 DOI: https://doi.org/10.12345/smg.v7i4.30388

Study on the characteristics of mine geological structure and its influence on gas occurrence

Jixiang Gao

Xuzhou Mining (Group) Xinjiang Tianshan Mining Co., Ltd., Aksu, Xinjiang, 842000, China

Abstract

There is a causal relationship between the geological structure characteristics of coal mines and the occurrence law of gas. Through the study of the tectonic stress field, it is found that the whole process of gas migration and accumulation can be regulated by modifying the physical structure and pore characteristics of the coal. In the stress concentration area at the fold turning end, a tectonic coal development zone is formed, which enhances the adsorption capacity. The fault closure plays a controlling role in the local gas enrichment intensity. The dynamic gas zoning technology is based on tectonic complexity, which can provide a geological basis for disaster early warning. This series of achievements has deepened people's understanding of the theory of structural gas control, and has the value of practical guidance in the prevention and control of dynamic disasters in deep coal mines.

Keywords

geological structure; gas occurrence; Structural gas control; disaster prevention and control

煤矿地质构造特征及其对瓦斯赋存的影响研究

高吉祥

徐州矿务（集团）新疆天山矿业有限责任公司，中国 · 新疆 阿克苏 842000

摘　要

煤矿地质构造特征与瓦斯赋存规律存在成因性关联。通过对构造应力场的研究发现，其借助改造煤体物理结构以及孔隙特征的方式，实现了对瓦斯运移-聚集全过程的调控。在褶皱转折端应力集中区，构造煤发育带得以形成，此发育带使得吸附能力得到增强；而断层封闭性对局部瓦斯富集强度起到了控制作用。瓦斯动态分区技术是以构造复杂度为基础的，它能够为灾害预警提供地质方面的依据。这一系列成果深化了人们对于构造控气理论的认知，在深部煤矿动力灾害防控方面具备实践指导的价值。

关键词

地质构造；瓦斯赋存；构造控气；灾害防治

1 引言

煤矿瓦斯灾害防控的核心在于揭示地质构造对瓦斯分布的控制机制。当前研究对构造精细分区与瓦斯动态耦合规律的认识仍存局限，制约灾害精准预警。地质构造通过应力场重分布改造煤体渗透特性，褶皱形态主导瓦斯垂向分带，断层封闭性控制富集强度，裂隙网络调节运移效率。采动扰动下构造活化更易触发瓦斯异常涌出。本研究聚焦构造特征量化表征与瓦斯响应规律，旨在建立构造 - 瓦斯耦合模型，为抽采工程设计及突出危险区划界提供理论支撑。

2 煤矿地质构造特征的理论基础

2.1 地质构造的定义与分类

地质构造作为地壳运动在岩层中遗留的永久形变痕迹，本质上是构造应力持续作用于煤系地层产生的结构响应。地质构造按形态特征可划分为褶皱与断裂两大基本类型，褶皱体现为原始水平岩层受侧向挤压形成的波状弯曲，其几何要素包括枢纽倾伏方向与轴面产状；断裂构造则涵盖断层与节理系统，前者表现为岩层沿破裂面发生明显位移，后者属于未产生位移的密集裂隙网络。断层依据两盘相对运动方式分为正断层、逆断层及平移断层，节理则按力学成因区分为张性节理与剪性节理。褶皱形态受构造应力场方向与岩层力学性质共同制约，高角度逆断层常发育于强烈挤压构造环境，而正断层多形成于伸展应力背景。煤系地层中各类构造的空间组合规律，构成后续瓦斯赋存规律研究的几何学基础[1]。

2.2 煤矿地质构造的形成机制

构造应力在漫长地质历史中持续挤压或拉伸煤系地层，这种持续作用力导致原始水平岩层发生塑性变形或脆性破裂。区域构造运动产生的挤压应力使岩层弯曲形成褶皱，当应力超过岩层强度极限时引发脆性破裂形成断层。构造应力

