

煤矿地质构造对矿井充水条件的控制作用分析

胡朝阳

陕西彬长文家坡矿业有限公司, 中国·陕西 咸阳 713500

摘要: 矿井充水是影响煤矿安全生产的因素之一, 地质构造对它具有重要的控制作用。本文从地质构造基本特征入手, 分析矿井充水水源、补给条件, 揭示地质构造对矿井充水的控制作用, 提出相应的防治措施。研究表明, 断层、褶皱等地质构造改变岩层的导水性、储水性, 直接影响地下水运动方向、补给量, 进而影响矿井充水发生和发展。在此基础上建立水文地质分区模型, 分析构造破碎带的导水特性, 预测充水演化过程, 给矿井安全开采提供科学依据。
关键词: 地质构造; 矿井充水; 水文地质; 防治措施

Analysis of the Controlling Effect of Geological Structures on Mine Water Inrush Conditions

Hu Zhaoyang

Shaanxi Binchang Wenjiapo Mining Co., Ltd., China Shaanxi Xianyang 713500

Abstract: Mine water inrush is one of the factors affecting coal mine safety production, and geological structures play a significant controlling role. Starting from the basic characteristics of geological structures, this paper analyzes the sources and recharge conditions of mine water inflow, reveals the controlling mechanisms of geological structures on mine water inrush, and proposes corresponding prevention and control measures. The study shows that geological structures such as faults and folds alter the permeability and storage capacity of rock strata, directly influencing the direction and volume of groundwater flow, thereby affecting the occurrence and development of mine water inrush. Based on this, a hydrogeological zonation model is established to analyze the hydraulic conductivity of structural fracture zones and predict the evolution process of water inflow, providing scientific support for safe mining operations.

Keywords: Geological structure; Mine water inrush; Hydrogeology; Prevention and control measures

0 引言

煤矿开采过程中, 矿井充水问题严重威胁着矿工生命安全和煤矿企业的经济效益。充水的发生和发展受多种因素影响, 地质构造是主要的控制因素。地质构造会改变岩层的导水性、储水性、隔水性, 从而影响地下水的赋存、补给、径流和排泄。对地质构造对矿井充水的控制作用进行深入的研究, 对科学评价充水危害风险、制定防治措施有重大意义。本文在对地质构造基本特征进行系统分析的基础上, 研究地质构造对矿井充水的制约机制, 给矿井安全高效开采提供理论依据。矿井水害不仅容易导致井下作业人员遭受重大伤亡, 而且造成严重的经济损失、增大事故抢险救援的难度以及延长恢复生产所需时间, 成为煤矿灾害事故中最为突出的问题。

1 煤矿地质构造的基本特征

1.1 地质构造的分类与分布

煤矿区的地质构造主要有断层构造和褶皱构造两种。断层是岩层在地壳运动中发生错位的现象, 分为正断层、逆断层、走滑断层三种类型, 其水文地质特征也有所不同。

褶皱构造是岩层受压弯曲而不断裂的构造, 分为背斜和向斜两种基本形式^[1]。这些构造的空间分布, 就是煤矿区地质演化的历史和现在应力场的状态。地质构造越复杂, 充水就越严重, 构造发育密集、破碎程度高的矿区充水危险就越大。

1.2 断层破碎带的水文地质性质

断层是控制矿井充水的主要地质构造, 断层两侧岩层因为长时间的剪切运动而形成的裂隙、碎裂岩称为破碎带。断层破碎带的导水性能远优于完整岩体, 可以成为地下水运动的优先通道。根据断层张开程度以及填充物性质的不同, 破碎带可以表现出高导水、低导水或者隔水的特点。张开且填充物为砂砾的断层有较强的导水性, 可以迅速地将地下水传输出去; 断层被泥质物质充填时, 就形成了相对隔水的屏障^[2]。矿井涌水一般会沿着断层破碎带集中补给, 形成突水点, 是矿井充水防治的重点部位。

