

吐鲁番——哈密盆地

油气田开发工程

崔辉 王世信 主编

石油工业出版社

DEVELOPMENT ENGINEERING OF OILFIELD IN TULU



PETROCHINA

《吐鲁番—哈密盆地油气田开发工程》编委会

主 任：罗英俊

副主任：王世信 崔 辉 石兴春 刘宏斌 陶惠鑫 唐世荣

委 员：李保明 杨昌龙 周绪岷 王定坤 陆 绶 刘圣志

高淑梅 王仲林 王玉成 赵殿炎 李国诚 张建朝

王毓贤 夏雪聪 张志东

主 编：崔 辉 王世信

序

新疆吐鲁番—哈密油气田的开发以“高、新、快”为显著特点，在短短的几年中，就在一片戈壁荒原上建设起了一个现代化的石油企业，形成了年产 $300 \times 10^4 \text{t}$ 的原油配套生产能力， $6 \times 10^8 \text{m}^3$ 天然气外输能力。连续两年原油增幅超过 $70 \times 10^4 \text{t}$ ，居各油田年原油增幅的前列。从无到有，仅仅6年就跨入国家大型一类企业的行列，令国内外瞩目。

吐哈油气田之所以能取得这样的成就和效益，其根本原因是坚持改革开放，遵循“科技是第一生产力”的原则，在整个勘探开发建设中，按照以效益为中心的发展思路，贯彻“两新两高”的方针，通过艰苦奋斗，科技协作，把本来先天条件不足的低渗透油气田，开发建设出了比较高的水平，创出了低渗透复杂油气田的采油速度比较高、单井产量比较高、投资回收比较快，人员控制比较少的局面，整体压裂有效期超过三年，综合经济效益比较好等多项高水平。油田开发建设在应用新技术，学习东部油田经验方面有所创新和发展，在不同类型油田开发中取得了成功，已经开发建设了具有先进水平的鄯善、温米和丘陵油田及具有吐哈特色、一年回收建设投资的红连油田。目前又在实施我国第一个气水交替混相驱的葡北油田的开发；着手进行油藏深达3400m，原油密度达 0.97g/cm^3 的深层稠油油田的开发。这些都是石油开发界所密切关注的。

吐哈油气田的开发工程，从油田地质、油藏工程、钻井工程、采油工程、地面建设工程、生产测试、管理工程等诸多方面都已形成了一整套的工作程序和方法，配套了系列技术，积累了一定的经验。把这些作法、技术、经验进行系统的总结，不仅对提高吐哈油气田的开发水平具有重要意义，而且对其他新油田的开发建设与管理也有参考和借鉴意义，这正是写本书的初衷和目的。

吐哈油气田在开发工程诸方面的作法、技术和经验并非独家创造，而是和兄弟油气田、研究院所、大专院校共同合作，继承发展应用现有技术的结果。没有各界人士的鼎力支持与帮助，吐哈油气田开发是不可能达到目前这样的水平的。在本书出版之际，真诚希望本书能在我国油气田开发方面发挥一点参考和借鉴作用。

罗英俊
一九九二年十月于吐哈

前 言

吐鲁番—哈密（以下简称吐哈）盆地位于新疆东部，地处沙漠戈壁。石油勘探工作始于1954年，于1989年1月在鄯善构造上打出（台参1井）科学探索井，获工业性油气流，发现了鄯善油田。截止1997年底共发现39个构造带、399个各类圈闭，圈闭面积达3379km²。在14个含油气构造带上的44个圈闭中发现了16个油气田、86个油气藏。先后有鄯善、温米、丘陵、巴喀等油田全面投入注水开发，形成了年产原油300×10⁴t以上的生产能力和石油储运能力，建成了现代化的新型油气生产基地，确立了吐哈油气田在西部石油工业发展中的重要地位。

已探明石油储量的绝大部分属于低渗透和特低渗透油田储量。由于低渗透油田储层结构的复杂性和流体渗流的特殊性，大大增加了开发的难度，用常规方法开发这样的油田，技术要求高、投入大、效益低。针对这种情况，吐哈在低渗透油气田开发中采用了三维地震、现代测井、现代试井、现代测试及密闭取心等技术，全方位地获取地下第一手资料；深入开展地质综合研究，作好油藏评价，客观地认识油田地质特征和开发的规律；在开发方案研究和钻井、采油、地面工程设计中，通过多学科、多专业相互渗透、紧密配合，针对油田特点应用新理论、新方法、新工艺、新技术，在实践中不断完善充实，形成了先进、适用、配套的工艺技术系列；较好地解决了开发建设中的效率、效果、效益问题。在油田开发过程中科学地制定开发方针、技术政策和工作程序；坚持了合理井距、早期注水、注采平衡、保持地层压力、放大压差采油等开发程序；对每一个油藏都应用数值模拟技术跟踪开发动态，对生产过程进行优化、调控、预测和科学管理；在开发方式上注重整体压裂改造、微超压注水、利用和控制裂缝，有效地改造油层剖面，保持油水前缘的均匀推进，加大注水波及体积，保证注水开发的效果。在地面工程建设中始终坚持地面与地下相结合，设计跟踪施工，简化工艺流程，以满足生产管理要求；所选用的设备立足于可靠、高效，仪表自动化水平符合国情及沙漠地区特点，实现了每百人管理100×10⁴t/年的目标。

