

中国油气田开发进展 2

中国石油学会 编

碳酸盐岩油气田开发

HONGGUO YOUQITIAN KAIFA JINZHAN

石油工业出版社

中国油气田开发进展 (二)

碳酸盐岩油气田开发

中国石油学会 编

石油工业出版社

序 言

我国的石油工业，从六十年代起，以大庆油田的开发为标志进入了一个新的发展阶段。1963年石油产量就基本满足了国民经济发展的要求。七十年代开始出口原油，到1978年年产量超过了一亿吨，进入了世界石油生产国的前十名。又经过五年稳定生产以后，1983年开始进入了第二个大发展的历史时期。随着石油产量的增长，油田开发和开采技术不断发展和提高，广大的石油科学技术工作者对此作出了相应的贡献。本书选编了近年来石油学报等刊物发表过的关于油田开发和开采方面的论文，大体上反映了我国石油科技工作者在这方面所取得的成果和水平。

我国的石油地质有其本身的特点，油藏类型丰富多样，既有砂岩油藏，又有碳酸岩油藏，还有一些特殊类型的储层，如火成岩和变质岩类的油藏；从构造上说有层状背斜型的油藏，也有断块油藏和岩性尖灭油藏，还有属于基岩储油的潜山型不整合油藏；从油气的性质来说，从气藏凝析气藏开始直到重质油藏都有发现；除了常规油气藏以外，储层的年代则以远古界震旦系直到第四系都有；还有相当数量的中低渗透油藏；占主要地位的是陆相地层河湖沉积岩为主的油藏。其特点是物源多、流程多、坡降大，以及沉积中的多旋回性和稍后的强烈的大地构造活动，从而形成了多油藏、多砂体、长井段、多断层非均质砂体分割及高含蜡等特点，而且边底水供应的天然能量则相对较弱。根据这些特点，初步形成了以注水为主分层开采的一套工艺技术，这种特点在本书中得到了充分的反映。

特别在有关储层的研究方面，我们在沉积相的应用、储层孔隙结构、以及碳酸盐岩储层特点等方面的研究工作有着较高的水平；而分层开采技术则有我们自己的特点，在这些方面已经相当于国际上同类研究工作的水平。并且对油田进入高含水期如何提高采收率的问题也进行了一定的研究，这些都是本书的特点。

我们相信出版这样一本论文集将有助于国内外同行们的相互交流，对促进油气田开发和开采等工艺技术的发展作出一定贡献。但由于我们的知识水平有限，本书中难免会有很多缺点和错误，希望得到广大读者的指正。

秦同洛 1986.1.31,

目 录

第二编 碳酸盐岩油田开发

第一章 储集层研究	(3)
任丘古潜山油田碳酸盐岩储层研究.....	(3)
我国华北地区碳酸盐岩油藏类型及其开采特征.....	(12)
第二章 双重介质油藏的动态分析	(23)
碳酸盐岩油藏原油储量计算的动态方法.....	(23)
重力场下裂缝-孔隙地层中的二相驱替.....	(30)
双重介质压力恢复曲线的研究及其应用.....	(42)
灰岩底水油田油水界面及产量预测.....	(56)
裂缝性储集层内液体的不稳定渗滤特征及其在试井分析中的应用.....	(66)
第三章 开发分析实例	(76)
冀中碳酸盐岩油藏注水采油特性的实验研究.....	(76)
华北地区碳酸盐岩油藏多孔介质中油水分布和水驱油特征.....	(84)
碳酸盐岩底水油藏水驱油机理和底水运动特点.....	(94)
任丘碳酸盐岩油藏的合理采油速度和井网密度研究.....	(104)

第三编 气田开发

第一章 储集层研究	(115)
威远气田震旦系储层结构特征.....	(115)
四川盆地低孔低渗碳酸盐岩气藏的地质特征.....	(125)
第二章 气藏开发动态分析方法	(135)
异常高压气藏物质平衡方程式的推导及应用.....	(135)
双重介质内气体向不完善井渗流问题的分析解.....	(142)
气田黑箱分析方法、动态预报及软件设计.....	(152)
相国寺裂缝气田数值模拟研究.....	(160)
第三章 气藏开发分析及酸化技术	(169)
四川气藏的类型及其开采特点.....	(169)
四川威远气田震旦系气藏开发分析.....	(178)
纳溪多裂缝系统气藏开发分析.....	(187)
同离子效应对酸液有效作用距离的影响.....	(195)
关井压力恢复曲线在川南酸处理中的应用.....	(206)

CONTENTS

Part II Development of Oilfield for Carbonate Rock

- Chapter 1 A Study of Carbonate Reservoir Rocks**..... (3)
A Study on the Carbonate Reservoir Rocks of Renqin Buried-hill
Oilfield..... Yu Jiaren, Fan Zheren (3)
Types of Pools in Carbonate Rocks in North China and their Production
Characteristics..... Bai Songzhang Wang Xue (12)
- Chapter 2 Study of Oilfield Performance of two Dual Media**..... (23)
Estimation of Oil Reserves in Carbonate Oil Pools
..... Zhu Yadong, Zhang Jiaxiang (23)
Fluid Displacement in a Medium with Double-Porosity in the Gravi-
tational Field..... Chen Zhongxiang, Chen Yuguo (30)
Study and Application of Pressure Build-up Curve for the Dual Media
..... Zhou Weisi, Chen Yanjing (42)
Prediction of Oil-Water Interface and Production for Limestone Oilfield
with Bottom Water (56)
Study of the Unsteady-State Flow of Slightly Compressible Fluid in
Naturally Fractured Reservoirs and its Application in Well Test Analysis
..... Zhu Yadong, Zhang Jiaxiang, Le Ginming, Shi Jiuhao (66)
- Chapter 3 Example Analysis of Carbonate Reservoir Deve-**
lopment (76)
Laboratory Study of the Behavior of Waterfloods in Recovery of Oil
From the Carbonate Reservoir in Middle Hebei..... Huang Daiguo (76)
Oil-water Distribution in Porous Media in Carbonate Oil Pools in North
China and their Characteristic Water Drive Regime..... Cui Hui(84)
Mechanism of Water Drive in Carbonate Pools with Bottom Water Rela-
tive to the Rule of Its Movement..... Bai Songzhang(94)
Rational Rate of Recovery and Well Density in the Development of Car-
bonate Pools in Renqiu..... Yin Ding, Sun Yueming(104)

