

煤矿地质应力测量及应力分布研究

董红超 袁书庆

安阳大众煤业有限责任公司 河南 安阳 455141

摘要: 煤矿地质应力测量及应力分布研究对煤矿安全生产意义重大。本文阐述了煤矿地质应力测量在保障巷道稳定性、指导支护设计和预防灾害发生等方面的重要性。介绍了应力解除法、水压致裂法等测量方法,分析了垂直应力、水平应力等分布特征,探讨了地质构造、开采活动等影响应力分布的因素。研究表明,这些成果在巷道布置与支护、灾害防治及开采方案优化等方面有重要应用,为煤矿科学开采和安全管理提供了有力支撑。

关键词: 煤矿地质; 应力测量; 应力分布; 研究

引言: 在煤矿开采中,地质应力问题至关重要。地质应力状态不仅影响巷道的稳定性,还与冲击地压、煤与瓦斯突出等灾害密切相关。准确测量地质应力并深入研究其分布规律,是保障煤矿安全生产、提高开采效率的关键。目前,随着煤矿开采深度和强度的增加,地质应力问题愈发复杂。通过对煤矿地质应力测量方法、分布特征及影响因素的研究,探索其在煤矿生产实际中的应用,以推动煤矿开采技术的进步和安全管理水平的提升。

1 煤矿地质应力测量的重要性

1.1 保障巷道稳定性

巷道作为煤矿开采的关键通道,其稳定性直接关系到开采作业的顺利进行。煤矿地质应力复杂多变,过高的应力会使巷道围岩发生变形、破裂甚至坍塌。通过地质应力测量,能够准确掌握巷道周边应力大小与方向,提前预判潜在变形风险,为巷道的合理布置与维护提供依据,有效避免因应力集中引发的巷道失稳问题,保障巷道在整个开采周期内的安全性与可靠性,确保人员和设备的安全运行。

1.2 指导支护设计

科学合理的支护设计是维持巷道稳定的重要手段,而精准的地质应力测量数据是支护设计的核心依据。不同区域地质应力状态各异,所需的支护形式、强度和参数也不尽相同。借助地质应力测量,可明确巷道围岩承受的应力荷载,从而针对性地选择支护材料、确定支护结构和布置方式,避免支护不足或过度支护。既能保证支护效果,防止巷道坍塌,又能优化成本,提高煤矿开采的经济效益。

1.3 预防灾害发生

煤矿中的冲击地压、煤与瓦斯突出等灾害与地质应力密切相关。地质应力测量有助于深入了解应力集中区域和应力变化趋势,提前识别灾害发生的高危地带。通

过对应力数据的分析,可制定有效的灾害预防措施,如采取卸压开采、应力转移等手段,降低应力集中程度,减少灾害发生的可能性^[1]。

2 煤矿地质应力测量方法

2.1 应力解除法

应力解除法基于弹性力学原理,是一种经典的煤矿地质应力测量方法。其操作过程为:在待测岩体中钻出小孔,安装应变计,记录初始应变值;然后围绕小孔进行套钻,使孔壁岩体应力得以解除,岩体因应力释放产生弹性恢复变形,应变计随之记录新的应变值;通过计算应变变化,结合岩石弹性参数,反推出岩体原始应力状态。该方法测量精度较高,能获取三维应力状态,适用于各类岩石条件。

2.2 水压致裂法

水压致裂法利用液体压力使钻孔孔壁岩体破裂来测量应力。首先在选定钻孔中封隔一段岩柱,通过向该段钻孔注入高压水,当压力达到一定程度时,孔壁岩体产生破裂;记录岩体破裂时的压力、破裂传播方向等数据,根据弹性力学理论和岩石破裂准则,计算出垂直应力和水平应力大小及方向。此方法操作简便,无需取出岩芯,对现场条件要求相对较低,尤其适用于深部应力测量。

2.3 声发射测试法

声发射测试法基于岩体受应力作用产生变形或破裂时会释放弹性波(声发射信号)的特性。在煤矿现场,将声发射传感器布置在岩体表面或钻孔内,实时监测岩体受载过程中产生的声发射信号。通过分析信号的强度、频率、持续时间等参数,结合应力-应变关系,反推岩体内部应力状态。该方法可实现对岩体应力的实时、动态监测,能有效捕捉岩体微破裂信息,对灾害前兆预警具有重要意义。

2.4 空心包体应变计法

空心包体应变计法是在应力解除法基础上发展而来的高精度测量方法。将空心包体应变计安装在钻孔中,应变计由环氧树脂制成,内部嵌入多个应变片。当进行应力解除套钻时,应变计随岩体变形发生应变,应变片将应变转化为电信号输出。通过对应变计输出数据的处理,结合岩石力学参数,可精确计算出岩体的三维应力状态。该方法测量精度高,能获取完整应力张量,对复杂应力环境适应性强^[2]。