本书明确地提出了油气田开发工程的概念。书中以油气田开发作为一项系统工程，对地质、钻井、测井、油藏、采油、自动化、油田建设经营等各专业在油气田开发实践中创造性地进行科学研究和工程经营活动，用高新技术，建设和开发油田的丰富资料和成功作法进行了研究和总结，说明油气田开发本身既是一项极其庞大而复杂的系统工程，又是一项应用综合性科学技术的大型工程。

本书按系统工程的专业内容分八章编排：第一章油气田地质、第二章油气藏工程、第三章钻井工程、第四章开发测井、第五章采油采气工程、第六章油气田地面工程、第七章油气田生产自动化、第八章油气田经营管理。它以丰富翔实的资料、以多专业的有机联系较全面地反映了技术理论与油田实际相结合，高速度、高水平、高效益的开发建设低渗透油田的成功实践。它是一部由专家、技术人员集体编著的成果，它凝聚了多年来谭文彬、赵熙寿、王鹏等领导和广大参战职工付出的大量心血，是全面了解吐哈油气田开发情况重要的参考文献。

本书由崔辉、王世信主编。绪论由王世信、崔辉编写；第一章由崔辉、孙玉凯、谭光

天、徐君、谢佳析、李艳明、李正科、石家骧、李果年、高淑梅等编写；第二章由王玉成、彭长水、梁文发、王宏建、于锋、李江予、马红梅、杨凯雷、张桂林等编写；第三章由杨代睿、徐良才、顾军、陈德光等编写；第四章由张建朝、贾晓平、张家斌、张玉明编写；第五章由刘洪亭、王冬梅、殷玉川、雷雨、何先俊、毕国强等编写；第六章由李国诚、何祥初编写；第七章由殷百寿、黄一兴、陈致清、罗天鹏、王风田等编写；第八章由陆绶、潘忠峰、李继成等编写。

在本书编写过程中，石兴春、陶惠鑫、吴涛、刘宏斌、杨昌龙、王定坤、周绪岷、李保明、王仲林、赵殿炎、夏雪聪等领导同志和专家对相关章节进行了审改，在此深表谢意。全书由崔辉统编，最后由罗英俊全面审阅。书中不妥或错误之处，诚盼读者批评指正。

目 录

绪论	(1)
第一章 油田地质	(6)
第一节 区域地质特征	(6)
第二节 油气田构造	(25)
第三节 储集层	(46)
第四节 沉积相	(68)
第五节 油、气、水关系及其分布	(91)
第六节 流体性质	(101)
第七节 石油、天然气储量	(124)
第八节 油藏描述技术及应用	(139)
第九节 油气藏主要特征	(156)
第二章 油气藏工程	(176)
第一节 油气藏工程基础	(176)
第二节 油气田开发方案设计	(194)
第三节 油气田开发方案实施与研究	(203)
第四节 油气田开发过程的调整与控制	(209)
第五节 油气田开发动态监测与分析	(237)
第六节 试井技术	(243)
第七节 天然气藏特征及开发准备	(271)
第三章 钻井工程	(290)
第一节 钻井工程基础	(290)
第二节 钻井工程质量	(294)
第三节 井眼力学稳定性及井身结构	(298)
第四节 快速钻井技术	(309)
第五节 钻井液	(318)
第六节 钻井过程中的储层保护	(324)
第七节 特殊固井技术	(335)
第八节 水平井钻井技术	(344)
第九节 钻井工程方案的编制与实施	(350)
第四章 开发测井	(354)
第一节 测井系列设计	(354)
第二节 测井质量控制	(357)
第三节 裸眼井测井解释方法	(364)
第四节 测井地质学应用	(381)
第五节 生产动态测井及应用	(390)

第六节 工程测井·····	(396)
第五章 采油工程 ·····	(403)
第一节 采油工程设计基础·····	(403)
第二节 完井工程·····	(406)
第三节 射孔工艺技术·····	(409)
第四节 投产工艺技术·····	(417)
第五节 采油方式·····	(419)
第六节 注水·····	(479)
第七节 整体压裂技术·····	(484)
第八节 油井清防蜡·····	(518)
第六章 油气田地面工程 ·····	(523)
第一节 地面工程简况·····	(523)
第二节 油气集输工程·····	(529)
第三节 注水工程·····	(556)
第四节 油田公用系统·····	(563)
第五节 矿区建设·····	(578)
第六节 工艺技术指标·····	(582)
第七章 油气田生产自动化 ·····	(586)
第一节 油气集输工艺流程概述·····	(586)
第二节 自动化系统的基本模式·····	(587)
第三节 自动化系统的功能·····	(587)
第四节 自动化系统的构成及特点·····	(595)
第五节 现场测控仪表·····	(601)
第六节 机电一体化设备的应用·····	(605)
第七节 自动化系统的运行维护·····	(607)
第八节 自动化技术的应用效果·····	(609)
第九节 油田自动化发展方向·····	(611)
第八章 油田经营管理 ·····	(614)
第一节 新型管理体制·····	(614)
第二节 项目管理·····	(618)
第三节 经营管理·····	(619)
第四节 经济界限分析方法研究与应用·····	(627)
第五节 经营效益·····	(648)
参考文献 ·····	(652)

