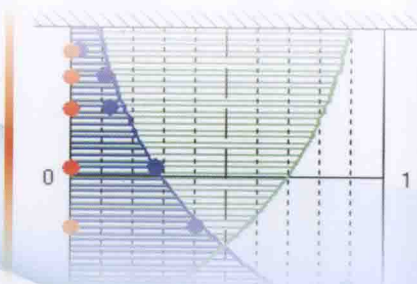
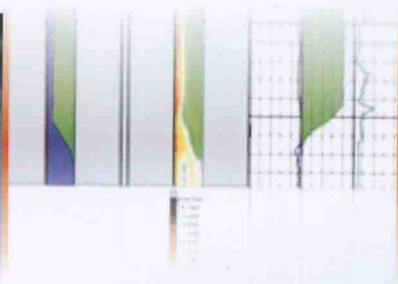


CASED-HOLE LOGGING TECHNOLOGY MANUAL

套管井测井技术手册

中国石油勘探与生产公司©编



石油工业出版社

套管井测井技术手册

中国石油勘探与生产公司 编

石油工业出版社

内 容 提 要

本书从基本的套管井测井技术、注入剖面测井技术、产出剖面测井技术、储层评价测井技术、工程测井技术和井间监测测井技术等方面介绍了当前国内外套管井测井各系列主体技术分类、仪器、技术指标、相关专业基础知识和应用实例。

本书可供测井专业人员、科研生产技术人员和相关院校师生学习参考。

图书在版编目 (CIP) 数据

套管井测井技术手册/中国石油勘探与生产公司编.
北京:石油工业出版社,2013.6
ISBN 978-7-5021-9570-6

I. 套…

II. 中…

III. ①套管井-测井技术-技术手册

IV. TE256-62

中国版本图书馆 CIP 数据核字 (2013) 第 079283 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) 64523562 发行部:(010) 64523620

经 销:全国新华书店

印 刷:保定彩虹印刷有限公司

2013 年 6 月第 1 版 2013 年 6 月第 1 次印刷

787×1092 毫米 开本:1/16 印张:7.5

字数:159 千字

定价:50.00 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

《套管井测井技术手册》编委会

主任：吴 奇

副主任：李国欣

委员：刘军平 刘国强 毛蕴才 蔡明俊 周灿灿
吴世旗 杨永彪 何崇康 郭清滨 陈智宇
刘美成 王洪光 张奇斌 刘兴斌 王 庆
张智峰

《套管井测井技术手册》编写组

组长：李国欣

副组长：刘军平

成员：刘国强 邓 刚 蔡 兵 孙晓军 陈瑞华
王昌景 李 军 刘向友 宁从前 熊 平
陈明孝 赵立安 黄辉雄 肖承文 周 波
于兆友 许 敏 陈 亮 王 杨 徐晓会
韦成海 刘学锋 王东红 邓 荣 赵佐安
熊 伟 唐秀梅 尤立忠 刘春秋 刘印堂
郭洪志 庄 业 崔 蕾

序

套管井测井是测井技术的重要组成部分，是掌握油气井生产状况、监测油气藏生产动态、评价油气水井固井质量和管柱完整性的重要手段，为油气田开发方案制定与优化调整、老区挖潜与增储上产、钻井质量评价和修井等提供重要依据，在油田开发生产中发挥着关键技术作用。

近年来，随着中国石油开发工作的深入，大多数油田已经进入高含水、高采出程度的开发阶段，剩余油分布日趋复杂，三次采油成为重要的开发方式；新增储量以低孔低渗、缝洞型碳酸盐岩等复杂油气藏为主，地质条件复杂，单井日产量普遍偏低；水平井等特殊工艺井应用快速增长，开发方式与井筒环境日趋复杂，监测难度不断加大；天然气等业务快速发展和稳定并提高单井产量等现实任务，需要更适用的技术保障，这些都对套管井测井技术提出了新的挑战与需求。

与此同时，国内外套管井测井技术研发也取得长足进展，常规技术小型化、新型技术系列化，技术方法日臻完善、技术性能越来越好，如水平井三相流成像测井、高精度低产液测井、高温注入剖面测井、井间电磁波和声波测井、挠曲波固井质量精细评价等技术已经应用到生产现场，大功率爬行器、连续油管传输和永久监测等技术丰富了测量方式。技术的不断进步，为应对挑战提供了条件。

