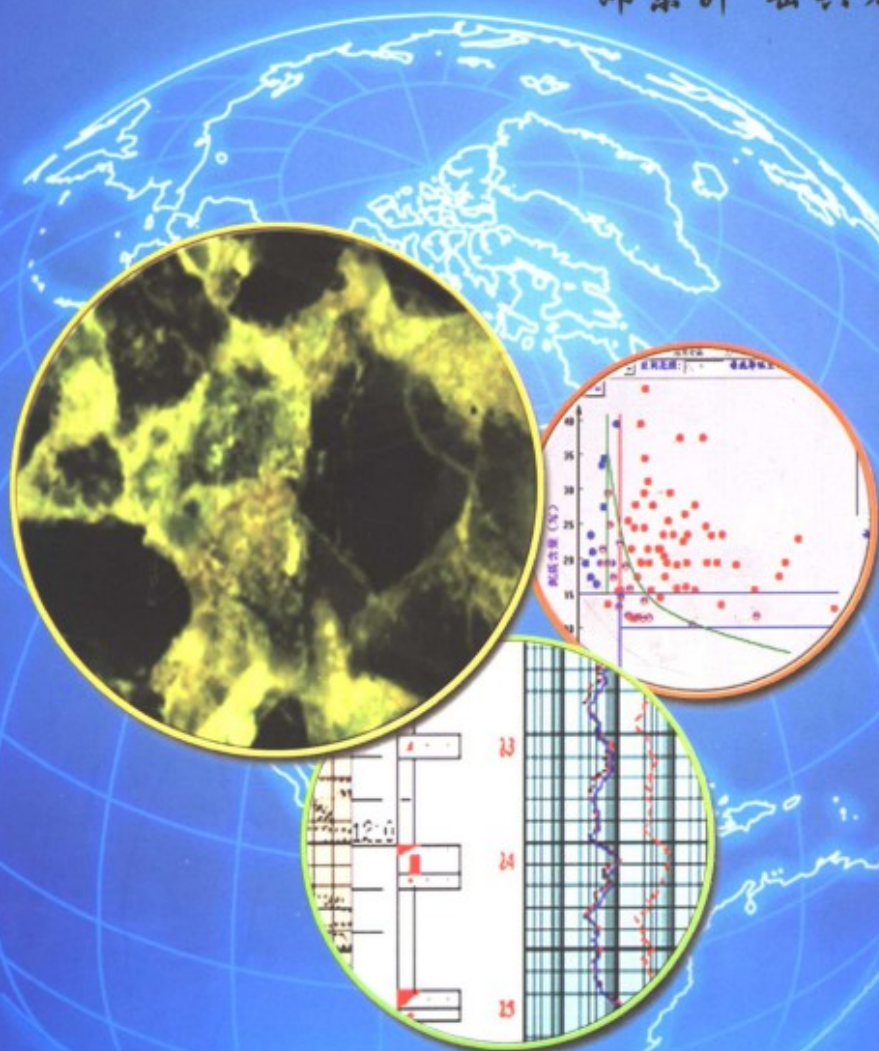


油气水层定量评价

YOUQISHUICENDINGLIANGPINGJIALUJINGXINJISHU

录井新技术

郎东升 岳兴举等编著



石油工业出版社

责任编辑：邸雪峰

封面设计：夏峥寒



ISBN 7-5021-4616-4



9 787502 146160 >

ISBN 7-5021-4616-4/TE·3239

定价：180.00元

油气水层 定量评价录井新技术

郎东升 岳兴举 等编著

石油工业出版社

内 容 摘 要

本书比较全面系统地介绍了油气层定量评价的录井新技术, 主要涉及录井新技术概述; 储层评价参数的确定及校正方法; 轻质油层、稠油层和残余油水层的识别与评价; 火山岩气水层的评价; 二氧化碳气水层的识别与评价; 岩性分析与核磁共振资料的应用; 储层定量评价; 油层静态产能评价, 以及录井新技术应用效果分析等内容。

