

中国
油藏
开发
模式
丛书

低渗透砂岩油藏

老君庙 M 层低渗透 砂岩油藏

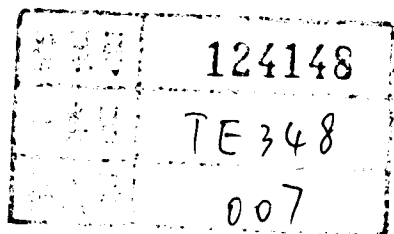
THE LOW PERMEABILITY
SANDSTONE RESERVOIRS
AT THE LAYER M
IN LAO J U N M I A O

邱光东 等编著

石油工业出版社

京)

3



中国油藏开发模式丛书

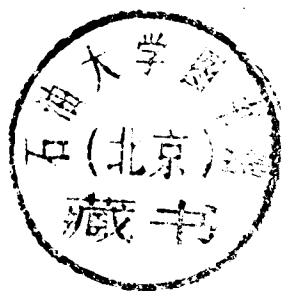
Series on Reservoir Development Models in China

• 低渗透砂岩油藏 •

老君庙 M 层低渗透砂岩油藏

The Low Permeability Sandstone Reservoirs at the Layer M in Laojunmiao

邱光东 等编著



石油0116952

石 油 工 业 出 版 社

内 容 提 要

本书是《中国油藏开发模式丛书》分类模式部分关于裂缝型低渗透块状砂岩油藏开发的典型实例。

老君庙油田 M 油藏经历了近 50 年的开发实践,积累了丰富的资料。本书采用了现代科学的手段,进行油藏地质描述和油藏评价,总结了沉积相、裂缝、注水过程的基本规律,并对水驱油机理、合理开发程序、提高采收率方法及工艺技术系列等进行研究总结。通过现场试验与数值模拟,取得了最佳开发模式,为今后同类油藏的开发提供了科学模式。

本书可供石油地质、油田开发、数值模拟、矿场生产岗位的科研、技术人员和石油院校有关专业师生参考。

图书在版编目 (CIP) 数据

老君庙 M 层低渗透砂岩油藏/邱光东等编著.

北京:石油工业出版社,1998.2

(中国油藏开发模式丛书·低渗透砂岩油藏)

ISBN 7-5021-2202-8

I. 老…

II. 邱…

III. 低渗透油层-砂岩油气田-油田开发-中国-甘肃

IV. TE348

中国版本图书馆 CIP 数据核字(97)第 26941 号

石油工业出版社出版

(100011 北京安定门外安华里二区一号楼)

北京普莱斯特录入排版中心排版

北京密云华都印刷厂印刷

新华书店北京发行所发行

*

787×1092 毫米 16 开本 12.5 印张 317 千字 印 1—1500

1998 年 2 月北京第 1 版 1998 年 2 月北京第 1 次印刷

ISBN 7-5021-2202-8/TE·1845

定价:52.00 元

《中国油藏开发模式丛书》

编辑委员会

主 任 周永康

副主任 谭文彬 王乃举

成 员 曾宪义 沈平平 金毓荪 张家茂

周成勋 万仁溥 刘万赋 冈秦麟

编辑组成员

组 长 金毓荪

成 员 李志勋 杨贤梅 李春如

张卫国 咸玥瑛

《中国油藏开发模式丛书》

一、总论

二、分类模式研究

多层砂岩油藏

基岩油藏

气顶砂岩油藏

常规稠油油藏

低渗透砂岩油藏

热采稠油油藏

复杂断块油藏

高凝油油藏

砂砾岩油藏

凝析油油藏

三、典型实例

序

早在1987年，王涛同志在大庆的一次会议上提出，我国的油田开发有着丰富的实践经验，需要总结一套油藏开发模式，以便对新油田开发和老油田提高水平做出指导。在此之后，中国石油天然气总公司开发生产局、科技发展局、北京石油勘探开发科学研究院组织了全国五十多名专家和数百名工程技术人员，历经八个年头，终于完成了这套《中国油藏开发模式丛书》的编写工作，现在就要出版同广大读者见面了。这是我国油田开发理论研究的系列成果，也是石油工业出版界的一件大事，值得庆贺！

《中国油藏开发模式丛书》包括总论、不同类型油藏开发模式专著和典型油藏开发实例三个部分。丛书共计40册，大约1500万字。它凝结着我国油田地质、油藏和采油工程科技人员的辛劳和智慧，是数十年油田开发实践中成功经验与失败教训的高度概括，从中可以窥见到中国式的油田开发工程的一些特色。

需要指出的是，在本书出版之前，石油科技信息研究所及有关油田曾经编纂出版了一套《国外不同类型油藏开发历程及工艺技术系列研究》成果，它是本丛书的姊妹篇，国外油田开发经验为《中国油藏开发模式丛书》的编著起到了借鉴作用。

