

DEVELOPMENT GEOLOGY OF GAS FIELD

气田开发地质

唐泽尧 主编

天然气开采工程丛书

(一)

石油工业



登录号	126904
分类号	TE14
种次号	014

天然气开采工程丛书 (一)

气田开发地质

唐泽尧 主编



5478/27



石油0120539

石油工业出版社

内 容 提 要

《天然气开采工程丛书》共分六个分册：《气田开发地质》、《气藏工程》、《采气工程》、《天然气矿场集输》、《天然气处理与加工》和《输气管道工程》，本书是其中之一。

本书以我国已投入开发的 150 个气田，500 个气藏开发的地质实践为对象，系统论述了天然气开发地质理论和开发地质技术，包括气田构造、储集层、气田流体、压力和温度，气藏地质特征、开发地震、地球物理测井、气层物性测试、气藏描述和天然气储量计算技术。本书既具有我国气田特色，又吸收了现代新理论和新技术，是对我国 40 年天然气开发经验的系统总结。

图书在版编目 (CIP) 数据

气田开发地质/唐泽尧主编.
北京：石油工业出版社，1997.4
(天然气开采工程丛书；1)
ISBN 7-5021-1759-8

I. 气…

II. 唐…

III. 气田开发-工程地质

IV. TE14

中国版本图书馆 CIP 数据核字 (96) 第 11410 号

石油工业出版社出版
(100011 北京安定门外安华里 2 区 1 号楼)
石油工业出版社印刷厂排版印刷
新华书店北京发行所发行

*

787×1092 毫米 16 开 31¼ 印张 792 千字 印 1—2500
1997 年 4 月北京第 1 版 1997 年 4 月北京第 1 次印刷
ISBN 7-5021-1759-8/TE·1489

精装定价：50.00 元

平装定价：45.00 元

《天然气开采工程丛书》编辑委员会

中国石油天然气总公司编辑委员会

主任 李虞庚

副主任 冈秦麟 王乃举 张家茂 滕耀坤

编委 蒋其凯 曾宪义 罗英俊 孟慕尧 潘国潮 李海平

李希文 吕德本 叶敬东 张卫国 徐文渊 周学厚

王季明 王鸣华 文楚雄

四川石油管理局编辑委员会

主任 滕耀坤

副主任 徐文渊 周学厚 王季明 冉隆辉 刘同斌

编委 (以姓氏笔划为序)

王全生 王鸣华 许可方 陈中一 陈贻良 李联奎

杨光鲜 范恩泽 金裕方 张化 侯德明 章申远

游开诚 舒世容

《气田开发地质》分册编写组

主 编 唐泽尧

编写人员 唐泽尧 吴继余 徐中英 高连云

统 审 冉隆辉

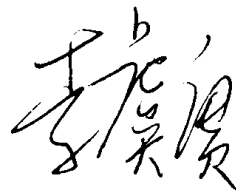
序

40年来，我国气田开发经验不断丰富，已逐步形成一套适合我国气田开发特点的技术。为了系统总结经验，提高气田开发技术水平，迎接我国天然气工业的大发展，中国石油天然气总公司科技发展局组织了长期从事气田开发、具有较高理论水平和丰富实践经验的技术人员，系统编写了这套丛书，即《气田开发地质》、《气藏工程》、《采气工程》、《天然气矿场集输》、《天然气处理与加工》和《输气管道工程》，共六个分册。

我国是世界上天然气开采和利用最早的国家，早在公元前301年汉末晋初时，就开始了采气熬盐，开创了世界最古老的“卓筒井”钻井、“窰盆”排水采气、“亮筒子”试气、“补腔”修井、“显号”识别裂缝以及“通腔”划分连通系统，这些都已成为世界石油史上光辉的一页，也有浅层低孔隙低渗透裂缝—孔隙型有水气田开采的宝贵经验；但解放前，我国天然气开采技术停滞不前，处于十分落后的局面，直到新中国成立，才开始较大规模工业化的勘探与开发，气田由旧中国的两个增加到现在的116个，年产气大幅度增加，已成为我国国民经济发展不可缺少的能源。目前陆上天然勘探有新的发展，海上崖13—1大气田也已开始投入开发，这为我国“九五”期间天然气进一步加快发展创造了条件。