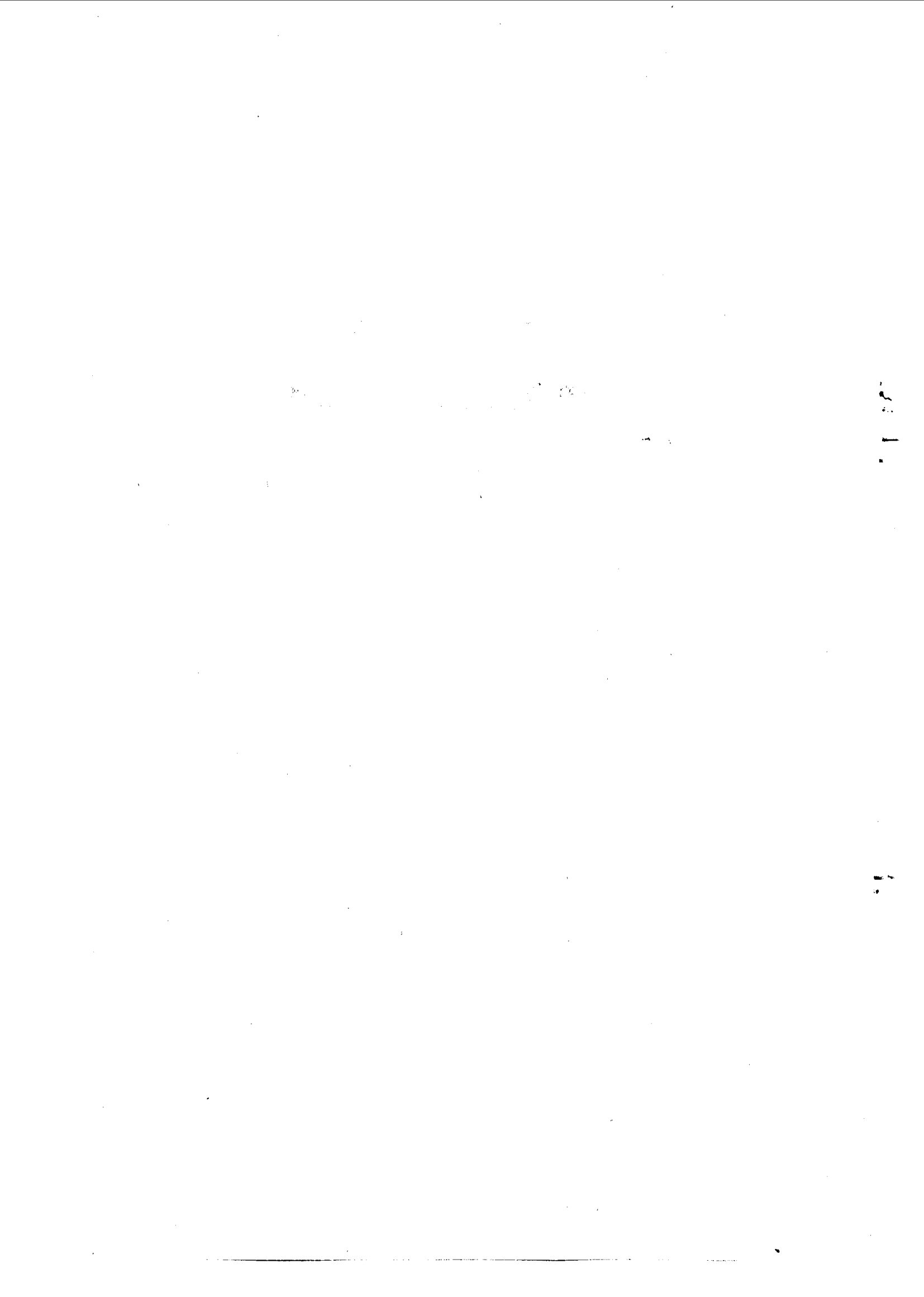
Part III Gas Field Development

- Chapter 1 Study of Gas Reservoir Rocks**..... (115)
Structural Characteristics of Sinian Reservoirs in Weiyuan Gas Field,
Sichuan..... Tang Zheyao, Kong Kinxiang(115)
Geological features of low Porosity and Low Permeability Carbonate Gas
Pool in Sichuan Basin..... Tang Zeyao, Kong Jingxiang (125)
- Chapter 2 Study Method of Behavior in Gasfield Development**.....(135)

