榆树田煤矿瓦斯赋存规律及其控制因素

黄胜利
徐州矿物集团夏阔坦矿业开发有限责任公司，新疆库车
DOI:10.62836/environment.v3i2.1261

摘要：为明确榆树田煤矿瓦斯地质特征及其主控地质因素，基于矿井勘探资料与瓦斯地质资料，研究了榆树田煤矿瓦斯含量及组分，并分析了地质构造、水文地质条件、煤层埋藏深度、煤岩煤质与煤层厚度以及顶底板岩性及厚度等因素对瓦斯赋存的控制作用。研究结果显示：研究区瓦斯含量整体不高但层域差异显著，呈“北高南低、深高浅低”的分布格局，下5煤层最为富集，瓦斯含量为7.44m³/t；不对称向斜是瓦斯赋存的主控因素，北翼平缓形成弱径流富集区，南翼陡倾形成强径流逸散区，水文地质条件通过水动力和水化学双重机制控制瓦斯保存；低-中变质与惰质组含量高的组分构成，导致生烃潜力不足、吸附容量有限；巨厚煤层与致密顶底板是下5煤层瓦斯富集的重要原因，薄煤层与砂岩顶板则导致下4煤层瓦斯含量偏低。

关键词：瓦斯含量；赋存规律；控制因素；顶底板岩性；榆树田煤矿

Gas Occurrence and Its Controlling Factors in the Yushutian Coal Mine

Shengli Huang
Xinjiang Kuche County Xiakuotan Mining Development Co., Ltd., Kuche, China

Abstract: To clarify the gas geological characteristics and the primary controlling geological factors in the Yushutian Coal Mine, this study investigates the gas content and composition based on mine exploration data and gas geological data. The controlling effects of geological structure, hydrogeological conditions, coal seam burial depth, coal petrology and coal quality, coal seam thickness, as well as roof and floor lithology and thickness on gas occurrence were analyzed. The results show that although the overall gas content is not high, there is significant regional variability. Under the distribution pattern of “higher in the north and lower in the south, higher in deeper zones and lower in shallower zones”, the lower 5 coal seam exhibits the highest enrichment, with a gas content of 7.44 m³/t. The asymmetric syncline is the main controlling factor for gas occurrence along the dip direction: the gentle northern limb forms a weak runoff enrichment area, while the steep southern limb forms a strong runoff escape area. Hydrogeological conditions control gas preservation through the dual mechanisms of hydrodynamics and hydrochemistry. The coal composition of low-medium metamorphism and dominant inertinite limits hydrocarbon generation and adsorption capacity. Thick coal seams with dense roof and floor are important reasons for gas

*作者简介：黄胜利（1997.11-），男，汉，河南鄢陵县，本科，助理工程师，研究方向：水文地质。

enrichment in the lower 5 coal seam, while thin coal seams with sandstone roofs directly cause the low gas content in the lower 4 coal seam.

Keywords: gas content; gas occurrence; controlling factors; roof and floor lithology; Yushutian coal mine

1 引言

瓦斯是成煤过程中地质作用的产物，其生成、运移、赋存及富集均受地质因素控制[1]。前人针对瓦斯赋存规律已从煤变质程度、煤层埋深、构造演化及地质构造类型，以及地应力与构造应力场等因素，展开了广泛研究：李桂明等认为瓦斯含量与煤层埋深、煤层厚度呈正相关关系[2]；陈卫东等通过灰色关联分析表明地质构造和埋藏深度是瓦斯赋存的主控因素[3]；杨祎超等利用模糊物元法评价[4]，认为芦岭煤矿10号煤层瓦斯赋存主要受瓦斯压力、构造复杂程度、煤体结构和煤层厚度控制，且瓦斯涌出量随埋深增加而增大；任沁元强调地质构造的主导作用，认为断层是控制煤层瓦斯赋存的关键地质因素，其分布与组合方式造成局部瓦斯含量异常[5]；吴俊达等认为新元煤矿瓦斯含量受埋深控制，煤层厚度仅局部影响瓦斯变化，而非主控因素，且顶板围岩的良好封闭性阻断了瓦斯逸散通道[6]；王燕杰研究发现增子坊矿5号煤层瓦斯赋存受多因素影响，其中煤层埋深是主控因素，开放性断层导致瓦斯扩散，而透气性好的顶板不利于瓦斯赋存[7]；蔺亚兵等分析得出胡家河煤矿瓦斯赋存主要受地质构造控制，向斜与背斜翼部易形成岩性封闭，基岩厚度和煤层厚度越大，越有利于瓦斯富集[8]；郑立军等基于瓦斯地质单元划分，指出古汉山井田瓦斯赋存受构造和上覆基岩厚度控制，断层形成的地堑导致上覆基岩增厚是瓦斯含量高的主因，而断层形成的隐伏露头和薄基岩带则导致瓦斯含量低[9]；孔胜利等分析得出，屯兰煤矿瓦斯赋存主要受NE向断层和埋深的控制，区域构造和断层组合显著影响瓦斯富集，工作面靠近大、小断层时瓦斯涌出量明显增大[10]。

