

文章编号: 0253-9985(2001)04-0367-05

千米桥潜山奥陶系储层特征及孔隙演化

李建英, 卢刚臣, 孔凡东, 李廷辉

(大港油田物探公司研究所, 天津 300280)

摘要: 千米桥潜山奥陶系的储集类型主要有孔洞型、裂缝型、孔-洞-缝复合型和孔隙型4类, 其中以孔-洞-缝复合型为主要储集空间, 最有利于油气的运聚。储层的分布具有纵向上分带、平面上分区的特点。在纵向上划分的4个带中, 以第2-3带储集性能为好, 是油气主要的聚集带。在平面上的残丘区和凹槽区中, 以残丘区岩溶作用强度大、保存条件有利, 储层最为发育。溶蚀孔洞的形成受控于岩性、水性质、构造运动及古气候、裂缝等因素, 主要形成于加里东-早海西岩溶期; 构造裂缝的形成受控于构造运动、岩性、构造位置及埋深, 主要形成期是印支和早燕山期。印支-早燕山运动对奥陶系储层的改造作用主要表现为产生大量裂缝、再次溶蚀、产生新的孔洞; 中晚燕山运动主要表现为严重的充填作用, 喜山运动则使孔洞缝有进一步减少的趋势。

关键词: 千米桥潜山; 奥陶系储层; 储集类型; 分布特征; 形成机制; 改造作用

第一作者简介: 李建英, 男, 31岁, 硕士, 石油地质

中图分类号: P618.130.2⁺1 **文献标识码:** A

千米桥潜山位于天津市大港区千米桥地区, 构造位于黄骅拗陷中北区, 北大港潜山构造带东北倾没端, 受大张坨断层、千米桥断层和港8井断层夹持, 呈一三角形断块体; 潜山顶面形态为受多期构造叠加形成的残丘型潜山构造, 自北向南发育三排构造高点, 分别位于板深4、板深7-板深701和板深8井区。

