

张肇宏 钟妙兰 主编

金矿找矿测试方法 与技术论文集

地质出版社

金矿找矿测试方法与技术论文集

张肇宏 钟妙兰 主编

地质出版社

· 北 京 ·

(京)新登字 085 号

内 容 提 要

本论文集是国家重点黄金科技攻关项目“中国金矿类型成矿区带及远景预测”中第十课题部分研究成果的总结。内容包括：化探试样含金均匀性及代表性研究；天然水和植物样品中金测试方法和技术研究；金-银-砷和金-银-铊以及金-钼联测方法的研究；金分离用泡沫塑料最佳应用研究等。本书可供各实验室的分析工作者阅读，也可供高等院校、研究单位的有关科技人员参考。

图书在版编目 (CIP) 数据

金矿找矿测试方法与技术论文集/张肇宏, 钟妙兰主编. -北京: 地质出版社, 1995. 9
ISBN 7-116-01743-7

I. 金… II. ①张… ②钟… III. 金矿床-找矿方向-测试技术-文集 IV. P618.51-53

中国版本图书馆 CIP 数据核字 (95) 第 08730 号

地质出版社出版发行

(100083 北京海淀区学院路 31 号)

责任编辑: 周庆来

北京地质印刷厂印刷 新华书店总店科技发行所经销

*

开本: 787×1092¹/₁₆ 印张: 8.125 字数: 186000

1995 年 9 月北京第一版 · 1995 年 9 月北京第一次印刷

印数: 1—600 册 定价: 10.00 元

ISBN 7-116-01743-7

P · 1397

前 言

“中国主要金矿类型成矿区带及远景预测”是国家重点黄金科技攻关项目，下设 11 个课题中第 10 课题的部分成果。本课题的研究任务是由地质矿产部、核工业总公司、有色金属总公司和武警黄金指挥部所属的 10 个单位的实验室共同承担完成。

根据我国黄金“七五”规划的要求，1987 年 12 月，由当时的国务院科技领导小组、中国黄金总公司、全国金矿地质工作领导小组共同组织和制定了 1988—1992 年国家重点黄金科技攻关规划。旨在通过规划协调全国各有关系统的科研、大专院校和地质队的技术力量，组织联合攻关，为加快黄金工业的发展步伐和开创黄金科技工作的新局面。

金矿地质科研方面，以突破一些新的金矿类型，为找大型金矿提出找矿远景区、靶区为主攻方向。其中，为适应寻找隐伏矿床、低品位矿、超微粒型金矿的工作需要，而设置了 90051-10 课题。手段是应用物探、化探新方法新技术在新的金矿远景区进行调查、开展综合方法找矿。为适应其中地球化学勘查方法研究的需要，进一步对金矿测试方法和技术进行研究，作为本课题的分支部分，而设立了《金矿找矿测试方法和技术的研究》课题，并由地质矿产部科技司负责组织领导实施。

本课题的任务有：（1）要提高金测试方法的精密度和准确度，首先要解决含金试样的均匀性、代表性，为此要研制试样加工设备和改进加工流程，以及在金的溶解和分离富集方面，金的测试手段上，也需做进一步改进和提高，以提高金测试方法的精密度和准确度；（2）为加快化探找金的步伐，要加强研究更适用于野外现场使用的金及伴生元素银、砷的快速分析方法，以便及时快速提高找矿效果；（3）为地球化学勘查新技术新方法（如水地球化学找金，植物地球化学找金）提供新的、有效的分析方法和技术；（4）为降低测试分析成本，开展金和相关元素（如铈、钡等）联测的方法，作到一次取样、测定多种元素，以便提高分析效率，降低材料成本。

本课题下设 6 个专题：（1）化探试样含金均匀性及代表性研究；（2）天然水和植物样品中金的样品处理和测试方法研究；（3）野外现场金、银、砷快速联测方法研究；（4）化探样品中金、银、铈联测方法研究；（5）金分析中多种规格泡沫塑料最佳应用研究；（6）化探样品中金、钡联测及硒、碲的分析方法研究。并由地质矿产部、核工业部、冶金部、有色金属总公司、武警黄金指挥部所属的 10 个单位近 30 名科技人员承担（详见附表），课题负责人为张肇宏、钟妙兰，部门负责人为张利谨、宋磊、方以规。

本课题研究的主要成果和技术进展有：（1）在化探试样含金均匀性及代表性研究中，查明了金矿试样难加工的关键，提出了化探试样应该加工粉碎至 -0.0385mm 粒度的观点，并自行设计研制了一种等面弧棒磨粉碎机，具有噪音小，粉尘少，工效高的特点。并从力学、磨矿介质运动学的观点初步探讨了这种设备的机理。棒磨 4h 可以使样品碎至 -0.03mm 的粒度占 98%，自然金的粒度 $\leq 0.03\text{mm}$ ，是目前金矿制样较为理想的设备。通过试验确定了：原生晕样品可在 -0.90mm 时缩分正副样，对于次生晕和分散流样品必须在 -0.28mm 时才能缩分正副样，为试验室正确缩分样品提出了重要的技术标准。采用分析

