

气田工人自学丛书

采气

张育林 余树良 编

石油工业出版社

前 言

为了适应我国天然气工业发展的形势和满足气田采气工人学习技术的需要，我们比较系统地收集和整理了四川气田三十年来的采气工程技术资料和行之有效的管理经验，写成这本气田工人普及读物。全书内容共分十一章，主要论述了气田开发和气井完成的基本知识。全书各部分都根据基本原理结合现场实际工作经验，深入浅出地描述了各种重要基本概念和实用方法。

本书在编写过程中，得到四川石油管理局李延平、李梓丰等同志的支持和帮助，在此表示衷心的感谢。

由于我们的水平有限，书中的缺点和错误在所难免，诚恳希望读者批评指正。

张育林

余树良

目 录

第一章 采气基本知识	1
第一节 油气藏的形成	1
一、油气的成因	1
二、油气藏的形成条件	2
第二节 气藏的驱动类型	12
一、气驱	12
二、弹性水驱	14
三、刚性水驱	16
第三节 气藏中的流体及其性质	17
一、天然气	17
二、地层水	29
三、凝析油和原油	35
第四节 流体力学基础	36
一、流体静力学基本方程式	36
二、流体动力学基础	41
三、液流阻力和水力损失	53
第五节 天然气在地层中的渗流	58
一、渗流基本概念	58
二、完善井和不完善井	63
三、天然气在地层中的平面径向稳定渗流	65
第六节 采气常用术语	71
一、压力	71
二、温度	73
三、流量	74

四、气藏储量	75
五、采收率	75
六、储采比	75
七、采出程度和采气速度	75
第二章 气井的完井和试气	77
第一节 气井的完井和井身结构	77
一、气井的完井方法	77
二、井身结构	80
第二节 气井的井口装置	97
一、套管头	98
二、油管头	101
三、采油树	104
第三节 气井的完井试气	113
一、通井	113
二、洗井	113
三、压井	114
四、射孔	114
五、诱喷	115
六、测试	116
第三章 气田的开发程序和开发方式	120
第一节 气田的开发程序	120
一、勘探阶段	120
二、开发阶段	121
第二节 气田的开发方式	124
一、消耗式开发	125
二、保持压力式开发	129
第四章 气井的开采工艺	136
第一节 气井的工作制度	136
一、气井工作制度的种类	136
二、确定气井工作制度时应考虑的因素	137

第二节	无水气井(纯气井)的开采	141
一、	定产量制度	141
二、	定井底渗滤速度制度	143
三、	定井口压力制度	145
第三节	气水同产井的开采	145
一、	控制临界流量采气	146
二、	利用气井本身能量带水采气	152
三、	泡沫排水采气	159
四、	抽油机排水采气	165
五、	气举排水采气	173
六、	电潜泵排水采气	189
第四节	气井资料的录取及分析处理	197
一、	取全取准资料,认真填写记录	197
二、	气井参数的变化和原因分析	200
第五章	气井的试井	207
第一节	气井的稳定试井	207
一、	稳定试井的原理和目的	207
二、	试井步骤	208
三、	试井资料整理	209
四、	稳定试井资料的应用	213
第二节	气井的不稳定试井	225
一、	不稳定试井的原理和目的	225
二、	压力降落试井	227
三、	压力恢复试井	238
第六章	气井的增产措施	255
第一节	气井的酸化	255
一、	酸化增产原理	255
二、	砂岩酸化	258
三、	碳酸盐岩酸化	262

