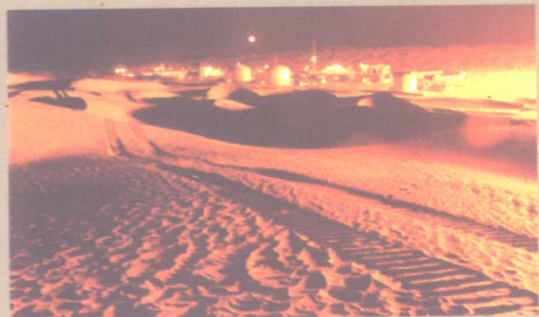


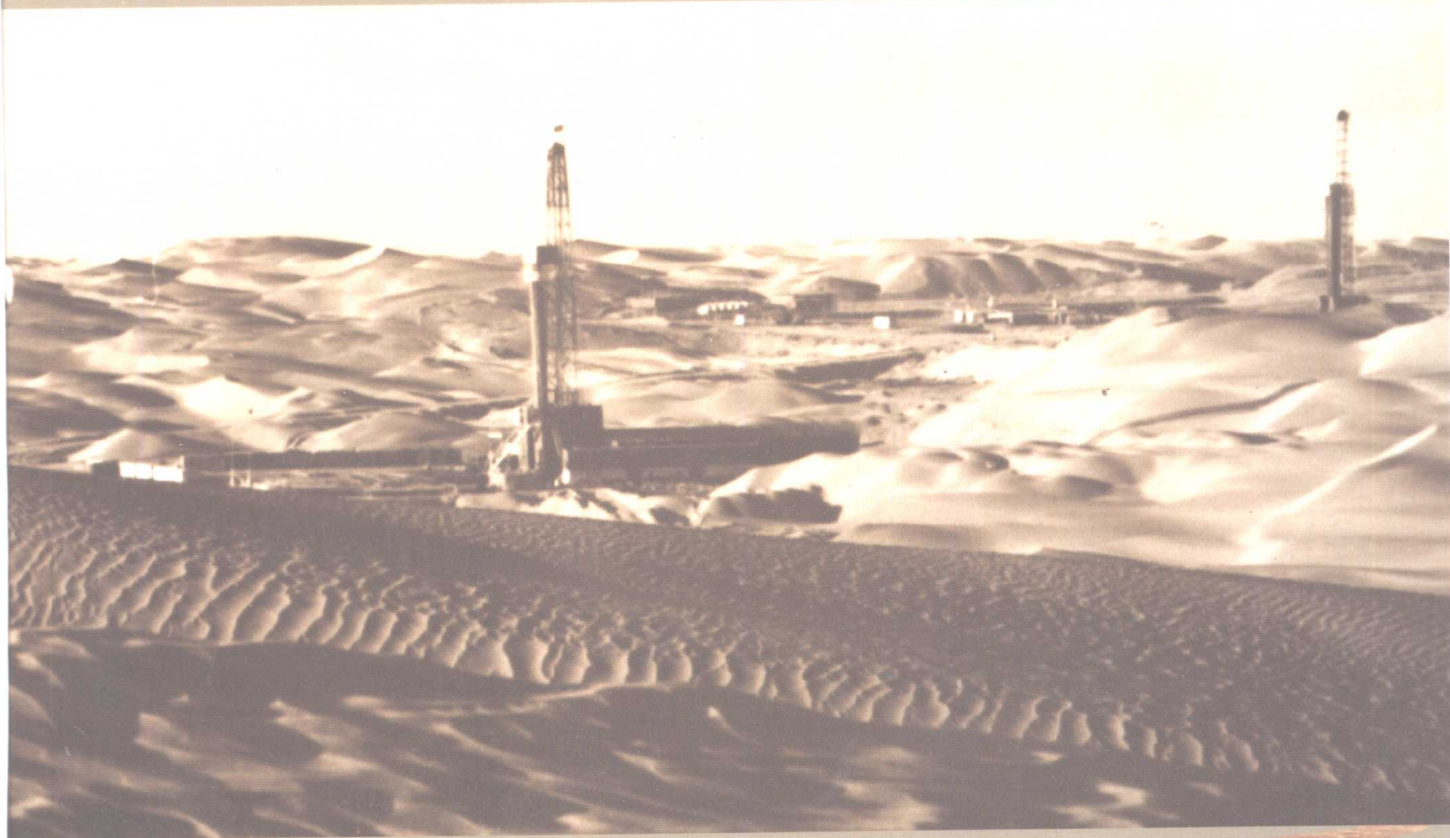


TARIM

塔里木盆地

天然气分布规律及勘探方向

赵孟军 周兴熙 等著



石油工业出版社

塔里木盆地

天然气分布规律及勘探方向

赵孟军 周兴熙 卢双舫 李 剑
陈世加 陈义才 张宝民 王红军 著

石油工业出版社

内 容 提 要

本书是在“九五”国家重点科技攻关项目“塔里木盆地石油天然气勘探”中“塔里木盆地天然气分布规律及勘探方向”研究的基础上编写而成的。在该项研究过程中开发利用了天然气地质研究的新技术、新方法，从而使天然气地质、地球化学研究取得一系列新进展，在此基础上归纳和总结了塔里木盆地天然气分布规律，首次明确提出塔里木是富含天然气的盆地，并指出了大中型天然气藏的勘探方向。

本书可供从事天然气地质研究的科技人员参考。

图书在版编目 (CIP) 数据

塔里木盆地天然气分布规律及勘探方向/赵孟军等著.
北京:石油工业出版社,2002.5
ISBN 7-5021-3739-4

I. 塔…

II. 赵…

III. ①塔里木盆地-天然气-分布规律

②塔里木盆地-天然气-油气勘探

IV. P618.130.2

中国版本图书馆 CIP 数据核字 (2002) 第 022886 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)

北京密云华都印刷厂排版印刷

新华书店北京发行所发行

*

787×1092 毫米 16 开本 19 印张 485 千字 印 1—1000

2002 年 5 月北京第 1 版 2002 年 5 月北京第 1 次印刷

ISBN 7-5021-3739-4/TE·2735

定价: 40.00 元

前 言

塔里木盆地是一个具有丰富油气资源和良好勘探前景的大型含油气盆地。盆地面积 $56 \times 10^4 \text{ km}^2$, 沉积岩体积 $400 \times 10^4 \text{ km}^3$, 油气资源量达 $191.5 \times 10^8 \text{ t}$, 其中天然气为 $8.4 \times 10^{12} \text{ m}^3$ 。因此塔里木盆地的油气勘探在我国石油工业中占有重要地位, 是我国石油、天然气储量和产量持续增长的重要后备基地。

“九五”以来, 塔里木天然气储量的增长幅度明显高于原油, 相继发现了和田河、克拉2、依南2、轮南潜山和塔中45等气藏(田)或油气藏, 使天然气储量在油气储量的比例大幅度增加, 并初步形成了库车大气区的雏形, 为我国“西气东输”工程的启动奠定了基础。

本书讨论的主要内容如下:

(1) 天然气地质研究的新技术、新方法。开发了岩石热模拟轻烃同位素的检测技术, 获取一系列有效的气源对比新指标, 为气/源岩的直接对比开创了一条新途径; 将化学动力学理论比较系统、成功地应用于油气生成期和油气生成量的定量评价之中, 建立和标定了塔里木盆地有机质成油、成气及油裂解气的化学动力学模型。

(2) 塔里木盆地天然气地质地球化学研究新进展。塔里木盆地富集的凝析气主要为初始型凝析气和富化型凝析气, 前者与源岩条件有关, 后者则由于晚期干气侵入溶解早期原油而形成; 天然气中的氮气为有机成因, 高氮天然气与源岩类型及圈闭捕获条件有关; 在奥陶系发现类Ⅲ型烃源岩及其形成的“偏腐殖型”天然气藏, 该类型气藏主要分布在塔中北斜坡的奥陶系储层中; 根据化学动力学模型讨论了泥质气源岩排烃界限值; 从有机相角度评价寒武系、奥陶系和三叠—侏罗系三套重要的气源岩, 中、下寒武统的欠补偿盆地浮游藻有机相和蒸发泻湖盐藻有机相由于成熟度较高而以生成干气为主, 中、上奥陶统台缘斜坡灰泥丘复合藻有机相既能生油又能生气, 三叠—侏罗系烃源岩则由于其Ⅲ型母质而以生气为主; 建立不同区块暗色泥岩、灰岩生烃剖面及生烃史, 反映了塔里木盆地生烃过程的多源、多期性; 根据气/岩直接对比和间接对比相结合的综合对比方法判断塔里木盆地天然气主要源自寒武系、中、上奥陶统和三叠—侏罗系三套高丰度烃源岩; 在塔中地区东部及和田河气区存在原油裂解气, 深化了对天然气来源的认识; 对塔北轮南地区不同构造、不同层位的干气混合比例进行了讨论, 并判断了干气的侵入方向; 讨论了埋藏深度与成藏时期对天然气扩散程度的影响。

(3) 塔里木盆地天然气分布特征及分布规律的认识。

①塔里木盆地是一个富含天然气的复合叠合盆地: 塔里木盆地富含天然气的最根本原因是发育 C_1 、 O_2+C_3 和 $\text{T}-\text{J}$ 三套高丰度气源岩, 利用化学动力学方法计算的盆地气资源量是油资源量的 1.7 倍, 同时五套区域盖层形成的多套储盖组合为天然气成藏提供了有利的聚集场所。

②天然气类型多样, 既有凝析气又有干气: 从塔里木盆地天然气地质条件及克—依构造带、玛扎塔格构造带干气发现来看, 凝析气和干气在塔里木盆地天然气勘探上并重。

③“源—盖联控”是塔里木形成大、中型气藏(田)的重要因素: 充足的气源供给是形成大中型气藏(田)的物质基础, 而且有效气源岩的分布决定了天然气系统的划分和天然气

的成因类型。下第三系膏盐层、中、下侏罗统泥岩和中、上寒武统盐膏层等五套区域盖层是形成大中型天然气藏的关键因素。

④断裂带控制了天然气藏(田)的分布:断裂带对天然气藏的控制作用主要表现在断裂带控制了圈闭的形成规模和分布,断裂带是天然气垂向运移的通道,同时断裂带提高了碳酸盐岩储层的质量。

⑤天然气具有晚期(第三纪以来)成藏的特征:第三纪以来是寒武系源岩生成干气及中、上奥陶统和侏罗系源岩有效的生排气高峰期,储盖组合及圈闭形成史分析表明,已知天然气藏主要充注期是新生代,而扩散作用使早期聚集起来的气在保存条件不好的情况下严重散失。同时根据第三期包裹体、储层伊利石同位素年龄证明天然气及其伴生的轻质油形成时期是新生代。

⑥库车前陆具有整体富气,台盆区具有区带富气的天然气成藏特征。在库车前陆盆地,充足的气源条件、垂向和侧向两种运聚模式、晚期成藏及两套优质区域盖层决定了其整体富气的特征;台盆区具有区带富气的特征,最根本的原因是受控于有效的“生气中心”,此外台盆区具多源、多期成藏的特点,但只有晚期形成的天然气藏才有意义。

从上述天然气分布规律可以获得塔里木盆地天然气勘探的如下启示,即逼近生气中心、逼近区域盖层、逼近断裂带是寻找大中型气藏(田)的基本原则,并讨论了塔里木盆地现实有利的勘探领域和潜在的勘探地区。

本书编写分工如下:前言由赵孟军、周兴熙执笔;第一章由赵孟军、张宝民执笔;第二章第一节由李剑执笔,第二节由卢双舫执笔;第三章第一节由卢双舫执笔,第二、三、四、五节由赵孟军、张宝民、肖中尧、李梅、彭燕执笔;第四章由赵孟军、张宝民、肖中尧、李梅、彭燕执笔;第五章由李剑、谢增业执笔;第六章第一、六节由陈义才执笔,第二、五节由陈世加执笔,第三节由赵孟军执笔,第四节由卢双舫、赵孟军执笔;第七章由卢双舫、王振平、赵孟军执笔;第八章由周兴熙、王红军执笔;第九章由周兴熙、赵孟军、王红军执笔;结束语由周兴熙执笔;赵孟军、周兴熙最后统稿、定稿。本书所用资料截止日期是1999年6月,同时由于水平有限,错误和不当之处敬请同行指正。

感谢两位著名天然气专家戴金星院士、徐永昌研究员在“九五”国家重点科技攻关的研究和本书的编写中的指导和帮助,感谢梁狄刚教授、贾承造教授、顾家裕教授在“九五”国家重点科技攻关的研究和本书的编写中的指导和帮助;感谢著名油气地球化学专家黄第藩教授给予的支持和帮助;感谢张水昌高级工程师、王飞宇教授、边立曾教授的支持和帮助;感谢塔指石油勘探开发研究中心、中国石油勘探开发院以及其他参加的同行的支持和帮助;感谢所有为本书提供指导和建议的学者和编辑人员。