绪 论

随着我国现代石油工业的迅速发展,石油科学技术和油气田开发水平、经营实力明显提高,油气田开发工程已成为石油工业重要的研究领域。吐哈油田,坚持“两新两高”的工作方针,即采用新体制、新技术,创造高水平、高效益,以油气田开发工程的模式具体组织实施了油气田建设和开发,取得了明显的效益。油气田开发工程就是运用现代科学技术和管理方法,高效开采油气资源的系统工程。

油气田开发工程,首先是多学科的综合,主要包括油田地质、油藏工程、钻井工程、采油工程、油气集输及处理工程、安全环保工程、油气开发经济等专业的工程理论和技术,建立油田开采的工程技术体系。

油气田开发工程,又是多学科协同,用现代管理方法,把各学科统一到油气资源开发和高水平、高效益的原则上,应用三维地质模型、数值模拟等技术,使各学科达成共识,提高技术体系的科学性和综合性。

油气田开发工程把油气田开发过程划分为三个阶段。即油气田开发准备阶段;油气田开发建设阶段;油气田开发生产经营阶段。

油气田开发准备阶段:是对预探发现的油气田进行油藏评价,落实油气储量,进行开发设计,包括油田地质工程、油藏工程、钻井工程、采油工程、地面工程等设计及开发经济评估,确定油气开发井网层系、开采方式、生产能力、钻井、采油技术系列,油气集输、处理净化、储运等方案,供水、供电及通信、道路设计,投资规模及评价,这个阶段是油气田开发的决策阶段,也是为以后数十年生产经营奠定基础的阶段,主要任务是编制适合油气田特点的开发工程设计。

油气田建设阶段:油气田产能建设是以项目管理为组织产能建设的有效形式。油气田开发工程在这一阶段的任务是,多专业联合编队,加深对油气田的认识,跟踪研究,全面实施开发工程设计,实现油气田高水平、高效益的建设目标。

油气田开发生产经营阶段:油气田投产以后,开发工程的任务是进行油气生产经营,追求高效益,提高对油田认识的精细程度,确定开发生产政策,控制油气田的动态趋势,研究、实施提高采收率计划。开发上追求最大采收率,经济上追求最大利润。

虽然油气田开发各阶段的工程项目和工程内容有所不同,其终极目标是一致的。油气田开发工程实践贯穿于全过程。因此,深入的油藏研究,工程技术的进步是始终的主题,经济效益寓于其中。

吐哈油田是低渗透、特低渗透的油田,其开发的主要做法及技术是油气田开发工程的一个类别。世界上已经发现的 33000 多个油气田没有一个是相同的,只有类同,可见其复杂性。

吐哈已投入开发的油田、油藏埋深一般 2500~3000m。这些油气藏的复杂性表现在:油气藏类型多,油水关系复杂;储层物性差,非均质性强,多为小孔隙细喉道;储层粘土含量高,对外来流体的敏感性强,易受污染;潜在裂缝和微裂隙发育;天然能量不足,自然产能低,需要人工补充能量;原油油质轻,挥发性强,气油比高,对油气集输、处理和储运工程

提出了更高的密闭技术要求。

油层渗透率是油层渗透能力的综合指标参数,它表示了油层平均孔径大小和流体通过的能力。习惯上把油层按渗透率大小划分为高、中、低渗透油层。目前国内外一般称渗透率小于 $50 \times 10^{-3} \mu\text{m}^2$ 的油层称为低渗透油层。在国内还把渗透率小于 $10 \times 10^{-3} \mu\text{m}^2$ 的油层为特低渗透油层。吐哈油田已探明石油储量绝大部分属低渗透油层,其中特低渗透油层储量占总储量的 40%。由于低渗透油层结构的复杂性和渗流的特殊性,许多涉及低渗透油田开发理论问题,尤其是低渗透油层渗流机理及渗流规律等尚待进一步研究。

据现有资料,普遍认为低渗透油层因为渗透率低,孔隙度小,孔隙类型复杂,微观孔隙结构增强,比面增加,固液界面分子力和电荷力作用增强,渗流速度减小,导致渗流阻力增强,大大增加了开发的难度。

任何一个油气田的开发过程,都是实践—认识—再实践—再认识的过程。油田开发需要国家投入大量的资金、人力和物力。吐哈油田主要以贷款方式筹措资金,进行油气田开发建设,在还贷时间和空间活动范围上受到严格的限制。因此,必须坚持以效益为中心,依靠科技进步,加快速度,严格质量,节约成本,提高效益。在开发初期主要做法概括为五点。

1. 油藏评价和总体开发方案设计的编制

在一个构造上第一口预探井获工业油气流,将意味着一个新油田的发现,油田开发人员就要早介入,与勘探人员一起,共同进行油藏评价工作,从认识油藏整体出发,统一部署收集资料、争取用最少的投入获取最多的地下信息,充分应用地震、钻井、测井、测试及地质化验分析资料,对油藏进行综合研究和描述,包括油藏构造,构造应力场,储层和储集空间,油层分布,储层沉积相,油藏压力和温度系统,油藏流体性质和分布规律、储层物性及变化规律,油层的产能。建立地质模型,评价探明储量,计算可采储量。在油藏整体评价基础上进行开发可行性研究(或概念设计),提出规划性的初步开发部署,对开发方式,井网密度、生产规模及采油工艺技术和油气集输提出建议。

