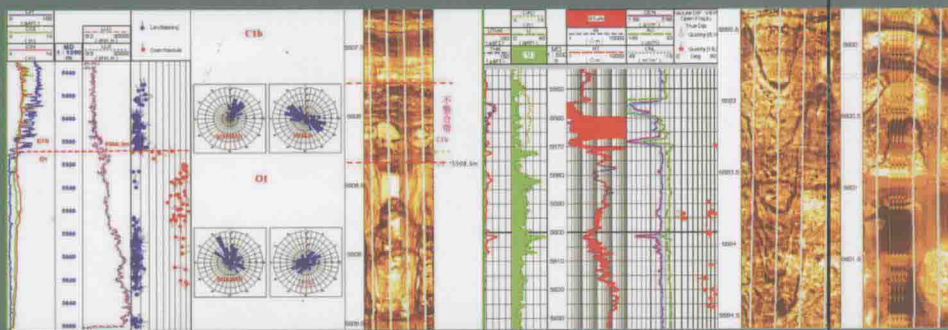


油气藏地质及开发工程国家重点实验室资助

碳酸盐岩 油气测井地质

周文 邓虎成 谢润成 张宗林 编著
宋荣彩 杨斌 丘东洲 张银德



 科学出版社

油气藏地质及开发工程国家重点实验室资助

碳酸盐岩油气测井地质

周文 邓虎成 谢润成 张宗林
宋荣彩 杨斌 丘东洲 张银德

编著



科学出版社

北京

内 容 简 介

碳酸盐岩油气藏十分复杂,勘探、开发难度大,评价该类油气藏必须采用多种理论、技术、方法、手段的交叉融合。本书主要着眼于从测井这一技术于段解决碳酸盐岩油气勘探开发中的重要地质问题入手,将近些年在碳酸盐岩油气领域测井地质评价中所做的工作进行了系统化整理和归纳,形成了一套利用测井技术对碳酸盐岩地层、沉积、构造、烃源岩、储层及工程地质等各个方面的评价体系,为基于测井资料的单井地质评价、油气藏描述奠定基础。

本书针对的是资源勘查工程专业及石油工程本科,矿产普查与勘探学科及油气田开发工程学科的研究生编著的,可以作为上述对象在测井地质方面的补充教材,也可以作为测井地质解释方面的参考书籍。本书同样可以作为从事油气地质及勘探开发工程师的参考书。

图书在版编目(CIP)数据

碳酸盐岩油气测井地质 / 周文等编著. —北京: 科学出版社, 2015.3

(油气藏地质及开发工程丛书)

ISBN 978-7-03-043830-0

I. ①碳… II. ①周… III. ①碳酸盐岩油气藏-油气测井-石油天然气地质-研究 IV. ①TE344 ②P618.130.8

中国版本图书馆 CIP 数据核字 (2015) 第 053755 号

责任编辑: 杨 岭 冯 铂 / 责任校对: 韩雨舟
责任印制: 余少力 / 封面设计: 墨创文化

科 学 出 版 社 出 版

北京东黄城根北街16号

邮政编码: 100717

<http://www.sciencep.com>

成 都 创 新 包 装 印 刷 厂 印 刷

科学出版社发行 各地新华书店经销

*

2015年3月第 一 版 开本: 787×1092 1/16

2015年3月第一次印刷 印张: 13 3/4

字数: 300千字

定价: 138.00元

序

测井地质学是一门围绕测井信息处理、解释为主要工作，力图解决油气藏各种地质问题的交叉学科。该学科以地质学和岩石物理学的基本理论为指导，采用信号处理技术、数学方法等对测井信号所反映的地质信息进行综合决策和分析，其关键在于测井信息对地质含义的反映。现在测井地质学涵盖范围已非常广泛，包括层序地层、构造地质、沉积地质、烃源岩、储层、盖层评价研究以及成藏要素组合和配置关系等，另外还包括储层参数刻画及分布研究、工程地质研究等。这些方面的研究工作都已广泛应用于油气勘探开发的各个领域。

测井地质学的研究建立在地质学和岩石物理学理论基础之上，以地质信息和测井信息的提取为依据，通过地质信息和测井信息间的正演和反演过程，建立测井解释地质模型，以期解决地质问题。测井地质一般强调钻井岩心和野外露头的观察，通过地质刻度测井，进而综合运用地质、物理、数学、计算机等理论和方法技术完成测井地质评价工作。由于测井数据集具有确定性(非随机性)、全部可量化性(非描述性)及维数的有限性，因此测井数据集与地质描述结合之间就不是一一对应的，存在着不确定的解。目前测井技术已得到了长足的发展，从常规的测井资料应用到许多特殊测井资料的日益丰富(如成像测井、核磁共振、井间测井等)；从解决油气勘探基础问题向油气藏开发问题发展(如薄互层油气研究、储层改造中的应用、储层伤害评价中的应用等)；从单一地质问题到复杂的、整体的油藏综合地质评价；从简单的地质问题到复杂地质问题(如缝洞性储层评价、黏土矿物分布、井间储层非均质性评价等)，这些测井技术的进步对测井地质学的进步和发展也起到了积极作用。

