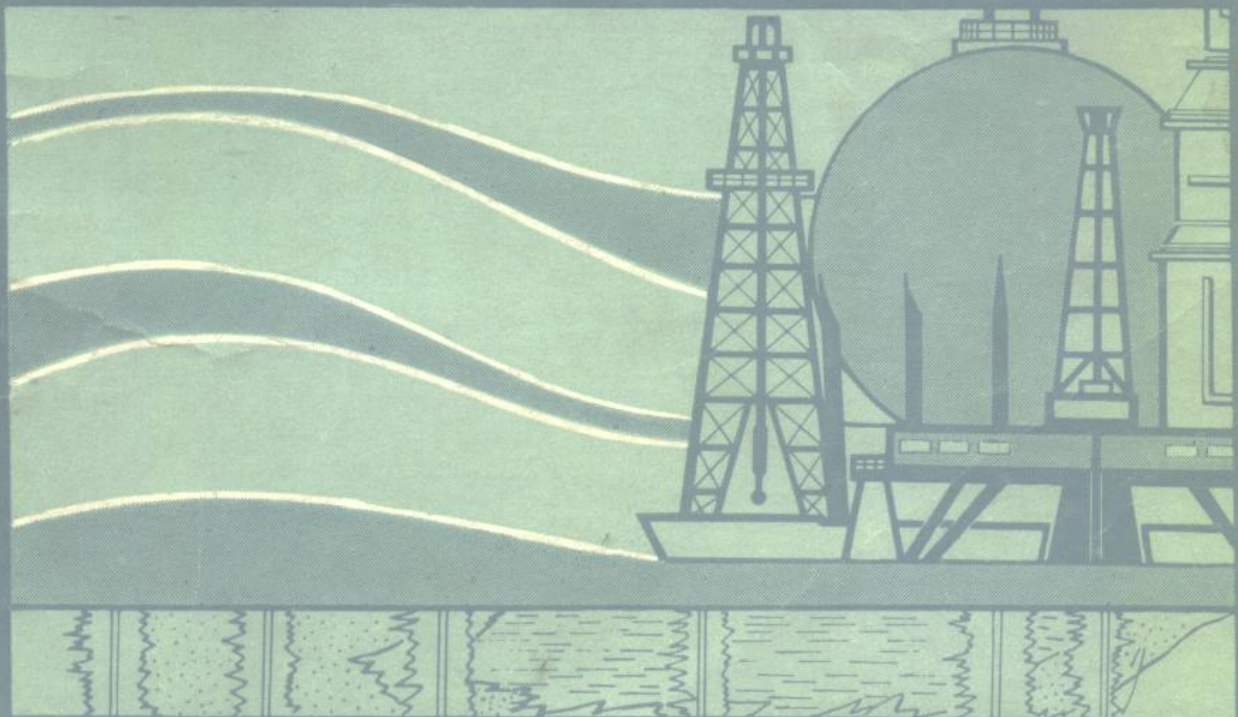


高等学校教材

油气田 地下地质学

陈立官 主编



地质出版社

高等学校教材

油气田地下地质学

陈立官 主编

地质出版社

内 容 简 介

本书主要讲述地质录井、判断油气水层、油田地质结构、储层特征、储量计算以及地层压力和地温等。根据我国油气田地质特点，加强了低电阻率油气层、裂隙性油气层、地层对比中的相分析、倾斜测井资料研究构造和断裂、高异常地层压力以及数学地质方法在油田地质研究中的应用等方面的内容。

本书主要作为高等院校石油地质专业教材，也可供从事油气田地质勘探和开发的地质工作者、科研人员、中等专业学校以及职工大学有关专业参考。

全书共28万字，插图214幅。

高 等 学 校 教 材 油 气 田 地 下 地 质 学 陈立官 主编

地质矿产部教材编辑室编辑

责任编辑：曲志浩

地质出版社出版

（北京西四）

地质出版社印刷厂印刷

（北京海淀区学院路29号）

新华书店北京发行所发行·各地新华书店经售

开本：787×1092¹/₁₆ 印张：13⁷/₈ 插页：一个 字数：321,000

1983年10月北京第一版·1983年10月北京第一次印刷

印数：1—4,700册 定价：1.90元

统一书号：15038·教161

前 言

本教材是根据地质矿产部颁发的教学大纲编写的。

油气田地下地质学，是一门综合性和实践性都很强的专业技术课。其主要内容为：在取全取准各项地质录井、地球物理测井和试油资料并进行系统的实验室化验分析的基础上，通过综合研究，搞清油气田地质结构、储层特征、油气水分布、油气储量以及油气藏存在的压力和温度条件等。它为油气田勘探与开发服务并为总结油气田分布规律，丰富和提高石油地质理论提供依据。从地下地质不能身临其境做实地观察这一特点出发，全书都贯穿着地质推理的综合分析思想，从多种设想中去粗取精，去伪存真，以达到正确认识油气田固有特征为目的。

全书共分七章。根据解放后卅余年来教学实践的经验教训，考虑到油气田地下地质研究的新进展，在保持本学科全面系统的基础上，除讲述传统、适用的方法外，还着重加强了低电阻率油气层和碳酸盐岩裂缝性油气层的识别、碎屑岩地层对比中的相分析、地下构造和断层研究中的新方法、储层特别是裂缝性储层的综合地质研究、高异常地层压力与油气田的勘探和开发，以及数学地质方法在某些方面的应用。

