

液化天然气装备 设计技术

▶ LNG低温阀门卷

张周卫 汪雅红 田源 张梓洲 著

YEHUA TIANRANQI ZHUANGBEI SHEJI JISHU
LNG DIWENFAMENJUAN



化学工业出版社

液化天然气装备 设计技术

▶ LNG低温阀门卷

张周卫 汪雅红 田源 张梓洲 著



化学工业出版社

· 北京 ·

本书主要围绕 LNG 液化工艺及储运工艺中所涉及的主要低温装备,研究开发 LNG 工艺流程中主要过程控制装备的设计计算技术。主要包括 LNG 蝶阀、LNG 球阀、LNG 闸阀、LNG 截止阀、LNG 减压阀、LNG 节流阀、LNG 安全阀、LNG 止回阀、LNG 针阀、LNG 呼吸阀、LNG 温控阀、LNG 疏气阀 12 个类别的低温阀门的设计工艺、原理、注意事项、设计计算过程等,主要应用于 -162°C LNG 领域,涉及 12 类低温过程控制阀门装备研发技术,内含低温制冷基础研究与产品设计计算过程。研发产品可应用于液化天然气、石油化工、煤化工、空气液化与分离、制冷与低温工程等领域,为 LNG 液化、LNG 储运等关键环节中所涉及 12 类主要过程控制阀门设备的设计计算提供可参考样例,并推进 LNG 系列液化装备及系统工艺技术的标准化及国产化进程。

本书不仅可供从事天然气、液化天然气(LNG)、化工机械、制冷与低温工程、石油化工、动力工程及工程热物理领域内的研究人员、设计人员、工程技术人员参考,还可供高等学校化工机械、能源化工、石油化工、低温与制冷工程、动力工程等专业的师生参考。

图书在版编目(CIP)数据

液化天然气装备设计技术. LNG 低温阀门卷/张周卫等著.
北京:化学工业出版社,2018.5
ISBN 978-7-122-31666-0

I. ①液… II. ①张… III. ①液化天然气-低温阀-设计
IV. ①TE8

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2018)第 041785 号

责任编辑:卢萌萌 刘兴春
责任校对:王 静

文字编辑:陈 喆
装帧设计:王晓宇

出版发行:化学工业出版社(北京市东城区青年湖南街 13 号 邮政编码 100011)

印 装:三河市延风印装有限公司

787mm×1092mm 1/16 印张 26 字数 626 千字 2018 年 7 月北京第 1 版第 1 次印刷

购书咨询:010-64518888(传真:010-64519686) 售后服务:010-64518899

网 址:<http://www.cip.com.cn>

凡购买本书,如有缺损质量问题,本社销售中心负责调换。

定 价:158.00 元

版权所有 违者必究

前言

FOREWORD

LNG 系列阀门主要应用于 -162°C 天然气低温液化、LNG 输运、LNG 存储及 LNG 再气化等领域，包括 LNG 截止阀、LNG 闸阀、LNG 蝶阀、LNG 止回阀、LNG 球阀、LNG 安全阀、LNG 节流阀等系列阀门，均属带相变多相流低温高压过程控制装备，因液化工艺、贮运工艺不同，外形设计不同，用途也不同。

在传统的低温流体控制领域，成套工艺流程中常用的过程控制阀门数量众多，其中截止阀、闸阀、球阀为主要通断阀门之一，具有流动阻力小，可输送气液两相流，阀门不易堵塞，控制流量大等特点，而闸阀、球阀具有双向密封，双向通断，控制方便等特点，为成套工艺设备中不可缺少的主要设备，且一般都采用法兰或螺纹连接于管道中。由于传统的阀门存在控制密封面大，密封面多，存在盲区，易于泄漏等特点，不能应用于低温易燃易爆流体等领域，尤其 -162°C LNG 领域。

