

地球物理测井技术与应用丛书
GEOPHYSICAL WELL LOGGING TECHNOLOGY & APPLICATION

主 编
王敬农 汤天知 张辛耘

LEAD测井综合应用平台

李长文 余春昊 等著



石油工业出版社

地球物理测井技术与应用丛书

主编 王敬农 汤天知 张辛耘

LEAD 测井综合应用平台

李长文 余春昊 等著

石油工业出版社

内 容 提 要

本书主要介绍了 LEAD 测井资料处理解释软件系统的基本功能,与目前主流测井仪器配套的资料处理解释模块,以及这些解释模块组成、工作原理、操作流程和质量控制等,可供从事测井操作的现场工程师及大专院校相关专业的师生参考。

图书在版编目 (CIP) 数据

LEAD 测井综合应用平台/李长文,余春昊等著.
北京:石油工业出版社,2011.4
(地球物理测井技术与应用丛书)
ISBN 978-7-5021-8040-9

I. L…

II. ①李…②余…

III. 油气测井-应用软件

IV. TE151-39

中国版本图书馆 CIP 数据核字 (2010) 第 183360 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) 64523593
发行部:(010) 64523620

经 销:全国新华书店
印 刷:石油工业出版社印刷厂

2011 年 4 月第 1 版 2011 年 4 月第 1 次印刷
787×1092 毫米 开本:1/16 印张:27
字数:688 千字 印数:1—3300 册

定价:95.00 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

序

测井是地球物理测井的简称。测井技术是应用物理学（电磁学、声学、核物理学等）的基本原理解决地质及工程问题的一门综合性应用技术，其作用贯穿石油勘探开发全过程，已发展成为石油工程技术服务的主干技术之一。纵观测井技术 80 余年的发展，一个显著的特点就是，物理学、电子信息、自动化、计算机和新材料等领域的最新成果很快在测井技术中得到应用。

中国石油集团测井有限公司成立以来，大力发展成套测井装备，精心研究测井新方法新技术，全面提升测井技术水平，各项工作取得丰硕成果，为油气勘探开发作出了重要贡献。为了使广大测井工程师能在较短时间内掌握自主研发的装备和软件所包含的技术和方法，中国石油集团测井有限公司组织编写了这套《地球物理测井技术与应用丛书》。《丛书》的作者是工作在生产、科研和教学一线的测井专家和教授，《丛书》是他们科研和教学工作的积淀和凝练。组织出版这套《丛书》，有利于测井学科的传承和发展，是一件意义深远的再创新工作。

从知识结构和谋篇布局上看，《丛书》是一个有机的整体，但各分册又自成体系。《测井电子信息技术》是测井仪器装备所用的各类器件、模块的基础，《测井场论》是测井探测器设计、解释评价的依据，《电测井算法》集中反映了张庚骥教授电法测井理论和方法的精髓。《测井场论》和《测井电子信息技术》以新颖的角度切入，更加突出测井与物理学、电子信息技术等学科领域的紧密结合，这在测井技术理论教材的编写上是一次大胆的尝试和创新。《EILog 快速与成像测井系统》、《油气层测井识别与评价》和《LEAD 测井综合应用平台》剖析了中国石油集团测井有限公司在用的主流测井装备和处理解释软件，分别对应测井技术体系的数据采集、解释评价和测井软件三个技术板块。

这套《丛书》构思缜密、布局精巧、门类齐全，是一套理论与实际相结合的、高水平的专业教材，十分难得。我愿向大家推荐这套《丛书》，它不仅可供测井专业技术人员培训之用，也可作为大专院校相关专业在校本科生、研究生的参考书和教学用书。

陆大卫

2009 年 8 月 27 日

前 言

LEAD 测井综合应用平台是在中国石油天然气集团公司 (CNPC) 科技管理部等有关部门的大力支持和精心组织下, 由中国石油集团测井有限公司联合国内多家单位共同开发的一套测井资料处理解释集成化软件系统, 在国家版权局进行了著作权登记 (2004SR04741、2007SR11221)。LEAD 测井综合应用平台自 2004 年推出以来, 通过不断地改进完善和版本升级, 目前已经全面应用于中国石油集团测井有限公司所属各事业部, 并在长庆油田、华北油田、南方石油、青海油田、冀东油田、长城钻探、大庆钻探等单位以及部分高校推广使用, 取得了较好的应用效果。作为新一代集成化测井处理解释软件系统, LEAD 具备常规测井、成像测井、生产测井、工程测井等多种井筒资料的处理解释与综合应用能力, 不仅与 EILog 测井成套装备相配套, 也能够处理 ECLIPS - 5700、Log - IQ 等引进装备成像仪器测井资料, 具有功能实用、操作方便、输出快捷、定制灵活等特点, 能够满足裸眼井与套管井测井的快速解释、精细解释和综合评价等不同层次工作的需要, 较好适应了油气勘探开发新形势对测井解释工作的需求, 是解释人员快速识别与准确评价油气层的好帮手。