前人在运用测井资料解决地质问题方面已经做了大量的研究工作，也已有大量文献公开发表，该领域的工作已经有了较大的进展。目前，前人所完成的工作及取得的进展在碎屑岩领域已日趋完善，这部分的工作早在 20 世纪七八十年代就由国内外的 Pirson、王中文、熊琦华、陈立官等先后做了初步总结；后来国内的欧阳健、司马立强等又在该工作的基础上开展了大量的研究，并逐渐将测井地质这门学科系统、完善起来。对于碳酸盐岩，其沉积成岩环境及所形成岩石结构类型复杂、储集空间多样、储层非均质程度高等特点加大了碳酸盐岩油气地质研究的复杂性，因此加强碳酸盐岩的测井地质评价，促进该领域工作的完善和系统化对碳酸盐岩领域油气勘探开发具有重要的现实意义。

《碳酸盐岩油气测井地质》一书对近些年碳酸盐岩领域的测井地质评价工作进行了系统总结，涵盖了地层学、沉积学、构造地质、烃源岩评价、储层评价、地应力及岩石力学性质等；对测井地质这一学科的发展进行了进一步的完善和补充。书中选择了我国典型的碳酸盐岩油气勘探开发实例，分析了其测井地质各种特征，并以此为基础介绍了碳酸盐岩测井地质研究方法，建立了各种各样的识别、判别及预测模式、图版和模型，有些已经可以直接指导和运用于国内油气领域的勘探及开发实践，同时也对碳酸盐岩领域

的测井研究工作提供了思路和借鉴，为国内碳酸盐岩的研究提供了有效技术手段。

周文教授长期从事油气地质、油气藏工程及油气测井地质教学与研究工 作，曾先后出版过多部油气地质，油气藏工程论著，是我国著名油气地质专家。该书的出版将对我国碳酸盐领域的油气地质勘探与开发发挥积极作用，也将推动我国碳酸盐岩油气测井地质的进一步发展，以及为测井地质与油气勘探相结合作出重要贡献。

值此专著面世之际，特作序表示祝贺。



中国科学院院士

2014年12月20日

前 言

从全球油气勘探开发历史来看,全球海相碳酸盐岩油气探明储量已接近总探明量的50%,而产能已经超过60%。而中国碳酸盐岩油气资源丰富,具有广阔的勘探开发前景,据新一轮油气资源评价结果认为,我国碳酸盐岩油气资源量大于 300×10^8 吨油当量,但探明率仅为11%,勘探开发程度比较低,具有非常大的潜力。我国自20世纪50年代在四川石油勘探会战以来,就在该盆地陆续发现了探明储量400亿立方米的威远震旦系气田、探明储量650亿立方米的五百梯石炭系气田、探明储量3560亿立方米的普光三叠系气田;在塔里木盆地也发现了探明储量620亿立方米的和田河奥陶系气田、探明储量超过16亿吨的塔河奥陶系油田;在鄂尔多斯盆地也发现了探明储量2909亿立方米的靖边气田。我国这些油气勘探成果都表明了我国海相碳酸盐岩良好的油气勘探潜力,将是我国油气接替的重要领域。我国碳酸盐岩领域的油气勘探开发迄今为止仍是“世界级”难题,其原因在于其沉积地层老、埋藏深度深、沉积环境复杂等特征,因此凡涉及岩溶地质、石油地质、构造地质、储层地质、油藏描述、分析测试等一系列相关学科的研究,则更为复杂和困难。

鉴于碳酸盐岩油气勘探潜力以及勘探开发的复杂性和难度,采用多种理论、技术、方法、手段的交叉融合是碳酸盐岩油气勘探开发取得突破的关键。本书主要着眼于从测井这一技术手段解决碳酸盐岩油气勘探开发中的重要地质问题,将近些年在碳酸盐岩油气领域测井地质评价中所做的工作进行了系统化整理和归纳,形成了一套利用测井技术对碳酸盐岩地层、沉积、构造、油气成藏要素及条件、流体特征及石油工程地质等各个方面的评价体系,为基于测井的单井评价、油气藏描述奠定基础。

本书由6章构成:第一章为碳酸盐岩测井地层学研究,主要介绍碳酸盐岩层序地层划分及界面在测井上的响应特征和模式等,并以此来构建层序地层格架;第二章为碳酸盐岩测井沉积学研究,介绍典型碳酸盐岩沉积相对测井相的刻画及转化方法,分析了典型的相模式,进而开展单井相划分、联井相的对比及平面相的展布研究;第三章为碳酸盐岩复杂构造的测井分析,主要介绍常规测井、特殊测井对井筒附近复杂构造的分析方法,尤其是利用倾角测井对应典型构造的模式和方法进行了全面而系统的分析;第四章为烃源岩测井评价,介绍基于测井进行烃源岩识别、丰度、有机质类型的定性及定量评价和计算方法;第五章为碳酸盐岩储层测井评价,分析各类典型的碳酸盐岩储层的测井响应特征,归纳了其识别标准及模式,总结了各类碳酸盐岩储层评价思路;第六章为碳酸盐岩层应力与岩石力学测井评价,对油气藏工程地质两个主要领域的测井评价进行叙述,包括井剖面地应力场的测井解释、地应力方向判断、岩石力学参数计算等。

