

淮南苇子沟井田煤质特征及气/液化性能评价*

朱俊卿¹, 王猛^{1,2†}, 贾腾飞¹, 李嘉敏¹, 阿斯压·巴克¹

(1. 新疆大学 地质与矿业工程学院, 新疆 乌鲁木齐 830047; 2. 中国矿业大学 煤层气资源与成藏过程教育部重点实验室, 江苏 徐州 221116)

摘要: 为探讨淮南苇子沟井田煤质特征及其气/液化性能, 对该井田煤岩样品进行了系统的工业测定、工艺性能分析和显微组分鉴定. 基于钻孔资料和实验数据, 结合气/液化用煤指标初步评价了该井田的高效利用方式. 结果表明: 苇子沟井田煤质具有低水、特低灰分、高挥发分、特低硫、低煤灰熔融点、无粘结性、高热稳定性、高抗碎强度和可磨性指数高的特点. 全区煤质满足气化用煤指标体系中流化床气化、水煤浆气流床气化以及干燥粉气流床气化的二级指标、常压固定床气化的二级指标, 可作为优质气化用煤; 满足液化用煤指标体系中的二级指标, 可作为普通液化用煤.

关键词: 煤岩特征; 工艺性能; 气化用煤; 液化用煤.

DOI: 10.13568/j.cnki.651094.651316.2020.04.10.0002

中图分类号: TQ529.1 **文献标识码:** A **文章编号:** 2096-7675(2021)04-0461-011

引文格式: 朱俊卿, 王猛, 贾腾飞, 等. 淮南苇子沟井田煤质特征及气/液化性能评价[J]. 新疆大学学报(自然科学版)(中英文), 2021, 38(4): 461-471.

英文引文格式: ZHU J Q, WANG M, JIA T F, et al. Evaluation on gasification and liquefaction performance and coal quality characteristics of Weizigou mine, Zhunnan[J]. Journal of Xinjiang University(Natural Science Edition in Chinese and English), 2021, 38(4): 461-471.

Evaluation on Gasification and Liquefaction Performance and Coal Quality Characteristics of Weizigou Mine, Zhunnan

ZHU Junqing¹, WANG Meng^{1,2}, JIA Tengfei¹, LI Jiamin¹, Asiya Bake¹

(1. School of Geology and Mining Engineering, Xinjiang University, Urumqi Xinjiang 830047, China;

2. Key Laboratory of Coalbed Methane Resources and Reservoir Formation Process of the Ministry of Education, China University of Mining and Technology, Xuzhou Jiangsu 221116, China)

Abstract: In order to investigate the coal quality characteristics and its gasification/liquefaction properties of Weizigou coal field in Zhunnan Basin, this article systematically estimated industrial tests, analysed process performance and identified micro-component of the coal samples. Based on the drilling data and the test results, as well as the gasification/liquefied coal index, this article evaluated the efficient utilization in the well field. The results show that the sample has the characteristics of low moisture, low ash, high volatiles, ultra-low sulfur, low ash-melting point, no cohesiveness, high thermal stability, high crushing strength and high grindability index. In the coal it can meet the first-grade index of fluidized bed gasification, coal-water slurry gasification and dry coal gasification in the coal gasification index system, the second-grade indexes of atmospheric pressure fixed bed gasification and can be used as high-quality gasification coal. it can also meet the second-grade index of the coal liquefaction index system and can be used as ordinary liquefaction coal.

Key words: coal petrographic characteristics; process performance; gasification coal; liquefaction coal

0 引言

我国的能源现状是“富煤、贫油、少气”, 煤炭作为我国的主要消费能源, 在能源结构中始终占据主导地位

* 收稿日期: 2020-04-10

基金项目: 新疆维吾尔自治区自然科学基金(2018D01C062).

作者简介: 朱俊卿(1994-), 男, 硕士生, 从事煤层气和页岩气开发地质研究, E-mail: 281143290@qq.com.

† 通讯作者: 王猛(1982-), 男, 博士, 教授, 从事煤与油气地质研究, E-mail: wangm@cumt.edu.cn.

位^[1]。煤经过长期沉降和地温不断作用的影响,由于变质作用、受热时间的不同等原因造成了其变质程度的不同^[2]。故不同的煤质参数指示不同的煤炭质量^[3]。煤岩煤质特征研究是煤炭资源利用和煤矿开采的有效科学依据,煤的工艺性研究对煤层性质和成因的认识有重要意义,是评价煤质及其合理开发的必要支撑^[4-6]。随着我国能源结构的调整,煤炭的清洁高效利用成为当今煤化工的发展趋势,气/液化煤作为煤炭清洁转化利用的方式,对优化能源结构、改善环境等方面起着至关重要的作用^[7]。

淮南煤田位于准噶尔盆地南部边缘,煤炭资源丰富,近年来,随着对煤炭资源的不断深入调查,发现位于淮南盆地的侏罗统八道湾组和中侏罗统西山窑组存在大量的含煤地层^[8]。例如:乌苏市巴音沟煤矿^[9]、乌苏市四棵树煤矿^[10]和昌吉小西沟煤矿^[11]均显示煤层较稳定、煤质优良、煤炭资源丰富,有综合利用的前景。以此为基础,对本区开展煤气/液化研究,对充分、高效、洁净利用煤炭资源具有重要意义。在煤气/液化过程中,不同煤质参数如:水分、灰分、挥发分、硫分等都会对其有利或不利的方向产生影响,具体需要根据不同的气/液化工艺选择不同煤质参数的煤,否则会导致生产指标的下降以及煤气/液化装置不能正常运行等问题的出现。朱晓苏^[12]从不同煤种研究煤液化的特性;司胜利等^[13]在西部低阶煤的液化性能上取得进展;李小彦^[14]基于煤岩组分探讨了煤的液化性能。以上研究从不同角度论述了煤气/液化性能所需的煤质参数指标,但对于煤质参数的选择以及针对煤层的优选性、工艺性以及气/液化评价指标等问题的精确认识还不够细化。

本文以中侏罗统西山窑组煤层作为研究对象,采集呼图壁县苇子沟井田样品,对其进行煤岩特征、工艺性能特征和可选性特征分析,为评价淮南煤田呼图壁县苇子沟井田的煤气/液化可行性提供科学依据。

1 苇子沟矿区地质概况

1.1 构造特征

新疆呼图壁县苇子沟煤矿位于呼图壁县城西南55 km处天山北麓的苇子沟,归属准噶尔盆地南缘乌鲁木齐山前拗陷西段的中部,处于三屯河-宁家河单斜构造带上,是新疆主要的聚煤盆地之一。区域内构造比较简单(见图1),主要断层为石梯子-干沟逆断层(F_1)、和与之平行的逆冲断层(F_2),但断裂和褶皱距离井田较远,没有对井田造成大的影响。

