

采气工安全操作读本

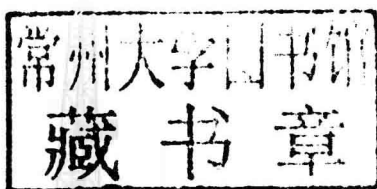
CAIQIGONG ANQUANCAOZUO DUBEN

西南油气田公司◎编著

采气工安全操作读本

CAIQIGONG ANQUANCAOZUO DUBEN

西南油气田公司◎编著



图书在版编目 (CIP) 数据

采气工安全操作读本 / 西南油气田公司编著. —北京: 中国工人出版社, 2013.12
ISBN 978-7-5008-5566-8

I. ①采… II. ①西… III. ①采气—安全技术 IV. ①TE37

中国版本图书馆CIP数据核字 (2013) 第169994号

采气工安全操作读本

出 版 人 李庆堂
责任编辑 董 虹 李 倩
责任校对 张圣南
责任印制 栾征宇
出版发行 中国工人出版社
地 址 北京市东城区鼓楼外大街45号 邮编: 100120
网 址 <http://www.wp-china.com>
电 话 (010) 62350006 (总编室) (010) 62005039 (营销出版部)
(010) 62379038 (社科文艺分社)
发行热线 (010) 62005049 (010) 62005042 (传真)
经 销 各地书店
印 刷 北京中石油彩色印刷有限责任公司
开 本 710毫米×1000毫米 1/16
印 张 22
字 数 350千字
版 次 2013年12月第1版 2013年12月第1次印刷
定 价 45.00元

本书如有破损、缺页、装订错误, 请与本社营销出版部联系更换
版权所有 侵权必究

编 委 会

主 任：李鹭光 王广昀

编委会：熊建嘉 师春元 廖仕孟 钱治家 谢 军

主 编：廖仕孟

副主编：王以朗

编写组：朱 进 蒋长春 谢代安 文 明 张 燕 黄 全

罗 伟 龚建华 李显文 周建禄 陈晓梅 杨惠明

夏仲华 徐思勇 林 勇 屈 彦 李 明 欧阳沐鲲

闪耀着蓝色火焰的天然气被称为“蓝金”。

作为 21 世纪重要的接替能源，天然气被视为清洁能源、高效能源。发展天然气工业已成为世界潮流。

中国的天然气资源以低渗透、低丰度为主，开采难度大，单井产量低。这些气田或位于非常偏远的地方，或储藏在海底深处，或所处地质构造极为复杂。因此，天然气开采的难度可以用“从石头缝里抠气”来形容。

同时，因为天然气属于易燃、易爆或含有毒有害气体，比空气轻，开采输送过程中因高压、设备腐蚀等原因极易发生泄漏，导致中毒、火灾或爆炸，给企业安全生产和人民生命财产带来极大威胁。

如何减少和控制天然气开采中的危险、有害因素，降低天然气开采的安全风险，预防事故的发生，保护企业的财产安全及人员的健康和生命安全？这就是《采气工安全操作读本》编写者希望告诉读者的。

作为中国的几大主要天然气开采区——塔里木、长庆、西南等气田，其天然气中有毒有害的化学物质含量较高，开采过程中涉及安全、技术等风险非常大。为了寻找可开采的工业化天然气藏，中国天然气开采者用科技创新精神降低勘探风险，以艰苦奋斗精神寻找油气资源。几万采气大军勇闯禁区，挑战极限，顽强攻坚，通过多年的艰苦求索，逐步形成了一整套独具特色、适应复杂地质条件的天然气勘探开发工艺技术，并以其雄厚的科技实力享誉世界。



众所周知，天然气生产是高风险行业，具有易燃易爆、有毒有害及高压等特性，对员工、企业和周边社会构成威胁。员工具有良好的安全行为是确保企业安全发展的必要条件，因此，强化员工安全意识、培养员工安全技能、养成员工的安全习惯在天然气安全生产中起着举足轻重的作用。

