

中国石油学会第十四届测井年会

论文集

陆大卫 施振飞 主编



石油工业出版社
PETROLEUM INDUSTRY PRESS

中国石油学会第十四届测井年会 论文集

陆大卫 施振飞 主编

石油工业出版社

图书在版编目 (CIP) 数据

中国石油学会第十四届测井年会论文集/陆大卫, 施振飞主编.
北京: 石油工业出版社, 2005.10
ISBN 7-5021-5259-8

I. 中…

II. ①陆… ②施…

III. 油气测井-学术会议 文集

IV. TE151-53

中国版本图书馆 CIP 数据核字 (2005) 第 120520 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.cn

总 机: (010) 64262233 发行部: (010) 64210392

经 销: 全国新华书店

印 刷: 河北天普润印刷厂

2005 年 10 月第 1 版 2005 年 10 月第 1 次印刷

开本: 787×1092 毫米 1/16 印张: 18.75

字数: 480 千字 印数: 1—1800 册

书号: ISBN 7-5021-5259-8/TE·4060

定价: 48.00 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

《中国石油学会第十四届测井年会论文集》

编辑委员会

主 任：陆大卫

成 员：（按姓氏笔划排序）

毛志强 王天波 尹军强 宁从前

朱洪新 李林新 李 宁 何清源

周灿灿 钱敏刚 韩 奋 谢小平

主 编：陆大卫 施振飞

目 录

EILog-100 快速与成像测井系统研制	汤天知 陈 宝 刘湘正 刘天耀 吴金云 伍向萍 章海宁 胡 忠 郭 斌 (1)
综合化测井数据采集系统设计	李安宗 (12)
地层测试评价仪 (FET) 及其在中国海域的应用	刘建新 (17)
HH2530/530 成像数控测井系统的研制和应用	李英波 宋建华 赵永刚 闫安宇 (24)
高精度环空浮子测井技术及在辽河油田的应用	陈小安 张胜文 (30)
示踪相关流量计在注入剖面测井中的应用	张 巍 张耀文 晏德森 夏慧玲 单宏宽 (36)
高频阵列电磁波测井仪器的刻度保障	卢 达 (42)
井下永久传感器应用于油气生产的前景	张元中 肖立志 付建伟 陈海峰 赵晓亮 (47)
火成岩储层测井评价技术	戴诗华 王 军 王洪亮 车 梅 蔡敏龙 罗兴平 (55)
大庆深层流纹岩全直径岩心实验数据分析	李 宁 付有升 杨晓玲 戴诗华 (62)
大庆徐家围子地区火山岩储层测井评价研究	王春燕 李红娟 刘传平 (69)
辽河盆地东部凹陷欧利坨子地区火山岩测井评价	胡英杰 李铁军 孔令福 刘兴周 刘贤鸿 (75)
太古界变质岩储集层测井资料综合评价	吴海燕 翟 勇 (81)
超深超长裸眼井条件下水平井钻杆传输测井工艺技术	陈新林 朱志芳 王 青 顾宏伟 吴远东 (88)
水平井生产测井解释进展	郭海峰 戴家才 郭海敏 刘军锋 何亿成 彭原平 (94)
水平井测井工艺应用及研究	曾 杰 (101)
水平井测井解释技术综述	周灿灿 王昌学 (107)
江苏油田水平井测井解释应用	贺国庆 蔡晓明 彭吴生 (118)
水平井动态监测技术应用	赵德香 王丽君 张玉模 李其华 (125)
天然气介质条件下的测井方法探讨	张树东 陈晓林 刘萍英 杨仁林 (130)
特殊钻井之测井对策	赵 平 侯春会 (137)
复杂孔隙结构砂岩储层产能预测的测井建模及应用	刘晓虹 (142)
利用 CBIL 测井评价苏丹×井裂缝性储层	尤 征 林纯增 李 铭 张 舫 (148)
成像测井资料在湖盆沉积研究中的应用	张龙海 代大经 乔德新 宁从前 李潮流 (155)
测井资料在科探 1 井中的地质应用	朱留方 顾军锋 吴海燕 牛一雄 许东晖 (162)
苏北盆地低电阻率油藏的成因及评价技术研究	朱曰荣 陆凤才 朱春雷 彭吴生 (169)
测井在川西须家河组三段天然气勘探中的作用	葛 祥 张 筠 (188)
珠江口盆地文昌 15-1 油田珠江组含油储层分布预测	杨玉卿 蔡 军 张聪慧 (195)