本书的完稿由课题组共同完成,先后多次经过讨论,对章节安排、撰写内容、图表规范等进行了明确和统一。其中第一章由丘东洲、宋荣彩、张宗林共同执笔完成;第二章由宋荣彩、周文完成;第三章由杨斌、周文执笔完成;第四章由邓虎成执笔完成;第

五章由周文、宋荣彩、张宗林、谢润成、张银德共同执笔完成；第六章由周文、谢润成共同执笔完成。研究生金文辉、陈文玲、雷涛、王浩、张烨毓、彭先锋、肖睿等参与了编图和文字编辑工作。全书的统稿工作由周文、丘东洲、邓虎成负责完成。

本书在编写过程中还得到了胜利油田测井公司、中国石油大学(华东)等单位的大力支持，在此表示感谢！

由于水平有限，本书难免存在一些不足之处，敬请读者批评指正！

编者

2014年12月

目 录

第一章 碳酸盐岩测井地层学研究	1
第一节 测井地层划分对比	1
一、地层对比规模及测井曲线的选择	1
二、地层对比方法	2
三、地质解释原则	3
四、复杂条件下测井地层对比技术	4
五、地层对比步骤	6
第二节 测井层序地层分析	8
一、一般工作流程	8
二、单井测井层序地层分析方法	9
第三节 碳酸盐岩层序界面特征及测井识别	10
一、层序界面识别标志	10
二、层序关键界面测井特征	11
三、不同各级次层序界面测井特征及识别方法	18
第二章 碳酸盐岩测井沉积学研究	22
第一节 测井沉积学概念及解释模型	22
一、测井相的定义及内容	22
二、测井相标志与地质相标志的关系	22
三、由测井相到沉积相的逻辑模型	23
第二节 碳酸盐岩测井沉积微相研究	24
一、碳酸盐岩测井沉积微相研究方法 with 流程	24
二、测井碳酸盐岩沉积微相建模	25
第三节 碳酸盐岩测井沉积微相划分	27
一、川东北石炭系泻湖测井相	27
二、川东北石炭系—中三叠统潮坪白云岩测井相	28
三、川东石炭系—塔中奥陶系生物礁测井相	30
第三章 碳酸盐岩复杂构造的测井分析	36
第一节 测井构造分析的一般方法	36
一、地层倾角与地层厚度的关系	36
二、确定变异存在与否及构造变异的层段	36

三、确定构造性质	36
四、确定构造要素	38
第二节 简单构造(单斜、不整合)的测井识别	38
一、单斜构造解释模式	38
二、不整合构造的测井识别方法	39
第三节 复杂断裂带构造的测井识别	43
一、地层倾角测井识别	43
二、地层倾角测井的断层解释应用	45
第三节 成像测井识别	56
一、成像测井的断裂带解释方法	56
二、成像测井的断裂带解释应用	58
第四节 倒转构造的测井识别方法	63
一、倒转构造解释模式	63
二、倒转构造解释应用	64
第五节 平卧构造的测井识别方法	66
一、平卧构造解释模式	66
二、平卧构造解释应用	66
第四章 烃源岩测井评价	70
第一节 海相烃源岩的测井地质特征分析	70
一、四川盆地烃源岩测井特征	70
二、塔里木盆地烃源岩测井特征	72
第二节 海相烃源岩测井识别方法	75
一、交会图版法	76
二、双孔隙度法	78
三、判别分析法	81
四、 $\Delta\log R$ 法	83
第三节 海相烃源岩有机碳含量的测井评价	89
一、 $\Delta\log R$ 法	89
二、自然伽马能谱定量评价总有机碳含量	92
第五章 碳酸盐岩储层测井评价	95
第一节 古岩溶型储层测井地质特征	95
一、四川盆地二叠系阳新统缝洞储层测井地质特征	95
二、川东石炭系岩溶性白云岩储层测井特征	100
三、塔里木奥陶系缝洞储层测井地质特征	109
第二节 生物礁型储层测井地质特征	121
一、四川盆地上二叠统生物礁储层	121
二、塔中奥陶系生物礁储层	128

第三节 滩型储层测井地质特征	134
一、四川盆地飞仙关组鲕滩相储层测井地质特征	134
二、塔中奥陶系滩相储层测井地质特征	146
第六章 碳酸盐岩层应力与岩石力学测井评价	152
第一节 测井资料确定地应力	152
一、岩石孔弹系数研究	152
二、地层压力的解释方法	153
三、地应力解释模型及应用	158
四、地应力方向确定	171
五、钻井工程及压裂应用	173
第二节 测井岩石力学参数解释	192
一、岩石力学参数测井解释	192
二、岩石强度参数测井解释	196
三、岩石力学参数剖面解释及结果分析	199
参考文献	203

