

文章编号: 1006-2106(2012)06-0024-04

铁路下伏采空区计算中概率积分模型的修正^{*}

秦 爽^{**}

(铁道第三勘察设计院集团有限公司, 天津 300143)

摘要: 研究目的: 概率积分法是矿山沉陷预计的最主要方法, 一直以来其模型本身的缺陷和修正方法是研究的重点, 由于岩层移动形式的复杂性无法在理论计算中反应, 模型本身的缺陷未得到过有效的修正。特别是在铁路下伏采空区的高精度变形预计中, 会对计算结果造成较大的影响。

研究结论: 通过深入分析概率积分原理和总结已有的经验, 结合随机介质理论的特点提出一种新的概率分布模型——不均匀概率分布模型, 分析了概率分布模型与主要影响半径 r 的关系, 随着采深的增加, r 值会呈现分段的负指数函数变化。以概率积分计算参数和工作面剖分方法为切入点, 针对倾斜煤层倾角大的赋存特点, 提出沿走向方向剖分工作面可有效地修正概率积分模型偏于理想化的缺陷, 实例计算证明这种方法有效地提高了铁路下伏采空区变形预计的精度, 对于铁路选线、设计和采空区处理均具有积极的指导作用。

关键词: 概率积分; 模型修正; 铁路; 采空区; 变形预计

中图分类号: TD73 文献标识码: A

Modification of Probability Integral Model for Calculating Railway – underlying Goaf

QIN Shuang

(The Third Railway Survey and Design Institute Group Corporation, Tianjin 300143, China)

Abstract: Research purposes: The probability integral method is one of the most main methods for prediction of the mine subsidence, and its defect and the modification method are emphatically studied for a long time. Because the complexity of the stratum moving form is unable to be shown in theoretical computations, the defects of the model have not been effectively corrected. The defect can specially influence the calculation results in prediction of the high precision deformation of the railway – underlying goaf.

Research conclusions: Through analysing the principle of probability integral deeply and summing up the experience, a new kind of probability distribution model (the asymmetric possibility distribution model) is presented according to the characteristics of the random medium theory. The relation between the probability distribution model and major influence radius r is analyzed. With the increase of the mining depth, the variation of the negative exponential function by section occurs to the r value. Taking the calculation parameters of the probability integral and the face subdivision method as breakthrough point, and according to the occurrence characteristics of large inclination of inclined coal seam, it is put forward that subdividing the face along its strike can effectively correct the idealized defects of the probability integral model. The calculation example proves that this method can effectively improve the accuracy of the deformation prediction for railway – underlying goaf. It plays a positive guiding role in the railway alignment, railway design and goaf disposal.

Key words: probability integral; model modification; railway; goaf; deformation prediction

^{*} 收稿日期: 2011-11-24

^{**} 作者简介: 秦爽, 1983 年出生, 男, 助理工程师。

在众多的开采沉陷预计方法中,概率积分法是目前我国应用最广泛、最成熟的方法。2000年国家煤炭工业局颁布的《建筑物、水体、铁路及主要巷道煤柱留设于压煤开采规程》中,把概率积分法列为主要的开采沉陷预计方法^[1]。范学理、刘文生、赵德深等众位专家学者编著的《中国东北煤矿区开采损害防护理论与实践》中对铁路下采煤的研究,也重点采用了概率积分法^[2]。

通常,概率积分法公式只适用于水平或近似水平矩形工作面的预计。倾斜工作面根据计算点的相对位置转换为一等价计算工作面预计;非矩形工作面可以分割为多个小矩形工作面,计算每个小矩形工作面开采对地表的影响,然后把每个小矩形工作面的影响叠加起来,即得到非矩形工作面的地表移动变形值^[1,3-4]。由于概率积分法是基于随机介质理论^[5]的,所以在以往的剖分算法研究中,多注重对地表沉陷最终形态量的描述,而忽视了与煤层赋存状态的关系,致使沉陷边界的界定存在一定的误差。本文在综合对比各种剖分算法的基础上,提出并验证了一种优化的剖分算法,使预计结果更接近实际观测值。

1 概率积分模型的假设

概率积分模型从宏观上将岩体视为一个整体,考虑上覆岩体的综合评价系数^[1],由实测资料反算预计参数;在微观上把整个开采对岩层和地表的影响看作采区内所有微小单元开采影响的总和,是影响函数法的一种特殊形式。以往的观点认为概率积分模型将采空区覆岩看作均质的,没有考虑覆岩的层状结构及性质的差异是引起计算值与实测值差异的主要原因。但根据前面论述可知,事实上模型在计算时考虑了上覆岩体的综合影响,即预计参数都是由实测值反演而得,却忽视了煤层赋存状态的影响。因为模型本身认为在不同采深的小单元对上覆其他小单位的影响是平均分布的,显然,由于煤层赋存状态的复杂性,不同采深处的小单元对上覆同一水平小单元的影响不会平均分布。这种影响分布的不平均在煤层倾角较大时表现得更为明显,具体如图1所示。

