

石油工業出版社

塔里木盆地国家“十五”科技攻关勘探开发丛书（卷四）  
孙龙德主编

# 塔西南地区 深井、超深井钻井技术

唐继平 梁红军 卢 虎 石晓兵 著

石油工业出版社

## 内 容 提 要

本书分六章,内容包括塔西南地区勘探概况介绍,塔西南地区深井、超深井的井壁稳定技术研究成果,塔西南地区深井、超深井井身结构优化等钻井工艺技术,塔西南地区深井、超深井高密度钻井液的影响因素,控制技术及管理维护处理方法手段等。

本书可供石油石化行业从事钻井开发工作的技术人员、管理人员以及石油院校师生学习参考。

## 图书在版编目(CIP)数据

塔西南地区深井、超深井钻井技术/唐继平等著.

北京:石油工业出版社,2008.12

(塔里木盆地国家“十五”科技攻关勘探开发丛书;4/  
孙龙德主编)

ISBN 978-7-5021-6526-0

I. 塔…

II. ①孙…②唐…

III. ①深井-油气钻井-技术

②超深井-油气钻井-技术

IV. TE 245

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2008)第 199937 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](http://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

---

2008 年 12 月第 1 版 2008 年 12 月第 1 次印刷

787×1092 毫米 开本: 1/16 印张: 17.25

字数: 438 千字 印数: 1—800 册

---

定价: 65.00 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

《塔里木盆地国家“十五”科技攻关勘探开发丛书》  
编 委 会

主 任：孙龙德

副主任：周新源 宋文杰 安文华

委员（以姓氏笔画为序）：

|     |     |     |     |     |     |
|-----|-----|-----|-----|-----|-----|
| 王招明 | 王清华 | 田 军 | 江同文 | 朱卫红 | 买光荣 |
| 杨举勇 | 杨海军 | 杨文静 | 杨金华 | 肖又军 | 肖承文 |
| 相建民 | 唐继平 | 张福祥 | 梁红军 |     |     |

## 前 言

塔西南地区位于塔里木盆地西南部，其北西部为南天山褶皱带，北东部以吐木休克断裂为界，南部被昆仑山褶皱带所围，东接塘古孜巴斯凹陷和塔南隆起并以和田河为界，向西受天山和昆仑山的夹持而成峡谷状与中亚的卡拉库姆—塔吉克、费尔干盆地相连，面积约  $20 \times 10^4 \text{ km}^2$ 。该地区自从 20 世纪 50 年代就开始油气的普查勘探工作，先后发现或评价了克拉托新近系、柯克亚新近系和巴什托石炭系等油气田（藏），是整个塔里木盆地油气勘探的重要组成部分，也是油气前景最好的地区之一，有着广阔的勘探前景。钻探实践证明，塔西南地区由于地质条件复杂，在钻井过程中遇到了许多难题，表现为井下复杂与事故频繁，建井周期长，工程费用高，从而极大地阻碍了勘探开发步伐。

为解决这一系列的钻井难题，针对勘探难题和相关的工程技术问题，塔里木油田进行科技攻关和现场试验研究，并在深井、超深井的井壁稳定，深井、超深井井身结构优化，套管防磨减磨，钻头设计与优化选型，高陡构造防斜打快，深井、超深井高密度钻井液，高密度水泥浆，高温高压固井等技术领域具有创新，提出了新理论、新方法和新技术，取得了较大的技术进步，获得了显著的经济效益和社会效益。

本书从塔西南地区的勘探历程出发，总结归纳了近 50 年勘探过程中对该区块的地质认识，全面分析了塔西南地区不同构造的区域地压力分布规律，建立了相应区域的坍塌压力、破裂压力剖面，提出了保持井壁稳定的工程技术方案，最后利用理论与现场钻井大量翔实数据阐述了塔西南地区深井、超深井钻井技术中的关键技术：井身结构优化、钻头选型、高陡构造防斜打快技术、钻柱设计与校核、高密度钻井液处理维护（防塌、防漏）、高温高压高密度固井及水泥浆技术。

全书共分六章，由中国石油塔里木油田公司勘探事业部唐继平、梁红军、卢虎和西南石油大学油气藏地质及开发工程国家重点实验室石晓兵负责编写，同时胥志雄、张斌、贾应林、王秀平等同志参与了本书部分内容的编写并作了大量的工作，在此深表感谢。

由于本书涉及多学科内容，加之作者水平有限，书中不妥之处在所难免，恳请同仁及读者批评指正。

编者  
2008. 06

# 目 录

|                              |         |
|------------------------------|---------|
| <b>第一章 塔西南地区勘探概况</b>         | ( 1 )   |
| 第一节 塔西南地区勘探历程                | ( 1 )   |
| 第二节 塔西南地区钻井地质概况              | ( 4 )   |
| 第三节 塔西南地区钻探概况                | ( 16 )  |
| <b>第二章 塔西南地区深井、超深井钻井工程难点</b> | ( 33 )  |
| 第一节 地层倾角大,井斜控制困难             | ( 33 )  |
| 第二节 井壁稳定性差,地层坍塌严重            | ( 35 )  |
| 第三节 高压、超高压盐水层发育              | ( 37 )  |
| 第四节 地层岩石可钻性差,机械钻速低           | ( 38 )  |
| 第五节 钻杆、套管磨损严重                | ( 40 )  |
| 第六节 密度高、井下温度高,钻井液性能控制难度大     | ( 42 )  |
| <b>第三章 塔西南地区深井、超深井井壁稳定技术</b> | ( 44 )  |
| 第一节 塔西南地区复杂情况统计分析            | ( 44 )  |
| 第二节 塔西南地层压力剖面建立与区域分布规律       | ( 52 )  |
| 第三节 地应力剖面建立及区域分布规律           | ( 62 )  |
| 第四节 坍塌压力、破裂压力剖面的建立           | ( 80 )  |
| <b>第四章 塔西南地区深井、超深井钻井工艺技术</b> | ( 92 )  |
| 第一节 套管下入深度及井身结构优化设计          | ( 92 )  |
| 第二节 高陡构造防斜打快技术               | ( 101 ) |
| 第三节 PDC 钻头优化设计与选型技术          | ( 108 ) |
| 第四节 超深井复合钻柱设计、效核及应用          | ( 122 ) |
| 第五节 套管防磨减磨技术                 | ( 128 ) |
| <b>第五章 塔西南地区深井、超深井钻井液技术</b>  | ( 149 ) |
| 第一节 塔西南地区深井、超深井钻井液优选         | ( 149 ) |
| 第二节 深井、超深井高密度钻井液性能的影响因素      | ( 156 ) |
| 第三节 深井、超深井钻井液性能控制技术          | ( 167 ) |
| 第四节 塔西南地区深井、超深井钻井液维护处理技术     | ( 175 ) |
| <b>第六章 塔西南地区深井、超深井固井技术</b>   | ( 207 ) |
| 第一节 套管强度设计与校核                | ( 207 ) |
| 第二节 深井、超深井高密度水泥浆技术           | ( 223 ) |
| 第三节 深井、超深井注水泥工艺技术            | ( 244 ) |
| 第四节 深井、超深井固井现场施工工艺技术         | ( 260 ) |
| <b>参考文献</b>                  | ( 268 ) |

