

克拉玛依油田五区佳木河组储层研究

顿 铁 军

(西安地质学院)

克拉玛依油田五区佳木河组储层,包括了火山岩、沉积岩和变质岩三大岩类,具裂缝-孔隙双重介质。本文用“火山机构”进行了相区划分,从宏观和微观结构研究了储层特征和储集性能,确定出储层下限并对高产区进行了预测。

五区佳木河组位于克拉玛依逆掩断裂下盘,界于八区与红山咀东侧断裂之间,面积约450 km²。

按构造特征,该区可分为:东部单斜带、西部断褶带和南部中拐隆起延伸部分(简称延伸区)三个基本构造单元。

区内佳木河组普遍钻遇,不整合于下伏地层之上。自上而下它又可分为Ct₁、Ct₂、Ct₃几个可连续追踪的地震波组层。经钻探证实,佳木河组油气资源丰富,并已获得工业油气流。

一、储层岩性

五区佳木河组为海盆边缘相沉积。因海西期火山活动频繁,加之以后又受印支、燕山运动的影响,使这套地层变得极为复杂。作为储集层,它囊括了火成岩、沉积岩和变质岩三大岩类并夹杂一些过渡类型(图1)。

各类岩性详细描述列于表1。

岩性在平面上大体作规律分布:单斜带主要为一套混杂砂砾岩、安山岩、流纹岩和凝灰角砾岩交互层;断褶带主要为砂砾岩、玄武-安山岩和熔结及火山角砾岩,并平行克拉玛依断裂走向呈带分布;南部延伸区主要由安山岩及火山角砾岩组成,仅在东端局部地区分布有凝灰质砂泥岩。

剖面层序基本可归结为:上部砂砾岩,中部火成岩,下部为火山角砾岩。这套层序在各波组段均表现出多旋回性。说明当时火山具有夏威夷裂缝-中心式多次喷发的特点。因此,这就必然造成该区火成岩在纵向上与其它岩石交互出现的规律性。

据岩心观察及薄片鉴定资料,初步认为该区火山口不止一处,主要分布在延伸区及靠近主断裂附近,依据有二:(1)火山喷出之熔岩在这些地区大面积分布;(2)在576、587、570、508等井均有熔结集块岩和熔结角砾岩出现,它们是近火山口的标志岩,其分布范围不大,常不到一或数平方公里,据此可断定火山口就在这些井区附近。

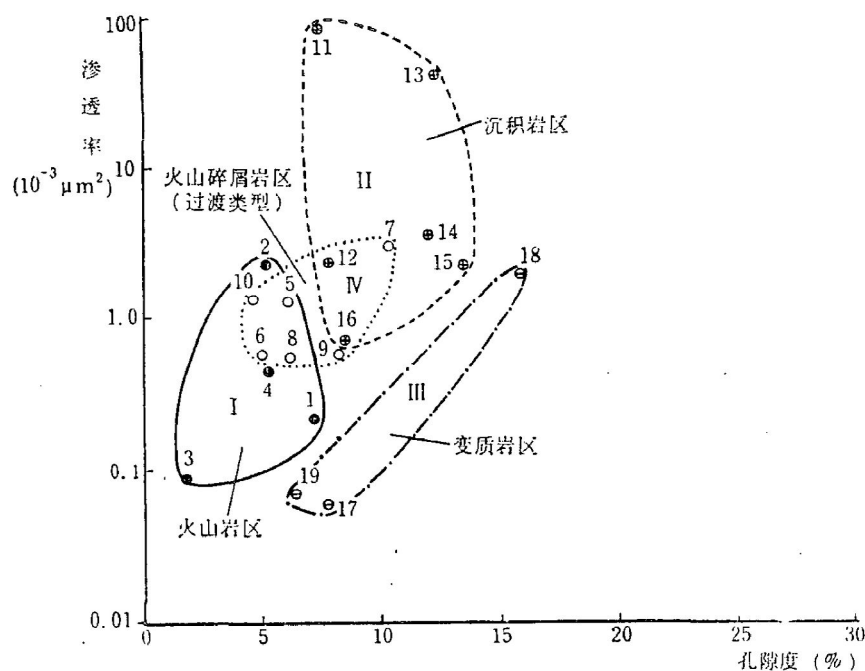


图1 五区佳木河组岩性离散图

(据19口井1121块样品统计)

表1 储集层岩性表

岩类	主要岩石	结构	构造	矿物成分	储集空间
火成岩	安山岩 玄武岩 安玄岩	玻基、交织、 斑状结构	气孔、杏仁 构造	中-基性斜长石 70%，玻基 20%，其余 10% 为橄榄石、绿泥石、辉石、方解石、硅质、磁铁矿等 (斜长石号码一般为 32—80 之间，以 45—60 为最多)	气孔及裂缝发育。面孔率为 15—25%，孔径 0.1—1.5mm，裂缝宽 0.4mm 左右，长 3.5mm 以上
火山碎屑岩	火山角砾岩 凝灰岩 凝灰角砾岩 集块岩	凝灰质、火山 角砾晶屑、玻 屑熔结凝灰角 砾结构	火山角砾晶屑 玻屑凝灰块状 构造	火山岩块、岩屑及火山灰占 95%，其中火山岩块主要由安玄岩构成，其余 5% 为斜长石、晶屑玻屑、凝灰质碎屑及砂泥质等	粒间孔、溶孔、安玄岩块中的气孔。裂缝发育，安玄岩块下可达数十条，纵横交错，构成网络
沉积岩	砾岩、砂 砾岩、杂 砂岩、凝 灰质泥岩	砾状、砂屑、 隐晶质结构	致密坚硬，分 选差—中等， 棱角一次圆， 多为接触孔隙 式	砾石成分为火山岩，砾径不一，1—22mm。砂岩主要为石英、长石及火山碎屑，常以泥质、硅质、绿泥石、方解石、沸石胶结。泥岩中含少量砂屑、火山碎屑及火山灰。(554井1639号样品有海绿石指相矿物，证明C为海相沉积类型)	主要为粒间孔及粒间溶孔。裂缝不甚发育，非均质性强，孔渗变化大，含油不均一
变质岩	变砾岩 变砂岩 变泥岩	块状变余结构	砾状块状构造	砂砾成分主要为火山碎屑。泥岩中原粉砂质经动力变质作用出现重结晶，泥质转变为绿泥石。泥岩中含少量磁铁矿及黄铁矿微晶	区域变质作用使储集层物性急剧变坏

