

# The Geological Stability Research of the Second Engineering in Xuzhou Pan'an Lake

Gang Chen<sup>1,2</sup>, Xiaohan Wang<sup>1,2</sup>

<sup>1</sup>Key Laboratory of Earth Fissures Geological Disaster, Ministry of Land and Resources, Nanjing Jiangsu

<sup>2</sup>Geological Survey of Jiangsu Province, Nanjing Jiangsu

Email: 504739487@qq.com

Received: May 28<sup>th</sup>, 2017; accepted: Jun. 17<sup>th</sup>, 2017; published: Jun. 20<sup>th</sup>, 2017

---

## Abstract

As the rapid development of national economy and urban construction, the land of urban construction is scarce increasingly. So the coal mine goaf as construction land has become a kind of effective way to relieve the strain on land. In this article, through analyzing the distribution characteristics, mining time, mining area and the ground deformation damage in Qishan coal mine goaf and Quantai coal mine goaf of the Xuzhou mineral group, predicting residual deformation of surface collapse of the goaf with the probability integral method. The evaluation is divided into not stable, relatively stable and stable, and puts forward prevention measures and suggestions to the goaf ground so that the geological basis is provided for engineering construction.

## Keywords

Coal Mine Goaf, Probability Integral Method, The Geological Stability

---

# 徐州潘安湖二期工程地质稳定性研究

陈 刚<sup>1,2</sup>, 王孝汉<sup>1,2</sup>

<sup>1</sup>国土资源部地裂缝地质灾害重点实验室, 江苏 南京

<sup>2</sup>江苏省地质调查研究院, 江苏 南京

Email: 504739487@qq.com

收稿日期: 2017年5月28日; 录用日期: 2017年6月17日; 发布日期: 2017年6月20日

---

## 摘 要

随着国民经济和城市建设的快速发展, 城市建设用地日益紧张, 把煤矿采空区作为建设用地已经成为缓

解用地紧张的一种有效手段。本文通过分析徐州矿物集团旗山煤矿和权台煤矿的采空区分布特征, 开采时间、开采面积及其已引发的地面变形破坏情况, 运用概率积分法预测采空区地面塌陷的残余变形量, 将评价区分为不稳定、相对稳定和稳定三个区, 并对采空区地面塌陷提出防治措施及建议, 以期对工程建设提供地质依据。

## 关键词

煤矿采空区, 概率积分法, 地质稳定性

Copyright © 2017 by authors and Hans Publishers Inc.

This work is licensed under the Creative Commons Attribution International License (CC BY).

<http://creativecommons.org/licenses/by/4.0/>



Open Access

## 1. 引言

徐州市贾汪地区的采煤活动, 至今已有百余年的历史, 经过多年的地下开采, 许多地区形成大面积、大规模的煤矿采空区, 已经成为公路、铁路和重大工程建设的限制因素[1], 并造成了一系列的环境地质问题[2], 因此, 开展采空区建筑地质稳定性研究, 对矿区环境的治理、矿区土地的利用、重大工程设施的建设和小城镇建设规划都具有重要的现实意义。

目前, 研究煤矿采空区影响的方法主要有 Roughset 法[3]、T-S 模糊神经网络法[4]、经验模态分解和加权最小二乘支持向量机法[5]、概率积分和数值模拟法[6]等, 张润香研究了蓟运河下方的煤矿的开采方法以及应对措施[7], 蔡子刚研究了波兰采空区地面塌陷与积水预测的理论与方法[8], 此外很多学者也对采空区塌陷的形成机理和影响因素等做了大量研究, 如翟淑花等进行了采空区塌陷区地表建筑物变形特征分析及破坏机理研究[9], 李为民等对大通煤矿地面塌陷成因及发展趋势进行了分析[10], 刘心彪研究了甘肃省华亭县采空区地面塌陷成因, 并提出了防治对策[11]。

拟建潘安湖湿地公园二期项目位于徐州矿务集团权台煤矿和旗山煤矿井田开采范围之内, 属煤矿采空区地面塌陷区或其影响区, 拟建项目主要建设内容包括民居、合院、酒店、观景塔、码头和桥梁, 其中民居和合院均为一层, 酒店的单体建筑面积最大、层数为 1~3 层, 观景塔的层数为 7 层。本次研究以拟建项目场地边界外扩 500 m 作为评价区范围, 笔者通过分析评价区采空区的分布特征, 并用概率积分法对其采空区地质稳定性进行分析研究, 并提出防治措施和建议, 对工程建设提供地质依据。

## 2. 区域地质概况

评价区地层隶属于华北地层区鲁西分区徐宿地层小区, 前第四纪地层主要发育有奥陶系、石炭系、二叠系和古近系(见图 1), 多被 20~30 m 厚的第四系覆盖。其中二叠系下统下石盒子组( $P_{1x}$ )、山西组( $P_{1s}$ )和石炭系上统太原组( $C_{3t}$ )为评价区内主要的含煤地层。评价区及周围地区前第四纪地层岩性特征由老至新如下。