本书作为 LEAD 2.0 系列软件 (包括 LEAD 2.0、LEAD 2.1 和 LEAD 定制版等) 的配套参考书, 以资料处理解释工作流程为主线, 对 LEAD 软件的各项功能模块进行了全面系统的介绍。全书分为八章, 第一章概述了国内外测井软件发展现状、LEAD 2.0 主要特点及下一步发展思路; 第二章数据管理包括数据管理方案、网络用户管理、数据格式转换、数据编辑操作等; 第三章测井绘图包括综合绘图、图头编辑、成果表等; 第四章资料预处理包括曲线拼接、深度校正、斜井校正、环境校正和交会图; 第五章常规测井处理解释包括通用测井解释方法、解释模型编辑、地层水电阻率计算、地层组分分析、水淹层分析; 第六章成像资料处理包括电声成像及倾角测井、阵列感应测井、多极子阵列声波测井、核磁共振测井; 第七章工程测井与生产测井包括固井质量评价、射孔设计、管柱结构、注入剖面、产出剖面; 第八章介绍了多种用户二次开发解决方案。各章内容均围绕实际应用展开, 力求全面展现 LEAD 2.0 软件功能特点, 为测井解释工作提供参考和指导。

本书由李长文、余春昊组织编写和最后统稿，各章节由 LEAD 软件开发组全体成员及有关专家共同参与编写和修改。各章节编写安排如下：第一章绪论由李长文编写，第二章数据管理由余春昊、李国军、杜钦波编写，第三章综合绘图由周军、张炜编写，第四章数据预处理由周军、李国利、成志刚编写，第五章常规测井处理解释由章海宁、高楚桥编写，第六章成像测井由朱涵斌、周军、李国军、李国利、何宗斌、陶果编写，第七章工程测井与生产测井由李国利、王晓林、魏海云、戴家才编写，第八章二次开发由周军、李国军编写，全书编辑校对由魏海云完成。在 LEAD 软件的开发和本书的编写过程中，得到了王敬农教授级高级工程师、张超谟教授、李洪奇教授、邱汉强高级工程师等许多专家的指导和帮助，在此表示衷心的感谢！

随着油气评价目标的日益复杂和测井技术装备的不断发展，实际生产会不断提出新的需求，LEAD 软件也会在生产的推动下持续改进完善和版本升级，因此书中难免有许多疏漏和不妥之处，恳请读者批评指正。

编 者

2009 年 12 月于西安

目 录

第一章 绪 论	(1)
第一节 国内外现状及发展趋势	(1)
第二节 LEAD 软件系统特点	(2)
第三节 处理解释软件发展展望	(12)
第二章 数据管理	(17)
第一节 数据管理方案	(17)
一、数据管理架构	(17)
二、数据模型	(18)
三、数据存储	(20)
第二节 网络用户管理	(22)
一、网络拓扑结构	(22)
二、安全控制	(24)
三、网络数据工具	(25)
四、复制工具	(25)
五、访问日志	(25)
第三节 数据格式转换	(27)
一、数据转换	(28)
二、生产测井格式转换	(30)
第四节 测井数据编辑	(33)
一、曲线列表	(33)
二、井操作	(34)
三、曲线操作	(36)
四、曲线计算	(40)
五、常规数据编辑	(41)
六、阵列数据编辑	(42)
七、离散数据编辑	(42)
八、点测数据编辑	(44)
第三章 测井绘图	(45)
第一节 综合绘图	(45)
一、绘图构成	(45)
二、基本操作	(47)

三、文档属性	(51)
四、绘图对象	(54)
第二节 图头编辑	(80)
一、对象类型	(80)
二、基本操作	(81)
三、制作实例	(85)
第三节 成果表制作	(86)
第四节 V80 绘图文件查看器	(96)
第四章 资料预处理	(99)
第一节 曲线拼接	(99)
一、基本操作	(100)
二、执行拼接	(102)
第二节 深度校正	(102)
一、基本操作	(102)
二、刚性校正	(102)
三、弹性校正	(105)
第三节 斜井深度校正	(110)
一、基本操作	(111)
二、表格调整	(116)
第四节 环境影响校正	(117)
一、EILog 测井环境校正	(117)
二、其他仪器系列环境校正	(123)
三、环境校正实例	(129)
第五节 交会图分析	(131)
一、方法原理	(131)
二、基本操作	(132)
第五章 常规测井处理解释	(146)
第一节 通用测井解释方法	(146)
一、通用解释方法模块	(146)
二、操作流程	(165)
第二节 解释模型编辑	(184)
一、基本操作	(184)
二、模型表达式语法	(189)
三、解释模型调用方法	(191)
第三节 地层水电阻率计算	(193)
第四节 地层组分分析	(196)

