

从图件上量取产状对矿体厚度计算的影响

王 勇¹, 刘正锋²

(1. 四川省地质矿产勘查开发局 108 地质队, 四川 成都 611230; 2. 青海省有色第三地质勘查院, 青海 西宁 810012)

[摘要]厚度是矿体圈定和固体矿产资源量估算的重要参数,其计算的精确性主要依据于矿体产状的准确性。目前大量隐伏有色、稀有、稀散、贵金属矿体形态多不规则,矿体边界确定多依据化验测试数据,其产状难以直接测定。在实际生产工作中,多采用从基础图件量取数据确定矿体产状,此方法简便易行。本文通过对比视倾角、伪倾角、真倾角在样品方位、剖面方向和矿体倾向间的不同夹角下计算出的矿体厚度数据,认为用从图件量取的产状数据计算出的矿体真厚度能满足矿产资源量估算的精度要求,能有效减少地质块段法与断面法估算资源量的误差。

[关键词]真厚度;产状;伪倾角;视倾角;真倾角

[中图分类号]TD17;P25 **[文献标识码]**A **[文章编号]**1000-5943(2022)03-294-05

矿体厚度(常称为真厚度)主要是指层状、似层状、板状、透镜状矿体顶底界面之间最短距离,是圈定矿体的重要指标之一,是矿床资源量估算的重要参数(李海光等,2021)。在实际工作中矿体真厚度一般无法直接测得,多通过探矿工程揭露矿体时的测得各类参数计算厚度,矿体产状是厚度计算的关键因素,简便、快速、准确的确定矿体产状能有效的提高矿产勘查效率,准确估算矿体资源量。实际工作中,从图件上量取产状简便易行,但如应用不当则导致矿体厚度计算错误,现就如何避免这种计算错误探讨如下。

1 矿体产状的确定

矿体产状是矿体在空间分布的一个重要因素,在实际工作中,当矿体较完整,界线清晰时,在探槽和坑道中较容易测量到产状,在钻孔中也能通过测量轴夹角计算出其钻进方向(即样品方位)上的伪倾角(α_p)。

当矿体破碎或矿化呈渐变时,矿体界线依据样品测试成果确定时,矿体产状则无法直接测量。

针对这种情况前人主要采用见矿点等高线图解法、三点图解法、几何解析法、数学计算法等确定工程中矿体产状(王仁农,1977;周兆庆,1980;文朴,1980;王仁农,1981;董士尤等,1984;林银山,1987;董士尤等,1988;王道新,1991;张西利,1992;骆学全,1995;李峰等,2001;刘兴锁等,2002;梁攀峰,2014),虽然此类方法计算出的矿体产状较准确,但需要额外作图且计算过程复杂,实际工作中应用较少。

矿区的地质图、采样平面图、中段平面图、勘查线剖面图等是勘查工作的基础图件,实际工作中,从平面图上已圈连好的矿体上量取总体走向,并通过剖面确定倾向;从勘查线剖面上量取剖面方向上的视倾角(α_v),并通过简易的计算转换矿体产状。此产状数据可代表矿体总体产状,用其参与资源量估算能有效减少局部产状测量不准确引起的矿体厚度计算误差,提高资源量估算精度。

2 矿体厚度计算

多年来,学者们不断对矿体真厚度计算进行

[收稿日期]2022-03-02 **[修回日期]**2022-06-29

[作者简介]王勇(1979—),男,四川安州区,地质调查与矿产勘查高级工程师,主要从事金属矿产勘查与评价。E-mail: 1075780300@qq.com.

研究,推导出了多个厚度计算公式及其适用条件(唐永成,1958;刘德正,1975;王仲三,1979;周爱群,1991;张仕香,1994;汪恩华等,2001;阮志桥等,2008;吕喜旺等,2012;李丰收等,2012;梁瑞等,2013;李海光等,2016;陈剑祥等,2019;宋学旺等,2019;李海光等,2021),目前地质勘查工作中对倾斜矿体主要采用《固体矿产勘查工作规范(GB/T 33444-2016)》推荐的万能公式:

$$M=L \times (\sin\alpha \times \cos\beta \times \cos\gamma \pm \cos\alpha \times \sin\beta)$$

