

充填料浆管道输送堵管成因及预防措施研究

廖武¹ 项军² (通讯作者)

1. 贵州开磷磷石膏综合利用有限公司 贵州 贵阳 551109

2. 贵州磷化绿色环保产业有限公司 贵州 贵阳 551109

【摘要】：充填料浆管道输送堵管问题直接制约作业连续性与生产安全性。堵管多由料浆特性、管道条件、输送参数及现场管理等多重因素共同作用形成，不仅会造成输送中断，还会提升运行成本与安全风险。针对各类诱因采取源头管控、系统优化、参数调控及操作规范等手段，可有效降低堵管发生率。系统梳理堵管形成机理并构建完善的预防体系，对保障充填料浆管道稳定输送、提升作业效率具有重要意义。

【关键词】：充填料浆；管道输送；堵管成因；预防措施

DOI:10.12417/2811-0722.26.05.028

引言

充填料浆管道输送是矿山充填作业中不可或缺的关键环节，直接关系到生产效率、工程质量与现场安全。堵管现象在实际输送过程中较为常见，且成因复杂，往往由料浆状态、管道条件、运行参数及现场管控等多种因素共同引发。堵管一旦出现，会直接造成输送中断、设备损耗加剧，还可能带来一系列安全与环境风险。当前现场作业中，仍存在对堵管诱因识别不全面、防控措施针对性不足等问题。深入分析堵管产生的内在机理，制定系统且实用的预防措施，能够有效提升输送过程的稳定性，为充填作业安全高效开展提供坚实保障。

1 充填料浆管道输送堵管的核心成因

1.1 充填料浆自身特性不合理

充填料浆自身的物理化学特性是引发堵管的内在基础，其成分、浓度及颗粒状态直接影响输送过程中的流动性。料浆成分搭配不当，若胶凝材料与骨料比例失衡，会导致料浆黏性异常，要么黏性过大增加输送阻力，使料浆流动速度放缓，逐渐在管道内壁堆积；要么黏性过小引发料浆离析，固体颗粒与液体分离，粗颗粒下沉并附着在管道底部，长期积累后形成堵塞^[1]。料浆浓度把控不当也是重要诱因，浓度过高时，料浆流动性显著下降，管道内摩擦阻力剧增，料浆难以顺畅推进；浓度过低则会导致料浆泌水分层，固体颗粒沉淀，尤其在管道反坡段、弯管处易形成堆积。料浆中混入结块物料、检修铁块等杂物，或尾砂等骨料颗粒度过细，都会破坏料浆的均匀性，杂物易在弯管、阀门等部位聚集，细颗粒则会加剧料浆离析，进而引发堵管。

1.2 管道系统自身条件存在缺陷

管道系统的设计、安装及自身状态，是影响堵管发生的重要外部因素。管道布置不合理，若存在过多弯管、变径管，或管道敷设坡度不符合要求，会导致料浆在流动过程中产生局部涡流，流速骤降，固体颗粒易在这些部位沉积，逐步形成堵塞。管道内壁磨损严重，会使管道内径变小、内壁粗糙程度增加，

不仅增大料浆输送阻力，还会导致料浆中的固体颗粒更容易附着在管壁上，长期积累后形成堵管。管道连接部位密封不严，会出现料浆渗漏现象，渗漏处后端料浆浓度会逐渐升高，流动性降低，输送阻力不断增加，最终引发堵管。管道材质选择不当，若材质耐磨性、抗腐蚀性不足，会加速管道损坏，间接增加堵管风险。

1.3 输送工艺参数设置不科学

输送工艺参数的合理设置是保障料浆顺畅输送的关键，参数偏差会直接诱发堵管。输送流速设置不合理，流速过低时，料浆中的固体颗粒无法保持悬浮状态，易发生沉淀堆积；流速过高则会加剧管道磨损，同时增加能耗，且可能因流速不稳定引发料浆扰动，导致颗粒聚集。充填倍线设置超出合理范围，会使管道内料浆压力异常，若倍线过大且未采取加压措施，会导致料浆流动不稳定、沉淀离析，进而引发堵管。料浆输送顺序及间断时间把控不当，若输送过程中频繁停机，料浆在管道内停留时间过长，会发生初凝或沉淀，再次启动输送时易形成堵管；不同类型料浆混合输送时，未做好过渡处理，也会因成分冲突导致料浆结块，引发堵塞。

2 充填料浆管道输送堵管的潜在影响

2.1 中断生产作业流程

堵管发生后，充填料浆无法正常输送，会直接中断矿山采空区充填、废渣处理等核心作业流程。作业中断后，需投入大量时间排查堵管位置、清理管道内堵塞物料，在此期间，前端料浆制备、后端作业环节均需暂停，导致生产进度滞后。尤其是在连续生产场景中，堵管引发的作业中断会形成连锁反应，影响整个生产链条的连续性，不仅降低生产效率，还可能导致生产计划无法按时完成，造成生产损失。堵管清理难度较大，若堵塞严重，需拆卸管道进行人工清理，进一步延长作业中断时间，加剧生产延误问题。

