

# 小马矿老采空区建筑适宜性分析

赵浩, 祝云辉

(广东宏大爆破股份有限公司, 广东 广州 510000)

**摘要:**以焦作煤业集团小马矿老采空区为例,利用现场调研与理论分析相结合的方法,对老采空区的活化影响因素进行了分析,造成老采空区“活化”的因素主要是2个:一是老采空区垮裂带发生“活化”,二是载荷下的地表移动与变形,利用数值模拟对房屋载荷引起的地表移动变形对地基稳定性的影响进行了研究,得出了研究区内3个不同区域的地基最大载荷能力,进而对相应区域内的楼层建设高度提出建议,最后给出了老采空区的地基处理措施,从而整体对老采空区的建筑适宜性进行了分析,对实际建设工程提供参考。

**关键词:**小马矿;老采空区;活化;数值模拟

**中图分类号:**TD325

**文献标志码:**A

**文章编号:**1672-9102(2014)04-0007-06

## On suitability of old goaf building in Xiaoma Mine

ZHAO Hao, ZHU Yunhui

(Guangdong Hongda Blasting Co. Ltd., Guangzhou 510000, China)

**Abstract:** Taking the old goaf of Xiaoma Mine, Jiaozuo Coal Group Corporation as an example, this paper combines on-site research with theoretical analysis to analyze the activation factors of the old goaf. There are two factors that cause the activation of the old goaf. One is that the old goaf collapse torn belt produces activation, the other is the surface movement and deformation under load. This paper uses the numerical simulation to study the ground movement caused by the housing load deformation of foundation stability, and obtain three foundation maximum load capacities in different areas. Then, it gives some proposals about the corresponding area height of the floor construction. Finally, it analyzes the foundation treatment measures goaf, and the overall suitability for building goaf, providing references for the actual construction projects.

**Key words:** Xiaoma Mine; old goaf; activation; numerical simulation

随着城市建筑用地的日趋紧张,有时需要在老采空区上方进行房屋的建设,为了保证建设过后的房屋不会受到地基移动与变形的影响,在建设之前就必须对这些老采空区的建筑适宜性进行分析,目前,国内外学者对于煤层开采造成采空区上方已有建筑物的损害研究比较多,其研究成果也比较成熟,而对于在老采空区上方新建建筑物时地基的稳定性分析研究较少,其研究方法主要是有附加应力分析法<sup>[1]</sup>、相似模拟分析<sup>[2]</sup>、数值模拟分析<sup>[3,4]</sup>以及钻孔勘探、钻探电视、地球物理测井、岩石力学测试<sup>[5]</sup>等。

小马矿老采空区形成于1975~1995年之间。

属于20多年以上的老采空区,地表的移动变形的活跃期早已结束,衰退期也应基本结束,因此影响研究区建筑物地基稳定性的因素主要为建筑物荷载作用下的地表移动与变形和老采空区的“活化”,本文分别从这2个方面进行研究分析,对研究区的建筑适宜性进行了评价。

### 1 建筑物荷载对地基稳定性的影响

选取老采空区范围内的一部分有代表性的区域为原型进行数值模拟实验,来研究建筑物荷载对地基的影响,本文选取了老采空区整体西北部的四

个相邻的工作面作为本文的研究区域;其具体形状近视为梯形,具体范围如图1所示,研究区的边界坐标:  $A(-1\ 261.368\ 7, 6\ 026.841\ 4)$ ,  $B$

$(-1\ 235.482\ 9, 5\ 785.756\ 1)$ ,  $C(-788.493\ 9, 5\ 730.394\ 8)$ ,  $D(-777.016\ 3, 5\ 972.369\ 1)$ , 研究区走向长约452 m,倾向长约223 m.

