

济阳坳陷下古生界潜山储集体特征

徐国盛, 李国蓉, 王志雄

(成都理工大学油气藏地质及开发工程国家重点实验室, 四川成都 610059)

摘要: 依据岩溶及裂缝的发育状况, 济阳坳陷下古生界潜山储集体可分为拱张褶皱型、断裂块断型、风化残丘型和多期构造复合型 4 种类型。第一、二类主要储集空间为裂缝-溶蚀孔洞, 储层段双侧向电阻率较低, 声波时差常出现跳波现象; 第三类的储集空间为岩溶残丘; 第四类具有上述复合组成的特征。在济阳坳陷下古生界, 拱张褶皱型储集体主要发育于褶皱山风化壳, 岩溶作用垂直分带现象明显。断裂块断型储集体在有上古生界覆盖的情况下, 岩溶带大面积成层发育、依次递进; 在无覆盖时, 风化壳岩溶带的溶蚀孔、洞、缝极为发育。风化残丘型储集体在整个残丘山均有发育。多期构造复合型的露头区是储层发育的有利区, 岩溶带垂直发育。

关键词: 古潜山; 储集体; 测井响应; 分布规律; 下古生界; 济阳坳陷

第一作者简介: 徐国盛, 男, 39 岁, 教授, 石油地质学

中图分类号: TE122.2 **文献标识码:** A

1 类型

依据潜山的形成历史、岩溶作用的发育时间与期次, 同时考虑潜山构造形态及内幕储集体特征差异, 济阳坳陷下古生界潜山储集体可分为 4 种类型(表 1)。印支期的褶皱运动、燕山-喜山期断裂运动

表 1 济阳坳陷下古生界潜山储集体类型

Table 1 Reservoir types of the lower Palaeozoic buried hill in Jiyang depression

类 型	储集体主要特征	实 例
拱张 褶皱型	形成裂缝-溶蚀型储集空间; 纵向岩溶垂直分带明显	桩西、长堤、埕东、埕南、埕北 30 潜山
断裂 块断型	有上古生界覆盖	套尔河、义和庄、车古 201、平南
	无上古生界覆盖	车西南部
风化 残丘型	大型	孤岛
	小型	埕北古 1 块
多期 构造 复合型	形成裂缝-溶蚀型和溶蚀-裂缝型两类储集空间	草桥-广饶

严格制约着古潜山的形成和发展, 同时也直接影响

储集体的形成与发育。印支期褶皱运动形成拱张褶皱型潜山储集体。燕山-喜山期断裂运动形成断裂块断型潜山储集体。印支期大幅度隆升, 燕山-喜山期强烈的正断运动与风化剥蚀形成风化残丘型潜山储集体。多期构造复合型潜山系指印支期或燕山期形成, 喜马拉雅运动的中、后期才沉入水下接受沉积的潜山。由于多期构造复合型潜山受两次以上构造运动的影响, 且出露地表时间较长, 岩溶作用较强烈, 且发育深度较大, 因此, 溶蚀缝洞极为发育, 并具有裂缝-溶蚀型和溶蚀-裂缝型两种储集类型。

2 测井及录井响应

2.1 中强岩溶、裂缝较发育层段

中强岩溶、裂缝较发育层段深浅双侧向电阻率一般偏低, 只有几欧姆米至十几欧姆米, 常出现正异常幅度差。声波时差曲线常出现较大的跳波现象。由于溶蚀孔、洞发育, 并在其中储集有油气, 致使声波传播速度减慢, 声波时差增加幅度较大。密度曲线在较强溶蚀和裂缝发育段, 表现为低密度特征, 且降低幅度较大。义古 12 井 1 918.0 ~ 1 930.8 m 为中强岩溶与裂缝较发育井段(图 1), 深侧向电阻率值为 15 $\Omega \cdot m$, 电阻率差值为 4 $\Omega \cdot m$, 均为正异常差。声波时差曲线在该井段出现两次较大的跳波现象, 由 300.0 $\mu s/m$ 跳至 400 ~ 600 $\mu s/m$ 左右, 明显反映低角度缝的发育以及较强

溶蚀孔、洞空间中储集油气的特征。密度曲线中上段及底部有明显的降低现象, 在中上段密度降至 2 g/cm^3 以下, 反映岩石疏松, 储集空间大而密度低。另外在钻井过程中有明显的油气显示特征, 1 921.34 m 发生井漏, 共漏泥浆 82.4 m^3 , 这正是裂缝发育及溶蚀孔洞大量存在的证据。在完钻测试中也证实了该层段较好的储集条件, 1 918.0~2 028.0 m 井段, 酸前测试产油 363 t/d , 酸后测试产油 327 t/d , 产气 $904 \text{ m}^3/\text{d}$, 属高产油气井。经分析研究, 出油气段主要是位于顶部风化壳的中强岩溶与裂缝较发育层段。

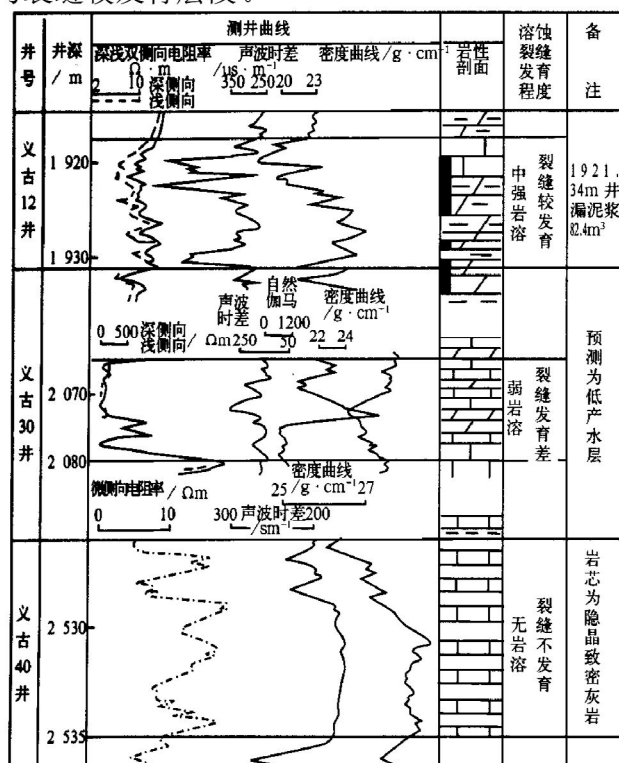


图1 溶蚀和裂缝发育段的测井和录井响应

Fig. 1 Well logging and well recording response in developed intervals of dissolution and fissure

2.2 弱岩溶和裂缝发育差层段

弱岩溶是指溶蚀不甚强烈, 仅见较少的溶蚀孔、洞, 溶蚀段平均孔隙度一般为 $3\% \sim 6\%$ 。裂缝发育较差, 少见一些裂缝, 裂缝中半充填方解石和泥质, 或几乎全充填。深浅双侧向电阻率仍存在正异常幅度差, 但差值比裂缝较发育段要小。声波时差测井曲线形态为中齿-细齿, 个别出现较低的跳波现象。密度测井曲线也有下降的特征, 但总的密度值比中强岩溶与裂缝较发育段要高得多。义古 30 井 2 066.0~2 079.5 m 井段为弱岩溶和裂缝发育差层段 (图 1), 深侧向电阻率值为 $43 \Omega \cdot \text{m}$ 左右, 电阻率差值只有 $3 \Omega \cdot \text{m}$; 声波时差曲线在该井段曲

线形态为中齿-细齿, 出现一次较低的跳波现象, 声波时差值为 $185 \mu\text{s/m}$, 远比中强岩溶与裂缝较发育层段低得多; 密度曲线也出现较大幅度的下降趋势, 由密度值 $2.7 \sim 2.8 \text{ g/cm}^3$ 降至 2.4 g/cm^3 左右。总的来说, 该井段为一较差的储集层段, 在弱岩溶和裂缝发育差层段偶有油气显示, 一般测试无油仅产少量水。

2.3 无岩溶和裂缝不发育层段

无岩溶和裂缝不发育层段基本为非储层, 岩性致密。深浅双侧向电阻率无幅度差, 且电阻率偏高, 一般呈细齿状。声波时差值偏低, 反映岩石致密声波传播速度快。密度曲线相对上下孔渗段反而有增大的趋势。在钻井中, 基本无油气显示, 一般不测试, 定性为干层。义古 40 井无岩溶与裂缝不发育层段测井响应特征 (图 1), 深浅双侧向电阻率曲线重叠, 无电阻率幅度差, 且电阻率值偏高, 达 $300 \Omega \cdot \text{m}$ 。声波时差曲线自该层段顶部的 $200 \mu\text{s/m}$ 左右降至 $170 \sim 180 \mu\text{s/m}$ 。密度曲线也自顶部向下不断增加, 由 2.6 g/cm^3 不断增至 2.7 g/cm^3 直至 2.8 g/cm^3 , 反映岩石致密为非储层。该井在 2 526.0~2 528.2 m 井段取芯, 岩性为深灰色隐晶灰岩, 岩石致密坚硬, 裂缝不发育。在钻井中, 始终无油气显示, 为此未进行测试, 认为是一口干井。

3 储集体分布规律

3.1 拱张褶皱型

拱张褶皱型潜山储集体以埕北 30 潜山为代表 (图 2)。下古生界顶遭受不同程度的剥蚀, 中生界

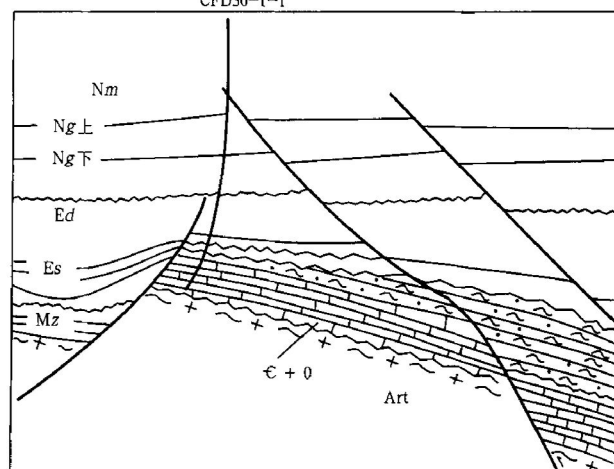


图2 埕北 30 拱张披覆褶皱型潜山剖面

Fig. 2 Arched-extension draped folded buried hill profile of Chengbei well No. 30

直接覆盖在下古生界之上, 下古生界与太古界为断

面接触,即该潜山为上剥下断型褶皱山。埕北 30 潜山在印支期拱张褶皱,遭受严重的风化剥蚀,淡水淋滤,形成溶蚀孔、洞;燕山、喜山期构造运动产生纵横交错的构造缝,将先期溶蚀孔、洞沟通起来,形成裂缝-溶蚀型储集体。

褶皱山风化壳为溶蚀与裂缝最发育区。埕北 30 潜山下古生界残留厚度小,且经历了长期的风化剥蚀和多次强烈的构造运动,形成了以溶蚀孔、洞为主,加以构造缝沟通的良好的储集空间^[1,2]。各种类型的储集空间相互交错形成了缝连洞(孔)、孔接缝的储集空间网络,且下古生界、太古界储集体互为一体,为油气聚集提供了极好的储集空间,尤其几十米厚的风化壳部位为溶蚀与裂缝最发育区。

岩溶作用垂向分带明显。埕北 30 潜山下古生界碳酸盐岩古岩溶的发育与受构造制约的古地形、古地貌形态有密切关系,在垂向上具有明显的分带

性。按地下水流动态和岩溶特征,由古风化壳面往下,可依次划分为地表岩溶带、渗流岩溶带和潜流岩溶带。

3.2 断裂块断型

3.2.1 有上古生界覆盖

这些潜山在燕山运动期发生正断运动,形成断块山,遭受风化剥蚀,但其上仍保存有一定厚度的石炭-二叠系。在陡坡带通过断层面与湖水相接,通过构造裂缝向潜山内部渗流,以侧向溶蚀为主,形成溶蚀缝洞。在喜山期受构造运动影响小,主要受控于燕山期构造裂缝的发育程度,侧向溶蚀沿着裂缝进行,因而易形成溶蚀-裂缝型储集层。

下古生界奥陶系八陡组沉积末,地壳区域上隆,奥陶系八陡组碳酸盐岩大面积暴露地表,长期遭受风化剥蚀,形成了一个平行于风化壳的厚度约为 50~100 m^[3] 的岩溶带(图 3)。因此,这一类型的岩溶带储集体具有大面积成层发育的特点。

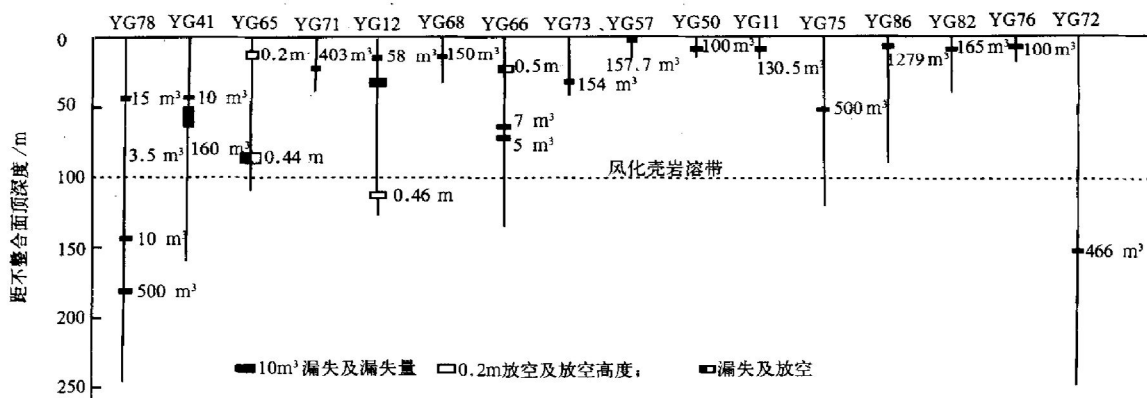


图 3 义和庄潜山下古生界风化壳岩溶带井漏、放空情况

Fig. 3 Well leakage, blow-down in the weathered crust karst belts of the lower Palaeozoic in Yihezhuang

在断块山的近断层部位,特别是屋脊状断块山的上翘部位,是良好的孔、洞、缝发育带。从垦利潜山 3 口取芯井岩芯观察来看,靠近断层裂缝中的方解石脉很少,说明以岩溶作用为主,如垦古 2 井钻遇断层附近,缝洞开启度为 100%;距断层稍远的垦古 3 井,缝洞开启度为 88.92%;距断层更远的垦古 13 井,充填作用强烈,开启度仅为 30.41%。随着与断裂距离的变化,岩溶储集体的发育具有递次性。

据义和庄潜山下古生界碳酸盐岩裂缝组系分析研究,在断层附近(< 300 m),沿断层走向裂缝发育,而远离断层(> 300 m)则斜裂缝及倾向缝发育。这说明平行于主断层方向的溶蚀-裂缝型储集体发育。

3.2.2 无上古生界覆盖

车西南部潜山是此类潜山的典型代表。车西南部潜山位于义和庄凸起西北斜坡带上,呈单斜状

由南向北倾伏于车镇凹陷。潜山顶面形态呈屋脊状,高部位缺失奥陶系八陡组一段和二段上部地层,潜山翼部地层保留较全。风化壳岩溶带溶蚀孔洞缝极为发育,与断裂岩溶带融为一体。受断层控制,整个屋脊山均为缝洞发育区,尤如后述的残丘山储集体一样,储层十分发育。

3.3 风化残丘型

3.3.1 大型风化残丘型

大型风化残丘型潜山储集体因古生界长期遭受风化剥蚀,风化壳岩溶带在整个残丘山发育,形成岩溶丘,风化壳岩溶带厚度范围远大于 100 m。

钻井录井资料反映在进入风化壳至井底的井段普遍见到油气显示,并伴有井漏、放空现象(图 4),具体表现为:一是放空次数多,频率高,远远超过前述的拱张褶皱型潜山和断裂块断型潜山。据

孤岛潜山上7口井统计,在不同井段共出现14次井漏、放空现象,其中8次为放空,出现的概率超过50%。二是漏失井段长而连续,漏失量大。

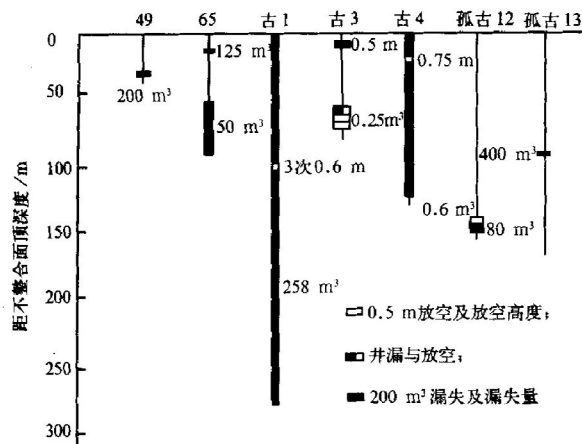


图4 孤岛风化残丘型潜山下古生界井漏、放空情况

Fig. 4 Well leakage, blow-down of the lower Palaeozoic in the buried hill of isolated island weathered hillock type

3.3.2 小型风化残丘型

小型风化残丘型潜山储集体是小型风化残丘山遭受长期风化剥蚀残留的产物。埕北古1块上古生界剥蚀殆尽,下古生界残留厚度小,与下伏太古界花岗片麻岩中的风化破裂缝相沟通,形成了太古界与古生界互为一体的裂缝-溶蚀型储集体。从潜山整体来看,埕北古1块形成厚约300 m的古生界、太古界风化残丘状岩溶储集体。

3.4 多期构造复合型

草桥-广饶潜山带位于东营凹陷的南部,由于各局部块体沉入水下的时间不同,溶蚀作用期次和强弱不一致,所受的构造作用也不尽相同,因此储集空间的发育无论是在纵向上还是横向上均存在明显的差别(图5)。

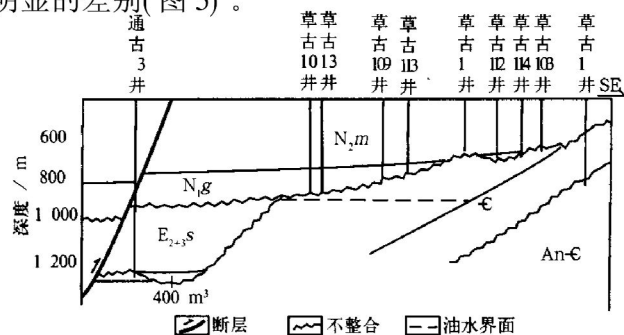


图5 草桥-广饶潜山剖面图

Fig. 5 Profile of Caoqiao-Guangrao buried hill

(1) 露头区是储层发育的有利区。草桥-广饶潜山岩溶发育带主要分布在草桥潜山北部及广饶潜山中部的奥陶系、寒武系露头区。在该区钻探的井有80%发生过严重井漏,或获得高产油流,或大

量出水,表明露头区是储层发育的有利区。

(2) 岩溶发育垂直分带明显。根据钻井资料统计分析,草桥-广饶潜山岩溶纵向可分为3个带,即上部岩溶带、中部岩溶带、下部岩溶带。上部岩溶带,指风化面至以下50 m的地段,目前已在通古3、广气2、草22等潜山风化壳下50 m以内获得高产工业油气流。这充分说明上部岩溶带储集空间最为发育。中部岩溶带,为风化面以下50~200 m的层段,该带较上部岩溶带的岩溶作用弱,但岩溶储层段也较发育。如草27井、通古5井、草35井均在中部岩溶带发育泥浆漏失现象。下部岩溶带,为进入风化壳200 m以下层段,还存在岩溶作用,通古5井在进入风化壳200 m以下出现井漏现象即是例证。下部岩溶带储层一般不太发育。

(3) 发育风化壳岩溶带和断裂岩溶带。广饶潜山奥陶系从中生代至馆陶组沉积前,一直出露地表,遭受了强烈的风化、剥蚀、淋滤溶蚀作用及频繁的多期次构造运动的改造,风化壳孔、洞、缝十分发育,形成有利的储集空间网络系统。在平面上沿风化壳广泛分布,形成了一个平行于风化面发育的厚约50 m的风化壳岩溶带。该带储层最为发育,已钻证实产大量油气。断裂导致了裂缝的形成,而这些裂缝有利于水的渗滤,使断层附近潜山中的碳酸盐岩发生强烈的岩溶作用,沿断层带形成断裂岩溶带。断裂岩溶带主要分布于通古7、通古12至通古3一带。

4 结论

拱张褶皱型潜山储集体易形成裂缝-溶蚀型储集空间,褶皱山风化壳露头区是岩溶与裂缝发育的有利地区,岩溶作用垂向分带明显。断裂块断型潜山储集体易形成溶蚀-裂缝型储集空间,储集体大面积成层发育,断裂岩溶带储集体递次性发育。风化残丘型潜山储集体储集特征显著表现为:古生界长期遭受风化剥蚀,风化壳岩溶带在整个残丘山发育,形成岩溶丘;多期构造复合型潜山储集体受两期以上构造运动的影响,岩溶作用强烈,发育深度大,具有拱张褶皱型和断裂块断型两种潜山的储集体特征,发育裂缝-溶蚀型和溶蚀-裂缝型两类储集体。

(下转第256页)

APPLICATION OF LINEARIZED SEISMIC PROFILE IN SEDIMENTARY FACIES RESEARCH

Zhang Xinrong Wang Dongpo Gao Fuhong Xu Kaizhi

(College of Earth Science, Jilin University, Changchun, Jilin)

Abstract: Linearization processing is somehow to turn black and white isopic axis into a line where the positive axis indicated by a solid line while the negative axis shown by a dotted line. After the linearization processing, geological information in the available two dimensional or three dimensional geological profile will be more highlighted and reflect it more clear for what it is. Take Yingcheng Formation within Anda fault depression in Songliao basin for example, a corresponding relation between seismic phase and sedimentary facies has been established by analyzing single well facies of Dashen No. 1 well and through sedimentary microfacies division. It is believed by interpreting sedimentary facies after the linearization processing for through wells and non- through wells in the region that in the period of Yingchen Formation the volcanic activity was strong and overflow facies was a dominant one developed by swamp facies, braided stream facies and semi- deep lacustrine facies etc. The extension of the sedimentary facies belt is just like a ringlike belt divided into two S- N fault depressed lakes by the uplift, small Anda area in the north is mainly composed of flood plains with volcanic rocks in the middle and Mingshui slope and hills around are believed to be material source areas; Small Songzhan area in the south trend to E- W direction with the volcanic rock uplift at the center, and with two semi- deep lacustrine deposit centers and uplift zones around are material source areas.

Key words: Linearization; seismic profile; Anda fault depression; seismic phase; sedimentary facies application

(上接第 251 页)

参 考 文 献

- 1 周文. 埕岛潜山带裂缝带分布评价[J]. 复式油气田, 1999, (2): 14-17
- 2 刘家铎. 埕岛潜山带的古岩溶作用[J]. 复式油气田, 1999, (2): 18-22
- 3 陈广军. 试论沾化凹陷长堤古潜山的含油性[J]. 复式油气田, 2000, (4): 6-10

CHARACTERISTICS OF BURIED HILL RESERVOIRS FROM LOWER PALAEZOIC OF JIYANG DEPRESSION

Xu Guoshen Li Guorong Wang Zhixiong

(State Key Laboratory of Oil and Gas Reservoir Geology and Exploration, Chengdu University of Science and Engineering)

Abstract: According to the development of fissures and karsts, Jiyang depression can be divided into four types of arched-extension fold, fractured- block fault, weathered- remaining hillock and multi- phases structure composite. Reserving space for the first and second type above mentioned are mainly fissures - dissolution cavities, electric resistances in both flanks of reserving intervals are lower, and time difference of the sound wave often jumps; Space for the third type are karst - remaining hillocks; The fourth type represents features of above multi- compositions. In the lower Palaeozoic in Jiyang depression, reservoirs(bodies) in arched- extension fold type are mainly developed on the weathered crusts of the folded- mountain with evidence of de- zoning vertically of the karst effect. In the case of reservoirs in fractured- block fault type covered by the upper Palaeozoic roof rocks, the karst belts are developed in stratification and progressing in sequence in large area. In the case of those uncovered by the Upper Palaeozoic roof rocks, dissolution cavities, holes and fissures are well developed. Reservoirs in weathered- remaining hillock type are commonly developed on the whole remaining hillock- mountain. Outcrop area in reservoirs in multi- phases structure composite type is a favorable area for the development of reservoir and with the vertical development of the karst belt.

Key words: Buried hill; reservoir; Logging response; distribution law; lower Palaeozoic; Jiyang depression