

石油天然气集团公司统编培训教材

工程建设业务分册

长输油气管道工艺设计

《长输油气管道工艺设计》编委会 编



石油工业出版社

中国石油天然气集团公司统编培训教材

工程建设业务分册

长输油气管道工艺设计

《长输油气管道工艺设计》编委会 编

石油工业出版社

内 容 提 要

本书阐述了长输油气管道工艺设计的相关知识, 主要内容包括: 输油气管道概况和工艺设计内容, 输油管道工艺计算及分析, 输油管道的瞬态分析和水击保护, 输油站场工艺及主要设备, 输气管道工艺计算及分析, 储气系统的储气能力及调峰分析, 输气站场工艺及主要设备, 油气管道站内工艺设施安装设计, 线路工程, 阴极保护及防腐保温概述, 管道焊接与检验、清管试压与干燥的相关知识, 油气管道试运投产的相关知识, 油气管道危险识别及风险评估相关知识。

本书主要用作从事长输管道工艺设计人员的培训教材, 也适用于从事长输管道工艺技术人员阅读。

图书在版编目(CIP)数据

长输油气管道工艺设计/《长输油气管道工艺设计》编委会编.

北京: 石油工业出版社, 2012. 2

(中国石油天然气集团公司统编培训教材)

ISBN 978-7-5021-8851-1

I. 长…

II. 长…

III. 油气运输-长输管道-工艺设计-技术培训-教材

IV. TE973. 8

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2011)第 255417 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

编辑部: (010)64523580 发行部: (010)64523620

经 销: 全国新华书店

印 刷: 石油工业出版社印刷厂

2012 年 2 月第 1 版 2012 年 2 月第 1 次印刷

787 × 1092 毫米 开本: 1/16 印张: 31.25

字数: 525 千字

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

《中国石油天然气集团公司统编培训教材》 编 审 委 员 会

主任委员：李万余

副主任委员：金 华 白泽生

委 员：王志刚 连建家 胡宝顺 马晓峰

卢丽平 杨大新 吴苏江 杨 果

方朝亮 王同良 刘江宁 卢 宏

周国芳 雷 平 马新华 戴 鑑

上官建新 陈健峰 秦文贵 杨时榜

何 京 张 镇

秘 书：张玉文 王子云

《长输油气管道工艺设计》编委会

主任：白玉光

副主任：杨庆前 杨时榜

委员：于国锋 孙 申 田创举 赵彦龙 辛荣国

刘春贵 朱广杰 李松柏 孟 博 李明华

陈中民 何凤轩 刘晓明 周 平 徐 鹰

陶 涛 王 立

《长输油气管道工艺设计》编审人员

主 编：张文伟

执行主编：张月静

副主编：黄 丽 谌贵宇 付 明

编写人员：孟祥海 王 彦 冷绪林 林宝辉 孙 宇

朱坤锋 何绍军 张振永 张怀法 陈文备

余志峰 俞彦英 马金凤 吴 文 邵 勇

刘建云 李 苗 杨 帆 周 英 陈 凤

李 巧 毛 敏 李 强 孙在蓉

审定人员：夏喜林 李国兵 夏银聚 徐 鹰

序

企业发展靠人才，人才发展靠培训。当前，集团公司正处在加快转变增长方式，调整产业结构，全面建设综合性国际能源公司的关键时期。做好“发展”、“转变”、“和谐”三件大事，更深更广参与全球竞争，实现全面协调可持续，特别是海外油气作业产量“半壁江山”的目标，人才是根本。培训工作作为影响集团公司人才发展水平和实力的重要因素，肩负着艰巨而繁重的战略任务和历史使命，面临着前所未有的发展机遇。健全和完善员工培训教材体系，是加强培训基础建设，推进培训战略性和国际化转型升级的重要举措，是提升公司人力资源开发整体能力的一项重要基础工作。