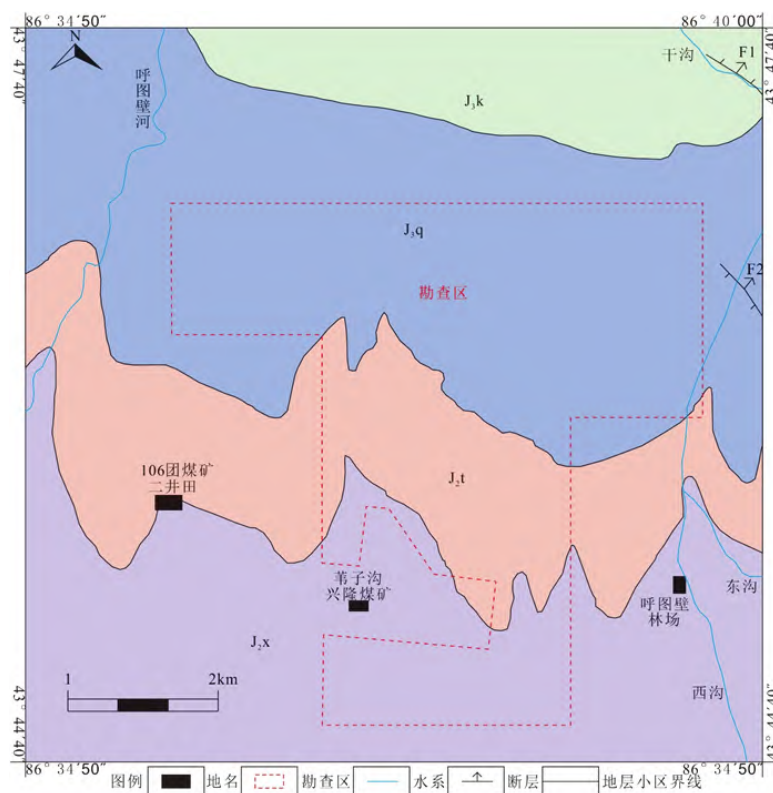


图 1 勘查区构造地质图

Fig 1 Tectonic geological map of the surveyed area

1.2 地层特征

苇子沟井田出露地层由老到新为石炭系中统前峡组 (C_{2qx})、下侏罗统三工河组 (J_{1s})、中侏罗统西山窑组 (J_{2x})、头屯河组 (J_{2t})、上侏罗统齐古组 (J_{3q})、白垩系下统吐谷鲁组第一亚群 (K_{1tg}^a) 及第四系全新统冲洪积层 (Q_4^{al+pl}) (见表1)。

表 1 苇子沟井田地层信息
Tab 1 Strata information of Weizigou field

系	统	组(群)	代号	厚度 (m)	岩性特征	沉积相
第四系	全新统		Q_4^{al+pl}	0~13.17	砾石、砂、含砾亚砂土组成	冲洪积相
白垩系	下统	吐谷鲁第一亚群	K_{1tg}^a	0~56.52	灰绿色、紫红色、紫褐色薄层泥岩、粉砂岩 不均匀互层,底部为褐黄色、褐色砾岩	河流相
		上统	齐古组	J_{3q}	>400	灰色、紫红色、紫褐色、杂色泥岩、粉砂岩、 细砂岩不均匀互层,底部为玫瑰红色、褐色砂岩
	中统	头屯河组	J_{2t}	<380	灰黄色、灰绿色砂砾岩、砂岩与粉砂质泥岩、 泥质粉砂岩互层,底部为含砾砂岩层	河流相、湖泊相
侏罗系	中统	西山窑组	J_{2x}	150~450	灰色、深灰色、灰白色砂岩、粉砂岩、泥质粉 砂岩互层、泥岩及炭质泥岩薄层,煤层、煤线、 含大量的植物叶片碎片化石	湖沼相含煤碎屑沉积
		下统	三工河组	J_{1s}	400~600	深灰色、灰绿色泥质粉砂岩、粉砂质泥岩、 粉砂岩、泥岩互层夹粗、中、细粒砂岩、 含植物化石碎屑与碎片
石炭系	中统	前峡组	C_{2qx}	0~56.06	灰色、灰褐色、紫红色凝灰质泥岩和 灰绿色凝灰岩	浅海-滨海相沉积

1.3 含煤特征

全区煤层发育层数多、分布范围广,并且均赋存于西山窑组 (J_{2x}) 地层。主要可采煤层自上而下依次为B5、B6、B6_下、B7、B8_上、B8、B9七层,其中B6、B7、B8为全区可采煤层;B5、B6_下为局部可采煤层;B9、B8_上为有局部可采点的煤层。本文主要研究了B5、B6、B6_下、B7、B8五层煤层。其中各可采煤层单层厚度0.34~18.57 m,平均1.60~8.01 m,属于中厚层煤层。

2 煤岩与煤质特征

2.1 工业分析

煤的工业分析主要是为判断煤的工业用途以及评价煤质的优劣提供基础依据^[15],研究区煤层工业分析结果见图2、表2。

表 2 煤层工业分析结果
Tab 2 Results of proximate analysis of coal seam

煤层 编号	H/C	O/C	煤灰熔融性		热稳定性 (TS_{+6}) (%)	可磨性指数 HGI (%)
			ST (°C)	FT (°C)		
B5	0.56~0.83	0.09~0.12	1 080~>1 400	1 100~>1 400	84.4 (1)	51~77
	0.67(9)	0.10(9)	1 263(4)	1 285(4)		61.80(5)
B6	0.48~0.78	0.08~0.13	1 160~>1 400	1 190~>1 400	60.7~80.6	55.50~86.30
	0.64(23)	0.10(23)	>1 292(10)	>1 332(10)	70.08(6)	69.08(7)
B6 _下	0.53~0.82	0.10~0.15	1 220~>1 400	1 240~>1 400	无	55~94
	0.71(12)	0.11(12)	>1 287(6)	>1 317(6)		70.48(5)
B7	0.44~0.73	0.10~0.13	1 235~1 385	1 265~>1 395	70.05~88.5	57~74
	0.66(22)	0.12(22)	>1 315(9)	>1 337(9)	80.21(7)	67.75(9)
B8	0.58~0.82	0.09~0.12	1 165~1 325	1 200~1 350	85.65~89.9	56~67
	0.67(20)	0.11(20)	>1 263(9)	>1 293(9)	87.28(3)	78.07(4)

注: $\frac{\text{最小值} \sim \text{最大值}}{\text{平均数}(\text{样品数量})}$

(1) 水分(M_{ad}), 研究区原煤水分在1.34%~6.17%之间, 平均值2.48%, 各煤层之间水分含量变化幅度不大, 介于0%~5%间(图2), 均属低水分煤. 有研究表明, 在煤气/液化时, 水分过高不仅会造成气化炉消耗额外的热量、煤浆浓度变低, 还会使煤的气/液化转化率降低^[16-17]. 故研究区全区水分较低, 有利于煤气/液化.

(2) 灰分(A_d), 灰分通过对煤的发热量的直接影响进而影响煤的工业价值, 是评价煤质最重要的指标^[18]. 研究区原煤灰分在1.47%~25.24%之间, 平均值9.97%, 各煤层煤 A_d 平均产率介于9.2%~10.74%之间(图2), 其中B6下、B7属低灰煤, B5、B6、B8属特低灰煤. 灰分过高会导致煤灰熔融性的流动温度过高, 影响气化炉的安全, 其次会在进行煤气/液化的过程中对工艺系统造成堵塞、磨损等现象^[19-20]. 《煤化工用煤技术导则》^[21]对煤直接液化的灰分规定为小于10%, 研究区全区灰分含量较低, 有利于煤气/液化(图3).

(3) 挥发分(V_{daf}), 挥发分的大小能直接反映煤的变质程度, 是确定煤层类型的重要指标^[22]. 全区原煤干燥无灰基挥发分在24.51%~43.22%之间, 平均值32.66%, 各煤层挥发分产率变化幅度不大, 各煤层煤 V_{daf} 平均产率介于30.76%~33.78%之间(图2), 均属中高挥发分煤. 在煤液化的过程中, 挥发分含量越高, 越容易液化, 贺永德^[23]指出挥发分含量大于35%的煤可直接液化. 研究区全区挥发分含量均大于30%, 经过分选挥发分含量可进一步提高, 故能作为煤液化的有利选区(图3).

(4) 氢碳原子比(H/C)与氧碳原子比(O/C), 全区氢碳原子比在0.44~0.83之间, 平均值0.67(表2), 在煤液化的过程中, H/C越高, 越容易液化. 吴春来^[24]指出在低变质的煤中, H/C在一定程度上能反映煤在液化过程中转化率以及油产率, H/C越高, 越有利于煤液化, 研究区全区H/C均大于0.64, 经过分选优化H/C可进一步提高; 全区氧碳原子比在0.09~0.15之间, 平均0.11, 朱晓苏^[12]指出在煤直接液化的过程中, O/C的范围在0.06~0.26, 研究区全区O/C均在此区间, 故能作为煤液化的有利优选区(图4).

(5) 全硫($S_{t,d}$), 全区原煤全硫含量在0.12%~0.86%之间, 平均值0.26%, 各煤层煤 $S_{t,d}$ 平均产率介于0.2%~0.32%之间(图2), 各煤层硫分含量变化幅度较小, 区内各煤层煤中平均含硫量小于0.50%, 均属特低硫煤. 硫虽是有毒元素, 但是在煤的加氢液化过程中, 在一定范围内, 硫能够促进油产率以及催化液化过程的进行^[25]. 研究区全区均属于特低硫煤, 在煤液化过程中有利于煤液化的进行.

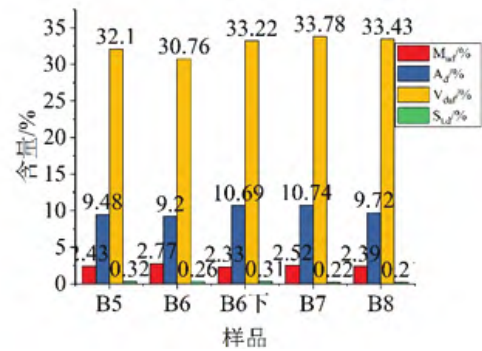


图2 不同煤层成煤参数特征

Fig 2 Characteristics of coal-forming parameters of different coal seams

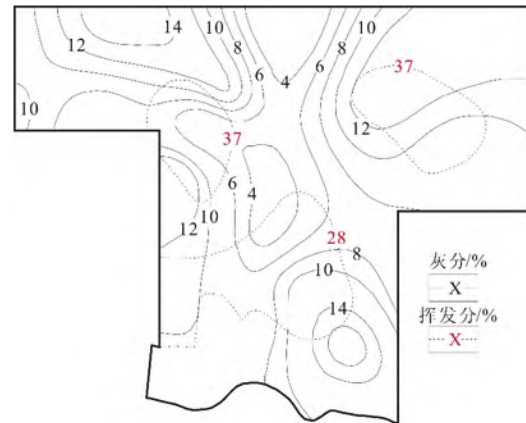


图3 苇子沟井田煤层灰分、挥发分等值线(以B7煤层为例)

Fig 3 Ash content and volatile content isograms of Weizigou field (Take the B7 coal seam as an example)

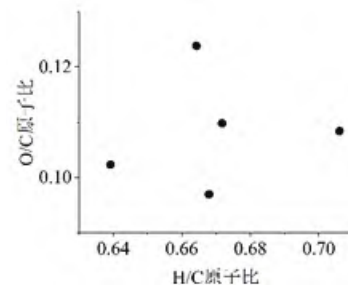


图4 煤样H/C原子比和O/C原子比关系(以B7煤层为例)

Fig 4 Relationship between H/C atomic ratio and O/C atomic ratio of coal seam

2.2 煤的工艺性能分析

煤气/液化过程对煤的工艺性能的要求各异,通过分析不同的煤的工艺性能,总结煤的工艺特性,从而进一步得出煤气/液化过程的有效途径,达到合理利用资源的目的^[26]。

(1) 煤灰熔融性,苇子沟井田各煤层煤灰软化温度(ST)在1 080 °C~>1 400 °C之间,平均1 284 °C,属于较低中等软化温度;流动温度(FT)在1 100 °C~1 400 °C之间,平均1 313 °C,其中B5、B8煤层为较低流动温度(RLFT),B6、B6_下、B7煤层为中等流动温度(MFT)。煤灰熔融性是判断煤气化过程是否易排渣的重要指标,煤灰熔融性过高会导致气化炉的磨损以及气体有效成分的改变^[27],气流床气化用煤对煤灰熔融性流动温度的要求为不超过1 350 °C。故研究区煤灰熔融性特征有利于煤气化过程的进行。

(2) 煤的黏结指数,苇子沟井田各煤层的黏结指数大都为0,各煤层均属不粘煤。在固定床气化用煤中,对黏结指数的要求为不粘煤或弱粘煤。

(3) 煤的热稳定性,以粒度大于6 mm的残焦质量占各级残焦质量之和的百分数为热稳定性指标,得出研究区煤的热稳定性平均值在63.86%~87.28%之间;各煤层热稳定性的均值均大于70%,属高热稳定性煤(HTS)。对于固定床气化炉而言,以热稳定性不小于70%为宜,热稳定性差的煤,容易在气化过程中发生破裂,使气体中的带出物增加,影响气化炉的运行。故研究区符合气化用煤过程中对于热稳定性的要求。

(4) 煤的机械强度,机械强度差的煤易生成碎屑,在固定床气化的过程中,不利于煤气化过程,苇子沟井田各煤层抗碎强度(SS)在65.4%~93.3%之间,平均81.62%,各煤层均属高强度煤。《常压固定床气化用煤技术条件》(GB/T9143—2008)要求煤的抗碎强度不小于60%,研究区全区机械强度高,在固定床气化用煤过程中有利于煤气化进行。

(5) 煤的哈氏可磨性指数(HGI),哈氏可磨性指数的测试结果在51.00%~94%之间,平均为69.43%,整体属中等可磨煤(MG)。可磨性好的煤易成为高浓度水煤浆的原料,在气流床中,会降低产能消耗,减少设备的磨损^[28]。符合气化用煤过程中对于可磨性的要求。

2.3 煤的显微煤岩特性分析

煤的显微煤岩特征与煤相关液化工工艺联系密切,不同显微组分之间煤液化性能存在差异^[29,30]。壳质组又称稳定组,常常和镜质组称为活性组分,活性组分的含量与煤液化的转化率和产物相关,活性组分越多,越有利于煤的液化;惰质组属于非活性组分,在通常条件下难以发生液化。研究区显微煤岩组分见表3。

表 3 煤层煤岩显微组分测试结果

Tab 3 Test results of coal petrology of coal seam

煤层编号	煤的总成分(%)										显微煤岩类型	镜质组反射率 $R_{o,max}$	变质阶段
	去矿物基(%)					含矿物基(%)							
	镜质组	半镜质组	惰质组	壳质组	有机组分总量	无机质	粘土类	硫化物类	碳酸盐类	氧化硅类			
B5	62.29(2)	0	35.6(2)	2.2(2)	98.1(2)	1.9(2)	0.7(2)	0.3(2)	0.9(2)	0	镜质煤	0.66(2)	II阶
B6	55.18(5)	0	43.12(5)	1.7(5)	95.92(5)	4.08(5)	3.72(5)	0.16(5)	0.2(5)	0	镜质煤	0.68(5)	II阶
B6 _下	62.1(1)	0	36.7(1)	1.3(1)	98.6(1)	1.4(1)	0.2(1)	0.4(1)	0.9(1)	0	镜质煤	0.65(1)	II阶
B7	57.73(7)	0	41.2(7)	1.06(7)	96.33(7)	3.67(7)	2.87(7)	0.06(7)	0.74(7)	0	镜质煤	0.66(7)	II阶
B8	58.29(5)	0	40.34(5)	1.36(5)	97.52(5)	2.48(5)	2.14(5)	0.04(5)	0.32(5)	0	镜质煤	0.67(5)	II阶

注:平均值(样品数量)。

(1) 活性组分,研究区煤层的有机组分总量占总组分的95.92%~98.6%之间,平均97.29%,其中有有机质组分以镜质组为主,占总组分的55.18%~62.29%之间,平均59.12%;壳质组最少,占总组分的1.06%~2.20%,平均1.52%。GIVEN^[31]等基于煤液化研究,发现活性组分与煤液化的转化率呈现正相关;在煤液化中,由于活性组分含量高,在组分上具有低碳高氢的优势,故研究区更有利于液化的进行。

(2) 非活性组分,在研究区煤层的有机组分中,惰质组含量占总组分的35.6%~43.12%,平均39.39%。一般认为非活性组分含量越高,煤液化转化率越低,但马风云等^[32]基于惰质组与煤液化的关系,表明高惰质组煤也具有高产油率;《直接液化用原料煤技术条件》(GB/T 23810—2009)中明确指出液化原料煤的惰质组含量小于45%。故研究区虽然惰质组整体含量偏高,但仍处于直接液化的标准中,可作为液化原料煤。

(3) 矿物质组分,无机质含量占总组分的1.40%~4.08%,平均2.71%,以粘土类矿物为主,呈浸染状或薄层状分布于镜质体的间隙,占总组分的0.2%~3.72%,平均1.93%;可见极少量的呈团粒状的黄铁矿和碳酸盐.根据煤样测试表明,本区煤层的镜质组最大反射率($R_{o,max}$)平均为0.66%,变质程度为Ⅱ阶段,即低变质不粘煤.李小彦^[14]提出我国西北部的低阶煤中 $R_{o,max} < 1.5\%$ 时,惰质组中的半丝质组在煤液化过程中存在活性,可以加速煤液化的进行;张双全^[33]等提出在煤液化中,矿物质含量为5%左右,不超过10%.研究区镜质组反射率低、存在半丝质体且矿物质组分平均1.93%,有利于加速煤液化的进行.

3 煤炭气/液化性能评价

3.1 煤气/液化控制因素

国内外学者对煤气/液化特征的影响因素进行了深入的探讨,基于固定床气化、水煤浆气流床气化、流化床气化、干煤粉气流床气化和直接液化五种方法^[34],认为煤气化过程机理主要受控于水分、灰分、挥发分、硫分、黏结指数、热稳定性、灰熔熔点、哈氏可磨性指数^[17-18,27-28,34-35];煤液化过程机理主要受控于灰分、挥发分、H/C与O/C、硫分、 $R_{o,max}$ 、镜质组、惰质组分^[12-14,32-35].不同学者对于样品的选择不同、测试手段不同导致样品表现出不同的相关性.但是由于活性组分与非活性组分和H/C、O/C相关关系的界定常常无法准确表征,致使这一综合指标对煤气/液化控制的影响因素常常被忽略,故本文对此进行了探讨,旨在阐明苇子沟井田气/液化性能,为日后的综合利用提供依据.

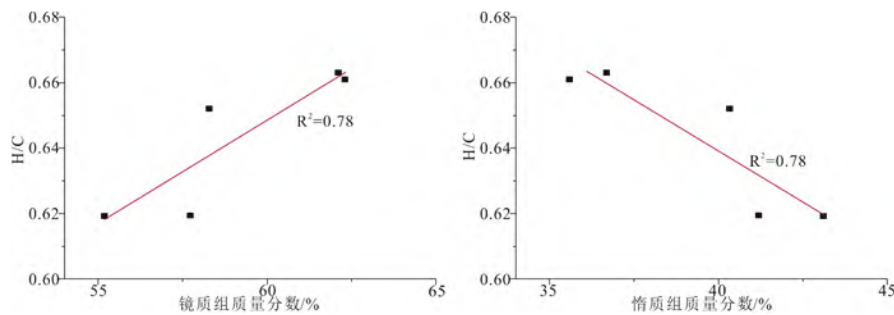


图 5 H/C与煤岩组分关系

Fig 5 Relationship between H/C and coal petrology

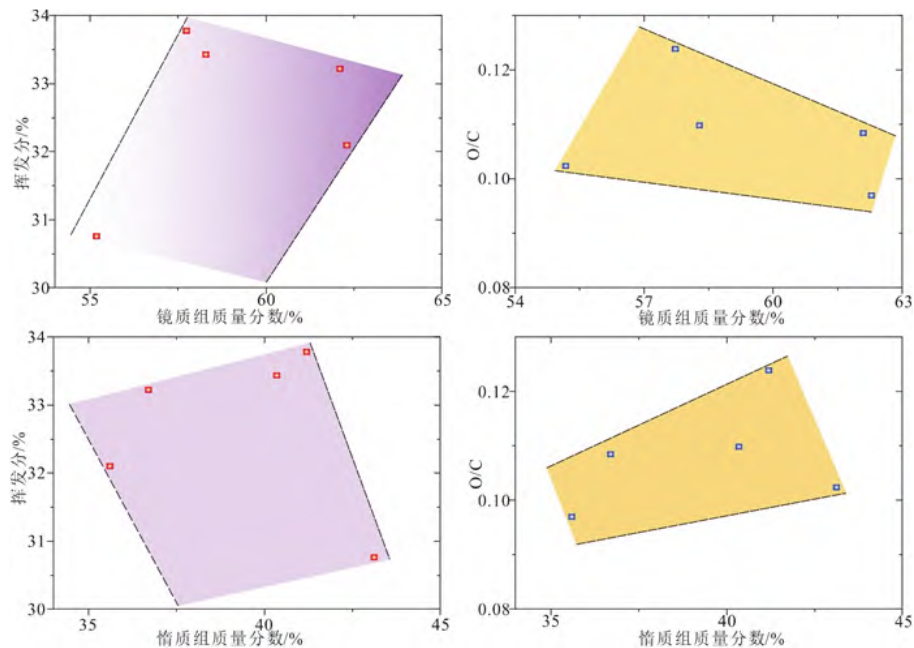


图 6 O/C、挥发分与煤岩组分关系

Fig 6 Relationship between O/C, volatile and coal petrology

基于以上问题,研究得出:镜质组对H/C存在正相关线性关系,惰质组对O/C存在负相关线性关系,相关关系明显.为了定量表征镜质组/惰质组与H/C、O/C相关性的准确度,本文引入与镜质组/惰质组存在明显关系的挥发分作为对照,基于此做出权重分析.但由于挥发分与H/C存在一致的线性关系(图5、图6),存在相似性,为了避免单因素分析存在的误差,故采用了多元回归分析.现将不同煤层的相关因素采用SPSS进行分析处理,处理时加入空白组壳质组,用以去除误差.将处理结果进行标准化得出:

$$V = 0.487V_{daf} + 0.710A + 0.774E \quad (R^2 = 0.968)$$

$$I = -0.475V_{daf} - 0.670A - 0.879E \quad (R^2 = 0.972)$$

式中: V 、 I 、 E 分别为镜质组,惰质组和壳质组的百分含量,%; A 为H/C,无量纲.

由多元回归分析关系可知,镜质组与惰质组的存在和挥发分、H/C和壳质组的关系密切,对煤气/液化过程产生积极影响.不过需要指明的是:本次实验由于统计的样本数量有限,分析结果需进一步研究论证.

3.2 评价指标

通过对苇子沟井田各煤层样品的测试分析,研究区在工业分析上具有“低水、低灰、高挥发分、高H/C、低硫”的特点;在工艺性能上具有“煤灰熔融性适中、黏结性低、热稳定性好、抗碎强度高、可磨指数高”的特点;在显微组分上具有“活性组分高、半丝质体有活性”的特点.通过建立煤气/液化评价指标体系,进而结合研究区煤质分析,对苇子沟井田进行分级评价.

3.2.1 气/液化用煤煤质指标的建立

以国家用煤指导为导向,通过总结前人研究,结合气/液化原料煤对煤的工艺性和技术要求,从而分析不同的煤质指标对不同煤化工工艺的影响,进而得到气/液化用煤的评价指标体系(表4、表5).其中用于评价气化用煤的指标包含常压固定床气化、流化床气化、水煤浆气流床气化和干煤粉气流床气化四种工艺,其中煤灰熔融性、灰分和硫分是四种工艺评价的共同指标.不同指标在于常压固定床气化增加了对黏结指数、煤热稳定性、水分的考察;流化床气化增加了对黏结指数、水分的考察;水煤浆气流床气化增加了对哈氏可磨性指数的考察;干煤粉气流床气化增加了对水分和哈氏可磨性指数的考察^[35-37].直接液化用煤工艺评价指标主要是H/C、惰质组、最大镜质组反射率、权重分析^[35,38].不同工艺根据煤质的不同进一步划分等级,一级标准为直接气/液化用煤标准;二级标准为满足气/液化用煤指标要求;三级、四级标准为符合国家煤炭资源用煤标准,用于战略储备资源.

表 4 气化用煤煤质评价指标体系

Tab 4 Evaluation index system of coal quality for gasification

气化工艺	指标分级	黏结指数	煤灰熔融性软化温度(ST/°C)	煤热稳定性(TS ₊₆ %)	水分(%)	哈氏可磨性指数(%)	灰分(%)	全硫(%)
常压固定床气化	一级	≤ 20	≥ 1 150	> 80	< 10	无	≤ 12	≤ 0.5
	二级	> 20~50	≥ 1 150	> 70~80	< 10	无	> 12~18	> 0.5~1
	三级	无	≥ 1 150	60~70	< 10	无	> 18~25	> 1~1.5
流化床气化	一级	≤ 20	≥ 1 050	无	< 10	无	≤ 10	≤ 1
	二级	> 20~50	≥ 1 050	无	> 10~20	无	> 10~20	> 1~2
	三级	无	≥ 1 050	无	> 20~40	无	> 20~30	> 2~3
水煤浆气流床气化	四级	无	≥ 1 050	无	无	无	> 30~40	无
	一级	无	> 1 100~1 350	无	无	> 65	≤ 10	≤ 1
流床气化	二级	无	> 1 100~1 350	无	无	> 40~65	> 10~20	> 1~2
	三级	无	> 1 100~1 350	无	无	无	> 20~25	> 2~3
干煤粉气流床气化	一级	无	> 1 100~1 450	无	< 15	> 65	≤ 10	≤ 1
流床气化	二级	无	> 1 100~1 450	无	> 15~40	> 40~65	> 10~20	> 1~2
	三级	无	> 1 100~1 450	无	无	无	> 20~35	> 2~3

表 5 直接液化用煤煤质评价指标体系
Tab 5 Evaluation index system of coal quality for direct coal liquefaction

指标分级	挥发分(%)	镜质体最大反射率 $R_{o,max}$ (%)	氢碳原子比H/C	惰质组质量分数	灰分(%)	水分(%)	哈氏可磨性指数(%)	权重分析(V)
一级	>35	<0.65	>0.70	≤15	≤12	≤16	>50	>0.95
二级	>35	<0.65	>0.70	15.01~45.00	12.01~25.00	≤16	>50	0.9~0.95
三级	>35	<0.65	>0.70	15.01~45.00	12.01~25.00	≤16	>50	>0.85

3.2.2 气/液化用煤利用性能评价

苇子沟井田全区煤层黏结指数大都为0, 煤灰熔融性软化温度ST大部分超过1 150 °C, 煤热稳定性大多在70%以上, 水分均低于7%, 灰分大部分小于10%, 全硫大都小于0.4%, 哈氏可磨性指数大部分在65%以上, 对于常压固定床气化, 苇子沟井田除煤热稳定性是二级指标, 其余指标均属一级指标; 对于流化床气化、水煤浆气流床气化以及干燥粉气流床气化, 苇子沟井田均符合一级指标气化用煤要求, 可以作为优质气化用煤. 就液化用煤指标而言, 苇子沟井田除氢碳原子比指标未达到, 但其权重指标为一级, 其余指标均属二级指标, 可以作为普通液化用煤(图7).

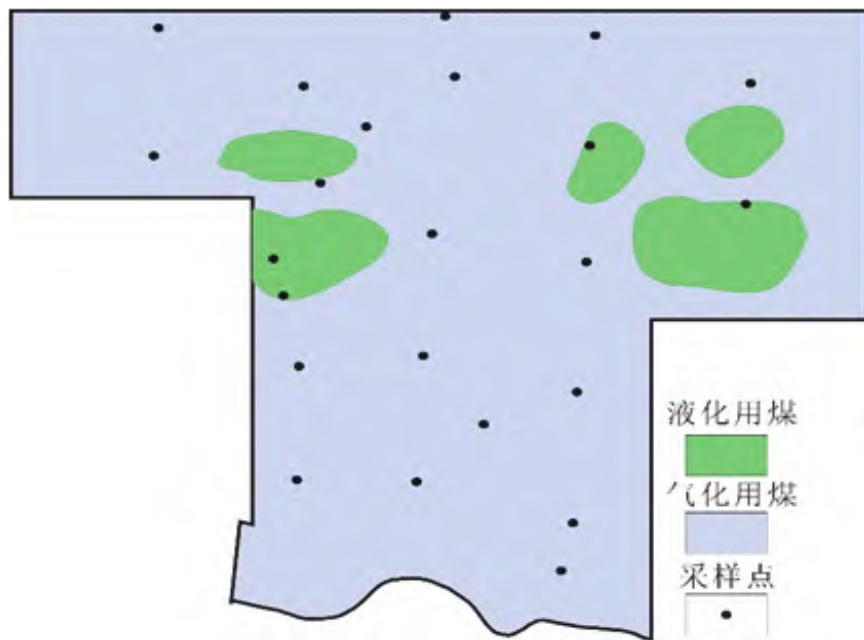


图 7 苇子沟井田煤层气/液化有利区(以B7煤层为例)

Fig 7 Advantageous area of direct gasification or liquefaction in Weizigou field (Take the B7 coal seam as an example)

4 结论

(1) 通过建立镜质组、惰质组和H/C、O/C的权重分析, 应用于煤气/液化性能的综合指标评判, 取得了良好效果, 验证了镜质组与惰质组的存在和挥发分、H/C和壳质组的关系对煤气/液化过程产生积极的影响.

(2) 苇子沟井田各煤层煤质具有低水(2.48%)、低灰(9.97%)、低硫(0.26%)、高挥发分(32.66%)、热稳定性好(2.48%)等特点, 满足气化用煤指标体系中流化床气化、水煤浆气流床气化以及干燥粉气流床气化的一级指标, 可作为优质的气化用煤源区.

(3) 苇子沟井田惰质组含量相对较高(39.39%), 通过液化性能指标与显微煤岩组分的关系, 对镜质组、惰质组与H/C、O/C和挥发分的相关关系做出有利优选, 煤岩组分均符合液化条件且为有利区, 符合液化用煤指

标体系中的二级指标,可作为普通液化用煤。

参考文献:

- [1] 倪伟波. 能源革命进行时[J]. 科学新闻, 2017(6): 16-19.
NI W B. Energy revolution in progress[J]. Science News Bi-weekly, 2017(6): 16-19. (in Chinese)
- [2] 于海成. 邢台矿区葛泉矿9号煤煤质、煤岩及煤相特征分析[J]. 煤炭与化工, 2019, 42(4): 107-111.
YU H C. Analysis of characteristics of coal quality, coal rock and coal facies in No. 9 coal seam of Gequanmine[J]. Coal and Chemical Industry, 2019, 42(4): 107-111. (in Chinese)
- [3] 张永强, 侯丁根, 薛海军, 等. 铜川矿区韩古庄演池勘探区煤质特征及沉积环境分析[J]. 中国煤炭, 2018, 44(8): 47-52+67.
ZHANG Y Q, HOU D G, XUE H J, et al. Coal quality parameters features and sedimentary environment analysis of Hanguzhuang-Yanchi exploration area of Tongchuan mining area[J]. China Coal, 2018, 44(8): 47-52+67. (in Chinese)
- [4] 梁小娟. 屯兰矿煤质特征分析与评价研究[J]. 山东煤炭科技, 2018(8): 166-167+170.
LIANG X J. Analysis and evaluation of coal quality characteristics in Tunlan mine[J]. Shandong Coal Science and Technology, 2018(8): 166-167+170. (in Chinese)
- [5] 郑德志, 赵迪斐. 我国煤矿区煤层气产业发展政策研究[J]. 煤炭经济研究, 2018, 38(11): 60-65.
ZHENG D Z, ZHAO D F. Research on development policy of coalbed methane industry in China's coal mining areas[J]. Coal Economic Research, 2018, 38(11): 60-65. (in Chinese)
- [6] 胡鑫蒙, 赵迪斐, 郭英海, 等. 我国煤炭地下气化技术(UCG)的发展现状与展望: 来自首届国际煤炭地下气化技术与产业论坛的信息[J]. 非常规油气, 2017, 4(1): 108-115.
HU X M, ZHAO D F, GUO Y H, et al. Present development situation and prospect of underground coal gasification (UCG) technology in China[J]. Unconventional Oil& Gas, 2017, 4(1): 108-115. (in Chinese)
- [7] 颜丙峰. 高压釜中煤液化性能评价方法[J]. 洁净煤技术, 2017, 23(2): 56-59.
YAN B F. Calculation methods of direct coal liquefaction using autoclave[J]. Clean Coal Technology, 2017, 23(2): 56-59. (in Chinese)
- [8] 郭巧玲, 王洁, 刘永忠. 新疆淮南煤田煤层特征及开发前景[J]. 西部探矿工程, 2013, 25(3): 142-143+146.
GUO Q L, WANG J, LIU Y Z. Coalbed features and development prospects of Zhunnan coalfield, Xinjiang[J]. West-china Exploration Engineering, 2013, 25(3): 142-143+146. (in Chinese)
- [9] 王洁, 王军年, 陈艳, 等. 新疆淮南煤田乌苏市巴音沟煤矿区特征及开发前景[J]. 西部探矿工程, 2014, 26(5): 163-165.
WANG J, WANG J N, CHEN Y, et al. Characteristics and development prospects of Bayingou coal mine in Wusu city[J]. West-china Exploration Engineering, 2014, 26(5): 163-165. (in Chinese)
- [10] 陶玲, 刘光红, 严少华. 新疆淮南煤田四棵树煤矿区地层含煤性及煤层对比[J]. 新疆有色金属, 2017, 40(6): 7-9.
TAO L, LIU G H, YAN S H. Strata coal-bearing properties and coal seam correlation in Sukeshu coal mining area[J]. Xinjiang Youse Jinshu, 2017, 40(6): 7-9. (in Chinese)
- [11] 阿力木江·吐斯依提, 庄新国, 赵亚汶, 等. 新疆淮南煤田小西沟矿区煤的煤岩学及煤相分析[J]. 新疆地质, 2014, 32(4): 525-529.
Alimujiang Tusiyiti, ZHUANG X G, ZHAO Y W, et al. Coal petrology and coal facies analysis of Xiaoxigou mine in southern Junggar coalfield, Xinjiang[J]. Xinjiang Geology, 2014, 32(4): 525-529. (in Chinese)
- [12] 朱晓苏. 中国煤炭直接液化优选煤种的研究[J]. 煤化工, 1997(3): 32-39.
ZHU X S. Research on Chinese optimum coal types used in direct liquefaction[J]. Coal Chemical Industry, 1997(3): 32-39. (in Chinese)
- [13] 司胜利, 李小彦, 田新娟, 等. 我国西部低煤级煤的液化性能[J]. 煤田地质与勘探, 2009, 37(3): 10-14+18.
SI S L, LI X Y, TIAN X J, et al. Liquefaction property of low rank coal in west China[J]. Coal Geology& Exploration, 2009, 37(3): 10-14+18. (in Chinese)
- [14] 李小彦. 论煤岩组分的液化性能[J]. 煤田地质与勘探, 2010, 38(3): 1-5.
LI X Y. Discussion on liquefaction reactivity of lithotype and maceral of low rank coal[J]. Coal Geology& Exploration, 2010, 38(3): 1-5. (in Chinese)
- [15] 杨金和, 陈文敏. 煤炭化验手册[M]. 北京: 煤炭工业出版社, 2004
YANG J H, CHEN W M. Coal test manual[M]. Beijing: China Coal Industry Publishing Home, 2004. (in Chinese)
- [16] 冯婉璐, 吴诗勇, 尤全, 等. 合成气气氛下含水量对锡林浩特煤液化性能的影响[J]. 华东理工大学学报(自然科学版), 2017, 43(2): 156-161+226.

- FENG W L, WU S Y, YOU Q, et al. Effect of moisture amount on liquefaction of Xilinhaote coal under syngas[J]. Journal of East China University of Science and Technology (Natural Science Edition), 2017, 43(2): 156-161+226. (in Chinese)
- [17] 李磊, 路文学, 傅进军. 气化对煤质的要求[J]. 燃料与化工, 2011, 42(2): 4-6.
LI L, LU W X, FU J J. Requirement of gasification on coal quality[J]. Fuel & Chemical Processes, 2011, 42(2): 4-6. (in Chinese)
- [18] 张婧蔚. 高挥发分煤发热量测定方法研究[J]. 化工管理, 2018(15): 73-74.
ZHANG J W. Study on measurement method of high volatile coal calorific value[J]. Chemical Enterprise Management, 2018(15): 73-74. (in Chinese)
- [19] 姜从斌, 朱玉蓉. 航天炉运行现状及煤种适应性分析[J]. 煤炭加工与综合利用, 2014(10): 23-28+8.
JIANG C B, ZHU Y Y. Analysis on operation situation of HT-L pulverized coal pressurized gasifier and coal adaptability[J]. Coal Processing & Comprehensive Utilization, 2014(10): 23-28+8. (in Chinese)
- [20] 蒋立翔. 煤质对煤液化效果的影响分析[J]. 煤质技术, 2008(5): 46-49.
JIANG L X. Analysis on the effect of coal quality on coal liquefaction[J]. Coal Quality Technology, 2008(5): 46-49. (in Chinese)
- [21] 姜英, 闫永成, 王东飞, 等. 煤化工用煤技术导则[M]. 北京: 中国标准出版社, 2009.
JIANG Y, YAN Y C, WANG D F, et al. Guideline for coal used in coal chemical conversion[M]. Beijing: Standards Press of China, 2009. (in Chinese)
- [22] 刘明锐. 动力煤煤质与燃烧特性关系的基础研究[D]. 北京: 煤炭科学研究总院, 2010.
LIU M R. Basic research of the relationship between coal quality and its combustion feature of steam coal[D]. Beijing: Coal Science Research Institute, 2010. (in Chinese)
- [23] 贺永德. 现代煤化工技术手册[M]. 北京: 化学工业出版社, 2010: 1025-1030.
HE Y D. Technical manual of modern coal chemical industry[M]. Beijing: Chemical Industry Press, 2010: 1025-1030. (in Chinese)
- [24] 吴春来. 煤炭直接液化[M]. 北京: 化学工业出版社, 2010
WU C L. Direct coal liquefaction[M]. Beijing: Chemical Industry Press, 2010. (in Chinese)
- [25] 田新娟, 杨平平, 李育辉, 等. 硫含量对煤直接液化性能的影响[J]. 煤田地质与勘探, 2009, 37(6): 19-21.
TIAN X J, YANG P P, LI Y H, et al. The effect of sulfur content on the direct liquefaction reactivity of coals[J]. Coal Geology & Exploration, 2009, 37(6): 19-21. (in Chinese)
- [26] 王学军. 山西煤炭特征及煤的工业利用[M]. 北京: 煤炭工业出版社, 2014.
WANG X J. Characteristics of Shanxi coal and its industrial benefits[M]. Beijing: China Coal Industry Publishing Home, 2014. (in Chinese)
- [27] 王艳柳, 张晓慧. 煤灰熔融性对气化用煤的影响[J]. 煤质技术, 2009(4): 55-58.
WANG Y L, ZHANG X H. Effect of ash fusibility on gasifying coal[J]. Coal Quality Technology, 2009(4): 55-58. (in Chinese)
- [28] 于遵宏, 王辅臣, 周肢解, 等. 煤炭气化技术[M]. 北京: 化学工业出版社, 2010.
YU Z H, WANG F C, ZHOU Z J, et al. Coal gasification[M]. Beijing: Chemical Industry Press, 2010. (in Chinese)
- [29] SHENG D, SLOAN W, GENS A. A constitutive model for unsaturated soils: thermomechanical and computational aspects[J]. Computational Mechanics, 2004, 33(6): 453-465.
- [30] 蒋斌松, 张强, 贺永年, 等. 深部圆形巷道破裂围岩的弹塑性分析[J]. 岩石力学与工程学报, 2007(5): 982-986.
JIANG B S, ZHANG Q, HE Y N, et al. Elastoplastic analysis of cracked surrounding rocks in deep circular openings[J]. Chinese Journal of Rock Mechanics and Engineering, 2007(5): 982-986. (in Chinese)
- [31] GIVEN P H, CRONAUER D C, SPACKMA W, et al. Dependence of coal liquefaction behavior on coal characteristics 2. Role of petrographic composition[J]. Fuel, 1975, 54(1): 40-49.
- [32] 马风云, 郭靖, 玛·伊·拜克诺夫, 等. 高惰质组分五彩湾煤直接液化性能研究[J]. 煤炭转化, 2010, 33(2): 22-26.
MA F Y, GUO J, MA Y BKNF, et al. Study on hydro-liquefaction properties for Wucaiwan coal with high inertinite[J]. Coal Conversion, 2010, 33(2): 22-26. (in Chinese)
- [33] 张双全, 吴国光. 煤化学[M]. 徐州: 中国矿业大学出版社, 2004: 102.
ZHANG S Q, WU G G. Coal chemistry[M]. Xuzhou: China University of Mining and Technology Press, 2004: 102. (in Chinese)
- [34] 王玉高, 魏贤勇, 李鹏, 等. 霍林郭勒褐煤超临界乙醇解机理分析[J]. 燃料化学学报, 2012, 40(3): 263-266.
WANG Y G, WEI X Y, LI P, et al. Mechanism analysis for supercritical ethanolysis of Huolinguole lignite[J]. Journal of Fuel Chemistry and Technology, 2012, 40(3): 263-266. (in Chinese)
- [35] 王红阳. 现代煤化工用煤评价指标体系研究[D]. 北京: 中国地质大学, 2017.