新油田探明储量,经国家矿产储委会审查批准后,以此为依据编制油田总体开发方案设计,它是指导和规划油田开发最重要的纲领性技术经济文件。一个油田的总体开发方案设计,包括地质研究、油藏工程设计、钻井工程设计、采油工程设计、地面工程设计和总体经济评价等,它是通过多学科、多专业联合研究共同完成的,最佳的总体开发方案设计必须在各项工程设计之间有最佳的衔接,整体达到最好的经济效益和技术水平。为此,在油田开发方案编制和工程设计过程中,注重基础研究和基础试验,积极采用新理论、新技术、新方法,充分论证开发井网部署、层系划分、开发方式的选择、采油方式和主要工艺技术的确定;论证及确定油气集输系统及注水工程,包括油气分离,集输装置、地面集输流程、天然气处理、轻烃回收装置及工艺流程、油气外输方式等。设计必须是多方案对比,全面的技术评价,推出最佳设计,经高层次专家评审会审查通过,上报批准后实施。

2. 开发方案实施及跟踪实施研究

油田总体开发方案经审查批准后投入实施。产能建设项目组为甲方,组织钻井、测井、测试、井下、油建等专业队伍进行施工。同时,地质研究和油藏研究人员要明确提出钻井次序,并密切配合钻井进行随钻分析,跟踪研究,及时调整井位,做到不打落空井和少打低效井。从布井到射孔投产应遵循的程序是:定位井→钻井、完井→油层对比→注采井别确定→射孔诱喷→投产。考虑到方案设计阶段对地下情况的认识有限,在开发井完钻后,应及时进行油层对比,加深对油层分布及连通性认识,加深对边、底水及气层分布的认识,然后确定

注采系统,使绝大多数油井尽可能多层、多方向受到注水效果,让每一个区块最大限度地处于有效的水驱作用下开发,提高水驱动用储量,尽可能减小失控区。

3. 应用先进采油工艺技术解决低渗透油田开发中的难题

为了有效的开发低渗、特低渗透油田,在开发实践中不断摸索,逐步形成配套的开发工艺技术,包括整体压裂技术,高效注水技术,清防蜡技术,气举采油技术,深井有杆泵采油技术,油层保护技术,生产测试技术,连续油管车和制氮车联合作业技术等。

整体压裂改造技术的应用,建立人工支撑缝,提高油层导流能力,改善油层渗流条件,提高油井生产能力和油层剖面动用程度,运用整体压裂技术,平均单井产量可增加 2.3 倍,裂缝规模可以得到有效的控制。

高效注水技术的应用,解决了低渗透油田天然能量不足,需要早期注水保持地层压力的问题。由于储层物性差,吸水能力低,注水难度大,水质标准要求高。紧紧抓住“水质、压力、剖面”三个环节,经多次室内和现场试验,形成了早期高效注水配套工艺技术。通过高效注水,恢复保持了地层压力,延长了油井自喷期生产。

由于吐哈油田的原油中高碳蜡(C_{42} 以上)占总含蜡量的 50%,其熔点高达 99℃,在生产过程中,油井油管内、地面管线中结蜡十分严重,经过多方研究试验各种国内外现有清防蜡技术,最终选择以内衬(玻璃)油管配套短循环热洗清防蜡技术,解决了油井结蜡问题,应用效果好,经济合理、已形成工业化应用规模。

气举采油技术的工业化应用,解决了自喷油井停喷后的产量接替问题。气举井的生产压差最大可放大到地层静压的 0.3 倍,产油量提高 1.47 倍,已经形成了从气举采油设计、气举阀调试、单元配气优化、气举阀投捞到气举工具配套设计与加工制造等五项配套技术。

吐哈油田低渗透储层对外界流体的矿化度变化很敏感,易受外来流体的伤害,尤其水敏和盐敏损害最为严重。极大地降低了油井生产能力和注水井吸水能力,为此采取了非常严格的开发全过程中的油层保护措施。包括钻井用屏蔽暂堵技术,油管传输负压射孔(或正压射孔)和低伤害无固相射孔液等保护措施,取得了较好的技术经济效果。

连续油管车与渗透薄膜纤维氮车配套应用,形成了适合吐哈特点的作业技术,有效地解决了井下施工作业中返排难和伤害油层的问题。同时还可用来诱喷,冲砂、掏空油管建立负压等各种类型作业,成为低渗透油田作业的新型手段。

4. 不断提高设计水平,实现油田地面工程建设的高水平

在吐哈油田地面工程建设中,始终坚持地面与地下结合,设计跟踪施工,简化工艺流程,以满足生产管理要求。选用设备立足可靠、高效,仪表自动化水平符合国情及戈壁滩特点,以经济效益为中心,降低工程造价,提高整体效益的指导思想,在鄯善、温米、丘陵等油田的建设中创出了新业绩。油气集输实现了单管常温密闭集输;原油稳定和气体处理同时配套设计、配套建设,为油田伴生气综合利用创造了条件;采用先进的计算机工业自动化控制系统和程控交换通讯系统,达到井站无人看守,大站集中控制,数据采集、传输和处理实现“三遥”管理,大幅度减少了岗位和操作人员。联合站的平面布置打破了传统的做法,打破了油、气、水区的界限,采用联合装置,减少了设备及管网,减少了巡回检查岗位,节约了占地,方便了管理。在吐哈油田地面工程建设中,设计人员充分发挥主观能动性,主动解决地面地下接口上的难题,及时处理施工投产中出现的问题,保证了一流的设计、一流的施工、一流的管理,实现了油田地面工程建设的高水平。