测井资料在岩性地层油气藏地质分析和储层评价中的应用

.....	燕兴荣	柴细元	邵维志	郭保华	(201)		
渤海疏松砂岩岩石电阻率测量及应用	桑 华			刘志伟	(207)		
MREX 核磁共振成像测井处理解释方法及应用	刘正锋			王天波	(214)		
随钻电阻率测井的正演和实用反演方法研究	高 杰	岳云雷		冯启宁	(221)		
复杂储层岩石电性特征的逾渗网络模型研究	王克文	孙建孟		关继腾	(227)		
阵列感应测井信号处理技术与应用研究	仵 杰	唐 俊	伍 东	张胜文	(233)		
测井地质解释新进展及其应用	王贵文	李 军		李 伟	(239)		
综合多种信息, 正确评价固井质量	魏 涛	王永松		刘力平	(247)		
固井质量评价技术及软件开发研究	章成广	李维彦	江万哲	田 鑫	樊政军	柳建华	(256)
大庆油田剩余油监测系统优化技术研究	谢进庄	郑 华	杨为华	郑希科	(263)		
储层性能监测仪 (RPM) 在开发后期的应用	黄志洁	田 洪		刘汝敏	(270)		
开发过程中地层水性质变化对 m 、 n 、 B 值的影响机理研究	杨春梅	李洪奇	陆大卫	张方礼	刘卫东	(276)	
测井数据库建设及应用					刘子文	(282)	
多功能测井资料处理系统 PetroSight	田素月	王勤华		金 勇	(289)		

EILog-100 快速与成像测井系统研制

汤天知 陈 宝 刘湘正 刘天耀 吴金云
伍向萍 章海宁 胡 忠 郭 斌

(中国石油集团测井有限公司技术中心 陕西省西安市 邮编: 710021)

摘要: EILog-100 快速与成像测井系统, 由综合化地面仪、集成化常规组合井下测量仪 (HCT)、国产成像测井仪、一体化处理解释软件 (LEAD) 构成。该系统于 2002 年开始研制, 2004 年开始进行将近一年的现场试验, 2005 年 1 月通过由集团公司组织的专家验收。通过现场试验和实际测试表明系统整体指标接近或达到了进口同类仪器水平。本文重点介绍集成化常规组合测井仪的研制。在集成化常规组合测井仪的研制 (HCT) 过程中解决了一系列关键技术问题, 取得了多项创新性成果: 一是系统可靠性分析与设计, 提升了系统整体稳定性。二是井下仪器的集成与共用。三是实现了测井质量控制与实时、快速数据处理与评价同步。四是在机电结构与工艺方面建立了一整套流程和规范。系统样机研制完成后, 经过长时间室内测试与改进后进入现场进行大规模的现场试验, 先后在不同的温度、压力等环境条件下进行了 30 井次试验。测井过程表明: 系统设计合理, 仪器工作稳定, 测井成功率高, 曲线重复性、一致性、对比性良好, 系统整体指标符合设计要求。目前 EILog-100 系统已试生产 3 套, 年内还要再生产 5~8 套。预计年底推出可靠性更高、组合性能更好、系统配套更强的 EILog-300 测井系统。

关键词: EILog-100; 可靠性; 集成化; 组合; 共用; 质量控制; 成像测井系统

一、系统构成

EILog-100 系统由综合化地面仪、集成化常规组合测井仪、国产化成像测井仪、LEAD1.0 资料分析与评价软件构成。

1. 综合地面仪

由前端采集机、主处理机、资料处理机组成。具有裸眼井、生产井、射孔、取心作业能力; 具有测井作业过程、仪器测井质量、测井数据的实时控制和管理能力。

(1) 后台和前端分布式设计:

- ①网络化数据交换, 可实现远程传输与控制;
- ②VxWork 操作系统, 实时采集可靠性高;
- ③IO 控制总线选用 Compact PCI 总线, 实现高性能与低成本的统一;
- ④多种编码共存, 软件化解码设计, 方便系统修改和升级;
- ⑤面向对象设计采集与控制软件, 具有仪器动态添加等功能。

(2) 强大的扩充与兼容能力:

- ①能兼容常规测井仪器、国产成像测井仪器及正在研发的仪器;
- ②能扩展配接国外测井仪器。

(3) 在额定环境温度条件下可连续工作 72h。

2. HCT 集成化常规组合测井仪

由自然电位、双侧向、双感应、微球、补偿声波、自然伽马、补偿中子、补偿密度主测量仪器以及井径、微电极、斜等辅助测量仪器组成。井下仪器数据传输使用 CTS (数据总线采用 TCC 三总线)。具有 0.4m 纵向分辨率, 薄层探测能力强; 可根据需要任意组合, 一次下井就可以获取全部常规测井参数和所需的辅助测量参数; 测量线路通过使用 MUP、DSP、FPGA、PLD 以及定制的厚膜电路, 减少了元器件数量, 提高了集成度; 探测器复用和线路共用等结构优化设计进一步缩短了仪器长度, 提高了可靠性。仪器主要技术指标达到国外同类仪器水平。

3. 国产化成像测井仪

由微电阻率扫描、阵列感应、声波电视三种仪器组成。

(1) 微电阻率扫描具有 $0.2 \sim 2000 \Omega \cdot \text{m}$ 测量范围, 5mm 纵向分辨率, 80mm 探测深度 (50% 贡献率), 60% 井眼覆盖率。

(2) 阵列感应具有 $0.1 \sim 2000 \Omega \cdot \text{m}$ 测量范围, 5 种探测深度 (25cm、50cm、75cm、150cm、2.25m)、3 种纵向分辨率 (30cm、60cm、120cm)。

(3) 超声成像测井仪具有 1mm 裂缝分辨率, 声系转速 5c/s。

4. 一体化处理解释软件 (LEAD)

