

煤矸石充填系统输浆管道特性研究

王思宇

中煤科工集团北京华宇工程有限公司 北京 100120

摘要: 本文围绕煤矸石充填系统输浆管道展开研究,概述了煤矸石充填系统,包括煤矸石性质与分类、充填系统组成与原理以及国内外技术发展现状。深入分析了输浆管道特性,涵盖管道材料与结构、料浆流动特性及管道阻力损失。在此基础上,探讨影响输浆管道特性的多种因素,如煤矸石特性、浆液特性、管道特性及输送条件。最后针对输浆管道的维护与管理,提出了预防磨损与腐蚀、处理堵塞、优化运行管理以及日常监测维护等一系列策略,旨在为煤矸石充填系统输浆管道的高效稳定运行提供理论支持与实践指导。

关键词: 煤矸石充填系统; 输浆管道特性; 影响因素; 维护管理策略

1 煤矸石充填系统概述

1.1 煤矸石的性质与分类

煤矸石是采煤过程和洗煤过程中排放的固体废物,是一种在成煤过程中与煤层伴生的一种含碳量较低、比煤坚硬的黑灰色岩石。其化学成分复杂,主要包含二氧化硅(SiO_2)、氧化铝(Al_2O_3)、氧化铁(Fe_2O_3)等氧化物,还含有少量的钙、镁、钾、钠等元素的化合物。不同地区、不同煤层的煤矸石成分差异较大,这直接影响了其物理性质,如硬度、密度、孔隙率等。根据煤矸石的矿物组成和性质,可将其分为多种类型。按成因可分为原生煤矸石和次生煤矸石,原生煤矸石是在成煤过程中与煤伴生的岩石,次生煤矸石则是在煤炭开采和洗选过程中产生的。按岩石类型可分为粘土岩类、砂岩类、碳酸盐岩类和铝质岩类等。不同类型的煤矸石在充填利用时,其破碎特性、活性等性能也有所不同,对充填系统的设计和运行产生重要影响。

1.2 充填系统的组成与工作原理

煤矸石充填系统主要由煤矸石破碎系统、制浆系统、输送系统、充填工作面等部分组成。煤矸石破碎系统将大块煤矸石破碎成适合制浆的粒度,一般要求粒度在一定范围内,以保证料浆的流动性和充填效果^[1]。制浆系统将破碎后的煤矸石与水按一定比例混合,制成具有一定浓度和流动性的料浆。输送系统则负责将料浆从制浆地点输送到充填工作面,常见的输送方式有管道输送、泵送等。其工作原理是:首先,煤矸石通过破碎机进行破碎处理,达到规定粒度后进入制浆设备。在制浆设备中,煤矸石与水充分混合,形成均匀的料浆。料浆通过管道等输送设备,在泵的驱动下,克服管道阻力,被输送到井下或其他需要充填的地点。在充填工作面,料浆逐渐脱水、固结,形成具有一定强度的充填体,起

到支撑围岩、减少地表沉陷等作用。

1.3 国内外煤矸石充填技术发展现状

国外在煤矸石充填技术方面起步较早,一些发达国家如德国、澳大利亚等在煤矿开采中广泛应用了煤矸石充填技术。德国在长壁开采中,采用膏体充填技术,将煤矸石、粉煤灰等废弃物与水、添加剂混合制成膏体,通过管道输送到采空区进行充填,取得了良好的充填效果和经济效益。澳大利亚在露天矿开采中,利用煤矸石进行土地复垦和生态修复,同时也在井工矿开展了煤矸石充填技术研究与应用,注重充填材料的选择和充填工艺的优化,提高了资源回收率和环境保护水平。我国煤矸石充填技术近年来发展迅速,在多个煤矿得到了应用和推广。随着国家对环境保护和资源综合利用的重视,煤矸石充填技术成为解决煤矿开采中“三下”采煤(建筑物下、铁路下、水体下)和地表沉陷问题的重要手段。国内科研机构和企业积极开展相关研究,在充填材料配方、充填工艺、设备研发等方面取得了一系列成果。

2 煤矸石充填系统输浆管道特性分析

2.1 管道材料与结构

输浆管道材料的选择至关重要,直接关系到管道的使用寿命和输送效率。常用的管道材料有钢管、铸铁管、塑料管等。钢管具有强度高、耐压性好等优点,能够承受较大的输送压力,适用于长距离、大流量的输浆系统,但钢管易腐蚀,需要采取有效的防腐措施。铸铁管韧性较好,耐腐蚀性相对钢管有一定提高,但重量较大,安装和维护相对不便。塑料管如聚乙烯管、聚氯乙烯管等,具有重量轻、耐腐蚀、内壁光滑等优点,可减少料浆输送过程中的阻力损失,但塑料管的强度相对较低,对输送压力有一定限制。管道结构方面,常见的有直管、弯管、三通等。直管是输浆管道的主要组成部

