

新疆准噶尔盆地东南缘煤层气富集规律与勘探潜力分析

仲 劼¹ 邢冬勇¹ 廖天彬²

1.新疆亚新煤层气投资开发(集团)有限责任公司 新疆维吾尔自治区 830000

2.新疆亚新煤层气资源技术研究有限责任公司 新疆维吾尔自治区 830000

【摘要】：2015年至今，准噶尔盆地东南缘共开展了多个煤层气调查、试验项目，共钻探探井100多口，在一些井区取得阶段性成果。区域煤储层的空间分布、物理化学性质比较复杂，从而影响到对成烃机理研究的精确程度。根据国内外低阶煤盆地煤层气地质特征相关研究的成果以及准噶尔盆地东南缘地貌地质的特点，本文以基础地质背景为依托，系统研究储层的性质、成藏机理和控制因素，建立区域成藏模式，评价潜在有利区带，提出相应的开发策略。经研究得知，准噶尔盆地东南缘煤层气富集受构造活动、岩石热演化历史、流体运移过程等影响而构成典型的构造-水力封闭型混合型气藏。阜康一大黄山地区地质条件较好，具有大规模商业化开采技术、资源保障优势，是重点勘查开发目标之一。

【关键词】：准噶尔盆地东南缘；低阶煤系气资源；富集模式；成藏规律；油气勘探潜力评估

DOI:10.12417/2705-0998.26.04.037

1 基础地质背景

1.1 构造地质背景

准噶尔盆地东南缘的地理界线以乌苏市四棵树为起点，到老君庙为止，东面与博格达山脉相邻，西面同卡拉麦里山南麓接壤，总面积约为30,000平方千米。从构造位置上来说，该区位于北天山前拗陷东部隆起带。其地质历史可以分为几个演化阶段，早二叠世主要是裂谷构造特征；中晚二叠世开始向前陆盆地模式过渡；三叠纪到白垩纪期间，逐渐形成复合型前陆盆地结构；古近纪以后转为典型的类前陆盆地体系。喜马拉雅造山运动对区域构造格局产生很大影响，在山前带引起明显褶皱和逆冲断层活动，最终形成典型的压扭性构造样式，确定目前盆地的基底地质构造。

准噶尔盆地南缘由南向北分为三列背斜构造系统，分别为山前推覆带、霍玛吐背斜群、呼图壁至西湖背斜序列。这些地质构造清楚地表现出造山运动中地壳抬升以及前陆褶皱共同产生的效应。区域构造特征可以归纳为三个方面的内容，即纵向空间上明显呈南北分异的特点、横向分布上东西有差异的趋势、垂直面上分层明显。准东地区构造简单，地层倾向平缓，煤系沉积受应力影响不大，后期地质改造较少；而淮南地区则以煤层气勘探有关的典型背斜构造为主，如齐谷、昌吉、喀拉扎等，呈北陡南缓的空间变化规律（北部为 $70^{\circ}\sim 80^{\circ}$ ，南部为 $40^{\circ}\sim 50^{\circ}$ ）。相比之下，西部含煤区构造复杂度虽然不如东部，但是发育良好背斜构造给煤层气资源的聚集创造了有利条件，有利于形成大资源富集带。

1.2 煤系沉积演化

准噶尔盆地南缘早到中侏罗世期间分别形成了八道湾组和西山窑组两个重要的含煤地层。煤系地层的形成受依连哈比尔尕山东侧为主要物源区的影响，物源供给强度同沉积环境之间的相互作用共同影响着煤系空间分布和厚度特点。由于东西

向湖盆构造格局和地形存在明显差别，不同的地质时期所形成的沉积模式在空间上呈现出明显的分异特征，具体表现为某区域各个时期含煤地层层数、分布规律等发生改变的情况，同时也通过砂岩和煤层叠置关系的分析来表现出来。研究表明，八道湾组存在数层具有典型的砂岩或者粉砂岩顶底板结构特征的煤炭，西山窑组合上只有下段就已经出现了多层优质的煤炭沉积。由于快速沉积，本区域煤系出现多层沉积构造，这对于提高煤层气分布格局以及推进煤系天然气勘查有着十分重要的意义。根据前面聚煤机制研究结果可知，在早侏罗世阶段，煤炭主要富集在大黄山、阜康、吉木萨尔等地，形成厚度较大的八道湾组煤层；进入中侏罗世以后，聚煤作用明显增强，富煤区向西北方向扩展到阜康、乌鲁木齐、玛纳斯等地，西山窑组普遍发育并伴生煤质变好现象，因而孕育出多个具有较高潜在资源潜力的区域性大型煤炭基地。