# 第一章 塔西南地区勘探概况

## 第一节 塔西南地区勘探历程

塔西南地区位于塔里木盆地西南部，其北西部为南天山褶皱带，北东部以吐木休克断裂为界，南部被昆仑山褶皱带所围，东接塘古孜巴斯凹陷和塔南隆起并以和田河为界，向西受天山和昆仑山的夹持而成峡谷状与中亚的卡拉库姆—塔吉克、费尔干盆地相连，面积约  $20 \times 10^4 \text{ km}^2$ 。塔西南地区是西昆仑山前冲断带及其前陆盆地冲断系统的一部分，前人依据传统地质理论将该区划分为塔西南坳陷、巴楚隆起和铁克力克段隆起等构造单元，近年也称其为塔西南前陆盆地。

西南坳陷是塔里木盆地西南部的一个重要的构造单元，东北与塔里木盆地中央隆起西段巴楚隆起为邻，西北和西南分别为天山和昆仑山环绕，面积  $11.832 \times 10^4 \text{ km}^2$ 。其基底为太古界、元古界变质岩，古生界、中生界构成沉积盖层。震旦—奥陶系为碳酸盐岩，志留系及上覆地层主要为碎屑岩。塔西南坳陷经历了多期构造运动，其中以喜马拉雅期构造运动最为重要，边界受大型逆冲推覆断裂带和走滑断裂带控制。该地区自从 20 世纪 50 年代就开始油气的普查勘探工作，先后发现或评价了克拉托新近系、柯克亚新近系和巴什托石炭系等油气田（藏），是整个塔里木盆地油气勘探的重要组成部分，也是油气前景最好的地区之一，有着广阔的勘探前景。塔西南油气勘探历程及成果如下。

### 一、起步阶段（1928—1951 年）

以路线地质调查为主，很少涉及面积调查，初步划分了白垩系、古近系和新近系，发现了个别构造与油气显示，证实了这个地区有油气存在，这些成果对后来的油气勘探有重要的启发作用。

### 二、早期阶段（1952—1974 年）

这一阶段主要勘探成果表现在：①初步了解了该地区石炭系、二叠系及中、新生界的出露与分布，建立了中、新生界和部分古生界序列剖面。基本查明了塔西南地质结构，认为喀什、叶城、和田凹陷是大型中生代凹陷。②对山前地面构造特征，背斜成排分布有了初步的认识，综合各种资料初步划分了构造单元。③地面发现多处油气显示，如杨叶、克孜洛依、乌拉根、阿拉布拉克、玉力群、桑株等。克拉托背斜井下  $N_1$ 、P 发现油气显示和低产油流，牙桑地背斜井下见良好油气显示，认为喀什凹陷是含油气远景较好的区域。西南地区海相 C、 $K_2$ —E，中新统是可能的生储盖组合，认为西部地区的 C— $P_1$  是较好的生烃岩。

### 三、普查阶段（1975—1990 年）

这一阶段主要勘探成果表现在：①通过地质调查和专题研究，基本搞清了地层、沉积、构造与生储盖组合关系，认为盆地具有“一大”（面积大）、“二厚”（沉积盖层厚和生储油层厚）、“三多”（油层显示多、局部构造多、含油组合多）的石油地质特征。同时还确定了 C— $P_1$ 、J、 $K_2$ —E 三套生烃岩系，其中以 C— $P_1$  为主要烃源岩，油气资源量为  $44.1 \times 10^8 \text{ t}$ ，具备形成大规模油气田的基本条件，盆地综合评价认为塔西南含油最有利。

②发现了柯克亚油田，首次实现了塔西南乃至全盆地油气勘探的重大突破，对盆地油气勘探产生了深远的影响。探明天然气储量  $301 \times 10^8 \text{ m}^3$ ，油储量  $2298 \times 10^4 \text{ t}$ 。在曲苦恰克背斜见油气显示，在棋北、英吉莎背斜也见油气显示。③发现和落实了一批构造，为钻探提供了方向。认为塔西南坳陷是在海西运动后台相古生界基础上形成的不对称沉积坳陷，古近—新近系厚度巨大，中生界分布局限，坳陷中心与重磁力吻合。由于  $T_8$  之下反射差，对其下面的地质构造尚无法全面认识。1984 年 8 月 22 日塔北沙参 2 井奥陶系白云岩获高产油气流后，勘探重点随之移至塔北，塔西南坳陷油气勘探除投入少量专题研究外，基本处于停滞状态。

#### 四、地质研究和地震详查阶段（1991—1999 年）

这一阶段钻探了 30 个构造和地区，其中，昆仑山前钻探了英吉莎、苏盖特、托帕、棋北、柯克亚（深层）、克里阳、皮牙曼、策勒等构造，麦盖提斜坡钻探了玉代里克、五间房、巴什托普、巴什托普西、帕赫米力克、捷德帕星、泽普、鸟山、罗南 2 号、玛南等圈闭。另外在邻近坳陷的巴楚隆起钻探了邦库勒、牙桑地、康塔库木、卡拉沙依北、和 4 井构造、和 3 井构造、巴东、古董山、玛扎塔克 2 号与 4 号等构造。发现了巴什托普、牙桑地、柯克亚（深层）、和田、鸟山等油气田，含油层系分别为 O—C、C、 $F_{2k}$ ，在英科 1 井、和参 1 井、康 1 井见到良好的油气显示。该阶段钻井在平面展布上遍布整个坳陷及其邻区，在目的层组的选择上既考虑了古生界，也考虑了新生界。钻探目标的选择以背斜为主，也兼顾了断块和地层圈闭。

