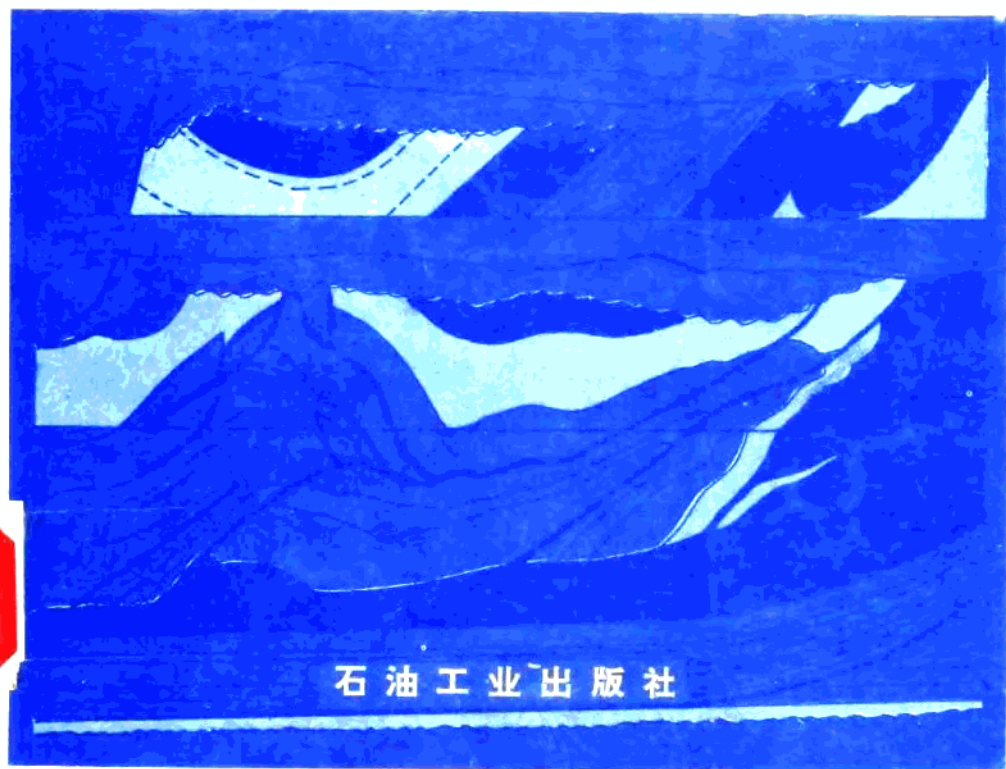


深层油气藏储集层与相态预测

中、苏合作项目

中、苏“深层油气藏预测”联合项目组 编著



石油工业出版社

深层油气藏储集层与相态预测编写组

主编:刘淑萱 Ю. А. ПЕЦЮХА

编委:刘淑萱 范泰雍 李建国 应凤祥

余家仁 秦建中 黄希陶 刘宝泉

王玉萍 贾春晓

Ю. А. ПЕЦЮХА

М. С. ЗОНН

В. А. ЧАХМАХЧЕВ

А. А. ФОМИН

А. В. ШИЛИН

В. В. ДОНЦЕВ

Р. А. ТВЕРДОВА

Т. П. ВОЛКОВА

序 言

开拓 4000 米以下深层油气资源是当今世界上许多国家扩大油、气产、储量的途径之一。对含油气盆地深部复杂油气藏的科学预测是现代石油地质理论的一个重要研究课题。

苏联和中国在深层油气藏的勘探研究方面均开展了不少工作,并获得了可喜的成绩。尤其近十年来苏联在俄罗斯地台的滨里海盆地于深达 4000~5400 米的盐下组古生界碳酸盐岩中不仅发现了大型凝析气田,而且还发现了举世瞩目的田吉兹大油田。中国在华北地台渤海湾盆地冀中坳陷于深达 4000~5200 米的下构造层中、上元古界碳酸盐岩中发现了一系列古潜山油藏。这些新发现不仅具有经济价值,而且对深层油气藏形成与预测的地质理论研究具有科学价值。

根据中、苏经济贸易、科技委员会科技合作常务委员会的议定书和两国石油工业部代表 宴炳文、А. И. 里索夫、胡见义、В. И. 格罗米柯于 1988 年 4 月 1 日在莫斯科签署的中、苏石油工业长期科技合作协议,确定了由苏联可燃矿物地质与开发研究所(НИИГПН)和北京石油勘探开发科学研究院(RIPED)组织开展“深层复杂油气藏预测与普查方法”的科研合作项目,内容分为两项:一、含油气盆地深层油气藏储集层、圈闭和相态预测的理论基础;二、深层复杂油气藏勘探方法设计。同年 10、12 月,双方在专家组相互考察的基础上,共同签署了本项目第一部分的具体研究对象是“中国冀中坳陷和苏联滨里海盆地南部(滨海隆起带)深部(4000 米以下)油气藏储集层与相态预测”;伏尔加格勒石油科研设计研究所与华北石油勘探开发研究院亦参加了本项合作研究工作。

