



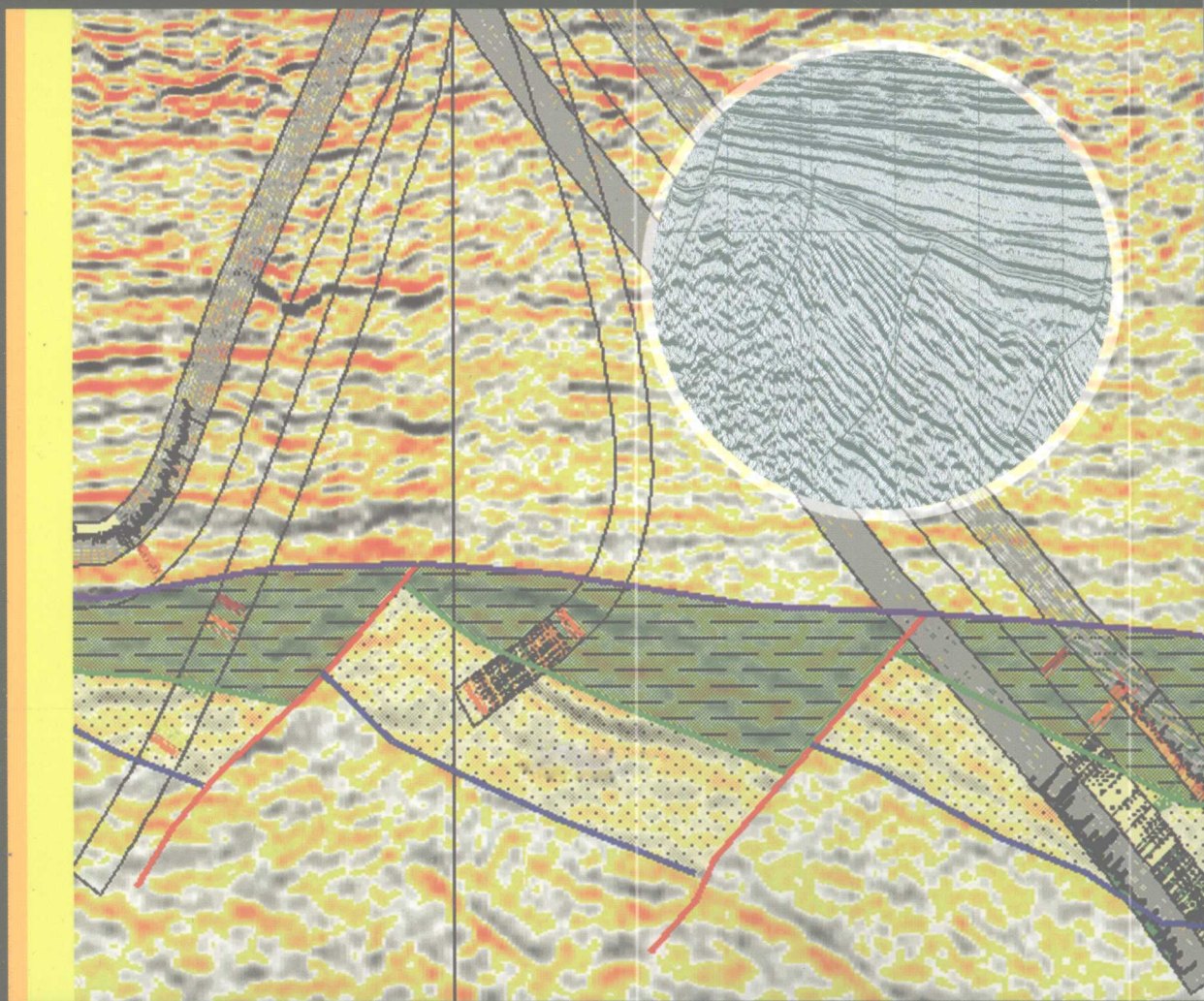
普通高等教育“十一五”国家级规划教材

地震勘探原理

第三版

The Principle of Seismic Exploration

■ 陆基孟 王永刚 主编



中国石油大学出版社



普通高等教育“十一五”国家级规划教材

地震勘探原理

第三版

陆基孟 王永刚 主编

中国石油大学出版社

教育部“十一五”普通高等教育

图书在版编目(CIP)数据

地震勘探原理/陆基孟,王永刚主编.—3版.—东营:
中国石油大学出版社,2009.2
ISBN 978-7-5636-2822-3

I. 地… II. ①陆…②王… III. 地震勘探—高等学校—
教材 IV. P631.4

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2009)第 019235 号

书 名: 地震勘探原理(第三版)
作 者: 陆基孟 王永刚

责任编辑: 袁超红
封面设计: 九天设计

出版者: 中国石油大学出版社(山东 东营 邮编 257061)
网 址: <http://www.uppbook.com.cn>
电子信箱: shiyoujiaoyu@126.com
印刷者: 青岛星球印刷有限公司
发 行 者: 中国石油大学出版社(电话 0546—8392791,8395977)
开 本: 185×260 印张: 32.875 字数: 817 千字
版 次: 2009 年 3 月第 1 版第 1 次印刷
定 价: 48.00 元

