

中国现代科学全书

石油与天然气工程学

油气储运工程

严大凡 张劲军 编著



中国石化出版社

中国现代科学全书·石油与天然气工程学

油气储运工程

严大凡 张劲军 编著

中国石化出版社

图书在版编目(CIP)数据

油气储运工程/严大凡,张劲军编著
—北京:中国石化出版社,2003
(中国现代科学全书·石油与天然气工程学)
ISBN 7-80164-317-8

I. 油… II. ①严…②张… III. 石油与天然气储运 IV. TE8

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2002)第 100507 号

中国石化出版社出版发行

地址:北京市东城区安定门外大街 58 号

邮编:100011 电话:(010)84271850

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

E-mail: press@sinopec.com.cn

北京精美实华图文制作中心排版

三河市三佳印刷装订有限公司印刷

新华书店北京发行所经销

*

850×1168 毫米 32 开本 10.5 印张 270 千字 印 1—2000

2003 年 1 月第 1 版 2003 年 1 月第 1 次印刷

定价: 30.00 元



严大凡 1934年生，1955年毕业于北京石油学院机械系，现任石油大学教授、博士生导师。一直从事油气储运的教学及科研工作，曾获山东省、石油部优秀教师称号及中国石油天然气总公司科技进步一、二等奖和优秀教材奖。1991年被中国石油天然气总公司授予“有特殊贡献科技专家”称号，享受政府特殊津贴；1999年获孙越崎能源大奖。第七届全国人大代表，第八届、第九届全国政协委员。



张劲军 1962年生，1998年毕业于石油大学油气储运专业，获工学博士学位。现任石油大学(北京)油气储运工程系主任、教授、博士生导师；担任中国石油学会油气储运专业委员会委员、中国力学学会中国化学学会流变学专业委员会委员、中国仪器仪表学会分析仪器学会粘度专业委员会副主任、全国高等学校石油天然气专业教育指导委员会委员等职务。曾获省部级科技进步二等奖以及“北京市优秀教师”、“北京市高校优秀青年骨干教师”、“中国石油天然气总公司跨世纪学术带头人”等荣誉称号。

中国现代科学全书总编辑委员会

名誉主编 胡 绳 钱伟长 吴阶平 周光召
许嘉璐 罗豪才 季羨林 王大珩
郑必坚

主 编 姜士林 郭德宏 刘 政 程湘清
卞晋平 王洛林 许智宏 白春礼
卢良恕 徐 诚 王洪峻 明立志

石油与天然气工程学编辑委员会

主 编 张一伟

编辑委员 (以姓氏笔画为序)

张一伟 严大凡 何生厚 张劲军
杜志敏 张 琪 金之钧 罗平亚
胡湘炯 高德利

石油与天然气工程学序

《中国现代科学全书》是一套规模宏大的学术专著丛书，它的任务是系统、全面地概述我国现代自然科学和社会科学各学科的建设与发展及其学术研究的主要成果，为繁荣和发展我国与世界各国之间的科学文化交流服务。它是一项迎接 21 世纪的科学文化建设工程。

石油与天然气工程学科是工业分卷中的一部分，其内容又按四个分支学科分为五卷，即《油气勘探工程》、《油气井工程》、《油气田开发工程》、《油气开采工程》、《油气储运工程》。