Application and Derivation of Material Balance Equation for Abnormally Pressured Gas Reservoirs.....	Chen Yuanqian(135)
An Analytical Solution of Gas Flow Towards a Partially Penetrated Well in Double Porous Media.....	Zhang Houqing(135)
Black-box Analytic Method for Gas Field Dynamic System And Its Software Design.....	Zhao Liyian, Ge Jiali(142)
Numerical Simulation Study on Xiong Guo Si Fissured Gas Field	Zhong Fuxun, Lin Pingyi(160)
Chapter 3 A Analysis of Gasfield Development and Well Acid treatment.....	
types and Producing Characteristics of Sichuan Gas Reservoirs	
.....Wang Minghica, Sun Giazheng(169)	
An Analysis of the Development of Sinian Gas Pool, Weiyuan Gas Field in Sichuan.....	Zhu Youjian, Din Chuanbai(178)
An Analysis of the Development of Naqi multi-fracture Gas Pools	Wang Minghua(187)
The Influence Common Ion Effect on Effective Acid Penetration	Zhao Bihual, Ren Shuguan(195)
Application of Shut-in Pressure Build-up Curves to Acid Treatment in Southern Sichuan.....	Yan Changrong, Chen Zhengyi (206)

第二编

碳酸盐岩油田开发



第一章 储集层研究

任丘古潜山油田碳酸盐岩储层研究

余家仁 樊哲仁

任丘潜山带高产油气藏由四个走向北东的古潜山高点组成，自北而南呈雁行式斜列，其西侧被大断层切割，坡度较陡，东坡较缓。据钻探揭示，有两大套沉积建造，上为新生界第三系陆相碎屑岩沉积，厚约3000米；下为古生界和震旦亚界海相碳酸盐岩为主的沉积，厚3000余米。两者间为角度不整合。北部高点为古生界及震旦亚界青白垩系；中南部高点为震旦亚界蓟县系雾迷山组。它是任丘油田主要产油层，为一套巨厚的硅质白云岩及藻云岩。缝、洞、孔甚发育，单井产量高，高者日产数千吨，低者数百吨。为搞清任丘古潜山油田的碳酸盐岩储集空间类型、孔隙结构、孔隙下限、缝洞发育的分布规律及其连通情况。曾采用野外模拟调查、地质录井、测井资料、岩心资料、开发动态等方面多种手段和方法，进行了碳酸盐岩储层特征的研究。本文着重应用上述方法讨论任丘古潜山油田震旦亚界雾迷山组白云岩的储集条件。

一、储集空间类型

碳酸盐岩岩性多样，次生变化大，储集空间类型比较复杂，依据储集空间形态大小，结合成因产状，将任丘油田雾迷山组白云岩储集空间划为三大类型：

1. 溶蚀缝洞

一般指在裂缝和各种孔隙缝隙的基础上，受地表水或地下水溶蚀作用而成。因此溶蚀孔洞多顺裂缝及层理呈串珠状分布，于多组缝交汇处发育。溶蚀孔洞内壁多充填有黄铁矿微粒、白云石、方解石、及石英、石膏、萤石等自形晶矿物，常呈晶簇状。溶蚀孔洞具有各种规模，直径小于2毫米的为孔隙，2毫米至0.5米的为孔洞，大于0.5米的为洞穴。据完钻井统计，有40%的井，在钻进过程中见钻具放空，放空最大者为2米，最小者为0.17米。放空在0.2~0.5米范围内，占总数60%，小于0.2米者占15%，大于0.5米者占25%，表明本区白云岩溶洞，以中小型孔洞居多。与发育大型洞穴的灰岩有明显的区别。又据岩心观察，溶蚀孔洞分布普遍，发育不均，如任48井 $9^{16}/_{52}$ 号岩心，在长11厘米的岩心柱面上发育有1673个孔洞，最小者0.05平方毫米，最大者745平方毫米，在0.01~0.1平方毫米范围内占74.5%，普遍见含油显示。表明孔洞的空间体积虽小，但数量相当多，是储集油气的不可忽视的重要空间。

2. 裂缝

主要有构造缝、层理缝及压溶缝(缝合线)，少数见成岩收缩缝。其中构造缝占绝对优势。按构造缝的规模可分为大型的、中小型及微型的。断裂系统属大型构造缝。任丘古潜山雾迷山组断裂发育，见断层数据表(表1)。

上述北东向及近东西向两组断层相交切，呈菱形格状，加之北西向次一级断层切割，

表1 断层数据表

断层产状			断层性质	潜山顶面落差(米)	延伸长度(公里)
走向	倾向	倾角			
北 东	西 偏 北	60~65°	正	1500~2500	30
北 东	西 偏 北	55°	正	200~400	23
北 东	西 北	50~55°	正	300~900	12
东 西	南	60°	正	100~400	5
近东西转东南	北	50~55°	正	250~400	5