首先，以闸阀、球阀为例，传统的闸阀、球阀打开或关闭时都会形成双向密封，阀腔内都存在盲区。一般情况下 LNG 为低温饱和液体或气液两相流，盲区内的 LNG 在阀门打开或关闭后，由于存在环境热源，盲区内 LNG 迅速气化，温度迅速上升，压力迅速增大，导致上部多重密封及下部主密封面极易损坏，且阀门存在爆破等更严重的隐患。为解决这一问题，传统的低温闸阀、低温球阀用于 LNG 时，通过在阀体外增加管道，连接盲区至球阀出口段，导出低温流体，但这种方法导致盲区与阀门一端连通，损坏了闸阀、球阀主密封面双向密封、双向截止、双向控制的优势，闸阀、球阀只能使用一个主密封面，不能起到双向密封的作用。另外，由于管道两端的 LNG 均极易气化，LNG 流体易于反向流动等原因，要求 LNG 闸阀、LNG 球阀起到双向截止，双向密封的作用，故外加导管连通一侧不能有效解决双向截止的问题。同时，外加导管由于强度等原因易于损坏泄漏，且存在阀体外侧不易于加装保温层，阀体外观不对称等缺点。

其次，由于 LNG 气化后为易燃易爆气体，主要成分为 CH_4 ，传统的低温阀门由于存在较多的密封，容易引起 CH_4 泄漏，如双向主密封、阀体与阀盖之间的多重密封、管道法兰连接密封等，尤其在 -162°C 低温工况下，密封垫片及密封面往往直接与 LNG 接触，密封材料极易出现低温脆断，密封面经常出现泄漏，存在很大的安全隐患。此外，由于 LNG 阀门上下温差较大，以截止阀、闸阀为例，阀体与 LNG 接触，阀杆旋转执行器、上阀体及上部阀杆部件与外部大气环境接触，阀门两端存在 200°C 左右的温差，导致部件内部存在很大的温

差应力,尤其在阀杆与上阀体之间。由于 LNG 阀体一般采用铸钢制造,传热速率较快,需要较长的上阀体及阀杆延迟传热,以防止旋转执行器等部件温度太低,不能正常工作,或防止人员冻伤等,所以一般要求阀杆延长至顶部不结霜为至。此外,由于阀体采用铸钢件,阀杆采用钢性锻件,两者热膨胀系数相差较大,低温工况下存在较大温差应力,相互接触后,低温应变容易导致阀体开裂,阀杆变形,主密封面破坏,LNG 无法截止等问题。所以,传统的低温阀门用于 LNG 领域时,要求阀杆较长以减少局部温差应变,使整个阀门体积较大,以适应于冷收缩及解决较大温差应力等问题。最后,LNG 为低温流体,管道输送压力一般低于 0.2MPa,处于饱和状态或过热状态,输送时外界会源源不断通过阀门及管道给 LNG 提供热量,导致 LNG 持续气化,出现两相流。两相流遇到突然截止时,容易导致管道内剩余 LNG 压力剧增并过临界。当压力迅速超过临界压力 4.6MPa,温度超过临界温度 -82.59°C 后,会给整个输送系统安全造成极大的安全隐患,所以,一般的 LNG 阀门或 LNG 系统的设计压力大于 6MPa,使整个 LNG 系统设计难度增大,设备笨重,体积庞大。

LNG 系列阀门涉及低温流体过程控制及多相流控制过程,也是目前设计计算较复杂、加工制造难度较大的低温过程控制装备,没有统一的设计计算方法,计算过程中需要复核计算低温材料强度,选择气液两相流参数等,随着工艺流程或物性参数特点不同而存在较大差别,难以标准化。此外,由于 LNG 系列阀门种类较多,没有统一的结构设计模型及理论设计计算方法用于计算机辅助计算过程,给 LNG 系列阀门的科学计算过程带来了障碍。20 世纪 80 年代以来,国外主要有美国泰科公司等开发,可进行低温工况下的 LNG 过程控制等,具有控制效果好,集约化程度高,需要阀门数量少等特点。国内在 LNG 液化工厂、LNG 接收站及 LNG 气化站等方面已有应用,一般随整体工艺成套进口。兰州交通大学与甘肃中远能源动力工程有限公司曾对 -162°C LNG 系列阀门、 -70°C 低温甲醇用系列阀门、 -197°C 液氮系列阀门、 -210°C 空间飞行器用系列阀门等进行了系列化开发,主要针对以 -162°C LNG 系列板翅式换热器、 -162°C LNG 系列缠绕管式换热器等为主液化设备的 LNG 系统配套用低温阀门进行开发,根据不同温度及控制领域,研究不同种类的低温阀门设计计算方法。本书针对 -162°C LNG 系列阀门结构特点,研究开发了 LNG 截止阀、LNG 闸阀、LNG 蝶阀、LNG 止回阀、LNG 球阀、LNG 安全阀等多种类型的 LNG 控制阀门,已具备产业化设计及加工制造能力。