研究专题及负责单位、负责人

序号	编号	专 题 名 称	负 责 单 位	负 责 人
1	1	化探试样含金均匀性及代表性研究	冶金部中南冶金地质研究所	徐沛清
2	2-1	天然水样中金的样品处理和测试方法研究 (之一)	核工业总公司东北地勘局 244 大队	赵淑云
3		天然水样中金的样品处理和测试方法研究 (之二)	核工业总公司华南地勘局 290 研究所	李玉成
4	2-2	植物样品中金的样品处理和测试方法研究	地矿部湖北实验研究所	李明伟
5	3	野外现场金、银、砷快速联测方法研究 (之一)	地矿部河北省中心实验室	张振军
6		野外现场金、银、砷快速联测方法研究 (之二)	武警黄金十支队	薛光
7	4	化探样品中金、银、铊联测方法研究 (之一)	有色金属总公司北京地质研究所	郑厚琳
8		化探样品中金、银、铊联测方法研究 (之二)	地矿部测试技术研究所	陈金武
9	5	金分析中多种规格泡沫塑料最佳应用研究	武警黄金十一支队	李占江
10	6	化探样品中金、钡联测及硒、碲的分析方法研究	核工业总公司北京地质研究院	钟妙兰

结果的相对偏差,检查其均匀性、代表性,即取样 10g,双份结果按 $ARD = \frac{A-B}{(A+B)/2} \times 100$ 公式计算其相对偏差,Au 含量在 $1 \sim \geq 500 \text{ ng/g}$ 的范围内,分析精密度 $ARD < 50\%$,超过了目前执行的和课题规定的技术指标;(2)在天然水样和植物样品中金的样品处理和测试方法研究中,天然水样酸化后,采用泡沫塑料静态或动态富集分离金后,分别采用 TMK-TBP 液珠萃取目视比色法测定或以钒金试剂Ⅱ为指示剂钒酸铵容量法测定。方法检出限分别是 1 ng/L 及 0.2 ng/L 。经现场取样,分析结果完全与预测的一致。设计的分析箱现场取样、吸附,然后把富集金的泡沫塑料带回驻地分析,操作十分方便,成本低、速度快。植物试样的消解采用湿法,可以保证试样中痕量金能完全进入溶液。避免了干灰化法痕量金的损失。实验表明,痕量金的分布是均匀的,即使取样量为 0.1 g ,粒度 60 目,已具代表性。取样量为 0.5 g ,采用小体积萃取富集,无火焰原子吸收方法测定,方法检出限达到 0.2 ng/g 。本项研究为植物样品寻找地下隐伏金矿,所使用的地球化学勘查方法在该技术领域的发展做了大量有益的工作;(3)野外现场金-银-砷快速联测方法,是采用化学发光方法测定金-银-砷。自行设计和制造了小型、适用于野外测试工作条件的液相化学发光测试仪,具有体积小、灵敏度高的特点。另外,还提出了采用负载泡沫塑料、黄原酯棉富集分离金,液珠萃取比色和全差示分光光度法测定金、银、铜、铊的测试方法,及氢化物发生-硫酸银泡沫塑料斑点法测定地质样品中的微量砷的方法。采用拟定的方法制备了野外快速分析箱,分析箱具有体积小、携带方便的特点,可在野外无电无排风条件下进行现场采样、加工、分析。金、银、砷的方法检出限分别为: 0.5 ng/g 、 5 ng/g 、 $0.5 \mu\text{g/g}$;(4)对化探样品中金、银、铊联测方法研究提出了:样品经灼烧除硫除炭,以王水加氢氟酸分解,泡塑-罗丹宁纤维素复合柱吸附,硫脲小体积解脱,火焰和无火焰原子吸收光谱法测定。方法检出限分别为: Au (GAAS) 0.14 ng/g 、Ag (AAS) $0.016 \mu\text{g/g}$ 、Tl (GAAS) $0.01 \mu\text{g/g}$ 。另外,还提出了,在 HCl-KI-抗坏血酸介质中用甲基异丁基酮 (MIBK) 负载泡塑同时萃取,然后用 2% 硫脲—1% HCl 解脱的富集方法,采用火焰和石墨炉原子吸收测定。火焰原子吸收法测定 Au、Ag、Tl 和 Cd 的方法检出限 ($\mu\text{g/g}$) 分别为: 0.2、0.05、0.2 和 0.04。石墨炉原子吸收法测定 Au、Ag、Tl 和 Cd 的方法检出限 (ng/g) 分别为: 0.3、1、5 和 1。上述研究都

建立了一次取样连续测定金、银、铊的灵敏、准确、快速方法。实践证明,该方法简便、易于掌握、生产成本低,测定某地质剖面样品,取得的金、银、铊异常图,应用效果良好;

(5) 在金分析中对多种规格泡沫塑料最佳应用研究,收集了我国 24 个泡沫塑料生产厂家的 27 份聚醚型泡沫塑料样品进行了密度、灰份、杂质元素含量测定。研究了国产聚醚型和聚酯型泡沫塑料对金的吸附性能和在吸附金条件下常见离子干扰情况。研究了泡塑动态和静态吸附条件和行为,提出了用于金分离富集技术聚醚型泡塑的质量标准。研制了两种加工规格化泡塑的样机。经环保监测部门检测泡塑无污染灰化法的排放物符合国家大气环境质量标准规定。该项研究给出的测试数据、结论为金分离富集用泡塑实现系列化、标准化和商品化生产提供了重要依据;