【作者简介】高吉祥（1975–），本科，工程师，从事煤矿地质、煤矿防治水研究。

场的方向与强度直接控制断层性质，强烈水平挤压环境易发育逆冲断层，地壳伸展背景则多形成正断层。煤系地层中软硬岩层互层结构导致差异变形，软弱煤层作为应力释放带往往发育密集节理，硬质砂岩层则成为断层扩展的天然屏障。构造应力传递过程中能量逐渐耗散，形成由主断层与次级裂隙构成的层级断裂系统。

2.3 地质构造对煤层的控制作用

褶皱变形使原始层状煤层发生波状起伏，枢纽部位煤层厚度显著增大而翼部相对变薄。断层切割破坏煤层连续性，断层面附近煤层发生拖曳褶皱或局部增厚现象。高角度逆断层导致上盘煤层重复出现，正断层则造成煤层缺失带。密集节理带将完整煤体切割成碎裂状结构，煤岩接触面附近发育揉皱煤分层。构造应力集中区煤层被揉皱成粉末状，原始条带状结构完全消失，而构造稳定区煤层仍保持完整层状特征。不同方向断裂交汇处煤层产状急剧变化，形成煤体结构异常复杂的三角区域。这些构造改造过程永久记录在煤层几何形态与物理状态中。

3 煤矿地质构造特征分析

断裂系统在煤系地层中呈现规律性空间展布，主干断层延伸数公里控制区域构造格局，伴生次级断层以羽状排列方式密集发育于主断层上盘。褶皱构造轴线与区域构造应力方向保持特定夹角，复式背斜核部发育轴面劈理带，向斜转折端存在煤层流变加厚现象。不同期次构造运动形成叠加改造痕迹，早期东西向褶皱被后期北东向断层错断，断层破碎带内可见方解石脉穿插早期构造煤。构造煤分带特征显著，断层影响带内鳞片状构造煤与碎裂煤呈环带状分布，褶皱枢纽区则发育糜棱煤与碎粒煤互层。节理网络密度随埋深增加呈现韵律性变化，硬质砂岩层中棋盘格式节理与煤层内杂乱裂隙形成鲜明对比。三维地震勘探揭示隐伏断层在垂向上具铲形几何特征，其断距向深部逐渐减小直至消失于软弱泥岩层 [2]。

4 地质构造对瓦斯赋存的影响机制

4.1 瓦斯赋存的基本规律

瓦斯在煤体内部的赋存状态受控于煤岩有机质分子筛效应，煤层埋深变化引起地应力与地温梯度协同作用改变瓦斯吸附平衡压力。煤体结构差异决定瓦斯存储能力，原生结构煤中微孔发育提供大量吸附位点，构造煤碎裂化增大游离瓦斯储集空间但削弱吸附能力。地质历史中煤层经历抬升剥蚀或沉降埋藏过程，瓦斯含量随埋深呈现非线性增长趋势直至临界深度。煤岩组分中镜质组富集程度直接影响甲烷吸附量，矿物充填作用则减少有效孔隙容积。地下水动力场驱动溶解瓦斯运移，静水压力封闭区形成瓦斯富集单元。煤层层理方向渗透率各向异性导致瓦斯顺层运移效率远高于垂直层理方向，构造应力残留影响煤基质收缩膨胀行为进而调节解吸速率。现今地应力场控制煤储层渗透率动态变化，最大主应力方向裂隙开启程度主导瓦斯渗流优势通道 [3]。

