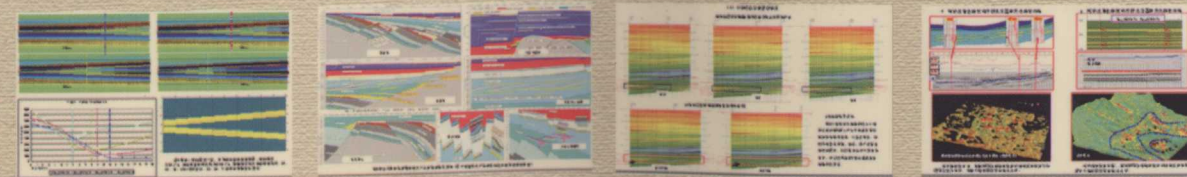
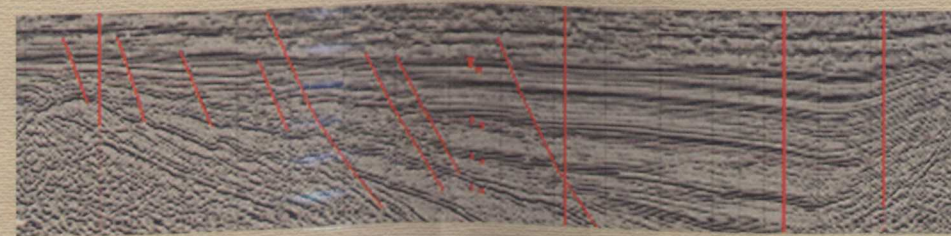


韩文功 闫昭岷 高秋菊 沈财余 编著

陆相断陷盆地 油气藏地震响应模式



Seismic Reflection Patterns of Petroleum
Reservoirs in Continental Faulted Basin



石油工业出版社

. 130. 2-64
023

J676117

P618.130.2-64
023

陆相断陷盆地油气藏地震响应模式

韩文功 闫昭岷 高秋菊 沈财余 编著



石油大学

0720438

石油工业出版社

内 容 提 要

本图集以济阳坳陷为例,利用正演模拟技术对各类复杂油气藏地震响应进行了系统研究,首次建立了陆相断陷盆地典型地震模型(胜利模型)。对构造油藏、地层油藏、岩性油藏等3大类9种典型油气藏进行了系统地震模型正演与分析研究,总结了低序级断层、微构造、地层油藏、岩性油藏地震反射特征并建立起精细识别描述量版,还探讨了油气检测的地震模型正演方法。

本书可供从事油气勘探和开发研究的石油科技工作者和高等院校相关专业师生参考。

图书在版编目(CIP)数据

陆相断陷盆地油气藏地震响应模式 / 韩文功等编著.
北京:石油工业出版社,2009.12

ISBN 978-7-5021-7524-5

I . 陆…

II . 韩…

III . 陆相—断陷盆地—油气藏—地震响应模式—图集

IV . P618.130.2-64

中国版本图书馆CIP数据核字(2009)第219883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

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

2009年12月第1版 2009年12月第1次印刷

889×1194毫米 开本:1/8 印张:25.75

字数:700千字 印数:1—1000册

定价:198.00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 言

地震技术是沉积盆地地质研究与油气勘探、开发的重要技术，特别是三维地震技术，在东部复杂油气田的勘探、开发中发挥了不可替代的重要作用。近年来，东部老油田已逐步进入隐蔽油气藏勘探阶段，对地震技术精度的要求越来越高。为此，以提高地震资料解决实际问题的能力为目标，一方面，以三维地震二次采集为依托，加强高精度三维地震技术的攻关研究；另一方面，在现有地震资料的基础上，充分挖掘和利用地震信息，提高解释应用水平。复杂油气藏地震正演模型研究就是其中的一项重要工作。几年来，中国石油化工股份有限公司油田部组织胜利油田等单位研究人员做了大量工作，取得了很好的应用效果。《油气藏地震正演模型与分析》一书和《陆相断陷盆地油气藏地震响应模式》图册即是这项研究的成果。

《油气藏地震正演模型与分析》从油田勘探开发的实际需求出发，以“综合地震正演模拟指导地震资料解释用于精细勘探和油藏开发”的思路，针对陆相断陷盆地复杂构造、地层和岩性等油气藏的地质特点，系统地进行了从宏观到微观的地震响应定量模拟研究。总结了陆相断陷盆地（济阳拗陷）标准地震反射层特征和地质意义，建立了陆相断陷盆地典型地震地质模型，应用数学、物理地震正演模拟方法，开展不同类型复杂油气藏的精细地震正演模拟，并探索对复杂油气藏地震正演模型应用的量化分析，制作完成了系列的地震模型，深化了地震正演模拟技术在油气勘探、开发中的应用。同时也以图解方式编成了《陆相断陷盆地油气藏地震响应模式》图册。

该项研究成果可有效提高复杂构造油气藏、地层油气藏和岩性油气藏的地震识别能力与地震描述精度，降低地震资料解释的多解性；同时也可作为地震信息向油气开发延伸的切入点，复杂油气藏地震正演模型分析以其系统性、直观性的特点，好学、易用，避开地震勘探原理繁琐的数理推导，可提高油田开发人员应用地震信息解决开发问题的热情和能力，有效地促进地震技术的应用水平。该书对复杂油气藏的勘探、开发具有实际应用意义，值得总结推广。

以此为序。

中国石油化工股份有限公司高级副总裁

王志刚

2009年8月7日

前 言

随着油气田勘探开发的不断深入,面对的对象已由以构造油气藏为主,逐步转变为以复杂隐蔽油气藏为主,勘探开发对三维地震资料的依赖程度越来越大,对地震技术精度的要求也越来越高。如何利用现有地震资料,充分挖掘其深层次的地质信息,提高解释应用水平,满足隐蔽油藏勘探开发的需要,成为地震技术应用研究的首要任务。《油气藏地震正演模型与分析》和《陆相断陷盆地油气藏地震响应模式》就是据此需求在相关研究总结的基础上编写而成的。

书中涉及油藏类型主要取自东部陆相断陷盆地。东部陆相断陷盆地是我国石油生产的重要地区,其丰富的油气资源和复杂的地质条件决定了油气勘探开发实践过程的长期性和复杂性。历经数十年的勘探开发,东部老油田已积累了大量的井筒资料和丰富的油藏地质认识,为建立相对精确的油藏地质模型,进而开展地震正演模型技术应用研究提供了充实的物质基础。

2004年以来,中国石油化工股份有限公司油田事业部组织进行了复杂油气藏地震正演模型分析研究。通过将覆盖面大、横向连续性好的地震资料与精度高、微观刻画性好的测井资料有机结合,系统地对复杂构造、岩性、地层等三大类9种典型油气藏进行地震正演模型分析,提高了低序级断层、微构造、地层、岩性、储层物性和流体的精细预测与描述精度,减少了油气藏地震特征识别与解释中的多解性和不确定性,实现了利用现有地震资料更好更有效地指导油气勘探开发。

该项研究以方法、技术为主线的总结内容已包含在《油气藏地震正演模型与分析》一书中,本书是其图册部分,共包括7章内容:第1章为区域典型地震剖面特征,展示了陆相断陷盆地的典型剖面、标准反射层的地质意义、各类型油藏的实际地震反射特征和极性,以及层位标定等基本概念,由韩文功、闫昭岷编写;第2章为地震正演基础,介绍了地震岩石物理参数影响因素分析及地震正演方法,由闫昭岷、沈财余编写,王尚旭、狄帮让等提供物理模型图件资料;第3章为地震典型模型(胜利模型),展示了赋存油气后地震响应的变化、信噪比,以及分辨率对地震响应的影响等,由韩文功、沈财余、闫昭岷编写;第4章为构造油气藏模型正演,展示了低序级断层、微构造油藏及复杂构造油藏的地震响应,由闫昭岷编写;第5章为地层油气藏模型正演,展示了地层超覆油藏、地层不整合油藏、裂缝潜山及岩溶潜山的地震模型正演,由苏朝光、高秋菊等编写,杨凤丽提供了岩溶潜山的地震正演图件资料;第6章为岩性油气藏模型正演,展示了岩性油气藏基础模型、河流相砂岩、滩坝油藏、扇三角洲油藏等岩性油藏的地震响应,由高秋菊等编写;第7章为油气检测模型正演研究,展示了流体替换地震响应模式、叠前属性、天然气藏地震响应、地震资料解释陷阱的地震响应判别等内容,由张建宁、韩文功等编写。

