

# Research on the Coordinated Technology of Directional Drilling and Segmented Grouting in the Treatment of Water Hazards in Old Coal Mine Voids

Yang Yu

China National Institute of Geological Engineering Exploration and Research Co., Ltd., Beijing, 100010, China

## Abstract

This article focuses on the difficult problem of water damage control in old coal mine voids, as well as the limitations of traditional water prevention and control technologies such as insufficient exploration accuracy and poor treatment effects. It studies the collaborative technology of directional drilling and segmented grouting. Old air water damage is the main safety threat to coal mines, with water seepage accidents accounting for over 90%. Accidents such as Wangjialing in Shanxi and Lijialou Coal Industry in Taiyuan highlight the urgency of technological research and development. Directional drilling accurately controls the trajectory, obtains water hazard information, and performs segmented grouting according to targeted operations. The two work together to solve drilling and grouting problems, and also clarify the construction plan and key points. After being applied in a coal mine in North China, the water inflow rate decreased from 50m<sup>3</sup>/h to below 5m<sup>3</sup>/h, and the old empty water was sealed, but there were problems such as high equipment costs and difficult control of slurry diffusion. This technology has broad prospects and can improve efficiency through equipment research and development, technological optimization, and expanded applications in the future.

## Keywords

coal mine old air water damage; collaborative technology; engineering case; governance effect

## 煤矿老空水害治理中定向钻进与分段注浆协同技术研究

于洋

中材地质工程勘察研究院有限公司, 中国·北京 100010

## 摘要

本文针对煤矿老空水害治理难题, 及传统防治水技术探查精度不足、治理效果差的局限, 研究定向钻进与分段注浆协同技术。老空水害为煤矿主要安全威胁, 透水事故占比超 90%, 山西王家岭、太原李家楼煤业等事故凸显技术研发紧迫性。定向钻进精准控轨迹、获水害信息, 分段注浆依此针对性作业, 二者协同解决钻孔与注浆问题, 还明确施工方案及关键点。华北某煤矿应用后, 涌水量从 50m<sup>3</sup>/h 降至 5m<sup>3</sup>/h 以下, 老空水被封, 但存在设备成本高、浆液扩散难控问题。该技术前景广, 未来可通过设备研发、技术优化、拓展应用提升效能。

## 关键词

煤矿老空水害; 协同技术; 工程案例; 治理效果

## 1 引言

煤炭作为我国关键能源, 在经济发展中作用突出, 但煤矿开采面临诸多安全隐患, 老空水害是主要威胁之一。老空水指古井、水窑、废巷及采空区积水, 采掘工作面接近或沟通这些区域时, 易引发透水事故。据统计, 透水水源为老空(窑)区积水及地表洪水的事占比超 90%, 采空区积水突水具有时间短、破坏性强的特点, 常致人员伤亡与重大损失。如 2010 年山西王家岭矿难, 老空水透水致 153 人被困、

38 人遇难, 直接损失近 5000 万元; 2024 年太原李家楼煤业水害事故, 因未查明老空积水, 掘进超掘引发事故, 3 人遇难, 损失 919 万元。传统防治水技术存在探查精度不足、复杂地质条件下治理效果差等局限, 研发先进技术刻不容缓。定向钻进与分段注浆协同技术优势显著, 前者可精准控制钻孔轨迹以获取水害信息, 后者能依地质与水害情况分段精准注浆, 实现堵水加固, 对提升老空水害治理水平、保障煤矿安全意义重大。

## 2 定向钻进与分段注浆协同技术

### 2.1 协同技术的作用机制

定向钻进技术依托先进导向系统, 可精确控制钻孔轨迹, 钻进中通过随钻测量仪器实时监测方位、倾角等参数,

【作者简介】于洋(1987-), 男, 蒙古族, 中国辽宁阜新人, 本科, 中级工程师, 从事地质矿产研究。

及时调整方向以确保钻孔精准抵达老空水区域，同步获取老空水位置、水量、水压等详细信息，为后续分段注浆提供关键依据，保障注浆精准性。分段注浆技术依据定向钻进获取的信息，结合地层地质条件与老空水分布特点，将钻孔划分为若干注浆段，针对性开展注浆作业。注浆时依各段情况精准控制压力、量及浆液配比：岩石破碎、裂隙发育区用低压力缓慢注浆，确保浆液充分填充裂隙；岩石完整区适当提高压力，促进浆液渗透至微小孔隙，增强岩体整体性与抗渗能力，防止老空水复涌<sup>[1]</sup>。

