

气田工人自学丛书

采气地质基础

余树良 编

石油工业出版社

18419

气田工人自学丛书
采气地质基础

余树良 编



00266901

5453/18



200363178

石油工业出版社

内 容 提 要

本书主要介绍采气工人在气田开采中应掌握的地质知识。全书分为绪言及气田和气井的基本知识、流体从气层流向井口的基本规律、气井试井、气藏动态分析四章。书末附有气井分析实例和习题。

本书的主要对象是气田开采现场的工人和技工学校采气专业学生。也可供有关学校师生和技术人员参考。

本书由余树良同志编写，经高宏、李梓丰、李士伦等同志审阅。

气 田 工 人 自 学 丛 书 采 气 地 质 基 础 余 树 良 编

石油工业出版社出版
(北京安定门外外馆东后街甲36号)
妙峰山印刷厂排版印刷
新华书店北京发行所发行

787×1092毫米 32开本 11⁷/₈印张 261千字 印1—4,400
1984年11月北京第1版 1984年11月 北京第1次印刷
书号：15037·2504 定价：0.95元

前 言

为了提高天然气开采的技术水平，必须充分了解油、气、水从气藏到井筒至地面不同条件下的状态和流动的基本规律，掌握影响采气的地质因素，从而正确指导气井生产，达到合理采气，提高气藏采收率的目的。

采气地质是一门研究气藏状况和影响采气的地质因素的学科。它受到人们越来越大的注意。国内近三十年来积累了大量的有关资料，但尚未充分整理。目前现场还缺乏适合采气工人学习的采气地质系统资料。编者根据理论和实践相结合的原则，力图深入浅出地对采气地质基本知识和现场应用作一简要介绍，编写了这本书，供技工学校采气专业学生和采气工人阅读，亦可供现场采气技术人员参考。

本书的编写得到了四川石油管理局及其下属的四川输气技工学校的大力支持，在编写过程中曾得到四川石油管理局的采气处、地质处、勘探开发研究院、川中矿区、川西南矿区及西南石油学院等单位的帮助和指导。四川石油管理局高宏、李梓丰等同志及西南石油学院李士伦副教授进行了审阅，均在此致以衷心的感谢。

由于笔者理论水平和实践经验有限，其中存在的问题一定不少，敬请使用本书的读者及专家们不吝赐教，以便进一步修改完善。

余树良

一九八三年十一月

目 录

绪言	1
第一章 气田和气井的基本知识	6
第一节 地壳和沉积岩	6
一、地壳	6
二、沉积岩的类型及沉积相	10
第二节 地层和地质时代	13
一、地层	13
二、地质时代及其和地层的关系	13
第三节 地质构造	21
一、褶皱构造	21
二、断裂构造	23
三、地层间的接触关系	26
第四节 油气藏和油气田	28
一、油气的生成与生气气层	28
二、油、气的运移与储集层	30
三、圈闭和油气藏	32
四、油气田	35
五、油气储量分级	38
第五节 气田勘探	40
一、气田的勘探阶段	40
二、气田的勘探方法	40
第六节 气井	44
一、气井的钻井过程简介	45
二、钻井质量对采气的影响	47
三、气井的完井方法及对采气的影响	48
四、井身结构和井口装置	52

第七节 气井、气层的温度和压力	55
一、气井和气层的温度	55
二、气井和气层的压力	58
第二章 流体从气层流向井口的基本规律	73
第一节 气层的渗流特性	73
一、气层中流体的特性	73
二、气层岩石的渗流特性	87
三、气层岩石和流体的表面性质	93
第二节 渗流及其基本规律	98
一、渗流的基本概念	98
二、气层中渗流的特点	99
三、渗流的基本规律	100
第三节 流体在岩石中的线性稳定渗流	102
一、液体的径向渗流	103
二、气体的径向渗流	105
第四节 流体在岩石中的非线性稳定渗流	106
一、指数式方程	107
二、二项式方程	109
三、渗流方程式的力学意义	110
第五节 气层不均质和气井不完善对渗流的影响	112
一、气层不均质对渗流的影响	112
二、气井不完善对渗流的影响	115
第六节 流体从井底流向井口的基本规律	116
一、井筒举升能量来源与消耗	117
二、混气液流举升的基本概念	118
三、气层产出的液体与举升的协调	120
第三章 气井试井	124
第一节 概述	124
一、试井的有关概念	124

