

# 倾斜煤层瓦斯测压穿层钻孔设计参数计算方法

桑聪<sup>1,2</sup> 潘多伟<sup>1,2</sup> 李伟<sup>1,2</sup> 郭建行<sup>1,2</sup>

(1. 煤炭科学技术研究院有限公司 安全分院, 北京 100013;

2. 煤炭资源高效开采与洁净利用国家重点实验室(煤炭科学研究总院), 北京 100013)

**摘要:** 为了准确确定穿层测压钻孔参数, 以宏远煤矿 15 号煤层巷道及其高抽巷为原型, 建立了穿层测压钻孔的几何模型, 根据模型中穿层测压钻孔与倾斜煤层的空间层位关系, 探讨了伪倾角对钻孔长度计算的影响, 并得出钻孔长度和岩孔段长度计算的几何公式。基于 Excel 数据处理软件, 编写穿层测压钻孔长度计算程序, 发现理论长度与实际长度的误差不大于 1 m, 验证了计算公式的准确性, 说明采用该计算公式可以提高设计效率和现场施工的准确性。

**关键词:** 高抽巷; 下行钻孔; 伪倾角; 钻孔参数

中图分类号: TD713 文献标志码: A 文章编号: 0253-2336(2014)10-0071-04

## Designed Parameters Calculation Method of Borehole Drilling Through Inclined Seam for Gas Pressure Measuring

SANG Cong<sup>1,2</sup>, PAN Duo-wei<sup>1,2</sup>, LI Wei<sup>1,2</sup>, GUO Jian-hang<sup>1,2</sup>

(1. Mine Safety Technology Branch, China Coal Research Institute, Beijing 100013, China;

2. National Key Lab of Coal Resource High Efficient Mining and Clean Utilization, China Coal Research Institute, Beijing 100013, China)

**Abstract:** In order to accurately determine the parameters of the pressure measuring borehole drilling through seam based on No. 15 seam gateway and the high level gas drainage gateway in Hongyuan Mine as a prototype, the geometrical model of the pressure measuring borehole drilling through the seam was established. According to a space layer relationship between the pressure measuring borehole drilling through the seam and the inclined seam in the model, the paper discussed a false inclination affected to the calculation of the borehole length and a geometrical formula to calculate the borehole length and the rock borehole length was obtained. Based on an Excel data processing software, a program to calculate the length of the pressure measuring borehole drilling through the seam was compiled and written. The program found that the error between the theoretical length and the actual length was less than 1 m. The accuracy of the calculation formula was verified and the application of the calculation formula could improve the design efficiency and the site construction accuracy.

**Key words:** high level gas drainage gateway; downward drilling; false inclination; parameters of borehole

## 0 引言

随着煤矿开采深度的不断加深, 矿井瓦斯灾害越来越突出, 我国已经成为世界上煤与瓦斯突出灾害最为严重的国家<sup>[1]</sup>。瓦斯基础参数测试是有效防治矿井瓦斯灾害的重要手段, 而煤层瓦斯压力测定又是煤层瓦斯基础参数测试的重要内容<sup>[2-3]</sup>。准确测定煤层瓦斯压力, 对煤与瓦斯突出危害的防治

具有极其重要的作用。一般煤层瓦斯压力测定钻孔可分为顺层测压钻孔和穿层测压钻孔<sup>[4]</sup>。顺层钻孔是指顺着煤层的走向或者倾向方向施工的钻孔, 钻孔只存在本煤层中, 不会进入煤层顶底板或者其他邻近煤层中。穿层钻孔是指钻孔穿过了起孔点所在的煤层或岩层, 到达了其他煤层的钻孔。由于煤是一种多空介质<sup>[5]</sup>, 在相同的封孔条件下, 一般穿层测压钻孔的测压效果要优于顺层测压钻

收稿日期: 2014-05-15; 责任编辑: 王晓珍 DOI: 10.13199/j.cnki.cst.2014.10.017

基金项目: 国家科技重大专项资助项目(2011ZX05063-009, 2011ZX05040-001)

作者简介: 桑聪(1987—), 男, 山东泰安人, 硕士研究生。Tel: 18612195259, E-mail: 18612195259@163.com

引用格式: 桑聪, 潘多伟, 李伟, 等. 倾斜煤层瓦斯测压穿层钻孔设计参数计算方法[J]. 煤炭科学技术, 2014, 42(10): 71-74.

