

<http://www.geojournals.cn/georev/ch/index.aspx>

关于钻孔弯曲对勘探工程质量的影响

李 毓 芳

钻孔在钻进过程中,有时发生有规律的弯曲,使钻孔中心线偏离设计位置。A. П. 普罗科菲耶夫认为:“这一情况会使对钻孔所穿过的矿体真厚度的计算结果有所增高”,“这一校正系数是用专门仪器对测量许多钻孔弯曲的方位角与顶角来决定的,在个别情况下,要以矿床开采的实际材料来检查”[3]。

根据 C. C. 苏拉克申的研究,钻孔弯曲是有一定的规律性的,一般是逐渐趋向于与岩层层面相垂直[1]。

当未考虑钻孔弯曲时,我们按照钻孔的设计方向编制的地质剖面图,常使穿过矿层的位置人为地顺岩层倾向向下推移、岩层倾角减缓和矿层厚度减小。(图 1)

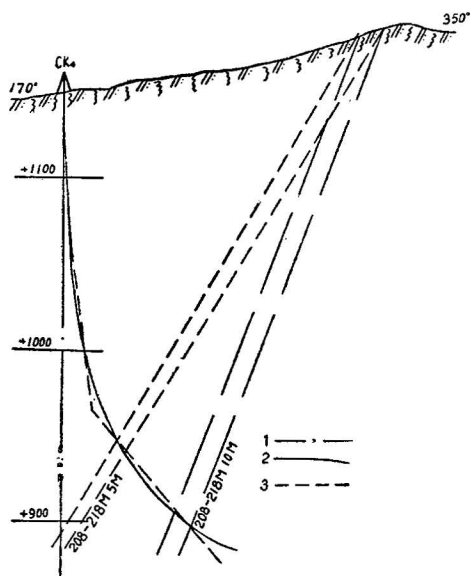


图 1 钻孔弯曲校正示意图

1. 设计方向线; 2. 实际方向线; 3. 制图方向线。

钻 孔 测 斜

30 米	3°
111 米	8°40′
190 米	39°

在考虑钻孔弯曲并精确地测量其弯曲的顶角

与方位角后,所编制的地质剖面图就能较正确地反映矿层在地下赋存的空间位置与产状情况。

但这并不意味着有了较精确的钻孔弯曲测量资料,钻孔弯曲引起的误差就完全不存在了。钻孔弯曲资料的准确与否,取决于正确地使用和操作测斜仪器及测斜仪本身的精度。一般说来测斜仪器也和其他测量仪器一样具有一定的误差,只是有的大些,有的小些。

由测斜精确性而引起的误差,一般表现为时正时负的偶然性误差;只有在仪器逐渐磨损或出了毛病时,才具有某一定的方向性,在这里不作讨论。

在测量钻孔弯曲时,仪器与孔壁之间总有一定的空隙。在地心引力的作用下,测斜仪的上端往往要向上偏离孔壁,其下端则接触在孔壁上,造成测斜的中心线与钻孔中心线不相平行,两者之间夹一锐角,使得测量的钻孔弯曲顶角略低于实际的钻孔弯曲顶角,两者的方位角基本上是一致的。这是一种系统误差。一般误差值的大小,随测斜仪与孔壁之间的间隙的增大而增大,随测斜仪长度的加大而减小,随钻孔弯曲度的增大而增大,反之亦然。

测斜仪与钻孔中心线的夹角(ω°),可大致计算出来。

我们按照可能产生的最大偏距来考虑,即令测斜仪的上端基本上接近于钻孔中心线(通常是略低一些),下端接触在孔壁上。(图 2)

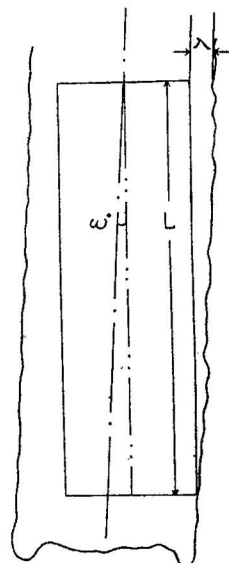


图 2 钻孔内测斜仪悬挂示意图

$$\sin \text{ 或 } \tan \omega^\circ = \frac{\lambda}{L} = K$$

表 1

ω \ λ (毫米)	10	15	20	25	30	35	L 值 (毫米)
91	22'41"*	34'01"***	45'21"***				1516
110			45'21"*	56'41"***	1°08'02"***		
130					1°08'02"*	1°19'22"***	
91	13'45"*	20'38"***	27'30"***				2500
110			27'30"*	34'23"***	41'15"***		
130					41'15"*	51'34"***	

