

石油测井技术发展史

石油测井技术发展史

〔法〕路莫, A. 阿洛德 著
莫里, H. 马丹

石油工业出版社

石油工

1657

石油测井技术发展史

〔法〕路易·A. 阿洛德 著
莫里斯·H. 马丹

林民瑞 孙淑强 徐丽卿 译



00271134



5944/2



200433995

石油工业出版社

内 容 提 要

本书根据《SCHLUMBERGER, The History of a Technique》的第二、三部分译出,介绍自1927年9月5日成功地记录第一条电阻率曲线以来的石油测井技术发展的历史。

by a. allard, maurice H. martin
SCHLUMBERGER, The History of a Technique
John Wiley & Sons, Inc. 1977

石油测井技术发展史

【法】路易·A.阿洛德 莫里斯·H.马丹 著
林民瑞 孙淑强 徐丽卿 译

石油工业出版社出版
(北京安定门外外馆东后街甲36号)
北京通县印刷厂印刷
新华书店北京发行所发行

787×1092毫米 32开本 6 3/8印张 138千字 印1—1,700
1982年6月北京第1版 1982年6月北京第1次印刷
书号: 15037·2341 定价: 0.67元
科技新书目: 25—144

出版说明

在第一条电测井曲线问世五十周年的时候，路易·A·阿洛德和莫里斯·H·马丹撰写了《施伦贝尔公司技术发展史》(SCHLUMBERGER, The History of a Technique)。施伦贝尔公司以经营地面电法勘探和测井服务起家，尔后服务项目和范围不断扩大，成为国际石油界颇负盛名的企业。《施伦贝尔公司技术发展史》共分三个部分，记述了康拉德·施伦贝尔等人探索电法探矿的历史过程，以及研究工作中的科学态度和实干精神。《石油测井技术发展史》是根据原著第二、三部分翻译的(原书的照片图均删略)，述及石油测井技术的起源与发展。

尽管在十七世纪就曾有人想到利用罗盘来探测磁体，但直到1910年，人们通常是根据地表的可见标志来寻觅地下的矿藏。矿产勘探在当时仍具有极大的盲目性和偶然性。巴黎矿业学院教授康拉德·施伦贝尔对地球科学有强烈的兴趣。为了改进古老的勘探方法，1912年，三十岁的康拉德利用暑假在法国诺曼底半岛上的瓦尔里切庄园进行了第一次人工电场测量。实验获得成功，康拉德亲手绘制出一张地面等电位图。成功的喜悦激励他更勤奋地工作。研究工作在十分困难的条件下进行，甚至孩子洗澡用的浴盆也被充作实验设备——在浴盆里一边堆上粘土，另一边堆上砂子，用以模拟具有不同电阻率和倾角的地层。困难丝毫没有影响康拉德的工作热情。1914年，康拉德终于做出了周密的论证，对人工电场的

测量，即便不能直接探测地下的矿体，也能为探矿工作提供十分有用的数据。第一次世界大战的爆发中断了康拉德的工作。就是在硝烟弥漫的战场上，只要稍有空闲康拉德便沉浸到实际应用电场测量的思索中去。1919年大战结束，康拉德与胞弟马塞尔创办了以自己姓氏命名的承包公司，开始了地面电法探矿的尝试。为了更集中精力，1923年康拉德干脆辞掉在矿业学院的公职。尝试中有成功，也有失败。对于康拉德来说“失败与成功具有同等价值”，失败只会促使他更全面、深入地思考。康拉德在物理学方面有天赋，马塞尔擅长机械工艺和技能，青年工程师多尔则在数学上更富于才华。在他们共同的努力下，地面电法勘探技术终于臻于完善并在世界各国推广开来。1927年，多尔等人在法国佩谢尔布龙进行了第一次井内电阻率测量试验。从1931年起，施伦贝尔公司将地面电法勘探全部移交通用地球物理公司，转而专门从事井眼内的地球物理测量。《石油测井技术发展史》即是以第一次电测井试验开篇的。

