

煤矿井下超前探小直径定向钻进装备及应用

李 栋

(山西兰花科技创业股份有限公司唐安煤矿分公司)

摘 要:为了解决巷道掘进头较长距离超前精准探测的问题以及达到探查钻孔孔径不大于75mm的要求,开发了窄体履带式定向钻机及小直径定向钻进成套钻具。通过流体力学计算优化了小直径螺旋通缆钻杆内部结构,选配了针对复杂地层的小直径螺杆钻具。在大阳煤矿3307工作面探水巷进行了现场试用:一期在探水巷1400m和1530m处,施工4个钻孔,最大孔深111m,总进尺493.5m,2#孔出水400方;二期在探水巷1600m处,施工7个钻孔,最大孔深222m,总进尺1606.5m。试用结果表明小直径定向钻进装备能够满足巷道超前精准探测的要求。

关键词:超前探;小直径;窄体履带;定向钻进

0 引 言

为了保障巷道的安全掘进,在掘进前需要对巷道前方一定范围内的地质构造、含水和瓦斯性等进行探查。探查方式包括物探和钻探等手段,而钻探手段仍然是最有效的探查方式^[1-4]。普通回转钻进由于无法控制钻孔轨迹易导致探查盲区的出现,影响超前探查准确度,为后期巷道掘进留下安全隐患。定向钻孔由于轨迹精准可控,在瓦斯抽采、防治水领域逐步得到广泛应用,但是现有定向钻进装备尺寸较大难以适应巷道掘进迎头的狭窄环境^[5-6]。

另外,煤矿防治水规程要求探放水钻孔终孔直径一般不大于75mm,而现有定向钻孔孔径最小为96mm。为此,开发和选配了小直径定向钻具用来实现小直径超前探查定向钻孔的施工,探明掘进迎头前方区域地质构造情况,为后续巷道掘进提供地质保障。

1 超前探要求分析

1.1 钻机尺寸要求

如图1所示,巷道掘进头前方布置有掘进机、刮板机、风筒等设备,定向钻机施工时需要从剩余狭窄

通道内通过,传统的定向钻机宽度一般大于1.2m,由于尺寸较大难以满足空间要求,因此要选型尺寸较为狭窄的定向钻机^[7-8]。同时钻探和掘进有时需要交替进行,需要便于搬迁,因此钻机须为履带式钻机。



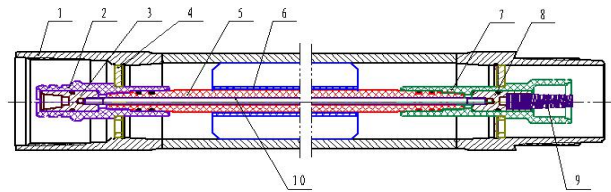
图1 井下巷道掘进迎头照片

1.2 钻具

超前探测主要是为了探明前方断层、陷落柱等地质异常区域的范围、参数、含水性等,终孔直径一般不大于75mm,这就限制了钻具的外径。地质异常区域地层不稳定,容易塌孔、掉块,因此需要异型外形的钻具回转扰动,以便促进大颗粒钻渣的排出从而达到减少卡钻、提高成孔率的目的。

钻杆直径越小内孔越小,产生的流动阻力就会越大。目前市场上有两种随钻测量钻杆:一种是通缆式钻杆,依靠孔口供电实现随钻测量;一种是通孔式钻杆,依靠泥浆脉冲或电磁波进行信号传输,而泥浆脉冲测量系统最小外径为73mm,无法满足小直径钻进的需要,电磁波测量系统做小后电磁容量低,很难长时间使用。因此,钻杆选择需要考虑使用通缆型式,钻头外径75mm,为了满足返渣要求,钻杆外径不能大于65mm,同时考虑地质构造区域成孔要求,钻杆外表面需要加工至少3mm深的螺旋槽,对于内孔的限制非常苛刻。如图2所示,动力介质流经通缆钻杆是会在定位挡圈位置产生局部压力损失,在