1989~1990 年中、苏双方本项目组专家各 5 人分别在对方共同工作 3 个月,开展合作研究。中、苏专家对冀中坳陷和滨里海盆地南部深层地质构造、储集层、生油岩和油气地球化学等以往研究成果与方法作了系统地交流讨论;并从第一性资料入手,共同观察田吉兹油田基准井和冀中地区重点深探井的岩芯,中、上元古界蓟县国际地层标准剖面、双洞油苗;采集岩样、油样作地质、地化分析;观察典型地震剖面;开展有益的学术报告交流;在总结讨论所获分析化验成果和以往资料的基础上,按预定统一题纲,共同编写本书。

在采样分析工作中,中、苏双方尽力发挥各自现有的优势技术与经验,以提供更有价值的新信息数据作为研究基础。中方对滨里海盆地南部田吉兹油田共采集岩芯 51 块,油、凝析油样 12 个,分析项目 33 项、435 次。苏方对冀中坳陷与蓟县剖面采集岩芯 60 块、露头样 20 块、油样 17 个,分析项目 28 项、932 次。

本书共分四篇,撰写人与内容说明如下:

序言 由刘淑萱、Ю. А. 彼秋哈撰写。

第一篇:地质构造与深层含油气性。分为滨里海盆地南部和冀中坳陷两章,分别由 Ю. А. 彼秋哈与范泰雍、谢恭俭撰写。文中除说明了滨里海盆地盐下层的一般构造特征外,重点阐述了田吉兹巨型碳酸盐岩油田的地质构造、地球物理、储集层、流体地球化学特征、油源对比。尤其是用油气生成与聚集的构造力学观点分析了该油田的形成机理与模式,是该理论应用于实际典型的尝试。这与传统的沉积—运移和有机质埋深热演化生烃理论不同,别具新意。第二章论述了冀中断、坳叠合复杂盆地的地质结构与沉积环境特征,第三纪时期的构造活动

对形成深层油气藏的石油地质意义，重点分析了深层油气藏的成因类型、形成条件和分布模式。

第二篇：深部碳酸盐岩和碎屑岩储集层预测的理论基础和方法。分别以滨里海盆地南部、东南部的田吉兹、科罗廖夫、扎纳若尔盐下组古生界碳酸盐岩油田，肯基亚克、马特肯特、比克扎尔等深层碎屑岩油藏，和冀中坳陷（郑东（Zw）、苏桥（O）、荆邱（O）等碳酸盐岩潜山油气藏和韩家村（E₅₃）碎屑岩深层油藏为例，阐述了深层油气储集层岩石与储集空间的类型与分布；阐述了沉积相带、成岩作用对原生孔隙形成与保存的控制作用；着重分析了沉积间断、表生与后生作用（剥蚀、淋滤、溶蚀、白云岩化、重结晶、硅化、胶结等作用）以及古地温、构造演化条件对埋深4000米以下储集层次生孔、洞、缝发育的影响。总结了深部良好储集层发育带的形成、分布特点，并提出了预测深部有利储集层的一系列指标与方法。建议利用岩性参数、粘土矿物演化带、有机酸分布、有机质热演化带、成岩阶段划分指标，以及利用综合测井（声波、密度、放射性、电性）、钻井地质泥浆录井（钻具放空、钻井液漏失）、岩石力学模拟实验、地震相分析等方法，定量、定性预测深部孔、渗发育带。这是提高深层油气藏勘探成效的关键。本篇撰写人，滨里海盆地：M. C. 佐恩、A. B. 石林、A. A. 弗明、应凤祥、余家仁、王玉萍；冀中盆地：余家仁、应凤祥、A. A. 弗明、M. C. 佐恩、李建国。

第三篇：深部烃类相态预测的理论基础和方法。撰写人为B. A. 恰赫马赫切夫、秦建中、黄希陶、P. A. 特维尔杂娃、T. II. 沃尔科娃、卢文瑞、贾春晓。作者以有机质改造演化生烃和沉积运移理论为基础，以滨里海盆地南部和冀中坳陷不同相态成因类型的深层油气藏为对象，集海相、陆相生油地球化学研究之经验，共同总结了控制油气藏不同相态的基本因素（有机母质类型、热成熟度、古地温、恒温时间、构造演化等）及其确定的有效指标与方法。包括确定有机母质类型的9项20几个指标，热成熟度的10项20几个指标，测定古地温的5种方法。共同推荐了在不同勘探阶段（新区普查未获油气前，第一口油气发现井后，及相当勘探程度后）、在纵向上与横向上分别预测油藏、含油凝析气藏、凝析气藏、气藏的十几种简便易行、行之有效的方法。包括利用岩石有机质、岩石吸附烃、油的轻烃部分、游离气、伴生气等的选定地球化学参数与图版进行深部油气相态科学预测。提出了田吉兹油田深层烃相态的预测和冀中坳陷深层烃相态纵、横向预测意见。

