

四川盆地华蓥山西侧低缓构造区石炭系 黄龙组分布与圈闭条件

谷明峰¹,董景海²,付小东¹,应玉双²,朱茂¹,田兴旺³,
朱可丹¹,叶茂³,朱心健¹,李文正¹,张建勇¹

1 中国石油杭州地质研究院; 2 中国石油大庆油田有限责任公司勘探事业部;

3 中国石油西南油气田公司勘探开发研究院

摘要 四川盆地石炭系黄龙组孔隙型白云岩储层是重要的油气勘探对象,也是川东地区的重点产层。基于近年来采集的高品质地震资料,结合钻井、野外露头剖面等资料,在井震标定、地震正演模型建立的基础上,对华蓥山西侧的石炭系黄龙组区域分布、志留系烃源灶及成藏条件进行综合地质分析,取得3项主要认识:①华蓥山西侧石炭系大面积分布,碳酸盐岩有利区面积超8 000 km²,预测厚度最大可达40 m,具备形成规模储层的地层、沉积基础;②受古隆起斜坡带、地层剥蚀带和断裂带控制,发育平昌—巴中、广安—渠县2个大型圈闭发育区带,面积总计可达5 460 km²,具备规模成藏有利条件;③平昌—巴中地区气源条件较好,构造圈闭发育,可形成下生上储的成藏组合,是寻找规模天然气储量的有利地区。

关键词 碳酸盐岩; 薄层预测; 圈闭条件; 成藏条件; 石炭系; 华蓥山西侧; 四川盆地

中图分类号:TE121 **文献标识码**:A

引用: 谷明峰,董景海,付小东,等. 四川盆地华蓥山西侧低缓构造区石炭系黄龙组分布与圈闭条件[J].海相油气地质,2024,29(4):413-422.
GU Mingfeng, DONG Jinghai, FU Xiaodong, et al. Distribution and trap conditions of the Carboniferous Huanglong Formation in the low and gentle structural area on the western side of Huaying Mountain, Sichuan Basin[J]. Marine origin petroleum geology, 2024, 29(4): 413-422.

0 前言

石炭系黄龙组白云岩孔隙型储层是四川盆地重要的勘探对象,主要分布于川东地区。四川盆地石炭系残余地层以黄龙组为主,总体为局限台地背景下一个完整的I型三级层序:黄龙组一段(简称黄一段)主要为一套低位体系域蒸发坪沉积;黄二段为海侵体系域沉积,水体能量高,发育多期潮间带粒屑滩、生物碎屑滩;黄三段主要为高位体系域,以潮下带沉积为主,仅发育薄层滩体^[1-5]。

四川盆地石炭系黄龙组自1977年在相国寺构造相18井获得重大勘探发现,测试获得日产超85×10⁴ m³的高产工业气流以来,一直是川东乃至四川盆地主力产气层系^[6-7]。历经几十年勘探,川东地区已发现五百梯、卧龙河、沙罐坪等50余个中小型气藏,提交天然气探明储量近2 500×10⁸ m³。2000年以后,随着勘探程度逐渐提高,石炭系探明储量增

长缓慢,储量动用程度升高,产量逐年下降,亟需新储量接替^[8]。

华蓥山东西两侧石炭系勘探程度极不均衡,几十年来勘探主要集中在华蓥山东侧高陡构造,华蓥山西侧石炭系分布面积约为1.3×10⁴ km²,勘探程度较低,仅在广安、龙会场等地区实施了15口井的钻探,在华蓥山构造带发现龙会场气藏,除此之外仅华西1井获得工业气流,其余钻井多为低产工业气流或出水。华蓥山西侧勘探一直未有大的突破,主要由于石炭系厚度整体较薄(数米至数十米),残余地层分布刻画及储层预测难度大,制约了区带评价和目标的落实。基于老井复查及近几年华蓥山西侧龙岗、平昌等地区部署的新的地震资料,通过井震标定、地震反射特征分析及精细解释,预测石炭系厚度,重新认识华蓥山西侧的地层展布,结合岩相古地理恢复、烃源岩预测及圈闭评价,落实石炭系油气勘探的有利勘探区带,为下一步勘探部署提供支撑。

收稿日期:2024-09-19;改回日期:2024-10-24

本文受中国石油重大科技专项所属课题“碳酸盐岩油气富集规律及有利区带研究”(编号:2023ZZ16YJ01)资助

第一作者:谷明峰,高级工程师,主要从事地震地质综合解释、储层预测、区带及目标评价等研究工作。通信地址:310023 浙江省杭州市西湖区西溪路920号;E-mail: gumf_hz@petrochina.com.cn

1 概 况

研究区位于四川盆地的川中北部—川北低缓构造区,包括广安、渠县、平昌、巴中、通江等地区,东侧以华蓥山断裂为界,南侧、西侧、北侧以合川—

广安—营山—龙岗—巴中—旺苍一带的石炭系尖灭线为界(图1)。除靠近华蓥山和大巴山的龙会场、通江、南江、巴中、坡西等地区外,研究区整体为南高北低的单斜构造,构造变形程度较弱,以低幅度构造为主。

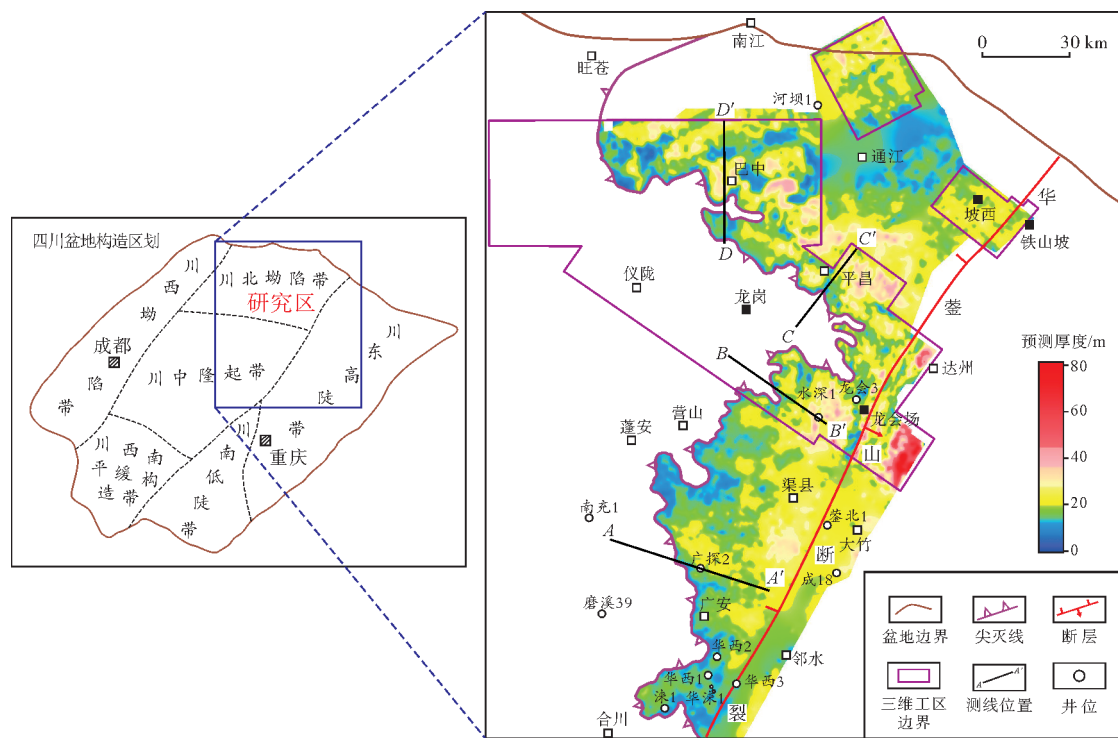


图1 研究区位置及石炭系残余地层厚度分布图

Fig. 1 Location of the study area and thickness distribution of residual Carboniferous strata on the western side of Huaying Mountain