4.2 构造对瓦斯生成与运移的控制

构造变形直接干预煤化作用进程，强烈挤压环境加速芳环缩聚反应促进二次生烃，而伸展构造背景延缓煤级演化速率。断裂系统渗透性演化主导瓦斯运移动力学过程，压扭性断层带方解石脉充填形成局部封堵屏障，张性断裂开启度增大构成游离瓦斯高速逸散通道。褶皱转折端应力集中区煤体碎裂化产生微裂隙网络，显著提升瓦斯扩散效率却破坏吸附态甲烷稳定赋存。地下水沿断裂带循环时溶解携带瓦斯组分，在静水压力封存区发生压力释放诱导气泡析出。构造应力场方向控制裂隙优势方位，最大主应力垂直方向张裂隙持续扩展形成运移主干路径。煤岩接触面附近差异压实产生层间滑脱裂隙，成为瓦斯顺层运移的天然导流层。深部构造活动产生的热异常改变地温梯度，触发煤中有机质裂解生成热成因甲烷。现今构造应力波动引起裂隙开合效应，如同呼吸作用周期性调节瓦斯渗流通量。这种地质选择过程最终决定瓦斯在时间与空间维度上的动态平衡状态。

4.3 构造对瓦斯富集区的控制

封闭性构造单元通过三维空间约束形成瓦斯封存箱，挤压背斜核部高应力区使煤层渗透率急剧降低，游离瓦斯在构造应力驱动下向吸附态转化。逆断层上盘泥岩涂抹层覆盖煤壁，结合断层带碎裂物质重胶结作用构成垂向封堵屏障。向斜构造底部地下水滞流区形成水力封闭，溶解甲烷在压力降低时析出充填微孔隙。构造应力场分异控制裂隙开闭状态，最小主应力方向持续挤压维持微裂隙闭合环境，有效阻止瓦斯扩散逸散。煤体结构空间分带规律决定吸附能力差异，断层影响带内构造煤发育区形成局部吸附增强单元，原生结构煤则维持稳定解吸特性。不同期次构造叠加形成复合圈闭，早期褶皱翼部被后期逆断层切割时，断层下盘煤层处于应力阴影区成为瓦斯富集舱。现今地应力场调整导致裂隙系统动态演化，最大主应力方向转换诱发原有封闭区开启或新封存单元形成。深部岩浆侵入伴生的热变质作用改造煤分子结构，提升构造转折端微孔隙对甲烷的捕获效率。

5 煤矿瓦斯灾害防治的对策建议

5.1 基于构造特征的瓦斯预测技术

构造复杂指数定量表征褶皱曲率与断层密度空间耦合关系，结合三维地震资料构建构造控气地质模型识别高瓦斯风险单元。多源监测数据融合技术捕捉微震事件与瓦斯浓度异常的空间匹配规律，动态修正构造边界附近瓦斯富集概率模型。构造煤分带精细刻画技术依据煤体碎裂程度划分吸附潜能等级，配合地应力场反演预测构造软煤发育深度区间。隐伏构造识别算法通过重力场与电磁场数据异常匹配，揭示深部断层封闭性对瓦斯储集的控制强度。构造应力轨迹线模拟技术追踪最大主应力方向变化，预判裂隙优势方位引导的瓦斯运移聚集靶区。采动应力 - 构造耦合预警系统实时分析

巷道变形速率与瓦斯涌出波动关联性，建立断层活化临界位移判识指标。构造控气数据库整合历史突出案例的地质参数，训练神经网络智能识别相似构造背景的灾害潜势等级。三维地质力学模型动态更新技术依据钻孔窥视数据修正局部构造形态，提高瓦斯含量反演精度 [4]。