作 者

2000年2月

目 录

第一章 绪 论	(1)
第一节 地质概况.....	(1)
第二节 气源岩发育的控制因素及对天然气分布的控制作用.....	(5)
第三节 天然气勘探成果	(10)
第二章 天然气地质研究的新技术、新方法	(19)
第一节 岩石热模拟轻烃同位素气—岩直接对比方法.....	(19)
第二节 有机质成油、成气及油裂解气化学动力学模型的建立.....	(22)
第三章 古生界气源岩	(38)
第一节 塔里木盆地有效气源岩判别标准.....	(38)
第二节 中、下寒武统	(47)
第三节 中、上奥陶统.....	(51)
第四节 潜在的石炭系气源岩	(69)
第五节 结论	(76)
第四章 中生界气源岩	(78)
第一节 煤系烃源岩评价标准.....	(78)
第二节 三叠—侏罗系烃源岩沉积相及分布.....	(82)
第三节 库车坳陷	(94)
第四节 满东地区	(112)
第五节 塔南地区	(120)
第五章 塔里木盆地主要气藏天然气的来源	(128)
第一节 天然气组成特征.....	(128)
第二节 天然气成因类型	(132)
第三节 天然气成熟度	(138)
第四节 气源综合对比	(144)
第六章 天然气地质地球化学研究新进展	(166)
第一节 凝析气富集的地质地化条件.....	(166)
第二节 高氮天然气的成因.....	(178)
第三节 奥陶系“偏腐殖型”天然气的发现和特征.....	(188)
第四节 油成气(二次裂解气)的判识.....	(200)
第五节 塔北隆起高温裂解气的成因与干气混合量计算.....	(208)
第六节 扩散作用对天然气藏的影响.....	(211)
第七章 塔里木盆地具有富含天然气的资源分布	(220)
第一节 部分井的古热史恢复.....	(220)
第二节 不同区块暗色泥岩、灰岩生烃剖面及生烃史.....	(223)
第三节 不同期次生、排烃量.....	(235)

第四节	塔里木盆地——富含天然气的盆地·····	(238)
第八章	塔里木盆地天然气分布特征及分布规律·····	(249)
第一节	凝析气藏和干气藏是塔里木盆地重要的气藏类型·····	(249)
第二节	活跃的气源和优质的区域盖层是形成大中型气藏的最关键的因素—— “源—盖联控论”·····	(251)
第三节	断裂带控制了天然气藏的分布·····	(258)
第四节	晚期（第三纪以来）成藏是塔里木盆地大中型气田的重要特征·····	(263)
第五节	库车前陆具整体富气、台盆区具区带富气的成藏特征·····	(269)
第九章	塔里木盆地大中型气田勘探方向的建议·····	(274)
第一节	库车前陆油气系统是寻找大中型气田最有利的地区·····	(274)
第二节	塔中隆起是天然气勘探的重要战场·····	(279)
第三节	下古生界是塔北地区寻找大中型气田的主要目的层·····	(284)
第四节	巴楚地区色力布亚断裂带及其以南地区是天然气富集的有利地区·····	(286)
第五节	天然气勘探新领域·····	(290)
结束语：	塔里木盆地天然气勘探的划时代意义·····	(294)
参考文献	·····	(295)

第一章 绪 论

第一节 地质概况

塔里木盆地处于新疆维吾尔自治区南部，地理位置在东经 $74^{\circ}\sim 91^{\circ}$ 、北纬 $36^{\circ}\sim 42^{\circ}$ 之间。它是我国最大的内陆盆地，面积 $56\times 10^4\text{km}^2$ 。塔里木盆地是一个在古生代地层基础上发展起来的中、新生代大型复合叠合型含油气盆地。盆地内地层发育齐全，厚度巨大，从震旦系至第四系，沉积盖层最大厚度可达 15000m。

一、盆地构造单元

塔里木盆地基底由太古界和元古界结晶变质岩组成。盆地区域性构造运动频繁，发育六个不整合面，形成六个构造层，经过不同的沉降阶段和五次隆起剥蚀事件，最后形成塔里木盆地现今的次级构造单元（贾承造等，1997）（图 1-1）。从北向南依次为：库车坳陷、塔北隆起、北部坳陷、中央隆起、西南坳陷、塘古孜巴斯坳陷、塔南隆起和东南坳陷。

1. 库车坳陷

库车坳陷位于塔里木盆地北缘，面积 $1.6\times 10^4\text{km}^2$ 。中、新生界是一套厚 8000m 以上的陆源碎屑岩沉积。层序较完整，具有明显的前陆坳陷沉积特征，中生界广泛发育线状褶皱、逆冲断层和推覆构造。

2. 塔北隆起

塔北隆起面积 $3.6\times 10^4\text{km}^2$ ，位于塔里木河以北，东西向延伸，是埋藏在中、上新世前陆坳陷中的古隆起，其上广泛发育石炭系、三叠系与下伏地层的不整合界面。根据古生界顶面形态特征可划分为轮台凸起、英买力凸起、哈拉哈塘凹陷、轮南低凸起、草湖凹陷、库勒鼻状凸起等六个二级构造单元。

3. 北部坳陷

北部坳陷位于塔北隆起与中央隆起之间，面积达 $12.47\times 10^4\text{km}^2$ ，是一个长期演化发展的巨型负向构造，包括阿瓦提凹陷、满加尔凹陷、英吉苏凹陷和孔雀河斜坡 4 个二级构造单元。其中阿瓦提凹陷震旦系—新生界层序齐全，但主要沉降期在中、上新世；满加尔凹陷是全盆地沉积岩残余厚度最大的地区，现今残余总厚度 12000~16000m，其中震旦系与寒武、奥陶系总厚度达 9000m；英吉苏凹陷是满加尔凹陷的东延部分，震旦系—志留系岩性及厚度特征与满加尔凹陷基本相同，但泥盆系—三叠系全部被剥蚀或缺失；孔雀河斜坡古生界从西南向东北地层倾斜抬起被剥蚀，侏罗系以上的中、新生界则从西南向东北超覆减薄。

4. 中央隆起

中央隆起位于盆地中央塔克拉玛干大沙漠，面积 $11.08\times 10^4\text{km}^2$ ，分为巴楚断隆、塔中低凸起和塔东低凸起 3 个二级构造单元。其中巴楚断隆是晚第三纪形成的、由吐木休克断层和玛扎塔格断层夹持的大型断隆构造，由古生界和薄的上新统组成；塔中低凸起主要形成于泥盆纪末期，轴部石炭系不整合在奥陶系上，向两翼地层依次变为志留—泥盆系，石炭

