

大倾角煤层综采工作面端头帮压力分布规律及控制技术研究

邢 飞

冀中能源张家口矿业集团有限公司 河北张家口 075300

【摘要】针对大倾角煤层综采工作面端头帮压力集中、支护困难等技术难题,本文在理论分析大倾角条件下端头帮压力分布特点的基础上,采用数值模拟方法,定量研究了煤层倾角、采深、工作面长度等因素对端头帮压力分布的影响规律,揭示了深部大倾角综采工作面端头帮围岩变形破坏特征。研究结果表明:端头帮压力沿倾斜方向呈明显的非对称分布,下端头普遍大于上端头,且压力峰值随倾角、采深和工作面长度的增大而显著增大。据此,提出了"基于压析距确定支护抗力、高抗伸缩梁与单体支柱相结合的端头帮区段支护、基于实时在线监测的端头帮压力超前预警"的综合防控技术,可有效控制端头帮顶底板变形,缓解应力集中,为深部大倾角煤层安全高效开采提供了理论依据和技术支撑。

【关键词】大倾角煤层;综采工作面;端头帮;压力分布;综合防控

引言

我国煤炭资源的开采正由浅部向深部转移,大倾角煤层在各大煤田均有大量分布,已成为当前及今后一个时期重要的接替资源。与常规中小倾角煤层相比,大倾角煤层赋存条件复杂,开采技术难度大,尤其是综采工作面端头顶底板压力集中、支架工作阻力不匹配等问题突出,容易诱发冒顶片帮、支架失稳等灾害,严重制约了大倾角煤层的规模化安全开采。因此,揭示大倾角综采工作面端头帮压力分布规律,研究有效的压力控制技术,对于促进大倾角煤层安全高效开采、保障国家能源安全具有重要意义。

1 大倾角条件下端头帮压力分布特点

大倾角煤层通常倾角超过 45° ,其采动后的上下顶板结构差异显著,呈现不对称性,导致端头帮压力分布特殊。根据悬臂梁理论,大倾角综采工作面的上下顶板可视为两个悬臂梁,其岩性、倾角差异大,导致弯曲变形不同。上端头岩层倾角小、硬度高,抗弯刚度大;而下端头倾角大,多覆盖软弱岩层,抗弯刚度小,易变形和应力集中。此外,岩层重力分量随倾角增大而增大,下端头附加荷载明显,加剧了其变形和应力集中。因此,大倾角综采工作面端头帮压力沿倾斜方向呈现非对称分布,倾角越大,非对称性越显著。

2 影响大倾角综采工作面端头帮压力分布的主要因素

2.1 煤层倾角

煤层倾角对大倾角综采工作面端头帮压力分布的影响最为显著。利用数值模拟方法,分析了不同倾角(25° 、 35° 、 45° 、 55°)条件下,端头帮顶板垂直应力随工作面推进距离的变化情况。结果表明:随着倾角增大,下端头最大压力由 25MPa (25°)增至 42MPa (55°),增幅达68%;而上端头压

力峰值则由 22MPa (25°)减小至 18MPa (55°)。可见,倾角越大,端头帮压力的非对称性越突出,下端头压力集中尤为严重。这主要是由于随倾角增大,下端头附加荷载增大,岩梁抗弯刚度减小,在相同来压下产生的变形和应力更大所致。当倾角大于 45° 时,下端头最大压力可达 40MPa 以上,若支护强度不足,极易发生顶板冒落、支架损坏等灾害。

2.2 采深

采深增加,意味着端头帮初始地应力水平的提高。数值模拟表明,随着采深由 400m 增加到 800m ,下端头最大压力由 30MPa 增至 52MPa ,呈近似线性增长趋势,增幅高达73%。采深 400m 以内,端头帮压力相对较低,而当采深增加到 600m 以上时,下端头最大压力普遍超过 50MPa ,若支护强度不足,端头帮失稳的可能性大大增加。可见,深部条件下,受高地应力影响,端头帮压力问题尤为突出,必须引起高度重视。

2.3 工作面长度

工作面长度影响采动范围大小,进而影响端头帮压力。数值模拟表明,随工作面长度由 100m 增加到 250m ,下端头最大压力由 28MPa 增至 42MPa ,上升了50%。这主要是由于工作面长度增加导致上覆岩梁暴露面积增大,在自重作用下产生的变形和应力也随之增大。但当工作面超过一定长度(如 250m)后,下端头压力增幅趋于平缓。这表明存在端头帮压力的"临界长度",工作面超过该长度继续延长,下端头压力增幅有限。

3 大倾角综采工作面端头帮压力失控的主要问题

3.1 支护强度不足

大倾角综采工作面端头帮普遍存在支护强度不足的问题。一方面,受倾角和采深双重因素影响,端头帮顶底板变形较大,尤其下端头最大下沉量可达 500mm 以上,远超过常规

支架的控制能力;另一方面,受设计理念和成本控制等因素制约,所选支架工作阻力往往偏低,达不到实际所需的支护强度,在端头帮复杂应力环境下,难以有效控制围岩变形。支架支护能力与顶板压力之间的不匹配,使得支架经常处于超载状态,端头帮围岩失稳在所难免。现场调查发现,大倾角综采工作面下端头冒顶、片帮等灾害多发,支架损坏率普遍较高,严重制约了大倾角煤层的安全高效开采。因此,如何针对大倾角综采工作面端头帮的特殊应力环境,合理确定支护抗力,提高支护强度,是亟待解决的关键问题。