式中 L 为样品长度(mm), β 为样品倾角($^\circ$), α 为矿体真倾角($^\circ$), γ 为样品方位(或其反方向)与矿体倾向的夹角($^\circ$, $\gamma < 90^\circ$),当矿体倾向与样品方向相反时用“+”,相同时用“-”。

样品长度、倾角、方位主要来自探矿工程施工数据,矿体倾向和真倾角数据通过工程实测获得和从图件量取计算获得。但实际工作中存在将样品方位上的伪倾角(α_s)和勘查线剖面上的视倾角(α_r)不经换算,直接视作真倾角用于计算矿体厚度的情况。现就其对矿体厚度计算的影响讨论如下。

2.1 伪倾角(α_s)对厚度计算的影响

当探矿工程完全垂直矿体走向施工时,此时样品方位与矿体倾向夹角 $\gamma = 0^\circ$,钻孔中实测的伪倾角(α_s)与真倾角(α)相等(图 1a),厚度计算结果相同。当 $\gamma \neq 0$ 时(图 1b),将伪倾角和真倾角(通过公式 $\tan\alpha = \cos\alpha_s / \tan\gamma$ 换算)分别代入万能公式计算出伪厚度(M_s)和真厚度(M),对比表

1 中两者数据,其中当样品直立时(倾角为 90°), $M_s \geq M$;当样品水平时(倾角为 0°), $M_s \leq M$;当样品倾斜其倾角与矿体倾角的和 $< 90^\circ$,且倾向与样品方向相反时,或样品倾角与矿体倾角的和 $> 90^\circ$,且倾向与样品方向相同时,随 γ 由小变大从 $M_s \leq M$ 逐渐变为 $M_s > M$,在相反条件下则变化情况相反。对伪厚度和真厚度的误差值(Δ)统计显示,当最小值夹角 $\gamma = 9^\circ$ 时,厚度误差达到 5 mm/m 。依据《固体矿产勘查工作规范(GB/T 33444-2016)》中对数字修约的要求,矿体厚度四舍五入精确到厘米,此时直接将伪倾角代入万能公式计算真厚度,将影响资源量估算真厚度数据的精度。

2.2 视倾角(α_r)对厚度计算的影响

矿体产状无法测定时,需要剖面图上量取的视倾角(α_r)数据。当剖面方位与矿体倾向相同时(即勘查线方位与矿体倾向夹角 $\gamma' = 0$),视倾角(α_r)与真倾角(α)相等,厚度计算结果相同(图 1a);当剖面方位与样品方位相同时(即 $\gamma' = \gamma$),厚度计算结果与上节 2.1 相同(图 1b);当剖面方位、样品方位、矿体倾向及其反方向均不一致时(即 $\gamma' \neq \gamma \neq 0$,图 1c),将视倾角和真倾角(通过公式 $\tan\alpha = \cos\alpha_r / \tan\gamma'$ 换算)分别代入万能公式计算出视厚度(M_r)和真厚度(M),对比表 2 中两者数据,其变化情况与上节 2.1 所述相同,对视厚度和真厚度的误差值(Δ)统计显示,最小值夹角 $\gamma' = 9^\circ$ 时,厚度误差达到 5 mm/m ,其结果将影响真厚度数据的精度。