第四篇：中、上元古界和下古生界原生油气藏形成问题初探。此类油气藏并非全属深层性质，但系冀中、冀北今后勘探重要方向之一，是双方均表关注的具科学、实践意义的课题，本文对此作了初步探讨。第一章简要介绍了世界上前寒武系古老油气藏的分布概貌，阐述了西伯利亚地台里菲系、文德系烃源岩与原生油气藏形成特点。撰写人刘淑萱、B. B. 顿采夫、李建国、郑俊章。第二章论证了中国华北北部中、上元古界和下古生界油苗、沥青、任邱古潜山内幕层状油藏的原生性地球化学依据；中、上元古界碳酸盐岩、泥页岩的有机质丰度、成因类型、热演化程度和可作为良好烃源岩的证据。预测了古老原生油气藏形成的条件与前景。撰写人刘宝泉、范泰雍、黄希陶、卢学军。

总结论与建议由刘淑萱、Ю. А. 彼秋哈、范泰雍执笔。

为完成本合作项目，范成龙、梁生正曾参加了本项研究考察工作，此外双方参加各项分析工作的专家总计约90人。孙瑾和华北石油勘探开发研究院制图厂担任了附图清绘。鉴于本书系1991年底以前的中苏合作研究成果，故书中国名、地名和单位名称均沿用前苏联称谓。

由于中国石油天然气总公司和苏联石油天然气工业部的直接领导，以及北京石油勘探开发科学研究院、苏联可燃矿物地质与开发研究所、华北石油管理局勘探开发研究院、伏尔加

格勒石油科研设计所、田吉兹石油生产联合体大力支持与帮助，使本项科技合作任务得以顺利按期完成，作者深表感谢，文中不妥处，敬希读者指正。

编 者

1991

目 录

序言

第一篇 地质构造与深层含油气性

第一章 滨里海盆地南部地质构造特征与田吉兹深层巨型油田	(3)
第一节 滨里海盆地南部构造特征	(3)
第二节 田吉兹深层巨型油田	(7)
第三节 田吉兹巨型油藏的形成模式	(22)
第二章 冀中坳陷地质构造特征与深层含油气性	(46)
第一节 区域概况	(46)
第二节 构造特征与发展史	(47)
第三节 地层及沉积环境	(56)
第四节 深层含油气性	(59)

第二篇 深部碳酸盐岩和碎屑岩储集层预测的理论基础与方法

第一章 滨里海盆地东南部深部储集层预测的理论基础和方法	(77)
第一节 碳酸盐岩储集层	(77)
第二节 碎屑岩储集层	(96)
第三节 储集层预测指标与方法	(108)
第二章 冀中坳陷深部储集层预测的理论基础与方法	(112)
第一节 碳酸盐岩储集层	(112)
第二节 碎屑岩储集层	(125)
第三节 储集层预测指标与方法	(134)
第四节 冀中深部储集层预测	(144)

第三篇 深部烃类相态预测的理论基础和方法

第一章 烃类相态的控制因素	(151)
第一节 母岩的原始有机质类型	(151)
第二节 有机质成熟度	(153)
第三节 有机质演化的主要控制因素—古地温与作用时间对它的影响	(155)
第二章 预测深部烃类相态的指标与方法	(163)
第一节 苏方采用的预测指标与方法	(163)
第二节 中方采用的预测指标与方法	(178)
第三章 深部烃类相态预测实例	(204)
第一节 滨里海盆地滨海隆起带田吉兹油田深部烃类相态预测	(204)
第二节 冀中坳陷深层烃类相态预测	(234)

第四章 双方共同推荐的深层烃类相态预测方法.....	(268)
第一节 发现油气流以前对地层剖面中的烃类相态预测.....	(268)
第二节 发现油气流后对油气藏相态的判断与预测.....	(269)

第四篇 中、上元古界原生油气藏形成问题初探

第一章 中、上元古界油气藏的世界分布及其在西伯利亚地台形成的地质条件	(273)
第一节 中、上元古界油气藏的世界分布.....	(273)
第二节 西伯利亚地台地质构造概况.....	(274)
第三节 西伯利亚地台中、上元古界地层与分布.....	(275)
第四节 西伯利亚地台中、上元古界含油气性.....	(280)
第五节 中、上元古界的油气生成条件.....	(290)
第六节 古老地层石油的地球化学特点.....	(297)
第二章 中国华北北部中、上元古界和下古生界原生油气藏形成的可能性.....	(299)
第一节 概况.....	(309)
第二节 中上元古界、下古生界油气生成条件.....	(301)
第三节 中上元古界、下古生界的储集层条件.....	(329)
第四节 生储盖组合条件分析.....	(329)
第五节 油气远景综合评价及原生油气藏勘探.....	(331)
第六节 新钻化1井的石油地质特征.....	(336)
第七节 结论与建议.....	(347)