《液化天然气装备设计技术——LNG 低温阀门卷》共收集张周卫、汪雅红等主持研发的低温过程控制通用阀门 12 项,主要包括 LNG 蝶阀、LNG 球阀、LNG 闸阀、LNG 截止阀、LNG 减压阀、LNG 节流阀、LNG 安全阀、LNG 止回阀、LNG 针阀、LNG 呼吸阀、LNG 温控阀、LNG 疏气阀 12 个类别,主要应用于 -162°C LNG 领域,涉及 12 类低温过程控制阀门装备研发技术,内含低温制冷基础研究与产品设计计算过程。研发产品可应用于液化天然气、石油化工、煤化工、空气液化与分离、制冷及低温工程等领域。

本书共分 13 章,其中,第 1~5 章、第 9 章主要涉及 LNG 过程控制开关类阀门研究及产业化内容,主要包括 LNG 蝶阀、LNG 球阀、LNG 闸阀、LNG 截止阀、LNG 止回阀 5 类低温阀门,主要应用于 -162°C LNG 液化及储运领域,一般连接于 LNG 过程控制管道上,起开关低温流体的作用。由于各类阀门具有不同的结构特点,可适用于不同的 LNG 液化及储运系统工况条件。

第 6 章、第 8 章所列研发产品主要涉及 LNG 减压阀、LNG 安全阀,主要连接于 LNG 真空容器或 LNG 管道上,LNG 减压阀主要起减压作用,可根据不同降压指标,降低 LNG 系统

或管道内压力。LNG 安全阀主要应用于 LNG 液化及储运系统，主要起安全泄放作用。

第 7 章主要涉及 LNG 节流阀，主要应用于 LNG 液化单元开式 LNG 液化流程，可节流天然气，降低天然气温度，或应用于 LNG 液化单元闭式液化流程，根据节流温度要求节流混合制冷剂，可作为四级节流阀使用。LNG 节流阀的主要用途是节流混合制冷剂并产生节流制冷效应，使天然气温度降低至 -162°C 并液化，起到节流制冷功效。

第 10 章主要涉及 LNG 针阀，可用于精确调节 LNG 流量，使 LNG 液化或管道流量达到精确调节及输运功能。

第 11 章主要涉及 LNG 呼吸阀，主要用于 LNG 系统压力平衡控制。

第 12 章主要涉及 LNG 温控阀，主要应用于 LNG 液化工艺流程，控制 LNG 液化系统或 LNG 输运系统温度。

第 13 章所列研发产品主要涉及 LNG 疏气阀，主要应用于 LNG 储运系统，可分离 LNG 气液两相流，将饱和或过热 LNG 流体中气液两相分离输运。

以上 LNG 系列阀门属 LNG 液化过程中技术难度较大的 LNG 过程控制装备系列化产品研发项目，主要应用于液化天然气 (LNG)、低温制冷、煤化工、石油化工、空间制冷、装备制造等多个领域。LNG 系列阀门基础研发及设计制造技术已趋于成熟，从装备设计制造层面来讲，已能够应用于 LNG 工艺系统，并推进 LNG 系列过程控制装备的国产化及产业化进程。

本书所含研发项目涉及多股流低温过程控制装备核心技术，研究项目曾备受中国石油天然气集团有限公司、中国海洋石油集团有限公司、中石油昆仑燃气有限公司、中国寰球工程公司、神华集团有限责任公司、中国华能集团有限公司等企业关注与支持，也曾得到国家及地方创新基金及其他研发经费大力支持，已经具备了一定的研究开发及产业化基础，属系列化低温过程控制装备产品开发过程，主要有 12 类低温装备产品，具有很好的产业化发展势头，有助于突破国际“大型 LNG 液化系统工艺及核心液化装备设计计算技术”，为系列化超低温过程装备国产化研究开发提供研究基础。

本书第 1~6 章由张周卫负责撰写并编辑整理，第 7~9 章由汪雅红负责撰写并编辑整理，第 10~13 章由田源、张梓洲负责撰写并编辑整理，全书最后由张周卫统稿，田源、张梓洲、殷丽、王军强参与修改校正。

