

中卫市深井勘查区西部区块侏罗系延安组煤层特征及资源潜力评价

员文强 杜鹏龙 张文剑

宁夏回族自治区核地质调查院 (宁夏回族自治区放射性地质研究所)

DOI: 10.32629/ems.v8i2.18523

[摘要] 中卫市深井勘查区西部区块位于宁夏中卫市沙坡头区西南部, 含煤地层为侏罗系延安组, 平均厚度 340.48m, 共发育 7 层可采煤层 (2、3、4、5、6、7、8 煤), 平均总厚 27.65m, 可采含煤系数 8.12%, 其中 6 煤为全区可采的较稳定巨厚煤层。煤层煤类以不粘煤为主、局部长焰煤, 属低灰、低硫、低磷、高-中高发热量的优质煤, 适配动力及煤化工用途。经估算, 区块煤炭总资源量达 26902.4 万吨, 其中探明 10706.1 万吨、控制 3629.3 万吨, 探明+控制占比 53.29%, 资源规模与勘查程度满足开发要求, 具备显著的资源潜力和经济价值, 可为区域能源保供提供重要支撑。

[关键词] 中卫市深井勘查区; 侏罗系延安组; 煤层特征; 资源潜力; 煤质特征

1 工程概况

中卫市深井勘查区西部区块位于宁夏中卫市沙坡头区西南部, 地理坐标介于东经 $104^{\circ} 55' 18''$ - $105^{\circ} 01' 47''$ 、北纬 $37^{\circ} 01' 48''$ - $37^{\circ} 05' 25''$ 之间, 勘查面积 26.38km^2 。区块含煤地层为侏罗系延安组, 平均厚度 340.48m, 是区域主要的含煤构造单元。项目由宁夏回族自治区核地质调查院于 2022 年 11 月至 2023 年 10 月实施, 资金来源于自治区财政资金, 中标价 3568.9023 万元, 优化后预算 3828.7319 万元。勘查采用钻探、三维地震、地球物理测井、采样测试等综合技术手段, 完成钻探进尺 23418.94m/36 孔、三维地震勘探 9.4km^2 、常规测井 20152.10m/31 孔及 423 件 / 组样品测试, 工程布置符合二类 II 型勘查类型要求。工作质量严格达标, 探煤孔甲乙级率 100%, 三维地震甲级物理点率 63.63%, 绿色勘查验收评分 95.0 分 (优秀级), 为后续煤层特征研究及资源评价奠定了坚实基础。

2 侏罗系延安组煤层地质特征

2.1 区域及勘查区地质背景

勘查区地处香山褶断带西段, 属柴达木-华北板块阿拉善微陆块南缘构造单元, 区域构造格局受香山山系隆升及兴仁堡洼地坳陷控制, 为煤层赋存提供了基础构造条件^[1]。勘查区地层自老至新依次发育奥陶系磨盘井组 (浅变质砂岩、板岩)、三叠系五佛寺组 (紫红色砂泥岩)、侏罗系延安组 (含煤地层)、侏罗系直罗组 (灰绿色砂岩)、新近系干河沟组 (砂

质粘土、砾岩) 及第四系 (风积砂、冲洪积砂砾石), 各地层呈整合或平行不整合接触。其中侏罗系延安组为核心含煤地层, 分布于勘查区全域, 厚度变化范围 $286.52\sim 398.64\text{m}$, 平均厚度 340.48m, 受基底构造控制, 呈现北厚南薄的分布特征。勘查区总体为北西走向、倾向南西的单斜构造, 倾角 $10^{\circ}\sim 25^{\circ}$, 发育 22 条断层 (正断层 13 条、逆断层 9 条), 断层落差 $0\sim 400\text{m}$, 其中礅子井断层、窑窑门断层为边界断层, DF2 断层为区内主控断层, 构造复杂程度中等偏简单。

2.2 煤层发育特征

侏罗系延安组共含煤 20 余层, 经勘查圈定可采煤层 7 层 (编号 2、3、4、5、6、7、8 煤), 可采煤层平均总厚度 27.65m, 可采含煤系数 8.12%, 含煤性优良。各可采煤层发育特征具有显著差异性。