总结论与建议

第 一 篇

地质构造与深层含油气性

第一章 滨里海盆地南部地质构造特征 与田吉兹深层巨型油田

第一节 滨里海盆地南部构造特征

滨里海盆地是世界上特大型拗陷之一,盆地面积约 50 余万 Km^2 。盆地北部与西部被俄罗斯地台东南部的一些隆起构造单元所环抱,而东、东南和南部以海西褶皱带为界。阿斯特拉罕—阿克邱宾斯克隆起带将全盆地分为滨里海中部盆地和东南部盆地两部分(图 1-1-1)。

滨里海盆地自晚元古代、早古生代以来直至现今在数亿年过程中经历了以沉降为主的地壳运动,堆积了巨厚的沉积物,在盆地边缘带沉积岩厚达 5km,在盆地中部厚度可达 20~24km,盆地东南部厚约 12~15km。

下二叠统孔谷组含盐建造将该盆地的沉积盖层分为两大岩系组合(图 1-1-2):

①盐上组合,包括上二叠统、中生界与新生界以碎屑岩为主的地层,并被盐岩活动强烈变形。

②盐下组合,包括上元古界与古生界地层,其中除了碎屑岩建造外,发育有巨厚的碳酸盐岩。

据地震折射波勘探资料,在滨里海盆地范围内,基底埋藏深度变化很大,形成了由幅度达几公里的一些局部凸起与凹陷组成的构造体系(图 1-1-3)。

在孔谷组盐岩沉积以前,此分异性在很大程度上由古生代沉积所补偿。这时古生代盆地的范围比现代滨里海盆地边界大的多,并且包括了俄罗斯地台东南部的广大领域和相邻的海西地槽区。因此现盆地的边缘地带反映了古盆地由陆棚区向未补偿深水凹陷的过渡带,具有极其多样的结构与不同的发展史。

滨里海盆地的盐下组古生界地层是该盆地最主要的含油气层系。古生界的区域含油气性已为发现的一系列特大型油气田所证实,如田吉兹、阿斯特拉罕、卡拉查干纳克、扎纳若尔等。

滨里海盆地古生界地层的厚度几乎占整个沉积盖层总厚度的一半。在盆地各部分古生界厚度变化很大,由 6km 至 15km。目前钻井仅揭示了上古生界地层,即石炭系和上泥盆统以碳酸盐岩为主的地层。

在阿斯特拉罕—阿克邱宾斯克隆起带范围内,古生界地层厚度急剧减薄至 2~3km。向南古生界~上元古界沉积盖层的厚度重新增至 6~8km。

一个重要特征是,在大型隆起构造单元的边缘部分几乎均分布有陆棚相生物岩建造的碳酸盐岩带。卡拉通—田吉兹碳酸盐岩块体就是位于滨里海盆地南部的这种碳酸盐岩带。此碳酸盐岩块体位于古里耶夫大型拱状隆起的南坡,沿里海东岸呈椭圆形(西部延入海域)分布,又称滨海隆起带(图 1-1-4、5、6)。该带由北向南延伸长度超过 150km,按盐下组顶部 P_1 反射层的 -5km 构造等深线圈定的范围(陆地部分)约 1.8 万 km^2 ,是本项目合作研究区范围。