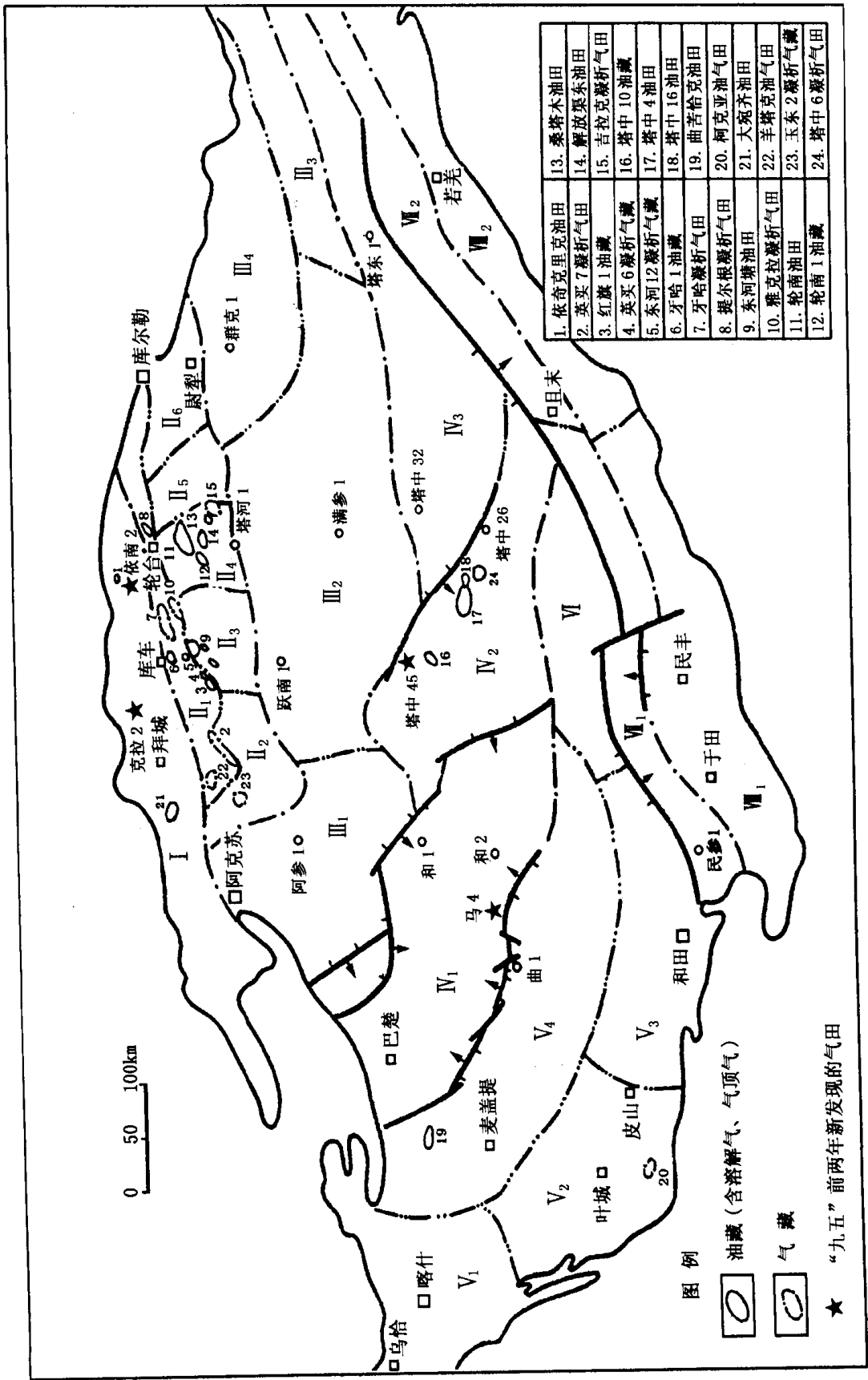


图 1-1 塔里木盆地构造单元划分及主要的油气田

I—库车坳陷；II—塔北隆起；II₁—轮台凸起，II₂—英买力低凸起，II₃—哈拉哈塘坳陷，II₄—草湖坳陷，II₅—库车坳陷鼻状凸起；III—北部坳陷；III₁—阿瓦提凹陷，III₂—满加尔凹陷，III₃—英吉苏凹陷，III₄—孔雀河斜坡；IV—中央隆起；IV₁—巴楚新隆，IV₂—塔中低凸起，IV₃—塔东低凸起；V—西南坳陷；V₁—喀什凹陷，V₂—叶城凹陷，V₃—和田凹陷，V₄—麦盖提斜坡；VI—塔古孜巴斯坳陷；VII—民丰北凸起；VII₁—民丰北凸起；VII₂—罗布庄凸起；VIII—东南坳陷；VIII₁—民丰凹陷，VIII₂—若羌凹陷。

★ “九五”前两年新发现的油气田

系及以上地层构成平缓的单斜；塔东低凸起主要由寒武—奥陶系和侏罗至第三系两个构造层组成，其中三叠纪末构造事件使该区抬升，古生界及三叠系受到强烈剥蚀。可见中央隆起构造具明显的东中西分异的特点。

5. 西南坳陷

西南坳陷位于塔里木盆地西南部，面积达 $12.13 \times 10^4 \text{ km}^2$ ，是典型的中—上新世发育的前陆坳陷，山前第三系厚达 7000~10000m，向东北方向逐渐减薄，至麦盖提斜坡上部减薄至 2000m。现今山前发育复杂的逆冲构造，包括线状背斜、拆离滑脱背斜等，上新统也卷入褶皱变形中。可分为喀什凹陷、叶城凹陷、和田凹陷及麦盖提斜坡等 4 个二级构造单元。其中喀什凹陷、叶城凹陷与和田凹陷是中—上新世前陆坳陷的主体部分。

6. 塘古孜巴斯坳陷

塘古孜巴斯坳陷位于塔中低凸起与塔南隆起之间，面积 $2 \times 10^4 \text{ km}^2$ ，由上、下两个构造层组成，下构造层寒武—奥陶系视厚 4000m 以上，发育复杂的古逆冲带构造，已发现大量逆冲断层及伴生褶皱，顶部缺失志留—泥盆系，与石炭系不整合接触。上构造层包括石炭系及以上地层，产状近水平，发育有平行不整合。

7. 塔南隆起

塔南隆起位于塔里木盆地东南部，面积 $3.38 \times 10^4 \text{ km}^2$ 。塔南隆起是受两条平行的巨型走滑断裂于田断裂和民丰北—且末断裂夹持的线状断垒构造，可进一步划分为民丰北断隆和罗布庄断隆两个二级构造单元。

8. 东南坳陷

显然受北东东向阿尔金断裂系控制，但与塔南隆起演化有密切关系。东南坳陷侏罗系、白垩系厚 200~1000m，大部分地区直接覆盖在元古界之上，局部地区推测有数百米的石炭系。上第三系厚 3000m，局部达 4500m。东南坳陷可分为民丰凹陷和若羌凹陷。

二、地层分布特征

塔里木盆地地层发育齐全，从震旦系到第四系均有分布；厚度巨大，残留最大厚度达 16000m。研究表明，塔里木盆地基底由前震旦系的太古界、下元古界深变质岩系和中上元古界浅变质岩系组成，是基底岩系经过多期构造事件和区域变质作用形成的；震旦系、寒武系和奥陶系为一套海相沉积层序，志留系、泥盆系为一套海相—陆相沉积层序，石炭系、下二叠统为一套海相与海陆交互相沉积层序，上二叠统和三叠系为一套陆相沉积层序，侏罗系、白垩系和下第三系为一套局部存在海相的陆相沉积层序，上第三系、第四系为一套陆相沉积层序。震旦系分布较局限，主要分布在库鲁克塔格、铁克力克断隆地区及中央隆起以北的地区。其中，库鲁克塔格北、南区下震旦统分别为厚 5000m 的粗碎屑岩夹中基性火山岩和底部为厚 1170m 的火山岩系，上部为 600m 厚的白云岩、泥岩、砂砾岩；上震旦统分别厚 405~959m 和 251m。震旦系与下伏地层为不整合接触，与上覆寒武系为假整合—整合接触关系。