“历史是一面镜子”在自然科学领域也不无道理。从事测井技术工作的同志对测井技术的历史沿革有个粗线条的了解，无疑会对现代技术、方法有更深刻的理解，有益于符合我国实情的技术突破口的选择。在测井技术向前发展的五十年中，施伦贝尔公司几乎一直保持着领先的地位，这与公司所持“技术发展就是生命”的经营思想和采取明智的政策、措施是有联系的。搞管理工作的同志或许能从中得到借鉴。国外的情况应当了解，我们自己在发展石油工业过程中所走过的道路更值得认真总结。希望石油工业的老前辈们都能提笔记录亲身经历的坎坷和喜悦，以教益来者。

目 录

引言.....	(1)
第一阶段: 1927—1932年.....	(4)
佩谢尔布龙: 第一条电阻率测井曲线.....	(4)
(1927年9月5日的测井作业——仪器的说明——随后的现场实验)	
基本设备的研制.....	(7)
(最初的三芯电缆——绝缘与漏电位置的测量——绞车——手控记录器)	
自然电位曲线.....	(15)
(第一条自然电位曲线——电滤作用的假设——电阻率与自然电位的同时记录——地层压力的测试——电化学自然电位的发现)	
电流输出电极系、电位电极系和梯度电极系.....	(21)
(薄层的辨别——电流输出电极系的原理——油气储量——真电阻率及视电阻率之间的关系——“MN在下”电极系——库里埃斯的测井曲线——AMN电极系——1932电极系——电位电极系的推广)	
井内其它测量.....	(30)
(遙测井斜仪和电磁倾角仪——电阻率仪和水浸的位置——电阻测温仪)	
野外作业.....	(37)
(佩谢尔布龙——委内瑞拉——美国——苏联——印度)	

尼西亚——罗马尼亚)

第二阶段: 1933—1940年..... (51)

概况..... (51)

测量技术与解释方法..... (52)

(油基泥浆——技术文献资料——短电位电极系曲线
——深侧向测井曲线——长电位电极系曲线——侧向测
深曲线——真电阻率与饱和度的关系研究——对电化学
自然电位和感应电位的研究——页岩储油层及石灰岩油
田的问题)

电缆、绞车及各种工具..... (59)

(四芯电缆——编带及天然气的侵蚀——电极系与第一
批连接器——测井车的布置——滑车轮及其支撑)

照相记录器的出现..... (62)

(手控记录器的缺点——采用伺服机构和高速镜象检流
计的尝试——二检流计及三检流计记录器——光学系统
——单芯电缆系统的录初尝试)

井温、井斜和地层倾角..... (65)

(井温仪——照相井斜仪——电磁倾角仪——自然电位
倾角仪)

井壁采样和套管射孔..... (68)

(重要意义——杠杆采样器——采样枪——堵住的子弹
——配置插座子弹——取芯率: 砂泥岩地层, 易碎地
层, 硬岩石地层——冲孔和钻井射孔器——子弹式射孔
器——环形弹膛枪——“村里子弹”——组合射孔器)

作业情况..... (75)

(美国——南美洲——罗马尼亚——欧洲——远东和中
东——工作条件)

第三阶段：1940—1945年.....	(80)
法国.....	(80)
(巴黎中心——防震检流计——遙控传输系统的研究；	
“地层时序”系统——“联合”操纵系统——注水泥的研究	
——对电流作用的研究)	
美国.....	(83)
(休斯敦中心——为作战部进行的自然电位研究——地	
雷探测器——定量解释的开始)	
第四阶段：1945—1957年.....	(90)
第二次世界大战结束时的形势与前景.....	(90)
(电阻率测井——射孔——辅助作业项目——设备条件	
——前景)	
行政管理机构的改组.....	(93)
(美国——南美——欧洲——东半球——工程师的地位)	
500系列和700系列测井车.....	(97)
(概念和选择——底盘——绞车——六芯和七芯电缆	
——拉力计——深度测量——C型海上滑橇装置——单	
芯、六芯和七芯电缆的性能比较)	
战后解释工作的进展.....	(104)
(解释工作的两个步骤——主要出版物——训练班和学校)	
新的电阻率测井方法.....	(112)
微测井 (概述——商业上的发展——改进与前景——	
第一个动力驱动的井下探测器)	
感应测井 (有关真电阻率测量的一般问题——油基泥	
浆井中感应现象的发现——感应测井在水基泥浆井中的	
使用——感应测井的主要优点——第一次野外试验——	

推广——与短电位电极系测井的组合)

