

ICS 75.180.10

E 92

团体标准

T/CPI XXXX-202X

石油化工装置法兰密封结构安装与 维修技术规范（征求意见稿）

Technical specification for installation and maintenance of flange
sealing structure in petrochemical plant

202X-XX-XX 发布

202X-XX-XX 实施

中国石油和石油化工设备工业协会

前 言

本文件按照 GB/T 1.1—2020《GB/T 1.1-2020 标准化工作导则 第1部分：标准化文件的结构和起草规则》给出的规则起草。

本文件由中国石油和石油化工设备工业协会提出并归口。

本文件起草单位：。

本文件主要起草人：。

目 录

1 适用范围.....	1
2 规范性引用文件.....	1
3 术语和定义.....	1
4 基本要求.....	2
5 法兰密封结构风险评估.....	4
6 法兰密封结构安装.....	5
7 法兰密封结构维修.....	8
8 交工技术资料.....	9
附录 A 法兰密封结构安装与维修基础数据收集表	10
附录 B 法兰密封结构安装与维修作业人员培训要求	10
附录 C 法兰密封结构风险分级方法	12
附录 D 螺栓预紧载荷的确定	20
附录 E 法兰密封结构安装紧固方式分类	33
附录 F 法兰密封结构安装紧固顺序	36
附录 G 法兰密封结构安装前检查要求	40

石油化工装置法兰密封结构安装与维修技术规范

1 适用范围

1.1 本文件规定了炼油、化工装置的容器、管道、泵、阀门、压缩机、工业炉等连接用法兰密封结构安装与维修的技术要求。

1.2 本文件适用于设计压力不大于 35MPa、设计温度-269℃~900℃的法兰密封结构。

1.3 本文件所涉及的法兰密封结构的设计、制造应符合相应国家或行业标准的要求。

- a) 压力容器法兰密封结构应符合 GB/T 150 或 JB 4732 的要求。
- b) 工业管道法兰密封结构应符合 GB/T 20801 的要求。
- c) 泵、阀门、压缩机等连接用法兰密封结构应符合相应产品国家或行业标准的规定。

1.4 本文件不适用于下列法兰密封结构：

- a) 双锥密封；
- b) 伍德密封；
- c) 卡扎里密封；
- d) 卡箍紧固结构。

2 规范性引用文件

下列文件对于本文件的应用是必不可少的。凡是注日期的引用文件，仅注日期的版本适用于本文件。凡是不注日期的引用文件，其最新版本（包括所有的修改单）适用于本文件。

GB/T 150 压力容器(所有部分)

GB/T 152.4 紧固件 六角头螺栓和六角螺母用沉孔

GBZ 230 职业接触毒物危害程度分级

GB/T 17186.1 管法兰连接计算方法 第1部分:基于强度和刚度的计算方法

GB/T 17186.2 管法兰连接计算方法 第2部分:基于泄漏率的计算方法

GB/T 20801 压力管道规范 工业管道（所有部分）

GB 37822 挥发性有机物无组织排放控制标准

JB 4732 钢制压力容器-分析设计标准

HG/T 20592-20635 钢制管法兰、垫片、紧固件

HG/T 20660-2000 压力容器化学介质毒性危害和爆炸危害程度分类

3 术语和定义

3.1

公称直径 nominal diameter

代表法兰密封结构尺寸规格的参数。用 PN 标记的法兰，公称直径代号用 DN 表示，用 Class 标记的法兰，公称直径代号用 NPS 和 DN 表示。

3.2

公称压力 nominal pressure

代表法兰密封结构压力等级的参数。法兰的公称压力标记分两个系列：PN 系列和 Class 系列。

3.3

工作压力 operating pressure

正常工作情况下，设备可能达到的最高压力。

3.4

设计压力 design pressure

设计计算时选定的系统（法兰密封结构）所承受的最高压力。

3.5

设计温度 design temperature

设备在正常工作过程中，设定的相应设计压力下材料可能达到的温度。与设计压力一起作为设计载荷条件。

3.6

计算压力 calculation pressure

在相应设计温度下，用以计算设备结构尺寸的压力。

3.7

法兰密封结构 flange sealing structure

由一对法兰、若干螺栓、螺母和一个垫片所组成起连接密封作用的组合件。

3.8

失效 failure

是指法兰密封结构丧失规定的功能。

3.9

风险 risk

失效可能性与失效后果的组合变量，取概率和后果二者量化后的乘积。

3.10

风险评估 risk assessment

对失效可能性与后果进行量化评估的过程。

3.11

风险分级 risk classification

依据制定的风险等级标准划分设备处于何种风险水平。

3.12

超拉 overdraft

螺栓拉伸器工作时，需要超过螺栓实际所需的预紧力拉伸螺栓，进而手动拨动螺母锁紧的过程。

3.13

施工扭矩 installing torque

设置的螺栓安装扭矩目标值。

3.14

校验扭矩 check torque

对螺栓实际扭矩进行校验时设置的扭矩目标值，包括最大校验扭矩值和最小校验扭矩值。

4 基本要求

4.1 工作程序

法兰密封结构安装与维修工作程序如图1所示。

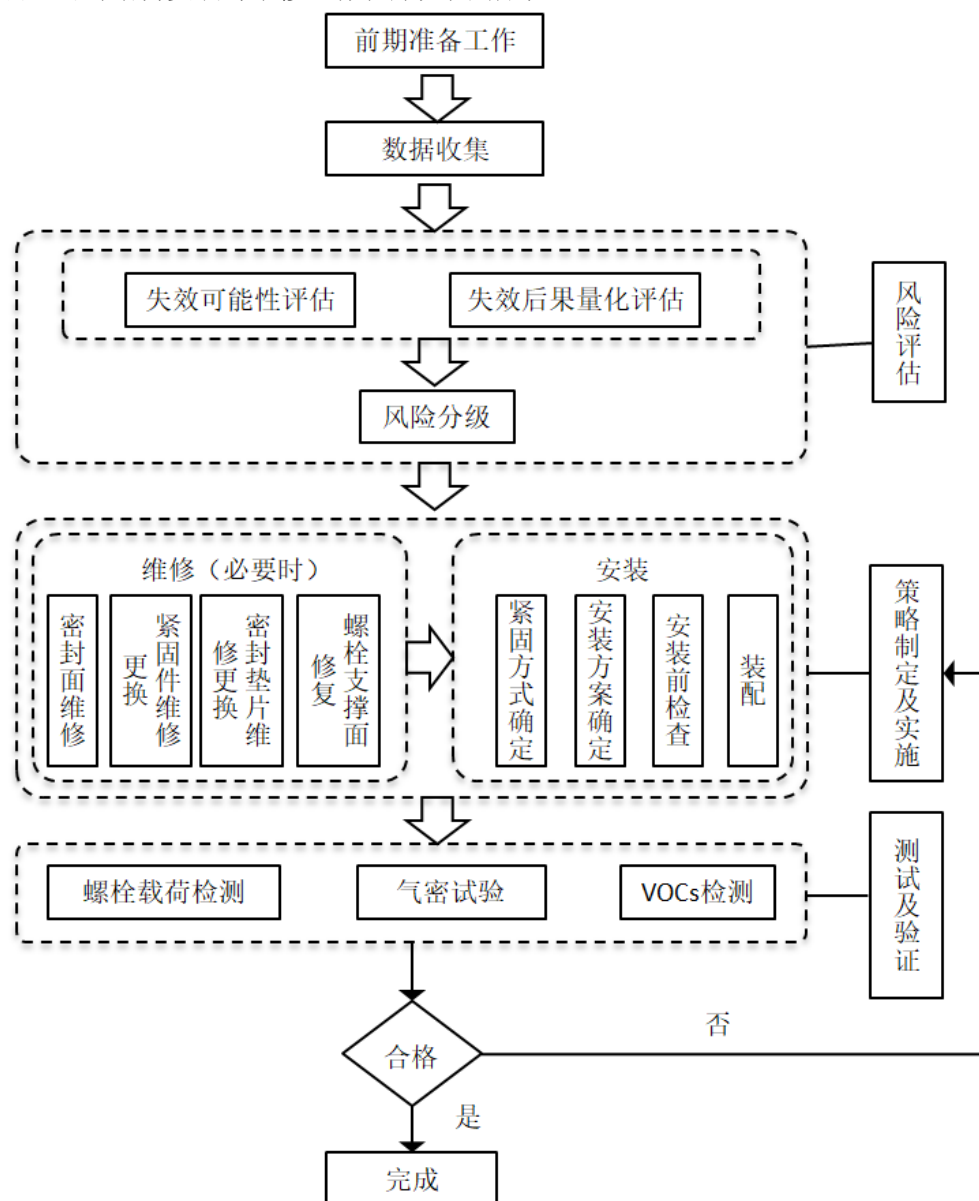


图1 法兰密封结构安装与维修工作程序

- a) 前期准备工作。法兰密封结构安装和维修前应作好前期准备工作，主要包括：组成工作小组，确定小组成员分工与职责，确定安装工作使用的数据及采用的规范、标准，对安装人员进行专业技能培训，评估需要具备的知识与技能，确定安装需要的工机具、安装工作进度、验证方法等。
- b) 数据收集。法兰密封结构安装与维修前，应通过审查设备出厂和竣工资料、设备台账、工艺记录、设备运行记录、维修技术资料、缺陷管理记录等，收集法兰密封结构的基本信息、设计参数、运行数据、检维修数据、缺陷数据等。收集的数据应完整、准确、规范，基础数据宜按附录A进行收集，风险评估及螺栓预紧载荷计算还需收集相应的专门数据，分别满足C、附录D的要求。