我国已开发气田的地质条件复杂，开采的技术难度较大，绝大多数气田储层为低孔隙低渗透，具有边、底水。以碳酸盐岩为主的中、小气田，微细裂缝为渗流通道，非均质性严重，主力气田多为含硫气田，使生产建设面临一系列技术难题。正是在这种复杂和困难的条件下，我国的技术人员经历了多年的探索，不断地实践—认识—再实践—再认识，引进和应用新技术、新方法和新装备，加深了对我国气田开发基本规律的认识，完善配套了天然气上、下游工程，使我国天然气工业得到了发展，气田开发水平步入现代技术水平。

我国天然气开发具有40年的经验，这是十分宝贵的，认真系统地总结经验，必将对我国天然气工业的发展起到积极的推动和指导作用。随着我国新气田、大气田的不断发现，将有一大批技术人员加入气田开发队伍，这套丛书不仅是矿场技术人员很好的参考书，也是石油大专院校很好的教材。我相信，随着我国天然气工业的发展，今后我国气田开发的技术水平将会不断完善和提高。



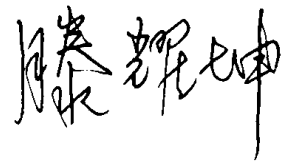
一九九六年七月二十一日

序

四川盆地是一个面积约 $18 \times 10^4 \text{km}^2$ 的大型含气盆地。在前震旦系变质岩和火成岩的基底上，沉积了厚达 6000~12000m 的海、陆相地层，为天然气的生成、运移、聚集和保存提供了有利条件。现已证实，震旦系、奥陶系、石炭系、二叠系、三叠系均蕴藏着丰富的天然气，但盆地的地质情况极其复杂，储集层绝大多数为低孔、低渗的裂缝性碳酸盐岩，多数气田有边、底水，且具有井下温度高、地层压力高、天然气含硫化氢高等特点，这给勘探开发工作带来了诸多困难。

四川开采、利用天然气的历史悠久，但大规模的勘探开发是在新中国成立以后。40 多年来，四川石油管理局的广大职工，以求实、创新、勇于实践的精神，攻克了天然气勘探、开发、钻井、采气、集输处理、加工等领域一个个技术难关，创造了一套适应四川复杂地质条件的勘探开发技术，探明了占全国 40% 的天然气地质储量，使天然气产量占全国总产量的 41%，占纯气藏产气量的 80%，为我国西南地区工农业发展做出了重大贡献，使四川成为我国天然气工业的重要基地。

《天然气开采工程丛书》是根据中国石油天然气总公司的要求编写的。为此，四川石油管理局成立了由长期从事天然气事业、理论造诣深、实际经验丰富的专家组成的编辑委员会和 30 余名高级工程师组成的六个编写组，对 40 多年来四川在天然气开发方面的实际经验，特别是近十多年来在技术攻关、科学研究以及引进、消化国外先进技术方面的成果进行全面、系统总结，因此，这套丛书不仅较全面地反映了四川天然气开发的科技进步，同时也从一个侧面反映了 40 多年来我国在天然气开采诸方面所取得的巨大成就。40 年，在历史的长河中是很短暂的，但若能通过这 40 年的经验总结对今后全国天然气工业的发展有所启迪、有所促进，我们将感到十分欣慰，我想，这也是广大气田开发科技、工程人员对这套丛书的期望。



一九九六年七月

前 言

气田开发的实质，就是认识气藏，改造气藏。只有全面认识地下气藏的地质特征，建立比较符合实际的地质模式，才能采用相适应的工程模式，能动地开发气藏，达到获得最大经济效益的目的。气田开发地质是研究气田开发全过程中气藏的地质特征和变化规律的一门学科，为高效开发气田提供地质依据。

气田开发的不同阶段，对气藏认识的要求有所不同；而且，对地下地质规律的认识，是要经过多次实践，反复研究，才能接近于实际。因此，气田开发地质工作就要贯穿于开发活动的全过程，从气田开发开始至开发终结，只有这样，气田开发工作才能立于主动。

本书以四川盆地碳酸盐岩气田的开发地质实践为主，辅以我国其他盆地部分气田开发地质的实例，系统地论述天然气开发地质理论和开发地质技术，是一本既具有我国气田特色，又吸收了现代新理论、新技术，并自成体系的专著，可供从事天然气开发的中、高级地质工作者及大、中专院校的油气地质专业师生参考。

