

矿床效益估计的理论和方法

蒋 志 著

地 质 出 版 社

谨以本书献给第三十届国际地质大会

矿床效益估计的理论和方法

蒋 志 著

地 质 出 版 社
· 北 京 ·

内 容 简 介

本书是一本系统论述矿床效益估计理论和方法的专著。效益估计包括矿床工业开采可行性估计、矿床储量估计、区域工业矿石品位吨位估计、矿床开发最大利润条件估计、开发风险估计和矿床储量价值估计；估计理论包括临界品位公式、矿床储量公式和利润函数公式三部分；估计方法包括矿床地质矿产经济分析、传统储量计算、地质统计学计算、线性相关计算、函数极大值计算和变异系数计算等方法。本书总结了作者本人的一些新的研究成果，如矿床储量计算的积分公式、双指标统计公式、理论变异函数、广义克立格方法、品位平均方法选择原则、体积公式再讨论、工业指标优化体系等。

本书可供从事矿产勘查、矿山地质和矿山设计的工程和经济技术人员参考，也可供科研单位、大专院校相应专业的科研人员、教师、研究生及大学高年级学生参考。

图书在版编目(CIP)数据

矿床效益估计的理论和方法/蒋志著. -北京:地质出版社,1995.12

ISBN 7-116-02005-5

I. 矿… I. 蒋… II. 矿床-经济效益-评价 N. P624.6

中国版本图书馆 CIP 数据核字(95)第 19992 号

地质出版社出版发行

(100083 北京海淀区学院路 29 号)

责任编辑:杨友爱



唐山市胶印厂印刷 新华书店总店科技发行所经销

开本:787×1092 1/16 印张:11 字数:250000

1995 年 12 月第一版·1995 年 12 月第一次印刷

印数:1—1500 册 定价:16.50 元

ISBN 7-116-02005-5

P·1520

序 言

广大地质工作者和矿山建设者在新中国成立后的近半个世纪里,在矿产勘查工作中取得了世界瞩目的成就。发现各类矿产 150 多种,新矿区 15000 余处,全国相继建成县以上的国营矿山 6000 余个,乡镇集体矿山和个体小矿山已愈 20 万处。辉煌的勘查成果带来了地质领域出版业的繁荣。从系统的地质理论巨著到新理论、新观点、新学说专论,从内容广泛的地质科技成果专著到当代新科技方法在地质领域的应用,从各种地质勘探工作规范到内容丰富的各类经验汇编,真可谓琳琅满目,蔚为大观,映射出一代地质工作者的辉煌。然而,每每在众多地质书籍中漫步时,总会使人产生一种遗憾:在已出版的地质书籍中,涉及经济效益理论和方法内容方面的书太少了,即便有一些也多是“舶来品”;而结合国内实际情况来介绍自己东西的研究成果,更是凤毛麟角。今天,这点遗憾终于得到了补偿,我们欣慰地看到了蒋志同志著的《矿床效益估计的理论和方法》一书的手稿。这本书是作者多年从事矿产勘查工作获得的一项研究成果,是一本系统地论述矿床效益估计理论和方法的书,也是笔者在国内同类书籍中所见到的有关“矿床效益估计”的从理论到方法比较系统、完整的一本书。更可贵的是,书中的许多内容是作者心血的结晶,这是极可珍贵的。集中起来,本书有以下几个特点:

1. 作者在该书中提出了自己的“矿床效益估计的理论体系,并概括为:三个理论基础、六种处理方法和六方面估计(可简称为三、六、六体系,书中已做介绍)。明确提出了关于“矿床效益估计理论和方法”应包括的内容。这些内容虽然不能说就是“矿床效益估计理论和方法”的全部,但却是作者在前人工作的基础上,对已有的理论、方法进行系统研究、归纳总结,结合自己的成果提出的关于矿床效益估计理论体系的内容框架。这是作者的一个创造性劳动成果,对于研究和建立我国完善的矿床效益估计理论和方法体系具有重要意义,所起的积极作用会随着时间的推移而显示出来。

2. 读者在阅读本书时,一定会同笔者一样深切体会到作者在研究和总结已有的估计矿床效益的理论和方法时所付出的艰苦劳动。作者继承和尊重前人的成果,而又不苟于前人。对于矿石品位、矿产储量计算及其若干成熟的计算方法、矿床开采可行性研究、矿床经济分析、开发风险估计等矿床评价内容,不是把它们作为一个个孤立的矿床评价因素,而是科学地使其成为估计矿床效益理论和方法有机整体的一部分,这就使这些内容更富有生命力。我们会在书中读到这些比较熟悉的内容,但这些熟悉的内容又有了一层新的含义。

3. 创新、提高、发展是本书最具特色的一个方面。首先,从现行的矿床勘查工作出发,提出并全面地论述了关于矿床的临界品位和经济品位问题,正确地赋予临界品位既是矿床地质特征的集中反映,又是矿床经济特征的集中反映这一科学表述的含义;并明确指出临界品位是确定矿床工业指标和估计矿床开发风险的基础。这一明确的观点,对于指导我国的矿床效益评价具有实际生产意义。作者进而又引出了经济品位,同时给出了计算临界

