Discussion on the calculation of ore body volume parameters by not parallel section method

Mengyu Liu　Haiguang Li　Menglong Deng

Shanxi Natural History Museum, Taiyuan, Shanxi, 030024, China

Abstract

In the current DZ/T 0338.2-2020 Solid Mineral Resources Estimation Regulations, Part 2 Geometric method, the calculation of the ore body volume parameters of the non-parallel section block segment is carried out by the auxiliary midline method. In this paper, the volume formula for calculating the volume of the parallel section block segment is derived by the calculation principle of the method, and the calculation of the standard trapezoidal body and the truncated cone is compared with the calculation error of the formula(C.8), so as to explore the existing problem in the not parallel section method: the calculation error of the calculation result cannot be ignored. Finally, a new formula for calculating the volume parameters of ore body by the non-parallel section method is proposed, which can provide more objective volume parameter values for its resource estimation.

Keywords

mineral resources; non-parallel section method; ore body volume; ore cutting; new approach

对不平行断面法计算矿体体积参数的探讨

刘梦玉　李海光　邓梦龙

山西自然博物馆，中国 · 山西 太原 030024

摘　要

在现行DZ/T 0338.2-2020 固体矿产资源量估算规程第2部分几何法中，不平行断面块段矿体体积参数的计算是采用了用辅助中线法进行。本文用该法的计算原理推导了对平行断面块段体积进行计算的体积公式，并用该公式对标准的梯形体与截锥形体的计算结果进行了论证对比，从而探讨出其不平行断面法中的存在问题是：在其计算结果中存在的计算误差不容忽视。最后文中提出了对不平行断面法计算矿体体积参数的新公式建议，可为其估算资源量提供较客观的体积参数值成果。

关键词

资源量；不平行断面法；矿体体积；矿截

1 引言

在用不平行断面法估算固体矿产资源量中，其对不平行断面间的矿体体积这一估算参数值计算的准确与否，直接决定了最终资源量估算结果的可靠性。多年来，关于不平行断面法计算体积的探讨文章较为鲜见。[3] 在现行中华人民共和国地质矿产行业标准 DZ/T 0338.2-2020 固体矿产资源量估算规程第 2 部分：几何法（以下简称《几何法》）[1]

附录 C(资料性) 断面法估算参数) 中其"C.5 不平行断面块段体积"中，规定了一般采用辅助中线法计算其块段体积。但在用此方法计算的体积值参数结果是存在着不容忽视的计算误差问题，从而会影响到其对资源量估算的结果。故对此计算体积参数中存在的问题进行研究讨论是有一定的现实意义的。[2][5][6]

【作者简介】刘梦玉（1980–），女，中国云南丽江人，本科，工程师，从事地质资料管理、固体矿产勘查研究。

2 不平行断面块段体积的计算讨论

2.1 不平行断面块段体积的计算

对不平行断面间的块段体积计算，在现行《几何法》[1] 附录 C（资料性附录）中对不平行断面块段体积计算的原文公式（C.8）为：

$$V=(S_1\cdot S_1')/l_1+(S_2\cdot S_2')/l_2\sqrt{S_1\cdot S_2} \quad \cdots\cdots\cdots (C.8)$$

在式（C.8）中：

V — 块段的矿体体积，单位为立方米（m^3）；S_1、S_2 —断面面积，单位为平方米（m^2）；S_1'、S_2' —两个辅助块段的水平投影面积，单位为平方米（m^2）；l_1、l_2—两个断面上矿体的投影宽度，单位为米（m）。

2.2 不平行断面法计算其体积的问题探讨

前述公式（C.8）对不平行断面块段的体积计算中的原理是：用一辅助中线将块段的水平投影面积分为两部分 S_1'、S_2' 后，再用该两面积分别除以邻近的矿体断面的投影宽度 L_1、L_2 后，便可得其两块段的平均长度，用此长度

再分别乘各块段断面面积，则其两者的体积和就是其不平行断面块段的体积值。依据这一原理，如对平行断面间的矿体块段，也用辅助中线将其划分成两个块段体积，如将这两部分块段的水平投影面积分别设为 S_1' 、S_2'