在编写过程中, 力求做到系统性、科学性、先进性和实用性相结合。具有一定的实用性, 可供从事石油勘探和录井等方面的科研及应用人员和大专院校有关专业的师生参考。

图书在版编目(CIP)数据

油气水层定量评价录井新技术/郎东升, 岳兴举等编著.
北京: 石油工业出版社, 2004.6.
ISBN 7-5021-4616-4

- I. 油...
- II. 郎...
- III. 油气田-含水层-定量分析-应用-录井
- IV. TE242.9

中国版本图书馆 CIP 数据核字 (2004) 第 028240 号

油气水层定量评价录井新技术

郎东升 岳兴举 等编著

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: 黑龙江省大庆市金力包装彩印有限公司印刷

2004 年 6 月第 1 版 2004 年 6 月第 1 次印刷

787×1092 毫米 开本: 1/16 印张: 21.625

字数: 553.6 千字 印数: 1—1500 册

书号: ISBN 7-5021-4616-4/TE · 3239

定价: 180.00 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

《油气水层定量评价录井新技术》

编 委 会

主 编：郎东升 岳兴举

副主编：赵洪权 韩殿杰 耿长喜

王振斌 夏峥寒 邱勇松

编 委（以姓氏笔画为序）：

于 全 王 力 王升永 王丽华

王树学 左铁秋 孙中昌 李学国

刘红梅 刘 启 刘丽萍 陈玉斌

杜建华 杨静波 张丙山 张艳茹

张建兴 张 野 赵淑英 赵晨颖

姜道华 郭树生 梁久红 康宝东

菅云英 曹风俊 隋 峰 董 辉

前 言

油气水层的识别与评价是油气勘探开发研究工作中的重要环节之一，录井新技术的应用目前已引起越来越多的国内外专家和学者的重视和注意。

随着近年来大庆勘探的逐步深入，勘探的对象更加多样，勘探区块的油气水关系越来越复杂，对油气层识别评价技术提出了更高的要求。尤其是轻质油层、残余油层、高含泥储层及火山岩气水层判断难度更大，仅依靠以往常规单项录井技术对油气层的定性解释，已经不能满足精细评价的需求。经过大庆录井工作者的不懈努力，录井已经从传统录井迈向了现代综合评价录井的新阶段，形成了现场资料采集、资料处理、油气层解释评价三位一体的现代录井技术，在油气勘探开发中发挥着越来越重要的作用。大庆录井通过技术创新和发展，先后将地化录井技术，荧光定量分析技术，红外线 CO_2 气检测技术以及解释评价技术等应用到现场录井中，使录井实现了跨越式发展。同时通过复杂油气水层识别评价技术攻关，形成了轻质油层、残余油层、高含泥储层、气水层识别评价等一整套评价技术体系，在此基础上，将录井、测井资料有机结合，研究总结出油气水层综合定量评价方法。这些新技术在大庆探区油气勘探中的应用，见到了显著的成效，先后发现了贝 302、贝 16、徐深 1 等一大批高产工业油气流井；在大庆油田开发领域的应用，有效地解决了疑难储层评价问题，扩大了含油面积和可采储量，节约了大量的试油压裂费用、下套管费用及后期堵水费用，创造了巨大的经济效益。

本书收集整理了近年来大庆录井技术发展的成果，以复杂油气水层识别评价技术攻关成果为主要内容，对油气水层解释评价方法进一步阐述和完善。全书共分八章，主要内容如下：

(1) 进一步完善了岩石热解、气相色谱、荧光图像分析、轻烃分析、液相色谱分析等录井新技术。

(2) 通过实验分析手段对地化热解、气体检测参数做了环境影响因素校正，消除了钻井工程、钻井液性能及检测条件的环境影响因素，为准确求取储层评价参数提供了保证。

(3) 综合应用录井、测井资料以及核磁共振、相渗分析等实验资料求准了孔隙度、渗透率、含油饱和度、束缚水饱和度、残余油饱和度、产能指数、有效厚度等储层定量评价参数，为油气层定量评价奠定了基础。

(4) 综合应用录井新技术建立了轻质油层、稠油层、残余油层、气水层评价方法，解决了复杂油层评价“瓶颈”技术难题。

(5) 综合应用录井新技术和测井资料，建立了松辽盆地、海拉尔盆地主要勘探的 16 个区以及大庆采油七十一厂等外围油田 10 个主要开发区块的油气水层综合定量评价方法。

(6) 根据石油地质理论和试井分析理论结合录井定量评价参数,建立了油气层静、动态产能预测方法,为制定合理的射孔方案、判断试油压裂效果提供了可靠依据。

该书阐述了大庆录井技术在以下几方面的创新:

(1) 油气水层定量解释评价技术,使以往录井油气水层解释评价,从单一应用录井常规技术定性解释,到综合应用录井新技术,并与测井资料、实验分析相结合,建立了精细解释评价体系,体现了多学科、多种手段、多种信息的综合应用,极大地提高了解释评价水平。实现了录井解释评价从定性到定量评价的飞跃。

(2) 在录井资料处理方面,通过对地化热解、气体检测等参数进行环境影响因素校正,准确地求取了储层定量评价参数,不但为油气层定量评价奠定了基础,也为勘探开发地质综合研究、储量计算等提供了准确的参数。

(3) 轻质油层、残余油水层、高含泥储层流体性质识别评价方法的形成,解决了目前制约勘探开发井筒评价发展的复杂油水层评价技术难题。

(4) 油气层静态、动态产能预测方法的形成,为制定合理的射孔方案,判断试油压裂效果提供了可靠的依据。

(5) 技术成果推广应用于油田开发领域,形成了适合各油田开发区块的解释评价方法,解决了多年来采油厂高阻水层、低阻油层、致密储层等评价难题,为采油厂的油气水层识别评价、完井决策、油层改造方案设计、开发井位部署等提供了重要参考依据。

大庆录井技术经过几年的发展,已经形成了比较完整的精细解释评价技术体系,初步形成了可与测井、物探相并列的相对独立的边缘学科,这必将对促进录井技术进步、带动全国录井行业发展具有深远的影响。