是基于 Windows2000/XP 的新一代测井资料处理解释软件系统, 可完成多种仪器类型测井资料的快速处理和准确解释。具有开放的底层平台、集成化的应用模块、可视化的处理解释流程, 能够满足储层快速直观解释、精细解释及综合评价的需要。

(1) 总控界面友好, 运行模块按功能分类, 实现程序快速调度和运行状态的实时监视。

(2) 常规测井处理提供了地区解释模型编辑功能, 能适应不同区域各种地质特点储层测井解释与评价。

(3) 具备多种类型电声成像测井资料处理能力, 提供复杂岩性储层的地层组分分析功能、辅助的电声成像应用图版知识库。

(4) 灵活的图头制作功能、强大的综合绘图程序、可视化的流程控制处理, 智能化多种数据解编功能。

二、集成化常规组合测井仪 (HCT) 的设计开发

2001 年 8 月, 中国石油集团公司正式批准立项研制 HCT (High Combination tool) 组合测井仪, 于 2002 年 8 月推出了基于 8kbps 传输速率, 包括三孔隙度、三电阻率在内的 HCT 组合测井仪样机, 在台 2 井取得了合格的测井资料。此后, 在中国石油集团测井有限公司 (CPL) 组织下, 在原有 HCT 的基础上通过进一步优化和集成和增加钻井液电阻率、微电极、井斜方位等辅助测量参数, 2003 年 6 月推出了又基于 100kbps 传输速率的 HCT 集成化常规组合测井仪。通过大量的试验与测试表明, 系统稳定性和可靠性好, 测量的重复性、一致性以及与国外同类仪器的对比性良好, 主要技术指标接近国外同类仪器的先进水平。

HCT 集成化常规组合测井仪实现了工艺技术先进、可靠性高的工业化系统研制目标; 完成了线路高温集成、高可靠机电工艺等 10 项主要研究内容; 解决了总体设计和系统集成、传感器复用、可靠性设计等 5 项关键技术; 达到了测量范围、测量精度等 7 项主要技术与工

艺指标要求。

1. 仪器构成与组合方式

1) 仪器构成

遥测仪器：TCC/100kbps；

电测井仪器：高分辨率（普通分辨率）双侧向、双感应、微球形聚焦；

声测井仪器：高分辨率（普通分辨率）声速；

核测井仪器：自然伽马、补偿中子、补偿密度、岩性密度；

辅助参数测量仪：三轴加速度（井斜、方位）、三参数（井温、电缆张力、钻井液电阻率）、井径—微电极、（0.4 米、2.5 米、4.0 米）电极系。

2) 组合方式

就仪器系统的总线结构而言，上述任何仪器短节之间均能实现无障碍组合。用户可根据油气勘探和开发中不同的阶段、不同的测量类型、不同的测井仪器系列要求，进行灵活组合。

（1）自然伽马探测器 + 三轴加速度 + 遥测 + （电源 1 + 共用测量线路 1）、补偿中子探测器 + 液压推靠器 + 补偿密度探测器 + 微球形聚焦极板、 $x-y$ 井径 + 微电极 + （电源 2 + 共用测量线路 2）+ 双侧向电极系 + 声系；

（2）自然伽马探测器 + 三轴加速度 + 遥测 + （电源 1 + 共用测量线路 1）+ 补偿中子探测器、液压推靠器 + 补偿密度探测器 + 微球形聚焦极板、 $x-y$ 井径 + 微电极 + （电源 2 + 共用测量线路 2）+ 双感应线圈系 + 声系。

当进行岩性密度、自然伽马能谱测井时，通过改变共用测量线路 1 就可以实现，因为自然伽马探测器和自然伽马能谱探测器本身是相同的，而岩性密度探测器与补偿密度探测器更换可以通过接头更换来实现，而地层倾角测井仪、阵列感应测井仪可以根据需要组合连接在系统适当的位置。

2. 主要技术指标

总长度：25m；总重量：488kg；外径：89mm；额定温度 155℃ 或 175℃；额定压力 100MPa 或 140MPa；振动 5g，10~60Hz；冲击 50g，11ms；测井一次成功率大于 85%。

3. 系统设计

1) 线路集成与共用设计

组合测井的最重要的指标之一是在保证系统性能的前提下如何缩短仪器长度，传感器部分由于测量参数指标的限制而不可能缩短，而线路集成和共用则可以缩短仪器长度，同时还由于元器件、部件的减少从而提高线路本身乃至整个系统的可靠性。HCT 集成化常规组合测井仪进行了大量的线路集成，从核测井仪器到双侧向测井仪，从双感应仪器到声波仪器均进行了线路集成。微球形聚焦测井仪从原来测量线路全部使用分离元件，到一部分元件集成，然后到大部分元件集成，仪器长度逐步缩短，从最初的 1.5m 缩短到 1.0m。采用 6 片集成后元件数量减少了 40%，长度缩短为 0.7m，与分离元件组成的测量线路相比骨架长度缩短了二分之一；双侧向测井仪的功率发射、电压电流测量、屏流控制共使用了 11 块集成电路，极大地提高了可靠性。

共用是缩短仪器长度、减少重量和实现标准化的又一重要手段。电源电路是系统中的重要单元，原来在单测的模式下电源功率指标本身就留有较大余量，而且各单测仪器使用的变压器、整流滤波以及稳压与功放型号不统一，使电源部分和有关器件不能通用。因此需要通

