

TIANRANQI JINGHUA GONGYI

天然气净化工艺

—— 脱硫脱碳、脱水、硫磺回收及尾气处理

王开岳 主编



石油工业出版社
PETROLEUM INDUSTRY PRESS

天然气净化工艺

——脱硫脱碳、脱水、硫磺回收及尾气处理

王开岳 主编

石油工业出版社

内 容 提 要

本书系统、全面地介绍了当今国内外各种天然气净化工艺的原理、装置流程、计算方法、实际运行数据以及可能遇到的操作问题，尤其是国内在这些领域取得的经验和认识。全书共 14 章，两个附录。

本书可供在天然气、炼厂气及其他气体净化领域从事生产、设计及研究的工程技术人员作为案头参考书，也可作为高校有关专业师生的教学参考书。

图书在版编目 (CIP) 数据

天然气净化工艺：脱硫脱碳、脱水、硫磺回收及尾气处理/
王开岳主编. —北京：石油工业出版社，2005. 7
ISBN 7-5021-4830-2

I. 天…

II. 王…

III. 天然气净化

IV. TE644

中国版本图书馆 CIP 数据核字 (2004) 第 122935 号

天然气净化工艺——脱硫脱碳、脱水、硫磺回收及尾气处理
王开岳 主编

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.cn

总 机：(010) 64262233 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

2005 年 7 月第 1 版 2005 年 7 月第 1 次印刷

787×1092 毫米 开本：1/16 印张：27.25 插页：2

字数：693 千字 印数：1—2000 册

定价：110.00 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

(广告代理：北京中油创意广告有限公司)

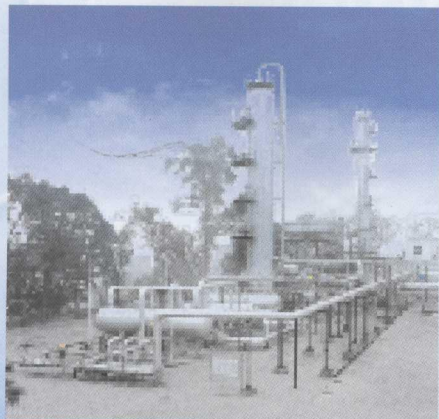
中国西南石油天然气股份有限公司 重庆天然气净化总厂

中国石油天然气股份有限公司西南油气田分公司重庆天然气净化总厂（以下简称“重庆净化总厂”），位于重庆市长寿区桃园新村，距重庆市区80公里。工厂下设4个分厂，即位于重庆市长寿区渡舟镇的长寿分厂，长寿区海棠镇的引进分厂，垫江县澄溪镇的垫江分厂，四川省渠县李渡乡的渠县分厂。

重庆净化总厂现有天然气净化装置7套，具有日处理原料天然气1880万立方米、年处理原料天然气62亿立方米的生产能力，是目前国内规模最大、综合配套齐全、技术先进的天然气净化厂。2002年我厂引进了德国LINDE公司的CInsulv-SDP硫回收新技术、引进荷兰JCN公司超级克劳斯硫回收技术，使我厂的硫回收技术达到世界先进水平。

随着气田的开发和天然气东输工程的实施，日处理600万立方米的忠县净化厂工程将于2005年6月建成投产，届时工厂日处理原料天然气将达到2480万立方米，年处理80亿立方米的生产能力，将为中国石油西南油气田2007年生产天然气130亿立方米，跨入千万吨级大油气田行列起到重要的作用。

2001年通过ISO9000质量体系认证；推行QHSE管理体系，2003年12月通过QHSE认证。工厂生产的“长征”牌工业硫磺销往全国各地，曾出口前南斯拉夫、朝鲜、日本、东南亚地区，1982年获国家银质奖，1987年获化工部优质产品，1993年获四川省名牌产品，1998年获重庆直辖市名牌产品。



垫江分厂生产装置



地址：重庆市长寿区桃园新村
电话：023-40492112

邮编：401259
传真：023-40492082



厂领导一班人



引进分厂生产装置



长寿分厂生产装置



渠县分厂生产装置



垫江分厂生产的优质硫磺产品

本书编写人员

主 编：王开岳

编写人员：王开岳 汪忖理 李志良

周志岐 王劲松

序

在世界经济不断发展的同时,地球环境的日益恶化已引起了有识之士的广泛忧虑。在一次能源结构中提高天然气所占的比例可有效降低大气污染、改善环境,这已成为世界各国的共识和行动。