3 煤矿地质应力分布特征

3.1 垂直应力分布规律

在煤矿开采区域,垂直应力通常随深度增加而呈线性增长,符合自重应力原理。在浅部煤层,垂直应力主要由上覆岩层自重决定,其分布相对均匀;而随着开采深度的增加,除岩层自重外,构造应力的影响逐渐凸显,导致垂直应力分布变得复杂。在一些区域,由于地质构造活动,如断层、褶皱的存在,垂直应力会出现局部增大或减小的现象。此外,开采活动也会改变垂直应力分布,工作面开采后,采空区上方岩层因失去支撑,垂直应力降低,而工作面周围煤岩体应力集中,垂直应力增大,这种应力重新分布对巷道稳定性和开采安全影响显著。

3.2 水平应力分布规律

煤矿中的水平应力不容忽视,其分布规律受多种因素制约。水平应力在不同方向上存在差异,一般情况下,最大水平主应力大于最小水平主应力。在地质构造简单区域,水平应力分布相对稳定;但在构造复杂地带,如断层附近、褶皱核部,水平应力会因构造挤压、拉伸作用而发生剧烈变化,出现应力集中或偏转现象。此外,水平应力还与岩石的各向异性有关,层状岩石的水平应力分布会沿层理方向表现出不同特性。研究水平应力分布规律,对巷道支护设计和开采方案制定具有重要指导意义,可有效减少因水平应力作用导致的巷道变形和破坏。

3.3 地应力集中区域分析

地应力集中区域是煤矿开采中的危险地带,其形成与地质构造、开采活动密切相关。在断层附近,由于断层两盘岩石的相对位移和挤压,应力无法均匀释放,导致断层带及其周围形成应力集中区。褶皱构造的核部和翼部,因岩层弯曲变形,也会出现应力集中现象。此外,开采活动形成的孤岛工作面、煤柱等区域,同样容易产生应力集中。这些地应力集中区域的应力值远高于周边正常区域,会使煤岩体处于高应力状态,增加冲击

地压、煤与瓦斯突出等灾害发生的可能性。

3.4 不同地质条件下的应力分布差异

不同地质条件是影响煤矿地质应力分布的关键因素。在沉积岩为主的地层中,由于岩层沉积过程相对稳定,应力分布相对规则;而在火成岩侵入或变质岩发育区域,岩石力学性质复杂,应力分布呈现较大的差异性。断裂构造发育的地区,应力会沿断裂带发生重新分布,导致应力集中或降低。煤层厚度、倾角的变化也会改变应力分布,厚煤层开采时,顶板下流量大,应力传递范围广;急倾斜煤层开采时,沿倾斜方向的应力分布不均。

3.5 应力分布的动态演变规律

煤矿开采过程是一个动态的应力调整过程,应力分布会随开采进度不断演变。在工作面回采初期,煤岩体应力逐渐发生变化,采空区上方岩层开始下沉,应力向工作面周围转移。随着开采推进,采空区不断扩大,岩层移动范围增加,应力集中区域也随之变化,工作面后方采空区应力逐渐趋于稳定,而前方煤壁及两巷应力持续升高。此外,开采活动引起的岩层垮落、断裂等现象,会导致应力突然释放,引发应力突变。同时,地质构造活动、地下水变化等因素也会对应力分布的动态演变产生影响^[3]。

4 影响煤矿地质应力分布的因素

4.1 地质构造因素

地质构造对煤矿地质应力分布影响深远。断层作为典型的地质构造,其形成过程中岩石受力错动,导致断层带及其附近应力集中,且断层两盘应力分布不均;褶皱构造中,岩层弯曲变形使核部与翼部应力状态改变,褶皱轴部常出现应力积聚。此外,向斜与背斜构造因岩层形态差异,应力分布呈现不同特征,向斜区域因岩层内凹,易形成应力增高区,这些构造因素共同塑造复杂的应力场。

4.2 开采活动因素

煤矿开采活动是改变地质应力分布的重要动态因素。随着工作面推进,采空区上方岩层失去支撑,应力重新分布,采空区周边煤岩体应力集中;煤柱的留设与开采也会影响应力分布,孤岛煤柱因受多方向应力挤压,成为高应力区。同时,巷道掘进破坏原岩应力平衡,掘进区域应力重新调整,形成应力集中带,开采活动持续改变着煤矿井下的应力环境。

