



高等院校石油天然气类规划教材

录井仪器原理

文汉云 陆永钢 © 主编



石油工业出版社
Petroleum Industry Press

高等院校石油天然气类规划教材

录井仪器原理

文汉云 陆永钢 主编

石油工业出版社

内 容 提 要

本书结合国内外近些年来录井技术和录井仪器的现状和发展趋势,系统介绍了工程录井和地化录井中录井仪器的结构、工作原理以及工程应用。主要内容包括钻井液参数检测仪器、工程参数检测仪器、H₂S检测仪器、信号的传输与处理、色谱录井仪器、随钻地层物性参数检测仪器、荧光录井仪器、核磁共振录井仪、成像录井仪、新型录井仪等。

本书可作为高等院校录井技术与工程专业教材,也可供现场录井工程技术人员、录井装备生产、地球物理测井、测控仪器、石油地质与石油工程等相关专业师生以及科研单位的录井工作者参考。

图书在版编目(CIP)数据

录井仪器原理/文汉云,陆永钢主编.

北京:石油工业出版社,2016.6

高等院校石油天然气类规划教材

ISBN 978-7-5183-1223-8

I. 录…

II. ①文… ②陆…

III. 录井仪—理论—高等学校—教材

IV. P631.8

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2016)第 074104 号

出版发行:石油工业出版社

(北京市朝阳区安定门外安华里 2 区 1 号楼 100011)

网 址:www.petropub.com

编辑部:(010)64523697 发行部:(010)64523633

经 销:全国新华书店

排 版:北京苏冀博达科技有限公司

印 刷:北京中石油彩色印刷有限责任公司

2016 年 6 月第 1 版 2016 年 6 月第 1 次印刷

787 毫米×1092 毫米 开本:1/16 印张:17.75

字数:450 千字

定价:36.00 元

(如出现印装质量问题,我社图书营销中心负责调换)

版权所有,翻印必究

前 言

录井技术是一项古老的、与钻井技术相伴生的随钻资源勘查工程技术。录井的本意就是记录、录取钻井过程中的各种相关信息(地质的、矿产的、工程的),采集与矿产直接相关的样品(如岩石、地层流体)。在石油地质领域中,录井技术是油气勘探开发活动中最基本的技术,是发现、评估油气藏最及时、最直接的手段,具有获取地下信息及时、多样、分析解释快捷的特点。

经过长期的生产实践,按照录井技术的特点及其所发挥的功能,我国的录井技术大致经历了四个发展阶段:第一阶段(1955年以前)是初期的地质录井,主要以人工记录钻时、测量井深、捞取砂样、荧光检测和地质描述为主,同时观察钻井液槽面显示,这个时期录井技术的主要特点是以记录和汇总井筒地质资料、建立岩性剖面为主要任务,解释与评估油气藏的功能较弱;第二阶段(1955—1983年)是以增加了气测录井(热导检测仪)为特点,大大地增强了油气层的评价功能;第三阶段(1983—1996年)是以钻井工程监测为核心的综合录井仪发展阶段,通过安装在钻台和钻井液池中的各类传感器获取钻井和钻井液参数,其核心任务是保证安全和优快钻井,其地质服务功能基本没有增加;第四阶段(1996年至今)是分析录井技术发展阶段,其特点是将各种室内实验分析测试设备小型化和快速化,并应用于录井现场,相继发展了显微图像录井、岩屑伽马扫描、定量荧光、X射线荧光、热解分析及色谱、X衍射、核磁共振、拉曼光谱、红外光谱、离子色谱、同位素录井等一系列先进的分析测试技术录井,实现了由工程录井向地质录井本源的回归,在地层评价、烃源岩评价、储层评价、油气层评价等方面都取得了长足的进步,尤其是针对复杂油气藏和特殊钻井工艺,都相应开发出了配套的录井技术系列,极大地满足了油田生产的需要。

总结迄今为止的录井技术体系,一个显著的特点都是针对一个既定的钻探目标,最大限度地满足地质资料录取和钻井工程安全监控两大要求,被动地接受地质上和工程上的各项指令,其主动决策功能很弱。自1996年我国开始引入LWD和MWD技术以来,“定测录一体化”技术的发展逐步受到重视。由于既定地质目标设计上的各种不确定性,在实际钻探过程中,目标会偏离原来的设计,需要根据实际测量和录井资料实时地改变井眼轨迹,最大限度地钻开油气层,实现最经济的找油目标。这就标志着录井技术开始逐步由被动向主动转变,由过去的哨兵逐步向参谋甚至参谋长的角色转换,真正发挥录井作为一项最直接、最及时、不能重现更不可替代的勘探技术的重要作用。

录井技术的核心就是各种信息和样品的采集技术以及对这些信息做出科学、合理解释的方法。而现代录井技术体系已经清晰地展示出了一个全新的学科和专业的形成——录井技术与工程。现代录井技术主要包括井位测量、钻井地质设计、岩屑录井、岩心录井、工程录井、气体录井、岩石热解与热蒸发烃色谱地化录井、定量荧光录井、现场岩矿分析、岩石物性录井、地层压力检测、现场随钻分析决策、录井信息传输和存储、油气层评价、单井评价等技术系列;地面和井下参数传感采集理论、地质和工程异常状况识别理论、信息和资源两级开发理论等核心理论体系已逐步形成。井场信息中心的建设构建了多学科、多专业高度集中融合与交叉的平台,为各路专家协同决策和未来的远程控制录井的实现提供了可能。由此可见,录井学科已