地震资料在陆相复杂油气藏勘探开发中发挥了不可替代的重要作用,《陆相断陷盆地油气藏地震响应模式》尝试避开教科书式的繁琐数理推导,以图解地震原理的方式,拓展了地震信息在油气勘探开发中的应用,具有系统、直观、好学、易懂的特点,可帮助提高油气勘探开发人员应用地震资料解决问题的能力。

参加该项研究工作的有张勇、韩文功、闫昭岷、高秋菊、沈财余、苏朝光、张建宁、张营革、邹东波、孙淑艳、孙明江、李红梅、潘兴祥、田建华、罗霞、师涛、魏欣伟、陈香朋、王千军、崔红庄、林松辉、刘彤滨、宋艳芳、林中凯、江洁、陈柱泽等，还有中国石油大学（北京）的王尚旭、狄帮让、魏建新，同济大学的杨风丽等。在研究过程中，何生厚、李阳、孙焕泉、张永刚、毕义泉、许卫平、罗伟、张宗櫟、周建宇、黄石岩、胡波、李春华、孙海宁等曾给予了许多指导和帮助。

本图集的图件由王玉贞、魏欣伟、师涛清绘并整理，最后由韩文功、闫昭岷、高秋菊、沈财余对图集进行统编定稿。

在付梓印刷之际，笔者特别感谢中国石油化工股份有限公司高级副总裁王志刚先生在百忙之中为本图集作序，以及他多年来对这项研究工作的关心、重视和对该研究成果的充分肯定！

在项目研究和本图集的编写、出版过程中，中国石油化工股份有限公司油田部、科技部，胜利油田分公司及其开发处、科技处、物探研究院等单位和相关领导给予了大力支持和帮助，在此一并表示衷心的感谢。

由于图集涉及内容广泛、我们的实际经验和专业水平有限，在编写过程中难免出现不足之处，敬请各位读者批评指正。

目 录

1 区域典型地震剖面特征	1
1.1 区域构造特征	2
1.2 地震反射波极性及层位标定	4
1.3 标准地震反射层的地质意义	8
2 地震正演基础	33
2.1 地震岩石物理参数影响因素分析	35
2.2 地震正演方法	42
3 地震模型（胜利模型）.....	44
3.1 胜利模型建立及正演结果	45
3.2 胜利模型含油气正演分析	53
3.3 不同频率、信噪比对正演结果的影响	64
4 构造油气藏模型正演	72
4.1 低序级断层正演	73
4.2 微构造油藏地震响应的建立	79
4.3 复杂构造油气藏正演	82
5 地层油气藏模型正演	89
5.1 地层油气藏模型地震正演量化研究	91
5.2 地层超覆油气藏模型正演	96
5.3 地层不整合油气藏模型正演	100
5.4 潜山油气藏模型正演	104
6 岩性油气藏模型正演	117
6.1 岩性油气藏基础模型研究	118
6.2 河流相砂体油气藏模型正演	128
6.3 滩坝油气藏模型正演	134
6.4 扇三角洲、浊积岩油气藏模型正演	149
6.5 砂砾岩体油气藏模型正演	155
7 油气检测模型正演研究	160
7.1 流体替换地震响应模式定量研究	161
7.2 叠前地震属性应用正演模拟分析	172
7.3 天然气藏地震响应	176
7.4 地震资料各种解释陷阱及判别	191
7.5 沉积微相精细地震正演	198

1 区域典型地震剖面特征

本章总结了济阳拗陷区域构造特征。通过地震反射波极性判定及层位标定方法研究,明确了各凹陷标准反射层的地质含义。岩性组合不同,各凹陷标准反射层有一定的差异。通过实例展示了陆相断陷盆地各类复杂油气藏的地震反射特征。

复杂断块油气藏:多位于济阳拗陷中央隆起带的中部,如东辛油田,是我国发现最早、储量丰富的复杂断块油气田。它经历了多次构造运动和复杂的发展历史,在多种应力方式和应力场的作用形成的。全区共有大小断层 235 条,将油田切割成 186 个断块,其中含油的断块有 172 个。断块油藏具有地质构造复杂、断层多、断块小、上下构造差异大、含油层系多、含油条带窄、油水关系复杂等特点。

地层油藏:是大构造背景下,坡降度低,新近系、古近系超覆于古剥蚀面上形成的一类油藏。储层主要沿古地形沟谷及超覆带呈环状分布。地层超覆线是控制油气成藏的重要因素,准确确定地层和储层超剥线的位置对于指导勘探开发具有重要的意义。在地震剖面上,地层油藏的地震反射特征反映得不够清晰,地震同相轴尖灭点与地层超剥边界不一致,给地层圈闭构造特征的识别带来了一定的难度。本文将在第 5 章介绍地层超剥线预测方法。

河道砂岩油藏:以 Ng^+ 最为发育,但济阳拗陷 Ng^+ 曲流河沉积通常不稳定,频繁的改道与迁移使其砂体纵向互相叠合、横向变化很快;不同沉积微相砂体的连通性差异也很大,而且在地震剖面上的反射一般为较强的短反射同相轴。

浊积岩油藏:相带变化快,以砂、泥薄互层的形式(即砂组形式)存在于 Es_3 亚段,地震相表现为变振幅、短同相轴,主要反射特征有零星透镜体反射、连续长反射、席状披盖反射、规则叠瓦状反射、复合透镜反射、不规则杂乱反射、交错复合反射等。

砂砾岩油藏:通常发育在陆相断陷盆地陡坡带,具有近物源、多物源、沉积厚、相变快的特点。断陷湖盆陡坡带主要发育有各种重力流、冲积扇和三角洲等沉积体系。与沉积体系相对应,在不同部位分别形成了 6 类砂砾岩扇体:即辫状河三角洲、扇三角洲、洪积扇、近岸水下扇、陡坡深水浊积扇、近岸砂体前缘滑塌浊积扇。

1.1 区域构造特征

济阳坳陷是埕宁隆起和鲁西隆起所挟持的向东北撒开、西南收敛、近东西走向的一个一级负向构造单元，为一典型的“北断南超”箕状断陷盆地。坳陷内部无棣凸起、义和庄凸起、青坨子凸起、陈家庄凸起、滨县凸起、青城凸起又将其分为车镇凹陷、惠民凹陷、沾化凹陷和东营凹陷四个凹陷带（图 1-1）。