全书分为两部分，第二章至第五章系统论述了气田构造、储集层、气田的流体、压力及温度，以及天然气藏的地质特征，并以我国已投入开发的 150 个气田、500 个气藏（其中的重点是四川盆地的 80 个气田、350 个气藏）为对象，在分类统计的基础上，进行理性概括，建立地质模式；后五章是天然气开发地质技术，包括开发地震、地球物理测井、气层物性测试、气藏描述和天然气储量计算技术，对适用于我国气田的地质技术的原理、实施要点和具体成效进行了总结，既有方法、原理又结合实例。

本书的第一、三、四、五章由唐泽尧编写，第二、六章由徐中英编写，第七、九、十章由吴继余编写，第八章由高连云编写，廖乘风担任图幅的清绘及编撰过程中的部分工作。

在本书编写过程中得到了滕耀坤教授级高级工程师及本书编委们的支持与指导；冉隆辉和舒世容同志对全书进行了审查，并提出了宝贵的修改意见；文楚雄同志给予了许多具体的帮助与支持；林虹、陈莎和苟爱民将手稿输入微机和打成书稿，在此一并表示感谢！

由于作者学识水平有限，书中不妥之处，敬请读者指正。

目 录

第一章 绪论	(1)
参考文献	(3)
第二章 气田构造	(4)
第一节 概述	(4)
第二节 褶皱构造的类型及地质模式	(7)
第三节 褶皱构造的演化	(19)
第四节 褶皱构造的叠合	(26)
第五节 断层构造的类型及地质模式	(31)
第六节 裂缝构造的类型及地质模式	(36)
第七节 构造与气藏	(42)
参考文献	(46)
第三章 天然气储集层	(48)
第一节 开发储层评价	(48)
第二节 储层的沉积和成岩特征	(50)
第三节 储层的空隙特征	(62)
第四节 储层裂缝特征	(72)
第五节 储层参数及其非均质性	(79)
参考文献	(85)
第四章 气田的流体、压力及温度	(87)
第一节 开发气田的流体、压力和温度的评价	(87)
第二节 气田的流体	(88)
第三节 气田的地层压力	(108)
第四节 气田的地层温度	(126)
参考文献	(135)
第五章 天然气藏地质	(136)
第一节 概述	(136)
第二节 中国气藏地质特征	(137)
第三节 气藏分类	(143)
第四节 气藏地质模型	(156)
参考文献	(176)
第六章 开发地震技术	(178)
第一节 概述	(178)
第二节 构造分析技术	(182)
第三节 地层分析技术	(191)
参考文献	(229)

第七章 气藏测井评价技术	(231)
第一节 天然气层测井特点.....	(231)
第二节 测井岩相、电相、沉积相评价.....	(246)
第三节 测井裂缝定性定量评价.....	(259)
第四节 天然气层测井定量评价.....	(275)
第五节 测井流体性质评价.....	(316)
参考文献.....	(328)
第八章 气层物性测试技术	(330)
第一节 储集岩物性的测试.....	(331)
第二节 储层流体物理性质的测试.....	(354)
第三节 岩石与流体相互作用基本性质的测试.....	(362)
第四节 气层敏感性检测技术.....	(379)
附录 1 原油损失量校正方法	(389)
参考文献.....	(390)
第九章 气藏描述	(391)
第一节 气藏描述目的与方法流程.....	(391)
第二节 构造形态与断层组合的描述.....	(394)
第三节 沉积相描述.....	(399)
第四节 储集层物理特征描述.....	(408)
第五节 储集体几何形态与横向预测.....	(426)
第六节 气水分布及气藏圈闭描述.....	(435)
第七节 建立静态地质模型及气藏综合评价.....	(437)
参考文献.....	(437)
第十章 天然气储量计算	(439)
第一节 天然气储量分级.....	(439)
第二节 天然气储量计算方法与应用限制.....	(442)
第三节 各类气藏勘探开发阶段储量计算方法的选择.....	(462)
第四节 储量参数确定方法与选用.....	(465)
第五节 储量评价.....	(492)
参考文献.....	(494)

第一章 绪 论

自近代石油和天然气工业兴起以来，创立和发展了有关油气地质方面的许多学科，以其理论指导油气的勘探与开发。然而这些学科侧重的是石油地质，涉及天然气地质较少，专论天然气开发地质的则更少。因此，在实际工作中常出现照抄石油地质理论，硬搬搞油方法的现象，并因此造成损失。

油和气都属烃类同系物，天然气与石油有其共性的一面，但差异的一面也很明显，例如天然气与石油的性质和渗流特性差别很大、存在着没有石油分布的纯气区和纯气田、天然气有其成藏和分布的地质规律等，这里仅从开发地质方面作一些比较。