呈现出鲜明的交叉学科的特点。

然而,对比所有的石油工程技术的发展,唯有录井专业长期缺失学科和专业与之对应,这势必造成理论体系的不完备和技术体系的发展混乱。具体表现为技术的发展仅仅停留在应对生产问题的技术革新层面,缺乏基础理论研究和支撑,直接导致应用录井技术解决复杂的地质和工程问题常常显得束手无策,对录井技术的发展方向难以有效地把握。而更深层次的影响则是专业人才培养的缺失,造成人力资源的严重匮乏,直接影响了录井技术的科学发展和应用。与此同时,从国家、教育、科研、企业等各个环节上,都没有录井学科发展、人才培养以及录井科技发展等战略性规划。所有从事录井技术研发与生产服务的工作者,都只能眼巴巴地看着其他相关学科的蓬勃发展,几十年来都在幻想着有朝一日能有自己的学科归属、有自己的学历教育、有自己的专业学会或行业协会等。

为此,在国内三大石油公司和以上海神开为代表的民营录井企业的大力支持下,经过深入调研与论证,2010年4月,长江大学正式申报“录井技术与工程”作为国家“空间、海洋和地球探索与资源开发利用”新兴产业领域内的本科专业,通过了湖北省教育厅组织的专家论证,正式呈报教育部并得到了教育部的批示,同意长江大学在“勘查技术与工程”一级学科专业内开设“录井技术与工程”方向的本科教育,与矿场地球测井、地球物理勘探方向并列。

随后,2011年6月29日,在长江大学召开了“录井技术与工程”专业本科教学方案研讨会,来自三大石油公司和全国各油田单位的专家审查了人才培养方案的各个环节,对校企联合办学具体事宜进行了研讨;2011年7月30日在东北石油大学召开的“石油地质与勘探专业教学与教材规划研讨会第三次会议”上正式通过立项三本录井本科专业教材:《录井地质学》、《录井仪器原理》和《录井方法与应用》作为石油行业“十二五”规划教材;2011年8月25日,石油工业出版社在长江大学又组织了包括中石油7个单位(中石油工程技术分公司、大庆录井一公司、大庆录井二公司、长城钻探录井公司、渤海钻探第一录井公司、川庆钻探地研院、西部钻探克拉玛依录井工程公司)、中石化4个单位(中石化石油工程技术研究院测录所、胜利录井公司地质研究解释中心、胜利地质录井公司工艺研究所、中原石油勘探局录井处)、2个仪器厂家(上海神开石油设备有限公司、中国电子科技集团第22研究所)等企业专家在内的三本教材的编写会议;2011年9月,长江大学从全校09级相关专业的优秀学生中选拔了65名学生,组建成录井10901、10902两个录井实验班,从10级的学生中选拔了39名学生,组建了录井11001班;2012年9月,从11级学生中选拔了57名学生,组建了录井11101和11102班,同年录井专业纳入学校正式招生计划,年计划2个班共60名。

《录井仪器原理》作为录井专业的专业核心课程,在编写大纲确立后,一方面继续广泛征求了多方面的意见,同时在教学中以讲稿的形式投入使用,期间经多次修改,最终确定了本书的内容。

本书的章节安排没有遵从其他仪器原理类书籍的电、磁、声、光、谱、核等的安排方法,而是按照现场钻井与录井生产参数的检测、信息的传输、信息的处理、信息的表达与使用的顺序安排的,这样安排主要是为了淡化综合录井以及综合录井仪的概念。全书共分为十一章。第一章,绪论,主要论述了录井技术与录井仪器的发展历史、发展趋势与分类。第二章,钻井液参数检测仪器,主要论述了钻井液温度、密度、电导率、钻井液池体积检测仪器(传感器)的种类、结构与检测原理。第三章,工程参数检测仪器,全面地论述了钻井过程中一些工程参数检测仪器

(传感器)的种类、结构、工作原理,包括压力传感器、泵冲、流量传感器等。第四章,硫化氢检测仪器,主要论述了电化学式硫化氢传感器和半导体式硫化氢传感器的结构与工作原理,并介绍了两种硫化氢检测新方法。第五章,信号的传输与处理,主要阐述了录井现场信号的传输方式和远程传输问题、录井仪器房的结构和要求以及综合录井信息处理软件。第六章介绍了色谱类录井仪器的种类、结构与检测原理。由于色谱类仪器的检测原理有相似的地方,只是各种仪器前端样品处理方式不同,因此把石油录井中所有色谱类仪器合并在一起进行介绍,内容包括色谱分析技术、气测色谱仪、轻烃组分分析仪、岩石热解油气显示评价仪、热解气相色谱分析仪、罐顶气轻烃色谱分析仪。第七章,随钻地层物性参数检测仪器,主要介绍了随钻伽马检测仪和随钻电阻率检测仪两种仪器的结构和工作原理。第八章,荧光录井仪器,在介绍荧光分析方法与技术的基础上,重点介绍了常规荧光分析仪和定量荧光分析仪(二维和三维)的结构和工作原理。第九章,核磁共振录井仪,介绍了核磁共振录井技术以及核磁共振录井仪的结构和原理。第十章,成像录井仪,在介绍现代光学成像理论的基础上,介绍了岩屑成像录井仪、岩心成像录井仪和荧光图像录井仪的结构和工作原理。第十一章介绍了几种新型录井仪器,其中包括 X 射线录井仪、同位素录井仪以及伽马射线录井仪,由于这些录井仪器有些使用不是很广泛,因此只作了简单介绍。