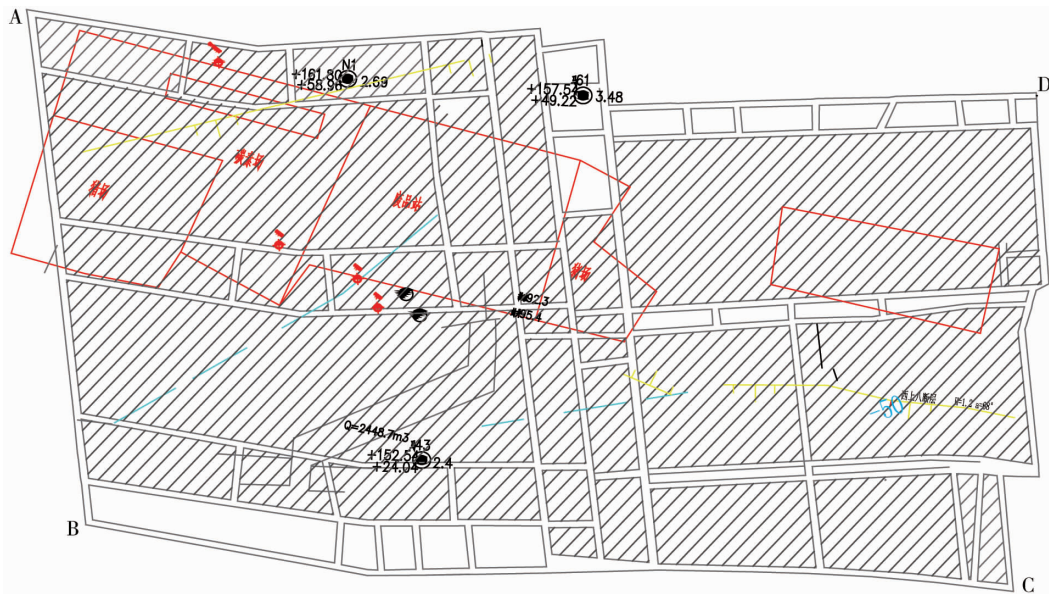


图1 研究区范围示意图

## 1.1 建立模型

### 1.1.1 模型的几何尺寸

本数值模拟的对象以研究区实际范围为原型,研究区走向长452 m,倾向长223 m.模型设置长600 m,宽450 m,参考该部分附近的钻孔资料,从上向下共设置13层,其中 $\text{二}_1$ 煤层上覆岩层设置9层,底部设置3层,各层的岩性根据钻孔确定;根据研究的需要, $\text{二}_1$ 煤层及其上覆岩层每层均分为3个部分,中间部分设置为250 m,也即模拟采空区长为250 m(和实际223 m基本一致),采空区两侧各设置为100 m.

### 1.1.2 模型的边界条件

边界条件是模拟模型的重要部分,选择的合适与否对模拟分析的可靠性和准确性有直接影响,本文的模型边界条件设置如下:

设置模型的4个侧面边界水平初始位移为零;地表边界水平和垂直方向的位移均为零;模型上边界为自由界面,不加约束.

### 1.1.3 模型中各岩层的物理力学参数

根据研究区域的钻孔柱状图、相关岩石的物理力学实验、采用反分析方法反复试算研究,得到较符合实际的当前各地层的岩性参数如表1所示.

表1 模型岩石物理力学参数

| 位置             | 岩性  | 层厚/m  | 密度/( $\text{kg}/\text{m}^3$ ) | 弹性模量/MPa | 泊松比  | 抗拉强度/MPa | 内聚力/MPa | 内摩擦角/( $^\circ$ ) |
|----------------|-----|-------|-------------------------------|----------|------|----------|---------|-------------------|
| 弯沉带            | 黄土  | 20.87 | 1 786                         | 5.00     | 0.30 | 0.000 5  | 0.015   | 14                |
|                | 粉砂岩 | 7.07  | 2 482                         | 1 550.00 | 0.25 | 0.300 0  | 2.400   | 28                |
|                | 砂岩  | 16.56 | 2 600                         | 2 025.00 | 0.25 | 0.500 0  | 3.000   | 34                |
|                | 粉砂岩 | 15.40 | 2 482                         | 1 550.00 | 0.25 | 0.300 0  | 2.400   | 28                |
| 裂隙带            | 砂岩  | 15.40 | 2 167                         | 675.00   | 0.30 | 0.000 0  | 0.760   | 34                |
|                | 粉砂岩 | 8.20  | 2 068                         | 517.00   | 0.30 | 0.000 0  | 0.650   | 28                |
|                | 砂岩  | 4.27  | 2 167                         | 675.00   | 0.30 | 0.000 0  | 0.760   | 34                |
|                | 泥岩  | 8.74  | 1 792                         | 267.00   | 0.40 | 0.000 0  | 0.220   | 18                |
| 垮落带<br>(采空区岩体) | 粉砂岩 | 11.80 | 1 773                         | 282.00   | 0.30 | 0.000 0  | 0.280   | 28                |
|                | 破碎岩 | 3.48  | 876                           | 0.54     | 0.35 | 0.000 0  | 0.075   | 15                |

### 1.1.4 网络剖分

本模型根据具体的长宽数值,在 $x$ 轴上设置45个网格、在 $y$ 轴上设置50个网格, $z$ 轴上根据具

体的岩层高度数值,高度在10 m以上的岩层设计2个网格,在10 m以下的只设置1个网格,图2为模型的网格剖分图.