侧向测井 (薄层的问题——盐水泥浆——石灰岩地层的井下探测器——七侧向测井的起源——“电堵塞器”——技术选择——困难及其解决——试验与发展——屏蔽电极测井和三侧向测井——技术成就)

微侧向测井 (衬垫——第一次试验——微侧向测井的意义——定量解释的设想——最高原油采收率——操作上的困难)

放射性测井..... (138)

伽马测井 (概述——第一次井中测量——深度控制——放射性标志层)

中子测井 (历史——中子测井理论——孔隙度测量——天然气探测——施伦贝尔公司的中子测井——世界范围的发展)

辅助作业..... (145)

倾斜仪测量 (相关倾斜仪的操作——自然电位倾斜仪的局限性——电阻率倾斜仪——连续倾斜测量——微测井倾斜仪——连续井斜-倾角仪)

测井温

井径仪

采样 (井壁采样器的改善——地层时序采样器——机械采样器——流体采样)

射孔 (水泥桥塞——采油封隔器——装填车——超级射孔枪——聚能射孔弹——油管射孔)

第五阶段: 1957—1974年..... (162)

综述..... (162)

(施伦贝尔有限公司的建立——管理、商业和技术的发展)

——新的前景)

现代化工具	(164)
电阻率测量工具 (感应测井——综合测井——侧向测井——双侧向测井)	
放射性测井的工具和技术 (新的伽马射线探测器——中子测井的发展——密度测井——热中子衰变测井)	
声波测井 (历史——初期的发展——资料解释——声幅测量——水泥胶结测井——其他用途——声波井下电视)	
其他技术和工具 (新的倾斜仪测量——采样——射孔——生产测井)	
关于海上钻井的说明	(183)
测井曲线的显示和解释	(184)
(野外解释——“快速解释”——计算机解释——原始数据和解释成果的传输)	
结束语	(191)

引 言

石油和天然气存在于某些沉积成因的可渗透地层(砂岩、石灰岩)的孔隙里。沉积岩系中还包含有其它地层,诸如:虽有孔隙但实际上却是不可渗透的页岩,或象硬砂岩、石灰岩、石膏、岩盐和燧石这样的致密岩石,以及所有介于两者之间的类型——泥质砂岩、砂质泥岩、泥灰质石灰岩、硅化粘土等。在岩层的垂直方向上沉积物的种类多种多样,而在横向上,至少在同一地质单元里岩性特征却可能在很大区域内保持稳定。即使岩性特征在横向上发生变化,例如由石灰岩变成泥灰岩,其中所含的化石经常是保持不变的。

某些生物与极微小的沉积物一起为海水所淹没,然后又进一步受到不断堆积在它们上面的沉积物的压迫,日久天长便渐渐转化成为石油。石油是在矿物颗粒之间形成的。由于受到挤压、大部分石油通过可渗透层、断层、裂缝等通道进行运移到达地表。除非有不渗透岩层将石油挡住,否则其踪迹很快就会消失。假如可渗透层发生褶皱,石油就会朝褶皱或背斜的上端运移。这样的形态结构就称为“构造圈闭”。如果还存在有天然气,天然气就会运移到石油的上面。实际情况要复杂的多,即使在构造最顶部,由于毛细管作用仍然有一部分水存留在岩石孔隙中。

可渗透地层中所含泥质的数量可能不断增加,以致在地层上部变得完全不可渗透;泥质含量也可能逐渐减少以致最后消失。许多石油便保存在砂岩透镜体或者被泥岩包围的其

它儲层中，这些便是所谓的“地层圈闭”。

在地面地质勘探或地球物理勘探确定有可能存在含油(气)构造之后。要进一步证实这些构造确实含有油气的唯一方法是钻一口或数口勘探井(当然，在某些有利的条件下采用最新的地震反射方法也可以探测油气的存在)。钻井的目的是确定含油层(若有油气的话)，以及提供被钻地层的全部地质资料。根据地层岩性和古生物特征横向保持稳定这一事实，有可能建立起井与井之间的联系，并确定矿藏或含油盆地的构造特征。此外，根据几口井搜集到的资料(包括地层岩性、倾角、厚度和化石等)进行对比，有时还会发现地层圈闭。