定向钻进与分段注浆技术相互配合，形成了一个有机的整体。定向钻进为分段注浆提供了精准的钻孔通道和详细的水害信息，使得分段注浆能够更加准确地实施；分段注浆则对定向钻进所形成的钻孔进行了加固和封堵，防止钻孔坍塌，同时有效地治理了老空水害，提高了水害治理的效果。两者协同工作，从根本上解决了老空水害治理中钻孔精度不足和注浆效果不佳的问题，为煤矿安全生产提供了有力的保障。

## 2.2 协同技术的施工方案设计

施工方案的设计需要综合考虑老空水的分布范围、积水深度、水压大小以及地质条件等多方面因素。在钻孔布置上，根据老空水的分布情况，采用扇形或网格状布置方式，确保钻孔能够覆盖整个老空水区域。对于分布范围较广的老空水，适当增加钻孔数量，缩小钻孔间距，以提高探查和治理的精度；对于积水深度较大的区域，合理调整钻孔的角度和深度，确保钻孔能够穿透积水层，达到有效的治理深度。注浆分段是施工方案设计的关键环节之一。根据地质条件的变化，将钻孔划分为不同的注浆段，一般来说，在岩石破碎、裂隙发育的区域，注浆段长度较短，以便更好地控制注浆效果；在岩石相对完整的区域，注浆段长度可以适当增加。例如，在某煤矿老空水害治理工程中，根据地质勘探资料，将钻孔分为5-8个注浆段，每个注浆段长度在5-10米之间，通过这种合理的分段方式，有效地提高了注浆的针对性和效果。施工顺序上，先进行定向钻进施工，按照设计的钻孔轨迹进行钻进，在钻进过程中，实时记录钻孔的各项参数和遇到的地质情况<sup>[2]</sup>。当钻孔到达预定位置后，进行分段注浆施工。在注浆前，对钻孔进行清洗和检查，确保钻孔畅通无阻。然后，按照预先设计的注浆分段，从孔底开始，逐段进行注浆，每完成一段注浆，待浆液凝固后，再进行下一段注浆，直至完成整个钻孔的注浆作业。

## 2.3 协同技术的关键技术要点

钻孔轨迹控制是定向钻进的核心技术要点。在钻进过程中，要密切关注随钻测量仪器所反馈的信息，及时调整钻进参数，如钻压、转速、泵量等，以保证钻孔按照预定轨迹前进。当遇到地质条件变化，如岩石硬度突然增大或减小、出现断层等情况时，要及时分析原因，采取相应的措施，如调整钻进方向、更换钻头，确保钻孔轨迹的准确性。同

时，要定期对定向钻进设备进行维护和校准，保证设备的精度和可靠性。注浆压力和流量控制对于分段注浆的效果起着决定性作用。注浆压力过小，浆液无法有效渗透到岩体的裂隙和孔隙中，导致注浆效果不佳；注浆压力过大，则可能会造成岩体破裂，引发新的安全隐患。因此，在注浆过程中，要根据不同的注浆段和地质条件，合理设定注浆压力和流量<sup>[3]</sup>。一般来说，在初始注浆阶段，采用较低的压力和流量，使浆液能够缓慢地填充岩体的大裂隙；随着注浆的进行，逐渐提高压力和流量，使浆液能够进一步渗透到岩体的微小孔隙中。同时，要实时监测注浆压力和流量的变化，根据实际情况进行调整。止浆塞的设置是防止浆液回流和保证注浆质量的重要措施。止浆塞应具有良好的密封性能和耐压性能，能够在注浆过程中有效地阻止浆液回流。在设置止浆塞时，要确保其位置准确，安装牢固。一般将止浆塞设置在注浆段的顶部和底部，对于较长的注浆段，还应在中间适当位置增设止浆塞。在注浆前，要对止浆塞进行检查和测试，确保其性能良好，在注浆过程中，要密切关注止浆塞的工作状态，如发现异常，应及时处理。

