



准噶尔盆地 天然气开发技术体系

——以新疆油田公司采气一厂为例

柳海 张辉 石新朴 主编

石油工业出版社

准噶尔盆地天然气开发技术体系 ——以新疆油田公司采气一厂为例

柳 海 张 辉 石新朴 主编

石油工业出版社

内 容 提 要

本书采用理论与生产实际相结合的方法,以新疆油田公司采气一厂为例,归纳总结了准噶尔盆地天然气开发技术体系,内容涵盖滚动勘探、开发地质、采气工艺、地面工程、安全环保和智能运行六大技术领域。既分析了目前准噶尔盆地天然气开采使用的各种技术方法,又介绍了当前的先进技术。

本书可作为从事天然气开发技术人员、管理人员的参考用书。

图书在版编目 (CIP) 数据

准噶尔盆地天然气开发技术体系/柳海,张辉,石新朴主编.
北京:石油工业出版社,2014.4
ISBN 978-7-5183-0028-0

I. 准…

II. ①柳…②张…③石…

III. 准噶尔盆地-采气

IV. TE37

中国版本图书馆 CIP 数据核字 (2014) 第 031258 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) 64523587

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

2014 年 4 月第 1 版 2014 年 4 月第 1 次印刷

787×1092 毫米 16 开本:1/16 印张:12

字数:304 千字

定价:68.00 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

《准噶尔盆地天然气开发技术体系》

编 委 会

主 编：柳 海 张 辉 石新朴

副 主 编：陈晓明 颜泽江 张 锋

编 委：陈如鹤 居来提·司马义 桂来疆 刘志杰 冯学章
张东平 张有兴 代礼兵 单 江 李 臣 宋元林
单鸿飞 廖 伟 胡清雄 王晓磊 曹洪贵 方 磊

编写人员：（按姓氏笔画排序）

丁学志 车煜全 王 明 刘 成 刘晓东 吕小明
孙翠霞 吴丙刚 张赞新 李 虎 李彦岭 李 智
杨 海 杨园园 陈小红 陈良飞 汪学敏 汪政明
邹 菲 孟 亮 哈斯木·艾克热木 洪将领 胡宗芳
郭永超 郭秀媛 陶玉林 崔新强 董江洁 路 斌
蔡 华

前 言

在环境保护日益受到重视的今天，作为一种绿色、高效能源，天然气的开发利用越来越引起世界各国的关注。预计到 2050 年，世界能源需求将增加 60%，而石油消费将呈现逐步下降的趋势，天然气将超过石油，成为世界第一能源。

党的十八大工作报告明确指出：要推动能源生产和消费革命，支持节能低碳产业和新能源、可再生能源发展；要大力推进生态文明建设，着力推进绿色发展、循环发展、低碳发展。面对新的发展要求，中国石油天然气集团公司明确提出，将以综合性国际能源公司为发展目标，着力打造绿色、国际、可持续的中国石油，继续把天然气业务作为战略性和成长性工程来抓。

在这一背景下，新疆油田公司作为大型国有企业，抓住大有可为的战略机遇，适时提出了建设绿色、人文、充满生机与活力的现代化大油气田的发展目标。要实现这一目标，提高天然气开发技术水平是第一要务。只有拥有更先进的技术，才能确保气田的高效平稳开发，实现可持续发展。

本书以新疆油田公司采气一厂（以下简称采气一厂）为例，将天然气开发技术进行了系统总结。采气一厂于 2007 年 12 月 3 日正式成立，是新疆油田公司首家专业化运作的采气厂，其前身是有着 47 年光荣历史的采油三厂。

20 世纪 90 年代初，采气一厂成功开发了准噶尔盆地西北缘低渗贫凝析的克 75 气田。接下来的 15 年间，又成功开发了南缘带边底水贫凝析的呼图壁气田、腹部带底油底水中等凝析的盆 5 气田、石炭系千亿立方米复杂火山岩的克拉美丽气田和南缘山前带边底水复杂断块的玛河气田。经过坚持不懈的努力，采气一厂已成为北疆地区天然气保供的主力军，并在准噶尔盆地天然气事业跨越式发展过程中，写下了浓墨重彩的一笔。2013 年 6 月，呼图壁气田改建储气库并一次投运成功，开启了采气一厂“采储并举”的新时代。