本书受国家自然科学基金（编号：51666008），甘肃省财政厅基本科研业务费（编号：214137），甘肃省自然科学基金（编号：1208RJZA234）等支持。

按照目前项目开发现状，文中重点列出 12 类 LNG 阀门设计计算技术，与相关行业内的研究人员共同分享，以期全力推进液化天然气领域内过程控制装备的创新研究及产业化进程。由于水平、时间有限及其他原因，书中内容难免存在疏漏之处，希望同行及广大读者批评指正。

兰州交通大学

甘肃中远能源动力工程有限公司

江苏神通阀门股份有限公司

张周卫 汪雅红 田源 张梓洲

2017 年 11 月

目 录

CONTENTS

第1章 绪论

- 1.1 低温系列过程控制装备 / 001
 - 1.1.1 $-70\sim-197^{\circ}\text{C}$ 超低温系列阀门 / 001
 - 1.1.2 超低温多相流过程控制及制冷装备 / 001
 - 1.1.3 超低温过程控制阀门核心 / 002
- 1.2 主要应用领域 / 003
- 1.3 低温过程控制阀门 / 004
 - 1.3.1 -162°C 低温系列阀门及过程控制装备 / 004
 - 1.3.2 $-70\sim-197^{\circ}\text{C}$ 低温系列阀门 / 005
 - 1.3.3 $-70\sim-197^{\circ}\text{C}$ 低温过程控制装备 / 005
- 1.4 LNG 低温过程控制阀门分类说明 / 007
 - 1.4.1 LNG 蝶阀 / 007
 - 1.4.2 LNG 球阀 / 007
 - 1.4.3 LNG 闸阀 / 007
 - 1.4.4 LNG 截止阀 / 008
 - 1.4.5 LNG 减压阀 / 008
 - 1.4.6 LNG 节流阀 / 009
 - 1.4.7 LNG 安全阀 / 009
 - 1.4.8 LNG 止回阀 / 010
 - 1.4.9 LNG 针阀 / 010
 - 1.4.10 LNG 呼吸阀 / 011
 - 1.4.11 LNG 温控阀 / 011

1.4.12 LNG 疏气阀 / 012

参考文献 / 012

第2章 LNG 蝶阀设计计算

2.1 概述 / 014

2.1.1 背景 / 014

2.1.2 低温阀门 / 015

2.1.3 LNG 蝶阀发展趋势 / 015

2.1.4 设计依据的标准及主要设计参数 / 015

2.2 LNG 蝶阀结构的初步设计 / 016

2.2.1 压力升值计算 / 016

2.2.2 阀体壁厚设计 / 016

2.2.3 阀体的选材 / 016

2.2.4 阀体的结构 / 017

2.2.5 阀体设计条件 / 017

2.2.6 阀体壁厚设计计算 / 017

2.3 阀座的初步设计 / 018

2.3.1 密封蝶阀阀座密封的常规设计 / 018

2.3.2 蝶阀阀座的选材 / 018

2.3.3 阀座的结构 / 019

2.3.4 阀座设计条件 / 019

2.3.5 密封蝶阀阀座密封设计计算 / 019

2.4 阀杆的初步设计 / 020

2.4.1 LNG 蝶阀阀杆的常规设计 / 020

2.4.2 阀杆的选材 / 022

2.4.3 阀杆的结构 / 022

2.4.4 阀杆设计条件 / 022

2.4.5 LNG 阀杆设计计算 / 023

2.5 蝶板的初步设计 / 024

2.5.1 蝶板厚度的常规设计 / 024

2.5.2 LNG 蝶阀蝶板的选材 / 024

2.5.3 蝶板的结构 / 025

2.5.4 蝶阀蝶板厚度设计条件 / 025

2.5.5 密封蝶阀阀座密封设计计算 / 025

2.5.6 蝶板强度校核 (A—A 断面) / 026

- 2.5.7 蝶板强度校核设计条件 / 026
- 2.5.8 蝶板强度校核计算 / 027
- 2.6 蝶阀支架的初步设计 / 027
 - 2.6.1 蝶阀支架的常规设计 / 027
 - 2.6.2 LNG 蝶阀支架的用途 / 028
 - 2.6.3 蝶阀支架的结构 / 028
 - 2.6.4 蝶阀支架安装的要求 / 028
 - 2.6.5 蝶阀支架安装的应注意事项 / 029
 - 2.6.6 蝶阀支架强度校核设计条件 / 029
 - 2.6.7 蝶阀支架强度校核计算 / 029
- 2.7 可压缩流体流经蝶阀的流量系数的设计计算 / 030
 - 2.7.1 确定流量系数的方法 / 030
 - 2.7.2 可压缩流体通过蝶阀的流量系数的计算 / 031
 - 2.7.3 计算实例 / 033
 - 2.7.4 蝶阀的泄漏率的计算 / 034
 - 2.7.5 漏孔直径与流率计算 / 035
 - 2.7.6 漏率设定与漏率换算 / 036
- 2.8 圆锥销 / 036
 - 2.8.1 斜度 / 036
 - 2.8.2 锥度 / 036
- 2.9 填料的初步设计 / 037
 - 2.9.1 填料的常规设计 / 038
 - 2.9.2 LNG 蝶阀填料的选材 / 040
 - 2.9.3 LNG 蝶阀填料的结构 / 040
 - 2.9.4 填料强度校核设计条件 / 040
 - 2.9.5 填料强度校核计算 / 041
- 2.10 传热计算 / 042
 - 2.10.1 传热机理的设计计算 / 042
 - 2.10.2 保冷层的设计计算 / 044
 - 2.10.3 蝶阀最小泄放面积计算 / 045
 - 2.10.4 爆破片的设计计算 / 046
 - 2.10.5 测温装置的选型 / 047
 - 2.10.6 液位测量装置的选型 / 047
 - 2.10.7 滴水盘的安装位置 / 047

2.11 设计结果汇总 / 048

参考文献 / 049

第3章 LNG球阀设计计算

3.1 概述 / 050

3.1.1 国内外研究现状 / 050

3.1.2 主要内容、方法 / 051

3.2 阀体设计与计算 / 051

3.2.1 阀体的功能 / 051

3.2.2 确定球阀结构 / 051

3.2.3 确定阀体设计材料 / 052

3.2.4 内径的确定 / 052

3.2.5 最小壁厚的确定 / 053

3.2.6 球体的直径确定 / 054

3.2.7 球体与阀座之间密封比压的确定 / 054

3.2.8 弹簧设计计算 / 055

3.2.9 比压的计算 / 056

3.3 球阀的设计计算 / 058

3.3.1 球阀密封力的计算 / 058

3.3.2 球阀的转矩计算 / 059

3.4 阀体法兰设计 / 060

3.4.1 法兰螺栓设计 / 060

3.4.2 法兰螺栓拉应力的计算 / 063

3.4.3 法兰力矩计算 / 063

3.4.4 法兰应力计算 / 064

3.4.5 法兰的许用应力和强度校核 / 065

3.4.6 球体的设计和校核 / 065

3.5 阀杆材料选择与力矩计算 / 065

3.5.1 阀杆材料选择 / 065

3.5.2 阀杆填料的选择、填料摩擦力及摩擦转矩的计算 / 066

3.5.3 阀门填料函设计计算 / 067

3.5.4 阀杆强度计算 / 069

3.5.5 阀杆连接件的强度计算 / 071

3.5.6 阀座设计与计算 / 073

3.6 省力机构的设计和校核 / 074

- 3.6.1 蜗轮蜗杆的设计 / 074
- 3.6.2 蜗轮蜗杆的强度校核 / 074
- 3.6.3 阀盖的设计计算 / 075
- 3.7 LNG 超低温球阀长颈阀盖传热过程 / 075
 - 3.7.1 传热过程分析理论基础 / 076
 - 3.7.2 导热微分方程 / 078
 - 3.7.3 导热问题条件的定解条件及边界条件 / 080
 - 3.7.4 LNG 超低温球阀长颈阀盖温度场分布的数学描述 / 081
 - 3.7.5 确定 LNG 超低温球阀长颈阀盖上端对流换热系数 / 084
- 3.8 滴水盘的设计计算和自泄压结构 / 085
 - 3.8.1 滴水盘过余温度场与散热量的计算 / 085
 - 3.8.2 自卸压结构 / 086
 - 3.8.3 保冷层设计计算 / 088
- 参考文献 / 089

第4章 LNG 闸阀设计计算

- 4.1 概述 / 090
- 4.2 设计输入 / 091
 - 4.2.1 设计参数 / 091
 - 4.2.2 选用材料 / 091
 - 4.2.3 结构设计 / 091
- 4.3 确定阀体阀座处的流通通道尺寸 / 093
- 4.4 闸阀的设计与计算 / 093
 - 4.4.1 壁厚计算 / 093
 - 4.4.2 关于壁厚的计算公式 / 094
- 4.5 阀体和阀盖连接螺栓、中法兰计算 / 094
 - 4.5.1 垫片材料、型式及尺寸的确定 / 094
 - 4.5.2 螺栓材料、规格及数量的确定 / 095
 - 4.5.3 法兰材料、密封面型式及结构尺寸的确定 / 097
- 4.6 阀盖的计算校核 / 098
 - 4.6.1 I—I 断面的拉应力 / 098
 - 4.6.2 II—II 断面剪应力 / 098
- 4.7 内压自密封阀盖的计算校核 / 099
 - 4.7.1 载荷计算 / 099
 - 4.7.2 支承环的设计计算 / 099

- 4.7.3 四合环的设计计算 / 100
- 4.7.4 预紧螺栓的设计计算 / 100
- 4.7.5 阀盖的设计计算 / 101
- 4.7.6 阀体顶部的设计计算 / 102
- 4.7.7 低温密封比压计算 / 105
- 4.8 支架的计算校核 / 106
 - 4.8.1 I—I截面的合成应力校核 / 106
 - 4.8.2 II—II截面的合成应力校核 / 107
 - 4.8.3 III—III截面的弯曲应力校核 / 107
- 4.9 阀杆的计算校核 / 108
 - 4.9.1 阀杆总轴向力计算 / 108
 - 4.9.2 闸阀阀杆的力矩计算 / 109
 - 4.9.3 闸阀阀杆的强度计算 / 110
 - 4.9.4 阀杆稳定性校核 / 112
- 4.10 阀座尺寸计算 / 112
 - 4.10.1 出口端阀座的比压计算式 / 112
 - 4.10.2 单面强制密封楔式闸阀 / 112
- 4.11 闸板尺寸计算 / 113
 - 4.11.1 闸板密封面尺寸 / 113
 - 4.11.2 刚性闸板计算 / 113
 - 4.11.3 双闸板计算 / 113
- 4.12 螺杆螺母的计算 / 115
 - 4.12.1 螺纹表面的挤压应力 / 115
 - 4.12.2 螺纹根部剪切力 / 115
 - 4.12.3 螺纹根部弯曲应力 / 115
- 4.13 填料装置的计算 / 115
 - 4.13.1 填料压盖的主要尺寸参数 / 115
 - 4.13.2 填料装置主要零件的强度校验 / 116
 - 4.13.3 活节螺栓（或 T 形槽型螺栓） / 118
 - 4.13.4 销轴 / 118
 - 4.13.5 填料与阀杆的摩擦力计算 / 118
- 4.14 滚动轴承的选择及手轮直径的确定 / 118
 - 4.14.1 滚动轴承的选择 / 118
 - 4.14.2 手轮直径的确定 / 119

- 4.15 超低温阀门滴水盘及阀盖传热分析 / 119
 - 4.15.1 滴水盘传热分析 / 120
 - 4.15.2 长颈阀盖传热分析 / 122
- 4.16 超低温阀门滴水盘及阀盖结构分析 / 123
 - 4.16.1 长颈阀盖长度分析计算 / 123
 - 4.16.2 滴水盘安装高度 / 124
 - 4.16.3 无滴水盘时长颈阀盖最小长度 / 125
- 4.17 绝热材料的特性与绝热计算 / 126
 - 4.17.1 低温绝热的计算 / 126
 - 4.17.2 低温保冷的冷收缩 / 128
- 参考文献 / 128