丰富的蕴藏量为天然气的开发利用提供了资源基础。据统计,2000年世界天然气探明可采储量约为 $150 \times 10^{12} \text{ m}^3$, 当年产量为 $2.39 \times 10^{12} \text{ m}^3$ 。除上述常规天然气外,还蕴藏有更为可观的非常规天然气。专家估计,至21世纪中期,天然气在世界一次能源结构中 will 超过石油而占据首位,使21世纪以“天然气世纪”载入史册。

我国天然气资源也相当丰富,可采资源量 $9.3 \times 10^{12} \text{ m}^3$, 远景可采资源总量达 $15 \times 10^{12} \text{ m}^3$, 此外还有大量非常规天然气。但我国天然气资源的探明程度尚不高,目前可采资源量的探明程度仅及 16.8%。我国天然气产量现也不多,2001 年仅 $303.44 \times 10^8 \text{ m}^3$, 在我国大陆一次能源结构中不过占 2.5% 左右。根据我国大力发展和利用天然气的能源战略,天然气在能源结构中的地位将持续上升,2010 年达 7%~8%, 2015 年将超过 10%。

我国陆上现已形成川渝、陕甘宁、塔里木及柴达木 4 大气区,海上则有莺琼盆地等。其中,川渝气田是我国天然气工业的第一个基地。

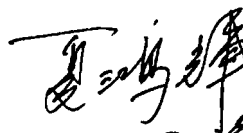
从地层中采出的天然气气质多种多样,多数含有硫化氢、有机硫、二氧化碳及水等成分。天然气净化系将其处理达到商品天然气质量指标而送往用户的重要环节。以脱硫、脱水为例,川渝气田 2002 年生产天然气 $87.6 \times 10^8 \text{ m}^3$, 其中经天然气净化装置处理的达 $62.79 \times 10^8 \text{ m}^3$, 占 71.7%, 由此可见天然气净化在整个天然气工业中的重要地位。现正筹划开发的渡口河及罗家寨气田的 H_2S 含量分别高达 17% 与 7%。

川渝气田现代化的天然气净化工业始于 1964 年,经过近 40 年的艰苦奋斗,通过自主研究与引进国外先进技术相结合,总体上工艺方面现已达到或接近国际先进水平,适应了气田开发的需要。

本书旨在总结天然气净化工艺的国内经验和国外动向,作者大多供职于川渝气田,长期在天然气净化领域工作,有丰厚知识和经验的积累。本书作为国内此领域的一本系统性的专著,有助于记录下经验及教训,留下思考。

我相信,此书的出版将为在天然气工业及相关行业领域内奋斗的工作人员及院校师生提供一本优秀的案头参考书。

中国石油西南油气田分公司总经理


2003年8月4日

前 言

我国国民经济正处于高速发展的阶段，能源需求也相应大幅增长。为了适应这一形势，并调整能源结构以减轻污染，我国已决定大力发展天然气工业，西气东输已成为西部大开发的标志性工程。

在整个天然气工业中，为了将合格的商品天然气供应至用户，天然气净化是重要的一环。天然气净化通常指脱硫脱碳、脱水、硫磺回收及尾气处理。脱硫脱碳与脱水是为了使天然气达到商品天然气或管输天然气的质量指标；硫磺回收与尾气处理则是为了综合利用及满足环保要求。目前，天然气净化已形成一个独立的、系统的专业，其地位也越来越重要。

我国现代天然气净化工艺的开发与应用在四川气田始于 20 世纪 60 年代中期。随着气田的不断发展，天然气净化工艺水平也有了长足进步，达到或接近国际先进水平。

在近 40 年的发展进程中，人们在不断学习和跟踪国外先进技术的同时，自身也积累了许多宝贵的经验、认识乃至教训，失误也可转化为财富。

各时期虽有一些涉及天然气净化工艺的著作，但限于篇幅或其他原因，国内经验的总结归纳颇显不足。

有鉴于此，笔者联络了几位有志者合作编写了《天然气净化工艺——脱硫脱碳、脱水、硫磺回收及尾气处理》一书。此书系统介绍了截至 21 世纪初天然气净化工艺的技术原理、特点、工艺问题和装置数据，尤重国内的经验。传统的成熟工艺在已有著作中介绍颇详，本书适当从简。为给如何选择新建及改建装置的工艺提供建议，我们尝试总结国内外积累的经验，形成第十三章。为方便读者，另外还安排了一章介绍天然气净化工艺中的控制分析项目及其测试方法以及净化领域的英文缩写词和国外气体净化工艺名称两个附录。

