

国外油气勘探开发新进展丛书

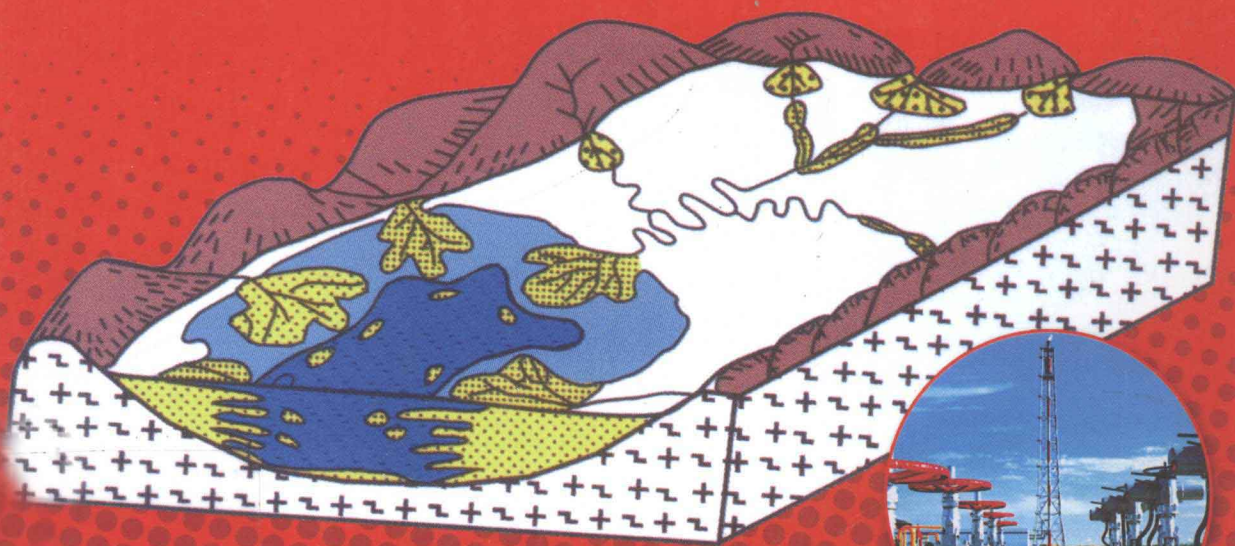
GUOWAIYOUQIKANTANKAIFAXINJINZHANCONGSHU



Natural Gas Measurement Handbook

天然气测量手册

[美] 詹姆斯 E. 加拉格尔 著
冷鹏华 胡冰 张健伟 等译

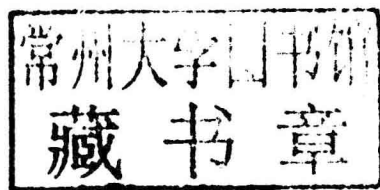


石油工业出版社

国外油气勘探开发新进展丛书(七)

天然气测量手册

[美] 詹姆斯 E. 加拉格尔 著
冷鹏华 胡 冰 张健伟 等译



石油工业出版社

内 容 提 要

本书介绍了天然气的基本性质及常用测量方法,常用天然气测量流量计的基本原理和应用,二级和三级设备,电动气体测量,流量测量不确定度,测量系统的设计要求,几种常用流量计的设计,以及测试、检验、检定与认证的相关内容。

本书适合天然气测量的管理人员、技术人员与研究人员参考。

图书在版编目 (CIP) 数据

天然气测量手册/[美]加拉格尔著;冷鹏华等译.

北京:石油工业出版社,2010.2

(国外油气勘探开发新进展丛书:7)

原文书名:Natural Gas Measurement Handbook

ISBN 978-7-5021-7533-7

I. 天…

II. 加…

III. 天然气—测量—手册

IV. TE64-62

中国版本图书馆 CIP 数据核字 (2009) 第 220177 号

All rights reserved. No part of this publication may be reproduced or transmitted in any form or by any means, electronic or mechanical, including photocopy, recording, or any information storage and retrieval system, without the prior written permission of the publisher.