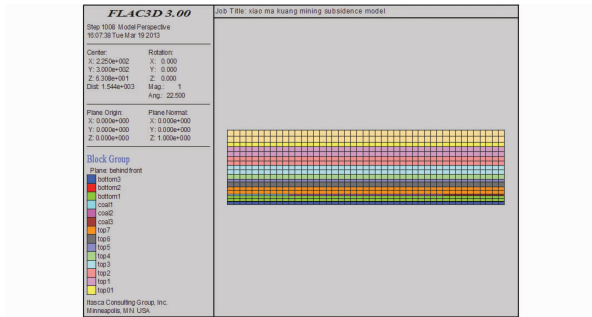


图 2 模型网格剖分图

延伸 10 m ( $X = 360 \sim 375$  m 区段), 加载位置的模型示意图如图 3.

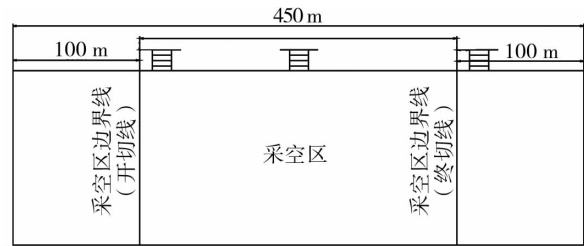


图 3 加载位置

### 1.1.5 求解

完成上述各步骤的源程序后,FLAC<sup>3D</sup> 软件进行程序计算,完成模型的初始平衡,然后再进行加载的实验研究.

## 1.2 加载的方案设计

### 1.2.1 加载位置的确定

据相关实测表明,煤矿开采引起地表塌陷,形成的地表沉陷盆地范围远大于对应的采空区范围,在沉陷盆地内不同部位的移动和变形情况不尽相同,在沉陷盆地地表达达到超充分采动、采动影响范围内没有大地质构造的条件下,最终形成的静态地表移动盆地可划分为中心区、外边缘区、内边缘区 3 个区域<sup>[6]</sup>.

因此本文即选取了这 3 个特殊区域作为本阶段数值模拟的加载位置;加载范围为长 600 m,宽 15 m;由此可确定各加载区域的范围是:内边缘区的范围为沿开切眼向内延伸 10 m ( $X = 110 \sim 125$  m 区段),中心区的范围为采空区的中心区域 ( $X = 218 \sim 233$  m 区段),外边缘区的范围为终采线向外

### 1.2.2 加载大小的确定

本文研究区域内的房屋具体怎样建设尚不清楚,因此本文设计 5 种载荷,分别对应一般的 1,3,5,7,10 层楼房.根据建筑物载荷每层按 18 kPa 的压力,可得本文选取的 5 级载荷为 0.018,0.054,0.090,0.126,0.180 MPa.

具体的加载方案见 2.

表 2 加载方案

| 方案 | 载荷/MPa | 作用位置          |
|----|--------|---------------|
| 1  | 0.018  | 内边缘区、中心区、外边缘区 |
| 2  | 0.054  | 内边缘区、中心区、外边缘区 |
| 3  | 0.090  | 内边缘区、中心区、外边缘区 |
| 4  | 0.126  | 内边缘区、中心区、外边缘区 |
| 5  | 0.180  | 内边缘区、中心区、外边缘区 |

按照该加载方案进行加载的模拟实验,得出具体的加载结果见表 3;以 0.09 MPa 为例,得到加载后的内边缘区、中心区、外边缘区模型效果图及相应的 Z 方向上的位移云图见图 4 ~ 图 6.