天然气的分子直径比石油的小几倍到几十倍，气的密度和粘度比油的低几百倍到几千倍；气的压缩性强，膨胀系数大，比油的高几百倍；气在多孔介质中的渗流能力远远高于石油的渗流能力；此外，天然气与水的亲合力小，气层都是天然亲水层，不像油层的润湿性那样除亲水性之外，还有亲油性和中性。这些特性决定了气田开发地质与油田开发地质不同。在气藏评价方面，由于天然气的分子小、粘度低及渗流能力强，气层要求的储层物性下限比油层要求的低，有些不能产油的岩层可以成为产气层，因此，应有气层评价标准，不能用评价油层的标准来代替；天然气的扩散能力强，气藏要求的保存条件比油藏的高，因此，对气藏圈闭的完整性、直接盖层分布的稳定性和封隔性能、间接盖层匹配和分布等，都应研究。在开发井部署方面，气田井网比油田井网稀，可采用稀井广探和少井高产的原则布井；许多气田的开发不采用均匀井网，而是根据气藏特点，避开含水区带和低渗透区布井，通过高、中渗透区带的气井来采低渗透区的气，以达到提高采收率和增加经济效益的目的。在开采方式方面，除部分凝析气藏外，天然气藏都是靠消耗天然能量来开采，不象油藏那样用补充能量的开采方式，因为油藏注水开发可以提高采收率，而气藏一旦被水侵就会使采收率降低，气藏避水开发是最佳的方法。在工程与经济条件方面，由于天然气运输困难，气田开发之前就要做好后续工程的建设，与用户签定合同，一旦开发就要按产销关系按合同执行；这要求气田开发方案编制之前就要对气田地质的基本特征有明确认识，取得基本参数，而不能采取边开发、边认识、边建设的方针。综上所述，说明天然气开发需要有自己的地质理论，即天然气田开发地质学。

气田开发地质是地质学的一个分支学科，它与矿物岩石学、沉积学、油气水文地质学、油气田地质学、地球物理学、油气层物理学和气藏工程等学科关系密切。天然气储存于地下不同种类岩层的空隙系统内，聚集在受到改造的变形岩体（即圈闭）中，气田开发时气体要通过空隙介质流到井底，采出地面；而且气藏圈闭中还储存地层水，有时还与石油伴存。因此，要解决气田开发中的地质问题，就需要结合上述学科的理论。

气田开发地质的主要内容，一是精细描述气藏的地质特征，获取气藏地质参数，建立气藏地质模型；二是研究气藏圈闭中流体的性质和分布，计算流体（包括气、油、水）的地质储量；三是研究开发过程中空隙介质结构、流体性质和分布的变化（即气藏的动变化）规律；四是老气藏资源潜力的评价。

从气田发现直到气田开发终结，都要不间断地进行气田地质的实践与研究，及时解决和

预测开发活动中出现的地质问题。

我国是世界上最早开发和利用天然气的国家，气田地质实践与研究的历史也最为悠久。据陈实（1984）考证，四川盆地自流井气田的开发过程中，在明末清初的年代（公元1640~1650年）就逐渐出现了气田地质专业队伍，他们专门从事勘定井位，研究井下地质情况，判断气“卤”（卤水）储集规律，分析“通腔”（井间连通）关系，划分连通系统，以及钻井和采气的地质监督等方面的工作。根据“扇泥筒”（捞取岩屑的工具）获得的资料系统地建立的“岩口簿”（钻井地质资料原始记录），细致翔实，至今保存有数千簿册（每口井一册）；获得的综合地质录井剖面，建立的地层系统，其翔实性与准确性完全能与现代检测技术取得的成果对比；利用钻井显示、钻具损伤、流体的成分与动态的变化等资料，对气、水层的位置与产能、裂缝性储层的特征、单井及连通系统的气和水产量变化等方面的解释与预测，都达到相当精确的程度。