二、试井的目的	127
三、试井的分类	127
四、试井应具备的条件	128
第二节 稳定试井	129
一、稳定试井应收集的资料	129
二、稳定试井的工艺步骤	130
三、稳定试井资料的整理和实用计算	135
四、一点法试井	149
第三节 不稳定试井	150
一、基本概念	150
二、开井压力降落法试井	155
三、关井压力恢复试井法	166
四、水文勘探试井法	178
五、等时试井法	179
第四节 稳定试井和不稳定试井的比较	183
一、不同点	184
二、相同点	184
第四章 气藏动态分析	185
第一节 概述	185
一、何谓气藏动态分析	185
二、气藏动态分析的基本内容	186
三、动态分析必需的基础资料	186
四、动态分析需要整理和编制的资料数据及图幅	187
五、动态分析的步骤、方法	192
第二节 单井动态分析	194
一、概念	194
二、用试井资料分析流体在地层中的渗流	196
三、利用井底压力和井口压力分析流体在井筒中的垂直 管流	204

四、用生产资料分析气井	206
五、用采气曲线分析气井动态	212
六、常见采气异常情况的判断和处理	215
七、单井系统分析	218
八、气井压裂酸化预测	227
第三节 全气藏动态分析	235
一、气藏的驱动方式	235
二、气藏的类型	240
三、气藏的储气体积	244
四、压力系统	246
五、边、底水活动	248
六、储量计算	250
七、气量递减的基本规律	256
八、气田开发设计简介	266
第四节 合理采气	270
一、气井采气量不合理的危害	270
二、气井合理产量的确定原则	272
三、气井生产工艺制度的确定	274
四、几种工艺制度下的动态预测	276
五、提高气藏采收率	281
六、纯气藏气井的开采	288
七、有边、底水气藏气井的开采	304
八、凝析气藏气井的开采	318
附录 气井分析的程序及实例	323
附表一 e'值数据表	344
附表二 压缩系数表	346
本书常用符号表	356
习题	358
主要参考文献	370

绪 言

一、加速发展天然气工业的重要性

能源的储量，是一个国家财富多寡的标志之一。天然气是理想的能源。天然气的开发是能源工程的主要发展方向。世界上发达国家的燃料结构中，石油和天然气占一半以上。为了缓和国际能源危机，不少国家已把天然气列入优先开发地位，在战争存在的情况下，能源消耗增加，加速开发天然气具有更重要的战略意义。

根据国外的一些统计资料，开发天然气的劳动生产率很高。以每个工人每年所获得的产值比较：若开采天然气为100，则开采石油为30，而开采煤只有12。以采同样多的燃料的劳动消耗量比较，若天然气为1，则石油为6，而煤为20，即采煤的劳动消耗量为采天然气的20倍。开发天然气的成本又最低，它是采油成本的 $\frac{1}{3.5}$ ，是采煤成本的 $\frac{1}{12}$ 。从以上产值、劳动消耗、成本三方面比较可见，天然气都远远优于誉为乌金的煤，胜过喻为工业血液的石油，不愧是能源中的佼佼者。

天然气不但是重要的能源，而且是宝贵的化工原料。天然气的主要成分是甲烷并含有少量乙烷、丙烷等，而甲烷加工后可合成许多重要化工产品。天然气裂解生成的乙烯和乙炔，是合成纤维、合成塑料和合成橡胶的原料；天然气转化生成的合成气（ $\text{CO} + 3\text{H}_2$ ）是制造甲醇、甲醛及合成氨的原

料，天然气部分氧化可制取炭黑，氯化、氨化及硝化可制取大量重要的化工产品，如有机玻璃、医药、溶剂、冷冻剂、灭火剂、电影胶卷、炸药、高能燃料等上千种化工产品。有的天然气还可以直接从中提取氦气、回收硫磺等。