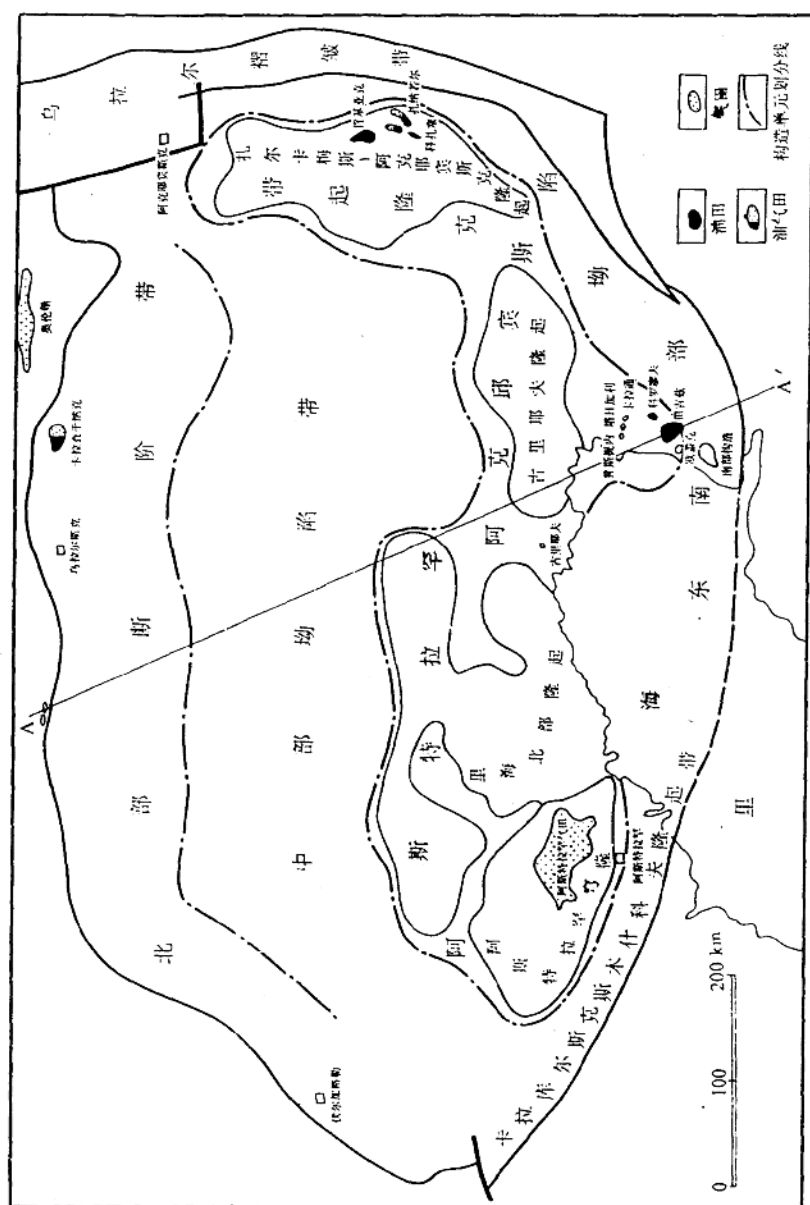


图 1-1-1 里海盆地构造分区示意图

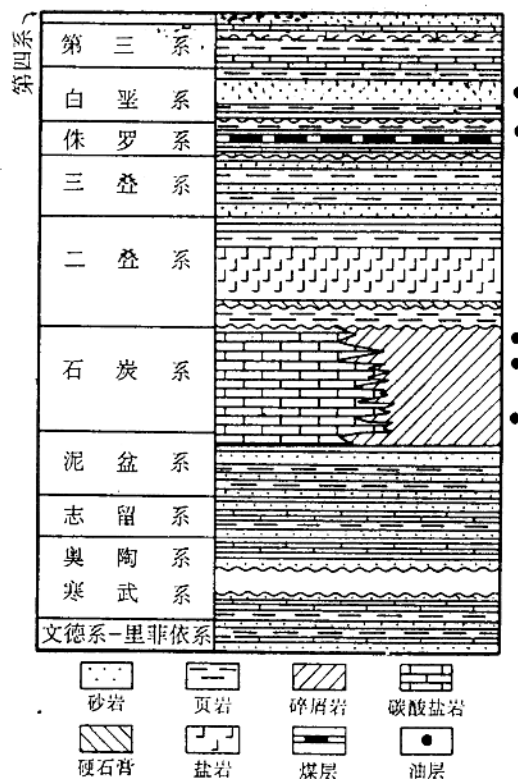


图 1-1-2 滨里海盆地综合地层柱状图

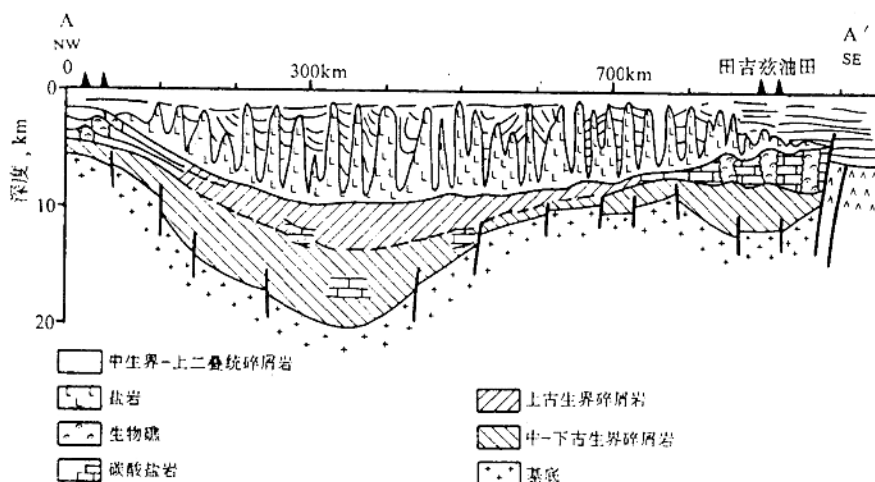


图 1-1-3 滨里海盆地地质横剖面

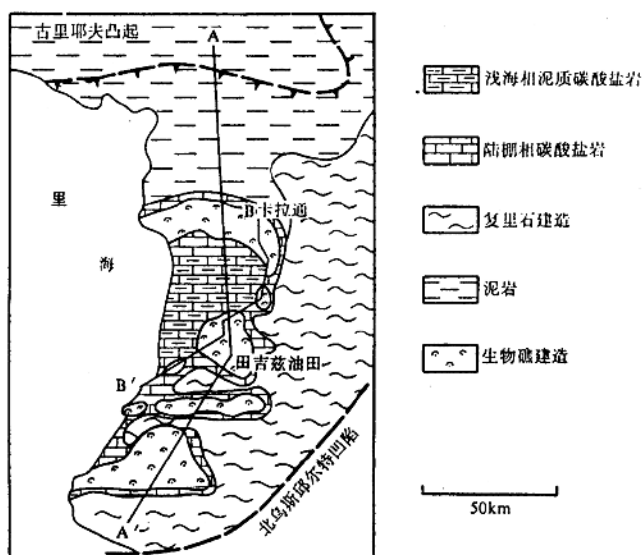


图 1-1-4 滨里海盆地南部石炭系岩性岩相图

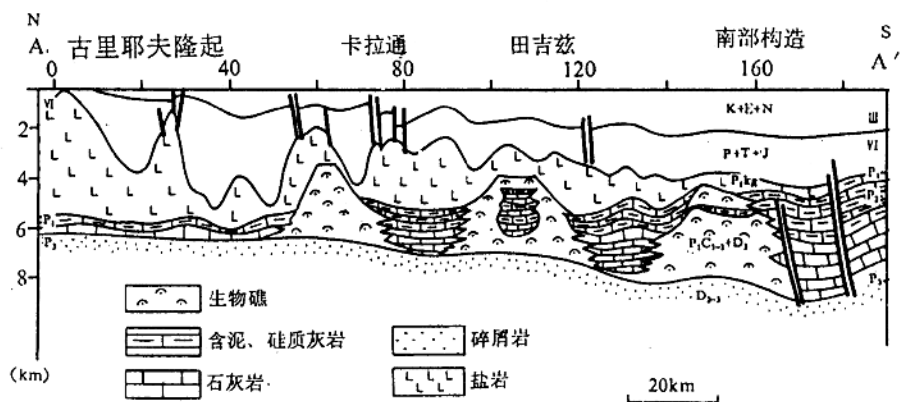


图 1-1-5 古里耶夫隆起—田吉兹—南部区域地质剖面

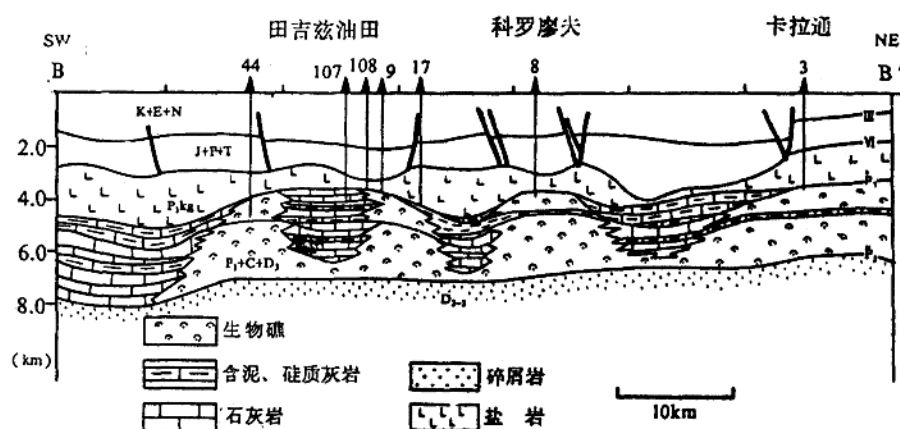


图 1-1-6 田吉兹—卡拉通区域地质剖面

根据地震资料和探井钻探结果编制的岩性岩相图(图 1-1-4)可提供关于滨里海盆地东南部盐下组地层构造的大致概念。