

特殊采煤与矿区环境治理

铁路保护煤柱设计精度分析

覃杰^{1,2}, 孙震^{1,2}

(1. 煤炭科学研究总院 开采设计研究分院, 北京 100013; 2. 天地科技股份有限公司 开采设计事业部, 北京 100013)

[摘要] 铁路保护煤柱影响铁路安全和煤炭开采。根据开采沉陷理论分析了垂线法的设计原理和计算公式。依据微分原理进行误差分析, 推导绝对误差公式, 并将误差分析结论应用于实例计算, 认为煤层倾角和断层构造是影响设计精度的主要因素。在误差分析基础之上建立断层修正公式, 提出降低设计误差的方法, 有利于提高铁路等延伸构筑物保护煤柱设计的精度。

[关键词] 保护煤柱; 设计精度; 煤层倾角; 断层

[中图分类号] TD822.3 [文献标识码] A [文章编号] 1006-6225 (2011) 05-0030-03

Precision Analysis of Protective Coal-pillar for Railway

QIN Jie^{1,2}, SUN Zheng^{1,2}

(1. Mining & Designing Branch, China Coal Research Institute, Beijing 100013, China;

2. Coal Mining & Designing Department, Tiandi Science & Technology Co., Ltd, Beijing 100013, China)

Abstract: Protective coal-pillar design direct influence railway safety and coal mining Theory and calculation formula of perpendicular method was analyzed based on mining subsidence theory Error formula was deduced with differentiation method and applied in calculation of an example It was believed that coal-seam angle and fault tectonic were main factors influencing pillar design precision An amended formula for fault was set up on the basis of error analysis and the method for reducing design error was put forward to improve coal-pillar design precision for protecting railway and other structures.

Key words: protective coal-pillar; design precision; coal-seam angle; fault

铁路下煤炭开采必然引起围岩及地表移动和变形, 为保证列车安全运行, 必须留设铁路保护煤柱。但保护煤柱会造成大量呆滞煤量, 影响矿井的开拓布局和生产接续。为了兼顾铁路安全和最大限度减少资源损失, 必须提高铁路保护煤柱的设计精度。《建筑物、水体、铁路及主要井巷煤柱留设与压煤开采规程》(以下简称《“三下”规程》)推荐采用垂线法设计铁路保护煤柱^[1]。

刘海青提出垂线法的改进公式; 汤伏全提出基于地表变形预测的保护煤柱设计方法; 魏峰远建立垂直剖面法的解析模型; 魏峰远分析保护煤柱尺寸的影响因素; 在保护地面一点、一条直线原理的基础之上, 陈俊杰提出采用似椭圆法设计保护煤柱; 徐建军论证移动角的可变性, 并指出采用移动角设计保护煤柱的弊端^[2-6]。还有不少学者开展设计软件方面的研究。

垂线法是《“三下”规程》推荐的、被设计人员广泛使用、且易操作的铁路保护煤柱设计方法, 但存在设计精度问题, 从该问题出发, 本文分析垂线法的设计原理和误差, 提出提高铁路保护煤柱设

计精度的方法。

1 垂线法的设计原理

1.1 采用移动角设计保护煤柱原理^[7]

在充分采动或接近充分采动条件下, 地表移动盆地主断面上, 最外侧的临界变形值点至采空区边界的连线与水平线在煤柱一侧的夹角称为移动角。根据开采沉陷理论, 为了保护地面一点, 可利用倾斜主断面上的上山移动角 γ 和下山移动角 β , 以及走向主断面上的走向移动角 δ , 确定煤层上的保护煤柱范围, 如图1所示。存在表土层的地表, 还需要考虑松散层移动角的影响。

