

同济大学“十五”规划教材

# 油气田地下地质学

SUBSURFACE GEOLOGY OF OIL & GAS FIELDS

◎ 纪友亮 张立强 主编



同济大学出版社  
TONGJI UNIVERSITY PRESS

SUBSURFACE GEOLOGY OF OIL & GAS FIELDS

同济大学“十五”规划教材

# 油气田地下地质学

纪友亮 张立强 主编



同济大学出版社  
TONGJI UNIVERSITY PRESS

## 内容提要

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程。本书主要内容涵盖了从钻井地质资料的录取到综合运用地质、地球物理来研究地下油气田地质结构、储层特征、油气水分布、地下温度和压力条件、油气储量计算等地质问题。本教材可供地质、石油院校的本科生作为相关课程的教材。

### 图书在版编目(CIP)数据

油气田地下地质学/纪友亮,张立强主编. —上海:同济大学出版社,2006.12

ISBN 7-5608-3226-1

I. 油... II. ①纪... ②张... III. 石油天然气地质—高等学校—教材 IV. P618.130.2

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2006)第 139579 号

---

---

## 油气田地下地质学

纪友亮 张力强 主编

责任编辑 徐国强 责任校对 谢惠云 封面设计 陈益平

---

出版发行 同济大学出版社 [www.tongjipress.com.cn](http://www.tongjipress.com.cn)

(地址:上海市四平路 1239 号 邮编:200092 电话:021-65985622)

经 销 全国各地新华书店

印 刷 同济大学印刷厂

开 本 787mm×1092mm 1/16

印 张 18.75

印 数 1—1500

字 数 468 千

版 次 2007 年 1 月第 1 版 2007 年 1 月第 1 次印刷

书 号 ISBN 7-5608-3226-1/P·18

---

定 价 35.00 元

## 前 言

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程。主要包括:从钻井地质资料的录取到综合运用地质、地球物理和油层测试、实验室化验分析资料来研究地下油气田地质结构、储层特征、油气水分布、地下温度和压力条件、油气储量计算等地质问题。它为油气田勘探、开发方案的编制和调整提供可靠的地质依据。本书的编写是在“同济大学教材、学术著作出版基金委员会”的资助下完成的。

本教材是根据同济大学新教学大纲编写的,全书共分六章。在保持本学科全面系统理论的基础上,增加了近年来油气田地下地质研究的新进展。如在第二章中增加了层序地层学地层对比方法;在第三章中从储层沉积微相研究到综合评价等,较系统地介绍了储层特征的研究内容。

本教材由同济大学纪友亮主编。参加编写的人员分工如下:

第一、二章由纪友亮编写;

第三章由张立强、傅强编写;

第四、六章由李红南编写;

第五章由张世奇、杨凤丽编写。

本教材由同济大学蔡进功教授审阅。

由于时间仓促,加之编者水平有限,书中一定有不少缺点和错误,衷心欢迎使用本教材的师生和广大读者批评指正。

编者

2006年8月

# 目 录

前 言 .....	( 1 )
第一章 钻井地质 .....	( 1 )
第一节 钻井地质设计 .....	( 1 )
第二节 探井地质录井 .....	( 8 )
第三节 中途测试及其资料的定性分析 .....	( 41 )
第四节 完井过程中的地质工作 .....	( 47 )
第五节 完井总结图与完井报告的编制 .....	( 51 )
第二章 地层对比及地质图件的编制 .....	( 56 )
第一节 地层对比 .....	( 56 )
第二节 层序地层学对比法 .....	( 60 )
第三节 油层对比 .....	( 64 )
第四节 碎屑岩油层对比成果图的编制与应用 .....	( 77 )
第五节 碳酸盐岩储集层的储集单元对比 .....	( 81 )
第三章 储层特征研究 .....	( 86 )
第一节 沉积微相研究 .....	( 86 )
第二节 储层非均质性研究 .....	( 99 )
第三节 裂缝性储集层 .....	( 125 )
第四节 影响储层特征的地质因素 .....	( 137 )
第五节 储层敏感性 .....	( 150 )
第六节 储集层地质模型与储集层综合评价 .....	( 161 )
第四章 油气田地下构造的研究 .....	( 171 )
第一节 利用地层倾角测井资料研究地下构造和褶皱要素 .....	( 171 )
第二节 断层研究 .....	( 180 )
第三节 油气田地质剖面图及构造图的编制 .....	( 192 )

