前　言

为了给找矿、科研第一线的广大金矿地质工作者提供找金方面的资料，以促进黄金地质找矿勘探工作的顺利进行，我们调研、编辑、出版了《金矿选编》。

《选编》汇集了目前国内外许多较高水平的金矿论文。选时结合当前金矿工作的实践，并注意到内容的普及性和实用性。对进一步研究和在我国寻找各种类型的金矿床有一定的参考价值。

《选编》分五集出版。

第一集　金矿概述　主要内容：金的命名和成因形态、金的地球化学性质和成矿作用、金的标型特征及金矿规范说明等。

第二集　砂金　主要内容：砂金矿床的成因类型、分布特征、找矿评价方法、勘查方向等。

第三集　金矿的找矿标志及勘查方法　主要内容：金矿床的找矿标志及找矿方向、金矿勘查的物化探方法、地球化学方法、放射性方法，以及取样及储量计算方法等。

第四集　金矿床　主要内容：金矿床成因理论、金矿床类型及特征、国内外典型金矿床实例等。

第五集　金的分析测试方法　主要内容：金的各种实验室分析测试方法及野外简易测试方法。

《选编》由核工业部地质局黄金办公室和北京第三研究所科技情报室联合编审，由高必娥同志负责编辑。由于水平所限，书中出现的错误和不妥之处，敬请读者批评指正。

局黄金办公室
所科技情报室　1987.6

目　录

1．我国应用砂金地质科研任务、基本问题及当前主攻方向……（1）
2．中国砂金矿床主要类型及找矿方向……（11）
3．试论砂金矿勘探中的几个问题……（22）
4．砂金矿成因的新认识……（32）
5．砂金矿床控制因素的分析……（45）
6．从砂金矿谷底找原生金矿的预测标志……（62）
7．关于砂金矿床储量计算中应当重视的几个问题……（75）
8．砂金地质样品品位计算问题……（96）
9．试论东北北部地区砂金矿勘探中的若干问题……（103）
10．黑龙江省北部砂金矿多年冻土勘探方法的探讨……（124）
11．国外主要砂金矿概况……（135）
12．国外砂金地质与找矿评价方法……（153）
13．世界大型砂金矿床的地质特征……（192）
14．砂金的勘探方向……（200）
15．砂金矿可开采性初步评价的新方法……（225）
16．金砂矿的矿物学特点……（235）
17．利用砂金与原生金的数量关系作区域预测……（254）

我国应用砂金地质科研任务、基本问题及当前主攻方向

李广荣

（武警黄金指挥部黄金地质研究所）

（一）

应用砂金地质科研是以砂金成矿理论研究为基础，以砂金成矿预测为中心的一门实用目的很强的科研工作。它是普查前期的重要基础工作，担负着从找矿战略选区到提供靶区的一系列为找矿服务的预测评价任务。因此，它是砂金勘查系统工程中，不可缺少的重要环节。砂金成矿预测研究在我国是一较新的领域，在当前的砂金找矿热潮中，加强应用砂金地质科研，明确任务、探讨它的基本问题和确定当前主攻方向，更好地发挥它的作用，无疑具有重要意义。

当前，我国正在进行着大规模的砂金资源勘查工作。我们的找矿战略是对主要砂金矿（区）带中各含金水系，力争用最短时间，用取样工程对主要成矿地段完成圈定，这样才能尽快满足为未来中远期内提供足够的砂金勘探基地和国家大幅度增产黄金的迫切需要。在完成上述战略目标的努力中，以成矿预测为中心的应用砂金科研工作可以发挥很好的作用。它将提供战略选区和找矿靶区，并将为砂金地质找矿工作实现快速、高效和低成本的三个目标提供一定的保证。

可以看出，在拟订全国砂金资源找矿规划和实现近期找矿战

略目标的努力中，应用砂金地质科研担负着重要的任务。那么，我国应用砂金地质科研工作的基本任务是什么呢？结合我国砂金地质工作的实践和体会，笔者认为我国应用砂金地质科研的基本任务是：遵循以地质找矿为中心的指导方针，建立并完善适用于我国地质环境特点的科学的砂金成矿预测理论，系统开展以各级砂金成矿区（矿带、矿田、矿床）为目标的预测研究，尽快摸清我国砂金矿产分布及资源底数，正确指导我国砂金找矿方向，提高砂金找矿效能和努力扩大我国砂金矿产资源远景，为满足我国黄金生产大幅度的提高而提供更多的资源后备基地。

（二）

按照这一总的任务要求，结合我国砂金地质工作实际和有关科研工作现状需要，确定了当前应用砂金地质科研工作的一系列课题。它们可以归属为三类基本问题。概括地说，第Ⅰ类属基础研究，第Ⅱ类为区域评价研究，第Ⅲ类为系统成矿预测研究。它们在砂金矿产资源预测系统中的位置与关系，如表1所示。三类问题中包含的实际问题很多，但基本的有七大项，以下分述之：

1.金矿成矿规律和成矿预测理论及方法研究 砂金成矿预测是砂金应用科研的中心课题，砂金成矿规律的研究则是成矿预测的基础。两者是开展应用砂金地质科研的必要基础和主要内容。砂金成矿预测学，在我国是一门新兴的学科，目前仍处于探索性研究和积累经验的阶段。总的来说，目前我国在砂金成矿理论和成矿规律的研究方面，无论从其深度还是广度上，都还不能满足深入和有效扩大砂金找矿的需要。为了提高预测水平和获得最佳找矿效果，必须重视和进一步加强砂金成矿规律和成矿预测的研究，提高理论水平，克服主观性和简单化的作法。

砂金成矿规律研究的主要内容包括砂金的生成环境、成矿条

件、砂金矿空间分布规律、控制因素及其有效的预测标志。要建立砂金理论预测系统，中心任务是为解决预测矿的有无、大小和空间分布规律等一些主要问题，此外，还要开展以数学地质为中心的统计分析规律的研究，在有条件时，也可以开展砂金成矿的模拟试验。

通过以上工作，建立我国不同类型砂金成矿区内的典型砂金矿带、矿田及矿床的模型、拟订相应的预测准则，指导类比预测。

研究砂金成矿规律除了一般性的普遍规律外，更要重视区域的成矿规律研究；此外，除了研究砂金的富集规律外，还要研究砂金矿的变化规律。

在区域砂金成矿规律的研究中，应着重研究各类含金区内不同规模的砂金矿（矿化集中）区的形成、分布及成矿规律，阐明区域砂金成矿控制因素及预测标志。在自然界中，砂金矿床比起内生金矿床来说，在很大区域范围内相对有着更为集中的表现。因此探讨不同规模的砂金矿化集中区（矿区）的形成与分布规律，对于开展大范围内的砂金成矿预测有重要意义。

根据砂金成矿区域的规模大小、砂金矿床的空间分布与集中组合特征的不同，可将砂金成矿区从大到小分为三级：列为一级的为全球性的大砂金成矿区，二级的为区域砂金矿带，三级为砂金矿田。

全球一级大砂金成矿区是地壳表面划分出的最大一级的砂金成矿区单元，通常由几个砂金矿带组成，其范围与金矿省大体相当。据统计，国外砂金过采矿量在148t以上的大砂金成矿区，共有十二个。我国黑龙江省东部与西北部砂金区也均可列入大砂金成矿区。研究全球一级大砂金成矿区的成生环境和在时间、空间上的分布与演变规律，对于深入认识形成大砂金集中区的必要条件以及砂金成矿的基本环境特点和形成大砂金矿区的最佳环境都

有重要意义。

砂金矿带是第二级砂金成矿区单元。它是由产于同一构造岩浆成矿带中的若干相近的砂金矿田所组成，通常面积 1 千 到8千 km^2左右。多呈具有一定走向的条带状分布，少数具面型轮廓特征。砂金成矿带反映了四级地质构造单元方面的差异及区域地质、地貌基本特征。研究砂金成矿带的成矿规律，有助于查明矿田空间上组合与分布的规律及控制因素，有助于查明砂金矿的形成条件和分布规律，为开展砂金矿体预测提供基础。

砂金矿田是划分的第三级亦最小一级砂金成矿区的单元，通常它由若干条不同级次且有联系的含砂金矿床的水系构成。其面积在一百至数百平方公里。在最富的砂矿田内，三级或四级及四级以上的水系沟谷几乎都赋存有砂金矿体，这是大砂金矿田的重要标志之一。研究砂金矿田的形成条件、分布规律，查明主要控制因素及远景预测标志，将为预测砂金普查选区提供依据。

以上概述了各级砂金矿化集中区的砂金成矿规律研究内容及意义。从当前来看，最有现实意义的研究是关于砂金矿田和矿床成矿规律的研究。

定量预测是砂金矿产资源预测的一个重要方面，目前也是处于研究阶段，常用方法有逻辑信息法、典型矿床法和主观估价法等。已有实践表明，提高预测的可靠性和准确度是当前应主要解决的问题。解决的途径基本有五个方面：

1)完备资料。预测工作要充分占有各项必要资料。根据预测区的不同，应有相应比例尺的地质、地貌与新构造运动等方面的基础资料(包括有代表性的样品分析资料)，以提供必要的客观依据。

2)提高区域砂金成矿规律的研究水平。对各项区域因素的成矿作用及找矿意义作出恰当的评价，选择研究程度较高的地区，应用统计分析建立矿床、矿田与矿带的典型模型。

3)矿田、矿床的预测应有中、大比例尺地质图和不小于1/10万的地形图。比例尺过小不能满足砂金成矿预测的要求。实践表明，使用1/50万地形—地质图件的预测误差较大。

4)预测远景区应有最少而必要的样品分析资料及有适当工程验证配合。

5)选择适当的数学地质方法。加强预测与勘探成果的对比研究，找出误差原因，改进预测方法。

为了广泛和迅速地开展砂金成矿预测，今后要加强以1/20万地质矿产图与1/10万—5万地形—水系图为基础资料的砂金 成矿预测研究。这项课题的解决，将为缩短砂金成矿预测研究周期，提高砂金普查找矿工作效率提供必要的基础。

下面，把砂金成矿预测理论研究方面的主要问题简列如下：①砂金矿成因类型、形成条件、分布规律及各项控制因素评价；②不同含金区典型砂金矿床、矿田模型的建立；③砂金成矿预测的详细准则和方法；④砂金矿定量预测理论及方法；⑤各类含金地貌区的砂金成矿规律、找矿准则；⑥各类含金区及各类型砂金矿的成矿远景评价准则和判别标志；⑦砂金矿床地质—经济评价准则；⑧统计预测研究；⑨砂金矿理论预测系统。

2.各类含金区砂金找矿方向及成矿远景估计研究 开展全国范围内小比例尺砂金成矿预测，首先应解决各类含金区砂金成矿远景估价问题。这是一个关系到砂金找矿战略选区的重要问题。含金区是确定砂金找矿战略区的必要前提，但不是唯一的。实践证明，并非所有的含金区都有砂金找矿远景。根据区域金矿化特点及砂、岩金矿化规模的对比，可以把含金区大略划分为四大类区：岩金区、砂金区、砂—岩金混合区和伴生金区，后者对区域砂金成矿不具大的意义。

在不同的含金区内，砂金矿化集中区分布特点及找矿远景是都不相同的。例如，在砂金区和部分较大的混合区内，砂金矿有

成群成带分布特点，其砂金矿成矿远景规模巨大；而在岩金区，通常砂金为单源补给，矿带不明显，矿田不发育，砂金矿床孤零分布，成矿远景规模不大。此外，对位于不同自然地理环境中的不同含金区来说，主要砂金矿床类型也多有不同。所以正确划分含金区类型、明确其找矿方向和远景，对于砂金找矿工作战略部署具有很现实的意义。

要探讨含金区类型划分依据和预测准则，阐明在各类含金区内砂金矿化集中区的分布规律、成矿特征、主要控制因素、预测标志及远景估价准则。

各类含金区砂金找矿方向及成矿远景予测研究，属于中、小比例尺(1/20万—1/50万)区域评价的调研课题，主要研究内容是区域砂金成矿条件分析、找矿方向及远景估价。对于各类有砂金找矿远景的含金区，由于各地区第四纪以来内外地质营力作用的巨大差异，因而形成了特点不同的砂金矿化区。所以，解决本课题应着重于区域地质地貌背景特征的分析和区域第四纪发育史的研究。

3.我国主要砂金区的系统成矿预测 在区域评价和小比例尺砂金成矿预测的基础上，对各砂金区系统地开展中、大比例尺砂金成矿预测研究，这既是应用砂金地质科研的一项主要课题，也是一项富有生产意义的课题。

我国目前已知的砂金矿床、矿点约有三千多处，分布于全国26个省(市)区内，形成多处砂金集中区(带)。此外还有不少情报点和重砂异常区，对所有这些找矿线索都应进行背景分析。对那些大面积出现的砂金集中区要重点地系统地开展砂金成矿预测研究。

对已知主要砂金成矿远景区的成矿预测研究要系统地进行，以砂金矿带、矿田为目标的预测分析底图地质图比例尺不应小于1/20万，水系地形图不小于1/10万。对各级成矿区应预测其位置、范围、主要的矿床类型及成矿远景规模。当前，在一、二级砂金成矿远景区内对砂金矿带、矿田的预测具有头等现实意义。

本课题的研究，将为确定中近期内砂金找矿方向、工作部署及编制区域砂金普查总体设计提供重要依据。

对于地质工作程度较高的一些大砂金矿区来说（如黑龙江东部、北部区，内蒙中部区等）区域成矿预测研究应围绕探讨今后砂金深入找矿方向、扩大矿区资源远景及对区内潜在砂金资源定量评价开展预测研究。

4.潜在大型砂金矿产资源基地的预测评价研究 找矿历史经验表明，一个大型、特大型矿床的发现，不仅具有重大经济价值，而且具有找矿理论研究的重要意义。因此寻找大型、特大型矿床一直是找矿工作者努力的目标。对于砂金找矿而言，情况有所不同。由于中小型矿床群构成的砂金矿田规模常大于大型砂金矿床，且发现机率较大，而后者发现的机率很低(小于3%)。所以，大型砂金矿田的发现比起任何一个单独大砂金矿床来说，都具有更重要的意义。

大砂金矿田是砂金矿床群集中分布的最小成矿区单元。大的砂金矿田是砂矿山的理想基地，砂金矿田成矿规模及分布范围大小因成矿条件不同而有很大差异。通常大砂金矿田的砂金工业矿量在20t左右，少数特大型可达30—50t，甚至有超百吨的。阿拉斯加育空河费尔班科斯砂金矿田，历史上曾采出250t砂金。

从我国东北北部大砂金区的资料来看，较大砂金矿田的砂金矿量都在20t左右(如桦南七道沟—锹皮沟矿田、呼玛达拉罕—韩家园子矿田、萝北嘉阴河矿田等）。已知更大一些的可能超过30t（罕达汽—法别拉河矿田）。这些矿田的面积约100—400km^2。像这样面积不大而矿量又比较集中的砂金矿田区，确是比较理想的砂金资源基地。因此，当前在寻找潜在的大型砂金矿产基地的预测研究中，应特别注意砂金矿田这一级成矿区的预测，其中又应以大型砂金矿田的预测为首要目标。

为此，必须对世界已知的大砂金矿带、大矿田、大矿床的形

成规律和预测准则进行研究，建立相应的模型和可供类比的样板，以便对我国潜在大型砂金资源基地和有潜在巨大远景的新类型矿田区作出预测；同时，对工作程度相对较高的一些砂金资源区的深入找矿远景，通过类比也可做出估价。

5.河谷及阶地以外的其他类型领域里砂金找矿方向及找矿远景的预测研究 目前，我国已知的砂金矿床工业类型主要是冲积型第四纪河谷与阶地砂矿。至于世界上已知的其他一些工业类型砂金矿，如滨海砂金矿、埋藏砂金矿、古砾岩砂金矿等，在我国也均有发现，但因工作程度低，远景不明。

从我国砂金成矿环境来看，我国有些地区具备形成有相当远景规模的埋藏砂矿、砾岩砂矿、湖、海滨岸砂矿、喀斯特砂矿以及河床砂矿的有利条件，例如处于含金背景环境中的一些大型盆地边缘地带（如四川盆地的川北山前区、汉中盆地区、阿尔泰山前盆地区等）以及一些现代大湖盆地边缘及外围区（如洞庭湖滨、鄱阳湖滨、洪泽湖滨）都具有砂金成矿条件，是可能的大型砂金矿产资源的远景基地区。此外，我国几大江河水系的一、二级河流有希望找到大、中型低品位河床砂金矿的远景。此外，对各区特有的砂金富矿类型也应给与足够的注意，为扩大资源远景提供新的基地。

上述“新类型”砂金找矿的研究，需要的手段比较复杂，找矿难度也较大。在目前近地表的浅部冲积砂金找矿还有相当前景的情况下，有关的找矿工作还没有提到日程上来。但从今后国家对黄金资源要求的形势来看，解决它们的找矿问题已经为时不远。因此，有关科研应当先行一步。

6.砂金区原生源找矿问题研究 砂金物质来自各种含金母岩，少量的为地表环境下金的表生富集作用的产物。含金母岩有多种多样，其中也包括了各类型的原生金矿床。因此，一般说来，不少砂金区也是寻找岩金矿的远景区。由于砂金矿的许多特

点和规律在不同程度上反映了原生源性质、类型及其联系，所以通过砂金线索去寻找原生金矿床是行之有效的一个途径。

国外许多砂金区的金矿发现史表明，在砂金区内几乎总是能够找到原生金矿，有些甚至是规模颇为可观的大金矿。通过砂金线索寻找原生金矿的工作在我国东北北部砂金区内及广东高要河台区内均已取得了重大突破（团结沟、老柞山及河台岩金矿）。这些成功的经验给我们以极大的鼓舞，今后应大力加强这项课题的研究。重点应放在砂—岩金混合区和砂金区，其中小沟砂金富矿原生源的追寻最有现实意义。

应查明砂金矿的物质来源和由原生矿床补给的可能性、含金母岩的矿化类型、分布特点、补给方式、与砂金矿的成因联系及其找矿标志。此外，要解决砂金矿物成因问题。通过重砂矿物微观领域的深入研究，进一步探索原生源找矿的信息。分析和总结在各类含金区内砂金成矿特点，分析已知砂金矿区的矿床形态、品位及规模变化原因，进一步找出通过砂金线索寻找原生矿床的有效方法，确定找矿有望地区及找矿方向，开展相应的调查。要特别注意除石英脉型以外的其他有重大工业意义类型的岩金找矿线索。深入开展调查，要特别重视第一手的调查资料。砂金区的岩金找矿，既要立足于寻找已知类型，也要打破框框，以砂金为媒介，努力探索和发现未知的新类型。

7.我国砂金矿产资源总量预测及资源评价 在全国砂金成矿区划及典型成矿区（带）研究基础上，根据各种有关统计参数，对全国砂金资源总量作出预测；同时结合各地区砂金成矿特征及地质经济技术等因素的分析，对预测的我国砂金矿产开发利用远景及资源保证程度作出评价。

主要成果分析底图的比例尺不应小于1/50万。

本课题的研究成果将对我国砂金矿产资源的潜力及其经济远景价值提供一个定量的概念，对今后全国砂金地质工作的找矿战

略部署以及制订砂金资源开发远景规划将提供必要的参考依据。

(三)

当前应用砂金地质研究的主攻方向是解决好下述三大问题，并开展相应的工作：

1. 砂金快速有效普查找矿研究。主要包括：①砂金找矿的有效标志；②砂金成矿规律；③砂金找矿准则；④砂金找矿方向及成矿远景预测；⑤砂金矿快速有效勘查方法学等五项攻关课题。

2. 我国主要含金区砂金找矿远景估价研究及潜在大型砂金矿产资源基地的预测。

3. 建立有效的电子计算机化的砂金成矿预测系统。对全国各主要砂金成矿远景区系统地开展中比例尺的砂金成矿预测。

鉴于目前各地投入砂金找矿的地质力量很大，以及考虑到砂金地质找矿工作具有快速进展的特点，因此研究工作、预测工作要讲求时效，要适当集中力量，力争在较短期内完成我国各主要砂金区的系统成矿预测。

× × × ×

以上对应用砂金地质科研工作的基本问题及当前主攻方向作的粗浅的探讨。可以看出，我们所讨论的问题虽然具有明显的实用特点，但问题的解决还得依靠砂金成矿与找矿理论的指导，不论基本课题还是当前主攻方向，都有理论研究的任务。因此，在开展应用研究工作的组织上，今后应适当加强砂金成矿预测为主的理论研究，提高成矿预测水平。

应用砂金地质科研工作如能围绕上述基本问题和主攻方向作出有效努力的话。那么我们相信，砂金找矿工作必将出现一个新的局面。

选自《黄金地质科技》第一期（1986）

中国砂金矿床主要类型及找矿方向

杨文思　熊丽君　黄宏立

（冶金部天津地质研究院）

在我国，砂金作为一种矿产资源，早已为我国人民所熟识，并有着久远的采掘历史。砂金资源的长期采掘，不但为我国人民积累了巨大的物质财富，而且对我国人民的精神文明作出了重大贡献。

砂金是我国金矿的重要类型，其储量和产量在我国金矿的储量和产量中均占重要地位。

我国砂金遍布南北各条大小河川，在我国的30个省、市、自治区中，除上海、天津两市目前尚未发现砂金以外，其于各省、市、自治区都有砂金分布。据不完全统计，我国现有砂金矿床500多处，砂金矿点2500多处。其中86％集中在黑龙江、内蒙、河北、湖南、江西、广东、云南、四川、陕西、甘肃、青海、新疆等省区。

由于砂金分布点多面广，又易认、易采、易选，而且开发利用时，投资少、周期短、见效快。因此可以充分发挥国家、地方、集体和个人的采金积极性，使规模不等的砂金矿床得以充分发掘以为社会主义建设服务。

一、中国砂金矿床主要类型、简要地质特征及分布规律

近年来，国内外许多学者对砂金矿床分类提出了各种不同的

方案。本文根据我国砂金矿床特点，取各家分类的合理部分，提出一个略为详细的分类。这个分类以成矿作用作为基础把我国砂金划分为风化壳型、洪积—冲积型、冲积型、冰碛型、滨湖型和滨海型等六种主要成因类型，再根据沉积物特点及其形成环境差异进一步划分亚型（表1）。

（1）风化壳型砂金矿床

含金地质体在地表条件下，以风化作用为主形成的砂金矿床。按其成矿作用差异，矿石物质成分差异及含矿物质迁移情况可进一步划分为风化残积砂矿、风化残余砂矿（含金铁帽）及残坡积砂矿三个亚型。

1）*风化残积砂矿*　主要形成于地形比较平缓的隆起丘陵区，系由原生金矿体、含金岩体或含金古砾岩层在地表条件下经物理风化作用(可以有化学风化作用参加，但不是主要的)形成的砂金矿床。砂金与碎屑物质分布于含金地质体表层，成分与原生体相当。碎屑物多呈棱角状，无分选性，砂金颗粒一般较粗，因解离不完全。金粒连生体较多。在风化过程中特别是在构造破碎带，有部分化学风化作用参加，使部分硅铝质和某些活动组分淋失而使金相对富集。代表矿床有广西昭平县古袍残积砂矿及滕县桃花残积砂矿，它们都是含金花岗岩体风化形成的残积砂矿。矿床规模小。

2）*风化残余砂矿（又称含金铁帽）*　也是形成于地形相对较平缓的隆起丘陵地区。成矿作用以化学风化作用为主。由含金硫化矿床(伴生金矿)在地表或近地表条件下，经化学风化作用使硅铝质及活泼金属元素淋滤迁移，金银在原地富集而形成的含金铁帽即风化残余砂矿。金及风化残余物残留原地，未发生迁移，无分选性，但金在残余剖面上有次生富集分带。如安徽铜陵新桥、代家冲及云南金坪等风化残余砂矿。矿床规模多为小型，个别可到中型或大型。

表1　　中国砂金矿床主要类型划分表

成因类型及亚型		成矿作用	沉积物特点	沉积环境	矿床实例	规模
风化壳型	风化残积砂矿	物理风化为主	残积物、未经搬运，无分选性	隆起丘陵区	广西古袍桃花	小型
	风化残余砂矿	化学风化为主	残余物、金有化学迁移和分带富集	〃	安徽铜陵新桥	小—中大型
	残—坡积砂矿	风化作用+重力作用	残坡积物、短距离搬运、分选性差	山地斜坡	安徽大巩山、湖南杨泗庙	小型
洪积—冲积型砂矿		洪水搬运+河水冲积作用	洪积物与冲积物混杂，分选不好	间歇性河床、冲沟、峡谷出口处	内蒙金盆、胶南诸湍河	小—中型
冲积型	河床砂矿	河水冲积作用	冲积物分选好	现代河床	湖南汨罗归义、桂南七虎力	小—中大型
	河谷砂矿	〃	〃　〃	河漫滩及冲积平原底部	四川白水、呼玛兴隆沟	小—中大型
	阶地砂矿	〃	〃　〃	河流两侧阶地	四川洼里、塔公、青海天朋河	小中型
	岩溶砂矿	冲积或冲洪积作用	冲积物或冲洪积物	暗河溶洞	湖南岩口、广西镇圩	小—中型

续表

成因类型及亚型		成矿作用	沉积物特点	沉积环境	矿床实例	规模
冰碛型	冰水河谷砂矿	冰川作用	冰冲物	冰川故道	四川漳腊、广东金装、青海大场	中—特大型
	冰水湖泊砂矿	〃	〃	冰水湖泊干涸沼泽	四川鄂拉托	小—中型
	冰水阶地砂矿	〃	〃	冰川故道阶地	四川甘孜白利、青海多熊沟	小型
滨湖型砂矿		河水冲积作用十湖水拍岸浪作用	冲积物、湖积物	湖泊滨岸地带冲积平原	湖南汉寿太子庙	工作程度低，未系统勘查，目前为型小
滨海型	冲积—海积砂矿	冲积或洪积作用十海积作用	冲积物或冲洪积物、海积物	海滩、海成阶地、海湾	辽东金厂湾、胶东诸流河口	〃
	残积—海积砂矿	风化作用、海积解作用、海积作用	残积物、海积物	〃	胶东三山岛	〃

3）*残坡积砂矿*　是风化壳型砂矿与坡积砂矿混杂过渡的砂矿床。其沉积物特点与风化壳型沉积物特点雷同，因受重力作用而沿山地斜坡滑移、但迁移距离不大。碎屑物质略有磨蚀并有不同程度分选。矿床规模常受矿源体规模、风化作用强度及地貌条件制约，如安徽大巩山、湖南杨泗庙等。因含金碎屑物质位移小，常可作为追索原生金矿的直接找矿标志。

风化壳型砂矿多分布于我国南方，尤以长江中下游最发育。

（2）洪积－冲积型砂金矿床

单纯的洪积砂矿床比较少，一般兼有冲积作用，是洪积砂矿与冲积砂矿的混合类型。由山洪瀑发把山上含金碎屑连同砂泥质一起倾泻于冲沟、峡谷及季节性河流中，经河水搬运冲积，分选富集形成砂金矿床。矿体呈层状、似层状、条带状与河床平行。矿层多层重迭且变化大，品位不稳定。洪积物与冲积物混杂，含沙泥质较多，碎屑物质分选差。这类矿床主要分布于我国北方半干旱地区及隆起丘陵地区，如内蒙金盆及胶东半岛诸流河砂金矿床等，其规模可达小一中型。

（3）冲积型砂金矿床

由流水冲刷作用把含金碎屑物质搬运到河流中，随着河流水动力条件变化而在不同部位发生分选并沉积富积形成矿床。这类矿床分布广泛，我国南北方各含金水系都有产出。而且不同级别的含水系连成网络、如洞庭湖含金水系网络、珠江水系网络、嘉陵江水系网络等。根据砂金在水系中富集的部位不同，可进一步划分为河床砂矿、河谷砂矿、阶地砂矿及岩溶砂矿四个亚型 。

1）*河床砂矿*　矿床分布于现代河床中，矿体呈层状、似层状、带状沿河床分布。河床沉积层一般都有二元结构或二元结构不发育。砂金主要富集于河床砂砾层底部。冲积物经过较长距离搬运，其磨圆度及分选性都比较好。砂金富集程度常受砂、砾的含量及河床坡度、河流弯曲度、河底面糙度、支流汇合情况等因

素影响，并与金源补给有关。河床砂金主要产于2—3级支流中，如湖南汨罗江、赣东北昌江、乐安江、桦南七虎力河、八虎力河等。河床砂金因其分布于水体底部，特别是南方河流水量较大，探采技术较为复杂，目前尚未列为主要探采对象。

2）*河谷砂矿*　矿床分布于河漫滩底部或冲积平原底部。它是河床砂矿演化的产物，并与河床砂矿密切联系，二者常在一个矿区共生，如桦南七虎力河砂矿。矿床特征及沉积物特点与河床砂矿相同，主要差别是矿层具有二元结构（上覆有砂土层）。河谷砂矿的主要特点是矿层规模大而稳定，品位较均匀。如桦南砂金矿床、白水砂金矿床、赣东北东河砂金矿床、恒口砂金矿床等数十处大中型砂金矿床，在我国国民经济中占有重要地位，是我国冲积砂矿的重要类型和主要探采对象。

3）*阶地砂矿*　是早期河床砂矿在地壳上升过程中，由于河水侧蚀和下切作用使河床砂矿抬升所造成。地壳上升的幅度与河流下切的深度成正比。因此阶地高度代表地壳抬升的幅度，地壳每抬升一次，就形成一级阶地。在金沙江沿岸，阶地多达十余级，高级阶地常高出河水面百余公尺乃至数百公尺。在这种情况下，早期形成的高级阶地常被分割破坏，造成矿体不连续，并成为晚期低级阶地砂矿及河床砂矿的补给源。阶地砂矿以具有典型的二元结构为特征，砂金富集于下部砂砾层底部，矿体呈层状、似层状，缓倾向河床，走向与河床平行，阶地砂矿因其高出河水面，探采技术采为简单，适于民采，是过去的主要开采对象。由于矿层受侵蚀切割破坏，矿床规模一般都不大，多以中小型为主。

4）*岩溶砂矿*　主要分布于我国南方石灰岩发育地区的暗河、溶洞及河床的岩溶漏斗中。沉积堆积物可以是冲积物、冲洪积物或洪积物，砂金常富集于低洼部位。矿体形态极不规则、随岩溶漏斗或暗河形态而变化、可呈层状、似层状、巢状或不规则状等，品位变化大，但一般较富，有时高达数百g/m^3，如广西上

林镇圩砂金矿床，最高品位192g/m³，矿床规模多为中小型。

(4) 冰碛型砂矿床

在高山高原地区（海拔4000m以上），含金地质体受外营力作用破坏后，在冰川作用下形成的含金混杂堆积物，金被夹杂在冰川泥砾中随冰川迁移。其特点是碎屑物质多棱角状、无分选性或分选不好、砾石常有滑沟、刻槽或被压裂。砂金品位变化大、金粒一般较粗。冰碛砂金主要分布于青藏高原，在粤北及湘西南也有分布。根据砂金矿形成环境又可分为冰水河谷砂矿、冰水湖泊砂矿及冰水阶地砂矿三种亚型，

1)*冰水河谷砂矿*　含金冰碛物在冰川迁移过程中，由于冰河融化而解体，砂金与碎屑物质在冰水河谷中分异沉积堆积形成砂金矿床。碎屑物质分选较差，砂金常与泥砾混杂。矿体行态变化大，含金层次多(多达五层)，矿层厚(四川漳腊最厚达110多米，平均厚41m)，金粒粗(漳腊＞1mm的金粒占80%以上)。代表矿床有四川漳腊、青海大场、新疆三岔河、广东金装，均属大中型矿床乃至特大型矿床（漳腊）。

2)*冰水湖泊砂矿*　主要产于高原冰水湖泊、干固沼泽和四川盆地边缘的湖泊低洼地带。矿床规模一般较小，但品位较富，适于民采。

3)*冰水阶地砂矿*　分布于高山高原区的冰碛阶地中，由于产出位置较高，矿体多被侵蚀切割成条带状或透镜状，规模虽较小，但品位较富，适于民采。如青海多熊沟、四川甘孜白利。

(5) 滨湖型砂矿床

也是一种冲积砂矿，是河水冲积作用与湖水拍岸浪冲积作用的产物。所以矿床形成与河流入湖口附近的湖泊滨岸地带或冲积平原中。因河水注入湖泊时，水动力减弱，又受拍岸浪冲击影响使砂金处于较分散状态。这类矿床突出的特点是规模大，含金层厚度大，层次多，砂金粒度细小，品位低而稳定(0.1－0.2g/m³)，

是一种大而贫的矿床，适用于采金船大规模开采。主要分布于洞庭湖东西两岸的常德、汉寿、益阳、汨罗、岳阳及鄱阳湖东岸的波阳、余干等地。因以往工作程度低，未作系统评价。目前仅发现个别小型矿床和矿点。

(6) 滨海型砂矿床

根据物质来源差异及成矿作用不同可划分为滨海冲积－海积砂矿和滨海残积海积砂矿两个亚型。二者虽有差别，但又往往共生或迭置在一起，不能绝然分开。

1)*滨海冲积－海积砂矿*　系河流倾泻于入海口处的陆源含金冲积物或冲洪积物受海浪和岸流作用，在滨海地带分选富集形成砂矿床。如辽东半岛庄河口附近的金厂湾砂矿及胶东诸流河口砂矿等，

2)*滨海残积－海积砂矿*　系出露于海底或岸边的原生金矿床或含金地质体，在风化作用和海解过程中受海浪冲蚀形成的砂矿。如胶东半岛三山岛滨海砂金矿床。

滨海型砂矿的规模主要取决于陆源补给含金物质的丰富程度，而砂金的富集则受海盆地貌及海流制约。胶东半岛莱州湾沿岸及辽东半岛庄河口沿岸砂金物质来源十分丰富，又有良好的海盆，对砂金富集有利。但因地质工作程度低，未作系统评价，目前所知矿床均为小型。

二、找矿方向

我国砂金点多面广，类型齐全。虽有几千年采掘历史，但受技术装备限制，以往探采的主要对象是一些技术比较简单的冲积型阶地砂矿和河谷砂矿。统计资料表明，冲积型砂矿是我国最重要的砂金类型，无论是过去和现在都是主要的探采对象，探明的储量最多，约占砂金储量的80%，大中小型矿床都有。我国幅员

辽阔，含金水系遍布各地，虽然已往的工作找到一大批矿床，但至今许多含金水系未作较系统的评价，许多类型砂矿尚未开展地质工作。根据这种基本情况和地质条件的可能性，今后我国砂金找矿的方向应当是：

（1）继续开展冲积型砂矿找矿评价工作

1）全面系统地有规划有步骤地开展含金水系冲积型砂金普查评价。

自有砂金采掘记载以来，冲积型河谷砂矿和阶地砂矿就是主要采淘对象，至今仍然盛采不衰。过去个体农民哪里有金哪里采，国家是探一段采一段，哪里矿点集中在哪里探。由于各含金水系没有全面、系统评价，造成含金水系砂金资源底数不清或不太清楚。为了摸清各含金水系的砂金资源底数，供国家建设利用，有关部门应当协调一致，有步骤地开展含金水系的普查评价工作。

2）对50年代和60年代评价的小而富的矿床和矿点要根据80年代的概念和指标重新研究和评价。

我国有一大批小型砂金矿点是50年代和60年代评价的，当时都是按含金层的概念和比较高的工业指标评价矿床，圈定矿体的，所以矿床普遍偏小偏富，矿体不连续。如江西藏湾砂金矿，50年代末期评价，储量79kg，含矿层平均品位354g/m³，这样小的矿床放了多年没有利用。80年代以来，按混和砂概念，工业指标降到0.14—0.16g/m³重新圈定矿体，结果储量增长几十倍，小型矿床变成中型矿床。陕西恒口砂金矿床50年代末评价储量520kg。重新评价后，1983年提高到14.9t储量，由小型矿床跃升为大型矿床，类似的情况还有青川白水、陕西汉阴、湖南坳上、四川平武等等，不胜枚举，都是由小型矿床或矿点变成大中型矿床的。目前我国还有几百处小型矿床，二千多处矿点，值得今后加以研究，择其有利者重新评价以扩大砂金储量。

3)冲积型河床砂矿，以往基本没有涉及，笔者通过大量资料查阅及对赣东北地区民采河床砂金矿的实地观察和访问，深感河床砂金大有开发价值，值得今后注意。

（2）滨湖型砂金值得重视，由于滨湖型砂金分布于湖泊滨岸地带及冲积平原，沉积层厚度较大，砂金层次多，比较分散，是一种大而贫的金矿床。个体农民用手工业开采是不合算的，而且开采技术比较复杂，不是一般个体采金者所能办到，需要发挥大型采金船的作用。这类矿床，以往工作程度很低，未引起重视。根据洞庭湖、鄱阳湖周围砂金物质来源丰富，并已存在滨湖砂金的事实（以往有个体农民采过品位0.1—0.2g/m³，用采金船开采是合算的），应在洞庭湖西岸常德—汉寿—益阳及鄱阳湖东岸波阳—余干一带开展滨湖型砂金找矿评价工作。

（3）滨海型砂矿有待开发。经济发达国家包括美国、苏联、加拿大等产金国家都很重视滨海砂金的开采，开采的范围已从滨海扩展到大陆架。我国海岸线长达18000km，沿岸许多地段海湾、海滩发育，陆缘又有丰富的砂金物质来源，而滨海砂金储量却是一片空白。就目前资料分析，渤海北岸的辽东湾、南岸的莱州湾、辽东半岛的东岸、黄海西岸的海州湾、南海北部湾北岸，其陆缘都是著名金矿成矿区带，都有众多的水系穿越含金区注入海区，带来丰富的砂金物质，对形成滨海型砂金有利。但目前已发现的三处小型矿床（辽东金厂湾、胶东三山岛和诸流河口）与陆源原生金矿规模相比，相差太悬殊，说明滨海砂金资源潜力很大。

（4）冰碛砂金。冰碛砂金主要分布于高山高原地区，我国目前已找到的几处冰碛砂矿多是大中型（金装、西岔河、大场）甚至特大型（漳腊）矿床。我国西部青藏高原地区，海拔4000m以上，古生代地层含金丰度高，特别是三迭系碳酸盐岩及碳质板岩、变质砂岩已发现微细粒岩金矿床，砂金物质来源丰富，有利

于冰碛砂金矿床形成，同时高山高原区内部，形成高差几百米的高原丘陵地貌，河谷阶地发育，是冰川活动和冰碛砂金堆积的有利场所。

以上是笔者半年多来通过资料整理分析，结合部分地区砂金野外调研和实地观察访问所得的粗浅认识和体会。由于我们水平所限，错误在所难免，敬请批评指正。

选自《金银矿产选集》第六集（1986）

试论砂金矿勘探中的几个问题

戴维道

（黑河金矿局罕达汽金矿）

笔者仅从参与探采砂金的工作中，接触到与勘探有关一些问题，提出见解，共商榷，目的在于合理的增加砂金储量，提高对于勘探成果的可信程度。

一、砂金矿勘探品位偏低的原因及其解决办法

人们在勘探砂金矿时，取样淘洗、选金称重等环节中不可避免地要丢失一些金粒，特别是细小的金粒。野外钻探砂井工程遇到的地质环境差异性很大；工程质量管理、检测与鉴定工作也存在着一些困难与薄弱环节。况且砂金中的金粒分级幅度宽、分布又不均匀；依靠小口径的钻探取样和小截面的砂井缩分取样，想得到有代表性的各粒级的砂金也是难办到的事。勘探品位出现偏低是一个可以理解的问题。国外一些砂金矿探采对比结果，勘探品位也低于开采后实收的品位1.4倍以上。这是比重大的砂金矿有别于其它砂矿（砂铂矿除外）的一个重要的特点。

砂金品位是金矿开采应用的一个基本参数。编制采掘计划，预测经济效益都要考虑勘探品位误差的程度问题。对勘探的砂金储量可信程度也即如此。

笔者在生产勘探时，曾用砂钻机、配以内径为113mm的钻具，采取干式钻进的办法，来保证提高砂样采取率。结果是：400多个钻孔中（平均孔深5m）的砂样采取率达到95%以上。不

到95%的采取率仅有几个钻孔。然而某些砂金块段的生产勘探品位，反而比地质队提交的勘探品位略低。这说明单纯靠提高砂样采取率以期提高勘探品位的做法并无效果。此后，笔者在200×20m的钻探网度内加密为100×20m的钻孔工程，试看品位升降如何。这一试验，矿体面积的形状有些改变，但品位并没有多大的波动。然而经采金船开采，其实收的品位都高于勘探品位。这是罕达汽金矿敢于采矿体外砂金的重要根据之一。二十多年来，在矿体外采砂金一吨多。

提高砂样采取率、加密勘探工程来反映较准确的勘探品位，理论上是无可非议的。而实现这一预期效果，还有很多问题。笔者通过数理统计和筛析各采金船开采的砂金的途径，求得了一个适合本矿区运用的砂金品位修正系数。如：罕达汽金矿依据黑龙江省第四地质队1956年提交的砂金矿详细勘探报告，实行采金船有计划的开采。矿区混合砂砂金品位为0.271g/m³，每一立方米矿砂实收品位高于勘探品位0.042g/m³（表1）。从二者绝对值来看，误差并不大。但是，有采金船回采它们自己的尾砂160064m³时，从中还得到砂金16209g，折合复采实收品位0.101g／m³，两项的和大于勘探品位0.143g/m³，实收品位为勘探品位的（0.143g/m³+0.271g/m³）/0.271g/m³=1.528倍。一次选矿回收率按照70%考虑，则二次总回收率为91%，品位误差修正系数是1.68。

砂金沉积，是自然界的营力不均匀作用的结果，金粒级在空间分布上不可能呈定比状态或者正态分布，品位变化系数小的矿床，块段内的品位波动幅度也很大（表2）。

为了探索勘探品位低于开采品位的原因是否与砂金粒级有关，从筛析结果来看，它们中大于1mm（20目）的金粒占砂金总重量55.23%（表3）。而勘探取样的金粒大于1mm的砂金重只占总重量的7.7%（表4）。可见粗大的金粒对品位值变化具有

表1　采金船采矿结果统计

采矿年度	统计挖矿量（m^3）	实收砂金（g）	实收砂金品位（g/m^3）	备　注
1965	75000	57334	0.764	
1966	165000	92385	0.559	
1967	187000	95408	0.510	
1968	157000	66853	0.425	
1969	250000	63829	0.277	
1970	444000	202686	0.456	
1971	444000	212765	0.479	
1972	600000	200447	0.834	
1973	750000	240761	0.321	
1974	635000	222844	0.350	
1975	1020000	237402	0.232	
1976	785000	257558	0.328	
1977	965000	167973	0.174	
1978	1004000	286674	0.286	
1979	1270000	326427	0.257	
		1456		库存精矿微粒金
合计	8731000	2732803	0.313	

表2　船采小泥秋河砂金品位变化表

名　称	单位	1983年7月1日至15日				
		1	2	3	4	5
实收砂金	g	962	1090	538	688	242
采矿量	m^3	3090	4443	3146	4645	240
实收品位	g/m^3	0.311	0.245	0.170	0.148	1.008

6	7	8	9	10
398	919	854	954	2021
3721	4572	3215	4807	3571
0.160	0.201	0.265	0.198	0.566

11	12	13	14	15
1481	1206	1108	1101	1811
2258	2889	5049	4268	3590
0.655	0.417	0.219	0.257	0.504

明显的影响。

目前钻探取样的工具，多数是抽吸式的泵筒，靠泵筒冲击力并向钻孔内注水取样，砂样成了浆体，则不易提取粗大粒度的砂金。改革取样工具，莫不如改革取样方法。在被钻探工程控制的工业矿体内，中心部位投放砂井，在含金砂层里扩大取样截面积（砂样不缩分），只有这样才可能取得各粒级的砂金。

笔者提出如下砂井（砂金）品位修正系数表达式，试解决勘探品位偏低的问题。

$$K_C = \frac{W_1 + W_2\delta\%}{W_4}$$

式中：K_C—砂井（砂金）品位修正系数；

W_1—小于1mm砂粒的砂金总重（g）；

W_2—1—5mm金粒的砂金总重（g）；

表3　　采金船回收的金粒筛析

80年取金样		采金船	大于20目	小于20目	备　注
月	日	编　号	砂金重量（g）	砂金重量（g）	
5	22	1015	456.5	287.5	
5	23	1015	190.4	114.5	
5	23	1010	221.5	48	
5	24	1010	261	107	
5	24	1003	15	68.5	回采尾砂
5	26	1015	570	373	
5	27	1015	674	369.5	
5	29	1010	116	23	
6	17	1004	106.5	243.5	回采尾砂
6	19	1010	149	63	
7	3	1015	482	605	
7	3	1004	48	317	回采尾砂
7	3	1009	16	60	回采尾砂
合计			3305.9	2679.5	

表4　　勘探的砂金样品筛析重量百分比

金粒直径	各矿体平均百分比	试样中百分比	备　注
>1mm	7.7	7.45	
1—0.5	17.4	27.13	
0.5—0.25	39.68	37.61	
0.25—0.1	29.15	26.88	
<0.1	0.67	0.97	

δ%—选金总回收率

将Kc代入矿体储量计算公式：

$$P = Q \cdot \overline{C} \cdot Kc$$

式中：P—工业矿体砂金储量（kg）；

Q—混合砂矿砂量（m^3）；

$\overline{C}$—工业矿体平均品位（g/m^3）；

Kc—砂（井）金品位修正系数。

砂金品位修正系数不能修正勘采工程网度大于 400×20m 所圈定的工业矿体的平均品位。

二、过采区砂金矿评价

过采区砂金矿如何评价的诸问题中，砂金储量的定量是个核心问题。

勘探过采区砂金矿，是增加砂金地质储量一条不可忽视的途径。一般情况是：过采区经过一次或几次采选，砂层板结强度降低、细粒的轻质泥砂流失。复采效率高、可选性有了改善，按现行工作指标圈定的矿体，砂金储量数相对误差小。参照该处历史的采选资料来评价勘探程度，更符合矿床的地质情况，从而能取得令人信服的采选技术资料。

回顾1960年以前对于过采区砂金矿是否有勘探价值，人们很怀疑，甚至视为残沟贫矿加以否定，只对找大而富的原始砂金矿有兴趣，开采部门也出现过“等米下锅”的局面。当然这和当时国内工业需要黄金量少，黄金销售价格低的社会背景有关(表5)。那时开采砂金的企业都有程度不同的经营亏损。从而过采区砂金矿尚不能列为评价的对象。

有些过采区之所以要勘探，是因为采金方式靠人的体力与手工作业（每人每年只能采几两砂金，而且采矿量损失大），况且

表5　国内黄金销售价格

年　度	每两价格	单　位	备　注
1960	196.00	元	估计价格
1966	240.00	元	
1973	262.50	元	
1979	390.62	元	7月份价格
1980	500.00	元	7月15日价格

对那些矿柱、“低”品位地段、老冻矿层、含砂金中粘土量高的地段、埋藏深的砂金矿等等，采选工作难度大，技术上无能为力，经济上无利可图，这样的采区约占半数。

再说，普遍用古老式的溜槽选金，溜槽的面积小，流程简单，选别下限能力低。据罕达汽金矿测定溜槽，作业回收率不超过70%，入选与精选的砂金损失量还不包括在内。这是估算过采区残存的砂金储量一项较为可靠的指标。

随着金价的提高，人们逐渐地改变了对过采区的冷淡态度，开始对它们作调查与评价工作。有些地方复采后取得了良好的经济效果。

我国探采砂金的历史悠久，大小兴安岭砂金过采区分布广泛。多属于河谷漫滩、阶地砂金矿床。混合砂层厚几米，少数矿点厚度超过十米。从充分利用砂金资源这点出发，大部分过采区经过评价与勘探工作，是能获得相当工业储量的，尤其是应注意：①三、四级水系，常年流量大，纵横向坡度小，河流的河漫滩上的零星过采区；②过采区外围老冻分布广的地段；③地形坡度大而缺水的支沟过采区；④沼泽化、粘性土多的过采区。

砂金过采区不都有工作价值，象下列地段残存的砂金较少，如：①经过多次水道冲刷开采的地段。残存的砂金多数被水冲积到

基岩的裂隙里，探采它们是有很多不便；这种过采区俗称“刮地穷”。②人工水泡子分布多——地下水少，砂金的矿坝深不超过4m，俗称“大开膛的地段”；③大面积剥离层堆放的地段。

对过采区砂矿点的评价，按勘探程序进行是必要的，但可以不经过普查阶段而直接转入评价与勘探的设计工作。对过采区实地与探采史的考查工作是不能省略的，它是评价过采区的基本依据。

对过采区砂矿评价与勘探的工程网度应与原始砂金区相同。但对过采区砂矿圈定的指标，应有别于原始砂金矿。其理由是：

1.过采区矿砂存在着松散系数。它是经过一次乃至几次复采的遗迹，虽然那些砂石再度的板结但如今仍是松散状态。松散系数一般为1.2—1.3。用松散的混合砂层的厚度来计算工程品位，显然降低了品位值。

2.过采区砂堆人为的分割了矿体的连续性。过采区尾矿堆有几种情况：

（1）剥离层堆积，这种砂层，包括腐植层，一般无金。将它们堆积到含金少或无金的原始地段、废弃的采矿坑里。

（2）含金矿与选矿尾矿堆，它们之间的距离邻近。也是人为的砂金富集区。按规则的工程网度勘探，前者工程品位低，后者高。按边界品位指标圈定矿体，将圈定出不连续的零星小矿体。有人主张对过采区，放稀评价与勘探的工程网度，以便从速评价。笔者认为用降低控制程度的办法来解决砂金储量定量问题，潜在的风险是很难排除的。不如降低边界品位和最低工业品位的指标10—20%。由此计算的储量，要比放稀工程网度计算的同级储量的相对误差小。

（3）过采区砂金矿勘探品位也存在着修正系数。在过采区探矿仍以钻探为手段的话，粗粒砂金更不易被提取。这是因为砂金移动的空隙增大了，冲击泵筒取样的速度很难超过粗粒金在浆

体里下沉的速度。也需要投放砂井工程，求得砂金品位修正数。

通过上述技术处理，以便合理的确定过采区砂金储量。

三、提高圈定老冻矿层的工作精度

常年冻结不化的砂金矿又叫老冻矿层。罕达汽9个矿体中都有老冻矿层分布。占矿体面积50%，占体积27%。呼玛金矿局韩家园子矿，老冻矿层面积达80%。常年平均气温0°C以下的砂金地段，老冻自然退化的速度很慢。成为勘探与开采工作值得研究的一个课题，对于老冻矿层，无论用何种采矿手段，效率都是低的。罕达汽曾用竖井采过砂金，终因遇到大面积的老冻而被停产。150l采金船主驱动功率为75瓩。挖老冻矿层的效率也要降低到50%，并且设备磨损快，选矿效果差，资源损失大，从而迫使人们超前融化老冻。处理老冻有了很多办法，诸如爆破、挖坑注水、水针注水、剥离腐植层、盖草保温、冰封保温等等。使用这些方法之前，对勘探所圈的老冻形态、位置与融区界线要有较准确的实际材料。

勘探时有几种圈定老冻的方法，如：观察植被的种属、测量地温、地电阻率。上述方法都有发展前途，但存在着有限的准确性。唯砂钻工程法探测老冻、直观可靠。然而两勘探线之间的冻、融情况也难搞清楚。特别是岛状老冻，与砂钻工程无联系的地段。

在工业矿体内，推测的老冻区，最好就内边界布置若干砂钻工程，钻探不超过2.2m，是否有老冻就能见分晓。能把圈定老冻矿层的工作精度提高一步。有利于矿山设计与开采部门对资料的利用。

四、结束语

1.以钻探为手段勘探砂金矿比较经济，如果把钻探开孔与终孔直径加大到500mm以上，那它就可能代替砂井的作用。

2.无相当比例的B级储量的小型砂金矿床，适合用轻型、组合式的采金设备开采，最好建议不采用那种无法搬迁的采金船。

3.勘探老冻砂金矿、急待制定探测冻土的观测点、轻型山地工程密度的指标，冻土圈定指标，冻土储量等级指标，以增加水文地质工作的新章节。

选自《黄金》第一期（1986）

砂金矿成因的新认识

朱关祥

砂金矿床是重要的金矿床类型，也是黄金产量的重要来源。由于砂金矿易采易选，所以各国都很重视砂金矿的找矿和开采工作。

一般常说的砂矿主要是指那种经过水流分选的冲积砂矿。控制砂金矿形成的主要因素有：物质来源—原生金矿；后期的侵蚀、剥蚀作用以及促使原生金粒搬运迁移的外力；有利的沉积富集部位等。这就是传统的砂金矿成因模式的主要内容。然而，长期的野外观察及采矿实践，大量的实验数据及分析资料，对上述控制砂金矿成因的几个重要环节（诸如物质来源、搬运方式、沉积条件和富积部位）均提出了一些新的认识，初步形成了砂金矿床的新的成因模式。

一、对传统的成因模式的挑战

无疑，有许多砂金矿的成因是符合风化剥蚀、机械搬运、沉积富集的成矿过程的，其金颗粒大部分来源于原生脉金矿。然而，也有足够多的砂金矿是按照溶解、迁移、沉淀的化学富集过程形成的，金颗粒不一定来自原生金矿床。

1.砂金的粒度比原生金粗

来自原生金矿床的金颗粒，由于破碎、磨蚀及杂质的淋失，砂金矿中的金颗粒一般要比原生矿中的颗粒细。但是，据IO.A.毕利宾统计，砂金粒度一般为0.25—10mm。原生脉金矿床中自然

金的粒度一般小于0.2mm。

金矿床氧化带中表生金也是砂金矿的重要来源。统计资料表明，表生金的粒度也要比原生金粗大。如有的含金黄铁矿矿床，原生矿石的金粒均为微细金的次显微金（皆小于0.1mm），而氧化带的表生金中90%为明金（皆大于0.5mm），最大者为2.8×4mm，由此而形成的砂金颗粒显然要比原生金粗，B·Я·弗特丘克等指出，苏联某砂矿中金主要来自早期的石英—黄铁矿组合，该组合中金大部分是细分散状聚集在硫化物中，游离态的自然金只存在于各种多金属矿物中，粒度大于0.1mm的金不超过矿石总含金量的5%。原生矿石中的自然金很少超过0.2mm。而该处砂金矿中金粒大小主要是0.2—1mm，通常还有较大的金粒。

上述现象说明，砂金矿床不仅仅是一种机械搬运的外生矿床，实际上，在美国加利福尼亚淘金热的早期，一些砂金采金者就已开始怀疑砂矿中金仅来自脉金的观点，如Iandsueert（1869）指出："人们都固守着一种观点，认为砂金来自脉金。但是在原生脉金矿发现的最大金矿与有时在冲积层中发现的金矿相比，前者却显得微不足道。显然，大量的事实同传统的观点是不相符合的。"因而他得出结论："产于砾石沉积层中的块金大于石英脉中的金，以及冲积砂金的成色几乎都普遍高于脉金，这两点说明，砂金矿中的金和脉金矿中的金有着不同的成因过程。"

2.砂金的成色比原生金高

砂金的成色变化范围一般为500—999，常见的成色为800—950；原生脉金矿成色在400—800，常见的成色为600—700。前者成色高的主要原因是脉金颗粒在搬运过程中，部分杂质被淋滤掉，粒度变小，纯度提高。如美国加利福尼亚普鲁马斯原生金的成色为622—883；而砂金的成色为800—950，苏联某金矿内生金的成色为430—945，但大多数金粒为550—770，平均590，砂金

成色较高，平均为880—890，另外，法属圭 亚那前寒 武纪 地层中，金的成色高达950，在其附近没有成型的原生金矿。同时这种砂金的成色要比一般由于机械淋失杂质的砂金成色高，说明砂金成色变高是由各种原因造成的，不能只用简单的机械搬运过程中淋失杂质来解释。

3.形状和颜色特征

砂金颗粒的形状是复杂的，常见的不规则形状有树枝状、掌状、板状、晶粒状等。金粒的色调取决于金的成色。最高成色的金为淡红色调，次高成色的金是纯黄色的，由于银成分的增加，金具有白色色调。

通常，原生矿石中金的颜色为浅黄色到乳黄色，形状以他形金为主，形成等轴状、长条状、片状等。砂金矿由于物质来源不同而有不同的形状和颜色，如来自原生矿石中的金，其颜色为浅黄色、浅绿色—黄色，形状为鳞片状、乳滴状、片状、铁丝状，有时具有闪光的或粗糙表面的小晶体，来自氧化带中新生成金，颜色为鲜黄色、泥黄色、芥末色，砂金的形状为等轴状、厚片状，具团粒或海绵状结构残余物，很少是不完全的晶体。

一般典型的冲积砂金颗粒，由于搬运中锤击的结果，大多数趋向于扁平，其典型的纵横比为10：1，当然这取决于物质来源、搬运的距离及方式，残坡积沉积物中金就没有发生类似的平化作用。但是，砂金粒的形状并非单一的浑圆状，也有树枝状、掌状、片状、棒状、钩状，特别也常呈纤维状和丝状金出现。如在新西兰曾发现地表或离地表不深处有大量细金丝。这种细金丝无法用机械搬运过程中的磨圆和压扁作用来解释。它只能是赋存在砂矿中的新形成金。

O.M.Hershey（1910）在研究加利福尼亚砂金矿时指出："金产在平坦的岩层上，粒度有粗有细，表面极圆滑，与石英脉中的原生的细粒金截然不同。"并确认这种细分散的金有一部分

进入氧化带的溶液中，并被下降雨水淋滤，有些则沉淀在岩石裂隙内，形成所谓的矿囊。他肯定这是一种由近地表部位循环的雨水造成的次生富集。由此可见，不同的砂金颗粒形状反映了它的复杂的成因过程。

4.共生矿物及包体

原生金矿中自然金总是同方铅矿、黄铜矿、黄铁矿和毒砂等矿物共生，而且自然金中有方铅矿包体。对一些来自原生金矿的冲积砂矿而言，它们的共生矿物类型及包体特征仍保留着同原生矿大致相同的特点，但有些砂矿，如原始物质来自不同程度氧化而形成的表生金（新形成金），它们就有着独特的反映其不同成因过程的共生矿物组合及包体。这类砂金矿的共生矿物有针铁矿、臭葱石、黄铁矿的褐铁矿结核等，并且有氢氧化铁包体。显然，砂金矿的共生矿物组合及包体的不同，说明其物质来源是多方面的，它的形成过程也是复杂的。不同类型金的标型特征（矿物组合及包体、金粒形状及成色等）见下表。

上述砂金矿床中金的粒度、纯度、颜色、形态特征，共生矿物组合及包体的资料说明：如只用传统的砂金矿的成因模式就无法圆满解释上述存在的差别及“反常”现象，砂金矿中的金是从哪里来的？它们是在什么样条件下被搬运和富集的？这些问题引起了地质工作者的兴趣和重视，于是一个砂金矿成因的新模式就提出来了。