此外，自流井气田许多著名的气井仍保存至今（宋良曦，1984）。例如：兴海井，位于自贡市大安区北街长堰塘处，1835年凿成，井深1001.42m，是我国也是世界上第一口千米井，初期日产天然气8500m³和几立方米的卤水，已连续采气150年，累计采气量1.27亿m³，目前产气量仍有1500m³/d，1982年被列入《中国名胜辞典》，并已定为陈列参观井。小桥井，位于自贡市区，开凿于清朝乾隆37年（1772年），井深304.92m，井径7.26cm，已采气220年，目前日产气200m³以上，是最古老的一口生产井，现作为旅游参观点，并划定了保护区。东源井，1893年开始产气，是稳产时间最长的一口气井，至今仍日产天然气2.7万m³，该井的“岩口簿”及传统的钻、采、输工艺设备的保存完整，有重要科研价值，已定为自贡市旅游考察点。由此可见先辈们在开采管理方面的高明之处。

自流井气田开发地质先辈们开创的这一学科及其成就，是一项宝贵的财富。从本世纪50年代起，四川石油管理局、自贡市盐业公司等单位，曾先后多次组织专门的研究队伍对这一遗产进行研究与总结，吸取了许多精华，对我国当代天然气勘探与开发起了重要作用。

我国用现代技术钻探与开采的第一口天然气井，是四川东部石油沟气田的巴1井，1937年11月6日开钻，1939年11月25日完钻，井深1402.2m，经测试，在三叠系下统嘉陵江组第五段获工业性天然气气流。40年代，在四川盆地的另外四个构造上又钻了5口井，但仅在圣灯山构造发现工业气藏。虽然本世纪30、40年代我国天然气勘探开发的成效不大，但却是我国现代气田地质的起点。

我国天然气工业的大发展始于本世纪50年代。首先，以四川盆地为重点有计划地进行大规模的勘探与开发，建成了我国第一个天然气工业基地；我国其他盆地也陆续发现众多的气田或油气田。随着大量气田的开发，天然气开发地质工作得到迅速的发展，形成一支有实践经验和有科学理论水平的强大地质队伍，积累了极为丰富的地质资料，创立了许多行之有效的方法，总结了很多宝贵的经验，科技研究成果非常丰硕。

由于天然气逐渐成为一种重要的能源，天然气占能源总消费量的比例不断增加，因此，当今世界上对气田开发地质的研究极为重视。以先进技术为依托，气田开发地质的进展迅速，新理论、新概念、新方法不断出现。例如对气藏的精细描述和定量三维地质模型的建立更逼近于客观实际，从而使气藏采收率得以提高；对低渗透气藏、非常规气藏、裂缝性复杂气藏的地质结构和变化规律有了进一步认识，开拓了气田开发的新领域；高分辨率三维地震、成像测井、特殊岩心测试、现代试井等先进技术的出现，大大提高了地质解释的精度。

天然气田开发地质的进步与发展，将促使气田的采收率和开发效益进一步提高，提供更

多的优质能源和化工原料。

参 考 文 献

- [1] 陈实 .1984. 古代和近代四川天然气的勘探与开发。石油与天然气地质, 第 5 卷 (2)
- [2] 宋良曦 .1984. 自流井气田的早期开发。天然气工业, 第 4 卷 (4)
- [3] 张洪亮, 郑俊德主编 .1993. 油气田开发与开采。北京: 石油工业出版社
- [4] 刘方槐, 颜婉荪编著 .1991. 油气田水文地质学原理。北京: 石油工业出版社
- [5] Dijkers A.J. 1985. Geology in Petroleum Production. Elsevier Science Publishers B.V.,
- [6] IKOKu C.V. 1984. Natural Gas Reservoir Engineering. John Wiley & sons, Inc
- [7] North F.K. 1985. Petroleum Geology. Boston, Allen & Unwin First Published

第二章 气田构造

第一节 概 述

一、构造地质学在气田开发中的地位

气田开发地质是研究开发过程中气田的地质特征及其变化规律的一门学科。它应用构造地质学、岩石学、地层学、油矿地质学、油气层物理学、油田水文地质学、地球物理学、数理地质等学科的原理和方法，描述气田的地质结构、流体分布及渗流特征，为科学开发气田提供地质依据。

构造地质学研究岩层的几何变形，在天然气开发地质中研究由岩层变形结果控制的气田或气藏的几何形态和几何结构、气藏的保存、流体分布，全井（藏）的产能量等。它在气田开发中的应用有以下几个方面。

(1) 根据含气构造或含气圈闭的几何形态，确定气田的边界、面积、高度、总体规模和气水关系，用以进行开发设计、开发单元划分、井网布置、容积法储量计算及开发数值模拟等。

(2) 根据断裂的性质、分布、产状及组合，确定气田内部的连通性和分割性及多气水界面的现实性，明确以断块为计算储量和开发单元的必要性，分析由断裂引起的气田水活动的可能性。