寒武系、下奥陶统除库车坳陷、塔南隆起、东南坳陷以及铁克力克断隆局部缺失外，全区均有分布。大致以库尔勒—满参 1—且末一线为界分为东西两个相区。西部为台地相区，岩性主要为碳酸盐岩、碎屑岩沉积，一般厚 400~2000m；东部为次深海盆地相区，岩性主要为硅质泥页岩、泥质灰岩、灰岩和黑色笔石页岩，一般厚 200~800m。

中奥陶统沉积范围同下奥陶统，上奥陶统由于剥蚀作用，地层分布范围较小，主要分布

在北部拗陷和塘古孜巴斯拗陷地区。中西部台地相地区与东部槽盆相区分界线已移至塔中—满西 1—库尔勒一线。台地相区岩性主要为碳酸盐岩和碎屑岩，中、上奥陶统一般厚 500~2500m；槽盆相区岩性主要为砂、泥岩韵律性沉积，中奥陶统厚 1500~6500m，上奥陶统厚 400~2000m。奥陶系与上覆志留系为不整合—假整合接触。

志留系主要分布于北部拗陷、塘古孜巴斯拗陷以及柯坪断隆、库鲁克塔格断隆等地区，其它地区均缺失。志留系一般厚 500~2200m，其中西部残留厚度较薄，为 0~500m，东部较厚，为 400~2200m。志留系主要为滨浅海相的碎屑岩沉积，志留系与上覆泥盆系为假整合—整合接触，局部为不整合。

泥盆系主要分布在北部拗陷、塔西南以及中央隆起中西部地区，塔北地区、和田—塔中 1—塔东 1 井—线以南地区大面积缺失。泥盆系残余厚度一般为 300~1500m，以盆地东部残留厚度最大，可达 1500m。泥盆系主要为一套滨浅海相—陆相碎屑岩沉积。泥盆系与上覆石炭系为不整合接触。

石炭系除塔北隆起轴部、库车拗陷局部、盆地东部以及塔南隆起及东南拗陷东部外，全区均有分布，盆地内石炭系一般厚 600~2000m，主要为一套海陆交互相的碳酸盐岩和碎屑岩沉积，与下二叠统为整合接触。

下二叠统分布范围大致与石炭系相同，盆地内下二叠统残余厚度为 0~1800m，其中以阿瓦提凹陷厚度最大，达 1800m，下二叠统主要为海相—陆相沉积，其重要特征是火山岩普遍发育，凝灰岩几乎遍布全区。下二叠统与上二叠统为不整合接触。上二叠统仅分布于塔中 1—轮南一线以西地区，残余厚度一般为 200~1200m，主要为陆相沉积，与三叠系为整合接触。

三叠系主要分布在塔北隆起南部、阿瓦提—满加尔凹陷以及中央隆起中段、塘古孜巴斯拗陷、库车拗陷等地区，残余厚度一般为 400~1000m，主要为一套滨浅湖—深湖相沉积。三叠系与侏罗系一般为不整合接触，局部为整合接触。

侏罗系主要分布在阿克苏—民丰一线以东和喀什—和田—民丰一线的西昆仑山前地带，盆地东部侏罗系一般厚 400~1600m，英吉苏凹陷可达 2000 余米，西昆仑山前地带一般厚 1000~3000m，局部地区厚达 5000m。侏罗系主要为陆相湖泊、河流相沉积，与白垩系为假整合—整合接触。

白垩系主要分布在阿克苏—塔中 1—且末一线以北和喀什—和田一线的西昆仑山前地带，盆地东北部一般厚 200~800m，西昆仑山前地带一般厚度为 1000~2000m。白垩系主要为陆相碎屑岩沉积，仅塔西南地区上白垩统为海相沉积。白垩系与下第三系为不整合接触。

塔里木盆地新生界除巴楚地区局部缺失下第三系、上第三系吉迪克组外，地层广泛分布，厚度巨大，以西南拗陷、库车拗陷最为发育。西南拗陷新生界一般厚 2000~10000m，阿瓦提凹陷、库车凹陷最厚可达 6000m 和 7000m，库尔勒—满西 1—塔中 1—巴楚一线新生界较薄，一般为 500~2500m。新生界主要为一套陆相沉积的砂岩、砾岩、泥岩、膏泥岩等，仅塔西南地区和盆地北部地区下第三系下部为海相的灰岩和膏泥岩。

三、构造演化

塔里木盆地是长期演化的大型叠合复合含油气盆地，构造演化的长期性、复杂性和盆地面积的广大，决定了盆地不同地区，其原型盆地性质及相应的原型盆地构造分区性不同。在系统编制盆地各层系残余厚度、剥蚀厚度、主要剥蚀期剥蚀厚度、原始沉积厚度、古构造岩

相图件和原型盆地分类研究的基础上,并结合塔里木板块演化历史和盆地发育的重要不整合界面,将塔里木盆地构造演化史分为如下六个阶段(贾承造等,1997)。

1. 震旦—奥陶纪:克拉通边缘坳拉槽阶段

盆地内包括库—满坳拉槽和塔西克拉通内坳陷。其中奥陶纪塔西克拉通内坳陷以发育英买力—轮南和塔中两个巨型水下隆起为特征。奥陶纪末库—满坳拉槽闭合,中央隆起及其以南、塔北地区大面积遭受剥蚀,中央隆起、塔北隆起初步形成。

2. 志留—泥盆纪:周缘前陆盆地阶段

志留—泥盆纪塔里木盆地南缘为昆仑北前陆盆地,克拉通内坳陷以中央隆起、塔北隆起继承性发育为特征。泥盆纪末构造变形强烈,以发育塔里木南部逆冲带、中央走滑隆起带和塔北前陆隆起带为特征。

3. 石炭—二叠纪:克拉通边缘坳陷和裂谷盆地阶段

盆地内石炭纪包括塔西南克拉通边缘坳陷和塔里木克拉通内坳陷,早二叠世包括塔西南克拉通内坳陷和塔里木克拉通内裂谷,晚二叠世为塔西克拉通内坳陷。早二叠世末构造变形强烈,以塔东北(阿拉尔—满西1—且末—一线以东地区)大面积隆起剥蚀和发育北部后陆冲断—走滑带为特征。北部后陆冲断—走滑带包括塔北(含孔雀河斜坡)后陆冲断—走滑带和柯坪后陆冲断—走滑带。

4. 三叠纪:弧后前陆盆地阶段

三叠纪末以发育塔东南弧后前陆冲断带和大量隆起剥蚀为特征,隆起剥蚀区包括塔东隆起、塔西隆起、新和隆起,其中以塔东隆起剥蚀量最大。

5. 侏罗—早第三纪:断陷盆地阶段

盆地内侏罗纪—白垩纪为分隔性断陷—坳陷盆地,主要包括塔西南断陷、塔东北坳陷和塔西隆起。早第三纪为统一的断陷—坳陷盆地,可划分为柯坪—库车断陷、西南断陷、塔东南断陷、民丰断陷、中部隆起和塔南西部断陷等。