第二节 气井的压裂	265
一、压裂增产原理	265
二、前置液压裂酸化	269
三、加砂压裂	271
第三节 酸化压裂选井和施工后的管理	276
一、选井	276
二、施工效果分析	277
三、施工井的管理	280
第七章 采输流程及设备	284
第一节 采气流程	284
一、单井常温采气流程	284
二、多井常温采气流程	286
三、低温回收凝析油采气流程	287
四、低温回收石油液化气采气流程	289
第二节 矿场集气管网	292
一、集气管网的类型	292
二、集气管网的特点	293
三、集气管网的计算	295
第三节 天然气中杂质的分离	298
一、天然气中的杂质及其危害	298
二、分离设备及类型	300
三、分离器的附属设备—自动放水器	317
四、分离器的选择和使用	321
第四节 天然气水化物的生成和预防	322
一、水化物的性质和生成条件	323
二、水化物生成的预测	326
三、水化物的预防方法	329
第五节 气井的腐蚀和防腐	340
一、硫化氢对钢铁的腐蚀机理	340

二、影响硫化氢对钢铁腐蚀的因素	345
三、含硫气田的防腐措施	346
第六节 阀门和管件	351
一、阀门	352
二、管子及管件	366
第七节 天然气的加压输送	370
一、喷射器在集输系统中的应用	370
二、加压站	380
第八章 气井压力、温度的测量	386
第一节 压力的测量	386
一、压力的概念和压力的测量单位	386
二、地面压力测量及仪表	388
三、井下压力测量	399
四、用气井井口压力计算井底压力	416
第二节 温度的测量	419
一、温度测量单位	419
二、玻璃温度计	419
三、压力式温度计	423
四、井下温度计	424
第九章 天然气流量的测算	430
第一节 孔板差压流量计	430
一、孔板差压流量计的组成	430
二、测量原理及流量计算方法	434
三、流量计算方法	441
四、径向方根求积仪和双波纹管差压计	453
五、气量计算中可能遇到的问题及处理	465
六、石油部对流量测量装置的规定	493
七、孔板孔径及差压计的合理选择	504
八、流量测量的误差及其影响因素	512

九、流量测量装置的管理和操作使用·····	517
第二节 临界速度流量计·····	517
一、工作原理·····	517
二、结构·····	518
三、计算公式·····	518
四、计算实例·····	519
第三节 垫圈流量计·····	520
一、工作原理·····	520
二、结构·····	520
三、计算公式·····	521
第四节 微型计算机测量天然气流量简介·····	521
一、测量系统的组成·····	522
二、测量原理·····	523
第十章 采气安全与环保·····	524
第一节 防爆·····	524
一、采气设备发生爆炸的原因·····	524
二、防爆措施·····	524
第二节 防火·····	525
一、引起火灾的原因·····	525
二、防火措施·····	526
三、常用灭火方法和灭火器材·····	527
第三节 防毒·····	529
一、引起中毒的原因·····	529
二、防止中毒措施·····	529
第四节 采气环保·····	530
一、气田含硫气体对大气的污染及预防·····	530
二、气田水的污染及预防·····	531
三、采输系统的噪声及其控制·····	537
第十一章 采(集)气的基层管理·····	540

第一节 气井的管理	540
一、气井的交接	540
二、气井的试采	541
三、气井的试井	542
四、日常气井的生产制度	542
五、采气地质资料的管理	543
六、采集气设备的管理	546
七、天然气计量管理	549
八、井站管理条例	552
第二节 采气工岗位经济责任制	559
一、岗位职责	559
二、岗位生产制度	559
第三节 采(集)气操作	561
一、阀门操作	561
二、井口操作	564
三、保温操作	566
四、仪表操作	570
五、调配(加、减)气量操作	573
六、分离器操作	574
七、试井操作	574
八、脱水操作硅胶操作	575
九、取水样和取气样操作	577
十、滴定氯根操作	578
十一、设备试压操作	578
十二、通球清管操作	580
十三、游标卡尺的使用	581
十四、常用工具的使用	582
主要参考文献	585

