

# 垂直剖面法保护煤柱设计的解析模型

魏峰远, 陈俊杰, 邹友峰

(河南理工大学 测绘学院, 河南 焦作 454000)

**摘 要:** 分析了现有图解法保护煤柱设计方法的缺点, 按照垂直剖面法保护煤柱设计的基本原理, 建立了相应的解析数学模型, 通过详细的公式推导, 最终给出了保护煤柱角点坐标的具体计算公式和相应压煤量的计算公式, 实现了保护煤柱留设尺寸的精确计算, 提高了保护煤柱设计的精度, 利用 Matlab 实现了保护煤柱设计的自动化和可视化, 并通过实例验证了模型的正确性。

**关键词:** 垂直剖面法; 保护煤柱; 解析模型

**中图分类号:** TD822.3 **文献标识码:** A

## Analytical model of protective coal pillar design for vertical section method

WEI Feng-yuan, CHEN Jun-jie, ZOU You-feng

(Institute of Surveying and Mapping, Henan Polytechnic University, Jiaozuo 454000, China)

**Abstract:** Analysised the flaws of existing graphical method to protect coal pillar design. According to the basic principal, which vertical section method protects coal pillar design, established the corresponding analytical mathematical model, set up the formula which calculate the coordinates and mine amount of protects coal pillar, achieved the precise calculation and enhanced the accuration of protecting coal pillar design. With the powerful function of Matlab, achieved the automation and visualization of protecting coal pillar design by program. Finally the validity was been validated by an example.

**Key words:** vertical section method; protective coal pillar; analytical model

由于煤矿地下开采活动常引起岩层与地表移动, 从而造成位于其影响范围内的地表上构筑物遭受不同程度的破坏. 为了保护地表重要构筑物, 原国家煤炭工业局制定的《建筑物、水体、铁路及主要井巷煤柱留设与压煤开采规程》中规定, 对地面建(构)筑物, 应以危险移动变形值指标为主要依据留设保护煤柱<sup>[1]</sup>. 目前, 留设保护煤柱的方法仍采用常用垂直剖面法、垂线法和数字标高投影法, 其中以垂直剖面法最为常用<sup>[1~4]</sup>. 但这些方法实质上都是图解法, 不仅作图复杂, 而且精度较差<sup>[5,6]</sup>. 柴华彬<sup>[7]</sup>提出了条带开采中含弱面的煤柱尺寸设计的方法; 陈俊杰等<sup>[8]</sup>在基于保护地面一点的原理基础上, 提出了似椭圆法留设保护煤柱及精度分析方法, 但这种方法的实质仍然采用了图解法的过程; 谈生荣等<sup>[9]</sup>在《保护煤柱计算方法的探讨》一文中, 给出了保护煤柱尺寸间关系的若干公式, 不仅公式复杂, 而且没作详细的推导. 本文将按照垂直剖面法保护煤柱设计的基本原理, 建立留设保护煤柱设计的解析模型, 给出模型的详细推导过程和计算保护煤柱顶点坐标的具体表达式, 并利用 Matlab 强大的计算功能和绘图功能, 实现保护煤柱设计的自动化和可视化.

收稿日期: 2007-11-26 责任编辑: 柴海涛

基金项目: 国家自然科学基金资助项目(40672177); 新世纪优秀人才支持计划基金资助项目(NCET-04-0655)

作者简介: 魏峰远(1965—), 男, 河南柘城人, 副教授, 博士研究生. Tel: 0391-3987662, E-mail: wei-f-y@163.com

## 1 垂直断面法保护煤柱设计的基本原理

垂直断面法实际上是一种图解法(图1)。基本原理:首先通过被保护物体的最外角点作平行于煤层走向和倾向的4条线,得一矩形保护范围,再向外圈出宽度为 $S$ 的围护带,即构成保护边界 $abcd$ 。通过保护范围中心作沿煤层倾斜方向的剖面图(图1左上部分),保护边界为 $m, n$ ,从 $m, n$ 分别作表土层移动角 $\varphi$ ,得表土层与基岩接触面的保护边界 $m_1, n_1$ 。再从 $m_1, n_1$ 分别作基岩移动角 $\gamma$ 与 $\beta$ 煤层交于 $m_2, n_2$ 。同样,在走向剖面图(图1右上部分)求得 $q_1, k_1, q_2, k_2, q_3, k_3$ 等点,将 $m_2, n_2, q_2, k_2, q_3, k_3$ 各点投影到平面图上,即得煤柱的平面投影 $ABCD$ 。将该投影的平面面积按煤层倾角转换为真实面积,乘上煤层厚度和煤的密度,即可求得保护煤柱压煤量的大小。

