

矿产资源定量评价

一种综合方法

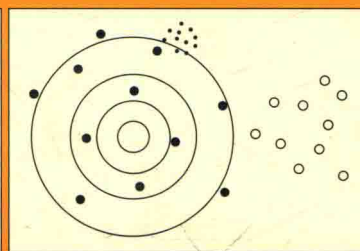
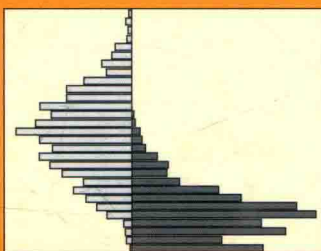
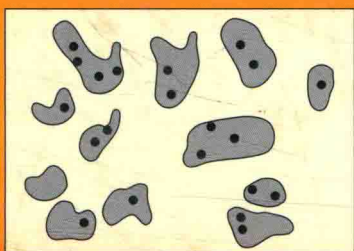
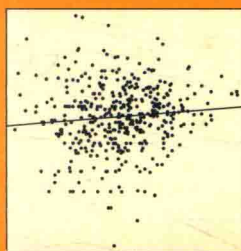
Donald A. Singer W. David Menzie 著

黄文斌 吴西顺 李 莉 张 炜 译

吕 鹏 陈 晶 王海华 张桂平

姜作勤 肖克炎 审

杜晓慧 蒋秀玲 校



地 质 出 版 社

矿产资源定量评价

一种综合方法

Donald A.Singer W. David Menzie 著

黄文斌 吴西顺 李 莉 张 炜 译
吕 鹏 陈 晶 王海华 张桂平

姜作勤 肖克炎 审

杜晓慧 蒋秀玲 校



地质出版社

· 北 京 ·

北京市版权著作权合同登记 图字：01-2012-8278 号

本书中文版的出版得到了牛津大学出版社授权许可

Copyright© 2010 by Oxford University Press, Inc.

"QUANTITATIVE MINERAL RESOURCE ASSESSMENTS: AN INTEGRATED APPROACH, FIRST EDITION" was originally published in English in 2010. This translation is published by arrangement with Oxford University Press.

图书在版编目 (CIP) 数据

矿产资源定量评价：一种综合方法 / (美) 辛格 (Singer, D.A.), (美) 门兹 (Menzie, W.D.) 著；黄文斌等译. —北京：地质出版社，2013.10

ISBN 978-7-116-08536-7

I. ①矿… II. ①辛… ②门… ③黄… III. ①矿产资源—资源评价 IV. ①P624.6

中国版本图书馆 CIP 数据核字 (2013) 第 234463 号

Kuangchan Ziyuan Dingliang Pingjia: Yizhong Zonghe Fangfa

责任编辑：刘亚军 赵宗举

责任校对：王素荣

出版发行：地质出版社

社址邮编：北京海淀区学院路 31 号，100083

咨询电话：(010)82324508 (邮购部)；(010)82324578 (编辑室)

网 址：<http://www.gph.com.cn>

传 真：(010)82310759

印 刷：北京地大天成印务有限公司

开 本：787mm × 1092mm 1/16

印 张：11.5

字 数：280 千字

印 数：1—1000 册

版 次：2013 年 10 月北京第 1 版

印 次：2013 年 10 月北京第 1 次印刷

定 价：80.00 元

书 号：ISBN 978-7-116-08536-7

(如对本书有建议或意见，敬请致电本社；如本书有印装问题，本社负责调换)

前言

本书是资深学者近四十年潜心耕耘的成果。书中的许多基本概念是两位作者在 1977 年到 1987 年期间共同提出的。本书的作者当时在美国地质调查局工作，工作地点位于加利福尼亚州的门洛帕克，而且办公室相邻。在接下来的 20 年里，当中的许多概念在专业文献中得到了进一步发展和阐释并得到实际应用。从工作一开始，两位合作者就力求将大量分散在各种出版物中关于矿产资源定量评价 (QRA) 的重要观点进行系统的梳理。这里介绍的 QRA，虽然在各种报道中没有突出强调，但是自 1974—1979 年这项工作一开始，确实就有一个宏大的计划。书中所阐述的矿产资源评价方法的宗旨是采用决策支持系统所需的格式进行无偏的定量评价，这样就可以对有关土地利用或矿产资源开发的各种行动路线的结果进行审视和比较。这些评价的受众是政府或产业政策的决策者、勘探管理人员、地区发展的规划人员以及其他类似的决策人员。书中提出的一些工具和模型对于勘探地点的选择是有用的，但这是一个附带的好处，而不是最终目标。