一、方法原理	(196)
二、模块介绍	(200)
三、基本操作	(204)
第五节 水淹层分析	(217)
一、模块介绍	(217)
二、基本操作	(223)
第六章 成像测井处理解释	(225)
第一节 电声成像及倾角测井	(225)
一、处理流程	(225)
二、处理模块组成	(225)
三、操作流程	(231)
四、基本操作	(232)
五、数据集前缀及数据集说明	(248)
第二节 核磁共振测井	(251)
一、核磁共振测井方法简介	(251)
二、C 型核磁测井资料处理	(252)
三、P 型核磁测井资料处理	(257)
第三节 阵列感应测井	(269)
一、MIT 型阵列感应处理	(270)
二、HDIL 型阵列感应处理	(280)
三、HRAI 型阵列感应处理	(286)
第四节 多极子阵列声波测井	(290)
一、功能模块	(291)
二、基本操作	(291)
三、参数说明	(311)
第七章 工程与生产测井处理解释	(315)
第一节 固井质量评价	(315)
一、方法原理	(315)
二、波形的定量计算	(316)
三、定量评价处理流程	(317)
四、基本操作	(318)
第二节 管柱结构绘制	(323)
第三节 吸水剖面解释	(338)
一、同位素法吸水剖面	(338)
二、吸水剖面处理流程	(342)
三、基本操作	(343)

第四节 产出剖面解释	(353)
一、产出剖面测井解释方法	(353)
二、产出剖面资料处理流程	(359)
三、基本操作	(361)
第五节 射孔设计	(379)
一、方法原理	(380)
二、基本操作	(381)
第八章 二次开发	(391)
一、开发环境配置	(391)
二、处理模块开发与挂接	(391)
三、应用程序开发	(400)
四、数据开发接口	(401)
五、绘图对象开发	(409)
参考文献	(418)

第一章 绪 论

测井是油气勘探开发的眼睛，测井资料处理解释软件是测井技术体系的重要组成部分，是发挥测井采集装备作用、帮助专业人员进行油气层识别与评价的不可或缺的工作平台，是典型的高附加值产品。近年来，勘探开发对象逐步向低渗透岩性油气藏、低幅度圈闭低电阻油气藏、复杂岩性与复杂储集空间油气藏（碳酸盐岩、泥质白云岩、火山岩等）以及高含水油气藏的转移，勘探开发工作节奏不断加快，这些都对测井解释评价工作提出了更大挑战，迫切需要具有多学科结合和网络协同进行油气藏综合评价能力的测井资料处理解释一体化软件系统。以 EILog 为代表的国产测井成套装备的快速发展与推广应用也迫切需要配套的测井资料处理解释软件，软、硬件的协调可持续发展有助于显著增强我国测井技术的国际竞争力，LEAD 测井综合应用平台正是在这一背景下发展起来的。

第一节 国内外现状及发展趋势

国外测井处理解释软件以斯伦贝谢公司的 Geoframe、贝克休斯（原阿特拉斯）公司的 eXpress、哈里伯顿公司的 DPP/Petrosite PRO 软件为代表。这些软件除了具有很好的测井处理解释基本功能外，最大的特点是对各自公司生产的测井仪器所采集的资料做到充分的信息提取和处理解释，一般作为引进仪器的配套处理软件使用。目前，斯伦贝谢公司的 GeoFrame 已发展到 4.5 版，除了在工作站上（UNIX 操作系统）运行外，也可在微机上（Linux 操作系统）运行，适应了个人用户和移动计算的需要，也降低了用户投资成本。哈里伯顿公司在工作站版软件 DPP 基础上，也推出了微机版软件 Petrosite PRO，受到了用户欢迎。以色列 Paradigm 公司的测井资料综合分析评价软件 Geolog（工作站版本和微机版本）因其灵活的交互功能和很强的综合绘图能力，也得到了在一定范围的应用。

