

# 随钻测量定向钻进技术在矿井顶板水患治理中的应用研究

曹主军

(神华宁夏煤业集团有限责任公司, 宁夏 银川 750011)

**摘要:**西北侏罗系顶板裂隙水害是我国煤矿水害主要类型之一,严重影响了矿井的正常生产,并构成了安全隐患。提出采用随钻测量定向钻进技术施工定向长钻孔进行顶板水探放的治理方案,并对钻进成孔工艺和钻探装备进行了选配。选择红柳煤层 3121 工作面进行了现场应用,施工的定向长钻孔终孔平均出水量是相邻工作面常规钻孔的 2.69 倍,相同疏放周期时放水量是常规钻孔的 41.5 倍,成功对 2 个顶板含水层进行探放并达到安全开采要求,起到超前长距离区域探放顶板水的效果,同时可节约 78% 工期。现场应用情况表明,随钻测量定向钻进技术在顶板水害防治中具有广阔的应用前景,可为类似矿井提供参考。

**关键词:**顶板水;定向长钻孔;随钻测量定向钻进

**中图分类号:**P634.7 **文献标识码:**A **文章编号:**1672-7428(2015)02-0023-05

**Application Research on Directional Drilling with MWD in Roof Water Control/CAO Zhu-jun** (Shenhua Ningxia Coal Industry Group, Yinchuan Ningxia 750011, China)

**Abstract:** Northwest Jurassic roof cracks water is the main type of water disaster of coal mine in China, the roof water seriously influences the normal production and causes hidden dangers for safety. The control scheme of roof water drainage by long directional borehole was put forward by directional drilling technology with MWD to solve this problem, and the drilling technology and drilling equipments have been matched. The test has implemented smoothly in 3121 working face of Hongliu mine, which shows the average water discharging amount of the long directional borehole is 2.69 times of that of the conventional borehole in adjacent working face, the discharging amount is 41.5 times of that of the conventional borehole in the same discharging cycle. Drainage was simultaneously carried out in 2 roof aquifers, the safe mining requirements are achieved with drainage effect in the advance long distance regions and 78% construction period being saved. The practice proves that directional drilling with MWD has broad application prospect in the roof water control.

**Key words:** roof water; directional long borehole; directional drilling with MWD

## 0 引言

煤矿水害是我国煤矿主要 5 种自然灾害之一,其破坏性巨大,给煤矿安全生产带来了很大隐患和损失<sup>[1-2]</sup>,其中顶板水害是我国煤矿水害的主要类型之一。神华宁夏煤业集团有限责任公司所在地区是我国西北侏罗系裂隙水害代表区域,部分矿井水害已严重影响到正常开采,尤其是宁东鸳鸯湖矿区、马家滩矿区新建矿井。红柳煤矿即位于宁煤集团所辖的鸳鸯湖矿区,主要受直罗组砂岩含水层危害,是该区顶板水害的代表。

采用钻孔对顶板水提前进行探放是避免顶板水害事故发生的有效途径之一,矿方目前主要通过常

规钻机在井下巷道或石门中向顶板直罗组砂岩含水层施工大角度仰角钻孔提前疏放顶板水的传统工艺方法。但是由于井下常规钻机能力偏小,施工的钻孔长度短,且井下常规钻孔只有在开采巷道形成后方能进行施工,疏放水时间有限,无法实现超前区域顶板水探放,不利于矿井扩大生产规模的长远规划要求<sup>[3-7]</sup>。

为了探索宁东各矿井效果最佳的顶板水防治技术手段和技术路线,提出将成功应用于煤矿井下瓦斯抽采随钻测量定向钻进技术引入到矿井顶板水治理领域,研究采用随钻测量定向钻进技术施工定向长钻孔进行顶板水探放的可行性和具体技术方案。

收稿日期:2014-12-08

基金项目:陕西省 2014 年科技统筹创新工程计划项目“煤矿井下隐蔽致灾地质因素定向钻进探查技术研究”(编号:2014KTCL03-14)

作者简介:曹主军,男,汉族,1972 年生,副总经理,高级工程师,从事煤田地质与水文地质工作,宁夏银川市金凤区北京中路 168 号 B 楼,2825149148@qq.com。

