

Research on Stability Control Technology for Surrounding Rock in Deep Mining Engineering

Chongling Qi

Shanxian Energy Co., Ltd., Feicheng Mining Group, Heze, Shandong, 274000, China

Abstract

With the gradual depletion of shallow mineral resources, mining operations are increasingly extending into deeper geological strata. Deep mining encounters multiple challenges including high stress levels, elevated temperatures, and complex geological conditions, leading to escalating surrounding rock instability issues. Rock failure not only jeopardizes production safety but also hinders efficient mining operations. Therefore, developing stability control technologies for deep mining engineering is imperative, as it significantly enhances mine safety standards and resource utilization efficiency.

Keywords

deep mining engineering; mining activities; complex geological conditions

深部采矿工程围岩稳定性控制技术研究

齐崇苓

肥城矿业集团单县能源有限责任公司, 中国·山东 菏泽 274000

摘要

随着浅部矿产资源日益减少, 采矿作业逐步深入到更深的地质层中去, 在深部进行开采时会遇到高应力、高温以及复杂的地质情况等多种困难, 围岩稳定性问题越来越严重。围岩失稳不但危及生产安全而且阻碍矿山的有效开采。所以对深部开采工程围岩稳定性的控制技术的研究是非常必要的, 有利于提高矿山的安全程度以及资源利用率。

关键词

深部采矿工程; 采矿活动; 复杂地质条件

1 深部采矿工程围岩稳定性的概念与特点

1.1 概念阐述

深部采矿工程围岩稳定性是在高应力、高温以及复杂地质构造等恶劣环境下, 矿体开采时围岩受到外力及扰动后仍能够保持自身或者局部结构完整性、强度以及变形可控制的能力。相比于浅部工程而言, 深部围岩所承受的初始地应力更大并且会受到采动引起的二次应力的影响而容易发生塑性变形甚至破坏失稳的现象。围岩稳定性不仅表现在宏观上有没有塌陷, 还包括微小裂缝的发展变化以及应力集中与释放的过程^[1]。所以从本质上讲, 它是围岩在复杂的应力-环境耦合作用下的一种力学响应及其变形破坏的表现形式, 也是衡量一个矿山的安全程度以及支护方案科学性的主要依据。

1.2 特点分析

深部采矿工程围岩稳定性具有显著的复杂性和非线性

特点。一方面, 在深部高地应力环境下, 围岩容易产生应力集中以及突变现象, 从而引发如岩爆、片帮等一系列动力灾害事故, 稳定性有明显突发性和不确定性; 另一方面, 围岩受到高温、高压及地下水等多种场耦合作用的影响, 其强度降低并具有时效性和蠕变性质, 因此稳定性是一种渐进变化的过程^[2]。另外, 由于围岩结构一般是由节理裂隙发育的非均质体构成, 其破坏形式多种多样, 从弹性变形到塑性流动直至整体失稳, 是一个逐步发展的过程。所以对深部围岩稳定性的治理必须充分考虑到各种因素相互影响的问题, 难度较大。

2 深部采矿工程围岩稳定性评价方法

2.1 理论分析方法

理论分析方法是深部采矿工程围岩稳定性评价的重要基础, 在此过程中主要应用到的是岩体力学以及弹塑性力学的相关知识, 通过对围岩内部的应力场、变形规律及其破坏机理进行研究来实现目的。常用的方法有极限平衡法、弹性解法、塑性区法以及围岩压力计算等, 可以较为准确地预测出围岩在受到采动影响后所处的状态。同时还可以利用强度

【作者简介】齐崇苓(1987-), 男, 中国山东邹城人, 本科, 助理工程师, 从事煤矿开采研究。

准则（比如莫尔—库仑准则）判断围岩是否已经产生破坏并找出导致其失稳的主要原因。这种方法的优点在于它的科学性和广泛性，能够给支护的设计和施工带来很大的帮助，但是在遇到比较复杂的地质情况时还需要配合使用数值模拟或者现场监测的技术手段来进行补充。

2.2 数值模拟方法

数值模拟是深部开采巷道围岩稳定性评估的有效途径，在此基础上构建了围岩-支护结构体系力学模型并借助计算机进行开挖过程中应力、变形以及破坏演变过程的研究工作。常用的有有限元法、有限差分法和离散元法等可以解决复杂的地质情况及多种物理场相互影响引起的围岩响应问题^[9]。这种方法可以比较直观地观察到围岩内部应力重新分配情况、塑性区扩展以及位移变化规律，从而为稳定性分析提供一定的参考依据。此外还可以根据具体工程情况进行不同方案之间的比较研究来优化改进加固措施的设计方案使其更加合理有效。