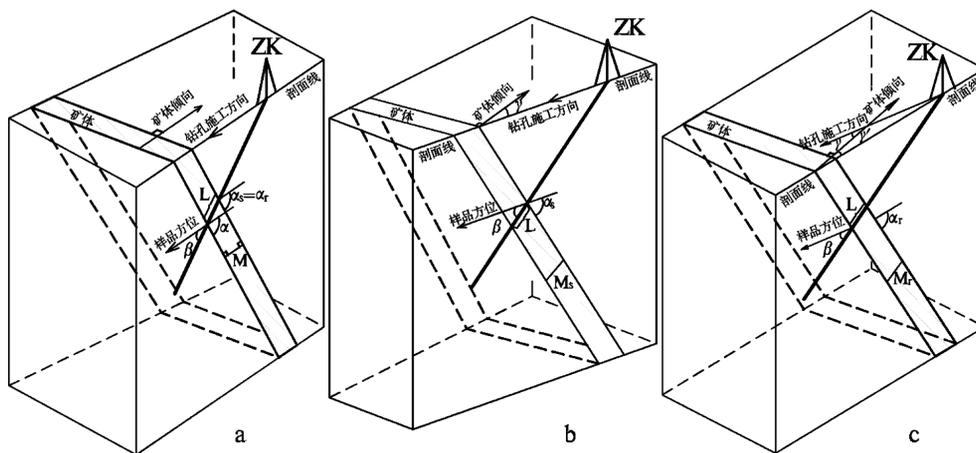


图 1 矿体真倾角、伪倾角、视倾角关系示意图

Fig. 1 Relation between true dip angle, false dip angle and apparent dip angle of the orebody

L —样品长度; β —样品倾角; α —矿体真倾角; α_s —矿体伪倾角; α_r —矿体视倾角; γ —样品方位与矿体倾向的夹角; γ' —剖面方位与矿体倾向的夹角; M —矿体真厚度; M_r —矿体剖面上视厚度; M_s —矿体钻进方向伪厚度

表1 伪倾角(α_s)对厚度计算的影响统计表(样品长度L=1 000 mm)

Table 1 Influence statistics of false dip angle(α_s) to the thickness

$\alpha_s(^{\circ})$	$\alpha(^{\circ})$	$\beta(^{\circ})$	$\gamma(^{\circ})$	矿体倾向与样品方向相反			矿体倾向与样品方向相同		
				$M_s(\text{mm})$	$M(\text{mm})$	$\Delta(\text{mm})$	$M_s(\text{mm})$	$M(\text{mm})$	$\Delta(\text{mm})$
5	7.60	90	49	996.2	991.2	5.0	996.2	991.2	5.0
5	5.51	45	25	760.3	765.4	-5.1			
5	5.43	45	23				647.7	642.3	5.4
5	5.32	0	20	81.9	87.1	-5.2	81.9	87.1	-5.2
15	16.12	90	22	965.9	960.7	5.2	965.9	960.7	5.2
15	15.65	45	17	858.0	863.3	-5.3			
15	15.38	45	13				504.7	499.1	5.6
15	15.32	0	12	253.2	258.4	-5.3	253.2	258.4	-5.3
30	30.65	90	13	866.0	860.3	5.7	866.0	860.3	5.7
30	31.41	45	19	946.7	951.9	-5.3			
30	30.31	45	9				263.2	258.0	5.2
30	30.38	0	10	492.4	498.1	-5.7	492.4	498.1	-5.7
45	45.44	90	10	707.1	701.7	5.4	707.1	701.7	5.4
45	48.56	45	28	941.5	936.0	5.4			
45	45.35	45	9				6.2	0.0	6.2
45	45.44	0	10	696.4	701.7	-5.3	696.4	701.7	-5.3
60	60.38	90	10	500.0	494.3	5.7	500.0	494.3	5.7
60	60.97	45	16	942.2	937.5	4.8			
60	60.31	45	9				251.3	256.4	-5.1
60	60.64	0	13	843.8	849.2	-5.4	843.8	849.2	-5.4
75	75.31	90	12	258.8	253.5	5.3	258.8	253.5	5.3
75	75.56	45	16	839.6	834.6	5.0			
75	75.37	45	13				482.5	488.0	-5.5
75	76.35	0	25	875.4	880.7	-5.3	875.4	880.7	-5.3
85	85.30	90	20	87.2	81.9	5.2	87.2	81.9	5.3
85	85.47	45	25	700.0	694.7	5.3			
85	85.40	45	23				586.8	592.0	-5.2
85	88.87	5	77	230.8	225.8	5.1			
85	87.42	5	59				503.5	508.6	-5.1

表2 视倾角(α_r)对厚度计算的影响统计表(样品长度L=1 000 mm)