通过对红柳煤矿 3121 工作面顶板水探放定向长钻孔钻进试验和探放水效果考察,证明定向长钻孔起到了很好的顶板探放水效果,在顶板水害防治中具有广阔应用前景。

## 1 随钻测量定向钻进用于探放顶板水的技术

### 1.1 技术原理

采用随钻测量定向钻进技术施工定向长钻孔探放顶板水时,以先进的随钻测控技术为依托,通过对实钻钻孔轨迹的实时测量和精确控制,保证定向长钻孔沿目的顶板含水层延伸,钻孔成孔后用于顶板水疏放;此外可进行分支孔施工,提高钻孔覆盖面积和疏放效果,从而减少水害发生概率。定向长钻孔探放顶板水原理如图 1 所示。

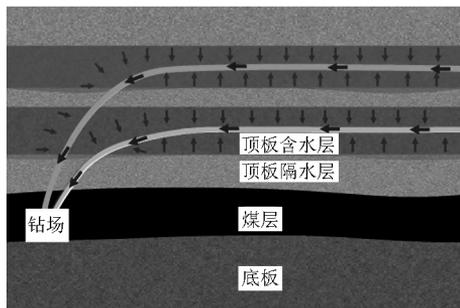


图 1 定向长钻孔探放顶板水原理图

随钻测量定向钻进技术实现原理:利用具有大机身调角范围和主轴抱紧功能的定向钻机夹紧由螺杆马达、下无磁钻杆、孔内随钻测量仪器、上无磁钻杆和通缆钻杆等组成的孔内定向钻具,通过正转孔口钻具(钻杆柱)来调整螺杆马达的工具面向角,使其朝向预定方向,然后螺杆马达以高压冲洗液作为传递动力介质进行孔底局部回转钻进,从而控制钻孔的倾角和方位,达到定向钻进的目的<sup>[8-9,12]</sup>。在采用螺杆马达定向钻进过程中,将由孔口防爆计算机供电并控制工作的防爆测量探管连接固定在螺杆马达后的无磁钻杆内,负责采集钻孔倾角、方位角、工具面向角等数据,并通过通缆钻杆组成的有线信号传输通道,将数据发送到孔口防爆计算机上,由安装在其内的测量软件进行数据处理和显示,供施工人员轨迹调整参考。

### 1.2 钻孔成孔技术

采用随钻测量定向钻进技术施工顶板水探放定向长钻孔探放水的钻进成孔工艺流程见图 2。首先采用回转钻进方式施工套管段先导孔;然后更换扩

孔钻头进行扩孔钻进至孔底;扩孔完成后下入套管并固管;套管试压合格,再使用螺杆马达随钻测量定向钻进完成定向造斜段和稳斜段施工,使钻孔按设计轨迹在目的顶板含水层层中延伸直至达到设计要求。

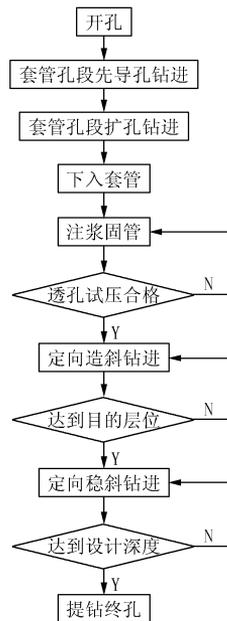


图 2 顶板水探放定向长钻孔施工工艺流程

### 1.3 钻探装备

#### 1.3.1 定向钻机

由于顶板水一般位置较高,且钻进地层为岩层,因此需要大角度施工钻孔,且钻机性能要求较高。选择中煤科工集团西安研究院有限公司生产的 ZDY6000LD 型履带式全液压钻机,该钻机额定扭矩达到  $6 \text{ kN} \cdot \text{m}$ ,起拔能力达到  $180 \text{ kN}$ ,钻进能力强,可满足回转钻进和定向钻进 2 种工艺方法<sup>[10]</sup>。此外该钻机设计了主机调角装置和辅助稳固装置,可实现  $-30^\circ \sim 40^\circ$  倾角钻孔开孔,满足大倾角顶板钻孔施工需要。