当图1中的5个阴影小单元被外力挖出后,由于侧向扰动的影响,上覆小单元受到影响的概率分布近似于图中的形式^[6]。假设概率大于1/4的小单元会冒落,则形成的冒落带近似于图中曲线,与水平单元挖出后形成的冒落带有显著的区别。如果将图1中阴影部分视为倾斜煤层^[7-8],则这种冒落概率分布的差异反映到概率积分模型的参数中即是主要影响半径 r 的变化,即 r 值会随着采深的增加而呈现分段的负指数函

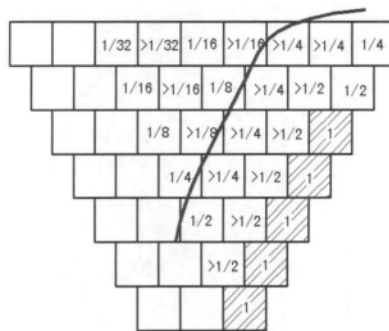


图1 不均匀概率分布

数变化。

在沉陷预计中,为了便于进行不同观测站实测参数的比较和计算的方便,一般都使用 $\lg \beta$ 作为概率积分计算的参数。通过 $\lg \beta$ 确定出主要影响半径 r ,再参与计算^[1]:

$$\lg \beta = (D - 0.0032H)(1 - 0.0038\alpha) \quad (1)$$

$$r = \frac{H}{\lg \beta} \quad (2)$$

式中 D ——岩性影响系数。

同一煤层的岩性差别不会太大,且倾角 α 相同,所以 r 值主要受采深 H 的影响。

2 工作面剖分算法

2.1 工作面剖分的种类

国内外的专家学者提出了多种工作面剖分的方法,按照剖分时所建立的坐标系基本可分为三类:

- (1) 沿倾向剖分:即沿 Y 轴的正向或负向剖分;
- (2) 沿走向剖分:即沿 X 轴的正向或负向剖分;
- (3) 极坐标剖分:选择工作面内的一点作为极点,沿顺时针或逆时针方向剖分。

2.2 工作面剖分算法的对比分析

现有的沉陷预计软件中,工作面既有沿倾向剖分的,也有沿走向剖分的,但普遍认为不同的剖分方法只是最终沉陷量上累计过程的不同,对预计的结果没有本质的影响。实际中,当煤层倾角较大时,如沿 Y 轴方向剖分,则剖分后小矩形上山与下山方向上的 r 值相差较大,应用概率积分法计算时无法将图1中概率分布不均的情况考虑进去,因此计算后上山方向的下沉边界偏小而沉陷量收敛过快(由10 mm下沉边界向最大下沉值 W_{\max} 的收敛过程),如图2所示。如沿 X 轴方向剖分,则剖分后小矩形的上下山采深 H 上和 H 下相差不大,根据公式(2)计算所得 $r_{\pm} \approx r_{\mp}$,近似于水平煤层的赋存状态,预计结果与实测值更接近,如图3所示。如果是急倾斜煤层,可选择小剖分步距进行剖分,避免上山方向下沉量收敛过快的情况。

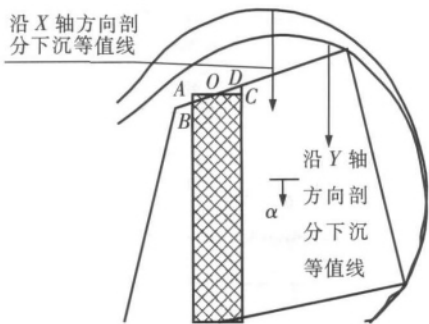


图 2 两种剖分方法的预计结果对比

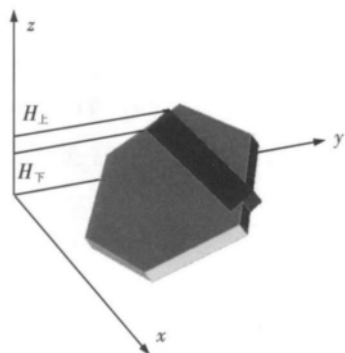


图 3 沿 X 轴方向剖分示意图

2.3 剖分算法的实现

选定 Y 坐标最小的角点为剖分的起始点 ,设为 y_0 ,设指定的工作面剖分步距为 $cutstep$,则 $y_0 + cutstep$ 为剖分后小矩形上边的 Y 坐标 ,设为 y_1 ,利用工作面各边的斜率及煤层倾角 α 可分别求得小矩形左边的 X 坐标 x_0 、右边的 X 坐标 x_1 和上下山采深 h_0 、 h_1 。以此类推 ,由下山方向至上山方向将工作面剖分为若干等效面积的小矩形工作面。

