

测井方法原理

CEJING FANGFA YUANLI

赵军龙 主编



陕西人民教育出版社

Well Logging Theory

测井方法原理

主 编 赵军龙

编写者 赵军龙 杨双定

陕西人民教育出版社

图书在版编目(CIP)数据

测井方法原理/赵军龙主编. —西安:陕西人民教育出版社,2008.8

ISBN 978 - 7 - 5450 - 0260 - 7

I. 测… II. 赵… III. 测井 IV. P631.8

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2008)第 128801 号

测井方法原理

赵军龙 主编

陕西人民教育出版社出版发行

(西安市长安南路 181 号)

各地新华书店经销 煤科院西安分院印刷厂印刷

787×1092 毫米 16 开本 15.5 印张 350 千字

2008 年 8 月第 1 版 2008 年 8 月第 1 次印刷

ISBN 978 - 7 - 5450 - 0260 - 7

定价 35.00 元

前 言

《测井方法原理》是勘查技术与工程专业的一门重要专业基础课程,其目的是使学生建立起电法测井、声波测井、放射性测井等测井方法的基本概念,理解并掌握测井资料处理与综合解释的基本方法,为正确使用和深入理解测井信息、运用常规测井资料开展储层评价奠定理论基础。

勘查技术与工程专业学生应准确理解、熟练掌握测井方法原理,熟悉测井资料处理与解释的一般原则和方法,并能结合测井新技术的发展,提高分析问题和解决问题的能力,为此编写本书。

本书是在西安石油大学油气资源学院勘查技术与工程专业《测井方法原理》、《地球物理测井》、《测井资料处理与综合解释》多年课程教学讲义基础上,通过学习、吸收和消化兄弟院校、科研院所的成果,将物探与地质相结合,以培养“四实”人才为目标,按照《测井方法原理教学大纲》而编写。

本书内容包括绪论、电法测井、声波测井、核测井、测井新技术和测井资料处理与综合解释基础等内容,全书由赵军龙副教授和杨双定教授级高级工程师合作编写。其中第1、2、3、4、5、6、7、8、9、10、11、14章由赵军龙执笔,第12、13、15章由赵军龙、杨双定共同执笔。全书由赵军龙负责统稿。

在本书编写过程中得到了西安石油大学有关领导、专家和陕西人民教育出版社有关领导的支持与帮助,在此表示真诚感谢!尤其向为本书出版做出辛勤工作的弓济元编辑表示由衷感谢!

特别向本书所引用成果和内容的专家同仁表示衷心感谢!同时感谢在本书编写过程中做出辛勤工作的李娜硕士,魏峥嵘、陶翠玲、李式洋、曹亚娥、马轮等同学!

由于作者水平和认识有限,不足之处欢迎读者指正。

作者

2008年3月26日

目 录

绪 论	(1)
0.1 地球物理测井的含义	(1)
0.2 地球物理测井的历史和发展现状	(1)
0.3 地球物理测井的方法分类和作用	(3)
第 1 章 自然电位测井	(6)
1.1 自然电场的产生原因	(6)
1.2 自然电位测井原理及曲线特征	(8)
1.3 自然电位曲线的影响因素	(11)
1.4 自然电位测井的应用	(12)
第 2 章 普通电阻率法测井	(18)
2.1 电阻率法测井的基本知识	(18)
2.1.1 岩石电化学性质及影响因素	(18)
2.1.2 泥浆侵入特征	(23)
2.2 普通电阻率测井原理	(25)
2.2.1 不同介质中的电阻率测井	(25)
2.2.2 电极系	(28)
2.3 视电阻率曲线的特征和影响因素	(29)
2.3.1 梯度电极系理论曲线	(29)
2.3.2 电位电极系理论曲线	(32)
2.3.3 普通电阻率测井的影响因素	(32)
2.4 普通电阻率测井的应用	(35)
2.5 标准测井	(35)
第 3 章 侧向测井	(37)
3.1 三电极侧向测井	(37)
3.1.1 三电极侧向测井的基本原理	(37)
3.1.2 三电极侧向测井的曲线特征和影响因素	(39)
3.1.3 三电极侧向测井的资料应用	(41)