前几年我曾经讲过一个认识，“抓产量不等于抓开发”。就是说油田开发有许多科学道理，有它自身的一些规律性，只有老老实实在地按照科学规律，不断提高新老油田的开发水平，才会有产量，也才会有更好的开发效益。我希望从事石油工作的同志，特别是油田开发工作者，能够抽时间读一读或者有选择地读读这套丛书，一定会得到不少的收益。成功和失败都是我们前进的基石，摆在我们石油工作者面前的路是宽广的，也是曲折的，让我们继续奋斗吧！

周永康
一九九八年八月

前 言

本书是老君庙 M 油藏近 50 年开发实践经验的总结。老君庙 M 油藏是有裂缝、低渗透、块状砂岩油藏。经 40 年注水开发的有效实践，在井网密度和取心密度大的基础上对该油藏建立了地质模型，经物理模拟和数值模拟的相互验证计算，优选的合理井网层系、开发指标，与实际情况相近，采出程度高，生产指标好。只是由于裂缝问题，注水指标较差，通过调剖堵水，注水指标已有明显好转。开发历程中虽有曲折波澜，也有丰富多彩的实践经验，值得类似油田借鉴。

本书是以十多个专题研究为基础的成果总结。有北京大学任明达教授的沉积相研究，开发过程中生产规律的研究，沿裂缝注水的机理研究，室内天然露头剖面水驱油物理模型试验，经玉门研究院和西南石油学院对剩余油饱和度的多次研究，及对不同井网层系的数值模拟研究，使工艺上的调剖，堵裂缝，爆炸修套，侧钻衬补，周期注水，增压注水，液面自动测压法等，都为 M 油藏开发提供了新的工艺实践。采用了核回归法、三维定量地质模型和数值模拟，提出了 17 套模拟方案的结果。本书资料丰富，可供油田现场工作者使用，亦可供油田开发人员参考。

本书共分四章，由邱光东组织并参加编写。第一章由王树新、任明达、濮静娟、李铁锋编写，第二章由邱光东、包德瑶编写，第三章由王树新、于锋、刘曰强、魏尚武、张伟道编写，第四章由邱光东、张定理、诸慎初、方本宙、李云华、段建承等编写，最后修改定稿由王树新（一、三章）和邱光东（二、四章）完成，并经中国石油天然气总公司勘探开发科学研究院杨贤梅复审。编写和审核人员都为此书付出了辛勤劳动，但由于理论水平较低，不妥之处请予指正。

目 录

前言

第一章 油藏地质模型	1
第一节 地质概况.....	1
一、区域地质特征.....	1
二、构造特征.....	1
三、地层.....	3
四、地化特征.....	3
第二节 储层特征.....	4
一、沉积特征.....	4
二、岩性、物性特征	10
三、油层分布及有效层评价	31
四、裂缝研究	34
第三节 油层特征评价	41
一、流体性质及分布	41
二、温度、压力系统	43
三、渗流特征	44
四、总体评价	47
第四节 渗透率预测模型	49
一、平面渗透率预测模型	49
二、剖面渗透率的预测模型	50
第二章 注水开发过程基本规律及评价	52
第一节 注水开发过程的基本规律	52
一、产油量	52
二、含水率	53
三、采液、采油指数	56
四、注水量、吸水指数	59
五、储量动用特征	60
六、驱动能量及油水运动规律	63
七、开发效果评价	66
第二节 开发过程评价	71
一、无水开发阶段	71
二、低含水开发阶段	73

三、中含水开发阶段	76
四、高含水及特高含水开发阶段	78
第三章 开发技术政策及合理开发程序	80
第一节 水驱油机理	80
一、实际水驱油特点	80
二、室内水驱油实验及数模	81
第二节 开发技术政策	87
一、驱动方式选择	87
二、层系划分与组合	91
三、注水方式	92
四、井网部署	92
五、压力系统	96
六、提高采收率	103
七、结论	108
第三节 合理开发程序	109
一、油田开发准备阶段	109
二、油田开发建设阶段	109
三、低含水开发阶段	111
四、中含水开发阶段	111
五、高含水及特高含水开发阶段	111
六、结论	111
第四章 M 油藏工艺技术系列	115
第一节 不同开发阶段的工艺特点和配套措施	116
一、不同开发阶段的主要矛盾和工艺措施	116
二、裂缝型低渗透油藏开发工艺特点和配套措施	120
三、工艺技术在油藏开发中的作用	123
四、主要工艺系列	124
第二节 注水工艺技术	128
一、分层注水技术	128
二、高压注水工艺	132
三、水质处理技术	135
第三节 采油工艺技术	136
一、抽油井诊断技术	136
二、抽油井工作参数优选	140
三、油层解堵工艺	148
四、压裂工艺与优化设计	152
五、酸化工艺	158
六、堵水调剖工艺技术	162
第四节 套损预防与修理	173
一、套管损坏的预防	173