本书由陈立官同志主编。武汉地质学院马正同志编写第三章，王世凤同志编写第七章的第一、二节；成都地质学院程光瑛同志编写第二章和第一章的第二节，王昌明同志编写第四章和第一章的第一、三、四节，陈立官同志编写第五章、第六章和第七章的三、四节。成都地质学院罗蛰潭教授对本书作了全面审定，提出了不少宝贵建议和修改意见。

教材编写过程中，地质矿产部石油地质专业教材编审委员会给予了大力支持和指导；石油部所属油气田和地质矿产部各石油勘探指挥部均给予了热情帮助，收集和采用了他们的某些资料；成都地质学院和武汉地质学院绘图室绘制了全部插图；成都地院石油系照像室和油田静态地质教研室的有关同志，作了照像、清抄和校对等辅助工作。在此一并表示感谢！

由于编者学识水平的限制，书中一定有不少缺点和错误，衷心欢迎读者批评指正。

编 者 1982年11月

目 录

前言	I
第一章 钻井地质	1
第一节 探井地质录井	1
一 岩心录井	1
二 岩屑录井	5
三 钻时录井	8
四 泥浆录井	9
五 气测井	14
第二节 中途测试及其资料的定性分析	17
一 简易中途测试法	17
二 带取样器和压力计的钻杆测试	18
第三节 完井过程中的地质工作	23
一 固井	23
二 完井	25
第四节 完井总结图与完井报告的编制	27
一 编制完井总结图	27
二 完井地质报告	28
第二章 油、气、水层的判断	29
第一节 砂泥岩剖面中油、气、水层的判断	30
一 划分渗透层	30
二 判断油、气、水层	30
三 典型油、气、水层实例	30
四 疑难层的分析	33
第二节 膏盐剖面中油、水层的判断	34
一 划分渗透层	34
二 判别油、水层	35
第三节 低电阻率油（气）层的识别	35
一 低电阻率油（气）层形成的地质条件	36
二 低电阻率油（气）层的识别方法	40
第四节 碳酸盐岩剖面中裂缝性油、气层的识别	44
一 裂缝（包括溶洞）性渗透层段的地质录井特征	44
二 裂缝性渗透层在测井曲线上的反映	45
三 油、气、水层的大体推断	46
四 用测井曲线反映裂缝的新进展	55
* 第五节 油、气、水层的定量判别	58
一 用两组判别分析划分油、水层	59

III

二 用多组逐步判别划分不同产能的气层	60
第三章 钻井地质剖面的对比和地层特性的研究方法	63
第一节 地层对比	63
一 地层对比的依据和方法综述	63
二 地层对比的步骤 (以岩性法为例)	64
三 地层层序的建立	65
第二节 复杂地层条件下的地层对比 (岩相对比)	68
一 利用自然电位曲线解释沉积环境的基本原理和方法	69
二 不同沉积相带的自然电位曲线特征	71
三 地层相剖面的对比及时间地层单元的确立	82
第三节 地层特性的研究方法	84
一 地层厚度的研究与应用	84
二 岩相图的编制与应用	85
三 不整合的研究及古地质图的编制	88
第四节 油层对比和油层特性研究	90
一 油层细分与对比的原则和方法	90
二 油层特性的研究方法	98
第四章 油 (气) 田地下构造的研究	101
第一节 用单井倾斜测井资料研究地下构造和褶皱要素	101
一 确定井孔剖面的地层产状	101
二 判断地下构造的偏移方向	102
三 七种构造的识别方法	102
第二节 断层	108
一 井下断层的识别	108
二 断点组合	110
三 断层面图的编制与应用	112
四 同生断层发育时期与活动强度的分析	112
五 断层封闭性的研究	115
第三节 油 (气) 田地质剖面图的编制与应用	121
一 剖面位置的选择与井位校正	121
二 斜井和弯曲井的井身投影	121
三 绘制地质剖面图的步骤	124
四 油 (气) 田地质剖面图的应用	124
第四节 油 (气) 田构造图的编制与应用	125
一 编制构造图的准备工作	125
二 编制地下构造图的方法	126
三 地下构造图的应用	130
四 表征地下构造的其它图件	131
第五节 地下古构造的研究方法	133
一 岩性、岩相分析法	134
二 沉积间断分析法	134
三 构造形态分析法	134

四 厚度分析法	135
• 第六节 趋势面分析在研究地下构造与油气关系上的应用	137
一 利用趋势面分析寻找有利油气储集构造	138
二 利用趋势面分析寻找岩性-构造油气藏	138
三 利用趋势面分析研究地下断层分布情况	140
第五章 储层研究	142
第一节 各类储集岩的基本特征	142
一 碎屑岩储层	142
二 碳酸盐岩储层	145
三 岩浆岩和变质岩储层	150
四 页岩储层	150
第二节 裂缝性储层	151
一 裂缝的成因类型	152
二 控制裂缝发育的因素	152
三 地下裂缝的研究方法	156
第三节 储层非均质的研究方法	160
• 第四节 储层参数间定量关系的探讨	163
一 储油物性参数间的统计关系	163
二 粒度、胶结物和含量盐等因素对孔隙度的制约	163
三 孔隙结构参数间的统计关系	164
四 孔隙结构的首要参数及其预测	164
第六章 地层压力和地层温度的研究	166
第一节 原始地层压力及其在油气藏中的分布	166
一 有关地层压力的概念	166
二 原始地层压力在油气藏中的分布	167
三 原始地层压力的来源	169
四 利用原始地层压力预测气-水、油-水界面	169
第二节 异常地层压力	171
一 异常地层压力的概念	172
二 超压(高异常地层压力)形成的机理	173
三 产生超压的地质条件	175
四 超压层的预测方法	178
五 超压与油气田地质、勘探和开发	182
第三节 地层温度	185
一 地温梯度与地温级度	186
二 地温与油气分布的关系	186
第七章 石油和天然气的储量计算方法	189
第一节 工业油气流标准和储量分级	189
一 工业油气流的标准	189
二 油气储量分级	190
第二节 容积法	191