本书由长江大学和上海神开石油设备有限公司联合编写,由文汉云和陆永钢担任主编。具体编写分工如下:第一章、第八章、第十一章由文汉云编写;第二章、第三章和第六章的第一、二节由胡杰编写;第四章和第五章由李荣、乔艳、杨晓丽编写;第六章的第三节和第十章由刘鹏编写;第七章由樊林编写;第九章由郑周俊编写。全书由文汉云、陆永钢统稿。

在本书的编写过程中,还得到了以下单位和个人的大力支持和关心:湖北省荆州市华孚信息技术有限公司沈疆海;北京永盛通科技发展有限公司吕文海;重庆奥能瑞科石油技术有限公司朱根庆;GE Oil&Gas 公司;《录井工程》杂志社;硕士研究生李泽文等。对于他们的支持和帮助,在此一并表示衷心的感谢!

本书得到国家自然科学基金“随钻测量井下网络化光纤传感器及信息传输关键技术”研究面上项目(41372155)的资助。

本书的出版旨在抛砖引玉,希望有更多关心本学科发展的有识之士参与进来。同时,由于当今的技术发展和知识更新十分迅速,并且限于篇幅和时间,书中难免会有许多的纰漏和错误,望各位专家、同仁、读者和同学,特别是录井行业的专业人士不吝赐教,批评指正。

编者
2015年9月

目 录

第一章 绪论	1
第一节 录井技术与录井仪器的发展历史.....	1
第二节 录井技术与录井仪器的发展趋势.....	2
第三节 录井仪器的分类.....	4
本章小结.....	4
思考题与习题.....	5
第二章 钻井液参数检测仪器	6
第一节 温度检测传感器.....	6
第二节 钻井液密度传感器	12
第三节 钻井液电导率传感器	18
第四节 钻井液池体积传感器	20
本章小结	24
思考题与习题	24
第三章 工程参数检测仪器	25
第一节 压力检测传感器	25
第二节 单脉冲传感器	39
第三节 绞车传感器	41
第四节 出口流量传感器	52
本章小结	54
思考题与习题	54
第四章 硫化氢检测仪器	56
第一节 电化学硫化氢气体检测仪	56
第二节 半导体硫化氢气体检测仪	61
第三节 硫化氢检测新技术	66
本章小结	69
思考题与习题	69
第五章 信号的传输与处理	70
第一节 现场信号的传输	70
第二节 录井仪器房	88
第三节 录井信息处理软件	98
第四节 录井信息远程传输.....	102
本章小结.....	108
思考题与习题.....	109

第六章 色谱录井仪器	110
第一节 气相色谱分析技术.....	110
第二节 气测色谱录井仪.....	114
第三节 其他色谱录井仪器.....	131
本章小结.....	139
思考题与习题.....	139
第七章 随钻地层物性参数检测仪器	141
第一节 随钻伽马检测仪.....	141
第二节 随钻电阻率检测仪.....	152
本章小结.....	175
思考题与习题.....	176
第八章 荧光录井仪器	177
第一节 荧光分析方法与技术.....	177
第二节 分子荧光分析仪器.....	185
第三节 定量荧光分析仪.....	188
本章小结.....	207
思考题与习题.....	208
第九章 核磁共振录井仪	209
第一节 核磁共振录井仪技术.....	209
第二节 核磁共振录井仪.....	230
本章小结.....	241
思考题与习题.....	242
第十章 成像录井仪	243
第一节 现代光学成像.....	243
第二节 岩屑成像录井仪.....	248
第三节 岩心成像录井仪.....	255
第四节 荧光成像录井仪.....	256
本章小结.....	259
思考题与习题.....	260
第十一章 新型录井仪器	261
第一节 X射线录井仪.....	261
第二节 气体同位素录井仪.....	267
第三节 岩屑伽马射线录井仪.....	270
本章小结.....	272
思考题与习题.....	273
参考文献	274

第一章 绪论

第一节 录井技术与录井仪器的发展历史

录井技术是伴随着钻井技术的发展而发展起来的,而一种新的录井技术的出现,总要从它相应的录井仪器中体现出来,因此,录井仪器的发展历史是与相应的录井技术的发展分不开的。在距今 900 多年前的宋代,在我国四川的天然气的钻探中,就有一种用底部带阀的竹筒下井提捞泥浆和岩屑,再由专职人员负责鉴别岩屑岩性、划分地层,并对每口井都建立“岩口簿”的技术。在“岩口簿”中对岩层和标准层进行统一的命名,然后通过“岩口簿”建立早期的地质剖面,这就是早期录井技术的萌芽。

20 世纪 50 年代初,我国的录井方法只有常规地质录井方法,并且技术落后:岩屑录井方法不完善;岩心录井收获率低;钻时录井是通过画方钻杆记钻时,且全部采用手工操作。而当今所采用的录井方法与技术则是在近几十年里随着我国石油工业的发展、电子技术、通信技术与信息技术的广泛应用而发展起来的。

在岩屑录井方面,20 世纪 50 年代,岩屑录井主要用于观察,其综合利用率较差。60 年代,胜利油田对岩屑录井做了较大的改进和完善,探索出了一套取全取准岩屑资料的系统方法,随之在全国推广,目前仍在应用。