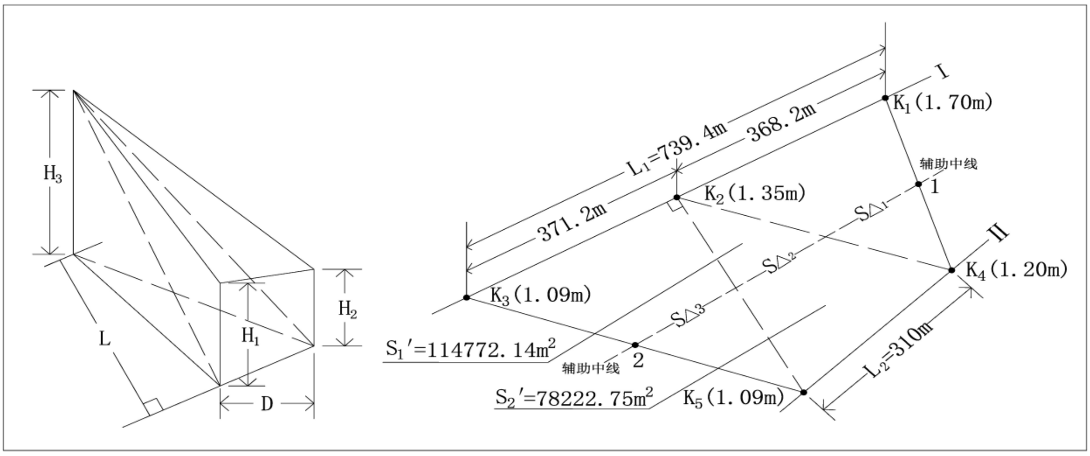

图 1 对两不平行断面间矿体块段的虚拟分割其似楔形体的底面积示意图

H_1 —为似楔形体的铅垂棱长（m）及编号；D —为在矿截面上 H_1 与 H_2 两棱长间的距离（m）；L —为尖灭棱长 H_3 至 H_1 与 H_2 两棱长构成的铅垂剖面间的距离 (m)；S —在左侧图中为在其不平行剖面上由 H_1 与 H_2 两铅垂棱长与其距离 D 构成的矿截面积 (m^2)；L_1—为剖面矿截面积的水平投影长（m）及编号；S △ 1—为不平行剖面间虚拟三角形面积及编号； K_1(1.83) — 为见矿工程点编号、括号中为见矿点的矿体铅垂厚度（m）.

再用 S_1' 、S_2' 分别除以各矿体平行断面上的投影宽度 L_1、L_2 后，即可分别得到各块段中的其垂直于矿体平行断面的平均长度，两长度分别乘以其各邻近平行断面面积则为其两体积，而两体积之和就是其块段体积值。将此原理如用于平行断面中计算体积，则可进行与其公式（C.8）计算的误差的对比探讨：

首先，对在相邻的分别为 S_1、S_2 两平行断面矿体的块段中，用两平行断面间距离（L）的二分之一处作出其中间辅助中线，其该中线的长度可知为其（l_1+l_2)/2，垂直其断面的长度则为其两平行断面距离 L 的 L/2，故对用此中线分成两块段的矿体水平投影面积 S_1' 、S_1' 便可分别为：

$$S_1' =(L/2)\,[\,(l_1+l_2)/2+l_1)\,]/2 = L\bullet(3l_1+l_2)/8$$

$$S_2' =(L/2)\bullet[\,(l_1+l_2)/2+l_2)\,]/2= L\bullet(l_1+3l_2)/8$$

故对此两块段体积和的计算代入该不平行断面体积计算公式 (C.8) 中计算为：

$$V=(S_1\bullet S_1')/l_1+(S_2\bullet S_2')/l_2\sqrt{S_1\bullet S_2}$$
$$=[S_1\bullet L\bullet(3l_1+l_2)/8]/l_1+[S_2\bullet L\bullet(l_1+3l_2)/8]/l_2$$
$$V = L\bullet[(3S_1+3S_2)+ S_1\bullet l_2/l_1+ S_2\bullet l_1/l_2]/8 \quad (1)$$

如果在其平行断面间的矿块体形体为标准的梯形体时，其若断面是以矩形出现，则就会有两种情形，一是在两平行断面的矿截断面上的水平投影边长相等时，即：$l_1=l_2$，则式（1）便很直观地可返回到梯形体积公式上；二若是其铅垂厚度的边长相等时，即有：$S_1/l_1= S_2/l_2$，可得 $l_1/l_2= S_1/S_2$，将其代入式（1）便也回到了梯形体积公式上。

如果在其平行断面间的矿块体形体为截锥形体时，则因其两平行断面对应边长的比等于其两平行断面面积平方根的比，即有： $l_1/l_2 = \sqrt{S_1}/\sqrt{S_2}$，将其代入式（1）中则可得下式（2）：

$$V= \sqrt{S_1\bullet S_2}\,L\bullet[(3S_1+3S_2)+ S_1\bullet l_2/l_1+ S_2\bullet l_1/l_2]/8$$
$$= L\bullet(3S_1+3S_2+ 2\sqrt{S_1\cdot S_2})/8 \quad (2)$$