第一章 碳酸盐岩测井地层学研究

第一节 测井地层划分对比

测井曲线最早的应用是进行地层的划分和对比，当今测井在地层对比中仍占有重要的地位。利用测井曲线进行井间地层对比的主要依据是岩性标志层的测井响应特征和同层段曲线的相似性。测井曲线进行井间对比的优越性在于它能提供各标志层的准确深度和全井段连续的测井记录。

井间地层对比中的地质分析和推断可指导正确的地下地质制图。它可以确定：①井中地层的海拔标高，或相对于其他井、露头或地球物理勘探标准层的相对高程；②该井是否打到预定的构造部位；③该井是否钻到生产层位或再进尺多少可抵达油气层；④该井是否穿过断层；⑤提供地层产状、构造形态、不整合面、岩性剖面上岩性层加厚与变薄规律以及岩性横向变化等。

一、地层对比规模及测井曲线的选择

地层对比规模有全盆地型和油田型两类，全盆地内地层对比的目的是要建立全盆地范围内地层层序，研究区域地质构造、沉积体系，以恢复地层时空展布及演化的特征，对比要落实到地层细分层；探井拥有全井段地质录井和 1/500 主要的测井手段。油田含油层系内部的地层对比，要求落实到地层中的每一个单砂层；对比以生产井为主，参考探井分层剖面；生产井在含油层系有大比例尺 1/200 品种较多的常规测井项目，有说明储层径向特征及流体性质的视电阻率曲线及感应测井和提供孔隙度参数的声波测井，另附有井径曲线，碳酸盐岩、膏盐剖面孔隙度测井除声波时差外，主要应拥有密度测井和中子孔隙度测井，电阻率测井系列应有深浅双侧向和冲洗带电阻率测井，如微球形聚焦测井和说明岩性中泥质含量变化的自然伽马(GR)测井。有的井(加密井，评价井)还补充有能计算储层各类参数的新型测井以及地层倾角测井。

由于井拥有的测井曲线较多，对比时应该选择对岩性反应敏感的测井类型，参见表 1-1。对比时除特殊测井地层标志外，碳酸盐岩剖面多用侧向测井配合自然伽马测井。所谓的特殊测井地层标志是指一些具有测井响应的地质标准层及某些地质界面，具有延伸广、等时的特点，例如火山凝灰岩层、白垩(低电阻、低 GR)、不整合面、煤层等。

表 1-1 用于地层对比的主要测井类型

序号	测井曲线	相关性	最佳使用条件	用于对比时的优点与用途
1	自然电位 (SP)	渗透层, 不渗透层	裸眼井, R_{mf} 与 R_m 有明显差异, 中低地层电阻率, 淡水泥浆	不受泥浆冲洗带或深侵变化的影响, 多数与视电阻率曲线 $R_{0.5}$ 、 $R_{2.5}$ 配合, 在砂泥岩剖面显示清晰
2	自然伽马 (GR)	放射性与地层中泥质含量有关, 也与富集含放射性的矿物、有机质有关	中等井眼, 即没有泥浆冲垮的井段	不受钻井液影响, 可用于油基泥浆或盐基泥浆井眼, 空气钻井井孔, 除裸眼外, 也可在套管中测井
3	短源距电阻率或放大的电极电阻率测井 (R_{hs})	对多孔、泥浆侵入带 (其电阻率取决于地层因子 F 、 R_w 、 V_{sh}) 及对致密层 (指非导电基质) 反应明显	裸眼井, 淡水泥浆, 探测侵入带, 要求地层电阻率不宜太高	多用于地层对比, 与 SP 或 GR 配合
4	深侧向	同上	裸眼井, 淡水泥浆, 盐水泥浆, $R_t \gg R_w$	适用于盐水泥浆, 高电阻层
5	感应测井	同上	中低阻地层, $R_h < 100 \Omega \cdot m$, 淡水泥浆, 裸眼	适用于低阻泥浆, 以及低阻层剖面井间对比
6	声波测井	Δt 取决于岩性、孔隙度值	充液、无气井眼	它与孔隙度地层相关性强, 适于低阻剖面, 别岩性和提供 Δt 参数变化
7	中子测井	与地层含 H 量相关, 对泥质响应明显	取决于仪器类型	与其他测井配合检测气层 (GR, ρ_0) 识别岩性, 提供 φ_N 参数, 可在套管井中使用
8	密度测井	与地层密度有关, 取决于岩性、孔隙度及孔隙中的流体	裸眼井, 薄泥饼, 井壁光滑	用于识别岩性标志层, 提供 ρ_0 参数
9	井径测井	井眼大小变化	裸眼井	与别的测井配合进行对比