在采用电测井之前，唯一能迅速分辨地层的方法是监控钻井的速度(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。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岩芯了。机械取芯所获得的资料虽然很有价值，但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，花钱又多。岩芯还常常被取芯工具压碎，在松软的地层中岩芯总是取得不完整。再有，从可渗透岩层取出的岩芯常常被泥浆污染，而当岩芯被取出井眼时，大部分油气成分又都挥发。这种岩芯所提供的只是被歪曲了的实际地层的情况。这种缺陷在五十年前特别突出，因为当时处理和观测岩芯的方法远没有今天这样精细和准确。

在电法测井刚刚问世的时候，所开采的大部分石油都来自第三纪盆地的油田，第三纪盆地由砂岩、一般没有固化的页岩以及少数致密层构成。委内瑞拉、美国加利福尼亚州和海

湾地区、苏联高加索地区、罗马尼亚、印度尼西亚的油田都属于这种类型。正是在这些地区，电法测井迅速成为勘探和开发石油的有效且经济的辅助手段。

另一种类型的油田是美国中部大陆、墨西哥、中东所特有的。在这些油田里发现的都是又厚又硬的地层(大部分是石灰岩)，其中孔隙度高、渗透性强、通常又存在裂缝的岩层石油产量往往十分可观。在这类地层中原来很少使用测井方法，这种局面直到测井仪器的探测能力和使用范围得到改进之后才有了改变。

第一阶段：1927—1932年

佩谢尔布龙：第一条电阻率测井曲线

1921年3月，马塞尔·施仑贝尔、欧仁·莱奥纳东、皮埃尔·巴隆、雅克·加卢瓦等人正在贝塞热斯煤矿盆地，通过绘制等电位图进行勘探。该盆地当时正在进行普查井钻探，这使马塞尔有一个难得的机会来确定地下某个层位的电阻率，从而提高地面测量的解释精度。

佩谢尔布龙公司多年来一直与施仑贝尔公司签订有地面电法勘探的合同，他们也很想知道井眼内的电阻率测量是否对公司的地质学家有所帮助。公司对关键层位（海德贝泥灰岩顶部）的位置特别感兴趣，而根据钻井判断这个层位时常是失败的。这个建议受到康拉德的欢迎，因为这与他长久以来的想法不谋而合。这是电测井诞生的起点。他想，如果这样的测量证明是可行的，那么其主要作用将在于改进地质剖面，而不是真的用来勘测盆地里又少又薄的石油储层。此外，根据测量可以搜集到深部地层的电阻率值，从而对地面电法勘探作出可靠的评价。在“井眼内的电法研究”一文中（1927年4月28日），康拉德勾画了新方法的原理，这个方法自那之后就称为“电法测井”。康拉德还委任乔治·多尔负责仪器的设计和试验工作。

世界上第一次电法测井作业是1927年9月5日在迪芬巴

奇^① 由多尔在舍布利和若斯特协助下进行的。井号为 2905，钻机为 7 号。事隔三十二年之后，多尔写道：

AM 长 3 米；MN 长 1 米^②。我们用短黄铜管连接 4 米长的胶木管，相互间用铜螺丝拧紧制成一个测井电极系。电极系底部系有一个重体（铅锤），它是 1 米长的铜管，直径 4 厘米，当中填满打野鸭子用的那种铅丸，两头均用塞子塞住，重约 25 磅。整个装置看上去象是有五个接头的黑色长蛇。电缆，如果可以这样称呼的话，是用橡皮绝缘的三根铜线，即汽车火花塞上使用的那种类型。每根导线的抗拉强度约 80 磅。导线不象后来勘探中所使用的那样相互绞接起来，而是彼此松散地绕在绞车滚筒上。

绞车有一个 X 形的木架，滚筒有木制凸轮以及一个大的胶木线轴。整个工具用长铜条和螺帽装配而成。为使滚筒旋转，用一根摩托车链条把一个大齿轮与一个小齿轮连系起来。转动轴是钢的，两头还装有自行车脚踏板。我们一边站一个人，踩动踏板。还有一个棘轮机构使滚筒不致松开。