SANG Cong, PAN Duo-wei, LI Wei, et al. Designed Parameters Calculation Method of Borehole Drilling Through Inclined Seam for Gas Pressure Measuring[J]. Coal Science and Technology, 2014, 42(10): 71-74.

孔<sup>[6-8]</sup>,因此研究穿层测压钻孔参数对于煤层瓦斯压力的测定具有重要意义。国内一些专家已经进行过煤层瓦斯压力测定钻孔参数的研究<sup>[9]</sup>,研究了在钻孔方位与煤层倾向平行和钻孔方位与煤层倾向垂直2种特殊情况下的钻孔参数优化,但没有考虑钻孔方位与煤层倾向斜交这种普遍情况下的钻孔参数如何进行优化。在高抽巷或者上下方邻近层巷道中施工穿层钻孔测定煤层瓦斯压力,由于伪倾角的存在,钻孔参数通常难以确定<sup>[10]</sup>。基于此,笔者对考虑伪倾角情况下的下行穿层测压钻孔参数的计算方法进行研究,经过推导得出了考虑伪倾角的下行穿层钻孔参数计算公式,并在宏远煤矿瓦斯压力测定中进行了应用。

## 1 考虑伪倾角的钻孔参数计算模型建立

### 1.1 伪倾角的出现

煤层赋存的地质条件主要包含煤层厚度、煤层倾向、煤层倾向、煤层走向和埋藏深度等<sup>[11-13]</sup>。目前我国矿井采煤方法多为走向长壁式采煤<sup>[14]</sup>,在高抽巷对下方煤层进行测压,1个测压钻场包含2个呈八字分布与煤层倾向有一定夹角的测压钻孔<sup>[15]</sup>。如果钻孔方位与煤层倾向一致或者夹角为 $180^\circ$ 时,则不存在测压钻孔伪倾角。当测压钻孔方位角与煤层倾向不一致时,便会出现伪倾角<sup>[16]</sup>。

为方便计算,建立了考虑伪倾角的钻孔参数计算模型(图1),模型中若在同一地点施工相同倾角、不同方位角的钻孔,如图1中穿层钻孔 $AE$ 和穿层钻孔 $AF$ ,两钻孔起孔点的高度和铅垂方向对应煤层底板的高度为已知且相同,但是钻孔见煤点的高度为未知且不相同,所以很难确定钻孔长度。在《煤矿井下煤层瓦斯压力的直接测定方法》中规定,钻孔的封孔长度不得小于钻孔直径与钻孔倾角余切值的乘积加上 $12\text{ m}$ 。如果在穿层钻孔设计时不考虑伪倾角,有可能造成钻孔长度太短或者太长,钻孔长

度太短则满足不了标准要求,钻孔长度太长则会费时费力。因此计算考虑钻孔伪倾角的穿层钻孔长度,对于井下煤层瓦斯压力测定有重要意义。

### 1.2 计算模型的建立

宏远煤矿15号煤层位于太原组下段( $C_3t^1$ )下部。该煤层厚度 $2.08\sim 5.46\text{ m}$ ,平均厚度 $4.28\text{ m}$ 。煤层倾角 $4^\circ\sim 10^\circ$ ,该煤层稳定,为全井田稳定可采煤层。15102工作面高抽巷距离煤层底板 $35\text{ m}$ 。笔者以宏远煤矿15102工作面区域巷道及其高抽巷为原型,为方便模型的建立与计算,进行如下假设:①煤层走向为东西走向,煤层倾向的方位角为 $180^\circ$ ;②煤层倾角稳定为 $\alpha$ ,煤层厚度为 $h$ ;③煤层赋存较稳定,煤层厚度无明显变化。