再将梯形体积公式：$V_t= L\bullet(S_1+ S_2)/2$ 与截锥形体积公式：$V_z= L\bullet(S_1+ S_2 + \sqrt{S_1\cdot S_2})/3$ 一并代入式（2）中，则还可得出对平行断面间的截锥形体的矿块体的计算体积的公式（3）如下：

$$V=V_t/4+3V_z/4 \quad (3)$$

因此从上述按不平行断面块段体积计算原理用于对平行断面间矿块体的体积计算导出的式（1）中可知：

在理论上，对其体积计算结果的绝对误差，是在从梯形体体积在其过渡向截锥形体积的趋势过程中，有着从无到有直至趋近到达最大值为（V_t-V_z)/4 的过程。故对在现实中，往往是过渡于梯形体体积与截锥形体积间的存在的其矿块体，进行其体积计算结果的绝对误差则为：大于 0 而小于（V_t-V_z)/4；其对平行断面块段计算的结果尚有如此的计算误差，故对于不平行断面间的矿块体积用式（C.8）计算的误差，则就不会比简单的对平行断面块段体积计算结果的误差小，故此计算的绝对误差不容忽视。

3 对其计算体积参数新方法的探讨

为实现不平行剖面间块段矿体体积的精确计算，本研究的核心目标是能使其体积参数值尽量接近客观计算值，我们初步探讨出对在两不平行剖面间的层状、似层状、透镜状矿体，进行计算其块段体积参数计算的新方法，即用在两矿截面上相邻的 3 个探矿工程见矿的各矿体铅垂厚度作棱长，

从而可连接出暂称作为似楔形体，可较客观计算其体积的基本体积单元进行计算体积的方法，即本文暂称其为似楔形体积公式法。这基本体积单元是如图 1 左图所示的是由两可进行较客观计算体积的两不同棱锥体所组成，只要对其不平行断面矿体块段适当划分为多个似楔形体基本体积单元计算体积后汇总，就可以达到对其进行可较客观的体积计算的目的，对此似楔形体体积的计算公式推导如下：

在图 1 左图中，是分别由在两矿体截剖面上的 3 个探矿见矿工程的矿体铅垂厚度 H_1、H_2、H_3 作棱长，从而可虚拟连接成为似楔形体这一计算体积的基本单元。在该基本单元中，如以其尖灭棱长 H_3 的顶端点与另一矿体截剖面上的两相邻 H_1、H_2 棱长的两底端点这三点用直线相连后便可成一三角形的分割平面，以该三角形平面为界，即可作为其划分出可客观计算似楔形体体积的两个不同的棱锥体客观体积单元：在其三角形分割平面下面的部分为一三棱锥体与其上部分的四棱锥体；把两棱锥体客观体积的计算值汇总，得出该似楔形体的体积值。棱锥体的体积等于其底面积 S 与垂直于该底面积棱锥体的高 H，两者乘积的 1/3。所以可以对两棱锥体进行计算体积如下：

在计算似楔形体其下部的三棱锥体的体积 V_1 时，即可将尖灭棱长 H_3 铅垂厚度作计算三棱锥体积的高 H，与此高所垂直的底面积就是此似楔形体三角形的底面积经其水平投影后形成的三角形面积 S_t：而由 H_1、H_2 两铅垂厚度棱长间的水平投影距离 D 则构成为其水平投影后的三角形平面图形的其底边长，而此 H_3 的水平投影点与该底边长上的垂直距离的水平投影长即作为该水平投影三角形的高 L，故此三棱锥的三角形的水平投影面积便为其底面积 S_t, 故其体积 V_1 的计算如下：

$S_t = L{\bullet}D/2$；

$V_1 = S_t{\bullet}H/3 = (L{\bullet}D/2)(H_3/3) = L{\bullet}D{\bullet}H_3/6$

而对其上部的四棱锥体的体积 V_2 的计算，则因其底面积 S_d 为由其同一平行剖面上的 H_1、H_2 两平行的铅垂厚度棱长，与其两者间的水平投影距离 D 所构成矩形四边形面积为：$S_d = D(H_1+H_2)/2$, 而垂直于该底面积上的其四棱锥体的高 H 也就同样是其 L，故对此四棱锥体积 V_2 的计算为：