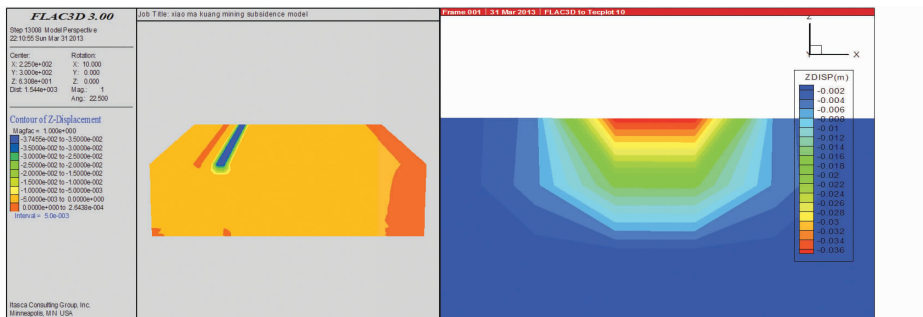


图 4 内边缘区加载效果图

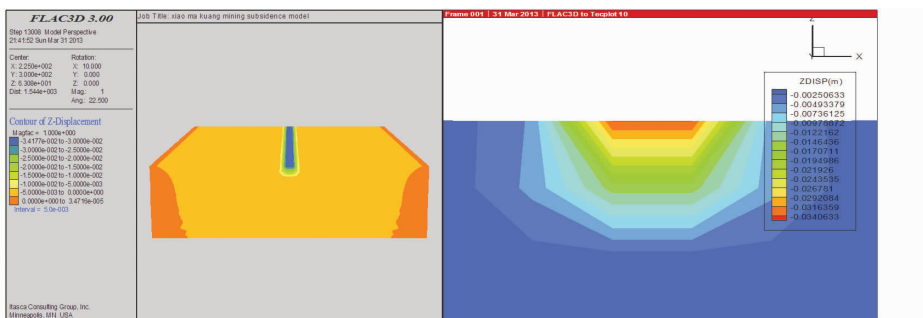


图 5 中心区加载效果图

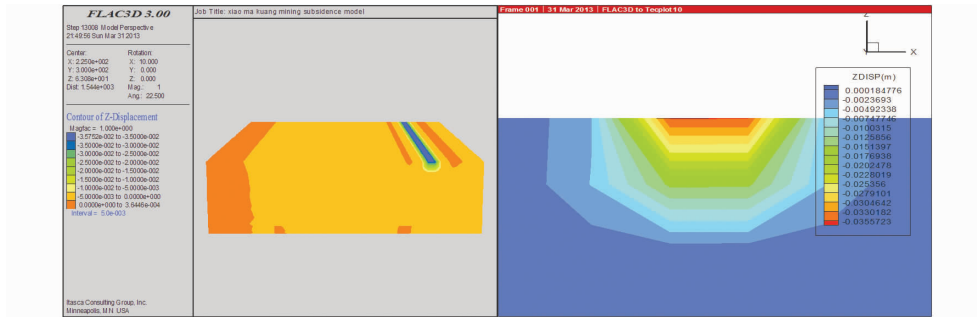


图 6 外边缘区加载效果图

表 3 加载后地表移动与变形情况

| 加载位置 | 加载大小/MPa | $W_{max}/mm$ | $U_{max}/mm$ | $i_{max}/(mm/m)$ | $\varepsilon_{max}/(mm/m)$ | $k_{max}/(mm/m^2)$ |
|------|----------|--------------|--------------|------------------|----------------------------|--------------------|
| 内边缘区 | 0.018    | 7.12         | 0.26         | 0.64             | 0.055                      | 0.062              |
|      | 0.054    | 21.40        | 0.78         | 1.91             | 0.152                      | 0.143              |
|      | 0.090    | 36.70        | 1.43         | 3.12             | 0.259                      | 0.206              |
|      | 0.126    | 50.40        | 1.79         | 4.51             | 0.381                      | 0.310              |
|      | 0.180    | 71.80        | 2.81         | 6.38             | 0.570                      | 0.461              |
| 中心区  | 0.018    | 6.52         | 0.24         | 0.58             | 0.050                      | 0.056              |
|      | 0.054    | 19.60        | 0.71         | 1.74             | 0.140                      | 0.131              |
|      | 0.090    | 33.40        | 1.30         | 2.89             | 0.240                      | 0.183              |
|      | 0.126    | 45.80        | 1.56         | 4.05             | 0.350                      | 0.276              |
|      | 0.180    | 65.50        | 2.57         | 5.79             | 0.510                      | 0.421              |
| 外边缘区 | 0.018    | 6.84         | 0.25         | 0.61             | 0.053                      | 0.059              |
|      | 0.054    | 20.40        | 0.75         | 1.80             | 0.147                      | 0.137              |
|      | 0.090    | 35.10        | 1.37         | 2.97             | 0.254                      | 0.192              |
|      | 0.126    | 48.10        | 1.63         | 4.25             | 0.367                      | 0.291              |
|      | 0.180    | 68.80        | 2.69         | 6.11             | 0.540                      | 0.442              |