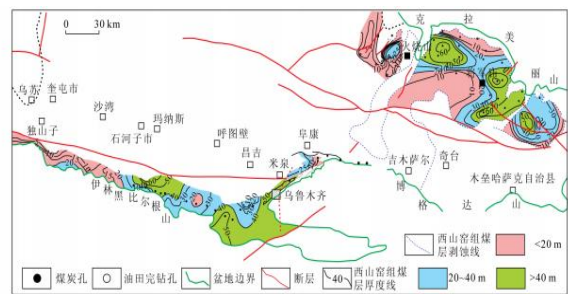


图1 西山窑组煤层厚度

2 煤层气基本地质特征

2.1 煤层发育特征

准东和淮南区域煤炭资源的赋存条件存在较大的差别。准东地区煤层埋藏深度大多低于800米，地层层序比较稳定，地质构造活动也比较轻微；淮南地区煤层埋藏深度更深，埋藏深度在400~1200米之间，并且呈盆地南缘向中心区深度增加的趋势。该地区内地层倾向有明显的变化，乌市周边地层倾向保

持在 15° 到 25° 之间, 在米泉、阜康和大黄山等地, 地层倾角逐渐增大到大于 45° , 部分地段接近垂直状, 具有典型的急倾斜煤层地质分布特征。

八道湾组富煤带分布在阜康和水西沟之间地带, 呈明显的地区性。其煤炭资源空间分布为东部密集厚层状、西部变薄、随着深度增加而厚度递减。本区的可采煤层层数在 3 到 15 层之间, 单层厚度平均在 45 米到 66 米之间, 占煤层总储量的比例大约是 $9\% \sim 11\%$, 煤层形态多为层状、似层状, 局部有透镜状构造。其展布方向大体上吻合博格达复背斜弧形构造带的空间分布规律。白杨河西矿区的某些煤层有着明显的自燃特点, 在地表附近可以看到东西向分布的烧变岩带。随着深度的加深, 火烧岩体发生倾斜下沉运动, 最大埋藏深度为 250~550 米。地质演化过程中对浅层煤层气的储集和保存条件起到了很大的作用。上述研究结果给改善该地区煤炭资源勘探开发提供科学支撑。

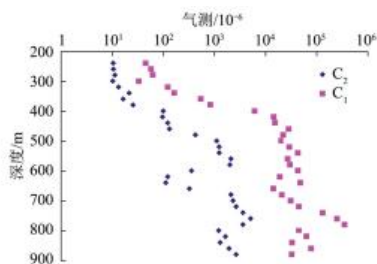


图 2 准噶尔盆地东南缘阜煤 1 井气测与埋深关系

西山窑组煤层主要分布在四工河西侧地区, 沉积中心大体上处于玛纳斯河和乌鲁木齐河汇合处附近, 聚煤盆地集中在乌鲁木齐市周围。该区域共记录有 50 多层煤层, 总厚度范围为 75.0-187.2 米, 可以开采的煤层层数在 10~22 层之间, 含煤系数为 $4\% \sim 18\%$ 。在准噶尔盆地东部沙帐、大井、将军庙、梧桐窝子四个富集区内, 都存在较好的储层条件, 为煤层气资源的形成和聚集提供地质背景的支持。

2.2 煤岩煤质及储层物性

准东和淮南煤田的岩相演化过程有明显不同, 都是典型的低煤阶沉积型煤盆地, 属低成熟度。准东区镜质体反射率大部分小于 0.5% , 煤质为褐煤为主, 含少量浅至中等深度的长焰煤; 淮南区镜质体反射率在 0.5% 到 0.8% 之间, 主要发育有长焰煤、气煤两类, 在局部矿区深部还有部分肥煤。各个研究区煤岩演化的空间分布从边缘到中心越来越强, 昌吉-阜康地区煤岩演化特征比较明显。

准东区域煤炭岩石学研究表明, 其镜质体组含量为 $13.75\% \sim 54.1\%$, 惰性组为 $25.47\% \sim 61.77\%$; 壳质体、丝炭化组分的分布分别为 $1.27\% \sim 28.65\%$ 和较高值, 由此可以推断出成煤时期泥炭沼泽曾经处在浅水覆盖状态, 并且大多是氧化或者弱氧化环境。相比而言, 淮南地区煤岩类型以镜质体为主, 平均