第5章 LNG 截止阀设计计算

- 5.1 阀体壁厚计算及校核 / 129
 - 5.1.1 阀门的流量 / 129
 - 5.1.2 钢圆形阀体 / 130
 - 5.1.3 铸铁圆形阀体 / 130
- 5.2 法兰的设计计算 / 131
 - 5.2.1 确定法兰形式和密封面形式 / 131
 - 5.2.2 垫片材料、形式及尺寸 / 131
 - 5.2.3 螺栓材料、规格及数量的确定 / 132
 - 5.2.4 法兰颈部尺寸、法兰宽度和厚度尺寸 / 133
- 5.3 低温中压截止阀中法兰自紧密封计算 / 136
 - 5.3.1 载荷计算 / 136
 - 5.3.2 支承环的设计计算 / 136
 - 5.3.3 四合环的设计计算 / 137
 - 5.3.4 预紧螺栓的设计计算 / 138
 - 5.3.5 阀盖的设计计算 / 138
 - 5.3.6 阀体顶部的设计计算 / 140
- 5.4 阀座密封面设计计算 / 143
 - 5.4.1 密封面形式 / 143
 - 5.4.2 阀座尺寸 / 143
 - 5.4.3 截止阀密封面比压 / 143
 - 5.4.4 密封面材料许用比压 / 144

5.4.5	密封面必须比压 / 144
5.5	阀杆的设计计算 / 144
5.5.1	阀杆总轴向力 / 144
5.5.2	截止阀阀杆力矩 / 148
5.5.3	截止阀阀杆的强度计算 / 150
5.5.4	升降杆端部剪应力校核 / 151
5.5.5	阀杆材料的许用应力 / 151
5.6	阀瓣设计与计算 / 151
5.7	截止阀支架设计与计算 / 152
5.7.1	I—I截面的合成应力 / 152
5.7.2	II—II截面的合成应力 / 153
5.7.3	III—III截面的合成应力 / 154
5.7.4	IV—IV截面的合成应力 / 155
5.8	阀杆螺母的计算 / 156
5.8.1	螺纹表面的挤压应力 / 156
5.8.2	螺纹根部剪应力 / 156
5.9	填料装置的计算 / 157
5.9.1	填料压盖的主要尺寸参数 / 157
5.9.2	填料装置主要零件的强度校验 / 157
5.9.3	填料与阀杆摩擦力的计算 / 160
5.10	滚动轴承的选择及手轮直径的确定 / 161
5.10.1	滚动轴承的选择 / 161
5.10.2	手轮直径的确定 / 161
5.11	超低温阀门传热计算 / 162
5.11.1	滴水盘的安装位置 / 162
5.11.2	滴水盘及阀盖计算 / 162
5.11.3	传热计算 / 164
5.11.4	漏率设定与漏率换算 / 166
5.11.5	阀门保冷层厚度计算方法 / 166
5.11.6	通过阀门壳体的漏热 / 169
5.11.7	机械构件漏热 / 169
5.11.8	阀门零部件的深冷处理 / 169
	参考文献 / 170

- 6.1 概述 / 172
 - 6.1.1 背景 / 172
 - 6.1.2 天然气 / 172
 - 6.1.3 液化天然气 / 172
- 6.2 减压阀 / 173
 - 6.2.1 减压阀工作原理 / 173
 - 6.2.2 阀门设计的基本内容 / 173
 - 6.2.3 减压阀的性能要求 / 173
- 6.3 LNG减压阀的设计计算 / 174
 - 6.3.1 LNG减压阀工作原理以及设计要求 / 174
 - 6.3.2 阀门的公称通径 / 175
 - 6.3.3 LNG减压阀结构长度的确定 / 175
 - 6.3.4 主阀流通面积及主阀瓣开启高度的计算 / 176
 - 6.3.5 副阀流通面积及副阀瓣开启高度的计算 / 177
 - 6.3.6 弹簧的计算 / 179
- 6.4 减压阀阀体的设计 / 185
 - 6.4.1 阀体的功能 / 185
 - 6.4.2 阀体的设计 / 186
- 6.5 阀盖壁厚的设计和计算 / 187
 - 6.5.1 阀盖的设计和强度校核 / 187
 - 6.5.2 阀盖厚度的计算 / 187
 - 6.5.3 阀盖强度的验算 / 188
- 6.6 阀座及密封面的设计 / 188
 - 6.6.1 阀座的结构型式 / 188
 - 6.6.2 阀座尺寸的确定 / 188
 - 6.6.3 密封面计算比压的验算 / 189
- 6.7 阀杆的设计和强度校核 / 190
 - 6.7.1 阀杆及紧固材料的选用和尺寸的确定 / 190
 - 6.7.2 阀杆强度校核 / 190
 - 6.7.3 阀杆头部强度验算 / 192
 - 6.7.4 阀杆稳定性验算 / 192
- 6.8 垫片材料以及尺寸的确定 / 193
- 6.9 中法兰连接螺栓的设计和强度校核 / 193