AXH/02

品位和经济品位的公式。对临界品位作出这样系统全面的论述是作者的一个贡献。

作者在书中提出了探矿工程网度判别问题,从探矿工程网度和矿体产状、形态两个基本方面提出了一种用数学表示的矿床勘探程度分类,其中包括条件判别和 λ 判别。探矿工程网度的预测和检验问题,多少年来一直困扰着广大的地质勘探工作者,成为勘探工作中的一大难题。现行的一套经验对比方法,在实际生产中已经证明了其缺乏科学的局限性,而作者提出的数学判别方法使这一问题上了一个新台阶,客观的判别标准将矿床勘探网度的合理确定引进了一条新路,无疑是作者的又一贡献。

4. 地质统计学是数学地质领域中最为活跃而实用的分支,它是以区域化变量理论为基础,以变异函数为基本工具,研究那些在空间分布上既有随机性又具结构性的自然现象的科学。由于地质统计学是根据包括地球科学在内的一些自然科学研究对象的具体特点,对经典概率统计学的若干理论、方法进行了某些改进和创新,因此,其应用更为广泛。

作者在自己建立的矿床效益估计理论和方法体系中,引入了这一新兴的边缘学科。书中涉及到地质统计学的许多重要的基本理论及方法,如平稳假设、内蕴假设、估计方差、离差方差、线性(平稳及非平稳)地质统计学方法、多元地质统计学方法,特别是作者从统计地球化学的角度来分析,并定义变异函数是很有意义的。而且,作者较为详细地讨论了地质统计学中诸如“平稳”、“无偏”、“无畸”、“最优”、“非负”等基本概念,这对提高地质统计学的理论水平及应用水平都是十分有用的。

作者在讨论地质统计学的许多问题时,也发表了自己的新颖见解,认为“为解决一个具体方面的问题而发展一种地质统计学方法,不是最好的途径。应该把那些特殊问题的处理纳入到一般方法中去”。作者为阐述自己的观点,专门用八节,提出了自己的广义克立格方法和公式。此外,作者在矿床储量计算的差分公式、积分公式、双指标统计公式、工业指标优化体系等方面都系统论述了自己的最新研究成果,这里就不一一赘述了。

5. 本书的另一个特色是在矿床效益估计理论和方法表述中,用了大量的数学语言,对于许多理论概念都给出了严格的数学定义和数学表达式;对常见的矿产储量计算公式,不抄现成的数学表达形式,进行了详细的推导演绎,并在许多地方提出了自己改进的方法。对自己提出的新方法,更是进行了详细严格的数学推导,每个步骤、每个数学公式的运用都有清楚的交代。深刻的数学语言、严格的数学定义、缜密的数学推导过程和逻辑过程,不仅反映出作者扎实的数学根基,而且反映出作者的良苦用心。作者希望大量数学的渗入,能够使矿床效益估计的理论和方法乘着数学的翅膀飞得更高,并使一些长期惯用模糊语言表述的概念和内容更加科学化。在地质科学著作的表述中,很难看到有这样大量的数学演绎,有这样大量数学公式的应用,有这样大量的数学工具之间的融合。作者关于数学的应用是出色的,作者在本书尽情发挥了自己的数学才能。除了以上这些明显特点外,还可以列举许多,限于篇幅,笔者就不一一列举了。

建立“矿床效益估计的理论和方法”是极为重要的。相信这一理论在金属、非金属、煤田、石油、天然气的勘探开发中将会发挥其应有的作用,会为推动我国矿床效益估计的理论和方法的研究及应用作出重要贡献。

蒋志同志是黄金指挥部分管地勘工作的领导干部。他能在繁重的行政工作之余,耕耘在科学技术领域,将几十年的工作心得收获,经系统研究总结,逐步上升为理论,并汇聚成

册。因此,这本书饱含着作者无私的奉献精神。

由于本书对矿床效益估计的理论和方法做了较为全面而系统的讨论,因此它必将成为这一领域的重要参考书。我们祝愿蒋志同志今后在这一领域中取得更大的成绩。

北京科技大学教授 **侯景儒**
国家矿产储量管理局高级工程师 **尹镇南**

1995年8月31日于北京

前 言

本书集作者多年从事统计地球化学研究和矿产勘查工作之经验而著成。在发展统计地球化学的过程中,作者陆续获得了一些关于矿床效益的新认识和估计矿床效益的新方法,与传统的方法比较,特别是与所从事的矿产勘查工作中获得的经验比较,认为应该形成一种矿床开发效益估计理论系统。在这样的理论系统中,把一些已有的方法包括进去、有机地联系起来,成为理论的各个组成部分。与此同时,在作者的工作中,还完善了一些已有的方法,发展了某些新方法,例如关于临界品位和经济品位问题,矿床储量基本理论公式及其推论——差分公式、积分公式、统计公式,统计公式与区域工业矿石品位吨位的关系,利润函数和工业指标优化理论、矿床开发风险估计,矿床储量价值估计,以及块段法中的品位平均问题、剖面法中的体积计算问题、地质统计学中的理论变异函数问题和广义克立格方法问题等。综合以上这些方面,形成了本书关于矿床效益估计的理论体系:三个理论方面(临界品位公式、矿床储量公式和利润函数公式)、六种处理方法(矿床经济分析、传统储量计算、地质统计学储量计算、线性相关计算、函数极大值计算、变异系数计算)和六方面估计(工业开采可行性估计、储量估计、品位吨位估计、最大利润条件估计、开发风险估计、矿床储量价值估计)。

