



孙龙德 主编

塔里木盆地 凝析气田开发

Development of Gas Condensate Field in Tarim Basin

石油工业出版社
Petroleum Industry Press

塔里木盆地凝析气田开发

孙龙德 主编

石油工业出版社

内 容 提 要

本书结合“八五”及“九五”凝析气田开采新技术科技攻关研究,从凝析气田的早期描述与评价技术、开发机理与合理开发方式、注气工艺技术与地面工程设计优化等方面对塔里木盆地凝析气田的开发理论、技术与实践进行了全面系统地总结。

本书可供从事凝析气田开发的专业技术人员学习,也可作为有关院校师生的参考资料。

图书在版编目(CIP)数据

塔里木盆地凝析气田开发/孙龙德主编.
北京:石油工业出版社,2003.2
ISBN 7-5021-4080-8

I. 塔…

II. 孙…

III. 凝析气田—气田开发—塔里木盆地

IV. TE372

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2002)第 101952 号

石油工业出版社出版
(100011 北京安定门外安华里二区一号楼)
北京乘设伟业科技排版中心排版
石油工业出版社印刷厂印刷
新华书店北京发行所发行

*

787×1092 毫米 16 开本 21.5 印张 550 千字 印 1—1500
2003 年 2 月北京第 1 版 2003 年 2 月北京第 1 次印刷
ISBN 7-5021-4080-8/TE·2916
定价:56.00 元

《塔里木盆地凝析气田开发》

编 委 会

主 编：孙龙德

副 主 编：宋文杰

编 委：江同文 朱卫红 周天鹏 汪如军

王振彪 冯积累 周理志 陈 飞

吴年宏 肖香姣 唐明龙 李保柱

廖新凡 顾元东

前 言

塔里木盆地自 1977 年 5 月 17 日柯参 1 井井喷发现柯克亚凝析气田以来,先后发现和探明了柯克亚、吉拉克、英买 7、牙哈、羊塔克、塔中 6、玉东 2、迪那 2 等 8 个大中型凝析气田,其中迪那 2、1 凝析气田的天然气探明加控制储量为 $1500 \times 10^8 \text{m}^3$,是国内截止到目前发现的最大的凝析气田。截止到 2002 年底,塔里木油田分公司已累计探明 11 个凝析气田,探明天然气地质储量 $2377.28 \times 10^8 \text{m}^3$ 、凝析油地质储量 $6415.7 \times 10^4 \text{t}$,凝析气储量居全国各油田之首,在西气东输工程中,塔里木盆地凝析气田也占有重要的位置。

1988 年塔里木盆地柯克亚凝析气田首先投入开发,投产以来,年产凝析油和原油为 $(15 \sim 20) \times 10^4 \text{t}$,年产气 $(3 \sim 5) \times 10^8 \text{m}^3$ 。为了合理开发该气田,提高凝析油及天然气的采出程度,1994 年 9 月开展了 X_3 循环注气先导试验。采用循环注气开采方式开采的凝析油采收率可达 39.2%,比衰竭式的采收率提高 18.2%。该项试验的成功为柯克亚凝析气田扩大循环注气规模提供了理论依据与实践经验。牙哈凝析气田于 2000 年投入开发,采用 50MPa 高压循环注气的开发方式,采气井 13 口,注气井 8 口,年产凝析油 $50 \times 10^4 \text{t}$,平均采气速度 4.6%,稳产年限 6 年。牙哈凝析气田高压循环注气的实施,在国内仅有、国际上罕见。

塔里木油田分公司在国内率先开展循环注气先导性试验,继而广泛采用循环注气技术提高凝析油采出程度、提高凝析气田开发水平。通过十几年来对凝析气田开发理论的探索、研究及开发实践,积累了丰富的凝析气田开发经验,并初步形成了适应塔里木盆地凝析气田特点的开发理论与配套技术。

本书是在国内外已有的凝析气田开发理论的基础上,结合“八五”及“九五”凝析气田开采新技术科技攻关研究,从凝析气田的早期描述与评价技术、开发机理与合理开发方式、注气工艺技术与地面工程设计优化等方面对塔里木盆地凝析气田的开发理论、技术与实践进行了全面系统地总结。并以柯克亚及牙哈凝析气田的开发为实例,介绍了凝析气田的地质特征、开发方案,以及采气工艺、注气工艺、地面工程方面采用的技术与实施情况。本书进一步丰富了凝析气田开发理论,对我国其它凝析气田的合理开发具有指导意义。

除了编委会成员参与本书的编写外,还有塔里木油田分公司的刘昌玉、郑威、昌伦杰、牛玉杰、秦宏伟、牛新年、王北方、张芬娥、贺增喜、常泽亮、马红英等参加;

中国石油勘探开发科学研究院的王家宏、李薇、郑希潭、刘宁、谢兴礼、朱玉新、王晖、夏静、王浦潭、弓麟等也参加了本书的编写。在此表示感谢!