3.2	七电极侧向测井	(42)
3.2.1	七电极侧向测井的基本原理	(42)
3.2.2	七电极侧向测井的曲线特征和影响因素	(43)
3.2.3	七电极侧向测井的资料应用	(44)
3.3	双侧向测井	(44)
3.3.1	双侧向测井的基本原理	(44)
3.3.2	双侧向测井的曲线特征和影响因素	(45)
3.3.3	双侧向测井的资料应用	(45)
第4章	感应测井	(47)
4.1	感应测井的基本原理	(47)
4.1.1	双线圈系测井的基本原理	(47)
4.1.2	单元环几何因子理论	(48)
4.2	感应测井线圈系的探测特征	(49)
4.2.1	双线圈系的纵向探测特征	(50)
4.2.2	双线圈系的径向探测特征	(51)
4.2.3	双线圈系的缺陷和改进	(52)
4.3	感应测井的曲线特征和影响因素	(53)
4.3.1	感应测井的曲线特征	(53)
4.3.2	感应测井的影响因素	(53)
4.4	感应测井的资料应用	(54)
4.5	地层真电阻率确定方法分析	(55)
第5章	微电阻率测井	(57)
5.1	微电极系测井	(57)
5.1.1	微电极系测井的基本原理	(57)
5.1.2	微电极系测井的曲线特征和影响因素	(58)
5.2	微侧向测井	(58)
5.2.1	微侧向测井的基本原理	(58)
5.2.2	微侧向测井的曲线特征和影响因素	(59)
5.3	邻近侧向测井	(60)
5.3.1	邻近侧向测井的基本原理	(60)
5.3.2	邻近侧向测井的曲线特征和影响因素	(60)

5.4	微球形聚焦测井	(60)
5.4.1	微球形聚焦测井的基本原理	(60)
5.4.2	微球形聚焦测井的曲线特征和影响因素	(61)
5.5	微电阻率测井的资料应用	(62)
5.5.1	微电极系测井的资料应用	(62)
5.5.2	微侧向与邻近侧向测井的资料应用	(62)
5.5.3	微球形聚焦测井的资料应用	(63)
第6章	声波测井	(64)
6.1	声波测井的物理基础	(64)
6.1.1	声波在岩石中的传播特性	(64)
6.1.2	声波在两种岩石分界面的传播特性	(66)
6.1.3	井内声波特性	(66)
6.2	声波速度测井	(67)
6.2.1	单发双收声波速度测井	(67)
6.2.2	补偿声波速度测井	(69)
6.2.3	声波测井曲线的影响因素及曲线特征	(70)
6.2.4	声波测井曲线的地质应用	(71)
6.2.5	长源距声波测井	(73)
6.2.6	偶极声波测井	(74)
6.3	声波幅度测井	(76)
6.3.1	水泥胶结测井(CBL)	(76)
6.3.2	声波变密度测井(VDL)	(78)
6.4	声波井壁成像测井	(80)
第7章	自然伽马测井	(82)
7.1	核物理的基础知识和岩石的天然放射性	(82)
7.1.1	核衰变及其放射性	(82)
7.1.2	岩石的天然放射性	(84)
7.2	自然伽马测井的测量原理	(86)
7.2.1	伽马射线探测器	(86)
7.2.2	自然伽马测井仪器的刻度	(87)
7.3	自然伽马测井曲线特征及影响因素	(88)

7.3.1	自然伽马测井曲线特征	(88)
7.3.2	自然伽马测井曲线的影响因素	(88)
7.4	自然伽马测井曲线的应用	(90)
第8章	自然伽马能谱测井	(93)
8.1	自然伽马能谱测井的地质基础	(93)
8.1.1	粘土岩中的铀、钍和钾的分布	(93)
8.1.2	砂岩和碳酸盐岩中铀、钍和钾的分布	(93)
8.2	自然伽马能谱测井原理	(94)
8.2.1	自然伽马能谱	(94)
8.2.2	自然伽马能谱的测量	(94)
8.3	自然伽马能谱测井资料的应用	(95)
第9章	密度测井和岩性密度测井	(98)
9.1	密度测井基础	(98)
9.1.1	伽马射线与物质的作用	(98)
9.1.2	康普顿散射吸收截面	(100)
9.2	密度测井原理	(100)
9.2.1	密度测井的基本原理	(100)
9.2.2	补偿密度测井测原理	(102)
9.2.3	密度测井仪器的刻度	(103)
9.3	密度测井资料的应用	(104)
9.4	岩性密度测井的基本原理	(104)
9.5	岩性密度测井的资料应用	(105)
第10章	中子测井	(107)
10.1	中子测井的物理基础	(107)
10.1.1	中子和中子源	(107)
10.1.2	中子与物质的作用	(108)
10.1.3	中子探测器	(110)
10.1.4	地层的含氢指数	(110)
10.2	中子测井的基本原理	(112)
10.2.1	中子—超热中子测井基本原理	(112)
10.2.2	中子—热中子测井基本原理	(113)