### 2.1. 奥陶系(O)

1) 下统下马家沟组( $O_{1x}$ ): 厚度 142~202 m, 灰、深灰、紫灰色厚层灰岩、豹皮状灰岩、白云质灰岩、白云岩。

2) 中统阁庄组( $O_{2g}$ ): 厚度 64~97 m, 灰、灰黄、灰紫色薄 - 中厚层白云岩夹灰岩。

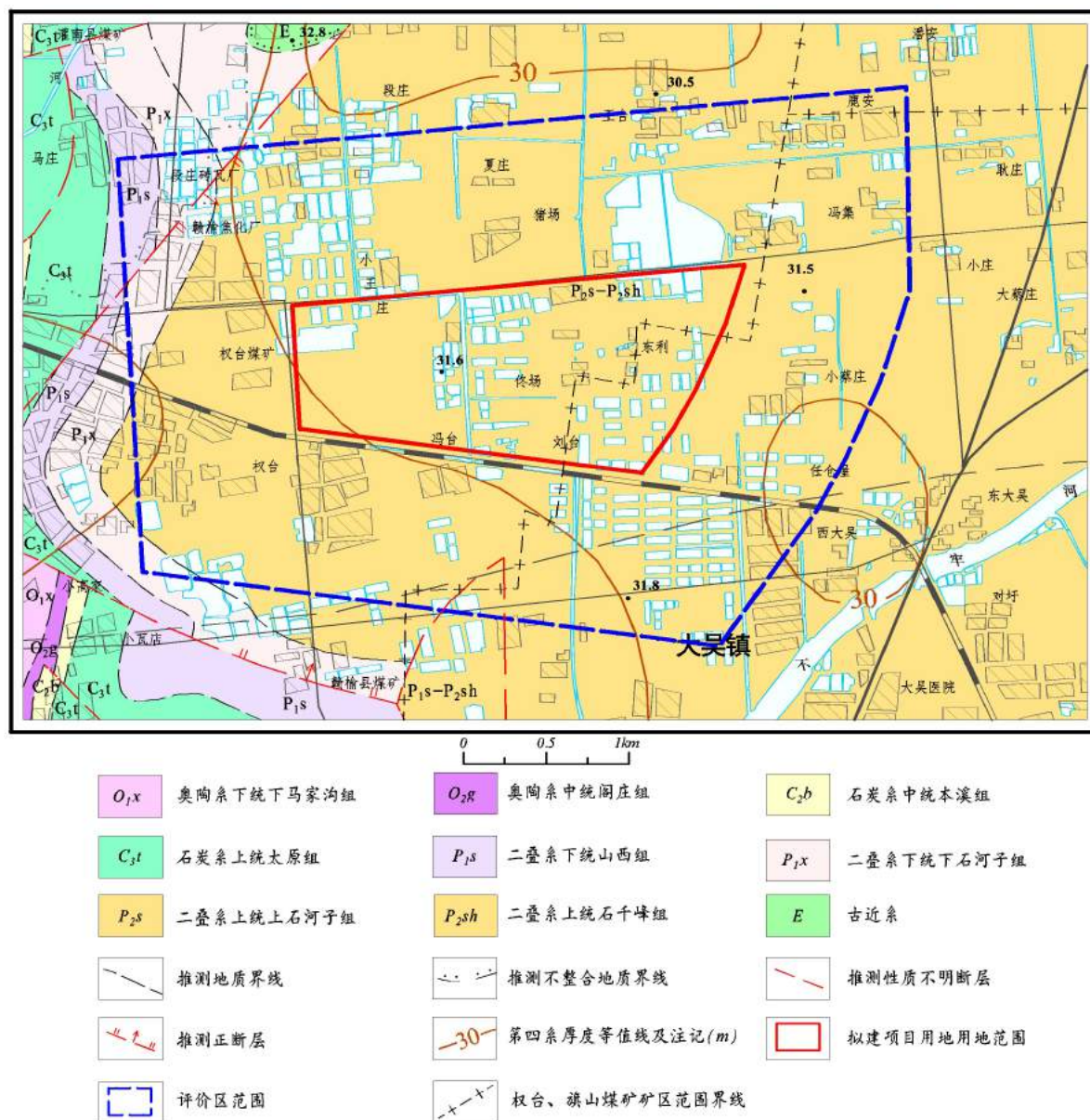


Figure 1. Evaluation area and the surrounding area bedrock geological map

图 1. 评价区及周围地区基岩地质图

## 2.2. 石炭系(C)

1) 中统本溪组( $C_2b$ ): 上部为灰白色层状石灰岩, 含零星点状黄铁矿晶粒, 间杂灰绿色泥岩。中部为铝土质页岩, 灰绿色, 节理面有棕黄色, 可作为地层标志。厚度 1~5 m。下部是紫红色铁质页岩, 呈层状和鸡窝状, 厚度不均, 4~12 m。

2) 上统太原组( $C_3t$ ): 厚度 140~160 m, 平均 150 m, 为海陆交替相沉积。以 13 层石灰岩和泥岩、砂质泥岩、砂岩以及 12 层薄煤等交互出现。

## 2.3. 二叠系(P)

1) 下统山西组( $P_{1s}$ ): 厚 120~140 m, 平均 130 m, 上部以杂色、灰 - 灰绿色泥岩, 灰白、灰绿石英

砂岩及砂泥岩互层组成。中下部以灰白色砂岩和砂泥岩互层组成。底部为深灰色泥岩, 结构密, 质细而均匀, 属浅海相沉积, 该层厚度 6~20 m。

2) 下统下石盒子组( $P_{1x}$ ): 厚度 180~210 m, 平均 195 m, 分上、下两段: 上段: 以杂色、灰色泥岩、灰色砂泥岩、灰-灰白色砂岩组成。本段内夹有不稳定薄煤层和炭质泥岩, 地层厚度约 100 m。

下段: 以灰色、深灰色泥岩和砂质泥岩、灰-灰白色砂岩和煤组成地层厚度约 100 m。底部为灰绿-灰白色粗粒砂岩, 厚度 7~20 m。

3) 上统上石盒子组( $P_{2s}$ ): 本组厚 380~550 m, 平均 467 m。

上段厚约 254 m, 以杂色、灰绿色、紫色泥岩和浅灰色砂岩组成, 局部夹有薄煤层。

中段厚约 179 m, 以杂色、灰色泥岩及灰绿-灰白色砂岩组成, 夹有薄煤层。

下段本段俗称“奎山砂岩”, 厚约 34 m, 以灰绿色-褐红色的中-粗粒砂岩为主, 夹有杂色的泥岩和砂质泥岩。

4) 石千峰组( $P_{2sh}$ ): 厚度 75~570 m。上部以棕红色、褐色、灰绿色的杂色泥岩、砂泥岩为主, 夹灰绿色中-粗粒砂岩组成, 胶结松散, 层理不清。下部以紫红色中-粗粒砂岩为主, 常含砾石。夹有薄层杂色泥岩, 厚度约 70 m (俗称上界砂岩)。

## 2.4. 古近系(E)

以砾石为主, 与红-棕红色砂泥岩组成。

揭露厚度 0~220 m, 分布很不稳定, 仅分布在评价区西北侧的局部地区。

区内第四纪地层主要由黄色砂土、灰黑色粘土和砂礓、砾石组成一套松散的沉积物, 厚度 18~40 m, 平均 29 m, 由南向北逐渐增厚, 与下伏地层呈不整合接触。

## 2.5. 区域地质构造

贾汪区大地构造位置处于华北地台南缘徐州断褶束的中段, 东距郯庐深大断裂带约 100 km。徐州断褶束由一系列 NE-NNE 向展布的复式褶皱及与其大致平行的逆断层组成, 并被 NW-NNW 向断裂切割, 发育在徐州中东部、规模较大的复式褶皱自西向东主要有夹河复式向斜、徐州复式背斜和贾汪复式向斜。贾汪复式向斜为一呈 NE 向延伸的宽缓复向斜, 核部为石炭、二叠系, 翼部主要由奥陶系和寒武系组成; 核部地层产状较平缓、略具波状起伏, 翼部地层产状较陡且局部倒立。该复式向斜是贾汪地区重要的储煤构造, 青山泉、夏韩桥、董庄、旗山、权台等国营大型煤矿均分布在此储煤构造中。

评价区地处该复式向斜南部近西翼部位, 评价区及周边地区断裂构造不发育, 主要在评价区的西北侧和西南侧发育有 NNE 向、近 EW 向、NWW 和 SN 向断裂, 规模相对较小。

## 3. 煤层开采情况

拟建项目地处徐州矿物集团权台煤矿和旗山煤矿井田范围内, 评价区内主要开采 1、3、9 煤。现将各煤层采空区分布特征详述如下:

### 3.1.1 煤采空区

评价区内 1 煤采空区主要由旗山煤矿开采所致, 旗山煤矿 1 煤平均开采厚度为 1.42 m, 根据旗山煤矿 1 煤井上下对照图, 采空区形成于 1966~2002 年, 主要分布于建设场地和评价区的东部, 其中 2107~2115、2117、3114、3115、1101~1105 开采面开采时间在 1966~1990 年, 其余开采面开采时间在 1990~2002 年之间。煤层底板标高变化较大, 从评价区南部-400 m 向东北方向埋深逐渐加大, 东北部底板标高最大在 -700 m 左右, 采空区分布图见图 2。

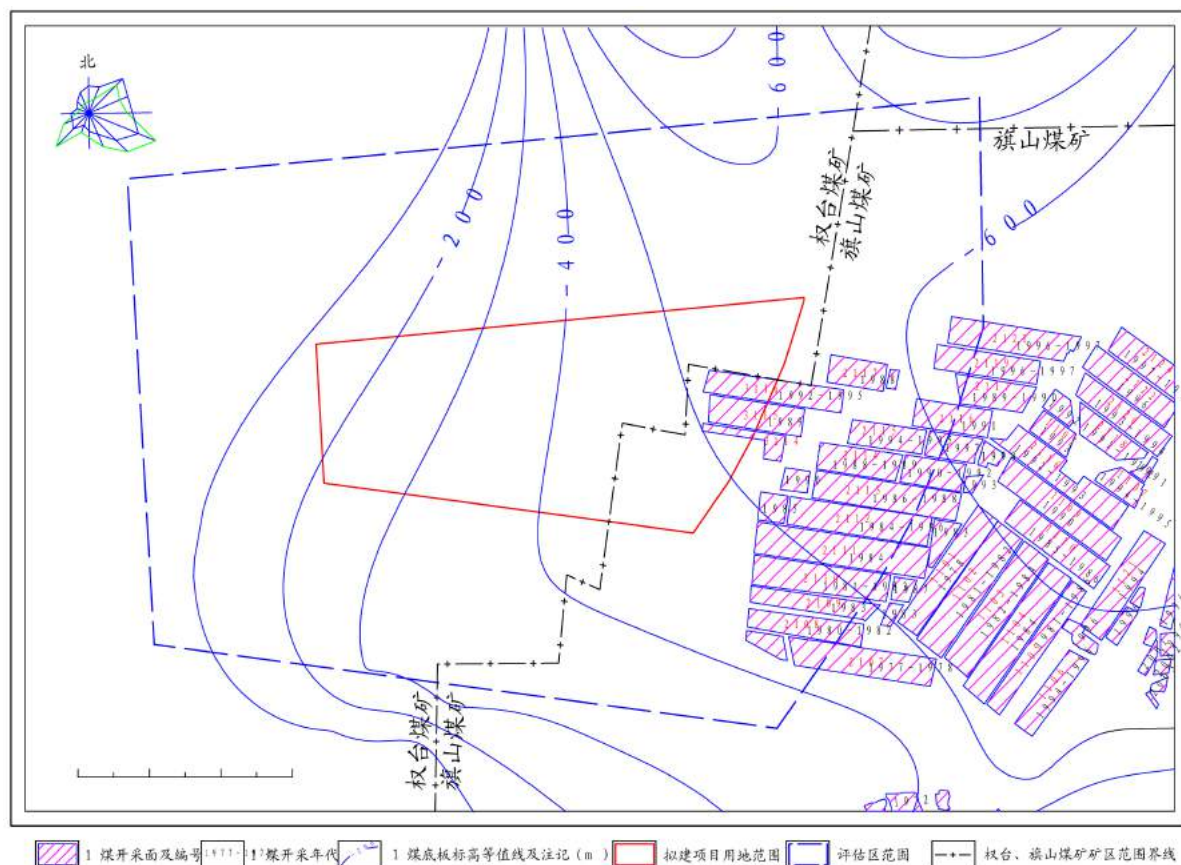


Figure 2. The distribution of the first layer of coal in the evaluation area

图 2. 评价区 1 煤采空区分布图

### 3.2.3 煤采空区

权台煤矿和旗山煤矿对评价区内 3 煤层均有开采, 其中权台煤矿 3 煤平均开采厚度为 4.68 m, 开采时间 1963~2004 年, 旗山煤矿 3 煤平均开采厚度 3.42 m, 开采时间 1966~2009 年。3 煤层采空区在评价区内广泛分布, 其煤层底板标高变化较大, 总体而言, 从评价区南西-250 m 向北东方向埋深逐渐增大, 东北部底板标高最大在-850 m 左右, 采空区分布图见图 3。

### 3.3.9 煤采空区

权台煤矿和旗山煤矿对评价区内 9 煤层均有开采, 主要分布在评价区的东部和北部地区, 其中权台煤矿 9 煤开采厚度 1.8 m, 开采时间 1998~2004 年, 旗山煤矿 9 煤平均开采厚度 1.89 m, 开采时间 1995~2011 年。9 煤层底板标高变化较大, 评价区内南部埋深较浅, 向北东方向埋深逐渐增加, 底板标高从-550 m 到-850 m, 采空区分布图见图 4。

## 4. 采空地面塌陷形成机理

地下局部煤层采出后, 在岩体内部形成一定空间, 其周围原有的应力平衡状态受到破坏, 引起应力的重新分布, 直至达到新的平衡, 这一应力重新分布并达到新的平衡的过程即是由煤层顶底板岩土层变形破坏来完成的。顶板岩层的变形破坏一般自下而上出现“冒落(垮落)、裂缝和整体移动(弯曲)”三个破坏带, 当这三个带达到地表时, 使地表产生移动和变形, 即形成煤矿采空地面塌陷(图 5)。有些未引起地