<b>第五章 地层压力与温度</b> .....	(204)
第一节 地层压力 .....	(204)
第二节 地层温度 .....	(225)
<b>第六章 油气储量计算</b> .....	(235)
第一节 工业油气流标准 .....	(235)
第二节 油气储量分类及综合评价 .....	(236)
第三节 油、气储量计算方法 .....	(241)
<b>参考文献</b> .....	(290)

# 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(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、圈闭、含油气水等情况,影响油气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,必须认真做好。

表 1-1 钻井地质取全、取准 12 类资料 71 项数据

资料类别	项目内容
(一) 井位资料	(1) 井位 (2) 井别 (3) 井位坐标 (4) 海拔高度
(二) 岩屑资料	(5) 岩性 (6) 结构 (7) 荧光 (8) 含油程度 (9) 化石 (10) 缝隙 (11) 孔洞
(三) 泥浆资料	(12) 性能 (13) 泥浆处理 (14) 槽面显示 (15) 漏失 (16) 井涌(喷)
(四) 岩心资料(包括井壁取心)	(17) 收获率 (18) 岩性 (19) 结构 (20) 构造 (21) 缝隙 (22) 孔洞 (23) 接触关系 (24) 化石 (25) 倾角 (26) 荧光 (27) 含油程度 (28) 含气情况 (29) 破碎、磨损情况
(五) 钻时、气测资料	(30) 钻时 (31) 气测值 (32) 组分 (33) 放空 (34) 后效
(六) 测井资料	(35) 标准测井 (36) 组合测井 (37) 放大曲线 (38) 碳酸盐岩测井系列 (39) 其他测井
(七) 试油或中途测试资料	(40) 完成方法 (41) 洗井和锈喷 (42) 求产 (43) 压力 (44) 温度 (45) 原油含水、含砂 (46) 井间干扰或层间干扰
(八) 特殊作业资料	(47) 酸化 (48) 压裂 (49) 喷砂射孔 (50) 打水泥塞 (51) 封隔器、地层测试器试油资料
(九) 分析化验资料	(52) 岩石矿物 (53) 油层物性 (54) 古生物 (55) 生油指标 (56) 地面原油性质 (57) 天然气性质 (58) 地层水性质 (59) 高压物性 (60) 开发试验
(十) 井身资料	(61) 完钻井深度 (62) 井身结构 (63) 井身质量 (64) 工程大事纪要
(十一) 地震测井资料	(65) 井况 (66) 施工情况 (67) 资料情况
(十二) 试验性资料	(68) 录井资料:页岩密度、碳酸盐含量、孔隙压力、“D”指数资料 (69) 测井资料:地层倾角测井、井下电视测井、岩性测井 (70) 电缆测试 (71) 分析化验资料:电镜扫描、绝对年龄测定

(据江汉钻井地质队,1982)

## 第一节 钻井地质设计

在一个新探区,为了迅速发现油气藏,及时扩大勘探成果,在已掌握区域地质、地球物质

勘探资料的基础上,需要编制一个钻探的总体设计。在总体设计中规定了勘探总任务,进行全区勘探的程度与方法、井别、井位部署等。

单井地质设计是根据钻探总体设计的要求编制的。它是完成总体设计任务的一个部分,也是顺利完成钻探任务必不可少的一环。

## 一、井 别

根据“油气勘探工作条例”和“油气勘探程序与地震地质解释评价工作流程、要求”的原则,结合当前地区油气勘探过程中的具体特点,对井别划分和井号编排提出以下规定。

### (一) 井别划分

1. 地质井(构造井、地质浅井) 在盆地普查阶段为解决一定地质调查(构造、地层分布)问题而钻的井。

2. 参数井(地层探井、区域探井) 为了解不同构造单元的地层层序、厚度、岩性、生储盖组合的条件,并为物探提供有关参数而钻的井。

3. 预探井 在地震详查的基础上,以局部圈闭或构造带为对象,以发现油气藏为目的而钻的井。

4. 评价井(详探井) 在地震精查的基础上,在已获得工业性油气流的构造或断块上为落实地质储量,了解油气层的分布和厚度变化以及明确油气藏类型所钻的井。

5. 一次开发井(基础井) 为落实探明储量,准备产能建设而部署的开发准备井。一次开发井位应在开发基础井网上抽稀,为开发阶段留有余地。

### (二) 井号编排

1. 各类井字头均应冠以所在地区、圈闭名称中的一个字。

2. 参数井应带“参”字。如胶莱盆地第2口参数井,称胶参2井。

3. 预探井、评价井井号不能按井排编号,一般尽量采用小于100号之内的数字。

4. 开发井按井排编号。

## 二、直井地质设计

### (一) 设计的依据

由于井别不同,钻井目的和任务不同,其地质设计的内容及要求也不完全一致,但设计时所考虑的因素、设计的步骤及方法大体上相似。进行设计前需要收集以下资料:

1. 了解区域地质概况 收集地层综合柱状图,以及有关的地层研究报告。对于新探区还应到盆地边缘露头区踏勘剖面,了解区域地层层序、接触关系、岩性组合特征、岩性标准层、地层厚度及生储盖组合条件。

收集构造图、构造剖面图,了解本井所处的构造部位、断层情况(断层性质、断距大小、断层延伸情况)。收集通过本井的地震剖面图,了解地震标准层的特征、地层产状等。有时在一个新探区,因上述资料缺乏或不足时,还应收集重磁力异常平面图和剖面图,以及通过地面实测的构造图和剖面图。

收集本区油、气、水层资料。了解油、气、水性质、纵向上的组合关系、横向上分布规律以及油、气、水层压力。



2. 熟悉邻井资料,收集邻井地层剖面图、地层对比图以及钻时、泥浆、气测、电测等资料。熟悉地层岩性特征,分析岩电关系,研究地层分段标志与标准层特征,掌握分层界线,以供设计参考。

收集邻井油、气显示和试油资料,预测本井油气显示井段。

收集邻井地层岩石的可钻性以及泥浆性能的影响。收集邻井井斜资料,分析井斜规律,预计本井易斜井段和井斜方位。

在开发区钻井,要收集邻井采油、注水层位压力等资料,了解油层连通情况及注水后的影响。

收集有关的地质、工程数据,进行分析研究,预测本井可能出现的各种情况。

## (二) 设计内容

一般包括以下 10 项设计内容:

1. 基本数据 井号,井别,井位,设计井深,目的层,完钻层位及原则。

井位:井位坐标、经纬度、地面海拔(对于海上钻井要填写水深)、构造位置、地理位置、测线位置;

设计井深:本井预计钻达某组段地层的深度。

2. 区域地质简况 指地层构造概况及邻井成果。

3. 设计依据 即为设计所提供的资料。

4. 钻探目的 一般与井别有关,如预探井是以发现油气藏为目的。

5. 设计地层剖面 包括层位、底界井深、厚度、分段岩性简述。

6. 预计油气层位置

7. 故障提示 指钻井过程中可能发生故障或事故的层位、井段。

8. 取资料要求 取全取准岩屑、钻时、气测、泥浆、荧光等录井资料和井壁、岩心等取心资料数据。如岩屑录井的取样井段、间距、数量、钻时,气测录井的测井井段、测点密度、特殊要求(仪器型号、后效取样、泥浆真空蒸馏取样等)。

当钻遇明显油气显示和其他重要地质现象时,应设计停钻循环观察,以便准确判断油气层。

提出泥浆录井及氯离子滴定的测量井段、测点密度、要求。参数井、重点预探井进行氯离子滴定,其余各井根据实际情况而定。

提出荧光录井的湿照、干照、滴照、定级密度等要求。

设计取心井段、进尺、取心目的及原则。在设计取心总进尺中,应留有部分机动取心进尺,并写明目的要求;提出井壁取心颗数及要求。

对地球物理测井的测量井段、测井系列选择、测井时间等提出要求。

实物剖面或岩样汇集的制作井段及要求,以及选送岩心、岩屑送样原则,分析化验项目要求。

9. 地层压力预测邻井试油资料及压力预测曲线。

10. 设计泥浆使用、性能要求等。

11. 中途测试要求确定钻遇什么情况进行测试。

预测测试层位、目的、方法及主要要求(方法分为电缆测试、裸眼封隔器测试、下套管封隔器测试及分层试油)。

12. 特殊测井要求 包括地震测井、全井声速测井、地温梯度测井、地层倾角测井、井下电视测井等。

13. 井身质量、井身结构要求 包括井斜度、水平位移允许范围,套管尺寸、下深及固井水泥返高等,根据地质条件提出要求原则。

14. 施工过程中可能出现的重大地质问题,当与设计出入甚大时,采用的相应的预备方案和措施。

附图:①设计井位区域构造图、地理位置图;②主要目的层构造井位图;③通过设计井的“十字”地震时间剖面;④通过设计井的地质解释横剖面;⑤设计柱状剖面图。

一般预探井、详探井的设计内容可根据地质情况和勘探程度适当精简。

### (三) 井深及地层剖面的设计

设计井深及地层剖面时,首先根据地形地质图、构造图及正钻井与完钻井资料作出通过设计井的横剖面图,由此图按钻穿的最终目的层定出井深及该井穿过的地层剖面,即由完钻井的实际资料向设计井推测剖面岩性和厚度。此时应考虑因所处构造位置不同和断层的影响,可能产生的岩性和厚度变化。由于地层厚度和倾角的变化,设计深度与实际情况可能有所不符,因此在设计井深时,常常附加 5%~10% 的后备深度。如目的层井深是 2 000 m,设计井深可定为 2 100 m。在钻井过程中,应随时根据实际资料对原设计进行检验和修正。