本书的读者，有可能是评价的使用者，也可能是实际评价人员。针对他们，我们汇集了不同的公开材料，并试图跨学科捕捉必要的元素来作为矿产资源定量评价的一个组成部分。我们相信，本书采用这样的方法对于那些来自不同学科的读者是更容易理解的。面对更广泛的受众来写作的代价就是阅读这本书的矿产经济学家可能理解地质背景是重要的，但可能无法明白在确定这些地质背景时所牵扯的复杂程度。同样可以说，经济地质学家，也可能不明白使用泊松分布来计算矿床分布或使用净现值来衡量矿床价值的意义和其中所做的假定。值得注意的是，书中提出的许多概念虽然相对简单和易于理解，但是在评价过程中，认真听取其他学科专家的意见，

才能得出更好的评价结果。借用 De Veaux 和 Velleman (2008) 对教育统计学面临的挑战所做的评论，我们相信：驾驭而且赋予 QRA 实际意义，不仅需要学习规则和公式，而且需要生活经验和常识。对于适合使用哪些工具的决断力最好是通过实例和经验的学习来养成。

书中阐述的成果是许多研究人员多年潜心工作的结晶，书中的内容难以反映他们工作之辛苦。其中，做出了重大贡献的学者，包括 Dan Mosier, Jim Bliss 和 Greta Orris。Dave Root, Norm Page, Keith Long, Vladimir I. Berger 和 Joe Duva 也做出了重要贡献。多年来，Barney Berger, Larry Drew, Margie Scott 和 Ryoichi Kouda 提供的建议和批评，促进了许多改进，并受到极大的赞赏。多年来，Paul Batron, Brian Skinner, Roderick Eggert 和 Don Sangster 在论文中做出的评论、质疑和建议，有助于改进我们的工作。DeVerle P.Harris 在宾夕法尼亚州立大学举办的矿产经济学公共培训为我们的决策支持系统打下了基础。

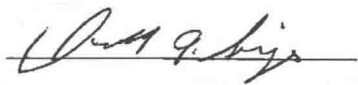
虽然他可能会婉拒一切感谢，但是如果没有 John Cedric Griffiths 在宾夕法尼亚州立大学的精彩培训，我们今天的成绩就无从谈起。他教会我们如何把重点放在终极目标而不是具体事项或单个工具。

最后，我们要感谢 altitudesf.com 的 Brian Singer 为本书设计封面。

中文版前言

自 1978 年改革开放以来，中国的经济得到了迅速发展。而经济的飞速发展也必然带动矿产品消耗的大幅增加。赵鹏大教授甚至早在这之前就对潜在矿产资源的找矿战略和潜力评价产生了浓厚的兴趣。赵鹏大、成秋明、肖克炎、左仁广等教授和其他学者在中国研发出许多矿产资源的评价方法。他们一直设法帮助上级领导更好地认识矿产资源，以便他们对矿业在区域经济发展中的地位和作用、到哪里保障矿产品的安全供应以及勘探时如何最有效地布置钻孔等问题进行决策。

自从本书的英文版于 2010 年出版以来，正如世界各地的众多资源评价工作和评价方法所取得的进展所显示的一样，人们对本书所介绍的评价方法（如使用矿床密度来估计矿床数量的办法）表现出愈加浓厚的兴趣。对评价方法的浓厚兴趣，使得在中国出版该书的中文版正合时宜。据肖克炎博士讲，本书的英文版已经对中国的矿产资源评价有所帮助。而中文版本的面世将会为更多的科学家和决策者提供支撑。书中介绍的“三部式”评价方法使得所有评价中遇到的或然性一目了然，从而可以与中国自己的各种评价方法相互补充而相得益彰，以便决策者可以更好地掌握情况与形势。



2012 年 9 月 2 日

译者的话

由于全球人口的增长和为了提高生活标准所做的努力，在可预见的将来全球对非燃料矿产资源的需求将会继续增长。对一个国家或地区矿产资源的区位、数量和经济价值的评价是政府、机构目前十分关心的战略性课题，它既可以为国家矿业政策宏观决策提供重要的技术支撑，又可以直接为地质找矿服务。矿产资源评价是矿床学和矿产勘查学研究的重要内容，根据当前的成矿理论和地质工作最新成果，评价地球和一个国家的未发现矿产资源潜力，是一个国家矿产资源调查研究的基础性工作、也是经常性工作。矿产资源评价成果对提高矿产勘查工作的经济效益具有重要的意义；作为规划部署的基础工作，矿产资源评价为编制经济发展中长期规划和部署地质工作提供了科学的依据。鉴于矿产资源在经济发展中的作用，世界上许多国家均建有自己的矿产资源评价分析机构，进行矿产资源供、需及合理利用方面的研究，为规划、决策服务，尤其以美国为代表，其采用的矿产资源评价体系已成为各国开展矿产资源评价工作的首选。

