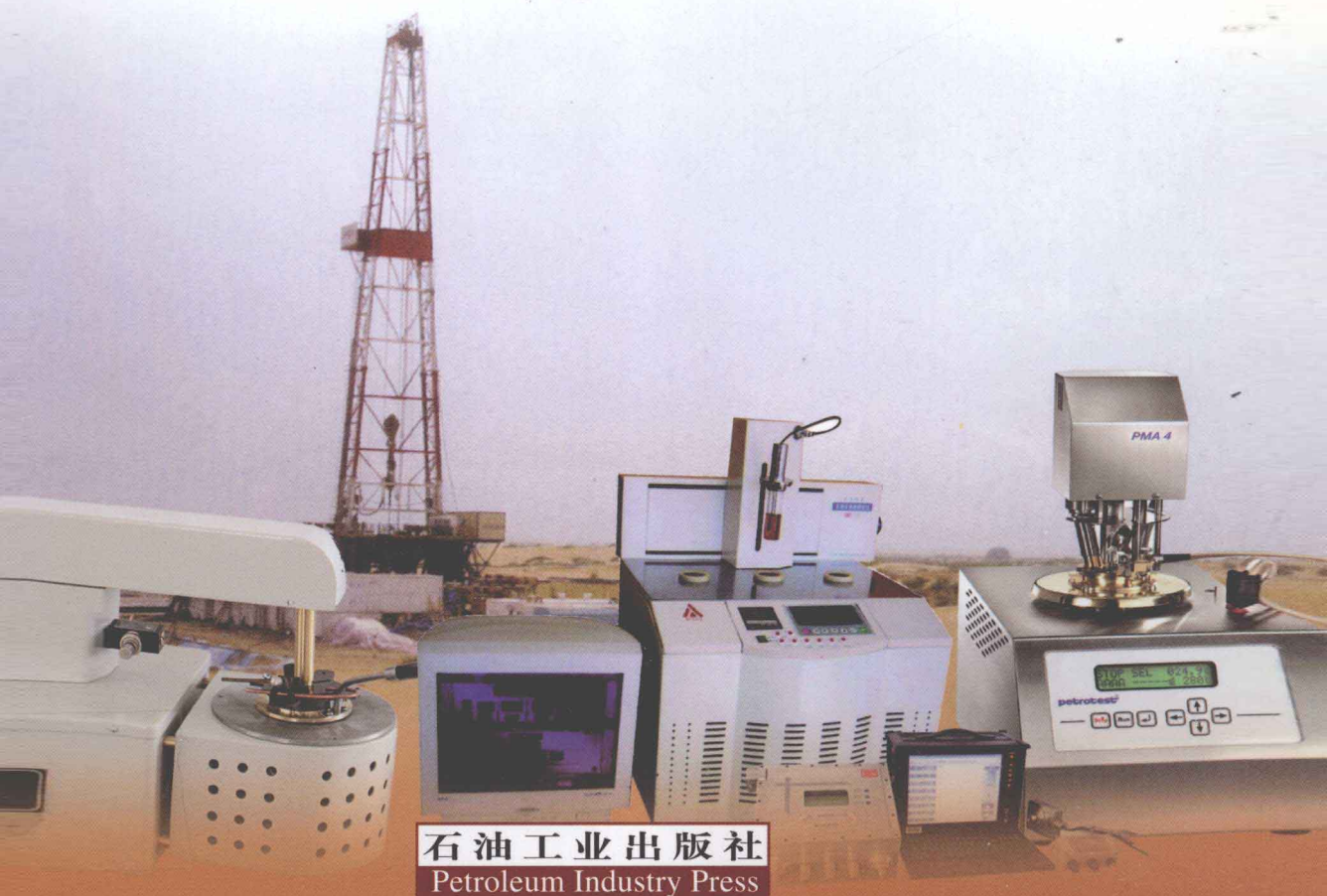




石油高等院校特色教材

石油仪器概论

赵仕俊 编著



石油工业出版社
Petroleum Industry Press

石油教材出版基金资助项目

石油高等院校特色教材

石油仪器概论

赵仕俊 编著

石油工业出版社

内 容 提 要

本书介绍了石油仪器仪表及实验设备的工作原理、测试方法、技术性能等方面的知识,包括油层物理实验仪器、石油工程仪器、勘探仪器和测井仪器;还介绍了误差分析及实验数据处理等方面的知识;讨论了仪器系统设计的方法、流程和主要技术设计内容。

本书可作为石油高等院校检测技术与自动化专业石油仪器课程的教材,也可作为石油工程、资源勘探、测井类高级技术工人和从事仪器设计的工程师的参考书。

图书在版编目(CIP)数据

石油仪器概论/赵仕俊编著.