由于水平有限,书中不足之处敬请读者批评指正。

《塔里木盆地凝析气田开发》编委会

2002年11月20日

目 录

| | |
|---------------------------|-------|
| 第一章 塔里木盆地凝析气田综述 | (1) |
| 第一节 凝析气田勘探开发简况 | (1) |
| 第二节 凝析气田基本特征 | (2) |
| 第三节 塔里木凝析气藏分类 | (6) |
| 第二章 主要凝析气田概况 | (7) |
| 第一节 牙哈凝析气田 | (7) |
| 第二节 英买7凝析气田 | (9) |
| 第三节 羊塔克凝析气田 | (12) |
| 第四节 玉东2凝析气田 | (15) |
| 第五节 吉拉克凝析气田 | (17) |
| 第六节 吉南4凝析气田 | (22) |
| 第七节 塔中6凝析气田 | (24) |
| 第八节 柯克亚凝析气田 | (27) |
| 第三章 凝析气田早期描述与评价技术 | (29) |
| 第一节 凝析气田早期描述与评价方法 | (29) |
| 第二节 凝析气藏测井油气识别与参数精确计算技术 | (59) |
| 第三节 凝析气藏地质建模及网格粗化技术 | (67) |
| 第四章 牙哈凝析气田开发机理及合理开发方式研究 | (88) |
| 第一节 牙哈凝析气田地层流体取样方法及相态实验研究 | (88) |
| 第二节 凝析油在地下反蒸发实验研究 | (92) |
| 第三节 近临界流体相态的模型化工作 | (101) |
| 第四节 凝析气水合物生成条件的实验测定 | (122) |
| 第五节 多孔介质中凝析油气相态、产状及渗流特征研究 | (126) |
| 第六节 凝析气井试井分析 | (160) |
| 第七节 牙哈凝析气井产能评价研究 | (175) |
| 第八节 布井方式、开发方式及开采方式优化 | (194) |
| 第九节 凝析气田开发系统优化 | (228) |
| 第五章 牙哈凝析气藏注气工艺工程技术研究 | (236) |
| 第一节 水平井完井工艺技术 | (236) |
| 第二节 气井管柱受力分析 | (255) |
| 第三节 解除牙哈凝析气井钻井液污染技术研究 | (261) |
| 第四节 元素硫对凝析油气藏油套管的腐蚀研究 | (270) |
| 第五节 开采与输送防蜡技术的实验研究 | (284) |
| 第六章 牙哈凝析气田地面工程设计优化研究 | (294) |
| 第一节 凝析油气水段塞流模拟计算 | (294) |

| | | |
|-------------|---------------------------|--------------|
| 第二节 | 高压凝析油气水三相不分离计量系统····· | (296) |
| 第三节 | 超高压密相模拟计算软件····· | (300) |
| 第四节 | 超高压密相计量系统····· | (302) |
| 第五节 | 高压注气工艺设计、施工及验收规定····· | (306) |
| 第七章 | 塔里木盆地凝析气田开发实例····· | (307) |
| 第一节 | 柯克亚凝析气田开发····· | (307) |
| 第二节 | 牙哈凝析气田循环注气开发····· | (322) |
| 参考文献 | ····· | (334) |

第一章 塔里木盆地凝析气田综述

第一节 凝析气田勘探开发简况

塔里木盆地位于新疆维吾尔自治区南部,为一大陆干旱性盆地,盆地面积 $56 \times 10^4 \text{km}^2$,其中沙漠面积 $33 \times 10^4 \text{km}^2$ 。盆地分为7个一级构造单元,即三个隆起(塔北隆起、中央隆起、塔南隆起)和四个坳陷(库车坳陷、北部坳陷、西南坳陷、东南坳陷),具有极其丰富的石油和天然气资源(图1-1)。