2.2 增加设备维护成本

堵管会对管道及相关输送设备造成不同程度的损坏，进而

增加设备维护与更换成本。堵管时管道内会产生异常压力,可能导致管道破损、法兰连接处松动、阀门损坏等问题,这些部件需要及时维修或更换才能恢复输送。清理堵管过程中,需使用专用设备和工具,消耗大量人力、物力,同时清理过程中可能对管道内壁造成二次磨损,缩短管道使用寿命,增加后续管道维护频率。堵管引发的料浆泄露,会污染周边设备与环境,后续还需投入成本进行清理与修复,进一步提升整体维护成本。

2.3 引发安全与环境隐患

堵管可能引发一系列安全与环境隐患,威胁作业安全与周边环境。管道内异常压力过高时,可能导致管道爆裂,泄露的料浆易对现场作业人员造成伤害,同时引发现场混乱。若堵管发生在井下等密闭空间,料浆堆积可能引发坍塌、掩埋等安全事故,增加作业风险^[2]。料浆泄露后,其中的化学物质、固体颗粒等会污染土壤、水源,破坏周边生态环境,若未及时处理,还可能引发环境污染纠纷。清理堵管过程中,作业人员需进入管道周边或井下等危险区域,也会增加作业安全风险。

3 充填料浆管道输送堵管的针对性预防措施

3.1 优化充填料浆自身特性

优化充填料浆自身特性,从源头减少堵管隐患,需严格控制料浆的成分、浓度及颗粒状态。合理搭配料浆成分,根据输送需求确定胶凝材料与骨料的佳比例,确保料浆具有良好的流动性和稳定性,避免因成分失衡导致黏性异常或离析。严格控制料浆浓度,根据管道输送条件、料浆类型,确定合理的浓度范围,在输送过程中实时监测浓度变化,及时调整水料比例,防止浓度过高或过低引发堵管^[3]。加强料浆制备环节的过滤与筛选,清除料浆中的结块、杂物及超大颗粒,避免杂物进入管道引发聚集堵塞;合理控制骨料颗粒度,避免颗粒过细导致料浆离析,确保料浆均匀稳定。

3.2 完善管道系统设计与维护

完善管道系统的设计、安装与日常维护,提升管道输送的稳定性,减少堵管风险。优化管道布置,尽量减少弯管、变径管的数量,合理设计管道敷设坡度,避免出现反坡过大、坡度突变等情况,减少料浆涡流与沉淀;在易发生堵管的部位,如弯管、管道末端,设置清理口,便于及时清理堆积物料。加强管道日常检查与维护,定期检测管道内壁磨损情况,及时修复或更换磨损严重的管道;检查管道连接部位的密封性,及时紧固松动的法兰、阀门,防止料浆渗漏。合理选择管道材质,根据料浆特性选择耐磨性、抗腐蚀性强的材质,延长管道使用寿命,减少管道损坏引发的堵管。

3.3 科学设置输送工艺参数

科学设置输送工艺参数,确保料浆输送过程稳定有序,避免参数偏差引发堵管。根据料浆特性、管道条件,确定合理的

输送流速,既要保证料浆中的固体颗粒保持悬浮状态,避免沉淀,也要避免流速过高加剧管道磨损与能耗;在输送过程中实时监测流速变化,及时调整输送设备参数,保持流速稳定。合理控制充填倍线,根据管道输送距离、高度差,确定最佳倍线范围,当倍线超出合理值时,采取加压输送等措施,确保料浆流动稳定。规范料浆输送操作,避免频繁停机,若需停机,提前清理管道内料浆,防止料浆停留时间过长发生初凝或沉淀;不同类型料浆混合输送时,做好过渡处理,避免成分冲突引发结块。

4 充填料浆管道输送堵管的应急处置方法

4.1 堵管位置快速排查

堵管发生后,需快速、准确排查堵管位置,为后续清理工作奠定基础。可采用管道敲击法,通过敲击管道,根据回声差异判断堵管位置,管道内有料浆堆积时,敲击无明显回响,无堆积部位则会产生清晰回响,据此初步定位堵管区域。结合输送系统的压力监测数据,若某段管道压力骤升且持续居高不下,而下游管道压力异常偏低,可判断该区域为堵管位置。对于复杂管道系统,可借助管道监测设备,实时查看料浆流动状态,精准定位堵管点,避免盲目排查导致的时间浪费与管道损坏。排查过程中,需重点关注弯管、阀门、管道变径处及反坡段,这些部位是堵管的高发区域。