本书共十四章，汪付理编写第九章及第十章，李志良编写第十一章及第十二章，周志岐编写第十四章，王劲松编写第八章第四节（分子筛脱硫）及第九章第三节（分子筛脱水），其余各章节及附录系王开岳编写。尹荣辅、唐昭峥等不少专家和同事为作者提供了一些资料。全书由王开岳统稿。

本书可作为天然气净化工艺领域科研、设计、生产及管理工程技术人员的案头参考书，也可供从事炼厂气及其他气体净化的工艺技术人员参考。此外，还可作为有关院校师生的教学参考书。

范恩泽（教授级高级工程师）与王遇冬教授不仅就全书结构提出了重要意见，而且系统地、逐字逐句地审读了此书的初稿，提出了许多修改意见。此外，还有一些业内专家提出了宝贵意见。笔者还得到了老领导，四川石油管理局原副局长兼炼化总工程师徐文渊博士的鼓励和支持。

感谢石油工业出版社出版此书并给予了宝贵的支持和指导，感谢川渝气田、中国石油西

南油气田分公司天然气研究院和重庆天然气净化总厂的领导和许多同志的支持和帮助。

笔者在几十年参与天然气净化工艺技术工作过程中，获得了许多领导和同事的指导和帮助，在国内气体净化领域也有许多良师益友，借此机会，谨向他们表示衷心的感谢。

囿于笔者的学识及认知水平，书中不当及疏漏之处尚祈业内专家及读者赐正。

主编



目 录

第一章 概论	(1)
第一节 天然气在能源结构中的地位	(1)
第二节 含硫天然气组成	(2)
第三节 商品天然气质量标准及硫磺回收尾气 SO ₂ 排放标准	(4)
第四节 天然气净化工艺分类	(6)
第五节 天然气净化工艺发展动向	(8)
参考文献	(14)
第二章 常规胺法	(15)
第一节 常用的烷醇胺及其溶液的物化性质	(15)
第二节 工艺流程及主要设备	(33)
第三节 一乙醇胺法	(37)
第四节 二乙醇胺法	(40)
第五节 二异丙醇胺法	(41)
第六节 二甘醇胺法	(42)
第七节 醇胺的变质与复活	(43)
第八节 胺法装置中的腐蚀、发泡、过滤及溶剂损失问题	(51)
参考文献	(56)
第三章 选择性胺法	(58)
第一节 选择性脱硫的应用领域及相关参数	(58)
第二节 甲基二乙醇胺选择脱硫工艺	(60)
第三节 甲基二乙醇胺工艺应用范围的扩展	(67)
第四节 甲基二乙醇胺的化学变质、腐蚀性及其他操作问题	(71)
第五节 其他选择性胺法	(75)
第六节 选择性胺法的工艺特点	(78)
第七节 提高酸气 H ₂ S 浓度的其他途径	(80)
参考文献	(82)
第四章 胺液吸收酸气的热力学与动力学	(84)
第一节 概述	(84)
第二节 酸气在胺液中平衡溶解度的测定方法	(85)
第三节 酸气在胺液中平衡溶解度的计算模型	(86)
第四节 酸气在胺液中平衡溶解度数据	(92)
第五节 酸气负荷的平衡程度	(105)
第六节 酸气在胺液中的吸收热效应	(107)
第七节 醇胺 - CO ₂ 反应的动力学	(109)
第八节 胺液吸收酸气的模型化	(115)

