

大同煤田石炭—二叠系煤层气赋存条件与开发潜力研究

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:大同煤田是我国重要动力煤基地,本文聚焦其石炭—二叠系煤层气。阐述了煤田地质概况,包括地层、构造与水文地质条件;分析煤层气生成、储集、保存条件;然后进行资源量评价与开发潜力分析,指出资源丰富,开发潜力中等偏上;提出了开发方案优化、工程实践、政策保障等对策。旨在为煤田煤层气开发提供理论依据与实践参考,推动资源高效利用与可持续发展。

关键词:大同煤田;石炭—二叠系;煤层气;赋存条件;开发潜力

引言:在全球能源需求增长与能源结构转型背景下,煤层气作为清洁、高效非常规天然气,开发利用意义重大。大同煤田是我国重要煤炭产地,石炭—二叠系含煤地层蕴含丰富煤层气资源。研究该煤田石炭—二叠系煤层气赋存条件与开发潜力,有助于深入了解其资源特征,为制定科学开发策略提供支撑,对保障能源安全、促进区域经济发展及实现能源绿色转型具有重要价值。

1 大同煤田地质概况

1.1 区域地质背景

大同煤田地处山西省北部,位于华北板块北部边缘,晋冀蒙交界区域,总面积约1827km²,是我国重要的动力煤生产基地。区域构造上隶属于大同一宁武断陷盆地东北段,受燕山期、喜马拉雅期构造运动影响显著,整体呈现北东向展布的复式向斜构造格局。煤田北接阴山构造带,南邻恒山隆起,西连鄂尔多斯盆地东缘,东与燕山构造带相接,区域构造活动奠定了煤田基本构造轮廓。区内岩浆活动较弱,仅局部发育小型侵入体,对煤层影响有限^[1]。区域地层以古生界、中生界为主,基底为太古界变质岩系,盖层发育较完整,为煤层形成与煤层气赋存提供了良好的地质基础,同时区域构造控制着煤田的沉积环境与煤层展布规律。

1.2 地层特征与含煤层系

大同煤田地层自下而上依次发育太古界集宁群、古生界寒武系、奥陶系、石炭系、二叠系,中生界侏罗系及新生界第四系。含煤层系主要为中生界侏罗系大同组和云岗组,以及石炭—二叠系太原组、山西组,其中侏罗系煤层为煤田主力含煤层系。侏罗系大同组厚度100–300m,以灰白色中粗粒砂岩、粉砂岩及泥岩互层为主,含煤10–15层,可采煤层6–8层,煤层厚度稳定,单层厚度2–6m,煤种以长焰煤、不粘煤为主。石炭—二叠系含煤层系厚度80–150m,含煤3–5层,可采煤层2–3层,单层

厚度1–3m,煤种为气煤、肥煤。地层岩性组合呈现“砂泥互层”特征,泥岩、粉砂岩可作为煤层气的顶板和底板封堵层,为煤层气储集提供了有利的岩性条件,不同含煤层系的地层厚度与岩性分布控制着煤层气的纵向赋存规律。

1.3 构造特征与水文地质条件

大同煤田构造以褶皱和断裂为主,主体构造为大同向斜,轴向北东,两翼地层倾角较缓,一般5°–15°,局部受断裂影响倾角可达20°以上。断裂构造以正断层为主,北东向断层发育,主要有口泉断层、鹅毛口断层等,将煤田分割为多个断块,部分断层可作为煤层气逸散通道,影响煤层气保存。水文地质条件中等复杂,区内含水层主要为第四系松散岩类孔隙含水层、侏罗系砂岩裂隙含水层及奥陶系碳酸盐岩岩溶含水层。第四系含水层富水性较弱,侏罗系砂岩含水层为煤层直接充水含水层,富水性中等,奥陶系含水层富水性强,但与煤层间距较大,水力联系较弱。地下水整体由北向南、由东向西径流,水质以淡水为主,地下水动力条件对煤层气赋存影响显著,径流强烈区域煤层气易逸散,径流滞缓区域更利于煤层气富集。

2 煤层气赋存条件分析

2.1 煤层气生成条件

大同煤田煤层气生成以生物成因气和热成因气为主,受煤种、埋藏深度及地热条件共同控制。侏罗系煤层镜质组反射率Ro为0.5%–0.8%,处于低成熟阶段,主要生成生物成因气和少量热成因气;石炭—二叠系煤层Ro为0.8%–1.5%,处于成熟阶段,以热成因气为主。煤层有机碳含量较高,一般为60%–80%,氢指数、氧指数符合生气母质要求,为煤层气生成提供了充足物质基础。煤田古地温梯度为2.5–3.0°C/100m,中生代以来的埋藏史使煤层经历了适宜的热演化过程,促进了煤层气生成。此外,