线管与外管内壁产生沿层压力损失,因此需要优化挡圈结构,使得总体压力损失控制在允许范围内。



1—钻杆体;2—塑料公接头;3—锥接头;4—定位挡圈;5—线管;6—稳定器;7—塑料母接头;8—柱接头;9—变径弹簧;10—导线

图2 中心通缆式钻杆结构图

1.3 钻头

图3所示的为常规定向钻头的结构,端面为平底结构,便于提高碎岩稳定性以及开分支成功率^[9]。后端为宽翼片提高造斜稳定性,但是这种钻头对于复杂地层有局限性,大颗粒钻渣不容易返出来,易造成憋泵、卡钻等事故。对于超前探测异常区域的具体工况要求尤其局限性,应从优化过流通道、提高返渣空间等方面进行优化。



图3 定向钻头照片

2 设备选型与研制

2.1 钻机

钻机采用中煤科工集团西安研究院改制的ZDY4000LD(C)钻机(见图4),具有结构紧凑、宽度窄的特点,宽度仅为0.95m,能够满足狭窄巷道掘进

迎头尺寸要求。结构采用T字型,能够跨皮带向两帮进行施工。其具体参数见表1。

表1 ZDY4000LD(C)钻机参数

额定转矩/ Nm	4000 ~ 1050
额定转速/ r/min	60 ~ 210
制动扭矩/ Nm	1000
主轴倾角/°	-90 ~ +90
方位角/°	-90 ~ +90
开孔高度/ mm	1250 ~ 1900
额定给进/起拔力/ kN	70/102
给进/起拔行程/ mm	600
电机功率/ kW	55
最大行走速度/ km/h	2
最大爬坡能力/°	15
整机质量/ kg	约7700
整机外形尺寸/m	3.90 × 0.95 × 2.0



图4 ZDY4000LD(C)钻机示意图

2.2 小直径螺旋通缆钻杆

根据返渣需要,考虑管材规格,钻杆的外径选择63.5mm,长度1.5m/根,外圆铣3mm深螺旋槽,钻杆杆体外径只剩下57.5mm,因此优化挡圈流道非常重要。

挡圈流道的直径和长度是影响局部压力的重要参数,局部过流面积突然变小的局部水力损失为^[10]:

$$h_z = \frac{V_1^2}{4g} \left(1 - \frac{A_2}{A_1}\right) \quad (1)$$

式中: V_1 表示缸体上腔流速,m/s; A_1 表示通缆接头与钻杆接头内壁, m^2 ; A_2 表示挡圈流道面积, m^2 。

活塞孔道内的沿程水力损失为:

$$h_f = \lambda \frac{l}{d_2} \frac{V_2^2}{2g} \quad (2)$$

式中: l 表示挡圈流道长度,m; d_2 表示流道等效直径,m; V_2 表示挡圈孔道内流速,m/s; λ 表示沿程阻力系数,和雷诺数有关。

挡圈总的水力损失为:

$$h_w = \frac{10^{-6}}{3600} \times \left[\frac{4Q^2}{g\pi^2 d_1^4} \left(1 - \frac{d_2^2}{d_1^2}\right) + \frac{8\lambda l Q^2}{g\pi^2 d_2^5} \right] \quad (3)$$

式中: Q 表示流量,L/min。

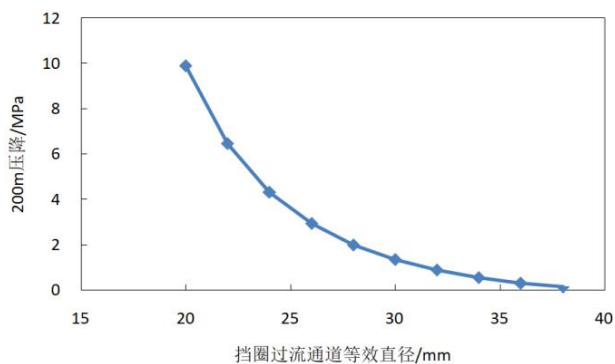


图5 200m 钻孔挡圈压力损失

由图5可知,钻杆挡圈等效流道直径大于26mm以上能够降压力损失降低到3MPa以下,考虑孔底马达工作压力需要2MPa,而泥浆泵流量在260L/min左右时最大压力大于6MPa,能够满足200m以上超前探定向钻孔钻进需要。

