

# 煤田沉积环境演化与优质煤层形成机制研究

李田田

山西省煤炭地质一一五勘查院有限公司 山西 大同 037003

**摘要:** 煤炭是我国重要基础能源, 优质煤层勘探开发对保障能源安全至关重要。本文聚焦煤田沉积环境演化与优质煤层形成机制, 梳理沉积环境等因素对聚煤作用的控制原理, 分析含煤岩系沉积相类型等特征, 探究层序地层格架中聚煤规律与富煤带迁移特征, 剖析优质煤层形成机制。研究明确了优质煤层形成的有利条件与分布规律, 完善了相关理论, 为煤炭资源勘探开发提供依据与指导。

**关键词:** 煤田地质; 沉积环境; 聚煤规律; 优质煤层

引言: 煤炭在我国能源结构中长期居基础地位, 优质煤层因煤质优、开采价值高而重要。随着勘探深入, 优质煤层资源紧缺, 明确其形成机制与分布规律、提升勘探效率迫在眉睫。当前, 国内外研究有进展, 但沉积环境演化与优质煤层形成耦合关系等研究仍需深化。本文围绕相关内容展开系统研究, 以为煤炭勘探实践提供理论支撑。

## 1 煤田沉积环境与聚煤作用基本理论

### 1.1 沉积环境对聚煤作用的控制

沉积环境是聚煤作用的首要控制因素, 决定泥炭沼泽发育、分布与演化。不同沉积环境的水动力、地貌及地球化学特征, 影响成煤植物生长与有机质堆积保存。河流环境里, 泥炭沼泽多在废弃河道等处发育, 受河道迁移影响, 煤层厚度变化大、横向连续性差。三角洲平原利于聚煤, 分流间湾等低洼处水体停滞、营养足, 煤层厚且广, 常伴海相或半咸水化石。障壁海岸的潮坪和潟湖边缘泥炭沼泽, 受海水浸漫, 煤层疏高。湖泊滨湖沼泽和湖湾地带, 地下水补给稳, 煤层厚但范围局限。物源供给也影响聚煤, 过多陆源碎屑稀释有机质致高灰煤层, 不足则形成低灰优质煤层。

### 1.2 层序地层与可容纳空间变化

层序地层学为理解聚煤作用提供等时地层格架与动态视角。可容纳空间受海平面升降、构造沉降和沉积物供给共同控制, 其变化速率与泥炭堆积速率需动态平衡以形成厚煤层。海侵体系域早期利于泥炭沼泽初始发育, 晚期常使煤层分叉尖灭; 高位体系域早期是厚煤层发育有利期; 低位体系域聚煤作用局限在河谷下切区。层序界面附近出现根土岩或古土壤层, 代表聚煤间断与暴露事件。可容纳空间变化直接影响泥炭沼泽的发育与煤层的保存, 是理解聚煤作用时空分布的重要依据<sup>[1]</sup>。

## 2 含煤岩系沉积环境特征与演化

### 2.1 沉积相类型及其识别标志

含煤岩系发育多种沉积相, 各有独特识别标志。河流相以砂、粉砂岩为主, 具板状、槽状交错层理, 底部有冲刷面和砾石滞留沉积, 植物化石多为树干碎片, 垂向呈正粒序。三角洲相分平原、前缘、前三三角洲亚相, 平原分流河道砂岩与间湾泥岩、煤互层, 前缘有河口坝、远砂坝, 前三三角洲以暗色泥岩为主, 含海相化石。湖泊相滨湖砂泥互层, 见浪成波痕和泥裂; 浅湖以粉砂质泥岩为主, 水平层理发育, 含淡水生物; 深湖为暗色页岩、油页岩, 水平层理极细。障壁海岸相潮坪有砂泥薄互层和潮汐层理, 潟湖以暗色泥岩为主, 含半咸水化石。测井曲线中, 河道砂体呈钟形或箱形自然电位负异常, 沼泽相煤层呈高电阻、高时差、低密度响应, 正确识别沉积相是重建古环境、分析聚煤规律的基础。