煤层中微生物活动活跃,尤其是浅部煤层,微生物降解煤层有机质生成生物成因气,补充了煤层气储量,不同深度煤层的热演化程度差异,导致煤层气生成量与气体组分呈现纵向分异特征。

2.2 煤层气储集条件

大同煤田煤层气储集条件受煤层物性、孔隙结构及含气性影响显著。主力煤层孔隙率为3%~8%,渗透率一般为0.1~1.0mD,局部构造破碎带渗透率可达5mD以上,孔隙类型以微孔、中孔为主,为煤层气吸附与渗流提供了空间。煤层吸附能力较强,吸附量一般为8~15m³/t,吸附能力与煤种、镜质组含量正相关,侏罗系不粘煤吸附量略低于石炭一二叠系气煤^[2]。煤层含气饱和度为40%~60%,浅部煤层含气饱和度较低,深部可达70%以上,含气量整体为2~8m³/t,部分富集区可达10m³/t以上。储层压力中等,一般为1.0~3.0MPa,压力系数0.8~1.2,多数区域为正常压力系统。煤层与顶底板围岩的岩性组合形成了良好的储盖组合,砂岩裂隙与煤层孔隙构成了煤层气渗流网络,构造破碎带可改善储层渗透性,利于煤层气开采。

2.3 煤层气保存条件

大同煤田煤层气保存条件受构造封闭、岩性封闭及水文地质封闭共同控制,整体呈现“中部好、边缘差”的特征。构造封闭方面,煤田主体向斜构造两翼平缓,核部地层埋藏较深,断裂构造多为封闭性正断层,部分断层可阻挡煤层气横向逸散,形成局部封闭单元;边缘区域断裂发育且多为开启性,煤层气易沿断层逸散,保存条件较差。岩性封闭方面,煤层顶底板多为泥岩、粉砂岩,厚度稳定,渗透率低,可有效阻挡煤层气垂向逸散,形成良好的盖层条件,部分区域顶板为砂岩时,盖层封闭性减弱。水文地质封闭方面,地下水径流滞缓区域形成还原环境,利于煤层气保存,而地下水强径流带易带走煤层气,降低含气饱和度。另外,煤层埋藏深度对保存条件影响显著,埋藏深度大于500m区域,封闭性好,煤层气保存较为完整,浅部区域受风化作用影响,保存条件变差。

3 煤层气资源量评价与开发潜力分析

3.1 资源量计算方法与参数选取

本次煤层气资源量计算采用容积法,计算公式为:资源量=含煤面积×煤层厚度×煤层密度×含气量×资源丰度系数。参数选取结合煤田地质勘探资料与现场测试数据,确保准确性。含煤面积依据地质填图与钻孔资料确定,侏罗系含煤面积约1200km²,石炭一二叠系约500km²。煤层厚度采用钻孔揭露的可采煤层平均厚度,侏罗系平均可采厚度4.2m,石炭一二叠系平均2.1m。煤

层密度取1.35t/m³,为区域煤层平均密度值。含气量采用钻孔解吸法测试结果,分区域选取平均含气量,深部区域取8m³/t,浅部取3m³/t。资源丰度系数结合构造复杂程度、储层条件确定,主体区域取0.85,边缘断裂发育区取0.65,同时参考同类煤田计算参数,对选取参数进行校验,确保计算结果可靠^[3]。

3.2 资源量估算结果

根据容积法计算,大同煤田煤层气总资源量约为850×10⁸m³,其中侏罗系煤层气资源量约620×10⁸m³,占总资源量的72.9%,为主要资源贡献层系;石炭一二叠系资源量约230×10⁸m³,占比27.1%。按深度划分,埋藏深度500~1000m区域资源量约510×10⁸m³,占比60%,为资源富集核心区;埋藏深度小于500m区域资源量约220×10⁸m³,占比25.9%;大于1000m区域资源量约120×10⁸m³,占比14.1%。按区域划分,煤田中部向斜核部资源量约480×10⁸m³,含气饱和度高,资源富集程度高;两翼及边缘区域资源量约370×10⁸m³,受构造与水文条件影响,资源分布不均。此外,已探明地质储量约210×10⁸m³,控制储量约350×10⁸m³,预测储量约290×10⁸m³,资源储量结构合理,具备大规模开发的资源基础。