取得的主要成果有：

①进一步明确了各层组地层展布、厚度变化、沉积特征，明确了山前构造模式、区域构造特征与演化、局部构造、断裂的展布。

②烃源岩除前述层位外，寒武系、奥陶系也为烃源岩，5 套烃源岩的存在是本区所独有的。评价认为石炭系、二叠系属好的烃源岩，其次为寒武系、奥陶系，再次为侏罗系，上白垩—古近系为较差烃源岩，并研究了烃源岩热演化史。

③评价和预测了研究区生、储、盖特征与展布。石炭—二叠系为南部主要烃源岩，该区油气资源量  $(38.38 \sim 44.1) \times 10^8 \text{ t}$ （康玉柱认为可达  $66.66 \times 10^8 \text{ t}$ ）。划分评价了生储盖组合，指出奥陶系盐下和奥陶系—石炭系储盖组合是巴楚隆起最有利的目的层，白垩系储盖组合是南缘山前有利勘探目的层，麦盖提斜坡 4 套储盖组合不同区域物性差别较大，对非构造圈闭勘探应持慎重态度。

④发现了 4 个油气田，储量虽不理想，但从地区和层位而言具指示意义，预示着该区巨大含油潜力。

⑤研究了已知油气藏的石油地质条件，认为北部油气源于寒武—奥陶系，混有石炭系；西部以石炭系、二叠系、侏罗系为主；东南部以石炭系为主，寒武系、奥陶系次之。总结了油气藏静态特征、成藏条件及成藏期次、成藏规律，认为以次生油气藏为主，在油气藏形成过程中断裂起到了重要作用。

#### 五、研究开发阶段（2000 年至今）

现阶段主要对塔西南地区特别是西南坳陷地区进行大量研究和勘探开发，已取得可喜的成就，油气方面也有不少重大的发现。塔西南前陆盆地综合勘探成果，如图 1-1 所示。

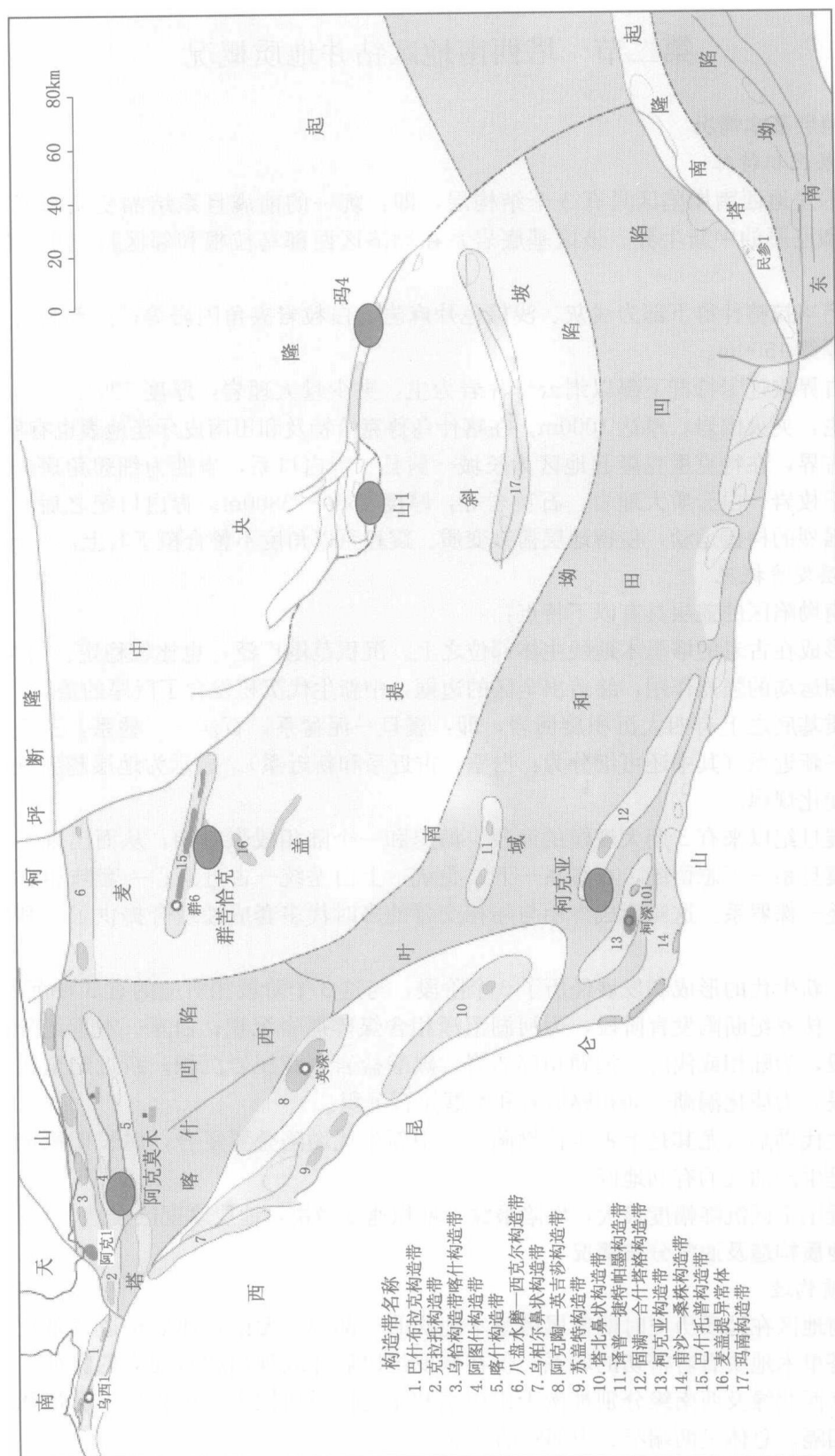


图 1-1 塔西南前陆盆地综合勘探成果

## 第二节 塔西南地区钻井地质概况

### 一、地层基本情况

#### 1. 地层沉积特征

塔里木盆地西南坳陷区具有 3 个结构层, 即: 统一的前震旦系结晶变质基底, 广泛的古生界和巨厚的中新世。该区基底岩系在坳陷区西部乌拉根和邻区特克里克隆起有出露。

太古宇喀拉喀什群下部为浅灰、浅棕色片麻岩、白粒岩夹角闪岩等; 上部为石榴石片岩等, 总厚约 1500m。

下元古界埃连卡特群下部以绢云母片岩为主, 夹少量大理岩, 厚度 7291m; 上部以灰色片岩为主, 夹火山岩, 厚达 1000m。在喀什乌鲁克恰特和田南皮牙曼地表也有所出露。