〔例 1〕 某构造上已完钻 1、3、4、5 四口探井(图 1-1),现设计 2 号井以了解构造顶部含油、气及地层情况。经 1、3、4、5 四口井地层对比得知  $N_{m_1}$  组底界深度与构造图基本吻合,各井  $N_g$  组地层厚度接近一致;5 井位于断层上盘,在  $N_{m_1}$  下段及  $N_g$  组见有三组油层;4 井于  $N_g$  组见两组油层与 5 井  $N_g$  组油层相当;1 井位于构造边部,含油差,仅有  $N_g$  组下部一组油层,厚度已减小。设计时,首先通过设计井及 1、5 两口井作横剖面图(图 1-2);

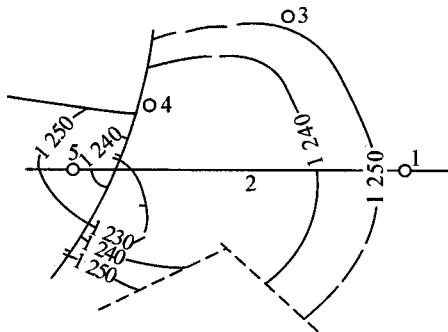


图 1-1 XXX 油田构造图

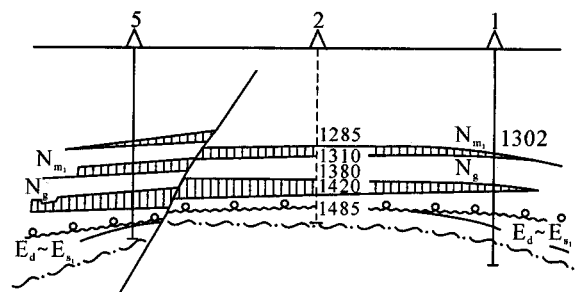


图 1-2 根据钻井地质剖面设计探井

据 2 井在构造上的位置确定  $N_{m_1}$  组底界为 1 235 m;据邻井  $N_g$  组厚度(250 m 左右)推断 2 井  $N_g$  组底界为 1 485 m;2 井油层井段由横剖面推断为 1 285~1 310 m 及 1 380~1 420 m,  $N_g$  共两组油层;设计井要求钻穿  $N_g$  组,考虑到地层厚度变化的可能性,设计井深定为 1 550 m。

在钻井资料不足的新探区,进行井深及剖面设计时,需要充分利用物探资料(尤其是通过设计井的地震剖面和构造图)及附近的地面露头资料。例如预探井的设计,往往是仅将仅有

一、二口井资料同地震资料结合起来,即从已知井的地震测线闭合追层到未知井(设计井)的测线,便可以得到设计井深及地层剖面。设计井深是否准确,关键在于准确解释通过设计井位的地震剖面,在层位上不能有错,否则会造成很大误差。

### 三、定向井地质设计

1905年定向钻井技术首先在非洲的特兰士瓦尔(Trasvaal)与兰德(Rand)的采矿业上应用。1920年该技术开始在石油钻井中采用,主要是钻斜度较小的斜井或纠斜之用。当时由于没有测井斜仪器,打成的井的井底位置不清。随着测斜仪器和定向井技术的发展,要求斜井不仅要有位移,而且要有准确的方位。这样在美国的文字记载上才称为定向井。目前在我国的这类井没有统一定名,有的人称斜井,有的人称定向井,还有的人为了反映这种井既有一定斜度,又要瞄准方位,就称为定向斜井。众所周知,设计这种井,首要任务是打准目标,按目标要求,井的轨迹不仅要有合适的斜度,还要有准确的方位,这也是“定向”应包括的内容,因此应称为“定向井”。“丛式井”国外通常指海上油田开发时,在钻井平台上打的井群。丛式井一般为30口左右,最多的为96口。图1-3为海上油田开发钻的丛式井。另外,为工程目的设计的井,如扑灭大火、压住井喷等之类的定向井是为抢救险情而设计的,应称之为“救险井”;把最大井斜角接近或达到 $90^\circ$ ,且有水平延伸的井,称为“水平井”。

