

国外油气勘探开发新技术译丛

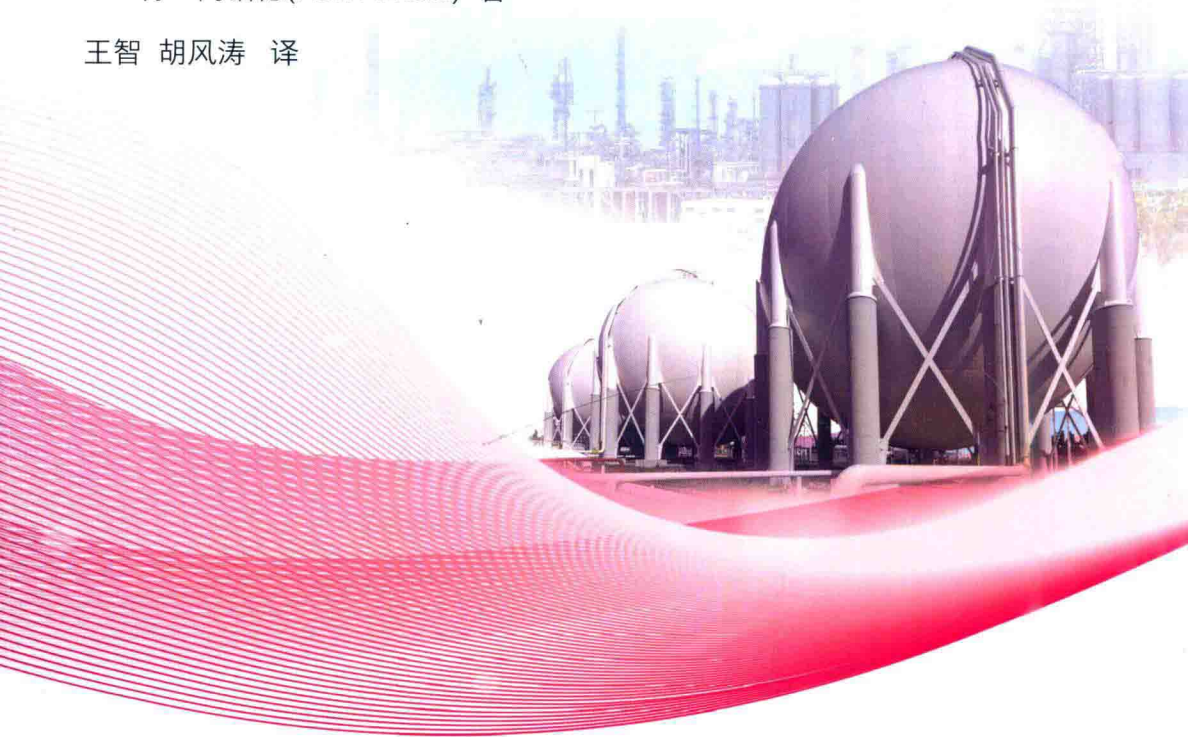
天然气脱水现场手册

GAS DEHYDRATION FIELD MANUAL

[美] 莫里斯·斯特沃(Maurice Stewart)

肯·阿诺德(Ken Arnold) 著

王智 胡风涛 译



中国石化出版社

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

天然气脱水现场手册

Gas Dehydration Field Manual

[美] 莫里斯·斯特沃(Maurice Stewart)

肯·阿诺德(Ken Arnold) 著

王智 胡风涛 译

中国石化出版社

著作权合同登记 图字 01-2014-8340

This edition of *Gas Dehydration Field Manual* by Maurice Stewart, Ken Arnold is published by arrangement with ELSEVIER INC., a Delaware corporation having its principal place of business at 360 Park Avenue South, New York, NY 10010, USA.

