

文章编号: 1009-3850(2014)02-0086-06

藏北羌塘盆地羌资5井二叠系碳酸盐岩储层 特征及影响因素

曹峻锋, 宋春彦, 付修根, 陈明, 万方, 郑博, 孙伟

(成都地质矿产研究所, 四川 成都 610081)

摘要: 羌资5井位于藏北羌塘盆地, 该井钻遇二叠系龙格组及展金组。储层主要是龙格组及展金组中的碳酸盐岩, 其主要岩性是微晶灰岩、粒屑灰岩、生物屑灰岩、角砾灰岩以及粉/细晶白云岩。储集空间主要为孔隙, 另发育裂缝。孔隙可分为粒间孔、粒间溶孔、粒内溶孔、晶间孔及晶间溶孔、沿缝合线发育的溶孔; 裂缝可分为构造缝、压溶缝和溶蚀缝。物性数据显示, 孔隙度变化范围在0.3%~2.3%, 平均值为1.31%; 渗透率变化范围在 $(0.0034 \sim 0.0062) \times 10^{-3} \mu\text{m}^2$, 平均值为 $0.0044 \times 10^{-3} \mu\text{m}^2$, 储层评价为差。影响碳酸盐岩储集物性的因素主要是成岩作用和构造作用。有利成岩作用主要是压溶作用、溶蚀作用、白云石化作用; 不利的影响因素是压实作用、胶结作用、重结晶作用、硅化作用等。

关键词: 羌塘盆地; 二叠系; 羌资5井; 碳酸盐岩储层; 影响因素

中图分类号: TE122.2+5

文献标识码: A

羌塘盆地位于青藏高原腹地的藏北地区, 面积约 $16 \times 10^4 \text{ km}^2$, 处于特提斯构造域中段^[1-2]。该构造域的西段有著名的中东波斯湾油区, 而其东段则是东南亚油气区。羌塘盆地的南北边界分别为班公湖-怒江缝合带和西金乌兰-金沙带缝合带^[3]。同时, 盆地内的中央隆起将盆地分隔成南、北两个坳陷, 即北羌塘坳陷和南羌塘坳陷^[4]。

目前, 羌塘盆地的地质研究水平较低, 缺乏地下深部资料^[5-9]。此外, 研究区地表露头多为中生代地层, 少见古生代地层。羌资5井为2012年完成的一口钻遇古生界的浅钻, 其位置构造上属于羌塘盆地中央隆起带与南羌塘坳陷的结合部位—羌南断褶带, 位于NE-SW走向的角木茶卡背斜的北西翼。井口坐标: $87^\circ 09' 43.01'' \text{ E}$ 、 $33^\circ 06' 28.68'' \text{ N}$, 海拔5063 m。从第四系覆盖物上开孔, 分别钻遇第四系、二叠系龙格组以及展金组。终孔层位是二叠系展金组, 终孔井深为1001.4 m。该井获得的井下二叠

系地层资料, 为了解羌塘古生代地层及油气地质特征提供了一个重要窗口。

1 储层岩石学特征

岩性上, 羌资5井的第四系主要为土黄色松散状-弱固结的沙砾石, 其发育的深度在0~10 m。二叠系龙格组及展金组发育的深度为10~1001.4 m, 其岩性主要为微晶灰岩、粒屑灰岩、角砾灰岩、硅质岩、泥岩、粉砂质泥岩、火山角砾岩及粉/细晶白云岩等。其中, 能够作为储层主要是各类灰岩及白云岩。

1.1 微晶灰岩

岩石具微粒结构。灰岩中方解石含量>90%, 含陆源碎屑(<3%)、黄铁矿(1%~3%)、铁泥质(1%~2%)等。部分微晶灰岩中含有一定的粉屑或生屑, 其数量不等。生屑主要有介屑和藻葡萄, 少部分钙藻等, 其中介屑多呈碎屑, 藻葡萄为致密纤维球单体。

