

基于 Matlab 曲线拟合的两带高度计算公式优化

李胜¹, 李军文¹, 程瞳¹, 高宏², 朱小强¹

1. 辽宁工程技术大学矿业学院, 辽宁阜新 123000
2. 煤炭科学研究总院沈阳研究院煤矿安全技术国家重点实验室, 沈阳 110016

摘要 为了能够更准确地计算出煤矿开采中上覆岩层两带高度, 针对《建筑物、水体、铁路及主要井巷煤柱留设与压煤开采规程》中给出的垮落带和裂隙带高度计算公式计算范围较宽的问题, 采用 Matlab 进行曲线拟合, 建立了以上覆岩层强度和采厚为变量的量化计算公式, 确定了其函数关系, 使得计算范围的准确度提高, 计算结果更可靠。本研究为单一长壁式全部垮落法开采两带高度的计算提供了更为准确的理论公式, 有一定的理论意义和实用价值。

关键词 两带高度; 煤层采厚; 覆岩强度; Matlab 曲线拟合

中图分类号 TD823

文献标志码 A

doi 10.3981/j.issn.1000-7857.2013.03.009

The Optimization Calculation Formula for Two Zones' Height Based on Matlab Curve Fitting

LI Sheng¹, LI Junwen¹, CHENG Tong¹, GAO Hong², ZHU Xiaoqiang¹

1. College of Mining Engineering, Liaoning Technical University, Fuxin 123000, Liaoning Province, China
2. State Key Laboratory of Coal Safety Technology, Shenyang Branch of China Coal Research Institute, Shenyang 110016, China

Abstract After the coal seam is extracted, the original rock stress is released, under the longwall mining full caving conditions, in the overlying strata above a goaf, a caving zone, a fracture zone (or water suture zone) and a bending belt will be formed, as is normally called the "three zones". In order to calculate two zones' (break and crack zones) height in the overlying strata of the underground coal mining more accurately, with consideration of the fact that the two zones' calculation formula in the specifications covers a too broad range, by using Matlab for the curve fitting, this paper proposes calculation formulas based on the overlying strata strength and the mining thickness, and with a functional relationship between them. The accuracy of the calculation is improved. Through the calculation of the two zones' height of the overlying strata of 22101 working face in Huoluowan coal mine, the calculation method of this paper is verified. It is indeed a more accurate calculation formula for the zones' height for the single long wall fully caving coal.

Keywords two zones' height; mining thickness; overlying strata strength; Matlab curve fitting

0 引言

煤层开采后, 原岩应力遭到破坏, 在长壁开采全部垮落条件下, 采空区上覆岩层形成垮落带、裂缝带(或导水裂隙带)和弯曲带, 即通常讲的“上三带”。本文中的两带高度特指垮落带和断裂带高度。两带高度与覆岩性质、煤层倾向、厚煤层分层厚度、采空区大小、采煤方法和顶板管理方法以及地质构造等因素有关^[1]。研究两带高度的发育规律对水体下安

全采煤, 以及采动影响区内抽采断裂带顶(底)板卸压瓦斯具有十分重要的意义。施龙青等^[2]基于采场顶板上四带划分理论推导出了考虑开采厚度、开采深度、工作面跨度、岩石的力学性质、岩层的组合特征、含水层水压等因素的导水裂隙带理论计算公式。黄乐亭^[3]给出了采场覆岩两带高度与覆岩硬度的大致函数关系。刘新河等^[4]对于水体下的申家庄矿 2 号矿体 2201 采区采用相似材料模拟技术, 找出了导水裂隙带

收稿日期: 2012-08-12; 修回日期: 2012-12-12

基金项目: 国家自然科学基金项目(51004063)

作者简介: 李胜, 教授, 研究方向为矿山压力与矿井动力灾害防治, 电子信箱: lisheng76@139.com

的位置。刘红元等^[9]和张明等^[10]将计算机数值模拟应用于导水裂隙带高度预测中,取得了较为满意的效果。现场实测方法是确定导水裂隙带的主要途径,主要包括注水试验法、高密度电阻率法、超声成像法、声波 CT 层析成像法等^[7]。现场实测具有较高的真实性,但存在一定的人为操作误差,数值模拟需要有理论检验和现场实测才具有更高的说服力。