在实现准噶尔盆地天然气事业大发展的过程中，每迈上一个台阶，采气一厂都要面对一项新的挑战：从贫凝析到中等凝析，从中高渗到低渗致密，从砂

砾岩到火山岩，从气田中后期开发到储气库注采运行。当然，挑战即机遇。采气一厂始终牢抓专业技术队伍建设，将天然气开发技术水平不断推向新高度。针对气田低渗、反凝析严重、岩性复杂等开发难点，采气一厂积极组织技术人员进行专题科研攻关，以自主创新为主、引进和集成创新为辅，攻克了储层改造、井筒举升、地面集输处理等一批技术瓶颈，不仅成功总结了凝析气藏开采规律，还形成了复杂火山岩气藏开发新模式，逐渐完善了准噶尔盆地天然气开发技术体系。

本书共总结了六大类技术体系、120 余项技术，涵盖了天然气开采至集输的各个环节。所涉及内容较为全面，既包括地质、工程等相关技术，也包括气田安全环保及智能运行。

采气一厂科研人员凭借 20 年来天然气开发技术的丰厚积淀，历时 3 年，不断学习总结、实践完善，数易其稿，撰写了本书。期间，采气一厂各部门、单位积极参与撰写，确保了本书的顺利完稿。本书由采气一厂生产技术科冯学章、单江同志初审，由厂长柳海同志终审。本书在编写过程中，得到了新疆油田公司相关处室领导和技术人员的大力支持和帮助，在此表示由衷的感谢。

本书涉及内容广泛，虽然在编写中参阅了大量资料，但由于编者水平有限，书中难免会出现错漏及不当之处，敬请广大读者和同行给予批评指正！

编 者

2013 年 10 月

目 录

第一章 天然气滚动勘探技术	(1)
第一节 地震解释	(1)
一、地震构造解释	(1)
二、地震相干分析	(3)
三、地震属性分析	(3)
四、波阻抗反演	(3)
第二节 气层识别	(5)
第二章 气藏开发地质技术	(7)
第一节 精细描述	(7)
一、地质建模	(7)
二、数值模拟	(7)
第二节 动态分析	(8)
一、动用储量评价	(8)
二、产能规律预测	(9)
三、水体能量评价	(10)
第三节 动态监测	(11)
一、产能试井	(11)
二、干扰试井	(13)
三、数值试井	(13)
第四节 气井配产	(14)
一、无阻流量法	(14)
二、生产动态拟合法	(14)
三、产量递减分析法	(15)
四、数值模拟法	(15)
五、特殊因素约束法	(16)
第五节 可采储量标定	(18)
第三章 采气工程技术	(20)
第一节 概述	(20)
第二节 完井工程	(20)
一、完井工艺	(20)
二、射孔工艺	(24)
三、生产管柱选择	(27)
第三节 修井工艺	(32)

一、修井液技术	(32)
二、气井小修	(34)
三、气井大修	(36)
四、带压作业	(40)
五、连续油管作业	(41)
第四节 储层改造	(43)
一、酸化	(43)
二、压裂	(44)
第五节 排液采气	(49)
一、泵抽排液采气	(49)
二、泡沫排液采气	(53)
三、优选管柱排液采气	(54)
四、气举排液采气	(55)
五、超声波旋流雾化排液采气	(62)
六、涡流排液采气	(62)
七、复合排液采气	(63)
第四章 地面工程技术	(65)
第一节 概述	(65)
第二节 天然气集输工艺	(65)
一、管网类型	(65)
二、集输模式	(69)
三、防冻工艺	(74)
四、计量方式	(77)
第三节 天然气处理工艺	(79)
一、脱水工艺	(79)
二、凝液回收工艺	(86)
三、凝析油稳定工艺	(88)
四、换热工艺	(91)
五、富气回收工艺	(93)
第四节 辅助工艺	(96)
一、污水处理工艺	(96)
二、防腐工艺	(99)
三、保温工艺	(106)
第五节 节能技术	(111)
一、概况	(111)
二、设备节能	(112)
三、系统节能	(118)
四、节能评价	(123)

