

松软煤层穿层孔挠性钻具强造斜机理与过程研究

张福涛

(中国煤炭科工集团西安研究院有限公司, 陕西 西安 710077)

摘要:增加松软煤层穿层孔煤孔段的长度可以提高穿层孔单孔瓦斯抽采效果,利用挠性钻具组合施工煤孔段可以达到延长煤孔段的目的。本文建立了挠性钻具施工的力学模型,研究了强造斜的运动学特征,并提出了造斜过程的运动学曲线;根据力学模型及运动学特征,研究了强造斜钻进工艺,尽可能增加钻孔煤层钻遇率。

关键词:松软煤层;穿层孔;挠性钻具;造斜;瓦斯抽排

中图分类号:P634.7 文献标识码:A 文章编号:1672-7428(2017)10-0047-04

Study on Mechanism and Process of Strong Deflecting of Flexible Drilling Tools in Through Beds Hole of Soft Coal Seam/ZHANG Fu-tao (Xi'an Research Institute of China Coal Technology and Engineering Group, Xi'an Shaanxi 710077, China)

Abstract: Increasing the length of coal-bearing interval of through beds hole in soft coal seam coal can improve gas drainage effect of single hole, which can be realized by using the flexible drilling assembly. This paper presents the mechanical model of flexible drilling tools construction, makes the studies on the kinematics characteristics of strong deflection and puts forward the kinematics curve. According to the above, the strong deflecting drilling technology is researched to increase drilling rate in coal seam as far as possible.

Key words: soft coal seam; through beds hole; flexible drilling; deflecting; gas drainage

0 引言

穿层钻孔是一种用于治理松软煤层瓦斯问题的有效方法之一,被广泛应用于松软突出煤层的防突、消突治理^[1],穿层钻孔煤层钻遇率是影响单孔瓦斯抽采效果和区域瓦斯治理效果的关键参数。从20世纪90年代中期开始,专业技术人员设想在抽放瓦斯穿层孔的施工过程中使用受控定向钻进技术,使穿层孔中煤孔段发生弯曲,在岩石孔段长度基本不发生变化的前提下,增加其在煤层中的钻遇率,则可以减少工作量,节约成本,提高瓦斯抽放效率,缓解煤矿生产的被动局面^[2]。近20年来主要是利用稳定组合钻具来实现较强造斜钻进,2012年我公司研制了挠性钻杆及配套强造斜钻头、稳定器等组成强造斜挠性钻具组合,从钻具受力状态进行分析挠性钻具造斜机理,并研究造斜过程中的运动特征,进而总结出一套挠性钻具强造斜钻进工艺,改变钻孔轨迹,增加钻孔在煤层中的钻遇率,保障瓦斯抽采效果。

1 挠性钻具强造斜力学与运动学特征研究

1.1 力学分析

在钻进过程中,钻具组合在重力及给进力的作用下会发生弯曲变形^[3],钻柱与孔壁的接触点叫切点。挠性钻具受力情况如图1所示。下面取钻柱组合离钻头最近一个切点下面取切点A以前的钻柱段为研究对象,对其进行受力分析。钻柱受来自孔底的压力 P_a (给进力的反作用力),自身的重力 W ,孔壁施加给钻头的支持力 T ,假设钻头到第一个切点的钻柱长度无变化,将之间孔段假设为直线,钻柱的重力不变,A点力矩为0,可得以下方程:

$$T = \frac{1}{2} \left[LW \cos \theta - \frac{P_a (D_B - D_C)}{L} \right] \quad (1)$$

式中: L ——钻头到切点A的距离,m; W ——AB段钻杆线重力,N; θ ——钻孔倾角(与水平面的夹角),($^\circ$); D_B ——钻头的直径,m; D_C ——钻杆的直径,m。