Table 2 Influence statistics of apparent dip angle(α_r) to the thickness

$\alpha_r(^{\circ})$	$\alpha(^{\circ})$	$\beta(^{\circ})$	$\gamma(^{\circ})$	$\gamma'(^{\circ})$	矿体倾向与样品方向相反			矿体倾向与样品方向相同		
					$M_r(\text{mm})$	$M(\text{mm})$	$\Delta(\text{mm})$	$M_r(\text{mm})$	$M(\text{mm})$	$\Delta(\text{mm})$
5	7.60	90	0/45/90	49	996.2	991.2	5.0	996.2	991.2	5.0
5	5.47	45	0	24	766.0	771.3	-5.3	642.8	636.5	6.3
5	5.66	45	45	28	748.0	753.0	-5.0			
5	5.51	45	45	25				660.8	655.8	5.0
5	8.47	45	90	54	704.4	699.4	5.0	704.4	699.4	5.0
5	5.29	0	0	19	87.2	92.1	-5.0	87.2	92.1	-4.9
5	5.43	0	45	23	61.6	66.9	-5.3	61.6	66.9	-5.3
5	8.47	0	85	54	7.6	12.8	-5.2	7.6	12.8	-5.2
15	16.12	90	0/45/90	22	965.9	960.7	5.2	965.9	960.7	5.2
15	15.58	45	0	16	866.0	871.0	-5.0			
15	15.38	45	0	13				500.0	494.3	5.7
15	16.01	45	45	21	812.4	817.6	-5.2			

续表

$\alpha_r(^{\circ})$	$\alpha(^{\circ})$	$\beta(^{\circ})$	$\gamma(^{\circ})$	$\gamma'(^{\circ})$	矿体倾向与样品方向相反			矿体倾向与样品方向相同		
					Mr(mm)	M(mm)	Δ (mm)	Mr(mm)	M(mm)	Δ (mm)
15	15.44	45	45	14				553.6	548.5	5.1
15	16.60	45	90	26	683.0	677.6	5.4	683.0	677.6	5.4
15	15.32	0	0	12	258.8	264.2	-5.4	258.8	264.2	-5.4
15	15.38	0	45	13	183.0	187.5	-4.5	183.0	187.5	-4.5
15	18.55	0	85	37	22.6	27.7	-5.2	22.6	27.7	-5.1
30	30.65	90	0/45/90	13	866.0	860.3	5.7	866.0	860.3	5.7
30	31.26	45	0	18	965.9	971.4	-5.5			
30	30.31	45	0	9				258.8	253.6	5.2
30	43.81	45	45	53	862.4	856.4	6.0			
30	30.38	45	45	10				362.4	357.1	5.3
30	30.87	45	90	15	612.4	606.9	5.4	612.4	606.9	5.5
30	30.38	0	0	10	500.0	505.8	-5.8	500.0	505.8	-5.8
30	30.55	0	45	12	353.6	359.4	-5.9	353.6	359.4	-5.8
30	33.96	0	85	31	43.6	48.7	-5.1	43.6	48.7	-5.1
45	45.44	90	0/45/90	10	707.1	701.7	5.4	707.1	701.7	5.4
45	51.03	45	0	36	1000.0	994.5	5.5			
45	45.35	45	0	9				0.0	6.2	-6.2
45	46.78	45	45	20	853.6	848.6	5.0			
45	45.35	45	45	9				146.4	141.2	5.2
45	45.63	45	90	12	500.0	494.4	5.6	500.0	494.4	5.6
45	45.44	0	0	10	707.1	712.5	-5.4	707.1	712.5	-5.4
45	45.63	0	45	12	500.0	505.5	-5.5	500.0	505.5	-5.5
45	50.01	0	85	33	61.6	66.8	-5.2	61.6	66.8	-5.2
60	60.38	90	0/45/90	10	500.0	494.3	5.7	500.0	494.3	5.7
60	61.10	45	0	17	965.9	960.8	5.1			
60	60.31	45	0	9				258.8	264.0	-5.2
60	60.85	45	45	15	786.6	781.1	5.5			
60	60.38	45	45	10				79.5	85.2	-5.7
60	60.55	45	90	12	353.6	347.7	5.8	353.6	347.7	5.9
60	60.64	0	0	13	866.0	871.6	-5.5	866.0	871.6	-5.6
60	60.85	0	45	15	612.4	617.6	-5.2	612.4	617.6	-5.2
60	67.45	0	85	44	75.5	80.5	-5.0	75.5	80.5	-5.0
75	75.31	90	0/45/90	12	258.8	253.5	5.3	258.8	253.5	5.3
75	75.63	45	0	17	866.0	860.5	5.5			
75	75.37	45	0	13				500.0	505.5	-5.5
75	75.56	45	45	16	666.0	660.6	5.4			
75	75.37	45	45	13				300.0	305.2	-5.2
75	75.43	45	90	14	183.0	177.9	5.1	183.0	177.9	5.1
75	76.14	0	0	23	965.9	970.9	-5.0	965.9	970.9	-5.0
75	76.69	0	45	28	683.0	688.1	-5.1	683.0	688.1	-5.1
75	84.02	0	80	67	167.7	172.7	-5.0	167.7	172.7	-5.0
85	85.30	90	0/45/90	20	87.2	81.9	5.2	87.2	81.9	5.3
85	85.47	45	0	25	766.0	760.8	5.3			
85	85.40	45	0	23				642.8	648.1	-5.3
85	85.43	45	45	24	559.7	554.7	5.0			
85	85.40	45	45	23				436.5	441.6	-5.1
85	85.43	45	90	24	61.6	56.3	5.3	61.6	56.3	5.3
85	85.00	0	0/45/90	0-90			-5< Δ <5			-5< Δ <5