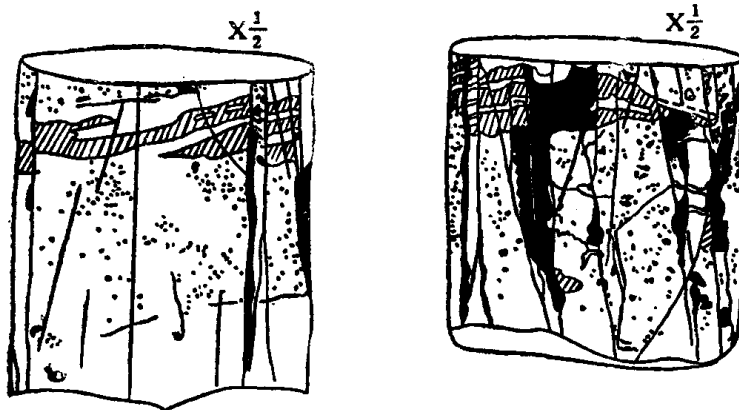


图1 任48井油层岩心含油及裂缝发育情况

构成本区断层网络系统。

从岩心观察，雾迷山组白云岩，所见构造缝的特点是：组系多，密度大，纵横交错，密如蛛网（图1）。大多数构造缝倾角陡，多为垂直层理的高斜缝或立缝。据任48井岩心统计，构造缝面倾角60~90°者占83%。裂缝宽度比较窄，一般为0.1~1毫米，其中0.1~0.2毫米宽的缝占77%。多数被充填，约占80~90%，在镜下观察，即使是全充填的构造缝，也有90%的缝中存在孔隙和缝隙。在铸体薄片上统计87条充填缝，其中有78条缝不同程度地发育孔隙，占总数的89.7%。因此绝大多数裂缝均不同程度地发育孔隙和缝隙，起着相互连通的作用，是地下流体渗滤的主要通道。

3. 孔隙

主要是指小于2毫米的储集空间，这里着重讨论肉眼分辨不清压汞0.1公斤/厘米²压力相对应的75微米以下孔喉所控制的孔隙，即微观孔隙。微观孔隙是雾迷山组油气重要的储集空间，是油田高产稳产的基础。这种孔隙形态大小变化多样，分布和发育程度极不均匀。根据成因和发育控制因素，将微观孔隙分为下列基本类型，其中以藻架孔为主，溶蚀孔及白云石晶间孔次之。其余相对较少，分布局限。

藻架孔：它是与隐藻结构构造有关的孔隙，主要发育在藻云岩亮晶层或亮晶部位。由藻暗层、藻凝块、藻球、团粒、核形石等支撑形成的孔隙，其间多为亮晶充填残留的空间；或经重结晶作用形成的晶间孔隙。图1多为四面体孔和多面体孔，孔边长几微米至150微米。孔间由晶间片状缝隙相连。此种孔隙往往出现的层位固定，分布广泛、稳定。是基质微孔隙的主要组成部分。

白云石晶间孔隙：有泥晶至粉晶结构的白云石晶间孔隙；有经重结晶后粗结构的白 云

石晶间孔隙。前者孔隙较细小，孔形不规则，数量较多。后者白云石自形程度高，常呈糖粒状，晶间孔隙异常发育，5~30微米大小，孔形多为较规则的四面体孔及多面体孔。此外尚发育一部分晶体解理缝和晶内孔。

溶蚀孔：由于溶蚀形成的小于2毫米的孔隙，孔壁均有不同程度充填，而残留的孔隙空间，一般有2~3个地质世代充填，充填物有：黄铁矿、重晶石、天青石、萤石、石英、白云石等。自形程度高，晶间孔发育，几十微米至数百微米。溶孔间由晶间片状缝隙相连。溶蚀孔往往成带分布，或不均匀地集中分布。

微裂缝孔隙：以构造力作用为主，所形成的微裂缝，是储集空间的一部分，均见溶蚀充填，各种次生矿物，自形程度高，杂乱堆积，有90%未填满，其间发育大小不等，形状各异的晶间孔隙，沿裂缝分布，是油气渗滤的重要通道。

缝合线孔隙：由于压溶作用，形成缝合线，多为泥质等充填，局部发育孔隙。

石英晶间孔隙：发育在硅质条带中石英自形晶晶间；及溶蚀孔洞或裂缝中充填石英自形晶晶间。

综上所述，任丘油田雾迷山组白云岩，归纳为缝、洞、孔三大储集空间类型。前者主要起渗滤通道作用，后者是重要的储集空间。三者组合成为复杂的储集空间系统。三类储集空间基本特征列表如下（表2）。

表2 储集空间类型表

类型	成因、分布	规模大小
溶蚀孔洞	溶蚀形成，大小悬殊，分布不均，局部成带	2毫米~2米
缝	断层及裂缝	构造断裂作用为主，分布具方向性 宽几毫米~几米 延伸几米~几十公里
	层间缝	平行层理，沿层面缝溶蚀扩大而成 数毫米
	缝合线	成岩期或后期压溶形成，有平行或垂直层理，缝隙连续分布，其中见含油显示 数毫米
	藻架孔	与藻架结构构造有关，形成各种孔隙，以晶间孔隙为主，成层分布较稳定 数微米~150微米
孔	白云石晶间孔	细粉晶白云石晶间孔，不规则 <1~20微米
		重结晶粗结构白云石晶间孔，较规则 5~30微米
	石英晶间孔	硅化石英，充填石英晶间孔，分布局限 2~40微米
	微裂缝孔隙	沿溶蚀裂缝充填形成孔隙，分布具方向性 数微米~150微米
	溶孔	溶蚀充填形成孔隙，分布不均，局部呈带 数十微米~数百微米
缝合线孔隙	压溶形成，平行层理，断续分布，呈孔隙状 <1~5微米	

二、缝洞孔发育因素分析

雾迷山组地层，经历了各种复杂的地质作用，各种储集空间发生发展和演变，形成现今的面貌，从肉眼观察和化验分析资料看，缝洞孔分布普遍，发育不均，因而导致非均质

程度极高。形成这种差异的原因，取决于岩性、构造应力作用，和古岩溶因素的影响。

1. 岩石类型是控制缝洞孔发育的主要因素

不同岩类，缝洞孔发育程度不同，与岩性及其结构构造有关。根据铸体薄片分析，以藻云岩缝洞孔最发育，构造缝各岩类均有分布，但发育程度有差异。具体数据见表3。

表3 孔洞缝发育与岩性关系表

岩性	孔隙类型		白云石解理缝		溶蚀缝洞		构造缝	
	块数	%	块数	%	块数	%	块数	%
藻白云岩	19	95.0	6	75.0	19	82.61	22	47.8
粉晶白云岩					3	13.04	11	23.8
中至粗晶白云岩	1	5.0	1	12.5				
藻砾屑白云岩							1	2.2
角砾状白云岩			1	12.5	1	4.35	5	10.9
含硅质细晶白云岩							1	2.2
泥质白云岩							5	10.9
硅质岩							1	2.2
合计	20	100	8	100	23	100	46	100

