

高含硫气田职工培训教材

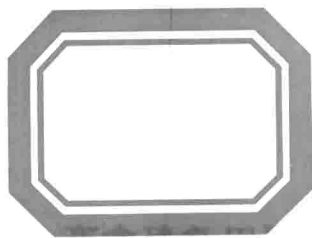
高含硫气田综合计量工

李存峰 编著



中国石化出版社

[HTTP://WWW.SINOPEC-PRESS.COM](http://www.sinopec-press.com)



二培训教材

高含硫气田综合计量工

李存峰 编著

中国石化出版社

图书在版编目 (CIP) 数据

高含硫气田综合计量工/李存峰编著.

—北京: 中国石化出版社, 2013

高含硫气田职工培训教材

ISBN 978 - 7 - 5114 - 2392 - 4

I. ①高… II. ①李… III. ①含硫气体 - 油气田 - 测量
IV. ①TE15

中国版本图书馆 CIP 数据核字 (2013) 第 233515 号

未经本社书面授权, 本书任何部分不得被复制、抄袭, 或者以任何形式或任何方式传播。版权所有, 侵权必究。

中国石化出版社出版发行

地址: 北京市东城区安定门外大街 58 号

邮编: 100011 电话: (010) 84271850

读者服务部电话: (010) 84289974

<http://www.sinopec-press.com>

E-mail: press@sinopec.com

北京柏力行彩印有限公司印刷

全国各地新华书店经销

*

787 × 1092 毫米 16 开本 10.5 印张 259 千字
2013 年 10 月第 1 版 2013 年 10 月第 1 次印刷

定价: 40.00 元

序

2003年，中国石化在四川东北地区发现了迄今为止我国规模最大、丰度最高的特大型整装海相高含硫气田——普光气田。中原油田根据中国石化党组安排，毅然承担起了普光气田开发建设重任，抽调优秀技术管理人员，组织展开了进入新世纪后我国陆上油气田开发建设最大规模的一次“集团军会战”，建成了国内首座百亿立方米级的高含硫气田，并实现了安全平稳运行和科学高效开发。

普光气田主要包括普光主体、大湾区块（大湾气藏、毛坝气藏）、清溪场区块和双庙区块等，位于四川省宣汉县境内，具有高含硫化氢、高压、高产、埋藏深等特点。国内没有同类气田成功开发的经验可供借鉴，开发普光气田面临的是世界级难题，主要表现在三个方面：一是超深高含硫气田储层特征及渗流规律复杂，必须攻克少井高产高效开发的技术难题；二是高含硫化氢天然气腐蚀性极强，普通钢材几小时就会发生应力腐蚀开裂，必须攻克腐蚀防护技术难题；三是硫化氢浓度达1000ppm（ $1\text{ppm} = 1 \times 10^{-6}$ ）就会致人瞬间死亡，普光气田高达150000ppm，必须攻克高含硫气田安全控制难题。

经过近七年艰苦卓绝的探索实践，普光气田开发建设取得了重大突破，攻克了新中国成立以来几代石油人努力探索的高含硫气田安全高效开发技术，实现了普光气田的安全高效开发，创新形成了“特大型超深高含硫气田安全高效开发技术”成果，并在普光气田实现了工业化应用，成为我国天然气工业的一大创举，使我国成为世界上少数几个掌握开发特大型超深高含硫气田核心技术的国家，对国家天然气发展战略产生了重要影响。形成的理论、技术、标准对推动我国乃至世界天然气工业的发展作出了重要贡献。作为普光气田开发建设的实践者，感到由衷的自豪和骄傲。

在普光气田开发实践中，中原油田普光分公司在高含硫气田开发、生产、集输以及HSE管理等方面取得了宝贵的经验，也建立了一系列的生产、技术、操作标准及规范。为了提高开发建设人员技术素质，2007年组织开发系统技术人员编制了高含硫气田职工培训实用教材。根据不断取得的新认识、新经验，先后于2009年、2010年组织进行了修订，在职工培训中发挥了重要作用；2012年组织进行了全面修订完善，形成了系列《高含硫气田职工培训教材》。这套教材是几年来普光气田开发、建设、攻关、探索、实践的总结，是广大技术工作者集体智慧的结晶，具有很强的实践性、实用性和一定的理论性、思想性。该教材的编著和出版，填补了国内高含硫气田职工培训教材的空白，对提高员工理论素养、知识水平和业务能力，进而保障、指导高含硫气田安全高效开发具有重要的意义。