10.2.3	中子—伽马测井基本原理	(114)
10.3	中子测井的资料应用	(115)
10.3.1	探测深度	(115)
10.3.2	热中子与超热中子测井的资料应用	(115)
10.3.3	中子伽马测井的资料应用	(116)
第11章	中子寿命测井与碳氧比能谱测井	(118)
11.1	中子寿命测井(NLL)	(119)
11.1.1	中子寿命测井的基本原理	(119)
11.1.2	中子寿命测井的资料应用	(120)
11.2	碳氧比能谱测井	(121)
11.2.1	碳氧比能谱测井的基本原理	(121)
11.2.2	碳氧比能谱测井的资料应用	(122)
第12章	核磁共振测井	(124)
12.1	核磁测井的基本原理	(124)
12.1.1	原子核的核磁性质	(124)
12.1.2	原子核系统的磁化强度	(125)
12.1.3	磁化强度的弛豫性质	(126)
12.1.4	磁化强度的运动方程与核磁共振	(127)
12.2	核磁测井测量原理	(129)
12.2.1	自由进动法	(130)
12.2.2	自旋回波法	(130)
12.3	岩石和流体的核磁性质	(132)
12.3.1	自由含氢流体的核磁性质	(132)
12.3.2	孔隙性岩石的核磁性质	(134)
12.4	核磁共振测井仪	(136)
12.4.1	组合式核磁共振测井仪(CMR)	(136)
12.4.2	核磁共振成像测井仪(MRIL)	(138)
12.5	核磁测井资料解释与应用	(139)
12.5.1	反演 T_2 谱	(140)
12.5.2	确定储层孔隙度	(141)
12.5.3	估计储层渗透率	(141)

12.5.4	综合应用核磁参数判断油气水层	(142)
第13章	成像测井技术简介	(145)
13.1	成像测井系统	(145)
13.1.1	成像测井技术的概念	(145)
13.1.2	成像测井系统的技术组成和特点	(146)
13.2	微电阻率扫描成像测井	(148)
13.2.1	地层微电阻率扫描成像测井的基本原理	(148)
13.2.2	地层微电阻率扫描测井资料的处理与解释	(150)
13.2.3	微电阻率扫描测井资料的应用	(151)
13.3	阵列感应成像测井	(153)
13.3.1	阵列感应成像测井原理	(153)
13.3.2	阵列感应测井适用范围	(154)
13.3.3	阵列感应测井资料的应用	(154)
13.4	方位电阻率成像测井	(155)
13.4.1	方位侧向电阻率测井原理	(156)
13.4.2	方位电阻率测井的应用	(157)
13.5	超声电视成像测井	(157)
13.5.1	超声电视成像测井的基本原理	(157)
13.5.2	图像处理方法	(158)
13.5.3	超声电视成像测井解释方法	(158)
13.5.4	超声电视成像测井的应用	(160)
13.6	多极子阵列声波成像测井	(162)
13.6.1	多极子阵列声波成像测井测量原理	(162)
13.6.2	偶极横波成像测井仪的工作方式	(165)
13.6.3	多极阵列声波测井资料的应用	(165)
第14章	其他测井方法	(168)
14.1	井径测井	(168)
14.1.1	井径测量基本原理	(168)
14.1.2	井径测井的应用	(169)
14.2	井温测井	(169)
14.2.1	井温测井仪及其工作原理	(169)

