

复杂水文地质条件下矿井探放水技术研究

薛路伟

陕西彬长孟村矿业有限公司，陕西 咸阳 713602

[摘要]随着我国煤炭开采深度与强度持续增加，矿井所面临的水文地质条件日益变得复杂起来，水害防治已然成为制约煤矿安全生产的关键瓶颈所在。本文着重聚焦于复杂水文地质条件这较为系统地剖析了其多场耦合以及隐蔽性强等核心特征，同时也指出了其带来的诸如精准探查难度大、安全控制难度高等技术方面的诸多挑战。在这样的基础之上，构建起了一套包含有立体综合探查、富水区智能预测以及高压钻孔高效成孔等一系列关键技术在内的探放水技术体系。研究还提出了基于多参数动态监测以及时空演化规律分析而得出的效果评价方法，并且阐述了涉及工程设计、应急预案以及标准化管理等方面的综合保障措施。

[关键词]复杂水文地质；矿井水害；探放水技术；定向钻进

DOI: 10.33142/ec.v8i11.18595

中图分类号：TD745

文献标识码：A

Research on Mine Exploration and Drainage Technology under Complex Hydrogeological Conditions

XUE Luwei

Shaanxi Binchang Mengcun Mining Co., Ltd., Xianyang, Shaanxi, 713602, China

Abstract: With the continuous increase in the depth and intensity of coal mining in China, the hydrogeological conditions faced by mines have become increasingly complex, and water hazard prevention has become a key bottleneck restricting coal mine safety production. This article focuses on the complex hydrogeological conditions and systematically analyzes their core characteristics such as multi field coupling and strong concealment. At the same time, it also points out the many technical challenges they bring, such as the difficulty of precise exploration and high safety control. On this basis, a set of exploration and drainage technology system has been constructed, including a series of key technologies such as three-dimensional comprehensive exploration, intelligent prediction of water rich areas, and efficient drilling of high-pressure boreholes. The study also proposed an effectiveness evaluation method based on multi parameter dynamic monitoring and analysis of spatiotemporal evolution laws, and elaborated on comprehensive guarantee measures related to engineering design, emergency plans, and standardized management.

Keywords: complex hydrogeology; mine water damage; water exploration and drainage technology; directional drilling

我国地域辽阔且水文地质环境复杂，正因如此，地域气象、地质构造等因素都会密切关系到矿井水害的发生。在水文地质极复杂的情况下，矿井出现水害的隐患也相对较大，因此在矿井作业过程中，往往要注意做好水害的防范与处理。随着矿井探放水技术的快速普及，施工探放水成为应对矿井水害的有效途径，学者们的相关讨论研究也在持续增多。

1 复杂水文地质条件特征及探放水难点分析

1.1 复杂水文地质条件的主要类型与特征

复杂水文地质条件指的是那些在空间分布方面呈现出高度的不均匀特性，在时间推移过程中动态变化十分明显，并且会给矿井的安全生产带来极为严峻威胁的一系列水文地质状况的整体集合。依据相关的规范标准来看，矿井水文地质类型要是被划分成“复杂”或者“极复杂”的情况，往往是依照若干个关键的判定依据来确定的，比如受采动影响的主要含水层其补给条件特别好，单位涌水量的数值较大，存在数量众多且具体情况不明的老空积水区

域，矿井出现突水的频次比较频繁并且所造成的威胁程度较为严重等。具体来讲，其主要的类型以及相应的特征主要体现为以下几种情形：第一种是深部高压高渗型，这种类型主要存在于华北型煤田的奥陶系灰岩含水层当中，它具备水压比较高、水量颇为丰富以及补给来源距离较远等诸多特点，只要一发生突水的情况，就很容易引发淹井这类严重的事故。第二种是老空水隐蔽分布型，这是指在历史发展的进程当中逐步形成起来的错综复杂的呈网络状分布的老空区，其中所积存的水量以及具体的位置都显得较为模糊不清，而透水往往呈现出瞬间爆发的特性。第三种是特殊地质结构致灾型，像薄基岩地层出现的强耦合溃涌现象、采动离层空间所蓄积的水源以及构造“天窗”补给型突水等情况都属于此类，它们所涉及的致灾机理是比较复杂且多变的。