中文版权为中国石化出版社所有。版权所有，不得翻印。

图书在版编目(CIP)数据

天然气脱水现场手册 / (美)莫里斯·斯特沃
(Maurice Stewart), (美)肯·阿诺德 (Ken Arnold)
著; 王智, 胡风涛译. —北京: 中国石化出版社,
2017.7

ISBN 978-7-5114-4568-1

I. ①天… II. ①莫… ②肯… ③王… ④胡… III.
①天然气—脱水—手册 IV. ①TE644-62

中国版本图书馆CIP数据核字(2017)第166033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：北京市朝阳区吉市口路9号

邮编：100020 电话：(010)59964500

发行部电话：(010)59964526

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

E-mail: press@sinopec.com

北京富泰印刷有限责任公司印刷

全国各地新华书店经销

*

710×1000毫米16开本11.5印张164千字

2017年10月第1版 2017年10月第1次印刷

定价：58.00元

译者序

天然气是清洁高效的化石能源,在供应稳定性、技术可行性和使用灵活性方面有独特优势。近年来,勘探开发技术的突破大幅提高了天然气开发水平,深刻改变了世界能源格局。同时,天然气的清洁性和灵活性使其在发电、交通等领域得到快速应用。2006~2015年,全球煤炭和石油消费比重下降了2.3%,天然气比重则提高了约1%。为了保护大气环境,有效防治雾霾,中国政府已制定行动计划,将大力提高天然气消费规模和比重。预计到2030年,天然气在我国一次能源消费中的比重将达到15%左右。

为满足商品天然气的销售要求,必须脱除天然气中所含的杂质组分(水蒸气、 H_2S 和 CO_2 等)。由于储气岩层中所含的束缚水,大部分天然气中含有大量的水蒸气。在气藏压力和温度条件下,天然气所含水蒸气处于饱和状态。为满足商品天然气的指标要求,或者为满足下游低温分离的要求,必须脱除天然气中所含的水蒸气。天然气脱水的方法一般包括低温法、溶剂吸收法、固体吸附法、化学反应法和膜分离法等。溶剂吸收法脱水是目前天然气工业中应用最普遍的方法之一,其利用吸收原理,采用一种亲水的溶剂与天然气充分接触,使水传递到溶剂中从而达到脱水的目的。三甘醇再生容易,贫液质量分数可达98%~99%,具有更大的露点降,且运行成本较低,得到了广泛应用。

Maurice Stewart和Ken Arnold编写并于2011年出版的《Gas Dehydration Field Manual》一书,系统性强,内容丰富,从“气体水合物形

成条件和防止方法”、“脱水方法”，以及“醇系统检修、维护和发现并排除故障”这三个主题出发，详细阐述了天然气含水量的计算方法，水合物的预测、生成和抑制，甘醇系统的贫液循环量、浓度、主要设备尺寸和内部结构等内容；同时，对定期检修、醇溶液的化验与控制、故障诊断与维修、消除操作问题等现场实际问题提供了详细的对策。该书不仅对工程设计及相关专业领域的从业人员有参考价值，也对从事生产操作的相关人员有所帮助。因此，我们接受中国石化出版社的委托，将该书翻译成中文，以飨读者。

本书由王智、胡风涛主译。参加翻译的人员有：卢伟、李明悦(负责第一部分)，李明悦、崔春飞、张贤晓(负责第二部分)，王圆圆、蒋超(负责第三部分)。王智、林瑾负责全部译稿的修订和文字统一，中国石化出版社编辑在图表和文字整理方面也付出了许多辛劳。在此对各位译者和编辑者表示诚挚地感谢。

由于译者专业水平有限，疏漏和错误之处在所难免。敬请广大读者批评指正。

译 者

于中石化石油工程设计有限公司

2016年11月

目 录

第一部分 气体水合物形成条件和防止方法

1 目的·····	(1)
2 概述·····	(1)
2.1 露点·····	(1)
2.2 露点降·····	(1)
2.3 为何脱水·····	(1)
3 气体含水量·····	(2)
3.1 介绍·····	(2)
3.2 分压和逸度·····	(2)
3.3 经验曲线·····	(3)
3.4 酸性天然气公式·····	(3)
3.5 氮气和重组分的影响·····	(9)
3.6 应用·····	(10)
3.7 冷凝水量·····	(10)
4 天然气水合物·····	(10)
4.1 什么是天然气水合物·····	(10)
4.2 为什么必须控制水合物·····	(11)
4.3 水合物的生成条件是什么·····	(11)
4.4 如何抑制或控制水合物的生成·····	(11)