过仔细分析和计算，确定各部分所需要的功率以及确定哪些部分的电源可以共用，从而达到减少电源数目和缩短长度的目的。

核测井仪器功耗小，因此将核测井仪器、遥测仪器的电源共用；电测井和声测井仪器虽然功耗大，但相互之间的干扰小，通过适当加大部件的功率也实现了电源共用。电源所占总长度从原来一个探测器一个电源时的 2.4m 缩短为共用后的 1.2m，仅电源共用就使该部分长度缩短了一半。补偿密度、补偿中子、自然伽马的测量线路基本上均是由前置放大、主放大、鉴别整形、分频及驱动几个部分构成，在该部分中除前置放大外，基本上实现了共用。

2) 传感器复用设计

除通过线路集成和共用缩短仪器长度、提高系统可靠性外，通过相互之间影响小的不同类型传感器复用设计，形成同一仪器位置放置 2 个或 2 个以上的传感器，也能够达到缩短仪器长度的目的。补偿密度探测器和微球形聚焦极板，是两种不同类型的传感器，电气上相互之间干扰小。实现这两种探测器同时测量通常的做法有两个：一是将补偿密度滑板延长，再将微球极板放置在延长段，这时由于密度滑板增长、质量增加，造成推靠器力不足，探测器不能与井壁良好接触，必然降低测量数据可靠性和测量精度。二是将微球极板放置在推靠器副臂上，这样将造成两种探测器测量地层方向的差异（这两种探测器测量具有方向性），造成评价对象的不同从而产生响应结果的不一致，此外由于微球极板和仪器腔的连接线裸露在钻井液中，降低了系统密封的可靠性。

在 HCT 集成化常规组合测井仪中，为了不增加仪器长度和质量，我们采用新型设计实现了在密度探测器滑板上安装微球极板，在不增加长度的前提下实现了这两种探测器的复用。在实现过程中解决了许多技术和工艺难题：一是橡胶与金属电极的硫化；二是橡胶均匀性配方和加工误差控制；三是测量电极密封及电极与滑板灵活连接；四是控制和消除橡胶及金属电极对密度测量的影响；五是微球极板的加工和成型工艺控制。

3) 结构与工艺优化设计

骨架结构优化是通过工字骨架结构与三角形骨架结构的综合使用实现的。工字形骨架通常用于电源变压器等大体积部件的安装及由小体积元器件构成的线路板安装，而三角形骨架一般用于小型变压器、继电器及高度稍高元器件线路板安装。

铰链结构优化设计采用销轴连接，能够在 X 轴、Y 轴两个方向上转动，两个方向上转动的角度分别为正负 15° ，贯穿线在氟橡胶波纹平衡管内穿过，氟橡胶波纹平衡管内灌硅油，提高了引线绝缘可靠性，三十五芯高压引线采用五个七芯耐压插件，这种结构优点是活动连接处压力平衡，所有的高压密封点都是静密封，仪器的可靠性高，采用这种结构铰链短节长度减小到最短。平衡管采用波纹结构，对于经常活动的结构能减少应力集中，提高可靠性，延长产品寿命。

4) 高分辨率双侧向设计

HCT 集成化常规组合测井仪中的双侧向具有 0.4m 纵向分辨率，电极系结构如图 1 所示。

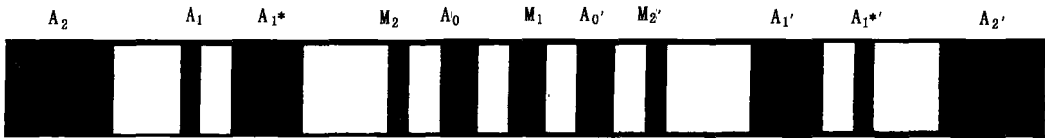


图 1 高分辨率双侧向电极系

电极系由中心的第一监督电极 (M_1)、上下对称的主电极 (A_0 、 A_0')、上下对称的第二监督电极 (M_2 、 M_2')、上下对称的两对屏蔽电极 (A_1 、 A_1' 和 A_2 、 A_2')、上下对称的取样电极 (A_1^* 、 $A_1'^*$) 等电极组成。该电极系可看成是在常规双侧向电极系的基础上改变而成：将常规双侧向的主电极 A_0 一分为二变成 A_0 、 A_0' ，并将常规双侧向的监督电极 M_1 (M_1') 移到 A_0 、 A_0' 中间合成为一个电极 M_1 。

工作原理与常规双侧向基本上相同，不同的是 A_0 、 A_0' 的电流合在一起作为主电流，保持三个监督电极 M_1 、 M_2 、 M_2' 等电位。 A_0 、 A_1 (A_1') 电极之间存在一个最低电位点 (在 M_2 附近)，为主屏流的分界点。当最低电位点不在 M_2 上时，在 M_2 左右总还存在另一点的电位与 M_2 的电位相等，该点相当于将主电极 A_0 、 A_0' 中间的 M_1 电极映射到 A_0 、 A_1 (A_1') 之间，即在 M_2 电极与 M_1 电极映射的电极 M_1' 之间存在最低电位点为主屏流的分界点，这相当于常规双侧向上下两对监督电极 M_1 、 M_2 和 M_1' 、 M_2' 的中点。