随着气田开发的不断推进、深入，新的技术问题还会不断出现，高含硫气田开发和安全生产运行技术还需要不断完善、丰富，广大技术人员要紧密结合高含硫气田开发的新变化、新进展、新情况，不断探索新规律，不断解决新问题，不断积累新经验，进一步完善教材，丰富内涵，为提升职工整体素质奠定基础，为实现普光气田“安、稳、长、满、优”开发，中原油田持续有效和谐发展，中国石化打造上游“长板”作出新的、更大的贡献。



2013 年 3 月 30 日

前 言

普光气田是我国已发现的最大规模海相整装高含硫气田，在国内没有成功开发同类气田的先例，在世界范围也属于难题。普光气田开发建设以来，中原油田普光分公司作为直接管理者和操作者，逐步积累了一套较为成熟的高含硫气田天然气开发、生产、集输和 HSE 管理等方面的经验。为全面总结高含硫气田开发管理经验，固化、传承、推广好做法，夯实自身培训管理基础，同时也为同类气田开发提供借鉴，根据气田开发生产工作实际，组织开发系统技术人员，以建立中石化高含硫气田职工培训示范教材为目标，在已有自编教材的基础上，编著、修订了系列《高含硫气田职工培训教材》。本套教材涵盖了井控技术、采气工、输气工、化验工、综合计量工、仪表维修工、污水处理工和注水泵工 8 个重点专业，每个专业单独成册，总编杨发平。

《高含硫气田综合计量工》为专业技术培训类教材，侧重于实际操作技能培训，内容与国标、行标、企标要求相一致，符合现行开发政策和现场操作规范，具有较强的适用性、先进性和规范性，可以作为高含硫气田职工培训使用，也可作为高含硫气田开发研究和教学、科研提供参考。本册教材主编李存峰，副主编宁海春、陈合得。内容共分 11 章，涵盖了高含硫气田综合计量工需要在现场掌握的专业基础知识和操作规程，第一至三章由陈超编写，概述、第四至八章由薛超群、谢亚利编写，第九章由李海编写，第十、十一章由黄福庆编写；参加编审的人员有刘方检、赵平、黄华东、刘东辉、何洋等。

在本套教材编著过程中，各级领导给予了高度重视和大力支持，陈惟国同志对做好教材编著工作多次作出指导，刘地渊、熊良淦、张庆生、姜贻伟、陶祖强对教材进行了审定，多位管理专家、技术骨干、技能操作能手为教材的编审贡献了智慧、付出了辛勤劳动，编审工作还得到了中原油田培训中心普光项目部的大力支持，中国石化出版社对教材的编审和出版工作给予了热情帮助，在此一并表示感谢！

高含硫气田开发生产尚处于起步阶段，在管理经验方面还需要不断积累完善，恳请同志们在使用过程中多提宝贵意见，为进一步完善、修订提供借鉴。

目 录

第1章 基础知识	(1)
1.1 石油天然气知识	(1)
1.2 石油产品分类、质量要求及管理	(6)
1.3 计量知识	(8)
1.4 流体力学基本知识	(17)
1.5 传热学基础知识	(20)
1.6 检测仪表基础知识	(21)
本章思考题	(26)
第2章 测量管理体系知识	(29)
2.1 概述	(29)
2.2 我国测量管理体系的认证	(29)
2.3 体系的准备阶段	(31)
2.4 建立和完善计量职能	(32)
2.5 制定测量管理体系目标	(32)
2.6 计量确认过程的实施	(33)
2.7 测量过程控制的实施	(34)
本章思考题	(37)
第3章 计量法律法规	(39)
3.1 名词、术语解释	(39)
3.2 我国计量法制体系的架构	(39)
3.3 计量行政法规	(40)
3.4 计量技术法规	(40)
3.5 计量行政规章	(42)
本章思考题	(42)
第4章 火气系统	(44)
4.1 感温探测器	(44)
4.2 感烟探测器	(45)
4.3 火焰探测器	(47)
4.4 可燃气体探测器	(48)
4.5 硫化氢气体探测器	(51)
4.6 对射式气体探测器	(52)
4.7 防爆手动报警按钮	(54)
4.8 防爆状态指示灯	(56)
本章思考题	(57)

