

多边形法矿产储量估计

李裕伟

(国土资源部咨询研究中心, 北京 100035)

[摘要]多边形法是国外矿产储量估计中最常用的传统方法,其应用之广可与我国的剖面法相比。多面法形原理简单,易于理解,易学易用,深受各国勘查地质学家欢迎。多边形法以一个工程为核心,在其影响半径内估计储量,不与其他工程发生关系,使储量估计过程趋于简单化。这一方法无论在单个工程的条件下,还时在工程密度大大增加的情况下,都可顺利地估计储量。多边形法不依赖勘探线,不需要人为划分块段,储量估计块段能自动生成,储量估计更具客观性。在确定影响半径后,使用多边形法可自动完成资源储量分类。

[关键词]矿产储量 多边形法 资源储量分类

[中图分类号]P624.7 **[文献标识码]**A **[文章编号]**0495-5331(2013)04-

Li Yu-wei. Mineral reserve estimation by the polygonal method[J]. *Geology and Exploration*, 2013, 49(4):

1 多边形法概述

过去国内外都曾将确定矿产数量的过程称为储量计算或资源量计算。大约从 20 世纪 80 年代开始,国外有关标准明确指出,任何矿产数量的评价都是带有误差的,规定在提交矿产数量报告时,相关术语应为储量或资源量“估计”而非“计算”,我国则在新规范中将过去的“计算”改为“估算”。“估计”是一个统计学的专门科学术语,而“估算”是一种通俗说法,无科学定义,因此本文采用资源量“估计”一词。查明矿产资源包含储量和资源量两大部分,仅从估计方法而论,两者无区别,因此本文所说的储量估计方法也完全适用于资源量。

在我国传统的储量估计方法中,使用得最多的是剖面法,约占 90% 以上;国外用得最多的传统储量估计方法是多边形法,也占 90% 以上。两者都属于非规则块段法,但剖面法操作复杂,人为主观因素较多,外推降级不合理,单孔单线无法连成块段估计储量;多边形法则相反,具有简单、合理、客观,在任何工程密度和布署情况下都能顺利估计块段储量。

多边形法(polygon method),在我国称就近地区

法。为与国际保持一致,并反映其英文原意,我们建议还原其“多边形法”一词。多边形法的基本原理是:以一个工程为中心,规定一个影响半径,以此半径作圆,圈定储量块段。当探矿工程十分稀疏时,圈出的储量块段为一个个孤立的圆;当工程密集时,诸圆相交重叠,在平分重叠部分后,形成一个个多边形。每个工程在平面上形成一个投影多边形,在三维空间上则为一个多棱柱,工程的品位或厚度即多棱柱的品位或厚度。每个棱柱是一个独立的储量估计块段(图 1)。

多边形法很早就用于矿产储量估计,但对其作系统介绍是在 20 世纪 60~70 年代,并迅速开发了早期的计算机程序(Popof *et al.*, 1966; Salomon *et al.*, 1978)。近年来,在一些权威的储量估计方法指南和矿业软件公司的实践中,也加强了对多边形法的介绍和研究,使之更趋完善(Rickus, John *et al.*, 2001; Pieter-Jan Gräbe *et al.*, 2011)。目前,多边形法与距离倒数法、克里格法一起,构成国外矿产储量估计三大主流方法,采用多边形法估计矿床储量的案例俯拾皆是(Parker *et al.*, 1990; Charles *et al.*, 2009, ; Larry R. Pilgrim, 2010)。

[收稿日期] 2013-01-24; **[修订日期]** 2013-04-20; **[责任编辑]** 郝情情。

[第一作者] 李裕伟(1939 年-),男,1962 年毕业于北京地质学院,研究员,现主要从事矿产勘查方法与矿产经济研究。E-mail: ywlimlr@263.net。

