

石油工业出版社

油田油气水处理技术丛书

张鸿仁 张松 编著

油田气处理



登录号	127238
分类号	TE 64
种次号	006

油田油气水处理技术丛书

油田气处理

张鸿仁 张 松 编著



石油0120958

石油工业出版社

内 容 提 要

本书结合我国油田气处理的生产实践,较全面、系统地论述了油田气净化与分离的方法、原理、工艺流程、机械设备、装置的安全运行等工艺技术问题。书中对与其相关的油气集输、冷剂循环制冷、等熵膨胀制冷等关键问题也做了简要介绍。

本书适于从事油田气处理的工程设计人员、生产管理人员使用。也可供石油大、专院校有关专业师生参考。

图书在版编目 (CIP) 数据

(油田油气水处理技术丛书)

油田气处理 / 张鸿仁, 张松编著.

北京: 石油工业出版社, 1993.9

ISBN 7-5021-1269-3

I. 油…

II. ①张…②张…

III. ①油田-天然气-净化②油田-天然气-分离

IV. TE645

石油工业出版社出版

(100011 北京安定门外安华里 2 区 1 号楼)

石油工业出版社印刷厂排版印刷

新华书店北京发行所发行

*

850×1168 毫米 32 开 15 $\frac{3}{8}$ 印张 405 千字 印 1—2000

1995 年 9 月北京第 1 版 1995 年 9 月北京第 1 次印刷

定价: 17.00 元

前 言

油田气是石油开采过程中得到的一种数量庞大、用途广泛、非常宝贵的伴生资源。它既是一种优质的燃料，又是一种优质的精细化工原料，所以世界各国都非常重视油田气的开发、处理和利用工作，以便从中获取很高的经济效益与社会效益。

本书专门论述了油田气处理中的各种技术问题。

油田气处理的内容包括油田气净化与分离两大部分。净化是针对油田气中所含的非烃类组分如水分、 CO_2 、 H_2S 和灰分等不理想组分的存在而进行的脱除工作；分离是根据油田气加工和利用方向的不同而将油田气切割为某种组分或馏分，如甲烷、乙烷、丙烷、丁烷……，或液化石油气、天然汽油、溶剂油等，以满足民用燃料、工业溶剂、化工原料，以及脱氢制烯或裂解制烯、制苯等需要。

我国大规模开展油田气处理工作是从本世纪 70 年代开始的，虽然起步较晚，但发展速度较快，在短短十多年间，我国广大石油工程技术人员刻苦钻研、锐意进取，进行了不懈的努力，使我国各个油田目前都建设了一批油田气处理装置，年回收乙烷、丙烷、丁烷等单组分或多元组分的混合物已近百万吨，取得了非常好的经济效益和社会效益。

然而，由于我国此项工作开展较晚，经验还不足，对一些技术问题的认识还不够深透，致使一些油田的气体处理量和轻烃回收量还远少于油田的实际采出量。

针对上述问题，作者结合我国油田气处理的实践，通过本书重点分析了出现这些问题的原因，并提出了一系列已被实践证明是行之有效的改进措施，目的在于提高技术理论认识水平，解决生产实际问题，促进我国油田气处理事业的继续快速发展。这也

是本书实用价值的所在。

油田气处理是一门多基础的应用学科，牵涉到的技术领域比较广泛，但由于本书篇幅所限，不可能面面俱到，故对一些社会上已有专门书籍作详细介绍的部分只作简单的提及，如精馏、热交换理论与计算等。

另外，考虑到我国各油田几乎都有一些非石油化工专业的工程技术人员在从事油田气处理工作，为了照顾他们的所需，在书中增加了少量化工原理方面的基础知识。

本书在编写过程中得到了中国石油天然气总公司石油规划设计总院、原能源部石油总工办、大庆、胜利、辽河等油田从事油田气处理工作的领导和同志们的支持和帮助，他们慷慨地提供了许多资料和素材。在此，谨向上述同志们表示衷心的感谢。

由于作者水平所限，书中错误之处在所难免，恳请读者批评指正。

作者
1994.4

出版说明

油田油气水处理技术丛书旨在向从事油气集输的工程技术人员、石油院校毕业生提供一套能熟悉和掌握专业理论及技能的科技读物。

油田是能源的生产基地，本套丛书将着重介绍如何在油气集输过程中节约能源，提高油气预处理水平和综合经济效益。这套丛书包括：《油田油气分离》、《油田原油脱水》、《原油稳定》、《油田气处理》、《油田油气综合利用》、《油田含油污水处理》等分册。今后还将根据需要陆续组织编写其它分册，以满足广大读者需要。

