

# Design of Monitoring Scheme for Mined-Out Area

Jinpeng Liu<sup>1</sup>, Longhu Wang<sup>1</sup>, Fanling Zha<sup>2</sup>

<sup>1</sup>TongLing HUAJIN Mining Limited Liability Company, Tongling Anhui

<sup>2</sup>TongLing LIFAN Automation Equipment Company, Tongling Anhui

Email: 1577142965@qq.com

Received: Jan. 4<sup>th</sup>, 2018; accepted: Jan. 18<sup>th</sup>, 2018; published: Jan. 30<sup>th</sup>, 2018

---

## Abstract

With study of the current situation and management strategies for the domestic underground goaf filling, a variety of ground pressure and displacement monitoring programs were examined by Tongling Huajin Mining. The strategies were tested according to the characteristics of the small goaf area and irregular shape of Tongling Huajin Mining, as well as based on the site investigation of the mining goaf and the underground mining management, in order to maintain the solid control of the construction process and safety. The overall analysis raised potential concerns over the high cost of the microseismic monitoring, the lack of the construction mobility, as well as the obstacles in constructing roadway convergence and gob crack monitoring with their high risks associated. After continuous studies, a portable, contactless and easy-implementing program was specially designed to facilitate the on-site monitoring at the off-site base. The program successfully built an underground goaf monitoring network, clearly defined the objectives of the monitoring, and well established an online, automated and all-weather monitoring standard. This project shows that the monitoring program can provide the stability data of the surrounding rocks, to support the mine blasting and roadway construction, thus to ensure the construction safety.

## Keywords

Underground Mining Goaf, Radar Supervision, Displacement Detection, Automated Network Monitoring

---

# 采空区监测方案设计研究

刘金鹏<sup>1</sup>, 王龙虎<sup>1</sup>, 查繁陵<sup>2</sup>

<sup>1</sup>铜陵华金矿业有限责任公司, 安徽 铜陵

<sup>2</sup>铜陵市力凡自动化设备有限责任公司, 安徽 铜陵

Email: 1577142965@qq.com

收稿日期：2018年1月4日；录用日期：2018年1月18日；发布日期：2018年1月30日

## 摘要

分析国内采空区现状及其一般处理方法，针对铜陵华金矿业的小型采空区面积小，形状不规则等特征，根据采空区现场调查情况结合矿区的井下采矿安排，为了保障采空区综合治理工程和施工过程中的安全，进行了多种地压和位移监测方案的设计。经分析微震监测成本高，不能后期移动，巷道收敛和采空区裂缝监测无法施工且施工安全风险大，经过反复研究，特设计了一种可移动、不接触、施工方便在采空区外就可的监测采空区的方法。构建了采空区监测网络，明确了监测内容，实现在线式、自动化、全天候监测。工程实际表明：该监测方案可以为井下的采矿爆破、巷道施工过程提供了围岩稳定性数据，给施工安全提供了保障。

## 关键词

采空区处理，雷达监测，位移收敛监测，自动化监测网络

Copyright © 2018 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

我国经济经过了近三十年的高速发展，也逐步成为世界采矿大国，同时给环境和公共安全带来了挑战。我国目前已有非煤矿山 6 万多座。地下矿山多是以房柱法、全面法、留矿法等空场法为开采主要形式，每年将形成数百万立方的采空区。除了露天开采和地下崩落法、充填法之外，绝大多数采空区均未进行有效的处理，且未给予足够的重视，随着浅部资源的减少，开采面积和深度不断的扩大，采空区数量逐渐增多，井下的地质条件逐步复杂，可能诱发大规模突然冒落等地压灾害，造成人员和财产的重大损失[1] [2]。近几年来，我国矿山企业对采空区逐步重视，及时处理和对采空区稳定性进行了监测。

国内外一些厚大矿体金属矿山的独立空区体积达数万立方米至数十万立方米，不少矿山矿区相继从局部突然崩落发展到大范围的突然崩落并引起地表大范围的岩移，有的造成了严重的破坏，有的仍然威胁矿山的安全生产。根据矿区处理的特征，采空区处理主要有以下 3 种方法：

1) 充填处理采空区。充填处理空区可以减弱岩石和地表移动的幅度，并减缓上述移动的发生和发展过程，防止大面积的地质活动，并有助于解决矿山尾矿和采掘废石的堆放问题。我国的锡矿山锑矿、红头山铜矿以及江西等地的一些钨矿均成功地采用充填处理采空区。

2) 崩落围岩处理采空区。其实质是崩落围岩充填采空区或形成缓冲岩石垫层，以控制矿山压力，转移或减弱应力集中，防止围岩大面积突然崩落产生冲击波对生产区巷道、狮子山铜矿、柿竹园矿均采用此方法处理采空区。

3) 采用永久性矿柱来支撑空区顶板。该法具有技术简单、空区处理费用低的特点，在金属非金属矿山应用较为普遍，在条件合适的矿山，正确选留矿柱，可以保持空区顶板长时间的稳定，保证回采作业的安全。

虽然对采空区进行了处理，但随着挖掘深度的加大，没有进行充填法的采空区依然存在安全生产风

险。所以对采空区的监测十分必要。同时在采空区处理过程中大多数矿山并未对采空区治理工程中的施工过程进行有效监督,不能保证采空区综合治理过程中安全[3]。

## 2. 采空区分布特点

由于矿体的走向较短,外加以前的采矿规模和工艺,使得采空区在平面范围内比较集中,主要有两块,分别为西矿段和东矿段。西矿段开采较早,主要在-100 m 水平以上,采空区形成时间较早,目前已经采用钢筋混凝土墙进行了封闭;东矿段为现在正在回采的采区,主要在-130 m 水平以下,因为东矿段为现在正在开采的区域,因此采空区基本可见,-130 m 中段、-160 m、-190 m 中段采空区较小,已部分采用混凝土墙进行了封闭或者研石进行了充填,采空区主要集中在-210 m、-240 m 和-290 m 三个中段。

## 3. 采空区处理方法概述及选择

目前,国内外处理采空区的方法主要是:封闭、崩落、加固和充填 4 大类。有时采用两类方法联合处理,如崩落法和充填法联合等;有时由同一类方法衍生出一系列子类方法,如崩落法可分为自然崩落法和强制崩落法。由于采空区所处位置、形态特征、规模各异,在对其处理过程中,针对各自的特征,分别采用相应的处理方法[4] [5]。

### 3.1. 隔绝封闭法

该方法适用条件:采空区相对独立、跨度下、围岩较稳定、不会诱发大规模地压活动的小采空区。主要目的是防止采空区围岩坍塌产生的冲击波伤人。隔绝封闭法处理采空区是在通往采空区的巷道中,砌筑一定厚度的隔离墙,阻隔由采空区围岩垮落所产生的冲击波、冲击气浪及飞石。其优点是施工简单、经济费用低,但要求在采空区处理前,对采空区进行详细的调查,以便对采空区进行全面封闭。

### 3.2. 加固法

留永久矿柱或构筑人工石柱处理采空区。它的适用条件为:缓倾薄至中厚以下矿体,用房柱法、全面法回采,顶板相当稳固,地表允许冒落的矿山。加固法是采用锚索或锚杆对采空区进行局部加固,这是一种临时措施,其通常要与其他方法联合使用。

### 3.3. 充填法

该方法适用条件为:采空区上部有构筑物,由于地表绝对不允许大面积塌陷。因此,崩落空区的方法不可行,要消除隐患,比较合理可行的方法是充填法。充填法是采用充填材料对采空区进行充填处理,使充填体与围岩共同作用,以改变围岩应力分布状态,达到有效控制地压和防止地表塌陷等目的。其优点是对相邻矿体的开采工作影响小,能保证采场回采过程中矿石损失和最低贫化。其不足之处是,需要大量的充填料,处理劳动强度大,施工费用高。其方法是从坑内外通过车辆运输或管道输送废石或湿式充填材料送入采空区将采空区充填密实得以消除采空区。它分为干式充填采空区和湿式充填采空区两种。

### 3.4. 爆破崩落法

崩落法是采用爆破崩落采空区上盘围岩,使岩石充满采空区或形成缓冲垫层,以改变围岩应力分布状态,达到有效控制地压的目的。该方法适用的条件为地表允许崩落或岩移。优点是处理费用较低,但必须防止其对下部采场生产的影响。对于离地下采场较近的采空区,通常是采用爆破崩落与下部巷道隔离封闭相结合的处理方法。另外,应根据采空区的实际情况选用合适的爆破方案[6]。

### 3.5. 总结

如果采用以上的方法在井下工程施工和采矿作业中对于临近采空区的作业过程中,造成效率低,不能同时并行作业,花费大量的人力和物力,造成效率底下,且不能很好的掌握井下围岩的稳定情况。根据铜陵华金矿业有限责任公司采空区的分布特征和采用处理方法的适用条件,进行了合理设计和制定采空区综合治理工程施工过程中的监测方案,开展了以多种监测手段、保障施工安全为目的的监测工作。

为消除铜陵华金矿业有限责任公司采空区下部的保有储量矿段的作业安全隐患,需采用投资省、见效快的空区处理措施,保证作业人员和设备的安全,必须对空区进行实时在线、自动化监测,有利于安全回收采空区下部资源。根据上述处理空区条件,并结合采空区分布特点,地表不允许崩落,满足空区处理后实时监测,为开采下部资源的安全提供保障。

## 4. 采空区处理地压监测方案

### 4.1. 监测的目的和意义

监测设计目的必须根据工程条件明确的确定。一般情况下,岩土工程安全监测设计均以工程安全施工和安全运行为主要目的。采空区安全监测的主要目的是:为采空区施工和井下开采提供安全信息,确保施工和生产过程中人员和设备的安全,必须通过监测实现全天候、在线式、自动化监测实现信息化施工。通过对监测围岩稳定性数据的提前掌握,达到如下目的:

- 1) 掌握围岩位移地压发展动态,对安全生产有影响的冒顶、片帮地压活动等情况,提前预警,以便井下安全生产。
- 2) 对巷道施工存在安全隐患的地段,及时变更设计和施工方案。

### 4.2. 监测主要内容和监测点布置

为及时分析井下开采和现场施工过程中采空区顶板的稳定程度,保证生产和施工安全,提高效率,进行如下几项监测工作:

- 1) 采空区稳定性监测:顶板和两邦的围岩滑石冒落频率和能量大小及裂缝的参量变化,判定围岩破坏趋势,评定采空区岩体稳定性,预报危险破坏的来临,为安全生产提供可靠信息。
- 2) 采空区周边监测:在采空区周边入口布置监测点,根据围岩已有数据,布置在不稳定围岩周边,监测围岩位移及裂缝的变化趋势,提供岩体稳定性数据。

监测设计框图和现场布置图,如图 1、图 2 所示。

### 4.3. 自动化监测方案和仪器选择

由于岩土体的复杂性,岩土体的响应可能没有规律可循,故监测也是一项艰巨而细致的工作,这就要求在监测过程中根据监测目的和工程条件认真的选择和使用传感器。在选择传感器的过程中,首先要明确被测参量对象。岩土工程中的监测对象大多是位移和压力。因为传感器的种类比较多,用于测量压力、位移、温度的就有多种,力平衡式、振弦式、电容式、电感式物理传感器,所以需要了解传感器的工作原理。基于现场情况复杂,需要保证采集数据的精确性和稳定性,就需要合理地选择传感器。

对于采空区的安全监测,主要考虑以下几方面要素:

- 1) 灵敏度,通常传感器灵敏度越高越好,因为灵敏度越高,则传感器所能感知的变化量越小,被测量稍有微小变化时,传感器就有较大的信号输出,当然灵敏度较高的传感器也较容易被外界一些无关的信号干扰,所以,往往又要求传感器的信噪比越大越好。