根据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》以及建设部颁布的《建筑地基基础设计规范》，确定按以下 2 条标准作为判别老采空区建筑物地基稳定与否的标准。在老采空区上方新建建筑物后以后，如果建筑物荷载没有引起老采空区冒落裂隙带的“活化”，且荷载造成的地表移动和变形数值同时符合以下两条标准，可认为老采空区建筑地基基本稳定<sup>[7]</sup>。

标准 I: 当建筑物高度小于 100 m 时, 对于中低压缩性土, 沉降量应小于 300 mm; 对于高压压缩性土, 沉降量应小于 400 mm。

标准 II: 当地表倾斜  $\leq 3$  mm/m、地表水平变形  $\leq 2$  mm/m 和地表曲率  $\leq 0.2$  mm/m<sup>2</sup> 时, 地基的稳定性可以满足建设的要求。

根据该标准对加载后的数值模拟结果进行稳定性的鉴定。

在内边缘区, 当荷载为 0.018, 0.054 MPa 时各变形值均符合标准的要求; 当荷载为 0.090, 0.126, 0.180 MPa 时, 倾斜变形值与曲率值均不符

合标准要求。总体来说, 在内边缘区当荷载大于等于 0.090 MPa 时地表地基就可能处于不稳定的状态。

在中心区和外边缘区, 当荷载为 0.018, 0.054, 0.090 MPa 时各变形值均符合标准的要求; 当荷载为 0.126, 0.180 MPa 时, 倾斜变形值与曲率值均不符合标准要求。因此可知, 在中心区和外边缘区当荷载大于等于 0.126 MPa 时地表地基就可能处于不稳定的状态。

因此可知, 在研究区的内边缘区内, 地基的最大承载荷载为 0.090 MPa, 对应一般楼层的 5 层, 在中心区和外边缘区内, 地基的最大承载荷载为 0.126 MPa, 对应一般楼层的 7 层, 因此建议在研究区内新建建筑物时, 内边缘区建设楼层的层高不应超过 5 层, 中心区和外边缘区层高不应超过 7 层。

## 2 研究区“活化”可能性分析

采空区上覆岩层从上到下分为弯曲下沉带、裂隙带和垮落带<sup>[8]</sup>, 老采空区“活化”主要是由于废弃采空区在场地内外因素综合影响下垮落带和裂

隙带岩体的物理力学性质发生异常变化造成,“活化”主要体现在垮落带和裂隙带岩体的再压密。造成影响的内因因素如煤层厚度、开采深度和覆岩岩组的组合情况等,外界因素一般指地表建筑物载荷和地面堆积、地面动载荷、爆炸载荷、地下水及其水位大幅升降、地震作用、邻区开采影响等<sup>[9]</sup>。结合研究区的实际情况,本文主要从以下几个方面对研究区的“活化”可能性进行分析:

## 2.1 建筑物载荷对“活化”的影响

根据附加应力法的原理,研究建筑物载荷是否会对“活化”造成影响的关键是搞清楚建筑物载荷的影响深度与垮落裂隙带相对位置的关系,当建筑物载荷的影响深度和垮落裂隙带的发育高度有重叠时,就有可能造成老采空区的“活化”。因此要分别计算垮落带、裂隙带高度以及载荷影响深度值。

根据《规程》中提供的经验公式对研究区垮落带、裂隙带的高度进行计算,研究区顶板属中硬岩性,选用公式如下:

$$H_m = \frac{100 \sum M}{4.7 \sum M + 19} \pm 2.2;$$

$$H_{li} = \frac{100 \sum M}{1.6 \sum M + 3.6} \pm 5.6.$$

式中, $H_m$ :垮落带高度(m); $H_{li}$ :裂隙带高度(m);