1.2 当前探放水工作面临的主要技术难点

上述复杂特征给探放水工作带来了前所未有的技术挑战，精准探查与靶区定位存在难度，地下含水构造隐蔽

性较强，传统地面物探分辨率有限，井下常规钻探如同“一孔之见”，难以对远距离、小尺度的富水异常体进行精准空间定位^[1]；钻孔安全高效施工存在困难，在高压、高应力、软岩等复杂地层中施工探放水钻孔，面临钻孔易塌、卡钻、喷孔等一系列成孔难题，对放水效果和施工安全产生严重影响；放水过程动态控制与效果评价存在难点，放水过程中，水量、水压及围岩应力状态处于动态变化之中，如何建立有效的实时监测系统，科学分析疏放规律，并准确评价工程效果，缺乏系统化的方法和标准。

2 复杂条件下探放水关键技术体系构建

2.1 地面与井下相结合的立体综合探查技术

为突破单一探查手段所存在的局限性，应当着手构建起“空-地-井”一体化的立体综合探查技术体系。在地面层面，能够运用高精度三维地震以及瞬变电磁法等各类手段，以此来对大范围区域内的含水构造展开初步的圈定工作。而在井下方面，其关键之处在于要着力发展以定向长钻孔当作载体的孔中综合物探技术。举例来讲，把钻探同钻孔瞬变电磁、钻孔雷达等相关技术相互结合起来，便能够达成对钻孔径向数十米范围以内含水异常体的立体成像探查目的，进而使得针对隐伏水害的探测精度以及探测距离都得以大幅提升。这样的一种立体探查体系，已然实现了从宏观层面逐步过渡到微观层面的逐级聚焦效果。

2.2 基于多源信息融合的富水区精准预测与靶区定位技术

所探查得到的海量且来源多样的信息，得借助智能融合以及建模方面的技术，将其转变成针对富水区较为精准的认知成果。此项技术最为关键之处就在于要去建立起一个可以实现动态更新的所谓“透明化”水文地质模型。通过将三维地质建模、岩石力学、多源监测所获取的数据还有AI算法加以融合的方式去构建矿井的数字孪生体，如此一来便能够实时且动态地呈现出在开采进程当中地质条件以及应力场所发生的种种变化，并且依据力学模型来开展相关计算进而对应力的重新分布情况进行预测。这样一种依托多源信息融合以及数字孪生而形成的预测技术，促使富水区以及突发水危险区的预测从原本单纯的定性层面逐步迈向了定量层面，同时从以往那种静态的推断状态逐渐过渡到了能够进行动态预警的状态。

2.3 高压高应力环境下安全高效钻孔施工与成孔关键技术

在完成精准定位之后，怎样做到既安全又高效地开展施工钻孔作业，使其能够顺利直达靶区，这无疑属于技术得以切实落地实施的极为关键的一个环节。面对复杂多变的地层情况，就必须对传统的钻孔工艺做出相应的优化调整。其一是要充分应用先进的钻探装备。就高地应力软岩地层而言，可以去选用那种扭矩相对较大的新型螺旋钻机，

并且要对排渣的方式加以优化改进，以此来有效降低出现塌孔的风险。其二是得掌握钻孔轨迹的精准控制技术。在那些需要对老空水展开远距离探查的特定场景之下，近水平定向钻进技术便自然而然地成为了极为重要的一种选择方案。借助合理的轨迹设计安排，同时配合上随钻测量系统，就能够达成对钻孔轨迹的实时动态监控以及精确的导向操控目的。其三是钻孔加固以及护孔方面的相关技术。在开孔的那段区域以及处于破碎状态的地层当中，务必要采用那种较为可靠稳固的孔口管固管技术，并且还要对孔壁实施注浆加固处理操作，进而形成一个较为稳定牢靠的“防护壳”，以此来促使成孔率得以提升，同时也能够让钻孔的使用寿命得到相应延长。

3 探放水过程监控与效果评价技术

3.1 放水过程多参数动态监测与时空演化分析

放水工程正式实施之后，得着手建立起一个能够对水量、水压以及水质等诸多参数加以集成的多参数动态监测系统，进而达成数据的自动化且连续的采集工作，同时还能够实现远程的数据传输功能。借助工业环网这一途径，像钻孔方位、深度等方面的数据是能够实时地上传到地面中心的，并且在此基础上还能够自动生成出相应的监测曲线来。该系统还应当进一步拓展其应用范围，延伸至对围岩应力以及微震进行监测的领域当中，从而精准地捕捉到岩体力学所呈现出的各类响应情况。将所有的这些数据都汇集到同一个统一的平台上，以此来实现数据的可视化展示功能，同时也能够在出现数据超限的情况时及时发出警报提示。