研究区南部地震资料以2005—2010年部署的二维为主,测网密度为 $1\text{ km}\times 1\text{ km}$ 至 $2\text{ km}\times 4\text{ km}$,针对的目的层是三叠系须家河组,基本满足石炭系研究的需要。2007年以来在研究区北部先后部署了龙岗、坡西、平昌等三维地震资料,为石炭系尖灭线刻画、地层厚度及储层预测提供了较好的资料基础。

石炭系钻井主要分布在研究区南部的广安、华蓥等地区,主要是针对华蓥山西侧地区石炭系大型地层—构造复合圈闭的预探井,截至2023年底,共钻井9口,均获得良好的油气显示与低产气流,展示了一定的勘探前景。

2 华蓥山西侧石炭系厚度预测

2.1 石炭系地震反射特征

研究区石炭系岩性为一套以白云岩、石灰岩为主的碳酸盐岩,地层纵波速度一般介于 $6\,000\sim 6\,700\text{ m/s}$ 。

研究区北部靠近陆源,石炭系由碳酸盐岩变为碎屑岩,纵波速度与下伏志留系相当。上覆二叠系梁山组以泥页岩为主,纵波速度一般低于 $4\,500\text{ m/s}$ 。研究区大部分区域在石炭系之下为志留系砂泥岩,纵波速度一般为 $4\,500\sim 5\,000\text{ m/s}$ 。因此,石炭系与上下围岩之间具有较大的波阻抗差异,地层厚度超过地震可识别分辨率时,石炭系顶界为强波峰反射,底界为强波谷反射。

图2为龙会3井、水深1井、广探2井和河坝1井的井震标定结果。其中,龙会3井的石炭系厚度为 40 m ,顶界为强波峰反射,底界为靠近强波谷反射极值点。而水深1井和广探2井的石炭系厚度分别为 26 m 和 29 m ,小于地震分辨极限厚度,顶界对应波峰反射,底界处于波峰至波谷转换的零值点。河坝1井石炭系相变为碎屑岩沉积,波阻抗与下伏志留系的相近,合成记录没有明显的反射界面(石炭系底界波峰主要为栖霞组底界强波谷旁瓣)。

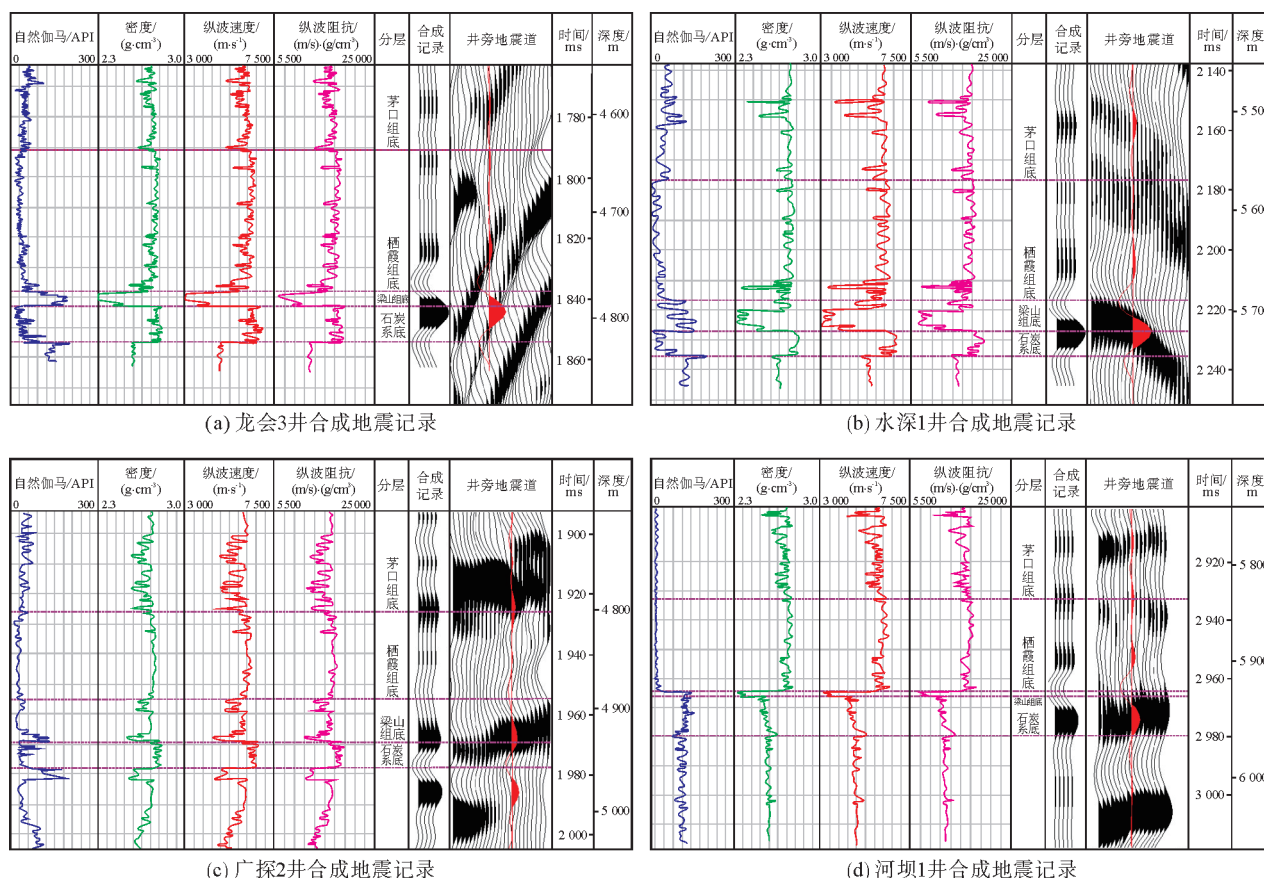


图2 华蓥山西侧石炭系井震标定

Fig. 2 Well-seismic calibration of Carboniferous on the western side of Huaying Mountain