近年来，各大测井公司非常注重将数据管理与信息技术的结合，其基本思路是：以数据管理为基础，依托网络通信技术，将各种数据资源与多种处理解释及分析评价软件结合起来，汇总到一个电脑桌面上，并通过网络输送到各个工作部门，使资源达到充分共享，使专家的分析评价建议及主管部门的决策迅速反馈到现场，指导生产作业。这包括大型专业数据库的建立与管理、解释评价软件的集成、高速网络的建立等主要技术。其中，斯伦贝谢 GeoQuest 软件公司提出了包括数据共享、经验共享、知识共享三个共享层次的“以模型为基础、高度共享的办公室”概念，其产品系列包括处理解释软件 GeoFrame、数据集成管理库 ProSource、油藏数据库 Finder、资料归档数据库 LogDB 等。哈里伯顿 Landmark 软件公司提出了“数据与应用一体化、应用和工作流程一体化、工作流程和操作过程一体化”的概念，其产品系列包括：处理解释软件 DPP（工作站版）/Petrosite PRO（微机版）、集成数据平台 Epos、数据库系统 Corporate Data Store 等。

国内测井软件开发工作也取得了可喜的成绩，单井、多井测井解释评价软件在国内推广

应用，取得了较好的勘探效益和经济效益。中国石油集团测井有限公司开发的 LEAD 软件实现了多种测井应用功能在同一平台下的系统集成，能够与国产测井成套装备 EILog 配套使用，目前已全面投产应用，累计装机超过 300 台（套），处理资料超过 2 万井次。中国石油勘探开发研究院研制开发的 CiSun 软件经过十多年的发展，不仅提供了完备的平台基本操作功能，还具有很强的测井资料特殊处理解释能力。北京石大油软技术有限公司在 Windows 操作系统上开发的 Forward 软件，是一套商品化功能比较齐全的测井处理评价软件，也得到了广泛应用。

第二节 LEAD 软件系统特点

LEAD (Log Evaluation & Application Desktop) 测井综合应用平台 2.0 版是基于 Windows 操作系统的新一代测井资料处理解释软件系统，图 1-1 所示是软件小版本升级后的集成应用界面。具有网络化的数据管理、开放式的底层平台、集成化的应用模块、可视化的处理流程，能够处理常规测井、成像测井、生产/工程测井和特殊测井等多种仪器类型测井资料，可满足储层快速直观解释、精细解释及综合评价的需要。

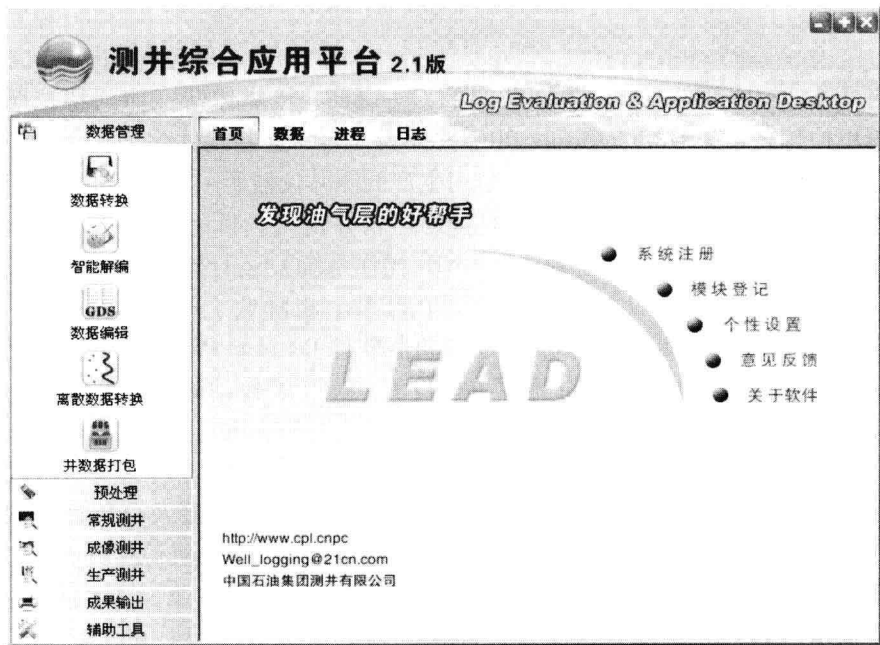


图 1-1 LEAD 2.0 软件集成应用界面

LEAD 2.0 版软件总体架构按层次逻辑分为数据层、功能层和应用层，提供数据统一接口、系统通信、信息缓存、绘图显示和应用框架。LEAD 2.0 以数据为中心，按照数据流向和处理解释流程，可将模块划分为网络数据服务、数据管理、预处理工具、常规测井资料处理、成像测井资料处理、生产测井资料处理、交互式成果输出、辅助工具和二次开发接口等，如图 1-2 所示。