依照所获取的监测数据，要去剖析水量以及水压呈现出的时空演化方面的规律。通过去绘制“流量-时间”所对应的衰减曲线，还有“水压-时间”呈现出来的下降曲线，进而能够构建起相应的数学模型，以此来对静储量以及补给量展开估算。对水压在不同孔之间传递的规律加以分析，这对于判断含水层的联通状况以及边界条件是很有帮助的。出现流量异常缓慢衰减或者水压回升的情况，或许是在预示着存在新的补给源，所以这时候就需要及时地对相关策略做出调整。

3.2 探放水效果综合评价

要构建起将定性方面和定量方面相互融合在一起的综合评价指标体系，以此来针对探放水工程所取得的效果展开系统的评判工作。这一指标体系应当包含有多个方面的内容：像水文效应指标，其中就包括总放水量这样的情况，还有水压降幅等；安全效应指标，比如说突水威胁系数降低的程度等；工程经济指标，例如钻孔成孔率这类情况，以及工期控制等方面；另外还有环境效应指标，像是对围岩稳定性产生的影响，还有对水资源影响的评估等。在评价的方法上，可以综合地去运用层次分析法来确定各个指标的权重，然后参照工程设计所设定的预期目标来进

行综合性的评分操作,从而为后续工程的优化积累下可供参考的经验依据。

3.3 关键技术协同与集成优化

复杂状况下探放水所取得的成效,一方面依靠单项技术实现突破,另一方面则要看探查、预测、施工、监控以及评价等关键技术能否在系统层面协同配合并达成集成优化。未来开展相关工作时,需要着重关注两点:其一,要实现数据流与工作流的连通,保证从立体探查所获取的基础数据可以顺畅地对接至富水区预测模型,从而为钻孔轨迹设计以及安全施工给予精准的靶区定位;施工与放水过程中产生的动态数据,又可实时反馈回来并对地质模型以及预警阈值加以修正^[2]。其二,得对技术环节实施闭环优化,效果评价得出的结果应当直接应用于指导后续探查重点做出调整、钻孔工艺进行改进以及放水方案予以优化,进而构建起“探查-治理-评价-再探查”这样一个动态优化的闭环模式。

3.4 智能决策平台展望

要达成上述所提及的协同以及集成这一目标,去构建一个具备“探-放-评-控”功能的一体化智能决策平台,这无疑是一个极为重要的发展趋向。此平台能够把地质模型、实时监测所获取的数据、施工方面的各项参数还有评价算法都整合到一起。借助大数据相关的分析手段、机器学习领域的办法以及数字孪生方面的技术,该平台便可以达成对水害风险展开动态且可视化的模拟呈现、针对工程方案进行智能的比对与优化处理、在施工进程当中对出现的异常情况予以智能诊断以及提前对安全风险做出预警等效果。智能决策平台会充当技术体系里的“智慧大脑”,促使矿井水害防治从那种分散式的、依靠经验来开展的管理模式朝着集中化且科学化决策的方向来实现根本性的转变。

4 技术应用的安全保障与工程管理措施

4.1 探放水工程设计原则与安全技术措施

先进技术的应用需以稳固的安全设计作根基。在复杂条件下开展探放水工程设计时,要严格遵循“预测预报、有疑必探、先探后掘、先治后采”这十六字原则,同时落实“物探先行、钻探验证、综合研判”的工作流程。在具体的设计环节当中,依据探查所得到的结果来科学地确定钻孔的布置形式、数量、角度、深度以及终孔的具体位置,并且要对套管的结构、长度以及固管耐压试验的标准做出详尽的规定。安全技术方面的措施务必要详尽完备,像要安装牢固可靠的孔口安全闸阀以及相应的控制装置,还要构建起完整的排水系统并且保证其排水能力能够大于最大预计的放水量,另外还需划定出清晰明确且做好警戒的安全撤退路线,还得针对全员开展安全技术方面的培训工作。所有的设计都得经过由煤矿企业总工程师来组织安排的严格审查环节。