其中 6 煤为全区最主要可采煤层, 分布面积 13.70km^2 , 占勘查区总面积的 51.9%, 平均厚度 11.71m, 最大厚度达 40.67m, 属巨厚煤层; 煤层结构复杂, 含 $0\sim 6$ 层夹矸, 夹矸岩性以炭质泥岩为主, 其次为泥岩、粉砂岩, 夹矸平均总厚度 1.60m, 对煤质影响有限。2、3、4、5 煤呈层状连续分布, 厚度中等, 稳定性较好, 为次要可采煤层; 7、8 煤厚度较薄, 稳定性较差, 仅在勘查区中部及北部局部可采。

2.3 煤层对比可靠性

煤层对比采用标志层法、测井曲线法、岩性组合法及煤层厚度特征法综合开展, 确保对比结果准确可靠。区内延安组底部“粗砂岩标志层” (平均厚度 25.3m)、中部“炭质泥

岩标志层”(平均厚度 3.8m) 横向分布稳定, 岩性特征显著, 为煤层对比提供了关键依据; 测井曲线响应特征明显, 可采煤层自然伽马曲线呈低幅齿状, 电阻率曲线呈中高幅尖峰状, 与顶底板泥岩、砂岩的测井响应差异显著, 对比辨识度高。经 36 个钻孔数据验证, 7 层可采煤层的层位、厚度及间距对比误差均小于 10%, 层位对应关系清晰, 无错层、漏层现象, 对比结果满足勘探阶段精度要求, 为资源量估算及开发方案设计提供了可靠的地质基础。

3 煤层煤质特征及工业用途适配性

3.1 物理性质

各可采煤层物理性质呈现一致性与差异性并存特征, 宏观表现为黑色、条痕褐黑色, 光泽以弱沥青光泽、沥青光泽、弱玻璃光泽为主, 断口类型包括参差状、平坦状、阶梯状及贝壳状, 裂隙较发育且以构造裂隙和外生裂隙为主^[2]。结构上以均一状、条带状为主, 构造多为层状、块状, 局部见碎粒状结构, 符合侏罗系延安组煤层沉积特征。密度指标显示, 各煤层平均真密度 $1.43\sim 1.50\text{t/m}^3$, 平均视密度 $1.34\sim 1.40\text{t/m}^3$, 其中 6 煤真密度最高(平均 1.49t/m^3), 8 煤视密度最低(平均 1.34t/m^3), 密度分布与煤中矿物含量呈正相关。宏观煤岩类型以暗煤、半暗煤、半亮煤为主, 夹少量亮煤条带, 显微组分中镜质组占比 $38.30\sim 78.20\%$, 惰质组占比 $1.83\sim 56.30\%$, 矿物含量 $7.06\sim 15.52\%$, 以粘土类、硫化物类为主, 无机组分含量较低, 为煤质优化提供了基础。

3.2 化学性质

煤层化学性质核心表现为“三低一高”特征, 符合优质动力煤及煤化工用煤标准。工业分析中, 原煤空气干燥基水分(Mad)含量 $0.98\sim 8.12\%$, 平均 $3.52\sim 4.23\%$, 垂向呈向下增高趋势; 浮煤水分较原煤降低 2.0% 左右, 水分稳定性良好。干燥基灰分(Ad)原煤平均 $11.96\sim 19.45\%$, 浮煤平均 $4.76\sim 7.11\%$, 脱灰率 $58.61\sim 66.42\%$, 依据 GB/T 15224.1-2018 分级均为低灰煤, 其中 2 煤灰分最低(原煤平均 11.96%), 8 煤灰分最高(原煤平均 19.45%)。全硫(St, d)原煤平均 $0.50\sim 0.64\%$, 3 煤为特低硫煤(平均 0.50%), 其余煤层为低硫煤, 浮煤全硫平均 $0.30\sim 0.39\%$, 硫分脱除效果显著。挥发分(Vdaf)原煤平均 $35.90\sim 37.50\%$, 2~5 煤为中高挥发分煤, 6~8 煤为高挥发分煤, 为燃烧及气化反应提供了良好条件。元素分析显示, 碳(Cdaf)平均 $78.17\sim 79.23\%$, 氢(Hdaf)平均 $4.64\sim 4.95\%$, 氧(Odaf)