在岩心录井方面,1961 年大庆油田首先研制成功了投砂憋泵单筒式取心工具,填补了我国在这方面的空白;1963 年玉门油田相继研制成功了水力切割式双筒取心工具;1964 年四川又研制成功了双筒悬挂式取心,对岩心录井技术的发展起到了推进作用。目前我国的岩心录井根据不同的地质目的已发展为普通取心、油基钻井液取心、长筒取心、密闭取心、冷冻取心、井壁取心等多种方法。

气测录井是从 20 世纪 60 年代中期开始逐渐推广应用的。最初是半自动气测仪,资料录取间断式,手工记录,仅能录取全烃、重烃、钻时三项参数,综合解释水平很低。70 年代初期,推广应用了全自动气测仪,能自动记录、连续测量,提高了资料的连续性和准确度。70 年代中期,开始使用 701 型色谱气测仪,能鉴定和记录全烃、甲烷、乙烷、丙烷、正丁烷、异丁烷、二氧化碳、氢气等气体,提高了油、气、水层的分辨率。1993 年,开始推广应用数字色谱气测仪,新仪器增设了联机现场处理系统,提高了气测录井的定量采集能力。

20 世纪 70 年代末,国际上出现了标准的 TDC(综合录井)装置,我国从 80 年代中期起开始引进并在少量探井上使用,90 年代初我国开始自行研制并投入实际使用。该装置除了具备先进的气测仪功能外,可随钻录取地质、钻井液和工程参数,可进行地层压力检测,优化钻井参数,对指导钻进和保护油气层起着重要的作用。

综合录井源于地质录井和钻井液录井。地质录井从钻探石油的第一天起就开始了,而钻井液录井则始于 20 世纪 30 年代美国 Baroid 公司首次研制的气测录井仪的使用,由此构成了综合录井发展的雏形。从 30 年代到 70 年代初,有了方钻杆钻时、地层剖面、初步判断油气层的方法等综合录井技术。70 年代中期之后,国外将计算机引入综合录井仪用于实时处理地质与工程数据,录井技术有了质的飞跃。到 20 世纪末,综合录井技术已发展成为包括常规地质录井、钻井液录井、气测录井、地球化学录井、钻井工程监测录井和随钻测量(MWD、LWD)为一体的现代化综合性录井技术,实现了从信号采集、处理、存储、传输到解释自动化,实现了油气钻探过程的全面监控。

随着油气勘探技术、电子技术与信息技术的不断发展,录井仪器也在不断地更新换代。我国在 50 年代初期基本上是手工方式录井,1955 年从苏联引进半自动气测仪,从此开始了使用仪器录井的历史。我国 1964 年研制出全自动气测仪,1974 年推出 SQC-701 型气测仪,而当时的西方国家已经开发出第一代面板式综合录井仪。80 年代初期,法、英、美等国将计算机技术引入录井领域,制造出第二代联机式综合录井仪。随着电子技术和计算机技术的高速发展,80 年代中期西方国家又推出第三代联机式综合录井仪,其中具有代表性的有我国于 1984 年引进的法国 Geoservices 生产的 TDC 综合录井仪。80 年代后期及 90 年代,西方国家又推出第四代二次仪表、基于 WINDOWS 环境的联机式综合录井仪。世界上几个技术发达的国家为了适应国际石油勘探开发的需要和国际录井市场竞争的需要,每隔三五年就推出一种录井仪器新机型,每隔十年录井技术的发展就会上一个新台阶。近几年来,定量荧光录井仪、核磁共振录井仪及快速色谱技术等也已运用于录井工程中。

我国于 80 年代后期开始研制国产综合录井仪,包括上海石油仪器厂于 1988 年推出的 SDL-1 地质录井仪、SQC882 气测录井仪,中国电子集团第二十二所于 1991 年推出的 SLZ-1 综合录井仪。近几年,国内生产厂商也加快了产品升级步伐,如中国电子集团第二十二所生产的 SLZ-2A 型综合录井仪、上海神开生产的 SK2000 型综合录井仪就相当于国外生产的第四代综合录井仪。

总之,录井技术伴随着新中国的油气勘探开发已走过半个多世纪,可分为四个阶段的历程:第一阶段(80 年代中期以前),以岩屑(心)、气测录井为主,各项数据信息的收集以人工为主;第二阶段(80 年代中期—90 年代中期),以综合录井仪及岩屑录井为主,以数据自动采集、实时监控等技术的应用为标志;第三阶段(90 年代—2000 年)以岩石热解地化录井、定量荧光录井、核磁共振录井等多项新技术的加入为标志,录井技术呈现多样化的发展,加快了综合录井仪及其技术的研究和应用;第四阶段(21 世纪以来)以综合录井仪为井场信息平台,以专家系统和数据库所支持的录井数据来进行实时评价、数据远程传输和系统监控,其他技术的加入(如 LWD、SWD、光谱技术、衍射技术等),使录井技术更具实时性、准确性和多样性。

第二节 录井技术与录井仪器的发展趋势

近些年来,随着油气勘探技术、电子与信息技术的高速发展,录井技术与录井仪器具有加速发展的趋势。由于各种新技术、新理论、新方法出现的周期越来越短;各种专业学科之间交叉、渗透融合日益深入,专业界限越来越模糊;多种技术方法的综合应用日趋广泛;多部门之

间的协作日渐广泛深入;科技创新的意义越来越突出;地球化学技术、质谱分析技术、信息技术和自动控制技术等高新技术在录井行业的推广应用越来越广泛、深入,因此,录井技术与录井仪器的发展具有以下 5 个趋势。

