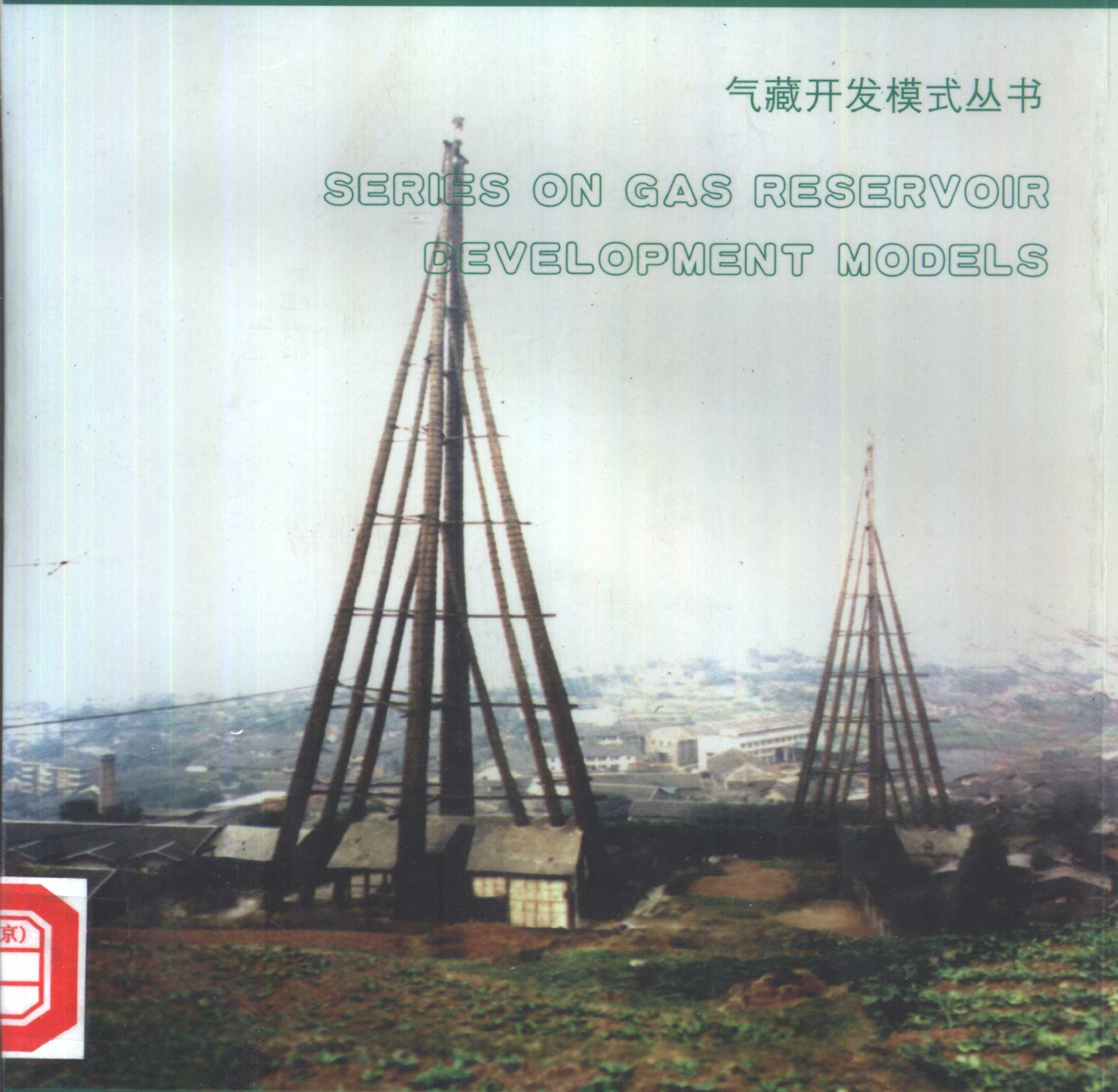


气藏开发应用 基础技术方法

《气藏开发应用基础技术方法》编写组 编著

气藏开发模式丛书

SERIES ON GAS RESERVOIR
DEVELOPMENT MODELS



石油工业出版社

气藏开发模式丛书

气藏开发应用基础技术方法

《气藏开发应用基础技术方法》编写组 编著

石 油 工 业 出 版 社

内 容 提 要

本书针对我国具体情况,以为天然气开发服务为目的,通过较全面的分析、研究,总结出了气藏分类方法、气藏开发阶段划分和最佳开发指标的确定方法、气藏工程方法和气田开发经济评价方法。是对我国几十年气田开发经验的总结,为今后的开发提供了宝贵的经验和技术指导。