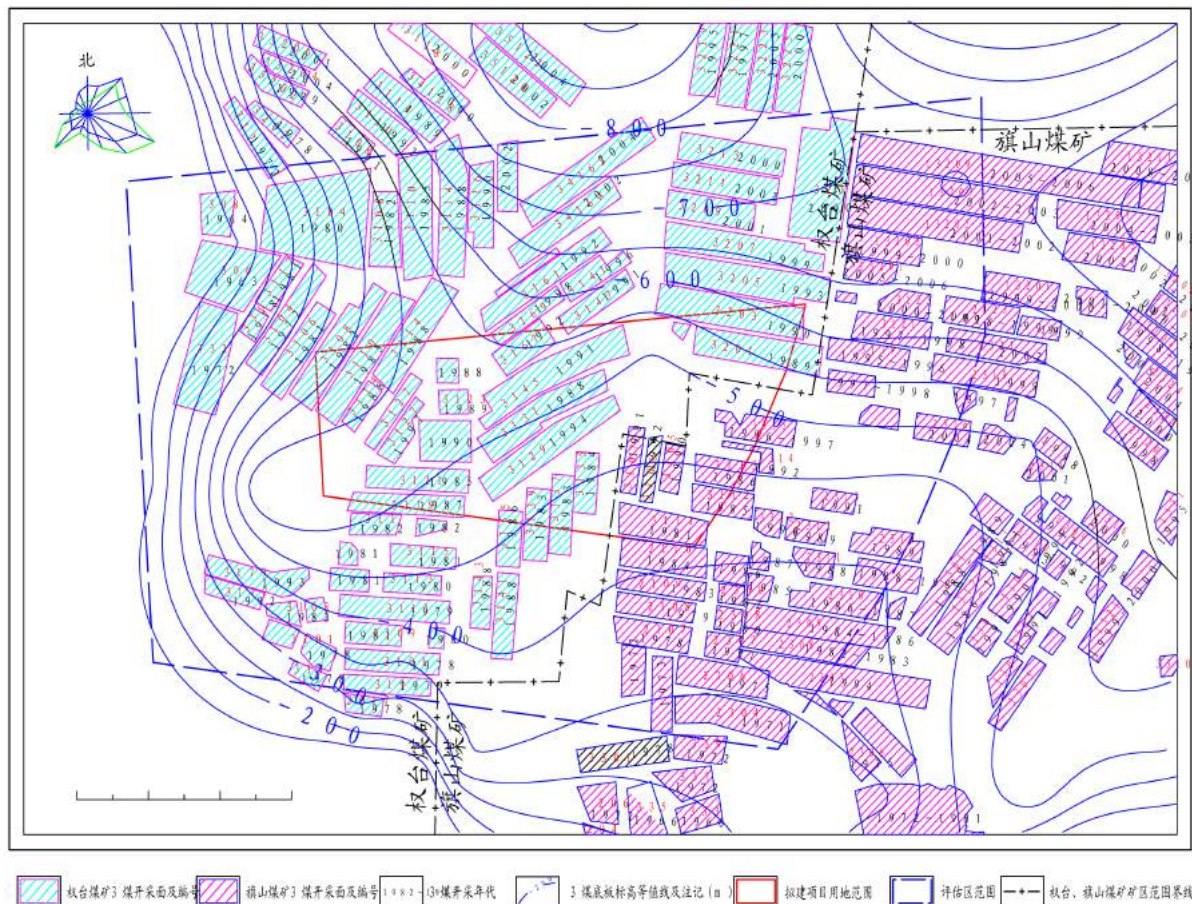


Figure 3. The distribution of the third layer of coal in the evaluation area

图 3. 评价区 3 煤采空区分布图

面塌陷或出现塌陷但已基本稳定的采空区, 也会由于自然力或外力扰动而发生塌陷或已稳定的塌陷出现活化沉降现象, 如新加建筑荷载(修建楼房等建筑物)、地震、采空区积水变化等。新加建筑荷载改变了“冒落带、断裂带”的相对应力平衡状态, 当荷载的影响深度达到该两个带时, 就会破坏其平衡状态而引起采动破碎岩体的二次移动(活化), 使基本稳定的地表二次变形。此外, 由于地下保护煤柱长期遭受风化剥蚀或采空区积水变化, 使煤柱长期遭受浸泡导致其强度降低而难以承受上覆岩土层及其它荷载的压力而发生变形破坏, 失去支撑作用, 亦可导致一定时期内未塌陷的采空区发生塌陷或已基本稳定的采空塌陷产生“活化”沉降。已基本稳定采空塌陷产生“活化”沉降的根源是因为在破坏的覆岩中, 各种岩体结构依然存在, 伴随这些结构形成的残留空洞、裂缝、离层和破碎岩块欠压密现象仍然存在, 一旦有外力作用, 呈散体和碎裂结构、岩块间空隙大且连通性好的“冒落带”将发生压密和位移; 呈块裂层状结构、岩体块度较大、刚度和强度较高、层间还存在大量离层裂隙的“裂隙带”将发生岩块结构失稳和裂隙压密现象; 呈完整层状结构的“整体移动(或称弯曲)带将发生离层裂隙压密现象”, 这些压密、位移和失稳现象均可引起已基本稳定采空塌陷产生“活化”沉降。