我国也非常重视矿产资源评价工作，日前正在开展全国矿产资源潜力评价，并把该项工作定位为我国矿产资源方面的一次重要的国情调查，目的是通过系统总结地质调查和矿产勘查工作成果，全面掌握矿产资源现状，科学评价未查明矿产资源潜力，建立真实准确的矿产资源数据，为实现找矿重大新突破提供资源勘查依据。因此，学习、了解国外矿产资源评价工作方法、流程，对我国开展矿产资源评价工作具有重要意义。该书第一作者 Donald A. Singer 博士是未发现矿产资源定量评价领域世界领导者，在矿产资源潜力定量评价方面具有丰富经验。《矿产资源定量评价：一种综合方法》是根据他们多年的野外工作实践编写而成的最新成果，该书系统地

介绍了美国“三部式”矿产资源定量评价的方法体系。可以说，这是目前所见到的最系统、最全面的一部介绍矿产资源定量评价方法体系的优秀之作。译者是在参加地质大调查项目《全国重要矿产资源潜力评价及综合项目》期间，发现了这部2010年由牛津大学出版社出版的《矿产资源定量评价：一种综合方法》。翻译本书的目的之一就是为我国正在实施的“全国矿产资源潜力评价”提供技术参考。

参加本书翻译的人员分工如下：黄文斌负责第1、2、3、6、11章，吴西顺负责第5、8、9章，吕鹏负责第4、7章，张祎负责第1、8、9章，李莉负责第2、6章，陈晶负责第5章，王海华负责第10章；杜晓慧、蒋秀玲对第2、3、4、5、7、9和10章进行了初校，黄文斌和吴西顺对全书进行了统稿和校对；肖克炎、姜作勤两位专家参与了本书翻译的全过程，对翻译过程出现的难点提供技术咨询，保证了本书的质量。我们感谢该书的第一作者 Donald A. Singer 博士在翻译过程中提供的大量帮助及为本书中文版的出版撰写了序言，我们还要感谢中国地质科学院矿床资源研究所、中国地质图书馆为本书的出版提供的支持，同时也要感谢地质出版社刘亚军编审等为本书的出版所付出的辛勤劳动。

由于本书专业性很强，涉及面广，特别是有些专业术语目前国内还没有统一译法，这给翻译工作带来了很大的困难。加之我们对矿产资源评价以及经济学专业基础知识的掌握尚有不足，译文难免有不当之处，敬请读者谅解并批评指正。

该译著集矿产资源定量化评价理论、方法、实践于一体，图文并茂，浅显易懂，适合国土资源部门和矿山企业的决策者和管理者、区域资源的规划者、从事矿产预测与评价的学者以及高校和科研部门的专家参阅，也可供高等院校相关专业高年级的本科生和研究生自学使用。

目 录

前 言	I
中文版前言	III
译者的话	V
第1章 绪 论	1
1.1 引言	1
1.2 三部式矿产资源评价方法的缘起	2
1.3 评价的重要思想	4
1.4 三部式矿产资源评价的矿床模型	5
1.5 三部式评价	7
1.6 三部式综合以及经济学	7
第2章 矿产资源和社会	9
2.1 引言	9
2.2 地质供给	10
2.3 需求	15
2.4 结语	18
第3章 描述性模型	20
3.1 引言	20
3.2 一般地质背景	23
3.3 矿床描述	25
3.4 数字模型	26
第4章 矿床密度模型	29
4.1 引言	29
4.2 矿床密度	29
4.3 密度估计	31
4.4 找矿可行区域的规模	35
4.4.1 豆荚状铬铁矿床的矿床密度	36
4.4.2 斑岩铜矿床的矿床密度	36
4.4.3 找矿可行区域面积	37
4.4.4 找矿可行地段大小的调整	39
4.4.5 火山成因块状硫化物矿床的矿床密度	41
4.5 所有矿床类型的矿床密度	42
4.6 结语	45
第5章 经济分析	46
5.1 引言	46