第5章 天然气流量计量	(59)
5.1 概述	(59)
5.2 旋进旋涡流量计	(59)
5.3 涡轮流量计	(66)
5.4 电磁流量计	(70)
5.5 孔板式差压流量计	(78)
5.6 热式质量流量计	(85)
5.7 科氏力质量流量计	(87)
5.8 涡街流量计	(89)
5.9 超声波流量计	(92)
5.10 齿轮流量计	(94)
5.11 流量计附属设备	(95)
本章思考题	(96)
第6章 压力测量	(99)
6.1 普通压力表	(99)
6.2 耐振压力表	(100)
6.3 隔膜压力表	(101)
6.4 隔膜耐振压力表	(102)
6.5 防爆电接点压力表	(103)
6.6 压力变送器	(104)
本章思考题	(105)
第7章 温度测量	(106)
7.1 双金属温度计	(106)
7.2 玻璃管温度计	(107)
7.3 热电阻	(108)
7.4 温度变送器	(109)
本章思考题	(110)
第8章 液位测量	(111)
8.1 磁翻板液位计	(111)
8.2 浮筒液位计	(112)
8.3 差压液位计	(113)
8.4 超声波液位计	(114)
本章思考题	(115)
第9章 计量检定	(116)
9.1 概述	(116)
9.2 对检定人员的要求	(116)
9.3 检定的分类	(116)
9.4 六类计量器具	(117)
9.5 检定的步骤	(117)
9.6 流量计检定	(118)

9.7 原油、成品油计量系统	(118)
9.8 在线检定	(118)
本章思考题	(119)
第 10 章 常用调试工具与软件	(121)
10.1 常用调试工具	(121)
10.2 常用软件	(127)
本章思考题	(134)
第 11 章 HSE 管理与消防	(136)
11.1 石油行业安全管理	(136)
11.2 综合计量职业卫生与职业危害	(148)
11.3 事故及处理	(151)
11.4 消防	(152)
本章思考题	(157)



1.1 石油天然气知识

1.1.1 原油的组成与分类

石油是埋藏在地下的天然矿物质，它是一种由各种烃类组成的黑褐色或暗绿色黏稠液态或半固态的可燃物质，其主要组成成分是烷烃，此外石油中还含硫、氧、氮、磷、钒等元素。地壳上层部分地区有石油储存，不过不同油田的石油成分和外貌可以有很大差别。未经加工的石油称为原油，原油是一种非常重要的能源，我们日常生活中的汽油、柴油、煤油、润滑油、沥青、塑料、纤维等，这些都是从石油中提炼加工出来的。

1. 原油的组成

组成原油的主要元素是碳（C）、氢（H）、硫（S）、氮（N）、氧（O），其中碳（C）的含量占 83.0% ~ 87.0%，氢（H）含量占 11.0% ~ 14.0%，两者合计达 95% 以上。其余的硫（S）含量为 0.05% ~ 8.00%，氮（N）含量为 0.02% ~ 2.00%，氧（O）含量为 0.05% ~ 2.00%，硫（S）、氮（N）、氧（O）及微量元素一般总共不超过 5%。微量元素包括金属元素于非金属元素。在金属元素中重要的是钒（V）、镍（Ni）、铁（Fe）、铜（Cu）、铅（Pb）。在非金属元素中主要有氯（Cl）、硅（Si）、磷（P）、砷（As）等。这些元素虽然含量极微，但对原油的炼制工艺过程影响很大。

2. 原油的分类

天然石油（又称原油）一般是黑绿色、棕色、黑色或浅黄色的油脂状液体。石油的相对密度介于 0.75 ~ 0.98 之间。颜色愈深，相对密度愈大，相对密度大于 0.9 的称为重质油；反之，颜色浅，相对密度小于 0.9 的称为轻质油。石油黏度较大，不溶于水，但溶于有机溶液中。石油具有荧光性，即在紫外光照射下可产生荧光，据此可作为鉴定岩石是否含油的标志。

原油的物理特性和化学组成变化范围很广，根据性质不同可分为不同的类型。

1) 按原油关键馏分特性分类

(1) 石蜡基原油 由轻质原油和一定量的高含蜡和高沸点原油组成。密度通常低于 0.85g/cm^3 ，胶质和沥青质含量低于 10%，除高相对分子质量正构烷烃含量丰富以外，黏度一般都低。芳香烃含量是次要的，而且大部分由单、双芳香族化合物组成，含硫量很低。

(2) 石蜡-环烷基原油 胶质、沥青质含量一般为 8% ~ 15%，芳香烃占 25% ~ 40%，含硫量低，一般为 0 ~ 1%。高于石蜡基原油，为中等值。

(3) 环烷基原油 仅有少数原油属于此类，其正构加异构烷烃低于 20%，是未成熟原油。

(4) 芳香-中间基原油 一般由重质油组成、胶质、沥青质占 10% ~ 30%、芳烃占烃

含量占 40% ~ 70%。密度一般高于 0.85g/cm^3 。含硫量在 1% 以上。

(5) 芳香 - 环烷基原油和芳香 - 沥青基原油 这两类原油油质重而黏, 胶质加沥青质含量常常在 20% 以上, 甚至可高达 60% 以上。

各种类型的原油在自然界中的分布是不均匀的, 丰度最大的类型是石蜡基原油、石蜡环烷基原油和芳香中间基原油。

2) 按密度分类

- (1) 轻质原油 $API^\circ > 34$, $\rho_{20} < 0.852\text{g/cm}^3$;
- (2) 中质原油 $API^\circ = 34 \sim 20$, $\rho_{20} = 0.852 \sim 0.930\text{g/cm}^3$;
- (3) 重质原油 $API^\circ = 20 \sim 10$, $\rho_{20} = 0.931 \sim 0.998\text{g/cm}^3$;
- (4) 特稠原油 (油砂沥青) $API^\circ < 10$, $\rho_{20} > 0.998\text{g/cm}^3$ 。