二、金是可以溶解的

金是一种惰性元素，在自然界常以自然金产出，在外力作用下，容易同别的金属元素分离，在有利的条件下沉积富集。然而，它可以被溶解迁移，在一定条件下再沉淀。这种溶解沉淀的

现象，在砂金颗粒中屡见不鲜。

1.金被溶解、迁移、沉淀的事实

砂金中的某些块金具有反映结核形成过程的同心结构；经常遇到脉金矿中没有的结晶体，在锇铱矿和铂的圆粒上，有纯金薄膜；在砂金及有机物表面有薄膜状、螺纹状、丝状、树枝状及漆皮状金等都说明金可被溶解并在一定条件下再沉淀。而在某些坡积砂矿中，见到有未遭磨蚀的自然金晶体，显然，这种规则的晶体是在地表条件下重结晶形成的，而不是机械搬运沉积的。

在南美洲的砂金矿中存在有两种不同成因的金：一种为一般的冲积金；另一种为金粒带有黄褐到兰绿色调，表面呈瘤状，难溶于酸，后者是在砂矿重新搬运过程中，从含金溶液中沉淀出来的。

据报道，在金矿床的废石堆中，经常可见到由地表水再沉淀而形成的金。生长在含金砾岩层和金矿废石堆上面的树往往都含金（每吨灰烬中含金达 10g）。废弃的采金坑中的坑木也往往含金。在象牙海岸的露天采场曾发现，脉金被矿坑水迁移和再沉淀。

大量事实说明，“金的实际迁移过程可能就是金反复溶解和反复沉淀的过程。”

2.表生条件下，控制金溶解、沉淀的若干因素

在表生条件下呈溶液状态迁移沉淀的过程是金的表生地球化学循环的重要组成部分，其形式也是多种多样的。

（1）大部分金呈络合物状态被溶解和迁移。据研究，在酸性条件下，金以金氯络合物形式存在于溶液中；而在碱性条件下，金的氢氧络合物比较稳定。另外，由于金离子具有很强的极化能力，其自身也有明显的变形性，故易形成水合离子，从而增加了金在水溶液中的溶解度。由此可知，在氧逸度较高并富含 Cl^-、Br^-、I^-、HS^-、SO_3^-、SO_4^{2-}等离子的水体中，即使在

不同类型金的标型特征表 （B·Я·波特丘克）

金的来源	金的类型	金粒形态	大小（μm）	颜色	金连生体中的矿物	金粒中的包体	成色
原生金	原生矿石的内生金	他形棱角状、等轴状、长条状、片状分离，具闪光晶面的半自形晶粒，树枝状连晶	0.1—200	浅黄到乳黄色	方铅矿、黄铁矿、黄铜矿、毒砂、闪锌矿、辉银矿、辉铋砂、辉碲铋矿、砷黝铜矿、铁白云石、石英	方铅矿	430—945 平均590
	氧化带的表生金	团粒状、海绵状、具有凹凸不平的坑洼表面，呈形状不规则的赘生物和突起；八面体晶粒及其连晶	0.1—1000到2000以上	鲜黄色、黄色、暗黄色	褐铁矿、针铁矿、含水针铁矿、赤铁矿、臭葱石和其它表生矿物、石英、电气石	褐铁矿 针铁矿	845—990 平均920
砂金	原生内生成因金	鳞片状、乳滴状、片状、铁丝状有时为具有闪光的或粗糙的表面小晶体；常有内生矿物的晶体印痕	以250到1000为主	浅黄色 淡绿色 —黄色	硫化物、碎屑物、石英	方铅矿	700—800

续表

金的来源	金的类型		金粒形态	大小（μm）	颜色	金连生体中的矿物	金粒中的包体	成色
砂金	表生成因金	氧化带的金	等轴状、厚片状、具有团粒或海绵结构的残余物，很少呈不完全的结晶状：表面是凹凸坑洼面、粗糙的光泽不均匀	以200—500为主，达2000—3000很稀少情况下成为"大金块"	鲜黄色 泥黄色 苏末色	氢氧化铁、赤铁矿、奥慈石、石英、电气石、泥质矿物	氢氧化铁	895—995 平均 880—890
		水成的金	木化石 珊瑚、集合体和颗粒连生，水滴状泉华，带有不均匀的光泽和粗糙的表面		暗黄色	磁铁矿、锆石、钛铁矿、有机颗粒，为重新形成的金所胶结的颗粒滚圆的集块岩		平均值 相对高

（摘自苏联高校通报《地质与勘探》1982No6）

常温下，金仍然可以呈易溶络合物状态迁移搬运。

在$FeCl_3$溶液和$Fe_2(SO_4)_3$溶液中金的溶解度实验，和含金黄铁矿氧化带中金、银次富集带的研究表明，在地表条件下，金也以氯化物络合物及硫酸盐络合物形式进行迁移。金络合物的稳定性与氧化还原条件密切有关。亚铁离子、低价锰、硫化氢、三氧化硫、碳及有机化合物均可使金的络离子很快还原而沉淀下来。

（2）有机物促进了金的溶解。金与腐烂的植物搅混时，金会溶解。金的细菌浸出选矿法就是利用某些腐殖酸和细菌对金的溶解作用而提出的。在湿热的气候条件下，这种形式金的表生生物迁移作用将大大增强。

（3）溶液中存在的胶体金也是金迁移沉淀的一种重要形式。由于原生金矿石或含金岩石中金的高度分散性，含有极细小的胶体金（$<0.1\mu m$）的硫化物溶解时，这种细小的胶体金粒有可能直接转入相应的溶液中。金在胶状结构的褐铁矿中呈薄膜状态存在以及在氧化带中经常可以见到团粒状金，砂金矿中有很好的同心圆状结构等事实都是金以胶体溶液搬运沉淀的证据。

在地表环境下，由于氧化还原条件的多变性，金的溶解和沉淀将频繁地更替出现。有机碳、氢氧化铁、硫化物（特别是黄铁矿）、层状硅酸盐对金都有明显的吸附作用。砂矿中于上面还原剂聚集的地方，往往有富金矿产出。

3.热液矿床中金的溶解和沉淀条件

1982年4月在美国宾夕法尼亚州召开的工业矿床金的溶解性会议上，在探讨热液金矿床中金的溶解性时指出："温度、压力、氧化还原条件、酸碱度及流体成分（如HS^-和Cl^-的浓度）特别是络合物对金的溶解度有着重要影响。"一般讲，氧化条件下，金的溶解度增大，还原条件则减小。也即金能通过热液流的氧化而被淋滤迁移，当流体进入还原环境，金就会沉淀、溶解。盐

度也是一个重要因素，如果热液流体中的氯化物浓度重量百分比超过0.5时，随着压力、温度下降，会导致金的沉淀。

据统计，单纯的机械搬运作用不一定能形成大型富砂金矿。实际上，“具工业价值的砂金矿是那些在大陆长期强烈风化过程中预先受到氧化和次生富集作用的金矿床被破坏而形成的”。通过表生溶液的迁移和沉淀而形成的较粗粒金是砂金矿形成的重要前提。

金呈溶液状态迁移沉淀的特性，对正确理解砂金矿形成机理和富集规律，特别是认识砂金矿物质来源的多样性提供了重要的依据。

三、砂金物质的新来源

原生金矿体中的可见金是砂金矿成矿物质的主要来源。但是各种含微量金的多金属硫化物矿石、各类基性、超基性岩石也可成为砂金矿的重要物质来源。当然这种含量极微的金要形成一个具工业价值的砂金矿，必须经过大自然的分选、富集和金颗粒由小变大的生长过程。而金在一定条件下具有溶解迁移再沉淀（或重结晶）的能力，正是完成这一过程的必要条件。

多金属硫化物矿床的次生氧化带也是形成砂金矿的重要物质来源。据报道，哈萨克斯坦的许多含金石英脉的氧化带褐铁矿中有表生金存在，它们呈极薄的薄膜状贴在褐铁矿的圆洞中，而且在这些圆洞中多次遇到绒毛状和烟灰状的金。又如在乌拉尔的一个金矿床中，也发现表生自然铜颗粒周围有海绵状金的堆积。西班牙里奥廷托黄铁矿矿床淋滤亚带的铁矿石下面有一“灰土层”，其中含金40g/t，含银1.25kg/t。很明显，这些金是从上部层位中迁移来的。乌拉尔黄铁矿矿床上部的次生淋滤亚带是最有经济价值的，这里矿石中金的含量要比原生矿石富好几倍甚至几十

倍。氧化带中金主要与表生矿物褐铁矿、黄钾铁矾、卤化银、自然硫、重晶石共生。这种氧化带中的表生金除本身具有工业价值外，在外生作用条件下，也是形成砂金矿的极为重要的物质来源。

另据苏联某砂金矿的研究，在含金岩石及原生金矿体剧烈破碎和裂隙度增高的地段，氧化带可厚达数十米。含细分散金的硫化物及含极微量金的岩石氧化过程中，金被析出、聚集、扩大而堆积在氧化带中形成表生金，其成色高于原生金成色。据 B.Я. 费特丘克等对该砂金矿中200个金样研究发现，砂金成色高于原生金而与氧化带中新形成金相似，说明砂金矿中的金主要来自氧化带中的新形成金。

有关次生富集金的情况我国也有报道。据研究，在含金硫化物矿床氧化带中，由于氧化作用，金被释放出来，一部份残留在置换黄铁矿和其它硫化物的褐铁矿中，形成含金铁帽；一部分金可通过多种方式搬运迁移，在合适的地方沉淀下来形成砂矿。如桂东金矿带的主要含金硫化物为黄铁矿和毒砂，它们氧化后成为次生富集金的主要来源。在矿区铁帽中，肉眼可见的自然金是氧化富集的结果形成的。这种次生成因的金成色高，为850—990，颗粒粗，为0.7—0.3mm，平均品位高达98g/t，有时还出现丰富的金包。

四、红土化作用是形成金矿的一个重要因素

据David Je Count Evans二十多年的研究，认识到均匀分布在超基性岩中极少量金（一般为1—2mg/t）可以通过红土化作用被溶解、再沉淀形成含少量金的红土或者富集成具工业意义的残积型砂金矿。当河流切割这种厚层红土化土壤时，该红土是形成砂金矿的一种很好的物质来源。这一认识圆满地解释了

美国及其它一些地区砂金矿的成因。

1.俄勒岗和加利福尼亚许多砂金矿来自红土化土壤

该区由三叠纪蛇绿岩、侏罗纪基性侵入岩及下白垩纪沉积变质岩和火山岩组成。区域地貌特征均属准平原化类型，准平原高度上部为3500呎，下部为2500呎。这里是美国重要的红土镍矿区，也有悠久的砂金矿采矿历史。由于附近没有找到原生金矿床，对砂金矿的成因长期得不到正确认识。实际上，砂金矿的产出区和白垩纪发育的准平原区是一致的，也分上下两个产区，标高分别为3500和2500呎。另外，在俄勒岗南部，罗格河及其支流都广泛开采过砂金，在罗格河南部的沃尔多—杰克逊维尔和伊利诺斯河流域也采过砂金矿。据最近研究，较清楚的认识到这些砂矿中的金来自准平原化的（红土化的）超基性岩。

2.南卡拉马思残积金矿

在加利福尼亚锡斯其尤—特里尼蒂区的南卡拉马思地区，发育有相似高度的准平原残余。在这些由侏罗纪超基性岩组成的、红土化的准平原残余中也发现有一些特殊的砂金矿—残积砂金矿。另外在韦维尔区的准平原残余中也在开采红土金矿。所有这些残积金既不表现成矿物质来自脉金矿，也不具备河流冲积形成的砂砾矿的特征，显然，它们来自红土化的侏罗纪超基性岩。

3.母脉地区冲积砂矿也来自红土化土壤

在内华达州母脉地区广泛分布有始新世古河道中的砂矿。据研究，这些古冲积砂矿是由起源于白垩纪河流流经平缓的准平原化地形后，进入到位于现今内华达西部的中白垩纪浅流冲积而成。由于始新世时，一般为亚热带气候，岩石受到很深的风化侵蚀，有利于金的溶解、迁移，形成具工业价值的砂金矿。

在俄勒岗—克拉马思—内华达矿带中，内华达产区位于三叠纪—侏罗纪的一些超基性侵入岩中，而且仅仅在上覆发育有白垩纪的准平原化，继之有超基性岩体的红土化发育地区，金的成色

特别高。金产量部分来自极发育矿脉构造的侏罗纪基性、超基性岩的残积矿，部分来自砂矿。

4.来自准平原的前寒武纪岩石中的圭亚那砂金矿

法属圭亚那地盾主要由前寒武纪岩石组成。岩石中有少量含金石英脉，来自闪长岩、花岗闪长岩及辉长岩中含少量金的硫化物，意义均不大。

该区自前寒武纪以来就是隆起区，长期裸露于热带环境，为红土化作用提供了良好的条件。因此，至少在两个时期里广泛发育准平原化，使得厚层岩体发生化学分解和再造，形成褐色的含铁土壤，其薄层残余留在阶地顶上，也盖在远离阶地的两坡上。河流流经由这种红土化铁质砂砾组成的河谷填充物时，在砂砾之下有5—15呎厚的红土（转生）粘土，而粘土又覆盖在几呎厚的含金砂砾岩石之上。圭亚那在现代水系中开采过这类几呎厚的含金砂砾及所谓的“山腰”砂矿。

另外，在圭亚那砂金矿往往产在河流流经闪长岩、花岗闪长岩及辉长岩的水系区。砂金矿和金矿脉都集中在闪长岩侵入体、老的熔岩流或这两种岩石的地区，而且含金的红土矿在整个圭亚那都有所发现。

在变质岩山岭及其附近发现的砂金矿常常位于红土地区。这里红土矿本身常有开采价值，而由于后期的冲积富积，致使在小溪谷、河流及山腰上分布广泛的可采矿床意义更大。

由此可见，和红土化作用有关的砂金矿具有重要的理论意义和现实意义。它不仅对砂金矿的物质来源，成因过程有一个崭新的认识，而且这种类型的砂金矿目前已成为一些国家的主要采金对象。如美国加利福尼亚州克拉马恩金总产量1137万盎司，其中87%来自和红土化有关的砂金矿；在母脉地区，从第三纪古河道和现代河流中开采的砂金占加利福尼亚金总产量的63%（10628万盎司中的6682万盎司），又占内华达砂金总产量的74%；而英

属圭亚那金的总产量大多是从冲积砂矿中采出，这种冲积砂金矿往往是由于河流流经红土化地区后，再进一步富集而成的。

五、小　结

所谓砂金矿成因的新认识就是指，除了传统的砂金矿成因模式外，它还有一个新的成因模式，即各种微含金的岩石，特别是基性和超基性岩石或含少量金的多金属硫化物及其它各类矿石，均可以在氧化条件下，被具有一定温度的酸性溶液所溶解，呈络合物状态迁移流动，在还原环境及有吸附剂存在时，金就沉淀、富集，形成冲积型或残积型砂金矿，这种金矿成因新模式的建立，其意义在于揭示了砂金矿成矿物质的多源性，成矿过程类型的多样性和复杂性。特别值得提出的是，由准平原化而产生的红土化作用及其伴随而形成的残积金（红土金）更具有重要意义。这种红土金不仅本身有时可形成有工业价值的独立砂金矿床，而且，尤其显得重要的是它在后期河流的切割冲刷过程中，被重新改造形成颗粒粗、成色高、品位富、规模大、易采易选的新的冲积砂金矿，充分表现出这种类型砂金的重要经济意义。

选自《地质参考资料》第二期（1986）

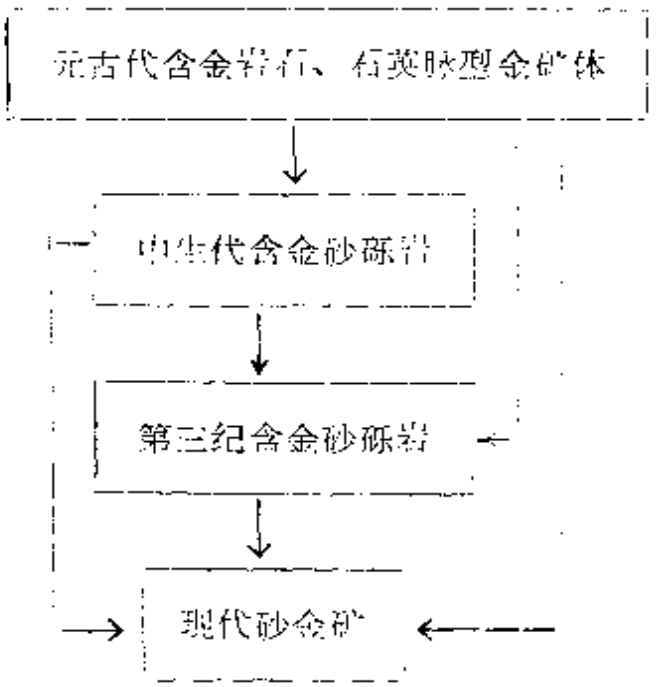
砂金矿床控矿因素的分析

戴宝润　王玉娟

（冶金地质进修学院）

我国砂金分布很广，几乎各省都有，但不均衡，主要集中于黑龙江、其次分布于吉林、内蒙、新疆、四川和湖南等省。

综观我国砂金矿的空间分布，绝大多数产于不同时期古老隆起中，尤其是隆起中的中、新生代构造盆地的边缘。很多资料表明，金和老变质岩关系密切，不同时期的砾岩有一定的含金性，岩浆活动的多期性对成矿可能性也大，并认为各种热液作用导致金的活化、迁移、富集。变质岩、砾岩、侵入岩及脉岩，它们是原生矿的控矿围岩，也是供给砂金的物质基础。重要砂金产地桦南和金盆砂金物质来源的供给关系用下图表示。



体现了砂金金质多来源和多阶段再次富集的特点。当岩石的含金性普遍时，砂金的富集取决于风化剥蚀作用、搬运堆积条件和场所。内营力起主导作用，外营力是成矿有利因素。本文仅从物质来源，砂矿所在构造部位、地貌及第四纪堆积物含矿特点等方面对砂金矿床的控矿因素作简要分析。

一、物质来源与砂金成矿的关系

砂金矿床之本源是原生矿床或分散状态的金矿化。湘西27处砂金矿有25处与脉金相吻合。黑龙江团结沟沟长1.5km，宽0.5km，曾采出砂金三万多两，偶见几两重的自然金，追索砂金找到了大型斑岩金矿。

内蒙金盆砂金矿周围岩石不同程度含金，其中乌拉山群片岩含金较高，片岩中含金石英脉发育，有的小脉含金品位达68.9g／t，白垩纪砂砾岩普遍含金，并有单层1—2m厚的一般品位1—2g／m^3的主要含金层3—4层，由于砂金物质来源丰富，在剥蚀台地上的碟形、勺形洼地的细谷出水口处，形成东菜园、西菜园及羊场沟等砂金特富地段。

桦南砂金矿周围各种岩石普遍含金，据一万余个化学样品和重砂样品分析结果统计，各类岩石含金性如表1。

该区仅发现一处石英脉型小型金矿，在150km^2的范围内，砂金分布于近百条沟谷中。为探讨砂金的物质来源，选10个矿床20个地质特征，用二态变量“0”和“1”编码，砂金矿床中存在某种特征记为1，不存在记为0，得一个10×20的矩阵A，如表2。

将矩阵A乘以A的转值矩阵，得B矩阵，即：

表1

地层（岩体）时代	岩石类型	含金品位	最高含金品位
元古界麻山群	绢云母石英片岩	<0.3g/t	4.51g/t
	石墨大理岩	<0.7g/t	
	片岩中石英细脉	0.1—0.5g/t	40.66g/t
	含铁石英岩	<1.0g/t	2.98g/t
	云母片岩压碎带	<1.0g/t	2.99g/t
	硅化片岩	0.2—1.0g/t	
	含绿泥石片岩	0.15—0.4g/t	
侏罗系	砂砾岩	0.05—0.12g/m³	1.5g/m³
第三系	半胶结砂砾岩	0.05—0.2g/m³	10.0g/m³
元古代花岗岩	浅色混合花岗岩	0.1—0.7g/t	4.34g/t
	二云母花岗岩	0.1—0.5g/t	
	电气石花岗岩	<0.5g/t	人工重砂见160粒微拉金
	伟晶岩脉	0.2—2.6g/t	5.45g/t
中生代火山岩	霏细岩	<0.24g/t	8.8g/t
	安山质火山角砾岩	<0.2g/t	1.71g/t

$B = A \cdot A'$（20×20的矩阵）

求B矩阵各行和的平方根，为矢量长度Hi

$$Hi = \sqrt{\sum_{J=1}^{20} a_{iJ}^2} \qquad (i = 1\cdots, 20)$$

经计算，最大矢量长度为17.55，选其1／2作为砂金补给临介点，大于1／2的有11个因素，按与砂金关系密切程度，依次排列如下：

地质特征　　矢量长度(Hi)

绢云母石英片岩	17.55
二云母花岗岩	17.52
石　英　脉	16.55
伟晶岩脉	16.54
浅色混合花岗岩	16.40
半胶结砂砾岩	15.23
石墨大理岩	11.91
褐铁矿化细脉带	11.53
含铁石英岩	9.84
砂砾岩	9.55
安山质角砾岩	9.25

桦南砂金区岩石不同程度含金，广泛的含金性为砂金矿提供了丰富的来源，形成了大型砂金矿。

一个地区内不同类型原生金矿，包括伴生金，都能补给砂金矿，古砂矿经侵蚀再堆积可形成时代较新的砂矿。综合其砂金物质来源有二：

（1）原生金矿及其金矿化；

（2）古砂金矿及其含金砂砾岩。

值得注意的是原生金矿不一定都能形成砂金矿，条件具备时，大面积分布的品位很低的含金岩石是砂金补给重要来源。

物质来源广泛，砂金矿分布也广。物质来源的分布方向影响砂金的富集位置。如河网与构造线方向一致的地方，多为纵向谷，与物质来源方向一致，砂金矿体较长。若为横向谷，只是矿脉（体）为砂金物质来源，即使有砂金矿规模也小。原生矿的物质成分及矿化类型影响砂金的富集，多金属、重晶石—多金属、硫铁矿等伴生金，不会形成大型砂金矿，而各种类型（岩浆或侧分泌）含金石英脉，热液矿化蚀变带，中新生代含金砂砾岩分布区，由于砂金多来源、来源富，砂金矿规模较大。

表2　短　阵　A

矿床序号 / 围岩岩性及编号		1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
石墨大理岩	1	1	0	0	1	1	1	0	0	0	1
绢云母石英片岩	2	1	1	1	1	1	1	0	0	1	1
含铁石英岩	3	1	0	0	1	0	1	0	0	0	1
砂砾岩	4	0	0	0	0	0	1	1	1	1	0
安山质角砾岩	5	0	1	1	0	0	0	0	0	0	1
霏细岩	6	0	1	0	0	0	0	0	0	0	1
半胶结砂砾岩	7	0	1	1	1	0	1	1	0	0	1
二云母花岗岩	8	0	0	1	1	1	1	1	1	1	1
浅色混合花岗岩	9	0	1	1	1	1	1	1	0	0	1
黑云母花岗岩	10	1	1	0	0	0	0	0	0	0	0
电气石花岗岩	11	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0
花岗斑岩	12	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0
石英脉	13	0	1	1	0	1	1	1	1	0	1
伟晶岩脉	14	0	1	1	0	1	1	1	1	0	1
闪长岩	15	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1
硅化片岩	16	1	0	0	0	0	0	0	0	0	1
云母片岩压碎带	17	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0
绿泥石化片岩	18	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0

续表

矿床序号 / 围岩岩性及编号		1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
褐铁矿化细脉带	19	0	0	1	1	1	0	0	0	1	1
安山岩	20	0	1	1	0	0	0	0	0	0	0

二、砂金分布受构造控制

分析现代砂金矿所处的构造位置，无论地槽或地台单元，砂金分布于不同时期古隆起上，尤其是构造盆地的边缘，桦南砂金矿的主要矿区、七道沟、石头河、寒虫沟、秋皮沟及大沟等，矿体沿侏罗纪盆地边缘呈环形分布（图1）。

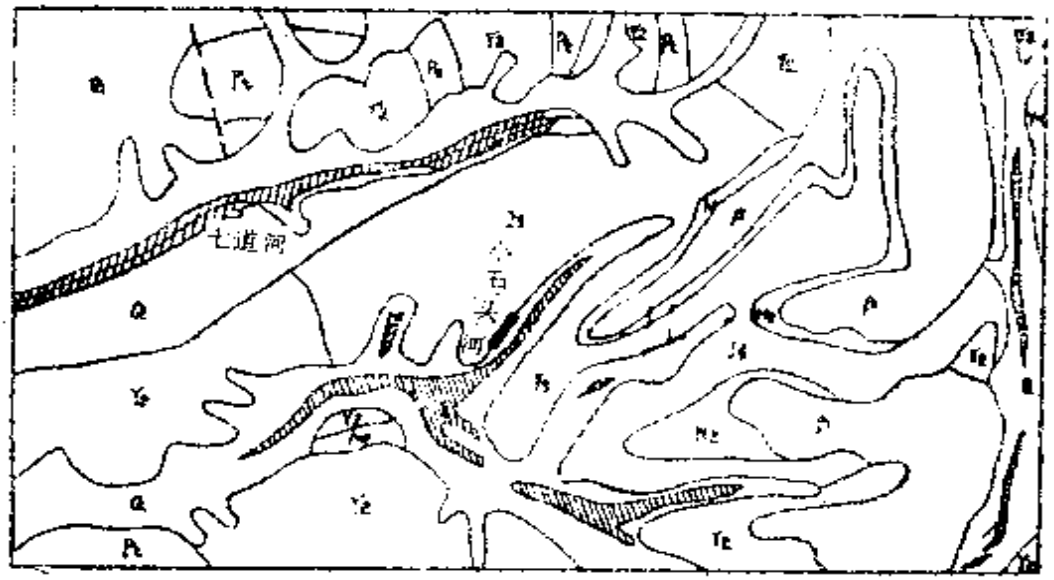


图1　桦南侏罗纪盆地边缘砂盆矿体分布示意图

1—第四系；2—上新统；3—上侏罗统；4—元古界；5—断层
6—玄武岩；7—花岗岩；8—阶地；9—矿体

一些隆起，由于多次构造作用，改造成弧形。黑龙江勃利弧、吉林吉中弧、河南伏牛—大别弧，四川金汤弧、木里弧等等。重要的砂金矿恰好分布于弧形转弯处。又如雪峰弧形隆起北东断，沅麻盆地、常桃盆地、洞庭拗陷，砂金断续分布。

此外，广西弧西段弯曲处有上林砂金矿；东段有贺县、昭平砂金矿。赣南弧西段弯曲处有南康、上犹、崇义等砂金矿。滇东南弧有蒙自、金坪、墨江等砂金矿，滇西南的白江、中甸砂金矿位于弧形构造急转弯处或称“肘状”构造。山西狐堰弧有望仙砂金矿等等。反映了砂金分布与弧形构造、盆地边缘关系密切的特点。由于构造复杂，断裂或破碎带发育，深切地形一些河谷，正是这些构造虚弱带，控制着砂金的分布。

黑龙江石头岔子砂金矿，沿黑云母花岗岩与云母石英片岩接触带所形成的河谷分布。湘西杨泗庙砂金矿，矿体位于沧水铺花岗岩体与板溪群接触带的残坡积及溪流冲积层中。有物质来源的前提下，层间构造、接触带等也是砂金成矿的有利构造。

现代砂金矿的控矿条件分析，较多的侧重于对新构造运动的研究。新构造运动具明显的震荡和节奏性，时速缓急交替，升降的方向、性质、强度有继承性和新生性，往往指出不同类型冲积砂金矿的产出部位。较大的上升幅度侵蚀剥蚀作用加强，碎屑物质丰富，由流水搬运，在有利地段形成河床砂矿、河谷砂矿。继续上升河流以垂直侵蚀为主，河床移动带变窄，远离河床的老河漫滩逐渐变为超河漫滩阶地，而成阶地砂矿。由于上升，支谷下切阶地并可形成细谷砂矿。

确定某一地区上升，可通过观察下列现象：

（1）有无堆积浅滩，有则表明上升；

（2）河谷复盖层厚薄，薄或缺失表示上升；

（3）沿河阶地，其阶数表示上升次数；

（4）先成谷、下切谷、谷中谷标志上升；

（5）局部河道的宽阔、平缓及峪谷；

（6）冲积物的韵律变化；

（7）沼泽变化；

（8）洪积扇顶点的移动等。

黑龙江砂金产地多在上升区，剥蚀较甚，残坡积砂金保留很少，绝大多数为冲积砂金矿，往往有河谷砂金矿、阶地砂金矿及细谷砂金矿共存。

当侵蚀基准面上升，原生金产地下降，流水的侵蚀作用减弱，不易形成砂金矿，可以注意寻找原生金矿。

三、砂金富集的地貌条件

砂金的形成和地貌有关，矿体分布于一定地形之中，主要在山岳地带，如大、小兴安岭、长白山、天山、阴山、祁连山、秦岭、雪峰山、横断山、南岭等地。砂金往往富集于一定标高区间，小兴安岭重要砂金矿床，分布于低山丘陵区，标高300—400m，阴山山脉中的内蒙金盆砂金矿床分布于中山区，标高1700—2000m。

侵蚀堆积地形，特别是河流的侵蚀堆积作用，是形成现代砂金矿的主要因素之一。碎屑物被水流搬运、分解、分选和沉积，在河谷一定地段形成砂金矿。如阿尔泰山的额尔齐斯河，祁连山的大通河，秦岭汉水，四川的岷江、嘉陵江、大渡河，湘西沅水、资水、湘江，云南龙川江、墨江、红河，福建闽江，东北松花江、黑龙江等水系都有砂金分布，具有分段富集，贫富相间的特点。主要富集规律是：

（1）砂金富集于③—⑤级支流和支谷中，中—上流地段矿体连续性好。（图2）

（2）支谷具物质来源时，主支谷交汇处的下方品位变富。

（3）河流拐弯内侧品位较富。并和微地貌关系密切。如河谷迅速变窄或变宽地带的“关门山”（图3）、“迎门山”地形（河流急转弯处）（图4）、“威子地形”（图5）等，有利于砂金的富集。

（4）在不对称河谷中，砂金多富集于缓坡一侧（图6）或一级阶地的前缘。

（5）河谷底岩凹陷处和底岩坡变处有利于砂金的富集（图7）。

（6）支谷切穿阶地砂矿时，所形成的细谷砂金矿，品位变富。

（7）河谷砂金矿从上游向下游一般是品位降低，粒度变小，成色增高。

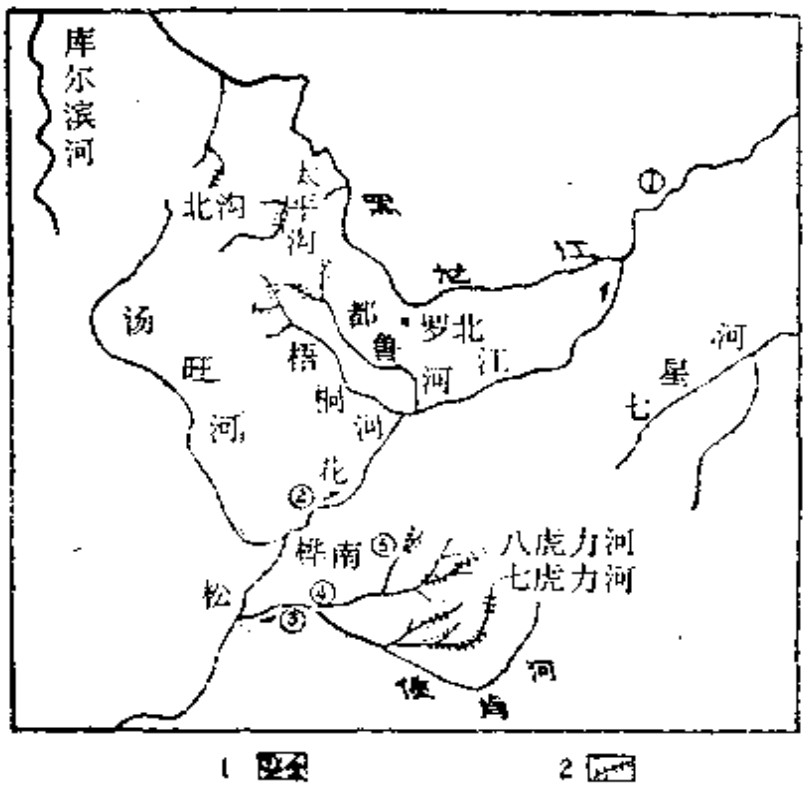


图2 桦南、萝北含金水系与砂金富集关系

1.水系、级别；　　2.砂金富集区

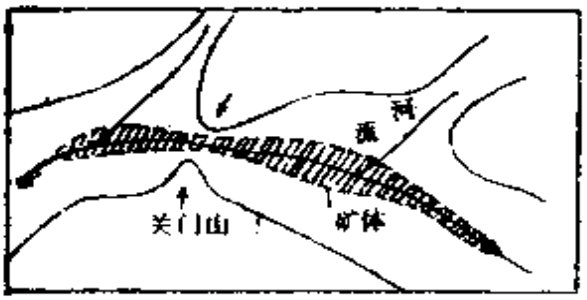


图3　关门山平面图

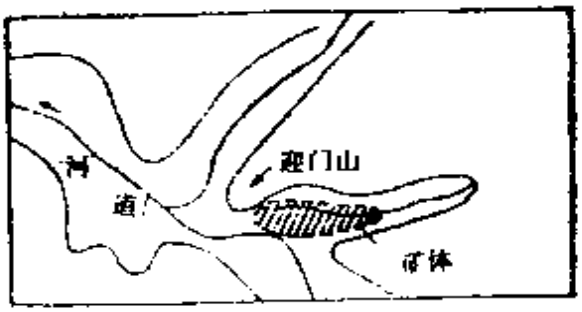


图4　迎门山与矿体关系示意图

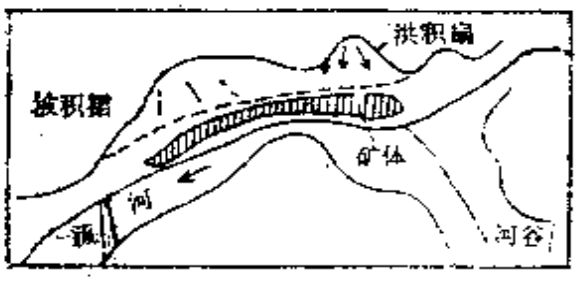


图5　威子地形平面图

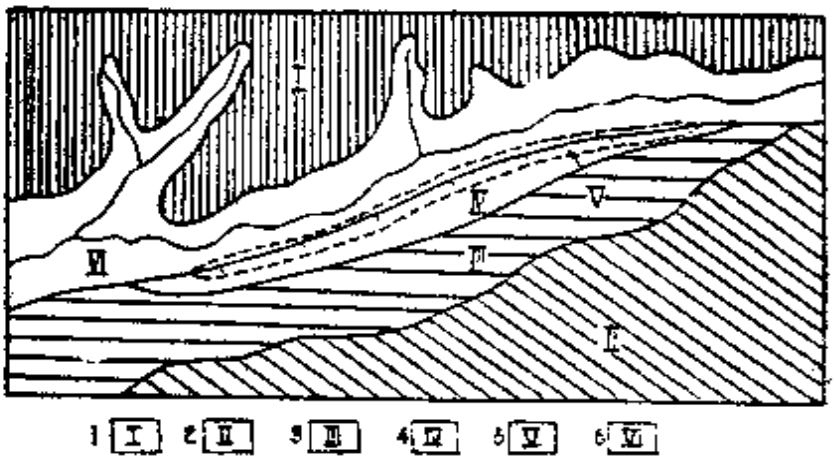


图6　砂矿地貌略图

1—侵蚀剥蚀丘陵地形；　　2—侵蚀剥蚀垄岗地形；

3—山前倾斜平原；　　4—一级阶地；

5—矿体；　　6—不对称河谷

此外，侵蚀剥蚀的准平原、台地，保留不同时代、不同类型的堆积层，某些层中有古砂金矿，其上之洼地、冲沟是现代砂金

富集的有利地段（图8）

四川漳腊、黑龙江罕达汽等冰川砂金矿，金含于泥砾层中，矿体形态、品位变化较大，砂金富集与冰川地形有关，多分布于U型谷、冰蚀洼地、峪谷溢口地段，有矿源的支谷下段冰坎前段等。富矿体多在冰谷背阴缓坡一侧。

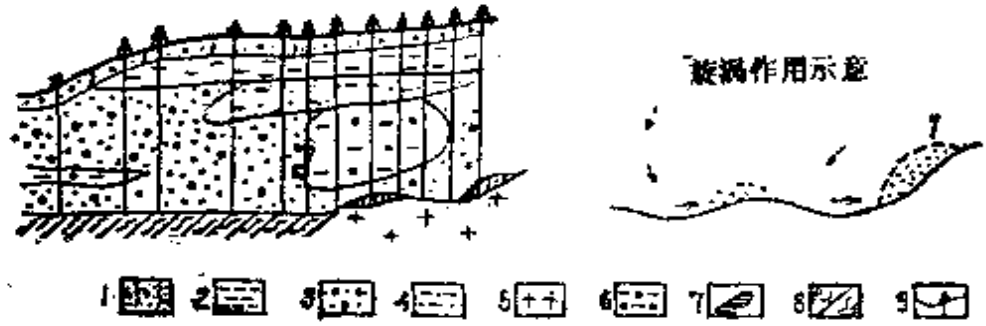


图7　勘探线剖面图

1—腐殖土层；2—灰黑色粘土层；3—砂砾石层；4—亚粘土层；5—花岗岩；6—泥砾层；7—矿体；8—片岩；9—钻孔

雨量丰富、植物繁盛的石灰岩分布区，岩溶地形发育。在岩溶洼地、岩洞、暗河，有物质来源时，可形成小而富的岩溶砂金矿。广西右江砂金矿富集于溶洞中，湖南白竹坪、岩口一带砂金富集于暗河中，含金层厚2—15m，靠基岩0.5—1.5m含金丰富，最高品位达20.54g／m^3。

四、第四纪堆积物与砂金的关系

第四纪含金松散堆积物，按其形成条件和沉积环境等，可分为残积物、坡积物、洪积物、冲积物、湖积物和冰碛物等，它们是砂金矿类型的划分依据。一定的沉积类型中有其相应类型的砂金矿（表3）。

第四系的发育程度可以帮助确定砂金存在的可能规模。残积

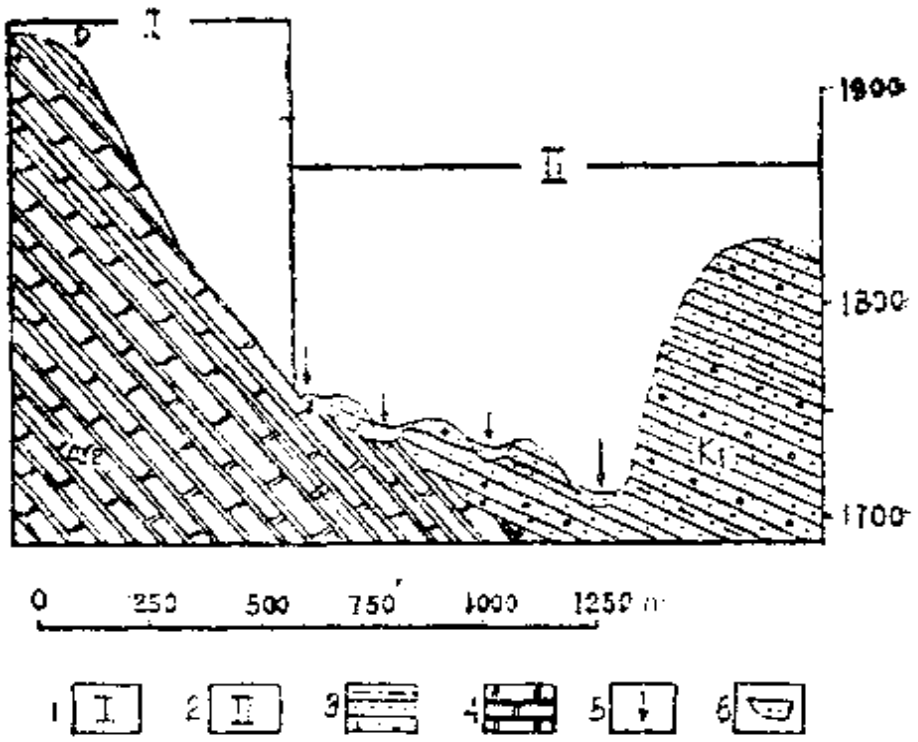


图8　柳梢沟砂金富集地貌示意图

1—陡坡中高山区；2—缓坡中高山区；3—下白垩统（K_1）砂岩、砂砾岩；4—太古界（A_r）大理岩；5—近代砂金富集冲沟；6—第四纪冲积物

层中的残积砂金矿是原生矿或含金多金属矿经各种风化作用，使含金地质体遭到破坏崩解，金被解离出来而形成。当残积物在重力作用下，沿坡下移，相对富集而成坡积砂矿，它与残积砂矿无明显界线，金矿物与脉石连生，重砂矿物来自原生矿床及围岩，可作为寻找原生矿的直接标志。冲积物沿河道分布，与之有关的冲积砂金，分布很广，探明的储量占砂金总储量95%以上，其中河谷砂金矿和阶地砂金矿最有工业意义，二者规模大，矿层稳定，金主要赋存于冲积层下部、基岩顶部的砂砾层内，特别是基岩凹陷和节理发育的破碎地段含金富，以桦南金矿区石头河和七道沟砂金矿为例，冲积层剖面如下：

冲积河谷砂金　　冲积阶地砂金

表3　第四纪堆积物与砂金类型划分表

沉积物类型	砂金类型		产出部位	主要特征	实例
残积物	残积砂金		山地中原生矿或矿化之上部残积层的碟形洼地。	矿体边界、成分与原矿一致洼地中心厚度大、品位富	湖南大仿 内蒙西菜园
坡积物	坡积砂金		原矿或矿化向下的斜坡上、与残积金无明显界线。	除原矿成分外，有外来物混入，成分较单一，形态厚度与地形有关	湖南杨泗庙 云南金厂
洪积物	洪积砂金		峪谷、冲沟出口处。洪积锥、洪积扇之中。	成分杂、分选差、厚度变化大	内蒙金盆大沟
冲积物	冲积砂金	河床砂金	河谷之河床中	矿体呈带状、延长大、分选好、磨圆度高，上部主要为粘土、细砂，下部为砂砾层，砂金主要赋存于下部砂砾层中，	山西滩上，陕西勉县
		河谷砂金	河谷中、现代河床水位以下。		黑龙江桦南、韩家园，吉林珲春
		阶地砂金	河谷斜坡阶地中，现代河床水位以上。		陕西月河 四川洼里
		岩溶砂金	河道岩溶区、洼地	厚度变化大、形态不规则，凹陷处呈窝子状金	河南岩口 广西陇针

续表

沉积物类型	砂金类型	产出部位	主要特征	实例
湖积物冲积	湖滨砂金	湖滨 河口三角洲	矿层稳定、矿化范围大	湖南益阳—岳阳
冰碛物	冰碛砂金	冰川故道 洼地、峪谷、溢口	无分选、成分杂 金分布不均	四川漳腊 黑龙江罕达汽 青海大场
海积冲积	滨海砂金	滨岸地带、砂质浅 滩波阶台、三角洲	含金砂层分布范围大、品位低	辽宁黑岛 山东沿海

河漫滩冲积层 Q_4^2		阶地冲积层 Q_3^2	
⑤腐殖土层	厚0.3—1.2m	⑤腐殖土层	厚0.3—1.5m
④灰黄色粘土层	厚0.1—1.5m	④黄色粘土夹砂质粘土	厚1.0—14m
③淤泥砂质粘土层	厚0.2—0.1m	③青灰色粘土层	厚0.5—5m
②灰黄色砂砾层	厚0.5—9.0m	②黄褐色砂砾层	厚2—8m
底1.5m为主要含金层		底0.7m为主要含金层	
①基　岩		①基　岩	

对含金层进行研究，统计其特征如表4，砂金与冲积层的关系是：砂金富集于冲积层的下部，砂金品位与大于2mm的砾石含量成正比，一般是含石英砾石多，砂金品位富，并与重砂含量有一定关系，如锆石含量高金含量也高等等（图9）。

冰川堆积物不太厚的条件下，金多集于底碛中，一般是泥砾结构含金富，冰砾结构含金次之，砂砾结构含金贫。

五、结　语

我国砂金矿产资源丰富，分布较广，主要受含金地质体、构造、地貌、水系及第四纪堆积物的控制。

（1）砂金富集成矿主要与金的来源相关，多来源、金源充足，是形成大型砂金的前提。有金与脉石连生体或“狗头金”，砂矿距原生矿源近。

（2）古老弧形隆起中迭加中新生代盆地，盆地边缘控制砂金分布。新构造运动上升幅度大有利形成冲积砂金，升降幅度变化小易形成残坡积砂金。

（3）各种类型砂金空间分布受地貌控制。冰蚀洼地、侵蚀

表4　H矿床含金砂砾层特征表

特征		冲积砂砾层	灰黄色砂砾层（Ⅳ号矿体）	黄褐色砂砾层（X—1号矿体）
砾石成分及含量（%）	石英		15—25	25—35
	玄武岩		20—25	20—35
	变质岩		15—25	10—15
	花岗岩		15—20	15—20
	长石、云母等		3—5	2—3
砾石粒径（mm）			2—50	2—25
砂砾层含砾率（%）			0.76	0.85
砂砾层物理性质	松散系数		1.3（测92次）	1.2（测7次）
	体重		1.94（测17次）	2.08（测91次）
	比重		2.94（测4次）	2.76（测4次）
	含泥度		15.58（测16次）	16.44（测47次）
	湿度		6.06（测17次）	13.28（测91次）
金平均品位（g/m^3）			0.214	3.72
金粒度（mm）			0.1—2	0.15—2.5
主要重砂矿物平均含量（g/m^3）	锆石		26.749	33.613
	金红石		3.988	14.389
	独居石		63.243	43.346
	钛铁矿		1956.754	1805.480

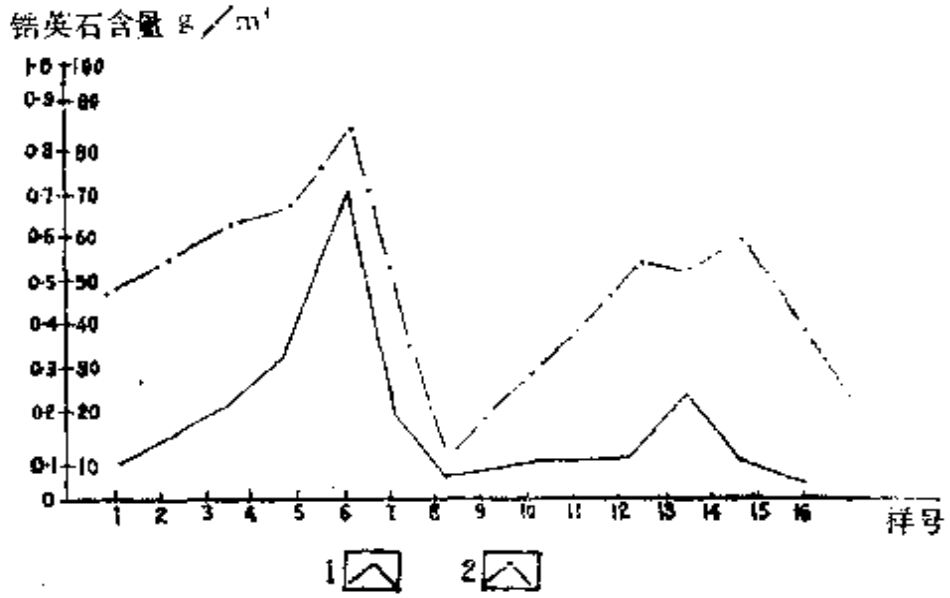


图9　金与锆英石含量对比曲线

1—金；　　2—锆英石

台地、山麓冲积扇、阶地前缘缓坡及垄岗地形，岩溶洼地等，富集有不同类型砂金矿。微地貌变化对冲积砂金的富集起重要作用。

（4）第四纪堆积物中都发现有相应类型砂金矿，金主要赋存于砂砾层中。上部粘土层一般不含金，中部砂砾层稍含金，下部砂砾层含金性最好。除残坡砂金外，其它类型砂金矿砾石成分复杂，砾石的成分、形状、粒径大小、砾石排列方向、以及矿体内所含重砂矿物等有差异，要作具体分析。

（5）多种控矿因素互相制约，多种条件都具备时易形成大型砂金床。

选自《地质科技参考》第二期（1986）

从砂金矿谷底找原生金矿的预测标志

彭云彪　崔志善

黑龙江省金矿资源丰富，采金历史悠久，砂金储量高居全国首位，素有“金镶边”之谓称。但就已找到原生金矿矿量与“金镶边”还很不相称。

砂金矿床的发现和开采，往往成为发现原生金矿床的先导，引导找金工作逐步深入。世界上金矿地质工作的发展历史表明，一些重大金矿的发现和开发，大部分是从砂金矿床开始的，随着时间的推移，可供进一步普查勘探的砂金产地将越来越少，找砂金的重要性对黑龙江省来说显然会逐年下降。砂金的新增储量和保有储量，经过一定阶段以后也将逐渐下降。找原生金矿的任务已迫在眉睫。

就从砂金找原生金来说，有一个概念是值得商榷的。这个概念把原生金通常称为“山金”。误认“山金”系指金矿产在山上，因而导致在找原生金矿时，以寻根溯源的思路到冲积砂矿河谷源头的分水岭上去找，从而忽略了有优越成矿条件的河谷谷底。这种片面的认识大大局限了找矿方向。苏联学者Ю.А.Билибин认为“河谷底部面积小，……金矿床分布在分水岭高地的可能性要大得多”。事实上，河谷有砂金矿体，原生矿不一定在源头，往往河谷本身就是砂金的补给源。在本区根据砂金找原生金矿是一个有效的方法，团结沟特大型金矿的发现就是一例。根据近几年我们对砂金及原生金矿大量的普查勘探工作，从占有的实际资料分析研究认为：既要注意盛产砂金矿河谷源头原生金的找矿工作，更要重视在砂金矿谷底寻找原生金矿。

本区以河谷砂金为主，成矿地质条件优越，砂金补给源多，砂金矿体规模大，往往连续长达十几km，乃至几十km。有的砂金矿确实是来自岩石中的分散金，也有的盛产砂金区就在谷底或其附近发现了原生金矿。经过对地质、地貌、构造、砂金矿体形态、金及重矿物特征以及砂金矿与原生金矿相对位置关系等综合分析得知：当原生金矿体以平行或斜交等形式通过谷底作为砂矿的补给源时，形成了一系列的标志。这些标志在指导从砂金找原生金工作中具有重要意义。为此，我们根据区内实际资料提出从砂金矿谷底找原生金矿的预测标志及其有关理论问题。

一、从砂金矿谷底找原生金矿的实际资料

本文所研究的范围，主要以黑龙江省北东部为主，即大地构造位置包括老爷岭隆起北段及张广才岭褶皱带北东部。也参阅了本区以外的省内一些金矿床资料。研究对象主要是河谷冲积砂矿与原生金矿的关系。通过对23处金矿产地研究对比，有下列十个方面的资料，说明砂金由谷底直接补给。

1.区内已发现的原生金矿与砂金的空间关系基本吻合或首尾相接。有的原生金矿是以斜切河谷的形式与砂金矿体交叉，交叉部位往往出现砂金富矿体（图1、3），且砂金矿分布限于原生金矿下游。

2.从开采砂金实际情况发现谷底有原生金。许多采金区表明，采金老乡习惯称为在“谷底跑大毛”的含金层岩石，多为棱角状碎石，往往含金石英脉碎石多时，砂金也多。在区内某砂金矿区见到有相距50m的两个采金竖井，其中一个井金产量很高，而另一个产量少，品位相差大。后来查明，在产量高的井下，谷底基岩为含毒砂黄铁矿等硫化物石英脉，取样分析金品位达9g／t。在砂金普查勘探及开采过程中，在砂金矿谷底基岩中常

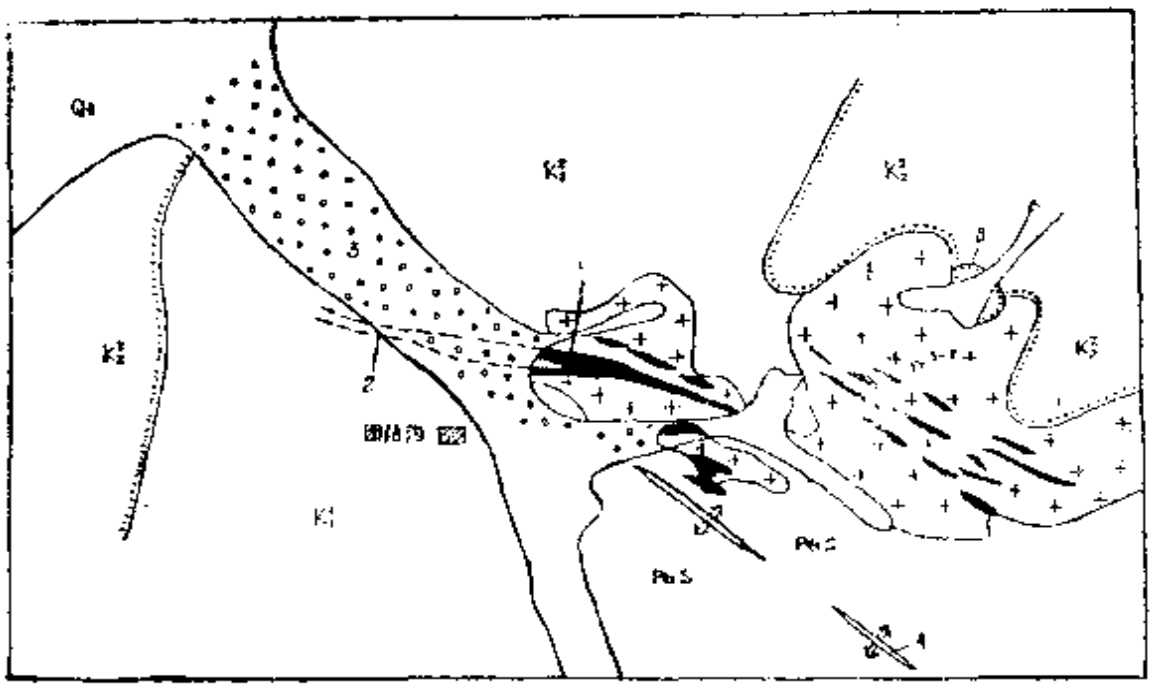


图1 团结沟金矿与砂金矿（开采范围）关系图

Q_4—冲积层；β—玄武岩；K_2^3—砂砾岩；K_1^2—中酸性火山岩；$P_{t_1}S$—白云钠长片岩；$\gamma\pi^{5-2}$—花岗斑岩；1—原生金矿体；2—隐伏原生金矿体（带）；3—砂金开采范围；4—背斜

可见到蚀变矿化现象，往往砂金富矿部位，直接和谷底基岩含金有关。

3.有的砂金矿床在同一河谷中有多条平行矿体，平行矿体的出现是谷底可能有相似构造的反映。如萝北县某砂金矿有三条平行的砂金矿体，每条矿体的重矿物组合有明显差异，中间一条矿体富含毒砂和黄铁矿，而两侧矿体则不含毒砂。我们判断中间一条矿体是有谷底源补给的。经过验证，在含毒砂最多的砂金矿段的谷底见到了含毒砂黄铁矿强硅化破碎蚀变岩。证实了谷底有补给源。

4.砂金在谷底成矿构造条件好的部位富集。一些规模较大的砂金矿体沿河谷纵向变化很大。有的上游富，下游贫，有的上游贫，中游富或贫富交替出现。金粒度大小的变化也反复无常。经

过研究对比，上述现象往往不受地貌制约，而与谷底含金地质体和成矿构造有关。在谷底构造复合部位砂金明显富集，并有粗大金粒出现。

5.一个矿床的不同区段、不同矿体和不同矿段，与砂金伴生重矿物组合不同，提供了原生源的信息。我们在萝北县九里庄河砂金矿，就是根据伴生重矿物的分布特征去判断和验证原生源的。证实了根据重矿物分布特征找原生源是有效的方法。

6.砂金矿体分布范围与河谷切穿金矿源层的范围相吻合，在非矿源层河段无矿或仅有矿化。如梧桐河砂金矿在同一河谷中反复出现矿源层，相应地也出现砂金矿体，矿源层没了，砂金矿也断了（图2）。

7.在砂金出“暴头”的地段，即在采金中发现高品位和大粒金的地段常可发现狗头金，距原生源近。始太平沟砂金矿是一个有名的产金胜地，近年来在中上游发现含金石英脉带，与石英脉带相交的刘仁沟口是本区构造复合部位，正是砂金最富出“暴头”的地段。相传采金工人刘仁曾在沟口发现一个48两重的块金。已由普查钻证实附近谷底有最高品位达19g/t的原生金矿（图3）。

8.在一个河谷中的同一矿体、同一矿层，在相同地貌条件下，河谷不同地段，砂矿品位往往差别很大，可达60—70倍，甚至100多倍。这种差异在上部冲积层表现不明显，越接近谷底基岩差异越大。在相同地貌条件下产生的这种明显差异反映了谷底有叠加补给源。

9.黑龙江北东部砂金矿多分布在不对称U形谷内。南北向河流，西侧陡、东侧缓；东西向河流，北侧陡、南侧缓，多数如此。砂金矿多赋存在缓坡一侧。经统计分析，大部分砂金矿分布在构造谷里，这种构造谷对原生金矿常有成因上、空间上的联系。