一、录井信息检测向定量化方向发展

随着录井技术的进步,对于一些原来只能定性检测的录井项目或参数,通过新的方法、手段和仪器做到了定量检测,如定量荧光分析技术(QFT)、定量脱气分析技术(QGM)等,相应的有二维定量荧光分析仪、三维定量荧光分析仪。另外,对于已经实现定量检测的项目或参数,由于仪器技术的进步,检测结果变得更加精确,误差更小,仪器的灵敏度更高,其结果更能准确反映地下客观情况,提高了油气层的发现率和解释精度。

二、检测方法与手段日趋多样化

由于技术的进步,各种检测方法与手段日趋多样化,各种新型检测仪器和检测项目不断进入到工程录井和实验室研究当中,为现场评价远程决策提供了新的方法,例如:

(1) Schlumberger 公司利用 4 个红外分光光度计检测气体组分,将原来气体组分的色谱分析变为光谱分析,变原来的周期性分析检测为连续分析检测。

(2) Geoservices 公司研制的自动连续检测进出口钻井液滤液矿化度分析仪,可以测量钻井液中钾、钠、钙和氯离子的含量,为判断井下地层流体性质提供了新的检测方法。

(3) 引入核磁共振录井仪,在录井现场就可以对岩心、岩屑进行孔隙度、渗透率、饱和度分析,进行生、储、盖层的物性测量和评价。

(4) 酸解烃法进行油气层评价。把岩石在真空状态下加热加酸处理,破坏其颗粒表面吸附力,使被吸附的烃类物质释放出来,并加以收集分析、鉴定和计算,进行油层评价。

(5) 定量荧光技术投入现场使用。常规荧光分析仪虽然已有近 60 年的历史了,但其局限性显而易见:原油荧光主要在紫外线范围内,肉眼只能识别其中一小部分,凝析油、轻质油及中质油的大部分不在肉眼识别范围内;荧光描述主观性很大,其准确性在很大程度上取决于现场人员的经验。鉴于此,德士古公司经过 8 年潜心研究,开发定量荧光分析仪(QFT)并获得成功。

三、录井信息的采集从地面向井下延伸

(1) 随着 MWD、LWD 技术的发展,录井信息的检测从地面延伸到井下,为及时监测井下情况、获得没有污染的地层信息、进行随钻地层评价提供了手段。

(2) 快速色谱系统及井下钻井液气体检测技术(声波干扰法)的出现又使气测克服了迟到时间的束缚,在钻开储集层的同时即进行气体检测,能更加及时地获得储集层的气体参数。

四、油气勘探决策向现场化和远程化发展

计算机技术、通信技术和信息技术的应用,使得综合录井仪一方面成为油气勘探现场数据评价和决策中心,另一方面,也成为油气勘探现场的信息中心。这些信息涵盖了钻井、测井、录井、随钻测量、中途测试和完井作业等方面的信息,由于网络技术的应用,这些信息能够在钻井作业现场和远方的基地之间实时传输,实现远程监控和决策,快速解释和地层综合评价,使决策人员能够及时调整作业部署,节省作业成本。综合录井仪的功能越来越强大,使得油气勘探

决策趋于现场化和远程化。

五、资料处理与解释智能化

如今,录井信息的处理与解释计算机系统,既是现场信息数据的监控采集系统,又是可共享的数据管理系统,其功能越来越完善,对地层信息分析、解释与评价正朝着智能化方向发展。

第三节 录井仪器的分类

应用于录井领域的仪器仪表品种繁多,而且随着科学技术的发展,新的仪器不断涌现,旧的仪器被不断更新。和其他领域的仪器一样,录井仪器分类方法有多种,目前还没有一种公认的、比较一致的分类方法。应该说,根据不同的场合、对象、需求、视角,各种不同的分类方法都具有其相对的合理性和正确性。

(1)如果根据仪器所处的位置来分,可以将录井仪器分为地面仪器(系统)和井下仪器(系统)两大类。

(2)如果根据录井仪器的应用场合来分,可以将录井仪器分为现场工程录井仪器和实验室分析仪器两大类。现场工程录井仪器指那些被应用在井场的各类传感器、显示记录仪器和计算机系统。实验室分析仪器指那些远离录井现场,用来评估地层、测量地质参数的仪器,如三维定量荧光仪、核磁共振录井仪、元素分析仪、油气显示评价分析仪等。

(3)自动化领域仪器仪表还有一种分类,可分为一次仪表和二次仪表。一次仪表指传感器这类直接接触被测信号的部分,如钻井液池入口/出口温度传感器、压力传感器、钻井液电导率传感器、泵冲/转盘转速传感器等;二次仪表指放大、显示、信号传输部分,如录井房各种信号的显示、记录仪器、气测记录仪等。不过,由于计算机技术和信息技术在录井中的应用,录井中的二次仪表的功能大部分被计算机所替代。

(4)如果按输入量(被测参数)进行分类,录井仪器可以分为温度测量仪、压力测量仪、流量测量仪、电导率测量仪、大钩负荷测量仪等,即每有一种参数,就对应一种测量仪器。这种分类方法一般在工业自动化仪表及装置中使用,特别是在讨论传感器的用途时使用,对于上面所提及的实验室用录井仪器,如气相色谱仪、核磁共振录井仪、油气显示评价仪和各种地化分析仪器则不好分类。