本研究针对《建筑物、水体、铁路及主要井巷煤柱留设与压煤开采规程》^[8]中给出的垮落带和裂隙带高度计算公式存在精度比较低的问题,采用曲线拟合的方法,建立以上覆岩层强度和采厚为变量的量化计算公式,以提高计算准确度。

1 曲线拟合原理及方法

1.1 曲线拟合的原理

曲线拟合指设法找出某条光滑的曲线,能最佳地拟合数据。在曲线拟合时,并不要求拟合曲线一定要经过每个数据点,其思想是使它能反映这些离散数据的变化趋势,使数据点的误差平方和最小。

1.2 Matlab 曲线拟合的相关方法

Matlab 提供了 2 种方法进行曲线拟合,一种是以函数的形式,使用命令对数据进行拟合;另一种是用图形窗口进行操作,具有简便、快速、可操作性强的优点。从拟合曲线的对象上看,Matlab 又可分为多项式曲线拟合和其他非线性曲线拟合。本文采用多项式拟合函数 polyfit 进行曲线拟合,其基本过程如下。

利用 polyfit 函数进行多项式曲线拟合,其调用格式为

$$p = \text{polyfit}(x, y, n) \quad (1)$$

其中, x, y 为参与曲线拟合的试验数据; n 为拟合多项式的次数; 函数返回值 p 为拟合多项式的系数(按降幂排列)。 $n=1$ 时, 即为线性拟合。由于高次多项式会产生 Runge 现象, 因此除非已知数据来自高次多项式, 否则多项式拟合的次数一般不超过 6 次^[9]。

2 两带高度计算公式

当煤层顶板覆岩为坚硬(40~80MPa)、中硬(20~40MPa)、软弱(10~20MPa)、极软弱(<10MPa)岩层或其互层时,厚煤层分层开采的垮落带和断裂带最大高度计算公式见表 1^[10]。

综合表 1 中计算公式,可采用如下通用的计算公式,即

$$H = \frac{100 \sum M}{A \sum M + B} \pm C \quad (2)$$

其中, H 为垮落带或裂隙带高度, m ; $\sum M$ 为累计采高, m ; A 为随覆岩硬度变化的计算系数 1, m^{-1} ; B 为随覆岩硬度变化的计算系数 2; C 为在实际计算中的误差, m 。

3 两带高度与覆岩硬度的函数曲线关系拟合

在拟合过程中,在坚硬、中硬、软弱和极软弱岩层的强度范围取一代表值处理,设上覆岩层的单向抗压强度为 R ,则分

表 1 厚煤层分层开采时垮落带和裂隙带高度计算公式

Table 1 Calculation formulae of caving zone and fracture zone height during thick coal seam layer mining

序列	覆岩岩性	垮落带高度/m	裂隙带高度/m
1	坚硬	$H_m = \frac{100 \sum M}{2.1 \sum M + 16} \pm 2.5$	$H_{f1} = \frac{100 \sum M}{1.2 \sum M + 2.0} \pm 8.9$
2	中硬	$H_m = \frac{100 \sum M}{4.7 \sum M + 19} \pm 2.2$	$H_{f1} = \frac{100 \sum M}{1.6 \sum M + 3.6} \pm 5.6$
3	软弱	$H_m = \frac{100 \sum M}{6.2 \sum M + 32} \pm 1.5$	$H_{f1} = \frac{100 \sum M}{3.1 \sum M + 5.0} \pm 4.0$
4	极软弱	$H_m = \frac{100 \sum M}{7.0 \sum M + 63} \pm 1.2$	$H_{f1} = \frac{100 \sum M}{5.0 \sum M + 8.0} \pm 3.0$

别取坚硬岩层 $R=70\text{MPa}$ 、中硬岩层 $R=30\text{MPa}$ 、软弱岩 $R=15\text{MPa}$ 、极软弱岩层 $R=5\text{MPa}$ 。结合通用公式(2),由表 1 中各 H_m 的表达式可以得到 A_1, B_1, C_1 的值,垮落带高度计算公式中的系数 A_1, B_1, C_1 与覆岩 R 建立的关系见表 2;由表 1 中各 H_{f1} 的表达式可以得到 A_2, B_2, C_2 的数值,裂隙带高度计算公式中的系数 A_2, B_2, C_2 与覆岩硬度 R 建立的关系见表 3^[9]。