- c) 风险评估。对法兰密封结构应进行风险评估，然后根据其风险等级制定相应的安装和维修策略并组织实施。
- d) 法兰密封结构安装。法兰密封结构安装的主要工作内容包括紧固方式确定、安装方案确定、安装前检查、装配。
- e) 法兰密封结构维修(必要时)。法兰密封结构使用中出现异常或经检查存在缺陷的，应进行维修，维修合格后方可重新安装使用。
- f) 测试及验证。法兰密封结构安装后应进行测试和验证，主要内容包括螺栓载荷检测、气密试验、VOCs检测等。

安装和维修前，安装与维修单位应依据上述程序制定施工方案，施工方案应征求业主单位的意见，安装与维修人员应按照批准的施工方案开展安装与维修工作。

4.2 单位能力与人员要求

法兰密封结构安装与维修单位及人员的能力应满足以下要求：

- a) 从事法兰密封结构安装与维修的专业技术服务机构和施工单位，应具有相应的现场服务经验，并建立了相应的作业指导文件；
- b) 应有能够满足现场服务需求的技术工程师、施工质检员、施工作业人员；
- c) 技术人员应经过相关专业培训，具备按照本文件进行风险评估、螺栓预紧力分析计算和施工质量管理的能力；
- d) 作业人员应在螺栓连接、组装、操作和质量保障方面经过相应的实践和理论考试合格，培训要求参照附录B执行。

4.3 工机具及检测仪器要求

法兰密封结构安装与维修应配备相应的工机具及检测仪器，应满足以下要求：

- a) 工机具包括液压拉伸器、可计量力矩的扳手、螺栓清洗设备、法兰调整设备、法兰分离设备、密封面在线修复工具(必要时)等，应根据安装与维修的实际需要选用，有校验要求的应经校验合格。紧固扳手的选用原则按本文件第6.1.2小节的规定；
- b) 检测仪器包括粗糙度检测仪、激光平面测试仪(必要时)、深度计、游标卡尺、直角尺等，应经过校验、检定或计量合格，符合有关国家/行业标准的规定，具备相应的校验、检定计量证书或报告，并在有效期内。

4.4 用材要求

法兰密封结构使用的法兰、紧固件(包括螺栓、螺母、垫圈)、垫片等材料应满足以下要求：

- a) 材料的性能、规格、质量与标志应符合相应材料的国家标准或者行业标准及订货技术条件的规定；
- b) 应具有质量证明书或产品合格证，质量证明书、产品合格证的内容应齐全、清晰，并加盖有材料制造单位的质量检验章(原件或有效复印件)；
- c) 对于按相关法规标准及企业管理规定需要复验的材料，应按相关要求进行复验，复验结果应满足要求。

4.5 信息化管理

对法兰密封结构安装与维修宜推行全过程信息化管理，信息化管理的内容包括但不限于：

- a) 基本数据台账管理；

- b) 施工过程管理。包括过程质量监控（打印现场挂牌、关键质量控制点影像资料上传等）、人员管理、机具管理、交工技术资料管理等；
- c) 风险等级、螺栓预紧力等自动评估计算。

各相关方可根据各自职责建立独立的信息管理系统，用于对相应环节实施信息化管理。也可建立统一的信息管理系统，由各相关方共同使用，实现对安装与维修全过程信息的一体化管理。

5 法兰密封结构风险评估

5.1 基本原则

本文件对法兰密封结构采用的是一种基于泄漏失效的风险分级方法，风险由泄漏失效可能性和泄漏失效后果两部分组成，按风险可接受准则，对法兰密封结构划分出不同等级的风险，最终根据不同风险等级合理分配法兰密封结构安装、维护和修理等资源，达到在必要的资源保障下有效降低法兰密封结构整体泄漏风险的目的。

5.2 风险评估类别

本文件规定的法兰密封结构风险分级方法分为两类：

- a) 快速筛选风险评估方法。快速筛选风险评估方法以与时间相关失效模式、设计选型、制造和安装水平、介质特性等筛选条件，评估法兰密封结构的风险水平；
- b) 半定量风险评估方法。半定量风险评估方法以法兰密封设计、操作参数为基础，结合生产和人员情况（权重系数修正），以及法兰的安全特征和变化状况，评估法兰密封结构的风险水平。

可先进行快速筛选风险评估，再对筛选出来较高风险的法兰密封结构进行半定量风险评估。

5.3 风险可接受水平

本文件提供的风险可接受准则是区分不同等级风险的重要依据，图2为快速筛选风险评估风险矩阵图，图3为半定量风险评估风险矩阵图，一般情况下可以很好地区分不同风险等级，特殊情况下，可以根据企业的实际情况，适当调整风险可接受准则，实现法兰密封结构风险合理分布的目的。图2中红色为高风险，黄色为中风险，绿色为低风险；图3中红色为高风险，橙色为中高风险，黄色为中风险，绿色为低风险。

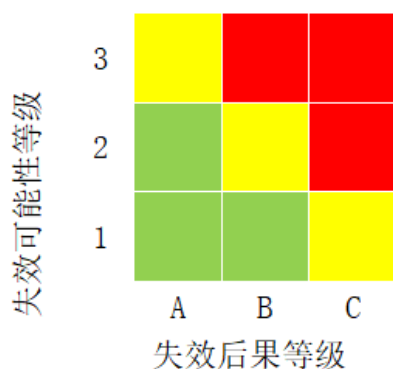


图2 快速筛选风险评估风险矩阵图

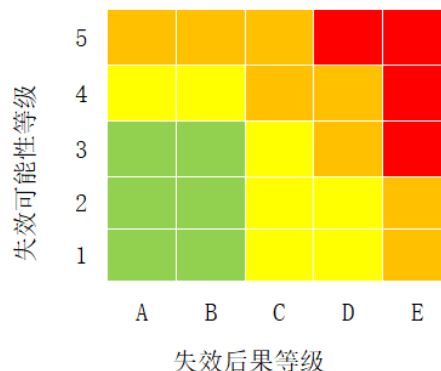


图3 半定量风险评估风险矩阵图

5.4 实施过程

法兰密封结构风险评估按以下步骤实施：

- a) 确定评估的范围。熟悉评估范围内法兰密封结构的设计、制造、安装、工艺流程、操作、维护、检修、变更、开停车、异常工况等信息；
- b) 数据和信息的采集。风险评估的数据和信息材料应满足以下要求：
 - 快速筛选风险评估需要收集的数据包括LDAR检测结果、存在泄漏“顽疾”情况、设计选型合理性、材料相容性、制造符合性、存在影响密封的超标制造缺陷、安装规范性、安装难度、失效机理、是否为高温热油介质、是否为轻烃、介质毒性和可燃性、是否为价格昂贵介质、设备内径或管道公称直径等信息，具体按本文件附录C的规定。
 - 半定量风险评估方法需要收集的数据包括基本信息、设计参数、结构型式、结构尺寸、材质、运行工况、缺陷情况、LDAR检测、材质相容、维修方法及有效性、所处区域、巡检情况、泄漏控制有效性等信息，具体按附录C的规定。应严格确认法兰密封结构风险评估数据的完整性和准确性，保障风险评估结果的质量，当风险评估的数据发生变化时，应及时更新评估结果，并采取必要的措施，保障法兰密封结构的安全使用；
- c) 风险评估。包括失效可能性评估和失效后果评估，得出失效可能性和失效后果等级，再根据风险可接受准则，确定风险等级；
- d) 风险排序。根据不同的风险等级对法兰密封结构进行分级；
- e) 评估结果应用。根据不同风险等级合理分配法兰密封结构安装、维护和修理的检维修资源。

5.5 风险评估文件和记录的保存

应记录风险评估的全部数据，至少应包括以下内容：

- a) 评估类型；
- b) 实施评估的人员；
- c) 评估的进度安排；
- d) 基础数据的来源；
- e) 评估过程中做出的假设；
- f) 风险评估的结果（包括可能性和后果）。

6 法兰密封结构安装

6.1 安装策略制定

6.1.1 紧固方法的确定

法兰密封结构紧固方法根据风险评估的结果确定，应采用螺栓预紧力可控的方法紧固螺栓，具体可按表1推荐的原则进行选用。施工单位应通过加强安装过程质量管理等措施，确保螺栓预紧力在允许的范围内。