14.2.2	井温测井的应用	(171)
14.3	压力测井	(173)
14.3.1	应变压力计工作原理	(173)
14.3.2	石英压力计工作原理	(174)
14.3.3	压力测井的资料应用	(175)
第15章	测井资料综合解释原理基础	(177)
15.1	测井资料储层评价基础	(177)
15.1.1	储集层的地质特点	(177)
15.1.2	储集层的基本参数	(179)
15.1.3	划分岩性与储集层	(182)
15.2	“四性关系”分析和测井系列的选择	(184)
15.2.1	“四性关系”分析储集层评价要点	(184)
15.2.2	测井系列的选择	(186)
15.3	岩石体积物理模型及测井响应方程	(189)
15.3.1	岩石体积物理模型	(189)
15.3.2	单矿物岩石体积模型及测井响应方程	(191)
15.3.3	双矿物岩石体积模型及测井响应方程	(198)
15.3.4	三矿物岩石体积模型及测井响应方程	(199)
15.4	储层参数解释模型	(200)
15.5	储集层油、气、水层的识别	(214)
15.5.1	储集层油、气、水的定性识别	(214)
15.5.2	储集层含油气性的定量解释	(216)
15.5.3	储集层油、气、水层的快速直观显示识别方法	(218)
参考文献	(228)

绪 论

0.1 地球物理测井的含义

地球物理测井,简称测井,又可称为钻井地球物理或矿场地球物理,属于地球物理勘探的一个分支,它是应用地球物理方法,研究油气田、煤田等钻井地质剖面,解决某些地下地质、生产及钻井技术问题的一门应用技术学科。根据勘探目的的不同,通常分为石油测井、煤田测井、金属和非金属测井、水文测井以及工程测井等几大类,根据勘探对象的地质、地球物理特点,它们既有选用共同的物理参数进行测井的共性,又有选用各自独特的物理参数进行测井的个性。

石油作为一种重要的战略物资,具有洁净、热效高等优点,因而需要量大。但其埋藏较深,故探测技术要求高,这就促进了石油测井技术的迅速发展。因此就技术而言,石油测井在各种矿产资源测井来说,一直处于主导地位。

地球物理测井的基本原理是这样的:在一个钻井剖面上,存在着不同时代沉积的不同岩石(如砂岩、泥岩等),而不同岩石的各种物理性质(如电学性质—电阻率、弹性性质—速度、放射性性质—伽马和中子射线的吸收和衰减等),都存在一定的差别,这样,我们就可以通过相应的地球物理方法,沿着井身连续地测定反映岩石某种物理性质的物理参数(如密度、电阻率、声波时差、自然放射性等),然后根据这些参数沿井身的变化规律,来研究钻井的地质剖面,评价油气储集层以及解决其他一些地质、生产及工程问题。

0.2 地球物理测井的历史和发展现状

在地球物理测井技术之前,能迅速分辨地层的方法主要有:监控钻井的速度(了解岩石的相对硬度),观察泥浆(了解液面的升降、矿化度变化和天然气或油花的出现),以及检验随泥浆返出地面的岩屑等。在当时的技术条件下,这些方法是含糊的、不可靠的。最精确的办法要数机械取心了,机械取心所获得的资料虽然很有价值,但是由于要频繁地起下钻、换接钻头、降低了钻井速度,作业也复杂,因而成本很高,且岩心常常难以完整取到。再者,从可渗透岩层取出的岩心常常被泥浆污染,而当岩心被取出井眼时,大部分油气成分又都挥发,这种岩心所提供的信息也只是被歪曲了的实际地层情况,这种缺陷在当时特别突出。由于实际生产的迫切需要,地球物理测井方法逐渐出现了萌芽。

测井技术起源于法国。1929年9月5日,法国 Conrad Schlumberger 和 Marcel Schlumberger 两兄弟在法国 Pechelbrown 油田,测出了世界上第一条测井曲线,而且他们很有远见地称之为“电取心”,从而开创了测井技术,至今已经 80 多年了。

从 1927 年到现在 80 多年时间里,测井技术从简单的测量逐步演化成了集成化的测量系列,能完成一套高精度的、相互匹配的测量;测量数据通过电缆、钻井液等传送到地面。测

