

资源定量评价发展方向展望

Donald A. Singer

(美国地质调查所,加利福尼亚 94025,美国)

摘要: 未来的资源定量评价希望能够评估未发现矿产资源的量、价值并对其进行定位预测,以能够表达矿产资源的经济潜力和不确定性。近年来金属价格的长期下跌提出了对更大型的矿床的需求。敏感度分析表明了减少评价中不确定性和风险的最有效途径是降低有关吨位估计因素的不确定性。到目前为止,在评价中所有可能造成误差的因素中,那些与吨位估计误差有关的因素是最重要的。鉴于吨位模型的绝对重要地位以及矿床模型是吨位最有效的预测手段,正确地选择矿床模型是控制误差最重要的途径。地表大部分地区被大面积裸露的岩石和沉积物所覆盖。由于很多出露地表的矿床已经被发现,人们开始把注意力转向盖层下面岩石可能显露的矿化信息上。这些区域的资源评价必需依靠对其周边地区的外推、地下覆盖岩石新的地质填图或者通过在其他成功勘探区获得的经验进行类推。盖层对评价的不确定性以及评价的方法与程序都具有深远的影响,因为地下地质现象的不可见性和地球物理方法所获得的是一种被削弱了的信息。许多早期的评价方法都是基于从那些出露地表的矿床中总结出的地球化学和地球物理变量之间的关系而进行的,而现在我们同样需要研究基于地下隐伏矿床的勘探经验。矿床模型在资源定量评价中的重要地位基于以下两个原因:(1)大多数矿床类型具有明显不同的品位和吨位分布;(2)不同的矿床类型出现在不同的地质背景中,而这种背景可从地质图上进行区分。在综合利用地质、矿产、地球物理和地球化学等地质学信息进行资源评价及矿床勘探中,矿床模型起着至关重要的作用。品位和吨位模型以及定量描述、经济和矿床密度模型的发展将有利于减少这些新的评价的不确定性。

关键词: 矿床模型;品位—吨位模型;经济模型;勘查风险。

中图分类号: P628 文献标识码: A

文章编号: 1000-2383(2001)02-0152-05

作者简介: Donald A. Singer,男,57岁,博士,美国地调所高级研究员,1971年获美国 Pennsylvania State University 矿物岩石学博士学位,主要从事定量方法在矿产资源与勘探中应用的研究。

0 引言

像大多数旅程一样,成功严格地依靠我们的终点之所在。因此,如果我们想对矿产资源定量评价未来发展作一评论的话,我们需要对评价的目的有一个基本的理解。未来资源定量评价的目标是什么?问题的答案需要我们确定未来评价的服务对象、评价的应用方式以及评价结果可接受的形式。矿产资源定量评价的目的是为评价陆地上与矿产有关的一系列方案时提供有用的信息。资源评价可以用来帮助进行勘查设计、土地的选择性使用、制定经济发展计划和评估不同条件下的矿产可利用性。考虑

到经济、社会、政治因素对矿产资源的影响和对其进行开采的环境后果,查清未发现矿产资源的客观分布信息是必要的。具体地讲,评价未发现矿床的主要目的是预测其资源量、价值和对其进行定位。

对评价的要求将可能持续来自采矿业、金融产业和政府部门。尽管我们不能给出精确的回答,但我们能确定政策制定者将会要求评价来对他们的需要作出响应,而对评价人员则不一定需要。很少有土地和金融管理者会对岩石的年龄或完美的数学公式产生兴趣。

成功的管理者在做决定时往往需要对风险来源的鉴定和对这些来源进行仔细的分析,以便控制和降低这种风险。风险可以被定义为失败和损失的机会。发展、勘探和土地使用是一种带有风险和不确定性的经济活动,所以风险也必须被限定在经济范围

内. 无论是从政府或行业, 领导者都希望得到不确定性评价的详细意见. 在可能是最早的一份现代资源定量评价中^[1], 政府要求提供对勘探期望可得经济回报的评估和勘探失败的概率. 这应该是未来资源评价的最低要求.

资源的定义应包括其经济意义, 但是在许多矿产评价中经济评价往往被认为是主观的和定性的. 未来的资源定量评价如果用于经济决策中, 则其不确定性分析和风险分析也需要明确包含经济分析的内容.