不同的岩石类型，形成于不同的沉积环境，如：潮间带下部及潮下带上部，中高能水动力条件下形成的凝块石、核形石等藻云岩，镜下观察见藻团、球粒所支撑的藻间孔，以及迭层石的亮晶藻架孔。多为白云石晶体充填，孔隙发育，大小自几微米至上百微米，多与晶间缝隙连通。据荧光显微镜观察，藻亮层及藻间孔未填满的剩余空间，为粗大白云石晶间孔隙，分布普遍，据任48井111块荧光薄片，有40块是藻云岩，占36.4%。荧光显示产状有两种：即由暗层（基质）黄色沥青向亮晶层浸染；另一种是亮晶窗孔中油质沥青向周围的基质浸染。此种与生物结构有关的孔隙，均匀成层，分布普遍，层位稳定，是十分重要的储集空间。

潮上低能带的泥晶云岩，含陆源碎屑及泥质，孔隙极不发育。如：观2井7 $\frac{1}{7}$ 号样品，为含泥质含藻屑泥晶云岩，铸体薄片上未见孔隙，仅见一条裂缝，缝中填以石英晶粒。扫描电镜下，为2~5微米的白云石晶粒，泥质含量高，一般粘土矿物小于5微米，成分以水云母为主，少量蒙脱石。常呈片状、絮状、丝状吸附于白云石晶粒表面，或充填于晶洞孔隙之中。水云母进一步风化变为蛭石、高岭土。蒙脱石、高岭土遇水具可塑性，易于堵塞孔隙，不易渗滤。

2. 岩石的结构构造对储集空间有明显的控制作用

相同或相近的岩石类型，由于结构构造的差异，反映在孔隙发育程度上，有明显的不同，如：藻云岩孔洞一般发育在亮晶或亮层部位，暗层有机质含量高，颗粒细，孔洞不发育；层纹藻云岩孔洞不如团、球粒藻云岩发育，结构构造与缝洞孔发育关系见表4。

岩石颗粒大小和均匀程度，影响孔隙发育及孔隙结构，岩石颗粒粗而均匀，孔隙发育，细者孔隙发育差(图2)。

上图反映两样品同是层纹石藻云岩，9 $\frac{31}{52}$ 为粉—细晶，7 $\frac{4}{8}$ 为泥—细粉晶，前者毛管压力曲线和孔分布曲线均显示出储集性能较后者为好。

表 4 藻云岩结构构造与孔洞缝发育关系表

结构构造	孔 隙		溶 蚀 孔 洞		构 造 缝	
	块 数	%	块 数	%	块 数	%
层纹构造藻云岩 迭层	7	14.6	5	26.3	11	50.0
凝块石团球粒构造	29	60.4	10	52.6	10	45.5
核形石球粒构造	12	25.0	4	21.1	1	4.5
	48	100	19	100	22	100

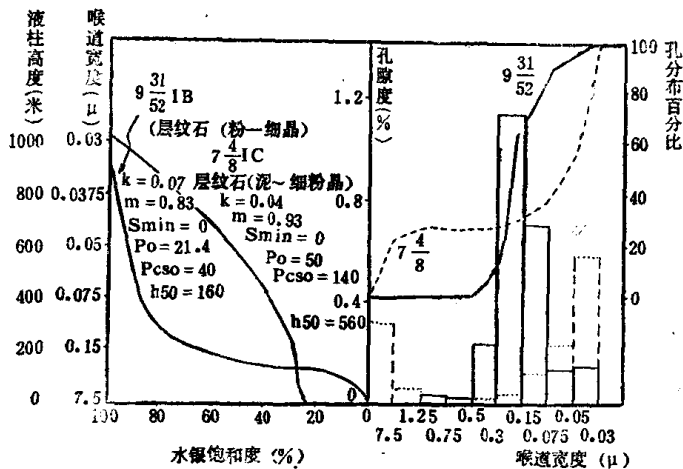


图 2 岩石颗粒粒度与孔隙发育关系

重结晶作用，对岩石结构、孔隙改造作用明显，结晶发展到一定程度，晶粒增大，孔隙形态及喉道均变为规则简单，有效孔隙度增加，对储渗有利(图3)。

硅化作用，主要形成燧石岩（硅质岩），这种岩石在扫描电镜下，放大5000~10000倍，为半晶质球粒到胶体状，孔隙不发育。只有少量生成结晶程度较高的石英，发育一定的晶间孔隙。总之硅化作用降低孔隙，对储集空间不利。

3. 构造裂缝因素的影响

任丘古潜山碳酸盐岩，断层和构造缝均甚发育。主要有北东向、近东西向及北西向三组断层，据任丘油田碳酸盐岩心统计，共计有6~8组裂缝，相互配套关系比较清楚的有六组，即两组正交缝，两次配套的x节理缝。两组正交缝，其走向分别与地层走向和倾向一致，据观察走向缝较宽，常

