

# 定向高位水平长钻孔设计布孔层位选择方法的应用

王 龙

(山西兰花科技创业股份有限公司大阳煤矿分公司)

**摘 要:**为解决邻近层瓦斯抽采钻孔设计中不同层位钻孔终孔位置及裂隙带高度的选取性问题。本文以大阳煤矿 3307 工作面为背景,采用经验公式和实践理论对 3307 工作面定向高位长钻孔分层布置设计进行论述。3307 工作面定向高位水平长钻孔是沿着工作面回风顺槽布置,在顶板裂隙带层位上分层布置,抽放采空区垮落带及裂隙带内瓦斯,进而改变采空区流场分布,有效解决采空区、回风隅角一带瓦斯集聚和回风流瓦斯超限问题。

**关键词:**上覆岩层“三带”分布特征;邻近层;瓦斯抽采;定向高位水平长钻孔

## 1 抽采煤层及抽采系统概况

### (1)抽采煤层

3号煤层:位于山西组下部,上距K8砂岩平均43.83m左右,下距9号煤层平均62.50m左右。煤层厚度4.63~7.15m,平均厚6.26m,煤层结构简单~较简单,一般含0~2层夹矸,为本井田稳定可采煤层。直接顶岩性主要为泥岩、细粒砂岩,老顶岩性为浅灰色中厚层粉砂岩、中粒砂岩;底板岩性为黑灰色泥岩、粉砂岩,局部为细砂岩。

### (2)煤尘爆炸性

据山西省产品质量监督检验所 M20021230 号检验报告,大阳煤矿煤尘火焰长度为 0,岩粉用量亦为 0,无煤尘爆炸危险性。

### (3)煤的自燃倾向性

根据山西省煤炭工业局综合测试中心提交的 3 号煤层检验报告,3 号煤层煤层吸氧量为  $1.2506\text{cm}^3/\text{g}$ ,煤层自燃等级为Ⅲ级,属不易自燃煤层。

### (4)抽采系统

在西回风立井工业场地建有地面永久瓦斯抽放泵站。泵站内建立有 2 套瓦斯抽放系统,一套高负压瓦斯抽放系统,一套低负压瓦斯抽放系统。高负

压安装两台 CBF630-2BG3 型水环式真空泵(一台运行、一台备用),电机功率 450kW、最大吸气量 368m<sup>3</sup>/min。低负压安装两台 CBF710-2BG3 型水环式真空泵(一台运行、一台备用),电机功率 560kW、最大吸气量 437m<sup>3</sup>/min。3 号煤采用本煤层钻孔抽采、定向高位水平长钻孔抽采、沿空留巷柔模埋管抽采、采空区抽采的综合瓦斯抽采方法。

### (5) 瓦斯含量分布规律

煤层瓦斯含量沿倾向分布规律常用瓦斯含量与埋藏深度之间的关系来表示。煤层的埋藏深度增加不仅加大了地应力,使煤层与岩层的透气性变差,而且加大了瓦斯向地表运移的距离,有利于瓦斯的储存。对大多数矿区而言,在不受地质构造影响的区域,煤层瓦斯含量随着埋藏深度的增加而增大,两者之间具有良好的线性关系,这种关系能客观地表征煤层瓦斯含量沿煤层倾向的分布规律。由 3 号煤层瓦斯基础参数测定报告中可知 3 号煤层瓦斯含量,结合测定地点的埋藏深度,得出了煤层瓦斯含量与埋深之间的关系,结果如图 1 所示,得到了大阳煤矿 3 号煤层瓦斯含量与煤层埋深的基本数学关系式为:

$$y = 0.0031H + 5.8921$$

式中: y—煤层瓦斯含量, m<sup>3</sup>/t;

H—煤层埋深, m。

瓦斯含量具有随煤层埋深的增加而增大的趋势。3 号煤层的瓦斯含量增长梯度为 0.31m<sup>3</sup>/t/100m, 可以得出 3 号煤层最大埋深及瓦斯含量值。