1.3 褶皱与裂隙发育规律

褶皱构造使岩层原来的产状、空间分布发生变化, 从而改变地下水的流向。背斜构造的核部岩层倾斜度小, 有

利于地下水侧向渗流进补;向斜构造的核部地势低洼,地下水容易集中补给,向斜轴部往往是地下水汇聚的“漏斗”区。与褶皱伴生的张性裂隙网络发育程度高,裂隙增大了岩石的孔隙度和导水性^[3]。裂隙的几何特征(产状、间距、延伸长度)直接影响地下水的渗流条件,密集发育的主控裂隙可以形成优先流通道,使充水水源补给集中。

2 矿井充水水源与补给条件

2.1 大气降水入渗补给机制

大气降水是矿井充水的主要水源,降水入渗补给受地表覆盖条件、岩性、地质构造等影响。地质构造破碎、裂隙发育区段降水入渗速率高,补给强度大。地表断层陡坎、裂隙露头、破碎带出露区是降水入渗的集中补给区。这些地区水文地质条件特殊,地下水补给系数大,补给速率可以是完整岩体补给速率的几倍甚至十几倍。在褶皱背斜的翼部、断层上盘,降水容易顺着构造裂隙迅速入渗,形成强补给场^[4]。

2.2 地下水侧向径流补给途径

除了竖向补给之外,地下水还会以侧向径流的形式补给矿井。地质构造控制地下水的流向、流速。断层破碎带是优先径流通道,地下水绕过低导水性岩层,直接补给矿井。向斜构造的轴部是地下水汇集流向低处的自然通道,如果向斜轴线穿过矿区,则该区域地下水侧向补给强度大。临近大型含水层的矿区,在采煤形成开采空间之后,含水层中地下水在水位梯度的作用下,沿着构造裂隙、断层破碎带向矿井侧向补给^[5]。

2.3 承压含水层的活动边界

承压含水层被隔水层所覆盖,水压一般大于大气压,地质构造的存在使承压含水层的活动边界变的复杂。断层破碎带会穿过隔水层,成为承压水向上补给的通道;褶皱的翼部岩层产状陡峭,隔水层和承压含水层接触不完全,容易形成越流补给的窗口。当开采深度接近或者进入承压含水层时,由于这些构造通道的承压水大量涌入矿井,造成突然的充水事故。矿区地质构造越复杂,承压含水层的活动边界就越不明确,充水风险就越大。

2.4 煤炭开采对补给条件的影响

采煤活动改变原有的地质环境,从而影响地下水的补给条件。采空区的出现破坏了完整的隔水层,地下水的渗透条件变好。特别是对于地质构造复杂的地区,在采空区与地表构造裂隙、断层破碎带存在密切联系的情况下,就会产生贯通的导水通道,使上部含水层对矿井的补给能力得到极大的增强。开采时对围岩的扰动造成裂隙进一步发

展,原来低导水性的岩层裂隙率增大。

3 煤矿地质构造对矿井充水的控制机制与防治措施

3.1 地质构造对水文地质分区的划分

建立科学的水文地质分区是防治矿井充水的前提,按照地质构造不同类型的发育程度,可以将矿区分为高充水风险区、中充水风险区、低充水风险区。断层破碎带密集、裂隙发育程度高的地方属于高风险区,其充水强度一般大于矿井排水能力,必须采取主动防治措施。向斜轴部、背斜翼部等构造位置虽然补给强度大,但是通过合理的防治设计可以控制充水。完整岩体区域风险最小,但也不能忽视局部微小裂隙的隐患。水文地质分区划分要综合考虑构造类型、构造密度、岩性组合、补给来源等要素,创建定量评价模型,给开采设计赋予分区引领作用。