#### 1.3.2 随钻测量装置

顶板水探放定向孔钻进时,钻杆与钻孔环状间隙及钻杆内均会出现高压大流量涌水,严重影响随钻测量信号传输效果,综合考虑后选用中煤科工集团西安研究院有限公司生产的 YHD2-1000(A) 型随钻测量装置作为随钻监测仪器(见图 3)。该装置由防爆计算机、防爆键盘、防爆数据存储器 and 探管等 4 部分组成,采用防爆计算机为防爆测量探管供电,可长时间连续工作,故障率低,使用和维护费用低;

采用信号载波传输技术,加大传输信号强度,提高了数据传输抗干扰能力和信号传输距离,且工作稳定可靠<sup>[11]</sup>。



图3 YHD2-1000(A)型随钻测量装置实物图

### 1.3.3 螺杆马达

目前本煤层瓦斯抽采钻孔选用  $\varnothing 73$  mm ( $1.25^\circ$ ) 三级螺杆马达进行钻进,但其输出扭矩仅有  $200\text{ N}\cdot\text{m}$  左右,无法满足顶板岩石孔钻进需要。通过考察调研和性能分析,选用  $\varnothing 73$  mm ( $1.25^\circ$ ) 四级螺杆马达作为定向钻进和侧钻开分支孔的动力钻具。螺杆马达技术参数为:头数 5:6,长度 3.2 m,质量 74 kg,排量 189~378 L/min,转速 160~375 r/min,输出扭矩  $447\text{ N}\cdot\text{m}$ ,最大钻压 27 kN,最大压降 3.74 MPa。

### 1.3.4 配套钻具

通过增加钻头 PDC 片个数、保径宽度和布齿形态,开发了适用于硬岩钻进的长寿命胎体式 PDC 钻头;选用大挠度通缆钻杆,确保通缆钻杆的弯曲能力满足实钻轨迹调整需要;选配通缆式单向阀,其既可以传递测量信号,还可以起到单向液流控制作用,避免上仰钻孔施工时,钻杆内大量返水。

## 2 现场应用

### 2.1 工作面概况

现场应用选择在红柳煤矿 3121 工作面进行,该工作面位于红柳井田中部,所采煤层为 2 煤,平均厚度 4.5 m,平均倾角  $18^\circ$ ;直接顶为粉、细砂岩,平均厚度约 6.78 m,其上为平均厚度约 3.48 m 的泥岩、炭质泥岩;老顶为直罗组下段下分层粗砂岩含水层,平均厚度约 26.60 m;其上为平均厚度约 6.45 m 的泥岩隔水层;再向上为平均厚约 52.50 m 的直罗组下段上分层粗砂岩含水层。直罗组粗砂岩裂隙孔隙含水层是影响本工作面的主要充水含水层。

### 2.2 钻孔设计

钻场布置在 31 采区回风联络巷与原 3121 工作面设计边界泄水巷交汇处。由于该工作面主要含水层分为上分层含水层和下分层含水层,为了探明上下分层含水层的涌水情况及定向长钻孔的疏水效果,共设计了 6 个钻孔,其中 2、4 号孔间隔 120 m 布置在下分层含水层中部进行施工,主要是对下分层含水层赋水进行疏放;1、3、5、6 号孔分别间隔 100 m 布置在上分层含水层中进行施工,主要对上分层含水层赋水进行疏放。

### 2.3 施工情况

共施工 6 个定向孔,5 个分支孔,钻孔总进尺达到 3363 m,最大孔深为 594 m,实钻轨迹基本按设计轨迹延伸,实钻平面图和剖面图见图 4,钻孔施工情况统计见表 1。

## 3 应用效果分析

为了分析定向长钻孔的顶板水探放效果,现场施工时应认真收集了水文地质参数,每个钻孔施工时每施工 3 根钻杆测试一次水量,终孔后立即测试水压和取样进行全分析水质化验,终孔后每班测试一次水量、每 5 天测试一次水压及水温。