- 6.9.1 中法兰连接螺栓的设计 / 193
- 6.9.2 中法兰连接螺栓强度的验算 / 194
- 6.9.3 中法兰设计和强度校核 / 195
- 6.10 填料函及填料的设计和强度校核 / 196
 - 6.10.1 填料函与填料的材料 / 196
 - 6.10.2 填料函的尺寸 / 196
 - 6.10.3 填料函的校核计算 / 196
- 6.11 上密封座和阀座的结构形式和尺寸计算 / 198
 - 6.11.1 上密封座的结构形式和尺寸计算 / 198
 - 6.11.2 阀座的结构形式和尺寸 / 198
- 6.12 膜片的计算 / 199
- 6.13 低温阀门的特殊结构 / 199
 - 6.13.1 保冷 / 199
 - 6.13.2 预防异常升压的措施 / 199
- 6.14 减压阀的性能指标及验算 / 200
 - 6.14.1 减压阀的主要静态性能指标 / 200
 - 6.14.2 减压阀的动态性能 / 201
 - 6.14.3 减压阀静态特性偏差值的验算 / 202
- 参考文献 / 203

第7章 LNG节流阀设计计算

- 7.1 概述 / 205
 - 7.1.1 节流阀简介 / 205
 - 7.1.2 节流阀的设计要点 / 205
 - 7.1.3 设计步骤 / 205
 - 7.1.4 节流制冷理论 / 207
- 7.2 阀体的计算 / 209
- 7.3 主阀流通面积的计算 / 210
- 7.4 阀芯受力计算 / 211
 - 7.4.1 阀芯简介 / 211
 - 7.4.2 轴向推力计算 / 211
 - 7.4.3 阀芯尺寸计算 / 212
- 7.5 阀盖的设计计算 / 213
- 7.6 阀杆的设计计算 / 216
 - 7.6.1 阀杆的选择 / 216

- 7.6.2 最大轴向力计算 / 216
- 7.6.3 阀杆设计计算 / 218
- 7.7 阀门的密封 / 218
 - 7.7.1 密封材料 / 218
 - 7.7.2 密封面 / 219
- 7.8 法兰的设计与计算 / 219
 - 7.8.1 法兰形式 / 220
 - 7.8.2 中法兰的设计计算 / 220
 - 7.8.3 螺栓材料、规格及数量的确定 / 221
 - 7.8.4 确定法兰颈部尺寸, 法兰宽度和厚度尺寸 / 222
- 7.9 卡簧的材料与选型 / 226
 - 7.9.1 卡簧的材料 / 226
 - 7.9.2 卡簧的选型 / 227
 - 7.9.3 卡环外形尺寸 / 227
- 7.10 手轮调节力矩的计算 / 227
 - 7.10.1 手轮直径 / 227
 - 7.10.2 手轮旋向 / 228
- 7.11 传热的计算 / 229
 - 7.11.1 低温阀门的绝热性能 / 229
 - 7.11.2 低温阀门的冷却性能 / 229
 - 7.11.3 低温阀门启闭密封件的工作能力 / 229
 - 7.11.4 低温阀门外表面不结冰的条件 / 230
- 参考文献 / 231

第8章 LNG安全阀设计计算

- 8.1 基础数据和资料 / 233
 - 8.1.1 设计背景 / 233
 - 8.1.2 设计规范及主要设计参数 / 234
- 8.2 阀门尺寸的确定 / 234
 - 8.2.1 安全阀排量计算 / 234
 - 8.2.2 安全阀流道尺寸及公称尺寸的确定 / 236
- 8.3 弹簧的设计与计算 / 236
 - 8.3.1 弹簧结构的确定 / 237
 - 8.3.2 弹簧强度的校核 / 238
- 8.4 阀体壁厚计算及校核 / 239