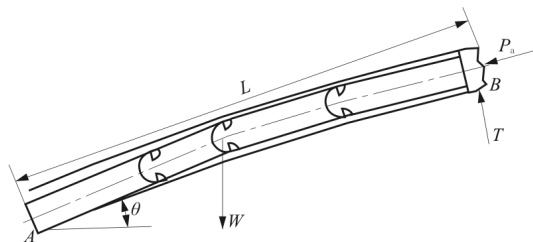


图1 挠性钻具受力示意图

孔壁施加给钻头的支持力即是钻头施加给地层造斜力 T_r 的反力。可见在给进力一定的情况下,造斜力仅与钻孔的倾角有关系,倾角越大造斜力越小,反之则越大。切点 A 的位置与给进压力和钻杆弹性模量 E 有关,在钻具材料一定的情况下,给进力越大则 A 点位置越靠近钻头, L 越小,由公式(1)可见,造斜力越小。

1.2 运动学分析

在钻进过程中,钻头运动合成情况如图2所示。将钻机给进速度限定为 V ,则钻具在往里切削运动过程中,运动轨迹上每一点的切线方向速度 V_i 恒为 V 。钻头在造斜力 T_r 作用下会切削下孔壁煤层,即运动轨迹上每一点的法向方向也有速度,用 V_{ii} 表示,法线速度与钻头转速、造斜力大小、煤的抗压强度有关系,法线速度可表示为:

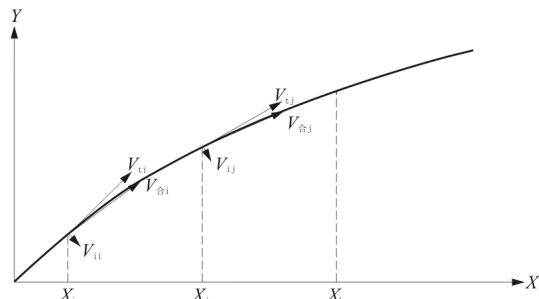


图2 钻头运动合成示意图

$$V_{ii} = \frac{knT}{\sigma} = \frac{kn}{2L\sigma} [L^2 W \cos\theta - P_a(D_B - D_C)] \quad (2)$$

式中: k ——系数,无量纲; n ——钻头转速, r/\min ; σ ——煤的抗压强度, Pa 。

由图2可看出,钻孔运动轨迹曲线上每点的运动方向都不同,即钻孔轨迹每一点的斜率都在变化。由于挠性钻杆是由多个挠性接头连接而成,由于挠性接头的角度变化远大于钻具材料本身的弯曲度,可将每两个挠性接头之间的杆体看作是刚性材料,将两个挠性接头之间距离设为 e ,可将钻孔运动轨迹视为有限个长度为 e 的直线段连接而成。对单个长度为 e (图2中第一个点) 的直孔段进行分析:

$$V_{\text{合}i} = V_{ii} + V_i \quad (3)$$

倾角变化量:

$$\Delta\theta = -\text{actan} \frac{kn}{2VL\sigma} [L^2 W \cos\theta - P_a(D_B - D_C)] \quad (4)$$

由公式(4),通过改变钻进工艺参数可以增大或减小倾角变化量。当给进压力、给进速度、转速及

地层一定的情况下,倾角大于0时倾角越小, $|\Delta\theta|$ 越大;当倾角小于0时,倾角越小, $|\Delta\theta|$ 越小;当倾角等于0时, $|\Delta\theta|$ 达到最大值。

$$|\Delta\theta|_{\max} = \left| \text{actan} \frac{kn}{2VL\sigma} [L^2 W - P_a(D_B - D_C)] \right| \quad (5)$$

1.3 运动曲线

挠性接头由于采用蘑菇瓣状切口且切口有一定的缝隙^[4-7],存在着最大弯曲角度 θ_m ,即存在最大曲率^[8]。因此对于一定倾角的孔段并不能根据调整钻进工艺来获得任意倾角变化值,即倾角变化值不可能大于挠性接头的最大弯曲角度。