(6) 对化探样品中金、钯联测及硒碲的分析方法研究采用罗丹宁纤维分离金、钯,选定了最佳的上柱和洗脱条件,并首次解决了钯难于从罗丹宁纤维上洗脱的难题,实现了快速分离金、钯,使用石墨炉原子吸收光谱仪进行测定。并设计、研制出新型稳定性好的自动氢化物发生器,并实现了与火焰原子吸收仪联机使用。解决了采用普通的仪器测定 ng/g 量级硒碲的问题。各元素的方法检出限如下: Au, 0.3ng/g, Pd, 0.5ng/g, Se, 5ng/g, Te, 5ng/g。

在课题研究和论文集编写过程中,得到地矿部科技司孙培基同志和地矿部勘查技术研究院李善芳同志的帮助和指导,谨表感谢。

由于作者水平所限,错误之外敬请读者批评指正。

目 录

化探试样含金均匀性及代表性研究	徐沛清 王加恩 谢立中 (1)
天然水中金的样品处理和测试方法研究	赵淑云 黄国劲 (19)
钒金试剂Ⅱ为指示剂钒酸铵滴定法测定天然水中总金、胶体金和络合金	李玉成 (27)
植物样品中超痕量金的测试方法研究	李明伟 陈保秀 (34)
植物样品中金的分析方法应用研究——利用植物找金之探索	李明伟 陈保秀 (45)
野外现场金、银、砷快速联测方法研究	张振军 申玉民 封建忠 (51)
野外现场金、银、砷、铜、铊快速联测方法研究	薛光 (61)
泡塑-罗丹宁纤维素复合吸附、原子吸收光谱法联测化探样品中金、银、铊	
.....	郑厚琳 朱和平 秦呈临 (78)
化探样品中金、银、铊联测方法研究——原子吸收法测定化探样品中金、银、铊 和镉	陈金武 曾法刚 沈慧君 (92)
化探样品中痕量金、钼联测和痕量硒、碲联测方法的研究	
.....	钟妙兰 唐良保 裴玲云 王 兵 吴廷照 罗爱华 (99)
国产软质聚氨酯泡沫塑料杂质含量及分离富集金性能研究	
.....	李占江 冯光星 宋 磊 王若冰 (114)

Contents

Study of Homogeneity and Representative of Gold Samples in Geochemical Exploration	<i>Xu Peiqing, Wang Jia'en and Xie Lizhong</i> (18)
Treatment and Analysis of Gold Samples from Natural Water	<i>Zhao Shuyun and Huang Guojin</i> (26)
Ammonium Vanadate Titrimetric Method Determination of Trace Au, Au (0) and Au (I、III) in Natural Waters by Using the New Indicator Vanadate-Auric Reagent II	<i>Li Yucheng</i> (33)
Study on Analysing Ultra-Trace Gold Contained in Plant Samples	<i>Li Mingwei and Chen Baoxiu</i> (44)
Study on Analysing Gold Contained in Plant Samples and Its Application—A New Approach to Gold Exploration With Plants	<i>Li Mingwei and Chen Baoxiu</i> (50)
A Study on the Method of the Rapid and Continuous Determination of Gold Silver and Arsenic in the Field	<i>Zhang Zhenjun and Shen Yumin</i> (60)
A Study of Method of Rapid Determination of Gold, Silver, Arsenic, Copper and Thallium in Geological Samples in the Field	<i>Xue Guang</i> (77)
Consecution Determination of Au, Ag and Tl in Geochemical Sample Through Colum- nar Order Sorption of Foam-Rhodamine Cellulose by AAS	<i>Zheng Houlin Zhu Heping and Qin Xinglin</i> (90)
Determination of Gold, Silver, Thallium and Cadmium in Geochemical Prospecting Samples by Atomic Absorption Spectrophotometry	<i>Chen Jinwu et al.</i> (98)
The Investigation of Analytical Method for Simultaneous Determination of Trace Amount of Gold-Palladium and Selenium-Tellurium in Geochemical Samples	<i>Zhong Miaolan et al.</i> (113)
Study of Impurity Content in Chinese-Built Polyurethane Foam Plastics as well as Perfor- mance for Separation and Enrichment of Gold	<i>Li Zhanjiang et al.</i> (121)

化探试样含金均匀性及代表性研究

徐沛清 王加恩 谢立中

(冶金部中南冶金地质研究所)

一、前言

本专题为国家重点黄金科技攻关项目中的一个重要专题,主要研究内容及技术经济指标为:

①采集水系沉积物、土壤和岩石样 3—6 个,其含量范围为 $<10\text{ng/g}$, $>10—500\text{ng/g}$, $>500—1000\text{ng/g}$ 。

②研究含金化探样品加工的均匀性及代表性,重点对水系沉积物、土壤样品进行系统研究,加工后样品主要组分不变。

③每个样按正样和副样细碎至分析粒度,每份分别随机 10g 取样,正副样各作五份,作基本分析和检查分析,10 份分析结果的最大值,最小值按 $\text{ARD} = \frac{A-B}{(A+B)/2} \times 100$ 公式计算其相对偏差,检查其均匀性、代表性,其精密度要求:

0.3—1ng/g	$\text{ARD} < 100\%$
1—10ng/g	$\text{ARD} < 66.6\%$
10—500ng/g	$\text{ARD} < 50\%$
$>500\text{ng/g}$	$\text{ARD} < 50\%$

为采集的样品具有代表性,选择大冶金矿区、宜昌兴山水月寺等地采集大样 12 件,重量 85kg。加工试验小样 950 个,获得加工试验、化学分析及化学光谱分析等测试数据 982 个,为本专题研究成果提供了系统实验依据。

经过系统性的研究,最后确定以自制的等面弧棒棒磨粉碎机作为样品的制样设备,制定了化探含金样品新的加工工艺流程,加工后的试样具有很好的均匀性和代表性,并用纯金丝和自然金作加入试验进行了验证,回收率很好。

几年来,我们通过等面弧棒棒磨机新技术,进行了初步的试验,并系统地进行专门的研究,取得如下令人满意的结果:

①查明了金矿样品难加工的关键所在,首次提出含金样品加工一定要破碎至 -0.038mm 的新观点。打破以往国内规定的仅将含金样品加工至 -0.074mm 的惯例。

②本专题研究者自行设计研制了一种称之为“等面弧棒棒磨粉碎机”,具有噪声小、粉尘少、工效高的特点,并从力学、磨矿介质运动学的观点探讨了这种新设备特点的机理。棒磨四小时可使含金样品破碎至 0.03mm 的粒度占 98%。自然金的粒度 $\leq 0.03\text{mm}$ 。它不仅适

用于化探样品的加工,同样可适用于常量金样品的加工,它是目前金矿制样的最理想的加工设备。

③根据自然界中金的赋存状态和粒度及其分布极不均匀性,针对不同类型的化探样品制定了相应的新的加工工艺流程,碎样时无需加入助磨剂,加工后样品主要组分不变。与国内外同类成果相比,这是一个新的突破。

④用分析结果相对偏差,检查其均匀性、代表性,本专题的分析精密度 $ARD < 50\%$ ($1 - \geq 500\text{ng/g}$),超过了课题规定的技术经济指标。

⑤关于室外加工缩分正副样的代表性问题,对于土壤和水系沉积物类型样品,以 -0.28mm 缩分正副样,这与地矿部《岩矿分析碎样规程》(试行)规定指标相符合;对岩石样品一般以 -0.9mm 缩分正副样是可以的,但对特殊岩石样品例外(如大冶金井咀样品,是以 -0.18mm 缩分正副样才符合要求)。

二、金的赋存状态及实验样品采集

(一) 金的赋存状态与化探样品含金均匀性的关系

以岩石、土壤、水系沉积物为采样对象的勘查地球化学样品,其含金量均匀程度与金在地质体中的赋存状态密切相关,而且受样品中自然金粒度的分布状况所制约。当样品含金粒度较粗,金粒径相差悬殊,或自然金以包裹体金的形式赋存于硅酸盐矿物中,样品未能粉碎到足够细度,其分析结果往往不稳定,波动很大,检测值难于确定。

众所周知,地壳中金的平均含量很低,且分布极不均匀,这是金元素两大地球化学特征。在岩石圈的各类岩石中金含量存在明显的差异,火成岩一般含金变化在 1.6×10^{-9} — 23×10^{-9} 范围内,沉积岩中含金最少为 0.1×10^{-9} ,最高可达 2500×10^{-9} ,而各类变质岩中含金平均值为 1.0×10^{-9} — 8.5×10^{-9} 。我国各类变质岩含金变化于 0.55×10^{-9} — 758×10^{-9} 之间,相差达 1379 倍。

文献资料表明,自然界中金主要以单质自然金和互化物产出,以裂隙金、晶隙金、包裹体金和胶体吸附金等形式赋存于硫化物及其载体矿物中;为数有限的金可能与铁呈类质同象置换存在于铁矿物的晶格中;在水溶液(变质水、岩浆水、渗滤水、地表水)中,金可以形成氯、硫为主的多种络合物;此外,金可能与有机质形成络合物。

地质体中产出的自然金,粒度差别甚大。不同地区、不同类型的金矿床,或同一矿床矿体中的不同部位,金粒度差异十分显著。从我国 40 个岩金矿床来看,金矿物粒径变化范围为 $0.0\mu\text{m}$ 至 10mm ,一般在 0.003 — 0.3mm 之间。变质岩地区的变质热液型金矿,金粒度一般较大为 0.01 — 0.5mm ,普遍产出有 $>1\text{mm}$ 的金块;沉积变质热液型金矿,金粒度 0.01 — 0.15mm ;岩浆热液型、火山、次火山热液型金矿,金粒度变化基本相接近,为 0.005 — 1.0mm ,一般在 0.01 — 0.1mm 之间,产有 $>1\text{mm}$ 金粒的矿床占 23.5% ,其中独立金矿床金粒相对较粗,共(伴)生金矿的金粒较小;渗滤热液型和粘土型金矿,金粒度一般 $< 0.01\text{mm}$,仅个别矿床产有 $>0.01\text{mm}$ 的自然金。矿床和矿体中的金粒度变化,以大冶金井咀岩浆热液型金矿为例,在矿石显微镜鉴定中见到一个光片含金 1374 粒,且集中分布于 5.6cm^2 光片中的 $1/3$ 部位,自然金粒径在 0.005 — 0.80mm 之间,其粒度差达 1600 倍。