4.3 岩石力学性质因素

岩石力学性质差异直接影响地质应力分布。弹性模量高的岩石在受力时变形小,易积聚应力;而弹性模量

低的岩石，应力易扩散。岩石的强度特性也至关重要，强度低的岩石在应力作用下易破碎变形，导致应力释放或重新分布。此外，岩石的各向异性使应力在不同方向传递特性不同，层状岩石沿层理方向与垂直层理方向的应力传导能力有别，影响应力分布格局。

4.4 其他因素

除上述因素外，地下水、地温等也会影响煤矿地质应力分布。地下水通过孔隙压力作用改变岩石有效应力，软化岩石降低其强度，促使应力重新分配；地温变化引起岩石热胀冷缩，产生热应力，与原岩应力叠加改变应力状态。同时，上覆岩层厚度、地表地形等因素也会影响应力传递与分布，共同构成复杂的应力影响体系。

5 煤矿地质应力分布研究的应用

5.1 巷道布置与支护设计

煤矿地质应力分布研究为巷道布置与支护设计提供了不可或缺的科学指引。在巷道布置方面，根据垂直应力随深度变化以及水平应力在不同方向的分布特性，能够科学规划巷道位置。例如，在某煤矿开采过程中，通过精确测量发现断层附近水平应力比正常区域高出 3 - 5 倍，于是将巷道布置避开该区域，使得巷道变形量减少了 60% 以上。同时，结合采动应力分布规律，合理确定巷道与工作面的相对位置，避免采动影响导致巷道失稳。在支护设计环节，地质应力测量数据成为关键依据。对于应力集中区域，如在开采厚煤层时，工作面端头处垂直应力可达原岩应力的 2-3 倍，此时采用高预应力、高强度锚杆锚索联合支护，配合 U 型钢支架，有效控制了巷道变形。而在应力较低区域，则可适当减少支护密度，使用普通锚杆支护，降低支护成本。

5.2 冲击地压与煤与瓦斯突出防治

冲击地压和煤与瓦斯突出是严重威胁煤矿安全生产的灾害，地质应力分布研究在其防治工作中发挥着核心作用。通过对地质应力集中区域的系统分析，能够准确圈定灾害高发地带。例如，在某矿区的研究发现，向斜构造核部区域应力集中系数高达 1.8-2.2，该区域发生冲击地压的概率比其他区域高出 3 倍以上，因此将其列为重点监测区域，安装微震监测系统实时监测应力变化。在防治措施制定上，依据应力分布规律及影响因素，采取多

种卸压手段。对于应力集中的煤岩体，实施大直径钻孔卸压，在某工作面通过布置直径 150mm、深度 10m 的卸压钻孔，使煤体应力降低了 30% - 40%，有效减少了冲击地压发生的可能性。

5.3 煤矿开采方案优化

煤矿地质应力分布研究成果是优化开采方案、实现科学开采的核心依据。深入剖析应力分布特征，能合理规划开采顺序。在实际煤矿群开采中，优先开采应力较低区域煤层，形成卸压空间，使后续开采区域应力集中程度降低，整体开采效率提升超 20%；对于应力集中区域，采用水力压裂等卸压技术，有效规避灾害风险。综合地质构造、岩石力学性质等因素，可精准匹配开采工艺。在断层发育区，优化放顶煤开采的放煤参数，减少顶板垮落引发的应力集中；岩石硬度大的区域，采用综采放顶煤与爆破协同工艺，提高开采效率。借助应力分布研究，通过数值模拟优化煤柱留设，在保障巷道稳定的基础上，将煤炭资源回收率提高 5%-8%。采空区利用矸石充填，控制岩层移动，减少应力重分布影响，最终实现煤矿安全高效开采，大幅提升资源利用率与经济效益^[4]。

结束语

煤矿地质应力测量及应力分布研究贯穿煤矿开采全流程，意义深远。从测量方法的不断革新，到分布规律的精准剖析，再到多元应用的落地实践，这些成果为煤矿安全生产、高效开采筑牢根基。但随着开采深度增加与地质条件复杂化，应力问题仍面临新挑战。未来，需持续深化理论研究，融合新技术实现更精准测量与动态监测，为煤矿智能化、绿色化发展提供更强有力的技术支撑，推动行业安全可持续发展。

参考文献

- [1]李江,杨靖.煤矿地质应力测量及应力分布特征研究[J].能源与环保,2022,44(10):290-295.
- [2]刘朝阳.煤矿井下地质应力分布特性及围岩控制方案研究[J].山西冶金,2023,46(02):147-148.
- [3]王焱.煤矿地质应力测量及应力分布特征研究[J].矿业装备,2024,(12):214-216.
- [4]孙永杰.煤矿地质应力测量及应力分布研究[J].凿岩机械气动工具,2025,51(01):153-155.