5 操作温度和操作压力的预测·····	(11)
5.1 井口操作条件·····	(11)
5.2 集输管线运行条件·····	(11)
5.3 井口温度和压力的计算·····	(11)
5.4 计算集输管线下游温度·····	(12)
6 温降计算·····	(12)
6.1 概述·····	(12)
6.2 温降曲线·····	(13)
7 水合物预测公式·····	(14)
7.1 概述·····	(14)
7.2 气-液平衡常数法·····	(14)
7.3 压力-温度曲线·····	(14)
7.4 状态方程计算·····	(15)
7.5 气-固平衡常数·····	(15)
7.6 压力-温度曲线·····	(15)
8 防止水合物的生成·····	(21)
8.1 概述·····	(21)
8.2 加热·····	(22)
8.3 温度控制·····	(23)
8.4 化学加药·····	(26)
8.5 水合物抑制方法对比·····	(35)
8.6 水合物抑制方法总结·····	(36)
9 水合物抑制·····	(37)
9.1 Hammerschmidt公式·····	(37)
9.2 需要的水合物抑制剂总量·····	(37)
9.3 确定水合物抑制剂用量的步骤·····	(38)

10 练习题	(42)
参考文献	(43)

第二部分 脱水方法

1 概述	(45)
2 吸附法	(45)
2.1 工艺概述	(45)
2.2 吸附原理	(45)
2.3 可逆工艺	(46)
2.4 传质区(MTZ)	(46)
2.5 操作原理	(47)
2.6 工艺变量的影响	(51)
2.7 设备	(60)
2.8 干燥剂性能	(66)
2.9 需要设计关注的领域	(67)
3 吸收法	(71)
3.1 工艺概述	(71)
3.2 吸收原理	(71)
4 甘醇脱水	(72)
4.1 操作原则	(72)
4.2 气体系统	(75)
4.3 甘醇系统	(77)
4.4 操作变量的影响	(81)
5 系统设计	(90)
5.1 尺寸确定的考虑	(90)
5.2 入口微纤维过滤器分离器	(90)

5.3 甘醇/气体吸收塔	(90)
5.4 吸收塔塔径	(92)
5.5 塔板设计	(94)
5.6 塔板间距	(99)
5.7 甘醇循环量	(100)
5.8 甘醇贫液浓度	(102)
5.9 甘醇-甘醇预热器	(102)
5.10 甘醇-气体冷却器	(102)
5.11 气体-甘醇-凝液分离器	(102)
5.12 再浓缩器	(102)
5.13 热负荷	(102)
5.14 火管尺寸	(103)
5.15 回流冷凝器	(103)
5.16 气提蒸馏柱	(103)
5.17 直径尺寸	(105)
5.18 填料	(106)
5.19 气提气的量	(106)
5.20 过滤器	(107)
5.21 甘醇泵	(107)
5.22 蒸馏排放	(110)
6 汞因素考虑	(110)
6.1 汞	(110)
6.2 处理	(110)
7 特殊甘醇脱水系统	(111)
7.1 一般原则	(111)
7.2 共沸再生法	(111)

目 录

7.3 冷指冷凝工艺	(113)
8 甘醇-气驱动泵系统	(114)
9 电驱动泵系统	(117)
10 非再生脱水器	(120)
10.1 概述	(120)
10.2 氯化钙装置	(120)
11 普通甘醇物理性质	(122)
参考文献	(131)

第三部分 醇系统检修、维护以及发现并排除故障

1 定期检修	(132)
1.1 定期检修计划	(132)
1.2 一次成功的定期检修项目包括五个步骤	(132)
1.3 记录	(134)
1.4 机械维护	(137)
1.5 醇溶液维护	(138)
1.6 腐蚀控制	(139)
1.7 沟通	(141)
1.8 一般原则	(142)
1.9 氧化	(142)
1.10 热分解	(142)
1.11 pH值控制	(142)
1.12 盐污染(盐沉淀)	(143)
1.13 烃类	(144)
1.14 沉淀物	(144)
1.15 发泡	(144)

1.16 醇溶液的化验和控制·····	(145)
1.17 故障诊断与维修·····	(151)
1.18 再生器中的醇溶液损失·····	(154)
1.19 醇溶液损耗-醇溶液烃类分离器·····	(155)
1.20 醇溶液损耗——多方面的·····	(155)
1.21 三步法排除故障·····	(155)
1.22 醇溶液系统清洁·····	(156)
2 消除操作问题·····	(156)
2.1 一般原则·····	(156)
2.2 进口洗涤器/微型过滤分离器·····	(156)
2.3 吸收塔·····	(159)
2.4 甘醇-气体换热器·····	(161)
2.5 贫甘醇储罐或收集器·····	(161)
2.6 气提或蒸馏塔·····	(162)
3 改善甘醇过滤的一般原则·····	(171)
4 使用炭净化的一般原则·····	(173)
参考文献·····	(174)