$V_2 = S_d{\bullet}H/3 = [D(H_1+H_2)/2]L/3 = L{\bullet}D(H_1+H_2)/6$

如此通过对其三棱锥体与四棱锥体的体积 V_1 与 V_2 体积的计算结果值汇总后，就可得出如下对该似楔形体的体积 V_s 的较客观体积计算公式①为：

$V_s = V_1+V_2 = L{\bullet}D{\bullet}H_3/6+L{\bullet}D(H_1+H_2)/6$

$V_s = L{\bullet}D(H_1+H_2+H_3)/6$ ①

在式①中，因 L•D/2 为其三角形的水平投影底面积 S △，故式①又可成下式：

$V_s = S_\triangle (H_1+H_2+H_3)/3$ ②

在式①与式②中，V_s 为两不平行剖面间虚拟划分出的似楔形体的体积（m^3）；H_1、H_2、H_3 分别为以 3 个探矿工程(或板状外推边界点)见矿的矿体铅垂厚度（m）作其虚拟构成似楔形体的 3 个棱长，其中 H_3 为楔形尖灭线棱长；D 为在同一剖面上 H_1、H_2 间的水平投影距离（m），其 L 为 H_3 楔形尖灭线棱长至垂直于该 H_1、H_2 所在剖面上的水平投影距离（m）；S △—为 H_3 的水平投影点与 D 构成的其水平投影的三角形面积（m^2）。

对不平行剖面中的矿体块段，如要对其客观计算其体积，则可采用如图 1 右图所示的需虚拟划分成按式①或式②要求的各似楔形体后，对其计算各体积值后再汇总出其总体积值的方法进行，便可得出对不平行剖面间块体的较客观的体积结果值。具体过程就可参照下文对实例的计算过程进行。

但需注意的是，在连接虚拟似楔形体三角形的底面积中，因不平行剖面的形成往往是在其矿体边缘部施工探矿工程所造成，也就是该不平行剖面上的矿体的长度要小于主平行剖面上的矿体长度，故其不平行剖面上的各见矿工程点一定是先要在以两矿截长度的中心为基准虚拟连接线的两侧、以就近的工程见矿点连接出其为似楔形体基本计算体积单元的其三角形的底面积（即以连接出其三角形的斜边长度相对为最短的原则）。否则，连接方法的不合理就会致其估算体积的结果造成失真。如在对文中实例的体积计算中，如用 K1 与 K5 连接后的控制距离要较 K2 与 K4 连接的控制距离长就不合常理。

4 两种计算方法的实例分析

4.1 体积参数计算实例

在采用 400 米 ×400 米的工程网度，对某固体矿产进行推断资源量估算时，对其边部有两条不平行断面间的矿段矿体尚需估算推断资源量，其该矿产的工业指标中的最小可采厚度为 1m，对其边部施工不平行断面上的见矿情况如下：在其最边部为一与系统平行剖面 A 不平行的剖 B（简称 A、B 两不平行剖面）。其在 A 剖面上有地表工程见矿的 K1 与深部的 K2、K3，在 B 剖面上有地表工程见矿的 K4 与深部的 K5，其各工程见矿底板的坐标及矿体铅垂厚度数据如表 1（见矿点的坐标已简化掉前面相同的数据，只保留了其整数不相同的四位）。

表 1 见矿点的矿体底板简化坐标及矿体铅垂厚度表

工程及中线点	见矿点及辅助中线点的简化坐标			铅垂厚度（m）
	X（m）	Y（m）	z（m）	
K1	7399.7	8670.34	985.00	1.70
K2	7215.6	8351.47	841.13	1.35
K3	7030	8030	696.09	1.09
K4	7088.39	8770.67	960.22	1.20
K5	6869.19	8551.47	841.14	1.09
辅助中线点 1	7244.05	8720.51		
辅助中线点 2	6949.6	8290.74		

4.2 对实例用公式（C.8）计算体积参数

对该实例中的不平行断面矿块体现用公式（C.8）计算其体积如下：

如图 1 右图所示，其在以块段辅助中线为界其以北部分的矿体水平投影面积为：S_1' =114772.41m^2，其断面的矿截面积：S_1=1014.37m^2，其该矿截面的水平投影长 :K1 至 K2 为 D_1=368.20m、K2 至 K3 为 D_2=371.20m, 其该矿截的水平投影总长度为 D_1+D_2 即：l_1=739.40m；其在该平行剖面上的矿体底板的倾角为 23°。