二、地层对比方法

1. 对比中几个概念的运用

在井间地层对比前, 应具备评价地区地质知识, 掌握地质背景。

(1) 相似概念: 一般井相距越近, 同层的沉积条件越相近, 其岩性及其组合上的共性较多, 反映在测井曲线的形态、幅度、厚度变化特征也相近。因而对比都采用由近及远, 由已知井外推式地进行对比; 通常对比多从典型井开始, 典型井指钻穿地层最深, 地层揭示最全, 有系统取心、完全的测井系列和优秀的曲线质量, 具备明确的时代地层分层; 先自典型井沿沉积走向向外进行井间对比, 在遇到个别层段出现复杂地质问题 (如断缺、层序倒转、相变等) 时, 暂时跳过, 选可对比层段进行对比, 以便宏观控制区域地层变化。

(2) 旋回级次概念: 同一构造单元内的沉积统一受该期构造运动周期、海平面升降周期的控制。反映在层序上表现为同期沉积层序旋回性相同, 这可以作为远距离井间大层段对比的依据。季节性的变化或由沉积引起的次一级旋回 (沉积旋回) 变化可以作为井间小层段对比的标志。无论是构造运动还是沉积周期的变化造成岩性组合的旋回性均可以在测井曲线上得到反映。利用曲线形态周期性变化的特点进行地层对比特别适用于厚度

变化大的地区。

(3)相变规律：瓦尔特(Walther, 1874)提出了相变定律,指出在横向上成因相近,并且紧密毗邻而发育着的相,才能在垂向上依次重复出现。在邻井对比时,可以利用典型井纵向上依次出现相的组合指导井间对比。不同的相有一定的岩性组合,反映有相应的曲线相特征,称为测井相。利用测井曲线进行地层对比时可依典型井纵向依次出现的测井相特征指导井间测井曲线对比、确定同一层位。在复杂相变带就用这种规律指导井间对比。

2. 曲线对比准则

为使地层对比具有时代意义,要先从区域地层对比入手,开展全井的层段划分与对比,要依据典型井岩心与盆地边部露头区资料先分出时间地层单元,再从典型井向外开展区域地层对比。为了防止对比过程中的穿时问题,要在典型井中找出具有测井响应特征的时间标志层作为井间对比的控制层,此外层段的界面往往有个时间间断,上下岩性有差异,或者是同一岩类,但物性有明显差异会引起测井曲线的明显变化。

在利用标准层对比卡出的层段的基础上,按相邻井同期沉积的相似性、旋回韵律性和岩相纵向、横向间变化规律性进行层段内部井间对比和细分层。遵循沉积时新层覆在老层之上成层沉积的基本原则,不允许井间对比线出现交叉或翘翘板不协调现象。若遇到这种现象,必定存在有地质问题或其他问题,要进行专门的分析。

三、地质解释原则

对于复杂井段隐含着一些地质问题或工程问题,除利用测井资料进行地质分析外还应结合钻井、地质录井和区域地质资料,在明确为地质问题时运用如下地质规律进行判断。

1. 对于对比层段缺失的地质推断

井缺失层段可能是由于井钻遇正断层或钻过不整合面所致。这两者是容易区分的,打到正断层的井与邻近正常井比较,上下层位对应性好,仅个别层位或岩性段缺失;而钻过不整合面的井与邻近井对比,显示下剥上超的区域性变化特征,在盆地边缘地层露头区也见有同样现象。

2. 对于厚度有明显变化的地质解释

井打到构造挠曲带或同生断层两侧等,均有明显的地层厚度变化。同生断层的下降盘在沉积时持续下沉表现出厚度明显加厚,特别是紧贴断层一侧。挠曲带台上、台下厚度也有明显变化。台上的地层有缺失并伴之以侵蚀不整合和海侵层位,台下地层发育完全,且地层加厚。依据对比中旋回级次特征可以对比出挠曲带台上、台下的相应层位。

3. 对于岩相变化、岩性尖灭的判断

区域上的岩相变化带与构造背景相关,反映在岩性组合和厚度两方面的变化。依据瓦尔特准则可将相序变化规律解释用于平面岩相带的变化、指导井间地层对比、找出同

一层位。岩性尖灭带则可依测井响应值变化划出尖灭方向，推测尖灭点位置。

四、复杂条件下测井地层对比技术

在覆盖区复杂的地质条件和定向斜井等条件下，利用测井手段进行地质分析是十分重要的，这些复杂条件包括定向井、陡地层和断缺等情况。

目前的钻井技术和采油测试技术不仅可以在岸外油田的一个钻井平台上打好几口定向井，人为造成斜井斜角超过 45° ，超过相应地层厚度的 40%，在油层部位打水平井增加采油面积，而且在陆上油田也打了不少双眼井，斜井直井之间的间距在目的层应达到开发井距的要求。利用定向井进行地层对比前，应将测井曲线分层段并逐点校正成垂直井的测井曲线后才能与邻井对比(图 1-1a)。