6.1.2 安装方案的确定

6.1.2.1 预紧载荷/力矩计算

法兰密封结构的预紧载荷或施工扭矩根据法兰密封结构的强度、尺寸、润滑情况和螺栓

紧固方式进行计算确定，计算方法见附录 D。

表 1 设备法兰密封结构紧固方法的确定原则

风险等级	推荐紧固方法
高风险	采用高精度预紧力控制紧固方式，包括扭矩拉伸法、液压拉伸法、采用液压扭矩扳手或锂电池扳手的扭矩法等，参见附录 E。宜采用四同步操作。
中风险	采用高精度预紧力控制紧固方式，包括扭矩拉伸法、液压拉伸法、扭矩法（含液压扭矩扳手、锂电池扳手、气动扳手）等，参见附录 E。宜至少采用两同步操作。
低风险	采用普通预紧力控制紧固方式，包括扭矩法等，参见附录 E。
注：采用高精度预紧力控制紧固方式，扭矩精度应在±5%以内。	

6.1.2.2 工机具选用

法兰密封结构螺栓紧固的工机具，应经过校验合格，并按以下原则选用：

- 按施工扭矩值划分，紧固工具选用原则按表 2 的规定；
- 按螺栓规格划分，紧固工具选用原则按表 3 的规定；

表 2 以力矩划分时螺栓紧固工具选用原则

施工扭矩（N·m）	宜使用紧固工具
≤200	手动力矩扳手、锂电池扭矩扳手
>200~800	手动扭矩扳手、液压扭矩扳手、气动扭矩扳手、锂电池扭矩扳手
>800~4000	液压扭矩扳手、锂电池扭矩扳手、气动扭矩扳手
>4000	液压扭矩扳手、液压拉伸器

表 3 以螺栓规格划分时螺栓紧固工具选用原则

螺栓规格	宜使用紧固工具
M16-M27	采用手动力矩扳手、锂电池扭矩扳手
M20-M27	手动扭矩扳手、液压扭矩扳手、气动扭矩扳手、锂电池扭矩扳手
M27-M48	液压扭矩扳手、锂电池扭矩扳手、气动扭矩紧固扳手

表 3 以螺栓规格划分时螺栓紧固工具选用原则（续）

螺栓规格	宜使用紧固工具
M52 及以上	具备条件的可采用液压扭矩扳手、液压拉伸器进行紧固
注：同等工况下、同螺栓规格的法兰密封结构紧固时，如选用密封比压力 y 和垫片系数 m 较小的垫片，则选取的法兰密封结构螺栓紧固工具可选择风险等级低一级法兰采用的紧固方法。	

- c) 对特殊设备（如高温高压反应器）或出厂时配备专用紧固工具的设备，宜采用液压拉伸器、带机械式拉伸螺母的扭矩拉伸器、无反作用力臂扭矩拉伸器或其它配套专用工具进行紧固作业；
- d) 采用扭矩法及扭矩拉伸法紧固螺栓的工机具，其输出扭矩精度应在 $\pm 5\%$ 以内；
- e) 设计有特别要求时，按设计规定。

6.1.2.3 紧固顺序确定

法兰螺栓紧固应遵循一定的紧固顺序。先对法兰螺栓编号，遵循同步、定序、逐级紧固原则。详细紧固顺序见附录 F。

6.2 安装前检查

法兰密封结构安装前应对法兰密封面、垫片、紧固件、螺母支承面等进行检查。

6.2.1 法兰密封面检查

法兰密封面（包括设备法兰、管法兰）检查内容包括平行度、圆度、表面粗糙度及表面缺陷等，具体检查及处置要求见附录 G。

6.2.2 密封垫片检查

密封垫片检查内容包括与法兰密封面匹配度、质量证明文件及是否有划痕、凹坑等缺陷等，具体检查及处置要求见附录 G。

6.2.3 紧固件检查

紧固件应按以下要求进行检查：

- a) 螺栓、螺母检查。检查内容包括材质、型式、尺寸及是否有斑疤、毛刺、断缺等缺陷。利旧的螺栓或螺母应清洗并经外观检查、无损检测合格后使用。具体检查及处置要求见附录 G；
- b) 垫圈检查。对平垫圈应检查表面是否有斑疤、不平整及裂纹等缺陷。对弹性垫圈应检查是否有裂纹、浮锈、凹痕、划伤和毛刺等缺陷，对利旧的弹性垫圈还应检查行程，不宜超过失效临界，如超过失效临界，应对该法兰密封面力矩值进行相应的调整。具体检查及处置要求见附录 G；
- c) 新紧固件的检查内容还应包括质量证明文件、包装及标识检查；
- d) 重要场合使用的紧固件还应进行必要的化学成分、金相、机械性能、硬度检查以及无损探伤。

6.2.4 螺母支承面检查

对螺母支承面，应检查是否有裂纹、不平整等缺陷。具体检查及处置要求见附录 G。

6.3 装配

6.3.1 螺栓编号

法兰安装前应对法兰螺栓进行分组编号，编号方式见附录 F。

6.3.2 法兰找正

法兰安装前，应进行法兰中心、密封面平行度、螺栓孔的找正。

- a) 法兰中心线找正。在法兰外缘选四个点，间隔90度，控制各点错口偏差不大于1.5mm，如图4所示。

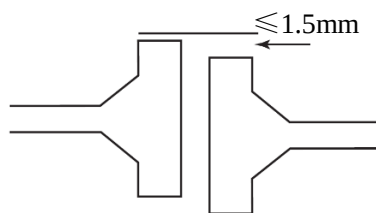


图4 法兰中心线错位

- b) 法兰密封面平行度找正。测量和比较法兰的最大/最小间隙确定法兰密封面平行度，控制其偏差不大于0.8mm，如图5所示。

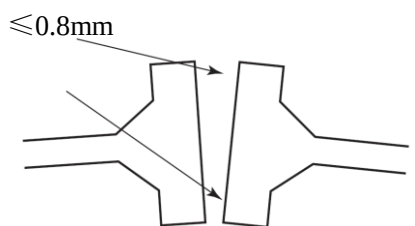


图5 法兰密封面平行度

- c) 法兰螺栓孔的找正。两法兰螺栓孔应对中，螺栓可自由穿过法兰螺栓孔，如图6所示。



图6 法兰螺栓孔的找正

6.3.3 法兰间隙调整

装配时，一般两法兰间距应不大于两倍垫片厚度，当间隙过大时应进行调整，如图7所示。

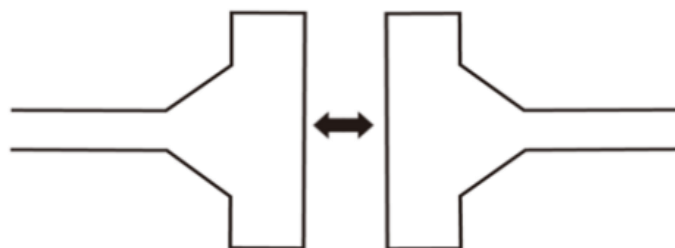


图7 法兰间隙

6.3.4 紧固件安装

紧固件应按以下要求进行安装：

- a) 紧固件的规格、型式、材质应正确，同一法兰的紧固件的规格、型式、材质应一致；
- b) 螺栓应完好，表面无污染物，螺纹无损伤；
- c) 螺栓两端伸出螺母的螺纹长度宜为1-3牙，使用液压拉伸法紧固的螺栓，紧固端伸出螺母的螺纹长度不小于螺栓的公称直径
- d) 螺栓两端螺纹、紧固端螺母表面应均匀涂抹润滑剂，常温部位可使用二硫化钼润滑脂、石墨油、石墨粉，温度高于250℃部位应使用高温抗咬合润滑脂；
- e) 回装过程中，作业人员应按照施工方案要求的紧固方式、施工扭矩及施工步骤进行同步、定序、逐级紧固。

6.4 测试及验证

6.4.1 螺栓载荷校验

紧固完成后，质量检查人员应使用合格机具对螺栓载荷进行校验。对风险等级为中风险或高风险的法兰，应全部进行螺栓载荷校验。对风险等级为低风险的法兰，应随机抽查 30% 进行校验。对进行螺栓载荷校验的法兰，螺栓抽查比例应不低于 20%。校验按以下步骤进行：

- a) 最小扭矩校验。将校验扭矩设定为施工扭矩的90%（最小校验扭矩）进行校验，校验过程中，若螺母可转动，则判定为紧固不足，应重新紧固并再次校验。若螺母无转动，则最小扭矩校验通过；
- b) 最大扭矩校验。将校验扭矩设定为施工扭矩的110%（最大校验扭矩）进行校验，校验过程中，若螺母可转动，则最大扭矩校验通过。若螺母不转动，则判定为紧固过度。对紧固过度的螺栓，应进行拆松，再以施工扭矩进行紧固；若拆松存在损伤法兰、密封垫片或者螺栓风险的，则需拆卸整个法兰，重新进行安装、校验。

6.4.2 法兰密封面平行度检测

采用游标卡尺对法兰密封面间隙进行测量，测点数量不少于 4 个且为偶数，两相邻测点之间的间隔不大于 90°，实测最大间隙与最小间隙之差（法兰密封面间的平行度允许偏差）应满足表 4 的要求。

6.4.3 泄漏试验

泄漏试验按相应设备标准要求执行，容器法兰按 GB/T 150 和 TSG 21 执行，保压足够时间后进行检查，无泄漏为合格。

表 4 两法兰密封面间的平行度允许偏差

法兰密封面级别	允许偏差 (mm)		
	容器	管道	
		DN≤300	DN>300
A	≤密封面直径的 1%且不大 于 1	≤0.4	≤0.7
B、C		≤0.6	≤1.0