中国石油大学出版社



第三版前言

PREFACE

1

本教材第二版于1991年初交稿,1993年初由中国石油大学出版社公开出版,至今已有16年。这期间虽然地震勘探的基本原理变化不大,但地震勘探的方法技术发生了很大的变化,为了适应石油天然气勘探开发的发展形势,我们在本教材第二版的基础上进行了全面修订。在修订过程中,我们根据地震勘探技术,尤其是三维地震勘探技术的发展和生产科研的最新成果进行了教材内容的更新,基本上形成了适应现代油气勘探技术发展形势的教材内容和体系;同时参考了国内外新出版的相关教材、专著、网络资源和大量文献资料,还吸取了我们在地震勘探原理专业课教学中的资料积累和经验体会,以及广大专家、读者的意见或建议。

本教材共分9章。第1章为绪论,简要介绍油气勘探方法、地球物理勘探的发展史、地震勘探技术的回顾与展望。第2章为地震勘探的运动学理论,涵盖了第二版教材第一章和第二章的内容,主要介绍几何地震学的基本概念、各种介质情况下的反射波时距曲线以及折射波运动学。第3章为地震资料采集方法与技术,综合了第二版教材第三章至第五章的内容,主要讨论地震勘探野外工作、观测系统、地震波的激发与接收、低速带测定、地震组合方法以及多次覆盖技术等。第4章为地震波速度,与第二版教材的第六章对应,主要介绍影响速度的各种因素、各种速度概念、速度的测定方法以及各种速度间的转换关系。第5章为地震资料解释的理论基础,包含第二版教材第七章与第九章的部分内容,主要讨论地震剖面的特点、复杂界面反射波的特点、地震勘探的分辨率、反射界面真正空间位置的确定等内容。第6章为地震资料的构造解释,与第二版教材的第八章对应,主要介绍地震资料构造解释的内容和方法、断层解释、相干体技术、特殊地质现象解释、构造图的绘制等内容。第7章为地震波动力学理论概述,主要讨论波动方程的建立与求解、实际介质中的地震波以及波动地震学与几何地震学的关系等内容。第8章为地震资料的岩性解释,在第二版教材第十章相关内容的基础上独立成章,主要介绍利用速度信息、厚层和薄层反射振幅信息、地震属性进行岩性解释的基本方法或技术。第9章为三维地震勘探技术,是第三版教材新增加的内容,主要介绍三维地震勘探的方法原理和基本特点,三维地震资料采集、处理和解释的基本方法及流程,最后概述了三维地震勘探的关键技术。

在教材内容组织和形成过程中,我们遵循学生的认知规律,把一些经典的方法原理和定律的阐述与新理论、新技术、新方法结合起来,并通过典型方法和技术的讨论,突出研究思路 and 实现方法,使学生从中掌握分析问题、解决问题的思路和方法。为了便于学生课堂知识的稳固,书后附有适量的作业和习题,并建议安排两周的地震资料构造解释课程实践。

在中国石油大学(华东)地震勘探原理教研组对本教材详细编写内容进行充分讨论并达成一致的基础上,全书初稿由王永刚教授编写并形成计算机文档,陆基孟教授统一定稿,并由胜



利油田首席专家宋国奇、物探研究院总工程师孟宪军两位教授审阅。

在本教材的编写过程中,始终得到了学校及相关部门领导的支持和鼓励,得到了中国石油大学(华东)地球资源与信息学院地球物理系印兴耀教授、李振春教授、刘展教授、吴国忱教授、张军华教授、乐友喜教授、杜启振教授、宋维琪教授、孙成禹教授、宋建国副教授、杨国权副教授、张广智副教授、张繁昌副教授、周家惠高级工程师、张会元高级工程师、尹兵祥副教授、曹丹平博士、宋娟讲师、曹文俊讲师、徐凯军博士等的热情帮助和大力支持,得到了家人的理解和支持,也得到了研究生的大力帮助。在此,对一贯支持和关爱本教材修订和出版工作的有关领导、专家和广大读者表示我们最诚挚的谢意。

