

# 厚松散层条件下地表采动程度评定与分析

闫伟涛<sup>1</sup>, 陈俊杰<sup>2</sup>, 孙奇<sup>1</sup>

(1. 中国矿业大学(北京)地球科学与测绘工程学院, 北京 100083; 2. 河南理工大学, 河南 焦作 454003)

**[摘要]** 在厚松散层条件下, 松散层对地表移动产生显著影响, 对厚松散层下地表采动程度进行分析, 具有实际指导意义。在对几种常用采动程度计算方法梳理的基础上, 以折减系数越高, 松散层影响程度越低, 依据松散层影响程度来对松散层进行界定为主线, 分析给出了充分采动角法计算结果与宽深比表示法、松散层折减法和采宽基岩厚度比表示法之间的关系。基于松散层折减系数和松基厚度比对厚松散层和巨厚松散层进行了界定。

**[关键词]** 厚松散层; 采动程度; 折减系数; 松基厚度比

**[中图分类号]** TD325 **[文献标识码]** A **[文章编号]** 1006-6225 (2016) 02-0037-04

## Evaluation and Analysis of Mining Degree of Ground Surface with Thick Loose Layer

YAN Wei-tao<sup>1</sup>, CHEN Jun-jie<sup>2</sup>, SUN Qi<sup>1</sup>

(1. Geosciences and Surveying Engineering College, China University of Mining & Technology (Beijing), Beijing 100083, China;

2. Henan Polytechnic University, Jiaozuo 454003, China)

**Abstract:** Ground surface movement influenced seriously by loose layer in thick loose layer, mining degree of ground surface with thick loose layer was analyzed, the results reference for practical. The conclusion that loose layer influence degree decreased with reduction coefficient increased was put forward on the basis of several frequently used calculation method of mining degree, on the basis of loose layer was confirmed by loose layer influencing degree, relations between calculation results of fully subsidence angle and ratio representation of width to depth, loose layer reduction method and ratio representation mining width to base rock thickness were put forward. Thick loose layer and giant thick loose layer were confirmed on the basis of loose layer reduction coefficient and loose-base thickness ratio.

**Key words:** thick loose layer; mining degree; reduction coefficient; loose-base thickness ratio

松散层和基岩共同组成煤层上覆岩层, 开采引起的地表移动变形受到二者的共同影响, 呈现出多种影响特征。松散层对沉陷的影响主要体现在空间分布、移动传播过程和移动变形程度上, 具体来说, 在空间分布上, 松散层扩大地表移动变形范围, 平缓地表移动盆地边缘地带; 在移动传播过程中, 松散层加快地表移动, 缩短移动变形总时间; 在移动变形程度上, 松散层加大地表移动量, 增大下沉系数。很多学者对厚松散层和巨厚松散层进行了深入研究, 主要集中在3个方面: 对厚松散层条件下的岩层移动机理进行了研究<sup>[1-3]</sup>; 对厚松散层条件下的地表移动变形规律进行了总结分析<sup>[4-8]</sup>; 根据厚松散层条件下地表移动变形规律对现有参数进行了修正<sup>[9-10]</sup>。针对厚松散层和巨厚松散层的研究文献虽多, 但厚松散层和超厚松散层的划分都是仅仅从松散层厚度方面来简单地界定。

为了更好地描述开采沉陷中厚松散层的影响特

征, 本文在分析采动程度的基础上, 从折减系数和松散层厚度与基岩厚度比值的角度出发, 对厚松散层及巨厚松散层进行了分析。为了叙述方便, 将松散层厚度与基岩厚度的比值简称为松基厚度比。

### 1 厚松散层条件下采动程度计算方法

#### 1.1 采动程度评价方法

厚松散层条件下, 地表采动程度的确定需要考虑松散层厚度和基岩厚度, 有时还需要考虑基岩岩性。采动程度的确定方法, 目前主要有以下4种方法: 宽深比表示法; 松散层折减法; 采宽基岩厚度比表示法; 充分采动角法。

(1) 宽深比表示法<sup>[11-12]</sup> 该方法直接采用宽深比来衡量采动程度。当  $D_1/H_0, D_3/H_0 < 1.2 \sim 1.4$  (当覆岩岩性为软弱岩性时取 1.2, 坚硬岩层时取 1.4, 下同) 时, 地表为非充分采动; 当  $D_1/H_0, D_3/H_0 = 1.2 \sim 1.4$  时, 地表为临界充分采动;

[收稿日期] 2015-08-19

[基金项目] 国家自然科学基金面上项目 (51574242)

[作者简介] 闫伟涛 (1988-), 男, 河南漯河人, 博士研究生, 研究方向为形变/环境监测与防治。

[引用格式] 闫伟涛, 陈俊杰, 孙奇. 厚松散层条件下地表采动程度评定与分析 [J]. 煤矿开采, 2016, 21 (2): 37-40.