近代石油工业的发展约有 150 年的历史。石油在 20 世纪世界工业化进程中起了极其重要的作用，它不仅在能源、交通方面支撑着工业化的进行，在化工等各个方面也起着举足轻重的作用，因此被称为“工业的血液”。我国是世界上最早发现、开采和利用石油的文明古国。两千年前，我们的祖先就开始描述和利用石油了。公元前 221 ~ 210 年，四川出现了用顿钻钻凿的天然气井；13 世纪，四川的先民已大规模开采气田煮盐。公元 1878 ~ 1949 年的旧中国勘探、开发了一批油气田，如玉门的老君庙、新疆的独山子、台湾苗栗的出磺坑、陕北的延长等油田、四川的圣灯山等气田；但自 1904 年至 1949 年累积产量仅 210 万吨。因此，中国现代石油工业的建设是在 1949 年全国解放以后开始的；经过半个世纪的奋斗，已发现了大庆、胜利、克拉玛依、辽河、任丘、渤海蓬莱 19-3 等一批油田和四川、陕甘宁、南海、柴达木、塔里木等一批气区；2000 年我国的原油产量达到了 1.6 亿吨，天然气产量 262 亿立方米。

我国石油工业极其艰难地走过了半个世纪。由于中国地质构造和陆相沉积的复杂性使石油勘探开发工作也极具特色，这也决定了石油学科的科学技术发展方面的特殊性，它丰富了世界油气勘探开发理论和技术的宝库，应予以很好总结。

虽然中国的石油工业进入了大发展的阶段，但是国民经济的快速发展对石油工业提出了更高的要求。1993年，我国又开始进口原油了，而且今后石油缺口还会不断扩大。在这样矛盾的情况下，对中国石油工业应有一个正确的认识，它到底是一个发展中的产业或高峰期的产业还是一个夕阳产业？目前的几个事实应该能清楚地说明上述问题。一是我国油气产量还在逐年稳步上升，保持在世界前十位这样一个较高的产量水平上，二是后备储量也在不断增长，能支持产量维持在这一较高水平上，能确保“西气东输”的资源基础。三是大型油气田还在不断发现，如近几年发现的内蒙古苏里格大气田（5千亿立方米以上）、塔里木盆地的克拉2号大气田（2.5千亿立方米）是目前我国最大的整装气田，渤海湾的蓬莱19-3油田，为位列大庆油田之后的第二大油田，说明我国东、西部地区都有着巨大的潜力，说明我国石油工业仍处在向上发展阶段；特别值得一提的是蓬莱19-3油田，它是在我国东部老区上第三系新领域发现的大油田。根据对我国资源量的估算，石油高峰年产量预计将达到2.5亿吨左右。

本书回顾和总结了前五十年石油工业理论和技术发展概况和发展水平，对未来的发展趋势和可能前景作了预测，相信会对今后石油学科的发展和有关政策的制定起到应有的作用。

《石油与天然气工程学》主编 张一伟

2002年6月

前 言

油气储运系统是连接油气生产、加工、分配、销售诸环节的纽带，它主要包括油气田集输、长距离输送管道、储存与装卸及城市输配系统等，在保障国家能源供应、维护能源安全中具有重要作用。随着“西气东输”等大型油气储运工程的开工建设，我国油气储运业进入了一个新的大发展时期。油气储运工程不仅与相关技术领域的联系越来越紧密，而且从来没有像今天这样与普通百姓的生活息息相关。与此同时，我们也面临着越来越强烈的技术挑战和竞争压力。为了给相关学科的技术及管理人员了解油气储运工程提供一座桥梁，本书较系统地介绍了油气储运系统的主要组成部分及其工作原理和基本概念，并力图反映技术的新成就和发展趋势。

全书共分八章，主要内容包括油气储运工程概述、矿场油气集输、长距离输油管道、长距离输气管道及城市输配气工程、长输油气管道的线路工程及风险管理、油料的储存及综合运输、海上油气田的油气储运，最后对21世纪油气储运技术的发展进行了展望。

根据《中国现代科学全书》编辑工作委员会制定的编撰条例，石油大学(北京)油气储运工程系严大凡教授、张劲军教授组织了《石油与天然气工程学》之《油气储运工程》的编写工作。参加编写工作的都是我国油气储运界的知名专家、教授，其中严大凡教授撰写第一、五章以及第八章第一、四节，石油大学(华东)储运与城建学院冯叔初教授撰写第二章，张劲军教授撰写第三章以及第八章第二节，石油大学(北京)油气储运工程系吴长春教授撰写第