6.4.4 VOCs 检测

装置开工后 3-6 个月期间, 应对法兰密封结构进行 VOCs 检测, 泄漏量应不超过 200ppm (mg/m^3)。

7 法兰密封结构维修

7.1 法兰密封面维修

7.1.1 法兰密封面的清洁

对拆卸后的法兰密封结构, 应按以下要求对法兰密封面进行清洁:

- 法兰密封结构拆解后, 应立即清除密封面上的装配痕迹, 不得弄脏或损害密封面, 必要时使用溶剂及软刷子清洁。对不锈钢法兰的清洁, 不得使用碳钢刷子;
- 当使用柔性石墨包覆层或含柔性石墨填充物的垫片作为替代垫片时, 应将密封面沟槽内的柔性石墨保留下来。

7.1.2 法兰密封面检查

法兰密封面清洁后应进行密封面检查, 检查内容主要包括:

- 检查密封面表面是否存在麻点、擦痕、凹痕、沟槽和毛刺等缺陷, 对密封面表面存在超标缺陷的, 应测定缺陷尺寸并进行识别评估, 对具有修复价值的可予以维修, 对存在严重缺陷的应更换法兰;
- 测试平行度、圆度、密封面缺陷和表面粗糙度, 应符合附录G表G.1的要求, 不满足要求且可修复的应进行维修。

7.1.3 法兰密封面修复

法兰密封面存在缺陷且具有修复价值的, 可选择适当的方法进行维修。目前常用的法兰密封面修复方法主要有研磨、车削加工、补焊或堆焊后车削加工。

7.1.3.1 研磨

研磨方法适用于法兰密封面缺陷深度与宽度、平行度及表面粗糙度不满足附录 G 表 G.2 的要求且可通过研磨方法进行修复的情形。研磨应满足以下要求:

- 对研磨量为 $0.005\sim 0.03\text{mm}$ 之间、缺陷深度超过 0.03mm 的法兰面, 一般应采用机械加工的方式;
- 采用金属环垫的法兰密封结构安装前, 应对法兰环槽密封面与金属环垫进行接触线检查, 将八角垫在密封面上转动 45° 后, 检查接触线是否有间断现象, 若有则应进行研磨修理。接触线的检查可采用涂红丹漆方法;

- c) 研磨工艺应根据密封面缺陷的形貌制定;
- d) 研磨工具的材料和形状应根据法兰材质、缺陷面积来选择。

7.1.3.2 车削加工

法兰密封面的缺陷无法采用研磨法修复的,可采用车削加工方法。车削加工修复密封面按以下要求进行:

- a) 根据设计图纸或产品的结构要求,确定密封面的形状位置公差、精度要求和尺寸要求;
- b) 对密封面的结构尺寸进行测量,应有足够的加工余量,保障车削加工后密封面的零件尺寸不会改变过大而影响密封性能;
- c) 对密封面进行校正,保证原密封件的形位公差、精度和尺寸要求;
- d) 对环连接面(RJ)进行车削加工时,应将密封槽整体车削加工,以确保与八角钢垫的配合;
- e) 对突面、凹面/凸面及全平面密封面进行车削加工时,加工刀具的圆角半径应不小于1.5mm,形成的锯齿形同心圆或螺旋齿槽深度约为0.05mm,节距约为0.45~0.55mm。
- f) 法兰密封面修复后应进行粗糙度测量,粗糙度应符合附录G表G.2的要求;
- g) 法兰面车削加工后应进行厚度测量,厚度应符合设计要求,否则应先进行堆焊或者补焊,再进行机加工。

7.1.3.3 堆焊及补焊后车削加工

当法兰密封面处的缺陷深度超过法兰的强度和刚度所需的设计余量时,应先对缺陷处进行堆焊或补焊修复,验收合格后再按车削加工方法的步骤进行车削加工。此方法实施之前需要根据法兰的材质制定配套的堆焊工艺。对于采用不锈钢堆焊后加工的法兰密封面,不宜采用此方法。

7.2 紧固件维修更换

法兰密封结构拆解后,对螺栓、螺母应首先进行除锈处理,必要时采用板牙理丝,然后进行检查,主要通过目视检查是否存在牙扣损坏、裂纹等缺陷,必要时进行尺寸测量、硬度检测及无损检测。对于存在牙扣损坏、疲劳裂纹、严重腐蚀、硬度明显下降并超过材料使用范围、尺寸(公称直径、长度)异常等缺陷的紧固件,应进行更换。对风险等级为高风险的法兰密封结构上使用的紧固件,使用一周后应予以更换。

7.3 密封垫片维修更换

法兰密封结构拆卸后重新安装的,对密封垫片一般应进行更换。对金属环垫可利旧使用,但应通过检测评估合格。

7.4 螺栓支承面维修

对法兰中螺母支承面上存在的所有涂层及粗糙点、凹陷和凸起等缺陷,应进行清除,具体方法和要求如下:

- a) 支承面的缺陷大于0.03mm时,应进行机加工或镗孔。镗孔尺寸按GB/T 152.4的规定;
- b) 对于存在严重凹陷的法兰,可对凹陷先进行补焊或者堆焊,再进行机加工或镗孔;
- c) 可在支承面与螺母之间放置整体硬化的垫圈(表面硬化垫圈不适用);
- d) 处理后的螺栓支承面与法兰密封面的平行度应小于1°;
- e) 螺栓支承面机加工或镗孔后,应保证法兰的厚度符合设计图纸上的要求,否则应按照相应设备标准的要求对法兰进行强度校核与刚度校核。

8 交工技术资料

法兰密封结构安装与维修交工技术资料应至少包括以下内容：

- a) 法兰密封结构基本信息。包括：设备类型、法兰型式、材质、标识；设计压力、设计温度、公称尺寸；密封垫片、螺栓、螺母及垫圈的型式、规格、材质；施工扭矩、校验扭矩、螺栓预紧载荷等；
- b) 使用工况信息。包括介质名称、工作压力、工作温度等；
- c) 风险评估结果；
- d) 装配过程信息。包括：装配日期、作业人员、质量检查人员，关键质量控制点和过程记录，紧固方法，工机具信息（如规格、型号、校准状态）；
- e) 检查、测试及验收记录；
- f) 其它需要说明的内容。

附录 A

(资料性)

法兰密封结构安装与维修基础数据收集表

一、基本信息

生产装置:	_____	单元名称:	_____
所属设备名称:	_____	所属设备位号:	_____
法兰密封点编号:	_____	投用日期:	_____

二、设计参数

设计压力:	_____MPa	设计温度:	_____℃
法兰型式:	_____	法兰材质:	_____
法兰公称尺寸:	_____mm	法兰公称压力:	_____MPa
密封面型式:	_____	密封垫片型式:	_____
密封垫片材质:	_____	密封垫片尺寸:	_____mm
螺栓尺寸:	_____mm	螺栓材质:	_____
螺栓数量:	_____		

三、运行数据

工作压力:	_____MPa	工作温度:	_____℃
工作介质:	_____	介质危险性:	_____

四、检修数据

上次检修时间:	_____	维修单位:	_____
维修部位:	_____	维修内容:	_____
维修结果:	_____	风险评估等级:	_____

五、缺陷数据

缺陷发生时间:	_____	缺陷现象:	_____
缺陷机理:	_____	缺陷原因:	_____
缺陷处理情况:	_____		

附录 B

(资料性)

法兰密封结构安装人员培训要求

建立完整的培训体系,对法兰密封结构安装质量的提升具有至关重要的作用。合格的法兰密封结构安装人员,应在法兰组装、工机具操作和关键质量控制点控制等方面接受过充分的培训,并通过考核。本附录就安装人员的职责、培训课程的设置、培训组织的要求、技术能力的维护等方面进行了说明。

B.1 安装人员的职责

法兰密封结构的安装工作,从前期策划、数据收集、组织实施到后期验证,需要不同角色的人员组成专业的团队,共同完成。本附录将法兰密封结构安装人员,分为施工作业人员、质检工程师和技术工程师。一个现场装配队伍,应由至少一个质检工程师与若干施工作业人员组成;一个生产单元,至少由一名技术工程师领导若干现场装配队伍组成;而全厂的法兰安装工作,则应有若干技术工程师共同策划实施。具体人员配置,可根据工厂规格和管理制度进行细化要求。

B.1.1 施工作业人员职责

施工作业人员主要负责现场实际施工工作,应能够根据本附录 B.2 所涉及的培训内容,在施工质检人员的协助下完成工作。其职责包括:

- a) 清理法兰密封面、螺母支承面;
- b) 清洗紧固件,不合格的紧固件应及时提出更换要求;
- c) 润滑紧固件;
- d) 组装法兰密封结构;
- e) 根据附录 E 的要求对螺栓进行编号,并完成紧固工作。

B.1.2 质检工程师职责

施工质检主要负责现场关键质量控制点的检查,应能够根据本附录 B.2 所涉及的培训内容,监督施工作业人员完成工作。其职责包括:

- a) 法兰密封面、螺母支承面检查确认;
- b) 密封垫片完好性检查;
- c) 紧固件完好性检查;
- d) 指导施工作业人员完成法兰密封结构组装;
- e) 检查法兰螺栓编号情况和紧固的步骤、顺序;
- f) 螺栓载荷校验;
- g) 理解并正确填写所需要的质量控制表单,执行业主要求的质量控制措施;
- h) 完成完工报告。

B.1.3 技术工程师职责

技术工程师主要负责所在单元的法兰密封结构全面管理工作,应能够根据本附录 B.2 所涉及的培训内容,指导现场装配队伍完成工作。其职责包括:

- a) 对施工作业人员、质检工程师提供现场指导;

- b) 组织建立法兰数据台账，进行风险评估和预紧力计算；
- c) 审核施工方案，制定质量控制措施；
- d) 确保在其监督下的质检工程师履行其职责；
- e) 审查处理特殊情况的偏差申请、变更申请；
- f) 收集整理质量控制表单、完工报告。

B.2 培训课程设置

组织机构应根据对安装人员知识掌握程度要求，开展对应的培训教学工作。

课程培训应包括但不限于表 B.1 的内容：

表 B.1 培训课程设置

课程名称	教学内容	施工作业人员	质检工程师	技术工程师
概述	1.《法兰密封结构安装与维修技术规范》主要内容及意义	了解	了解	掌握
	2. 安全提示	了解	熟悉	掌握
法兰密封结构基本知识介绍	1. 法兰基本知识			掌握
	2. 紧固件基本知识			掌握
	3. 密封垫片基本知识			掌握
	4. 最佳组合配置			掌握
	5. 不同工况条件应用案例			掌握
法兰风险评估的方法及实施	1. 风险评估数据收集方法		了解	掌握
	2. 法兰密封结构风险分级算法		了解	掌握
	3. 算例分享			掌握
螺栓预紧载荷的计算方法	1. 螺栓预紧载荷的确定原则		熟悉	掌握
	2. 螺栓预紧载荷的计算方法			掌握
	3. 算例介绍			掌握
扭矩与载荷的测量	扭矩法紧固螺栓的载荷测试实验		了解	掌握
法兰螺栓紧固顺序讲解	1. 法兰螺栓紧固编号方法	熟悉	掌握	掌握
	2. 螺栓紧固步骤、顺序要求	熟悉	掌握	掌握
扭矩法、液压拉伸法、扭矩拉伸法三种紧固方法	1. 扭矩法、液压拉伸法、扭矩-拉伸法三种紧固方法的理论介绍		熟悉	掌握
	2. 三种紧固方法的操作方法与安全要点		熟悉	掌握
法兰安装前准备工作及关键质量控制方法	1. 法兰标识挂牌		掌握	掌握
	2. 密封面检查	了解	掌握	掌握
	3. 密封垫片检查	了解	掌握	掌握

表 B.1 培训课程设置（续）

课程名称	教学内容	施工作业人员	质检工程师	技术工程师
法兰安装前准备工作及关键质量控制方法	4. 紧固件检查	了解	掌握	掌握
	5. 指标测量方法		掌握	掌握
	6. 分组练		掌握	掌握
法兰密封结构安装实操	1. 法兰面清理与检查	熟悉	掌握	掌握
	2. 密封垫片检查与安装	熟悉	掌握	掌握
	3. 紧固件的检查与润滑	熟悉	掌握	掌握
	4. 法兰密封结构装配	熟悉	掌握	掌握
	5. 螺栓编号与紧固	熟悉	掌握	掌握
	6. 扭矩法、液压拉伸法、扭矩-拉伸法三种紧固方法实操	熟悉	掌握	掌握
	7. 螺栓载荷校验		掌握	掌握

B.3 培训组织要求

各企业可建设实操基地、培养讲师团队，按照本附录要求开展培训认证工作。也可以委托专业的第三方服务机构开展培训认证工作。

B.3.1 实操基地要求

实操基地的建立应能够满足 B.2 中的培训内容要求。实操基地应包含但不限于以下设施：

- 具备 8 个螺栓（含）以上的法兰盘及配套螺栓，螺栓规格大于 M20；
- 与法兰盘配套的非金属垫片、石墨缠绕垫片、波齿垫片、金属环垫等密封垫片；
- 扭矩法紧固螺栓的载荷测试仪；
- 扭矩法紧固螺栓的工具：手动扭矩扳手、液压扭矩扳手、锂电池扭矩扳手、气动扭矩扳手及配套附件；
- 液压拉伸法紧固螺栓的工具：液压拉伸器及配套附件；
- 扭矩-拉伸法紧固螺栓的工具：机械式拉伸螺母、六角形反作用力垫圈、齿形反作用力垫圈及配套安装工具。

B.3.2 培训讲师要求

培训讲师应熟悉本技术规范的技术内容，并具备一定的现场安装、管理及培训经验。

- 安装人员获得质检工程师资格后，从事法兰密封结构安装工作满一年，经组织机构认可后，可以作为讲师依照本附录要求，开展施工作业人员的培训工作；
- 安装人员获得技术工程师资格后，从事法兰密封结构安装工作满一年，经组织机构认可后，可以作为讲师依照本附录要求，开展施工作业人员和质检工程师的培训工作；
- 技术工程师具有一年以上质检工程师的培训经验，经组织机构认可后，可以作为讲师依照本附录要求，开展技术工程师的培训工作。

B.3.3 组织机构要求

组织机构应具备培训所需要的硬件与师资力量，依照本附录的要求，开展培训工作。

- a) 应具备不少于一个符合 B.3.1 要求的实操基地；
- b) 应具有三个以上符合技术工程师培训资格的讲师；
- c) 编制科学的培训计划与考核认证方案；
- d) 对学员进行能力考核，授予培训证明或合格证书。

B.4 考核

B.4.1 理论考试

组织机构根据对安装人员 B.2 培训内容的掌握程度要求，设置不同难易程度的理论考试试卷，组织书面闭卷考试。

B.4.2 实操考试

组织机构根据对安装人员 B.2 法兰密封结构安装实操的掌握程度要求，对学员进行实际操作能力考核。

- a) 实操考试以小组为单位进行，团队协作能力作为考核项之一；
- b) 学员应通过参加至少一项螺栓连接实践操作，组装至少两个法兰；
- c) 确保学员实际操作能力能够满足其职责要求。

B.5 能力维护

为了保持作为合格法兰密封结构安装人员的能力水平，应符合以下要求：

- a) 熟悉新技术在密封垫片、法兰、紧固件、安装设备和装配技术中的应用；
 - b) 保持对本技术规范和其他适用标准最新修订的了解；
 - c) 积极参加与工作职责相关的会议、研讨会和教育计划；
- 取得证书后，持续参加培训、从事相关工作，以保持其能力。

附录 C

(资料性)
法兰密封风险分级方法

C.1 符号

下列符号适用于本附录：

- C — 泄漏失效产生的后果；
- CC — 泄漏是否可控；
- CD — 法兰公称通径；
- CP — 工作压力，MPa；
- CT — 操作温度，℃；
- CZ — 是否在重点区域；
- DM — 设计选型和材料相容；
- DN — 公称直径，mm；
- E — 人员暴露于危险环境中的频繁程度；
- L — 失效发生的可能性；
- LDAR — 泄漏检测与修复 (Leak detection and repair)；
- LL — 泄漏或 LDAR 检测不合格；
- MA — 维修有效性；
- ME — 介质；
- p — 工作压力，MPa；
- PC — 压力波动；
- PN — 公称压力，MPa；
- QF — 制造质量和制造缺陷；
- T — 操作温度，℃；
- TC — 温度波动；
- VI — 振动。

C.2 总则

本附录的法兰密封结构风险分级方法采用快速筛选风险评估方法和半定量风险评估方法，其中快速筛选风险评估方法以与时间相关失效模式、设计选型、制造和安装水平、介质特性等筛选条件，评估法兰密封结构的危险水平；半定量风险评估方法以法兰密封设计、操作参数为基础，结合生产和人员情况（权重系数修正），以及法兰的安全特征和变化状况，评估法兰密封结构的危险水平。可先进行快速筛选风险评估，再对筛选出来较高风险的法兰密封结构进行半定量风险评估。通过以上评估方法，可得出法兰密封结构的危险等级，即高风险、中风险和低风险（其中半定量风险评估得出的中高风险，按企业管理水平、危险可接受程度和法兰密封结构整体危险水平等划分为高风险或中风险），以支撑本标准其他部分的风险分级管理和技术应用。

危险由失效发生的可能性和失效后果两部分组成。本附录中法兰密封结构的失效指运行

过程中法兰密封结构的泄漏，失效后果指泄漏之后造成的人员、环境和企业生产等方面的损失。

C.3 快速筛选风险评估方法

法兰密封结构风险值包括两个因素： L （Likelihood，失效发生的可能性）和 C （Consequence，泄漏失效产生的后果），每个因素确定各自的等级，最终在风险矩阵图中确定风险（Risk），其中红色为高风险、黄色为中风险、绿色为低风险，见图 C.1。