上元古界, 在特克里克隆起地区为长城—蓟县—青白口系, 岩性为细碧角斑岩、火山碎屑岩、千枚岩—白云质大理岩、石英岩等, 厚度 2500~3800m。青白口纪之后, 本区又发生了较强烈的构造运动, 使得地层褶皱变质。震旦系以角度不整合覆于其上。

#### 2. 盖层发育概况

塔西南坳陷区的盖层具有以下特点:

①它形成在古老的塔里木地块主体部位之上。沉积范围广泛, 也比较稳定。古生代末, 经海西末期运动的强烈作用, 缔造出全区的边框, 中新世沉积发育了巨厚的盖层。

②变质基底之上有四大沉积旋回岩, 即: 震旦—泥盆系, 石炭—二叠系, 三叠—侏罗系, 白垩—新近系 (其中还可细分为: 白垩—古近系和新近系)。显示为地层越新旋回层时限越短的变化规律。

③自震旦纪以来有 3 期大规模的海侵、海退和一个陆相成煤时期, 从而出现了三套海相地层: 震旦系—志留统, 石炭系—二叠统, 上白垩统—古近系; 一套陆相含煤成油地层为三叠—侏罗系。这对形成海相与陆相交替的多时代多套成油组合提供了有利的地质条件。

④中、新生代的形成和发展经历了 3 个阶段, 与这 3 个阶段相对应的有 3 种沉积类型, 即: 三叠—侏罗纪断陷发育阶段, 为河湖沼泽相含煤碎屑岩沉积; 白垩—古近纪分割性大型断陷阶段, 为陆相或浅海—潟湖相碎屑岩、碳酸盐岩和膏泥岩沉积; 新近纪全区断陷统一成盆阶段, 为淡化潟湖—陆相碎屑岩和类磨拉石沉积。

⑤古生代断陷 (尤其是上古生代断陷) 与中新世断陷叠置复合, 属长期稳定下沉的深断陷, 是生产油气的有利地区。

⑥新近纪全区沉降幅度最大, 断陷最深, 堆积速度最快, 地层厚度巨大。

### 二、地质构造及油气分布情况

#### 1. 地质构造

塔西南地区在地质历史时期曾属塔里木地块的一部分, 无论是地质构造背景还是沉积环境均与塔里木地块有着密切的联系, 仅在侏罗纪以后才表现出相对独立的特征。现今的塔西南地区西北缘及西南缘分别被南天山山系和昆仑山系所围限, 东北部以巴楚隆起与塔里木东部相隔。总体呈两端窄、中部宽的菱形。

塔西南地区包括塔西南断陷和西昆仑北缘冲断带。西昆仑北缘冲断带是本区油气勘探

的重点部位,它自帕米尔前缘东段向 E、SE 呈 NWW 向延伸至乌依塔格附近,再转折向齐姆根—棋北呈 NW—SE 向延伸至叶城一带,再呈 SEE 或近 EW 向延伸至和田一带,为阿其克断裂和阿尔金断裂所截,总体呈一巨型反“S”形构造。这是一个经历了多期发育又以渐新世以来的构造变形最为强烈的前陆冲断推覆变形带,帕米尔弧对其构造变形与格局有重要影响。近半个世纪以来,该带一直是油气勘探的重点对象,开展了大量的油气勘探工作,但由于山前构造带变形太复杂,各段的含油气性与聚油规律不尽相同。

塔西南坳陷的形成和演化与板块构造的关系十分清楚。塔西南坳陷的演化发展,早期(震旦纪至泥盆纪)主要受塔里木地体北缘板块构造直接控制,晚期(石炭纪至古近纪)主要受塔里木地体南缘板块构造直接控制,近期(新近纪至第四纪)主要受印度次大陆与欧亚大陆碰撞作用控制。

#### (1) 构造演化

塔里木构造运动发生于元古代青白口纪末期,是元古代最强烈的一次构造运动。它使前震旦系褶皱变质,并结束了地槽发展阶段,为塔里木地块(台)的发展奠定了基础,从此开始地块发展新阶段。

震旦—奥陶纪,该坳陷区总体处于拉张背景。早震旦世,西昆仑北带处于裂陷槽盆地,其他地区多处于隆起状态;晚震旦世为克拉通浅坳盆地。寒武—奥陶纪,在拉张背景下的克拉通边缘坳陷盆地,水体有所加深。特别在中奥陶世莎车南地区为深水陆棚相笔石页岩,反映了克拉通边缘盆地特点。奥陶纪末较强烈的加里东中期运动,使区内发生褶皱并抬升,使原克拉通及克拉通边缘盆地转化为前陆盆地。

志留—泥盆纪,该坳陷区为挤压背景下的前陆盆地,沉积面积缩小,海水逐渐萎缩。到泥盆纪,区内大部分地区为陆地。泥盆纪的早海西运动,使已沉积的地层褶皱、断裂,石炭系以角度不整合覆于其上。

石炭—二叠纪时,塔里木开始了第二次拉张时期,古特提斯海广泛侵入,并形成西南深东北浅的克拉通盆地。早二叠世晚期海水由东向西退却,本区海水变浅多成海陆交互环境。该期沿 NW 向断裂,有火山喷发活动。晚二叠世海水全部退出本区,形成陆相碎屑岩。二叠纪末的海西运动使区内产生褶皱断裂,并结束了塔里木地块发展阶段,开始了盆地发展的新时期。

中生代为前陆盆地发展阶段。三叠纪—古近纪,属前陆盆地发展时期形成西南低东北高的箕状盆地,从老一新沉积面积越来越大,成逐层超覆状态。新近纪,全面下沉形成统一的坳陷区。但喜马拉雅运动对本区影响较强烈,由于印度地块向北推移、西南缘昆仑山快速崛起,致使本区快速沉降,形成了厚达 10000m 的古近系和新近系堆积。

本区主要构造为 NW 向,而北部和西缘为 EW 向,这主要是受昆仑和天山造山带的影响所致。根据沉积发育及构造演化特征将本区划为喀什坳陷、莎车隆起、叶城和田坳陷、麦盖提斜坡等几个次级构造单元。

#### (2) 局部构造

区内局部构造十分发育,据不完全统计各类局部构造(圈闭)约 100 余个,其类型有背斜、断背斜、穹隆、断块等。多发育于昆仑山和天山山前地带。按其平面分布状态可分为雁列背斜带(如叶城雁列背斜带和喀什雁列背斜带)及乌泊尔“人”字形构造带。

