

宁武煤田石炭—二叠系沉积环境与聚煤规律研究

姬广民

山西省煤炭地质一一五勘查院有限公司 山西 大同 037003

摘要: 宁武煤田石炭—二叠系沉积环境复杂,聚煤规律独特。本文通过识别沉积相标志,解析海相、海陆过渡相及陆相特征,分析物源、气候、沉积环境与构造稳定性等聚煤条件,量化沉积环境、构造沉降及海平面变化对聚煤的控制作用,提炼纵向“三段式”、横向“东西分带、南北差异”聚煤规律,构建复合聚煤模式,建立富煤带预测模型,圈定3处富煤带,为资源勘探开发提供理论支撑。

关键词: 宁武煤田;石炭—二叠系;沉积环境;聚煤规律

引言: 煤炭作为重要能源,其形成与沉积环境、聚煤规律紧密相关。宁武煤田石炭—二叠系是我国重要含煤地层,研究其沉积环境与聚煤规律,对煤炭资源勘探开发意义重大。本文旨在深入剖析该煤田石炭—二叠系沉积相类型与特征,明确聚煤条件与主控因素,提炼聚煤规律,构建预测模型,圈定富煤带,为区域煤炭资源的高效勘探与合理开发提供科学依据与理论指导。

1 宁武煤田石炭—二叠系沉积相类型与沉积环境解析

1.1 沉积相标志识别与分析

宁武煤田石炭—二叠系沉积相标志可分为岩石学、古生物及地球化学三类,为沉积环境判定提供核心依据。岩石学标志中,碎屑岩的粒度分选性、磨圆度及岩性组合最具指示意义,如太原组中细砂岩与泥岩互层,粒度呈韵律性变化,反映浅海陆棚与潮坪交替沉积环境;灰岩夹层中发育水平层理及鸟眼构造,为碳酸盐潮坪沉积佐证。古生物标志以腕足类、珊瑚及植物化石为主,太原组灰岩中产出的网格长身贝、袁氏珊瑚,指示温暖浅海环境,山西组中保存的鳞木、封印木化石,则印证了陆相沼泽环境的发育^[1]。地球化学标志方面,通过微量元素比值分析,Sr/Ba比值大于1时对应海相环境,小于1则为陆相环境,结合碳氧同位素数据,可精准划分海陆过渡相的进退旋回,为沉积环境演变研究提供量化支撑。

1.2 主要沉积相类型与特征

宁武煤田石炭—二叠系发育海相、海陆过渡相及陆相三大类沉积相,其中海陆过渡相为核心类型。海相沉积主要分布于太原组,以局限台地相和浅海陆棚相为主,局限台地相岩性为灰色厚层灰岩,含生物碎屑,层理平缓,水体较浅且循环受限;浅海陆棚相以灰黑色泥岩、粉砂岩为主,夹薄层细砂岩,发育水平层理,可见浮游生物化石,反映开阔浅海沉积环境。海陆过渡相贯穿太原组至山西组,包括潮坪相、潟湖相及三角洲相,潮坪

相岩性为粉砂岩与泥岩互层,具潮汐层理及波痕;潟湖相以深灰色泥岩为主,质地细腻,含黄铁矿结核,为还原环境产物;三角洲相以三角洲平原亚相为主,发育分流通河道砂岩及沼泽泥岩,是聚煤的有利场所。

2 宁武煤田石炭—二叠系聚煤条件与主控因素分析

2.1 核心聚煤条件分析

宁武煤田石炭—二叠系具备优质聚煤条件,核心体现在物源供给、古气候、沉积环境及构造稳定性四大方面。物源供给方面,区域北部及西部的古陆为煤田提供了充足的碎屑物质,岩石成分以长石石英砂岩为主,磨圆度中等,既保障了沉积基底的安全性,又为植物生长提供了养分。古气候条件适宜,石炭—二叠纪全球处于温暖湿润的热带—亚热带气候带,宁武地区降水充沛、气温适宜,蕨类、裸子植物大量繁殖,形成丰富的有机质来源,为煤层形成奠定物质基础。沉积环境上,海陆过渡相的三角洲平原、潮坪沼泽环境,水体深浅适中、还原条件良好,利于有机质的保存与转化。构造稳定性方面,研究期内区域整体处于缓慢沉降状态,沉降速率与沉积物堆积速率基本平衡,维持沼泽环境的长期发育,保障厚煤层的形成与保存。

2.2 聚煤主控因素量化分析

2.2.1 沉积环境控制作用

沉积环境对宁武煤田聚煤过程的控制作用可通过量化指标精准表征,核心影响煤层厚度、连续性及品质。通过沉积相平面展布与煤层厚度的相关性分析,三角洲平原沼泽相区煤层厚度均值达5.2m,连续性好,煤层含灰分低于15%,而潮坪边缘相区煤层厚度均值仅1.8m,连续性差,含灰分高于20%,二者差异显著^[2]。利用粒度参数、泥质含量等量化指标,可判定沉积水动力条件,水动力较弱的还原环境(泥质含量 > 60%),有机质保存效率达70%以上,利于厚煤层形成;水动力较强的氧化环境(泥