钻进工艺参数一定的情况下, $|\Delta\theta|$ 并不一定会随倾角减小而一直增大:当 $|\text{actan}[(kn/(2VL\sigma))][L^2 W - P_a(D_B - D_C)]| < \theta_m$ 时, $|\Delta\theta|$ 随倾角减小一直在增大但小于 θ_m ,则钻头运动轨迹为图3中的a类曲线(抛物线);当 $|\text{actan}[(kn/(2VL\sigma))][L^2 W - P_a(D_B - D_C)]| \geq \theta_m$ 时,钻头运动曲线为图3中的b类曲线,倾角在减小过程中,存在临界点 A 及 B ,使得 $|\Delta\theta|_{\max} = \theta_m$, AB 之间钻杆在按最大弯曲角度进行运动, AB 为一段圆弧, $R = e/[2\sin(\theta/2)]$,当超过 B 点时,运动轨迹为一段斜率不断增大的抛物线;如果钻头在入煤时的造斜率即达到了挠性接头的最大值,则其运动轨迹开始就为圆弧,当倾角为 -90° 时,可将其视为竖直钻进,不考虑地层造斜等因素理论上应为直线,见图3中的c类曲线。

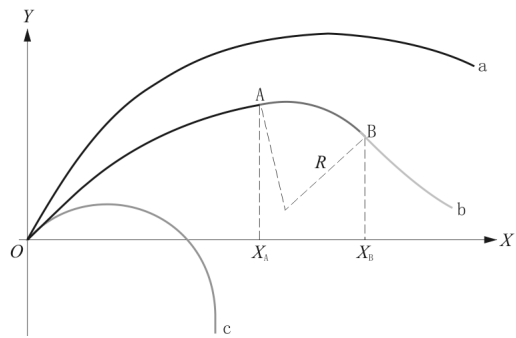


图3 钻头运动的理论曲线图(视全部在均质煤层中)

2 造斜钻进工艺研究

改变钻进工艺可以改变造斜率及造斜过程中的钻头运动曲线,钻头运动曲线类型的选择主要根据钻遇煤层时的遇层角、钻遇煤层的力学性质等确定。钻头从岩层钻到煤层时的遇层角^[9]为:

$$\delta = \arcsin \frac{\tan\theta_1 \sin\alpha \cos\theta + \tan\theta_2 \cos\alpha \cos\theta + \sin\theta}{\sqrt{\tan\theta_1^2 + \tan\theta_2^2 + 1}} \quad (6)$$

式中: θ_1 ——煤层倾向角度; θ_2 ——煤层走向角度; α ——钻孔轴线与钻场中线(勘探线)夹角,向左为负,向右为正; θ ——钻孔倾角。

(1)当遇层角较大时,如果钻孔倾角下降较慢则钻头很快钻至煤层顶板岩层中,因此通过控制钻进参数控制钻头运动曲线为 c 类(见图 4)。根据公式(4)可采取“降低给进速度、增加转速、减小给进压力”的方式控制。

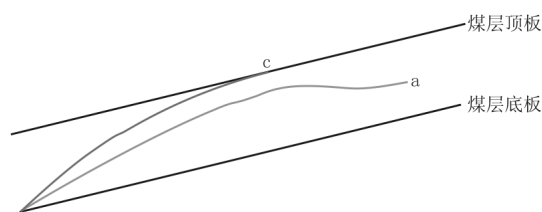


图 4 钻进过程示意图

(2)当遇层角较小时,钻头运动曲线宜采用 a

类曲线(见图 4),钻孔倾角不易下降太快。采用 a 类曲线让钻孔倾角降至和煤层倾角相同时需再次改变钻进参数,改用“大给进压力、大给进速度、降低转速”等方式控制曲线类型,使其见底板位置尽可能滞后。

(3)当煤层局部有夹矸、矿石等地质异常时,可由 a 类曲线调整为 b 类曲线,方式为“降低给进速度、增加转速、减小给进压力”,减少异常层位孔段,同时通过钻进参数的控制使挠性钻具受力变小,钻具施工安全性也得以提高。