本区局部构造主要有以下特点:①局部构造主要发育在挤压、压扭强烈的山前地带;②褶皱规模大,为长轴状大型背斜;③成排成带出现;④背斜轴面多倾向老山,且越靠近

山前褶皱越激烈；⑤背斜轴部发育有压性、压扭性断裂。这些表层褶皱主要产生于喜马拉雅期，而且背斜上、下高点部吻合。

(3) 断裂

区内断裂主要为压性、压扭性，区域性大断裂有特克里克山断裂、喀孜克阿尔特断裂、库孜贡苏断裂带、色力布亚断裂—玛扎塔克断裂。断裂主体方向为近 EW 向、NW 向、NNW 向。

塔里木盆地西南坳陷内的构造类型见表 1-1。

表 1-1 塔里木盆地西南坳陷的构造类型统计表

| 构造类型    |            | 主要的变形力 | 构造实例                       |
|---------|------------|--------|----------------------------|
| 基底卷入型构造 | 基底逆冲构造     | 水平挤压   | 铁克力克山前逆冲体，唐古孜巴斯凹陷内构造带      |
|         | 走滑扭动构造     | 力偶     | 羊大曼扭动构造带，西缘扭动断裂带，玛扎塔克扭动断裂带 |
|         | 逆冲与走滑扭动复合  | 水平压扭   | 色力布亚断裂背斜带                  |
|         | 基底挠曲       | 挤压和隆起  | 群苦恰克构造，218 构造的深层构造         |
|         | 断弯背斜构造     | 水平挤压   | 策勒构造                       |
| 盖层滑脱型构造 | 张性断陷构造     | 拉张     | 玉代力克东断陷、巴什托普北断陷            |
|         | 双重构造       | 水平挤压   | 柯克亚构造、泽普构造                 |
|         | 滑脱的叠瓦式逆冲构造 | 水平挤压   | 斯力克构造、固满构造、皮山构造、温古尔、桑株、杜瓦  |
|         | 滑脱背斜构造     | 水平挤压   | 巴什托普构造、218 构造、曲苦恰克构造带      |
|         | 重力滑动逆冲构造   | 重力     | 艾里西湖构造                     |

2. 油气分布

(1) 塔西南石油地质特征

塔西南地区古生—新生界沉积岩厚度达 12000~16000m，其中发育多套烃源岩和储集层，具有一定的油气生成与储存条件，迄今已发现了柯克亚凝析油气田、巴什托普油气田、雅松迪油气田、鸟山气田、和田河气田等，古生界的油气成藏条件被一些专家看好，具有良好的勘探前景。

该地区的烃源岩明显受原型盆地特点及有机岩相带展布的控制，整个塔西南坳陷的烃源岩主要有寒武—奥陶系烃源岩和石炭—二叠系烃源岩，侏罗系煤系地层和古近系及新近系泥岩、碳酸盐岩是次要的烃源岩。中—下寒武统蒸发潟湖相烃源岩主要发育在麦盖提斜坡中北部，镜质组反射率为 1.44%~2.06%，已处于高成熟—过成熟演化阶段，以生气为主。中—上奥陶统烃源岩发育在“和田古隆起”周缘地区，镜质组反射率为 1.39%~1.51%，处于高成熟演化中晚期，也以生气为主。石炭—二叠系烃源岩也是该区较为重要的烃源岩。和参 1 井的资料表明，这个时期的烃源岩分别形成于晚石炭世—早二叠世早期的滨岸—碳酸盐台地混合环境和早二叠世晚期的河流—湖泊环境，镜质组反射率为 0.65%~0.87%，目前处于低熟—成熟演化阶段，以生油为主，推测麦盖提斜坡中下斜坡部位的卡拉沙依组 (C<sub>1-2</sub>k) 烃源岩在新生代已进入生油高峰。对于昆仑山前冲断带上盘“外来推覆系统”的烃源岩西段较东段好一些，表现为西段 (桑株—杜瓦地区) 有杜瓦组 (P<sub>2</sub>d)、塔哈奇组 (C<sub>2</sub>t)、卡拉乌依组下部 (C<sub>2</sub><sup>1</sup>k)、克孜里奇曼组中上部 (P<sub>1</sub><sup>1-2</sup>k) 等多套烃源岩，而东段 (阿其克地区) 仅有阿孜干组 (C<sub>2</sub>a)、卡拉乌依组第二段 (C<sub>2</sub><sup>2</sup>k)、克孜里奇曼组

(P<sub>1</sub>k)等烃源岩。侏罗系烃源岩主要发育于塔西南地区的西南部,分布十分局限,对整个地区的贡献较小。上白垩统英吉莎群开阔台地相碳酸盐岩和古近系碳酸盐岩、泥岩在塔西南坳陷的西部也可能构成烃源岩,但由于有限的埋藏深度和塔里木盆地较低的地温梯度,现今可能尚未大量生烃。

以古近系底部广泛分布的膏盐、膏泥岩和泥岩区域性盖层和二叠系普司格组泥岩盖层、石炭系巴楚组泥岩盖层为界,塔西南地区可划分出古近系和新近系、石炭一二叠系、寒武一奥陶系三大套储盖组合。

①寒武一奥陶系储盖组合。该组合主要为加里东中晚期发育的“塔西南古陆”和“和田古隆起”上的奥陶系碳酸盐岩古岩溶储集层与上覆石炭系巴楚组下泥岩段构成的储盖组合。经初步分析,该组合是塔西南地区最重要的储盖组合。

②石炭一二叠系储盖组合。该组合内部可依据普司格组(P<sub>1</sub>p)顶部泥岩段与下部泥岩段进一步划分为3套次级储盖组合,即:a.普司格组下部泥岩段为盖层,石炭系卡拉乌依组砂岩和卡拉乌依组、阿孜干组、塔哈奇组及下二叠统克孜里奇曼组碳酸盐岩为储集层的下储盖组合,这套组合是该地区最重要的储盖组合;b.以普司格组顶部泥岩段为封盖层,中部砂岩段为储集层的中储盖组合;c.以古近系底部的膏盐、膏泥岩和泥岩为封盖层,杜瓦组(P<sub>2</sub>d)为储集层的上储盖组合。

③古近系和新近系储盖组合。该组合可进一步划分为两套次级储盖组合:a.山前推覆体古近系组合,位于皮牙曼—阿其克一带的和田冲断席上,储集层为齐姆根组(E<sub>2</sub>q)碳酸盐岩,盖层是巴什布拉克组(E<sub>3</sub>b)中部泥岩和石膏层;b.冲断带的前锋带新近系组合,毗邻于前陆坳陷,储集层为中新统含砾砂岩、岩屑砂岩,盖层是上新统阿图什组下部厚层泥岩、泥质粉砂岩。

