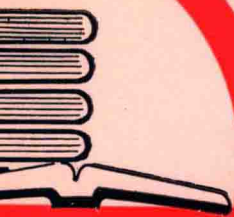


“油气藏地质及开发工程”
国家重点实验室

研究年报

(1993—1994)

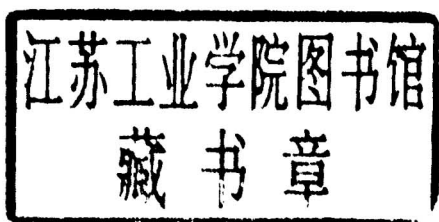


四川科学技术出版社

“油气藏地质及开发工程”
国家重点实验室

研 究 年 报

(1993—1994)



四川科学技术出版社

(川)新登字 004 号

图书在版编目(CIP)数据

“油气藏地质及开发工程”国家重点实验室研究年报(1993—1994)/“油气藏地质及开发工程”国家重点实验室编辑。-成都:四川科学技术出版社,1994.12

ISBN 7-5364-2803-2/TE·9

I. 油…… I. 油…… III. 油气地质-油气开发-年报

书名/“油气藏地质及开发工程”国家重点实验室研究年报(1993—1994)
编辑/“油气藏地质及开发工程”国家重点实验室

责任编辑·宋 齐 喻瑞卿

特约编辑·赵成永 邓季娜 黄祖基

封面设计·卢奇勋

出版发行 四川科学技术出版社

(成都市盐道街3号 邮编 610012)

印 刷 西南冶金地质印刷厂

版 次 1994年12月第1版

1994年12月第1次印刷

印 张 25.75

字 数 643千字

印 数 1—1000册

定 价 49.00元

ISBN 7-5364-2803-2/TE·9

“油气藏地质及开发工程” 国家重点实验室 简介

1991年经国家计委和国家教委批准,由成都理工学院和西南石油学院联合建设“油气藏地质及开发工程”国家重点实验室。

一、实验室的领导机构

1. 地质矿产部与中国石油天然气总公司联合领导小组

领导小组组长:张文岳 地质矿产部副部长

领导小组成员:

徐梦虹 石油天然气总公司人事教育局副局长
孟宪来 地矿部教育司司长
傅诚德 石油天然气总公司科技发展局副局长
张良弼 地矿部科技司司长
刘凤惠 石油天然气总公司科技发展局管理处处长
彭维震 地矿部科技司攻关处处长
张云福 石油天然气总公司人教局高教处副处长
李明路 地矿部教育司高教处干部
王珠眉 石油天然气总公司人教局高教处干部

2. 成都理工学院与西南石油学院联合领导小组

成都理工学院:贺振华 刘家铎 刘树根
西南石油学院:罗平亚 李 允 孙良田

3. 实验室领导成员

主任:罗平亚

常务副主任:刘树根

副主任:孙良田

二、实验室学术委员会

主任:刘宝珺

委员:李德生 童宪章 马兴峙 刘宝珺 刘光鼎 郭正吾 王小牧 罗平亚

李仕伦 马德坤 贺振华 曾允孚 杨宝星

秘书:刘树根

三、实验室的研究方向

1. 油气地质与勘探;
2. 油气钻井及油气藏开发工程。

四、实验室的研究内容

1. 油气储层综合研究(油气储层学)
 - (1)常规储层和非常规储层的地质特征研究;
 - (2)油气藏(田)开发储层研究;
 - (3)储层地球化学研究;
 - (4)油气储层保护及改造研究;
 - (5)储层描述研究;
 - (6)储层物理学研究。
2. 含油气盆地整体、动态和定量研究
 - (1)层序地层学与含油气盆地沉积体系、演化研究;
 - (2)造山带与盆地耦合关系研究;
 - (3)含油气盆地流体地质作用研究;
 - (4)含油气盆地综合评价。
3. 油气藏地球物理方法技术研究
 - (1)油气藏勘探地球物理研究;
 - (2)油气藏开发地球物理研究;
 - (3)含油气盆地深部地球物理研究。
4. 复杂油气藏的开发理论、开发方法和开发设计研究。
5. 保护油气层工艺技术和工作液研究。
6. 定向井、水平井等钻井新工艺和有关设备、工具研究。

目 录

油气储层综合研究

江汉盆地拖市油田膏盐环境油藏储层低渗透机理研究	罗蛰潭 倪师军 王绪本 罗雨田等(1)
四川盆地中西部上三叠统砂岩中非构造裂缝形成机理研究	王洪辉 陆正元(13)
广西合浦盆地常乐凹陷下第三系砂砾岩储层孔隙类型与次生孔隙形成机制	李国蓉(22)
川西坳陷上三叠统致密储层气(油)水岩系统地球化学环境与天然气聚散	赵永胜(33)
WTLA 油田三叠系储层非均质性研究	李德发 刘文碧 王洪辉(46)
川东石炭系黄龙组储层的古岩溶特征	郑荣才 周 文 张哨楠 张高信等(57)
川东石炭系古岩溶的地球化学特征	张哨楠 郑荣才 李德敏 周 文等(71)
论川东南下二叠统中缝洞系统的成因	陆正元(85)
四川盆地平缓构造区致密地层中受中小断层控制的裂缝性油气藏	徐国强(92)
广西、贵州地区泥盆系、石炭系层状白云岩的特征与分布	方少仙 侯方浩 董兆雄(98)
川东地区嘉二段裂缝-孔隙型储层的成岩控制作用与模式	曾 伟 黄继祥(112)
鄂西建南地区上二叠统长兴组碳酸盐岩的成岩作用与储集性	沈昭国 陈景山 方少仙 董兆雄(122)
测井资料神经网络处理解释技术	肖慈珣 杨 斌(136)
用于储层油气评价的神经网络系统	冉启全 李士伦 颜其彬(146)