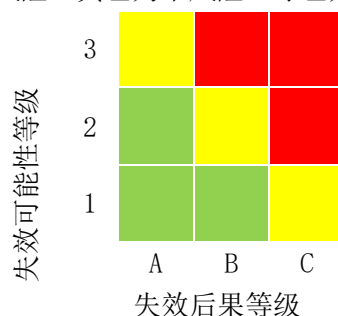


图 C.1 快速筛选风险评估风险矩阵图

C.3.1 失效可能性分级

快速筛选风险评估的失效发生可能性评级标准表见 C.1。

表 C.1 失效发生可能性评级标准

失效可能性等级	满足下列条件之一	具体说明
3	LDAR 检测不合格	不满足 GB37822《挥发性有机物无组织排放控制标准》的 LDAR 合格标准
	存在泄漏“顽疾”	泄漏 2 次及以上且未经过彻底改造更新，或对泄漏部位仅采用临时修补措施（如打卡子）；以及经有关单位确认，同类装置中此法兰存在泄漏“顽疾”。
	设计选型不合理	经设计单位或检验机构确认，设计选型不合理且影响正常使用
	材料不相容	经设计单位或检验机构确认，介质与材料不相容导致材料腐蚀或性能异常
	制造不符合要求	制造不符合设计和制造相关要求且影响正常使用（如存在影响密封的超标制造缺陷）
	其他失效可能性为 3 的情况	/
2	安装不规范	预紧力过高导致垫片或螺栓损伤或安装尺寸配合偏差较大导致预紧力过度不均匀等情况

表 C.1 失效发生可能性评级标准（续）

失效可能性等级	满足下列条件之一	具体说明
2	安装和密封难度大	设计温度 $\geq 350^{\circ}\text{C}$ 且螺栓规格 $\geq \text{M}27$ 的法兰螺栓、设计温度低于 30°C 且螺栓规格 $\geq \text{M}24$ 的法兰螺栓、需热紧或冷紧部位以及法兰公称直径大于 1000mm 等因高低温工况、热紧、压力等级高和法兰直径大导致安装紧固难度大的情况。
	失效与时间相关	设计压力 $\geq 3.5\text{MPa}$ 蒸汽法兰、管程设计压力 $\geq 1.6\text{MPa}$ 的浮头法兰、装置日常生产负荷波动大、局部出现温度或压力频繁波动超过 10% 、设备及管线存在脉动且频次较高的法兰（如程控阀邻近法兰、往复式压缩机出口法兰等）、温度发生急剧变化部位的法兰（如加热炉进出口法兰，以及加氢反应器出入口法兰、塔底热油泵出入口阀门法兰等）和液态烃球罐的罐根法兰等情况，其失效模式包括高温工况下的石墨垫氧化和螺栓蠕变、振动疲劳、温度交变、介质腐蚀或腐蚀开裂、大气环境腐蚀或腐蚀开裂以及高温氢损伤等。
	其他失效可能性为 2 的情况	/
1	其他失效可能性为 1 的情况	/

C.3.2 失效后果分级

快速筛选风险评估的失效后果评级标准表见 C.2。

表 C.2 失效后果评级标准

失效后果等级	满足下列设计压力或介质条件之一	具体说明
C	高压容器或管道	设计压力 $\geq 10\text{MPa}$
	氢气	介质为氢气（包括液氢），或氢分压 $> 1.6\text{MPa}$ 的临氢容器（管道）
	轻烃，当管道公称直径 $\geq \text{DN}300$ 或设备法兰 $\text{DN} \geq 1000$	输送介质和大气压力下，容易挥发的烃类物质，一般是指 C5 或更轻的烃类物质的单体或其混合物
	高度或极度危害介质	按 HG 20660 或 GBZ 230 进行毒性介质分类
	价格昂贵介质	/
	中度毒性危害介质或易爆介质，且设备法兰 $\text{DN} \geq 2000$	按 HG 20660 对毒性危害程度、易爆介质进行分类
	中度毒性危害介质、易爆介质，且管道公称直径 $\geq \text{DN}600\text{mm}$ （24 英寸）	按 HG 20660 对毒性危害程度、易爆介质进行分类

表 C.2 失效后果评级标准（续）

失效后果等级	介质满足下列条件之一	具体说明
B	可燃介质或 C 等级以外的其他易爆介质	/
	C 等级以外的其他中度毒性危害介质	/
	界区物料管线第一道阀门部位的法兰	C 等级以外的情况
A	B 和 C 等级以外的其他介质	/

C.4 半定量风险评估方法

法兰密封结构风险值包括两个因素： L （Likelihood，失效发生的可能性）和 C （Consequence，泄漏失效产生的后果），每个因素确定各自的等级，最终在风险矩阵图中确定风险（Risk），其中红色为高风险、橙色为中高风险、黄色为中风险、绿色为低风险，见图 C.2。中高风险一般划分为高风险，也可根据较好的企业管理水平、较高的风险可接受程度或较高的法兰密封结构整体风险水平等划分为中风险。

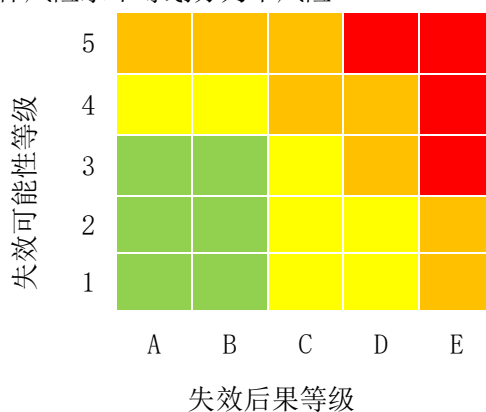


图 C.2 半定量风险评估风险矩阵图

风险较高的法兰密封结构应采取降低风险的措施，使风险降低到可接受的范围内。本附录从失效发生的可能性和泄漏失效产生的后果两个方面进行评估。

C.4.1 失效可能性量化分级标准

C.4.1.1 泄漏或 LDAR 检测不合格（LL）的评估级别按表 C.3。

表 C.3 泄漏或 LDAR 检测评估级别

LL 分项可能性等级	频繁泄漏或 LDAR 检测不合格	具体说明
高	存在	频繁泄漏：可依据失效记录（如跑冒滴漏情况，和 LDAR 等）结合日常管理经验确定泄漏情况且泄漏 2 次及以上。按 GB37822《挥发性有机物无组织排放控制标准》确定 LDAR 不合格标准
中	可能存在	
低	不存在	

C.4.1.2 设计选型和材料相容（DM）的评估级别按表 C.4。

表 C.4 设计选型和材料相容评估级别

DM 分项可能性等级	设计选型不合理或材料不相容	具体说明
高	存在	经设计单位或检验机构确认，设计选型不合理且影响正常使用，或者介质与材料不相容导致材料腐蚀或性能异常
中	可能存在	
低	不存在	

C.4.1.3 制造质量和制造缺陷（QF）的评估级别按表 C.5。

表 C.5 制造质量和制造缺陷评估级别

QF 分项可能性等级	制造不符合要求	具体说明
高	存在	制造不符合设计和制造相关要求且影响正常使用（如存在影响密封的超标制造缺陷）
中	可能存在	
低	不存在	

C.4.1.4 操作温度（CT）的评估级别按表 C.6。

表 C.6 法兰操作温度评估级别

CT 分项可能性等级	操作温度 T	具体说明
高	<-70℃	/
中	-69℃~-20℃	
低	-19℃~250℃	
中	251℃~350℃	
高	>350℃	

C.4.1.5 温度波动系数（TC）的评估级别按表 C.7。

表 C.7 温度波动系数评估级别

TC 分项可能性等级	温度波动程度	具体说明
低	较小	操作温度的波动幅度不超过正常操作温度的 10%
中	中等	操作温度的波动幅度范围位于正常操作温度的 10%~25%
高	严重	操作温度的波动幅度超过正常操作温度的 25%

C.4.1.6 压力波动系数（PC）的评估级别按表 C.8。

表 C.8 压力波动系数评估级别

PC 分项可能性等级	压力波动程度	具体说明
低	较小	工作压力的波动幅度不超过正常工作压力的 10%
中	中等	工作压力的波动幅度范围位于正常工作压力的 10%~25%
高	严重	工作压力的波动幅度超过正常工作压力的 25%

C.4.1.7 振动系数（VI）的评估级别按表 C.9。

表 C.9 振动系数评估级别

VI 分项可能性等级	振动情况	具体说明
低	极少	振动非常不明显，无振动响声，目视检测不明显
中	中等	设备存在振动，有振动响声，目视检测可见
高	频繁	目视检测可见明显振动

C.4.1.8 初步失效可能性等级需综合上述 C.4.1.1~C.4.1.7 各项评估级别后，按表 C.10 确定。

表 C.10 初步失效可能性等级确定表

序号	各分项累计可能性等级数量	初步失效可能性等级
1	全为低	1
2	1 个中，其余为低	2
3	2 个中，其余为低	3
4	3~5 个中，其余为低，或 1 个高且 0~2 个中	4
5	6~7 个中，其余为低，或 1 个高且 3~5 个中，或 2~7 个高	5
注： 当频繁泄漏或 LDAR 检测、设计选型和材料相容和制造质量和制造缺陷三个分项中可能性评估级别为高时，对应评估级别按两个高累计。		