在表生地质作用下,原岩(岩石和矿石)经物理、化学风化形成残积、坡积物,再经

碎解、离解作用成为土壤,地表径流将前述物质带走并形成水系沉积物。在这过程中,原岩中的金被离解出来,微细粒金易被溶解,而呈胶态金、悬浮金迁移沉淀,或以络合物形式迁移再还原沉淀;粗粒金活动性较小,以机械搬运形式迁移一定距离。前者主要赋存于细粒级,相对迁移较远,后者与原始源区关系密切。许多研究者认为,在地表低温条件下,金具有归并、增生加大的特点,因而在某些地区的残坡积层和砂金中常见到粗粒金,以至“狗头金”。高质彬(1987)曾报道在川西某地二叠纪玄武岩(含金 14×10^{-9})的残积层内发现 $0.3 \times 0.1 \text{ mm}$ 的金粒。川西昌台地区的砂金,自1984—1986年民采获得几十至百余克的金块数以千计,巨型金块重达500g和6136.15g($240 \times 155 \times 32.5 \text{ mm}^3$)。

不难看出,自然界中金赋存状态是多样的,金粒径离散度很大。但就化探采样的对象——岩石、土壤和水系沉积物而言,在渗滤型(卡林型)、粘土型矿区和其它无矿地区,相对容易制备均匀度较好的分析试样,而在变质岩矿化集中分布区,岩浆岩型、火山次火山型金矿化集中分布区,要想制备均匀度好的试样难度较大,尤其是变质热液型和沉积变质热液型金矿的地球化学勘查,遇到试样均匀度不好的机率最大。

(二) 不同含量级别 10g 样品中含金颗粒数的估计

为了探求化探样品含金量与金粒度关系,设定自然金的密度为 18 mg/mm^3 ,采用球粒体积 $V = \frac{1}{6} \pi d^3$,薄片体积 $V = \frac{1}{4} \pi d^2 \times \frac{d}{10}$ 公式进行计算,其计算结果见表1。

从表1中可以看出,要想获得相对均匀的试样,不同含量级别样品的粉碎细度要求是不同的。 $>1 \times 10^{-6}$ 的常量金,一般粉碎至 -0.074 mm 可能得到相对均匀的试样,而 $\leq 1 \times 10^{-6}$ 含量的微量痕量金,这样的细度远远不够,必须粉碎至更细粒级才能达到相对均匀的分析试样。

(三) 试验样品的采集

1. 采样原则

(1) 必须主要选择产有粗粒金,且金粒度变化系数较大的金矿类型和矿床(点)集中分布区。

(2) 水系沉积物必须在已知区域化探异常范围内采集。土壤试样必须采自已知矿体附近的残坡积土。岩石样品采样点布置于矿床露头或矿化体上及其附近。

(3) 采样方法必须遵循化探采样规范,多点采集然后组合成试验大样。

根据上述原则试验样品采集地选择了,湖北宜昌黄陵背斜核北部的水月寺石英脉型金矿集中分布区和大冶张海微细浸染型金矿化带。水月寺变质热液石英脉型金矿,赋存于晚太古—早元古界混合岩化变质岩系,矿石中金矿物主要为自然金及含银自然金,且以裂隙金、晶隙金和包裹体金的形式赋存于黄铁矿、黄铜矿、方铅矿、闪锌矿和石英、褐铁矿等载体矿物中,金粒度 $0.002-0.25 \text{ mm}$ 。1:50000区域重砂测量样品中见金颗粒数与金粒度的变化系数分别为103.9%和133.5%。大冶张海微细浸染型金矿,赋矿地层为志留系高家边群含炭页岩、粉砂质岩及细砂岩,自然金以超显微金形式赋存于黄铁矿、水云母和石英等载体矿物中或有机碳吸附。先后三次采样共12件,经筛选确定7件具有代表性样品作为试验样品。

样品的基本特征见表2、表3。

表 2 试样基本特征

试样编号	采样地及矿床类型	试样类别	样品特征	重量 (kg)	金含量 (ng/g)
试 ₂	黄陵水月寺、石英脉型 金矿区、化探异常	水系沉积物	灰—黄色含细砾粉砂微层状粘土	3.9	30.0
试 ₁	黄陵水月寺、石英脉型 金矿区、化探异常	水系沉积物	黄色含粘土中细粒砂 200g 样的重砂见金 3 粒	4.5	62.0
试 ₇	黄陵水月寺、石英脉型 金矿区、化探异常	水系沉积物	黄褐色粉砂质粘土	8.4	7.0
试 ₃	黄陵水月寺、石英脉型 金矿区、矿体上方	残坡积物	黄色粉砂质土壤	4.5	37.0
试 ₁₀	黄陵水月寺、石英脉型金矿区、 矿床及异常外围	残坡积物	灰黑色粉砂质土壤	7.2	7.6
试 ₁₁	黄陵水月寺、石英脉型 金矿区、矿化体上	含金岩石	黑云母二长片麻岩	11.5	680
试 ₄	大冶县张海微细 型金矿化带	含金岩石	硅化页岩、粉砂质页岩	5.3	9.1