首先建立下行钻孔伪倾角计算几何模型,如图1所示。模型建立步骤介绍如下:煤层上方有1条高抽巷,高抽巷底板上的 $A$ 点为测压钻孔起孔点;过 $A$ 点作铅垂线与煤层底板交于点 $B$ ,与煤层顶板交于点 $B'$ ;过 $A$ 点作煤层底板平面的垂线,与煤层底板交于点 $C$ ,与煤层顶板交于点 $C'$ ,如图1中线段 $AC$ 所示;以 $\beta-90^\circ$ ( $\beta<90^\circ$ ,钻孔倾角为负)为倾角沿煤层倾向(方位角为 $180^\circ$ )由 $A$ 点向煤层施工下行钻孔(作线段);过煤层顶板上的 $F'$ 点与煤层底板交于 $F$ 点,如图1中线段 $AF$ 所示;以 $\beta-90^\circ$ 为倾角,以 $180^\circ+\gamma$ 为方位角由 $A$ 点向煤层施工下行钻孔,过煤层顶板上的 $E'$ 点与煤层底板交于点 $E$ 。

为了方便计算,作以下辅助线:沿煤层底板作辅助线 $ED$ 垂直于 $BF$ ,交于点 $D$ ;沿煤层顶板作 $E'D'$ 垂直于 $C'F'$ 于点 $D'$ ;过点 $B$ 向下作铅垂线,与过 $D$ 点的水平面交于点 $B''$ ,同理与过 $F$ 点的水平面交于点 $B'''$ ;连接 $B''$ 、 $D$ 和 $B'''$ 、 $F$ 。

### 1.3 煤层伪倾角对钻孔长度计算的影响

钻孔倾角为钻孔与水平面的夹角。图1中 $\angle AFB'''$ 与钻孔 $AF$ 倾角的大小等同。此时可根据煤层和钻孔倾角使用常规方法计算钻孔长度。对于钻孔 $AE$ ,沿垂直方向在煤层底板和 $E$ 点所在水平面投影为 $BE$ 和 $B'E$ , $\angle BEB''$ 为钻孔 $AE$ 在煤层底板上的投影与其在水平面上投影夹角,此角小于煤层倾角,为伪倾角。若在计算时假设 $\angle BEB'' = \angle BFB'''$ ,即忽略煤层伪倾角时,会给钻孔长度计算带来较大误差。

## 2 钻孔长度计算公式推导

为方便计算,现列出已知的计算条件: $A$ 点高程已知, $B$ 点高程可由煤层底板等高线图查得,即 $AB$ 、

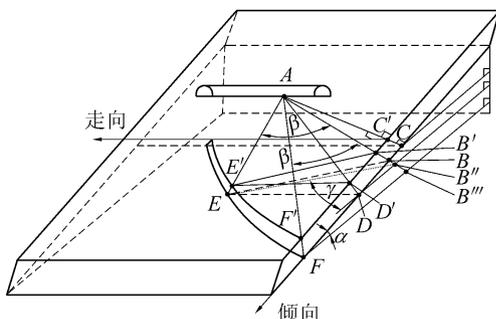


图1 考虑伪倾角的钻孔参数计算模型

煤层厚度  $h$ 、煤层倾角  $\alpha$  已知; 2 个下行钻孔  $AE$ 、 $AF$  设计倾角为  $\beta - 90^\circ$ ; 2 个钻孔  $AE$ 、 $AF$  设计方位角分别为  $180^\circ + \gamma$ 、 $180^\circ$ , 其余条件未知。

为了方便计算, 笔者以钻孔长度  $AE$  作为最终求解参数进行伪倾角计算的推导:

$AB \perp \triangle EDB$  所在平面, 则在  $\triangle AB''E$  中有:

$$AE = [(AB + BB'')^2 + B''E^2]^{0.5}$$

在  $\triangle BB''E$  中, 当  $\gamma = 0^\circ$  时,  $\angle BEB'' = \angle BFB'' = \alpha$ ; 当  $\gamma = 90^\circ$  时,  $\angle BEB'' = 0^\circ$ ; 所以,  $\angle BEB'' = \alpha \cos \gamma$ 。

沿钻孔  $AE$  的方位看,  $\angle BEB''$  为煤层与水平面的夹角, 且  $\triangle BB''D$  与  $\triangle BB'''F$  相似。

$$\begin{aligned} \angle AEB'' &= \pi/2 - \beta + \angle BEB'' = \pi/2 - \beta + \alpha \cos \gamma \\ B''E &= B''D / \cos \gamma = BB'' \cdot B'''F \cdot B''D \cos \gamma / BB''' \end{aligned}$$