由图中看出,田吉兹不是一个孤立的构造,而是大型碳酸盐岩台地的一个单元,在此台地上形成了几个块状生物岩体。区域地质剖面 A—A' 和 B—B' (图 1-1-5、6) 明显地展示了这些生物岩体的分布特点。

剖面 A—A' 自南向北穿过了南部、北库尔土克、田吉兹和卡拉通等生物岩构造,它们在盐下层顶 P_1 标准层的起伏上有明显反映。地震反射标准层 P_3 可视为碳酸盐岩台地的底部,自南向北平缓地抬升,构成古里耶夫拱状隆起的南翼,而该隆起属于阿斯特拉罕—阿克邱宾斯克隆起带的组成部分。

第二条区域剖面 B—B' 包括了大型环形构造带的一部分,此环形构造带的西部潜伏于里海的浅水部分。此剖面由西南向东北方向穿过了一系列不同幅度的碳酸盐岩构造:欧盖、田吉兹、科罗廖夫和卡拉通。在田吉兹与科罗廖夫构造上已发现了工业油藏。卡拉通和南部构造的盐下层产水,沿岸浅海滩的一些局部构造尚未钻探。

地震记录图的特征和个别钻井资料均证明,在该碳酸盐岩台地以东碳酸盐岩陆棚相相变为碎屑岩建造。在碎屑岩建造范围内发育有相对较薄的海相碳酸盐岩体。这些碳酸盐岩体的确切情况和油气远景尚待进一步研究工作中查明。