对造成火山喷发的原因可作如下解释。五区南部很可能是地幔物质上涌所形成的局部隆起区。如果真是这样，由于该区地壳拉张变薄，地幔物质上涌时就可冲壳而出，

造成火山喷发。至于靠近主断裂地段的火山，因断裂多期活动（取心资料亦证实有辉绿岩侵入说明岩浆活动剧烈），也可以导致火山喷发。

据上述岩性分布特征，可按火山机构进行岩相划分（图2），这也许有助于解决五区石炭系岩性分布极为复杂的难题。

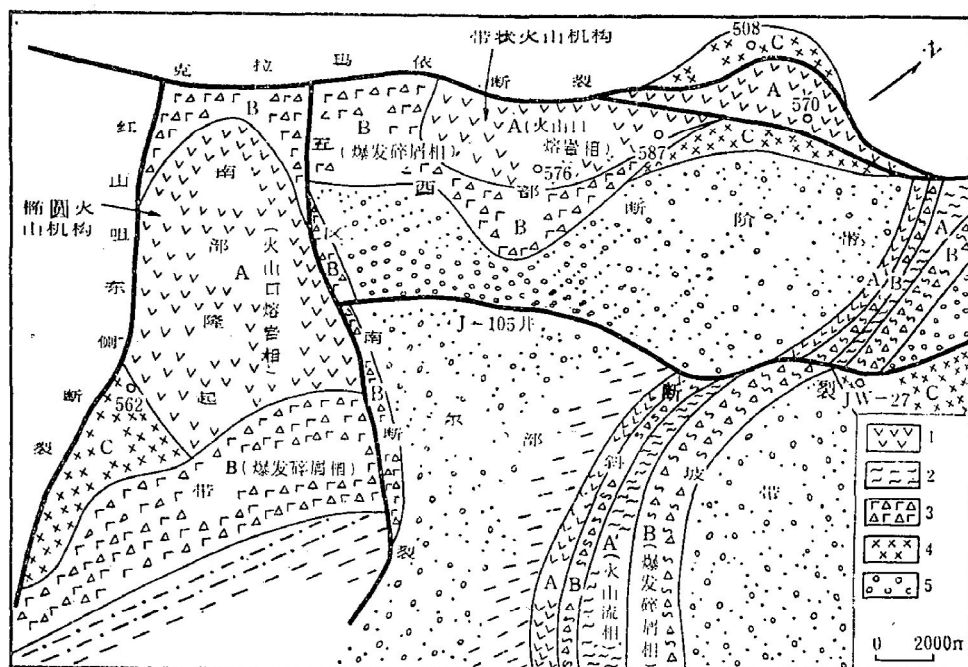


图2 火山机构分布与火山岩岩相划分图

1—安山岩，2—流纹岩，3—火山角砾岩，4—辉绿岩，5—砂砾岩

A—火山口熔岩相，A'—火山流岩相，B—爆发碎屑岩相，C—次火山岩相

所谓火山机构，系指火山活动产物的总体，以及由其产出状态与时间相互关系所决定的火山整体形态，为火山构造的基本单元。南部隆起带为椭圆型（O型）火山机构，可划分出三个岩相区（图2）：（1）火山口熔岩相区（A区）；（2）爆发碎屑岩相区（B区），分布于前一岩相外侧，由火山角砾岩构成，属火山喷发早期产物；（3）次火山岩相区（C区），主要为辉绿岩侵入于火山机构之外侧。

位于断褶带上的火山机构，紧靠克拉玛依主断裂走向作带状展布，可把它称为带状（L型）火山机构，其相带分布亦然。至于五、八区交界处的带状火山机构，情况同上，不再赘述。

以上对该区首次提出的用火山机构划分火山岩岩相的方案，不仅被钻探取心资料所证实，而且还澄清了以往对岩性分布规律认识不一的局面。

二、孔隙结构

（一）孔隙类型

根据恩格尔哈特(W.V.Engelhardt)成因分类原则，该区孔隙可分为两大类七小类，

1. 原生孔隙

A. 粒间孔：颗粒之间未被充填的空间。常见于砂砾岩、火山碎屑岩中。

B. 气孔：岩浆喷溢到地表时，其内的挥发组分逸出而留下的空间。大量存在于安山、玄武岩中。

C. 微孔：储层之中未被充填的微细孔隙，指孔径小于 $0.054\mu\text{m}$ 的孔隙。

2. 次生孔隙

D. 溶蚀孔：系指粒内、粒间或基质以及气孔被充填后的杏仁中，部分或全部被溶蚀后而残留下来的空间。这类孔隙在砂砾岩、火山碎屑岩及安山岩的杏仁构造中均能普遍见到。

E. 晶间孔：次生矿物粗大晶体之间未被充填的孔隙。

F. 交代残余孔：矿物成分被部分或全部交代而成，以火成岩斜长石发生交代的现象最为常见。

G. 裂缝：从大量岩心观察中发现，无论是火成岩或碎屑岩，裂缝普遍发育，类型非常复杂。

裂缝对低渗透储层来说至关重要：

根据裂缝的交切关系，大致可把裂缝分为四代：第一代形成的时间最早，常被沥青充填，且常作水平状分布；第二代多为矿物充填，切割第一代裂缝；第三代又切割第二代，此两代裂缝呈斜向分布，倾角后者陡于前者；第四代为直劈裂缝，切割前几代所有裂缝。它们纵横交错，构成网络（图3）。

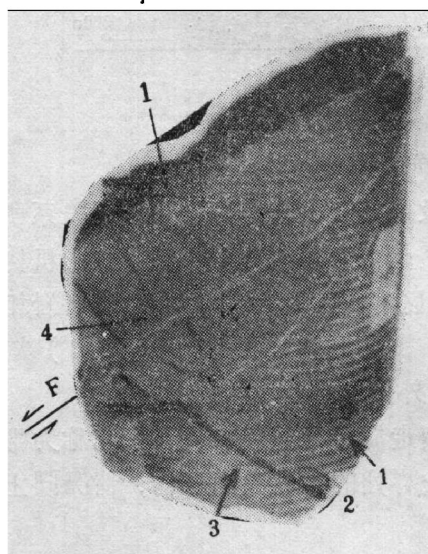


图3 裂缝的交切关系

根据裂缝受力不同所表现出的形态差异，可分为六种类型：（1）剪切裂缝，表现为共轭X交切形态，它是受剪切应力形成的。（2）张性裂缝，裂缝组在岩心面斜向排列，构成单向系统。（3）雁行式裂缝，其雁列角（单缝与雁裂面的锐交角）的大小代表了裂缝不同的力学性质，具有重要的构造意义。一是 45° 左右属张裂型，是剪切作用中派生出的张裂缝；一为 10° 左右属剪裂型，它是剪切作用中与主剪切面成小角度相交的微细剪裂发育而成。根据雁列方向，可分为左列、右列两种方式。该区岩心上的雁行式裂缝属左列式，它表明当时局部应力场作左旋转动。（4）

水平裂缝，受水平应力作用沿层面滑动而产生。（5）直劈裂缝，裂缝宽大，近乎直立，延伸很远，切割所有裂缝，缝内常被粗大晶体矿物充填。这类裂缝是后期构造运动造成的，它的出现意味着构造运动的结束。前边五种均系构造裂缝。最后还有一种，即（6）非构造裂缝。它是在成岩过程中或成岩后受风化而形成的。其特点是延伸短，无一定方向，缝面弯曲，常有分叉现象。它对储层的影响与以上几类相比，其作用居次要地位（图4）。