本书可供从事气田开发的科技人员及石油高等院校有关专业师生参考。

图书在版编目(CIP)数据

气藏开发应用基础技术方法/《气藏开发应用基础技术方法》
编写组编著.北京:石油工业出版社,1997.3
(气藏开发模式丛书)

ISBN 7-5021-1661-3

I. 气…

II. 气…

III. 气田开发

IV. TE37

中国版本图书馆 CIP 数据核字(96)第 00560 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 22½ 印张 556 千字 印 1-2000

1997 年 3 月北京第 1 版 1997 年 3 月北京第 1 次印刷

ISBN 7-5021-1661-3/TE·1416

平装定价: 28.00 元

精装定价: 35.00 元

《气藏开发应用基础技术方法》编写 及编审人员名单

主 编：冈秦麟

编写人员（按章节的排列顺序）：

第 一 篇：田信义 王国苑 陆笑心 韩永新

第 二 篇：王 阳 华 桦 钟孚勋

第 三 篇：钟孚勋 冯 曦 赵 红 李 允 陈明强

李颖川

第 四 篇：张明泉 任 军 张吉军 耿新宇 李光耀

审定人员：冈秦麟 卢林生 王鸣华 钟孚勋 李光耀

罗太珍

责任编辑：张书芹

序

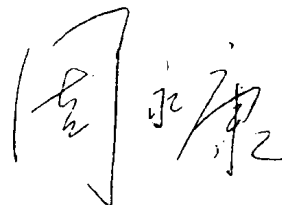
总结我国不同类型气藏开发模式及工艺技术，并组织出版一套系统的丛书，这在我国还是首次。这套书的出版，对于适应我国天然气工业发展的需要，促进我国气田开发技术水平的提高，必将产生重要的作用。

为了总结我国气田开发的经验，更好地指导今后工作，中国石油天然气总公司科技局组织了石油科研院所、高等院校和油气田企业中有丰富实践经验，又有较高理论水平的老、中、青科研人员，组成“不同类型气藏开发模式及工艺技术系列”课题研究组。这个课题组由108名同志组成，在四年的时间里，做了大量深入细致的调研分析、室内试验和数值模拟等工作，取得可喜的研究成果。这些研究成果，最终都体现在这套书中。

这套书内容比较丰富，既介绍了不同类型气藏的开发模式和开采工艺，又介绍了一套系统的气藏开发实用技术方法；既有对不同类型气田开发实例的剖析，又有在实践基础上形成的新理论和新认识；既有对国内气田开发经验的系统总结，又有对国外气田开发做法的介绍。因此，这套书是我国气田开发方面比较系统的著作。

这套书指导性比较强。由于主要来自于对实践经验的总结，因此对国内气田开发具有现实的指导意义，其中许多研究成果已用于指导新气田的开发，提高了气田开发的科学性、预见性和经济效益。比如关于低渗透区一部分天然气可通过高渗透区气井采出的新认识和新方法，已用于大天池等新气田的开发设计，大大减少了钻井数，提高了气田开发水平。我们也应当看到，由于我国较早投入开发的气田多集中在四川盆地，在区域上有较大的局限性，因此，这套书中总结的开发模式类型较少，有待于今后进一步充实和丰富。

科学技术是第一生产力，努力提高科技水平，是走上以经济效益为中心发展轨道的一条重要途径。我国有丰富的天然气资源，努力寻找和开发天然气资源，需要大力提高天然气勘探开发的技术水平。石油战线的科技工作者担负着光荣而艰巨的任务，需要进行艰苦的努力和不懈的探索。