为了给未来的评价作出一致的看法, 还有许多工作要做. 一些重要的因素将影响评价的成功, 例如下面讨论的矿产品的价格、不确定性的来源、资源价值和未发现矿产资源的定位. 下面就一些需要进行研究的内容进行初步讨论.

1 基本分析

相对于消费者购买能力和工资来说, 大部分非燃料矿产品的价格是处于下降趋势的. 这种下降中的价格降低了一般矿产使用者的生产要素价格, 从而对其经济运行产生了积极的影响. 由于矿产品是许多工业体系的基石, 其价格的下降必将影响整个经济形势. 矿产品价格的下降应归功于矿业工程师多次成功地减少了矿石开采与处理费用, 以及地质学家降低了矿产的勘探费用. 这种趋势将对未来的资源定量评价产生重要的后果, 因为它影响了评价中的主要问题: 预测未发现矿产资源的量、价值以及对其进行定位.

1.1 资源量的预测

资源量是矿床大小、品位和矿床数量的函数. 这些变量与资源量的关系可以用下面的方程来表示, 其中期望金属量可根据大量的矿床进行估计^[2]:

$$E(\text{metal}) = E(n) \cdot 10^{(u_t + v_t/2 + u_g + v_g/2)}. \quad (1)$$

其中: $E(\text{metal})$ 为期望金属量; $E(n)$ 为期望矿床数; u_t 为吨位的对数均值; v_t 为吨位的方差; u_g 为品位的对数均值; v_g 为品位的方差. 一种重要的度量经济运行成功、净现值的手段主要依靠矿床中所含的金属量, 而期望金属量对其变量输入变化的敏感度可以从方程(1)进行估计(见图1). 10%的品位值变化(相当于原值的1.1或0.9)将导致金属量55%的增长(相当于原值的1.55)或35%的减少. 10%期望矿床数的变化将导致10%金属量的变化. 平均吨位

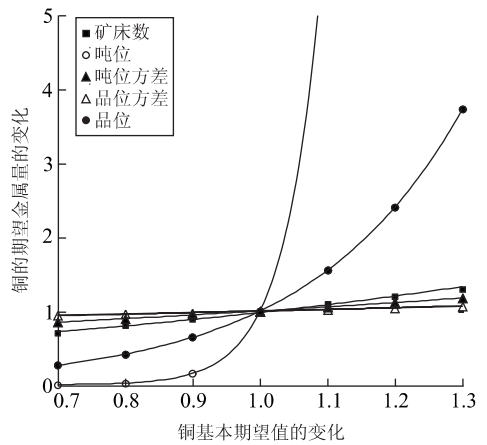


图1 斑岩铜矿中铜的期望金属量随变量变化的敏感度分析

Fig. 1 Sensitivity of expected amount of copper in porphyry copper deposits with respect to possible changes in expected number of deposits and means and variances of log tonnage and log copper grade

方差10%的变化将导致金属量650%的增长(图中未表示)或85%的减少. 平均吨位方差在决定金属含量的变量中具有绝对的重要性. 虽然在敏感性分析中我们假设矿床大小和品位的分布在方程(1)中服从独立的对数正态分布, 但对矿床吨位属性有较大曲解的任何假定分布形式都将产生相似的结果.

在世界范围内对含金属矿床所作的基础和精确研究中, 至少74%的金、银、锌和铅矿床的平均品位大于各自的中间品位, 44%的铜矿床具有平均品位大于其所有矿床中间品位的特性^[3]. 低品位矿床的总金属量低于高品位矿床. 矿化岩石的吨位是一种较好的金属量预测手段, 因为中等大小以上的矿床占有超过该类矿产96%的金属总量, 而10%的巨大矿床占有了该类矿产所有金属量的47%~97%.

