

煤田地质构造演化与聚煤作用的耦合关系研究

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: 文章聚焦煤田地质构造演化与聚煤作用的耦合关系。先阐述构造演化阶段划分、聚煤作用控制因素及耦合关系概念模型等基本理论。以大同煤田为研究区,分析其地质背景、构造变形特征及数据来源。解析构造演化与聚煤作用的耦合过程,包括阶段划分、关键构造事件控制及多尺度耦合机制。最后探讨耦合关系对煤炭资源预测、开发工程地质条件评价及生态保护与灾害防治的启示,为煤炭资源科学开发提供理论支撑。

关键词: 煤田地质; 构造演化; 聚煤作用; 耦合关系

引言: 煤炭作为重要能源,其形成与地质构造演化紧密相关。煤田地质构造演化历经漫长过程,不同阶段构造运动特征各异,对聚煤作用产生不同影响。聚煤作用受多种因素制约,其中构造因素起主导作用。研究构造演化与聚煤作用的耦合关系,有助于深入了解煤层形成、分布及保存规律,精准预测煤炭资源,优化开发方案,降低开发风险,实现资源开发与生态保护协同,对煤炭工业可持续发展意义重大。

1 地质构造演化与聚煤作用的基本理论

1.1 构造演化阶段划分理论

构造演化阶段划分是解析区域地质发展历程的核心手段,其核心逻辑是依据地壳运动强度、构造变形样式及沉积环境变迁,将漫长地质历史划分为具有鲜明特征的演化阶段。划分依据主要包括地层接触关系、构造运动期次、岩石组合特征及地球动力学背景等关键指标,常用方法有构造地层法、沉积充填分析法及地球化学示踪法。不同学者基于研究尺度差异,形成了全球尺度、区域尺度及盆地尺度的多级划分体系^[1]。该理论为精准追溯聚煤盆地的形成、发展与消亡过程提供了框架支撑,通过明确各阶段构造运动的核心特征,可定位聚煤作用的有利时间窗口,是构建构造与聚煤耦合关系的理论基础,对后续针对性研究具有重要指导意义。

1.2 聚煤作用的基本控制因素

聚煤作用是植物遗体在特定地质条件下堆积、转化并形成煤层的复杂过程,其受构造、古气候、古地理及古生态四大核心因素协同控制。构造因素主导聚煤盆地的形成与保存,通过控制盆地沉降速率与沉积空间,调节泥炭堆积与沉积物补偿的平衡关系。古气候直接影响植物的生长繁育与分解速率,温暖湿润的气候条件是陆生植物大量繁盛的前提,为聚煤作用提供物质基础。古地理因素决定聚煤环境的分布,三角洲平原、滨湖平原

及沼泽洼地等环境是泥炭堆积的有利场所。古生态因素则通过植物群落结构影响泥炭的质量与厚度。四大因素相互关联、动态作用,其中构造因素起主导调控作用,其他因素通过构造背景实现对聚煤作用的间接影响,共同决定煤层的分布范围、厚度及稳定性。

1.3 耦合关系的概念模型

构造演化与聚煤作用的耦合关系概念模型,是基于多学科理论与研究成果,抽象概括两者动态作用规律的理论框架,核心是揭示构造运动对聚煤作用的调控机制及聚煤响应对构造演化的反馈作用。模型构建需整合构造动力学、沉积学、煤田地质学等多领域数据,明确耦合作用的关键参数的关联。从作用方式看,耦合关系分为正向耦合与反向耦合,正向耦合体现为构造运动为聚煤作用提供有利条件,反向耦合则表现为强烈构造活动破坏煤层保存。从时空尺度看,存在区域-盆地-煤层的多尺度耦合特征,不同尺度的构造运动对应不同强度的聚煤响应。该模型并非静态描述,而是动态反映两者随地质时间演化的关联变化,为量化分析耦合过程、预测聚煤有利区提供理论载体,是连接基础理论与实际应用的重要桥梁。

2 研究区地质背景与数据基础

2.1 区域地质概况

大同煤田位于山西省北部,地处华北板块西北缘,是我国重要的优质动力煤生产基地,总面积约1827km²。区域构造位置处于阴山构造带与吕梁构造带的交汇部位,总体呈北东-南西向展布,受多期构造运动影响,地质构造格局复杂。煤田基底为太古宇桑干群变质岩系,盖层依次发育元古宇、古生界、中生界及新生界地层,其中上古生界石炭-二叠系及中生界侏罗系是主要含煤地层。区域构造运动以燕山期、喜马拉雅期最为强烈,形成了一系列褶皱、断裂构造,奠定了煤田的基本构造形