计算表明，映射到 A_0 、 A_1 之间的 M_1' 电极的位置随地层电阻率和层厚的变化而改变，即主电流的聚焦点是变化的，也就是说随着地层电阻率或层厚变化，这种高分辨双侧向的分辨率是变化的。电位计算表明：对于高阻薄层，层厚变薄时，电位最低点从 M_2 靠 A_1 一侧往 M_2 靠 A_0 一侧移动，则薄层聚焦能力增加，测量电阻率增高；对于厚层，电阻率增加时，电位最低点从 M_2 靠 A_1 一侧往 M_2 移动，聚焦强度增加。因此，与常规双侧向相比，高分辨率双侧向大大地增强了屏蔽电极的聚焦作用，既提高了纵向分层能力，又缩短了电极系长度，而且还能基本保持常规双侧向的探测深度。

(1) 能实现高分辨率深浅电阻率测量，其纵向分层能力能达 0.4m 以上，改善了常规双侧向的分层能力；

(2) 探测深度与常规双侧向比较接近。两种浅侧向探测深度基本一样，但高分辨率深侧向的探测深度比常规深双侧向浅，但仍能达到 1.15m。而且高分辨率双侧向对薄层的探测深度比常规双侧向深；

(3) 层厚影响与普通双侧向影响差不多，层厚校正系数变化较大，但高分辨率双侧向受围岩影响稍复杂些；

(4) 井眼影响复杂，校正系数变化范围较大且不同井眼曲线有时出现交错，而常规双侧向井眼曲线形态相对较简单，校正系数变化范围较小。

5) 实时数据处理与解释

基于一次下井测量就能得到所需要的地质评价参数，因此为现场实时处理和解释评价提供了可能。虽然不可能像精细评价那样给出一个完全准确和详细的评价结论，但初步的解释评价结果对油藏所有者的快速决策还是大有帮助的。通过初步解释得到整个井的岩性剖面和孔隙度甚至饱和度等物性和流体特性等，就可确定是否到达了目的层，是继续钻进还是完钻，当然更精细的解释也是必不可少的。HCT 组合测井实时处理和解释软件就是在这样一个背景下，在 LEAD1.0 基础上开发出来的。地面主计算机通过网络将采集的测井数据传给专门的处理计算机，该计算机获取后立即进行数据处理和井眼环境的初步校正，进行快速地层划分和储层识别，给出诸如泥质含量、孔隙度、岩性等参数，并计算出目的层的饱和度。同时通过对结果的分析研究，如三孔隙度交会分析判断测量数据的可靠性或判断测井质量是否符合标准，然后将结果反馈给主计算机以控制系统重测、补测或更换仪器。

4. 仪器质量控制

从总体上来看，国产仪器与同类国外仪器相比，最明显差距在于系统可靠性，而可靠性

的高低除与线路可靠性设计如简化设计、降额设计、热设计、电磁兼容性设计密切相关外，还与加工工艺、装配工艺、焊接工艺密切相关。HCT 组合测井仪在研制过程中推行一整套质量控制措施和标准，并在设计、制造过程中全面贯彻，从而使整体工艺水平和系统可靠性大幅提高。

1) 工艺控制

制定了一系列的电装工艺文件，设计了变压器、大滤波电容器的安装方式和结构，规定了印制线路板材料、固定孔距、厚度、与金属隔离、地线及焊接要求，规定了骨架材料、连接件结构以及扶正、抗震结构。在此基础上正逐步推行元器件和线路的简化、降额、热等可靠性设计方法。

2) 测井过程控制

由于高效率的下井作业使系统在作业过程中就可以进行测井数据的处理与地层评价，因此在测井完成后能及时给油藏所有者（经营者）提供地层评价结果以便及时决策。为了实现现场实时评价的需要，HCT 组合测井系统建立了严格的井场测量过程的质量控制体系，以保证测井结果的可靠性和准确性。一方面测井时由采集计算机对深度、测井速度、张力、井径、井下仪器采集数据进行自动检验，并将结果显示在质量控制面板上，对异常结果采取改变显示颜色变换或发出声音报警等方式，提醒操作员采取措施。通过监视井下仪器参数并与标准值比较，在不需重复测井的情况下就能判断曲线质量。在测井过程中，当发现目的层测井质量不满意或对某些测量井段测量结果有怀疑时，可随时采取补救措施，实行重测或者补测。

5. 现场测试结果及分析

HCT 集成化常规组合测井仪自推出以来，已在江汉、长庆、胜利、华北等油田测井 20 余井次，取得了丰富的测井资料。通过试验一方面发现和解决了系统设计开发中存在的技术与工艺问题，同时又通过多井次、多井型、长时间测量作业，通过系统测井曲线的重复性、一致性从而验证系统的稳定性和可靠性。这些井可以分为三类：一类用于验证仪器的温度和压力指标；一类用于验证仪器的测量范围及测量精度；还有一类是通过与国外仪器对比验证系统测量结果的可信度。