第一部分 气体水合物形成条件和防止方法

1 目的

为满足商品天然气的销售要求,必须脱除天然气中所含的杂质组分(水蒸气、 H_2S 和 CO_2 等)。由于储气岩层中所含的束缚水,大部分天然气中含有大量的水蒸气。在气藏压力和温度条件下,天然气所含水蒸气处于饱和状态。为满足商品天然气的指标要求,或者为满足下游低温分离的要求,必须脱除天然气中所含的水蒸气。

在进行处理设施的设计时,首先需要确定天然气含水量和水合物生成条件。

液态水可形成冰状固体,堵塞管道或降低管道输送能力。本章将进一步讨论预测生成水合物的温度、压力条件的方法以及防止水合物生成的方法。

2 概述

2.1 露点

露点指的是在一定压力下,天然气中的水蒸气开始冷凝产生第一滴液时对应的温度。露点常用于表示天然气中的含水量。天然气脱水后,露点随之降低。保证气体温度高于露点温度,可防止水合物生成,进而阻止腐蚀。

2.2 露点降

露点降指的是天然气初始水露点与水蒸气脱除后水露点之差。露点降用来描述达到天然气中某特定含水量所需脱除的水量。

2.3 为何脱水

脱水指的是从气体中脱除水蒸气,以降低天然气露点。气体中如果存在过量的水蒸气,将导致:管线输送效率和输送能力降低;产生腐蚀,并随着气体

流动,在管道或设备中引起泄漏;在管线、阀门或容器中生成水合物或冰状固体。

为满足商业天然气销售合同的要求(取决于环境温度),必须对天然气进行脱水。世界各地天然气含水量的常用要求如下:

- ① 南美、东南亚、南欧、西非、澳大利亚为 $7\text{lb}/[10^6\text{ft}^3(\text{标})\cdot\text{d}]$ ($1\text{lb}\approx 0.454\text{kg}$, $1\text{ft}^3\approx 0.028\text{m}^3$,下同);
- ② 北美、加拿大、北欧、中亚、北亚为 $2\sim 4\text{lb}/[10^6\text{ft}^3(\text{标})\cdot\text{d}]$;
- ③ 制冷(透平膨胀系统)为 $0.05\text{lb}/[10^6\text{ft}^3(\text{标})\cdot\text{d}]$;
- ④ 对水露点要求很低时,应用固定床吸附装置。

3 气体含水量

3.1 介绍

液态水通过“气-液”和“液-液”分离操作而被脱除。气体饱和含水量是气体组成的函数,与气体压力和温度有关。当气体压缩或冷却时,含水量降低。

在某一特定压力和温度下,如果气体吸收的水量达到最大值,此时气体处于饱和状态,或称之为处于露点状态。饱和状态下,气体不会再吸收任何的水分,此时添加的任何水分,都将以液体状态析出。如果压力提高,同时(或者)温度降低,气体吸收水分的能力将降低,此时部分水蒸气冷凝为液体析出。

确定气体中水含量的方法主要有:分压和分逸度关系式;水含量经验曲线(P-T)。

天然气中存在杂质(如 H_2S 、 CO_2 、 N_2 时),可采取一定的修正系数,以降低误差。

3.2 分压和逸度

根据拉乌尔(Raoult)分压定律,有以下公式:

$$y_w = P_v \cdot x_w \quad (1-1)$$

式中: y_w 为气相中水的摩尔分数; P_v 为系统温度下水的饱和蒸气压; x_w 为液相中水的摩尔分数,取值1.0。

由于液相的不可混溶性,液相摩尔分数可视为均一。因此,已知压力和水

第一部分 气体水合物形成条件和防止方法

的饱和蒸气压,根据式(1-1)即可求得气相中水的摩尔分数。式(1-1)的适用情况为:

- ① 仅适用于低压系统,这种情况下理想气体状态公式适用;
- ② 建议用于系统压力不高于60psi(绝)[或者4bar(见表)](1psi $\approx$ 6.894kPa, 1bar=0.1MPa,下同)的情况。