### 3.1 定向长钻孔探放水效果

定向长钻孔施工时,最大出水量  $216\text{ m}^3/\text{h}$ ,平均涌水量  $133.66\text{ m}^3/\text{h}$ ;施工结束后,根据制定的水文参数收集方法,对 6 个定向孔水文参数进行采集(见表 2)。在疏放水周期 7 个月时,累计疏放水量约为  $962400.883\text{ m}^3$ 。

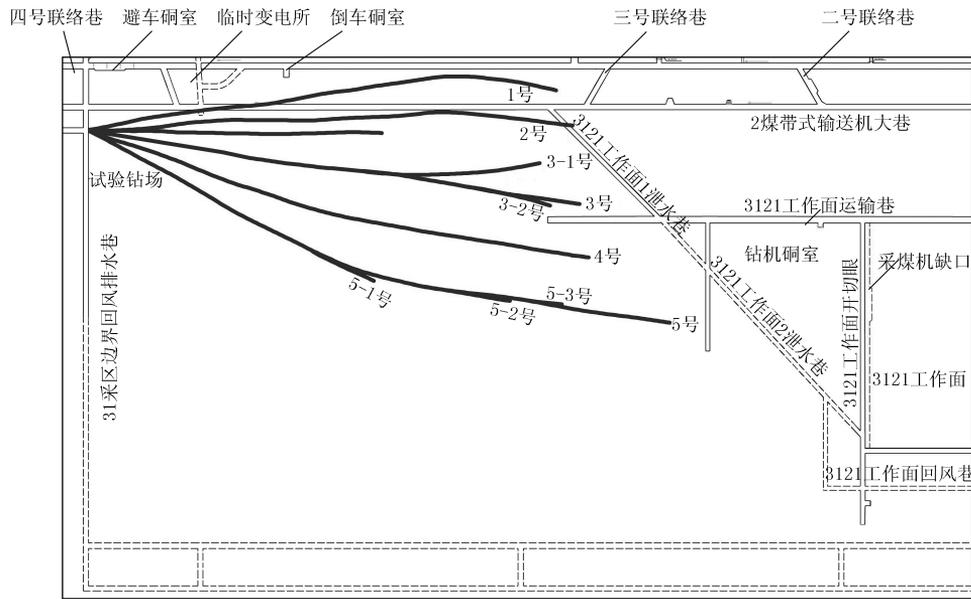
经过 7 个月的疏放,各钻孔水量、水压、水温都发生了显著变化,起到了良好的顶板水疏放效果,具体情况如下。

#### 3.1.1 钻孔涌水情况

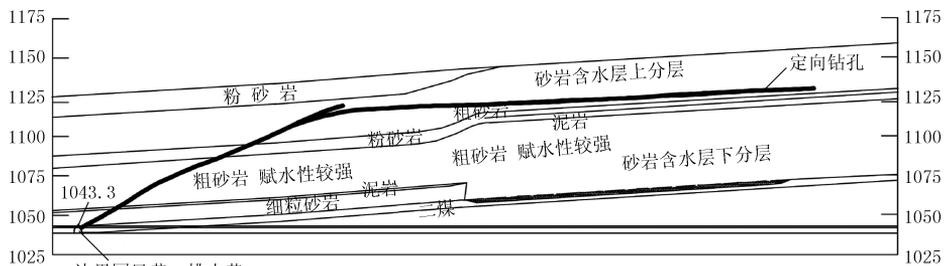
(1) 含水层上分层钻孔涌水量平均值为  $14.7\sim 120\text{ m}^3/\text{h}$ ,含水层下分层钻孔涌水量平均值为  $22.9\sim 33.6\text{ m}^3/\text{h}$ ,说明试验区域含水层上分层赋水性远比下分层赋水性强。

(2) 接近向斜轴部的钻孔(5、3、4、6 号)的涌水量明显比远离向斜轴部的钻孔(1、2 号)涌水量大,说明试验区域接近向斜轴部的岩层赋水性较远离向斜轴部的岩层赋水性强。