3 结论

理论上应将伪倾角(α_s)或视倾角(α_r)换算成真倾角(α)再代入公式中进行计算矿体厚度,实际工作中,当样品方位(或其反方向)与矿体倾向的夹角 $\gamma < 9^\circ$ 时,或勘查线方位与矿体倾向夹角 $\gamma' < 9^\circ$ 时,可将钻孔中实测的伪倾角(α_s)或剖面上测得的视倾角(α_r)直接代入万能公式计算矿体厚度,其结果不影响资源量估算时矿体厚度数据的精度,同时能较简便、较准确的确定矿体产状,提高厚度计算效率,能有效减少块段法与断面法资源量估算误差。

[参考文献]

陈剑祥,王东,翟文娟,等. 2019. 矿床评价中关于钻孔矿体厚度计算方法的应用分析[J]. 新疆有色金属,42(04):63-65.
 董士尤,屈溢泉. 1984. 单钻孔确定地下岩层产状的原理与方法[J]. 浙江大学学报,(04):122-131.
 董士尤,陈忠忠,邹乐君,等. 1988. 用单钻孔确定地下岩层产状[J]. 地质与勘探,(03):61-63.
 李海光,李佼. 2016. 全方位施工钻孔中矿体真厚度计算公式探讨[J]. 矿产勘查,7(02):353-358.
 李海光,王润福,史健儒,等. 2021. 固体矿产勘查中矿体真厚度计算问题探讨[J]. 矿产勘查,12(03):725-732.
 李峰,王浩然. 2001. 利用单钻孔确定地下岩层产状[J]. 内蒙古煤炭经济,(S1):20-22.
 李丰收,张西社,甘先平,等. 2012. 一个快速计算矿体厚度的简便公式[J]. 矿产勘查,3(06):824-830.
 梁攀峰. 2014. 确定板状隐伏矿体产状的一种几何方法及应用[J]. 矿产与地质,28(01):119-123.
 梁瑞,徐超,张晓梅. 2013. 矿体真厚度计算公式探讨[J]. 矿产勘查,4(01):75-78.
 林银山. 1987. 利用钻孔资料确定岩层产状[J]. 华东地质学院学

