

煤矿巷道支护技术的研究与应用

鲁建明

山西鲁能河曲电煤开发有限责任公司 山西 忻州 034000

摘要: 煤矿巷道支护技术选择需综合考量地质条件、开采工艺、巷道用途等因素。传统支护技术简单、成本低,但应用受限;新型支护技术如锚杆、锚索支护适应性强,应用广泛;联合支护技术则能应对复杂地质。支护设计需遵循“动态设计、因地制宜”,施工要规范,并贯穿监测。当前支护技术存在设计针对性不足、施工不规范等问题,需从设计、施工、管理、推广多方面优化,以提升煤矿巷道支护水平。

关键词: 煤矿巷道; 支护技术; 研究; 应用

引言: 煤矿巷道支护是保障煤矿安全生产、提升开采效率的核心环节。随着开采深度增加,地质条件愈发复杂,高地应力、围岩大变形等问题频发,传统支护技术难以满足需求。在此背景下,需综合考量地质条件、开采工艺、巷道用途等多重因素,科学选择支护技术。本文将系统剖析影响支护技术选择的关键因素,介绍主要支护技术类型及应用,探讨设计与施工要点,并针对现存问题提出优化策略,为煤矿巷道支护提供理论指导与实践参考。

1 影响煤矿巷道支护技术选择的关键因素

煤矿巷道支护技术的合理选择,是保障煤矿安全生产、提高开采效率的关键环节,需综合、全面地考量地质条件、开采工艺、巷道用途与服务年限等多方面因素,确保支护方案兼具科学性与适用性。(1)地质条件是影响支护技术选择的基础性因素。巷道理深不同,地应力差异显著,埋深越大,地应力越高,对支护结构的承载能力要求也就越高,需选用承载力更强的支护技术,如高强度锚杆锚索联合支护。围岩性质至关重要,若为软弱岩层,像泥岩、页岩等,其强度低、完整性差,易发生塑性变形,此时柔性支护技术更为合适,如可伸缩性金属支架支护,能允许围岩有一定变形以释放应力。此外,地质构造复杂区域,存在断层、裂隙时,围岩的破碎程度增加,需加强支护的整体性与抗剪能力,可采用锚注支护,通过注浆改善围岩的物理力学性质。(2)开采工艺对支护技术的选择也有直接影响。不同的回采方式,如综采、炮采,工作面推进速度及采动影响范围不同,决定了巷道所受采动应力的大小。受采动影响强烈的回采巷道,变形动态变化大,需选择能适应动态变形的支护技术,如让压锚杆支护。而开拓巷道、准备巷道等受采动影响较小,可采用相对稳定的支护方式,如普通锚杆支护。(3)巷道用途与服务年限同

样不容忽视。运输大巷、井底车场等服务年限长,通常在10年以上,需选择耐久性强、长期稳定性好的支护技术,如混凝土衬砌支护。回采巷道等服务年限短,一般为1-3年,在满足安全要求的前提下,可选择经济性较好的支护方案,如木支架支护^[1]。

2 煤矿巷道主要支护技术类型及应用

2.1 传统巷道支护技术

在煤矿巷道支护领域,传统巷道支护技术凭借其工艺相对简单、成本较低的特性,在地质条件较为优越的巷道中依旧有着广泛的应用,主要涵盖木支护、砌碛支护以及型钢支护这几种类型。(1)木支护主要由圆木、方木搭建构,其形式可分为棚式支护与点柱支护。这种支护方式具备重量轻、架设便捷的显著优点,然而,其承载能力相对较弱,并且木材容易腐朽。所以,它仅适用于服务年限较短、围岩稳定的临时巷道或者采区辅助巷道。随着煤矿开采技术的发展,其应用范围正逐渐缩小。(2)砌碛支护包含料石砌碛、混凝土砌碛以及钢筋混凝土砌碛。它是通过砌筑整体式的碛体来承受围岩压力,具有整体性好、耐久性强的突出优势,尤其适用于服务年限长、围岩破碎但变形量较小的开拓巷道,例如井底车场、主要运输大巷等。不过,该技术存在施工周期长、灵活性差的不足,在面对围岩大变形的情况时,难以有效适应。(3)型钢支护主要采用工字钢、U型钢搭建棚架,并配合背板、木楔等构件组成支护结构。其承载能力比木支护更强,适用于围岩中等稳定、受采动影响较小的准备巷道。其中,U型钢可缩性支架凭借型钢的可缩特性,能够适应围岩的少量变形,应用范围相较于工字钢支架更为广泛。