本书经 Editions Technip 授权翻译出版,中文版权归石油工业出版社所有,侵权必究。

著作权合同登记号图字:01-2008-2830

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

编辑部:(010) 64523562 发行部:(010) 64523620

经 销:全国新华书店

印 刷:北京晨旭印刷厂

2010 年 2 月第 1 版 2010 年 2 月第 1 次印刷

787×1092 毫米 开本:1/16 印张:17.25

字数:410 千字

定价:65.00 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

序

为了及时学习国外油气勘探开发新理论、新技术和新工艺，推动中国石油上游业务技术进步，本着先进、实用、有效的原则，中国石油勘探与生产分公司和石油工业出版社组织多方力量，对国外著名出版社和知名学者最新出版的、代表最先进理论和技术水平的著作进行了引进，并翻译和出版。

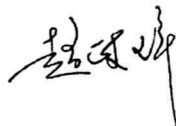
从2001年开始，在跟踪国外油气勘探、开发新理论新技术和最新出版动态的基础上，从生产需求出发，通过优中选优已经翻译出版了6辑34本专著。在这套系列丛书中，有些代表了某一专业的最先进理论和技术水平，有些非常具有实用性，也是生产中所亟需。这些译著发行后，受到了企业和科研院校广大生产管理、科技生产实践人员的欢迎，在实用中发挥了重要作用，达到了促进生产、更新知识、提高业务水平的目的。该套系列丛书也获得了我国出版界的认可。2002年丛书第2辑整体获得了中国出版工作者协会颁发的“引进版科技类优秀图书奖”，2006年丛书第4辑的《井喷与井控手册》再次获得了中国出版工作者协会的“引进版科技类优秀图书奖”，产生了很好的社会效益。

2009年在前6辑出版的基础上，经过多次调研、筛选，又推选出了国外最新出版的6本专著，即《天然气测量手册》、《地面工程合同》、《盆地分析与模拟》、《油井生产实用手册》、《层序地层学原理》、《石油工程岩石力学》，以飨读者。

在本套丛书的引进、翻译和出版过程中，中国石油勘探与生产分公司和石油工业出版社组织了一批专家、教授和有丰富实践经验的工程技术人员担任翻译和审校人员，使得该套丛书能以较高的质量和效率翻译出版，与广大读者见面。

希望该套丛书在相关企业、科研单位、院校的生产和科研中发挥应有的作用。

中国石油天然气股份有限公司副总裁



译者前言

天然气作为一种优质能源和化工原料越来越受到人们的关注，随着市场经济的发展，人们越来越重视天然气测量，特别是贸易计量。天然气测量实际上是天然气流量的测量，测量的准确度取决于整套测量系统的合理设计、建设、操作和维护等全过程的质量。为了保证天然气测量的准确度，保证测量系统按统一的技术要求进行全面质量管理，制定科学合理的天然气测量标准是非常必要的。我国目前在天然气测量中虽然采用了一些测量标准，但这些标准尚未覆盖天然气计量的各个方面，特别是在天然气贸易计量中缺乏统一的、系统的技术标准。希望詹姆斯 E. 加拉格尔 (James E. Gallagher) 编写的这本《天然气测量手册》，能对天然气测量标准的制定以及生产、贸易中天然气测量的设计操作提供一些基本的指导。

本书涉及的内容主要包括两大部分，第一部分着重介绍天然气的物性、相关的工艺条件以及天然气测量过程中涉及的一些基本概念，并对测量系统中天然气的质量要求及部分的二级、三级设备等进行了简单的介绍；第二部分着重介绍几种流量计的原理、组成、使用条件、设计要求及相关计算，并简要介绍了天然气测量相关设备的检验、测试、校准等操作及要求。为便于读者参阅，最后还编有一个包括机械标准和刊物、电子标准和刊物、测量标准和刊物以及美国政府规定的附录。