平均 $14.18\sim 15.36\%$, 氮(Ndaf)平均 $0.78\sim 0.99\%$, 元素组成符合优质烟煤特征。有害元素中, 磷(Pd)平均 $0.040\sim 0.081\%$, 汞(Hgd)平均 $0.057\sim 0.107\%$, 氯(Cl_d)平均 $0.028\sim 0.072\%$, 均达到相关限值标准, 环境兼容性优良。

3.3 工艺性能

煤层工艺性能适配多元工业需求, 干燥基高位发热量(Q_{gr, d})平均 $25.44\sim 28.15\text{MJ/kg}$, 2、3 煤为高发热量煤($\geq 28.00\text{MJ/kg}$), 4~8 煤为中高发热量煤, 均满足《矿产地质勘查规范煤》最低发热量要求($\geq 17\text{MJ/kg}$)。粘结指数(GR·I)平均 $0\sim 4$, 焦渣特征平均 2, 无粘结性, 符合无粘结煤工业指标; 灰熔融性软化温度 $1130\sim 1450\text{℃}$, 除 4 煤为较低软化温度灰外, 其余均为较高软化温度灰, 热稳定性良好。煤对二氧化碳反应性随温度升高显著增强, 950℃ 时还原率平均 24.00% , 1100℃ 时达 67.62% , 气化反应活性优良; 哈氏可磨性指数原煤平均 $58.4\sim 83.4$, 可磨性中等, 适配工业破碎加工需求。低温干馏焦油产率(Tar)原煤平均 $8.07\sim 8.60\%$, 高于工业用煤要求($\geq 7\%$), 属富油煤, 为煤化工深加工提供了潜力。

3.4 工业用途适配性

基于煤质特征, 煤层工业用途呈现多元化适配性。低灰、低硫、高热量的特质使其成为优质动力用煤, 可满足火力发电、工业供热对环保及能效的要求, 燃烧过程中污染物排放低, 符合节能减排政策。无粘结性、高挥发分及优良的气化反应性, 使其适配煤化工用煤需求, 可用于煤炭气化、液化生产化工产品, 低温干馏焦油产率优势为煤焦油提取提供了条件^[3]。此外, 经洗选后可与无烟煤混合用于高炉喷吹, 降低焦炭消耗; 煤灰分、挥发分及发热量指标符合水泥回转窑用煤技术要求, 可作为建筑材料生产燃料。综合来看, 煤层煤质优良、工艺性能优越, 适配动力、煤化工、冶金辅助及建材等多领域用途, 市场应用前景广阔。

4 煤炭资源量估算及开发潜力评价

4.1 资源量估算范围与核心参数

资源量估算基准日为 2023 年 11 月 30 日, 范围北以礅子井断层为界、西至宁夏-甘肃省界、南抵窑窑门断层及 3DF11 断层、东以窑窑门断层为界, 由 25 个拐点坐标圈定, 估算标高为 +600m 以浅(垂深 1000m), 地面起算标高 1600m, 最大估算面积 13.70km^2 (6 煤)。参与估算的煤层为 2、3、4、5、

6、7、8煤, 风氧化带底界为基岩面下30m, 该区域不参与资源量估算。工业指标依据《矿产地质勘查规范煤》(DZ/T 0215-2020)确定: 最低可采厚度0.80m, 原煤灰分(Ad)≤40%, 原煤硫分(St,d)≤3%, 最低发热量(Q_{net,d})17.0MJ/kg。关键参数中, 煤层视密度采用各煤层煤心样品测试结果算术平均值, 2、3、4煤为1.35t/m³, 5、8煤为1.34t/m³, 6煤为1.40t/m³, 7煤为1.38t/m³; 块段面积通过计算机读取水平投影面积后, 结合平均倾角换算为斜面积。

4.2 资源量估算结果

采用水平投影地质块段法估算, 勘查区煤炭总资源量达26902.4万吨, 其中不粘煤25550.2万吨、长焰煤1352.2万吨。资源量级别构成中, 探明资源量(TM)10706.1万吨(占比39.80%), 控制资源量(KZ)3629.3万吨(占比13.50%), 推断资源量(TD)12567.0万吨(占比46.70%), 探明+控制资源量占比53.29%, 满足规范≥45%的要求。