美国常用 API° 来表示石油的密度, $API^\circ = 141.5 / \text{相对密度} (15.6^\circ\text{C 或 } 60^\circ\text{F}) - 131.5$ 。 API° 愈大, 相对密度愈小。

3) 按硫含量分类

- (1) 低硫原油 硫含量 $< 0.5\%$;
- (2) 含硫原油 硫含量 $= 0.5\% \sim 2\%$;
- (3) 高硫原油 硫含量 $> 2\%$ 。

4) 按酸值分类

- (1) 低酸原油 硫含量 $< 0.5\text{mgKOH/g}$;
- (2) 含酸原油 硫含量 $= 0.5 \sim 1.0\text{mgKOH/g}$;
- (3) 高酸原油 硫含量 $> 1.0\text{mgKOH/g}$ 。

1.1.2 天然气的物理化学性质

1. 天然气的组成

天然气是一种以饱和碳氢化合物为主要成分的混合气体, 对已开采的世界各地的天然气分析化验结果证实, 不同地区、不同类型的天然气, 其所含组分是不同的。下面分别介绍天然气的主要组分。

据有关资料统计, 各类天然气中包含的组分有一百多种, 将这些组分加以归纳, 大致可以分为三大类, 即烃类组分、含硫组分和其他组分。

1) 烃类组分

我们知道, 只有碳和氢两种元素组成的有机化合物, 称为碳氢化合物, 简称烃类化合物。烃类化合物是天然气的主要组分, 大多数天然气中烃类组分含量为 60% ~ 90%。

天然气的烃类组分中, 烷烃的比例最大, 其中最简单的是甲烷, 其分子式为 CH_4 。一般来说, 大多数天然气的甲烷含量都很高, 通常为 70% ~ 90%。甲烷是无色无臭比空气轻的可燃气体, 是优良的气体燃料。甲烷的化学性质相当稳定, 但经过热裂解、水蒸气转化、卤化及硝化等反应后, 可以制造出化肥、塑料、橡胶及人造纤维等, 即甲烷同时又是一种用途广泛的化工原料。甲烷是天然气最主要的组分, 其含量相当高, 故通常将天然气作为甲烷来处理。

天然气中除甲烷组分外, 还有乙烷、丙烷、丁烷 (含正丁烷和异丁烷), 它们在常温常压下都是气体。有些天然气中, 乙烷、丙烷和丁烷的含量较高, 而丙烷、丁烷常可以适当加压或降温而液化, 这就是常说的液化石油气, 简称为液化气。液化气可以进行加工制成许多

化工产品，是很宝贵的化工原料，同时也可以装入煤气罐内，供城镇居民生活中使用。

天然气中常含有一定量的戊烷（碳五）、己烷（碳六）、庚烷（碳七）、辛烷（碳八）、壬烷（碳九）、和癸烷（碳十），这些含碳量较多的烷烃，简称为碳五以上组分，它们在常温常压下是液体，是汽油的主要成分。在天然气开采中，上述组分凝析为液态而被回收，称为凝析油，是一种天然汽油，可以用作汽车的燃料。含碳量更高的烷烃，天然气中的含量极少。不饱和烃烯烃和炔烃，在天然气中的含量很少，大多数天然气中不饱和烃的总含量小于1%。有的天然气中含有少量的环戊烷和环己烷。有的天然气中含有少量的芳香烃，其多数为苯、甲苯和二甲苯，上述组分常常可以和凝析油一起从天然气中分离出来。

2) 含硫组分

天然气中的含硫组分，可分为无机硫化物和有机硫化物两类。

无机硫化物组分，只有硫化氢，分子式为 H_2S 。硫化氢是一种比空气重、可燃、剧毒、无味（低浓度下有臭鸡蛋气味）的气体。硫化氢的水溶液叫硫氢酸，显酸性，故称硫化氢为酸性气体。有水存在的情况下，硫化氢对金属有强烈的腐蚀作用，硫化氢还会使化工生产中常用的催化剂中毒而失去活性（催化能力减弱）。因此，天然气中含有硫化氢时，必须经过脱硫净化处理，才能进行管输和利用。由脱硫工艺可知，在进行天然气脱硫的同时，可回收硫化氢并将它转换为硫黄及进一步加工为硫化工产品。