油气盆地分析

盆地形成演化的运动学和动力学综合模拟	施泽进 罗蛰潭 贺振华(151)
扶杨油层水化学场、水动力场的形成与油气分布的关系	楼章华 曾允孚 高瑞祺 姜传金(158)
松辽盆地成盆初期构造背景的再认识	赵锡奎(173)
川西前陆盆地的构造发展	刘树根 戴苏兰(177)
川西上三叠统地层压力演化中的早期“欠压实”作用	徐国盛 倪根生(189)
滇西瑞丽盆地的形成演化与构造岩相带研究	陈布科 赵永胜 李明辉 林金庆(197)
准噶尔盆地火烧山地区平地泉组二、三段的沉积相序列和扇三角洲沉积	游章隆(207)

海拉尔断陷盆地沉积模式与油气	张长俊	田景春	(215)
用流体包裹体结合地化资料研究黄桥和句容地区油气聚集与运移			
.....	费富安	方国英	(227)
楚雄盆地上三叠统和侏罗系中沥青的源岩及其地球化学特征研究		叶素娟	(235)

油气开发工程

气藏工程分析方法研究	李 允	钟孚勋	(244)
应用毛管压力资料计算气水相对渗透率曲线	廖明光	谈德辉	何光怀(249)
以循环测定饱和度的方法测定相渗曲线	裴柏林	彭克宗	(256)
气体吸附对气藏储量计算的影响	何江川	李士伦	孙良田 孙 雷(263)
封闭油藏水平井压力动态研究	李晓平	赵必荣	刘启国(267)
双重介质 DST 测试非自喷井试井分析方法	贾永禄	李小云	杨鼎源(277)
川东地区石炭系气藏天然气生产能力预测	杨维宁	王 宏	匡建超(285)
气井多因素优化分析方法	李 闽	李士伦	姚恒申(293)
川西坳陷合兴场气田单井产能预测——灰色系统的应用			
.....	王 宏	杨维宁	董 伟 邓礼正(301)
川西坳陷致密碎屑岩储层识别与产能预测研究	匡建超	童孝华	杨维宁(305)
用计算机自动分析试井资料的新方法	张永贵	王允诚	龚久和(316)

油气钻井工程

三牙轮钻头钻进系统描述及其仿真研究方法	周德胜	马德坤	(322)
钻头钻穿交错地层过程中的弯矩计算		马 裴	(327)
克拉玛依油田水平井钻井液完井液技术	王平全	罗平亚	(339)
水平钻井中岩屑运移动态模型的探讨	王艳辉	罗平亚	(349)
油井射孔完井最小负压设计研究	唐愉拉	李海涛	潘迎德 王永清(356)
裸眼井高能气体压裂的设计压力	吾用明	汪天庚	(363)
碳酸盐岩/盐酸液固相表面反应机理研究	张黎明	任书泉	(371)
判断潜在地层损害因素的岩相学分析方法	沈守文	康毅力	沈明道(381)
大分子-粘土矿物(-无机盐)混合体系的微细结构	胡星琪	孙蓬育	(387)
高压高温三轴向岩心多参数测量系统的研制与应用 ...	陈福煊	张开洪	陈一建(395)

CONTENTS

INTEGRATED RESEARCH OF OIL/GAS RESERVOIR

- Study on the diagenetic mechanism of low-permeability reservoirs of anhydrite environment in Tuoshi oil field of Jiangnan Basin Luo Zhetan Ni Shijun Wang Xuben Luo Yutian (1)
- Study on the mechanism of nontectonic fractures in the Upper Triassic sandstones in the middle-west area in Sichuan Basin Wang Honghui Lu Zhengyuan (13)
- Pore types and formation mechanism of secondary pore in Lower Tertiary sandstone and conglomerate reservoirs, Changde depression, Hepu Basin, Guangxi Li Guorong (22)
- Accumulation and escape of natural gas and geochemical milieu in gas/oil and water bearing rock system of tight reservoir, Upper Triassic, west depression of Sichuan Basin Zhao Yongsheng (33)
- Research on the inhomogeneity of Triassic reservoirs Li Defa Liu Wenbi Wang Honghui (46)
- Some characteristics of paleokarst reservoir in Huanglong Formation, Upper Carboniferous, Eastern Sichuan Zheng Rongcai Zhou Wen Zhang Shaonan Zhang Gaoxin et al (57)
- Geochemical characteristics of paleokarst in the Late Carboniferous, Eastern Sichuan Zhang Shaonan Zheng Rongcai Li Demin Zhou Wen et al (71)
- Formation of the fracture-cavity system of the dense carbonate in the Lower Permian in South-eastern Sichuan Lu Zhengyuan (85)
- Fracture traps caused by minor fault within dense reservoirs in flat regions, Sichuan Basin Xu Guoqiang (92)
- The properties and distributions of Layered dolomites in Devonian and Carboniferous in Guangxi and Guizhou, China Fang Shaoxian Hou Fanghao Dong Zhaoxiong (98)
- Diagenesis and models of fracture-porosity reservoir for Jialingjiang Formation (section I) in Eastern Sichuan Zeng Wei Huang Jixiang (112)
- Diagenesis and reservoir conditions of carbonate rock in Changxing Formation, Upper Permian, Jiannan, West Hubei Shen Zhaoguo Cheng Jingshan Fang shaoxian Dong Zhaoxiong (122)
- Technology of handing and interpretation on neural network of well logging data Xiao Cixun Yang Bin (136)
- A neural network expert system for the evaluation of reservoir oil and gas Ran Qiquan Li Shulun Yan Qibin (146)