1) 与 CSU、5700 资料对比性

在陕×××井除补偿中子曲线外，其他测井曲线基本吻合（图 2）。补偿中子测量结果和统×××井相同，也是 HCT 补偿中子测量值比 5700 补偿中子测量值偏低 4~5pu。由于岩性较单一，3240m 以上为二叠系砂岩，而以下为奥陶系白云岩，通过计算密度、声波孔隙度并与中子孔隙度对比，发现 HCT 中子孔隙度与 HCT 密度、声波孔隙度离差小数值得接近，而 5700 补偿中子孔隙度与 5700 密度、声波孔隙度的离差大，数值偏差 4~5pu。

2) 仪器的重复性

从泉×××井重复测量曲线来看重复性比较好，在井眼平整段重复误差基本在允许的误差范围内，而对于井眼变化比较大的测量井段，由于测量轨迹不同，因而其重复性会稍差一些（图 3）。

3) 一致性

从台 2 井一致性测量结果看，仪器一致性较好，曲线无论形状还是数值均基本相同（图 4）。

图 2 陕×××井与5700对比

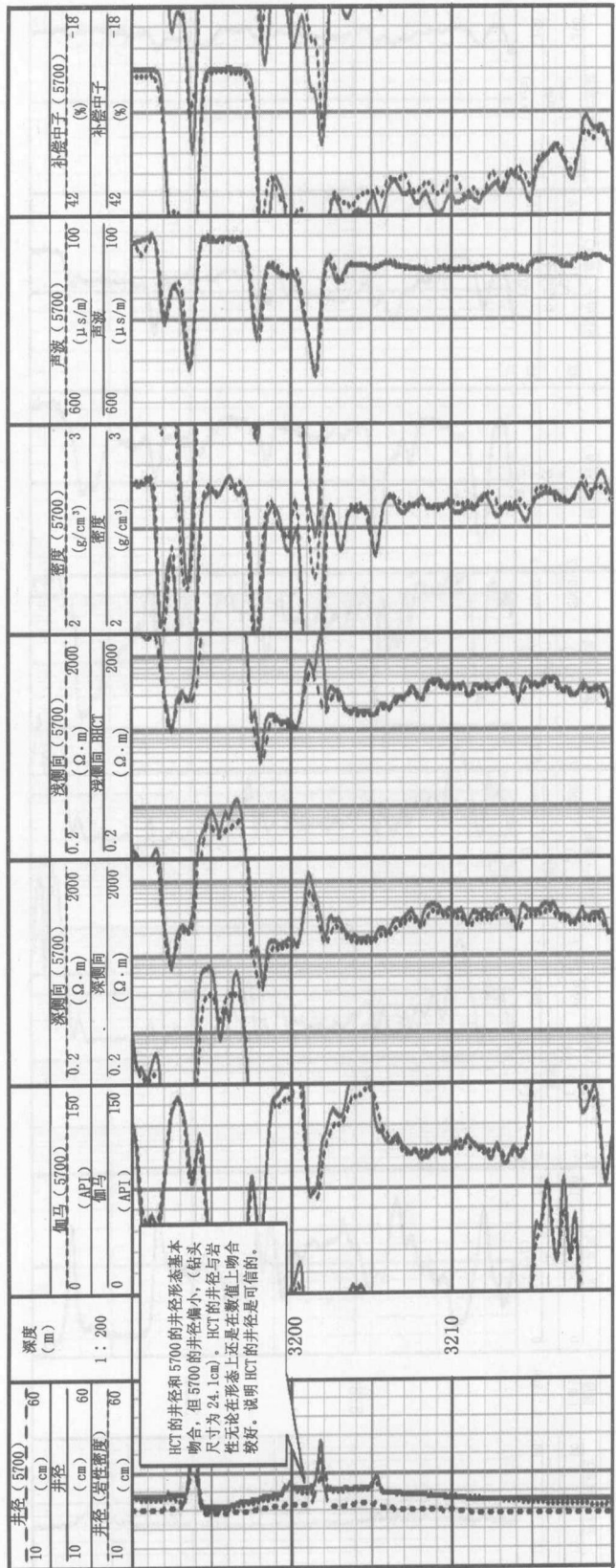


图 2 陕×××井与5700对比

