筠连区块煤层气产能主控因素分析及综合评价

王维旭,贺满江,王希友,蒋 佩,彭丽莎,杜 悦
(中石油浙江油田分公司 西南采气厂,四川 宜宾 645250)

摘 要:四川南部地区煤层气资源量丰富,为精细评价该区域煤层产气潜力,以筠连区块为研究对象,选取 65 口进入稳产期的生产井数据,综合地质、工程参数,展开产能主控因素研究。选取地质因素和压裂效果 2 项一级指标、以及下属 7 项二级指标建立煤层气井综合评价体系,采用类比法和灰色关联法相结合的方式确定一、二级指标的权重,并运用基于 2 级权重的多层次多目标模糊优选法进行气井综合评价。研究结果表明:对区内 110 口稳产井进行验证,气井评分与实际产气能力吻合度高,综合评分大于 85 分为高产井,75~85 分为中产井,低于 75 分的产气效果较差,同时该评价方法还可用于气井产量预测、有利区域划分等,为本区块煤层气开发后评价工作和开发技术政策调整提供决策。

关键词:煤层气产能;主控因素;灰色关联法;模糊优化
中图分类号:TE122 **文献标志码**:A **文章编号**:0253-2336(2017)09-0194-07

Analysis on main controlling factors and comprehensive evaluation of coalbed methane production capacity of Junlian Block

WANG Weixu, HE Manjiang, WANG Xiyou, JIANG Pei, PENG Lisha, DU Yue
(*Southwest Gas Production Plant of PetroChina Zhejiang Oilfield Branch, Yibin* 645250, *China*)

Abstract: In order to accurately evaluate the coalbed methane production capacity in southern Sichuan region where is abundant of coalbed methane resources, main controlling factors of capacity were analyzed based onstable production period data from 65 producing wells in Julian Block. Coalbed methane comprehensive evaluation system was established formed by seven subordinate indicators and two first grade indicators which include geological factor and fracturing effect. Weight factors of indicators were calculated by analogy method and grey correction analysis. Fuzzy optimization method based on two grades weight factors was applied for gas well comprehensive evaluation. Evaluation results which had good agreement with actual productivities were verified by 110 stable producing wells. Wells with scores greater than 85 were divided as high production wells, wells with scores between 75 and 85 were divided as middle yield wells, wells with scoresless than 75 had poor production effect. The comprehensive evaluation method also can be used for productivity prediction, favorable target area optimization, post evaluation of coalbed methane exploitation and technology policy adjustment.

Key words: prouduction capacity of coalbed methane; main controlling factors; grey relation analysis; fuzzy optimization model

0 引 言

四川南部地区煤层气资源量丰富,不同于国外商业化开发的煤层气田,本区域煤岩变质程度高,储层非均质性较强,具有典型的高煤阶特征,要实现规模效益开发,需明确区块产能主控因素,开展单井综合评价和区域开发甜点优选,并探索适合该区块地质特征的开发模式。煤层气产能影响因素复杂,地质条件、工程参数和排采技术都对气井产量产生影响,具有多因素相互作用综合影响的特征。目前国内对山西沁水盆地煤层气选区评价及产能主控因素研究较多,刘升贵等[1]采用理论分析和数值模拟的方法研究了沁水盆地煤层气产能差异,提出以煤层资源丰度、渗透率、临界解吸压力为关键参数的产能

收稿日期:2017-02-13;**责任编辑**:曾康生 **DOI**:10.13199/j.cnki.cst.2017.09.032
作者简介:王维旭(1984—),男,甘肃天水人,工程师。Tel:13819161636,E-mail:wangwx85@petrochina.com.cn
引用格式:王维旭,贺满江,王希友,等. 筠连区块煤层气产能主控因素分析及综合评价[J]. 煤炭科学技术,2017,45(9):194-200.
WANG Weixu, HE Manjiang, WANG Xiyou, *et al*. Analysis on main controlling factors and comprehensive evaluation of coalbed methane production capacity of Junlian Block[J]. Coal Science and Technology, 2017, 45(9): 194-200.