为进一步提高采气工安全素质，规范采气工安全操作，纠正采气生产常见习惯性违章，编写者历时一年多时间，克服重重困难，收集和整理了数百万字资料，几易其稿，撰写了这部集工具性、知识性于一体，图文并茂、实用可读，全景式反映石油天然气开采行业采气员工安全生产的基础知识读本。

该书围绕天然气生产的主要风险，以危害识别和风险控制为主线，密切结合采气岗位实际，明确了各类采气作业的风险点、安全控制要点和采气作业安全要求，对石油天然气开采行业采气员工安全生产具有重要的现实意义和深远的历史意义。

这本书，是石油天然气开采行业全体同仁对采气安全操作和专业技术进行总结、思考、探索的思想结晶。希望本书的出版，对企业提升采气员工安全操作水平，夯实企业安全发展基础提供借鉴，同时也为广大采气员工提供安全操作行之有效的方法及工具。

目录

第一章 采气生产基础知识必读	001
第一节 天然气的主要特征	002
第二节 天然气的开采工艺	009
第三节 天然气的开采装备	041
延伸阅读：未来天然气分布及开采特点	112
第二章 采气工安全生产必知	115
第一节 自然环境中危险有害因素分析	116
第二节 天然气开采可能遇到的安全风险	120
第三节 天然气开采工艺介质安全特征	127
第四节 天然气开采的相关安全要求	135
延伸阅读 1：天然气生产场站属地管理	137
延伸阅读 2：现场管理法	140
第三章 采气工安全生产必会	145
第一节 天然气开采通用工作安全操作	146
第二节 天然气开采主要工作安全操作	173
延伸阅读：墨菲定律	249



第四章 采气工应急处置必懂	251
第一节 设备设施应急处置	252
第二节 人员伤害应急处置	271
第三节 个人防护装备与消防器材	287
延伸阅读：安全管理的四个阶段	319
第五章 采气工习惯违章必弃	323
第一节 天然气开采员工必须制止的 7 种违章行为	324
第二节 天然气开采员工必须抛弃的 7 种不良习惯	326
第三节 天然气开采行业不安全行为	329
延伸阅读：杜邦十年造成伤害事故的致因统计	332
第六章 采气生产事故案例必享	335
一、硫化氢中毒事故案例	336
二、火灾爆炸事故案例	336
三、物体打击案例	337
四、触电事故案例	338
五、高处坠落事故案例	338
六、灼烫与冻伤事故案例	339
七、窒息事故案例	339
延伸阅读：国际天然气重大事故分析	340
后 记	343

第一章

采气生产基础知识必读

天然气是指天然蕴藏于地层中的烃类和非烃类气体的混合物，主要成分是甲烷（ CH_4 ），具有易燃易爆的特性。天然气中常含有硫化氢、二氧化碳等有毒的腐蚀性气体。采气作为气田开发的重要组成部分，是利用一定的井下和地面工艺设备及其技术措施，将埋藏于地层的天然气采出到地面，通过净化处理等措施加以利用的过程。



第一节 天然气的主要特征

一、天然气的定义

从广义的定义来说,天然气是指自然界中天然存在的一切气体,包括大气圈、水圈和岩石圈中各种自然过程形成的气体。而人们通常所说的天然气,是指自然生成在一定压力、温度下蕴藏于地下岩层孔隙或裂缝中的以碳氢化合物为主的混合气体。天然气成分为甲烷及少量乙烷、丙烷、丁烷、戊烷等烃类气体,并可能含有氮气、氢气、二氧化碳、硫化氢及水蒸气等非烃类气体及少量氦、氩等惰性气体;天然气中还可能含有硫化氢、以胶溶态粒子形式存在于气相中的沥青质;天然气中还可能微含水银。在石油工业范围内,天然气通常指从气田采出的气及在油田采油过程中同时采出的伴生气(参见国际标准化组织 ISO14532: 2001)。