5.2	替代性价值度量法	46
5.3	简约成本模型	47
5.3.1	采矿生产能力和矿山寿命	48
5.3.2	资本支出	49
5.3.3	运营成本	50
5.3.4	经济筛选法	51
5.4	结语	53
第6章	品位-吨位模型	54
6.1	引言	54
6.2	品位-吨位模型的表达形式	54
6.3	何时需要新模型?	58
6.4	品位-吨位模型的建立	61
6.4.1	品位-吨位数据	61
6.4.2	绘制数据	62
6.4.3	对数正态分布	65
6.4.4	建模过程中误差的来源	66
6.4.5	抽样单元矿床规则	67
6.4.6	关于储量	70
6.4.7	有效数字	70
6.5	规模有偏抽样	70
6.6	品位-吨位模型的经济效应	73
6.7	矿床内部品位的变化	74
第7章	找矿可行地段的圈定	76
7.1	引言	76
7.2	可行的与有利的	76
7.3	信息的种类	78
7.3.1	地质信息	78
7.3.2	已知矿床信息	78
7.3.3	地球物理信息	82
7.3.4	地球化学信息	82
7.3.5	勘查历史	83
7.4	地质图比例尺	84
7.5	盖层	84
7.6	利用地理信息系统进行圈定	85
7.7	找矿可行地段的细分	86
7.8	结语	86
第8章	未发现矿床数量的估计	87
8.1	引言	87

8.2	为什么估计分位数?	87
8.3	找矿可行地段细分所产生的影响	91
8.4	矿床数量的估计	92
8.4.1	估计的是什么数量?	93
8.4.2	专家能否估计矿床数量: 一次实验	94
8.4.3	估计过程	98
8.5	指导原则	101
8.5.1	可疑的情况	106
8.5.2	风险因素	106
8.6	估计的偏差	106
8.7	结语	108
第9章	品位、吨位、矿床数量和经济效应的综合	109
9.1	引言	109
9.2	矿床数量	111
9.3	吨位和品位	113
9.4	经济效应	117
第10章	勘探风险	118
10.1	引言	118
10.2	风险的基本原理	119
10.3	通过改变失败概率降低风险	120
10.4	在矿床类型内部降低风险	125
10.5	降低政治及安全风险	128
10.6	降低经济风险	129
10.7	通过先前的信息和学习降低风险	130
10.8	结语	131
第11章	矿产资源定量评价的未来	134
11.1	引言	134
11.2	与模型有关的研究机会	134
11.3	隐伏地质体的研究机会	136
11.4	超越数字	137
附录1:	单位换算	138
附录2:	用于预测一组矿床数量估计概率的算法	139
术 语		142
参考文献		147
索 引		162

第1章 绪 论

1.1 引言

每天,在这个世界的某个地方,总会需要对如何利用可能包含未发现资源的公共土地或者是否对矿产勘查进行投资做出决策。但决策时很少考虑矿产资源的供给、国家政策和区域发展。决策者在决定做出之前自然希望了解其决策所产生的确切后果,遗憾的是,不可能确切地告知这些决策者未发现矿产资源的数量、发现的可能性或经济性。本书中推荐的评价方法是以决策分析为基础,目的是为不确定性条件下进行矿产资源决策提供一个范式框架。我们的目标是确定对矿产资源决策产生影响的因素,使决策者能够看到决策可能产生的后果,这就意味着我们应当以决策者试图解决的问题以及哪种类型和形式的信息有助于解决这些问题为出发点。本书与许多评价用的学术报告不同,它的目的不在于帮助选择勘探靶区,这里讨论的评价内容的读者由政府 and 业界政策制定者、勘探管理者、区域发展规划制定者以及类似的决策者组成。本书介绍了一些对选择勘探靶区有用的工具和模型,但这只是一个附带的内容,其重点在于对决策者所需要的各类基本信息的实践性整合。书中提出的评价的综合方法侧重于三部式评价方法以及支持三部式评价方法的各种模型。第一部,使用品位和吨位模型来估计未发现矿床可能的吨位和品位;第二部,编制矿产资源图,揭示地区的地质条件是否允许一种或多种类型的矿床存在,在评价工作中这部分产生的结果是确定出我们称之为的找矿可行地段;第三部,就是针对那些找矿可行地段,估计存在的不同类型未发现矿床的可能数量,这些被估计的未发现矿床必须与第一部的品位-吨位模型相一致。这三部是本书的核心,矿床模型常用来帮助这三部的构建,并辅助将三部式评价生成的结果转换成对决策者有益的形式。

当评价者和决策者之间达成共同理解并相互信任时,例如一家小公司的决策者愿意接受地质专家的建议时,我们认为此时最有效的策略就是对未发现矿产资源实施定性评价。但是大多数情况下并非如此,由于机构过于庞大或者有太多的利益相关方,当有三家或更多家对决策结果感兴趣时,就有可能需要对评价结论进行裁定。定性评价通常是主观和定性模糊的,所以对于像“X具有高潜力”这样的结论,在有争议的情况下,是不能被证明和辩护的。因此,多数情况下非常有必要进行某种形式的定量评价。