最后,恳请广大专家和读者对本教材存在的问题和不足给予批评、指教。

2008年11月

编者

第二版前言

PREFACE

1

本书第一版在1980年底交稿,至今已十年了。这期间地震勘探方法技术有很大的发展,为了适应这种形势,我们对本书进行了全面的修订。在修订中,一方面补充了十年来国内外地震勘探理论、技术的新成果,参考了国内外新出版的地震勘探教科书、专著和大量文献资料;另一方面吸取了我们十年来在地震勘探原理课程教学中的体会和经验,以及广大读者对本书第一版提出的改进意见。

这次修订将本书分为上、下两册。上册是从第一章至第六章,下册是从第七章至第十章。在第一版的基础上对第一章到第六章作了一些增删,并对原来的第七章、第八章进行了调整和补充。第七章改为地震勘探资料解释的理论基础,重点讨论地震资料解释中的一些重要概念和理论。第八章介绍地震资料的构造解释。对第九章地震波动力学进行了重写,以适应岩性解释的发展。第十章是新增加的一章,较系统地介绍了地震资料地层岩性解释的基本概念和方法原理。其中,第一节对地层岩性解释作概括的介绍;第二节介绍地震地层学;第三节至第五节介绍目前在地层岩性解释中最重要的两个地震参数——速度和振幅信息的应用;第六节介绍波形和频谱两类信息的定性应用;第七节介绍在地震资料地层岩性解释中非常重要的工具——地震模型技术;第八节简单介绍人机联作解释技术,这也是进行岩性解释不可缺少的工具;第九节介绍地球物理资料和地质、钻井、测井资料的统计分析和综合解释,这既是搞好地层岩性解释的正确指导思想,也是解释的重要方法。岩性解释技术正在发展,我们认为对上述几方面的内容有一个基本了解,可以为同学们将来从事地层岩性解释工作和进一步学习这方面的新方法、新技术打下一个较扎实的基础。

前九章修订工作的分工是:第一章至第八章由陆基孟修订;第九章由任甲祥重写。第十章的编写分工是:陆基孟编写 § 10-1, § 10-3, § 10-4, § 10-5, § 10-7;郑清编写 § 10-2;王永刚编写 § 10-6 和 § 10-9;李利编写 § 10-8。全书由陆基孟统稿。

本书第十章1990年印出校内试用本后,曾得到谢剑鸣、杨云岭、金福锦等同志审阅并提出了宝贵意见,在此深表感谢。

在本书修订出版工作中,霍金菊同志清绘了大部分图件,在此表示感谢。

本书第一版出版后,曾被一些兄弟单位采用作为教材,许多读者也对本书提出了不少宝贵意见,我们对此非常感谢。热诚欢迎读者对本书第二版提出批评和建议,以便将来进一步修订。

编者

1990年12月

第一版前言

PREFACE

1

本书是为石油物探专业编写的《地震勘探原理》、《地震勘探应用数学》、《地震勘探资料数字处理方法》和《地震勘探仪器》等一套教材之一,是为石油物探专业讲授地震勘探原理课程而编写的。全书共九章,讲授时数为180学时。根据上述几门地震勘探课程的分工,本书只选择了有关地震波运动学、动力学,野外工作方法和资料解释方面的基本内容,并根据我国石油物探的现状,以讨论反射波法为主。在内容选择上,着重对基本概念、原理的阐述;在章节的编排上,主要从初学者易于接受的教学上的考虑出发。

书中第三章应结合地震队的实习讲授。第八章应结合地震资料解释的实践讲授。学习本课程之前要先学完弹性波动力学课程。

书末列出的文献资料中,有些内容已被本书引用,有些则只是供读者在进一步深入探讨有关问题时参考。

参加本书编写工作的有下列人员:戈革教授(第二章 § 2-1 和 § 2-2,第九章 § 9-1 至 § 9-4, § 9-6 至 § 9-8);周洁韶讲师(第三章、第八章);董敏煜副教授(第九章 § 9-9);陆基孟讲师(第一章、第二章 § 2-3 至 § 2-5、第四章、第五章、第六章、第七章、第九章 § 9-10 至 § 9-14),全书由陆基孟整理定稿。本书由牟永光副教授主审,李承楚讲师审阅。物探教研室杜世通副教授和其他同志也对本书提出了修改意见。此外,俞康胤讲师、周吉平同志参加了本书初稿的编写工作,王永刚同志参加了绘图工作。

本书编写过程中得到了武汉地质学院石油物探教研室、长春地质学院石油物探教研室、地质部石油物探研究大队、第六物探大队、第四物探大队、石油部物探局、胜利石油地调指挥部等众多单位同志们的大力支持和帮助,特别是黄绪德总工程师和欧庆贤副总工程师为我们提供了许多资料和宝贵意见,在此表示深切的感谢。