集团公司始终高度重视培训教材开发等人力资源开发基础建设工作，明确提出要“由专家制定大纲、按大纲选编教材、按教材开展培训”的目标和要求。2009年以来，由人事部牵头，各部门和专业分公司参与，在分析优化公司现有部分专业培训教材、职业资格培训教材和培训课件的基础上，经反复研究论证，形成了比较系统、科学的教材编审目录、方案和编写计划，全面启动了《中国石油天然气集团公司统编培训教材》（以下简称“统编培训教材”）的开发和编审工作。“统编培训教材”以国内外知名专家学者、集团公司两级专家、现场管理技术骨干等力量为主体，充分发挥地区公司、科研院所、培训机构的作用，瞄准世界前沿及集团公司技术发展的最新进展，突出现场应用和实际操作，精心组织编写，由集团公司“统编培训教材”编审委员会审定，集团公司统一出版和发行。

根据集团公司员工队伍专业构成及业务布局，“统编培训教材”按“综合管理类、专业技术类、操作技能类、国际业务类”四类组织编写。综合管理类侧重中高级综合管理岗位员工的培训，具有石油石化管理特色的教材，以自编方式为主，行业适用或社会通用教材，可从社会选购，作为指定培训教材；专业技术类侧重中高级专业技术岗位员工的培训，是教材编审的主体，

按照《专业培训教材开发目录及编审规划》逐套编审，循序推进，计划编审300余门；操作技能类以国家制定的操作工种技能鉴定培训教材为基础，侧重主体专业（主要工种）骨干岗位的培训；国际业务类侧重海外项目中外员工的培训。

“统编培训教材”具有以下特点：

一是前瞻性。教材充分吸收各业务领域当前及今后一个时期世界前沿理论、先进技术和领先标准，以及集团公司技术发展的最新进展，并将其转化为员工培训的知识和技能要求，具有较强的前瞻性。

二是系统性。教材由“统编培训教材”编审委员会统一编制开发规划，统一确定专业目录，统一组织编写与审定，避免内容交叉重叠，具有较强的系统性、规范性和科学性。

三是实用性。教材内容侧重现场应用和实际操作，既有应用理论，又有实际案例和操作规程要求，具有较高的实用价值。

四是权威性。由集团公司总部组织各个领域的技术和管理权威，集中编写教材，体现了教材的权威性。

五是专业性。不仅教材的组织按照业务领域，根据专业目录进行开发，且教材的内容更加注重专业特色，强调各业务领域自身发展的特色技术、特色经验和做法，也是对公司各业务领域知识和经验的一次集中梳理，符合知识管理的要求和方向。

经过多方共同努力，集团公司首批39门“统编培训教材”已按计划编审出版，与各企事业单位和广大员工见面了，将成为首批集团公司统一组织开发和编审的中高级管理、技术、技能骨干人员培训的基本教材。首批“统编培训教材”的出版发行，对于完善建立起与综合性国际能源公司形象和任务相适应的系列培训教材，推进集团公司培训的标准化、国际化建设，具有划时代意义。希望各企事业单位和广大石油员工用好、用活本套教材，为持续推进人才培训工程，激发员工创新活力和创造智慧，加快建设综合性国际能源公司发挥更大作用。

《中国石油天然气集团公司统编培训教材》

编审委员会

2011年4月18日

前言

工艺设计是长输油气管道建设的基础。西气东输、陕京线、兰郑长、忠武线、东北管网、西部管道、川气东送等一大批长距离输油、输气管道的建设，将中国石油天然气管道的建设推向高潮，中国正在逐步加快油气干线管网和配套设施的规划建设，完善全国油气管线网络。因此，长输油气管道工艺设计技术的普及和提高成为管道建设过程中一项极为重要的内容。本书力求以简洁的语言概括原油、成品油和天然气管道的工艺设计理论、设计内容、设计方法、施工工艺和投产试运步骤以及相关知识。