在本书编写过程中得到了中国科技大学卢德唐教授,北京合地威技术有限公司魏芳友总裁,大庆油田有限责任公司技术发展部、勘探部、开发部、油藏评价部、勘探分公司及各采油厂领导的大力支持,在此表示衷心的感谢。

作者

2004年6月

目 录

第一章 录井新技术概述	(1)
第一节 岩石热解分析技术	(1)
第二节 气相色谱分析技术	(18)
第三节 荧光显微图像技术	(24)
第四节 轻烃分析技术	(47)
第五节 芳香烃化合物分析技术	(56)
第二章 储层评价参数的确定及校正方法	(96)
第一节 储层物性及含油性评价参数	(96)
第二节 油气水层产能预测参数	(107)
第三节 油气层主要评价参数环境影响因素校正	(115)
第三章 轻质油层、稠油层、残余油水层识别与评价	(150)
第一节 轻质油层识别与评价	(150)
第二节 稠油层识别与评价	(156)
第三节 残余油水层识别与评价	(162)
第四章 气水层识别与评价	(172)
第一节 火山岩岩石学特征及岩性定名	(172)
第二节 火山岩储层气水层综合评价	(186)
第五章 二氧化碳气层识别与评价	(192)
第一节 红外线 CO ₂ 检测与热导 CO ₂ 检测的对比	(192)
第二节 CO ₂ 气层识别与评价	(193)
第三节 应用效果	(196)
第六章 岩石分析与核磁共振资料的应用	(198)
第一节 岩石润湿性、相渗分析资料应用	(198)
第二节 核磁共振资料的应用	(211)
第七章 油气水层综合定量识别评价	(230)
第一节 产层下限值的确定	(230)
第二节 干层的定量解释	(231)
第三节 油层、油水同层、水层的定量解释	(232)
第四节 油气水层多参数解释评价	(258)
第五节 油层静态产能评价	(264)
第六节 油、气层动态产能评价	(273)
第七节 应用效果	(292)
第八章 储层压力预测及岩石强度评价	(306)
第一节 岩石力学分析测井评价方法	(306)
第二节 应用录井资料预测储层压力及评价岩石强度	(324)
参考文献	(338)

第一章 录井新技术概述

录井新技术主要包括岩石热解分析技术、气相色谱分析技术、荧光显微图像技术、液相色谱分析技术和轻烃分析技术，这些技术具有快速、直观、定量和随钻可操作的特点，为油气层识别评价提供了新的手段。

第一节 岩石热解分析技术

岩石热解分析技术是在储层评价中全面推广应用的一项录井新技术。岩石热解分析技术包括热解分析及氧化分析两部分。目前岩石热解分析仪器主要有两种：一是国产的 YQ 系列油气显示评价仪与 TOC 型残余碳分析仪配套使用；二是法国制造的 ROCK-EVAL 6 型热解仪，是集热解、氧化于一体的综合型仪器。热解分析部分是定量测定岩样中可热蒸发和热解的烃类，在不同的温度区间，分别测定原油的不同馏分；氧化分析部分是测定由于烃类热解而产生的残余碳部分。

一、分析原理

岩石热解分析的原理是在程控升温的热解炉中对生储油岩样品进行加热，使岩石中的烃类热蒸发成气体，并使高聚合的有机质（干酪根、沥青质、胶质）热裂解成挥发性的烃类产品，这些经过热蒸发或热裂解的气态烃类，在载气的携带下，直接用氢火燃检测器（FID）进行检测。将其浓度的变化转换成相应的电流信号，经微机处理，将得到各组分的含量及最高热解温度。将热解分析后的残余样品送入氧化炉中氧化，样品中残余的有机碳转化为 CO_2 及少量的 CO ，由红外检测器（或 TCD 检测器）检测 CO 及 CO_2 的含量，将得到残余碳的含量。分析流程见图 1-1。

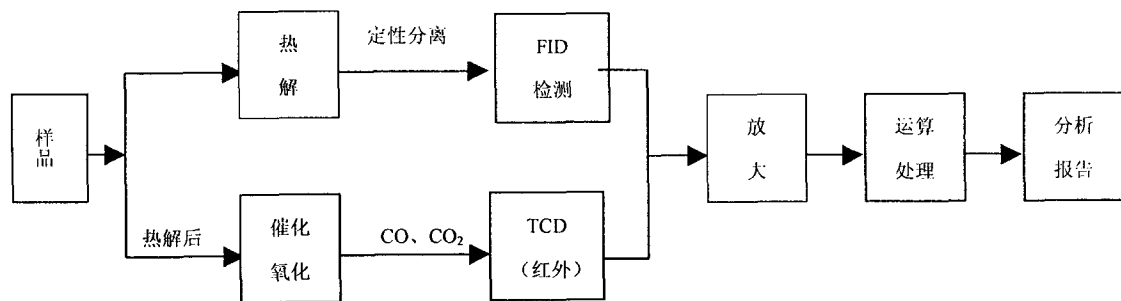


图 1-1 岩石热解分析流程图

二、分析条件

国产的 YQ 系列热解仪的分析周期为固定式，分为两个分析周期。而法国 ROCK-EVAL 6 型热解仪的初温、终温及升温速率可自行设定。

（一）国产的 YQ 系列热解仪分析周期的设定

第一分析周期为评价储层原油性质而设置，它将整个分析过程分为五个阶段（图 1-2），对应每个阶段，通过对样品进行升温并恒温，蒸发点在这个温度段上的烃类被蒸发，并被载气携带至 FID 检测器，从而对烃类含量进行检测。