中国石油勘探与生产公司组织编写这本手册，就是针对中国石油的具体现状，为了应对当前复杂挑战，加强油田间技术交流，促进技术应用水平。本手册筛选了针对性强的适用技术，并注重国内外技术的先进性，简明扼要地介绍了这些技术的测量原理、主流仪器的结构与性能指标、适用性与典型应用实例，图文并茂、浅显易懂，对技术的推广应用必将起到较好的推动作用。

《套管井测井技术手册》的出版，必将对广大从事套管井测井现场监督、技术管理和科研生产的一线人员全面了解当前技术进展、筛选实用技术、组织现场生产带来帮助，为油气田高效优质开发提供技术支持，对油气田稳产增产做出更大的贡献。

中国石油天然气股份有限公司副总裁

前 言

套管井测井包括注入剖面、产出剖面、储层评价以及固井与套管质量评价等测井技术及其相关的工具与工艺，涉及探井、开发井和生产井，适合直井、水平井和井间等测量方式，贯穿于油气勘探开发的全过程。

套管井测井技术悠关油气开发的成效，对油气藏精细描述、开发区块的“注好水、注够水”以及油气田开发方案制定与调整均具不可替代的作用。针对勘探开发的技术需求，良性研发并规模推广应用“适用、经济、先进、高效”的套管井测井技术，是中国石油油气上游业务又好又快地发展的重要技术保障之一。

近几年来，套管井测井技术发展较快，技术系列与技术性能均得到了较大提升，解决油气开发生产中疑难问题的能力大为提高，这就要求套管井测井技术人员应明晰技术性能与适用性，了解油气开发的技术需求，做好技术应用的针对性，不断地发挥出这些技术的应用价值，并在应用中不断促进技术发展。为此，中国石油勘探与生产公司组织编写了《套管井测井技术手册》。

该手册共分为六章，第一章为基本的套管井测井技术；第二、三章分别为注入剖面和产出剖面测井技术；第四章为储层评价测井技术，包括套后岩性确定、孔隙度与饱和度计算以及地层测试的流体识别等；第五章为工程测井技术，涉及管柱状况检测和固井质量评价等；第六章介绍了井间监测测井技术及其国内外的典型实例。考虑到套管井测井种类繁多、生产厂家参差不齐、技术性能千差万别，在具体技术的收录编写中，按照“系统、精炼、实用”的原则，简化理论原理，突出实用性和指导性，强调技术成熟性、适用性以及应用前景，并注重技术的先进性以及技术发展趋势，以期既反映出中国石油在用的主流套管井测井技术，又兼顾将来潜在应用技术。

《套管井测井技术手册》编写历时近两年，先后组织了章节安排与内容筛

选、稿件初审与二审讨论会，共 50 余人参与编写、修改与审核工作，主要有李国欣、刘军平、刘国强、孙晓军、陈瑞华、王昌景、陈明孝、刘向友、宁从前、彭振中、于兆友、郭洪志和庄业等。全书由李国欣负责审定，刘军平、刘国强和孙晓军等负责组织实施。全书凝聚了中国石油套管井测井界众多技术人员的心血智慧和实践经验。

本手册编写过程中，得到了勘探与生产公司主管领导的悉心指导，得到了大庆、辽河、大港、长庆、华北、青海和塔里木等油田的大力支持，得到了斯伦贝谢和通用电气等公司的密切配合，在此一并致谢。