第六节 质量测量	(128)
一、质量技术	(129)
二、测量技术	(138)
第五章 安全环保技术体系	(158)
第一节 概述	(158)
第二节 工艺安全保障	(158)
一、泄漏检测	(158)
二、防火防爆	(159)
三、消防安全	(160)
四、电气安全	(161)
五、防雷	(161)
六、防静电	(162)
七、特种设备检测	(163)
八、安全评价	(164)
第三节 职业危害防护	(165)
一、技术原理	(165)
二、技术特点	(166)
三、适用范围	(166)
四、执行标准	(166)
第四节 环境保护	(166)
一、环境影响评价	(166)
二、环境治理	(167)
三、清洁生产	(168)
第六章 智能运行技术体系	(169)
第一节 数据监测与采集	(169)
一、井口工艺参数采集	(169)
二、井下数据采集	(170)
三、天然气组分在线监测	(171)
四、装置能耗动态测算	(171)
第二节 远程控制	(171)
一、单回路控制	(171)
二、单井远程外排	(173)
三、远程开关井	(173)
四、自动调产	(174)
五、自动轮井计量	(175)
六、自动装车	(176)
七、自动注醇	(176)
八、消防自动化	(176)

九、PLC 控制 (177)

十、设备远程启停 (177)

十一、紧急停车 (178)

十二、自动巡检 (179)

第三节 控制系统 (179)

一、技术原理 (179)

二、技术特点 (180)

三、适用范围 (180)

四、设计规范 (180)

五、应用实例 (180)

第四节 气田自动化控制标准体系 (180)

参考文献 (181)

第一章 天然气滚动勘探技术

新疆油田公司采气一厂评价开发范围广,涉及整个准噶尔盆地,在滴南凸起有火山岩的克拉美丽石炭系气田,在南缘有复杂断块的玛河砂岩气田,在腹部有低渗凝析的盆5砂岩气田,在西北缘有低渗复杂的贫凝析砂砾岩气田。气田历经20年的开发和滚动评价,建立起了准噶尔盆地各种类型气田开发和评价的技术体系,为气田储量资源发现、探明和开发动用提供了基础技术保障。

第一节 地震解释

常用的地震资料当中,包含两种最重要的信息:即构造信息与储层信息(或油气信息)。构造信息可通过常规的构造解释来获得,而储层信息(或油气信息)则只有通过属性提取并加以分析,找出地震属性与储层因素或油气之间的对应关系来获得。地震资料解释主要分为叠前地震资料解释和叠后地震资料解释两部分。目前主要采用叠后地震资料解释技术。

一、地震构造解释

地震构造解释主要包括层位标定、层位立体解释、断裂系统识别与组合、速度求取、构造图及圈闭有效性分析等。

(一) 层位标定

层位标定主要利用人工合成记录标定地震反射层位,该方法主要利用环境校正后的测井信息中的声波信息制作关键井合成记录,建立骨干标定剖面,开展层位追踪解释,经过时深转换获得分层构造地质图件。另外也可对地面地震资料进行时移和相位旋转,使井震资料最大相似而进行层位标定。

应用实例:以玛河气田构造精细解释中的层位标定为例,利用10口井声波测井曲线合成地震记录的标定层位,利用7口井的VSP资料标定(图1-1、图1-2)。

(二) 层位立体解释

在层位标定的基础上,从井出发,沿纵剖面、横剖面、任意剖面、水平切片乃至整个数据体进行全方位立体解释,从空间的角度来认识构造、解释层位。

应用实例:以玛河气田层位解释为例,在层位精细标定的基础上,确定了玛河三维地震解释方案,在此基础上展开追踪解释。从过井剖面开始,以井为基准开始层位的精细解释(图1-3)。

(三) 断裂系统识别与组合

目前常用的断层解释技术有3种,即剖面断层解释、水平切片断层解释和相干切片断层解释。剖面断层判断主要利用反射同相轴错断、波组间隔突然变化、反射零乱或出现空白带,以及同相轴发生分叉、合并、扭曲、强相位转换等现象为断层反射特征为依据(陆基孟等,2006);水平切片断层判断的主要依据是反射同相轴中断或错开、振幅发生突变、同相轴突然转向。