### 2.2 沉积体系的空间配置

沉积体系是一定构造背景下相关沉积过程形成的沉积体集合, 含煤岩系常见河流、三角洲、湖泊、障壁海岸四大沉积体系, 空间上呈规律性配置, 反映古地理格局演变。陆相含煤盆地中, 从盆缘到盆地依次发育冲积扇、河流、三角洲、湖泊体系, 煤层主要分布于三角洲平原和滨湖地带。海陆过渡相盆地中, 自陆向海依次出现河流、三角洲、潮坪潟湖、浅海碳酸盐岩台地体系, 煤层集中于三角洲平原和潮坪潟湖。其空间配置受物源区位置、古地形坡度和海陆分布控制, 通过编制沉积相连井剖面 and 平面分布图, 可揭示体系过渡关系与组合规律<sup>[2]</sup>。优质煤层多分布于三角洲间湾、潮坪高潮坪沼泽等水体停滞、陆源碎屑少的部位, 利于泥炭持续堆积。

### 2.3 沉积环境的时空演化序列

含煤盆地沉积环境在构造沉降、气候波动和海平面变化驱动下持续演化。华北石炭二叠纪盆地为例, 晚石炭世本溪期海水自东北侵入, 形成潟湖、潮坪环境, 煤

层薄且不稳定；早二叠世太原期海侵扩大，三角洲、潮坪体系发育，形成数层可采煤层但硫含量高；晚二叠世山西期海水退出，转为三角洲平原、河流陆相环境，形成厚层、广布、低灰低硫主采煤层；石千峰期气候干旱，聚煤终止，体现海陆过渡相向陆相的转变。鄂尔多斯盆地侏罗纪含煤岩系则是早期河流、湖泊三角洲为主，中期湖泊扩张形成厚煤层，晚期河流回返聚煤减弱。重建沉积环境演化序列，可为认识聚煤规律、预测富煤带提供重要依据。

### 3 层序地层格架中的聚煤规律

#### 3.1 层序界面与体系域划分

层序地层学通过识别不整合面及其对应整合面，将沉积地层划分为成因相关的层序单元，层序界面是划分层序的关键。含煤岩系中，层序界面表现多样：古土壤层和根土岩代表沉积间断与暴露风化，是重要识别依据；河道下切冲刷面体现基准面下降的侵蚀作用；岩性岩相转换面（如海相灰岩直接覆盖煤层）反映水体骤深；测井曲线中自然电位和电阻率的突变也可指示层序界面。一个完整三级层序可划分为低位、海侵、高位三个体系域：低位体系域可容纳空间小、沉积物供给足，聚煤作用局限；海侵体系域可容纳空间快速增大，常出现煤层分叉尖灭；高位体系域早期是厚煤层最发育的时期。最大海泛面为二者分界，以富含海相化石的暗色泥岩或灰岩为标志，其附近煤层多分叉变薄。

#### 3.2 不同体系域中的聚煤特征

低位体系域形成于基准面下降后上升初期，可容纳空间增长慢、沉积物供给充足，河道砂体发育，聚煤作用主要发生在河道间泛滥平原和废弃河道，形成的煤层厚度小、横向连续性差，常被冲刷且灰分较高。海侵体系域可容纳空间快速增大、水体渐深，初始阶段沿岸及三角洲平原沼泽广布，形成分布广泛的煤层；随海侵持续，沼泽被破坏，煤层被海相岩层覆盖，硫含量较高<sup>[3]</sup>。高位体系域早期是聚煤最有利时期，可容纳空间增速与泥炭堆积速率达到平衡，形成厚度大、分布广的稳定煤层；晚期可容纳空间减小，河流回返，聚煤作用减弱。最大海泛面附近煤层虽分叉变薄，但常作为重要区域对比标志层。