$M$ :煤层采厚(m)。

由地质采矿资料可知,研究区煤层采厚平均为3 m,由此可计算得出:垮落带厚度  $H_m = 9.06 \pm 2.2$ ,裂隙带厚度  $H_{li} = 35.7 \pm 5.6$ 。

据相关资料显示,当地基下方有高压压缩土或别的不稳定因素如导水裂隙带时,应计算附加应力  $\sigma_z = 10\% \sigma_c$  处( $\sigma_c$  为自重应力),方可认为附加应力对该深度处的地基基本不产生影响<sup>[10]</sup>;据此对建筑物附加载荷影响深度进行计算。

均布矩形载荷作用下的地基附加应力计算公式如下<sup>[11]</sup>:

$$\sigma_z = \alpha_c P_0.$$

式中, $\sigma_z$ :地基附加应力(kPa); $P_0$ :矩形均布载荷(kPa),选取最大载荷 180 kPa; $\alpha_c$ :矩形均布载荷附加应力系数,可根据  $L/b, z/b$  的值,参照参考文献[9]表 3-7 得到矩形长  $L = 600$  m,矩形宽  $b = 15$  m, $z$  为载荷影响深度。

地基自重应力计算公式如下:

$$\sigma_c = \gamma h.$$

式中, $\sigma_c$ :地基自重应力(kPa); $\gamma$ :土体容重,一般取  $20 \text{ kN/m}^3$ ;  $h$ :载荷影响深度(m)。

列表对附加应力和自重应力进行比较从而选出载荷影响深度(见表4)。

表4 应力对照表

| 影响深度/m | 附加应力系数 $\alpha_c$ | 附加应力 $\sigma_z$ /kPa | 10%自重应力 $\sigma_c$ /kPa |
|--------|-------------------|----------------------|-------------------------|
| 10     | 0.712             | 128.2                | 20                      |
| 20     | 0.445             | 80.1                 | 40                      |
| 30     | 0.304             | 54.7                 | 60                      |

从表中可清楚的看到,当载荷影响深度  $h = 30$  m时,即满足  $\sigma_z < 10\% \sigma_c$ ,因此可认为载荷的最大影响深度为 30 m;在相关研究中,为了保险起见,常在地基主要受力层(即载荷影响层)与老采空区垮落裂隙带之间设置安全保护层,其厚度国内经验值一般取 5~10 m,考虑到老采空区地质采矿条件复杂的因素,为尽量保证采煤沉陷区上部建筑物的安全可靠<sup>[12]</sup>,这里将其取为 20 m,即载荷最大影响深度约为 50 m。

由于研究区的平均采深为 130 m,而垮落带与裂隙带之和最大为 52.56 m,所以可知载荷的最大影响深度距离垮落裂隙带之间还有 27 m 左右的空间,因此该建筑物载荷不会造成老采空区的“活化”。

## 2.2 地下水源对“活化”的影响

根据本区的地质资料,距离二<sub>1</sub>煤层较近的含水层主要有 2 个,分别是二叠系砂岩裂隙含水层和 L<sub>8</sub>灰岩岩溶裂隙含水层。其中二叠系砂岩裂隙含水层位于二<sub>1</sub>煤层上部;L<sub>8</sub>灰岩岩溶裂隙含水层位于二<sub>1</sub>煤层下部。据了解,含水层突水或水位突然变化多发生在煤层开采当时或初期,在没有外在因素如煤层开采、人为大量抽水、地震等因素的影响下,水位不会发生突然的变化,研究区属于 20 年以上的老采空区,开采时造成的含水层水位变化已基本稳定。但对本研究区而言,有这 2 个含水层的存在,或多或少会加剧老采空区“活化”,不过这种“活化”主要是使垮落裂隙带破碎岩体接触点或面的强度弱化和有效应力增大或减小,固体颗粒产生