5. 开发过程的调整和控制

为了对油田开发过程进行有效调整和控制,推动油田开发工作向更高的目标前进,必须处理好以下3个问题。

1) 裂缝的控制和利用

裂缝在油田开发中的作用既有利又有弊。吐哈油田在开发中一方面通过水力压裂可造成严格控制的人工支撑缝,另一方面,通过有限制的高压注水,利用原有潜在缝,提高注水效率。在具体作法上,一是搞清地应力分布及其主要方向和压裂形成的人工裂缝的主要方向。二是注采井网设置,做到注采线方向与最大地应力方向呈一定角度(最大 45°),以避免油水井间裂缝相沟通。三是确定井距与油层改造相结合。井距过大影响注水效果的发挥,井距过小限制油层改造技术的应用,从充分利用和严格控制裂缝考虑,结合其它因素优选合理井距。四是实施整体压裂改造油层,严格控制裂缝延伸长度。油井一般控制在井距的 $1/4$ 以内,注水井则不超过井距的 $1/6$,以保持较高的注水波及体积,延长油井无水采油期。支撑缝导流能力保证油井增产有效期在三年以上。五是高压、高效注水。低渗透油层需要有较大的启动压差,要用较高的泵入压力才能注水。把注水压力提高到地层破裂压力附近注水,在近井地带潜在缝张开吸水。利用潜在裂缝提高注水量,吸水能力提高2倍以上。理论计算和实践表明,只要注水压力保持稳定,已张开的裂缝不往油层深部延伸,也不会影响注水波及效率。注水水质要求严格,有些指标比行业标准定的略高一些,为的是保证不因水质因素造成油层堵塞而降低吸水能力。六是坚持保持地层压力,这是利用和控制好裂缝的前提。过高的地层压力可诱发潜在缝张开,降低水驱油效率;过低的地层压力可使形成的水力裂缝闭合,降低导流能力,影响油田注水效果和生产能力的发挥。

2) 建立和利用大压力梯度、大生产压差

低渗透油层,由于导压系数低,渗流能力差,流体渗流过程中造成很大的压力损耗,因此,在注采井之间需要建立较大的压力梯度,注水井端有很高的水压头,采油井端有较低的井底压力,才能保证实现有效的水驱油过程。由于注采井间的这种压力梯度是连通层的有效压力梯度,对克服毛管力和粘滞力造成的流动阻力非常有利。相应地在采油井中主要通过压裂改造油层提高导流能力和强化的人工举升方式,降低井底压力来建立大生产压差以使油井正常生产。在这种条件下,仍不能满足高效开发生产的需要时,应考虑适当布置调整井加密井网。缩短注采井间距离。

3) 开发过程的调整和控制

低渗透油藏注水开发过程中随着水驱过程的加强,油层含水饱和度增加,油相相对渗透率急剧下降。生产上表现为油井见水,含水上升,产液指数和产油指数明显下降。油井产量连续下降,直接影响产量稳定,影响开发效果,应该有计划地开展油田调整工作。利用岩心驱替试验,相对渗透率试验,理论计算和数值模拟成果绘制每一个油藏的含水率与采出程度关系曲线,作为该油藏的标准目标函数曲线。根据每一个阶段油田开发生态、采取综合措施,使实际曲线与目标曲线趋于一致。据此,制定无水期、低含水期、中含水期等各阶段产量指标和相应的开发技术政策。在无水采油期主要措施有,压裂改造油层、增加射孔密度等提高导流能力,增加油井产量;在中、低含水期主要是上抽、气举降低井底压力、加大生产压差提高油井产量,部分井进行重复压裂,多次压裂和查层补孔增加储量动用,完善注采层位,提高注水效率。油藏的整体效益来自各阶段进行的有效综合性措施效果。因此,要充分应用油藏数值模拟技术对油田进行跟踪分析。结合油田开发生态实际制定出科学的,最优

的油田调整方案，以提高单井、单项措施的效果来保证综合性调控措施的整体效益。

吐哈油田是我国石油工业“稳定东部，发展西部”的主战场之一。油气田开发工作具有使储量转化为产能快，产能转化为产量快，产量转化为效益快的特点。

实践再一次证明，只要善于应用我国油田开发的经验和现代先进的科学技术，积极探索低渗透油田开发的新路子，那些难以动用的低渗透层石油储量也可作为开发对象，带来好的经济效益。

第一章 油田地质

第一节 区域地质特征

一、概况

吐鲁番—哈密盆地（简称吐哈盆地）位于新疆东部，四周环山，西起喀拉乌成山，东至梧桐窝子泉附近，北依高耸的博格达山、巴里坤山和哈尔里克山，南抵低矮的觉罗塔克山。火焰山横贯盆地西部中央，绵延240km。盆地呈狭长条状，东西向展布。东西长660km，南北宽60~130km，面积约53500km²。地势北高南低，最低点位于艾丁湖凹地海平面之下154m，而博格达峰高为5445m。

吐哈盆地属典型大陆性气候，夏季酷热少雨，冬季寒冷干燥，年、日温差大，降雨极少，蒸发量大，多大风沙暴。除城镇周围有片片宜人的绿洲之外，多为戈壁荒漠。水资源主要为北部山区融雪，通过山沟流出山口，形成具有调节作用的地表水和地下径流。

盆地耐力20t/m²，地震烈度6~7度，大型油罐等主要设备和主要建筑按7度设防。区内交通方便，兰新铁路及312国道横贯盆地中北部，西部亦有通往南疆的铁路和公路，为进行石油勘探和油气田开发提供了便利条件。