收稿日期: 2014-04-02; 改回日期: 2014-04-06

作者简介: 曹峻锋(1984-)男, 助理工程师, 主要从事石油地质相关工作。E-mail: 56877950@qq.com

项目资助: “青藏地区油气调查评价”与“国家油气重大专项(2011ZX05004)”联合资助

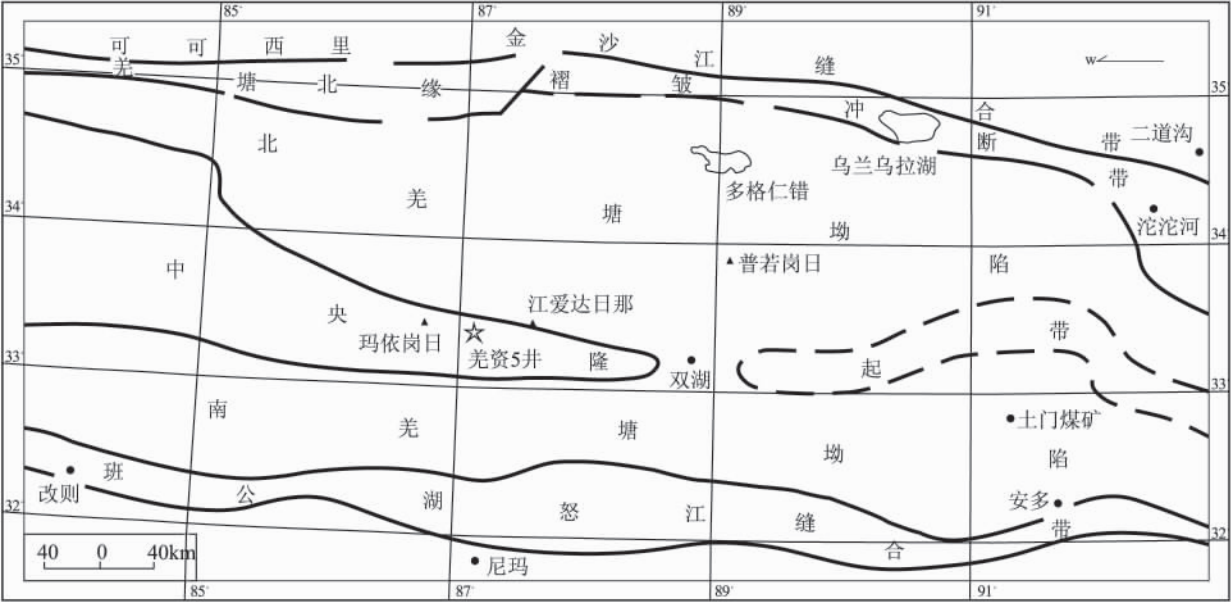


图 1 羌塘盆地区域构造及钻井位置(据李忠雄等 2009)

Fig.1 Tectonic setting of the Qiangtang Basin and location of the Qiangzi-5 well (after Li Zhongxiong et al. ,2009)

1.2 粒屑灰岩

岩石见粒屑结构。方解石含量变化范围较大 , 变化范围在 55%~90% 之间。多数情况下粒屑以陆屑为主 , 部分为内碎屑。陆屑以蚀变火山岩屑为主 , 部分为石英、长石、绿泥石碎屑。内碎屑以灰岩屑为主 , 少量生屑 , 偶见海绿石碎屑。内碎屑分选较好 , 全为砂屑 , 以次圆-长圆状为主 , 部分不规则状。内碎屑与陆屑多呈不均匀相间分布。

