

大同煤田火成岩侵入特征及其对煤质与开采安全的影响机制研究

于航天

山西省煤炭地质一一五勘查院有限公司 山西 大同 037003

摘要:大同煤田火成岩侵入显著影响煤质与开采安全。本文剖析其地质背景,阐述火成岩侵入形态、接触变质作用及与煤层相互作用过程。研究表明,火成岩侵入使煤质参数动态演化、空间分异,破坏煤层结构稳定性,增加瓦斯灾害风险,给开采工程带来挑战。基于此,提出地质工程一体化防控策略,涵盖精准地质勘探、动态风险评估及安全开采技术体系,为大同煤田安全高效开采提供理论支撑与实践指导。

关键词:大同煤田;火成岩侵入;接触变质煤;煤质演化;开采安全

引言:大同煤田作为我国北方重要聚煤盆地,煤炭资源丰富。然而,燕山期火成岩侵入活动频繁,火成岩侵入体广泛分布,对煤田煤层及开采环境造成深刻影响。火成岩侵入不仅改变煤层物理化学性质,影响煤质,还破坏煤层结构,增加开采安全风险。深入探究大同煤田火成岩侵入特征及其对煤质与开采安全的影响机制,对于制定科学合理的开采方案、保障煤炭资源安全高效开发具有重要意义。

1 研究区域地质背景

1.1 大同煤田地质构造特征

大同煤田地处山西省北部,属华北板块燕山构造带西缘,是我国北方重要的聚煤盆地之一。煤田整体呈北东—南西向展布,长约85km,宽约30km,总面积达2500余km²。区域构造以断裂和褶皱为主,主体构造为大同向斜,核部地层为侏罗系,翼部依次出露二叠系、石炭系地层。煤田内断裂构造发育,主要为北东向正断层,伴生少量北西向平移断层,断层不仅控制了煤田边界,还对煤层连续性和厚度产生显著影响^[1]。受燕山期构造运动影响,煤田经历多期构造叠加改造,形成了复杂的构造格局,为火成岩侵入提供了通道条件,同时也奠定了煤层赋存的基本地质环境。

1.2 火成岩侵入体分布特征

大同煤田火成岩侵入体主要形成于燕山期,岩性以中性岩和酸性岩为主,常见辉绿岩、闪长岩、花岗岩等,其中辉绿岩侵入体分布最广、影响最甚。侵入体在空间上呈北东向带状分布,与区域构造线方向基本一致,集中发育于煤田中部和北部区域,南部相对较少。侵入体形态多样,以岩床、岩墙为主,局部可见岩株、岩枝等。岩床多平行于煤层产出,厚度从数米至数十米

不等,沿煤层走向延伸可达数千米,对煤层的破坏具有连续性;岩墙则垂直或斜交煤层发育,宽度一般1-5m,延伸长度不一,呈脉状穿插于煤层及围岩中。侵入体分布密度存在明显差异,构造断裂发育区域侵入体更为密集,且侵入深度多集中于地下200-800m的煤层赋存区间,对浅部和中部煤层开采影响突出。

2 火成岩侵入特征解析

2.1 侵入形态学特征

大同煤田火成岩侵入体形态受构造条件、围岩性质及岩浆动力学特征共同控制,呈现出典型的分带性和多样性。岩床作为最主要的侵入形态,多顺层侵入侏罗系煤层及顶底板砂泥岩中,与围岩产状基本一致,界面多呈舒缓波状,局部可见锯齿状接触,显示出岩浆侵入时对围岩的挤压和熔蚀作用。部分岩床在延伸过程中因煤层厚度变化或构造阻隔,发生分支、复合现象,形成不规则透镜状岩体。岩墙侵入体多沿断裂构造通道发育,截面呈近直立的长方形或不规则状,接触界面陡峭,两侧围岩可见明显的破碎带和劈理化现象。岩株及岩枝多分布于断裂交汇处,规模较小,形态不规则,呈放射状向周围煤层及围岩侵入,对局部煤层造成强烈破坏。侵入体边缘普遍存在冷凝边,宽度数厘米至数十厘米,岩性相对致密,而中心部位结晶程度较好,颗粒较粗,体现出岩浆冷却过程的差异性。

2.2 接触变质作用机制

火成岩侵入体与煤层及围岩接触带发生的接触变质作用,以热变质为主,伴随轻微的气液变质,其强度与侵入体规模、岩性、冷却速度及围岩岩性密切相关。岩浆侵入时释放大量热能,使接触带周围一定范围内的岩石和煤层温度升高,最高可达数百摄氏度,引发矿物成

分、结构构造的一系列变化^[2]。围岩方面,砂泥岩在热作用下发生重结晶,形成角岩化、斑点状变质等现象,黏土矿物转化为伊利石、高岭石等变质矿物;煤层则发生煤化作用增强,镜质组反射率升高,形成天然焦或半焦。岩浆活动释放的气液流体沿接触带渗透,与煤层及围岩发生物质交换,导致煤层中硫、磷等元素含量发生变化,部分区域形成黄铁矿等次生矿物。接触变质带宽度受侵入体规模控制,岩床类侵入体变质带较宽,一般5-20m,岩墙类较窄,多为1-5m,且从接触面向外变质程度逐渐减弱。

