

石油工人自学丛书



石油气加工操作技术

京)

石油工业出版社

PDF

出版说明

油田工人自学丛书是为各油田刚从事采油工作的青年工人熟悉和掌握本职专业技能的普及性技术读物。为了适应各种工人不同的学习重点，该丛书将根据采油专业分工情况分册出版。丛书共包括：采油（上、中、下）三册，修井（上、下）二册，抽油井示功图的测试和分析、试井、油层压裂、油气井酸化、原油脱水、天然气（伴生气）加工、原油矿场集输、输油管道阴极保护等分册。

这套丛书一部分是我社以前出版的各工人读本经修订而成；一部分是新组织编写的。今后还将根据需要陆续组织编写采油专业其它技术读物，以满足广大采油工人更广泛的学习要求。

前 言

本书是根据石油部1983年6月成都会议拟定的《天然气加工工艺教学计划与教学大纲草案》编写的，供油田上天然气加工工艺操作工人学习使用。

本书根据编者的实践经验和收集的资料，试图从石油伴生气的特点出发，对天然气加工中不同工艺过程的工艺原理、工艺流程、工艺操作、主要的工艺设备和简单的工艺计算以及安全技术等，进行了深入浅出的阐述，同时还介绍了国内外天然气加工的新工艺、新技术。

本书由大庆天然气公司总工程师（高级工程师）王乐天同志和副经理郭毅然同志审阅并提出了宝贵意见，在此表示衷心感谢。

天然气加工工业在我国是个新兴的行业，只是在最近几年才得以迅速发展，无论是天然气加工理论还是加工技术都正在日臻成熟，目前，尤其是系统的资料还比较缺乏，编者经验有限、学识浅陋，因此书中谬误或不妥之处在所难免，敬希读者惠于指正。

编 者

1985年5月28日

目 录

绪论	1
第一章 天然气的性质	9
§ 1-1 基本概念	9
一、系统与环境	9
二、状态与状态参数及其分类	10
三、状态变化与过程	11
四、封闭系统与间歇过程	12
五、敞开系统与连续过程	12
六、始态、终态及循环过程	13
§ 1-2 气体的基本状态参数	13
一、压力	13
二、温度	16
三、体积与比容	17
四、天然气的标准状态与基准状态	18
§ 1-3 理想气体的实验定律	18
一、理想气体与真实气体	18
二、摩尔与摩尔数	19
三、理想气体的实验定律	20
四、理想气体状态方程式	22
§ 1-4 理想气体混合物	27
一、气体混合物	27
二、混合气体的组成及其表示方法	27
三、混合气体的平均分子量	29
四、道尔顿分压定律	29
五、阿未格分容定律	30

六、 r_i 、 g_i 及 N_i 之间的关系	31
七、混合气体的气体常数 $R_{混}$	32
§ 1-5 加压后天然气的 P 、 V 、 T 关系	33
一、理想气体与真实气体的偏差	33
二、真实气体状态方程——理想气体状态方程的修正	34
三、天然气的临界状态与临界参数	34
四、天然气的对比参数与对应关系	42
五、天然气压缩因子的求取	43
§ 1-6 天然气的比重、重度、密度和粘度	49
一、密度	49
二、重度	49
三、比重	50
四、粘度	51
§ 1-7 天然气的含水量与水化物	55
一、天然气中水的来源	55
二、天然气含水的危害	56
三、天然气的含水量	56
四、天然气中的水化物	59
§ 1-8 天然气的可燃性与易爆性	63
一、热值	63
二、天然气的易爆性与爆炸极限	64
§ 1-9 天然气的比热	66
一、比热及其表示方法	66
二、各种比热间的关系	67
三、平均比热	68
四、天然气比热计算	68
§ 1-10 天然气的节流效应	70
一、节流现象	70
二、节流后温度求算	71

三、节流效应在天然气加工中的应用及危害	71
思考题	74
习题	76
第二章 天然气的矿场集输	79
§ 2-1 天然气矿场集输流程及其选择	79
一、矿场集输的任务	79
二、矿场集输的工艺流程	79
三、矿场集输流程的选择	88
§ 2-2 天然气矿场集输管网	90
一、集输气管线的分类	93
二、矿场集输管网的类型	90
三、集气管网的特点	93
§ 2-3 集气管网压降与压力调节	94
一、降压与调节方式	94
二、自力式调节器	96
三、自力式调节器设备选用和计算	98
四、安装、操作与故障排除	102
§ 2-4 天然气的预处理	105
一、天然气中机械杂质的清除	105
二、防止和解除水化物的方法简介	108
三、加热法工艺计算	110
四、注防冻剂的工艺计算	117
五、排水器	122
§ 2-5 通球清管工艺	125
一、通球清管的典型流程	125
二、清管通球工艺的设备	127
三、通球故障及处理	129
四、通球工艺参数的计算	130
§ 2-6 低压气集输	133
一、利用滑片压缩机进行低压集气	133