1.2 直线边界的保护煤柱设计原理

图1中采空单元开采后, 地表出现影响椭圆, 如图2所示。该椭圆由2个半椭圆组成, 以该采空单元为原点, 分别以煤层走向和倾向为坐标轴, 建立水平面上的直角坐标系, 椭圆在该坐标系中的长短轴分别为:

$$a = h \cot \beta, b = h \cot \delta, c = h \cot \gamma \quad (1)$$

式中, h 为开采单元距基岩面的埋深。

[收稿日期] 2011-05-04

[作者简介] 覃杰(1986-), 男, 土家族, 湖南常德人, 煤炭科学研究总院在读硕士研究生, 从事矿井优化设计方面研究。

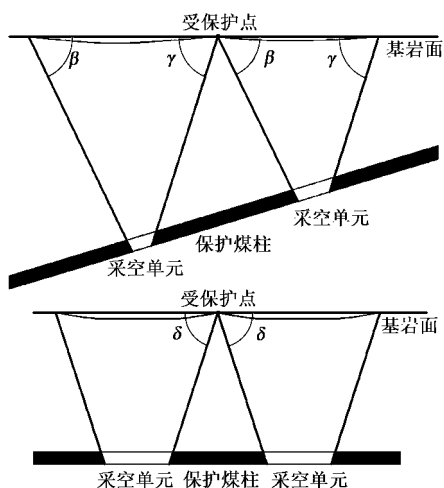


图 1 保护地面一点示意

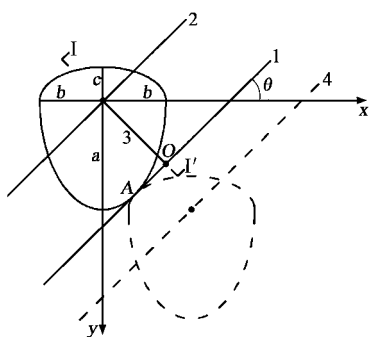


图 2 保护直线边界原理

由保护地面一点原理可知, 为保护位于采空单元下山方向的直线 1, 直线 2 即为上山边界保护煤柱线。设直线 1 与影响椭圆相切于 $A(x_1, y_1)$ 点, 与煤层走向所夹锐角为 θ , 与采空单元水平距离为 r , $r = H \cot \beta'$ 。以直线 3 为剖面线垂直于直线 1 作剖面, 可确定伪斜方向下山移动角 β' , 且:

$$\cot \beta' = \sqrt{\cot^2 \beta \cos^2 \theta + \cot^2 \delta \sin^2 \theta} \quad (2)$$

同理, 直线 4 为直线 1 下山边界保护煤柱线, 由此可确定伪斜方向的下山移动角 γ' , 且:

$$\cot \gamma' = \sqrt{\cot^2 \gamma \cos^2 \theta + \cot^2 \delta \sin^2 \theta} \quad (3)$$

在图 2 中的 I-I' 剖面中, 可推导出垂线法的上山方向垂线长度 q 。如图 3 所示, 在三角形 OBC 中, 根据正弦定理得:

$$\frac{\sin(\alpha' + \beta')}{H} = \frac{\sin(90 - \beta')}{BC}$$

H 为基岩面上的计算点至煤层底板的垂高。在三角形 BCD 中, $q = BC \cos \alpha'$, 因此

$$q = \frac{H \cos \beta'}{\sin(\alpha' + \beta')} \cos \alpha' = \frac{H \cot \beta'}{1 + \cot \beta' \tan \alpha'}$$

剖面中煤层视倾角 α' , 煤层真倾角 α , 直线 1

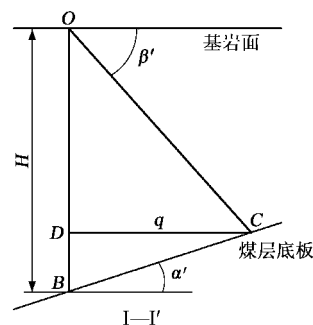


图 3 上山垂线尺寸计算原理

与煤层走向所夹锐角 θ 之间关系式 $\tan \alpha' = \tan \alpha \cdot \cos \theta$ 成立^[7], 则:

$$q = \frac{H \cot \beta'}{1 + \cot \beta' \tan \alpha \cos \theta} \quad (4)$$

同理可求得下山方向垂线长度 l :

$$l = \frac{H \cot \gamma'}{1 - \cot \gamma' \tan \alpha \cos \theta} \quad (5)$$