(5)如果按照仪器的工作原理(物理定律、物理效应、半导体理论、化学原理等),可将录井仪器相应地分为电阻式、电感式、电容式、压电式、磁敏式、热电式、光电式等类别。这种分类方法一般在工业自动化仪表及装置中使用,特别是在讨论传感器的工作原理时使用。

本章小结

古代的录井,主要是通过一种底部带阀的竹筒在井下提捞泥浆和岩屑,再由专职人员鉴别岩性、划分地层,并为每口井建立“岩口簿”。这种录井方法,属于地质录井中的一种,而这种底部带阀的竹筒,就是原始的录井仪器。

现代的录井技术,起源于20世纪30年代气测录井仪的使用,由此,将录井的功能由单一的地质录井、建立地层剖面扩展到了初步判断油气层的高度。从20世纪30年代到70年代初,逐步产生了将方钻杆钻时、地层剖面、初步判断油气层等功能结合在一起的综合录井技术。20世纪70年代中后期,国外将计算机引入录井技术,出现了TDC(综合录井)装置,该装置也称综合录井仪,可以实时处理地质与工程数据,使录井技术产生了质的飞跃。到20世纪末,随着各种先进录井仪器的出现,录井技术已经发展成包括常规地质录井、钻井液录井、气测录井、地球化学录井、钻井工程监测录井和随钻测量(MWD、LWD)等为一体的现代化综合录井技术,实现了从信号采集、处理、存储、传输到解释的自动化,实现了油气钻探过程的全面监控。

随着油气勘探技术、电子与信息技术的高速发展,录井仪器与录井技术也具有了加速发展的趋势。各种新技术、新理论、新方法的出现周期越来越短,地球化学技术、质谱分析技术、信息技术和自动控制技术等高新技术在录井行业的推广应用越来越广泛。未来的录井技术与录井仪器主要向以下5个方向发展:

- (1)录井信息的检测向定量化方向发展。
- (2)检测方法与检测手段日趋多样化。
- (3)录井信息的采集由地面向井下延伸。
- (4)油气勘探决策向现场化和远程化发展。
- (5)资料解释与处理的智能化。

思考题与习题

1. 简述录井仪器的发展历史。
2. 简述国内外录井仪器的发展趋势。
3. 我国的录井技术发展分为哪几个阶段?
4. 如果根据应用场合来分,录井仪器分为哪两类?请举例说明。
5. 什么是一次仪表?什么是二次仪表?各列举几种录井仪器中的一次仪表和二次仪表。
6. 什么是综合录井技术?综合录井技术起源于什么?

第二章

钻井液参数检测仪器

钻井液(洗井液)俗称为钻井泥浆。普通钻井液是由黏土、水和一些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,黏土呈分散相,水是分散介质,组成固液分散体系。

钻井液在钻遇油、气、水层或特殊岩性地层时,其性能将发生各种不同的变化。因此,钻井液性能的变化对井下油、气、水层的判断及工程预警有重要的指导意义。

本章主要介绍钻井液的温度、密度、电导率及体积等参数的检测方法、检测原理及常用检测仪器。

第一节 温度检测传感器

循环钻井液的温度变化是反映钻井安全的一个重要参数,分析出口和入口钻井液的温度变化情况有助于了解井下情况。当钻井液出口温度显著增高时,说明井下可能有异常高压层。此外,温度升高还会影响钻井液的性质,因而要做相应的处理。

一、传感器的结构和组成

工业应用上的传感器一般指信号变送器,包括参数检测、信号放大调理、信号变送等部分。另外,为了提高传感器的线性度,工业传感器一般还应有温度补偿相关电路。

录井现场钻井液温度传感器一般有两个,分别放置于钻井液的入口和出口处,用于检测入口钻井液和出口钻井液的温度并计算其差值。由于钻井过程中可能会遇到异常高压、高温层,导致出口钻井液的温度显著升高,影响传感器电路系统的工作性能。所以,传感器的敏感元件与其电路系统应该有一定的距离。另外,由于运输、安装、固定的需要,现场温度传感器的底部常会接触钻井液池底。所以,传感器的各部分电路应置于保护装置内,以避免运输、安装过程中碰撞、挤压导致电路系统的损坏。

现场钻井液温度传感器的保护装置一般采用不锈钢材料制成,其外形结构如图 2-1 所示。从外形上看,钻井液温度传感器由敏感元件保护罩、敏感元件保护套、信号传输线保护杆、信号处理电路保护盒等部分构成。其中:

保护罩用于保护敏感元件,降低传感器在运输、安装的过程中遭受外物碰撞而损坏的风险。保护套可以降低敏感元件在钻井液冲刷过程中弯曲损坏的可能性,保护套内充满了硅脂,起到了减振和增加导热性的作用,可以使其内部的测温元件更好地反映周围的温度变化。保护杆的作用有两个:一是增大测量点与电路系统的距离,减小测量点与电路系统的相互干扰和