在  $\triangle AB''E$  中

$$AE = \frac{BB'' \cdot B'''F \cdot B''D}{BB''' \cos \gamma \sin \beta} = \frac{AB + BB''}{\cos \beta} \quad (1)$$

$AB$  已知, 则  $AF$  可求

$$AF = AC / \cos(\beta + \alpha) = AB \cos \alpha / \cos(\beta + \alpha) \quad (2)$$

$$B'''F = AF \cos \beta \quad (3)$$

$$BB''' = AF \cos \beta - AB \quad (4)$$

将式(2)代入式(3)和式(4)得:

$$B'''F = AB \cos \alpha \cos \beta / \cos(\beta + \alpha) \quad (5)$$

$$BB''' = AB \cos \alpha \cos \beta / \cos(\beta + \alpha) - AB \quad (6)$$

$$B''D = BB''' / \tan \alpha \quad (7)$$

将式(5)一式(7)代入式(1)得:

$$\frac{BB'' \cos^2 \alpha \cos \beta}{\cos \gamma \sin^2 \alpha \sin^2 \beta} - \frac{BB''}{\cos \beta} - \frac{AB}{\cos \beta} = 0 \quad (8)$$

求解得:

$$BB'' = \cos \gamma \tan^2 \alpha \tan \beta [1 / \cos \beta + \sqrt{1 / \cos^2 \beta + 4AB \cot^2 \alpha / (\cos \gamma \sin^2 \beta)}] / 2 \quad (9)$$

将式(9)代入式(1)得:

$$AE = AB / \cos \beta + \cos \gamma \tan^2 \alpha \tan^2 \beta [1 / \cos \beta + \sqrt{1 / \cos^2 \beta + 4AB \cot^2 \alpha / (\cos \gamma \sin^2 \beta)}] / 2 \quad (10)$$

式中:  $AE$  为穿层钻孔长度,  $m$ ;  $AB$  为起孔点与煤层底板距离,  $m$ ;  $\alpha$  为煤层倾角 ( $^\circ$ );  $\beta$  为钻孔倾角的余角 ( $^\circ$ );  $\gamma$  为钻孔方位与煤层倾向的夹角 ( $^\circ$ )。

岩孔段长度  $AE'$  为

$$AE' = AE \cdot AB' / AB \quad (11)$$

### 3 穿层钻孔参数的确定

穿层钻孔参数主要包括起孔点高度、钻孔倾角、

钻孔方位角、钻孔长度等。根据推导的钻孔长度计算公式, 在钻孔参数的确定过程中,  $\alpha$ 、 $m$  以及煤层的方位角为定量, 在起孔点位置确定的情况下, 起孔点与煤层底板的距离  $AB$  为定量, 其他参数为变量。

在钻孔测压中, AQ/T 1047—2007《煤矿井下煤层瓦斯压力直接测定方法》中规定, 钻孔封孔长度不小于钻孔直径与钻孔倾角余切值乘积加上 12 m, 但在现场实际测定煤层瓦斯压力时, 这个封孔长度通常不够。在设计钻孔参数时, 可参照式(10)和式(11)来计算。

### 4 钻孔长度计算公式的实际应用

式(10)是根据已知条件而计算出的钻孔长度, 可根据式(10)分别算出穿层钻孔的岩孔段长度和煤孔段长度。可根据实际需要合理调整钻孔参数。对于穿层测压钻孔, 应保证封孔长度不小于岩孔段长度。山西煤炭进出口集团左权宏远煤业有限公司(以下简称宏远煤矿)为高瓦斯矿井, 在对其 15 号煤层进行矿井瓦斯基础参数测试时, 为准确测定 15 号煤层瓦斯压力, 现场在 150102 高抽巷施工穿层测压钻孔实测 15 号煤层瓦斯压力。