1.3 生物屑灰岩

生物屑灰岩中 , 灰泥的含量变化较大 , 其含量大致变化在 30%~70% 之间。生物屑类型较多 , 主要是各种蜓类、腕足类、腹足类、苔藓虫以及海百合茎化石等。

1.4 白云岩

白云石含量在 60%~90% 之间 , 方解石和泥质的含量为 10%~40%。白云石呈半自形细中粒状 , 部分自形 , 多数晶棱平直 , 细、中粒相互嵌生 , 部分白云石见雾心结构。方解石呈不均匀保留在白云石之中。白云石中还见有砂屑、粉屑、砾屑以及介屑、棘屑等生物碎屑 , 数量不等。

1.5 其它灰岩

以上 4 种岩石是储层的主要岩石类型 , 此外 , 研究区二叠系还见角砾灰岩、含粉屑泥微晶灰岩等灰岩类型 , 但数量很少。

2 储层孔隙结构特征

根据薄片鉴定分析结果 , 羌资 5 井储层的储集

空间主要为孔隙 , 也见有裂缝 , 但裂缝多被方解石胶结充填。

2.1 孔隙类型

2.1.1 原生孔隙

以粒间孔和生物体腔孔为主。镜下见原生粒间孔和生物体腔孔发育较少 , 这是因为后期成岩胶结作用和充填作用 , 原生孔隙绝大部分被充填堵塞 , 使得这类孔隙遭受严重的破坏而消失(图版 1)。

2.1.2 次生孔隙

(1) 粒间溶孔。此类孔隙为颗粒之间的胶结物和杂基经溶蚀改造所形成 , 分布不均匀 , 其形态受控于岩石的组构 , 溶孔边多为不规则 , 镜下可见此类孔被白云石、方解石、石英晶体等镶边或半充填。

(2) 粒内溶孔。为颗粒内部被选择性溶蚀而形成的孔隙 , 在微晶灰岩及生物屑灰岩中可见有生物屑颗粒发生溶蚀 , 形成粒内溶孔(图版 2)。此类孔隙形态不规则 , 大小不等 , 多数情况连通性差 , 且被方解石、白云石部分或全部充填。

(3) 晶间孔及晶间溶孔。主要发育在白云岩中 , 也是最重要的储集空间。晶间孔呈规则的多面体状 , 边缘较平直 , 以中、小孔为主。同时可见伴溶蚀作用形成扩大的晶间溶孔。部分晶间孔和晶间溶孔被较晚期的方解石、白云石、沥青等物质充填(图版 3)。

(4) 溶孔。岩心中见溶孔在局部井段较为发育 , 未充填 , 大小约 2~20mm。

(5) 沿缝合线发育的溶孔。此类孔隙在镜下不

多见,多沿缝合线发育,为遭受后期压溶作用所形成。

2.2 裂缝特征

裂缝在碳酸盐岩储层中非常发育,按成因可分为构造缝、压溶缝和溶解缝3种类型。

(1) 构造缝。构造缝在岩心表面和镜下薄片均较为常见。岩心上所见此类缝其缝宽一般介于1~20 mm之间,其与地层的产状上呈垂直、平行或斜交;多呈平行状、网状等形式发育,缝壁平直,期次较为明显。同时,在后期压实压溶作用下,此类缝边缘易发生溶蚀现象,缝壁变为凹凸不平。无论是岩心表面还是镜下,构造缝多被方解石胶结充填,少数被铁泥质或沥青充填(图版3)。

(2) 压溶缝。为受压溶作用影响而形成的缝合线,形状多为锯齿状或波纹状,裂缝波状起伏。缝壁常见未完全溶解的残留物,常被沥青、铁泥质等充填。沿缝合线可发生溶蚀作用,进而形成沿缝合线发育的溶孔(图版4)。