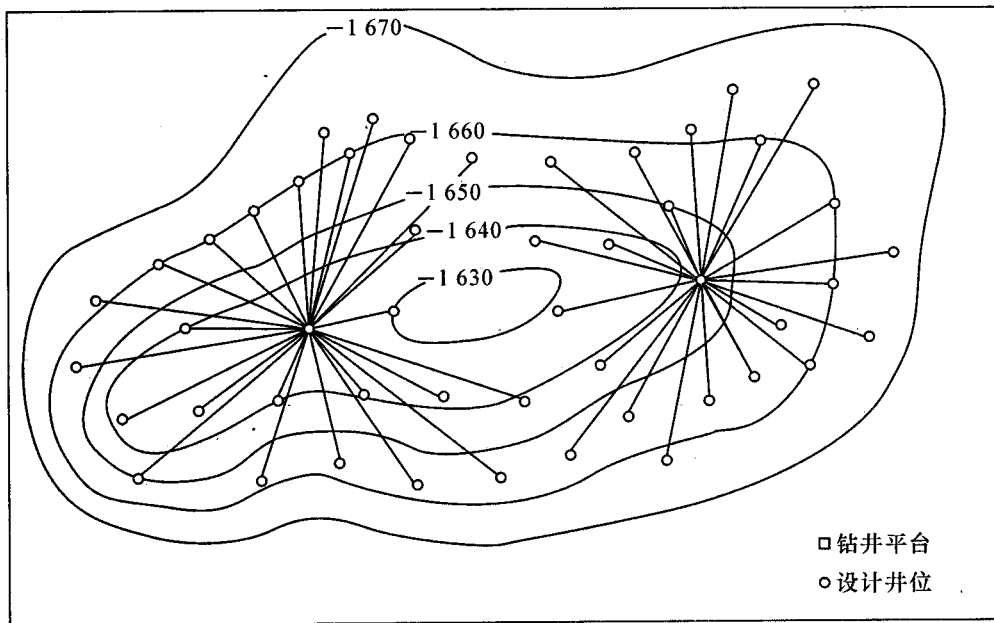


图 1-3 C 油田开发井位图

随着定向井专用工具、仪器的发展,工艺水平的提高,井的水平位移越来越大。为了衡量定向井钻井水平,采用水平位移与垂直井深比值(CT值),CT值越大,井斜角越大,定向井难度越高,钻井水平也就越高。国外定向井最大井斜 $82^\circ$ ,最大水平位移4597m,CT值高达2.28。目前我国定向井最大井斜 $15^\circ\sim 45^\circ$ ,最大水平位移400~1100m,而CT值在0.5以下,仍处在国外低难度定向井技术水平。

我国从1955年开始打定向井,至1982年底,累计钻定向井约335口,进尺81万m。经

过 20 多年的努力,取得了四个方面进展:①基本上掌握并会应用电算技术进行定向井井身剖面设计;②掌握了采用平均角法、曲率半径法等多种计算方法以及应用计算机程序来计算井眼轨迹;③采用了磁偏角校核计算的方法,提高了计算数据的精度;④掌握了使用引进的随钻测斜仪的方法。

从我国的初步实践中总结出,发展定向井、丛式井技术有以下好处:①对断块油田、裂缝性灰岩油藏,打一口定向井可穿越几个储集层、几个裂缝发育带,有利于发现油气田,增加储量、产量。据国外研究,对于裂缝性灰岩油气藏,其增益值与储层内的水平延伸长度成对数函数关系。②对地面条件恶劣,地下又有油气藏的地区,采用定向井技术,可以满足勘探开发对地下井位的要求。如辽河双台子油田,因为地面条件差,勘探工作进展缓慢,采用定向井技术,钻了 7 口定向井,控制了含油面积,增加了地质储量;兴隆台、黄金带、于楼、热河台等油田,已进入采油中期,油田范围内工业建筑和民用建筑密布,高产水稻连片,给油田调整带来了很大困难。利用老井场钻了 27 口定向井,占调整井总数的 66%,完善了注采井网,缓和了层间和平面的矛盾。③打丛式井可以少占良田,减少钻机搬家、安装时间和钻前工程费用,也可以减少地面集输计量站管线和油建工作量,还可以减少油井管理人员,便于采油实行自动化。尤其是在我国当前大力发展海上钻探事业中,定向井或丛式井技术得到更为广泛的应用。