第一章 采气基本知识

第一节 油气藏的形成

一、油气的成因

油气的成因是争论已久的问题。据各方面的资料，油气有无机成因、有机成因和煤成因等三种学说。

无机成因学说认为油气是由无机物质变成，即由地球内部的金属碳化物和水在高温高压作用下化合生成油气。

有机成因学说认为油气是有机物质（动物、植物、微生物）死亡后，在一定条件下转化而成的。一般认为有机物质转化成油气的过程是：生活在陆地上的动植物死亡以后，连同河流的泥砂被水携带到浅海、湖泊中，与浅海、湖泊中死亡了的动植物一起沉降水底，天长日久渐渐加厚形成有机淤泥。随着地壳运动，有的地壳上升，有的地壳下降，下降的地方有机淤泥被水继续覆盖，泥砂不断在其上沉积，逐渐形成隔绝空气的还原环境。在还原环境中，有机物质在温度、压力、细菌、催化剂等作用下，慢慢地转化成了油气。研究认为，温度对转化影响很大，能将有机物质转化成石油的最高温度叫“门限温度”，超过门限温度，有机物质就转化成天然气了。

煤成气学说认为：天然气是煤在变质过程中的产物。研究证明，植物转化成煤的过程中会产生大量的甲烷。每转化成1吨褐煤，产生68米³甲烷；转化成1吨肥煤产生230

米³甲烷；转化成1吨瘦煤产生330米³甲烷；转化成1吨无烟煤产生400米³甲烷。

由此看来，油气的成因不止一种。但从世界上已发现的油气田资料来看，绝大多数是有机成因和煤成因，有机成因和煤成因学说已成为寻找油气田的有据理论。

二、油气藏的形成条件

有机物质转化成的油气或煤变质过程中产生的天然气，在生油层中呈分散的游离状态，要形成有工业开采价值的油气藏，概括起来需要有三个条件。第一，要有储集层。储集层就是具有孔隙空间的地层，在孔隙空间中可以储存油气。第二，要有能使游离状态的油气从生油层运移到储集层中的动力。第三，运移到储集层中的油气能够聚积和保存下来，即要有合适的圈闭。

(一) 储集层

能储集油气且油气在其中能够流动的岩层叫储集层。储集层可分为三类：

1. 碎屑岩储集层

主要成分是各类砂岩、砾岩等。砂岩是最主要的碎屑岩储集层，油气储存在砂岩颗粒之间的孔隙中。如我国的大庆油田，科威特的布尔干油田均是砂岩储集层。

2. 化学岩储集层

由化学作用或生物化学作用产生的沉积物组成。所含矿物是在岩石形成的地方沉积起来，不象碎屑岩储集层那样要经过风力和水力搬运。碳酸盐岩是最主要的化学储集层，它的主要成分是碳酸钙和白云石，碳酸钙(CaCO_3)含量高于50%称石灰岩，白云石($\text{CaMg}(\text{CO}_3)_2$)含量高于50%称白云岩，如果岩石中含有生物遗体化石则称为生物