10. 对砂金矿谷底找原生金实践的线索。近两年来，我们在

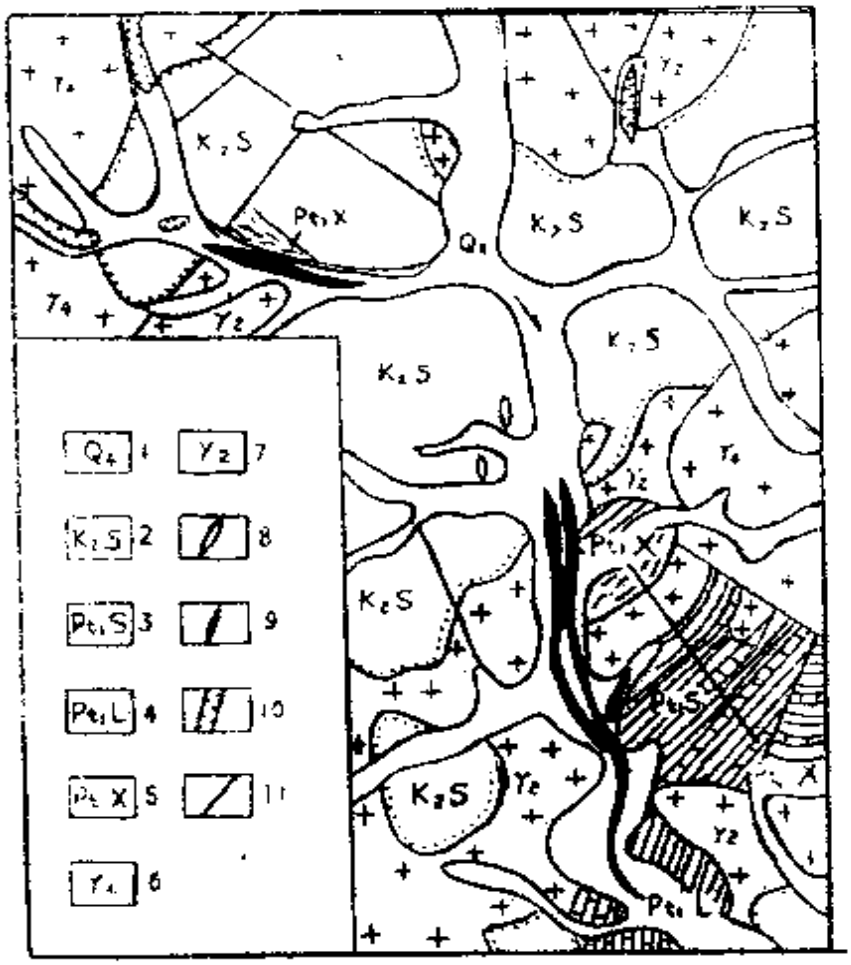


图2　梧桐河砂金矿与含金地质体关系图

1—现代冲积层；2—中基性熔岩，金矿源层；3—十字山组；4—柳毛组；5—西麻山组；6—黑云母花岗岩；7—混合花岗岩；8—闪长玢岩脉；9—砂金矿体；10—砂金采区；11—断层

普查原生金矿工作中，将一部分力量由分水岭移到谷底，作了一些探索工作，取得了较明显成果。

（1）在萝北县都鲁河七支沟砂金盛采区，首先按传统方法在分水岭上做了较详细地质揭露和取样工作，揭露出大面积的混合花岗岩，蚀变矿化不明显。后来我们在谷底打了几排取样钻，见到了多种岩脉及黄铁矿化蚀变岩石，含金0.38g/t。证实谷底有金矿化构造蚀变带（图4）。

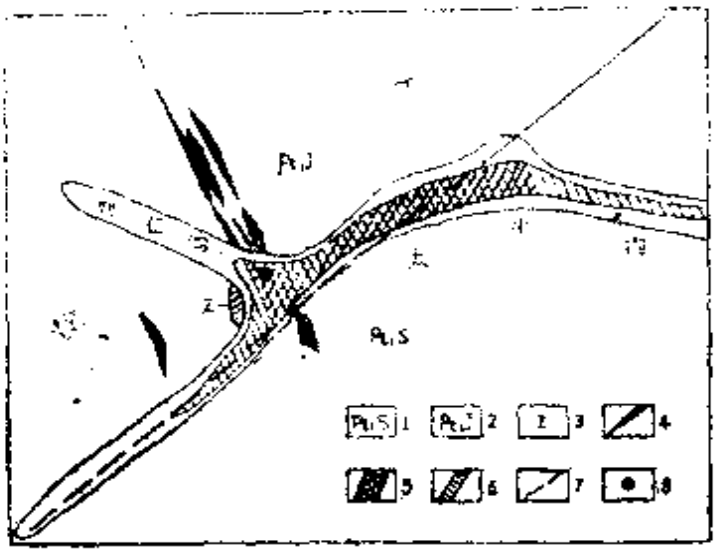


图3　太平沟原生金与砂金关系图

1—山咀组；2—鸡冠山组；3—超基性岩；4—含金石英脉带；5—砂金富矿开采区；6—砂金一般开采区；7—断层；8—钻孔及见块金位置

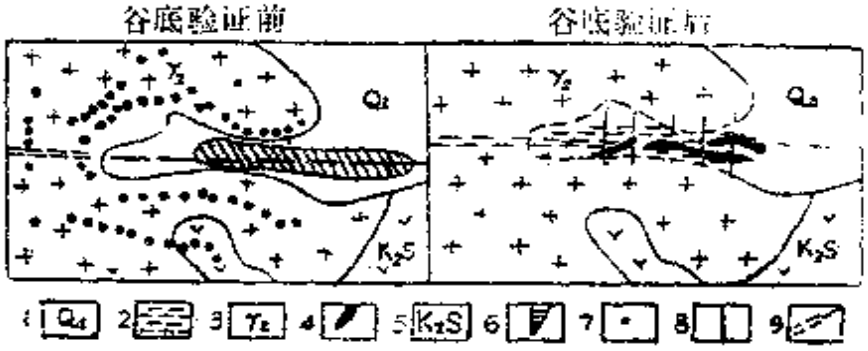


图4　七支沟砂金矿谷底地质示意图

1—第四系；2—黄铁矿化蚀变岩带；3—混合花岗岩；4—花岗闪长岩、云斜煌岩脉　5—安山岩；6—砂金采区；7—找金工程；8—谷底普查线；9—断层

（2）经1982年在谷底找金实践，在黑龙江省东部两个砂金地区的谷底发现原生金矿（化），其中一处（在两个河谷的交汇处）品位高达18.62g/t，另一处（在河谷中游转弯部分）品位为3.4g/t谷底成矿地质条件较好，有进一步工作价值。初步证明从砂金矿谷底找原生金矿是找金的一个可行的途径。随着砂金矿谷底地质研究程度的提高，可以预见将会有新的突破。

二、有关预测的几个理论问题

1.砂金矿多源补给问题 本区砂金分布普遍，矿体规模大，连续性好，其中一个重要因素是补给源是多源的，补给方式是以谷底为主多向补给的。多源问题不仅表现在区域上是如此，一个矿床或一个具有一定规模的矿体也是如此。较大规模的矿床或矿体单源供给的情况极少。由于不同矿源含金多寡的差异，往往直接制约着不少金矿体的贫富和形态变化。矿源层稳定，砂金矿体连续性好；矿源层集中或叠加时，砂金矿体常在其附近加宽变富。这样的实例屡见不鲜。本区砂金矿源可集中归纳为：

（1）前寒武系各种变质岩系。包括混合岩、混合花岗岩和各种结晶片岩。如嘉荫、萝北、桦南、勃利及伊春等地砂金区。

（2）前寒武系基底上侏罗—白垩纪浅成—喷出中酸性斑岩，如英安岩、流纹英安岩等。团结沟等地属于此类。

（3）各种构造破碎蚀变带及贯入其中的石英脉，如桦南石门沟、萝北太平沟及大小结烈河等地。

（4）中新生代砂砾岩，尤其是其与前寒武纪基底的不整合面上金矿矿源更丰富，如桦南石头河子、嘉荫腰乌拉嗄等地。

（5）部分超基性岩和基性火山岩，如萝北小南沟、大金顶子及桦皮沟等地。

以上(1)—(3)为金的主要矿源层，在预测中应特别注意。

我们这样划分的矿源层，具有成矿部位，即具有层控、时代和构造岩性概念，找金部位和找金目的明确，便于预测。而按岩性划分，则不便于应用。因为不同地区的相同岩石，甚至同一地区的相同岩石，由于所受地质作用不同，矿化作用差别很大。如同样是中生代中酸性斑岩，离开前寒武系基底这个基本矿源层，就不含矿或矿化弱。

2.砂金多成因问题 对砂矿的成因类型目前一般划分为残积、坡积、冲积、洪积、冰碛、湖滨、滨海及埋藏砂矿等。实际上这种分类方法只有矿床学上的意义，对指导找矿预测价值不大，甚至会产生相反的作用。我们认为砂金矿很少有单一的成因类型，而往往是多成因的。如当前划为冲积类型的最主要的河谷砂金矿，实际上冲积与洪积不能区分，洪积与坡积往往相连，有的甚至冲积与残积混成。应当特别指出谷底基岩面上分布的冲一残积类型，在预测谷底找原生金矿时应予以特别注意。

3.砂金矿富集与构造关系 以往砂金矿找矿和成矿规律研究多侧重地貌条件。事实上砂金矿的富集规律与原生成矿构造有密切的关系。砂金矿体就在原生金矿化好的河段富集。金源充足，砂金必富。地貌仅是次要的因素。无论预测砂金或由砂金预测原生金，都应以地质条件为前提，而且关系极为密切。

本区砂金富集与构造关系主要反映在以下两方面：

（1）砂金在构造复合部位富集。构造复合部位常常表现为河流转弯处，或支流与主流的交汇处。这些地段往往砂金最富，也是原生金成矿的良好地段，两者呈现一致性。如太平沟、中心沟、桦皮沟等地。

（2）构造谷富集砂金。我们统计的23个砂金矿产地，几乎所有出名的砂金产地都在构造谷中富集砂金，如萝北县的小南沟、小金沟、太平沟、横道河子、中心沟、嘉荫县的大结烈河以及黑河罕达汽等。据现有资料划分，构造谷有三种类型：①断层谷，如太平沟、小南沟等；②背斜构造谷，如中心沟等；③接触谷，如梧桐河五号山南沟等地。

构造控制原生矿，砂金富集往往与构造密切相关，反映砂金有就地取材，冲积搬运不远的特点。这一点在指导找金预测方面有重要意义。

4.砂金的搬运距离 砂金搬运距离受多种因素制约，是一个

复杂问题，加之地质研究程度不高，很难精确确定。但根据现有资料对比，共生重矿物研究，是可以大致确定其搬运范围的。综合我区资料，砂金矿搬运距离在0—1500m范围之内（指主要富集地段，表1）。

表1

矿区	规模	类型	产出部位	距富砂金矿的起止距离（m）
团结沟	特大型	斑岩	中上源及谷底	100—1000
太平沟	矿点	石英脉	谷坡及谷底	0—1500
老座山	小型	热液	〃	不清
横道河子	矿点	不清	谷底	不清
桦皮沟	矿点	不清	〃	不清

上述砂金矿多有冲—残积特征，搬运不远。这种规律适用于形成砂金矿体和品位较富的地段。至于细小的金粒，尤其片状微金，其搬运距离问题要复杂得多。

5.利用砂金重矿物组合探讨原生源 研究砂金伴生重矿物的类别、搬运距离及其分布规律，有助于判断原生源。特别是研究谷底残积层伴生的重矿物特征，对预测谷底原生金矿意义更大。

我们通过对一些矿区重矿物组合的研究，得出的规律如下：

（1）毒砂、黄铁矿等硫化物类矿物是与金密切伴生的矿物，它们的搬运距离不远，一般小于600m（表2）。

表2

矿区 \ 搬运距离(m) \ 矿物	毒砂	黄铁矿	方铅矿
金山大川		0—300	
太平沟	几十		
中心沟	<600	<600	<250

（2）砂金重矿物组合及其分布特征，可以间接指明原生源状况。当一个砂金矿区是多源供给时，不同区段、不同矿体乃至同一矿体不同矿段有不同的重矿物组合，它们的分布范围大致与原生源相吻合。

（3）与砂金伴生的硫化物类重矿物在含金层底部大量富集时，往往指明补给源就在谷底。

（4）当砂金是由含毒砂、黄铁矿的原生源供给时，砂矿层中的毒砂、黄铁矿含量常与金的品位呈正消长关系。特别是当毒砂在残积层中富集时，与金品位关系更为密切。高品位区段含毒砂多，低品位区段含毒砂少，特高品位区段全部含毒砂(表3)。

表3

砂金品位（g/t）	详细鉴定孔数	见毒砂孔数	%
>1	2	2	100
1—0.6	1	1	100
0.6—0.3	10	3	30
<0.3	24	3	13

我们根据实际资料引出的几个理论问题，概括起来说就是：河谷冲积砂金矿是在河谷发育过程中逐步形成的，河谷本身被破坏的含金地质体是砂金的主要来源；砂金的补给源是多源的，既有不具工业价值的分散金，也有矿床被破坏的金。当砂金矿由矿床补给时，在地质构造、砂金矿体形态、重矿物组合上有一系列特征。在从事砂金谷底找原生金矿预测时，应重视这些地质理论问题的研究。

三、从砂金矿谷底找原生金矿的预测标志

1.大地构造标志 在前寒武系组成的隆起区，特别是隆起与拗陷边缘靠近隆起一侧的部位砂金矿分布区，是找原生金矿有利的大地构造位置，尤其是隆起区内部有以中生代火山岩为主组成的凹陷的边缘，即“隆中凹”的边缘，是找原生金矿最有利的构造部位。

2.矿源层标志 砂金物质来源主要由矿源层供给，但不是所有的矿源层分布地段的砂金矿谷底都是找原生金矿的有利地段。只有当谷底或其两侧有叠加矿源层的条件下，对找原生金矿较有利。尤其是前述第三矿源层与第二矿源层叠加或第三矿源层与第一矿源层叠加时，从砂金矿谷底找原生金矿条件更优越。

3.河谷地质构造标志 当砂金富集部位与谷底及其附近的地质构造关系密切时，是找原生金矿的有利构造标志。这种构造标志，一是平行谷底产生的构造谷；二是斜交沟谷的成矿构造带穿过河谷的地段，或两个构造谷的交汇部位，即构造复合部位，是最有利的地段。如横道河子、太平沟都是三组构造的复合部位发现了含金10g/t以上的地段。构造谷不仅从地质上判断，地貌上也有明显反映，如不对称河谷、平直的沟谷等。这些构造在实地勘查基础上，结合砂金矿地质构造图及航卫片解译，可较容易判定。

4.河谷地貌标志 当砂金矿体分布与富集不受有利的河谷地貌条件制约（如关门咀子、王八脖子等），而却在简单的平直沟谷、短小的桶子沟富集时，要特别注意谷底附近找原生金矿。

5.砂金矿体形态特征 砂金矿体形态分析是判断原生源的一个重要手段。当砂金矿体变宽变富地段与地貌因素关系不大，而与成矿地质构造条件关系密切时，是谷底附近有叠加供给源的标

志。这种砂金矿变宽变富地段，在河谷中下游时应注意在该地段谷底补给源中找原生金矿。

6.标型重矿物标志 与砂金伴生的标型重矿物，如毒砂、黄铁矿、辉铋矿等，在砂金矿中有明显富集时，尤其在谷底残积层中富集时，往往指示谷底有原生金矿。

根据标型重矿物分布特征，判断有无谷底原生金矿要注意以下三点：

（1）必须是标型重矿物有明显富集的地段。

（2）标型重矿物晶形完好，棱角清楚，搬运不远的才有意义。

（3）砂金层中标型重矿物的富集与金品位变化成正相关时，是附近有原生源的信息。

7.砂金特高品位标志 砂金出现特高品位地段，及开采中出"暴头"的地段，多是金粒大、品位富的地段。这些大金粒，一般冲积搬运不远，多在原地沉积，可做为谷底找原生矿的标志。

8.金的形态标志 砂金形态呈树枝状、锯齿状、剑状、棒状等不规则形态时，其出现部位常在原生源附近。

9.砂金开采遗迹标志 对砂金开采盛、毛砂堆积如山，有些曾是反复开采的地区，间接说明砂金矿体富，有良好的补给条件，结合谷底附近地质、地貌分析，可做为找原生金的标志。这一条标志在具有悠久砂金开采历史的本区乃至黑龙江省来说，都有现实意义。

10.预测中应注意的问题

（1）大量实际资料表明，本区砂金矿体一般是多源供给的既有岩石中的分散金，也有原生金矿床中的金，因而造成了复杂的砂金富集规律。在从谷底找原生金矿时，不一定都在上游，有时可在中游或下游。所谓从谷底找原生矿，并不是说只找平行河谷谷底的原生矿，也包括斜交河谷的原生矿。实际上多数原生金

矿体是斜交河谷的。从谷底找原生金矿的关键首先是从谷底突破，然后全面铺开（包括砂金矿体两侧的山上）。

（2）应当指出，上述找矿预测标志都不是绝对的、孤立的，而是一个有机联系的整体，必须综合考虑。一个与砂金矿有关的原生金矿床或一个好的预测区，往往兼有地质构造、地貌特征、砂金矿体特征及伴生重矿物组合特征等综合标志，这是在预测工作中应注意的。

砂金矿谷底找原生金矿是一个新问题，通过我们的野外工作和综合研究。已经证明从谷底找原生矿是一个标志明显、找矿速度快、效果好的可行途径。

选自《地质与勘探》第六期（1984）

关于砂金矿床储量计算中应当重视的几个问题

尤恩沛

（中国人民解放军00519部队）

砂金矿床工业指标是目前采选技术经济条件下衡量矿床质量的标准；是评价矿床、圈定矿体、计算储量及区别表内、外储量的依据。因此，工业指标应用是否合理，它将直接影响到储量的准确程度、矿山设计和矿山生产效益。

1964年我省冶金地质系统在雷峰沟砂金矿床勘探报告中，首先采用了混合砂品位指标计算储量，经采金船生产取得了较好的效果。以后相继提交了一些砂金矿床地质勘探报告。由于采金船生产具有机械化程度高、生产能力大、成本低、收效快的特点，近几年来工业部门对提交砂金矿床报告单位均下达了混合砂品位指标。但在这些报告中，由于对混合砂品位指标在运用上没有统一的认识，目前又无砂矿规范可循，审查报告时往往出现难以统一的争论。如混合砂边界品位和混合砂最低工业品位两项指标。在使用和计算方法上就不统一，各行其是，故对混合砂品位指标的应用合理性有进一步讨论的必要。

依据采金船、水枪开采对混合砂品位指标的使用、参数计算和矿体圈定时各报告中指标使用方法存在的问题本文将进行讨论。

一、制定混合砂品位指标的意义和运用指标存在的问题

冲积砂金矿床主要含金层赋存于松散沉积物底部，砂砾层和碎石层上部（即风化基岩），含金率占90%以上，一般规律是越靠近基岩砂金越富集、采金船开采时，从上到下将冲积层（非含金松散沉积物和含金松散沉积物）全部混合采选。因此制定的混合砂品位指标系指从上到下非含金层和含金层开采过程中混合一起的平均品位。这与固体矿床和地下开采的砂金矿床在圈定矿体、计算平均品位上有显著的不同。依据《采金船生产技术管理暂行规定》中要求，“采金船完成一个采掘段，经班长进行挖斗取样检查确证没有金粒方能进船，即挖掘到不丢金为止”。根据砂金矿床成矿特点和采金船开采方式的特殊性，设计生产部门要求计算第四系冲积层的混合砂品位来满足采金船生产的需要。这就是正确理解和运用混合砂品位指标的关键。

（一）混合砂边界品位

按工业指标要求，每一个孔仅能有一个混合砂品位。所以边界品位应为单项钻孔工程的品位（孔内砂金总重量与孔内混合砂理论体积之商）。它的高低直接影响到矿体形态和矿块、矿区平均品位。其作用在储量计算平面图上区分矿体的最低品位界限。第一用于圈定矿体边界线，第二参加矿块混合砂最低工业品位计算。混合砂边界品位这项指标只能用于在平面图上圈定矿体边界线，不能用混合砂边界品位指标在勘探线剖面图中圈定矿体底板边界线。这与固体矿产和地下开采砂金矿床在圈定矿体边界线做法上有原则区别。但是，在砂金矿报告中，尚有人把固体矿床采用样品达到边界品位用以圈定矿体边界线的原则，用于圈定混合

砂矿体底板边界线，甚至有的单位在砂金矿床地质工作技术管理要求中规定："按混合砂计算储量的单项砂钻中工业矿化尺度的圈定，如含金砂砾层中最后一个含金小于边界品位，则应以达到边界品位的样品为底界样品圈入工业矿化之内"。又如"关于钻孔混合砂厚度计算原则规定以最末一个不小于边界品位的样品深度为混合砂厚度"。这些做法是不符合采金船全面采选（从上到下混合开采整个含金层与非含金层）要求的。

上述方法对采金船生产产生以下危害：

1.用松散层最末一个不小于混合砂边界品位的单个样品做下限圈定矿体底板界线，它歪曲了混合砂矿体空间位置和底板形态的本来面貌，人为造成起伏不平，更不符合采金船生产的实际。

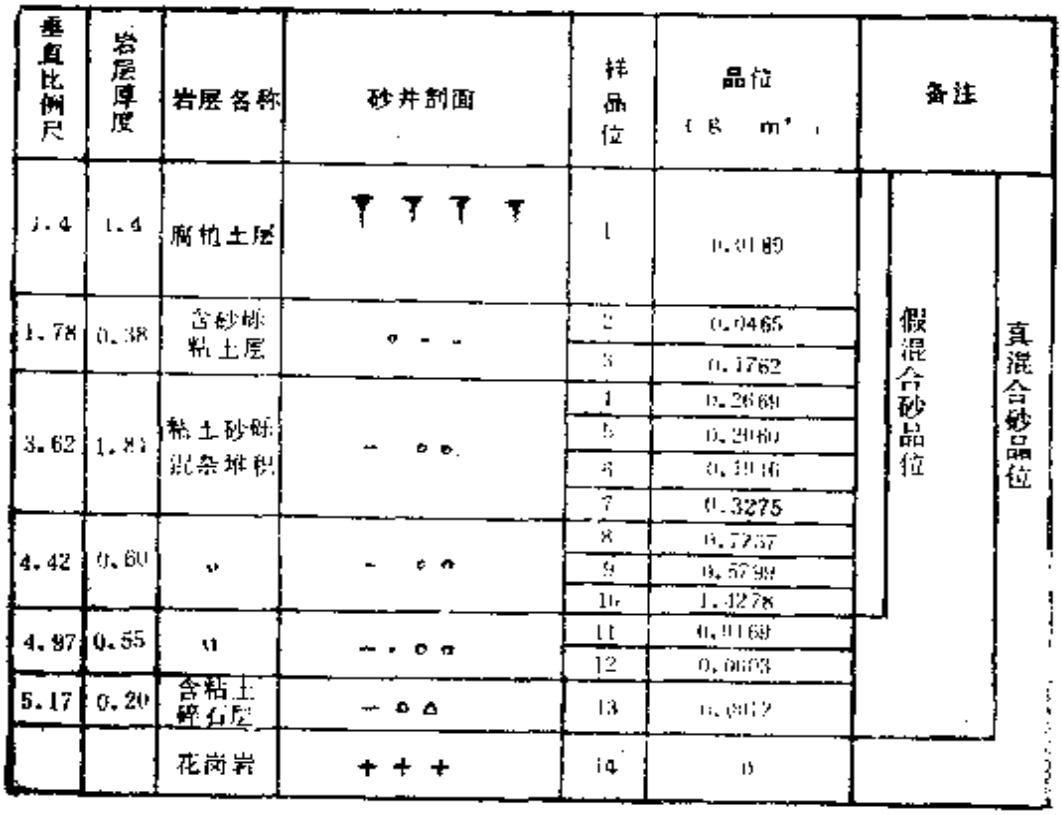


图1　某砂金矿床1号砂井示意图

现以某矿1号砂井为例(图1) 按边界品位0.07g/m³圈定矿体底板界线原则，在1号砂井图上圈至10号样下限，该样品位为1.4278g/m³，该工程混合砂厚度为4.42m，10号样以下的样品均

表1　3号孔采样情况一览表

勘探线号	钻孔号	取样号	取样位置 自	取样位置 至	单个样长	钻头内径 (mm)	钻头断面 (m^2)	单个样体积 (m^3)	单个样品含金重量 (g)	单个样品含金品位 (g/m^3)	混合砂金 厚度 m	混合砂金 体积 (m^3)	混合砂金 重量 (g)	混合砂金 品位 g/m^3	岩性
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16
	3	1	0.00	1.20	1.20	110	0.0095	0.0114	0.00337	0.2956					粘土层
		2	1.20	1.60	0.40	〃	〃	0.0038	0.00163	0.4289					粘土质
		3	1.60	2.00	〃	〃	〃	〃	0.00400	1.0526	2.00	0.0190	0.0090	0.4737	（假混合砂品位）
		4	2.00	2.40	〃	〃	〃	〃	0.00018	0.0474					
		5	2.40	2.80	〃	〃	〃	〃	0.00007	0.0184					
		6	2.80	3.20	〃	〃	〃	〃	0.00007	0.0184					
		7	3.20	3.60	〃	〃	〃	〃							
		8	3.60	4.00	〃	〃	〃	〃	0.00005	0.0132					含粘土
		9	4.00	4.40	〃	〃	〃	〃							砂砾层
		10	4.40	4.80	〃	〃	〃	〃							

续表

勘探线号	钻孔号	取样号	取样位置		单个样长	钻头内径 (mm)	钻头断面 (m^2)	单个样体积 (m^3)	单个样品含金重量 (g)	单个样品含金品位 (g/m^3)	混合砂金				岩性
			自	至							厚度 (m)	体积 (m^3)	重量 (g)	品位 (g/m^3)	
		11	4.80	5.20	0.40	110	0.0095	0.0038							
		12	5.20	5.60	〃	〃	〃	〃							
		13	5.60	5.80	0.20	〃	〃	0.0019							
		14	5.80	6.00	〃	〃	〃	0.0019	0.00005	0.0263					含泥
		15	6.00	6.20	〃	〃	〃								碎石层
		16	6.20	6.40	〃	〃	〃	0.0019	0.00006	0.0316					
		17	6.40	6.60	〃	〃	〃	0.0019	0.00007	0.0368	6.60	0.0627	0.00976	0.1557	（真混合砂品位）
		18	检查样			〃	〃		0.00021						安山玢岩

小于边界品位，如11号样长0.3m，品位为0.0469g/m³，12号样长0.25m，品位0.003g／m³，13号样长0.2m，品位为0.0012g/m³，把0.75m厚含金层圈在矿体之外，而采金船开采是将基岩以上所有松散堆积物4.42m主要含金层加上含金层0.75m共5.17m厚的混合砂全部采出选矿。显然这种圈定矿体底板方法是没有实际意义的。而利用混合砂边界品位0.07g/m³圈定矿体底板又人为的提高了品位，歪曲了矿体底板真实形态。以××砂金矿床375线3号孔为例(表1)，矿体底板圈至3号样下限，3号样长0.40m品位为1.0526g/m³，这种圈法该孔假混合砂厚2.0m假混合砂品位为0.4737g/m³，而3号样以下至17号样共14个样厚度4.60m，均由于低于混合砂边界品位0.07g/m³，而未圈入矿体。按松散层最末一个含金样品下限圈定，矿体底板界线应圈在17号下限，混合砂厚度为6.6m，钻孔混合砂品位为0.1557g/m³。同样一个孔，由于对混合砂品位的错误理解进行圈定矿体底板，使混合砂品位和厚度相差很大。而采金船开采时是将混合砂厚度6.6m全部松散层进行采选。

2.采金船是漂浮在灌满水的采池中采选，随着挖掘将洗后砾石和尾砂充填在采空区中，肉眼不能直接观察到采矿工作面情况，挖掘矿砂时无法区别低于混合砂边界品位以下其它样品的含金性，而是一直挖到无金为止。这种用边界品位确定混合砂矿体底板界线是机械的，与采金生产上的要求是矛盾的。采金船挖掘矿砂时为了不丢金，在《采金船生产技术管理暂行规定》中规定："回采到底时要超挖底板深度不得小于30cm"。采矿时是否超过含金层底板一般判断方法是：①挖斗带上来的岩性是否单一如岩性单一说明已超过含金层底板；②挖上来的砾石形状是否没有磨圆且均为棱角状；③加强挖斗取样检查确实无金，无重砂或者重砂明显减少则证明已超出含金层底板，已经到了底；④依据挖掘第四系松散堆积物难易程度，以及挖斗的满斗系数是否越

来越小的情况来判断。如：以150l采金船为例挖掘Ⅲ级土岩时满斗系数为0.592，Ⅴ级土岩时挖斗满斗系数0.296，总的规律是越靠近底板土岩越硬，故挖斗的满斗系数越小（表2）。⑤依地质探矿提供的深度，掌握采金船实际挖掘深度是否超出混合砂矿体底板深度30cm。

表2　　土岩等级与挖斗的满斗系数

挖斗容积（l）	土岩等级					
	Ⅰ	Ⅱ	Ⅲ	Ⅳ	Ⅴ	Ⅵ
380	0.982	0.766	0.656	0.546	0.444	0.193
250	0.937	0.716	0.592	0.477	0.371	0.172
150	0.893	0.658	0.592	0.408	0.296	0.143
50	0.893	0.642	0.504	0.777	0.519	0.109

以上五点是判断采金船是否挖到底的主要依据。采金工人常说："采金不到底，白费二斗米"，这不仅为采矿部门，同时也为我们广大地质工作者在圈定混合开采砂金矿体底板时，提出一条实际的原则要求。

（二）混合砂最低工业品位

几年来，工业部门下达工业指标有关混合砂工业品位提法不一。如有的提"连续矿体的混合砂最低工业品位"，"矿体最低工业品位"，"矿块最低工业品位""混合砂最低工业品位"等等。有些地质部门不完全了解矿山开采利用的要求，仅从各自理解的概念出发将不够指标要求的表外矿也圈为表内矿，这是不符合矿山采选经济要求的。例如某地质部门运用"连续矿体混合砂最低工业品位"指标时（指整个矿体平均品位而言）。他们的理由是：采金船开采时不能飞过去，只能挖掘移步前进。故沿着矿体纵向将连续相邻各勘探线上等于和大于混合砂边界品位的钻孔连成一大片计算平均品位，达到混合砂最低工业品位时即划为表内矿体。按此大平均品位圈定矿体，显然将一部分表外矿块圈入

表内矿体，导致矿山生产不平衡。必然出现有的年份开采表外矿块造成经济亏损，有的年份开采表内矿块而有盈利，这种圈定方法不能使矿山稳步生产，显然是不合理的。关于砂金矿体最低工业品位的理解，某些地质队把它理解为整个矿体品位平均后的最低工业要求，人为的将一条矿体只有几个较高品位的钻孔，多数钻孔仅能达到边界品位，就将这些低品位钻孔和较高品位的钻孔加起来计算平均品位，达到最低工业品位者即划为表内矿体。

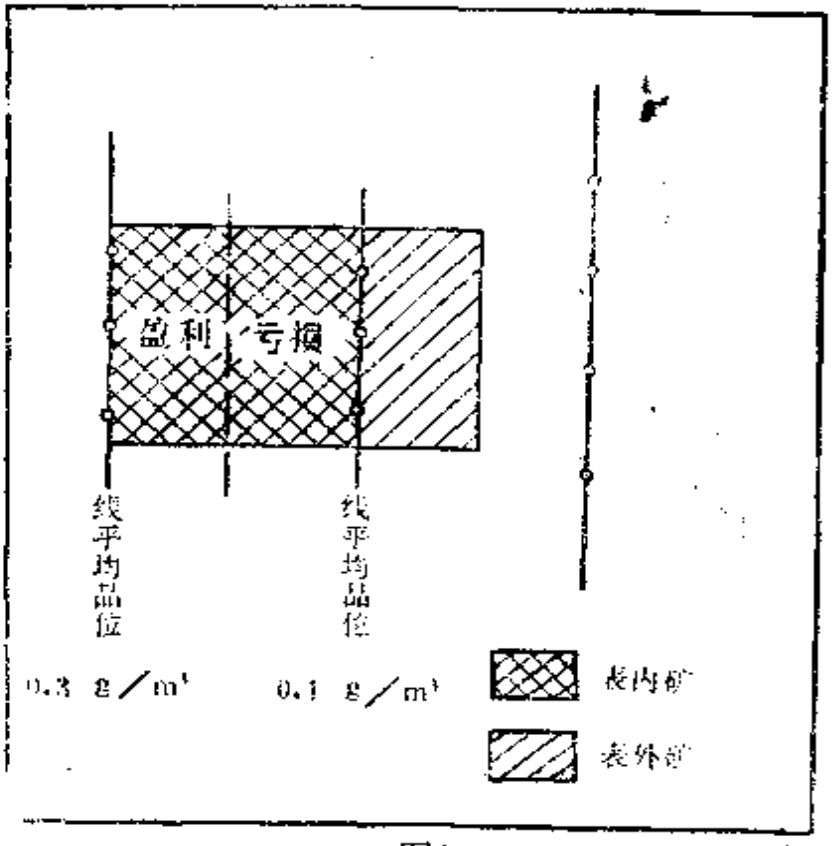


图2

在具体圈定矿块时（如混合砂最低工业品位0.2g/m³）（图2）将相邻勘探线中一线表内一线表外圈在一起为一个表内矿块，在矿体联结上显示得很不合理，必将给生产部门造成局部盈利和连续亏损（图2）。

又如某地质队评价的砂金矿床均用大平均方法计算矿体平均品位，并填报了储量平衡表。另一个单位去勘探，还没有施工仅重新计算储量就减少很多，某省某地质队提交D级储量4.2t，经采

用正确方法，按矿块最低工业品位计算一下储量只有2.6t，没有进行工作，储量就减少了1.6t。又如某地质队评价一个矿区提交D级储量1.1t，另一个单位勘探前重新计算一下储量只有0.5t。这些例子在某省内不胜枚举。产生这种情况的主要原因是对砂金矿工业技术指标提法不一，对砂金矿工业指标缺乏明确认识所造成的。

由此可以看出混合砂最低工业品位指标，应理解为线平均品位。就是说需勘探线达到最低工业品位划为表内矿，介于混合砂边界品位与混合砂最低工业品位之间的线平均品位则划为表外矿，这样才是正确的应用指标圈定矿体。

为了进一步理解可以和山金类比，如砂矿一条线平均品位相当于山金矿床一个单项工程平均品位，而每一个砂钻孔的品位相当于山金矿床每一个单项工程中的单个样品位。只有这样运用砂矿的混合砂品位指标，才能正确连结矿体。从上述可以看出混合砂最低工业品位应为线平均品位，达到者为表内矿，达不到最低工业品位，可将线上边部低品位钻孔剔除使其达到最低工业品位，如仍达不到最低工业品位，若勘探线距离等于或小于400m，在该线两侧又有较高的线平均品位时，考虑采金船采矿特殊性可以和两侧线平均品位进行计算。如达到混合砂最低工业品位以上者，则可以划为表内矿块，但在矿体端部和矿体内连续出现是绝对不允许的。

综上所述，由于砂矿工业指标提法不一，给矿山和地质队均造成了不同程度的不良后果。笔者认为，今后下达工业指标时一律称为块段混合砂最低工业品位为好，它是矿山开采时盈利的起点（不亏不盈的界线）。

二、采金船通道

通道使用条件：因为采金船斗容量和最低服务年限不同，所

以对矿砂量的要求也不同。有关采金船最低服务年限的矿砂量见表3。

有时矿体矿砂量满足不了采金船服务年限的要求，就须用通道把相邻矿体连结起来一同开采。一个矿区有主干矿体也有从属矿体，采金船采主矿体的同时，还要在技术经济可行条件下采从属

表 3　满足采金船最低服务年限矿砂量表

斗容(l)	50	100	150	200	300	400	备注
矿砂储量(万m^3)	85—140	260—400	500—800	800—1200	1200—1900	2000—2900	
服务年限(年)	5—7	8—10	10—22	12—15	12—15	15—20	

矿体。采金船从主矿体到从属矿体，须在无矿地段开一条通道。通道矿砂量品位为零，这一点一定要明确。有些人认为采金船过通道时可顺便采金，把通道的砂金加入计算是不对的。因为主要含金层赋存在底部，采金船经过通道时要求尽快过去，因此挖的深度较浅，一般3—4m左右，不能顺便采金。确定的通道在技术经济上是否可行，用下列公式衡量：

$$\overline{C}=\frac{P_1+P_2}{Q_1+Q_2+Q_3}\geqslant \text{混合砂最低工业品位；}$$

P_1，P_2——两个独立矿体砂金储量；

Q_1，Q_2——两个独立矿体矿砂量；

Q_3——通道矿砂量；

$\overline{C}$——开通道后连续矿体混合砂最低平均工业品位。

开通道后连续矿体平均品位大于混合砂最低工业品位时，才能用通道把矿体连结起来进行开采。否则，不具备使用通道开采条件。通道长度为连结两个矿体长度，通常不超过1500m，船经过通道时间不超过一个季度。

同一成因、形态类型的砂金矿体，用同一船一并开采之。

两个独立表内矿体相邻时，达不到工业指标规定矿砂量，可以用通道将两条矿体连起来，通过计算衡量，是否符合通道开采条件。采金船通道规格随斗容量不同而不同，一般中小型采金船通道宽40m，深4m。

三、单项钻孔工程混合砂品位表示方法、原则与采金船设计、生产的关系

（一）单项钻孔工程中单个样品品位在计算单项工程品位中系统表示的目的意义

有些单位提交的勘探报告，只有单项砂钻混合砂品位，没有钻孔中每个单样品品位（表4）。

表 4　单项钻孔工程混合砂品位计算表

线号	孔号	单项工程混合砂厚度（m）	单项工程混合砂理论体积（m^3）	单项工程金重量（g）	单项工程混合砂品位（g/m^3）
17	10	5.50	0.050358	0.008913	0.1770
	14	5.80	0.053105	0.003805	0.0716
13	8	4.40	0.040286	0.051334	1.2742

还有的单位提交报告，仅对单项钻孔工程中达到边界品位以上的单个样作了记载，而未对所有的样进行系统记载（表5）。

上述报告中没有表示全单个样品品位的理由可能有以下几点：

1.在储量计算中只用单项钻孔工程混合砂品位单个样品品位不直接参加计算；

2.为了减少重砂室内分析工作量，送到室内重选、称重时将每

表 5　单项钻孔工程混合砂品位计算表

勘探线号	钻孔号	取样号	取样位置 (m)		单个样长 (m)	单个样体积 (m^3)	单个样含金重量 (g)	单个样品位 g/m^3	混合砂 厚度 (m)	混合砂 体积 (m^3)	混合砂 含金重量 (g)	混合砂 品位 (g/m^3)
415	8	6	3.00	3.40	0.40	0.0038	0.01104	2.9053	3.80	0.0361	0.01169	0.3072
		7	3.40	3.80	0.40	0.0038	0.01104	2.9053				

个钻孔的各个样合并为一个样；

3.认为单个样品品位对设计和生产部门不需要，即不表示。笔者认为这类做法是不合适的。单项钻孔工程品位表格中记载的单个样品品位，有下述作用：

（1）表示出垂向上对混合砂矿体上、下含金层空间位置、控制程度、底板确定是否合理；

（2）正确反映出每个钻孔品位计算数据来源；

（3）表示出砂金在各岩性中富集规律；

（4）为设计和生产部门提供重新圈定矿体和考虑开采方案的依据；

（5）矿山开采时选定合理剥离界线进行剥离；

（6）为采金船开采提供所需要矿层数据。《采金船生产管理规定》中确定："挖掘非含金层时满斗系数0.8—1.0，挖掘含金层满斗系数<0.5；在挖掘靠近底板含金砂层（主要含金层）满斗系数0.2—0.4。"对满斗系数采取适当控制的目的，主要为了保证圆筒筛充分破碎和筛分。满斗系数大小直接影响筛分效率。如满斗系数小筛分效率高，筛上砾石金量损失少，满斗系数

表 6　挖斗满斗系数、筛分效率和筛上金损失率关系表

船号及规格	筒、筛规格及参数	满斗系数（%）	筛分效率（%）	筛上金损失（%）
1020号	筒直径φ1.8m	73	64.7	14.5
1501	筛分段长L8.4m	55.8	76	10.15
150m³／时	转数12转／分	48	75	10
	筛孔8.01.12.14（mm）			
1004号	筒直径φ：1.5m	82	62	24.4
1001	筛分段长L：6.9m	83	62.3	24.3
90m³／时	筛孔10.13.16.19 mm	54	68	12.4

（依据东北工学院冯守本讲师资料）

大筛子给矿量大，影响筛分效率，筛上金损失多（表6）。

从这六点中看出，在单项钻孔工程品位计算表格中表示出单个样品品位是重要的（表6）。这样便于地质研究、矿山生产和设计部门利用。

（二）单孔混合砂品位计算原则与采金船生产关系近几年来提交砂金报告关于砂钻单项工程砂金混合品位计算方法大致有四：

第一，孔内砂金总重量除以孔内混合砂理论体积（套管内经断面积与混合砂厚度之积）；

第二，以孔内最末一个不小于边界品位的样品为界，以上砂金总重量，除以孔内混合砂理论体积；

第三，去掉上部非含金土岩部分计算单孔含金砂砾品位；

第四，用实际体积计算单孔混合砂品位，然后再用系数修正单项钻孔工程品位。笔者认为第一种计算单项钻孔品位的方法最为适宜，完全符合砂金成矿特点和混合砂品位的真正意义。能满足设计部门和采金船生产应用上的需要，是正确的。

第二种计算单项钻孔品位的方法是和采金船实际生产不相适应的。这种方法计算出的混合砂品位是伪混合砂品位。利用这种方法计算单项钻孔混合砂品位还很多，这是错误的，应依据生产实际进行改正。

第三种计算钻孔品位方法，去掉非含金土岩部分，这种计算方法也是不恰当的。因为剥离费用也要摊入采矿成本。这种作法有可能将一部分不够最低工业品位指标非矿体圈入矿体。采金船设计院对采用这种方法计算储量的某省某砂金矿床进行采金船开采设计时，又重新计算钻孔品位，圈定矿体计算储量，原报告提交××吨砂金矿，经重新计算后只有×吨。由一个大型矿床，降为中型矿床。

第四种方法用土岩实测体积计算单项钻孔混合砂品位问题，

南方有些单位认为用实际体积计算单项钻孔混合砂品位，比较真实。用实际体积计算钻孔混合砂品位要高于用钻孔理论体积计算混合砂品位（表7），这是由于实际体积偏小。在打钻过程中有的砾石直径大于抽筒下部阀门口时很难进入管内，从而被挤出管外，减少了岩心体积，在冻土地区施工时地层含冰率高达20%左右，在施工过程中用热水将其溶化，减少了岩心体积。上述原因，实测体积要比理论体积偏小（表8）。即管内实测岩心样品体积（砂钻岩心实测长度乘套管面积）与自然状态下实际体积有一定差值。为了获得自然状态下实际品位必须测定修正系数对砂钻实测岩心体积所求的品位进行校正，其校正公式为：

$C = C_1 \frac{K}{K_1}$　因为 $C_1 \frac{K}{K_1} = \frac{g}{V_0} \cdot \frac{K}{K_1} = \frac{gK}{V_1} = \frac{g}{V} = C$

C——砂样真实品位；

C_1——岩心实测体积砂样基本分析品位 $\left(= \frac{g}{V_0} \right)$；

K——松散系数 $\left(= \frac{V_1}{V} \right)$；

K_1——修正系数 $\left(= \frac{V_1}{V_0} \right)$；

V——砂样自然状态下体积；

V_1——砂样注水后松散体积；

V_0——岩心实测砂样管内体积；

g——砂样中金重量

从以上公式可以看出采用实测体积计算品位必须用修正系数、松散系数校正钻孔品位。该计算方法不但计算复杂，而且这些修正系数、松散系数利用砂钻孔岩心无法求得，只能借助几个缺乏代表性砂井所测的松散系数和修正系数，用这些数据去修正钻孔品位显然无代表性，不准确，对矿床不能正确评价。如南方

表 8　　某省几个主要砂金矿床砂钻岩心采取率情况统计表

地区	矿体号	总孔数	总样数	样品采取率				钻孔平均采取率				备注
				70—100（个）	%	100—130（个）	%	小于100个	%	大于100个	%	
A	Ⅶ	59	849	776	91.4	73	8.6	90	91	9	9	89
	Ⅸ	56	445	354	79.6	91	2.04	47	84	9	16	92
B	Ⅰ	27	822	732	89	90	11	27	100			90
	Ⅱ	47	1115	906	81.2	209	18.8	46	98	1	2	89
C	Ⅰ	41	414	354	78	100	0.2	31	75.6	10	24.4	95
	Ⅱ	72	918	602	66	316	34	55	76	17	24	98
D	Ⅰ	53	697	413	59	284	41	41	77	12	23	97
	Ⅻ	38	406	304	75	102	75	32	84	16	16	94
E	Ⅰ	32	260	203	78	57	22	28	88	4	12	93
总计		465	5966	4644	78	1322	22	397	85	68	15	93

某一个砂金矿1960—1962年，以砂钻手段为主进行勘探，勘探结果矿体品位为1.2568g/m³。低于当时下达的工业指标：边界品位0.5g/m³，最低工业品位2g/m³，无法圈出矿体，后来经过打井求校正系数为2.168，对钻孔品位进行校正，重新圈定矿体，提高了钻孔品位，夸大了储量，造成矿山严重损失。因而采用理论体积计算单项钻孔工程品位是合理的。

20多年来提交的金矿勘探报告均是采用理论体积计算混合砂品位，经过生产实践检验，探采对比相差不大，经济效益良好。现以某金矿局的资料为例（表9）。表明理论体积计算品位方法是正确的，但为什么地质品位与实收品位有一定误差呢？是由于矿化不均匀等因素造成的。

表9　地质品位与实收品位对比表

生产点名称	1980年		1981年		1982年		备注
	地质品位（g/m³）	实收品位（g/m³）	地质品位（g/m³）	实收品位（g/m³）	地质品位（g/m³）	实收品位（g/m³）	
1005船	0.0002	0.245	0.168	0.218	0.168	0.302	
1006船	0.169	0.210	0.169	0.118	0.174	0.140	
1014船	0.125	0.176	0.197	0.203	0.197	0.269	
1014船	0.298	0.243	0.298	0.124	0.167	0.178	
1014船	0.169	0.210	0.169	0.178	0.174	0.140	

四、关于矿体圈定

砂金矿床储量计算在矿体边界线内进行，储量精确性以及对矿床工业评价在相当大的程度上取决于矿体圈定正确性，目前提交报告中关于矿体圈定方面普遍存在以下三个问题：

（1）不能按地质规律进行连结矿体，而是采用就矿连矿的方法，圈定矿体纵向、横向界线；

（2）不严格执行工业指标，对混合砂品位指标缺乏正确理解；

（3）矿体圈定时没有很好考虑开采方式。

下面叙述一下对于矿体圈定值得重视的几个问题：

（1）正确连结矿体，必须深入对矿床地质、地貌进行研究，按成矿规律圈定出比较符合实际的矿体界线。否则矿体的自然形态势必遭到歪曲。同样地质资料可以有不同连结法，得出不同的结论，如图3中二条勘探线，根据情况不同至少可以有三种连法。

为了正确连图，必须观察赋存砂金矿床的松散沉积物的地貌

类型，弄清松散沉积物不同成因类型分布特点，收集分析研究重砂和沉积物资料。

砂金矿体，不同形态类型，所处地貌不同位置的矿体绝不能连在一起。例如，有的钻孔打在坡积物中，有的打在一级阶地淤泥层中的矿体，虽然它们均达到工业品位，但不能连在一起。

矿体虽然在同时代地层中，也会有不同的连图方法，得出不同结论（图4）。

一个支流汇入主流，按含矿品位就可以有两种不同的连结。第一种连结法（A）说明由于河谷突然变宽，流速减小，水流分散产生分枝现象，在河中出现了心滩，其上不含矿，富矿体与支流无关，第二种连结(B)则说明支流也含有砂矿，进入主流后，流速减低所携带重矿物沉积下来造成富矿体。遇到这种情况要进行综合研究，要利用重砂鉴定及沉积物岩性资料。如果Ⅱ排1号孔的矿物共生组合和Ⅰ排、Ⅱ排各钻孔一样时（成分、大小、磨圆度）则（A）的连接可能正确。如果发现有矿物加入，或者重矿物组合相同，但颗粒变大，磨圆度较差则可能（B）的连结正确。

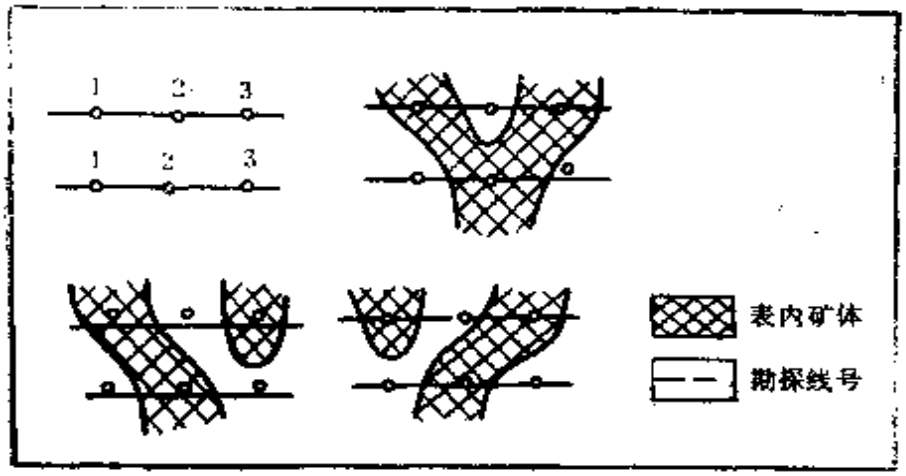


图3

（2）圈定矿体时，必须严格执行工业指标，并对工业指标要正确理解和应用。

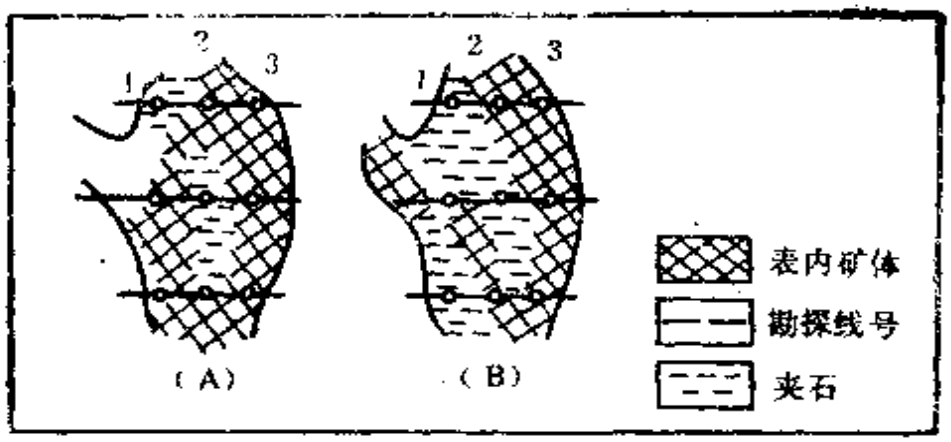


图4

(3) 圈定矿体形态必须考虑开采方法。

1) 圈定矿体时要准确定出混合砂矿体顶面界线。采金船从上到下进行露天开采，矿体顶板界线必须从地表“0”点起算。有些地区，确定顶板界线去掉表层腐殖土和粘土层（不含金部分）以含金砂砾层上界作为混合砂矿体顶板界线。如某省一个砂金矿床就是这样圈定顶板界线的，按这种方式计算混合砂品位人为的提高了品位，使一些表外矿体变为表内矿体，使一些不够边界品位的钻孔达到边界品位以上，甚至达到工业品位(表10)，从而导致矿体规模增大，品位提高，提交储量B+C+D级××吨。在进行采矿设计时，按采金船开采需要重新计算钻孔品位，圈定矿体，即从地表开始计算混合砂品位，计算结果，致使原表内矿体变成表外矿体或者成了废矿砂，储量由原来B+C+D级××吨变为×吨。

由于顶板确定不合理，造成品位下降，如表10所示。

原计算为一个大型砂金矿床，经正确计算后，乃是一个中型矿床，储量减少了×吨。从而看出正确确定混合砂矿体顶板的重要意义。底板圈定时尽量平坦。

2) 矿体尖灭形态：采金船开采时，作扇形采掘使采掘场为固定不变扇形。故矿体尖灭形态箱形较适宜。夹石尖灭形态为三

表 10

含砂层品位（g／m³）	覆盖层厚度（m）	换算后品位（g／m³）	品位相对误差（%）
0.21349	0.30	0.20368	—4.8（品位降低）
0.361815	0.00	0.361815	（品位降低）
0.32202	2.88	0.12553	—61.0（品位降低）
0.21954	1.75	0.12560	—42.8（品位降低）
0.19933	9.08	0.01656	—91.7（废砂）

表11 船采砂矿底板可挖性分类表

底板分类	Ⅰ	Ⅱ	Ⅲ	Ⅵ	Ⅴ
底板名称	泥质底板	砂质底板	碎石底板	巨砾底板	巨石底板
底板岩石块度或粒度（mm）	＜0.01	0.01—2	＞2—200	＞200—450	＞450
适合采金船类型	大、中、小	大、中、小	大、中、小	大、中	大
手工采金底板分类	泥底	砂锅底	小碴底	大碴底	
	软底	硬底			

角形较好。

（4）按工程实际控制圈定。

1）圈定矿体时，外推宽度不能大于工程控制实际宽度。

2）依据勘探线控制程度分为内推和外推两种，在一些报告中有时不管见矿情况如何，内推、外推一律二分之一或四分之一箱形尖灭，这显然是不合适的。

而正确推断矿体延伸距离，应依据矿体形态变化特点，结合

见矿宽度和品位分布均匀性综合考虑推断。

（5）关于矿体下界基岩含金圈入0.2m，是指较松散的底，如泥质底板、砂质底板，而不是指硬底，如巨石底板、巨砾底板等（表11）。

0.2m以下坚硬基岩裂隙中金不参加品位计算，因为采金船不能采出基岩裂隙和凹地中的金，清理底板时常常发生事故（下滚筒上斗链脱落）。

本文经刘学思、李成范二位高级工程师及张广秋等同志审阅指导，谨此致谢。

选自《金银矿产选集》第四集（1985）

砂金地质样品品位计算问题

卢一峰

（昆明有色冶金设计研究院）

近年来，我国砂金地质勘探发展很快，地质工作者们为祖国找到了不少的砂金矿床，并对勘探手段做了很多改进，勘探质量不断提高。但是，砂金地质勘探，还一直存在样品含金贫化，品位偏低的情况。为了解决这一问题，过去往往采用浅井检验钻孔，求得校正系数。有的地方没有用校正系数，但通过生产实践证实，地质品位是偏低的。如呼玛金矿局某金矿，地质品位与采金船实收品位几乎相等。据1969—1980年间开采范围地质品位平均0.257g/m³，采选实收品位平均0.2522g/m³。采金船的采选总回收率最多达60%，这样，地质品位至少偏低40%左左。吉林省某砂金矿，对低于边界品位的样品乘4.2的校正系数，就这样采金船还在所圈定的矿体之外，采出有工业值价的砂金矿。

砂钻样品品位偏低的原因，主要是钻进和取样质量有问题。也有人为的原因，如钻探操作技术、样品淘洗及重砂分析质量等问题。这些问题经过努力，严格遵守操作规程是可以解决的。但是，对于样品品位计算参数的选择上，所造成的品位变化，却没有普遍引起人们的注意。长期以来，地质部门计算砂金样品品位，多使用理论体积。即：

$$样品品位=\frac{样品含金量}{样品理论体积}$$

理论体积取值方便，计算简单，外国也曾使用，所以延用到

现在，对于它所带来的问题研究甚少。

近几年来，有些地质工作者已经发觉，使用理论体积计算样品品位不太妥当，有的已改用量筒体积计算样品品位。1979年澳大利亚专家在兴隆金矿介绍，他们采用理论体积与实际体积对比的方法，并且在含泥高的地层样品用量筒体积时，不使用松散系数，在含泥低的砂砾层才使用松散系数。国内虽然已有使用量筒体积的先例，还很不普遍，目前仍然是理论体积统治样品品位。现在都在研究提高砂金地质勘探质量，有必要对使用实际体积计算样品品位问题加以研究。

砂金地质钻探的班加钻，逐步被机械冲击回转加压式钻机所代替。动力改变了，效率也提高了，但岩心采取率和取样质量都还存在许多问题。所谓理论体积，是以套管内径与钻进深度构成的体积，实际取出的样品体积与理论体积的误差很大。过去解决这个矛盾的办法是规定砂钻岩心采取率的范围为70—150%，70—130%，80—120%等。实际上砂金地质钻探很少有一套岩心采取率资料，多数掌握不清，因为没有系统测量编录。

$$\text{岩心采取率} = \frac{\text{样品实际体积}}{\text{样品理论体积}}$$

一般说来，样量增加，样品中的含金量也增加，样量损失，样品含金量也损失。样品实际体积的完缺程度，决定岩心采取率的高低。使用理论体积计算品位，会随着岩心采取率的高低变化，样品品位也相应的变高或变低，造成品位严重失真，而这种失真又随着钻进深度和层位的不同，向着一定的方向系统偏移。如在浅部和地下水小的深部钻进，岩心采取率一般偏低，钻到流砂层和地下水压大的砂砾层，岩心采取率可能偏高。假如取样过程中金的损失与样量的损失成正比，地质品位可能不变，而使用理论体积，品位就必然偏低。因为理论体积不扣除样量损失，它永远是100%，实际岩心采取率的波动范围很大，理论体积不能

适应这种变化。在砂金地质勘探中，岩心采取率大于100%的情况总占少数，小于100%则是普遍现象。因此使用理论体积对于这两种情况都是不合理的，是导致样品品位偏低的重要原因之一。

一、岩心采取率偏低的原因

1.套管进尺与砂砾层的特性不相适应，碎散的岩心对管壁有粘结和涨压等摩擦阻力，套管钻进下降和岩心相对上升的速度不等，多数情况是套管下降的速度大于岩心相对上升的速度(图1)。

当岩心采取率接近100%时，松散的岩心体积可能超过样段理论长度，也就是松散体积大于理论体积。但除以松散系数后，应相当于理论体积。这是特殊情况。

2.套管钻进中，经常迁到比管口大的砾石，在加压或吊锤的冲击下，套管仍可向下移动一定的进尺，由于管口被大砾石堵塞，便没有岩心进入管内。即便是发觉后用劈刀处理，样长误差也已经产生（图2）。

3.砾石在套管口或管内卡死，套管口处的砾石泥砂成一锥形，在加压或吊锤的冲击下，套管象圆锥一样向下锥，岩心不进管（图3）。

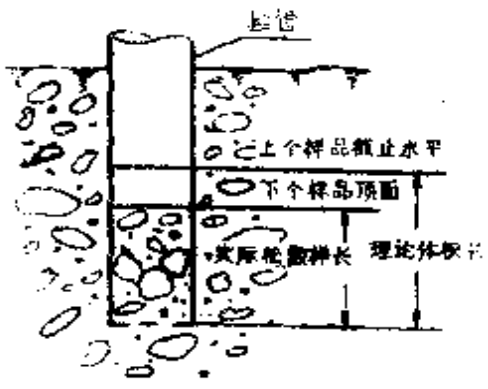


图1

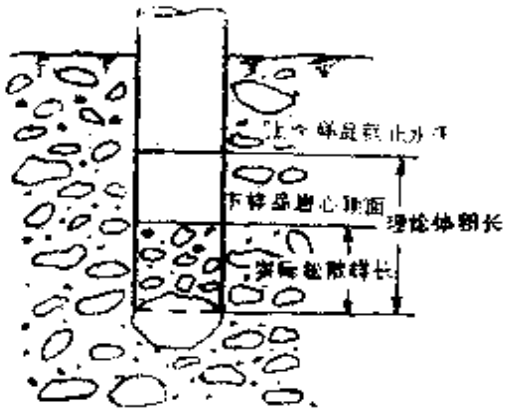


图2

提高岩心采取率的措施，就是套管在一个取样回次的进尺不能多，一般规定0.25—0.5m。这样的进尺也仍会出现上述三种情况，要求钻机操作工人认真观察套管进尺情况，发现进尺阻力增加、应及时取样，并根据情况进行处理。如使用劈刀将巨砾劈碎，再行钻进，切勿强行加压加锤。