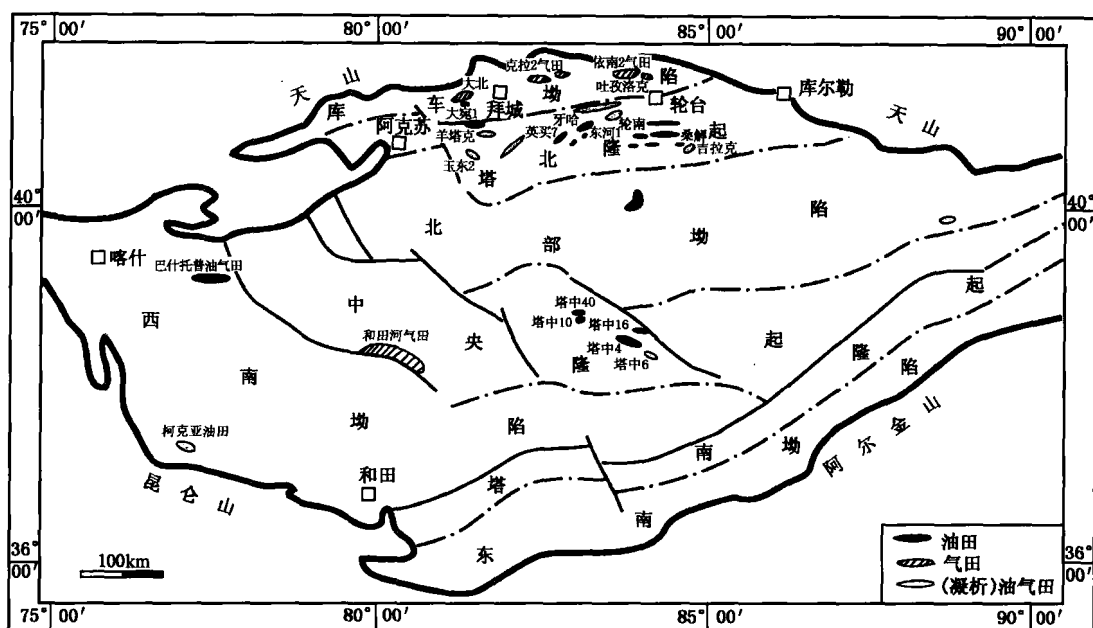


图1-1 塔里木盆地构造单元图

塔里木盆地自1977年5月17日柯参1井井喷发现柯克亚凝析气田以来,先后发现和探明了柯克亚、吉拉克、英买7、牙哈、羊塔克、塔中6、玉东2等7个大中型凝析气田,以及提尔根、红旗、吉南4等3个小型凝析气田。截止到2001年底,塔里木油田分公司已累计探明10个凝析气田(表1-1),探明天然气地质储量 $1565.67 \times 10^8 \text{m}^3$,凝析油地质储量 $5830.5 \times 10^4 \text{t}$ 。

表1-1 塔里木油田探明气层气储量统计表

| 序号 | 油气田 | 层位 | 含气面积 (km ²) | 气层气储量 (10 ⁸ m ³) | 凝析油储量 (10 ⁴ t) | 类别 | 上交储量年度 | 备注 |
|----|---------|-----|-------------------------|---|---------------------------|-----|-----------|------|
| 1 | 柯克亚凝析气田 | N | 27.5 | 292.89 | 1442.5 | I、Ⅲ | 1984,1993 | 凝析气田 |
| 2 | 牙哈凝析气田 | N、E | 48.9 | 357.78 | 2826.9 | Ⅱ、Ⅲ | 1994,1997 | 凝析气田 |
| 3 | 英买7凝析气田 | E、K | 40.4 | 295.74 | 463.1 | Ⅱ、Ⅲ | 1993,1994 | 凝析气田 |
| 4 | 羊塔克凝析气田 | E、K | 17.3 | 249.07 | 216.5 | Ⅲ | 1996 | 凝析气田 |
| 5 | 吉拉克凝析气田 | T、C | 52.5 | 127.05 | 286 | Ⅲ | 1992 | 凝析气田 |

续表

| 序号 | 油气田 | 层位 | 含气面积 (km ²) | 气层气储量 (10 ⁸ m ³) | 凝析油储量 (10 ⁴ t) | 类别 | 上交储量年度 | 备注 |
|------------|---------|-----|----------------------------|--|------------------------------|----|---------------------------|------|
| 6 | 塔中6凝析气田 | C | 58 | 85.28 | 73.4 | Ⅱ | 1997 | 凝析气田 |
| 7 | 玉东2凝析气田 | K | 10.2 | 73.32 | 142.5 | Ⅱ | 1997 | 凝析气田 |
| 8 | 吉南4凝析气田 | T | 11 | 25.76 | 110.3 | Ⅲ | 1996 | 凝析气田 |
| 9 | 提尔根气田 | N、K | 8.6 | 15.99 | 68.9 | Ⅲ | 1993 | 凝析气田 |
| 10 | 红旗油气田 | E、K | 3.7 | 9.46 | 34.5 | Ⅲ | 1993 | 凝析气田 |
| 11 | 塔中4油田 | C | 6.1 | 11.02 | 83 | Ⅱ | 1993 | 凝析气顶 |
| 12 | 东河油田 | C、J | 3.5 | 8.24 | 41.7 | Ⅲ | 1991, 1992, 1993, 1994 | 凝析气顶 |
| 13 | 解放渠东油田 | T | 2.9 | 12.48 | 41.2 | Ⅲ | 1992 | 凝析气顶 |
| 14 | 桑塔木油田 | T、O | 2.2 | 1.59 | | Ⅲ | 1991, 1992, 1993 | 气顶 |
| 塔里木油田分公司总计 | | | 292.8 | 1565.67 | 5830.5 | | | |

柯克亚凝析气田于1988年正式投入开发,建成年产油能力 15×10^4 t,拉开了塔里木盆地凝析气田开发的序幕,1994年柯克亚凝析气田开展了西五一(3)循环注气先导试验;2000年11月,我国陆上探明的最大凝析气田——牙哈凝析气田投入开发,建成凝析油年产能 50×10^4 t。塔里木凝析气田开发进入规模开发阶段,并形成了一系列具有塔里木特色的凝析气田开发技术。

第二节 凝析气田基本特征

一、平面分布广泛但相对集中

塔里木盆地塔北隆起、库车拗陷、塔中隆起、西南拗陷均已发现或探明了凝析气藏。目前探明的凝析气藏主要集中在塔北隆起带,已探明了牙哈、英买7、羊塔克、玉东2号和吉拉克等大中型凝析气田,还有提尔根、红旗、吉南4号、东河20(J)、解放渠东(气顶)等9个工业性含气构造,共探明凝析油储量 4231.6×10^4 t,占盆地凝析油探明地质储量的72.57%,是塔里木盆地凝析气田最为富集的构造单元。