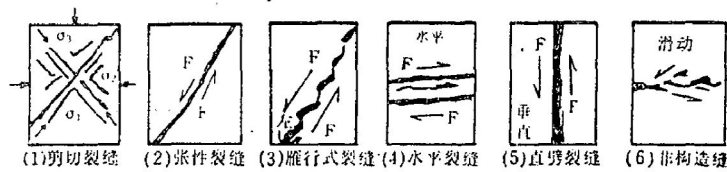


图4 各类裂缝受力形成机制示意图

(二) 孔隙组合

1. 组合类型

砂砾岩：以粒间孔为主，其次为溶蚀孔、微孔，再次为裂缝，构成A-D-C-G组合类型。

火山碎屑岩：以溶蚀孔、粒间孔，以及火山岩块（安-玄岩）里的气孔，与碎屑岩中发育的裂缝，构成D-A-G-B组合类型。

火成岩：由气孔、晶间孔、交代残余孔与裂缝共同构成B-G-E-F组合类型（图5）。

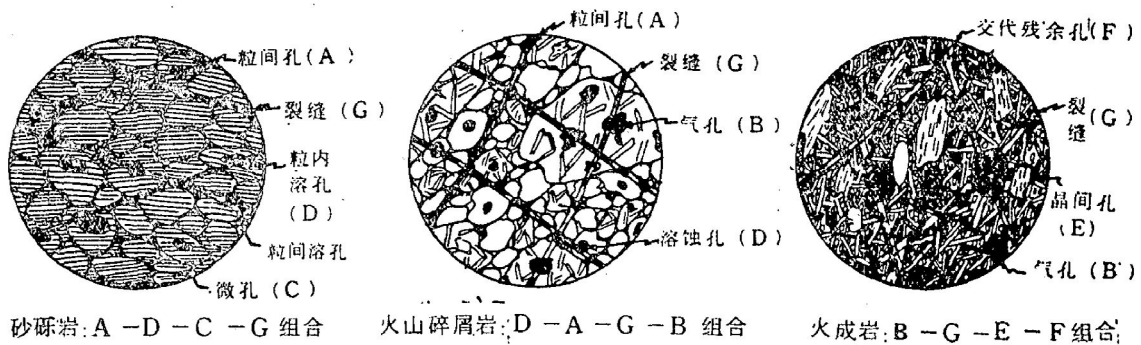


图5 孔隙组合类型示意图

2. 孔隙区

这是一个新概念，可把它定义为：由孔隙-喉道网络所构成的具有同一渗滤特征的广大储集岩地区。引入这一概念有助于把储层的微观孔隙结构和宏观分布特征结合起来。对储层而言，仅仅对单个孔隙的描述没有实用价值，只有研究孔隙-喉道网络的组合和分布才对储量计算、高产预测、勘探开发具有重要意义^[1]。

在成岩过程中，尽管储层孔隙系统会发生一系列变化，但对同一地区具有同一岩性的储层来说，会发育相同的孔隙区。如砂砾岩储层可发育一套以粒间孔为主的孔隙区；火成岩可发育一套以气孔为主的孔隙区；火山碎屑岩遭受强烈溶蚀作用后，可发育一套以溶蚀孔为主的孔隙区。若随后又受断裂活动的作用，那就会在溶蚀孔隙的基础上再增加一套裂缝孔隙，构成溶蚀孔隙和裂缝孔隙的复合孔隙系统，渗流力学中称之为裂缝-孔隙双重孔隙介质。

五区564井测得的压力恢复曲线，证实了双重介质的存在（图6）。曲线可分四段：①井眼贮集效应段，即第一直线段；②窜流段；③第二直线段（延续不长，裂缝压力恢复）；④供油边界影响段（曲线变平）。这和格林加登（A. C. Gringarten）^[2]对双重介质所作图版的分段相吻合。此试井资料就是裂缝-孔隙双重介质存在的佐证。

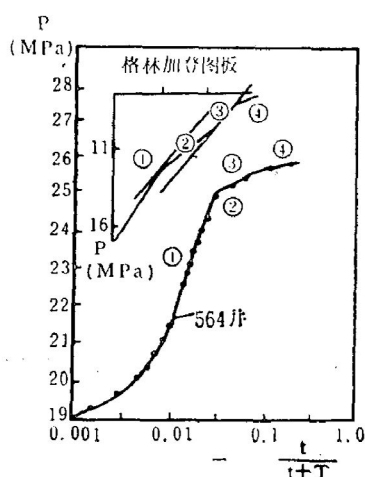


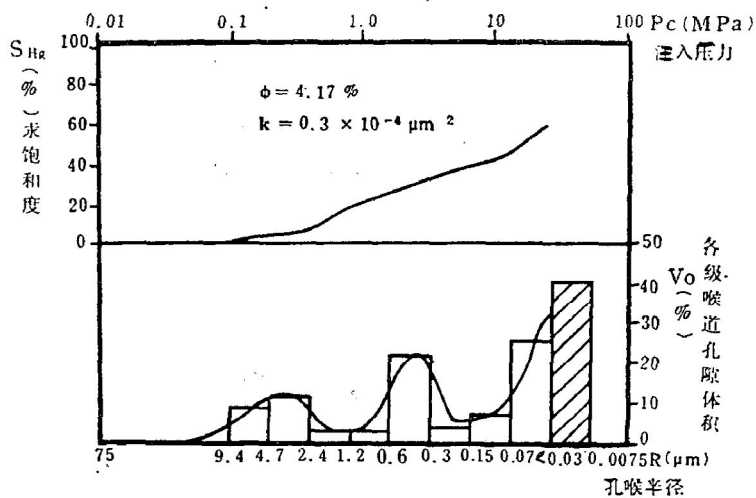
图6 压力恢复曲线

①—井眼贮集效应段, ②—窜流段, ③—第二直线段, ④—边界影响段

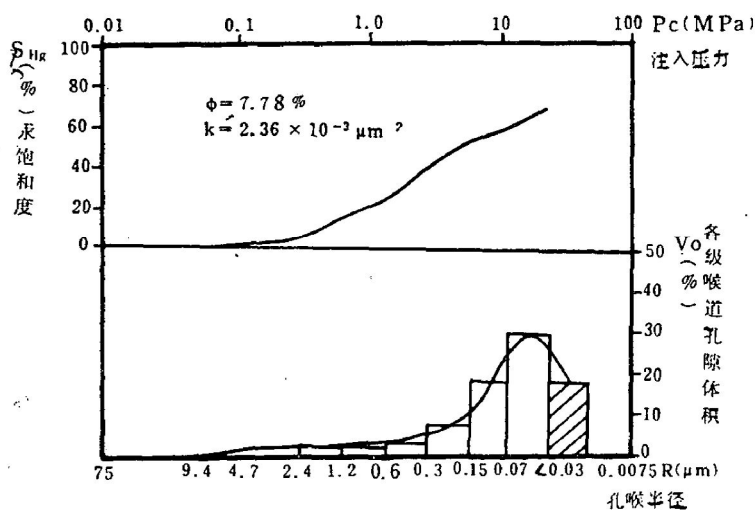
(三) 孔喉分布

从储层压汞样品各级孔喉连通孔隙体积 (V_0) 直方图可明显看出, 该区佳木河组储层孔喉分布可分为以下三种基本类型 (图7)。

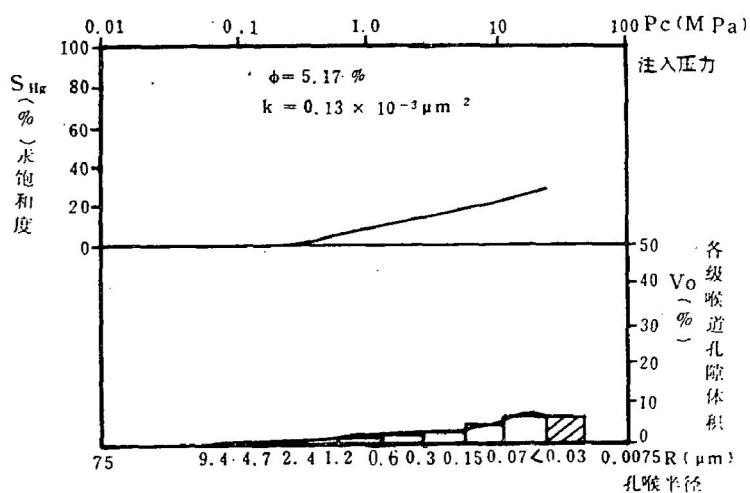
1. 多峰型 此类样品储集空间多具溶蚀孔、粒间孔或气孔, 并与裂缝构成双重或多重介质, 故使孔隙体积分布呈现为双峰或多峰态。据570、567、574等井所作岩样统计, 主峰一般出现在0.07—0.037 μm 之间; 次峰在1.2—0.15 μm 和9.4—2.4 μm 之间。对渗透率作贡献的还是这些次峰。此种类型喉道偏细, 分选较差, 极不规则, 裂缝对渗透率的变化起主导作用 (图7-a)。