本书包含以下六部分内容：第一章主要介绍输油气管道的组成和各设计阶段的主要内容；第二章、第三章、第四章主要介绍输油管道工艺设计的理论知识，包括输油管道的水力计算、热力计算、管道的适应性分析、站内设备、材料选型计算、输油管道的瞬态分析计算及分析、输油站场工艺及主要设备选型等；第五章、第六章、第七章主要介绍输气管道工艺设计的理论知识，包括输气管道的水力计算、热力计算、管道的适应性分析、储气系统的储气能力和调峰分析、输气站场工艺及主要设备；第九章、第十章主要介绍输油气管道线路工程的相关理论知识；第八章、第十一章、第十二章主要介绍油气管道站内工艺设施安装设计、管道焊接检验、清管试压、投产试运等相关知识，包括站内管道、站场设备(包括泵、压缩机、阀门等)的安装设计相关知识，管道焊接检验、清管试压、投产试运等；第十三章主要介绍油气管道危险识别及风险评估的相关知识，包括管道风险评价概述，风险评价各阶段的常用方法简介等。

本书由中国石油天然气管道工程有限公司和中国石油集团工程设计有限责任公司西南分公司合作编著完成，由张文伟主编。本书第一章由张月静编写，第二章由孟祥海、张月静、孙宇等编写，第三章由林宝辉、朱坤锋等编

写，第四章由黄丽、何绍军、李苗等编写，第五章由周英、谌贵宇、杨帆、陈凤等编写，第六章由杨帆、周英、谌贵宇、李强等编写，第七章由李巧、毛敏、孙在蓉、李强等编写，第八章由王彦、冷绪林等编写，第九章由张振永、张怀法、陈文备、余志峰等编写，第十章由俞彦英编写，第十一章由付明、马金凤等编写，第十二章由付明编写，第十三章由吴文、邵勇等编写。

由于编者水平有限，书中疏漏在所难免，恳请读者提出宝贵意见，欢迎读者就本书中的问题及工作中的新技术和编者进行探讨。

编者

2011年7月

目 录

第一章 输油气管道概况和工艺设计内容	1
第一节 输油气管道的组成及主要输油气工艺	1
第二节 各设计阶段的主要内容	10
第二章 输油管道工艺计算及分析	36
第一节 概述	36
第二节 水力计算	37
第三节 热力计算	55
第四节 输油管道适应性分析	63
第五节 站内设备、材料选型计算	66
第六节 综合实例分析	82
第三章 输油管道的瞬态分析和水击保护	92
第一节 水击模拟分析计算	92
第二节 顺序输送及模拟分析计算	103
第三节 综合实例分析	110
第四章 输油站场工艺及主要设备	117
第一节 站场工艺	117
第二节 主要设备、材料及选型	150
第三节 综合实例分析	183
第五章 输气管道工艺计算及分析	187
第一节 概述	187
第二节 输气管道的水力计算	190
第三节 输气管道的热力计算	217
第四节 输气管道适应性分析	222
第五节 综合实例分析	223
第六章 储气系统的储气能力及调峰分析	234



第一节	管道储气能力分析	234
第二节	输气管道调峰分析计算	241
第三节	调峰方式	242
第四节	综合实例分析	244
第七章	输气站场工艺及主要设备	249
第一节	输气站场工艺	249
第二节	输气站场主要工艺设备	258
第八章	油气管道站内工艺设施安装设计	306
第一节	站内工艺管道安装	306
第二节	阀门及大型阀组安装	316
第三节	泵和压缩机机组安装	319
第四节	储罐罐区工艺安装	324
第五节	加热炉系统安装	326
第六节	清管系统的安装	328
第七节	综合实例分析	330
第九章	线路工程	334
第一节	线路选择基本原则	334
第二节	强度及稳定性计算	335
第三节	管道敷设	341
第四节	线路用管	355
第五节	油气管道线路截断阀室	359
第六节	穿(跨)越工程	360
第七节	管道附属工程	375
第十章	阴极保护及防腐保温概述	400
第一节	阴极保护	400
第二节	管道防腐保温	413
第三节	综合实例分析	422
第十一章	管道焊接与检验、清管试压与干燥的相关知识	426
第一节	管道焊接与检验	426
第二节	管道清管、试压与干燥	432
第十二章	油气管道试运投产的相关知识	438
第一节	热油管道的试运投产	438

第二节	成品油管道的试运投产	452
第三节	天然气管道的试运投产	455
第十三章	油气管道危险识别及风险评估相关知识	469
第一节	风险评价概述	469
第二节	常用风险评价方法简介	474
第三节	危险与可操作研究应用案例	481
参考文献	485

