物分选或磨选，是采矿后的一个处理过程，若对象是金属矿石，其目的是为提取有价金属准备矿石原料，但也产出非金属矿物和煤等最终工业产品。选矿除调节矿石的大小外，主要是一种物理分离过程，将有价矿物与脉石矿物颗粒分离而产出含大部分有价矿物的富集产品——精矿，同时丢弃绝大部分是脉石矿物的尾矿。这种选别或富集过程大大减少了提取冶金所必须处理的物料量，从而将生产纯金属所需能耗和反应剂用量减少到经济许可量。

有人曾预言，当选矿的物理方法被提取冶金的湿法和火法代

替时，选矿的重要性就可能下降，理由是一些化学方法可以得到较高的回收率。当有用矿物在矿石中嵌布极细，不可能从脉石中充分解离时，这种预言肯定有理。此时，联合采用化学处理和选矿技术或许有利^[15,16,17]。但是，在大多数情况下，低品位矿石直接熔炼或浸出所消耗的能量太大，致使费用惊人，行不通。与冶炼过程相比，各种选矿方法费用却不高，经济上明显合理。选矿可减少运往冶炼厂的物料体积和重量，从而降低各种运输费用；熔炼费用也因必须处理的物料吨量减少而大幅度下降；又因废石量少，含金属的炉渣也较少，冶炼回收率得以提高。除上述优点外，论其缺点，当然得算上选矿过程的金属损失和选矿的生产费用。塔加尔特 (Taggart)^[18] 曾经分析采用或不采用选矿时熔炼一种典型的金属矿石生产费用与利润之间的平衡。根据他的分析结果，选矿的经济意义十分明显。

然而，选矿作业的能耗可占去生产原生金属所需总能耗的相当大一部分，尤其当矿石品位低时更是如此。对于含铜约 0.6% 的典型铜矿石，生产原生金属所需的总能耗约为 33×10^3 千瓦小时/吨金属^[19]。该总能耗中几乎三分之一消耗于选矿厂^[20]。另一方面，由含铁 24% 的矿石生产原生铁的总能耗约 7×10^3 千瓦小时/吨金属，其中选矿能耗约占总能耗的 10%。因此，值得注意的是，随着矿石品位下降，选矿能耗有可能成为决定是否开发矿床的最重要因素。

撇开经济不论，能耗亦属头等重要，这是因为，世界上虽拥有丰富的矿床足以应付本世纪余下年份对许多最普通金属的需求，但已有人预测，生产这些金属的能源将不足。巴索蒂 (Bar-sotti)^[21] 研究了三种金属——铝、铜和铁，这三种金属是任何一个寻求经济发展的国家的基础，而生产这三种金属需要大量能源。巴索蒂的结论认为：“在三十至四十年内，石油将大体上耗竭，用其他能源形式其中包括核能来取代石油，可能不足以弥补所产生的后果”。他指出，大力提高能效和节能，实属必要。

如果矿石中含有数量可观的一种以上的有价矿物，通常就要

经选矿使其分离；同样，如果存在可能干扰下一步精炼过程的有害矿物，也需要在选矿阶段将其除去。处理大多数有色金属矿石，选矿是必不可少的“前奏”。然而，因高品位的铁矿床很多，直至最近，几乎不需要选矿来提高品位，含磷灰石的瑞典磁铁矿（ Fe_3O_4 ）可能是一个例外；但随着低品位铁矿床的开发，铁矿选矿的重要性正日益增大。目前美国的大部分铁产自低品位铁燧岩矿石（细粒嵌布于硅石的铁矿物）。

选矿厂的一部分或全部英文通称作mill（意即选矿厂），常设在矿山，处理某一地区附近几个矿山来矿的选厂则称为 custom mill（意为买矿选厂或来料加工选厂）。

选矿过程有两个基本作业，即有价矿物与无用的脉石矿物的解离，或称单体分离，以及有价成分与脉石的分离，或称富集。

有价矿物与脉石的单体分离是通过粉碎过程实现的，该过程包括碎矿，有必要时包括磨矿，使产品达到一定颗粒大小，成为相对纯净的矿物和脉石颗粒的混合物。正确的解离度是选矿成功的关键。有价矿物必须从脉石中解离，但只需单体分离即可。矿石过度磨碎是浪费的，因为不必要地消耗了磨矿电能并使有效回收更加困难。本书以后将会谈到，避免过磨是如此重要，以致某些矿石在入选前的粉碎粒度宁可大于解离度。