[DOI] 10.13532/j.cnki.cn11-3677/td.2016.02.011

当  $D_1/H_0, D_3/H_0 > 1.2 \sim 1.4$  时, 地表为超充分采动。式中,  $D_1, D_3$  分别为采空区沿倾向和走向的实际长度,  $H_0$  为平均采深。

(2) 松散层折减法<sup>[8]</sup> 根据松散层与基岩的岩性差异, 将松散层厚度转化为等价的基岩厚度, 求出综合影响采深, 其计算公式为:

$$H_z = H_j + k_s H_s \quad (1)$$

式中,  $H_z$  为综合影响采深,  $H_j$  为基岩厚度,  $H_s$  为松散层厚度,  $k_s$  为折减系数。

则采动程度计算公式为:

$$n = D/H_z \quad (2)$$

式中,  $D$  为实际采宽。

(3) 采宽基岩厚度比表示法<sup>[2]</sup> 该方法直接采用工作面或采区的宽度与基岩厚度的比值来衡量采动程度。

(4) 充分采动角法<sup>[1, 5-6]</sup> 该方法采用基岩充分采动角和松散层充分采动角求出临界开采宽度, 而后采用实际开采宽度与临界开采宽度的比值来衡量采动程度。

临界开采宽度计算如图 1 所示。

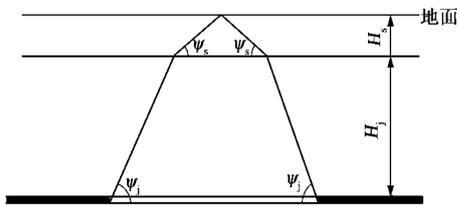


图 1 充分开采临界宽度计算

则充分开采临界宽度计算公式为:

$$D_L = 2H_s \cot \psi_s + 2H_j \cot \psi_j = 2H_s \cot \psi_s + 2H_s \cot \psi_j / f = 2H_s (\cot \psi_s + \cot \psi_j / f) \quad (3)$$

式中,  $f$  为松基厚度比;  $\psi_j$  为基岩充分采动角;  $\psi_s$  为松散层充分采动角;  $D_L$  为临界采宽。

采动程度计算公式为:

$$n = D/D_L = D / [2H_s (\cot \psi_s + \cot \psi_j / f)] \quad (4)$$

### 1.2 方法比较分析

以上方法中, 充分采动角法具有直观性, 几何关系清晰明了, 但由于基岩和松散层充分采动角不易获取, 造成大范围应用困难。宽深比表示法、松散层折减法和采宽基岩厚度比表示法计算公式汇聚如式 (5) 所示:

$$\begin{cases} D/(H_j + H_s) & \text{(宽深比表示法)} \\ D/(H_j + k_s H_s) & \text{(松散层转换法)} \\ D/H_j & \text{(宽基比表示法)} \end{cases} \quad (5)$$