第一章 输油气管道概况和 工艺设计内容

第一节 输油气管道的组成及主要输油气工艺

管道输送是石油工业中应用最广的运输方式之一，一般分为两类，一类是油气田矿场内部的集输管道；另一类是长距离输送原油、天然气及其产品的管道，称为长(距离)输油气管道。本书主要介绍长(距离)输油气管道的相关内容。

一、输油管道系统的组成及主要输油工艺

(一) 输油管道系统的组成

输油管道按所输油品的种类可分为原油管道与成品油管道两种。原油管道是将油田生产的合格原油输送至炼厂、港口或铁路转运站，具有管径大、输量大、运输距离长、分输点少的特点。成品油管道将炼厂生产的各种油品送至油库或转运站，具有输送品种多、批次多、分输点多的特点，多采用顺序输送。输油管道由线路工程、输油站场及配套工程组成。

1. 线路工程

线路工程包括管道敷设工程、穿(跨)越工程、防腐工程、线路截断阀室、水土保持工程、伴行道路和其他附属建(构)筑物等。

工程内容主要包括管道焊接、试压、管沟开挖及回填，水域、山体、铁路、公路、冲沟等的穿越或跨越，管道的外防腐、保温及阴极保护，各类截断阀室，管道的水工保护等。

2. 输油站场

根据输油站场功能的不同,输油站可分为首站、中间加热站、中间泵站、中间热泵站、分输站、输入站、减压站、清管站和末站等。

站场工程包括站场主体工程及公用工程。

站场主体工程包括输油工艺、配套的仪表自控、通信工程及总图运输工程等。公用工程包括供配电、给排水及消防、供热、采暖及通风、建筑与结构等工程。

(1) 输油工艺:油品输送工艺流程及设备,是输油管道的核心。

(2) 仪表自控:承担各输油站及管道全线工艺过程的参数自动检测、控制和监视,仪表自控系统与管道的安全与经济运行关系很大。

(3) 通信工程:全线设专用的通信系统。通信通道应满足全线自动化系统数据传输、监视与控制、生产调度及行政会议、通话的需要。

(4) 供配电:供配电系统为输油站提供动力和照明用电。电源一般来自国家电网。在缺电地区,由输油站自备发电机组供电。供电系统主要包括变电所、配电间等。

(5) 给排水及消防:站场生产与生活供水、排水系统,油罐和建筑的消防,含油污水处理设施等。

(6) 供热:建筑物的采暖、储油罐维持温度,以及站内管道的伴热都需要热源。提供热源的供热系统包括锅炉房与热力网等。

3. 配套工程

配套工程包括外部供电线路、通信线路、供水水源地及供水管线、燃气管道等工程,还包括管理机构(输油公司)、管道维抢修中心、消防站等工程。管道配套工程应尽量依托地方条件和现有设施,统筹解决;经论证没有依托条件或依托条件不能满足工程要求时,可单独建设。

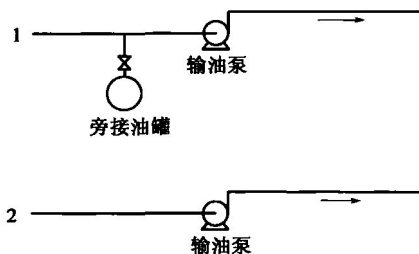


图 1-1-1 输油工艺
1—旁接油罐; 2—密闭输送

(二) 主要输油工艺介绍

1. 旁接油罐

旁接油罐图 1-1-1 输油工艺是指上站来油可进入泵站的输油泵,也可同时进入旁接油罐的输油工艺。旁接油罐通过旁路连接到干线上。当本输油站与上下两站的输量不平衡时,旁接油罐起