## 3 工程案例

### 3.1 案例背景介绍

某煤矿位于华北地区，开采历史悠久，井田范围内存在大量老空区。本次研究的老空水害区域位于该煤矿的西部采区，该区域曾进行过多次煤炭开采活动，形成了复杂的采空区网络。经前期勘查，如图一所示，初步确定水害位置在西部采区的深部，范围涉及多个采空区，面积约为5000平方米。该区域老空水的危害程度极高。一方面，老空水的积水量较大，初步估算积水量达10万立方米以上，且水压较高，对周边采掘工作面构成巨大的水害威胁；另一方面，该区域的地质条件复杂，煤层顶板破碎，裂隙发育，老空水一旦涌出，极易引发顶板垮塌、巷道淹没等事故，严重威胁矿井的安全生产和人员生命安全。从地质条件来看，该区域地层主要由砂岩、泥岩和煤层组成。砂岩为主要含水层，具有较强的透水性；泥岩为相对隔水层，但在长期的开采活动影响下，部分泥岩隔水层遭到破坏，导致老空水在不同含水层之间相互连通，增加了水害治理的难度。此外，该区域还存在多条断层，断层附近岩石破碎，是老空水的良好导水通道，进一步加剧了水害的复杂性。

### 3.2 定向钻进与分段注浆协同技术应用过程

在该煤矿老空水害治理中，首先进行了详细的定向钻进施工。根据前期的地质勘查资料，利用定向钻进技术的精准定位优势，如图二所示，设计了多条钻孔轨迹。在钻孔布置上，采用扇形布置方式，共布置了5个钻孔，以确保能够全面覆盖老空水区域。每个钻孔的深度根据老空水区域的深度和位置进行设计，平均深度达到了300米。钻进过程中，采用了先进的无线随钻测量系统，实时监测钻孔的方位、倾

角、深度等参数。通过对这些参数的分析，及时调整钻进方向和钻进参数，确保钻孔能够准确地抵达老空水区域。例如，在钻进过程中，当发现钻孔轨迹偏离预定方向时，通过调整螺杆钻具的角度和钻进压力，使钻孔重新回到预定轨迹上。在遇到岩石硬度较大的区域时，适当增加钻进压力和转速，提高钻进效率。当定向钻进完成后，进入分段注浆施工阶段。根据定向钻进所获取的地质信息，对钻孔进行了合理的分段。将每个钻孔分为5-8个注浆段，每个注浆段长度在5-10米之间。在浆液配比方面，针对不同的注浆段和地质条件，采用了不同的浆液配方。对于岩石破碎、裂隙发育较大的区域，采用了水泥-粉煤灰混合浆，其配比为水泥：粉煤灰=1：2，以提高浆液的填充效果；对于岩石相对完整、裂隙较小的区域，采用了纯水泥浆，水灰比为0.6：1，以增强浆液的粘结强度和抗渗性。