敏感性分析和世界范围内的研究结果证明, 减少勘探和资源评价不确定性和风险的最大机会在于降低与吨位估计有关的不确定性和与品位估计有关的不确定性, 在重要性上, 前者大于后者. 在所有评价中造成的误差中, 到目前为止, 那些造成吨位估计误差的因素是最重要的. 选择正确的矿床模型是控制金属量和净现值误差最重要的方式, 这是因为吨位模型具有的绝对重要地位, 而矿床模型是吨位最重要的预测手段. 在实践中, 这意味着正确应用矿床模型将提高评价的精度.

1.2 资源价值

一种重要的度量经济运行成功、净现值的方法

主要依靠矿床中可得到的金属量,其受矿床吨位的强烈影响。为了有利于经济规模的扩大,前面已讨论的价格长期下跌的经济趋势提出了对更大型矿床的要求。在有些地方,许多矿床因为太小而造成开采的不经济性,勘探企业因此通常用是否经济来确定适合开采的最小矿床限度。例如,现在许多主要的勘探公司都要求一个矿床的最小级别,通常被称为临界(world-close)矿床^[3]。

在资源评价和矿产勘探中,经常会出现一些小型矿床和矿点因其数量众多而较容易地成为关注的焦点。众多的小型矿床和矿点迅速地消费着可利用的评价或勘探费用。也正是因为这些原因,这些矿床和矿点可以很容易地成为资源评价的焦点。缺少对不同类型矿床的经济效益、同一类型不同矿床大小和不同类型金属不同收益的考虑,资源评价只能算是一种学术兴趣。因此,未来的资源评价应该直接瞄准大型矿床,小型矿床和矿点只有在重要的大型矿床可能出现的区域范围内才显得有意义。

1.3 资源的定位

矿床不等同于矿点,尽管矿点的出现常预示着矿床形成过程的发生,而大多数矿点只能是成矿过程的一种轻微显示。我们有理由相信,在一些方式上,那些发育了矿点和小型矿床的区域和那些发育了大型矿床的区域具有根本的差异。许多矿产资源评价有一个隐含的假设,那就是预测出矿点的位置对政府和公司来说具有与预测出矿床位置同样的价值。这是因为大多数矿床同时也被看作是矿点,而没有意识到查清所有矿点的位置是评价和发现经济矿床的先决条件。一些区域的评价中要求包含对未知矿床和矿点的评价。

在许多大的区域,大约 50% 的表面被荒凉的岩石和沉积物所覆盖,如澳大利亚、美国和欧洲的部分地区。因为多数暴露在地表的矿床被认为已经发现,在这种情况下,评价开始关心地表覆盖下可能存在的成矿系统的深度和性质。盖层下资源区的评价必须依靠对其周围地区的外推、地下岩石新的地质填图或根据其他成功勘探区所获得的经验进行类推。

盖层对评价实施的方法和程序都具有深远的影响。已知的矿床和矿点常出现在覆盖区的边缘。盖层下的地质情况几乎是未知的。地球物理方法对地下情况的反映随着盖层厚度的变化而变化,地球化学的反映反而更为直接。近年来发展的许多基于地球化学和地球物理变量关系的有效评价方法都是从已

勘探矿床中总结出来的。为了在覆盖区应用这些方法,这种关系需要以盖层下的实际情况为基础进行修正。因为盖层下矿床勘探资料缺少,这项任务显然并不容易。

2 开端

未来的矿产资源定量评价将希望能够估计未发现矿产资源的量、价值并对其进行定位预测从而能够表达其经济获利能力和矿产资源及金融条件的不确定性。近年来金属价格的长期下跌提出了对更大型矿床的需求。敏感度分析证明了减少评价中的不确定性和风险的最大机会是降低与吨位估计有关的不确定性和与品位估计有关的不确定性,而前者的重要性要相对大于后者。到目前为止,在评价中所有造成误差的因素中,那些与吨位估计误差有关的因素是最重要的。因为吨位模型的绝对重要地位和矿床模型是吨位最有效的预测手段,选择正确的矿床模型是控制金属量和净现值估计误差最重要的途径。