初温 90℃	恒温时间 2min	
一阶温度 200℃	恒温时间 1min	升温速率 50℃/min
二阶温度 350℃	恒温时间 1min	升温速率 50℃/min
三阶温度 450℃	恒温时间 1min	升温速率 50℃/min
四阶温度 600℃	恒温时间 1min	

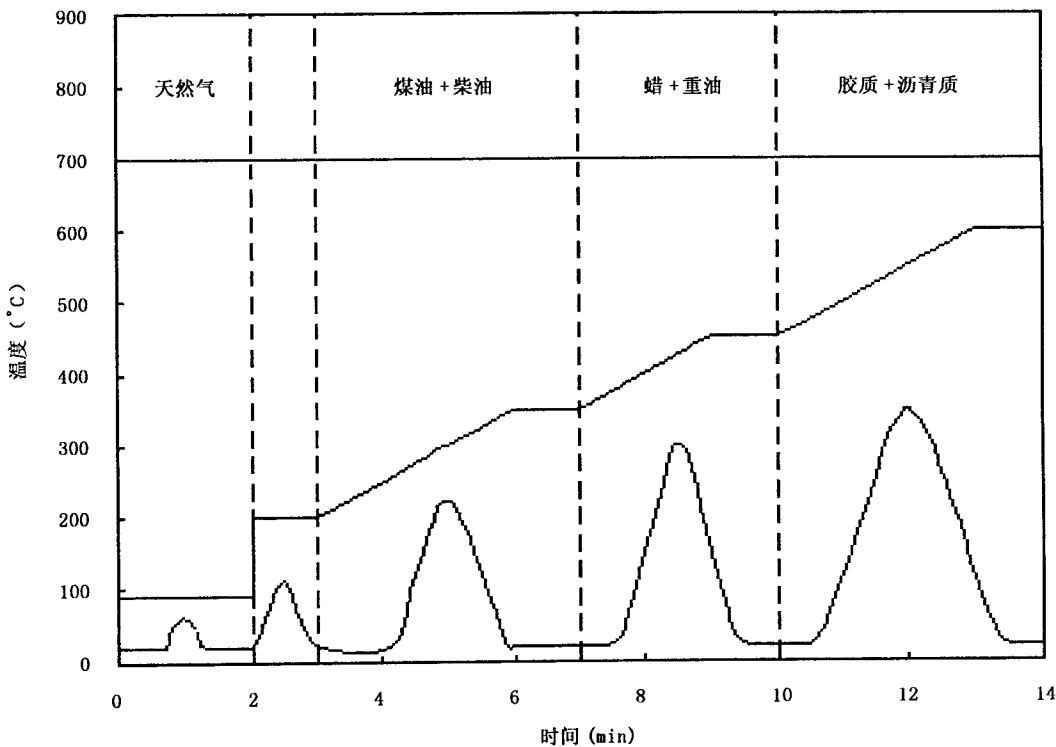


图 1-2 周期一分析程序示意图

第二分析周期既可用于生油岩评价，也可用于储集岩评价，整个分析过程被分为三个阶段（图 1-3），分别检测岩样中的气态烃、液态烃及裂解烃的含量。

初温 90℃
一阶温度 300℃
二阶温度 600℃

恒温时间 2min
恒温时间 3min
恒温时间 1min

升温速率 50℃/min

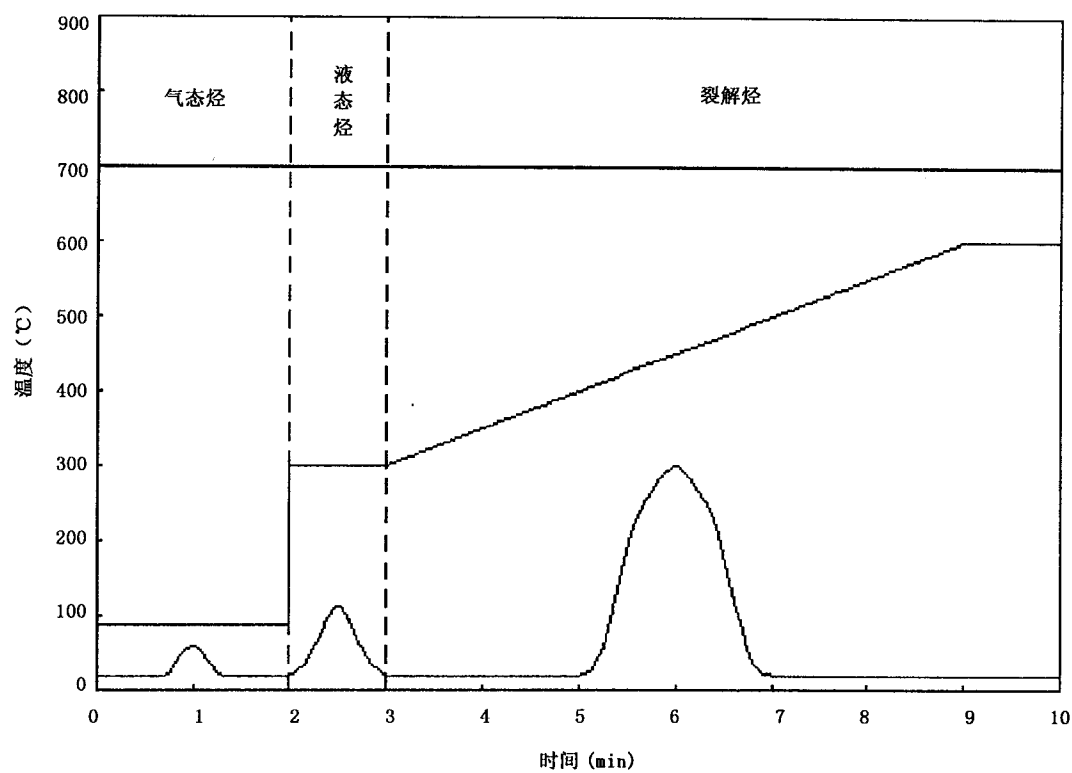


图 1-3 周期二分析程序示意图

（二）国产 TOC 型残余碳分析仪温度区间和时间的设定

国产 TOC 型残余碳分析仪温度区间和时间的设定，见表 1-1。

表 1-1 国产 TOC 型残余碳分析仪温度区间和时间的设定表

阶段	温度时间	氧化	吸附	清洗	释放
温度 (°C)		600	50	/	260
时间 (min)		7	7	1	3.3

三、样品制备

及时取样，及时分析，样品不得烘烤，储层岩石样品不得研磨；生油层岩石样品研磨后粒径大小 0.5mm。

四、操作步骤

(一) 仪器安装前准备工作

(1) 请小心开箱, 检查仪器配件、使用说明书、合格证及保修卡是否完整、齐全, 并将附件物品保管好。

(2) 请认真检查仪器各零件是否接触良好。

(3) 将主机与大地的地线接好, 防止漏电, 以至于对设备及操作者造成损伤。

(4) 不要将空气压缩机电源线与仪器电源接在一个插座上, 防止仪器出现死机现象。

(5) 仪器最好接在稳压电源上。