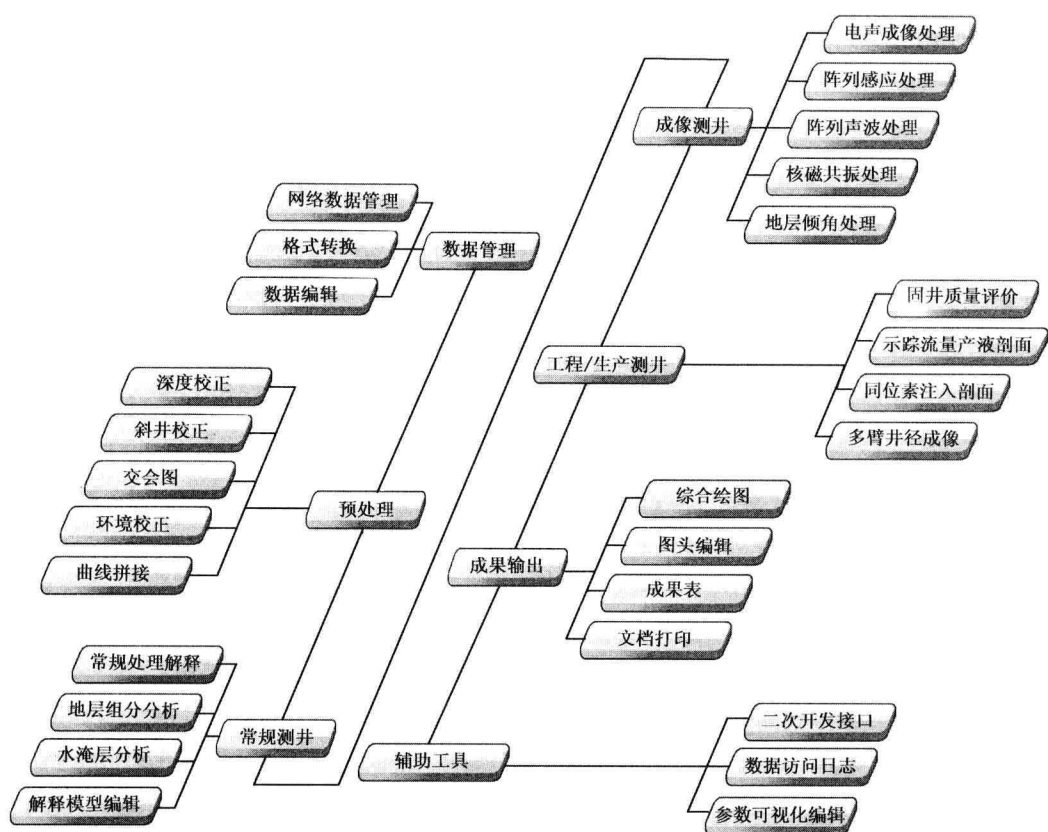


图 1-2 LEAD 2.0 软件功能组成

LEAD 2.0 采用了统一的数据存储交换格式，以井为单位组织测井数据和相关文档（如绘图模板、参数卡、成果输出等），方便用户对测井数据的管理和存储，配合功能较强的格式转换程序，能方便加载和导出常用的数据格式，实现与其他测井应用软件的数据交换。以组件形式实现不同数据类型的计算机可视化，具有灵活的排列方式、丰富的绘制类型、国际通行的显示方式、完全的多井绘制支持以及与流行办公软件相同的操作控制方法，能最大限度地降低用户的学习难度。二次开发部分提供了有关数据、绘图和应用模块等多方面的扩展功能，用户通过一些简单的操作，就能得到自己的处理解释程序。

LEAD 2.0 提供了网络数据管理功能，以数据服务器为核心，基于 P2P 技术构建处理解释工作网络，如图 1-3 所示。采用两级用户权限进行访问控制，通过服务器实现集中式数据存储和多用户间透明数据访问，可以满足分散处理和集中管理的要求，如图 1-4 所示。在提高数据访问灵活性的基础上，最大限度地保障了用户数据的安全。

LEAD 2.0 绘图底层提供了几十种测井图件，能满足各种测井资料解释分析和成果提交的需求。针对现场长时间积累形成和认可的部分图形绘制标准和习惯，可利用图件自定义功能快速调整图形符号和绘制效果，如井筒结构、取心、填充和解释结论等，提高了绘图的本地化定制能力。通过改进底层绘制的映射方式和优化绘制算法，图形逻辑单位的精确度达到 0.1mm 分辨率，在不同精度的显示设备上能提供同样高质量的显示效果和操作效率，真正做到所见即所得，能够适应输出到不同分辨率的打印设备上，满足各种图件精度的要求，为