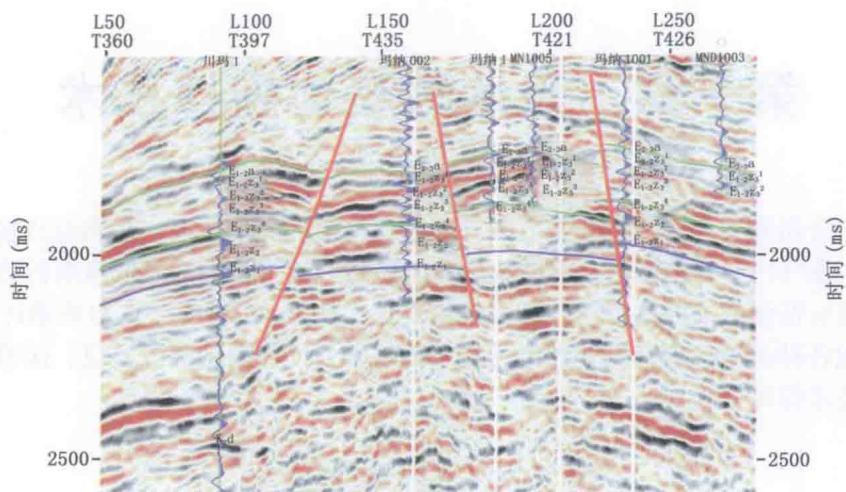


图 1-1 测井合成地震记录标定图

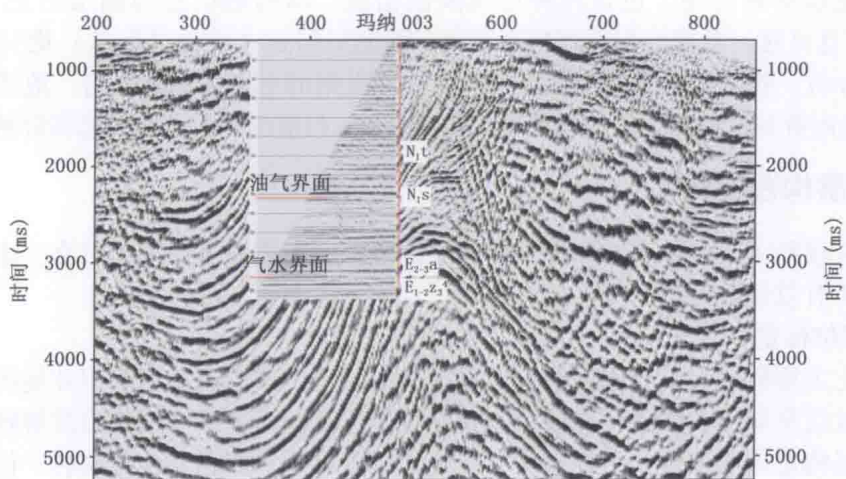


图 1-2 VSP 井中地震标定

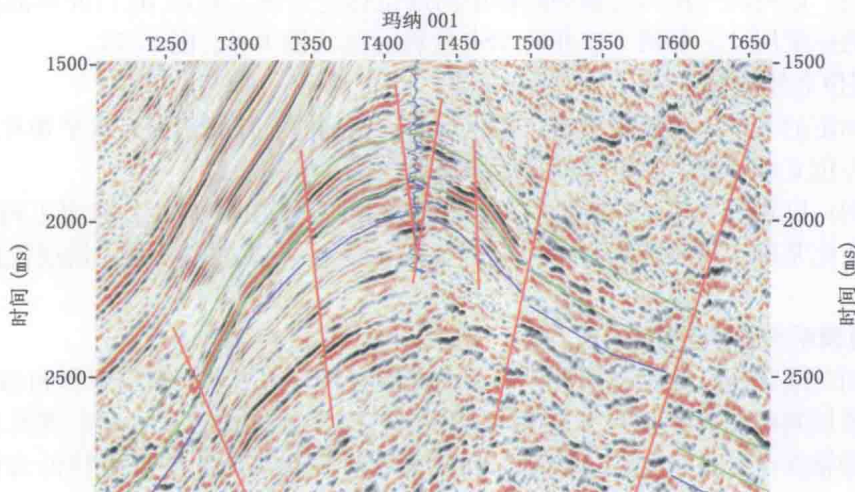


图 1-3 过玛纳 001 井 Line231 地震剖面

应用实例：在玛河气田，为了准确地确定断点的位置及延伸长度，并进行断裂的空间组合，利用常规方法对三维资料不同方向的测线进行解释，利用时间水平切片技术进行解释（图 1-4）。