1995年9月7日

丛书前言

我国不同类型气藏开发模式及工艺技术系列的课题研究，是为了适应我国天然气工业即将大发展的需要，也是为了更好地提高气田开发的科学性、预见性和自觉性。

1988年中国石油天然气总公司科技发展局和原天然气司组织有关专家研究了课题内容、技术路线、技术关键、模式类型选择、气田开发基础技术方法以及承担课题单位的选择等。由于我国天然气田主要集中在四川盆地，地质条件复杂、开采难度大，一批气田现已开采了20~30年。为了开发好这些气田，四川石油管理局做了大量的工作，积累了丰富的经验。系统总结这些气田的开发经验，并掌握其发展规律，将会提高全国各地区气田开发的技术水平。为此，中国石油天然气总公司科技发展局决定编写《气藏开发模式》丛书，共分五册：

《总论》

《中国五类气藏开发模式》

《气藏开发应用基础技术方法》

《气藏和气井动态分析及计算程序》

《国外六类气藏开发模式及工艺技术》

本套丛书由四川石油管理局、西南石油学院、中原石油勘探局、中国石油天然气总公司勘探开发科学研究院万庄分院、中国石油天然气总公司信息所等单位一批有丰富实践经验和较高理论水平的专家承担，系统地开展了气藏开采历程的剖析、室内机理研究、国内外气藏研究方法的整理和筛选，在重新建立地质模型基础上，采用数值模拟方法重新优化设计以及开展我国气田开发适用的计算机软件等研究。本课题始终在19名专家组成的技术领导小组领导下进行工作，已于1994年全面完成。

本套丛书的出版，将大大提高我国气田开发的科学性和预见性，是一套实用性很强的气田开发技术丛书，也是适用的技术工具书。

随着我国投入开发的气田不断增加，更多的气藏类型有待我们进一步总结，以不断完善和丰富我国气田开发的理论及工艺技术。

中国石油天然气总公司科技发展局

1994年8月2日

目 录

第一篇 气藏分类研究

前 言	(3)
第一章 国内外情况调查及主因素分析	(4)
第一节 国内外油气藏分类研究现状	(4)
第二节 气藏分类主因素分析及指标的选择	(8)
第二章 单因素指标分类及标准的确定	(13)
第一节 圈闭因素	(13)
第二节 储层因素	(14)
第三节 驱动因素	(33)
第四节 相态因素	(38)
第五节 组分因素	(46)
第六节 压力因素	(53)
第七节 经济因素	(53)
第三章 天然气藏的综合分类	(57)
第一节 组合分类及系列	(57)
第二节 我国主要气藏类型及分布	(60)
参考文献	(62)

第二篇 气藏开发阶段划分及最佳开发指标确定的研究

前 言	(65)
第一章 气藏开发阶段的划分	(66)
第一节 开发阶段划分的根据	(66)
第二节 气藏的开发阶段及各阶段的特点	(67)
第三节 各开发阶段的制约因素及合理指标	(71)
第二章 四个碳酸盐岩气藏开发阶段划分实例	(77)
第一节 相国寺气田石炭系气藏	(77)
第二节 卧龙河气田 $Tc_1^5 \sim Tc_3^4$ 气藏	(78)
第三节 威远气田震旦系气藏	(82)
第四节 纳溪多裂缝系统气田	(85)
第三章 裂缝—孔隙型气藏开发指标及优化	(89)
第一节 合理采气速度的确定	(89)
第二节 开发井网部署	(94)
第三节 气井合理产量的确定	(99)
第四章 气藏开发中几个问题的探讨	(102)
第一节 气驱气藏高渗区井采低渗区天然气的机理研究	(102)

第二节	威远气田震旦系气藏底水活动规律·····	(105)
第三节	多裂缝系统气藏按构造曲率进行布井·····	(110)