水文地质分区具体实施过程要依靠多学科紧密配合,地质调查人员要正确判定各种构造的空间分布特点,绘制构造平面图和剖面图,判定构造的密度级及破坏状况。水文地质工作者用抽水试验、示踪试验等方法测定岩层的导水系数和储水系数,给分区提供定量依据。水文地质分区还要考虑季节变化的因素,地下水水位在丰水期和枯水期存在较大的差别,补给能力也随着季节的变化而变化,需要对不同水文年份的数据进行综合分析。分区时应使用遥感反演、地球物理反演等现代技术手段,得到构造信息的三维分布情况,再与钻孔资料相结合进行验证和修正。对矿区内相邻不同风险分区的分界线确定要以地质证据充分、工程意义明确为原则,不能造成分界线的模糊和不确定性。科学合理的水文地质分区为以后的采矿方案设计、防治措施的制定打下了坚实的基础,也给矿井的长期安全运营提供重要的保证。

3.2 构造破碎带的导水特征分析

正确了解断层破碎带的导水特性是制订防治措施的前提,通过地质调查、地球物理勘探、水文地质测试等方式可以获得破碎带的几何形态、岩石类型、裂隙密度、填充物性质等资料。在此基础上建立导水率评价模型,定量地分析各种断层对水流传导的影响。对高导水的断层要重视它的和含水层、采空区的联系;对相对隔水的断层则起着减少天然补给的作用。理论分析同实际测量结合,可以确定断层破碎带的关键导水位置,找出主要补给通道的走向及补给流量。这些信息给采矿方法的选择、防水煤柱的确定、排水系统的布置提供依据。

断层破碎带的导水性受诸多因素的影响,断层倾角决

定破碎带三维空间形态,陡倾断层破碎带呈狭长带状分布,导水通道比较集中;缓倾断层破碎带呈宽厚板状,导水能力分散。断层的张性程度决定裂隙的开度,张开的裂隙给水流流动提供低阻抗通道,导水能力明显增大。断层填充物的岩性对导水特性有较大影响,以碎砾石、砂土为主的填充物导水能力强,泥质或者黏土填充物会形成局部隔水体。在立体地质勘探时,要重点对主要控制断层的破碎带宽度、破碎程度及填充物性质加以考察,并利用多孔抽水试验法来测定断层两侧岩层的导水系数变化情况。对大型主控断层可以采用分段勘探的方法,得到沿着断层延伸方向导水特征变化的规律。同时还要注意和主控断层伴生的次级裂隙系统,这些裂隙虽然单条的导水能力较小,但是联合发育后会形成复杂的裂隙网,整体导水能力不可小视。建立准确的导水特征参数库,对之后的数值模拟以及防治方案的改进来说十分重要。

3.3 充水演化过程的预测评估

地质构造控制下的充水过程有时间上和空间上的变化,采煤初期,地表直接补给和侧向补给是主要的充水源,补给强度同降雨有关。随着采煤深度增大,承压含水层所起的作用也越来越大,因此突水的风险也会增大。利用建立的充水水文地质数学模型,模拟出不同的采矿阶段地下水流场的变化,预测采空区同各种含水层之间的联系程度。尤其对于地质构造复杂的矿区,要对充水灾害链展开评价,剖析各个风险源间的耦合状况。根据地下水位监测数据反演涌水补给过程中构造控制的影响,从而提高预测模型的精度。

充水演化过程的预测要形成多层、多角的评价体系。采煤初期,主要依靠大气补给来影响矿井充水,此时矿井涌水量和季节降雨规律一致,冬季涌水量小,雨季涌水量大。随着采煤推进,采空区越来越大,地下水通过采空区直接补给矿井,涌水量增大。当采煤切割到隔水层时,承压含水层的压力水开始补给,充水强度会突然增大,这时的突水风险最高。建立数值模型时要充分考虑地质构造对水流场的扰动作用,把断层、褶皱等构造要素当作模型的重要参数输入。模型验证阶段用矿井实际地下水位变化数据、涌水量数据和水化学资料反演,逐步修正模型参数,提高模型拟合精度。对于采矿过程中出现的突发涌水事件,需要进行事后分析,找出造成突水的具体构造原因,并将这些认识反馈到模型中,不断改进预测评价体系。建立充水演化过程的三维可视化模型,可以直观地显示出地下水流向、流量的时空变化规律,有利于采矿人员对充水过程