当时没有集电装置。代用品是一个插头，很象普通的墙壁插头，装在绞车凸轮边缘。需要转动绞车时将连接电位计电缆的插头拉开便可。然后将电缆插头再插回去，这样便可获得读数了。槽轮也是木制的，有一根很特别的轴。它还有一个起平衡作用的长尾巴，用作应变仪。这个仪器曾被取名为罗曼天平，槽轮装在短臂上。短臂上电缆的拉力由长臂的重量所抵销。我们非常担心电缆会断；盯着这条尾巴的升降就可以知道有多大的力作用在导线上。槽轮上还安置了一个计数器，就象汽车上的计程器一样。用以计算深度。计划每

①属佩谢尔布龙行政区所辖。佩谢尔布龙位于法国东北部阿尔萨斯地区。

②A、M、N 是电极系上的三个电极。

隔1米记录一次读数。

我们进行测量时使用的是一个装置在三脚架上的标准电位计，就象我们在地面勘探工作中所使用的那一种。

实验当天秋高气爽，十分宜人。我们驾着一辆破旧的从前在地面勘探中使用过的客货两用车开到井边，那口井是迪芬巴奇2905号，钻塔是7号。

井深约500米，合1500英尺左右。我们不可能测得更深。因为导线只有1800英尺左右。

测量开始进行了。有人去拉开连接器，有人去转动绞车，还得有人爬到钻台上盯着槽轮上的计数器……，大家跑来跑去忙个不停。我在本子上记下测量值和深度读数后拔出插头，等绕上一公尺导线到下一个测点时，再将插头插上记录下一个读数。依此类推，每隔一公尺记录一次。

起初，我们跑来跑去忙得团团转，过不多久工作开展得就较顺利了。每小时能测定50个点。测点间距为1米，勘探时间每小时150英尺左右。

一切按计划安排的那样进行，只是最后出了一次小事故。我们离开井场的时候电极系还挂在井架上，我们松开铅锤想把它从电极系下部拿开。我们忘了管子的上部是空心的，当中灌满泥浆，所以铅锤一取走泥浆就象倾盆大雨浇在我们身上，一个个都成了泥人。我们只好到附近村庄去洗个澡结束了这一天。

在准备实验的过程中，多尔也曾想到如何控制可能发生的漏电，主要是电缆在数十个大气压下受到热的含盐泥浆的侵入后所造成的漏电。为此，他给电极系装上一个颇象地面工作中所使用的继电电阻器。控制作用在于，确保电流反向激发继电器并把电阻器导入串联电路时所测到的值不变；操作表明了在第一个实验中，漏电并不起很大作用。

回到巴黎，多尔在一张图纸上设计了他的测量并绘制了

以后为石油工业所熟悉的第一张典型图。这份珍贵记录的一部分复制在图1上。它表示出一个相当均匀的电阻率带，与海德贝泥灰岩一样，其顶部作为标志层，在它的上方则是一系列的峰和谷，那里的地质剖面标志出硬泥灰岩、砾岩和砂岩。正如所料，套管下端的电阻率降至零：出现下降的深度在钻井工人标出的6英尺范围内。考虑到当时颇为原始的电
缆计量，这已经是了不起的了。

试验继续在佩谢尔布龙进行，操作条件往往很困难，大部分试验在晚间进行，那时钻井一般都已停止。井壁坍塌、超重或粘滞的泥浆也常常使电极系不能吊入井中；由于井眼很少是垂直的，将电极系和电缆沿着井壁拉出时所产生的摩擦应力必然接近抗拉强度。与马塞尔通常的概念相反，所需要的是比较重的铅锤和比较坚韧的电缆。由于雨季进入钻井工地十分困难，巴黎提出了一个很奇怪的建议：如果汽车陷入泥中，就将车上负载卸下来，把线轴当成轮子象推手推车那样推动绞车。毋须多说，第一次尝试的结果便使所有的机器变成一个大泥球。

尽管困难很多，特别是裸眼井长度不适当——仅60至150英尺，但根据几个星期的实验仍然能够得出肯定的结论：硬地层在图上反映出的峰值与松软导电的泥灰岩反映的峰值形成鲜明的对照；根据测井曲线特征的相似性有可能在井与井之间建立精确的相关关系，从而确定整个油田的地层结构，将测量值与相当数量井中的岩心进行对比就可识别测井曲线的大部分峰、谷。

基本设备的研制

在佩谢尔布龙取得的录初成果，对为电测井提供更多先