(6) 气路管线要按照仪器后面板标记接好, 并要检查接头的地方是否有漏气, 另外对气源要加过滤剂, 滤出水分(硅胶)和油污(活性炭)等物质。防止污染主机管路, 造成仪器不能正常运行。

(二) 开机准备

(1) 检查电源是否符合要求(电源电压 $220\text{V} \pm 10\%$, 频率 $50\text{Hz} \pm 3\text{Hz}$), 如不符合要求, 进行调整; 检查主机地线接地是否良好。

(2) 检查仪器各部件, 主要检查热电偶、炉丝、加热棒和电源线对地绝缘情况及有无短路、断路情况, 其对地绝缘电阻均大于 $20\ \Omega \cdot \text{m}$; 检查电源板接的是否牢固、稳定, 有无移位、短路及断路现象, 检查仪器各部件螺丝有无松动、脱落现象, 发现问题应立即解决, 及时查明原因, 予以排除, 以免开机后, 损坏仪器或造成操作人员触电事故。

(3) 检查电源线、信号线、RS-232 接口电源线和打印机电源线与仪器及计算机接的是否牢固, 不能有松动现象, 否则易造成死机和信号间断及各部分连接失控使仪器不能正常工作。

(4) 对气路进行检查。

①首先检查气路管线连接是否正确。

②对气源进行检查, 若使用气瓶要检查压力是否充足, 若使用氢气发生器或空气压缩机等, 要看工作是否正常, 输出压力是否符合要求; 若发现问题, 应及时更换气瓶或对仪器进行调整, 直至符合要求。

③逐个打开气源, 检查各气路是否有漏气现象, 若发现问题, 及时整改。

(三) 开机

打开主机、计算机、打印机电源, 启动数据处理系统, 人机对话, 输入相应的指令。

(四) 净化气路和稳定仪器

仪器开机后预热 20min 左右, 进行 1~2 次空白运行。

（五）标样分析

分析两个一样重量约为 100mg 的同一标样，其中 S_2 、 S_3 、 S_4 峰面积双差在标准要求范围内，可进行不同的标样分析，标样分析值的双差在标准要求范围内，方可进行样品分析。

