

《含粗粒金矿石样品加工技术规范》

(征求意见稿)

编制说明

陕西省地质矿产实验研究所有限公司
2024年11月15日

目录

一、 工作简况	1
1. 1 任务来源	1
1. 2 协作单位	1
1. 3 制定背景	2
1. 4 起草过程	3
1. 4. 3 报批稿	4
1. 5 标准主要起草人情况	4
二、 标准编制原则和确定主要内容的论据	6
2. 1 标准编制原则	6
2. 2 确定主要内容的依据	6
三、 试验验证的分析、综述报告，技术经济论证，预期的经济效益、社会效益和生态效益	19
3. 1 试验样品的选择与基本性质确定	19
金矿（碲金矿）赋存状态及嵌布粒度	26
3. 2 试验样品的试验样品人工重砂自然金鉴定分析	28
3. 3 试验样品金含量分布	32
3. 4 重砂分离分析流程质量评述	34
3. 5 重砂分离分析方法与常规样品加工分析方法精密度对比	39
3. 6 重砂分离-分析方法实验室内精密度	42
3. 7 实验室间重砂分离-分析方法精密度验证	45
四、 与国际、国外同类标准技术内容的对比情况，或者与测试的国外样品、样机的有关数据对比情况；	54

含粗粒金矿石样品加工技术规范

编制说明

一、工作简况

1.1 任务来源

本项目属于陕西省地勘基金项目先进科研成果转化和应用。依托 2013 陕西省地勘基金项目《陕西省安康北部金矿带含粗粒金矿石样品分析方法实验研究》该项目在充分调研国内外研究现状的基础上，选择安康北部含粗粒金矿带的汉阴长沟金矿、羊坪湾金矿和石泉金斗坡金矿为研究对象，进行了重砂分离-分析方法与传统的样品加工分析方法的对比研究，结果表明，重砂分离-分析的金矿品位普遍高于常规样品加工分析方法的金品位（1.4-1.7 倍），该方法的内检一次合格率为 84%-87%，解决了含粗粒金矿石样品因粗粒自然金的高度延展性而造成加工后样品金分布不均使得金检测结果精密度差难以正确评价金矿资源的技术难题。为了将该项成果推广应用，2023 年陕西省地质矿产实验研究所有限公司向陕西省市场监督管理局提出制定陕西省地方标准的立项申请，经过专家评审《含粗粒金矿石样品加工技术规范》通过了地方标准立项申请，列入 2023 年度陕西省地方标准制修订计划项目（项目编号：SDBXM035-2023）

1.2 协作单位

参与本项目的协作单位为：

- (1) 有色金属西北矿产地质测试中心
- (2) 中陕核工业集团综合分析测试有限公司
- (3) 中国地质调查局西安矿产资源调查中心
- (4) 陕西安康秦汉实验检测有限公司
- (5) 陕西三队地矿实验测试有限公司
- (6) 核工业二〇三研究所

(7) 陕西地矿汉中检测有限公司

(8) 陕西省地质矿产实验研究所有限公司

上述协作单位代表了陕西省在金矿样品加工分析领域的较高水平，行业领域涉及地矿、有色冶金、核工业等，具有广泛的代表性。

1.3 制定背景

金矿是我国的战略性矿产，陕西省金矿保有资源量位居全国第九位（2020年底数据），产于小秦岭的石英脉型金矿和安康北部的黑色岩系蚀变岩型金矿是我省金矿的重要类型。这类金矿中自然金的粒度在中粒金（ $0.074\text{~}>0.037\text{mm}$ ）以上占有较高比例，其中粗粒金（ $0.295\text{~}>0.074\text{mm}$ ）和巨粒金（ $>0.295\text{mm}$ ）矿石样品，由于自然金的延展性，造成传统的样品加工和分析方法不能获得准确可靠的分析结果（分析结果重现性差），甚至将有工业利用价值的矿体“忽略”，不能正确评价金矿储量，成为长期困扰该类型金矿找矿突破的技术瓶颈。

针对含粗粒金矿石的加工分析，目前国内外没有相应的标准分析方法或技术规范，虽然《固体矿产地质勘查规范 岩金》（DZ/T 0205—2020）对含有粗粒金矿石样品的加工，提出了“应将原矿样品直接碎磨至分析需要的粒度，整个加工过程不缩分、不过筛”的要求，将样品全部加工至化学分析样品粒径（ $<0.074\text{mm}$ ），不仅加工成本高，且并不能解决自然金在加工过程中粒径变细且能够均匀分布在样品中的问题。

为了解决陕西省小秦岭的石英脉型金矿和安康北部的黑色岩系蚀变岩型金矿由于含有粗粒金，致使样品的采集和加工的代表性极差，造成分析结果重现性差（ $0.5\text{g/t}\sim50\text{ g/t}$ ），不能及时准确的查明勘查区内金的真实品位，严重影响该整装勘查项目金矿资源储量估算的准确性，实现地质找矿在该整装勘查区内的重大突破。2013年陕西省国土资源厅、陕西省财政厅下达了陕西省2013年第二批地勘基金项目—《陕西省安康北部金矿带含粗粒金矿石样品分析方法实验研究》，研究适用于含粗粒金矿的样品加工分析方法，为

获得可靠的金矿勘查成果和准确的资源/储量估算提供技术支撑。经过6年多的工作，证实重砂分离-分析方法是解决含粗粒金矿样品金含量分析结果精密度差的有效方法，并系统全面地对含粗粒金矿石样品的重砂分离条件进行了对比试验研究，确定了试验样品进行首次缩分的粒度（送检样品缩分前应加工的粒度）、最小取样量（用于重砂分析的最低可靠质量）、重砂分离方法（人工）。编制的《含粗粒金矿石金量测定重砂分离-王水消解-原子吸收光谱法》作业指导书，检验检测机构进行方法确认后可以运用于日常的分析检测。

为了将上述研究成果推广应用，2022年陕西省自然资源厅批复了由陕西省地质矿产实验研究所有限公司提出的《含粗粒金矿石金分析方法评价及推广应用（陕西省地方标准）》项目，其目标任务是充分调研国内外含粗粒金矿石样品加工分析技术现状，在陕西省安康北部，汉中勉略宁、商洛及宝鸡等地区已开展的含粗粒金矿普查区，采集具有代表性的试验样品，对“含粗粒金矿石金含量测定”方法（重砂分离分析方法）进行验证和优化，评价分析方法的科学性与实用性，按照试验方法标准制定程序，进行试验方法标准化研究，提交地方标准，为陕西省粗粒金矿产资源勘查提供技术支撑，目前已全面完成了任务书规定的技术研究工作。

依托科研项目研究成果，2023年2月，陕西省地质矿产实验研究所有限公司向陕西省市场监督管理局提出《含粗粒金矿石样品加工与分析技术规范》地方标准制定立项申请，同时提交《含粗粒金矿石样品加工与分析技术规范》（草案）。经专家审查，将标准名称改为《含粗粒金矿石样品加工技术规范》，同意列入2023年度陕西省地方标准制修订计划（SDBXM035-2023）。

1.4 起草过程

1.4.1 征求意见稿

2024年5月-10月，在前期《含粗粒金矿石样品加工技术规范》（草案）的基础上，对照GB/T 20001.5-2017《标准编写规则 第5部分：规范标

准》的编写要求，进一步确定含粗粒金矿石样品加工-重砂分离-金含量分析全流程需要控制的性能指标以及可证实的试验方法，确定试验方法涉及的记录信息，编制了资料性附录：含粗粒金矿石样品重砂分析分析试验记录。2024年10月23日完成《含粗粒金矿石样品加工 技术规范》（征求意见稿）及编制说明的编写。

2024年10月30日陕西省地质矿产实验研究所有限公司组织省内相关技术专家完成标准征求意见稿的初审。2024年11月15日向陕西省自然资源标委会报送《含粗粒金矿石样品加工 技术规范》（征求意见稿）的征求意见函。

1.4.2 送审稿

.....

1.4.3 报批稿

.....。

1.5 标准主要起草人情况

标准主要起草人情况见表 1-1

表 1-1 主要编制人员情况

序号	姓名	学历	专业	职称	专业工作年限	对制定标准的具体贡献
1	熊英	本科	岩矿分析	教授级高工	41 年	负课题项目实施方案的制定，负责试验数据的统计分析及成果报告的编写，负责地方标准立项申请，负责标准文本及编制说明的编写及意见汇总处理。
2	胡建平	本科	微生物	正高级工程师	27 年	负责试验过程加工设备的选择与配置。
3	王虎	研究生	矿物加工	高级工程师	10 年	负责试验样品的采集、加工及重砂分离、原始资料整理
4	孙阳	本科	矿物加工	正高级工程师	27 年	参与试验样品采集、加工及重砂分离。
5	刘强	大学	地质勘查	工程师	10 年	负责试验样品采集
6	缑明亮	本科	矿物加工	工程师	36 年	参与重砂样品淘洗分离

序号	姓名	学历	专业	职称	专业工作年限	对制定标准的具体贡献
7	刘运杰	本科	矿物加工	高级工程师	39年	参与重砂样品淘洗分离
8	李青翠	本科	地球化学	高级工程师	28年	负责试验样品金赋存状态分析及人工重砂自然金形貌特征分析。
9	杨官成	本科	环境科学与工程	助理工程师	14年	负责试验样品金含量测定
10	杨柳晨	研究生	地质学	工程师	7年	负责实施方案修改完善
11	董亚妮	本科	工业分析	正高级工程师	24年	负责标准文本的整理审核
12	李田义	本科	分析化学	正高级工程师	26年	参与方法协作验证试验
13	高小红	化学工程与工艺	高级工程师	高级工程师	21年	参与方法协作验证试验
14	甘黎明	本科	应用化学	高级工程师	10年	参与方法协作验证试验
15	贺怡欣	本科	化学与工艺	高级工程师	11年	参与方法协作验证试验
16	薛志伟	研究生	分析化学	高级工程师	17年	参与方法协作验证试验
17	邵文亮	研究生	分析化学	高级工程师	11年	参与方法协作验证试验
18	胡欣欣	本科	化学工程与工艺	高级工程师	18年	参与方法协作验证试验
19	贺基文	本科	应用化学专业	高级工程师	17年	参与方法协作验证试验
20	袁知锋	大专	工业分析	高级工程师	30年	参与方法协作验证试验
21	卢修玉	本科	材料化学	高级工程师	16年	参与方法协作验证试验

二、标准编制原则和确定主要内容的论据

2.1 标准编制原则

本文件遵循 GB/T 20001.5-2017《标准编写规则 第5部分：规范标准》确立的目的导向原则、性能/效能原则、可证实性原则，使文件的编写满足规范性标准的要求。

目的导向原则：标准中拟标准化的特性或内容的选择取决于标准化目的，本文件标准化目的是提供可实际操作的样品加工工艺流程，保证可操作性，对含粗粒金矿的加工和分析过程进行标准化。

性能/效能原则：标准中的要求由反映过程效能的具体特性来表述，本文件标准化对象是样品加工过程，需确保要求中不疏漏对影响样品的代表性均匀性的控制指标（首次缩分粒度、加工过程的损失率、用于重砂淘洗的最小可靠质量、缩分误差、重砂样品加工的适宜粒度、重砂分离的技术要求等），通过对比试验确定相关技术指标。

可证实性原则：规范中要求描述的控制指标，都需要给出相应的试验方法去实施，确定满足要求的样品加工试验流程。

2.2 确定主要内容的依据

2.2.1 用于试验样品的重量宜达到 15 kg ± 2 kg

该要求是针对满足取样代表性的技术指标要求。

2.2.1.1 国内外研究现状

国外学者的研究观点：含粗粒金矿由于矿体与围岩没有明显的划分标志，矿体控制主要依赖采样和样品分析结果，采样的代表性相对于后期加工制备就更为重要。Dominy 等^[1]指出：在整个取样和测定过程中，平均潜在的误差有 80% 来源于样品采集，15% 来源于样品制备，5% 来源于分析检测，虽然错误的检测结果发生在实验室，但大量的误差来源于取样和样品制备。但长期以来，我国在含粗粒金矿化学样品采集的研究工作未得到高度关注，分析结果重现性差，一般均从样品加工和分析找原因^[2-5]。现行行业标准《岩金矿

地质勘查规范》(DZ/T 0205—2020)对含粗粒金矿化学分析样品的采集没有提出特殊要求，不能指导该类金矿样品的采集工作。

对含粗粒金矿床采样的质量控制至关重要，国外对含粗粒金样品的采集开展了大量的研究工作。Dominy 等^[1]指出：地表揭露和地下勘探有助于更好地控制采样，从而使品级和矿床的评估具有连续性，样品的间距依赖于品级的连续性，粗粒金矿脉的间距可能是 1m 和 5m；坑道采样比线性捡块更具代表性，但是它们需要大的采样坑道，以切断整个矿脉；可靠的样品量至关重要，粗粒金矿石需要比细粒类型更多的样品，样品的可靠重量与自然金最大粒径有关^[6]，可通过手标本查明最大金颗粒的粒径，确定采集样品的可靠重量；样品的长度应反映矿化，作为粗略控制，每个样品至少需要 10kg^[7]；钻探取样，采用大岩芯直径可以减少样品误差，推荐代表性的岩芯样品至少达到 30kg/m^[1]；通常情况下，需要足够的钻孔（不少于 30）进行测定比较；有些金矿采用“抓斗取样”（破碎岩石方法）已被证明比上述其他方法更为合理和有效^[8]，但一般不应少于 15 kg（从一个样堆或汽车/卡车样品中取样）。采样位置根据地质的基础知识确定，一般情况下，由单一的地表钻探来推断矿产资源储量是不可能的，加大地下采样间隔密度和采样量是确定矿石储量的最佳途径^[9]。

我国岩金化学试样的采集，主要分为地表拣块、探槽及坑道刻槽取样、钻探岩芯取样等。地表拣块是依据含金矿脉控制情况布置采样线，沿线布点取样，但同一采样线上相邻两个样品分析结果也存在天壤之别，通过增加采样数量一定程度上可以解决样品的代表性问题。采用刻槽规范等距离取样，由于金的矿化度较低，其取样代表性仍然很差，采取减小刻槽深度，扩大刻槽表面积，在有效刻槽面内划网格，均匀地以点取样合成大样，索明源^[10]对比了内蒙梁前金矿探槽取样的分析结果，经过重新采样验证，在 0.6m²~0.8m² 面积内均匀布网采样，具有比规范采集样品更好的代表性。对于深部验证钻探岩芯取样，若采用小口径钻机，一般为全岩芯取样，钻孔位

置的选择很重要，穿过矿体的样品才具有代表性。

2.2.1.2 不同规格采集样品对分析结果的影响

为了探寻不同规格取样对金分析结果的影响，在《安康北部含粗粒金矿带金分析方法研究》项目中，设计了5种刻槽采样规格： $10\text{ cm} \times 5\text{ cm}$ 、 $10\text{ cm} \times 10\text{ cm}$ 、 $20\text{ cm} \times 3\text{ cm}$ 、 $20\text{ cm} \times 5\text{ cm}$ 、 $20\text{ cm} \times 5\text{ cm}$ 。在同一采样点对比了不同采样规格所取样品全部采用重砂分离分析方法分析金的含量，对试验结果按相同规格取样进行统计分析，判断采样规格对不同采样点采集试验金品位的变化，试验结果见表2-1~表2-3。不同规格取样对金含量的影响见图2-1~2-3。

在试验的5种规格中，不同采样规格对金含量的影响较大。统计不同采样点的平均结果，长沟金矿和羊坪湾金矿小规格取样金的品位略高于大规格。

表2-1 长沟金矿相同采样规格对不同采样点的检测结果

采样规格	长沟金矿相同采样规格不同采样点 $w(\text{Au}) / 10^{-6}$						平均值 $w(\text{Au}) / 10^{-6}$
10×5cm	3.93	1.9	1.33	0.20	0.20	1.77	1.58
	4.04	1.65	1.70	0.20	0.28	1.79	
10×10cm	1.72	1.99	0.15	0.30	0.21	0.50	0.76
	1.97	1.25	0.13	0.29	0.18	0.44	
20×3cm	0.22	0.6	0.53	0.33	0.06	2.49	0.75
	0.23	0.47	0.54	0.27	0.11	3.13	
20×5cm	0.16	1.34	0.53	0.27	0.87	2.49	0.94
	0.18	1.36	0.54	0.19	0.22	3.13	
20×10cm	0.28	2.67	0.40	0.29	0.15	0.34	0.53
	0.25	1.09	0.26	0.29	0.12	0.21	