其次分布在西南拗陷和塔中隆起,已探明了柯克亚、塔中6号凝析气田以及塔中4(气顶),分别探明气层气储量 389.19×10^8 m³、凝析油地质储量 1598.9×10^4 t,控制和预测了塔中26、柯深等凝析气藏,塔西南气层气和凝析油探明储量分别占盆地探明储量的5.55%和24.74%,塔中隆起分别占1.96%和2.68%(表1-2)。

表1-2 塔里木盆地探明凝析油地质储量分布情况统计

| 构造位置 | 气藏名称 | 凝析油地质储量 (10 ⁴ t) | 占全探明地质储量 百分比(%) |
|------|--|--------------------------------|--------------------|
| 塔北隆起 | 牙哈、英买7、羊塔克、吉拉克、玉东2、吉南4、 提尔根、红旗、东河20(J)、解放渠东(气顶) | 4231.6 | 72.57 |
| 塔中隆起 | 塔中4(气顶)、塔中6 | 156.4 | 2.68 |
| 西南拗陷 | 柯克亚 | 1442.5 | 24.74 |

二、含油气层位多,埋深差异大

塔里木盆地凝析气藏从石炭系到上第三系均有分布,但储量主要集中在上第三系吉迪克组、下第三系和白垩系中(表 1-3)。

表 1-3 塔里木盆地探明凝析气藏层系分布情况统计

| 层系 | 气藏名称 | 凝析油地质储量 (10 ⁴ t) | 占探明地质储量 百分比(%) |
|----|---------------------|--------------------------------|-------------------|
| C | 吉拉克、塔中 4(气顶)、塔中 6 | 201 | 3.45 |
| T | 解放渠东(气顶)、吉拉克、吉南 | 392.9 | 6.73 |
| J | 东河 20(J) | 41.7 | 0.78 |
| K | 提尔根、牙哈 2-3、羊塔克、玉东 2 | 756.4 | 12.97 |
| E | 英买 7、红旗、牙哈 | 1882.6 | 32.29 |
| N | 红旗、提尔根、牙哈、柯克亚 | 2555.9 | 43.84 |

其中塔北隆起凝析气藏主要发育在石炭系~上第三系地层中,隆起北部主要集中在白垩系~上第三系中,隆起南部分布在石炭系和三迭系内。

塔西南坳陷凝析气藏主要分布在上第三系西沙甫组内,塔中隆起凝析气主要分布在石炭系内。

从深度上看(表 1-4),凝析气藏埋深一般在 3200~5500m 之间,最深达 6500m(柯深 101),最浅为 2960m(柯克亚西 3)。

表 1-4 塔里木盆地探明凝析气藏埋藏深度分布情况统计

| 深度 (m) | 气藏名称 | 凝析油地质储量 (10 ⁴ t) | 占全盆地探明 地质储量百分比 (%) |
|-----------|--|--------------------------------|--------------------------|
| <3200 | 柯克亚(X ₃ 、X ₄) | 337.8 | 5.79 |
| 3200~4000 | 塔中 4(气顶)、塔中 6、柯克亚 | 1260.7 | 21.62 |
| 4000~5000 | 英买 7、牙哈(NI _j)、吉南 4、吉拉克(TII)、 | 2799.1 | 48.01 |
| >5000 | 牙哈(E+K)、东河、羊塔克、吉拉克(CIII)、提尔根(K) | 1432.5 | 24.57 |

三、与挥发性油藏或油环相伴生

在塔北隆起凝析气藏富集带上,有羊塔 5、牙哈 1 等挥发性油藏间断分布于凝析气藏之间,如羊塔克 5 挥发性油藏与羊塔克 1 凝析气田伴生,牙哈 1 弱挥发性油藏与牙哈凝析气田伴生,轮古 11 凝析气藏与轮古 12 挥发性油藏相伴生,同时大部分凝析气藏都具有油环。

塔中 6 凝析气田、塔中 4 油田 CII 凝析气藏与塔中 4 油田 CIII 油组弱挥发油藏相伴生,柯克亚凝析气田不同的凝析气藏有多个挥发性的油环。

四、地层压力较高,压力系数变化大,温度系统正常

原始地层压力一般较高,一般在 40~60MPa 之间,吉拉克 LN59 凝析气藏地层压力高达 71.5MPa,柯深卡拉塔尔组地层压力高达 128.6MPa,压力系数一般在 1.1~1.2 之间,柯深卡拉塔尔组压力系数高达 2.0。温度系统正常,地温梯度一般在 1.77~2.78℃/100m(表 1-5)。