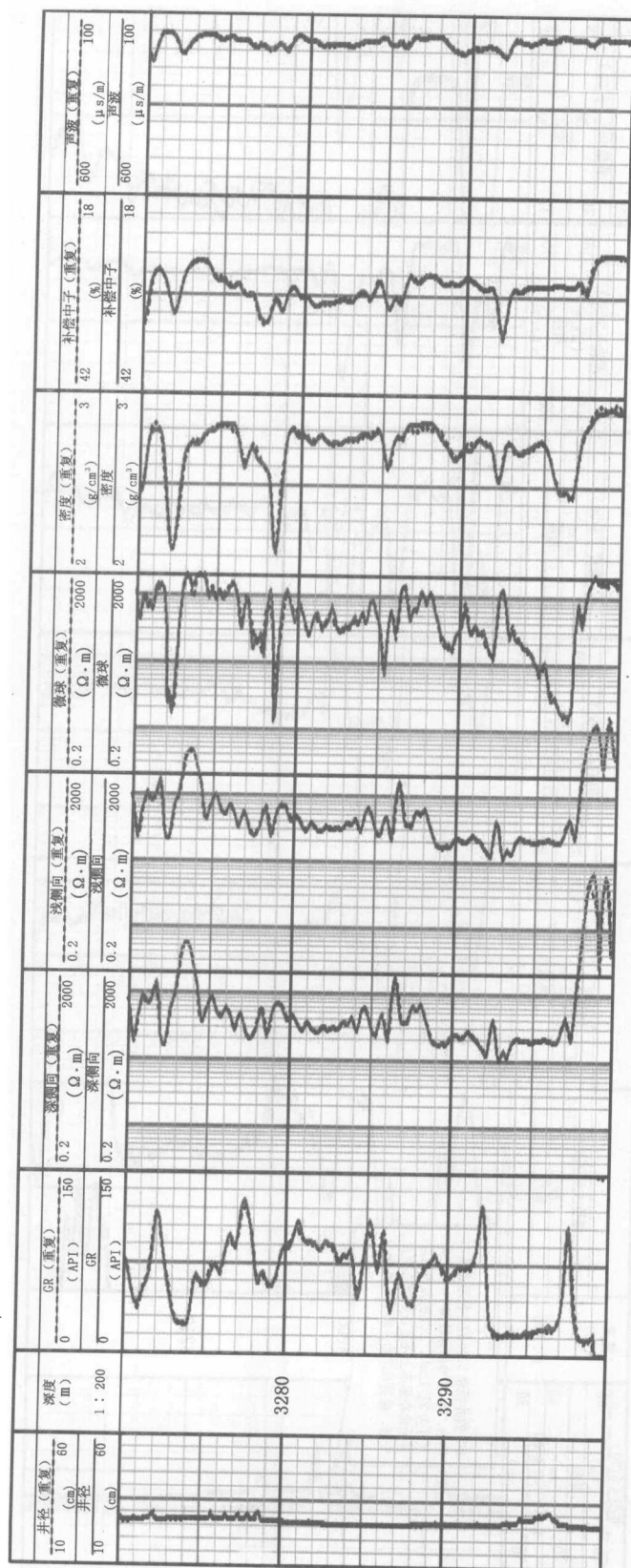


图3 泉XXXX井重复测量曲线

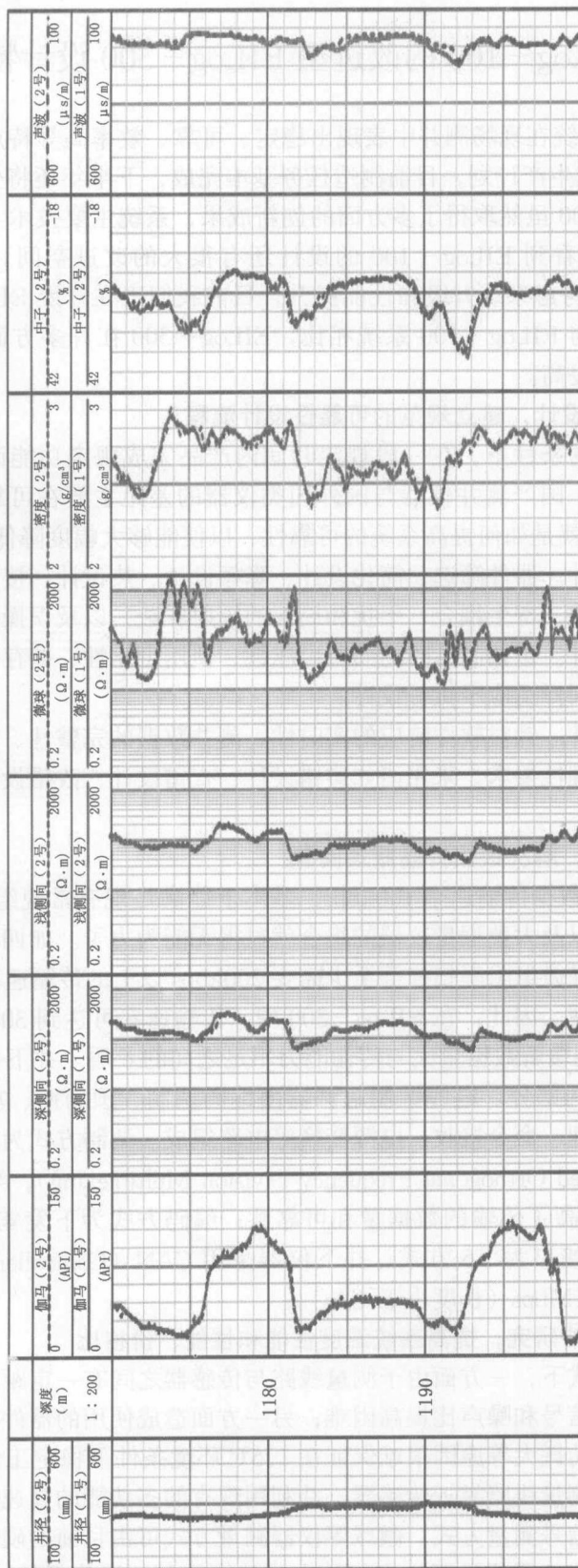


图 4 台 2 井一致性对比曲线

三、EILog-100 的改进型 EILog-300 设计特点

由于 EILog-100 系统在现场测井中表现出稳定、可靠、效率高等特点, CPL 公司已在 2004 年 10 月下达 3 套试生产计划, 目前制造任务基本完成, 下半年还将生产 5 套。作为成套测井装备的 EILog-100 虽然取得了多方面的创新成果, 系统主要技术与工艺指标达到了设计要求, 但我们应当看到 EILog-100 的设计还有很大的改进空间。因此我们在推出 EILog-100 的同时就在考虑系统升级和性能提升, 目前我们正在开展 EILog-300 的研制, 预计今年年底前推出。与 EILog-100 系统相比, EILog-300 在许多方面进行了改进和完善, 性能上将有明显的提高。