2.3 小直径螺旋通缆钻杆

选配φ65mm的螺杆马达,可满足75mm直径钻孔的钻进需要。并加工有4mm深的多头螺旋,用于在复杂地层时提高排粉效率,其工作最大扭矩大于

150N.m。



图6 $\phi 65\text{mm}$ 小直径螺杆马达

2.4 高切削刀翼定向钻头

对于复杂地层大颗粒钻渣不容易返出来,易造成憋泵、卡钻等事故,保证定向钻头孔底平稳的设计状态原则下,如图7.a所示,加大切削翼片伸出的宽度,提高大颗粒钻渣的通过性。如图7.b所示,为了减少复杂地层下憋泵概率,将钻头刀翼前置一端距离,减少钻头水眼被堵住的风险。



a. 钻头底面照片 b. 钻头侧面照片

图7 $\phi 75\text{mm}$ 定向钻头照片

3 现场应用

3.1 地质条件与施工目的

如图8所示,大阳矿3307工作面陷落柱分布较多。三维地震资料显示X081(长度为267m,宽度平均为100m)。试验目的:探测X081陷落柱实际边界。煤质条件:3#煤层平均煤厚5.8m,局部含层0~0.2m厚夹矸,煤质碎软。

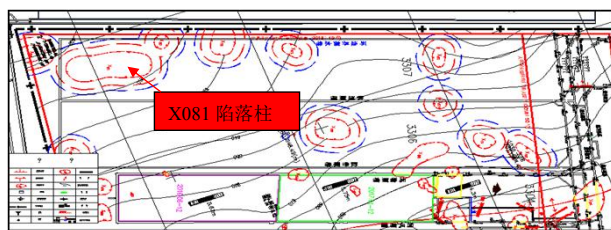


图8 3307工作面平面布置图

3.2 施工情况

一期试验共两个钻场,1#钻场位于环边界探水巷1400m处,2#钻场位于环边界探水巷1550m处。二期试验共1个钻场,即3#钻场。

1#钻场位于环边界探水巷1400m处,共施工2个钻孔,其中1#孔孔深111m,探至煤层底板终孔;2#孔孔深78m,因钻孔出水,返水乳白色,初始出水量约 $25\text{m}^3/\text{h}$,后逐步减小,放水两天;放水结束后终孔。

2#钻场位于环边界探水巷1550m处,共施工2个钻孔,其中1#孔孔深105m,钻进至煤层顶板(76m-105m 矸);1-1#分支孔孔深105m,全煤,孔内塌孔;1-2#分支孔孔深102m,马达故障施工困难终孔。2#孔孔深97.5m,全煤塌孔,因钻机误加入AB胶维修钻机,后因塌孔施工困难而终孔。

3#钻场位于环边界探水巷切眼处,共施工7个钻孔,3-1钻孔孔深106.5m,塌孔;在42m开分支后,施工至孔深75m;在5月28日零点班接班开钻时,因开关发生击穿着火而被迫停钻。经过协调落实安全保障措施后,窄体定向钻机试验重新启动,地点位于3#钻场。从10月17日开始至11月26日,共施工7个钻孔,满足要求,孔深大于200m。其中3-1钻孔孔深204m;3-2钻孔孔深201m;3-3钻孔孔深222m;3-4钻孔孔深213m;3-5钻孔孔深210m;3-6钻孔孔深210m;3-7钻孔孔深207m。

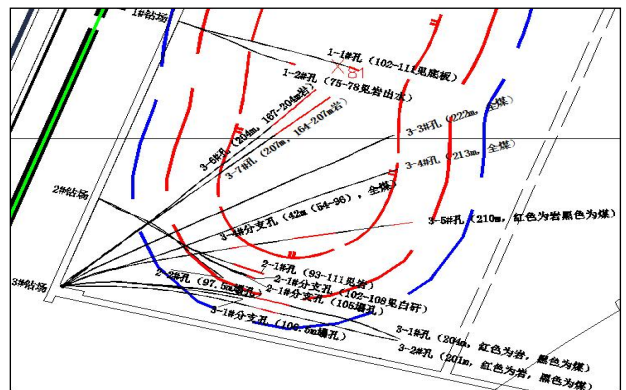


图9 施工钻孔平面布置图

3.3 施工总结

一期在探水巷 1400m 和 1530m 处,施工 4 个钻孔,最大孔深 111m,总进尺 493.5m,2#孔出水 400 方;二期在探水巷 1600m 处,施工 7 个钻孔,最大孔深 222m,总进尺 1606.5m。基本探明了 X081 陷落柱实际边界。且证明了该成套装备能够满足复杂地层下超前探查 200m 以上的能力。