6. 晚第三纪—第四纪:复合再生前陆盆地阶段

盆地内主要包括阿瓦提—库车前陆坳陷、塔西南前陆坳陷、东南走滑断隆—坳陷带及中部复合前缘隆起、巴楚断隆带。盆地构造变形强烈,以发育前陆逆冲带和走滑(扭动)构造变形为特征。主要包括柯坪—库车逆冲—走滑带,塔西南逆冲带以及走滑断裂,花状构造,拉分变形等。据逆冲变形特征,柯坪—库车逆冲—走滑系可进一步划分为库车逆冲带和柯坪逆冲带。

第二节 气源岩发育的控制因素及对 天然气分布的控制作用

塔里木盆地由古老克拉通盆地和中、新生代前陆盆地两大构造系统叠合而成。克拉通盆地接受了震旦纪和古生代海相为主的沉积建造,形成了克拉通以腐泥型为主的天然气成气体系;前陆盆地充填了中、新生代陆相为主的沉积建造,形成了以腐殖型为主的天然气成气体系。在这两大天然气成气体系中,气源岩是控制天然气分布的主要因素之一,那么决定气源岩的发育及其优劣的因素也就十分值得探讨。

一、气源岩发育的控制因素

1. 特定构造背景下的特殊沉积环境

研究表明,特定构造背景下的特殊沉积环境,是控制源岩能否发育及其质量优劣,以及时空分布规律的最核心因素。因为,从沉积学角度看,烃源岩是一类富含有机质的特殊沉积岩,其能否形成的根本原因在于生烃母质生物能否繁盛、富集并保存,并首先通过特定构造背景下特殊沉积环境对水域中生物链及其中生烃母生物类型、丰度的控制来实现的。塔里木盆地三套优质源岩的发育特征便说明了这一点,其发育模式如图1-2所示。

寒武纪一早奥陶世盆地四周具有欠补偿沉积的特点,是高丰度源岩的最佳发育场所;中寒武世蒸发泻湖相源岩主要与有机质在强还原水底得以完好保存有关;中、晚奥陶世烃源岩形成原因与台缘斜坡部位水体清澈温暖且安静,特别是反气旋洋流作用所导致的底栖藻(褐藻系)极为繁盛并共生有浮游藻类这一高有机生产力有关;控制石炭—二叠纪与三叠—侏罗纪烃源岩发育的根本因素在于温暖湿润气候条件下陆生高等植物的繁盛与陆源有机质的输入。

2. 源岩有机质类型

源岩有机质类型决定了源岩成熟时是偏生油还是偏生气及其生烃潜量。寒武系一下奥陶统饥饿盆地相烃源岩有机质为I型,成熟阶段以倾油为主;中、上奥陶统泥灰质烃源岩含有偏腐殖型的有机质,既能生油又能生气;三叠—侏罗系烃源岩主要为偏腐殖型干酪根,以生气为主。

3. 有机质的热演化程度

对于塔里木盆地三叠—侏罗系烃源岩,有机质热演化程度的控制作用是极为清晰而典型的。因为,测试所获得的成熟度数据基本上反映了源岩在被埋藏后直至今日连续热演化过程所达到的程度;而且,国内外的勘探实践表明,只有 $R_o > 0.7\%$ 时,煤系地层才会有工业性油、气生成。所以,尽管暗色泥岩、煤系地层在塔北隆起、孔雀河斜坡、英吉苏凹陷等地区广泛分布(图1-3),但有效烃源区却仅分布于埋深较大的山前凹陷地带。

对于古生界源岩,因其埋深较大并经历了漫长的热演化过程,故一般具有较高或很高的成熟度而成为生气源岩。而且,因构造沉降或隆升控制下的源岩埋藏史差异,其热演化程度 also 具有很大的差异。其中,满加尔的满东凹陷因震旦纪至石炭纪的持续沉降,特别是中、晚奥陶世最厚近万米的浊积、等深积复理石建造,使寒武系一下奥陶统源岩已达过成熟阶段;而塔北、巴楚—塔中隆起,因中、晚奥陶世以来的间歇性沉降、隆升,使寒武系源岩在印支期才达到凝析油—湿气阶段,中、上奥陶统源岩在现今仍处于生油高峰和生油窗后期阶段。而巴楚隆起因缺失了整个中生界沉积而使石炭系源岩至今仅处于低熟—成熟早期阶段,虽然它具有很高的有机质丰度。

特别需要指出的是,古生界源岩经历了漫长而复杂的热演化过程,而测试所获得的成熟度数据仅反映其在热演化过程中所经历的最高温度。这样,就使该成熟度数据具有:①反映了自埋藏直至今日的热演化程度,尽管也曾经历了多次隆升,这可以塔中、塔北中、上奥陶统源岩为代表;②反映了某一地质历史时期的热演化程度,但因中、新生界巨厚沉积层覆盖而又使其再次缓慢热演化,此为二次生烃问题,可以塔北下、中寒武统源岩为代表;③反映了某一地质历史时期的热演化程度,但中、新生界沉积很薄而没有再次热演化,这可以露头为代表,巴楚断隆下、中寒武统、石炭系源岩同样属于此种情况,因目前所获成熟度数据均