中国煤炭期刊网 www.chinacaj.net

评价方法;徐涛等[2]从资源条件、水文地质条件、钻完井工艺和排采工作制度 4 个方面对潘庄区块煤层气井的产能主控因素进行了研究;刘世奇等[3]以地质参数、排采资料为依据,分析了樊庄区块煤层气井产量差异的地质影响因素;崔彬等[4]从煤层气产出机理出发,分析了含气量、厚度、解吸压力和渗透率对和顺区块煤层气井产能的影响;孙粉锦等[5]采用层次分析、构造解析及盆地分析等方法,探讨了沁水盆地南部的高阶煤层气富集高产的主控因素。

作者以筠连区块煤层气井为研究对象,借鉴国内外煤层气选区评价方法,综合单井静态地质参数和压裂增产工程参数,开展高产主控因素研究,优选产气潜力评价指标,运用灰色关联法和模糊数学法建立了复杂参数煤层气产能综合评价模型。通过开展气井综合评价,可以进行煤层气产能预测、有利区域划分等工作,为该区块煤层气开发提供有力依据。

1　区域地质概况

四川南部地区筠连区块位于四川盆地南缘、云贵高原北麓川滇两省结合部,区块内乐平组无烟煤富集,煤层气总资源量为 860.6×10^8 m^3,是四川省最具开发潜力的煤层气区块之一,目前已完成 2 亿 m^3/a 产能建设。含煤构造格局的形成主要受成煤期川滇南北向构造带以及成煤后的构造改造(喜马拉雅运动)作用所控制,呈压性构造特征(图 1)。

目的层主要分布于乐平组中上部,发育 C2、C3、C7 及 C8 四套主力煤层,平均煤层厚度为 7.51 m;煤层埋深大部分为 300~900 m,局部埋深超过 1 000 m。煤变质程度高,达到高阶无烟煤阶段,含气性好,含气饱和度较高,平均含气量约为 14 m^3/t,储层原始渗透率较低,大都为(0.02~0.18)×10^{-3} μm^2。

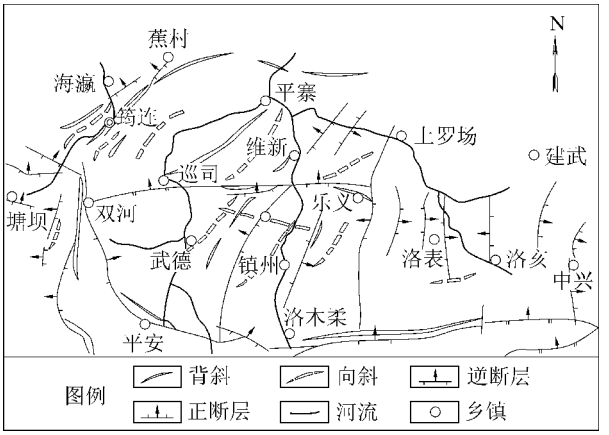


图 1　筠连区块构造纲要图

Fig. 1　Structure outline map of Junlian Region

2　产能主控因素分析

国内外大量学者对煤层气井产能影响因素做了研究,但这些研究主要集中在对地质因素的研究,将地质、工程因素相结合进行综合研究较少,且大多缺乏定量分析[6-8],各地区煤层性质差异大,工艺适应性不同,产能主控因素存在较大差异。探索筠连区块煤层气井产能主控因素,为产能综合评价奠定基础,有助于指导该区域煤层气井高效开发。选取该区块排采时间达到三年、进入稳产期的井开展产能主控因素分析,煤层气井区域分布如图 2 所示。

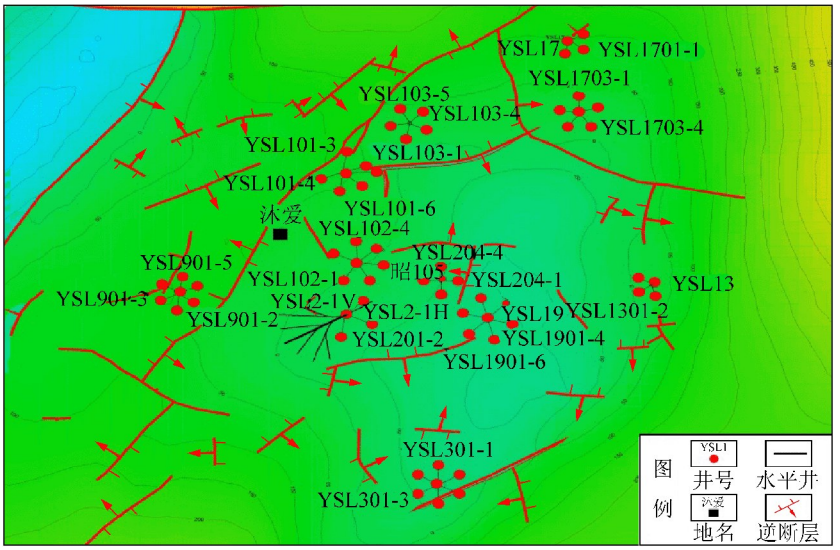


图 2　筠连区块煤层气井井位分布

Fig. 2　Coalbed methane well array map of Junlian Block

中国煤炭期刊网 www.chinacaj.net

地质条件是煤层气井获得高产的前提,含气量与厚度反映了煤层气井的储量丰度,丰度越高,气体能量越充足,物质基础越好。筠连地区煤层含气量高,但渗透率非常低,基质中存在大量吸附气,但难以流出,需要通过水力压裂改造形成人工裂缝,扩大泄气面积,增加渗流通道。因此,此区域煤层气井产能大小受储层地质条件与压裂改造效果综合影响[9]。

1)地质条件:① 含气量。含气量越大表明煤层对甲烷的吸附能力越强,煤层的供气能力越强。据统计,测井解释含气量与稳产产量的关系,呈现明显正相关关系(图 3),产气量在 2 000 m^3/d 以上的气井,含气量大于 14 m^3/t;而含气量小于 12.5 m^3/t 的气井,产气效果普遍较差;② 煤层厚度。煤厚是煤层气高产富集的前提,煤厚越大,煤岩生烃和封盖的能力越强,富集程度越高,同时煤层气解吸范围大,产气量越高。据测井解释煤层厚度(动用煤层厚度)与稳产产量的关系,呈现明显正相关关系(图 4),平均煤层厚度 7.5 m,产气量超过 2 000 m^3/d 以上的井,煤层厚度基本在 8 m 以上。③ 临界解吸压力。临界解吸压力越高,煤层释放气体的潜力越大,临储比高,解吸时间早,有效解吸区域大,越容易产气。筠连区块平均临界解吸压力 4.3 MPa,平均临储比 0.8。据统计,临界解吸压力与产气量的关系(图 5)可以看出,临界解吸压力小于 3.7 MPa 后,产气量普遍较低;④ 压降速度。筠连地区煤层自身渗透率低,投产前需进行人工压裂改造,产能大小需要用压裂后的渗透率来评价。气井压裂停泵后的压力变化反映了裂缝本身及其周围地层的情况,通过关井压降监测数据计算压降速度,压降速度可用来表征改造后的煤层渗透性[10]。压降速度越大,表明储层裂隙连通性越好,有利于流体渗流和压降漏斗扩散。反映出压降速度对产气量具有一定的影响(图 6),筠连区块压降速度大多为 0.5~2 MPa/d,压降速度低于 0.5 MPa/d 后,产气量相对较低。

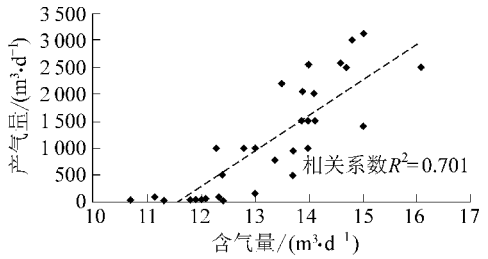


图 3　含气量与产气量关系

Fig. 3　Relationship of gas content and production

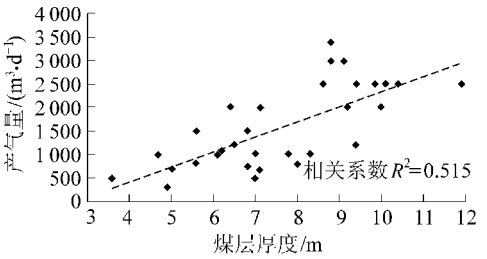


图 4　煤层厚度与产气量关系

Fig. 4　Relationship of thickness and production

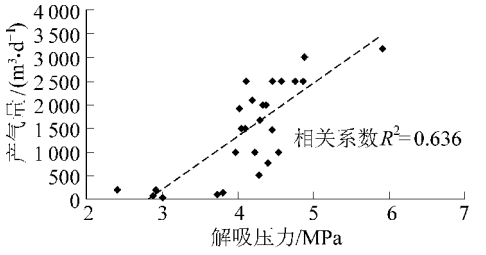


图 5　临界解吸压力与产气量关系

Fig. 5　Relationship of critical desorption pressure andproduction

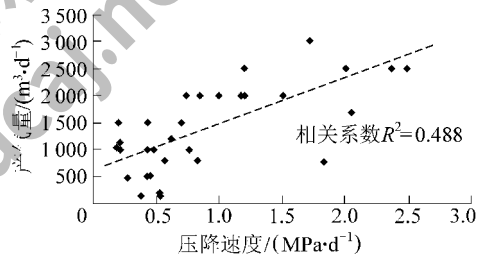


图 6　压降速度与产气量关系

Fig. 6　Relationship of pressure drop rate and production

2)压裂改造效果。工程因素对产能的影响主要体现在水力压裂的改造效果,保证合理的压裂液量及加砂量、保证有效裂缝半长是提高产能的关键[11]。① 压裂液注入量。研究井压裂液注入量为 1 000~1 600 m^3,平均为 1 400 m^3,反映了压裂注入液量越高,气井产量相对越高(图 7),注入液量大于 1 300 m^3后,产气量普遍超过 1 500 m^3/d;② 加砂量。加砂量的增加有利于增加缝长和缝宽,释放更大范围的应力,增加煤层气的降压范围,延伸有效泄流面积,提升产气效果[12]。研究井加砂量为 28~76 m^3,加砂量低于 45 m^3后,产量相对较低(图 8);③压裂施工曲线类型。压裂过程中,地面施工曲线是压裂液流动、裂缝扩展、支撑剂运移和煤储层特征的综合反映。从曲线形态划分,可分为平稳型与平稳下降型、波动型、上升型、突降型。结合现场压裂施工曲线与排采效果的分析,平稳型与平稳下降型曲线对应的井获得的气产量更高。

中国煤炭期刊网 www.chinacaj.net

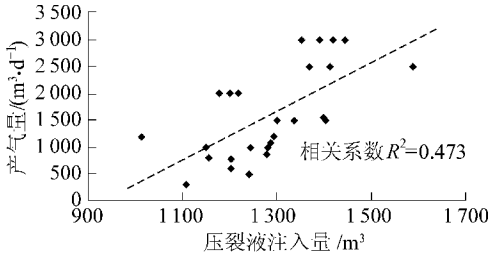


图 7　注入液量与产气量关系

Fig. 7 Relationship of injection volume andproduction

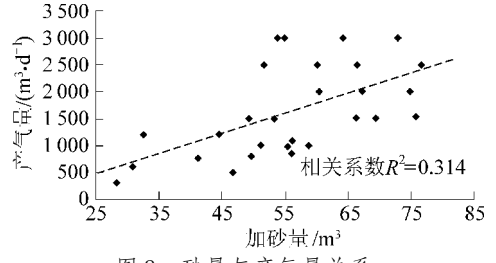


图 8　砂量与产气量关系

Fig. 8　Relationship of amounts of prop pant and production

3　产能综合评价方法及应用

从各项参数与单井稳定产量的回归关系曲线来看,相关系数均不太高,表明煤层气井产能影响因素复杂,具有多因素相互作用综合影响的特征,评价单井产能需建立综合评价方法系统分析。借鉴国内外煤层气选区评价方法[13-15],结合上节产能主控因素研究结果,将评价指标划分为两个层次:地质条件和压裂施工效果作为一级指标,含气量、厚度、临界解吸压力、压降速度、注入液量、加砂量与压裂施工曲线为下属二级指标。既有定量指标又包含定性指标,运用基于两级权重的多层次多目标模糊优选法建立煤层气井综合评价体系[16]。

笔者收集了筠连区块 65 口已进入稳产期的气井数据,为消除多层合采层间干扰的影响,研究井均为单采 C7+8 号煤层的井,因 7、8 号煤层+由于层间距小,局部区域合并,为一套开发层系,统称 C7+8 号煤层。煤层厚度、含气量、压裂注入量、加砂量等参数均取 C7+8 号层数据,产气量取稳产阶段的日产量。

3.1　评价指标权重的确立

评价指标权重是表征指标相对重要性的数值,可以对气井产能影响因素进行定量评价。采用类比法和灰色关联法相结合的方式进行一、二级指标权重的确定。

3.1.1　一级指标权重的确立

通过类比中国煤层气选区评价中专家打分法对各地质因素权重的确立,参照沁南盆地产能主控因素分析中对地质参数、压裂施工效果权重的计算[17],结合筠连地区地质、工程参数与产能的统计,将一级指标中地质因素的权重定为 65%,压裂施工效果的权重定为 35%。

3.1.2　二级指标权重的确立

选取 6 项定量参数,运用灰色关联法计算与产量的相关度,得出权重大小,一项定性参数(压裂施工曲线类型)采用直接赋值法表征权重。

灰色关联法是根据序列曲线几何形状的相似程度,判断 2 因素之间联系紧密程度的一种重要方法。设数据变化的母数列为$\{X_0\}$,子数列为$\{X_i\}$,母数列为研究井的稳产气量,子数列为相对应井的各种影响参数:煤层厚度、含气量、压降速度、解吸压力、注入液量、加砂量、压裂施工曲线。

1)计算关联系数,设母数列 $X_0=\{x_0(t),t=1,2,3,\cdots,n\}$,子数列 $X_i=\{x_i(t),t=1,2,3,\cdots,n\}$,$i$ 为定量参数项数 $i=6$;n 为井口总数,$n=65$。X_0 和 X_i 之间的关联系数为

$$\xi_i(t)=\frac{\Delta_{0i}(\min)+\zeta\Delta_{0i}(\max)}{\Delta_{0i}(t)+\zeta\Delta_{0i}(\max)} \tag{1}$$

其中

$$\Delta_{0i}(t)=|x_0(t)-x_i(t)| \tag{2}$$

式中:$\xi_{0i}(t)$ 为 2 个序列的关联系数;$\Delta_{0i}(t)$ 为 2 个序列的绝对值差;$\Delta_{0i}(\max)$ 为序列绝对差中的最大值;$\Delta_{0i}(\min)$ 为序列绝对差中的最小值;ζ 为分辨系数,一般取 0.5。

2)计算关联度。

$$\varepsilon_{0i}=\frac{\sum_{t=1}^{n}\xi_{0i}(t)}{n} \tag{3}$$

根据各因素相关系数占所有因素总相关系数的比例,得出各主控因素权重大小(表 1)。地质因素中含气量对产能的影响最大,压裂参数中注入液量对产能的影响最大。

表 1　各影响因素相关度与权重

Table 1　Correlation and weight factor of each parameter

一级指标	权重	二级指标	关联度	权重
地质条件	0.65	煤层厚度	0.54	0.22
		含气量	0.72	0.30
		压降速度	0.52	0.21
		解吸压力	0.66	0.27
压裂效果	0.35	压裂液注入量	0.62	0.41
		加砂量	0.41	0.26
		压裂施工曲线	0.50	0.33

中国地质期刊网 www.chinacaj.net

3.2　综合评价体系的建立

3.2.1　确定因素隶属度

前 6 项定量指标均为正指标，即指标值越大，稳产气量越高，利用式(4)计算各指标隶属度 a_{kj}。对压裂施工曲线这一定性指标，按曲线类型将平稳型与平稳下降型、波动型、上升型、突降型依次量化为 1.0、0.8、0.6、0.4。

$$a_{Kj}=\frac{u_{kj}-\min\limits_{1\leqslant k\leqslant n}u_{kj}}{\max\limits_{1\leqslant k\leqslant n}u_{kj}-\min\limits_{1\leqslant k\leqslant n}u_{kj}} \tag{4}$$

式中：u_{kj}为所计算井的某项指标大小，$k=1,2,3,\cdots,n$，$j=1,2,3,\cdots,m$；min u_{kj}为研究井中该项指标的最小值；maxu_{kj}为研究井中该项指标的最大值。

3.2.2　模糊优化法进行综合评分

模糊优化法是以最小二乘法为基础建立的最优评判准则，适用于既含有定量指标又含有定性指标的多指标综合评价体系，进而给出域中相对优与次优作为比较评价的依据。通过对 2 项一级指标分别计算模糊评价值，并结合各自权重大小，可以得到气井综合评价得分。

1)建立 m 个评价指标，n 个评价单元的矩阵

$$\boldsymbol{A}=\begin{pmatrix}a_{11} & a_{12} & \cdots & a_{1m}\\ a_{21} & a_{22} & \cdots & a_{2m}\\ \vdots & \vdots & \vdots & \vdots\\ a_{n1} & a_{n2} & \cdots & a_{nm}\end{pmatrix}$$

2)对矩阵 $\boldsymbol{A}$，利用取大取小法则确定单项指标最佳值，即求出相应向量 $\boldsymbol{G}$ 与 $\boldsymbol{B}$。

$$\boldsymbol{G}=\left(\max_{1\leqslant k\leqslant n}a_{k1},\max_{1\leqslant k\leqslant n}a_{k2},\cdots,\max_{1\leqslant k\leqslant n}a_{km}\right)=(g_1,g_2,\cdots,g_m) \tag{5}$$

$$\boldsymbol{B}=\left(\min_{1\leqslant k\leqslant n}a_{k1},\min_{1\leqslant k\leqslant n}a_{k2},\cdots,\min_{1\leqslant k\leqslant n}a_{km}\right)=(b_1,b_2,\cdots,b_m) \tag{6}$$

3)基于权重计算结果，建立权重矩阵。

$$\boldsymbol{W}=(w_1,w_2,\cdots,w_m) \tag{7}$$

4)分别计算地质因素模糊评价值 V_1 与压裂效果模糊评价值 V_2，计算公式均为

$$V_1(V_2)=\frac{1}{1+\left[\sum\limits_{j=1}^{m}w_j(g_j-a_{kj})\Big/\sum\limits_{j=1}^{m}w_j(a_{kj}-b_j)\right]^2} \tag{8}$$

式中：w_j为某项指标的权重；a_{ij}为某项指标的隶属度；g_j为隶属度最大值；b_j为隶属度最小值。

5)计算气井综合得分 I。

$$I=(0.65V_1+0.35V_2)\times 100 \tag{9}$$

模糊评价值 $V_1(V_2)$ 为 0~1，$V_1(V_2)$ 值越大，表明地质条件与压裂改造效果越好，越有利于气井高产；将 V_1、V_2乘以一级指标权重得到气井综合评分。

3.3　产能综合评价体系现场应用

1)单井产能综合评价。应用产能综合评价体系对筠连地区所有已达产井进行评价打分，综合评价得分大于 90 分的气井产量普遍大于 2 500 m^3/d；得分 85~90 分的气井产量为 1 500~2 500 m^3/d；得分 75~85 分的气井产量为 500~1 500 m^3/d；得分小于 75 分的产气量普遍小于 500 m^3/d，煤层气井分类见表 2。部分已达产井综合得分与稳产气量的曲线如图 9 所示。吻合程度较高，表明基于灰色关联与模糊优化法建立的复杂参数煤层气井产能综合评价体系可靠度高，适用于该区域气井产能评价。

综合地质条件、压裂效果、排采效果，进行气井分类(表 2)，对不同类别的井制定相适应的排采管控措施，实现煤层气精细化生产管理。

表 2　煤层气井分类标准

Table 2　Gas well classification standard

类别	分类原则		分级
	产气量/($m^3\cdot d^{-1}$)	综合得分	
A	>1 500	>85	高产井
B	500~1 500	75~85	中产井
C	0~500	<75	低产井

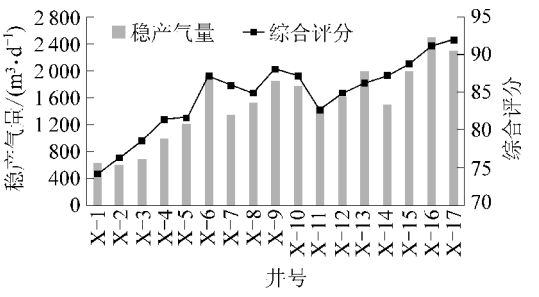


图 9　达产井综合得分与稳产气量对比

Fig. 9　Contrast of combined scores and stable gas production

2)未达产井产量预测。根据未达产井地质、压裂参数进行综合评分，并通过相同分数下的已达产井稳产气量，评价未达产井的生产潜力，预测其达产气量，从而制定合理提产计划。YSL201-1 井已排采 4 年，综合评分为 87.2，稳产气量为 2 500 m^3/d，YSL210-2 井为未达产井，综合评分为 87.3，通过类比 YSL201-1 井产量，预测稳产气量可达到 2 500 m^3/d，目前该井气量已达到 1 850 m^3/d，仍处于控压提产阶段。

中国煤炭期刊网 www.chinacaj.net

表 3　YSL201-1 与 YSL210-2 井参数对比

Table 3　Parameter contrast of Well YSL201-1 and Well YSL210-2

井号	煤层厚度/m	含气量/($m^3 \cdot t^{-1}$)	解吸压力/MPa	压降速度/($MPa \cdot d^{-1}$)	压裂液量/m^3	加砂量/m^3	地质得分	压裂得分	综合得分
YSL201-1	4.8	13.0	4.75	1.70	696	36.5	85.4	90.6	87.2
YSL210-2	6.4	13.1	4.73	2.57	685	30.5	86.9	88.2	87.3

4　结　　论

1)蜀南地区筠连区块煤层含气量高,渗透率低,需要通过压裂改造形成人工裂缝,增加渗流通道。四川南部区域煤层气井产能大小受储层地质条件与压裂改造效果综合影响。

2)借鉴国内外煤层气选区评价方法,结合筠连地区煤层气井产能主控因素分析,将评价指标划分为 2 个层次,确定了地质条件、压裂效果 2 项一级指标以及含气量、煤层厚度、压降速度、临界解吸压力、压裂注入液量、加砂量、压裂施工曲线 7 项二级指标。

3)采用类比法和灰色关联法相结合的方式确定一、二级指标的权重,得出地质因素中含气量对产能的影响最大,压裂参数中注入液量对产能的影响最大。再运用基于 2 级权重的多层次多目标模糊优选法建立了产能综合评价体系。

4)应用产能综合评价体系开展单井产能评价,评价结果与气井产量吻合度较高。同时该评价方法还可用于未达产井的产量预测、气井分类管理、煤层气高产区域划分,为本区块煤层气开发后评价工作和开发技术政策调整提供有力依据。

参考文献(References):

[1] 刘升贵,陈　含,彭智高,等.沁水盆地煤层气产能差异及采收率[J].辽宁工程技术大学学报,2013,32(6):721-724.
LIU Shenggui, CHEN Han, PENG Zhigao, *et al*. Coalbed methane productivity differences and gas recovery in Qinshui Basin[J]. Joural of Liaoning Technical University, 2013, 32(6): 721-724.

[2] 徐　涛,苏现波,倪小明.沁南地区潘庄区块煤层气井产能主控因素研究[J].河南理工大学学报,2013,32(1):25-29.
XU Tao, SHU Xianbo, NI Xiaoming. Study on CBM production main controlling factors of Qinnan Panzhuang block[J]. Journal of Henan Polytechnic University, 2013, 32(1): 25-29.

[3] 刘世奇,桑树勋,李梦溪,等.樊庄区块煤层气井产能差异的关键地质影响因素及其控制机理[J].煤炭学报,2013,38(2):277-282.
LIU Shiqi, SANG Shuxun, LI Mengxi, *et al*. Key geologic factors and control mechanisms of water production and gas production divergences between CBM wells in Fanzhuang block[J]. Journal of China Coal Society, 2013, 38(2): 277-282.

[4] 崔　彬,许祖伟,付玉通,等.和顺区块煤层气井产能主控地质因素研究[J].中国煤炭地质,2015,27(5):24-27.
CUI Bin, XU Zuwei, FU Yutong, *et al*. A study on CBM well capacity main geological controlling factors in Heshun Block[J]. Coal Geology of China, 2015, 27(5): 24-27.

[5] 孙粉锦,王　勃,李梦溪,等.沁水盆地南部煤层气富集高产主控地质因素[J].石油学报,2014,35(6):1070-1078.
SUN Fenjin, WANG Bo, LI Mengxi, *et al*. Major geological factors controlling the enrichment and high yield of coalbed methane in the southern Qinshui Basin[J]. Acta Petrolei Sinica, 2014, 35(6): 1070-1078.

[6] 万玉金,曹　雯.煤层气单井产量影响因素分析[J].天然气工业,2005,25(1):124-126.
WAN Yujin, CAO Wen. Analysis on production affecting factors of single well for coalbed gas[J]. Natural Gas Industry, 2005, 25(1): 124-126.

[7] 刘　彬,赵　雯,谷思勇,等.浅析樊庄区块煤层气井产能的主要影响因素[J].能源技术与管理,2013,38(3):9-11.
LIU Bin, ZHAO Wen, GU Siyong. Analysis on the main influencing factor of well production in Fanzhuang coalbed methane field[J]. Energy Technology and Management, 2013, 38(3): 9-11.

[8] 倪小明,陈　鹏,朱明阳.煤层气垂直井产能主控地质因素分析[J].煤炭科学技术,2010,38(7):109-113.
NI Xiaoming, CHEN Peng, ZHU Mingyang. Analysis on main controlled geological factors of production capacity of coalbed methane vertical drilling well[J]. Coal Science and Technology, 2010, 38(7): 109-113.

[9] 马飞英.JL 煤田煤层气井产能主控因素研究[D].成都:西南石油大学,2014:52-63.

[10] 葛　东.压降监测数据分析在煤层气压裂效果评价中的应用[J].油气井测试,2015,24(1):23-26.
GE Dong. The application of pressure drop monitoring data to evaluate the fracturing effect of coalbed methane[J]. Well Testing, 2015, 24(1): 23-26.