二、利用小型活塞压缩机进行低压集气	136
三、利用燃气引擎压缩机进行低压集气	138
§ 2-7 原油稳定工艺	141
一、原油稳定的目的	141
二、原油稳定原理和方法	142
三、典型流程	144
四、原油稳定的操作	146
五、收率计算	150
§ 2-8 油罐气回收	153
一、典型流程	153
二、国内实验装置介绍	155
§ 2-9 天然气注采工艺	157
一、地下储气库的选择	158
二、气井设备	159
三、注采工艺流程	159
四、注采气管理	161
思考题	161
第三章 输气管道计算	163
§ 3-1 输气用管	163
一、输气管的类型和材质	163
二、输气管道的规格	163
§ 3-2 输气管道的强度计算	163
§ 3-3 简单输气管的流量计算	171
一、简单输气管的流量计算	171
二、简单输气管路流量公式的分析	172
三、输气管道的近似计算	173
四、地形起伏地区输气管道的流量计算	173
五、低压输气管流量计算	176
§ 3-4 输气管中压力及温度的计算	177
一、输气管中压力的变化规律	177

二、输气管中的平均压力	179
三、输气管温度	180
§ 3-5 当量输气管	181
一、气阻的概念	181
二、当量输气管	182
§ 3-6 串联输气干线	185
一、串联输气干线的流量计算公式	185
二、两级串联变径管的计算	186
三、为增大原输气量而改建变径管的计算	187
§ 3-7 并联输气干线	188
一、并联输气干线的计算	188
二、具有平行副管的输气干线计算	189
三、为增加原输气量而增设平行副管的计算	190
§ 3-8 沿线有气体流入或流出的输气干线的计算	192
一、同径分支输气干线的计算	192
二、变径分支干线的计算	194
习题	198
第四章 天然气净化	201
§ 4-1 天然气净化概述	201
一、天然气净化目的与内容	201
二、对天然气质量的要求	202
三、我国天然气净化概况	203
§ 4-2 天然气中凝析油的脱除	203
一、压缩法	204
二、吸收法	205
三、吸附法	206
四、低温分离法	207
五、凝析油稳定	207
§ 4-3 天然气脱硫	208
一、醇胺法	209

二、物理吸收法	210
三、直接转化法	211
四、脱硫方法的选择	213
§ 4-4 液体吸收法脱水	214
一、吸收剂	214
二、甘醇脱水原理	221
三、典型流程	222
四、流程分析与比较	227
五、操作要点	230
§ 4-5 固体吸附脱水法	231
一、吸附剂	231
二、典型流程	233
三、操作要点	234
§ 4-6 低温分离脱水	235
一、低温分离脱水原理	235
二、典型流程	236
三、操作要点及经济技术比较	242
§ 4-7 氨制冷工艺	247
一、制冷剂——氨	247
二、氨制冷原理	247
三、典型流程	249
四、氨制冷的操作与控制	251
§ 4-8 脱水装置的主要设备	253
一、塔	253
二、换热器	258
§ 4-9 脱水装置的工艺计算	261
一、已知条件	262
二、露点温度的确定	262
三、从天然气中脱出的水量	262
四、吸收塔的计算	262

五、防冻剂浓度的确定	267
六、水分馏塔的计算	269
§ 4-10 天然气脱水装置的试运	276
一、试运目的	276
二、试运前的准备工作	276
三、吹净工作	277
四、强度试压与气密试验	278
五、机泵单体试车	279
六、真空试验	279
七、空气置换	280
八、联动试车	281
思考题	281
第五章 天然气分离	283
§ 5-1 吸附分离法	283
一、基本概念	283
二、吸附分离法基本原理	284
三、吸附分离法的典型流程	285
四、吸附分离法的操作	286
§ 5-2 油吸收法	287
一、吸收机理	287
二、吸收剂及其选择	290
三、典型流程	293
四、主要参数的选择	301
五、冷冻吸收装置的操作问题	304
§ 5-3 阶式制冷深冷分离	305
一、复迭制冷循环	306
二、制冷剂及其选择	306
三、典型流程	308
§ 5-4 膨胀机深冷分离	310
一、膨胀机制冷分离原理	311