a 多峰型(570井, 1798号样)



b 单峰型(563井, 2295号样)



c 平峰型(566井, 1826号样)

图7 孔喉孔隙体积直方图

2. 单峰型 此类以粒间孔隙为主, 孔隙形态主要受颗粒骨架的控制, 所以喉道半径粗细比较均一, 峰值主要出现在 $0.15\text{--}0.03\text{ }\mu\text{m}$ 之间, 对渗透率作出贡献的也是这些孔隙。典型代表是563井2295号样品(图7-b)。

3. 平峰型 此类峰态平缓且不明显, 这类岩石一般致密坚硬, 孔、渗较差, 压汞曲线紧贴右边纵轴, 近乎直线上升, 多在喉道半径 $0.073\text{ }\mu\text{m}$ 后才略有少量进汞, 退汞效率为0。多属于变质岩、或裂缝不发育的火山岩样品(图7-c)。

(四) 毛管压力曲线的形态及分类

1. 毛管压力曲线及分类

毛管压力出现的形态, 主要受孔隙分布的歪度及分选性二因素的控制。对储层来说, 歪度越粗, 孔隙大小分布越集中, 储层性能越好。

但是, 不同岩性, 孔隙结构不同; 就是相同岩性, 孔隙结构也不尽相同。因此, 分类时必须首先要将每块样品分属那种岩类区别开来, 然后在同类岩石中再进行仔细划分。据此, 把该区佳木河组压汞样品先分为沉积岩和火成岩两大岩类(变质岩因样品少未再划分), 然而在每种岩类内又细分出三种类型。

沉积岩类(主要为砂岩及砂砾岩)

I类: 分选较好, 属细偏中歪度型。

II类: 分选差, 属细歪度型。

III类: 分选极差, 属极细歪度型。

总体看来, 这三类基本上均系分选差、细歪度类型, 其特征表现为排驱压力(P_d)高, 最大汞饱和度(S_{Hg})低($<50\%$), 喉道半径细, 将各项特征参数列入表2。

表2 沉积岩类毛管压力参数表

类型划分	毛管压力特征值			地质经验混合分布				毛管压力	
	排驱压力	中值压力	最小汞饱和度和	均值	标准差	歪度	变异系数	注入压力	孔喉半径
	$P_d(\text{MPa})$	$P_c^{50}(\text{MPa})$	$S_{min}(\%)$	$\bar{X}$	σ_1	SK_1	C	$P_0(\text{MPa})$	$r_c(\mu\text{m})$
I	1.7	/	62	12.23	1.653	-0.835	0.1359	12.8	0.074
II	3.3	/	33	11.96	1.564	-0.905	0.1340	13.1	0.071
III	10.5	/	92	12.15	1.820	-0.998	0.1500	13.6	0.055

火成岩类(包括火山碎屑岩)

I类: 排驱压力低, 可退汞, 属细歪度型。

II类: 排驱压力较高, 也能退汞, 属极细歪度型。

III类: 排驱压力很高, 不能退汞, 属非储集层。各主要参数列于表3。

表3 火成岩类毛管压力参数表

类型划分	排驱压力	中值压力	最小汞饱和度和	注入压力	孔喉半径	退汞效率	结构优度	储集性能
	$P_d(\text{MPa})$	$P_c^{50}(\text{MPa})$	$S_{min}(\%)$	均值 $P_0(\text{MPa})$	均值 $r_c(\mu\text{m})$	$WE(\%)$	Gg	
I	0.075	/	61	0.92	0.815	20.8	3.26	细歪度
II	0.400	/	79	3.09	0.242	58.2	4.45	极细歪度
III	4.800	/	88	8.99	0.091	0	7.98	非储集岩

应当说明, 上述分类, 各成系统, 决非等同。

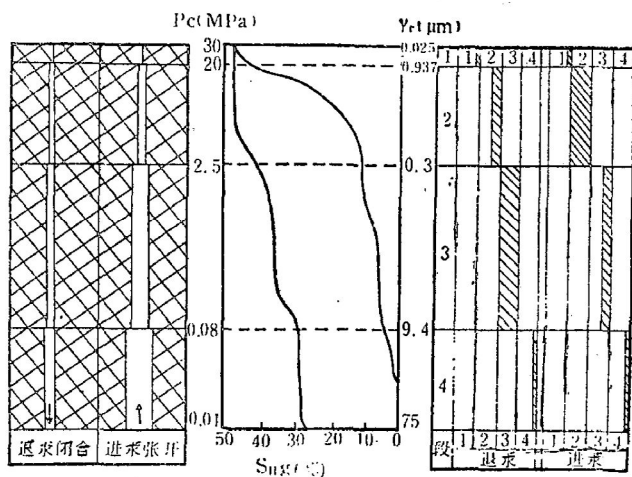


图8 双重介质压汞机理解释示意图

压下介质中的微细缝隙张开, 出现了“沟通效应”(即孔、喉连通作用), 从而提高了进汞量。退汞时, 因降压缝隙闭合, 水银被封闭在孔隙中无法退出, 所以此段退出效率极低, 乃至为0。

第二段: 出现在 $P_c=20-2.5\text{MPa}$, $r_c=0.037-0.3\mu\text{m}$ 区间。注入与退出曲线分叉加大, 说明大部分水银仍滞留在孔隙中而未被退出。从退汞机理分析, 在喉道退出过程中由于产生“卡断效应”使水银残留在孔隙中不能退出。从而反映出这种孔喉结构如开采不当, 就会影响到石油采收率。

第三段: 在 $P_c=2.5-0.08\text{MPa}$, $r_c=0.3-9.4\mu\text{m}$ 区间。由于该区间喉道变宽, 退汞效率逐渐加大。

第四段: 在 $P_c=0.08-0.01\text{MPa}$, $r_c=9.4-75\mu\text{m}$ 区间。因喉道变得更宽, 使退汞效率又进一步增加。

总之, 由于这类双重介质的孔缝是不规则的, 致使许多水银残留于不规则孔隙的各种死角之中, 故导致这类压汞样品总的退出效率不高。

(五) 孔隙结构特征

对此可采用下面几个主要参数指标作定量描述。

1. 结构优度(G_g): 它是孔隙结构的首要参数, 用它估量孔隙结构的好坏。 G_g 值越小, 储集性能越好, 反之则差。其值一般最小在3左右, 最大可以超过20以上。该区佳木河组 G_g 值一般为8左右, 个别可达14, 结构优度属中间偏差。