### (一) 定向钻井的应用

定向钻井的应用可以概述如下(图 1-4):纠正已钻斜的井眼成一个垂直的井身;对落鱼(断具折断后留在井下的部分)等井下障碍物进行侧钻;在不可能或不适宜安装钻机的地面位置的下边钻油井;在向上倾斜的构造(up-structure)的方向斜钻;在老井中重钻新的产层;改正井底距离并获得适当的泄油面积;压住井喷;从一个(地面或海上平台)位置钻多口(丛式)井;勘探钻井等。

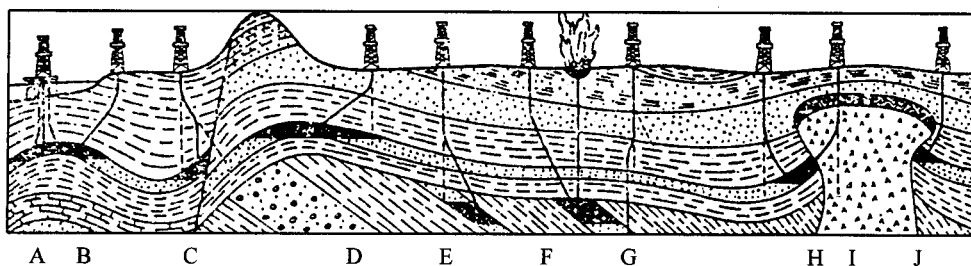


图 1-4 定向钻井的目的(据 *Subsurface Geology*, 1977)

A—海上平台钻丛式井;B—海岸钻井;C—断层控制;D—不可能进入的地点;  
E—地层的油气藏圈闭(构造);F—控制的救灾井;G—纠正和侧钻;H、I、J—盐丘钻井

### (二) 定向井地质设计

定向井地质设计的依据和内容与直井设计类似,由于地面与地下井位不一致,且有一定的方位、水平距的要求,因此在井身剖面设计上与直井有明显的区别,以下只介绍与直井设计的不同之处。

#### 1. 基本的井身剖面类型

在进行定向井设计时,首先是选择基本的定向井井身剖面类型及计算其井斜角度和方

位。经常采用的有三类井身剖面,如图 1-5 所示。而其选择要依据地质构造类型、钻井泥浆、套管程序和空间条件而定。

(1) I 型井身剖面 在该井身剖面中,初始造斜角是在相当浅的深度得到的,从初始造斜,保持该井斜角钻进直到靶心。其表层套管下过造斜井段并注入水泥。I 型井身剖面通常在中深井和要求大水平位移的深井钻井中。

(2) II 型井身剖面 II 型井身剖面又叫做 S 型曲线井身剖面,井眼也是在相当浅的深度造斜。表层套管下过造斜井段并注入水泥,再继续钻到水平位移满足要求时为止。然后减小井斜角或到垂直位置以便能够钻到靶心。要把一层技术套管下到第二个垂直井段中,并在垂直方向继续钻进直到总深度达到要求时为止。II 型井身剖面用于需要下技术套管来控制地层可能有复杂问题时。

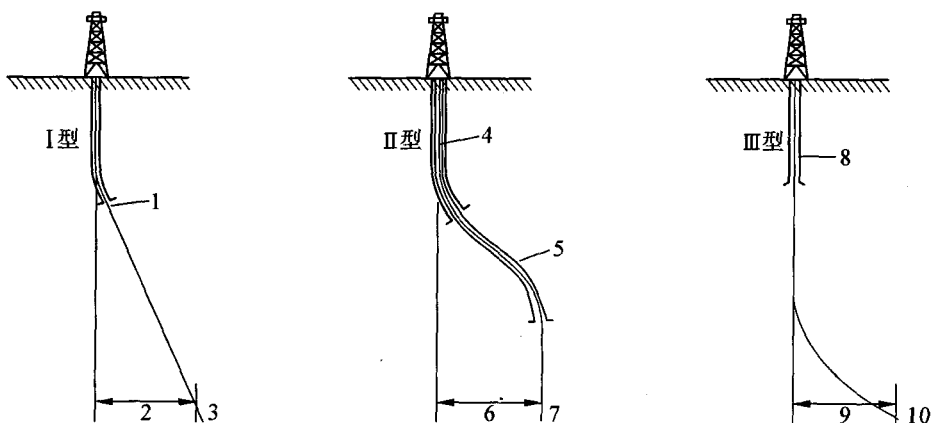


图 1-5 三种基本的井身剖面类型(据 *Subsurface Geology*, 1977)

- 1—套管鞋;2—井底位移;3—井底靶位深度;4—表层套管;  
5—技术(中间)套管;6—井底位移;7—井底靶位深度;8—表层套管;  
9—井底位移;10—井底靶位深度