注: D为孔径。有*者为仪器上端略低;**者为正常;***为稍高时的 ω 值。

式中 λ ——测斜仪上端与其下侧孔壁之间的间隙;

L——测斜仪的长度。

根据目前国内情况,常用的开孔直径为130毫米,随后改换110毫米的,以91毫米的为终孔。

通用的 ИИИ-2 型测斜仪,其主要规格为:外径60毫米,仪器重(不带加重物)21公斤,最大的顶角测量达50°,仪器长达1,516毫米,带导向筒时长达2,500毫米。钻孔顶角测量精度为 $\pm 15'$,方位角测量精度为 $\pm 3-5^\circ$ 。

将上述数据代入公式内,其结果见表1。

利用此校正系数时,应按具体情况审慎对待。

这种测量上的系统误差与孔壁的完整程度有密切关系。当钻进时间较久,孔壁因局部坍塌掉块而参差不齐时测量的误差是比较大的,据此而绘出的钻孔弯曲图看起来也就不自然。这种情况常常在终孔后进行系统的孔斜测量的资料中出现;在随钻进的进展而及时测量孔斜的资料中则很少有,因为刚刚钻过不久的孔壁是比较完整的。

表1表明,孔径91毫米的误差在30'左右,在采用导向筒时,孔径110毫米的误差在35'左右,孔径130毫米的误差在50'左右。因此,适当加长导向筒或缩小测斜仪与孔壁之间的空隙,从而将测量误差限定在某一允许范围之内是可能的。

除了 ИИИ-2 型测斜仪外,还有包良柯夫测斜仪和氢氟酸测斜仪。它们的上端与下侧孔壁间隙(λ)所造成的误差(ω)之确定方法,与上述方法相同。

利用氢氟酸测斜时,由于氢氟酸溶液在玻璃管内受毛细管作用的影响,特别是在玻璃管倾斜放置时,液面从来也不是呈水平的,而是有几度的差别。因此,利用液面状态测得的顶角 θ 始终比

实际的顶角 θ 要小几度,因而所得的数值 $\theta_{\text{测量}}$ 应加上校正读数 Π° 。

$$\text{即 } \theta_{\text{实际}} = \theta_{\text{测量}} + \Pi^\circ$$

当玻璃管内径为18毫米时, Π° 值大致如表2^[1,82]。

表 2

玻璃管中心线偏斜 测量结果所得角度 $\theta_{\text{测量}}$	校正读数 Π°	玻璃管中心线偏斜 铅垂线的真正角度 $\theta_{\text{实际}}$
0°	0°	0°
10°	2°30'	12°30'
20°	5°	25°
30°	7°	37°
40°	8°	48°
50°	7°	57°
60°	6°	66°
70°	4°	74°

利用包良柯夫测斜仪时,要经常或定期检查罗盘的灵活性与精确性,检查钟表制动装置的作用是否失调。在记录读数时,千万不可把罗盘磁针的方位读反,以致人为的使钻孔弯曲图成为复杂的折线状,在中等倾斜或缓倾斜地区出现顺倾向弯曲的钻孔,等等。

钻孔弯曲在地质编录上的主要影响,就是使切穿矿体的实际空间位置偏离设计位置,特别是使着矿点的标高不能达到预计的控制深度,往往是偏高若干米。偏距的大小,一般可以计算出来,但这就给地质编录带来了一些困难。

由于下列原因,使目前按测斜资料求得的着矿点坐标与实际坐标之间,有时存在较大的差距,以致怀疑某些勘探工程资料是否有利用价值。归纳起来,主要有以下几点:

1. 测斜点是间断的, 相邻两点之间的孔斜情况, 一般是按算术平均法求得的, 因而绘出的钻孔中心线象是由许多小线段连接而成的一条有规律的折线。

2. 实际上钻孔的弯曲是缓慢地逐渐变化的, 呈近圆滑曲线状弯曲, 然而计算与绘图结果却象一条多节钢鞭。

3. 着矿点坐标的计算, 一般均采用直线公式, 不符合钻孔的实际情况, 它只是一条接近曲线的

折线。

——这里存在着误差是无疑的, 但当由许多小线段所组成的折线十分接近实际的曲线, 其差距在某一误差允许范围内时, 这种近似的计算办法还是可以采用的。

这种计算精度的大小, 一般与测斜段距的大小和相邻两点间钻孔弯曲的顶角变化的大小有密切关系, 有时也与计算或图解的方法有关, 如图 3 中 A 与 B。

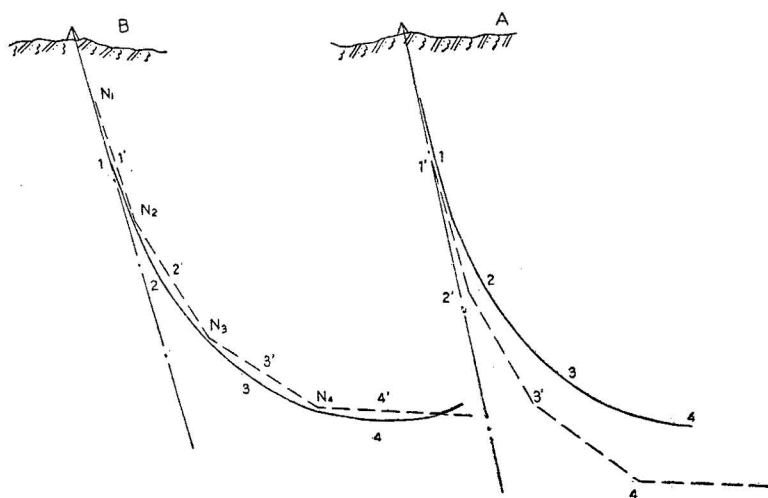


图 3 钻孔弯曲示意图

A. 由测斜点下推一个段距; B. 由测点向上向下各推半个段距。

如采用正常的计算或图解方法(图 3 中 B), 则计算的坐标与理论上的实际坐标极为接近, 有规律地忽上忽下。在一个测斜间距内, 当钻孔弯曲的顶角变化范围不超过 10° — 15° 左右时, 数学计算或绘图的钻孔弯曲折线的转折点均落在理论的实际钻孔中心线上(图 3 中 N_1, N_2, N_3 点)。

由于钻孔的弯曲是逐渐地缓慢变化而形成的, 因而就其某一小的段距(例如一个测斜段距或间距)来讲, 与圆的某一段弧长极为近似, 特别是在图 3 中 B 情况下, 便可将 N_1N_2, N_2N_3, N_3N_4 等当作圆弧所对的弦来研究计算坐标与理论上的实际坐标之间的最大偏距, 即 $2-2', 3-3', 4-4'$

编号	孔 深	天顶角
0	0 米	0°
1	50 米	$3^{\circ}30'$
2	100 米	$17^{\circ}30'$
3	150 米	$42^{\circ}40'$
4	200 米	75°

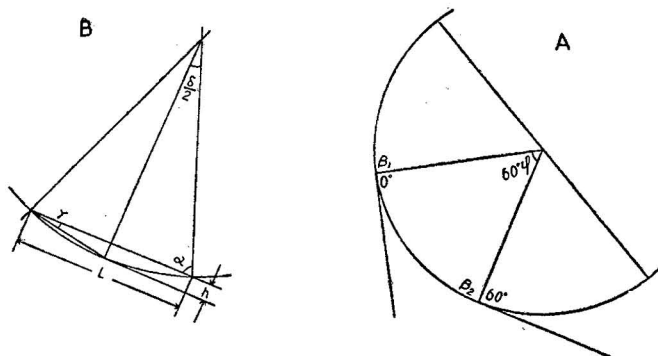


图 4 钻孔弯曲角度几何关系示意图

$$\alpha = 90^{\circ} - \frac{\delta}{2}$$

$$\alpha + \gamma = \frac{1}{2} \left(180^{\circ} - \frac{\delta}{2} \right)$$

$$\gamma = \left(90^{\circ} - \frac{\delta}{4} \right) - \alpha = \frac{\delta}{4}$$