1 储集特征

1.1 类型

1.1.1 孔洞型

以各种大小不同的溶孔、溶洞为主, 裂缝不发

育, 溶蚀孔洞为主要的储集空间, 这类储层的形成与古岩溶作用密切相关(图1a)。

本区发育的孔洞在纵向上成层状分布, 横向具有明显的可比性。

1.1.2 裂缝型

储集空间以裂缝为主, 孔隙和溶洞较少, 裂缝既作为主要的储集空间, 又是油气的运移通道^[1](图1b), 该类型储层主要分布于距风化壳100 m以内。

裂缝主要包括构造缝、岩溶缝以及晶间微裂缝等, 其裂缝发育是多期构造缝和其他不同类型缝叠加的结果, 其中以构造缝对油气的运移聚集意义最大。

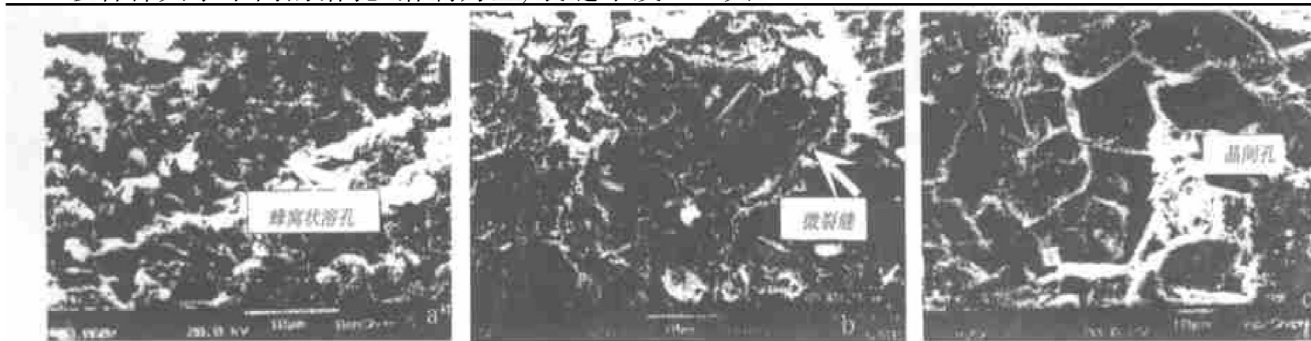


图1 千米桥潜山储集空间扫描电镜照片

Fig. 1 Scanning micrograph of reservoir spaces in Qianmiao buried hill

裂缝在纵向上随着与剥蚀面距离的增加, 呈不发育-发育-不发育的规律, 横向上由南向北, 随着埋深的增加, 有效裂缝整体上由多到少, 逆断层的上

盘,褶皱的轴部裂缝最发育(图 2)。



图 2 千米桥潜山奥陶系顶裂缝预测图

Fig. 2 Prediction map of fractures on top of Ordovician in Qianmiqiao buried hill
注: 深阴影代表裂缝发育区

1.1.3 孔-洞-缝复合型

为本区的主要储层类型,该类储层有大、中、小、

微型的不同成因的孔、洞、缝相互连通而形成统一的储渗系统,溶洞为主要的储集空间、裂缝为渗流通道,最有利于油气的运移聚集,在 FMI 图像上可见明显的洞、缝相连的特征。这类储层的形成与古岩溶作用关系密切。

1.1.4 孔隙型

这类储层的储集空间以孔隙为主,在本区分布很少(图 1c)。

综合分析本区已钻井 FMI 以及常规测井储层评价成果,将储层依次分为 IV 类: I 类为孔-洞-缝复合型储层; II 类为孔洞型储层; III 类为孔隙型储层; IV 类为裂缝型储层。