第三篇 气藏工程方法研究

前 言·····	(113)
第一章 常规气藏工程方法·····	(114)
第一节 储层流体物性·····	(114)
第二节 储层岩石物性·····	(125)
第三节 井筒流动·····	(129)
第四节 压力系统确定·····	(132)
第五节 储量计算·····	(140)
第六节 产能计算·····	(166)
第七节 参数计算·····	(175)
第八节 平均地层压力计算·····	(202)
第九节 产量递减分析·····	(211)
第十节 采收率计算·····	(218)
第二章 气藏开发的数值模拟方法·····	(221)
第一节 气藏数值模拟方法概述·····	(221)
第二节 模型的数学提法·····	(223)
第三节 方程的离散化与网格的划分·····	(227)
第四节 模型的求解方法·····	(229)
第五节 正交极小化的线性方程组解法·····	(231)
第六节 气藏模拟·····	(233)
第三章 气井生产系统节点分析·····	(238)
第一节 气井生产系统分析·····	(238)
第二节 气井流动特性分析·····	(240)
第四章 气藏工程的系统工程分析方法·····	(246)
第一节 基本原理·····	(246)
第二节 表皮系数的分解·····	(250)
第三节 气井管流压降模型及 VFLOW 表的形成 ·····	(253)
第四节 一体化的数值模拟·····	(266)
第五节 最佳开发方案和最优工艺参数系列的确定·····	(278)
参考文献·····	(284)

第四篇 气田开发经济评价方法研究

前 言·····	(289)
第一章 多个气藏优先开发排序问题研究·····	(290)
第一节 多个气藏优先开发排序问题研究的目的及意义·····	(290)
第二节 多个气藏优先开发评价指标体系及结构模型的建立·····	(290)
第三节 多个气藏优先开发排序的原则·····	(295)

第四节	多个气藏优先开发排序方法的原理及步骤·····	(295)
第五节	应用举例·····	(302)
第六节	小结·····	(304)
第二章	单方案经济评价·····	(305)
第一节	评价依据·····	(305)
第二节	评价指标计算·····	(305)
第三节	敏感性分析·····	(307)
第四节	案例分析·····	(308)
第五节	小结·····	(320)
第三章	多方案技术经济综合评价·····	(321)
第一节	评价指标体系建立·····	(321)
第二节	评价方法与评价模型·····	(322)
第三节	多开发方案评价分析实例·····	(327)
第四节	小结·····	(331)
第四章	增产措施评价与优化配产研究·····	(332)
第一节	开发补充井的经济效果评价方法·····	(332)
第二节	压裂酸化的经济效果评价方法·····	(335)
第三节	排水采气的经济效果评价方法·····	(340)
第四节	气田开发增产措施配产优化模型·····	(342)
第五节	小结·····	(347)
封面照片	中国最古老的自贡气田天然气开采现场	
封面摄影	王彪	

第一篇 气藏分类研究

前 言

油气藏分类研究已有数 10 年历史，是随着科学技术的不断发展而逐步加深的，其目的是为科研、生产及至国民经济统计、计划服务的。对于分类指标、方法国内外已提出的方案不下百种，但多从单因素出发，服务于某种需要，很少有人进行过系统、综合性研究，因而专著极少。尤其是针对天然气特点，有利于开发工作需要的分类意见更显得贫乏。在国内由于缺乏系统研究，因而命名混乱，指标不全，还没有一个较完整的分类体系提供使用。本篇即试图针对我国具体情况，并侧重为天然气开发服务，通过较全面的分析，提出分类方案、命名原则及指标。但由于系统分类研究是个比较复杂、涉及面广的工作，尽管我们用了二年多时间从不同角度去努力工作，仍然难以把地质结构十分复杂的各种类型气藏做到完美的划分。因此在工作中本着从适合我国特点出发，以已探明的气田为对象，按气藏为单元进行研究，指标力争定量化，分类体系从简，命名从严。通过对国内外有关研究成果的调查，选择主要因素及指标进行单因素分类研究，在此基础上选用恰当的组合方法，提出了气藏组合分类系列。

第一章 国内外情况调查及主因素分析

第一节 国内外油气藏分类研究现状

油气藏分类研究是依据技术、经济发展的需要应运而生的，数十年来，许多国家的学者从不同角度提出过上百种方案，由于此项工作的从属性关系，因此，一般都是作为某项科学研究内容的一部分而存在，很少有专著，系统性的研究也不多见。从所见的资料看，单因素分类研究较多，所使用的指标大致可以分为三大系列：即为勘探服务的、为开发服务的和为经济评价服务的。由于勘探工作的先期地位，这个系列的分类研究最多，相对也比较深入、成熟，而其他系列则较差。在组合分类方面可以说没有什么成型的方案，随意性较大。