2 误差分析

2.1 由煤层倾角引起的误差

式 (2), (3), (4), (5) 表明, 上山和下山垂线长度是参数 $\beta, \gamma, \delta, \alpha, \theta$ 和 H 的函数, 而 β, γ, δ 的值由地表变形观测资料确定, 误差主要来源于计算参数 α, θ 和 H 。煤层底板是复杂的空间曲面, 煤层倾角和走向随空间坐标的变化而变化。在存在地质构造的区域, 煤层产状的变化引起计算参数的变化, 导致由计算得出的煤柱尺寸偏离实际尺寸。以下山方向垂线长度 l 和煤层倾角 α 为例, 设煤层倾角的绝对误差为 ξ_α , 下山方向垂线长度的绝对误差为 ξ_l , 则:

$$\frac{dl}{d\alpha} = \frac{H \cot^2 \gamma' \cos \theta \sec^2 \alpha}{(1 - \cot \gamma' \cos \theta \tan \alpha)^2}$$

$$\xi_l = \left| \frac{dl}{d\alpha} \right| \xi_\alpha = \frac{H \cot^2 \gamma' \cos \theta \sec^2 \alpha}{(1 - \cot \gamma' \cos \theta \tan \alpha)^2} \xi_\alpha$$

同理可求得上山方向垂线长度关于煤层倾角的绝对误差表达式。参数 θ 的误差由煤层走向的变化引起, 但 θ 的取值只在计算点发生。参数 H 是基岩面上的计算点至煤层底板的垂高, 如图 3 中的垂高 H , 该参数在保护煤柱设计过程中容易取得准确值。沿煤层伪斜方向, 在 I-I' 剖面中, 保护煤柱边界受移动角 β', γ' 和煤层倾角 α 影响, 且 α 的影响作用于整个上山垂线直线段, 与 θ 的取值不同, 在于 α 的取值并不只作用于计算点。

2.2 由断层引起的误差

垂线法的设计原理和公式推导并未考虑断层对保护煤柱尺寸的影响, 如图 3 所示, 式 (4) 的推

导建立于理想的煤层底板条件之上,即煤层底板是连续的,没有发生断裂。这一理想条件与实际煤层地质构造不符。而由几何做图原理可知,在上山方向,当煤层受正断层影响,绝对误差为负数,逆断层反之;在下山方向,受正断层影响,绝对误差为正,逆断层反之。

2.3 误差实例分析

图 4 是某井田局部煤层底板等高线图,采用垂线法设计井田范围内的铁路保护煤柱。国家Ⅱ级铁路线从井田西南角进入矿界,地质构造复杂程度属于中等。根据地质报告选取基岩面移动角参数,松散层移动角 45° ,走向移动角 $\delta=73^\circ$,上山移动角 $\gamma=73^\circ$,下山移动角 $\beta=76^\circ-0.6\alpha$ (α 为煤层倾角)。按《“三下”规程》规定,根据Ⅱ级铁路线保护要求取维护带为 15m。图 4 中各勘探线大致垂直于受护边界,故取勘探线上 A, B, C, D, E, F 六个计算点。计算参数和结果见表 1。计算结果显示,由断层或煤层倾角引起的绝对误差最大值 9.9m,相对误差最大值 4.28%,见表 2。

表 1 垂线长度计算参数

计算点	A	B	C	D	E	F
$\alpha/(^\circ)$	5.7	5.5	24.1	15.6	23.2	20.6
$\theta/(^\circ)$	25	28	33	30	3	2
$\beta/(^\circ)$	72.6	—	61.5	—	62.1	—
$\beta'/(^\circ)$	72.7	—	64.1	—	62.1	—
$\cot\beta'$	0.3121	—	0.4849	—	0.5290	—
$\gamma'/(^\circ)$	—	73	—	73	—	73
$\cot\gamma'$	—	0.3058	—	0.3058	—	0.3058
H/m	697.7	705.7	578.4	598.0	513.6	583.7
q/m	211.8	—	237.1	—	221.5	—
l/m	—	221.6	—	197.5	—	201.7

表 2 计算结果误差分析

计算点	A	B	C	D	E	F
计算值/m	211.8	221.6	237.1	197.5	221.5	201.7
作图值/m	208.5	221.9	234.9	204.1	231.4	199.7
绝对误差/m	-3.3	+0.3	-2.2	+6.6	+9.9	-2
相对误差/%	-1.58	+0.14	-0.94	+3.23	+4.28	-1.00
误差来源	断层	α	α	断层	α	α