2.3 实验与现场监测方法

试验及监测是深部开采巷道围岩稳定性评估的有效途径，在实验室测试以及现场量测的基础上，对围岩力学性能以及其受力情况做出系统的研究。在实验室中进行单轴、三轴压缩以及蠕变等实验来测定岩石的强度指标、变形特征以及持久性等参数作为分析的基础；而在实际工程当中布置应力计、位移计、收敛仪以及微震监测装置等，实时观测围岩受到采动影响后所产生应力的变化、位移的发展以及裂缝的发展过程。这种方法可以更加真实地了解围岩的实际工作状态，提前预知可能发生的不稳定现象并且为数值计算和理论研究提供参考标准。

3 深部采矿工程围岩支护技术分析

3.1 传统支护技术

3.1.1 钢筋混凝土支护

传统支护方法是深部开采过程中保证巷道、采场周边围岩稳定的必要措施之一，而钢筋混凝土支护就是一种典型的方法。这种方法是在巷道或者采场周围浇筑钢筋混凝土结构，借助混凝土优良的抗压性和钢筋良好的抗拉性构成一个整体受力系统来支撑并约束围岩，防止围岩发生过大的变形或者破坏，在一般情况下，钢筋混凝土支护具有强度大、耐久性强、稳定性好等特点可以长时间保障结构的安全可靠，因此被大量应用在矿井建设当中。但是，在深部开采条件下，由于围岩承受着较大的地应力以及受到采动的影响较大，往往会发生较大的变形并且持续不断的变形，刚性的钢筋混凝土支护就难以满足这样的变形要求，极易出现开裂甚至失效的情况。而且它的施工难度较大，工期较长，造价也比较高，对于复杂的地质情况适应能力较差。

3.1.2 锚杆与喷射混凝土支护

在传统支护方式中，锚杆与喷射混凝土联合支护是深部开采最常用的一种组合形式。“主动支护”的思想贯穿其

中，利用锚杆把巷道周围破碎岩体连接成一个整体受力结构，增强围岩自身强度；而喷射混凝土则对围岩表面起到封闭、加固以及防止风化的作用。两者配合使用可以较好地控制围岩变形及裂隙发展，保证巷道稳定。相比于钢筋混凝土等刚性支护方式来说，这种支护方式更加简便快捷、灵活方便并且成本较低，在复杂地质条件以及不规则断面情况下有着良好应用效果。但是在深部高地应力条件下，围岩一般都会产生较大变形以及强烈扰动现象，单一的锚喷支护对于其承载能力以及变形协调性有所不足，容易造成锚杆断裂或者喷层脱落等情况发生。

3.2 现代支护技术

3.2.1 主动支护与预应力支护

现代支护技术是以围岩自身承载能力为基础，在主动干预及应力调节下达到稳定目的的一种方法，主动支护和预应力支护就是其中两种。主动支护利用锚杆、锚索等对围岩内部不稳定结构进行加固，使松散岩体成为一个整体受力体系，进而提升围岩自稳能力和防止裂纹扩展；而预应力支护是在支护构件内施加一定预应力，让围岩在开挖之初就承受压力，避免出现拉应力，有效地控制变形以及破坏的发展趋势。两者相结合可以尽早发挥出支护的功能，加强围岩的整体稳定性，在深部高地应力以及复杂地质条件下应用效果较好。相对于传统的被动式支护而言，这种新技术有着反应迅速、控制效果明显以及适用范围广等特点，是现阶段深部矿山巷道围岩稳定控制的主要研究方向之一。

3.2.2 高强材料及复合支护技术

随着深部矿井开采的发展，各种新型支护技术和高强度材料的应用为改善巷道围岩稳定性提供了有效的途径。高强度材料支护主要是使用高强度锚杆、锚索以及高标号喷射混凝土等来增强支护结构强度及刚度，以满足深井大吨位压力和剧烈震动条件下的要求；而复合式支护则是利用锚杆、锚索、钢筋网片以及喷射混凝土等多种不同类型的支护方式组合在一起构成的一种多层次、多功能的整体联合支护系统，在实现对整个围岩的有效加固的同时还可以进行分层控制，这种做法可以很好地平衡好强度与变形之间的关系从而达到抑制围岩开裂以及大变形的目的，相比于单一的支护措施来说它具有更好的适用性和更高的可靠性，并且是未来深井矿山巷道围岩支护的主要发展趋势。

4 围岩稳定性控制策略

4.1 开采方案优化

在深部矿山开采过程中，优化开采方案是保障围岩稳定性的有效手段之一。而分层分段开采则是降低围岩扰动强度的有效措施。通过对矿体进行分层、分段处理并依次开采矿区，可以避免大规模集中开采造成的应力集中现象，有利于围岩应力缓慢释放以及重新分配。此外，该方法还可以减小暴露空间，降低顶板和侧帮失稳的可能性，也为及时采取支护措施提供机会。同时，分层分段开采可以根据不同地质