BASIN ANALYSIS

- Synthetical simulation of kinematics and dynamics in the formation*and evolution of basins Shi Zejin Luo Zhetan He Zhenhua (151)
- Hydrochemical and hydrodynamic regimes and their relationship with the distribution of oil and gas in Fuyang Formation, Northeast Songliao Basin, China Lou Zhanghua Zeng Yunfu Gao Ruiqi Jiang Chuanjin (158)
- More recognition of tectonic setting in the period of basining in Songliao Basin Zhao Xikui (173)
- Tectonic development of Western Sichuan foreland basin, Sichuan, China Liu Shugen Dai Sulan (177)
- Early undercompaction of formation pressure evolution in the Upper Triassic in th Western Sichuan Xu Guosheng Ni Gensheng (189)
- Study on evolution and structure lithofacies zones of Ruili Basin in the west of Yunnan Chen Buke Zhao Yongsheng Li Minghui Lin Jingqing (197)

The sedimentary sequence and fan-delta deposit of middle and upper Pingdiquan Group in Huoshaoshan area, Zhungeer Basin	<i>You Zhanglong</i> (207)
The sedimentary model and the relationship with oil and gas of Hailar faulted basin	<i>Zhang Changjun Tian Jingchun</i> (215)
Accumulation and migration of oil-gas in Huangqiao—Jurong area; using fluid inclusion analyses and geochemical techniques	<i>Fei Fuan Fang Guoying</i> (227)
Source rock of Upper Triassic and Jurassic asphalt and geochemical characteristics in Chuxiong Basin	<i>Ye Sujuan</i> (235)

OIL/GAS DEVELOPMENT ENGINEERING

Study of analyzing method of gas reservoirs engineering	<i>Li Yun Zhong Fuxun</i> (244)
Calculation of gas and water-phase relative permeability from capillary pressure data	<i>Liao Mingguang Tan Dehui He Guanghui</i> (249)
Measure relative permeability curve using cyclical measurements of saturation	<i>Pei Bolin Peng Kezong</i> (256)
The effect of gases adsorption on gas reserves calculation	<i>He Jinagchuan Li Shulun Sun Liangtian Sun Lei</i> (263)
Pressure behavior study of horizontal well for bounded reservoir	<i>Li Xiaoping Zhao Biron Liu Qiguo</i> (267)
An analyzing method of drillstem test for non-self-flowing well in double porosity reservoirs	<i>Jia Yonglu Li Xiaoyun Yang Dingyuan</i> (277)
Prediction on the producibility of Carboniferous gas pools in the east area of Sichuan—Application of neural network	<i>Yang Weining Wang Hong Kuang Jiancao</i> (285)
The optimization analysis of multi-variable for gas wells	<i>Li Min Li Shulun Yao Hengsheng</i> (293)
The predicting of single well production for Hexinchang gas reservoirs in the tight elastic rock of Upper Triassic in the depression of Western Sichuan—the application of gray system	<i>Wang Hong Yang Weining Dong Wei Deng Lizheng</i> (301)
Study on identification of the dense reservoirs of elastic rock and prediction of the producibility of them in west depression of Sichuan Basin	<i>Kuang Jiancao Tong Xiaohua Yang Weining</i> (305)
A new algorithm for automated well-test analysis by computer	<i>Zhang Yonggui Wang Yongcheng Gong Jiuhua</i> (316)

OIL/GAS DRILLING ENGINEERING

The description and the simulation method of the tri-cone bit drilling system	<i>Zhou Desheng Ma Dekun</i> (322)
The calculation of bending moment on bit in drilling through soft-hard crossing formation with bit	<i>Ma Fei</i> (327)
The drilling and completion fluids technology for horizontal drilling in Karamay oil field	<i>Wang Pingquan Luo Pingya</i> (339)
The dynamical model of cuttings transport on drilling	<i>Wang Yankui Luo Pingya</i> (349)
The research on minimum underbalance design of perforating in oil well	<i>Tang Yula Li Haitao Pan Yingde Wang Yongqing</i> (356)
Design pressure of high energy gas fracture for open hole	<i>Wu Yongming Wang Tiangen</i> (363)
Study on the mechanism of HCl/carbonate rock heterogeneous surface reaction	<i>Zhang Linying Ren Shuquan</i> (371)