(3) 蚀蚀缝。为由溶蚀作用形成的裂缝。裂缝形状不规则,多呈弯曲状,无方向性,绝大多数已被方解石、铁泥质等充填,沿溶解缝也可发育溶孔。

3 储层物性特征

3.1 物性特征

根据样品测试数据,在5块灰岩样品中,其孔隙度为0.8%~2.3%,平均值为1.46%;渗透率变化范围为 $(0.0036 \sim 0.0062) \times 10^{-3} \mu\text{m}^2$,平均值为 $0.00468 \times 10^{-3} \mu\text{m}^2$ 。在4块白云岩样品中,其孔隙度为0.3%~2%,平均值为1.13%,渗透率变化范围为 $(0.0034 \sim 0.0049) \times 10^{-3} \mu\text{m}^2$,平均值为 $0.004 \times 10^{-3} \mu\text{m}^2$ 。总体看来,碳酸盐岩储层孔隙度变化范围在0.3%~2.3%之间,平均值为1.31%;渗透率变化范围在 $(0.0034 \sim 0.0062) \times 10^{-3} \mu\text{m}^2$ 之间,平均值为 $0.0044 \times 10^{-3} \mu\text{m}^2$ 。无论是灰岩还是白云岩储层,

都属于低孔低渗储层。在孔渗半对数坐标上,孔渗关系良好,基本上呈线性相关。随着孔隙度增加,渗透率也逐渐增大,这说明储层均质性较好(图2)。

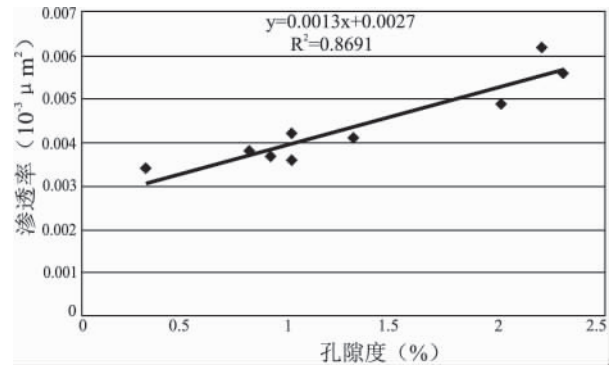


图2 羌资5井储层孔渗相关分析图

Fig. 2 Correlation of the porosity and permeability of the carbonate reservoirs from the Qiangzi-5 well

3.2 孔隙结构特征

毛细管压力曲线的形态特征及其特征参数,能定性及定量地反映储层的孔隙结构,是评价储层的储集性能的有效手段^[10]。研究区灰岩和白云岩的6件压汞样品,其排驱压力介于5.79~12.59MPa之间,平均值8.47MPa,排驱压力较高;另外,6件压汞样品全都未达到饱和度中值压力,反映出储层的渗透性极差。孔隙分选系数最大值0.47,最小值0.25,平均值0.305,分选较好。就退出效率而言,6件样品的退出效率范围在43.43%~59.12%之间,平均值为48.01%,样品中孔隙体积均大于喉道体积。样品的喉直径均值变化范围为0.03~0.06 μm ,平均值为0.04 μm ,喉道直径较小,以微喉为主(表1)。

总体看来,羌资5井的碳酸盐岩储层属于低孔低渗储层,储集空间以孔隙为主,喉道主要为微喉,孔隙体积大于喉道体积,储层评价为差。

表1 储层毛管压力分析结果统计

Table 1 Analytical results of the capillary pressures of the carbonate reservoirs from the Qiangzi-5 well

序号	岩性	排驱压力(MPa)	分选系数	退出效率(%)	喉直径均值(μm)
1	微晶灰岩	8.54	0.29	59.12	0.04
2	微晶灰岩	7.5	0.47	46.96	0.06
3	白云岩	7.5	0.26	44.9	0.06
4	白云岩	12.59	0.27	45.8	0.03
5	白云岩	5.79	0.29	43.43	0.06
6	角砾灰岩	8.91	0.25	47.84	0.04

4 储层物性的影响因素

沉积相、岩石学特征、成岩作用特征及构造作用等,都会对储层的形成产生有利或不利的影 响。经过分析研究,羌资 5 井储层的影响因素是成岩作用及构造作用,且成岩作用是主要的影响因素。