从式 (5) 可以看出, 宽深比表示法与采宽基岩厚度比表示法可以看做松散层折减法的特例: 宽

深比表示法为折减系数 1.0 的松散层折减法; 采宽基岩厚度比表示法为折减系数 0 的松散层折减法。

### 2 不同采深条件下厚松散层影响分析

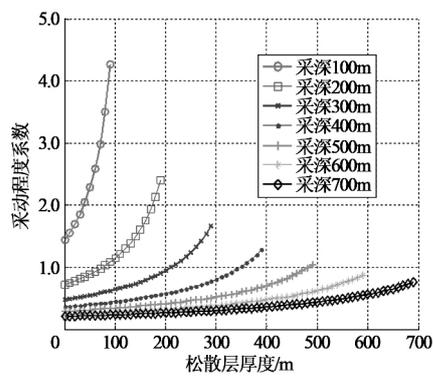
基于充分采动角法具有几何关系明确、计算较准确等特点, 本文采用充分采动角法为参考基准, 以邢台矿区 2107 工作面为例, 分析不同采深、不同松基厚度比条件下, 厚松散层的影响程度。该工作面平均采深 267m, 采厚 3.8 ~ 4.0m, 平均倾角  $7^\circ$ , 日推进 2m, 工作面走向长 1055m, 倾向长 153m。煤层直接顶为粉砂岩, 厚度 4 ~ 5m, 坚固性系数  $f=3$ ; 基本顶为中粒砂岩或细粒砂岩, 厚度为 4 ~ 6m, 坚固性系数  $f=4 \sim 6$ ; 直接底为 0.9m 的粉砂岩。矿区松散层层厚为 130 ~ 200m, 顶层为第四系地层, 厚 25 ~ 35m, 仅底层为强含水层; 接着为第三系, 由砂质黏土、砂及砾石层组成, 底部为承压弱含水层, 该工作面为典型的中硬岩层、中等偏弱含水厚松散层条件。根据文献 [1], 该矿区基岩充分采动角取  $62^\circ$ , 松散层充分采动角取  $82^\circ$ 。折减系数取值范围为 (0, 1), 为了便于分析, 故取中值 0.5。

#### 2.1 不同采深不同松散层厚度条件下充分采动角法所得采动程度系数分析

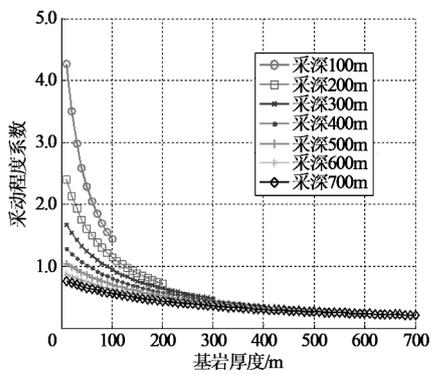
在中硬岩层、中等偏弱含水厚松散层、单工作面开采条件下, 不同采深不同松散层厚度下充分采动角法计算所得的采动程度系数见图 2。图 2 (a) 和图 2 (b) 分别为采动系数随松散层厚度、基岩厚度变化示意图, 图 2 (c) 和图 2 (d) 为采动系数随松散层厚度和基岩厚度变化的三维图形。从图 2 中可以看出, 在采深一定时, 采动程度系数随松散层厚度的增加而呈指数式增加, 随基岩厚度的增加而呈指数式减小; 但随采深的增加, 其采动程度系数随松散层厚度和基岩厚度的变化速率不断减小。

在中硬岩层、中等偏弱含水厚松散层、单工作面开采条件下, 绘制出不同基岩厚度、不同松散层厚度的充分采动角法采动程度系数等值线图见图 3。从图 3 可以看出, 在中硬岩层、中等偏弱含水厚松散层、单工作面开采条件下, 达到同一采动程度系数所需的基岩厚度小于松散层厚度, 且所需的基岩厚度与松散层厚度的比值为一定值。

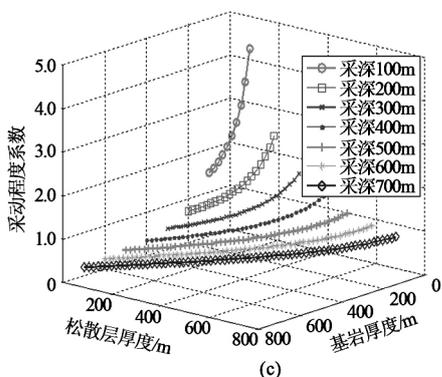
为了分析开采宽度对松散层的影响程度, 采用固定采宽和变采宽分两步对不同采深不同松基厚度比条件下厚松散层的影响程度进行分析。



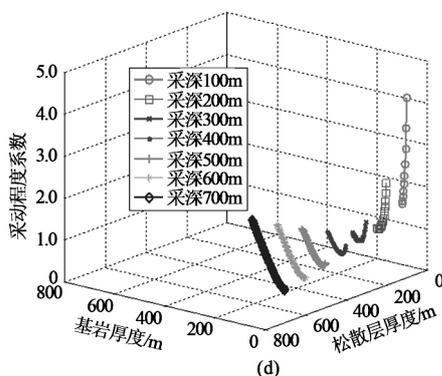
(a)



(b)



(c)



(d)

图2 采动程度系数变化

### 2.2 固定采宽条件下松散层的影响程度分析

首先采宽取固定值 153m，采深取值为 200m，300m，400m，500m，600m，700m，松基厚度比为 0.05，0.10，0.30，0.60，1.0。则在一定条件下，不同采深和松基厚度比时，计算得到的 4 种评价方