（六）样品分析

一般样品称取约为 100mg，对于有机质含量低或成熟度高的样品可适当增加试样量，反之则减少试样量。

每开机 12~24h 后，必须重新测定一块标样，其测定值应达到与上一标样的双差范围。

（七）关机

切断主机及数据处理系统电源。关闭气源。

五、分析参数及计算参数

（一）热解一周期分析参数

- （1） S_0 ：在储集岩中表示 90℃ 时检测的单位质量岩石中气态烃的含量，mg/g。
- （2） S_1 ：在 200℃ 时检测的单位质量储集岩中的烃含量，mg/g。
- （3） S_{21} ：在 200~350℃ 时检测的单位质量储集岩中的烃含量，mg/g。
- （4） S_{22} ：在 350~450℃ 时检测的单位质量储集岩中的烃含量，mg/g。
- （5） S_{23} ：在 450~600℃ 时检测的单位质量储集岩中的烃含量，mg/g。

（二）热解二周期分析参数

- （1） S_0 ：在储集岩中表示 90℃ 时检测的单位质量岩石中气态烃的含量，mg/g。
- （2） S_1 ：在储集岩中表示 300℃ 时检测的单位质量岩石中液态烃的含量，mg/g。
- （3） S_2 ：在储集岩中表示 300~600℃ 检测的单位质量岩石中热解烃的含量，mg/g。
- （4） $T_{\max}$ ： S_2 的峰顶温度，℃。

（三）残余碳 RC

单位质量岩石热解后残余有机碳占岩石质量的百分数， $RC=12CO_2/44+12CO/28$ ，%。

（四）计算参数

1. 含油气总量 S_T 的计算

$$S_T = S_0 + S_1 + S_2 + 10RC/0.9 \quad (\text{周期二分析})$$

$$\text{或 } S_T = S_0 + S_1 + S_{21} + S_{22} + S_{23} + 10RC/0.9 \quad (\text{周期一分析})$$

式中 10、0.9——换算系数。

2. 凝析油指数 P_1

$$P_1 = \frac{S_0 + S_1}{S_0 + S_1 + S_{21} + S_{22} + S_{23}}$$

式中 P_1 ——凝析油指数，无量纲。

3. 轻质原油指数 P_2

$$P_2 = \frac{S_1 + S_{21}}{S_0 + S_1 + S_{21} + S_{22} + S_{23}}$$

式中 P_2 ——轻质原油指数，无量纲。

4. 中质原油指数 P_3

$$P_3 = \frac{S_{21} + S_{22}}{S_0 + S_1 + S_{21} + S_{22} + S_{23}}$$

式中 P_3 ——原油指数，无量纲。

5. 重质原油指数 P_4

$$P_4 = \frac{S_{22} + S_{23}}{S_0 + S_1 + S_{21} + S_{22} + S_{23}}$$

式中 P_4 ——重质原油指数，无量纲。

6. 气产率指数 GPI

$$GPI = \frac{S_0}{S_0 + S_1 + S_2}$$

式中 GPI ——气产率指数，无量纲。

7. 油产率指数 OPI

$$OPI = \frac{S_1}{S_0 + S_1 + S_2}$$

式中 OPI ——油产率指数，无量纲。

8. 总产率指数 TPI

$$TPI = \frac{S_0 + S_1}{S_0 + S_1 + S_2}$$

式中 TPI ——总产率指数，无量纲。

9. 原油轻重组分指数 PS 的计算

$$PS = S_1 / S_2$$

10. 产烃潜量 S_T 的计算

$$S_T = S_0 + S_1 + S_2$$

11. HPI 的计算

热解参数 HPI 表示原油中重质烃类及胶质和沥青质的含量。

$$HPI = S_2 / (S_0 + S_1 + S_2)$$

HPI 越大，原油中重质烃类、胶质及沥青质的含量就越多，表明原油越重。

六、真假油气显示识别

钻井过程中，由于部分膨胀性地层的缩径或疏松地层的垮塌常造成卡钻工程事故，需在钻井液中添加成品油或有机解卡剂。对于一些特殊评价井，为了最大限度地保护储层免遭污染，通常在钻井液中加入一定量的成品油或原油以形成油基泥浆。此外，由于钻井工艺的需要，在定向井、丛式井及水平井钻井过程中，经常使用有机添加剂及混油钻井液，这些有机添加剂及成品油或原油绝大多数能够产生荧光，给准确识别和及时发现油气层带来难度。应用岩石热解分析技术能够识别混入的成品油、钻井液添加剂，及时发现油气显示及排除假显示。

我们用柴油、机油、丝扣油及部分钻井液添加剂分别与非含油、含油砂岩样品混合分析，从谱图形态上可以明显地看出混入成品油、钻井液添加剂的类型。

（一）柴油识别方法

首先将非含油砂岩样品进行热解及氧化分析（图 1-4 至图 1-7），其谱图特征是 S_1 、 S_2 、 S_3CO 、 S_3CO_2 、 S_4CO 和 S_4CO_2 的曲线峰值很低，近似为基线。混入柴油后再进行热解及氧化分析（图 1-8 至图 1-11），其谱图特征是 S_1 峰较高且峰较窄， S_2 、 S_3CO 、 S_3CO_2 、 S_4CO 和 S_4CO_2 的曲线峰值很低，说明柴油的碳数范围较窄，没有 300℃ 以后的组分。