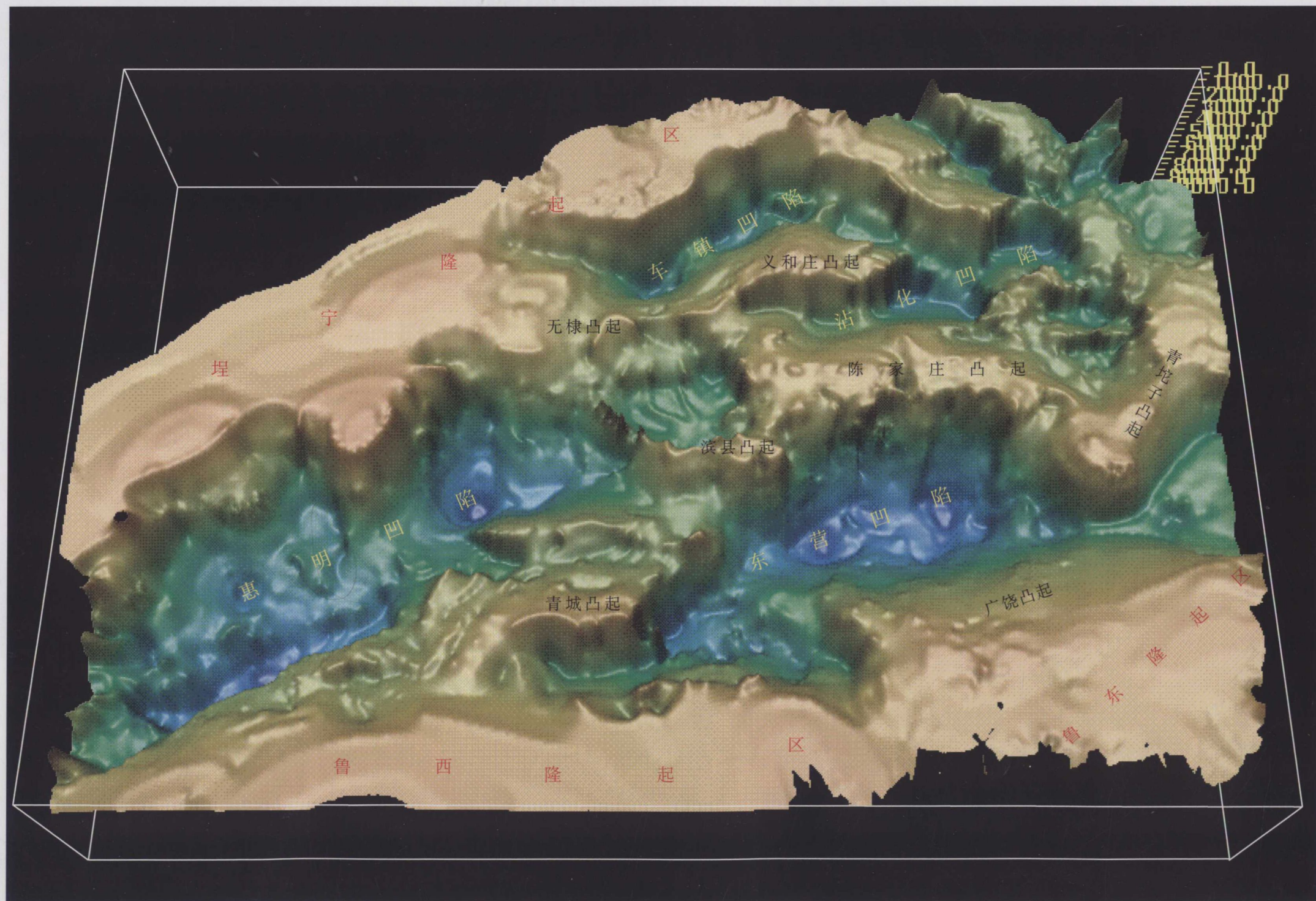


图 1-1 济阳坳陷前古近系顶面构造立体显示图

济阳坳陷为北断南超的箕状断陷盆地，南北向剖面上可以划分为北部陡坡带、中部洼陷带、南部缓坡带、边缘地层超覆带、凸起披覆带。

在中央隆起带、断阶带、披覆带多发育构造油气藏，在凸起边缘多发育地层超覆、地层不整合油气藏和潜山油藏；在洼陷带和斜坡带多发育岩性油气藏（图 1-2）。

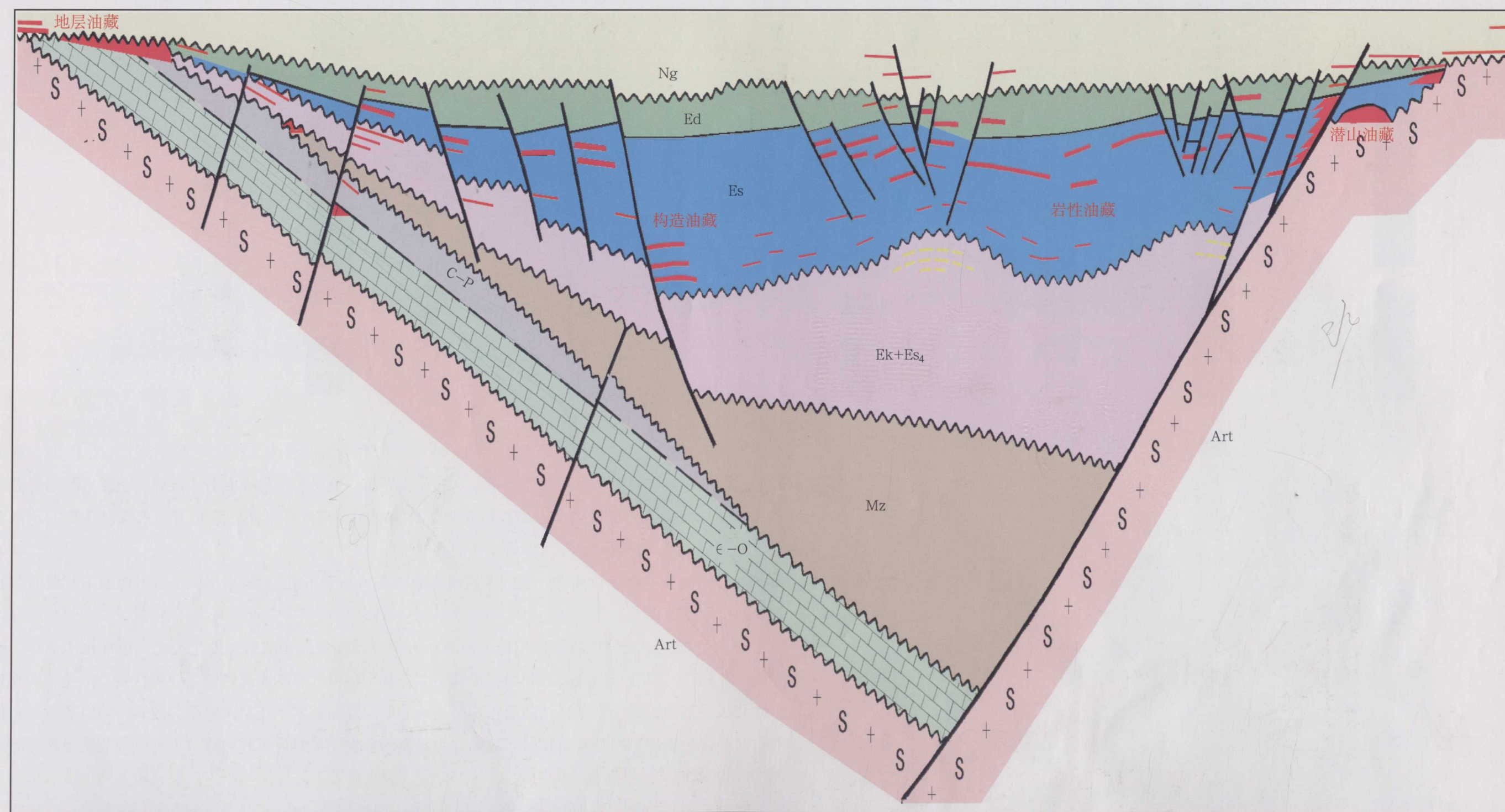
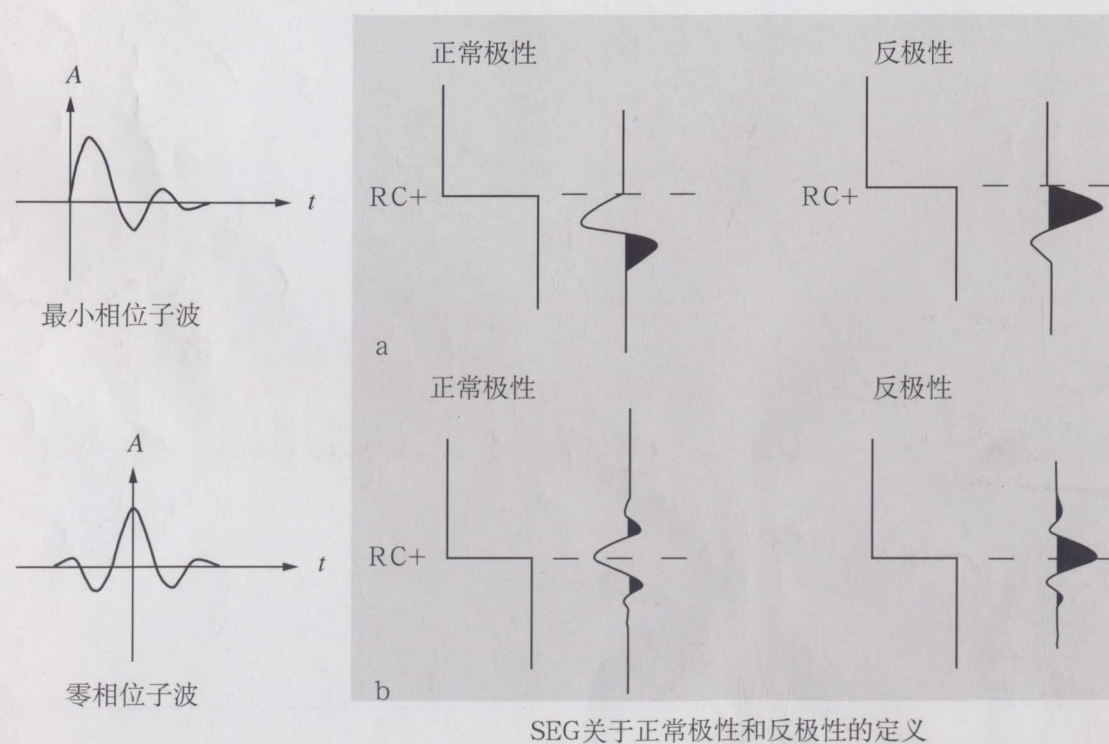
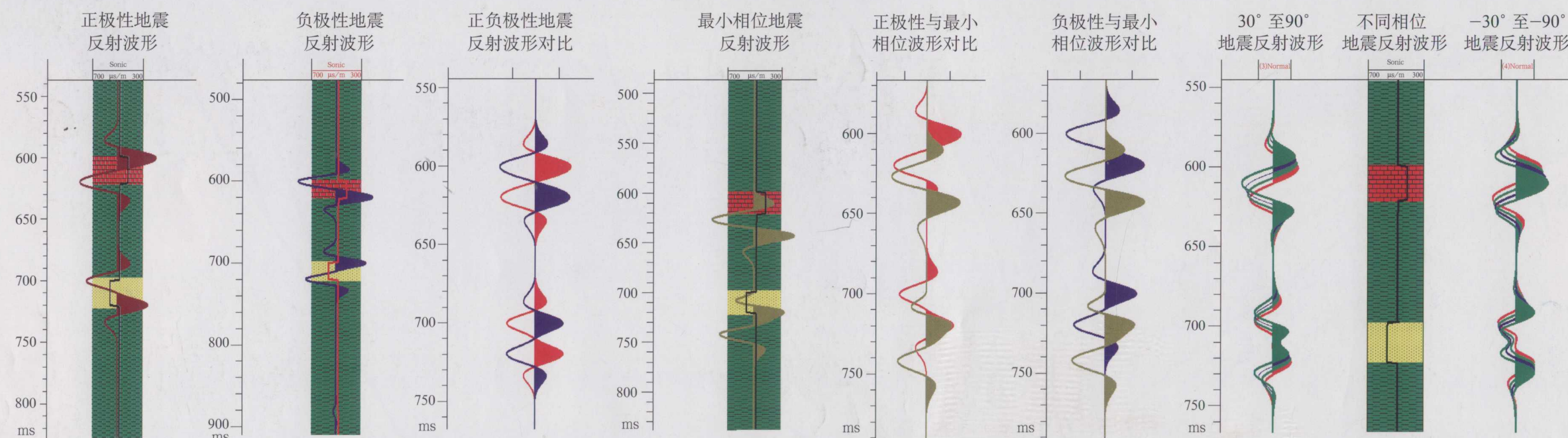


图 1-2 济阳坳陷南北向油藏剖面模式图

1.2 地震反射波极性及层位标定