3.3 经验曲线

经验曲线基于不含酸天然气绘制。在不同温度和压力下,绘制了含水量(w)曲线。在某一压力下,曲线近似于一条直线。所显示的含水量是该压力温度下气体所能吸收的最大水量。气体完全饱和,即意味着相对湿度为100%。温度是气体在固定组成和某一压力下的水露点温度。

有大量的公式可以用来确定天然气中的含水量。

① 当不含酸天然气中甲烷含量在70%以上时,采用McKetta-Wehe关系图计算天然气中的水含量,表现出了令人满意的结果(见图1-1)。

② 误差在 $\pm 5\%$ 以内(根据该关系图的应用情况,实际误差极有可能低于该数值)。

③ 随着 H_2S 和 CO_2 含量提高,误差增大。当存在酸性组分时,即使酸性组分含量较低且压力也很低,但仍建议考虑一定的修正系数。

比较不同工况下的含水量,可计算含水载荷,计算管线中析出的水量。这些水存在如下危害:形成水合物;产生腐蚀/冲蚀的根源。

3.4 酸性天然气公式

3.4.1 加权平均法

公式采用加权平均的方法来计算酸性天然气中的水浓度。在该方法中,各组分的水含量乘以其摩尔分数,可采用下述公式:

$$W=yW_{hc}+y_1W_1+y_2W_2 \quad (1-2)$$

式中: W 为天然气的含水量; W_{hc} 为由图1-1查得的天然气水的含量; W_1 为根据相应的经验曲线查得的 CO_2 中水的含量; W_2 为根据相应的经验曲线查得的 H_2S 中水的含量; $y=1-(y_1+y_2)$; y_1 为 CO_2 的摩尔分数; y_2 为 H_2S 的摩尔分数。