一 石油的储量计算	191
二 天然气的储量计算	198
第三节 物质平衡法	200
一 物质平衡方程式的建立	200
二 储量参数的确定	204
三 有关问题讨论	204
第四节 压降法	205
一 压降法的原理和公式	205
二 压降法的影响因素	208
三 超压气藏的储量计算	208
第五节 产量递减曲线法	209
一 产量递减曲线的类型和计算公式	209
二 应用实例	212

注：节的前面有“*”号者为选修内容，可根据各院校的具体情况确定。

第一章 钻井地质

在寻找油气过程中，通过地面地质调查或地球物理勘探，可以指出含油气有利地区和有利构造。但必须通过钻井和试油，才能证实有无工业油气藏。钻井地质工作的任务，是在钻井过程中取全取准各项直接和间接反映地下地质情况的资料和数据（参看表1—1），为油气层评价提供可靠的第一性资料，为油气田的勘探与开发奠定基础。各种地质录井（包括测井）的质量好坏，将直接关系到能否迅速查明地下地层、构造、含油气水等情况，影响油田的勘探速度和开发效果。因此，钻井地质工作在整个油气田勘探开发过程中十分重要，必须认真作好。

表 1—1 1960年大庆油田提出的取全取准二十项资料七十二项数据表

资料项目	数 据 内 容
(一) 录井资料	(1) 岩屑录井 (2) 钻时录井 (3) 泥浆录井 (4) 气测录井
(二) 测井资料	(5) 标准测井 (6) 横向测井 (7) 放射性测井 (8) 微电极测井 (9) 井径测井 (10) 井温测井 (11) 井斜测井 (12) 井内流体测井
(三) 岩心资料	(13) 钻井取心 (14) 井壁取心
(四) 储油层岩性	(15) 薄片鉴定 (16) 粒度分析 (17) 碳酸盐含量 (18) 岩心含盐量
(五) 地层对比资料	(19) 油层总厚度 (20) 油层有效厚度 (21) 最好油层厚度 (22) 最大单层厚度
(六) 含油饱和度	(23) 原始含油饱和度 (24) 残余油饱和度
(七) 孔隙度	(25) 总孔隙度 (26) 有效孔隙度
(八) 渗透率	(27) 空气渗透率 (28) 有效渗透率
(九) 油层温度	(29) 油层温度 (30) 地温梯度
(十) 地层压力	(31) 原始地层压力 (32) 静止压力
(十一) 饱和压力	(33) 饱和压力
(十二) 流动压力	(34) 流动压力
(十三) 井口压力	(35) 油管压力 (36) 套管压力
(十四) 油气比	(37) 油气比
(十五) 原油性质	地层条件下: (38) 原油粘度 (39) 原始油气比 (40) 体积系数 (41) 压缩系数 (42) 原油比重 地面条件下: (43) 原油比重 (44) 原油粘度 (45) 凝固点 (46) 含蜡量 (47) 蜡融点 (48) 含水率 (49) 含砂量 (50) 馏份
(十六) 天然气性质	(51) 天然气比重 (52) 天然气粘度 (53) 天然气组份分析
(十七) 地层水性性质	(54) 矿化度 (55) 成份 (56) 比重 (57) 机械杂质 (58) 含铁量
(十八) 产量	(59) 产油量 (60) 产气量 (61) 产水量 (62) 注水井吸水量
(十九) 含油面积和油水边界	(63) 含油面积 (64) 油水边界
(二十) 粘土夹层	(65) 粘土性质 (66) 夹层厚度 (67) 夹层分布范围 (68) 有机碳 (69) 有机氮 (70) 还原系数 (71) 沥青含量 (72) 沥青性质等其他地球化学指标

第一节 探井地质录井

一、岩心录井

岩心是最直观、最可靠地反映地下地质特征的第一性资料。地质人员通过岩心分析，可研究钻遇地层的岩性、物性、电性、含油气性；掌握生油层特征及其地球化学指标；考察古生物分布和沉积构造，判断沉积环境；了解构造和断裂情况，如地层倾角、地层接触关系、断层位置；查明开发过程中所必须的资料和数据，检查开发效果；为增产措施提供地质依据。因此，应努力提高取心收获率与岩心分析质量。

（一）取心井段的确定

由于取心成本高、钻速慢、技术较复杂，所以不能在勘探过程中每口井都进行取心，也不能轻易布置很多的取心井。为了既要取得勘探开发所必须的基础资料和数据，又要加速油气田的勘探开发进程，在确定取心井段时通常应遵循以下原则：