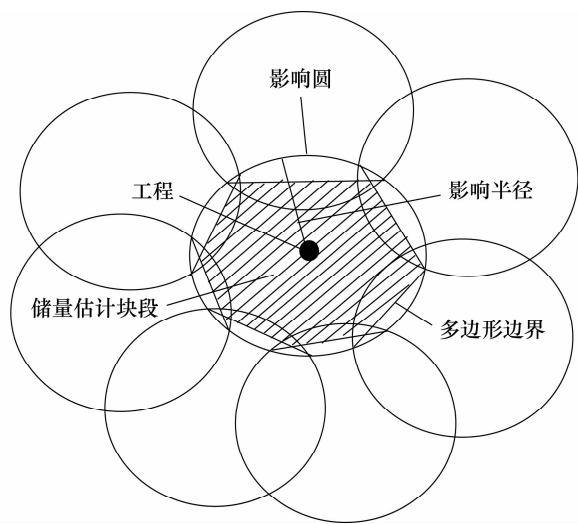


图 1 多边形定义
Fig.1 Definition of a polygon

2 储量估计投影方向的选择

同剖面法一样,多边形法储量估计也是在投影图上进行的。如果矿体产状平缓,勘查以使用垂直探矿工程为主,则将工程投影到一张平面图上;如果矿体产状较陡,勘查以使用水平探矿工程为主,则将工程投影到一张垂向纵投影图上。

多边形法要求每个工程在投影图上是一个点,这个点代表了揭穿矿体的那段工程样品的总长度;但在实际的勘查工作中,斜钻情况常见。因此,应将所有斜钻的穿矿工程长度换算为垂直(或水平)厚度,并以该穿矿工程段的中点坐标作为穿矿钻孔(或穿矿坑道)在投影图上的坐标(图 2)。对于接近垂直或接近水平的探矿工程,可酌情不做此坐标转换。

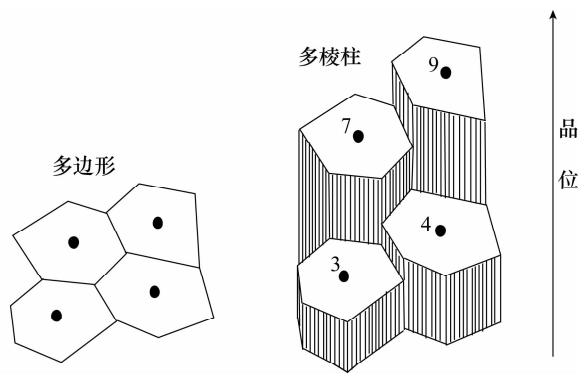


图 2 多边形及其品位多棱柱
Fig.2 Polygonal prisms and their projections on plane

3 多边形法储量估计的步骤

多边形法储量估计分以下十二个步骤进行。

第一步:选择投影方式。当矿体产状较缓时,选择水平投影;反之,选择垂直投影。投影图应选择沿矿体走向方向。

第二步:单工程矿体圈定。对每个工程,按工业指标圈定穿矿工程段,采用单指标圈定矿体。目前我国的品位参考指标仍然分边界品位和工业品位两项,如何化为一项指标,是一个需要研究的问题。其实工业指标的目的在于,保证所圈出的矿体有一个合理的平均品位,而这个品位能使矿体开发获得最低的盈利。简单地使用双指标并不能保证这一目的的实现,因此,建议加强技术经济评价,以获得更为科学的品位指标。技术经济评价所获得的圈矿品位应是单指标而不是双指标。

第三步:矿体与矿石类型划分。与剖面法一样,在使用多边形法时,也需要按不同矿体,不同矿石类型或工业品级分别估计,对每个矿体、矿石类型或工业品级分别单独制作储量估计投影图。但在某些情况下,当矿体、矿石类型或品级的范围在投影图上不重叠时,可合并在一张投影图上进行储量估计。每一幅投影图的编制及相应的估计程序,被称为一个储量估计作业。

第四步:据勘探线剖面图或断面图,将以下界限投影到储量估计投影图上:矿体、矿石类型、矿石品级、地形表面、采空区、覆盖层、断层等界限。这些界线被用于确定每个多边形中储量估计的有效范围。例如,一个多边形的一部分是采空区,则估计保有储量时,须扣除采空区,只计算未采部分。