表 2-2 金斗坡金矿相同采样规格对不同采样点的检测结果

采样规格	金斗坡金矿相同采样规格不同采样点 w (Au) / 10^{-6}						平均值 w (Au) / 10^{-6}
10×5cm	1.08	0.42	1.10	0.01	1.28	0.22	0.70
	1.52	0.43	0.83	0.01	1.17	0.27	
10×10cm	0.62	0.46	0.62	0.03	1.29	0.10	0.48
	0.61	0.45	0.61	0.02	0.76	0.19	
20×3cm	2.78	0.07	1.82	0.02	0.26	0.23	0.92
	4.12	0.32	1.11	0.02	0.21	0.14	
20×5cm	1.22	0.57	0.84	0.01	1.62	0.62	0.80
	1.87	0.3	1.29	0.01	0.95	0.25	
20×10cm	0.70	0.88	0.32	0.25	0.07	0.13	0.42
	0.85	0.52	0.14	0.00	0.06	1.08	

表 2-3 羊坪湾金矿相同采样规格对不同采样点的检测结果

采样规格	羊坪湾金矿相同采样规格不同采样点 w (Au) / 10^{-6}						平均值 w (Au) / 10^{-6}
10×5cm	7.43	0.45	1.92	0.067	1.74	4.68	3.12
	8.81	0.33	2.57	0.09	2.14	7.18	
10×10cm	4.1	0.21	1.42	0.078	3.93	1.34	1.86
	4.71	0.2	0.99	0.12	3.36	1.34	
20×3cm	1.87	4.73	0.98	3.8	0.09	2.97	2.61
	8.35	0.26	2.09	4.11	0.07	2.05	
20×5cm	5.22	3.50	0.13	3.51	0.10	4.15	2.83
	6.47	4.24	0.16	2.70	0.02	3.78	
20×10cm	5.36	0.18	1.05	0.27	1.31	4.24	1.94
	3.89	0.12	0.80	0.10	1.17	4.73	

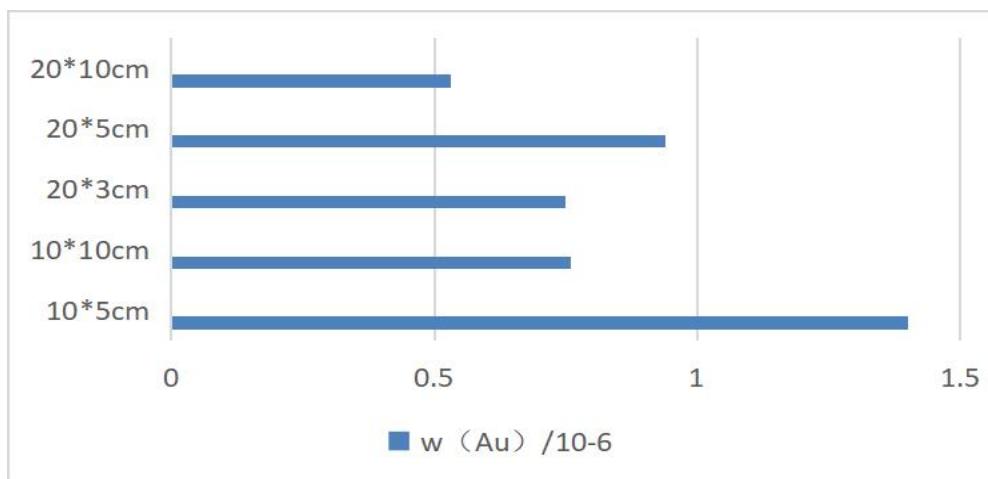


图 2-1 长沟金矿不同规格采样对金品位的影响

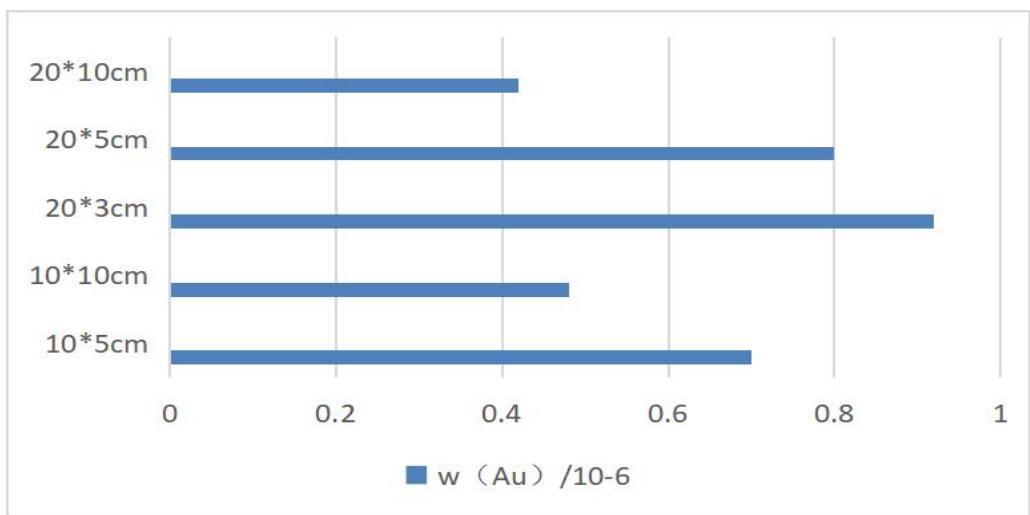


图 2-2_金斗坡金矿不同规格采样对金品位的影响

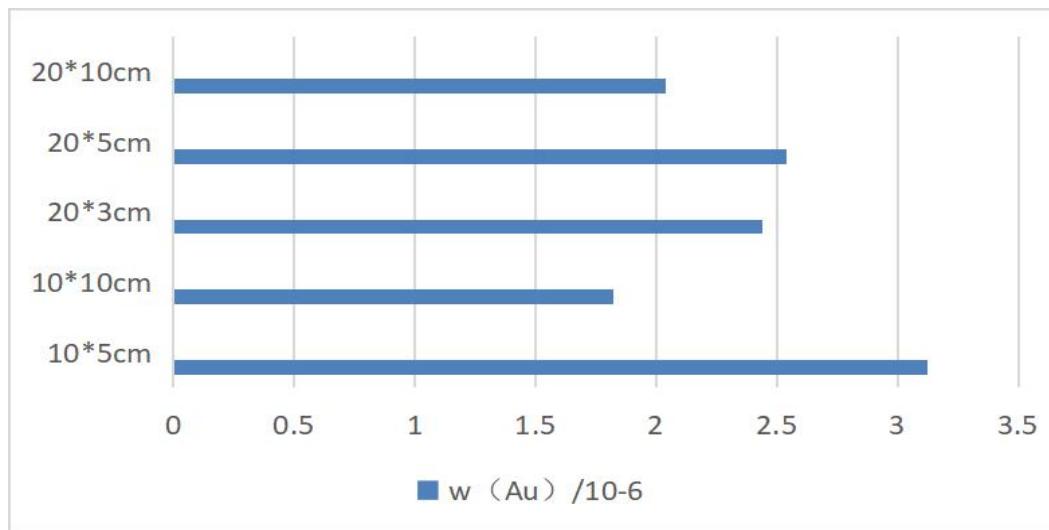


图 2-3_羊坪湾金矿不同规格采样对金品位的影响

通过 5 种采样规格($20\text{cm} \times 3\text{cm}$ 、 $20\text{cm} \times 5\text{cm}$ 、 $20\text{cm} \times 10\text{cm}$ 、 $10\text{cm} \times 10\text{cm}$ 、 $10\text{cm} \times 5\text{cm}$) 的对比试验研究，并未体现何种采样规格具有优势，也并非采样规格越大越好。从经济有效出发研究区样品的采样规格确定为 $10\text{cm} \times 5\text{cm}$ ，考虑样品浓度比重采集样品的重量宜控制在 $13\text{kg} \sim 16\text{kg}$ ，与国外研究结论“不应少于 15kg ”，因此为确保含粗粒金样品的代表性，提出了供试样品的重量要求： $15\text{ kg} \pm 2\text{ kg}$ ；为了满足不同客户的需要，同时增加了“或对收到的样品全部用于试验，不得弃样或缩分部分样品。”的要求。

2.2.2 首次缩分样品的加工粒径应小于 1mm ，缩分前样品加工的损失率应小于 5 % 。

在《安康北部含粗粒金矿带金分析方法研究》项目中，对样品加工的首

次缩分粒度和最低可靠重量进行了如下试验：

从不同规格取样重砂分离分析试验中用于重砂分离的样品重量为 5kg。经过对汉阴长沟金矿、汉阴金斗坡金矿和石泉羊坪湾金矿的 90 件样品的双份重复试验，重复试验合格率 86.6%，表明 5kg 取样均有较好的代表性，为了实现经济有效的目的，将用于重砂分离的样品重量进一步减少至 3kg、1kg 进行重砂分离试验，确定具有代表性的最小取样量。

试验样品从 3 个金矿 6 个不同采样点的 5 个规格取样试验样品中分取，样品已全部加工至 1mm。分别取 3kg、1kg 试样磨矿至 100 目后进行重砂淘洗，分别分析重矿物和尾矿中金的品位，并进行加权平均计算，分析统计结果见表 2-4-1~表 2-4-3。

统计分析结果表明：将样品加工至 1mm，分取 1kg、3kg 和 5kg 再加工至 100 目进行重砂分离分析金的分析结果具有较好的一致性，进一步表明重砂分离分析具有较好的稳定性和复现性，是克服粗粒金影响样品加工均匀性的较好方法，3 个不同重量的重砂分离分析比对试验，说明 1kg 取样也具有代表性。

由此确定首次缩分粒径应不大于 1 mm，最低可靠重量不少于 1kg。

表 2-4-1 长沟金矿 1kg、3kg、5kg 重砂分析结果对比

采样点		1kg 重砂分离-分析 $w(\text{Au})/10^{-6}$			3kg 重砂分离-分析 $w(\text{Au})/10^{-6}$			5kg 重砂-分离分析 $w(\text{Au})/10^{-6}$
样品编号	规格 (cm)	分析结果	与 5kg 分析结果的相对偏差	YG %	分析结果	与 5kg 分析结果的相对偏差	YG %	
SY1-1	10×5	3.58	-10.6	11.5	3.68	-7.8	11.5	3.98
SY1-2	10×10	1.75	-5.6	14.4	1.88	1.6	14.2	1.85
SY1-3	20×3	0.27	20.4	26.2	0.27	20.4	26.2	0.22
SY1-4	20×5	0.21	21.1	28.3	0.18	5.7	29.0	0.17
SY1-5	20×10	0.33	20.0	24.7	0.33	20.0	24.7	0.27
SY2-1	10×5	1.89	12.4	14.4	1.54	-8.1	14.9	1.67
SY2-2	10×10	1.64	1.2	14.8	1.49	-8.4	15.0	1.62
SY2-3	20×3	1.31	83.2	17.6	0.76	33.8	19.5	0.54
SY2-4	20×5	1.16	-15.1	16.0	1.53	12.5	15.4	1.35
SY2-5	20×10	3.00	12.0	12.5	2.53	-5.0	12.9	2.66
SY3-1	10×5	0.23	14.0	27.3	0.25	22.2	26.9	0.20
SY3-2	10×10	0.24	40.0	27.9	0.23	35.9	28.1	0.16
SY3-3	20×3	0.48	-11.8	21.0	0.52	-3.8	20.8	0.54
SY3-4	20×5	0.88	3.5	17.9	0.95	11.1	17.7	0.85
SY3-5	20×10	0.26	-23.7	24.8	0.39	16.7	23.3	0.33
SY4-1	10×5	0.27	11.8	25.9	0.24	0.0	26.4	0.24
SY4-2	10×10	0.25	-18.2	25.3	0.3	0.0	24.7	0.3
SY4-3	20×3	0.26	-20.7	24.9	0.39	19.7	23.4	0.32
SY4-4	20×5	0.24	4.3	26.5	0.29	23.1	25.7	0.23
SY4-5	20×10	0.23	-23.1	25.7	0.36	21.5	24.1	0.29
SY5-1	10×5	1.57	-12.0	14.7	1.99	11.7	14.2	1.77
SY5-2	10×10	0.48	82.4	23.7	0.34	51.9	25.5	0.20
SY5-3	20×3	0.36	113.0	26.7	0.19	62.1	30.7	0.10
SY5-4	20×5	1.49	52.5	16.3	1.53	55.0	16.2	0.87
SY5-5	20×10	0.20	28.6	29.0	0.2	28.6	29.0	0.15
SY6-1	10×5	0.42	18.2	22.9	0.43	20.5	22.8	0.35
SY6-2	10×10	0.58	14.8	20.7	0.61	19.8	20.5	0.50
SY6-3	20×3	2.59	-8.1	12.7	2.84	1.1	12.6	2.81
SY6-4	20×5	0.46	-16.0	21.1	0.6	10.5	20.3	0.54
SY6-5	20×10	0.4	16.2	23.2	0.34	0.0	23.7	0.34

表 2-4-2 金斗坡金矿 1kg 、3kg、5kg 重砂分析结果对比

采样点		1kg 重砂分离-分析 $w(\text{Au})/10^{-6}$			3kg 重砂分离-分析 $w(\text{Au})/10^{-6}$			5kg 重砂分离-分析 $w(\text{Au})/10^{-6}$
样品编号	规格(cm)	分析结果	与 5kg 分析结果的相对偏差	YG %	分析结果	与 5kg 分析结果的相对偏差	YG %	
SY7-1	20×10	1.20	34.1	17.0	1.15	30.0	17.2	0.85
SY7-2	10×10	1.10	55.8	18.0	0.88	34.7	18.7	0.62
SY7-3	10×5	1.32	1.5	15.8	1.17	-10.5	16.1	1.3
SY7-4	20×5	1.77	13.3	14.7	1.73	11.0	14.8	1.55
SY7-5	20×3	2.53	-9.4	12.8	2.71	-2.6	12.7	2.78
SY8-1	20×10	1.03	15.7	17.4	1.02	14.7	17.4	0.88
SY8-2	10×10	0.89	63.7	19.3	0.83	57.4	19.6	0.46
SY8-3	10×5	1.04	84.9	18.9	1.02	83.3	18.9	0.42
SY8-4	20×5	0.75	27.3	19.4	0.88	42.8	18.9	0.57
SY8-5	20×3	0.30	-3.3	24.5	0.38	20.3	23.6	0.31
SY9-1	20×10	0.40	22.2	23.3	0.38	17.1	23.5	0.32
SY9-2	10×10	0.69	10.7	19.5	0.66	6.3	19.6	0.62
SY9-3	10×5	1.29	15.9	16.3	1.33	18.9	16.2	1.1
SY9-4	20×5	1.13	-13.2	16.2	1.28	-0.8	15.9	1.29
SY9-5	20×3	1.48	1.4	15.3	1.56	6.6	15.2	1.46
SY10-1	20×10	0.29	14.8	25.5	0.27	7.7	25.7	0.25
SY10-2	10×10	0.02	-40.0	52.1	0.03	0.0	49.3	0.03
SY10-3	10×5	0.17	12.5	29.8	0.16	6.5	30.1	0.15
SY10-4	20×5	0.05	22.2	43.7	0.03	-28.6	47.1	0.04
SY10-5	20×3	0.02	0.0	55.8	0.03	40.0	52.1	0.02
SY11-1	20×10	0.58	-11.4	19.9	0.71	8.8	19.3	0.65
SY11-2	10×10	2.02	44.1	14.7	2.1	47.8	14.6	1.29
SY11-3	10×5	1.49	15.2	15.6	1.48	14.5	15.6	1.28
SY11-4	20×5	1.65	1.8	14.8	1.76	8.3	14.7	1.62
SY11-5	20×3	0.32	20.7	24.9	0.3	14.3	25.2	0.26
SY12-1	20×10	0.13	26.1	32.9	0.11	9.5	33.8	0.10
SY12-2	10×10	0.17	12.5	29.8	0.13	-14.3	31.0	0.15
SY12-3	10×5	0.28	24.0	26.1	0.24	8.7	26.7	0.22
SY12-4	20×5	0.67	6.2	19.5	0.52	-19.1	20.3	0.63
SY12-5	20×3	0.27	16.0	26.1	0.26	12.2	26.2	0.23

