

砂金矿开采过程中金的品位和体积的变化

J. D. Bliss等

前 言

在整个人类历史中,砂金一直是金的重要来源,也可能是金最早的来源之一,这可追溯到公元前6000年。人类曾经采用过各种各样的方法开采砂金,从原始时人们采用的出矿蓝到现代人们采用的采金船。在很多地质和气候条件下都能形成砂金矿,根据一组综合指标如:时代(现代、第三纪)、气候(沙漠)、河流位置(现代河道、阶地、冲积扇)、沉积环境(残积的、冲积的、残余的、海滩的)、搬运类型(溪、风、冰川),矿床是埋在地下的还是出露地表的,可以对砂金矿进行分类。开采任何一种砂金床通常有几种方法。

大多数人关于砂金矿的研究都把金的品位和体积方面的资料视为辅助信息。在本文研究中,作者所要探讨的是如何用金品位和体积方面的资料来区分砂金矿的类型;从砂矿的发现到采尽这个过程中金品位和体积可能是怎样的变化。这类资料对于开展区域矿产资源评价来说应当是很有用的。

由于砂矿类型多种多样,且采矿历史复杂,这就要求我们研制出一种能进行系统评价的方案。但是,鉴于砂金矿成因和采矿历史复杂,以及描述砂金矿资料的不完整,研制出的任何一种方案也只能是诸多方案中的一种方案。

砂金矿资料

金品位和体积的资料是从对未勘探的砂金矿床进行评价的已发表的报告中收集的。这类资料对于进行区域矿产资源评价工作特别有用。根据发表的文献收集和编辑了分布在全世界的330个砂金矿床的资料,但没有收进关于南非的Witwatersrand矿床方面的资料。

所报导的砂金矿的体积和品位(或常计算它们的数据)、采矿方法和砂矿类型的原始资料的详细程度和完整程度差异很大。通常,几种类型的砂金矿(如现代砾石型和阶地型)可一并开采。有些矿床规模很小,适合个人开采,还有一些矿床规模很大,沿河流延伸数英里,或遍及整个开采区。我们对砂金矿床的认识,在某种程度上依赖于砂金矿的类型和文献中报导的资料完整程度。我们试图,将沿着河流每隔1.6km长的砂矿看作是一个单独的矿床。大约在四分之一的情况下,我们是根据其他信息间接估算砂矿的品位或体积的。例如,用金产值的有关报告来估算品位;依据含金砾石厚度和面积的有关描述来估算体积。当我们后来找到过去发表的数据时,发现这类对砂金矿的品位和体积的间接估算似乎已经得到了证实(通常在同一数量级范围内)。许多资料可充分证明,Orris和Bliss(1985年)描述的330个砂金矿中约200个砂金矿适用于本研究。

砂金矿的品位体积

砂金矿资料的分析表明,金品位和砂金矿体积取决于采矿方法而不是传统的砂矿类型。分析也表明,根据采矿方法可划分出两组主要(部分重迭)类型:(1)小体积开采,包括淘洗、摇动槽选矿、平硐开采、流槽选矿和洗选;(2)大体积开采,包括挖掘船采矿、绳斗电铲和水力开采。只有产在冲积平原和冲积扇地区的砂金矿的金品位和砂矿体积才取决于砂矿类型,而不是采矿方法。这类砂金矿发育在盆地与山脉的交界处,它们与其他砂金矿相比,金品位非常低,但体积很大。

如果淘金者很多,而且他们在那里干了很长时间,那么开采地段的实际体积会由于小体积开采而发生变化。小体积开采法可分为小体积地表开采法和小体积地下开采法或平硐开采法。采用平硐开采法与小体积地表开采法的砂矿的数量比是3:5,这是根据澳大利亚提供的较完整地区的资料确定的。大多数砂金矿床的开采是两种方法同时进行,但是,通常以一种方法为主。在某种情况下,一些砂金矿的开采是大、小体积法混合进行的,无主次之分,所以在研究中包括这些资料。为了确保资料认识和处理上的一致性,我们部分依据一些采矿知识将砂金矿的开采分成下列三类:

1.小体积地表开采,洗矿量少于 100m^3 ;

