

平面弯曲分枝定向钻孔设计方案的对比

吴光琳

(成都地质学院)

在金属和非金属矿床钻探中,如果矿体产状陡斜,或者矿体产状虽然平缓,但上部有较厚的覆盖层或严重漏失坍塌岩层,而勘探线上钻孔间距又不大,为了取得较好的地质和经济效果,将越来越多地采用平面弯曲分枝孔进行定向钻探。

设计定向钻探分枝孔时,常用的孔身剖面有全弯和上弯下直两种类型,而分枝孔从主干孔分

岔又可分为不下偏心楔分岔(无楔分岔)和下偏心楔分岔(有楔分岔)两种方式。

无楔分岔时分枝孔孔身剖面的设计

无楔分岔时,分枝定向钻孔孔身剖面可按以下公式计算:

一、全弯型分枝孔(图1)

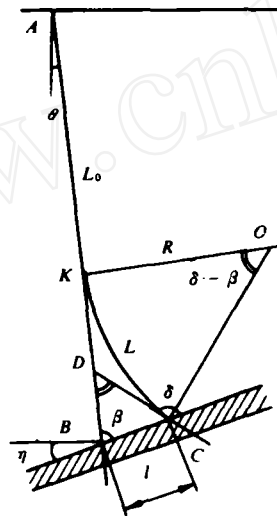


图1 无楔分岔的全弯型分枝定向钻孔

$\overline{AB}$ —主干孔; $\widehat{KC}$ —分枝孔; K —分岔点; θ —钻孔顶角,度; η —矿层倾角,度;

β —主干孔遇层角,度; δ —分枝孔交矿角,度; l —见矿点间距, m; R —分枝孔曲率半径, m

1. 分岔点位置 L_0

$$L_0 = \overline{AB} - \left[\frac{57.3}{i_\theta} \sin \left(2 \sin^{-1} \sqrt{\frac{l \sin \beta i_\theta}{114.6}} \right) + l \cos \beta \right] \quad (1)$$

2. 分枝孔长度 L

$$L = \frac{2 \sin^{-1} \sqrt{\frac{l \sin \beta i_\theta}{114.6}}}{i_\theta} \quad (2)$$

式中, i_θ —分枝孔弯曲强度,度/m; $\overline{AB}$, l , β 代表的意义与图1同。

二、上弯下直型分枝孔 (图2)

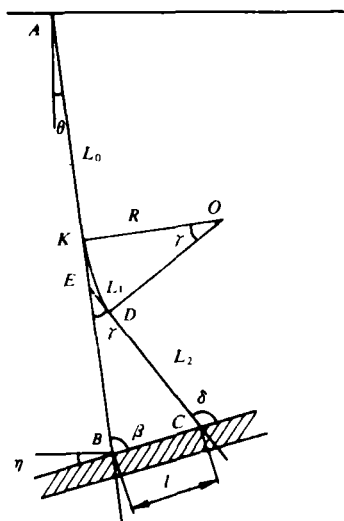


图2 无楔分岔的上弯下直型分枝定向钻孔
 $\widehat{KD}$ —分枝孔弯曲段; $\overline{DC}$ —分枝孔直线段;
 γ —分枝孔弯曲段的弯曲角, 度; 其余符号代
 表的意义与图1同。

1. 分岔点位置 L_0

$$L_0 = \overline{AB} - \left[\frac{114.6}{i_\theta} \sin^2 \frac{\gamma}{2} + l \sin (\beta + \gamma) \right] \sin \gamma \quad (3)$$

2. 分枝孔长度 L ($L_1 + L_2$)

$$L = \frac{\gamma}{i_\theta} + \frac{l \sin \beta - \frac{114.6}{i_\theta} \sin^2 \frac{\gamma}{2}}{\sin \gamma} \quad (4)$$