情况进行相应的调节,使开采更加科学合理,进而提升围岩稳定性以及整个矿区的安全程度。在此基础上,适当控制开采强度以及合理布置工作面也是非常必要的。如果开采速度过快会造成围岩应力未及时恢复平衡而产生大变形或者动力灾害等现象发生,在这种情况下就需要依据围岩情况及监测结果来适时调节推进速度以保证应力释放有序进行;另外通过对工作面的空间布置加以改善避免多个工作面之间相互影响从而降低应力叠加的影响程度,科学合理的安排开采顺序和间距让应力转移路线更清晰明了有利于缓解局部区域的高应力状况,配合实时监控和反馈系统及时修正开采计划,可以更好地提高对围岩稳定性管理的效果,保障矿井的安全高效生产。

4.2 预应力与释放应力技术

在深部开采过程中,主动应力调控是一种重要的围岩控制措施,在此方法下是通过对支护体施加或者改变其内部的应力来使得围岩在开采开始时就处于有利的位置上。预应力支护就是利用锚杆、锚索等对围岩施加一个预紧力使其内部产生压应力从而阻止裂隙开启及发展扩大,增加岩石的整体性和强度。这种方法可以尽早发挥支护的作用,从“被动承受”到“主动干预”,大大减少了围岩变形以及失稳的风险。而且针对不同的围岩情况调节预应力大小以及布置形式就可以做到对于应力场的有效管理。另外,主动应力调控也可以与监测相结合,在围岩发生响应后及时调整支护参数以达到更好的支护效果以及工程安全水平。应力释放及卸荷是利用降低围岩内部集中应力达到对围岩进行控制的目的,在深部高地应力条件下预防围岩失稳的有效措施之一,主要有预裂爆破、卸压钻孔以及切缝等方式,通过对围岩制造出人为的薄弱带或者泄压路径使应力重新分配,减少局部高应力值,降低围岩被破坏的程度。合理地采用应力释放的方法可以有效避免发生岩爆以及大变形等动力现象。但是需要注意的是,应力释放要配合开采作业以及支护工作同步开展,防止因卸载过多而造成新的隐患问题出现。

4.3 水文地质条件控制

在深部矿井开采过程中,水文地质条件对围岩稳定性

起着重要作用,所以做好排水降压工作是保证矿井安全生产的基础。一是要设置排水孔、导水巷道以及疏干井等方式来降低围岩及含水层的地下水位,减少孔隙水压力,进而增大岩石的有效应力值以及整体稳固性;二是对于高水压地段可以采用预抽水或者分段降压的方法逐步卸除水压以防止突水突泥事故的发生。另外还要配合防水帷幕或者是注浆加固等方法封闭富水断层带和裂隙带阻止大量地下水涌入采场内。合理的设计排水系统并对其进行及时调整能够改善围岩受力状况减弱水力作用对岩体强度不利的影响从而提高围岩稳定性和工程安全性。此外,开展地下水影响分析是制定有效防治措施的前提条件,在工程建设之前需进行详细的水文地质勘察、抽水试验以及数值模拟等工作来了解地下水的存在形式、运动规律以及其与围岩力学性质之间的相互关系。在此基础上进一步研究地下水对围岩强度、变形及破坏方式的影响机理尤其是孔隙水压力的变化对岩石抗剪强度降低的作用。同时还需要布置合理的地下水观测网,监测水位、水压以及渗流的变化情况,及时发现异常现象并作出相应的处理措施。

5 结语

深部开采工程围岩稳定性控制是保证矿山安全生产和高效运营的重要课题。随着开采深度加大,围岩承受应力状态日益恶劣,需要结合理论研究、数值计算及实际观测等方法,准确把握围岩变形及破坏规律,在此基础上合理制定开采方式,应用新型支护措施并做好防治水工作,从而达到有效治理的目的。今后还需不断推进多学科交叉合作与技术研发,提高围岩稳定性控制能力,以确保深部资源的安全开发利用。

参考文献

- [1] 权开兴,杨坤.深部开采围岩稳定性与岩层控制关键理论及技术探究[J].中国金属通报,2024(13):58-60.
- [2] 穆利明.采矿工程中煤矿深部岩巷围岩稳定与支护策略[J].能源与节能,2024(8):231-233.
- [3] 王超勇.试论采矿工程中煤矿深部岩巷围岩稳定与支护对策[J].数字化用户,2023(25).