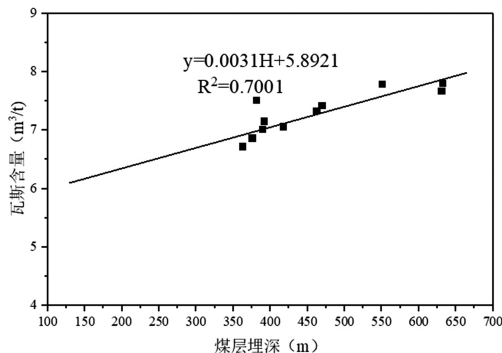


图 1 3 号煤层瓦斯含量与煤层埋深关系曲线

## 2 邻近层瓦斯抽采方法探索

邻近煤层瓦斯抽采,即为通常所称的卸压层瓦斯抽采。在开采层的采动影响下,其上部或下部的邻近煤层得到卸压后会膨胀变形,其透气性会大幅度提高,邻近煤层的卸压瓦斯会通过层间裂隙大量涌向开采层,为防止和减少邻近层瓦斯涌向开采层可采用抽采的办法来处理这一部分瓦斯。但如瓦斯处于冒落和大裂缝地带,此范围内的邻近层卸压瓦斯直接涌向开采空间,难以通过邻近层抽采。邻近层抽采瓦斯钻孔如能穿入充分卸压区内,将可取得最佳的抽采效果,但邻近层钻孔开孔位置、终孔位置、钻孔角度、有效抽采距离受煤层厚度、泄压角及瓦斯涌出量影响较大,若钻孔穿入开采工作面上部的冒落和急剧移动区,钻孔会被切断而导致降低抽采效果,甚至失效。

### 2.1 回采工作面采出后上覆岩层“三带”分布特征

回采工作面向前推进,煤层被采出后,形成了空间,其上覆岩层与地板岩层的原始应力平衡状态遭到破坏,从而发生移动、变形和垮落。根据资料证明,上覆岩层移动稳定后,其移动、变形和破坏具有明显的分带性。上覆岩层移动、变形与破坏可分为三个带,分别为冒落带、裂隙带和弯曲下沉带。

(1) 根据回采工作面垮落带、裂隙带高度参照《建筑物、水体、铁路及主要井巷煤柱留设与压煤开采规范》分别确定如下:

覆盖岩性为中硬岩(细砂岩、砂质泥岩)

$$\text{冒落带: } H_m = \frac{100 \sum M}{4.7 \sum M + 19} \pm 2.2$$

$$\text{裂隙带: } H_{li} = \frac{100 \sum M}{1.6 \sum M + 3.6} \pm 5.6$$

3 号煤层回采工作面平均采高为 6.09m, 经计算 3 号煤层冒落带高度约为 18.24—22.64m, 即约 2.9—3.7 倍采高; 裂隙带高度为 40.03—51.23m, 即为 6.5

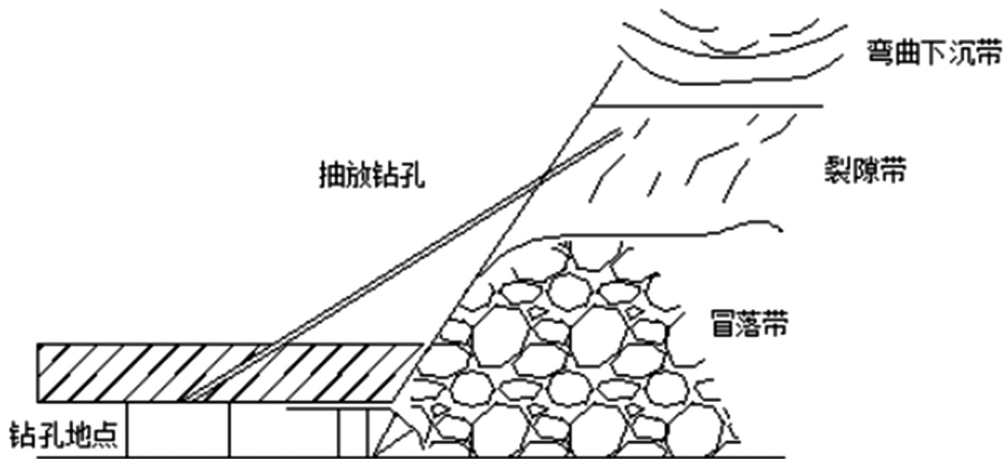


图2 回采工作面高位迎向钻孔抽采示意图

—8倍采高。

(2)根据大阳煤矿地质报告钻探柱状图分析,根据回采工作面回采高度分别确定如下:冒落带位于上覆岩层的最下部。冒落带的高度视上覆岩性质的不同,一般为采高的3-5倍。回采工作面直接顶为泥岩、厚度4.08米左右,黑灰色,局部含有粗粉砂岩;基本顶为中粒砂岩,厚度4.46米左右,灰色,石英砂岩,局部含云母碎片;冒落带高度确定为采高的4倍左右,约为22-24m。裂隙带位于冒落带之上。回采工作面断裂带主要组成部分为粉砂岩和细粉砂岩,节理裂隙发育,根据现有定向高位水平长钻孔布置及抽采情况,裂隙带高度取采高的5-8倍左右抽采效果较好,即为25m—50m。

## 2.2 高位迎向抽放钻孔抽采

在轨道顺槽钻场内施工高位迎向抽放钻孔,钻场内布置高位钻孔,主要作用是以工作面回采采动形成的顶板裂隙作为通道来抽放工作面裂隙带及采空区冒落带内的瓦斯,钻孔随工作面推进随冒随抽,随着钻孔的垂高变小,到接近冒落带或进入冒落带时处,会出现抽放瓦斯浓度逐渐变小,但钻孔还需要抽放一段时间,来解决工作面上隅角一带大量瓦斯涌出引起的瓦斯超限问题。回采工作面高位迎向钻孔抽采方式示意图2。

### (1)高位迎向钻孔角度及伸入工作面长度

高位迎向钻孔角度直接影响抽采效果。钻孔仰角低了,尽管钻孔终端位置处于裂隙带,但钻孔中段处于冒落带,煤层开采后受破坏漏气或岩层移动切断钻孔,抽不出瓦斯;钻孔仰角高了,钻孔终端附近邻近层没有卸压,几乎抽不出瓦斯。根据大阳煤层赋存条件理论计算和以往的实践经验,钻孔终孔点选择在卸压角与n倍采高线的交点位置比较适宜。

工作面邻近层抽采高位迎向钻孔设计计算剖面示意图3

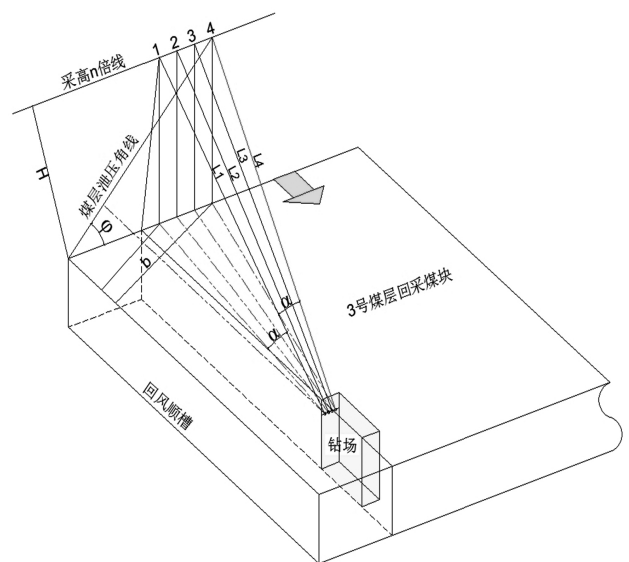


图3 高位迎向钻孔计算剖面示意图

根据下列公式计算钻孔角度:

$$\operatorname{tg} \alpha = \frac{(H + \Delta h) \cdot \operatorname{tg} \varphi}{a \cdot \operatorname{tg} \varphi + (H + \Delta h)}$$

式中:

$a$ ——煤柱宽, m;

$H$ ——煤层顶板到钻孔终孔点的垂高(采高倍数线), m;

$\Delta h$ ——钻孔开孔点距煤层顶板垂距, m;

$\alpha$ ——钻孔倾角度;

$\varphi$ ——煤层卸压角。

根据下列公式计算钻孔长度:

$$L = \sqrt{(H + \Delta h)^2 + (a + (H + \Delta h) \operatorname{ctg} \varphi)^2}$$

式中: $L$ ——钻孔深度, m。

在采高、卸压角和终孔高度确定的情况下,伸入工作面的长度 $b$ 就可以计算出来。根据下列公式计算伸入工作面的长度:

$$b = \operatorname{ctg} \varphi$$

式中:

$b$ ——钻孔伸入工作面的长度, m。

根据大阳3号煤层赋存条件理论计算和以往的实践经验,邻近层的高位钻孔布置在采高的4-8倍位置即距离顶板高度22-50m附近裂隙带抽采效果较好。

(2) 矿井原有生产工作面采用“U”型通风方式,在回风顺槽侧每隔80m左右布置一个钻场,在钻场内巷道顶板向采空区方向呈扇形布置高位钻孔进行工作面泄压抽采,钻孔终孔位置位于采空区上方顶板裂隙带内,距煤层顶板约22-30m,孔深130m-150m。根据大阳煤矿多年抽采情况分析,随着回采及顶板垮落情况,瓦斯浓度随之发生变化,当钻孔有效抽采时,最高浓度可达77%,随着回采推进,钻孔有效抽采长度变短,瓦斯抽采量也相应减小,且瓦斯浓度降到18%-5%之间。

### 2.3 顺槽钻场定向高位水平长钻孔抽采

为了减少高位迎向钻孔中无效钻孔进尺,降低劳动强度,提高瓦斯抽采量及浓度,大阳煤矿不断优化邻近层抽采工艺及参数。引进了ZDY12000LD型、ZYL15000中硬煤层大功率定向千米钻机及配套设备,钻机采用大孔径、大功率、精准至导、轨迹可控,降低劳动强度、提高了钻孔施工效率与抽采效果。定向水平长钻孔在“W”型通风的3307工作面回风顺槽25-35m平面上形成前后相互衔接的10m宽度带,立面上形成从冒落带顶部到裂隙带中部的低、高位钻孔系列。定向钻机施工定向高位水平长钻孔进行邻近层瓦斯抽采具有以下优点:

A. 精准至导、轨迹可控。

B. 钻孔总进尺减少,但有效抽采段增加,且封孔长度大大减少,极大的降低了工人劳动强度。

C. 抽采钻孔应用“一钻一视频”对瓦斯抽采钻孔施工进行记录,确保真钻探、真校验,强化瓦斯抽采基础数据管理,井下施工瓦斯抽采钻孔进行全过程视频监控,建立瓦斯抽采钻孔数据库,留存钻孔施工影像资料。

D. 根据统计当采用高低位钻孔抽采瓦斯时,最高浓度可达77%,随着回采推进,钻孔有效长度变短,瓦斯浓度降到18%-5%之间;而定向钻孔抽采浓度为27.4%-77.4%,且平均抽采浓度达35%,极大的提高了钻孔抽采效果,有效保障了大阳矿安全平稳生产。

### 3 3307工作面定向高位水平长钻孔设计及抽采效果分析

3307回风顺槽定向高位水平长钻孔是沿着工作面回风顺槽布置,在采空区顶板裂隙带层位上分层布置,抽放采空区冒落带及裂隙带内瓦斯,进而改变采空区流场分布,解决采空区、回风隅角一带瓦斯集聚和回风流瓦斯超限问题。