表 2-4-3 羊坪湾金矿 1kg、3kg、5kg 重砂分析结果对比

采样点		1kg 重砂分离-分析 $w(\text{Au})/10^{-6}$			3kg 重砂分离-分析 $w(\text{Au})/10^{-6}$			5kg 重砂分离-分析 $w(\text{Au})/10^{-6}$
样品编号	规格(cm)	分析结果	与 5kg 分析结果的偏差	YG %	分析结果	与 5kg 分析结果的偏差	YG %	
SY13-1	20×10	5.36	0.00	10.3	5.45	1.7	12.7	5.36
SY13-2	10×10	5.12	8.3	10.6	5.16	9.1	12.9	4.71
SY13-3	10×5	7.14	-4.0	9.4	7.24	-2.6	11.6	7.43
SY13-4	20×5	5.54	-5.4	10.2	5.17	-12.3	12.9	5.85
SY13-5	20×3	4.78	-4.1	10.6	4.53	-9.5	13.4	4.98
SY14-1	20×10	0.32	46.2	25.7	0.29	36.7	30.7	0.20
SY14-2	10×10	0.42	71.0	24.4	0.30	40.0	30.4	0.20
SY14-3	10×5	0.47	4.3	21.7	0.55	20.0	25.3	0.45
SY14-4	20×5	0.15	-6.5	30.1	0.18	11.8	35.4	0.16
SY14-5	20×3	0.53	-15.7	20.3	0.51	-19.5	25.9	0.62
SY15-1	20×10	1.20	13.3	16.6	1.23	15.8	19.9	1.05
SY15-2	10×10	1.44	1.4	15.4	1.66	15.6	18.2	1.42
SY15-3	10×5	1.73	-13.5	14.2	2.18	9.6	16.7	1.98
SY15-4	20×5	3.85	9.5	11.6	3.89	10.6	14.0	3.5
SY15-5	20×3	3.76	-7.4	11.4	4.13	2.0	13.8	4.05
SY16-1	20×10	0.31	13.8	24.9	0.35	25.8	29.0	0.27
SY16-2	10×10	0.15	22.2	31.4	0.13	8.0	39.1	0.12
SY16-3	10×5	0.24	90.9	29.5	0.22	83.9	33.4	0.09
SY16-4	20×5	0.15	30.8	31.7	0.13	16.7	39.1	0.11
SY16-5	20×3	0.05	-46.2	39.1	0.03	-90.9	60.8	0.08
SY17-1	20×10	2.11	46.8	14.6	2.34	56.4	16.4	1.31
SY17-2	10×10	4.45	12.4	13.5	4.38	10.8	13.6	3.93
SY17-3	10×5	6.58	101.8	11.0	2.47	14.3	16.1	2.14
SY17-4	20×5	0.96	5.3	17.5	0.99	8.4	21.2	0.91
SY17-5	20×3	1.62	7.0	15.0	1.74	14.2	17.9	1.51
SY18-1	20×10	3.95	-7.1	11.2	3.79	-11.2	14.2	4.24
SY18-2	10×10	1.43	-13.1	15.1	1.89	14.8	17.5	1.63
SY18-3	10×5	4.44	-7.6	10.8	4.48	-6.7	13.5	4.79
SY18-4	20×5	4.57	9.6	11.0	4.34	4.5	13.6	4.15
SY18-5	20×3	3.26	9.3	12.2	3.3	10.5	14.8	2.97

2.2.2.2 缩分前样品加工的损失率应小于 5 %。

在含粗粒金样品加工过程中，记录加工前和加工至 1mm 后样品的重量，统计加工过程的损失率，损失率可以控制在 2.5%~4.8%，小于 5% 的损失率，对 1kg 最小可靠重量引入的误差为 0.5%，对最终结果计算的误差 <0.5%。可以忽略不计。

2.2.3 重砂淘洗样品的质量不少于 1000 g，缩分误差不大于 3 %。

重砂淘洗样品的质量也即样品加工首次缩分的最低可靠重量。在“2.2.2.1 首次缩分粒度和最低可靠重量的确定”的相关实试验中已确定当首次缩分粒度为 1mm 时，最低可靠重量为 1000g，也即重砂淘洗的质量不少于 1000g；

为获得 1kg 具有代表性的样品，逐级缩分是必须的，缩分误差（分取样品与保留样品的差与样品重量之比），参照 DZ/T 0130.2—2006《地质矿产实验测试质量管理规范 第 2 部分：岩石矿物试样制备》7.2 制样中质量差的要求（每次缩分后两部分试验质量差不得大于缩分前试验质量的 3%）本规范缩分误差要求为 3%。

2.2.4 重砂样品加工粒径应控制在小于 0.25 mm 范围

在《安康北部含粗粒金矿带金分析方法研究》项目中，对样品粒度对重砂分离效果的影响，进行了如下试验。

将长沟、金斗坡、羊坪湾金矿所采集样品全部加工至 1mm 后，选取其中有代表性的样品分取 1kg、2kg、3kg 试样磨矿至 0.355mm 和 0.149mm 进行人工重砂淘洗，分别分析重矿物和尾矿中金的品位统计其加权平均值。试验结果见表 2-5-1~表 2-5-3。

表 2-5-1 长沟金矿“重砂分离-分析”对比试验分析结果

样品 编号	粒径 mm	重量 (kg)	重砂		轻质矿物		$w(Au)/10^{-6}$	
			g	$w(Au)/10^{-6}$	g	$w(Au)/10^{-6}$		
Sy2-5 注 0.25mm, 5kg 重砂 分离分析 结果 1.88	0.355	1	9.3	96.8	990.7	2.01 0.97	2.11 1.04	2.89 1.86
		2	6.6	382	1993.4	1.01 1.40	0.70 0.69	2.26 2.65
		3	20.6	250	2979.4	0.38 0.41	0.60 0.35	2.10 2.13
	0.149	1	10.0	258	990.0	0.80 0.93	0.62 0.71	3.36 3.48
		2	7.6	615	1992.4	0.46 0.41	0.64 0.77	2.80 2.75
		3	17.4	190	2982.6	0.38 0.46	0.66 0.88	1.48 1.56
		1	5.9	70.0	994.1	0.19 0.16	0.20 0.59	0.60 0.57
		2	12.9	38.4	1987.1	0.79 0.26	0.20 0.30	1.03 0.51
		3	19.3	35.3	2980.7	0.19 0.16	0.31 0.23	0.42 0.39
Sy3-4 注 0.25mm 5kg 重砂 分离分析 结果 0.85	0.355	1	11.0	21.2	989.0	0.48 0.35	0.27 0.38	0.71 0.58
		2	9.7	50.3	1990.3	0.49 0.25	0.32 0.39	0.73 0.49
		3	17.1	58.2	2982.9	0.34 0.24	0.49 0.23	0.67 0.57
	0.149	1	11.0	21.2	989.0	0.48 0.35	0.27 0.38	0.71 0.58
		2	9.7	50.3	1990.3	0.49 0.25	0.32 0.39	0.73 0.49
		3	17.1	58.2	2982.9	0.34 0.24	0.49 0.23	0.67 0.57
		1	11.0	21.2	989.0	0.48 0.35	0.27 0.38	0.71 0.58
		2	9.7	50.3	1990.3	0.49 0.25	0.32 0.39	0.73 0.49
		3	17.1	58.2	2982.9	0.34 0.24	0.49 0.23	0.67 0.57

表 2-5-1 表明：汉阴长沟金矿（Sy2-5 样品），重砂分离选择 0.355mm 和 0.149mm 的样品粒度均不是十分理想，样品粒度为 0.355mm 时，由于粒度较粗，自然金与部分连生矿物未得到充分解离，造成自然金的分离效果不理想（轻矿物中金的品位较高），样品粒度控制为 0.149mm，也会造成自然金比表面积增大而影响重力分选效果。试样的磨矿粒度以 0.25mm 较为理想。

表 2-5-2 表明：金斗坡金矿重砂分离时的样品粒径为 0.355mm, 0.149mm 时不同取样量分析结果的重现性均不理想，0.149mm 时，轻矿物中含金较高，自然金的分离效果不好。金斗坡金矿重砂分离的最佳条件与汉阴长沟金矿相同，即 1kg 取样加工至 0.25mm 后再进行重砂分离。

表 2-5-2 金斗坡金矿“重砂分离-分析”试验分析结果

样品 编号	粒径 mm	重量 (kg)	重砂		轻质矿物		$w(\text{Au})/10^{-6}$		
			g	$w(\text{Au})/10^{-6}$	g	$w(\text{Au})/10^{-6}$			
Sy7-1 注 0.25mm 5kg 重砂 分离分 析结果 0.78	0.355	1	9.1	209	990.9	0.24 0.49	0.41 0.22	2.15 2.39	2.31 2.13
		2	3.3	34.7	1996.7	0.16 0.31	0.28 0.49	0.22 0.37	0.34 0.55
		3	15.1	28.9	2194.9	0.41 0.16	0.50 0.21	0.45 0.26	0.51 0.30
		1	3.1	34.1	996.9	0.29 1.84	0.45 0.48	0.39 1.94	0.55 0.58
		2	3.2	151	1996.8	0.36 0.98	0.16 1.10	0.60 1.22	0.40 1.34
	0.149	3	6.6	4.61	2993.4	0.47 <0.10	0.85 0.30	0.48 <0.10	0.86 0.31
		1	8.6	21.2	991.4	<0.10 <0.10	<0.10 <0.10	<0.10 <0.10	<0.10 <0.10
		2	11.8	10.9	1988.2	<0.10 <0.10	<0.10 <0.10	<0.10 <0.10	<0.10 <0.10
		3	10.9	1.94	2989.1	<0.10 <0.10	<0.10 0.10	<0.10 <0.10	<0.10 0.11
		1	2.9	15.3	997.1	<0.10 <0.10	<0.10 0.80	<0.10 <0.10	<0.10 0.84
Sy11-1 注 0.25mm, 5kg 重砂 分离分 析结果 0.65	0.355	2	7.8	38.9	1992.2	1.10 1.10	1.70 <0.10	1.25 1.25	1.84 0.15
		3	16.6	13.6	2983.4	<0.10 <0.10	0.10 0.60	<0.10 <0.10	0.17 0.67
		1	8.6	21.2	991.4	<0.10 <0.10	<0.10 <0.10	<0.10 <0.10	<0.10 <0.10

从表 2-5-3 可以看出，0.149 mm 的重砂分离效果略好于 0.355mm，但 0.149mm 时，部分轻矿物中含金较高，其最佳条件仍然为 1kg 取样加工至 0.25mm 后再进行重砂分离。

表 2-5-3 羊坪湾金矿人工淘洗盘的“重砂分离-分析”试验分析结果

样品 编号	粒径 mm	重量 (kg)	重砂		轻质矿物		$w(Au)/10^{-6}$		
			g	$w(Au)/10^{-6}$	g	$w(Au)/10^{-6}$			
Sy13-1 注 0.25mm, 5kg 重砂 分离分析 结果 4.66	0.355	1	2.2	101	997.8	2.89 1.69	1.77 1.73	3.11 1.91	1.99 1.95
		2	21.5	30.6	1978.5	0.99 0.95	1.14 1.35	1.31 1.27	1.46 1.66
		3	8.4	5.13		2.14 2.90	1.46 9.62	2.15 2.91	1.47 9.61
	0.149	1	10.9	490	989.1	0.31 0.34	0.26 0.13	5.67 5.70	5.62 5.50
		2	20.5	580	1979.5	1.87 1.27	1.91 1.32	7.80 7.21	7.83 7.26
		3	37.4	573		0.19 0.26	0.39 0.30	7.33 7.40	7.53 7.44
Sy18-1 注 0.25mm, 5kg 重砂 分离分析 结果 3.94	0.355	1	15.1	173	984.9	0.86 0.73	0.57 0.68	3.46 3.33	3.18 3.29
		2	24.6	186	1975.4	0.64 0.68	0.75 1.06	2.92 2.95	3.02 3.33
		3	46.6	131		0.63 0.76	1.13 1.00	2.66 2.78	3.15 3.02
	0.149	1	7.7	21.2	992.3	0.90 1.11	1.36 1.26	1.06 1.27	1.51 1.41
		2	15.2	195	1984.8	0.59 1.11	0.72 0.87	2.07 2.59	2.20 2.35
		3	19.5	391		0.89 0.62	0.99 2.12	3.43 3.16	3.53 4.65

2.2.5 重矿物金富集率应大于 70%，样品损耗率应小于 1%，保留重砂样品的质量宜小于 30g。

通过控制重矿物金的富集率（重矿物中的金含量占总金含量的百分率），可控制重砂分离的效果，重砂分离的效果直接影响金含量分析结果的准确性（分离效果差，轻矿物中含有粗粒金，造成轻矿物金含量分析重现性差，影响最终检测结果）。参照 DZ/T 0130.9-2006《地质矿产实验室测试质量
管理规范 第 9 部分：岩石矿物样品鉴定》矿物分离，重砂矿物分离质量要求中对于“详查、勘探的自然金，重矿物富集应大于 70%，尾砂中含重矿物

不 0.5%，砂金、铂等贵金属矿、金刚石不得遗漏”的要求，本技术规范对重砂分离的要求“重矿物金富集率应大于 70%”。

在重砂分离过程中，通过称取分离前后样品的重量，样品的损耗率可控制在 0.08 %~1.78 %，本规范要求，重砂分离过程控制重砂分离过程的样品损耗率不大于 2 %。

为便于重砂样品可 1 次全部用于金含量分析，考虑样品分解效率，保留重砂样品的质量宜控制在 5g~30g。

2.2.6 称量重砂样品质量的允许绝对误差小于 0.01g；称量轻矿物质量的允许绝对误差小于 1 g。

重砂质量是计算金含量的重要指标，称量误差的确定与称取的样品量有关，考虑重砂的质量范围小于 5g~30g，在此范围内，0.01g 的绝对误差对金含量计算引入的最大误差为 0.2%；按本规范加工技术要求，轻矿物的质量范围为 970g~995g，在此范围内，1g 绝对误差对金含量计算引入的最大误差为 0.1%，对金含量的计算可忽略不计。

2.2.7 对轻矿物样品混匀缩分，保留金化学分析样品的质量不少于 200 g，加工后的样品粒径应小于 0.074 mm。

从轻矿物样品缩分出 200g 加工至 0.074mm 是金矿样品加工粒度的要求。

三、试验验证的分析、综述报告，技术经济论证，预期的经济效益、社会效益和生态效益

依托陕西省 2022 年地勘基金项目“含粗粒金矿石金分析方法评价及推广应用（陕西省地方标准）”，在陕西安康北部、汉中勉略宁、商洛及宝鸡等地已开展的含粗粒金矿普查区或已开采的矿山，采集具有代表性的试验样品，对“含粗粒金矿石金含量测定”方法进行验证和优化，评价该分析方法的科学性与实用性。相关试验验证分析如下。

3.1 试验样品的选择与基本性质确定

根据陕西省金矿资源分布和主要金矿类型，从已经开采和正在勘查的具

有含粗粒金矿石特点的金矿带，采集试验样品，试验样品包含安康北部含粗粒金矿带；勉、略、宁岩金成矿区；凤县—商南泥盆系分布区岩金成矿带等

3.1.1 汉阴黄龙金、鹿鸣金矿

黄龙金矿床位于南秦岭印支褶皱带白水江—白河褶皱束东段，北邻留风关—金鸡岭褶皱束，南接北大巴山加里东褶皱带紫阳—中峰褶皱束牛山复背斜，石泉—神河韧性滑脱逆重推覆带。

金矿含矿岩性为含炭黑云绢云石英片岩。地层普遍遭受多期次不同程度的变质变形作用，形成各类片岩、变砂岩等。区内褶皱强烈，片理发育，形成一系列近东西向复式向斜褶皱，关系密切的为黄龙倒转背斜，是陈家院子—干沟口复向斜的次级褶皱，背斜轴向 $290^{\circ} \sim 310^{\circ}$ ，背斜向南倒转，倾向北东，倾角 $45^{\circ} \sim 65^{\circ}$ 。区内出露的岩浆岩主要为印支期岩体，沿着北西西向断裂分布，有花岗岩脉、云斜煌岩脉，并有极少量伟晶岩、细晶岩、煌斑岩、石英脉出露，后期形成的石香肠石英脉与金矿化有一定关系。

通过野外采集的 16 块矿石标本磨制的光薄片鉴定以及 X-射线荧光光谱分析，汉阴黄龙、鹿鸣金矿的主要脉石矿物成分为白云母、石英、绢云母、黑云母等，主要矿石矿物为少量的磁黄铁矿、闪锌矿、镍黄铁矿、金红石、石墨和毒砂。

自然金的嵌布粒度：汉阴黄龙、鹿鸣金矿样品试验中自然金的最大粒度 $0.006\text{mm} \times 0.001\text{mm}$ ，最小粒度 $0.001\text{mm} \times 0.0008\text{mm}$ ，整个矿石中所见自然金大小见表 3-1。