本书的翻译工作是在全体翻译人员的共同努力之下完成的。冷鹏华负责前言、第 7 章 ~ 第 9 章和全书的统稿；胡冰负责第 4 章、第 11 章、第 12 章、第 13 章、第 17 章，附录 A、附录 C；张健伟负责附录 B，第 3 章、第 10 章、第 14 章、第 15 章、第 16 章、第 18 章；刘胜英负责第 5 章和第 6 章；刘继伟负责第 1 章和第 2 章。

在本书的翻译和出版过程中，得到了石油工业出版社、大庆石油学院董群教授、吉林大学曹成润教授、大庆油田研究设计院和大庆油田勘探开发研究院有关领导和专家的大力支持与帮助，在此表示诚至的谢意！

由于水平的限制，译文之中难免有不当之处，敬请读者批评指正。

译者

2009 年 11 月

感谢我的妻子 Patricia,
感谢我的儿子 Ryan 和 Dzniel,
感谢我的父母。

詹姆斯 E. 加拉格尔

前言

测量是生产商、矿区特许权所有者、运输者、工厂、市场销售者、国家、联邦政府权威机构以及公众之间进行贸易的基础。实际上，烃类流体及物料的精确计量显著影响着进出口国家的国民生产总值、全球公司财务业绩资产基础以及操作设备的认知效率。因此，精确的测量其必要性也就显而易见了。

如果给出天然气费用目前或将来的标准，那么就可以迅速测量出未加说明的物料值及经济值的大小，其系统不确定度为 $\pm 0.01\%$ ，该系统的不确定度虽未被人们意识到但包含在计量系统中。

计量误差能对利润产生短期的以及长期的影响。不精确的计量会导致顾客的减少、负面的广告宣传、处罚以及法律债务。简而言之，合理、精确的计量对商业界极为重要，它影响到财政及运营报告的可行性和公司的声誉。（现金流动、收益和损失、资金平衡表、矿区使用费以及其他税额）。

基于以上原因，物料量的计量必须是精确的并且基础误差也要最小。不仅如此，在监管转移中必须建立追踪链，并对其进行维护，该追踪链使计量符合国内和国际标准。通过该方式，在买者与卖者持有一定的信心的情况下，就可以实现公平合理的财政费用转移。

财政费用转移中所用到的基本资源和操作资源（基建费用，作业费用）必须与总的计量费用相符。这里总的计量费用指：技术的资本成本、技术的经营成本、工业实践及标准费用、调整遵从规范的费用、总的财政支出和财政风险费用（商品价值乘以产量）、商业策略指导费用以及竞争策略费用。不确定度的大小受资源的投资所控制（基建费用和作业费用），该资源投资与计量方法（初级，二级及三级设备）以及财政支出和财政风险的固有不确定度相关联。

计量是对技术的要求，也是技术的组合，其对商业盈利有着重要的影响。现场计量需要一种包含有关定义缩写词以及符号的高级技术语言，这些语言必须为管理者、被管理者、监督者、工程师、技师以及操作人员所理解和接受。

每一种流量计技术的不确定度来源、不确定度估测（ U^{95} ）以及统计加权方法具有以下作用：

- （1）确定误差的类型及大小，针对的设备为初级、二级以及三级设备。
- （2）确定设备的完善区域（升级或更换）。
- （3）以所投资的资源为基础（基建费用），提出可接受的损失情况。
- （4）确定每种流量计技术的作业费用要求。
- （5）为每个位置处的作业费用资源分配提出侧重点。
- （6）提出损失调查过程中的重点。