由于编者水平有限，书中难免存在不足与错误，敬请批评指正。

编写组

2013 年 6 月

目 录

第一章 基本的套管井测井技术	(1)
第一节 磁性定位测井	(1)
第二节 自然伽马测井	(1)
第三节 井温测井	(1)
第四节 压力测井	(2)
第五节 流量测井	(2)
第六节 持水率测井	(3)
第七节 流体密度测井	(3)
第二章 注入剖面测井技术	(4)
第一节 流量五参数组合测井	(4)
第二节 同位素示踪测井	(9)
第三节 同位素相关流量测井	(11)
第四节 同位素相关流量多参数组合测井	(12)
第五节 同位素连续相关流量与超声(电磁)流量多参数组合测井	(14)
第六节 同位素示踪、同位素相关流量与电磁流量多参数组合测井	(15)
第七节 脉冲中子氧活化测井	(17)
附表 2.1 注入剖面测井系列技术指标表	(20)
第三章 产出剖面测井技术	(21)
第一节 自喷井七参数测井	(21)
第二节 环空井测井	(23)
第三节 特殊工艺测井	(39)
附表 3.1 产出剖面测井系列技术指标表	(45)
第四章 储层评价测井技术	(47)
第一节 孔隙度测井	(47)
第二节 饱和度测井	(53)
第三节 元素俘获能谱测井	(65)
第四节 过套管地层测试	(67)
第五章 工程测井技术	(70)
第一节 管柱状况测井	(70)

第二节	固井质量评价测井	(84)
第三节	陀螺连续井斜测井	(92)
第六章	井间监测测井技术	(96)
第一节	井间示踪监测	(96)
第二节	井地电位监测	(100)
第三节	井间微地震监测	(103)
第四节	井间电磁波成像测井	(105)
第五节	井间地震成像测井	(107)

第一章 基本的套管井测井技术

本章集中介绍了注入剖面和产出剖面的基本参数原理与主要应用，这包括磁性定位、自然伽马、井温、压力、流量、持水率和流体密度等。

第一节 磁性定位测井

一、测量原理

磁性定位器由两个同极性相对的磁钢和线圈组成。仪器在井下移动通过管柱接箍或井下工具时，线圈磁通量发生变化，产生感应电动势，通过测量感应电动势的变化确定井下接箍或工具的位置。

二、主要用途

检查管柱接箍、井下工具等位置。

第二节 自然伽马测井

一、测量原理

地层岩石中含有天然放射性元素，不同岩石所含天然放射性元素的数量不同，衰变时放射出的伽马射线的强弱也不同，利用伽马射线探测器沿井身测量岩层的天然伽马射线强度变化即可得到自然伽马曲线。

二、主要用途

划分地质剖面、定性判断岩性、确定砂泥岩剖面中砂岩泥质含量，套管井测井中主要用于校深。

第三节 井温测井

一、测量原理

井温测井的测量对象是地温梯度和局部温度异常（微差温度）。生产测井常用对温度

有较灵敏反应的金属铂电阻桥式电路作为温度探测器，通过记录金属铂电阻的阻值变化，可转换得到温度曲线。梯度井温曲线即温度随深度的变化曲线。微差井温测量两点的温差变化，研究井下局部温度异常。

二、主要用途

确定区域地温梯度、定性判断注入层位、产出层位、评价措施效果。

第四节 压力测井

一、测量原理

常用的压力计有应变压力计和石英晶体压力计。应变压力计探测器硅片上安置四个压敏电阻组成桥式电路，通过记录压力变化造成电路电压的变化转化生成压力曲线；石英晶体压力计采用石英晶体谐振式压力探测器，通过已确定的压力与谐振频率的关系，将测出的谐振频率换算成压力值。

二、主要用途

评价井内生产动态；可以点测，通常是研究吸水层和生产层的特性提供数据。

第五节 流量测井

一、测量原理

(1) 涡轮流量：井筒内的流体推动仪器内部的涡轮流量计转动，涡轮转速与流体流速呈线性关系，通过对涡轮转速的测量来完成井内流体流量测量。

(2) 超声流量：通过一对超声波探头发射超声波，然后测量两个探头接收到超声波的相位差值，利用其与流体流速之间的数学关系得到流体流速，进而测量出流体的流量。

(3) 电导相关流量：利用多相流体内部的随机扰动来测量流体的流速。具有一定距离的两个传感器分别敏感于流过各自敏感区的流体的电导率，通过处理随流体电导率的随机变化而发生变化的传感器输出信号，计算出流速，进而获得流量。