二、岩心采取率偏高的原因

1.违反操作规程取样，取样抽筒超出套管取心，将钻孔范围以外侧压力作用的井壁坍塌物取进样品中（图4）。

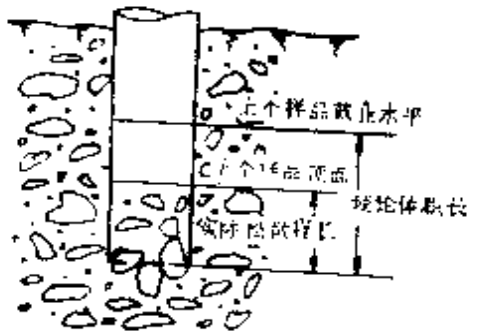


图3

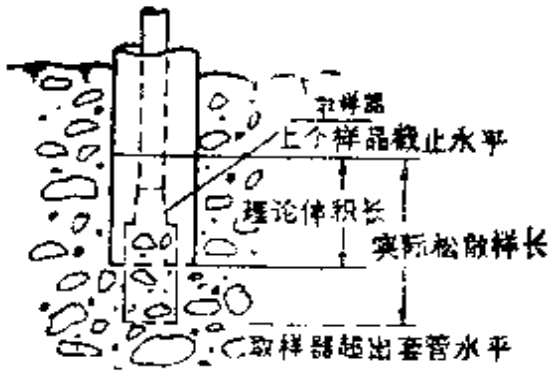


图4

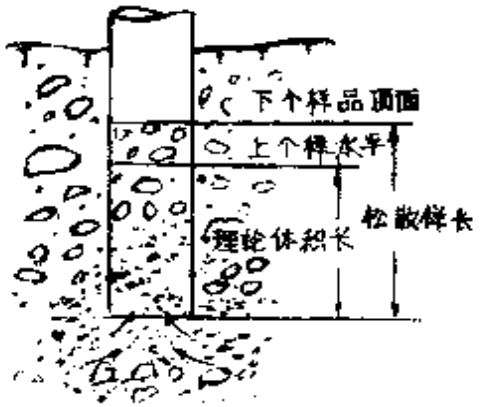


图5

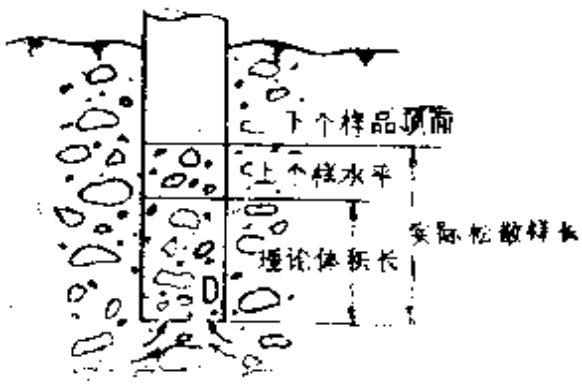


图6

2.遇有地下水丰富的流砂层，流砂压入管内（图5）。这种情况应加大套管进尺，快速通过流砂层。

3.钻进到深处，地下水压力增大，将管口附近的细粒砾石和泥砂压入管内（图6）。解决办法，每次取样要保留0.1—0.2m的岩心在管底。

三、用理论体积和实际体积计算样品品位对比

样品理论体积 = S × L；

量筒实测样品松散体积 = S × I；

S：套管内孔断面面积；

L：套管样段进尺；

I：实际样品岩心长。

1.当岩心采取率偏低时：

假如，样品含金量为0.0006g；

量筒实测样品松散体积为0.002m³；

样品理论体积为0.00214m³；

松散系数为1.4；

$$\text{样品实际体积} = \frac{\text{量筒松散体积}}{\text{松散系数}} = \frac{0.002}{1.4} = 0.0015\text{m}^3;$$

用理论体积计算样品品位：

$$\text{理论品位} = \frac{\text{样品含金量}}{\text{理论积体}} = \frac{0.0006}{0.00214} = 0.28\text{g/m}^3;$$

用实际体积计算样品品位：

$$\text{实际品位} = \frac{\text{样品含金量}}{\text{实际体积}} = \frac{0.0006}{0.0015} = 0.40\text{g/m}^3;$$

2.当岩心采取率偏高时：

假如，样品含金量为0.0008g；

量筒实测样品松散体积为0.0045m³；

样品理论体积为0.0025m³；

松散系数1.4；

$$样品实际体积=\frac{量筒松散体积}{松散系数}=\frac{0.0045}{1.4}=0.0035m^3；$$

用理论体积计算样品品位时：

$$理论品位=\frac{样品含金量}{理论体积}=\frac{0.0008}{0.0025}=0.32g/m^3；$$

用实际体积计算样品品位时：

$$实际品位=\frac{样品含金量}{实际体积}=\frac{0.0008}{0.0035}=0.228g/m^3。$$

从上面用两种不同的体积计算品位分析，可以看出，用理论体积计算品位，会扩大品位的失真度。如第一种情况，实际品位是0.4g／m^3，理论品位则是0.28g／m^3。第二种情况，实际品位0.228g／m^3，理论品位则是0.32g／m^3。这说明用理论体积计算样品品位，随着岩心采取率的变化程度不同，品位变化也不同。钻探过程中，岩心采取率的变化，是不可避免的。而用实际体积计算样品品位，虽然会受样品含水多少、松散系数大小等影响，体积误差会很小，不会随着岩心采取率的变化而变化。特殊情况则另当别论。

四、实际体积的测量方法

1.测量工具

量筒：用白铁皮或薄钢板制做，内径与套管内径一致，上下端都开口，为了受样方便，上口做一漏斗形喇叭口与量筒连接为一体，量筒高0.6m（漏斗高除外）。

量尺：可用一般的钢尺或塑料尺，长度截成与量筒一致。

量筒座盆：用一般洗脸盆大小的金属平底盆即可。

接样盆：用一般样品淘洗簸箕或金属撮箕。

2.测量方法

取样前，将量筒立在量筒座盆里，把取样器中的样品倒入接样盆，再端接样盆倒进量筒。注意先将较大块的砾石用手扒入量筒，并有计划地扒入较细粒泥砂，使进入量筒样品达到正常松散程度。一个样品可能要几次取完，每样最后一次取出后要认真清洗取样器和接样盆，避免上个样品的金带入下个样品。然后将量筒内的样品顶面扒平，用量尺测量样柱高，方法见图7。

五、结束语

写这篇文章感到遗憾的是没有找到一份较为完整的砂金地质勘探资料，多数地质报告书上部规定了岩心采取率范围，而实际报告附件中没有岩心采取率的基础数据，因此本文缺少实例。只能提出粗浅的想法和认识，希望地质部门，做一些试验研究，特别是已经用实际样品体积计算品位的单位，写出更好的论文，为扭转地质工作上不合理的传统习惯，为我国黄金事业，做出更大的贡献。

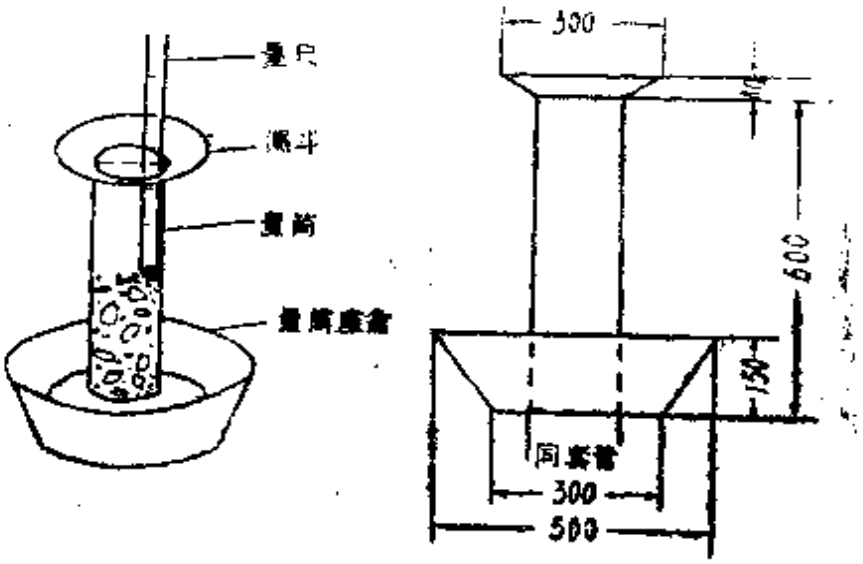


图7

选自《金矿参考资料汇编》第七集（1982）

试论东北北部地区砂金矿勘探中的若干问题

刘学思　　尤思沛

（黑龙江省冶金地质勘探公司研究所）　（中国人民解放军00513部队）

砂金矿是黄金生产的一个重要组成部分。东北北部是我国著名的砂金产区，采金历史悠久。60年代前期进入大规模的普查勘探阶段，后因十年动乱，迫使砂金勘探工作止步不前，70年代后期至现在，这一工作又跨入兴盛时期，为四化建设提供了大量的黄金生产建设的资源基地。本文系综合这些年的砂金矿勘探资料和一部分开采验证资料，结合笔者在勘探工作中的实践和认识，论述一下本区砂金勘探中的若干问题。不当之处，望予指正。

本区砂金矿主要是现代河谷砂矿，其次是阶地砂矿，其它类型砂矿也有发现，但规模小，投入工作不多，工业意义不大，本文不予论述。大型和中型的河谷砂金矿床，长度可达几公里至十几公里，个别达数十公里，宽几十米至几百米，冲积层厚4—10 m，个别达20余m。砂金主要赋存于冲积层底部的砾石层或砂砾层中，厚0.5—1.5m。在北纬50°以北地区，砂金矿层有多年冻土，给开采工作带来一些困难。

一、河谷型砂金矿床的勘探类型和勘探网度

砂金矿床勘探类型的划分，主要依据下列几个因素：矿层的形态变化，规模大小，厚度的稳定性，砂金分布的均匀性，矿层

表1　　河谷型砂金矿床勘探类型划分表

勘探类型	矿床形态	矿床规模				矿层基岩面纵向坡度(‰)	矿层含砾情况	砂金分布均匀程度			矿床类型	矿床实例
		矿体长度(km)	矿体宽度(m)	矿体厚度(m)	宽度变化系数(%)			均匀性	砂金粒度	品位变化系数(%)		
Ⅰ	矿体连续形态稳定	>8	40—700	6—20	<50	坡度平缓小于10	砾石直径小于10cm	分布均匀	主要为小于0.5mm金粒	60—80	大型河谷砂矿，大型阶地砂矿	C矿一号矿体长46km。H矿矿体长15km。X矿矿体长18km C、L矿矿体长8.8km
Ⅱ	矿体连续形态稳定不定	3—8	40—300	3—6	50—80	坡度较平缓10—17	含少量大于10cm砾石	分布不均匀	大于0.5mm金粒占重量30—50%	80—150	中型河谷砂矿，中型阶地砂矿	S矿矿体长4.3km。C、P矿矿体长5.1km
Ⅲ	矿体不连续形态不稳定	<3	10—30	<3	80—100	坡度较大大于20	含很多大于10cm砾石，并有大漂砾	分布不均匀至极不均匀	大于0.5mm金粒占重量50%以上，含少量块金	<150	细谷砂矿	A矿矿体长小于3km

表2　　各勘探类型勘探网度

勘探类型	勘探网间距（m）			
	B级		C级	
	线距	工程距	线距	工程距
Ⅰ	400	40	800	40
Ⅱ	200	20	400	20—40
Ⅲ	100	10—20	200	20

下伏基岩面的产状等。总结本区已勘探的矿床资料，在已往划分的勘探类型基础上，根据上述因素的定量数据，将河谷型砂金矿床划分为三个勘探类型，详见表1。并综合上述勘探类型的矿床实例资料，确定基本勘探网度如表2。

河谷型砂金矿床分布于山间河谷的主谷和支谷中。主谷砂金矿床规模大，连续延长几公里至数十公里，为大型或中型砂矿，属于第一或第二勘探类型。支谷砂金矿床，规模小，为小型或中型砂矿，多属于第三或第二勘探类型。第一、第二勘探类型主矿体以外的从属矿体，其网度应视规模而定，不应与主矿体一致。

表1所列第一勘探类型的实例矿床，当时勘探C级储量曾采用400×40m的网度，经过网度验算，800×40m网度也可以求出C级储量。表2所列乃是基本网度、遇到矿体形态和产状变化处应适当加密线距或点距。出现下列几种情况之一，便可以判断对矿体形态控制不足：

（1）从剖面图上观察是否将不同成因类型的矿体划为一个矿体。如隐伏的阶地砂矿与河谷砂矿连在一起，野外施工出现两孔间基岩面标高相差较大，或冲积层厚度突变较大，都应于其间加密钻孔控制；

(2) 相邻勘探线所控制的矿体不在同一地貌单元上，或不是同一类型矿床者，应加密勘探线控制；

(3) 相邻勘探线所控矿体宽度突然变化很大，二者相比大于四倍以上者，应在其间加密勘探线；

(4) 相邻勘探线的矿体分支较多，可以多方案连图者，应于其间加密勘探线，并在矿与非矿钻孔之间加密钻孔；

(5) 主谷矿体与支谷矿体汇合处，两者基岩面起伏大或矿体分支突变，应于其间加密勘探线和钻孔；

(6) 河谷弯曲，矿体亦随之弯曲。矿体界线要按河谷地貌采用折线相连，须加密勘探线确定矿体转向位置。

关于检查各级勘探网度控制矿体的程度，可以采用稀空法等进行验算。

二、探讨采用开采品位修正系数（或开采储量修正系数）修正勘探品位和储量

多年来采用恩派尔式砂钻（同班加钻）勘探含砾石不大的砂金矿床，所取得的资料基本满足了矿山生产建设的需要。但是，也必须看到采金船或水枪开采得出的矿体(或矿块)品位都高出勘探查明的品位，有的可达一倍、两倍甚至三倍。详见表3。采选回收的砂金粒度与勘探取得的砂金粒度相比，前者大金粒多，后者少，详见表4和表5。

造成勘探品位低于开采品位的原因，既有矿床因素，也有勘探手段的因素。砂金在各类型的矿床中不但分布不均匀，而且砂金颗粒度也相差悬殊，从第一勘探类型到第三勘探类型，品位变化系数顺次增大。砂钻口径为103—107mm，取样效能低，贫化岩心品位。

表3　各矿区勘探品位与采金船开采品位对比表

矿　区	勘探品位 (g/m^3)	采选品位 (g/m^3)	品位误差系数	勘探单位	备　注
N　矿	0.2505	0.415	1.67	地质4队	
X、N矿	0.111	0.417	3.75	冶金地质705队	本文划为Ⅰ勘探类型
F　矿	0.134	0.257	1.91	00513部队	本文划为Ⅰ勘探类型
X　矿	0.3103	0.473	1.53	地质5队	〃
S　矿	0.270	0.404	1.50	冶金地质701队	〃
F　矿	0.192	0.308	1.61	冶金地质705队	〃
H　矿	0.271	0.414	1.52	地质4队	〃

表4　H矿区勘探品位与开采品位对比表

采金船	勘探品位 (g/m^3)	入选品位 (g/m^3)	品位误差系数	勘探类型	勘探单位
A	0.3325	0.532	1.6	Ⅰ	地质5队
B	0.2662	0.457	1.72	Ⅰ	〃
C	0.23	0.446	1.92	Ⅰ	冶金地质705队
D	0.192	0.308	1.61	Ⅰ	生产勘探

表5列出，采金船回收的金粒大于20目（国际标准孔径为0.8 mm）占总重量55.2%，而勘探的样品中金粒大于0.5mm的占总重量34.55%。显而易见，砂钻取上来的金粒里大粒少，反映抽筒取样效能差，贫化了品位。为了较准确地查明矿体的品位

表5　H矿采金船选收砂金筛析表（1980年）

采金船	大于20目砂金重量（g）	小于20目砂金重量（g）	备　注
A	456.5	287.5	
A	190.4	114.5	
B	221.5	48	
B	281	107	
C	15	68.5	回采尾砂
A	570	373	
A	674	369.5	
B	116	23	
D	106.5	243.5	回采尾砂
B	149	63	
A	482	605	
D	48	317	回采尾砂
E	16	60	回采尾砂
合　计	3305.9	2679.5	

表6　H矿勘探样品砂金筛析表

金粒直径（mm）	样品粒度百分比	备　注
>1	7.45	
1—0.5	27.13	
0.5—0.25	37.61	
0.25—0.1	26.88	
<0.1	0.97	

和规模，正确评价其工业价值，对于砂钻勘探的矿体，应当综合各类型矿床开采与勘探的品位对比资料，制定出同类型矿床的开

表7　砂钻勘探矿体的开采品位修正系数建议方案

勘探类型	勘　探　手　段	C级网度（m）	修正系数	备　注
Ⅰ	小口径恩派尔砂钻（班加钻）	800×40	1.2	
Ⅱ	〃	400×20	1.4	
Ⅲ	〃	200×20	1.6	

采品位系数，以此修正矿体的勘探品位和储量。国外也曾提出过这方面意见。目前H矿根据本矿区勘探开采品位的对比资料，提出品位修正系数，修正矿体的品位和储量，据以编制生产计划，收到较好的效果。

表3列出的品位误差系数，第二勘探类型为1.50—1.9，第三勘探类型为3.75，虽然目前积累的勘采对比资料还不多，然而，也可以提出一个试行方案。为此，参照表3资料，按矿床勘探类型提出开采品位修正系数（或储量修正系数）的建议方案，如表7。

对于表外矿体，按此道理，也可以采用开采品位修正系数修正品位和储量。然而，目前尚缺少这方面的开采对比资料，有待矿山部门试采表外矿体，提出验证资料。

三、提高砂钻取样效能，准确计算钻孔混合砂品位

分析开采品位大于勘探品位的诸因素中，砂钻采样效能差，乃是贫化品位的一个重要原因。在目前采用砂钻勘探的条件下，应当想办法提高取样质量，取净孔内的金粒，并合理地确定钻孔岩心理想体积，方能较准确地计算混合砂品位。

（1）**采用钻头内径计算岩心断面** 计算岩心理想体积断面有两种方法，一是采用钻头内径；二是采用钻头中径，何者为宜，应从钻进含金砂砾层的机制上进行分析判断。砂金赋存于砂砾层或砾石层中，套管钻进此层，频频受阻，卡套管前端的砾石，难免有的挤出管外；大砾石卡住套管，下扁铲（一字形钻头）冲击，击不碎也要挤出管外；套管内砾石的直径大于抽筒下部阀口时，受抽筒冲击也得挤出套管外；这样不仅有少量的岩心外移，而且也波及到赋存于其中的砂金。由此可见，用钻头内径计算岩心的理论断面较用中径计算的更近于实际。因此，应当采用钻头内径计算岩心断面。在钻进过程中钻头不断冲击砾石，其口径难免变形，因此，开孔和终孔时都应测一次口径，两者不同时，取其平均值。

（2）**正确确定混合砂层的底面界线** 采金船以露天采矿法开采砂金矿。由于砂金主要赋存在冲积层底部砾石层或砂砾层中，并且基岩面凹洼处和裂隙中也常充填金粒，所以采金船要对含金冲积层进行全部开采，风化的基岩也要挖到10—20cm，尽量采尽金粒。工业指标中的混合砂品位即系根据这种采矿方法而规定的。勘探部门有的人对此还理解不够，在确定混合砂层的底面界线上，有的以钻孔最后见金样品下限为界，也有的以最后一个样品含金在天平（1／10万）上有感量者，以其下限划定，这些作法都是不符合地质规律和开采要求的。固体矿床钻取的岩心能正确反映出其空间位置。砂钻取样工具促使砂金下移，导致基岩面上的砂金钻到基岩内去取，而且也不一定取净。探井检查看到有的钻孔钻进基岩1.5m，因此，只靠砂钻提供的见金位置划定混合砂底面界线，显然是不对的。应当以矿床的地质规律为主，结合矿山开采需要进行正确划定。河谷砂金矿的基岩面上伏有一层与基岩岩性相同的次棱角状砾石、风化砂、粘土和不同岩性的砾石等组成的碎石层，含砂金较多；与其上覆的含金砾石层共同构

成砂金矿的主体。基岩面上有时见到少量或微量金粒。这层碎石层的底界面（也就是基岩的上界面）。即是混合砂层的底部界面。基岩表面裂隙有时沉积充填金粒，但基岩本身并不含有砂金。为此，应将基岩中取出的砂金纳入上覆混合砂层中去，算作混合砂层的金。

（3）提高砂钻采样质量，取净孔内砂金 取净钻孔内的砂金，是正确确定混合砂品位的基础。当砂钻进尺到基岩面时，抽净岩心，然后要用扁铲冲碎基岩进行取样，钻进10—20cm，最后两次取样淘洗不见金时，方可闭孔。或者钻进基岩后先用抽筒采净岩心，然后用粘泥钻头（粘泥放在取样筒前端）粘取残屑和残金，直至取净残屑，且最后两次粘样淘洗不见金，方可终孔。如果基岩表面部分风化松软，当钻到基岩面时，首先取净孔内岩心，然后打套管钉入基岩20cm，使岩心封住套管下口，起出套管，进行采样，就能更可靠地取净孔内金粒。

如果作到孔内取净金，淘洗全部回收金，称重不丢金，确定的岩心理论体积又接近实际，即可较准确的计算钻孔混合砂品位。

四、探井的利用问题

苏联砂金储量规范规定，采用小口径恩派尔式砂钻勘探砂金矿床，要采用探井检查钻孔成果，并做出品位检查系数（或工程检查系数）修正钻探品位；且探井数占孔数的5—10%。本区初期勘探投入了大量的检查探井，用以检查钻孔成果资料，并采取采矿和选矿所需的技术样品。表8 列出几个矿区的品位检查系数。

从探井检查钻孔品位资料看，品位差值波动较大，既有正差也有负差，赋存多年冻土的矿区负差多些。每一个矿区并不存在系统的正差值或负差值，皆系随机变量。究其原因，多为矿体中

表8　探井检查钻孔的品位检查系数表

矿区	探井			品位检查系数	备注
	总数	品位高于钻孔井数	品位低于钻孔井数		
L矿	24	14	10	0.17—2.45	
S矿	7	4	3	0.45—2.18	
H矿	38	30	8	0.05—17.40	
Y矿	20	4	16	0.24—3.78	矿区发育多年冻土
H矿	19	7	12	0.305—1.87	〃
X矿	31	5	26	0.21—1.98	〃
G矿	35	6	29	0.10—1.64	〃

砂金分布不均匀所造成。呼玛曾打过相距1—2m的两个探井（一个为检查井，另一个为大样井），其品位相比达1—2倍。石头河子矿区，为检查钻孔品位，除了在孔位上掘进探井外，还以该孔为中心，在二米半径的圆周上等距施工六个钻孔，研究多孔代替检查井和了解砂金分布的均匀性。所得资料见表9。

表9　多孔和探井检查钻孔品位表

工程名称	品位（g/m³）	七个孔的平均品位（g／m³）	备注
被检查孔	0.183		
检查孔	0.336		
〃	0.379		
〃	0.193		
〃	0.014		
〃	0.062		
〃	0.473	0.236	
检查井	0.211		

七个钻孔控制的面积为12.57m²，品位变化范围0.014—0.473g／m³，二者之比高达33.7倍，显示砂金分布是不均匀的。但是七个孔平均品位为0.236g／m³，检查探井品位为0.21g／m³，相差不大，看来多孔是可以代替探井检查钻孔品位的。上述两者也反映出统计抽样越多，其平均品位（中值）越趋近于实际，证明砂金分布不均匀，具有随机变量性质。

检查井的规格不一，沉筒法为2m直径，坑木支护法为1.2×1.8m或1.5×1.1m（冻土区）。井内取样柱断面规格为0.5×0.5m的方柱或直径0.564m的圆柱，其断面面积相当于28个钻孔的内径断面积，在相同的条件下其品位相当于28个钻孔品位的平均值，探井的品位与其中任何一个钻孔品位相比，理所当然的要出现正差或负差。

探井品位检查系数的变化与矿体的品位变化系数有着正相关的关系。H、O矿的三个矿体，作了这方面的对比工作，详见表10。本区探井的厚度检查系数变化幅度小，井与孔所见厚度基本一致，所以探井的工程检查系数也就相当于品位检查系数。

表10　矿体品位变化系数与探井工程检查系数表

矿体号	矿体品位变化系数	工程检查系数			备注
		最大	最小	变化幅度	
A	95.24	0.305	1.751	1.441	
B	72.35	0.389	1.166	0.777	
C	59.33	0.714	1.410	0.698	

表10虽然统计了三个矿体，数量少，依据不充分，但也显示出矿体品位变化系数与探井品位检查系数的幅度，有共消长的趋势。

综上所述，必然导出采井的品位检查系数不能够修正钻孔品

位的结论，因此勿须为此目的而施工探井。然而，值得注意的是苏联砂金矿规范要作出探井品位检查系数可以修正钻孔品位的规定呢？苏联东北部地区采用掘土机和扒土机等手段挖探沟和挖采坑，勘探埋深小于6m，比较平稳的砂金矿床。探沟所获得的砂金品位比冲击钻勘探的高达2—3倍。看来，我们在探井方面还存在取样规格小，取样质量低等影响品位的问题。珲春施工的检查井，对含金砾石层进行全巷法取样，对底部基岩挖进20cm，用粘泥粘净井底基岩碎屑，淘洗至不见金为止；施工38个探井有30个为正差，8个为负差，此与上述各矿区探井相比，显然可以看出，探井质量方面还是存在一些问题。

在目前施工条件下的探井起不到校正钻孔品位的作用，这个作用应由开采和勘探相比的品位修正系数来解决。探井应当解决的任务为：

（1）研究松散层的物质成分、结构构造；

（2）检查松散层和基岩的界线，基岩的性质；

（3）研究含金层的特征；

（4）采取采矿技术样品、选矿加工技术样品及水文地质资料，等等。

按此要求，在矿体内选择有代表性的部位可以布置少量探井，如对大型矿体沿走向布设3—4个；中型矿体布设2—3个，也就可以解决上述问题。

五、砂金矿旧采区的勘探

（1）**旧采区赋存工业矿体** 北部地区很多水系都分布有砂金矿，开采历史较早，手工开采的旧采迹遍布于山川河谷。由于手工开采缺乏排水设备和支护条件，在旧采区残留下大量的矿块；又因选矿效能低，尾砂中遗留下大量的砂金。况且手工开采都是

选择富矿块开采，残留的矿块一般情况下也够开采品位。这些旧采区利用采金船或水枪等机械设备开采，仍不失其工业意义。

某金矿局有一半的采金船在旧采区生产，旧采区的开采产量和矿石入选品位也不亚于未采区(详见表11)。旧采（包括部分未采区）的勘探成果也表明，它仍赋存着工业矿体（表12）。

表11　采金船在旧采区与未采区生产的入选品位对比表

生产区	采金船入选品位（g／m³）							
	50l间断斗	50l连续斗	100l连续斗	150l连续斗	A	B	C	D
旧采区	0.51	0.30	0.31	0.40	0.49	0.34	0.36	0.25
未采区	0.45	0.41	0.47	0.34	0.45	0.45	0.31	0.45

（2）旧采区的勘探　手工开采的旧采区原是砂金富集的矿体地段，根据落后的手工采选方法推断采出的砂金量也仅占原矿床的20—30%。因此，对旧采区可以直接投入勘探工作。勘探工程的布置基本上按相同勘探类型矿床的线距处理，孔距可以稀一些。

垂直矿体走向布设勘探线控制矿体形态，在形态变化大的部位应加密线距。在勘探线上由采迹向外以20—40m孔距布设钻孔，查清矿体边界线位置；旧采区内的钻孔应当布置在尾砂堆的斜坡底上（布设在尾砂堆顶部，人为增加混合砂的厚度。）或残留矿块上。根据采迹的宽窄，采用20—60m孔距沿勘探线或勘探线两侧布设钻孔，然后将钻孔投影到勘探线剖面图上。采用地质块段法计算储量，对布设在尾砂堆上的钻孔，其品位和厚度的计算可以不用松散系数校正。

由旧采区为主的中、大型矿体，可选择区内能反映矿层组成

特征的孔位施工1—2探井，了解矿层地质特征，采取开采和选矿的测试样品及水文地质资料。其它勘探工作与未开采区矿床相同。

表12 旧采区矿体勘探成果表

矿区	矿体号	矿体的平均品位(g／m³)
G	Ⅳ-1	0.280
	Ⅰ	0.229
	Ⅳ	0.194
GL	Ⅰ	0.304
	Ⅱ	0.228
	Ⅱ	0.202

关于旧采区的工业指标与未开采区矿床不同。它比未采区具有较好的采选条件，如矿层松散、冻土融化、含泥量低，可以提高采矿效率和选矿效果，降低采选费用，因此，其工业指标应比未采矿床低10—20%，最好进行试算确定。

六、关于砂钻的岩心采取率

勘探砂金矿床的砂钻岩心采取率很不稳定。因而产生砂钻是否规定采取率，规定多少适宜等问题。

固体矿床规定岩心采取率是为了提高地质效果，规定砂钻采取率是否也能提高地质效果？这个问题要从砂钻钻进过程进行分析，找出采取率增大和减少的原因及其对品位影响程度，才能提出正确的认识。河谷冲积层一般由表土层，含粘土砂层、砂层、砂砾层（或粘土砂砾层）、砾石层和碎石层等组成。当钻进含水砂层，有时孔内发生涌砂，大量细砂涌入套管内，造成岩心增大；

当钻进含泥砂层（或含泥砂砾层）时，泥土溶于孔内水中，造成岩心减少；当钻进砾石层，少量大砾石挤出套管外，也易造成岩心减少。孔内涌砂的砂层含少量毛毛金，岩心增多带来的金量甚微；含粘土砂层的粘土溶于水时，岩心含金量不发生变化；砂砾层的砾石有少量挤出管外，岩心的含金量可能有微量甚至少量减少。由此可见，主要含金层岩心采取率降低将造成孔内含金量减少，无论采用实测岩心体积法或理论体积法计算钻孔品位，都要贫化钻孔品位。因此，必须规定岩心采取率，减少由此而造成的品位误差。

岩心采取率规定多少适宜，也应根据砂金在河冲积层内分布特点及影响采取率的因素等进行分析确定。砂金主要赋存于冲积层底部的碎石层、砂砾层或含粘土砾石层中，这些层统称为主要含金层，其厚度占冲积层厚度25—50%。如果主要含金层岩心采取率过低，就将贫化钻孔的品位，所以要规定岩心采取率的下限。按金属固体矿床岩心采取率的要求，规定砂钻岩心采取率的下限为70%是适宜的。主要含金层之上的砂层或含粘土砂层，含金微少，孔内涌砂都是在此层内发生，为此应当规定岩心采取率的上限。按上述原则规定采取率的上限为130%。表土层不含金，不作采取率的要求。综上所述，砂钻勘探砂金矿床的岩心体积采取率规定70—130为宜。可以采用注水（砂层注水松散系数<1.08）加震测定岩心体积，不做松散系数修正。岩心理论体积采用钻头内径断面计算。

七、关于砂金矿工业技术经济指标的运用

砂金矿床有两种开采方式，即地下开采和露天开采。地下开采的工业指标内容及其运用与固体矿床相同，不作赘述。本文着重叙述采金船与露天开采的砂金矿床工业指标的运用。

（1）关于圈定矿体的品位指标 河谷冲积砂金矿床的主要含金层赋存于冲积层的底部，采金船开采时，须将基岩面上的冲积层全部采出。基于这一开采特点，要求勘探钻孔计算出全孔混合砂品位，并以此为基础圈定矿体。每一矿化块段是矿或非矿都要用两个品位指标限定：一是边界品位；一是最低工业品位（最低可采品位）。即单工程达到边界品位，块段达到最低工业品位是表内矿，达不到最低工业品位为表外矿。

1）边界品位 边界品位就是矿体下限品位。钻孔混合砂品位达到边界品位者，该孔即达到表内矿体（或表外矿）下限量，它在矿体边部可以圈定矿体边界线，在矿体内部可以参加矿块最低工业品位计算。

2）最低工业品位 最低工业品位又称最低可采品位。顾名思义，它是可采品位的下限，也就是工业品位的下限，矿块达到该品位就有开采经济效益，否则就要亏损。当前在理解和运用这一指标方面还有分歧意见，笔者在参加几个矿区砂金矿勘探报告会审过程中，看到矿山部门或上级主管部门下达的矿体工业技术经济指标中，对矿山开采所需最低工业品位的指标提法不一。如连续矿体混合砂最低工业品位；矿块最低工业品位；最低可采品位等等。地质部门不考虑矿山开采利用的可行性，仅从各自理解的指标概念出发，将不够该指标要求的表外矿也圈为矿体，这是不合理的。有的地质部门运用“连续矿体混合砂最低工业品位”指标，将各相邻勘探线上大于边界品位的钻孔沿矿体走向连成一大片，计算平均品位，达到连续矿体混合砂最低工业品位即划为矿体；否则舍掉两端勘探线上边界品位钻孔，直至达到最低工业品位后划为矿体。这种“大锅饭”式大平均品位圈定矿体的作法势必将一些表外矿体划为表内矿体，导致矿山开采生产不平衡，出现有的年份开采表外矿块造成亏损；有的年份开采表内矿块，就有收益。一条中型或大型矿体可以开采几年，甚至十几年，须

要这样长的生产周期方能作到收支相抵。仅从这一点便可以看出这种连矿体的方法，给生产带来多大的影响和后果。有的地质部门运用“块段混合砂最低工业品位”指标，将相邻两条勘探线边界品位以上钻孔圈为一个矿块计算平均品位，达到最低工业品位者划为表内矿块，达不到时舍去矿块边部钻孔，直至达到最低工业品位时划为表内矿，否则划为表外矿。这种作法也不合乎工业要求，它可能将一条勘探线上为表内矿，而另一条线上为表外矿，加在一起平均品位达到最低工业品位者划为表内矿块。第一、二勘探类型矿床，用800m、400m线距求C级储量，采金船在这样圈定的矿块上开采，必然导致长期采选不够工业品位的表外矿，产生经济亏损，造成生产的不平衡。由此可以看出，最低工业品位指标应当用于圈定勘探线上的矿体。勘探线上大于边界品位钻孔的平均品位达到最低工业品位者划为表内矿，否则划为表外矿。然后，在矿体平面图上将相邻勘探线上同一矿床类型的表内矿和表外矿对应相连，这样圈出的矿体，才能连续地达到最低工业品位指标要求。满足矿山生产的需要。

3）*夹石剔除宽度*　在勘探剖面图上圈定矿体，遇到矿体中间有单孔或相邻多孔低于边界品位，而其宽度又等于或大于夹石剔除宽度者，应作夹石剔除。如果矿体内不够边界品位钻孔与相邻钻孔平均品位达到最低工业品位者，可以不剔除。在矿体平面图上，相邻勘探线对应位置也有夹石时，可以对应相连，否则将夹石外推到勘探线间距一半，作楔形尖灭。

（2）**采金船通道**　在一矿区，不但有主矿体，也常有从属矿体。采金船既要采主矿体、又要在技术经济可行的条件下采从属矿体。采金船从主矿体到从属矿体须要在无矿地段挖一条通道，采金船挖通道不回收砂金，通道砂石量（品位为零）加入主矿体和从属矿体的矿石量中去，以总矿石量除主矿体与从属矿体的砂金总重量，得出的平均品位必须等于或大于最低工业品位，

而挖通道时间不超过一个季度或半年者，可以采从属矿体。不同斗容量的采金船所需通道规格不同，中、小型采金船通道宽为40m，深4m。

（3）矿砂量 根据采金船的斗容量不同，按最少服务年限确定矿体的矿砂量下限。在同一矿区除主矿体外，从属矿体可以挖通道开采者，可以合并计算矿砂量。有关采金船最低服务年限的矿砂量，可参考表13。

表13 满足采金船最低服务年限的矿砂量（百万m^3）

斗容（l）	50—100	150	210	250	380	600
矿砂储量（百万m^3）	正常深挖式采金船					
	0.5—3	3—5	12—5	12—15	18—23	
	深挖式采金船					
					18—23	30

八、探讨钻孔混合砂特高品位

特高品位是风暴式的品位，是超出一般高品位的特高品位，它对计算矿体品位和储量都有很大的影响，因此，产生了处理特高品位的问题。砂金矿勘探也常遇到这样问题，如何处理它，认识上不统一，作法上也不一致。笔者就此提出一些探讨的意见。

“一步三换土，隔石不采金”，开采实践表明砂金分布是不均匀或很不均匀的，采矿遇到小富矿囊，规模也很小。从砂金成矿机制分析，它在沉积分异过程中也难于形成富矿巢。从统计抽样的角度出发，矿体上每个钻孔品位（包括特高品位钻孔）出现的频率，都在一定程度上反映了该品位在总体上出现的频率，是真实存在的，它应与其它钻孔品位一起参加储量计算。前已述

及，开采品位高于勘探品位1.5—3.75倍。即或特高品位增大了矿体品位和储量，但与矿体的开采品位和储量相比还有差距，采用特高品位还可以使矿体品位和储量更接近于实际些，因此，砂金矿体就不应当处理特高品位。然而，也应看到特高品位给矿块品位和储量带来的影响。如某矿有个钻孔混合砂品位7g／m^3 多，比矿体品位高出20多倍，它所影响范围600×400m，计算出1t多砂金量。显然在该孔所控范围内砂金不能都是这样富，不能有那么多储量，这样就给开采计划安排上带来不利的影响，因此，还应当在矿块上处理特高品位。为使矿体储量接近于实际，在矿块处理特高品位后所减少的储量，应当加到矿体储量中去。

(1) 如何确定特高品位下限值 在处理固体矿床特高品位方面，B.N.斯米尔诺夫将山金划为有用组份分布很不均匀的矿床，按其品位变化系数100—150，确定高出平均品位12—15倍的样品为特高品位，沃罗多莫夫按下列计算公式确定一般品位的最高值，或特高品位的下限值：

$$H = C + \frac{C\ (N-1)\ M}{100} \qquad M = \frac{C - C_1}{C} \times 100$$

H：一般品位的最高值或特高品位的下限值；

N：参加计算的样品数目（包括特高品位）；

C：去掉特高品位的平均品位；

M：特高品位对平均品位的影响（使平均品位增高的百分数）。

砂金矿利用固体矿床处理特高品位的方法是否适宜呢？可以进行探讨。第一勘探类型的K矿有一个孔品位为3.69g／m^3，有1560粒金；另有一个孔品位2.51g／m^3，有100粒金；还有一个孔品位1.38g／m^3，有900粒金。它是由细粒金组成的小富矿囊可以采用固体矿床确定特高品位下限值的方法。第三勘探类型及部分第二勘探类型矿床，由粗粒金或块金造成的特高品位，可以

采用“自然金块法”确定特高品位。

关于确定“自然金块”的方法，斯米尔诺夫有所论述。笔者认为可以采用砂金粒度分级法确定各矿区的“自然金块”。首先将钻孔混合砂品位大于最低工业品位15倍的钻孔，进行粒度分级，粒级按等差级数划分，过28目筛，由1mm开始用1mm差距划分粒级。然后综合起各孔粒级资料，观察砂金粒级是否连续，有无间断，如果有的粒级没有砂金，形成间断，则比它大的粒级砂金粒，就是偶然出现的金粒，作为“自然金块”处理。

（2）处理特高品位

1）野外施工处理。在勘探过程中钻孔岩心见到本区少见的大金粒，或见到特别多的细小金粒，可送急样称重，计算品位，如果混合砂品位大于最低工业品位15倍时，可沿垂直勘探线方向，在高品位孔两侧相距20—40m处各施工一孔，取样计算品位，然后以三个孔的平均品位代替原孔的高品位。

2）利用类比法或计算法以及“自然金块”法确定的特高品位，要以该孔所在勘探线的矿块平均品位（包括特高品位钻孔）代替特高品位，然后重新计算矿块的平均品位和储量。

进行特高品位处理后的矿块，比处理前所减少的储量，应加入矿体的总储量中去，使矿体的储量接近于实际。

九、两点建议

开采品位高于勘探品位，其原因有多种，如取样工具、淘洗、称重、都可能贫化品位而主要的是恩派尔砂钻孔径小取样效能差。应当采用大口径砂钻勘探砂金矿，并改革取样工具，如取砂层样品可用勺形抓斗，采砾石层用勺式抓斗，采取基岩面上的砂金，改用有效的工具，采净金，方能得到准确的品位。如果采用大型机械挖坑、挖沟勘探砂金矿，效果更能好些。

砂钻贫化钻孔品位，使得一些品位较低的矿体降为表外，得不到开发利用，为此，建议矿山可以对表外进行试采。提供探采对比资料，以便研究表外矿的开采利用。

本文参阅和引用了各矿的勘探报告和矿山开采资料，以及万长德、戴维道两位工程师的文章资料，仅此致谢。

选自《金矿参考资料汇编》第七集（1982）

黑龙江省北部砂金矿多年冻土勘探方法的探讨

乔喜祥

（黑龙江省冶金地质勘探公司）

前　言

黑龙江省位于祖国的东北部，是我国纬度最高区。黑龙江环绕在最北边陲，其支流遍布于大小兴安岭之中 在这些大小河流流经地带，蕴藏着丰富的砂金资源。但是大部分地区由于多年冻土的存在，严重影响砂金矿资源的开发利用，研究多年冻土的成因、特征、动态变化规律及其处理方法，就成为砂金矿勘探迫切解决的课题。本文根据黑龙江省北部主要砂金矿多年冻土勘探资料，并考察了黑河金矿局、黑河采金船设计院对处理多年冻土的经验以及对勘探多年冻土的要求，结合实际工作中的体会，就多年冻土的特征、勘探要求、勘探方法、冻土成因等，提出一些初步意见，与从事此项工作的同志讨论，目的在于提高多年冻土区砂金矿勘探效果，促进砂金矿资源的开发利用。

由于时间仓促，水平有限，不当之处请批评指正。

一、多年冻土对开采砂金矿的影响

多年冻土的存在严重地影响着砂金矿的开采，尤其对先进的采金船开采更为明显，主要表现在：

1．降低开采效率 由于冻结的矿体十分紧密，有较高的强度，使采金船砂斗不能充分发挥作用。黑河金矿局对150l采金船现场调查表明：正常挖掘效率120－135m³／时，在冻土区只能达30—50m³／时，效率低2.7—4倍，有时达6倍。

2.浪费砂金矿资源 由于挖掘冻结砂矿困难，不仅提高了成本，还往往完不成金产量，常常抛弃冻结矿只采融化层，结果造成资源不能充分开采，在冻土分布面积大的地区，弃采的储量占有很大的比重。

3.影响选矿效果 挖掘冻结砂矿时，刚挖上来的冻块在筒筛内来不及碎散，就被当废砾排走。而筛下部分仍有小冻块被水冲走，致使不能有效的筛、洗、选矿，这样就大大地降低了金的回收率。

4.设备磨损严重 由于挖掘冻土阻力增大，超荷运转，使船身震动厉害，有时出现主驱动大轴和缆绳折断、大锚弯折，一付新挖斗不到一个生产周期就坏，全船其他设备都受到不同程度损坏，大大降低了采金船寿命。

5.增加了供水的困难 多年冻土将含水层全部或部分冻结，阻碍了地下水在空间上的联系，使富水性大大的减弱，纬度越高供水的难度就越大。

二、多年冻土的特征

多年冻土在地球上约占陆地面积26%，我国约占19—20%，我省处在北半球多年冻土的南缘，在大小兴安岭北部广泛分布多年冻土，约占我省面积的35%。

根据砂金矿勘探和矿山剥离多年冻土积累的资料，概括起来具有以下特征：

（1）多年冻土南部边界线基本和年平均气温0°C度线位置一

致，反映了我省多年冻土虽是由古气候变迁形成，但现代气候作用，尤其气温对冻土的影响十分重要（图1）。



图1　黑龙江省北部多年冻土分布示意图

1—平均0℃气温线；　2—冻土分区线；　3—片状冻土分布区；
4—带状冻土分布区；　5—岛状冻土分布区；　6—砂矿名称；
7—省会所在地

（2）多年冻土具有受纬度水平分带的特点，从南到北冻土的分布基本由岛状分布区过渡到带状分布区，最后到片状分布区。各区的一般特征见表1。

（3）多年冻土具有受高程和地貌形态控制的特点，大小兴安岭冻土分布南缘在北纬46—47°，而松嫩平原及黑龙江平原冻土分布南缘却深入到北纬48—49°，同一山脉的阴坡比阳坡发育，同一水系的上游比下游发育，河流的堆积岸比侵蚀岸发育。

（4）多年冻土分布与岩性关系密切，粘土和泥炭导热系数低，因而阻碍了太阳热辐射向下传递，致使多年冻土不易消融。而在砂砾石分布地段不仅导热系数高，而且导水能力也强（表2）。

表1　多年冻土分区与纬度关系比较表

分区名称	分布纬度	冻土所占面积比例%	冻土类型	厚度（m）	地温（°C）
岛状分布区	47°—50°	20—50	不衔接状多层状	2—4	0—-2
带状分布区	50°—52°	50—70	衔接状不衔接状	4—6	-2—-4
片状分布区	52°—53°36	70—100	衔接状	>6	<-4

因而易使多年冻土融化。如嘉阴河下游长山砂金矿区，地表为砂砾石地段均未见多年冻土。

表2　不同岩性热传导试验成果表

岩性	气温（°C）	试验深度（m）	地温（°C）	导热系数（千卡／米·时·度）
砂砾石	25	0.1	13—15	1.10—2.60
粘土、泥炭	25	0.1	0—2.5	0.21—0.86

不同岩性的热传导野外试验成果见表3。

表3　冻土剥离融化试验成果表

编号	剥离规格 面积（m^2）	剥离规格 深度（m）	岩性	试验时间	融化深度（m）	融化速度 厘米／日 最高	最低	平均
1	3×3	2	砂砾岩	1965·5·15—9·20	1.38	1.73	0.57	1.08
2	2×2	1	粘土	1965·5·7—9.20	0.79	1.08	0.28	0.58

（5）多年冻土的存在促成了河谷沼泽化的形成，这是因为冻结的含水层，使垂直排水受阻，因此在低洼地段便形成沼泽。在沼泽地又生长着独特的喜水低温植物群落。如在法别拉河、老沟等砂金矿区的多年冻土上部有水沼泽中生长高塔头、小叶樟、圆叶柳、笃斯，在无水沼泽生长节节草、无穗小叶樟等，因此可以利用多年冻土与沼泽地植物种属的关系，推测冻土的分布（图2）。

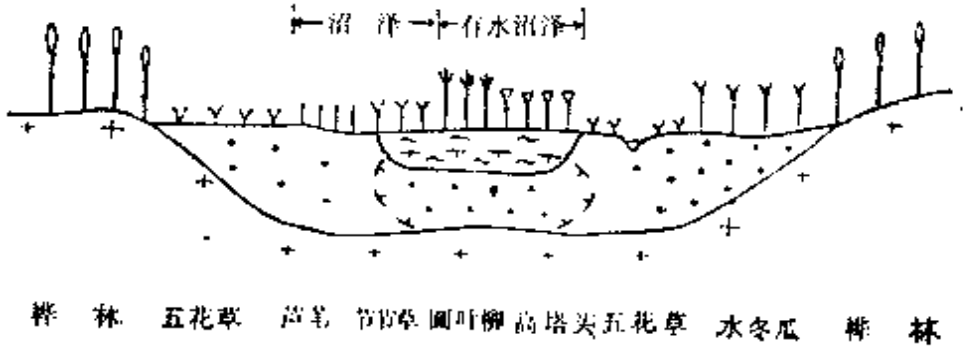


图2 地植物与冻土关系示意图

（6）多年冻土的地温较高，一般0——5°C，大部分地温－1——3°C。地温的变化规律：

1）由南向北地温越来越低。如罕达汽矿区地温接近0°C，呼玛兴隆沟矿区－3°C。

2）在纵向上水系上游地温低，下游地温高。如小渔河矿区地温在水平方向变化曲线充分说明了这一特点（图3）。

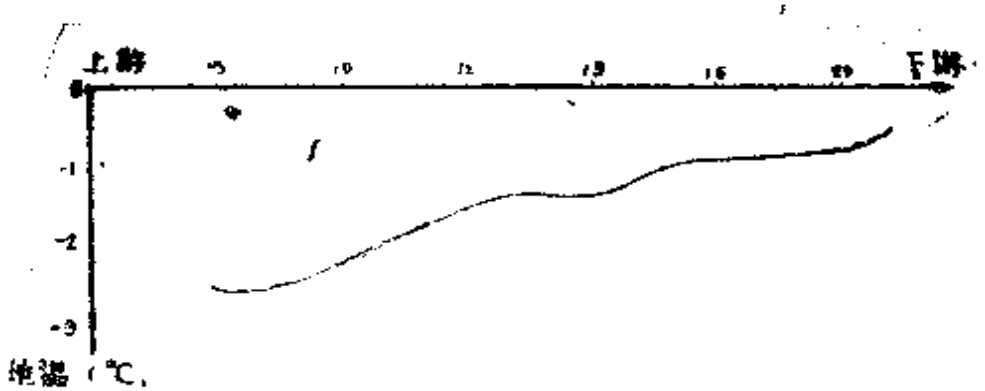


图3 地温在水平方向变化曲线图

3）在横向上冻土中心部位地温低，边缘部位地温高。

4）在垂直方向上，近地表地温高，1—3m范围地温最低，再向深部温度又逐渐增高（图3）。

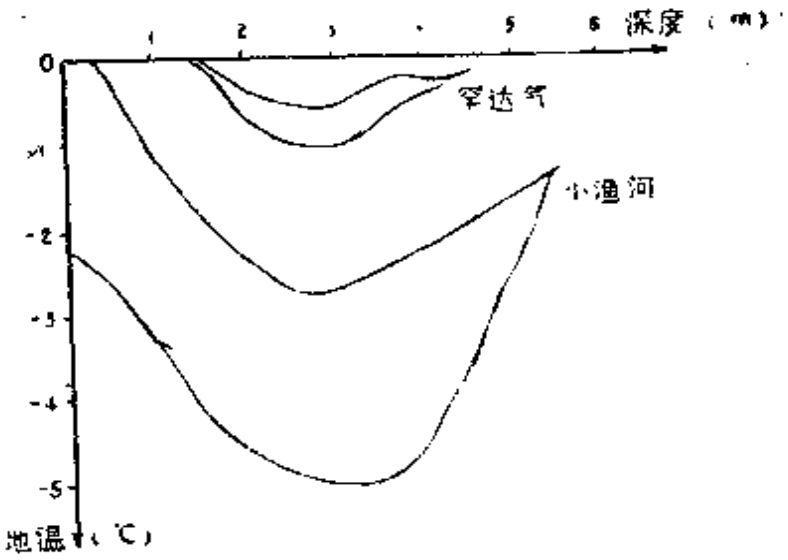


图4 地温在垂直深度变化曲线图

5）地温在不同季节随气温变化，并且在浅部变化幅度大，在深部变化幅度小，最大影响深度4—5m。

（7）多年冻土的含冰率一般10—20%，最高50%，最低2%。含冰率与岩性关系密切，粘土、泥炭含冰率高达30—50%，砂砾石含冰率则多小于10%以下。

（8）人为活动对冻土有明显的破坏作用，尤其采金船开采区和人工采金坑不仅破坏了地表植被、腐殖层、粘土覆盖层，使下部冻土失去了保温层，直接吸收太阳能；同时还直接破坏了部分冻土，并将地表暖水流导入地下，加速了冻土的融化。杜家河、五道河、韩家园子等过采区，在重新勘探时，均没有发现回冻现象。说明人为活动使冻土产生了明显退化。

三、多年冻土勘探要求

从满足采金船开采和露天水枪开采的技术要求，需要在勘探砂金矿时查明冻土下列问题：

（1）基本查明勘探区内冻土分布情况。在工业矿体上则要求准确划分出冻土面积，并按矿体号计算出冻土所占面积百分比。以便在开采之前对冻土防治提供可靠依据。

（2）冻土厚度及层数关系到冻土剥离深度及融化时间。要求在勘探区内基本查清冻土上下限和厚度。在工业矿体内则要求准确划分出季度冻土深度、多年冻土上限、下限、层数、厚度。并按矿体号计算出冻结矿石体积所占百分比。

（3）查明勘探区表层粘土、淤泥、泥炭分布范围及厚度。以便为优先剥离区段提供依据和指出不佳工程地质区。

（4）测定冻土含冰率，根据钻孔岩心冻土构造、冻层厚度，目估含冻率。在工业矿体内应利用探井，详细测定含冰率，因为含冰率直接关系到冻土融化所需要的热量。冰的溶融热达80卡/g，而比热只有1卡/g。因此含水率越高，其融化速度越慢，消耗的热量越多。

（5）冻土的温度关系到融化速度，也影响冻土强度。在工业矿体内通过系统测温和动态观测，查明不同深度、不同季节温度变化规律。

（6）冻土融化速度测定，勘探区如有冻土剥离场或有露天采矿场，可选一典型地段作融化速度观测。勘探期间也可在探井旁选2×2m剥离区作融化速度试验。

（7）冻土区水文地质条件复杂，尤其高纬度区，冻土分布面广，厚度大，寻找融区含水层十分困难。应查明多年冻土区地下水类型，评价可能作为供水的主要含水层富水程度。

四、多年冻土勘探方法

冻土勘探应采用航片解译、地表测绘、地植物调查、物探和砂钻等综合方法。相互配合，互为验证，才能取得最佳效果。

（1）航片解译 我省北部林区普遍有1/万—1/2.5万航片，为开展冻土调查提供了方便，从航片可准确地圈出地表水体、阶地、牛轭湖、洪积扇、坡积裙、沼泽、洼地。根据植被色调可大致确定岩性、含水量、水位埋深及冻土分布区。为地表测绘指明方向，可减少不必要的工作量。

（2）地表测绘 着重与冻土分布有关的河谷、洼地、沼泽、阶地、陡坎、河床由宽变窄，侵蚀岸与堆积岸等微地貌调查，在春季寻找冰丘、冰锥等地下水的直接标志。此外应研究与冻土有关的粘土、泥炭分布特点，以便为预测冻土分布提供依据。

（3）地植物法调查 根据植物的群落和群丛圈定冻土是行之有效的方法，在冻土区多生长低温植物；无穗小叶樟、节节草、高塔头草、圆叶柳及醉汉林。上述植物还具有春季发芽晚，秋季落叶早的特点。

地植物调查一般应垂直河谷，选择典型剖面配合地貌，第四系调查测量不同地植物生长处标高、岩性、地下水位、地表积水、地温及不同季节植物生长变化特点，采集植物标本，根据砂钻验证资料绘制植物生态系列与冻土分布剖面图。

（4）物探方法 物探是勘探冻土多快好省的方法。它能指导和减少勘探试验工作应在地表测绘后根据要查明的问题选择有效方法。一般应用电位差比法圈定冻土分布范围，配合激发极化法确定冻土上下限及厚度。

物探工作点线布置与地质勘探线原则相同，沿冻土变化最大

方向，部分与勘探线重合，并做孔旁测井，互为验证。

（5）洛阳铲探测 在航片解译、地表测绘、地植物调查和物探工作过程中，均可对预测冻土分布区使用洛阳铲探测，配合测温效果更好。洛阳铲探测深度一般2—3m，加绳可达3—5m。

（6）砂钻 砂钻是探明冻土的最直接方法，根据钻进的快慢，软硬、声响、配合岩心观察及手摸试温，将冻土的起止深度、层数记录下来，并依据8月份以后施工钻孔确定多年冻土上限。

对岩心检查着重组成冻土的岩石、矿物和颗粒成份，根据冰在冻土中的形状及其与岩石颗粒间排列形式，划分出网状构造冻土，层状构造冻土，接触状构造冻土，包裹状构造冻土。

根据冻土构造类型及冻层厚度，目估含冰率。根据季节冻土与多年冻土接触关系，划分出衔接状冻土、不衔接状冻土及多层状冻土。

对取出的冻土岩心，当即测温，对代表性钻孔应进行不同深度地温测定。

依据地下水在多年冻土中赋存空间，划分出冻结层上水、冻结层间水、冻结层下水。

（7）探井 探井主要是提供开采技术资料，同时也为研究冻土提供最直观最准确的方法。探井除了能完成砂钻取得的资料外，尚能提供下列测试工作：

1）系统测温，随着探井的施工，每掘进0.5m对冻土进行测温，精度要求0.1°C。

2）含冰率测定：从探井取出冻土样品量得体积V和重量G，使冰全部融化后再称重G_1，即求到冰重$G-G_1$，用冰的体重0.9除以冰重即可得冰的体积$V_1=\frac{G-G_1}{0.9}$。冰的体积除以冻土体

积V，即可得含冰率 $I=\frac{V_1}{V}=\frac{G-G_1}{0.9V}$

3）冰土融化速度简易观测，在探井旁选择2×2m面积剥离到冻土上限，记录观测时间，待结冻前观测融化深度。

（8）**动态长期观测** 目的是通过多年冻土地温的长期观测，为防治冻土和确定冻土发展趋势提供准确资料。

观测孔应选在冻土中心到边缘不同地段。观测孔要下置底部封闭的铁管，直径大于50mm，冻土上限至地表用粘土球止水，以防渗水和保持原始状态，孔口高出洪水线以上0.2m，并加盖。

勘探区如有露天剥离场，可建立融化速度观测点，借以观察冻土在太阳辐射下的实际融化速度。

五、多年冻土的成因及其发展趋势

我省北部砂金矿多年冻土是在第四纪冰期地球气候变冷，岩石圈和大气层之间进行热交换过程的产物。由于热交换出现了不平衡，土层热量支出大于太阳辐射热能和来自地球内部的热能就使土层冻结。这样年复一年地使冻土厚度由几十厘米逐渐增大到几米、几十米。后来地球气候又转暖，由于气温升高，南方的冰川早已消失，北方因纬度高，原来温度过低，虽然经历了漫长的逐渐退化过程，但是到目前仍然保存着现存的多年冻土。并且在继续退化。