二、区域地质背景

吐哈盆地是一个在前寒武纪基底及古生代褶皱基底上发育起来的中、新生代内陆湖沉积盆地，属准噶尔—吐鲁番地块的一部分，早古生代期间，准噶尔—吐鲁番地块为哈萨克斯坦板块的东延部分。晚古生代—中泥盆世陆表海发育。中晚泥盆世，博格达—哈尔里克裂陷形成海槽，将准噶尔—吐哈地块一分为二，成为准噶尔地块和吐哈地块（图1—1—1）。

晚石炭世，由于西伯利亚板块，哈萨克斯坦板块和塔里木三大板块碰撞，拼接缝合，至早二叠世末，博格达—哈尔里克海槽回返。晚二叠世，由于西伯利亚板块与准噶尔地块碰撞向南推挤，塔里木板块与吐哈地块碰撞向北挤压，使博格达—哈尔里克裂谷封闭并开始褶皱隆起，直到中侏罗世以后，逐渐发展成为博格达—哈尔里克（天山）造山带。晚第三纪—第四纪喜山运动使其强烈隆升，并向南掩冲挤压，盆地基底向山体下俯冲，使山体最高处超过4500m。该造山带总体呈东西向展布，长约450km，宽约40~60km，以推覆断裂带向南侧的中新生代盆地逆冲。造山带地层主要由石炭系浅滨海相火山碎屑岩、中基—中酸性火山岩及碎屑岩组成，部分地区有较零散的泥盆系及二叠系地层分布。石炭纪火山岩来自深度不同的岩浆源，未经充分的岩浆分异作用，表明大陆内部裂谷喷发形成。该造山带为吐哈盆地的北部物源区。

南部觉罗塔克山是哈萨克斯坦板块和塔里木板块的对接带。早石炭世，哈萨克斯坦洋壳向南俯冲、消失，和吐哈地块与塔里木板块碰撞形成隆起的造山带，这是古岛弧、海沟的遗迹。活跃的火山喷发使这个地区基性、中酸性火山岩十分发育，厚1000~6000m以上，最厚达万米。西部是英安—安山岩建造，东部是碧角斑岩—玄武岩建造。中石炭世，造山活动持续，曾一度隆起较高。中基性火山岩、火山碎屑岩、陆源碎屑岩夹碳酸盐发育，厚度1600~3000m以上。碎屑岩具复理石建造特点。复理石主要由硬砂岩和粉砂质泥岩组成，韵

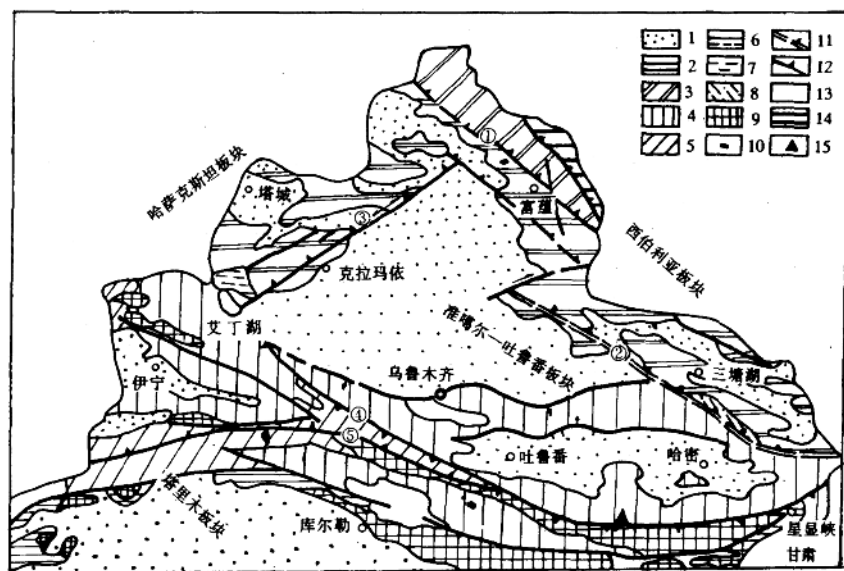


图 1—1—1 准噶尔—吐鲁番板块构造图

- 1—盆地区；2— D_3-C_1 陆棚浅海相；3— $\epsilon-S$ 冒地槽相；4— P_2 冒地槽建造及岛弧沉积；5— D 冒地槽（含部分岛弧沉积）；6—陆棚建造；7— $O-S$ 大洋沉积组合；8— $O-S$ 碎屑建造；9— $An \in$ 结晶岩；10—超基性岩；11—缝合线（箭头示俯冲方向）；12—俯冲断裂带；13—断层编号；14— $D-S$ 大洋沉积组合；15—混杂堆积；①—额尔齐斯断裂带；②—克拉美丽—麦钦乌拉缝合线；③—达尔布特断裂带；④—艾丁湖—星星峡断裂带；⑤—汗腾格里—库米什断裂带

律层厚 2~3cm，最厚 470cm，韵律明显，层面有不对称波浪，偶见凝灰岩夹层。硬砂岩属浊积沉积，其碎屑主要是安山岩碎屑和钠长石碎屑，多呈棱角状。这套复理石沉积、覆盖于碱性火山岩之上，具岛弧型复理石特征。上石炭统地层不发育。至早二叠世末，经构造变动，上二叠统为磨拉石建造，下部夹海相灰岩。侏罗纪末期的燕山运动，觉罗塔克山仍为一低缓的隆起，成为盆地从南部后续充填的主要物源区。