从表 3-1 中可知，该试验样品所见自然金的粒度集中在微粒级，属超细显微金，但不排除未取样部分矿石中有粗粒金。

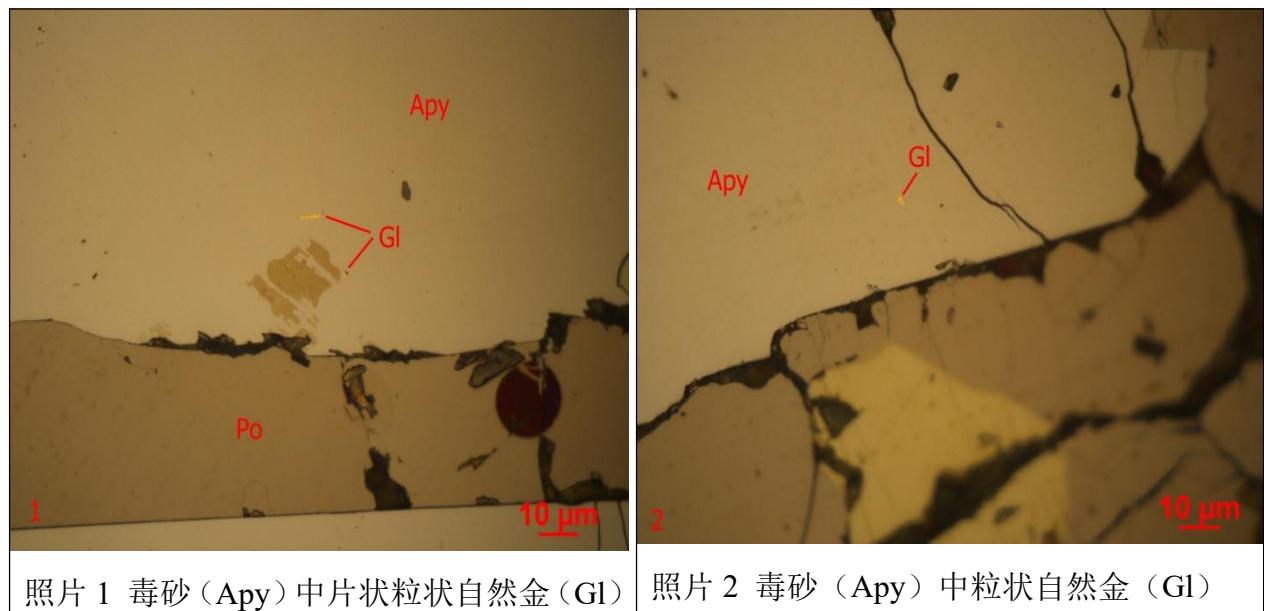
表 3-1 汉阴黄龙、鹿鸣金矿矿石自然金粒度及分布

统计 类型 / 粒级 (mm)	可见金		显微金			
	极粗粒	粗粒	中粒	细粒	微粒	超微粒
	>0.1	0.1~0.074	0.074~0.048	0.048~0.02	0.02~0.001	<0.001
颗粒数	/	/	/	/	5	/
粒数比 (%)	/	/	/	/	100	/
面积 (mm ²)	/	/	/	/	0.0000128	/
分布率 (%)	/	/	/	/	100	/

自然金的赋存状态及形态特征

矿石中所见 5 粒自然金全部赋存于毒砂中，其形态为片状（照片 1）、粒状（照片 2）。前者见 2 粒，后者见 3 粒，未见其他形状。

自然金呈金黄色，反射率约 60% 以上，均质性，硬度低，在毒砂中呈包体出现。



3.1.2 宁强鸡头山小燕子沟金矿

上世纪七十年代末以来多家地勘单位对宁强鸡头山小燕子沟金矿的普

查工作共圈出了9个金矿体，并划分南北两个成矿带，南成矿带五个金矿体Au I -1-Au I -5，北成矿带四个金矿体为Au II -1—Au II -4。通过详查金矿体一般呈带状、脉状和透镜状，沿走向和倾向有膨大窄缩、尖灭再现的特点，与围岩无明显界线。

通过野外采集的8块矿石标本磨制的光薄片的鉴定及X-射线荧光光谱分析，小燕子沟金矿的主要脉石矿物为石英，占比达95%，其次为方解石；矿石矿物仅含有少量的黄铁矿和褐铁矿。

自然金的赋存状态及嵌布粒度

矿石中所见自然金均分布在黄铁矿裂隙内，自然金的嵌布粒度及分布见表3-2。自然金的嵌布关系统计结果见表3-3。

表3-2 宁强小燕子沟金矿自然金粒度及分布

统计 类型 粒级 (mm)	可见金		显微金				总计
	极粗粒	粗粒	中粒	细粒	微粒	超微粒	
	>0.1	0.1~0.074	0.074~0.048	0.048~0.02	0.02~0.001	<0.001	
颗粒数	/	/	2	3	19	/	24
粒数比 (%)	/	/	8.3	12.5	79.2	/	100
面积 (mm ²)	/	/	0.000388	0.000588	0.000507	/	0.001483
分布率 (%)	/	/	26.2	39.6	34.2	/	100

表3-3 宁强小燕子沟金矿自然金的嵌布形式

嵌布形式		颗粒数	粒数比 (%)	面积 (mm ²)	分布率 (%)
包体金	方铅矿中	1	4.16	0.000056	3.8
粒间金	方铅矿与黄铁矿间	1	4.16	0.000024	1.6
裂隙金	黄铁矿裂隙	22	91.66	0.001403	94.6

从表3-2和表3-3的统计分析结果可知，自然金以中细粒为主，次为微粒。主要以裂隙金的形式存在与黄铁矿裂隙中。

3.1.3 镇安县庙沟口金矿

镇安县庙沟口金矿基础地质工作始于1950年代末，经过多家地勘单位，对该地区开展的化探和物探工作，对整个东秦岭地区地层、构造、岩浆岩、断裂密度及化探异常进行了研究，最终划出I级金矿成矿预测区14个。工作区内已发现四条规模较大的含金构造蚀变带，并圈定了金矿（化）体9个。目前陕西矿业开发工贸有限公司正在该区域开展“陕西省镇安县庙沟口金矿预查工作”（地勘金字[2021]9号），在勘查过程中发现该金矿自然金以粗粒为主，粒度 $>0.2\text{ mm}$ 的明金较为常见。肉眼观察粒径多在1mm左右。镜下见有粒径约0.05mm的自然金。

通过野外采集的8个标本磨制的光薄片鉴定以及X-射线荧光光谱分析，镇安庙沟口金矿的主要脉石矿物为石英，占比达95%。主要的矿石矿物为少量的黄铁矿、褐铁矿，并发现17粒银金矿。

银金矿的嵌布粒度

样中所见银金矿共17粒，其粒度大小分布见表3-4。

从表3-4中可见银金矿粒度以微粒为主，占73.3%，细粒占26.7%。对标本的鉴定结果该矿应属微细粒金矿石，但不排除未采集到含粗粒金矿石。

表3-4 镇安庙沟口金矿银金矿粒度及含量统计

粒级 mm 统计 类型	可见金		显微金			
	极粗粒	粗粒	中粒	细粒	微粒	超微粒
	>0.1	0.1~0.074	0.074~0.048	0.048~0.02	0.02~0.001	<0.001
颗粒数	---	---	---	2	15	---
粒数比 (%)	---	---	---	11.8	88.2	---
面积 (mm ²)	---	---	---	0.000508	0.001392	---
分布率 (%)	---	---	---	26.7	73.3	---

银金矿的嵌布关系

对银金矿的嵌布形式统计结果表明，粒间金和裂隙金占比达97.2%。结果见表3-5。

表 3-5 镇安庙沟口金矿银金矿嵌布形式统计

嵌布形式		颗粒数	粒数比 (%)	面积 (mm^2)	分布率 (%)
包体	石英中	2	11.8	0.000054	2.8
粒间	褐铁矿间	1	11.8	0.000332	17.5
	石英与残洞间	1			
裂隙	石英裂隙	13	76.5	0.001514	79.7

银金矿的形态

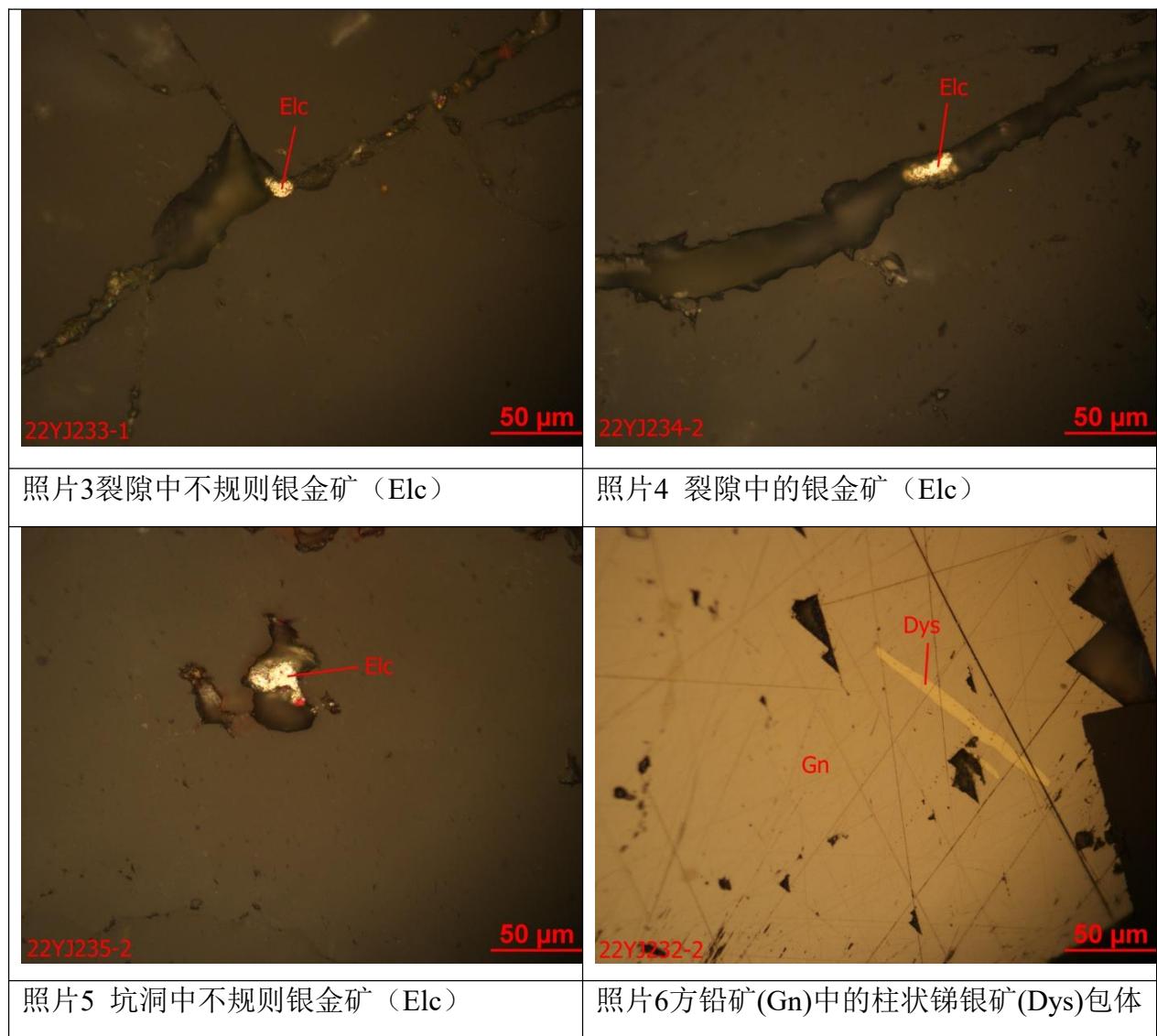
显微镜下对银金矿的形态的统计结果见表3-6。

表 3-6 镇安庙沟口金矿银金矿形态统计

形态	短板状	不规则状	麦粒状	粒状	片状
颗粒数	6	4	4	2	1
分布率 (%)	35.3	23.5	23.5	11.8	5.9

银金矿的特征

银金矿呈他形晶短板状、不规则状、麦粒状等，个别充填在石英之间呈线状。多分布在石英裂隙中，个别分布在褐铁矿中，最大粒径 $0.025\text{mm} \times 0.012\text{mm}$ ，最小 $0.006 \times 0.003\text{mm}$ （见照片3~照片6）。



3.1.4 凤县八卦庙金矿

凤县八卦庙金矿已于 1996 年矿山正式建成投产，已生产黄金十余吨。全矿床共有矿体 10 条，主矿体 4 条。金的赋存状态：金矿物种类单一，仅为自然金一种。自然金平均含量 Au 92.46%。金平均成色为 925；自然金主要呈他形粒状、不规则粒状、浑圆、粒状、椭圆粒状、细脉状产出；自然金产出状态主要有 3 种：粒间金（69.65%～85.32%）、裂隙金（0.89%～9.44%）、包体金（2.38%～5.24%）。金的粒度以粗粒、中粒、细粒、微细粒不均匀分布为特点，粗粒、中粒、细粒金约占 91.62%，微粒金仅占 8.38%。

通过野外采集的8块矿石标本磨制的光薄片的鉴定及X-射线荧光光谱分析，八卦庙金矿矿石中矿石矿物以黄铁矿为主，次为闪锌矿、方铅矿、磁黄铁矿等。金矿物唯见碲金矿。脉石矿物以石英为主，次为方解石、绢云母、黑云母、白云母、绿泥石等。

金矿（碲金矿）赋存状态及嵌布粒度

显微镜下对碲金矿粒度分布的统计结果见表3-7。嵌布形式统计结果见表3-8，形态统计结果见表3-9。

表3-7 八卦庙金矿中碲金矿粒度分布统计结果

粒级 (mm) 类型	可见金		显微金				总计
	极粗粒	粗粒	中粒	细粒	微粒	超微粒	
	>0.1	0.1~0.074	0.074~0.048	0.048~0.02	0.02~0.001	<0.001	
颗粒数	/	/	1	4	33	/	38
粒数比 (%)	/	/	2.6	10.5	86.8	/	100
面积 (mm ²)	/	/	0.0333	0.00094	0.002588	/	0.006858
分布率 (%)	/	/	48.6	13.7	37.7	/	100

表3-8 八卦庙金矿中碲金矿的嵌布形式统计

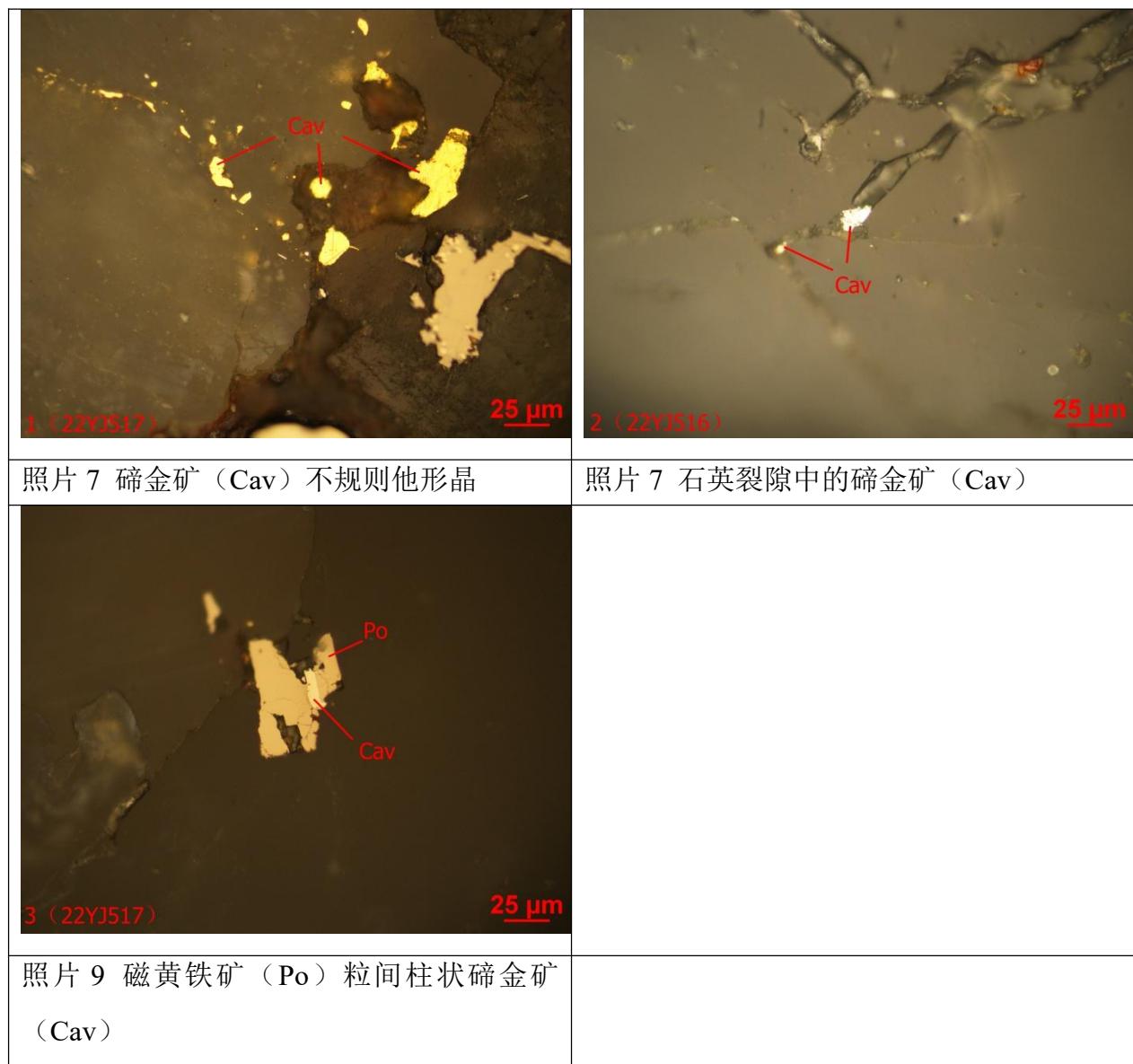
嵌布形式		颗粒数	粒数比 (%)	面积 (mm ²)	分布率 (%)
包体金	石英中	29	76.3	0.005378	78.4
粒间金	磁黄铁矿间	1	2.6	0.00024	3.5
裂隙金	石英裂隙	8	21.1	0.00124	18.1