矿物从脉石中解离后，就用某种方法对矿石进行选别，将各矿物分选成两种或多种产品。往往利用矿石中金属和脉石矿物的物理或化学性质的某种特殊差异来达到分选目的。

选矿主要涉及的物理分选方法，可能有下列几种：

1. 基于光学性质和放射性等的分选方法。这种方法常称为拣选，通常包括直到最近还应用的高品位矿石的手选。
2. 基于比重差的分选方法。该法通常是在水流中利用因质量效应而产生的矿物差速运动。虽然随着泡沫浮选方法的发展，重选法的重要性下降了，但因这种方法有了改进，而且比其它方法简易，目前又在日益扩大应用。重选也有利于减轻环境污染。
3. 利用矿物不同表面性质的分选方法。泡沫浮选法确实是

最重要的一种选别方法，它借助于各种矿物在搅拌矿浆中对上升气泡的亲合程度而达到分选。用不同药剂调节矿浆的“气候”，就可能使有价矿物亲气而使脉石矿物亲水（疏气）。结果，由于有价矿物附着于气泡形成泡沫并浮在矿浆表面上，从而得以分离。

4. 基于磁性质的分选方法。弱磁场磁选机可用于选别铁磁性矿物，如磁铁矿（ Fe_3O_4 ），而强磁场磁选机则用于分选顺磁性矿物。磁选是富集铁矿石的一种重要方法，但也用于处理顺磁性有色金属矿物。它广泛用于从锡矿石中除去顺磁性黑钨矿（ $(\text{Fe}, \text{Mn})\text{WO}_4$ ）和赤铁矿（ Fe_2O_3 ），并相当广泛地用于处理非金属材料，如海滨砂矿床中的某些矿物。

5. 基于导电性的分选方法。高压静电分选法可用于分选导体矿物与非导体矿物。这种方法有意思，理论上它是一种“万能”分选法，因为几乎所有矿物的导电性都有所差别，所以这种方法理应可能分离几乎任何两种矿物。然而，该法的用途却相当有限，其最大用途目前是分离海滨砂矿或河床砂矿中的一些重矿物。电选时，矿物必须完全干燥，周围空气的湿度必须调节，因为在电介质中电子运动主要发生在表面上，而水膜可能完全改变其行为。该法最大的缺点是具有经济规模的大电选装置的处理能力非常低。

有时应用热处理使矿石更适于下一步加工过程。焙烧矿石可以使之发生显著的化学变化，如使非磁性铁矿物转化成铁磁形态。煅烧可用于破坏粘土矿物的胶结，分解水合物和碳酸盐。使矿石更易于运输和处理。

粉碎和富集是选矿过程中的两个主要作业，但选矿还包括许多其它重要作业，其中有处理过程中各阶段用筛分机和分级机对矿石的筛分分级，以及用浓密机、过滤机和干燥机对矿浆产品的脱水。

流程

流程以图示出选矿厂各种作业的顺序。最简单的形式是方框图，图中将同一性质的各作业组合在一起（图1-1）。在这种情况下

下，粉碎过程将包括全部破碎、磨矿和拣选。第二个方框是“分选”，包括与生产精矿和尾矿相关的各处理过程。第三个方框“产品处理”系指产品处置过程。

对于大多数用途，简单的线流程（图1-2）就足够了，它可包括设备、指标、流量等细节。

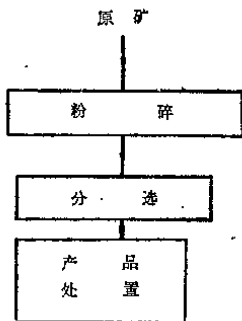


图 1-1 简单的方框流程

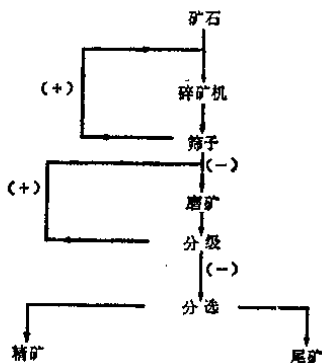


图 1-2 线流程

(+) 表示返回作业进一步处理的筛上物料
 (-) 表示送至下一段的筛下物料

选矿作业的效率

解离

粉碎过程的主要目的之一是使有价矿物与其连生的脉石矿物在尽可能粗的粒度下解离。若能达到此目的，则不仅因减少细粉碎矿量而节约了能源，而且使任一后续分离过程变得更易于操作、费用较低。若要求高品位固体产品，则必须良好解离。然而，对于后续水冶过程，如浸出，只需使目的矿物暴露即可^[22]。