2.2 新型巷道支护技术

随着煤矿开采不断向深部推进,开采条件愈发复杂,高地应力、大变形等难题频现,传统支护技术难以

满足需求,在此背景下,新型巷道支护技术应运而生。

(1) 锚杆支护是其中的典型代表。它通过将锚杆打入围岩内部,借助锚杆的抗拉、抗剪能力,把松散的围岩组合成一个整体,形成“组合拱”或“承载梁”结构。该技术具备施工速度快、支护成本低、适应性强等显著优势,已成为当前煤矿巷道的主流支护技术。依据锚杆类型的不同,可分为树脂锚杆、机械锚固锚杆、膨胀锚杆等。其中,树脂锚杆凭借其强大的锚固力和高可靠性,在各类巷道中得到了广泛应用。锚杆支护适用于围岩中等稳定及以上的巷道,既可单独使用,也能与其他支护技术配合。(2) 锚索支护由高强度钢绞线、锚具及注浆体构成,其锚固深度比锚杆更深,通常在5-15m,能够将围岩上部的松散岩层稳固在深部稳定岩层上,特别适用于高地应力、大跨度巷道或围岩破碎区域,常与锚杆支护联合使用,形成“锚杆+锚索”的协同支护体系。(3) 喷浆支护(涵盖喷射混凝土、喷射钢纤维混凝土)通过高压喷枪把混凝土均匀喷覆在巷道围岩表面,形成连续的支护层,有效封闭围岩裂隙、防止围岩风化,同时与围岩共同承载,适用于围岩破碎、易风化的巷道,可单独作为临时支护,也可与锚杆、锚索配合作为永久支护^[2]。

2.3 联合支护技术

在复杂地质条件下,煤矿巷道支护面临着诸多严峻挑战,单一支护技术往往难以达到理想的支护效果。联合支护技术应运而生,它通过巧妙组合不同支护形式的独特优势,实现“优势互补”,从而显著提升巷道支护的整体效果。(1) 常见的联合支护组合形式丰富多样,其中“锚杆+喷浆”联合支护是较为基础的一种。在该组合中,锚杆能够发挥主动支护的关键作用,有效约束围岩内部的变形,增强围岩的整体稳定性;而喷浆层则紧密贴合围岩表面,起到封闭作用,防止围岩出现片帮现象,这种组合方式适用于围岩中等破碎、变形量相对较小的巷道。(2) “锚杆+锚索+喷浆”联合支护是目前应用最为广泛的联合支护形式。锚杆主要负责控制浅部围岩的变形,锚索则深入深部,将深部稳定岩层与浅部围岩紧密连接,起到固定深部围岩的作用,再加上喷浆层对表面的封闭,三者协同发力,尤其适用于高地应力、大跨度以及受采动影响强烈的回采巷道、硐室等。(3) “U型钢支架+锚杆+喷浆”联合支护结合了型钢支架的刚性支撑特性与锚杆、喷浆的主动支护优势。U型钢支架先承受初期围岩压力,锚杆与喷浆则进一步控制围岩的长期变形,该组合适用于围岩极破碎、大变形的巷道,如深部高应力软岩巷道。

3 煤矿巷道支护设计与施工要点

3.1 支护设计要点

支护设计是保障巷道支护质量的前提,需遵循“动态设计、因地制宜”的原则。首先开展详细的地质勘察,通过钻探、物探等手段查明巷道所处位置的围岩性质、地质构造、地应力等参数,采用数值模拟(如FLAC3D、UDEC)或理论计算(如普氏理论、太沙基理论)方法,分析围岩应力分布与变形规律,确定合理的支护荷载。其次选择支护形式与参数,根据地质条件与巷道用途,确定采用单一支护或联合支护,明确锚杆(锚索)的类型、直径、长度、间距、排距,喷浆层的厚度、强度等级,型钢支架的型号、间距等参数;例如在中等稳定围岩的回采巷道中,可采用直径20mm、长度2.4m的树脂锚杆,间距1.0m×1.0m,配合直径15.24mm、长度6.0m的锚索,排距2.0m×2.0m,喷浆层厚度100mm。最后进行支护效果验算,通过模拟或试验验证支护结构的承载力是否满足要求,若不满足则调整支护参数,直至达到设计标准。

3.2 施工过程要点

施工过程是支护设计落地的关键,需严格按照设计方案与施工规范操作。锚杆(锚索)施工时,需先按设计位置钻孔,确保孔深、孔径符合要求;安装锚杆(锚索)前清理孔内岩粉,树脂锚杆需保证树脂药卷充分搅拌、固化;锚杆安装后需进行锚固力检测,确保锚固力达到设计值(通常不低于80kN)。喷浆施工前需处理围岩表面,清除浮矸、浮煤,对破碎区域进行临时支护;喷射混凝土时控制喷射压力(0.1-0.15MPa)、喷射角度(与围岩表面垂直)及喷射厚度,确保喷浆层均匀、密实,无漏喷、空鼓现象。型钢支架施工时,需按设计间距架设支架,确保支架垂直于巷道轴线,架间采用拉杆连接增强整体性,背板与围岩紧密接触,木楔打紧打牢,防止支架变形。同时,施工过程中需做好现场记录,详细记录支护参数、施工时间、施工人员等信息,为后续支护效果评估提供依据^[3]。