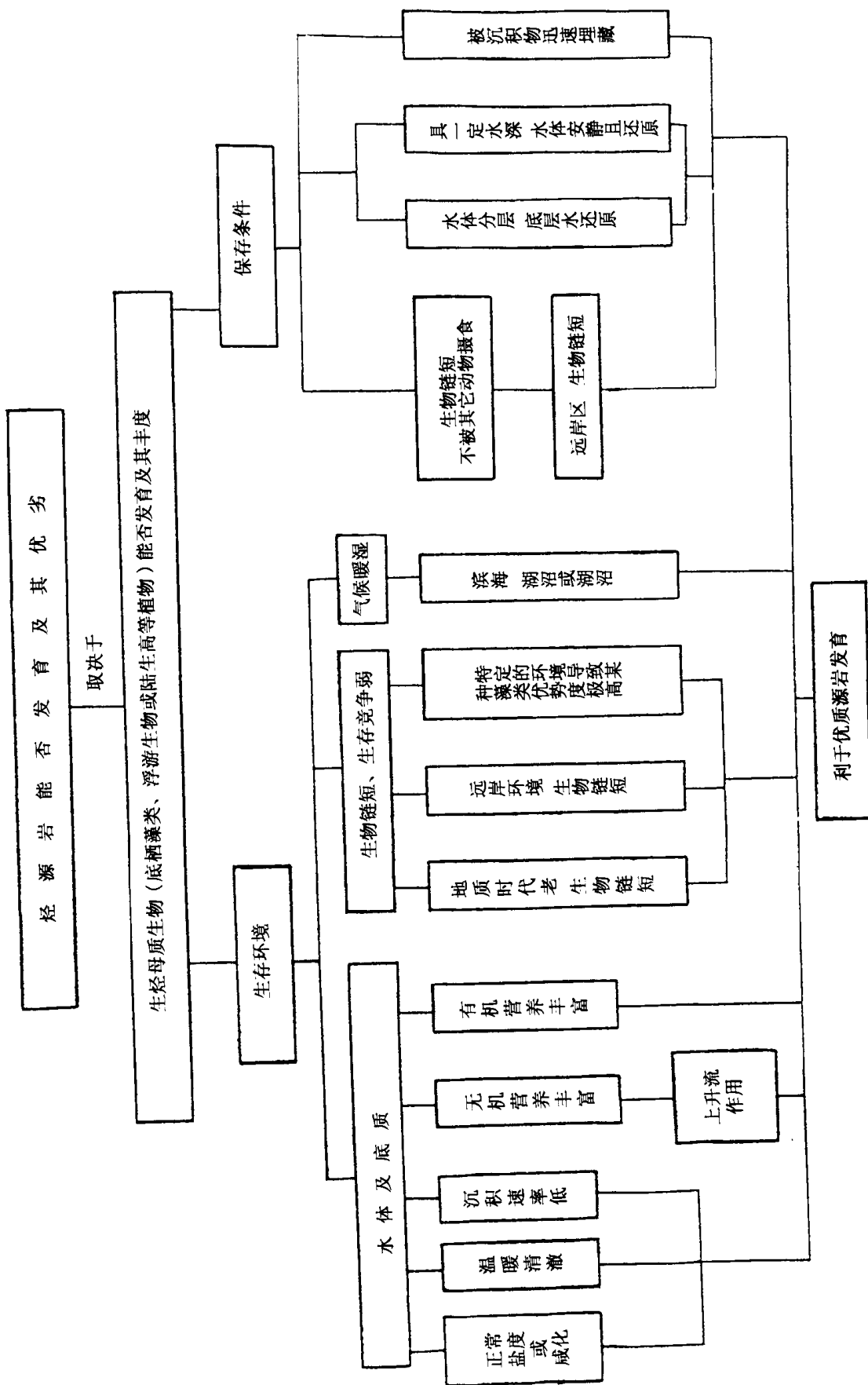


图 1 - 2 塔里木盆地优质烃源岩发育模式框图

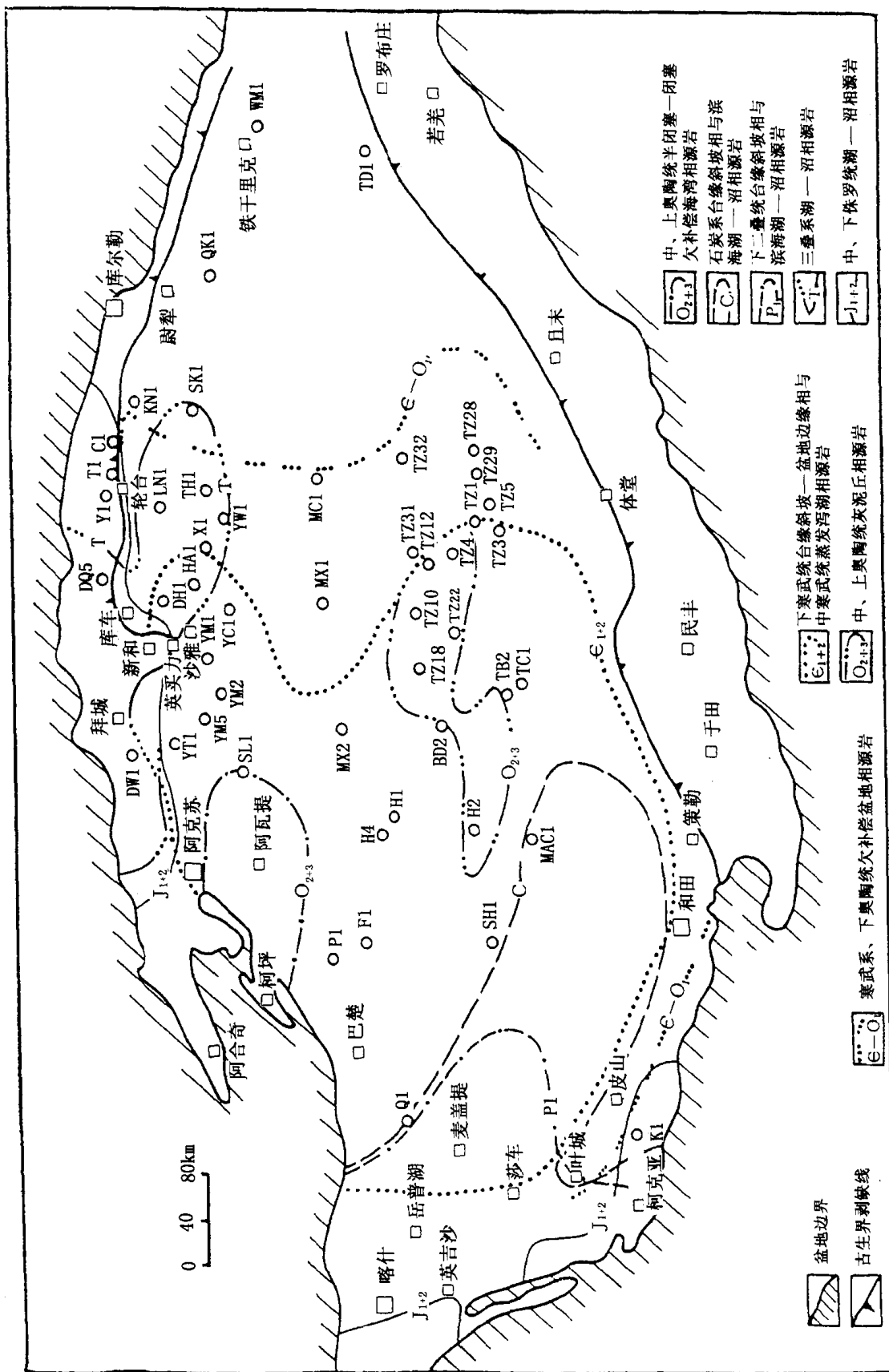


图 1-3 塔里木盆地烃源岩分布略图

大于其目前地温梯度、埋深条件下所应有的热演化程度。而这种情况对于具有“大器晚成”特点的天然气藏的形成是极为不利的。因此,深入研究源岩的有机质成熟度,复原其热演化史并查明控制因素,不仅是有机岩石学、有机地球化学所面临的亟待解决的重大理论问题,而且也是正确圈定油、气源区并以此来指导勘探的重大实践问题。

二、气源岩分布对天然气分布规律的控制作用

1. 气源岩的广泛发育决定了塔里木是一个富气盆地

勘探实践与有机地化的研究结果表明,塔里木盆地优质气源岩在纵向上主要赋存于海相寒武—奥陶系、海陆交互相石炭—二叠系和陆相三叠—侏罗系三大层系中,此外在震旦系特别是上震旦统也有发育,从而成为盆地自震旦纪以来长达8亿年构造—沉积演化的一个缩影,并均在特定的构造、气候、沉积古地理背景下形成。其气源岩层段主要包括:寒武系一下寒武统和下、中寒武统,中、上奥陶统的良里塔克组(O_{2-3l})与萨尔干组(O_{1-2s})、因干组(O_{3y});石炭系的巴楚组(C_1b)与卡拉沙依组(C_{1-2k})(分别相当于塔西南露头的克里塔格组与和什拉来甫组、卡拉乌依组);下二叠统的克孜里奇曼组(P_{1k})和棋盘组(P_{1q});三叠系和下、中侏罗统。这三套烃源岩在平面上分布见图1-3。