参考文献	(116)
第五章 物理溶剂法	(118)
第一节 物理溶剂法的特点	(118)
第二节 常用物理溶剂的性质	(119)
第三节 多乙二醇二甲醚法	(121)
第四节 碳酸丙烯酯法	(131)
第五节 其他物理溶剂法	(135)
参考文献	(146)
第六章 化学—物理溶剂法	(147)
第一节 醇胺—甘醇法	(147)
第二节 一乙醇胺—环丁砜法	(149)
第三节 二异丙醇胺—环丁砜法	(156)
第四节 甲基二乙醇胺—环丁砜法	(167)
第五节 有机硫化合物的脱除	(171)
第六节 降低酸气中烃含量的途径	(177)
第七节 砜胺溶液的腐蚀性质	(183)
第八节 砜胺溶液的变质与复活	(187)
第九节 其他化学物理溶剂法	(188)
参考文献	(191)
第七章 直接转化法	(193)
第一节 概述	(193)
第二节 液相氧化还原反应的基本原理	(194)
第三节 铁法	(197)
第四节 钒法	(205)
第五节 其他直接转化法	(212)
第六节 直接转化法设备的特点	(214)
参考文献	(216)
第八章 天然气脱硫脱碳的其他方法	(218)
第一节 氧化铁固体脱硫剂	(218)
第二节 浆液法	(222)
第三节 热碳酸钾法	(226)
第四节 分子筛法	(229)
第五节 膜分离法	(235)
第六节 低温分离法	(242)
第七节 生化脱硫法	(246)
第八节 各种液体除硫剂	(247)
第九节 天然气的精脱硫	(248)
参考文献	(250)
第九章 天然气脱水工艺	(252)
第一节 概述	(252)

第二节 甘醇法·····	(254)
第三节 分子筛法·····	(269)
第四节 其他脱水方法·····	(278)
参考文献·····	(280)
第十章 硫磺回收工艺 ·····	(282)
第一节 硫磺的性质、质量指标及供需情况·····	(282)
第二节 克劳斯反应及其热力学与动力学·····	(286)
第三节 克劳斯工艺流程·····	(290)
第四节 燃烧反应段·····	(294)
第五节 催化转化段·····	(298)
第六节 过程气再热方式·····	(303)
第七节 硫的冷凝及处理·····	(305)
第八节 硫磺成型·····	(307)
第九节 装置硫收率的计算方法·····	(312)
第十节 提高装置硫收率的措施·····	(316)
第十一节 尾气灼烧·····	(320)
第十二节 克劳斯装置数据·····	(321)
第十三节 处理酸气的其他途径·····	(322)
参考文献·····	(326)
第十一章 尾气处理工艺 ·····	(329)
第一节 概述·····	(329)
第二节 低温克劳斯类工艺·····	(331)
第三节 还原类尾气处理工艺·····	(338)
第四节 氧化类尾气处理工艺·····	(348)
参考文献·····	(351)
第十二章 克劳斯延伸工艺 ·····	(352)
第一节 概述·····	(352)
第二节 克劳斯组合工艺·····	(352)
第三节 克劳斯变体工艺·····	(363)
参考文献·····	(371)
第十三章 天然气净化工艺的选择 ·····	(373)
第一节 各种脱硫脱碳工艺的特点及适应性·····	(373)
第二节 天然气脱硫脱碳工艺的选择·····	(376)
第三节 硫磺回收与尾气处理工艺的选择·····	(380)
第四节 天然气脱水工艺的选择·····	(385)
参考文献·····	(386)
第十四章 天然气净化过程中的分析项目和测试方法 ·····	(387)
第一节 概述·····	(387)
第二节 天然气脱硫脱碳过程中的分析方法·····	(388)
第三节 硫磺回收及尾气处理过程中的分析方法·····	(401)

第四节	天然气脱水过程中的分析方法·····	(408)
参考文献	·····	(414)
附 录	一、天然气净化领域常用英文缩写词·····	(416)
	二、国外天然气净化工艺名称·····	(418)

第一章 概 论

一般认为，天然气净化工艺包括天然气脱硫脱碳、脱水、硫磺回收及尾气处理 4 类工艺。天然气脱硫脱碳及脱水是为了达到商品天然气的质量指标；硫磺回收及尾气处理则是为了综合利用和满足环保要求。

国外也常将天然气净化（Natural Gas Purification）称为天然气处理（Natural Gas Treatment），有时还称为天然气调质（Natural Gas Conditioning）。

第一节 天然气在能源结构中的地位^[1,2]

在近期的世界石油大会上有不少专家预言，正如 20 世纪被称为“石油世纪”一样（1965 年起石油超过煤炭成为人类的第一能源），21 世纪将是“天然气世纪”。

世界天然气的储量十分丰富，据估计常规天然气的最终可采资源量为 $327.4 \times 10^{12} \text{ m}^3$ ，而非常规天然气资源估计有 $(1390 \sim 4430) \times 10^{12} \text{ m}^3$ ，而 2000 年产量约 $2.39 \times 10^{12} \text{ m}^3$ ，这为天然气成为一种优质清洁能源和重要的化工原料提供了资源保障。

作为一次能源，天然气燃烧排放的 SO_2 ， NO_x ，CO 及飞灰量大大低于煤和石油，如表 1-1 所示，而且由于其氢碳比高，排放的 CO_2 量也较少，可对减轻地球的温室效应做出贡献。

表 1-1 不同能源排放的污染物量^①

能 源	SO_2	NO_x	CO	CO_2	灰 分
天然气	1	1	1	1	1
石 油	400	5	16	1.33	14
煤炭	700	10	29	1.67	148

① 相同热值下以天然气排放的污染物量为 1 计。

天然气在世界一次能源消费结构中的比例，1900 年为 1.5%，1920 年为 1.9%，1940 年为 4.6%。随着人类环保意识的觉醒和不断增强，目前已达到 25% 左右，超过煤炭而居第二位（表 1-2）。

表 1-2 世界一次能源消费结构

年 度		1950	1960	1970	1980	1990	1999
消费总量, 10^8 toe ^①		17.4850	28.8866	48.4548	63.6669	79.2600	85.3360
消费 结构 %	天然气	9.7	14.2	18.6	19.8	22.87	24.19
	石 油	31.0	37.8	48.7	48.6	39.79	40.57
	煤 炭	57.6	46.0	30.5	28.3	28.56	24.95
	水电、核电	1.7	2.0	2.2	3.3	8.78	10.29

① toe 为吨油当量。

据估计，到 21 世纪中期天然气将超过石油而在世界一次能源消费结构中占据首位。
然而在我国，天然气在一次能源消费结构中所占比例目前还不到 3%，如表 1-3 所示。

表 1-3 我国一次能源消费结构

年 度		1953	1962	1970	1980	1990	1999
消费总量, 10 ⁴ t (标煤)		5411	16540	29291	60275	98703	124759
消费 结构 %	天然气	0.02	0.93	0.92	3.14	2.10	2.29
	石 油	3.81	6.61	14.67	21.05	16.60	24.21
	煤 炭	94.33	89.23	80.89	71.81	76.20	70.96
	水电、核电	1.84	3.23	3.52	4.00	5.10	2.54

应当强调指出，根据可持续发展战略和环境保护国策的要求，我国正在大力发展天然气工业，预计我国远景天然气可采资源量为 $15 \times 10^{12} \text{ m}^3$ ，2001 年产量为 $303 \times 10^8 \text{ m}^3$ ，但产量将快速增加，“西气东输”已成为我国西部大开发的标志性工程。据估计，随着我国天然气工业的加速发展，加上准备陆上引进俄罗斯的天然气和海上引进澳大利亚与印度尼西亚的液化天然气，我国天然气消费量将成倍增长。天然气在我国一次能源消费结构中的比例，预计 2005 年达 5%，2010 年达 7%~8%，2015 年超过 10%。

天然气主要用作各种燃料，如表 1-4 所示，用作化工原料的比例虽然不高，但绝对量可观，不少国家的合成氨和甲醇 90% 以上是以天然气为原料生产的，详见表 1-5。

表 1-4 天然气消费结构 (%)

区 域	发 电	工业燃料	工业原料	民用及商用
北 美	11.6	47.5	3.4	37.5
欧 洲	19.2	31.0	4.3	45.5
独联体	35.8	43.6	4.0	16.6
东南亚	40.0	41.8	10.0	8.2
中 东	32.1	52.8	10.1	5.0
中 国	3.3	59.6	20.1	17.0

表 1-5 产品以天然气为原料所占比例 (%)

产 品	美 国	英 国	独联体	法 国	印 度	中 国
合成氨	98.2	100	92.2	—	46.4	17
甲 醇	100	90	90	80	—	18

从表 1-4 及表 1-5 可见，我国天然气化工利用的比例虽高，但由于用气量并不多，在合成氨及甲醇的原料结构中比例却不高。

第二节 含硫天然气组成^[3,4]

不同地层所产天然气有不同组成，有些天然气不含或仅含微量 H₂S 及有机硫，可称无

硫气（国外称为 Sweet Gas）。但也有许多天然气含有一定浓度的 H₂S 以及有机硫、CO₂，可称之为粗天然气，这些天然气必须将这些杂质脱除达到质量指标后方能成为商品。表 1-6 及表 1-7 分别列出了国外与我国一些含硫天然气的组成。

表 1-6 国外某些含硫天然气组成

国外气田		H ₂ S %	CO ₂ %	RSH ^① mg/m ³	COS ^① mg/m ³	CS ₂ ^① mg/m ³	C ₁ %	C ₂ ⁺ %
法国	Lacq	15.5	10.0	1070	285	142	69.4	5.1
美国	Texas	15.0	6.0		86		57.69	13.81
	Person	1.6	6.9	27	10	-	81.57	9.43
	-	0.002	30.0	-	-	-	70.0	-
加拿大	比培雷	90.6	5.1	-	-	-	3.4	微
	华特顿Ⅳ	32.2	7.6	-	-	-	51.2	5.7
	内维斯	6.5	4.1	-	-	-	63.5	17.4
	克罗斯菲	0.6	6.0	-	-	-	81.4	10.8
俄罗斯	奥伦堡	2.58	1.4	831	51	-	82.2	14.25
	阿斯特拉罕	24.6	14.2		10		49.6	12.0
德国	NEAG	9.0	9.5	100	130	-	81.5	0.5
	Düste	6.31	8.88	22	94	-	80.64	0.2
伊朗	马斯杰德	25.0	11.0	428	1710	-	62.8	1.2
	-	0.16	2.10	-	-	-	81.40	16.34

① 均为以硫计的含量，即 mg（硫）/m³。

表 1-7 我国若干含硫天然气组成

气田		H ₂ S %	CO ₂ %	RSH ^① mg/m ³	RSR' ^① mg/m ³	COS ^① mg/m ³	其他 有机硫 ^① mg/m ³	C ₁ %	C ₂ ⁺ %
四川 气 田	威远	0.879	4.437	-	-	-	-	86.80	0.11
	卧龙河 ^②	4.48	0.54	580~800	40~60	<10		92.42	1.35
	中坝	6.32	4.13					84.84	2.903
	庙高寿	0.69	-	-	-	-	-	96.42	0.91
	相国寺	0.16	0.16	-	-	-	-	97.62	0.99
	垫江 ^②	0.209	2.277	-	-	-	-	96.095	0.613
	渠县 ^②	0.531	1.913	-	-	-	-	96.357	0.315
	磨溪 ^②	1.64	0.50	-	-	-	-	>93	<3
	长寿 ^②	0.285	2.251	-	-	-	-	95.983	0.657
	罗家寨 6# 井	7.05	5.87	2.2		90.3	5.7	85.92	0.07
	卧 63# 井	31.95	1.65	-	-	-	-	64.91	0.566
	渡口河 3 井	17.06	8.27	-	-	-	-	73.71	0.11
江汉	建南 ^②	3.289	6.990					88.851	-

续表

气 田		H ₂ S %	CO ₂ %	RSH ^① mg/m ³	RSR' ^① mg/m ³	COS ^① mg/m ³	其他 有机硫 ^① mg/m ³	C ₁ %	C ₂ %
长庆	一净化厂	0.033	3.025	—	—	—	—	95.469	0.719
	二净化厂	0.065	5.321	—	—	—	—	93.810	0.649

① 均为以硫计的含量，即 mg（硫）/m³；

② 净化厂进料气组成。

关于天然气中的有机硫化物，通常气质标准中以总硫含量要求，也有些有硫醇硫的要求，故一般并不作族组成、更毋需作组分分析。表 1-8 给出德国某天然气的有机硫组分分析结果（气相色谱——微库仑法）。

表 1-8 德国某天然气有机硫组分含量（mg/m³）

甲 硫 醇	乙 硫 醇	异 丙 硫 醇	正 丙 硫 醇	另 丁 硫 醇	异 丁 硫 醇	正 丁 硫 醇	3- 甲 基 丁 硫 醇-2	异 戊 硫 醇	戊 硫 醇-2	戊 硫 醇-3	2- 甲 基 丁 硫 醇-1	正 戊 硫 醇	二 甲 硫 醚	甲 乙 硫 醚	二 乙 硫 醚	甲 丙 硫 醚	乙 异 丙 硫 醚	乙 丙 硫 醚	四 氢 噻 吩
4.58	3.28	1.69	2.98	2.09	0.49	2.38	0.79	0.99	1.59	1.19	1.29	1.09	0.59	0.89	0.69	0.39	0.59	1.59	

还应当指出的是，从井口采出的粗天然气中的水蒸气通常均为在该工况条件下饱和的。

第三节 商品天然气质量标准及硫磺回收尾气 SO₂ 排放标准

一、商品天然气质量标准

商品天然气的质量标准系根据天然气的主导用途，综合经济利益、安全卫生和环境保护三个方面制定的。国际标准化组织于 1998 年发布了一份关于天然气质量指标的指导性准则——ISO 13686—1998，它列出了管输天然气质量应当考虑的指标、计量单位和相应的试验方法，但并未作定量规定。表 1-9 给出了国外的一些商品天然气质量要求，表 1-10 则是我国于 1999 年公布的新的天然气质量标准。

表 1-9 国外商品天然气质量指标

国 家	H ₂ S mg/m ³	总硫 mg/m ³	CO ₂ %	水露点 ℃/MPa	高热值 MJ/m ³
英国	5	50	2.0	夏 4.4/6.9 冬 -9.4/6.9	38.84~42.85
荷兰	5	120	1.5~2.0	-8/7.0	35.17
法国	7	150	—	-5/操作压力	37.67~46.04
德国	5	120	—	地温/操作压力	30.2~47.2
意大利	2	100	1.5	-10/6.0	—
比利时	5	150	2.0	-8/6.9	40.19~44.38
奥地利	6	100	1.5	-7/4.0	—

续表

国 家	H ₂ S mg/m ³	总硫 mg/m ³	CO ₂ %	水露点 ℃/MPa	高热值 MJ/m ³
加拿大	6	23	2.0	64 mg/m ³	36.5
	23	115		-10/操作压力	36
美国	5.7	22.9	3.0	110mg/m ³	43.6~44.3
俄罗斯	7.0	16.0 ^①	-	温带0, 寒冷地区夏-5/冬-10	36.1
波兰	20	40	-	夏5/3.37 冬-10/3.37	19.7~35.2
保加利亚	20	100	7.0 ^②	-5/4.0	34.1~46.3
南斯拉夫	20	100	7.0 ^②	夏7/4.0 冬-11/4.0	35.17

- ① 硫醇;
② 系 CO₂ + N₂。

表 1-10 我国天然气国家标准 (GB 17820—1999)^①

项 目	一类	二类	三类	项 目	一类	二类	三类
高热值, MJ/m ³	>31.4			硫化氢, mg/m ³	≤6	≤20	≤460
总硫 (以硫计), mg/m ³	≤100	≤200	≤460	二氧化碳 ^② , %	≤3.0	≤3.0	-
水露点 ^③ , ℃	在天然气交接点的压力和温度条件下, 比最低环境温度低 5℃						

- ① 本标准中气体体积的标准参比条件是 101.325 kPa, 20℃;
② 体积分数;
③ 本标准实施之前建立的天然气输送管道, 在天然气交接点的压力和温度条件下, 天然气中应无游离水。无游离水是指天然气经机械分离设备分不出游离水。

将表 1-10 与表 1-9 比较可见, 我国一类气质标准已达到国际先进水平, 二类气达到国际一般水平, 三类气则系应对我国国情的过渡性标准。

天然气净化的目的就是粗天然气脱硫脱碳及脱水达到表 1-10 的有关指标。

我国还制定了“汽车用压缩天然气”国家标准 GB 18047—2000, 要求: H₂S 不大于 15mg/m³, 总硫 (以硫计) 不大于 200mg/m³, CO₂ 不大于 3%, 氧含量不大于 0.5%, 水露点不大于 -13℃ (最高操作压力下), 高位发热量大于 31.4 MJ/m³, 并应有特殊气味以保证安全。

二、硫磺回收尾气 SO₂ 排放标准

胺法及砵胺法溶液等再生所得酸气通常以克劳斯工艺回收硫磺, 其尾气中仍含有一定量硫化物, 并经灼烧转化为 SO₂, 所排放的 SO₂ 浓度及 SO₂ 量应满足当地的排放指标要求。

表 1-11 给出了一些经济发达国家关于硫磺回收装置应达到的硫收率水平的要求。

表 1-11 国外对硫磺回收装置硫收率的要求 (%)

国 家	装 置 规 模, t/d							
	<0.3	0.3~2	2~5	5~10	10~20	20~50	50~2000	2000~10000
美国得克萨斯州								
	已建装置	灼烧	-	96.0	97.5~98.5	98.5~99.8	99.8	
	新建装置	灼烧	96.0	96.0~98.5	98.5~99.8	99.8	99.8	
加拿大	70		90		96.3		98.5~99.0	99.8