北京:石油工业出版社,2011.3

石油高等院校特色教材

ISBN 978-7-5021-8243-4

I. 石…

II. 赵…

III. 石油化工-化工仪表-高等学校-教材

IV. TE967

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2011)第 001470 号

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.com.cn

编辑部:(010) 64523612 发行部:(010) 64523620

经 销:全国新华书店

印 刷:中国石油报社印刷厂

2011 年 3 月第 1 版 2011 年 3 月第 1 次印刷

787×1092 毫米 开本:1/16 印张:18.75

字数:477 千字

定价:28.00 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

前 言

本书是针对检测技术与自动化装置本科专业课程“石油仪器技术”而编写的配套教材。作者在参考资源勘探、测井、石油工程、计量与测试技术等学科相关资料的基础上,综合自己从事石油仪器技术的研究及其产品开发20多年的成果,为满足“石油仪器技术”课程教学的需要编撰而成。

本书在内容安排上,力争通过有限的篇幅,把涉及油层物理实验仪器、石油工程仪器、勘探仪器和测井仪器等石油仪器的工作原理、测试方法、技术性能及其实现的有关知识介绍给读者。在突出石油仪器技术基础知识的学习和基本技能培养的同时,还介绍了计量与测试技术方面的基础知识,这是学好、用好、做好石油仪器的必备知识。为了培养学生的创新设计能力,为将来从事仪器产品设计工作奠定良好的基础,书中还介绍了一般仪器系统设计的设计思想、工作流程、技术要点等内容。因此,学生如果学好了计量与检测技术知识,掌握了石油仪器的工作原理、测量方法和典型技术,学会了从事仪器系统设计的一般方法,也就领略了石油仪器技术这一领域的系统知识。事实上,这是一个石油仪器设计工程师应有的工程技术素质。

本书在体系结构上,首先给出了石油仪器的定义及其分类、讨论了石油仪器的研究内容、对石油仪器的发展历史做了简要回顾,展望了石油仪器技术的发展趋势,说明了本课程的性质、任务和重要性;然后分门别类地对石油仪器技术知识进行了阐述,内容包括学习提要、仪器实验测试原理和方法、典型仪器结构和技术参数、石油仪器新技术等;进而介绍了计量与检测技术方面的知识,讨论了量与量纲、国际单位制、量纲分析方法、实验数据处理等问题;最后分析讨论了仪器系统设计的系统化方法、标准化方法和模块化方法,仪器系统设计的工作流程以及仪器设计的详细设计内容等,并列举了两个石油仪器设计的实例。本书在每一章的后面都给出了复习思考题。

本书第1章介绍了石油仪器的分类、发展历程和未来发展趋势,第2、3、4、5章分别就各类石油仪器的测试原理、系统结构、关键技术、性能参数等进行了详细讨论,第6章讨论了量的单位制、误差理论和数据处理以及测试理论方面的知识,第7章阐述了仪器设计的需求分析、方案设计、设计流程、技术设计等知识。

中国石油大学（华东）石油工业训练国家示范教学中心李晓东主任、中国石油大学信息与控制工程学院耿艳峰教授、于佐军教授、廖明燕教授为本教材的编写给予了大力支持；中国石油大学国家大学科技园迟善武研究员、中国石油大学石油仪器研究所邵东亮所长提供了部分资料，校阅了相关文稿；研究生白云凤、孙美龄等校对了部分初稿；史永和做了大量的文字录入工作。在此，谨向为本书编著工作提供支持和帮助的所有同仁表示感谢。

“思如静水，想若流云”是作者的座右铭，足见作者在编著这本教材时的认真态度和满腔热情。然而由于作者水平有限，致使本书一定有它的不足之处，拜望同仁和读者不吝赐教，批评指正。

赵仕俊

2010年10月

目 录

第1章 绪论	1
1.1 石油仪器定义	1
1.2 石油仪器分类	1
1.3 石油仪器技术特征	2
1.4 石油仪器技术发展历程	3
1.5 石油仪器技术发展趋势	6
1.6 课程组织与内容	7
复习思考题	8
第2章 油层物理实验仪器	9
2.1 油层物理知识	9
2.2 岩心前处理设备	14
2.3 常规岩心分析仪器	17
2.4 专项岩心分析仪器	31
2.5 岩心综合联测仪器	41
2.6 地层流体分析仪器	44
复习思考题	52
第3章 石油天然气工程仪器	54
3.1 概述	54
3.2 钻井机械与钻井仪器	55
3.3 油气井工程仪器	73
3.4 油气田开发工程仪器	80
复习思考题	87
第4章 地震勘探仪器	89
4.1 概述	89
4.2 地震勘探仪器技术	92
4.3 地震勘探仪器系统介绍	122
4.4 地震勘探仪器技术发展	128
复习思考题	131
第5章 测井仪器	132
5.1 概述	132
5.2 常规测井技术与仪器	138
5.3 现代测井技术与仪器	167
5.4 地面记录系统	180