井技术依据电、声、核、磁等各种物理原理,采用先进电子技术和信息处理技术,采集丰富的地下信息,经过处理、解释,对油气层进行评价。测井技术被广泛应用于油气田的勘探与开发全过程,为石油勘探开发提供极为重要的资料,解决了一系列地质难题;同时,测井技术还是进行煤炭、金属等矿产资源勘探的重要手段,并被扩展到工程及其他领域。

近年来,测井技术发展迅速。主要表现为:地面记录系统向高性能大型复合型方向发展;声、电、核、磁等各系列的井下仪器全面向成像化方向发展,尤其是核磁成像测井技术,发展特别迅速;测井资料处理解释技术向解决实际问题的个性化方向发展;测井软件技术则向大型综合性方向发展。斯伦贝谢、阿特拉斯及哈里伯顿三大测井公司代表着当今世界测井技术的前沿。他们的工作紧紧围绕电缆测井和随钻测井两大系列展开,并且以井下仪器的研究、推广及应用来推动新技术快速发展。

测井技术发展根据采集系统特点大致可分为模拟测井、数字测井、数控测井和成像测井四个阶段。

(1) 模拟测井时代(1927—1964)

自1927年测井问世以后,人们将电、声、核、磁等各个领域内的理论和技术应用于测井,一项又一项测井技术相继诞生。1931年意外地发现了自然电位测井;1946年自然伽马测井诞生;1948年,朗格里油田应用油基泥浆进行钻井,在油基泥浆内无法进行直流电测井,迫使人们进行探索,发明了感应测井;1950年,人们将伽马源与相应的密度测量技术应用于测井,地层密度测井诞生;电磁场理论在测井中的进一步应用,使人们于1952年发明了能将电流聚焦的七侧向测井和三侧向测井;同年,人们将超声波技术成功地应用于测井,声波测井诞生;将中子源与相应放射性测量技术用于测井,中子伽马测井诞生;1956年,闪烁测量技术被应用于核测井。直到1964年,用于地层评价的常规测井系列基本配齐。

(2) 数字测井时代(1965—1972)

进入20世纪60年代,世界石油产量达到 10×10^8 t,测井工作量大增。同时,测井技术的发展使测量信息越来越丰富,模拟测井仪器已不能满足测井资料计算机处理的需要。60年代初,人们开始研制数字化测井地面仪器以及与之配套的井下仪器。1965年,斯伦贝谢公司首次用“车载数字转换器”(包括模/数转换器、数字深度编码和磁带记录装置)记录数字化测井数据,数字测井时代开始。数字测井系统在60—70年代初得到广泛应用。1978年我国引进的ATLAS—3600型测井仪就是一种典型的数字测井仪。数字信息的直接输入使测井信息处理走上了计算机批处理过程。测井资料计算机处理在这个时期得到了很大发展。

(3) 数控测井时代(1973—1990)

计算机技术的高速发展,推动测井仪器的更新换代。1973年,第一次在现场用计算机记录和处理数据,数控测井时代开始。数控测井地面采集仪器是由车载计算机和外围设备组成的人机联作系统,能完成对井下仪器测量数据的采集和实时记录,并能在井场进行快速直观处理。数据传送方式由单向编码传输发展为双向可控数据传输,传送速度大大提高。在这一时期,人们继续把各种新技术用于测井,将电视观念与超声波技术相结合,发明了井下声波电视测井;根据电磁波测量原理,发明了电磁波传播测井;随着对横波认识的深化,把横波技术也加入到声波测井。人们充分发挥高速数据传输的优势和计算机快速数据处理的优势,采用多传感器、大信息量的方法,提高分辨率、增大探测深度、提高测量精度和准确度。

测井资料可以更加精细地用于油气藏的描述。

(4) 成像测井时代(1990 年以后)