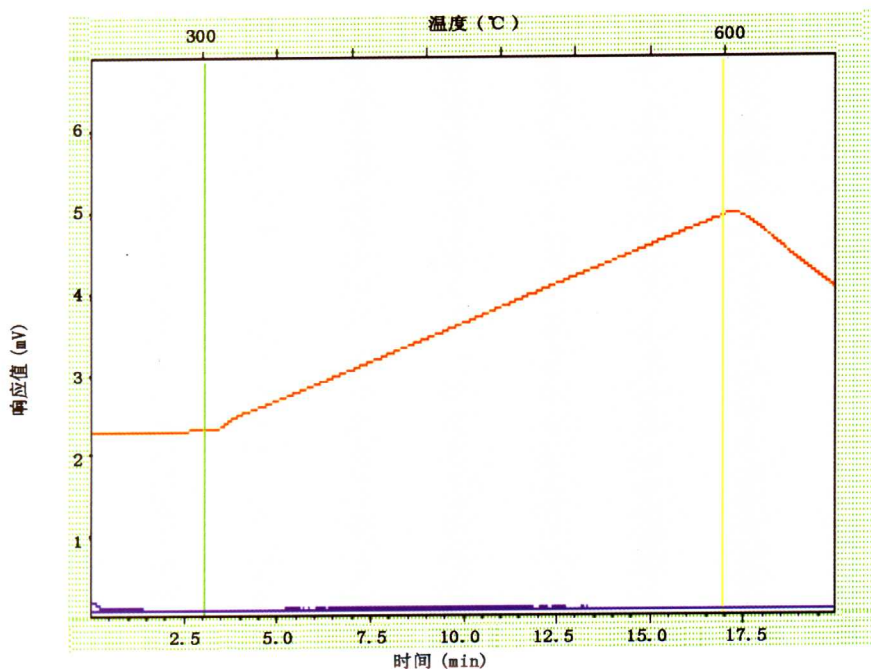


图 1-4 非含油砂岩 FID 热解图

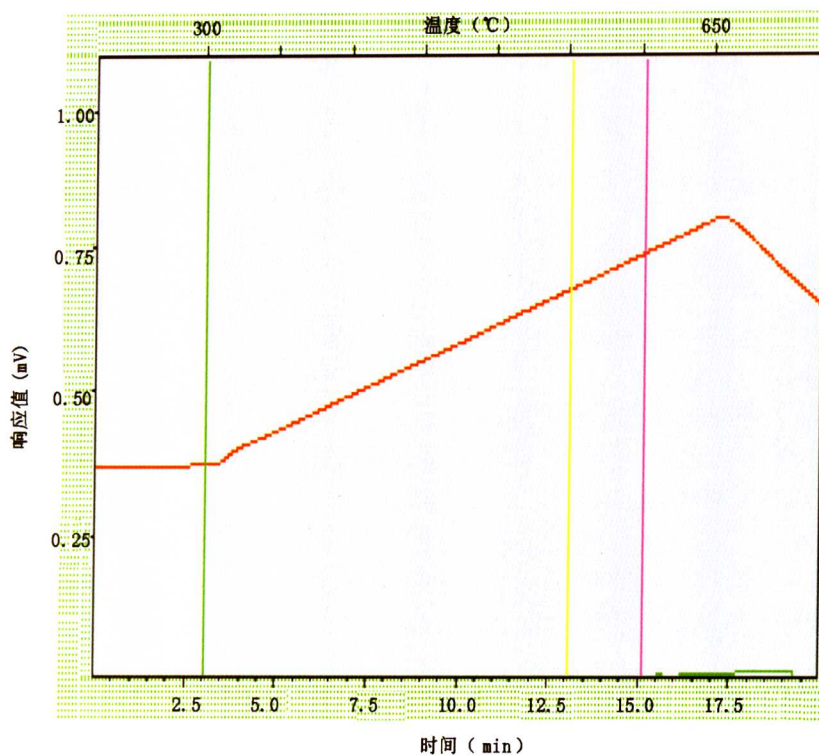


图 1-5 非含油砂岩 CO 热解图

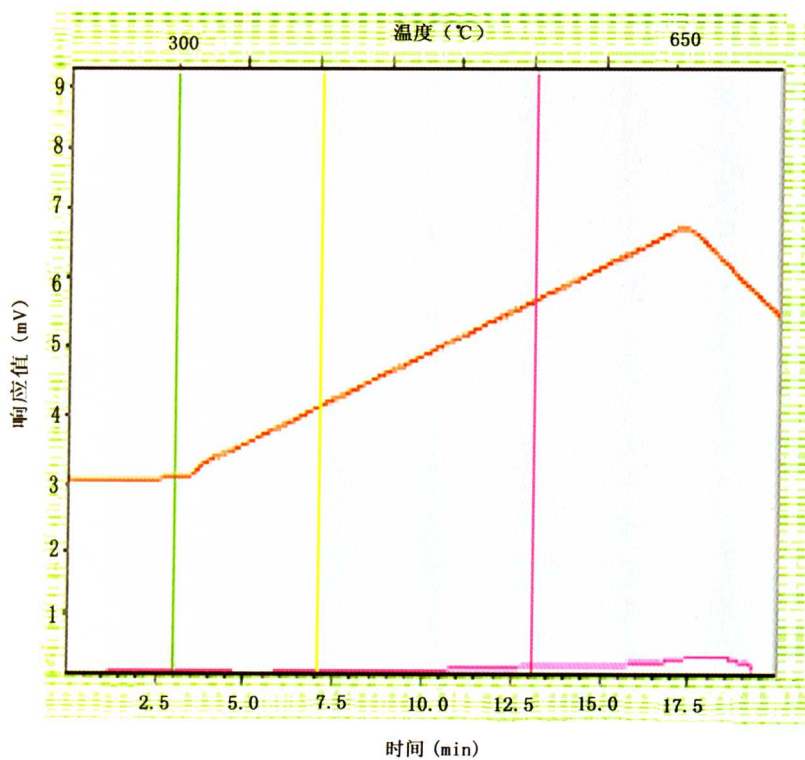