5.5 测井信息通信	182
5.6 典型测井系统介绍	189
5.7 测井仪器技术发展	197
复习思考题.....	198
第6章 计量基础与误差分析	200
6.1 概述	200
6.2 计量基础	200
6.3 测量误差分析	219
复习思考题.....	239
第7章 现代仪器设计	241
7.1 概述	241
7.2 现代设计方法	242
7.3 仪器的工程设计	256
7.4 仪器设计实例	282
复习思考题.....	289
参考文献	291

第1章 绪 论

提要：石油仪器是指在石油天然气勘探、开发、储运和加工的各个生产环节及科学研究活动中使用的具有石油专门化特征的实验、监测与检验的仪器及装备。石油仪器可分为油层物理实验仪器、石油工程仪器、地质勘探仪器和测井仪器等。各类石油仪器的发展历程不尽相同。石油仪器技术是仪器设计工程师需要关注的重要领域。

1.1 石油仪器定义

在现代化的国民经济活动中，仪器仪表涉及人类活动的各个方面，如科学研究用的实验仪器装备、教学仪器设备、医疗诊治仪器、环境监测仪器、工业过程检测仪器、电子测量仪器等。事实上，在现代化工业生产中，如果没有各种测量与控制仪器仪表的正常运行，发电厂、炼油厂、化工厂、钢铁厂、飞机和汽车制造厂等都不能维持稳定的生产，更不会创造出巨额的产值和效益。仪器仪表的整体发展水平是国家综合国力的重要标志之一。

仪器仪表 (Instrumentation) 指用以检出、测量、观察、计算各种物理量、物质成分、物性参数等的器具和设备。广义来说，仪器仪表也可具有自动控制、报警、信号传递和数据处理等功能。

石油仪器 (Petroleum Instruments) 是指在石油天然气勘探、开发、储运和加工的各个生产环节及科学研究活动中使用的具有石油专门化特征的检验、实验与测试装备。石油仪器虽然因为它的特定应用领域和专门化特征具有特殊性，但电子技术、传感器技术、计算机技术、信息技术和自动化技术等通用技术仍然是它的主要支撑技术。

1.2 石油仪器分类

按照仪器的用途可把石油仪器分为基础与应用研究仪器和生产现场测量与检测仪器两大类。

基础与应用研究仪器主要指油层物理实验仪器，特别指岩心分析仪器。岩心分析仪器及设备可分为岩心筛选与制备设备、岩心常规分析仪器、专项岩心分析仪器、综合联测仪器等四大类。此外还有地层流体的 PTV 分析仪器。

岩心筛选与制备设备包括岩心 γ 测量仪、岩心成像设备、岩心除油清洗设备、岩心制备设备和岩心油水饱和实验装置等。

岩心常规分析主要研究测试岩石的基本物理性质、流体含量等。岩心常规分析指在常规条件下对全直径岩心、柱塞岩心、井壁岩心进行分析，获取包括孔隙度、渗透率、饱和度、碳酸盐含量、潜在产能描述、岩样质量指数、岩性描述、白光源和紫外光源数字照相、粒度分析等基本物性参数。

专项岩心分析主要研究测试岩石的微观特性，岩石与流体的相互关系及流体在岩石中流

动规律和保护油层的敏感性评价，如在油藏压力和温度条件下测试毛管压力、岩电特性、孔隙体积压缩系数、润湿性、稳态和非稳态相对渗透率等岩石特性，岩石力学特性的静态测量，地层伤害、产层伤害和敏感性评价等。

综合联测是指通过改变测量流程、测量参数或测量方法，获取多种相关参数的实验测试。

地层流体的 PTV 分析主要研究测试地层流体在高温高压下的物理性质及组分组成。

根据仪器在石油天然气生产环节的使用，可把生产现场测量与检测仪器进一步划分为石油工程仪器、勘探仪器和测井仪器等。

勘探仪器是指为了研究各种矿物的密度、磁性、电性、弹性、放射性等物理性质的差异，基于各种物理方法设计的仪器，用来探测天然的或人工的地球物理场的变化，通过分析、研究所获得的物探资料，推断、解释地质构造和矿产分布情况。石油天然气勘探仪器主要指基于地震勘探方法的这类仪器。地震勘探仪器包括震源、检波器、记录仪、数据处理设备。

测井仪器是指用于定量测定井下钻穿地层的电、声、光、核、热、力等物理信息，用以判断地层的岩性及流体的性质，确定油、气、水层的位置，定量解释油气层的厚度，含水饱和度和储层的物性等参数，了解井下状况的成套设备。测井仪器包括下井仪器、测井电缆和地面仪器。