式中, i_θ —分枝孔弯曲段弯曲强度, 度/m。
 其余符号代表的意义同前。

(1)、(2)、(3)、(4) 诸式的推导见

《探矿工程》1984年第1期26~27页。

有楔分岔时分枝孔孔身剖面的设计

$$\begin{aligned} \text{因为 } \overline{CF} &= l \sin \beta, \\ \overline{CF} &= KC \cdot \sin \left(-\frac{\delta - \beta - \psi}{2} + \psi \right), \end{aligned}$$

$$\text{而 } \overline{KC} = 2R \cdot \sin \frac{\delta - \beta - \psi}{2}$$

$$\text{所以 } l \sin \beta = 2R \sin \frac{(\delta - \beta) - \psi}{2} \sin \frac{(\delta - \beta) + \psi}{2}$$

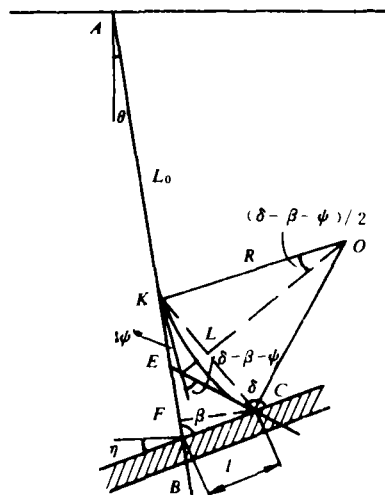


图3 有楔分岔的全弯型分枝定向钻孔

ψ —下在分岔点的偏心楔的顶角, 度;
 其余符号代表的意义同图1。

一、全弯型分枝孔 (图3)

有楔分岔时分枝定向钻孔孔身剖面的计算公

式推导如下:

为了推导出分岔点位置和分枝孔长度的计算公式, 先求分枝孔交矿角 δ 与主干孔遇层角 β 的差值。

即 $l \sin \beta = R [\cos \psi - \cos (\delta - \beta)]$,

$$\cos (\delta - \beta) = \cos \psi - \frac{l \sin \beta}{R},$$

此处 $R = \frac{57.3}{i_\theta}$,

由此得到 $\delta - \beta = \cos^{-1} \left(\cos \psi - \frac{l \sin \beta i_\theta}{57.3} \right)$ (5)

1. 分岔点位置 L_0

$$L_0 = \overline{AK} = \overline{AB} - \overline{KB},$$

而 $\overline{KB} = \overline{KF} + \overline{FB} = \overline{KC} \cos \left(-\frac{\delta - \beta - \psi}{2} + \psi \right) + l \cos \beta$

$$= 2 R \sin \frac{(\delta - \beta) - \psi}{2} \cos \frac{(\delta - \beta) + \psi}{2} + l \cos \beta$$

$$= R [\sin (\delta - \beta) - \sin \psi] + l \cos \beta,$$

由此得到 $L_0 = \overline{AB} - \left\{ \frac{57.3}{i_\theta} \left[\sin \cos^{-1} \left(\cos \psi - \frac{l \sin \beta i_\theta}{57.3} \right) + l \cos \beta \right] \right\}$ (6)

2. 分枝孔长度 L

$$L = \frac{\delta - \beta - \psi}{i_\theta},$$

即 $L = \frac{\cos^{-1} \left(\cos \psi - \frac{l \sin \beta i_\theta}{57.3} \right) - \psi}{i_\theta}$ (7)

二、上弯下直型分枝孔 (图4)

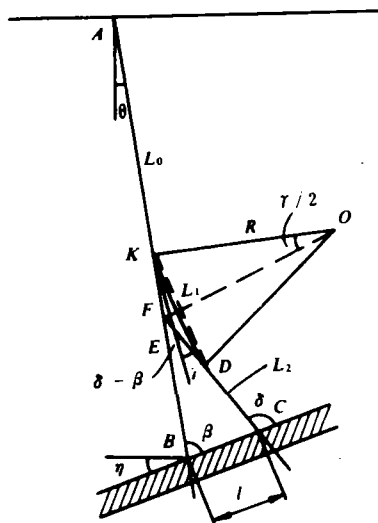


图4 有楔分岔的上弯下直型分枝定向钻孔
 $\widehat{KD}$ 、 $\widehat{DC}$, γ 代表的意义同图3; 其余符号代表的意义同图1.