二、天然气的组成

为了了解天然气的组成,可以对天然气组分作全分析,目前国内外采用的分析仪器为气相色谱仪。表示天然气组成的方法有3种:摩尔分数、体积分数、质量分数。

(一) 摩尔分数

这是目前最常用的一种天然气组成的表示方法,常用符号 y_i 表示气体中组分 i 的摩尔分数,其表达式为:

$$y_i = \frac{n_i}{\sum_{i=1}^n n_i}$$

式中 n_i ——气体组分 i 的摩尔数；

$\sum_{i=1}^n n_i$ ——气体总摩尔数， n 为气体组分总数。

(二) 体积分数

也常用符号 y_i 表示：

$$y_i = \frac{V_i}{\sum_{i=1}^n V_i}$$

式中 V_i ——气体组分 i 的体积；

$\sum_{i=1}^n V_i$ ——气体总体积。

当天然气满足阿佛加德罗定律（体积相同、压力温度条件相同的各种气体具有相同数量分子，1g 物质的分子数 $6.02 \times 10^{23} \rightarrow 1$ 摩尔）时，天然气中任何组分的体积分数在数值上等于该组分的摩尔分数。1 摩尔气体在 $P_{sc}=0.101325\text{MPa}$ 、 $T_{sc}=273\text{K}$ 、 $z_{sc}=1$ 下的体积均为 $22.4 \times 10^{-3}\text{m}^3/\text{mol}$ 。

(三) 质量分数

质量分数用符号 w_i 表示为：

$$w_i = \frac{m_i}{\sum_{i=1}^n m_i}$$

式中 m_i ——气体组分 i 的质量；

$\sum_{i=1}^n m_i$ ——气体总质量。

因为 $m_i / M_i = n_i$ ，这个公式是将质量分数换算为摩尔分数。即：

$$y_i = \frac{m_i / M_i}{\sum_{i=1}^n m_i / M_i}$$

式中 M_i ——气体组分 i 的相对分子质量。



三、天然气的分类

天然气按组分划分：干气、湿气、凝析气；烃类气、非烃类气；贫气、富气。

天然气按来源划分：有机来源气和无机来源气。

天然气按有机母质类型划分：腐殖型气（煤型气）、腐泥型气（油型气）、腐泥腐殖型气（陆源有机气）。

天然气按有机演化阶段划分：生物气、生物-热催化过渡带气、热解气（热催化、热裂介）、高温热裂解气。

天然气按生储盖组合划分：自生自储、古生新储和新生古储等类型。

天然气按相态划分（物质气、液、固三态及其相互的转换称相态）：游离气、溶解气、吸附气、固体气（天然气水合物）。

天然气凝析液（NGL）系从气田气、油田伴生气、凝析气田气中通过冷凝而回收得到的烃类液体，即 C_2^+ 。国内从原油角度将 NGL 称轻烃，它包含：乙烷、液化石油气（ C_3+C_4 , LPG）和稳定轻烃（ C_5^+ ，也称稳定凝析油、轻油、天然汽油）。