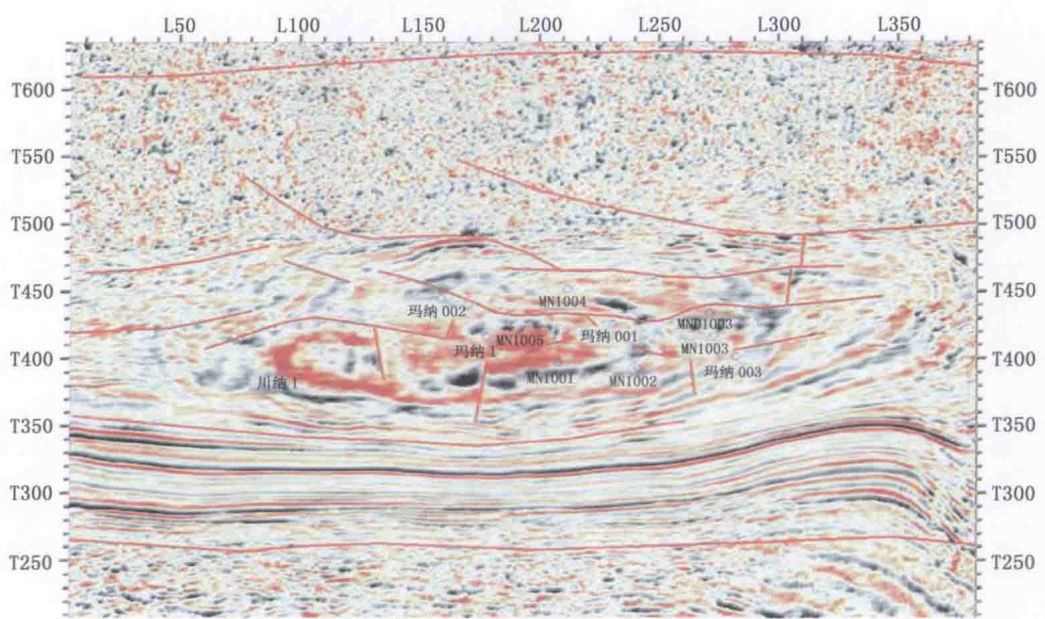


图 1-4 玛河三维地震水平切片（1784ms）

二、地震相干分析

地震相干技术能快速建立起断裂系统、特殊岩性体的空间展布形态，指导岩性体和断层的剖面解释及平面组合（王永刚等，2007）。线状或条带状极低相干相反映为较大型断层发育，条带状的高相干相反映为裂缝不发育沉积体，团块状低相干相通常表现为储集体。

应用实例：以车排子凸起车 541 井区综合研究为实例，通过相干切片分析，落实该区的断裂走向及组合关系（图 1-5）。

三、地震属性分析

利用振幅、频率、相位、能量、波形、衰减、相关和比率等属性信息，建立地震属性与地质特征之间的统计关系，从横向上定性分析储层和边界识别问题。最常用的为振幅和频率属性。振幅属性与频率属性联用可对沉积相和储层进行识别和预测。属性解释过程中，同一地震属性在不同地区、不同地质条件下，其所代表的地质含义不同；不同的地震属性又可以反映不同的地质现象。需有针对性地选择那些能够反映地质现象或油气信息的地震属性加以分析研究。

