

中国石油天然气集团公司

油气储层重点实验室论文集

2002—2003

罗 平 主编

石油工业出版社
Petroleum Industry Press

中国石油天然气集团公司

油气储层重点实验室论文集

(2002—2003)

罗 平 主编

江苏工业学院图书馆
藏书章

石油工业出版社

内 容 提 要

本论文集以低渗透储层为主线,主要内容涵盖低渗透储层成因机理、储层表征与预测技术、低渗透储层开发技术、陆相层序地层学及储层实验技术。这些论文集中于目前油气勘探开发的热点地区,重点阐述新技术、新方法的应用,既具有较高的理论水平,又紧紧围绕生产实际,反映了当前储层研究的方向和重点。为下一步我国低渗透储层的研究指明了方向。

图书在版编目(CIP)数据

油气储层重点实验室论文集:(2002—2003)/罗平主编.
北京:石油工业出版社,2004.12
ISBN 7-5021-4817-5

I. 中…

II. 罗…

III. 储集层—文集

IV. P618.130.2-53

中国版本图书馆CIP数据核字(2004)第116070号

出版发行:石油工业出版社

(北京安定门外安华里2区1号 100011)

网 址:www.petropub.cn

总 机:(010) 64262233 发行部:(010) 64210392

经 销:全国新华书店

印 刷:石油工业出版社印刷厂印刷

2004年12月第1版 2004年12月第1次印刷

787×1092毫米 开本:1/16 印张:16.5

字数:416千字 印数:1—1000册

书号:ISBN 7-5021-4817-5/TE·3377

定价:50.00元

(如出现印装质量问题,我社发行部负责调换)

版权所有,翻印必究

序

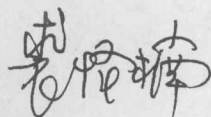
通过“七五”、“八五”、“九五”的科技攻关,在储层地质研究方面成果显著,相继出版了《中国油气储层研究论文集》两集、《中国油气储层研究图集》(卷1~5)、《油气储层评价技术》以及《中国陆相油气储集层》等专著。

近年来,随着中国石油天然气集团公司油气储层重点实验室的组建,储层地质研究在勘探开发中越来越受到重视。2000年11月,受中国石油天然气集团公司科技发展部的委托,油气储层重点实验室与中国地质学会沉积专业委员会联合在桂林举办了“2000年油气储层学术研讨会”,会后将其中的优秀成果编纂成册,出版了《油气储层重点实验室论文集》,受到了储层研究者的好评。

在这些成功经验的基础上,2002年9月,油气储层重点实验室又与中国地质学会沉积专业委员会联合举办了“2002低渗透油气储层研讨会”,此论文集既是此次会议的总结,也是过去成果的延续。

本书以低渗透储层为主线,主要内容有低渗透储层成因机理、储层表征与预测技术、低渗透储层开发技术、陆相层序地层学及储层实验技术。这些论文集中了目前油气勘探开发的热点地区和新技术、新方法的应用,既具有较高的理论水平,如对低渗透储层的成因机理及特征等有了更深入的认识;又紧紧围绕生产实际,反映了当前储层研究的方向和重点。

此文集的出版,可以使大家更清晰地认识到低渗透储层在中国石油勘探开发中的地位,无论在东部还是西部,低渗透储层都是当前和今后一段时间内中国石油勘探开发的重要战场。该文集一定会在促进我国低渗透油气藏的勘探开发方面起到重要作用。



前 言

中国含油气盆地多数为陆相沉积,据统计,低渗透储层约占储层的45%以上,在陆上油田中其探明储量约占全部探明储量的30%。低渗透储层岩性致密、物性差、孔渗低、孔隙结构复杂,已成为制约我国石油工业发展的主要地质因素之一。

在这种情况下,在中国石油天然气集团公司科技发展部、中国石油天然气股份有限公司科技信息部和勘探开发生产分公司的大力支持下,CNPC油气储层重点实验室和中国地质学会沉积专业委员会于2002年9月23日至30日在昆明举办了“2002年低渗透油气储层研讨会”。参加此次学术会议的代表共有107人,分别来自科研院校、油田生产一线、出版社等31个单位,其中53位专家做了精彩的发言,这些发言无论在学术水平上还是在国内储层研究领域的广泛性上均具有代表性,集中于目前油气勘探开发的热点地区和新技术、新方法的应用。会议达到了交流思想、相互学习、共同提高、促进研究的目的。会议结束后,我们将其中的主要成果编纂成册,使广大储层研究工作者了解目前储层研究的进展及发展方向。本文集主要包括如下内容:

(1)在低渗透储层成因机理方面研究更加深入,使静态的成岩研究向动态成岩方向发展,并且更加适合油气勘探及目标优选的需要。在水岩反应及成岩流体研究的基础上,在已有的有机酸、 CO_2 和地表水淋滤三个产生次生孔隙的基本营力外,探讨了异常压力、沿断层的热对流和火山侵入作用下热作用引起的密度差(流)对孔隙的影响。对储集岩本身岩石成分性质为主因的成岩演化的分析更加深入,主要表现为对砂岩孔隙中“自生”粘土杂基的研究有了更深入的见解;渤海湾盆地上第三系储层具有中高孔、低渗的特点,这主要是由于骨架颗粒间有大量的自生粘土矿物出现;四川盆地中生界储层中形成于成岩早期或中期的绿泥石环边,具有抑制和延缓硅质胶结和钙质胶结物生长的作用,使孔隙得以保存。此外,许多实例证明压实作用对煤系地层、快速堆积的塑性颗粒含量高的地层影响大,而相邻湖相砂体孔渗相对较好。

(2)储层表征与建模向更精细化的方向发展,如大庆油田采油一厂提出依据沉积水动力学主流线与现今砂体注采之间的关系布井,提高了采收率;杏十三区块的砂体精细描述,已达到单河道砂体,将剩余油分布的精度大为提高。通过编制精细的微构造图,判别水驱方向,提高了窄薄砂体的驱油效率。地球物理技术在储层预测方面的发展更加深化,如综合利用成像测井、核磁共振测井划分出济阳坳陷火山岩储层的有利孔隙带裂缝发育带;利用测井—地震相关性的多属性反演,进行加权判别,预测储层物性和油气水分布。在低渗油气藏油层物理研究上有突破,如对川中仅有3%的孔隙度,日产油数吨的侏罗系梁高山组砂岩储层有深入认识,西南分公司的研究表明,如此低的孔隙度油层产油的三大原因是孔小但结构好、油层异常高压、油质好易于流动。

