

# 城市地质灾害与地下矿产开采的耦合机制分析

吕国庆

内蒙古第八地质矿产勘查开发有限责任公司 内蒙古 乌海 016000

**摘要：**本文聚焦于城市地质灾害与地下矿产开采之间的复杂耦合关系。通过深入剖析二者相互作用的内在机制，揭示矿产开采活动如何引发城市地质灾害，以及地质灾害对城市发展和矿产开采的反馈影响。研究旨在为城市地质灾害的预防、治理以及地下矿产资源的合理开发提供理论依据，促进城市可持续发展与资源利用的协调共进。

**关键词：**城市地质灾害；地下矿产开采；耦合机制；可持续发展

## 引言

城市作为人类社会经济发展的核心区域，其地质环境的稳定性至关重要。然而，随着城市化进程的加速和工业的蓬勃发展，地下矿产开采活动日益频繁。地下矿产开采在满足城市对资源需求的同时，也引发了一系列城市地质灾害问题，如地面沉降、塌陷、山体滑坡等，严重威胁着城市居民的生命财产安全和城市的正常运转。城市地质灾害与地下矿产开采之间存在着紧密且复杂的耦合关系，这种关系并非简单的因果联系，而是涉及到地质、工程、环境等多个学科领域的相互作用和动态演变。深入探究二者之间的耦合机制，对于准确预测地质灾害的发生、制定科学合理的防治措施以及实现城市与矿产资源的和谐共生具有重大的现实意义。

## 1 地下矿产开采对城市地质环境的影响机制

### 1.1 开采活动改变岩体应力状态

地下矿产开采过程中，原本处于平衡状态的岩体应力场被打破。随着矿体的采出，采空区上方的岩体失去支撑，应力重新分布。在垂直方向上，上覆岩层由于自重作用，会在采空区上方形成沉降带，导致地面出现不同程度的下沉。在水平方向上，岩体向采空区移动，引发周边岩体的挤压和变形。这种应力状态的改变不仅会影响采空区附近的岩体稳定性，还可能通过应力传递作用，对较远距离的地质结构产生影响，为地质灾害的发生埋下隐患。

### 1.2 引发地下水系统变化

矿产开采往往会破坏地下含水层的结构和完整性。一方面，开采过程中形成的采空区和巷道可能成为地下水的渗流通道，导致地下水水位下降、水流方向改变。原本稳定的地下水系统被打破后，会引发一系列连锁反应。例如，地下水位的下降可能导致土壤干裂、地基沉降，影响城市建筑物的稳定性；水流方向的改变可能使地下水对岩体的侵蚀作用增强，加速岩体的风化和破

碎，降低岩体的强度，进而增加山体滑坡、泥石流等地质灾害的发生风险。另一方面，矿山排水还可能造成地下水水源的污染，进一步恶化城市地质环境。

### 1.3 导致地表形态改变

大规模的地下矿产开采会使地表形态发生显著变化。当采空区范围较大且未得到及时有效处理时，地表会形成塌陷坑、沉降盆地等不良地貌。这些地表形态的改变不仅破坏了城市的自然景观和生态环境，还会对城市的基础设施造成严重损害。例如，道路因地面沉降而出现裂缝、断裂，影响交通通行；桥梁基础因不均匀沉降而发生倾斜、损坏，威胁桥梁结构安全；地下管线如供水、排水、燃气等管道因地面变形而破裂，导致城市功能瘫痪。此外，地表塌陷还可能引发周边山体的失稳，诱发山体滑坡等灾害<sup>[1]</sup>。

## 2 城市地质灾害对地下矿产开采的反馈作用

### 2.1 灾害发生影响开采进度与安全

城市地质灾害的发生会直接干扰地下矿产开采活动的正常进行。例如，地面塌陷可能导致矿井口被掩埋、井下巷道被破坏，使开采工作无法继续开展，造成开采进度的延误。在一些煤矿事故中，由于地面塌陷引发井下巷道坍塌，矿工被困井下，救援工作往往需要耗费大量时间和精力，不仅影响了煤炭的生产，还给企业带来了巨大的经济损失。山体滑坡等灾害可能堵塞矿山运输通道，影响矿石和设备的运输，增加开采成本。矿山运输是矿产开采的重要环节，一旦运输通道被堵塞，矿石无法及时运出，设备也无法正常调配，会导致生产停滞。为了恢复运输通道，企业需要投入大量的人力、物力和财力进行清理和修复工作，这无疑增加了开采成本。更为严重的是，地质灾害可能引发矿井突水、瓦斯突出等次生灾害，对矿工的生命安全构成直接威胁。矿井突水会使井下巷道被水淹没，造成设备损坏和人员伤亡；瓦斯突出则会在瞬间释放大量的瓦斯气体，引发爆

