

煤矿地质与矿山液压支架设计的联系与应用研究

王志刚

阳泉煤业集团华越机械有限公司 山西阳泉 045000

摘要: 煤矿开采作为能源产业的重要组成部分,其安全性和效率直接关系到国家能源安全和经济发展。因此,对煤矿地质和矿山液压支架的设计研究时,通过系统化分析煤矿地质条件和液压支架之间的内在联系,同时对煤层赋存条件、围岩特性等地质因素对液压支架结构性能、控制系统和支护效果影响进行研究。以此提出基于地质条件优化液压支架设计的技术方案,有助于更进一步提高开采效率,保障作业安全性。

关键词: 煤矿地质; 液压支架设计; 地质联系

引言

在煤矿开采过程中,矿山液压支架作为关键的支护设备,承担着支撑顶板、保护作业人员安全以及维持采场稳定的重要任务。但煤矿地质条件的复杂性和多变性通常会给液压支架设计与应用带来巨大的挑战。而不同煤层厚度、倾斜角等地质构造则直接影响着液压支架的选型、布局和工作性能。所以,深入研究煤矿地质与矿山液压支架之间的内在联系,对优化液压支架设计、提高开采效率具有至关重要的意义。

一、煤矿地质与矿山液压支架设计的联系理论基础

(一) 煤层特征

煤层是植物遗体经泥炭化、成岩及变质作用形成的层状沉积岩体,其形态受盆地沉降类型控制。均衡节奏沉降型盆地煤层薄且层数多,如云南昌宁煤田;差异节奏沉降型盆地煤层分岔明显,如云南景东煤田。煤层厚度分为薄煤层、中厚煤层和厚煤层,结构上分为简单结构和复杂结构。顶板稳定性直接影响支护设计,伪顶易垮落,直接顶可自行垮落,老顶则需长期支撑。

地质条件直接决定支架选型,顶板破碎时选用铰接顶梁支架,软底需弹簧钢或箱形底座,厚煤层采用迈步式支架。例如,三软煤层需掩护式支架,其短顶梁减少对顶板反复支撑,抬底装置防止底座陷入底板。地质构造影响支架迁移,落差 $>0.6\text{m}$ 的断层需调整工作面布局。瓦斯含量高的煤层需支架满足通风要求,确保行人安全。

(二) 顶底板岩性

顶板岩性具有多样性,砂岩顶板强度较高、稳定性

好,但压力传递较为明显,通常需要有足够的支架来承受顶板压力^[1]。而对于页岩顶板而言,通常比较松软,容易冒落,因此,支架需具备快速支护和良好的密封性能,才能有效防止漏顶事故的发生。对于石灰岩顶板坚硬且完整性好的情况下,通常会存在溶洞等隐患,支架设计则需要充分考虑到应对局部顶板失稳的情况。同时,软底板会导致支架下陷,从而影响移架的支护,但需要采用增大底座面积、加强底座强度等设计来提高支架的稳定性。而对于硬底板而言,通常对支架的移动性要求较高,需确保支架能顺利前移,从而不会影响到开采精度。

(三) 地质构造

在地质构造中,断层分为正断层、逆断层和平移断层,这些断层会破坏煤层的连续性和完整性,并导致煤层厚度突变、倾斜角改变。因此,在断层区域开采时,液压支架则需具备更强的适应性和稳定性,能有效应对断层带来的顶板压力变化和支架受力不均等问题发生,所以,在特殊的煤矿地质结构中,还需要采取特殊的支护方式以加强支架结构的强度^[2]。对于褶皱构造而言,如背斜和向斜,通常都会使煤层赋存状态发生一定的改变,其背斜顶部煤层变薄、张力增大,向斜部位煤层增厚、压力集中。对于液压支架而言,通常需根据褶皱的形态和规模进行针对性的设计,在确保不同部位都能有效支护顶板的基础下,其节理裂隙的发育程度和方向也会影响到顶板的稳定性,其支架需及时支护并控制顶板下沉,以有效确保开采的安全性。