[11] 王　宁,王立志,周芊芊.延川南区块煤层气单井产能影响因素分析[J].油气藏评价与开发,2012,2(5):78-82.
WANG Ning, WANG Lizhi, ZHOU Qianqian. Influence factors on production of CBM wells in South Yanchuan block[J]. Reservoir

中国煤炭期刊网 www.chinacaj.net

Evaluation and Development,2012,2(5):78-82.

[12] 陈振宏,王一兵,杨焦生,等.影响煤层气井产量的关键因素分析:以沁水盆地南部樊庄区块为例[J],石油学报,2009,30(3):409-412.
CHEN Zhenhong, WANG Yibing, YANG Jiaosheng. Influencing factors on coalbed methane production of single well: a case of Fanzhuang Block in the south part of Qinshui Basin[J].Acta Petrolei Sinica,2009,30(3):409-412.

[13] 李五忠,田文广,陈　刚,等.不同煤阶煤层气选区评价参数的研究与应用[J].天然气工业,2010,30(6):45-48.
LI Wuzhong,TIAN Wenguang,CHEN Gang.Research and application of appraisal variables for the prioritizing of coalbed methane areas featured by different coal ranks[J].Natural Gas Industry,2010,30(6):45-48.

[14] 张宝生,彭贤强,罗东坤.中国煤层气目标区综合评价与优选研究[J].资源科学,2009,31(4):681-686.
ZHANG Baosheng, PENG Xianqiang, LUO Dongkun. Research on comprehensive evaluation and ranking of China's coalbed methane perspectives[J]. Resources Science, 2009, 31(4): 681-686.

[15] 李贵红.鄂尔多斯盆地东缘煤层气有利区块优选[J].煤田地质与勘探,2015.43(2):28-32.
LI Guihong.Selection of the favorable coalbed methane blocks in eastern Ordos Basin[J]. Coal Geology& Exploration, 2015, 43(2):28-32.

[16] 罗金辉,杨永国,秦　勇,等.基于组合权重的煤层气有利区块模糊优选[J].煤炭学报,2012,37(2):242 -246.
LUO Jinhui, YANG Yongguo, QIN Yong. Fuzzy optimization for CBM favorable targets based on combined weights[J].Journal of China Coal Society,2012,37(2):242 -246.

[17] 吕玉民,汤达祯,许　浩,等.沁南盆地樊庄煤层气田早期生产特征及主控因素[J].煤炭学报,2012,37(2):401-406.
LYU Yumin,TANG Dazhen,XU Hao.Initial production characteristic and its controls in Fanzhuang coalbed methane field,Southern QinshuiBasin[J]. Journal of China Coal Society, 2012, 37(2):401-406.

(上接第 174 页)

Geology,2000,8(4):446-455.

[18] 苗霖田.榆神矿区主采煤层赋存规律及煤炭开采对水资源影响分析[D].西安:西安科技大学,2008.

[19] 王双明,范立民,黄庆享,等.榆神矿区煤水地质条件及保水开采[J].西安科技大学学报,2010,30(1):1-6.
WANG Shuangming,FAN Limin,HUANG Qingxiang,*et al*.Coal water geological conditions and water conserving mining for Yushen coal mine area[J].Journal of Xi'an University of Science and Technology,2010,30(1):1-6.

[20] 范立民,马雄德,蒋　辉,等.西部生态脆弱矿区矿井突水溃沙危险性分区[J].煤炭学报,2016,41(3):531-536.
FAN Limin,MA Xiongde,JIANG Hui,*et al*.Risk evaluation on water inrush and sand inrushin ecologically fragile coal mine[J]. Journal of China Coal Society,2016,41(3):531-536.

[21] 范立民,马雄德.浅埋煤层矿井突水溃沙灾害研究进展[J].煤炭科学技术,2016,44(1):8-12.
FANG Limin,MA Xiongde.Research progress of water inrush hazard in shallow buried coal seam mine[J].Coal Science and Technology,2016,44(1):8-12.

[22] 顾大钊,张　勇,曹志国.我国煤炭开采水资源保护利用技术研究进展[J].煤炭科学技术,2016,44(1):1-7.
GU Dazhao, ZHANG Yong, CAO Zhiguo. Technical progress of water resource protection and utilization by coal mining in China[J].Coal Science and Technology,2016,44(1):1-7.

[23] 钱鸣高.煤炭的科学开采[J].煤炭学报,2010,35(4):529-534.
QIAN Minggao.On sustainable coal mining in China[J].Journal of China Coal Society,2010,35(4):529-534.

中国煤炭期刊网 www.chinacaj.net