炸和火灾事故。这些次生灾害的发生往往具有突发性和严重性，一旦发生，矿井可能不得不停产整顿，甚至永久关闭，给企业带来毁灭性的打击。

## 2.2 改变开采区域地质条件

地质灾害的发生会改变开采区域的地质条件，使原本相对稳定的地质环境变得复杂多变。例如，地震可能引发岩体破裂、断层活化，增加开采过程中岩爆、冒顶等事故的发生概率。岩爆是指在高应力环境下，岩体突然发生脆性破坏，将碎块弹射出来的现象。地震造成的岩体破裂会使岩体的应力状态发生改变，原本处于稳定状态的岩体可能变得不稳定，容易发生岩爆。冒顶则是指矿井巷道顶部的岩体突然垮落的现象，断层活化会使岩体的连续性被破坏，增加了冒顶的风险。地面沉降和塌陷会使地下岩体产生新的裂隙和变形，改变地下水的渗流路径和压力分布，给矿井的防水、排水工作带来更大困难。新的裂隙和变形可能使地下水更容易渗入矿井，增加矿井的涌水量。同时，地下水压力分布的改变可能导致突水事故的发生，威胁矿井的安全。此外，地质灾害还可能改变矿体的赋存状态，使矿体的形态、规模和品位发生变化，给矿产开采带来不确定性。例如，山体滑坡可能使矿体被掩埋或推移，导致开采难度增加，开采成本上升。

## 2.3 引发社会关注与政策限制

城市地质灾害往往会引起社会各界的广泛关注，公众对矿产开采活动的安全性和环境影响提出质疑和担忧。随着社会的发展和人们环保意识的提高，公众对城市地质灾害的容忍度越来越低。一旦发生地质灾害，媒体会进行广泛报道，引发社会舆论的强烈反响。这种社会舆论压力会促使政府部门加强对矿产开采的监管力度，出台更加严格的政策法规，限制开采规模、开采方式或要求企业采取更加完善的环境保护和灾害防治措施。对于矿山企业来说，这意味着需要投入更多的资金用于满足政策要求。例如，企业可能需要增加对地质灾害监测预警系统的投入，提高监测精度和频率；加强矿井的防水、排水设施建设，提高矿井的抗灾能力；开展生态修复工作，恢复受损的地质环境。这些投入会增加企业的生产成本和经营风险，降低企业的经济效益。在一些地区，由于政策限制过于严格，部分矿山企业不得不减少开采规模或停止开采，导致资源浪费和就业问题。因此，如何在满足社会需求和政策要求的前提下，实现矿产开采的可持续发展，是矿山企业面临的重要挑战。

# 3 城市地质灾害与地下矿产开采耦合系统的动态演化

## 3.1 时间维度上的演化

在城市发展的不同阶段，地下矿产开采活动与地质灾害的关系呈现出不同的特征。在城市发展初期，城市规模较小，对矿产资源的需求相对较低，矿产开采规模也较小。此时，开采活动对地质环境的影响范围和程度有限，地质灾害的发生频率较低。开采方式主要以小规模的露天开采为主，对地下岩体的破坏相对较小，引发的地质灾害主要是局部的边坡失稳等问题。随着城市经济的快速发展，对矿产资源的需求不断增加，开采规模逐渐扩大，开采强度不断提高。此时，地下开采成为主要的开采方式，采空区范围不断扩大，对地质环境的破坏日益严重。地质灾害的发生频率和危害程度也相应增加，地面沉降、塌陷、山体滑坡等灾害频繁发生。例如，在一些资源型城市，由于长期大规模的矿产开采，城市地下形成了大量的采空区，导致地面出现大面积沉降，城市建筑物受损严重，居民生活受到极大影响。当城市发展到一定阶段，对地质环境保护和地质灾害防治的重视程度不断提高。政府出台了一系列政策法规，加强对矿产开采的监管，要求企业采取更加科学合理的开采方式和环境保护措施。同时，随着科技的不断进步，地质灾害监测预警技术和治理技术也得到了显著提高。通过采取一系列工程措施和管理手段，地质灾害的发生得到一定程度的控制，但此时地质环境已经遭受了不同程度的损伤，需要长期的修复和治理。例如，一些城市通过实施地下充填、地表加固等工程措施，有效减少了地面沉降和塌陷的发生；通过建立地质灾害监测预警系统，提前发现潜在的地质灾害隐患，及时采取避险措施，降低了地质灾害的损失。

## 3.2 空间维度上的演化

地下矿产开采活动与地质灾害在空间上也存在着密切的关联。矿产开采通常集中在特定的矿区，而地质灾害的发生往往不仅局限于矿区范围内，还会对周边城市区域产生影响。开采活动引发的应力变化、地下水系统改变等会以采空区为中心向四周扩散，随着距离的增加，影响程度逐渐减弱。然而，由于城市地质环境的复杂性和不均匀性，地质灾害的影响范围和程度可能会受到地形地貌、地质构造、岩土体性质等多种因素的影响而出现差异。例如，在山区城市，矿产开采可能引发山体滑坡，滑坡体可能沿着山坡向下滑动，威胁到山脚下的居民区和城市基础设施。山体的地形坡度、岩土体的力学性质等因素会影响滑坡的规模和速度。如果山体坡度较陡，岩土体松散破碎，滑坡体的规模可能较大，滑动速度较快，对山脚下的建筑物和道路造成严重破坏。平原地区的地质构造相对简单，但地下水位较高，土壤