压缩变形和孔隙压密,引起地层的沉降变形,这种缓慢侵蚀产生的“活化”量不会对新建建筑物产生明显损害。

### 2.3 邻区开采对“活化”的影响

邻区开采会使得老采空区岩层平衡失稳移动,造成“活化”。本文研究的老采空区南部有24043工作面与2473工作面在开采,目前主要为开采残余煤柱,采掘活动较小,根据2个工作面与研究区的相对位置及工作面的覆岩岩性特点确定下山边界角,再结合工作面采深及松散层厚度等情况,综合对这2个工作面的影响范围进行计算,24043工作面北部边界的影响范围约为162 m,2473工作面北部边界的影响范围约为146 m,但本文的研究区距离这2个工作面的最近距离都在350 m以上,因此不会受到影响。

### 2.4 地震与爆破震动等对“活化”的影响

地震或爆破震动产生的震荡波对老采空区的“活化”的影响取决于震源的空间位置、烈度、传播方式等,一般来说对老采空区会产生一定的影响。在地震或爆破震动作用下,老采空区断裂带内的空隙将被震动压实,地表随之下沉,影响地表建筑物的稳定。依据中国地震动参数区划图(GB18306-2001),焦作地区地震烈度划分为七度,因此在研究区新建建筑物时要按照该烈度或提高一级设置防裂区。另外,据调查发现,研究区附近存在一些采石场,这些采石场在生产中采用爆破进行作业,可能对老采空区的地基“活化”产生影响,因此在研究区建设新建建筑物时要尽量远离这些采石场及其附近区域。

## 3 研究区地基处理措施

根据本文之前的研究,在研究区内边缘区载荷大于等于0.090 MPa时、在中心区和外边缘区载荷大于等于0.126 MPa时,地基的移动变形程度就超过了国家对建筑物地基要求的标准值,此时如果仍需要在该处建设就必须对地基进行处理。

处理长壁老采空区采动破碎地基的技术措施主要包括以下方法:

- 1)全部充填注浆加固措施。
- 2)对浅部采动破碎岩体采用高能量强夯法处理。
- 3)堆载预压处理法。
- 4)弯曲带基岩注浆加固措施。

5)注浆加固裂隙带砌体岩梁措施。

6)局部混凝土桩柱措施。

## 4 结论

1)影响老采空区地基稳定性的因素主要是2个:一是老采空区垮裂带发生“活化”,二是载荷下的地表移动与变形。

2)就研究区这部分区域而言,“活化”的可能性很小;中心区和外边缘区的地基最大荷载能力为0.126 MPa,约相当于7层一般楼房的建筑,内边缘区的地表地基最大荷载能力为0.09 MPa,约相当于5层一般楼房的建筑。

3)在研究区的中心区和外边缘区进行建设时,建筑物楼层不应超过7层,在内边缘区建设建筑物时楼层不应超过5层。

### 参考文献:

- [1] 腾永海,张俊英.老采空区地基稳定性评价[J].煤炭学报,1997(5):504-507.
- [2] 崔希民,缪协兴,苏德国,等.岩层与地表移动相似材料模拟实验的误差分析[J].岩石力学与工程学报,2002(12):1827-1830.
- [3] 张蕊,姜振泉,姜春露,等.韩桥煤矿井田采空区地面建筑地基稳定性研究[J].煤炭工程,2011(4):61-63.
- [4] 钱自卫,吴慧蕾,姜振泉.老采空区高层建筑物地基稳定性综合评价[J].湖南科技大学学报,2011,26(1):58-62.
- [5] 白国良,李树志,高均海.老采空区覆岩裂隙发育特征及活化机理研究[J].煤矿开采,2010,15(5):11-13.
- [6] 高中祥,冀凯.采空区沉降规律研究[J].山东煤炭科技,2008(3):93-95.
- [7] 刘秀英.采空区建筑地基稳定性分析的相似模拟试验研究[D].山西:太原理工大学,2004.
- [8] 王磊,郭广礼,查剑锋,等.老采空区地表残余沉降预计于应用[J].采矿与安全工程学报,2011,28(2):283-287.
- [9] 朱元武,刘春香,贺金强.采空区场地高层建筑地基稳定性评价[J].工业建筑,2009,39(s):738-740.
- [10] 张登宏.徐淮广电中心建设场地下老采空区地基稳定性研究[D].西安:西安建筑科技大学,2009.
- [11] 李镜培,梁发云,赵春风.土力学[M].北京:高等教育出版社,2008.
- [12] 郝玉昭.煤矿废弃采空区开发建设的建筑场地稳定性分析[J].西部探矿工程,2010(7):101-103.