二、煤矿地质对矿山液压支架设计的影响

(一) 对支架结构形式的影响

煤矿地质在对矿山液压支架的设计影响中,基于不

同煤层倾角下，液压支架结构设计要点各不相同。对近水平煤层开采时，由于煤层相对稳定，支架主要侧重于稳定的垂直支撑，其放倒、防滑设计要求相对较低，但需要确保支架整体的刚性和稳定性满足煤矿开采需求。而倾斜层开采时，支架则面临向倾斜方向下滑和倾斜的整体风险，所以，需设置较为有效的防滑装置，如防滑千斤顶、防滑链等。并且在支架侧护板设计上，还应加强封闭性与强度需求，从而避免相邻支架之间出现较大的间隙而导致倾倒，其调架机构也应更加灵活，方便及时调整支架位置。对于急倾斜煤层的开采，支架不仅需要具备强大的放倒、防滑能力，还需采用特殊的结构形式，如设置导向装置、采用四连杆机构增强稳定性等，在调架时，还需借助外部设备进行辅助。而针对不同顶底板条件下，支架结构也会有着较为明显的差异性，当顶板的岩性坚硬时，其顶梁结构可适当进行简化处理，但必须要有足够的强度^[3]。对于软顶板则需顶梁密封性好、接顶紧密，当底板松软时，底座要面积大，强度高，才能防止下陷发生。

（二）对支架工作参数的影响

研究发现，煤层厚度的增加将导致开采过程中暴露顶板面积的显著扩大，进而引发顶板压力的非线性增长。以厚煤层一次采全高开采为例，顶板区域常呈现多层岩性组合特征，包括砂岩、泥岩等不同岩性岩层的层序叠加，这种组合不仅增加了顶板自重，还使得上覆岩层压力产生叠加效应，对液压支架的支护强度提出了更高要求。在实际工程应用中，支护强度的精确计算需综合考量顶板岩层的岩性特征、厚度分布、层理发育程度等关键地质参数。通常，通过现场地质勘探数据与理论模型相结合的方式，确定顶板压力分布特征，再依据支架支撑面积进行支护强度的计算^[4]。但是在断层构造发育区域，顶板压力分布往往呈现明显的非均匀性特征，此时需采用局部加权计算方法，对支护强度进行针对性优化，以确保支架在复杂地质条件下的可靠支撑性能。同时，针对不稳定顶板，初撑力不足将导致顶板早期离层与结构失稳，其合理取值应不低于额定工作阻力的75%，能有效抑制顶板初期变形。对于稳定顶板，工作阻力的确定更为关键，需充分满足顶板周期来压期间的峰值压力要求。依据顶板岩层力学特性与现场实测数据，初撑力与额定工作阻力的合理比值需结合顶板岩性、节理发育程度及周期来压强度进行综合分析。该参数的精确确定应通过现场顶板压力监测、数值模拟及地质力学评估等

多维度分析手段，确保支架在复杂地质条件下实现安全、高效的支护功能。

（三）对支架可靠性和适应性的影响

煤与瓦斯突出灾害发生时，瞬时释放的高能冲击效应将导致支架关键结构部件产生塑性变形或断裂失效，冲击地压灾害则引发顶板快速下沉与底板隆起，使支架承受远超常规工况的动态载荷。针对此类极端地质条件，需实施系统性灾害防护设计策略，一是在关键结构部件采用高强度合金结构钢，提升材料屈服强度与抗冲击韧性。二是在结构连接部位优化设计，采用高强度螺栓连接与自动化焊接工艺，增强节点抗疲劳性能。三是在支架系统中集成能量吸收装置，包括可变阻尼缓冲弹簧与梯度吸能结构，有效耗散灾害产生的冲击能量。在断层、褶皱等复杂地质构造区域，断层构造扰动导致煤层结构发生错动与厚度突变，褶皱构造则引发煤层倾角及走向的周期性变化，对支护系统的结构稳定性构成严峻考验。为实现支护效能的动态匹配，需实施系统性结构优化策略，在断层影响区域，应配置可调式顶梁与底座结构，以适应煤层厚度的非连续变化。同时强化侧护板结构强度并增设防倾覆装置，有效抑制支架因地质扰动导致的结构失稳风险。在褶皱构造区，需依据褶皱形态特征动态调整支架排列间距与支撑倾角，确保支护结构与顶底板的充分接触^[5]。通过优化立柱布置参数及液压控制系统，使支护系统能够自适应不同倾角的煤层条件，从而维持液压支架在复杂地质环境中的持续工作效能与结构可靠性。