本手册中的内容包括计量规则、计量规则的技术现状及其在现实世界中的应用，作者希望对广大技术人员有所帮助。

目 录

1 绪言	(1)
1.1 传输系统	(1)
1.2 测量	(5)
1.3 流体的商业分类	(7)
1.4 材料品质	(8)
1.5 风险管理	(9)
2 组成与质量	(11)
2.1 检定	(11)
2.2 质量参数与容差	(12)
2.3 气体质量的潜在影响	(14)
2.4 典型物流	(16)
3 物性与工艺条件	(23)
3.1 天然气	(23)
3.2 流体分类：工艺技术	(24)
3.3 相界面	(25)
3.4 流体性质	(27)
3.5 工艺（或操作）条件	(32)
3.6 典型天然气物性	(37)
4 测量方法	(48)
4.1 适用流体	(48)
4.2 基准条件	(48)
4.3 流量计（或初级设备）	(49)
4.4 流量计校准（定义）	(49)
4.5 相似定律	(53)
4.6 管内单相流体流动	(55)
4.7 管内多相流体流动	(60)
4.8 二级设备	(62)
4.9 三级设备	(63)
4.10 不确定度	(63)
4.11 测量总费用	(64)
5 孔板流量计	(65)
5.1 基本原理	(65)

5.2	质量流速方程	(67)
5.3	人工校准	(73)
5.4	不确定度来源	(74)
5.5	误差来源	(76)
5.6	风险管理	(77)
6	超声波流量计	(80)
6.1	基本原理	(80)
6.2	质量流速方程	(82)
6.3	关键设备校准	(83)
6.4	现场校准	(84)
6.5	不确定度来源	(84)
6.6	误差来源	(86)
6.7	风险管理	(93)
7	涡轮流量计	(96)
7.1	基本原理	(96)
7.2	质量流速方程	(97)
7.3	关键设备校准	(97)
7.4	现场校准	(98)
7.5	不确定度来源	(98)
7.6	误差来源	(100)
7.7	风险管理	(102)
8	旋转位移流量计	(103)
8.1	基本原理	(103)
8.2	质量流速方程	(104)
8.3	关键设备校准	(104)
8.4	现场校准	(105)
8.5	不确定度来源	(105)
8.6	误差来源	(108)
8.7	风险管理	(109)
9	计算	(110)
9.1	基准条件	(110)
9.2	物理性质	(110)
9.3	天然气密度	(116)
9.4	GPA 2172 标准与 A. G. A. 8	(119)
9.5	管内质量流速	(124)
9.6	孔板流量计的质量流速	(125)

9.7	超声波流量计的质量流速	(128)
9.8	涡轮流量计的质量流速	(131)
9.9	旋转位移流量计质量流速	(134)
9.10	基准条件下的体积流量	(136)
9.11	基准条件下的能量流速	(136)
9.12	数值计算	(136)
10	二级和三级设备	(138)
10.1	概述	(138)
10.2	差压 (Δp)	(145)
10.3	静压	(146)
10.4	温度	(147)
10.5	多元变送器	(148)
10.6	在线密度计	(149)
10.7	湿度分析器	(150)
10.8	在线气相色谱仪	(152)
10.9	其他分析器	(154)
10.10	流量计算器	(155)
10.11	气体取样系统	(155)
11	气体的电子测量	(160)
11.1	气体的电子测量系统说明	(160)
11.2	系统准确度	(160)
11.3	概念	(160)
11.4	流体取样参数	(161)
11.5	低流量检测	(161)
11.6	平均技术	(161)
11.7	可压缩性、密度与热值	(161)
11.8	定时定量计算	(161)
11.9	数据可用性	(161)
11.10	审计与报告要求	(163)
11.11	仪器的检定、校准与认证	(167)
11.12	安全	(168)
12	不确定度	(170)
12.1	有关不确定度的基本概念	(170)
12.2	测量的不确定度	(171)
12.3	流量计不确定度实例	(173)
12.4	统计加权	(176)