许多阐述矿产资源定量评价学术问题的论文和书籍令人关注,我们推荐它们旨在鼓励专家们去思考和讨论。Maurice Allais 被认为是现代资源定量评价之父,并不是因为他是第一个在资源评价中使用定量方法的人(King, 1880),而是因为他可能是第一个设计一个系统以响应决策者的需求(Allais, 1957)。在矿产资源定量评价发展过程中,下一步也是非常重要的一步是由 Harris (1965, 1984) 迈出的。他通过引入多元统计方法,运用经济学理论,获取地质专家的知识并将重点集中到决策者的需求等,扩展了 Allais 的工作。

本书与 Allais 和 Harris 所做的工作一样具有相同的目标，就是为决策者提供有用的信息。它体现了一个专业科学家团队经过 30 年的努力取得的成果，包括构建和完善大量的模型、测试的方法以及参与的评价。

Allais 50 年前和 Harris 20 ~ 40 年前提出的理念以及本书提出的理念之间的差异，反映了自他们工作后所获得的知识、对地质信息价值的认识以及获取地质信息方式的改进等方面所取得的重要进展。由于对地球本质的认识取得巨大进展，现在我们能够使用地质图将大的区域划分成可能包含各种不同种类矿床的若干部分。并且我们也知道，在这些不同种类的矿床中，对社会有益的矿产在数量和质量上具有明显差异，它们将影响社会对这些矿床的寻找、发现和勘探的机会。这些议题将在三部式评价方法的简要发展历史背景下予以讨论，并作为本书其余部分的指南。重要的是要认识到，在这本书里，方法的选择首先是希望进行无偏估计，然后尽量减少与这些估计有关的不确定性。

1.2 三部式矿产资源评价方法的缘起

在不太遥远的过去，一家重要矿业公司的董事倾向于对公司现有矿山投资新的大型载重汽车，因为该项投资的利润回报几乎达到 15%。而如果将资金投入矿产勘查上，它的财政收益可能在未来某一时间才可能实现，并且这种希望很渺茫。勘探负责人在过去数年中已多次发现他们处于这种境地，因为董事会必须承担他们的受托责任，时刻关注风险。负责勘探的副总裁如何争取到勘探资金？最低限度，董事会需要知道对成功概率的估计结果，对所寻找的资源的价值的估计结果并了解勘探的成本。而这个副总裁既不可能详细说明预期的资金回报，也无法给出他所建议的勘探投资的不确定性。

在过去的 40 年里，一些公司面对着对有限资金的竞争，通过对一个区域内未发现矿床的可能数量、这些矿床的可能价值和发现它们的可能性的内部研究进行应对。对矿床按类型分类，可明显地减少为确定矿床可能的价值、矿床可能出现的地质背景及发现矿床的可能性和成本所需要进行的工作。这些信息的定量化为分析勘探投资的不确定性和风险奠定了基础，从而一些勘探项目被证明是合理的，并得到了资助。大多数情况下，这些研究一直被当做公司的机密，不对外公布。但是，这些研究中的关键要素，与本书用方框圈出的历史上所进行的一系列实际评价案例中所讨论的对有关公共土地、区域开发和资源开发问题进行决策时所需的要素相同。现代资源评价发展过程中的一个关键点，是通过包含有价值资源的矿床的不同类型的认识，辨别出它们在位置、数量和质量上的差别。从统计学角度来看，矿产资源位置和矿产资源价值的差异变化可按矿床类型加以划分。例如，通过确定一个特定矿床类型是否能够在所关注区域出现，就可以对某种金属的数量的总波动性进行解释和预测。因此，在估计被关注区域未发现资源数量时，固有的内在不确定性很大，但可通过知道一种矿床类型可以出现而明显降低不确定性。估计这些未发现资源的价值和可能位置也是如此。

矿床模型在资源定量评价中非常重要，原因有两个：(1) 每单位面积的矿床数以及大多数矿床类型的品位和吨位具有很大差别；(2) 矿床产出在不同地质背景中，这些地质背景可以从地质图上进行识别。因此，矿床模型可用于减少矿床位置、矿床数量、资源

数量和资源价值的不确定性。矿床模型是将用于矿产资源评价和矿产勘查中的各种地质、矿点、地球物理和地球化学等地质信息结合在一起的基石。

也许首次公开发表,说明使用地质信息和使用与估计未发现矿床数量相关的品位-吨位模型对圈定某一矿床类型的找矿可行地段的影响力,是阿拉斯加 1:250,000 资源评价 (Richater, Singer 和 Cox, 1975; Singer, 1975)。而对阿拉斯加州约 80% 区域进行的 1:1,000,000 资源评价,其复杂程度增加了一个数量级。此次评价建立了 11 个新的品位-吨位模型,圈定了 144 个找矿可行地段,对矿床数量进行了 85 次估计 (Eberlein 和 Menzie, 1978; Grybeck 和 Deyoung, 1978; Hudson 和 Deyoung, 1978; MacKevett, Singer 和 Holloway, 1978; Singer 和 Ovenshine, 1979)。