三、基于煤矿地质的矿山液压支架设计流程与方法

（一）地质资料收集与分析

基于煤矿地质条件的液压支架设计，地质资料的系统性采集与深度分析构成设计流程的基础性与决定性环节。地质资料的采集应涵盖区域地质调查报告、钻孔柱状图、地质剖面图等多源数据，精确表征煤层空间展布特征、厚度分布规律、倾角变化特征，以及顶底板岩性组合、结构特征与物理力学参数，同时详细记录断层、褶皱、节理等构造要素的空间分布与几何特征。在开采作业过程中，需建立基于多源数据的实时监测系统，动态追踪工作面推进过程中的煤层厚度空间变异性、顶底板岩性局部突变及新生构造要素的演化规律。地质资料的处理应构建结构相应的数据库，随后利用统计学的方式，对煤层参数结合现场实际测试数据进行修正。这种地质资料收集与分析过程，可形成的高精度、多维度地

质参数库,为液压支架的结构优化、支护强度计算及移架参数设计提供科学依据,确保支护系统能够有效适应煤矿开采过程中复杂的地质条件变化,实现支护效能与开采安全性的协同优化。

(二) 支架选型与参数确定

在完成地质条件分析后,则进入支架选型与关键参数确定的核心阶段,选型过程必须严格遵循地质条件适配性原则,确保支护系统与开采环境的精准匹配。当煤层倾角小于 8° 且顶板属稳定型时,宜采用支撑式或支撑掩护式液压支架,在煤层倾角大于 15° 或存在断层、褶皱等复杂构造区域,掩护式支架凭借其优异的抗倾覆与抗滑移性能,可有效保障工作面安全运行^[6]。而关键参数的确定需建立在多源数据支撑基础上,支护强度计算应基于煤层厚度与顶板压力实测值,采用公式 $P=Q/A$ (P 为支护强度, Q 为顶板压力, A 为支架支撑面积)进行量化。初撑力应控制在额定工作阻力的60%~80%区间,以抑制顶板初期离层,工作阻力则需满足周期来压峰值载荷要求。而参数优化过程必须统筹考虑结构可靠性与经济性,通过地质-力学耦合分析模型,以实现支护强度、初撑力与工作阻力的协同优化,确保支架在复杂地质条件下维持安全高效开采的持续性与经济性。

(三) 结构设计优化

在完成支架选型与关键参数确定后,便进入到了结构构型与性能优化阶段,该环节需严格遵循地质条件适配性原则。针对断层密集带与褶皱构造复合区,支架构型应强化抗冲击与防倾覆能力,具体实施双冗余液压防倾覆系统与高强耐磨侧护板的集成设计。对于顶底板岩性非均质性,顶梁与底座需采用可调式铰接结构,以确保接顶严密性与支撑稳定性。在初步构型完成后,通过构建高精度的模型,以实现在不同工况下的应力场分布与变形特征。重点分析应力集中区及变形敏感部位,依据分析结果实施结构优化,包括立柱截面尺寸优化、连

接节点采用激光熔覆强化工艺、关键部件选用Q690D高强度合金钢。通过上述系统性优化,支架整体可靠性得到了显著提升,从而有效保障液压支架在复杂地质条件下的长期安全稳定运行,实现支护效能与设备可靠性的协同优化。

结束语

煤矿地质与矿山液压支架的设计,是确保煤炭开采高效、安全进行的基础,而通过深入分析煤矿地质条件,能更加精准把握液压支架的设计要求,并以此实现优化支架结构、提升支护性能的目的。而随着煤矿开采技术的不断进步和地质勘探手段的日益完善,则能为液压支架的设计提供更加科学、合理的依据,以更好地适应复杂地质条件下的矿山开采,煤炭工业的可持续发展贡献出应有的力量。

参考文献

- [1]朱思刚,刘青,母朝奎.复杂煤矿地质条件下液压支架稳定性分析与优化设计[J].中国高新科技,2025,(11):34-36.
- [2]徐佳佳.煤矿液压支架结构设计优化及稳定性研究[J].机械管理开发,2025,40(10):137-139.
- [3]宁东旭.煤矿充填液压支架方案设计及稳定性分析[J].机械管理开发,2025,40(10):46-47+50.
- [4]丛志宇,董彦强,李庆龙,等.基于LoRa无线技术的煤矿液压支架远程监控系统设计[J].煤矿机械,2025,46(10):49-52.
- [5]胡双军.液压支架电磁先导阀优化设计分析[J].科技资讯,2025,23(17):100-102.
- [6]刘晓强.煤矿综采工作面智能电液控制系统设计与应用试验[J].机械管理开发,2025,40(08):224-225+228.