13 测量系统设计	(180)
13.1 目标不确定度	(180)
13.2 流体物理性质	(180)
13.3 运行设计数据	(180)
13.4 其他操作条件	(181)
13.5 基本设备冗余	(181)
13.6 场地要求	(182)
13.7 结构	(183)
13.8 管线要求	(183)
13.9 压力调节与控制	(184)
13.10 火炬与放空设备	(185)
13.11 超压保护	(185)
13.12 过热安全阀	(185)
13.13 集管	(185)
13.14 粗滤器	(186)
13.15 双阻双排阀	(186)
13.16 单向阀	(187)
13.17 脉动控制	(187)
13.18 初级设备	(187)
13.19 二级设备	(187)
13.20 三级设备 (流量计算机)	(192)
13.21 控制阀	(192)
13.22 接线与接地	(193)
13.23 计量控制面板	(193)
13.24 电源	(194)
13.25 卫星辅助控制面板	(194)
13.26 管理控制与检漏	(194)
13.27 安全	(195)
13.28 工厂验收试验	(195)
13.29 脱水、清洁与干燥	(195)
13.30 试车	(196)
14 孔板流量计的设计	(197)
14.1 概述	(197)
14.2 流速与管道保温	(197)
14.3 过滤器	(198)
14.4 流量计装置	(198)

14.5	流量计的机械性质	(198)
14.6	绕线管的机械性质	(200)
14.7	二级和三级设备	(200)
15	超声波流量计的设计	(201)
15.1	概述	(201)
15.2	流速与管道保温	(201)
15.3	滤声器	(202)
15.4	流量计装置	(202)
15.5	流量计的机械性质	(202)
15.6	绕线管的机械性质	(204)
15.7	流量计: 信号处理单元 (SPU), 电子元件及软件	(204)
15.8	二级和三级设备	(205)
16	涡轮流量计的设计	(206)
16.1	概述	(206)
16.2	流速与管道保温	(206)
16.3	过滤器与润滑	(207)
16.4	流量计装置	(207)
16.5	流量计的机械性质	(207)
16.6	绕线管的机械性质	(207)
16.7	流量计: SPU, 电子元件及软件	(209)
16.8	二级和三级设备	(209)
17	旋转位移流量计设计	(211)
17.1	概述	(211)
17.2	流速与管道保温	(211)
17.3	过滤器与润滑	(211)
17.4	流量计装置	(211)
17.5	流量计的机械性质	(212)
17.6	连接管的机械性质	(212)
17.7	流量计: SPU, 电子元件及软件	(212)
17.8	二级和三级设备	(213)
18	检验、测试、检定、校准和认证	(214)
18.1	检验	(215)
18.2	测试	(215)
18.3	检定	(215)
18.4	校准	(216)
18.5	认证	(216)

18.6	仪器	(217)
18.7	仪器信息	(218)
18.8	记录	(224)
附录		(225)
A	标准、出版物及条例	(225)
A.1	机械标准与出版物	(225)
A.2	电气标准与出版物	(226)
A.3	计量标准与出版物	(226)
A.4	美国政府条例	(230)
B	符号意义和单位换算	(232)
B.1	符号意义	(232)
B.2	测量单位	(235)
B.3	下标	(236)
B.4	国际单位制词头表	(236)
B.5	单位换算	(237)
C	术语	(239)

1 绪 言

测量是生产者进行商业活动的基础,这些生产者包括矿区特许权所有者、运输者、加工工厂、市场、国家和联邦政府当局以及一般公众。

事实上,油气测量对国家进出口的国民生产总值、全球公司的财政实绩和资产基础以及操作设施的效率都有着重要意义。给出这些关键的资源材料现在和未来水平的费用,能迅速地量化出未予说明的材料和经济的价值。在测量系统中可能存在与它们有关的 $\pm 0.01\%$ 的不确定度。

计量误差对利润的获取既有直接的又有长期的影响。不精确的计量可能导致客户损失、负面宣传、处罚和法律责任。总之,合理和精确的计量对商业界是非常必要的。它影响到经济和运营的可行性报告以及公司的声誉。