天然气中有时含有少量的有机硫化物组分，如硫醇、硫醚、二硫醚、二硫化碳、羰基硫、噻吩、硫酚等。有机硫化物对金属的腐蚀不及硫化氢严重，但对化工生产中的催化剂的毒害作用与硫化氢一样，使催化剂失去活性。大多数有机硫有毒、具有臭味、会污染大气，因此，对天然气中的有机硫，也应该通过净化处理，尽量脱除。

3) 其他组分

天然气中，除去烃类和含硫组分之外，相对而言，较为多见的组分，还有二氧化碳及一氧化碳、氧和氮、氢、氦、氟以及水汽。

二氧化碳是无色、无臭、比空气重的不可燃气体，溶于水生成碳酸，故二氧化碳是酸性气体。有水存在时，二氧化碳对金属设备腐蚀严重，通常在天然气脱硫工艺中，将二氧化碳同硫化氢一起尽量脱除。二氧化碳在天然气中的含量，对于个别气井而言，可高达10%以上。一氧化碳在天然气中的含量甚微。

在某些天然气中发现有微量氧，大多数天然气中含有氮，一般情况下，其含量都在10%以下，也有高达50%，甚至更多的。如美国某气田生产的天然气中，氮的含量高达94%。天然气中氢、氦、氩的含量极低，一般都在1%以下。气井采出的天然气，大多含有饱和水蒸气，即水汽，随着天然气的开采输送，天然气温度降低，其中的水汽会不断冷凝为液态水。天然气中凝析出的液态水，会影响管输工作，如果天然气中含有硫化氢和二氧化碳，会腐蚀设备及管道，故对天然气中的饱和水汽应进行脱除处理。

2. 天然气的分类

1) 按照油气藏的特点分类

天然气可分为气田气、油田气和凝析气田气三种。

(1) 气田气 主要含甲烷，含量约为80%~98%；乙烷至丁烷烃类的含量一般不大，戊烷以上重烃以及非烃类气体不含或含量甚微。

(2) 油田气包括溶解气和气顶气，其特征是乙烷和丁烷以上的烃类含量一般较高，其组成同分离出去凝析油以后的凝析气田气相类似。

(3) 从凝析气田采出的天然气,除含有大量的甲烷、乙烷外,还含有一定数量的丙烷、丁烷、戊烷及戊烷以上的烃类,含有汽油和煤油成分。

2) 按照天然气中烃类组分分类

(1) 干气 是指戊烷以上烃类可凝结组分的含量低于 $100\text{g}/\text{m}^3$ 的天然气。干气中的甲烷含量一般在 80% 以上,乙烷、丙烷、丁烷的含量不多,戊烷以上烃类组分很少。大部分气田气都是干气。

(2) 湿气 是指戊烷以上烃类可凝结组分的含量高于 $100\text{g}/\text{m}^3$ 的天然气。湿气中的甲烷含量一般在 80% 以下,戊烷以上的组分含量较高,开采中可同时回收天然汽油(即凝析油)。一般情况下,油田气和部分凝析气田全可能是湿气。

3) 按照天然气中的含硫量差别,天然气可分为洁气和酸性天然气。

(1) 洁气 通常是指不含硫或含硫量低于 $20\text{mg}/\text{m}^3$ 的天然气,洁气不需要脱硫净化处理,即可以进行管道输送和一般用户使用。

(2) 酸性天然气 通常是指含硫量高于 $20\text{mg}/\text{m}^3$ 的天然气。酸性天然气中含硫化氢以及其他硫化物组分,一般具有腐蚀性和毒性,影响用户使用。酸性天然气必须经过脱硫净化处理后,才能进入输气管线,在供用户使用前一般应予脱硫。

3. 天然气的相对分子质量

众所周知,物质是由许多非常细小的分子所组成的,分子是保持物质原有成分和一切化学性质的最小粒子。一个分子的质量很小,例如一个氢分子的质量是 $3.346 \times 10^{-24}\text{g}$ 。所以,化学上采用碳元素 C_{12} 的质量的 $1/12$ 作为测量一切分子的质量的单位,用这种质量单位表示的分子质量叫相对分子质量。

天然气是由多种组分组成的混合气体,无明确的分子式,也就无明确的相对分子质量。天然气的相对分子质量,是根据天然气各组分的相对分子质量和它们的体积组成,用求和法计算的,通常称为视相对分子质量,简称相对分子质量。