由煤层倾角和断层引起的误差,其几何原理如图 5 所示。以 4-4' 勘探线剖面图为例,图 5 即是沿 C, D 两计算点连线的剖面图。

3 减少误差的方法

3.1 参数取值

由垂线法的设计原理可知,计算公式中各参数的取值由计算点的坐标决定。为提高设计精度,各计算点处受护边界与煤层走向的夹角 θ ,基岩面至

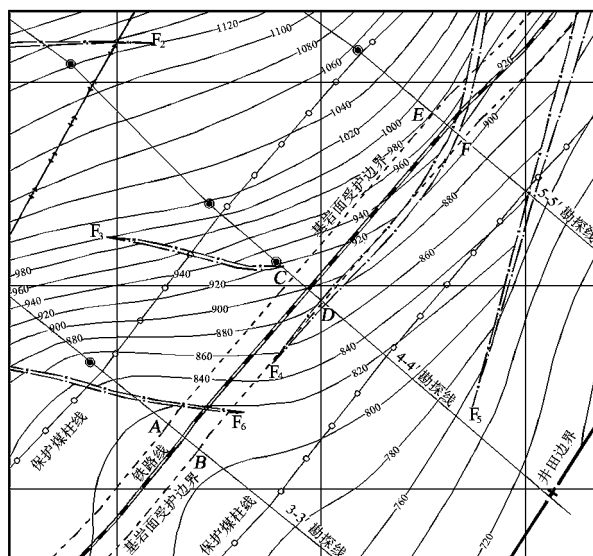


图 4 某井田煤层底板等高线

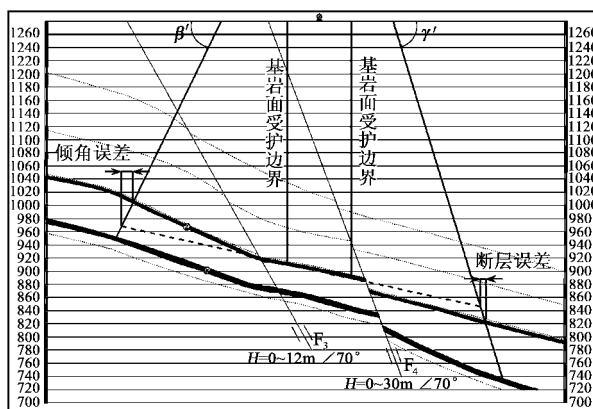


图 5 误差来源示意

煤层底板的垂高 H , 应该在煤层底板等高线上分别取值。

由误差分析可知,煤层倾角影响整个上下山方向的垂线尺寸, α 应该取计算点和煤柱边界点连线上煤层倾角的平均值。该平均值可从煤层底板等高线上或剖面图上通过作图和计算求得。

3.2 断层修正值

根据几何作图原理,计算出公式(4) (5) 的断层修正值:

$$\omega_0 = \frac{f \cos \beta'}{\sin(\beta' + \alpha')}$$

$$\omega_1 = \frac{f \cos \gamma'}{\sin(\gamma' + \alpha')}$$

式中, f 是过计算点垂直于受护边界剖面上的地层断距,可在煤层底板等高线上作图求出; α' 为煤层伪倾角,也可在煤层底板等高线上求出; ω_0 和 ω_1 分别是上山和下山方向垂线尺寸的修正值,且:

(下转 29 页)

性,但是,这是所有措施中最基础的一项工作。如果液压系统存在跑、冒、滴、漏液等现象,液压支架的初撑力就达不到,在顶板不好的条件下很容易引起漏顶、冒顶事故;初撑力达不到,支架的工作阻力就达不到,在初次来压或周期来压时容易压死支架,影响正常回采;同时,还会导致拉架推输送机速度跟不上,在操作过程中会出现倒架等事故。这些问题在大倾角综采面开采过程中尤为突出。

2.3 刮板输送机稳定性控制措施

控制刮板输送机下滑措施,主要包括改造设备、改变工作面布置方式、变革回采工艺等。

(1) 各支架底座内侧加装限位铁块,减少底座与推拉杆间隙,限制推拉杆受输送机下滑力拉动向下偏移,以控制输送机下滑。

(2) 在输送机上安装防滑系统。输送机每隔 10 架安装 1 个千斤顶做防滑之用,该千斤顶用圆环链连接,一端固定在输送机挡煤板上,另一端固定在上方支架的底座上,用单向液压锁控制,使其始终处于“拉”的工作状态。