为了方便现场钻孔参数的确定, 在 Excel 中输入  $AB$  段长度、煤层厚度、煤层倾角、煤层倾向方位角、钻孔倾角和钻孔方位角等参数, 在钻孔长度栏(H2)中输入根据式(10)编写的 Excel 计算程序公式 “= B2 / COS( RADIANS( ABS( 90 + F2 ) ) ) + COS( RADIANS( G2 - E2 ) ) \* TAN( RADIANS( ABS( D2 ) ) ) \* TAN( RADIANS( 90 + F2 ) ) \* TAN( RADIANS( 90 + F2 ) ) / 2 \* ( 1 / ( COS( RADIANS( 90 + F2 ) ) ) + ( 1 / COS( RADIANS( 90 + F2 ) ) / COS( RADIANS( 90 + F2 ) ) + 4 \* B2 / TAN( RADIANS( ABS( D2 ) ) ) / TAN( RADIANS( ABS( D2 ) ) ) / COS( RADIANS( G2 - E2 ) ) / SIN( RADIANS( 90 + F2 ) ) / SIN( RADIANS( 90 + F2 ) ) ) ^ 0.5 ) ”。在 3-1 钻孔的岩孔长度栏(I2)中输入 “= ( B2 - C2 ) / B2 \* H2”。通过 Excel 编辑

	A	B	C	D	E	F	G	H	I
	钻孔 编号	AB长 度/m	煤层厚 度/m	煤层倾 角 $\alpha$ ( $^\circ$ )	煤层倾 向方位 角/ $^\circ$ )	钻孔 倾角 / $^\circ$ )	钻孔 方位 角/ $^\circ$ )	理论钻孔 长度/m	理论岩孔 长度/m
1									
2	3-1	42	4.4	-5	283	-33	356	78	70
3	3-2	42	4.4	-5	283	-44	260	61	55
4	4-1	43	4.6	-5	296	-47	258	59	53
5	4-2	43	4.6	-5	296	-41	348	66	59
6	5-1	44	4.6	-5	279	-55	258	54	49
7	5-2	44	4.6	-5	279	-54	352	55	49

图2 宏远煤矿测压钻孔参数计算结果

公式来计算、穿层钻孔的参数,如图2所示。

在宏远煤矿瓦斯基础参数测试中,在150102高抽巷共施工3个测压钻场6个测压钻孔。钻孔理论与实际长度对比见表1。由表1可看出,钻孔实际长度与理论计算长度基本一致,误差均不大于1m,验证了计算公式的准确性。

表1 宏远煤矿瓦斯压力测定钻孔理论与实际长度对比

钻孔编号	理论钻孔长度/m	理论岩孔长度/m	实际钻孔长度/m	实际岩孔长度/m
3-1	78	70	79	70
3-2	61	55	60	55
4-1	59	53	58	52
4-2	66	59	65	59
5-1	54	49	54	49
5-2	55	49	54	48

## 5 结 语

建立了穿层钻孔参数计算的几何模型,基于几何模型描述了穿层钻孔产生伪倾角的原因,推导了考虑伪倾角的钻孔计算公式。根据考虑伪倾角的钻孔长度计算公式编写了在Excel中的计算公式,并在宏远瓦斯压力测定中进行了应用,计算理论钻孔长度与实际钻孔长度相差不超过1m。说明采用该计算公式可以提高设计效率和现场施工的准确性。

### 参考文献:

- [1] 王海峰,程远平,吴冬梅,等.近距离上保护层开采工作面瓦斯涌出及瓦斯抽采参数优化[J].煤炭学报,2010,35(4):590-594.

(上接第36页)

### 参考文献:

- [1] 欧阳振华,樊少武,齐庆新,等.煤矿冲击地压危险性综合评价系统开发[J].煤矿安全,2012,43(10):97-100.
- [2] 雷毅.冲击危险性评价模型的建立及应用研究[D].北京:煤炭科学研究总院,2005.
- [3] 鞠文君,潘俊锋.我国煤矿冲击地压监测预警技术的现状与展望[J].煤矿开采,2013,17(6):1-5.
- [4] 王平,姜福兴,王存文,等.冲击地压的应力增量预报方法[J].煤炭学报,2010,35(8):5-9.
- [5] 郭文奇,张拥军,安里千,等.红外辐射探测预测煤矿冲击地压的试验研究[J].煤炭科学技术,2007,35(1):73-77.
- [6] 邹德蕴,宋景春,许平,等.基于应力法的冲击地压监测系统的研发与应用[J].煤炭科学技术,2007,35(4):34-36.
- [7] 潘一山,杜广林,张永利.媒体振动方法防治冲击地压的机理研究[J].岩石力学与工程学报,1999,18(4):432-436.