### 5. 采空区稳定性分析评价

研究区范围内的采空区场地稳定性的评价, 主要从采空区的塌陷现状、残余变形、采空区活化三个方面进行分析。

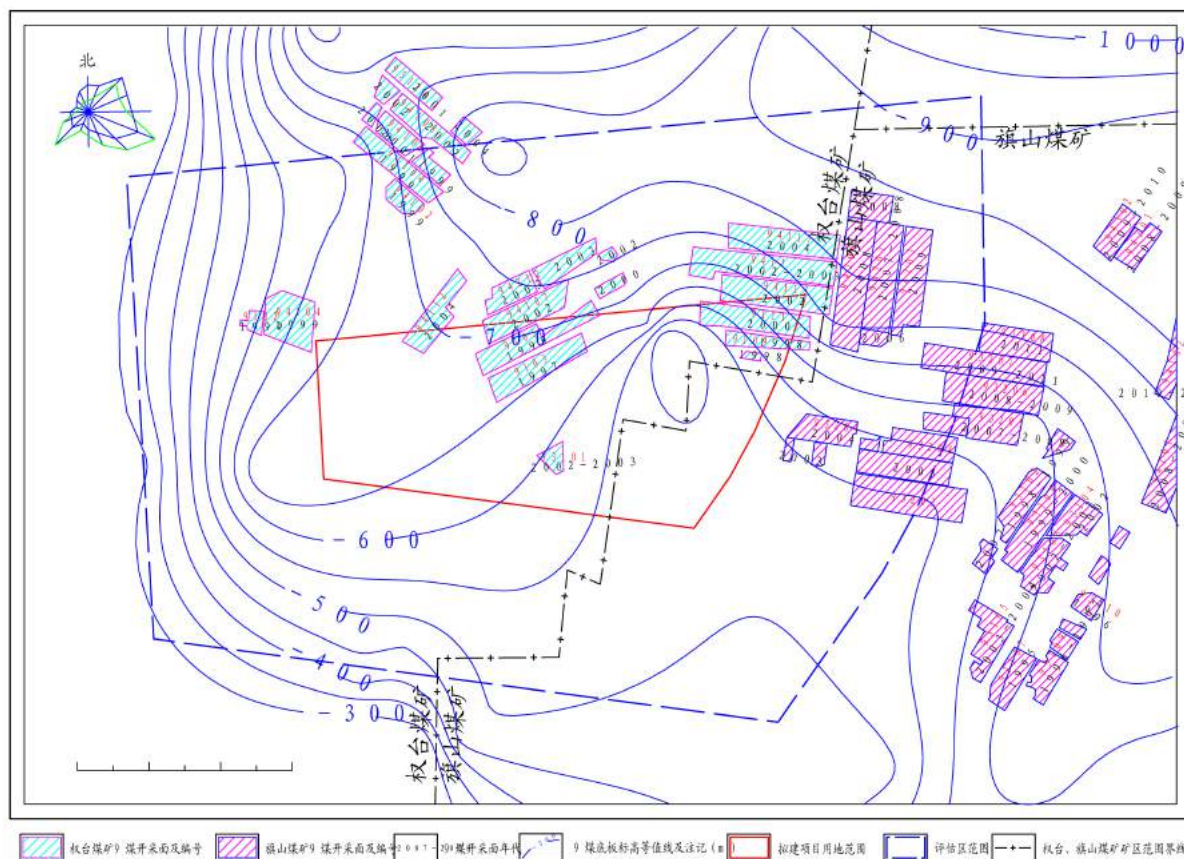


Figure 4. The distribution of the ninth layer of coal in the evaluation area

图 4. 评价区 9 煤采空区分布图

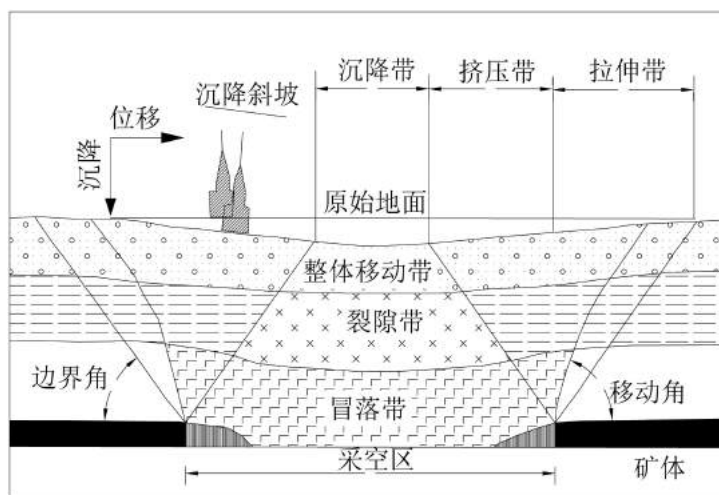


Figure 5. The ground subsidence was formed by means of ground collapse

图 5. 采空地面塌陷形成示意图

### 5.1. 采空地面塌陷现状

评价区分布有 1、3 煤、9 煤 3 层采空区(评价区权台煤矿因 1、3 煤层间距过小, 同时合并开采而成为 1 层(3 煤)采空区), 分布广、面积大, 已经引发了采空地面塌陷灾害。据野外调查访问, 评价区采空

地面塌陷的深度一般在 1~3 m, 局部可达 4~5 m, 对地表破坏严重, 在塌陷严重区段, 当地已经将其改造为鱼塘, 但目前地表有些地段仍为塌陷积水洼地。

## 5.2. 地表残余变形对场地稳定性的影响

### 5.2.1. 评价区残余地面变形预计

根据徐州地区煤矿矿区地表移动规律研究成果, 煤矿采空区地表移动规律基本符合概率积分法模型, 本文采用的概率积分法在徐州地区拥有成熟的实践经验, 该方法具有简便明了, 通俗易懂, 计算方便等优点。因此本次采空区地表残余变形预计采用概率积分法预计模型。根据三下采煤规程[12], 概率积分法计算公式如下:

1) 地表残余变形计算公式

$$\text{地表最大下沉值 } W_0 = m \times q \times \cos \alpha ;$$

$$\text{最大倾斜值 } i_0 = W_0 / r ;$$

$$\text{最大曲率值 } k_0 = \mp 1.52 \frac{W_0}{r^2} ;$$

$$\text{最大水平移动值 } U_0 = b \times W_0 ;$$

$$\text{最大水平变形值 } \varepsilon_0 = \mp 1.52 b W_0 / r 。$$

2) 地表残余变形计参数

本次采用的地表残余变形预计参数如表 1、表 2。

3) 地表残余变形预计

根据计算结果(见图 6、图 7、图 8), 评价区内地表最大残余移动变形值为: 最大下沉值为 560.58 mm, 最大倾斜值为 1.43 mm/m, 最大水平位移值为 62.2 mm/m。

### 5.2.2. 残余变形对场地稳定性的影响

根据前面的地表移动残余预计结果, 评价区内 1、3、9 煤的大部分采空区的沉降活跃期已过, 未来沉降以残余变形为主, 场地已进入缓慢的残余变形阶段。

根据《岩土工程勘察规范》(GB50021-2001), 采空区宜根据开采情况地表移动盆地特征和变形大小

**Table 1.** The reference value of the coefficient of subsidence at different periods in Xuzhou mining area\*

**表 1.** 徐州矿区不同时期的下沉系数参考值\*

开采结束时间	1 年	2 年	5 年	10 年	15 年	20 年
下沉系数( $q$ )	0.75	0.825	0.90	0.938	0.975	0.99

\*: 《老采空区上方建筑地基变形机理及其控制》(郭广礼教授著, 中国矿业大学出版社)。

**Table 2.** The prediction parameters for surface movement deformation

**表 2.** 地表移动变形预计参数

序号	参数	符号	单位	参数值	备注
1	下沉系数	$q$	/	表 4-4	重复采动取 1.1
2	主要影响正切	$\text{tg}\beta$	/	2.0	重复采动取 1.87
3	水平移动系数	$b$	/	0.12	/
4	拐点偏移距	$S$	m	0.10~0.50H	/
5	最大下沉角	$\theta$	deg	90~0.5 $\alpha$	/