1 新探区的第一口探井一般可不取心，以期迅速了解新探区的地层、构造、含油气情况。若在第一口井中发现了良好的油气显示，在以后的探井中就应该有重点地安排取心。

2 勘探阶段的取心工作应注意点面结合。将取心任务集中于少数几口井或分井分段进行取心。

3 主要油气层应当重点取心，以便分析储层岩性、物性、含油气性等参数及其变化情况。

4 为特殊目的设计的取心井段，如为了了解地层的特殊岩性、标准层、接触关系，断层情况及油水过渡带的厚度等，要适当取心。

（二）取心工具的基本部件与功能

常用的取心工具有两种：

1 单筒取心工具

这种取心工具是由一根岩心筒和筒形的合金钢钻头组成，适用于浅井和中深井。

2 双筒取心工具

这种工具主要由分水接头、内岩心筒、外岩心筒、岩心抓和取心钻头组成（图1—1）。

（1）取心钻头 是钻取岩心的切削工具。对软或中硬地层，常用三翼或四翼刮刀取心钻头，对硬或坚硬地层常用牙轮取心钻头。取大直径的岩心，可用硬质合金钢钻头。

（2）岩心筒 包括外岩心筒和内岩心筒两部分。外岩心筒联接钻头与钻具，承受和传递钻压，带动钻头旋转并保护内岩心筒。内岩心筒用以容纳和保护岩心。下面接岩心抓，上面装有回压凡尔。回压凡尔能保证泥浆不得进入内岩心筒冲刷岩心，而泥浆可以通过内岩心筒往外排出。内外岩心筒连接处，装有悬挂式滚动轴承，取心钻进时，使内岩心不转动而保护岩心。

（3）岩心抓 接在内岩心筒下部，其作用是割取岩心和承托已割岩心顺利到达地面。它应具有良好的弹性和足够的强度。目前常用的有适于硬或坚硬地层的卡板式和卡箍式，有适于松软地层的卡箍式（又称“一把抓”）。

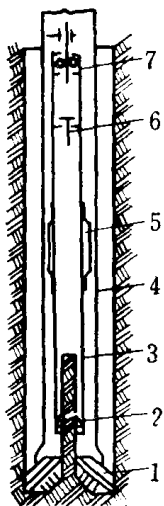


图 1—1 取心钻具结构示意图

1—取心钻头；2—岩心抓；3—内岩心筒；4—外岩心筒；5—扶正器；6—回压凡尔；7—悬挂轴承

(4) 分水接头 连接在悬挂轴承之上，作用是引导泥浆从内岩心筒的环形空间流至钻头水眼冲刷井底，与回压凡尔一起保护内岩心筒的岩心不受泥浆冲损。

(5) 加压接头 它连接在外岩心筒的上部，作用是在割取岩心时，用它加压切断销子，使内岩心筒下落，岩心抓向内弯曲割断岩心。

为了保证有较高的岩心收获率，在取心中要求作到平稳操作，不能随意上提下放钻具，严禁转盘卸扣和猛提猛刹。钻压、转速和排量要根据地层情况恰当安排。在取心过程中不能划，要保证泥三浆性能良好。

(三) 岩心的观察与描述

岩心特别是含油、气岩心的观察描述，应及时进行，以免油、气逸散挥发而漏失资料。

1. 岩心含油气的观察与试验

(1) 含气试验

洗岩心时应做含气试验，方法是把岩心置入水下2毫米进行仔细观察。如有气泡冒出，应记录其部位、连续性、延续时间、声响程度，有无硫化氢味，并及时用红铅笔将冒气处圈出。

(2) 含油试验

无论是亲油或亲水性的油层，由于含油岩心浸泡在水基泥浆中，在岩心柱上会形成泥浆浸入环，有的甚至将岩心中的大部分石油排出，只剩下轴心含油；有的岩心含轻质油，出筒后油易于挥发，岩心柱面难见油显示；有的岩心待放于岩心盒内一段时间后，才见有原油慢慢浸出到岩心表面。所以单凭观察岩心柱面含油情况还很不够，必须对可能含油的岩心作含油试验。具体方法如下：

滴水试验法：用滴管滴一滴水在含油岩心平整的新鲜面上，滴时不宜过高，观察水滴的形状和渗入速度，一般分为级五（见图1—2）。

一级：立即渗入。

二级：水滴成膜状十分钟内渗入。

三级：十分钟内水滴呈凸镜状浸润角小于 60° 。

四级：十分钟内水滴呈半球状，浸润角 60° — 90° 之间。

五级：十分钟水滴形状不变，呈圆珠或半球状，浸润角大于 90° 。

由于油和水是互不溶解的，所以含油岩心中含水多时，滴水试验为一、二级，含油多时为四、五级。

四氯化碳试验法：将岩样捣细，放入试管中加入约2倍于岩样的四氯化碳，摇晃浸泡10分钟，如含油则溶液变为棕色、棕褐色或黄褐色；如含油极微，溶液仍为原色，可将溶液倾在洁白滤纸上，待 CCl_4 挥发后则残留淡黄、淡绿或棕色痕迹，或置于荧光灯下照射观察。

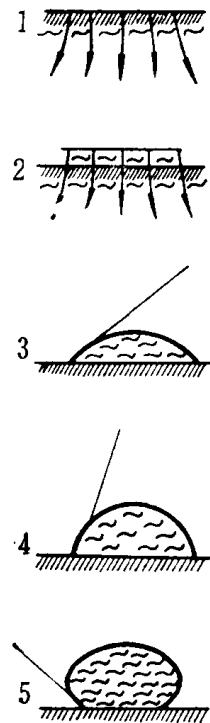


图 1—2 岩心滴水试验分级示意图

1—一级渗入；2—二级渗入；
3—三级微渗；4—四级不渗；
5—五级不渗

丙酮试验法：将岩样捣细放入试管中，加入约2倍于岩样的丙酮溶液。摇晃均匀后，再加入同体积的蒸馏水。如含油则溶液变为浑浊的乳白色。

荧光试验法：由于沉积岩中的沥青和原油及一些矿物，在紫外光线照射下有不同的发光能力，所以可按发光的颜色来确定物质的性质。一般情况下，沥青质和油质发光颜色及处理方法如图1—3所示。