然而，由于成煤环境存在差异、成煤后构造运动具有多期性、煤田及井田所处的大地位置各不相同以及构造格局复杂，导致不同煤田之间、同一煤田的不同井田之间，甚至同一井田不同区域之间的瓦斯赋存规律各不相同。本文以榆树田煤矿为例，综合已有勘探与实测资料，对6个主采煤层瓦斯含量及组分进行了研究，并分析了地质构造、水文地质条件、煤层埋藏深度、煤岩煤质与煤层厚度以及顶底板岩性及厚度等因素对瓦斯赋存的控制作用，为矿井瓦斯防治提供了地质依据。

2 矿区地质概况

2.2 矿区构造及地质特征

榆树田煤矿位于天山南麓、塔里木盆地北缘，井田地处夏阔坦向斜东段，横跨该向斜两翼。向斜轴呈近东西向展布，东部翘起，向西倾伏，北翼较缓，倾角10°～14°，南翼较陡，倾角40°～60°，为两翼不对称向斜[11]。向斜轴部为中侏罗统克孜努尔组（J2k）地层，向两侧依次为下侏罗统阿合组（J1a）和塔里奇克组（J1t）地层[12]。区内未发现＞30m的断层，无岩浆活动痕迹，但南部及东部边缘煤层露头处分布有条带状或区域性的火烧区（**图1**）。

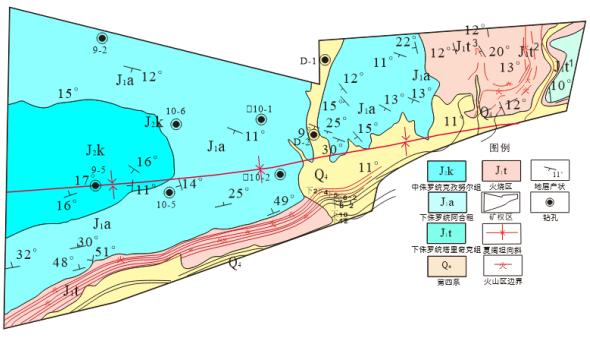


图1. 榆树田煤矿构造纲要图（据文献[13]，有删改）

井田煤层均赋存于侏罗系下统塔里奇克组地层（J_1t），地层厚度256.79m，含煤14层，煤层从上至下编为下$_1$、下$_2$、下$_3$、下$_4$、下$_5$、下$_{6-1}$、下$_{6-2}$、下$_{7-1}$、下$_{7-2}$、下$_{8-1}$、下$_{8-2}$、下$_{10}$、下$_{11}$、下$_{12}$煤层，其中可采及局部可采煤层9层为下$_2$、下$_4$、下$_5$、下$_{6-1}$、下$_{6-2}$、下$_{7-1}$、下$_{8-2}$、下$_{10}$、下$_{12}$煤层，其余煤层局部也有可采点，但只有点线分布，均为不可采煤层[14]。本文重点研究的6个煤层中，下$_5$、下$_{7-1}$、下$_{8-2}$、下$_{10}$、下$_{12}$为全区可采的稳定煤层，下$_4$为大部分可采的较稳定煤层。井田煤层总厚为19.89～37.02m，平均总厚度27.66m，含煤系数10.78%，煤层可采平均总厚26.21m，可采系数为94.72%。

2.2 水文地质特征

井田位于库车河北岸，属中低山侵蚀阶地地貌，库车河为当地最低侵蚀基准面。矿井主要充水含水层包括第四系冲洪积孔隙潜水含水层（H_1）、烧变岩孔隙-裂隙潜水含水层（H_2）、下侏罗统阿合组（H_3）及塔里奇克组（H_4）孔隙-裂隙承压含水层。其中，H_4为各主采煤层的直接充水含水层，岩性主要以中粗砂岩为主，泥质充填，裂隙不发育，整体富水性弱，单位涌水量0.0083～0.0422L/s·m。H_3含水层富水性弱-中等单位涌水量0.017～0.2434L/s·m。地下水补给来源以库车河侧向补给和大气降水垂直入渗为主，径流方向总体向向斜轴部汇集，排泄方式主要为矿井疏干排水和蒸发。烧变岩裂隙发育，透水性强，与地表水和第四系潜水水力联系密切，是地下水富集的重要空间。

3 煤层瓦斯特征

3.1 瓦斯含量

瓦斯含量是衡量煤层含气性的重要指标。根据井田内各煤层瓦斯参数测试成果（**表1**）及不同煤层瓦斯含量对比（**图2**），下$_5$和下$_{10}$煤层瓦斯含量最高，分别为7.44m^3/t和7.09m^3/t，下$_{7-1}$、下$_{8-2}$和下$_{12}$煤层次之，瓦斯含量分别为4.05m^3/t、5.61m^3/t和4.25m^3/t，下$_4$煤层瓦斯总量最少，为1.38m^3/t。

井田内下$_5$煤层CH_4含量最高，介于0.111～0.508m^3/t，平均为1.336m^3/t，其中10-6-1瓦孔，CH_4浓度和含量最高，下$_5$煤层是井田内瓦斯最富集的煤层。下$_{10}$煤层CH_4含量介于0.242～1.785m^3/t，平均为0.888m^3/t。下$_4$煤层和下$_{7-1}$煤层CH_4含量均较低，平均含量分别为0.643m^3/t和0.541m^3/t，但下$_4$煤层9-5瓦1孔含量为1.681m^3/t，反映了局部富集的特点。下$_{8-2}$煤层和下$_{12}$煤层CH_4含量最低，平均仅为0.489m^3/t和0.190m^3/t。

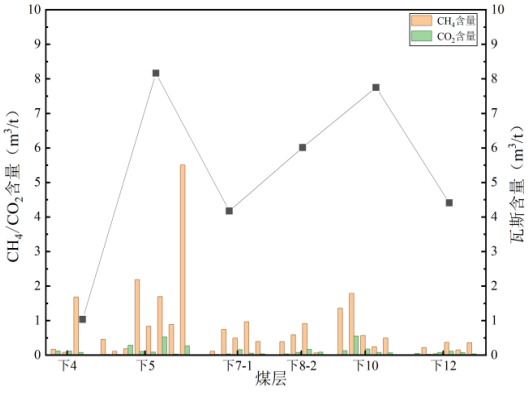


图2. 不同煤层瓦斯含量对比图

3.2 瓦斯组分及瓦斯分带

瓦斯组分是确定瓦斯纯度和划分煤层瓦斯风化带的重要参数[1]。井田瓦斯组分以CH_4和N_2为主，CO_2含量普遍较低。下$_5$煤层整体CH_4浓度较高，平均46.52%，其中10-6-1瓦孔CH_4浓度89.10%、9-5-瓦2孔81.58%，属CH_4富集区，但10-5-1瓦孔CH_4浓度仅6.20%、N_2浓度89.83%，可能受张性断裂沟通浅部或地表水下渗影响。下$_4$煤层轴部9-5-瓦1孔CH_4浓度高达91.69%，而翼部加10-1-瓦1孔CH_4仅22.01%、CO_2却高达27.70%，反映轴部与翼部赋存条件有所差异。下$_{7-1}$、下$_{8-2}$、下$_{10}$及下$_{12}$煤层中，多数钻孔以N_2为主导，N_2占比介于60%～97%,CH_4多低于30%，但下$_{10}$煤层D-1孔CH_4浓度84.73%，下$_{12}$煤层9-5-瓦6孔为56.36%，表明深部局部利于CH_4保存。

依据CH_4浓度划分为沼气带（＞80%）、氮气-沼气带（20%～80%）和二氧化碳-氮气带（＜20%）。沼气带主要分布于北翼深部和向斜轴部，包括下4煤层9-5-瓦1孔、下$_5$煤层10-6-1瓦孔和9-5-瓦2孔。氮气-沼气带分布最广，包括下$_5$煤层9-2-1孔、加10-2-

表1. 瓦斯参数测试成果表

煤层	钻孔	埋深（m）	瓦斯含量（m^3/t）			瓦斯组分（%）			瓦斯分带
			总量	CH_4	CO_2	CH_4	CO_2	N_2	
$下_4$	加10-1-瓦1	305.4	1.38	0.17	0.118	22.01	27.7	50.29	氮气-沼气带
	加-2-瓦1	285.4		0.078	0.114	33.77	48.51	17.71	氮气-沼气带
	9-5-瓦1	482.9		1.681	0.077	91.69	4.35	3.96	沼气带
$下_5$	9-2-1孔	195.5	7.44	0.457	0.019	52.02	1.25	46.73	氮气-沼气带
	9-2-2孔	235.5		0.111	0.015	8.07	1.38	90.55	氮气-沼气带
	加10-1-瓦2	327.15		0.183	0.283	16.82	25.74	57.44	氮气-沼气带
	加10-2-瓦2	306.6		2.185	0.104	78.88	1.72	19.4	氮气-沼气带
	9-5-瓦2	512		0.832	0.084	81.58	6.59	11.83	沼气带
$下_{7-1}$	D-2	171.7	4.05	1.691	0.525	69.53	27.09	3.37	氮气-沼气带
	10-5-1瓦	418.7		0.885	0.029	6.2	3.97	89.83	二氧化碳-氮气带
	10-6-1瓦	385.2		5.508	0.27	89.1	1.73	9.17	沼气带
	9-2孔	235.5		0.111	0.015	8.07	1.38	90.55	氮气-沼气带
	10-5-2瓦	463		0.745	0.032	15.71	0.44	83.84	氮气-沼气带
	加10-1-瓦3	366.6		0.491	0.158	59.34	24.91	15.75	氮气-沼气带
	10-6-2瓦	416.72		0.964	0.052	10.54	2.44	87.02	氮气-沼气带
	9-5-瓦3	550.2		0.396	0.031	64.45	4.13	31.42	氮气-沼气带
$下_{8-2}$	10-5-3瓦	487	5.61	0.39	0.034	6.51	0.02	93.46	二氧化碳-氮气带
	9-5-瓦4	572.9		0.59	0.073	51.13	5.98	42.89	氮气-沼气带
	10-6-3瓦	441.8		0.913	0.165	14.02	8.24	77.73	氮气-沼气带
$下_{10}$	加10-1-瓦4	390.1	7.09	0.064	0.084	12.3	11.66	76.04	氮气-沼气带
	10-6-4瓦	503.2		1.356	0.129	27.72	14.3	57.77	氮气-沼气带
	D-1	231.3		1.785	0.553	84.73	7.84	18.07	氮气-沼气带
	加10-1-瓦5	453.1		0.566	0.172	26.67	10.7	62.63	氮气-沼气带
	加10-2-瓦3	441.1		0.242	0.075	14.67	7.7	77.62	氮气-沼气带
	9-5-瓦5	638.8		0.493	0.066	39.81	5.72	54.47	氮气-沼气带
$下_{12}$	10-6-5瓦	535	4.25	0.005	0.047	0.21	1.99	97.8	二氧化碳-氮气带
	10-5-5瓦	588.32		0.214	0.02	7.02	0.04	92.94	二氧化碳-氮气带
	9-2孔	344.14		0.04	0.076	0.99	17.36	81.65	二氧化碳-氮气带
	加10-1-瓦6	486.5		0.37	0.111	30.93	10.04	59.03	氮气-沼气带
	加10-2-瓦4	477.8		0.15	0.071	6.01	9.1	84.88	二氧化碳-氮气带
	9-5-瓦6	669.5		0.357	0.032	56.36	3.7	39.94	氮气-沼气带

瓦2孔、$下_{10}$煤层D-1孔、$下_{12}$煤层9-5-瓦6孔等多数钻孔。二氧化碳-氮气带主要分布于南翼及$下_{8-2}$、$下_{12}$煤层，如$下_5$煤层10-5-1瓦孔、$下_{8-2}$煤层10-5-3瓦孔、$下_{12}$煤层10-6-5瓦孔和10-5-5瓦孔。

4 影响瓦斯赋存的控制因素

4.1 地质构造

构造因素主要体现在构造形态对瓦斯的控制。构造既可改变煤层赋存形态及煤体结构，又可改变煤层围岩透气性能[8]。不同构造部位由于应力状态差异，会形成截然不同的瓦斯保存或逸散环境。挤压应力区裂隙闭合、渗透性差，有利于瓦斯富集，拉张应力区裂隙发育、渗透性强，易导致瓦斯逸散。

向斜轴部挤压应力集中，裂隙闭合，形成天然的“构造圈闭”，有利于瓦斯富集。北翼地层平

缓，瓦斯沿煤层上倾方向运移的浮力驱动力小，地层受力以垂向压实为主，张性裂隙不发育，煤系渗透性差，有利于瓦斯赋存。轴部9-5钻孔数据显示，下$_4$、下$_5$、下$_{8-2}$煤层的CH_4浓度普遍较高，最高为91.69%。下$_5$煤层10-6-1瓦孔，位于北翼，CH_4含量5.508m^3/t。

南翼地层陡倾，构造应力作用下，脆性岩层中广泛发育张性裂隙和节理，增强了地层渗透性，为瓦斯垂向和侧向逸散提供了通道。实测数据显示，南翼各煤层瓦斯含量低，下$_5$煤层10-5-1瓦、下$_{12}$煤层10-6-5瓦孔N_2浓度高，属于二氧化碳-氮气带，未发现成规模的瓦斯富集。此外，煤层露头与库车河斜交，地下水循环不断溶解和携带瓦斯向地表排泄。

4.2 水文地质条件

水动力条件是影响瓦斯富集的关键因素，通过水动力的强弱和地下水径流的方向控制着瓦斯的赋存，并可概括为水力运移逸散作用、水力封闭作用和水力封堵作用[15]。

南翼及浅部地区受第四系冲洪积孔隙含水层（H_1）和烧变岩孔隙-裂隙含水层（H_2）的强径流控制，水动力条件活跃：H_1含水层渗透系数77.51m/d，单位涌水量为14.69L/s·m，属极强富水性，覆盖于基岩之上并通过风化裂隙补给下伏含水层；H_2烧变岩含水层单位涌水量为3.919L/s·m，水位标高1678～1683m，裂隙发育且与第四系水力联系密切。南翼地层陡倾，与库车河斜交，形成地下水强径流带，地下水循环活跃，不断溶解并携带瓦斯向地表排泄，导致瓦斯逸散。如向斜南翼下$_5$煤层10-5-1瓦孔CH_4浓度6.20%、N_2浓度89.83%，属二氧化碳-氮气带，下$_{12}$煤层10-6-5瓦孔CH_4仅0.005m^3/t、CH_4浓度仅0.21%。

北翼深部地区受下侏罗统塔里奇克组含水层（H_4）控制，该含水层渗透系数仅0.00031～0.017m/d，单位涌水量0.003～0.021L/s·m，属弱富水性，反映地下水处于滞流状态。平缓的地层、微弱的水循环，会减少瓦斯的溶解搬运，如北翼下$_5$煤层10-6-1瓦孔CH_4含量达5.508m^3/t、浓度89.10%，下$_4$煤层9-5-瓦1孔CH_4浓度91.69%，均属沼气带。

水化学条件通过影响煤层水介质的化学性质和氧化还原环境，间接控制瓦斯的生成与保存。受第四系含水层（H_1）补给影响的区域，地下水化学类型为K·Na·Ca·Mg-Cl·SO_4·HCO_3型，HCO_3^-含量达290.94mg/L，pH=7.6，为弱碱性咸水。下渗水中携带的HCO_3^-在微生物作用下可转化为CO_2，导致局部钻孔出现高CO_2异常，如下$_4$煤层加10-1-瓦1孔CO_2浓度为27.70%、CH_4仅22.01%，下$_{7-1}$煤层加10-1-瓦3孔CO_2浓度24.91%、CH_4浓度59.34%。高CO_2分压不仅稀释了CH_4组分，还会降低煤对CH_4的吸附选择性，不利于高浓度CH_4的形成。而在北翼深部受H_4控制的区域，地下水处于承压滞流状态，水循环迟缓，通常为还原环境，有利于CH_4的生成与保存。因此，氧化环境不利于瓦斯富集，而还原环境则有利于瓦斯保存。

4.3 煤层埋藏深度

煤层埋藏深度是影响瓦斯含量的重要因素[16]。根据CH_4含量与煤层埋深关系（**图3**），埋深＜350m，煤层瓦斯含量普遍较低。下$_5$煤层9-2-1孔埋深195.5m，CH_4含量仅0.457m^3/t，这是由于浅部盖层压力小，地层致密化程度低，煤层渗透率高，地下水活动活跃，导致生成的大部分CH_4发生长距离运移并逸散至大气中。埋深在350～500m范围内，瓦斯含量随深度增加而升高。下$_5$煤层10-6-1瓦孔埋深385.2m，CH_4含量全井田最高，为5.508m^3/t。但局部存在异常低值，如10-5-1瓦孔埋深418.7m，含量仅0.885m^3/t。随埋深增大，地层压实作用增强，渗透率降低，地下水径流减缓，保存条件改善，利于CH_4富集。埋深是瓦斯赋存的主控因素，并非唯一因素，瓦斯赋存可能受到局部构造位置、顶底板岩性组合以及水文条件的影响。埋深＞500m，下$_5$煤层9-5-瓦2孔埋深512.0m，CH_4含量0.832m^3/t，下$_{7-1}$煤层9-5-瓦3孔埋深550.2m，CH_4含量0.396m^3/t。上覆岩层厚度大，地应力升高，岩层处于高压缩、低渗透状态，地下水基本处于滞流状态，形成稳定的还原封闭环境，有利于瓦斯保存，但由于煤岩自身生烃潜力有限，总生成气量不大。

埋深＜350m，CH_4为主要组分，但N_2浓度比较高。下$_5$煤层9-2-1孔，CH_4浓度52.02%，而N_2为46.73%，属于氮气-沼气带。这是由于埋藏浅、压力低、水循环活跃，CH_4易被地下水溶解或随渗流带走，而N_2化学性质稳定、迁移能力强，易残留。埋深在350～500m范围内，下$_5$煤层10-6-1瓦孔，CH_4浓度89.10%，而10-5-1瓦孔CH_4仅6.20%，属二氧化碳-氮气带。10-6-1瓦孔位于向斜北翼的构造稳定区，地层平缓且围岩致密，局部存在良好的构造封闭或岩性圈闭条件，形成了相对封闭的还原环境，利于瓦斯赋存，10-5-1瓦孔位于南翼陡倾区，地层倾角大，构造应力作用下发育张性裂隙和节理，地表水携带O_2和CO_2进入煤系地层，破坏了原有的还原环境，导致CH_4被稀释或氧化，同时CO_2和N_2相对富集，因此CH_4浓度低。埋深＞500m，下$_5$煤层9-5-瓦2孔CH_4浓度81.58%，下$_{7\text{-}1}$煤层9-5-瓦3孔CH_4浓度64.45%。上覆岩层压力大，岩层渗透性低，地下水基本滞流，形成稳定的还原封闭环境，因此CH_4占绝对优势。

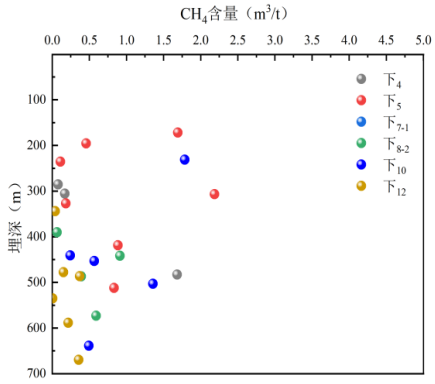


图3. CH_4含量与埋深关系图

4.4 煤岩煤质与煤层厚度

井田内宏观煤岩类型以光亮煤及半亮煤为主，显微组分以惰质组为主，其含量介于52.63%～70.43%，镜质组次之，其含量介于29.06%～46.84%，矿物成分主要为黏土矿物。各煤层镜质体最大反射率（$Ro,_{max}$）介于0.32%～0.56%，平均仅0.45%，挥发分产率V_{daf}为34.39%～37.39%，煤类属气煤-1/3焦煤，属低-中变质阶段。

煤岩有机显微组分包括镜质组、惰质组和壳质组，其中镜质组是瓦斯吸附的主要载体，镜质组含量与瓦斯含量呈正相关关系。煤岩灰分及水分含量通常与煤层中的瓦斯含量呈负相关：灰分作为无机矿物质，会减少煤的有效吸附空间，而水分会占据瓦斯的吸附位点，即灰分和水分含量越高，瓦斯含量越低[17]。各煤层显微组分惰质组占优势，惰质组生烃能力弱，镜质组为主要吸附载体，壳质组为主力生烃母质，但含量极少，小于1.1%，导致煤层生烃潜力不足，吸附容量有限，瓦斯含量少。根据主采煤层煤层厚度与煤岩特征（**表2**）及显微组分与瓦斯含量关系（**图4**）分析，下$_5$煤层镜质组含量最低，为29.06%，但其CH_4含量平均达1.336m³/t，为各煤层最高，下$_{10}$煤层镜质组含量最高，为46.84%，CH_4含量平均0.888m³/t，低于下$_5$煤层。

各煤层灰分A_{ad}介于9.18%～14.67%，水分M_{ad}介于0.93%～1.65%。下$_5$煤层灰分11.25%，CH_4含量平均为1.336m³/t，而下$_{12}$煤层灰分9.18%，CH_4含量平均为0.190m³/t；下$_{10}$煤层水分最低，为0.93%，CH_4含量平均为0.888m³/t，下$_4$煤水分最高，为1.65%，CH_4含量平均为0.643m³/t，而下$_5$煤水分为1.21%，但瓦斯含量高，下$_{12}$煤水分1.45%，瓦斯含量低。

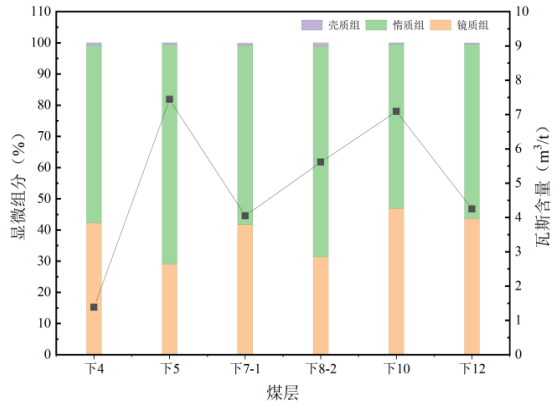


图4. 显微组分与瓦斯含量关系图

煤层厚度对瓦斯赋存的影响主要体现在两个方面：一方面，煤层作为瓦斯生成的物质基础，其他条件相同，厚度越大，其生烃母质总量大，生成气体多；另一方面，煤层自身具有天然的隔气层属性，表现为渗透率低、结构致密、透气性差，能

表2. 主采煤层煤层厚度与煤岩特征

煤层	煤层厚度/m	镜质组（%）	惰质组（%）	壳质组（%）	Ro_{max}（%）	A_{ad}（%）	M_{ad}（%）	V_{daf}（%）
下$_4$	0.64~1.00.90（15）	42.2	57	0.825	0.445	2.00-6.18 3.93（10）	0.74-5.09 1.61（10）	32.52-40.24 37.39（10）
下$_5$	6.38~11.379.35（14）	29.06	70.43	0.51	0.36	3.93-6.98 4.72（14）	0.70-1.58 1.20（14）	30.36-37.80 34.58（14）
下$_{7-1}$	0.68~3.31.83（13）	41.6	57.6	0.7	0.32	2.11-9.38 5.71（11）	0.34-3.52 1.18（11）	29.76-40.60 37.00（11）
下$_{8-2}$	0.49~1.71.24（13）	31.33	67.6	1.067	0.4067	2.32-11.2 6.63（10）	0.62-4.28 1.12（10）	30.56-39.93 35.52（10）
下$_{10}$	2.73~10.6.82（14）	46.84	52.63	0.542	0.56	0.22-7.50 3.72（14）	0.70-1.31 0.93（14）	33.02-38.71 35.22（14）
下$_{12}$	1.30~2.11.94（12）	43.6	56	0.375	0.523	2.34-7.95 4.02（12）	0.54-4.00 1.64（12）	29.98-38.36 34.39（12）

注：$\frac{\text{最小值–最大值}}{\text{平均值（样本数）}}$

够将瓦斯气体保存于层间孔隙之中[15]。下$_5$煤层平均可采厚度9.35m，最大厚度11.37m，属于巨厚煤层，气体从煤层中心向顶底板边界运移路径长、阻力大。下$_5$煤层10-6-1瓦孔煤厚9.49m，CH_4含量最高，为5.508m^3/t，表明与煤层厚度有关。下$_{10}$煤层平均可采厚度6.82m，属厚煤层，CH_4平均含量为0.888m^3/t。然而，顶板粗砂岩不利于瓦斯赋存，因此，在两翼不同构造位置和水文条件下，CH_4含量有所差异。下$_4$煤层平均可采厚度仅0.97m，属薄煤层，气体运移路径短，易完全穿越煤层而逸散。顶板局部存在砂岩夹层，分散的微小通道即可将气体疏导至上覆渗透层，最终被地下水或大气降水带走，因此下$_4$煤层含气量普遍较低。下$_{7-1}$煤层厚度平均1.83m、下$_{12}$煤层平均1.94m，属中厚煤层，下$_{8-2}$煤层厚度平均1.24m属薄煤层，气体运移距离短，但由于顶底板岩性相对致密，部分瓦斯得以保存。

4.5 顶底板岩性及厚度

煤层顶底板岩性条件直接影响瓦斯赋存量大小，围岩的透气性越大，瓦斯越易流失，煤层瓦斯含量就越小；反之，瓦斯保存条件好，瓦斯含量就越高[16]。根据各煤层顶底板岩性及厚度（**表3**）及顶底板厚度与岩性与瓦斯含量的关系分析（**图5**-6），下$_5$煤层顶板为粉、细砂岩，厚1.91m，底板为粉砂岩，厚0.80m，岩性致密、孔隙率低、渗透性差，能够对瓦斯形成有效垂向封堵，且顶底板岩性在全井田较为稳定，因此下$_5$煤层CH_4含量最高，平均1.336m^3/t，最高达5.508m^3/t。下$_4$煤层顶板为粉、细砂岩，局部发育中砂岩，厚0.98m，底板为粉砂岩，厚1.30m。中砂岩孔隙率大、渗透性好，顶板中砂岩夹层形成了局部逸散通道，导致下$_4$煤层瓦斯含量整体偏低，平均仅0.643m^3/t，而9-5-瓦1孔因中砂岩夹层减薄、泥质含量增加，局部恢复了封盖作用，瓦斯含量达1.681m^3/t。

下$_{10}$煤层顶板为粗砂岩、细砂岩，厚0.60m，底板为粉、细砂岩，厚2.20m。顶板粗砂岩渗透性好，瓦斯易于向上逸散，如加10-2-瓦3孔CH_4仅0.242m^3/t，顶板细砂岩或粉砂岩发育区段封闭性较好，如D-1孔CH_4达1.785m^3/t。下$_{7-1}$煤层顶板为粉、细砂岩，局部炭质泥岩，厚0.40m，底板为粉砂岩、炭质泥岩，厚0.51m，炭质泥岩有利于瓦斯赋存。下$_{8-2}$煤层顶板为粉砂岩、炭质泥岩，厚0.60m，底板为粉砂岩，厚1.20m，岩性致密但CH_4平均仅0.489m^3/t，表明受其他因素控制。下$_{12}$煤层顶底板均为粉砂岩厚度为0.78m和0.95m，岩性致密，但因埋深浅、受地下水冲刷淋滤和后期构造抬升影响，CH_4平均仅0.190m^3/t。

表3. 主采煤层顶底板岩性及厚度

煤层	岩性		厚度（m）	
	顶板	底板	顶板	底板
$下_4$	粉、细砂岩 局部中砂岩	粉砂岩	0.98	1.30
$下_5$	粉、细砂岩	粉砂岩	1.91	0.80
$下_{7-1}$	粉、细砂岩 局部炭质泥岩	粉砂岩 炭质泥岩	0.40	0.51
$下_{8-2}$	粉砂岩 炭质泥岩	粉砂岩	0.60	1.20
$下_{10}$	粗砂岩 细砂岩	粉、细砂岩	0.60	2.20
$下_{12}$	粉砂岩	粉砂岩	0.78	0.95