目 录

第一章 概论	1
第一节 油田气是天然气的一部分	1
第二节 油田气处理的目的	3
第三节 油田气处理研究的内容	8
第四节 油田气处理所得产品的加工利用方向	11
第五节 油田气处理的经济价值与社会效益	20
第六节 油田气处理过程中的术语	32
第二章 油田气中的轻烃资源量	35
第一节 油田气的组成	36
第二节 油田的轻烃资源	44
第三节 原油稳定回收油田气	53
第四节 油田气的收集	61
第五节 油田轻烃的实际回收量	67
第三章 油田气的化学物理性质	70
第一节 油田气中烃类的化学性质	70
第二节 油田气中非烃类化合物的化学性质	74
第三节 油田气的相对密度	77
第四节 油田气的热性质	87
第五节 油田气的反常凝析现象	102
第六节 油田气的粘度	105
第七节 油田气的蒸气压	111
第八节 油田气中烃类和非烃类化合物的物理化学 常数	116
第四章 油田气的状态方程式	131
第一节 理想气体状态方程式	132

第二节	真实气体状态方程式	137
第三节	发展中的真实气体状态方程式	148
第四节	SHBWR 状态方程式	160
第五章	汽-液平衡与精馏	181
第一节	相平衡热力学	182
第二节	汽-液相平衡的计算	191
第三节	相平衡常数 K 的应用	201
第四节	多组分凝液的精馏分离	212
第六章	油田气脱水	223
第一节	油田气的含水量和油田气水合物	223
第二节	油田气脱水方法	235
第三节	溶剂吸收脱水法	237
第四节	固体吸附脱水法	243
第七章	油田气脱酸性气体	264
第一节	油田气脱除酸性气体的方法及其分类	265
第二节	干法脱酸性气体	267
第三节	碱洗法脱酸性气体	272
第四节	醇胺法脱酸性气体	282
第五节	砒胺法脱酸性气体	287
第六节	碳酸丙烯酯法脱酸性气体	293
第七节	油田气的膜分离净化	296
第八节	硫磺回收	306
第九节	酸性气体的利用	312
第八章	油田气的分离工艺	316
第一节	油田气处理工艺流程的组成	317
第二节	脱乙烷等塔器中的工艺技术	326
第三节	简易撬装式小型油田气分离装置工艺流程	336
第四节	高膨胀比膨胀机制冷的油田气冷冻分离装置	343
第五节	丙烷循环制冷冷冻与低温油吸收相结合的油田气分离装置	348

第六节	氨冷与膨胀制冷相结合的油田气冷冻分离装置	351
第七节	多级冷凝多级分离与脱甲烷塔多股进料的油田气冷冻分离装置	357
第八节	两级膨胀制冷回收油田气混合凝液装置	360
第九节	丙烷循环制冷与膨胀制冷相结合的油田气冷冻分离装置	369
第十节	丙烷-乙烯阶式制冷的油田气深冷分离装置	377
第九章	油田气处理过程中的制冷技术	380
第一节	制冷的一般概念	381
第二节	冷剂循环制冷	382
第三节	油田气自作工质膨胀制冷	408
第十章	油田气处理装置中的关键设备	426
第一节	油田气压缩机	426
第二节	热分离机与透平膨胀机	445
第三节	固定床吸附器	456
第四节	板翅式换热器及冷箱	460
第五节	火筒式重沸炉	468
第十一章	油田气处理中的安全技术与劳动保护	470
第一节	防火与防爆	470
第二节	防毒	472
第三节	防冻	476
第四节	大气污染	479
参考文献		481

第一章 概 论

人类开发油田的目的，是为了获得有广泛使用价值、有很高的经济效益、符合一定商品规格与标准的原油和油田气。

然而，世界各地的油田，其所产的油田气几乎都是一种低分子的烃类与非烃类混合物，其中甚至含有对人体有毒有害气体，不能直接供给人们生产和生活使用。

为了克服上述困难，人们决定对油田气进行加工处理，除去其中的不理想组分，并将理想组分进行分离，以满足不同用户的不同要求。

因此，油田气处理就成为油田气生产过程中一个不可缺少的环节，越来越受到人们的重视。

第一节 油田气是天然气的一部分

按字面讲，天然气应该是指不经过人类加工、制造而广泛存在于自然界的一切气体，如空气及其中存在的氮气、氧气、二氧化碳……。但由于人们最初的错觉和后来的习惯，仅仅将从地下开采出来的、天然就存在的、在常温常压下呈气态的碳氢化合物称为天然气。