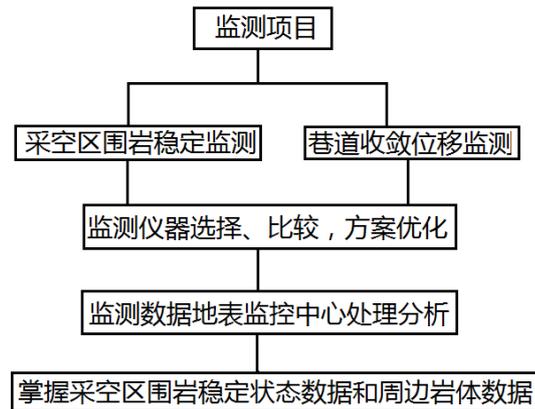


Figure 1. Simple flowchart of automatic monitoring design process

图 1. 自动化监测设计流程简单框图

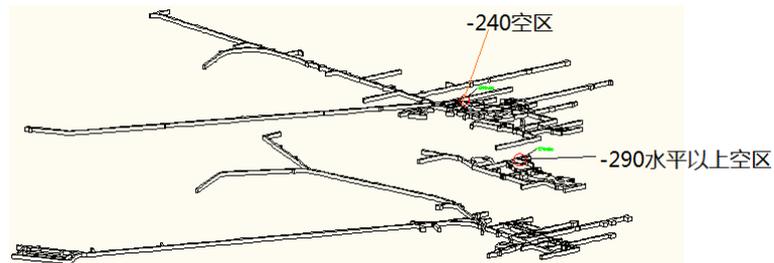


Figure 2. Site layout of automatic monitoring

图 2. 自动化监测现场布置图

2) 响应特性, 在所测的频率范围内, 传感器的响应特性必须满足不失真测量条件, 响应的延迟时间越短越好, 一般利用光电效应、压电效应等物性传感器, 响应较快, 可工作频率范围宽, 而结构型, 如电感、电容、电磁式传感器等, 固有频率较低, 可工作效率也低。

3) 线性范围, 任何传感器都有一定的线性范围, 在线性范围内输出和输入成比例关系, 线性范围越宽, 则表明传感器的工作量程越大。

4) 稳定性和可靠性, 指传感器在规定的条件下、规定的时间内可完成规定功能的能力, 只有产品的主要性能参数均处于规定的误差范围内, 方能视为可完成规定的功能。

5) 精确度, 表示传感器的数据输出与被测真值一致的程度, 传感器能否真实地反映被测值, 对整个测试系统有直接影响, 但是精确度高的传感器都比较昂贵, 因此要根据测试需要的精确度和经济性来统筹考虑选用的仪器。

6) 环境耐受和适应性, 在矿山井下进行测量, 由于矿井下的环境恶劣, 有水汽和腐蚀气体, 传感器在监测过程中要保证不受环境的腐蚀等损害, 因此选择时也要根据使用的地质条件和使用期要求来合理选择。另外传感器的几何尺寸、质量等因素也是选择的重要指标, 几何尺寸和安装方式也通常受到测量范围和测点布置的限制[7]。

铜陵华金矿业有限责任公司的-240 m 中段, -290 m 中段空区由于空区面积不大, 上部呈圆弧状, 下部呈漏斗状。充分考虑和优化后, 针对空区特设计一种远离空区, 安装方便简单, 同时能监测出围岩的稳定性状态的探地雷达, 不但能监测出空区的表面裂缝的变化, 还能监测出由于施工和掘进采矿的生产活动造成的围岩表面浮石冒落的数据, 经监控中心的软件优化后, 给出围岩稳定性的评判。经过一段时间的测试, 一般情况下, 空区的浮石冒落频率和能量和井下开采施工活动成正比。在大的爆破过程中,