(3)对盐湖沉积的层序特点作了详细的解剖,找出了层序内盐沉积体与砂体的关系。在技术方法上,利用测井、地震等地球物理软件技术,将已有的层序更加细分,使层序地层研究向多学科、软件化、可视化上迈进了一步。

(4)在储层实验技术方面,水槽实验成功模拟了辫状河的发育过程,对该类储层研究有

一定指导作用；储层微孔隙图像分析技术逐步成熟，将成为正确评价低渗透储层的有利工具。

这些成果，既很好的代表了国内生产实际的需要，也代表了学科发展的趋势，这本文集不但对国内近年来低渗透储层研究发展的简要总结，也是本次会议成果的一种体现，希望本文集对低渗透储层的研究起到积极的交流促进作用。

本文集共分五大部分，第一部分为低渗透储层地质学，第二部分为低渗透储层地球物理学，第三部分为低渗透储层测井学，第四部分为低渗透储层渗流力学，第五部分为低渗透储层开发工程。第一部分为低渗透储层地质学，主要介绍低渗透储层的地质特征、成因类型、分布规律等。

第二部分为低渗透储层地球物理学，主要介绍低渗透储层的地球物理特征、评价方法等。第三部分为低渗透储层测井学，主要介绍低渗透储层的测井特征、评价方法等。第四部分为低渗透储层渗流力学，主要介绍低渗透储层的渗流特征、评价方法等。第五部分为低渗透储层开发工程，主要介绍低渗透储层的开发方案、开发效果等。

本文集共分五大部分，第一部分为低渗透储层地质学，第二部分为低渗透储层地球物理学，第三部分为低渗透储层测井学，第四部分为低渗透储层渗流力学，第五部分为低渗透储层开发工程。第一部分为低渗透储层地质学，主要介绍低渗透储层的地质特征、成因类型、分布规律等。

第二部分为低渗透储层地球物理学，主要介绍低渗透储层的地球物理特征、评价方法等。第三部分为低渗透储层测井学，主要介绍低渗透储层的测井特征、评价方法等。第四部分为低渗透储层渗流力学，主要介绍低渗透储层的渗流特征、评价方法等。第五部分为低渗透储层开发工程，主要介绍低渗透储层的开发方案、开发效果等。

本文集共分五大部分，第一部分为低渗透储层地质学，第二部分为低渗透储层地球物理学，第三部分为低渗透储层测井学，第四部分为低渗透储层渗流力学，第五部分为低渗透储层开发工程。第一部分为低渗透储层地质学，主要介绍低渗透储层的地质特征、成因类型、分布规律等。

第二部分为低渗透储层地球物理学，主要介绍低渗透储层的地球物理特征、评价方法等。第三部分为低渗透储层测井学，主要介绍低渗透储层的测井特征、评价方法等。第四部分为低渗透储层渗流力学，主要介绍低渗透储层的渗流特征、评价方法等。第五部分为低渗透储层开发工程，主要介绍低渗透储层的开发方案、开发效果等。

本文集共分五大部分，第一部分为低渗透储层地质学，第二部分为低渗透储层地球物理学，第三部分为低渗透储层测井学，第四部分为低渗透储层渗流力学，第五部分为低渗透储层开发工程。第一部分为低渗透储层地质学，主要介绍低渗透储层的地质特征、成因类型、分布规律等。

第二部分为低渗透储层地球物理学，主要介绍低渗透储层的地球物理特征、评价方法等。第三部分为低渗透储层测井学，主要介绍低渗透储层的测井特征、评价方法等。第四部分为低渗透储层渗流力学，主要介绍低渗透储层的渗流特征、评价方法等。第五部分为低渗透储层开发工程，主要介绍低渗透储层的开发方案、开发效果等。

本文集共分五大部分，第一部分为低渗透储层地质学，第二部分为低渗透储层地球物理学，第三部分为低渗透储层测井学，第四部分为低渗透储层渗流力学，第五部分为低渗透储层开发工程。第一部分为低渗透储层地质学，主要介绍低渗透储层的地质特征、成因类型、分布规律等。

第二部分为低渗透储层地球物理学，主要介绍低渗透储层的地球物理特征、评价方法等。第三部分为低渗透储层测井学，主要介绍低渗透储层的测井特征、评价方法等。第四部分为低渗透储层渗流力学，主要介绍低渗透储层的渗流特征、评价方法等。第五部分为低渗透储层开发工程，主要介绍低渗透储层的开发方案、开发效果等。

本文集共分五大部分，第一部分为低渗透储层地质学，第二部分为低渗透储层地球物理学，第三部分为低渗透储层测井学，第四部分为低渗透储层渗流力学，第五部分为低渗透储层开发工程。第一部分为低渗透储层地质学，主要介绍低渗透储层的地质特征、成因类型、分布规律等。

第二部分为低渗透储层地球物理学，主要介绍低渗透储层的地球物理特征、评价方法等。第三部分为低渗透储层测井学，主要介绍低渗透储层的测井特征、评价方法等。第四部分为低渗透储层渗流力学，主要介绍低渗透储层的渗流特征、评价方法等。第五部分为低渗透储层开发工程，主要介绍低渗透储层的开发方案、开发效果等。

本文集共分五大部分，第一部分为低渗透储层地质学，第二部分为低渗透储层地球物理学，第三部分为低渗透储层测井学，第四部分为低渗透储层渗流力学，第五部分为低渗透储层开发工程。第一部分为低渗透储层地质学，主要介绍低渗透储层的地质特征、成因类型、分布规律等。