(3) 根据构造和断层背景上裂缝系统或裂缝发育带的分布、范围及形态，确定裂缝性气田各气藏的分布、范围、形态和各裂缝系统内的气水关系，明确以裂缝系统为计算储量和开发单元的必要性，根据裂缝发育部位优选高产井的井位。在开发封闭的含气水裂缝系统时，采用排水采气等工艺措施。对于裂缝孔隙性气田，根据裂缝的分布、发育状况，预计开发过程中边底水沿裂缝窜流形成水舌或水锥，从而破坏气水界面均匀推进的可能性，以便在开发设计和开发进程中，考虑相应的工艺措施。

(4) 构造地质学研究含气构造的演化和发展，分析这种发展的继承性和间断性。含气构造如果在储层沉积时期或更早就已开始，势必影响沉积环境，带来与古构造或古地形形态相关的储层原生物性的横向变化。与构造运动密切相关的沉积间断期储层暴露地表，经受后期的成岩变化和风化侵蚀，同样带来与古构造古地貌形态相关联的储层后生物性的横向变化。这种关联给按照古构造形态确定开发的高低产和高低丰度区块带来可能。

(5) 由构造形态和部位控制的有关因素还包括气田内气体成分和含水饱和度的变化。储层的构造位置越高，气体中相对密度小的成分越多，含水饱和度越低。

(6) 根据包括气田构造在内的对气田或气藏性质的认识，确定采取整装开发还是滚动开发的合理开发方式。气田构造、断裂和裂缝的信息是分析气田开采动态的重要地质基础。气田开发中的动态变化反过来也会充实和修正已掌握的气田构造学知识。

气田的勘探与开发是天然气工业两大独立的阶段，但并非截然分开，就象勘探进程中已经完成了一部分开发任务一样，在开发过程中随着实践和认识的不断深入，实现气田范围的

扩大、产气层的增多等，属于勘探领域的工作也很多。因此在开发进程中不断加深、补充对气田构造的认识，反复进行更为精确的构造制图是给气田开发带来新局面的基本工作之一，也是构造研究在勘探阶段与开发阶段的主要区别。精细的制图主要着眼于气田构造的各种细节，例如局部构造背景上地层次一级的拱曲，在勘探过程中常常被忽略的小幅度断层、断块准确的边界及产状、构造轴线的弯折、圈闭的精确平面和剖面形态等，同时提供构造各元素更为准确的参数。除了充分应用开发过程中不断丰富的钻井资料外，进行二维加密测线乃至三维地震精查是十分必要的。最后进行钻井与地震资料的结合制图。

例如，川东地区发现于1980年的卧龙河气田石炭系气藏在勘探阶段完成的二维地震详查制图显示，构造北段为一较完整的背斜倾没端，等高线走势平直，仅西翼有一条断层。投入开发后于1986~1987年进行连片三维地震制图。结果表明，虽然构造形态与二维地震制图基本一致，但在构造细节上则显示出复杂多变的特点，新出现了5个小高点，21条断层，4个小鼻突，多个负向小构造，西翼发育的是一组叠瓦式断层。从南到北背斜轴线由NE变为NNE，再变为NNW，呈一反“S”形。据唐泽尧（1990）研究，这些构造细节对气田产能的高低起着重要的控制作用。这一范围钻达石炭系的井8口，获中产气井2口，低产气井6口，2口中产气井分别处于轴部区的断垒和小高点控制的裂缝发育带上，而低产井则处于端部，翼部、轴部宽缓的小曲率裂缝欠发育构造部位，而石炭系储层在此范围的分布、岩性和厚度都较稳定。因此构造裂缝的发育程度就成为气井产能大小的决定因素，而裂缝的发育又与构造部位和变异程度密切相关。

从全球范围看，构成气田的天然气圈闭中，构造圈闭（包括背斜、断背斜、底辟等）占89%，地层圈闭（包括岩性、物性、生物礁等）占8%，复合型圈闭（包括不整合等）占3%。

对全国141个主要气田或油气田中的225个气藏进行统计，构造形态（背斜、断背斜等）和构造成因（裂缝，裂缝—背斜）圈闭为194个，占86.2%；地层—构造复合型圈闭18个，占8%；古潜山圈闭8个，占3.6%；生物礁圈闭3个，占1.3%；地层超覆圈闭1个，岩性—侵蚀圈闭1个，各占0.44%。