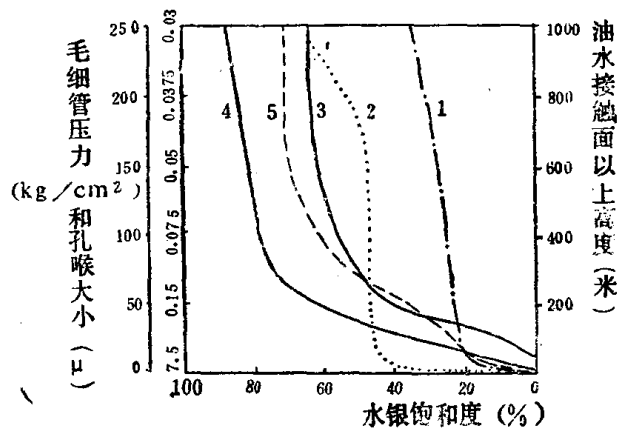


图 3 重结晶作用程度不同的岩石毛细管压力曲线

1— $\frac{2}{2}$ (观2井) 泥晶白云岩；2— $\frac{8}{51}$ (观4井) 粉晶白云岩；3— $\frac{39}{52}$ (任48井) 细晶白云岩；4— $\frac{7}{14}$ (任48井) 中晶白云岩；5— $\frac{3}{614}$ 上 (任48井) 粗晶白云岩

被倾向缝所切割。两次x节理缝，两缝相交锐角40~60°。缝窄而平直，常成对出现，交叉呈x状。亦有时呈羽状，为扭裂缝。上述断层裂缝相交切增加了碳酸盐岩储渗空间。

4. 古岩溶因素的影响

任丘古潜山雾迷山组，曾长期暴露地表，遭受过强烈的风化溶蚀作用。钻井过程中发生钻具放空和大量漏失，反映本区雾迷山组大型溶蚀缝洞存在。岩心所观察的孔缝，大多经过地下水的溶蚀改造，铸体薄片和扫描电镜看出溶蚀作用强弱与岩性有关，藻云岩溶蚀缝洞最发育，占溶蚀缝洞各岩类总数的82.61%。地下水对碳酸盐岩的作用，既有溶蚀又有充填沉淀。而在雾迷山组占井取出的岩心所见，溶蚀孔洞均有充填沉淀和未填满的残留孔隙。

溶蚀孔洞的特点是：由于沉淀时自由空间较大，次生矿物自由生长，晶体粗大，自形程度高，晶体形态大小与堆积方式，控制晶间孔隙的几何形态和大小。据显微镜观察，孔隙一般为几十微米~数百微米，四周由晶间片状孔隙或少量微裂缝与之相连。如任48井7⁷/₈样品及9¹⁵/₅₂样品，溶蚀孔洞充填自形晶。又如5⁴/₂₂号样品，溶蚀孔洞充填自形晶白云石，杂乱堆积，晶间孔隙发育，并使周围孔隙扩大，连通性好。现据任丘油田完钻井的放空漏失统计，明显反映有三个古水平岩溶带(表5)。

表5 任丘古潜山岩溶分带数据表

古岩溶分带	岩溶带顶与沙一段底距离(米)	岩溶带厚度(米)	放空漏失(处数)	占总数%	备注
第一带	120	190	51	68.9	
			1	1.3	
第二带	420	110	17	23	
第三带	620	50	5	6.8	总数74处

上表反映第一带，垂向宽度大，放空漏失多，大型溶道和溶洞发育，说明风化淋滤和水平溶蚀活跃，向下放空漏失处数减少，岩溶带垂向宽度变窄，岩溶有减弱的趋势。

属于以水平古岩溶带连通渠道为主的，有任19~任9井，井间干扰明显，任19井为注水井，任9为油井，两井相距2.5公里，属同一水平溶蚀带，开发动态反映，注采关系密切。

三、储集岩分类与储层评价

碳酸盐岩储集性能，主要取决于孔隙几何结构，并以此划分储集岩和非储集岩，评价碳酸盐岩储集层。对储集体的非均质性进行初步剖析。

1. 储集空间几何结构

系指储集空间与其连通的喉道相互组合关系。任丘古潜山碳酸盐岩的储集体，由于东北向、近东西向、及北西向三组断层相互交切，构成菱形的断层裂缝网络系统，串通大型溶洞，组成宏观的储集空间系统；而微裂缝及晶间片状缝隙，以各种形式连通小孔，形成基质微观储集空间系统。

由于岩性及其结构构造的变化，断裂的方向性和局限性，溶蚀的选择性和分带性，及其相互组合关系，形成复杂的储集空间的几何结构，造成极高的非均质程度。根据孔隙几何结构形态和对储集和渗流的作用，分为如下几种几何结构类型：

(1) 断裂连通溶洞：储层内各种溶洞，主要由断层或裂缝连通。如任25井和任9井相同层位钻遇大型溶洞，连通极好，两井相距1.5公里，但井间干扰明显。这种结构对油井高产起主要作用。

(2) 短喉孔隙结构：白云石为自形至半自形晶体，杂乱堆积，晶间形成发育的多面体孔或不规则孔，孔间喉道短宽，多而平直，连通性好，孔喉比小，对油气的储集和渗流极为有利。

(3) 网格状孔隙结构：喉道沿白云石晶面发育，形成网格状喉道连通孔隙，喉道宽较长，有的较曲折复杂。

(4) 弯曲细长喉道孔隙结构：此外尚见发育在较大晶体内无连通的孔隙。

上述四种基本的孔隙几何结构类型，第一种属宏观系统；后三种属微观系统，二者是相互组合，组成各种不同的储集层。有的以连通结构为主组合成高产稳产段；有的为孔隙发育喉道差的低产段；还有孔喉均不发育的非储集岩段。