部分具体算法如下：

$$x'_1 = (y_0 - y) \times (x_{右} - x_{左})$$
$$x'_1 = x_{左} + x'_1 / (x'_{右} - x'_{左})$$
$$x''_1 = (y_1 - y) \times (x_{右} - x_{左})$$
$$x''_1 = x_{左} + x''_1 / (x'_{右} - x'_{左})$$
$$x_1 = (x'_1 + x''_1) \times 0.5$$

式中 x'_1 x''_1 ——小矩形右边 X 坐标中间变量；
 y ——剖分 Y 值；
 $x_{右}$ $x_{左}$ ——工作左右角点坐标。

3 实例分析

某区域一铁路线位沿与煤层倾向(上山方向)斜交的方向通过采空区范围。煤层顶底板以层状黑色细砂岩、中粗砂岩、砂质页岩及片状页岩为主 ,开采方法为走向长壁式采煤法 ,经实际观测采空区已完成活跃期移动 ,正处于衰退移动期过程中。现确定其地质采矿条件与概率积分计算参数如表 1 ~ 表 3 所示。

表 1 煤田实测地表移动边界角、移动角

观测站位置	边界角			移动角		
	δ_0	β_0	γ_0	δ	β	γ
A	-	59.0	-	-	-	-
B	-	-	-	72.0	73.0	-
C	69.5	-	-	88.0	-	-
D	-	67.0	76.0	-	-	-
E	66.5	-	-	83.0	-	-

表 2 地质采矿条件与概率积分计算参数

工作面 计算参数	1(A)	2(B)	3(C)	4(D)	5(E)
q	0.138	0.264	0.133	0.115	0.121
b	0.23	0.23	0.23	0.23	0.23
α	30	35	47	35	33
走向 $\text{tg}\beta$	2.16	2.1	2.14	2.19	2.2
下山 $\text{tg}\beta$	2.03	2.0	2.02	2.07	2.08
上山 $\text{tg}\beta$	2.3	2.26	2.26	2.31	2.33
θ	69	66	64	66	67
m	4 600	2 400	4 600	2 400	2 400
h_{\min}	376	249	470	826	508

表 3 工作面角点坐标

工作面	X	Y	工作面	X	Y
1(A)	1750	867	3(C)	3473	2575
	2019	1084		3973	2602
	1775	2775		4191	2705
	1233	2413		4462	3113
	839	1923	4(D)	3561	3012
	578	1349		520	336
	741	1201		561	446
2(B)	2830	2182		565	592
	2786	2518	5(E)	374	823
	3116	2699		232	469
	2860	3007		2101	1174
	1858	2813		2991	1671
	1910	2444		3127	1857
	2473	2536		3015	2026
	2626	2192		2540	1852
				2438	2109
				1906	2061

经沿走向方向剖分工作面 ,利用概率积分法计算后建立煤层(示意图 实际为 5 个工作面)与下沉盆地的 DEM 相对位置关系如图 4 所示(为了清楚显示沉降趋势 ,DEM 的 Z 比例因子扩大了 20 倍) ,沿铁路线位方向做下沉盆地剖面如图 5 所示 ,铁路线位大里程方向上的下沉曲线符合倾斜煤层开采引起的地表“不均匀概率分布”变形规律。这对于线性工程的勘察^[9]设计非常重要 ,特别是对平顺状态要求很高的铁路。如未考虑“不均匀概率分布”的影响则会产生两个错

误:(1)过早地认为已绕出沉陷边界:采空区的实际沉陷边界与铁路线位交点在 C 点,而预计在 B 点,使得 BC 段在设计上未采取相应措施,导致各点下沉量不同,造成线路倾斜变形及曲率变形,从而改变铁路原有的平顺状态,增加后期养护成本,遗留安全隐患;(2)在沉陷范围内将倾斜变形判定过大:实际沉陷过程中, CA 段的收敛速度比 A 点之前要慢很多,即实际倾斜值相对较小,而预计值偏大,使得设计偏于保守,采取的处理措施不当。经过修正后的概率积分模型有效克服了上述问题,使计算结果更加真实可靠,能够满足高精度设计的要求。