从柯克亚油气田的开发情况看,其上、下油组垂向封堵性很好,说明柯克亚油气田的油气并非沿构造高点垂向运移,而是侧向运移。因此,有理由认为深层逆冲楔入构造的断层面实现了深层油气向其上部柯克亚背斜构造底部的运移,柯克亚背斜北翼断层又实现了油气向上部中新统的调整运移。因此,西昆仑北缘冲断带对油气成藏的意义是非常重要的。

塔西南坳陷及其前陆盆地系统有多种圈闭类型。昆仑山前冲断褶皱带以楔状体背斜(如桑株Ⅱ、Ⅲ号楔状体背斜,皮牙曼Ⅰ、Ⅱ号楔状体背斜)和挤压背斜(如柯克亚背斜)为主;在斜坡部位地层圈闭比较发育,如塔参2井所钻探的古近系大型地层圈闭,同时也有构造圈闭;在麦盖提斜坡与巴楚隆起过渡的断裂带发育潜山断垒及与断层有关的构造圈闭。

塔西南坳陷内油气的运移—聚集—成藏有两个趋势,一个是山前冲断带内的背斜构造,另一个是麦盖提斜坡和巴楚断隆上的背斜构造。与活动造山带相联系的前陆盆地中的油气聚集往往是分散运移系统。前渊凹陷中的油气一方面向冲断带运移,另一方面沿斜坡向前缘隆起运移。油气二次运移的模拟实验结果显示,如果油气沿倾角不大的斜坡进行长距离的侧向运移,其散失量是相当大的。因此,由前渊凹陷向前缘隆起的长距离油气侧向运移似乎不现实,但自麦盖斜坡向上运移是有可能的。

## (2) 塔西南坳陷区生油岩系

塔里木盆地西南坳陷位于西南缘,呈北西—南东方向展布,整个构造线与特克里克隆起协调一致,亦呈一向西南凸出的弧形,这是一个早燕山期开始至喜马拉雅期形成的南陡北缓的不对称箕状坳陷,坳陷内大部分地区缺失中生代早期沉积(如三叠系),侏罗系仅在山前边缘形成一狭长条带状的补偿性陆相含煤建造。燕山运动晚期,沉积了晚白垩世—古

近纪的海相沉积，大致从西向东、由南而北逐渐超覆，可能是特提斯海由西至东侵入的结果。新生代以来，青藏高原急剧上升，盆地相对下沉，坳陷内堆积了上万米的陆源碎屑岩，据重力资料推算，最大深度超过 11000m，其中喀什—叶城—墨玉—一线坳陷最深。

该坳陷的形成和发展是受前震旦纪结晶基底构造层主要断裂的控制。西昆仑山断褶带及特克里克隆起的主要构造与坳陷及其局部构造协调一致，均呈一右旋扭动格局，在遥感图像上，可清楚看到一系列右行斜列的盖层背斜构造，如明遥路、目什、英吉莎、齐姆根和棋盘等局部构造，均呈右列雁行排列。不仅如此，坳陷内的 3 个最深坳陷也呈右行斜列，总体呈一右旋扭动的“S”形格局。这种格局显然是受到来自南北向区域应力场及局部右旋扭动的应力场共同作用，特别是与帕米尔向北楔进有关。

塔里木盆地西南坳陷区有 5 套生油岩系，按好—差排序为石炭系—下二叠统、寒武系—奥陶系、侏罗系、上白垩统—古近系、新近系中新统安居安组。

①石炭系—下二叠统。

该生油岩系的岩性为深灰色泥晶灰岩、泥灰岩、泥页岩，生物化石丰富，属海陆交替相，沉积稳定。生油岩累计厚 400~1400m；有机碳含量：石灰岩为 0.69%~2.64%，平均 0.61%；泥岩为 0.58%~1.26%。沥青“A”：石灰岩为  $(51\sim244)\times10^{-6}$ ；泥岩为  $(31\sim120)\times10^{-6}$ 。烃含量：石灰岩为  $(35\sim80)\times10^{-6}$ ；泥岩为  $(45\sim265)\times10^{-6}$ 。H/C 原子比为 0.64~0.96。有机质类型为腐殖腐泥型—腐泥型。 $R_o$  为 0.55%~0.8%。属好生油岩，已处成熟阶段。

塔西南地区石炭系下统、二叠系生油岩展与发育，如表 1-2、表 1-3 所示。

表 1-2 塔西南地区石炭系下统生油岩展与发育

| 剖面位置  | 沉积相      | 沉积厚度 (m) | 生油岩厚度 (m) |     |       |
|-------|----------|----------|-----------|-----|-------|
|       |          |          | 总 厚       | 泥 岩 | 石 灰 岩 |
| 阿尔塔什  | 开阔—局限台地相 | 1218.4   | 433       | 107 | 326   |
| 棋盘    | 开阔—局限台地相 | 900      | 340       | 39  | 92    |
| 杜瓦    | 开阔—局限台地相 | 457.27   | 102       | 0   | 102   |
| 阿其克   | 开阔—局限台地相 | 254      | 94        | 12  | 82    |
| 曲 1 井 | 潟湖—滨湖沼泽相 | 470.5    | 139.5     | 4   | 135.5 |

表 1-3 塔西南地区二叠系生油岩展与发育

| 剖面位置 | 沉积相   | 岩 性      | 沉积厚度 (m) | 生油岩厚度 (m) |        |        |
|------|-------|----------|----------|-----------|--------|--------|
|      |       |          |          | 总 厚       | 泥 岩    | 石 灰 岩  |
| 阿尔塔什 | 浅海台地相 | 灰色、深灰色灰岩 | 202      | 127       | 18     | 109    |
| 棋盘   |       |          | 580.98   | 246.1     | 103.56 | 142.53 |
| 杜瓦   |       | 暗色泥岩     | 159.23   | 53.26     | 8      | 45.26  |
| 阿其克  |       |          | 641.41   | 6.58      | 0      | 6.58   |

②寒武系—奥陶系。

该岩系是良好生油岩系，其岩性为深灰色泥质泥晶灰岩、泥岩，生油岩总厚 500~900m，有机碳含量为 0.10%~1.49%，沥青“A”为  $(32\sim207)\times10^{-6}$ 。