表 2 R 与 A_1, B_1 和 C_1 的关系

Table 2 Relation between R and A_1, B_1, C_1

变量	数值			
R/MPa	5	15	30	70
A_1/m^{-1}	7.0	6.2	4.7	2.1
B_1	63	32	19	16
C_1/m	1.2	1.5	2.2	2.5

表 3 R 与 A_2, B_2 和 C_2 的关系

Table 3 Relation between R and A_2, B_2, C_2

变量	数值			
R/MPa	5	15	30	70
A_2/m^{-1}	5	3.1	1.6	1.2
B_2	8.0	5	3.6	2.0
C_2/m	3.0	4.0	5.6	8.9

可以看出, A, B, C 随覆岩硬度 R 变化的规律性较强,基本上是平滑的曲线或直线。其中, A_1, C_2 与 R 之间是直线函数关系; B_1, A_2, B_2 与 R 之间近似为双曲线函数关系; C_1 与 R 之间近似为指数函数关系。为避免当 R 值比较大时, A_1 出现负值,对 A_1 与 R 采用二次曲线拟合。 C_2 与 R 采用一次直线拟合,调用格式为 $d = \text{polyfit}(x, y, n)$ 。其中, x, y 为表 1 和表 2 中参与曲线拟合的 A_1, C_2 数据; n 为拟合多项式的次数; 输出项 d 为拟合多项式的系数,由高到低排列。解得

$$A_1 = 0.0004R^2 - 0.11R + 7.58 \quad (3)$$

$$C_2=0.09R+2.67 \quad (4)$$

B_1, A_2, B_2 与 R 近似为双曲线函数关系, 做出 $(1/x, y)$ 、 $(x, 1/y)$ 、 $(1/x, 1/y)$ 的散点图, 可知, 通过 $(1/x, y)$ 变换能将双曲线函数数据转化为线性数据。令 $X=1/x, Y=y, y=aX+b$, 调用格式为 $d=polyfit(X, Y, 1)$, 解得 $a_1=255.44, b_1=12.43$, 则

$$B_1=255.44/R+12.43 \quad (5)$$

同理可得 $a_2=19.97, b_2=1.16; a_3=29.45, b_3=2.34$, 则

$$A_2=19.97/R+1.16 \quad (6)$$

$$B_2=29.45/R+2.34 \quad (7)$$

C_1 与 R 之间近似为指数函数关系, 令 $X=\ln(x), Y=y, y=aX+b$, 调用格式为 $d=polyfit(X, Y, 1)$, 解得 $a_4=0.52, b_4=0.28$, 则