二、典型流程	311
三、操作问题	318
§ 5-5 透平膨胀机	319
一、透平膨胀机的分类	319
二、透平膨胀机的结构	321
三、膨胀机的降温原理	322
四、气体在膨胀机中流动过程概述	326
五、膨胀机性能计算	327
六、膨胀机结构中的几个问题	328
§ 5-6 天然气分离装置主要设备	333
一、脱甲烷塔	333
二、冷箱	334
思考题	337
第六章 安全技术	339
§ 6-1 生产中的安全	339
一、安全教育	339
二、装置开工安全注意事项	340
三、装置正常生产中安全注意事项	341
四、装置停工检修时的安全工作	341
§ 6-2 设备的维护检修	345
一、基本要求	345
二、加热炉、塔、换热器、罐、泵等设备的维护检修	346
三、锅炉维护检修	351
四、压力容器和安全阀检修	353
§ 6-3 安全防火制度	355
一、厂区防火规定	355
二、厂区用火管理制度	356
三、生产装置防火、防爆规定	357
四、罐区防火	358
五、消防器材管理	359

六、安全灭火	359
七、输气管线安全规定	360
§ 6-4 防毒	362
一、中毒与救护	362
二、防毒规定	364
§ 6-5 消防器具与防毒用具	365
一、消防水带和水枪	365
二、消防斧、铁铤、钩杆	365
三、手提式泡沫灭火机和泡沫灭火车	365
四、四氯化碳灭火机	368
五、二氧化碳灭火机	369
六、干粉灭火机	370
七、过滤式防毒面具	371
八、隔离式防毒面具	372
附表	373

绪 论

一、天然气及其组成

(一)天然气的概念

天然气的含义比较广泛，它包括油、气田开采的天然气，煤矿的瓦斯气，地下浅层的沼气等。一句话：天然气是指自然生成的、含甲烷等碳氢化合物的可燃气体。

本书今后所讲的天然气是指在油、气田开采出来的天然气。

(二)天然气的成分

我们知道，石油和天然气是以甲烷为主体的碳氢化合物的混合物。石油与天然气中的碳氢化合物基本属于烷烃、环烷烃和芳烃。 $C_1 \sim C_4$ 组分是气态， $C_5 \sim C_{10}$ 组分是液态， C_{10} 以上组分为固态悬浮物，如石蜡等。

天然气以甲烷为主，还有乙、丙、丁烷，及少量的、数量不等的氮气、二氧化碳气、水蒸汽、硫化氢气以及微量的惰性气体氦、氩、氙等。

天然气的成分不是固定不变的，产地不同往往差别很大，甚至同一油田或气田，气体成分也经常变化。

(三)天然气的分类

天然气的分类到目前为止尚无统一的方法，各国都有自己的习惯分法。比较完整的分类资料是这样的：

按产状可分为游离气，即纯气田气、溶解气，即油溶气及水溶气、固态水合物气及致密岩石中的气（即致密砂岩中

的气、黑色页岩中的气及煤层中的气)。

按组分可分为湿气或富气，即 C_1 组分含量在 $101 \sim 200 \text{g/m}^3$ 之间；贫气，即 C_1 组分含量在 $11 \sim 100 \text{g/m}^3$ 之间；干气，即 C_1 组分含量在 10g/m^3 以下。

按经济价值可分为常规天然气和非常规天然气。常规天然气是指在目前经济、技术条件下可以进行工业开采的天然气，主要是油田伴生气和气田气。非常规天然气是指在目前经济、技术条件下尚未投入工业开采的气，主要指水溶气、致密岩石中的气、水合物气和沼气。

按来源可分为与油有关的气，包括油溶气、气顶气、油热解气和与煤有关的气；天然沼气，即微生物作用产生的气；深源气是指来自地幔挥发性物质的气；化石气是指地球形成时残留在地壳中的气，如深海海底的水合物气矿。

我国天然气的习惯分类方法，一是按天然气来源分为气田气、石油伴生气和凝析气。由气田开采出来的天然气叫气田气；与原油共生，油田开采后，由石油中分离出的天然气（包括气顶气）叫石油伴生气也叫油田气或油田伴生气；凝析气是气田气的一种，只是含有相当数量的 $C_2 \sim C_4$ 以上组分。

二是按甲烷含量分，甲烷含量在90%以上的天然气称干气也叫贫气；甲烷含量在90%以下且有一定数量的乙、丙、丁烷及少量 $C_2 \sim C_4$ 组分的天然气称湿气，也叫富气。一般说来，气田气都是干气或贫气。油田上，习惯把脱水前的天然气称湿气或富气，脱水后的天然气称干气或贫气。

我国还规定天然气含硫量在 1g/m^3 以上的称酸性气，低于 1g/m^3 的天然气称为净化气。

大部分发达资本主义国家是根据天然气中含油量的多少

来分类的。 C_5 以上组分在常温、常压下是液体，凝析分离后称天然气油。天然气中含油量大于 $100\text{g}/\text{m}^3$ 时称湿气，小于 $100\text{g}/\text{m}^3$ 时称干气。