2.2 地震正演模拟

由于石炭系厚度较薄,横向变化快,且北部存在相变导致的岩性变化,为了更清楚查明厚度、岩性等因素变化对地震响应的影响,参考龙会3井、河坝1井等实钻井的岩石物性参数,设计地质模型开展地震正演模拟。图3为设计的厚度和岩性变化的正演模型,其中石炭系碳酸盐岩的速度为6 400 m/s,

石炭系混积岩的速度为4 900 m/s,二叠系梁山组泥页岩及志留系砂泥岩的速度为4 000 m/s,采用主频35 Hz的地震子波。

图3a为石炭系0~80 m的楔状厚度变化模型。当石炭系厚度小于10 m时,石炭系顶界几乎没有波峰响应;地层厚度大于10 m时,顶界开始出现波峰响应,且波峰振幅与厚度呈正相关关系,即厚度越大波峰振幅越强;地层厚度约50 m时,顶界和底界

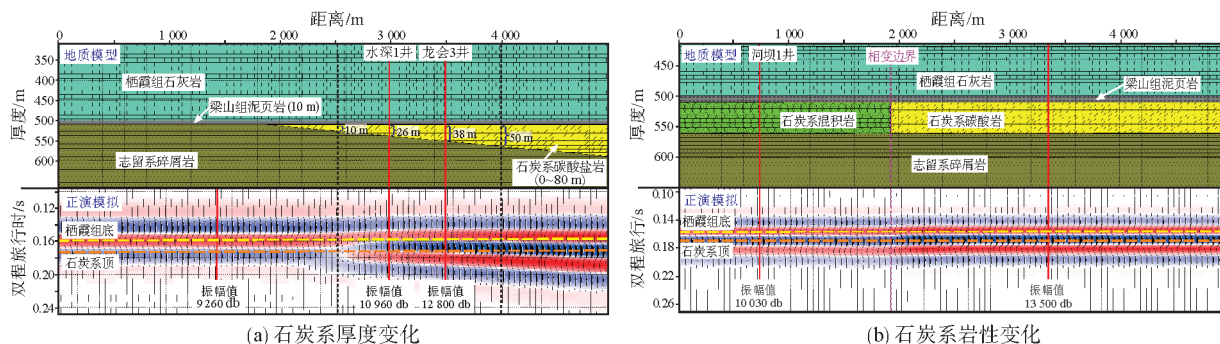


图3 华蓥山西侧石炭系厚度和岩性变化的地质模型及地震正演模拟结果

Fig. 3 Thickness and lithology change model of Carboniferous system and results of forward seismic simulation on the western side of Huaying Mountain

分别对应波峰和波谷反射,即实现地震上的可分辨。

图3b为川北地区靠近陆源区石炭系发生相变的地质模型。与图左侧石炭系混积岩相区比较,图右侧石炭系碳酸盐岩相区由于与上下围岩存在较大的波阻抗差,石炭系顶界、底界的波峰和波谷振幅明显较强,波峰振幅达到13 500 db,远高于左侧混积岩相区的10 030 db。

2.3 地层尖灭线及相变带地震刻画

根据地震标定及地震正演模拟结果,可以利用地震波形和振幅的变化,识别石炭系的尖灭和相变。对研究区内二维、三维地震资料开展地层对比追踪,由于地震分辨能力的限制,石炭系底界、顶界难以同时识别(如图2b水深1井的石炭系底界难以

追踪对比),故在解释过程中主要对比追踪石炭系顶界的波峰。

图4a、图4b分别为广安和龙岗地区石炭系尖灭带的典型剖面(剖面位置见图1)。图4a为广安地区过广探2井(石炭系厚28 m)的地震剖面,同样具有往北西方向石炭系顶界波峰振幅减弱至尖灭的特征。图4b为过水深1井(石炭系厚26 m)的地震剖面,石炭系顶界对应强波谷反射,波峰振幅往北西向逐渐变弱,直至尖灭,其上下波谷收敛合并成一个波谷。根据地震正演认识,图4a和图4b中的石炭系顶界对应的波峰振幅的变化对应了地层厚度的变化,取石炭系顶界波峰尖灭位置适当外推,可以落实广安—龙岗地区石炭系尖灭线(图1)。通过广安、磨溪东等邻区实钻井证实结果较为可靠。

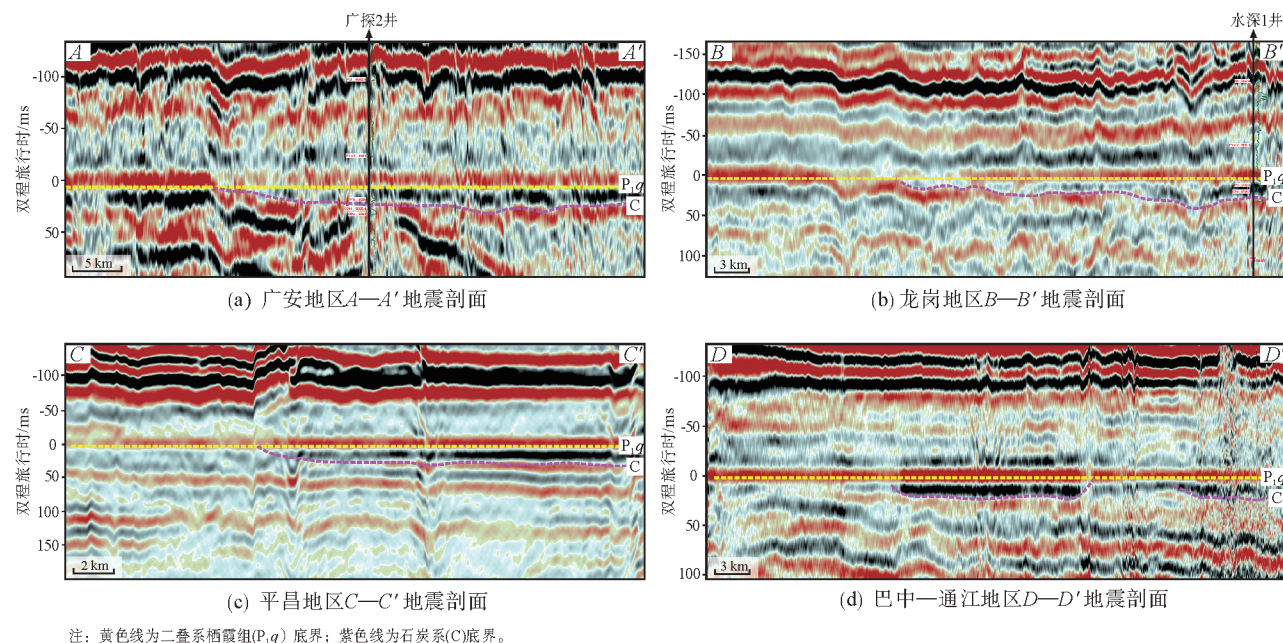


图4 华蓥山西侧石炭系地震反射特征典型剖面(剖面位置见图1)