比例大于 70% , 壳质体含量只占不到 5% , 这与之形成的限制, 是关于甲烷资源潜在储量的定制约。

淮南下侏罗统八道湾组孔隙结构主要是大孔和过渡孔, 中侏罗统西山窑组孔隙结构主要是过渡孔和中孔。从研究数据可知, 西山窑组各个煤层的孔隙度为 $4.33\% \sim 27.46\%$, 平均孔隙度为 15.38% , 其中大孔和中孔所占比例达到 54.56% , 小孔、微孔所占比例达到 45.45% 。尽管该区域储层总体物性条件较为优良, 但渗透率的空间差异显著——准东西山窑组的渗透率介于 0.05×10^{-15} 至 $8.67 \times 10^{-15} \text{m}^2$ 之间; 南昌吉地区则进一步扩展至 0.22×10^{-15} 至 $23.2 \times 10^{-15} \text{m}^2$, 且平均值接近 $11.0 \times 10^{-15} \text{m}^2$ 。由此可知, 研究区的储层存在着比较明显的空间非均质性。

等温吸附实验结果说明, 在研究区域内, 煤炭资源的吸附性比较弱。以淮南矿区为研究对象, 其 Langmuir 模型得到的参数远远超过 $10 \text{m}^3/\text{t}$ 的国家标准, 局部区段内甚至达到了 $20 \text{m}^3/\text{t}$ 以上的上限, 霍尔果斯矿区(准东地区)的数据多数低于这个标准。从平面分布和垂直剖面角度出发可以得知, 淮南矿区吸附能力由西向东变大, 八道湾组的吸附能力比西山窑组强很多, 这种差别会对煤层气富集起到决定性的作用。

2.3 水文地质及保存条件

准东地区各个煤层的沉积地层一般都属于弱含水性, 地下水化学组成大体上是硫酸盐-氯化物型体系, 矿化度大致处在 $875.4 \sim 16326.9 \text{mg/L}$ 这个范围内。由于受地层渗透性差、长期风化侵蚀的影响, 在西山窑组及其上覆的地层中存在着明显的缺失情况, 造成深层煤系地层的埋藏深度较低, 不利于天然气的保存。与淮南地区不同的是, 淮南地区由于受到天山冰川融水补给的作用, 地下水资源较为丰富、流动性较大, 水质类型以碳酸氢钠型为主, 矿化度在 $100 \sim 400 \text{mg/L}$ 之间, 是产甲烷菌的良好生存环境, 有利于生物成因天然气的形成和富集过程。

对研究区的主要煤层及其顶底板岩石属性进行统计分析可知, 各个区域细粒相沉积物有明显的分布优势。吉木萨尔水西沟地区粗碎屑岩占到 91% , 乌鲁木齐河至四工河流域全部为覆岩。在顶板和底板中泥岩、粉砂岩等细碎屑岩类比较常见, 并且具有较好的致密性、封闭性, 给区域内的煤层气资源的保存创造了良好的地质条件。局部构造破碎带、煤层露头处由于封盖条件差, 容易造成煤层气逸散, 造成储集效果空间差异大。

3 煤层气富集规律及主控因素分析

3.1 煤层气成因

准噶尔盆地南缘煤层气成因类型多样, 甲烷碳同位素值介于 $-41.9\% \sim -64.6\%$, 同位素组成偏轻, 兼具生物成因气与热成因气特征, 部分气藏显示出气源运移分馏特点, 深部热成因气可沿断裂、裂隙向上运移至浅部煤层, 被煤岩二次吸附富集, 形成多源混合气藏。区域地下水活动活跃, 水质与矿化度适宜产甲烷菌生长, 次生物气补充效果显著, 清水河 901 孔侏罗

系常规天然气同位素组成与组分特征,也印证了区域生物成因气的广泛发育,多类型气源叠加补给是区域煤层气富集的重要特征。

3.2 空间富集规律

平面上,准东地区煤层含气量极低,普遍小于 $1\text{m}^3/\text{t}$,气体组分以氮气为主,煤层气富集程度差;淮南乌鲁木齐河西、河东及阜康大黄山、西沟煤矿等区域,煤层含气量较高,多介于 $2\sim 10\text{m}^3/\text{t}$,局部高值区可达 $10\sim 15\text{m}^3/\text{t}$,富集区集中在构造相对稳定、封盖条件优良的区块。垂向上,八道湾组煤层含气性整体优于西山窑组,同一煤层深部含气量高于浅部,埋深越大,甲烷体积分数越高,气测数据显示,淮南地区350m井段气测全烃值明显上升,420m处进一步升高,甲烷体积分数超过80%,甲烷风化带深度约420m,埋深增加有助于煤层气富集与保存。