本书第一节为关于矿床的基本观测,这是本书理论和方法的经验基础和前提;第二节和第三节为临界品位公式和对矿床的经济分析;第四节为矿床储量计算的基本理论,并由此得到矿床储量计算的差分公式(第五节)、积分公式(第二十八节)和统计公式(第二十九节);第六节至第二十七节是用传统的方法和地质统计学的方法对储量差分公式进行计算;第三十节是用储量统计公式讨论区域上工业矿石的品位吨位关系;第三十一节是用临界品位和矿床储量公式建立的矿床利润函数;第三十二节是建立在利润函数基础上的矿床工业指标优化理论;第三十三节是矿床开发风险估计;第三十四节是矿床储量价值估计。最后有10个附录,前7个附录是书中所需的一些处理技巧和推导难点,其中一些是作者的体会和经验;后3个附录是本书理论和方法部分要经常用到的三个数表,其中,关于欧拉积分表,是作者计算编制的;关于正态分布反函数表,是作者在前人工作基础上补充的。

本书在成书过程中,承蒙黄金指挥部领导的大力支持和关怀以及各位同仁的鼓励;成稿后曾在黄金指挥部举办的探采结合技术培训班上讲过;特别是北京科技大学侯景儒教授和全国储量委员会办公室尹镇南高级工程师审阅书稿、提出宝贵意见,并为本书作序,特此一并表示感谢。最后,感谢张燕石高级工程师对本书写作的支持。

作者,1995年9月25日

目 录

序言	
前言	
绪论	1
一、基本观测	4
二、临界品位	12
三、工业指标	18
四、基本理论	22
五、差分公式	26
六、最近地区法	31
七、地质块段法	37
八、剖面(断面)法	43
九、距离乘方反比法	49
十、平稳假设和内蕴假设	52
十一、变异函数的计算和模拟	56
十二、支撑和块段	63
十三、简单克立格法	71
十四、普通克立格法	75
十五、正克立格法	79
十六、对数克立格法	83
十七、泛克立格法	86
十八、协同克立格法	90
十九、理论变异函数	96
二十、广义克立格法	100
二十一、平稳要求和平稳变换	102
二十二、无偏要求和消偏变换	105
二十三、无畸要求和消畸变换	107
二十四、最优要求和求优变换	111
二十五、非负要求和非负变换	114
二十六、最简要求和求简变换	116
二十七、广义估值和估值方差	120
二十八、积分公式	122
二十九、统计公式	126
三十、工业矿石的品位吨位关系	130

三十一、利润函数和最大利润条件	135
三十二、矿床工业指标优化	137
三十三、矿床开发风险估计	143
三十四、矿床储量价值估计	146
结束语	151
附录 I 2 ⁿ 统计格与正态分布反函数的应用	152
附录 II 经验分布函数的统计离析	153
附录 III 平均方法的选择原则	154
附录 IV 正态分布的中心距	157
附录 V 对数正态分布的原点距	158
附录 VI 多项式系数和	158
附录 VII 表内矿品位分布函数的 BASIC 程序	159
附录 VIII 概率积分 $\Phi(x)$ 表	161
附录 IX 概率积分反函数 $x(\Phi)$ 表	163
附录 X 欧拉积分 $\int_0^x r^{\frac{1}{2}} e^{-r} dr$ 表	164
参考文献	167

绪 论

什么是矿床？一直是矿床学界争论的问题，也一直是矿业学界争论的问题，是矿床学界与矿业学界之间争论的问题。作者是从事矿床地球化学工作的，又是从事矿产勘探工作的，时时会遇到关于矿床概念的争论问题。经过多年工作的实践，作者认为，矿床概念必须包含如下几个方面：

1. 矿床是元素、矿物或岩石的聚集体。这是矿床的客观物质基础，是矿床的根本，是矿床学家关注矿床的基本方面。一切严密的关于矿床的概念都应首先对这个基础进行界定。但也要指出一点，这里不用“集合体”而用“聚集体”，是因为前者与矿床形成的关系不密切，后者则明显含有矿床是通过一定的富集过程而形成的意思。

2. 矿床中的元素、矿物或岩石，经过开采、选矿或冶炼，预计要能够形成有一定使用价值和交换价值的矿产品。这是对矿床的经济要求，是矿业学家关注矿床的基本方面。没有这一点，就不能称其为矿床。