就源岩的岩石学特征而言,一是包括了泥质碳酸盐岩与泥质岩两大岩石类型,且前者仅分布在古生界;二是寒武—奥陶系源岩的岩石类型独具特色,而石炭—二叠系与三叠—侏罗系的则基本上类似于我国华北及西北鄂尔多斯盆地。其中,寒武—奥陶系为页岩及薄层状具有水平纹理的生物泥岩与泥晶泥灰岩、泥晶泥质云岩四类,均为还原色——灰黑、黑灰、棕色等,多富含较完整的大古生物化石,特别是薄壳底栖的和营浮游的,以及宏观藻等。但厚层、巨厚层具块状或平行纹理的泥岩,尽管呈灰黑、黑灰、深灰色,也难以成为中等及中等以上的源岩;石炭—二叠系为暗色(深灰、黑灰、灰黑色)泥晶泥灰岩、泥岩、页岩、碳质泥岩皆有发育;三叠—侏罗系为暗色(灰绿、深灰、棕灰、黑灰、灰黑色)泥岩、页岩、碳质泥岩、碳质页岩和煤岩。

尽管不同层位气源岩具有不同的出气特点,寒武系是由于处于高一过成熟阶段而以生成干气为主,中、上奥陶统是由于含有特殊的生烃母质而以生成凝析气为主,侏罗系则由于其煤系母质而生成煤成气。但是,正是由于多套气源岩的广泛分布,才决定了塔里木是一个富含天然气的盆地。

2. 气源岩的类型和成熟度决定了塔里木盆地天然气赋存状态和成因类型

塔里木盆地天然气赋存状态有四种类型:干气藏、凝析气藏、油藏中的溶解气、油藏中的气顶气,已发现的干气藏分布在玛扎塔格—海米罗斯断裂构造带、克拉苏—依奇克里克断裂构造带;凝析气藏分布于轮台断裂构造带(包括羊塔克、英买7、牙哈、红旗、提尔根等气藏)、喀拉玉尔滚构造带、吉拉克构造带、塔中1号断裂构造带东部(塔中6、塔中44、塔中26等);油藏中的溶解气分布较广,包括轮南、桑塔木、解放渠东、东河塘、塔中4、大宛齐等油田;带气顶的油藏分布于解放渠东和塔中4等油田。

按天然气成因类型划分,塔里木盆地主要由海相腐泥型气、海相偏腐殖型气和陆相煤成气组成。过成熟海相腐泥型气是寒武—下奥陶饥饿盆地相Ⅰ型干酪根处于过成熟阶段的产物,海相偏腐殖型天然气是中、上奥陶统斜坡相宏观藻类烃源岩成熟阶段的产物;而煤成气则源自中生界前陆盆地成熟—高成熟三叠—侏罗系Ⅲ型烃源岩。

3. 有效气源岩控制了天然气的分布

油气系统概念的应用限定了同源产物分布范围。塔里木盆地已发现的天然气有三套主要来源：一套为满东饥饿盆地相 ϵ — O_1 的高—过熟烃源岩，其生成的天然气主要分布于塔北隆起东部、塔中隆起东部，推测塔西南在寒武纪、早奥陶世也为饥饿盆地相，所以在巴楚隆起—麦盖提斜坡之间的海米罗斯—玛扎塔格断裂构造带形成海相过成熟天然气富集带；另一套气源岩是中、上奥陶统斜坡相泥灰质烃源岩，其生成的海相偏腐殖型气主要在塔中北斜坡分布；第三套重要的气源岩为中生界前陆盆地的三叠—侏罗系，母质类型为Ⅲ型干酪根，生成的陆相天然气主要分布在东起轮台断裂构造带西至喀拉玉尔滚构造带的库车前缘隆起的一系列构造带上，以及直线背斜带的克拉苏—依奇克里克断裂构造带上。

在台盆区天然气主要赋存于奥陶系潜山和内幕的碳酸盐岩储层中，该层位靠近气源层，储层也较为发育，其次为石炭系和三叠系；前陆盆地天然气主要分布于下第三系—白垩系及侏罗系砂岩储层中，其次为前陆边缘隆起的古生界潜山中。

综上所述，气源岩的广泛发育决定了塔里木盆地是富气盆地，并且决定了天然气的类型和分布，所以气源岩的评价尤为重要。

第三节 天然气勘探成果

一、九年来天然气勘探成果

塔里木石油勘探开发指挥部 1989 年成立以来，截止 1997 年底经过近 9 年的油气勘探，探明了 9 个大、中型油气田和 9 个小型油气藏，其中包括 4 个大、中型凝析气田（吉拉克、英买 7、牙哈和羊塔克）和 5 个储量小于 $100 \times 10^8 \text{m}^3$ 的气藏（玉东 2、红旗、提尔根、塔中 6 和吉南 4）（图 1-1，表 1-1）。共计探明凝析油储量 $4388 \times 10^4 \text{t}$ ，天然气储量 $1568.64 \times 10^8 \text{m}^3$ ，其中包括气田气 $1272.78 \times 10^8 \text{m}^3$ ，溶解气 $295.86 \times 10^8 \text{m}^3$ 。气田气占天然气总储量的 81%。

塔里木盆地天然气资源丰富，经过近几年的勘探实践，天然气探明储量在油气储量中的比重越来越大，从图 1-4 中可以看出，气油（当量）比从 1990 年的 0.06 到 1997 年达到 7.61，累计气油（当量）比从 0.06 上升到 0.80。这是因为，1990~1991 年探明的轮南、桑塔木、东河塘均为油田，只有溶解气储量，尚未探明气田，所以气油（当量）比较小。从 1992 年起气田发现越来越多（吉拉克、英买 7、牙哈、羊塔克等气田），气油（当量）比开始上升，特别是“九五”以来的近两年（1996~1997）探明的天然气储量远大于原油的储量，气油（当量）比更进一步上升，现在天然气凝析油储量已占到油气总储量的近一半。

二、“九五”以来天然气勘探获得重大突破

1. 探明和控制了一批油气藏

“九五”以来（截止 1997 年底），探明和控制了 9 个油气藏和一个干气藏。这 9 个凝析油气藏分别是大宛齐浅层油气田、羊塔克下第三系—白垩系凝析油气藏、玉东 2 井白垩系凝析气藏、台 2 井下第三系凝析气藏、提 3 井白垩系凝析气藏、塔中 44 井奥陶系凝析气藏和塔中 45 井奥陶系凝析气藏，干气藏为山 1 井奥陶系风化壳干气藏。