不论是油气藏勘探阶段还是开发阶段，三维地震资料都发挥着重要的作用。要利用地震资料进行评价，首先必须明确地震反射的地质意义。由于不同极性的地震剖面，其反射同相轴表达不同的地质意义，因此研究中需要判定地震剖面的极性，在此基础上进行层位标定。



SEG关于正常极性和反极性的定义

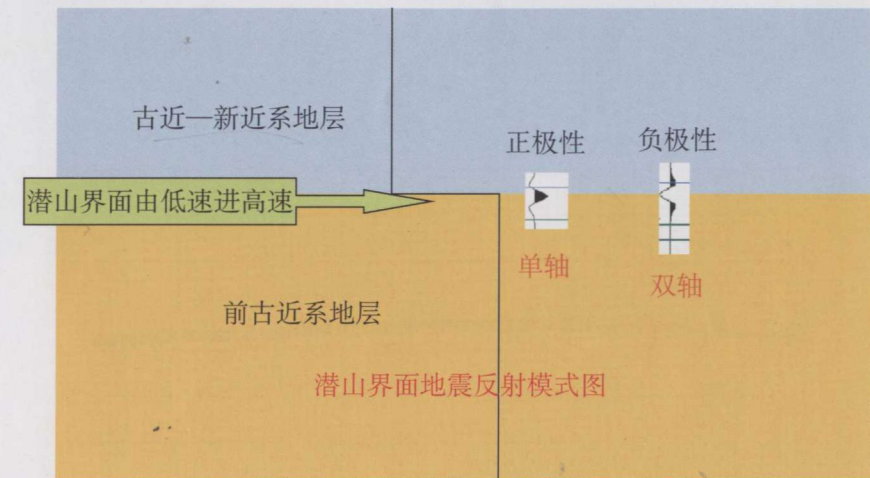
图 1-3 地震反射波极性定义

地震反射波通常分为正极性、负极性。当子波主瓣向右跳为正极性，向左跳为负极性（图 1-3）。在地震剖面上，如果是一个较大反射系数且相对孤立的地层界面，正反射系数界面对应波峰，负反射系数界面对应波谷，这种剖面称为正极性剖面；与其相反为负极性剖面。正极性剖面的波峰对应正反射系数的地层界面，波谷对应负反射系数的地层界面，负极性剖面则相反。