4. 天然气的密度

对于天然气来说,单位体积天然气的质量称之为密度。由此可得到如下天然气密度的计算公式:

$$\rho = \frac{m}{V} \quad (1-1)$$

式中 ρ ——天然气的密度, kg/m^3 ;

m ——天然气的质量, kg ;

V ——天然气的体积, m^3 。

在石油天然气生产中,经常使用相对密度这一概念。天然气的相对密度,是指在同温同压条件下,天然气的密度与空气的密度之比。即:

$$G = \frac{\rho}{\rho_a} \quad (1-2)$$

式中 G ——天然气的相对密度;

ρ ——天然气的密度, kg/m^3 ;

ρ_a ——同温同压下空气的密度, kg/m^3 。

通常所说的天然气相对密度,是指压力为 101.325kPa 、温度为 273.15K (即 0°C) 条件下天然气密度与空气密度之比值,即天然气在标准状态下的相对密度。天然气比空气轻,其相对密度一般小于 1,通常在 $0.5 \sim 0.7$ 范围内变化。

5. 天然气的黏度

从宏观上讲,黏度表示流体(含气体和液体)流动时的难易程度,黏度小的流体易于流动,黏度大的流体流动困难。实质上,黏度表征流体内部有相对运动时,相互间的内摩擦力,即相互阻碍运动的力,内摩擦力亦叫黏滞力。流体的内摩擦力与流体内部两层流体的相对运动速度、接触面积及相对距离有关。

天然气的黏度,与其组分的相对分子质量、组成、温度及压力有关。在低压条件下,压力变化对气体黏度的影响不明显、气体黏度随温度的升高而增大、气体黏度随相对分子质量的增大而减小、非烃类气体的黏度比烃类气体的黏度高;在高压条件下,气体黏度随压力的增大而增大,气体黏度随温度的增高而降低,气体的黏度随相对分子质量的增大而降低。

天然气中的主要烃类组分甲烷,一般情况下,其体积组成为95%以上,故可以用甲烷的黏度代替天然气黏度。

6. 天然气的含水量

天然气在地层里长期与水接触,一部分天然气溶解于水之中,一些水蒸气也进入天然气。所以,从地下气藏中开采出来的天然气,总是含有水汽。通常所说的天然气含水量,是指天然气中水汽的含量。

天然气的含水量,与天然气的压力、温度有关。在气藏中或密闭系统中,天然气与液态水同时存在时,天然气的含水量随压力的增高而减少,随温度的升高而增加。

天然气含水量的多少,通常用绝对湿度、相对湿度和露点来表示。

天然气的绝对湿度,是指单位数量天然气中所含水蒸气的质量,单位是 g/m^3 。

天然气含水量的多少,与天然气的压力、温度有关。在天然气的压力和温度一定的条件下,天然气的含水量达到某一最大值时,就不能再增加水汽的含量,同时开始有水从天然气中凝析出来,即此时天然气为水汽所饱和。天然气为水汽饱和时的绝对湿度,称之为饱和绝对湿度,或简称饱和湿度。饱和湿度是一定压力和温度下天然气的水汽最大含量。

天然气的饱和湿度与压力和温度有关,通常情况下,天然气的饱和湿度随着温度的升高而增大,随着压力的升高而降低。

在一定压力下,将天然气降温,天然气的含水量就可能由较高温度时的不饱和,变化为达到某一较低温度时的饱和,此时,天然气中开始凝析出液态水,再降低温度,天然气中的水汽就不断凝析出来。在一定压力下,天然气的含水量刚达到饱和湿度时的温度,称之为天然气的水露点,简称为露点。露点是一定压力下天然气为水汽饱和时的温度,即一定压力下,天然气中刚有一滴露珠出现时的温度。在采输工程中,常用露点表示饱和含水量。例如某一天然气的露点为 -5°C ,则表示天然气在 -5°C 时处于含水饱和状态,只要天然气的温度低于 -5°C ,就会凝析出液态水。压力相同时,温度越高,含水量越高,温度相同时,压力越高,含水量越低。

天然气在管输过程中,在输压条件下,随着天然气不断流动及输送距离的增长,天然气温度逐渐降低,当天然气的温度降低到其露点温度时,就会凝析出液态水。为此,对天然气进行管输时,必须将天然气中的水汽尽量脱除,使其露点降低到输压条件下的输气温度以下。这样天然气在输送过程中就不会出现液态水。

7. 天然气的热值

天然气作为燃料使用,其热值是一项重要的经济指标。天然气的热值,是指单位数量的

天然气完全燃烧所放出的热量。天然气的主要组分烃类是由碳和氢构成的，氢在燃烧时生成水并被汽化，由液态变为气态，这样，一部分燃烧热能就消耗于水的汽化。消耗于水的汽化的热叫汽化热或蒸发潜热。将汽化热计算在内的热值叫全热值（高热值），不计算汽化热的热值叫净热值（低热值）。由于天然气燃烧时汽化热无法利用，工程上通常用低热值即净热值。