图1-2和图1-3列出了所谓的有效含水量。该曲线基于纯酸性组分测定。

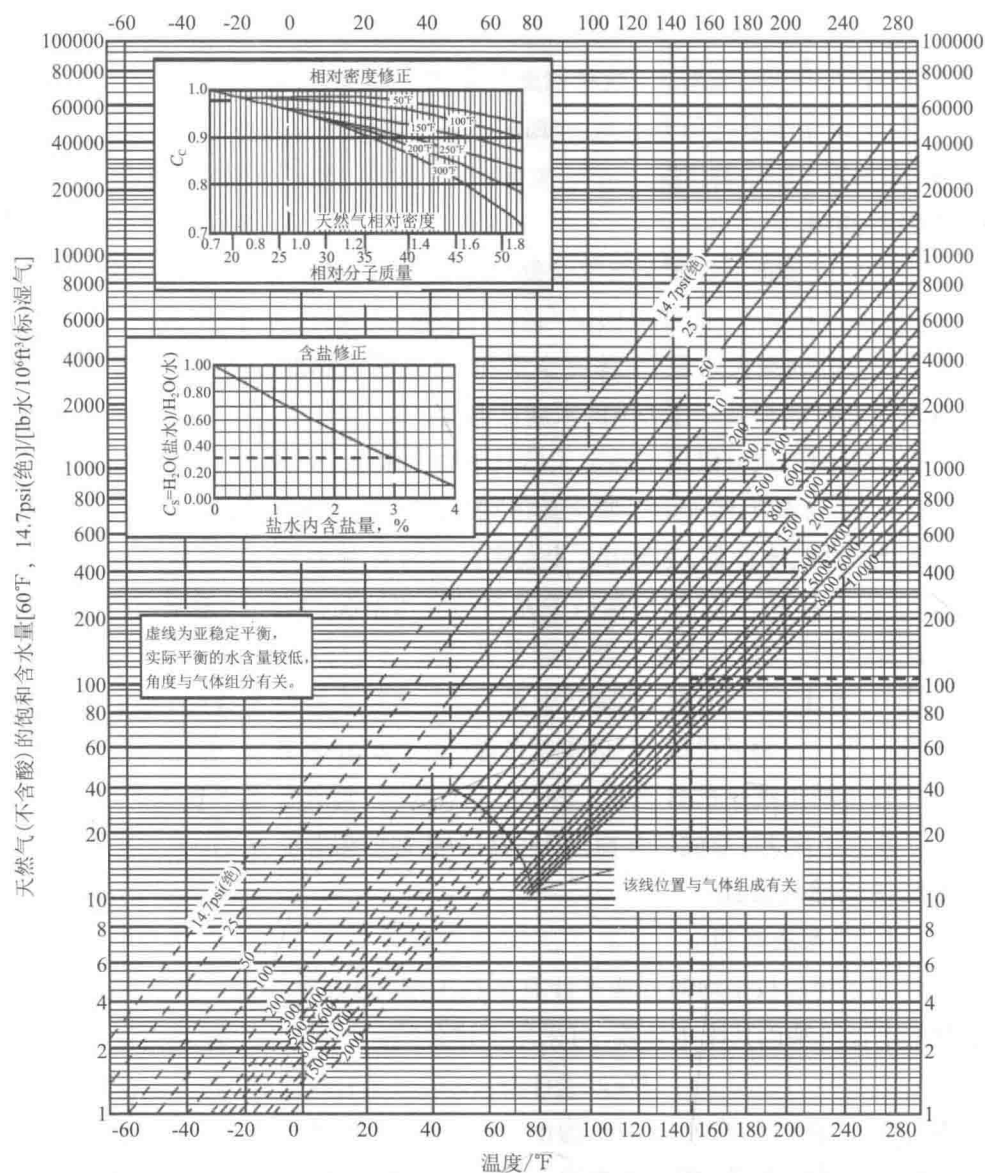


图1-1 天然气(不含酸)的饱和含水量