(4) 压阻式连续流量：高灵敏硅芯受到外力冲击时电阻值产生相应变化，外力冲击大小取决于流体流量的大小。

(5) 浮子流量：利用集流后的流体流量与流通截面积的对应关系，测量浮子的位移量，将流量与浮子位移量建立对应关系，实现流量测量。

(6) 示踪流量：在井下一定位置释放液态同位素，同位素随井筒内液体流动，仪器

的伽马探测器跟踪同位素的移动位置，计算出每个水嘴或地层的相对吸水量和绝对吸水量。

二、主要用途

测量目的层段的流体注入与产出量。

第六节 持水率测井

一、测量原理

(1) 电容法：利用油、水电容特性的差别。流体流经仪器外壳与圆柱状电容电极，通过测量电容值可以得到含水率值。

(2) 电导法：利用油、水电导特性的差别。在管道中建立电流场，两测量电极间的电压幅度与传感器内部流体的电导率成反比，进而求出油水两相流中的持水率。

(3) 阻抗法：油、水含量不同造成油、水混相电导率与纯水相的电导率的比值不同。应用于油水两相且水为连续相，持水率大于 50%。

(4) 同轴线相位法：具有不同介电特性的油、气、水混合流体从同轴线内、外导体之间流过时，混合流体的介电特性变化会引起电磁波在同轴线内传播的相位变化。

(5) 低频介电法：油、气、水的介电常数不同。

(6) 放射性低能源法：低能光子穿过油气水混合物时油、水的质量吸收系数不同。

二、主要用途

确定多相流动中油、气、水的含量及沿井筒分布的规律。

第七节 流体密度测井

一、测量原理

(1) 放射性密度：不同密度流体对放射源产生的射线的吸收特性不同。

(2) 压差密度：通过测量井筒内一定距离的压差来确定流体的密度。

二、主要用途

确定多项流动中油、气、水的含量及沿井筒的分布规律。

第二章 注入剖面测井技术

注入剖面测井是指在注入井正常生产状态下，测量各储层注入量的测井技术。它通过监测单井注入量的动态变化，揭示层间、层内可注入特性及其差异，为油气田开发部门调整单井注入剖面、调整井组以及区域注采关系提供依据。若注入流体是水则习惯称为注水剖面测井，若注入介质是聚合物（三元复合）溶液则习惯称为注聚（三元）剖面测井。本章介绍了流量五参数组合、同位素载体法及其相关组合、脉冲中子氧活化等注入剖面测井的基本测量原理、主流仪器结构、技术指标、适用条件和典型应用实例等内容。