钻采仪器是指用于在石油天然气钻井和油气生产中使用的仪器。钻井仪器包括钻井参数测量仪器和随钻测量系统。钻井仪器主要用来监测地面钻井设备工作参数和地下钻具工作参数。采油仪器仪表是认识油气藏，进行油气藏评价、生产井动态监测及评价完井效率的重要设备。采油仪器仪表主要是指试井仪器仪表、抽油机示功仪、液面检测仪、原油含水分析仪等。试井仪器仪表又分为高压试井仪器仪表和低压试井仪器仪表。

1.3 石油仪器技术特征

1.3.1 超宽测量范围

超宽测量范围是指仪器的测试范围非常宽，一般测试仪器很难满足这一要求。如岩心流动性实验中的流量测量，要求测量范围为 $0.01 \sim 100 \text{ mL/min}$ ，精度达到 0.1% ；调剖堵水实验中，压力测量范围为 $10 \text{ Pa} \sim 60 \text{ MPa}$ 。

1.3.2 极端测试条件

极端测试条件是指非常苛刻的测试条件。如油气成因模拟实验要求的模拟实验温度达到 1000°C ，模拟工作压力达到 100 MPa 。

1.3.3 工作环境恶劣

石油工业生产上使用的仪器，通常在露天、地下或水下工作，工作空间受到限制，工作环境很差。如下井仪器，要求在高温（ $\geq 175^\circ\text{C}$ ）、高压（ $\geq 40 \text{ MPa}$ ）、高湿（ $\geq 95\%$ ）、耐腐蚀环境下工作。

1.3.4 工作周期长

很多石油仪器都要求能长期连续工作。如支撑剂导流能力实验，其实验测试周期长达4周以上，其间仪器若发生故障，将导致实验失败。

1.3.5 信息容量大

信息量大，信息频带宽，动态范围大是石油仪器的又一特征。如地震勘探仪器，信息带宽0~500Hz，动态范围大于120dB，通道数超过10000道，在几秒的时间内要获得若干个TB（1TB=10¹²Bit）的数据。

1.4 石油仪器技术发展历程

1.4.1 地震勘探仪器

从20世纪30年代第一代地震勘探仪器诞生开始，地震勘探仪器已经历了几十年的发展，表1-1可以说明地震勘探仪器的发展历程。

表 1-1 地震勘探仪器的发展历程

名 称	代 表 仪 器	主 要 技 术	动态范围	频带宽度	记录道数
光点记录地震仪	51 型仪器	光点感光照相纸记录	20dB 左右	20Hz 左右	24 道以下
模拟磁带地震仪	DZ663 型仪器	永久性记录到磁带的模拟信号	40dB 左右	100Hz 以下	48 道以下
数字地震仪	DFS-V、SN338、SK83 等	采用了前置放大、瞬时浮点放大和模/数转换技术，将采集的地震信号进行数字化后再记录到磁带	70dB 以上	250Hz 左右	240 道以内
第一代遥测数字地震仪	SN348、SN368、OPSEIS5586、SYSTEM ONE、OPSEIS EAGLE、TEL SEIS TRT、YKZ480、SK1004	主机通过控制“分布”在排列上的采集站来采集地震数据，实现了以数字信号形式在电缆上串行传输地震道信息	70dB 以上	50Hz 左右	1000 道左右
第二代遥测数字地震仪	SN388、AR IES、BOX、SYSTEM TWO、GDAPS4、MAGE、SYSTEM FOUR、AC、408UL 等	采用ΔΣ技术的24位A/D型遥测数字地震仪器	70dB 左右	300Hz 以下	5000 道左右
数字地震仪	L/O 产的系统-IV（VC 或 VR）和塞舍尔产的408UL、DSU	系统中包含了以 MEMS 技术为核心的加速度数字传感器	90dB 以上	0~500Hz	10000 道以上实时采集

1.4.2 测井仪器

石油测井技术是随着钻井、采油的发展而发展的。石油测井技术起源于1921年,巴黎矿业学院第一次进行了人工电场测量。测井仪器技术的发展,经历了四个阶段,第一阶段为半自动测井,应用多线简单地测量地层的电阻和自然电位。1927年法国斯伦贝谢公司(Schlumberger)成功测出了第一条电阻率曲线,真正诞生了在井眼内进行地球物理测井。第二阶段为数字测井,在此阶段广泛应用了电子技术和计算机技术。第三阶段是以计算机为核心的数控测井设备,是国外20世纪70年代开发的新一代测井设备,其显著特点是高精度的质量监控、大容量的数据传输及计算机处理技术的应用。进入21世纪以后,国际测井技术向集成化、快速化方向发展迅速,由此带来测井技术第四阶段的发展,进入高可靠、高集成和高精度测井时代。