本质的理解,给采矿决策提供有力的科学支持。

3.4 防治充水的关键技术与对策

防治矿井充水的技术措施要根据地质构造特点而定,对于断层破碎带采用预防性的探放水、疏放截流等方式,使进入危险区之前就能消除地下水的压力。建立防水煤柱时,要根据断层导水能力、补给强度来确定煤柱宽度,保证煤柱宽度足够大,能阻隔地下水补给。对承压含水层补给风险区采取注浆加固、帷幕注浆等方式来减小含水层的补给能力。对采空区的充水过程实行实时监测,及时改变排水方案。以地质构造特征为基础建立充水预警体系,制定分级应对预案,保证矿井在出现突发充水时可以及时做出反应。同时加强对矿区水文地质动态的评价工作,及时更新水文地质档案,给长周期安全开采提供可靠依据。

防治充水的综合技术方案要将工程措施、监测预警、应急处置有机地结合。工程防治上探放水技术是进入高风险充水区之前重要的预防措施,在工作面前方钻探放水孔,提前发现地下水并进行疏放,消除突水隐患。防水煤柱设计要依据详细的地质构造评价成果,高风险区的防水煤柱宽度宜保守些,中等风险区的煤柱宽度可减小一些。注浆技术用以封堵构造裂隙、加固岩层,提高岩层自身的防渗能力,在承压含水层上方做防渗注浆,能有效地阻断上覆水层的补给。监测预警要创建多参数水文地质监测网,包含地下水水位,矿井涌水量,水质成分等,依靠持续的数据搜集与剖析,尽早察觉水文地质状况出现的异常变动,预示着突水危险的增大。利用现代传感器、信息技术,使矿井防水监测达到自动化、智能化的目的,减少人工判断的主观性。根据矿区地质构造特点及历史充水事件,制定出详细的分级应对预案,明确各个预警状态下具体的应对措施,定期开展应急演练,保证在出现突发充水事件时可以迅速、有序地进行处置,最大程度地减少人员伤亡和财产损失。

4 结语

地质构造对矿井充水有根本性的控制作用,主要是通过控制地下水的补给、径流、排泄条件来影响矿井充水。对地质构造和矿井充水关系展开系统研究,创建起科学合理的水文地质分区及评价预测体系,这是达成矿井安全高效开采的关键条件。在实际工作过程中,应当把地质构造分析融入到矿区勘探、开采设计以及生产管理的各个环节当中去,并且要针对不同的地质情况制订相应的防治手段,从而有效地控制住充水危险。随着煤矿开采深度的增大,地质构造对于充水的影响也越来越大,因此需要进一步加

强对充水规律的研究，并且积极地进行技术革新，使矿井的充水防治工作由粗放型向精细化转变。

参考文献：

[1] 武志高，马文豪，周安朝等. 地质构造对含水系统的控制作用及突水水源识别研究——以贾郭煤矿突水事件为例[J]. 太原理工大学学报，2024,55(6):948-957.

[2] 李文文. 麦地掌煤矿水文地质特征及充水因素分析[J]. 煤炭与化工，2024,47(12):48-53.

[3] 关金锋，周侃，司中应等. 地质因素对松河煤矿瓦

斯赋存的控制作用[J]. 中国矿业，2024,33(1):179-185.

[4] 杨艳丹，张元刚，刘海滨. 煤矿水文地质补充勘探工作评价[J]. 华北自然资源，2024(4):12-16.

[5] 杨寿成，张建兵，王琛. 水文地质勘察在煤矿地质勘查中的重要性[J]. 内蒙古煤炭经济，2024(5):178-180.

作者简介：胡朝阳（1998.11-），男，汉族，陕西省西安市，本科，助理工程师，研究方向：煤层赋存情况及防治水。