当前,地震勘探的方法技术正在经历一次深刻的变革,教育工作也面临一个新的形势,编写一套适应这种新情况的地震勘探教材既是迫切的需要,也是要经过长时间的努力才能完成的艰巨任务。本书在内容选材、系统结构等各方面的错误、不妥之处一定不少,热诚希望读者提出批评意见,帮助我们将本书进一步修改、补充,从而提高本书的质量。

编者

1980年12月



目 录

CONTENTS

第 1 章 绪 论	1
1.1 油气勘探方法	1
1.1.1 油气勘探程序	1
1.1.2 油气勘探方法概述	2
1.1.3 地球物理勘探方法的特点	4
1.2 地震勘探方法简介	5
1.2.1 地震勘探的方法原理	5
1.2.2 地震勘探的环节	7
1.3 地球物理勘探的发展史	8
1.3.1 国外油气地球物理勘探的发展简况	8
1.3.2 国内油气地球物理勘探的发展简况	12
1.4 地震勘探技术的回顾与展望	14
1.4.1 主要地震技术回顾	14
1.4.2 地震勘探技术的发展与展望	18
1.4.3 21 世纪地震勘探技术发展趋势的主要特点	20
第 2 章 地震波运动学理论	23
2.1 几何地震学基本概念	23
2.1.1 地震波的基本概念	23
2.1.2 地震波的传播规律	28
2.1.3 地震波的类型	31
2.2 常速单界面的反射波特征及数学表达式	32
2.2.1 水平反射面和正常时差	32
2.2.2 倾斜反射面和倾角时差	36
2.2.3 时距曲面与时间场	40
2.3 变速多界面的反射波特征及数学表达式	42
2.3.1 速度垂向变化的地质模型	42
2.3.2 水平层状介质中的反射波时距曲线	43
2.3.3 连续介质中的反射波时距曲线	47
2.4 地震折射波运动学	53
2.4.1 折射波的产生条件	53



2.4.2	一个水平界面情况下折射波的时距曲线	54
2.4.3	水平层状介质的折射波时距曲线	56
2.5	透射波和反射波的垂直时距曲线	59
2.5.1	水平层状介质的透射波垂直时距曲线	59
2.5.2	下行波垂直时距曲线	60
2.5.3	上行波垂直时距曲线	61
第3章	地震资料采集方法与技术	63
3.1	野外工作概述	63
3.1.1	陆地施工简况	63
3.1.2	海上施工简况	68
3.2	野外观测系统	73
3.2.1	地震测线的布设	73
3.2.2	观测系统的图示方法	74
3.3	地震波的激发和接收	77
3.3.1	地震波的激发	78
3.3.2	地震波的接收	83
3.4	低(降)速带测定与静校正	93
3.4.1	低速带的存在及其影响	93
3.4.2	低速带测定的基本方法	94
3.4.3	静校正	100
3.5	地震组合法	102
3.5.1	组合检波的方法原理	102
3.5.2	简单线性组合的方向特性	104
3.5.3	组合的统计效应	106
3.5.4	组合的其他效应	110
3.5.5	组合参数的确定	112
3.5.6	其他组合方式	114
3.6	多次覆盖技术	118
3.6.1	共中心点反射波时距曲线方程	118
3.6.2	多次反射波的特点	122
3.6.3	多次叠加特性分析	126
3.6.4	影响叠加效果的因素分析	135
第4章	地震波速度	139
4.1	影响地震波传播速度的因素分析	139
4.1.1	与岩石弹性常数的关系	139
4.1.2	与岩性的关系	139
4.1.3	与密度的关系	140
4.1.4	与地质年代和构造历史的关系	141
4.1.5	与埋藏深度的关系	141



4.1.6	与孔隙度和流体性质的关系	141
4.1.7	与频率和温度的关系	143
4.1.8	沉积岩中速度分布的一般规律	143
4.2	各种地震波速度的概念	144
4.2.1	平均速度	144
4.2.2	均方根速度	144
4.2.3	等效速度	147
4.2.4	叠加速度	148
4.2.5	层速度	148
4.3	地震波速度的测定方法	148
4.3.1	实验室测定方法	149
4.3.2	时距曲线分析方法	151
4.3.3	井孔测定方法	151
4.3.4	速度谱分析方法	155
4.3.5	速度反演方法	156
4.4	各种地震波速度间的转换关系	156
4.4.1	平均速度与均方根速度的关系	156
4.4.2	叠加速度与均方根速度的关系	161
4.4.3	均方根速度与层速度的关系	163
第5章 地震资料解释的理论基础		165
5.1	地震剖面的特点	165
5.1.1	地震记录的形成	165
5.1.2	地震剖面上识别各种波的标志	169
5.1.3	水平叠加时间剖面的主要特点	170
5.2	复杂界面反射波的特点	172
5.2.1	弯曲界面反射波的特点	172
5.2.2	地震绕射波与广义绕射	177
5.3	地震勘探的分辨率	183
5.3.1	分辨率的定义与分辨率极限	183
5.3.2	影响分辨率的主要因素	185
5.3.3	提高分辨率的途径	191
5.4	反射界面真正空间位置的确定	197
5.4.1	水平叠加剖面存在的主要问题	197
5.4.2	三个角度和三个深度的定义与相互关系	197
5.4.3	地震偏移处理	200
第6章 地震资料的构造解释		216
6.1	地震资料构造解释的主要内容和基本方法	217
6.1.1	基本内容	217
6.1.2	解释工作流程	218