Lithofacies analysis methods for evaluating potential formation damage factors	<i>Shen Shouwen</i>	<i>Kang Yüi</i>	<i>Shen Mingdao</i> (381)
The microscopic structure of macromolecules-clay mineral (-inorganic salts) mixing systems	<i>Hu Xingqi</i>	<i>Sun Pengyu</i> (387)	
Research and application of a core measurement system to measure petrophysical parameters stimulating in-situ conditions	<i>Chen Fuxuan</i>	<i>Zhang Kaihong</i>	<i>Chen Yijuan</i> (395)

江汉盆地拖市油田

膏盐环境油藏储层低渗透机理研究

罗蛰潭 倪师军 王绪本 罗雨田
(成都理工学院)

李素娥
(江汉石油勘探开发研究院)

刘丽华
(南海东部石油公司)

摘 要 本文通过成岩流体包裹体成份测试,配合岩石学研究和裂缝充填物热释光与中子活化研究,对江汉盆地拖市油田油藏储层低渗透机理进行了分析。认为成岩过程中硬石膏和方解石在裂缝系统以及裂缝所经过的砂岩孔隙中充填沉淀是造成本区储层致密的主要原因。膏岩成岩期温度、压力及化学环境接近或类似于现代储层物化环境;裂缝中硬石膏呈分阶段沉淀特征;裂缝充填物主要来自于泥岩。只有在早期方解石胶结发育,然后遭受溶蚀而古裂缝又不发育的地区或部位才可能构成有利储集层。

关键词 成岩机理,孔隙演化,包裹体,古温度,古压力,热释光,中子活化,低渗透储集层,江汉盆地

一、引 论

自 70 年代以来,低渗透致密储层在世界范围内广泛受到重视。进入 80 年代,随着勘探与开发技术的不断发展和革新,这类储层作为天然气的第二主要供应源也被加以肯定。美国低渗透致密储层研究处于领先地位并在指导油气勘探与开发方面取得重要成果(Spencer, 1985, 1989; Dutton, Finley, 1986, 1988; Fraccaso 等, 1988; Masters, 1984)。国内在低渗透储层系统研究方面虽然起步较晚,但进步很快,如长庆油田在低渗透油层的勘探与开发方面的丰富经验;四川盆地在致密基质裂缝性碳酸盐岩储层卓有成效的研究;以及大庆油田对低渗透致密储层的早期诊断等方面均是具有代表意义的成果。

纵观上述研究现状,目前仍主要从储层物性分析和成岩作用方面研究较多,对机理分析较少,而且针对膏盐环境储层研究尚不多见。江汉盆地拖市油田为我们提供了一个膏盐环境低渗透油藏储层的研究场所。

拖市构造位于江汉盆地潜江凹陷南部,是自白垩纪古隆起背景上发育的背斜构造,受荆沙

• 本文为“油气藏地质及开发工程”国家重点实验室和地矿部开放研究实验室资助项目。

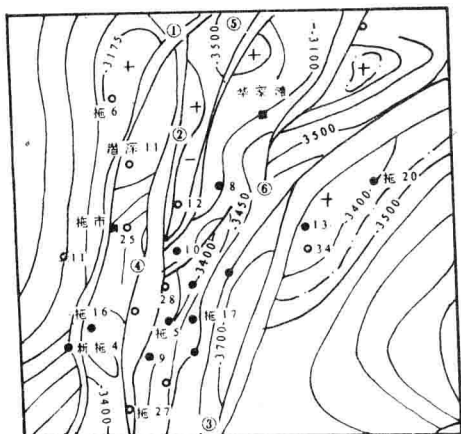


图 1 研究区构造略图
图中,●为油气井;○为干井

期末期北北东向断裂切割,形成地堑断块特征。研究区面积约 40km²,内有 20 余口钻井集中分布于背斜轴部周围(图 1)。拖市地区主要含油层为下第三系新沟咀组下段,厚度 300 余米,埋深为 3000~3500m,表 1 提供了储层岩性特征。

根据前期工作资料,拖市地区为低渗透致密储层,岩石学研究认为沉积过程不是造成储层岩石致密的根本原因。观察表明,储层岩石孔隙和裂缝广泛遭受硬石膏充填,硬石膏有交代矿物颗粒和胶结物的现象。因此,硬石膏的成岩过程是区域储层致密机理研究的关键。同时,由于本区构造裂缝发育,裂缝与储层的关系也是我们所关心的问题。

围绕上述问题,我们采用了以成岩与古环境恢复为核心的研究思路,通过恢复成岩期岩石孔隙系统及裂缝的古物理、古化学与物理化学环境,配合裂缝研究和各种成岩证据,建立了膏盐环境低渗透储层成岩模式,揭示了在此模式控制下的孔隙演化过程,从而对储层物性进行预测性评价。研究流程见图 2。