四、波阻抗反演

波阻抗反演主要利用不同储层的岩性密度和孔隙发育情况的差异，量化反映储层和非储层信息，以此识别含油气储层。目前常用叠前反演和叠后反演两大类。

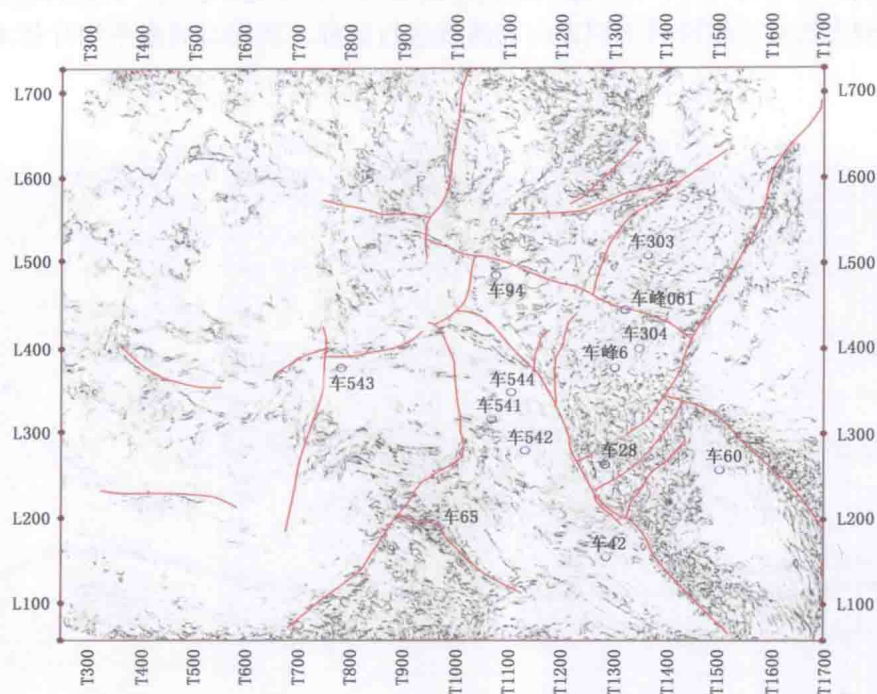


图 1-5 车 541 井区石炭系顶界相干属性切片

应用实例：以滴北泉 1 井区为例，工区内探井和评价井共有 8 口，充分利用这 8 口井的资料，建立阻抗—岩性量版，获得反演波阻抗剖面（图 1-6）。确定三工河组的砂泥阻抗分界特征相对明显，而八道湾组的砂泥阻抗分界特征不明显（图 1-7、图 1-8）。