四章及第八章第三节，中国石化集团公司北京设计院彭国庆教授级高工撰写第六章，中国海洋石油总公司原总工程师张培生教授级高工撰写第七章。全书由严大凡教授统稿审定。

由于编者水平有限，书中难免存在缺点错误，恳切希望读者批评指正。

严大凡 张劲军

2002年6月

目 录

第一章 概述	(1)
第二章 矿场油气集输	(17)
第一节 油气集输系统流程	(17)
第二节 矿场集输管路	(24)
第三节 原油和天然气的加工处理	(34)
第四节 矿场油气计量	(52)
第五节 油田采出水的处理	(60)
第三章 长距离输油管道	(72)
第一节 概述	(72)
第二节 长距离输油管道的工艺设计	(78)
第三节 输油泵站与加热站	(84)
第四节 输油管道的运行及控制	(91)
第五节 顺序输送	(96)
第六节 油品的减阻、节能、安全输送工艺	(103)
第四章 长距离输气管道及城市输配气工程	(114)
第一节 天然气的储运销一体化系统	(114)
第二节 长距离输气管道的组成及勘察设计	(130)
第三节 压缩机组与压气站	(156)
第四节 城市燃气输配系统	(175)
第五节 燃气计量	(184)

第六节 供气调峰与储气设施	(190)
第五章 长输油气管道的线路工程及风险管理	(200)
第一节 线路工程	(200)
第二节 油气管道的腐蚀与防护	(214)
第三节 长距离油气管道的风险管理	(221)
第六章 油料的储存及综合运输	(229)
第一节 油库的分类、分级及功能	(229)
第二节 储罐的分类、结构及用途	(234)
第三节 油料的水路运输	(256)
第四节 油料的铁路和公路运输	(269)
第七章 海上油气田的油气储运	(281)
第一节 海上油气生产和集输系统	(281)
第二节 海底管道的设计和建造	(292)
第八章 面向 21 世纪的油气储运技术	(309)
第一节 油气水的多相混输技术	(309)
第二节 易凝高粘原油的改性、改质常温输送技术	(312)
第三节 天然气产供销系统的发展趋势	(315)
第四节 建立我国的石油战略储备系统	(319)
参考文献	(321)

第一章 概 述

一、油气储运系统的任务

油气储运顾名思义就是油和气的储存与运输。在石油工业内部它是联接产、运、销各环节的纽带，包括矿场油气集输及处理、油气的长距离运输、各转运枢纽的储存和装卸、终点分配油库(或配气站)的营销、炼油厂和石化厂的油气储运等。

矿场油气集输就是在各油(气)田上收集各井产出的原油(或天然气)及其伴生物，经分离、计量后汇集输送至处理站。对于油井，要分离其伴生的天然气及水；对于气井，则要分离其伴生的凝析油及水。各井分离后的油气分别计量后又汇集在一起用一条管路混输至处理站，或用两条管路(单井产量大时)分别输往处理站。因为各井的油气产量是监控该井生产情况的重要参数，故以往在各油气田上均为单井分别计量油气而专设油气分离设施。90年代以来，随着多相计量技术的发展，国内外已有不少油气田采用多相流量计一起计量各井产出的油和气量，以便不用分离就将各井的产出液直接输往处理站，显著简化了集输流程，节约了地面建设的投资。

处理站上需要进行的工作是油气水的进一步分离和净化，包括轻烃回收、原油稳定、含油污水处理、气体脱水、脱 CO_2 和脱硫等，详见本书的第2章。油气集输管网的投资约占油气田地面工程总投资的1/3，油气集输系统的能耗则占油田生产总能耗的近40%，故集输管网的优化配置和运行管理，对油气田节约投资和降低运行成本有重要的经济意义。