C.4.1.9 维修有效性系数（MA）修正按表 C.11，确定最终失效可能性等级。

表 C.11 维修有效性系数修正表

维修有效性	最终失效可能性等级 (按累计数量或级别修正)
法兰密封的维修方法有效性明显高于现行有关标准、规范的要求，且用户提出了更为严格的要求	减少 1 个高或 3 个中(当高的数量为零时)
法兰密封的维修方法有效性达到现行有关标准、规范的要求	不变
法兰密封的维修方法有效性低于现行有关标准、规范的要求	升 1 级

C.4.2 失效后果量化分级标准

C.4.2.1 法兰公称通径（CD）的评估级别按表 C.12。

表 C.12 法兰公称通径评估级别

CD 分项后果等级	法兰公称尺寸等级			具体说明
	容器法兰	管道法兰		
		Class 系列	PN 系列	
低	DN15~DN1000	NPS 1/2~4	DN15~DN100	/
中	DN1100~DN2000	NPS 6~24	DN150~DN600	
高	DN2100~DN3000	——	DN600~DN2000	

C.4.2.2 工作压力（CP）的评估级别按表 C.13。

表 C.13 法兰工作压力评估级别

CP 分项后果等级	工作压力 p /MPa	具体说明
低	$0.1\text{MPa} \leq p < 1.6\text{MPa}$	/
中	$1.6\text{MPa} \leq p < 10.0\text{MPa}$	
高	$p \geq 10\text{MPa}$	

C.4.2.3 区域类型（CZ）的评估级别按表 C.14。

表 C.14 区域类型评估级别

CZ 分项后果等级	区域类型	具体说明
低	一般区域	按所在区域是否为主装置、核心设备、后果严重程度（含对其他设备的破坏和对固定场所人员的伤害）进行划分
中	重点区域	
高	关键区域	

C.4.2.4 介质系数（ME）的评估级别按表 C.15。

表 C.15 介质系数评估级别

ME 分项后果等级	是否为易燃易爆介质	毒性介质危害程度分级	具体说明
低	否	——	按照同时满足易燃易爆介质和毒性介质危害程度两个条件进行分级
中	是	——	
中	是/否	轻度危害	
中	是/否	中度危害	
高	是/否	高度危害	
高	是/否	极度危害	

C.4.2.5 人员暴露于危险环境中的频繁程度(E)的评估级别按表 C.16。

表 C.16 人员暴露于危险环境的频繁程度评估级别

E 分项后果等级	暴露于危险环境的频繁程度	具体说明
高	停留时间较长	需要定期做检测取样等工作区域
中	停留时间一般	在巡检路线上且距离巡检人员较近
低	停留时间较短	不在巡检路线上或距离巡检人员较远

C.4.2.6 初步失效后果等级需综合上述 C.4.2.1~C.4.2.5 各项评定级别后,按表 C.17 确定。

表 C.17 初步失效后果等级确定表

序号	各分项评估级别综合累计	初步失效后果等级
1	介质系数为低, 0~2 个中, 其余为低	A
2	介质系数为低, 3~4 个中或 1~4 个高	B
3	介质系数为中, 0~2 个中, 其余为低	C
4	介质系数为中, 3~4 个中且 0 个高, 或 0~2 个中且 1 个高	D
5	介质系数为中, 2~4 个中且 1 个高, 其余为低; 或介质系数为中, 2~4 个高且 0~1 个中, 其余为低; 或介质系数为高	E

C.4.2.7 泄漏后风险是否可控(CC)修正的评估级别按表 C.18, 确定最终失效后果等级。

表 C.18 泄漏控制评估级别

泄漏后果影响是否受控	最终失效后果等级
介质泄漏后可控制	降低介质系数以外的 1 个高 或 降低介质系数以外的两个中(当高的数量为零时)
介质泄漏部分可控	不变
介质泄漏后不控制	升 1 级

C.5 风险评估的数据采集

风险评估所需的数据收集表见 C.19。

表 C.19 法兰密封结构风险评估数据收集表

序号	车间名称	生产装置	单元	法兰密封点所属设备位号	法兰密封点所属设备名称	法兰密封点编号	法兰密封点类型	管道法兰类型	投用日期(四位年月日)	法兰公称尺寸等级	法兰公称压力等级	工作压力(MPa)	操作温度(℃)

表 C.19 法兰密封结构风险评估数据收集表（续）

介 质	介 质 相 态	介 质 毒 性 程 度	易 爆 介 质 (是/否)	法兰密封 泄漏控制 措施(有/无)	法兰密封 所处位置 是否为重 点区域 (是/不是)	温 度 循 环 情 况	压 力 循 环 情 况	本 体 振 动 情 况	泄 漏 失 效 历 史	维 修 情 况	L D A R 检 测 历 史	设 计 选 型 和 材 料 相 容	制 造 质 量 和 制 造 缺 陷	人 员 暴 露 于 危 险 环 境 的 频 繁 程 度

附录 D

(资料性)
螺栓预紧载荷的确定

D.1 总则

本附录适用于石油化工有限公司法兰密封结构安装过程中螺栓预紧载荷的确定。

D.2 术语、定义和符号

D.2.1 GB/T 150.1~GB/T 150.3 中的术语和定义适用本附录。

D.2.2 符号

下列符号适用于本附录：

A_b	—实际使用的螺栓总截面积，按照螺栓螺纹根径计算得到的面积， mm^2 ；
A_g	—垫片实际接触面积，即垫片与法兰密封面发生直接接触的面积（金属环垫按投影面积计）， mm^2 ；
A_m	—法兰设计计算中，需要的螺栓总截面积， mm^2 ；
b	—法兰设计计算中，垫片有效密封宽度，按GB/T 150.3的规定，mm；
D	—螺栓名义直径，如M36螺栓， $D = 36$ ，mm；
D_g	—垫片压紧力作用中心圆直径，mm；
F	—法兰设计计算中，由内压引起的总轴向力，按GB/T 150.3的规定，N；
F_p	—法兰设计计算中，操作工况下所需的最小螺栓载荷，按GB/T 150.3的规定，N；
F_{bq}	—单个螺栓强度控制的最大安装力，N；
F_{bx}	—单个螺栓最小安装力，由单个螺栓最小安装应力 S_{bmin} 计算得到，N；
F_{f1}	—法兰最大设计螺栓预紧力（单个），N；
F_{f1x}	—法兰最小设计螺栓预紧力（单个），N；
F_{gk}	—保证垫片不被压溃的单个螺栓的上紧力，N；
F_{min}	—安装条件下，单个螺栓最小螺栓预紧力，N；
F_{max}	—安装条件下，单个螺栓最大螺栓预紧力，N；
J	—法兰刚度指数；
K	—上紧扭矩系数；
K_b	—螺栓强度控制系数；
m	—垫片系数，按照GB/T 150.3的规定；
n	—法兰上紧固螺栓的数量，个；
p_c	—法兰计算压力，MPa；
p_{ce}	—法兰当量计算压力，MPa；
p_s	—容器或管道的设计压力，MPa；
q_A	—垫片接触表面的平均压应力，MPa；

- $Q_{\max}$ — 常温下垫片的最大压溃应力, MPa;
 R_f — 操作条件下, 螺栓载荷松弛系数;
 S_B — 螺栓安装应力, MPa;
 $S_{B\min}$ — 螺栓最小安装应力, MPa;
 T — 实施上紧的扭矩值, N·mm;
 W_A — 安装条件下, 法兰结构中螺栓安装总载荷, N;
 W_0 — 安装条件下, 单个螺栓目标上紧载荷, N;
 y — 垫片比压力, 按照GB/T 150.3的规定, MPa;
 $[\sigma]_b$ — 室温下螺栓材料的许用应力, 按GB/T 150.2的规定, MPa。

D.3 螺栓预紧载荷确定的原则

D.3.1 总体原则

法兰结构在确定螺栓预紧载荷时, 应综合考虑法兰、垫片和螺栓同时满足规范标准规定或工程规定。

D.3.1.1 法兰要求

在安装情况下, 法兰不应产生影响密封的变形和强度问题。

- 除另有规定, 在螺栓预紧载荷作用下, 法兰的偏转可按下述要求控制:
 法兰公称尺寸 $\leq$ DN600 时, 法兰面偏转不大于 0.6° ,
 法兰公称尺寸 $>$ DN600 时, 法兰面偏转不大于 1.0° 。
- 除了直接计算或测量法兰面偏转角外, 也可通过校核法兰刚度 J 满足相关标准要求, 以此来达到控制法兰偏转满足密封要求。对低风险的法兰结构或者标准法兰, 如果证明有成功的使用经验, 则可不进行刚度校核。
- 法兰的强度核算应满足相关标准的规定。