4.1 储层的有利影响因素

4.1.1 压溶作用

压溶作用与压实作用伴随发生,它使得岩石颗粒间的接触点(面)发生溶解,多数情况下形成不同规模的缝合线。镜下所见高幅度、低幅度缝合线均有,其穿越粒屑溶解、延伸。缝合线中可见沥青等有机质,可能是油气运移的有效通道。有部分缝合线被溶解、局部扩大,形成溶解缝或溶孔(图版 4)。

4.1.2 溶蚀作用

溶蚀作用可以发生在成岩作用的各个阶段,其形成是由于碳酸盐沉积物或碳酸盐岩中孔隙水的性质发生变化,引起碳酸盐岩矿物或其它成分发生溶蚀作用,从而形成溶孔、溶缝、溶沟、溶洞等。溶蚀作用在羌资 5 井中的岩石薄片和岩心表面都较为常见,其对良好储层的形成非常有利,主要表现为:①颗粒(生物屑)内溶蚀形成粒内溶孔;②在白云岩中溶蚀形成晶间溶孔(图版 5);③溶蚀颗粒边缘,形成粒间溶孔;④沿缝合线或裂缝边缘进行溶蚀,形成溶孔、溶缝。早期的溶蚀孔多被后期方解石胶结物充填,岩心表面可见的未充填溶蚀孔洞应是成岩表生期大气淡水的溶蚀作用所形成(图版 6)。

4.1.3 白云岩化作用

白云石交代方解石(或文石和高镁方解石)的作用称为白云石化作用。一般情况下,白云石化作用能够在白云石晶间产生较好的晶间孔,对储集物性有改善作用。镜下可见白云石沿压溶缝呈不规则的分布,白云石晶粒内局部或大部分溶解石被交代形成微晶白云岩。此外,镜下薄片 中见白云石通常大小较均匀,自形晶或半自形晶,部分具有雾心亮边的特征,其可能为成岩孔隙流体(或海水)与淡水作用所形成^[6,11-12]。

4.1.4 构造作用

构造作用对储层的影响表现在两个方面。一是构造运动将二叠系地层抬升至地表,使得储层遭受近地表淡水淋滤。其次,构造运动在岩心中产生了大量的裂缝、微裂缝。裂缝间常互相切割,局部呈网状密集发育。但从岩心及镜下均见,裂缝大都

被方解石全充填胶结,对有利储层的形成贡献不大。

4.2 储层的不利影响因素

4.2.1 压实作用

井下储层的压实作用主要以机械压实为主。压实作用往往使得岩石的孔隙度变小,部分消失,有颗粒也被压变形甚至破裂。由于二叠系地层形成较早,受上覆地层压实影响,使得储层中孔隙遭受压实作用而大量消失。这是本井储层变坏的重要因素。

4.2.2 胶结作用

胶结作用是碳酸盐岩中常见的成岩作用,可发生在成岩作用的任何阶段。储层中胶结物的主要成分是亮晶方解石,其大量充填于各种孔隙、裂缝中,使孔隙大大减少,甚至消失;同时极大地降低了裂缝对渗透率的贡献。胶结作用对储层物性起到了明显的破坏作用(图版 7)。

4.2.3 重结晶作用

重结晶作用主要见于白云岩中。白云石晶体从微-粉晶、细晶到中-粗晶都有发育,造成原始岩石组构被破坏。重结晶作用对储层的建设性和破坏性影响都存在。一方面重结晶作用使晶体变粗,孔径增大,使晶间孔隙变大,有利于形成溶蚀孔隙,从而改善渗透性能;但它又能堵塞孔隙降低储层物性。在显微镜下,羌资 5 井中,重结晶作用总的趋势是堵塞储层孔隙空间,使储层变坏。