3. 矿床要有边界，矿床边界是一个闭曲面。对被边界所包围的矿床，要求被采矿、选矿、冶炼后能够产生一定的预计经济效益。矿床边界是矿床的自然基础和对矿床的经济要求两个方面的综合反映。

4. 上述三点是矿床概念的内涵。还必须限定矿床概念的外延。矿床是在一定地质体中的一部分空间范围内的，并非存在于其他任何空间中；矿床要有足够的体积和数量，而不能任意小；矿床既有固体的，也有液体的，也有气体的；矿床是天然形成的，或虽有人工影响，却非人工特意制造的。

对最后这一点，要多说几句话。人类社会的发展，人们的活动强度和规模越来越大，已成为影响地球表面自然界发展的重要因素之一。例如，大型农田水利工程、道路交通工程、工业生产和人类生活产物，都影响元素、矿物或岩石聚集体的形成。矿床的形成不能没有这方面的因素，但这种因素无论多么重要，人们不应也不必有意识地去制造矿床，然后再去采矿、选矿和冶炼，而可以对自己面前的存在物直接去进行采选冶。这就是最后一点的含义。

根据这些考虑，作者认为：矿床是一定地质体中的一部分空间范围内、预计经过开采、选矿或冶炼能够形成具有使用价值和交换价值的特定矿产品、有足够的体积和数量并被预计能够保证其经济效益的边界闭曲面包围的特定元素、矿物或岩石的天然的或有人工影响却非特意制造的固体、液体或气体聚集体。

什么是矿床效益估计？从矿床普查结束到矿床建设之前，包括详查、勘探、设计整个过程中，任何时候都可能根据已获得的关于矿床的勘查资料和类似矿床的建设、采矿、选矿、冶炼资料，对矿床开发可能产生的效益进行事先估计，就是矿床效益估计。因此，矿床效益估计有两重含义：第一重含义是，矿床效益估计是在矿床开采前进行的或对尚未开采的部

分进行的,不是对已开采的矿床或矿床的部分进行的;第二重含义是,在估计进行中所选用的关于矿床的开采、选冶参数也是根据矿床勘查资料和类似矿床开采经验估计的,或简单地说,估计所用的参数也是估计的。尽管如此,矿床效益估计仍然有很强的实际意义,主要表现在两个方面:第一,在矿床一定勘查阶段上所进行的这种估计,为我们继续勘查、终止勘查或转入开发提供依据;第二,在矿床结束勘探以后,为矿床是否开发或如何开发提供依据。

本书所说的矿床效益估计理论共有三个方面:第一方面是基于矿床地质勘查资料和类似矿床的采选冶经验而建立的矿床临界品位和经济品位理论。本书在前人的基础上,把这个问题一般地表述为经济品位公式,而以开发时不赔不赚的临界品位作为其特例。第二方面是矿床储量估计理论,本书首先建立了基本公式,并从而导出用于矿床储量估算的差分公式和用于矿床工业指标优化的积分公式和统计公式。第三方面是联系临界品位、矿床矿石量和金属量的矿床利润函数公式。这三个方面是本书的主干,把本书的全部内容贯穿起来,使之成为整体。并且,上述第一方面是第二方面的基础,给出第二方面必需的边界条件——矿床工业指标;第二方面不但给出矿床储量多少的估计,而且给出了矿床储量随边界品位变化的函数,是第三方面的前提和基础;第三方面给出优化的工业指标,使第一方面的经济分析获得最佳条件,使第二方面给出获最大利润的储量估计。

本书所说的矿床效益估计方法共有六个:根据矿床勘查资料和类似矿床采选冶经验资料进行经济分析;根据矿床工业指标建议,用传统方法和地质统计学方法对矿床储量进行估计;在区域工业矿石量的品位对数和吨位对数之间建立相关关系,用以估计区域上不同品级矿石的工业可利用量;应用函数求极大值的方法求取利润函数的极大值条件,以优化矿床工业指标;估计参与矿床效益估计各参量的变异系数,或即估计矿床勘查资料和类似矿床采选冶经验给矿床效益估计带来的偏差,估计矿床开发时可能产生的风险或预获利润率的变化幅度;最后,对矿床储量这种特殊的矿产品进行了价值估计。

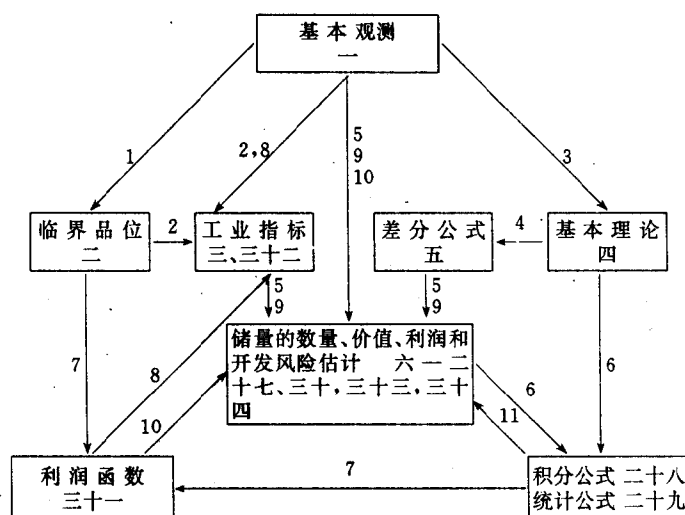
本书对一些常用的方法进行了改进和发展,例如关于矿床储量估计,做了如下一些改进和发展:

地质块段法中的关键是块段平均品位的计算,对于计算方法有各种意见,甚至认为用什么方法计算都可以。作者提出了平均方法选择原则(参见附录Ⅱ),从而对品位平均计算做了改进,提出了明确的条件;剖面法中的关键是矿块体积的计算,通常所采用的楔形公式和棱椎公式虽都能向棱柱公式过渡,但两者之间却无法过渡,致使对简单几何体计算也会带来40%—50%的偏差,通过论证,作者认为应采用万能公式,这个公式既能向棱柱公式过渡,也能向楔形公式和棱椎公式过渡,计算并不复杂;对数正态克立格法的最后估值采用了新的与后面作者发展的广义克立格法形式上一致的写法,等等。

发展的方面主要在地质统计学部分,其一是从统计地球化学出发^[4],可以建立起理论变异函数(第十九节);其二是地质统计学的广泛应用,提出了许多待发展的课题。作者不倾向于一个具体问题发展一种地质统计学方法,而希望改造现有地质统计学的理论框架,把那些特殊问题的处理纳入到一般方法中,改变地质统计学原来的做法——符合某种假设的数据才能应用某种方法,而是通过某种数学变换,使变换后的数据符合一定的假设条件,一般地应用地质统计学方法。为此,作者提出了广义克立格法(第十九节—第二十七

节),主要包括平稳要求和平稳变换、无偏要求和消偏变换、无畸要求和消畸变换、最优要求和求优变换、非负要求和非负变换、最简要求和求简变换、广义估值和估值方差等。

为了便于了解本书的总体情况,把本书的逻辑结构示意图如下图。下图中,中文数字为书中各节的编号;阿拉伯数字的含义如下:1—确定临界品位;2—类比工业指标;3—建立基本理论;4—导出差分公式;5—试算矿床储量;6—导出积分公式和统计公式;7—给出利润函数;8—优化工业指标;9—计算矿床储量;10—估计开发风险和矿床储量价值;11—估计区域矿石量和金属量。



最后要强调的是,本书把传统储量计算方法与地质统计学储量计算方法一起写,目的是一方面想对这两者进行比较;同时也想指出,这既是对在传统方法计算储量领域中工作的读者介绍地质统计学方法,也是对在地质统计学方法计算储量领域中工作的读者回顾传统方法。这是因为从发展的角度看,我国虽然目前采用传统方法计算储量,但终将采用地质统计学方法计算储量,把这两种方法之间的脉络理清楚是有意义的。并且,即使已经全部实行地质统计学方法计算储量,在勘查过程中,在野外条件下,粗估矿床储量时,传统方法未尝不是一种行之有效的简便方法。而对一般的年轻同志,由于刚刚加入到矿产勘查行列中来,我国又处在以传统方法计算储量为主的时期,并准备向应用地质统计学方法计算储量过渡,两种方法都应烂熟于胸,本书在这方面是会提供一定帮助的。即使是在计算储量方面已有丰富经验的同志,把不同的储量计算方法逻辑地联系在一起,比较异同,也有其实际意义。这是因为迄今为止,作者尚未见到一部在一本书中平等地、统一地、有联系地论述传统储量计算方法和地质统计学方法的书。通常往往是孤立地分开论述两种方法,似乎这两种方法不是同一棵知识之树上的两个果子,而是不同种知识之树上的两个根本不同的果子;不是对地质统计学方法有隔膜之感,就是试图把传统方法一概抛掉,缺少虽然发展了相对论、量子力学却仍然尊崇并运用经典力学的那种物理学家所具有的勇气和气度。我们想,面对大地工作的人,心胸一定比大地还宽广,让我们以这样的胸怀,兼收并蓄,进一步发展矿床效益估计的理论和方法,以供在这场人与大自然的博弈中,有更多的收获。

一、基本观测

对矿床进行地质观测是矿床储量估计的基础。对矿床的基本观测共包括如下 11 个方面：

一、矿床所在地的自然地理条件和社会环境条件

1. 海拔、比高、气候；
2. 农田、草场、森林等植被分布；
3. 交通、水电、能源等；
4. 生活方式和地方风俗等；
5. 社会经济技术水平和发达程度。

二、地质采样特点

1. 矿层厚度；
2. 有用矿物颗粒大小；
3. 样品中元素含量，如平均含量、上限含量、背景含量等；
4. 采样大小；
5. 样品加工情况；
6. 样品化验情况。