促使我省多年冻土退化的主要因素是：

（1）北半球气候越来越变暖，据黑河市对岸的苏联布拉戈维申斯克市气象资料，近100年内平均气温升高一度。这表明太阳热辐射能量大大地增多了。这是冻土退化的主要原因。

（2）大小兴安岭岩浆岩活动频繁，地质构造活化剧烈，从

地球内部释放出大量内热，加速了多年冻土的退化。在大面积多年冻土区广泛分布构造热融区，就是明显的例证。

（3）采矿垦荒、森林采伐等人为活动，破坏了冻土和自然生态，改变了热传导条件，也加速了多年冻土的退化。

六、结　语

80年代由于黄金价格猛涨和我国对外贸易迅速发展，迫切要求加速砂金矿资源的普查勘探。60年代使用的恩派尔人力砂钻已被机械砂钻所代替，一个大中型砂金矿床勘探时间由3—4年减少到1—2年。为适应形势发展的需要，对多年冻土勘探提出以下几点意见：

（1）多年冻土的地表调查，应当配合快捷准确的地面测温，根据地面或地面以下0.1—0.2m处的温度，用等值线法直接圈定冻土平面分布和垂直厚度。

（2）机械砂钻具有可钻进性强、进尺快的特点，很难凭钻进感觉和进尺快慢确定冻土层位，应当配合灵敏度高的热敏电阻温度计在孔内测温。根据温度曲线划分冻土层位。

（3）多年冻土的含冰率应根据钻孔冻土构造和冰层厚度目估，同时应配合一定数量的钻孔冻土岩心实测含冰率。以便代替由于探井大量减少无法在探井内实测含冰率的状况。

（4）应当在野外对多年冻土的抗压、抗剪强度进行测试。以便为采金船生产提供依据。

选自《黑龙江有色金属地质》第1—2期（1986）

国外主要砂金矿概况

杜希明

（吉林省冶金地质勘探公司研究所）

砂金型矿床有近代砂矿和古砂矿。已知工业砂矿时代均属第四纪、第三纪和中生代。在中生代以前各时代的砾岩型和细砾岩型的砂矿，其变质程度较深，都列入古砂矿。砂金矿是由原生金矿床和含金岩石在地表经过地质的外营力作用破坏后形成的。近代砂矿按其形成的地质条件和沉积环境等，可分为残积砂矿、坡积砂矿、洪积砂矿、冲积砂矿（河床型砂矿、河谷型砂矿、河滩型砂矿、阶地型砂矿、岩溶型砂矿）、滨湖砂矿、海滨砂矿、冰碛砂矿、风成砂矿等。砂金矿自古以来，一直是产金的重要来源、世界上已采出量可达3万多吨。这类矿床由于产出浅，所以易找、易采、易选、投资小、收效快、有利于群采的特点。一般说来，这些砂金矿储量不大。因而一些采金较早的国家砂金产量近年来日趋下降，如美国、哥伦比亚等，但是一些国土面积较大，或开发程度不高的国家，砂金仍是重要来源，现大量产金的除苏联，还有玻利维亚、巴西等国。

关于砂金矿的物质来源问题，在大多数情况下，补给砂矿来源于附近的古老含金地质体（石英脉、脉带、网脉或细脉—浸染矿石），分散的矿化带和不具有工业意义的贫矿时常对形成大规模（按其所含金数量来说）砂矿起很大作用。因此，砂金矿是追索原生金矿的线索，通过对砂金矿的研究发现原生金矿的例子很多，如在美国加利福尼亚砂金地区发现了大量脉金矿床，并且在

内华达州砂金矿区，发现了大量与第三纪火山岩有关的脉金，往后又发现了硅化碳酸盐类地层中的微细浸染型金矿，苏联在勒拿河流域的砂金区也找到了原生金矿，澳大利亚的维多利亚以及扎伊尔等通过砂金找到了原生金矿，亦不乏其例，在我国黑龙江流域发现砂金矿之后又发现了团结沟原生金矿。据已有资料，将国外主要砂金矿简述如下：

1.南非

古砂矿的例子有南非共和国，主要金矿区分布在维特瓦特斯兰德(简称兰德式)的盆地沉积区。砾岩型金矿床是世界上目前储量和产量最大的金矿床。当前，兰德式金矿在加拿大地盾、巴西—圭亚那地盾、非洲—阿拉伯地盾、印度地盾、芬兰地盾以及俄罗斯地台等各大洲均有发现，并且有大矿、富矿。近年来，在加纳的塔库瓦、加拿大盲河地区（即安大略省南部休伦湖沿岸的埃利奥特湖矿区）以及巴西的雅各宾纳也发现了这类矿床。目前，这类金矿仍然是世界各国注意寻找的对象。

兰德型金矿是世界最大、最重要的金矿床，又是世界上最重要的铀矿区。自1866年发现含金砾岩开始，共产金3万吨，矿石平均开采品位由1972年的12.69g/t，下降到1979年的8.22g/t，下降了40%。南非黄金产量为世界第一位，1981年产金为694t，尚有探明储量2488t。目前生产铀（U_3O_8）8万吨，平均品位 230 ppm。

兰德盆地是世界著名的产金区，沿兰德盆地周围的产金弧全长约有483km，盆地南北距离400km。该盆地共有金矿山120个，目前，其中38个矿山正在生产。这些金矿及生产能力多半都在20—30t，有的高者可达50—30t，如位于奥兰治自由邦金矿田与克莱克斯多普产金区间的瓦尔里夫矿区，现年产量达 67t，超过了加拿大全年产量(50t左右)在南非产金区面积约207万km^2，矿体深达4000m以上。含金砾岩构成几个带，矿层不下200 余层，

主矿层约10层，厚0.15—3.4m，矿带宽可达110km，主矿带沿着走向延伸190km。几个系的含金矿带沿走向延伸的总长度超过349km。矿床深部和浅部矿化都很稳定，3000m以下的金品位没有显著变化。金矿都分布在南非地盾南部的卡普瓦尔稳定地块上，地块地质年龄为17.5—35亿年，由前寒武纪沉积—火山岩和花岗岩、绿岩组成。这类矿床多在前寒武纪形成，且已固结为砾岩。砾岩由磨圆度好的石英卵石组成，石英卵石又被含黄铁矿和云母等矿物基质固结。另外还有一系列重矿物和稳定矿物，其中最有价值的是金、沥青铀矿和铂族金属。在卡普瓦尔稳定地块的太古代基底上有五个元古代沉积—火山盆地．它们是在大陆条件下形成的。到目前为止太古代岩石中的金仅占1.77%，而元古代沉积物中金则占98.23%。在维特瓦特斯兰德系岩层中，金赋存在砾岩、石英岩、页岩和藻层中，与黄铁矿和沥青铀矿矿物共生。在整个南非，金矿化时代都大于20亿年，一般小于20亿年的年轻岩层中没有发现有经济价值的金矿。

兰德型金矿床地质特征：

（1）南非重要含金岩系，地层年龄一般大于20亿年；

（2）南非金矿产区都是在太古代地壳形成以后大陆上升的第一旋回中所形成的沉积物；

（3）含金砾岩产在不整合于太古代、早元古代或中元古代之上的厚达数公里的岩系底部，但含矿层却很薄，沿走向延伸很远，多数矿床特别是最典型和最大的矿床都是相互隔离的，都从属于一定的沉积层位，而不是属于任何构造带；

（4）金矿化常与遭受变质作用的含矿岩—石英砾岩有关。砾石占70%，胶结物占30%，还有少量矿化的石英。砾石大小和滚圆度差别很大。以金和铀为主的含矿胶结物，成分很复杂，并在砾石不同层位中还有差异。除金和铀外，还有银、铂等元素；

（5）许多重要的工业层位沉积在下伏岩层的剥蚀面上，有时具明显的角度和不整合。侵蚀面上常有一层富含炭质的粘土薄层，最富矿体常集中在含矿层位底部的侵蚀面上；

（6）重要的工业矿层中金（以及铀）主要集中在富含有机物的夹层中，其间虽无直接相关关系，但在多数情况下含工业品位的金时，也是有可观量的铀；

（7）元古代金矿化地质时代是藻类活动比较强烈的阶段。在南非产金区，金矿化在时间上的强烈变化和藻类的视丰度相互关系，虽然表现不能为1对1，因为金最大含量是维特瓦特斯兰德岩系，而藻类发育高峰的位置也出现一个金矿化峰。一般有利于发展藻类环境物理一化学—生物条件，也利于把悬浮金沉积下来，或者把溶液中的金沉淀下来。在卡普瓦尔稳定地块的元古代地壳上，产生层状金矿床的最合适环境是河流和沉积区的分界地段。无论此分界面是河流和湖形成的，还是河流和开阔海形成的，都最有利于藻类的生长。

（8）在含金层里，底部接触带富集显著。这种富集带是由旋回末期的风蚀作用引起的，而不是重力富集。

（9）大量的金矿物是自然金，仅有少量金产在硫化物内。金颗粒大小为5—100μm，有少量碎屑浑圆金片。大部分金在微裂隙中或呈不规则的连生体，可以置换其他多种矿物时析出。

（10）含金砾岩和含金石英岩的分布面积很大，为平缓向斜褶皱的组成部分，褶皱的两翼一般都有断层面较陡的正断层，褶皱被断裂劈开，变成地堑式向斜。

关于该矿床的成因，多年来提出的假说很多，最早提出的是热液成因说，后又陆续有人提出沉积—变质说、古老变质砂矿说、淋积说等。近十余年又发展了卤水成矿说，但始终是众说不一，争论不休。一般苏联学者多支持沉积—变质说，西方国家多支持热液、变质古砂矿及卤水说，南非地质学者一般认为是砂矿

成因，近年来支持卤水成因的逐渐增多，日本学者多支持淋积成因。

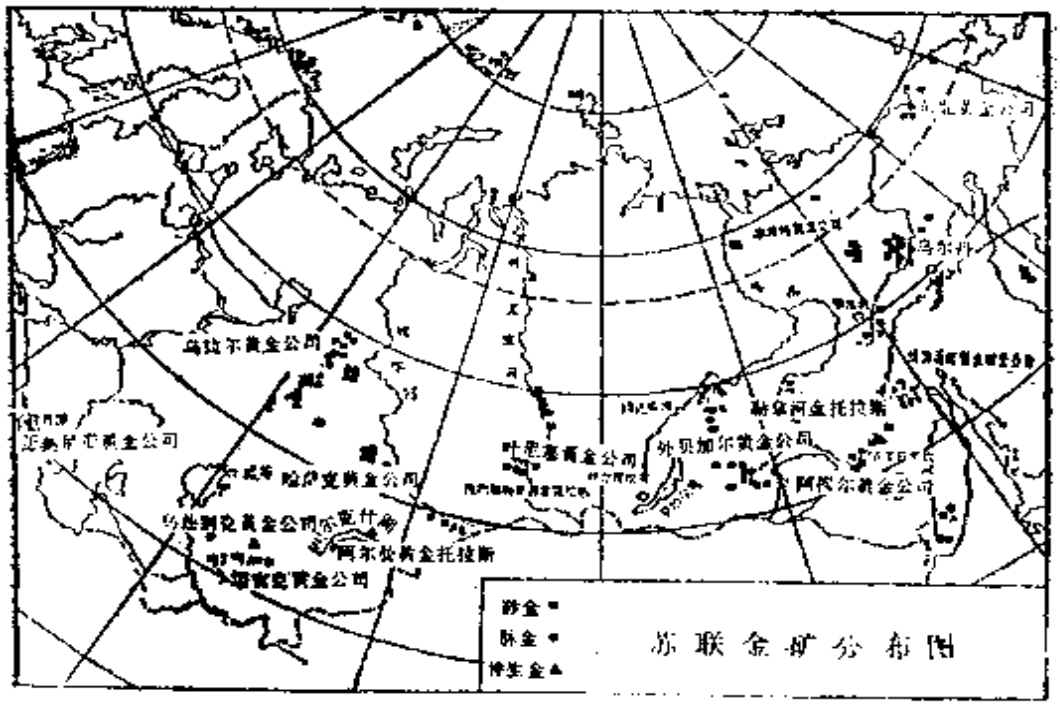
2.苏联

苏联地跨欧亚两洲，版图辽阔，地质成矿条件较好，因此矿产资源丰富，分布广泛。苏联是世界主要黄金矿产国之一，目前产量仅次于南非。苏联为了发展矿业除大力加强国内的地质勘探工作外，还允许外资用产品偿还的办法开发矿山。另外，苏联还帮助30多个发展中国家开发国营矿山，用矿产来偿还债务，以确保稳定的矿产资源。据资料记载，苏联发展黄金生产是快的，1770年黄金产量仅为0.1t，1825年达3.4t，跃居当时世界第一位。以后，在西西伯利亚发现了砂金矿，产量虽然急剧上升，到1870年达30.1t，由于南非产金业的迅速发展，反而降为世界第三位。到1963年增至135t，又升居世界第二位；1979年和1980年分别达到302.9t和311.9t，一直保持世界第二位。据美国矿务局估计：探明储量为6220t，潜在储量为3110t，仅次于南非。据不完全统计，苏联拥有大小金矿412个，其中砂金矿308个，原生金矿104个，分属于十五个黄金公司和有色工业部管理，目前苏联黄金产量中，仍以砂金矿占主要地位。70年代初储量的三分之二，产量70%来自砂金矿。

苏联所有已知工业砂矿均属第四纪、第三纪和中生代。在中生代以前的砾岩和细砾岩的砂矿其变质程度较深，都列入变质—变成型矿床（兰德型）。在苏联俄罗斯陆台的乌克兰结晶地盾、卡累利河及库尔斯克等地也均发现了类似的含金砾岩的分布。苏联砂金矿分布多集中在东部和南部地区，主要分布在远东区的马加丹州、雅库特自治共和国、楚科特半岛、伯力以及滨海地区，东西伯利亚等地的冲积层中，砂金约占上述地区金总产量的80%。各类含金石英脉及伴生矿床（包括斑岩铜矿、含铜黄铁矿以及铜、铅、锌的多金属矿等）约占苏联金储量和产量的三分之

一，主要分布在东哈萨克斯坦的阿尔山区，中亚的乌兹别克加盟共和国、东西伯利亚及雅库特自治共和国的部分地区。

兹将苏联各主要产金区分述如下（附苏联金矿分布图）：



（1）马加丹州 为苏联金矿储量和产量最大的地区。金矿主要分布于该州的科累马河上游盆地—亚戈德内、苏苏曼、乌斯季奥楚格。50年代后期，金矿开采已向北延伸到北冰洋沿岸佩韦克港东南的“共青团”、比利比诺、维利比什、阿利斯克罗沃和什米塔德等地区。近来在东佩韦克以东的北冰洋沿岸地区发现了一些新的金矿，如鄂霍茨克—楚科特地区新发现的杜卡特腊克姆两个富金矿，砂金矿自南向北延伸，遍及整个马加丹州的东部。

自60年代中期起，马加丹州的金矿产量增长较快（1963—1967年间，该州黄金开采量增长了85%）全州拥有32个砂金矿，据说已有3个矿山关闭了，21条采金船及500台以上的洗选设备。现该州的产量中，约有35%产于近五六年间建设的新矿山。目

前金矿仍在继续勘探中。

（2）雅库特自治共和国 金矿储量和产量在全苏居第二位。70年代初，本区金产量约占全苏的20%。拥有11条挖掘船，450台推土机及165台洗选设备。

主要采金区有三：

1）阿尔丹区，为全苏最老的产金区之一。目前，阿尔丹采金区拥有200多处矿点，其中最大的是乌丘尔和特尔坎砂金矿；

2）阿尔拉赫云区，金矿主要分布在阿尔赫云河，特雷河及龙多马河上游。金产量主要采自砂金矿，其中相当大部分砂金矿埋藏在冰川沉积层下面；

3）印迪吉尔卡河上游的乌斯季涅腊，它与邻近的马加丹州科累马产区有密切的联系，该采区开采的金矿几乎是砂金。最重要的金矿位于乌斯季涅腊西面的耶利金斯基区。此外，在雅库特自治共和国西南部勒拿河上的奥利克敏斯克也开始产金。

（3）东西伯利亚 金矿自十九世纪初、中期就已开采。现在主要产金区有三：

1）赤塔州的涅尔钦斯克地区，有三个采金中心：①巴列伊、最初开采砂金，30年代开始，因扩大了脉金的开采，生产规模扩大。此金矿往往有最富的地段，局部含量可达240g/t；②韦尔希腊达腊松，也是脉金矿，并伴生砷、铜和铋；③克柳切夫斯基脉金矿，金细小、与硫化物密切相关，矿体成分有黄铁矿、黄铜矿、毒砂及少量的黝铜矿等矿物。

2）伊尔库茨克州东北部的博代博采金区、历史上称之为勒拿金矿，主要分布在维季姆河右岸的博代博，阿尔捷莫疾斯克、克罗波特等地。除开采砂金矿外，还开采地下的脉金矿；

3）克拉斯诺亚尔斯克边区的叶尼塞斯克采金区，开采砂金和脉金，其中心为北叶尼塞斯克（开采脉金），诺沃耶鲁金斯基和南叶尼塞斯克（开采砂金）。本区还有第四纪砂矿常为冰川沉

积所覆盖。

（4）乌兹别克加盟共和国 为苏联最大的脉金矿产地，现产金区主要集中在两处：一是克考尔—库姆沙漠中的穆龙套金矿（年产金80t）；另一个是乌兹别克东部库腊马山的南北坡，主要开采脉金矿。

（5）远东南部和堪察加半岛 金矿主要分布在伯力边区的黑龙江下游的老产金区。其中泽布、布烈亚等采金历史老的金矿已采完，目前产金区主要是谢烈姆德扎河上游的托库尔金矿，鄂霍茨克沿岸的图古尔—丘米坎砂金矿和近期开发的姆若戈韦布申金矿。本区拥有40艘以上的采金船在进行开采。

滨海边疆区。目前已开采的金矿有十个以上，其中较大的有锡霍特山中部，伊曼河上游的勃拉戈达特内砂金矿和克腊斯内河砂金矿。

堪察加半岛。目前开采的金矿主要是半岛中部的马尔科沃砂金矿。在南部沿海姆的彼得罗巴甫洛夫斯克、鲁德杰尔海湾附近，也在60年代中期开始采金。

（6）乌拉尔 金矿开采已有近二百年的历史，目前开采脉金矿为主。有两个中心：一是斯维尔德沃夫斯克市东北部的别烈佐夫斯基金矿，此处所采的金大部来自六个地下脉金矿，但也开采部分砂金；第二个生产中心是东里雅滨斯克市中部的科奇卡利金矿，现拥有12个地下开采矿，该区的瑞替—里阿斯砂矿埋藏于白垩纪海相地层或新生代陆相沉积之下。

苏联很重视砂金矿的开采，其原因是，通过砂金追索和发现大规模的原生金矿，同时重视砂金矿生产对扩大和增加黄金产量是有现实意义。另一方面与脉金矿相比，砂金矿具有勘探和开采周期短，基建投资少和开采经济等优点。但苏联的砂金矿有60%赋存在地理条件复杂，气候严寒，常年不化的冰冻层，冬季长达7—8个月，最低温度达－60°C，即使在夏季，地表0.4—4

m以下仍为冰冻层，对于开采极为不利。尽管如此，苏联政府仍不惜巨额资金建设砂金矿，把注意力放在强化砂金矿开采，延长开采时间和加强动力建设等方面。

早在1927年，苏联就成立了黄金托拉斯，派人去美国加利福尼亚参观砂金矿机械化开采，并要求美国帮助指导。1944年东北黄金公司开始采用推土机，发现效果好，即大力推广。现在，仅这家公司就拥有推土机2000多台，每年可推走1亿m^3覆盖物，把原来地下开采砂金矿均改为露天开采。在60年代初，曾试用绳斗电铲以代替推土机，但因为铲斗不能穿透冰冻层，经济上不合算，未被采用，仍用采金船开采。目前，已有采金船，其中最大的一条船长236m，169个斗，斗容600l，极限挖掘深度为50m。现正设计大型采金船，还在研究先进的采矿方法，如在北极气候条件下，常年开采的水下采金船和吸取设备从海底砂金矿中提取黄金。目前，苏联正广泛地开采用注水法解冻，即把地面未加热的水通过直径28—32mm的钢管往地下泵水，15m厚的冰冻层仅需2—4日就可以解冻。用冷水解冻比用热水或蒸汽更为经济，因不需要燃料加热；但开始开采时，还是采用蒸气解冻更快些。在过去几年里，苏联集中力量研究了解冻后的地表保温，以便把开采时间延长到冬季，曾试验过用盐、木屑、渣木板、塑料板和塑料肥皂泡沫覆盖解冻层，都得到了不同程度的效果；看来塑料肥皂沫似乎是今天最好的保温方法，它允许采金船在延长的时间内继续开采。

为了保证黄金产量不断增加，苏联政府还得重视砂金矿的动力建设。根据各地区的不同情况分别建立了火电站和核电站。还同时采用高奖金鼓励工人采金，对边远地区采用高于其它地区奖金的办法鼓励工人采金。苏联政府也很重视金矿的地质勘探工作，但仍然存在严重的问题，如东北黄金公司，70年代以来，85%的勘探工作都是用来找砂金矿，到现在为止，还未找到大型

的砂金矿，因此，砂金矿的资源越来越少。同时，有许多老砂金矿地处边陲，交通不便，气候严寒，严重缺乏劳力，致使产量指标完不成。50年代是采用征召制配备劳力，而现在，这些矿招收工人非常困难。尽管苏联长期开采砂金矿，特别是60%处于气候恶劣条件之下，是有一定经验的，但是，其采金船的制造技术并不先进，还存在不少严重的问题，影响到采金事业的发展。

3.美国

美国目前已探明黄金储量3732t，居世界第三位。黄金产量逐年下降由1970年的53t降至1980年的29t，目前产量仅次于南非、苏联、加拿大，居第四位。美国生产的黄金来源于脉金矿，其次为伴生金属和砂金矿，其中脉金产量占美国产量的一半以上，而且主要集中在南达科他州、内华达州、蒙大拿州、加利福尼亚州以及亚利桑那州等地区。

美国从有色金属矿（特别是铜矿）冶炼回收的黄金占美国黄金产量的40%左右，居世界首位，这些含金有色金属矿主要分布在犹他州、亚利桑那州、内华达州、卡罗来那州、蒙大拿州、科罗拉多州及新墨西哥等地区。在美国25个主要产金矿山中有19个有色金属矿山以副产品形式回收。

美国砂金矿多分布于下列地区：

（1）**加利福尼亚州** 在美国西部加利福尼亚州的阿梅里坎河、黄瑟河和育巴河流域，从晚中生代到现代都有砂矿形成，火山作用形成的河流砾石层来自其东面的“母脉”组基岩。砾石层堆积在深风化和红土化的准平原上，在准平原个别地方还有该组的粘土和玻璃质砂发育。含金砾石层未受到后来广泛发生的火山作用的改造。在火山喷发期之间产生的碎屑金有的地方受到改造，进入间火山期的河道砾石层中，加利福尼亚砂矿演化的第二期与内华达地块在中新世后翘起有关。造成新的河网布局，河流快速向下切割，使火山作用前砾石层所含的碎屑金开始重新分

配。更新世河谷冰川作用及与其伴随的冰水搬运和沉积作用，也使早期的砾石层受到改造，结果形成阶地以及西部的溪谷中的冲积物，据统计，本区已产砂金达1306t。开采滨海砂金在诺尔顿一桑德海湾，该地在9—12m深处的范围内，含金总量几十吨到数百吨。

（2）阿拉斯加州 于1898年在阿拉斯加州诺姆发现的大型滨海砂矿，从大约20哩长，200呎宽的海滩中生产了价值200万美元的砂金。

（3）内华达州 在内华达的洛德山发现较大的崩积砂矿。内华达州一些较小的砂矿，主要是通过第四纪侵蚀旋回形成的。

到1970年为止，从第三纪河道和现代河流中开采的内华达州砂金约占加利福尼亚金总量10628万盎司的63%，为6682万盎司。这些砂金矿可能占内华达地区总产量的74%。克拉克（1979年）指出，“在内华达的始新统河道，砂金矿分布最广，生产最多，它起源于白垩纪”，河流流经和缓的地形进入位于现今内华达西部的中白垩纪浅海，始新世一般为亚热带性的气候，岩石有很深的风化侵蚀。

这些古老的始新统河道由侵入岩和变质岩的砾石及乳白色石英组成。在砂矿床中很大数量的金产在基岩中或其附近。金颗粒大小自粉状至粗块状（重量大于100盎司）。金的成色特殊，为850—950。

（4）在蒙大拿州的费吉尼亚西提、奥尔德—吉尔奇地区亦为重要砂金产区

另外在西南部新墨西哥州，亚利桑那及犹他州。（在科罗拉多州贝肯岭和费尔帕来发现冰成砂矿）砂金矿点很多，开采历史较长。在怀俄明州斯内克流域120m范围内见有洪积金矿。在南俄勒岗州滨海砂矿中金矿，目前金储量虽然不多，品位不高，但因金价上涨，仍为人们所重视。美国从砂金矿生产黄金量逐年减少，目前只占黄金总产量的1—2%。

美国第三纪—白垩纪砂金矿蕴藏丰富。但目前开采不合算。内华达州塞拉地区的第三纪砾石在1884年前已开采过。1966年又对其重新研究与评价，同时开展找矿工作，并进行了航测填图工作。在填图工作中，还对砾石的成分、结构及其附近的基岩进行了详细的研究，对交错层、复瓦状砾石进行了测量和绘图。除用常规的地质填图和采样外，还采用物探方法进一步查明砾石的地下特征，采用的物探方法：地震折射波，地面和航空磁测，电磁测量，重力法、电阻测量和激发极化法。某些人对物探成果进行了研究，由于砾石含磁铁矿很少，磁法效果不大，将浅震折射法与重力法结合起来使用，确定在暴露的第三纪砾石层上面的基岩轮廓精确定为10%。地震折射波可以辨认在数百呎火山岩下面的基岩洼陷，以及占据基岩洼陷位置的河床砾石。电磁法与激发极化法联合使用可以探索不越过200呎深的砾石层。经过研究对物探工作，提出了下列几点结论：

1）地震折射法既是确定第三纪砾石层下面基岩表面轮廓的最有效的方法，也是在砾石层中分层的最好办法。

2）测井纪录在提供砾层中不同岩性单位的特征和相互关系的资料方面是有价值的，并且在确定不同层的相对硬度方面也是有价值的。

3）重力法是在地震法之前对河床的轮廓位置定性确定的一种有用的草测方法。

4）由于磁铁矿和金一般不成线状富集，所以磁法是没有多大用处的。如果出现了线状富集，当然也可以使用。

5）电阻法不能解释和精确地画出不同砾石的轮廓。

综合使用这些物探方法可定量地画出整个第三纪河床砾石的轮廓。据保守的估计，在确定矿床的轮廓中，如果合理地运用物探方法，可以省去40%钻孔，至少可节约经费30%。

为了获得五个砾石层剖面的样品，1968年在哥伦比亚北部矿

区打了三个钻孔，砾石层厚300—455呎。三个钻孔中大部含金都在80—100呎深的砾石中。在下部每立方码的岩石中，含金价值很少超过4.28美元（按150元/两作价），最富的一段剖面长2呎，其中含金相当于每立方码27美元。三个钻孔中，打到基岩的两个钻孔价值最高，第三个钻孔在基岩上12—15呎处也是含金最高的。在下砾石层中大多数金的颗粒直径为1—2mm，厚0.1—0.2mm，在不超过80呎以上的钻孔中，未曾发现直径大于1mm的金粒。据资料记载砾岩体积可超过50立方英里，含金量可达几亿盎司（相当于维特瓦特斯兰德金矿6—10年的产量）。

从60年代后期，美国在工业上的黄金消耗量逐年增多，黄金产量却逐年减少，出现了黄金产量与消耗量供不应求的矛盾。为了促进和鼓励黄金生产，缓和国内供不应求的矛盾，专门制定一些政策和措施：①在60年代，美国就将黄金及其它贵金属列为战略物资；颁布了以找金矿为主的“重金属计划”。在这些政策的鼓励下，陆续发现和开办了一些新矿山；②颁布了提供租地、给予津贴和其他辅助等一些特殊政策；③规定对进口金矿石、金精矿或金锭实行免税，对各种黄金半成品只缴纳5—20%税；④重视从含金的有色金属矿区中回收金和从废品中再生回收。目前从有色金属中回收金占全年金产量的40%左右，黄金再生的数量远远超过黄金产量（如1967年为95.49t，1974年回收金达56t左右）；⑤加强对低品位金矿石和含金矿的研究和生产试验工作。

4.加拿大

加拿大的黄金生产历史不长，仅有一百多年，开始靠砂金起家。1858年在弗雷塞河的希尔沙州和冯姆森河一带发现砂金，1861年在卡里富河一带也发现了一定规模的砂金矿。此后，加拿大才开始生产黄金，当时采用笨重的人工淘洗法生产。到1896年，在育空河和克朗克河一带发现大型砂金矿。砂金矿产在更新

世河流砾石层中，是在区域隆起的200多米和局部发生火山作用后，由高处的前更新世“白色”砾石层改造而成。“白色”砾石层本身是早期陵削—加积作用产物的残余。这些陵削—加积作用使来自克朗代克片岩由经济价值低的脉金的发生富集。使黄金产量迅速增加，成为当时世界主要产金国之一。1897年产金9.2t，次年达20.8t，仅一年时间，产量猛增10多吨。1900年金产量增加至41.99t，占当时世界黄金产量的7.5%，居世界第三位。1930—1944年和1948—1967年期间，上升为世界第二位，产量分别在65.5—166.8t，110.1—143.9t之间波动，其间以1941年黄金产量最高，达166.8t，1967年以后，产量逐年下降。1980年为49t，降居世界第六位。

脉金矿后来居上。加拿大于1862年开始从脉金矿石中回收黄金，但所占比例不大，仅4.6%；1893年开始从多金属矿中回收伴生金。1910年以前，砂金比重大，达65%以上，而脉金矿仅为6.6%，其余为伴生金。以后，砂金矿的比重逐年下降，脉金矿的比重上升。如1920年，砂金矿的比重逐年下降，脉金矿的比重上升到49.2%；到1970年，砂金矿比重再降为1%，脉金矿增至81.9%；1980年砂金矿比重仅为0.5%，脉金矿为72%，其余为伴生金。脉金矿占主要地位。金平均品位比较高（12.3g/t），相当于南非或仅次于南非（12—15g/t）。

加拿大主要产金区，按产量大小有：安大略省（占43%），魁北克省（占28%），不列颠哥伦比亚省（占11.4%），西北地区（占11%）等省，安大略省是加拿大最大的产金省。

近几年来，对大陆架海底砂矿的开采方法已得到解决。主要对象是滨海砂金矿和河流流入海口的隐伏的含金河床相粗粒碎屑沉积物。在加拿大新肖特兰东南沿海海岸，对金品位为540mg/m³的砂矿开采了32万m³。

加拿大黄金储量为2022t，在南非、苏联和美国之后，居世

界第四位。

5.澳大利亚

澳大利亚目前已探明金储量622吨，居世界第五位，产量1980年达20t左右，也居第五位。西澳大利亚是主要的产金区，其中卡尔古利地区戈尔德迈尔金矿产金占全国金产量的一半以上。

澳大利亚金的产量主要来自太古代铁镁质火成岩中金矿，古生代沉积岩中金矿和第三纪、现代冲积砂金矿。仅很少量的金采自元古代的金矿，但最近发现了一些有意义的矿床。

太古代金矿床已经进行了大量开采，已采出2100t金。其中最大的金矿床为卡尔古里地区的戈尔德迈尔金矿床。元古代金矿床仅生产了93t金。古生代金矿也开采近2000t，东部三个州的金矿基本形成在晚元古代和古生代，其中以原生沉积岩中金占58%，花岗岩中金占14%，原生沉积和火山岩混合岩中金占6%，基性岩脉中金占5%，中性—酸性火山岩和伴随沉积岩中金—贱金属占17%。

第三纪和现代砂金矿产量仅次于太古代和古生代岩系中的金，约已开采5800万盎司金。主要分布在澳大利亚东南部，大部分砂金可能来自于古生代沉积岩中脉金矿床。这些砂金矿中有一些赋存在第三纪玄武岩底下。

巴拉腊特金矿田是最著名的澳大利亚冲积砂金矿田，已采出106万盎司金。巴拉腊特已开采了许多块金，最有名的“欢迎”块金有69kg重。除此之外，在维多利亚地区也有不少砂金矿。

在澳大利亚地区形成有价值的风成砂矿。在澳大利亚东南部大陆架海岸区也在进行海岸砂金矿的开采。

6.新西兰

砂金地带主要是南岛。北岛只有豪拉基地区。南岛有纳尔逊的西北地区和东南地区西海岸及奥塔戈地区。对奥塔戈含金砾石

层的位置和地层过去由于边采边观测，了解得比较清楚。最近的研究工作由于露头少，遇到了困难。砂金来源于奥塔戈的一些含金矿脉。这些石英矿脉（共产金30万盎司）穿插在绿片岩相岩石中。从早白垩世兰吉塔塔造山运动以来已全部剥蚀掉，一部分砾石层保存下来了。有些砾石层，如“兰山组”扇砾岩含金。由于受到区域性隆起，而受到改造，结果使碎屑金持续不断的再分配，通过正在发展的地层，进入年轻的沉积物中而形成砂矿。

新西兰韦斯特兰与奥塔戈不同，韦斯特兰第三纪沉积基本不含金（里夫顿附近除外），全部的金几乎都产在现代河流砾石层和阶地沉积物中。韦斯特兰砂金有许多来源，很难确定：它或者来自阿尔卑斯断裂以西的早古生代硬砂岩（从中曾开采过许多金）或者来自该断裂以东的晚古生代角闪岩相片岩和硬砂岩。

第三纪沉积物中只含少量金；因此，如果金来自早古生代岩石，那它必定是为更新世冰川作用所首次揭露的。另一方面，尽管阿尔卑斯断裂以东金不够开采品位，但片岩中的石英脉含可见的粗粒金（最大的金粒可达0.7g），阿尔卑斯断裂以东，韦斯特兰南部的一些小砂矿（例如华特劳河和卡列河）中的金无疑来自汇水区的片岩。在上述地区砂金的大致产量达158t左右。

7.哥伦比亚

哥伦比亚砂金矿早在十五世纪就已开采，据悉金大致产量为995t左右。哥伦比亚的砂矿可能是在中新世安第斯造山运动侵蚀阶段形成的。马格达莱纳河以西的第三纪和更年轻的砂石层几乎全含金，是现在河流金的主要来源。

现在哥伦比亚境内的地壳在东西向上大大变窄，并转换为科迪勒拉山脉隆起。地壳变窄的原因，可能是在这个位于纳斯卡，加勒比和南美板块接合部的构造活动区发生了板块运动。科迪勒拉山脉剥蚀得很快，加之隆起和侵蚀很快，因而形成了砂矿，并把它改造成富矿。

8.巴西

按目前发展趋势，据知巴西各州几乎都有冲积型的金矿。有可能超过美国成为西方第三大产金国。遍及数千哩的砂金开采（位于亚马逊河地区）正在积极进行。据巴西矿物资源调查公司的报告估计，巴西已知的和潜在的黄金储量为3359 2t。1979年的金产量为26.1t，预测巴西1984—1985年可产金300t，在世界黄金工业界，人们对这一计划产量的实现抱有某种怀疑态度，因为巴西目前的年产量仅有32—34t，其中国营生产只有12—14t，还有不少是未经许可而开采的。

巴西要达到年产300t的能力，这将要求花费255亿美元作为这一计划的最初投资。巴西政府正在考虑这个建议，着眼于砂金矿、红土和洪积层等，以期有最大的产量和最小的开采费用。现有54个砂金矿点，其中最好的有24—28个矿点，估计这些矿点合计将可年产黄金270t，不足部分来自现有的原生矿。

9.朝鲜

朝鲜砂金生产规模较大，发展速度也快，朝鲜采金事业除积极发展群采以外，从60年代初期就着手建设采金船，目前全国已拥有各种不同类型采金船百支以上。据悉平安南道有30支，平安北道有82支，咸镜南道有10支，黄海南道有30支以上。平安北道的沿清川江、大临江、龟龙江一带河谷中广泛分布有砂金矿床，矿层厚5—10m左右，平均品位为0.2—1.2g/m³。平安北道香山九龙江金矿，咸镜南道汛浦金矿，平安南道顺安元化里金矿，安兴岭金矿为朝鲜的四大砂金矿。

根据各地区资源情况不同，采金船的规模型号和技术状况也不同。最小的有50l间断斗采金船，最大有（正在设计）400l机械化选矿采金船，选矿工艺一般均为固定溜槽。

朝鲜砂金地质勘探工作比较严格，勘探网度一般比较密。地质工作首先进行物理探矿（一般用电法电测深圈定混合砂矿规

模）。如果矿区有希望，然后进行钻探（砂钻），钻探网度一般为：远景储量300×40m；工业储量100—80×40m；生产探矿20×20m。

在利用采金船开采之前，一般先用推土机进行剥离。推土机剥离1 m^3土只需朝币0.35元，而采金船剥离需高7倍。采用船开采一般都坚持剥离复田方针，如矿区无农田，开采后也要恢复原采地貌。为此，有一套较完整的复田经验。采金船生产管理机构精干，注意经济效果，砂金生产成本较低，一般为脉金成本的四分之一。（参考文献略）。

选自《金矿参考资料汇编》第七集（1982）

国外砂金地质与找矿评价方法

关振寰

一、勘探开发砂金矿床对迅速扩大我国黄金储量增加黄金产量具有重要意义。

根据美国黄金学会预计今后五年世界黄金产量如表1所示。

预计世界黄金产量到1984年约为1461t，南非将占46%，苏联将占23%。

为加速我国金矿地质勘探工作，扩大储量，增加产量，回顾国内外黄金开发的历史，总结其经验教训是十分必要的。

1.目前主要产金国家大部分是从开采砂金起家的

加拿大 生产黄金有百余年的历史，1858年在弗罗赛河希尔萨州和汤姆逊河一带发现砂金，1861年在长思河一带发现有一定规模的砂金，1896年在育岭和克朗克河一带发现大规模砂金。加拿大黄金生产量迅速增加，成为当时主要产金国之一（科迪勒拉到1978年产金3500万盎司，其中47%来自砂金），1897年产金9.2t，1898年19.2t，1900年41t，占世界第二位，1910年以前加拿大砂金产量占总产量的15%。勘探开发砂金矿床不仅直接扩大黄金产量，而且大大加速了加拿大原生金矿的找矿勘探工作，促进了加拿大后来大规模开发原生矿，1910年脉金产量仅占总产量的6.6%，1920年上升到49.2%，1970年81.9%，1980年72%。

美国 十六世纪开始开采砂金矿，主要集中在西南部数百个砂金矿，先后生产300万盎司，其中内华达170万盎司，60年代末

表1　1981—1984年世界黄金产量（t）

	1981年	1982年	1983年	1984年
南　　非	603.9	598.2	598.2	598.2
苏　　联	272.2	280.7	280.7	292.0
加 拿 大	49.8	56.8	58.6	63.0
中　　国	47.9	49.0	49.8	51.2
美　　国	36.6	44.8	50.6	57.0
巴　　西	34.2	35.2	36.1	41.1
菲 律 宾	23.8	26.6	27.9	28.3
澳大利亚	16.1	21.0	22.9	23.1
巴布亚新几内亚	16.2	17.0	17.2	16.9
哥伦比亚	14.3	14.7	15.5	15.5
智　　利	8.4	14.5	12.9	12.9
加　　纳	12.5	14.0	15.4	15.6
津巴布韦	10.7	11.8	12.0	12.3
多米尼加	11.8	9.8	9.8	9.9

期的“采金热”又重新开采。

朗德山区　在内华达中部，主要开采残积型砂矿（原生矿为第三纪凝灰岩中的含金石英脉），赋存于铁、锰的氧化物中，含金层深度不等，浅者30呎，深者达220呎，1906年发现，一直生产到60年代。

曼哈汤区　内华达的主要产金区，为河谷中的阶地砂矿，形成于更新世，含金层厚度小于10呎，而上部复盖层厚40—100呎，河道两侧有河床型古砂矿。

白特斯区　位于内华达中北部，为白特山坡的冲积扇和冲海

中，含金层在冲积扇的下部层位，冲积扇长3200呎，宽2800呎，生产黄金达10万盎司，含金层为似层状、透镜状，品位随层位而变化。

新墨西哥 十六世纪开始开采，生产黄金66万盎司。在百尔特区生产价值达500万美元，砂金分布在冲积扇的砾石层中，厚度变化大，冲积扇下部达400呎，上部只有数呎，金来自石英闪长斑岩中的含金石英脉。

亚历山那区 生产砂金56万盎司，有87个产金区，砂金出现在小型脉金区的周围不大。也有冲积扇、河谷、山前侵蚀平原上的堆积砂金，砂金来自基底的含金石英脉，有大块金出现，最大重45盎司，在一个6呎厚，50—100呎宽，深140呎的河道中开采了数千盎司金。

犹太华的滨汉姆区 为一斑岩铜矿区，共生产7.5万盎司的砂金，主要产自阶地和小冲沟的砂砾层中，砾石层厚250呎，金来自斑岩中或铜铅锌多金属矿脉中。

澳大利亚 东澳南端塔斯玛尼亚地槽西侧维多利亚州，金产量达2400t，其中砂金占60%。金矿有3900多个，绝大多数为小矿，不超过125kg，大于1000kg的占矿点数的2.6%。分布在维多利亚的东部和中部，多数为隐伏砂金矿，为玄武岩所复盖，数量之多，块度之大是世界有名的块金产地，大于0.2kg的有1372块，最大重2516盎司（被命名为“受欢迎的陌生人”）。

南非 1881年在派特斯山峰附近发现一冲积砂金矿，1882年开采，1883年第一次找到原生矿，1886年找到了兰德含金砾岩，近而发展成为兰德金矿田。

2.世界第二大产金国苏联砂金产量仍占60—70%

目前砂金产量占总产量的60—70%，历史上是沙皇时期约占80%。现在412个金矿，其中砂金矿308个，历来砂金储量、产量都占三分之二左右。目前已知有20个重要砂金产区，远东的楚克

特半岛上砂金产量占总产量的24%。

3.世界产金国的后起之秀——巴西的金产量将主要来源于砂金矿

巴西砂金矿前景很大，亚玛逊河流域已知有50多个重要砂金矿，预计24—28个砂金矿，产量将占其预测金产量的90%左右。

4.砂金在黄金热潮中的竞争能力

砂金好采易选，投资少见效快，周期短，上的快。

5.世界上不少老砂金矿进行重新淘洗重新开发，有些有色金属矿又从尾矿中重新回收金

苏联最近处理110万吨尾矿和200万吨低品位矿石，从中回收黄金。印度最近在老矿区投资6.5亿美元，重新开采黄金。南非兰德型金矿虽然又有新发展，前景很可观，但仍将处理含金的尾矿。1979—1980年计划每月回收黄金16167盎司，实际回收15000多盎司，1981年达到约16000盎司，实验表明尾砂中的55% 黄金可回收。该矿山原已关闭，从1914年开始生产到1962年关闭，48年中生产黄金2800万盎司，现在倒回来又处理尾矿回收金，有19个尾砂坝，3.6亿t尾矿，品位0.019盎司/t（相当于0.59g/t）。澳大利亚的新南维尔士科特矿区尾矿，进行系统钻探、取样、化验，18万吨尾矿，金银品位 4.3g/t，另一个25.7万t尾矿都准备进行处理回收黄金。

6．滨海砂金矿是砂金的重要潜在来源

世界上大洋底不少地方的沉积物中都发现有金，其中大部份是来自大陆，当然也有一部份是海洋底含金岩石或洋底沉积物经过改造而来。目前单独开采海底砂金矿还没有先例，而在开采其它物质的同时回收金还是有的。马来西亚、印尼、泰国在开采砂锡中回收金。马来西亚开采砂锡深度达60多呎。美国太平洋沿岸不少地区经过工作发现有含金的反映，含金较富的地区在白令海峡北部，金品位30—100ppb，加利福尼亚为10—390ppb。

7.我国砂金资源丰富，开采历史悠久

据有关资料记载，慈禧太后时期黄金最高产量为43 万 两 。1941年国民党资源委员会中央地质调查所统计该年黄金产量达45万两，其中，43.8万两来自砂金，约占97%。具体来自西康29058两，四川29984两，青海34864 两，云 南46492 两，湖 南69738两，广东23246两，湖北14763两，河南11623两，陕西11623两，广西46492两，江西34869两，甘肃11632两，新疆金矿广泛分布在阿尔泰、东西准葛尔、天山、昆仑山、阿尔金山等地。古代采金历史悠久，西准葛尔地区北侧扎伊尔山有“破丁数万，年产万两”的记载。新疆有56个县连续发现有砂金矿。内蒙砂金很普遍。青海砂金主要分布在祁连山的黑河、大通河、黄河上游，黑河流域曾三次发现块金，重量38—143两，祁连山的酸刺沟有“金城”的称号，门源县硫磺河矿区有“月进斗金”之说。

二、砂金矿概述

1．砂金矿的重要意义

砂金矿在历史上是主要开采对象，目前仍然有重要意义。据不完全统计，现在人类拥有的黄金有三分之二来自砂金矿。从成因观点看，砂金矿应包括现代砂金和古砂金，仅含金的石英砾岩（古砂金）就占世界总产量的56%。世界上第一大产金国南非和第二大产金国苏联的黄金生产主要是砂金，苏联现在金产量60－70%采自砂金矿，沙俄时代砂金开采量占80%以上。南非主要是开采古砂金矿。砂金矿不仅在金的储量和产量上仍占有重要的地位，而且通过砂金矿的勘探开发还可以发现原生金矿床。世界上不少著名的原生金矿田就是通过开采砂金矿而发现的。值得注意的是随着金矿生产水平和采选技术的不断提高以及人们对黄金需求量的增加，过去视为无开采价值的低品位砂金矿和很多砂金矿

的尾矿都可以重新利用。

2.砂金矿的定义

“Placer”词是由西班牙语演化而来，开始在南、北美洲西班牙的矿工中使用，意思是指河流里砂砾石中的金矿，原意是砂堤或河流中有金沉积的地方。现在砂金矿的概念已远远超出这个含意。

3.砂金矿品位的表示方法

盎司（或其他重量单位）/立方码（或m^3）；

美元（或其他货币单位）/地表每平方尺（或盘）；

重量单位（或货币单位）/每尺河床水流。

4.砂金矿都赋存在一定的基底之上，目前已知有两种形式的基底

真底和假底。一般砂金矿大都赋存在基底向上一段的厚度之内。所谓真底即指基岩或基岩之上的岩层，而假底则指尚未成岩的沉积层，其主要由砂、砾石、粘土等组成一个界限分明的层位。

5.砂金矿的类型

据形成部位和形成条件，原地形成的称残积砂金矿。从原生矿经过搬运达一定距离的砂金矿，称之为异地形成的砂金矿，如冲积砂金矿、滨海砂金矿、风成砂金矿、三角洲砂金矿等。还有一种腐殖土中的砂金矿，如美国东部，也可以说是残积的，它的形成是通过生物吸附作用形成的，与原地形成的残积砂金矿有所区别，实际上不是原地的，以上各类砂金矿都是裸露在外面的未被重新复盖掩埋，如果重新被掩埋起来，则称为隐伏砂金矿。在已知的隐伏砂金矿中有的可被火山岩或火山沉积岩复盖掩埋，如澳大利亚的维多利亚砂金矿掩埋于玄武岩流之下；有的象美国加利福尼亚州的砂金矿掩埋于英安岩或安山岩之下；有的被冰碛层或冻土带掩埋，如加拿大、苏联的一些砂金矿；有的被倒石堆或其它坡积物掩埋；风成的沉积物之下也可能有砂金矿出现，如西

澳，还有冲积砂砾层之下的砂金矿以及海相湖相沉积物等所复盖掩埋的砂金矿等。第三纪以前的砂金矿称为古砂金矿，第三纪和第四纪形成的砂金矿称为现代砂金，关于现代和古代砂金矿的另一种划分方法是固结成岩砂金矿称为古砂金矿，未成岩的砂金矿称为现代砂金矿。

6.砂金矿的物质来源

一个砂金矿区的物质来源可能是一处或多处不同类型，不同地点的原生矿床，如含金石英脉，硫化矿床中浸染状的金，斑岩铜矿中的金，含金的多金属矿，片岩、片麻岩或其它岩石中含金细脉，石墨片岩或其它岩石中各种含金的矿物，如黄铁矿及其它硫化物等，含金砾岩、石英岩以及古砂金等。总之，从砂金矿到原生金矿、从单一金矿到含金的多金属矿、含金的各种岩石等都可以成为砂金矿的物质来源。

7.砂金矿的形成历史

每一砂金矿大都经过原生金矿的风化破碎淋滤，残积、坡积、冲积、洪积以及其他地质营力作用等搬运到有利地段形成不同类型的砂金矿床。

8.形成砂金矿的主要地质营力作用

砂金矿的形成过程是一系列的物理化学变化的长期复杂过程，不是单一的，其主要因素是：

（1）脉石的崩解、破碎、淋滤、残留所形成的残积型砂金矿，相对说来，变化不大。金可以保留在原地的氧化带中，或者是赋存在残积或冲积物之中。

（2）金可被溶解运移很远。在金的溶解迁移过程中很少有砂金矿的形成。

（3）被溶解的金全部或部份的沉积在残积物的金核上，或者是沉积在沿着河流、水沟、阶地移动的冲积物中的金核上。在迁移过程中，大都形成天然的金块（狗头金），在遇适当场所而沉

淀，天然金块形成的有利场所主要是在静水、旋涡等死水处，或者是植被发育情况等被阻挡处，都可能形成块金。块金不一定是大块原生金搬运的情况下形成，也可能是经化学作用形成，围绕一小质点逐渐增生形成大块金。大块金的形成是物理和化学作用长时间联合作用的结果，而不是单一作用。

物理作用主要指重力作用，河流水系的流水作用，湖泊、海岸水流波浪的振荡作用，风力和冰川作用等。重力作用在各种类型的砂金矿的形成过程中都有重要作用，但在残积砂金矿的形成中重力作用更为突出。成型的风成砂金矿目前尚未发现，但是在西澳以及美国内华达州的银山等的一些原生金矿附近就有风成的含金银的砂丘。完全是由冰川作用形成的砂金矿目前也很少发现，在冰碛物中还没有找到有价值的砂金矿床。但是，通过冰川河以及冰川河作用则可以使一些冰碛层中形成低品位的砂金矿。值得注意的是冰碛层中，通过现代河流的进一步富集分选作用，在一些冰川湖泊中则可有砂金矿的富集，所有已知冰碛层中的金矿大都赋存在冲积物分布范围内。

9. 与砂金伴生的矿物可分为重矿物（中—高比重的矿物）和轻矿物（中—低比重的矿物）两种富集形成这两类矿物必须具备以下三个特点：

（1）对机械磨蚀和破坏作用有巨大的稳定性能。

（2）对在地表水中的溶解作用有巨大稳定性。

（3）最有利的形状是近于等轴状，这一点非常重要。呈片状、鳞片状的矿物不论其比重大小都难以富集。但是金的形状则不受此限制，可被搬运数百哩。金可呈粉状、表皮状、洪积物或漂游物的形式被搬运到湖泊、海岸，并沉积其底部的沉积物中，金可以浸染于很大厚度的沉积层之内，这对于讨论前寒武纪兰德型金矿的成因有重要意义。另一种是“苔藓金”呈非常细的粉尘状与苔藓生长一起，它是通过河流、水溪中苔藓或其他植

物在高水位期间捕收的；国外有的地方，把这种苔藓晒干后经过焙烧从中取金，但规模不详。

10. 砂金矿中的重矿物和轻矿物

中低比重的矿物（比重为2.65—4.5）有石英、白云母、角闪石、辉石、电气石、石榴石、金红石、铬铁矿、金刚石、重晶石、刚玉、锰土、石墨、褐铁矿等。

中高比重的矿物（比重为5—22）有锆石、钛铁矿、独居石、磁铁矿、锡石、黑钨矿、白钨矿、辰砂、金、铂等。

砂金矿中硫化物和硫盐矿物一般变化都很大，最常见的有黄铁矿、闪锌矿、方铅矿、毒砂、脆硫碲铅矿，此外还有自然铋，自然银、自然铜、自然汞等，自然砷极少。

11. 砂金矿中金的主要特点

常见的晶形为粉状，大多为针尖状的微粒或呈纤维细丝（<0.1—2mm），比较常见的为小片状，块金则少见。此外还有丝状、线状、叶片状、梳状、毛发状、树枝状、地衣状、海绵状等。

自然金的粒度 金的最小粒度为粉尘状、表皮状、地衣状等；最大的就是块金，常在残积的砂矿中形成，如澳大利亚的维多利亚、巴勒拉特附近的残积砂金矿中就曾找到重达2516盎司、1743盎司的金块。常见的砂金粒度为几毫米至十分之一毫米。

砂金的成色 一般比原生金都高，变化范围为500—999，大部分在850以上。砂金中常含有银、铜、铁等其他金属元素。如加利福尼亚地区的砂金矿经测定其原生山金成色为850，经搬运而沉积形成的砂金矿的成色为930—950。一般粉尘状砂金成色高于950，粒度越细成色越高，氧化带的金比原生矿的成色高。块金的表皮（厚度为0.3mm）的成色比内部的成色高。

金的内部结构 块金一般具有一个成色高的表皮（厚约0.03mm）和成色低内核。砂金内部往往含有各种不同的包体，其粒度为0.005—0.5mm，包体主要为硫化物，特别是黄铁矿、黄铜

矿、方铅矿，还有毒砂、各种硫盐、碲酸盐、石英、绢云母、金红石等。这些包体多分布在核体的中心部位，很可能是原生的组分，也有人推测是与金同生的，属增生性质。砂金有重结晶现象，形变现象。

金的颜色 黑色、深褐色的金通常是由于外部有一层铁或锰的氧化薄膜；部份黑色或浅褐色的金外边包含有细粒胶状的薄膜；白色、浅灰白色的金是因表面有一层碳酸钙薄膜或胶状的硅质或细粘土的薄的外膜。巴西和赤道附近的一些地区的砂金表面多呈黑色。

美国地质调查所林塞等人，1969年指出车斯内克的砂金在靠近原生矿附近的砂金粒度为0.125mm，平均重量10μg，而在下游180哩处的砂金粒度仅为0.0625mm。

12. 砂金矿形成四个条件

（1）要有充足的物质来源：如产生在各种不同矿床中的金，分散在石英脉或石英碎屑中的金，呈浸染状赋存在黄铁矿或其他母岩中的金；

（2）要具有成熟或次成熟的地形表面经长时期的物理化学风化作用，可使金从母岩中分离出来；

（3）通过水的作用及其他地质营力作用使金重新富集；

（4）良好的保存条件，有冰川发育对砂金的保存不利。

三、砂金矿的不同类型及其特征

1.残积型砂金矿及其特征

残积型砂金矿形成于各种不同类型原生金矿床之上或其附近的风化残积物之中。这种砂金矿大都沿着原生矿露头向下坡发展（图1）。

有些残积砂金矿具有山麓堆积的性质，或者是在山坡的扇积

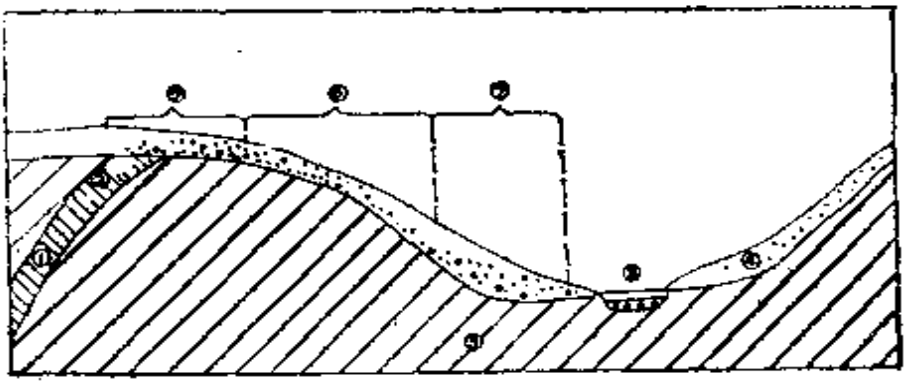


图1　砂金矿的形成与部位示意图

1—原生金矿脉；2—崩解破碎后的金矿脉；3—基岩；4—复盖岩
5—残积砂金矿；6—坡残积砂金矿；7—坡、扇积砂金矿；
8—具有冲积砂金矿的河流

砾沉积相中，或者是在山脚下的碎屑之中。比较典型的是形成于深的洼地和凸凹不平的风化壳或喀斯特地层之中。残积砂金矿，在很多地区与冲积砂金矿关系密切。在很多地区残积砂金矿可以作为冲积砂金矿的来源。

有些国家的地质工作者，特别是苏联常把这种残积型砂金矿进一步分成：残积型砂金矿；山麓堆积型残积型砂金矿——常出现在靠近原生金矿较近的上部；洪积型残积砂金矿——距原生金矿稍远的下部。

残积砂金矿富集的主要地质营力作用是重力的筛分作用和向下蠕动的分离作用。向下蠕动的分离作用首先取决于坡角及其变化梯度；其次是取决于斜坡堆积物（山麓碎屑、山麓堆积物、残积物）的厚度、残积物中风化产物的比重及其粒度大小、残积物质点的热膨胀系数和收缩系数以及磨擦系数、冰雪的运动和每日温度变化等；第三个影响因素是指在比较寒冷地带残积物中冻结作用和溶解作用，这一点在冻土带特别重要。在永久冻土带解冻

的泥流（翻浆现象）广泛存在上下蠕动作用的连续进行是残积型砂金矿搬运、冲积的主要营力和作用方式，而水流的作用在这种类型砂金矿的形成过程中则作用不大。通常，在这种砂金矿中，大都是独立水源，这种水流即可产出在碎屑之中，也可以产出在地表面之上。

残积型砂金矿在金的分布、性质以及所含轻、重矿物等方面都表现出很大的差异和变化。一般靠近原生矿的地方，金的质点大，成色低，而远离原生金矿露头则相反，在残积物向下蠕动的过程中轻矿物多在上部，而且下降的速度慢，重矿物则相反。残积砂金矿在剖面及平面上的分布是不均匀的，变化很大的。因此，勘探残积型砂金矿大都采用竖井，探槽以及钻探等综合方法进行评价。

残积砂金矿的物质组成变化很大，主要取决于原生矿床和基岩的类型以及风化的程度。虽然一般都富含有铝的组分（如铝土矿、铝土等），但大部富含有高含量的铁（如褐铁矿）。大部份残积物是由石英，砂质粘土、铁的氢氧化物、铝的氧化物、锰的氧化物组成。金就赋存在其中，通常都与一些化学性质稳定的重矿物在一起，富集在基底之上或基底之上附近的层位。这些残积物中有些可被粘土、褐铁矿或方解石胶结，硅质胶结的现象少见。大部份残积砂金矿的品位低，但是有些则储量很大。残积砂金矿中的金大都表面粗糙，形状不规则，成色比原生金矿稍高一点。残积砂金矿中的块金（狗头金）有的可重达几两，甚至上千盎司以上，与冲积砂金矿中的块金相比，相差很大，冲积砂金矿中的块金很少出现大于100盎司的金块。在有些残积的砂金矿中还产有银、铝、锡石、辰砂、金刚石以及铂族金属等。