2.1 模型

矿床模型在资源定量评价中占据着重要地位主要是基于以下两个原因:(1)大多数矿床类型的品位和吨位具有明显的不同;(2)不同的矿床类型出现在不同的地质背景中,而这种背景是可以从不同的地质图中进行区分。在综合利用地质、矿产、地球物理、地球化学等不同地学信息进行资源评价及矿床勘探中,矿床模型起着至关重要的作用。对大多数局部地区来说,由于完整勘探的矿床数太少而不足以对重要地质变量进行可靠识别或对未发现矿床进行精确估计,因此,我们需要建立矿床模型。科学合理的设计和构造矿床模型使地质学家在对地质环境和可能出现的矿床类型进行观察的基础上进行预测。经济学家也可以据此而评估该区资源可能的经济收益能力。

描述性模型,例如 Cox 等^[4]建立的模型,包括两部分:第一部分是对发现矿床的地质背景进行描述;第二部分是给出矿床的识别特征。因此,描述性模型的第一部分通过描述矿床类型的一般背景,起着一种描绘矿床产出位置的作用。第二部分对已知矿床和矿点进行归类,以完善矿床产出背景的描述程序。这些描述性模型都是基于专家知识建立的。另外一种完善的描述性模型需要花费更多时间,即从

已知各种类型的已勘探矿床中收集数据,用来决定其出现在矿床中一般属性的差异性和不同属性的组合方式.在下一步对已知矿床进行统计归类时,量化矿床的属性则显得必要而且是可行的^①.

每种已勘探矿床的吨位和平均品位的频率分布都可以作为相似背景下同类型未发现矿床的品位和吨位模型.品位和吨位模型^[4,5]与矿床数量相结合是把地质学家的资源评价转化为经济可用形式的基本手段.在未发现矿产资源评价中存在着预期可行费用模型^②.该模型可以用来淘汰那些虽发现但可能不经济的矿床.用不同数量的矿床来构建多个独立的品位和吨位模型是不经济的.这些矿床应该可以保留在模型中,以便用于在评价结束时的经济分析上.费用模型也可以用于将来的价格和技术可行性研究中.

未发现矿床数量的估计是许多矿产资源定量评价的一项主要内容,可直接或间接用于这种估计的技术方法很多.矿床模型法是这些方法中最有效的一种,在这种模型中,每一个单位面积中的矿床数量根据已勘探区单位面积矿床数来计算^[6],并且结果中的频率分布或者直接用于评估,或者间接作为其他评估方法的基础.每一个单位面积矿床数的比率可用在直方图中来显示不同矿床的密度分布情况.作为基准区虽不必是完全勘探区,但该区已发现矿床必须有相当的数量,并且需要首先评估其中已勘探面积在整个基准区中所占的比例.Singer等^②总结了这些实例并且增加了几种新的矿床密度模型.这种矿床模型形式完全适合作为一个指导和估计方法用于估计被更年轻岩石和沉积物覆盖的评价区.

2.2 盖层

未发现矿床通常发育在一些种类的盖层下面(如冲积层).因此,在这种意义上,必须能够预测在覆盖区下将有什么东西存在才能做出评价.地质图是描绘评价区不同区段内容最基本的信息来源,并且可以识别哪个区段对不同类型的矿床是有利的.这对评价人员来说将是一种挑战,因为,在大多数地区,盖层下面岩石的地质分布情况是不可见的.

如果盖层下面的地质情况可以被投影的话,矿床的区域或成矿背景可以为盖层下的矿床定位提供线索.有幸的是,一些科学家已经取得了绘制盖层下地质图的经验.澳大利亚学者已经对这个问题进行了多年研究^[7].然而,这种方法需要详细的地球物理探测,因为其探测费用甚高而只能在面积相对较小的区域内应用.现在常用的构造地质方法应该说是盖层下矿化进行定位的有效方法.盖层下的许多断裂可用地球物理方法进行识别,而其中某些断裂类型与某些矿化类型密切相关,如斑岩铜矿^[8].

3 结论

许多评价人员的目标是在决策支持系统要求的格式下做出客观的定量评价,以便对多种方案的评价结果进行检验.在大量研究人员和有效方法支持下,我们对未来矿产资源定量评价有了一个良好的开端.我们应该能够客观地综合不同种类的信息,如暴露于地表的和覆盖于盖层下的地质图件信息和现代矿床模型.模型的改进不仅有利于我们更精确地估计不同矿床类型矿化发育的概率,还可以减少对未发现矿床大小估计的不确定性.