我国的测井工作始于1939年。当年12月,著名地球物理学家翁文波先生在四川巴县石沟沟1号井用1m电位电极系成功测得第一条电阻率曲线,继而发展了手摇绞车点测仪。我国测井设备的重大发展出现在20世纪50年代。ID581型多线式自动井下电测仪的研制成功,提高了测井时效,为我国的测井史揭开了新的一页。70年代末,我国从西方引进了一批测井装备,最早进入我国市场的是1978年石油工业部组织引进的3600系列测井仪器,装备有记录数据用的磁带机,数据解释用的计算机;1984年引进的3700系列测井仪器,配备了车载计算机,基本实现了方法系列化、记录数字化、操作程序化和解释自动化。为了发展我国的测井技术,使测井设备跨上一个新台阶,提高测井时效,缩短与世界先进水平的差距,自1986年始至1996年,历经十年,开发研制出适合我国国情的新一代电缆传输数控测井系统。这一数控测井系统以计算机为核心,利用遥信、遥测、遥调、遥控技术,探测、采集和处理井下175℃、40MPa环境中的地球物理参数。自2000年开始又以520系列测井仪器为基础,成功地组织开发出530高可靠常规测井系列,极大地提高了常规测井系列的测量性能和现场作业的可靠性,缩短了中国常规测井技术与国际水平的差距。

1.4.3 油层物理实验仪器

油层物理实验是利用各种实验手段对储层岩石进行渗流物理化学的研究与测试,提供储层岩石和地层流体的静态与动态参数,指导油气田的合理开发。

早期发展的油层物理实验技术仪器都是手工操作,人工计量,表盘指针读数,只能进行单项测定。自20世纪六七十年代以来,随着电子工业的迅猛发展,各种电子器件、传感器相继问世,促进了测试仪器的自动化、计算机化,测量精度不断提高,模拟条件不断深化,仪器向高温、高压、模块化、多功能的方向发展。我国油层物理实验技术经历了20世纪80年代前的技术培育、80年代的技术消化与吸收、90年代以来的自我发展与创新三个阶段。

1. 技术培育阶段

从新中国诞生到20世纪70年代末,由于历史和社会的种种原因以及技术发展的局限性,我们还没有完全掌握油层物理实验技术,以及油藏开发技术和方法。就油层物理实验的岩心分析仪器,特别是常规岩心分析仪器而言,这类仪器仅仅是有关研究院有少量进口。随着我国油气田勘探开发规模的加大,从事油层物理实验技术的研究工作者对油层物理实验理

论的研究深入化,逐步掌握了油层物理实验技术。他们开始自己搭建油层物理实验方面的实验流程,以满足油藏开发实验的需要。在这期间虽然没有形成我国自己的岩心分析仪器生产技术,但是通过对油层物理实验理论的研究和油层物理实验技术的积累,我国自己的岩心分析仪器独立研制与生产已初见端倪。

2. 技术消化与吸收阶段

20 世纪 70 年代末到 80 年代中期,我国先后派出了许多研究人员出国学习考察,大量的进口仪器设备,使得我国油层物理实验技术得到了快速发展。常规岩心分析仪器包括岩心自然伽马仪、孔隙度仪、气体渗透率仪及油水饱和度仪,专项岩心分析方面的流动实验仪、相对渗透率仪等。

通过虚心学习别国的先进技术,逐步消化吸收,到了 80 年代后期,我国油层物理实验技术水平与国外的差距缩小。国内的一些研究单位有计划地投入人力和资金,开始研制岩心分析仪器,取得了大量的研究成果。自主开发的常规岩心分析仪器系列曾获国家科技成果进步奖。国内的几个生产厂家开始独立成套生产常规岩心分析仪器,满足油田开发研究的需要。专项岩心分析仪器的研制也在积极地进行。

3. 自我发展与创新阶段

20 世纪 90 年代,我国油层物理实验技术基本成熟。从实验仪器方面,通过对进口仪器的熟练掌握,也认识到进口仪器存在的一些问题。如仪器进口花费的外汇太多,易损件的更换困难;因为是非标产品,在操作方法和技术路线上有不适于我国的具体情况之处。广大的油田开发研究人员和油层物理实验技术人员转向积极使用国产岩心分析仪器,这为国产岩心仪器的发展和升级换代提供了一次难得的机会。也就是在这一时期,涉及岩心分析仪器的传感器技术、数据采集技术和计算机技术的进步,为国产岩心仪器的发展和升级换代提供了可靠的技术支撑。

1990—1993 年,一批采用了传感器技术、数据采集技术和计算机技术,能够自动完成实验数据的采集、存储、处理与输出的国产智能化岩心分析仪器研制成功并通过鉴定。其中,岩心自然伽马仪、智能化岩心流动实验仪、碳酸盐含量分析仪等曾获部级科技成果奖。在专项岩心分析方面,已发展到由油田开发研究人员提出实验流程和技术要求,仪器研制人员按实验流程和技术要求设计生产相应的仪器设备的这样一种研制开发模式,先后开发出采油化学剂评价装置、岩心梯度流动实验仪、相对渗透率测量仪等,从而满足了一些专门化的油层物理实验需要。在地层流体高压物性分析仪器方面,已研制生产出 PVT 特性测量仪。我国自行设计、研制、生产的岩心分析仪器,为油层物理实验提供了技术手段,从而满足了油气资源开发的需要。