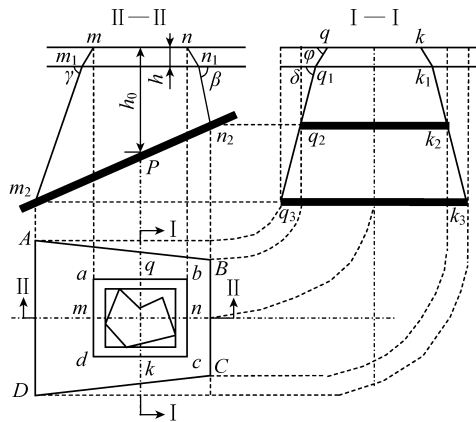


图1 垂直断面法保护煤柱的设计原理

Fig. 1 Principle of protective coal pillar design for vertical section method

## 2 保护煤柱设计的解析模型

解析法的基本思想:根据被保护物体的坐标,按照垂直断面法设计保护煤柱的基本原理,求得煤柱在平面投影图上平面坐标,进而求出保护煤柱的面积、体积和压煤量。

### 2.1 保护煤柱顶点坐标的解析模型

如图1所示,设被保护物体的角点坐标为 $(X_i, Y_i)$ ,围护带宽度为 $S$ ,则矩形保护边界4个顶点 $abcd$ 的坐标分别为

$$X_a = \min(X_i) - S, Y_a = \max(Y_i) + S; X_b = \min(X_i) + S, Y_b = \max(Y_i) + S;$$

$$X_c = \max(X_i) + S, Y_c = \min(Y_i) - S; X_d = \min(X_i) - S, Y_d = \min(Y_i) - S.$$

则图1中左剖面图上 $m, n$ 点的坐标: $X_m = X_a = X_d, Y_m = 0; X_n = X_b = X_c, Y_n = 0$ 。

根据表土层移动角 $\varphi$ 和表土层厚度 $h$ ,可求出 $m_1, n_1$ 点坐标为 $X_{m_1} = X_m - h \cot \varphi, Y_{m_1} = -h; X_{n_1} = X_n + h \cot \varphi, Y_{n_1} = -h$ 。根据煤层埋藏深度 $h_0$ 知 $P$ 点坐标为 $(0, -h_0)$ ,为求 $m_2$ 点坐标,建立直线 $m_1 m_2$ 和 $m_2 P$ 的方程,即 $Y_{m_1} - Y_{m_2} = (X_{m_1} - X_{m_2}) \tan \gamma, -h_0 - Y_{m_2} = (0 - X_{m_2}) \tan i$ 。

联合求解得 $m_2$ 点坐标为 $X_{m_2} = (X_{m_1} \tan \gamma + h - h_0) / (\tan \gamma - \tan i), Y_{m_2} = X_{m_2} \tan i - h_0$ ,其中, $i$ 为煤层倾角; $\gamma$ 为下边界移动角。同理,通过联合求解 $n_1 n_2$ 和 $m_2 P$ 的直线方程,求得 $n_2$ 点坐标为 $X_{n_2} = (X_{n_1} \tan \beta + h_0 - h) / (\tan \beta + \tan i), Y_{n_2} = X_{n_2} \tan i - h_0$ ,其中, $\beta$ 为上边界移动角。

对照平面图和沿煤层走向的剖面图不难看出, $X_q = -Y_b, X_k = -Y_c$ ,则走向断面图上 $q_1, q_2, q_3$ 三点的坐标为

$$X_{q_1} = X_q - h \cot \varphi, Y_{q_1} = -h; X_{q_2} = X_{q_1} + (Y_{n_2} + h) \cot \delta, Y_{q_2} = Y_{n_2};$$

$$X_{q_3} = X_{q_1} + (Y_{m_2} + h) \cot \delta, Y_{q_3} = Y_{m_2}.$$

其中, $\delta$ 为走向移动角。同理,可求出走向剖面图上 $k_1, k_2, k_3$ 的坐标为

$$X_{k_1} = X_k + h \cot \varphi, Y_{k_1} = -h; X_{k_2} = X_{k_1} - (Y_{n_2} + h) \cot \delta, Y_{k_2} = Y_{n_2};$$

$$X_{k_3} = X_{k_1} - (Y_{m_2} + h) \cot \delta, Y_{k_3} = Y_{m_2}.$$

将 $m_2, n_2, q_2, k_2, q_3, k_3$ 各点分别投影到平面图上,得保护煤柱4个角点( $ABCD$ )的坐标,即

$$X_A = X_{m_2}, Y_A = -X_{q_3}; X_B = X_{n_2}, Y_B = -X_{q_2};$$

$$X_C = X_{n_2}, Y_C = -X_{k_3}; X_D = X_{m_2}, Y_D = -X_{k_2}.$$

## 2.2 保护煤柱面积、体积及压煤量的计算

根据上述解析模型求得保护煤柱的顶点坐标后,很容易计算出保护煤柱面积、体积及压煤量,保护煤柱平面面积按梯形面积计算,即  $S_p = (X_B - X_A)(Y_B - Y_C + Y_A - Y_D)/2$ . 保护煤柱实际面积  $S_s = S_p/\cos i$ . 保护煤柱体积  $V = S_s M$ , 其中  $M$  为煤层厚度. 保护煤柱的压煤量  $W = VD$ , 其中  $D$  为煤的密度.