- [2] 程远平,付建华,俞启香.中国煤矿瓦斯抽采技术的发展[J].采矿与安全工程学报,2009,26(2):127-139.
- [3] 程远平,俞启香.中国煤矿区域性瓦斯治理技术的发展[J].采矿与安全工程学报,2012,24(4):383-390.
- [4] 王春光,张东旭.深部煤矿开采瓦斯综合治理技术研究[J].煤炭科学技术,2013,41(8):11-14.
- [5] 杨洋,蒋承林,何明霞.近距离煤层群条件下穿煤层瓦斯压力测定技术[J].煤炭科学技术,2011,39(2):51-54.
- [6] 林柏泉,张其智,沈春明,等.钻孔隔缝网络化增透机制及其在底板穿层钻孔瓦斯抽采中的应用[J].煤炭学报,2013,38(9):1425-1430.
- [7] 袁志刚,王宏图,胡国忠,等.穿层钻孔水力压裂数值模拟工程应用[J].煤炭学报,2012,37(S1):109-114.
- [8] 梁冰,袁欣鹏,孙维吉,等.分组测压确定瓦斯有效抽采半径实验研究[J].采矿与安全工程学报,2013,30(1):132-135.
- [9] 石庆礼,杨胜强,孙祺.煤层瓦斯压力测定钻孔参数优选方法初探[J].煤矿安全,2011,42(4):129-133.
- [10] 刘明举,郭献林,李波,等.底板巷穿层钻孔水力冲孔防突技术[J].煤炭科学技术,2011,39(2):33-35.
- [11] 张维峰,杨柳.煤矿瓦斯赋存规律及地质因素探讨[J].中国煤炭,2012,38(11):31-33.
- [12] 霍丙杰,张宏伟,韩军.地质构造对煤层复杂性影响的定量评价方法[J].煤田地质与勘探,2012,40(3):13-17.
- [13] 王树仁,王金安,戴涌.大倾角厚煤层综放开采顶煤移动规律与破坏机理的离散元分析[J].北京科技大学学报,2005,27(1):5-8.
- [14] 李树清,解庆雪,赵训,等.高抽巷内上向钻孔抽采邻近层瓦斯的试验研究[J].煤矿安全,2012,43(7):1-3.
- [15] 齐黎明,程根银,陈学习.瓦斯压力测定时间及其受控因素分析[J].中国安全科学学报,2013,23(1):67-71.
- [16] 耿金华,李庆江,刘峰.采煤面伪倾角参数的规律分析[J].煤炭工程,2005(1):36-38.

- [8] 欧阳振华,齐庆新,张寅,等.水压致裂预防冲击地压的机理与试验[J].煤炭学报,2012,36(S1):321-325.
- [9] 赵善坤,欧阳振华,刘军,等.超前深孔顶板爆破防治冲击地压原理分析及实践研究[J].岩石力学与工程学报,2013,32(S1):3768-3775.
- [10] 齐庆新,雷毅,李宏艳,等.深孔断顶爆破防治冲击地压的理论与实践[J].岩石力学与工程学报,2007,26(S1):3522-3527.
- [11] 窦林名.深部开采冲击矿压防治研究[J].矿山压力与顶板管理,2003,20(S1):58-60.
- [12] 黄浩,陈清国,秦奋,等.媒体卸压爆破技术在冲击地压区的应用[J].煤矿安全,2008,39(8):57-60.
- [13] 张寅.断底爆破在防治冲击地压中的试验研究[J].煤炭技术,2010,29(10):90-92.
- [14] 潘一山,吕祥锋,李忠华.吸能耦合支护模型在冲击地压巷道中应用研究[J].采矿与安全工程学报,2011,28(1):6-10.
- [15] 刘军,欧阳振华,齐庆新,等.深部冲击地压矿井刚柔一体化吸能支护技术研究[J].煤炭科学技术,2013,41(6):17-20.