1. 分岔点位置 L_0

$$L_0 = \overline{AB} - (\overline{KF} + \overline{FB}),$$

$$\text{因为 } \frac{\overline{KF}}{\sin \gamma} = \frac{\overline{KE}}{\sin [180^\circ - (\delta - \beta)]} = \frac{R \cdot \operatorname{tg} \frac{\gamma}{2}}{\sin (\delta - \beta)},$$

$$\text{所以 } \overline{KF} = \frac{R \operatorname{tg} \frac{\gamma}{2} \sin \gamma}{\sin (\delta - \beta)} = \frac{2 R \sin^2 \frac{\gamma}{2}}{\sin (\delta - \beta)} = \frac{\frac{114.6}{i_\theta} \sin^2 \frac{\gamma}{2}}{\sin (\gamma + \psi)},$$

$$\text{因为 } \frac{\overline{FB}}{\sin (180^\circ - \delta)} = \frac{l}{\sin (\delta - \beta)},$$

$$\text{所以 } \overline{FB} = \frac{l \sin \delta}{\sin (\delta - \beta)} = \frac{l \sin (\beta + \gamma + \psi)}{\sin (\gamma + \psi)},$$

$$\text{由此可得 } L_0 = \overline{AB} - \left[\frac{\frac{114.6}{i_\theta} \sin^2 \frac{\gamma}{2} + l \sin (\beta + \gamma + \psi)}{\sin (\gamma + \psi)} \right] \quad (8)$$

2. 分枝孔长度 L ($L_1 + L_2$)

$$L_1 = \frac{\gamma}{i_\theta},$$

$$L_2 = \overline{DC} = \overline{FC} - \overline{FE} - \overline{ED},$$

$$\overline{FC} = \frac{l \sin \beta}{\sin (\delta - \beta)} = \frac{l \sin \beta}{\sin (\gamma + \psi)},$$

$$\overline{FE} = \frac{\overline{KE} \sin \psi}{\sin (\delta - \beta)} = \frac{R \cdot \operatorname{tg} \frac{\gamma}{2} \sin \psi}{\sin (\delta - \beta)} = \frac{\frac{57.3}{i_\theta} \operatorname{tg} \frac{\gamma}{2} \sin \psi}{\sin (\gamma + \psi)},$$

$$\overline{ED} = R \cdot \operatorname{tg} \frac{\gamma}{2} = \frac{57.3}{i_\theta} \operatorname{tg} \frac{\gamma}{2},$$

$$L_2 = \frac{l \sin \beta - \frac{57.3}{i_\theta} \operatorname{tg} \frac{\gamma}{2} \sin \psi}{\sin (\gamma + \psi)} - \frac{57.3}{i_\theta} + \operatorname{tg} \frac{\gamma}{2},$$

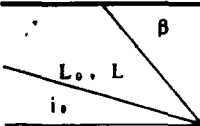
$$\text{由此得到 } L = \frac{\gamma}{i_\theta} + \frac{l \sin \beta - \frac{57.3}{i_\theta} \operatorname{tg} \frac{\gamma}{2} \sin \psi}{\sin (\gamma + \psi)} - \frac{57.3}{i_\theta} \operatorname{tg} \frac{\gamma}{2} \quad (9)$$

分枝定向钻孔设计方案的分析比较

为了进行对比,我们以主干孔长度 $\overline{AB} = 500$ m、见矿点间距 $l = 50$ m、采用上弯下直型剖面时分枝孔弯曲段弯曲角 $\gamma = 20^\circ$ 、下楔分岔时偏心楔顶角 $\psi = 3^\circ$ 为例,取分枝孔弯曲强度 $i_\theta = 0.1, 0.3,$

0.5, 0.7, 0.9 和 1.1 度/m, 取主干孔遇层角 $\beta = 45^\circ, 60^\circ, 75^\circ$ 和 90° 等几种不同的情况, 将这些数值分别代入 (1)、(2)、(3)、(4)、(6)、(7)、(8)、(9) 诸式进行计算, 结果列于表 1 ~ 表 4。