表 1-5 塔里木凝析气藏温度压力系统情况统计

| 气藏名称 | | 层位 | 地层压力 (MPa) | 压力系数 | 地层温度 (°C) | 地温梯度 (°C/100m) |
|------|--|-------|------------|-------------|-----------|----------------|
| 牙哈 | YH2-3 | NIj | 55.79 | 1.08~1.16 | 132.8 | 2.373 |
| | | E+K | 56.51 | | 136 | |
| | YH5 | NIj | 56.38 | | 130.1 | |
| | YH7 | E5 | 6.38 | | 135.2 | |
| 英买7 | YM7-19 | E5 | 1.12 | 1.098 | 107 | 2.071 |
| | YM17 | E5 | 0.75 | 1.091 | 108 | |
| | YM21 | E4 | 9.32 | 1.129 | 98 | |
| | YM23 | E5 | 0.48 | 1.088 | 105 | |
| 羊塔克 | YT1 | E I | 58.68 | 1.070~1.111 | 108 | 1.902 |
| | | E II | 58.78 | | 108 | |
| | | K5 | 8.29 | | 108 | |
| | YT5 | K5 | 7.58 | | 113 | |
| 吉拉克 | | T II | 47.42 | 1.09 | 104.5 | 2.406 |
| | | C III | 71.59 | 1.361 | 127.5 | 2.42 |
| 塔中6 | | C III | 43.39 | 1.2 | 115 | 2.54 |
| 玉东2 | | K5 | 2.09 | 1.12 | 110.4 | |
| 吉南4 | | T II | 47.2 | 1.12 | 105.6 | 1.98 |
| 提尔根 | | NIj | 52.5 | 1.11 | 137 | 2.43 |
| | | K5 | 5.25 | 1.1 | 140 | 2.78 |
| 红旗 | YM6 | NIj | 48.14 | 1.10 | 107 | 1.94 |
| | | E | 49 | 1.08 | 107 | 1.88 |
| | DH12 | E I | 50.62 | 1.09 | 117 | 2.07 |
| | | E II | 50.21 | 1.07 | 116 | 2.07 |
| 东河 | DH20 | J III | 62.97 | 1.18 | 145 | 2.66 |
| | | J IV | 60.943 | 1.133 | 134 | 2.44 |
| 解放渠东 | | T II | 48.43 | 1.08 | 107 | 2.4 |
| 塔中4 | TZ402 | C III | 42.33 | 1.19 | 104 | |
| 柯克亚 | X ₃ | | 29.42 | 1.01 | 77 | 1.77 |
| | X ₄ | | 37.21 | 1.21 | 78 | 1.77 |
| | X ₄ ¹ ~X ₅ ² | | 39.40 | 1.23 | 83.4 | 1.77 |
| | X ₇ ¹ | | 44.46 | 1.23 | 90 | 1.77 |
| | X ₇ ² | | 44.90 | 1.22 | 93.7 | 1.77 |
| | X ₈ | | 52.32 | 1.37 | 93 | 1.77 |
| | 卡拉塔尔 | | 128.6 | 2.00 | 153.7 | 1.94 |

五、凝析油含量变化范围广、反凝析特征差异大

塔里木盆地多为中高凝析油含量凝析气藏,一般在 $300 \sim 600 \text{g/cm}^3$ 之间,但不同地区、不同层系的凝析油含量差异较大,最低为 42g/cm^3 ,最高为 904.54g/cm^3 。同时,凝析气藏的反凝析特征差异大(表 1-6)。

表 1-6 塔里木盆地凝析气藏相态特征统计表

| 气藏 | | 层位 | 凝析油含量 (g/m^3) | 地露压差 (MPa) | 最大反凝析压力 (MPa) | 最大反凝析液量 (%) |
|------|--|------|-----------------------------|---------------|------------------|----------------|
| 牙哈 | YH2-3 | NIj | 573 | 4.73 | 25 | 22.6 |
| | | E+K | 537.44 | 4.86 | 24.5 | 28 |
| | YH5 | NIj | 671 | 3.53 | 31 | 39.67 |
| | YH6 | NIj | 588 | 6.27 | 25 | 24.9 |
| | YH7 | NIj | 560 | 1.95 | 32 | 33.23 |
| 英买 7 | | E | 164 | 0 | 15 | 4.58 |
| 羊塔克 | YT1 | E | 315 | 2.79 | 13.1 | 11.29 |
| | | K | 121 | 1.29 | 16 | 4.04 |
| | YT5 | K | 42 | 17.98 | 10.1 | 0.88 |
| 吉拉克 | | TII | 270~475 | 0.38 | 15.68~20.7 | 4.22~11.73 |
| | | CIII | 68~121 | 26.9 | 9.2~17.6 | 0.98~1.48 |
| 塔中 6 | | CIII | 93 | 7.03 | 11 | 0.69 |
| 玉东 2 | | K | 198.9 | 2.38 | 8 | 6.22 |
| 吉南 4 | | TII | 395 | 14.55 | 18.2 | 11.81 |
| 提尔根 | | NIj | 550 | 22.9 | | |
| | | K | 357 | | | |
| 红旗 | YM6 | NIj | 629 | | | |
| | | E | 212 | | | |
| DH12 | | E | 662 | 0.21 | 20.58 | 20.4 |
| 东河 | DH20 | JIII | 904.54 | 6.17 | 20 | 9.04 |
| | | JIV | 405.08 | | 无 PVT 资料 | |
| 塔中 4 | TZ402 | CIII | 749 | 0 | 23.97 | 19.6 |
| 解放渠东 | | TII | 329.8 | 2.38 | 19.5 | 8.7 |
| 柯克亚 | X ₃ | | 167.6 | | | |
| | X ₄ | | 656.6 | | | |
| | X ₄ ² ~X ₃ ² | | 437 | 0 | 19.6 | 21.7 |
| | X ₅ | | 170.8 | | | |
| | X ₇ | | 311.9 | 0 | | |
| | X ₈ | | 316.4 | 7.31 | 21.38 | 9.42 |
| | 卡拉塔尔 | | 451.4 | 72.1 | 24 | 20.42 |