2.大体积开采,洗矿至少 10m^3 ,金品位必须在 $0.1\text{--}1.0\text{g}/\text{m}^3$ 之间。采用大体积法开采的砂金矿的资料不一定要包括那些几乎所有采用大体积法的砂矿似乎都要经历的最初小体积开采阶段的生产数据;

3.平硐开采,这是一种对金品位或砂金矿的体积没有限制的小体积开采方法。

上述每一种开采都应建立起品位——体积模式;它们大致可由一个对数正态分布来表示(置信度为10%)。与矿床累积比率的三个百分数有关的金品位和体积的估算是根据每种采矿法所描述的金品位和砂矿体积的对数正态分布来确定的。采矿法的混合使用,在小体积地表开采($r = -0.43$)和大体积开采($r = -0.39$)的两类砂矿的金品位和体积之间可能产生一种重要联系(置信度为1%)。平硐开采的砂金矿,在其金品位和体积($r = -0.37$)之间的关系不太重要,但有一定的意义(置信度为5%)。采用平硐法开采的砂金矿的体积不存在统计上的差异;但对于金品位来讲则是另一回事。

这些品位——体积模式可用于评价未开采矿床的金品位和体积,但是它们不能用于预测部分已开采的砂金矿的金品位和体积。

大体积开采的金产量预测

砂金矿规模小是进行小体积开采的一个因素。其他情况,可能采用大体积开采法的砂金矿,部分也可使用小体积开采法进行开采。储量大,开采经济条件适宜的砂金矿可采用大体积法开采。因为文献中通常说不清楚用小体积法开采的砂矿数,所以,目前不难估算采用大体积开采的砂金矿床的比例。进行过详细勘探地区的初步评价表明,就一个砂矿而言,适合于采用大体积法开采的机会为80%。如果一个砂矿适合采用大体积法开采(LVM),而且小体积法(SVM)开采的金产量已有记载,那么剩余的金($\log_{10}\text{kg}$)则可用下列等式求出:

$$\log_{10}(\text{Gold}_{\text{LVM}}) = 1.76 + 0.46 \log_{10}(\text{Gold}_{\text{SVM}})$$

采用大体积法开采的金变率约43%，这可以用小体积法开采期间生产的金来解释。这一等式是以具有两个有关的但无联系的小体积和大体积法开采阶段的18个砂金矿为依据的。小体积开采包括地表和平硐开采。等式的内含之一是，如果采用小体积法开采金产量超过1.8吨，则采用大体积法开采的金产量趋于或少于小体积法开采的金产量。显然，一些特大型砂金矿，其富金砾石中一半以上的含金量适合用小体积法开采。

砂金矿开采的一般模式

砂金矿的开采可用一个简单模式表述（见图）。首先采用小体积法进行开采，开采过程中可以小体积地表法为主，也可以平硐开采法为主。在这以后，或是金矿被采完，或是改用大体积法开采，直到采尽。依据小体积法开采期间生产的金可初步估算出未来大体积法开采的金产量。该模式为认识砂金矿的开采史（采矿史是非常复杂的）提出一个系统轮廓，但它不是在任何情况下都适用的。例如，该模式不适用于由于法律作用（如，在加利福尼亚禁止水力开采；又如政府在战争期间停止采矿）或经济变化而提前终止开采的砂金矿。

模 拟

砂金矿开采的一般模式，小体积法开采的金产量和等式为剩余金资源的估算奠定了基础。但是要应用到一个地区，还需下述三个方面的资料：（1）采用小体积法开采的砂金矿数；（2）每个砂金矿的金产量；（3）估计的未勘探的砂金矿数。已发现的并已经使用小