一、单因素分类研究

所谓单因素分类是指对构成油气藏的某一要素，用某一指标反映该要素的特点而进行的类型划分。

1. 勘探系列

主要包括圈闭、储层和油气成因因素。

(1) 圈闭因素分类：

这是目前研究最深入、提出方案最多的分类因素，使用的指标主要有：油储形态、构造形态、圈闭形成时间、封闭边缘类型等。И.О. 布劳德、А.И. 莱复生、М.Ф. 米尔钦柯等人在这方面做出了很大贡献。随着石油工业发展的需要，目前国内外总的趋向于按圈闭类型进行分类。在《中国石油天然气资源评价研究报告》中，作者综合了众多方案特点，提出了四种、二十一个亚类的分类系列，它以圈闭类型为基础划分大类，以成因作为依据划分亚类，基本概括了我国各种圈闭的油气藏。做为大类的划分，将其分为构造、岩性、地层、复合四种，目前基本意见趋于一致，所不同的是在亚类命名上有所差异，主要表现在细微程度上的不同。

(2) 储层因素分类：

储层因素在分类研究中占有重要位置，它既服务于勘探工作，对开发也是极为重要的，由于二者要求的精细程度不同，因而在分类指标上又有宏观和微观两种。宏观指标包括岩类及产状、物性、储渗空间；微观指标则有非均质性及孔隙结构特征。储渗空间类型的提出是随着碳酸盐岩油气藏的大量发现与研究需要而产生的，因而它有着特殊的使用意义，对这类储层，以物性分类不太合适。

岩类及产状指标分类在岩石学中可以分得很细，但油气藏分类中一般只用其大类，再辅以特性指标形成一种系列，例如高渗砂岩、低渗砂岩等，物性指标划分标准目前多以油藏为对象。随着天然气工业的发展，人们发现在已形成的分类系列中不能满足气藏的需要，因此近年出现了以反映天然气储渗状况为前题的分类意见，美国学者 Elkins 及我国唐泽尧、孔金祥等人提出过系统的分类意见，在某种意义上可以说是对物性指标分类的补充和完善。

储渗空间类型的划分是在孔隙、裂缝、洞穴这三种基本类型的基础上组合进行的，前苏联、美国及我国地质工作者在这方面做出了贡献，他们从储集空间和渗流通道这一基本组合

特征出发，划分出了单一介质和双重介质两大类，其中双重介质反映了三种基本储渗空间的组合形式，如孔隙—裂缝型、裂缝—孔洞型等，这种划分已为大家普遍接受。在微观指标划分上，目前最普遍的是对储层孔隙结构特征进行综合分类，通过对储层样品的薄片、铸体、扫描电镜及毛管压力鉴定，对储渗空间进行质的研究，分析控制储层储集性能与渗滤能力的原因。这种分类对勘探、开发都有十分重要的意义，是当前对油气藏进行地质描述不可缺少的内容。然而由于决定储层孔隙结构特征的因素太多，不同地质背景下形成的油气藏之间难以对比和统一标准，因此多用于具体油气藏中的储层类型划分。

(3) 天然气成因因素分类：

这种因素分类主要为勘探服务，可以按物质来源、生成母质、热演化程度等指标划分。由于自然界中天然气藏的气体绝大多数为有机成因，因此，大多以生成母质或热演化程度作为划分指标，指导勘探有利地区或层位的选择，对开发来讲基本上没什么实际意义了。

2. 开发系列

包括组分、相态、驱动、压力等因素。

(1) 组分因素分类法：

天然气藏气体组分由烃类和非烃两部分组成，其中烃类又可分为轻烃与重烃，非烃又主要有酸性与惰性两种气体，它们之间不同比例的匹配是分类的主要依据，在这方面前苏联的学者如 H.A. 叶列缅科、C.Л. 马克西莫夫、Л.М. 佐里金、B.E. 纳里日娜娅等人进行过较系统的研究，也分别提出了各自的分类方案。然而从天然气开发角度看，开发工作者对气体组分特征关注的重点是烃类气体中的重烃含量、非烃气体中具有腐蚀性的 H_2S 与 CO_2 含量、惰性气体中的 He 含量，以便在开发方式、采气工程等方面制定相应措施，因此，按重烃（或凝析油）、 H_2S 、 CO_2 、He 的含量进行分类是其研究重点。