缓冲作用。这种工艺的特点为：

(1)各管段输量可以不相等，旁接油罐起调节作用。

(2)各管段单独成为一水力系统，有利于运行参数的调节和减少站间的相互影响。

(3)与密闭输送工艺相比，不需要较高精度的自动调节系统，操作简单。

2. 密闭输送

密闭输送(图1-1-1)工艺也称为“从泵到泵”输油。在这种输油工艺中，中间输油站不设缓冲用的旁接油罐，上站来油全部直接进输油泵。这种工艺的特点是：

(1)可基本消除中间站的轻质油蒸发损耗。

(2)整个管道构成一个统一的水力系统，可充分利用上站余压，减少节流损失。它要求各站必须有可靠的自动调节和保护装置。

(3)工艺流程简单。

3. 加热输送

易凝和高粘原油常采用加热输送的方法，目的在于提高输送温度使油品粘度降低，减少输送时的摩阻损失，并且提高油流温度使其高于原油的凝点，以防止冻结事故发生。加热输送区别于常温输送有以下特点：

(1)在输送过程中存在两方面的能量损失——消耗于克服摩阻的摩阻损失以及与外界进行热交换所散失掉的热能损失。因此，除了在管道沿线需设置若干个加压泵站外，还需在管道沿线建若干个加热站。

(2)与两方面的能量损失相应的工艺计算应包括两个部分——水力计算和热力计算。水力计算主要是为完成规定的输油任务，合理地解决压能供给与消耗之间的平衡问题。热力计算主要是合理地解决热能供给与散失之间的平衡问题。

摩阻损失与热能损失这两方面是互相联系、互相影响的，如果油温高，其粘度就低，因而摩阻损失少；摩阻损失少，泵站数就少，但加热站数就增多。反之，如果油温低，其粘度就大，摩阻损失也增大，因此泵站数就要增加，但加热站数却可减少。这说明水力计算与热力计算相互影响，其中热力计算因素起决定影响，在进行计算分析时，必须先考虑沿线的温降情况，确定合理的进出站温度，以求得合理的泵站数和加热站数。

(3)加热输送时，管内热油既可在层流状态下输送，又可在紊流状态下输



送,还也可在混合状态下输送。加热输送时热能损失往往是起决定作用的因素。

4. 顺序输送

在同一条管道内,按一定顺序连续地输送几种油品,这种输送方法称为顺序输送(或交替输送)。一般顺序输送多应用于成品油管道。

(三) 输油管道工艺设计的一般规定

(1) 输油管道工艺设计计算输油量时,年工作天数应按 350d 计算。

(2) 应将设计委托书或设计合同规定的输量(年输量、月输量、日输量)作为设计输量,设计输量应符合经济及安全输送条件。

(3) 输油管道工艺设计宜采用密闭输送工艺。如果来用其他输送工艺,应进行技术经济论证,并说明其可行性。

(4) 同一管道输送多种油品,宜采用顺序输送工艺。若采用专管专用输送工艺,应进行技术经济论证。

(5) 当输油管道及其附件已按国家现行标准《钢制管道外腐蚀控制规范》(GB/T 21447—2008)和《埋地钢制管道阴极保护技术规范》(GB/T 21448—2008)的要求采取了防腐措施时,不应再增加管壁的腐蚀裕量。

(6) 输油管道输油工艺方案应依据设计内压力、管道管型及钢种等级、管径、壁厚、输送方式、输油站数、顺序输送油品批次等,以多个组合方案进行比选,确定最佳输油工艺方案。

(7) 管输原油质量应符合国家现行标准《出矿原油技术条件》(SY 7513—1988)的规定;管输液态液化石油气的质量应符合国家现行标准《油气田液化石油气》(GB 9052.1—1998)或《液化石油气》(GB 11174—1997)的规定;管输其他成品油质量应符合国家现行产品标准。

(8) 输油管道系统输送工艺总流程图应标注首站、中间站、末站的输油量,进出站压力及油温等主要工艺参数,并注明线路截断阀、大型穿(跨)越、各站间距及里程和高程(注明是否有翻越点)。

(9) 输油管道系统工艺计算应包括水力计算和热力计算,并进行稳态计算和瞬态水力分析,提出输油管道在密闭输送中瞬变流动过程的控制方法。

(10) 应根据被输送原油的物理化学性质及其流变性,通过输送工艺方案优化比选,选择最佳输送方式。埋地加热输送的原油管道,应优选加热温度,进行管道保温与不保温的技术经济比较,确定合理的输油方案。

(11) 成品油管道输送工艺应按设计委托书或设计合同规定的成品油输