目 录

川西南部浅层侏罗系储层特征	罗 平 杨式升 王雪松 (1)
有利孔隙带分布规律与成岩流体研究	应凤祥 (13)
储层表征技术与方法	贾爱林 何东博 张春生等 (32)
塔里木盆地库车东部下侏罗统储层特征	朱如凯 郭宏莉 应凤祥等 (46)
塔里木盆地库车东部下侏罗统储层成岩环境分析	郭宏莉 (54)
塔里木盆地巴楚—柯坪地区下寒武统白云岩成因及其储集性	罗 忠 张兴阳 罗 平等 (63)
川西坳陷南部上三叠统须家河组低渗透储层特征及评价	王雪松 杨式升 罗 平 (71)
四川中部磨溪—龙女寺构造上三叠统香溪群高分辨率层序地层分析	高志勇 罗 平 郑荣才等 (80)
砂质辫状河沉积结构单元与界面特征	张春生 施 冬 刘忠保 (87)
鄂尔多斯盆地苏里格庙地区二叠系低渗储层成因分析	闵 琪 南珺祥 刘绥保 (93)
辫状河砂体形成过程沉积模拟研究	刘忠保 张春生 施冬等 (99)
储层预测在油田滚动勘探开发中的应用及效果	张瑞智 谷新平 欧亚平等 (110)
地层沉积过程对储层属性的控制	刘国涛 苗厚纯 楚爱莲等 (116)
东濮凹陷文 200 块油藏储层特征与地震预测	李文海 常振恒 黄新文等 (124)
利用 CMS-300 岩心测定仪研究储层应力敏感	林光荣 邹文选 邵创国等 (130)
密度驱动成岩流体动力系统初探	
——以大港探区二叠系下石盒子组砂岩为例	于均民 周晓峰 郭精义等 (134)
大庆油田储层渗流特征研究与应用	江淮友 隋新光 翟春风等 (141)
彩南油田彩 9 井区西山窑组油藏定量表征及三维建模	李兴训 (148)
川中侏罗系低渗透砂岩储层产油机理研究	谢继容 魏小薇 唐大海等 (156)
三角洲前缘相储层定量描述技术及对储层沉积特征的认识	亓校湘 刘 雷 席国兴 (164)
大庆油田杏十三区复合砂体单一河道识别方法研究及应用	韩永华 郝兰英 李士奎等 (170)
地震储层预测方法在海拉尔盆地苏仁诺尔油田中的应用	陈友福 (182)
低渗透油井地层测试资料解释方法探讨	毛 伟 余碧君 (186)
中国含油气盆地碎屑岩低渗透储层的特征及形成机理	蒋凌志 顾家裕 郭彬程 (191)
露头地质研究中的探地雷达技术	张兴阳 顾家裕 罗 平等 (199)
低渗气藏水锁伤害及解除方法研究	林光荣 邵创国 徐振锋等 (205)
苏里格气田低渗储层中的高效储层成因研究	何东博 贾爱林 罗 平等 (210)
低渗透薄差储层挖潜配套技术试验研究	段立燕 冯长山 郭永会等 (215)
川中龙女—磨溪上三叠统香溪群储层成岩相划分及储集意义	张 鼎 罗 平 高志勇等 (221)

应用三维地质建模技术指导油田开发调整 金 利 王玉祥 刘 雷等 (227)

渤海第三系局部高孔低渗储层的孔隙微观特征及其形成机制 杨玉茹 高坤顺 刘长海 (235)

低渗透储层的微孔隙定量化图像分析方法 魏宝和 何锦发 崔京钢等 (241)

(1) 徐雪王 升为赫 平 雯 沉积层系及岩性特征南西川

(13) 韩凤血 沉积层系及岩性特征南西川

(25) 李主春 郭永怀 林金贵 沉积层系及岩性特征南西川

(40) 李主春 郭永怀 林金贵 沉积层系及岩性特征南西川

(42) 陈宝雄 沉积层系及岩性特征南西川

(43) 李 雯 明兴游 忠 雯 沉积层系及岩性特征南西川

(17) 平 雯 升为赫 徐雪王 沉积层系及岩性特征南西川

(08) 李主春 郭永怀 平 雯 黄志高 沉积层系及岩性特征南西川

(87) 郭忠欣 李 雯 王春林 沉积层系及岩性特征南西川

(93) 郭忠欣 郭永怀 郭 忠 沉积层系及岩性特征南西川

(99) 李主春 王春林 郭忠欣 沉积层系及岩性特征南西川

(110) 李主春 郭永怀 郭忠欣 沉积层系及岩性特征南西川

(116) 李主春 郭永怀 郭忠欣 沉积层系及岩性特征南西川

(124) 李主春 郭永怀 郭忠欣 沉积层系及岩性特征南西川

(130) 李主春 郭永怀 郭忠欣 沉积层系及岩性特征南西川

(134) 李主春 郭永怀 郭忠欣 沉积层系及岩性特征南西川

(141) 李主春 郭永怀 郭忠欣 沉积层系及岩性特征南西川

(148) 李主春 郭永怀 郭忠欣 沉积层系及岩性特征南西川

(156) 李主春 郭永怀 郭忠欣 沉积层系及岩性特征南西川

(164) 李主春 郭永怀 郭忠欣 沉积层系及岩性特征南西川

(170) 李主春 郭永怀 郭忠欣 沉积层系及岩性特征南西川

(182) 李主春 郭永怀 郭忠欣 沉积层系及岩性特征南西川

(186) 李主春 郭永怀 郭忠欣 沉积层系及岩性特征南西川

(194) 李主春 郭永怀 郭忠欣 沉积层系及岩性特征南西川

(199) 李主春 郭永怀 郭忠欣 沉积层系及岩性特征南西川

(203) 李主春 郭永怀 郭忠欣 沉积层系及岩性特征南西川

(210) 李主春 郭永怀 郭忠欣 沉积层系及岩性特征南西川

(212) 李主春 郭永怀 郭忠欣 沉积层系及岩性特征南西川

(221) 李主春 郭永怀 郭忠欣 沉积层系及岩性特征南西川

(231) 李主春 郭永怀 郭忠欣 沉积层系及岩性特征南西川

川西南部浅层侏罗系储层特征

罗 平 杨式升 王雪松

(CNPC 油气储层重点实验室)

摘 要 川西南部侏罗系储层埋深浅,一般为 1000m 左右。储集岩以岩屑砂岩为主,少量长石岩屑砂岩夹在棕红色(或紫红色,碎屑状为主)泥岩中。中上部蓬莱镇组砂岩较细,为细砂、细级砂—粉粒级;下部沙溪庙组较粗,为细砂—中砂粒级。储集空间以溶蚀粒间孔、粒内孔、铸模孔、超大孔隙、微孔、微缝次生孔隙为主,上部见原生孔隙。该层系成岩阶段,蓬莱镇组(J₃p)属中成岩 A₁期,隧宁组(J₃s)—上沙溪庙组(J₂ss)属中成岩 A₂期。其储层物性的控制因素:沉积微相为储层物性控制的基本因素,以粒度较粗的水动力较强的河口坝、水下分流河道、决口河道为好;溶蚀作用为本区产生次生孔隙的主要因素。成岩作用为有效储集岩的重要控制因素,机械压实作用为原生孔隙损失的主要因素,侏罗系气藏主要分布在中成岩 A 期的岩层中;构造裂缝为产生侏罗系次生气藏的主要通道。储层评价中蓬莱镇组储集岩中非常规储层占 55.83%,常规储层占 44.16%,为天然气低渗透储层中物性最好的层位;上沙溪庙储集岩中常规储层占 19.38%,非常规储集占 80.16%,其中(VI类)超致密储层(非储集岩)占 44.4%,表明其储层物性较蓬莱镇组差得多,非均质性更明显。