二、油（水）井大修理工艺技术·····	178
第五节 生产动态监测工艺·····	182
一、M 油藏不同开发阶段生产动态监测工艺技术 ·····	182
二、工艺系列的优选·····	188
参考文献·····	189

第一章 油藏地质模型

第一节 地质概况

一、区域地质特征

老君庙油田 M 油藏位于酒泉西部盆地南部隆起带中段、祁连山北麓的老君庙背斜构造带上。酒西盆地从大地构造位置看,乃属于马鬃山地台与南山地槽之间的过渡带,其大体范围即地理上所谓的“河西走廊”之西缘,亦即北界为赤金峡山、宽台山、黑山,其走向近东西;南缘为祁连山,走向北西西;西缘在红柳峡以西圈合;东部因嘉峪关、文殊山、虎头泉一线基岩突出,是为东界。构造盆地基底,为寒武纪前郭煌系变质岩及下古生代南山系。由于盆地在大地构造位置上介于地槽与地台之间,因而其接近于地槽和地台边缘的褶皱特征,各具不同的形式。根据地质、重力、地面电法资料,可将盆地划分为三个不同的褶皱带。北部微弱褶皱带,褶曲和缓,多形成单斜层,倾角一般在 5° 左右,但往往由于基底突起,形成局部抬起,褶曲幅度小,正断层较少,但有断面北倾的逆断层,这显然是受南来侧压在遭受北缘回压影响下的产物;中央坳陷带,处于南北两褶皱带之间,因屡经下沉,故基底很深,约 3500m;南缘褶皱带,褶曲包括上古生代至新生代褶皱一般较强烈,北翼陡,且伴有大小程度不等的逆断层或逆掩断层,南翼缓,有与轴线垂直的正断层及与轴线斜交的平移为主的断层,褶曲幅度一般较大、轴面南倾,轴线近北西西,与祁连山脉走向平行,显然受南来侧压应力及扭应力的影响,基底深约 1500~3000m,包括的背斜构造已知的么泉、大红圈、石油沟、老君庙、鸭儿峡、青草湾。酒西盆地是在古生界基底上发展起来的中新代断拗叠合型的内陆沉积盆地。燕山运动发育的北东向和近南北向的高角度正断层,控制了侏罗—白垩系沉积凹陷的分布和发展,形成了河流、湖泊相的含煤和含油气碎屑建造,是祁连北走廊地区的主要生油层(图 1.1)。喜山运动时,在近南北向压应力作用下,北祁连强烈抬升,盆地进入山前拗陷阶段,广泛沉积了第三系河湖相红色含膏盐碎屑岩建造,是走廊地区的重要储油层系。喜山运动又使第三系地层发生断裂与褶皱,形成老君庙背斜构造带,为油气聚集提供了构造圈闭条件。油气沿第三系砂岩向构造高点运移和聚集,形成石油沟、老君庙、鸭儿峡等第三系背斜油藏。青西、石北、大北的侏罗—白垩纪生油凹陷与之毗邻,为之提供了丰富的油源。

二、构造特征

老君庙 M 油藏是老君庙背斜构造第三系最下一个油藏。油藏是一个完整的不对称穹窿背斜构造,轴向 290° ,长轴 6.6km,短轴 3.3km,闭合高度 700m。背斜北陡南缓,北翼倾角 $70^{\circ}\sim 90^{\circ}$,局部倒转;南翼倾角 $15^{\circ}\sim 20^{\circ}$ 。平均埋深 810m(图 1.2)。

构造边部发育 5 条断层,除东边部为平移断层外,其余均为逆断层。构造的北翼和东端分别受北西向西逆掩断层和北西向平移断层遮挡,西部和南翼为边水封闭,边水不活跃。根据断层遮挡情况、储层分布、油水边界条件和产油情况等,将油藏划分为 3 个区:顶部区、外