评价实例

根据 1958 年《阿拉斯加州建州法案》,该州有权从其 3.75 亿英亩 (152 万 km²) 的土地中选出 1.02 亿英亩土地决定其使用。此外,1971 年《阿拉斯加土著人权利法案》赋予阿拉斯加土著人选择 4400 万英亩为自己所有的权利。在其他法案中,美国内政部有权在几种土地类型中收回高达 8000 万英亩的土地。美国国会要求在 1978 年 12 月 18 日之前完成这些各种类型的划分。每一个受此影响的当事人都表现出对阿拉斯加州已发现和可能的未发现矿产资源信息的极大兴趣并渴望得到这些信息。为了满足这一需求,美国地质调查局 (USGS) 于 1977 年开始对该州约 80% 区域进行了 1:1,000,000 三部式矿产资源定量评价。在 1978 年 2 月这次评价结果没有公布以前,不知道决策者的目的,因此不可能确定这次评价如何改变他们的决定。但我们确实知道阿拉斯加州所选的土地中包含现在已知是世界最大铜矿床之一的 Pebble 铜矿,该矿床位于 1978 年评价工作所圈定的作为可允许斑岩铜矿产出的找矿可行地段中,但是 1978 年该区域还没有已知矿床出现。我们还知道,阿拉斯加州中部在这次评价之后发现了一些重要金矿,但是当时进行的矿产资源评价并没有将其认定为已知类型。通过这次评价,在阿拉斯加州布鲁克斯山脉 (Brooks Range) 发现了世界主要的大型锌-铅矿富集区之一,但是由于当时对阿拉斯加州这些地区的地质条件缺乏了解,并没有准确地圈定该富集区的边界。

许多参与阿拉斯加州 1:1,000,000 评价工作的经济地质学专家、统计专家、矿产经济学专家和计算机专家,组成了继续开发和应用并随后被称之为“三部式矿产资源评价”方法的核心团队。一项哥伦比亚矿产资源评价,促使描述性模型 (Cox, 1983a; 1983b) 和相关品位-吨位模型 (Singer 和 Mosier, 1983a; 1983b) 的首次发布。这些模型是由 37 位科学家编写的更浓缩简练的矿床模型 (Cox 和 Singer, 1986) 的前身。David Root 开发了一种更稳健的方法,将矿床数量、品位和吨位的概率估计结合在一起,而不依赖某些严格的假定 (Root, Menzie 和 Scott, 1992)。

开发的用于支持这种形式的矿产资源评价的方法、过程和模型最终在 1993 年被命名为“三部式矿产资源评价” (Singer, 1993a)。使用了“部”而不是“步”,表明这些评价并不总是按相同顺序进行。比命名更重要的是认识到这种形式的评价之所以成功,是因

为它依靠的是一种综合方法，意思是这个系统的模型和估计方法的任何部分在孤立情况下没有任何意义。比如，对未发现矿床数量的估计除非与品位-吨位模型一起使用，否则完全是随意的、主观的。正如本书从始至终所证实的那样，各种模型和方法彼此是相互关联的。模型和方法的综合是减少有偏估计可能性的动力，同时也是一种重担，需要认真地开发这本书中所讨论的各种模型和应用方法。

本书章节分成4个部分：第1～2章提供了关于为什么要开展矿产资源评价和矿产资源本质的信息；第3～5章阐述了矿床模型，它是三部式评价方法的重点；第6～8章说明了三部式评价的细节；第9～11章重点是三部式评价的使用。

1.3 评价的重要思想

由于本书推荐的评价方法的主要目的，不是为了确定在哪个位置进行钻探或采矿，而是帮助决策者确定关于找矿可行地段、区域或国家经济和政策的决策的后果，因此进行无偏评价至关重要。从技术上看，在长期运行过程中如果某次统计持续地表现为估计参数过高或过低，则这次统计是有偏的。可以将这种观点进行可视化，即可以把它看作是一个靶区和3次试图击中靶心的射击（图1.1），将射击者3次射击平均中心点与靶心相比较：当两者不在同一点时，我们可以说该射击者的射击失准或有偏。在未发现矿产资源评价中，我们并不想估计有偏，问题是在这些评价中我们通常看不到靶心（即未发现的矿产资源）。然而，我们可以努力减少评价工作中产生偏差的机会。例如，当某人试图进行一个“保守的”估计以减少错误出现的机会，或者进行较高估计允许未知情况出现时，这人正在引入某一未知数量的偏差，上述情况都应当被阻止。本书许多章节中都给出了实例，说明产生偏差的情况或评价的某一部是如何处理有偏估计的。此外，本书所推荐的综合评价方法，专门设计用于减少有偏估计概率。在介绍各个部分以及评价所使用的模型之前，讨论矿产