态。区内岩浆活动较弱,主要表现为燕山期小规模岩脉侵入,对局部煤层变质程度有一定影响。独特的区域地质背景,使大同煤田成为研究构造演化与聚煤作用耦合关系的典型区域。

2.2 构造变形特征分析

大同煤田构造变形受多期次、多方向构造运动叠加影响,形成了以褶皱构造为主体、断裂构造广泛发育的变形特征。褶皱构造以宽缓复式向斜、背斜为主,轴向多呈北东-南西向,核部及翼部地层变形程度存在差异,翼部次级褶皱发育,局部伴随地层倒转现象^[2]。断裂构造分为正断层、逆断层及平移断层,其中北东向断层最为发育,控制煤田的边界及内部构造分区,北西向断层规模较小,多切割北东向断层,形成复杂断裂网络。构造变形强度具有明显分区性,煤田中部变形相对缓和,边缘部位受边界断层影响,变形强烈,煤层连续性遭到破坏。构造变形对煤层的影响主要体现为改变煤层产状、厚度及分布范围,断层附近常出现煤层变薄、缺失或重复现象,直接影响煤炭资源开发。

2.3 数据来源与处理方法

本研究数据来源涵盖野外地质调查、钻孔勘探、地球物理勘探及室内测试分析四大类,确保数据的全面性与可靠性。野外地质调查数据包括地层剖面实测、构造点定位及露头样品采集,精准记录地层接触关系、构造变形特征及煤层露头信息。钻孔勘探数据来源于研究区现有数百个勘探钻孔,涵盖煤层厚度、埋深、岩性组合及测井曲线等核心参数。地球物理勘探数据包括地震勘探剖面、重力及磁力勘探结果,用于揭示深部构造形态及含煤地层分布。室内处理方法采用综合分析手段,对钻孔数据进行标准化整理与插值分析,构建三维地质模型;对地震数据进行反演处理,识别断裂及褶皱构造;结合岩石薄片鉴定、地球化学测试结果,辅助构造演化阶段划分,为后续耦合过程解析提供数据支撑。

3 构造演化与聚煤作用的耦合过程解析

3.1 构造演化阶段划分与聚煤响应

结合大同煤田区域地质背景及构造运动特征,将研究区构造演化划分为基底形成期、盆地发育期及构造改造期三大阶段,各阶段均呈现出鲜明的聚煤响应特征。基底形成期为太古宇-元古宇,地壳强烈褶皱变质,形成煤田基底,无聚煤作用发生。盆地发育期包括石炭-二叠纪及侏罗纪,此时地壳以间歇性沉降为主,沉降速率与泥炭堆积速率趋于平衡,形成了两套主要含煤地层,其中侏罗纪沉降幅度适中,聚煤作用最强,煤层厚度大、分布广。构造改造期为燕山期-喜马拉雅期,地壳强烈抬

升、褶皱断裂发育,原有聚煤盆地遭到破坏,煤层发生变形、移位,部分区域煤层因抬升剥蚀而缺失,聚煤作用终止。各阶段构造演化的差异,直接导致聚煤强度、煤层分布及保存条件的显著不同^[3]。

3.2 关键构造事件对聚煤作用的控制

大同煤田构造演化过程中,燕山期早期及印支期构造事件是控制聚煤作用的关键节点,对聚煤环境、煤层发育及保存条件产生决定性影响。印支期构造运动以地壳缓慢沉降为主,使研究区进入稳定的聚煤盆地发育阶段,为石炭-二叠系煤层的形成提供有利构造背景,奠定区域含煤地层的分布基础。燕山期早期构造运动强度适中,以断陷盆地发育为特征,形成一系列独立的侏罗纪聚煤小盆地,盆地内泥炭持续堆积,形成了厚度大、质量优的主采煤层。燕山期晚期构造运动表现为强烈抬升与褶皱断裂,是破坏煤层保存的关键事件,导致部分区域煤层深埋、变形,边缘区域煤层剥蚀殆尽。关键构造事件通过改变构造环境,实现对聚煤作用的阶段性控制,主导煤层的形成与保存格局。

3.3 多尺度耦合机制分析

构造演化与聚煤作用的耦合机制具有多尺度特征,不同尺度构造运动与聚煤响应的作用规律存在差异,且相互关联、协同作用。区域尺度上,华北板块西北缘的构造动力学背景控制大同煤田的形成与整体展布,板块间的碰撞挤压决定煤田的构造格局与聚煤期次,为聚煤作用提供宏观构造条件。盆地尺度上,煤田内部的褶皱、断裂构造控制聚煤盆地的沉降中心与沉积范围,沉降中心往往是聚煤作用的有利区域,煤层厚度较大且连续性好。煤层尺度上,微观构造如节理、劈理影响煤层的物理性质与赋存状态,同时泥炭堆积过程中的微构造变化也会反馈到煤层厚度的空间差异。多尺度耦合机制体现为宏观构造调控、中观构造制约、微观构造影响的层级关系,共同构成构造与聚煤作用的完整耦合体系。