4 结 语

(1)井下超前探钻机应该具备结构紧凑、车体狭窄等特点,同时在结构上能够,满足巷道迎头和侧帮定向钻孔施工的要求。

(2)小直径定向钻进钻具应重点考虑压力损失,否则会因动力不足造成钻孔孔深达不到要求,另外处理事故时水动力窗口不足造成卡钻、掉钻等事故。

(3)超前探测一般应对的是复杂地层,钻具需要特殊螺旋结构用来辅助排渣,提高过破碎地层能力;钻头通过扩大过流面积提高大颗粒钻渣的返排通过性,通过前置刀翼减少钻头被堵风险性。

(4)在大阳煤矿 3307 工作面探水巷进行了小直径定向钻进装备的现场试用:一期在探水巷 1400m 和 1530m 处,施工 4 个钻孔,最大孔深 111m,总进尺 493.5m,2#孔出水 400 方;二期在探水巷 1600m 处,施工 7 个钻孔,最大孔深 222m,总进尺 1606.5m。试

用结果表明小直径定向钻进装备能够满足巷道超前精准探测的要求。

参考文献:

- [1] 张平松,李永盛,胡雄武.坑道掘进瞬变电磁超前探水技术应用分析[J].岩土力学,2012,033(009):2749-2753.
- [2] 贾国盛.3104 盘区回风巷超前探设计[J].能源与节能,2018,000(012):44-45.
- [3] 祁伟.超前钻探法在隧道超前地质预报中的应用研究[D].
- [4] 马新平,刘金国.基于软岩条件大水矿井超前探查与钻探施工技术[C]//中国煤炭学会钻探工程专业委员会 2018 年钻探工程学术研讨会.0.
- [5] 王志红.煤矿定向钻进随钻测量软件优化设计[J].煤矿机械,2019(4):7-10.
- [6] 刘亦洋.窄体式双转盘变幅履带钻机试验研究[J].煤矿机械,2019,040(008):47-49.
- [7] 刘亦洋,宋海涛,石璐.窄体式双转盘履带钻机关键技术研究[J].煤矿机械,2019(7):41-42.
- [8] 方鹏,姚克,邵俊杰,等.履带式中深孔定向钻进装备设计关键技术研究[J].煤炭科学技术,2018,046(004):71-75,87.
- [9] 刘刚,李锁智.煤矿井下定向长钻孔用新型 PDC 扩孔钻头的研制及应用[J].煤矿机械,2015,36(10):218-220.
- [10] 徐保龙,姚宁平,王力,等.煤矿井下硬岩定向钻进孔底水力加压技术[J].煤田地质与勘探,2019,47(02):35-39+47.

(上接第 6 页) 学报,2016,38(S2):286-292.

[5] 钱鸣高,张顶立,黎良杰,等.砌体梁的“S-R”稳定及其应用[J].矿山压力与顶板管理,1994,(3):6-11,80.

[6] 杨登峰,张凌凡,柴茂,等.基于断裂力学的特厚煤层综放开采顶板破断规律研究[J].岩土力学,2016,37(7):2033-2039.

[7] 周金龙,黄庆享.浅埋大采高工作面顶板关键层结构稳定性分析[J].岩石力学与工程学报,2019,38(7):1396-

1407.

[8] 张英卓,马宏伟,亚森江,等.浅埋软顶综采面矿压规律与支架适应性分析[J].煤炭工程,2015,47(12):55-58.

[9] 李传明.掩护式支架的支撑效率与支护高度的关系[J].煤矿机械,1998,(4):15-17.

[10] 唐忠亮,黄凯,沈莹.极复杂条件下伪俯斜综采支架回撤技术[J].煤炭科学技术,2015,43(S1):10-12.