第五步:穿矿工程段投影坐标转换,如前所述。这里指的“穿矿工程段”除对矿体外,也对矿石类型和工业品级而言。坐标转换原理见图 3。

第六步:将上一步转换的穿矿工程段中心点坐标投影到储量估计投影图上。

第七步:确定一个影响半径。影响半径同资源储量类型有关,可用勘查网度的一半作为影响半径。例如对某铜矿,按其矿床规模和复杂程度,如需探获推断的资源量,其影响半径可设置为 80m;如需探获控制的资源量,其影响半径可设置为 40m;如需探获探明的资源量,其影响半径可设置为 20m。

第八步:用合适的计算机软件,对每个储量估计作业生成一个多边形块段系统。市场上的各种矿产勘查和矿山软件均提供多边形生成及多边形法储量

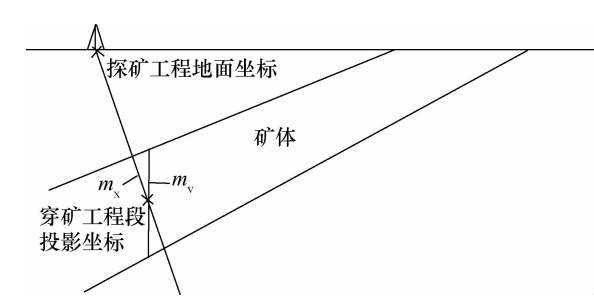


图 3 倾斜穿矿工程段投影坐标换算示意图
Fig. 3 Calculation and projection of the coordinates of the center of a section obliquely crossing through the deposit

m_s : - 工程实际穿矿厚度; m_v - 换算后的垂直厚度
 m_s : - measured ore-through thickness by engineering;
 m_v - converted vertical thickness

估计功能。此外,使用某些地理信息系统(如 Arc-GIS)也能生成多边形系统。系统生成后,将某些多边形的地表以上空白区、采空区、覆盖区、断失区及其他不适合参与储量估计的地区扣除,余下的有效部分参与储量估计。

第九步:储量估计参数列表。这些参数包括矿体、矿石类型、工业品级、多边形编号,多边形面积,穿矿工程厚度,穿矿工程平均品位,穿矿工程所在部位矿石体重等。

第十步:储量估计。估计多边形块段有效区内的矿石量、金属量或其他储量指标。

第十一步:矿产资源储量分类。通常的做法是,按推断的资源量的影响半径生成多边形块段系统,而据每个多边形块段的视影响半径进行资源储量分类。这样形成的多边形块段系统具有以下特点:在工程密集处,形成范围很小的多边形群,块段控制程度高,可达到较高的资源储量类型;在矿体边部,工程较稀,可能出现半弧形块段甚至孤立的圆,表明控制程度低,资源储量类型也低。视影响半径的算法详见下节。

第十二步:制作储量估计总表。分矿体、矿石类型或品级,以多边形块段为单位,列出每个块段的矿体编号,矿石类型或品级编号,投影面积,厚度(水平厚度或垂直厚度),体积,体重,矿石量,金属量,资源储量类型等。

4 多边形法储量估计实例

河南银洞坡金矿为一大型碳质层控型金矿床,由大小不同的似层状、透镜状、脉状矿体组成。现选择 2XN 矿体,用多边形法对其进行资源量估计。

N5X 矿体呈似层状,走向延伸 720m,矿体赋存标高 240~38m,倾角 71°~86°。参与资源量估计的工程主要是穿脉,伴有少量钻孔对深部矿体进行控制。采用的工业指标为品位×厚度=1(g/t)·m。使用 81 个工程,共生成 81 个多边形块段,其中有 3 个块段未达到工业指标,将其视为空白块段,不估计储量(图 4)。