天然气工业的发展可使许多部门发挥更大的生产潜力。如炼钢工业利用天然气，可以大量降低焦炭消耗，增加产量，减少投资。

利用天然气可生产石油蛋白，作为饲料代替粮食喂养家畜、家禽和鱼类。利用天然气建立的温室培养农作物，不仅成本低，而且由于天然气的燃烧可以给农作物提供所需的二氧化碳和水分，能促使温室蔬菜的成长。

用天然气作燃料，使用方便，控制简单，调节容易，便于运输。天然气的发热量高，燃烧完全，可以大大减少城市环境污染和降低燃料费用。

总之天然气广泛地应用于工业、农业、交通、国防及国民经济其他部门，有助于解决人民的衣食住行问题，并可为国家和人民带来巨大的经济效益。天然气工业是加速国民经济建设的基础工业之一。

二、气田开发的工作程序

天然气是深埋在地下的流动矿产。多、快、好、省地勘探开发天然气，满足国民经济的需要，是天然气工作者的紧迫任务。完成这一任务可分为气田勘探和气田开发两个阶段。

气田勘探工作是寻找气藏，探明气藏基本地质情况及气藏流体的初始状况，以便确定气藏有无工业价值。勘探工作又可分为勘查和钻探。勘查是用地震和其他地球物理方法查找气藏的过程；钻探是钻探井，通过取岩心、录井、测井

等探明气藏基本情况。

气田开发是建立一个开发系统的过程，包括天然气的开采、净化、输配（或储存）、至用户的作业程序。如图0-1、图0-2所示。

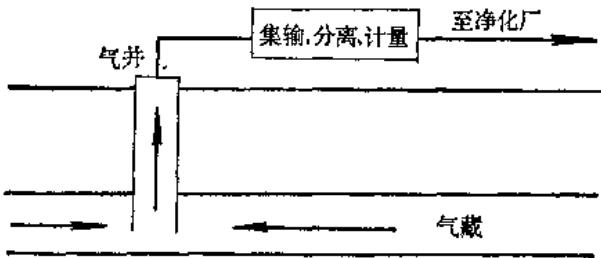


图 0-1 天然气开采程序示意图

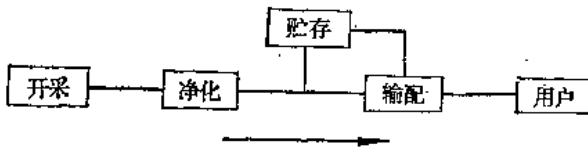


图 0-2 气田开发系统示意图

上图中，开采部分包括钻井和采气。开采是开发的一个组成部分。气田开发必须通过各气井的开采来实现。采气就是根据气田地质特点和国家对天然气的需要，采取合理的工艺、措施，把气藏中的天然气通过气井采到地面上来，进行矿场集输、分离、计量等后向下一环节输送；净化包括除尘、回收凝析油、脱除 H_2S 、 CO_2 和进一步脱除水分等；输配是通过大型管网把天然气输至消费中心及配气系统；贮存是为了调节高峰用气，在消费中心附近，建立地下贮气库或液化天然气贮罐；用户包括用天然气作能源、作原料和再加

工的单位。

三、学好采气地质为气田开发作出贡献

采气地质是油气开发地质的一部分，是研究气藏状况和影响采气的地质因素的一门学科。本书将着重介绍气井从钻井开始至正规采气全过程中，影响采气的各种地质因素；气井测试的理论基础；气井稳定试井与不稳定试井的基本方法；单井动态分析和合理采气的有关知识。并对全气藏的动态分析作了适当介绍。

采气地质的中心任务是录取和运用有关静态和动态资料，研究气井、气田的开采过程和油、气、水在地下的基本规律，从而了解和掌握气井、气藏动态，以便能动地解决开采中的生产实际问题，做到合理采气，提高气田的无水采收率和最终采收率。

勘探一个较大的气藏，需要较长的时间、较多的人力、物力和投资。开发气藏的钻井过程又要花费大量的资金（四川地区目前一口中深井成本上百万元）。如果在采气时对气井、气藏的能量不能合理利用，会使气井过早的停止产气或报废，采收率大大降低。假如采收率降低50%，就相当于少了一半的气藏，就会造成人力、物力、财力和资源的巨大浪费。相反，通过采气工作者的努力，合理利用气藏的能量，可以提高气藏中油气资源的采收率。采收率提高部分的采气量相当于新开发一个同样大小的气藏的采气量，这样可以节约用于勘探、开采、集输新气藏的时间和巨额投资，为国家创造更多的财富，使天然气资源得到充分的利用。采气工作者必须加强主人翁责任感，全心全意为人民谋福利，具备为人民服务的真本领。若采气工作者没有掌握系统的采气地质知识，对地下气层情况不了解或一知半解，则对气井、气藏