残积砂金矿在本世纪以前，在世界范围内都有广泛的开采，现列举几例。

加拿大育空地区达不林残积砂金矿

这个残积砂金矿规模不太大，但很有科学意义，也比较典型。残积砂金矿中主要含有白钨矿及少量黑钨矿和金，这些矿物来自含白钨矿的矽卡岩，石英－黑钨矿脉以及石英—毒砂—黄铁矿—臭葱石—金脉。所有这些都分布在残积砂金矿稍上部一点。残积砂金矿的组分要取于基岩的类型，在片岩之上残积物主要为砂土、粘土、褐铁矿以及片岩分解破碎的产物，在花岗闪长岩之上破碎的产物。在花岗闪长岩之上，则主要为褐铁矿质的粘土并含有大量的石英和长石碎屑。残积砂金矿中的主要重矿物有白钨矿、黑钨矿、赤铁矿结核、石榴石、锡石、磁铁矿、黄铁矿、毒砂、羽毛矿、菱铁矿、臭葱石以及褐铁矿和呈结核状的铅的氧化物。该残积砂金矿的原生矿为含金的矽卡岩多金属矿，由于含金和白钨矿的残积物中富含有砷、钨等特征元素，因此，可以用化探方法寻找这种类型的残积砂金矿。

美国东部阿巴拉契亚山区达浪格金矿带的残积砂金矿

美国在西部的加利福尼亚州，俄勒岗州，内华达州，蒙大拿州和东部阿巴拉契亚山区都曾广泛的开采过残积砂金矿。阿巴拉契亚山区达浪格金矿带的残积砂金矿就有一例。

该金矿带的基岩主要由云母片岩、片麻岩、石英岩、角闪岩及混合岩和花岗岩组成。片岩中含有丰富的富含金的石英脉及不规则的含金细脉。所有的岩石都经受强烈的风化作用，风化深度大，风化形成的腐质层的褐铁矿中可含有2.9ppm以上的金。该残积型砂金矿主要为含金的褐铁矿—含金的铁帽，一般这种含金铁帽都是含金的硫化物矿床风化而成的，厚度不一，其中常含有银，自然铜等。金的粒度非常细，都几乎是微粒金。金和银的平均含量0.2盎司/t。

类似的含金铁帽——残积型砂金矿在西班牙的里奥延托及澳大利亚的蒙特弯根地区都曾开采过。另外，在墨西哥、古巴、海地岛以及南非等国家都曾开采过褐铁矿中的残积型金矿。

墨西哥瓜达拉哈拉附近的残积—冲积砂金矿

该矿位于瓜达拉哈拉附近的三个大的残积物之中，砂金来自矿化的斑状花岗岩株和其与灰岩的接触带。其中含有锡石、辰砂及少量的金和银。细粒金为游离金，粗粒的金主要赋存在硫化物（黄铁矿、毒砂、方铅矿、闪锌矿、辉锑矿、银的硫盐等）及氧化物中。含金的砂砾堆积物总量为550百万m^3。

在圭亚那的太古代绿岩带中的石英脉带附近的褐铁矿中有残积的砂金矿，褐铁矿中含金量为0.003—0.135ppm，有的地方分布面积可达上百平方英里。巴西有一种残积型砂金矿分布在米纳斯吉拉斯铁矿区范围内，这种残积砂金矿与前寒武纪含铁建造有关。

澳大利亚残积型砂金矿分布相当普遍。在残积砂金矿中找到了106 磅的块金（狗头金）。在维克多利亚的残积砂金矿中也找到重755盎司以上的块金多达6—7块，其中最重的达2516 盎司。西澳地盾区也有不少残积型砂金矿。

此外，在欧洲的葡萄牙、西班牙、法国、瑞士、西德、罗马尼亚、苏联；非洲的埃及、苏丹、扎伊尔、加纳及南非等都曾开采残积型砂金矿。

亚洲的残积型砂金矿主要分布在日本、中国、缅甸、印度、苏联等国家。苏联在1953—1960年间发现一种称之为库奈克型的残积型砂金矿，主要分布在阿尔丹及南雅库特地区，残积砂金矿主要赋存在下寒武统含沥青的石灰岩和白云岩之中。其原生金矿有人认为是来自卡林型的微粒金。该区的石炭岩、白云岩中广泛分布有不规则状的钾长石（主要是冰长石）和石英的交代脉带，其中含金达6ppm，这种含矿的碳酸盐层脉带其厚度可达3—5m，长3km，宽300—500m，冰长石中金的大小为2—5μm。

2.冲积砂金矿床及其特征

冲积砂金矿形成于现代和古代的河床、小溪、冲积和洪积平

原以及河流三角洲的水源头等处。有些由于受到沉积作用，冰积作用等重新活动而形成阶地砂金矿则另作别论。

冲积砂金矿在世界范围内几乎每个国家都曾开采过。估计人类使用和储备的黄金约有四分之一是采自冲积砂金矿，如果包括古砂金矿，可占三分之二以上。

冲积砂金矿一般分两种不同类型。即现代冲积砂金矿和古代冲积砂金矿。现代冲积砂金矿一般指在现代河流等有利的环境中形成，包括在更新世—第三纪形成的所有未固结的冲积砂金矿。形成时代较早的现代冲积砂金矿可深埋于沉积层或火山岩层之下。古代的冲积砂金矿主要指第三纪以前形成的，经过固结成岩作用而形成的冲积砂金矿。

（1）*冲积砂金矿的主要特征*　大部分分布在靠近含金冲积层的水源头，粒度比较粗，多赋存在冲积层比较低的部位。含金的冲积物即可直接分布在基岩之上，又可在基岩之上几米的冲积层中，也可出现在裂隙或破碎带之上的冲积物之中。含金的冲积层即可产出基岩或其上几米的地方——“真底”之上，也可产出厚层的冲积层——“假底”之上。这种假底，一般为压实的砂砾层中的粘土层，有时是钙质胶结的砂砾层。

离水源头越远，搬运的距离越远，则单体金就越纯。含金的冲积层可由松散的，未固结的，比较干净的砂和砾石组成。但是，在有些地方，在砾石的表面则有一层褐铁矿、锰土或其他沉积物的薄膜。有些含金的冲积砂砾层可被褐铁矿、锰土等强烈的渗透并胶结，这种现象一般多发生在其原生金矿或围岩都富含有黄铁矿、菱铁矿、绿泥石以及其他含铁、锰的矿物的地方。次生的硅质和钙质胶结物，在冲积砂金矿中很少见的，除非是在含硅质泉水或含钙质的水中。在干旱地区的有些冲积砂金矿中也被钙质胶结。在永久冻土带的冲积砂砾层则是冻结固化的。

在冲积砂金矿中，与金伴生的重矿物组合是不同的，这主要

取决于原生金矿的围岩及金矿类型，磁铁矿和钛铁矿是最常见的，还常伴生有不同含量的独居石、黄铁矿、毒砂、锡石、黑钨矿、白钨矿、辰砂、自然铋、辉铋矿、方铅矿、硫盐矿物、电气石、石榴石、铬铁矿、金红石、重晶石、锆英石、锰土、褐铁矿、刚玉以及铂族金属矿物等。

产出在干谷、冲沟、小溪、江河区流中形成的大部份冲积砂金矿多缺失规律性的、稳定的层理，但可出现有假层理、薄层化斜层理。在三角洲的沉积物中层理或成层作用的好坏程度不一，这主要取决于沉积速率快慢的变化。

在现代冲积砂金矿中可发现有裂隙、破碎带，甚至有断层出现，有的地方砂金层可有几十呎的落差。

（2）*现代冲积砂金矿的分类*　现代冲积砂金矿的分类主要考虑以下两因素：产出部位及形成原因。

苏联学者卡尔塔绍伊1971年提出了一个现代冲积砂金矿的分类方案，也是苏联金矿地质工作者广泛使用的一种现代冲积砂金矿的分类。他把现代冲积砂金矿分为原地冲积砂金矿和异地冲积砂金矿两大类。

（3）*冲积砂金矿形成的物理、化学条件*　目前对冲积砂金矿形成的物理、化学条件研究的还很不够，理解的也不深，特别是对块金的形成认识就更差。

1）冲积砂金矿形成的物理化学条件主要包括：

①金质来源要充足；

②必须具备有利的氧化作用条件；

③有利的富集和保存的环境；

这三个基本因素主要取决于构造环境的特征与变化，因为它影响和控制着河流水系动力学的变化。

2）原生金矿的氧化作用的特性

原生金矿的氧化主要受气候和地下水活动，原生金矿的性质

与特征以及其脉石矿物、围岩特征等因素的影响，而原生金矿床的性质及金矿床氧化过程中的化学系统则是冲积砂金矿形成的主要因素。

①原生金矿中金质点大小的影响

原生金矿自然金质点的粒度若是小于100μm，那么在天然水中则出现金的溶解现象或悬浮现象。在原生金矿的氧化过程中，一般都是金的质点直接进入到残积物之中，并从残积物蠕动到冲积物进而形成冲积砂金矿。但是，金的质点也可以在搬运迁移过程中，通过在水流系统或土壤中的增生或联合作用而增大，形成新的增生的金。在有些地方原生金矿中金的质点非常细，<50μm，甚至呈微粒的形式存在，或是出现在黄铁矿、毒砂，碲化物的晶格中，像这种情况，即使其他条件都有利也不一定都能形成冲积砂金矿。比较明显的例子就是南非的维特瓦特斯兰德金矿，在其中就缺少与其伴生的冲积砂金矿。在这样一些地区找不到大颗粒的自然金，因为这些地区的金大都呈分散的粉末状或溶解分散在整个土壤或天然水系之中。但是，也有相反的情况，即在原生金矿周围的冲积物中出现有细粒自然金或含金黄铁矿。这种情况的出现，主要是金在氧化带或残积物中由金的增生作用而形成相对比较大的自然金颗粒，进而形成冲积砂金矿。

上述两种情况说明，金的富集与形成不是单一的化学条件所决定的。而金的质点大小对冲积砂金矿床的形成是非常重要的，这已为加拿大的地球化学家特伊尔的试验所证实。

研究指出，如果自然金中的银或铜含量高，则说明金明显是被溶解了。纯金是很难溶解的。如果发现有金的溶解，那么就会有金的重新分散，重新沉积或增生，这主要取决于其所处的物理化学环境，特别是其所处环境的Eh、pH值的大小以及各种胶体的沉淀剂的出现。另外，比较纯的、细的自然金的剥蚀的过程中，从化学角度看是没有反应的，主要是通过机械分散作用运移分散到

更远的距离和更广大的范围内。包含在黄铁矿、毒砂以及其晶格中的金和碲化物，方金锑矿中的细粒金等都趋向于增长，并形成粒度比较大的自然金或金线。有关原因目前尚未查清。但是可以设想如下的影响因素是硫酸盐类、碲化物、铁的硫酸盐以及溶解金与天然的还原剂的相互作用，与各种胶体的相互作用。金在天然水中的机械搬运过程中，细粒金的表面特征似乎也是很重要的。有些细粒金可能还有明显的接触角，这可能是因为这种金具有有机质薄膜。含有这种有机质薄膜的金的质点，无论其本身有否气泡，这种特征都能促使金的质点向下游飘浮。

②基底或假底性质的影响

冲积砂金矿常常在基底或假底之上或其附近出现。基底或假底的特征对冲积砂金矿的形成有着重要的作用。几乎没有一个含金层是产出在光滑的基底之上，而最有利于冲积砂金矿形成的基底是垂直于河流的天然浅滩，薄层的软的片岩和硬的石英岩，或板岩和石英岩或形成的基底或假底。但是在有些地方，有利于冲积砂金矿形成的河流浅滩更易于赋存金。上凸或上凹的石灰岩基底对冲积砂金矿形成最有利。部分风化的片岩和片麻岩中没有风化的部分对冲积砂金矿的形成比较有利。小的金块金片以及自然金的质点在上述这些有利的部位的冲积层中能下深到10呎以上。同样的现象，也可在基岩被剪切、破碎及裂隙发育的地方也有出现。在发育喀斯特地形地层的石灰岩中也是金的很好的富存场所。在有些冲积砂金矿区，金与其有关的金属可下深到岩层的30或40呎深的地方。就假底而言，虽然被褐铁矿、锰土或碳酸盐胶结的粗的砂砾层对冲积砂金矿的形成有利，而固结的粘土和坚硬的岩层对冲积砂金矿的形成则更为有利。

③水溪及河流水动力作用的影响

水动力作用对于含金的冲积层的影响主要有以下几个方面：

a）水动力的情况

在平静的水中，控制金下沉的因素主要包括有比重、质量大小以及其不同的形状。两个形状和重量都相同的金质点，其大小不同，一般的来说是小的由于其具有更小的表面积，与水之间作用更小，所以容易下沉到降水之中，这就是为什么小的金块大都与直径约为一英吋左右大小，或者大于一英吋的石英砾石在一起产出的原因。

形状不同，沉积情况不同，一般在质量相同的情况下，球状金质点比板状、条状的金质点具有较小的表面积，因而，球状的金质点容易沉积到冲积物之中。在水中分选不同比重的金矿物，一般比重大的下沉到更深的部位。

在流动水中的情况下，冲积砂金矿主要是在流水中形成，而不是在静水环境中形成。水溪和河流水的水动力学参数主要包括有：水流的斜坡梯度，水的流量等。水流斜坡梯度基本上由地壳局部的上升或下降所决定，而流量则主要取决于河流的水与地下水的多少，主要受降雨量的影响。

在流水环境中，被水流所搬运的固体物质大致分两类：

悬浮搬运的固体物质，主要由于湍流的作用使固体物质悬浮，如果沉积物粘结在气泡上而悬浮的情况在有些地方也是很重要的。

水底搬运的固体物质，也称之为基底搬运的固体物质，其主要是沿着河底经过滚动、滑动以及其他方式而迁移。

另外，水流中的沉积物还有向下蠕动的作用。试验研究指出，河流水速为2哩/小时，其可搬运重3 盎司的金块。即水速为3呎/秒可搬运重3 盎司的金块，当水速为4哩/小时，则可搬运重45磅的金块，若水速为10哩／小时，则能搬运重1.5t的金块，也就是说河流水速搬运的力量与水流速度的6 次方成正比。这就很容易使人理解，在洪水泛滥期时，在冲沟、水谷中，若洪水以20哩/时的流速向下流动时，能搬运重达100t或100t以上的砾石了。

研究指出，在水中金重为石英砂重的9倍，在坡度为0.5—1.9‰或水速为0.3m/秒时，对金的搬运最有利。细粒金有的可搬运到300余公里以外的下游地区。

b）不同气候条件下河流水系发育的特征与过程

随着海平面的上升、地形的变化，一个地区，其基本的地形水系特征是取决于该地区接受降雨量及气候条件。

在气候潮湿的地区，有些地方虽然受到湖泊等阻碍和影响，但是大部河流则注入海洋。河流水系的演化大致可分为四个阶段。

幼年期的河流——初期形成的时期。这个时期的河流一般是斜坡梯度低，由地势低凹变为存水的湖泊。在岩石中可以发育形成各种规模的冲沟和裂隙，剥蚀冲刷力量有限。

青年期的河流——河流发育的时期。主要的河流由于向下，向源的侵蚀作用，发育形成有很多的支流，而以前形成的湖泊大都消失了，V型谷开始发育，有的地方出现很陡的沟谷、峡谷等标志性的地貌特征。

壮年期的河流——主要发育有沟谷、水溪、支流等。在有些河流的一些有利的地方形成比较典型的冲积砂矿床。由于河流向下侵蚀的作用以及侧向侵蚀的作用，河谷、河床逐渐变宽，河流两岸的坡度也越来越平缓，进而形成洪积平原。由于河曲作用，使不同河道之间的水流发生漫流的现象。一些主要河流及支流中形成的冲积砂金矿继续发展。河流的冲积砂金矿，洪积平原的冲积砂金矿以及三角洲的冲积砂金矿大都在此阶段形成。如果继续缓慢下切或地壳局部上升都可使早期形成的冲积砂金矿保存下来。

老年期河流——整个陆地表现为地形起伏变化很小，一般多为低矮的圆形小山，浅的河床波状地貌特征以及河曲发育缓慢的河流，发育有牛轭湖。这个时期很少有冲积砂金矿形成。

在气候干燥地区内的河流演化特征与潮湿气候条件下河流演化的特征不同。主要是由于这些地区降雨量少，因而缺少厚大的

土壤复盖层，植被也不发育，风蚀作用比较重要。沿河谷两侧，向下的蠕动作用减少，由于气候干燥，缺少更多的水源，因此水系内部常有一些盆地形成，金及冲积物等并不搬运到海洋之中。因此，干燥气候条件对冲积砂金矿的形成非常不利。一般多在一些沟谷、峡谷、山麓平缓的平原以及冲积扇中形成冲积砂金矿。这些地区形成的砂金一般是无规律的分布在整个沟谷底部以及内陆盆地之中。

至于沙漠地区的砂金矿，一般都是比较小的，含金层也是无规律的、分散的。在美国西部及墨西哥一些沙漠中有比较典型的砂金矿形成。

上述情况都是一般的特征，但是也有很多的例外。

像河流成熟期或老年期水系突然上升，可引起河道重新下切，致使已经形成的冲积砂金矿重新破坏或深埋。同样，由于降雨量的突然增加可以产生洪水，使沟谷、河流中的水流溢出河道，甚至使河流改道，这样也可使现代冲积砂金矿被改造、破坏、掩埋等。

在比较宽的山谷、洪积平原以及三角洲中的含金层，在分布上和形成环境方面是非常不规律的，河道改变及河曲迁移等控制着砂金矿形成的环境。

含金的冲积层形成之后，由于受到后来的同源或不同源的河流的改造作用，可使含金冲积物的金更加富集。

在各种不同的三角洲中冲积砂金矿的产出情况。在江河湖海都有三角洲形成，但是有关其中砂金矿的形成与富集的情况则报道的很少，从已有的材料看，在河流的三角洲可以富集形成砂金矿。这种砂金矿主要产出在河流出口处的冲积层的最上部和最前端。在湖泊中的三角洲里，仅产出有细粒和非常细粒的金，在有些情况下，细粒的金可以富集在最前端冲积层的平伏的沉积层之中，这种含金层相对来说具有较高的斜坡角。海洋中的三角洲，

一般不发育有含金的细粒的平伏沉积层。

值得指出的是在缅甸丹那沙林附近的沼泽泥中发现有一种由含金的二氧化锰沼泽泥组成的冲积砂金矿。这种砂金矿的金明显呈脉状的形式出现。这种砂金矿形成于潮湿的环境之中，可能是通过螯合作用而形成，或与其他有机质聚合在一起。含金的沼泽泥平均含金为0.285ppm

还有的冲积砂金矿可由冰川作用及其后期的河流作用使一些从冰积物中重新活动出来的金形成冲积砂金矿。目前已知新西兰、美国、加拿大等国都曾开采过这种冲积砂金矿。

（4）几个典型的冲积砂金矿的实例

1）加拿大育空地区布达林地区的冲积砂金矿床

布达林地区的冲积砂金矿开采于1898年，地貌特征表现为相当低的圆形的低矮小山，广泛发育有小的溪流及支流。区内的基岩为褶皱断裂的石英岩、千枚岩、石墨片岩、灰岩以及石英－云母片岩。这些岩石为白垩纪的花岗闪长岩侵入。在花岗岩中发育有含白钨矿的矽卡岩。另外还有一些含金黑钨矿的石英脉和花岗岩及其接触带中的锡石、锡石－电气石脉和呈北东走向的含金石英－毒砂－黄铁矿－硫盐矿物脉。在这些原生矿脉中，平均含有大约0.2盎司/t的金，1.5盎司/t的银。大部分金多呈次显微－显微状，多赋存在毒砂、黄铁矿及硫盐矿物中，仅在石英和硫化物中见少量的游离金。

含金石英脉的母岩强烈风化，有的地方风化深度可达20呎以上。矿脉氧化的部份与臭葱石、褐铁矿、黄铁矿及毒砂的残余以及一些硫酸铅矿和砷菱铅矿等比较稳定的矿物。氧化带取样分析指出金含量变化很大，从0.015—0.3盎司/t，银含量平均为0.5盎司/t。氧化带的金主要有细的粉尘状，小的扁片状、大量呈线丝状，有些金与臭葱石、褐铁矿等密切共生，这很可能是化学键结合或吸附的形式。大部份氧化带的金成色为850，与原

生金矿显著不同。

2）加拿大育空地区克郎代克冲积砂金矿区

1896年或更早发现，已经生产了1000万盎司的黄金，占加拿大西科迪勒拉砂金产量的二分之一以上。该区出露的基岩主要有石英－云母片岩、绿泥石片岩、绢云母片岩、石英岩、千枚岩，含黄铁矿的石墨片岩以及夹在沉积变质岩中的强烈剪切的石英斑岩岩床或岩流。这些岩石的时代可能是前寒武纪。这些岩石都经过强烈挤压褶皱。整个片岩带大都出现含有微量或少量金的石英块体。常见的含金石英块体有：

①夹在沉积变质岩中，呈肠状、指状、层状、花朵状的石英脉。这些脉都含有少量的黄铁矿，并且都含有金，金含量一般为0.01—0.05盎司/t。

②石英－重晶石脉，其中含有少量的方铅矿，这种矿脉大多数都含有大约0.02盎司/t的金和0.03盎司/t的银。金一般呈自然金产出。

③绿片岩相中的石英脉，这种石英脉及其附近的围岩中都含有粗粒的立方体黄铁矿及少量的方铅矿。在石英脉中发现有大颗粒的游离金，而在石英和黄铁矿中则只有微粒金出现。

④指状、细脉状、不规则透镜状的石英广泛分布在一宽大的北西走向的剪切带中，该剪切带有明显的绢云母化和黄铁矿化，出现的主要金属矿物有黄铁矿、方铅矿、闪锌矿，也有一些重晶石出现。金主要呈囊状产出在整个石英脉带之中。含金量很低，约为0.01－0.05盎司/t。金多呈游离的小粒状或碎片状。

此外，在含黄铁矿的石墨片岩中也含有少量的金。约为0.005ppm，大部份产出在黄铁矿之中，个别样品可达2ppm。

该区属育空高原的一部分，地貌上多为圆形小山，支流水系特别发育，山谷比较平坦，河流的下游地段较宽。向上游河谷逐渐变窄，两岸变陡，向源侵蚀成为窄沟谷，最上部为广阔的大冰

斗。山谷的下部有很多的明显阶地。这个地区未被冻结，但是被冻土带所复盖，有的地方其厚度达200呎。

砂金矿的形成。主要由于在晚第三纪时期地壳上升，致使含金的基岩经受长期的风化作用。首先是“V”形谷的形成，并逐渐变宽，充填沉积砂砾沉积物，在地壳上升时期河道进一步下切深挖。有的地方几乎深切到基岩，在下游有阶地形成。

含金砂砾层的研究指出，其分层如下：

①比较高层位的砂砾沉积物，从上到下依次为河流砾石、河道砾石，其中有白色和黄色之分。

②中部层位的砾石——主要是指阶地上的砾石层。

③下部层位的砾石，常见的有冲沟的砾石、水溪的砾石、河流的砾石。

该区已知最重要的含金层之上是下部层位的水溪砾石层，其一般分布在山谷底部基底之上，厚4—10呎。大都为片岩风化崩解的产物，其上为黑色冻结的淤泥所复盖。淤泥厚2—30呎以上，但仅局部出现。片岩的砾石通常呈扁圆状，厚1—2呎，长2—6呎，与这些砾石伴生的还有不同比例的圆的、次圆的石英砾石和巨大砾石。区内少见有晚期喷发岩的砾石。这些砾石组成松散的层状，并常常夹在粗粒的浅红色砂层之中，有的地方夹在薄层泥砂或淤泥之中。该层常见有动植物残骸出现。其上为冲沟砾石，其一般粒度较粗，具明显的棱角，大部份堆积物来自附近的基岩。该区最重要的含金层是河流砾石，其一般产出在河谷下部宽阔平坦的地段。河流的砾石主要由石英岩、板岩、燧石、花岗岩、辉绿岩等砾石组成，砾石比较硬，滚圆度较好，一般都搬运了较大的距离。

中部层位为阶地中的砾石，多分布在阶地岩层之上。这些阶地在不同地点可以下切到现代山谷的陡坡。在山谷下切过程中，可形成新的阶地，并可沿着以前形成的谷底分布，这种阶地一般都

比较小，偶尔在宽度上可超过几码，长度超过几百码，分布无规律，可以产出在任何标高，甚至出现在老的山谷的底部。阶地上部的砂砾层一般厚6—15呎，可被淤泥复盖，在阶地上形成砂金矿，有的可深埋在100呎以下。

较高层位的河流砾石分布较广，一般由出现在山谷出口处附近的砾石组成。砾石主要由滚圆的石英岩、板岩、燧石花岗岩及辉绿岩的砾石组成。有些砾岩层夹在灰色砂层中，有的砾岩含有非常丰富的金。较高层位溪流的砾石或白色河道的砾石一般分布在宽阔的谷底平坦的部位的古老的溪流沉积物之中。这种含金层分布无明显的规律。

上述砾石层中主要的含金层有下部层位中的溪流砾石层，沟谷及河流砾石层，阶地砾石层。含金层总是出现在基底之上的几呎厚的砾石和风化的碎屑中，而在坚硬基底之薄层砾石含金最富。含金层在长度和宽度方面明显是连续稳定的。有些含金层长度可达1000呎以上。例如在埃尔多拉多地区的一条溪流砾石层中含金层长度4 哩以上。在各含金层中，不同部位的含金层中金的成色变化很大，有的底部为625，而上部则为890。这可能是由于金的来源不同所致。

该区砂金矿的组合，在下部层位的砾石层中最丰富的组合包括：阳起石、重晶石、绿泥石、绿帘石、角闪石、紫苏辉石、石榴石、针铁矿、钛铁矿、白钛石、磁铁矿、黄铁矿、榍石、金红石、透闪石、电气石、黝帘石、锆石。较少的及稀有的矿物组合为红柱石、锐钛矿、磷灰石、黑云母、白铅矿、铬铁矿、单斜辉石、斜黝帘石、白云石、黄钾铁钒、萤石、兰晶石、橄榄石、尖晶石、十字石、黄玉、独居石、白钨矿、闪锌矿、锡石、石榴石、磁铁矿、锆石比较稳定，一般比重晶石、针铁矿、黄铁矿及黄钾铁钒比较软的矿物丰富。

3．冰川砂金矿及其特征

冰川及冰川期后河流作用，使冰碛碎屑中的金被重新搬运出来，然后堆积成砂金矿。不列颠哥伦比亚的卡里勃地区，生产黄金2.3—3.0百万盎司，为一低矮的小山区，河流沟谷发育而不规则，风化剥蚀作用强烈，从早第三纪直到更新世形成，被冰碛物复盖，基岩为下古生代的千枚岩、泥质板岩、石英岩、石灰岩等均含有石英脉体，呈脉状、肠状、不规则状组成脉带，灰岩中存在含金的硅质交代体广泛分布，主要含金矿物有黄铁矿、方铅矿、黄铜矿，而辉铋矿、毒砂、磁黄铁矿、白钨矿与砂金伴生。此外还有游离金，发现于1890年，到更新世冰川期后河流作用重新搬运，在其上部沉积间冰期砂金矿，使原来砂金矿更为复杂化。金粒较粗大呈扁平状，少许呈棱角状，成色775—950。

4.古砂金矿

进一步可划分两类，一类是含黄铁矿等硫化物较多，成岩作用明显；另一类是成岩作用弱到中等，含硫化物少而含磁铁矿、褐铁矿等铁的氧化物较多。属第一类的有石英砾岩金矿。第二类的是含金砂砾岩，世界上分布广泛但经济意义不大。含金石英砾岩除兰德型外，美国的哈姆希克砾岩金矿也是其一。

四、有关砂金成因的几个问题

1.砂金成矿建造及其特点

成矿省内广泛分布着原生金矿床绝不能说明其中的砂金矿也有同样的广泛分布，而没有大型原生金矿分布的地区也不一定就没有巨大的砂金矿床存在。这主要是由于形成砂金矿的条件及砂金矿成矿建造的影响所致。“砂金成矿建造”一词是1970年由苏联学者H·A·Wueo提出的。根据砂矿成矿建造这一概念可区分砂金矿床的原生金的来源。砂金矿的金质来源有原生的和次生的。根据砂矿成矿建造形成砂金矿的能力可分为高、中、低三

种。含金性最好的砂金矿成矿建造是含金石英建造。以苏联远东金矿为例，各建造的特征如下：

1）含金－石英建造

这个建造的金矿床和金矿化现象，广泛发育在中生代，属浅成矿床，矿物成分比较单一，矿体中石英含量可达70—95%，按其成因特征可分为两种不同类型。

①裂隙充填的石英（<90%）

②交代石英（石英可达10%）

按形态可分石英脉、石英细脉及石英网脉。另外也有少量的重结晶的石英出现，脉石矿物有钠长石、方解石、绿泥石、绢云母。不透明矿物占0.5—1.5%，计有黄铁矿、榍石、方铅矿、白铁矿、黄铜矿、硫锑化物、金为游离金，但分布不均匀。例如，在丘科莫科矿床中，金靠近脉壁分布、富集，或者出现在浅蓝—浅灰色、中粒的石英脉中，这种石英与针铁矿中呈假脉状形式存在的石英连生在一起；或沿着方铅矿成假晶以及在堆积有富钾云母的矿巢中呈包体存在。在矿体的下部的毒砂中出现有金的包体。游离金有的呈片状、块状或变形虫状，并常有自形晶和晶族连生体出现，金的表面起伏不平，表面有的地方呈窝状，在晶体边缘擦痕明显。通过矿块和样品的加工发现，金的大小为0.06—1.5mm，有的呈片状、块状及树枝状的金直径达4—6mm以上在矿体上部常常出现直径达10cm以上的矿巢。砂金矿中的金一般都比原生金小。

2）金－稀有金属建造

这种建造出现在鄂霍茨克—楚科特的火山岩带，主要是中生代火山岩带之中。

矿石中有石英、电气石、云母、方解石、绿泥石和长石、硫化物、金和某些含铋、锡和钨的矿物呈斑晶形式产出。毒砂、自然铋、辉锑铋矿是其矿化特征之一，自然金通常都与铋矿物共生。

矿化表现为含金的单矿物石英脉，含金的黑钨矿石英脉，含有自然铋、辉锑铋矿及含金的石英脉。矿物中矿物组合为金－毒砂－斜方砷铁矿。矿脉中硫化物和金分布不均匀，有时出现大的堆积体。矿脉一般都分布在火成岩岩穹周围而不直接出现在火成岩体内。脉多呈单一的交切脉、复脉以及网脉。脉可延展到几十米，宽度可达几米。有的含金石英脉沿走向甚至可追索达几百米。

3）金－锑建造

该建造发育在中生代的褶皱系，也可能出现在地块之中。这种建造本身现在也引起了很大的注意，认为其可作为形成独立砂金矿的有利建造。例如，苏联雅库特的印迪吉尔卡河流域金－锑建造中的矿床，局部富集在大的线性断裂带，与分布在褶皱带情况有所不同。矿石主要由石英、辉锑矿组成，并含有少量的黄铁矿、锑华、褐铁矿及其他矿物。金分布不均匀。矿石的构造比较复杂，有块状、角砾状、细脉浸染状及细脉状等。在角砾状矿石中已确定的含金量增多，金主要集中在石英－辉锑矿的集合体中，在块状的裂隙石英岩中有浸染状金，金多分散在小厚度脉状的辉锑矿中，金的粒度一般都小于1mm。金可分为两个亚种，其一为同质异相，等轴状或不规则状以及延长状。其二为薄膜状、海绵状、显微齿状等，这些都属次生金，是氧化带中形成的，与次生金共生的矿物有自然硫、锑华、石膏等。次生金可达25%，可出现在100m以下，次生金的形态为薄膜状。

4）金－银建造

可分金－深红银矿、金－辉银矿以及金－闪锌矿－方铅矿等三个亚类。

例如，楚科特奇中部地区的金矿床及金矿化，产出有不规则状及树枝状的金，并与银的硫化物共生。金在辉银矿中占0.02%，黄铁矿中占0.001%，方铅矿中占0.0005%，闪锌矿中占0.05%，辉锑矿中占0.002%。

其中第一亚类(金－深红银矿)，金多呈树枝状横断面有的可达1.5 mm。这种金为污黄色，在个别情况下，其上有薄的高成色的次生金，金常与石英连生在一起。第二亚类（金－辉银矿）的金多赋存在辉锑矿周围的石英中，呈稠密浸染状，较少的金粒富集在深红银矿及辉锑矿的界面，呈椭圆状、树枝状和细脉状。金常常为树枝状的次生矿物所包围。

含金脉体呈脉状、细脉状、网脉状以及脉带。根据某矿区4114颗金的产状研究指出：在上部的矿脉中60.5%的金与脉石矿物有关，39.5%与矿石矿物有关。在下部矿脉的金有25.4%与脉石矿物有关，74.6%与矿石矿物有关。用酸溶解矿石获得839 颗金中、呈水滴状的占58.3%、团粒状的占24.5%，脉状和薄片状占12.7%，细脉状的占2.5%，树枝状占1.3%。

矿石加工发现金可呈浸染状的晶体出现在玉髓、石英及冰长石中，并常与银的硫酸盐和硫化物共生。金颗粒有的表面呈黑色，这是一种含银的氧化薄膜。

5）金－硫化物建造

这种建造局部富集在中温热液蚀变的安山岩地段。主要的脉石矿物有石英、钠长石、碳酸盐矿物、绿泥石以及水云母。矿石矿物有黄铁矿、黄铜矿以及少量的方铅矿、闪锌矿、黝铜矿。矿体分布在花岗岩类岩石以及其外接触带的火山岩及火山沉积岩层之中，并受区域性的断裂构造控制。由于含矿围岩不同，因而矿物组合变化也很大。

综上所述，苏联远东地区的很多砂金矿都分别与上述不同的含金建造有关。只要具备有利的砂金成矿建造和砂金矿形成和保存的条件就可能形成砂金矿床。因此，砂金成矿建造在分析研究砂金矿的形成以及预测方面具有重要的作用。

2.确定砂金成矿建造含金性的主要因素

研究比较砂金矿床指出：确定东北亚砂金成矿建造的含金性

的主要因素是颗粒大小、形态以及与其他矿物共生的特征。

1）金粒级的大小

有关资料指出：预测砂金矿成矿建造的含金性是比较重要的。分析矿石细磨后金粒级分布的情况分析说明：

①大的金颗粒是金－石英建造的特征，其金粒级从脉→脉带→矿化带依次逐渐变小。

②金－银建造中的金的粒级大小明显变小，其中 $<0.1mm$ 的占80%以上。

③金－稀有金属建造及金－锑建造中的金粒级与金－石英建造的金粒差不多。

④金－硫化物建造中的金粒级是相当细小的。

原生金矿床中金粒级大小直接影响着与其形成的相应的砂金矿床的含金性。金的粒级越细小，其含金性越低。这主要有以下两个原因，其一是首先必须使细粒金从非常细的分散的含金矿石中分离出来；第二是细小的及次微粒金颗粒在含水的冲积物中具有很大的迁移能力。

2）金的矿物组合

在原生金矿中，与自然金共生的矿物，在风化作用过程中的各种各样反应决定着该原生金矿床所形成的砂金矿中的矿物组合及其含金性。研究指出，不同矿物组合中的金，按其粒级大小的不同可以区分，因而就必须提出其数量评价。根据亚洲东北部金矿床取样加工试验研究确定，在亚洲东北部及其他地区不同矿石建造及不同矿物类型中，金通常都与石英和硫化物共生，很少量的与磁铁矿、重晶石、碳酸盐矿物及硅酸盐矿物共生。

3）金的形态

金的形态是评价砂金矿成矿建造的主要特征。金的形态在很大程度上取决于在含水的冲积物中搬运迁移的方式及特征。实践证明，砂土中薄片状的金很少形成工业富集的金矿床，即使这种

形态的金在矿石中比较特殊，含量也比较高，也不常形成工业富集的砂金矿。研究指出每一种含金成矿建造都有一或两种不同形态的特征性的金。因此，可以认为每种含金建造的金都有一定的特征的形态。

3.风化作用及其在砂金矿床形成中的重要作用

在有平原的条件，化学风化作用比较彻底，并形成一个厚厚的风化壳，这对砂金矿形成极为有利，特别是化学风化作用更为重要。在风化作用中，硫化物的多少对金的分离有重要作用，特别是黄铁矿含量的多少更为重要，化学风化作用在砂金矿形成的初始阶段更具有重要作用，在亚洲东北部个别的金矿区的砂金形成仅仅是化学风化作用，有的砂金矿矿区试验指出，在松散层中游离金的粒级为0.074mm，占50.5—72.4%，而矿井中则占60.1%，这就指出化学风化作用而分解出来的游离金可以达60%。硫化物氧化溶解形成了易溶解的硫酸盐，使含金岩石易于氧化而大量带出金；硫化物溶解的同时带出金等大量物质搬运沉淀，带出的物质不是硫化物，而是碳酸盐、氧化物、氢氧化物、硅酸盐等物质，在适当的场所与金共同沉淀，经过再溶解再沉淀，就促使金富集成矿。但是，不同的金矿成矿建造由于矿物组成、结构构造及含金特征等不同其在风化作用条件下金析出的能力也不同。例如，多金属矿石表生作用带中金的富集程度可根据岩石、矿石的组成及其孔隙度、体重变化等进行评价。含大量硫化物的多金属矿石、风化作用比较强烈。如乌克兰地盾风化壳的研究指出花岗岩类岩石，体重2.57—1.65g/cm³，孔隙度3.69—39.6%；碱性岩体重2.73—1.62g/cm³，孔隙度5.32—43.0%；片岩体重2.73—1.62g/cm³，孔隙度5.32—43.0%。依据上述数据评价其风化程度，若完全分解时，含金的脉岩的金品位可有较大的增长。苏联在较寒冷地区进行实验，结果表明：金的连生体大部份在+12mm以上。碎屑物中，其中有一个样品占90%以

上。与连生体在一起的石英、方铅矿、毒砂等分成八个粒级，金有溶解的和破碎分解的二种，苏联作了不少的模拟实验。

4.古砂金中金的特征和形成金的主要作用

南非兰德型古砂金矿，有三种不同类型的金，即碎屑状态的金，生物化学作用形成的金和重结晶作用形成的金。

1）碎屑金：在碎屑沉积物中，以结晶状态产出，呈棱角状、有时具有其它金属矿物的生长边，在风化搬运过程中由于碎屑金的互相碰撞作用，可以使金发生变形，并有伴生岩屑、碎屑。不只限兰德型金矿，比如莱茵河上游的莱茵金矿，搬运距离在150km以上，原来结晶形态特征有所消失，发生扁平弯曲等现象。兰德型金矿搬运距离5—30km，金表面有不同方向的擦痕和槽沟，粒度大则表面弯曲、磨蚀现象明显，变形程度随搬运距离的增加而增大，金在搬运中不仅遭受机械破坏作用，而且有化学作用的影响，在含碳酸盐的河水、pH6—8、氧化还原电位300μV，银从金中被溶解，随搬运距离增加，金的成色增高。兰德型金矿的搬运环境是pH在6—8以下，氧化还原电位为100μV。因此，据金的成色确定搬运距离还是有意义的。兰德型金矿的矿物组合是金与闪锌矿、辉砷钴矿、辉砷镍矿、黄铜矿、方硫铁镍矿、黄铁矿、磁黄铁矿在一起，并发现金与辉钼矿连生，因而有人认为与前寒武纪片岩中的矿物组合不同，兰德型金矿的物质来源应与斑岩铜矿相同，而与片岩无关。

2）生物化学作用形成的金：对兰德型金矿的炭质层研究原确定炭质层是前寒武纪古植物化石，都形成在冲积扇的下部，金明显的呈“灯芯”状，而“灯芯”状是一种古植物的形状。在炭质层中呈纤维状或纤维状集合体出现比较普遍，经与现代植物对比研究表明，金生长在植物细胞体的内外壁，古植物参与了金的形成，炭质层中有10%的U_3O_8——沥青铀矿的包裹体，也呈纤维状出现，同样反映生物化学作用。金的粒度很细，在与现代

藻类对比时发现不少相似之处。碎屑金与生物化学作用形成的金，其银的含量也不同，后者为前者的两倍；碎屑金含微量Hg；而生物化学作用形成的金不含Hg；当时形成生物化学作用的金的气候条件应是潮湿的，古植物应是茂盛的。类似的情况在加拿大也有研究。

3）重结晶作用形成的金：碎屑金和生物化学作用形成的金，与其赋存的岩石都是同期生成的，而重结晶的金是后生的。在兰德型金矿中存在数量较少，但也是一种类型。在低变质岩石中可以明显的看出金有强烈的重新活动的现象，在岩脉或断层带附近或上部有熔岩的地方，由于温度的增高和应力的作用，使金重新活动并被搬运一段距离，有的金重新沿黄铁矿的晶面生长，被认为是重新运移或重新结晶作用形成的金。

5.砂金矿的金质来源

关于金质来源问题已有很多研究，这里仅指出以下两点：

①有些大的金矿区金可来源于不同类型的原生金矿，其它有次生金的来源。

②有些大的砂金矿区附近，并没有大型的原生金矿床，而金主要来源于附近广泛分布的含金石英脉、含金的绿片岩以及断裂带中或中酸性小侵入体内外的含金石英脉等等，像苏联的伯代盾砂金矿、阿拉斯加的一些砂金矿。

6．砂金富集部位：为什么砂金富集在基底或假底之上数呎的范围内，据加拿大鲍尔的研究表明

1）金的向下的化学运动；

2）金的向下的物理机械运动，使金的质点穿过尚未固结的沉积层，主要有向下的颠动作用；

3）微地震运动；

4）水的向下运动；

5）砂金在形成过程中，即由垂直到横向的转变过程中，剥蚀

作用和气候变化的影响；

6)水的动力学变化规律的影响。

7．块金的形成及其富集条件

有两种截然不同的看法：

1)化学增生作用形成。沿古植物、黄铁矿结核、褐煤等进行增生，随含有大量的盐和酸的热水溶液，能穿透厚度很大的砂砾层，热水的来源与区域性火山活动有关。如澳大利亚的维多利亚砂金矿区的块金就是原地形成的。另一种是异地形成，金从原生矿床中游离出来后，暴露面积增大，表面上如“电镀”似的一层一层的增生。

2)裸露的原生矿，金经机械破碎后搬运或残留而形成的块金——破碎原因，其理由是：

①砂金的形成总是靠近各种不同类型的原生矿，如果是化学条件增生，那么块金在离开原生矿床的任何距离的有利条件下都可形成，但事实上大部份块金都靠近原生矿。

②块金通常都含有一个核——石英核，这种石英核聚集的金无疑的应是原生金。

③砂金中总是伴生有一些重矿物，而这些重矿物都是原生金矿中所具有的，如白钨矿、重晶石、黄铁矿、毒砂，都是碎屑成因的，而不是化学作用形成的。

④块金中基本上都含有一组与原生金矿相同的微量元素。

⑤砂金矿中的金与原生矿的金在结晶习理上是一致的。

以上是两种不同的看法，加拿大的鲍勒提出第三种看法，认为块金的形成是碎屑成因与化学成因的综合产物。

8．新生代（特别是第三纪）以来大型砂金矿的形成和保存的原因

南美的哥伦比亚、秘鲁、玻利维亚、智利、新西兰、美国的阿拉斯加、苏联的远东等地的大型砂金矿，储量都超过148t，其

中大部份是第三纪以来的，产生原因归结几点：

1）世界很多地方的第三纪火山活动强烈这与金的形成有关。

2）第三纪在环太平洋地区是构造隆起时期，剥蚀风化强烈，对形成砂金矿极为有利。

3）第三纪的古气候，从两极到赤道都是比较潮湿炎热的，热带亚热带植物发育茂盛，风化作用主要是红土型的，由于隆起上升，深切剥蚀作用发育，河流水系广泛存在，为形成砂金矿创造了较好的条件。

9．砂金储量、品位、粒度与地质时代的关系

兰德金矿非常大而集中，经强烈改造而成，是前寒武纪的，粒度细50—100μm；古生代到中生代大型砂金矿就比 较少了，品位比较低，粒度比较细，不太集中；第三纪以后的砂金矿分布广泛、规模大、粒度变粗、块金较多。

五、苏联砂金矿类型、分布特征及我国找矿意义

苏联十分重视黄金的普查找矿，特别强调在已知成矿区、成矿带上找矿，在现有生产区和外围进行找矿勘探，60年代以来发现了不少新的大型金矿床，储量不断扩大，从1965年的29.61百万盎司增加到1980年的57.3百万盎司，矿山生产也由1965年的5.22百万盎司增加到1980年的10.0百万盎司，均增长一倍；黄金年产量也大幅度增长，成为第二大产金国家。

苏联金矿分布除乌拉尔、高加索外，大部份均靠近我国，其分布与原生金矿分布基本一致，受两大构造体系控制，其一为从乌兹别克开始，经天山、阿尔泰山、贝加尔湖到阿尔丹等地区受东西向构造体系控制；其二是北北东向构造体系控制的中新生代的火山岩带分布区。在东西向构造带上与金矿有关的岩浆活动

主要是海西期的，地层大部是前寒武纪到古生代的一套绿片岩系。在北北东的火山岩分布区则是燕山期的，与火山岩、次火山岩有关。乌兹别克的穆龙套金矿位于南天山海西褶皱带，从地质构造，岩浆活动等方面分析，可以延到我国天山、阴山等地，而穆龙套金矿1978年产量为80t。阿尔泰可以延到我国新疆的北部，多金属矿极为发育，斑岩铜矿、斑岩钼矿、铅锌矿、锡矿等分带明显，物质来源相当丰富。穆龙套金矿的出现在传统地质构造方面有了一个新看法，苏联把乌拉尔褶皱带和天山褶皱带划为同一个大地构造单元，属地槽褶皱性质，有人依据板块理论认为这一地槽性质的褶皱带与西伯利亚、俄罗斯地台、中国西北部三大板块之间缝合线部位相吻合一致。穆龙套金矿从1928年开始进行工作，到60年代才找到。直到目前苏联有20个砂金矿区，其中17个靠近我国。

从苏联砂金矿的储量、产量、形成条件、成矿建造的特征，特别是空间分布等方面看，在我国西北、华北以及东北地区寻找和开发砂金矿的条件还是具备的，远景是比较乐观的。事实上在我国上述三地区范围内已经和正在不断发现和开发着新的砂金矿床。值得指出的是，与苏联相比我们无论在砂金的找矿评价、勘探开发以及科研等方面都还应进一步采取有效措施，加强这方面的工作。

1.苏联各黄金公司的生产情况

东北黄金总公司：下设七个分公司，砂矿35处，原生矿3处，年产量107t。总公司有50个企业，500套选矿设备，23条采金船，1500台推土机。砂金产量占全苏联金产量的24%。

阿木尔黄金总公司：下设5个分公司，有40套选矿设备，12处砂矿，2处原生矿，年产量12.8t。

亚库黄金总公司：下设4个分公司，40个企业，175套选矿设备，20处砂矿，6处原生矿，年产量72.1t。

外贝加尔湖黄金托拉斯：下设3个分公司，50条采金船，年产量33.7t。

西伯利亚黄金托拉斯：10处砂矿，16处原生矿，每个矿为一个分公司，年产量25.3t。

俄大黄金托拉斯：下设3个分公司，50条采金船，年产量19.2t。

哈萨克黄金总公司：有8个矿山，每个矿山为一个分公司，年产量11.6t。

乌兹别克黄金总公司：下设4个分公司，年产量106t。

乌拉尔黄金总公司：下设9个分公司，有30处砂矿，30处原生矿，年产量10t。

滨海边疆黄金总公司：下设6个分公司，有100个砂矿，40条采金船，年产量8.4t。

阿尔泰黄金公司：有8个矿山，年产量1.7t。

塔吉克黄金公司：砂矿一处，原生矿二处，年产量3.9t。

吉尔吉斯黄金公司：原生矿二处，年产量0.5t。

还有叶尼塞河北侧、亚克尼亚等地。

2.砂金矿的主要类型及其特征

1)**残积型砂金矿** 以库拉那卡为代表。

由下寒武统含沥青的石灰岩、白云岩风化残积而成，主要分布在亚库特、阿尔丹地背斜范围内，由强烈风化形成的氧化铁、褐铁矿、粘土及一些砂质沉积物残积在岩溶中，金呈薄片状，5—20μm，品位0.35盎司/t。原生金矿为石灰岩、白云岩中不规则的或层状的交代物含金，品位为6ppm。交代物由冰长石和石英组成，经常与中生代晚期的云斜煌斑岩脉、岩床的空间分布关系密切。岩溶对砂金的形成起了富集作用。

2)**残坡积型砂金矿** 典型地区为黑龙江下游的伯拉亚—高拉金矿为代表，分布在伯拉亚—高拉山坡上。

3)**冲积型砂金矿** 苏联最早于1820年在西伯利亚、阿尔泰等地开采，近十年主要在勒拿河盆地。苏联的冲积型砂金矿主要分布在勒拿河、阿尔丹河、叶尼塞河、黑龙江、库鲁玛水系等地，地貌为低矮山区和网状河流，长期经受隆起、风化、剥蚀。含金层宽100—1000呎，厚3—25呎，品位变化大，叶尼塞河为0.02—0.05盎司/m^3，东贝加尔湖为0.1盎司/m^3，勒拿河品位较高，为晚第三纪和第四纪的，地区为永久冻土带。典型实例为博代博砂矿，位于勒拿河博代博盆地中。自十九世纪开始开采，矿区位于高原中部，地层为元古代，构造线呈东西向，在博代博凹陷中存在开阔的向斜夹紧密的背斜，岩石含硫化物较多，与石英组成含金的脉带或网脉出现在背斜的核部，成为金的主要来源。盆地北侧有五条东西向的石英脉带，宽0.5—3km不等，而含金品位较低。地貌为低矮山区被河流水系切割，地壳运动较稳定，一般标高850—950m，河谷标高200—500m，阶地宽100—250m，个别达400m，冲积层厚20—170m不等，可划分八级阶地，其中四、八级含金较富，均为隐伏阶地砂矿。

六、砂金矿的找矿评价方法

砂金矿床与其它矿床的地质工作方法相似，首先以地质成矿条件为基础，在一个地区进行综合评价预测，对金的来源、形成砂金矿的条件进行调查确定有利地段，在这方面认真分析砂金矿的成矿建造，研究构造演化历史，特别是新构造运动的特征以及风化作用的类型、方式和程度等都具有重要意义。在勘探评价过程中，槽井探、钻探是不可少的手段，但在工作过程中必须十分过细。重砂还是普查工作的基本方法。化探在砂金找矿工作中的应用也比较广泛，由于残积层中有As、Sb、W等元素的存在，因此，化探方法对残积型砂金矿的找矿效果较好。冲积型砂金矿

还可使用土壤化学（次生晕）、水化学（分散流）、地植物等方法。物探主要是磁法、电法和放射性测量。值得注意的是当前砂金找矿评价中，老点新评的方法在国外还是占重要位置，如美国“黄金热”中，从1967年开始就对48个州全面进行了调查，对其中20个州的465个有望区又进一步开展评价工作。加拿大的安大略西北部的几个老矿区330个金矿床，29个老矿山，66个有望区，220处金矿点，全面进行了一次调查。还有像印度、澳大利亚、菲律宾，就是南非等国也都非常注意老点新评的方法。

选自《地质参考资料》第二期（1986）

世界大型砂金矿床的地质特征

J.R. 沃杰西克

一、砂金矿床的特征

表1列出了世界上17个砂金矿区及其特征。这些特征包括矿化源岩的类型与时代、与其有关的侵入岩以及其间沉积旋回的时代。

表1　　世界砂金矿区

矿区	岩石类型	时代	侵入岩	沉积物截留区的时代
加利福尼亚内华达山脉	板岩、千枚岩、片岩、角页岩、灰岩	晚古生代	花岗闪长岩 闪长岩 细晶岩	始新世 上新世 更新世
加利福尼亚俄勒冈克拉马斯山脉	千枚岩、燧石、变火山岩、灰岩	晚古生代 中生代	花岗闪长岩	上新世 更新世
佐治亚	云母片岩 片麻岩	前寒武纪 古生代	闪长岩、花岗岩	未查明
圭亚那 圭亚那(法属) 苏里南	绿岩、板岩、片岩	前寒武纪	花岗岩	未查明
育空区克朗代克	片岩	前寒武纪	花岗岩 石英二长岩	始新世 上新世

续表

矿区	岩石类型	时代	侵入岩	沉积物截留区的时代
育空 阿拉斯加	片岩 千枚岩	前寒武纪	花岗岩 石英二长岩	始新世 上新世
阿拉斯加诺姆	片岩、板岩、千枚岩	前寒武纪	石英二长岩、花岗岩	未查明
加拿大不列颠哥伦比亚卡里布	千枚岩、石英岩、板岩	早古生代	花岗岩 花岗闪长岩	更新世
哥伦比亚乔科	绿岩、板岩、千枚岩、石英岩	古生代	花岗岩 石英二长岩	更新世
哥伦比亚安蒂奥基亚	板岩、片岩	古生代	花岗岩、石英二长岩	更新世
澳大利亚维多利亚和新南威尔士	页岩、板岩、杂砂岩、砂岩	古生代	花岗岩	始新世到上新世
新西兰奥塔戈	片岩	中生代	花岗岩	中新世到更新世
新西兰纳尔逊	绿岩、杂砂岩、片岩、板岩	中生代	花岗岩	中新世到更新世
新几内亚莫洛比	泥岩、片岩、石英斑岩	古生代	花岗闪长岩	中新世 上新世
中国 蒙古	片岩 片麻岩	未报道	花岗岩	未报道
苏联勒拿河	板岩、杂砂岩、千枚岩 片岩	前寒武纪 早中生代	花岗岩 长石石英斑岩	上新世 更新世
苏联雅库特	麻粒岩 片岩	太古代 前中生代	花岗岩类	前第四纪

在这17个矿区中只有4个矿区的基岩中产石英岩和砂岩，但所有的矿区中都产板岩、千枚岩或片岩。此外，除3个矿区外，其它矿区的板岩都是前中生代的。在这14个矿区中6个矿区的板岩是前寒武纪的。侵入到板岩中的岩石均为中到酸性，它们以岩株、岩墙或岩床的形式侵位，而呈岩基侵位的很少。

17个矿区中只有3个矿区的沉积物截留区的时代尚未查清。中国和蒙古的资料未报道这个特征。

二、黑色页岩中的金

现代沉积岩的粗砂粒岩、砾岩、砂岩和杂砂岩中的金含量高于平均值。与预测的不同，黑色页岩和炭质泥岩中的金含量也高于平均值。Л.В. 李和О.И.绍什娜（1974）发现叶尼塞岭的元古代沉积岩和与其相当的变质岩中的炭质和石墨千枚岩和片岩特别富含金。

据И.Я.科罗塔耶娃等人（1969）报道，在后贝加尔东部涅尔琴斯克扎沃德地区，含有机质的岩石比不含有机质页岩和粉砂岩中的金含量高14倍。黑色页岩和砂粒岩相岩石一样，也可以把金截留下来。

页岩中的金呈分散的自然金产出，赋存在黄铁矿中，吸附在粘土上和沉淀在碳上面，据H.库沙(1973)报道，在波兰前苏台德单斜含铜页岩中，金出现在有机化合物和含银的矿物中。

G.N.安诺申(1969)发现，在大西洋盆地的某些岩石中，金与泥质沉积物有明显的相关关系。重金属吸附在粘土上能产生凝聚作用，从而使凝聚起来的颗粒和富集层中重矿物一起沉积下来。

D.Z.派珀等人（1974）认为，东太平洋海岭翼部沉积中的金是岩生的。但J.H.克罗基特（1973）却认为是火山喷气成

因的。加拿大地盾岩石中的金与火山活动有明显的相关关系，其凝灰质沉积和斑岩往往比不含火山组份的岩石更富含金。那里的中性到酸性火山岩被认为是黑色页岩中金的原始源岩。

页岩中的金以碎屑自然金粒（直径不到50μm）、沉淀物和赋存在黄铁矿或其它硫化物矿物中的形式富集。这是砂金矿床发展史中的第一步。

三、粒度变化

直径小于50μm的自然金粒太轻，很难由水力富集成砂金矿床。有些作用可使金粒的平均粒度增大。区域变质时期的活化作用可使大部分金变成颗粒，或者使其进入硫化物矿物的小裂隙中。

如果褶皱作用不强烈，则只能形成白色的小的玻璃质石英脉。如果变形作用继续发生，则能形成较大的，引人注目的石英脉。这些较大石英脉受到褶皱和断裂，并含自然金。这些自然金呈小的颗粒和薄片出现，在原始页岩中是看不见的。脉金矿床属条带状石英型——金与石英中的炭质薄膜共生。

压溶作用是岩石化学成分借以改变和矿物在低温下借以分异的重要条件。从已报道的火成岩和变质岩中金与铜和二价铁之间的正相关关系中可以推测出金的活动性是很高的。U.哈克(1984)报道说，在发生低级到中级变质作用时，含铝变泥质岩中的铜会丧失61%。金的活动性与铜相似，一发生变形就从页岩中“跑出来”。

硫化物矿物中的金粒，在氧化作用期间可进一步增大。红土化作用也可以使金粒增大。

表2表示的是原生矿和氧化矿或砂矿中的金粒的粒度变化。

砂矿中之所以没有细粒金，是因为它们已凝结成较大的颗粒

或者分散了。R. W. 博伊尔（1979）提出，如果原生金小于50μm或者是某种硫化物或碲化物矿物的晶格中组份，那么金会是分散的或被溶解而分散的。

小于50μm的金的分散程度可能取决于原生矿床受到侵蚀期

表 2　原生矿和氧化矿或砂矿中金的形态与粒度

金的来源	金的种类	外表形态	粒度（μm）	注
基岩中的金	深生的（原生矿）	他形棱角状，等轴延伸和纹层状分凝物。半自形雏晶，表面闪光，树枝状连晶	0.1—200 0.1—1000，可达2000和更大	偶尔有粗粒的，他有细粒的
	表生的（氧化带）	疙瘩状，海锦状，表面凹凸不平。形状不规规的瘤状，八面体雏晶及其连晶		
	深生的	薄片状，水滴状，薄丝状，有时为小雏晶，表面闪光或粗糙不平，往往有深生矿物印痕和晶体	250—1000为主	分散的或聚集的细粒
砂金	氧化带	等轴状，厚纹层状，有疙瘩状或海绵状结构残体，偶尔为不完全雏晶；表面凹凸不平，光泽不均匀	200—500为主，可达2000—3000，偶见块金	
	水成的	树枝状，珊瑚状，集合体和颗粒连晶，光泽不均匀，表面粗糙		来自上述各类金的沉淀物