- WANG H Y. The research on evaluation index system of coal used in modern coal chemical industry[D]. Beijing: China University of Geoscience, 2017. (in Chinese)
- [36] 秦云虎,王彦君,胡荣华,等.直接液化用煤指标体系分级探讨及应用评价[J].中国煤炭地质,2017,29(9):7-10+17.
QIN Y H, WANG Y J, HU R H, et al. Discussion on index system classification of coal for direct liquefaction and application assessment[J]. Coal Geology of China, 2017, 29(9): 7-10+17. (in Chinese)
- [37] 孙天宇.浅析煤气化技术选择的影响因素[C].杭州:浙江省科学技术协会,2016:76-80.
SUN T Y. Analysis on the influencing factors of coal gasification technology selection[C]. Hangzhou: Zhejiang Association for Science and Technology, 2016: 76-80. (in Chinese)
- [38] 张艳,刘成龙,高天明,等.我国气化用煤煤质评价指标体系构建研究[J].中国矿业,2017,26(7):41-47.
ZHANG Y, LIU C L, GAO T M, et al. Study on the evaluation index system of coal gasification quality in China[J]. China Mining Magazine, 2017, 26(7): 41-47. (in Chinese)

责任编辑:赵新科

(上接第460页)

- [4] LI Y, LI X, LIU H, et al. Intranasal immunization with recombinant *Lactococci* carrying human papillomavirus E7 protein and mouse interleukin-12 DNA induces E7-specific antitumor effects in C57BL/6 mice[J]. Oncology Letters, 2014, 7(2): 576-582.
- [5] RAGEH MM, EL-GARHY MR, MOHAMAD EA. Magnetic fields enhance the anti-tumor efficacy of low dose cisplatin and reduce the nephrotoxicity[J]. Naunyn Schmiedebergs Arch Pharmacol, 2020, 393(8): 1475-1485.
- [6] 胡丽丽,韩波,赵小鸽,等.顺铂对肝癌SMMC-7721干细胞标志物的影响[J].新疆大学学报(自然科学版),2017,34(3):328-331.
HU L L, HAN B, ZHAO X G, et al. Effect of cisplatin on stem cell markers in hepatocellular carcinoma SMMC-7721 cell line[J]. Journal of Xinjiang University(Natural Science Edition), 2017, 34(3): 328-331.
- [7] BIALKOWSKI L, VAN W A, VAN D J K, et al. Intralymphatic mRNA vaccine induces CD8 T-cell responses that inhibit the growth of mucosally located tumours[J]. Sci Rep, 2016, 6: 22509.
- [8] MIYAKE M, HORI S, ITAMI Y, et al. Supplementary oral anamorelin mitigates anorexia and skeletal muscle atrophy induced by gemcitabine plus cisplatin systemic chemotherapy in a mouse model[J]. Cancers, 2020, 12(7): 1942.
- [9] SZTURZ P, WOUTERS K, KIYOTA N, et al. Weekly low-dose versus three-weekly high-dose cisplatin for concurrent chemoradiation in locoregionally advanced non-nasopharyngeal head and neck cancer: a systematic review and meta-analysis of aggregate data[J]. Oncologist, 2017, 22(9): 1056-1066.
- [10] NORONHA V, JOSHI A, PATIL VM, et al. Once-a-week versus once-every-3-weeks cisplatin chemoradiation for locally advanced head and neck cancer: a phase III randomized noninferiority trial[J]. J Clin Oncol, 2018, 36(11): 1064-1072.
- [11] NGUYEN HM, GUZ-MONTGOMERY K, SAHA D. Oncolytic virus encoding a master pro-inflammatory cytokine interleukin 12 in cancer immunotherapy[J]. Cells, 2020, 9(2): 400.
- [12] HUBER VC, ARULANANDAM BP, ARNABOLDI PM, et al. Delivery of IL-12 intranasally leads to reduced IL-12-mediated toxicity[J]. International immunopharmacology, 2003, 3: 801-809.
- [13] TAHERIAN M, MAHIN SP, RASTEGAR H, et al. An overview on probiotics as an alternative strategy for prevention and treatment of human diseases[J]. Iran J Pharm Res, 2019, 18(Suppl1): 31-50.

责任编辑:赵新科