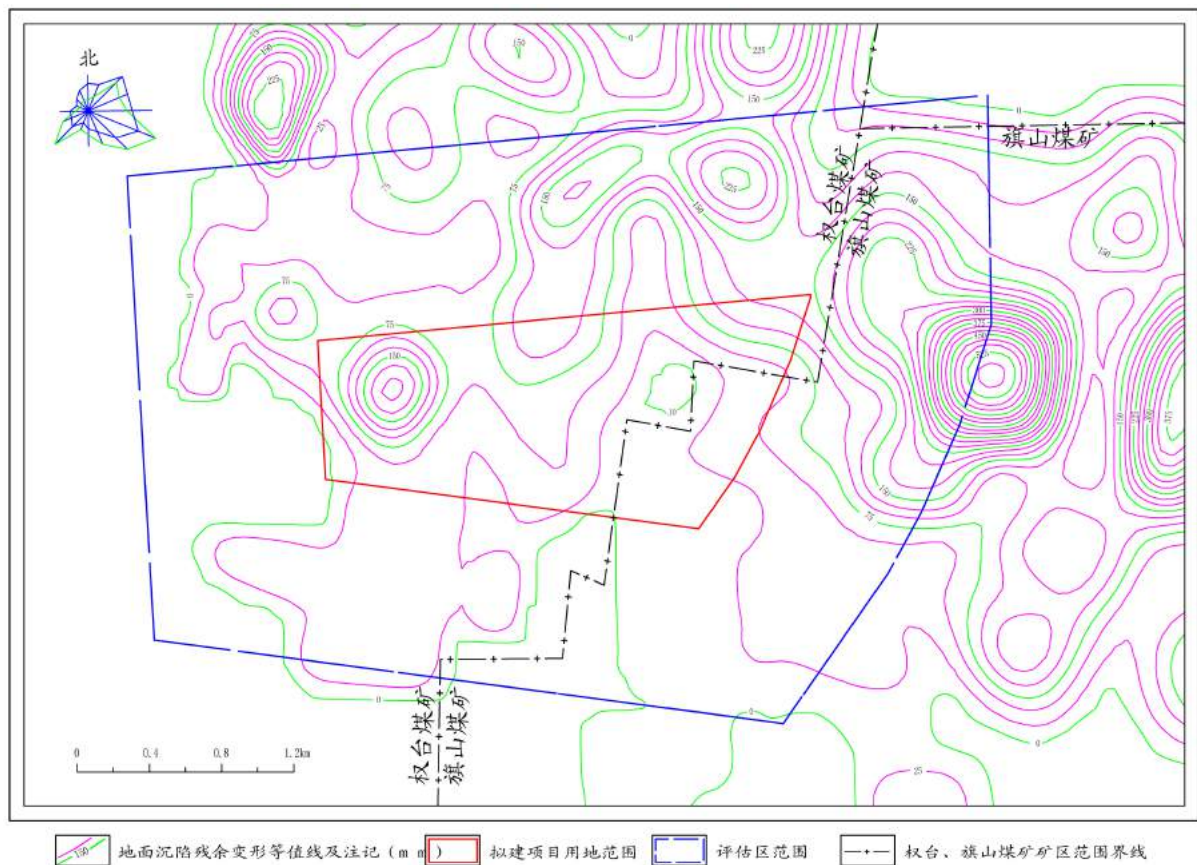


Figure 6. Surface residual deformation subsidence prediction chart  
图 6. 地表残余变形下沉预测图

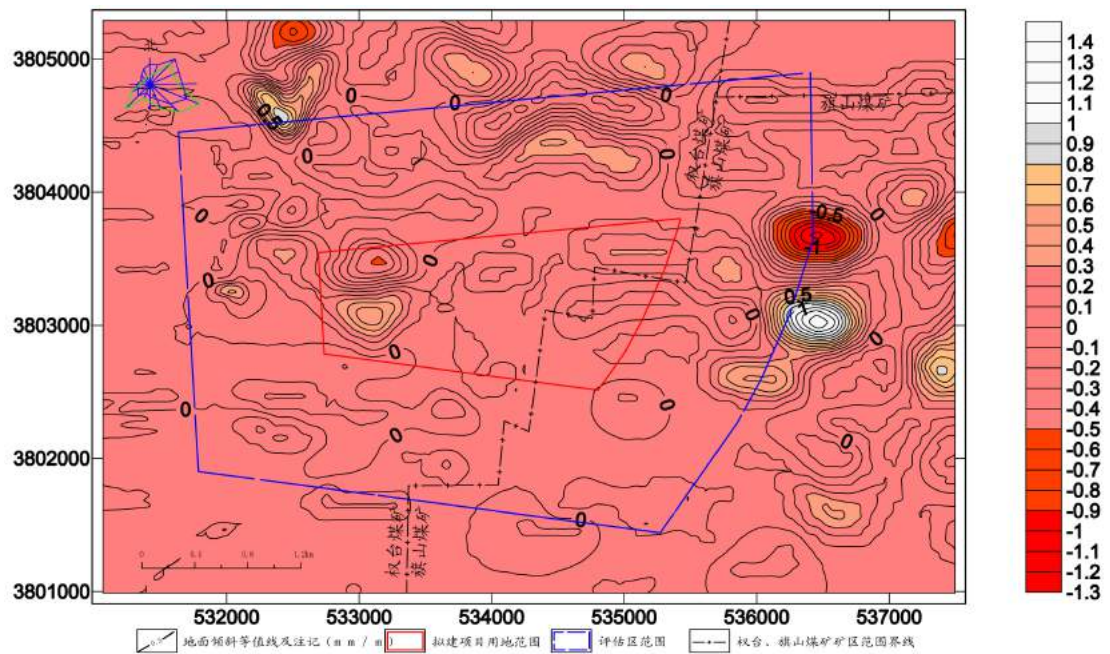


Figure 7. Surface residual deformation tilt prediction chart  
图 7. 地表残余变形倾斜预测图

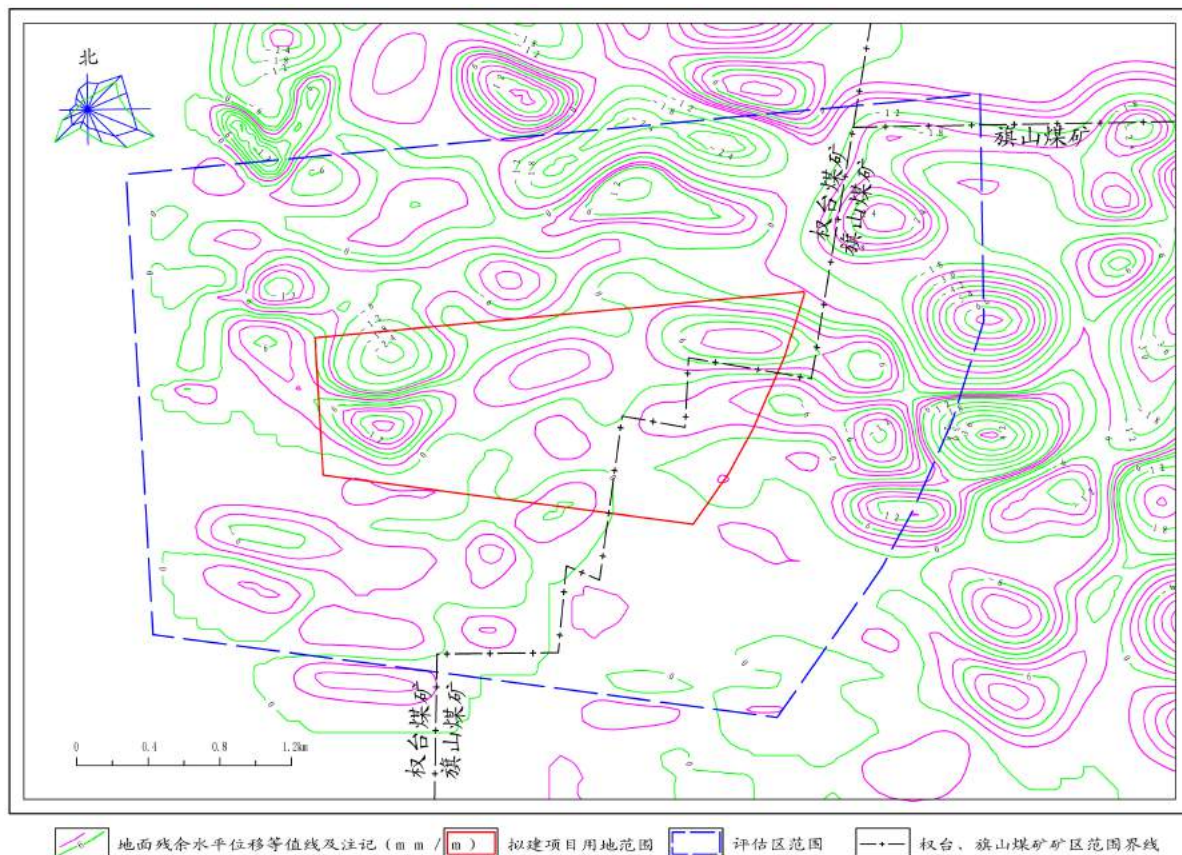


Figure 8. Surface residual deformation horizontal displacement prediction chart

图 8. 地表残余变形水平位移预测图

划分为不宜建筑的场地和相对稳定的场地，采空区地表倾斜大于 10 mm/m 或地表曲率大于 0.6 mm/m<sup>2</sup> 或地表水平变形大于 6 mm/m 的地段不宜作为建筑场地。