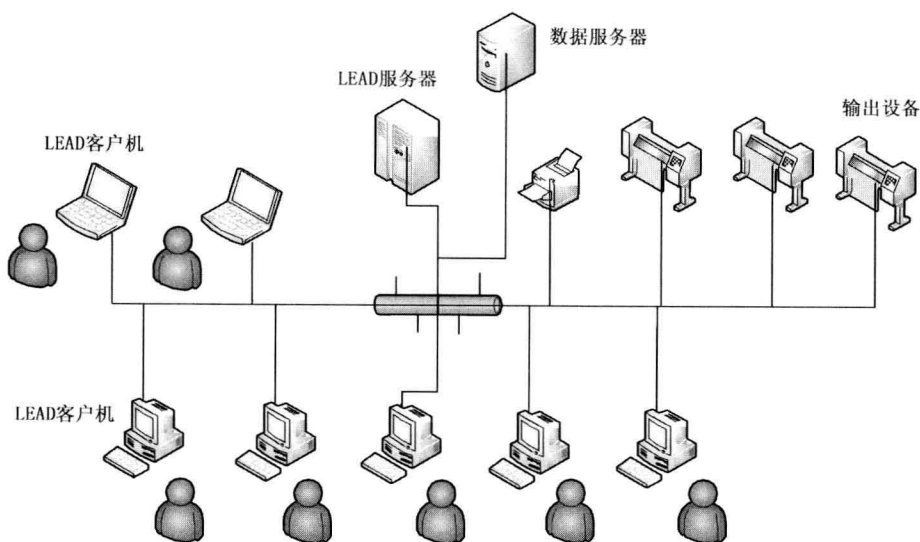


图 1-3 解释中心局域网 LEAD 部署示意图

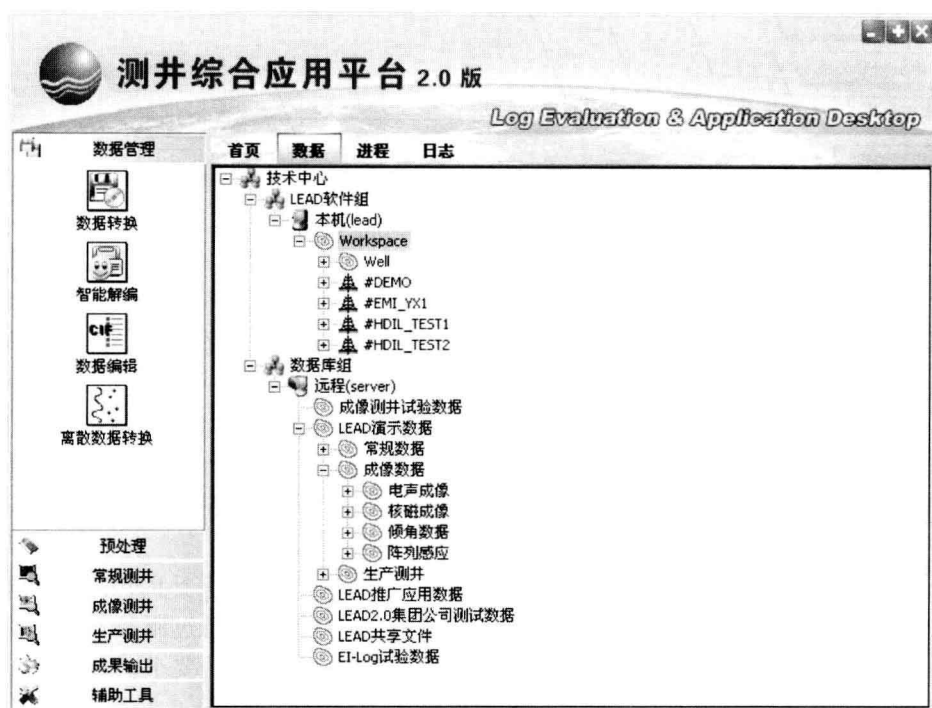


图 1-4 LEAD 2.0 登录服务器后节点分组显示效果

资料分析提供更加精细的成果图件。一些特殊解释项目需要进行图件串打，为避免打印设备采用集中管理时容易出现的不同打印队列之间“插队”、“打架”的现象，造成不必要的损失，LEAD 2.0 编写了图形串打软件，能够将图头、绘图文档、成果表、图像、OLE 对象和图尾进行编排，一次性成图打印，如图 1-5 所示。