塔西南地区寒武系—下奥陶统，奥陶系中、上生油岩展布与发育概况，如表 1-4、表 1-5 所示。

表 1-4 塔西南地区寒武系—奥陶系下统生油岩展布与发育概况

| 构造单元  | 沉积相    | 沉积厚 (m)  | 生油岩厚度 (m) |     |       |
|-------|--------|----------|-----------|-----|-------|
|       |        |          | 总 厚       | 泥 岩 | 石 灰 岩 |
| 麦盖提斜坡 | 斜坡—盆地相 | 200~1200 | 200~400   | 160 | 240   |
| 叶城凹陷  | 盆地相    | 200~2000 | <200      | 120 | 80    |
| 坎地里克  | 槽盆相    | 1017     | 526       |     | 526   |

表 1-5 塔西南地区奥陶系中、上生油岩展布与发育概况

| 构造单元  | 沉积相 | 沉积厚 (m)   | 生油岩厚度 (m) |       |        |
|-------|-----|-----------|-----------|-------|--------|
|       |     |           | 总 厚       | 泥 岩   | 石 灰 岩  |
| 麦盖提斜坡 | 斜坡相 | 600~1200  | 100~250   | 40~80 | 60~210 |
| 叶城凹陷  | 盆地相 | 1200~1400 | >250      | >250  |        |

### ③侏罗系。

侏罗系生油岩集中在叶尔羌群，以杨叶组为例，生油岩为深灰色泥岩，炭质页岩和煤。其中生物化石丰富，属还原—弱还原湖泊—沼泽相沉积，生油岩厚达 200~500m。其有机碳含量为 0.69%~5.45%；沥青“A”为  $(150\sim677) \times 10^{-6}$ ；有机质类型为腐泥—腐殖型。进入成熟阶段，属较好生油岩。

塔西南地区侏罗系生油岩展布与发育，如表 1-6 所示。

表 1-6 塔西南地区侏罗系生油岩展布与发育

| 构造单元 | 剖面井号   | 沉积相    | 岩 性  | 地层厚 (m) | 生油岩厚 (m) |
|------|--------|--------|------|---------|----------|
| 喀什凹陷 | 乌恰杨叶   | 浅—半深湖相 | 暗色泥岩 | 3731    | 795      |
| 叶城凹陷 | 玉参 1 井 | 浅—半深湖相 | 暗色泥岩 | 507     | 341      |

### ④上白垩统一古近系。

该岩系有生油希望的库克拜组 ( $K_2k$ )、依格孜牙组 ( $K_2y$ ) 与齐姆根组 ( $E_1-2q$ )、乌拉根组 ( $E_2w$ ) 部分层段，属潮下低能带沉积。生油岩为灰色泥灰岩，深灰、灰绿色泥岩，厚度达 200~400m。其有机碳含量为 0.1%~0.40%，沥青“A”为  $(32\sim79) \times 10^{-6}$ ，属于较差生油岩。

### ⑤中新统安居安组。

该组在乌恰—岳普湖一带，主要为半深水湖相或潟湖相沉积，生油岩为灰绿、深灰色泥岩，累计厚度 100~700m；有机碳平均含量为 0.39%，最高达 1.02%；有 33% 达标；氯仿沥青“A”平均含量为  $25 \times 10^{-6}$ ，最高达  $63 \times 10^{-6}$ ；烃含量平均  $335 \times 10^{-6}$ ，最高  $1180 \times 10^{-6}$ 。浅湖相区有机质丰度偏低，半深水湖相区有机质丰度明显提高。有机质类型为腐殖—腐泥型，属较好—较差的生油岩。

塔里木盆地西南凹陷主要发育这 5 套生油岩，其中寒武—奥陶系沉积中心分布在阿瓦提凹陷、塘古巴斯凹陷及阿瓦提南—巴楚，有机质丰度高、类型好、成熟度高，是该区最主要油气源岩。石炭系—下二叠统烃源岩在塔西南地区分布极为广泛，主要分布于叶城至柯深 1 井和玉参 1 井附近，丰度及类型多样、成熟度中到高，是该区次要油气源岩。侏罗系主要呈串珠状分布于喀什凹陷、叶城凹陷山前的孤立断陷中，以湖泊相和河流相为主，

中、下侏罗统有机质丰度高,低熟—成熟,具一定的生烃潜力,为较好、好生油岩,是喀什凹陷、叶城凹陷的主力烃源岩之一。古近系生油岩母质类型差,是喀什凹陷、西南缘区的主要生油岩。新近系烃源岩主要分布于叶城凹陷山前区,是叶城凹陷山前地区的烃源岩。

### (3) 油气藏圈闭类型

圈闭分布的区带性制约着油气分布的区带性,圈闭叠加给复式油气聚集带的形成提供了条件。不同时期储集体和储集空间的类型以及分布的差异,导致不同时期油气聚集分布规律存在相应的差异。同时,圈闭的保存程度直接影响着油气保存程度。塔西南凹陷的圈闭产生于多期构造运动,但绝大多数圈闭产生于海西期和喜山期。

①背斜圈闭。背斜圈闭是塔西南凹陷的主要圈闭类型,主要分布于各个二级构造带上,目前塔里木盆地获工业油气流的圈闭绝大多数是背斜圈闭。在塔西南地区如柯克亚油气田,构造长50km,宽10km,走向 $110^{\circ}$ ,南翼倾角 $5^{\circ}$ ,北翼倾角 $7^{\circ}$ 。而中新统下部西八段形态长11km,宽8km,轴向 $85^{\circ}$ ,闭合差300m,南翼倾角 $10^{\circ}\sim 15^{\circ}$ ,北翼倾角 $15^{\circ}\sim 20^{\circ}$ ,南缓北陡。背斜形态完整,圈闭良好。仅在深部、北翼近轴线有一东西向断层,断开地层可能为中生界。另外克拉托的油气流也属此种圈闭类型的产物。

②背斜断层圈闭。如麦盖提斜坡巴什托油田,背斜长10km( $C_2$ 顶),宽2~4km,闭合差大于150m,为继承性较强的长轴背斜,具有东西两个高点,顺背斜南翼存在逆冲断层,背斜与断层遮挡圈闭对油气藏的形成起着重要控制作用,鼻状及半边构造也属此类型。