表 3 各试样主要元素分析 (10^{-2})

编 号	试 样 类 别	Si	Fe	S	C
试 ₁	水系沉积物	66.73	4.28	0.23	0.23
试 ₇	水系沉积物	66.45	4.92	0.10	0.13
试 ₃	土 壤	66.44	3.65	0.72	0.35
试 ₁₀	土 壤	55.14	6.69	0.16	0.93
试 ₄	岩 石	68.31	3.70	0.59	0.16
试 ₁₁	岩 石	65.87	7.01	0.16	0.06

三、实 验

(一) 等面弧棒棒磨粉碎机的结构和特点

1. 等面弧棒棒磨粉碎机的结构

等面弧棒棒磨机是自行设计研制的，弧棒是采用特殊磨剂在一定条件下制成的，其结构如图 1 所示。

2. 等面弧棒棒磨机碎样的特点

在棒筒转速确定的前提下，等面弧棒棒磨机的磨矿规律大致可分为抛落式、泻落式、间击式、连击式四个阶段，这里指

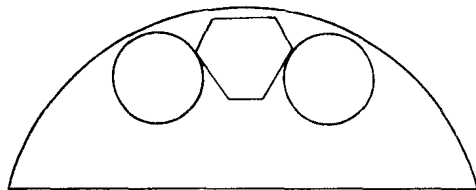


图 1 等面弧棒结构示意图

的抛落、泻落是对物料而言如图 2 中 (A) 为磨矿开始阶段，由于样品颗粒粗，密度小，相对于钢棒摩擦力亦小，样品呈抛落式；图 2 中 (B)，当样品磨至约 $\pm 0.154\text{mm}$ 时，样品颗粒变小密度增大，相对钢棒的摩擦力亦增大，又由于样品颗粒自身重量减轻，故呈泻落式；图 2 中 (C)，当样品被磨至约 0.08mm 时，样品颗粒已相当小了，密度亦进一步增大，此时样品不再呈抛落式或泻落式运动，而是处在钢棒表面上浮动被钢棒反复翻动、研磨。由

于样品已达到一定小的粒度，此时样品相对于钢棒的摩擦力反而变小了。此阶段可以听到间断的钢棒转换位置敲击棒筒的声音，这是磨矿碎金的最佳状态阶段，时间可长达 2—3h；图 2 中 (D)，当样品被碎至约 0.0385mm 时，可以听到钢棒连续的敲击声，称之为连击式。

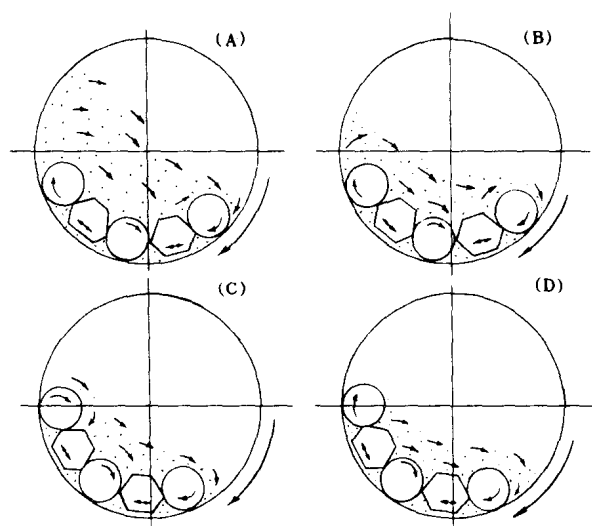


图 2 等面弧棒磨机磨样的四个过程

3. 不同钢棒数的组合对碎金效果的比较

表 4 中的数据表明，尽管在相同的工作条件下，不同的圆棒与弧棒组合比例不同，其碎金效果的差别是明显的，以三圆二弧的组合比为最优。

表 4 等面弧棒与圆棒数量比的试验

数量比	二圆一弧	二圆二弧	三圆二弧
金的测试结果 (ng/g)	76.0	40.0	78.0
	22.0	34.0	56.0
	52.0	14.0	50.0
	62.0	30.0	78.0
	64.0	16.0	50.0
	45.0	24.0	62.0
	50.0	25.0	50.0
	72.0	30.0	62.0
	54.0	28.0	78.0
	22.0	26.0	56.0
平均结果	51.9	26.7	62.0
相对偏差 (%)	110.2	96.3	43.8

(二) 化探含金样品的碎样流程

本研究专题针对化探样品含金的固有特性，结合破碎设备对粉碎物料的施力作用的机理，选用颚式破碎机（平面颚板）和等面弧棒棒磨粉碎机制定新的碎样流程（图3）。通过实验证明，该流程对含金样品的制备（不加任何助磨剂）具有很好的均匀性和代表性。