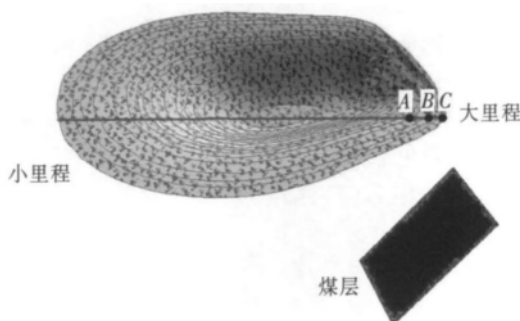


图4 煤层与下沉盆地相对位置

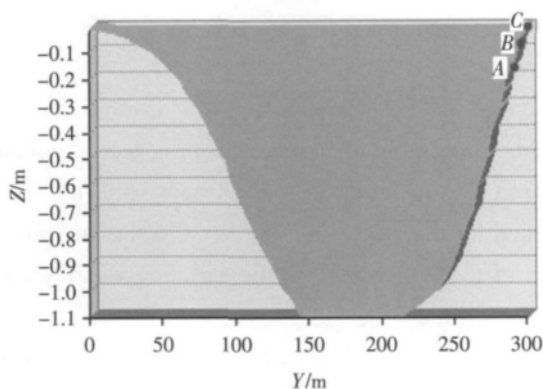


图5 沿铁路线位方向沉陷量剖面

4 结论

在深入研究概率积分模型假设的基础上,针对倾斜煤层的赋存状态,提出“不均匀概率分布”模型,并分析了“不均匀概率分布”模型在预计模型参数中的反映;通过对比分析各种工作面剖分方法,说明了沿走向方向剖分工作面能有效地提高预计精度,并结合铁路下伏采空区的计算实例证明了沿走向方向剖分工作面可有效地弥补概率积分模型本身的缺陷,为铁路选线、设计和采空区处理提供数据支持。

参考文献:

[1] 煤行管字[2000]第81号,建筑物、水体、铁路及主要井巷

煤柱留设与压煤开采规程[S].

Coal Management Letter [2000] No. 81, The Regulation of Coal Preserving and Exploitation Belowed Building, Water, Railway and Important Laneway [S].

[2] 范学理,刘文生,赵德深,等. 中国东北煤矿区开采损害防护理论与实践[M]. 北京:煤炭工业出版社,1998.

Fan Xueli, Liu Wensheng, Zhao Deshen, etc. The Protective Theory and Practice of the Mining Damage of Northeastern Coal Fields in China [M]. Beijing: China Coal Industry Publishing House, 1998.

[3] 何国清,杨伦,等. 矿山开采沉陷学[M]. 徐州:中国矿业大学出版社,1991.

He Guoqing, Yang Lun, etc. The Mine Exploited and Subsidence [M]. Xuzhou: China University of Mining & Technology Press, 1991.

[4] 郭文兵,柴华彬. 煤矿开采损害与保护[M]. 北京:煤炭工业出版社,2008.

Guo Wenbing, Chai Huabin. The Damaging and Protecting of Coal Exploitation [M]. Beijing: China Coal Industry Publishing House, 2008.

[5] Milos, D. G. Salomon. The Seam Element Method. Prediction of Subsidence Due to Coal Mining [C]//3th Subsidence Workshop Due to Underground Mining. U. S. A., 1992.

[6] 谭晓慧,胡晓军,吴坤铭. 同时考虑基本变量和极限状态模糊性的边坡模糊随机有限可靠度分析[J]. 岩石力学与工程学报, 2009(9): 3953-3958.

Tan Xiaohui, Hu Xiaojun, Wu Kunming. Fuzzy Random Finite Element Reliability Analysis of Slope Stability with Fuzzy Basic Veribles and Fuzzy States [J]. Chinese Journal of Rock Mechanics and Engineering, 2009(9): 3953-3958.

[7] Rafael Rodriguez Diez, etc. Hypothesis of the Multiple Subsidence Through Related to the very Steep and Vertical Coal Seams and Its Prediction Through Profile Function [J]. Geotechnical and Geological Engineering, 2000(18): 289-311.

[8] 柴华彬,邹友峰,郭文兵. 村庄下倾斜煤层条带开采方法研究[J]. 中国安全科学学报, 2008(10): 172-176.

Chai Huabin, Zou Youfeng, Guo Wenbing. Study on Strip Pillar Mining Method for Inclined Coal Seams under Village [J]. China Safety Science Journal, 2008(10): 172-176.

[9] 卓宝熙. 铁路工程勘测技术的回顾、现状与展望[J]. 铁道工程学报, 2007(1): 6-12.

Zhuo Baoxi. Review, Present Situation Prospects for Survey Technology for Railway Construction [J]. Journal of Railway Engineering Society, 2007(1): 6-12.

(编辑 曹淑荣)