(3) III 型井身剖面 III 型井身剖面中开始造斜的位置在地面以下很深处(即造斜点较深)。其井斜角大、水平位移小,且在井眼的造斜部分是很少下套管的。这种井身剖面特别适合于下述的特殊情况:钻穿断层或盐丘地区;重钻或再校准井眼的井底段。

2. 定向井井身剖面设计 沿着一个设计的井身路线把井眼偏斜至一个地下靶心的工艺技术称之为有控制的定向钻井。

定向井的设计首先要规定井底靶区,即井眼必须在指定的深度和位置钻达的区域。靶区的大小和形状通常取决于地质构造和产层的位置。其次是在选择最优的地面井位时,应该考虑到地层自然造斜趋势的有利条件。地层产状对井身的偏斜有明显的影响。例如,当地层倾角较小时,钻头钻穿软硬交错的地层,往往导致井身路线垂直于地层层面。但是,如果地层倾角超过  $45^{\circ}\sim 60^{\circ}$ ,钻头趋于平行地层层面钻井。井眼方位的变化趋势也受地层产状(地层倾角和走向)的影响。如果要求的井眼方位正是地层上倾方位,它符合钻头的自然造斜趋势,就能够容易地造斜。所以一个最优的地面井位的选择,应以所有的地下资料为基础,以便能够利用地层产状有利条件,同时减少不希望发生的井眼偏斜。

## 第二节 探井地质录井

录井工作的主要任务是根据井的设计要求,取全、取准反映地下情况的各项资料,以判断井下地质及含油、气情况。

录井方法主要有岩心录井、岩屑录井、钻时录井、泥浆录井、气测录井、井壁取心、荧光录井、地化录井等。

### 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需的资料和数据,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,所以不能在勘探开发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需的基础资料和数据,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 1-6)。

(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。

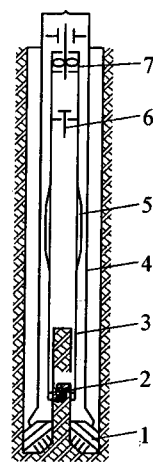


图 1-6 取心钻具结构示意图

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

(2) 岩心筒 包括外岩心筒和内岩心筒两部分。外岩心筒连接钻头与钻具,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取岩心顺利到达地面。它应具有良好的弹性,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”)。

(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,在取心中要求做到平稳操作,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,要保证泥浆性能良好。

### (三) 取心资料收集和岩心整理

1. 取心资料收集 取心钻进前、后,地质人员应丈量方入,准确算出进尺。取心过程中,记钻时,捞取砂样,一方面可以与领井对比确定割心位置;另一方面当岩心收获率很低时,可以帮助判断所钻地层岩性。并要特别注意观察泥浆槽面的油气显示情况。

2. 丈量“顶底空” 当钻头提至井口后,应立即推向一边,然后丈量“底空”(岩心筒底部或下部无岩心的空间长度),判断井内是否有余心。底空量完后,将岩心筒吊下钻台,将分水接头卸下,量“顶空”(岩心筒顶部或上部无岩心的空间长度),初步判断岩心收获率。

丈量“顶底空”的目的是为了更确切地了解岩心在井下位置,提供岩心归位时判断岩心所处深度。

3. 岩心出筒 应保证岩心完整和上下顺序不乱。接心要注意先出筒的岩心是下面的地层,后出筒的是上面的地层,切勿颠倒,并依次排列在丈量台上。

岩心全部出筒完,要进行清洗。但油浸级以上的油层岩心不能用水洗(不作含油饱和度试验的致密油砂除外),只需用刀刮去岩心表面的泥浆,并注意观察含油岩心渗油、冒气和含水情况,并详细记录,必要时应封蜡送化验室进行分析。

4. 岩心丈量 在丈量岩心时,首先判断出筒的岩心中是否有“假若心”,然后才能开始丈量。“假若心”常出现在一筒岩心的顶部,可能为井壁垮塌物或余心碎块与泥饼混在一起,进入岩心筒而形成的。假若心不能计算长度。

岩心清洗干净后,对好断面使茬口吻合,磨光面和破碎岩心摆放要合理,由顶到底用尺子一次丈量,长度读至厘米。用红铅笔划一条丈量线,自上而下作出累积的半米及整米记号,每个自然断块画一个指向钻头的箭头。