4.2 钻孔施工突发异常情况应急处理预案

由于施工环境存在极高风险,所以针对可能出现的突发状况,得制定出具备较强可操作性的应急预案。预案要包含几种主要异常情形:其一,钻孔突水,此时要立刻关闭孔口防喷装置,开启强排水系统,若有必要还需进行注浆封堵;其二,钻孔出现喷孔、卡钻情况,须马上停钻,对钻压以及排渣方式进行调整,可尝试反钻或者借助解卡工具来处理^[3];其三,围岩有明显变形或者发出异常声响,应立即停止作业,将人员撤离出去,同时评估其稳定性;其四,监测系统发出警报,比如水量突然增多、水压出现异常等,要立刻启动应急响应程序。预案需要清楚说明不同险情的报告流程、决策指挥体系、现场处置办法以及后勤保障措施,并且定期开展演练活动。

4.3 放水过程的水资源与环境保护考量

探放水工程绝不能以损害环境作为代价。对于矿井水的排放问题,得秉持“煤水生态多目标齐抓共管”这样的绿色理念来对待。要提前针对放水水源去做水质化验,依据不同水质状况采取相应的分类处理办法:对于水质比较好的情况,要尽可能规划将其用于井下的防尘工作、地面的绿化事宜,或者经过深度处理之后当作水资源来加以利用;对于含有很多悬浮物的情况,需要开展沉淀过滤方面的操作;而对于高矿化度或者是含有害物质的酸性水,那就必须实施严格的处理流程,只有达到相关标准之后才可排放出去,以此防止对地表以及地下水体造成污染^[4]。在工程规划的阶段,就要去评估大规模疏水给区域地下水资源平衡、地表植被以及建筑物基础可能带来的影响。

4.4 探放水工程组织管理与标准化流程

高效且可靠的技术执行需要依靠严密的组织管理以及标准化流程。矿井需设立专门负责防治水的机构,并且要配备专业的技术人员。整个探放水工程应当达成流程化管理,从地质分析环节开始,经过设计审批阶段,再到现场施工环节,接着是过程监控方面,最后到效果验收阶段,形成一个完整的闭环。与此务必要依照国家相关规定,去健全完善并且持续更新矿井各类防治水的基础图件以及台账,确保每一项技术工作都能够有依据可以查询、有规范可以遵循,从而为矿井水害的长期防治累积下宝贵的数字资源。

5 结束语

随着复杂水文地质条件方面的挑战变得日益严峻起来,矿井水害防治工作已然进入到一个全新的阶段,在这个阶段里,其开展得怎么样得依靠科技创新以及系统管理来推动。通过本文的研究可以发现,要突破技术方面存在的瓶颈,关键是要去构建起一个完整的链条,这个链条是从立体智能探查开始,接着是靶向精准预测,然后是安全高效施工,之后还要有全过程动态监控以及科学评价这些

环节，要把这样的链条融入到由严谨的工程设计、应急管理、环保考量以及标准化流程所构成的保障体系当中。在未来的发展过程中，会更加着重关注地质条件的“透明化”探测预警的“智能化”以及防治决策的“科学化”这几个方面。只有坚持把技术攻坚和管理规范放在同等重要的位置上，才能够在复杂的条件下真正达成矿井水害的可探、可防、可控，进而为我国煤炭工业在深部开发以及安全发展方面筑牢生命防线。

[参考文献]

[1]成飞.矿井掘进工作面探放水技术及装备的应用效果分

- 析[J].矿业装备,2025(10):148-150.
- [2]郭强,赵奇,罗鹏,等.煤矿探放水施工问题分析及优化[J].内蒙古煤炭经济,2024(24):43-45.
- [3]李亚胜.矿井探放水孔施工中定向钻进技术探究[J].能源与节能,2024(12):127-129.
- [4]梁吉智.矿井探放水施工存在主要问题及技术优化措施[J].西部探矿工程,2024,36(6):156-158.
- 作者简介：薛路伟（1995.5—），男，学历：本科，毕业院校：西安石油大学，所学专业：地质学，目前职称：助理工程师，目前就职单位：陕西彬长孟村矿业有限公司。