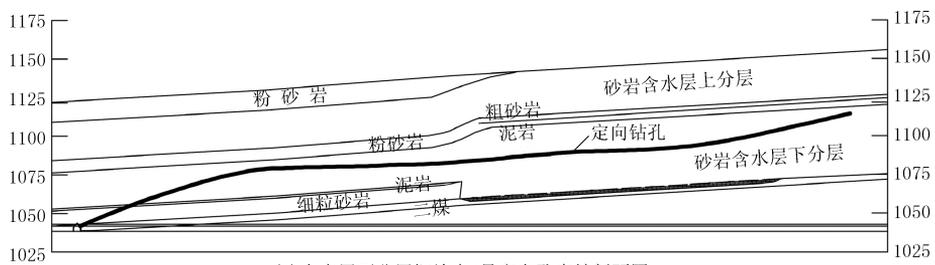
(3) 试验区域施工的带分支孔或下筛管的钻孔涌水量大且衰减强度较弱(3、5 号衰减周期为 30~45 d 且水量  $>70\text{ m}^3/\text{h}$ ),其余钻孔衰减周期 15~25 d,



(a) 总实钻平面图



(b) 含水层上分层探放水3号定向孔实钻剖面图



(c) 含水层下分层探放水4号定向孔实钻剖面图

图4 钻孔实钻平面图和剖面图

表1 红柳煤矿探放水定向长钻孔实钻情况统计

孔号	方位角/(°)	倾角/(°)	孔深/m	进尺/m	终孔层位
1	142.30	29.8	456	456	上分层粗砂岩
2	150.00	22.4	459	459	下分层粗砂岩
3	161.60	28.3	480	744	上分层粗砂岩
4	172.50	25.6	492	492	下分层粗砂岩
5	180.19	29.3	594	924	上分层粗砂岩
6	153.60	28.8	288	288	上分层粗砂岩

表2 红柳煤矿顶板水探放定向长钻孔疏放水情况统计

孔号	终孔深度/m	平均放水速度/(m <sup>3</sup> ·h <sup>-1</sup> )	终孔出水速度/(m <sup>3</sup> ·h <sup>-1</sup> )	放水量/m <sup>3</sup>	水温/°C		水压/MPa	
					终孔	目	终孔	目
1	456	14.7	90	28190.876	14	18.0	1.30	0.02
2	459	22.9	129	90840.174	23	18.0	0.85	0.06
3	480	94.1	162	337744.316	14	18.2	1.00	0.25
4	492	33.6	129	111874.301	23	18.0	0.40	0.13
5	594	120.0	120	336442.256	14	18.5	1.00	0.60
6	288	49.9	216	57308.960	18	18.0	1.20	0.05
合计	3363	—	—	962400.883	—	—	—	—

说明泥岩段坍塌及开分支增加疏水通道对钻孔的疏水效果均有较大影响。

### 3.1.2 水压情况

(1) 含水层上分层施工钻孔终孔时水压比含水层下分层钻孔终孔时水压高0.15~0.95 MPa。

(2)含水层同一分层中施工的钻孔,钻孔终孔时远离向斜轴部的钻孔水压较靠近向斜轴部的钻孔高0.3~0.35 MPa。

(3)定向钻孔通过一定时间的疏放,水压下降幅度较大,均能降至安全开采的水压。

### 3.1.3 水温情况

下分层含水层钻孔终孔时水温比上分层含水层施工钻孔水温高5~9℃,经过一段周期的疏放水温均相同。

### 3.1.4 水质化验情况

(1)含水层下分层赋水离子浓度和总矿化度高于含水层上分层,含水层下分层pH值低于含水层上分层,掌握了矿井不同含水层水质特征。

(2)结合各钻孔的水质情况,验证了探放水定向孔按照设计在相应的目的层位延伸。

## 3.2 与常规钻孔探放水效果比较

1121工作面位于3121工作面附近,采用常规钻孔进行水害治理,因此将两个工作面不同顶板水治理方法和效果进行对比。

### 3.2.1 钻孔出水量比较

1121工作面施工的常规钻孔终孔时单孔涌水量平均值为49.66 m<sup>3</sup>/h,远小于定向长钻孔终孔时的平均涌水量133.66 m<sup>3</sup>/h,定向长钻孔是相邻工作面常规钻孔终孔平均出水量的2.69倍。