1. 系统全面可靠性设计, 建立规范的可靠性设计流程

可靠性是指在规定的条件下, 在一段规定时间内产品完成规定功能而不产生失效的概率。根据统计资料表明: 国产测井仪器与国外同类仪器的差距主要在可靠性方面。因此在 EILog-300 系统中重点就是如何提高系统的可靠性, 以便能够大幅度降低仪器系统故障率。

(1) 电路可靠性设计。器件筛选、简化设计、降额设计、热设计、接地设计、电磁兼容性设计(静电、瞬态过载、寄生耦合、干扰和局部的辐射屏蔽)以及误操作、故障保护等。

(2) 机械可靠性设计。包括制造时的固有可靠性、使用可靠性、储存可靠性、环境适应性。降额设计、热设计同样适应于机械设计。

(3) 软件可靠性设计。针对软件响应的实时性、测井数据的完整性、软件连续工作稳定性、测井质量控制的合理性要求, 采用诸如避错设计, 查错设计, 改错设计和容错设计等方法保证软件可靠性。

2. 高速遥测仪研制, 解决数据传输瓶颈问题

EILog-100 系统, 数据传输速率 100kbps, 基本上能满足现有常规组合测井仪的需要, 但对数据量更高的仪器以及大数据量仪器的组合就显得无能为力了。如四接收器数字化补偿声波、阵列声波、快扫描微电阻率扫描等至少需要 200kbps 以上的传输速率, 成像等大数据量仪器组合化就难以实现。因此, 在 EILog-300 中, 传输速率可达到 300~500kbps (误码率优于 10^{-7}), 这样就能缓解数据量大与传输能力不足之间的矛盾。井下主要包括电缆调制解调器和井下仪器总线两部分。电缆调制解调器由编码调制、预均衡、功率放大、电缆耦合、总线控制、数据处理、命令接收、电源变换等电路组成。调制方式为正交编码频率分配多路技术 COFDM (Coded Orthogonal Frequency Division Multiplexing), 半双工方式, 增加 TCM 编码纠错功能, 提高了传输的数据量和可靠性; 编码方式为下发 4PSK, 上传 QAM, 帧频为 12.5Hz/s, 电缆接口为 T5 方式。井下仪器采用 CAN (Controller Area Net) 总线, 内部数据传输速率大于 1Mbps (长度小于 40m)。

3. 信号测量方式方法研究, 提高系统温度性能和性能、价格比

在现有信号测量模式下, 一方面由于测量线路与传感器之间有一定距离, 长线传输及空间电磁干扰难以消除, 信号和噪声比提高困难; 另一方面造成使用的器件数量和型号多, 即使是厚膜集成, 也由于功耗大等原因很难保证在 175℃ 环境条件下稳定工作。因此必须采用新的方法。一是尽量将测量线路靠近传感器, 并利用现有的多功能的高速低功耗芯片对信号进行数字化; 二是改变信号测量方式。微球等仪器测量方式可由目前的硬件聚焦改为软件聚焦后再合成; 岩性密度等仪器信号可从多级放大、基线恢复、峰值保持、PHA 转换变为直

接对输出波形高速采样，根据采样结果得到能谱。通过上述两种方法能够得到如下效果：一是测量线路得到简化，集成度得到提高；二是在测量线路低功耗的条件下，测量线路可以与传感器一起置入保温瓶，使用一般工业级器件就可在 175℃ 甚至 200℃ 以上环境条件下稳定工作。三是成本大幅度下降。

4. 增强测井仪器组合化能力，进一步提高测井作业效率

EILog-100 集成化常规组合测井系统总长 25m，即使去除微电极等辅助测量仪器，三孔隙度、三电阻率及自然伽马仪器长度仍然接近 18m，显然难以满足实际作业施工的要求；成像等复杂仪器由于本身阵列化的传感器结构以及由此带来复杂而庞大的测量线路，如阵列感应、微电阻率扫描均接近或超过 10m，实现组合难度大。因此，在 EILog-300 系统中，将在线路的小型化和共用度方面下工夫。

四、结 束 语

EILog-100 快速与成像测井系统在立项和研制的全过程中得到了中国石油天然气集团公司科技发展部、中国石油天然气股份有限公司勘探与生产公司以及各测井公司始终一贯的大力支持和帮助，在此表示诚挚的谢意。特别要感谢项目组的全体成员，正是他们无私的奉献和忘我的工作热情以及不怕困难、勇于攻关的精神，才使系统的研制能够取得初步成功。