1.4.4 石油天然气工程仪器

钻井仪表的发展一直比较缓慢,目前,大多数的钻井队仍然靠三表(指重表、转速表和压力表)监测钻机工作状态。20 世纪 70 年代就有钻井多参数测量仪问世,目前这类仪器已经能够实现钻井参数的自动实时显示和记录,但并没有普遍推广使用。

采油生产仪器应包括采油设备参数测量与诊断仪器、生产井测井仪器和原油含水分析仪器。如果把生产井测井仪器归类到测井仪器大类,那么,采油生产仪器的品种和类型其实并不多,技术上与通用仪器同步。

1.5 石油仪器技术发展趋势

仪器仪表技术的发展经历了机械（电磁）指针式、模拟式、数字式、PC 仪器这样几个发展阶段。目前的仪器仪表仍以 PC 仪器为主流，虚拟仪器是目前的研究热点，预计网络仪器将成为未来仪器仪表的发展方向。

1.5.1 油层物理实验仪器

油层物理实验仪器的发展应能满足油层物理实验对高温、高压、低渗、全直径、多相介质等实验参数的要求；把计算机与通信技术、智能传感器技术、网络仪器技术等高新技术融合到岩心分析仪器中；建立国际先进的大岩心实验方法和测量系统，形成大岩心实验方法、测量工艺及质量控制标准；建立岩石物理数值模拟软件平台和适合中国储层地质特点的（电、声、核、核磁）的岩石物理实验数据处理及分析方法；建立岩石物理数值模拟平台，可以进行复杂孔隙结构的岩石物理模拟；建立岩石物理实验数据处理、分析技术及质量控制标准，可以分析不同类型储层的岩石物理数据。

1.5.2 地震勘探仪器

未来地震数据采集系统发展的决定因素与其发展内容的关系应该是：以先进的计算机技术、网络通信技术、信号传感技术、电子工程技术、工艺材料技术为基础，以完备的个性化软件技术为核心，以创造性地引用或集成有关新技术为补充，以满足物探技术和现场使用需求为目标，以完善和扩展当前系统的综合性能为内容。未来的地震勘探仪器应有下述特征。

1. 大道数

将来勘探行业要求的高覆盖、高密度、大偏移、宽方位和小道距施工，要求记录道数增加到十万道以上。

2. MEMS 数字检波器

MEMS（Micro-Electro-Mechanical Systems）检波器除了具备众所周知的大动态范围（90dB）的特点外，它在振幅校准、温度变化、装备重量、可靠性及时效的稳定性等方面更远远优于常规动圈式检波器，而且由于它为全数字输出，有较好的电磁兼容性能，对漏电不敏感，串音影响很小，所具有的优异的矢量保真度更是普通检波器不能与之相比的。

3. 有线无线混装系统

随着地震勘探道数的不断增加，不可避免地引发了勘探费用、排列布放效率、装备重量和数量、运输及 HSE（Health Safety and Environment Management System）等关联问题，而无线系统恰好能比较有效地解决这些问题，但无线系统对施工地表条件的要求比较高，适合于比较空旷的无遮挡地表，而在障碍物比较多的情况下，有线系统更能发挥它的优势。所以，将来的大规模作业施工很可能需要的是有线无线混装系统，以进一步提高野外作业的灵活性。

4. 远程技术支持

现在的地震勘探仪器实际上就是一个区域网络，因此，可利用卫星数据传输设备，将仪

器车作为一个网络节点,扩展至远方的基地,以便专家对远在千里之外的施工作业现场进行分析和指导,甚至可将采集数据通过卫星实时传回基地进行处理。

1.5.3 测井仪器技术

1. 地面系统综合化、便携化和网络化

未来的地面系统要具有多种作业功能,不仅可以挂接成像测井仪器和常规测井仪器,进行裸眼井测井,还能挂接生产测井、测试、射孔、取心等工具,进行套管井测井,满足全系列测井服务的要求。

2. 井下仪器集成化、高分辨、深探测、高可靠、高时效和低成本

井下仪器测量探头阵列化,变单点测量为阵列测量,以适应地层非均质的需要,为储层评价的深入提供丰富信息,奠定提高储层饱和度精度的基础。各种测井仪器的集成化测量不但提高了测井时效,而且改善了测井综合评价所需信息的一致性,提高了测井资料的整体评价水平,同时仪器长度的缩短不但降低了钻井成本也降低了测井施工的风险。阵列感应测井、阵列侧向测井和阵列声波测井是测井技术发展主流的具体体现。以方位侧向、多分量感应和交叉偶极子声波测井为代表的储层各向异性测井不但实现了三维测井,也为突破薄储集层测井评价的瓶颈技术指明了方向。因此,井下仪器阵列化和集成化已经成为测井技术发展的主流,储层物性各向异性测井技术研究是单项测井技术发展的方向。