第二节 田吉兹深层巨型油田

一、油田发现史

60 年代末与 70 年代初在滨里海盆地东南部的卡拉通构造上钻探了首批普查探井。这些井揭示了盐下组古生界地层,测试时获得了饱含烃类气体的高产水流。据这些井的资料可以肯定,在剖面中存在着巨厚的生物成因的碳酸盐岩,高含沥青质并具有良好的储集性能。

所获资料令人乐观,并以发现具有可靠盖层的单独圈闭为普查战略方向。可惜 60 年代时,

在此区开展的地震反射勘测没有多次覆盖，因而未能取得来自盐下层界面的可靠信息。

1. 油田发现的第一阶段

1975 年改为用共深度点法多次覆盖叠加信号的观测系统以后，在滨里海盆地中首次圈定了盐下组顶部 P_1 反射标准层。这时在已查明的卡拉通隆起的南边发现了一个大型孤立的隆起，幅度几乎达 1000m，构造面积达 400 多 km^2 ，顶部埋藏深度约 4000m（图 1-1-7）。图 1-1-8 为首次发现油田的一条地震剖面。

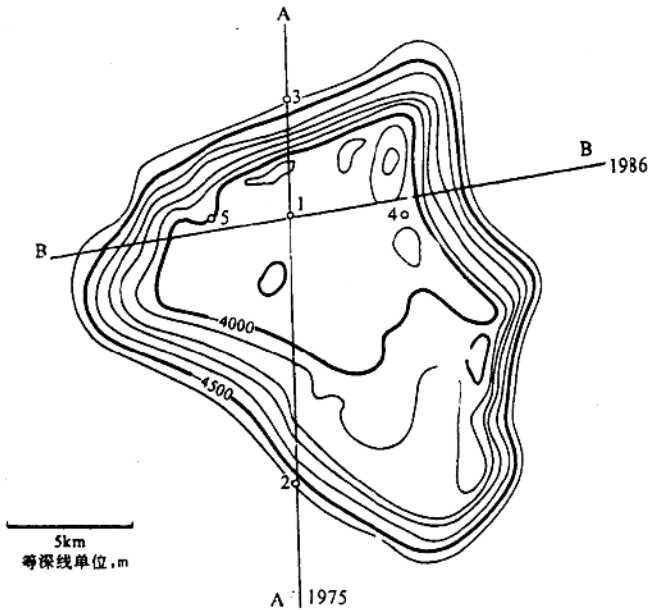


图 1-1-7 田吉兹油田盐层底部 P_1 层构造图

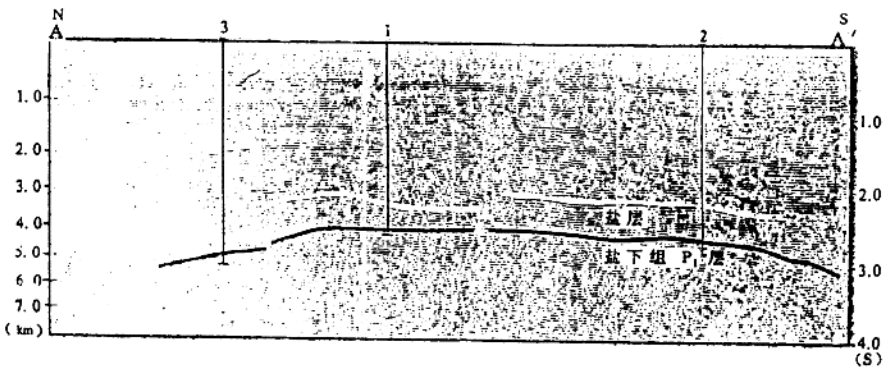


图 1-1-8 田吉兹油田 1975 年的地震剖面

如图 1-1-8 所示, 仅经计算机简单处理的地震资料的质量不高, 需要地球物理家的高度技巧, 以便区分出信号和对田吉兹的盐下目的层作空间描述。

2. 第二阶段

1979 年在田吉兹构造轴部钻了第一口普查探井。测试时获高产油流, 证实了被下二叠统泥岩和二叠系盐丘所覆盖的中石炭统石灰岩是高层岩。于是按构造纬向与经向的十字剖面部署了 4 口探井 (图 1-1-7)。同时开始对油田及其相邻地区进行了地震详查, 并加强了野外工作方法 (覆盖次数由 12 次增至 24 次, 时距曲线长度由 2400m 增至 3600m), 增加了用计算机的处理深度。从而大大提高了地震资料的可靠程度 (图 1-1-9), 出现了时间为 3.5~4.5 秒的较深的反射层, 在深 7.5~9km 区间内反映出比较平缓的构造背景。此外, 盐下组顶部的图变得更清晰和容易区分。在构造中部反射界面很明显, 几乎为水平的, 在构造翼部为一些幅度 30~50m 不大的脊状和相对较陡的斜坡, 按绕射波数量判断, 很不平滑。当然, 由于盐岩活动造成的盐层表面的分异性和在盐上层中存在着断层显得更清楚了。