4.2.4 硅化作用

硅质矿物交代白云石及方解石或者其它矿物称为硅化作用。羌资 5 井中的灰岩和白云岩中均可见局部硅化现象。硅化作用应与二叠系沉积时期火山喷发所造成的热液活动有关。硅化作用直接导致灰岩或白云岩储层孔隙度下降,渗透率变低,储层变差(图版 8)。

5 结论

(1) 羌资 5 井中二叠系龙格组及展金组的岩性主要有微晶灰岩、粒屑灰岩、生物屑灰岩、角砾灰岩、硅质岩、泥岩、粉砂质泥岩、火山角砾岩及粉/细晶白云岩,能够作为储层的主要是灰岩和白云岩。

(2) 储层的储集空间主要为孔隙与裂缝两种类型,其储集空间组合表现为孔隙-裂缝组合。孔隙主要是粒间孔和生物体腔孔、粒间溶孔、粒内溶孔、晶间孔及晶间溶孔、以及沿缝合线发育的溶孔。裂缝主要是构造缝、压溶缝以及溶解缝。

(3) 碳酸盐岩储层孔隙度变化范围为 0.3%~

2.3%, 平均值为 1.31%; 渗透率变化范围为 $(0.0034 \sim 0.0062) \times 10^{-3} \mu\text{m}^2$, 平均值为 $0.0044 \times 10^{-3} \mu\text{m}^2$, 属于低孔低渗储层。灰岩和白云岩压汞样品显示, 其排驱压力较高, 储层的孔渗均较差; 退出效率显示样品中孔隙体积均大于喉道体积; 喉直径均值为 $0.04 \mu\text{m}$, 喉道直径较小, 以微喉为主。储层评价为差。

(4) 影响储层发育的因素包括成岩作用和构造作用, 前者是主要的作用。其中, 对储层物性不利的成岩作用有压实作用、胶结作用、重结晶作用以及硅化作用; 有利的成岩作用有压溶作用、溶蚀作用、白云石化作用和构造破裂作用。虽然构造作用在岩层中产生了大量的裂缝, 但由于裂缝基本都被后期方解石全充填胶结, 对有利储层的形成贡献不大。

参考文献:

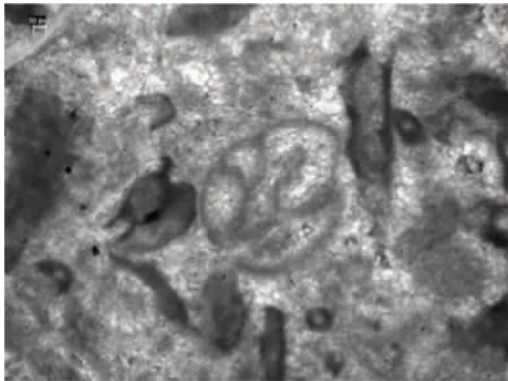
- [1] 余光明, 王成善, 张哨楠. 西藏特提斯中生代沉积盆地特征及演化[J]. 中国科学(B) 辑, 1989 (9): 982-991.
- [2] 刘增谦, 潘桂棠. 西藏特提斯地质(M). 北京: 地质出版社, 1990. 94-98.
- [3] 谭富文, 王剑, 王小龙等. 西藏羌塘盆地—中国油气资源战略选区的首先目标[J]. 沉积与特提斯地质, 2002, 22(1): 94-98.
- [4] 李才, 王天武, 杨德明等. 西藏羌塘中央隆起区组成与构造演化[J]. 长春科技大学学报, 2001, 31(1): 25-31.
- [5] 张立强, 纪友亮. 羌塘盆地侏罗系低渗透砂岩储层成因分类及有利储层预测[J]. 石油大学学报(自然科学版), 2001, 25(5): 6-10.
- [6] 伊海生, 高春文, 张小青. 羌塘盆地双湖地区古油藏白云岩储层的显微成岩结构特征及意义[J]. 成都理工大学学报(自然科学版), 2004, 31(6): 611-615.
- [7] 许建华, 候中昊, 王金友等. 羌塘盆地流体包裹体特征及其在储层成岩研究中的应用[J]. 石油实验地质, 2003, 25(1): 81-86.
- [8] 孙冬胜, 白玉宝, 刘池阳等. 羌塘盆地羌南陷查郎拉地区储层的基本特征[J]. 西安石油学院学报(自然科学版), 2001, 16(5): 1-10.
- [9] 周文, 邓虎成, 伊海生等. 西藏羌塘盆地侏罗系白云岩储层中油砂资源评价[J]. 矿物岩石, 2007, 27(4): 85-91.
- [10] 陈杰, 周改英, 赵喜亮等. 储层岩石孔隙结构特征研究方法综述[J]. 特种油气藏, 2005, 12(4): 11-14.
- [11] 陈文彬, 杨平, 张予杰等. 南羌塘盆地扎仁古油藏白云岩储层特征及成因研究[J]. 沉积与特提斯地质, 2006, 26(2): 42-46.
- [12] 彭智敏, 廖忠礼, 陈明等. 青藏高原羌塘盆地侏罗系白云岩的特征及其成因[J]. 沉积与特提斯地质, 2008, 28(4): 1-6.