根据统计地球化学^[5]，联系地质采样这些特点的是采样测不准关系：

$$\overline{\Delta\xi^2} \cdot \Delta V \geq v(C - C_0)(C_1 - C) \quad (1-1)$$

式(1-1)中， $\overline{\Delta\xi^2}$ 为样品元素含量方差； ΔV 为采样体积； v 为样品中有用矿物的颗粒大小平均值； C_0 为样品中元素含量背景值； C_1 为样品中元素含量的上限值； C 为样品中元素含量的平均值。显而易见， $\geq$ 号后为与矿床成矿特点有关的常数， $\geq$ 号之前则是可变化的量。即样品中元素含量方差与采样体积成反比，样品体积 ΔV 越大，样品中元素含量方差 $\overline{\Delta\xi^2}$ 越小；两者的乘积却要大于等于常数 $v(C - C_0)(C_1 - C)$ 。

三、探矿工程口径

根据采样测不准关系式(1-1)可知，矿床中有用组分含量越高、有用矿物颗粒越小、采样体积越大，样品元素含量方差越小；相反，矿床中有用组分含量越低、有用矿物颗粒越大、采样体积越小，样品元素含量方差越大。这个问题与坑探、槽探、井探中样槽规格以及钻探中的钻孔孔径或岩心孔径大小有关。以穿矿钻孔为例，如果要求样品元素含量方差不得高于设定方差 s^2 ；并且，矿层厚度为 h ，岩心直径为 d ，则有如下两个关系：

$$\Delta \overline{\xi^2} \leq s^2 \quad (1-2)$$

$$\Delta V = \frac{\pi h d^2}{4} \quad (1-3)$$

把式(1-2)和式(1-3)代入式(1-1)，可得到岩心直径 d 的取值范围：

$$d \geq \frac{2}{s} \left(\frac{v(C_1 - C)(C - C_0)}{\pi h} \right)^{1/2} \quad (1-4)$$

同理,在坑探、槽探、井探中,当刻槽样的样槽截面为边长 a 、 b 的矩形时,式(1-3)应改写为:

$$\Delta V = abh \quad (1-5)$$

把式(1-2)和式(1-5)代入式(1-1),可得到样槽截面面积的取值范围:

$$ab \geq \frac{v(C_1 - C)(C - C_0)}{hs^2} \quad (1-6)$$

式(1-4)和式(1-6)的含义是:矿物平均颗粒越小、矿床平均品位越高、矿层越厚、所允许的误差越大,钻孔的孔径可以越小,或刻槽样样槽的截面可以越小。相反,矿物平均颗粒越大、矿床平均品位越低、矿层越薄、所允许的元素含量误差越小,钻孔的孔径应越大,或刻槽样样槽的截面应越大。因此,应该根据矿床的实际采样特点决定探矿工程的口径或样槽的规格。

四、探矿工程网度判别

探矿工程对矿体的控制程度不仅与探矿工程的网度有关,而且与矿体的产状形态有关。考虑这两方面特点,我们提出了一种用数字表示的矿床勘探程度分类^[10],介绍如下。

相邻钻孔见到同一矿层的情形可分为如下6种:

1. 中间一孔和周围四孔均见矿,相当A级勘探网度;
2. 中间一孔和周围三孔均见矿,相当B级勘探网度;
3. 中间一孔和周围相邻两孔见矿,相当C级勘探网度;
4. 中间一孔和周围两相对孔见矿,相当D级勘探网度;
5. 中间一孔和周围一孔见矿,可称为E级勘探网度;
6. 中间一孔见矿,周围各孔不见矿,可称为F级勘探网度。

可以想象,任何一个矿床的勘探钻孔(除单孔见矿者)都不可能是上述6种情况中的一种,而可能是各种情况都出现。并且,上述6种情况中,前几种情况容易出现在矿体中心部位,后几种情况容易出现在矿体边部甚至矿体外围。

如果把一个实际矿床在一定勘探网度下勘探时上述各类见矿孔的个数用 n_k 表示时,则 n_1 、 n_2 、 n_3 、 n_4 、 n_5 、 n_6 分别依次表示上述6种情况中的见矿孔个数。

同时考虑通常的做法,即见矿孔的相邻孔也见矿时,连矿可在两孔中间二分之一处做柱状分割;见矿孔的相邻孔不见矿,连矿可在两孔中间距见矿孔四分之一处做柱状分割。这样,如果用 λ_k 顺序表示上述6种见矿钻孔所控制的相对面积时,则 λ_k 可分别表示为^[10]:

$$\begin{aligned} \lambda_1 &= \left(\frac{1}{2} + \frac{1}{2} \right)^2 = 1 \\ \lambda_2 &= \left(\frac{1}{2} + \frac{1}{2} \right) \left(\frac{1}{2} + \frac{1}{4} \right) = 0.75 \\ \lambda_3 &= \left(\frac{1}{2} + \frac{1}{4} \right)^2 = 0.5625 \\ \lambda_4 &= \left(\frac{1}{2} + \frac{1}{2} \right) \left(\frac{1}{4} + \frac{1}{4} \right) = 0.5 \\ \lambda_5 &= \left(\frac{1}{2} + \frac{1}{4} \right) \left(\frac{1}{4} + \frac{1}{4} \right) = 0.375 \end{aligned}$$