2.3 侵入体与煤层相互作用过程

火成岩与煤层的相互作用是一个动态演化过程,大致可分为侵入期、冷却期和后期改造三个阶段。侵入期,岩浆在构造应力作用下沿煤层及断裂通道运移,对煤层产生挤压、熔蚀和置换作用,部分煤层被岩浆吞噬,厚度大幅减薄甚至消失,剩余煤层因高温作用发生塑性变形,形成揉皱、破碎现象。冷却期,岩浆逐渐冷却凝固形成侵入体,同时持续向周围煤层释放热能,引发接触变质作用,煤层的物理化学性质发生根本性改变,如硬度增大、脆性增强,挥发分降低。后期改造阶段,受区域构造运动影响,侵入体与煤层共同发生变形,侵入体可能产生裂隙,为地下水和瓦斯的运移提供通道,而煤层则在构造和变质双重作用下,裂隙发育程度进一步加剧,稳定性显著下降,这一过程也为后续煤质和开采安全问题埋下隐患。

3 大同煤田火成岩侵入对煤质的影响机制

3.1 煤质参数动态演化

火成岩侵入通过热变质作用和物质交换,导致大同煤田煤层的各项煤质参数发生显著动态演化,且演化规律与侵入体距离呈正相关。在靠近侵入体的区域,煤层受高温影响强烈,镜质组反射率显著升高,挥发分含量大幅降低,从原来的25%-30%降至10%以下,粘结性和结焦性基本丧失,转变为天然焦。水分含量呈现先降后升的趋势,侵入初期高温使煤层水分快速蒸发,含量降低,后期地下水沿侵入体裂隙渗透补给,水分含量有所回升。灰分含量整体升高,一方面是岩浆侵入时带入的矿物杂质,另一方面是煤层中有机质变质分解后矿物相对富集。元素组成也发生变化,碳元素含量升高,氢、氧元素含量降低,硫元素含量因岩浆气液流体的带入而局部富集,导致煤的发热量先升高后降低,靠近侵入体处因灰分过高,发热量反而下降。

3.2 煤质空间分异规律

大同煤田火成岩侵入导致煤质呈现出明显的空间分

异特征,整体表现为以侵入体为中心,向周围呈环状梯度变化。在水平方向上,从侵入体接触带向外,煤质变质程度逐渐减弱,天然焦带、半焦带、正常煤带依次分布。天然焦带宽度一般1-5m,煤质坚硬、致密,无粘结性;半焦带宽度5-15m,挥发分和粘结性介于天然焦与正常煤之间,煤质不稳定;正常煤带超出变质影响范围,煤质保持原始特征。在垂直方向上,岩床类侵入体上下煤层的煤质变化存在差异,上煤层受变质影响程度略低于下煤层,这与岩浆冷却时热量向上扩散较快有关。另外,侵入体规模和形态也影响煤质分异,大型岩床控制的煤质分异带范围更广,岩墙周围则呈条带状分异,断裂交汇处因侵入体密集,煤质分异更为复杂,往往形成多区域、叠加式的煤质异常区。

4 大同煤田火成岩侵入对开采安全的影响机制

4.1 煤层结构稳定性风险

火成岩侵入显著破坏了大同煤田煤层的完整性和稳定性,给开采作业带来诸多安全风险。侵入体与煤层的接触带因热应力和构造应力叠加,形成宽度较大的破碎带,煤层及顶底板岩石裂隙极度发育,岩石强度大幅降低,抗压强度较正常区域下降30%-50%。开采过程中,破碎带易发生顶板冒落、片帮等事故,尤其是岩床侵入区域,煤层被分割为不连续块段,顶板由侵入体和破碎围岩共同构成,承载能力不均,极易出现局部垮塌^[3]。同时侵入体的存在改变了煤层的赋存形态,形成不规则的煤岩混合物,增加了开采过程中围岩支护的难度。岩墙侵入形成的脉状岩体,会对采掘设备造成磨损,且易引发巷道变形、支护失效等问题,严重时可能导致采掘工作面停工,威胁作业人员生命安全。

4.2 瓦斯灾害危险性评估

火成岩侵入对大同煤田瓦斯赋存和运移规律产生深刻影响,显著提升了瓦斯灾害的危险性。一方面,高温变质作用使煤层中有机质分解产生大量瓦斯,且变质程度越高,瓦斯生成量越大,靠近侵入体的天然焦和半焦带瓦斯含量显著高于正常煤层。另一方面,侵入体及其周围的裂隙系统为瓦斯运移提供了通道,若侵入体封闭性较好,瓦斯易在煤层中富集,形成高瓦斯区域;若裂隙与地表连通,瓦斯则可能提前逸散,降低局部瓦斯含量,但会增加开采过程中瓦斯突然涌出的风险。此外,侵入体破坏了煤层的完整性,开采时煤层卸压范围扩大,瓦斯解析和涌出速度加快,易引发瓦斯积聚、爆炸等灾害,给瓦斯抽采和治理工作带来极大挑战。