$$C_1=0.52\ln(R)+0.28 \quad (8)$$

A_1, B_1, C_1 与 R 的拟合曲线见图 1, A_2, B_2, C_2 与 R 的拟合曲线见图 2。

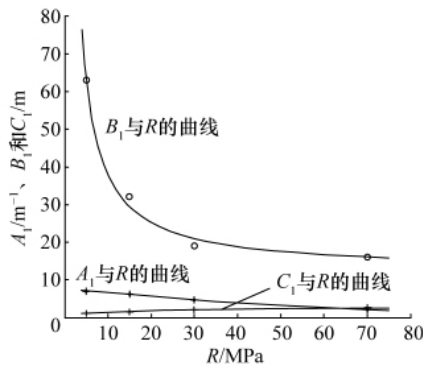


图 1 A_1, B_1, C_1 与 R 的关系曲线
Fig. 1 Relation curves of A_1, B_1, C_1 and R

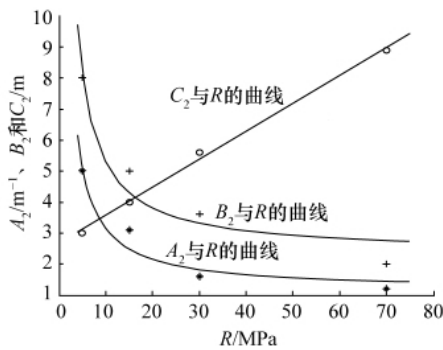


图 2 A_2, B_2, C_2 与 R 的关系曲线
Fig. 2 Relation curves of A_2, B_2, C_2 and R

在实际应用中, 通过计算机数值模拟初步计算裂隙带范围内(大约值)的覆岩硬度综合值 R, R 取决于覆岩分层的硬度、厚度及软硬组合型式, 可表示为

$$R = \frac{\sum_{i=1}^k m_i R_i}{\sum_{i=1}^k m_i} \quad (9)$$

其中, m_i 为 i 分层的法线厚度, $m; R_i$ 为 i 分层的单向抗压强度, MPa; k 为计算范围内的分层层数。

将求出的覆岩硬度综合值 R 代入式 (3)~式 (8), 在 Matlab 中编辑相应函数, 即可方便求出两带高度值, 这样计算比用表 1 公式直接计算更准确。例如对在 4 种岩性交界面的覆岩, 当岩层强度为 10MPa、20MPa、40MPa 时用两侧的公式 (如强度为 40MPa 时岩层既属于坚硬岩层又属于中硬岩层, 那么就有 2 个公式可使用, 见表 1) 分别计算的结果会相差较大, 而采用本文给出的两带高度与覆岩硬度的关系和计算方法, 能得出更精确的数值。

4 实例分析

霍洛湾煤矿位于内蒙古自治区鄂尔多斯市伊旗东南, 主采 2⁻² 煤层。霍洛湾煤矿 22101 工作面煤层地质构造简单, 煤层平均厚度为 2m, 2⁻² 煤上覆岩层的力学参数见表 4, 岩层顺序与真实煤岩层覆盖顺序一致。根据数值模拟和现场观测结果, 确定 22101 工作面垮落带高度 H_1 约 9.6m, 导水裂隙带高度 H_2 约 33.6~37.8m^[1]。

表 4 2⁻² 煤上覆岩层力学参数

Table 4 Mechanical parameters of rock stratum above 2⁻² coal layer

岩层	厚度/m	弹性模量/MPa	抗压强度/MPa
细粒砂岩	23	6600	46.0
砂质泥岩	9	6500	19.8
细粒砂岩	11	4628	45.6
粉砂岩	14	2390	28.2
细粒砂岩	12	2190	47.4
砂质泥岩	3	6500	16.9
2 ⁻² 号煤	2	3950	26.5

本文计算机数值模拟表明, 垮落带和导水裂隙带高度约为 43.2m, 可知裂隙带高度计算范围为 9m 厚砂质泥岩及以下, 结合表 4 中各覆岩高度和强度代入式 (9) 得 R 值为 37.35MPa, 代入式 (3)~(8) 得 A_1, B_1, C_1 为 4.2、19.27、2.18, A_2, B_2, C_2 分别为 1.69、3.12、6.04, 代入式 (2) 得 H_1 为 5.04~9.4m、 H_2 为 24.7~36.78m。采用开采规程中的公式计算出 H_1 为 4.84~9.24m, H_2 为 23.8~35.01m。对比可知, 应用本文给出的方法计算的两带高度更符合实际情况, 计算精度得到了有效的提高。

5 结论

对缓倾斜和倾斜煤层, 采用单一长壁式全部垮落法开采时, 影响其两带发育高度的主要因素是采厚和覆岩强度。针对规程中给出的垮落带和裂隙带高度计算公式计算范围较宽的问题, 采用 Matlab 进行曲线拟合, 建立了以上覆岩层强

度和采厚为变量的量化计算公式,确定其函数关系,使得计算范围的准确度提高,计算结果更可靠。

参考文献(References)