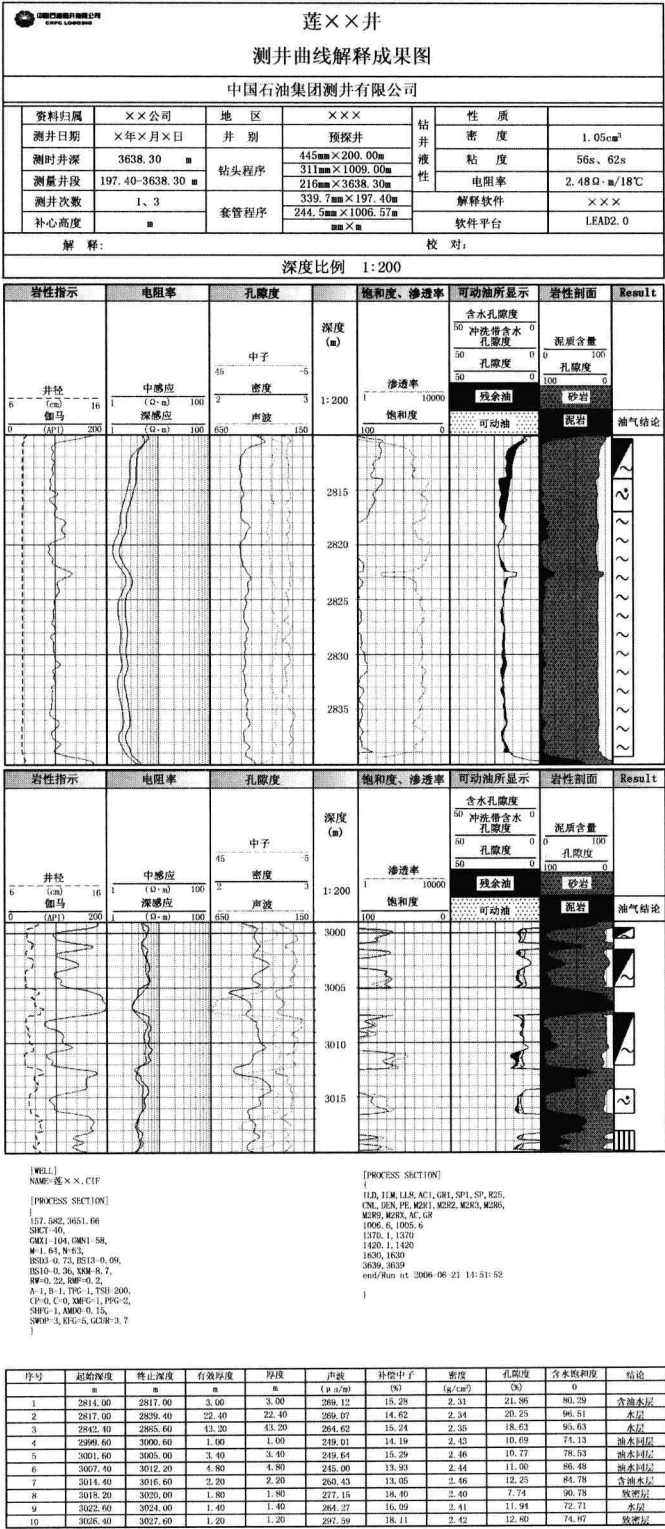


图 1-5 LEAD 2.0 图件串打功能 (包含图头、综合绘图、参数卡和成果表)

LEAD 2.0 能按照解释结论自动提取层位数值，形成解释成果表。为了提高成果表数值的合理性，需要对特定的解释层段进行特征取值，在成果表中增加了定点取值功能，将成果表和综合绘图联系起来，实现所有层段和多类曲线的特征值连续选取，如图 1-6 所示。为用户定制了成果表的 Excel 导出功能，能自动生成符合用户需求的 Excel 文档，如图 1-7 所示，并能自动从解释井中提取解释信息。成果表还可将 Excel 导出模板化，满足多种解释类型的导出需求，减少操作环节。