不可能有一个深刻的完整的认识。对分析生产中出现的问題，往往只是浮在表面，掌握不住气藏内在的实质性的因素。对气井出水、井筒故障等影响采气的现象就不会正确分析。面对气井过早水淹或报废，就会束手无策。地层中的天然气被分割，不能通过气井采出来，或者不能如期的采出来供应用户的需要。在一定程度上会造成天然气供需矛盾更加突出，贻误全局性工作。所以采气职工虽然工作在地面井场(站)，但地面只是“指挥部”，真正的“战场”主要在气层，不借助采气地质知识深入到地下认识天然气与它周围事物的关系，就不可能使天然气合理地采出来。有人提出采气工人岗位主要在地下，研究对象是气层，其道理就在于此。可见采气地质在气田开采中具有十分重要的作用。

用采气地质知识来认识和开采气藏，即是根据反映气藏状况的压力、产量等资料，把握气藏的“命脉”，探寻其变化及原因，并提出相应的治理措施，保证气田相对高产稳产。

采气工作者，应熟练掌握采气地质的基本概念、基本理论和基本运算。对反映气藏情况的第一性资料要十分重视，并客观地、实事求是地对资料进行处理、分析，达到认识气藏和改造气藏、气井的目的，否则将事与愿违。

学习采气地质，对采气工作者的实际工作有直接的密切关系，为了祖国天然气工业的更快发展，以适应我国社会主义“四化”建设的需要，采气工作者必须努力学习好采气地质，在气田开发中作出贡献。

第一章 气田和气井的基本知识

天然气是宝贵的矿产资源。它们埋藏在地壳不同深度的岩层中。为了不断扩大天然气的后备储量，开采出更多的天然气，为祖国社会主义四个现代化多做贡献，必须掌握天然气地质知识。本章着重介绍天然气地质基础知识、气井及气井、气层的温度和压力，为学习以下章节奠定基础。

第一节 地壳和沉积岩

一、地壳

地壳是地球最外圈的一层固体外壳（图1-1），其厚度不一，大陆高山区最厚可达60~70公里；大洋中一般小于10公里；地壳平均厚度约33公里。

地壳是由各种类型的岩石（石头）组成的，岩石是由各种矿物组成的，矿物又是由化学元素组成的。

组成地壳的元素，几乎包括门捷列夫元素周期表中的所有元素。其中氧占49.13%，硅占26%，其余元素共占24.87%。

矿物是地壳中的化学元素在各种地质作用下形成的自然产物。已发现的有三千多种，最常见的有石英、长石、云母、方解石、白云石、石盐、重晶石等十余种，它们的特征见表1-1。