人们通过长期勘探、开发实践，发现地壳中既有天然气藏（地下存气的地方），也有油藏（地下存油的地方），于是称前者为气田，称后者为油田。但气田与油田是相对而言的：有一些气田中的气被开采出来后，由于压力和温度的变化，会分出轻质组分的油来，这种油称为凝析油，这种气田称为凝析气田；也有一些油田开采出来的原油中含有溶解气，当原油被开采到地面后，随着压力和温度的变化会分出气来，这种气称为油田气、原油伴

生气或原油溶解气。

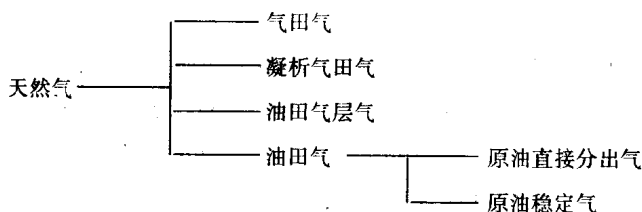
也有一些油田在不同的地质层位中只含有气，不含油，这种气称为气层气。

当油田气随原油一起自地下被开采到地面后，由于油气分离条件（温度和压力）和分离方式（一级或二级）的不同，以及受汽-液平衡规律的限制，气相中除含甲烷、乙烷、丙烷、丁烷外，还含有戊烷、己烷，甚至 C_9 、 C_{10} 组分。而液相中除含重烃外，仍含有一定量的丁烷、丙烷，甚至甲烷。

为了降低原油的饱和蒸气压，防止其在储运过程中被挥发损耗掉，人们通过各种原油稳定工艺，设法将原油中的 $C_5 \sim C_1$ 组分回收。这种回收物称为原油稳定气。很显然，不管直接分离得到的气，还是原油稳定回收的气，都是原油中原来溶解的气。这种气通称为原油伴生气或油田气，它们都是天然气的一部分。

综上所述，油田气与天然气的关系如表 1-1 所示。

表 1-1 油田气与天然气关系



上述几种气的名称仅表明其在地层中所处情况或来源的差异，从所含化合物的品种讲，其实都是 $C_1 \sim C_{10}$ 、并以甲烷为主的低分子烷烃。其差异仅仅表现在组成数量上，如表 1-2 所示。

从表 1-2 比较结果不难看出，气田气与油田气层气中甲烷含量最高，重烃含量最低；原油直接分出气次之；原油稳定气与凝析气田气甲烷含量最少，重烃含量最多。

本书着重讨论油田气处理中的各种问题，也可作为其它气体处理时的参考。

表 1-2 各种天然气组成差异表

组成·mol% 名称	化合物品种 C ₁	C ₂	C ₃	C ₄	C ₅	≥C ₆	其它
气田气 (四川高阳寺)	97.81	1.05	0.17	—	—	—	0.96
凝析气田气 (大港板桥)	68.73	11.10	6.40	3.79	1.78	6.73	1.47
油田气层气 (胜利油田)	97.7	0.1	0.5	0.3	0.2	0.1	3.1
原油直接分出气 (胜利胜坨油田气)	86.6	4.2	3.5	2.6	1.1	0.3	
原油稳定气 (原油稳定气之一)	2.53	6.9	18.64	33.18	30.45	4.60	3.61

第二节 油田气处理的目的

宏观地讲，油田气是一种用途非常广泛的宝贵资源。但具体地讲，除作燃料外，又是一种不好直接使用的物质。因为它是一种混合物，其中经常含有水分、二氧化碳、硫化氢、氮、氦、机械杂质等危害性很大的非烃类化合物。因此，需要设法进行处理，除去其中的有害物质，并将有用组分进行分离，使其成为可以加工的原料，以便生产人们生产和生活所需物质。

油田气处理包括净化与分离两部分，但由于处理目的不同，净化与分离的程度也不相同。

一、油田气净化的目的

1. 满足管道输气的气质要求

国内外的生产实践都说明：油田气中的固体杂质会导致输气管道和设备的堵塞和磨损，降低管道输送能力，甚至酿成终止输气的事故；当油田气中含水时，水对输气管道的影响是最经常的，水会聚集在管道和设备的低凹处，减少输气管道流通断面。寒冷季节水会结冰堵塞管道和设备。在一定的温度和压力条件下，水与烃类会形成水合物，同样会对输气造成严重影响。当油田气中同时含有水分、二氧化碳或硫化氢时，特别在三者都存在的情况下，会引起金属管道和设备的严重腐蚀，大幅度地降低其使用寿命。

2. 满足民用燃气的气质要求

含硫油田气在燃烧时，其燃烧产物会污染大气，损害人体健康。在这种情况下，油田气的脱硫过程必不可少。

由于上述原因，世界主要产气和用气国家对于管输油田气气质标准均有严格规定，见表 1-3。

表 1-3 世界部分国家管输油田气标准

国家 最大含量 标准	德国	荷兰	伊朗	前苏联	美国	法国
硫化氢, mg/m^3	2	5	5.8	20	5.2~5.8	1.5
含水量, mg/m^3	80	47	64	注①	95~100	58
有机硫, mg/m^3	250	150	无	未规定	240	180
二氧化碳, (V)%	—	0.8	<1.0	未规定	2	—

①不同地区要求各异。

我国油田气与天然气采用同一标准，即中华人民共和国石油天然气行业标准 (SY 7514)。

该标准适用于油、气田经矿场分离和（或）处理后用管道输送至用户，并按产品类别分别作为民用燃料、工业原料和工业燃料使用。

该标准按天然气的高位发热量不同分为 A 组和 B 组；按用途不同将 A、B 两组又各分为 I、II、III 和 IV 四类。各组、各类天然气技术要求应符合表 1-4 规定。

表 1-4 各组各类天然气技术要求

项目		质量指标				试验方法
		I	II	III	IV	
高热值 MJ / m ³	A 组	> 31.4 (> 7500kcal / m ³)				GB 11062-89
	B 组	14.65 ~ 31.4(3500 ~ 7500kcal / m ³)				
总硫 (以硫计) 含量 mg / m ³		<150	<270	<480	> 480	GB 11061-89
硫化氢含量 mg / m ³		<6	<20			GB 11060.2-89
				实测	实测	GB 11060.1-89
二氧化碳含量, %(V)		<3		—		SY 7506-89
水分		无游离水				机械分离目测

表 1-4 中， m^3 为在 101.325kPa、20℃ 状态下的体积单位；“无游离水”是指天然气经机械分离设备分不出水来（在取样点的温度和压力条件下，气体的相对湿度小于或等于 100%），IV 类气为总硫含量大于 $480\text{mg}/\text{m}^3$ 的井口气，该气只能供给有处理手段的用户。

不难看出，我国的标准是考虑到充分利用天然气这一矿产资源的自然属性，依照不同要求，结合我国资源实际，进行合理分类，是符合总处理费用最低，经济效益最高的原则的。对安全供气是起保证作用的。

3. 满足油田气处理装置本身的要求

由于人们对油田气处理的要求不同，往往要将油田气中的烃类分离为不同组分的商品：甲烷、乙烷、丙烷、丁烷、戊烷……等单体烃；或甲烷与乙烷，丙烷与丁烷，戊烷与戊烷以上烃类的混合组分；或某种溶剂油馏分……

由于目前的分离方法多采用冷冻分离法，冷冻分离温度达到 $-30\sim-125^{\circ}\text{C}$ 。这样，如果不首先将油田气中的水分、二氧化碳、硫化氢等分出使其净化，则在冷冻分离中会出现水分和二氧化碳结冰，不仅会引起油田气处理装置本身的设备和管道堵塞和磨损，而且甚至使高速旋转的油田气压缩机、制冷膨胀机、离心泵的机壳和叶轮被冰柱所产生的离心力击毁；硫化氢还会引起设备腐蚀，并使产品有臭、毒异味。因此，在进行冷冻分离前，必须首先对油田气进行净化，除去其中的水分、二氧化碳和硫化氢。

4. 满足油田气处理所得产品进一步加工的要求

在多数情况下，油田气处理所得产品都要用作原料进行进一步地加工，如用甲烷制造甲醇、乙烷氯化、丙烷脱氢、正丁烷制造顺酐、异丁烷制取 MTBE（甲基叔丁基醚）等。这些进一步加工过程大多数在催化剂作用下进行，如果油田气中含硫等不理想组分，很容易引起催化剂中毒失效，造成工业生产不应有的损失。

因此，严格控制油田气中非烃化合物的含量是非常重要的，特别在油田气处理所得产品要进行进一步工业加工的情况下，对净化过程的要求远输气气质高得多，应该进行深度净化。

5. 回收油田气中的非烃类资源

当油田气中的非烃类化合物含量很高时，通过油田气净化，

可将其加以回收利用。如油田气中 CO_2 含量很高时，可通过净化将其分出并提纯，作为一种产品用于制碱工业或食品工业；当油田气中 H_2S 含量很高时，可用分出的 H_2S 制取硫磺，硫磺也可作为一种原料用于制取硫酸等工业；当油田气中含氮量较高时，分出的氮气可用于航空航天工业……。

总之，当油田气中非烃类含量较高时，可将其看作是一种资源而加以回收和利用，以便从中获得较高的经济效益和社会效益。不能总认为非烃类都是有害的，如果方法得当，废物也可变成宝贵的资源。

二、油田气分离的目的

油田气分离的目的：一是为了提高油田开发的经济效益；二是为了使油田气资源得到更充分的利用。

1. 提高油田开发的经济效益

通常，油田气净化过程仅仅是对其中不理想组分所进行的“除去”工作，花费较大而又无经济效益，特别在油田气中非烃类物品种较多而含量又都较少的情况下更是如此。在这种情况下，油田气处理全过程的经济效益全靠油田气分离与分离物的深加工增值来获得。

增值多少与烃类的加工方向有关。通常，最简单、最基本的作法是将油田气分离为干气、液化石油气和溶剂油馏分，这样可使烃类增值 3~5 倍，经济效益提高 2~3 倍；如果将烃类分离为纯度为 96% 以上的单体烃，如甲烷、乙烷……，则可增值 4~6 倍，经济效益提高 3~4 倍；如果再将单体烃加工为甲醇、乙烯、丙烯、顺酐、橡胶等产品，则可增值 5~8 倍，经济效益提高 4~5 倍。

2. 充分利用烃类资源

与煤气与炼油厂裂解气相比较，油田气多含饱和烃，具有更方便的直接用途和更广泛的加工方向。如经氧化，可制造合成气、顺丁烯二酸酐、1,4-丁二醇、四氢呋喃、 γ -丁内酯、吡咯烷酮、醋酸、异戊二烯……，用途非常广泛。而用煤制取上述产品

时，其过程非常复杂，经济效益也较差。

与深加工制取上述产品相比较，用油田气作为燃料是不经济的。这是一个应该扭转的倾向。

为了充分利用油田气资源，在制定其加工方向时应该根据低分子烷烃分子的结构特点，尽量发挥其优势，免除劣势，以便将其加工为使用价值更高，生产成本很低，经济效益更好的产品。

第三节 油田气处理研究的内容

“油田气处理”专门研究油田气处理全过程中的各种工艺技术问题，其内容是通过油田气处理的规划、设计、建设和运行中的技术管理来体现的。具体地讲，就是研究如何使这一系统的技术水平达到最高，取得的经济效益最好和社会效益最佳。

一、油田气处理系统的规划

油田气处理系统的规划是决策和指导性的工作，专门研究系统中的重大问题。规划工作的好坏，直接关系到油田气处理工作的成败。这就要求规划工作者必须具有较高的业务素质和较正确的认识方法，站得高，看得远，统盘全局，深入地调查油田地下和地面情况，准确地掌握客观条件，及时地作出正确的规划。以便为计划部门提供编制生产建设计划的依据，为建设和设计部门提出指导性的技术方案意见。

在油田，油田气处理与原油处理同属油气集输与处理系统的一部分，其相互关系如图 1-1 所示。

从图中不难看出，油气分离与原油稳定是为油田气处理提供原料的，这就要求在数量概念上二者必须紧密衔接和相互匹配。特别是滚动开发的油田，由于原油产量有升有降，产气量会随之经常波动。加之，油区分散和内部用气单位较多，规划工作者必须经过深入实际调查研究，准确掌握油田开发动态和油区内的用气数量，恰如其分地确定油田气处理装置的数量、布局 and 规模。