### 3.2.2 探放水效果比较

1121工作面共施工了119个常规钻孔,在疏放水周期7个月时共疏放水约460000 m<sup>3</sup>。而试验区定向长钻孔疏放水周期7个月时累计疏放水量约为962400.883 m<sup>3</sup>,是常规钻孔的41.5倍。

### 3.2.3 钻孔工程量及工期比较

若试验区采用常规钻孔进行放水,需布置18个钻场62个钻孔,钻孔工程总量约为9132 m,单台常规钻机每月进尺约为1200 m,施工完全全部钻孔需要228 d左右。而采用定向钻孔施工只需要布置6个定向钻孔,工程总量为3204 m,定向钻进月进尺约为1500 m,预计施工完所有钻孔需要64天左右。采用定向钻孔对同区域顶板水进行疏放钻探工程量和施工工期远小于常规钻孔。

## 3.3 工作面后期施工情况

3121工作面上巷和下巷掘进过程中,未出现顶板突水现象。目前该工作面已回采完毕,未出现突水现象。

## 4 结论

采用定向长钻孔探放矿井顶板水是可行的,现场试验结果表明,与常规钻孔相比,可减少钻孔工程量、延长单孔疏放水时间和疏水效果、增加钻孔在含水层中的穿行距离和高效超前区域探放水、减少工作面疏放水周期,有效解决了红柳煤矿煤层顶板低渗透性含水层常规钻孔疏放效果差的问题,并可为类似矿井顶板水害治理提供技术参考。

随钻测量定向钻进技术保证了定向长钻孔沿目的顶板含水层中延伸,可满足单一顶板含水层或多个顶板含水层探放水的需要。在钻孔施工过程中,建议单孔多进行侧钻分支作业,形成一孔多分支的钻孔结构,可有效增加钻孔钻遇含水层或岩层裂隙等地质构造的机率,提高单孔防治水效果。

当定向长钻孔应用于不同矿井探放水时,应研究不同布孔间距的疏放水效果,最终得到最佳的钻孔空间布置方案。

采用项目选配的钻探技术与装备,可成功钻进硬度系数为4.5~6的顶板岩层,实现顶板水探放定向长钻孔成孔,但是应继续研究岩层中快速成孔方法,尤其是硬度系数大于6的硬岩,进一步提高定向孔施工效率。

## 参考文献:

- [1] 陈娟,赵耀江.近十年来我国煤矿事故统计分析及启示[J].煤炭工程,2012,44(3):137-139.
- [2] 国家煤矿安监局事故调查司.2012年暨五年以来全国煤矿事故分析报告[R].2013.
- [3] 马沈岐,王建峰,王龙.煤矿防治水患钻探工程问题探讨[J].探矿工程(岩土钻掘工程),2013,40(S1):127-130.
- [4] 孙新胜,王毅,郭涌.定向钻进技术在煤矿井下探放水孔施工中的应用[J].煤田地质与勘探,2005,33(S1):101-103.
- [5] 王小坡,查文华,张兰翔,等.掘进巷道顶板综合防治水技术[J].煤矿安全,2014,45(2):50-52.
- [6] 李宏杰,陈清通,牟义.巨厚低渗含水层下厚煤层顶板水害机理与防治[J].煤炭科学技术,2014,42(10):28-31.
- [7] 张光辉,吴鹏飞,王飞.大平矿超前疏放钻孔治理顶板水害实践[J].中州煤炭,2010,36(1):90-91.
- [8] 史海岐.随钻测量定向钻进技术在煤矿水害防治中的应用[J].现代矿业,2014,30(4):38-41.
- [9] 石智军,董书宁,姚宁平,等.煤矿井下近水平随钻测量定向钻进技术与装备[J].煤炭科学技术,2013,41(3):1-6.
- [10] 石智军,田宏亮,田东庄,等.煤矿井下随钻测量定向钻进使用手册[M].北京:地质出版社,2012.
- [11] 石智军,温榕,方俊,等.煤层井下定向钻进随钻测量系统的研制[J].煤炭科学技术,2013,41(3):16-20,69.
- [12] 任鹏飞.定向长钻孔在母杜柴登煤矿顶板探放水中的应用[J].探矿工程(岩土钻掘工程),2014,41(5):17-19.