石油勘探中,越来越多地遇到裂缝性等各种复杂地层,迫使人们寻求应对复杂地层的测井方法。1986 年,第一种成像测井仪器(微电阻率扫描成像测井仪)问世,对裂缝识别和评价提供了全新的手段。之后,其他一些成像测井下井仪器相继诞生。为满足各种成像测井仪器在大信息量传输、记录、图像处理等方面的要求,研制成像测井地面仪器,并将各种成像测井仪器与之集成而形成完整的成像测井系统已成为必然趋势。20 世纪 90 年代初,斯伦贝谢公司率先推出了 MAXIS-500 成像测井系统。成像测井是一个集各种先进技术之大成的系统,是高新技术的结晶;成像测井地面系统是计算机技术、遥控遥测技术、高速数据传输、应用软件密切结合的体现。

我国现代测井技术创立于 1939 年。1939 年 12 月 20 日,从英国留学回来执教于中央大学的著名地球物理学家翁文波先生在四川巴县石油沟油矿 1 号井,用 1 米电极系测量出我国井内第一条自然电位和电阻率曲线。翌年,甘肃玉门的老君庙油田得到开发,翁文波与赵仁寿先生一起来到玉门油矿,在石油河的浅井中测了一些视电阻率、自然电位和井温曲线,收到了明显的地质效果。以后因器材缺乏,测井工作被迫停顿。1947 年,翁文波又先后与孟尔盛、刘永年先生回到玉门,建立起我国第一个电测站,用自力更生装配起来的照相示波测井仪,使测井工作重新得以开展。1948 年,由日本留学归来的王曰才先生也到玉门参加测井工作,并研制成功真空管式直流放大器,改善记录曲线的质量。

新中国成立以后,测井队伍得到补充,并引进了苏联半自动测井仪(1952 年)和全自动测井仪(1953 年)。与此同时,原燃料部在北京和西安建立了石油地球物理试验室,开始研制测井仪器,相继在 1953 和 1954 年研制出半自动和全自动电测仪。1958 年,刘永年总工程师研制的 JD-581 多线式井下自动测井仪正式在西安石油仪器厂投入生产,该型仪器在 90 年代以前遍布我国各油田和部分煤田,为我国的测井事业做出了巨大贡献。1978 年改革开放以来,开始引进西方阿特拉斯的 3600 数字测井仪,进入了半定量解释和使用计算机处理阶段,80 年代中期引进 CLS-3700 和 CSU 数控测井仪,以及 CLS-3700 的制造技术,各油田又相继研制了以微机为核心的小数控测井仪,使我国进入了数控和数字并存的测井时代,能在勘探井及评价井中测全现代 9 条测井曲线(即三条电阻率、三条孔隙度、三条岩性曲线),使测井资料可以进行单井定量评价。从而又带动了我国油藏描述技术的发展。90 年代中期引进 ECLIPS-5700 成像测井仪,并雇佣斯伦贝谢公司的 MAXIS-500 成像测井系统服务,使我国逐步进入了成像测井时代的大门。

总的来说,我国的测井技术在信息采集方面落后于国外,但测井资料的处理和解释技术与国外当前水平相当,甚至部分项目领先,特别是在水淹层解释和测井地质学研究方面处于世界领先水平。

0.3 地球物理测井的方法分类和作用

(1) 方法分类

地球物理测井是利用油气、煤、岩层的地质、地球物理特性的差异来解决地质问题的。与其他地球物理方法一样,它不是直接地鉴定岩层,而是间接地从测定它们的某些物理参数

来获得所需的地质资料,因此就带来了资料的多解性。也就是说,同一种岩石的各种物性都有一定的变化范围,而不同岩石又可能在某些物性上差异很小,利用测井资料进行地质推断、解释时,就不能唯一地确定地质结论。但是,综合研究油气、煤、岩层的多种物性,就能够去伪存真、去粗取精、由表及里。由此及彼地剔除各种干扰,取得比较唯一的地质结论,获得比较可靠的地质资料。所以,生产的需要和科技的发展,使测井所利用的岩石物理参数较多。同时针对岩石的各种物理性质发展了相应的测井技术。

目前,在地球物理测井中广泛使用的测井方法很多,概括起来可分以下几大类:

① 以岩石的导电性质为基础的一组测井方法

普通视电阻率测井、侧向测井、感应测井、电磁波测井、微电极系测井、微侧向测井、微球形聚焦测井、微电阻率扫描成像测井、方位侧向成像测井、阵列感应成像测井等。

② 以岩石的电化学性质为基础的一组测井方法

自然电位测井、人工电位测井。

③ 以岩石的弹性性质为基础的一组测井方法

声速测井、固井声幅测井、声波全波列测井、声波变密度测井、井下声波电视测井、多极子阵列声波测井、噪声测井等。

④ 以岩石的核物理性质为基础的一组测井方法

自然伽马测井、密度测井、中子测井、中子寿命测井、碳氧比能谱测井、核磁共振测井等。

⑤ 其他一些测井方法

井径测量、井斜测井、地层倾角测井、温度测井、流量测井、流体识别测井、压力测井等。此外,还有一些用得较少或者还处于试验研究阶段的测井方法,如重力测井、雷达测井等。

但是,也应该看到,虽然测井方法很多,但现有的方法还都是间接的,从观测数据到得出地质结论,要经过许多中间解释环节,在这些环节中往往或多或少地使某些条件理想化了。因而使解释的精度降低,有时难免发生某些错误。随着勘探领域的不断扩大,对测井方法不断提出新的任务。这些都将推动人们一面努力改进现有方法,一面探寻新的方法。

(2) 作用

测井技术经过 80 多年的发展,其应用领域不断扩大,所能解决问题的范围也在不断增大。例如石油测井不仅可以解决勘探中的问题,而且也能解决开发中的问题(如油层的水淹程度、生产井的生产状况、注水井的吸水状况等);不仅能直接解决和含油气有关的问题,而且在研究地质构造、地层压力、岩石强度和沉积环境等一系列地质问题方面也有重要的进展;不仅能解决找矿问题,而且还能解决一些工程问题(如井筒状况、井身技术状况等)。概括起来有如下几点:

① 建立钻井的岩性地质剖面。

② 划分油气储集层,定量、半定量地估计储层的储集性能——孔、渗、饱参数及储层厚度,评价油气储集层的生产能力。

③ 进行地质剖面的对比,研究岩层的岩性、储集性、含油性等在纵、横向上的变化规律,研究地下区域地质构造轮廓,结合地震资料进行油藏描述。

④ 在油田开发过程中,提供油藏动态资料(注入剖面和产出剖面等)。

⑤ 为井下作业和增产措施提供依据,并检查实施效果。

⑥研究井的技术状况,如井径、井斜、固井质量及套管状况。

⑦研究地层压力、岩石强度和其他一些问题,如井温等。

测井工作的开展通常是利用车载测井仪器系统进行的。测井仪器包括专用测井仪,如放射性测井仪、声波测井仪、感应测井仪、双侧向测井仪等,及地面通用记录仪,如JD—581型多线电测仪,以及其他辅助测井设备,如绞车、电缆、井口装置等。

专用测井仪是专门用来测量各种岩石物理参数的,其主要作用是把探测器(井下测量装置)所接收到的岩石物理参数的信息,转换成电信号供通用记录仪进行记录。

地面通用记录仪的主要任务就是把反映各种物理参数的电讯号,采用模拟记录以曲线的形式记录下来,也可以是数字量,记录在存储介质上供计算机处理等。

整个测井工作可以分为两个阶段,即资料录取阶段和资料解释阶段等。

第一,资料录取阶段。将装在汽车中的测井仪器设备运至井场,如图0-1所示安装好,利用电缆将井下仪器——专用测井仪的井下测量装置下放到井中,当它沿井身移动时,反映岩层某种物理量的信息通过电缆传输到专用测井仪的地面控制部分,进行适当处理之后,再送到地面通用记录仪进行记录,并以连续曲线的形式显示出来。这种物理量沿井身连续变化的曲线称为测井曲线,是井下不同性质岩层某种物理量的连续反映。不同的测井方法测得不同的测井曲线,如视电阻率曲线,自然电位曲线,自然伽马曲线等。得到各种测井曲线,经验收后,将获得的测井曲线或存储介质带回室内。