3. 随钻测井小型化和集成化,应用范围和测量项目日益完善

目前,随钻测井已能进行几乎所有的电缆测井项目,其应用范围在不断扩大。在国外,海上几乎所有的裸眼测井作业都采用随钻测井技术;在陆地上,特别是大斜度井和水平井,以采用随钻测井技术为主。所以说,随钻测井技术日益成熟,地质导向和地层评价作用越来越大。另外,随钻测井方法的多样化,如随钻声、电、核、核磁、地层测试等方法都已出现,随钻地层评价全面替代电缆测井是必然结果。

4. 生产工程测井逐渐向油藏动态监测方向发展和完善

过套管电阻率测井为油田三次开发提高采收率提供了新的监测方法,井下永久传感器使得油藏生产开发状态的监测工作由长周期定期测试向全面实时动态监测方向发展。

5. 测井解释软件综合化、网络化和可视化

当以各种地球物理方法为基础的阵列传感器又进入一个新的层次(全向探测、全向解析),通过电缆的数据传输经优化和压缩达到 10Mb/s 以上的速率(这是完全可能的)甚至利用光纤达到千兆波特(多通道实时“可视”),基于大规模集成的 SOC (System on Chip) 技术、千亿次车载计算平台和 64 位操作系统的成熟应用,所有这些必将使测井装备在信息获取和处理方面进入一个崭新的层次。

1.6 课程组织与内容

本课程是“测控技术与仪器专业”学生的专业基础课,也可作为“自动化专业”、“油藏工程专业”等其他类专业本科生学习石油仪器技术的一门选修课。本课程讲授石油天然气工业生产及科学研究活动中使用的石油仪器的基本测试理论、测试方法和测试技术。学生

在学习本课程之后能达到以下目的：

(1) 掌握石油天然气工业生产及科学研究活动中典型物理参数的测量方法，石油仪器的测量原理和仪器的系统构成；

(2) 掌握测试与检测中有关共同性理论问题，具备根据石油天然气工业生产及科学研究活动中具体测试对象、测试要求、测试环境合理选择测量原理和测量方法的能力；

(3) 掌握石油天然气工业生产及科学研究活动中的实验测试技术，具备对测试与检测中所获数据、信号的分析与处理能力；

(4) 具备根据石油天然气工业生产及科学研究活动中具体测试对象、测试要求、测试环境设计简单测试系统的能力；

(5) 为后续课程的学习，从事工程技术工作与科学研究打下坚实的理论与技术基础。

复习思考题

1. 仪器仪表、石油仪器是如何定义的？
2. 石油仪器是如何分类的？
3. 简述石油仪器的发展过程。就你的了解，哪些新技术可能在石油仪器上得到应用？
4. 石油仪器有什么典型特征？
5. 学习本课程应达到的目的是什么？

第2章 油层物理实验仪器

提要：油层物理知识是学习石油仪器技术的理论基础，主要研究含油气层岩石的结构与物理性质，地下流体的物理性质。油层物理实验是以油层物理学理论为基础，对含油气层岩石的结构与物理性质，地下流体的物理性质等物理参数进行的测量。油层物理实验仪器与设备具有典型的石油特征。对常规岩心分析仪器，应掌握主要油层物理实验仪器的实验原理、实验流程、测试方法及主要技术参数等，应关注模拟油气藏等条件的岩心综合联测实验仪器技术。

2.1 油层物理知识

2.1.1 岩石及其结构

1. 岩石 (Rock)

岩石是天然产出的具有稳定外形的矿物或玻璃集合体按照一定的方式结合而成（如图2-1所示），是构成地壳和上地幔（Mantle）的物质基础。岩石按成因分为岩浆岩、沉积岩和变质岩。岩浆岩是由高温熔融的岩浆在地表或地下冷凝所形成的岩石，也称火成岩或喷出岩；沉积岩是在地表条件下由风化作用、生物作用和火山作用的产物经水、空气和冰川等外力的搬运、沉积和成岩固结而形成的岩石；变质岩是由先成的岩浆岩、沉积岩或变质岩，由于其所处地质环境的改变经变质作用而形成的岩石。



图2-1 岩石外形

地壳深处和上地幔的上部主要由火成岩和变质岩组成。从地表向下16km范围内火成岩和变质岩的体积占95%。地壳表面以沉积岩为主，它们约占大陆面积的75%，洋底几乎全部为沉积物所覆盖。