5. 计算岩心收获率 岩心收获率是表示岩心录井资料可靠程度和钻井工艺水平的一项重要技术指标。

$$\text{岩心收获率} = \frac{\text{岩心长度}}{\text{取心进尺}} \times 100\% \quad (1-1)$$

由于种种因素的影响,岩心收获率往往达不到 100%,所以每取一筒岩心都应计算一次收获率。一口井岩心取完了,应计算出总的岩心收获率。

$$\text{岩心总收获率} = \frac{\text{累计岩心长}}{\text{累计取心进尺}} \times 100\% \quad (1-2)$$

**6. 岩心编号** 将丈量完的岩心按井深自上而下、由左向右(以写井号一侧为下方)依次装入岩心盆内,然后进行涂漆编号。

编号密度原则上按 20 cm 一个,应在本筒的范围内,按其自然段块自上而下逐块编号。

编号的写法以带分数的形式。其中整数表示取心次数(筒次),分母表示本筒岩心的总块数,分子表示该块岩心的块号。例如,  $3\frac{5}{10}$  即表示第三次取心中共有 10 块岩心,此块为第五块。

岩心盒内筒次之间用隔板隔开,并贴上岩心标签,注明筒次、深度、长度及块数,以便区别和检查。

#### (四) 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,方法是将岩心置入水下 2 mm 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,一般分为五级(见图 1-7)。

一级:立即渗入。

二级:水滴成膜状 10 min 内渗入。

三级:10 min 内水滴呈凸镜状,浸润角小于  $60^\circ$ 。

四级:10 min 内水滴呈半球状,浸润角在  $60^\circ \sim 90^\circ$  之间。

五级:10 min 水滴形状不变,呈圆球或半球状,浸润角大于  $90^\circ$ 。

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。

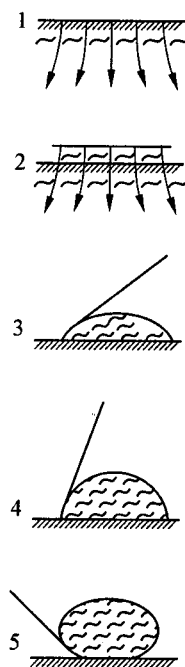


图 1-7 岩心滴水试验分级示意图

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



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 min,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  $\text{CCl}_4$  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。

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 1-8 所示。

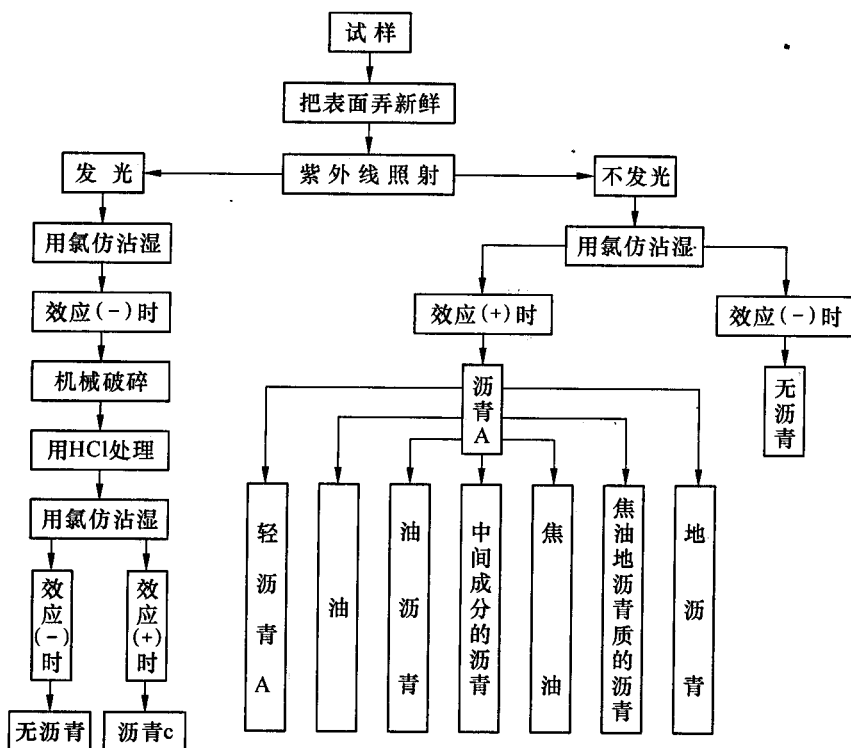


图 1-8 荧光试验区别油质沥青与沥青质含量示意图  
(据西南石油学院钻采地质,1979 修改)

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。其他与原油有关物质的萤光色:

油:淡青、黄色;

焦油:黄、褐(橙)色;

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,可以粗略地确定沥青含量与沥青性质。