2. 标准差(σ_1): 即分选, 它反映孔喉分选程度。对本区来说, 其值越大, 分选越好, $\sigma_1-\bar{X}$ 关系的回归方程为 $\bar{X}=13.77-1.13\sigma_1$, 但点子比较分散, 符合率仅77.1%, 说明孔喉分选较差(图9-a)。

3. 均值($\bar{X}$): 它是孔隙大小总平均的量度。该区 $\bar{X}$ 值大都在9以上, 多在12左右。喉道半径均小于 $0.1\mu\text{m}$, 甚者可到 $0.037\mu\text{m}$, 表明储层孔喉很细。 $K-\bar{X}$ 关系图上点子很不集中(图9-b), 符合率仅有46.2%, 反映了储层孔喉分布的不均一性。

2. 毛管压力曲线解释

在裂缝-孔隙双重介质储层中, 毛管压力曲线是独特的, 常常弯几道弯, 其形态与双重介质压力恢复曲线很相似, 按特征可把曲线分作四段并作出如下解释^[3](图8)。

第一段: 出现在 $P_c=30-20\text{MPa}$, $r_c=0.025-0.037\mu\text{m}$ 区间。其特点是注入与退出曲线分叉, 说明孔喉与体积的比值较小, 注入水银只能少部分退出。

从压汞机理解释, 可以认为在高压

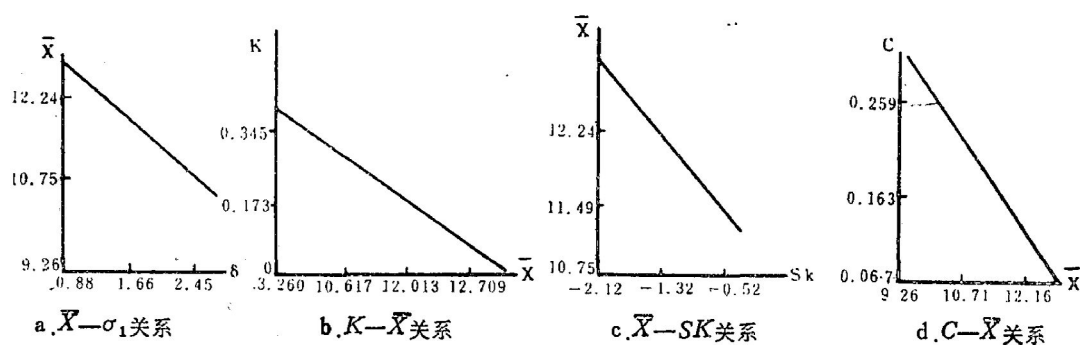


图9 孔隙结构参数关系图

4. 歪度 (SK): 它表示孔喉分布相对于平均值来说是孔隙偏大或是偏小。其数值一般变化在2—-2之间, 正值称粗歪度, 负值称细歪度。在该区所统计的18块样品中, 除1块为正值外 (+0.223), 其余全为负值, 变化范围在-0.144—-1.700之间, 反映了储层孔隙偏细。 $SK-\bar{X}$ 虽有线性关系存在 (图9-c), 但符合率不高, 为62.3%。

5. 变异系数 (C): 它是 σ_1 与 $\bar{X}$ 之比值。 C 值越大, 说明粗孔喉越多。图9-d表明 $C-\bar{X}$ 呈明显的反比线性关系, 回归方程为 $C=0.953-6.77\bar{X}$, 符合率86%, 从关系式不难看出, $\bar{X}$ 值越小, C 值就越大, 孔隙结构也就越好。

上述孔隙结构特征值, 基本上反映出五区佳木河组储层孔隙结构的好坏, 可以用来作为划分该区储层的定量标准。

三、储层物性

(一) 孔隙度和渗透率

平面上, 物性较好地带多位于砂砾岩、火山碎屑岩分布地区。如靠近断层及断层交角处的566、561、567和574等井区。

纵向上, 总的趋势是自上而下逐渐降低。据1121块样品按不同岩性分别统计的结果表明: 沉积岩类物性最好, 火山碎屑岩次之, 火成岩与变质岩均差, 具体数据见表4。

表4 各种岩类物性数据表

岩 类	沉 积 岩	火 山 碎 屑 岩	火 成 岩	变 质 岩
物 性				
孔 隙 度 (%)	10.19	6.67	4.80	9.94
渗 透 率 ($10^{-3}\mu m^2$)	21.60	1.22	0.77	0.70

按克拉玛依油田所规定的物性标准^[4], 五区佳木河组基本属于中-低渗透率及中-小容量储集层。

五区佳木河组孔、渗间虽存在一定的线性关系, 但点子不十分集中。线性回归符合率仅60%, 其方程为:

$$\phi = 4.8 + 414K \quad (\phi \text{ 为孔隙度, } K \text{ 为渗透率})$$

(二) 对有效储集层下限的划分

根据试油成果和在试油井段中所取岩心的物性分析资料, 基本上可以确定出该区佳

木河组有效储集层的下限值。

统计资料表明,有效储集层的下限值受岩性控制,岩性不同其下限值亦不相同。若不考虑裂缝对储集性能的影响,则火山碎屑岩的有效下限值要低于砂砾岩和安山玄武岩。它们的孔隙度有效下限值分别达到5.6%、6.7%和7.4%。从五区佳木河组15口井25个试油层段中共取180多块岩心样品。其中,出油井段10多个,属中低产能,其相应的岩心平均孔隙度数值为5.6—8.2%;而属于干层层段的样品平均孔隙度值在5.61—7.41%之间,均值为6.6%。考虑到热解法比抽汲法数值偏高2.858%,故可把该区储层有效下限值定为3.7%。此值比一区(3.5%)和检118断块的数值略高,说明五区佳木河组储集性能较差。

四、影响储层物性的因素分析

储层物性是岩性特征的综合反映,它受到成岩作用、沉积条件、后生作用以及构造变动等因素的控制。以下按不同岩类分别对影响岩石物性的重要地质因素进行分析。

(一) 碎屑岩类

1. 碎屑成分对储层物性的影响

该区碎屑岩的碎屑成分主要为火山碎屑、长石、石英和其它碎屑物质。它们对孔隙度和渗透率的影响,要看各种成分的含量、分选、硬度、颗粒形状及风化程度等来全面考虑。据薄片鉴定、扫描电镜和物理分析等项资料证实,凡属颗粒混杂、大小不一、分选性差的样品,物性普遍较差。这是由于大颗粒之间的孔隙被小颗粒充填后使孔、渗变坏的缘故。在含长石的砂砾岩中,长石硬度不如石英且易于风化,薄片及电镜资料表明,绝大多数长石均已转变为高岭土、绿泥石及绢云母化。这些风化后的次生矿物,有的充填于颗粒孔隙之中,有的附着于长石颗粒表面。它们一方面对油气有吸附作用,形成较石英表面还要厚的油膜,从而减少了孔隙流通的横截面使渗透率降低;另一方面易于吸水膨胀堵塞原来的孔隙或使其变小,从而导致渗透率急剧变坏。此外,其它碎屑成分诸如伊利石、蒙脱石、方解石及水云母等,亦常充填于粒间孔隙,使孔隙度和渗透率降低。总之,它们含量增加往往使储层变差。