当建筑物建在影响范围以内时，可按下列公式验算地基的稳定性，设建筑物基底单位压力为  $P_0$ ，当巷道顶板的埋藏深度增大到一定的深度时，使顶板岩层恰好保持自然平衡(即作用在采空段顶板上的压力  $Q = 0$ )，此时的附加应力影响深度  $H$  称为临界深度  $H_0$ ，则：

$$H_0 = \frac{B\gamma + \sqrt{B^2\gamma^2 + 4B\gamma p_0 \tan \phi \tan^2 \left( 45^\circ - \frac{\phi}{2} \right)}}{2\gamma \tan \phi \tan^2 \left( 45^\circ - \frac{\phi}{2} \right)}$$

式中：

$H_0$ ——临界深度(m)；

$B$ ——巷道宽度(m)，本处按 4 m 进行计算；

$\gamma$ ——地层平均重度；

$\phi$ ——摩擦角，取平均值 30°。

以上参数的取值为经验取值，是参考徐州地区煤矿采空区以往的验算资料的结果。

当  $H < H_0$  时，地基不稳定；当  $H_0 < H < 1.5H_0$  时，地基稳定性差，当  $H > 1.5H_0$  时，地基稳定。

本次计算  $P_0$  取值分别按 3 层建筑( $P_0 = 60$ )和 7 层建筑( $P_0 = 140$ )对临界深度进行计算。

1)  $P_0 = 60$  时(3 层建筑)

$$H_0 = \frac{4 \times 24.45 + \sqrt{4^2 \times 24.45^2 + 4 \times 4 \times 24.45 \times 60 \times \tan 30^\circ \times \tan^2 \left( 45^\circ - \frac{30^\circ}{2} \right)}}{2 \times 24.45 \times \tan 30^\circ \times \tan^2 \left( 45^\circ - \frac{30^\circ}{2} \right)} = 23.04 \text{ m} \quad 1.5H_0 = 34.56 \text{ m}$$

2)  $P_0 = 140$  时(7 层建筑)

$$H_0 = \frac{4 \times 24.45 + \sqrt{4^2 \times 24.45^2 + 4 \times 4 \times 24.45 \times 140 \times \tan 30^\circ \times \tan^2 \left( 45^\circ - \frac{30^\circ}{2} \right)}}{2 \times 24.45 \times \tan 30^\circ \times \tan^2 \left( 45^\circ - \frac{30^\circ}{2} \right)} = 25.49 \text{ m} \quad 1.5H_0 = 38.24 \text{ m}$$

根据评价区权台煤矿、旗山煤矿煤层分布特征, 评价区范围内埋深最浅的 1、3 煤层的埋藏深度在 280 m~430 m 左右, 显然采空区的埋深不在拟建建筑物地基附加应力影响深度范围内, 建筑物荷载引起地下老采空区的“活化”而发生采空地面塌陷的可能性小。

## 6. 场地稳定性综合评价

### 6.1. 地质稳定性评价标准

由图 6 可以看出, 由于采空区终采时间、深度的不同, 不同采空区地表残余变形的程度存在差异, 评价区西部权台煤矿采空区由于终采的时间较长, 采空区塌实的程度较高, 地表残余变形的程度小, 最大残余下沉值为 225 mm; 评价区东部旗山煤矿采空区由于部分 3 煤和 9 煤的终采的时间较短, 采空区塌实的程度不完全, 地表残余变形的程度较高, 最大残余下沉值达到 560.58 mm。

本次在计算残余变形的过程中, 所用参数如下沉系数、采深等已经从侧面反映了其他几个因素的影响, 故采用残余变形值作为本次评价标准。

本次评价以地表残余变形中水平位移的大小作为划分评价区地质稳定性大小的标准: 残余水平位移 >6 mm/m, 采空区地质不稳定, 采空地面塌陷的危险性大; 残余水平位移 2~6 mm/m, 采空区地质相对稳定, 采空地面塌陷的危险性中等; 残余水平位移 <2 mm/m, 采空区稳定, 采空地面塌陷的危险性小。

### 6.2. 地质稳定性综合评价

根据评价区 1、3、9 煤采空区分布特征和终采时间, 按照上述地质稳定性分区评价标准, 将评价区地质稳定性划分为 3 个区, 即不稳定区、相对稳定区和稳定区(见图 9):

1) 不稳定区(I)