$$\tan \gamma = \frac{2h}{L}$$

表 3

$$h = \frac{L}{2} \cdot \tan \frac{\delta}{4}$$

δ $h(\text{米})$ $L(\text{米})$	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20
10	0.021 815	0.043 635	0.065 455	0.087 275	0.109 100	0.130 930	0.152 765	0.174 605	0.196 450	0.218 305	0.240 165	0.262 040	0.283 920	0.305 815	0.327 715	0.349 635	0.371 565	0.393 510	0.415 470	0.437 445
20	0.043 630	0.09	0.13	0.17	0.22	0.26	0.31	0.35	0.39	0.44	0.48	0.52	0.57	0.61	0.65	0.70	0.74	0.79	0.83	0.87
50	0.109 075	0.22	0.33	0.44	0.55	0.65	0.76	0.87	0.98	1.09	1.20	1.31	1.42	1.53	1.64	1.75	1.85	1.96	2.07	2.19
100	0.218 150	0.43	0.65	0.87	1.09	1.31	1.53	1.74	1.96	2.18	2.40	2.62	2.84	3.06	3.28	3.50	3.71	3.93	4.15	4.37

表 4

$$\tan \frac{\delta}{4} = \frac{2h}{L}$$

δ h L	0.1	0.2	0.3	0.4	0.5	0.6	0.7	0.8	0.9	1.0	1.1	1.2	1.3	1.4	1.5	1.6	1.7	1.8	1.9	2.0
10	4°35'	9°10'	13°44'	18°18'	22°50'															
20	2°17'	4°35'	6°52'	9°10'	11°27'	13°44'	16°1'	18°18'	20°34'	22°50'										
50	55'	1°50'	2°45'	3°40'	4°35'	5°30'	6°25'	7°20'	8°15'	9°10'	10°5'	11°	11°54'	12°22'	13°43'	14°39'	15°33'	16°28'	17°23'	18°18'
100	27'	55'	1°22'	1°50'	2°17'	2°45'	3°12'	3°40'	4°7'	4°35'	5°5'	5°30'	5°57'	6°25'	6°52'	7°19'	7°47'	8°15'	8°43'	9°10'

$$L = \frac{2h}{\tan \delta/4}$$

表 5

$\frac{L}{h}$	δ	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20
0.1		45.84 46	22.902 566	15.277 670	11.458	9.1659	7.6376	6.546	5.7272	5.0903	4.5807	4.1638	3.8162	3.5221	3.270	3.0514	2.8601	2.6913	2.5412	2.407	2.286
0.2		91.6	45.8	30.5	22.9	18.3	15.2	13.1	11.4												
0.3		137	68.7	45.8	34.3	27.5	22.9	19.6	17.2	15.2	13.7	12.5	11.4								
0.4		183	91.6	61.1	45.8	36.6	30.5	26.2	22.9	20.3	18.3	16.6	15.2	14.1	13.1	12.2	11.4				
0.5		229	114	76.3	57.3	45.8	38.2	32.7	28.6	25.4	22.9	20.8	19.1	17.6	16.3	15.2	14.3	13.4	12.7	12	11.4
0.6		275	137	91.6	68.7	55	45.8	39.3	34.3	30.5	27.5	25	22.9	21.1	19.6	18.3	17.1	16.1	15.2	14.4	13.7
0.7		321	160	107	80.2	64.1	53.4	45.8	40.1	35.6	32	29.1	26.7	24.6	22.9	21.3	20	18.8	17.8	16.8	16.0
0.8		367	183	122	91.6	73.3	61.1	52.3	45.8	40.7	36.6	33.3	30.5	28.2	26.1	24.4	22.9	21.5	20.3	19.2	18.3
0.9		412	206	138	103	82.5	68.7	58.9	51.5	45.8	41.2	37.5	34.2	31.7	29.4	27.4	25.7	24.2	22.9	21.6	20.5
1.0		458	229	153	114	91.6	76.3	65.4	57.2	50.9	45.8	41.6	38.1	35.2	32.7	30.5	28.6	26.9	25.4	24.0	22.8
1			252	168	126	101	84	72	63	56	50.4	45.8	41.9	38.7	36	33.5	31.4	29.6	27.9	26.5	25.1
2			275	184	137	110	91.6	78.5	68.7	61.1	54.9	50	45.8	42.2	39.2	36.6	34.3	32.3	30.5	28.9	27.4
3			298	199	149	119	99.3	85.1	74.4	66.2	59.5	54.1	49.5	45.8	42.5	39.6	37.2	35	33	31.3	29.7
4			321	214	160	128	107	91.6	80.2	71.2	64.1	58.3	53.3	49.3	45.8	42.7	40	37.6	35.5	33.7	32.0
5			344	229	172	137	114	98.2	85.9	76.3	68.7	62.4	57.1	52.8	49	45.7	42.9	40.3	38.1	36.1	34.4
6			366	245	183	147	122	105	91.6	81.4	73.3	66.6	61	56.3	52.3	48.8	45.76	43.0	40.6	38.5	36.5
7			389	260	195	156	130	112	97.3	86.5	77.8	70.8	64.8	60	55.6	51.8	48.6	45.7	43.2	40.9	38.8
8			412	275	206	165	137	118	103	91.6	82.4	75	68.6	63.4	58.8	54.9	51.5	48.4	45.72	43.3	41.1
9			435	291	217	174	145	124	109	96.7	87	79.1	72.4	66.9	62.1	57.9	54.3	51.1	48.2	45.7	43.4
2.0			458	306	229	183	153	131	114	102	91.6	83.3	76.2	70.4	65.4	61	57.2	53.8	50.8	48.1	45.7