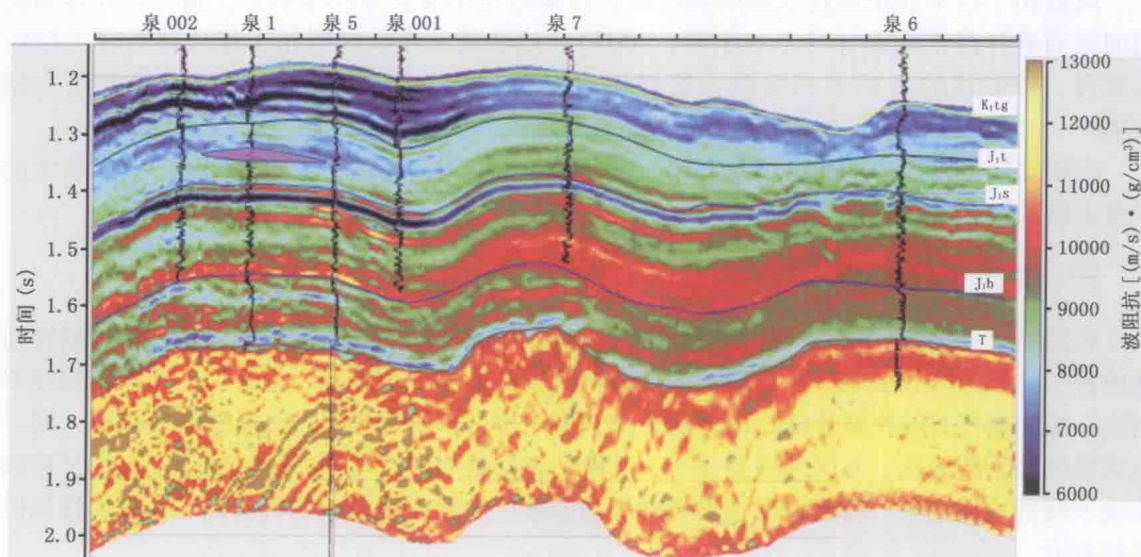


图 1-6 泉 002 井—泉 1 井—泉 5 井—泉 001 井—泉 7 井—泉 6 井连井波阻抗剖面图

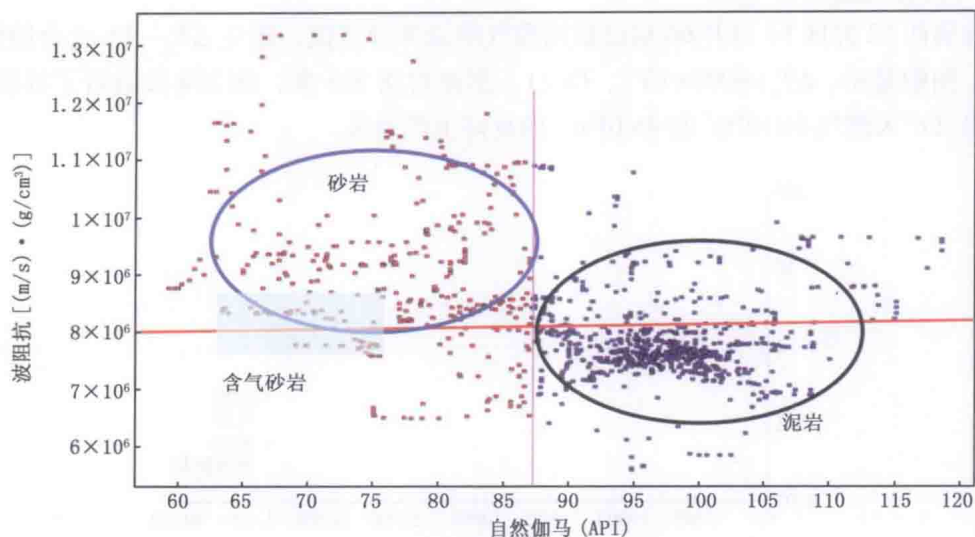


图 1-7 三工河组波阻抗量版

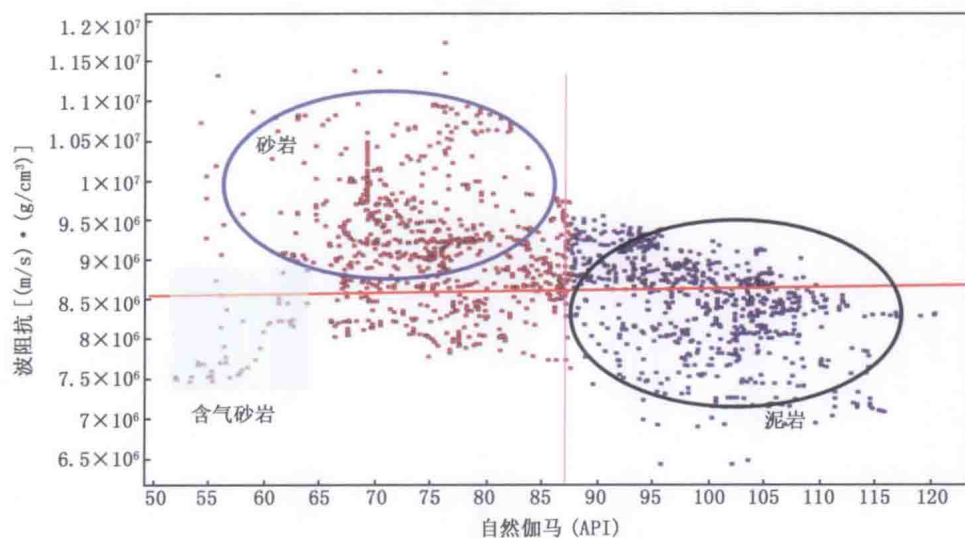


图 1-8 八道湾组波阻抗量版

第二节 气层识别

气层识别是利用相关技术手段对表现出的气层特征进行识别，贯穿钻井、录井一直到后期测井整个过程。在传统的综合录井、地球化学录井、常规测井解释和特殊测井解释技术的基础上，建立了以烃特征进行薄砂层气层识别的技术方法。该方法主要依据油气水介质气测烃特征和孔隙度测井差异，建立了气测全量变化幅度 (ΔT_g) 与烃特征比 Ch [$Ch = m(C_4 + C_5) / m(C_3)$] 关系 (王玉等, 2012)，准确解释确定气层 (图 1-9)。

应用实例：滴西 12 井区呼图壁河组含气层的气测异常明显，气测全量为 $(10147 \sim 37471) \times 10^{-6}$ ，全量变化幅度为 $(9349 \sim 33561) \times 10^{-6}$ ，利用气测全量变化幅度 (ΔT_g) 与

Ch 交会可区分气层和非气层。

统计滴西 12 井区 14 口井 66 层已试油段气测录井异常值，建立 $\Delta T_g- Ch$ 交会图版来识别气层。图版显示， $\Delta T_g > 9000 \times 10^{-6}$ 、 $Ch < 1$ 。据此对滴 205 井、滴 204 井进行了补层措施，分别获得日产天然气 $5 \times 10^4 \text{ m}^3$ 和 $4 \times 10^4 \text{ m}^3$ 的良好生产效果。