(2) 相态因素分类法：

国内外研究者使用的指标有物理相、相组合及转换、贮存方式等。从开发的需要讲，研究相组合及转换是具有实际意义的，相转换实际上仍是研究凝析气藏的分类问题。在这项指标中，仅定性地讲是比较简单的，争议焦点是定量划分，即当两相同时存在时，油、气在什么比例下可称为气藏或油藏，以致大气顶、小油环等诸如此类名称的确定，在这方面目前还没有一个清晰的概念，导致油气藏命名上的混乱，虽然有人利用气体组分，通过计算来确定，但也不是十分有效的。

(3) 驱动因素分类法：

从总体上来说这种研究与分类是比较成熟的，地质及开发工作者从驱动力的来源、水体的类型、驱动能量等方面对油气藏驱动方式进行分类，国内外认识是一致的。由气藏特性所决定，对天然气藏驱动方式的划分，人们主要关注水体是否存在和水体能量，我国四川气区的开发工作者近年通过实际资料的研究提出了定量化指标，现在困难的是在气藏投入开发之前没有较准确的预测方法。

(4) 压力因素分类法：

主要包括压力系统及地层压力高低两个方面。确定压力系统比较简单，对于地层压力，由于气体可压缩性的特点，人们主要对超压性感兴趣。在评价气藏压力高低时使用的指标有压力梯度或地层压力系数，目前我国普遍使用地层压力系数。总的来说，按压力系数划为低、正常、高压三类的认识是一致的，仅在具体指标上不同人的标准略有差异，但似乎都没有什么过硬的依据。

3. 经济评价系列

进行经济评价的方法很多，一种是从成本、利润角度进行，另一种是从物质丰富程度及工程条件角度进行，用于油气藏分类的地质经济因素来自第二种，且多以气田为评价单元。

(1) 物质基础因素分类法：

普遍关注的是天然气地质储量与气井产气能力两项指标，其中焦点又在于大气田的标准。对气井产能大小的级别划分世界上没有统一标准。

(2) 工程条件因素分类法：

目前最普遍的是按气藏深度进行划分，依据钻井机械类型分为浅、中、深和超深，包含了钻井成本及工艺技术复杂程度等因素。除此之外，也有按集输条件进行划分的，如前苏联学者 A.Л. 布伦茨等即主张将地质储量大于 1000 亿 m^3 的气田称为“基地型”，需要建设从主干线起集输网络；而小于 1000 亿 m^3 的气田则只将输气管网连接至附近主干线即可，称为“非基地型”。

二、组合分类

组合分类是在单因素分类基础上，将若干个因素（指标）组合在一起对油气藏进行命名，力求反映出油气藏的基本地质特征。由于使用目的不同，人们在组合分类时选用的指标内容和数量是不相同的，但却很少见到系统的组合分类方案。在组合形式上基本可概括为一元、二元、三元、多元等四种结构形式。

1. 一元结构组合

一元结构组合是对某一因素利用两个以上指标组合对油气藏进行命名，旨在反映某一特定的油气藏特征，如低渗砂岩气藏、边水弱水驱气藏等。严格地说这不能算做组合分类，仍属单因素分类的一种命名形式，人们习惯上也将其看做对油气藏某一特性的描述，应视为组合分类命名中的一个组合部分，之所以将其做为一种组合分类形式，是由于这种结构在组合命名中是某一因素的一种重要的组合形式，对亚类划分有着重要的作用，而且人们在简单分类中也常采用。

2. 二元结构组合

二元结构组合是由两个不同因素中的指标组合而成的，其因素选择可以用本系列内的，也可以跨系列，以描述油气藏的某种特征。在组合时可根据使用目的确定主要因素及次要因素，指标的选择则以最能表述其特征为依据。一般是以圈闭或储层为主要因素，其他如相态、组分、压力、驱动等为辅助因素进行组合命名，如：中渗砂岩背斜气藏、低渗砂岩气驱气藏、碳酸盐岩中含硫气藏、砂岩凝析气藏等。