天然气的分类方法很多，现根据气藏工程需要，对天然气的分类方法作以下简要介绍。

（一）干气和湿气

天然气按照烃类组分可分为干气和湿气。

干气是指在地层中呈气态，按 C_5 界定法，在标准状态下干气是指 1m^3 井口流出物中 C_5 以上液烃含量低于 13.5cm^3 的天然气。

湿气是指在地层中呈气态，按 C_5 界定法，在标准状态下湿气是指 1m^3 井口流出物中 C_5 以上液烃含量高于 13.5cm^3 的天然气。

（二）酸性天然气和净化天然气

按酸性气体（ CO_2 和硫化物）含量多少，天然气可分为酸性天然气和洁气。

酸性天然气是指含有显著量的硫化物和 CO_2 等酸性气体，这类气体必须经

处理后才能达到管输标准或商品气气质指标。洁气是指含硫化物和 CO_2 甚微或根本不含的气体，它不需净化就可外输和利用。

由此可见，酸性天然气和洁气的划分采取了模糊的判据，而具体的数值指标并无统一的标准，因此把净化后达到管输要求的天然气称为净化气。

（三）气田气、石油伴生气、凝析气田气

天然气主要存在于油田气、气田气、煤层气、泥火山气和生物生成气中，也有少量出于煤层。天然气又可分为伴生气和非伴生气两种。伴随原油共生，与原油同时被采出的油田气叫伴生气；非伴生气包括纯气田天然气和凝析气田天然气两种，在地层中都以气态存在。凝析气田天然气从地层流出井口后，随着压力的下降和温度的升高，分离为气液两相，气相是凝析气田天然气，液相是凝析液，叫凝析油。

四、天然气的主要物理—化学性质

对于已知化学分子式的纯物质，可根据分子式得知其相对分子量（又称摩尔质量）。但天然气是多组分组成的混合物气体，不可能写出一个分子式，也就不能像纯物质那样由分子式算出其恒定分子质量。天然气的相对分子质量在数值上等于在标准状态下 1mol 天然气的质量。显然，天然气的相对分子质量是一种人们假想的相对分子质量，故称为视相对分子质量。同时，由于天然气的相对分子质量随组成的不同而变化，没有一个恒定的数值，因此又称为“平均相对分子质量”。通常，多将上述数值简称为天然气的相对分子质量。

（一）天然气相对分子质量

相对分子质量计算常用的方法是当已知天然气中各组分 i 的摩尔组成 y_i 和相对分子量 M_i 后，天然气的相对分子质量按加合法则可由下式求得：

$$M = \sum_{i=1}^n (y_i M_i)$$

式中 M ——天然气相对分子质量；



y_i ——天然气组分 i 的摩尔分数;

n ——组分数;

M_i ——组分 i 的分子量。

(二) 天然气密度

天然气的密度定义为单位体积天然气的质量。在理想条件下, 可用下式表示:

$$\rho_g = \frac{m}{V} = \frac{pM}{RT}$$

式中 ρ_g ——气体密度, kg/m^3 ;

m ——气体质量, kg ;

V ——气体体积, m^3 ;

P ——绝对压力, MPa ;

T ——绝对温度, K ;

M ——摩尔质量, kg/kmol ;

R ——气体常数, $0.008471 \frac{\text{MPa} \cdot \text{m}^3}{\text{kmol} \cdot \text{K}}$ 。

对于理想气体混合物, 用混合气体的视相对分子质量 MW_g 代替单组分气体的相对分子质量 M , 得到天然气的密度方程为:

$$\rho_g = \frac{PMW_g}{RT}$$

(三) 天然气相对密度

天然气相对密度定义为: 在相同温度、压力下, 天然气的密度与干燥空气密度之比。相对密度是一无量纲量, 常用符号 γ_g 表示, 则:

$$\gamma_g = \rho_g / \rho_a$$

式中 ρ_g ——天然气密度;

ρ_a ——干气密度。

因为空气的分子量为 28.96, 既:

$$\gamma_g = MW_g / 28.96$$

一般天然气的相对密度在 0.5 ~ 0.7 之间,个别含重烃多的油田气或其他非烃类组分多的天然气相对密度可能大于 1。

(四) 天然气的粘度

粘度是流体抵抗剪切作用能力的一种量度,一般分为动力粘度和运动粘度。

天然气在高压下的黏度不同于在低压下的粘度。在接近大气压时,天然气的粘度几乎与压力无关,它随温度的升高而增大。在高压下,如同液体,它将随压力的增加而增加,随温度的增加而减小,同时随分子量的增加而增加。

(五) 天然气中水蒸气含量

天然气中水蒸气含量的确定方法有实验测定法、查图版法和公式计算法。大多数气田属气—水两相系统。天然气在地下长期与水接触过程中,一部分天然气溶解在水中,同时一部分水蒸气进入天然气中。因此,从井内采出的天然气中或多或少都含有水蒸气。