1.2 分布

整体上,储层具纵向分带、平面分区的特点。

1.2.1 纵向分带

本区储层纵向上由上→下,储层由好→差,大致可分为 4 个带(图 3)。

第 1 带距风化壳层 0~ 10 m, 早期风化淋滤严重,后期陆相充填作用强烈,孔、洞、裂缝被泥质充填,储集性较差。

第 2 带距风化壳 10~ 120 m, 以 I 类储层为主, II

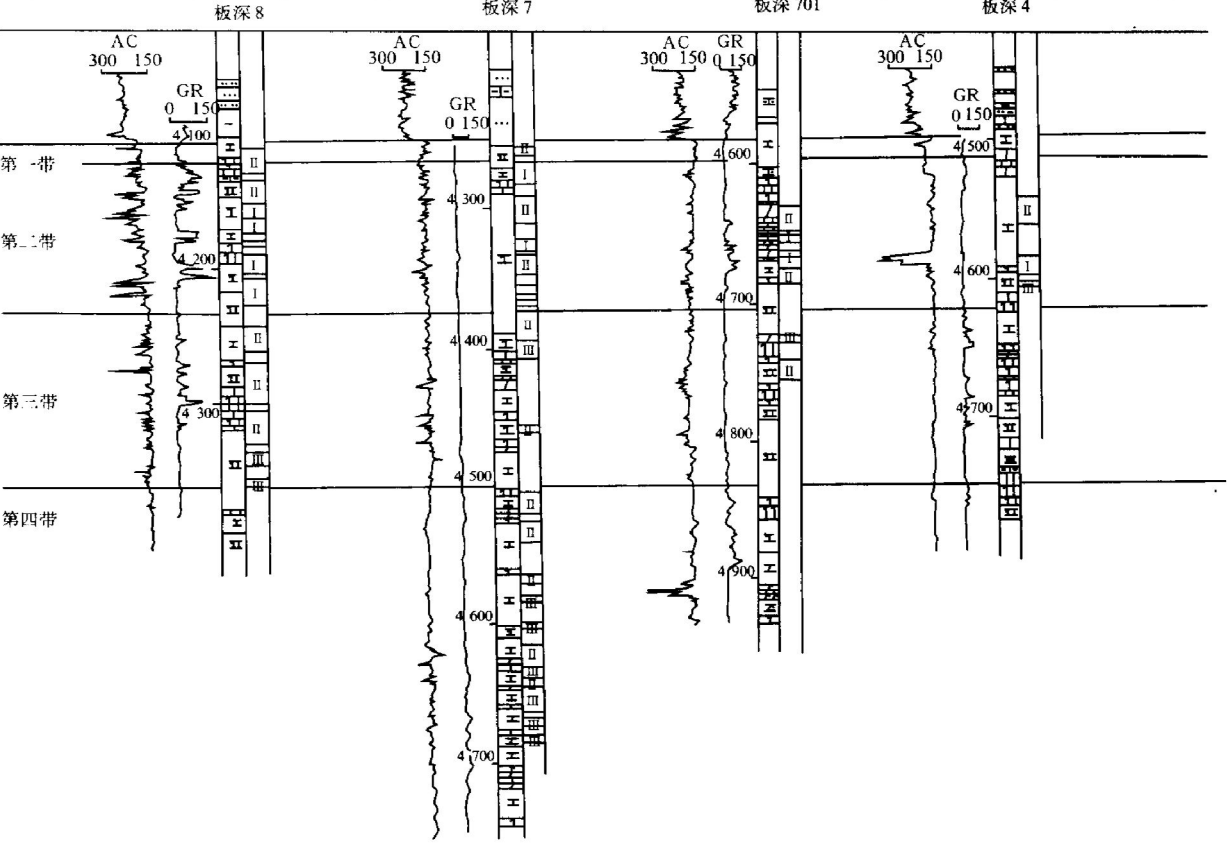


图 3 板深 8 井-板深 4 井地层对比图

Fig. 3 Correlation map of strata from Bansheng 8 to Bansheng 4 Wells

类储层次之, 孔、洞、缝皆发育, 储集类型主要为孔-洞-缝复合型, 为千米桥潜山油气主要聚集带。

第3带距风化壳 120~250 m, II₁ II₂类储层发育, 孔隙度比上部地层减少, 储集类型主要为孔洞型、裂缝型, 油气富集程度较第2个带变差。

第4带距风化壳 250 m 以下, 主要发育 II₃类储层, 孔洞、裂缝发育程度都较低。

1.2.2 平面分区

依据奥陶系残余厚度在平面上的分布特点, 将残余厚度较大区称残丘区, 残丘间的较薄区称凹槽区。

残丘区为逆断层上盘形成的褶皱剥蚀而成, 构造运动和岩溶作用强度大(指燕山期岩溶作用)且最发育, 而且后期埋藏深度相对较小, 保存条件有利, 所以储层最发育。

凹槽区后期埋深较大, 充填作用较强, 储层不发育。

2 影响因素

2.1 溶蚀孔洞

古岩溶发育的程度直接控制着溶蚀孔洞的形成及丰度, 影响古岩溶发育的因素很多, 岩石的类型和水的溶蚀性、流动性是岩溶发育的基本条件, 古气候、古地质构造和岩溶发育时间等也是岩溶发育的重要控制因素^[2]。

2.1.1 岩性

纯灰岩的溶解度一般比纯白云岩大, 更易遭受溶蚀, 但灰岩白云石化后, 其孔渗性提高, 而且脆性增强易产生裂缝, 这使得白云岩反而比灰岩更易于溶蚀。该区油气的主要产层第2、3带岩性均以白云质灰岩为主。岩性是影响该区溶蚀孔洞发育的主要因素。

2.1.2 水性质

一般来说, 水的矿化度越低, 对岩石的溶解能力越强。岩溶水的 CO₂ 含量越高, 对碳酸岩的溶蚀作用越强。另外, 水的流动使已溶解于水中的矿物及时搬运是岩溶作用的必要条件。综合本区水的性质, 十分利于溶蚀作用的进行。