③地层圈闭。由于本地区具有多旋回沉积和多旋回成油的特点,古生代、中生代、新生代各沉积旋回间存在着间断或明显的角度不整合;各生油岩系之间还存在着局部性间断及角度不整合。特别是晚古生界(C—P)顶部的剥蚀及中生界以来的逐层超覆成为地层圈闭的先决条件。不整合面附近形成的古风化壳、古潜山及岩性封闭的地层油气藏在盆地内均存在。西南凹陷西部巴什布拉克白垩系超覆在前震旦系之上;新近系中新统吉迪克组超覆在中侏罗统之上,地层圈闭中见有良好的油气显示,为该类型圈闭存在的标志。以凹陷中隆形式存在的古潜山,盆地内有可能存在。柯克亚中新统油气藏之下,地震波组具有明显角度不整合,该地层可能属中生界潜山。

④岩性圈闭。沉积环境的变迁造成河流、三角洲及各种砂体沉积。碳酸岩中最常见的生物礁,生物滩及原、次生缝洞均有发育。生物礁见于塔里木上古生界边缘之苏巴什北部。缝洞的发育较为普遍,如有充分油源可以形成生物礁圈闭。总之,陆相碎屑岩、海相碳酸岩所形成的各种圈闭在塔里木盆地是不缺乏的。隆起边缘、大型斜坡等部位是岩性圈闭发育的有利地区。在庫车凹陷北缘斜坡一带下侏罗统阿合组、中侏罗统克孜勒努尔组发育的不同成因的砂体中普遍见油气显示或油流,就是岩性圈闭的实例。

⑤与盐丘有关的圈闭。该地区晚古生代以来,除晚三叠世—侏罗纪外,各时代地层均有发育膏泥岩、石膏层或膏盐层。其中尤以古近系古新统下部最发育,其巨厚的石膏或膏盐层可达450m。由于沉积压实差异重力滑坡及构造断裂的影响导致盐层蠕动,造成盐丘封闭,如西南凹陷南缘如喀拉大阪、艾斯毛拉山及塔什米里克山等地膏盐盐丘及刺穿现象很多。因此,塔里木盆地可能存在着与盐丘有关的地层岩性圈闭类型的油气藏以及盐丘上拱形成的构造圈闭型油气藏。

## 三、储集层基本情况

### 1. 储集层的概况

塔西南地区储集层的岩石类型可分为碳酸盐岩和碎屑岩两大类,储集岩具有多种类型

的孔隙，但以次生孔隙为主。成岩作用及成岩后生作用是控制本区储集层发育的主要因素。裂缝的存在对碳酸盐岩储集性能的改善也起着决定性的作用。

塔里木盆地西南地区古生界为一套以海相台地型为主的沉积建造，由于多次海进海退，在时空中形成了多期有利于储集层发育的沉积环境，区内  $Z_2$ —P 发育了多层系、多类型、厚度较大的储集层。而中、新生界主要为陆相盆地的碎屑岩沉积（除  $K_2$ — $E_2$  有短暂海侵外），发育了一套以湖相及河流冲积相为主的储集层。

塔西南储集层的地质层位主要有寒武—奥陶系，志留—泥盆系、石炭系、侏罗系、白垩—古近系及新近系中新统。其储集岩可分为碎屑岩与碳酸岩两大类。

碎屑储集岩在塔西南分布广泛，从下古生界志留系至新近系均有分布，厚度达数千米，是研究区重要的储集岩类型。古生界碎屑岩主要形成于海相沉积环境，而中新生界则以陆相沉积为主，具有物源丰富，堆积速度快，由于埋藏深度大，成岩变化复杂。

碎屑岩的储集层位为志留—泥盆系、石炭系下统、三叠—侏罗系、白垩系及新近系中新统。目前已在中新统和下石炭统砂岩中发现工业油气流，并已在中新生界多层系中见油气显示。

碳酸盐岩为寒武—奥陶系和石炭系，岩性为砂屑灰岩、鲕粒灰岩、生物灰岩、白云岩。主要储集空间有粒间溶孔、溶缝、溶洞、裂隙等。

储集岩主要特征：①基质孔隙不发育，仅在粉—细晶白云岩中有少许晶间孔和晶间溶孔。②储集岩主要发育在上部或顶部，溶洞、溶孔、裂缝发育，形成裂隙—孔—洞复合型储集体。③随深度增加溶蚀作用减弱。目前在塔北地区奥陶系顶面风化壳附近溶孔、溶洞、裂隙十分发育，呈现良好储集空间。④一般白云岩物性好于灰岩，灰岩中的生物屑灰岩物性最好，其中有少许晶间孔和晶间溶孔。

塔西南坳陷油气统计，如表 1-7 所示。塔里木盆地西南地区石炭系、二叠系储集层评价，如表 1-8 所示。

表 1-7 塔西南坳陷油气统计表

| 地区或背斜   | 层 位                                  | 产 状  | 显示类型             | 备 注                |
|---------|--------------------------------------|------|------------------|--------------------|
| 肖布拉克沟   | Q                                    | 断裂   | 油花、天然气、 $H_2S$ 泉 | Q 下伏 $K_1N$ 具油浸    |
| 阿拉布拉克   | $N_2^1$ 、 $N_1^3$                    |      | 油砂               |                    |
| 克孜洛克    | $N_1^3$                              |      | 少量原油             |                    |
| 吐孜洛克埃肯沟 | $N_1^3$                              |      | 天然气、油花           | 明尧勒背斜北 6~7km       |
| 杨 叶     | $N_1$ 、 $E_2-3$<br>$K_1$ 、 $J_{1+2}$ | 断裂裸露 | 油、天然气、油砂         | 断裂及含油层裸露           |
| 克拉托     | $N_{13}$                             |      | 油、天然气、油砂、泥火山     | 井内油气流              |
| 巴什布拉克   | $K_1$ 底                              | 不整合面 | 原油、油砂、沥青         | 下伏元古界              |
| 乌鲁克卡特   | $K_1$ 底                              |      | 含油迹砾岩            |                    |
| 乌拉根向斜南翼 | $N_1^3$                              | 断裂   | 油砂、沥青            | 西南坳陷见<br>油气显示 13 处 |
| 玉力群     | Q、 $E_2^2$ 、 $K_1$                   | 裂隙晶洞 | 原油、沥青、天然气、硫黄     |                    |
| 桑 侏     | $E_{1-2}$                            | 断裂   | 地蜡、沥青脉           |                    |
| 克里阳     | $K_1$                                | 裸露   | 油味砂岩、井下见气侵       |                    |
| 康苏南两公里  | $J_2$                                | 断裂   | 油味、砂岩            |                    |
| 柯克亚     | $N_1^2$                              |      | 高产油气流            |                    |
| 克拉托     | C                                    |      | 油气流              |                    |