各可采煤层中, 6煤为核心贡献煤层, 资源量19732.9万吨, 占总资源量的73.34%, 其中探明9813.2万吨、控制2724.3万吨、推断7195.4万吨; 2、3、4煤资源量分别为1441.8万吨、1395.4万吨、1544.1万吨, 均包含探明、控制及推断三级资源量; 5、7、8煤仅估算推断资源量, 分别为1239.3万吨、1161.4万吨、387.5万吨。重点勘查地段总资源量17150.6万吨, 探明+控制占比76.23%, 满足规范≥70%的要求, 资源富集程度显著。

4.3 开发潜力综合评价

资源规模方面, 总资源量近2.7亿吨, 6煤作为全区可采的巨厚煤层(平均厚度11.71m), 资源量占比超七成, 具备大型规模化开发的资源基础, 可支撑大型矿井长期稳定生产。煤质优势突出, 煤层属低灰、低硫、低磷、高-中高发热量优质煤, 适配动力发电、工业供热及煤化工等多元用途, 环保属性与市场竞争力强。勘查程度满足开发要求, 采用500m线距圈定探明资源量、1000m线距圈定控制资源量, 结合三维地震勘探成果, 煤层厚度、结构、构造及开采技术条件已查明, 为矿井设计、开采方案优化提供了可靠地质依据^[4]。从市场需求看, 区域能源保供需求迫切, 煤层开发可保障能源稳定供应, 带动当地就业与经济发展, 兼具显著的经济社会效益与资源战略价值。

4.4 开发风险与应对建议

开发面临的主要风险包括: 水文地质条件中等, 矿井正常涌水量719.31m³/h、最大涌水量1046.76m³/h, 断层可能成为导水通道; 各可采煤层均有煤尘爆炸风险(爆炸指数38.91-45.12%)且属II级自燃煤层; 顶底板为软弱-半坚硬岩类, 易软化冒落。优化矿井排水系统, 超前探放断层水, 封闭不良钻孔, 防控水文风险; 强化通风降尘、定期清理煤尘堆积, 优化开采顺序、及时封闭采空区, 防范煤尘与自燃风险; 采用锚网支护技术, 控制开采强度, 加强顶板变形监测, 降低工程地质风险^[5]。综合来看, 该区块资源潜力雄厚, 风险可控, 合理规划后可实现资源效益最大化。

结语

中卫市深井勘查区西部区块侏罗系延安组作为区域核心含煤地层, 具备显著的资源优势与开发价值。区块含煤性好, 7层可采煤层厚度稳定、分布连续, 尤以6煤巨厚且全区可采, 为开发提供了优质资源基础; 煤质呈现低灰、低硫、低磷、高-中高发热量的优良特质, 适配动力及煤化工等多元用途, 市场竞争力突出。经系统勘探, 区块总资源量达26902.4万吨, 探明+控制资源量占比超50%, 勘查程度满足开发要求。综合来看, 该区块煤层特征优越、资源潜力雄厚, 是区域能源保供的重要支撑基地, 合理规划开采方案、防控开采技术风险后, 可实现资源效益与经济效益的同步提升。

[参考文献]

- [1]李斌, 任玺宁, 罗群, 等. 大柳塔井田侏罗系延安组煤层地球化学特征及地质意义[J]. 韩山师范学院学报, 2025, 46(03): 51-62.
- [2]李启晖, 任大忠, 甯波, 等. 鄂尔多斯盆地神木地区侏罗系延安组煤层微观孔隙结构特征[J]. 岩性油气藏, 2024, 36(02): 76-88.
- [3]贺安民, 尹海洋, 王惠风, 等. 基于PCA和KNN的侏罗系煤层断层预测研究[J]. 煤炭技术, 2023, 42(12): 114-118.
- [4]霍超, 郭海晓, 王蕾, 等. 双碳背景下中国深部煤层气勘探开发研究进展[J]. 科学技术与工程, 2025, 25(14): 5705-5720.
- [5]李勇, 郭涛, 刘欣妍, 等. 中国低煤阶煤层气资源潜力及发展方向[J]. 石油与天然气地质, 2024, 45(06): 1537-1554.