2. 储集岩分类及储集层评价

碳酸盐岩储集性能，主要取决于孔隙几何结构。主要以束缚水饱和度划分储集岩和非储集岩，储集岩中又分好中差三类，每类储集岩参考分选及歪度分A(好) B(中) C(差)三个族。

I类，好储集岩：岩性多为锥状迭层石、凝块石藻白云岩，次为层纹石藻白云岩，颗粒较粗，多为细一中晶，分选较好，孔隙发育，孔隙结构好。

II类，中等储集岩：岩性以凝块石藻白云岩及粉晶云岩为主，次为层纹石、锥状迭层石等藻白云岩。粉—细晶结构为主，分选中等，孔隙类型较多，孔隙结构多数较好。大喉道控制的孔隙体积降低，孔喉比增大。

III类，差储集岩：岩性为微层状凝块石藻云岩，泥—细粉晶白云岩，孔隙发育较差，孔隙结构中差，有三分之二以上的孔隙受超微喉道所控制，仅有三分之一左右较大孔喉，对流体起到了储集渗流作用，属于差储集岩。

IV类，非储集岩：岩性为泥质白云岩，孔隙不发育，铸体薄片上未见孔隙，仅见裂缝，扫描电镜下无明显好孔隙，孔隙常被以水云母为主的粘土矿物所充填。主要是小于0.1微米的超微细孔隙，毛细管压力曲线几乎呈一条垂直的直线，为典型的非储集岩曲线。

以上各类详见以下储集岩分类数据表(表6)及图4。

雾迷山组各类白云岩，具有不同的储集性能，在纵向剖面上，也经常出现好、中、差等储集岩，呈韵律性的频繁交替出现。单一种储集岩厚度较小，一般2米左右，最厚5米。现以韵律为基本单元划分小层，再依较高级次的旋回划分层段。各层段是由各储集岩有规律的组合，按某类储集岩占该层段的厚度百分比评价其储层条件，如以I类储集岩为主，则称为好储集层，以此类推，分为好、中、差三种储集层段和非储集层。(图5)雾迷山组I、II类储集岩约占总厚度50%，主要发育在雾一、二、三、四油组，雾七油组下部，这些层段内以好、中储集岩为主，雾五、六、八、九油组，非储集岩比较集中，约占20%，其余层段以差储层为主。

表 6 储集岩分类数据表

指 标	分类													
	I				II				III				IV	
分族	A	B	C	I	A	B	C	II	A	B	C	III		
束缚水饱和度 (%)	7.35	3.32	4.65	5.45	29.12	32.43	35.2	32.44	50.52	58.92	51.86	54.94	80.74	
排驱压力 (kg/cm ²)	9.45	20.76	46.97	22.5	13.81	16.33	47.29	26.94	14.7	19.93	119	34.7	175	
饱和度中道压力 (kg/cm ²)	18.67	47.5	108.6	50.5	58.3	80.8	198.8	114.6	225	>250	>250	241	-	
对应P _{cs0} 油层条件下液柱高度(m)	71	190	434	200	233	323	795	458	±1000	>1000	≥1000	≥1000	-	
溶蚀孔隙度 (%)	0.77	0.077	0.052	0.381	0.767	0.049	0.016	0.264	0.083	0.0017	0	0.029	0	
孔分布 (%)	>7.5μ	25.89	9.04	3.91	18.18	35.61	5.81	5.97	23.41	9.06	1.84	0	3.28	0.11
	7.5—0.075μ	60.59	69.03	50.54	60.85	29.92	53.4	21.46	35.31	38.37	32.84	17.58	29.75	6.37
	<0.075μ	13.52	21.93	45.55	20.97	34.47	40.79	72.57	41.28	52.57	65.32	82.42	66.97	93.52
面积孔喉比 (%)				3.88				6.38						

3. 对储集体非均质性的认识

任丘雾迷山组油藏，由于储渗条件的复杂性，形成宏观上是一个连通的块体，微观上又表现出明显的非均质性，它对流体运动规律起着很大的控制作用。

(1) 储集空间的非均质性，在层间和层内普遍存在，是构成储集体非均质性的基础，具体表现为：储集空间类型多样，缝、洞、孔同时存在且各有独特形态和分布范围。大洞和小孔的大小相差悬殊。同类储集空间大小也很不一致，缝也有类似情况。分布十分不均，缝成线、成条分布，主要切割层面，孔主要按层分布。

这些复杂的储集空间，在开发中的作用不同，取心显示穿层的裂缝内，基本冲洗干净，而小孔洞中尚饱含原油，明显反映渗滤性的差异。

(2) 层间非均质性表现在：有储集空间十分发育，储集性能好的高产油层；有孔隙不发育的差储集层；有基本不具储集空间的非储集层。此处重点讨论非储集层的特点。雾迷山组非储集层有几个集中发育段，全区分布稳定，一般单层厚2~9米，其中六、八油组总厚及单层厚度均较大，岩性单一（表7）、孔隙不发育，单独测试时产油很少。但非储集层普遍见裂缝，并见含油显示，铸体薄片可见压入红色塑料。这些裂缝在油田形成时期和在油田注水开发中，均起渗滤通道作用。表现在油田开发的各阶段均为统一的压力系统。

综上所述，油藏中的非储集层，孔隙虽然不发育，而裂缝发育，它是油气流动的通

IV 非储集岩
典型毛管管压力曲线
(孔隙喉道小于0.075 μ)