第一节 流量五参数组合测井

一、涡轮流量五参数组合测井

1. 仪器介绍

涡轮流量五参数组合测井仪主要由遥测短节、磁性定位器、自然伽马短节、井温仪、压力计、涡轮流量计（包含上下扶正器）等部件组成，如图 2.1.1 所示。

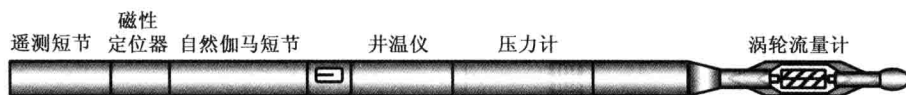


图 2.1.1 涡轮流量五参数组合测井仪示意图

2. 技术指标

详见注入剖面测井系列技术指标表（附表 2.1）。

3. 测量参数

涡轮流量五参数组合测井仪一次下井可以获得磁性定位、井温、压力、自然伽马和流量五个参数。

4. 适用条件及解决问题

测量油管下至射孔层段以上的笼统注入井的地层注入量；测量分层注入井的配水器注入量、合层流量以及判定窜槽、漏失等。

5. 应用实例

判断笼统注水井分层吸水量实例：图 2.1.2 为 XX-XX 注水井涡轮流量五参数组合测

井解释成果图。图中所指示的射孔层处涡轮流量曲线有明显变化，且关井井温曲线也有明显的低温异常，表明这两个射孔层均有较大的吸水量。

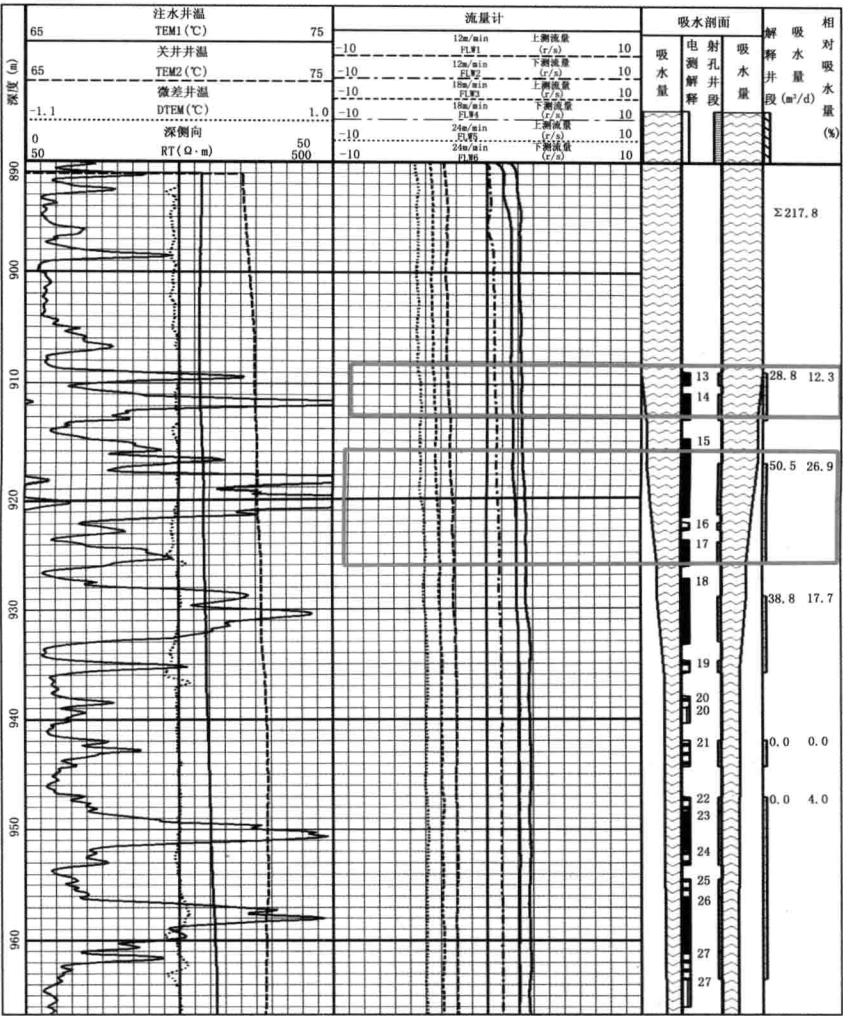


图 2.1.2 XX-XX 井涡轮流量五参数组合测井解释成果图

二、超声流量五参数组合测井

1. 仪器介绍

超声流量五参数组合测井仪由磁性定位器、曼码数传短节、自然伽马短节、温度压力短节、超声波流量计（含两个扶正器）、电机式释放器组成，如图 2.1.3 所示。

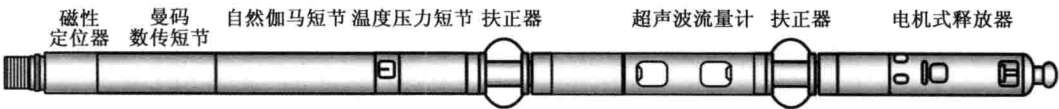


图 2.1.3 超声流量五参数组合测井仪示意图

2. 技术指标

详见注入剖面测井系列技术指标表（附表 2.1）。

3. 测量参数

超声流量五参数组合测井仪一次下井可同时录取磁性定位、井温、压力、自然伽马和流量五个参数。

4. 适用条件及解决问题

测量油管下至射孔层段以上的笼统注入井的地层注入量；测量分层注入井的配水器注入量、合层流量以及判定窜槽、漏失等。

5. 应用实例

分层配注井中了解配水器进水量实例：XX-XX 井是一口分层配注井，日注量 48m^3 ，同时进行了同位素和超声流量测井，了解井下各个配水器的进水情况和小层的吸水情况。从图 2.1.4 可以看出，超声流量测井结果显示第一个配水器进水量很少，只有 $3.67\text{m}^3/\text{d}$ ，