间占主导地位的物理条件。地下水的缓慢上升和上下渗滤会造成很深的风化作用，从而能形成较大的富集带。地下水的侧向运动使溶解的金分散，能（或不能）使溶质富集成沉淀物。

许多大砂金矿床是在亚热带气候条件下构造相对稳定期间形成的，因为这时很深风化可以产生粗粒金富集带。此外，在温和的气候下，多期侵蚀作用和沉淀旋回可以加强甚至代替单纯的深风化作用。

由于沉积物不时地接触起氧化作用的地下水，再加上水力分选作用，会使金游离出来，颗粒长大和富集，尽管它可能产生在离其原生矿很远的地方。变泥质岩比结晶岩更易风化，尤其在侵入体顶端或末端附近受到热液蚀变作用时更是如此。在雅库特地区，砂矿床中颗粒最大的金从原生带向下游移动了1.5—3km。

四、侵入岩

大砂金矿床都产在有中性到酸性侵入岩的地区。在某些地区，侵入岩本身所含的金就足以形成砂金矿床。这种来源的金粒细小，很难回收。砂矿区中的大部分侵入体是小岩株或岩墙，而不是岩基。它们可能是较大岩体的顶端或末端。

如果侵入体是金的源岩，那么侵入体的起源是很重要的。起源于硅铝物质的花岗岩类岩石中的磁铁矿比同一地区内起源于玄武质岩浆的花岗岩中的磁铁矿含有更多的金。在硅铝质花岗岩内，闪长岩和石英闪长岩的金含量较高。

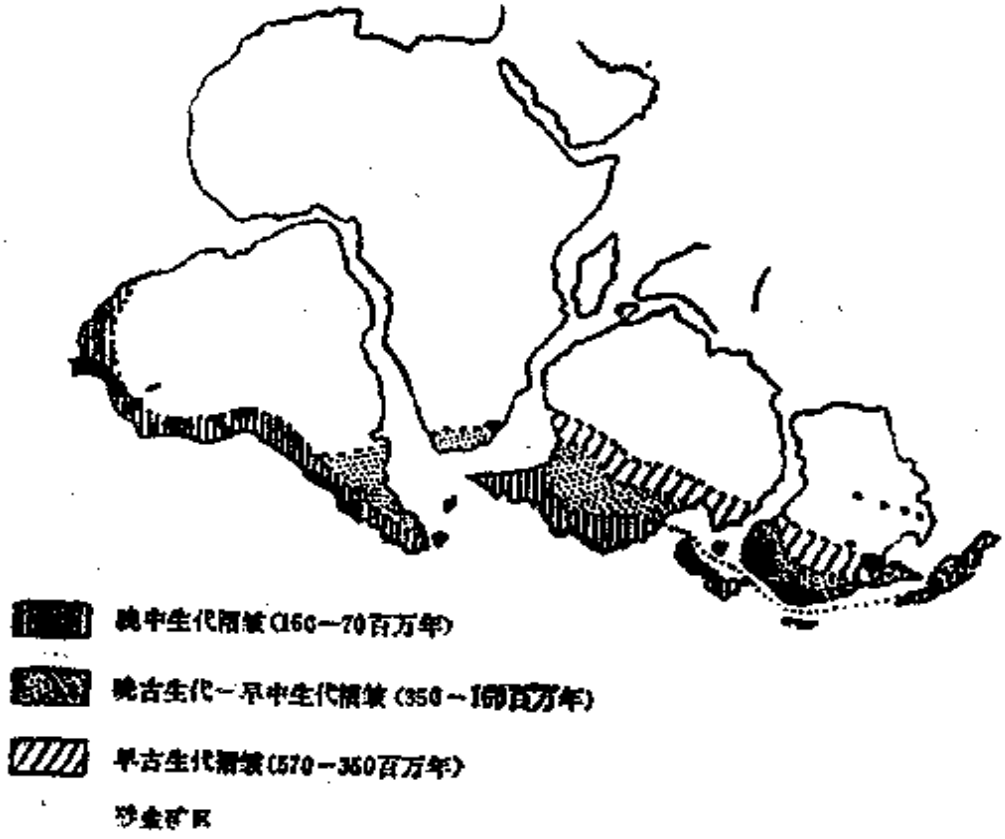
由于含金泥质岩同化而形成侵入岩，是决定金的富集和成矿区位置的另一个重要因素。在这种情况下，正象含金碎屑物的中间性侵蚀和沉积作用一样，多旋回的花岗岩化和侵蚀-沉积作用会使某些地区富集金。这些地区也会随着后来的旋回发生迁移。

五、黑色页岩的时代

较多的砂金矿床来源于前中生代沉积。这主要是因为前中生代的时间要比中生代和新生代的时间长一倍多。因此，老的变泥质岩多于新的变泥质岩。

各种形式的有机碳可使溶液中的金固定下来，或者使它在沉淀物中的活性变小。细粒金上的碳氢化合物薄膜有利于金漂浮起来，同时使它广泛分散，从而不利于金凝聚成足以由水力富集在一起的较大颗粒。

中生代和新生代的陆生植物丰富，这就为有机碳提供了来源。由中生代变泥质岩形成的砂金矿床是有的，但为数很少，这



砂金矿床与中生代褶皱带

可能是因为中生代地层的变质程度很少能达到前中生代变泥质岩的程度。附图表示的是南半球砂金矿床与中生代褶皱带之间的明显的相关关系。

六、结　论

大型砂金矿床的共同特征都是与前中生代变泥质岩有关，变泥质岩中有很多含金石英细脉，有起源于硅铝物质的中、酸性小侵入体，构造稳定期很长，或交替出现侵蚀和沉积作用，这就使金游离出来，平均粒度增大，可被水力分选。

固结岩石中形成砂金矿床有利的条件是有来自中性到酸性火山岩区的炭质页岩或含黄铁矿页岩存在，并有侵入到页岩中的硅铝质花岗岩、二长岩或石英岩小侵入体存在。从页岩和花岗岩中形成砂金矿床的有利条件是：它们处在近期地质历史上构造稳定期很长的亚热带气候的地区。

砂金矿床的形成不限于现代侵蚀和沉积旋回。成功地勘查页岩、变质岩或火山岩中的层控金矿床将有助于成功地勘查未发现的砂金矿床和重新评价已知的砂金矿床。

（陆兰生、贾忠蓬译自《Mining Engineering》，
1984年11月号。贾忠蓬、本刊编辑部校）

选自《国外地质科技》第一期（1986）

砂金的勘探方向

H. J. 瓦尔德

一、引　言

过去，找金人员早期工作的指导原则是“丛林地、荒沙漠”，而且在许多情况下显然是在当时地质学家所不注意的地方偶然发现的。这并不是说砂矿床的分布是没有规律的，并非如此；之所以会使人得出这个印象乃是因为人们还没有认识找矿的标志，否则，地质工作者就会很快得出一致的找矿观点。由于发现新矿床已经日益困难，所以现在就需要比以往更多的地质知识，特别是形成独特的砂金矿的砂矿地质特征方面。

关于砂金勘探问题，本文分三个标题进行讨论。“勘探地质”一节简要地讨论了砂金的来源和一些重要砂矿类型的形成、变迁和保存的环境。“有关的技术”一节把注意力放到提高勘探技术装备的利用率及其重要意义，以及当前野外地球物理、地球化学、航空摄影和卫星影象的进展。“采样”一节主要考虑样品的代表性问题，并且着重注意由于样品大小和砂金粒度分布的变化可能引起的品级误差，列举并讨论了砂金矿采样的基本准则。

二、勘探地质

1. 勘探对象

根据现在的经济条件，勘探的主要对象是：

(1)由于按老的价值标准其品级不具经济意义而被废弃了的砂矿开采地区；

(2) 由于勘探、开采和选矿技术缺乏而被废弃了的砂矿开采地区；

(3)在某一环境下已经形成，但在其后的环境中又发生了变迁的矿床。这种矿床现在可以埋藏在不同厚度的沉积岩、火山岩和有植物生长的海岸之下或海水中，或者沿大陆架埋藏在海洋沉积物之下；

(4)含金的石英砾岩。到目前为止，世界上各种来源的金大部分都来自这类矿床。

在有以下迹象的地方要鼓励进行勘探：

1)在适合的地质环境中有物质来源；

2)在主要是湿－热带气候条件下有长期风化的状况；

3)具有对选择沉积有利的动力搬运系统；

4)有利的地貌发展史；

5)能成功地应用现有的勘探开采技术的环境或确信将来技术的发展能够适应的环境。

2．砂矿来源

砂金矿床地质一般可以追溯到造山作用中形成山脉的运动。这种具有双重作用的运动，既提供了含金岩石的来源，又使这些岩石抬升最后出露于地表。在后来的构造相对稳定时期，由于地表逐渐被剥蚀而形成各种类型的砂矿并分离出金。一般都认为砂矿床不是在地壳运动最强烈的时候形成的，因为强烈的地壳活动会使砂矿床遭受破坏。

虽然金的来源有时就是单一的矿脉群，但具普遍意义的却是非常分散的含金的石英脉和方解石细脉及薄层。这一方面是因为源岩的原始品位的意义不如单位时间内释放出来的金的总量的意义大，另一方面则是由于沉积物系来自流域内的不同地段，而不

是只来自源岩。由单一来源解离出的含金沉积物，由于经过磨损和分散，其下游流域的品位将有所降低，而从许多含金量小的源岩中解离出来的含金沉积物则进入整个流域区的主河道并成为金的补给来源，而不会使金分散。

在某些来源中，有时也会有自生的次生金的情况。对此，各不同作者（主要为地球化学家）都认为是由于下伏基岩中的金发生化学分解后又在别处发生再沉积的交代机理造成的。但是，大多数野外工作者在承认这是低温作用的特殊例子的同时，却认为这是一种独特的、无多大意义的赋存状态，而且它们大多局限于红土化环境中。

3．砂金形成的环境特征

正如它们目前存在的状况那样，砂金或者与现代水系有关，或者多少与那些已彻底改变环境的古河道有关。现代河床的形式随其环境的物质、水系的几何形态、能量的大小和分配、气候的变化以及与源区距离的不同而不同。在老的砂矿中，有些已遭受破坏，且金已被分散，但有些矿床则在别的地方以别的形式又重新形成。有些砂矿之所以能幸存下来，就是由于它们保存在不受基准面改变的影响和其他环境条件有利的层序中，使它们有效地免遭强烈破坏。

4．与现代水系有关的砂矿床

主要的砂矿富集作用发生于残积、坡积和冲积的砂矿环境中。

残积砂矿　残积砂矿床是由于源岩就地风化或某些较为易溶和活性的无用组分通过淋滤和水析而生成的。这种矿床的几何形态取决于原始岩体的形态和风化的深度。最有利的条件似乎是潮湿的热带气候地区中那些地面抬升并有茂密植被覆盖的地方。

亚热带雨林地区的残积金矿床，最普遍的为红土化矿床。它可以被与其类似的红土化地表物质所包围，其区别仅在于它们的

金含量不同。这种矿床虽然会向坡下发生一定程度的迁移，但最富的部分，无论在形态上还是在垂直剖面上都全部继承了源岩的原始富集特点。除了正常的地表浓缩富集外，表生溶液的低温搬运也可提高某些金矿的品级。

红土化环境一般是以覆盖有铁质外壳的低而陡的小土丘群为特征的。从这些山丘延伸出的沟壑中的季节性流水在源岩附近带出了大量品位特别高的冲积和坡积沉积物质。

坡积砂矿 坡积砂矿产于山坡上，它是从风化的源岩中带出来的，由此形成的岩石风化层缓慢地向坡下移动。与此同时，比重大的颗粒就下沉到水流底部。分选的比例关系取决于各个水流分支汇合的方式以及由于渗流和排水分布不均而引起的流动性差异。

下游终端的坡积深度，随山坡几何形态变化、碎屑移动速度的变化而变化。坡度的变化决定于基岩地质、山坡坡度以及各山坡区段中平直和凹凸的范围。Ruhr(1975)曾描述过一种坡积模式，其中的运移特征可按照9种基本的坡降几何形态划分为三种不同的组合类型。

冲积砂矿 河流砂矿的沉积环境始于源区。在那里，进入上游水系河道的含金沉积物为发生了部分风化的不均匀混合的岩石碎屑。这种沉积环境到了下游即已不复存在，这里的颗粒度变得很小，以致金的沉积速度不再快于与其伴生的沉积物，金的分布没有一定规律也表现的十分明显。究竟颗粒能搬运多远即迅速恢复沉淀也无一致的意见，一些苏联地质学家根据乌拉尔的经验认为其搬运距离是极小的。但另一方面，Fisher(1945)曾注意到新南威尔士阿德隆河(Adelong Creek)中颗粒大小和形态对所见到的金的分布方式的影响(表1)。

Emery和Noakes (1968) 认为，金的中等搬运距离一般为15km，但在不同情况下这要取决于原始金的颗粒大小和形

表1　新南威尔士阿德隆河地区所见到的金的分布形式

金的性质	与源区的距离（km）
粗糙块金	8
水磨损了的小块金	13
细粒状金	18
细鳞片状金	40

态。Wells (1969) 发现蒙大拿的斯内克 (Snake) 河零星开采的洪积矿床距源区远达400km。

在河流沉积富集的初始阶段，许多砂金颗粒仍然保持其从母岩解离出来时的形态。较大的颗粒快速沉降，并往往堆积于基岩裂隙或河床充填的某些特点可以暂时得到保护的其他地方。但是，随着时间的变迁，较大的沉积物即发生破碎并再次被搬运到下游，因此，各种金都随时处于搬运状态。

河流沉积富集的第二阶段发生在网状河流地段。在这里，河水从狭谷迅猛地流入河谷和平原，水系中的流水是季节性的。在这些地方，由于沉积物超载而使动能大量消失，且其梯度骤然变平。

网状河流的砂洲和砂岛由于从侧向和垂向增长而形成透镜状堆积。这些沉积砂洲之所以会沿流水方向发生迁移，乃是因为从其上游顶端冲蚀下来的沉积物又沉淀于其下游顶端的结果。分割砂洲的河道最初较为狭小，随后即逐渐扩大，并在最后随着供源沉积物和流量的变化而发生迁徙。其他砂洲迁走了，新的砂洲又会形成。

虽然各种类型的砂洲，其上游顶端往往是富金的，但任一砂洲都有其复杂的剥蚀、沉积过程。因此，砂金的分布常受砂洲增长过程中的局部变化的影响。这种增长过程乃是砂金形成和矿化

类型随时间的变化而变化的主要因素。金含量最高的地方一般都与那些能量最高的地段有关。因此河流缺口扇的金含量可能比其邻近的砂矿层更富。

河流沉积富集的最后阶段发生在较大的石块和砾石全部崩碎成象砂砾大小、颗粒浑圆且分级很好的时候。河床底砂中移动最慢的滞后砾石即呈这种形态分布于任一河床地段。但它在发育良好的水系中最为广泛而且连续。例如，德兰士瓦威特沃特斯兰德的班克特金矿床和加纳矿床都位于砾岩层的深部。这里的金作为细粒充填物质产出。这一盆地可开采的面积长大于70km，宽 40 km。根据一些人的观察，较粗粒的沉积物似乎都贮存于黄铁矿砂和小砂砾充填的网状河道附近。这种小砂砾可以呈更细的物质延伸许多公里。有一条最宽为100m、深为35m和另一条宽达750 m、深85m的河道已用采矿巷道追索38km。

5.环境变化的影响

每一环境体系都会以相同的方式产生一些独特的特征。而每一环境的变化又会以某种方式改变其存在的形式。因此，对砂金勘探至关重要的就是要认识到至少在30亿年前，当大气圈发展到能够促进风化剥蚀作用时砂金就已形成了。如果没有这种作用，岩石就不会崩解并使矿物发生具有重要意义的富集。显然，这种矿床已不再是沉积时的状况或层位。主要的地壳运动使地球的某一部分上升，而另一部分下降。海洋的形成和消失并在别处被另一海洋所代替、陆块的崩裂、大陆彼此碰撞和漂移、气候发生复杂的变化，所有这些都会对新地形的自然景观和演化产生重要的影响。

河谷淤积方式和深部砂矿的形成就是环境变化的表现。

河谷淤积砂矿　河谷淤积系统内的沉积地形随区域作用和局部作用的不同而不同。每一砂矿单元都代表河谷地质发展史中的一个独特的阶段。

河谷淤积砂矿主要产于两个环境中：

(1)不受海面升降影响的内陆；

(2)海面升降变化是形成砂矿主要因素的沿海地区。

前者可能是最常见的。Emery (1966)在描述火成岩和与其伴生的变质岩露头的区域分布时指出，原生矿床几乎无例外地都产于内陆，只有极少数刚刚被剥蚀的含有价值的砂矿矿物的沉积物被直接排放到海洋中。

成因上的差别在很大程度上是由于基准面变化的速度不同引起的。在内陆，由于只有陆地的升降运动，所以基准面变化缓慢，而在沿海地区，由于海平面的升降变化以及第四纪地壳的均衡调整，所以基准面变化迅速。

典型的内陆变化顺序如下：

1)地面沉降。河流上游和其下游的洪水位梯度缩小，流水动力消失，只有较细的沉积物（淤泥和粉砂）被带走，金的颗粒没有从原生的源区冲洗出来。在个别情况下，河谷出口淤塞，因而形成湖泊。图1的Ⓐ和Ⓑ示其发展过程。

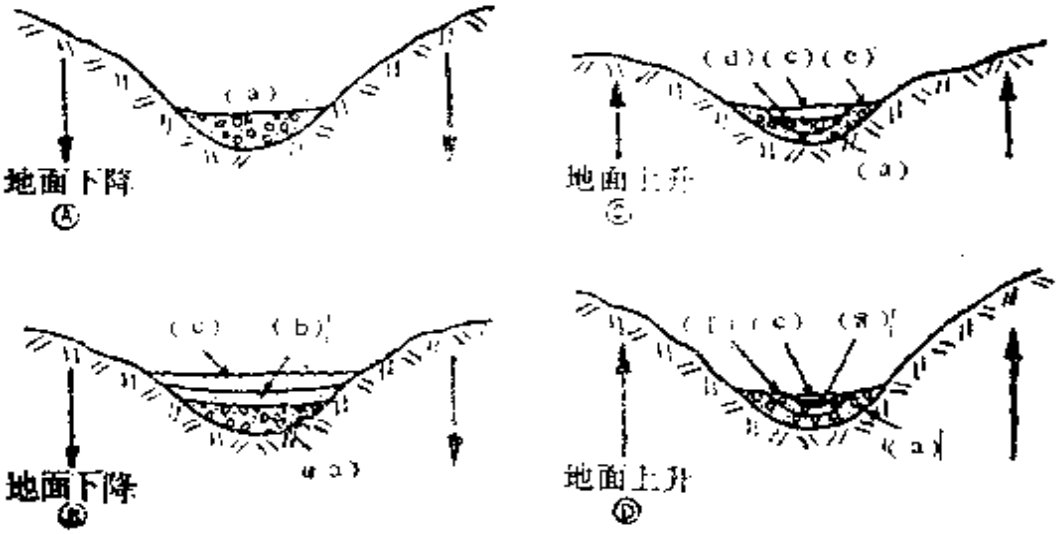


图1　典型的内陆河谷淤积层序

2)地面上升。这种作用一般呈脉动式发生，即缓慢上升阶段

与静止阶段交替发生。由于比降扩大，剥蚀动力也增大，河流下切到其冲积层内并在新的水位之上留有侵蚀阶地。

上升的第二阶段又重复这一过程，因而在一些河流中显示出多达3或4个阶地。同时，各个阶地可能普遍产金，而且最早阶地的金一般都比后来的阶地或现代河床砂砾的富。这是因为在第一次冲积作用时，源区的风化物质有比较多的金粒被解离和搬运。而在第二阶段的上升作用之前常常没有足够的时间使岩屑再次完全出露。

在图1中：（a）为冲积层的第一次露头；（b）为由于周围缓慢剥蚀而生成的细粉砂；（c）为水位；（d）为第二阶段的冲积层；（e）为第一阶地面；（f）为第二阶地面；（g）为最后活动的河流砾石。

沿海地区典型的河谷淤积层序可能在很大程度上受海平面的迅速变化以及更新世连续冰期和间歇冰期以后陆地和海洋间基准面波动的影响。Van de Meene（1976）在南亚和东南亚至少发现了8个冰期，它使个别地方的海面下降达100m或更大。每一冰期都可以有如下的序次：

1）迅速上升的基准面使河水流速减慢，并把其所携带的泥砂逐渐沉积于上游地段。支流和河谷淤积了从流域盆地各处带来的沉积物；

2）环境的变迁（如一个冰期的开始）使基准面迅速下降，比降的增大使流水动力增强，因而在河谷出口处冲刷很深；

3）当下切作用使河床的侵蚀裂点向河谷上游移动时支流即行恢复；

4）由于从支流带来的沉积物迅速增加，使主河道堵塞并形成网状河道；

5）在河谷出口处重新发生很深的冲刷作用；

6）在一系列的冰期中，第1到第5的顺序可以多次重复出

现。

无论是内陆环境还是沿海环境，河谷淤积系统中各砂矿单元与贵金属的分布关系可能非常复杂。因为沉积物的周期性补给并不总是由同一的原因引起的。这些沉积物既不是按比例来自相同的岩石类型，也不是以同一速度沉积的。河谷可在不同的水平面上多次被部分淤积和冲蚀。沉积物也可反映出谷壁和基岩抗蚀性的变化。正在发生第二次河谷淤积的典型例子见于印度尼西亚苏门答腊内亚齐的Seunagan河谷中的Krveng cut支流沿岸。这里的现代河流正处于均夷的早期阶段，现代水面之上的阶地正在逐渐重新活动，沉积物发生再沉积，高品位的含金砾岩分布于下切到基岩并被现代流水揭露的河道中。它代表基准面开始上升之前产生的长期沉积阶段。这些砾岩的含金量似乎比任何年轻的沉积单元都富而广。

深部砂矿　第三纪深部砂矿形成的主要阶段示于图2Ⓐ、

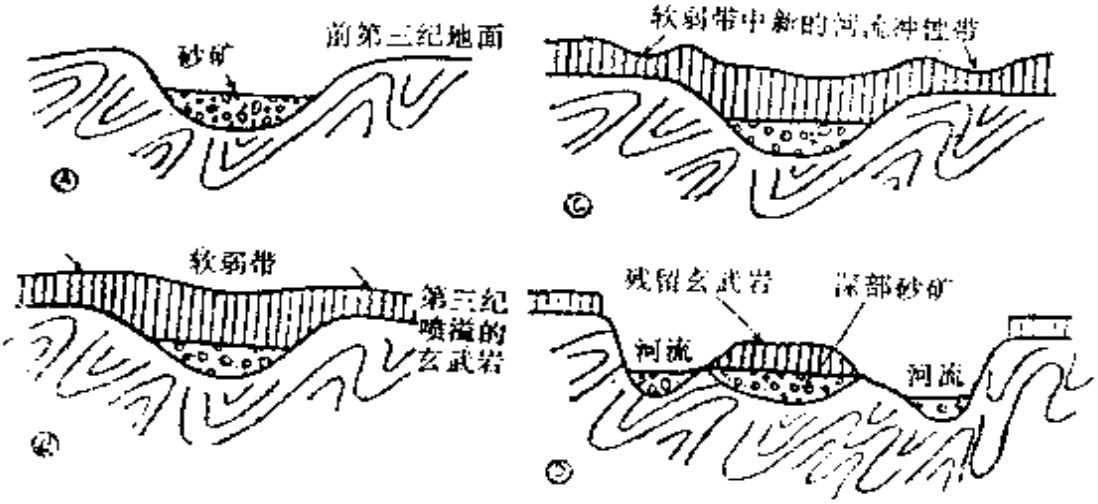


图2　第三纪深部砂矿的一般发育阶段

Ⓑ、Ⓒ和Ⓓ中（Macdonald，1983）。图2Ⓐ为前第三纪地表上的河流砂矿。玄武岩喷溢覆盖了这个区域（图2Ⓑ），而且张性破裂由于向高处伸展而得以扩大。新的剥蚀作用是沿软弱带开始的

(图2Ⓒ)。最后，较早的河成矿床就成为被玄武岩覆盖保护起来的高层位的深部砂矿残余（图2Ⓓ）。

深部砂矿也可在搬运流砂的河水动力减小时被后来的沉积覆盖而成。实际上任何与冲积河谷系统有关的砂矿类型都可在适当的环境下形成深部砂矿。只要基准面较高，这一类型矿床一般都可以保存下来。

溺水砂矿实际上就是被海洋沉积物或海水全部覆盖的深部砂矿。它们可以包括陆地上的各种基本砂矿类型。这种砂矿最初是在陆上风化剥蚀条件下形成的，而现在则浸没在某些大陆架的海水之下。这种矿床是在更新世的气候发生剧烈变化之后形成并被淹没的。那时，冰期的演变交替和间冰期的温暖条件使海平面从现在海平面之下的160m波动到现在海平面之上约20m。

三、辅助技术

直到最近10年或15年以前，砂金勘探工作所使用的工具大部分还是最原始的，如铁铲和盆等。在发现矿床以后，即沿推断为流水方向的方向拉一条法线，利用直线或方形格子进行小间距的刻槽或钻孔采样（Macdonald，1966）。这样的方法也适用于研究根据地表标志预测有隐伏河床存在的地下砂矿。这种方法的成败取决于格子覆盖的范围是否恰当和所用的采样方法是否有效。

技术装备的逐渐发展为现代勘探人员提供了更多的工具。地球物理和地球化学方法已开始成为勘探工作的重要例行步骤。照片释疑已是整个区域研究的重要方面。卫星照片可以对所监测的沉积作用和近海浊流层产生遥感图象，在地面上的热扫描技术试验已成功地圈定了某些近地表的地下水道。但是，现在要普遍使用这些方法仍然受到许多条件的限制，因为每一种技术设备都有

使其只适用某一环境但却不适用于其他环境的特殊性质。

1.地球物理方法

地球物理方法包括检测或间接测量地下物质对某些物理脉冲方式的感应。这些方法对那些地下物理特性明显不同的地方一般是有效的，但对其差别很小的地方则可能无效。

可靠的地球物理解释取决于对矿床地质的充分了解。在冲积金矿的勘探中，地球物理方法通常仅仅用于作为已由钻探和采样所证实的地质对比工作的一部分。尤其重要的是，计划工作的目的要十分明确，所选用的仪器能在要求检测的范围内正常作业。为了检验研究方法的可用范围，确定技术操作程序，对任一新的地区都必须进行有倾向性的调查，事先把仪器校正好。倾向性调查就属校正仪器演习的一部分工作。

在有利的条件下，地球物理方法可用于研究各种不同沉积物或玄武岩层的类型和厚度，追索基岩和业已查明地质情况的地区内古水系的轮廓面貌，确定基岩类型和蚀变深度。

砂金勘探工作中主要的地面物探方法为地震法、重力法、电法和放射性测量。航空方法主要为航空磁测和航空光谱。在区域调查时，地球物理方法一般都是把摄影地质学、遥感地球化学结合起来。

2.地震方法

地震方法认为不同岩层的震波速度与其弹性和密度有关。这样，深部地震测量就有可能查明底部对地震波反应十分不同的基岩或其邻近岩层的层位。

大部分的砂金都位于相对较浅的部位。因此，落锤法是比较便宜和很快能够实现的办法。用大锤作为能源来回锤击放在地面上的钢板，就会传播出震波，并用计时器记录下震波传播的时间。在现代仪器的放大器中都有信号放大的自动控制装置。在风化和岩屑物质的震波速度已知的地方，7.5—15m的检波器间距

一般就足以估算出基岩的深度。根据风化的扩展，这些基岩的波速可以用间距约为3m的检波器测定。为了与野外对比，也可用标本在实验室内测定压缩波和剪切波的速度。

海洋地震剖面法系利用测定浅海地区的地震反射和地震折射来确定声波基底之下的沉积物厚度。地震剖面法的装置就是利用拖在调查船后面的水下声源。探测器接收到的震波，按其在通过密度较大的岩层时发生折射还是在两岩层间发生反射而分别地被记录下来。

地震波的折射只能发生于波速随深度增加而增加的岩层中，而且它不能穿到波速比其上覆岩层小的岩层内，也不能穿过隔音岩层。典型的隔音物质见于潮湿热带地区沿海岸线的近海区域。这里，覆盖在较粗粒沉积物之上的泥质层含有天然气气泡，如由于植物腐烂而产生的甲烷。

遥测声纳系统是记录广角度反射和折射数据的方法。这种方法就是要把固结了的海洋沉积物和坚硬岩石的波速记录下来。它主要用于指出基岩强度和风化深度，以便研究挖泥船的性能。凡是金颗粒与大量其他金属矿物，如钛铁矿和磁铁矿伴生的近海砂金都可以用研究近海矿化砂洲的有效方法进行勘探。

3.重力测量

重力方法用于测量由于地下密度变化而引起的地重力场的变化。由于纬度、海拔、地貌以及仪器设备等的不同，所以需要校正。然而，密度上的少许差异也会得出非常不同的解释。Peterson等（1968）在利用重力和地震反射综合剖面法确定内华达山脉中出露的第三纪砂砾之下的基岩地貌轮廓时要求的精度大约在10%以内。Daly（1965）发现，新南威尔士Ardlethan整个深部砂矿的最大重力异常为0.6毫伽，这对测量来说是够精确的了，且重力和地震测量结果也非常一致。

4.电法

在各种电法中，大地电阻率是勘探砂金的最好方法。这一方法就是利用外加地表电流测量直流电或低频交流电在地下的分布。其主要目的就是要测量地表在基岩的深度，指出任何可能深切到基岩内的古河道。

所有的电法解释都假定地表是水平和规则成层的。为了测定岩石的特征信号，必须做许多准备工作。当这些岩石的特征信号业已查明并予以应用的时候，就要求高度的专门知识进行解释。但这一方法的费用一般较低，程序简单，不用培训观测员。

5.放射性剖面法

放射性测量方法对砂金勘探的适用范围，一般只局限于除金以外还含有副生的放射性矿物的浅部矿床。放射性矿物，如独居石和钍石都是比重相当大的矿物，因此它往往与金堆积在一起。

6.地球化学方法

定性的微粒地球化学分析方法已经应用很多年了。但定量方法却比较新，在砂金勘探中，它与河流沉积物的采样密切相关。由于分析方法的改进，现已能测定小到5ppb的含量，而且还能快速处理大量的样品，因而在制订勘探设计时就能以这一方法为基础。

7.地球化学样品大小的选择

除非样品大小直接与金颗粒的大小和样品中金的绝对含量有关，否则，如把适合于原生金勘探工作的传统地球方法用于砂金勘探就往往会把人引入歧途(Clifton et al 1968)。在区域的砂金勘探工作中，样品的选择是十分重要的因素。Harris(1982)特别强调地点选择要适当的重要意义，他建议要从天然的拦砂阱中，例如，有涡流的地方采样。Nicol(1983)认为采样要在有利的地点，而不要沿着河流按一定的间距。他以苏里南河(Suriname) Gram支流为例来说明这一观点。在那里，在砂砾带内采的重砂中有的样有多达12颗色金，而采自邻近砂层中的重砂样

则未见任何肉眼可见的金。

8.摄影地质学方法

区域调查中的航空摄影可为工作草图的准备提供基础资料。在较详细作业时，它又可以帮助辨认与砂金环境有关的各种地貌单元。当资料到手后，原始资料的整理和修正一般都利用拥有非常尖端摄影测量绘图方法和解释的专门机构。

对描绘最表面的特征和辨别不同岩性上的植被变化，彩色照片一般比黑白照片的效果更好。但彩色照片太昂贵，况且在许多情况下，黑白照片已经可以以微不足道的价格从政府部门那里买到。在澳大利亚，地形图的编制和航空摄影是由澳大利亚全国资源管理局、澳大利亚皇家陆军测绘部队和国家土地局组织的。澳大利亚标准化联合会—SAA调查规范（AS—1726—1981）可提供现成的详细地图、图表和其他资料。

注意：在开始工作设计之前，重要的是要从科学角度和经济角度首先研究各种镜头类型的优点，解决在不同作业范围所使用的各种不同仪器。

9.遥感技术

能够用于砂金勘探工作的遥感技术包括侧视扫描雷达和侧视扫描声纳、热扫描和地面雷达。侧视扫描雷达能提供大片热带雨林区的成象，尽管这些地区几乎常年有云层覆盖。侧视扫描声纳能以相当精确的分辨能力查明海床形象直到海底之上3cm的特征。

在最近发展起来的遥感技术中，航天雷达(SIR-A）已显示出能够穿透干砂相当大的深度。由美国喷气动力实验室（JPL）改进了的航天雷达已由哥伦比亚号航天飞机于1981年9月12—15日第二次飞行时携带运行。它提供了一个很大的、迄今还无人知道的埋在撒哈拉沙漠之下的河床系统成象。美国宇航局(NASA）设计的更新型(STR—B)航天雷达将于1984年的一次航天飞行中

研究雷达与地面所成角度对资料信息的影响。在陆地上，实验雷达已能穿透地面和淡水的深度达数米。

地球资源技术卫星(ERTS)、同步地球观测卫星(SEOS)、大型的气象试验卫星以及其他商业系统使用的卫星也在迅速改进，并计划现在就能利用航天飞机拍到的照片取得浅水中的沉积物资料。在陆地上，正如已经指出的那样，对热为亮白、冷为暗黑阴影的热扫描技术可以圈定某些环境中近地表的地下水水道。但目前这一方法对测量时的气候条件非常敏感。

在谈论遥感的同时，还必须提一下轻便的手提式金属探测器。那些显然是很简单的极小装置彻底改革了砂金矿床的找矿工作。在战争年代用于检测地雷和未爆炸的炸弹的探测器经过改造以后，现在有些已经完善到能够分辨出含铁和非含铁的粒子(Garland and Jones, 1983)。但遗憾的是，从整体的生产来说，它的地面穿透深度还很小。一些不动脑筋的勘探人员又不加区别地把有希望地区的地表全部推平，因而破坏了大量具有重要意义的地质依据。

10. 数据的储存、检索和处理

随着计算机技术的迅速发展，大部分政府办的地质调查机构和矿山部门都已改进了自己的资料处理和检索系统。无论在商办的调查所还是在政府办的调查所，小型计算机、微型计算机和微型处理机的迅速使用使资料的处理和解释得到了彻底的改革。De Vletter(1983)认为，现在的主要问题是要有有经验的人去收集、整理、汇编和很好地利用这些资料，而不是购置设备。

选择适用于砂矿勘探的方法时，一般要结合原机构的需要，如矿山规划、最优设计和资金等。首先要考虑的应是如何能使现有的手工处理系统容易地变为独特的计算机处理系统，如何利用或修改设计以便达到预期的目的。除了极小的作业外，设备费用不再是限制因素。

四、采样

为了确定矿床的大小、规模和品位，查明对开采和选矿方法的选定有影响的地貌和岩石学特征，就要在所选择的地区进行采样。采样问题是由样品分布不定引起的。样品分布不定乃是因为有流水的地表的几何形态各异、各种不同大小、不同形态和不同比重的颗粒的搬运和沉积速度不同，水流速度和流水动力在局部和区域上的变化等。砂金的采样问题之所以特别突出就是因为金与其他碎屑矿物具有下列的不同特征：

1)金是极贵重的金属，但它在砂矿中的比例要比大部分其他有用矿物小得多；

2)金是自然界中在化学上最耐蚀的物质之一，它可以长期保持其原生状态，而许多伴生矿物则破碎分解。但另一方面，金在某些地下水中是可溶的，有时可以重新活化并重新沉淀于其它地方；

3)金的比重比大部分其他重矿物和金属大，因此，其沉淀比较迅速。但因它极易延展，所以在冲击下容易变平。天然生成的小薄片和变平了的颗粒可比许多其他比重较小但比较等粒的矿物带得更远。

1.采样的可靠性

采样的可靠性与上述的各种因素密切相关。当样品采到坚硬的基底上或在含有巨砾和其他大于平均粒度的颗粒的岩层中采样以及在沉积物易流动的水饱和层取样时，由于采取率可能不同而使采样的可靠程度变得更为复杂。可靠性问题归根结底是样品的代表性问题。

2.样品的代表性

“样品代表性”一词是可信度的一种提法，它是用于说明样

品在指定的限度内代表了矿石中实际的金含量。作业的目的不同，代表性的标准也不同。颗粒地球化学采样一般只能使可信度达到95%±50%。换句话说，所采物质的真正含金数值有95%的可能性处于比分析得出的含金量大50%或比其小50%的范围内。对计算矿石储量来说，这样大的误差是不能允许的。储量计算所要求的可信度一般为95%±10%。因此，只有在样品大到足以使包括金在内的所有矿物和颗粒类型都有相当大的数量被包括进去的时候才能使样品具有代表性。对每一个矿床来说，问题是要确定各个样品究竟要多大，这些样品的间距多大。理论研究只能用于强调样品太小时所带来的风险。应该指出，某些主张用地质统计方法进行砂金取样的人提出了一些模式。这些模式与样品的大小关系不大，但与样品的位置关系较大。也就是说，他们认为在哪里也不存在单个样品的代表性问题。

表2　实验室A，B，C和D的金分析结果对比（ppm）

样品号	实验室A	实验室B	实验室C	实验室D
11	1180	750	2340	770
12	1110	59	85	64
13	3360	1000	3770	960
14	1140	520	884	500
15	2660	1900	2210	1400
16	320	1600	2470	1500

实验室A　王水溶解后接着用原子吸收法。
实验室B　火试金分析—原子吸收。
实验室C　火试金分析—中子活化。
实验室D　火试金分析—等离子体。

在表2中除了列出样品制备严格标准化和细致完成实验的地点外，还展示了金含量变化极大的重复样的分析结果。所示数值

为不同分析人员从同一大样中取出分样并在不同实验室中用不同方法分析结果的平均值。

虽然，突破早期理论的前景似乎还很小，但在实践期间似有许多达到了满意的容许误差水平。只要遵循一套基本准则，误差的变化范围就可以控制到最低限度。

3.砂金的采样准则

1)用只能适用于特定环境的方法和设备。矿床特征决定其应如何采样；

2)尽可能根据实际可能和经济条件采集最大的样品；

3)避免把任一样品分开进行定量测定；

4)采用适合于样品类型的选矿流程和分析方法；

5)要依靠精确的测量。把用经纬仪测得的全部钻孔位置和井口标高放到通用的资料内。除了在草测阶段，一定不要用罗盘和测绳；

6)要连续采样，一直采到可采极限为止，即进一步采样所取得的效果已是极为有限，而且可信度的发展趋势也不能证明进一步采样有多大收益。只有当地质情况全面了解以后，一般才能有把握地停止采样。

4.讨论

准则 1 矿床类型可分为许多种。它们在地质、岩石、金颗粒的大小以及分布等都有明显的区别。所有这些都会影响到所使用的采样方法的相对效果。适用于检验某一矿床的仪器，如果用于其他矿床类型就可能要失败。因此，在决定如何采样之前，必须查明每一矿床的各种特征。“Kinla河谷的错误”就是因为它简单地选用了在别的地方已经成功地应用了的特殊方法，譬如说，砂钻方法。这种简单地借用别处成功的特殊方法无论如何也应该避免。因为甚至显然是很小的环境差别，如土壤湿度，都可能要求对原先提出的采样方法进行重大的修正。

表3　接砂矿类型和特征选用的采样方法

（1）残积和坡积砂矿

特征：沉积物分选性差，大小变化不均，为分布在山脊和山坡的浅部地表矿床。

采样方法：浅部地表用坑探和槽探，深部用回转钻机（反循环式）钻探。

（2）原始砂矿

特征：一般产于源头的狭壁之间，砾石间歇性覆盖在坚硬的基岩上。为含巨砾沉积物和以粗粒为主的沉积物，粗粒金与其解离出来时的状态大致相同。

采样方法：手工坑探和槽探，但这种矿床很少大到足以在开采之前要进行详细采样的程度。

（3）网状河流砂矿

特征：沉积物呈河心砂洲、河滨砂洲、浅滩和岛屿形式沉积于不大稳定的冲积环境中。沉积物粗粒，分选性差。砂洲深度一般为2—6m，但也有比较深的。金分布于所有的层位，但主要分布于接近基岩部位。

采样方法：浅部矿床：坑探，最可靠的是把Φ1.3—1.5m的圆筒式钢沉箱连接成1 m长。用具弹性的纺锤状潜水泵和离心式自动泥浆泵排水。样品设备要有流水槽、摇床和摇盘，以便选取细粒金。

深部矿床：用150mm的冲击式钻机和真空式捞砂筒。

（4）均质河流矿床

特征：分选性很好的滞留砾石分布于基岩上的粘土基质中，砾石包括浑圆状小卵石和砂粒大小的颗粒。它们常被后来的沉积物或活动流水覆盖。

金的颗粒很小，且富集于下部的砾石层中。

采样方法：根据覆盖层的深度和性质用150mm的砂钻或冲击钻。但最好用600mm的科威尔德（Calweld）型吊斗式钻机。该类钻机备有如Macdonald（1966）所描述的机械采样设备。贝克

续表 3

（Becker）型冲击钻机（200—300mm）用于近海或大河流域内。
（5）深部砂矿
特征：在玄武岩盖层之下分选性极好的河流砂矿。但金颗粒的大小和沉积物大小随分选程度的变化而变化。
采样方法：用150mm的冲击钻机，有时最好在地下巷道内采大样。
（6）胶结砂矿
特征：各类型砂矿经固结或胶结后形成砾岩的矿床类型。
采样方法：用150mm的冲击式或回转式锯机。这类钻机备有能使含金基质变成泥浆状的采样设备，以便金在重力作用或氰化作用下回收。

Wells（1969）考察了只是10年前才使用的主要采样技术和机械设备。现在即可在这些设备中补充一些改进型的反循环钻机和组合回转冲击钻机。

表3列出了影响采样方法和设备选择的主要砂矿特征。

准则 2 样品具代表性只有在：①所采样品真正代表了横剖面；②样品要大到足以把各种砂金采样中常见的块金影响减小到最低限度。

钻孔样品要求保证所采物质确实代表真正的横剖面。但是，图3 显示出的误差范围很大，这是由于在长为1m、直径变化为50—600mm的样品中每粒价值为1美分的金发生迁移造成的。直径为600mm的样品，其误差（$0.035美元/m³）可以忽略不计。直径为50mm的样品，其误差（$5.09美元/m³）已大于容许误差范围。

除了在普查时由于任务不同和出于对资金和轻便的考虑，一

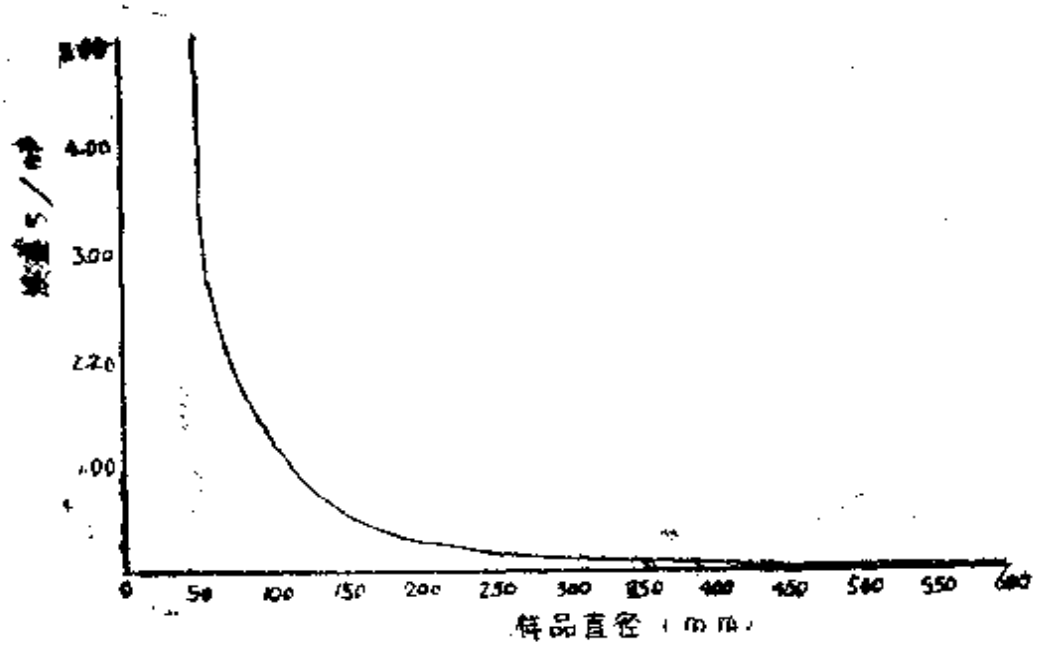


图3　在1m长、直径不同的钻孔样中由于每粒价值为1美分的金的迁移而产生的误差

般不要采用直径小于150mm钻孔样品的结果，否则是很冒险的。

除了在最有利的环境外，必须避免的采样方法是：

1)在探槽或竖井壁上垂向刻槽。

2)挖井时竖井内以一定的间距向下进行小刻槽取样。

有代表性的样品有时可以采自十分稳定的河底中粒度较细的沉积物的底部。在干燥状态下，实际上不能从粒度悬殊或无粘土的沉积物中刻出具几何形态的真正切面。

准则 3　样品缩分可以采取多种方式，在砂金开采中最为常用的有：

1)圆锥四分法。

2)从浅井或探槽挖出的每“n”满铲中取出一满铲放于一边。“n”可为任意数，从2到10。这个过程可以重复多次，直至达到所规定的样品大小为止。

用这种方法去处理很大的大样虽然包含有一些统计学的基础，但仍会发生误差。要是全部样品都进行处理，这种误差即可

避免。Wells曾告诫过人们，这种方法是危险的，除非操作人员在选取样品时不偏不倚，十分公正；除非他是训练有素的砂矿采样工，能够凭借经验去辩别判断。即使是这样，人为的因素也还可能是误差的根源。因此，在处理大样时最好用小型电子计算机或控制器进行操作。

准则 4 根据样品大小，可用机选或手选。但是，一些粘性很大的小样可以用机械浮选方法和用洗矿槽、淘砂机或淘砂盘进行手选。

粘土胶结的浅井样品最好用*Macdonald*（1966）所描述的小型选矿厂之类进行处理。为了使样品完全液化和有价值的组分分离出来，就要有足够的能源和停留时间，而且必须设计出专门处理这类物质的特别工厂。因为按惯例建立的工厂，大部分都是适用于处理砂质河流砾石的，当处理粘土质的或固结的冲积砂矿时就有许多不能令人满意的地方。

设计要求要考虑粘土的相对粘度、伴生重矿物的百分数、分级泥浆的百分数以及金和伴生沉积物粒度的变化范围。一个设计得好的采样工厂，将能对各类沉积物特征的影响起到定量作用，为样板工厂和设备的设计提供有用的资料。

注意：最近，红土型砂金的采样经验表明，有些矿床含有大量极小的颗粒。这些颗粒无法鉴定，也不能用淘洗盘回收。但用氰化法或浮选法可以回收。这一方法一般都适合于包括红土环境在内的任何设计中的地球化学研究。

图4为苏里南皇家（Royal）山的河流砂矿剖面，本世纪开始时，该矿床在回收大部分粗粒金时是用手工方法开采的。这年以前从粘土盖层所取的样品，用火试金分析—原子吸收法进行了分析。其分析结果示于剖面上。

准则 5 样品的代表性也与其在矿体中的位置有关。只有精确的测量才能作出精确的储量评价。所谓精确测量就是要查明相

邻样品的空间关系，各样品在地貌上所处的深度以及基岩的几何形态。辅助性测量是要查明矿床边界及富矿带和贫矿带。

图5(A)和5(B)说明了精确水准测量的重要性。图5(A)中的横剖面为假设的一条穿过钻孔连线的水平地表，图5(B)是按同样的钻孔位置绘出的剖面，它表明，根据图5(A)推断出的河道，实际上是两个之间基底的高出部分。

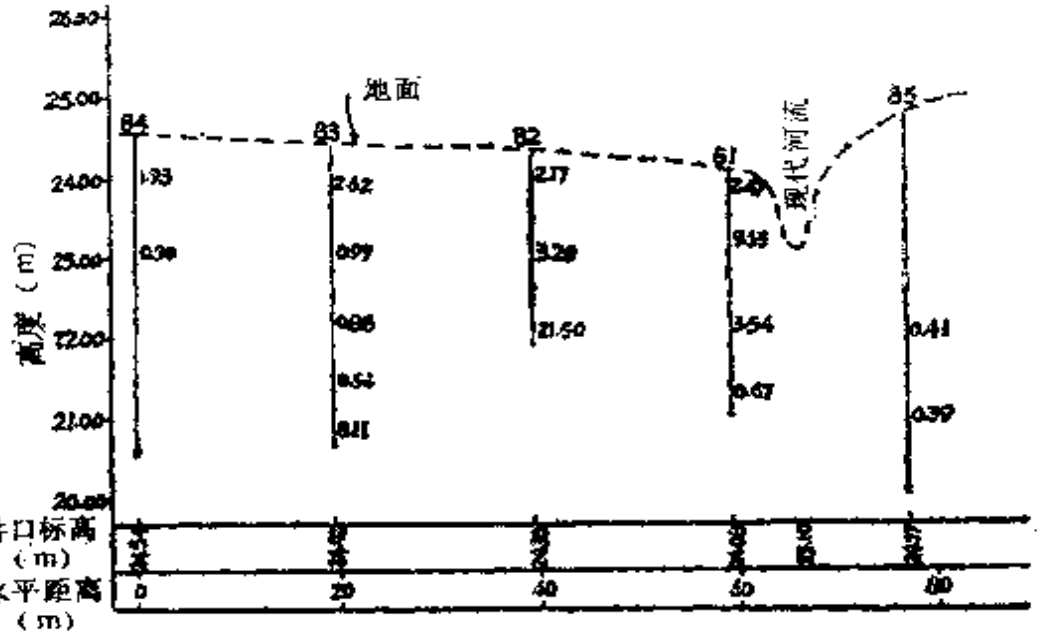


图4　苏里南皇家山红土金环境中的河流砂矿剖面覆盖层的粘土含金量高。金的大小主要为<72μm

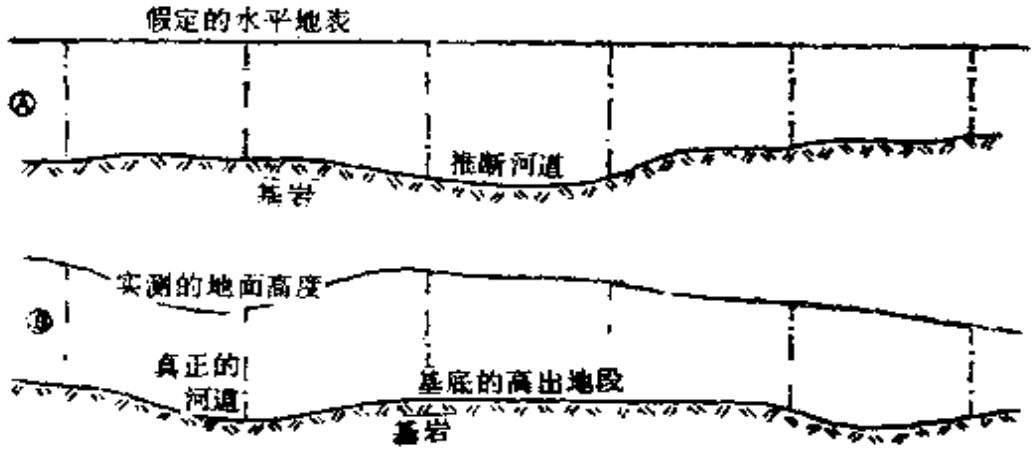


图5　由于错误测量和错误推断钻孔口标高而得出错误解释的典型例子

不精确的地形测量的总体影响会招致对矿床的规模和品位作出错误的估计，错误地制订开采计划，错误地作出评价。

准则 6 最困难的问题之一就是要确定究竟什么时候才算达到了可采极限。不同的计算方法有不同的数学标准。几何方法采样认为，每个样品都真实地代表了其特定体积的物质。但问题是应如何去判断各个样品应有的体积。虽然简单的统计方法可以提供加权以作出达到要求的结论，但大部分的这类判断都是依靠前人的有关经验或简单地从方便出发而作出的。

地质统计学家所作的假设，同样也是任意的。他们也没有拟订出一个令人满意的评价砂金的准则。实际上，象Royle(1976)提出的那些程序，其所要求的样品又多，比传统的格子方法又贵。

现在还没有一个人能在所有情况下都敢说“足够了”，并且完全断定已经达到了可采极限，进一步采样也不会在程度上对所作出的评价产生影响。在这方面，在相对的早期阶段要排除的最大困难就是指望每一批新的样品都能得到较好结果，但总不能达到所希望的水平。

按照作者的意见，砂金远景的正确评价，尤如评价原生金的远景一样，在很大程度上取决于对其地质情况的彻底了解。无论对砂金还是原生金，在地质情况尚未查明以前，从采样结果所作出的解释必定是依靠假设，而这种假设在后来可能会被证明是错误的。

所谓地质了解，就是指能建立一种模式，以在容许的限度内能预见到试验地区的任一地方继续采样都能达到预期的结果。要达到这一目的，只有当每条钻孔线的结果与其邻近的钻孔线的结果一致，各个样品结果和大小与其相邻样品的结果和大小都一致时才能实现。

五、结　　论

对砂金勘探设计的各个方面都进行细致的考虑和规划，就可减少在勘探时出现的风险。地质上的经费开支，特别是在勘探的早期阶段，是用得很少的。因为最初作出的决定在很大分量上是依靠地质上的推断和预测，主要是考虑物质来源的可能范围、水系的大小、区域的地貌发展史、前人工作的程度和矿床面积等。

开始，可以利用能迅速得到的设备在一个矿床的某些地段打孔或挖浅井进行初探。但最终选用的方法和设备就一定要使所取得的资料既精确又恰当。凡是用钻探或坑探不能保证取得准确结果的地方，就要改为取大样的方法。大样可以小到数百立方米或大到几千立方米。样品一定要有足够的数量和合理的布置取样地点，以确保它们对整个矿床的代表性。

至于样品的代表性，虽然从理论上进行研究可能会有助于这一问题的解决，但尚不能提出全面的解决办法。考虑到金在砂矿中的含量一般较低，分布也不规则，所以关键的因素乃是样品大小和样品测定的精确程度。只有当采样方法考虑了采样地区内一整套的沉积特征时，才能令人满意。如果采样所取得的资料可以充分解释矿床中每一地段的地质特征和整个矿床的地质特征时，采样的目的就算达到了。

颜秉刚译自《Gold Mining, Metallurgy and Geology》1984年10月　　王炳熙校

选自《地质参考资料》第二期（1986）

砂金矿可开采性初步评价的新方法

E.L.科思尼

从地球化学的观点来看，金通常是个非常好的矿化作用指示剂。由于分析土壤中低含量金属有困难，因此，铜、锑、铋、铅、锌、银、锡、碲、铂和铂族金属等元素作为指示剂的应用就大大地受到限制。然而，目前随着化学分析方法的改进，这已不再是个问题了。我们用这个方法进一步研究了砂金矿的形成问题。

一、研究中所使用的试金分析方法

老的火法试金分析方法有很多局限性，所以一些作者不推荐用这种方法来作砂金矿散样的评价（火法试金分析法仅限于精矿）。金的成色、外来金属杂质、硫化物和其它干扰元素都对结果有影响；在灰吹过程中，造渣、挥发和吸收会引起损失。

化学分析方法也不是那么简单的，试样制备是关键。但干扰元素、游离硫化物和紧密晶格的存在都是有害的。在焙烧不完全的物质上可能会有溶解不完全的损失和金属的再沉淀。由于我们主要研究的是散样，且金的含量又很低，所以在焙烧后进行试金学分析。

二、脉金的风化和砂金的形成

砂金是脉金中矿石风化的结果。而风化作用又有两类：机械

风化和化学风化。如果脉金在几乎是纯石英脉中呈嵌布的粗粒金的话，那么来自这种脉金的砂金矿将或多或少保留原始物质的形状，而其边缘由于磨蚀会有些变圆。这种磨蚀会由于块金和岩石表面磨擦而形成粉末状的金。因为这种金的粒度很细，所以很容易溶解的、悬浮的有机物和粘土凝聚。这就是砂金矿上常见的细砂和粘土或普遍的土壤，它们总含有不能淘洗出来的金。

也常常见到在黄铁矿、硫化物和砷化物的周围有次显微状金粒的脉金。化学风化作用使大部分的金溶解，只有较大颗粒的金（有些是在硫化物溶解时再沉淀形成的）保留下来并被冲刷到砂金矿中。因此，这种来源的砂金矿大多是呈形状不规则的极细粒金存在的。化学风化的金形成次生的隐晶沉淀物，分布在较下层的氧化铁、粘土、砂和有机质残渣上。

似乎亦有第三类砂金矿，金通过化学溶解迁移到地下河床中，并且缓慢地沉积在埋藏较深的砾石层还原带中。这种砂金矿的特性是：颗粒磨圆，粒度相当均匀。下表总结了这三种重要类型的砂金矿。

下面我们将研究一下机械剥蚀作用形成的砂金矿，因为大部分资料都取自这种极普通的类型。在水力采矿期间第二种类型则是重要的，但如果这类矿床是产在波状地面或山坡上的话，则在目前是不利于开采的。可是，如果这种砂金矿在宽广的河谷的话，则可以用采金船开采。

第三种类型有特大型的南非古砂金矿作最好的例证。在西班牙内华达山麓（第三纪河道）似乎存在有这种小型砂金矿。

三、机械风化的脉金

砂金矿的密度不等于石英的密度，主要因为石英砂和砾石一般是圆形的，其空隙被空气和水充填。金的含量通常与体积有

关。体积以立方码（2500--3700磅或大约1.3—1.8t），或者以m^3(1.5—2.1t)计算，重量则为盎司或克。两个测量单位的换算值为1盎司／立方码＝40.7g／m^3，1g／m^3＝0.025盎司／立方码。

水的搬运力大约与水的流速的6次方成正比，而流速取决于洪水面坡度。在水中金比石英砂重8倍。每哩30—100呎的坡度对金的沉积是有利的。然而，大多数粗粒金是在脉金附近沉积的，而细粒金可搬运到200哩的下游处。搬运的距离随河流的不同而有所不同，搬运距离可远至骤发洪水的范围。由于用筑坝方法，河坝下游的大部分金实际上是不运动的，相反，沙漠骤发洪水可以把金带到很远的地方，且使沉积的物质很分散，因为在大的泥流中泥土和岩石碎块彻底混合在一起。这些混合砂金矿由于砾石的分选性差而很易区分，这和在更潮湿气候下形成的更富的砂金矿所具有的良好分选性成鲜明对比。冰碛物的沉积亦可形成分选性差的砂金矿，但这是不容易区分的。表2比较了三种类型的砂金矿（包括刚才叙述过的两种）。