- [1] 焉德斌,秦玉金,姜文忠. 采场上覆岩层破坏高度主控因素[J]. 煤矿安全, 2008(4): 84-86.
Yan Debin, Qin Yujin, Jiang Wenzhong. Safety in Coal Mines. 2008(4): 84-86.
- [2] 施龙青,辛恒奇,翟培合,等. 大采深条件下导水裂隙带高度计算研究[J]. 中国矿业大学学报, 2012, 41(1): 37-41.
Shi Longqing, Xin Hengqi, Zhai Peihe, et al. Journal of China University of Mining & Technology, 2012, 41(1): 37-41.
- [3] 黄乐亭. 采场覆岩两带高度与覆岩硬度的函数关系 [J]. 矿山测量, 1999(1): 19-22.
Huang Leting. Mine Surveying, 1999(1): 19-22.
- [4] 刘新河,段文堂,杨本生. 水下矿床开采的相似模拟研究 [J]. 黄金, 2001, 22(5): 18-20.
Liu Xinhe, Duan Wentang, Yang Bensheng. Gold, 2001, 22(5): 18-20.
- [5] 刘红元,刘建新,唐春安. 采动影响下覆岩垮落过程的数值模拟[J]. 岩土工程学报, 2001, 23(2): 201-204.
Liu Hongyuan, Liu Jianxin, Tang Chun'an. Chinese Journal of Geotechnical Engineering, 2001, 23(2): 201-204.
- [6] 张明,刘传武,赵武升. 应用数值模拟方法研究煤层覆岩破坏规律[J].

- 煤炭科技, 2003(4): 6-7.
Zhang Ming, Liu Chuanwu, Zhao Wusheng. Coal Science & Technology Magazine, 2003(4): 6-7.
- [7] 王双美. 导水裂隙带高度研究方法概述 [J]. 水文地质工程地质, 2005(5): 126-128.
Wang Shuangmei. Hydrogeology & Engineering Geology, 2005(5): 126-128.
- [8] 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: 226-229.
State Bureau of Coal Industry. Regulations of coal pillar fencing and unexploited coalmining of the main shafts under ground buildings and water body and railway [M]. Beijing: China Coal Industry Publishing House, 2000: 226-229.
- [9] 唐家德. 基于 MATLAB 的非线性曲线拟合 [J]. 计算机与现代化, 2008(6): 15-18.
Tang Jiade. Computer and Modernization, 2008(6): 15-18.
- [10] 徐永圻. 煤矿开采学 [M]. 3 版. 徐州: 中国矿业大学出版社, 2009: 418-420.
Xu Yongqi. Mining technology of coal [M]. 3rd ed. Xuzhou: China University of Mining and Technology Press, 2009: 418-420.
- [11] 王世东,谢伟,罗利卜. 霍洛湾煤矿 22101 工作面顶板两带发育规律 [J]. 煤田地质与勘探, 2009, 37(3): 38-40.
Wang Shidong, Xie Wei, Luo Libu. Coal Geology & Exploration, 2009, 37(3): 38-40.
- (责任编辑 孙秀云,马骁骁)

·学术动态·

中国科协新观点新学说学术沙龙

为充分发挥学术交流作为原始创新源头之一的作用,营造自由进行探究、鼓励学术争鸣、活跃学术思想、促进原始创新的环境,弘扬敢于质疑、勇于创新、宽容失败的精神,为萌芽时期尚未获得学术主流认可的学术思想、理论观点以及学术灵感提供一个宽松、自由、平等的交流平台,中国科协学会学术部于 2006 年创办了新观点新学说学术沙龙。截至 2012 年 12 月 9 日,学术沙龙已成功举办 73 期,出版了学术沙龙系列文集,在科技界乃至社会上取得了较好的影响。

最近一期学术沙龙是 12 月 8~9 日由中国科协主办、中国环境诱变剂学会承办,在福建省厦门市召开的中国科协第 73 期新观点新学说学术沙龙,沙龙主题为“肿瘤放疗与副作用的差异同心圆效应”。

信息来源: www.cast.org.cn。



《科技导报》“书评”栏目征稿

“书评”栏目发表图书评论文章,被评论的图书以高级科普、学术专著及科学文化图书为主,兼顾科学精神、科学方法、科技哲学、科学人文、科学家传记、经典科学著作、科学通俗读物、科学道德等内容。欢迎投稿,择优刊登。每篇书评以 2100 字左右为宜,需配书影,并含书名、作者、出版单位、出版年份、定价等信息。栏目责任编辑:陈广仁,投稿邮箱: chenguangren@cast.org.cn。