3 现场应用

3.1 地质概况

在淮南潘一东矿 1231(1)运顺底板巷中进行试验,目标煤层为 11-2 号煤,煤层厚度 1.8 m,瓦斯压力 1.8 MPa,瓦斯含量 11.62 m³/t。煤层顶底板地质情况见表 1。

3.2 保直钻进

表 1 煤层顶底板概况

顶板名称	岩石名称	厚度/m	岩性特征
老顶	砂质泥岩	10.18 ~ 18.2 14.65	深灰色,砂泥质结构,含砂质不均匀,局部为中细砂岩和泥岩
直接顶	11-3 煤	0.29 ~ 0.93 0.46	黑色,粉末状,含少量块状,灰分较大,煤质较差
	砂质泥岩泥岩	3.52 ~ 8.52 5.96	灰—深灰色,砂泥质结构,裂隙发育,局部为细砂岩
伪顶			
直接底	泥岩及 11-1 煤	1.35 ~ 10.98 4.14	灰色,泥质结构,夹有较多植物化石碎片,底部多含 0.54 m 煤线。黑色,发育不稳定,局部为炭质泥岩
老底	砂质泥岩	3.07	灰—深灰色,砂泥质结构,参差状断口,局部为中细砂岩及泥岩

3.2.1 钻孔开孔

根据钻孔开孔设计参数(倾角、方位角)稳固钻机,采用回转钻进工艺钻进开孔。钻具组合:Ø113 mm PDC 内凹钻头 + Ø73 mm 钻杆。

3.2.2 岩石孔段

岩石孔段都采用保直钻进技术^[10-12],即利用保直效果好的内凹支柱型 PDC 钻头来控制钻孔钻进轨迹,使钻孔尽量保持设计参数(倾角、方位角)。

钻具组合:Ø113 mm 内凹支柱型 PDC 钻头 + Ø73 mm 外平钻杆。

钻进参数:供水量 < 200 L/min;水压为 2 ~ 4.5 MPa。冲洗介质:清水。

3.3 强造斜钻进

3.3.1 下专用造斜钻具

钻孔钻至目标煤层停止钻进,冲净孔内钻渣后提钻,连接造斜钻头 + 专用造斜挠性钻杆 + 普通钻杆,从孔口下入造斜钻具至孔底见煤点,并记录开始造斜钻进给进压力值,观察钻进及返渣情况。

3.3.2 钻进情况

由于煤层较薄,钻具弯曲需要的空间受限,加之钻孔遇层角比较大,由表 2 可见最小的遇层角大于 30°,若按保直钻进计算煤孔段最多延伸 3.6 m,所以将钻头运动曲线类型控制为 c 类,尽可能让挠性钻具在钻进过程中达到自身最大弯曲角度。

经过试验验证,效果最好的钻孔(1-3 号孔)煤孔段比直钻杆施工设计的煤孔段延长 8 m(图 5),

表2 设计钻孔的遇层角 (°)

孔号	方位 α	倾角 θ	遇层角 β	孔号	方位 α	倾角 θ	遇层角 β
1	21.4	30.1	33.4	11	13.5	40.7	43.8
2	30.3	37.8	41.3	12	23.3	56.1	59.6
3	46.5	48.6	52.3	13	65.2	74.0	77.8
4	79.3	57.4	60.5	14	144.9	65.8	65.2
5	119.7	53.2	54.2	15	3.1	35.6	38.3
6	18.3	34.6	37.9	16	4.9	48.6	51.4
7	27.9	45.6	49.1	17	11.3	69.4	72.6
8	51.1	60.0	63.8	18	149.2	81.9	81.1
9	105.2	64.5	66.3	19	-4.1	31.1	33.5
10	9.1	31.2	34.1	20	-6.1	40.9	43.2