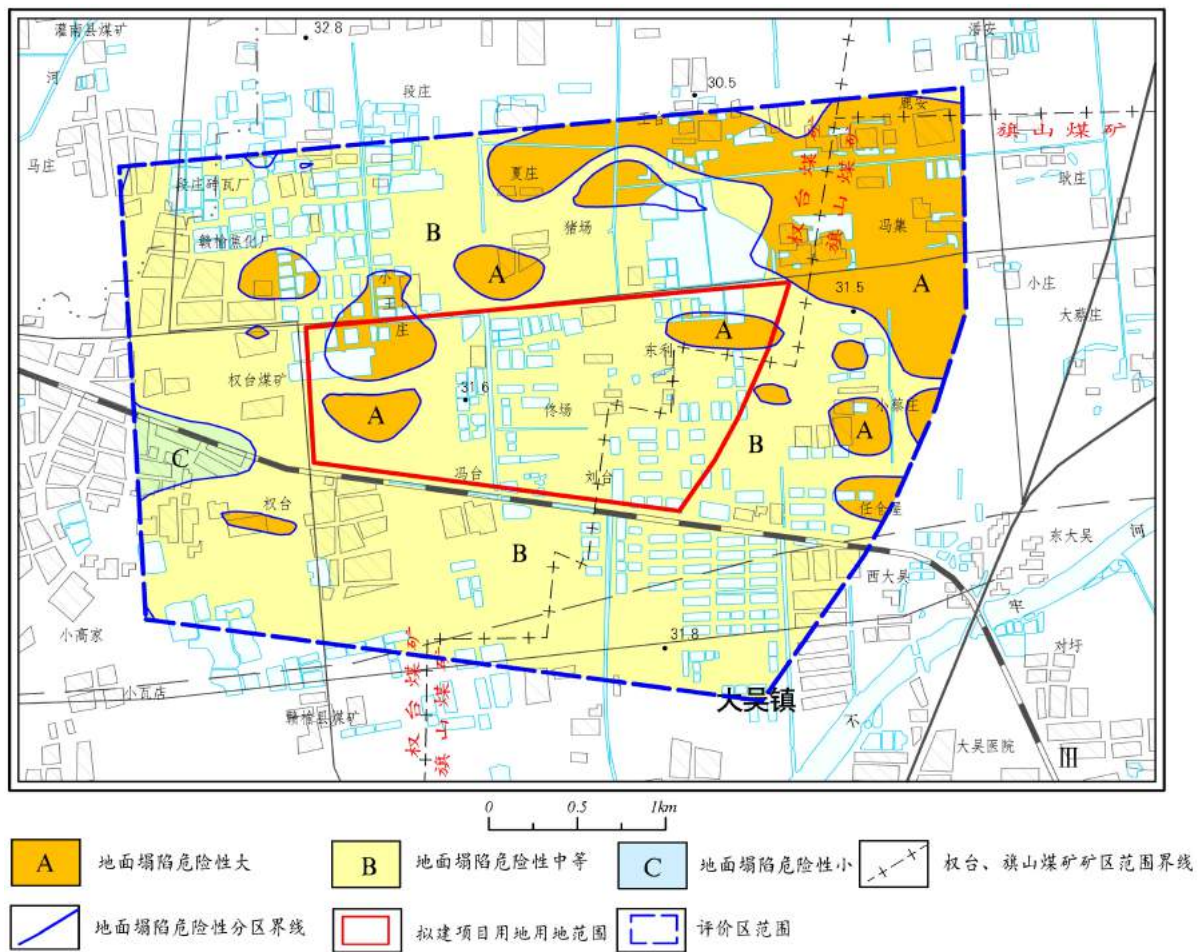
主要分布在评价区的东北部和西北部, 该区采空区终采的时间较晚(1997~2011 年), 采空区没有完全塌落压实, 地表残余变形程度较大, 预测残余水平位移 >6 mm/m。

2) 相对稳定区(II)

主要分布在评价区危险性大区周围区域, 该区采空区终采的时间较早(1997 年之前), 采空区塌落压实的程度较大, 地表残余变形程度较小, 预测残余水平位移 2~6 mm/m。

3) 稳定区(III)

主要分布在评价区的西部和中南部, 该区采空区终采的时间较早, 采空区基本已经塌落压实, 地表残余变形小, 预测残余水平位移 <2 mm/m。



**Figure 9.** The comprehensive evaluation of geological stability is in the evaluation area  
**图 9.** 评价区地质稳定性综合评价分区图

## 7. 结论与建议

### 7.1. 结论

- 1) 拟建项目场地位于徐州矿物集团旗山煤矿和权台煤矿井田范围之内, 目前, 采空区地面塌陷活跃期已过, 目前建设场地以残余变形为主。
- 2) 通过概率积分模型计算评价区内地表最大残余移动变形值为: 最大下沉值为 560.58 mm, 最大倾斜值为 1.43 mm/m, 最大水平位移值为 62.2 mm/m。
- 3) 根据残余水平位移变形值, 将评价区分为不稳定区、相对稳定区和稳定区。

### 7.2. 建议

- 1) 对拟建项目用地范围内采空区和地下巷道, 在工程勘察阶段要进一步进行详细了解, 必要时可布置深孔对其进行探查并采取相应的处理措施。
- 2) 建筑物平面形状应力求简单, 以矩形为宜; 控制建筑物的规模, 单体建筑物的长度不宜过大, 并加强上部结构强度; 同一建筑物不可横跨采空沉陷影响区和非影响区, 以减少地基不均匀沉降对建筑物的危害。
- 3) 多层建筑物每层应合理设置圈梁, 各建筑物基础和多层建筑首层、二层结构的配筋计算除考虑地

基持力层的工程地质条件外, 还应考虑老采空区“活化”引起的不均匀沉降量。

4) 开展拟建项目用地范围及周边地区的定期地面变形监测, 若其变形量超过有关规定, 则应进行专门研究或对建筑物采取保护措施。

5) 加强拟建项目用地范围及周边地区的地下水的开采管理和水位监测, 防止水位变动引起采空区“活化”, 从而引发的地面沉陷。

## 参考文献 (References)

- [1] 张蕊, 刘志. 徐州地下采空区的利用[J]. 中国科技信息, 2008(14): 339-340.
- [2] 李后尧, 冯启言, 王光亚. 徐州煤矿采区地面塌陷与诱发的生态环境问题及防治对策[J]. 西北地质, 2003, 36(C00): 123-125.
- [3] 冯有利, 罗清威. 基于 Roughset 的采空区地面塌陷危险性评价[J]. 河南理工大学学报: 自然科学版, 2016, 35(6): 759-764.
- [4] 张连杰, 武雄, 谢永, 等. 基于 T-S 模糊神经网络的采空塌陷危险性判别[J]. 现代地质, 2015, 29(2): 461-465.
- [5] 张向东, 王星, 陈江. 基于概率积分法和数值模拟的采空塌陷区对高速公路影响的预测[J]. 世界科技研究与发展, 2012, 34(3): 364-367.
- [6] 仝磊, 彭文, 袁明哲, 等. 基于经验模态分解和加权最小二乘支持向量机的采空区地面塌陷预测[J]. 吉林大学学报: 地球科学版, 2011, 41(3): 799-804.
- [7] 张润香. 采空区地面塌陷和蓟运河的治理[J]. 西山科技, 1997(4): 10-11.
- [8] 蔡子刚. 波兰采空区地面塌陷与积水预测的理论和方法[J]. 能源环境保护, 1990(3): 17-21.
- [9] 翟淑花, 张长敏, 齐干, 等. 采空塌陷区地表建筑物变形特征分析及破坏机理研究[J]. 城市地质, 2015(S1): 59-63.
- [10] 李为民, 冯玉华. 大通煤矿地面塌陷成因及发展趋势分析[J]. 青海大学学报: 自然科学版, 2011, 29(6): 54-58.
- [11] 邓燕, 苑宏超, 邢永胜, 等. 大雁矿区地面塌陷监测方式及塌陷发育规律研究[J]. 西部资源, 2016(2): 44-45.
- [12] 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.

### 期刊投稿者将享受如下服务:

1. 投稿前咨询服务 (QQ、微信、邮箱皆可)
2. 为您匹配最合适的期刊
3. 24 小时以内解答您的所有疑问
4. 友好的在线投稿界面
5. 专业的同行评审
6. 知网检索
7. 全网络覆盖式推广您的研究

投稿请点击: <http://www.hanspub.org/Submission.aspx>

期刊邮箱: [ag@hanspub.org](mailto:ag@hanspub.org)