141	6.1.3	层位标定	220
841	6.1.4	二维地震剖面解释方法	227
641	6.1.5	地震资料的地质解释	230
441	6.2	断层解释	232
441	6.2.1	断层的地质特征	232
441	6.2.2	断层的地震特征	234
741	6.2.3	断层要素的确定	237
841	6.3	相干体技术	237
841	6.3.1	相干体的方法原理	237
841	6.3.2	相干体的提取	239
941	6.3.3	相干体的主要算法	240
1241	6.3.4	相干体技术在构造解释中的应用	243
1241	6.4	特殊地质现象解释	248
5241	6.4.1	不整合	248
6241	6.4.2	超覆、退覆和尖灭	249
6241	6.4.3	逆牵引构造	250
8241	6.4.4	古潜山	251
1041	6.4.5	火山岩体	253
8241	6.4.6	盐丘与礁体	253
8241	6.4.7	冲断带(推覆体)	258
5241	6.5	构造图的绘制	261
8241	6.5.1	构造图层位的选择	261
9241	6.5.2	构造图的精度	261
041	6.5.3	构造图的规格和要求	262
441	6.5.4	构造图的绘制	263
541	6.5.5	构造图的解释	267
741	6.5.6	由等 t_0 构造图绘制真深度构造图	269
1041	第7章	地震波动力学理论概述	276
841	7.1	建立波动方程的主要步骤	276
841	7.1.1	应力和应变分析	276
1041	7.1.2	应力与应变的关系	280
741	7.1.3	弹性体的运动平衡方程式	283
741	7.1.4	波动方程	285
741	7.1.5	纵波方程和横波方程	287
041	7.2	波动方程的求解	289
141	7.2.1	一维齐次波动方程的平面波解及其物理意义	290
141	7.2.2	齐次波动方程的球面波解及其物理意义	292
141	7.2.3	弹性波在介质分界面上的反射与透射	294
141	7.2.4	垂直入射情况	299



7.3	实际介质中的地震波	300
7.3.1	黏弹性介质中的地震波	301
7.3.2	各向异性介质中的地震波	305
7.3.3	非均匀介质中的地震波	309
7.4	波动地震学与几何地震学的关系	311
7.4.1	几何地震学的基本方程——时间特征方程	311
7.4.2	从波动方程向时间特征方程的过渡	313
第8章	地震资料的岩性解释	315
8.1	地震波速度资料的利用	316
8.1.1	理论基础	316
8.1.2	利用速度信息划分岩性	317
8.1.3	利用 v_p/v_s 划分岩性	320
8.1.4	利用速度资料估算砂岩百分含量	323
8.1.5	利用速度资料预测地层压力	330
8.1.6	利用速度信息研究岩性的反演方法	339
8.2	厚层反射振幅信息的利用	340
8.2.1	振幅信息在岩性解释和油气检测中的重要性	341
8.2.2	影响振幅的各种因素	342
8.2.3	亮点技术方法原理	343
8.2.4	AVO 技术	347
8.3	薄层反射振幅信息的利用	355
8.3.1	薄层的定义、研究意义和研究方法	356
8.3.2	薄层的类型及主要特征	357
8.3.3	利用薄层反射振幅信息估计薄层厚度	361
8.4	地震属性分析及其应用	366
8.4.1	地震属性分析的基本内容	366
8.4.2	地震属性的分析方法与属性描述	371
8.4.3	地震属性在岩性解释中的应用	381
第9章	三维地震勘探技术	385
9.1	三维地震勘探概述	385
9.1.1	二维地震勘探存在的问题	386
9.1.2	三维地震勘探的基本原理	391
9.1.3	三维地震勘探的优越性	395
9.2	三维地震资料的采集	397
9.2.1	三维地震资料采集的基本要求	397
9.2.2	三维地震观测系统的设计	401
9.2.3	三维地震数据采集参数的选择	408
9.2.4	三维地震数据采集的质量控制	414
9.3	三维地震资料的处理流程	420