从紫、蓝紫、青蓝和蓝色通过黄橙、棕到深褐色，是从轻质油逐步过渡到重质油的一系列发光顺序。其他

油：淡青、黄色；

焦油：黄、褐（橙）色；

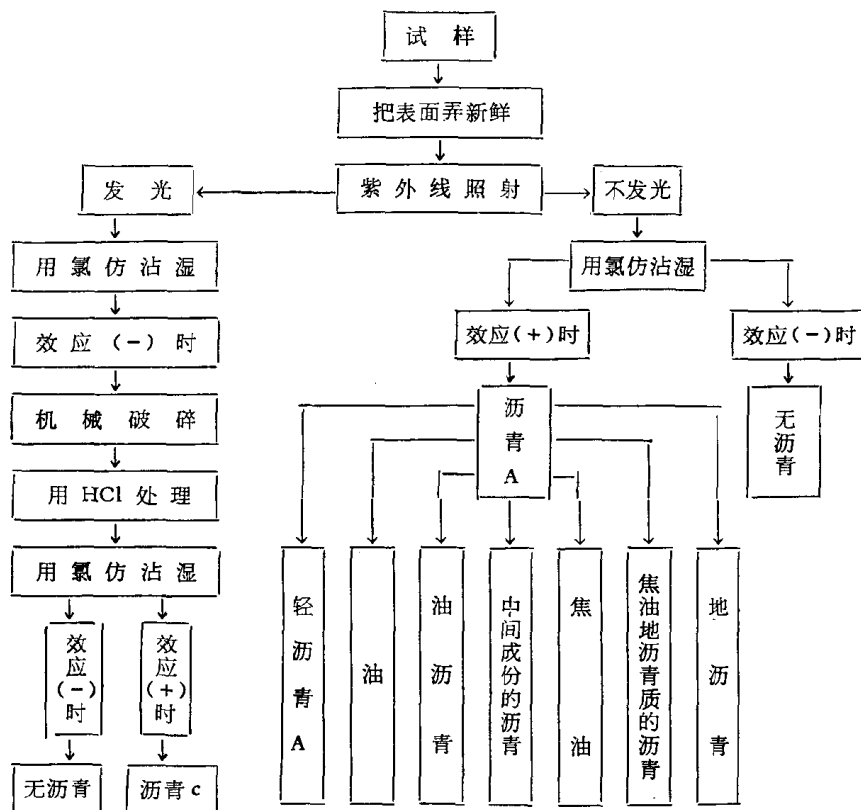


图 1—3 荧光试验区别油质沥青与沥青质含量示意图

(据西南石油学院钻采地质, 1979修改)

沥青：淡青、黄、褐、棕色；

地沥青：淡黄、棕色。

在钻井现场常用的荧光分析方法有以下四种：

直照法：将岩心或岩屑在荧光灯下直接照射。这种直照法是最直接、最简便的方法，在录井过程中可以及时发现油层。

点滴法：取一点研碎的岩屑放在滤纸上，滴上1—2滴氯仿溶液，在荧光灯下直接观察滤纸上留下的发光痕迹，可以粗略的确定沥青含量与沥青性质。

系列对比法：称一克碎屑岩样，倒入干净试管内，加入五毫升氯仿溶液。将试管口封闭，摇匀浸泡8小时后，在荧光灯下与标准系列对比得出级别。从荧光级别查出沥青标准含量可看表1—2。

表 1—2 荧光分析沥青含量标准表

级 别	含 量 (%)	级 别	含 量 (%)	级 别	含 量 (%)
0.5	0.000155	5.5	0.0075	10.5	0.240
1.0	0.000310	6.0	0.0100	11.0	0.320
1.5	0.000465	6.5	0.0150	11.5	0.480
2.0	0.00063	7.0	0.0200	12.0	0.640
2.5	0.000945	7.5	0.0300	12.5	0.945
3.0	0.001250	8.0	0.0400	13.0	1.250
3.5	0.001975	8.5	0.060	13.5	1.875
4.0	0.002560	9.0	0.080	14.0	2.500
4.5	0.003750	9.5	0.120	14.5	3.750
5.0	0.005000	10.0	0.160	15.0	5.000

毛细分析法：在系列分析试管内取出 2 毫升溶液，倒另一个干净试管内，放入处理过的滤纸条，置于阴暗处。待挥发干后，在荧光灯下照射滤纸条的发光颜色和宽度，可确定沥青性质。

2 岩心描述内容

(1) 岩性 如颜色、岩石名称、矿物成份、结构构造、胶结物及胶结程度、特殊矿物及其他含有物等。

(2) 相标志 如沉积结构(粒度、成份、颗粒形态、颗粒排列情况等)、沉积构造(各种层面构造如沙波、水流波痕、泥裂、雨痕、载荷模、枕状、滑动构造以及各种层理构造)、生物特征)种类、分布、含量、保存情况等)、地球化学标志(如有机质含量和微量元素等)等等。