Fig. 4 Typical profiles showing Carboniferous seismic reflection characteristics on the western side of Huaying Mountain (location is shown in Fig. 1)

图4c为平昌地区石炭系地震反射特征剖面。该区尚无钻井揭示石炭系,可以二叠系底界、龙潭组底界等界面作为区域标志层,通过邻区引层确定解释层位。由于与图4a、图4b地震相位存在一定的差异,因此石炭系顶界波峰尖灭特征不清晰,但仍能通过振幅强弱变化及下伏波谷反射向南西方向模糊的收敛特征确定石炭系的地层尖灭点(图1)。

图4d为研究区北部巴中—通江地区近南北向地震剖面。地震剖面上可明显识别出地震振幅横

向的变化:剖面中部为石炭系顶界强波峰反射,向南减弱,指示地层减薄或者出现剥蚀窗;向北地震振幅出现稍微减弱。根据该剖面位置东北方向的河坝1井钻井认识,该地区石炭系发育,但与川东岩相存在明显差异,由碳酸盐岩相区转变为混积岩相区,以碎屑岩沉积为主。因此,该剖面北部相对较弱波峰反射区域应该对应混积岩相区,相变的范围可以通过地震振幅平面图推测,相变界线在通江、巴中北部呈北东东向展布,东侧延伸至大巴山推覆带,西侧向西至九龙山一带与尖灭线相交。

2.4 石炭系厚度预测

根据研究区内二维及三维地震联合解释、成图,落实石炭系尖灭线,明确华蓥山西侧地层展布范围。石炭系薄层的厚度预测一直是勘探开发的难点,前人在华蓥山东侧探索出一套厚度预测的方法,支撑了川东地区石炭系的勘探部署^[9-12]。主要根据地层的厚度确定预测方法:①当地层厚度大于调谐厚度时,石炭系顶界和底界分别对应波峰和波谷反射,通过地震剖面上这两个界面的拾取,计算时间厚度,时深转换为地层厚度;②当地层厚度小于调谐厚度时,石炭系顶界和底界难以严格对应地震反射界面,但受振幅调谐作用的影响,地震振幅与地层厚度呈近似的线性正相关关系,利用研究区内已钻井实钻厚度与地震振幅拟合建立相关关系,达到预测地层厚度的目的。

已钻井揭示石炭系厚度较薄,介于0~90 m,尤其是华蓥山西侧,石炭系厚度一般小于40 m。现有地震资料显示主频在30~35 Hz之间,以纵波速度6 400 m/s、地震主频30 Hz计算,地震分辨率约55 m。因此,华蓥山西侧石炭系厚度基本小于地震分辨率,难以直接在地震剖面上拾取其顶、底界面计算厚度,需要采用厚度-振幅线性关系求取。

由于华蓥山西侧的钻井较少,因此本文选取川东地区五百梯构造、黄龙场构造、七里峡构造、渡口河构造等地震资料品质较好区域的钻井来补充样点。根据华蓥山西侧水深1井、广探2井等井,川东地区五探1井、温泉5井等井统计石炭系厚度及井点处地震振幅能量值(表1),并进行两者的交会图分析(图5),建立了厚度-振幅线性关系: $H_{\text{厚度}} = 0.0032A_{\text{振幅}} - 0.2416$,两者相关系数为0.78,说明吻合程度较好,可以作为厚度定量预测的经验公式。

图1为预测的华蓥山西侧石炭系残余地层厚度图,由图1可见,华蓥山西侧石炭系可划分为南部的广安—渠县地区和北部的平昌—巴中地区2个分布区,总面积超过8 000 km²,厚度最大约40 m,自南向北在涪滩场—广安—营山—平昌南—巴中南—九龙山—一线尖灭。

需注意的是,研究区北部巴中—通江以北地区虽然根据地震振幅预测的地层厚度为20~30 m,但考虑前文所述该区石炭系相变为碎屑岩,厚度可能与实际误差较大。

表1 华蓥山西侧与东侧井点处石炭系厚度与地震振幅能量统计表

Table 1 Statistics of Carboniferous thickness and seismic amplitude energy at well point on the western and eastern sides of Huaying Mountain

地区	井名	地层厚度/m	振幅能量值/db
华 蓥 山 西 侧	水深1井	26.0	9 892.5
	广探2井	25.0	7 702.5
	华西1井	23.0	5 192.5
	华西2井	27.0	5 815.0
	涑1井	9.0	3 850.0
华 蓥 山 东 侧	五探1井	53.0	18 005.7
	温泉5井	47.5	12 320.0
	天东60井	35.0	8 595.0
	大天2井	32.0	9 476.5
	黄龙5井	31.5	8 729.4
	七里23井	27.5	7 642.8
	渡2井	14.4	7 154.0
	渡4井	12.0	7 095.0
	七里6井	3.6	2 705.5

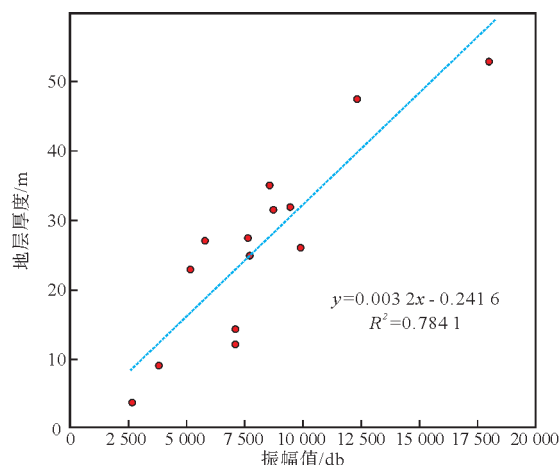


图5 华蓥山东西侧井点处石炭系厚度与地震振幅能量交会图

Fig. 5 Crossplot of Carboniferous thickness and seismic amplitude energy at well point on the western and eastern sides of Huaying Mountain

3 华蓥山西侧石炭系圈闭条件

3.1 圈闭分类与识别

钻井证实华蓥山东侧石炭系气藏受高陡构造控制,以构造圈闭气藏为主,兼具地层-构造气藏^[13]。统计已发现的20个石炭系气藏中,有构造气藏15个、地层-构造复合气藏5个,其中邻北气藏为地层-构造气藏,气柱高度达到830 m,说明沿地层上倾方向的地层尖灭具备成藏遮挡条件。

华蓥山西侧构造主体为南西高、北东低的单斜,构造较平缓,受上倾方向的地层尖灭、北东方向的华蓥山断裂带封堵及局部构造高的控制,可形成大型地层圈闭发育区带。由于石炭系黄龙组底部厚约10 m的地层大多为致密石灰岩,因此以地震预测石炭系厚度的10 m线为地层圈闭边界,可以与华蓥山断裂及研究区内断层及构造线共同形成地层-构造圈闭。研究区发育的圈闭类型主要有3类:地层圈闭(残丘、向斜)、断鼻/鼻状构造圈闭、背斜/断背斜圈闭。根据石炭系残余地层分布及华蓥山断裂分隔特征,本文将研究区主要划分为平昌—巴中、广安—渠县2个大型圈闭发育区带(图6)。