无棱分岔金弯型分枝定向钻孔的分岔点和长度 表 1

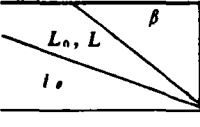
		主干孔的遇层角 β			
		45°	60°	75°	90°
分岔点位置 L_0 (m)					
分枝孔 弯曲强度 度 i	0.1度/m	266.49	256.49	256.81	265.91
	0.3度/m	353.94	353.90	360.11	371.16
	0.5度/m	381.86	385.28	393.59	405.34
	0.7度/m	397.28	402.79	412.40	424.60
	0.9度/m	407.62	414.68	425.28	437.82
	1.1度/m	415.32	423.66	435.11	447.95

分枝孔长度 (m)

分枝孔 弯曲强度 度 i	0.1度/m	202.32	224.17	236.93	241.20
	0.3度/m	118.08	131.17	138.68	141.40
	0.5度/m	92.52	103.05	109.30	111.36
	0.7度/m	79.11	88.43	93.99	95.83
	0.9度/m	70.66	79.27	84.47	86.22
	1.1度/m	64.78	72.99	78.02	79.72

有棱分岔金弯型分枝定向钻孔的分岔点和长度

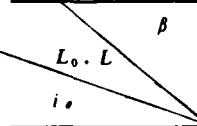
表 2

		主干孔遇层角 β			
		45°	60°	75°	90°
分枝孔长度 L_0 (m)					
分枝孔 弯曲强度 度 i	0.1度/m	294.36	284.58	285.02	294.15
	0.3度/m	363.57	363.58	369.81	380.87
	0.5度/m	387.71	391.15	399.47	411.23
	0.7度/m	401.49	407.02	416.63	428.83
	0.9度/m	410.91	417.98	428.59	441.13
	1.1度/m	418.02	426.37	437.82	450.67

分枝孔长度 L (m)

分枝孔 弯曲强度 度 i	0.1度/m	174.60	196.22	208.87	213.05
	0.3度/m	108.53	121.57	129.25	131.79
	0.5度/m	86.72	97.25	103.49	105.57
	0.7度/m	74.97	84.27	89.83	91.69
	0.9度/m	67.42	76.03	81.23	82.92
	1.1度/m	62.13	70.33	75.36	77.07

有棱分岔上弯下直型分枝定向钻孔的分岔点和长度 表 3

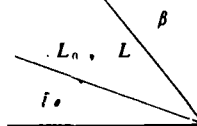
		主干孔遇层角 β			
		45	60	75	90°
分岔点位置 L_0 (m)					
分枝孔 弯曲强度 度 i	0.1度/m	266.47	255.00	253.33	261.59
	0.3度/m	333.83	322.35	320.69	328.95
	0.5度/m	347.30	335.82	334.16	342.42
	0.7度/m	353.07	341.60	339.93	348.19
	0.9度/m	356.28	344.80	343.14	351.40
	1.1度/m	358.32	346.85	345.18	353.44

分枝孔长度 L (m)

分枝孔 弯曲强度 度 i	0.1度/m	202.34	225.60	240.17	245.15
	0.3度/m	136.36	159.59	174.20	179.18
	0.5度/m	123.17	146.40	161.00	165.98
	0.7度/m	117.51	140.74	155.35	160.32
	0.9度/m	114.37	137.60	152.20	157.19
	1.1度/m	112.39	135.60	150.21	155.19

有棱分岔上弯下直型分枝定向钻孔的分岔点和长度

表 4

		主干孔遇层角 β			
		45	60	75	90°

分 岔 点 位 置 L_0 (m)					
分枝孔 弯曲强 度 i_0	0.1度/m	292.91	284.55	284.84	293.77
	0.3度/m	351.87	343.51	343.80	352.73
	0.5度/m	363.66	355.30	355.59	364.52
	0.7度/m	368.72	360.35	360.65	369.57
	0.9度/m	371.52	363.16	363.45	372.38
	1.1度/m	373.31	364.95	365.24	374.17

分 枝 孔 长 度 L (m)					
分枝孔 弯曲强 度 i_0	0.1度/m	175.92	196.25	209.04	213.40
	0.3度/m	118.96	139.30	152.08	156.44
	0.5度/m	107.57	127.91	140.69	145.05
	0.7度/m	102.69	123.03	135.18	140.17
	0.9度/m	99.98	120.31	133.10	137.46
	1.1度/m	98.25	118.59	131.37	135.73