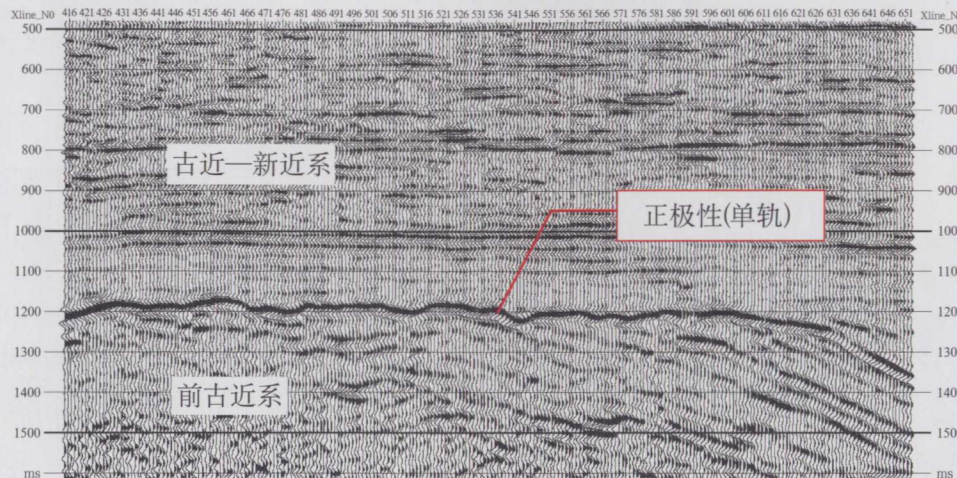
最小相位子波相对零相位而言，它的子波波形表现为“初至下跳”。最小相位子波剖面波形起跳时刻正好对应着地层的反射界面。

混合相位是指由于大地吸收等作用使得地震子波为非零相位，子波形态发生变化，极性也不一样，通常称之为混合相位。混合相位地震剖面用视极性定义。非零相位地震剖面规定使用视极性概念描述，即视正极性、视负极性剖面。对于视正极性剖面正反射系数的地层界面基本上还是对应于其波峰，可以等效于正极性剖面；对于视负极性剖面则其负反射系数的地层界面基本上还是对应于其波峰，也可以视为负极性剖面。

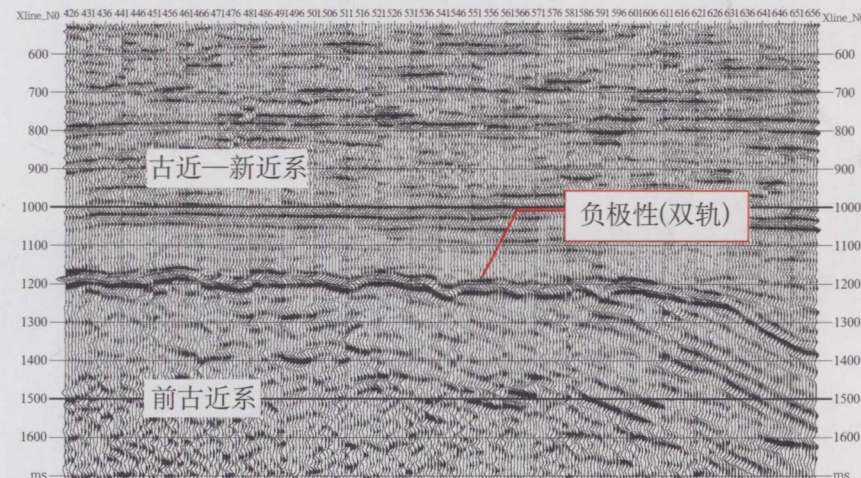
SEG 关于地震反射极性有严格的定义（图 1-3）。假定地震子波经过一个正反射系数界面（即从低波阻抗到相对高波阻抗层的一个界面），若是最小相位子波，则反射界面位置与“初至下跳”位置对应，定义为正常极性，与“初至上跳”位置对应，定义为反极性；若是零相位子波，则反射界面位置对应于负波峰。定义为正常极性，对应于正波峰定义为反极性。



