

深部矿区煤层厚度、煤质空间分布规律综合地质勘探分析

郭清璠

河北省煤田地质局第二地质队(河北省干热岩研究中心) 河北 邢台 054001

摘要: 依托井田全域钻探与地震勘探实测数据,系统开展深部矿区煤层厚度与煤质空间分布特征研究,运用统计分析与克里金插值手段揭示其分布规律。研究区可采煤层厚度整体呈中等变异,空间表现为北厚南薄、中厚边薄的特征,且随埋深增加厚度逐步减小。煤质参数存在明显平面与垂向分异,沉积环境、构造改造及地热变质作用为主要控制因素。本次研究完成资源开采分区,可为深部煤炭高效开发与安全生产提供可靠地质支撑。

关键词: 深部矿区;煤层厚度;煤质空间分布规律;综合地质勘探

引言: 当前浅部煤炭资源日趋枯竭,矿山开采逐步转向深部复杂地质区域,深部地层构造、地热及水文条件复杂,造成煤层厚度不稳定、煤质空间差异显著,严重影响采掘布局与资源利用效率。为精准查明研究区煤层赋存条件,本文基于详实勘探测试数据,系统剖析煤层厚度、煤质空间演变规律,探究多类地质因素的控制机制,厘清煤厚与煤质耦合关系。研究成果对矿区深部资源规划、分级开采及安全管控具备重要工程价值。

1 研究区地质概况与勘探工作部署

1.1 区域地质背景

(1) 区域地层特征:研究区地层自老至新发育太古界、元古界及古生界石炭-二叠系、中生界三叠-侏罗系及新生界第四系。含煤地层主要为上石炭统太原组及下二叠统山西组,岩性组合以深灰-灰黑色泥岩、砂质泥岩、细-中粒砂岩为主,夹多层灰岩及煤层。地层接触关系多为平行不整合或角度不整合,沉积演化显示自海陆交互相向陆相过渡,含煤地层在区内分布稳定,厚度介于80~120m,是本次研究的重点层段。(2) 区域构造特征:区域构造格局受燕山期及喜山期构造运动控制,主体构造线呈NE-NNE向,发育一系列宽缓褶皱及规模不等的逆冲断层。断裂以高角度正断层为主,断距20~150m,褶皱轴面总体向东倾伏。深部构造活动对含煤地层产生显著改造,局部见地层倾角变陡及煤层揉皱、增厚或变薄现象^[1]。(3) 区域水文与地热条件:矿区地下水类型包括第四系松散孔隙水、基岩裂隙水及深部岩溶水,其中岩溶水水位埋深较大,对深部开采影响有限。地温梯度约为2.5~3.0℃/100m,局部构造带地温异常明显,深部地热条件对煤层变质程度具有一定影响,中高变质煤多分布于地温梯度较高区域。

1.2 研究区井田地质特征

(1) 井田含煤地层发育特征:井田内含煤地层总厚度85~115m,共发育煤层8~12层,其中可采及局部可采煤层4层,赋存于太原组中上部及山西组中下部。煤层顶底板以泥岩、砂质泥岩为主,局部为细砂岩,顶板稳定性中等,底板遇水易软化,对开采有一定制约。(2) 井田构造发育特征:井田内共统计断层26条,以NE向正断层为主,断距5~60m,延伸长度200~1500m;褶皱3条,轴向NE,波长300~800m,幅度15~40m;陷落柱7个,平面直径20~60m。构造复杂程度整体属中等,井田东部及南部构造密度较大,空间差异性明显。(3) 井田煤层基本特征:各可采煤层埋深400~850m,由西向东逐渐加深。煤层原始赋存状态以原生块状结构为主,局部受构造影响呈鳞片状或粉末状,煤层结构较完整,局部含夹矸1~3层,夹矸岩性以泥岩或炭质泥岩为主。

1.3 地质勘探工作部署与数据来源

(1) 勘探工程布置:本次研究共部署深部钻孔32个,按网格状布设,线距500m、孔距800m,勘探深度500~1000m,覆盖井田全域。同时开展主要巷道地质编录,并配套实施二维地震勘探测线6条,总长24km,三维地震勘探区块2个,面积合计4.5km²。(2) 勘探技术方法:煤层厚度探测采用钻探取心结合测井曲线综合解释,煤质样品采集执行GB/T482-2008标准,室内开展工业分析、元素分析及镜质组反射率测定,空间数据校正采用差分GPS及全站仪联测,坐标精度优于±0.05m^[2]。(3) 数据整理与预处理:对全部钻孔厚度数据、煤质检测数据及构造统计数据按统一编码录入,开展逻辑校验与异常值判别,剔除因钻探事故或取样不规范造成的异常数据7组,最终构建涵盖钻孔柱状、煤质参数、构造要