吐哈盆地北部的博格达山和南部的觉罗塔克山，作为盆地界山处于不同地理位置，属不同的构造单元，其发育历史不尽相同，形成的建造组合各异，直接影响了盆地的形成和发展。

三、构造单元与圈闭

盆地基底和基底断裂对盆地内部构造单元和沉积区的形成起控制作用。吐哈盆地具有双重基底，即前寒武系结晶基底和古生界褶皱变形基底。前寒武系结晶基底是从准噶尔地块中分离出来的一个小型地块，是哈萨克斯坦板块的一个组成部分。古生界褶皱变形基底是由泥盆—石炭系为主的上古生界变质岩，火山岩、火山碎屑岩，花岗岩及碎屑岩形成，在盆地南部地区有较强烈的变质变形。

前寒武纪的结晶基底抑制了盆地的活动性，使其在盖层沉积的大部分阶段都比较稳定。但是，古生界变形基底使盆地盖层表现出较为活跃的构造变动：强烈的侧向挤压、逆冲断层的广泛发育、背斜构造的高幅陡翼、线性排列、甚至轴面倒转，以及盆地的多期隆升与剥蚀。

在博格达裂谷发育时期,盆地北部形成近东西向的北缘基底深断裂,东西长 500~600km,断面北倾,沿断面可见古生界地层逆掩于中生界地层之上。北缘深大断裂的活动控制着北部沉降带的发育。侏罗系地层最厚达 4600m,沉积速率 0.066mm/年。

在盆地中央形成的中央基底大断裂分为东西两部分。东段为北东向的七克台深断裂,在燕山期活动激烈。西段为北西向的火焰山深大断裂,在喜山期活动激烈。中央大断裂东西长 200km,断面北倾,是分割盆地为南北不同构造单元的分界断裂。

在盆地南部沿南缘形成的康古尔塔格基底深断裂发育于晚中生代,中新代趋于稳定。断裂以北地区,中新代沉积发育,但在以南地区仅有零星分布。

综合考虑海西—印支期和燕山—喜山期两大构造层格架叠加,盆地构造单元划分为 3 个一级单元,即吐鲁番拗陷、哈密拗陷及了墩隆起;11 个亚一级单元,包括 6 个凹陷和 5 个凸起(隆起);39 个二级构造带(图 1—1—2);399 个局部构造(或圈闭)。以中央低隆起为界,北部为台北凹陷,发育 9 个二级构造带、116 个局部构造;西部为托克逊凹陷,科牙依凹陷和布尔加凸起及鲁西凸起、塔克泉凸起和南湖隆起,发育 15 个二级构造带,114 个局部构造;中部为中央低隆起,分布有 3 个二级构造带,49 个局部构造。东部哈密拗陷分为三堡凹陷、火石镇凹陷和黄田凸起。

圈闭是聚集油气、保存油气、形成油气藏的基本地质单元,是石油钻探的主要对象,已发现圈闭总面积 3379km²。

圈闭的成因类型多种多样。不同的地质环境、不同的构造运动,可以造成多种类型的圈闭。按成因把圈闭分为三大基本类型:构造圈闭、地层圈闭和岩性圈闭。吐哈盆地发现的圈闭中属构造类型占总数的 87.6%,岩性、地层型占 12.4%。构造圈闭又细分为背斜型、断背斜型、断鼻型和断块型(表 1—1—1)。圈闭主要集中分布在台北凹陷、中央隆起带和台南凹陷,占总圈闭的 76%。按地质层系统计,主要在中侏罗统和三叠系,占圈闭总数的 72%。圈闭集中分布地区和层系是预测含油气前景最好、最有希望的地区和层系,也是目前油气田勘探的重点地区和主要目的层系。

圈闭预探成功率是衡量一个地区油气勘探技术水平高低的重要参数之一。截止 1996 年底,累计预探 106 个圈闭,有 38 个获工业油气流,成功率为 35.8%。如果对预探失利的 59 个圈闭进行失利原因分析,不难看出圈闭的可靠性和油源的有无、贫富程度对预探成功率的影响最突出(圈闭不落实的占 42%;保存条件差的占 39%;储集条件差的占 7%;油源条件

表 1—1—1 吐哈盆地圈闭分布表

拗陷	分布区	圈闭数	圈闭面积 km ²	备注
吐鲁番	台北凹陷	116	1401.3	
	中央隆起	49		
	托克逊凹陷	25		
	科牙依凹陷	14	241.6	
	布尔加凸起	13		
	台南凹陷	62	578.5	
哈密		三堡、火石镇凹陷	20	229.8