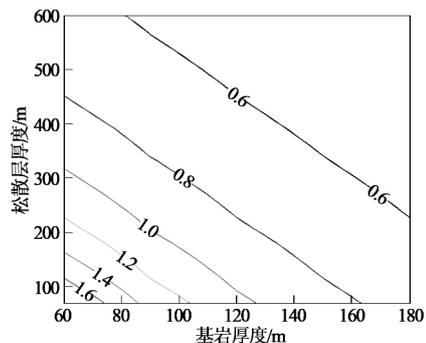


图3 采动程度系数分布

法的数值，如表 1 所示。

表 1 采动程度系数计算

松基厚度比	采深/m						注记
	200m	300m	400m	500m	600m	700m	
0.05	0.77	0.51	0.38	0.31	0.26	0.22	方法 1
	0.78	0.52	0.39	0.31	0.26	0.22	方法 2
	0.80	0.54	0.40	0.32	0.27	0.23	方法 3
	0.75	0.50	0.37	0.30	0.25	0.21	充分采动角法
0.10	0.77	0.51	0.38	0.31	0.26	0.22	方法 1
	0.80	0.53	0.40	0.32	0.27	0.23	方法 2
	0.84	0.56	0.42	0.34	0.28	0.24	方法 3
	0.77	0.52	0.39	0.31	0.26	0.22	充分采动角法
0.30	0.77	0.51	0.38	0.31	0.26	0.22	方法 1
	0.86	0.58	0.43	0.35	0.29	0.25	方法 2
	0.99	0.66	0.50	0.40	0.33	0.28	方法 3
	0.87	0.58	0.43	0.35	0.29	0.25	充分采动角法
0.60	0.77	0.51	0.38	0.31	0.26	0.22	方法 1
	0.94	0.63	0.47	0.38	0.31	0.27	方法 2
	1.22	0.82	0.61	0.49	0.41	0.35	方法 3
	1.00	0.66	0.50	0.40	0.33	0.28	充分采动角法
1.00	0.77	0.51	0.38	0.31	0.26	0.22	方法 1
	1.02	0.68	0.51	0.41	0.34	0.29	方法 2
	1.53	1.02	0.77	0.61	0.51	0.44	方法 3
	1.14	0.76	0.57	0.46	0.38	0.33	充分采动角法

从表 1 中可以看出，在其他条件一定时，宽深比表示法不受松基厚度比的影响，其采动程度随采深的增加而减小；松散层折减法、采宽基岩厚度比表示法、充分采动角法则同时受采深和松基厚度比的影响。即当松基厚度比一定时，随着采深的增加而不断减小，当采深一定时，随着松基厚度比的增加而增加，但充分采动角法增加的幅度更大一些。

当其他条件一定时，对比表 1 中各个方法求得的结果可知，当松基厚度比小于 0.10 时，充分采动角法求得采动程度最小；松基厚度比为 0.10 左右时，充分采动角法求得的采动程度与宽深比表示法基本相当；当松基厚度比大于 0.10 小于 0.30 时，充分采动角法求得的采动程度大于宽深比法，小于松散层折减法、采宽基岩厚度比表示法；松基厚度比为 0.30 左右时，充分采动角法求得的采动

程度与松散层折减法基本一致，大于宽深比表示法，小于采宽基岩厚度比表示法；松基厚度比大于 0.30 时，充分采动角法求得的采动程度大于宽深比表示法、松散层折减法，小于采宽基岩厚度比表示法。所以充分采动角法与宽深比法计算结果相一致的临界松基厚度比值为 0.10，充分采动角法与松散层折减法计算结果相一致的临界松基厚度比值为 0.30。

### 2.3 不同采宽条件下松散层的影响程度分析

为了解临界松基厚度比值随开采宽度的变化规律，特求得开采宽度为 300m，400m，500m，600m，700m 时临界松基厚度比值（表 2）。

表 2 不同采空区长度下临界松基厚度比值

临界松基厚度比值	采空区长度/m				
	300m	400m	500m	600m	700m
1	0.10	0.10	0.10	0.10	0.10
2	0.30	0.30	0.30	0.30	0.30

从表 2 中可以看出，临界松基厚度比值不随开采宽度的变化而变化。充分采动角法与宽深比法计算结果相一致的临界松基厚度比值都为 0.10，充分采动角法与松散层折减法计算结果相一致的临界松基厚度比值都为 0.30。