在沙漠砂金矿和冲积砂金矿中，精矿的研磨、筛选、磁选和重选通常没有改进。如所指出的那样，精矿品位要比散样贫。如果我们把这种精矿进一步分成两部分，然后再把磁选部分分成两部分，这样10%精矿（0.08ppm）就分成7%非磁性部分(0.7ppm)，3%磁性部分（0.13ppm）；2.7%尾矿（0.11ppm）＋0.3%精矿(0.30ppm)。

表2对沙漠砂金矿和温带区砂金矿作了比较，它们的金精矿产率分别为散样含量的3倍和13倍。

评价砂金矿的传统方法（见加利福尼亚采矿杂志1976年2、3、4期“砂金、生产、产地、种类和那儿去找”）采用大试样，一般每个评价区最少应取两个试样，而传统方法规定为井探或槽探，不用钻探。较新的方法则采用冲击钻，特别是潜水面下的砂

金矿。因此，习惯上最好沿槽壁以 6 吋深 ×12 吋宽刻槽取 样。试样经 选矿，然后与 井探或 槽探所得到的散样成分相 比，目的是想得到一个精确试样（不只是一个孔）。地表出现有严重破坏是这种研究方法的困难之处，在雨季期间，有些槽探即使挖出来也是看不清楚的，并且，如果发现该地区不适合开采砂 金 矿 的话，就会使开采计划极度困难而不知所措。此外，劳 动强 度 也大。相反，用8或10吋的钻钻探到适当深度，则是很容 易的，并且经过选矿后，就可得出一个精确的评价。在任何情况下，重要的是要测量送入选矿的立方码数量和在试金分析前得出精矿的数量。

四、理论评价（表3）

在大量砂金矿实例研究基础上，用其它的方法对某种粒度分布的砂和砾石平衡中的金颗粒的正常分布作了大致的测 量 和 计算，有些结果列于表3。注意重量栏上面的每一粒级在 重量上 比这个粒级以下的所有部分加在一起还要重，即4目 = 800粒针头大的金片／立方码，表示0.5盎司／立方码。所有其它较小粒级 加 在一起仅为那个粒级的13%。

可以举出另一个例子，滨海砂矿最常见的金粒粒 级为 2—11 密耳（1密耳 = 0.001吋）。小于这个粒级的所有部分加起来的重量仅为这个粒级分布值的0.06%。然而，还是小心谨慎些，这个表仅表示最大分布值的理想情况，不考虑其它一些因素是不能直接应用的。

金粒的最大粒级受砾石砂的最大粒级及其相对数量的限制。如和粘土共存的最细颗粒是微米级，它常是某些含硫化物和含炭质金矿床的组成部分。微米级颗粒的砂金矿的粒级分布不均匀，不能应用砂金矿形成的一般理论。

对于一个理想的计算而言，首先必须估计砾石、砂和粘土的粒级分布。这可用测量散样物质的每一粒级的近似体积数量来确定。第二个因素是确定对应于每一粒级次棱角碎片的数量。次棱角的颗粒（稍圆）的相对百分数是与总量有关的。鉴于有棱角的颗粒可在基岩原地被剥蚀，所以在脉金上次棱角颗粒的形成是相当远的。很圆的颗粒亦未予考虑，因为它们可能来自很远的古老的滨海、再造的沉积砂和沙丘等。每个粒级的百分数乘以次棱角（粒级）的百分数除以1000，得到总数量中脉金颗粒的相对分布数。由表3取得的这个数字作为该粒级砂所共存的金颗粒的乘数。

第三个因素是确定所用的淘金盘尺寸。用这个数字可以计算一个砂金矿在1盘、4盘或35盘（1盘＝0.002立方码；4盘＝0.008立方码；35盘＝0.07立方码）中的颗粒概率，当然这种砂金矿大概是本世纪开采所剩下的砂金矿床。由于这种地方直到最近才处于那种特殊的地位，这样才使所研究的砂金矿幸存下来。计算结果列于表4。

表4中列出了如下4个主要部分的概率：砾石、砂、粉砂和粘土。在这种特殊的砂金矿中要得到比针头大的一个自然金块，就好象冒险期待在一次尝试中取得成功那样。但寻找这样一粒金须经35次淘洗其概率才为1。然而冒险法则仍然采用，我们把从一盘中回收的金忽略不计。如果考虑在4次淘洗中漏掉同样大粒度的金的话，那么，同样也是忽略不计的。如果在35次淘洗中漏掉三个较大粒度的金的话，那么，表明砂金矿是属边界可采范围（结果会是0.02盎司／t）。如果所有粒度的概率碰运气与计算的一样，4次淘洗就能得出一个边界砂金矿范围（结果又会是0.002盎司／t，而35次淘洗会得出0.43盎司/t。）

五、估价实践

我们现在把这些计算值与实际情况作一比较。一些研究指出：这种砂金矿的散样物质由大量磨圆的砾石组成，其上复盖有分选性差的砾石、砂、粉砂和粘土。这可能表明：冰川前的河流复盖有冰碛物。表4中列出的粒度测定分析数据证实了这个假设。这个河坝在三个不同的阶地中赋存有砂金矿。表5列出的数据表示在上部阶地（1、5、6、7）、中部阶地（2、3、4、11）和底部阶地（8、6、10）上，从上、下游取样点的混合数值。这个砂金矿的11个取样点，仅有一个60网目土壤试样是个极细的粒级，其颗粒计算为2密耳（理论上与表3中150目砂共存）。推测所研究的其它颗粒值可能相应为1—3密耳，肉眼几乎看不见。淘洗后，在大多数情况下能见到淘金盘上的残余物比散样物质要贫。这表明大多数金是吸附在轻颗粒上的，且在淘洗时漂出去了，但10号取样点的精矿除外。这个值大于背景值，相当于一个2密耳粒级的精矿（表5）

列举的例子表明这种方法是用非常规的方法来评价砂金的，而这个方法已为很多人所采用。但这仍然解决不了这种砂金矿是否可开采的问题。正如所证实的那样，只有较大颗粒的金才能使砂金矿有开采价值。为此，专业人员提出最好的试验方法：钻孔钻到底部（岩基或假底），并且检查精矿。为确定8吋岩心钻或冲击钻深度D，我们采用加利福尼亚采矿杂志1976年第4期给出的公式：

$$D = \frac{S^3}{C} \times 700000$$

式中：S是最大颗粒的粒级（单位吋），C是推测的含量（盎司／t）。如果D得出的是一个不合理的数值，那么钻探到底是

表 1　　金的风化作用

脉金中金的类型	机械风化作用的重要性	化学风化作用的重要性	金形成的类型
细粒几乎无硫化物	大	没有或几乎没有	大而不规则的金块
细粒几乎无硫化物	几乎没有	大	小片金和小而不规则的金粒
细粒大都在硫化物中	没有	仅有过程	小到大的磨圆颗粒

表2　　三种类型砂金矿的比较

砂金矿类型	散样中的金含量（ppm）	所得的精矿%	精矿品位（ppm）
沙　　漠	0.10	10	0.08
冰　　川	0.14	1	0.12
温带地区	0.6	0.3	8

表 3　　各种粒级的分布

砂的粒级	金颗粒粒级（密耳）	每立方码的金颗粒数	金精矿品位 盎司／立方码
砾石：2吋	300	80	12.6
3／4吋	180	160	6.0
2号目	130	230	1.6
4号目	40	800	0.5
砂：10号目	18	1600	0.060
18号目	11	2300	0.020
35号目	4	4500	0.003

续表

砂的粒级	金颗粒粒级（密耳）	每立方码的金颗粒数	金精矿品位 盎司／立方码
粉砂：70号目	3	6000	0.0002
150号目	2	8000	0.00005
250号目	1	15000	0.000008
粘土：粗	0.2	50000	0.000003
细	0.06	120000	0.000001

表4　淘洗法的回收概率

砂的粒级	每一粒级%	次棱角颗粒%	颗粒／立方码	回收率%	颗粒概率 1	4	35
2吋	5	20	80	100	0	0	
3／4吋	5	5	160	100	0	0	
2号目	20	10	230	100	0	0	
4号目	10	10	800	100	0	0	1
10号目	10	10	1600	100	0		1
8号目	5	20	2300	100	0		1
35号目	5	20	4500	98	0	1	3
70号目	5	10	6000	95	0		2
150号目	5	10	8000	90	0		3
250号目	10	10	15000	70	0	1	7
粗颗	10	20	50000	50	1	4	35
细粘土	10	100	120000	30	7	29	250

合理的。

另一个方法是钻探到10—20呎，确定一个初步含量C，然后上应述公式计算，并在那个新深度上取更多试样。不用说公式可用来修正计算的含量C。与此相应，C仅得出一个近似值，它不能作为计算标准，这种方法也算不了是个好的取样试金分析方

表5　淘洗法评价砂金矿

取样点编号	数量(盘)	淘洗的精矿中的金（盎司／立方码）	60目混合土壤中的金（盎司／立方码）	淘洗结果
1	1—2	0.001	0.006	损失
2	1—2	0.002	0.004	损失
3	1	0.002	0.004	损失
4	1—2	0.002	0.003	损失
5	1—2	0.002	0.003	损失
6	1—4	0.003	0.003	同样
7	1—3	0.001	0.003	损失
8	1	0.003	0.003	同样
9	2	0.003	0.002	富集
10	2	0.007	0.003	富集
11	2	0.001	0.003	损失
平　均	11	0.002	0.003	损失
最　大		0.007	0.006	

表6　不同砂金矿的比较

取样位置	矿床类型	试样类型	散样浓度 盎司／立方码	淘洗精矿品位 盎司／立方码
俄勒岗	宽谷	裂　隙	0.032	0.12
Pelnorte	窄谷	裂　隙	—	1.3
特里尼蒂	宽谷	河　流	—	0.12
特里尼蒂	河溪	河　流	0.022	0.26
特里尼蒂	宽谷	冰碛物	0.008	0.002
锡斯基尤	河溪	冰碛物	0.008	0.005

法：

$$C = S^3/D \times 700000$$

这个公式对野外快速评价是有用的。

最后，表6总结了不同类型砂金矿得到的结果，表中亦包括上述条例的一种砂金矿。

快速计算表明：精矿最佳的数可达该盘试样总金量的5%，但对粘土物质的最后两种情况则未加考虑，值得指出的是，如果采用上述公式，那么所有计算的深度D则是非常浅的。这与所取得的试样的深度是一致的，这也更表明了公式的有效性。

六、结论

已经证实，仅用钻探方法取横剖面试样才能对一个砂金矿进行正确评价。选矿前必须测定试样的体积，精矿干燥，称量，然后分析金（如果需要也要分析其它金属）以便最后评价。在大型砂金矿床中，必须取几个这样的试样，然后把计算值和深度作比较。

在野外，可用地表淘金、金的化学分析和评价公式来作初步估价。用手钻取得的试样经淘洗后测定其精矿最大粒级的颗粒，并采用同样公式来计算一个近似的富集值。

上面列举的例子是一个可供小型采金船开采的冰川砂金矿床。

译自《California Mining Journal》

1979年 Vo149 No4

1980年 Vo149 No5

黄孔宣译，张志庆校

选自《金矿参考资料汇编》第七集（1982）

金砂矿的矿物学特点

Шило

一、自然金的特征

最近20—30年来，对自然金矿物进行了全面的研究。在砂矿的研究过程中对粒度特性、形态及外形与内成结晶晶面的关系、化学成分、地表风化矿物的生成条件等方面进行了大量工作。但是，这些研究工作未能解决通常在经典的矿物分类中存在的所有问题。这是因为研究者们仍象过去一样把自然金及其矿物作为金属元素进行研究。

目前发现了十七种含金矿物，其中一些矿物既存在于原生矿床中，也存在于砂矿中，而另一些矿物，则只存在于金属矿床中。含金矿物中分布最广的是金属互化物或是金与银的固体溶液。正是这些互化物构成了大多数砂矿。而含铂族元素、铜和铋的固体溶液则很少见。含汞金的金汞膏更是罕见。这些矿物主要是原生矿床的特征矿物，在砂矿中几乎见不到。

表1中所列矿物是内生矿物，通常在地面风化带过渡为砂矿时不会发生实质性的变化。除了上述矿物外，还发现自然金的新生矿物，其中只见有金和银的金属互化物。

二、自然金的粒度特征

根据世界采金工业历史资料，砂矿中含金矿物分离物的大小

变化很大，由重约200kg的自然金块($1.3\times10^4cm^3$)至半显微颗粒不等，虽然粒级的变化幅度很大，但世界上很多地区都以其不同粒度的金矿物为特点：一些地区的砂矿中，以细粒级为主，而另一些地区的砂矿中则以粗粒级为主。在细粒级砂矿中，很大的天然金块总是很少见。据不完全但十分可靠的资料，在世界许多含金地区，一般以在0.2—20mm自然粒级为主的矿床分布最广。

在一系列含金地区，发现几乎所有自然金矿物（颗粒）都属于细粒级（雅库特的某些砂矿应列为此类矿床）。

这种金颗粒小于0.2—0.05mm的称为“细粒”和“超细粒”。这种颗粒的大部分（60—70%），就其水力特性，属于“不沉淀”或“浮游”金。这一粒级主要是小鳞片（小薄片），棱角平整，表面洁净，比“沉淀”金光滑。砂矿一般是由分散泥质沉积物构成，看来是原生矿源和围岩经深度地表风化作用的产物。虽然含这种金的原生矿源分布较广，但类似的砂矿较少见，且规

表1　金属矿床和砂矿中的自然金矿物

矿物	公式	矿床		矿物	公式	矿床	
		金属矿	砂矿			金属矿	砂矿
自然金	Ag_1Au	+	+	铑金矿	(Au,Rh)	+	+
银金矿	(Au,Ag)	+	+	针碲银金矿	(Au Ag Te_4)	+	?
金汞矿	(Au,Hg)	?	+	金银碲矿	(AgAu)Te	+	?
铜金矿	(Au,Cu)	+	?	碲金银矿	$(Ag_3Au)Te_2$	+	+
铋金矿	(Au_2Bi)	+	?	碲银金矿	$(Au,Ag)Te_2$	+	+
铋金矿	(Au_1Bi)	+	?	碲金矿	Au_2Te_3	+	?
铂金矿	(Au,Pt)	+	?	针碲金矿	$(Au,Ag)Te_3$	+	?
铂金矿	(Au,Pt)	+	+	针碲矿	$Pb_5AuSbTe_3-S_6$	+	?
铱金矿	(Au,Ir)	+	+			+	

注：+ = 存在矿物；? = 存在否不详，但可能存在。

模不大，储量有限。

砂矿中金矿物粒级成分的变化，一般具有某些规律性：通常是随着粗粒级含量减少，而细颗粒增多，反之亦然。换句话说，矿床中自然金矿物颗粒主要组分的大小变化范围总是比较小的。例如，雅诺一科累马河砂矿带的一些砂矿中，直径大于4mm的金数量比世界其它地区多（按科格赫尔法计算，颗粒平均直径大于5mm，其它砂矿中，颗粒直径小于1mm（平均直径达1mm。从表2中可以看出粗粒级的砂矿中，主要金矿物在2—16mm粒级之间（60—95%），而含细粒级的砂矿中，0.2—1mm粒级达90—98%。这些矿床属冲积矿床，沉积层厚度正常，是在相同的自然地理条件下形成的，其原生矿源是深成的岩体，但其构造岩浆

表2　雅诺一科累马河砂矿带中某些砂矿床里的自然金按粒径大小分布情况

砂矿	粒级（mm）								平均粒径（mm）
	<0.25	0.25—0.5	0.5—1	1—2	2—4	4—8	8—16	>16	
1	0.3	1.2	2.5	2.7	10.2	24.4	27.4	31.3	12.83
2	—	0.2	3.1	13.8	24.9	18.3	17.3	22.4	7.74
3	0.1	0.3	2.3	10.7	28.2	25.6	12.0	20.8	7.73
4	1.1	4.5	9.9	8.8	23.8	16.9	10.0	25.0	6.62
5	2.0	6.9	14.8	8.5	21.9	17.8	7.1	21.0	5.10
6	10.0	30.0	35.0	15.0	8.0	2.0	—	—	0.93
7	13.0	31.0	27.6	21.9	4.9	0.4	1.2	—	0.90
8	10.6	39.4	29.2	10.3	8.2	2.3	—	—	0.87
9	16.2	30.5	36.7	14.2	1.4	1.0	—	—	0.79
10	25.0	30.0	25.5	12.5	5.5	1.5	—	—	0.74
11	23.4	21.5	35.1	17.1	2.7	0.2	—	—	0.72
12	24.1	31.7	28.8	11.8	2.5	7.1	—	—	0.70
13	35.5	35.9	15.9	12.6	0.1	—	—	—	0.53

位置不同。

雅诺一科累马河砂矿带某些砂矿中，自然金矿物按粒径大小分布的特点始终是呈带状分布，并与金（或白金）的金属矿床或矿化现象分布在其中的构造相带相对应。在世界个别含金矿地区，发现矿物粒径的大小与原生矿源的构造岩浆位置有直接关系。例如矿物的中粒和粗粒级（粒径从2—12mm）是恩雅里—德宾复向斜（波洛乌斯年斯克—巴雷格砂矿带）内砂矿的典型特征；在塔伦—捷特林复向斜，特别是在库里诺—涅尔斯克复背斜的砂矿中，则产细粒金（粒径从0.5—3.0mm），同样的关系也表现在矿物颗粒大小其化学成分的关系上。据世界上某些砂矿确定的砂金颗粒大小与金成色间的关系如下；

颗粒平均直径（mm）	成色
4.35	946.8
3.80	851.5
3.53	827.1
3.35	821.7
1.63	791.0

在金成色最高（即含银少）的砂矿中，有粗粒级存在，并常见到天然金块，而细粒级急剧减少。上述关系似乎与地表风化特征无关，而是以控制内生成矿作用的因素为根据的。

砂矿中自然金的颗粒大小常是由上游到下游逐渐变细(图1)，这大概是与形成砂矿河谷内河流水动力的变化有关。在下游地段，细粒金的分额不规律的增多，可能是由于粗粒被磨成细粒所致。

砂矿中，自然金矿物不同粒级的配比特征，是矿物的重要粒度特征，它反映了矿床生成的特殊性，包括原生矿源的建造属性，其构造岩浆位置和岩石成因类型以及河流的水动力等。矿物颗粒的大小，其冲积作用程度，结合与含金沉积层的性质都决定

了砂矿的结构特性。因此以自然金矿物的粒级成分作为基础，并可以根据这一特征编制砂矿床的分类。

1963年我提出的分类，就考虑到了含金矿物的粒度成分。特别是对含自然金极细粒级的第一组砂矿的矿物特性，再做一些订正后，分类就可适用于世界上任何含金地区，因为根据这一特征的分类概括了各种类型的矿床（表3）。

表3　按自然金矿物粒径大小划分的砂矿床分类

砂矿组	金的特性	平均粒径（mm）	<0.25mm粒径的含量（%）
1	极细粒	0.25—1.0	10—95
2	细粒	1.0—2.0	4—16
3	中粒	2.0—4.0	1—6
4	粗粒	4.0—8.0	0.1—2
5	极粗粒	>8	<0.3

这一分类中，砂矿里存在小于0.25mm颗粒的数量是含金矿物特性的重要参数。这一级含“浮游”金不少于60—70%，因此，它不仅决定矿石原料特殊工艺性质，而且也是有那些原生矿源参与砂矿构成的标志，因而也就指出了含矿物质的分选及其在松土层中富集的条件。从表3中可以看出，按矿物颗粒大小，砂金矿床可明显地分出三组：<0.25mm粒级数量达10—95%的砂矿，含中粒级的金砂矿；<0.25mm粒级占1—6%，含金矿物粗粒级的砂矿；其中<0.25mm粒级的砂金杂质不超过0.3%。

中粒级的自然金矿物，在自然界的分布不是罕见的，因此其在砂矿中的数量及成因很少引起研究者的注意，而细粒级（“细粒”和“超细粒”金）和天然金块至今仍是讨论的课题，需要进一步说明。

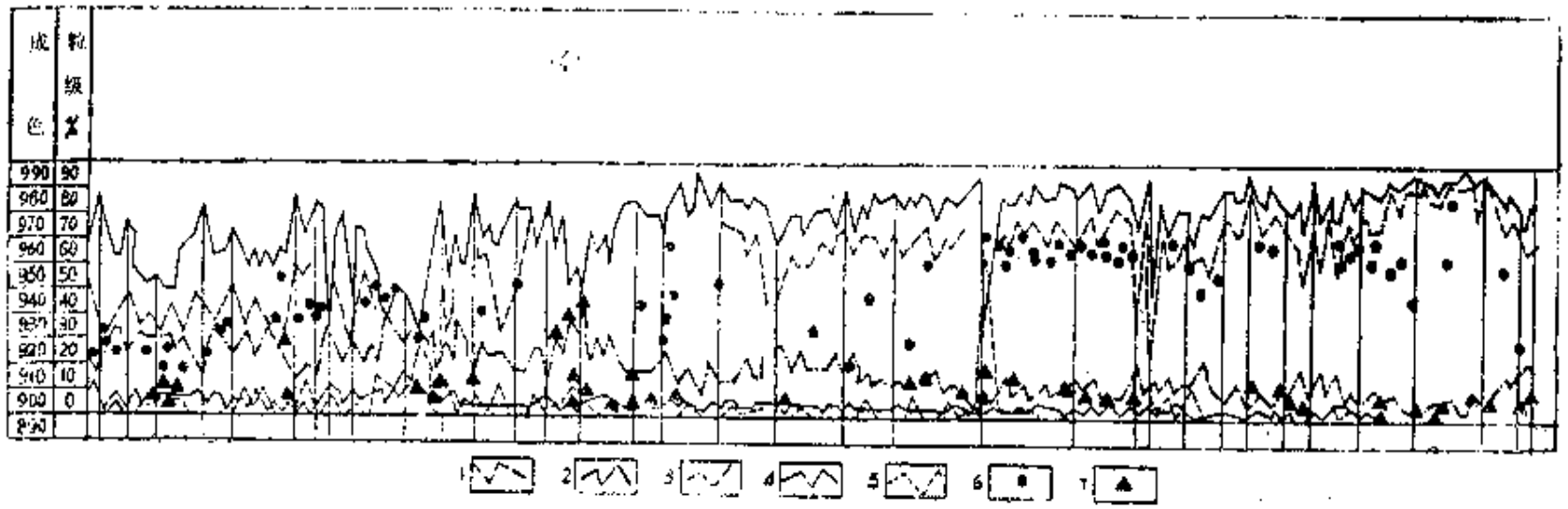


图1　按颗粒大小和成色，在沉积层正常厚度的冲积砂矿中金的分布情况（原生矿床属深成建造）

粒级：1—至1mm；2—至2mm；3—3—5mm；4—6—8mm；

5—大于10mm；6—金成色；7—石英连生体中金的成色

（一）细粒级自然金（微粒金）

关于在砂矿取样及其制备过程中用普通仪器测不到的自然金矿物微粒的存在问题，我早在1953年就研究过，1958年 B.M.Крейтер对此进行了更详细的研究。以后，Т.Г.Фоепкс和我对砂矿中金的微粒级进行了全面的研究。Л.В.Фирсов曾试图重新对砂矿中这种粒级组分进行定量评价，对此，В.И.Начбо-ролин提出反对意见。问题的实际情况如下：

我们对一系列砂矿中的自然金微粒矿物（<0.2mm）并确定其含量占整个物质的10—25%，未计算储量，因为一般在勘探中这些矿物都难以发现，也未列为矿床开采的工艺损失，这就降低了砂矿中各种粒级真实的比例关系的可靠性。Т.Г.Фодекко确定在尾砂中“浮游”金有时达总耗量的70%以上。Л.В.Фирсов研究细粒（粉状）和超细粒（粉尘状—胶体状）金时，得出了微粒（半微粒，“看不见的”）金，在金—石英（深成岩体）建造中特别发育的结论。他认为金和早期硫化物—砂和黄铁矿有关。这些看法和Н.В.Нестеров等砂金矿和金属矿床研究者们的概念相一致，他们认为自然金矿物看得见的颗粒只能在金属矿床的氧化带中出现。

Л.В.Фирсов推断，颗粒的大小缩小2倍，其在矿石中的数量就增多4倍。既然计算是在磨片平面上进行的，那么变为体积，对比关系就成为立方函数形式；颗粒大小为1mm的一份相当于粒径为0.1mm的10^3份，或者粒径为0.01mm的10^6份，等等。据此，作者得出结论：即砂矿中原生金的富集率不超过5%，而其余的金在砂矿形成过程中顺河谷流走了，即使沉淀下一部分，当对砂矿进行工业开采时也无法收回。

这种论断有重要的意义，因为它不仅能评价原生矿床过渡到冲积矿床中微粒金含量的意义，而且如果这种论断合理，就会改变对砂矿作为陆相疏松沉积盖层中金富集来源的原生矿床自然金

矿物粒度成分的现有概念。但是，Л.В.Фирсов的计算有严重错误。

第一，他没有确定自然金矿物的粗粒和超细粒（半微粒）级的重量比例关系。此外，当单质（或大小与其相似的）颗粒数量成立方累进增加时，可能得不出砂矿或矿石中的全部自然金重量，因为即使它按上述累进增加，也不一定伴随着颗粒重量相同的累进增长。

第二，包括自然金在内的所有不同粒级的矿物结晶，在原生矿床中都不是任意分布的，而是遵循于岩脉和矿物的结晶条件。因为任何成矿作用的物理化学系统，都以其非任意的、严格固定的结晶颗粒大小为特征，而结晶颗粒的大小取决于结晶速度和一系列其它因素的相互作用。因此，在这种严格限定的系统中形成细粒级的可能性，正象Л.В.Фирсов论断的那样，简直是不可能的。而自然金矿物粒度成分的特点将不是双曲线，而是抛物线的函数，即说明最适宜颗粒大小的正常曲线。看来深成岩矿床和火山矿床，以及其有关的砂矿的曲线将不会一样，但一切偏离都将受相应原因的制约。

这样一来，原生矿源的形成如同各种结晶体系的形成一样，都伴随着矿物颗粒的发育，其颗粒最可能的规格应符合于该体系的热力参数。考虑到砂矿中自然金矿物(和铂或全部金属矿物)的粒度成分在某种程度上完全是从原生矿源继承来的，所以这一规律对砂矿的适用性，可以用下述方式表示：每个砂矿床都有自己典型的矿物颗粒的平均直径，并与原生矿源建造属陆相岩石成因和生成砂矿的水动力条件相一致。

（二）天然金块粒级

天然金块是砂矿中贵金属（金、铂、银等）的大集合体，其大小以克或公斤计算。关于发现天然金块的频率，其重量、化学成分、刻蚀特点等，在许多著作中做过论述。如果没有贵金属在

地下水参与的地表风化条件下化学迁移说的支持者的反对，这个问题可以说彻底解决了。金被矿化水实际搬运的这种新事实，为广泛解释这一作用提供了根据，如同以前一样，这种作用被认为是在地表风化带和各种成因的砂矿中形成粗粒金和天然金块的决定因素。

Ю.А.Билибин（1938，1963）根据一般的见解对В.А.Обручев的观点进行了有说服力的批评，后者认为勒纳河区的砂矿是靠地下水溶液从沉积岩的黄铁矿中带入的金形成的。В.А.Обручев的概念是由于当时在这一地区长期普查砂矿的原生矿床而没有得到肯定的结果，因此，他把发育于沉积层中含金低的黄铁矿描写为原生矿源。与此同时，В.А.Бурак和其他研究者在这一地区发现了与含自然金矿物的黑色黄铁矿化页岩有关的变质金属矿床，其粒径的大小和其它特点，与砂矿中存在的矿物相同。Ю.А.Билибин反对В.А.Обручев胜过赞同他的理论。

对所有矿床来说，天然金块不是符合各种砂矿性质起决定性作用的唯一万能参数。其最小的规格在不同砂矿或不同矿区里是有变化的，可以把它看作是确定自然金或铂矿物主要基质规格的“浮动”指标。Ю.А.Билибин把从总的金属基质中按其大小分出的“颗粒”列为天然金块。这种情况从表2砂矿中各种粒级的自然金矿物分布表中看得很清楚。

实际上，在砂矿（1）和（2）中，15—20mm的金集合体不认为是自然金，因为大于16mm粒级的金在这些砂矿中占20—35%，但在砂矿（12）和（13）中同样大小的集合体当然要列为自然金块，因为这里不存在4—16mm粒级，在金的全部物质中，金颗粒的大小为0.25—0.5mm的达70%，大小在20mm（30—50g）的天然金块是非常罕见的，偶而和独一无二的。

关于肉眼观察测定天然金块的假设标准，在地质勘探和开采工作中经常使用的说法是：“微小天然金块”，“小天然金

块”，“天然金块”，“特大天然金块”等。

此外，测定金、铂或银天然块有非常广泛使用的标准，并用来计算储量。方法的实质是：在金属筛析的基础上，确定天然金块的极限重量，低于这一重量的所有集合体，都列为金属的基质，高于这一重量的则列为天然块粒级。遗憾的是，没有测定天然块级限重量的有数学根据的计算方法，因此，天然块的划分具有某些假定性。在实际工作中，天然金块极限重量计算的不准确，会导致提高或降低金属平均含量和矿床的总储量。

总之，天然块粒级或天然块的大小与砂矿床中自然金或铂矿物大小的关系是：

总的物质中矿物颗粒越大，在该矿床中有天然块，而且是大天然块的可能性越大，相反，金属总物质粒级越小，存在天然块，甚至小天然块的可能性越小。不难理解，这种规律性是来自原生矿源，因为在原生矿源中，在内生作用阶段，贵金属矿物就是根据这种原则按颗粒大小分布的。据此，可明显看出，天然块和所有大集合体在表生作用带或砂矿中增大的论点是完全站不住脚的。

其它论据我不再赘述。有关因被地下水溶解的金属而增大天然金块的假说得出这样的结论，即在原生矿床开采中似乎未发现有时在砂矿中发现的那么大的天然金块。实际上，这是不对的。早在1935年Б.Линдгрен就曾指出，在澳大利亚新威尔士地区的石英脉中就发现了93.3kg重的天然金块。在苏联东北部的两个不同的原生矿床中，分别发现1.5和50.0kg重的天然块。原生矿床中发现的大天然金块以及铂块相对要比砂矿中的少，这是因为人类开采的矿石量与在几十万年、可能几百万年的砂矿形成过程中的自然营力剥蚀的数量是无法比拟的。

三、自然金的形态特点

各种成因的砂矿中，颗粒形状、其刻蚀度、磨蚀程度（滚圆度*）以及粒度各有不同。世界各地区的砂矿中有下列常见的和容易判断的形状：树枝状、含矿的复杂集合体、细线状、等轴粒状、薄片状、鳞片状和粉尘状。由于砂矿成因类型不同，这些形状的配比也各有不同。但发现，具体地区或由同一建造的原生矿源形成的砂矿组，一般具有其固有的这种或那种形状。例如苏联东北部的冲积砂矿中，分布最广泛的是薄片状、鳞片状和颗粒状，虽然与其一起一般有不同数量的树枝状和细线状金存在，它们是和矿脉物质一起被带到砂矿中的，并在富集的地方从矿脉物质中分离出来。

对于砂矿中自然金矿物的研究表明，矿物外形反映了内生（结晶）雕刻象，它在矿石物质中后生改造过程发生了不同程度的变化。这种现象可明显地看出来，尤其是在那些由深成矿化形成的砂矿中，广泛分布着片状和板状。这些形状，明显是从八面体晶癖结晶和双晶以及具有（100）和（110）晶面的结晶继承下来的。

贵金属的磨蚀程度（滚圆度）是矿物经过包括水流活动在内的表生风化作用程度的标志。金或铂集合体的磨蚀程度是从残积向冲积和海岸砂矿方向不断增强。矿物的形状沿同一方向也增多。例如，通常在冲积砂矿中存在各种圆滑程度不同的颗粒，从

---

* “滚圆度”这一术语，尽管在砂矿地质中广泛使用，但不符合这一过程的真正含义。在冲积层中，金并未被滚圆，而真正的含义是磨蚀（撞击、起皱、滚动、磨擦和磨光等）。因此如果我采用“滚圆度”一词，应理解为考虑到了这些附加条件。

具有疏松海绵状表面、棉絮状或树枝状的完全没有变形的含矿集合体，到具有十分平滑表面的颗粒'金被磨蚀程度增强。包括象树枝状和其它含矿集合体那样的外生形状，而在残积坡积砂矿中，则不存在磨蚀得很圆滑的金。

根据自然金或铂矿物磨蚀性质和程度不间断的变化顺序，笔者把砂矿划分为八个类型（表1、2），构成八个等级，它适用于研究世界各地区的砂矿：

1.完全未经滚圆的含金脉石矿物（石英等）的集合体；

2.完全未经磨蚀的含金金属集合体；

3.未经滚圆的金；

4.磨蚀很差的金；

5.磨蚀较差的金；

6.经磨蚀的金；

7.磨蚀较好的金；

8.磨蚀很好的金。

完全未经磨蚀的含金脉石矿物（石英、长石等）集合体残积坡积砂矿的特征。类似的标志冲积矿床中也有，但其中金属只占分离金属的一小部分。这是在热动力影响下布满裂纹和碎裂，但还未经磨蚀的脉石物质，还含有自然金矿物。

完全未经磨蚀的金属集合体如同经磨蚀的自然金一样，主要分布在残积和坡积—泥流砂矿中。在冲积砂矿中，在整个经过不同程度磨蚀的自然金基质中也可能存在这种集合体。它们是由于含金属矿物的脉石碎块经崩解后直接进入冲积层的。刚从脉石物质分离出来的未经磨蚀的金属集合体是2—4类型之间的过渡变种。

磨蚀很差的自然金矿物具有不同的形状，轮廓清晰且略有磨圆的外形。在还保存有海绵状结构的这种集合体表面上发现有冲积痕迹。表面上的这种特点，使这一变种接近于完全未滚圆的

“金属”形状。磨蚀很差的金矿物经常构成坡积冲积矿床中金属的主要基质，相当于冲积砂矿形成的开始阶段。

磨蚀较差的自然金矿物主要是薄片状和等轴粒状的，表面轮廓清楚，冲积痕多。在矿物凹部保留着多孔组构，而凸出部，表面平滑。经过类似磨蚀的金集合体不仅存在于河谷中，而且也存在于阶地砂矿中，只不过数量少些。

经过磨蚀（滚圆）的金，是形状清楚而光亮的薄片和鳞片，表面常有小结节和坑洼，没有海绵状组构，但个别地方仍很粗糙。凸出部磨蚀得好些，表面平滑无光泽或发光。这是典型的冲积金。

大多数磨蚀较好的金，是薄片状或鳞片状，表面平整，只局部凹窝深处较粗糙。大多数冲积矿床中，甚至在冰缘带里，也含有大量在冲积作用过程中磨蚀得完好的自然金矿物（不少于40—60%）。

磨蚀很好的自然金矿物，是薄片和小鳞片，表面平整。经过类似程度磨蚀的小薄片，其形状通常很象沉积岩中的平滑卵石，因此，某些研究者称其为卵石金。在类似金矿物的许多标本上，见有很光滑的研磨成镜状的表面。出现这类表面，看来不仅仅是由于金长期存在于冲积物介质中，而且还由于某些补充条件：在这种表面研磨过程中，可能有细粒的磨料矿物碎屑加入，并呈浑浊状态被河流搬运。

因此，砂矿的自然金矿物，在很大程度上继承了内生成因的集合体形状，在砂矿形成过程中的变形程度，从残积向冲积和海岸砂矿的不断增大，沿着同一方向自然金矿物的形状增多，这是由于冲积（磨蚀—滚圆）的集合体和从脉石物质中分离出来的矿石形状所致，它们很快沉浮到冲积物的底层，有时未遭到侵蚀，就混杂到磨蚀良好的颗粒集合体中。这种混入物是冰缘带砂矿的突出特征，金属从脉石物质中分离出来，并和富集的自然金矿物

混合。很明显；在热带和亚热带温和潮湿气候地带形成的砂矿中，金的分布形态有些不同。在冲积砂矿里自然金矿物的研磨程度（滚圆度），从上游地区向下游地区不断加强。即随着细粒级矿物含量的增加而加强。

正如许多研究者所指出的自然金冲积矿物的继承性，表现在砂石金的内生粒状结构与砂金的相似，尽管颗粒的内生结构在冲积介质中由于冲击和挤压等而有所变形。

四、自然金的内部结构

对砂矿自然金矿物内部结构（Н.В.Петровская）的研究发现了矿物的粒状组构，从刻蚀光片中可清楚地观察到这种现象。在呈拉长和树枝状的矿物或天然块金中，结晶大小变化范围很大，往往达数毫米，这证明它们是在不同的热动力条件下生成的，在刻蚀后的光片中，常观察到双晶，在冲击介质中有时明显变形，但不排除由于内生条件而变形。在某些情况下，发现有微晶结构。显然，砂矿中的自然金矿物保留了在内生条件下脉石矿物质结晶过程中产生的内生构造。

五、自然金矿物的化学成分

关于砂矿自然金矿物的化学成分，曾有许多人进行了大量研究工作，证明在砂矿或原生矿床中，银是金的主要混入物之一。在含银金矿和含银较少的金矿的砂矿中，银的数量达50%以上。但是，在砂矿里，发现金属矿物成分的比例，与原生矿床相比，具有银含量降低，金成色相应升高的趋势。这是因为在地表风化条件下，金的地球化学惰性大和银的活泼性大所致（在冲积作用带中也是这样），这种现象是由于出现了高成色的金集合体夹

层和由此整个砂金矿成色升高形成的。特别是在矿床的底层（末端）回线Шлейфы处，受地表风化和冲积作用最强烈的粒级主要富集在这里。所指出的这种趋势，也与固体溶液和金及银互化物的不稳定性以及银比较容易被地下水溶解有关。

完全可以提出，由原生矿源形成的砂矿中金矿物(金成色)在金银比值上关系的继承性是毫无疑义的。对原生矿床及其附近砂矿床的金矿物进行的许多分析都证明这一点，其数字的数量级是相近的(表4)。确实，在一个砂矿床和金属矿床中，成色的急剧变化使对比工作难以进行，同时还必须考虑在确定形成砂矿的原生矿源(经常是许多)的位置上可能出现的误差。

表4 科累马河流域的原生矿床及其有关的砂矿中金的化学成分（%）

矿床	Au	Ag	Cu	Pb	B	H_2O	总数
1 岩脉	88.62	10.30	0.01	0.02	痕量	——	99.53
砂矿	85.29	11.26	0.10	——	——	1.21	97.86
2 岩脉	91.02	8.74	0.08	0.10	0.02	1.50	101.41
砂矿	95.02	5.90	0.70	痕量	痕量	——	100.99
3 石英脉	67.50	30.56	——	——	——	——	97.66
砂矿	59.24	38.06	0.08	0.19	——	——	99.97
4 石英脉	76.72	12.20	0.02	——	0.01	9.54	99.91
砂矿	84.66	11.66	0.05	痕量	——	3.01	100.38
5 细脉带	76.69	13.37	——	——	0.02	9.54	99.91
砂矿	76.56	21.20	0.20	——	痕量	0.96	99.58

考虑到造成误差的因素，笔者对由原生矿源(金属矿床)形成的砂矿进行了选择。表中所列资料表明，砂矿中金的成色，或升高与原生矿源中金的成色近似；自然金矿物中银的含量，在不同矿床里，无论原生矿或源砂矿，均变化不大。

原生矿和砂矿中金矿物的共生成因，不仅由这些矿物中相同的金银比例关系所证实。在原生金和砂金中，铜的含量不高，并相近似。铜的含量不高，是因为所选择的地区不是典型金铜地带，实际上是属于地壳太平洋弧形地段的硅铝层构造。

砂矿中，除银外，所有与自然金矿物伴生的元素，可划分为几个共生体组合，其中最值得注意的是与金一起生成16种矿物的元素，即铜、铋、汞、铂族元素(铂、钯、铑、铱等)和碲。

铜、铋和汞成为铜金矿，铋金矿和金汞膏的成分。在含铜的成矿区里砂金中铜的含量稍高，看来铜易于生成铜金矿，即使在铜完全没有成矿意义的情况下，也同样。铋在自然金中呈混入物存在或成为铋金矿的成分，但在其它某种情况下，这一非常稀少的元素在金中的数量不大。金的金汞膏(在这一矿物中汞有时达60—70%)则很少见。

其它组元素—铂族元素，在自然金中数量不大，成为铂金矿、钯金矿、铑金矿和铱金矿的成分。在砂矿中见有类似的矿物，实际上构成了含铂地区。对其正确的判断有很大意义，因为有益于评价相应地区远景。

碲占有特殊位置，16种含金矿物中有7种属于金的碲化物（碲银金矿、金银碲矿、碲金银矿、针碲金矿、针碲银金矿、碲金矿和叶碲矿）有时还包括银。这些矿物是金属矿化稀少地区的比较突出的特点。自然金矿物中极少见到这些矿物。

除和金形成矿物的元素外，化学分析或光谱分析还发现30多种元素，在砂矿自然金中呈杂质存在，世界不同含金地区的化学分析对比，能从这些元素中分出特别常见的元素—铅、锌、锑、

砷；少见的元素一锰、钼；很少见的元素一锡、钴、钡、锶。此元素名单中还应补充铁，因为在几乎所有的金矿化区里的化学分析结果中都发现了铁。铝和硅次之，钠和钾则最少见。这些元素与自然金的关系还不完全清楚。笔者认为，这些元素是与金共生的矿物成分。正因如此，所以未发现其与各含矿区不同建造关系的某种规律性。硅和铝，可能还有钠、钾，无疑是和金一起混入分析样品中的机械杂质。铁可能也属于这类，不与金构成金属互化物，但从各地矿区砂矿采取的所有样品里几乎都有铁。

最后，还应指出铬、钒、铪及某些其它元素，化学分析或光谱分析中都很少出现这些元素，它们都低于克拉克值。

这就能使我们把这些元素解释为与金矿物共生的矿物杂质，或是偶然混入分析样品的元素，最后还应强调指出，目前无论从地球化学还是从含金矿物共生体角度进行的研究，还都很不够，因此，进一步的研究可能对砂矿中自然金矿物化学成分的解释做一些修正。

六、砂矿中所生成的（地表风化）自然金

许多研究者都十分重视砂矿（残积和冲积砂矿）中新生代的（地表风化的）自然金，与该课题有关的问题，首先是由当时绝大多数砂矿还没找到与其规模相当的原生矿床而引起的。此外，在金—硫化物矿床的氧化带（锡纽欣矿床），或冲积砂矿（阿尔丹，堪察加半岛）中，新生金（地表风化）的实际发现，使得在砂矿形成理论之前，提出了砂矿是金经过地下水的化学迁移，并从溶液中沉淀在疏松覆盖层形成的不正确观点。Ю.А.Билибцн曾批评过有关金经大规模化学迁移以及由于化学迁移形成砂矿的类似错误见解，这里无需再重复。

由于这一问题的缘故，砂矿中新生金的发现无疑引起了很大

的兴趣。我所掌握的资料和其它作者发表的材料，特别是С.В.Яблокова的著作能够评价这种现象的质量特征和规模大小。只在某些砂矿中发现有这类矿物，其在粗粒金中的作用（按数量）非常小。这类矿物生成的规模，看来只局限在地表（地表风化）带中能够溶解和迁移金的强酸或强碱性条件。已确定，这些矿物是在以下三种情况下生成的：一是在饱和腐植酸的水参与下：二是由于金－硫化物矿床氧化带从地表向下发育较深；三是有相应化学成分的岩石存在。就是在这些因素存在的情况下，新生矿物的分布也是有限的，这说明对这种成矿作用还需要一些附加条件（速度等）。

在金－硫化物矿床氧化矿石带中找到了新生金的极有代表性的样品。这种金的地表风化成因是无疑问的：它在孔雀石中呈胶状集合体和与其它次生矿物共生。看来，这种金的溶解和沉淀与原生矿床氧化带的形成是同时进行的。

根据С.В.Яблокова的资料，在阿尔丹的残积和冲积砂矿中，也发现了新生金，呈海绵状和薄膜析出物覆盖在粗粒金上，并见有带雏形晶面的结晶，形成网状乳滴和纤维状构造。在光片上，地表风化金和粗粒金的区别是，前者在冲击金磨蚀面上生长有花边式的颗粒或等轴状的非常细小的颗粒。新生金的成色（794—880）总是比粗粒金（900—923）低，С.В.Яблокова解释其成因是由于原生矿床中存在微粒半微粒金，这种金的颗粒大小小于0.006 mm。在含金总量中这种微粒金超过95%。较大的集合体与铁的氢氧化物紧密共生，并与其一起形成乳滴状和网状结构。

早在1933年Ф.Фрейзе就在南美洲砂矿中发现了形状与阿尔丹地区新生金相似的黄金。从这种金的性质看，它的成色比冲积金低。

在堪察加半岛的砂矿中，找到了新生金的很有价值的标本。这种雏形结晶在碳酸盐岩的碎屑上形成松林石。

所有上述及其他因素证明砂矿从残积到冲积砂矿中金发生了化学迁移，它是在一定的酸碱度和地球化学条件下通过地表水实现的。总之，表生带风化金的出现是比较少见的现象，就其规模来说，与粗粒金是无法比拟的。

译自Основы Учения О Россыпях СГР，322—337，
"Наука" 1981

郭久志译　郭永志校

选自《地质参考资料》第二期（1986）

利用砂金与原生金的数量关系作区域预测

Д.Н.Сафронов

砂金矿床与原生金矿床金储量的数量关系具有很大的实际意义和科学意义。世界原生金矿区和砂金矿区工业开发的实践证明，砂金矿床比原生金矿床更容易发现。因此，砂金矿床通常首先被发现，并被作为普查原生金矿床的直接标志。应当强调指出，并非所有建造类型的金矿床都能形成工业砂矿。Н.А.希洛的研究表明，热液－深成型或热液－变质型金－石英建造在砂矿形成中起主要作用。

金矿床形成砂矿的能力如表1所示，该表是根据文献资料编制的，它说明了国外许多地区原生金产量与砂金产量的关系。该表只统计了金产量不少于15t、面积大于1000km²的采金区（美国含金区的平均面积介于1000—5000km²，东澳大利亚巴拉腊特—本迪戈产金带的面积约为10000km²。从金矿田的描述中可以看出，综合性的原生金－砂金矿结（其中原生矿的金产量与砂矿的金产量不相上下）只有金－石英建造的矿床。

科罗拉多州、内华达州、南达科他州和犹他州的金矿床形成砂矿的能力较低。科罗拉多州的典型矿床是复杂的多组份硫化物矿床，这类矿床含有价值大致相等的金、银、锌、铅，还常常含有铜（莱德维尔等矿床）；金－银矿床（锡尔弗顿、尤里卡、克里普尔克里克等矿床）也很典型。内华达州主要产金－银建造的金矿床（戈尔德菲尔德、托诺帕、科姆斯托克等矿床）。霍姆斯塔克金矿床（南达科他州）属于金－石英建造，但砂矿与它没有关

系。这个矿床所在的矿田产于从北美地台盖层下面露出的前寒武纪岩石中（布莱克希尔斯金成矿区）。犹他州的金主要采自延提克综合性硫化物（铅、铜、锌）矿床和宾厄姆斑岩铜矿床的矿石。

正如已经指出过的那样，只要发现一个地区有砂金，就往往会引起人们在这个地区找原生金。但是，表1的资料证明，对于面积不大(直到3000—5000km²)的地区来说，根据其范围内含砂金情况的资料，即使对金－石英建造矿床中的金资源也很难直接作出局部定量评价。从所列出的数据可以看出，各个地区、各个矿田原生金储量与砂金储量之比（到目前为止，表1所列的几乎全部金矿床已完全采空，所以总产量与储量相当）变化范围很大，因而想确定规律性函数关系的任何尝试都是徒劳的。可能为了解决这个问题，在每种具体情况下都必须引进补充的地质资料，即必须估计该区的侵蚀截面深度，确定并考虑“矿床形成效率”等等。

同时，如果把阿拉斯加州、加利福尼亚州、蒙大拿州（比尤特矿床除外）和东澳大利亚矿床群体中区域原生金储量和砂金储量加以对比，那么就可以颇为清楚地看出，金－石英建造矿床提供的区域原生金储量和砂金储量的关系有一定的规律。因此，对这种类型的区域原生金储量和砂金储量的规律性关系问题，应作更详细的探讨。

列于表1的产金区说明了其所在行政区的原生金储量和砂金储量的特征，不过统计的面积不大（1200—40000km²），这些行政区范围内含金带的总面积超过统计面积4—9倍。

С.Д.舍尔也得出了根据砂金储量无法直接局部预测原生金储量的结论，他在其一系列著作中对世界主要产金区原生金和砂金规模之间的数量关系问题进行了认真的研究。С.Д.舍尔的至关重要的结论是他断言在不同大地构造条件下——在地盾和褶皱区——主要金矿建造形成砂矿的能力不同。这些资料概括地示于表

表1

地区	金产量（t）		
	原生矿	砂矿	总计
美国主要产金区			
阿拉斯加州			
库克湾—苏伊特纳	18.3	10.1	28.4
卡斯科奎姆	1.3	18.6	19.9
苏厄德半岛	188.2	0.3	188.5
阿拉斯加东南部	237.9	4.3	242.2
育空	9.5	372.5	382
总计	455.2	405.8	861
加利福尼亚州			
阿马多尔	130.0	9.0	139.0
比尤特	4.2	72.6	76.8
卡拉韦拉斯	62.6	93.3	155.9
埃尔多拉多	16.6	22.8	39.4
克恩	33.3	22.1	55.4
马里波萨	48.5	18.1	66.6
默塞德	—	16.1	16.1
莫诺	36.6	—	36.6
内华达城	323.4	68.4	391.8
普莱瑟	15.6	46.7	62.3
普卢默斯	42.8	99.7	142.5
萨克拉门托	0.2	155.5	155.7
圣贝纳迪诺	16.1	—	16.1
沙斯塔	49.8	11.7	61.5
谢拉	77.8	15.6	93.4

续表

地区	金产量 (t)		
	原生矿	砂矿	总计
锡斯基尤	22.1	33.0	55.1
特里尼蒂	25.3	38.0	63.3
图伦纳	80.2	234.9	315.1
犹他	28.2	136.4	164.6
总计	1013.3	1093.9	2107.2
科罗拉多州			
布尔代尔	32.5	0.1	32.6
克利尔克里克	75.6	—	74.6
吉尔平	130.8	1.5	132.3
莱克（莱德维尔）	91.2	1.6	92.8
乌雷	59.4	—	59.4
帕克	33.1	9.3	42.4
圣胡安(锡尔弗顿，尤里卡)	51.8	—	51.8
圣米格尔	119.0	0.3	119.3
萨米特	8.4	23.0	31.4
泰勒（克里普尔克里克）	594.2	—	594.2
总计	1195.0	35.8	1230.8
蒙大拿州			
布罗德沃特	10.3	20.8	31.1
弗格斯	20.3	0.03	20.3
格拉尼特	11.7	10.4	22.1
杰斐逊	17.9	3.9	21.8
刘易斯和克拉克	70.2	70.0	140.2
麦迪逊	35.5	81.0	116.5

续表

地区	金产量 (t)		
	原生矿	砂矿	总计
纽威尔	1.6	16.1	17.7
锡尔弗博（比克特）	87.1	—	87.1
总计	254.6	202.2	456.8
内华达州			
埃尔科	17.9	1.3	19.2
埃斯梅拉达（戈尔德菲尔德）	152.8	0.1	152.9
洪博尔特	28.0	4.4	32.4
林肯	17.3	—	17.3
兰德	22.4	2.3	24.7
奈县（托诺帕）	83.2	9.2	92.4
斯托恩（科姆斯托克）	266.0	—	266.0
怀特潘	63.8	—	63.8
总计	651.4	17.3	668.7
南达科他州			
劳伦斯（霍姆斯塔克）	821.0	—	821.0
总计	821.0	—	821.0
犹他州			
尔布（延提克）	82.4	—	82.4
盐湖县（宾厄姆）	315.6	1.6	317.2
萨米特和沃萨奇	24.6	—	24.6
图伊	39.1	—	39.1
总计	461.7	1.6	463.3

续表

地区	金产量（t）		
	原生矿	砂矿	总计
东澳大利亚巴拉腊特—本迪戈带的矿床			
本迪戈	600—700	120—150	720—850
巴拉腊特	100—120	300—500	400—620
克伦斯	35	2	37
麦斯特尔迈恩	15	105	120
斯尔登	50	3	53
总计	800—920	530—760	1330—1680

* 括号中表示该区的主要矿床。

* *据专家估计，巴拉腊特地下尚有60—100t金，矿石中金的平均品位为8—9g／t。

2。在地盾（原地期和中地期的地盾，但举世无双的维特瓦特斯兰德地区除外）条件下，区域原生金储量与砂金储量之比平均为11：1。这里要强调一点，就是在这些地区的金矿床构成中，金－石英建造的矿床起着主要作用。根据C.Ч.舍尔（1965）的意见，地盾形成砂矿的能力偏低，是由中生代和新生代在地盾范围内发生的新构造运动的强度和方向（升、降）造成的，这种新构造运动阻碍了砂金在松散地层和水流冲积层中的堆积。

世界上分布在褶皱区内的含金区，原生金储量与砂金储量之比明显降低（与地盾相比），平均为1.9：1。这些含金区的大多

表2

大地构造区	面积（百万km²）	1970年前的金产量		原生金：砂金
		原生矿床	中－新生代砂矿	
地盾：				
原地期的	16.8	9665	510	19:1
中地期的（不包括非洲地台的地盾）	5.8	1260	480	2.6:1
合　　计	22.6	10925	990	11:1
褶皱区：				
早新地期的	11.2	5890	4910	1.2:1
晚新地期的	20.7	9760	3395	2.9:1
合　　计	31.9	15650	8305	1.9:1
总　　计	54.5	26575	9295	2.9:1

数砂金矿床和一定数量的原生金矿床已被采空。因此，所列出的原生金储量与砂金储量的比例，大体上也可以推广到原生矿床和中－新生代砂矿的金储量上去。在原生矿床的金产量数字中，统计了所有类型的原生金矿床和含金矿床，包括在最有利的条件下也未产生可采砂矿的矿床的产量。可能，根据表1的资料为金－石英建造的矿床确定的原生金储量与砂金储量的规律性关系，应低于1.9：1。

IO.A.毕利宾早在1934年就坚持说，在褶皱区内，根据与金－石英建造的原生矿床有关的砂矿的含金率，有可能对这种原生矿的金储量作出区域性预测。后来，他在对苏联一个矿区作预测评价时用了一个由砂金储量换算出原生金储量的系数，为1.5。

根据表1的资料和一系列补充的文献资料对金－石英建造的矿床编制了表3，以此说明原生金产量（储量）与砂金产量（储量）的关系。

表3

地区	金产量（储量）（t）		原生金:砂金
	原生矿床	砂矿	
不列颠哥伦比亚	370	128	2.9:1
阿拉斯加（美国）	455	406	1.1:1
加利福尼亚	1010	1100	0.9:1
蒙大拿（不包括锡尔弗博地区）	167	202	0.8:1
东澳大利亚	2500	1240	2.0:1
巴拉腊特—本迪戈合金带地区（维多利亚州）	860	645	1.3:1
总计	5362	3722	1.4:1

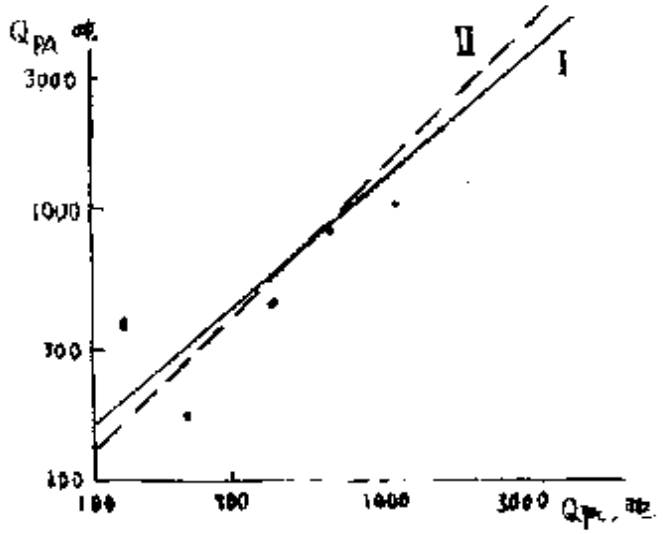
● 产量估计值的平均值

褶皱区内金－石英建造矿床提供的原生金储量和砂金储量的区域性相关关系，如附图所示。相关系数等于0.87，这种相关关系的严格方程式（图中线Ⅰ）如下：

$$Q_{原生金} = 2.71 Q_{砂金}^{0.89} \qquad (1)$$

式中，$Q_{原生金}$、$Q_{砂金}$分别表示区域原生金储量和砂金储量。

也可以用下列简单公式（线Ⅰ）来求出整个区域砂金储量的令人满意的近似结果：



世界许多地区褶皱带内金－石英建造矿床提供的原生金储量和砂金储量的相关关系图

Ⅰ—$Q_{原生金}=2.71Q^{0.84}_{砂金}$；Ⅱ—$Q_{原生金}=1.4Q_{砂金}$；Qpл为原生金储量，Qpc为砂金储量

$$Q_{原生金}=1.4Q_{砂金} \qquad (2)$$

这样就有了客观的依据，可以建议根据与金－石英建造的原生矿床有关的砂矿的区域含金率对这种原生矿床的金矿资源作区域预测。这种预测可以根据公式（1）或（2），在很大的成矿系统内（成矿带、成矿区、大的矿带）或其中面积不小于10万km^2的个别部分进行。对面积几万km^2的地区作比较局部的预测的问题，需要进行补充研究。根据表2的资料，也可为原生的金矿床和含金矿床、包括未形成砂矿的矿床总和确定类似的规律。

很明显，金－石英建造矿床（大体上同任何一种矿产的矿床一样）的区域预测资源总数，应当只表示尚未发现的矿床的储量规模。因此，区域预测资源总数或者应当尽可能取整数，或者应当以资源整数的某一变化范围表示。为了确定这个变化范围的最佳

宽度的界限，对表3和附图（按两个公试）列举的六个金矿区计算了金的预测资源，然后研究了估算误差的分布。取得的资料证明，预测资源估算没有系统误差，而偶然误差与对数正态分布一致，对数正态分布以标准因子值1.6±1表示。因此，如果取某一地区金的预测资源估算值为1，那么在70%的情况下预测资源估算值的置信区间就为0.6—1.6（这完全符合实际的必要性和充分性准则）。

（司连盛译自《Разведка и охрана недр》1985, №6, стр.59—62；王家枢、本刊编辑部校）

选自《地质科技动态》第十期（1986）