从表中数据我们可以看出,在新研究的范围
内(对一般固体矿产钻探来说,这一范围具有足
够的代表性),不论是无楔分岔还是有楔分岔,
也不论是全弯型孔身剖面还是上弯下直型孔身剖
面,在主干孔遇层角一定的情况下,随着分枝孔
弯曲强度的增加,分岔点位置都要降低,分枝孔
长度都要减少。因此,要缩减定向钻探工作量,
应尽量采用较大的分枝孔弯曲强度。但是数据也
表明,当分枝孔为低弯强时($i_0 < 0.5$ 度/m),
弯强增加,分岔点降低和分枝孔长度减少的幅度
大;而当分枝孔为高弯强时($i_0 > 0.5$ 度/m),弯
强增加,分岔点降低和分枝孔长度减少的幅度小。
从这方面看,又不必追求过大的分枝孔弯强。

不论是无楔分岔还是有楔分岔,也不论是全
弯型孔身剖面还是上弯下直型孔身剖面,在分枝
孔弯曲强度一定的情况下,随着主干孔遇层角的
增大,分枝孔长度都要增加,而分岔点位置则受
到不一致的影响。对全弯型孔身剖面来说,主干
孔遇层角越大,分岔点越低(除 i_0 较小外);对
上弯下直型孔身剖面来说,主干孔遇层角 β 加分
枝孔全弯角 γ 等于 90° 时,分岔点位置最低,而

$\beta + \gamma > 90^\circ$ 时, $\beta + \gamma$ 的值越大,分岔点位置越高,
 $\beta + \gamma < 90^\circ$ 时, $\beta + \gamma$ 的值越小,分岔点也越高。
因此,在地质允许的情况下,为了得到较小的分
枝孔长度,通常不必采用过大的主干孔遇层角。

不论是无楔分岔还是有楔分岔,不论采用何
种分枝孔弯曲强度,何种主干孔遇层角,从数值
上看,全弯型孔身剖面的分枝孔长度都比上弯
下直型孔身剖面的小。但是,应当指出,全弯型孔
身剖面分枝孔全长都要造斜,全弯角 $\gamma = i_0 L$;
而上弯下直型孔身剖面仅在弯曲段才造斜,全弯
角 $\gamma = i_0 L_1$ 。通常全弯型孔身剖面全弯角大
些。如果造斜 1° 的费用特高的话,则采用上弯下
直型孔身剖面可能成本还要低些。如果造斜 1° 的
费用不高,而钻进直线段1m的费用特高,则采
用全弯型孔身剖面可能有利。

此外,从表中数据我们还可以看出,不论是
全弯型孔身剖面还是上弯下直型孔身剖面,有楔
分岔与无楔分岔相比,分岔点位置降低得更多,
分枝孔长度也减少得更多。因此,下偏心楔分岔
有利于减少打分枝孔的工作量。特别是在较硬的
岩层中下偏心楔更有好处,偏心楔会增加强制
造斜的作用,便于侧钻,形成分枝孔。但是,在分
岔处应避免超量的“狗腿”急弯。

同时,表中数据还明显表明,与无楔分岔相
比,上弯下直型孔身剖面采用有楔分岔比全弯型
孔身剖面采用有楔分岔能够节省更多的分岔孔进
尺。

通过上述分析比较,我们可以得到如下的一
些初步结论:

1. 设计分枝定向钻孔时我们应采用适当的孔
身弯曲强度。在保证钻杆柱安全工作和粗径钻具
顺利入孔的前提下尽可能取较大的分枝孔弯强。
而主干孔遇层角则不必过大。

2. 为了减少造斜工作量,在一般情况下采用
上弯下直型孔身剖面比全弯型孔身剖面更为有利。
但分枝孔弯曲段宜采用最佳弯角。

3. 为了缩短分枝孔进尺,有楔分岔比无楔分
岔更好。在硬岩中下偏心楔还便于侧钻。但要注
意避免分岔处产生过量的急弯。