报,(04):75-87.
 刘德正. 1975. 也谈钻孔偏离勘探线时计算矿体厚度的方法[J]. 地质与勘探,(05):30-34.
 刘兴锁,李胜锁. 2002. 利用算法确定煤层产状方法初探[J]. 河北煤炭,(03):15-16.
 骆学全. 1995. 一种确定矿体产状的数学方法[J]. 有色金属矿产与勘查,(06):373-374+379.
 吕喜旺,张锁云. 2012. 矿体厚度计算通式的推导及应用[J]. 黄金科学技术,20(03):86-89.
 阮志桥,袁全喜,李太升. 2008. 斜孔中矿体真厚度计算及讨论[J]. 资源环境与工程,(02):228-231.
 宋学旺,马振飞. 2019. 用解析几何计算矿体厚度的方法探讨——以个旧矿区某矿体为例[J]. 矿产与地质,33(06):1106-1110.
 唐永成. 1958. 当钻孔方位角与矿体倾向线方位角之差大于 30° 时利用何种公式计算矿体真厚度[J]. 探矿工程,(02):23-25.
 汪恩华,贺振华,李庆忠. 2001. 薄储层厚度计算新方法探索[J]. 物探化探计算技术,(01):22-25.
 王道新. 1991. 用两个钻孔确定矿体产状[J]. 有色金属(矿山部分),(01):24-26+30.
 王仁农. 1977. 在剖面图上确定钻孔位置的“产状投影法”[J]. 地质与勘探,(02):40-42.
 王仁农. 1981. 用单斜孔确定岩层产状及推断构造[J]. 煤炭学报,(02):55-66.
 王仲三. 1979. 再论钻孔中计算岩层真厚度的简便公式[J]. 煤田地质与勘探,(06):19-21.
 文朴. 1980. 论单钻孔确定岩层产状[J]. 西北地质,(02):40-55.
 张仕香. 1994. 钻孔中矿体厚度计算方法探讨[J]. 化工地质,(01):63-66.
 张西利. 1992. 单钻孔确定岩层产状的方法[J]. 长安大学学报(自然科学版),(01):12-18.
 周爱群. 1991. 倾斜钻孔矿体厚度的计算[J]. 地质与勘探,(12):56-58.
 周兆庆. 1980. 利用单孔确定地层产状的计算方法[J]. 江苏煤炭科技,(01):49-55.

The Effect for Orebody Thickness Calculation of Measuring Occurrence on the Map

WANG Yong¹, LIU Zheng-feng²

(1.108 Geological Team, Sichuan Bureau of Geology & Mineral Resources Chengdu 611230, Sichuan, China; 2. Qinghai Nonferrous Geological and Mineral Exploration Bureau third geological exploration institute, Xining 810012, Qinghai China)

[Abstract] Thickness is an important parameter for ore body delineation and mineral resources estimation, the precision accuracy of its calculation is mainly based on the correctness of ore body occurrence. At present, a

large number of hidden nonferrous metals, rare, rare and scattered, precious metal ore body shape is irregular, most of delimit the ore body boundary based on the test data, direct measurement of its occurrence is difficult. In the actual production work, often use from the basic map measurement data to determine the ore body occurrence, this method is simple and easy to work with. In this paper, by comparing the ore body thickness data calculated using the false dip angle and apparent dip angle and true dip angle at the different intersection angle of Sample direction and Section direction and ore body dip, it is considered that the ore body thickness was calculated using the measurement data from the map can meet the precision accuracy requirements of mineral resources estimation, it can effectively reduce the error of mineral resources estimation between the Geological block method and cross section method.

[**Key Words**] True thickness; Occurrence; False dip angle; Apparent dip angle; True dip angle

(上接第 279 页)

Geological Hazard Risk Evaluation and Division Based on Weighted Information Method in Xingshan County, Hubei Province

SONG Yuan^{1,2}, JIANG Nan^{1,2}, REN Da^{1,2}, ZHANG En-bo^{1,3}

(1. Hubei Key Laboratory of Resources and Eco-environmental Geology, Wuhan 430034, Hubei, China; 2. Geological Environmental Center of Hubei Province, Wuhan 430034, Hubei, China; 3. China University of Geosciences (Wuhan), Institute of Geophysics & Geomatics, Wuhan 430034, Hubei, China)

[**Abstract**] Xingshan County of Hubei Province is taken as the research object, the risk evaluation index system of geological disasters was constructed by selecting eight disaster-pregnant conditions factors such as elevation, slope, slope direction, slope type, fault, engineering geological rock group, surface water and vegetation, and three inducing factors such as rainfall, building cutting slope and repairing cutting slope. The weighted information method was used to sort and weight different factors, and then the ISODATA clustering algorithm was used to divide the risk of geological disasters, and the accuracy of the evaluation results was evaluated. The results show that the evaluation results are in good agreement with the actual situation, and the zoning results are reasonable, which can provide technical reference for the risk assessment of regional geological disasters.

[**Key Words**] Geological disasters; Risk assessment and zoning; Weighted information method; ISODATA clustering algorithm; Hubei Province