经净化处理后达到国家规定要求的质量标准的原油和天然气，是油(气)田的商品，集中到外输计量站向外运送。

原油的外输可以通过火车油槽车、油轮或长距离管道运输，应视运量、运距及地理条件的不同而选择经济的运输方式。一般说来，铁路运输大都用于运量和运距较小的情况。

长距离管道连绵数百至几千公里，要穿越河流、跨越峡谷、翻山越岭或由隧道通过，工程艰巨。为了给在管道中流动着的油(气)提供能量，以克服流动的阻力、提供举升的能量，在输油管道沿线需设若干个中间加压泵站，给油流加压。在输气管道沿线则要设中间压缩机站给天然气加压。在管路沿线每隔一定距离还要设中间截断阀，以便发生事故或检修时关断。沿线还有保护地下管道免受腐蚀的阴极保护站等辅助设施。

由于我国所产的原油大都含蜡多、凝点高，在管道输送中需要采用在各中间泵站上加热，以保持全线的油温高于凝点的加热输送方法，或采用加入降凝剂以降低原油凝点的方法输送，称为加剂改性输送。

长距离原油管道的终点可以是炼油厂的原油库或其它转运枢纽。原油的转运枢纽相对比较单一，大都属于港口油库，将长输管道输来的原油经计量后灌装入油轮外运，例如我国的秦皇岛油库，它既是从大庆来的长输管道的末站，又是原油外运的港口。也有的是从油轮上卸下进口的原油，经管道输往内陆的炼厂，如湛江港的油库，又是湛江至茂名的长输管道的起点输油站。由于油轮难免受台风、冰凌等自然条件的影响而延误航期，故无论是装油还是卸油的港口油库，都必须要有足够的储罐容量(一般不少于3天的输量)。也有原油管道与铁路联运的枢纽站，但为数较少。

炼油厂的油品储运系统包括：接收从管道或港口油库输来的原油的原油库；接收各装置输来的成品油，并将其向厂外发送的

成品油库；在各装置间输转半成品的半成品库等。

各装置与油库间均有管线及相应的泵站连接。港口油库至炼油厂原油库之间常有数十或上百公里的输转管道相接。这些都是保证炼厂正常生产的重要设施。

成品油库除了输转的业务外，还要承担油品调合的业务。通常各炼油装置生产出来的都是油品的基础组分，出厂的石油产品大都是将各种基础油按比例调合而成的，或者是将添加剂加入基础油中调制而成的。调合可以扩大炼厂的产品品种，使产品具有符合使用要求的各种性能，提高产品的质量等级，从而提高炼厂的经济效益。近年来，油品调合的控制技术也有较大的发展。

我国炼油厂成品油的外运一直以铁路运输为主，1977年建成了第一条长距离的成品油管道——格尔木至拉萨管道，长1070公里，管径150毫米。直至1995年又建成了抚顺至鲅鱼圈的成品油管道，长246公里，管径350毫米。到90年代中，我国成品油的总运量中，铁路仍占近60%，管道运量仅约10%。

作为炼油厂商品外销通道的成品油管道运输，其工艺技术要比原油管道复杂。首先，鉴于每种成品油的运量都不会很大，为了提高管输的经济效益，大都采用一条管道顺序输送多种成品油的工艺，例如格—拉成品油管道就顺序输送汽油、煤油、柴油三种油品。国外有的成品油管道曾顺序输送几十种牌号的石油产品。其次，成品油管道大都是多个分支、多个出口的，以便向管道沿线及附近的各个城市供应油品。在分输站上可由支线管道输往某一城市，也可是与铁路或公路联运的转运枢纽。有的管道还可能有多个人口的分支，接收多个炼油厂的来油。

为了使在同一管道中前后流动着的各批油品按计划准时到达某一分输站，并尽可能减少其混油损失，顺序输送管道的调度控制要严格按预定的计划进行并及时监测。在管道的末站和分输站上要有混油处理设施。