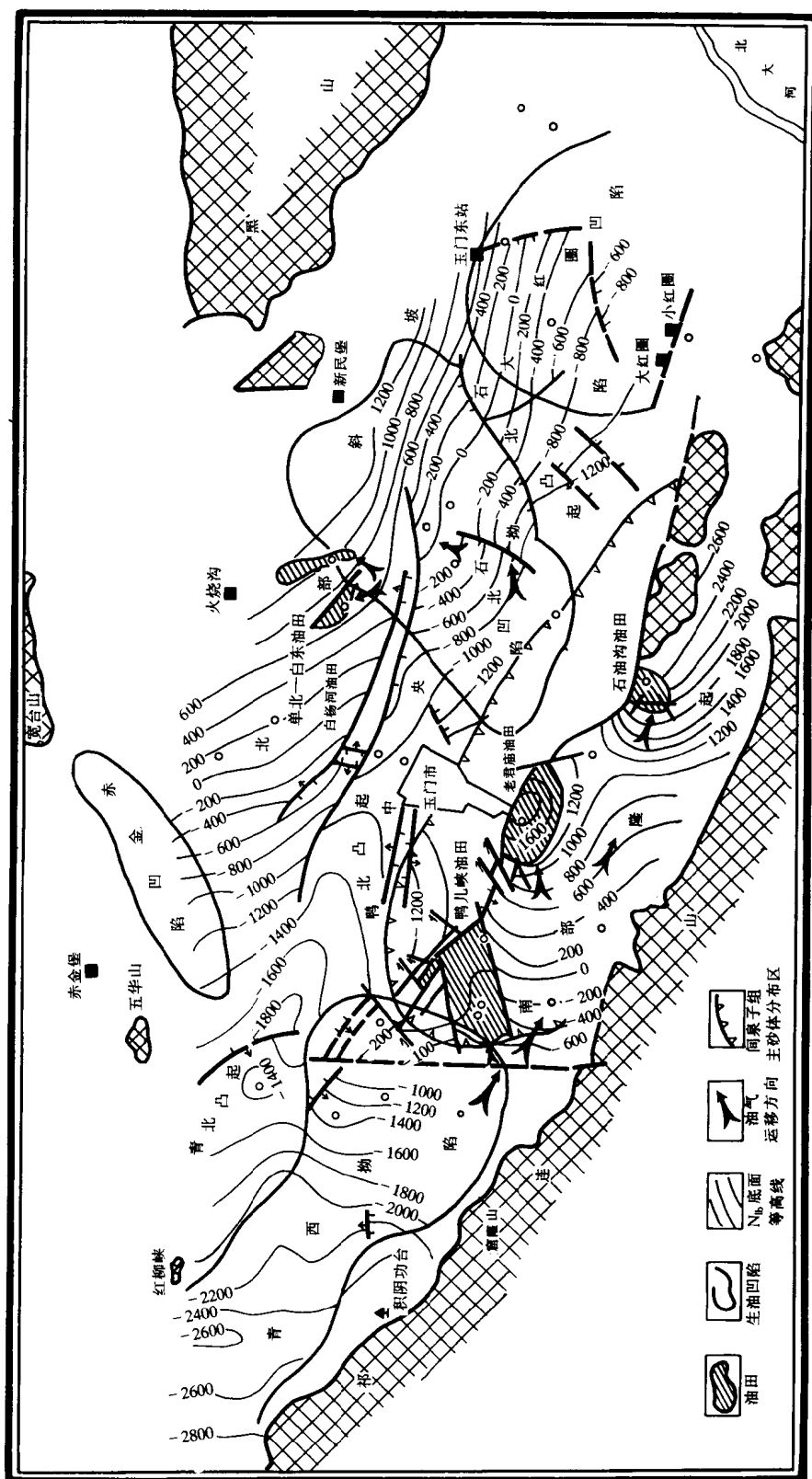


图 1.1 酒西盆地构造略图

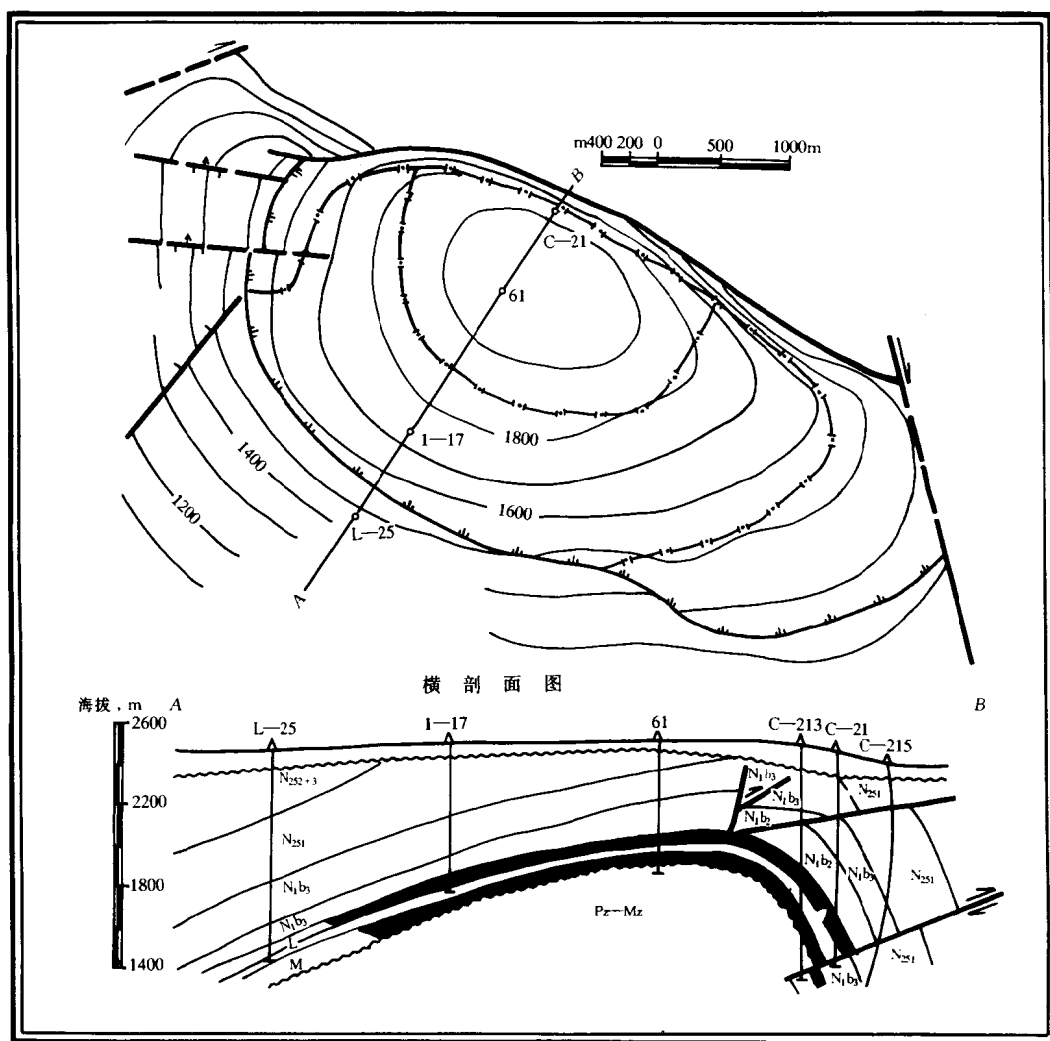


图 1.2 老君庙油田 M 层构造图

排区和低产区。

三、地层

老君庙背斜隆起地区自上而下钻遇的地层主要有第三系疏河群和白杨河群，与下伏白垩系红色含砾泥岩呈不整合接触。白杨河群间泉子组为第三系主要储集层，是一套棕红色陆源碎屑沉积。M 油藏是第三系的底部油藏，为棕红色厚层块状砂岩，整个 M 层为上细下粗的正韵律沉积，厚度一般为 60~70m，自上而下由 M_1 、 M_2 、 M_3 三个小层组成。M 层往上与 L—M 层为连续沉积，以豆状钙质结核层或钙质砂岩底面为分界。

四、地化特征

M 油藏原油主要生成于青西凹陷的白垩系。酒西盆地自侏罗纪开始形成至白垩纪早期达到全盛期，此时边缘山系急剧上升，提供了丰富的物质来源；盆地持续稳定下降，堆积了巨厚的湖相黑色泥页岩。沉积物中富含动植物化石，为石油的生成提供了大量的有机物质。青