表 1 拖市地区新沟咀组下段岩性特征

层 位		岩 性 简 述
大膏层		灰白色石膏岩、泥膏岩为主,夹灰色石膏质泥岩及泥岩,为区域对比标准层,厚 13.5~21m
I 油组	I ¹	红灰间互泥岩,上部夹石膏质泥岩,下部夹厚层粉砂岩,厚 42.5~61m
	I ²	紫红色、灰色泥岩与粉砂岩互层,为本油田主要油层段之一,厚 30~34m
II 油组	II ¹	灰、深灰色泥岩夹粉砂岩及薄层石膏质泥岩,厚 32~33.5m
	II ²	灰、深灰色泥岩夹石膏质泥岩及粉砂岩,厚 38~44.5m
	II ³	灰、灰黑色泥岩夹石膏质泥岩及少量粉砂岩,厚 40.5~44.5m
泥隔层		深灰、灰黑色泥岩夹石膏质泥岩,泥岩质纯,为区域对比标准层,该层与 I 油组同属本区主要生油层段,厚 18~21.5m
III 油组	III ¹	灰、深灰色泥岩与粉砂岩等厚互层,粉砂岩最大单层厚 7.4m,为本区主要储集层段,厚 22.5~25m
	III ²	灰、灰紫色泥岩与粉砂岩互层,偶夹石膏质泥岩,厚 18.5~21.5m
	III ³	灰、灰紫色泥岩与粉砂岩互层,下部夹石膏质泥岩,厚 32.5~36.5m
	III ⁴	灰、灰紫色泥岩夹粉砂岩,厚 25~28.5m

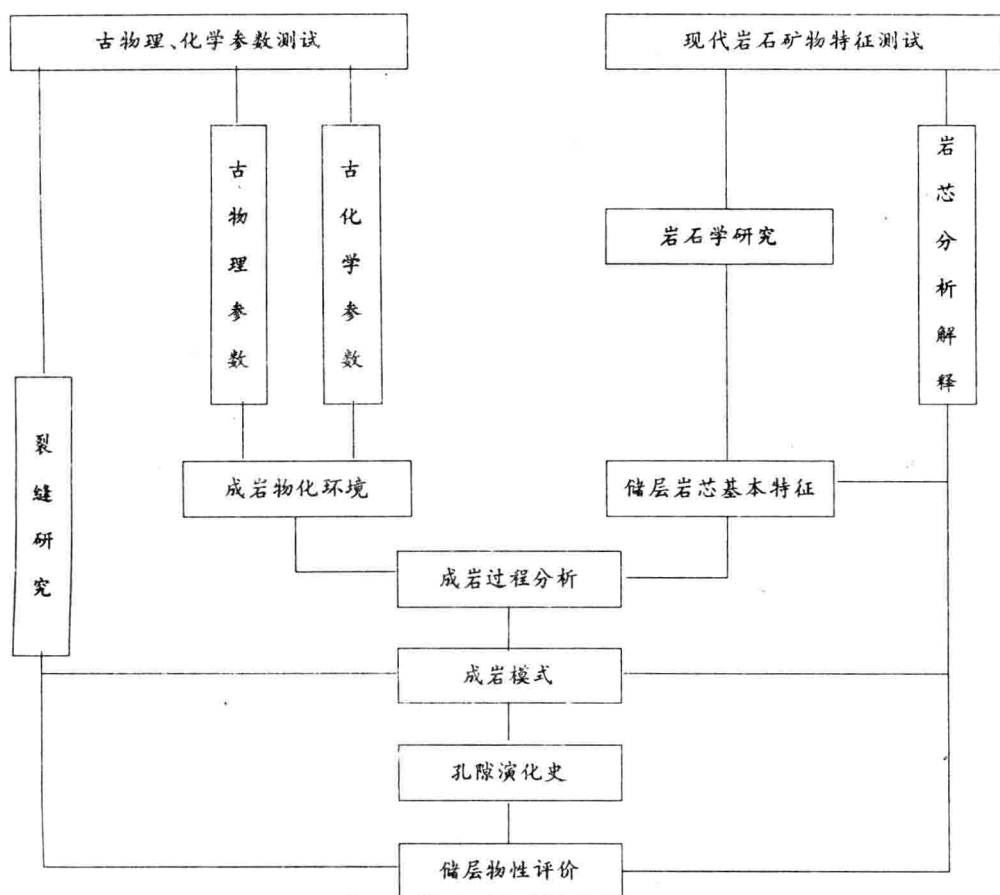


图2 研究流程框图

二、储层岩石一般特征

根据常规薄片、铸体薄片、扫描电镜以及阴极发光显微镜的观察,研究区储层岩石有以下特征:

(1)新下段主要储集岩为成熟度较低的长石石英砂岩(粉砂岩);(2)胶结物含量高,种类以碳酸盐和硫酸盐为主;(3)压实作用较强烈,部分地带有压溶性,压溶产物原地沉淀。但胶结物减缓了岩石压实作用;(4)原生孔隙几乎全部遭受破坏,现存孔隙以硫酸盐胶结物溶孔及残余粒间孔为主,部分为长石粒内溶孔;(5)成岩次序大体上为:形成部分粘土环边→方解石(微晶)充填→长石、方解石溶蚀→长石、石英加大→硬石膏及较大晶体的方解石充填。

根据前期工作资料和研究结果,新下段储层成岩过程经历了早期和中期成岩阶段。早期成岩阶段发生在酞酐根大量脱羧之前,深度在 1500m 以内, R_o 小于 0.5%,储层成岩变化以机械压实作用为主,局部有早期碳酸盐的胶结及粘土环边的沉淀,此阶段末期开始有少量石英、长石次生加大。中期成岩阶段深度为 1500~3500m 之间,温度为 68~130℃, R_o 为 0.5%~