无论从全球还是从全国的范围统计，目前已发现气田中构造型气田占有压倒多数。近年来在鄂尔多斯盆地中部探明的靖边气田属侵蚀风化地层中的岩性物性气田，四川盆地川东地区探明的有五百梯构造地层复合型气田，大大提高了我国非单一构造型气田在全部天然气气田中的比重，在不断涌现的非构造型气田的开发研究中，构造地质学的作用不是减弱了，而是在应用上更为复杂、多样和富于具体气田的特色。

二、含气构造的主要特征

在天然气的勘探过程中，构造地质学需要研究大地构造、区域构造、局部构造和各种类型规模断裂的形态、分布、组合及发展演化，从而由面到点准确地选定勘探目标。在天然气开发过程中，则着重研究含气构造。含气构造通常是成群成带分布，组成规模大小不一的气区，需要研究的是含气构造群、构造带、局部构造和拱曲构造，以及含气构造上的断裂、裂缝的形态、分布、组合和发展演化。拱曲构造是局部构造背景上分布的更小一级构造，或可称为四级构造，拱曲构造常控制着构造裂缝的分布与发育。从生产开发的实践意义上讲，含气构造表现出下列主要特征。

(1) 构造控制天然气的储集主要是构造所提供的储层几何圈闭，因此含气构造类型与构

造圈闭类型是相互关联和一致的。构造圈闭可分为构造形态圈闭和构造成因圈闭两类，构造形态圈闭包括背斜、断背斜、半背斜、鼻状背斜、单斜、挠褶、阶地、断块等。构造成因圈闭包括底辟圈闭（由盐丘、泥丘、火成岩侵入体所形成）和裂缝圈闭（常因拱曲构造而形成）。与其他地质过程综合而成的地层—构造复合型圈闭可以有岩性—构造、地层—构造、角度不整合、古潜山等多种圈闭型式。

(2) 在拉张性裂谷盆地中，由于各基底断块不同的倾翘、抬升和陷落等活动，使上覆含气构造中发展出错综复杂的断裂系统，呈现十分复杂的破碎断块拼合的构造形态，加上构造和沉积发展史中形成的诸如潜山、角度不整合和地层超覆尖灭等构造地层现象，气田由众多被各种类型圈闭控制的气藏组成，称为复式气田或复式气藏聚集带，如我国东部辽河盆地与渤海湾盆地中的许多含气构造。

在挤压性盆地中，泥页岩塑性层系中的碳酸盐岩或致密砂岩等刚性地层在水平挤压应力的作用下，常按一定的规律变形，从而可以归纳出某种具有普遍意义的构造模式和演化模式，给气田或气藏的分布和形态带来可预测性，如四川盆地川东褶皱区的许多石炭系含气构造带。

(3) 含气构造多数由具有相当厚度的塑性岩层（如膏盐岩、泥页岩），一般称为滑脱层的分隔成若干构造层。上下构造层的构造形态、位置、断裂特征会有变异或偏移，甚至面貌全非。在开发不同构造层中的气层时，特别要注意上下构造层的区别，在勘测中进行多层面的制图。

(4) 含气构造往往是多期或多幕造山运动应力作用的产物，本身总是留下多次应力作用的形迹。多次应力的方向不同，会形成构造轴线、断层、裂缝的多组系性质及它们之间的各种组合和叠合，这对储层中储渗岩体的储集、渗流性质的变化和各向异性有很大的影响。

(5) 断层在含气构造圈闭中具有两重性，它可以对聚集的天然气起散失的破坏作用（通常是在断层的活动期），也可以对聚集的天然气起遮挡作用（通常是在断层的静止期）成为断层背斜圈闭的一部分。

断层活动时，两盘岩层因受阻、牵引、拖拉、滑动而发生变形，形成与断层伴生的拱曲构造和滚动构造时，深浅层中这类构造的空间分布通常沿断面倾斜方向偏移，从而构成含气拱曲构造或由它控制的含气裂缝系统与断层的某种空间关系。在拱曲构造因幅度太小而难于测定或识别时，可以通过它与断层的这种关系，根据断层判定它们的位置。

(6) 含气构造群和含气构造带常分布在大型古隆起的范围内或其周边。例如四川盆地晚元古界和下古生界气田基本分布于加里东古隆起范围内，上古生界和中生界气田则分布于印支期古隆起范围内。古今构造的演变史通常规定着烃的运移、聚集和再运移，再聚集，控制着天然气的二次运移和再分配。