$$\lambda_5 = \left(\frac{1}{4} + \frac{1}{4}\right)^2 = 0.25$$

由于矿床见矿孔总数 n 为：

$$n = \sum_{k=1}^6 n_k \quad (1-7)$$

则控制相对面积为 λ_k 的钻孔比率 σ_k 为：

$$\sigma_k = \frac{n_k}{n} \quad (1-8)$$

从式(1-7)和式(1-8)看, σ_k 是有如下两个性质：

$$\left. \begin{aligned} \sigma_k &\geq 0, \\ \sum_{k=1}^6 \sigma_k &= 1 \end{aligned} \right\} \quad (1-9)$$

因此, σ_k 具有谱密度函数的特征, 可一般地称为钻孔控矿类型谱密度函数, 或称为第 k 类控矿钻孔的比率。表 1-1 和图 1-1 是某砂金矿床不同勘探网度的 σ_k 值变化情况。由表 1-1 和图 1-1 可以看出, λ_3 和 λ_4 之间是个界限: $\lambda_1, \lambda_2, \lambda_3$ 的比率大时, 为勘探程度; $\lambda_4, \lambda_5, \lambda_6$ 比率大时, 为普查程度; λ_3, λ_4 比率大时, 可能为详查程度。并大体可得出如下勘探程度的

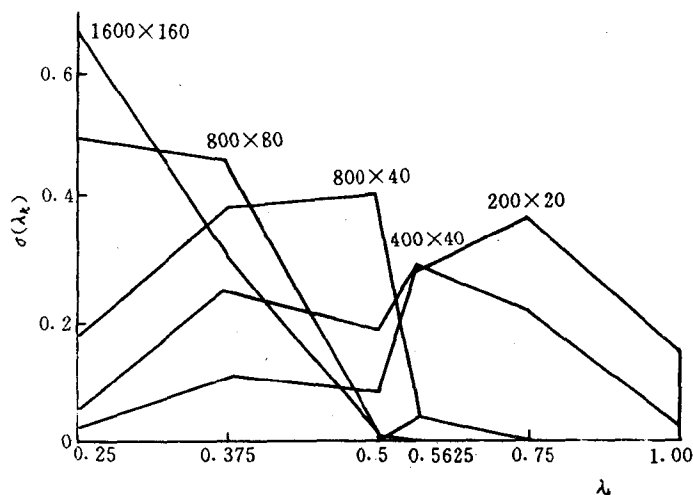


图 1-1 控矿比率与探矿网度的关系

探矿网度: 1—1600×160; 2—800×80; 3—800×40; 4—400×40; 5—200×20; 单位: m×m

表 1-1 某砂金矿床不同砂钻网度的 σ_k 值

k	σ_k				
	1600×160	800×80	800×40	400×40	200×20
1	—	—	—	0.013	0.145
2	—	—	—	0.211	0.368
3	—	0.039	0.039	0.289	0.276
4	0.013	0.000	0.408	0.184	0.079
5	0.303	0.461	0.382	0.250	0.105
6	0.684	0.500	0.171	0.053	0.026

数字判别特征, 用以判别, 并称之为条件判别。

$\sigma_1 \geq 0.5$ 成立时, 为以 A+B 级为主的勘探, 简称条件 1;

$\sigma_1 < 0.5$, 同时 $\sigma_1 + \sigma_2 \geq 0.5$ 成立时, 为以 B+C 级为主的勘探, 简称条件 2;
 $\sigma_1 + \sigma_2 < 0.5$, 同时 $\sigma_1 + \sigma_2 + \sigma_3 \geq 0.5$ 成立时, 为以 C+D 级为主的勘探, 简称条件 3;
 $\sigma_5 + \sigma_6 < 0.5$, 同时 $\sigma_4 + \sigma_5 + \sigma_6 \geq 0.5$ 成立时, 相当 D+E 级为主的详查, 简称条件 4;
 $\sigma_6 < 0.5$, 同时 $\sigma_5 + \sigma_6 \geq 0.5$ 成立时, 相当 E+F 级为主的普查, 简称条件 5;
 $\sigma_6 \geq 0.5$ 成立时, 相当初步找矿阶段, 仅发现找矿线索, 简称条件 6。
 同时, 我们还可以采取另一种矿床勘探程度的数字判别特征, 即求 λ_k 的平均值 λ :

$$\lambda = \sum_{k=1}^6 \sigma_k \lambda_k \tag{1-10}$$

并给出表 1-2 所示的网度判别标准, 则可根据 λ 值进行判别。并称之为 λ -判别。

表 1-2 钻探网度判别标准

网度级别	判别公式
A	$\lambda \sim \lambda_1$
A+B	$\lambda_2 < \lambda < \lambda_1$
B	$\lambda \sim \lambda_2$
B+C	$\lambda_3 < \lambda < \lambda_2$
C	$\lambda \sim \lambda_3$
C+D	$\lambda_4 < \lambda < \lambda_3$
D	$\lambda \sim \lambda_4$
D+E	$\lambda_5 < \lambda < \lambda_4$
E	$\lambda \sim \lambda_5$
E+F	$\lambda_6 < \lambda < \lambda_5$
F	$\lambda \sim \lambda_6$