1.6%,其中,中期成岩阶段早期泥岩中有机质开始脱羧并形成大量羧酸,它随泥岩转化过程中脱出的液体通过压实或裂缝而进入砂岩储层。早期的主要成岩作用为碳酸盐胶结物和长石颗粒的溶解,石英、长石次生加大及粒间孔中自生石英晶体及少量的粘土矿物。中期成岩阶段晚期成岩作用以硬石膏及晚期方解石的沉淀为特征,硬石膏、方解石的形成晚于石英、长石加大的形成,薄片见硬石膏部分交代石英加大边现象,这一时期也是液体烃大量运移时期。

三、膏岩形成期的古物化环境

1. 古今地温场特征

(1) 现代地温场

利用油层温度和地表年恒温带温度,求得本区 13 口井的现代平均地温梯度。在其平面等值线图(图 3,d)上,地温梯度高值带集中在拖 9~拖 10 井连线所成的北北东向带内,与本区背斜构造有较好的对应关系,沿构造轴部温度较高,向两翼降低。

(2) 计算古地温

利用镜质体反射率资料采用镜质体反射率积分法求得本区 8 口井经过压实作用校正的古地温。计算是根据 Middleton(1982)在前人研究成果和实验数据基础上总结的镜质体反射率积分公式:

$$R^a = R_o^a + b \int_0^T \theta^{CT(t)} dt \quad (1)$$

式中, R 为镜质体反射率, R_o 为泥岩阶段假设反射率(或称“原始”反射率,常取为 0.2); $T(t)$ 为温度($^{\circ}\text{C}$); t 为时间; a, b, c 为实验常数。

由于地温梯度的大小决定于岩石热导率与大地热流值,而热导率主要取决于岩性,热流主要取决于构造活动性。考虑到荆沙期末期构造活动对本区构造格局的较大影响,将本区划分为两个地温梯度层:(1)第四系平原组,上第三系广华寺组,下第三系荆河镇组,潜江组(大套膏岩及砂泥岩层);(2)下第三系荆沙组,新沟咀组和沙市组。同时注意到成岩时代较新,压实作用参数取中生代沉积盆地泥岩和砂岩的平均值,初始孔隙度 $\phi_o = 0.45$,压实参数 $k = 1.47/\text{km}$ 。

根据上述公式和参数,求出各井两个分期的平均地温梯度,其平面分布分别见图 3(a)和图 3(b)。与现代地温梯度相比较,三期地温梯度有二个明显的特点:(1)从古至今地温梯度高值带中心保持从研究区东北部向西南部持续迁移的特点,说明本区构造活动中心具有由东北向西南推进的趋势;(2)地温梯度在量值上经历了低—高一低的变化。

(3) 膏岩成岩捕获温度

为了研究膏盐在沉淀期的温度环境与上述地温背景的关系,采用“均一法”测定了硬石膏包裹体捕获温度。研究区新沟咀组地层中裂缝充填期间古温度变化为 $110 \sim 139^{\circ}\text{C}$,略高于相同深度的现代地温值。硬石膏捕获温度说明其形成于中期成岩阶段,埋深应在 $1500 \sim 3500\text{m}$;根据钻孔地层资料,这一深度应在接受潜江组沉积以后。因此,为了与上述古地温和现代地温作对比,我们取各测点新沟咀组恢复到潜江期末的古深度,求得硬石膏成岩期古地温梯度,其分布见图 3(c)。图中可见其地温梯度值及其分布形态均界于现代地温场和 $E_4 \sim Q$ 平均古地温梯度分布之间,略接近于现代地温场。上述特征表明,膏盐大量沉淀应在较晚时期,即可能是在与现代地质环境相同或近似条件下沉淀成岩。