3.3 支护效果监测要点

支护效果监测是验证支护方案合理性、及时发现的重要手段,需贯穿巷道施工与使用全过程。监测内容主要包括巷道变形监测、支护结构受力监测及围岩应力监测。巷道变形监测采用测杆、收敛计等仪器,测量巷道顶底板移近量、两帮移近量及巷道断面收缩率,通常每周监测1-2次,当变形速率超过5mm/d时需加密监测频率。支护结构受力监测通过在锚杆(锚索)上安装测力计,监测锚杆(锚索)的拉力变化;在型钢支架上安

装应力传感器,监测支架的受力状态,判断支护结构是否处于安全承载范围。围岩应力监测采用应力计,监测围岩内部应力分布与变化,分析围岩稳定性。根据监测数据,若发现巷道变形过大或支护结构受力异常,需及时分析原因,采取补强支护措施(如补打锚杆、锚索,增设型钢支架),确保巷道稳定。

4 煤矿巷道支护技术现存问题与优化策略

4.1 现存问题分析

当前煤矿巷道支护技术应用中仍存在诸多问题。一是支护设计针对性不足,部分煤矿采用“一刀切”的设计模式,未充分考虑不同区域的地质差异,导致支护方案与实际地质条件不匹配,如在软岩巷道中采用刚性较强的砌碛支护,无法适应围岩变形,易出现碛体开裂。二是施工规范性有待提升,部分施工单位为追求进度,简化施工流程,如锚杆钻孔深度不足、树脂药卷搅拌不充分、喷浆厚度不够等,导致支护质量不达标,埋下安全隐患。三是新型技术推广应用受限,部分中小型煤矿受资金、技术水平限制,对锚杆支护、联合支护等新技术的应用较少,仍依赖传统支护技术,支护效果不佳。四是监测体系不完善,部分煤矿缺乏专业的监测人员与设备,监测频率不足、数据分析不深入,无法及时发现支护隐患,导致事故发生。

4.2 技术与施工优化策略

针对技术与施工中的问题,需从设计优化与施工管控两方面入手。在设计优化方面,推行“一巷一策”的个性化设计理念,根据每个巷道的具体地质条件、开采影响,通过数值模拟与现场试验相结合的方式,制定适配的支护方案;对于复杂地质条件下的巷道,采用动态设计方法,根据施工过程中的地质变化与监测数据,及时调整支护参数。在施工管控方面,建立施工质量管控体系,明确各环节的质量标准与责任人,加强施工现场监督检查,对关键工序实行旁站监理;推行施工标准化作业,制定支护施工操作手册,规范施工流程与操作方法;加强施工人员培训,提升施工人员的专业技能与质

量意识,确保施工质量符合要求^[4]。

4.3 管理与推广优化策略

完善管理体系与加强技术推广是提升支护水平的重要保障。在管理方面,建立健全支护技术管理制度,明确设计、施工、监测各环节的管理职责,形成“设计-施工-监测-反馈”的闭环管理体系;加强对支护材料与设备的质量管理,严格进场验收,杜绝不合格材料与设备使用。在技术推广方面,政府与行业协会需加大对新型支护技术的推广力度,通过举办技术交流会、现场观摩会等形式,普及锚杆支护、联合支护等技术的应用优势;鼓励科研院所与煤矿企业合作,开展针对性的技术研发,降低新技术的应用成本;同时,设立专项补贴资金,支持中小型煤矿引进新型支护技术与设备,提升整体支护水平。

结束语

煤矿巷道支护技术是保障煤矿安全生产与高效开采的核心要素。从地质条件、开采工艺到巷道用途,多因素交织影响支护技术的选择,传统与新型支护技术各具适用场景,联合支护更成为应对复杂地质的利器。然而,当前支护设计针对性不足、施工规范性欠佳、新技术推广受限及监测体系不完善等问题仍存。为此,需从技术与施工优化入手,推行个性化设计与标准化作业,强化质量管控;同时,完善管理体系,加大新技术推广力度,通过多方协同,不断提升煤矿巷道支护技术水平,为煤矿行业的安全、可持续发展筑牢根基。

参考文献

- [1]李俊杰.煤矿巷道支护技术在掘进中的应用分析[J].冶金与材料,2021,41(3):126-127.
- [2]任高岭.巷道支护技术在煤矿井下掘进中的应用[J].石化技术,2020,27(9):294.
- [3]张晓国.巷道支护技术在煤矿井下掘进中的应用[J].当代化工研究,2020(1):50-51.
- [4]刘鹏.复杂地质条件下煤矿巷道掘进支护技术的应用[J].中国石油和化工标准与质量,2020,40(16):238-239.