8. 天然气的爆炸性

可燃气体与空气混合（空气中的氧气为助燃物质），遇到火源时，可以发生燃烧或爆炸。爆炸是一种剧烈燃烧，与之相区别的就是稳定燃烧。

可燃气体与空气的混合物，对于敞开系统，遇明火可进行稳定燃烧。可燃气体与空气的混合物进行稳定燃烧时，可燃气体在混合气体中的最低浓度称为可燃下限，最高浓度称为可燃上限，可燃下限与可燃上限之间的浓度范围称为可燃性界限，简称可燃性限。

可燃气体与空气的混合物，在封闭系统中遇明火可以发生剧烈燃烧，即发生爆炸。可燃气体与空气的混合物，在封闭系统中遇明火发生爆炸时，可燃气体在混合气体中的最低浓度称为爆炸下限，其最高浓度称为爆炸上限，爆炸上限与爆炸下限之间的可燃气体的浓度范围，称为爆炸界限，简称爆炸限。

可燃气体与空气的混合物在封闭系统内遇明火发生剧烈爆炸是具有很大破坏力的。可燃气体的剧烈燃烧，在几千之一秒内，产生 2000 ~ 3000℃ 的高温和极大的压力，同时发出 2000 ~ 3000m/s 的高速传播的燃烧波（即爆炸波），体积突然剧烈膨胀，同时发出巨大的声响，因而称之为爆炸。天然气是可燃气体，在输送及各种维护工作中，天然气有可能与空气混合遇明火发生爆炸事故，这是需要认真对待的。

有的可燃气体的可燃性限与爆炸限是一致的，有的可燃气体的爆炸限只是可燃性限内的更小区间，例如氢气，可燃性限是 4% ~ 74.2%，它的爆炸限是 12% ~ 45%。一般情况下，将可燃性限与爆炸限混用，即用可燃性限代替爆炸限，这对于实际工作是适宜的，有利于安全工作。

压力对可燃气体的可燃性限有很大影响，如当压力低于 6665Pa 时，天然气与空气的混合气体遇明火不会发生爆炸。而在常温常压下，天然气的可燃性限为 5% ~ 15%；随着压力升高，爆炸限急剧上升，当压力为 1.5×10^7 Pa 时，其爆炸上限高达 58%。天然气的主要组分是甲烷，故可以用甲烷的可燃性限代替天然气的可燃性限。不同压力下甲烷的爆炸限见表 1-1。

表 1-1 不同压力下甲烷的爆炸限

压力/ 1.01×10^5 Pa	体积爆炸限/%	压力/ 1.01×10^5 Pa	体积爆炸限/%
1	5% ~ 15%	10	5.8% ~ 17%
50	5.7% ~ 29.5%	125	5.7% ~ 45.4%

1.2 石油产品分类、质量要求及管理

1.2.1 石油产品分类

按相对密度来分：相对密度小于 0.852，称为轻质原油；相对密度在 0.853 ~ 0.930 为中

质原油；相对密度在 0.931 ~ 0.998 之间为重质原油，相对密度大于 0.998 为特稠原油（这里的相对密度是 20℃ 时原油的密度比上水的密度）。

按硫含量来分：硫含量（质量含量）小于 0.5%，为低硫原油，硫含量在 0.5% ~ 2.0% 为含硫原油；硫含量大于 2.0% 为高硫原油。

按酸值分类：酸值小于 0.5mg KOH/g 为低酸原油；酸值在 0.5 ~ 1.0mg KOH/g 为含酸原油；酸值大于 1.0mg KOH/g 为高酸原油。

1.2.2 石油产品质量要求

石油产品的种类很多，使用途径不同对其产品的质量要求也不同。

1. 汽油燃料

它使用的质量要求主要是良好的蒸发性能，使发动机效率高，燃烧完全；有足够的抗爆性能，保证发动机工作正常，平稳、不损坏机件；化学安全性好，抗氧化能力强，长期存储和使用不变质；耐腐蚀性能好，不腐蚀容器或机器部件。

2. 轻柴油

使用的质量要求主要是：燃烧性能好，燃烧完全、易启动，工作平稳；蒸发性能好，黏度、凝点和混浊点适当，供油畅通阻力小，有利于油泵润滑；含硫少，不含机械杂质和水，对设备无腐蚀，不磨损；安全性好，久储不变质，燃烧后产生积炭少。