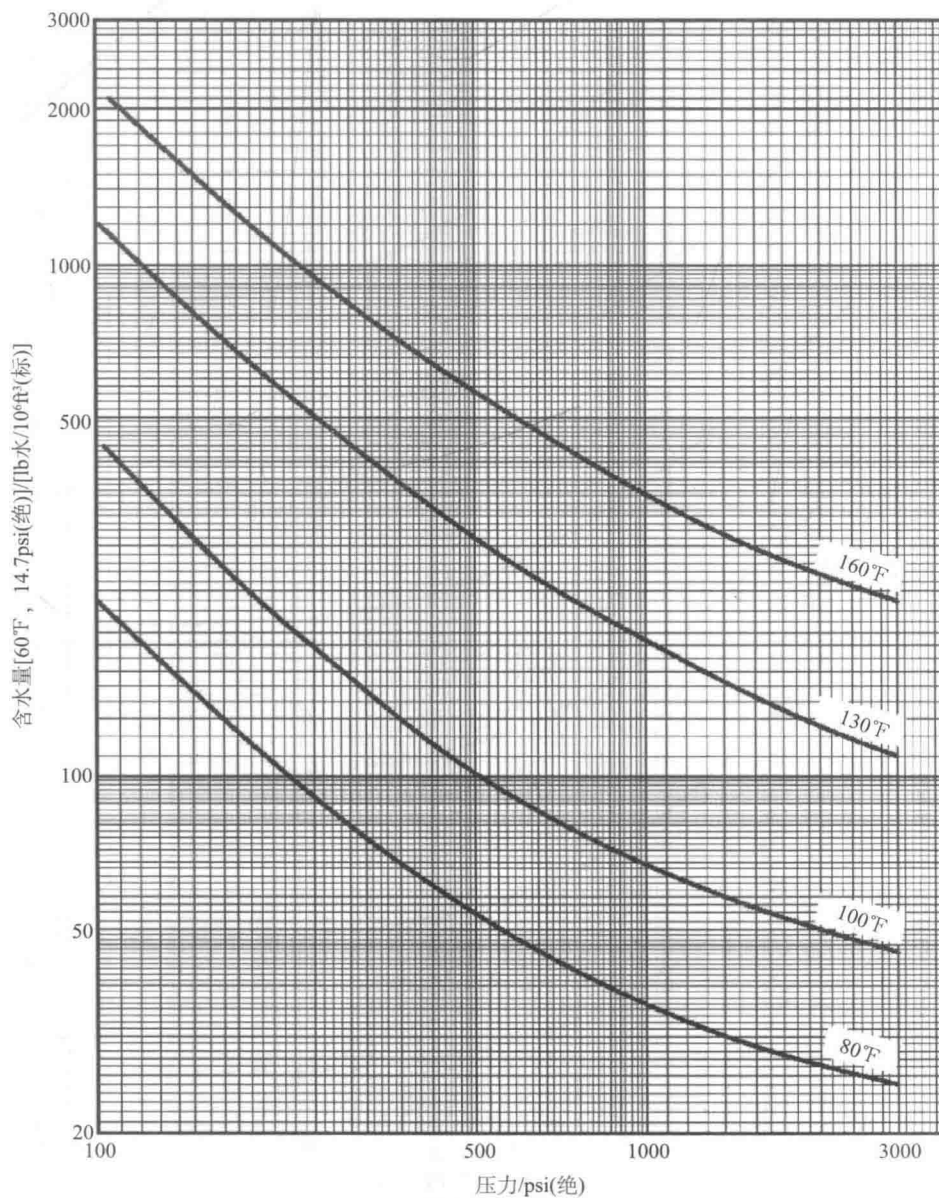


图1-2 天然气内饱和CO₂的有效含水量

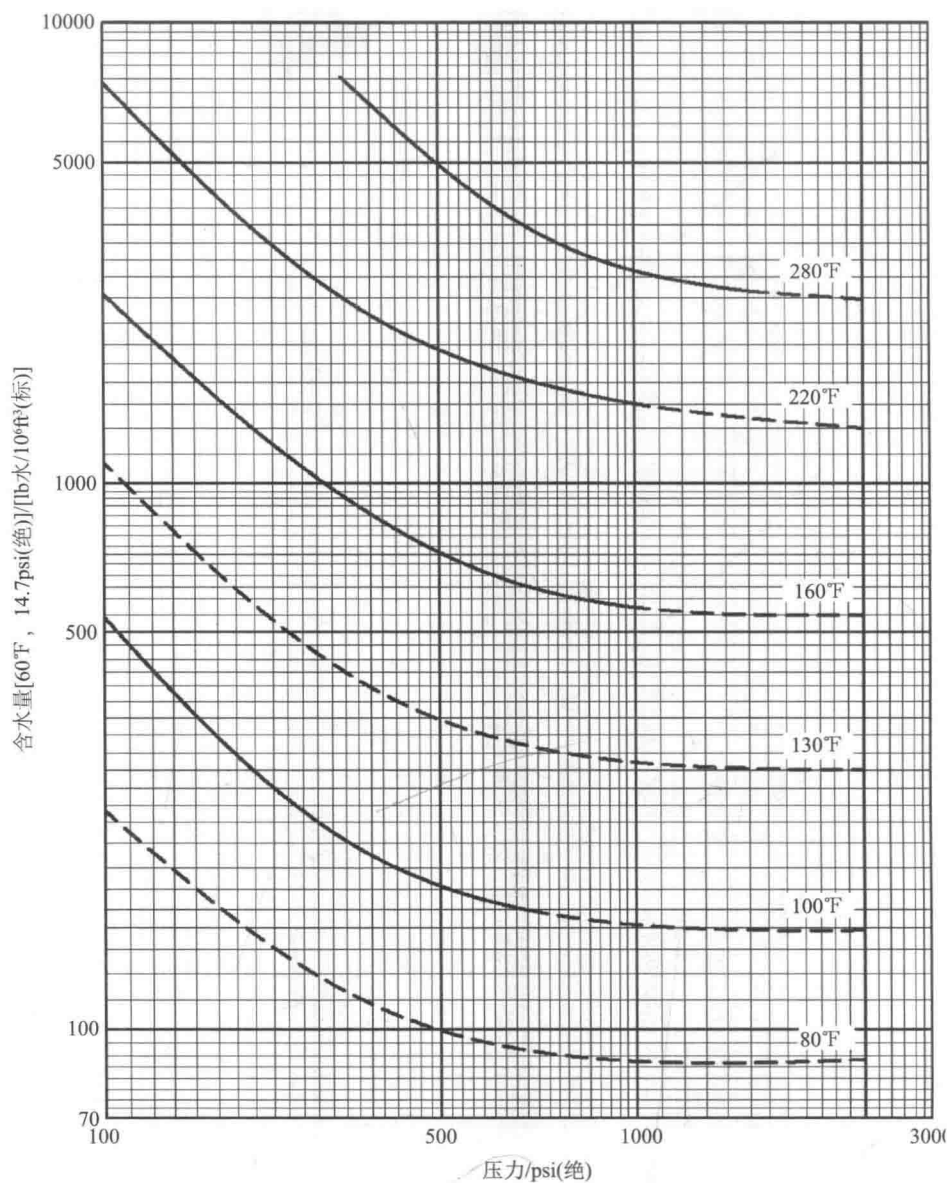


图 1-3 天然气内饱和H₂S的有效含水量