基于这些原因,精确且只有最低偏差的定量测量才是十分重要的。并且,它也是监管和维护国内和国际计量标准的依据。通过这种方式,用于原材料的资金往来可以公平地完成,并值得各方信赖。

应用于资本和运营资源(资本支出和运营资本)的财政费用转移必须与测量资金、技术的资本成本,技术的经营成本、工业实践及标准的费用、法规的遵守产生费用以及总风险资金的总成本相符合(商品价值乘以生产量)。

1.1 传输系统

天然气的传输系统(见图 1.1)包括集气系统、气体加工工厂、气体传输系统、气体分配系统以及各个终端用户。

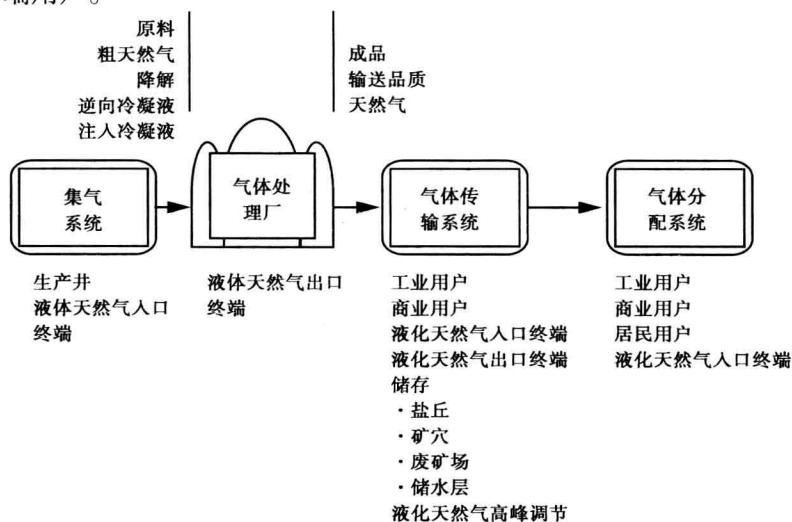


图 1.1 传输系统

1.1.1 集气系统

天然气输送系统是根据天然气的物性参数设计的。遍布于气田的天然气管网把各采气装置和采气站的原始天然气聚集到一起。通过管道将天然气输送到气体加工工厂之前要通过压气站。集气系统最后连接到气体加工工厂。简化的集气系统见图 1.2。

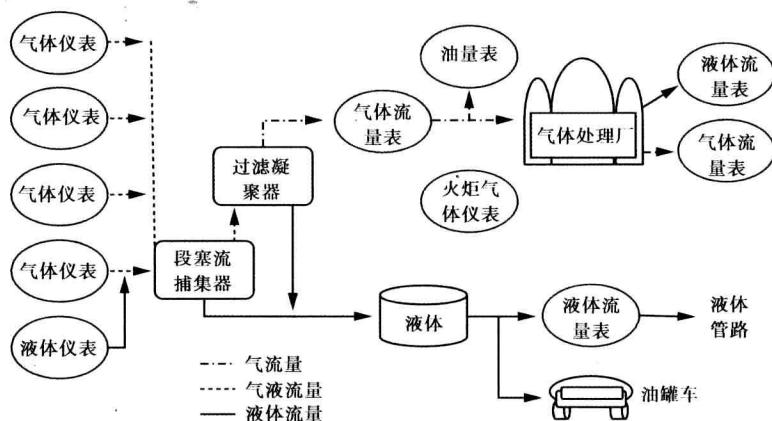


图 1.2 简化的集气系统

在产品计量设备中,流体是单相气体。集气系统包含液体管道冷凝液(逆向的和注入的冷凝液)。当气体通过传输系统的前 5miles,系统和海底(或地面)的温度相当。当集气系统的压力和温度低于烃露点曲线之下,产生逆行冷凝液,形成双相流体。