当井穿过陡地层时，由于地层视厚度加大，对比前应参照构造产状对地层进行倾角校正后，用校正成真厚度的测井曲线与邻井对比(图 1-1b)。

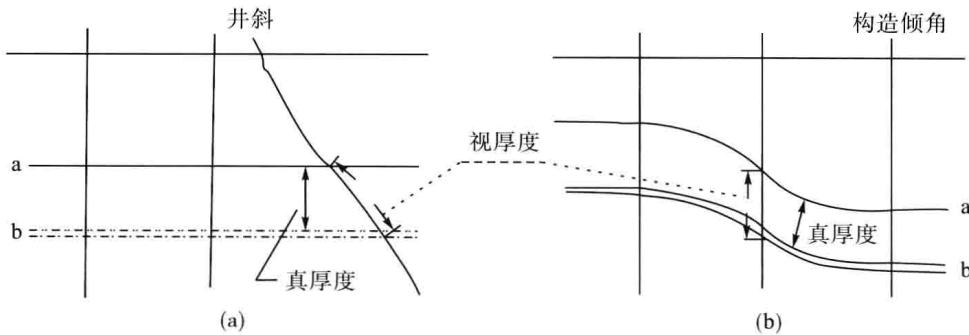
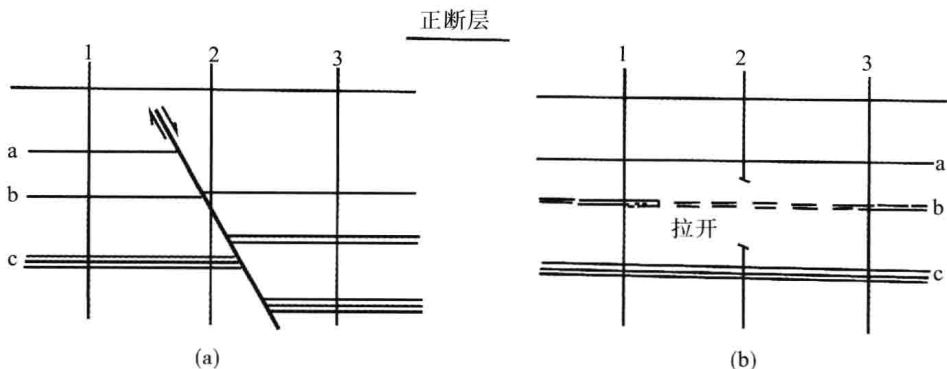


图 1-1 井斜及构造产状对厚度的影响(Dikkers, 1985)

直井钻过正断层时会出现地层剖面中部分层段的缺失，要与相邻两侧的直井对比，确定其断点、断缺层位和断距。判断一口井是否钻过断层，以及所提供断点、断面产状、断距等的准确性取决于参与其对比的井数、测井曲线质量、类型和该地层厚度变化复杂的程度。在绘制地层对比图时，应考虑断缺段，断开剖面空出其原有层位，再绘制对比线(图 1-2a、b)。当斜井穿越逆断层，且井斜角小于断面倾角时，也会造成井内地层的缺失，因而在对比前，必须先斜井测井曲线校正成垂直井曲线，然后拉开钻井未遇的地层层段，进行井间对比(图 1-2c、d、b、d)，正断层和逆断层两个对比图虽形态相近，但反映不同的断层性质，可用于构造分析。



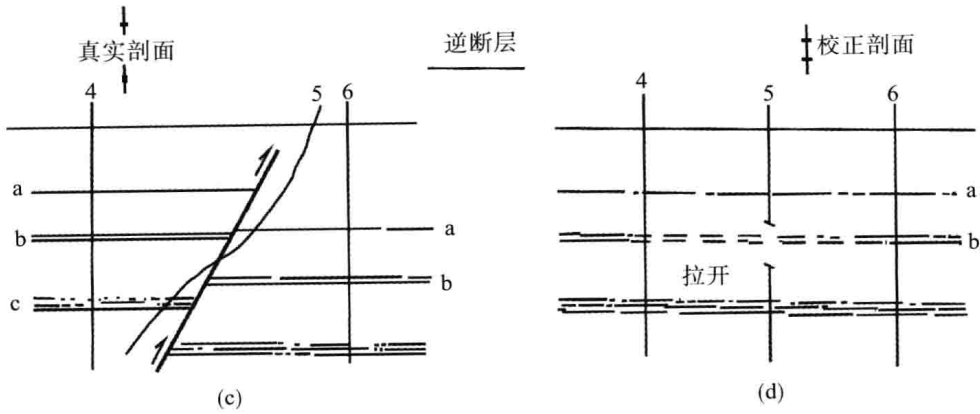


图 1-2 地层缺失的判断(Dikkers, 1985)

当垂直井钻过逆断层时,井内地层会出现重复现象,重复段的长度代表了逆断层的断距。对比时应该分别按上、下盘与相邻井(同一断块上)进行对比。在绘制对比图时,应按上、下盘分别划出井柱,画上对比线(图 1-3a、b)。斜井穿过正断层,若井斜角小于断面倾角时,也会出现井内地层重复现象(图 1-3c),同样,应该在画对比图前,将测井曲线转换成垂直井测井曲线,再进行对比,否则会出现错误的地质解释(图 1-3d)。