第三节 塔里木凝析气藏分类

凝析气藏可以根据气藏剖面形态及圈闭条件分为块状底水、层状边水、岩性气藏,但决定凝析气藏开发对策的主要因素是地露压差和凝析油含量等与相态特征有关的因素。

在此根据石油工业行业标准,结合塔里木盆地凝析气藏的具体情况,采用多因素分类方法,对目前发现的凝析气藏进行两级划分。即根据凝析气藏地露压差大小分为三类:露点压力高于原始地层压力 90% 的为近饱和凝析气藏;露点压力低于原始地层压力 50% 的为低饱和凝析气藏;露点压力为 50%~90% 原始地层压力的为高饱和凝析气藏。

根据凝析油含量将塔里木目前发现的凝析气藏分为三个类型:凝析油含量低于 $120\text{cm}^3/\text{m}^3$ 为低含油凝析气藏,高于 $350\text{cm}^3/\text{m}^3$ 为高含油凝析气藏, $120\sim 350\text{cm}^3/\text{m}^3$ 为中含油凝析气藏。在此基础上将塔里木目前发现的凝析气藏分为 9 个类型(表 1-7)。

表 1-7 塔里木凝析气藏分类汇总表

| 地露压差 | 凝析油含量 | 实例 |
|---------|-------|---------------------------------------|
| 近饱和凝析气藏 | 低含油 | |
| | 中含油 | 英买 7、羊塔 1 号、吉拉克 TII、玉东 2 |
| | 高含油 | 牙哈 2-3,牙哈 5、7(Nij、E+K),红旗,东河,解放渠东(气顶) |
| 高饱和凝析气藏 | 低含油 | 羊塔 5、吉拉克 CIII、塔中 6 |
| | 中含油 | |
| | 高含油 | 牙哈 6、吉南 4、提尔根 |
| 低饱和凝析气藏 | 低含油 | |
| | 中含油 | |
| | 高含油 | 卡拉塔尔 |

第二章 主要凝析气田概况

第一节 牙哈凝析气田

牙哈凝析气田位于新疆维吾尔自治区库车县境内,地处库车县牙哈乡东南约 15km,地表海拔 967~1033m。其构造位置位于塔里木盆地塔北隆起轮台断隆中段的牙哈断裂构造带上,自西向东有牙哈 5、牙哈 7、牙哈 2-3、牙哈 4、牙哈 6 等 5 个局部构造,牙哈 2-3 为主力气藏。目的层自上而下依次为上第三系吉迪克组底砂岩、下第三系底砂岩及白垩系顶部砂岩。

牙哈 2-3 构造呈北东东-南西西展布,地层产状表现为南陡北缓,构造南翼有一北东东-南西西走向的正断层。产层埋深平均在 5000m 左右,其形态为长轴背斜,长短轴之比为 9:1。各层系上下构造形态一致,发育继承性好,构造圈闭要素见表 2-1。E+K 层构造图见图 2-1。

表 2-1 牙哈 2-3 号构造圈闭要素表

| 层位 | 高点海拔(m) | | | | 闭合圈(m) | 幅度(m) | 闭合面积(km ²) |
|------|---------|-------|-------|-------|--------|-------|------------------------|
| | YH2 | YH301 | YH3 | YH302 | | | |
| NIj1 | -3950 | -3965 | -3985 | -3980 | -4020 | 70 | 17.44 |
| NIj2 | -3970 | -3985 | -4010 | -3995 | -4040 | 70 | 17.94 |
| E | -4115 | -4115 | -4150 | -4140 | -4210 | 105 | 25.40 |
| K | -4145 | -4150 | -4185 | -4180 | -4245 | 100 | 24.60 |

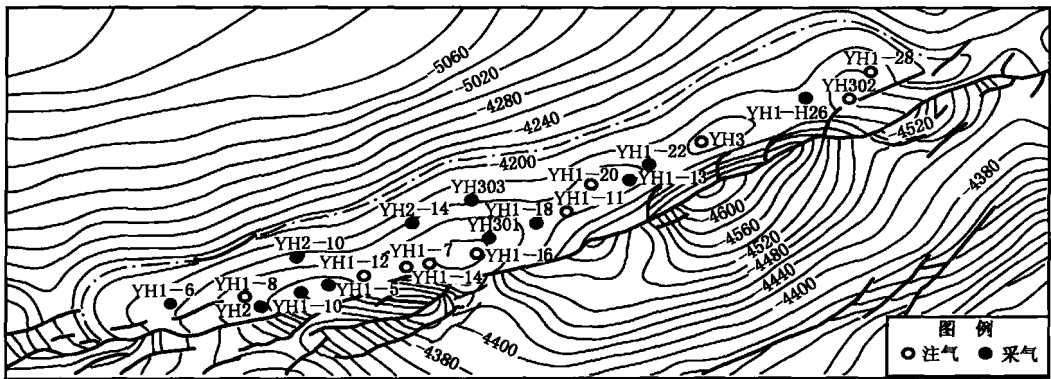


图 2-1 牙哈 2-3 气藏 E+K 层顶面构造图

牙哈 2-3 气藏储层岩性以中-粉砂质细砂岩为主。储集类型为孔隙型。吉迪克上砂体和下砂体,平均孔隙度分别为 15.1%、16.2%,渗透率分别为 $51.1 \times 10^{-3} \mu\text{m}^2$ 、 $69.2 \times 10^{-3} \mu\text{m}^2$,属中低孔中渗储层,均质程度好,连通性好。