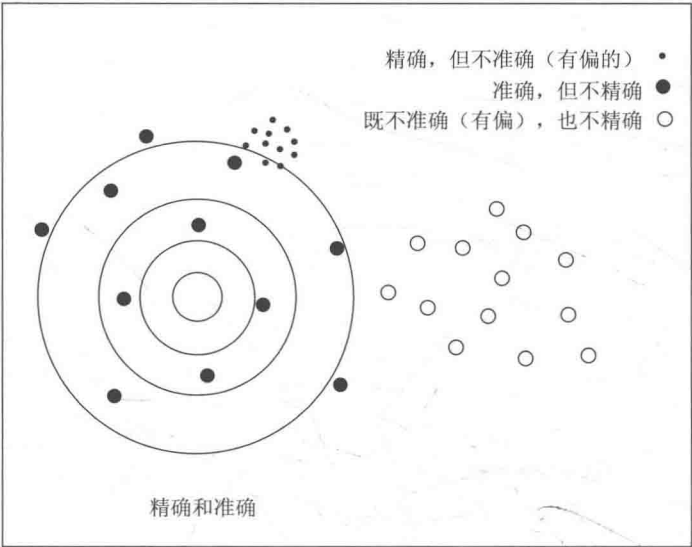


图 1.1 射击靶和 3 次射击

每一簇中心的变化率代表精确度，而每簇中心和靶区中心之间的差值代表准确度或偏差。

资源的某些方面是如何影响评价以及为什么要实施评价很有益处。

第2章对矿产资源供需情况进行综述,阐述了矿产资源某些方面为什么要比其他方面更重要,以及为什么某些矿床类型比其他类型更令人感兴趣。矿产供需服从区域发展模式,区域发展模式影响价格,也对评价有影响。特别需要指出,只有某些矿床类型控制着供给;此外,全球金属的供给主要取决于超大型矿床。矿床规模和矿床类型的分布,是评价中不确定性的最重要来源,也影响着勘探成败的风险大小。Allais (1957) 在研究工作中观察到矿床规模的频率分布,表明勘探投资的预期经济收益是肯定的,但经济亏损的概率是0.65 (图1.2)。矿床模型有助于减少不确定性和失败风险。

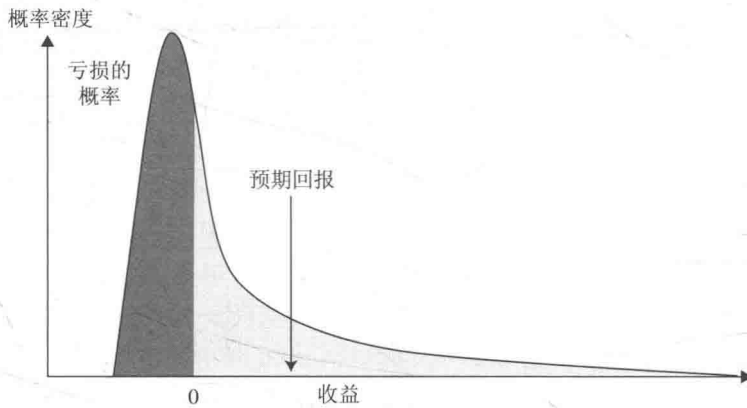


图1.2 投资回报与预期回报的假定概率图

在勘探过程中,两者都有正的预期利润,也都有重大亏本的机会,意识到这点可以影响决策。

1.4 三部式矿产资源评价的矿床模型

三部式评价中各种矿床模型作用的简要描述见图1.3。第3~5章重点介绍了矿床模型。矿床类型是将矿产资源评价和矿产勘查中各种地质、矿点、地球物理和地球化学等地学信息结合在一起的基石。尽管本书对这些不同种类的模型进行了分别阐述,但是不应该忘记它们是不能孤立存在的。除了与同一矿床类型的其他相关模型共同存在之外,这些模型没有任何意义。构建这些模型是一个迭代过程,在这个过程中某矿床类型的描述性模型发生变化,将会影响或迫使该矿床类型的品位-吨位模型也发生变化。正是这些模型的内在一致性为无偏评价奠定了坚实的基础,为了达到内在一致性,需要花费很多时间来建立合适的模型。描述性矿床模型(第3章)是三部式评价的第一部——品位-吨位模型构建(第6章)的关键,此外描述性模型还是第二部——找矿可行地段的圈定(第7章)中指导地学信息与矿床模型联系起来的主要依据。为了恰当地发挥这些功能,描述性模型重点集中在观察要素上,使用矿床成因理论只是给出了可观察到的内容,该模型还应在评价尺度内记录模型的属性。