表3-9 八卦庙金矿中碲金矿的形态统计

碲金矿形态	麦粒状	短板状	不规则状	粒状	片状	板条状
颗粒数 (粒)	10	8	7	9	2	2
粒数比 (%)	26.3	21.0	18.4	23.7	5.3	5.3

鉴定结果表明：矿石中的碲金矿以中微粒金为主，主要以包裹金和裂隙

金的形式存在于石英中。(照片 7~照片 9)



上述 4 个金矿分别属于陕西岩金矿的四个成矿区 (带), 4 个金矿样品中 3 个金矿为石英脉型金矿: 镇安庙沟口金矿、宁强小燕子沟金矿和凤县八卦庙金矿, 虽然风县八卦庙金矿开采初期的研究结论属蚀变岩型金矿, 但在开采后期, 已向石英脉型转变 (蚀变岩中不含金矿)。1 个金矿为变质岩型金矿石 (汉阴鹿鸣金矿和汉阴黄龙金矿), 试验样品满足设计思路 (试验样品金的矿石类型应包含石英脉型和蚀变岩型) 的要求; 在 3 个石英脉型金矿中, 2 个金矿的自然金为合金: 银金矿 (庙沟口金矿) 和碲金矿 (八卦庙金矿), 均储存于石英或石英裂隙中; 另外一个石英脉型金矿 (小燕子沟金矿), 以

单体自然金的形式赋存在黄铁矿裂隙中；采自汉阴黄龙、鹿鸣2个金矿的类型为蚀变岩型金矿，自然金主要赋存在毒砂矿中。4个金矿样品的矿石类型、自然金矿类型、载金矿物均有所不同。试验样品金赋存状态研究结果汇总见表3-10。

表3-10 试验样品金赋存状态研究结果汇总

金矿名称	金矿类型	自然金类型	载金矿	自然金的粒度
镇安庙沟金矿	石英脉型	银金矿	石英	微细粒为主
黄龙鹿鸣金矿	蚀变岩型	单体金	砷黄铁矿	微粒金为主
宁强小燕子金矿	石英脉型	单体金	黄铁矿	中细粒为主
凤县八卦庙金矿	石英脉型	碲金矿	石英	中微粒为主

本次采集的标本中均未发现粗粒金，但通过人工重砂自然金的形貌特征分析，确定采集的试验样品为含粗粒金矿。

3.2 试验样品的试验样品人工重砂自然金鉴定分析

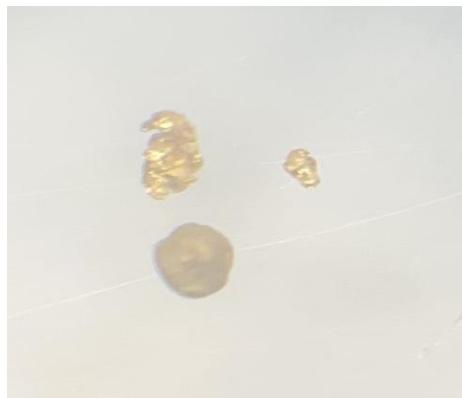
3.2.1 镇安庙沟口金矿人工重砂自然金粒度分布特征

从镇安庙沟口金矿样品中，挑选出4件样品，每个样品分取1kg，分别加工至小于0.25mm后，进行重砂淘洗，通过粗淘、精淘，控制重砂的重量小于5g，烘干，将重砂置于显微镜下，观察测量自然金的粒径及占比分布，其中1个样品自然金的粒径大于0.3mm的占比为67%（30%以上），属含巨粒金矿石类型；另外3件样品中自然金的粒径分布，大于0.3mm的占比在20%~30%之间，属含粗粒金矿。试验结果见表5-11。

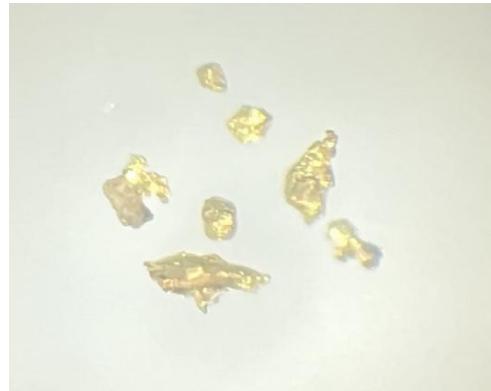
表5-11 镇安庙沟口金矿人工重砂自然金粒级分布

编号	原重砂分离分析结果 ($\mu\text{g/g}$)	自然金颗粒数	粒级分布	结果判定
MG-TX10	1.27	3	>0.3mm, 67%	巨粒
MG-TX14	1.68	7	>0.3mm, 29%	粗粒
MG-TX23	0.72	10	>0.3mm, 20%	粗粒
MG-TX29	5.36	66	>0.3mm, 20%	粗粒

自然金形貌特征照片见MG-TX人工重砂自然金照片。



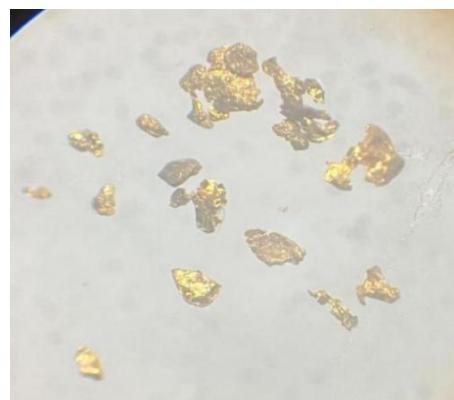
MG-TX10 人工重砂自然金照片



MG-TX14 人工重砂自然金照片



MG-TX23 人工重砂自然金照片



MG-TX29 人工重砂自然金照片

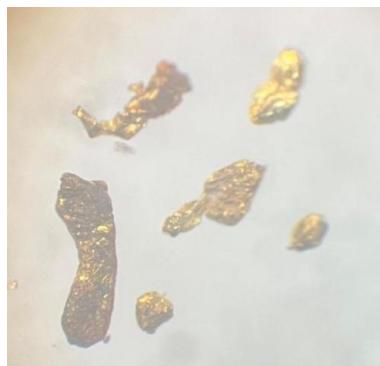
3.2.2 汉阴鹿鸣黄龙金矿人工重砂自然金粒度分布特征

从汉阴鹿鸣黄龙金矿中，挑选出8件样品，每个样品分取1kg，分别加工至小于0.25mm后，进行重砂淘洗，通过粗淘、精淘，控制重砂的重量小于5g，烘干，将重砂置于显微镜下，观察测量自然金的粒径及分布，其中5件样品的鉴定结果为含巨粒金矿石，2件样品的鉴定结果含粗粒金矿石，1件样品的鉴定结果自然金为中粒金。试验结果见表5-12。

自然金形貌特征照片见HL-TX人工重砂自然金照片。

表 5-12 汉阴鹿鸣黄龙金矿人工重砂自然金粒级分布

编号	原重砂分离分析结果 ($\mu\text{g/g}$)	自然金颗粒数	粒级分布	结果判定
HL-TX04	0.90	3	0.07mm–0.3mm	中粒金
HL-TX18	0.63	8	>0.3mm, 62.5%	巨粒
HL-TX20	1.29	8	>0.3mm, 37.5%	巨粒
LM-TX09	2.59	6	>0.3mm, 50%	巨粒
LM-TX11	8.00	9	>0.3mm, 44%	巨粒
LM-TX16	4.45	54	>0.3mm, 17%	粗粒
LM-TX18	23.5	340	>0.3mm, 23.5%	粗粒
LM-TX20	6.15	54	>0.3mm, 31%	巨粒



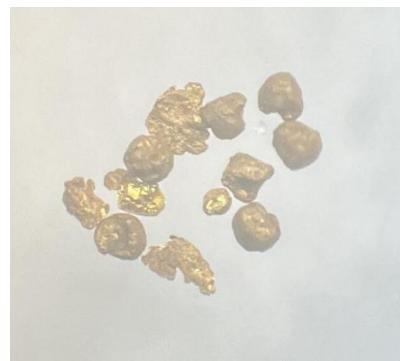
HL-TX20 人工重砂自然金照片



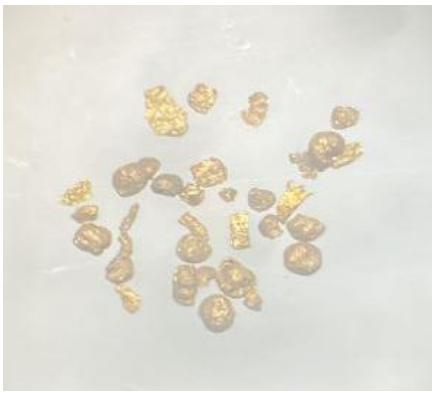
LM-TX11 人工重砂自然金照片



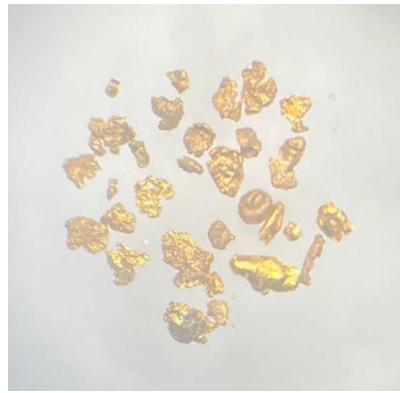
LM-TX16-3 人工重砂自然金照片



LM-TX16-4 人工重砂自然金照片



LM-TX18-2 人工重砂自然金照片



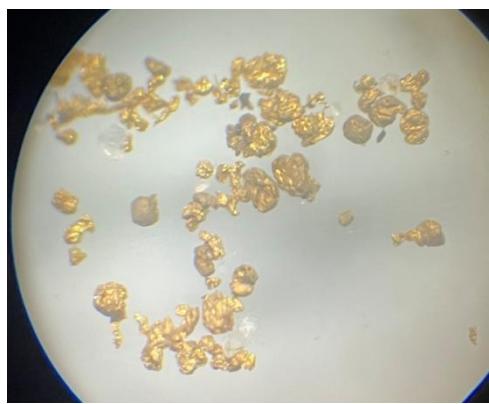
LM-TX18-7 人工重砂自然金照片

3.2.3 宁强小燕子沟金矿人工重砂自然金粒度分布特征

从宁强小燕子沟金矿中，挑选出4件样品，每个样品分取1kg，分别加工至小于0.25mm后，进行重砂淘洗，通过粗淘、精淘，控制重砂的重量小于5g，烘干，将重砂置于显微镜下，观察测量自然金的粒径及分布，其中3件样品判定为含巨粒金矿石，1件样品判定为含粗粒金矿石，试验结果见表5-13。自然金形貌特征照片见YX-H人工重砂自然金照片。

表5-13 宁强小燕子沟金矿人工重砂自然金粒级分布

编号	原重砂分离-分析结果	自然金颗粒数	粒径分布	结果判断
XY-H10	5.03	81	>0.3mm, 32%	巨粒金
XY-H17	4.89	81	>0.3mm, 31%	巨粒金
XY-H22	1.82	18	>0.3mm, 11%	粗粒金
XY-H27	1.04	18	>0.3mm, 37.5%	巨粒金



XY-H10-1 人工重砂自然金照片



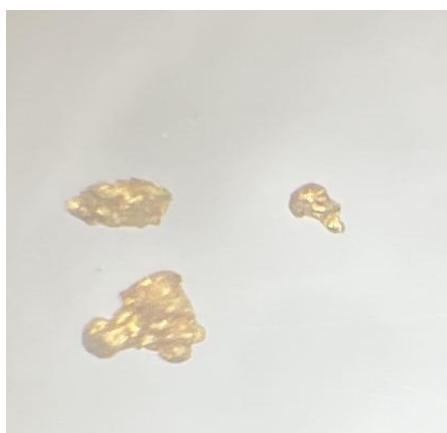
XY-H22-1 人工重砂自然金照片

3.2.4 凤县八卦庙金矿人工重砂自然金粒度分布特征

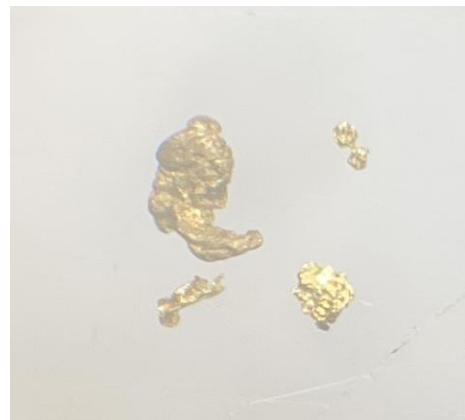
从八卦庙金矿中，挑选出 2 件样品，每个样品分取 1kg，分别加工至小于 0.25mm 后，进行重砂淘洗，通过粗淘、精淘，控制重砂的重量小于 5g，烘干，将重砂置于显微镜下，观察测量自然金的粒径及分布，2 件样品均属含巨粒金矿石。试验结果见表 5-14。自然金形貌特征见 MG-TX 人工重砂自然金照片。

表 5-14 凤县八卦庙金矿人工重砂自然金粒级分布

编号	金矿品位(g/t)	自然金(碲金矿) 颗粒数	自然金粒度分布	结果判断
MG-TX14	0.97	3	>0.3mm, 67%	属巨粒金
MG-TX23	4.73	4	>0.3mm, 80%	属巨粒金



MG-TX14 人工重砂自然金照片



MG-TX23 人工重砂自然金照片

3.2.5 人工重砂对试验样品自然金属性的鉴定结论

通过上述人工重砂的鉴定结果，所采集的试验样品均为含粗粒金的矿石样品。虽然，人工重砂得到的自然金不具备原始性（经过了一定挤压变形），但样品的加工粒度以矿物单体解离为前提，并未过度破碎，能直观地反应自然金在样品加工过程中的形貌特征，属于极难加工的金矿样品。

3.3 试验样品金含量分布

对每个金矿采集的 30 件样品（黄龙和鹿鸣金矿 40 件样品）金的含量从

低至高对称分布作图，金含量的分布呈泊松分布，在大量样品采集中，样品未检出的情况占比较大，这与与国外相关学者研究含粗粒金矿石样品金含量具有极不均匀性的分布（泊松分布）一致，说明试验样品具有含粗粒金的特性。4个试验金矿金含量分布图见图10。