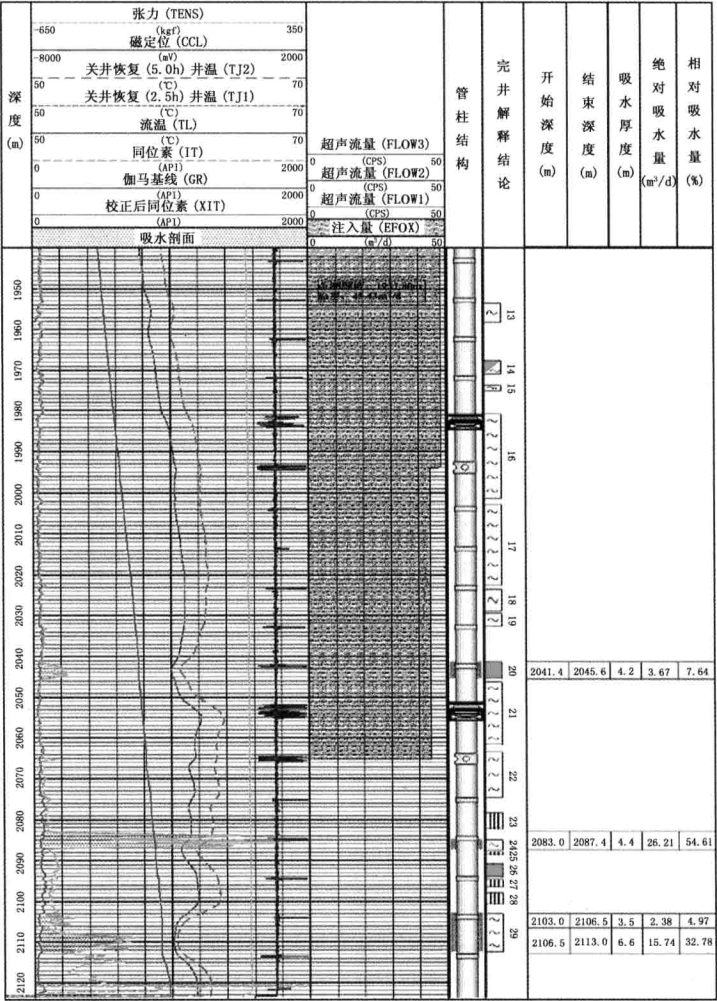


图 2.1.4 XX-XX 井超声流量五参数组合测井解释成果图

第二个配水器为主要进水处，进水量为 $44.33\text{m}^3/\text{d}$ ；同位素测井结果显示与超声流量测量结果吻合很好，主要是第二段吸水，第一段吸水很少。

三、电磁流量五参数组合测井

1. 仪器介绍

电磁流量五参数组合测井仪由磁性定位器、自然伽马短节、温度压力短节和电磁流量计（包含两个扶正器）组成，如图 2.1.5 所示。

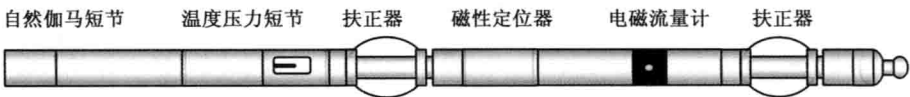


图 2.1.5 电磁流量五参数组合测井仪示意图

2. 技术指标

详见注入剖面测井系列技术指标表（附表 2.1）。

3. 测量参数

电磁流量五参数组合测井仪一次下井可测量自然伽马、流量、井温、压力、磁性定位五个参数。

4. 适用条件及解决问题

测量油管下至射孔层段以上的笼统注入井的地层注入量，在套管内未射孔井段找漏，能对笼统注水井的厚层进行细分测量。

5. 应用实例

注聚井中提供分层相对吸水量、吸水强度实例：XX-XX 井是一口注聚井，射开 26 号、27 号 2 个油层，全井聚合物注入量为 $50\text{m}^3/\text{d}$ ，电磁流量测井反映 2 个层均吸液，吸液量分别为 $10.66\text{m}^3/\text{d}$ 和 $39.34\text{m}^3/\text{d}$ ，其中 27 号层顶部不吸液，如图 2.1.6 所示。