在矿床数量估计中,一种稳健的方法是建立在矿床密度(第4章)的基础上,矿床密度是矿床模型的一种形式。单位面积矿床数是从勘探程度高的地区计算出的,且获得的频

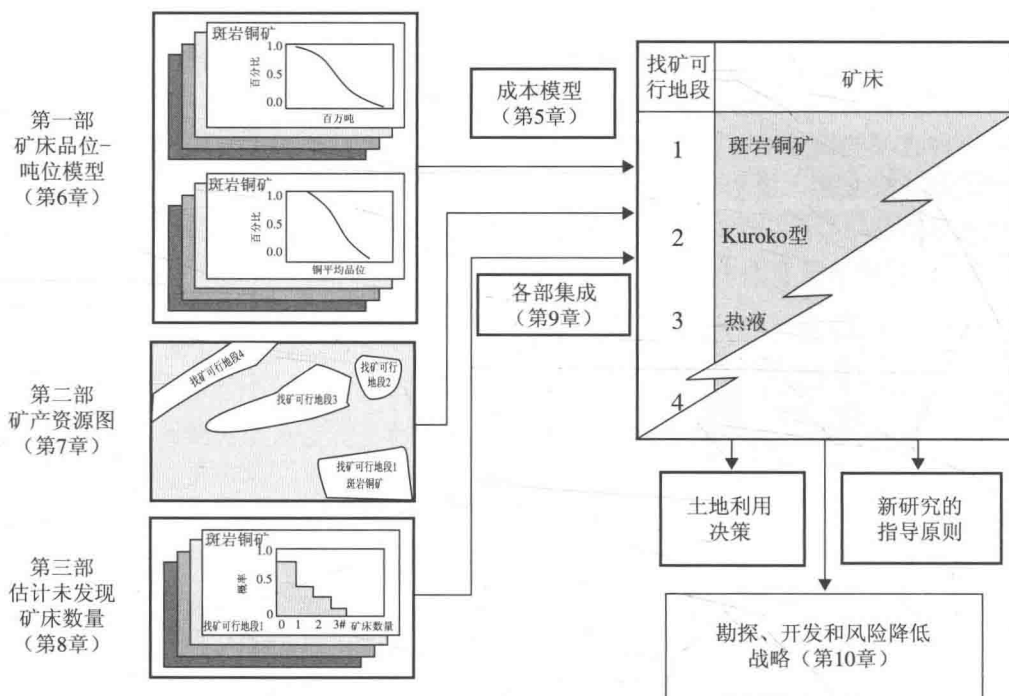


图 1.3 本书各章与三部式评价的关系

第1~2章提供了资源和评价的概述；描述性模型（图中未给出）（第3章），指导第二部——矿产资源图（第7章）；品位-吨位模型（第6章）为第一部服务，并辅助密度模型（未给出）（第4章），指导第三部——矿床数量的估计（第8章）；成本模型（第5章）用于综合第一部至第三部（第9章）。

率分布能够用于估计未发现矿床的数量（第8章）。矿床密度既可直接用于估计，又可间接地在某些其他方法中作为指南。

在未发现矿床资源评价和勘探的早期阶段，包括设计阶段，需要一个初步可行的成本模型（第5章）。这些模型将经济矿床与非经济矿床分开，帮助评价人员和决策者将重点集中在那些能够对社会或勘探企业有益的靶区上。在三部式评价中，可使用这些模型淘汰掉那些尽管已发现但无经济价值的矿床。对矿床规模经济性的认识已帮助确定选择用于构建品位-吨位模型的矿床类型的优先顺序。

评价实例

美国林务局请求 USGS 和美国矿业局对位于爱达荷州和蒙大拿州的库特内（Kootenai）国家森林内的沉积型铜矿的未来铜和银生产的可能性进行定量评价。这次三部式评价提供了对未发现矿床数量的估计、相关的品位-吨位分布和资源的经济分析（Spanski, 1992）。矿床模型和矿床估计数，将与矿山和选矿厂成本估计模型以及相关的经济和政策假设综合起来，去估计可能的矿产产量和相关的经济影响（Gunther, 1992），包括对可带来的工作岗位的数量和土地利用政策的影响。