2.1.3 构造运动

沉积间断面和不整合面是岩溶作用的重要场所, 多次的间断上升可形成多套的岩溶组合。相对平静的构造运动有利于岩溶作用的充分发育, 溶蚀作用在剖面上的发育受潜水面的控制, 而潜水面的高程又随着地表的上升和下降而改变,

这也就是造成该区溶蚀的垂直分带现象的主要原因。

2.1.4 古气候

本区岩溶发育时期是炎热、潮湿的气候, 利于岩溶的发育。

另外, 岩石暴露地表的时间长短, 岩石中裂隙的发育程度, 对岩溶作用也有较明显的影响。

2.2 构造裂缝

2.2.1 构造运动

是影响该区裂缝发育的主要因素。构造运动的强度越大, 裂缝的发育程度越大, 印支期、燕山期构造运动最剧烈, 现存裂缝主要形成于这两期构造运动。

2.2.2 岩性

对该区主要储集带(白云质灰岩)的裂缝发育起到一定的控制作用。白云岩的脆性强, 比灰岩的裂缝发育, 灰岩的白云石化作用可使岩石的脆性提高, 裂缝发育难易程度依次为白云岩→白云质灰岩、灰质白云岩→灰岩。

2.2.3 构造位置

古褶皱轴部是裂缝最发育的部位, 较大断层的附近裂缝发育。板深8、板深4井位于古褶皱轴, 钻探证实裂缝发育。

2.2.4 埋深

与埋深较浅的板深8、板深7井相比, 埋深较大的板深701井裂缝几乎全部被充填。

3 孔隙演化

3.1 溶蚀孔洞

千米桥地区在奥陶纪以来经历了两期岩溶作用, 对溶蚀孔洞的形成演化具有明显的控制作用。

3.1.1 加里东-早海西岩溶期

为主要贡献期, 对该区奥陶系顶部孔洞的发育至关重要(图4)。

根据前人的研究^[3], 加里东-早海西运动时期, 华北地台以整体升降运动为主, 经历了1亿年以上的风化剥蚀, 岩溶作用非常发育。千米桥地区当时处于古岩溶斜坡, 从以往港西地区所钻钻井(有石炭系)可知, 峰峰组的残存厚度大体为100 m左右, 可见当时古地形较平坦。通过对千米桥地区板深1×1、板深8、板深7、板深701、板深4等井进行层拉平对比发现以下特征。

(1) 纵向上各井的溶蚀孔洞段和较致密层间互

发育,没有石炭系覆盖的板深 8、板深 7、板深 701、板深 4 等井由上向下离剥蚀面越远溶蚀孔洞越不发育。有石炭系覆盖的板深 1×1 井,储层呈现差-好-差的特点(图 4)。