(3) 工作面伪斜布置,控制输送机下滑。根据工作面煤层倾角大小,将工作面机巷调整成适当超前风巷回采,一方面可以减少工作面坡度,另外在推移输送机时可以给输送机一个向上的作用力,使得输送机下滑量与推移输送机产生的上窜量抵消一部分,达到防止输送机上窜与下滑的目的。

利用调整工作面上下巷超前距离来控制综采工作面设备稳定性,对于不同地质条件综采面来说,这个距离是变量,必须针对具体的矿井地质条件、煤层倾角进行观察和摸索实践。总体来说,工作面倾角越大,机巷超前风巷距离越长。

(4) 采取由下向上推移输送机。

(5) 改革割煤工艺控制输送机下滑。当工作面倾角达 40° 以上时,若输送机和支架下滑明显,采用工作面伪斜布置不能有效防止输送机下滑时,可采用单向割煤防止下滑。即:采煤机下行割煤,上行提空刀并推输送机;推输送机时,先推较低位置的机头,然后依次向上,可避免输送机由机尾向下推移时的下滑推力,有效防止输送机下滑。

4 结束语

(1) 大倾角综采工作面设备稳定性控制应从“支架-输送机-采煤机”三机配套的整体上考虑,并且结合大倾角工作面的实际地质条件,其主要控制技术包括改造设备、改变工作面布置方式、变革回采工艺等。

(2) 上述一系列措施之间均有一定的联系,相互影响,共同发挥作用。在大倾角综采工作面,应配合使用上述措施,才可保证大倾角工作面设备的正常运行,实现安全高效生产。

【参考文献】

- [1] 杜计平,孟宪锐.采矿学[M].徐州:中国矿业大学出版社,2009.
- [2] 任瑞云.大倾角采煤工作面设备防倒、防滑的应用技术研究[J].煤矿机械,2009,30(1):181-183.
- [3] 张 帅.大倾角走向长壁综采配套设备的防倒防滑措施[J].河北煤炭,2007(3):11-12.
- [4] 咸旭林.大倾角综采工作面支护中的防倒防滑技术[J].矿业安全与环保,2010(8):81-82.
- [5] 王国青.大倾角工作面综采设备防倒、防滑[J].煤,2001,11(2):53.
- [6] 林忠明,陈忠辉,谢俊文,等.大倾角综放开采液压支架稳定性分析与控制措施[J].煤炭学报,2004(6):264-268.

[责任编辑: 邹正立]

(上接 32 页)

$$q' = q \pm \omega_Q$$

正断层时取负号,逆断层时取正号;

$$l' = l \pm \omega_l$$

正断层时取正号,逆断层时取负号。

4 结论

受参数取值和断层构造的影响,铁路保护煤柱设计可能存在设计误差。煤层倾角的变化和断层构造是两大主要误差来源。优化参数取值,考虑地质构造对保护煤柱尺寸的影响,可以降低设计误差,提高铁路线等延伸形构筑物保护煤柱的设计精度,有利于矿井的储量管理和铁路运行安全。

【参考文献】

- [1] 原国家煤炭工业局.建筑物、水体、铁路及主要井巷煤柱留设与压煤开采规程[M].北京:煤炭工业出版社,2000.
- [2] 刘海青,张华兴,李凤明,杨树荣.垂线法留设保护煤柱的改进[J].煤矿开采,2010,15(4):15-17.
- [3] 汤伏全.基于地表变形预计的矿区保护煤柱留设方法[J].西安科技大学学报,2009,29(3):313-316.
- [4] 魏峰远,陈俊杰,邹友峰.留设保护煤柱尺寸的影响因素及变化规律探讨[J].中国矿业,2006,15(12):61-63.
- [5] 陈俊杰,邹友峰.似椭圆法设计保护煤柱的方法研究[J].煤炭技术,2005,24(9):2-4.
- [6] 何国清,杨 伦,凌赓娣,等.矿山开采沉降学[M].徐州:中国矿业大学出版社,1991.
- [7] 杨孟达.煤矿地质学[M].北京:煤炭工业出版社,2000.

[责任编辑: 徐乃忠]