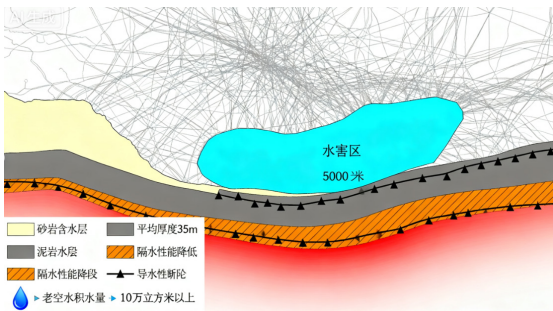


图 1

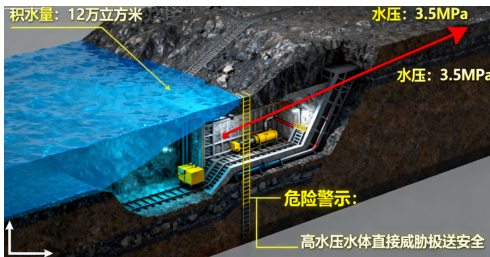


图 2

在注浆过程中，严格控制注浆压力和注浆量。根据不同的注浆段和地质条件，设定了不同的注浆压力。在初始注浆阶段，注浆压力控制在0.5 - 1.0MPa，使浆液能够缓慢地填充岩体的大裂隙；随着注浆的进行，逐渐提高注浆压力，在终注阶段，注浆压力达到2.0 - 3.0MPa，使浆液能够进一步渗透到岩体的微小孔隙中。同时，根据钻孔的吸浆量和注浆压力的变化，实时调整注浆量，确保每个注浆段都能够得到充分的注浆。止浆塞的设置也是分段注浆施工的关键环节。在每个注浆段的顶部和底部，均设置了高性能的止浆塞，以防止浆液回流。在设置止浆塞时，确保其位置准确，安装牢固，并在注浆前对止浆塞进行了严格的检查和测试，确保其密封性能良好。

### 3.3 治理效果分析与评价

通过对涌水量监测数据的分析，在应用定向钻进与分

段注浆协同技术治理前，该区域的涌水量较大，平均涌水量达到了50立方米/小时。治理后，涌水量明显减少，稳定在5立方米/小时以下，表明老空水得到了有效的封堵。通过对钻孔检查，发现注浆段的岩体得到了明显的加固，岩石的完整性和强度得到了提高，钻孔周围的裂隙被浆液充分填充，形成了有效的隔水层。该协同技术在老空水害治理中取得了显著的效果，具有精准定位、高效治理的优点。通过定向钻进技术，能够准确地获取老空水区域的信息，为分段注浆提供了有力的支持；分段注浆技术则能够根据不同的地质条件进行针对性的注浆，有效地封堵了老空水的通道，加固了岩体。然而，该技术在应用过程中也存在一些不足之处。例如，定向钻进设备的成本较高，对操作人员的技术要求也较高；分段注浆过程中，浆液的扩散范围难以精确控制，可能会导致部分区域注浆不充分。针对这些问题，提出以下改进方向：一是进一步研发和改进定向钻进设备，降低设备成本，提高设备的稳定性和可靠性，同时加强对操作人员的培训，提高其技术水平；二是加强对浆液扩散规律的研究，通过数值模拟等手段，更加准确地预测浆液的扩散范围，优化注浆参数，提高注浆效果；三是结合其他先进的物探技术，如瞬变电磁法、地质雷达等，对老空水区域进行更加全面、准确的勘查，为定向钻进与分段注浆协同技术的应用提供更加可靠的地质资料。通过这些改进措施，有望进一步提高定向钻进与分段注浆协同技术在煤矿老空水害治理中的应用效果，为煤矿安全生产提供更加有力的保障。

## 4 结论

本研究探究定向钻进与分段注浆协同技术在煤矿老空水害治理中的应用，收获重要成果。技术原理上，定向钻进借先进设备精准控轨迹、获老空水信息，分段注浆依此分注浆段作业，加固岩体、提抗渗能力，二者协同形成理论基础。工艺上，结合多因素设计方案，明确钻孔布置、注浆段划分及施工顺序，总结关键点。案例显示，某煤矿应用后涌水量大减、老空水被封，但存在设备成本高、操作要求高、浆液扩散难控问题。该技术前景广，能弥补传统技术不足，降风险、保安全，具显著经济与社会效益。未来可从三方面发展：研发改进设备降成本、提稳定性，开发智能控制系统减人工依赖；加强浆液扩散规律研究优化参数，探索与AI、大数据结合实现智能化；拓展至隧道、地铁等地下工程水害治理，扩大应用范围，为能源与工程安全助力。

### 参考文献

- [1] 郝孟杰.地面定向钻进技术在陷落柱探查治理中的研究与应用[J].煤炭与化工,2024,47(10):76-79+102.
- [2] 郑士田,马荷雯,姬亚东.煤层底板水害区域超前治理技术优化及其应用[J].煤田地质与勘探,2021,49(05):167-173.
- [3] 王今朝,曹栋.地面定向钻进技术在导水断层治理中的技术研究与应用[J].煤炭与化工,2021,44(02):42-45.