利用上述解析模型,用 Matlab 编写相应的计算程序,验证了模型的正确性,并实现了保护煤柱设计的可视化.

## 3 实例分析

设计一群建筑物的保护煤柱,平面图形为五边形,已知各点坐标  $X = [100, 200, 150, 180, 80 \text{ m}]$ ,  $Y = [20, 30, 60, 120, 110 \text{ m}]$ ,煤层倾角为  $30^\circ$ ,表土层厚为  $40 \text{ m}$ ,保护范围中央的煤层埋藏深度为  $250 \text{ m}$ ,煤层厚度为  $2.5 \text{ m}$ ,表土层移动角为  $45^\circ$ ,上山移动角为  $55^\circ$ ,下山移动角和走向移动角均为  $73^\circ$ ,围护带宽度为  $15 \text{ m}$ ,按解析法设计保护煤柱,并计算保护煤柱压煤量.

解决上述问题,依据推导的解析数学模型,求得保护煤柱角点坐标和保护煤柱压煤量(表1).并利用 Matlab 强大的绘图功能,通过编程实现了保护煤柱设计的自动化和可视化(图2).

表 1 保护煤柱坐标成果

Table 1 Coordinates of protective coal pillar

| 点 | X 坐标      | Y 坐标       | 备 注                          |
|---|-----------|------------|------------------------------|
| A | -78.044 3 | 278.044 3  | 平面面积: 139 620 m <sup>2</sup> |
| B | 327.181 3 | 206.516 4  | 真实面积: 161 220 m <sup>2</sup> |
| C | 327.181 3 | -66.516 4  | 压煤量: 54.413 万 t              |
| D | -78.044 3 | -138.044 3 |                              |

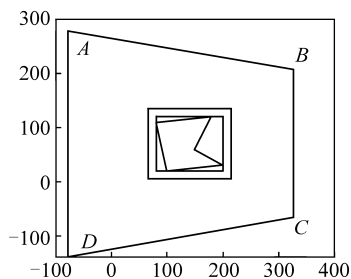


图 2 解析法保护煤柱设计

Fig. 2 Design of protective coal pillar for analytical method

## 4 结 语

建立了保护煤柱设计的数学模型,推导了有关的公式;提高了保护煤柱设计的精度,实现了保护煤柱设计尺寸的精确计算;通过 Matlab 编程实现了保护煤柱设计的自动化和可视化.

## 参考文献:

- [1] 何国清, 杨 伦. 矿山开采沉陷学 [M]. 徐州: 中国矿业大学出版社, 1989. 104 ~ 127.
- [2] 魏峰远, 陈俊杰, 邹友峰. 影响保护煤柱尺寸留设的因素及其变化规律 [J]. 煤炭科学技术, 2006, 34 (10): 61 ~ 63.
- [3] 梁为民, 郭增长. 采动区建筑物保护研究现状及展望 [J]. 焦作工学院学报, 2000, 22 (2): 86 ~ 89.
- [4] 邹友峰, 邓喀中, 马伟民. 矿山开采沉陷工程 [M]. 徐州: 中国矿业大学出版社, 2003. 28 ~ 31.
- [5] 成 枢. 岩层与地表移动数值分析新方法 [M]. 徐州: 中国矿业大学出版社, 1998. 47 ~ 54.
- [6] 罗世英. 建(构)筑物保护煤柱设计图纸精度的分析 [J]. 矿山测量, 1994 (3): 43 ~ 47.
- [7] 柴华彬. 条带开采中含弱面的煤柱尺寸设计 [J]. 辽宁工程技术大学学报, 2007 (1): 8 ~ 10.
- [8] 陈俊杰, 邹友峰, 郭增长. 似椭圆法留设保护煤柱及精度分析 [J]. 河南理工大学学报, 2006, 25 (6): 477 ~ 480.
- [9] 谈生荣, 熊和平, 邹云丰. 保护煤柱计算方法的探讨 [J]. 江西煤炭科技, 2007 (2): 80 ~ 81.