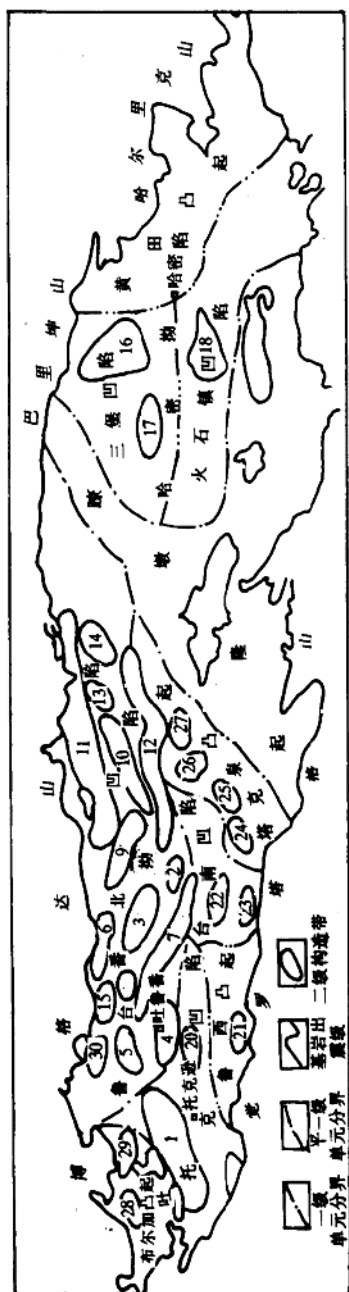


图 1—1—2 吐哈盆地构造单元划分图

- 1—伊拉湖构造带；2—红南构造带；3—胜南构造带；4—额北构造带；5—青德克构造带；6—煤窑沟构造带；7—火焰山构造带；8—雁北构造带；9—丘陵构造带；10—温吉桑构造带；11—鄯善构造带；12—七克台构造带；13—小红湖构造带；14—红台构造带；15—七泉湖构造带；16—四道沟构造带；17—五堡构造带；18—火石峡构造带；19—乌苏构造带；20—杜光湖构造带；21—卡尔构造带；22—鲁克沁构造带；23—鲁南构造带；24—库木结构带；25—沙墩构造带；26—塔西构造带；27—塔克泉构造带；28—科牙依断块群；29—可尔街构造带；30—卡拉图构造带

差的占 49%；油源与圈闭匹配关系不好的占 31%；其它原因有占 5%）。说明圈闭准备程度低、落实的有效圈闭不足是制约勘探发展的主要因素。为落实和准备构造、圈闭，发现新构造、新圈闭，必须加强勘探技术与方法的研究和应用，开展三维、变速成图落实构造和圈闭，进行精细的储层预测和针对性的含油气性预测，攻克山地地震和高陡构造及其内幕成像技术，强化地质录井、发展随钻分析技术、完善测井系列，及时、准确、齐全地获取地质信息和油气显示等资料，在此基础上深入进行地质综合研究，掌握油气富集规律、精选有利构造和有效圈闭，进一步提高勘探效果。

四、区域地层

吐哈盆地的沉积盖层由一套二叠系至第四系的陆相碎屑岩地层组成，基底主要由石炭系构成（表 1—1—2）。

1. 石炭系（C）基岩

在盆地内部揭露极少，根据博格达山区露头资料推测，下部由灰绿、紫色玄武玢岩、玄武岩夹粉砂岩、凝灰砂岩、安山玢岩、英安斑岩组成，中部为灰绿、紫红色辉石安山玢岩、石英玄武岩、玄武岩、粉砂岩、凝灰砂岩和灰岩透镜体。上部为灰、浅灰、绿色凝灰岩、砂岩、紫红色流纹斑岩、火山质熔岩、角砾岩、集块岩。厚度不祥。

2. 二叠系（P）地层

由于在盆地内部钻井揭露很少，其区域分布及剖面类型尚不清楚，根据边缘山区露头及少量钻井资料，岩性以巨厚杂色砾岩、砂砾岩为特征，岩性较粗，其次发育有灰色含砾不等粒砂岩、灰绿色含砾砂岩，并夹有薄层灰黑色泥岩及浅灰色细砂岩。

3. 三叠系（T）

钻井资料显示地层分布不均匀。在西部地区下三叠统缺失，中、上三叠统只在局部地区（如布尔加凸起、胜南—雁木西）剥蚀缺失外，其它地区均有分布，最大厚度达 1200m。在东部地区（哈密），下、中、上三统齐全，在其南边最大厚度达 3500m。

1) 韭菜园组（T_{1j}）

上部为棕红、褐红色砂泥岩，下部为红褐色粗砂岩、砾状砂岩，含方解石晶簇。有水龙兽、腹足类和抱粉化石。岩性自西向东变粗，厚度减薄，最大厚度 390m。

2) 烧房沟组（T_{1s}）

为紫红色砂泥岩夹灰绿、蓝绿色砾岩、砾状砂岩，含钙质结核。化石主要为抱粉。自西向东岩性变粗，厚度增大，最大厚度 180m。

3) 克拉玛依组（T_{2-3k}）

底部为灰黄色厚层状砾岩，上部为褐红色泥岩、砂质泥岩及灰绿色砂泥岩。含肯氏兽、介形虫、植物、抱粉化石。岩性自西向东变粗，厚度增大，为 90~490m。

4) 黄山街组（T_{3hs}）

为暗灰绿色、灰黄色砂质泥岩、泥岩夹黄绿色砂岩、碳质泥岩及煤线。化石丰富，有植物、双壳类、抱粉。岩性稳定，厚度为 165~320m。

5) 郝家沟组（T_{3h}）

主要为灰绿色、黄绿色粉、细砂岩，砂岩夹灰绿色、灰黑色泥岩，底部为砾岩，局部夹薄层碳质泥岩和煤线，厚度 105~230m。含化石丰富，有植物、甲壳类和双壳类虫、古鲕鱼化石及抱粉等。