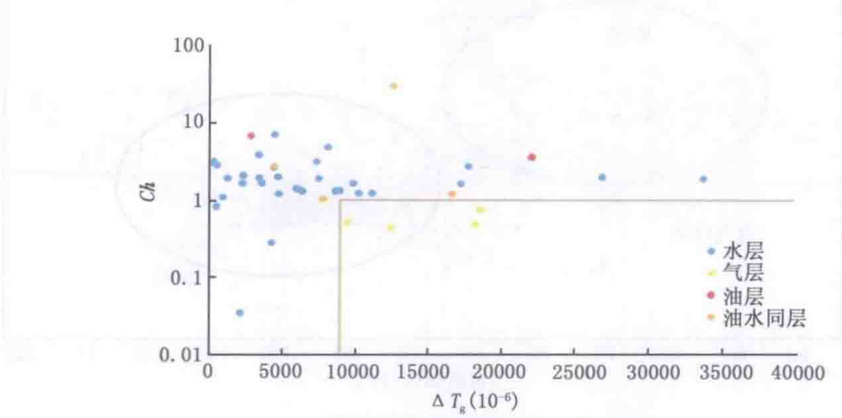


图 1-9 气层气测解释图版

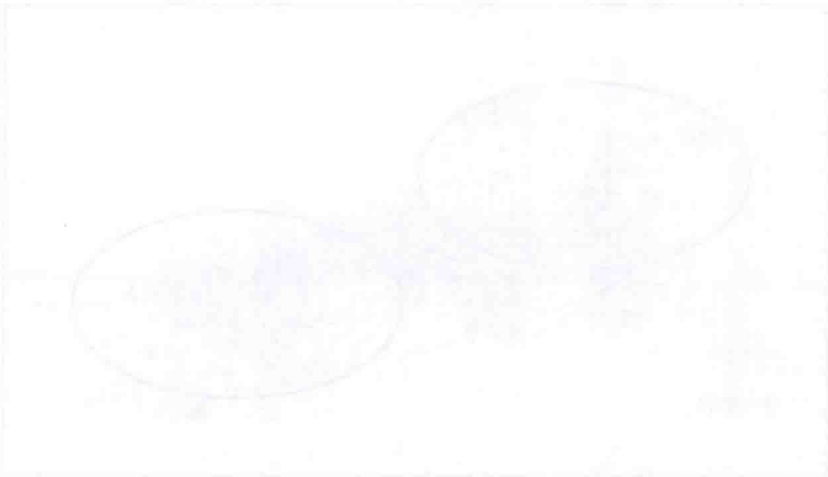


图 1-10 气层气测解释图版

图 1-11 气层气测解释图版

第二章 气藏开发地质技术

第一节 精细描述

气藏描述是在地质静态认识的基础上,建立气藏储层地质模型,并进行数值模拟,落实剩余气分布,预测气田稳产年限、压力水平、递减率、采收率等开发技术指标,并对气田不同开发阶段优选出合理开发方案,以充分发挥气藏开发潜力。

一、地质建模

气藏地质建模的实质是将油气藏的实体转化为模型,气藏建模重点是建立构造模型和属性模型。通常采用克里金插值法和砂体厚度图法进行构造建模,利用相控约束对孔隙度、渗透率、饱和度等属性参数建立属性模型。

应用实例:呼图壁气田地质建模将单井模型、剖面模型和平面模型融合在一起,以三维空间的方式来反映构造、地层、流体等内容。首先进行网格划分, x 方向网格数为45, y 方向网格数为30,网格步长300m;该区紫泥泉子组分层数据细分到 Z_2^1 及 Z_2^2 ,并针对边底水进行模拟。利用分层属性数据体与地震反演的构造及属性等值线数值化相结合的方法建立了构造模型;以数据体形式定量表征储层特征,以克里金为主力的内插方法,建立了属性模型。

二、数值模拟

数值模拟的关键在于气藏模型初始化和生产历史拟合,根据气藏开发实际生产需要进行多方案设计,预测各方案开发指标,论证合理开发方式、稳产能力、采气速度以及最终采收率等,为气藏合理开发及后期调整提供依据。

应用实例:通过数模模拟计算,呼图壁气田呼2井区的凝析气地质储量、凝析油地质储量分别为 $129.12 \times 10^8 \text{ m}^3$ 、 $59.45 \times 10^4 \text{ t}$,拟合误差在2%以内(表2-1)(李士伦等,2004)。

表 2-1 呼 2 井区储量拟合表

气层组	地质计算地质储量		模拟计算地质储量		相对误差	
	凝析气 (10^8 m^3)	凝析油 (10^4 t)	凝析气 (10^8 m^3)	凝析油 (10^4 t)	凝析气 (%)	凝析油 (%)
Z_2^1	88.44	41.7	89.65	41.53	1.37	-0.41
Z_2^2	38.7	18.3	39.47	17.92	1.99	-1.54
合计	127.14	60.0	129.12	59.45	1.56	-0.92

结合各井的压力和含水状况,通过不断调整边底水的大小及渗透率、相渗曲线和含气饱和度等参数,对呼2井区及单井地层压力、气井产气量、产油量、含水率进行拟合,结果表