(或 h_1 、 h_2 、 h_3)等的大小。

根据几何原理(图4), 圆弧的端点之切线所夹的角度, 即钻孔弯曲计算的段距内顶角(θ)的变化值($\delta = \theta_2 - \theta_1$), 等于其所对的圆心角(φ)的大小; 最大偏距(h)的对角 γ 等于 δ 角的四分之一, γ 角的正切值等于二倍 h 与测斜段距($N_1N_2 = N_2N_3 = N_3N_4 = L$)的比值。

如果知道钻孔弯曲计算的某一段距之顶角的最大变化范围(δ), 与钻孔在该段的测斜段距(L), 便可求出所产生的最大偏距(h), 如表3所列。表中 δ 与 h 成正比关系。

同理, 如果知道 h 与 L 值的大小, 可求 δ 值(表4)。

同样, 如果知道 h 与 δ 值, 便可求出 L 值(表5)。

根据钻孔弯曲测量的顶角(θ)与各测点之孔深资料, 用简易的图解法(图5)求出各段的 δ 值, 再用表4的方法即可查出钻孔在该段切穿矿层座标(主要指标高)的最大偏距(h)的数值来。当 δ 值在 15° 以内, 此法是比较精确的, 反之, 计算的

精度则稍差些, 但前一位数仍然是较为正确的。

钻孔切穿矿体的空间位置座标中之横座标(X)与纵座标(Y)的计算问题, 袁世信曾作过介绍^[2], 故不重叙。

本文在写作过程中, 得到李逢源先生的热心指导, 插图由唐定明同志清绘, 特致谢意。

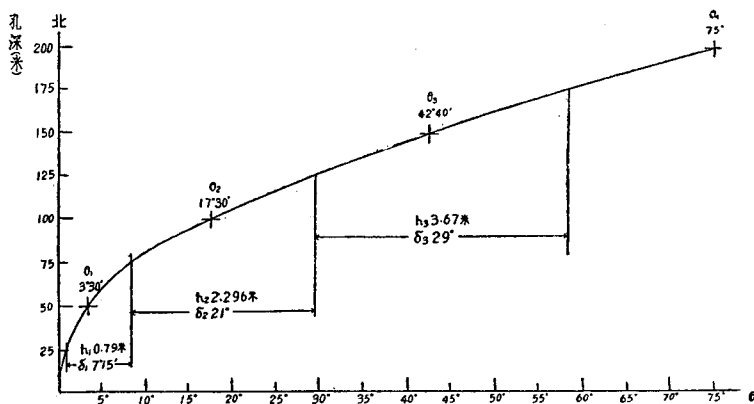


图 5

主要参考文献

- [1] 苏拉克申 C. C. 1959 钻孔弯曲测量指南。地质出版社。
- [2] 袁世信 1960 钻孔测斜。煤炭工业出版社。
- [3] 普罗科菲耶夫 A. П. 1954 实用金属矿床储量计算方法。地质出版社。