第二,资料解释阶段。结合地质资料,综合分析这些测井曲线的变化规律,经过资料的人工综合解释(或数字处理)得到岩层各种地质参数,对储集层进行综合评价。

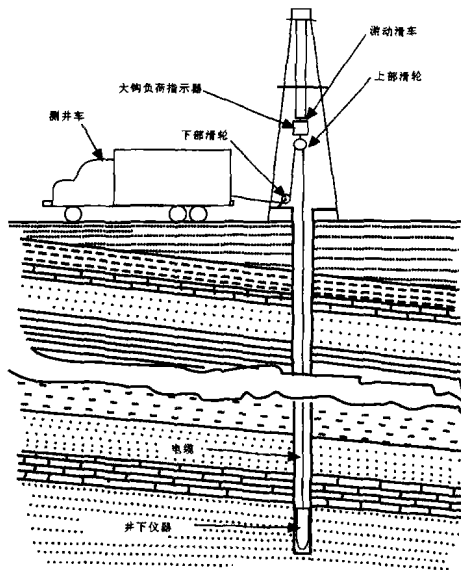


图0-1 井场施工图

第 1 章 自然电位测井

在最早进行视电阻率测井时,在下井电极系未供电的情况下,发现沿井身有电位变化,反复验证表明这种电位普遍存在。研究表明,它是在钻开岩层时井壁附近产生的电化学反应而造成的电场,该场的分布决定于井孔剖面的岩层性质,这个场叫自然电场。沿井轴测量记录自然电位变化曲线,用以区别岩性,这种测井方法叫自然电位测井。由于自然电位曲线在渗透层处有明显的异常显示,因此它是划分和研究储集层的重要方法之一。

1.1 自然电场的产生原因

井内自然电位产生的原因是复杂的。对于油气井来说,主要有以下两个原因:

- ① 地层水和泥浆含盐浓度不同而引起的扩散电动势和吸附电动势。
- ② 地层压力与泥浆柱压力不同而引起的过滤电动势。

实践证明,在油气井中,这两种电动势以扩散电动势和吸附电动势占绝对优势。

为了理解这点,我们以图 1-1 为例,图中中部为渗透性砂岩,上下围岩为泥岩。由于地层水与泥浆中的含盐浓度不同(假设 $C_w > C_m$),

离子将产生扩散。这样的扩散有两种途径:一是从砂岩向井内直接扩散——形成扩散电动势;一是通过围岩(泥岩)向泥浆中扩散——形成吸附电动势。

下面来详细分析这两种自然电动势产生的机理。

(1) 扩散电动势

砂岩中的地层水与井内泥浆之间,相当于两种不同浓度的盐溶液接触,以图 1-2 为例进行说明。

当两种不同浓度的溶液被半透膜隔开,离子在渗透压作用下,高浓度溶液的离子将穿过半透膜向较低浓度的溶液中移动,这种现象叫扩散,形成的电位叫扩散电位。

离子由高浓度一侧(如砂岩)向低浓度一侧(如泥浆)中直接扩散时,由于 Cl^- 比 Na^+ 的迁移率大(表 1-1),因此砂岩高浓度一侧聚集多余的正电荷,而在泥浆中聚集负电荷。离子量移动到一定程度,形成动态平衡,此时电位叫扩散电位,经实验证实,扩散电位 E_d 可由以下公式求得(涅耳斯特方程, Nernst)

$$E_d = 2.3 \frac{RT}{F} \cdot \frac{n_+ u - n_- v}{Z_+ n_+ u + Z_- n_- v} \lg \frac{C_w}{C_m} \quad (1-1)$$

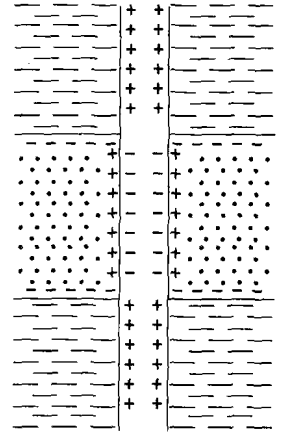


图 1-1

井中自然电位的产生

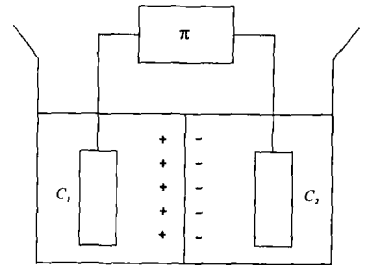


图 1-2 杯中自然电位的产生