3.1.1 广安—渠县圈闭发育区带

西侧广安—营山一带黄龙组尖灭形成侧向封

堵,东侧向华蓥山断裂错动,使石炭系与上覆、下伏泥页岩或致密碳酸盐岩对接形成侧向封堵,向南构造逐渐抬升叠加石炭系尖灭形成上倾方向遮挡的构造-地层圈闭。广安—渠县地区共识别背斜/断背斜圈闭9个、面积169 km²,断鼻圈闭8个、面积233 km²,地层圈闭8个、面积2 630 km²。3类圈闭总计25个,总面积3 032 km²(图6)。

3.1.2 平昌—巴中圈闭发育区带

平昌地区石炭系向西南川中古隆起方向尖灭形成侧向封堵,向东受华蓥山断裂带侧向遮挡,可形成大型地层圈闭。利用地震资料在平昌—巴中地区识别出背斜/断背斜圈闭34个、面积152 km²,断鼻圈闭21个、面积312 km²,地层圈闭20个、面积1 966 km²。3类圈闭总计75个,总面积达2 430 km²(图6)。

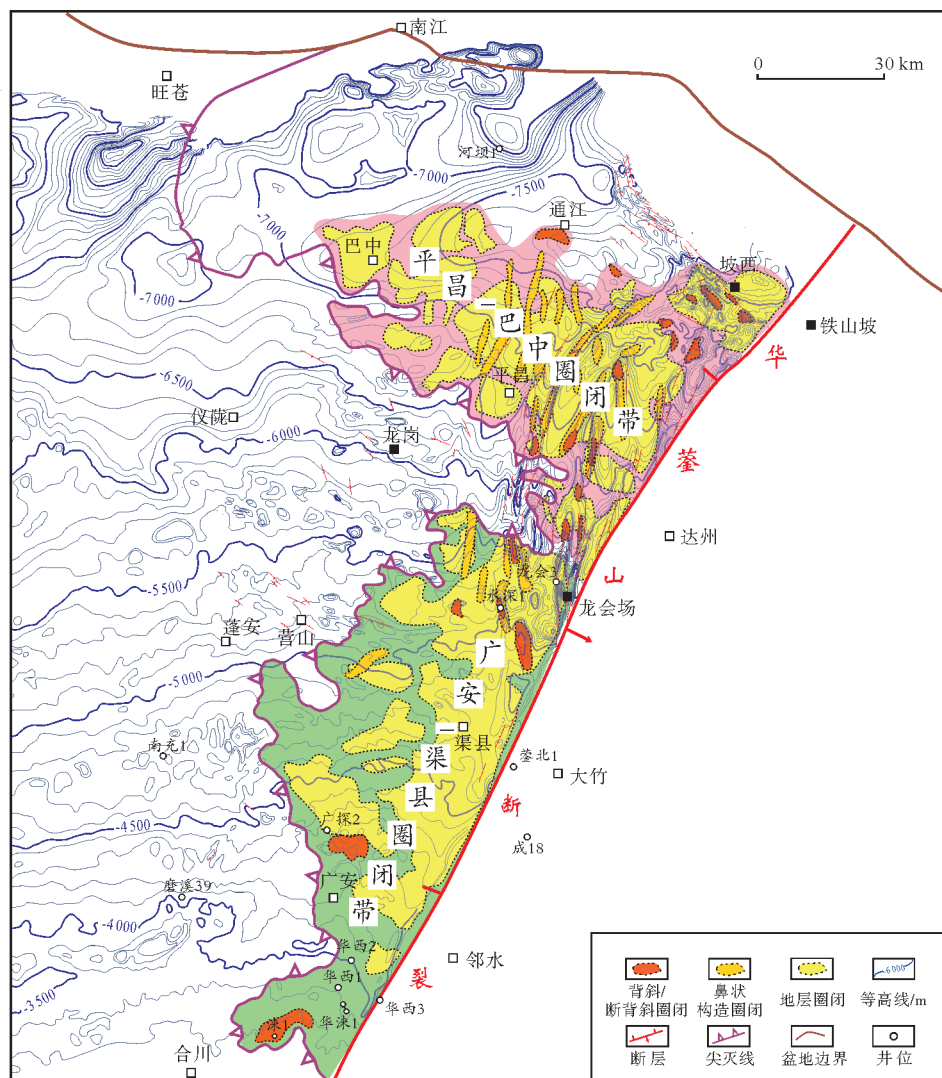


图6 华蓥山西侧石炭系圈闭发育区分布图

Fig. 6 Distribution map of Carboniferous traps on the western side of Huaying Mountain

3.2 圈闭发育区带成藏条件

上述2个地区石炭系残余地层厚度接近,以超过20 m为主,均向西南方向尖灭。沉积相方面,研究区内钻井证实广安—渠县地区在局限台地背景上发育粒屑滩、生物碎屑滩等高能相带,叠加岩溶改造形成孔隙型白云岩,白云岩与地层总厚度比约为60%,具有较好的储集条件。平昌南部的龙会场同样发育滩相白云岩,但白云岩占比相较于广安地区要低,约为40%。平昌—巴中地区尚无揭示石炭系的钻井,根据前文2.3节的论述,平昌—巴中一带的地震反射特征与龙会场、广安等地区一致,石炭系顶界具有窄波峰、“强振高连”的反射特征(图2a—2c),且与巴中北部地区以河坝1井为代表的宽波峰、中强振幅反射特征(图2d)具有明显差异,界限清晰,据此预测平昌—巴中地区石炭系相带与广安、龙会场地区类似,应以局限台地背景下的潮坪沉积为主,潮间带发育颗粒滩,受成岩期岩溶改造发育白云岩储层。巴中—通江一线以北靠近陆源,发育潮上带—潮间带混源沉积,白云岩储层不发育(图7)。

川东地区勘探已证实石炭系气藏的主要气源来自志留系^[14]。广安—渠县圈闭发育区带处于志留系主力烃源岩尖灭线位置,烃源岩厚度仅0~15 m,生烃强度为 $(0\sim25)\times10^8\text{ m}^3/\text{km}^2$ ^[14],该区钻井以低产气井和产水为主,推测主要与较差的烃源条件有关。根据近期最新的地震预测结果,认为平昌—巴中地区志留系的剥蚀程度较低,优质烃源岩厚度可达30~50 m,生烃强度为 $(45\sim55)\times10^8\text{ m}^3/\text{km}^2$ ^[15],要明显优于广安—渠县地区,具备形成大气田的气源基础。

广安—渠县、平昌—巴中这2个区带均发育地层圈闭(残丘、向斜)、断鼻/鼻状构造圈闭、背斜/断背斜等3类圈闭,总面积分别达到3 032 km²和2 430 km²,但圈闭条件略有差异:北部的平昌—巴中圈闭发育区的构造圈闭更发育,构造幅度较

大;而南部的广安—渠县圈闭发育区的地层圈闭更发育,构造幅度较小。

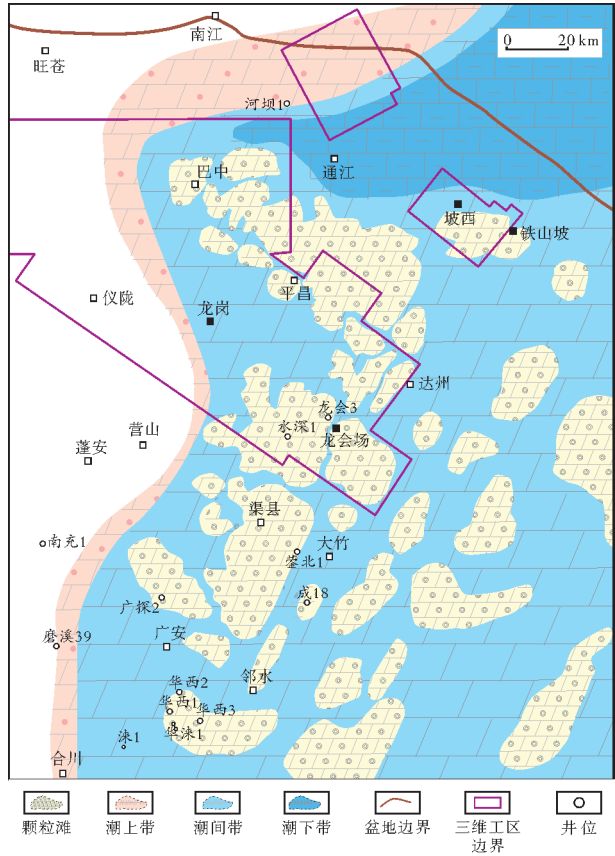


图7 华蓥山西侧石炭系黄龙组沉积相图
Fig. 7 Sedimentary facies map of the Carboniferous Huanglong Formation on the western side of Huaying Mountain

从残余地层厚度、沉积相、烃源岩、圈闭4个方面对广安—渠县和平昌—巴中2个圈闭发育区带进行对比,认为广安—渠县地区滩相白云岩储层较发育,但烃源条件较差,圈闭幅度较低;而平昌—巴中地区具有较好的烃源条件及圈闭条件,且地震预测沉积相与龙会场地区相近(表2),预测白云岩储层发育,虽些区内尚无石炭系钻井,但推测具备较大的勘探潜力。

表2 华蓥山西侧广安—渠县与平昌—巴中圈闭发育区带石炭系成藏条件对比
Table 2 Comparison of reservoir formation conditions of Carboniferous between Guangan-Quxian and Pingchang-Bazhong trap development zones on the western side of Huaying Mountain

圈闭发育区带	残余地层厚度	沉积相	烃源岩	圈闭
广安—渠县	向西、向南尖灭,厚度以20~30 m为主	局限台地背景,发育潮坪、粒屑滩、生物碎屑滩	烃源岩厚0~15 m,生烃强度 $(0\sim25)\times10^8\text{ m}^3/\text{km}^2$	平缓单斜构造背景,主要发育地层圈闭(残丘、向斜),北部渠县地区发育断鼻/鼻状构造圈闭、背斜/断背斜圈闭,总面积为3 032 km ²
平昌—巴中	向西、向南尖灭,厚度以20~40 m为主	局限台地背景,发育潮坪、粒屑滩、生物碎屑滩;巴中—通江一线以北靠近陆源,发育潮上带—潮间带混源沉积	烃源岩厚30~50 m,生烃强度 $(45\sim55)\times10^8\text{ m}^3/\text{km}^2$	单斜背景下发育多组北东向构造,以断鼻/鼻状构造、背斜/断背斜圈闭为主,同时发育地层圈闭(残丘、向斜)圈闭,总面积为2 430 km ²

3.3 圈闭有效性

前述广安—渠县圈闭发育区带以平缓单斜构造区的地层尖灭形成的地层圈闭为主,圈闭内构造幅度较低;平昌—巴中地区在单斜背景下发育多组北东向构造,以背斜/断背斜、断鼻/鼻状构造圈闭为主,构造幅度较大,具备较好圈闭条件。

受华蓥山断裂带控制,平昌—巴中地区发育多组北东向断裂(图8),其纵向、横向封堵性对圈闭有效性具有重要的控制作用。纵向上,区内早三叠世末—中三叠世早期广泛发育厚层膏盐岩,将地层分为上、下2个构造变形层,石炭系处于下构造层,断裂均向上消失于膏盐岩内(图9)。

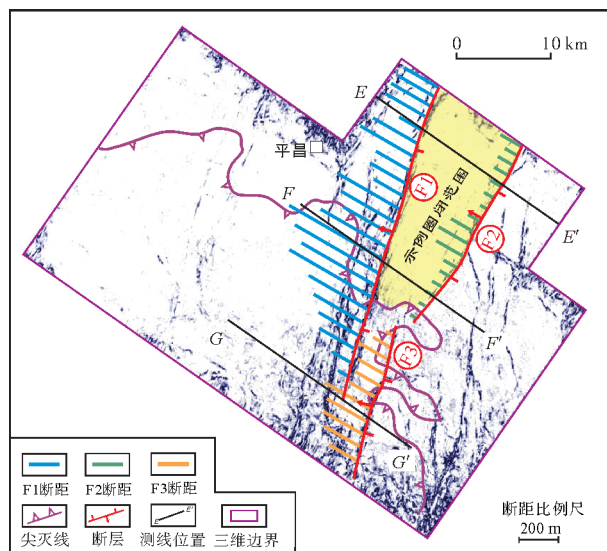
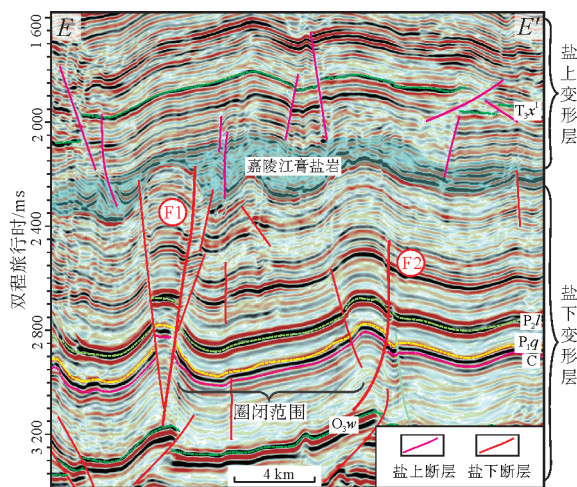


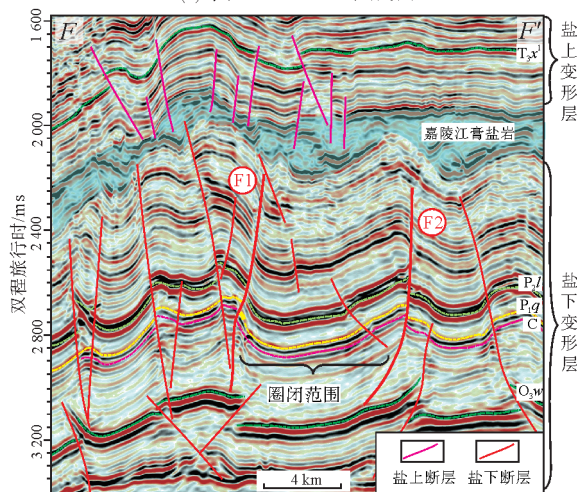
图8 华蓥山西侧平昌南三维工区二叠系底界相干属性及主干断裂断距分布图

Fig. 8 The 3D coherent attribute slice of the Permian bottom boundary and main fault displacement distribution in south Pingchang survey on the western side of Huaying Mountain

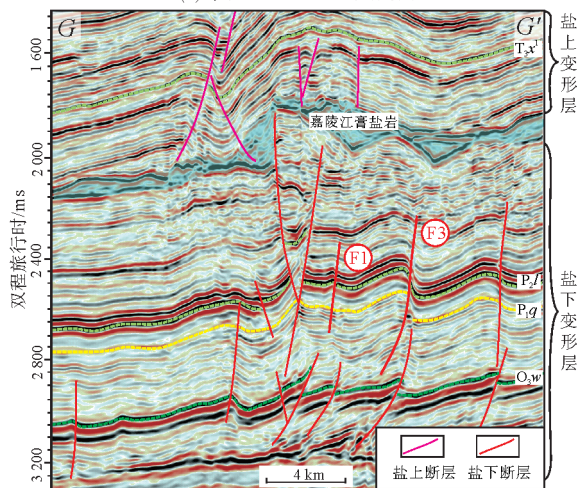
以图8所示圈闭西侧控边断裂F1为例,其断距具有中间大,两端小的特征,中部断距500 m左右(图9b),邻区元坝、九龙山、马路背等地区钻井显示黄龙组之上的下二叠统普遍具有超压特征,证实膏盐层对断裂具有良好的纵向封闭性。横向上,断裂封堵性评价主要考虑侧向地层封堵和上倾方向断裂延伸散逸。侧向上,圈闭西边界F1断裂使黄龙组与志留系泥岩对接,东边界F2断裂使黄龙组与梁山组泥岩或栖霞组致密石灰岩对接,均显示较好的封堵性(图9a, 9b)。以区内最大的F1断裂为例,上倾方向断距逐渐变小,直至消亡(图9c),形成上倾方向封堵。



(a) 平昌地区E—E'地震剖面



(b) 平昌地区F—F'地震剖面



(c) 平昌地区G—G'地震剖面

注: $T_{x'}$ 为三叠系须家河组底界; P_1 为二叠系龙潭组底界; P_2 为二叠系栖霞组底界; C 为石炭系底界; O_{2w} 为奥陶系五峰组底界。

图9 华蓥山西侧平昌南三维工区断裂特征典型地震剖面 (剖面位置见图8)

Fig. 9 Typical 3D seismic profiles showing fault characteristics in south Pingchang survey on the western side of Huaying Mountain (location is shown in Fig. 8)

4 结 论

(1) 石炭系在华蓥山西侧广安、平昌等地区大面积分布, 面积可达 13 000 km², 除巴中—通江一线以北相变为碎屑岩外, 其余地区碳酸盐岩发育面积超过 8 000 km², 预测厚度最大可达 40 m, 具备形成规模储层的地层、沉积基础。

(2) 华蓥山西侧黄龙组受古隆起斜坡带、地层剥蚀带和断裂带控制, 发育平昌—巴中、广安—渠县 2 个大型圈闭发育区带, 面积分别可达 2 430 km² 和 3 032 km²。圈闭以地层圈闭为主, 同时发育背斜、断背斜、断鼻等圈闭类型, 圈闭保存条件好, 具备规模成藏有利条件。

(3) 平昌—巴中圈闭发育区带成藏条件可能较优越。石炭系下伏志留系地层厚度较大, 地震预测烃源岩厚度为 90~120 m, 优质烃源岩厚度主要在 30~50 m 之间, 生烃强度为 (45~55) × 10⁸ m³/km², 具备形成大气田的烃源条件。一旦证实发育规模储层, 志留系与石炭系构成下生上储的有利成藏组合, 平昌—巴中圈闭发育区带将成为石炭系未来拓展勘探、寻找规模储量的有利区。

参 考 文 献

- [1] 方少仙, 侯方浩, 李凌, 等. 四川华蓥山以西石炭系黄龙组沉积环境的再认识[J]. 海相油气地质, 2000, 5(1/2): 158~166.
FANG Shaoxian, HOU Fanghao, LI Ling, et al. Reunderstanding of the sedimentary environment of the Carboniferous Huanglong Formation in the west of Huaying Mountain, Sichuan[J]. Marine origin petroleum geology, 2000, 5(1/2): 158~166.
- [2] 王坤, 李伟, 王东坤. 四川盆地东部石炭系黄龙组潮汐沟道发育特征及对优质储层展布的控制作用[J]. 海相油气地质, 2014, 19(1): 19~26.
WANG Kun, LI Wei, WANG Dongkun. Development and control on reservoir distribution of tidal channels in Carboniferous Huanglong Formation in the east of Sichuan Basin[J]. Marine origin petroleum geology, 2014, 19(1): 19~26.
- [3] 文华国, 郑荣才, 沈忠民. 四川盆地东部黄龙组碳酸盐岩储层沉积—成岩系统[J]. 地球科学(中国地质大学学报), 2011, 36(1): 111~121.
WEN Huaguo, ZHENG Rongcai, SHEN Zhongmin. Sedimentary-diagenetic systems of Carbonate reservoirs in the Huanglong Formation, eastern Sichuan Basin [J]. Earth science (Journal of China University of Geosciences), 2011, 36(1): 111~121.
- [4] 郑荣才, 李珂, 马启科, 等. 川东五百梯气田黄龙组碳酸盐岩储层成岩相[J]. 成都理工大学学报(自然科学版), 2014, 41(4): 401~412.
ZHENG Rongcai, LI Ke, MA Qike, et al. Diagenetic facies of carbonate rock reservoirs in Huanglong Formation of Wubaiti gas field, east Sichuan, China[J]. Journal of Chengdu University of Technology(science & technology edition), 2014, 41(4): 401~412.
- [5] 杨威, 李德江, 魏国齐, 等. 四川盆地东部上石炭统黄龙组规模储层形成主控因素与发育模式[J]. 天然气工业, 2024, 44(2): 40~51.
YANG Wei, LI Dejiang, WEI Guoqi, et al. Formation controlling factors and development patterns of large-scale reservoirs in Carboniferous Huanglong Formation of eastern Sichuan Basin[J]. Natural gas industry, 2024, 44(2): 40~51.
- [6] 沈平, 徐人芬, 党录瑞, 等. 中国海相油气田勘探实例之十一: 四川盆地五百梯石炭系气田的勘探与发现[J]. 海相油气地质, 2009, 14(2): 71~78.
SHEN Ping, XU Renfen, DANG Lurui, et al. Cases of discovery and exploration of marine fields in China(part 11): Wubaiti Carboniferous gas field in Sichuan Basin[J]. Marine origin petroleum geology, 2009, 14(2): 71~78.
- [7] 张华义, 张奇, 罗潇. 四川盆地东部石炭系勘探成效分析[J]. 天然气勘探与开发, 2000, 23(3): 21~28.
ZHANG Huayi, ZHANG Qi, LUO Xiao. Exploration results of Carboniferous system in eastern Sichuan Basin[J]. Natural gas exploration and development, 2000, 23(3): 21~28.
- [8] 李伟, 张志杰, 邹才能, 等. 川东石炭系天然气成藏地质条件再认识及其勘探潜力预测[J]. 天然气工业, 2010, 30(12): 20~24.
LI Wei, ZHANG Zhijie, ZOU Caineng, et al. Restudy of geologic conditions and prediction of exploration potential in the Carboniferous gas reservoirs of the eastern Sichuan Basin[J]. Natural gas industry, 2010, 30(12): 20~24.
- [9] 刘兴刚, 黄平. DCI 薄层预测技术在四川盆地东北部石炭系分布预测中的应用[J]. 天然气勘探与开发, 2001, 24(2): 10~20.
LIU Xinggang, HUANG Ping. Application of DCI thin layer prediction technology to forecast Carboniferous distribution in northeast Sichuan Basin[J]. Natural gas exploration and development, 2001, 24(2): 10~20.
- [10] 张红. 川东地区石炭系碳酸盐岩薄储层的横向预测[J]. 石油物探, 1993, 32(4): 11~22.
ZHANG Hong. Lateral trend predication on thin carboniferous carbonate reservoirs in the east of Sichuan Province[J]. Geophysical prospecting for petroleum, 1993, 32(4): 11~22.
- [11] 谢芳, 张红, 范明祥. 川东石炭系储层横向预测技术[J]. 天然气工业, 1998, 18(6): 48~52, 9~10.
XIE Fang, ZHANG Hong, FAN Mingxiang. Lateral prediction technique of carboniferous reservoir in east Sichuan[J]. Natural gas industry, 1998, 18(6): 48~52, 9~10.

- [12] 张德林. 四川盆地东部沙坪场石炭系天然气藏的测井、地震信息特征[J]. 石油地球物理勘探, 2000, 35(1): 76–88.
ZHANG Delin. The logging and seismic information characteristics of Carboniferous gas reservoir in Sapingchang area in east Sichuan Basin[J]. Oil geophysical prospecting, 2000, 35(1): 76–88.
- [13] 刘勇, 张帆, 王兴志, 等. 四川盆地开江地区石炭系黄龙组复合圈闭识别与评价[J]. 天然气工业, 2011, 31(7): 11–15.
LIU Yong, ZHANG Fan, WANG Xingzhi, et al. Identification and evaluation of composite traps in the Carboniferous Huanglong Formation, Kaijiang area, Sichuan Basin [J]. Natural gas industry, 2011, 31(7): 11–15.
- [14] 吴警, 史建南, 郑荣才, 等. 川东北地区石炭系油气成藏模式[J]. 天然气地球科学, 2015, 26(7): 1310–1315.
WU Jing, SHI Jiannan, ZHENG Rongcai, et al. Hydrocarbon accumulation modes of Carboniferous in northeastern Sichuan Basin [J]. Natural gas geoscience, 2015, 26(7): 1310–1315.
- [15] 付小东, 陈娅娜, 谷明峰, 等. 四川盆地奥陶系—志留系烃源岩生烃潜力精细研究[R]. 北京: 四川盆地研究中心, 2020.
FU Xiaodong, CHEN Yana, GU Mingfeng, et al. Detailed study on hydrocarbon generation potential of Ordovician–Silurian source rocks in Sichuan Basin [R]. Beijing: Sichuan Basin Research Center, 2020.

编辑: 黄革萍

Distribution and trap conditions of the Carboniferous Huanglong Formation in the low and gentle structural area on the western side of Huaying Mountain, Sichuan Basin

GU Mingfeng¹, DONG Jinghai², FU Xiaodong¹, YING Yushuang²,
ZHU Mao¹, TIAN Xingwang³, ZHU Kedan¹, YE Mao³,
ZHU Xinjian¹, LI Wenzheng¹, ZHANG Jianyong¹

1. Petrochina Hangzhou Research Institute of Geology; 2. Exploration Division of Daqing Oilfield Company, PetroChina;
3. Exploration and Development Research Institute of Southwest Oil & Gas Field Company, PetroChina

Abstract: Since the 1980s, the porous dolomite reservoir of Huanglong Formation of Carboniferous in Sichuan Basin has been an important exploration object and a key production layer in the east Sichuan Basin. With the gradual increase of reserves utilization, it is urgent need for discovery and replacement of new reserves. In recent years, with the addition of high-quality seismic data, combined with drilling and outcrop data, comprehensive geological analysis of Carboniferous strata, Silurian hydrocarbon sources and reservoir-forming conditions on the western side of Huaying Mountain has been made, and three main understandings have been obtained: (1) Carboniferous strata are distributed in a large area on the western side of Huaying Mountain. The favorable area of carbonate rocks is over 8 000 km², and the predicted thickness is up to 40 m, which provides stratigraphic and sedimentary basis for the formation of large-scale reservoirs. (2) Pingchang–Bazhong and Guang'an–Quxian large trap groups with a total area of 5 460 km² are developed under the control of paleo-uplift slope belt, stratigraphic denudation belt and fault belt, which have favorable conditions for large-scale reservoir formation; (3) The Pingchang–Bazhong trap development area, if the Carboniferous reservoir is developed, has good gas source conditions, well-developed structural traps, and favorable accumulation combination of lower sources and upper reservoirs, so it is a favorable area to explore for large-scale natural gas reserves.

Key words: carbonate rock; thin layer prediction; trapping conditions; accumulation conditions; Carboniferous; western side of Huaying Mountain; Sichuan Basin

GU Mingfeng, First author: Senior Engineer, mainly engaged in seismic–geological interpretation, reservoir prediction, and zone and target evaluation. Add: No. 920 Xixi Rd., Xihu District, Hangzhou, Zhejiang 310023, China. E-mail: gumf_hz@petrochina.com.cn