4 耦合关系对煤炭资源预测与开发的启示

4.1 资源预测方法优化

构造演化与聚煤作用之间紧密的耦合关系,为煤炭资源预测方法的优化提供了核心思路,彻底打破了传统依赖单一地质指标进行预测的局限模式,成功构建起多参数协同预测体系。基于这一耦合关系,能够追溯构造演化的不同阶段,精准定位聚煤作用的有利时间窗口。不同构造阶段,其应力场、沉积环境等条件各异,只有在特定阶段才利于聚煤作用发生。同时,结合构造变形特征,如褶皱、断层等,可有效圈定煤层保存的有利区域,避免因构造破坏导致煤层缺失。另外,通过深入分

析耦合强度在空间上的差异,能够科学预测煤层厚度与质量的分布规律,为后续开发提供关键信息。优化后的预测方法充分整合了构造动力学、沉积学及煤田地质学等多学科技术,采用三维地质建模与数值模拟相结合的先进手段,实现了从定性预测向定量预测的重大转变。以大同煤田为例,利用这一耦合关系,可精准识别受构造控制的隐伏煤层分布区,大大减少勘探的盲目性,显著提高资源预测的准确率与效率,为煤炭资源的勘探规划提供了坚实、科学的依据。

4.2 开发工程地质条件评价

耦合关系为煤炭开发工程地质条件评价提供了重要支撑,通过解析构造演化与聚煤作用的相互影响,可系统评估构造变形对开发工程的不利影响。基于耦合过程,明确断裂、褶皱等构造的分布位置、规模及性质,判断其对矿井开拓、采掘工作面布置的影响;分析构造改造期对煤层赋存状态的改变,评估煤层顶底板稳定性、瓦斯富集规律及水害风险等关键工程地质问题。针对大同煤田构造变形分区特征,结合耦合强度差异,对不同区域制定差异化的工程地质评价标准:变形缓和区重点评价煤层连续性,变形强烈区重点评估断层导水性及煤层变形对采掘的影响。通过耦合关系指导工程地质条件评价,可有效降低开发风险,优化开采方案,提高煤炭开发的安全性与经济性。

4.3 生态保护与灾害防治

构造演化与聚煤作用之间紧密的耦合关系,为煤炭开发过程中的生态保护与灾害防治提供了坚实的理论指导,有力推动着资源开发与生态保护的协同共进。从灾害防治层面来看,基于这一耦合关系,我们能够精准定位那些受构造控制的地质灾害高发区域。例如,在断层密集区,由于构造活动频繁,煤层及顶底板岩层完整性遭到破坏,极易引发顶板垮塌、水害等严重灾害。通

过深入分析构造与煤层的耦合特征,可以清晰了解断层的走向、规模及力学性质,进而制定出极具针对性的防治措施。像断层加固,通过注浆等方式增强断层带的强度;疏水降压,降低煤层中的水压,减少水害发生的可能性。从生态保护角度出发,结合构造演化对区域水文地质条件的深远影响,能够科学评估煤炭开采对地下水系统的破坏范围,精准预测地表沉陷的空间分布^[4]。基于耦合关系,可以优化开采方式,如采用充填开采、保水开采等技术,最大程度减少对生态环境的扰动。针对大同煤田,充分利用耦合规律合理规划开采边界,主动避开生态敏感区与构造灾害高发区,构建起“预测-防治-修复”一体化体系,实现煤炭资源的绿色、可持续开发。

结束语

煤田地质构造演化与聚煤作用的耦合关系研究,从理论到实践均具有重要意义。通过构建概念模型、分析研究区实例,揭示了两者在多尺度上的动态作用规律。这不仅为煤炭资源预测提供新方法,提高预测准确率与效率,还为开发工程地质条件评价及生态保护与灾害防治提供理论依据。未来,应进一步深化研究,结合新技术,完善耦合关系理论体系,推动煤炭资源科学开发与可持续利用。

参考文献

- [1]程昊. 花山煤矿瓦斯赋存规律及治理措施研究[J]. 能源与环保, 2023, 45(3): 140-143.
- [2]杨兆彪,李存磊,郭巧珍,等. 新疆准噶尔盆地白家海凸起深部煤层气不同赋存态分配规律[J]. 中国矿业大学学报, 2025, 54(1): 127-137.
- [3]赵强. 煤田地质勘查中问题及改进方法探讨[J]. 内蒙古煤炭经济, 2024, (12): 181-183.
- [4]孙新革,杨凤祥,李海波,等. 基于岩心分析的稠油火驱过程中组分转化路径[J]. 特种油气藏, 2024, 31(03): 85-90.