2. 胶结类型对物性的影响

在杂砂岩及砂砾岩的岩心中,多为油迹及斑状含油,这种含油的不均匀性就充分反映出这些岩石的非均质性,这对开发无疑是极其不利的。镜下观察证实颗粒的接触类型不一,据221块薄片统计,颗粒间常以接触式、孔隙式和基底式三种形式出现。三者几乎平分秋色,相对而言,以接触式最好,孔隙式次之,基底式最差。基底式的颗粒在基质中多以漂浮状存在,它与胶结物的接触状况常常导致该岩石为非储集岩。因此,岩石本身的非均质性,就是造成孔、渗极大差别的重要原因。

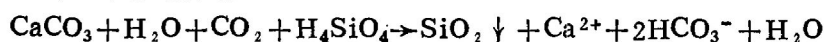
3. 胶结物含量对物性的影响

该区碎屑岩大都为泥质、硅质、沸石、方解石、铁质等胶结。统计资料表明,无论那种胶结物,储层物性均随胶结物含量的增加而变差。

4. 后生作用对储层物性的影响

压实作用: 成岩阶段已经固结的岩石, 随着上覆地层的加厚, 压力与地层温度也逐渐增加, 促使岩石颗粒排列更趋紧密, 甚至会产生镶嵌与压溶现象。薄片上所观察的脆性破裂岩石(如石英、长石)颗粒呈紧密镶嵌接触, 以及部分塑性颗粒的变形(如云母等), 均证明压实作用确实存在。这就使得碎屑颗粒之间的孔隙随深度增加而减少, 从而导致孔隙度及渗透率的降低。

溶蚀作用: 漫长的地史进程使五区佳木河组经历了沧海桑田的变化。长期的风化淋漓作用使原生和次生孔隙与裂缝交织在一起把储集空间变得十分复杂。据上千块岩心观察得知, 宏观裂缝往往被沸石、方解石及石英等次生矿物所充填, 使部分或大部分裂缝丧失了含油性能, 这就是溶蚀作用造成的不良后果。举例来说, 火山物质中的硅酸盐和富含有机质地层产生的 CO_2 , 当 $\text{pH} > 7$ 在碱性溶液中溶解, 最后在酸性溶液中将过饱和的 SiO_2 沉淀出来, 其反应式:



同理, 象沸石、方解石也可经过以上类似的化学反应而析出并充填于裂隙之中。不过, 沸石与方解石二者不能共生, 因它们的生成条件不同。从取出的岩心上到处可以看到不是方解石切割沸石, 就是沸石切割方解石, 这就表明该区曾经历过多期淋漓溶蚀的过程。

溶蚀作用有其二重性, 有它不利的一面, 也有其有利的一面。与上述情况相反, 由于地下水的溶解作用, 孔隙内充填的次生矿物, 有时又因溶蚀作用能产生一系列微小的溶蚀孔隙, 成为油气的储集空间。但就该区而言, 这种溶蚀作用与充填作用相比, 它对储层的改造居于次要地位。

变质作用: 区内钻遇的变砾岩、变砂岩、变泥岩等, 均属程度不一的区域变质的产物, 此种变质作用, 多系构造运动所造成。从岩心上可见滑动变质面及泥质转变为绿泥石的变质矿物。岩石产生变质作用之后, 其储层物性急剧变坏, 甚至成为非储集层。

总之, 上述各种因素综合作用的结果, 决定了岩石的孔隙结构形态及储油物性的好坏。

(二) 火山岩类

这种岩类的储集空间有气孔、晶间孔、溶蚀孔、交代残余孔及裂缝等, 并通常构成裂缝-孔隙双重介质。对这类储层而言, 基质岩块内的孔隙是储油的主要空间, 而裂缝主要起沟通作用。因在裂缝性储集层中, 总孔隙度(ϕ_t)是原生孔隙度(ϕ_0)和次生孔隙度(ϕ_f)二者相加的结果, 即 $\phi_t = \phi_0 + \phi_f$ 。大量实验证明裂缝孔隙度明显小于基质孔隙度, 故其储油是次要的。但对渗透率来说, 裂缝渗透率可比基质岩块的渗透率高出千百倍。故它的发育程度、沟通基质孔隙的作用如何, 对储层能否高产起着举足轻重的作用。因此, 对火山岩类应重点分析控制裂缝发育的因素。

1. 岩性对裂缝的影响

据567井13筒共127块不同岩性的岩心逐块详细统计的结果, 说明岩性不同裂缝发育程度不同。其中, 火山角砾岩裂缝最发育, 构成网络系统, 其密度为1035条/m; 集块岩79条/m; 安山岩46条/m; 安山玢岩为5条/m。从而证实裂缝发育程度与岩石脆性大小有关, 脆性越大, 则延展性越小, 裂缝越发育。

2. 断层对裂缝的影响

由于断层的位移和滑动, 会在紧靠断层面一带产生新的裂缝。这种裂缝的发育程度, 低角度断层比高角度断层为高, 断层牵引的拱曲部位裂缝发育; 在断层消失的地方

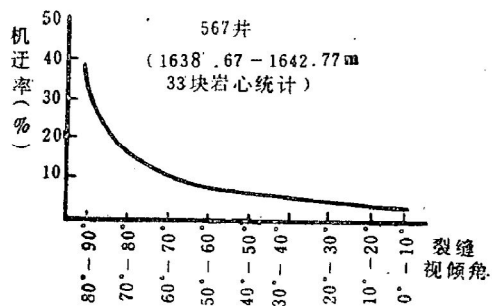


图10 裂缝倾角出现的机率率

由于应力释放裂缝也比较发育。前已述及, 平面上物性较好的561、566等井区正是位于靠近断层及断层交角这些裂缝发育的地区。一般说来, 离断层面越近, 裂缝密度越大、倾角越陡。区内567井离断层不到100m, 故高角度裂缝(视倾角 $>60^\circ$)出现的机率最大, 占75%(图10)。断层影响裂缝的范围, 一般为数百米左右, 它与断层性质和断距大小有关, 扭性影响范围大, 张性则小, 断距大的影响范围较大些, 但不是按比例增大。

近年来, 国外对各类断层与诱导裂缝方向的研究表明, 正断层产生的诱导裂缝与断层走向平行; 逆断层产生的裂缝与断层垂直; 平移断层二者以 $35-40^\circ$ 夹角相交¹⁾。