表1 准噶尔盆地南缘煤层气含量

井号/地区	层位	煤层	含气量/($\text{m}^3\cdot\text{t}^{-1}$)	备注
煤田勘探孔1			0.37	霍尔果斯河以西
煤田勘探孔2 昌试1	J2 x	A5	0.63~1.30/0.91	霍尔果斯河—三屯河
昌试2		B5	3.39~4.87/3.69	
煤勘—头屯河		5-7	4.97~5.09/5.06	
煤勘—老君庙 LHG-06-03		7-8	2.78~3.22	
			2.43~4.61	三屯河—乌鲁木齐河
			0.85~2.70	

3.3 核心主控因素

第一,逆冲推覆构造是控制区域煤层气富集的核心因素。喜马拉雅运动引发的天山挤压扭动作用,强化了博格达推覆构造发育,乌鲁木齐—大黄山一带发育一系列走向逆冲断层,压性断层断面密闭性强,下伏地层推覆至煤层之上,有效阻挡煤层气散失,构造高点与断层封闭段成为煤层气富集的有利部位。

第二,煤岩变质程度与含气量呈正相关关系。乌鲁木齐—大黄山一带煤阶达到肥煤、焦煤阶段,煤层平均含气量 $9.02\sim 10.01\text{m}^3/\text{t}$,变质程度升高提升了煤岩吸附能力与生气潜力,推动煤层气持续富集。

第三,水动力封堵是煤层气富集成藏的关键条件。煤层露

头区大气降水与地表水沿露头渗入煤层,一方面携带微生物生成次生生物气,补充气源;另一方面推动煤层气向深部滞流区运移聚集,形成水动力封堵成藏效应,弱径流—滞流区是煤层气富集的优质区域。

4 煤层气富集成藏模式

综合构造、沉积、水动力及气源条件分析,准噶尔盆地南缘发育急倾斜煤层构造—水力封堵型混合气富集成藏模式。区域成藏受构造背景与水动力条件双重控制,中二叠统与侏罗系烃源岩生成的天然气,沿断裂、裂隙向上运移至煤层,与煤层原生生物气、热成因气混合,形成多源供气体系,构造高点成为气体优先富集的场所,游离气与吸附气共存,提升了气藏资源丰度。

淮南煤系赋存于基底断裂与厚皮构造带,地层倾角大但构造格局稳定,封闭性优良,煤层厚度大、孔裂隙系统发育,水动力封堵条件优越,弱滞留区实现煤层气规模化富集。浅部煤层火烧作用与深部热成因气沿断裂补给,配合地下水微生物生气作用,形成持续气源补给,封闭性好、地层压力高的区块,含气量与资源丰度显著更高。以头屯河—乌鲁木齐河段为例,叠瓦式逆冲构造与背向斜组合控气特征明显,逆冲构造前端应力集中,封闭性最强,含气量达到峰值,西山断层附近成为典型的煤层气富集高产区。

5 结论

准噶尔盆地南缘煤系发育受构造控制显著,整体呈现南北分带、东西分段的构造格局,准东构造简单、淮南构造复杂,煤层以低煤阶长焰煤、气煤为主,孔隙与渗透性能较好,非均质性较强,含气量呈现西高东低、深部高于浅部的分布规律。区域煤层气富集受逆冲推覆构造、煤岩变质程度、水动力封堵三大因素协同控制,发育急倾斜煤层构造—水力封堵型混合气成藏模式,构造封闭、高压滞流的区块是煤层气富集成藏的有利部位。阜康—大黄山区块资源规模、储层性能与保存条件俱佳,煤层气资源量达800亿 m^3 ,是区域优先勘探开发的核心有利区,具备规模化开发的资源基础与地质条件。区域煤系呈高角度多层叠置特征,多套煤层含气性优良,建议采用立体勘探、分段多层共采的开发模式,优化钻井工艺,聚焦甜点区,推动区域煤层气高效勘探与规模开发。

参考文献:

- [1] 徐帅,吴财芳,别小飞,等.复杂地质条件煤层气富集规律及成藏模式—以黔西新田煤矿为例[J/OL].煤田地质与勘探,1-11[2026-03-03].
- [2] 郑永旺,李超,吴剑,等.沁水盆地北缘晋中区块深部煤层气富集规律及有利区优选[J].东北石油大学学报,2025,49(06):85-97+152-153.
- [3] 闫睿昶,李熹微,李小冬,等.冀中拗陷石炭-二叠系残留断陷盆地深部煤层气富集规律及有利区评价[J/OL].地球科学,1-26[2026-03-03].
- [4] 徐长贵,季洪泉,王存武,等.鄂尔多斯盆地东缘临兴-神府区块深部煤层气富集规律与勘探对策[J].煤田地质与勘探,2024,52(08):1-11.
- [5] 刘锐.深部煤层气富集规律与开发对策研究[J].石化技术,2024,31(04):252-254.