关键词 成岩作用 次生孔隙 储层评价 沙溪庙组 蓬莱镇组 侏罗系 川西南部

本研究地区为川西拗陷南部,位于成都以南,龙门山断陷构造带以东,川中隆凸以西的平落坪、白马庙、观音寺—大兴场、盐井沟一带。

本区侏罗系的储集岩因其埋藏较浅,一般在 1000m 左右,尤以蓬莱镇组为浅(小于 1000m)。在该区已发现若干气藏,但对其储层特征尚缺乏总结,为此,根据白浅 26 井、码浅 3 井、大 21 井、大 31 井、盐浅 1 井资料,对本区主要分布于蓬莱镇组及沙溪庙组主要储集岩进行研究,其主要特征如下。

1 储层岩石学特征

1.1 蓬莱镇组

岩性特征:本区主要岩性以岩屑砂岩为主的储集岩夹在棕红色(或紫红色)碎屑状泥岩中。

(1)砂岩类型以细粒、粉砂—细粒、细粒—粗粉砂岩屑砂岩为主,还见纹层状不等粒砂岩以及含灰泥质细粉砂岩。砂岩中的碎屑成分:石英含量 43%~51%,平均为 46%;长石含量 7%~10%,平均为 9%;岩屑含量 39%~49%,平均为 45%(图 1 和图版 1、2)。

颗粒间填隙物:总量约在 10%左右,为泥质、方解石(交代物为主),白云石含量小于 1%;砂岩

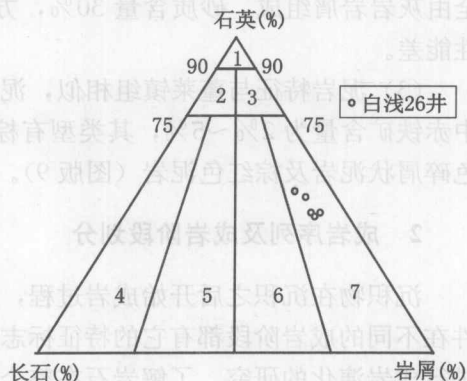


图 1 蓬莱镇组岩石成分

中以次生孔隙为主，见原生孔隙，次生孔隙主要为长石、岩屑溶蚀形成，偶见硬石膏。储集岩颗粒总量为 84%~87%，平均为 86%。

(2) 泥岩。本区泥岩很有特色，大多数泥岩为铁质浸染呈棕红色（紫红色）据 X 衍射资料含少量赤铁矿，含量为 1%~4%，其类型有棕红色碎屑状泥岩、棕红色纹层状泥岩、棕红色泥岩及杂色碎屑状泥岩。其中以棕红色碎屑状泥岩为最具特色、最常见的类型，详见图版 3。

1.2 上沙溪庙组

岩性特征：本组储层仍与一套以砂岩为主的储集岩夹于棕红色碎屑状泥岩中，较蓬莱镇组粒度较粗，偶见砾岩。

(1) 砂岩：岩石类型为细—中粒岩屑砂岩、长石岩屑砂岩，中—细粒岩屑砂岩、长石岩屑砂岩，细粒长石岩屑、岩屑砂岩，粗—中粒岩屑砂岩，纹层状不等粒岩屑砂岩。还见含灰质、泥质细砂—粉砂岩，中—细粒含灰质长石岩屑砂岩，含灰质砂质灰屑砾岩等。

砂岩中的碎屑成分：石英含量为 30%~60%，平均为 40%；长石含量 1%~21%，平均为 14%；岩屑含量 35%~57%，平均为 45%；其中以火山岩屑为主，含量 17%~47%，平均为 33%（图 2）。

砂岩中填隙物总量大约 10% 左右，其中泥质含量 1%~40%，平均为 6%。方解石含量 0~22%，平均为 3%~4%，以交代为主，白云石少见，自生石英以加大方式沉淀为主，含量一般小于 1%，但在盐浅 1 井最高含量可达 3%，可见二期加大。硬石膏一般少见，在盐浅 1 井（663.75m）含量可达 3%，呈连晶斑状不均匀分布；黄铁矿很少见，但在盐浅 1 井（1671.93m）见黄铁矿呈斑条状分布，含量可达 5%。

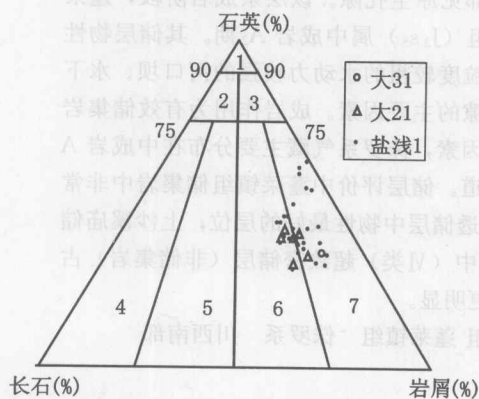


图 2 上沙溪庙组岩石成分

砂岩中孔隙发育特征，以次生孔隙为主。见粒间溶孔为颗粒及方解石溶蚀形成，还见粒内溶孔、超大孔隙、铸模孔、溶蚀粒间隙及微孔（高岭石、绿泥石）。其中绿泥石微孔薄片上可见 2~3 期，主要发育于中细砂岩中，分布不均（图版 4~8）。

(2) 含灰质砂质灰屑砾岩，见于盐浅 1 井（1591.45m），为一种特殊的砾岩，砾岩成分全由灰岩岩屑组成，砂质含量 30%，方解石含量 10%，泥质含量 1%，孔隙不发育，储集性能差。

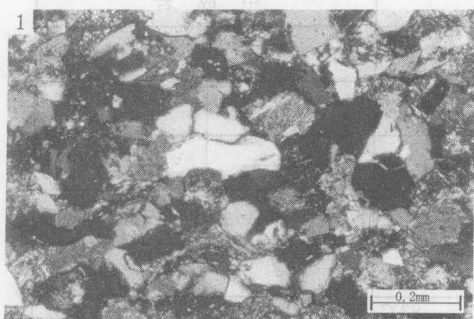
(3) 泥岩特征与蓬莱镇组相似，泥质为少量铁质浸染呈棕红色，据 X 衍射资料，泥岩中赤铁矿含量为 2%~5%，其类型有棕红色碎屑状泥岩、纹层状棕红色夹灰绿色泥岩，杂色碎屑状泥岩及棕红色泥岩（图版 9）。