### 3 充分采动条件下松散层临界厚度的确定

由式（5）可知，随着折减系数的增加，松散层影响程度逐渐减小。将松散层影响开始显现的地质条件称为厚松散层条件，将松散层影响显现剧烈的地质条件称为巨厚松散层条件。由于充分采动角法精度最高，故以充分采动角法为标准。在计算采动程度时，当充分采动角法小于宽深比表示法（折减系数为 1.0）时，该松散层为薄及中厚松散层，在计算时无需考虑其特性；当充分采动角法大于宽深比表示法而小于松散层折减法时，即折减系数为（1.0~0.5）时，认为该松散层为厚松散层；而当充分采动角法大于松散层折减法而小于采宽基岩厚度比表示法时，即折减系数为（0.5~0）时，认为该松散层为巨厚松散层。其示意图 4。

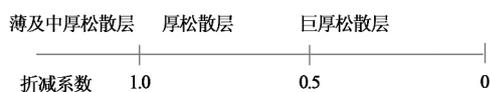


图 4 松散层划分

由上节可知，在中硬岩层、中等偏弱含水厚松散层、单工作面开采条件下，充分采动角法与宽深比法计算结果相一致的临界松基厚度比值为 0.10，充分采动角法与松散层折减法计算结果相一致的临

界松基厚度比值为 0.30。故在中硬岩层、中等偏弱含水厚松散层、单工作面开采条件下，厚松散层临界松基厚度比为 0.10，巨厚松散层临界松基厚度比为 0.30。

### 4 结 论

（1）开采沉陷中厚松散层问题是基岩、松散层厚度的共同影响问题，对开采沉陷的传播过程、地表移动变形的空间分布及程度有综合影响。

（2）在中硬岩层、中等偏弱含水厚松散层在单工作面开采条件下，按充分采动角法，分析了采动程度系数随采深和基岩厚度、松散层厚度的变化趋势，给出了不同采深、不同松散层厚度的采动程度系数分布图。

（3）通过实例分析给出中硬岩层、中等偏弱含水厚松散层在单工作面开采条件下，厚松散层临界松基厚度比为 0.10，松基厚度比大于 0.10 时，为厚松散层；巨厚松散层临界松基厚度比为 0.30，松基厚度比大于 0.30 时，为巨厚松散层。

#### [参考文献]

[1] 王金庄, 常占强, 陈 勇, 等. 厚松散层条件下开采程度及地表下沉模式的研究 [J]. 煤炭学报, 2003, 28 (3): 230-234.

[2] 王金庄, 李永树, 周 雄, 等. 巨厚松散层下采煤地表移动规律的研究 [J]. 煤炭学报, 1997, 22 (1): 18-21.

[3] 易四海, 郑志刚, 滕永海, 等. 厚松散层条件下综放开采地表沉陷规律与机理 [J]. 煤矿开采, 2011, 16 (4): 9-12.

[4] 徐乃忠, 戴华阳. 厚松散层条件下开采沉陷规律及控制研究现状 [J]. 煤矿安全, 2008, 39 (11): 53-55.

[5] 方新秋, 黄汉富, 金 桃, 等. 厚表土薄基岩煤层开采覆岩运动规律 [J]. 岩石力学与工程学报, 2008, 27 (S1): 2700-2706.

[6] 陈俊杰, 闫伟涛, 邹友峰. 厚松散层下采动系数确定方法 [J]. 中国地质灾害与防治学报, 2015, 26 (1): 71-76.

[7] 陈俊杰, 邹友峰, 郭文兵, 等. 厚松散层下下沉系数与采动程度关系研究 [J]. 采矿与安全工程学报, 2012, 29 (2): 250-254.

[8] 李德海, 许国胜, 余华中. 厚松散层煤层开采地表动态移动变形特征研究 [J]. 煤炭科学技术, 2014, 42 (7): 103-106.

[9] 刘义新, 戴华阳, 姜耀东, 等. 厚松散层矿区地表移动盆地边界角确定方法 [J]. 煤矿安全, 2012, 43 (9): 47-49.

[10] 刘义新. 厚松散层下深部开采覆岩破坏及地表移动规律研究 [D]. 北京: 中国矿业大学 (北京), 2010.

[11] 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.

[12] 何国清, 杨 伦, 凌虞娣, 等. 矿山开采沉陷学 [M]. 徐州: 中国矿业大学出版社, 1991. [责任编辑: 邹正立]