008	9.3.1	地震资料数字处理目标	420
108	9.3.2	地震资料处理流程	423
208	9.3.3	处理模块说明	428
308	9.4	三维地震资料的解释	439
418	9.4.1	三维地震资料的显示技术	440
518	9.4.2	三维数据体的解释方法	444
618	9.4.3	三维地震资料的交互解释	452
718	9.5	三维地震技术的发展趋势	469
818	9.5.1	三维资料的连片处理	470
918	9.5.2	大面积高密度三维地震勘探	474
018	9.5.3	全三维地震勘探技术	479
130	9.5.4	三维可视化技术	480
230		习题	482
330		参考文献	508
430		编后语	512



第1章 绪论

地震勘探原理涉及地震勘探的基本原理和基本方法,主要包括地震波运动学的基本概念与原理、地震勘探野外数据采集的基本原理与方法、地震数据处理的基本流程以及地震数据的解释方法和应用。为了使读者初步了解地震勘探原理的全貌,本章主要介绍油气勘探方法、地震勘探方法、地球物理勘探的发展史、地震勘探技术的回顾与展望等内容。

1.1 油气勘探方法

石油天然气勘探就是为了寻找和查明油气资源而利用各种勘探手段了解地下的地质状况,认识油气的生成、运移、聚集、保存等条件,综合评价含油气远景,确定油气聚集的有利地区,找到储油气的圈闭,探明油气田面积,摸清油气藏情况和产出能力的过程。

石油是一种液态的、以碳氢化合物为主要成分的矿产品。原油是从地下采出的石油,或称为天然石油。从元素组成上来看,组成原油的元素主要是碳、氢、硫、氮、氧。天然气是从地下采出的可燃气体,它是石蜡族低分子饱和烃气体和少量非烃气体的混合物,其中的主要成分是甲烷。天然气按成因一般分为3类:与石油共生的称为油型气或石油伴生气;与煤共生的称为煤型气或煤成气;有机质被细菌分解发酵生成的天然气称为沼气。此外,天然气还有无机气、水合气等。

石油和天然气在国民经济中占有极其重要的地位,它们的再生产品几乎可应用到各个领域。在我国现代化建设的进程中,石油和天然气是非常宝贵的燃料、润滑油料以及化工原料。如此重要的石油和天然气是怎样找到的呢?

1.1.1 油气勘探程序

根据含油气系统的观点,油气藏形成遵从“从源岩到圈闭”的过程;油气生成、运移和聚集是油气藏形成的3个连续阶段。油气勘探工作只有遵循这一规律才能取得事半功倍的效果。首先,要重点弄清盆地(坳陷、凹陷)的油气生成条件,即主要研究是否具有充足的油气资源、油气运移的有利指向区在哪里、是否具有可供油气大规模聚集的地质条件;然后,在选定的有利区带上,重点查明圈闭的数量、分布和各个圈闭的油气聚集条件,选定钻探井位,早日发现油气田;最后,发现油气田后的主要工作就是查明油气藏中油气的富集规律,为油田的进一步开发提供充分的地质依据。

油气勘探各阶段的主要工作任务是:

1) 区域普查

区域普查的对象是含油气盆地或者盆地内的区域构造单元,通过采用多种调查方法或综合勘探技术,全面系统地收集资料,并通过盆地和坳陷(凹陷)的类比、分析对比以及区域探井的钻探工作,选出最有利的生油坳陷(凹陷),初步划分可能存在的含油气系统,提交盆地或坳



陷(凹陷)的油气推测资源量。

2) 区带详查

区带详查是在有利的生油坳陷(凹陷)及其邻近地区,即在可能存在的含油气系统范围内,通过地震普查与详查,落实区带(或二级构造带)的基本特征,结合参数井钻探,查明含油气系统的范围和基本特征,重点研究区域地温场、地压场、构造发育史、沉积相、成烃史、成藏史等有关烃类运移方向、运移方式、运移期次的问题,并通过油气系统分析与数值模拟,进行以优选有利区带为目的的勘探工作。该阶段结束后,将提交各区带资源量。

3) 圈闭预探

圈闭预探是在选出的有利油气聚集区带上,通过进一步的地震详查和圈闭描述与评价工作,进行圈闭的优选,并通过预探井的钻探来揭示圈闭的含油气性。该阶段的最终目的是发现油气田,提交预测或控制储量。

4) 油气藏评价

油气藏评价是在已经发现工业油气,获得预测或控制储量的油气藏范围内,开展以查明油气藏地质特征、储量规模、开发特性为主要内容的勘探工作,为油田顺利投入开发做准备。该阶段结束后,将提交探明储量。