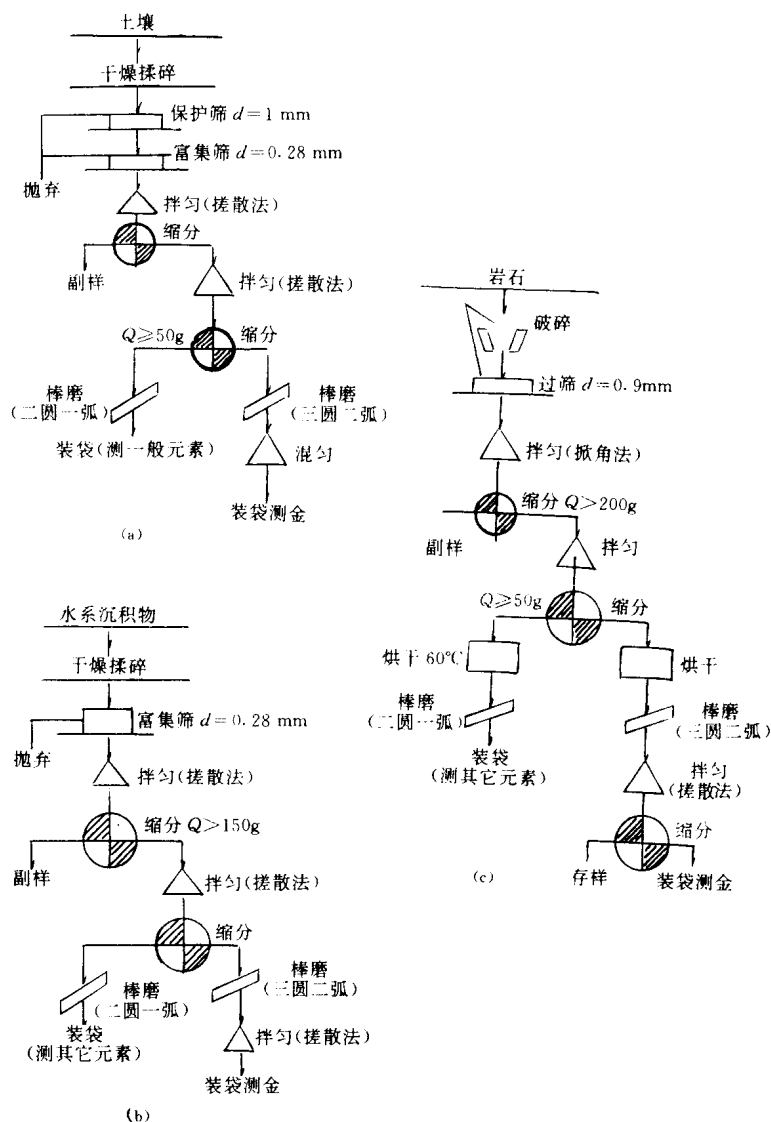


图3 化探样品含金碎样流程

a—土壤；b—水系沉积物；c—岩石

(三) 等面弧棒棒磨机碎样时间与碎样粒度的一般关系

试验结果见表5至表7及图4。

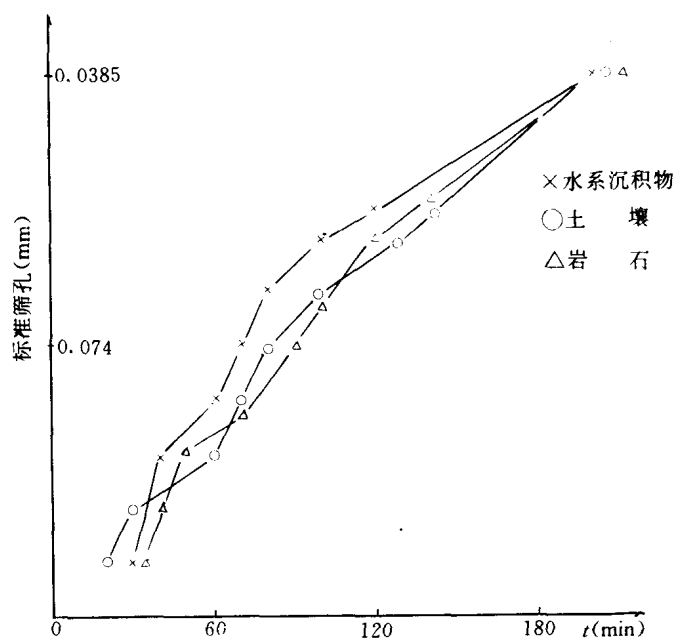


图4 等面弧棒磨机碎样时间与试样粒级关系曲线图

表5 水系沉积物磨矿时间与碎样粒级 (mm) 的一般关系

磨矿时间 (min)	+0.45	+0.18	+0.125	+0.098	+0.074	+0.03	+0.055	+0.054	-0.054	+0.0385	+0.03	+0.02	-0.02	备 注
0	82.6	33.5	37.5	4.2	2.0	7.5	6.5	3.0	23.2	—	—	—	—	干筛 0.038mm 后未分级
20	0.1	1.0	5.8	11.8	7.2	45.7	21.8	40.7	65.8	—	—	—	—	
30	0	0	0.3	1.8	2.7	24.5	16.2	31.4	122.3	—	—	—	—	
40	0	0	0	0.4	1.3	5.2	14.5	26.9	151.1	—	—	—	—	
50	0	0	0	0.1	0.2	0.9	8.2	5.6	184.1	—	—	—	—	
60	0	0	0	0	0.1	0.6	3.1	2.3	192.5	—	—	—	—	
70	0	0	0	0	0	0.1	0.8	2.0	195.5	—	—	—	—	
80	0	0	0	0	0	0	0.6	1.1	196.5	—	—	—	—	
90	0	0	0	0	0	0	0.2	0.8	197.1	—	—	—	—	
100	0	0	0	0	0	0	0	0.6	199.4	—	—	—	—	
110	0	0	0	0	0	0	0	0.1	199.8	—	—	—	—	
120	0	0	0	0	0	0	0	0	0	2.1	3.7	8.0	184.1	水筛
140	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0.9	2.2	3.8	193.1	水筛
160	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0.6	1.6	1.7	196.0	水筛
200	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0.2	1.6	199.2	水筛
240	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0.1	0.2	199.7	水筛

注：碎样进料粒度为-0.9mm，重量为200g。

表 6 土壤磨矿时间与碎样粒级 (mm) 的一般关系

磨矿时间 (min)	+0.45	+0.18	+0.125	+0.098	+0.074	+0.03	+0.055	+0.054	-0.054	+0.0385	+0.03	+0.02	-0.02	备 注
0	80.5	38.0	39.5	11.5	4.5	7.6	4.4	3.0	11.0	—	—	—	—	干筛
10	0.1	1.0	18.0	10.5	16.0	22.8	28.1	22.0	81.4	—	—	—	—	干筛
20	0	0.1	4.0	5.0	7.0	20.1	21.4	24.5	117.2	—	—	—	—	干筛
30	0	0	0.8	2.4	1.9	14.6	17.8	30.0	132.1	—	—	—	—	干筛
40	0	0	0.3	0.6	0.8	5.0	9.8	19.8	163.4	—	—	—	—	干筛
50	0	0	0.1	0.2	0.4	2.5	4.6	12.5	178.9	—	—	—	—	干筛
60	0	0	0	0.1	0.3	1.7	2.4	3.0	191.3	—	—	—	—	干筛
70	0	0	0	0	0.1	0.6	1.4	2.3	194.1	—	—	—	—	干筛