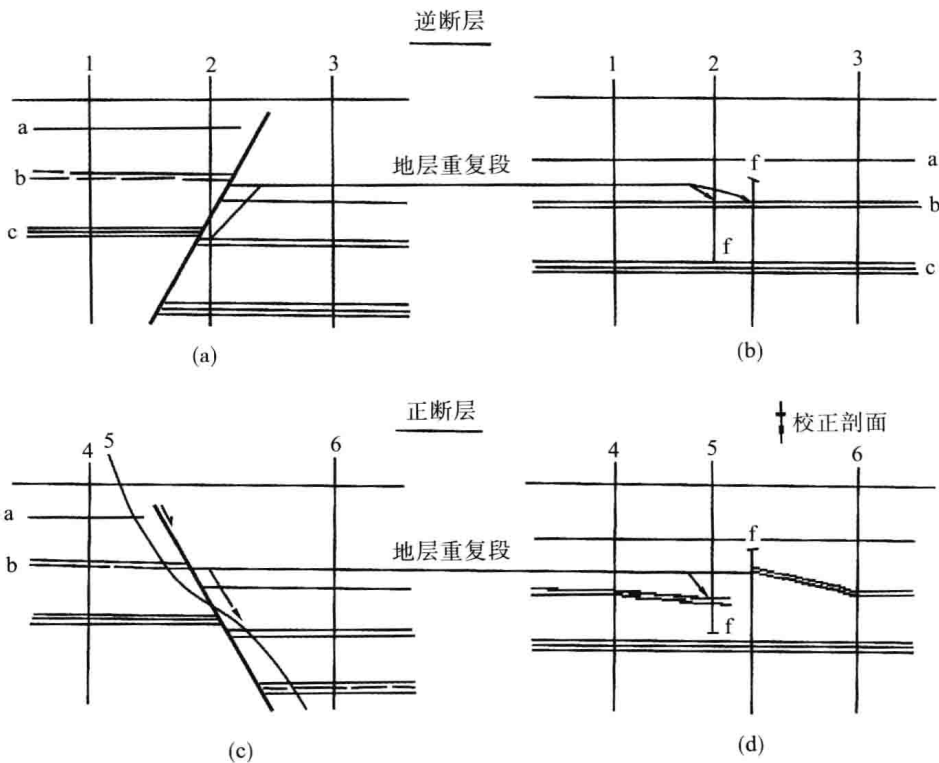


图 1-3 复杂化的地层重复现象(Dikkers, 1985)

当井间地层出现岩性、厚度的明显变化,且相序又相对应时,可在对比图上画出岩相变化带(以折线表示)或岩性尖灭线(图 1-4)。

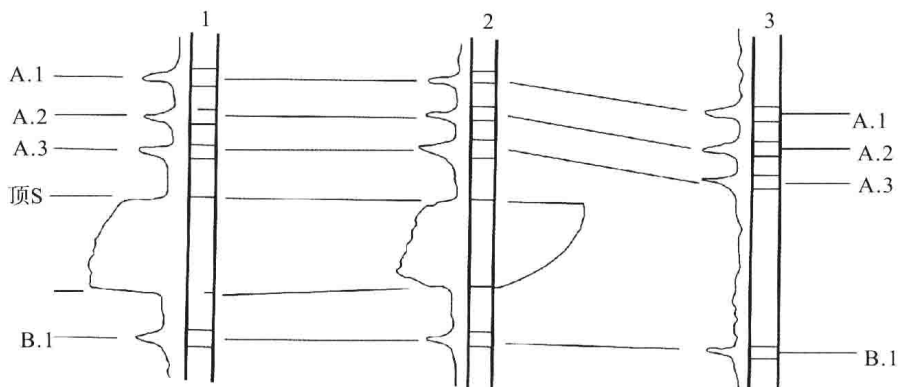


图 1-4 岩相变化(Dikkers, 1985)

当遇到同一层段的地层厚度普遍缺失，特别是下部层缺失顶部，上部层缺少底部层位，这可能是由于不整合造成地层的下剥上超现象，在对比时应将剥蚀段空出，以恢复沉积时的原貌(图 1-5)。

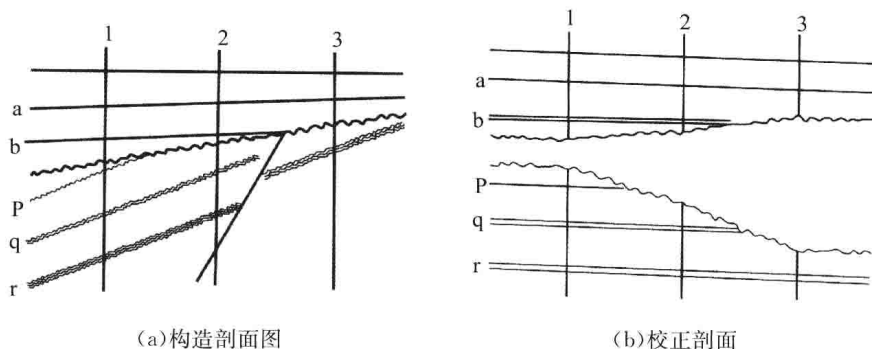


图 1-5 不整合(Dikkers, 1985)