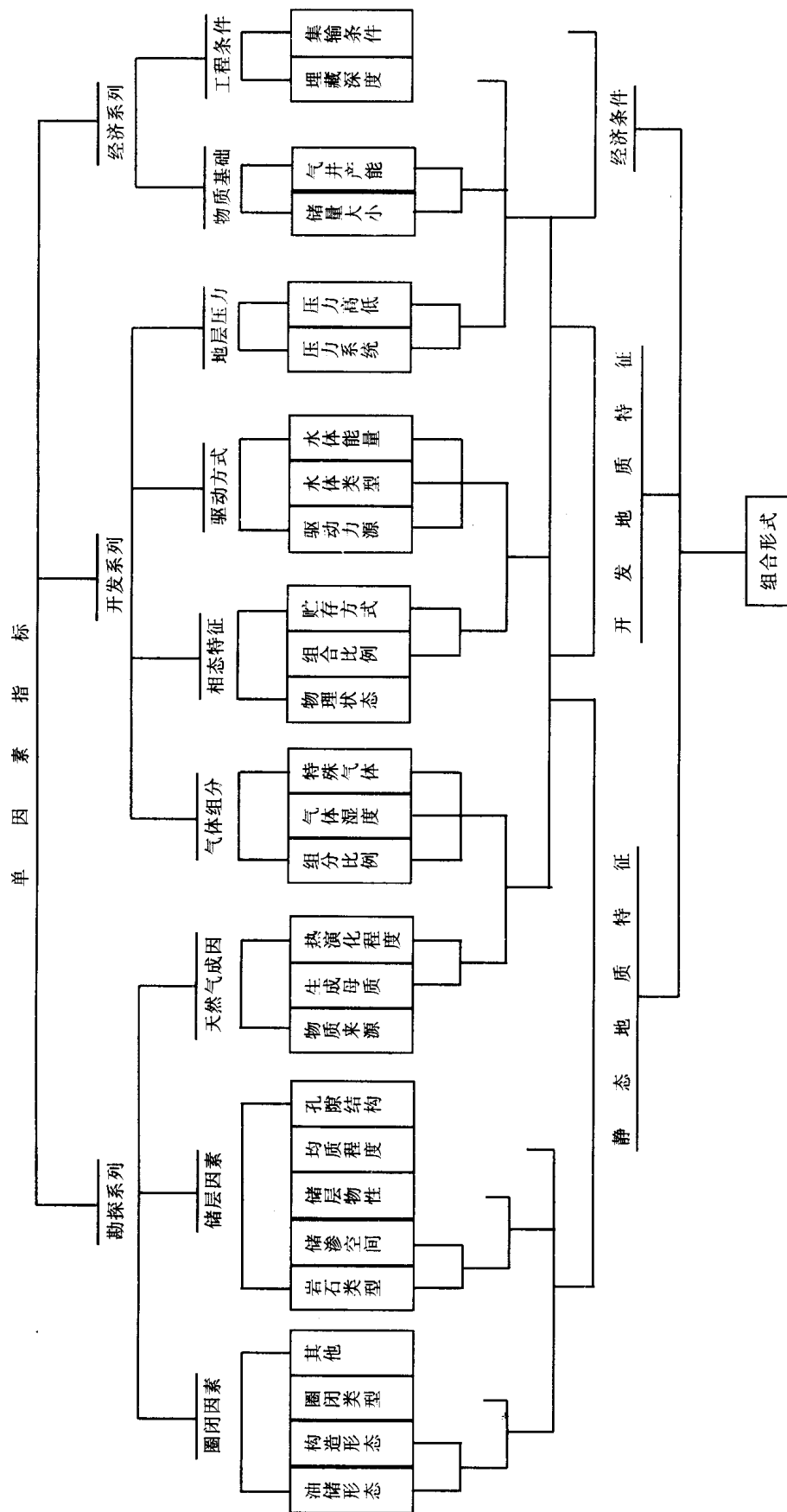
3. 三元结构组合

三元结构组合方式使组合分类结构趋向完善。从构成油气藏的三个基本要素（构造、储层、流体）衡量，三元结构组合法所包含的因素数量正好满足这种要求，因而命名含义就可较完整地体现油气藏的基本地质结构与特征，例如，低渗砂岩气驱背斜气藏、裂缝型碳酸盐岩底水驱高含硫气藏等，因此可以认为三元结构组合命名分类法是一种较好的形式。