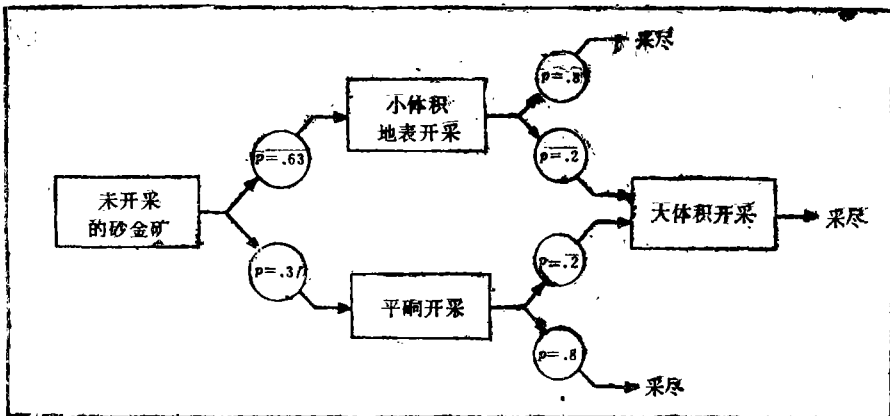


图 一个砂金矿理想化的开采史

各个事件将发生时概率的估算如图，各种概率被认为对于全世界的砂金矿从整体上来说具有代表性，但是可能不适合某些地区。

积法开采的砂金矿中金的剩余量可以采用继小体积法开采后采用大体积法开采的概率和等式进行估算。未勘探砂金矿的金含量的估算需要有两个阶段：（1）根据平硐开采或小体积地表法开采获得的金的分布来估算小体积开采回收的金；（2）用小体积法开采后采用大体积法的概率和等式估算大体积法能回收的金。一个已勘探的砂金矿与未勘探的砂金矿的地区的剩余金的期望值，能够直接用一般模式，小体积法开采的金产量和估计的未勘探的砂矿数进行预测。设想有这样一种情况，一个地区有5个砂金矿，其平均小体积法采金170kg。假设5个

砂金矿都采用小体积地表法开采, 则用大体积法回收金的期望值是, 用等式推算的用大体积法开采的砂金的金产量的平均值乘以大体积法被采用的概率(0.2)再乘以砂金矿数。如若这样, 用大体积法回收的金期望值是610kg。

假设同一地区有5个未勘探的砂金矿, 并且都适合于用小体积地表开采法开采, 那么每一个砂金矿采用小体积法开采最确切估算的金产量为54kg, 这正好等于描述小体积地表开采金产量的抽样数的平均值。全部5个砂矿中能够回收的金期望值是270kg。这些未发现的砂矿用大体积法开采能回收的金期望值等于用等式推算出的大体积法生产的金的平均值乘以使用大体积法的概率($P = 0.2$), 再乘以砂金矿数。未勘探砂矿采用大体积法生产的金的期望值为360kg。小体积和大体积法开采的期望值共630kg。包括已勘探砂金矿采用大体积法开采的610kg金在内, 金产量的期望总值为1200kg。上述例子中没有涉及由于下述几个原因而造成的估算上的不确定性, (1) 未勘探砂金矿数的不确定; (2) 采用两种小体积开采法而产生的金产量上的可变性; (3) 砂金开采的一般模式中概率应用的不确定性(图); (4) 等式估算的可变性。这些不确定性可以用计算机模拟来确定。在下面两个例子中, 我们将通过模式, 用数字确定目前尚未勘探矿床数的某些不确定性和那些与描述用小体积法生产的含金总量的可变性有关的不确定性。

在一个假设含有砂金矿的研究区内, 模拟采用蒙特卡洛技术, 可以预测已勘探和未勘探的砂金矿中后来采用大体积法开采可能得到的金的新增产量。研究区的范围可以从1.5万 km^2 到2万 km^2 不等, 或者是其范围适合于区域矿产资源评价。未勘探砂金矿数体现了熟悉这一地区的一些专家作出的一种估算。未勘探砂金矿的小体积法生产可用模拟预测。模拟采用一种一般的统计装置MINITAB。该模拟采用的是下列四个基本假设:

1. 在研究区内, 已知只用小体积法开采的砂金矿有20个; 其中八个采用平硐法开采。已知每个砂金矿产金分别为220、77、46、245、660、1000、44、200、8.3、28、14、100、830、150、72、480、600、330、295和8.5kg。这些数值与用小体积地表法和地下法开采估算的金产量得到的数值是一致的;

2. 预计还有待于勘探的3个砂金矿, 再假设泊松分布适合描述未勘探砂金矿的产出频率;