III 差储集岩
典型毛管管压力曲线
(孔隙喉道小于0.075 μ)

II 中等储集岩
典型毛管管压力曲线
(孔隙喉道大于0.075 μ)

I 好储集岩
典型毛管管压力曲线
(孔隙喉道大于0.075 μ)

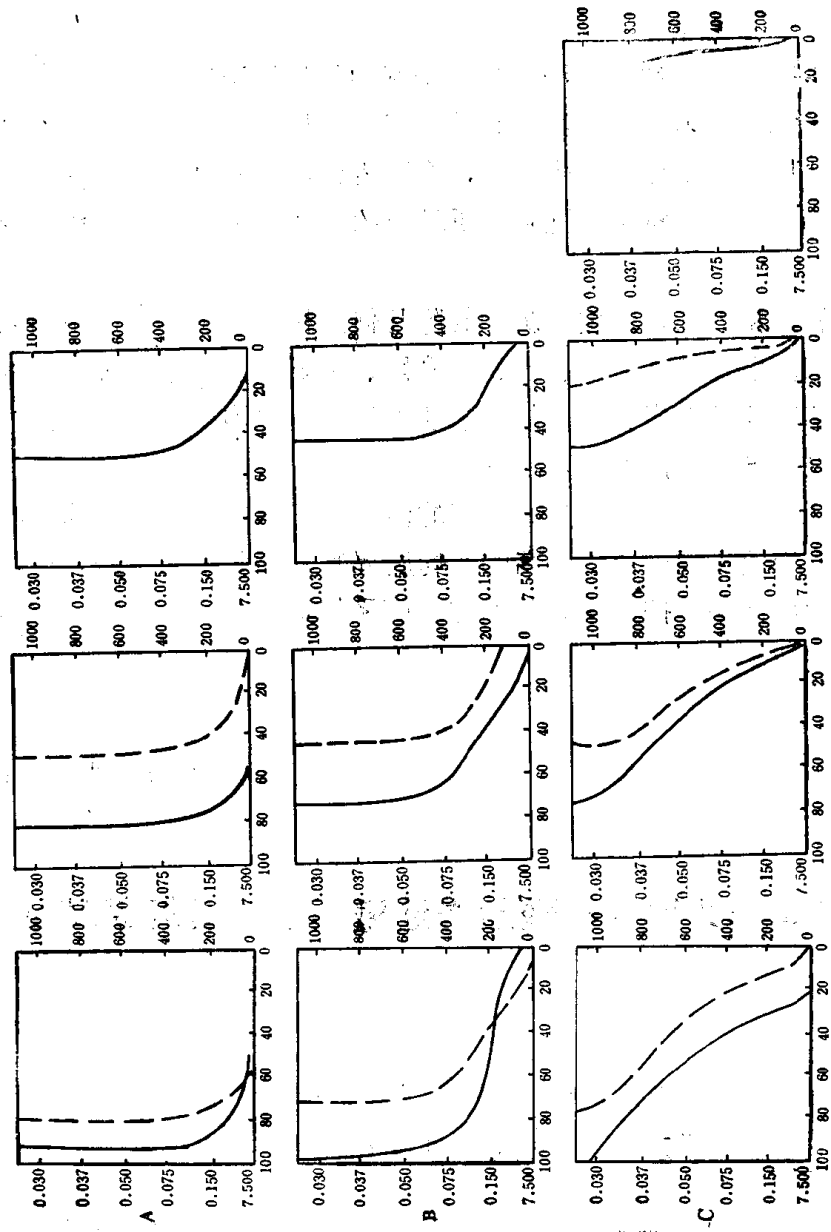


图 4 任丘雾迷山组储集类型与水银毛细管压力曲线关系图

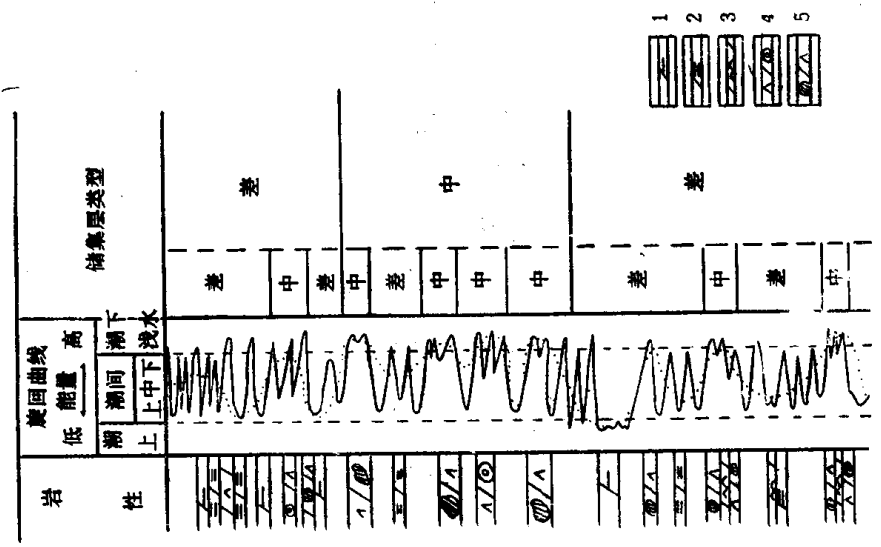


图 5 任丘雾迷山组沉积微相与储层性质关系图
1—泥质白云岩； 2—层纹石藻白云岩； 3—小波纹藻白云岩； 4—锥状迭层石核形石藻白云岩； 5—锥状迭层石凝块石藻白云岩