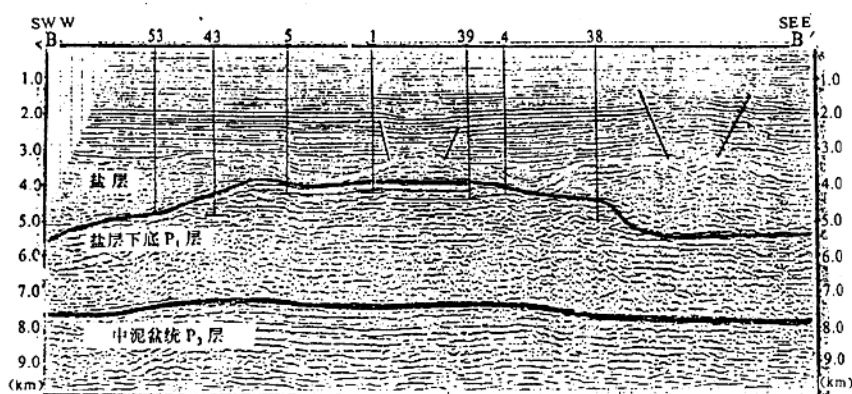


图 1-1-9 田吉兹油田 1986 年的地震剖面

80 年代初, 4 口探边井中的 3 口井均进入了盐下组地层, 并获得了不含水的高产油流 (第 4 口井由于技术原因未获油流)。其中田 3 井打开了盐下层, 并从比田 1、4、5 井低 700m 的盐下层获得了同样的石油。很明显, 这将是很大的油田。

3. 第三阶段

即油田勘探阶段, 开始于 1983 年。此阶段的主要特点是, 首次决定在勘探实践中同时钻 20 口深探井, 以打开 4000~5500m 深的油层, 并在整个构造范围内 (面积 580km²) 开展空间地震勘探。

碳酸盐岩剖面的含油井段中存在着许多钻井液吸收带、高含硫化氢带和地层高压带, 地层压力几乎超过正常静水柱压力一倍, 这些均造成了工艺上的很大困难, 需要采用复杂的井身结构, 因此, 目前一些钻井尚未能打开碳酸盐岩块体的全部岩系。该块体的最大揭示厚度为 600m, 但是考虑到, 一部分钻井打在了该块体的边缘部分, 所以能够研究深达 5400m 的盐下组地层。

目前在所有已钻的井中均获得了无水石油，尚未揭示油水界面。

二、地层剖面

根据腕足类、有孔虫、藻和各种孢粉的古生物研究，确定了钻探揭示的地层的地质时代，并且还利用氡测井、中子伽马测井和声波测井资料进行了地层对比。

从田吉兹油田的综合地层剖面（图 1-1-10），可得出关于该碳酸盐岩块体的沉积条件与沉积特征的概念。

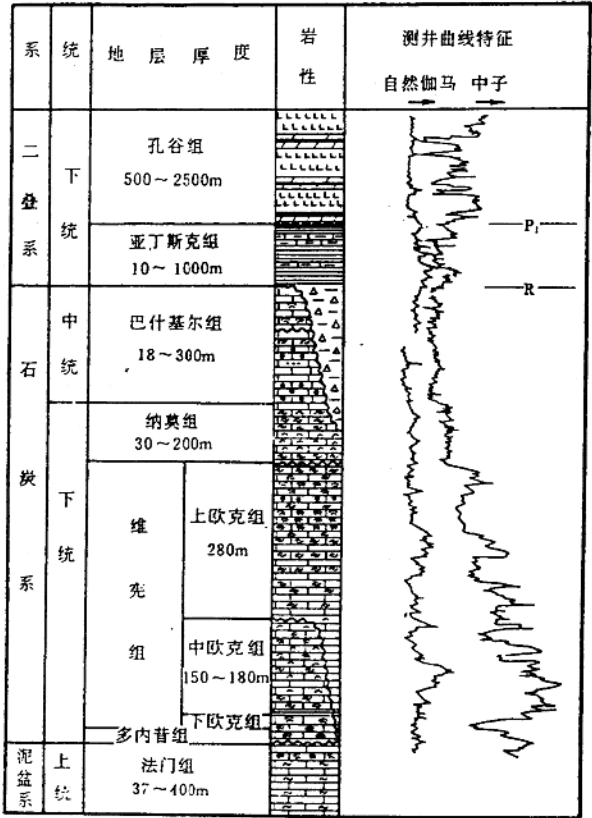


图 1-1-10 田吉兹油田综合地层柱状剖面

下面对田吉兹油田进行地层分析，同时还考虑了相邻地区的地层特点。

1. 泥盆系

目前钻井仅揭示了上泥盆统法门组，该组地层的揭示厚度在田吉兹为 37m，在卡拉通构造约 400m。这组地层主要是单一的生物灰岩，具很少量的白云岩薄夹层，是属于从泥盆纪初到中石炭世在内形成的台地相浅水碳酸盐岩建造的一部分。