1.1.2 油气勘探方法概述

油气勘探工作是一项以寻找油气藏为基本目的的系统工程。随着现代科学技术水平的不断提高,油气勘探方法与技术日趋成熟。要高水平、高效率地发现和寻找含油气圈闭,必须充分利用各种勘探手段,采用各种先进技术和综合配套的勘探方法。目前采用的工作方法主要有地质方法、地球物理勘探方法、地球化学勘探方法和钻探方法。

1.1.2.1 地质方法(geology)

地质方法是传统的、最基本的和最主要的油气勘探工作方法。它的研究内容十分广泛,泛指地面地质调查、井下地质研究、各种地质资料的收集、实验(包括模拟)和地质综合分析,以及地球物理(物探、测井)、地球化学等资料的成果解释、分析与应用。石油地质学的主要研究对象包括油气成因、油气藏形成和油气分布规律三大课题,即解决石油天然气的“生储盖圈运保”问题。

1.1.2.2 地球物理勘探方法(geophysical prospecting)

地球物理勘探方法利用物理学原理和相关技术获取某些地质参数、特征及变化规律,从而对地质问题进行切合实际的分析和解释。它是油气勘探不可缺少的重要勘探手段,也是研究区域构造和局部构造的有效方法。该方法包括勘探地球物理和矿场地球物理两大方法系列。主要方法包括:

(1) 重力勘探(gravity)。由于地球本身并非理想球体,物质密度的分布也是不均匀的,加之地球是不断旋转的,这使得地球表面(地壳)的重力值不同。各种岩石和矿物的密度(质量)不同,根据万有引力定律,其引力也不相同。据此研制出重力测量仪器来测量地面上各个部位的地球引力(即重力),并排除区域性引力(重力场)的影响,就可得出局部的重力差异,发现异常区,这一方法称为重力勘探。重力勘探的任务是通过研究地面、水面、水下(或井下)或空间重力场的局部或区域不规则变化(即局部重力异常或区域重力异常)来寻找埋藏在地下的矿体和地质构造。



(2) 磁法勘探(magnetic)。在自然界中,由于受到地球磁场的作用,许多岩石或矿石不同程度地被磁化而具有磁性。一般来说,铁磁性矿物含量愈高,磁性愈强。具有磁性的地质体在其周围空间内存在一定特征的磁场。通过测定地面上各部位的磁力强弱来研究地下岩石矿物的分布和地质构造的勘探方法称为磁法勘探。这种由磁性地质体产生的磁场叠加在正常地磁场之上而产生的磁场称为异常磁场。在油气田区域,由于烃类向地面渗漏而形成还原环境,可把岩石或土壤中的氧化铁还原成磁铁矿,用高精度的磁力仪可以测出这种磁异常。磁法勘探的主要任务就是测定、分析和研究各种磁异常,找出磁异常与地下岩石、地质构造及有用矿产的关系,并与其他勘探手段配合,进行地下地质情况和矿产分布等有关结论的判断。

(3) 电法勘探(electricity)。电法勘探是利用人工或天然产生的直流电场或电磁场在地下的分布规律来研究地球结构、地质构造及寻找矿产的一种物探方法。电法勘探是以岩石或矿物的电性差异为基础的,主要研究的电性差异参数包括电阻率、激发极化率、介电常数、磁导率、电化学活性等。电法勘探的内容十分丰富,它们广泛应用于金属及非金属、石油、工程地质、水文地质等勘探研究工作中。电法勘探的每种方法几乎都有各自的一套数理基础、专用仪器设备、野外施工方法和解释方法。我国目前石油电法勘探中一般采用直流电测深、大地电磁测深、可控源声频大地电磁测深等方法,近期还发展了差分标定电法、大地电场岩性探测法等新方法。

(4) 地震勘探(seismic)。地震勘探是地球物理勘探中最重要、解决油气勘探问题最有效的一种方法。它利用人工方法激发的弹性波来定位矿藏(如油气、矿石、水资源、地热资源等),确定考古位置,获取工程地质信息。它的基本原理是:人工激发所引起的弹性波在岩石中传播时,若遇到岩层的分界面便产生反射波或折射波,在它们返回地面时用高灵敏度的仪器记录下来,根据波的传播路程和旅行时间,确定发生弹性波反射或折射的岩层界面的埋藏深度和形状,从而认识地下地质构造,寻找油气圈闭。