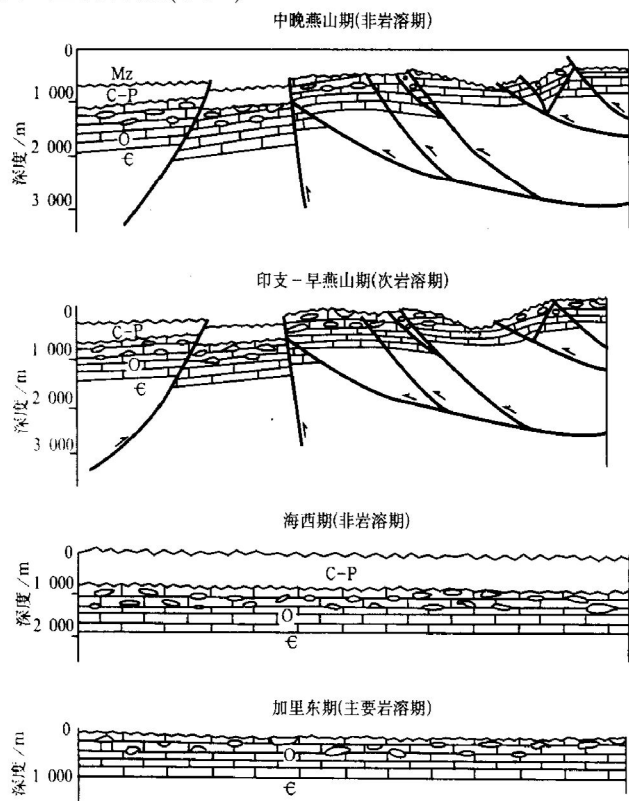


图 4 千米桥潜山奥陶系岩溶演化模式图

Fig. 4 Evolution model of Ordovician karsts in Qianmiao buried hill

(2) 横向上各井之间的溶蚀孔洞发育段具有很好的可比性,溶蚀孔洞段成层状延伸。这一特征与千米桥地区当时处于古岩溶斜坡位置相符(该位置水动力特征是以水平潜流带为主,主要形成水平溶洞和溶孔,呈层状分布)。

3.1.2 印支-早燕山岩溶期

对第一次岩溶作用进行改造,为次要的岩溶作用期。

奥陶系经历了加里东-早海西期的大规模的岩溶作用之后,中石炭世再次接受沉积,风化壳首先发生机械充填作用,然后,由于水的流动性减弱和水性质由酸性到碱性的变化,碳酸盐矿物析出,胶结和充填孔洞,使原溶蚀孔洞遭到很大破坏。不同的地区胶结和充填的程度有所不同。印支运动期-早燕山期,本区上升,再次遭受剥蚀和风化,特别是把石炭系和二叠系全部剥蚀的地区,奥陶系再次出露地表,发育第二次岩溶作用,第一期被充填的孔洞经过冲刷和溶蚀重新开启,同

时产生了一些新的溶蚀孔洞。

经分析,加里东-早海西运动时期岩溶作用发育的条件,比印支-早燕山期要优越的多。

(1) 构造运动条件。岩溶作用的充分发育需要相对稳定、缓慢上升的构造环境,加里东运动时期符合这一条件,印支-燕山早期的构造运动与之相比要剧烈的多,不利于岩溶作用的充分发育。

(2) 气候条件。据古地磁研究,加里东-早海西运动时期,华北地台处在赤道附近,气候炎热潮湿,适合岩溶作用发育。印支-燕山早期气候要干旱的多,淡水的供应不足制约了岩溶作用向纵深发展。

(3) 时间条件。加里东-早海西期比印支-早燕山期持续时间长。

3.2 构造裂缝

本区有效缝的主要形成期是印支和燕山早期,燕山晚期-喜山期为次要形成期。

3.2.1 印支期

本区表现为近南北向的挤压应力,产生了一系列的逆冲断层和与之相关的褶皱,也产生了与之相应的各种走向的裂缝,包括纵向裂缝(拉张裂缝),横向裂缝(扩张裂缝)以及剪裂缝,其走向随逆冲断层及相关褶皱的走向而变。

3.2.2 早燕山期

千米桥构造整体表现为北西-南东方向的冲断作用,产生了北东走向的断层及相应的裂缝,这一时期裂缝主要是在前期裂缝基础上发育的,由于此期的岩溶作用,不饱和碳酸盐溶液沿着这些裂缝淋滤、渗透可促使裂缝宽度和长度都有很大程度的增加。