2 成岩序列及成岩阶段划分

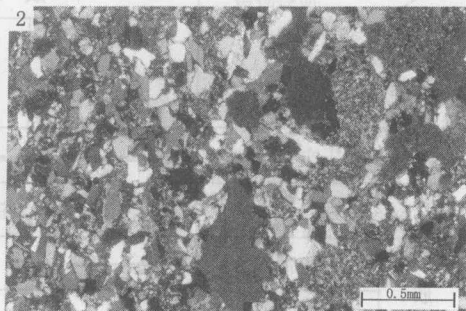
沉积物在沉积之后开始成岩过程，岩石的成岩序列通过各种成岩事件进行，各种成岩事件在不同的成岩阶段都有它的特征标志。通过对各种成岩事件的特征标志来划分成岩阶段，进行成岩演化的研究，了解岩石在整个成岩过程中有哪些成岩作用对储层的影响大，哪个成岩阶段对岩石的储集性能有利，从而找出该区储层的有利储集层段及有利地区，为下一步勘探部署提供依据。

本区侏罗系主要的成岩事件及成岩阶段划分如图 3。

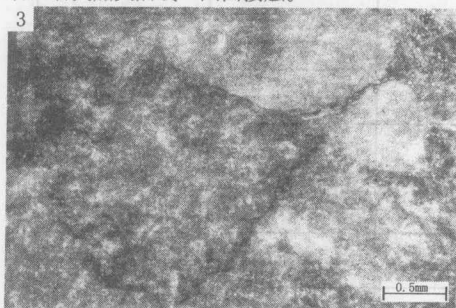
图 版



1 白浅26井 784.67~674.77m J₃P 双
细粒岩屑砂岩, 方解石交代颗粒为主, 见少量白云
石, 石英加大后线一凹凸接触。



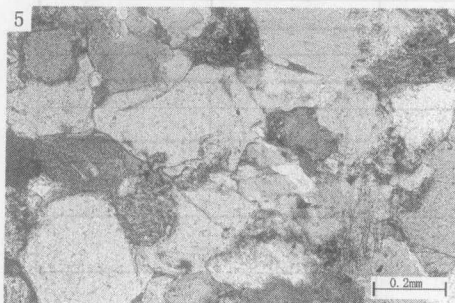
2 白浅26井 852.22~852.34m J₃P 双
纹层状不等粒岩屑砂岩, 颗粒间线一凹凸(软颗粒)
接触纹, 层厚3~6mm。



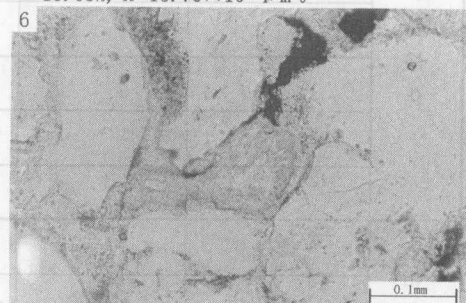
3 白浅26井 854.4m J₃P 单
棕红色碎屑状泥岩, 据X衍射资料赤铁矿含量为
2.9%。



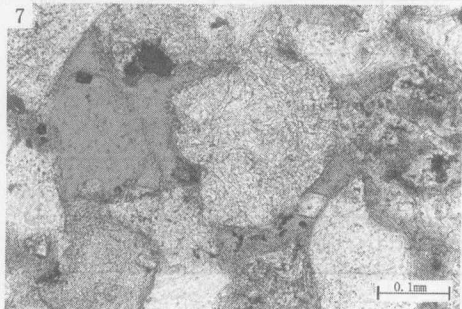
4 大21井 1242.39~1242.48m J₂S 单
中一细粒长石岩屑砂岩, 颗粒间线接触, 云母弯
曲折断, 见溶蚀粒间隙, 高岭石微孔分布不均,
 $\Phi=15.65\%$, $K=15.70 \times 10^{-3} \mu m^2$ 。



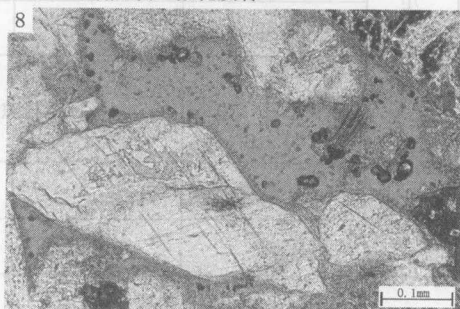
5 盐浅1井 1070.6m J₂S 单
石英加大常见, 见二期加大, 自生石英含量2%,
见颗粒及方解石溶孔。



6 大21井 1245.52~1245.66m J₂S 单
细一中粒长石粒岩屑砂岩, 粒间见粘土矿物(I、
C/S)2~3期充填, 微孔发育。



7 大21井 1242.30m J₂S 单
中一细粒长石岩屑砂岩, 粒间溶孔, 铸模孔, 孔中
见自生石英, $\Phi=16.75\%$, $K=22.43 \times 10^{-3} \mu m^2$ 。



8 大21井 1238.6m J₂S 单
细一中粒岩屑砂岩, 见溶蚀形成的超大孔隙及长
石内微缝。

成岩阶段 成岩事件			早 成 岩		中 成 岩		
			A	B	A		
					A ₁	A ₂	
机械压实							
颗粒接触关系			未接触—点接触		线接触—凹凸接触		
胶 结 (交 代) 作 用	粘土薄膜						
	自生石英			83℃	85℃	90℃	125℃
	白 云 石				含Fe	Fe	
	方 解 石					含Fe	
	C/S 混层						
	硬 石 膏						
粘 土 矿 物 演 化	混 层 比 (%)	I/S			40	35	15
		C/S			50		20
	S						
	I/S						
	I						
	K						
	C						
	C/S						
溶 解 作 用	长石						
	岩屑						
	碳酸盐						
	石英						
孔隙类型			原生孔隙为主		次生孔隙为主	次生孔隙为主, 少量裂缝	
有机质 演化	R _o (%)					0.68~1.29	
	成熟度		未成熟	半成熟	低成熟	成 熟	

图3 研究区侏罗系成岩序列及成岩阶段划分

2.1 机械压实作用

机械压实作用为本区碎屑岩最主要的成岩事件之一，它是本区碎屑岩固结成岩最主要的因素。在早成岩期机械压实作用表现最强烈，它使沉积物由未接触一点接触—线接触，到了早成岩末期，压实作用使岩石损失了大量的原生孔隙，使岩石由疏松到固结。在中成岩 A 期随埋藏的增加，压实作用还继续进行，但在表现出的力度就较早成岩期弱多了，由薄片可见颗粒紧贴早期石英加大边，还可见后期石英加大后，颗粒呈凹—凸接触，表明中成岩 A 期压实作用仍在断续状进行，进一步将剩余原生孔隙或早期的溶孔进一步压实。还可见云母弯曲折断，软颗粒呈微缝合线接触（图版 1、2、4、5）。