4.3 开采工程适应性挑战

火成岩侵入给大同煤田开采工程的适应性带来多方

面挑战,大幅增加了开采难度和成本。在采掘工艺方面,侵入体岩性坚硬,抗压强度高,采用常规采掘设备难以高效破碎,需配备特殊破岩设备,导致采掘效率下降,作业循环时间延长。在巷道布置方面,侵入体的不规则分布使巷道难以沿煤层走向或倾向布置,需频繁调整巷道方向,增加了巷道施工量和支护成本,且巷道稳定性差,需加强支护强度,进一步提升了工程投入。在通风和排水方面,侵入体裂隙发育导致矿井涌水量增加,排水系统负荷增大,同时裂隙也可能造成通风系统漏风,影响通风效果,增加瓦斯治理和通风管理的难度。

5 地质工程一体化防控策略

5.1 精准地质勘探技术

构建精准地质勘探技术体系是防控火成岩侵入影响的基础,需结合多种勘探手段,实现对侵入体及煤层的全方位精准探测。首先,采用高精度地震勘探技术,通过分析地震波反射特征,精准识别侵入体的分布范围、形态、厚度及与煤层的接触关系,分辨率可达1m以内。其次,结合钻孔勘探技术,在地震勘探异常区布置加密钻孔,采集岩芯样本,进行岩性分析、变质程度测试和瓦斯含量测定,验证地震勘探结果,补充细化地质参数。同时,运用测井技术,通过电阻率、声波时差等测井曲线,区分侵入体、变质煤和正常煤,确定变质带范围。另外,引入三维地质建模技术,整合各类勘探数据,构建可视化三维地质模型,动态更新勘探成果,为后续开采设计、风险评估和防控措施制定提供精准的地质依据。

5.2 动态风险评估模型

建立动态风险评估模型,实现对火成岩侵入影响的实时监测和风险预警,是保障开采安全的关键。模型以精准地质勘探数据为基础,结合开采进度和实时监测数据,选取煤层稳定性、瓦斯含量、涌水量等关键风险指标,采用层次分析法和模糊综合评价法,对各区域开采风险进行量化评估。通过布置实时监测系统,运用光纤传感、瓦斯传感器、围岩位移监测仪等设备,实时采集围岩变形、瓦斯浓度、涌水量等数据,传输至控制中心

进行动态分析。当监测数据超出预警阈值时,模型自动发出预警信号,并结合三维地质模型,分析风险成因和发展趋势,为现场应急处置提供决策支持。

5.3 安全开采技术体系

针对火成岩侵入带来的安全风险,构建针对性的安全开采技术体系,实现风险精准防控。在支护技术方面,针对接触带破碎围岩,采用锚网索+U型钢联合支护方案,增强围岩承载能力,必要时采用注浆加固技术,封堵裂隙,提升围岩稳定性^[4]。在瓦斯治理方面,对高瓦斯区域采用“先抽后采”模式,结合定向长钻孔抽采技术,提高瓦斯抽采效率,同时优化通风系统,采用分区通风和均压通风,防止瓦斯积聚。在采掘工艺方面,针对坚硬侵入体,采用爆破破碎+综采联合工艺,优化采掘参数,减少对围岩的扰动。建立应急预案和应急处置机制,配备应急救援设备和人员,定期开展应急演练,确保在突发冒顶、瓦斯涌出等事故时,能够快速有效处置,最大限度降低人员伤亡和财产损失。

结束语

大同煤田火成岩侵入特征复杂,对煤层与开采安全影响深远。通过对其侵入形态、变质作用及与煤层相互作用的研究,清晰揭示了影响机制。精准地质勘探、动态风险评估模型及安全开采技术体系构成的地质工程一体化防控策略,为应对火成岩侵入带来的挑战提供了有效途径。未来,需持续深入研究,不断优化防控技术,以适应煤田开采的新需求,推动煤炭行业安全、可持续发展。

参考文献

- [1]朱伟鹏,刘东娜,宋晓夏.大同煤田火成岩岩石学特征研究[J].中国煤炭地质,2020,32(6):22-26,35.
- [2]张强,李宇坤,宋晓夏,等.大同煤田东周窑井田接触变质煤的煤质特征研究[J].山西煤炭,2023,43(3):123-128.
- [3]郭曼,杜少鹏,左兆龙,等.槽波地震技术在大同煤田地质构造探测中的应用[J].陕西煤炭,2024,43(7):147-151.
- [4]孙佳琳.煤矿开采过程中地质构造对采掘方案的影响及对策[J].煤矿安全,2022,43(7):56-63.