在实践中，即使将矿石磨到所要求的矿物颗粒的粒度，也很少能达到完全解离。图1-3说明了这一点，图中为一个破碎成若干相同体积小方块的矿石块，其粒度小于在原矿样中所观察到的矿

物颗粒。由图可见，产出的每个含有矿物的小颗粒都同时也含有一部分脉石，并未达到完全解离。然而，量大的矿物（脉石）绝大部分都已同量小的矿物（有价成分）解离。

矿物和脉石的连生体叫中矿，只有通过进一步磨矿才能使这类连生体进一步解离。

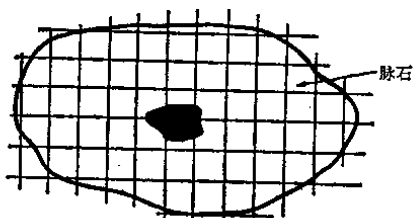


图 1-3 矿物和脉石的连生体

“解离度”系指矿石中呈单体颗粒的矿物相对于总含量的百分数。如果矿物和脉石颗粒间为弱的界面，则解离度可能很高，矿石主要由造岩矿物、特别是沉积物料组成时，情况往往如此。然而，矿物和脉石之间的粘着通常是牢固的，粉碎时各种组分又交叉碎裂，这样就产生大量中矿，导致低解离度。提高解离度的一些新方法包括将碎裂应力引向矿物颗粒界面，使岩石能被碎裂而矿粒不破碎。高温加热岩石可达此目的，但该法至今尚未用于实践^[23]。

直至前不久，矿物学家还不可能对下列问题做出定量回答：一种特定矿石需磨至何等细度才能获得有价矿物颗粒的一定解离度？高登（Gaudin）对研制计算矿物解离度的模型做了首次尝试^[24]。但高登的模型有许多很不实际的假设，需针对矿石中矿物的颗粒结构来做出这些假设，因此，该模型未获得很多实际应用。

金（King）对某一种特定矿物含量低于规定值的一定粒级，

制定了一个准确的表达式^[25]。该表达式是完全根据矿石中各种矿物的线性截距长度的分布而得出的，截距长度是通过将矿石断面作横向直线移动所得。该理论式完全不含经验常数或其他参数，而且尤其是不含有关矿石中矿粒或颗粒形状假设。该模型适用于二元各向异性矿物集合体，在此类矿物体内并不沿颗粒界面发生优先断裂。该理论式已从黄铁矿由石英岩解离的试验中得到证实，该式易于应用，因此在日常选矿应用中很有吸引力。该模型所需数据，即足够量的线性截距样值可易于采用现代自动显微图象分析仪（第四章）来获得，这种分析仪已在装备良好的冶金试验室日益广泛地被采用。

在实践中，矿石磨至由试验室和半工业试验所确定的最佳磨矿细度，以获得最经济的解离度。然后再设计选矿过程，产出一种以有价矿物为主，并含一定容许量的有价矿物和脉石连生体的精矿，以及可能需要进一步磨矿以增进矿物达到最佳解离的中矿产品。尾矿则应主要由脉石矿物组成。

图1-4为一典型矿粒的截面，清晰地示出选矿人员时常碰到的难题^[26]。图中A区表示有价矿物，而AA区虽富含于有价矿物，但却与脉石矿物紧密共生。粉碎过程产出各种各样矿块，有充分解离的矿物和脉石颗粒，也有如图所示的各种情况。1类颗粒富含于有价矿物，归类于精矿，因这类颗粒同限制精矿品位的脉石连生程度是在许可范围之内。相反，4类颗粒应归属于尾矿，其中所含少量有价矿物会使精矿的回收率下降。但2、3类颗粒很可能划

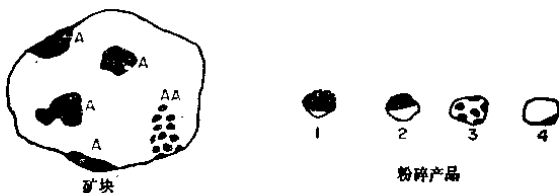


图 1-4 矿石颗粒截面