(3) 储层物性 如孔隙性、渗透性、孔洞缝发育情况与分布特征等。

(4) 含油气性 岩心的含油级别，主要依据岩心的含油面积和含油饱满程度来确定。由于各地区的地质情况不同，所以含油级别的区分也略有差异。华北地区分为五级(见表1—3)。

(5) 岩心构造倾角测定、断层的观察、接触关系的判断。

为了便于及时分析对比，指导下一步工作，应将岩心录井中取得的各种资料、数据用统一规定的符号绘制岩心草图。等完井电测后，再根据测井、岩屑、钻时录井等资料对岩心进行归位。进一步核实井深、岩心顺序、厚度等是否正确，并正式编绘岩心归位图为恢复地下剖面提供依据。

二 岩屑录井

地下的岩石被钻头钻碎后，随泥浆被带到地面上，这些岩石碎块就叫岩屑，又常称为“砂样”。在钻井过程中，地质人员按照一定的取样间距和迟到时间，连续收集与观察岩屑并恢复地下地质剖面的过程，称为岩屑录井。它具有成本低、简便易行、了解地下情况及及时和资料系统性强等优点。在勘探过程中，为了尽快探明新油气田，通常很少取心或暂不取心。在这种情况下，要获得地下地层、构造、生储盖组合关系、储层物性、含油气情况等第一性资料，就必须广泛采用岩屑录井方法。

(一) 获取有代表性的岩屑

岩屑录井首先是要获取有代表性的岩屑。为此必须保证取样井深和岩屑迟到时间计算

表 1—3 含油级别的划分

(据华北石油会战指挥部)

含油级别	含油岩石面积占同岩性岩石的百分比(%)	含 油 饱 满 程 度	备 注
油砂	>90	含油均匀、饱满、油味浓、污手，滴水呈圆珠状，不渗水，看不见岩石本色。	重质油易残存，而轻质油则易挥发，故有时“油斑”“油迹”不一定比“含油”“油浸”差。
含油	60—90	含油均匀且较饱满，油味较浓，污手、滴水不渗，呈珠状，看不到岩石本色。	
油浸	30—60	含油较均匀，但不饱满，有油味，微污手，少见岩石本色，滴水不渗或浸渗呈半球状。	
油斑	<30	含油不均，呈斑状条带状分布。不易污手，滴水微渗或浸渗，可明显见到岩石本色。	
荧光	肉眼难见含油显示，干照或滴照，荧光明显	有时偶见含油迹象，滴氯仿后见明显萤光，滴水易渗，岩石本色清楚可见，常有油味，不污手。	

准确。要做到取样深度准确，必须管好井反复核对钻具，算准方入。

岩屑从井底返到井口的时间就是通常所说的岩屑迟到时间。为了准确的捞取岩屑，必须按一定间距测定岩屑迟到时间。常用的方法有：

1 理论计算法

迟到时间（以分钟表示）

$$T = \frac{V}{Q} = \frac{\pi(D^2 - d^2)}{4Q} \cdot H \quad (1.1)$$

式中 V —— 井眼与钻杆之间的环形空间容积，米³； Q —— 泥浆泵排量，米³/分； D —— 井径，即钻头直径，米； d —— 钻杆外径，米； H —— 井深，米。

用理论计算的迟到时间与实际迟到时间往往不符。主要是因为实际井经常比理论井径为大，不是一个理想的几何体，计算时也未考虑岩屑在泥浆中的下沉。因此，现场多以此作参考。

2 实物测定法

实测法是选用与岩屑大小，比重相近似的物质（常用红砖块或白瓷碎片），在接单根时投入钻杆内。记下投入后开泵的时间，然后在井口泥浆出口或振动筛处，密切注意并记下投入物开始返出的时间。这两个时间之差就是实物循环一周需要的时间 t ，它包括了实物沿钻杆下行到井底的时间 t_0 和从井底通过钻杆外环形空间返出井口的时间 T 。岩屑迟到时间 $T = t - t_0$ 。因为钻杆、钻铤内径都是规则的（如果内径不同的混合钻具可分段计算），式中 t_0 可按下列式计算求得：

$$t_0 = \frac{C_1 + C_2}{Q} = \frac{\pi d_1^2}{4Q} \cdot H_1 + \frac{\pi d_2^2}{4Q} \cdot H_2 \quad (1.2)$$

式中 C_1 和 C_2 分别代表钻杆和钻铤的内容积（升或方）， d_1 和 d_2 分别为钻杆和钻铤的内径， H_1 和 H_2 分别为钻杆和钻铤的长度。 C_1 和 C_2 通常可根据钻杆及钻铤的规格和长度直接查表而得。 Q 为泥浆排量（升/秒）。在钻进过程中，往往由于机械或其他原因需要变泵。可以

是单泵变双泵，也可以是双泵变单泵。遇到这种情况应对T进行校正。

3 特殊岩性法

与邻井对比，利用大段单一岩性中的特殊岩层（如大段砂岩中的泥岩，大段泥岩中的灰岩或油层组顶部的第一个油层等）在钻时上表现出特高或特低值，记录钻遇的时间和上返至井口的时间，二者之差即为真实岩屑的迟到时间。

(二) 岩屑描述

1 真假岩屑的识别

钻井过程中由于裸眼井段长、井眼大小不均、泥浆性能的变化、钻具在井内频繁活动、排量的突然变化等因素的影响，真假岩屑常相互混杂，给岩屑的描述带来困难。因此必须区分新钻、残留和垮塌的岩屑，区分时可从以下几方面综合考虑：