为了更准确地说明机械压实作用对储集岩的影响，使用不同的方法计算机械压实作用及胶结作用（化学压实作用）对本区储集岩孔隙度的损失量。

2.1.1 根据 Enrenberg 的公式

$$\text{压实作用损失的孔隙度(Enrenberg)} = \text{原始孔隙度} - \frac{100 \times \text{PCP} - \text{原始孔隙度} \times 100}{100 - \text{PCP}}$$

$$\text{PCP} = \text{粒间孔(原生)} + \text{胶结物(包括泥质) 体积}$$

原始孔隙度为 40%。

2.1.2 根据 David w. Houseknecht 的公式

$$\text{压实作用损失的原始孔隙度} (\text{Hou} \Delta \phi_{\text{压}}) = (40 - \text{PCP}) / 40 \times 100$$

$$\text{胶结作用损失的原始孔隙度} (\text{Hou} \Delta \phi_{\text{胶}}) = \text{胶结物} / 40 \times 100$$

用以上公式分别对白浅 26 井、大 21 井、盐浅 1 井进行了计算

表 1 川西南部侏罗系压实作用与胶结作用孔隙度损失量分布特征

层位	井号	井深 (m)	ϕ 损失量	Enrenberg 法	Houseknecht 法 (%)		ϕ (%)		面 孔 率 (%)	压 实 强 度	孔 隙 特 征	成 岩 阶 段 划 分				
				En $\Delta\phi$ _压	Hou $\Delta\phi$ _压	Hou $\Delta\phi$ _胶	推算剩余	实测								
蓬莱镇组	白浅 26 井 (4)	785.2~792.1	大	34.8	87.5	12.5	5.8	20.4	6	中	次生孔隙为主， 少量原生孔隙	中 A				
			小	32.6	73	12.5	<1	13.4	3							
			平均	33.5	77.6	12.5	4	17.92	4.8							
上沙溪庙组	大 21 井 (6)	1238.6~1249.8	大	35.3	82.5	15	2	17.28	10	中			次生孔隙为主， 少量原生孔隙	中 A		
			小	34.3	80	12.5	2	13.74	4							
			平均	34.9	81.3	13.8	2	15.79	6							
	盐浅 1 井 (28)	1063.75~1686.4	大	38.1	90	15	1	14.35	8	强 中					次生孔隙为主， 少量原生孔隙	中 A
			小	35.2	82.5	5	0.8	4.74	<1							
			平均	36.4	83.1	11.4	1	8.82	2.7							

注：○ 中数字为样品数。

由表 1 可见，本区原生孔隙的损失主要是由于机械压实作用造成的：用 Enrenberg 公式计算，本区蓬莱镇组孔隙度平均损失了 33.5%，在上沙溪庙组孔隙度损失了 34.9%~

36.4%；用 Houseknecht 公式计算，在蓬莱镇组孔隙损失了 77.6%，上沙溪庙组损失了 81.3%~83.1%。所以大部分的原生孔隙因机械压实作用而损失了。

我们使用了填隙密度指标进一步说明机械压实作用的强度。根据实验：填隙密度小于 73% 为弱压实；73%~88% 为中等压实；大于 89% 为强压实。我们用 Houseknecht 公式计算的压实作用损失的原始孔隙度 ($Hou\Delta\phi_{压}$) 的另一物理含义即为颗粒的填隙密度。压实作用越强使颗粒排列越紧密。粒间孔隙体积越小，颗粒在岩石中所占的百分比越大，也就是填隙密度越大。故用此来衡量压实强度的强弱。用上述指标本区侏罗系岩石压实强度以中等压实为主，少部分可达强压实。由上往下压实强度有所加强（表 1）。具体分析如下：

蓬莱镇组：颗粒的填隙密度为 73%~87.5%，由压实作用损失的平均孔隙度为 31%，由胶结作用损失的孔隙度为 5%，推算剩余原生孔隙度，平均值为 4%。实测孔隙度平均值为 17.92%，表明以次生孔隙为主，有少量原生孔与铸体薄片观察相吻合。

上沙溪庙组：颗粒填隙密度为 80%~90%，其中 73%~88% 占 79.5%，大于 89% 占 20.5%，以中等压实作用为主，少部分可达强压实。由压实作用损失的孔隙度（平均值）为 33.1%，由胶结作用损失的孔隙度（平均值）为 4.7%，推算剩余的原生孔隙度（平均值）为 1.2%，实测孔隙度（平均值）为 10.1%，表明本层孔隙以次生孔隙为主。铸体薄片次生孔隙常见，分布不均。

2.2 自生矿物成岩序列与孔隙类型（图 3）

（1）自生石英多以次生加大方式沉淀。在薄片、阴极发光中见两期，在包裹体测温中可见早成岩期自生石英（温度 83~85℃），含量不高，一般小于 1%。中成岩 A 期自生石英（温度 90~123℃）最为常见，含量一般在 2% 左右。

（2）碳酸盐矿物小于 10%，以交代物为主，分布不均。其生成顺序为方解石—含铁方解石、含铁白云石—铁白云石。

（3）自生粘土矿物。泥岩中 I/S 混层中 S（%）层含量变化如下：中成岩 A₁ 期为 40%~35%，分布层位为蓬莱镇组；中成岩 A₂ 期为 35%~15%，分布层位为 J_{3s}—J_{2s}。砂岩中 C/S 混层中 S（%）的变化：中成岩期为 50%~20%。

（4）有机质成熟度。由于本区侏罗系泥岩主要为红层，仅于盐浅 1 井上沙溪庙组 1686.64m 砂岩中含有有机质条带中测得 R_o 为 0.68%，在生油界限附近，属中成岩 A 期特征。