4. 多元结构组合

多元结构组合是指包含三种因素以上的组合分类方法，这是人们力图详尽地对油气藏特征进行描述命名所采用的方法，例如“背斜砂岩孔隙型具油环边水驱超压凝析气藏”，其中包含了圈闭、储层、相态、驱动、压力五种因素。这种命名组合虽然内容全面，但由于过于繁琐，分类过于复杂，因而在油气藏分类工作中使用不多，仅在对具体油气藏进行综合描述

表 1-1 油气藏分类指标系列表



时使用。

总观国内外油气藏分类特点可得出以下几点：

国内外用于油气藏分类的参数可划分为三个系列、九种因素、二十七项指标（表 1—1）。“因素”体现了油气藏某一方面的特征，“指标”是“因素”的表现形式。

（1）指标有定性、定量两种，在命名中定量指标也是以定性形式出现的。

（2）组合分类的意义在于反映油气藏的基本地质特征，它实质上是单因素分类的逆归纳。

（3）组合分类命名有四种结构形式，三元结构最为合理。

（4）组合分类命名中主因素概括了油气藏基本地质基础，辅因素体现了油气藏特点及其之间的差别。

（5）组合分类中因素的选择主要根据服务对象的需要。命名原则以反映地质基础因素在前、特征因素在后者居多。

第二节 气藏分类主因素分析及指标的选择

一、影响气藏开发的地质因素

影响油气藏开发的地质因素有多种见解。P.A. 迪基认为地层的连续性、孔隙类型、地层倾角、节理、断层、地质储量、间隙水饱和度和气体含量等是影响油藏开发的重要因素；我国闵豫、石宝珩则认为储层分布、孔隙连通单元分布、流体分布、孔隙分布、驱油能量、开采中的油藏变化是重要因素；裘亦楠、陈子琪等在研究油藏开发地质分类时则注重储层沉积类型、油储形态、水体类型、原油性质等因素。概括起来大体涉及储层特征、流体特征、驱动方式等三个方面。

就天然气藏而言，影响其开发布局和效果的地质因素从生产实践和理论分析认为有圈闭、储层、组分、相态、压力和驱动等六种，它们的重要性可简述如下。

1. 圈闭因素

在开发上，不同的圈闭类型气藏主要影响着布井方式的选择。我国四川气区有众多碳酸盐岩气藏，基本上均为背斜构造圈闭，在长期的实践中总结出了“沿长轴、占高点，打扭曲”的布井经验，以寻找裂缝发育带，获得高产能气井，在井网上形成典型的不均匀布井形式。但砂岩气藏，一般可采用均匀布井，只是当非均质性强时才采用不均匀布井。此外，圈闭类型不同可能还会影响着流体分布特征，例如层状背斜气藏常为边水水体，而块状构造气藏水体多为底水，岩性气藏则多为不规则状边底水，这也将直接影响着井网部署及开采布局。因此，圈闭因素对开发地质分类虽不是必须考虑的，然而也不是无价值的内容。

2. 储层因素

在勘探、开发中储层特征都受到重视，是开发地质的一个核心问题。气藏由于储层在岩类、物性、储渗空间以致孔隙结构上的差异，都将对气藏特征、开发布局和开采效果起着制约的作用，是分类中必不可少的因素。例如：砂岩储层气藏的储渗空间几乎均为孔隙单一介质，相对为均质体，水侵较均一；有高压异常现象少，一般不含 H_2S 或较低，但会有高含 CO_2 组分，凝析气藏中以砂岩为储层者较多。评价储层好坏主要以物性为指标，容积法是确定气藏储量的主要方法，多采用均匀布井方式。通常采收率较高，尤其是水驱气藏较明显。

而碳酸盐岩气藏储渗空间几乎均为双重介质，非均质性强；水驱时舌进现象突出，封闭