参考文献:

- [1] Allais M. Method of appraising economic prospects of mining exploration over large territories; Algerian Sahara case study [J]. *Management Science*, 1957, 3(4): 285~347.
- [2] Singer D A, Kouda R. Examining risk in mineral exploration [J]. *Natural Resources Research*, 1999, 8(2): 111~122.
- [3] Singer D A. World class base and precious metal deposits — a quantitative analysis [J]. *Economic Geology*, 1995, 90(1): 88~104.
- [4] Cox D P, Singer D A. Mineral deposit models [J]. *U. S. Geological Survey Bulletin*, 1986, 1693: 379.
- [5] Bliss J D. Developments in mineral deposit modeling [J]. *U. S. Geological Survey Bulletin*, 1992, 2004: 168.
- [6] Bliss J D, Menzie W D. Spatial mineral-deposit models and the prediction of undiscovered mineral deposits [A]. In: Kirkham RV, Sinclair RV, Thorpe W D, et al, eds. *Mineral deposit modeling* [C]. *Geological Association Canada Special Paper*, 1993, 40: 693~706.
- [7] Wilford J. Thematic mapping and three-dimensional

① Singer D A, Berger V. Deposit models and their application in mineral resource assessments. In: Schulz K, ed. *Methods for global mineral resource assessment*. U. S. Geological Survey Professional Paper, 2000, 1640, 20 msp (in press).

② Singer DA, Menzie W D, Sutphin D. Mineral deposit density — an update. In: Schulz K, ed. *Methods in global mineral resource assessment*. U. S. Geological Survey Professional Paper, 2000, 1640, 39 msp (in press).

- modeling of the regolith for mineral and environmental assessment [M/CD]. 31th International Geologic Congress, Brazil: [s. n.], 2000.
- [8] Berger B R, Drew L J, Singer D A. Quantifying mineral-deposit models for resource assessment [A]. In: Ódo

L, Korpás L, McCammon R B, et al, eds. Deposit modeling and mining-induced environmental risks [C]. Geologica Hungarica Series Geologica, 1999, 24: 41 ~ 54.

SOME SUGGESTED FUTURE DIRECTIONS OF QUANTITATIVE RESOURCE ASSESSMENTS

Donald A. Singer

(U. S. Geological Survey, 345 Middlefield Road, Menlo Park, California 94025, USA)

Abstract: Future quantitative assessments will be expected to estimate quantities, values, and locations of undiscovered mineral resources in a form that conveys both economic viability and uncertainty associated with the resources. Historically, declining metal prices point to the need for larger deposits over time. Sensitivity analysis demonstrates that the greatest opportunity for reducing uncertainty in assessments lies in lowering uncertainty associated with tonnage estimates. Of all errors possible in assessments, those affecting tonnage estimates are by far the most important. Selecting the correct deposit model is the most important way of controlling errors because the dominance of tonnage-deposit models are the best known predictor of tonnage. Much of the surface is covered with apparently barren rocks and sediments in many large regions. Because many exposed mineral deposits are believed to have been found, a prime concern is the presence of possible mineralized rock under cover. Assessments of areas with resources under cover must rely on extrapolation from surrounding areas, new geologic maps of rocks under cover, or analogy with other well-explored areas that can be considered training tracts. Cover has a profound effect on uncertainty and on methods and procedures of assessments because geology is seldom known and geophysical methods typically have attenuated responses. Many earlier assessment methods were based on relationships of geochemical and geophysical variables to deposits learned from deposits exposed on the surface—these will need to be relearned based on covered deposits. Mineral-deposit models are important in quantitative resource assessments for two reasons: (1) grades and tonnages of most deposit types are significantly different, and (2) deposit types are present in different geologic settings that can be identified from geologic maps. Mineral-deposit models are the keystone in combining the diverse geoscience information on geology, mineral occurrences, geophysics, and geochemistry used in resource assessments and mineral exploration. Grade and tonnage models and development of quantitative descriptive, economic, and deposit density models will help reduce the uncertainty of these new assessments.

Key words: deposit model; grade and tonnage model; economic model; exploration risk.