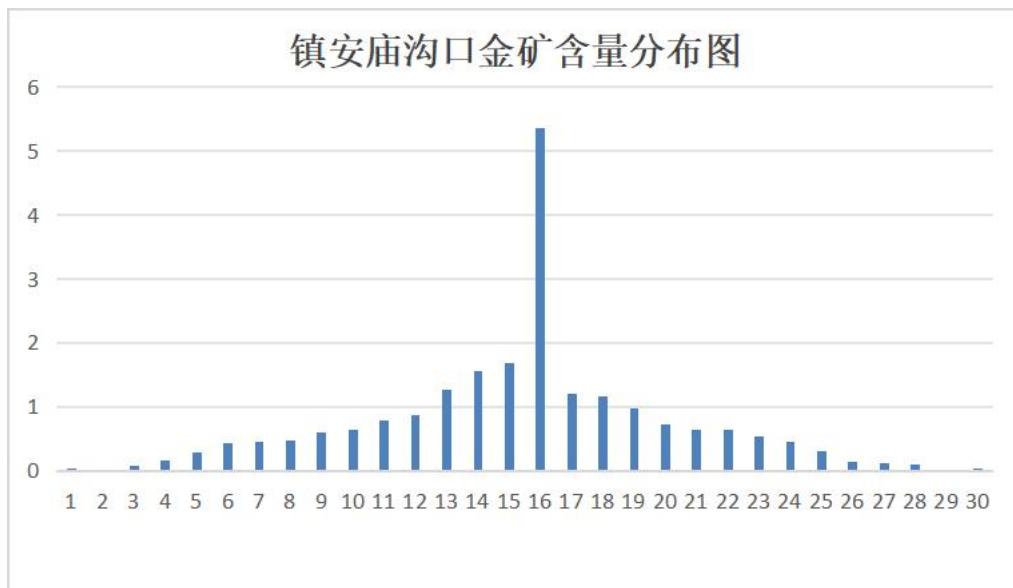


图 10-1 镇安庙沟口金矿试验样品金含量分布

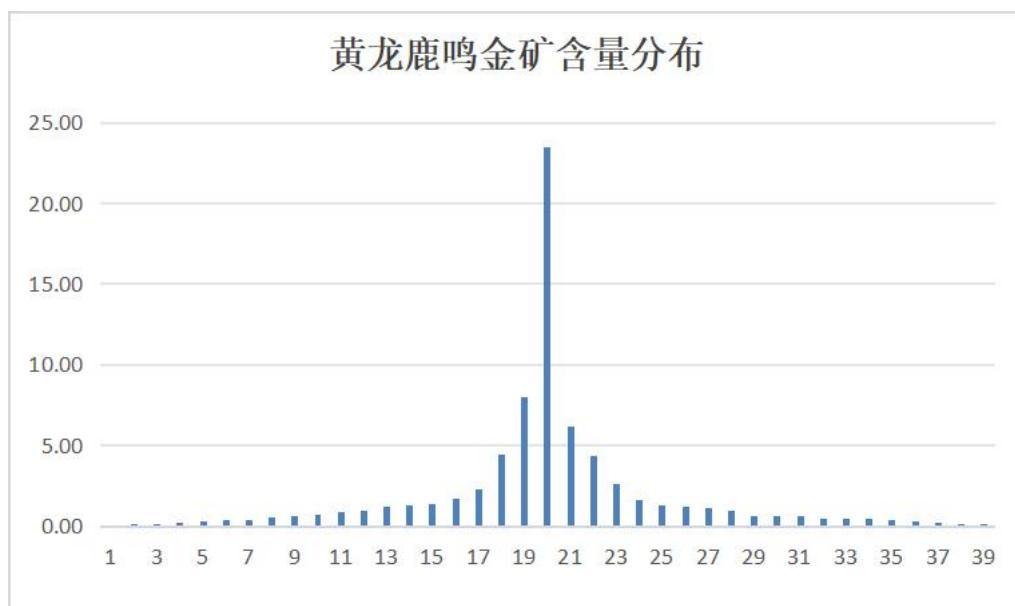


图 10-2 汉阴黄龙、鹿鸣金矿试验样品金含量分布

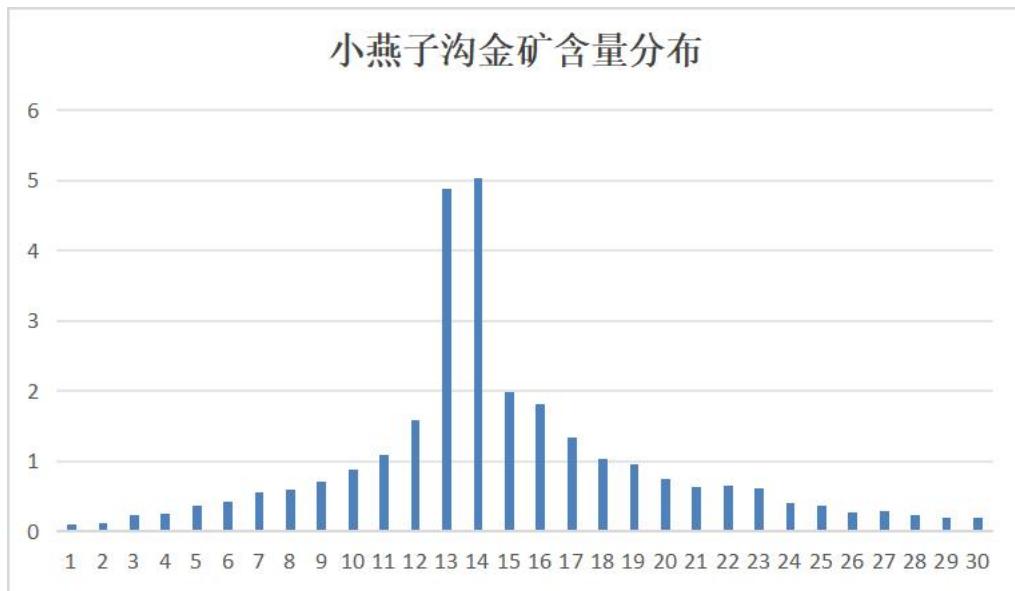


图 10-3 宁强小燕子沟金矿试验样品金含量分布

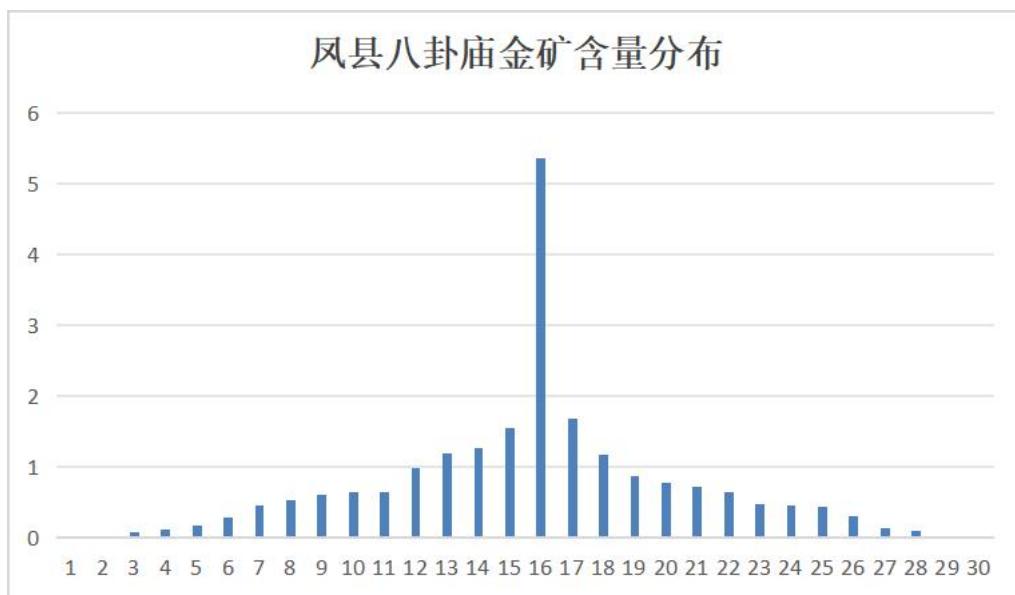


图 10-4 凤县八卦庙金矿试验样品金含量分布

金的含量分布表明，试验样品为含粗粒金矿石。

3.4 重砂分离分析流程质量评述

3.4.1 重砂分离-分析方法检出限的确定

分析方法检出限是评价方法能否满足预期使用目标的重要参数。按照样品加工分析流程，分别从不同采样点采集的试验样品中，挑选含量较低($w(Au) = 0.2 \text{ g/t} \sim 0.4 \text{ g/t}$) 作为空白试验样，进行 7次重复重砂-分离分析，计算分析

结果的标准偏差，以3倍标准偏差作为分析方法检出限，该检出限包含了样品均匀性、重砂-分离操作的一致性及金测量误差的波动对检测最低浓度的限制要求，客观地反应了重砂-分离分析全流程的随机误差对检测结果的影响，试验结果表。不同采样点的样品统计结果基本一致，检出限均值为0.31 g/t，低于金矿普查的边界品位（0.8g/t~1.0g/t）（DZ/T0205-2020）。可满足金矿普查的要求。方法检出限试验统计结果见表3-15。

3.4.2 重砂分离-分析方法与常规样品加工分析结果的对比

从5个金矿试验样品中挑选62件有高中低不同含量的样品，缩分出1kg样品按金化学样品加工流程，将样品加工至0.074mm，进行4份金含量的重复分析，并与重砂分离分析方法的检测结果进行对比。2种分析方法对比结果表明重砂分析结果普遍高于传统金分析方法的结果。

镇安庙沟口金矿试验样品2种分析方法金检测结果对比表明，重砂分离分析方法金的检测结果常规样品加工分析4次检测结果的平均值，8件样品，重砂分离分析方法金的平均值为 $1.72 \mu\text{g/g}$ 是常规样品加工分析方法金的平均值 $0.95 \mu\text{g/g}$ 的1.81倍。试验结果见表3-16。

表 3-16 镇安庙沟口金矿样品2种分析方法结果对比 单位为：Au($\mu\text{g/g}$)

编号	重砂分离分析结果	常规样品加工后的4次分析结果						常规样品加工分析均值
		1	2	3	4	s	RSD%	
MG-TX09	1.15	0.16	0.12	0.13	0.16	0.02	14.5	0.14
MG-TX10	1.27	0.33	0.62	0.16	0.83	0.30	61.5	0.49
MG-TX11	1.56	0.68	0.59	0.58	0.68	0.05	7.50	0.63
MG-TX14	1.68	0.72	0.39	0.49	0.53	0.14	26.0	0.53
MG-TX15	1.17	1.01	0.70	1.48	0.85	0.34	33.5	1.01
MG-TX18	0.78	0.34	0.24	0.25	0.48	0.10	29.4	0.33
MG-TX23	0.72	0.83	0.19	0.08	1.28	0.49	82.1	0.60
MG-TX29	5.36	1.65	3.70	7.00	3.26	2.25	57.5	3.90
均值	1.72	/	/	/	/	/	/	0.95

表 3-15 重砂分离-分析方法 检出限

编号	总重 (g)	重矿物		轻矿物		$w(\text{Au})/10^{-6}$	s	检出限 $3s$
		重量 (g)	$w(\text{Au})/10^{-6}$	重量 (g)	$w(\text{Au})/10^{-6}$			
MG-H05-1	1117.2	9.1	24.6	1106.1	0.21	0.409	0.11	0.33
MG-H05-2	1118.8	8.5	18.6	1108.1	0.07	0.211		
MG-H05-3	1116.6	9.4	8.08	1105.9	0.09	0.157		
MG-H05-4	1120.0	8.6	24.6	1110.2	0.06	0.249		
MG-H05-5	1116.3	14.0	13.4	1099.2	0.18	0.346		
MG-H05-6	1119.2	11.5	11.7	1104.3	0.20	0.319		
MG-H05-7	1171.0	13.0	2.97	1150.0	0.06	0.093		
HY-H15-1	1112.6	6.6	16.4	1104.5	0.14	0.237	0.09	0.27
HY-H15-2	1118.7	9.4	22.8	1107.5	0.18	0.370		
HY-H15-3	1121.5	8.2	21.8	1110.3	0.26	0.418		
HY-H15-4	1121.3	8.2	13.8	1110.6	0.34	0.439		
HY-H15-5	1121.9	8.8	28.5	1107.6	0.10	0.324		
HY-H15-6	1129.5	11.2	41.6	1109.0	0.10	0.515		
HY-H15-7	1220.6	13.0	24.6	1199.4	0.07	0.333		
BG-H16-1	1119.0	9.2	2.98	1107.0	0.07	0.094	0.11	0.33
BG-H16-2	1119.4	9.6	2.07	1107.5	0.10	0.117		
BG-H16-3	1121.5	8.8	12.9	1107.2	0.09	0.191		
BG-H16-4	1121.3	7.0	58.0	1107.6	0.07	0.434		
BG-H16-5	1121.9	6.1	6.38	1113.5	0.18	0.214		
BG-H16-6	1129.5	9.4	3.98	1117.8	0.14	0.172		
BG-H16-7	1220.6	9.1	21.8	1209.3	0.06	0.222		
方法检出限均值								0.31

宁强小燕子沟金矿试验样品 2 种分析方法金检测结果对比表明，重砂分离分析方法金的含量普遍高于传统分析方法金的检测结果，10 件样品，重砂分离分析方法金的平均值为 $2.02 \mu\text{g/g}$ 是常规样品加工分析方法金的平均值 $0.41 \mu\text{g/g}$ 的 4.9 倍。统计分析结果见表 3-17。

表 6-17 宁强小燕子沟金矿样品 2 种分析方法结果对比 单位为：Au($\mu\text{g/g}$)

编号	重砂分离分 析结果	常规样品加工后的 4 次分析结果						常规样品加 工分析均值
		1	2	3	4	s	RSD%	
XY-H01	1.98	0.40	0.29	1.18	0.30	0.37	68.3	0.54
XY-H03	0.72	0.23	0.28	0.28	0.27	0.02	7.78	0.27
XY-H09	1.10	0.26	0.59	0.46	0.38	0.12	28.4	0.42
XY-H10	5.03	0.12	0.38	0.17	0.26	0.10	42.5	0.23
XY-H16	0.65	0.97	0.95	0.96	0.95	0.01	0.87	0.96
XY-H17	4.89	0.64	0.18	0.06	0.15	0.23	87.5	0.26
XY-H18	1.59	0.29	0.22	0.25	0.27	0.03	10.0	0.26
XY-H22	1.82	0.18	0.11	0.17	0.16	0.03	17.4	0.16
XY-H27	1.04	0.22	0.28	0.24	0.22	0.02	10.2	0.24
XY-H29	1.34	0.76	0.67	0.74	0.71	0.03	4.71	0.72
均值	2.02	/	/	/	/	/	/	0.41

汉阴鹿鸣、黄龙金矿试验样品 2 种分析方法金检测结果，24 件样品，重砂分离分析方法金的平均值为 $2.85 \mu\text{g/g}$ 是常规样品加工分析方法金的平均值 $1.48 \mu\text{g/g}$ 的 1.92 倍。且传统分析法精密度较差，相对标准偏差 15%~138%。统计分析结果见表 3-18。

凤县八卦庙金矿试验样品 2 种分析方法金检测结果，10 件样品，重砂分离分析方法金的平均值为 $1.46 \mu\text{g/g}$ 是常规样品加工分析方法金的平均值 $0.57 \mu\text{g/g}$ 的 2.6 倍。试验结果见表 3-19。

对比分析结果表明，重砂分离-分析方法金的分析结果是传统样品加工分析方法结果的 2~5 倍。解决了长期以来采用常规样品加工分

析结果低估的技术难题，是含粗粒金矿金含量分析的有效方法，进一步验证了该分析方法的科学性和有效性。

表 3-18 汉阴鹿鸣、黄龙金矿样品 2 种分析方法结果对比 单位为：Au(μg/g)

编号	重砂分离 分析结果	常规样品加工后的 4 次分析结果						常规样品加 工分析均值
		1	2	3	4	s	RSD%	
HL-TX01	0.94	0.22	0.26	0.19	0.18	0.03	14.6	0.21
HL-TX02	0.63	0.85	0.69	0.55	0.42	0.16	25.5	0.63
HL-TX04	0.90	0.19	1.09	0.57	0.19	0.37	72.4	0.51
HL-TX07	0.68	0.94	0.42	0.72	0.30	0.25	42.2	0.60
HL-TX11	1.68	1.82	0.23	0.33	0.29	0.67	99.8	0.67
HL-TX12	1.19	0.26	1.04	0.25	0.65	0.33	59.2	0.55
HL-TX13	1.25	0.9	0.34	0.38	2.20	0.75	78.7	0.96
HL-TX14	0.59	0.22	0.56	0.40	-	0.14	47.1	0.30
HL-TX15	0.61	0.26	0.55	1.46	0.93	0.45	56.1	0.80
HL-TX17	0.52	0.14	1.64	0.93	-	0.61	90.4	0.68
HL-TX18	0.63	0.57	1.10	1.38	-	0.34	44.1	0.76
HL-TX20	1.29	0.29	1.07	0.64	0.77	0.28	40.4	0.69
LM-TX02	4.35	6.8	0.62	1.06	0.42	2.65	120	2.23
LM-TX03	2.29	3.99	0.67	0.63	0.60	1.45	98.7	1.47
LM-TX04	0.97	0.5	0.68	1.18	0.72	0.25	32.6	0.77
LM-TX06	1.11	1.02	0.44	0.64	0.42	0.24	38.3	0.63
LM-TX07	1.21	1.15	0.68	0.47	0.90	0.25	31.6	0.80
LM-TX08	1.39	1.02	1.91	0.77	0.77	0.47	42.0	1.12
LM-TX09	2.59	0.28	0.36	2.87	4.90	1.92	91.4	2.10
LM-TX11	7.98	1.06	0.26	0.72	1.70	0.53	56.2	0.94
LM-TX12	1.58	1.19	0.26	0.30	3.07	1.14	94.5	1.21
LM-TX16	4.45	2.58	0.80	0.06	0.49	0.96	97.6	0.98
LM-TX18	23.5	33.3	0.14	0.77	1.27	14.1	159	8.87
LM-TX20	6.15	23.9	0.33	3.52	0.55	9.80	138	7.08
均值	2.85	/	/	/	/	/	/	1.48