(六) 天然气的溶解度

在一定压力下,单位体积石油(地面原油)或水中所溶解的天然气的量(标准状态下)称为天然气的溶解度。溶解度主要取决于温度和压力,同时也与油、水的性质和天然气的组分有关。烃类气体在水中的溶解度随压力增加而迅速增加,但随着水中含气饱和度升高,压力对增加气体溶解度的作用会逐渐减小;随温度的升高而降低。

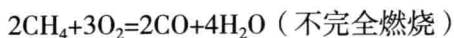
天然气在水中的溶解度比油在水中的溶解度大得多。由于天然气在地下水和原油中的溶解作用,在某些条件下,可形成水溶性气藏和油溶气。

(七) 天然气的可燃性

天然气的主要成分为甲烷,甲烷是无色、无味的气体,比空气轻,燃烧时产生明亮的淡蓝色火焰。完全燃烧时生成二氧化碳和水,同时释放出大量热量。不完全燃烧时,产生的一氧化碳是一种无色、无臭、无刺激性的气体。

天然气燃烧的化学方程式如下:





(八) 天然气的爆炸性

天然气在空气中的含量达到一定比例时，一旦接触到火源，就会发生燃烧甚至爆炸。

爆炸下限：在天然气与空气形成的爆炸性的混合气体中，天然气有一个最低含量，若天然气含量低于此值，就不会爆炸。

爆炸上限：在天然气与空气形成的爆炸性的混合气体中，最高天然气含量为爆炸上限，若天然气含量高于此值，则也不会爆炸。

爆炸上限、爆炸下限之间称爆炸范围或爆炸极限，对天然气来说，常压下爆炸范围为 5% ~ 15% (体积分数)。

压力对爆炸范围是有影响的。当压力低于 50mm 汞柱时，混合气体不会爆炸。随着压力增大，爆炸上限急剧增加，如压力为 15MPa 时，上限可达 58% (体积分数)。压力越高，爆炸范围越大。天然气含量小于 4% (体积分数) 时，不会发生爆炸。

天然气爆炸极限由下式计算：

$$L = \frac{100}{\sum \frac{V_i}{L_i}}$$

式中 L ——爆炸的上限或下限，体积百分数；

L_i ——组分 i 的爆炸上限或下限，体积百分数；

V_i ——组分 i 的体积百分数。

若天然气中含有不可燃组分，则应对爆炸极限进行校正。

第二节 天然气的开采工艺

天然气储集于地下几百米至几千米的油气层中,要把它开采出来,需要在地面和地下油气层之间建立一条油气通道,这条通道就是按一定的井下工艺技术措施要求设计施工完钻、完井并安装有井口装置的天然气气井。安装有井口装置的天然气气井和地面工艺设备技术措施共同构成采气生产工艺。其经节流、降压、加热、分离(高压天然气)或经分离、增压等预处理(低压天然气),通过计量后,由集气管线输送至下游进行净化处理,分输给用户,实现天然气作为燃料或化工原料的过程。

一、气井开采工艺

(一) 气井井身结构

气井的井身结构是指气井地下部分的结构,如图 1-2-1。主要包括:下入井内的套管层次、各层套管的尺寸和下深,各层套管相应的钻头尺寸、套管外水泥返高、完井方式、油管尺寸和下入深度等。对于不同区块和不同地层压力系统的井,有不同的井身结构,同时对井身质量的要求也不一样。下面我们以图 1-2-1 所示常用气井井身结构示意图为例,对气井井身结构做一个介绍。井身结构图包括以下几项数据:

1. 海拔数据

地面海拔 464m,补心海拔(钻井时转盘中方补心的海拔):472m。

2. 钻井日期

开钻时间:2004 年 3 月 21 日,完钻时间:2004 年 10 月 28 日。