(1) 岩屑的色调、形状和大小 在碳酸盐岩或部份泥质岩类的地层，用牙轮钻头和泥浆钻进时，新钻岩屑一般色调新鲜，直径在2—5毫米之间，多呈片状或棱角状，具锐利的边沿；残留岩屑色调模糊，一般小于2—5毫米，多呈半棱角或圆滑的粒状；垮塌的岩屑一般大于2—5毫米，呈块状或参差状（见图1—4）。对砂岩来说，牙轮钻头的岩屑呈粒状，而刮刀钻头的岩屑则呈片状。又如质软、易碎易溶的石膏层，则其岩屑多呈细粒或粉末状。由此可见，岩屑的形状和大小，受岩石性质、钻头类型、钻井条件等诸因素的影响。

(2) 注意新成份的出现 在连续取样中，如果发现新成份岩屑出现，且以后逐渐增加，则标志着钻入下伏另一岩层。即使出现的数量很少（对一些薄岩层，有时仅发现数颗新成份岩屑），也表明进入了下伏另一岩层。

(3) 从岩屑中各种岩屑的百分比变化来识别 对于有两种或两种以上岩性组成的地层，观察新成份的出现往往不易区分是否进入下伏另一地层，所以必须从岩屑中某种岩性的岩屑百分含量增减来判断是否进入了某一地层，从而确定岩屑的真伪。

(4) 利用钻时、气测等资料验证 除使用上述几种方法判断外，还应参考钻时资料，它对于区别砂、泥岩和灰质岩类就比较准确，油气层在气测曲线上常有显示。

2 岩层定名及岩屑描述

岩屑的分层定名，是按新成份的出现和百分比的相对变化来确定的。通常认为岩屑中一种新成份的出现，就标志着钻入下伏另一岩层；而岩屑百分比的不断增加则意味着该层的持续；两种岩屑百分含量频繁地相应增减，乃是两种岩性的互层。根据这些原则，那怕是岩屑中只有几颗新岩屑，也要分层定名。新成份数量少，反映是薄层，或者是由于岩性疏松，不易捞到所致。当某一种岩屑百分含量开始降低时，在含量变化的转折点就是该层

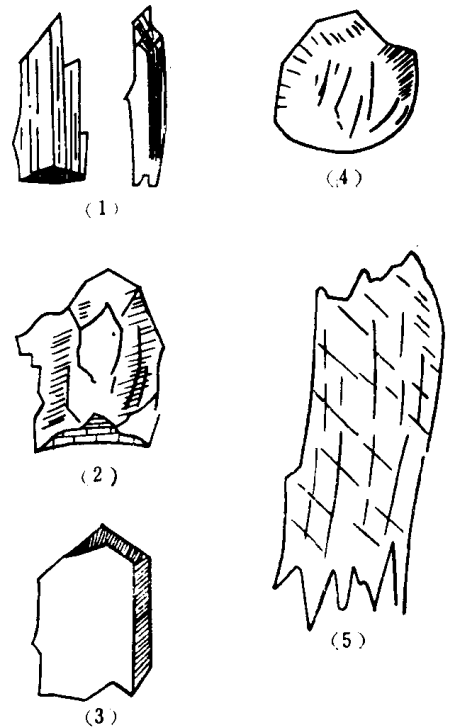


图 1—4 各类岩屑形状示意图

1—新钻页岩；2—新钻灰岩；3—新钻泥岩；4—残留岩屑；5—垮塌岩屑

的底界。在具体分层定名时，应参考钻时，气测、泥浆和槽面显示资料。在大套单一岩性中，如果岩性特征（如砂岩的粒级不同）、颜色有变化，也应分层定名描述。对于厚度在0.5米或不到0.5米的标准层、标志层、特殊岩性层均应分层描述，不能遗漏。

岩屑的描述方法一般是大段摊开，宏观细找；远看颜色，近查岩性；干湿结合，挑分岩性；分层定名，按层描述。对岩屑百分比小或岩屑呈散粒状的岩性要作过细工作。对新成份出现要向上追索，直到没有为止，从而定出层的顶界。特别是不能漏掉油、气显示。要仔细观察是否有油砂和碳酸盐岩岩屑缝洞中是否含油。如有这类岩屑，那怕只有一颗或数颗，也应仔细观察和记录。

岩屑的描述方法与岩心描述相同，不再赘述。

（三）影响岩屑录井的因素

1 钻头类型和岩石性质的影响 由于钻头类型及其新旧程度的不同、岩屑形态和大小差异、岩性不同的岩屑比重有差别，于是上返速度不同，直接影响岩屑深度的正确性和代表性。

2 泥浆性能的影响 如果采用低比重、低粘度泥浆或用清水快速钻进时，因其对岩屑的悬浮力差，兼之井壁垮塌严重，岩屑就特别混杂。若采用性能好的泥浆钻进，井壁不易垮塌，悬浮能力又强，岩屑就比较单一，代表性就强。在处理泥浆的过程中，若性能变化很大，岩屑也将十分混杂。

3 钻井参数及井眼大小的影响 当钻井参数不变，若井眼大小不规则，泥浆上返速度就不一致。在大井眼处上返速度慢，携带岩屑能力差，甚至在“大肚子”处出现涡流，岩屑不能及时返出，致使岩屑混杂。当泥浆泵的排量大小发生变化，尤其是单泵双泵频繁倒换时，最容易造成岩屑混杂。此外，在下钻或划眼过程中，都可能把上部地层的岩屑带至井底，与新岩屑混在一起返至地面。