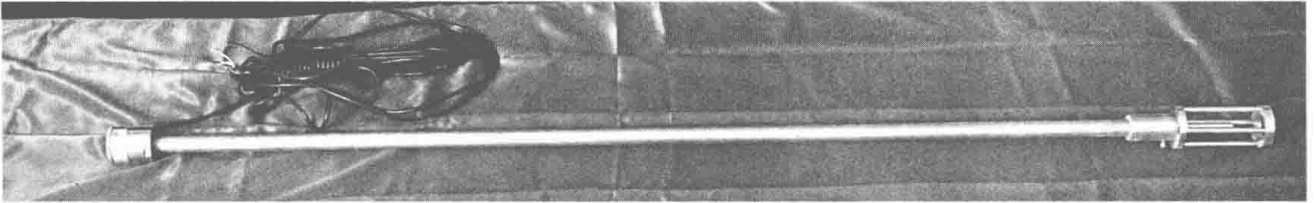


图 2-1 钻井液温度传感器的外形结构

影响,提高测量的精确度(距离过近时,测量点的异常高温会影响电路工作的稳定性;另一方面,电路工作时产生的温度变化也会影响传感器的测量准确度);二是保护信号传输线,使之免遭外物的碰撞而损坏。保护盒内安装传感器的信号处理电路。

二、传感器的工作原理

从内部结构上看,钻井液温度传感器一般由感温元件、前置放大电路、电压/电流转换电路等部分构成。其中,感温元件将被测温度转换为热电势或电阻的变化量;前置放大电路将测温输出的微小电参数进行调理、放大,并输出放大后的电压信号;电压/电流转换电路将前置放大电路输出的电压信号变换成工业现场常用的标准信号 4~20mA 的电流。钻井液温度传感器的组成如图 2-2 所示。



图 2-2 温度传感器的组成

1. 感温元件

感温元件一般采用热电式传感器。热电式传感器是一种能将温度变化转换为电量变化的元件,在各种热电式传感器中,以将温度转换为热电势或电阻的变化量方式为主,对应的元件分别称为热电偶、热电阻和热敏电阻。热电偶是将温度变化转换为热电势的变化;而热电阻和热敏电阻都是将温度变化转换为电阻的变化量。其中,热电阻具有正的温度系数,即随着温度的升高,其电阻值增大;热敏电阻具有负的温度系数,随着温度的升高,其电阻值减小。

1) 热电偶

热电偶由两种温度系数不同的金属导体相互连接而成,广泛应用于测量 100~1600°C 范围的高温区温度,具有结构简单、制作容易、精度高、温度测量范围宽、动态响应特性好、输出信号便于远传等特点。热电偶是一种有源器件,测量时不需要外加电源,使用方便,常用于测量炉子或管道内气体、液体的温度或固体的表面温度。热电偶的基本结构如图 2-3 所示。

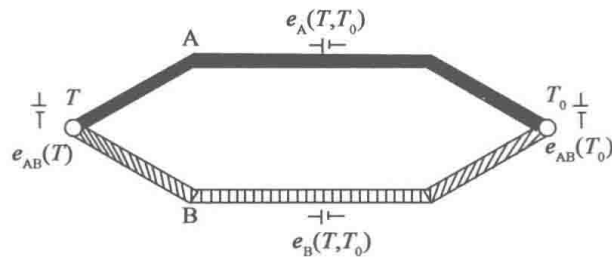


图 2-3 热电偶的基本结构

热电偶是利用热电效应来测量温度的。当两种不同的导体 A 和 B 相互紧密连接在一起,组成一个闭合回路时,若两个接点的温度不同(设 $t > t_0$),回路中就会产生大小和方向与导体材料及两接点温度有关的电动势,从而形成电流,这种现象称为热电效应。这两种不同的导体组合构成的元件称为热电偶,产生的电动势称为热电动势,导体 A 和 B 称为热电极。两个接点,一个称为工作端或热端(t),测温时置于被测温度场中;另一个称为自由端或冷端(t_0),测温时,一般要求它恒定在某一温度。

利用热电偶测量温度,必须在回路中引入连接导线和仪表。那么,接入导线和仪表后,会不会影响回路中的热电动势呢?实验表明,在热电偶的测温回路中引入第三种导体时,只要其两端温度相同,则第三种导体对回路的总电动势便没有影响,这就是热电偶的“中间导体定律”。热电偶的测温电路结构如图 2-4 所示。图中,导体 C 为引入的第三种导体。测出导体 C 两端的电势差,再根据相应热电偶的标准分度表,便可以得到热电偶热端所对应的温度值。

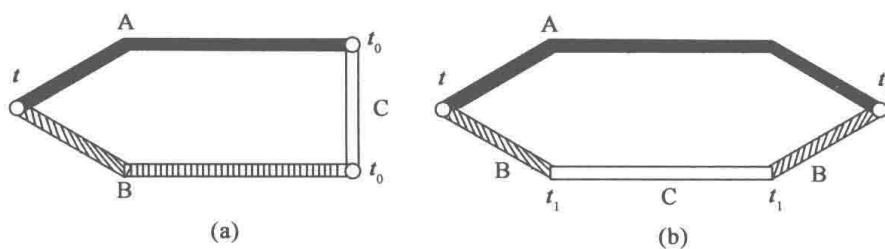


图 2-4 热电偶测温电路

在实际的热电偶测温应用中,测量仪表(如动圈式毫伏表、电子电位差计等)和连接导线都可以作为第三种导体对待。同理,当加入第四种、第五种或更多导体后,只要保证加入导体两端的温度相同,便不会影响回路中的总电动势。

2) 热电阻

几乎所有物质的电阻率都随着温度的变化而变化,这一物理现象称为热电阻效应。热电阻就是利用物质的这一特性制成的电阻式感温元件,主要用于温度以及和温度有关的参数检测。作为测温用的热电阻要求:

- (1)电阻值与温度之间应具有良好的线性关系。
- (2)电阻温度系数要大,对温度变化敏感,便于精确测量。
- (3)电阻率高、热容量小,具有较快的响应速度。
- (4)在温度测量范围内,具有稳定的物理、化学性质。
- (5)材料的复现性和工艺性好,容易加工,价格便宜。