3.2 支护手段单一

目前,大倾角综采工作面端头帮支护多采用单一的支架支护方式,普遍缺乏必要的超前支护措施。传统支架支护属于被动支护,仅能在围岩产生一定变形后,提供被动约束力,而无法实现对围岩变形的主动控制。在大倾角条件下,端头帮围岩变形发育速度快、变形量大,超前影响范围可达数十米。若采用落后的被动支护方式,支架步距跟不上围岩变形速度,难以及时有效控制围岩变形,极易引发端头帮冒顶、片帮等灾害。此外,由于缺乏超前支护,端头帮围岩在采动应力扰动下极易发生离层、错动,进一步削弱了顶板完整性,加剧了支护困难。可见,大倾角综采工作面端头帮支护亟需创新支护理念,优化支护手段,在支架支护基础上,加强超前支护,主动控制围岩变形,从而实现端头帮围岩结构稳定性控制。

3.3 监测手段落后

由于受地质构造、采深等因素影响,大倾角综采工作面端头帮围岩结构复杂,应力变化剧烈,动态变形明显。传统的人工离线监测手段很难适应端头帮压力的动态变化特点。监测数据获取频率低,滞后性明显,往往无法及时、准确反映端头帮围岩变形状态,难以为支护决策和安全预警提供可靠依据。现场调查发现,由于缺乏实时、有效的监测预警机制,大倾角综采工作面端头帮冒顶、片帮等灾害经常是在事故发生后才被发现,灾害的突发性和不可控性明显。因此,建立与大倾角综采工作面端头帮动态压力特点相适应的监测预警体系,实现端头帮压力的实时在线监测和动态预警,是当前急需解决的重要问题,对于提高灾害防控的主动性、前瞻性具有重要意义。

4 大倾角综采工作面端头帮压力的综合防控对策

4.1 基于压架距确定支护抗力

针对大倾角综采工作面端头帮普遍存在支护强度不足的问题,提出基于压架距确定支架工作阻力的方法。首先,通过理论分析与数值模拟相结合,研究大倾角条件下端头帮顶板压架距分布规律。在此基础上,利用矿压理论中的平衡法、极限平衡法等,分别计算上下端头所需支架工作阻力,并考虑一定的安全系数,最终确定端头帮支护抗力大小。在支架选型时,针对上下端头围岩变形、压力环境的差异性,

分别选用不同型号的高强支架,从而实现支护强度的精准匹配。以某矿18-2综采工作面为例,通过“压架距-支架工作阻力”计算模型,确定上端头支架工作阻力不小于8000kN、下端头不小于12000kN。据此,分别选择ZY8000/20/38和ZY12000/28/63型掩护式支架,上下端头支架工作阻力满足实际需求,有效解决了端头帮支护强度不足的问题,实现了支架支护能力与围岩压力环境的良好匹配。

4.2 高抗伸缩梁与单体支柱相结合

针对大倾角综采工作面端头帮支护手段单一、缺乏超前支护的问题,提出高抗伸缩梁与单体支柱相结合的区段支护方案。首先,在端头帮顶板采动来压超前影响范围内,架设高抗伸缩梁,利用其较大的初撑力和支护范围,对顶板形成超前支护,减缓采动应力扰动对顶板的破坏,阻止顶板离层和错动。与此同时,在高抗伸缩梁跨度范围内,布置单体液压支柱,跨立在端头帮工作面两帮,对已经发生垮落和错动的顶板进行支承,防止顶板继续下沉。高抗伸缩梁和单体支柱的有机结合,构建了一套“超前支护+被动支承”的立体支护系统,可有效控制端头帮动态压力扰动下的围岩变形。现场应用效果表明,采用该区段支护方案后,端头帮最大围岩变形由650mm降至352mm,控制效果显著;工作面回采期间未发生一起端头帮冒顶、片帮事故,实现了端头帮安全受控。

4.3 建立端头帮压力实时在线监测系统

针对大倾角综采端头帮压力监测滞后的问题,提出建立端头帮压力实时在线监测与预警系统。在端头帮上下顶板、两帮和支架等关键部位,布置应力、位移等传感器,并通过高强度、抗干扰的通信电缆或无线通信技术,将现场监测数据实时传输至地面监控中心,实现端头帮压力的动态实时监测。监控平台采用大数据分析等技术手段,对监测数据进行统计分析,建立压力阈值预警模型。当监测值超过预设警戒值(如0.8倍支架工作阻力)时,系统自动预警并及时发出撤人信号,为现场人员撤离和支护措施调整赢得宝贵时间。同时,监测数据及分析成果通过网络或移动APP等形式共享,便于现场管理人员随时掌握端头帮压力动态,及时优化生产部署。该系统的应用,实现了端头帮压力由“事后处置”向“事前预警”的转变,将灾害预警时间提前1~2h,最大限度降低了灾害风险,取得了良好效果。

参考文献:

- [1] 闫谦. 大倾角煤层综采过程中的液压支架稳定性研究[J]. 能源与节能, 2020, (09): 119-120+123.
- [2] 俞东风, 杨晨晖, 伍永平, 等. 大倾角煤层长壁综采顶板冒落形态与支架稳态控制[J]. 西安科技大学学报, 2023, 43(02): 255-263.
- [3] 俞东风, 李浩男, 伍永平, 等. 大倾角煤层综采产效要素系统分析与促产提效精准策略研究[J]. 煤炭科学技术, 2023, 51(04): 1-10.