依照上述原则, 编绘了五区佳木河组裂缝发育图并进行分区详述(图11)。

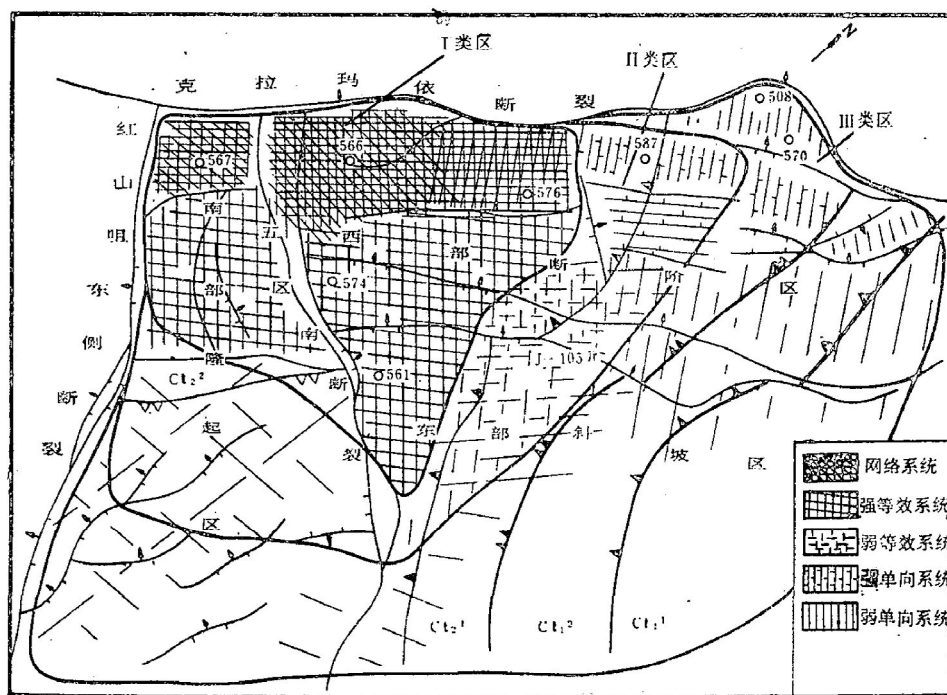


图11 裂缝发育程度分区评价图

I类区: 位于 Ct_2 波组分布范围, 区内裂缝发育, 构成网络, 沟通孔隙, 形成裂缝-孔隙区, 是储层物性好的地区。

1) 刘敬奎, 1985, 关于断裂机理、裂缝性储层及渗流机理的研究方法, 石油地质情报, No.2 (赴美技术考查专辑)。新疆石油管理局研究院, 1—19页。

Ⅱ类区：位于Ⅰ类区的外围，裂缝比较发育，形成孔隙-裂缝区，储层物性较好，为中等储集层。

Ⅲ类区：位于Ⅱ类区外围，离断层较远，裂缝不发育，以孔隙类型为主，加之后生作用影响较大，为差的储集层。

3. 岩石密度与孔隙度关系

岩石密度实质上反映了孔隙度。岩石密度越大，孔隙度越低；反之，密度越小孔隙度越高，它们之间存在着反向线性关系。该区火山岩类密度一般都比较大，所以孔隙度普遍较低，孔隙结构较差。

五、储层综合评价及高产预测

(一) 储层评价

总体看来，五区佳木河组岩性复杂，孔渗较低，分选性差、喉道较细，与油田其它地区相比，基本上属中-小容量较差储集层。就其本身岩性及物性的差异又可进一步细分出好、中、差三个级别（图12）。

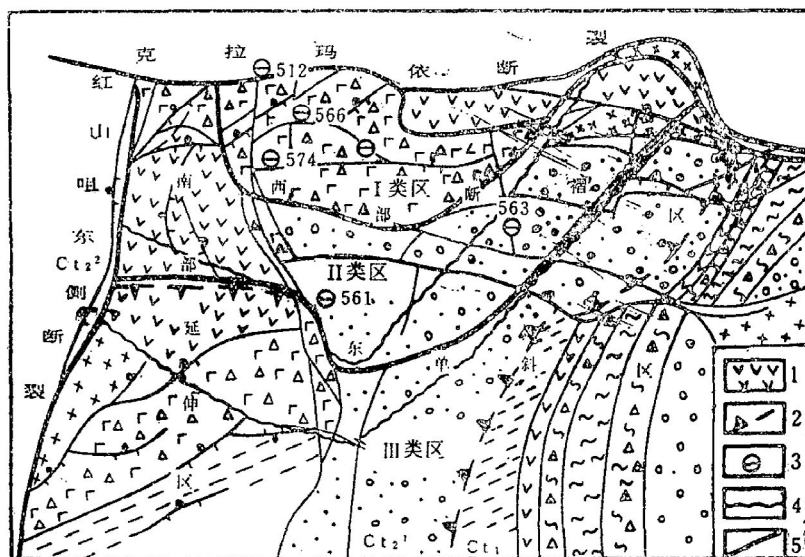


图12 克拉玛依油田五区储层综合评价分类图

1—岩相带， 2—波组， 3—出油井， 4—裂缝区， 5—评价区

Ⅰ类：为好的储层。分布在孔隙结构好、裂缝发育、以溶蚀和粒间孔为主的碎屑岩相区。平面上，它属于Ⅰ类裂缝-孔隙区。

Ⅱ类：为中等储集层。介于Ⅰ类与Ⅲ类之间，孔隙及裂缝都比较发育，基本上位于孔隙-裂缝区。

Ⅲ类：为差的储集层。分布于前两类之外围，区内岩性混杂，裂缝又不甚发育，埋深较大，后生作用严重，相比之下储集性能差。

剖面上，总的规律为：凡是裂缝发育、岩性均一，物性与含油性能好的构造有利部位，均为好的储层层段。就 Ct_1 、 Ct_2 、 Ct_3 三个波组段相比，以 Ct_2 波组最好。

(二) 裂缝对产能的贡献

对于裂缝性储层的产能, 决不能以普通的储层来衡量。试油成果证实, 上述 I 类区内的 566 井 1810—1785m 井段, 用 3 mm 油咀测试日产原油 34.6m^3 、气 3013m^3 ; 1671—1663m 井段产油 20.3m^3 、气 1687m^3 。分析其原因除该井位于构造高点的有利部位外, 它还处于裂缝发育的网络系统孔隙区, 裂缝网络的连通作用从根本上改变了储层的物理性能。该井 1671—1663 m 井段平均孔隙度为 6.75%, 渗透率 $0.13 \times 10^{-3} \mu\text{m}^2$, 说明其物性是较差的, 然而油井之所以获得高产, 不得不归功于裂缝对产能的贡献。根据岩心和镜下对裂缝的观察, 可把它对产能的贡献分以下几种情况 (图 13)。