表 3-19 凤县八卦庙金矿试验样品 2 种分析方法结果对比 单位为: Au(μg/g)

编号	重砂分离 分析结果	常规样品加工后的 4 次分析结果						传统分析 方法均值
		1	2	3	4	s	RSD%	
MG-TX02	0.83	0.25	0.31	0.31	0.25	0.03	10.7	0.28
MG-TX09	1.15	0.50	0.58	0.23	0.36	0.13	32.1	0.42
MG-TX10	1.17	0.63	0.67	0.66	0.63	0.02	2.8	0.65
MG-TX11	1.10	0.68	0.59	0.58	0.68	0.05	7.5	0.63
MG-TX14	0.97	<0.06	<0.06	<0.06	<0.06			0.03
MG-TX18	1.32	0.34	0.24	0.25	0.48	0.10	29.4	0.33
MG-TX19	0.99	0.37	0.45	0.34	0.43	0.04	11.2	0.40
MG-TX22	0.91	0.92	0.90	0.92	0.89	0.01	1.4	0.91
MG-TX23	4.73	0.83	0.19	0.08	1.28	0.49	82.1	0.60
MG-TX24	1.48	1.07	0.26	2.02	2.40	0.83	58.1	1.44
均值	1.46							0.57

3.5 重砂分离分析方法与常规样品加工分析方法精密度对比

对 $w(\text{Au})/10^{-6}$ 大于 0.5×10^{-6} 以上的样品分别进行 3 次重砂分离分析, 计算相对标准偏差, 对相同样品同时按照常规流程加工至样品粒度小于 0.074mm 后, 独立称取 4 次样品进行重复分析, 计算相对标准偏差。2 种样品加工分析方法对同批样品多次分析结果精密度 (相对标准偏差) 统计分析结果见表 3-20, 相对偏差对比见图 11。重砂分离分析方法对含粗粒金样品金分析的精密度远远优于常规样品加工分析方法金分析结果的精密度。

表 3-20 重砂分离与常规样品加工分析方法精密度对比 单位为: $w(\text{Au})/10^{-6}$

编号	重砂分离分析结果	均值	标准偏差 (s)	RSD%	常规加工分析结果	均值	标准偏差 (s)	RSD%
MGTX-23-1	0.79	0.69	0.08	10.9	0.83	0.60	0.56	94.0
MGTX-23-2	0.61				0.19			
MGTX-23-3	0.66				0.08			
MGTX-23-4					1.28			
MGTX-29-1	4.18	4.43	0.21	4.8	1.65	3.9	2.25	57.6
MGTX-29-2	4.70				3.70			
MGTX-29-3	4.41				7.00			
MGTX-29-4					3.26			
XY-H09-1	0.87	0.78	0.07	8.4	0.26	0.42	0.14	33.0
XY-H09-2	0.75				0.59			
XY-H09-3	0.72				0.46			
XY-H09-4					0.38			
XY-H10-1	4.55	4.26	0.54	12.6	0.12	0.23	0.11	49.6
XY-H10-2	4.72				0.38			
XY-H10-3	3.51				0.17			
XY-H10-4					0.26			
XY-H17-1	3.57	3.32	0.22	6.77	0.64	0.26	0.26	100
XY-H17-2	3.13				0.18			
XY-H17-3	3.27				0.06			
XY-H17-4					0.15			
LMTX-03-1	1.85	1.76	0.15	8.7	3.99	1.47	1.68	114
LMTX-03-2	1.89				0.67			
LMTX-03-3	1.55				0.63			
LMTX-03-4					0.60			
LMTX-02-1	5.54	5.75	0.2	3.42	6.80			
LMTX-02-2	5.69				0.62			
LMTX-02-3	6.01				1.06			
LMTX-02-4					0.42			
LMTX-11-1	1.23	1.25	0.03	2.49	1.06			
LMTX-11-2	1.29				0.26			
LMTX-11-3	1.22				0.72			
LMTX-11-4					1.70			

表 3-20 重砂分离与常规样品加工分析方法精密度对比(续) 单位为: $w(\text{Au})/10^{-6}$

编号	重砂分离分析结果	均值	标准偏差(s)	RSD%	常规加工分析结果	均值	标准偏差(s)	RSD%
LMTX-16-1	2.59	2.89	0.25	8.58	2.58	0.98	1.11	113
LMTX-16-2	2.89				0.80			
LMTX-16-3	3.20				0.06			
LMTX-16-4					0.49			
LMTX-18-1	15.6	17.4	1.24	7.16	33.3	8.87	16.29	184
LMTX-18-2	18.2				0.14			
LMTX-18-3	18.3				0.77			
LMTX-18-4					1.27			
HLTX-11-1	1.05	1.04	0.2	21.2	1.82	0.67	0.77	115
HLTX-11-2	1.26				0.23			
HLTX-11-3	0.82				0.33			
HLTX-11-4					0.29			
HLTX-17-1	1.52	1.37	0.15	11.0	0.14	0.90	0.75	83.4
HLTX-17-2	1.42				1.64			
HLTX-17-3	1.16				0.93			
HLTX-20-1	0.90	0.79	0.10	12.7	0.29	0.69	0.32	46.8
HLTX-20-2	0.70				1.07			
HLTX-20-3	0.77				0.64			
HLTX-20-4					0.77			
BGTX-02-1	0.57	0.7	0.12	17.7	0.25	0.28	0.03	12.4
BGTX-02-2	0.86				0.31			
BGTX-02-3	0.66				0.31			
BGTX-02-4					0.25			
BGTX-23-1	3.80	4.59	0.85	18.6	0.83	0.60	0.56	94.0
BGTX-23-2	4.19				0.19			
BGTX-23-3	5.78				0.08			
BGTX-23-4					1.28			
BGTX-24-1	1.36	1.51	0.11	7.5	1.07	1.44	0.96	66.9
BGTX-24-2	1.63				0.26			
BGTX-24-3	1.54				2.02			
BGTX-24-4					2.40			
BGTX-18-1	1.96	1.83	0.18	9.9	0.34	0.33	0.11	33.7
BGTX-18-2	1.96				0.24			
BGTX-18-3	1.57				0.25			
BGTX-18-4					0.48			

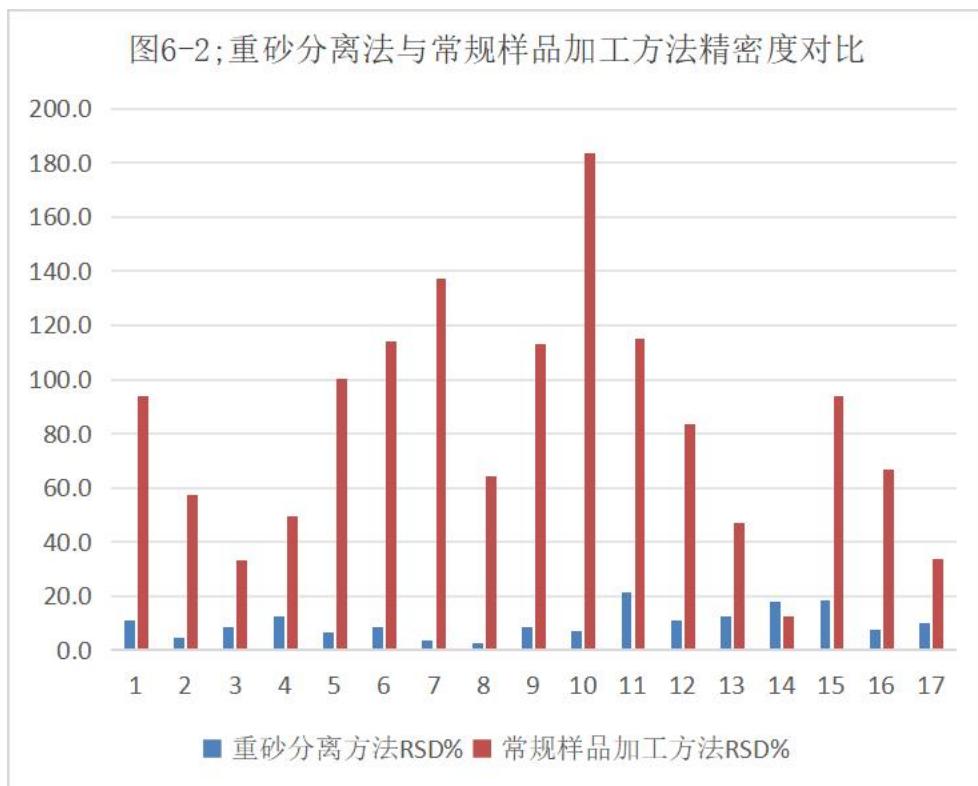


图 11 重砂分离分析方法与常规加工方法精密度对比

3.6 重砂分离-分析方法实验室内精密度

对不同金含量样品分别进行 2 次重砂分离分析金含量的测定，重复测定结果的相对偏差小于 DZ/T0130.3-2006《地质矿产实验室测试质量管理规范第 3 部分：岩石矿物样品化学成分分析》中贵金属样品化学成分重复分析相对偏差允许限，满足质量控制要求的控制要求（相对偏差允许限 $Y_G=14.43 \times 1.2 \quad \bar{X}_G^{-0.3012}$ ）。试验结果见表 3-21~表 3-24。

表 3-21 镇安庙沟口金矿重砂分离重复性测量相对偏差

编号	$w(\text{Au})/10^{-6}$	均值	RD%	Y_G	结果判定
		$w(\text{Au})/10^{-6}$			
MG-TX-03-1	0.77	0.83	7.23	18.3	合格
MG-TX-03-2	0.89				
MG-TX-07-1	0.61	0.54	14.0	20.9	合格
MG-TX-07-2	0.46				
MG-TX-12-1	0.86	0.86	0.58	18.2	合格
MG-TX-12-2	0.85				
MG-TX-13-1	1.02	1.04	1.92	17.1	合格
MG-TX-13-2	1.06				
MG-TX-17-1	0.53	0.52	2.91	21.1	合格
MG-TX-17-2	0.50				
MG-TX-18-1	1.41	1.41	0.36	15.6	合格
MG-TX-18-2	1.40				
MGTX-23-1	0.61	0.64	3.94	19.9	合格
MGTX-23-2	0.66				
MGTX-27-1	0.69	0.69	0.00	19.4	合格
MGTX-27-2	0.69				
MGTX-28-1	1.84	1.99	7.30	14.1	合格
MGTX-28-2	2.13				
MGTX-29-1	4.70	4.56	3.18	11.0	合格
MGTX-29-2	4.41				

表 3-22 汉阴鹿鸣、黄龙金矿重砂分离重复性测量相对偏差

编号	$w(\text{Au})/10^{-6}$	均值	RD%	允许差	结果判定
		$w(\text{Au})/10^{-6}$			
LMTX-03-1	1.85	1.87	1.07	14.3	合格
LMTX-03-2	1.89				
LMTX-11-1	1.23	1.26	2.38	16.2	合格
LMTX-11-2	1.29				
LMTX-16-2	2.89	3.05	5.09	12.4	合格
LMTX-16-3	3.20				
LMTX-18-2	18.2	18.25	0.27	7.2	合格
LMTX-18-3	18.3				
LMTX-20-1	1.83	1.95	6.15	14.2	合格
LMTX-20-3	2.07				
LMTX-02-1	5.54	5.62	1.34	10.3	合格
LMTX-02-2	5.69				
HLTX-11-1	0.85	1.06	19.43	17.0	不合格
HLTX-11-2	1.26				

表 3-22 汉阴鹿鸣、黄龙金矿重砂分离重复性测量相对偏差（续）

编号	w(Au)/10 ⁻⁶	均值	RD%	允许差	结果判定
		w(Au)/10 ⁻⁶			
HLTX-15-1	0.34	0.38	9.33	23.3	合格
HLTX-15-2	0.41				
HLTX-17-1	1.52	1.47	3.40	15.4	合格
HLTX-17-2	1.42				
HLTX-20-2	0.70	0.74	4.76	19.0	合格
HLTX-20-3	0.77				

表 3-23 宁强小燕子沟金矿重砂分离重复性测量相对偏差

编号	w(Au)/10 ⁻⁶	均值	RD%	允许差	结果判定
		w(Au)/10 ⁻⁶			
XY-H09-1	0.87	0.81	7.41	18.5	合格
XY-H09-2	0.75				
XY-H10-1	4.55	4.64	1.83	10.9	合格
XY-H10-2	4.72				
XY-H16-1	1.36	1.27	7.51	16.1	合格
XY-H16-3	1.17				
XY-H17-2	3.13	3.20	2.19	12.2	合格
XY-H17-3	3.27				
XY-H22-1	2.22	2.45	9.20	13.2	合格
XY-H22-3	2.67				

表 3-24 凤县八卦庙金矿重砂分离重复性测量相对偏差

编号	w(Au)/10 ⁻⁶	均值 w(Au)/10 ⁻⁶	RD%	允许差	结果判定
BGTX-24-2	1.63	1.59	2.84	15.1	合格
BGTX-24-3	1.54				
BGTX-23-1	3.80	4.00	4.88	11.4	合格
BGTX-23-2	4.19				
BGTX-02-2	0.86	0.76	13.2	18.8	合格
BGTX-02-3	0.66				
BGTX-10-1	0.90	1.05	14.3	17.1	合格
BGTX-10-2	1.20				
BGTX-18-2	1.96	1.77	11.0	14.6	合格
BGTX-18-3	1.57				

3.7 实验室间重砂分离-分析方法精密度验证

开展实验室间重砂分离-分析方法精密度验证，是本项目的重要工作内容，只有通过不同实验室对该方法关键流程的验证，才能证实该方法具有推广应用的可行性。

3.7.1 协作试验样品的配制

为了在不同实验室间开展重砂分离-分析方法精密度验证，从采集的试验样品中，配制了5种浓度梯度的试验样品。每种样品混合配制55kg以上，协作试验样品的配制情况见表3-25。

表3-25 精密度验证试验样品配制信息一览表 w(Au)/10⁻⁶

样品编号	样品名称	样品编号	金含量	重量(kg)	理论品位
BGPK	凤县八卦庙金矿	BG-TX03	0.46	9.2	0.32
		BG-TX06	0.28	9.2	
		BG-TX-09	0.44	9.2	
		BG-TX12	0.48	9.2	
		BG-TX26	0.31	9.2	
		BG-TX21	0.14	9.2	
		总重量	0.32	55.2	
MGPK	镇安庙沟口金矿	MG-TX-03	0.90	4.5	0.74
		MG-TX-12	0.73	6.7	
		MG-TX-13	0.95	6.6	
		MG-TX-17	0.55	6.0	
		MG-TX-18	1.39	6.0	
		MG-TX-23	0.69	4.5	
		MG-TX-25	0.64	6.0	
		MG-TX-27	0.88	6.0	
		MG-TX-08	0.98	6.0	
		总重量	0.74	52.3	
XYPK1	宁强小燕子沟金矿	XY-H01	1.98	11.0	1.42
		XY-H16	1.14	11.0	
		XY-H27	1.04	11.0	
		XY-H29	1.34	11.0	
		XY-H18	1.59	11.0	
		总重量	1.42	55.0	
		LMTX-20	1.88	8.0	
		LMTX-09	2.59	11.2	
		LM-TX08	1.39	5.0	
		总重量	4.90	55.1	

表 3-25 精密度验证试验样品配制信息一览表 $w(Au)/10^{-6}$

样品编号	样品名称	样品编号	金含量	重量 (kg)	理论品位
XYPK2	宁强小燕子沟金矿	XY-H10	4.26	11.5	2.74
		XY-H17	4.00	13.75	
		XY-H28	0.96	13.75	
		XY-H22	2.50	9.5	
		XY-H09	1.10	9.0	
		XY-H10	4.26	11.5	
LMPK	汉阴鹿鸣金矿	LMTX-2	5.75	7.4	4.90
		LMTX-3	1.76	7.5	
		LMTX-16	2.89	8.0	
		LMTX-18	17.4	8.0	
		LMTX-20	1.88	8.0	
		LMTX-09	2.59	11.2	
		LM-TX08	1.39	5.0	
		总重量	4.90	55.1	