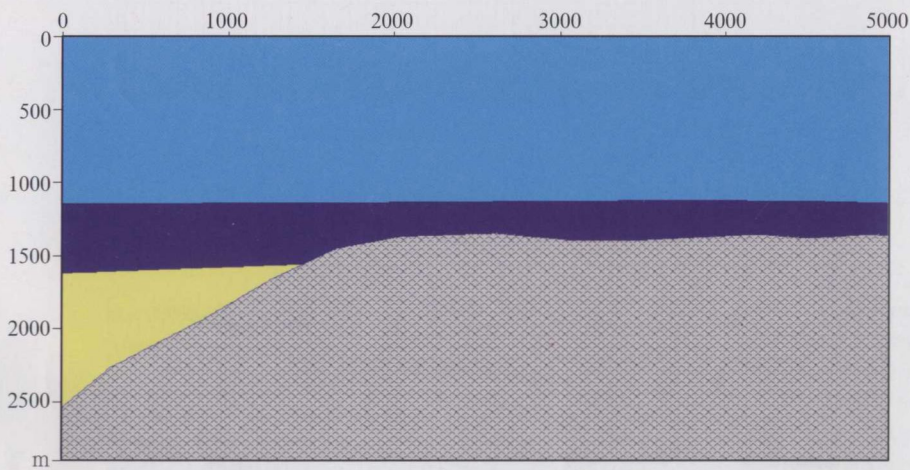
a



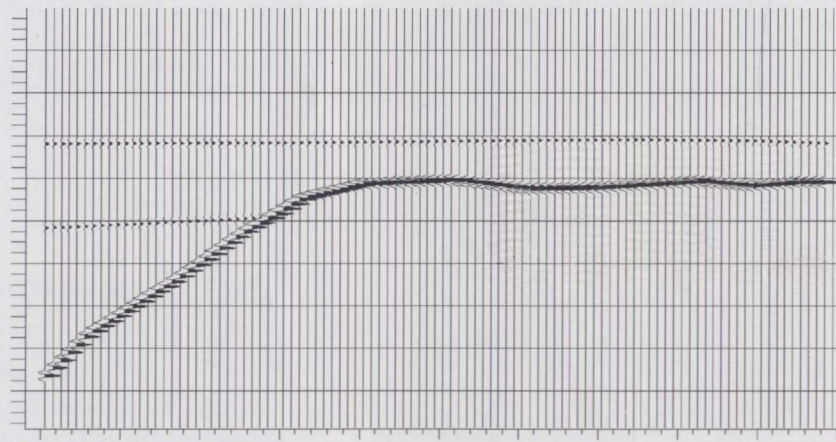
b



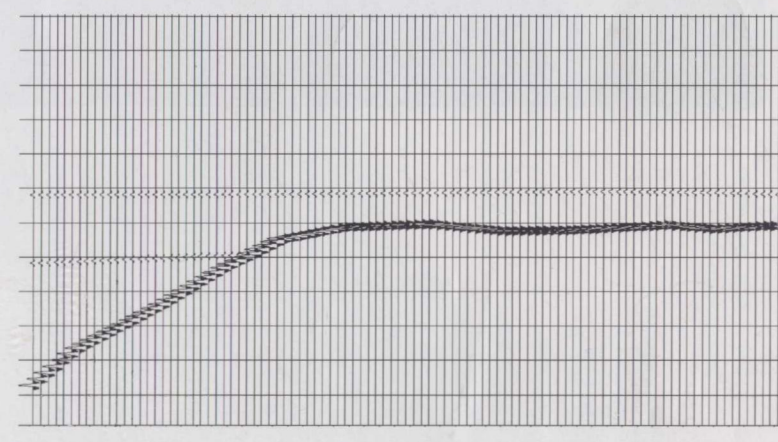
c



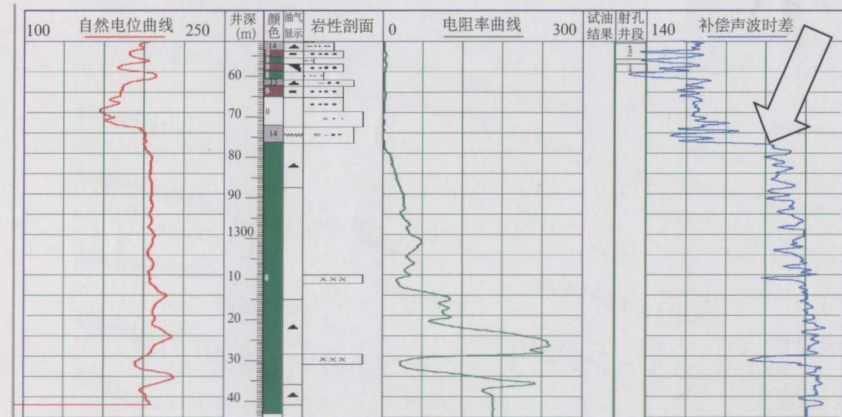
d



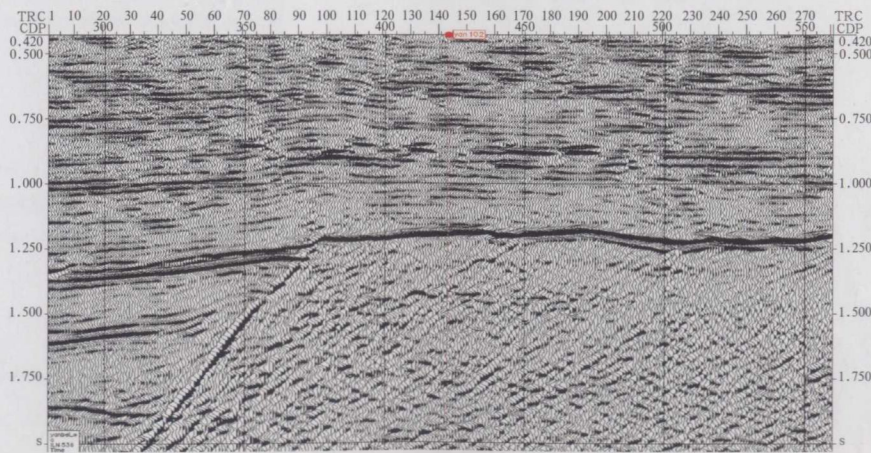
e



f



g



h

地震剖面极性判别是地震反射层位标定的基础，其关键是确定地层界面反射系数的正负与地震反射的波峰、波谷的对应关系。

在 Y102 井模型中，基岩顶面正极性地震响应表现为单轨强峰（图 1-4a, b, e）；而负极性地震响应表现为双轨强峰（图 1-4c, f）。

经过 Y102 井的实际地震剖面基岩顶面反射为单轨强峰反射，据此判断其为正极性地震剖面（图 1-4h）。

图 1-4 地震反射波极性鉴别 (1)

a—地质模型；b—正极性地震剖面；c—负极性地震剖面；d—Y102 井设计模型；e—Y102 井正极性正演地震响应；f—Y102 井负极性正演地震响应；g—Y102 井综合录井图；h—经过 Y102 井实际地震剖面

在 N871 井模型中, 低速油页岩顶面正极性地震响应表现为双轨强峰 (图 1-5b); 而负极性地震响应表现为单轨强峰 (图 1-5c)。N871 井的实际地震剖面基岩顶面反射为双轨强峰反射 (图 1-5e), 据此判断其为正极性地震剖面。

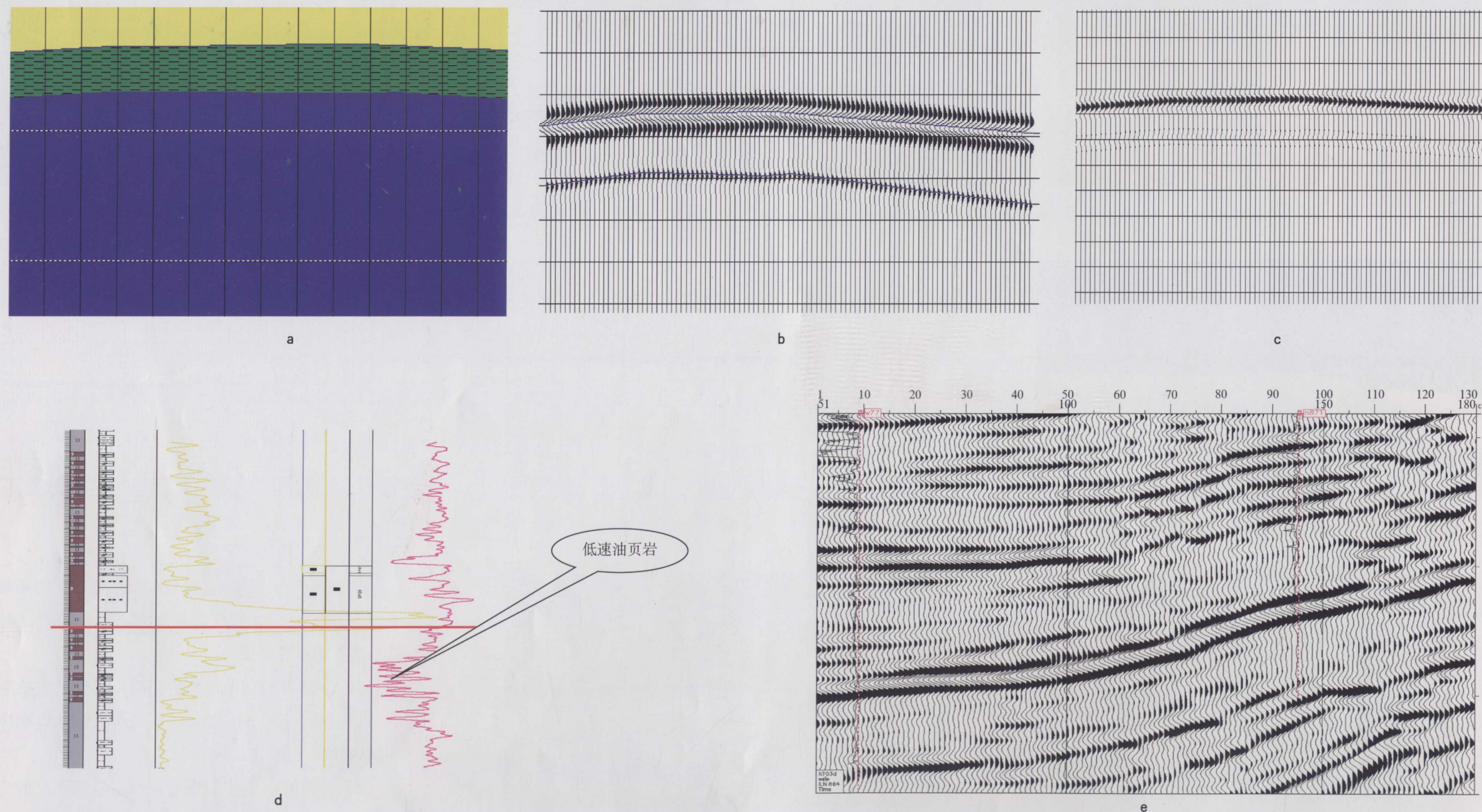


图 1-5 地震反射波极性鉴别 (2)