化学灰岩。油气储存在岩石的原生孔隙和次生孔隙或裂缝中。碳酸盐岩也是最主要的油气储集层之一，如任邱油田、威远气田和法国的拉克气田都是碳酸盐岩储集层。

3. 其它类型储集层

有火成岩、变质岩等，目前在这类储集层中找到的油气田还很少。

储集层具有许多特性：如孔隙性、渗透性、导电性、弹性、放射性等；与采气工艺关系密切的是孔隙性和渗透性。

(1) 孔隙性 是岩石具有孔隙、孔洞、裂缝等空间的一种特性，它是评价储集层好坏的主要标志，孔隙性的大小用孔隙度表示。孔隙度又分绝对孔隙度和有效孔隙度。

绝对孔隙度 岩石中总的（连通的和不连通的）孔隙体积与岩石的总体积之比，用百分数表示：

$$m = \frac{v_p}{v_t} \times 100\% \quad (1-1)$$

有效孔隙度 岩石中互相连通的孔隙与岩石的总体积之比，用百分数表示：

$$m_e = \frac{v_c}{v_t} \times 100\% \quad (1-2)$$

对同一块岩石， $m > m_e$ 。

式中 m —— 绝对孔隙度，%；

m_e —— 有效孔隙度，%；

v_t —— 岩石总体积；

v_p —— 岩石的孔隙总体积；

v_c —— 岩石的连通孔隙体积。

对油气的储集和开采来说，有用的是有效孔隙度。砂岩

储集层的孔隙度一般为 10 ~ 25%；碳酸盐岩一般为 2 ~ 15%。孔隙度小于 2% 的岩石一般为非储集层。

(2) 渗透性 岩石允许流体通过的能力称为渗透性。渗透性的好坏是评价储集层生产能力的主要标志，渗透性的大小用渗透率表示。

渗透率是岩石的一种属性，与岩石颗粒的分选程度、孔隙连通的好坏、裂缝大小及形状等有关，与通过岩石的流体无关。渗透率可分为绝对渗透率、有效渗透率和相对渗透率：

绝对渗透率 岩石中只充满一种流体时的渗透率称为绝对渗透率。

对液体：

$$K = \frac{q\mu L}{F(p_1 - p_2)t} \times 10^2 \quad (1-3)$$

对气体：

$$K = \frac{2q\mu L p_2}{F(p_1^2 - p_2^2)t} \times 10^2 \quad (1-4)$$

式中 K —— 渗透率，微米²；
 q —— 流体的流量，厘米³/秒；
 μ —— 流体的粘度，帕·秒；
 p_1, p_2 —— 岩石两端的压力，兆帕；
 F —— 岩石的横截面积，厘米²；
 t —— 流体通过岩石的时间，秒；
 L —— 岩石的长度，厘米。

有效渗透率 当岩石中有两种以上流体充满时，岩石对其中一种流体的渗透率叫有效渗透率。实验证明，有效渗透率的大小与该流体在岩石中的饱和度有关。饱和度是指某

种流体充满孔隙空间的程度，用百分数表示。油气储集层中常含有水，故有含油饱和度、含水饱和度、含气饱和度之分。如果测得一块储油岩石的含水饱和度是40%，则含油饱和度是60%；如果测得一块储气岩石的含水饱和度是30%，则含气饱和度是70%。饱和度越高，有效渗透率也越高。