（四）岩屑百分比图与解释剖面

岩屑百分比图是建立井身剖面的主要依据。其绘制方法是：将有代表性的岩屑，按目估法确定出每包岩屑中不同岩性的百分含量，按深度绘出各种岩性岩屑的百分比。

根据岩屑百分比图解释井身剖面的原则已在岩屑定名一段讲过了，不再重复。

岩屑解释剖面有如下用途（尽可能与钻时、泥浆等录井资料相结合）。

1 进行地层对比。把岩屑解释剖面与邻井进行对比，可及时了解本井地层剖面的岩性特征、钻遇层位、正钻层位；检查和验证本井设计地质剖面的符合程度，以便及时修改地质设计，提出较可靠的地质预告，进一步推断油气水层可能出现的深度，指导下一步工作。

2 为测井解释提供地质依据，提高测井解释可靠性。对复杂油气藏，仅凭测井曲线解释岩性和油气层往往是很困难的。此时岩屑解释剖面的重要性就更为突出。

3 在处理与地质有关的工程故事中，应用岩屑解释剖面便于分析事故发生的原因，制定有效处理措施。在进行中途测试、完井作业过程中，必须以岩屑解释剖面为重要依据之一。

4 是编制完井总结图的基础，直接影响着总结图的质量。

三 钻时录井

钻进速度的快慢，通常用钻时表示。所谓钻时，是指每钻进一米所需要的纯钻井时间，

单位为分钟/米。它既取决于地下岩石的可钻性（岩层的软硬程度），又取决于钻井参数的配合（如钻压、转速、排量的配合）、泥浆性能、钻头类型及其磨损情况等。因此，根据钻时的大小，就可以帮助我们判断地下岩层的岩性变化和缝洞发育情况；帮助工程人员掌握钻头使用情况，提高钻头使用率；改进钻进措施，提高钻速，降低成本。所以钻时录井不论对地质还是工程，都是重要的录井方法。

除钻时外，也可用钻速。钻速是钻时的倒数（米/小时）。在新探区，从井口开始每米记录一次钻时，到达目的层则可适当加密到0.5—0.25米记录一次。

（一）影响钻时的因素

1 岩石性质、钻头类型与新旧程度 松软地层比坚硬地层钻时小。同一性质岩石其钻速则视钻头类型及其新旧程度而异。

2 泥浆性能与排量 低粘度、低比重、大排量的泥浆钻进快，钻时低。一般清水钻进要比泥浆钻进的速度高一倍以上。

3 钻井措施与方式 在同一岩层中，钻压大、转速快、排量大时，对岩石破碎效率高，故进尺快；相反，钻井措施不当，进尺就慢。

4 人为因素的影响 司钻的操作技术与熟练程度，对钻时快慢都有影响。

（二）钻时录井曲线的绘制与应用

1 钻时曲线的绘制 绘制时深度比例尺一般取1:500，以纵坐标代表井深，横坐标代表钻时，分别在各个深度上标出相应钻时点。

然后将各点连接成一条折线即为钻时曲线（见图1—5）。为了便于解释，在曲线旁边还应用符号或文字在相应深度上标上接单根、起下钻、跳钻蹩钻、卡钻和更换钻头的位置、钻头尺寸类型等内容。

2 钻时曲线的应用 可定性判断岩性，解释地层剖面。当其他条件不变时，钻时的变化反映了岩性的差别。疏松含油砂岩的钻时最快，普通砂岩较快，白云岩、灰岩较慢，玄武岩、花岗岩最慢。对于碳酸盐岩地层，利用钻时曲线可以判断缝洞发育井段。如突然发生钻时加快、钻具放空现象，说明井下可能遇到缝洞渗透层。放空尺寸越大，反映钻遇的缝洞越大。应该指出的是，同一类岩石，随其埋藏深度和其胶结程度等不同，反映在钻时曲线上也各不相同。

四 泥浆录井

普通泥浆是由粘土、水和一定无机或有机化学处理剂搅拌而成的悬浮液和胶体溶液的混合物，其中粘土呈分散相，水是分散介质，组成固-液分散体系。

泥浆又称钻井的“血液”。它除了用来带动涡轮、冷却钻头钻具外，更重要的是携带岩屑、保护井壁、防止地层垮塌、平衡地层压力、防止井喷井漏。根据地质条件合理使用泥浆，是防止钻井事故发生、降低钻井成本和保护油层的重要措施。

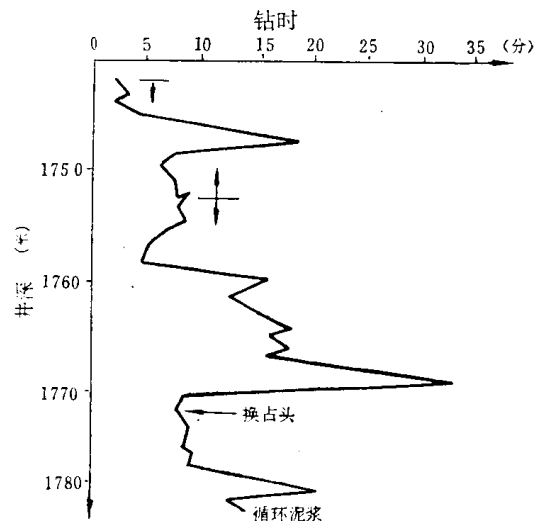


图 1—5 钻时曲线