下第三系底砂岩,平均孔隙度为 15.4%,渗透率为 $228.6 \times 10^{-3} \mu\text{m}^2$,属中孔高渗储层,均质程度好,连通性好。

白垩系顶部砂岩,平均孔隙度为 14%,渗透率为 $47 \times 10^{-3} \mu\text{m}^2$,属低孔中低渗储层,储层

非均质严重,连通程度中等。

地面凝析油性质具有低密度、低粘度、低含硫、高含蜡、高凝固点的特点。其中上第三系吉迪克组(N1j)凝析油密度 $0.7846\sim 0.8186\text{g}/\text{cm}^3$,平均 $0.7982\text{g}/\text{cm}^3$;粘度 $1.22\sim 2.92\text{mPa}\cdot\text{s}$,平均 $1.66\text{mPa}\cdot\text{s}$;含硫量 0.12% ,含蜡量 $7.34\%\sim 13.85\%$,胶质沥青质微量;凝固点 $10\sim 24^\circ\text{C}$,析蜡点 $10\sim 25^\circ\text{C}$ 。下第三系加白垩系凝析油密度 $0.7797\sim 0.8254\text{g}/\text{cm}^3$,平均 $0.7996\text{g}/\text{cm}^3$;粘度 $0.89\sim 3.03\text{mPa}\cdot\text{s}$,平均 $1.603\text{mPa}\cdot\text{s}$;含硫量 $<0.12\%$,含蜡量 $5.74\%\sim 13.77\%$,胶质沥青质微量,凝固点 $9\sim 36^\circ\text{C}$,析蜡点 $9\sim 20.5^\circ\text{C}$ 。地面天然气相对密度 $0.63\sim 0.67$, CO_2 含量 $<1\%$, N_2 含量 $3\%\sim 8\%$,平均 3.46% ; C_1 含量 85% 左右, C_2^+ 含量 10% 左右。地层水密度 $1.08\sim 1.2\text{g}/\text{cm}^3$,矿化度 $137752\sim 301730\text{mg}/\text{L}$,水型为 CaCl_2 ,属封闭地层水型。牙哈凝析气田地层流体相包络线主要特征见图 2-2。

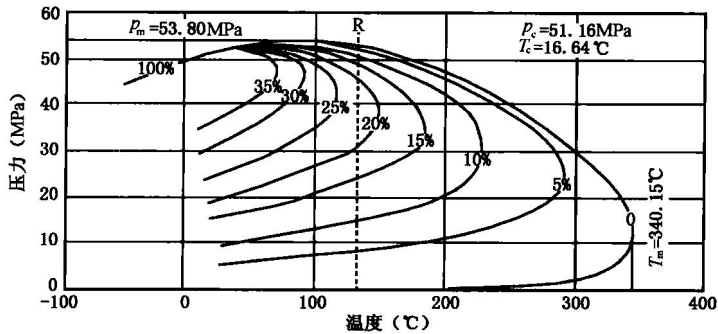


图 2-2 YH301 井 E 层(5109~5117m)流体相图

牙哈 2-3 构造 N1j1 和 N1j2 气藏为层状边水凝析气藏;E+K 气藏为块状底水凝析气藏。地温梯度为 $2.3^\circ\text{C}/100\text{m}$,压力系数为 $1.05\sim 1.16$,属常温常压系统。E+K 气藏剖面图见图 2-3。