Permian carbonate reservoirs from the Qiangzi-5 well in the Qiangtang Basin, northern Xizang: Characteristics and influencing factors

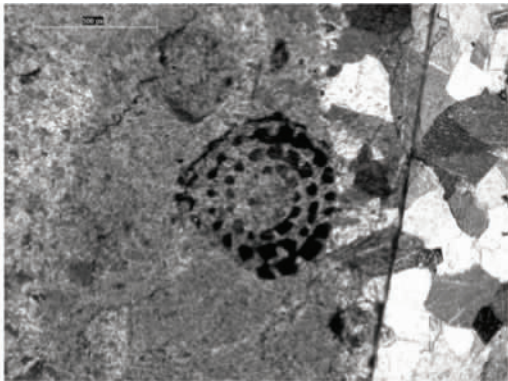
CAO Jun-feng, SONG Chun-yan, FU Xiu-gen, CHEN Ming, WAN Fang, ZHENG Bo, SUN Wei
(Chengdu Institute of Geology and Mineral Resources, Chengdu 610081, Sichuan, China)

Abstract: The Qiangzi-5 well drilled into the Permian Longge and Zhanjin Formations is located in the Qiangtang Basin, northern Xizang. Lithologically, the carbonate rocks as the reservoir rocks are dominantly made up of micritic limestones, grainstones, bioclastic limestones, brecciola and silty or fine-grained dolostones. The pores as main reservoir spaces contain intergranular pores, intergranular solution openings, intragranular solution openings, intercrystal pores and intercrystal solution openings and other solution openings generated along the stylolites. The fissures are assembled by the structural fissures, pressure solution fissures and dissolved fissures. The porosities vary between 0.3% and 2.3%, with an average of 1.31%. The permeabilities range from $0.0034 \times 10^{-3} \mu\text{m}^2$ to $0.0062 \times 10^{-3} \mu\text{m}^2$, with an average of $0.0044 \times 10^{-3} \mu\text{m}^2$. The diagenesis and tectonism are believed to be the main influencing factors for the porosities and permeabilities of the carbonate reservoirs. The constructive diagenesis encompasses the pressure solution, dissolution, dolomitization and tectonism while the destructive diagenesis includes compaction, cementation, recrystallization and silicification.