素等12个数据表的标准数据库,为后续建模与定量评价奠定数据基础。

2 深部矿区煤层厚度空间分布规律研究

2.1 煤层厚度数据统计特征分析

(1) 各可采煤层厚度整体统计规律:统计全区4层可采煤层(编号2、4、6、9号)厚度数据,各煤层最大厚度分别为6.85m、8.12m、5.64m、4.93m,最小厚度分别为0.45m、0.52m、0.38m、0.41m,平均厚度依次为3.21m、4.05m、2.78m、2.03m。厚度变异系数介于0.35~0.52,整体属中等变异性,其中6号煤层变异系数最高(0.52),稳定性相对较差,9号煤层变异系数最低(0.35),厚度发育最为稳定。(2) 煤层厚度离散性特征:频数分析显示各煤层厚度多呈正偏态分布,众数值低于平均值,反映薄煤区占比略高于厚煤区。按井田网格分区统计,中部及北部区块厚度偏差值 $\pm 0.65\text{m}$ 以内,属厚度稳定区;东部及南部偏差值达 $\pm 1.20\sim\pm 1.80\text{m}$,属不稳定区;西部偏差介于 $\pm 0.65\sim\pm 1.20\text{m}$,属较稳定区。

2.2 煤层厚度二维空间分布规律

(1) 基于插值模型的厚度分区:采用普通克里金法拟合半变异函数,块金系数0.12~0.28,基台值0.65~1.42,变程1200~1800m,模型拟合精度良好。等值线图显示各煤层厚度总体呈“北厚南薄、中厚边薄”格局,高值区呈NE向条带状展布,与古河道方向基本一致,局部见厚度突变带,与断层切割密切相关。(2) 平面分布差异性分析:北部区块平均厚度达4.52m,为全区最厚区域,厚煤富集区面积约 3.8km^2 ;中部区块平均3.65m,厚度中等且连续性好;南部区块平均仅2.18m,为薄煤区,局部出现不可采点;西部与东部厚度分别为2.86m和3.42m,呈过渡特征^[3]。

2.3 煤层厚度纵向空间分布规律

(1) 不同埋深煤层厚度变化特征:按埋深划分浅部($< 550\text{m}$)、中深部($550\sim 700\text{m}$)、超深部($> 700\text{m}$)三个区间。统计显示浅部平均厚度3.85m,中深部3.42m,超深部2.76m,总体呈随埋深增大厚度递减趋势,Pearson相关系数 $r = -0.61$,呈中等负相关,反映深部构造挤压及地层压实对厚度具一定消减作用。(2) 垂向层序厚度差异:含煤地层垂向上呈现“下薄—中厚—上薄”的叠置规律,下部9号煤层平均2.03m,中部4号、6号煤层分别达4.05m和2.78m,上部2号煤层为3.21m。该规律与沉积旋回密切相关,最大海侵期对应中部煤层厚度峰值,反映沉积基准面变化对煤层垂向发育具有显著控制作用。

2.4 煤层厚度分布主控地质因素

(1) 沉积环境控制:古泥炭沼泽基底起伏幅度约5~8m,控制煤层初始沉积厚度分异,东北部物源供给充足区泥炭累积速率高;水体深度变化频繁导致部分煤层夹矸发育,对厚度连续性产生分割。(2) 构造作用控制:正断层两盘厚度统计显示,下降盘平均增厚率达15%~30%,上升盘减薄率约10%~25%,逆冲挤压区煤层揉皱增厚局部可达原厚1.5倍,伸展拉伸区煤层减薄甚至尖灭^[4]。(3) 后期地质改造控制:燕山晚期区域抬升造成东部及南部煤层剥蚀,剥蚀厚度约15~40m,致使该区域煤层残留厚度明显偏薄;剥蚀作用的不均一性导致现今厚度分布与原始沉积格局偏差较大,剥蚀界面形态及剥蚀强度直接制约了残留厚度的空间展布,局部剥蚀天窗区煤层完全缺失。

3 深部矿区煤质空间分布规律及综合评价

3.1 煤质核心指标统计特征

(1) 工业分析指标统计:全区煤质工业分析显示,水分含量0.68%~2.45%,平均1.32%,属低中水分煤;灰分产率12.6%~35.8%,平均22.4%,以中灰煤为主,高灰煤分布于南部;挥发分产率18.5%~29.6%,平均24.3%,属中高挥发分范畴;固定碳含量55.2%~72.8%,平均63.5%,整体煤质属中等偏上水平。(2) 煤岩与变质指标统计:镜质体反射率($R_{\max}$)介于0.89%~1.52%,平均1.18%,属中等变质程度气煤至肥煤阶段。煤岩组分以镜质组为主(52%~68%),惰质组次之(20%~33%),壳质组含量较低(5%~12%)。深部煤层变质程度总体呈随埋深增高趋势。(3) 有害元素指标统计:全硫含量0.45%~3.82%,平均1.56%,其中有机硫占比约40%~55%,无机硫以黄铁矿硫为主;磷含量0.008%~0.065%,平均0.028%,整体属低磷煤,仅局部样品超标。煤质基础总体良好,但南部及东部硫分偏高,需关注洗选脱硫问题。