3. 喷气燃料

主要供喷气式飞机使用。沸点范围为 60 ~ 280℃ 或 150 ~ 315℃（俗称航空汽油）。为适应高空低温高速飞行需要，这类油要求发热量大，在 -50℃ 不出现固体结晶。

4. 煤油

沸点范围为 180 ~ 310℃ 主要供照明、生活炊事用。要求火焰平稳、光亮而不冒黑烟。目前产量不大。

5. 柴油

沸点范围有 180 ~ 370℃ 和 350 ~ 410℃ 两类。对石油及其加工产品，习惯上对沸点或沸点范围低的称为轻，相反成为重。故上述前者称为轻柴油，后者称为重柴油。商品柴油按凝固点分级，如 10、-20 等，表示低使用温度，柴油广泛用于大型车辆、船舰。由于高速柴油机（汽车用）比汽油机省油，柴油需求量增长速度大于汽油，一些小型汽车也改用柴油。对柴油质量要求是燃烧性能和流动性好。燃烧性能用十六烷值表示愈高愈好，大庆原油制成的柴油十六烷值可达 68。高速柴油机用的轻柴油十六烷值为 42 ~ 55，低速的在 35 以下。

6. 润滑油

从石油制得的润滑油约占总润滑剂产量的 95% 以上。除润滑性能外，还具有冷却、密封、防腐、绝缘、清洗、传递能量的作用。产量最大的是内燃机油（占 40%），其余为齿轮油、液压油、汽轮机油、电器绝缘油、压缩机油，合计占 40%。商品润滑油按黏度分级，负荷大，速度低的机械用高黏度油，否则用低黏度油。炼油装置生产的是采取各种精制工艺制成的基础油，再加多种添加剂，因此具有专用功能，附加产值高。

1.2.3 石油产品管理

石油产品具有易燃、易爆、易挥发及易产生静电的特性。以下针对石油产品的以上特性进行逐项阐述其管理方式。

1. 易燃性

燃烧的难易和石油产品的闪点、燃点和自燃点三个指标有密切关系。石油闪点是鉴定石油产品馏分组成和发生火灾危险程度的重要标准。油品越轻闪点越低，着火危险性越大，但轻质油自燃点比重质油自燃点高，加此轻质油不会自燃。对重油来说闪点虽高，但自燃低，着火危险性同样也较大，故罐区不应有油布等垃圾堆放，尤其是夏天，防止自燃起火。

2. 易爆性

石油产品易挥发产生可燃蒸气，这些气体和空气混合达到一定浓度，一遇明火都有发生火灾、爆炸危险。应在有存放石油产品的区域禁止烟火。

3. 易挥发、易扩散、易流淌性

液化石油气在常温常压下，由液态极易挥发为气体属于气液混合燃烧，并能迅速扩散及蔓延。因为它比空气重，而往往停滞集聚在地面的空隙、坑、沟、下水道等低洼处，一时不易被风吹散。即使在平地上，也能沿地面迅速扩散至远处。遇有明火，将渗漏和集聚的液化石油气引燃，造成火灾。应定期检查安装质量和焊接组装缺陷、阀门、安全阀、安全附件质量，避免泄漏发生。

4. 易产生静电

石油及产品本身是绝缘体，当它流经管路进入容器或车辆运油过程中，都有产生静电的特性，为了防止静电引起火灾，在油品储运过程中，设备都应装有导电接地设施；装车要控制流速并防止油料喷溅、冲击，尽量减少静电发生。

5. 易受热膨胀性

石油产品受热后，温度上升，体积迅速膨胀，若遇到容器内油品充装过满或管道输油后内部未排空而又无泄压设施，很容易体积膨胀使容器或管件爆破损坏，为了防止设备因油品受热膨胀而受到损坏，装油容器不准充装过满，一般只准充装全容积的 85% ~ 95%，输油管线上均应装泄压阀。

1.3 计量知识

1.3.1 计量与计量单位

计量是实现单位统一，量值准确可靠的活动，计量工作具有下列基本特点。

1. 准确性

准确性是计量工作的核心，也是统一性的基础。它表征的是计量结果与被测量的真值的接近程度。对于任何一个测量结果，由于测量误差的存在，在给出量值的同时必须给出适用的误差范围或者测量不确定度，这种量值的表示要求是计量工作有别于其他测量工作的最大不同之处。不断提高测量的准确性、可靠性是计量学研究的对象，也是一切计量科学研究的目的和归宿。

2. 一致性

计量的基本任务是保证单位与量值的一致，这是开展计量活动的根本目的。计量单位统一和单位量值统一是计量一致性的两个方面，单位统一是量值统一的前提，量值统一是指在规定的准确度内量值的一致。一致性是指在统一计量单位的基础上，无论在何时、何地，采