逆行冷凝液的形成是由于气体温度和压力下降到低于海底(或地面)的温度和管道液压,流体不能悬浮起气相中相同数量的烃,造成液态烃的逆行凝结。

注入冷凝液的一个来源是原油生产商处理的原油,其中的真实蒸气极限包含在联邦环境章程。另一个来源是气体生产特性,有一定数量的油田凝析油。

注入到收集系统中冷凝液的计量使用的是液体计量技术(静态或动态),并与适当的业界标准相符合。

由于液体管道中的冷凝液、流动的水和液体甲醇(预防含水物)的存在,集气系统呈现出多相的流动性。

对于集气系统,清管频率表明了捕集器和聚结分离器加入的管道冷凝液的量。一个严格的清管程序保证液体量不超出系统的设计产量。

管道冷凝液可能被天然气处理厂处理或作为其他工业客户(精炼厂和化工厂)的中间产品(油田凝析油)。

在对气体处理厂的入口,实践中最好的方法是在段塞流捕集器和聚结分离器联合体之后,安装一个单相气体计量装置。这个装置确保单相气体的存在。

在集气系统终端,管道冷凝液(逆行和注入的冷凝液)应用了液体计量技术(静态或动态),并符合适当的业界标准。对于少量的管道冷凝液,使用槽罐车将原材料运输到其他消费场所和处理厂。对于大量的管道冷凝液,液体管道把原材料运输到其他消费场所和处理厂。