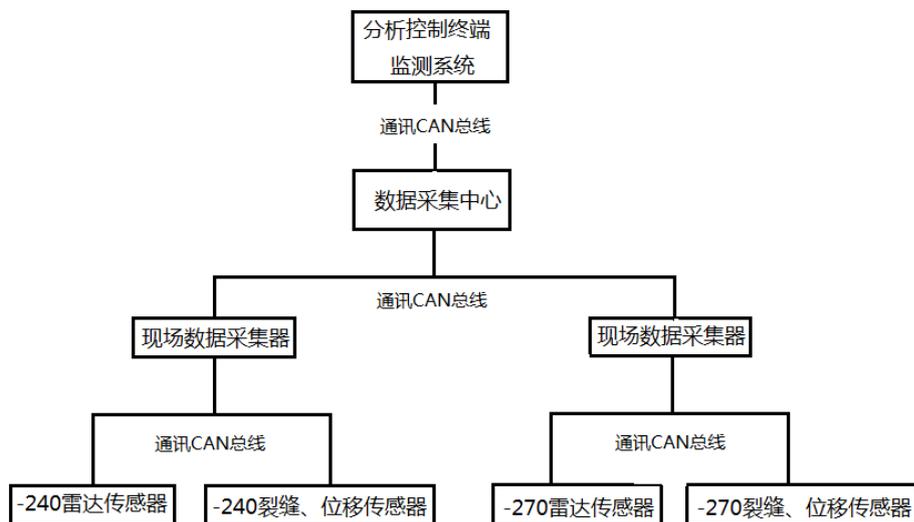


Figure 3. Electrical block diagram of automatic monitoring  
图 3. 自动化监测电气框图

围岩发生浮石冒落的数量和能量，短时间内呈加大的趋势，当过程完毕后，浮石冒落的数量和能量趋于无或减少，没有继续加大且稳定在一个状态。空区的围岩裂缝和周边的岩体收敛、位移状态与也于雷达测定的数据一致，在大的爆破活动中，裂缝和位移在极短的时间内加大的数据极其微小，当过程完毕后，未呈加大趋势，数据稳定在一个状态。此监测状态成围岩稳定判定的重要依据，充分说明了采用此种方案的有效性和可靠性。

自动化监测电气框图，如图 3 所示。

根据以上的方案实施，不仅能实时掌握井下围岩的状态，给井下临近采空区作业提供了保证，同时临近采空区作业完毕后，可移动设备到下一个需要监测的地点。由于监测装置在采空区外，安装和布线简单、方便，节约了设备投资成本和大量设备施工成本和周期。

## 5. 结论

通过对采空区的现场调查，井下开采活动和施工的分析及监测方案的确定，得出以下结论。

1) 对采空区全面现场调查，充分掌握了采空区的几何形态分布特征、尺寸结构参数，便于制定采空区的监测方案。

2) 叙述了采空区处理方法，根据采空区分布特征进行监测方案设计，制订了详细的围岩稳定性监测方案，并对方案进行了优化和现场验证，证明了雷达探测采空区围岩稳定性的方法切实可行，且获得的数据和周边岩体数据一致。

3) 通过监控量测实现了井下安全开采和施工，为采空区综合治理工程提供了安全保障，确保了井下开采生产过程中人员和设备的安全。从监测情况和现场实际情况比对，监测网络起到了十分重要的作用。

## 参考文献 (References)

- [1] 郝王龙. 试论建立公山安全生产长效机制[J]. 中国安全科学学报, 2005, 15(5): 34-37.
- [2] 付士根, 李全明, 王云海, 等. 采空区对地表建筑物的影响评价方法研究[J]. 中国安全科学学报, 2007, 17(8): 143-147.
- [3] 徐必根, 王春来, 唐绍辉, 罗聘. 特大采空区处理及监测方案设计研究[J], 中国安全科学学报, 2007, 17(12):

148-151.

- [4] 李俊平, 冯长根, 曾庆轩. 采空区应用综述[J]. 金属矿山, 2002(10): 4-6.
- [5] 李俊平, 钱新明, 郑兆强. 采空区处理的研究进展[J]. 中国铝业, 2002, 26(3): 10-15.
- [6] 谭志祥, 刘光庆, 张孟凯, 等. 采动区建筑物移动变形规律实测研究[J]. 中国安全科学学报, 2007, 17(2): 44-49.
- [7] 张兴凯. 金属矿山采空区安全监测方案设计[R]. 北京: 中国安全生产科学研究院, 2011: 8-9.

#### 知网检索的两种方式:

1. 打开知网页面 <http://kns.cnki.net/kns/brief/result.aspx?dbPrefix=WWJD>  
下拉列表框选择: [ISSN], 输入期刊 ISSN: 2329-7301, 即可查询
2. 打开知网首页 <http://cnki.net/>  
左侧“国际文献总库”进入, 输入文章标题, 即可查询

投稿请点击: <http://www.hanspub.org/Submission.aspx>  
期刊邮箱: [me@hanspub.org](mailto:me@hanspub.org)