### 3.1 定向高位水平长钻孔分层布置层位设计依据

根据工作面上覆岩层“三带”分布理论和采动裂隙“O”型圈理论进行设计,钻孔布孔层位设计主要考虑钻孔沿工作面走向和倾向2个方向布置。

#### (1)沿工作面走向设计

根据煤层开采后冒落带及裂隙带高度计算出冒落带最大高度为22.64m,裂隙带最大高度为51.23m。钻孔终孔层位参考ZK7-3钻孔柱状图进行设计,钻孔终孔位置均位于采空区上方顶板裂隙带内较稳定的细砂岩层位,3号孔距煤层顶板26m-29m,2号孔距煤层顶板33m-36m,1号孔距煤层顶板45m-49m。

#### (2)沿工作面倾向设计

根据采动裂隙“O”型圈理论,在回风流的作用下,瓦斯主要积聚在工作面回风侧“o”型圈区域,为了保证抽采效果,选择在靠近回风巷侧进行布置钻孔,结合经验设计钻孔间距,考虑到3307工作面采用“W”型通风方式,设计钻孔水平距离回风巷10m范围内。

### 3.2 定向高位水平长钻孔设计与实钻分析

3307回风顺槽8号钻场位于巷道1050米处,距工作面切眼545米(水平距离)。8号钻场设计3个顶板走向定向高位水平长钻孔,钻孔设计参数表1。

孔号	设计孔深/m	垂距/m	平距/m
8-1	565	26	3.2
8-2	565	35	-3.6
8-3	565	46	-9.6

8#钻场3个钻孔主孔施工实钻深度为:8-1#:565米、8-2#:561米、8-3#:545米。受X81、X112、X113陷落柱影响,当8-1#、8-2#钻孔施工至245m时,压力增大,钻进困难,返渣返水忽大忽小,正常钻进至470m时同样也出现返渣、返水忽大忽小的现象。8-3#钻孔施工至360米处时,卡钻、憋钻、无法钻进将钻杆全部退出,原因是受陷落柱的影响。经过厂家技术人员现场指导更换马达后,采取避开陷落柱钻进方式,最终成孔进尺565m,但轨迹与设计

轨迹偏差较大。钻孔施工实钻参数表2。

孔号	实钻孔深/m	垂距/m	平距/m
8-1	565	27	4.5
8-2	565	35	-1.5
8-3	565	46	-10.6

### 3.3 定向高位水平长钻孔抽采效果分析

8号钻场3个定向高位水平长钻孔接抽时间为2022年11月22日,截至12月29日累计抽采39天,根据实测数据分析,从12月8日开始钻孔抽采浓度不同程度上升,8-1号孔瓦斯浓度为11.5%-51.4%,8-2号孔瓦斯浓度为9.7%-70.9%,8-3号孔瓦斯浓度为6.4%-58.4%;3个定向高位水平长钻孔平均瓦斯抽采流量为1.6m<sup>3</sup>/min。在工作面回采初期,顶板裂隙发育不充分,导致定向钻孔在工作面回采初期未检测到瓦斯;随着工作面向前推进,采空区区域面积不断扩大,顶板裂隙发育充分,裂隙高度逐渐增大,裂隙与定向钻孔导通,此时定向钻孔检测到瓦斯,瓦斯抽采浓度显现并逐渐达到稳定状态,随着工作面的推移,定向钻孔所处层位逐渐降低由裂隙带进入冒落带,冒落带会有空气进入钻孔,会导致钻孔浓度逐渐下降,流量上升趋势。目前,定向钻孔所处层位为顶板裂隙带,瓦斯抽采浓度高。

## 4 结论

(1)定向高位水平长钻孔设计过程中分层布置层位选择的关键理论是研究整个定向高位水平长钻孔生命周期内保障安全生产的关键技术。

(2)通过地层钻孔综合柱状图分析本煤层的上覆岩层厚度及岩性进行钻孔设计,选择钻孔最佳分层布置的终孔层位,提高定向高位水平长钻孔瓦斯抽采整体效果。

(3)通过对3307工作面定向高位水平长钻孔设计和抽采效果分析,进一步为大阳煤矿邻近层瓦斯治理提供了理论依据。