（5）孔隙特征。本区本层孔隙类型以次生孔隙为主，少量原生孔隙，由上往下原生孔隙减少。

原生粒间孔：为压实作用的原生孔隙。主要见于蓬莱镇组岩石中。

粒间溶孔：主要为颗粒溶蚀形成，分布不均，常在孔隙中见残留颗粒，上沙溪庙组岩石中更为常见。

超大孔隙：主要为多个骨架颗粒溶蚀形成，见于上沙溪庙组岩石中，分布不均。

铸模孔：主要为单个骨架颗粒溶蚀形成，见于蓬莱镇组及上沙溪庙组岩石中。

粒内溶孔、溶缝：见于岩屑、长石及石英中，在前二者中常见。

溶蚀粒间隙：为原生粒间隙溶蚀扩大形成，呈宽窄不等不规则状的粒间隙，分布不均。

微孔：本区见微孔有高岭石微孔及绿泥石微孔，主要见于上沙溪庙组岩石中。

由上述资料表明本区侏罗系蓬莱镇组属中成岩 A₁ 期，遂宁组—上沙溪庙组属中成岩 A₂ 期，为次生孔隙发育阶段，储集岩处于有效孔隙发育期，可成为储层。

3 影响储层物性的主要因素

3.1 沉积作用为储层物性影响的基本因素

(1) 沉积微相是储层物性影响的基本因素之一。

研究区侏罗系沉积相中以河口坝、水下分流河道、决口河道物性最好,以盐浅1井、白浅26井、白马2井为例,详见图4、图5、图6及表2和表3。

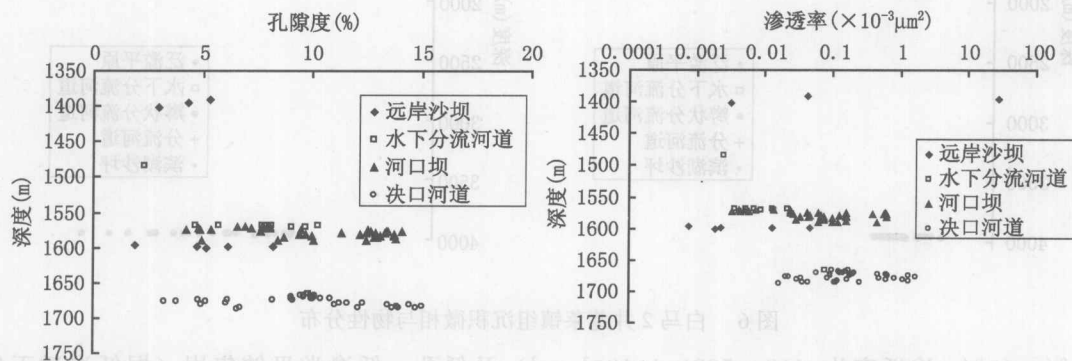


图4 盐浅1井上沙溪庙组岩石物性与不同沉积微相分布特征

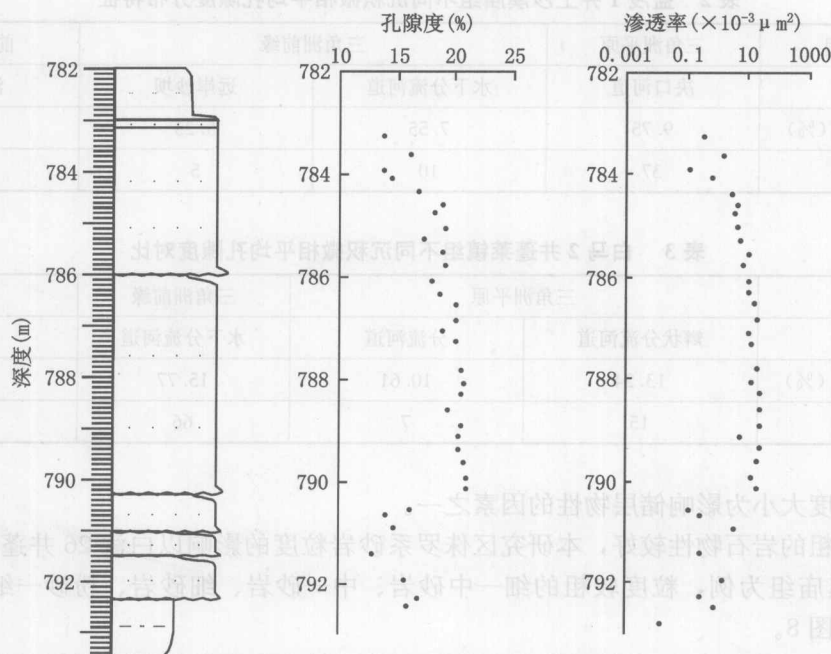


图5 白浅26井水下分流河道中物性分布特征

由图3中可见盐浅1井上沙溪庙组岩石中以河口坝、决口河道岩石物性低孔、低渗Ⅲ类储集岩(孔隙度为12%~15%,渗透率为 $(1\sim10)\times10^{-3}\mu\text{m}^2$);由图6中可见在白马2井蓬莱镇组岩石中以水下分流河道砂岩物性为好,可达中孔、中渗Ⅱ类储集岩(孔隙度为

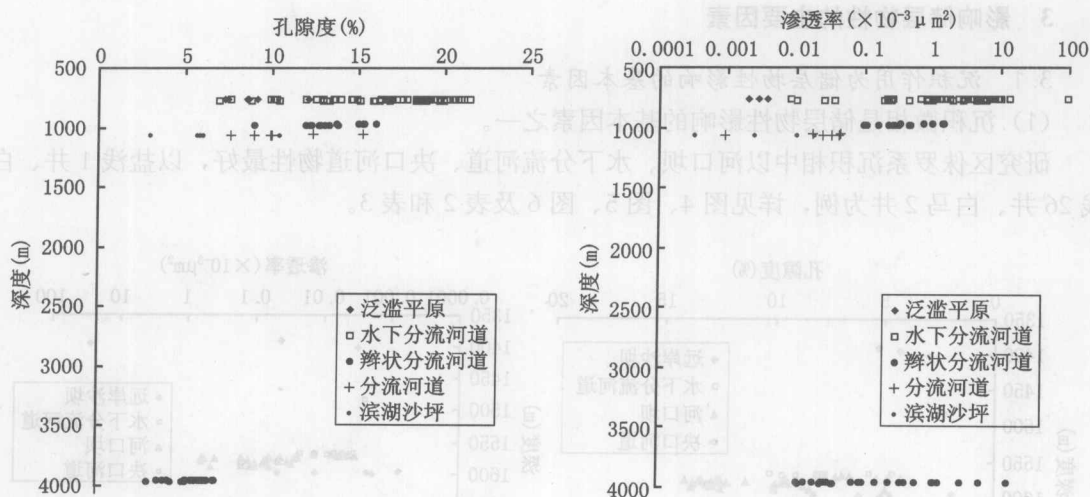


图6 白马2井蓬莱镇组沉积微相与物性分布

15%~20%，渗透率为 $(10\sim500)\times10^{-3}\mu\text{m}^2$ 及低孔、低渗类Ⅲ储集岩（据低渗透天然气储层评价标准，应凤祥等，1995）。以上微相均为水动力较强的相带。