图 1-6 非含油砂岩 CO₂ 热解图

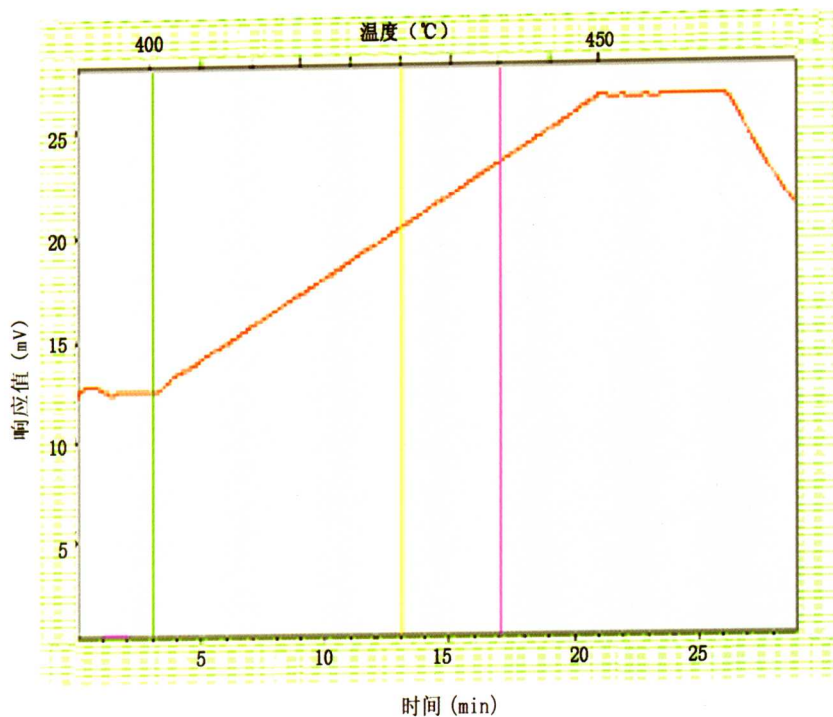


图 1-7 非含油砂岩 CO—CO₂ 氧化图

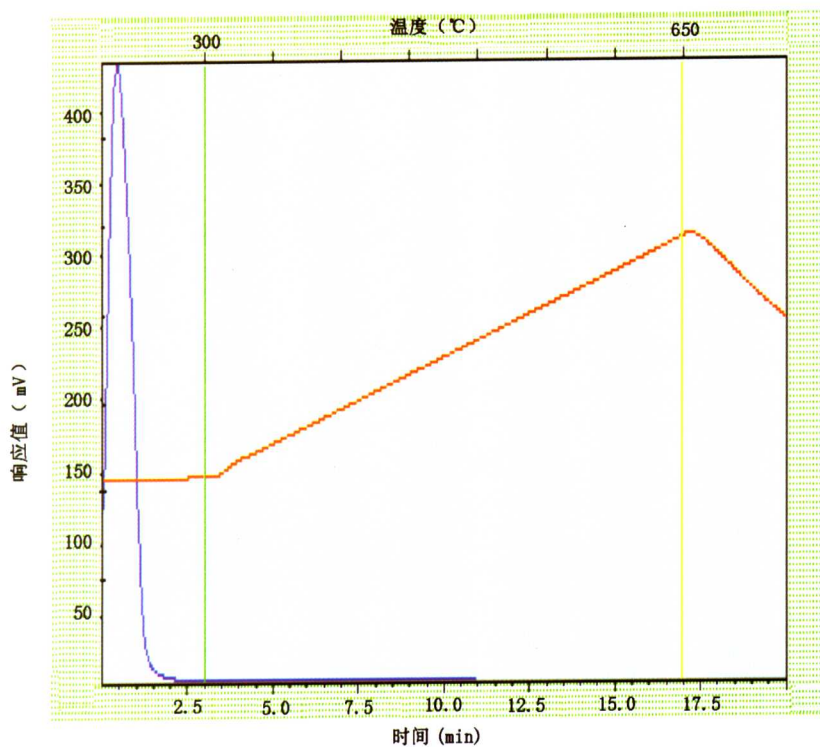


图 1-8 柴油 FID 热解图