煤矿覆岩离层注浆充填技术分析核心思路

王永伟
鄂尔多斯市巴音孟克煤炭有限责任公司 内蒙古 鄂尔多斯 017000

摘 要 在煤矿覆岩离层处理工艺体系中，注浆充填技术属于常用施工工艺，具有综合成本低、施工过程简便等优势。本文通过实际案例，讨论了注浆充填技术应用要点，包括地质勘察、注浆钻孔施工、成孔后测井、搭建注浆系统等内容，根据技术应用成效，整理了注浆充填技术应用经验，以此来完善覆岩离层处理体系，为“绿色矿山”发展奠定良好基础。

关键词 煤矿；覆岩离层；施工质量；注浆充填技术

Core Technical Ideas of Overburden Bed-Separation Grouting Backfilling in Coal Mines

Wang Yong-wei
Ordos Bayinmengke Coal Co., Ltd., Ordos 017000, Inner-Mongolia Province, China

Abstract Within the technical system for treating overburden bed-separation in coal mines, grouting backfilling is a routine process valued for low overall cost and operational simplicity. Using an actual case, this paper addresses the critical points of the technology—geological investigation, grouting borehole drilling, post-drilling logging, and grouting-system installation. Lessons drawn from field performance are summarized to refine the bed-separation treatment framework and to underpin the development of “green mines”.

Key words Coal Mine; Overlying Strata Separation Layer; Construction Quality; Grouting Filling Technology

煤矿在开采过程中，若不能对覆岩离层现象进行有效处理，将引起地层塌陷、生态系统退化等问题。注浆充填技术的应用原理是向覆岩离层带中注入浆液（配合比根据煤矿实际情况确定），待浆液凝固后可形成稳定的支撑架构，在减缓地层塌陷速度的同时，为地表生态环境恢复创造良好条件。通过整理各工序操作要点，可积累施工经验，为同类工程施工提供参考。

1 煤矿覆岩离层原理

煤矿出现覆岩离层的原理如下：对支撑上方覆岩的煤层开采结束后，原覆岩内部应力将沿着薄弱处进行释放，此时覆岩薄弱位置会率先发生形变，进而引起下沉、断裂、垮落等病害。由于煤矿覆岩不同区域理化性质存在较大差异，在应力作用下的沉降影响存在差异，整个沉降过程呈现不均匀状态，从而在岩层之间产生分离空间，即离层空间。

煤矿覆岩离层的产生属于动态过程，共经历以下4个阶段：①产生阶段，在不均匀沉降作用下，岩层间出现细小空间；②发展阶段，在岩层结构自重、内部应力持续作用下，岩层间隙进一步扩大；③稳定阶段，在内部应力充分释放后，岩层悬露跨度达到极限值，岩层处于短暂稳定状态；④闭合阶段，在岩层无法承受弯矩后，岩层发生断裂，失稳塌落，岩层断裂后关键块体出现回转，下方空间持续压缩，直到结构完全闭合。

2 煤矿覆岩离层注浆充填技术应用要点

2.1 工程概况

刘东煤矿西七采区10煤东侧以F（1+2）逆断层和XDF1断层为界，南侧以−600等高线和Fn10断层为界，西侧以后期深部延伸巷道保护煤柱线为界，北侧以DF2断层为界。采区东侧地层较缓，西侧地层倾角相对较大，采区形态不规则。10煤标高上限为−560 m，下限−860 m。采区10煤层倾斜长平均1 086 m，走向长平均836 m，总面积为750 292 m^2。丁油坊村建筑物已受到西510和西572采区的采动影响，部分质量较差的房屋已经出现明显裂缝，破坏程度超过Ⅰ级。对西七采区覆岩隔离注浆充填技术处理采区，目的是将丁楼、油坊和陆庄3个村庄新增地表移动变形控制在Ⅰ级变形范围以内，营造安全的生活环境。

2.2 技术方案应用要点

1.注浆钻孔施工。根据煤矿覆岩离层基本情况、地表沉陷控制目标、地表形变情况，在该区域布置了4个注浆钻孔，钻孔编号为1～4。钻孔施工要点如下：第一，基于设计方案，利用“全站仪+GPS”对注浆钻孔进行放样，校核放样点准确性后，将完成调试的钻机安装在放样点，校正钻机中心点偏差后，开始进行钻孔钻进作业；第二，此次开孔直径为Φ300 mm，采用“三步”钻进法进行作业，初期钻机以较慢速度钻入表层后，