5.2 针对性瓦斯抽采措施

地质构造格局的空间配置特征引导定向长钻孔轨迹设计，褶皱转折端高瓦斯富集区实施放射状钻孔群穿透构造煤分带，断层封闭区采用大角度斜交钻孔穿越封堵屏障。煤体结构差异控制抽采工艺参数选择，原生结构煤发育带适用低压慢速抽采模式保护孔周渗透率，碎裂煤区则需高压脉动注水驱动解吸增强导流能力。地应力动态场调整要求抽采强度匹配应力方向转换，最大主应力方向裂隙开启期提高抽采负压捕获游离瓦斯，应力重置阶段则转为保压维持吸附平衡。多煤层系统存在构造分层封隔现象，错层位钻孔技术实现单一工程孔组控制复合构造单元内叠置瓦斯储层。深部逆冲断层下盘应力阴影区布置水平羽状分支钻孔，利用煤岩接触面滑脱裂隙作为天然导气通道。采动卸压带与构造应力集中区耦合作用产生动态瓦斯释放窗口，智能调控系统依据微震事件频次实时调整抽采流量。构造软煤发育区采用二氧化碳驱替技术置换吸附态甲烷，胶体泡沫封堵材料选择性充填高渗透逸散通道。残余构造应力监测数据反馈修正抽采钻孔服务周期，应力松弛区提前终止抽采而持续挤压区延长作业时限。三维地质模型动态更新技术指导钻孔参数迭代优化，依据抽采效果反演构造控气模型精度。

5.3 构造复杂区域的安全管理建议

构造活化监测网络实时捕捉断层滑移量与煤层应力突变信号，微震事件簇空间聚类分析预判潜在突出危险区边界。三维地应力矢量场动态重构技术识别构造煤发育区渗透率各向异性，指导通风系统差异化调节主巷道与分支巷道风压配比。复合构造单元分区防控体系依据褶皱 - 断层空间配置关系划分管理等级，逆断层上盘应力集中区实施全断面锚固强化支护，背斜枢纽区则采用可缩性支架适应持续流变变形。地下水化学传感器阵列监测断层带离子浓度异常波动，溶解瓦斯逸出临界值与围岩裂隙扩展建立联动预警阈值。采掘扰动应力传播模拟系统预演工作面过构造带时的应力重置路径，动态调整推进速度避开断层活化敏感时段。构造软煤区段掘进面布置负压风幕隔离装置，结合定向水力压裂弱化技术降低应力集中系数。多参量融合预警平台整合地音、瓦斯浓度、支护应力数据流，训练深度学习模型识别构造控制型突出现象的指纹特征。周期性地质雷达扫描追踪隐伏构造采动活化进程，断层影响带内设立移动式防突避难硐室链。区域构造格架控制下的瓦斯抽采与掘进时序优化，确保应力阴影区充分卸压后再进入高瓦斯构造单元。构造边界识别误差反馈机制持续修正防控措施作用范围，依据钻孔窥视数据更新局部构造模型精度 [5]。

6 结语

地质构造是控制瓦斯空间分异的根本地质要素。研究显示：褶皱枢纽区有着应力集中的情况，这种情况会诱导构造煤发育，使得瓦斯吸附潜能得到显著提升；断层所具备的封闭性能够创造出局部封存环境，进而形成高瓦斯富集单元；瓦斯优势运移路径是由裂隙网络方向来主导的。灾害防控体系可通过基于构造复杂度的动态分区技术实现优化，突出危险区预测精度能够借助断层边界识别得以提升。在未来，有必要深化关于构造 - 地应力 - 瓦斯多场耦合机制的研究，这对采动条件下构造控气效应智能预警方法进行发展。

参考文献

[1] 张志荣,张子敏,李普,等.绿水洞矿井地质构造特征与瓦斯赋存规律分析[J].煤炭科学技术, 2009(10):5.

[2] 郝天轩1,2,王稳飞1,李波2.地质构造对煤层瓦斯赋存规律的影响分析[J].中州煤炭, 2012(3):25-27.

[3] 吴基文.宿县矿区地质构造特征及其对瓦斯赋存的影响[J].煤炭工程, 2010, 1(10):3.

[4] 范景坤.淮北宿东矿区矿井瓦斯赋存地质特征及突出危险区域预测[C]//矿山地质灾害成灾机理与防治技术研究与应用.中国煤炭学会, 2009:9-11.

[5] 李文,赵坤,张冲.榆树田煤矿地质构造特征及其对煤层瓦斯赋存的影响[J].能源与环保, 2024, 46(7):111-115.