矿物的硬度是矿物抵抗外力刻划能力的程度。通常选用表1-2中所列矿物作标准以对比法确定其它矿物的相对硬

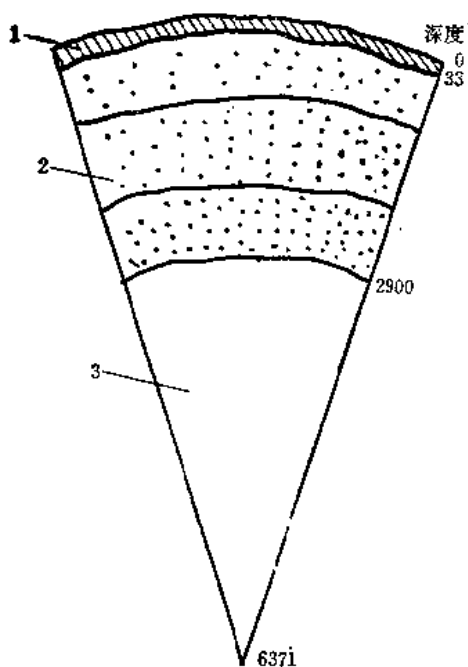


图 1-1 地球分层示意图

1—地壳；2—地幔；3—地核

度。

在实际工作中常用指甲(2.2)、小刀或玻璃(5~5.5)、石英(7)来刻划矿物的新鲜面，识别矿物。

矿物很少孤立地存在，常结合成复杂的结合体——岩石。根据它们的成因可将组成地壳的岩石分为三大类：岩浆岩、沉积岩和变质岩。

1. 岩浆岩。它是岩浆在一定地质作用的影响下，由地壳深处上升，并且经冷却、凝固、结晶而成的岩石。

岩浆是处于地壳内部高温、高压状态的含有大量挥发物

表 1-1 最常见矿物特征

序号	矿物名称	化学成分	形状	颜色	光泽	透明度	硬度	比重	其他
1	石英	SiO_2	六方柱状，晶面上有横纹，在岩石中为粒状	白、灰色	断口呈油脂光泽，晶面为玻璃光泽	半透明、透明	7	2.5~2.8	
2	(正)长石	$\text{K}[\text{AlSi}_3\text{O}_8]$	柱状、板状，常呈粒状	肉红色、黄、白色	玻璃光泽	半透明	6	2.5~2.6	
3	方解石	CaCO_3	菱面体，岩石中常呈粒状	白色	玻璃光泽或无光泽	半透明、透明	3	2.7	溶于HCl 剧烈起泡
4	白云石	$\text{CaMg}(\text{CO}_3)_2$	基本同方解石，但晶面常弯曲	白、灰、淡黄、淡红色	玻璃光泽		3.5~4	2.8~2.9	粉末与HCl反应，按序不反应
5	重晶石	BaSO_4	板状，集合体呈致密块状	白色	无光泽	透明、半透明	3~3.5	4.6	
6	白云母	$\text{KAl}_3[\text{AlSi}_3\text{O}_{10}](\text{OH})_2$	鳞片状	白色	珍珠光泽	透明	2~3	2.7~3.1	薄片有弹性
7	石盐	NaCl	立方晶形体	白色	玻璃光泽	半透明、透明	2	2.2	具咸味
8	黄铁矿	FeS_2	立方晶形，晶面上有条纹，岩石中呈分散状	浅黄铜色	金属光泽	不透明	6~6.5	4.9~5.2	

表 1-2 矿物硬度表

硬度	1度	2度	3度	4度	5度	6度	7度	8度	9度	10度
矿物	滑石	石膏	方解石	萤石	磷灰石	(正)长石	石英	黄玉	刚玉	金刚石

的硅酸盐熔融体。岩浆的温度超过1000°C，压力在几千个大气压以上。它的主要化学成分是SiO₂和Al₂O₃。当地壳运动使地壳本身出现薄弱地带时，岩浆就会侵入薄弱地带，这种现象称岩浆活动。岩浆喷出地表称为火山作用。

岩浆岩在一个地区过于发育，反映岩浆活动频繁，一般对油气的保存是不利的。

2. 沉积岩。是早期形成的岩石经过物理的、化学的破坏作用，在地质营力(如流水、风吹、日晒等)的作用下，在水盆(海、湖、河)或陆地表面某些地方沉积起来而形成的岩石。

3. 变质岩。是由原来岩石(岩浆岩或沉积岩)受到高温、高压等条件的影响，改变了原来岩石的成分、结构及构造，发生了变质作用而形成的岩石。由于强烈的地壳运动及伴生的岩浆活动，以及其他因素综合作用的结果，使岩石在广大区域范围内，发生变质作用，称为区域变质。区域变质的结果，使所形成的变质岩多具有结晶结构和片理构造。如石英砂岩变成的石英岩，石灰岩变成的大理岩等。一般说来，变质作用对油、气的生成和保存都是不利的。

在地壳中，岩浆岩(包括变质的岩浆岩)约占地壳体积的95%，主要分布在地壳深处。在地壳表面分布面积仅占25%。沉积岩(包括变质的沉积岩)占地壳体积的5%，一般呈薄薄的一层分布在地壳的上部，其平面分布范围占地表覆盖面积的75%。