使用套管（型号为Φ220 mmJ55石油套管）对钻孔进行固定和保护，随后提高钻进速度，直到钻入到注浆层顶部20～30 m时，向其中下入技术套管（型号为Φ180 mmJ55石油套管），对不稳定地层进行封固；最后再更换小直径钻头直接钻进到目标区域；第三，钻孔钻进期间，将垂直度偏差控制在1.5°以内，钻孔靶心和设计点偏移量不超过10 m。此次钻孔总深度为2 107 m，使用的套管总长度为1 216 m。

2.成孔后测井。完成钻孔作业后，为保证钻孔位置的合规性，采用钻芯法获取芯样，根据芯样理化数据确定地层特征，为注浆效果评估提供依据。在测井活动中，在钻孔内放入多种测井仪器，根据获取数据确定测井物理参数。①根据电阻率数据确定岩石性质，将地层划分为若干层位；②基于声波反馈数据，对地层完整性、岩层强度等进行评估，基于评估结果快速确定离层出现概率较高的层段，明确注浆施工重心区域；③根据测距数据可确定钻孔完整性，判断钻孔是否存在形变、塌陷、缩径等问题。根据获取的地质信息，确定该煤矿注浆时重点关注层位。由于地层稳定性较差，钻孔阶段需在目标层布置聚能射孔弹射穿套管和水泥环，建立完整的注浆通道，营造良好的注浆施工环境。

3.搭建注浆系统。为保障注浆结果的可靠性，应搭建可靠的注浆系统，具体内容如下：第一，制浆系统。在作业现场搭建集中制浆站，按要求配置各类制浆设备，包括给料机、搅拌机、粉料仓等，该系统制浆能力在150～250 m³/h，可满足矿区不同场景下的注浆需求。浆料水灰比为0.45～0.50，使用罐装粉煤灰作为原材料，粉煤灰等级至少为Ⅱ级。采用马氏漏斗黏度计对浆料质量进行监测，确保注浆材料的合规性。第二，泵送系统。该系统主要功能是保证浆液的顺利输送，并保证注浆效率和质量。该工程使用的注浆泵工作压力为5.0～15 MPa，主管道材料为Φ96 mm无缝钢管，管壁厚度为6 mm，可承压最大注浆压力1.5～2.0倍。第三，监测系统。在注浆系统泵口、注浆口等位置安装传感器，对注浆系统压力、流速、流量、浆液密度等数据进行采集，完成数据校核后可直观展示系统运行工况，根据评估结果及时发现并处理相关问题，保障系统运行安全。

4.注浆过程控制。注浆活动开始前，需进行注浆试验，以15～25 m³/h的流量向孔内注入稀浆液，在校核系统密封性的同时，还可以初步判断该地层对浆液的吸收能力，据此来调整流量和压力值。

整个注浆过程需分为3个阶段：第一，压裂期。作用是将目标地层裂隙压开，建立稳定的注浆通道。将初期注浆压力调整至7.5 MPa，若压力值出现突降，表明注浆通道已经建成，可进入稳定注浆阶段。第二，注浆期。注浆压力调减至5.3 MPa，系统流量调增至170 m³/h，使浆液充分填充到离层中，注浆浓度不低于70%。第三，稳定期。随着离层空间的逐渐缩小，压力将上升。根据压力变化逐渐将流量调减至70 m³/h，在压力值重新达到7.5 MPa时，泵系统流量调减至0，保持该压力1周以上，表示该钻孔已完成注浆，可转移至下一钻孔继续注浆。

2.3 技术应用效果评价

1.注浆效果评估。注浆效果评估可分为以下2个阶段。第一，对注浆参数进行分析。利用仪器获取注浆压力、流量、累积用量等参数，据此绘制“压力—流量”“压力—累积用量”等曲线。曲线结果显示，注浆期本体压力稳定在5.3 ± 0.3 MPa，单孔注浆流量均保持在160 m³/h以上。总体注浆量达到了设计值93%，满足$Q_{注}$≥90%的要求，注浆参数满足操作要求。第二，成体质量与效果检测。注浆后按要求进行养护，7 d后在注浆区布置5个检验孔，根据钻芯取样结果得知，所有检验孔内均采集到连续且完整的浆液结石体，结石厚度均超过15 cm，满足最低标准。对钻芯取样进行抗压强度试验，结果显示$Q_{抗}$≥3.0 MPa，满足设计标准。此外，采用地震波勘探技术对目标层进行探测，结果显示目标层形成形态完整、连续性强的区域，表明注浆充填效果良好，可为上部地层提供稳定的支撑荷载。