西凹陷白垩系的有机碳含量一般大于1%，还原硫含量和 $\text{Fe}^{2+}/\text{Fe}^{3+}$ 比值表明主要处于还原环境（表 1.1），有利于物质的保存及向石油的转化。

表 1.1 青西凹陷生油层环境指标

剖面（或井）	有机碳，%	还原硫，%	$\text{Fe}^{2+}/\text{Fe}^{3+}$
旱 峡	1.45	0.01	4.65
红柳峡	1.10	0.02	0.63
低窝铺	1.56	0.01	0.79
赤金北窑	1.83	0.01	9.64
南 19 井	1.52	0.15	10.21

原油分析中的正构烷烃分布多为单峰群，主碳一般在 $\text{C}_{15}\sim\text{C}_{19}$ ；姥鲛烷与植烷比值（Pr/Ph）为 0.9~1.1，Pr/nC₁₇ 为 0.4~0.53，Pn/nC₁₈ 为 0.44~0.73，这表明原油生成于淡水湖相沉积物中。但从地层生物标记化合物中的伽马蜡烷，奥利烷 Rr—羽扇烷的分布来看，伽马蜡烷稍高，一般大于 50%，说明生油岩的形成环境微有咸化。原油的碳同位素 $\delta^{13}\text{C}$ 为 3.1%~3.0%，也表明原油生成于湖泊淡水—微咸水环境下沉积的母岩中。