#### 3.3 富煤带迁移规律

层序地层格架中，富煤带位置随体系域演化呈规律性迁移。海侵体系域时期，富煤带多分布于盆地边缘和古隆起周缘，地势较高可避免海水直接浸漫，维持泥炭沼泽发育；随海侵持续，富煤带向盆地方向退缩。高位体系域早期，富煤带向盆地内部推进，在三角洲平原、潮坪

等低地形成区域性厚煤层；晚期又向盆地边缘收缩。这种迁移受基准面变化和古地形双重控制，垂直层序上煤层厚度呈旋回性变化，平面上沿特定沉积相带呈带状或朵状分布。通过建立层序地层格架、分析迁移规律，可预测煤层厚度变化和优质煤层分布，为煤炭勘探提供指导。

## 4 优质煤层形成机制分析

### 4.1 优质煤层的定义与评价标准

优质煤层是相对概念，特指厚度稳定、煤质优良、赋存条件好的可采煤层。厚度上，其可采厚度稳定、变化系数小，无不可采区或冲刷缺失带；煤质上，灰分产率一般低于15%、硫分低于1%，挥发分和发热量符合工业需求，炼焦用煤需满足粘结性、结焦性指标，动力用煤关注灰熔点和结渣特性。赋存条件方面，顶底板需稳定，顶板致密完整、不易冒落，底板平整无底鼓，断层、褶皱、岩浆侵入等构造破坏会降低其可采价值。优质煤层的形成是多种有利地质因素耦合的结果，包括适宜的构造背景、稳定的沉积环境、有利的古气候、适宜的成煤植物群落、良好的水介质及后期保存条件，深入分析这些因素的作用机制，对揭示优质煤层富集规律、指导勘探实践具有重要意义。

### 4.2 古构造与古地形的控制作用

古构造格局是控制优质煤层形成的首要因素，通过影响盆地沉降速率和基底地形，制约可容纳空间变化与沉积体系配置。稳定持续的区域沉降利于泥炭沼泽长期发育，形成厚度大、分布广的煤层，沉降速率过快或过慢均不利于厚煤层形成。同沉积构造导致的基底差异升降，形成凸起与凹陷相间地貌，凸起区可容纳空间小，煤层薄但灰分低；凹陷区可容纳空间大，煤层厚但可能受陆源碎屑影响，优质煤层多发育于沉降速率适中、变化平缓的斜坡地带或次级凹陷中心。古地形通过坡度影响沼泽排水和氧化还原环境，平缓地形利于滞水沼泽发育；通过起伏控制泥炭沼泽分布，低洼地带是泥炭堆积的有利部位，夷平后的开阔低地是形成稳定厚煤层的理想场所。

### 4.3 古气候与古植物的协同演化

古气候是控制成煤植物繁盛程度和有机质堆积速率的关键，温暖湿润环境利于植物光合作用，生物生产力高，为泥炭堆积提供充足物质来源。季节性变化不明显的均匀气候，可减缓有机质分解、利于泥炭保存，而季节性干旱会导致沼泽水位波动，泥炭暴露氧化，不利于优质煤层形成，同时古气候还通过影响风化作用和陆源碎屑供给，间接控制煤中矿物质组成。古植物群落演化直接影响煤岩组成和煤质，晚古生代蕨类、种子蕨为主

的植物形成的煤富含镜质组，是优质炼焦煤主要来源；中生代裸子植物繁盛使煤中惰质组增高，新生代被子植物参与成煤则提升煤中壳质组和氢含量。古气候与古植物协同演化，决定泥炭沼泽类型和演化趋势，进而影响优质煤层形成<sup>[4]</sup>。