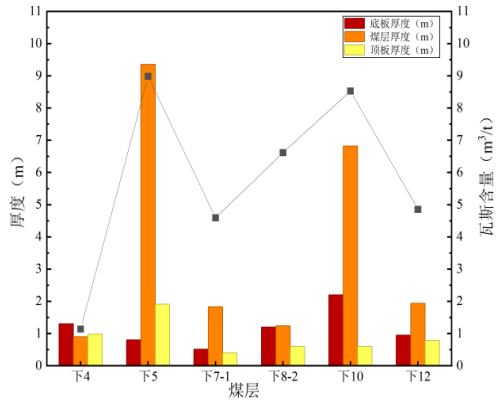


图5. 顶底板厚度与瓦斯含量关系图

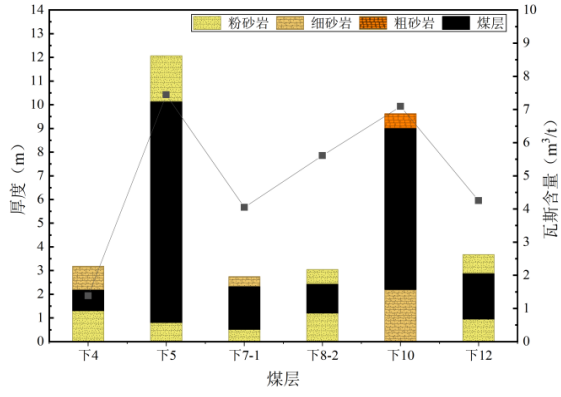


图6. 顶底板岩性与瓦斯含量关系图

5 结论

（1）榆树田煤矿瓦斯含量总体不高，但层域差异显著，呈“北高南低、深高浅低”的分布格局。井田瓦斯组分以甲烷（CH_4）和氮气（N_2）为主，多数区域属于氮气-沼气带，仅向斜北翼深部达到沼气带。各煤层中，$下_5$煤层瓦斯最为富集，瓦斯含量为7.44m³/t$下_4$煤层瓦斯含量最低,为1.38m³/t。

（2）不对称向斜构造是控制瓦斯赋存倾向性差异的主控因素。平缓的北翼形成构造-水动力联合封闭体系，地下水径流滞缓、矿化度高，有利于瓦斯富集。陡倾的南翼张性裂隙发育，与库车河形成强径流逸散区，地下水循环活跃、矿化度低，导致瓦斯大量逸散。

（3）埋深增加整体上有利于瓦斯保存，但受局部构造和岩性影响，存在异常低值点。低-中变质程度与“富惰、贫镜、少壳”的组分构成，导致煤层生烃潜力不足、吸附容量有限，是区域瓦斯含量整体不高的内在原因。巨厚煤层与致密顶底板是$下_5$煤层瓦斯富集的关键，而薄煤层与砂岩顶板是$下_4$煤层瓦斯含量偏低的直接原因。

参考文献

[1]李鹏飞.沙曲井田4号煤层瓦斯赋存规律及其主控地质因素[J].煤,2020,29(06):16-20.

[2]李桂明,冯冰,李绍鹏,等.盘江矿区盘关向斜煤系地层及瓦斯地质规律研究[J].煤炭技术,2023,42(05):139-143.

[3]陈卫东,邹帅,邹云龙,等.韩城象山煤矿主采煤层瓦斯赋存主控因素分析[J].陕西煤炭,2025,44(05):56-61.

[4]杨祎超,徐宏杰,刘会虎,等.芦岭煤矿10号煤层瓦斯赋存及其控制因素综合评价[J].煤矿安全,2024,55(02):27-34.

[5]任沁元.矿井地质条件对煤层瓦斯赋存的控制因素分析[J].内蒙古煤炭经济,2023,(03):178-180.

[6]吴俊达,刘志强.新元煤矿瓦斯分布特征及其控制因素研究[J].山西化工,2025,45(10):190-192+198.

[7]王燕杰.增子坊矿煤层瓦斯赋存的地质控制因素研究[J].山西煤炭,2020,40(04):52-57.

[8]蔺亚兵,秦勇,王伟,等.彬长矿区胡家河煤矿瓦斯赋存特征及其地质控制[J].煤矿安全,2019,50(07):219-223.

[9]郑立军,李艳飞,孙伟,等.基于瓦斯地质单元划分的瓦斯赋存规律分析[J].煤炭技术,2023,42(08):173-176.

[10]孔胜利,杨洋,贾音,等.煤层瓦斯赋存特征及其关键地质因素影响研究[J].煤炭科学技术,2019,47(07):53-58.

[11]曹佳,李娟,任超.某矿下4、下5煤层瓦斯赋存规律研究[J].资源信息与工程,2019,34(02):87-88.

[12]孙先立,黄胜利,王猛.煤矿涌水量计算方法研究与应

用——以榆树田煤矿为例[J].煤炭科技,2023,44(06):109-115.

[13]李文,赵坤,张冲.榆树田煤矿地质构造特征及其对煤层瓦斯赋存的影响[J].能源与环保,2024,46(07):111-115+122.

[14]陈闯,崔洪庆.地质因素对祁南矿瓦斯赋存的控制特征[J].煤矿安全,2015,46(11):27-30+34.

[15]马学刚.成庄煤矿瓦斯赋存特征及其控制因素分析[J].矿业装备,2023,(07):134-136.

[16]张迪,张义涵,韩文彬,等.保德煤矿主采煤层瓦斯含量差异控制因素研究[J].中国矿业,2025,34(S2):468-473.

[17]王国华,冯光俊,刘刚,等.东欢坨矿瓦斯地质特征及其控制因素分析[J].煤矿安全,2017,48(02):149-152.

Copyright © 2026 by author(s) and Global Science Publishing Inc.
This work is licensed under the Creative Commons Attribution International License (CC BY 4.0).
http://creativecommons.org/licenses/by/4.0/

Open Access