原油中的孢粉组合表明，白垩纪时期属于半潮湿气候条件。

第二节 储层特征

一、沉积特征

1. 区域沉积特征

酒西盆地于喜山期整体沉降，全区沉积了 3000~5000m 厚的第三系冲积扇—河流—三角洲相碎屑岩。其分布范围自下而上逐层扩大，下第三系火烧沟群主要分布在盆地北部和中央部分地区，自北向南减薄乃至尖灭；上第三系白杨河群和疏勒河群广布于全盆地。

老君庙地区的第三系缺失火烧沟群，白杨河群底部的 M 层超覆沉积在白垩系的剥蚀夷平面上，为冲积扇—辫状河流相的流水沉积，构成厚层块状砂岩油藏。由 M 层往上，过渡为 L 层河流—三角洲相的层状砂岩油藏。

M 层沉积以前，老君庙地区白垩系的构造地形经历了长期的剥蚀夷平，地形的总趋势是东南部高，向西北降低，它控制了该区 M 层沉积时期的环境演化、古水流方向及沉积相的分布（图 1.3）。

2. M 层沉积特征

M 层的厚度为 60~70m，自东南向西北增厚（图 1.4），全部由砂岩组成，无纯泥岩夹层，是一套成熟度低、分选差、非均质性强、油层连通性差的棕红色厚层块状砂岩。

M 层沉积物形成于陆源氧化环境条件下，表现为：粒度细、粒级分散、粒度组合复杂，岩性多渐变，层理不显，正态概率曲线以两段型为主，由跃移组分和悬移组分构成，细截点粒径一般在 0.125~0.063mm 之间，剖面上自下而上细截点粒径有变细的趋势（图 1.5，1.6，表 1.2），CM 图形包括滚动与悬移、跃移与滚动以及递变悬浮三部分（图 1.7），说明 M 层由流水作用形成。