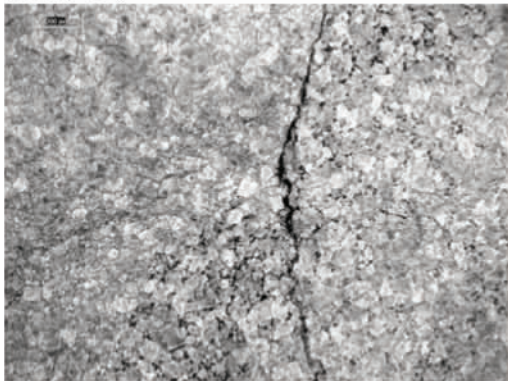
Key words: Qiangtang Basin; Permian; Qiangzi-5 well; carbonate reservoirs; influencing factor



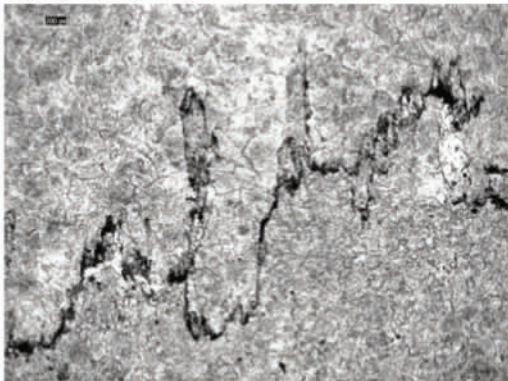
S4 1.原生生物体腔孔，遭遇后期充填.181m，10×25 (+)



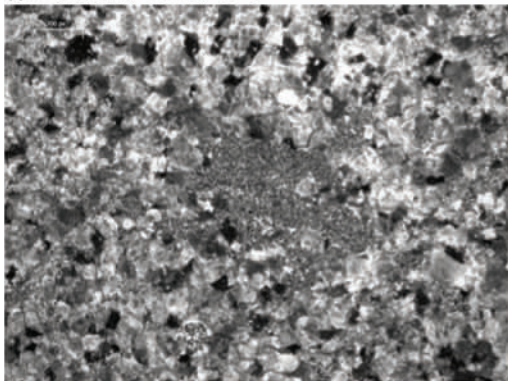
S18 2.灰岩中生物体腔被溶蚀，形成粒内溶孔，703m，4×10 (+)



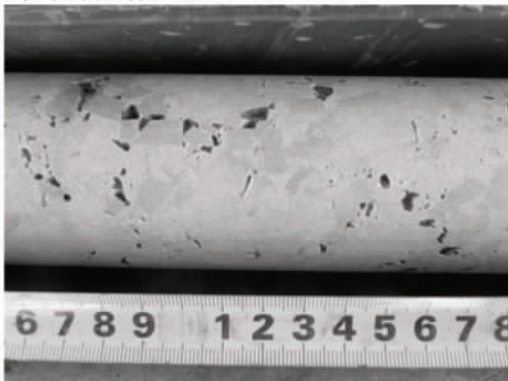
B52 3.白云岩中见晶间孔及构造缝，缝内充填沥青，978.5m，4×10 (-)



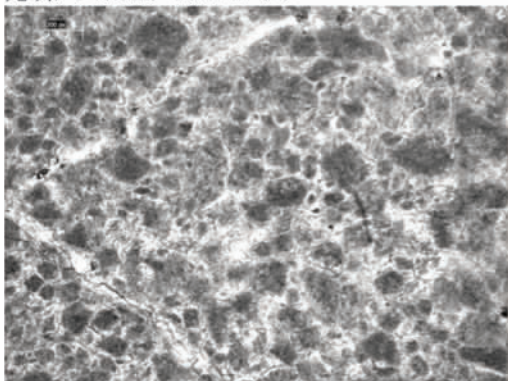
B534.白云岩中发生的压实压溶作用，形成缝合线，充填沥青，969m，10×25 (-)



B47 5. 白云岩中发育的晶间溶孔，被后期方解石充填，940.5m，10×25 (+)



457 6.白云岩岩芯表面见溶孔发育，深色角砾为硅质，868m



B48 7.白云岩中见胶结作用发育，胶结物主要是方解石，954m，4×10 (-)



260 8.灰岩岩芯中见硅质条带发育，厚度约 1~2cm，406m

图版 镜下薄片及岩心特征