3.7.2 精密度协作试验的组织实施

从陕西省境内有能力开展金矿样品加工、淘洗和分析的实验室，能够代表陕西省境内金矿样品加工分析的基本水平。

确定参加精密度协作试验的实验室：

- (1) 有色金属西北矿产地质测试中心
- (2) 中陕核工业集团综合分析测试有限公司
- (3) 中国地质调查局西安矿产资源调查中心
- (4) 陕西安康秦汉实验检测有限公司
- (5) 陕西三队地矿实验测试有限公司
- (6) 核工业二〇三研究所
- (7) 陕西地矿汉中检测有限公司
- (8) 陕西省地质矿产实验研究所有限公司

参加精密度协作试验的检验检测机构，涵盖地矿、有色和核工业系统的省部级及地质勘查一线实验室，具有较好的代表性。

确保协作试验样品的均匀性是顺利开展实验室间方法验证的前

提条件，经过多次试验最终采用逐步混匀缩分的方式，统一取出各实验室用于精密度验证的样品（精密度协作试验样品先缩分出 8 份，每份 6kg，再将 6kg 样品缩分成 6 个 1kg。

对每份样品（1kg）编号，随机抽样发放（每种样品给同一实验室发 6 份）

协作试验主要工作：对提供的 1kg 样品（粒度 1mm）加工至 0.25mm，采用重砂淘洗盘进行重砂分离，分别测定重矿物和轻矿物中的金，按提供的记录表信息填写试验记录。

3.7.3 重砂分离分析方法精密度验证结果

8 个实验室提交分析结果的质量参数统计见表 3-36~表 3-40。

表 3-36 BGPK 样品 8 家实验室检测结果

序号	实验室	样品编号	w (Au) /10 ⁻⁶	单元平均值	S	RSD%	允许差
1	有色金属西北矿产地质测试中心	BGPK-01	0.26	0.33	0.076	23.3	24.2
		BGPK-22	0.43				
		BGPK-35	0.34				
		BGPK-38	0.28				
2	中陕核工业集团综合分析测试有限公司	BGPK-05	0.32	0.35	0.026	7.56	22.5
		BGPK-44	0.36				
		BGPK-20	0.37				
		BGPK-21	0.62				
3	陕西地矿安康秦汉实验测试有限公司	BGPK-17	0.44	0.45	0.015	3.35	22
		BGPK-48	0.43				
		BGPK-49	0.46				
		BGPK-61	0.46				
4	陕西地矿第三队检测有限公司	BGPK-58	0.34	0.42	0.089	21.2	22.5
		BGPK-7	0.35				
		BGPK-29	0.52				
		BGPK-37	0.47				
5	中国地质调查局西安矿产资源调查中心	BGPK-47	0.34	0.35	0.028	7.81	23.5
		BGPK-23	0.37				
		BGPK-03	0.38				
		BGPK-54	0.32				
6	核工业二〇三研究所	BGPK-16	0.29	0.22	0.050	23	24.5
		BGPK-19	0.19				
		BGPK-30	0.18				
		BGPK-40	0.21				
7	陕西地矿汉中检测有限公司	BGPK-09	0.18	0.23	0.088	38.4	25.5
		BGPK-21	0.17				
		BGPK-27	0.36				
		BGPK-33	0.21				
8	陕西省地质矿产实验研究所有限公司	BGPK-08	0.39	0.43	0.031	7.32	26.5
		BGPK-15	0.44				
		BGPK-17	0.41				
		BGPK-61	0.46				

该样品精密度验证结果，3号、5号和8号实验室的试验结果精密度良好。

表 3-37 MGPK 样品 8 家实验室检测结果

序号	实验室	样品编号	w (Au) /10 ⁻⁶	单元平均值	S	RSD%	允许差
1	有色金属西北矿产地质测试中心	MGPK-06	1.06	0.92	0.11	11.7	17.8
		MGPK-07	0.83				
		MGPK-13	0.84				
		MGPK-32	0.94				
2	中陕核工业集团综合分析测试有限公司	MGPK-03	1.59	1.68	0.44	26.3	14.7
		MGPK-10	2.25				
		MGPK-22	1.19				
		MGPK-29	1.80				
3	陕西地矿安康秦汉实验测试有限公司	MGPK-11	0.83	0.79	0.03	4.2	18.6
		MGPK-37	0.78				
		MGPK-47	0.79				
		MGPK-57	0.75				
4	陕西地矿第三队检测有限公司	MGPK-21	0.86	0.90	0.06	6.8	17.6
		MGPK-09	0.97				
		MGPK-31	1.52				
		MGPK-46	0.87				
5	中国地质调查局西安矿产资源调查中心	MGPK-30	0.85	0.84	0.02	2.9	18.2
		MGPK-27	0.80				
		MGPK-02	0.84				
		MGPK-19	0.85				
6	核工业二〇三研究所	MGPK-08	0.91	1.10	0.14	12.9	15.9
		MGPK-16	1.74				
		MGPK-24	1.56				
		MGPK-25	1.11				
7	陕西地矿汉中检测有限公司	MGPK-05	0.70	0.87	0.15	17.7	17.2
		MGPK-26	1.54				
		MGPK-33	1.00				
		MGPK-34	0.91				
8	陕西省地质矿产实验研究所有限公司	MGPK-01	0.97	0.91	0.06	6.3	17.8
		MGPK-11	0.93				
		MGPK-37	0.88				
		MGPK-47	0.84				

该样品精密度验证结果，1、3 号、5 号和 8 号实验室的试验结果
精密度良好。

表 3-38 XYPK03 样品 8 家实验室检测结果

序号	实验室	样品编号	w (Au) /10 ⁻⁶	单元平均值	S	RSD%	允许差
1	有色金属西北矿产地质测试中心	XYPK03-11	1.97	3.90	2.28	58.5	11.45
		XYPK03-27	2.26				
		XYPK03-38	4.50				
		XYPK03-44	6.87				
2	中陕核工业集团综合分析测试有限公司	XYPK03-16	3.29	1.38	0.03	2.0	14.7
		XYPK03-24	3.75				
		XYPK03-28	1.40				
		XYPK03-09	1.36				
3	陕西地矿安康秦汉实验测试有限公司	XYPK03-04	1.47	1.44	0.03	1.8	18.6
		XYPK03-23	1.43				
		XYPK03-43	1.41				
		XYPK03-80	1.43				
4	陕西地矿第三队检测有限公司	XYPK03-40	2.02	1.48	0.21	14.1	17.6
		XYPK03-18	2.40				
		XYPK03-26	1.48				
		XYPK03-31	2.36				
5	中国地质调查局西安矿产资源调查中心	XYPK03-37	1.63	1.50	0.13	8.4	18.2
		XYPK03-03	1.36				
		XYPK03-41	1.43				
		XYPK03-68	1.58				
6	核工业二〇三研究所	XYPK03-08	2.40	2.46	0.68	27.6	15.9
		XYPK03-20	2.21				
		XYPK03-22	3.79				
		XYPK03-25	1.44				
7	陕西地矿汉中检测有限公司	XYPK03-01	1.45	1.33	0.18	13.3	17.2
		XYPK03-10	1.20				
		XYPK03-19	3.60				
		XYPK03-39	2.17				
8	陕西省地质矿产实验研究所有限公司	XYPK03-31	1.38	1.65	0.19	11.7	17.8
		XYPK03-43	1.83				
		XYPK03-48	1.67				
		XYPK03-80	1.73				

该样品精密度验证结果，3号、5号和8号实验室的试验结果精度良好。

表 3-39 XYPK04 样品 8 家实验室检测结果

序号	实验室	样品编号	w (Au) / 10^{-6}	单元平均值	S	RSD%	允许差
1	有色金属西北矿产地质测试中心	XYPK04-03	6.03	5.13	1.75	34.2	10.6
		XYPK04-23	4.74				
		XYPK04-28	6.89				
		XYPK04-39	2.86				
2	中陕核工业集团综合分析测试有限公司	XYPK04-08	3.53	4.63	1.36	29.4	10.9
		XYPK04-25	3.42				
		XYPK04-26	5.44				
		XYPK04-38	6.12				
3	陕西地矿安康秦汉实验测试有限公司	XYPK04-85	3.59	3.57	0.11	3.1	11.8
		XYPK04-16	3.69				
		XYPK04-27	3.59				
		XYPK04-31	3.42				
4	陕西地矿第三队检测有限公司	XYPK-04-55	2.40	2.44	0.80	32.8	13.3
		XYPK-04-01	3.44				
		XYPK-04-19	2.44				
		XYPK-04-22	4.04				
5	中国地质调查局西安矿产资源调查中心	XYPK04-41	2.60	2.69	0.21	7.8	12.9
		XYPK04-29	2.99				
		XYPK04-20	2.66				
		XYPK04-54	2.51				
6	核工业二〇三研究所	XYPK04-12	2.58	2.61	0.10	3.7	13.0
		XYPK04-21	2.51				
		XYPK04-24	2.74				
		XYPK04-48	2.59				
7	陕西地矿汉中检测有限公司	XYPK04-07	8.85	5.19	3.07	59.2	10.5
		XYPK04-17	1.52				
		XYPK04-18	4.92				
		XYPK04-33	3.73				
8	陕西省地质矿产实验研究所有限公司	XYPK-04-05	3.42	3.61	0.20	5.6	11.8
		XYPK-04-16	3.51				
		XYPK-04-27	3.63				
		XYPK-04-50	3.89				

该样品精密度验证结果，3、5 号、6 号和 8 号实验室的试验结果
精密度良好。

表 3-40 LMPK 样品 8 家实验室检测结果

序号	实验室	样品编号	$w (\text{Au}) / 10^{-6}$	平均值	S	RSD%	允许差
1	有色金属西北矿产地质测试中心	LMPK-09	7.86	6.42	1.05	16.3	9.9
		LMPK-15	5.37				
		LMPK-29	6.34				
		LMPK-34	6.13				
2	中陕核工业集团综合分析测试有限公司	LMPK-04	4.63	4.63	1.25	27.1	10.9
		LMPK-27	5.52				
		LMPK-37	6.47				
		LMPK-42	3.54				
3	陕西地矿安康秦汉实验测试有限公司	LMPK-03	11.64	11.3	0.28	2.5	8.3
		LMPK-07	11.47				
		LMPK-19	11.23				
		LMPK-40	10.99				
4	陕西地矿第三队检测有限公司	LMPK-01	17.6	13.8	2.82	20.4	7.9
		LMPK-10	11.1				
		LMPK-28	12.6				
		LMPK-30	14.1				
5	中国地质调查局西安矿产资源调查中心	LMPK-31	10.1	9.80	1.62	16.5	8.7
		LMPK-41	8.90				
		LMPK-08	12.0				
		LMPK-53	8.27				
6	核工业二〇三研究所	LMPK-13	6.99	6.78	1.19	17.6	9.7
		LMPK-17	8.19				
		LMPK-23	5.29				
		LMPK-32	6.65				
7	陕西地矿汉中检测有限公司	LMPK-14	6.88	11.5	5.87	51.3	8.3
		LMPK-16	20.0				
		LMPK-18	8.50				
		LMPK-25	10.5				
8	陕西省地质矿产实验研究所有限公司	LMPK-19	10.7	11.5	0.38	3.6	8.5
		LMPK-40	11.1				
		LMPK-46	10.2				
		LMPK-49	14.1				

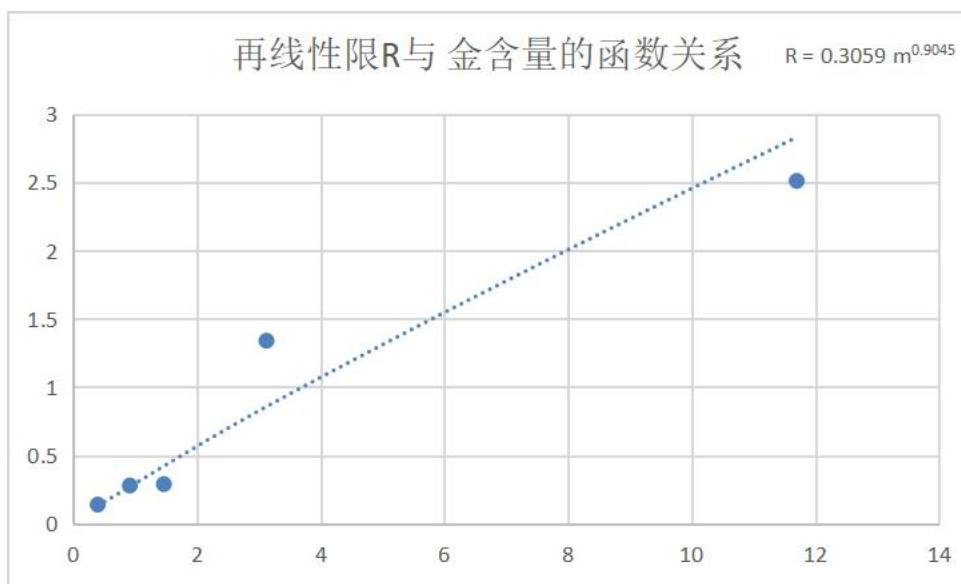
该样品精密度验证结果，3 和 8 号实验室的试验结果精密度良好。

根据不同实验室对同一样品的检测结果，剔除异常值，计算实验室平均结果的标准偏差 s 和重复性限 R ($R=2.8s$) 见表 3-41。

表 3-41 不同实验室重砂分离金含量测定再现性限 单位 w (Au) / 10^{-6}

实验室编号	BGPK	MGPK	XYPK03	XYPK04	LMPK
1	0.33	0.92	-	-	-
2	0.35	-	1.38	-	-
3	0.45	0.79	1.44	3.57	11.3
4	0.42	0.9	1.48	2.69	12.6
5	0.35	0.84	1.50	2.61	9.80
6	-	1.10	-	-	-
7	-	0.87	1.33	-	11.5
8	0.43	0.91	1.65	3.61	11.5
m	0.39	0.91	1.46	3.12	11.7
s	0.051	0.097	0.10	0.47	0.90
R	0.14	0.28	0.29	1.34	2.51

建立再现性限与样品金含量的关系式 $R=0.3059X^{0.9045}$ ，即不同实验室对同一样品测定结果的绝对差值，不能大于 R。确定了外检的质量控制要求。



四、与国际、国外同类标准技术内容的对比情况，或者与测试的国外样品、样机的有关数据对比情况；

国际上未检索到关于含粗粒金矿石样品的加工技术规范。DZ/T0205-2020《矿产地质勘查规范 岩金》，对含粗粒金、巨粒金的样品加工，要求全部加工至0.074 mm，不缩分、不过筛。这一要求实际上并解决不了金分布不均的问题。

参考文献

- [1] Dominy S C, Annels A E, Johansen G F, Cuffley B W.General Considerations of Sampling and Assaying in a Coarse Gold Environment[J]. Applied Earth Science,2000:B145-B167.
- [2]罗学辉,张勇,陈占生,李玄辉,陈雪.金矿石加工及测试质量过程控制[J].黄金,2013,33(3): 61-64.
- [3] 冯玉怀,杨丙雨,林晓伟.2010 年中国金分析测定的进展[J].黄金,2011,32(12): 53-57.
- [4] 陈永红,孟先伟,李彦红,等.2011-2012 年中国金分析测定的进展[J].黄金,2013,34(12): 72-78.
- [5]吴清艳.金矿样品分析中相关问题讨论[J].云南地质,2009,28(3): 372-331.
- [6]Royle AG. Safe Sampling Formulae for Gold Deposits[J].Transactions of the Institution of Metal Finishing, 1991,100: A84-A85.
- [7]Stanley C R. Nugget: PC—Software to Calculate Parameters for Samples and Elements Affected by the Nugget Effect[J].Exploration and Mining Geology,1998,7(1-2):139-147.
- [8] Johansen G F, Cuffley B, Platten I A. Estimation and Reporting of Mineral Resources for Coarse Gold-bearing Veins[J]. Exploration and Mining Geology,2010,19(3-40:13-42.
- [9] Barnes JFH.Practical Methods of Drill Hole Sampling[M].Meaningful Sampling in Gold Exploration.Perth: Australian Institute of Geoscientists, 1987:145-170.
- [10] 索明源.金矿样品采样-加工-化验质量的综合研究[J].岩矿测试, 2001,20(3): 60-64.