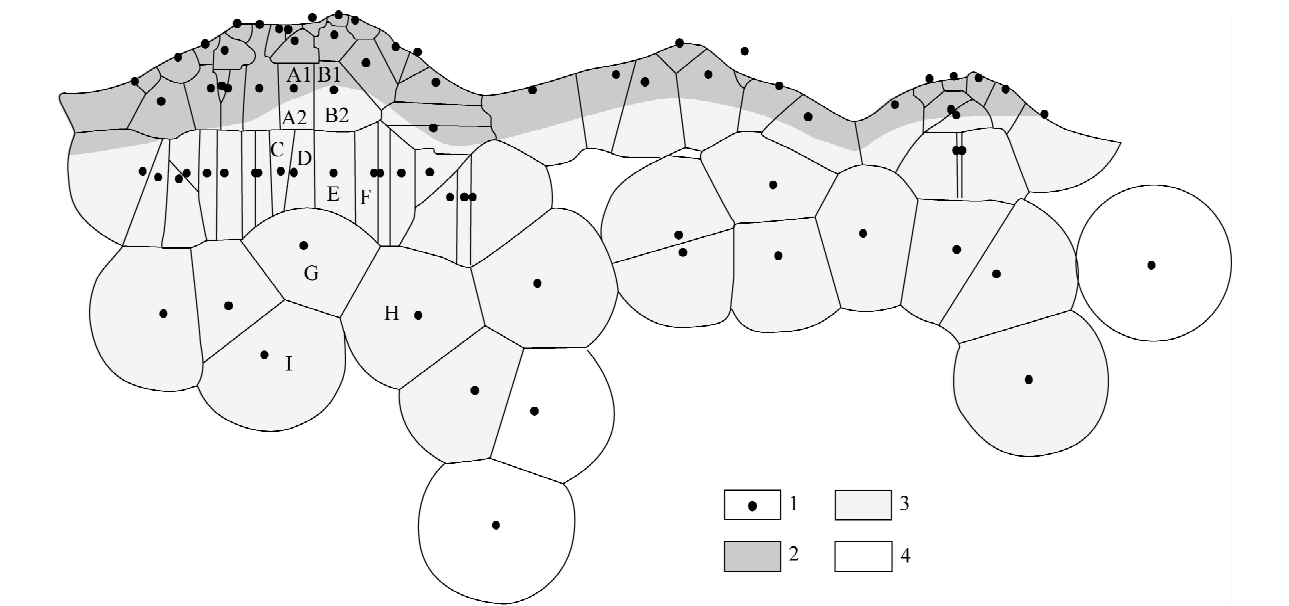


图 4 N5X 矿体多边形法 Au 资源量估计垂直纵投影图
Fig. 4 Vertical projection of Au resource estimation by the polygonal method for ore body N5X

1 - 勘查工程; 2 - 氧化矿; 3 - 原生矿; 4 - 矿化但不够工业指标块段
1 - survey project; 2 - oxidized ore; 3 - primitive ore; 4 - mineralized but non-commercial ore block

表 1 N5X 矿体部分多边形块段 Au 资源量估计表

Table 1 Gold ore resource estimation of some polygonal ore blocks for the orebody N5X

块段编号	矿石类型	面积(m ²)	工程类型	水平厚度(m)	Au 品位(g/t)	体积(m ³)	矿石量(t)	Au 金属量(kg)	视影响半径(m)	资源量类型
A1	氧化	333	穿脉	0.92	5.50	306.1	774.5	4.2598	10.2	332
A2	原生	284	穿脉	0.92	5.50	261.3	768.2	4.2250	9.5	332
B1	氧化	249	穿脉	3.30	6.67	821.7	2087.1	13.9201	8.9	332
B2	原生	658	穿脉	3.30	6.67	217.1	638.3	4.2575	14.5	332
C	原生	417	穿脉	0.79	10.66	329.4	968.4	10.3231	11.5	332
D	原生	531	穿脉	2.60	10.34	1380.6	4059.0	41.9701	13.0	332
E	原生	900	穿脉	1.54	9.65	1386.0	4079.8	39.3218	16.9	332(接近)
F	原生	677	穿脉	0.52	2.4	352.0	1034.9	2.4838	14.7	332
G	原生	2555	钻孔	1.94	3.89	4956.7	14572.7	56.6878	28.5	333
H	原生	3621	钻孔	0.63	4.49	2281.2	6706.8	30.1136	33.9	333
I	原生	3535	钻孔	1.19	3.95	4206.7	12367.6	48.8518	33.5	333

考虑到矿体的陡倾斜特征,采用垂直投影法,将每个勘查工程的穿矿工程段的中点投影在垂直纵投影图上。取有代表性的 9 个块段(A-I)的储量估计结果列于表 1,其中 A1、A2 分别表示同一多边形 A 的氧化矿石和原生矿石块段;B1 与 B2 亦然。

N5X 矿体规模中等,但品位变化大,厚度变化较大,在Ⅱ、Ⅲ勘查类型之间,资源储量类型工程控制网度可取Ⅱ类型下限值。

据此,对该类型使用坑探以一个生产阶段高度,30m 穿脉求控制的资源量(332);使用钻探以 40m×40m 网度求控制的资源量,以 80m×80m 网度求推断的资源(332)。本矿体生产阶段高度间距为 40m,按照多边形法的原则,坑探求控制的资源量的影响距离可设置为 15m;用钻探求控制的资源量时,其影响距离可设置为 20m;用钻探求推断的资源量时,其影响距离可设置为 40m。

在使用多边形法时,须据工程的影响半径对块段的资源储量进行分类。因此,为了判断一个多边形块段的资源储量类型,首先要计算该块段的影响半径。由于多边形块段是不规则的,很难精确地确定其影响半径,只能用面积平均的方法,求得一个视影响半径 r_a ,并把它作为划分资源储量类型的判别指标,计算公式为:

$$r_a = \sqrt{\frac{s}{\pi}}$$

式中 s 为多边形面积, π 为圆周率。

由表 1 可见,全部坑探块段视影响半径均达到 332(控制的资源量)要求,三个钻孔块段仅达到 333(推断的资源量)要求。

[References]

Popof C. C. . 1966. Computing Reserves of Mineral Deposits: Principles and Conventional Methods[M]. U. S. Bureau of Mines Information Circular IC 8283 ,113

Salomon K. B. . 1978. A Fortran IV program which determines that region of a polygon within a polygonal boundary[J]. Computers & Geosciences ,4(1) :53 - 63

Rickus, John E. ; Northcote, G. . 2001. Ore reserve estimation[A]. Edwards, A. C. Mineral resource and ore reserve estimation, the AusIMM guide to good practice ,677 - 680

Pieter - Jan Gr? be, Warren P, Johnstone. 2011. Comparison of Polygonal and Block Model Reserving techniques in Gemcom, a Case Study on a Thin Reef Deposit[M]. Vancouver. Gemcom Software International Inc. :10

Parker, H. M. . 1990. Reserve Estimation of Uranium Deposits[A]. Kennedy, B. A. . Surface Mining 2nd Edition[C], Littleton: CO. Society for Mining, Metallurgy, and Exploration Inc. :355 - 375.

Charles D. Snow. 2009. Southwest Reno Creek Uranium Property, Campbell County, Wyoming, National Instrument 43 - 101 Mineral Resource Report[M]. Kelowna - Denver: Strathmore Minerals Corporation and American Uranium Corporation Inc. :38

Larry R. Pilgrim. 2010. Form 43101F1 Technical Report for the Orion Gold Deposit, Green Bay Project, King' s Point Area, Newfoundland and Labrador[M]. Vancouver: Commander Resources Ltd. and BMB Capital Corp. :107

Mineral Reserve Estimation by the Polygonal Method

LI Yu-wei

(The Consulting and Research Center, Ministry and Land and Resources, Beijing 100035)

Abstract: The polygonal method is a conventional technique that is widely used for mineral reserve estimation abroad, like the sectional method in China. The polygonal method is simple, easy to understand and use, thus very acceptable to exploration geologists around the world. This method estimates mineral reserves within a polygon which is created by an exploration project located in the center of a circle with an influent radius. The estimation is independent of other projects so that the procedure is simplified. No matter there is only one or many exploration projects, reserve estimation can be carried out smoothly. The polygon blocks are created automatically, and therefore the reserve estimation no longer depends on the complicated exploration lines and sections which are drawn manually. Besides, this method is more objective. The reserve or resource categories can be classified easily by the influent radius determined.

Key words: mineral reserve, polygonal method, mineral reserve and resource classification