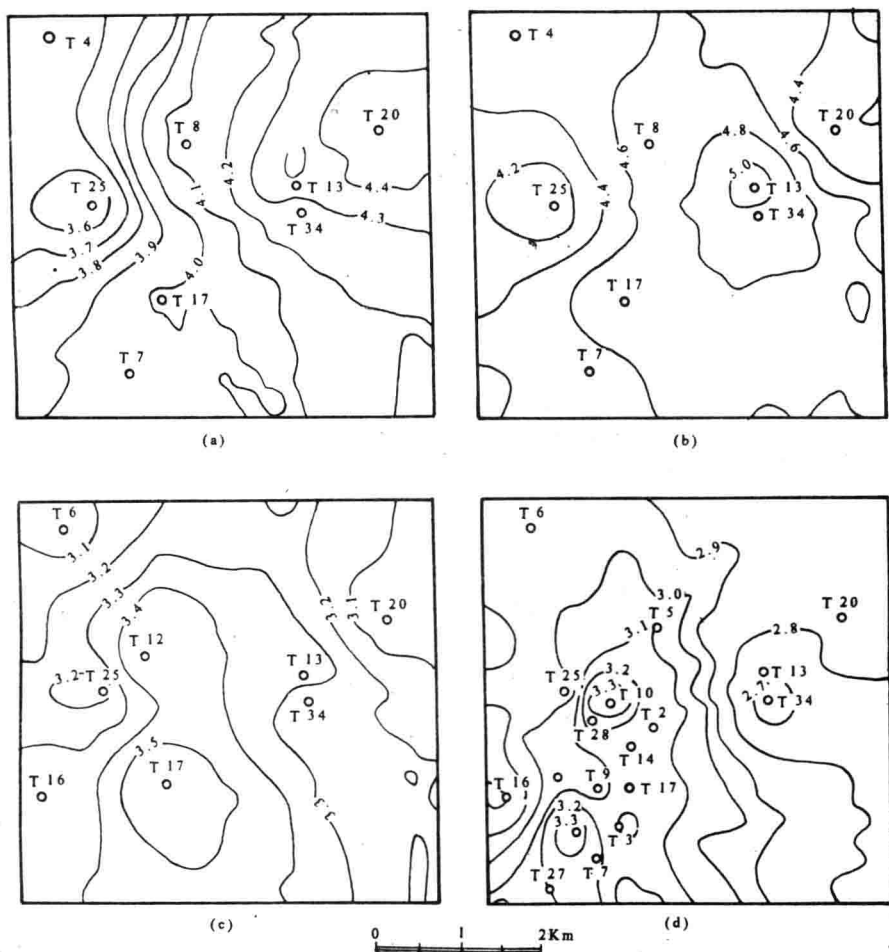


图3 江汉盆地T油田古今地温梯度平面等值线图

(a)沙市组~荆沙组计算古地温梯度； (b)潜江组~平原组计算古地温梯度；
(c)均一法实测古地温梯度； (d)现代平均地温梯度

2. 古流体内压

与成岩作用有关的压力主要是古流体压力。

为了研究膏盐岩形成时的压力环境,采用 CO_2 浓度法恢复古流体内压 P_L 值。其中 CO_2 浓度的确定采用了常规的气相色谱分析和先进的拉曼激光光谱法,测定结果及其分布见图4。图中数据显示硬石膏包体古流体内压为16~51MPa变化,对比现代地层压力32~52MPa,两者较为接近,均属中成岩压力特征。在分布上,古压力具有南低北高的趋势,表明当时储层呈南浅北深的特征。

3. 古化学与物理化学特征

通过对裂缝充填物硬石膏和方解石的矿物包裹体

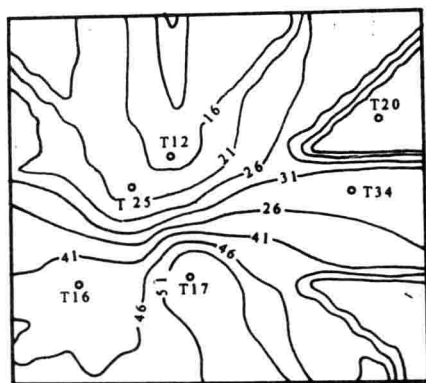


图4 古流体内压分布图

成份测定,确定了裂缝充填期间古流体的化学成份。依据这些实验数据计算古流体离子活度、pH 和 Eh 值等热力学参数,进而讨论了硬石膏、方解石脉的沉淀与溶解问题。

(1)古流体溶液离子活度、pH 值和 Eh 值

根据实测包裹体化学成分计算了成岩流体的离子活度^①。再依据 CO₂ 和 H₂CO₃ 在溶液中的平衡反应获得 pH 值计算公式:

$$\text{pH} = \lg K_T + \lg [a(\text{HCO}_3^-)/a(\text{CO}_2)/a(\text{H}_2\text{O})] \quad (2)$$

中性 pH 值(MpH)依据 H₂O 的离解平衡来计算:

$$\text{MpH} = -1/2[\lg K_T + \lg a(\text{H}_2\text{O})] \quad (3)$$

Eh 值由 CO₂/CO 的氧化还原反应来确定:

$$\text{Eh} = E_T^\circ + (2F/RT) \ln [a(\text{CO}_2) \cdot a^2(\text{H}^+)/[a(\text{CO}) \cdot a(\text{H}_2\text{O})]] \quad (4)$$

式中, $E_T^\circ = -\Delta G_T^\circ/2F$ 及 $K_T = \exp[-\Delta G_T/RT]$ 为 $T(K)$ 温度加热时的平衡常数; T 为温度; R 为理想气体常数; F 为法拉第常数。pH, MpH, Eh 值结果(表 2)表明,硬石膏、方解石充填时处于弱还原环境条件。

表 2 古流体的某些热力学参数计算值

井号	拖 16	拖 16	拖 17	拖 25	拖 25	拖 12
样号	FT16-1	T16-1	T17-1	T25-3 Ⅲ	T25-7	T12-4
井深(m)	3072.20	3072.20	3185.7	3115.28	311.78	3359.82
样品名	方解石	硬石膏	硬石膏	硬石膏	硬石膏	硬石膏
温度(℃)	121	121	135	110	116	139
离子强度 I	0.2914	4.5087	6.3796	13.7672	20.5098	5.2889
pH	6.2201	5.9559	6.2647	5.8593	6.4746	6.4474
MpH	5.9859	6.0041	5.9603	6.0848	6.0467	5.8904
酸碱性	弱碱	弱酸	弱碱	弱酸	弱碱	弱碱
Eh(V)	-0.7154	-0.6678	-0.7259	-0.6444	-0.6937	-0.7305
R_s	51.032	1.573×10^4	3.6668×10^4	1.4448×10^5	3.4923×10^5	2.8455×10^4
R_c	1.2714×10^2	3.4940×10^4	3.7764×10^5	7.3344×10^4	2.2901×10^6	4.1414×10^5