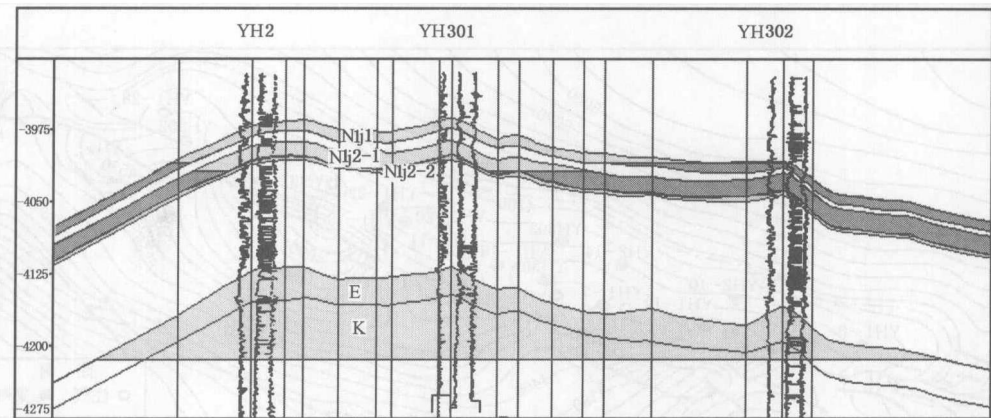


图 2-3 牙哈 2-3 凝析气田东西向气藏剖面图

牙哈凝析气田开发方案设计牙哈 2-3 构造首先投入开发, YH5、YH7 两区块进行接替开发。牙哈 2-3 构造分 E+K 层和 N1j 层两套层系,采用循环注气、部分保持压力开发,从投产时开始注气,循环注气 9 年后,开发方式转为衰竭方式。方案设计总井数 22 口,其中新钻井 17 口(包括一口水平井),利用井 5 口,设计采气井 13 口,注气井 8 口,观察井 1 口。E+K 层采用轴部注气、轴部和边部采气相结合的布井方式,部署 6 口注入井 9 口采气井(含 1 口水平井),平均单井无阻流量 $180\times 10^4\text{m}^3/\text{d}$,注气井平均单井注入量为 $38.5\times 10^4\text{m}^3/\text{d}$,采气井合理

生产压差 2MPa, 平均单井日产量 $28 \times 10^4 \text{m}^3/\text{d}$ 。N1j 层采用鞍部注气、高部位采气的布井方式, 部署 2 口注入井 4 口采气井, 平均单井无阻流量 $55 \times 10^4 \text{m}^3/\text{d}$, 注气井平均单井注入量为 $17.3 \times 10^4 \text{m}^3/\text{d}$, 采气井合理生产压差 2MPa, 平均单井日产量 $10 \times 10^4 \text{m}^3/\text{d}$ (表 2-2)。设计年产凝析油 $50 \times 10^4 \text{t}$ (初产 $58 \times 10^4 \text{t}$), 平均采气速度为 6.3%, 注气结束时, 凝析油采收率为 40.53%, 天然气采收率 1.75%。预测 25 年末, 凝析油采收率为 54.7%, 天然气采收率为 67.94%。

表 2-2 牙哈 2-3 凝析气藏平均单井指标

| 层位 | 无阻流量 ($10^4 \text{m}^3/\text{d}$) | 采气井 | | 注气井 | |
|-----|--|---------------|--|---------------|--|
| | | 合理压差 (MPa) | 平均单井产量 ($10^4 \text{m}^3/\text{d}$) | 合理压差 (MPa) | 平均单井产量 ($10^4 \text{m}^3/\text{d}$) |
| N1j | 55 | 2 | 10 | 4.1 | 17.3 |
| E | 146 | 2 | 26 | 3.7 | 38.5 |
| K | 12 | 2 | 2.1 | | |

钻井工程设计为四层套管, 地面凝析气处理能力 $320 \times 10^4 \text{m}^3/\text{d}$, 日回注天然气 $300 \times 10^4 \text{m}^3/\text{d}$, 循环注气井口压力为 50MPa。

第二节 英买 7 凝析气田

英买 7 含油气构造带位于新疆维吾尔自治区新和县境内, 距新和县城西南 50~90km。地面海拔 943~987m。构造位置位于塔北隆起轮台断隆西端, 其西北部为羊塔克断裂构造带, 东北与大尤都斯断裂构造带相接, 向南紧靠英买力低凸起, 向西毗邻南喀背斜带, 面积约 400km^2 。该构造带上分布着一系列断背斜、断鼻。

英买 7 构造带呈北东—南西向展布, 长约 70km, 宽 6km 左右。英买 7 断裂构造带内发育了 4 个主要的下第三系含油气构造, 由西向东依次为英买 21 号构造、英买 23 号构造、英买 17 构造和英买 7-19 构造。英买 7-19 为主力气藏, 主要含气层位为下第三系。气田构造要素见表 2-3。英买 7-19 构造下第三系顶面构造图见图 2-4。

表 2-3 英买 7 断裂构造带各构造要素表

| 构造 | 层位 | 高点 | 高点海拔 (m) | 最低圈闭 线海拔 (m) | 幅度 (m) | 圈闭面积 (km^2) |
|--------|---------|-----|-------------|--------------------|-----------|---------------------------|
| YM21 | 下第三系底砂岩 | 西高点 | -3453 | -3490 | 37 | 12.3 |
| | | 中高点 | -3453 | | 37 | |
| | | 东高点 | -3457 | | 33 | |
| YM23 | 下第三系底砂岩 | | -3632 | -3660 | 28 | 2.3 |
| YM17 | 下第三系底砂岩 | | -3658 | -3684 | 26 | 5.1 |
| YM7-19 | 下第三系底砂岩 | 东高点 | -3643 | -3720 | 77 | 19.1 |

英买 7 凝析气田下第三系底砂岩储层岩性以棕红色、浅灰色细砂岩为主, 粉细砂岩, 含砾砂岩、中细砂岩、泥岩、粉砂质泥岩等呈不等厚互层, 属于典型的陆上冲积环境, 主要为湖泊、冲积平原沉积相。其主力气藏平均孔隙度 19.7%, 平均渗透率 $1049 \times 10^{-3} \mu\text{m}^2$, 属于中高孔渗储层。