根据以上要求,目前,制作热电阻最常用的材料是铂和铜。工业上被广泛用来测量 $-200 \sim 500^{\circ}\text{C}$ 范围的中低温区温度。

铂热电阻在氧化性介质中,甚至在高温环境下,其物理、化学性质稳定,电阻率大,精确度高。因此,国际温标 IPTS-68 规定:在 $-259.34 \sim 630.74^{\circ}\text{C}$ 温度域内,以铂热电阻温度计作为基准器。但铂电阻的价格比较高。

在 $0 \sim 850^{\circ}\text{C}$ 的温度范围内,铂热电阻值与温度的对应关系为:

$$R_t = R_0(1 + At + Bt^2) \quad (2-1)$$

在 $-200 \sim 0^{\circ}\text{C}$ 范围时,电阻值与温度的关系为:

$$R_t = R_0[1 + At + Bt^2 + C(t - 100)t^3] \quad (2-2)$$

式中, R_t 为温度为 t 时的电阻值; R_0 为 0°C 时的电阻值,也称为标称电阻; A 、 B 、 C 为温度系数,

其值分别为 $A=3.908 \times 10^{-3} \text{ } ^\circ\text{C}^{-1}$, $B=-5.802 \times 10^{-7} \text{ } ^\circ\text{C}^{-1}$, $C=-4.274 \times 10^{-12} \text{ } ^\circ\text{C}^{-1}$ 。

目前,我国规定工业用铂热电阻有 $R_0=10\Omega$ 、 $R_0=100\Omega$ 和 $R_0=1000\Omega$ 等 3 种,其分度号分别为 Pt10、Pt100 和 Pt1000,其中 Pt100 最为常见,钻井液温度传感器使用的感温元件,一般为 Pt100。表 2-1 为 Pt100 的分度表(据 JB/T 8622—1997《工业铂热电阻技术条件及分度表》),实际使用中,只要测得热电阻的当前阻值 R_t ,便可从表中查出对应的温度值。

表 2-1 铂热电阻的分度表(分度号为 Pt100, $R_0=100\Omega$)

单位: Ω

温度, $^\circ\text{C}$	0	10	20	30	40	50	60	70	80	90
-200	18.49									
-100	60.25	56.19	52.11	48.00	43.87	39.71	35.53	31.32	27.08	22.80
-0	100.00	96.09	92.16	88.22	84.27	80.31	76.33	72.33	68.33	64.30
0	100.00	103.90	107.79	111.67	115.54	119.40	123.24	127.07	130.89	134.70
100	138.50	142.29	146.06	149.82	153.58	157.31	161.04	164.76	168.46	172.16
200	175.84	179.51	183.17	186.82	190.45	194.07	197.69	201.29	204.88	208.45
300	212.02	215.57	219.12	222.65	226.17	229.67	233.17	236.65	240.13	243.59
400	247.04	250.48	253.90	257.32	260.72	264.11	267.49	270.86	274.22	277.56
500	280.90	284.22	287.53	290.83	294.11	297.39	300.65	303.91	307.15	310.38
600	313.59	316.80	319.99	323.18	326.35	329.51	332.66	335.79	338.92	342.03
700	345.13	348.22	351.30	354.37	357.37	360.47	363.50	366.52	369.53	372.52
800	375.51	378.48	381.45	384.40	387.34	390.26				

铂热电阻虽然优点很多,但价格昂贵。在测量精度要求不高且温度较低场合,可以使用铜热电阻代替铂电阻,以降低成本。在 $-50 \sim 150^\circ\text{C}$ 的温度范围内,铜热电阻与温度近似呈线性关系:

$$R_t = R_0(1 + \alpha t) \quad (2-3)$$

式中, α 为 0°C 时铜热电阻的温度系数, $\alpha=4.289 \times 10^{-3} \text{ } ^\circ\text{C}^{-1}$ 。

铜热电阻的优点是温度系数较大、线性较好、价格便宜;缺点是电阻率低、体积大、热惯性较大、稳定性较差,且在 100°C 以上时容易氧化,因此只适用于低温且没有腐蚀的环境中。

铜热电阻有两种分度号: $\text{Cu}50(R_0=50\Omega)$ 和 $\text{Cu}100(R_0=100\Omega)$,常用的是 $\text{Cu}100$ 。

3) 热敏电阻

热敏电阻是利用半导体的电阻率随温度的变化而变化这一特性制成的一种感温元件,由某些金属氧化物(如 NiO 、 MnO_2 、 CuO 、 TiO_2 等)采用不同的比例配方,经高温烧结而成。

与热电阻相比,热敏电阻具有电阻值大、温度系数高、灵敏度高(比热电阻高 1~2 个数量级)、体积小(最小直径可达 $0.1 \sim 0.2\text{mm}$,可用来测量“点温”)、结构简单坚固(能承受较大的冲击、振动)、热惯性小、响应速度快、使用方便、寿命长、易于实现远距离测量(本身电阻值较大,可以忽略引线电阻对测量结果的影响)等优点。缺点是互换性差(同一型号的产品,特性参数有较大差别)、稳定性较差、非线性严重,且不能在高温下使用。

热敏电阻的测温范围一般为 $-50 \sim 350^\circ\text{C}$,可用于液体、气体、固体、高空气象、深井作业等对温度测量精度要求不高的场合。