80	0	0	0	0	0	0.3	1.0	1.3	195.7	—	—	—	—	干筛
90	0	0	0	0	0	0.1	0.5	0.7	196.6	—	—	—	—	干筛
100	0	0	0	0	0	0	0.3	0.5	196.9	—	—	—	—	干筛
110	0	0	0	0	0	0	0.2	0.4	197.0	—	—	—	—	干筛
120	0	0	0	0	0	0	0.1	0.2	197.1	—	—	—	—	干筛
130	0	0	0	0	0	0	0	0.1	199.1	—	—	—	—	干筛
140	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0.5	1.0	1.6	196.9	水筛
160	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0.2	0.9	1.2	197.7	水筛
180	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0.1	0.3	1.0	198.6	水筛
200	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0.1	0.5	199.4	水筛

注：碎样进料粒度为-0.9mm，重量为200g。

表 7 岩石磨矿时间与碎样粒级 (mm) 的一般关系

磨矿时间 (min)	+0.45	+0.18	+0.125	+0.098	+0.074	+0.03	+0.055	+0.054	-0.054	+0.0385	+0.03	+0.02	-0.02	备 注
0	62.2	28.3	28.9	8.8	5.9	5.7	6.5	4.2	49.5	—	—	—	—	干筛
20	0.1	8.0	51.1	12.6	11.0	12.4	12.4	8.4	84.3	—	—	—	—	干筛
30	0	0.1	12.7	9.9	24.9	21.0	17.8	14.5	99.0	—	—	—	—	干筛
40	0	0	4.0	4.3	6.7	20.1	8.1	19.8	136.8	—	—	—	—	干筛
50	0	0	0	1.9	1.7	3.2	8.3	6.7	177.6	—	—	—	—	干筛
60	0	0	0	0.5	0.6	0.9	3.3	3.8	188.8	—	—	—	—	干筛
70	0	0	0	0	0.5	0.5	1.6	2.6	193.2	—	—	—	—	干筛
80	0	0	0	0	0.1	0.2	0.7	1.1	196.4	—	—	—	—	干筛
90	0	0	0	0	0	0.1	0.4	0.8	197.3	—	—	—	—	干筛
100	0	0	0	0	0	0	0.2	0.5	197.8	—	—	—	—	干筛
110	0	0	0	0	0	0	0.1	0.4	198.1	—	—	—	—	干筛
120	0	0	0	0	0	0	0	0.2	198.3	—	—	—	—	干筛
130	0	0	0	0	0	0	0	0.1	198.2	—	—	—	—	干筛
140	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0.6	0.8	1.8	196.8	水筛
160	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0.3	0.8	1.2	197.7	水筛
180	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0.1	0.5	0.7	198.7	水筛
200	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0.3	0.4	199.3	水筛
220	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0.1	0.2	199.7	水筛

注：碎样进料粒度为-0.9mm，重量为200g。