3.3 开发潜力综合评价

大同煤田煤层气开发潜力整体处于中等偏上水平,具备多方面开发优势与一定挑战。优势方面,资源储量丰富,侏罗系主力煤层厚度稳定、分布广泛,且煤种适合煤层气开发,部分区域储层渗透率较高,利于气体产出;煤田周边能源消费市场广阔,靠近京津冀地区,天然气需求旺盛,运输成本较低;现有煤炭开采基础设施完善,可依托煤矿现有井巷工程、供电供水系统,降低开发成本。挑战方面,部分区域储层渗透率偏低,需通过储层改造技术提升产能;浅部煤层含气饱和度低,深部煤层开采难度大、成本高;边缘区域断裂发育,煤层气保存条件差,资源富集程度不均。综合来看,中部500~1000m深度区域开发潜力最大,可作为优先开发靶区,通过技术优化与示范工程建设,逐步实现规模化开发,同时兼顾生态保护,实现资源高效利用。

4 开发技术对策与建议

4.1 开发方案优化

针对大同煤田煤层气储层特征与资源分布规律,优化开发方案以提升开发效率与产能。优先选择中部向斜核部、埋藏深度500~1000m、储层渗透率较高的区域部署开发井网,采用“直井+水平井”组合井型,水平井沿煤层走向布置,长度控制在800~1200m,井间距根据储层渗透率调整为200~400m。储层改造采用水力压裂技术,结

合煤层特性优化压裂参数,选用低伤害压裂液,控制施工压力与排量,避免破坏顶底板封堵性,对低渗区域采用分段压裂技术,增加裂缝导流能力。开采工艺采用排水降压法,分阶段控制排水速度,逐步降低储层压力,促进煤层气解吸、渗流与产出,同时配套智能化排采设备,实时监测产水量、产气量、井底压力等参数,动态调整开采方案,实现高效稳定开采。

4.2 工程实践案例分析

大同煤田煤层气开发示范工程,位于中部向斜核部,目标层为侏罗系大同组3号煤层,埋藏深度650-750m,储层渗透率0.3-0.8mD,含气量6-8m³/t。工程部署水平井6口、直井12口,采用分段水力压裂技术改造储层,压裂液选用胍胶类低伤害体系,施工排量3-5m³/min,施工压力18-25MPa。排采阶段采用阶梯式排水降压,初期日产水50-80m³,逐步降至20-30m³,井底压力从2.8MPa降至1.2MPa后,煤层气开始稳定产出。示范井平均日产气量达800-1200m³,单井最高日产气量1800m³,累计产气量突破500×10⁴m³。案例表明,优化井型与储层改造参数可有效提升低渗煤层产能,智能化排采监测能精准把控开采节奏,同时依托周边煤矿基础设施,大幅降低了工程投资,为煤田规模化开发提供了可行经验。

4.3 政策与保障措施

为推动大同煤田煤层气规模化开发,需完善政策支持与全方位保障措施。政策层面,争取国家与省级煤层气开发专项补贴,落实“先采气、后采煤”协同开发政策,明确煤层气与煤炭资源矿业权协调机制,避免资源开发冲突;出台税收优惠政策,减免煤层气开采增值税、

资源税,降低企业开发成本;鼓励产学研合作,设立煤层气开发技术创新专项基金,支持低渗储层改造、高效排采等关键技术研发^[4]。保障措施方面,加强地质勘探工作,细化资源分布与储层参数,为开发方案制定提供精准数据;完善基础设施建设,配套建设集输管道、处理站等设施,实现煤层气就近利用与外输;强化生态环境保护,制定煤层气开采生态修复方案,减少水资源污染、地表沉降等问题;建立健全安全监管体系,规范施工与开采流程,防范安全事故发生,保障开发工作有序推进。

结束语

大同煤田石炭-二叠系煤层气资源丰富,开发潜力可观,但开发面临储层渗透率差异、深浅部开采难度不同等挑战。通过优化开发方案、借鉴工程实践案例经验、完善政策保障措施,可有效提升开发效率与产能,降低开发成本与风险。未来,应持续加强研究,推动技术创新,实现煤层气资源高效开发利用,为能源可持续发展与区域经济绿色崛起贡献力量。

参考文献

- [1]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.
- [2]缪小成.大同煤田石炭二叠系煤层顶板导水裂隙带发育规律研究[J].现代矿业,2021,37(1):48-52.
- [3]宋晓夏,马宏涛,李凯杰,等.大同煤田石炭-二叠系接触变质煤的煤岩学特征研究[J].煤炭科学技术,2020,48(12):182-191.
- [4]苏经纬,杨东辉,樊聪,等.大同煤田双系开采强矿压与地质动力环境关系研究[J].山西煤炭,2023,43(3):104-111.