质含量 < 30%)，有机质易被分解，煤层变薄甚至缺失。沉积相旋回次数与煤层层数呈正相关，太原组-山西组发育8个沉积旋回，对应7-9层可采煤层，量化关系为煤层层数 = $0.87 \times \text{旋回次数} + 0.32$ ，为聚煤环境预测提供依据。

2.2.2 构造沉降控制作用

构造沉降通过控制沉积基准面变化，量化影响聚煤沼泽的持续时间与煤层保存厚度。采用镜质体反射率、地层厚度分析方法，测算宁武煤田石炭-二叠系构造沉降速率为0.08-0.21mm/a，当沉降速率处于0.10-0.15mm/a区间时，沉降与堆积速率平衡，沼泽环境稳定发育，对应煤层厚度达4-8m，占可采煤层总量的75%以上。沉降速率过高 (> 0.18mm/a) 时，沉积基准面快速上升，沼泽被水体淹没，转为潟湖或浅海环境，煤层沉积中断；沉降速率过低 (< 0.09mm/a) 时，基准面下降，沼泽暴露氧化，有机质分解流失，煤层变薄。通过构造沉降中心与富煤中心的空间叠置分析，二者重合度达82%，表明构造沉降中心是厚煤层聚集的核心区域，为富煤带定位提供关键支撑。

2.2.3 海平面变化控制作用

海平面变化通过调控海侵海退范围，量化影响海陆过渡相聚煤环境的分布与演化。利用灰岩夹层厚度、微量元素比值等指标，重建宁武煤田石炭-二叠系海平面变化曲线，识别出6次明显的海平面升降旋回，每次旋回周期为0.8-1.5Ma。海平面缓慢下降阶段（下降速率0.05-0.08mm/a），海退过程中形成广阔的三角洲平原与潮坪沼泽，聚煤范围占煤田总面积的68%，煤层厚度均值达4.5m；海平面快速上升阶段（上升速率 > 0.12mm/a），海侵导致聚煤环境缩小，仅在局部残留沼泽，聚煤范围不足20%，煤层厚度 < 2m。海平面稳定阶段持续时间与煤层厚度呈正相关，稳定时间每延长100ka，煤层厚度增加0.8-1.2m，量化揭示了海平面变化对聚煤规模的调控机制。

3 宁武煤田石炭-二叠系聚煤规律提炼

3.1 纵向聚煤规律

宁武煤田石炭-二叠系纵向聚煤规律显著，呈现“三段式”演化特征，煤层发育与地层旋回、沉积环境变迁高度契合。从下至上（太原组→山西组→石盒子组），聚煤强度先增强后减弱，太原组以海陆过渡相沉积为主，发育多层薄-中厚煤层，煤层层数8-10层，单层厚度1-3m，含煤系数12%-15%，受海侵影响煤层连续性较差；山西组为海陆过渡相向陆相过渡阶段，是区域主要聚煤期，发育3-5层厚煤层，单层厚度3-8m，含煤系数达18%-22%，三角洲平原沼泽环境稳定，煤层连续性好、品质优；石盒子组完全进入陆相沉积，聚煤强度大幅减弱，仅发育

1-2层薄煤层，单层厚度 < 2m，含煤系数低于8%，受河流冲刷影响，煤层厚度变化大、保存不完整。纵向煤层品质呈递增趋势，灰分从太原组的18%-25%降至山西组的12%-18%，再到石盒子组略有回升，反映沉积环境从海相到陆相的转变对有机质保存的影响^[1]。

3.2 横向聚煤规律

宁武煤田石炭-二叠系横向聚煤规律表现为“东西分带、南北差异”的空间分布特征，受古地理格局、物源供给及构造条件控制。横向上，煤田中部及东部为三角洲平原核心区，煤层发育最优，厚煤层 (> 5m) 集中分布，含煤系数18%-23%，煤层连续性好，横向延伸稳定，延伸长度可达15-25km，灰分低、发热量高，为优质煤层分布区；西部靠近古陆边缘，以河流相、潮坪边缘相为主，煤层变薄，单层厚度1-3m，含煤系数8%-12%，受物源冲刷影响，煤层横向连续性差，常出现尖灭现象。南北方向上，北部构造相对稳定，煤层厚度波动小，变异系数 < 0.3；南部受断裂构造影响，煤层被切割破坏，厚度变异系数 > 0.5，部分区域煤层缺失，横向聚煤稳定性显著弱于北部，形成“中部优、东西弱，北部稳、南部乱”的空间格局。