其在块段辅助中线为界以南的矿体水平投影面积为：S_2' =78222.75m^2，其断面矿截面积 S_2=354.95m^2，矿截面 K4 至 K5 的水平投影长为 D_3 即：l_2=310.00m；其该不平行剖面上的矿体底板线的倾角为 22.29°。

对该不平行块段的体积计算按不平行断面法体积公式（C.8）计算其体积 V_b 的结果为：

$$V_b=(S_1 \bullet S_1')/l_1+(S_2 \bullet S_2')/l_2 \sqrt{S_1 \bullet S_2}$$
$$=1014.37\times114772.41/739.40+354.95\times78222.75/310$$
$$=157454.27+89565.05$$
$$=247019.32(m^3)$$

4.3 用新方法对实例体积参数的客观计算

对该实例的体积计算，首先需以两不平行剖面上的中心为基准就近分别连接工程见矿点 K2 与 K4、K2 与 K5 后，则可成如图 1 右图所示的以由 K1 与 K2 与 K3 见矿点构成的 S $\triangle_1$、由 K2 与 K4 与 K5 见矿点构成的 S $\triangle_2$ 及由 K2 与 K3 与 K5 见矿点构成的 S $\triangle_3$ 的这 3 个三角形的底面积分别构成的其体积计算基本单元的似楔形体后，用似楔形体公式②计算各似楔形体的体积，最后汇总出该块段体积参数结果值 v_s。[4]

对该实例的具体的体积计算参数可从水平投影平面图上直接读出用面积计算的参数：

S △ 1=58869.08m^2、S △ 2=59886.54m^2、S △ 3=74240.21m^2。

故对其总块体体积 V_b 的计算与汇总如下：

$$V_{s1}= S\triangle(H_1+H_2+H_3)/3= S\triangle 1\,(k1+ k2+ k4)/3$$
$$=58869.08\times(1.70+1.35+1.20)/3=63774.84(m^3)$$
$$V_{s2}= S\triangle(H_1+H_2+H_3)/3= S\triangle_2(k2+ k4+ k5)/3$$
$$=59886.54\times(1.35+1.20+1.09)/3=72662.34(m^3)$$
$$V_{s3}= S\triangle(H_1+H_2+H_3)/3= S\triangle_3(k2+ k3+ k5)/3$$
$$=74240.21\times(1.35+1.09+1.09)/3=87355.98(m^3)$$
$$V_s= V_{s1}+V_{s2}+V_{s3}=63774.84+72662.34+87355.98$$
$$=2237937.16\ (m^3)$$

亦可用各三角形底面积上的底边长 D 与其三角形的高 L 的两参数计算体积（由小数进位关系，其计算结果的个位数略有差别，计算过程略）：在 S △ 1 中：D_1=368.20m、L_1=319.77m, 在 S △ 2 中：D_3=310m、L_2=386.36m, 在 S △ 3 中有：D_2=371.20m、L_3=400m。

4.4 两计算方法对实例计算的结果对比

从前述两方法对实例计算中知，用可计算出其较客观的体积值的似楔形体公式法计算体积结果为 223797.16m^3，按《几何法》中其对不平行断面法的体积公式计算的其体积结果为 247019.32m^3，此两结果值相比，后者则为多计算了 23222.16m^3，若其矿石的以铝土矿的小体重 2.75 吨 /m^3 时，则在其估算成果中就会要达多估算6.38万吨的矿石资源量。因此，不论从理论上还是在客观实际上讲，其公式（C.8）的计算误差问题是不应忽视的。

5 结论

针对不平行断面间矿块体积的计算问题，本文推导出了创新的似楔形体公式。该方法的创新性体现于其坚实的数理基础，使之能够更逼近不平行断面矿体的真实空间形态，从而获得更客观的体积参数。因此，这项研究不仅在计算方法上实现了突破，也兼具重要的理论意义与实践价值。

初步探索，敬请各位专家学者指正。

参考文献

[1] DZ/T 0338.2-2020固体矿资源量估算规程第2部分：几何法[S].北京:地质出版社,1-4、15-16.

[2] GB/T 1766-2020固体矿产资源储量分类[S].北京:中国标准出版社,1-5.

[3] 万国仁，2013.一种不平行断面的储量估算方法[J].科技创新导报，（12）36-37、39.

[4] 王燮章，1983.剖面法计算储量时块段体积公式的选用[J].地质与勘探，（5）33-38.

[5] 徐萃薇，1985.计算方法引论[M].北京，高等教育出版社：92-95.

[6] 叶松青，李守义主编.2011.矿床勘查学（第三版)[M].北京，地质出版社:221-223,234-237.