相对渗透率 有效渗透率与绝对渗透率的比值，称为相对渗透率。

图1-1、1-2是油-水和气-水系统的相对渗透率

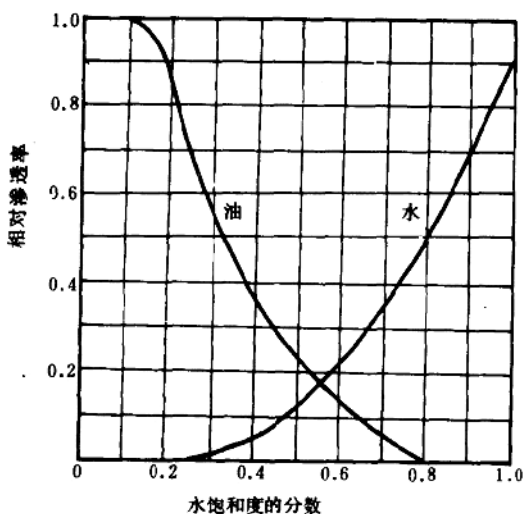


图1-1 油-水系统的相对渗透率

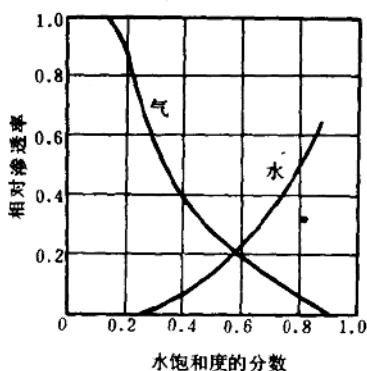


图1-2 气-水系统的相对渗透率

和含水饱和度的曲线关系。从图中看出，随着含水饱和度的增加，油（或气）的相对渗透率降低。许多油气井出水后产量递减，相对渗透率降低是主要原因。

渗透率的单位是二次方微米 (μm^2)， $1\mu\text{m}^2$ 的渗透率定义为，在忽略重力影响的条件下，截面积为

1米²，长度为1米的孔隙介质，在 10^{12} 帕的压差作用下，提供1米³/秒的流量。

(二) 油气运移

油气在生油层中生成后，是呈分散的游离状态，必须借助某种动力使油气从生油层向储集层运移，并在储集层中聚积起来，才能形成具有工业开采价值的油气藏。这种使分散状态油气聚积成油气藏的过程叫做油气运移。油气运移的动力主要有以下几种：

1. 压力

有静压力和动压力两种。

静压力 沉积盆地下部地层受上部沉积物重量的压迫而压缩和固结，使地层孔隙度降低，流体被挤出；又由于生油

(气)层多为细粒的泥质沉积物,强度低、孔隙小、含水多,易被压缩;储油(气)层则多为粗粒的砂质沉积物,强度高、孔隙大,不易压缩。这样在受到同样大的压力时,由于两种沉积物的压缩程度不同,二者之间便产生了压力差,生油(气)层中的压力高,储油(气)层中的压力低,在压差作用下油气从生油(气)层向储油(气)层运移。

动压力 在外力(如构造运动的力)作用下,地层各处受压程度不同而产生压差,使油气从高压区向低压区运移。

2. 浮力

浮力是由于油、气、水三者密度不同而产生的一种力。水的密度大,油次之,气最小。因此饱含油气的水在储集层中按密度的差异发生重力分异,水在底部,油居中,气在顶部。地层倾角越大,重力分异作用越强(图1-3)。

3. 扩散作用

由于物质的浓度差引起的分子运动叫扩散。扩散作用对气体运移作用很大,在构造力作用下地层形成裂缝,生气层中的天然气可以沿裂缝向没有天然气的储集层扩散,直到浓度一样为止。

4. 水动力

水动力是由于水流而带动油气流动的力。如图1-4所示,在供

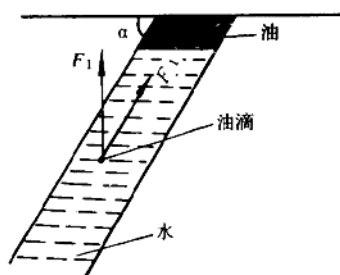


图1-3 油气在倾斜地层中的上浮

F_1 —运移力; F —上浮力;
 α —倾角

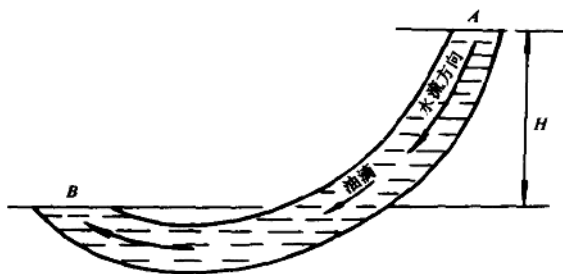


图 1-4 水动力示意图

水区 A 和泄水区 B 之间有压头 H ，水从 A 流向 B 时带动油气一起运动；地层渗透性越好，压头 H 越大，运动速度越快。

促使油气运移的力是多方面的，但在运移的不同阶段起主要作用的力不同。当油气由生油层向储油层运移时，以静压力、扩散作用为主；在储油层内部运移时，以水动力、浮力为主。

(三) 油气聚积

1. 油气聚积的条件

运移到储集层中的油气还不能肯定形成油气藏，例如储集层不封闭油气就会跑掉。油气聚积是油气在运移过程中遇到遮挡物而集中起来的现象。能够使油气聚积的条件有三个，即要有储集层、盖层和遮挡物。

(1) 储集层 是具有一定的孔隙度和渗透率的地层，油气储在孔隙中，在压差作用下可以流动。