a—N871 井油页岩设计模型; b—正极性地震响应剖面; c—负极性地震响应剖面; d—N871 井综合录井图; e—N871 地震剖面

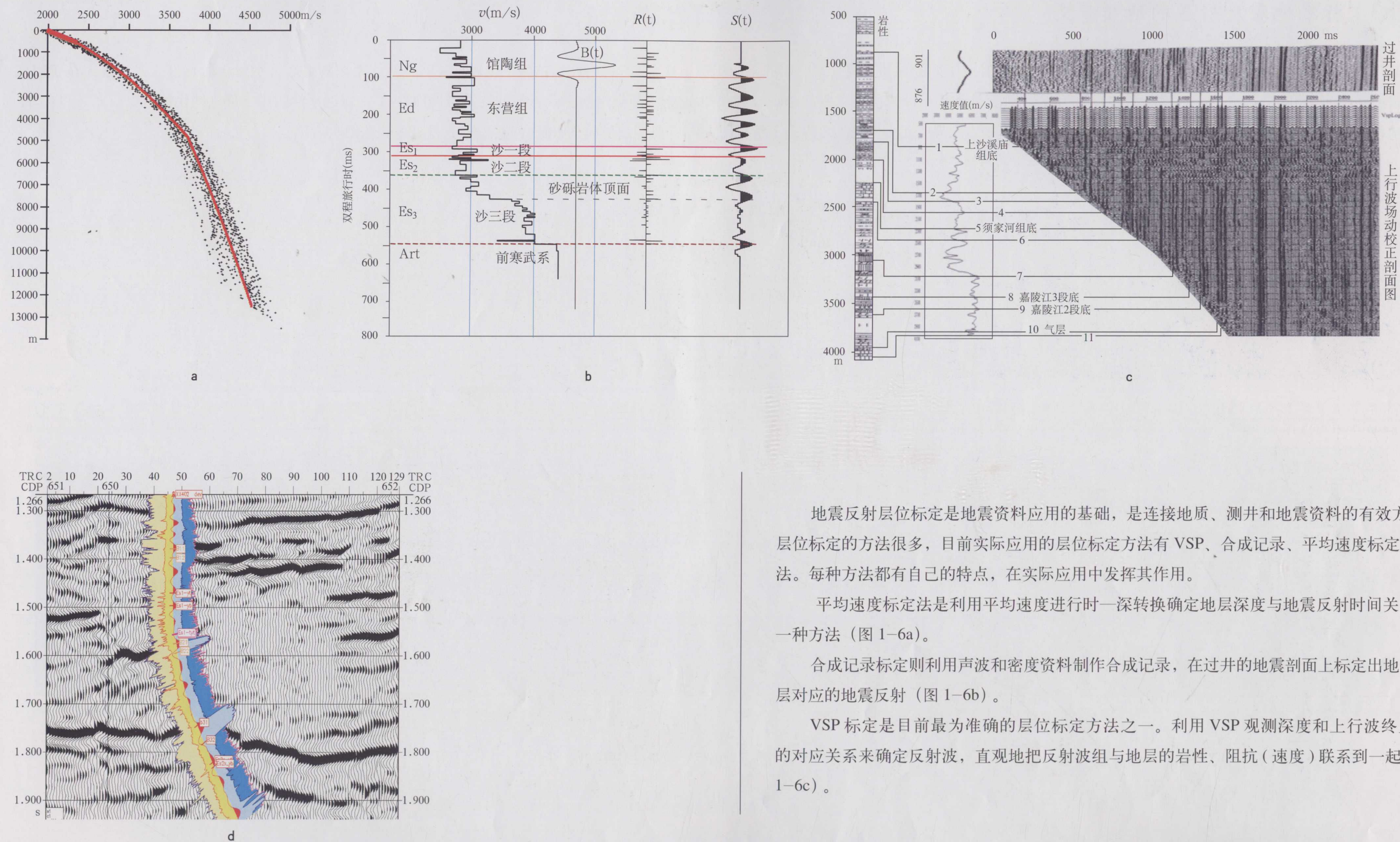


图 1-6 地震反射层位标定方法

a—平均速度精确标定；b—合成地震记录制作；c—VSP 资料标桥式定法；d—综合、多元层位标定

地震反射层位标定是地震资料应用的基础，是连接地质、测井和地震资料的有效方法。层位标定的方法很多，目前实际应用的层位标定方法有 VSP、合成记录、平均速度标定等方法。每种方法都有自己的特点，在实际应用中发挥其作用。

平均速度标定法是利用平均速度进行时—深转换确定地层深度与地震反射时间关系的一种方法（图 1-6a）。

合成记录标定则利用声波和密度资料制作合成记录，在过井的地震剖面上标定出地下地层对应的地震反射（图 1-6b）。

VSP 标定是目前最为准确的层位标定方法之一。利用 VSP 观测深度和上行波终止点的对应关系来确定反射波，直观地把反射波组与地层的岩性、阻抗（速度）联系到一起（图 1-6c）。

1.3 标准地震反射层的地质意义

图 1-7 为济阳拗陷标准地震反射层剖面。各地震反射层对应不同的地质含义。 T_0 : 新近系明化镇组底; T_1' : 新近系馆陶组上段底; T_1 : 新近系馆陶组底 (不整合面); T_2' : 古近系东营组底; T_2 : 古近系沙河街组沙一段下部 (特殊岩性段顶); T_3 : 古近系沙河街组沙二段底 (假整合面); T_6 : 古近系沙河街组沙三段下部 (特殊岩性顶); T_7 : 古近系沙四段上部 (纯化镇组上段底); T_8 : 古近系孔二段下部 (碳质页岩顶); T_i : 新生界底 (不整合面); T_g : 古生界、元古界、太古界顶不整合面; T_{g1} : 奥陶系顶面 (假整合面); T_{g2} : 寒武系馒头组页岩顶。

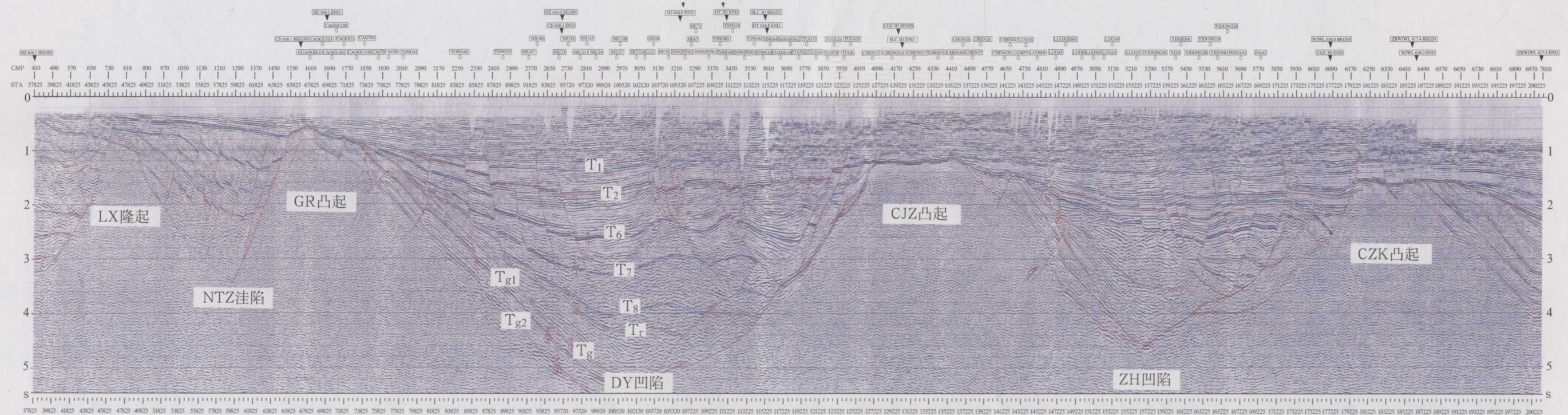


图 1-7 济阳坳陷标准地震反射层

DY 凹陷东部主要发育 T_0 、 T_2 和 T_6 等地震标准反射层，见图 1-8。

T_0 ：新近系明化镇组底的反射，为一组中强反射。

T_1 ：该标准层对应馆陶组的底，地震反射振幅中—强，大部分地区地震同相轴连续性好，局部中等。

T_2 ：地震反射振幅强，一般有三个同相轴地震反射呈平行或亚平行反射结构，连续性好，波组特征稳定；在洼陷带一般表现为四个强振幅反射，中—强连续，中—低频；在斜坡带为双轨强振幅、强连续性，中—低频反射；到凸起边缘为单轨强振幅、强连续性，中—低频反射。