(2)硬石膏和方解石的沉淀问题

硬石膏(CaSO_{4(s)})和方解石(CaCO_{3(c)}) 在成岩流体中由下列反应式控制:



$$K_s = \exp[-\Delta G_T^\circ/RT] \quad (6)$$



$$K_c = \exp[-\Delta G_T^\circ/RT] \quad (8)$$

设硬石膏的活度积为 L_s , 方解石的活度积为 L_c , 根据成岩流体矿物离子活度值, 则有:

$$L_s = a(\text{Ca}^{2+}) \cdot a(\text{SO}_4^{2-}) \quad (9)$$

$$L_c = a(\text{Ca}^{2+}) \cdot a(\text{CO}_3^{2-}) \quad (10)$$

定义 R_s 和 R_c 分别为硬石膏和方解石的活度积与平衡常数之比:

$$R_s = L_s/K_s \quad (11)$$

$$R_c = L_c/K_c \quad (12)$$

当 R 值(R_s 或 R_c)大于 1 时,表示硬石膏或方解石要发生沉淀。 R 值越大,则矿物沉淀的趋势越大。当 R 值小于 1 时,表示硬石膏或方解石要发生溶解, R 值越小,则矿物溶解的趋势越大。表 2 列出了 R_s 和 R_c 值计算结果,在成岩过程中各井 R_s 和 $R_c \gg 1$,说明了当时硬石膏和方解石的沉淀趋势很强。同时,观察发现在一些方解石脉中含有硬石膏小晶体;而在一些硬石膏中也含有方解石矿物,说明硬石膏和方解石可能发生了交替沉淀或同时沉淀。由于裂缝中这两种矿物的沉淀趋势很强,因此大部分裂缝均被充填。

表 3 现代地下水物理化学参数

样品	T _{7-Ⅲ}	T _{12-Ⅲ}	T _{31-Ⅲ}	T _{10-Ⅲ}
温度	135.30	122.20	98.58	140.40
离子强度	2.9014	1.2067	1.7391	3.9356
pH	5.00	6.00	6.00	5.75
MpH	5.91	5.98	6.15	5.88
R_s	10.7620	3.2598	2.4733	15.0990
R_c	7.2330	3.0001	1.1491	9.9133

沉淀使溶液 Ca^{2+} 、 SO_4^{2-} 、 CO_3^{2-} 等离子饱和度降低。根据岩石薄片观察,硬石膏、方解石一经沉淀未发生溶蚀现象,沉淀趋势一直保持到今。所以寄希望在本区寻找裂缝油气储层是不现实的。

为了对比分析,通过测定现代地下水的化学成分,按上述公式和过程计算 pH 值和 Eh 值及 R_s 和 R_c 值(表 3)结果表明,现代地下水的 pH 值呈弱碱性或弱酸性,与膏盐充填沉淀期的化学环境相近。 R_s 和 R_c 值大部分都大于 1,说明 Ca^{2+} 、 SO_4^{2-} 、 CO_3^{2-} 在现代化学环境下仍呈过饱和状态,硬石膏和方解石保持沉淀趋势。对照古今 R_s 和 R_c 变化,只是由于硬石膏和方解石的

四、裂缝在膏岩成岩过程中的作用

岩石学与古物化环境研究表明,硬石膏和方解石是在接近或类似于现代物理、化学环境下形成的,从开始成岩至今一直处于沉淀趋势,未发生溶蚀作用。那么膏盐物质来自何处,是白生,还是外源?它又是以什么方式进入砂岩储层的?根据本区构造裂缝发育,裂缝本身也被硬石膏广泛充填的特点,对裂缝充填物进行了热释光和中子活化分析研究。

1. 裂缝充填物热释光分析

岩芯观察发现,新沟咀组下段地层中裂缝比较发育,有垂直、水平、倾斜裂缝以及放射状裂缝多种类型,但最主要的是垂直裂缝。垂直裂缝的规模较大,大的可达 2cm 宽,分布范围也较广。根据该区域正断层发育的特点,我们认为垂直裂缝是拉伸构造应力造成的,因为拉应力对岩石的破坏能力是张应力的 15 倍,在变形幅度不大的地层中只有拉力能产生如些规模和广泛发育的断裂。但是,观察也发现,各种裂缝(或裂缝系统)几乎全部为不同矿物充填,其中最主要的充填物是硬石膏。

图 5 是新沟咀组 I 油组泥岩中(拖 25 井)的一个宽 2cm 的典型垂直裂缝示意图,观察发现裂缝中所充填的硬石膏脉体从脉壁到脉中心为具有较明显三个界限的脉体组成,说明裂缝充填物可能为不同环境或不同期成岩。利用样品具有的明显阶段充填(或沉淀)特点,进行了矿物热释光(Thermoluminescence 简称 TL)分析研究。由于成岩环境不同,三个阶段的矿物可能会受到不同的辐射,能量吸收就有差异,其各阶段的热释光现象也不同。因此,可以由热释光分析建立不同阶段脉体的识别标志。