分,其内径大小直接影响料浆的输送能力,内径过小会导致输送阻力增大,能耗增加;内径过大则会增加管道成本和占地面积。弯管用于改变料浆的输送方向,但会增加局部阻力损失,因此弯管的曲率半径应合理设计,以减少能量消耗。三通等管件则用于管道的分支和连接,其结构设计应保证料浆能够顺利通过,避免出现料浆滞留和堵塞现象。

2.2 料浆流动特性

煤矸石料浆是一种固液两相流,其流动特性复杂。料浆的流型主要取决于煤矸石的粒度分布、浓度以及流速等因素。当料浆浓度较低、流速较大时,料浆呈现紊流状态,此时料浆中的固体颗粒分布较为均匀,流动阻力相对较小;当料浆浓度较高、流速较小时,料浆可能呈现层流或过渡流状态,固体颗粒容易发生沉降和聚集,导致管道堵塞风险增加^[2]。料浆的流变性也是重要的流动特性之一,通常用流变曲线来描述。煤矸石料浆一般属于非牛顿流体,其粘度随着剪切速率的变化而变化。在输送过程中,料浆的粘度会影响管道阻力损失和输送功率,因此需要合理控制料浆的浓度和流速,以保证料浆具有良好的流动性。

2.3 管道阻力损失

管道阻力损失是煤矸石充填系统输浆管道设计中的重要参数,它直接影响到输送泵的选型和能耗。管道阻力损失主要包括沿程阻力损失和局部阻力损失。沿程阻力损失是由于料浆与管道内壁之间的摩擦力产生的,其大小与管道长度、内径、料浆流速、粘度等因素有关,可通过达西公式进行计算。局部阻力损失则是由于管道中的弯管、三通、阀门等管件引起的,其计算相对复杂,通常采用经验公式或实验数据进行估算。为了降低管道阻力损失,可以采取一系列措施,如优化管道布置,减少不必要的弯管和三通;选择合适的管道内径,使料浆在合适的流速下输送;对管道内壁进行光滑处理,降低摩擦系数等。

3 煤矸石充填系统输浆管道特性的影响因素分析

3.1 煤矸石特性的影响

煤矸石的粒度分布对输浆管道特性有显著影响。较细的煤矸石颗粒会增加料浆的粘度,导致管道阻力损失增大,同时细颗粒容易在管道内壁附着,加速管道磨损和堵塞。而较粗的颗粒虽然可以降低料浆粘度,但可能会在管道中发生沉降,尤其是在流速较低的管段,形成沉积层,影响料浆的正常输送。煤矸石的硬度也会影响管道磨损情况。硬度较大的煤矸石颗粒在输送过程中会对管道内壁产生较大的冲击和磨损,缩短管道使用寿命。

煤矸石的形状不规则,尖锐的棱角会加剧对管道的磨损。

3.2 浆液特性的影响

浆液浓度是影响输浆管道特性的关键因素之一。随着浆液浓度的增加,料浆中固体颗粒的含量增多,粘度增大,管道阻力损失显著增加。高浓度浆液在输送过程中更容易发生堵塞现象,对输送设备和管道的要求也更高。然而过低的浆液浓度会导致充填体强度不足,无法达到预期的充填效果,因此需要合理确定浆液浓度,在保证充填质量的前提下,尽量降低管道阻力损失。浆液的流变特性同样重要。不同流变特性的浆液在管道中的流动状态不同,对管道阻力损失的影响也不同。浆液的酸碱度、温度等也会对其流动特性和对管道的腐蚀性产生影响,进而影响输浆管道的特性。

3.3 管道特性的影响

管道内径是影响输浆管道特性的重要参数。较大的管道内径可以降低料浆的流速,减少管道阻力损失,但会增加管道成本和占地面积。较小的管道内径虽然可以节省成本,但会导致流速增加,阻力损失增大,同时增加了管道堵塞的风险。管道的粗糙度也会影响料浆的流动特性。粗糙的管道内壁会增加料浆与管道之间的摩擦力,导致沿程阻力损失增大。在管道安装和使用过程中,应尽量保证管道内壁的光滑度,减少粗糙度对输送效率的影响,管道的材质、壁厚等特性也会影响管道的强度和耐腐蚀性,从而间接影响输浆管道的运行特性。

3.4 输送条件的影响

输送压力是保证料浆在管道中顺利输送的关键因素。输送压力需要克服管道阻力损失和料浆在垂直方向上的提升高度。如果输送压力不足,料浆流速会降低,甚至发生堵塞现象;而输送压力过高,则会增加能耗和对管道设备的要求,同时也可能增加管道泄漏的风险。输送距离对输浆管道特性也有较大影响。随着输送距离的增加,管道阻力损失会不断累积,对输送泵的扬程要求也越高。同时长距离输送过程中,料浆的温度变化、沉降等因素也会更加明显,增加了管道堵塞和输送不稳定的可能性^[3]。

4 煤矸石充填系统输浆管道的维护与管理策略

4.1 管道磨损与腐蚀的预防措施

为了预防管道磨损,首先应选择合适的管道材料,根据料浆中煤矸石的硬度、粒度等因素,选择具有足够强度和耐磨性的管道。其次,优化管道布置,避免料浆在管道中形成涡流和冲击区域,减少对管道局部的磨损。在管道易磨损部位,如弯管外侧、三通交汇处等,