表2 盐浅1井上沙溪庙组不同沉积微相平均孔隙度分布特征

亚 相	三角洲平原	三角洲前缘		前三角洲
微相	决口河道	水下分流河道	远岸沙坝	河口坝
平均孔隙度 (%)	9.75	7.55	5.25	10.06
样品数	37	10	5	39

表3 白马2井蓬莱镇组不同沉积微相平均孔隙度对比

亚相	三角洲平原		三角洲前缘	滨湖
微相	辫状分流河道	分流河道	水下分流河道	沙坪
平均孔隙度 (%)	13.24	10.61	15.77	6.01
样品数	15	7	66	6

(2) 粒度大小为影响储层物性的因素之一。

粒度较粗的岩石物性较好，本研究区侏罗系砂岩粒度的影响以白浅26井蓬莱镇组及大21井上沙溪庙组为例，粒度较粗的细一中砂岩、中一砂岩、细砂岩、粉砂—细砂岩为好，详见图7和图8。

由图7中可见白浅26井蓬莱镇组中物性好的岩性为粒度较粗的细砂岩及粉—细砂岩，可达低渗透储层的Ⅲ类储集岩；图8中可见大21井上沙溪庙组物性的岩石以细—中砂岩、中—细砂岩粒度较粗的岩性为好，可达低渗透储层评价的Ⅱ、Ⅲ类储集岩。由上可见粒度大小为储层物性的影响的因素之一。

3.2 成岩作用为有效储集岩的重要控制因素

(1) 机械压实作用为研究区原生孔隙度损失的主要因素，强度最大发生于早成岩期。中

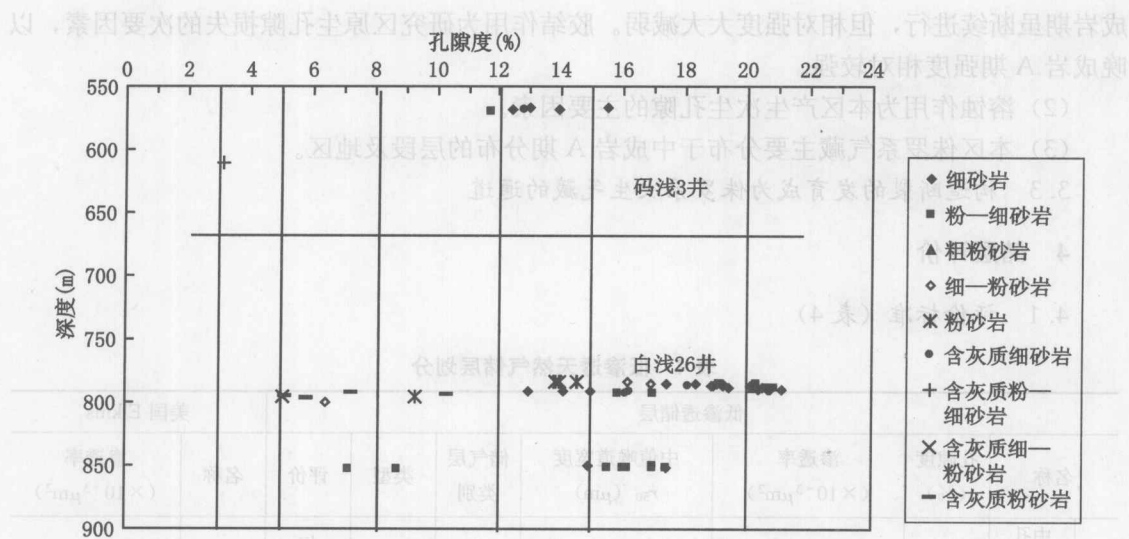
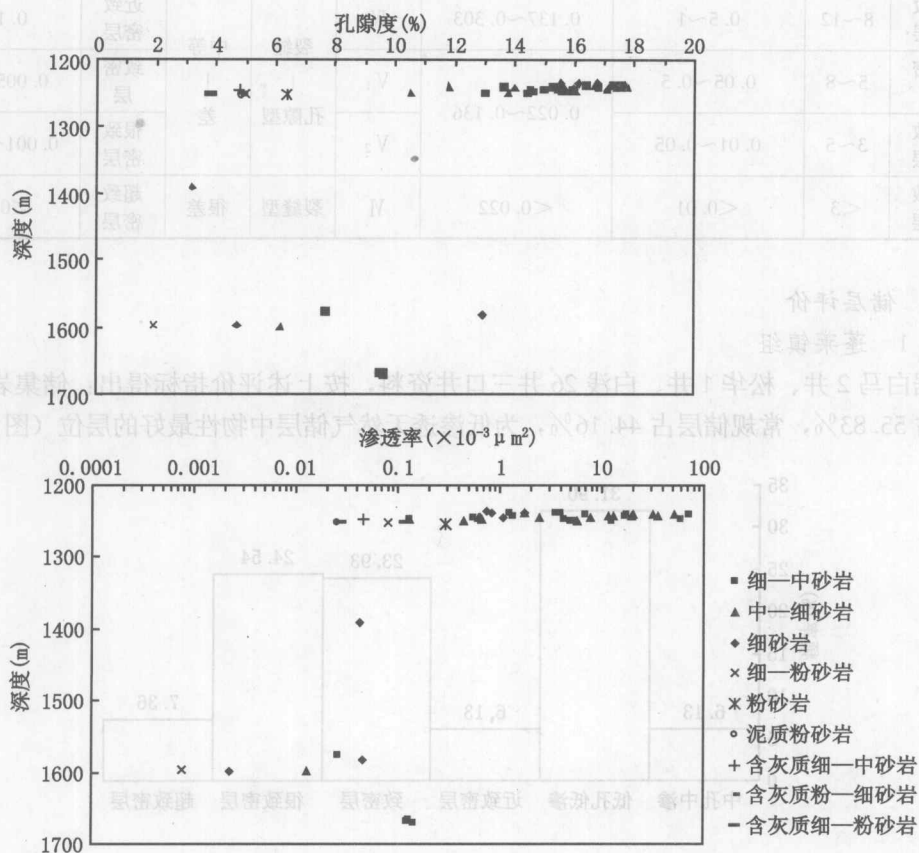


图7 码浅3井、白浅26井蓬莱镇组孔隙度与深度及岩性关系图

$n=59$; $\Phi_{\max}=21.13\%$; $\Phi_{\min}=3.13\%$



$n=42$; $K_{\max}=60.4 \times 10^{-3} \mu m^2$; $K_{\min}=0.0251 \times 10^{-3} \mu m^2$; $K_{av}=10.2 \times 10^{-3} \mu m^2$

图8 大21井上沙溪庙组物性与深度、岩性关系