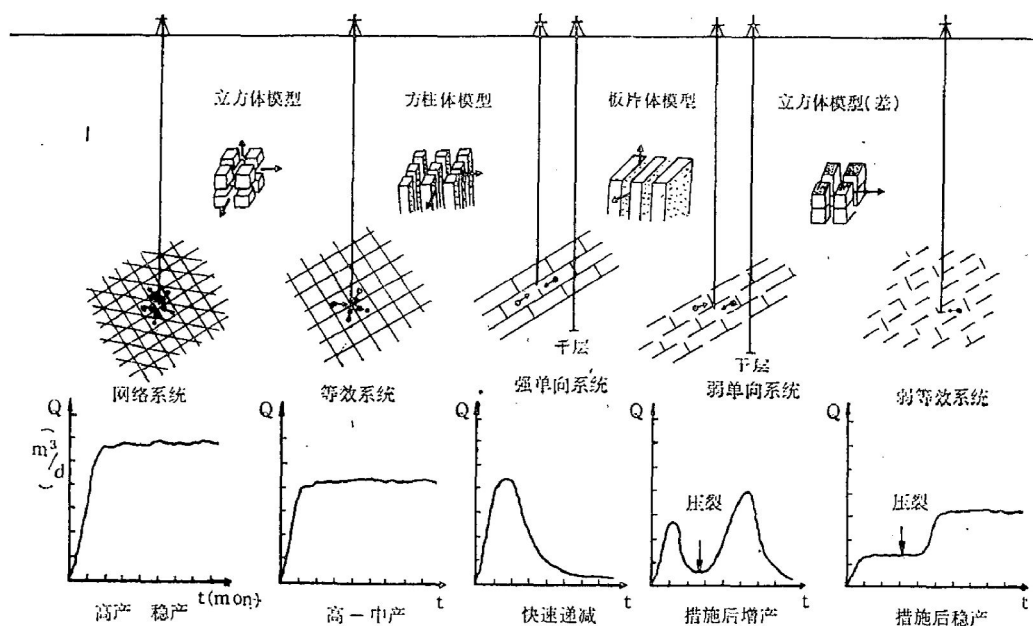


图 13 裂缝对产能的贡献

1. 网络系统 裂缝纵横, 沟通孔缝, 连片成区, 造成高产。上述 566 井即属此类系统。

2. 强等效系统 裂缝把基质岩块分割成许多小立方块或立方柱体, 也起到良好的连通作用, 导致油井高-中产。如 574 井 2314—2298 m 安山岩井段, 用 4 mm 油咀求产获油 $16.6\text{m}^3/\text{d}$, 气 $1305\text{m}^3/\text{d}$ 即为这种类型。

3. 弱等效系统 特点基本同上, 但裂缝发育较弱, 连通作用较差, 这类系统试油初产多为含油至低产, 需压裂、酸化措施后才能增产。

4. 强单向系统 裂缝仅在一个方向特别发育, 它把基质岩块切成若干斜向片状体, 在单向上成为油气的良好通道。它对产能的贡献表现为油井初产很高, 但递减急速, 注水开发后还易造成水窜, 油田开发时必须注意这种情况。

5. 弱单向系统 情况与上相仿, 只不过裂缝发育为弱, 尚需措施后方能增产。

(三) 高产预测

综合地质、构造、物性及试油等项资料, 在储层分类的基础上, 认为 Ct_2^2 是五区佳

木河组重点拿储量的层组。在该层组内，对靠近断层附近或断层转折处的有利部位应加强钻探，在这些地段有希望获得高产。

在五区各条断层所切割的小区内，裂缝也很发育，储层物性好的层段也是高产的有利地带，应做过细工作，有可能在有利区内拿下断块类型油气藏。但应注意这类区块构造情况比较复杂，派生断层常把小区块分割得支离破碎，使各小块之间相互有别，自成系统。所以在钻探时切不可认为一口井或一个层不出油就以点代面，作出否定结论。

对于裂缝不甚发育的地区，应注意剖面上所夹的含油层段，因该区地层及火山喷发具有多旋回的特点。在砂砾岩层，要特别注意寻找岩性油气藏。

此外，对波组段界面、风化破碎带、 Ct_2^2 纵横延伸方向以及佳木河组与下伏不整合面，均需加强钻探，以开拓新的找油领域。

六、结 论

1. 克拉玛依油田五区佳木河组属低渗透、分选差、细歪度、中-小容量储集层。
2. 该区岩性复杂。平面上基本按火山机构系统作规律性分布；剖面上火山岩与碎屑岩交互成层，反映了喷发与沉积的多旋回性。
3. 区内储层孔隙类型多样，裂缝普遍发育，它们的随机搭配，构成不同类型的孔隙区。
4. 孔隙结构控制储层物性，而裂缝改造储层物性，对油井高产起控制作用。
5. 该区储集性能以碎屑岩类最好；火山岩类次之；变质岩类最差乃至为非储集层。
6. 五区佳木河组 Ct_2 波组属重点勘探层组。其中 Ct_2^2 波组段是获得高产油流的希望所在。

新疆石油管理局研究院蒋福修同志参加了这项研究课题。在研究过程中，受到了研究院领导和同志们的大力支持和热情帮助，在此表示衷心感谢。

参 考 文 献

- [1] 罗 平、邓恂康、罗蜚潭，1985，石油与天然气地质，第3期，260—270页。
- [2] A. C. 格林加登，1982，国际石油工程会议论文集4，103—133页。
- [3] Wardlaw, N. C. and Taylor, R. P., 1976, Bull Can. Petrol. Geol., Vol. 24, No. 2, P. 225—262.
- [4] 王益娟、吴 虹，1983，新疆石油地质，第3期，25—50页。

STUDY ON RESERVOIRS OF THE JIAMUHE FORMATION IN 5TH DISTRICT, KARAMY OILFIELD

Dun Tiejun
(Xian College of Geology)

Abstract

Reservoirs of the Jiamuhe Formation in 5th district, Karamay Oilfield, consist of igneous, sedimentary and metamorphic rocks with crevice-pore dual medium. According to identification of facies based on volcanic mechanism and the study of the speciality and behaviours of the reservoirs from macrostructure and microstructure, the reservoirs can be divided into three grades in the present paper. It is showed that the crevices play a dominant role in improving the physical property of the reservoirs and increasing the yield of oil wells.

全国天然气勘探学术讨论会简讯

近年,我国天然气勘探步伐加快,探明储量增长迅速。继南海崖13—1气田之后,又在川中磨溪、新疆塔北隆起和北三台、松辽三肇地区、陕北镇川、渤海辽东湾和东海平湖等地有新的重要发现。在川西,还发现了以上三叠统致密砂岩为储层的孝泉气田;在鄂尔多斯盆地,上、下古生界都有新发现,西部和东部均有突破;在准噶尔盆地北三台,控制了储量丰富的侏罗系气田。迄今所发现的气田其储层主要是第三系、石炭系和三叠系。为了总结经验,提高勘探成效,中国石油学会石油地质委员会于1988年12月8日至13日,在杭州召开了全国天然气勘探学术讨论会,出席会议的有中国石油总公司、中国海洋石油总公司、地矿部、中国煤炭总公司、中国科学院和高等院校的代表62人,共收到论文43篇,大会交流24篇。其中大部分论文论述我国各盆地的天然气地质特征、气藏类型和分布规律以及勘探方向,少数论文讨论我国天然气的资源潜力和发展战略,部分论文主要讨论区域煤成气地质问题,一些论文侧重研究储层和盖层特征,有的论文探讨天然气及气田的分析、测试技术、地化特征、和气源岩对比,还有几篇论文介绍了国外天然气勘探和研究的新进展。

与会代表还就我国天然气资源远景和大气田的勘探方向、我国天然气的富集和保存条件、我国天然气勘探和科学研究中的存在问题和建议等开展了热烈的讨论。大家认为,我国目前探明天然气和原油的储量比为0.08:1,天然气和原油的产量比为0.1:1(美、苏均接近1:1),已探明的天然气储量还不及总资源量的三十分之一,足见前景十分广阔,勘探和研究工作亟待加强,我国塔里木盆地、准噶尔盆地、沿海大陆架,鄂尔多斯盆地和四川盆地,都有待开发,发现大气田的前景是存在的,但我国地质条件复杂、变动剧烈,几乎没有典型的稳定地台,所以又不能忽视对中小型气田的勘探;我国煤炭资源丰富,煤系发育,应把寻找煤成气摆在重要地位;在勘探深层天然气的同时,不可忽视浅层天然气和生物气的勘探,以及致密砂岩气田的勘探。代表们还就如何加强地质综合研究和基础研究,以及提高天然气价格以鼓励天然气勘探等问题,提出了宝贵的建议。

(党仁珊)