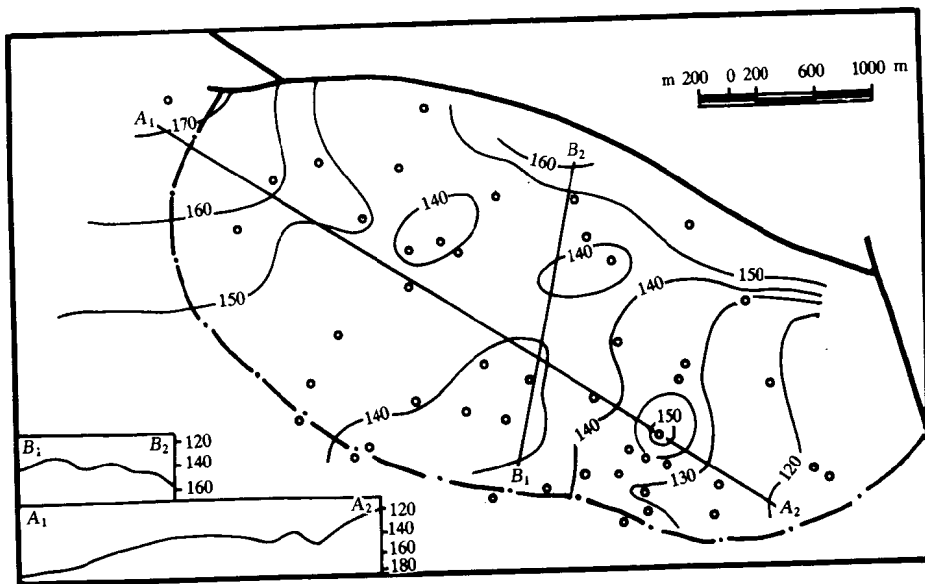


图 1.3 M 层底面地势图

注：以石油沟组湖相 BC 层底面为相组基面，由此至 M 层底的相对深度表示 M 层的底面地势

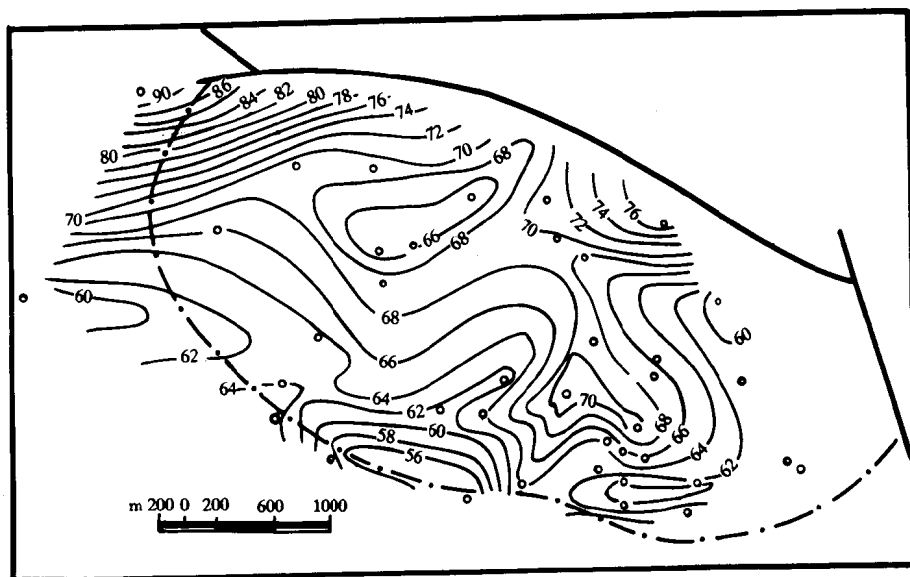


图 1.4 M 层厚度等值线图

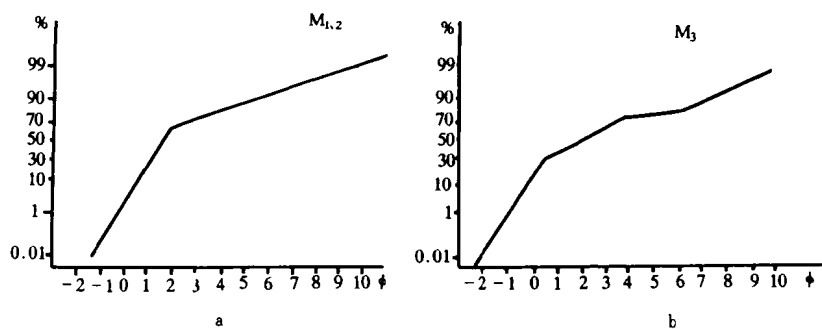


图 1.5 M 层正态概率曲线两段型 (a) 和多段型 (b) 曲线

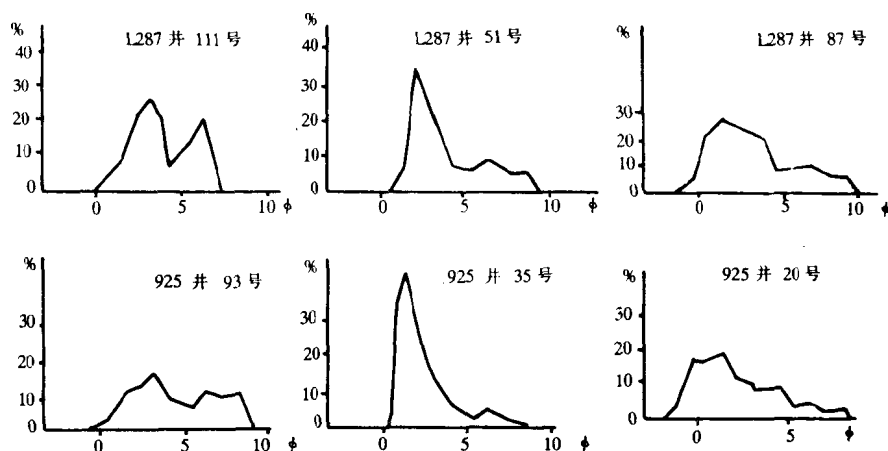


图 1.6 M 层频率曲线

表 1.2 M 层粒度特征表

层 位	M ₁		M ₂		M ₃	
井 号	925	L287	925	L287	925	L287
平均粒径 φ	3.27	3.49	3.23	3.36	2.53	3.46
泥质含量, %	7.25	14.06	11.61	13.79	9.05	14.58
分选系数	1.81	2.48	2.18	2.60	2.51	2.66
偏 度	0.7	1.03	0.8	0.88	0.76	0.92
细截点粒径 φ	3.19	3.65	3.74	3.87	2.55	3.73
悬移质含量, %	36.15	36.87	36.08	33.1	42.3	33.34
跃移质斜率, 度	54.69	47.83	47.0	43.63	49.53	44.26
频率曲线特征	窄单峰为主, 粒级范围一般 1.5φ~4.5φ		多单峰较宽多突		多宽平单峰及少量双峰曲线 (粒径相差不大) 粒级范围一般 1.5φ~5.5φ	
正态概率累积曲线特征	多两段式, 缺推移质, 悬移质含量一般较少。跃移质斜率较大				两段式与多段式, 悬移质含量一般较多, 跃移质斜率较小	

整个 M 层的岩性呈正旋回, 下部粗、往上逐渐变细, 其中又包含若干个不同规模的正韵律 (图 1.8), 粗碎屑沉积中以块状和递变层理为主; 细碎屑沉积中, 以小型斜层理为主, 间有脉状和水平层理。