2. 沉积岩 (Sedimentary Rock)

沉积岩是在地表和地表下不太深的地方形成的地质体，它是在地表或接近地表常温常压

条件下 ($-70 \sim 200^{\circ}\text{C}$, $0.1 \sim 2\text{MPa}$), 由风化物质、火山碎屑、有机物及少量宇宙物质经流水、风、冰川及其他外力搬运, 最后在海洋、低地或海陆之间的过渡地带沉积下来, 在经受亿万年的压缩、变化之后, 胶结在一起形成的坚硬的层状岩石, 如图 2-2 所示。层积岩按成因可分为碎屑岩、粘土岩和化学岩 (包括生物化学岩)。常见的沉积岩有砂岩、凝灰质砂岩、砾岩、粘土岩、页岩、石灰岩、白云岩、硅质岩、铁质岩、磷质岩等。沉积岩占地壳体积的 7.9%, 但在地壳表层分布甚广, 约占陆地面积的 75%, 而海底几乎全部为沉积物所覆盖。沉积岩的主要特征是:

(1) 具有显著的层理构造, 层与层之间有明显的界面 (层面), 通常下面的岩层比上面的岩层年龄古老;

(2) 沉积岩中常含古代生物遗迹, “石质化” 的古代生物的遗体或生存、活动的痕迹——化石, 它是判定地质年龄和研究古地理环境的珍贵资料;

(3) 有的具有干裂、孔隙、结核等, 常见的沉积岩有: 直径大于 3mm 的砾和磨圆的卵石及被其他物质胶结而形成的砾岩, 由 $0.05 \sim 2\text{mm}$ 直径的砂粒胶结而成的砂岩, 由颗粒细小的粘土矿物组成的页岩, (方解石为其主要成分), 硬度不大的石灰岩等。

以物质来源为主要考虑的因素来分类, 沉积岩被分成三类, 即由母岩风化物质、火山碎屑物质和生物遗体形成的不同沉积岩。

母岩分化产物形成的沉积岩是最主要的沉积岩类型, 包括碎屑岩和化学岩两类。碎屑岩根据粒度细分为砾岩、砂岩、粉砂岩和黏土岩; 化学岩根据成分, 主要分为碳酸盐岩、硫酸盐岩、卤化物岩、硅岩和其他一些化学岩。

碎屑岩主要由碎屑物质和胶结物质两部分组成, 如图 2-3 所示。碎屑物质又可分为岩屑和矿物碎屑两类。岩屑成分复杂, 各类岩石都有。矿物碎屑主要是石英、长石、云母和少量的重矿物。胶结物主要是化学沉积形成的矿物, 它们充填在碎屑之间起胶结作用, 主要有硅质矿物、硫酸盐矿物、碳酸盐矿物、磷酸盐矿物及硅酸盐矿物。碎屑岩的孔隙是储存地下水及油、气的对象, 研究碎屑岩对寻找地下水及油气矿床有实际意义。

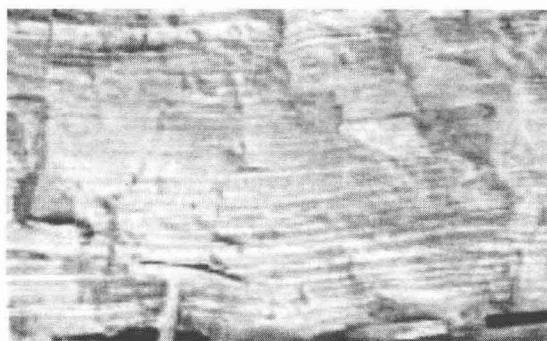


图 2-2 沉积岩

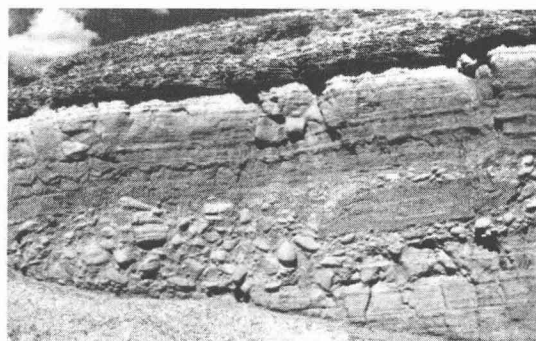


图 2-3 碎屑岩

生物沉积岩是由生物体的堆积造成的, 如花粉、孢子、贝壳、珊瑚等大量堆积, 经过成岩作用形成。

3. 储油层 (Reservoirs)

地层是指在一段地质时期内在地壳中形成的一套沉积物的统称。在漫长的地质历史发展过程中, 一方面, 同一地区在不同地质时期所形成的地层是不同的, 是有规律地变化的; 另一方面, 在同一时期的不同地区, 由于所处的地理环境不同, 形成的地层也是不同的, 也是