2.后续监测管理。为了校核注浆充填成效，应搭建监测管理机制，在已有观测站基础上增加3条测线，测线均布置在村庄道路边，测点之间距离为30 m。完成测线布置后，前3个月监测频率为7 d/次，2个月后频率调整为2月/次。监测结果汇总如下：①注浆充填技术应用后，地表水平变形量降至1.0 mm/m以下，下沉速度下降至1.9 mm/月，倾斜变形量下降至2.0 mm/m，使地表建筑物处于Ⅰ级（轻微）损坏标准范畴。②1年后地层累积位移量为46.5 mm，表明注浆充填技术具有良好应用价值，可以有效延缓离层发展，为上部地层提供稳定支撑荷载，具有良好的应用价值[1]。

3 煤矿覆岩离层注浆充填技术应用经验整理

3.1 加强材料质量控制

加强材料质量控制，可以从源头上保障浆液性能稳定性，提高覆岩离层注浆充填质量。第一，加强材料性能指标控制，对注浆材料（如粉煤灰、煤矸石粉等）性能指标进行拟定，形成完善的材料采购方案。例如，此工艺使用的粉煤灰粒度应在0.075～0.15 mm，其中0.075 mm以下颗粒量占比不低于75%，

且颗粒烧失量不超过8%，满足注浆充填需求。第二，做好材料入场质量检测，材料入场前除进行合格证、出厂报告等资料检查外，还需遵循抽检原则随机筛选样品，在实验室内进行理化性质检测，若抽检结果偏差在允许范围内，那么表示该材料性能满足要求[2]。第三，按要求将其运输到干燥、阴凉区域进行存储，超过3个月未使用的原材料，需进行性能测试，达标后才可以使用，保障注浆结果的可靠性。

3.2 完善设备运维计划

此项目中使用的设备种类及数量较多，包括制浆设备、输电设备、注浆泵等，为降低非计划停机影响，应根据设备特性建立预防性维护体系，明确日常维护和定期维护方案[3]。例如，注浆泵在日常维护中，每日检查内容应包括密封件密封情况、润滑油剩余量等；注浆泵使用时间超过1 000 h后，需进行全面检修，检修内容包括柱塞活动情况、排气阀工作状态、压力传感器运行情况等，及时更换老化、损坏零部件，保障设备运行的稳定性。同时，建立备用件数据库，完成关键性备用件（如高压闸阀、柱塞等）、易损件（如密封圈、垫片等）归档，保障零件供给的及时性。数据库将设置各配件数量的安全阈值，在低于安全阈值时，提醒管理人员及时采购，为设备稳定运行提供充足保障。

3.3 做好材料回收利用

注浆充填期间将产生大量废弃物，如钻孔返浆、冲洗废浆、废水等，将其直接排放到外界，会影响当地生态环境稳定性。因此，需建立完善的材料回收利用机制，在提升资源利用率的同时，降低废弃物对生态环境的影响[4]。例如，钻孔返浆可通过管道引流到沉淀池，静置2.0 ~ 3.0 h后，回收上层清液作为制浆用水重复利用。沉淀物集中回收作为建筑材料应用，实现资源的循环利用。所有回收废弃物都需检查其pH、污染物浓度，必要时先进行中和处理，再进行过滤、沉淀等处理，降低废弃物的环保风险[5]。

4 结束语

综上所述，对煤矿覆岩离层处理时，注浆充填技术属于常见处理工艺。在该工艺具体应用中，应做好各工序质量校核，待质量达标后再进行下一道工序，保证施工技术应用效果，提升覆岩稳固性，为上部结构提供稳定支撑力。

参考文献

[1]李驰.大磨岭煤矿覆岩离层注浆充填地表减沉技术研究[J].当代化工研究,2025(17):140-142.

[2]王聪.煤矿覆岩离层注浆充填技术分析[J].内蒙古煤炭经济,2025(5):46-48.

[3]牟兆刚.覆岩离层注浆充填技术可行性初判方法研究[J].中国煤炭地质,2023,35(2):53-56.

[4]韩磊.覆岩离层注浆充填现状与展望[J].山西焦煤科技,2022,46(12):4-8.

[5]孙国华,张明.覆岩离层注浆材料性能与工程适用性评价研究[J].矿业安全与环保,2024,51(3):89-93.

（本文编辑　曹　阳）