3.2 煤质指标空间分异规律

(1) 平面空间分布规律:灰分平面呈“南高北低”格局,南部平均26.8%,北部18.5%,NE向断裂带附近灰分等值线密集,反映构造对煤质分异的显著影响;挥发分平面分布相对均匀,变幅约5%;硫分高值区($> 2.5\%$)集中分布于井田东南角及陷落柱发育区,面积约 2.1km^2 。(2) 纵向空间分布规律:随埋深增大,灰分由浅部19.6%递增至超深部27.3%,挥发分由26.8%递减至20.5%,固定碳由58.4%增至67.2%,呈明显垂向分异。深部地温梯度($2.8^\circ\text{C}/100\text{m}$)与上覆压力共同驱动煤化作用增强,是垂向变质差异的主因,Pearson相关系数显示镜质体反射率与埋深呈显著正相关($r = 0.73$)。(3) 煤

质分区特征：综合灰分、硫分及挥发分三项指标，圈定优质煤区（灰分 < 18%、硫分 < 1.2%）分布于井田北部及西北部，面积约4.5km²；中质煤区（灰分18%~25%、硫分1.2%~2.0%）居中分布，面积约6.8km²；劣质煤区（灰分 > 25%或硫分 > 2.0%）位于南部及东南部，面积约2.9km²。

3.3 煤质空间分布主控地质因素

（1）沉积环境因素：太原组煤层形成于海陆过渡相环境，海水影响导致硫分普遍高于陆相山西组煤层（平均高出0.6%）；物源区母岩类型差异控制灰分背景值，北部花岗质物源区灰分较低，南部变质岩物源区灰分偏高。（2）深部变质作用因素：深埋条件下地温梯度及构造热异常促进煤有机质缩聚脱挥发分，埋深每增加100m，挥发分平均降低1.3%，镜质体反射率平均升高0.05%；局部构造热事件叠加区（如东部断裂密集带）变质程度明显增高，个别点位R_{max}达1.52%^[5]。（3）构造与水文因素：断层破碎带及裂隙系统为地下水循环提供通道，长期水岩作用导致灰分中Si、Al等无机矿物富集，同时淋滤作用使部分易溶硫化物迁移再沉淀，加剧硫分空间不均匀性；陷落柱周缘煤质普遍劣化，灰分及硫分分别较正常区升高约3%~5%及0.4%~0.8%。

3.4 煤层与煤质耦合分布规律及工程应用

（1）厚度与煤质耦合关系：厚煤层（> 4.5m）对应灰分平均19.8%、硫分1.3%，煤质优良；薄煤层（< 1.5m）灰分达26.5%、硫分1.9%，呈劣化趋势。厚度与灰分呈负相关（ $r = -0.54$ ），反映厚煤层泥炭累积快、稀释无机质输入，薄煤层受陆源碎屑影响显著。（2）资源分区评价：优质开采区（北部厚煤优质区）面积4.2km²，适合优先开发；常规开采区（中部及西部，中等

厚度、中等煤质）面积7.5km²，可正常规划采掘；限制性开采区（南部及东南部，薄煤高灰高硫）面积3.5km²，需配套洗选加工或暂缓开发。（3）工程应用建议：建议优先开发北部优质开采区，采掘规划宜沿NE向厚煤带布置工作面；中质煤区应加强配采与洗选工艺优化，实现资源分级利用；针对南部高硫煤区，建议配套脱硫设施或与低硫煤掺配；深部开采中应关注地温梯度变化，合理规划通风降温措施，保障安全生产。

结束语

本文完整阐明了深部矿区煤层厚度与煤质的二维、纵向空间分布特征，揭示了沉积演化、构造运动、后期剥蚀及地热变质的协同控制机理，划分出优质、常规及限制性三类开采区域。研究明确北部为核心优质开采区，南部受构造与沉积影响赋存条件较差。后续可依据本次研究结果优化采掘工作面布置，配套完善洗选与降温防控措施，实现深部煤炭资源科学开发、高效利用与安稳产的发展目标。

参考文献

- [1]张明,王健,孙嘉辰.深部矿区煤层厚度非均质空间分布及成藏控制因素[J].东北石油大学学报,2026,50(1):45-53.
- [2]郭广山.鄂尔多斯盆地府谷地区深部煤层气富集成藏规律及有利区评价[J].煤田地质与勘探,2024,52(2):81-91.
- [3]徐凤银.鄂尔多斯盆地东缘深部煤层气高效开发理论技术体系[J].煤炭学报,2024,49(1):528-544.
- [4]王超.鄂尔多斯盆地西缘深部侏罗系煤层厚度与煤质空间分异特征[J].煤炭科学技术,2025,53(6):112-119.
- [5]刘浩,秦勇.沁水盆地深部煤层煤质参数空间分布及构造控制规律[J].矿业大学学报,2023,52(4):721-729.