4.2 堵管高效清理作业

根据堵管位置与堵塞严重程度,采取针对性的清理方法,确保高效清理且不损坏管道。对于轻微堵管,可采用水冲法,通过高压水流冲洗管道,利用水流冲击力冲散堵塞物料,恢复管道通畅;冲洗时需控制水流压力,避免压力过高损坏管道。对于中度或重度堵管,可采用人工拆管清理法,拆卸堵管部位的管道,人工清除内部堆积的料浆与杂物,清理完成后重新安装管道,确保连接密封^[4]。对于弯道等特殊部位的堵管,可采用气压通管法,在堵管位置安装空气压缩机,利用气压推动堵塞物料继续流动,实现管道疏通,这种方法可避免拆管的繁琐,同时不会稀释料浆,保证充填效果。

4.3 清理后系统恢复与检查

堵管清理完成后,需对管道输送系统进行全面检查与调试,确保系统恢复正常后再重启作业。检查管道连接部位的密封性,确认无渗漏现象;检查管道内壁是否有残留物料,若有残留需进一步清理,避免再次引发堵管。调试输送设备参数,检查流速、压力等参数是否符合设计要求,进行短时间空载运行,观察管道运行状态,确保无异常。对料浆制备环节进行检查,确认料浆成分、浓度符合要求,避免不合格料浆进入管道。恢复作业后,实时监测管道运行状态与料浆流动情况,密切关注压力、流速等参数变化,及时处理异常问题,防止堵管再次发生。

5 提升充填料浆管道输送稳定性的长效保障

5.1 建立健全操作管理制度

建立健全充填料浆管道输送操作管理制度，规范作业流程，从管理层面减少堵管隐患。制定详细的作业操作规程，明确料浆制备、管道输送、设备维护等各环节的操作标准，要求作业人员严格按照规程操作，避免违规操作引发堵管。建立岗位责任制，明确各岗位人员的职责，加强对作业人员的培训与考核，提升作业人员的专业素养与操作能力，使其能够准确判断料浆状态、管道运行异常，及时处理潜在问题。建立作业记录制度，详细记录料浆成分、浓度、输送参数、管道运行状态等信息，便于后续排查问题、优化工艺，为长效保障提供数据支撑。

5.2 加强输送过程实时监测

加强充填料浆管道输送过程的实时监测，及时发现异常并处理，防范堵管发生。在管道关键部位安装压力、流速、浓度等监测设备，实时采集输送过程中的各项参数，建立监测数据台账，通过数据分析判断管道运行状态与料浆流动情况。设置异常预警机制，当监测参数超出合理范围时，自动发出预警信号，提醒作业人员及时排查问题，调整工艺参数或采取应急措施，避免问题扩大引发堵管^[5]。定期对监测设备进行校准与维护，确保监测数据的准确性与可靠性，为管道输送的稳定运行提供保障，实现堵管隐患的早发现、早处理。

参考文献:

- [1] 李磊,吴迪,杨官鼎.废石胶结充填料浆流特性和管道输送研究[J].中国安全科学学报,2025,35(S2):29-35.
- [2] 陈鑫政,蒋合国,杨小聪,等.复合骨料膏体充填料浆管道输送阻力及其压力监测研究[J].中国矿业,2025,34(04):107-115.
- [3] 甘德清,孙海宽,刘志义,等.金属矿山充填料浆管道输送理论研究 20 a 进展与展望[J].金属矿山,2025,(01):9-26.
- [4] 历佟,张治强,李丹,等.深井充填料浆管道输送弯管局部阻力损失研究[J].金属矿山,2023,(12):36-41.
- [5] 王栋.煤矸石基充填料浆管道输送流致力学响应特性研究[D].中国矿业大学,2023.

5.3 推动输送技术优化升级

推动充填料浆管道输送技术的优化升级，提升系统抗堵能力，实现长效稳定输送。结合实际作业需求，优化料浆制备技术，研发新型充填材料，改善料浆的流动性与稳定性，减少离析、结块现象；探索高效的料浆过滤与筛选技术，提高料浆纯度，避免杂物进入管道。优化管道输送装备，研发耐磨性强、抗堵塞的管道与阀门，改进输送泵的性能，提升输送稳定性与效率；引入智能化输送技术，实现料浆制备、输送参数调整、异常处理的自动化控制，减少人为操作失误，提升系统运行的稳定性与可靠性。加强技术交流与合作，借鉴先进的管道输送经验，结合自身实际优化工艺，推动充填料浆管道输送技术的持续升级。

6 结语

本文围绕充填料浆管道输送堵管成因及预防措施展开系统研究，明确堵管现象的形成是料浆自身特性、管道系统条件、输送工艺参数等多方面因素共同作用的结果，堵管不仅会中断生产作业、增加维护成本，还会引发安全与环境隐患。通过优化料浆特性、完善管道维护、科学设置工艺参数，可有效预防堵管发生；建立应急处置机制，能快速处理堵管问题，减少损失；健全管理制度、加强实时监测、推动技术升级，可为管道输送稳定性提供长效保障。研究成果可有效解决充填料浆管道输送堵管难题，为相关行业的高效、安全、绿色生产提供实践指导，助力充填料浆管道输送技术的优化发展。