3.2.3 晚燕山期-早喜山期

发生北西-南东向拉张,有利于以前形成的裂缝重新开启和保存;同时也产生一些北东向正断层和相应的拉张裂缝,但是此期产生裂缝的数量不多。

在上述的 3 期裂缝中,重叠发育的那些裂缝最易保存下来,在现存裂缝中,这些裂缝占主要地位。

4 后期改造作用

4.1 印支-早燕山期

印支-早燕山期对本区储层的改造作用分为两个方面:(1) 强烈的构造运动剥蚀了石炭系和二叠系,使奥陶系重新出露,在第一次岩溶作用的基础

之上,对发生充填和胶结作用的溶蚀孔洞和裂缝进行再次溶蚀,也产生一些新的孔洞;同时,产生大量的构造裂缝,既提供了不饱和碳酸盐溶蚀通道,促进岩溶作用的发育,又为以后的油气运移和聚集创造了条件,对本区的储层发育具有巨大的积极作用;(2)差异升降明显,上升速度较快,不利于岩溶作用的充分发育,而且将先期形成的溶蚀带部分剥蚀掉,使储层厚度减薄。

4.2 中晚燕山期

中晚燕山期本区开始了漫长的下沉接受沉积的过程,由于差异沉降压实和流体性质的改变,发生严重的充填作用,充填物主要为方解石,但由于埋深的不同,不同部位的充填程度亦有所不同,高部位相对较弱,残余的孔隙成为油气储集空间,油气的运移和充填也阻止了后期胶结和充填作用的进一步进行。

4.3 喜山期

第三系沉积后,随着埋深加大,孔洞裂缝有进一步减少的趋势,但第三系沙河街组三段暗色泥岩进入生油门限之后产生的酸性流体可进入潜山,对储层有一定改造作用。特别是明化镇组沉积后,沙河街组三段下部泥岩生成了大量凝析气,在进入潜山成藏的过程中,发生溶蚀作用并改造储层。由于油气的聚集,阻止了孔、洞、缝的进一步胶结充填。而在未聚集油气或油气聚集丰度较低的地区,胶结作用则很强烈。

参 考 文 献

- 1 张厚福,张万选.石油地质学[M].北京:石油工业出版社,1990.229~244
- 2 冯增昭.沉积岩石学[M].北京:石油工业出版社,1993.286~315
- 3 马文璞.区域构造解析[M].北京:地质出版社,1992.168~195

RESERVOIR CHARACTERISTICS AND PORE EVOLUTION OF ORDOVICIAN IN QIANMIQIAO BURIED HILL

Li Jiangying Lu Gangchen Kong Fandong Li Tinghui

(Research Institute of Geophysical Exploration Company, Dagang Oilfields, Tianjin)

Abstract: The Ordovician reservoir types of Qianmiqiao buried hill could be divided into 4 types: 1. pore cave reservoir; 2. fracture reservoir; 3. pore-cave-fracture complex reservoir; 4. pore reservoir. The pore-cave-fracture complex reservoir type is the major reservoir space type and most favourable for hydrocarbon migration and accumulation. The reservoirs are characterized by zonal distribution both vertically and horizontally. In vertical of the 4 zones, the 2nd and 3rd zones are favourable for hydrocarbon accumulation; in horizontal, residual dome is more favourable for reservoir development. The corroded pores and caves formed in Caledonian-early Hercynian and their formation was controlled by the characteristics of rock and water, tectonic movement, palaeoclimate and fractures; the formation of the fractures in Indosian and early Yenshan epoches was controlled by tectonic movement, rock characteristics and burial depth. The Indosian movement-early Yenshan movement resulted in large amounts of fractures and recorroded pores in Ordovician reservoirs; the middle-late Yenshan movement resulted in serious filling; the Himalayan movement reduced the pore spaces.

Key Words: Qianmiqiao buried hill; Ordovician reservoir; reservoir type; distribution characteristics; formation mechanism; reform action

(上接第366页)

deltaic plain distributary channel facies in ascending order, reflecting lake transgression-regression process. In PS₂, the microfacies varies from prodeltaic-deltaic front facies to distal bar-river mouth bar facies and then subaqueous distributary channel facies, reflecting the parasequence development process of water getting shallower and shallower.

Key Words: Jing'an Oilfield; Chang-6 member; lithologic microfacies; lithofacies; single-well facies; sequence stratigraphy