T_6 ：地震反射振幅较强，横向连续性好，平行、亚平行反射结构，主要为两相位或三相位波组特征。洼陷带内沉积稳定，岩性组合主要是大套的油页岩夹薄层泥岩、灰质泥岩、泥灰岩。

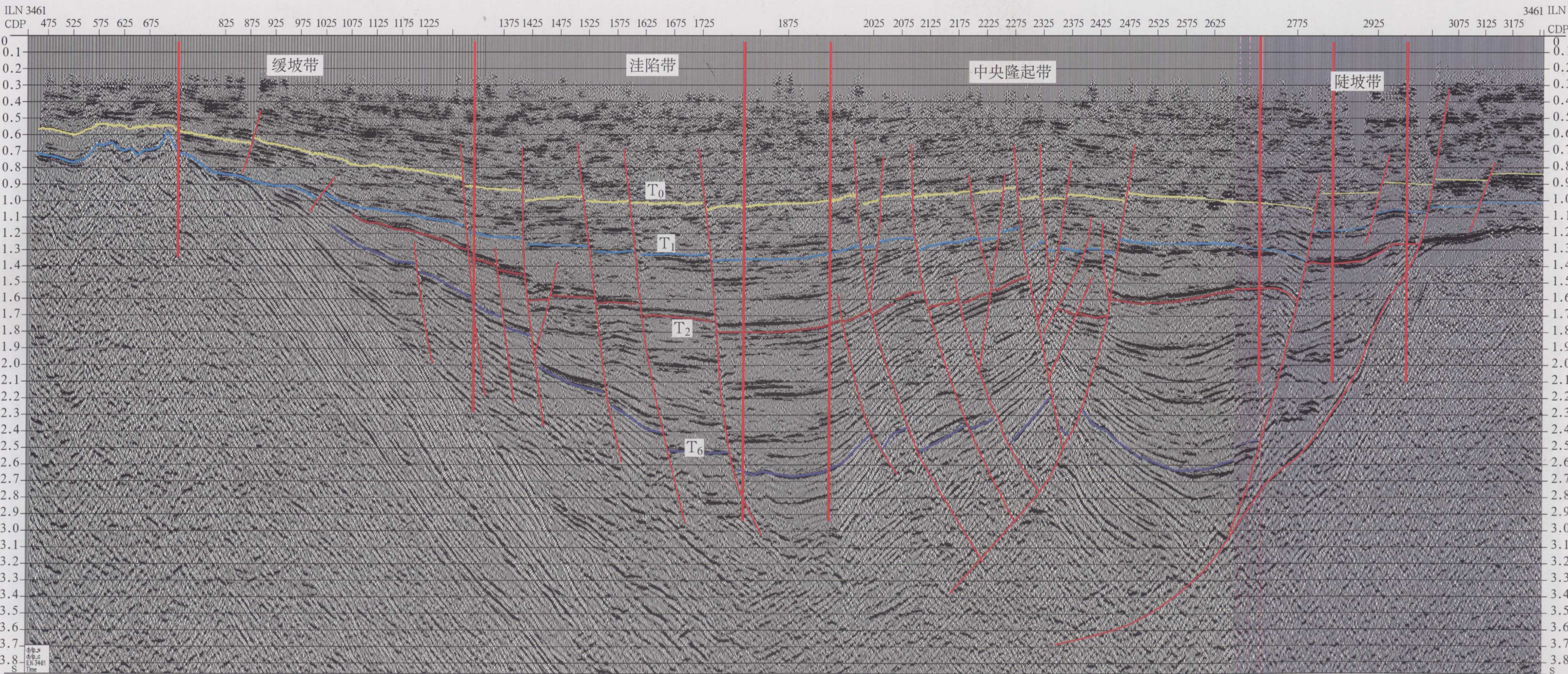


图 1-8 DY 凹陷东部标准地震反射层（近南北向剖面）

ZH 凹陷渤南洼陷主要发育 T_1 、 T_2 、 T_4 、上 T_6 和 T_7 等地震标准反射层，见图 1-9。

T_1 ：为馆陶组与东营组之间的反射界面。与下伏地层呈角度不整合接触，反射结构清晰。

T_2 ：为沙一段底部的一套反射。渤南洼陷带，表现为三个波峰特征，最上面一个波峰为中连续弱反射，第二个波峰为强连续强反射，第三个波峰为中连续强反射。

T_4 ：为沙三上亚段的一套反射。在渤南洼陷带，表现为二个波峰反射特征，上面一个波峰为中连续弱反射，第二个波峰为强连续强反射。

T_6 ：为渤南洼陷沙三段第三套油页岩集中段顶的反射。在洼陷带，表现为两个强波峰反射特征，是低速油页岩集中段夹薄层砂岩的反射；在斜坡带，由于地层逐渐减薄，表现为一个波峰中强反射特征。

T_7 ：为沙四段顶部的一套反射，总体上为低频强反射特征。在渤南洼陷带，为膏泥岩段顶部反射，向南部斜坡带膏泥岩段相变为灰岩和砂砾岩，但仍为低频强反射特征。

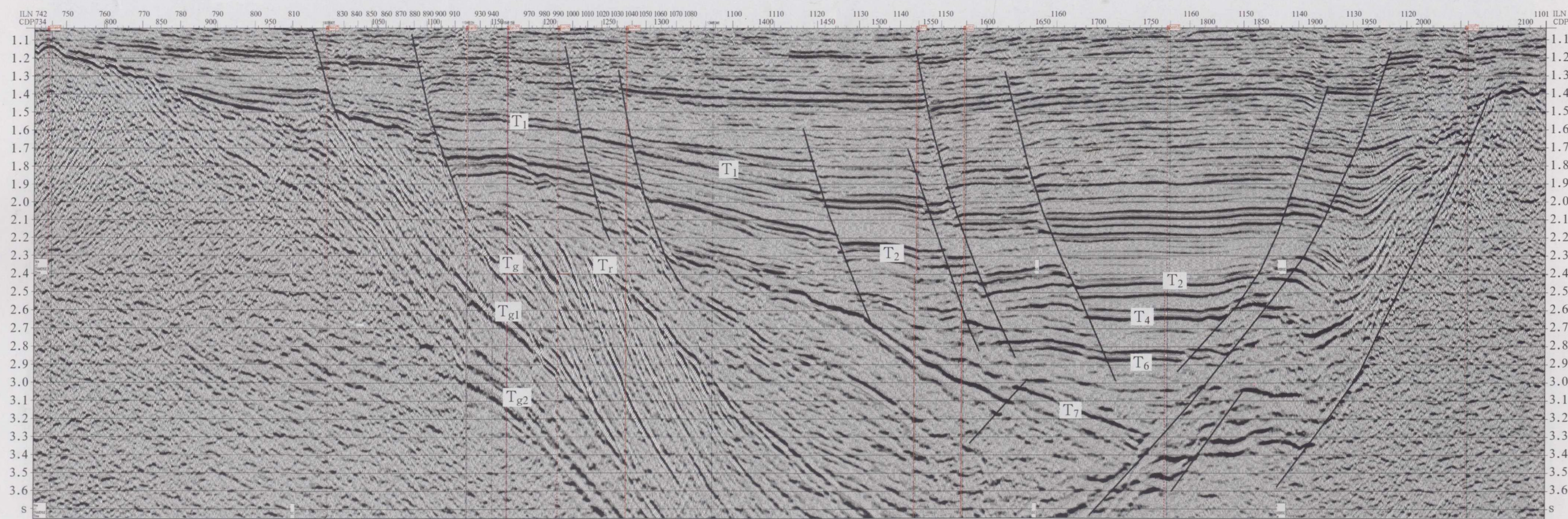


图 1-9 ZH 凹陷渤南洼陷标准地震反射层