松软，长期受到地下水开采和矿产开采的影响，容易出现大面积的地面沉降。地面沉降会使城市建筑物出现不均匀沉降，导致房屋开裂、管道断裂等问题，影响城市的正常运行。

#### 4 基于耦合机制的城市地质灾害防治与矿产开采优化策略

##### 4.1 加强地质勘查与监测预警

在矿产开采前，应进行详细的地质勘查工作，全面了解开采区域的地质构造、岩土体性质、地下水系统等情况，为合理规划开采方案提供科学依据。地质勘查应采用多种手段相结合的方法，如地质钻探、地球物理勘探、遥感技术等，提高勘查的精度和可靠性。通过地质勘查，可以确定矿区的地质灾害危险性分区，为后续的开采活动和灾害防治提供指导。在开采过程中，建立完善的地质灾害监测预警系统，运用先进的监测技术，如全球定位系统（GPS）、合成孔径雷达干涉测量（InSAR）、地下水位监测等，实时掌握地质环境的变化情况，及时发现潜在的地质灾害隐患。GPS技术可以精确测量地表的位移和变形，InSAR技术可以获取大面积的地表形变信息，地下水位监测可以了解地下水的动态变化。通过综合分析这些监测数据，可以建立地质灾害预警模型，当监测数据超过预警阈值时，能够迅速发出预警信号，为采取应急措施争取时间。同时，应加强对监测数据的管理和分析，不断优化预警模型，提高预警的准确性和及时性<sup>[2]</sup>。

##### 4.2 优化矿产开采方案

根据地质勘查结果和城市发展规划，制定科学合理的矿产开采方案。采用先进的开采技术和工艺，如充填开采、崩落法开采等，减少采空区的形成和对岩体的破坏，降低地面沉降和塌陷的风险。充填开采是指在采空区及时充填采矿废料或其他充填材料，以支撑上覆岩层，减少地表沉降。这种开采方式不仅可以有效控制地面变形，还可以解决采矿废料的排放问题，实现资源的综合利用。崩落法开采则是通过崩落围岩来填充采空区，达到控制地压和减少地表变形的目的。合理控制开采规模和开采速度，避免过度开采和集中开采，使地质环境有足够的时间进行自我调整和恢复。开采规模应根据矿区的地质条件、资源储量和市场需求等因素综合确定，避免盲目扩大开采规模。开采速度应保持相对稳

定，避免短期内大规模开采导致地质环境急剧变化。同时，注重开采过程中的环境保护，采取有效的防水、排水措施，减少对地下水系统的破坏，防止水资源污染。例如，在矿井中设置防水闸门、排水泵站等设施，及时排出矿井积水；对矿山废水进行处理，达到排放标准后再排放<sup>[3]</sup>。

##### 4.3 强化城市规划与矿产开采的协调管理

城市规划部门与矿产资源管理部门应加强沟通与协作，将矿产开采活动纳入城市整体规划体系中。在城市规划过程中，充分考虑矿产资源的分布和开采影响范围，合理确定城市功能分区，避免在城市重要基础设施和人口密集区附近进行大规模矿产开采。建立健全矿产开采的审批和监管制度，加强对矿山企业的日常监督检查，确保企业严格按照法律法规和开采方案进行生产活动。对于违反规定的企业，依法予以严厉处罚，促使企业切实履行社会责任，保障城市地质安全和生态环境。

##### 4.4 推进地质灾害治理与生态修复

对于已经发生的地质灾害，应及时采取有效的治理措施，如对地面塌陷进行回填、对山体滑坡进行加固等，消除灾害隐患，恢复地质环境的稳定性。同时，积极开展生态修复工作，通过植树造林、土壤改良等措施，改善受损区域的生态环境，提高生态系统的自我修复能力。将地质灾害治理与生态修复相结合，实现经济效益、社会效益和环境效益的有机统一。

#### 结束语

未来，随着科技的不断进步和对地质环境认识的深入，需要进一步完善耦合机制的研究方法，提高地质灾害预测和防治的精准度，为城市的可持续发展提供更加坚实的保障。

#### 参考文献

- [1] 张丽君, 蒋政. 中卫市城市化与生态环境耦合机制研究[J]. 中央民族大学学报(自然科学版), 2017
- [2] 崔木花; 吴迪; . 城镇化与生态环境交互耦合关系测度及实证研究[J]. 淮北师范大学学报(哲学社会科学版), 2017: 33-40.
- [3] 王素娜, 鲁迪, 王志超. (2018). 中原经济区城市化与生态环境空间耦合分析. 平顶山学院学报, 109-115. doi: