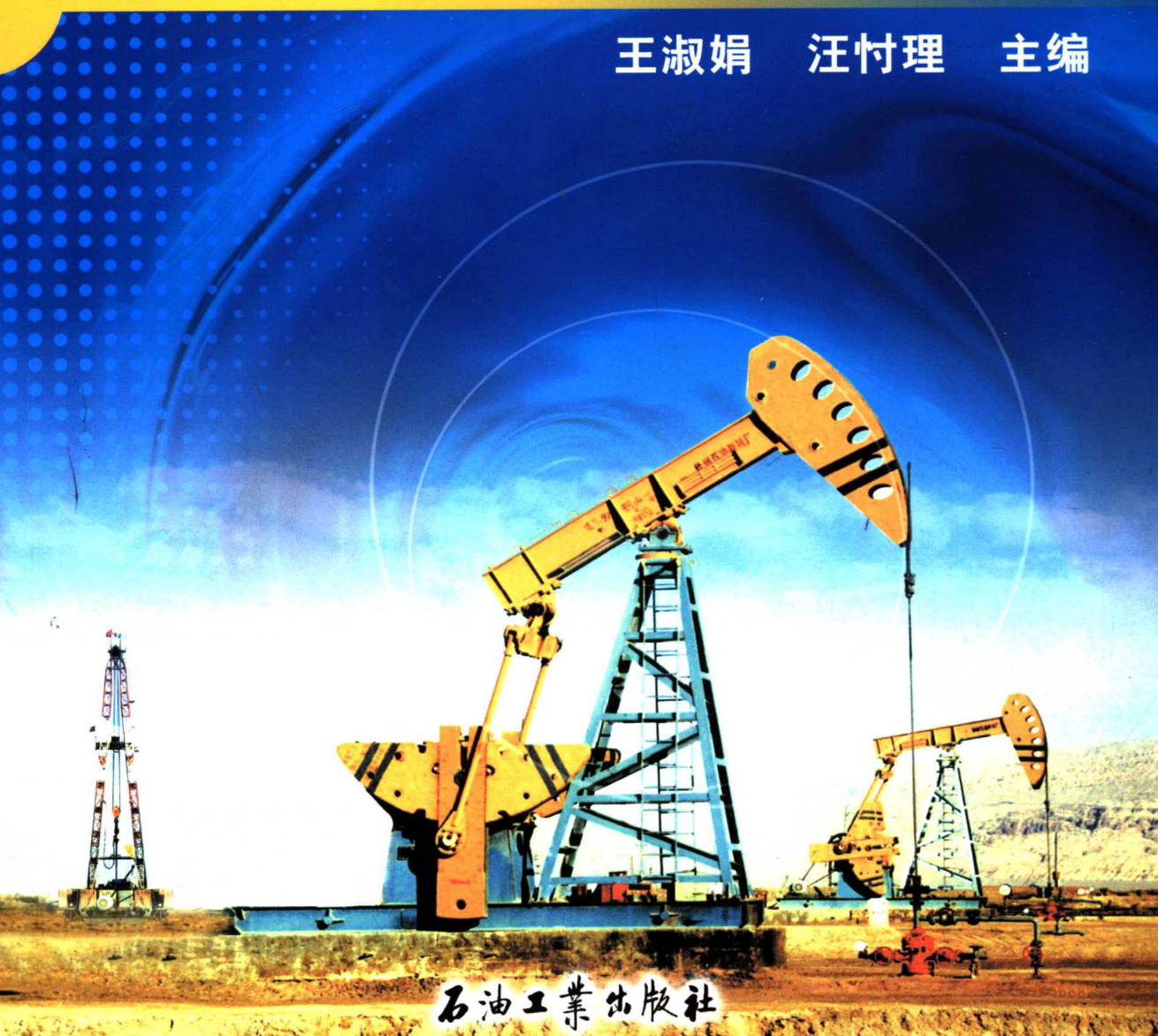


石油工人技术培训系列丛书

天然气处理

工艺技术

王淑娟 汪忖理 主编



石油工业出版社

石油工人技术培训系列丛书

天然气处理工艺技术

王淑娟 汪忖理 主编

石油工业出版社

内 容 提 要

本书主要介绍了天然气处理中的酸性气体脱除、脱水、硫磺回收、尾气处理、轻烃回收等工艺技术,并对主要设备的使用做了描述,同时,还介绍了有关安全环保知识。

本书可作为天然气净化工的培训教材,也可供广大院校师生参考阅读。

图书在版编目(CIP)数据

天然气处理工艺技术/王淑娟,汪忖理主编.

北京:石油工业出版社,2008.5

(石油工人技术培训系列丛书)

ISBN 978-7-5021-6565-9

I. 天…

II. ①王…②汪…

III. 天然气-处理-技术培训-教材

IV. TE64

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2008)第 054306 号

出版发行:石油工业出版社

(北京安定门外安华里 2 区 1 号 100011)

网 址:www. petropub. com. cn

总 机:(010)64523582 发行部:(010)64210392

经 销:全国新华书店

印 刷:石油工业出版社印刷厂

2008 年 5 月第 1 版 2008 年 5 月第 1 次印刷

787×960 毫米 开本:1/16 印张:18.5

字数:300 千字 印数:1—2000 册

定价:30.00 元

(如出现印装质量问题,我社发行部负责调换)

版权所有,翻印必究

《石油工人技术培训系列丛书》

编 委 会

主 任：郑 虎

副 主 任：李万余 王永春 孙祖岭 白泽生

刘志华 孙金瑜

委 员：(按姓氏笔画排序)

上官建新 万志强 马卫东 马平凡

马自勤 王立民 王忠仁 尹君泰

申尧民 石桂臣 许 飞 许大坤

朱长根 向守源 百连刚 齐振林

张凤山 张景仁 张 剑 张启英

张晗亮 李储龙 李越强 岳丛林

范卓瑛 段世民 钟启刚 侯浩杰

赵益红 郝春生 夏中伏 郭向东

郭跃武 韩 炜

《天然气处理工艺技术》

编 写 组

主 编：王淑娟 汪忖理

副 主 编：史仲乾 衣国安 徐进学 傅敬强

审 稿：王兴隆 杜宏昌 郝玉宏 李泽新

胡兴民 傅敬强 刘 毅 姜 云

王晓东 唐荣武 陈邦海 江利民

王 军

编写人员：王淑娟 谢梦华 高志光 万义秀

岑永虎 王世建 李 程

努力造就更多的高技能人才

(代序)

《石油工人技术培训系列丛书》的出版,十分及时,很有必要,对加强中国石油天然气集团公司(以下简称“集团公司”)经营管理、专业技术和操作技能三支人才队伍建设,特别是操作技能人才队伍建设具有重要意义。

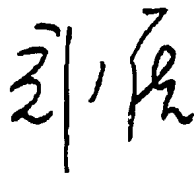
小康大业,人才为本。集团公司员工队伍中的高技能人才,是推动技术创新和实现科技成果转化不可缺少的重要力量,是集团公司三支人才队伍中重要组成部分。集团公司各项事业的发展,不仅需要广大专家的智慧 and 心血,也需要千千万万高技能人才的聪明和才智。长期以来,集团公司高技能人才奋战在油田勘探开发、炼油化工等生产一线,为科技成果的转化、产业结构的升级、企业竞争力的增强,发挥了不可替代的作用。我们要像尊重高级专家那样尊重高技能人才,要像重视高级专家那样重视高技能人才,要像关心高级专家成长那样关心高技能人才的成长。只有三支人才队伍比翼齐飞,各自发挥应有的作用,才能带动集团公司这艘巨轮乘风破浪,扬帆远航。

这些年,集团公司大力实施人才强企战略,坚持三支人才队伍一起抓,紧紧抓住培养、吸引和使用三个环节,不断改进人才工作方式方法,积极营造有利于各类人才脱颖而出的环境,有力推进了三支人才队伍建设,为建设跨国企业集团提供了人才保障。其中,在操作技能人才队伍建设方面,制定了《集团公司加强高技能人才队伍建设的意见》和《技师、高级技师管理办法》,积极组织技师、高级技师培训,全面开展班组长培训,不断提高技能鉴定工作质量,组织开展职业技能竞赛,促进了操作技能队伍素质的不断提高。但是,进一步加强高技能人才队伍建设,尽快形成一支结构合理、技术精湛、一专多能、适应国际市场规模施工作业要求的操作技能人才队伍,仍

是一项十分重要而紧迫的任务。《石油工人技术培训系列丛书》的编写与出版,将为加强操作技能人才队伍培训,造就更多的高技能人才,发挥重要作用。

这套丛书从生产实际出发,以满足需求为导向,以促进员工持续学习为目的,以重点培养员工的学习能力、实践能力和创新能力为目标,内容涵盖勘探、开发、炼化、销售等领域,实践性和针对性都很强。同时,大批专家的参与写作也使教材的权威性有了保证。希望这套丛书的出版发行,能为促进集团公司员工培训工作的深入开展,为促进更多高技能人才的成长,为形成一支门类齐全、梯次合理、素质优良、新老衔接、充分满足集团公司持续有效较快协调发展需要的人才队伍做出积极的贡献。

中国石油天然气集团公司党组成员、副总经理

A handwritten signature in black ink, consisting of stylized Chinese characters, likely '张辉' (Zhang Hui).

2005 年 1 月 28 日

前 言

本书由长庆石油勘探局培训中心和重庆天然气净化总厂共同完成编写工作。编写过程中,作者查阅了大量的技术资料并紧密结合生产实践经验,经几位有多年生产管理经验的高级工程师反复校审后定稿。期望本书能对天然气净化生产技术人员、天然气净化操作工人有所帮助。

长庆石油勘探局培训中心承担了绪论、天然气的物理化学性质、天然气气质标准、天然气脱水、轻烃回收、天然气净化处理测量仪表及自动化控制的编写。王淑娟编写了绪论、第一章、第二章、第八章和第五章部分内容,谢梦华编写了第十章,高志光编写了第五章部分内容。

重庆天然气净化总厂承担了天然气预处理、天然气酸性气体的脱除、硫磺回收、尾气处理及天然气净化处理QHSE管理的编写。岑永虎编写了第三章、第七章和第四章部分内容,王世建编写了第四章部分内容,万义秀编写了第六章,李程编写了第九章。

长庆石油勘探局培训中心校审人员:王兴隆,杜宏昌,郝玉宏,李泽新,胡兴民。

重庆天然气净化总厂校审人员:傅敬强,刘毅,姜云,王晓东,唐荣武,陈邦海,江利民,王军。

统稿工作由长庆石油勘探局培训中心王淑娟完成。绘图工作由秦通社和李晓斌完成。

在编写过程中,我们得到了许多领导和同事的帮助,同时借鉴了多位学者专著内容,在此向他们表示衷心的感谢。

囿于作者的学识及认知水平,书中不当及疏漏之处请业内专家及读者赐正。

编 者

2006年5月16日

目 录

绪论	(1)
第一章 天然气的物理化学性质	(7)
第一节 天然气的类别与组成	(7)
第二节 天然气的视相对分子质量、密度和相对密度	(13)
第三节 天然气的状态参数及临界状态	(17)
第四节 天然气的状态方程、等温压缩系数及体积系数	(22)
第五节 天然气的蒸气压、含水量和溶解度	(27)
第六节 天然气的热力学性质	(29)
第七节 天然气的粘度	(33)
第二章 天然气气质标准	(36)
第一节 天然气中的杂质及其危害	(36)
第二节 管输对天然气中有害组分含量的要求	(37)
第三节 天然气的质量标准	(38)
第四节 世界主要产气国管输天然气气质要求	(40)
第三章 天然气预处理	(41)
第一节 天然气预处理的作用	(41)
第二节 分离原理	(41)
第三节 天然气预处理设备	(42)
第四节 天然气预处理工艺方法及流程	(45)
第五节 天然气预处理装置安全生产注意事项	(50)
第四章 天然气酸性气体的脱除	(52)
第一节 概述	(52)
第二节 天然气酸性组分脱除的方法	(53)
第三节 醇胺法脱硫工艺技术	(60)
第四节 醇胺法脱硫的主要设备及操作方法	(71)

第五节 醇胺法脱硫装置的开停工	(77)
第六节 脱硫技术的发展	(79)
第五章 天然气脱水	(89)
第一节 概述	(89)
第二节 天然气水合物	(91)
第三节 溶剂吸收法脱水	(96)
第四节 固体吸附法	(121)
第五节 脱水工艺的选择	(127)
第六节 长庆油田公司天然气脱水技术简介	(128)
第六章 硫磺回收	(132)
第一节 概述	(132)
第二节 克劳斯法硫磺回收基本原理	(134)
第三节 克劳斯法硫磺回收工艺方法和流程	(137)
第四节 硫磺回收装置主要设备及其操作要点	(142)
第五节 影响硫磺回收操作的因素	(154)
第六节 硫磺回收装置开停车	(159)
第七节 超级克劳斯硫磺回收工艺方法简介	(163)
第八节 克林萨弗亚露点硫磺回收工艺方法简介	(166)
第九节 液硫的加工与成型	(171)
第七章 尾气处理	(175)
第一节 概述	(175)
第二节 直接灼烧	(175)
第三节 斯科特尾气处理工艺	(176)
第四节 串联斯科特尾气处理工艺	(190)
第八章 轻烃回收	(193)
第一节 概述	(193)
第二节 轻烃回收工艺	(194)
第九章 天然气净化处理 QHSE 管理	(211)
第一节 天然气净化处理过程中的 QHSE 管理理论	(211)

第二节	天然气净化处理过程中的防火防爆管理	(218)
第三节	天然气净化处理过程中的防中毒管理	(226)
第四节	天然气净化处理过程中的“三废”处理	(231)
第十章	天然气净化处理测量仪表及自动化控制	(236)
第一节	测量仪表	(236)
第二节	自动化控制基础知识	(266)
第三节	计算机控制系统的基本组成	(278)
第四节	自动化控制技术简介	(280)
参考文献		(283)

绪 论

煤、石油和天然气是当今世界一次能源的三大支柱。随着经济的发展,世界能源结构正在改变,由以煤为主改变为以石油、天然气为主。天然气是一种高效、清洁、使用方便的优质能源,也是重要的化工原料。具有明显的社会效益、环境效益和经济效益。天然气的用途越来越广,需求不断增加。

一、世界天然气状况

20 世纪 90 年代以来天然气开发利用在世界能源结构中稳中有升。目前天然气占能源平均比重为 23% 左右。全世界天然气产量和消费量由 1970 年的 $1.33 \times 10^{12} \text{ m}^3$ 增至 1995 年的 $2.75 \times 10^{12} \text{ m}^3$, 年产量翻了一番以上。年均递增为 3.2%。而同时期世界石油产量却一直徘徊在 34 亿吨左右。目前全球已有天然气干线为 140 万公里(这个数据还在天天增长),在建和计划兴建的天然气输气管道总长约 11 万公里。目前世界天然气国际贸易量达 $4300 \times 10^8 \text{ m}^3$ 以上,其中管输天然气贸易占 $3300 \times 10^8 \text{ m}^3$ 以上,液化天然气贸易占 $1000 \times 10^8 \text{ m}^3$ 以上。世界天然气产量,消费量和国际贸易量大幅度增长。加之天然气长距离管输和液化船输技术的进步,使世界天然气市场空前活跃。

目前天然气资源及生产现状非常看好。第二次世界大战后,随着世界各国社会和经济的发展,对能源的需求量日益增长,特别是产油工业的发展尤为迅速。天然气由于其污染少、储量大、价格低廉等优点,其生产和加工得到世界各国,特别是产油国家的高度重视。全世界约有 600 个含油气盆地,已在近 50% 以上的盆地内发现油气资源。到目前为止,全世界发现和开采的油田约 41000 个,气田约 26000 个。年产原油约 30 亿吨,年产天然气 $2.3 \times 10^{12} \text{ m}^3$ 以上。

据第十四届世界石油大会的评估,全球常规天然气最终可采资源量约为 $328 \times 10^{12} \text{ m}^3$ 。目前已累计开采天然气 $50 \times 10^{12} \text{ m}^3$ 。已探明的天然气剩余可采储量为 $145 \times 10^{12} \text{ m}^3$ 。还有 $133 \times 10^{12} \text{ m}^3$ 的天然气等待开发。若按目前每年 $2.3 \times 10^{12} \text{ m}^3$ 开采,常规天然气可供应 120 年。

世界天然气消费量以年均递增 2.76% 的速度发展。其消费结构可分为两大类,即能源和化工原料。按通常的行业分类可形成发电、化工原料、工业燃料、民用燃气。

从世界范围看,天然气主要用于四个方面,即发电、原料、工业燃料和城市民用。随着作为清洁能源的天然气引入,其应用领域将会有显著的扩大。据预测,在世界一次能源消费结构中,石油所占的比重将由 1994 年的 40% 逐渐降低到 2010 年的 36.2%,而天然气将由 21.1% 提高到 24%,煤炭、可再生能源和其他能源将由 38.8% 增加到 39.8%。到 2010 年,前苏联地区对天然气的需求量将增加 4.8%,美国将增加 38%,西欧将增加 90%,拉美地区将增加 2 倍,东欧和中国将增加 75%。

二、中国天然气状况

我国从 20 世纪 50 年代的后半期开始,经济发展处于停滞和半停滞状态,直至 1978 年底出现转折,到 80 年代初期经济已开始出现起飞的势头。在此期间,许多专家、学者曾通过刊物和会议呼吁关注能源结构的改变。遗憾的是,这些呼吁并未引起有关政府部门的注意,有关领导强调要根据中国国情,按自力更生的原则大力发展煤炭工业,并鼓励私人开采,谁开发谁受益,于是小煤窑在中国遍地开花。在这一原则指导下,煤在一次能源生产总量中的比例从 1980 年的 70.3% 提高到 1996 年的 75.2%,同期原油比例却由 23.7% 下降到 17%。

在 20 世纪 90 年代中期,我国空气污染非常严重,据粗略估计,空气中二氧化硫的排量达到 $2730 \times 10^4 \text{ t/a}$,在全国 30% ~ 40% 国土上下过酸雨,烟尘排放量约为 $2100 \times 10^4 \text{ t/a}$,二氧化碳加上氮的氧化物达到 $1500 \times 10^4 \text{ t/a}$,空气污染源主要来自煤。

以北京为例,过去经常看到大雁排成“人”字或“一”字形在天上飞过,晚上可以数天上的星星,可是到了 20 世纪 90 年代的中期,由于烟雾笼罩,不仅看不到雁群,晚上连星星也几乎看不到了,当时北京是世界十大污染最严重的城市之一。在这一时期,城市以燃煤为主,天然气消费量(油气当量)只有 $1.35 \times 10^8 \text{ t/a}$ 。

以上情况引起政府部门高度重视,并开始调整能源结构,至 2000 年,煤在一次能源总量中的比例由 1996 年的 75.2% 下降至 67.2%,原油由 17% 上升至 21.4%,天然气由 2% 提高至 3.4%。

能源结构的初步改变已使空气状况有所改观。1997 年陕京输气管道开始投入使用,目前北京的天然气消费量(油气当量)已达 $27.4 \times 10^8 \text{ t/a}$ 以上。每年空气质量为二级及好于二级的天数达 244 天之多。预计 2008 年用气量(油气当量)将达到 $58 \times 10^8 \text{ t/a}$,届时空气状况将完全改观,为 2008 年北京奥运会添彩。

应特别指出,我国天然气在一次能源结构中所占的比例,与世界平均水平相比,在 20 世纪 90 年代中期仅为世界平均水平的十分之一,当时我国天然气所占比例仅为 2.2%,而世界平均水平在 22% 以上。专家预测的我国各年份天然气的用量列于表绪 1,至 2020 年天然气在一次能源结构中预计将占 8% ~ 12%。我国的天然气工业是朝阳产业。

表绪 1 我国天然气消费预测

年份	2005 年	2010 年	2015 年	2020 年
需求量, 10^8 m^3	500 ~ 600	900 ~ 1100	1400 ~ 1600	1800 ~ 2200

近若干年,我国天然气工业发展出现了良好的开端,已建成的陆上天然气管道有陕京输气管道、靖西输气管道、长宁输气管道、长呼输气管道、西气东输天然气管道、陕京二线、忠武输气管道等。我国的海上气田也正在开发中,自 20 世纪 80 年代在莺歌海发现气田,并建成通往香港的天然气管道以后,又先后在东海、南海、渤海发现了大小不一的气田。东海的平湖气田已于 1998 年和 2003 年先后建成两条输往上海的天然气管道。东海的春晓气田距宁波市约 350km,目前正在建设春晓至宁波的天然气管道,第一期 2005 年投产,输气量约为 $25 \times 10^8 \text{ m}^3$,预计至 2010 年输气量可增至 $(40 \sim 50) \times 10^8 \text{ m}^3$ 。此外,在我国沿海建设了大量的 LNG 站,以满足调峰用气。

我国天然气资源比较丰富,随着社会和经济的不断发展进步,对能源的需求日益增长,从而促进了能源开发利用的迅速发展。据 1994 年全国第二次油气资源评价结果,我国天然气资源储量约为 $38 \times 10^{12} \text{ m}^3$ 。到 1996 年底累计探明天然气地质储量为 $1.53 \times 10^{12} \text{ m}^3$,探明程度为资源量的 4%。

我国的天然气利用虽然很早,但现在尚未形成完整的、系统的天然气工业体系。20 世纪初,天然气工业只是处于起步阶段,大发展则在 20 世纪后期。为了进一步推动我国的天然气开发利用,1998 年 9 月,国家计划发展委员会在北京召开了第一次全国天然气规划利用工作会议。鉴于我国天然气资源勘探已取得突破性进展,必须加大天然气开发利用工作力度,促使资源优势向经济发展转化。把天然气开发利用作为基础设施建设,对于启动

国内需求、拉动经济发展具有十分重大的现实意义。

我国天然气资源开发情况是,我国天然气总资源量为 $38 \times 10^{12} \text{ m}^3$, 有 67 个含气盆地和地区, 5 个天然气富集区, 主要分布在东部地区(渤海湾、松辽)、陕甘宁地区(中部、中东部)、川渝地区(川东、川中、川西北、川东北)、青海地区(冷湖、南八仙、涩北和台南)和新疆地区(塔里木、准噶尔、吐哈)。其中新疆气区排在首位, 其次为川渝气区。陆地总资源量为 $29.9 \times 10^{12} \text{ m}^3$ 。五大气区总探明储量为 $2.24 \times 10^{12} \text{ m}^3$ 。

三、天然气处理技术

天然气是从油气藏中开采出来的一种可燃气体, 是由各种以碳氢化合物为主要成分的多组分气体组成的混合物。天然气的组成因油、气田层系不同而异, 油田气(包括凝析油气田气)、气田的气井气, 均属天然气范畴。工业上的“酸性天然气”即指含二氧化碳、硫化氢、有机硫等的天然气, 它需处理达到一定的气质标准后才能做商品气管输。有些天然气中尚有氩、氖、氦等稀有气体存在, 迄今含氮天然气几乎是工业用氮的惟一经济来源。

在前面谈到天然气将继续煤、石油之后, 在一次能源中占主要地位, 这就注定天然气工业必将有巨大的发展。犹如石油工业一样, 天然气工业也由地下、地面两部分工程构成, 涉及勘探、开发、采气、加工处理、管输等环节, 而天然气的净化处理是使采出的天然气变成商品气过程中的一个重要的组成部分, 是安全平稳而经济地进入输气管线或用户之前的一个必要的中间环节。

天然气净化处理是指脱除天然气中的有害组分, 使之达到标准规定的指标。一般气质标准主要是按适应管输工艺、防止腐蚀及符合民用安全、健康来制定的。其主要指标为总硫、硫化氢、二氧化碳等的含量, 水露点, 烃露点等。

脱除酸性天然气中硫化氢、二氧化碳、水等, 以符合规定的管输标准(见第二章), 或为了保证一定的热值从含有大量惰性气体(氮气或二氧化碳)的天然气中提浓甲烷以及控制管输天然气的烃露点等皆属天然气处理的范畴。而尤其以脱除酸性气体中的硫化氢、二氧化碳等以达到管输标准的天然气净化过程为主。

天然气净化涉及的工艺过程除脱硫、脱碳、脱水过程外, 通常还附属有将净化过程中生成的酸气回收制硫的克劳斯法硫回收过程及其后续的尾气

处理过程。

目前西南油气田、长庆气田、塔里木气田等是我国天然气生产最重要的基地。

西南油气田公司拥有十几套用三甘醇的脱水装置,只有一套是用硅胶脱水;正在建设和待建 10 套三甘醇脱水装置。四川天然气主要是干气,除个别例外,已设有回收 NGL(天然气液化)装置,一般不存在烃露点问题。四川天然气净化处理的重点是脱硫、脱水及克劳斯法硫回收等工艺过程。根据四川天然气资源特点及其在开发过程中各个时期对气质的不同要求,天然气净化工艺技术经历了从无到有,从小到大,从粗到精的发展过程。

西南油气田公司的天然气净化工艺技术水平的大致如下:

(1)脱硫脱水、硫回收和尾气处理等各种工艺方法已基本配套,既掌握了若干适应范围宽的通用方法,也能提出一些适合特定条件的工艺方法。有可能在一定范围内较合理地按资源条件来选择净化方案。

(2)有较完善的配套技术以保证装置的正常运转。不仅有工艺上的配套,也包括分析测试、仪器仪表、自动控制等整体上的配套。

(3)净化工艺涉及的主要溶剂、催化剂及关键装备等均可立足于国内,并具有开发新工艺新产品的能力。

(4)结合生产实践,还开展了与净化工艺有关的热力学、动力学及模型化研究,完成了一些可供设计和预测评价使用的数学模型,有一定的深度。

(5)从宏观上看,西南油气田公司天然气净化工艺技术门类较多,工艺路线先进、经济合理、可靠适用,综合配套设施齐全,自动化水平先进,在若干主要工艺指标上已达到或接近国外先进水平,但是在机械装备、环境保护、消耗指标、管理水平等方面还有待于提高。

长庆油田公司先后进行了下列工艺的配套:(1)高压集气、集中注醇、间歇计量、气田自动化、膜法脱水、干法脱硫、低温脱水;(2)多井高压集气、集气站集中注醇、分散低温脱水、集中脱烃、数据自动采集;(3)井下节流、井口加热、中压集气、采气管线保温输送、站内集中注醇、氨制冷脱水脱烃、三相分离、间歇计量、压缩机组增压输送、站内天然气发电、自动化控制等配套工艺技术。完成陕京一线、陕京二线、长宁、长西一线、长西二线、长呼管线天然气输送任务,同时为西气东输管线供气。

长庆气田由于所采气层不同,气体的成分也不同。目前有净化厂三座,正在建设第四净化厂和榆林天然气处理厂。其中第一、二、三净化厂均完成天然气的脱硫、脱水任务(所管辖气田为干气,无轻烃或及少量轻

烃)。榆林天然气处理厂及第四净化厂主要完成天然气的脱水、脱烃(所管辖气田产气无硫化物)。第一净化厂总体配套设计年处理天然气能力为 $30 \times 10^8 \text{ m}^3$, 净化装置每套设计日处理 $200 \times 10^4 \text{ m}^3$, 可根据下游气量的变化自行调节。第二净化厂设有每套日处理能力 $400 \times 10^4 \text{ m}^3$ 天然气净化装置, 年处理天然气能力达到 $25 \times 10^8 \text{ m}^3$ 。第三净化厂总体设计年处理天然气能力 $10 \times 10^8 \text{ m}^3$ 。榆林天然气处理厂设计总规模为 $20 \times 10^8 \text{ m}^3/\text{a}$ (基准为 20°C , 101.325kPa , 以下同), 是为陕京线输气的配套工程, 处理合格的商品天然气全部供给陕京线管道。工程主体由两套日处理天然气 $300 \times 10^4 \text{ m}^3$ 的脱油脱水装置、一套日处理规模为 36t 的凝析油稳定装置组成, 同时建有供风、供水、供热及消防等辅助生产设施和公用工程。目前西南油气田、长庆气田各项工艺技术及管理水平是国内最先进的。

塔里木克拉2号气田是西气东输的主力气田。2005年12月1日, 亚洲最大的天然气处理厂——克拉2天然气处理厂主体完工, 安全正点, 一次投运成功。年处理能力 $(3000 \sim 3600) \times 10^4 \text{ m}^3$ 天然气, 是西气东输的首站, 将为解决中东部能源紧缺做坚强的后盾。