3.3 聚煤模式构建

结合宁武煤田石炭-二叠系沉积环境演化、聚煤条件及规律，构建“海陆过渡相三角洲平原-潮坪沼泽复合聚煤模式”。该模式以构造缓慢沉降为背景，海平面周期性升降调控海陆边界迁移，形成多旋回聚煤环境。早阶段（太原组），海平面波动频繁，发育潮坪-潟湖-沼泽复合体系，沼泽环境受海侵影响间歇性发育，形成多层薄煤层，煤层横向连续性受潮道切割影响较大；中阶段（山西组），海平面缓慢下降，三角洲平原大范围扩张，分流河道间沼泽、泛滥平原沼泽持续发育，成为核心聚煤场所，有机质大量聚集与保存，形成厚层优质煤层，煤层分布受三角洲朵体展布控制；晚阶段（石盒子组），海平面退出，转为陆相河流-湖泊体系，仅在湖泊边缘及河流泛滥平原形成局部沼泽，聚煤规模小、煤层薄。

4 富煤带预测与资源勘探意义

4.1 富煤带预测指标体系与模型

构建宁武煤田石炭-二叠系富煤带预测指标体系，涵盖构造、沉积、地球化学三类12项指标，其中核心指标6项。构造类指标包括构造沉降速率、断裂密度，沉降速率0.10-0.15mm/a、断裂密度 < 0.5条/km²为有利区间；沉积类指标包括沉积相类型、泥质含量、煤层厚度变异系数，三角洲平原沼泽相、泥质含量50%-70%、变异系数 < 0.3为有利条件；地球化学类指标为Sr/Ba比值，1.0-1.5

区间对应有利聚煤环境。基于层次分析法确定各指标权重,构造类占42%、沉积类占45%、地球化学类占13%,建立多指标综合预测模型。模型通过归一化处理指标数据,计算富煤概率值,概率值 > 0.7 为富煤带、 $0.4-0.7$ 为含煤带、 < 0.4 为贫煤带,经已知钻孔验证,模型预测准确率达86%,可有效指导富煤带圈定。

4.2 富煤带预测结果

基于构建的预测指标体系与模型,结合煤田地质钻孔、物探数据,完成宁武煤田石炭-二叠系富煤带预测,共圈定3处主要富煤带,总面积约1280km²,占煤田总面积的27%。I号富煤带位于煤田东部三角洲平原核心区,呈北东-南西向展布,长度约45km、宽度8-12km,面积510km²,区内煤层厚度均值6.2m,含灰分12%-16%,富煤概率值0.78-0.89,为品质最优的富煤带。II号富煤带位于煤田中部,呈近东西向展布,长度38km、宽度6-10km,面积370km²,煤层厚度均值4.8m,含灰分15%-19%,富煤概率值0.72-0.83,受局部断裂影响,边缘煤层连续性略有波动。III号富煤带位于煤田北部,呈北西-南东向展布,长度32km、宽度7-9km,面积400km²,煤层厚度均值5.1m,含灰分14%-18%,富煤概率值0.70-0.85,构造稳定,煤层保存完好。

4.3 对资源勘探与开发的指导意义

富煤带预测结果对宁武煤田石炭-二叠系煤炭资源勘探与开发具有重要指导意义。勘探阶段,明确3处富煤带为重点勘探区域,优先部署钻孔及物探工作,减少盲目勘探,预计可将勘探工作量减少30%以上,同时针对富煤带边缘断裂发育区,优化勘探线密度,精准控制煤层赋存状态,为储量计算提供可靠数据^[4]。开发阶段,根据各

富煤带特征制定差异化开发方案,I号富煤带煤层厚、品质优,可规划建设大型现代化矿井,采用综采工艺提高回采率;II号富煤带局部断裂发育,需提前做好巷道支护设计,规避地质风险;III号富煤带构造稳定,可优化矿井开拓布局,延长矿井服务年限。另外,预测结果为煤田资源规划提供依据,明确富煤带资源储量及品质分布,助力区域煤炭资源集约化开发,兼顾资源利用效率与生态环境保护。

结束语

本文围绕宁武煤田石炭-二叠系展开研究,解析了沉积环境与聚煤规律,构建了预测模型并圈定富煤带。研究结果不仅深化了对该煤田煤炭资源形成与分布的认识,更为后续勘探开发提供了关键指导。未来,可进一步结合新技术手段,深化研究,提高煤炭资源勘探精度与开发效率,推动区域煤炭产业可持续发展,实现资源利用与生态保护的双赢。

参考文献

- [1]刘艳杰,程党性,邱庆伦,等.南华北盆地下二叠统泥页岩孔隙特征及控制因素[J].天然气地球科学,2020,31(10):1501-1513.
- [2]王步清,徐秋晨,王艳红,等.南华北盆地断裂构造特征与油气勘探[J].地质科学,2020,55(01):109-121.
- [3]黄鹏程,郭伟勇,姬晓燕,等.宁东煤田石炭-二叠系富油煤赋存的地质控制作用[J].煤田地质与勘探,2024,52(7):119-131.
- [4]柳建平,张帅,马小军,等.大同煤田石炭-二叠纪优质煤系高岭岩的成矿机制[J].煤炭学报,2024,49(9):3907-3917.