M 层砂岩成分单一, 主要含石英、次含岩屑和长石。粘土矿物以蒙脱石为主, 伊利石居中, 高岭石最少 (表 1.3), 粘土矿物含量自下而上蒙脱石增多而高岭石减少, 其变化的速度在本区的东南部与西北部存在着差异 (图 1.9)。位于西北部的 925 井, 自 M₂ 的下部起蒙脱石和高岭石的含量已明显地向两极分异; 在东南端的 L287 井中, 蒙脱石和高岭石的含量在 M₃ 和 M₂ 中的变化时大时小, 相互交错, 至 M₁ 才有较显著的分离现象。这些说明: M 层沉积时期的气候由湿润向干燥方向变化, 925 井的沉积环境较早地呈偏碱性, L287 井的沉积环境时而偏碱, 时而偏酸, 频繁交替, 直至 M₁ 才比较稳定地成为偏碱性的环境。

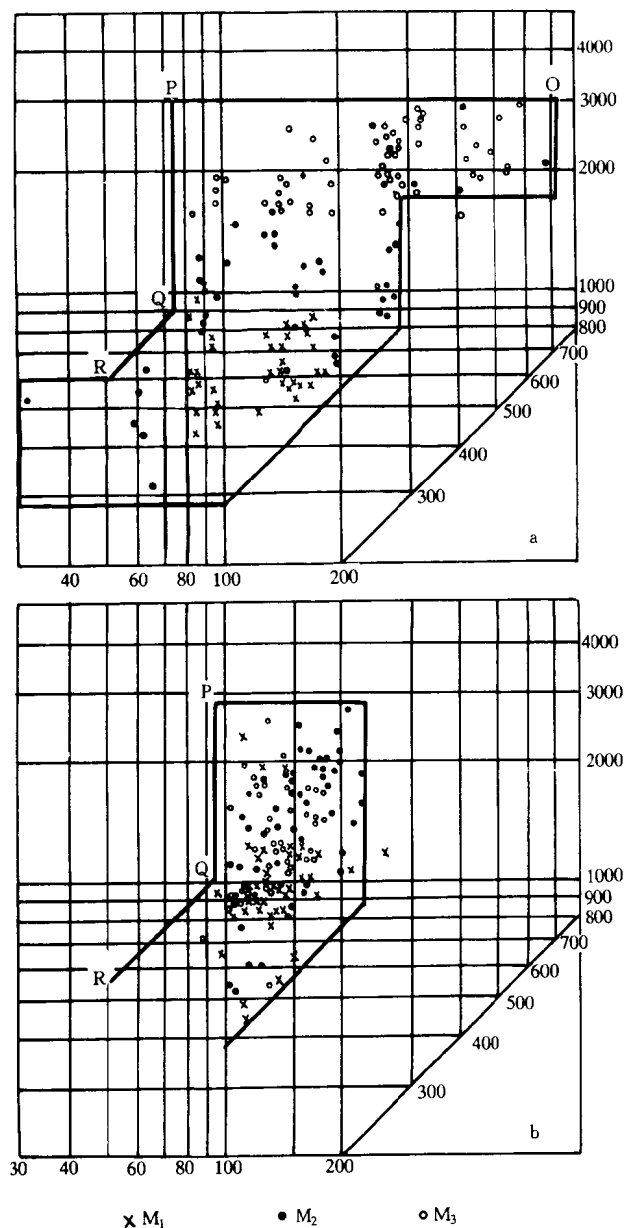


图 1.7 925 井 (a) 和 L287 井 (b) CM 图

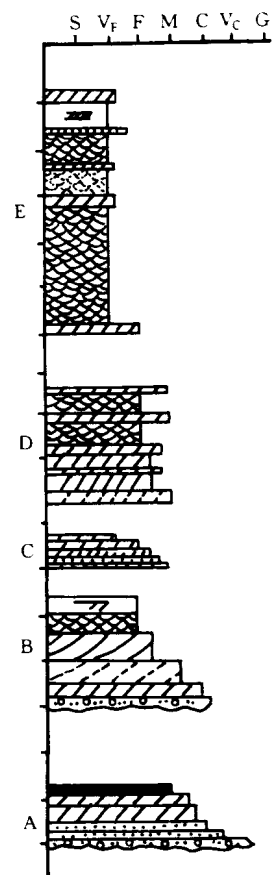


图 1.8 沉积韵律层类型
A—冲积扇沉积；B—辫状河主河槽沉积；C—辫状河汉河槽沉积；D—辫状河砂坝沉积；E—辫状河砂岛沉积

表 1.3 M 层粘土矿物相对含量表

含 量 层 位	名 称 蒙脱石	伊 利 石	高 岭 石	备 注
M_1	59.97	26.74	13.28	19 口井 58 块样品
M_2	52.16	29.24	18.61	16 口井 41 块样品
M_3	41.16	36.10	23.13	12 口井 32 块样品
M	51.93	29.97	18.19	17 口井 119 块样品