复杂的集气系统(见图 1.3)包括与集气系统上游联结的管道。

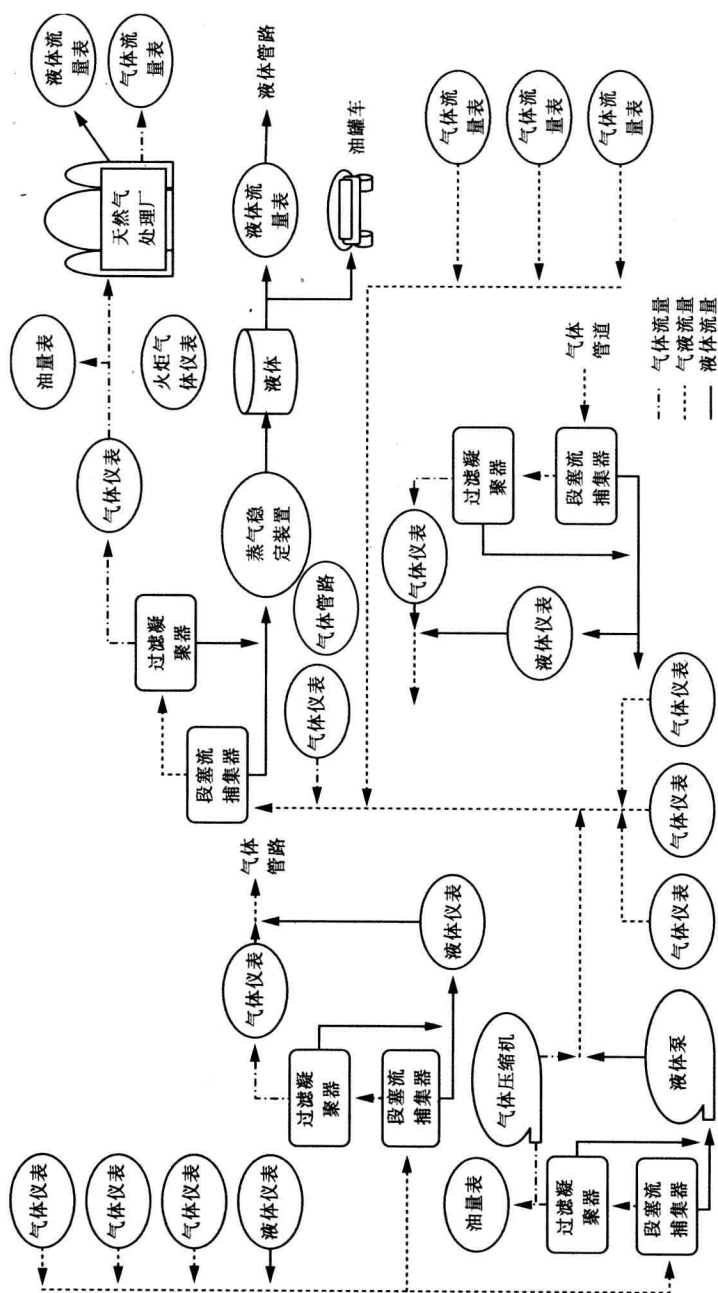


图1.3 复杂的集气系统

1.1.1.1 与不注入管道冷凝液的管道联结

对于不允许注入管道冷凝液的复杂的集气系统,实践中最好的方法是在段塞流捕集器和气—液分离器联合体之后,安装一个单相气体测量装置。这个装置确保单相气体的存在。

管道冷凝液(段塞流捕集器和气—液分离器流出的液体)返回至初始的集气系统。

1.1.1.2 与注入管道冷凝液的管道联结

对于允许注入管道冷凝液复杂的集气系统,实践中最好的方法是在捕集器和气—液分离器联合体之后,安装一个单相气体测量装置。这个装置确保单相气体的存在。

管道冷凝液(段塞流捕集器和气—液分离器流出的液体)使用液体动态技术计量。

1.1.2 气体加工工厂

气体加工厂(参见图 1.4)使用原材料(天然气、管道冷凝液、水、硫化氢和硫磺)生产中间产品(粗加工原料、工厂冷凝液、天然汽油和乙烷—丙烷流)和成品(传输品质天然气、丁烷和丙烷)。

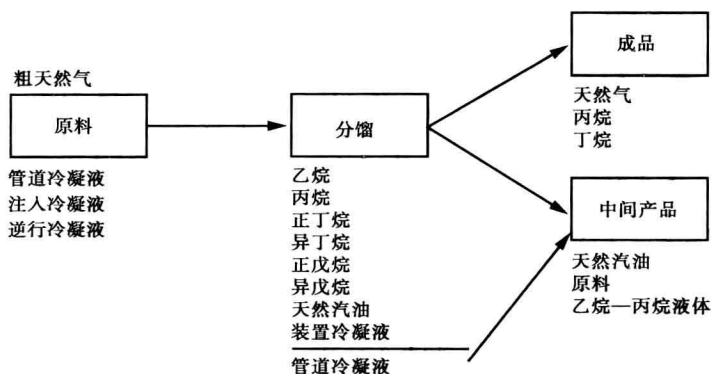


图 1.4 气体加工厂

气体加工工厂采用分级分段的程序把原材料(集气系统)转化为中间产品和成品。

中间产品通过处理厂和工业消费者之间的专业管道被运输到其他处理厂(精炼厂和化工厂)。

气体处理厂的经济状况是根据中间产品和成品的价值来估算的。因此,中间产品和成品依据市场驱动的商品价值变化。

两个最终液体产品(丙烷和丁烷)通过精炼产品专用管道输送到市场。

始端气体工厂位于输送管道的起端,其处理集气系统传送品质天然气注入到输送管道。管道气体处理厂坐落于输送管道上(未在其起点),其处理集气系统传送品质天然气注入到输送管道。液化天然气厂(LNG)加工原材料(集气系统),然后利用船只将其出口到其他国家或地区。根据工厂的效率和气体质量参数,LNG 使用低温程序。在 LNG 的出口,经处理的天然气被储存和在低温下被运输。

1.1.3 气体传输系统

在天然气处理厂的出口,传输质量的天然气(成品)进入一个国家网络的天然气传输管道(见图 1.5)。这个国家网络与天然气存储设施、液化天然气的进口与出口终端、大型工业消费者(电厂、钢厂、精炼厂、化工厂等)以及燃气输配系统连接。