五、地层对比步骤

遵循由已知区推向未知区的地质工作准则，对比步骤如下。

(1)在盆地边部露头区或盆地内部隆起带建立地层层序剖面，了解地层岩性、厚度、古生物组合、岩相以及地层之间的接触关系。

(2)在盆地内选典型井(标准井或深探井)，在与盆地边缘地层剖面对比的基础上，依岩心、录井、测井等资料分层，建立区域地层剖面，找出岩性组合、岩相和测井曲线间的对应关系，有助于开展盆内井间地层对比。

(3)选取过典型井且平行于沉积走向的井进行对比，建立骨架剖面，在进行井间地层对比过程中，拉平标准层，画出对比标志，以此为标准，进行自上而下或自下而上的逐层对比(图 1-6)。

(4)对断缺层位(不整合面或断层)空出断缺厚度后再进行对比(图 1-7)。

(5)在综合对比基础上建立全区单井地层对比分层数据，并选出代表性井段作为全区或油田范围内的综合柱状图(图 1-7)。

数据包括单井分层数据(深度、海拔)，断层数据(断点深度，海拔，断层性质，断

距, 断缺层位或重复层位), 不整合面深度、海拔, 缺失层位, 厚度等。对含油层系应提出储层统一编号, 可以了解储层对应关系、连通性以及横向变化, 为地质制图、地层时空描述提供了最基础的资料。

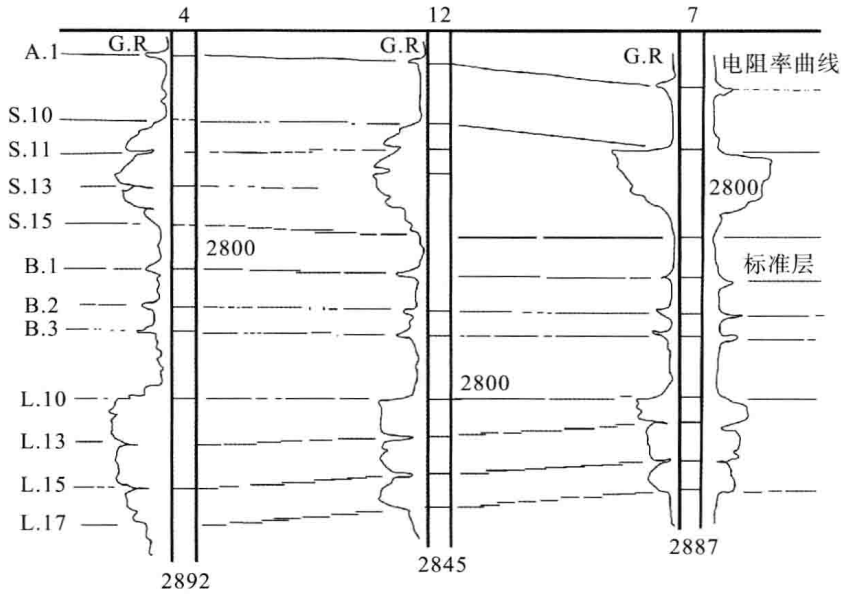


图 1-6 地层对比(Dikkers, 1985)

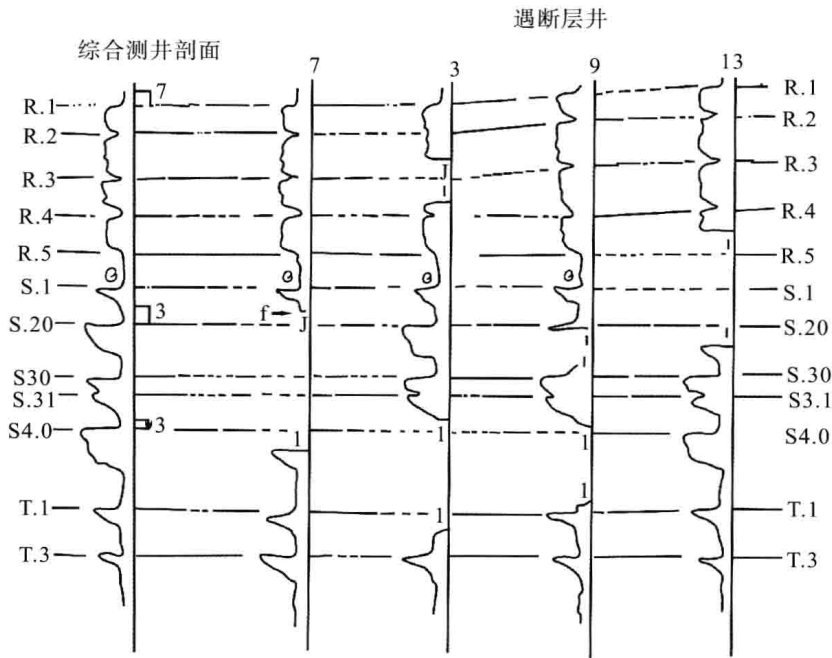


图 1-7 在地层对比的基础上建立油田综合测试剖面(Dikkers, 1985)