#### 4.4 水介质条件与地球化学环境

水介质条件是控制泥炭沼泽类型和有机质保存质量的重要因素，水深决定沼泽植物群落组成和有机质堆积方式，浅水环境利于挺水、沼生植物生长，形成低位泥炭沼泽，随泥炭堆积演化为高位沼泽，煤灰分更低。水体流动性影响营养供给和酸碱度，流动好的水体营养充足但可能带入更多矿物质，停滞水体矿物质少但营养有限。氧化还原条件决定有机质保存效果，还原性环境利于有机质留存，氧化环境会消耗有机质；中性偏酸性环境适宜泥炭堆积，过酸过碱均不利。古盐度决定煤中硫含量，淡水沼泽煤硫分低，半咸水、海水影响下硫分显著增高。优质煤层多形成于停滞弱还原、中性至微酸性、淡水或微咸水环境，既保证植物营养，又利于有机质保存。

#### 4.5 沉积环境与成煤模式

不同沉积环境形成的优质煤层特征不同，可归纳为多种典型成煤模式。三角洲平原成煤模式最为重要，分流间湾水体停滞、营养丰富，泥炭沼泽可长期发育，形成的煤层厚度大、分布广、煤质优，灰分和硫分低，以华北石炭二叠纪山西组主采煤层为代表。潮坪潟湖成煤模式中，高潮坪沼泽受周期性海水浸漫，煤层硫含量较高，但厚度稳定、横向连续性好，太原组煤层即属此类。滨湖沼泽成煤模式中，湖泊边缘沼泽受水位变化影响，煤层常与湖相泥岩互层，鄂尔多斯盆地侏罗纪延安组煤层具此特征。河流泛滥盆地成煤模式形成的煤层厚度变化大、稳定性差，难以形成优质厚煤层；断陷盆地成煤模式中，优质煤层分布于盆缘斜坡带特定部位。这些模式反映了沉积环境与聚煤作用的内在联系，为优质煤层预测提供理论依据。

#### 4.6 顶底板条件与后期保存

顶底板条件对煤层后期保存和开采至关重要，顶板岩性决定采后稳定性和管理方式，致密泥岩或粉砂质泥岩顶板封闭性好，利于煤层气保存但需加强支护，砂岩顶板稳定性好但封闭性差，节理裂隙会降低其稳定性、增加冒顶风险。底板岩性影响工作面布置和设备选型，泥岩底板遇水易膨胀底鼓，砂岩底板稳定性好但可能漏水，顶底板与煤层的接触关系也反映沉积环境变化。后期构造改造会破坏煤层，褶皱使煤层轴部加厚、翼部变薄甚至拉断，断层切割破坏煤层连续性，岩浆侵入不仅破坏煤层结构，还会导致煤质劣化。优质煤层既需要有利的形成条件，还需处于构造稳定区块，远离强烈构造变形带和岩浆活动区，综合形成与保存条件，才能准确评价煤层潜在价值。

#### 结束语

本文系统研究了煤田沉积环境演化与优质煤层形成机制，明确了沉积环境各要素、层序地层演化、古构造与古气候协同作用对聚煤过程的控制机理，揭示了不同沉积体系、体系域中聚煤特征及富煤带迁移规律，阐明了优质煤层形成的多因素耦合机制与后期保存条件。未来可扩大研究区域，结合先进技术深化沉积环境精细演化研究，优化优质煤层勘探方法，为我国煤炭资源绿色、高效开发提供更有力的支撑。

#### 参考文献

- [1]周汝贤,刘俊杰.黔西柏杨井田含煤岩系沉积环境与聚煤规律[J].山东煤炭科技,2025,43(7):119-123.
- [2]向涛.宁武煤田朔南矿区含煤岩系沉积环境及聚煤规律分析[J].内蒙古煤炭经济,2025(2):184-186.
- [3]黄兴龙,梁圣建,王平丽,等.东胜煤田西北缘延安组沉积特征及成煤沉积环境[J].中国煤炭地质,2023,35(10):8-13,22.
- [4]樊君平,梁开华,鲁楠,等.大南湖矿区同沉积断层对煤质特征及成煤环境的影响[J].中国煤炭地质,2023,35(6):30-37.