根据表 1-1, 应用以上两种判别法, 判别某砂金矿床不同勘探网度的控矿程度如表 1-3。

表 1-3 某砂金矿不同勘探网度控矿程度判别

判别方法		勘探网度				
		1600×160	800×80	800×40	400×40	200×20
条件判别	成立条件	条件 6	条件 6	条件 5	条件 3	条件 2
	判别结果	找矿	找矿	普查	C+D	B+C
λ -判别	λ 值	0.291	0.320	0.412	0.553	0.662
	判别结果	E+F	E+F	D+E	C+D	B+C
实际情形		地质	地质	D+E	C+D	B+C

应强调的是, 条件判别和 λ -判别都是数字判别, 与经验判别比较, 最大的优点是不因人而异, 使得易于引起争论的矿床勘探网度和矿床勘探类型的认定有了客观判别标准。例如, 无论如何加密勘探网, 都无法达到条件 4 的要求或者 $\lambda < 0.5$, 则这样的矿床只能划入第四或第五勘探类型, 等等。

五、探矿工程网度预测

当控制矿体的勘探线数为 m , 最长的一条勘探线上控矿钻孔数为 n 时, 根据统计地球化学关于矿体形状的讨论, 则矿体整个投影面积 S 和边缘投影面积 S_2 、内部投影面积 S_1 的关系是^[10]:

$$\frac{S_1}{S} = \beta \tag{1-11}$$

$$\frac{S_2}{S} = 1 - \beta \quad (1-12)$$

在式(1-11)和式(1-12)中, β 为下式:

$$\beta = \frac{(m-1)(n-1)}{mn} \quad (1-13)$$

则探矿工程控矿的平均面积系数、式(1-10)中的 λ 又可写为

$$\begin{aligned} \lambda &= \frac{\alpha S_1 + \alpha_1 S_2}{S} \\ &= \alpha\beta + \alpha_1(1-\beta) \end{aligned} \quad (1-14)$$

式(1-14)中, α 为矿体内部钻孔见矿率, 可根据矿体内部钻孔见矿情况统计求得; α_1 为矿体边缘钻孔见矿率。考虑矿体外部钻孔见矿率为零, 矿体内部钻孔见矿率为 α , 则 α_1 的取值应在 0 到 α 之间, 可能为 α 的 $\frac{1}{2}$ 到 $\frac{1}{3}$; 进一步考虑矿体边界圈定的规则是见矿孔与非见矿之间采用二分之一尖灭或四分之一柱状断开, 上述估值应再除以 2, 即 α_1 大约是 α 的 $\frac{1}{4}$ 到 $\frac{1}{6}$ 。因此, 取 α_1 值为 $\frac{\alpha}{5}$ 。这样, 式(1-14)变为

$$\lambda = \frac{\alpha}{5}(4\beta + 1) \quad (1-15)$$

以前述某砂金矿为例, 圈入矿体的 97 个钻孔中 76 个为见矿孔, 估计 $\alpha \approx 0.7835$ 。根据这些工作, 对某砂金矿, 根据低级探矿网度估计高一级的探矿网度, 结果如表 1-4。

表 1-4 某砂金矿钻探网度预测

探矿网度	1600×160	800×80	800×40	400×40	200×20
λ	0.1567	0.3579	0.3918	0.5485	0.6600
预测网度	F	E+F	D+E	C+D	B+C
实际网度	地质	地质	D+E	C+D	B+C

从表 1-4 看, 预测网度与实际网度基本一致。当然, 我们是事后研究这个问题的。在勘查工作进行中, 只能根据累计见矿情况对 α 值进行估计。不过, 即使取 α 为 1, 进行必要的修正, 也可得到正确的结果。

六、探矿工程网度控矿率

对于较小的矿体, 如豆荚状铬铁矿体, 探矿网度很密的情形, 也难于控制全部矿体。因此, 有必要建立探矿网度的控矿比率公式。希腊 HIMIC SA 公司是用人工投网的方式从经验上解决这一问题的, 我们则应用统计地球化学理论解决这一问题。当矿体投影面积的长和宽均遵从对数正态分布时, 我们得到一定探矿网度控制的矿体比率 $F(a, b)$ 和矿体储量比率 $B(a, b)$ 分别为^[8]:

$$F(a, b) = X_{01}X_{02}F_{01}F_{02} + X_{01}F_{01} + X_{02}F_{02} + F_{01}F_{02} \quad (1-16)$$

$$B(a, b) = X_{11}X_{12}F_{11}F_{12} + X_{11}F_{11}F_{22} + X_{12}F_{12}F_{21} + F_{21}F_{22} \quad (1-17)$$

式(1-16)和式(1-17)中,