总之，天然气分类方法在世界或在我国都没有统一。

二、天然气在国民经济中的作用

石油与天然气是一对孪生兄弟。严格说来，天然气也是石油，是石油的气态存在。石油历来被人们称为“工业的血液”、“黑色的金子”和“发动机的粮食”。科学家们也曾惋惜地说过：“烧天然气等于烧纸币”，这是毫不夸张的！石油与天然气是重要的能源资源和工业原料，广泛地应用于工农业、军事和人民生活的各个领域。

（一）优质的动力燃料

用天然气作燃料比其它燃料具有更多的优点：容易燃烧、清洁无灰渣、发热量大，热值达 $9000\sim 10000\text{kcal}/\text{Nm}^3$ ；用天然气加热锅炉发生蒸气投资低、热效率高，能更容易地应付突然的负荷变化；用天然气代替焦炭，可提高劳动生产率30%；天然气燃烧的副产物不污染大气或与其接触的产品；天然气还是燃气透平机和内燃机的理想燃料；当然，作民用燃料是再理想不过的了。然而天然气最主要的用途还是化工上的应用。

（二）重要的化工原料

石油化工工业是五十年代兴起的。石油、天然气是十分重要的基本有机化工原料。从天然气中分离出来和炼厂气中回收和分离的甲、乙、丙、丁烷，乙烯、丙烯、丁二烯以及苯、甲苯、二甲苯、乙炔和萘是最基本的化工原料，以这些基本有机化工原料为基础，可以生产出五千多种化工产品，其中主要有：

1. 合成纤维

如聚酰胺纤维——锦纶，聚酯纤维——涤纶，聚丙烯腈纤维——腈纶，聚丙烯纤维——丙纶，聚氯乙烯纤维——氯纶，聚乙烯纤维——维尼纶等等。这些结实耐磨、彩色艳丽、花样繁多、为人们所喜爱的纺织品和衣料，哪一样也离不开天然气。合成纤维不仅是民用或军用的纺织材料，它在国防工业、尖端科学方面也有着广泛的用途。例如高空降落伞、飞行服以及飞机、导弹和雷达上的某些绝缘材料、原子能工业用的防护服等。

2. 合成橡胶

如乙苯橡胶、顺丁橡胶、异戊橡胶、氯丁橡胶、丁苯橡胶、丁腈橡胶、乙丙橡胶等，不但是工农业生产所不可缺少的，而且某些方面具有比天然橡胶更多的优点和用途。合成橡胶的原料也是天然气。

3. 合成塑料

品种浩繁的塑料制品是我们日常生活中大量遇到的，在工业上也会经常碰到许多塑料的轴承、齿轮及其他零部件，这些塑料零部件代替了原来的金属制件。塑料还广泛应用到医疗卫生部门，制成各种医疗器材和医疗器械。此外，在农业、国防、机电和各种尖端科学中，塑料作为一种新材料为人们所重视。因为品种浩繁，这里不一一列举。

4. 化肥

发展化肥生产是增产粮食的重要途径之一，化学肥料的肥效快而高，有利于土壤改造，用起来方便省工，深受农民的欢迎。以天然气为原料生产合成氨，进一步生产出硝酸铵、硫酸铵、尿素及碳酸铵等氮肥。

5. 其他

用石油和天然气做原料，还可以生产电影胶片、洗涤剂、肥皂、农药、炸药、人造革、糖精等大量产品，还可以提取蛋白，不久的将来，可望从石油及天然气中制取味美可口的人类营养。

由于天然气的化工产品多，用途广，且成本低、产值高、发展快的优点，天然气的加工利用已经为我国的社会主义建设做出了巨大贡献。

三、我国天然气加工的发展概况

我国的天然气开发和利用，远在两千二百年前的战国时代就已经开始，秦始皇时，四川临邛县（今邛崃县）就开始利用天然气熬制盐巴，汉代已能初步进行天然气的储存与运输。到了唐代，在钻井过程中开始使用立轴滚筒；从宋朝开始，钻井技术有了新的发展，普遍废弃了大口浅井，并以畜力代替人力；到明代，顿钻井技术已经发展到比较完善的程度。明清时期，自流井气日就已开发。十二世纪中国的钻井技术传到西方各国，直到1820年左右，国外才开始开发和利用天然气。

我们伟大祖国的地下，蕴藏着丰富的天然气资源。但是在解放前一百多年间，由于帝国主义侵略与清朝和国民党反动政府的腐败，天然气开采几乎等于零。

解放前，在国民党反动派统治时期，旧资源委员会仅有从国外买回的两部钻机，依靠用高工资聘请的外国专家，在四川共钻了五口井，报废三口，钻井深度1422米，仅在巴县和隆昌的两口井获得少量的天然气。

解放以后，在党的领导下，我国天然气工业获得了新生，四川天然气得到了突飞猛进的发展。到1979年为止，年产天然气量已达527163万立方米。