(5) 地球物理测井(well logging)。矿场地球物理测井利用井下专门仪器观测井筒周围岩层的电、声、热、放射性等地球物理异常,以此研究和辨别地下岩石物理性质与渗流特性。它属于寻找和评价油气及其他矿藏资源的一门应用技术学科,现已广泛用于油气、金属矿、煤田、工程及水文地质等许多领域。目前用于油气勘探的测井方法包括声波、密度、自然电位、电阻率、放射性(中子与自然伽马)、井温、井径、全波列、地层倾角、成像、核磁共振、井下电视等。

1.1.2.3 地球化学勘探方法(geochemistry)

油气地球化学勘探(简称化探)是应用地球化学的分支学科。根据大多数油气藏的上方都存在烃类扩散的“蚀变晕”的特点,化探法借助现代分析测试仪器和技术手段在不同介质中直接鉴别石油和天然气化学成分、油气运移迹象及其在地表的衍生物,查明和评价区域含油气远景。该方法是发展极快、前途广阔、周期短、见效快的一种油气勘探方法。油气地球化学勘探方法的种类比较多,常用的是土壤烃气体测量法、土壤硫酸盐法、稳定碳同位素法、汞和碘测量法等,还包括地下水化学法及井下地球化学勘探方法等。

1.1.2.4 钻探方法(drilling)

钻井是油气勘探中必须采用的重要手段。从勘探到开发油气藏都需要钻井,但在不同的勘探阶段,钻井的目的、任务有所不同。

参数井(区域探井)是在区域勘探阶段所钻的井。钻探的目的是了解勘探地区地层层序、岩性、岩相、厚度以及生油条件,了解储集层和盖层组合情况,为物探解释提供参考。



不带预探井是在圈闭预探阶段所钻的井。钻探的目的是了解主要生、储油层位(储层), 烃源岩厚度、生油指标和储层的岩性、物性、厚度以及储层的空间变化等。

评价井是在油气田评价勘探阶段所钻的井。钻探的目的是了解油层岩性、储集物性、流体性质及产能等。

生产井是在油气田投入开发后所钻的井。钻探的目的是在对油层全面认识、了解的基础上进行采油生产。

1.1.3 地球物理勘探方法的特点

本书主要讨论地球物理勘探问题, 而在所有的地球物理勘探方法中又以地震勘探方法为主。下面对地球物理勘探方法的特点进行概括。

1) 以物理学为基础

地球物理勘探(简称物探)方法的理论基础是物理学。将物理学原理和方法应用于地质, 发展成为了地球物理学; 而将其应用于找矿和勘探, 又发展成为了应用地球物理学。具体说来, 地球物理勘探的基础理论包括地磁场、地电场、重力场、弹性波、放射性同位素等理论。地球物理勘探方法研究的是地球物理场或某些物理现象, 而不是直接研究岩石或地层, 这是完全不同于地质方法的。地球物理勘探方法不仅可了解地表或近地表的地质现象, 而且通过场的研究还可获得深部地质现象的信息。

2) 实现两个转化

用物探方法解决一项地质任务时要实现两个转化, 即先将地质问题转化为地球物理问题, 再使用物探方法观测地质现象所反映的地球物理异常, 最后根据观测数据或物理现象与地质体间存在的特点和关系, 把物探结果再转化为地质语言或图示, 并赋予其地质含义, 肯定其地质效果。

3) 反演结果的多解性

利用某种或多种地球物理观测资料或分析处理结果解决地质问题时存在多解性。产生多解性的主要原因: 一是不同地质体可能有相同的物理场; 二是地质体的大小、形状、埋藏深度与产状等参数的不同组合可能引起相同的地球物理异常现象; 三是从数学角度考虑, 地球物理资料的分析和反演其实就是超定方程或欠定方程的求解问题, 不可能得到精确的唯一解。由此可见, 地球物理工作者的一切努力都是尽可能地减少反演过程中的多解性。

4) 物探方法的适用性

由于矿床的地质、地球物理特征以及自然地理条件等经常因地而异, 复杂多变, 从而影响物探方法的有效性。换句话说, 每一种地球物理方法在解决地质问题时都会存在局限性, 这就决定了每一种物探方法在解决地质问题时都有其应用条件和使用范围。考虑这些实际情况对选用物探方法或进行地球物理方法综合应用尤为重要。

5) 物探方法的三大环节

每一种物探方法都要经历资料的观测或采集、资料的整理或处理、资料的分析与解释三大环节。这三大环节紧密相连, 互为因果。资料采集是基础, 而采集方法和观测参数的确定是建立在对地下地质特点充分了解的基础上的; 资料处理是三大环节的纽带与桥梁, 资料处理成果的优劣既取决于野外原始资料的品质, 也影响着资料解释成果的有效性和可靠性; 资料解释是展示勘探成果的关键阶段, 是在前两个环节的基础上进行的。三大环节各有特定的要求, 如地