另一类运移、聚集过程比较单一的含气构造群则常分布在生油凹陷周边，呈环带状分布，如渤海湾盆地中东营凹陷、沾化凹陷周边的含气构造。在这些构造中，天然气的组分、产气层位、埋藏深度可以分环带由凹陷中心向外有规律地变化。

在同样位于生气凹陷中心的含气构造中，发育早、幅度大的同沉积背斜更有利于天然气的富集，这是由于这种正向构造与负向构造间的静压力差更大，运移的速度更快，同时更高的沉积地貌促成这里岩性较粗，砂层较发育，压实作用较小，储层的孔隙度较高。例如柴达木盆地中的涩北一、二号构造比台南构造同时期的闭合高度要小，单储系数低得多，涩北一、二号构造的单储系数分别为 1.43×10^8 和 $1.26 \times 10^8 \text{m}^3/\text{km}^2$ ，台南则为 $6 \times 10^8 \text{m}^3/\text{km}^2$ 。

随着我国天然气勘探的进一步展开,将发现越来越多的构造与地层、构造与岩性、构造与古地貌等复合型圈闭气田,在研究气田几何形态的同时,地层与岩性的横向预测任务将更紧迫。

第二节 褶皱构造的类型及地质模式

褶皱构造中的正向构造是形成气田圈闭的主要型式,因此本节侧重讨论正向褶皱,主要是指背斜。可以从不同的角度对正向或背斜褶皱进行分类,从而对不同类型更加深入地研究,归纳出各种类型的共性,或称地质模式,并用于开发实践中,通常按构造的成因、形态和演化进行分类。

一、褶皱构造按成因分类

褶皱正向构造按成因通常分为以下几类。

1. 隆升背斜

隆升背斜也称横弯褶皱,指运动应力垂直层面发生的褶曲。这类背斜大都发育于基底坚硬而稳定,处于侧向拉伸状态的区域。由于基底的局部隆升或块断抬升、倾翘,或者由于局部的沉落使上覆地层变形为背斜,岩层拱起,从顶部向四周引张。岩层中不存在张压应力的中和面,背向斜的发展互不相干,不同等发育。隆升背斜通常面积较大,呈穹窿或短轴状,区域内不规则分布,孤立或成群存在,后一种情况时相互间缺乏相似性,走向无明确或协调的方向。背斜上地层和轴面的倾角变化有限,多发育正断层,走向与构造走向无明确关系。

隆升背斜可以在一期或一幕造山运动中形成,也可以在多期或多幕运动中继承性地发展完成。隆升背斜可以在水下与沉积过程同时进行,称同生背斜或同沉积背斜。这类背斜的特点有:

(1) 沉积厚度顶部薄,向翼部增大。

(2) 对于不对称的背斜,构造高点往往有明显的偏移,构造轴面是弯曲的。

(3) 深层倾角较大,越往上倾角越小。背斜的闭合度与闭合面积同样愈往上愈小。

(4) 沉积颗粒往往由于隆起顶部离水面较浅,因淘洗作用强而较粗,向四周变细。砂泥岩互层时,砂岩百分比含量向顶部增高,两翼降低。对于碳酸盐岩沉积环境,隆起部位有利于形成生物滩和鲕粒滩。

(5) 背斜顶部因露出水面形成局部沉积间断,遭受淋滤溶蚀作用可成为良好的孔隙层。对灰岩沉积可因次生白云岩化而形成良好孔隙层。

2. 挤压背斜

挤压背斜也称纵弯褶皱,指运动应力平行层面发生的褶曲。这类背斜大都发育于基底比较柔软或深部存在较厚塑性滑脱层,处于侧向收缩状态的区域。由于地壳板块冲击的活动或岩浆活动产生的横向大地应力使上覆层受挤压变形为背斜,岩层拱曲,在两个滑脱界面中间存在张压应力的中和面,中和面以上的岩层从顶部向两翼引张,中和面以下部分则由翼部向顶部压缩。背、向斜通常连续间夹出现,褶皱背斜以长轴,线状居多,在一个区域内成条成带分布,相互间在平面上呈现平行、雁行、帚状、弧形等排列型式,形态特征上有相似性或规律性,走向上有明确的一组或多组方向,即或有变化,走向的改变也是缓变和相互协调的。褶皱背斜翼部的倾角可以相差很大,从低角度到直立甚至倒转,同样,存在从垂直到平