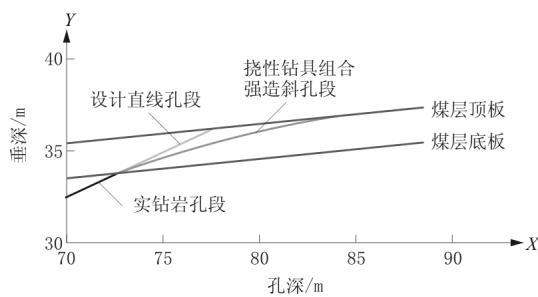


图5 1-3号孔轨迹图

延长率达到145%,3个40°~60°倾角的钻孔中延伸率为41%、67%、54%,在施工20个20°~40°倾角的钻孔中,造斜段深度为设计直线孔段的2.1~2.2倍所占比例最高,占34%(图6)^[13-15]。

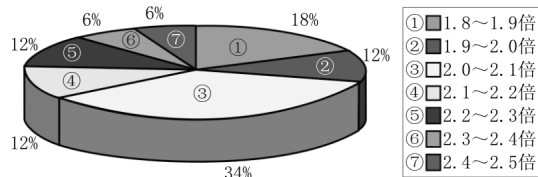


图6 20个20°~40°倾角的钻孔煤孔段延伸率统计图

4 结论

(1) 挠性钻具造斜力与给进压力、钻孔倾角、钻杆弹性模量有关。

(2) 挠性钻具造斜过程中钻头运动曲线可以分

为“抛物线”、“抛物线+圆弧+抛物线”、“圆弧”三种类型,通过控制钻进参数可以调整挠性钻具的造斜强度,进而可以改变钻头的运动曲线类型。

(3) 根据钻孔钻遇煤层时的遇层角及钻遇地层力学性质调整钻进参数,改变钻头运动曲线类型,尽可能延伸煤孔段的长度。

参考文献:

- [1] 石智军. 煤矿井下瓦斯抽采(放)钻孔施工技术[C]//《煤炭科学技术》杂志社,《煤炭学报》编辑部,国家安全生产专家组煤矿组. 煤矿安全工程实用技术新进展. 2008.
- [2] 郝世俊,石智军,叶根飞,等. 抽放瓦斯弯曲钻孔施工技术[J]. 煤炭科学技术,2002,(5):13-16.
- [3] 刘景顺,腾振兴. 煤矿瓦斯抽放钻孔轨迹控制的理论探讨[J]. 煤矿安全,1995,(7):27-34.
- [4] 庞国强. 地质勘探用蛇骨钻杆的设计及应用[J]. 煤炭工程,2015,47(11):81-82.
- [5] 梁政,袁祥忠. 关于挠性轴计算问题的讨论[J]. 石油学报,1986,(3):83-95.
- [6] 韩伟,董建荣,相磊,等. 矿用挠性钻杆的应用与钻进工艺研究[J]. 煤炭技术,2015,34(7):276-278.
- [7] 梁元灏,于峰,陈晓琳,等. 挠性钻杆的研制[J]. 探矿工程,2001,(1):27-34.
- [8] 王力. 井下瓦斯抽采穿层孔短半径钻进曲率半径计算[J]. 煤炭科学技术,2015,43(S1):93-95,145.
- [9] 徐保龙,魏宏超,金新,等. 遇层角法在瓦斯抽采定向钻孔中的计算与应用[J]. 煤炭工程,2013,(9):91-95.
- [10] 姬乃强,王力,马沈岐. 某煤矿井下穿层孔保直钻进技术措施[J]. 西部探矿工程,2012,24(10):88-89.
- [11] 王力. 煤矿井下保直钻进技术及应用[J]. 山西建筑,2011,37(9):104-105.
- [12] 马沈岐. 松软煤层风力钻进工艺[J]. 探矿工程(岩土钻掘工程),2010,37(11):25-28.
- [13] 徐保龙. 旋转钻进技术与装备改进[R]. 陕西西安:中煤科工集团西安研究院有限公司,2012.
- [14] 孙新胜. 松软煤层穿层孔抽放瓦斯弯曲钻孔施工技术[J]. 煤矿安全,2014,45(7):45-47.
- [15] 童碧,孙新胜,王力,等. 穿层钻孔煤孔段造斜钻进技术研究[J]. 探矿工程(岩土钻掘工程),2013,40(S1):124-126.