四、集流电磁流量多参数组合测井

1. 仪器介绍

集流电磁流量多参数组合测井仪有两种组合形式。

组合一：由注入剖面四参数测井仪（磁性定位器、自然伽马短节、温度仪和压力计）和集流电磁流量计组成，如图 2.1.7 所示。

组合二：由井温压力测井仪（磁性定位器、温度仪和压力计）和集流电磁流量计组成，如图 2.1.8 所示。

2. 技术指标

详见注入剖面测井系列技术指标表（附表 2.1）。

3. 所测参数

集流电磁流量多参数组合测井仪一次下井可测量磁性定位、自然伽马（组合一）、温

度、压力和流量参数。

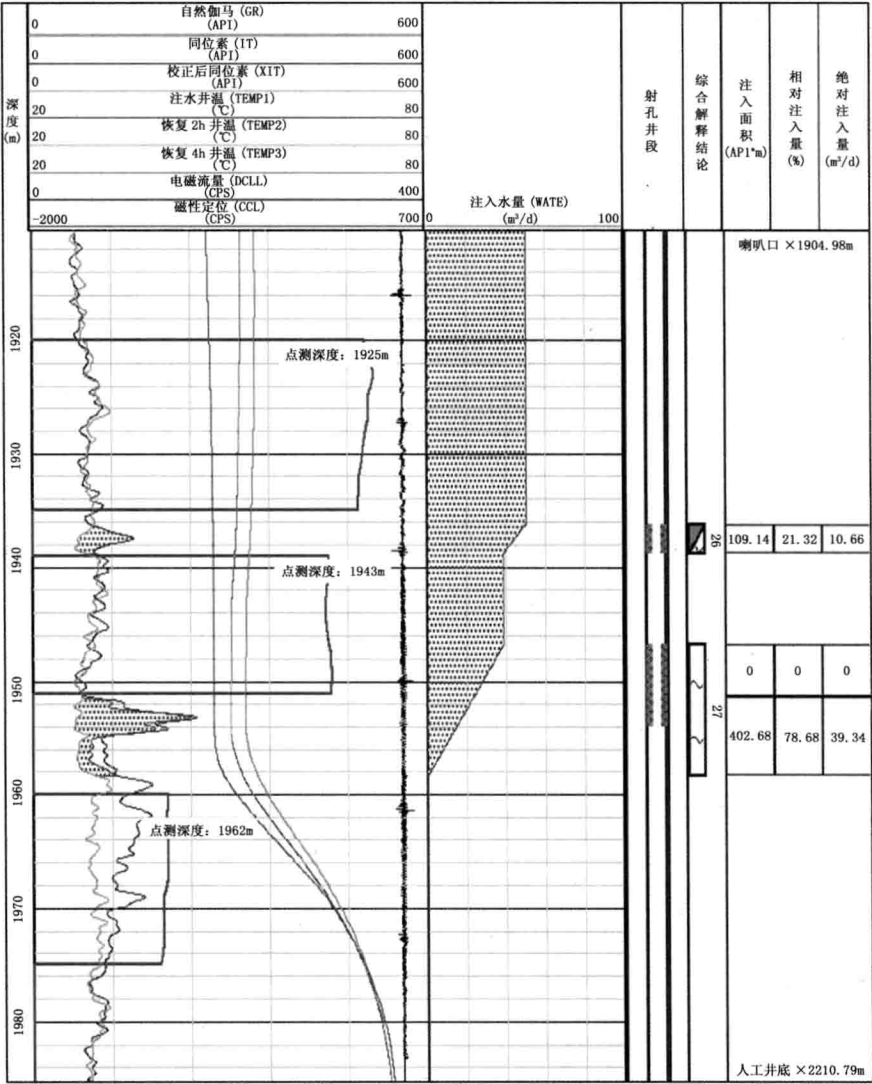


图 2.1.6 XX-XX 井电磁流量五参数组合测井解释成果图



图 2.1.7 集流电磁流量多参数组合测井仪示意图 (一)

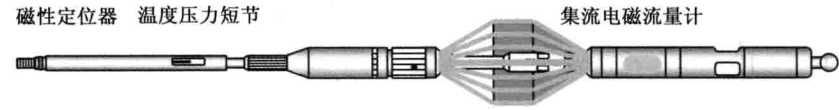


图 2.1.8 集流电磁流量多参数组合测井仪示意图 (二)