天然气的输送目前只有两种方法，一是用管路加压输送，二是将天然气液化后用油轮运输。

液化天然气(LNG)是天然气经净化处理后，通过低温冷凝而成的液态混合物。为在常压下保持液态，必须冷却至 -162°C 以下，其体积为原气态体积的 $1/600$ 。可以用特殊保温的远洋油轮运输。LNG运达接收的港口后，可卸入接收站的低温储罐中储存，然后再通过加热再气化后，以气态形式用管道输送至用户。

虽然天然气的液化技术始于1914年，但一直到1941年美国才建成世界第一座工业规模的液化天然气装置，到1964年法国设计的第一个液化天然气工厂在阿尔及利亚投产，并在世界上首次采用大型低温油轮远洋运输，将液化天然气输送到英国。当时的油轮容量为2.7万立方米。目前液化天然气船的标准容量为12~13万立方米。由于受到港口水深和必须靠岸装卸的限制，看来在近几年内，液化天然气船的容量不会有大的变化。

目前各国投产的天然气液化装置已达160套以上，生产能力大都在每年300~600万吨之间。

天然气液化输送不仅为天然气资源丰富的国家提供了途径，将天然气输送到管道建设受地域限制的市场，更重要的是起着调节世界天然气供应的巨大作用，使能源短缺的国家找到了天然气来源多元化的途径，可避免对一国一地区的依赖，以保障其能源供应，而且其环境效益显著。

但是由于液化装置、低温油轮等的价格昂贵，将天然气液化后出口的国家都是天然气资源十分丰富，因而其井口气价低廉，液化装置处理量大，经远洋运输到达消费地区港口的天然气售价仍有显著的竞争力。运量愈大，经济效益愈好。

据第15届世界石油大会的资料，建设一个年产500万吨的液化天然气厂的上中下游投资共需100~150亿美元(1994年)。要求供应该项目的气田储量不少于2100亿立方米。故液化天然

气的远洋运输必须要有供应方、需求方、船运公司、政府和金融机构各方的通力合作，才能使各方受益。

与输油不同，天然气的管道输送必然是上中下游一体化的，开采、收集、处理、运输和分配是在统一的连续密闭的系统中进行的。一般气井的井口压力都比较高，集气站收集各井的来气经调压、计量后输往处理厂，经脱水、脱硫后将合格的天然气输入干线。一般可利用处理厂的压力输送一段距离后再增压，即第一个压气站不一定设在气田出口处。

输气管道沿线必然要有多个分输的管线，与各用气的城市管网相连，图 1-1 为区域输气管网的示意图。每一个地区(城市)

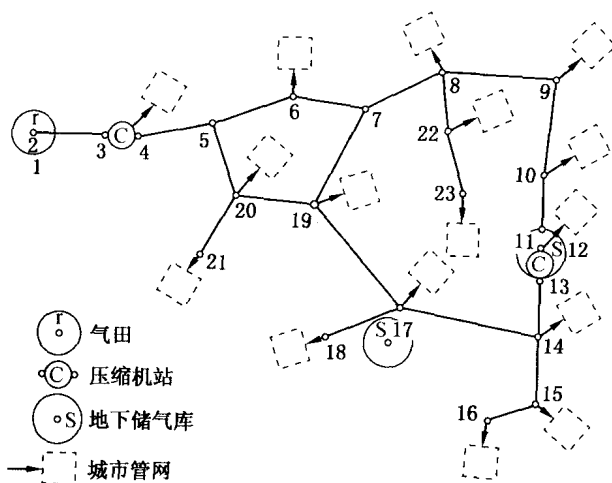


图 1-1 区域输气管网示意图

根据其用气量的大小设有多套管网，从高压到低压有多达四套管网的，来气干线与高压管网之间，以及各级管网之间都设有调压计量站。

目前在各发达国家，天然气消费量的约 1/4 用于发电，主要