3. 平硐矿与小体积地表矿的数量比为3:5, 这一数值是根据澳大利亚砂金矿的情况确定的。

4. 小体积法开采的金产量与其后采用大体积法开采的金产量的比值为1:4。

重复做了1000次的模拟, 估算出将来小体积和大体积法开采的金产量。首先是模拟未勘探矿床采用小体积法开采的金的新增产量; 其后是模拟采用大体积法开采的金的新增产量; 期望值为3的泊松分布常用来模拟每次重复中未勘探砂金矿数。在任何已知的重复中未勘探的砂矿数在0到不常见的10之间变化。如果确认了一个未勘探砂金矿的存在, 下一步要做的就是确定它是否能够采用小体积地表法或平硐开采(见图)。假设只有这两种可能的结果, 过去各砂金矿小体积地表法开采的概率不同, 现在假设均为0.63, 那么用伯努利试验确定用小体积地表法开采还是用平硐法开采。如果选用小体积地表法开采, 则从描述小体积地表开采(平均值=1.73, 标准偏差=0.902)得到的金含量($\log_{10}\text{kg}$)的正态分布中取一个样。另一个样取自描述平硐开采(平均值=1.96、标准偏差=1.18)得到的金含量($\log_{10}\text{kg}$)的

正态分布。在对各个砂金矿的金产量进行估算以后，将全部砂金矿每次重复的生产情况制成表。如在模拟过程中确定有一个未勘探矿床存在，则它的小体积法开采的金产值可加到已知砂金矿的表的数值上。大约5%的重复中没有发现新的砂金矿。

模拟的第二阶段是对上述描述的未勘探砂金矿和已生产并在以前介绍过的20个砂金矿采用大体积法进行模拟再生产。每个砂金矿会出现下列两种可能的情况之一，即或再用大体积法开采，或已被采尽。另外，假设各砂矿大体积开采的相应概率均为0.2，而过去各砂金矿的相对概率是不同的。如果这些假说成立，那么就可用伯努利实验确定是否能用大体积法开采。如果是这样，小体积法开采金的产量常用“等式”来估算以后用大体积法开采可能的金产量。采用大体积开采算出这些砂金矿的产量后，将全部重复的产量列表。

在模拟得到的1000次观测中有一个预测研究区的小体积法开采金产量的变量，和一个预测研究区的大体积法开采的金产量的变量。就未勘探砂金矿采用小体积法进行再生产来说，模拟表明，产金100kg或更多的可能性为75%；产金500kg或更多的可能性为50%；产金2t或更多的可能性为25%。至于已勘探的和未勘探砂金矿采用大体积法进行再生产，模拟表明，产金1.9t或更多的可能性为75%；产金2.9t或更多的可能性为75%；产金2.9t或更多的可能性为50%；产金4t或更多的可能性为25%。研究区的20个砂金矿已产金5.4t；预计未勘探的砂金矿采用小体积开采的中档产量要少于假设的过去产量的10%已知的和预测的未勘探砂金矿采用大体积开采的中档金产量为2.9t，这一数值略高于过去假设产量的一半。

结 论

通常，砂金矿都有这样一个开采过程，它们的最初阶段是由大量的个体开矿者采用小体积法（淘砂盘、摇动槽选矿等方法）迅速开采富金砾石，随着富金砾石被采尽，开矿者们逐渐联合起来投入大规模的开采。由于开采的体积增大（如果有效），则合作变得重要起来，大规模开采便占了主导地位。小体积法开采和大体积法开采这两个生产阶段是能够区分开的，而且每个阶段有明确的品位和体积指标。

大体积法开采期间回收的金重量可以根据小体积法开采的情况采用“等式”进行预测。这种关系的认识表明有这样的可能性：即在矿床勘探的其它地区也可能存在类似情况，特别是在出现两个开采阶段的地区（或时间上的或空间上的），例如，脉状矿床开采的一些特性（如品位、吨数、所含的金属、或一些未确定的特性），可用来预测与脉状矿床有关的浸染状矿石的存在及其规模。

砂金矿的新增产量可以用带有一个标准统计装置（如MINITAB）的计算机模拟进行预测。我们根据描述金含量的分布和18个资料较完整的砂金矿中得到的预测等式建立了一种模式。用其估算某些地区（即：砂金矿的小体积法开采的产量已经知道，或者可以从已知的和预测的矿床中估算出来的那些地区）采用大体积法开采可能得到的新增金产量。

宋国明 摘译自《CIM Bulletin》1987 July.

张仲伟 本刊编辑部 校