可安装耐磨衬套或采用耐磨涂层进行保护。针对管道腐蚀问题,应根据管道材料和料浆的酸碱度,采取相应的防腐措施。对于钢管,可采用内涂防腐涂料、外涂防腐漆等方法进行防护。控制料浆的酸碱度,避免其对管道造成腐蚀。在输送过程中,定期对管道进行检测,及时发现腐蚀迹象并采取修复措施,防止腐蚀进一步发展。

4.2 管道堵塞的处理方法与应急预案

当管道发生堵塞时,首先应停止料浆输送,分析堵塞原因。常见的堵塞原因有煤矸石颗粒过大、料浆浓度过高、管道内有异物等。针对不同原因,采取相应的处理方法。如果是煤矸石颗粒过大导致的堵塞,可在管道适当位置设置过滤装置,阻止大颗粒进入管道;对于料浆浓度过高引起的堵塞,可通过稀释料浆或调整输送参数来解决;若管道内有异物,可采用高压水冲洗、机械疏通等方法清除堵塞物。为了应对管道堵塞等突发情况,应制定完善的应急预案。应急预案应包括应急组织机构、应急响应程序、应急物资储备等内容。一旦发生管道堵塞,能够迅速启动应急预案,组织专业人员进行抢修,尽量减少对充填系统生产的影响。

4.3 基于管道特性的运行管理优化

根据管道特性,优化运行管理是保证输浆管道高效稳定运行的关键所在。在料浆输送过程中,合理控制料浆的流量、流速和浓度等参数至关重要。流量过大可能导致管道承受压力过大,增加磨损和泄漏风险;流速过快则可能引发料浆在管道内的不稳定流动,甚至造成冲击损坏;浓度过高会增加管道阻力,过低则影响充填效果。因此必须使这些参数在管道的最佳输送范围内运行。为了实现这一目标,可通过安装先进的监测设备,实时监测管道压力、流量等参数。一旦发现参数偏离正常范围,及时调整输送设备的运行状态,如调整泵的转速、改变阀门开度等,确保料浆输送的稳定性。建立完善的管道运行档案,详细记录管道的运行参数、维护情况等信息。例如,根据管道阻力损失的变化情况,判断管道是否存在磨损或堵塞隐患。若阻力损失逐渐增大,可能意味着管道内壁出现磨损或部分管段有堵塞趋势,此时可提前安排维护和清理工作,避免问题恶化导致生产中断,保障充填系统的持续稳定运行。

4.4 管道的日常监测与维护要点

管道的日常监测是及时发现管道问题、保障安全运行的重要手段。监测内容涵盖管道压力、流量、温度、振动等多个参数。这些参数的变化能够直观反映管道的运行状态,任何异常都可能预示着潜在的安全隐患。为了实现在线监测,需在管道关键部位安装压力传感器、流量计、温度传感器等设备。这些设备能够精确采集管道运行数据,并将其传输到监控中心进行分析处理^[4]。监控中心的工作人员可随时查看数据,一旦发现参数异常,如压力突然升高或降低、流量异常波动、温度异常等,及时发出警报,以便迅速采取相应的措施,如停机检查、调整输送参数等,防止事故扩大。日常维护工作同样不容忽视,定期检查管道的外观,仔细查看是否有泄漏、变形、腐蚀等情况。对于发现的微小泄漏点,要及时进行修复,防止泄漏扩大;若发现管道变形,需分析原因并采取相应措施,如加固支撑等;对于腐蚀部位,要根据腐蚀程度进行除锈、防腐处理。检查管道连接部位是否松动,法兰、螺栓等连接件是否完好,如有松动及时紧固,损坏及时更换。清理管道周围的杂物,保证管道的散热和通风良好。定期对管道进行清洗,去除管道内壁的沉积物和杂质,防止堵塞和磨损加剧,延长管道使用寿命。

结束语

本文全面研究了煤矸石充填系统输浆管道特性,涵盖系统概述、管道特性分析、影响因素剖析及维护管理策略。通过研究可知,输浆管道特性受多方面因素影响,合理选择管道材料、优化运行参数等至关重要。未来,需进一步深化研究,完善技术体系,提升充填系统自动化与稳定性,以推动煤矸石充填技术在资源利用与环境保护领域发挥更大作用。

参考文献

- [1]郭斌斌,于海洋,曲岩,等.高掺量煤矸石采空区充填注浆材料工作性能研究[J].交通科技,2024,(03):30-36.
- [2]谢伟,连全东.综放开采矸石注浆充填技术的研究与应用[J].中国煤炭,2023,49(12):116-124.
- [3]古文哲,杨宝贵,朱磊,等.矸石浆体充填空间特征研究与工程实践[J].矿业科学学报,2023,8(03):409-418.
- [4]关佳林.覆岩离层注浆充填采煤技术控制地表塌陷研究[J].内蒙古煤炭经济,2024(6):73-75.