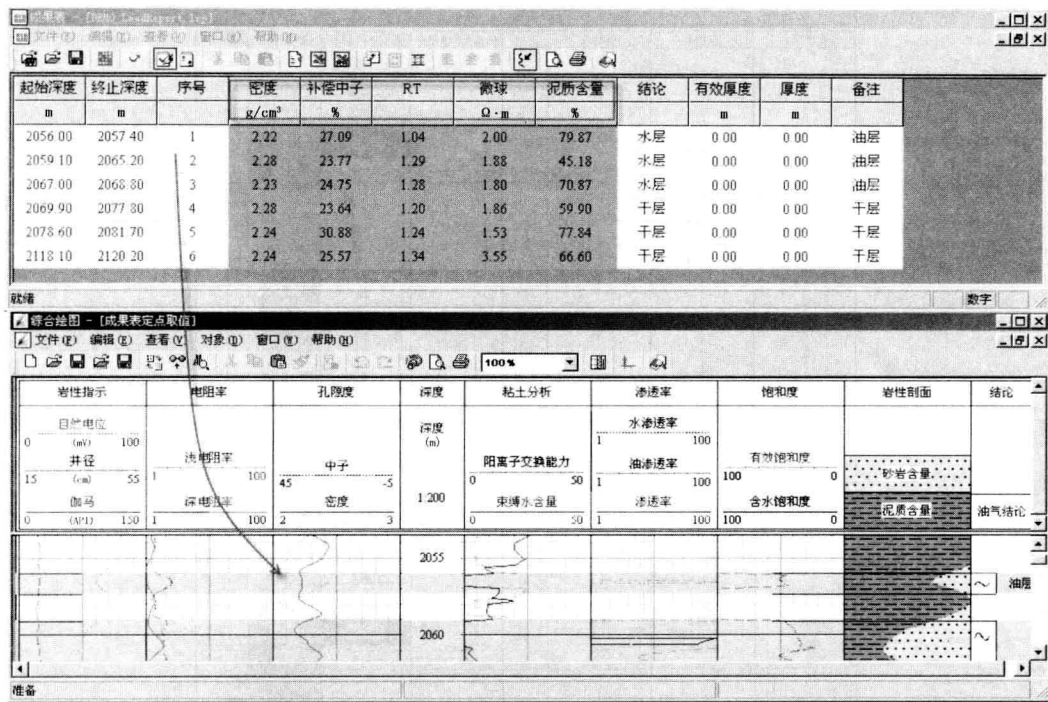


图 1-6 层位定点取值功能

针对国内油气勘探开发特点，LEAD 2.0 提供了完善的常规测井资料处理解释方法，不仅包括 POR、CLASS、SAND、CRA 等传统解释程序，还增加了复杂岩性地层组分分析和水淹层测井解释分析等较实用的功能模块，用户还可以根据需要添加地区解释公式。图 1-8 是一口非常规测井资料综合解释应用效果图。

LEAD 2.0 的基于最优化原理的地层组分处理软件改变了以往测井解释程序惯用的解释模型方式，以地层中各组成部分的相对含量建立测井响应方程，更适用于复杂储层的测井解释工作，如图 1-9 所示。该方法计算速度快，模型误差小，使用简单，能充分利用现有的测井资料信息。

LEAD 2.0 的水淹层分析程序以求准“三饱和度”为基础，求得油水相对渗透率，进而求得能直接用来反映水淹程度的含水率与驱油效率，如图 1-10 所示。其结果能够为水淹层识别、确定剩余油饱和度及其分布等工作起到重要帮助。

LEAD 2.0 的连斜处理程序基本上做到了“傻瓜化”，仅在“加载井”和一次性输入处理参数时需要解释人员参与操作，程序自动完成靶心参数、井底参数、位移、方位和狗腿度等参数的计算，形成连斜成果数据，并自动产生与井数据刻度“自适应”的三图一表（俯视图、



图 1-7 成果表 Excel 导出效果

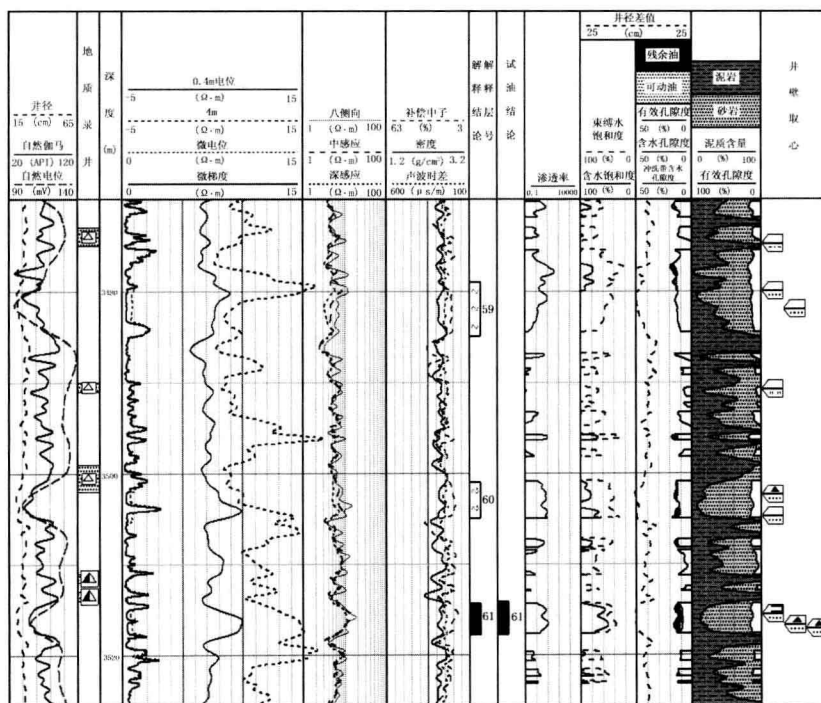


图 1-8 楚××井完井资料处理解释成果图