D.3.1.2 垫片要求

在安装情况下, 垫片接触表面的平均压应力 Q_A 应不大于垫片压溃应力 $Q_{\max}$, 以避免垫片被压溃失效。

$$Q_A = W_A / A_g \leq Q_{\max} \quad (D-1)$$

常用垫片的推荐适用条件和常温下垫片的压溃应力 $Q_{\max}$ 应符合表 D.1。

表 D.1 常温下 (20℃) 常用垫片最大压溃应力 $Q_{\max}$

垫片类型	$Q_{\max}/\text{MPa}$	推荐适用的法兰密封结构
非金属平垫片 ^a	≥ 50	适用低风险
非金属平垫片 ^a	≥ 100	适用中风险, 且垫片厚度 $\geq 2\text{mm}$
金属包覆垫	≥ 150	适用低、中、高风险
仅带内环或外环的缠绕垫	≥ 110	对于 RF 面法兰, 仅适用低、中风险; 对于 M/MF 面法兰, 可适用低、中风险和 DN ≤ 800 的高风险法兰密封结构,
带内、外环的缠绕垫	≥ 200	适用低、中、高风险

表 D.1 常温下 (20℃) 常用垫片最大压溃应力 $Q_{\max}$ (续)

垫片类型	$Q_{\max}/\text{MPa}$	推荐适用的法兰密封结构
复合柔性石墨波齿金属板 (石墨波齿复合垫或金属波齿复合垫)	≥ 200	适用低、中、高风险
带覆盖层的金属齿形组合垫 (金属齿形组合垫)	≥ 200	适用低、中、高风险
注： (1) 本文件中的非金属垫片是指非石棉纤维橡胶垫片、聚四氟乙烯垫片 (含改性)、增强石墨复合垫片，其它非金属垫片根据适用条件可参照本表要求。 (2) 表中垫片的 $Q_{\max}$ 的值是基于工程要求和经验给出的垫片最低强度要求，在垫片采购时可向垫片供应商索取实际垫片的 $Q_{\max}$ 值，并将此值代替表中给定的值用于确定螺栓预紧载荷计算，可提高计算的螺栓预紧载荷，有利于密封。		

D.3.1.3 螺栓要求

在安装情况下，控制螺栓安装应力在合理的限度内，以保证螺栓在预紧以及今后操作中不发生屈服。一般情况下，可考虑控制螺栓安装应力 S_b 不超过螺栓材料标准室温下屈服强度 R_{eL} 的 70%。

D.3.1.4 最小螺栓安装应力

最小螺栓预紧载荷是法兰结构具有承压与密封能力的基础。在操作温度和时间的作用下，由于螺栓材料的应力松弛、垫片性能的降低及法兰面的变形偏转等综合影响，将导致螺栓上紧作用的松弛衰减；考虑了这些影响作用的单个最小螺栓安装应力可按照下式计算确定。

$$S_{\min} = (6.28 D_b b m_l p_c + 0.785 D_b^2 p_c) / (A_b R_f) \quad (\text{D-2})$$

式 (D-2) 中 m_l 按照下述规定选取：

a) 对于常用的半金属垫片 (金属缠绕垫、复合柔性石墨波齿金属板、带覆盖层的金属齿形组合垫)：

- 1) 采用标准管法兰 (HG/T 20615) 时，当法兰等级 $\leq \text{Class}600 (\text{PN}110)$ 时， m_l 取 7，当法兰等级为 $\text{Class}900 (\text{PN}150)$ 时， m_l 取 6，当法兰等级为 $\text{Class}1500 (\text{PN}260)$ 时， m_l 取 5，当法兰等级为 $\text{Class}2500 (\text{PN}420)$ 时， m_l 取 4；
- 2) 采用标准容器法兰 (NB/T 47023) 时， m_l 取 7；
- 3) 对于非标法兰， m_l 取 7。

b) 对于金属垫片 (金属平垫、金属环垫)， m_l 取 GB/T150.3 中规定的垫片系数 m 。

式 (D-2) 中 p_c 按照下述规定选取：

- 1) 对于标准法兰为常温下压力额定值，例如对于 $\text{Class}150 (\text{PN}20)$ ， p_c 为 2.0 MPa；
- 2) 对于非标法兰或进行强度核算的法兰， p_c 为法兰的当量计算压力 P_{ce} 。

式 (D-2) 中 R_f 对于低风险法兰结构取 0.9；对于中、高风险法兰密封结构取 0.7。

D.3.1.5 最大螺栓预紧力

合适的螺栓预紧载荷应是至少能保证法兰结构进行预紧后法兰变形可控、垫片不被压溃、螺栓强度适当。对于不同压力等级、不同公称尺寸的法兰，在安装条件下，单个螺栓最大螺栓预紧力由法兰强度或刚度、垫片应力、螺栓应力这三个因素确定。

$$F_{\max} = \min (F_{f1}, F_{gk}, F_{bq}) \quad (\text{D-3})$$

D.3.2 标准法兰螺栓预紧载荷的确定原则

对于标准法兰，当工程上不对其进行详细的结构设计核算时，可按照 D.5 的规定来确定螺栓预紧载荷；当需要对标准法兰进行详细结构核算时，则按照非标法兰要求进行螺栓预紧载荷的确定。

D.3.3 非标法兰螺栓预紧载荷的确定原则

对于非标准法兰，当采用基于泄漏率的计算方法进行设计计算，如 GB/T 17186.2 中规定的计算方法，螺栓的预紧载荷应采用按照计算确定的值。

对于非标准法兰，当采用基于强度和刚度的计算方法进行设计计算，如 GB/T 150.3 或 GB/T 17186.1 中规定的计算方法，螺栓的预紧载荷可按照 D.6 的规定来确定。

D.3.4 螺栓目标上紧载荷的确定

螺栓目标上紧载荷 W_0 应根据法兰的实际情况（如根据低、中、高风险的法兰结构确定或者参照以往法兰的上紧情况确定等），在螺栓最小预紧力 $F_{\min}$ 和螺栓最大预紧力 $F_{\max}$ 之间确定一个合适值，作为法兰螺栓实际上紧操作的基础数值。

对于低、中风险的法兰结构，可取 $W_0 = (F_{\min} + F_{\max}) / 2$ ；

对于高风险的法兰结构，可取 $W_0 = F_{\max}$ 。

D.4 法兰螺栓预紧载荷的施加

D.4.1 拉伸法上紧

使用拉伸法实施上紧螺栓时，应根据现场实际情况及螺栓拉伸工具情况确定螺栓“回弹效应”导致的螺栓目标上紧载荷 W_0 的损失，将相应的补偿考虑到实际施加的上紧载荷中，以保证上紧后螺栓紧固件上所保持的载荷满足上紧目标值要求。

D.4.2 扭矩法上紧

使用扭矩法上紧螺栓时，应根据现场实际情况及上紧扭矩工具情况计算确定实施上紧的扭矩值 T ，可按照式 (D-4) 计算确定。

$$T = KDW_0/1000 \quad (\text{D-4})$$

D.4.2.1 影响扭矩实施效果的因素

影响螺栓实施上紧扭矩的因素较多且复杂，如螺栓螺母材料、螺纹啮合状态（螺纹缺陷、表面粗糙度、尺寸公差及配合等）、螺母承载面（面积、平行度、粗糙度等）、垫圈或碟簧的使用、润滑防咬剂（种类型号、涂装均匀性等）、螺栓螺母重复使用等，都会对实际实施的上紧扭矩产生极大影响，进而影响实际螺栓的实际上紧载荷与目标上紧载荷的偏差。

D.4.2.2 上紧扭矩系数 K

上紧扭矩系数 K 的选取和确定，应尽量综合考虑影响扭矩实施的因素，尽可能符合实际情况。上紧扭矩系数 K 是基于螺纹啮合摩擦、螺母与法兰面摩擦和垫圈上下面的摩擦以及考虑摩擦外的其它因素的一个综合系数；是否涂装润滑防咬剂以及使用何种润滑防咬剂，对选取确定上紧扭矩系数 K 或摩擦系数 μ 影响较大。

不同润滑防咬剂配合不同螺栓材料的上紧扭矩系数 K 或摩擦系数 μ 可向润滑防咬剂产品制造商咨询索取。

在未取得具体润滑防咬剂的 K 值时，可按如下考虑确定。

a) 对于常用低合金螺栓上紧情况，通常涂装有润滑防咬剂的螺栓摩擦系数 μ 取 0.12，未涂装润滑防咬剂的螺栓摩擦系数 μ 取 0.16；相应的，上紧扭矩系数 K 可在上述摩擦系数 μ 的基础上再加 0.04。

b) 在按照式 (D-4) 计算确定实施上紧扭矩值 T 时，上紧扭矩系数 K 通常可取 0.16~0.20；在涂装润滑防咬剂时 K 可取下限值 0.16，在未涂装润滑防咬剂时 K 可取上限值 0.20。或者根据实际经验和上紧情况，确定一个用于计算扭矩值 T 的 K 值。

D.5 标准法兰螺栓预紧载荷的确定

D.5.1 法兰核验

标准法兰其结构尺寸及材料均需符合相关法兰标准的规定，法兰的压力—温度核定应满足法兰标准的规定。通常情况下，对于存在外部管线载荷的法兰，可采用当量计算压力 p_e 进行核定， p_e 应满足低于相关法兰标准中法兰材料在设计温度下规定的最大允许工作压力。

D.5.2 垫片核验

标准法兰配用的垫片应符合适用标准法兰的垫片标准以及标准推荐的垫片使用条件，或由垫片厂商确定所供应垫片满足适配标准法兰及使用工况条件。

当垫片厂商供货时提供了推荐的垫片安装螺栓载荷或扭矩时，可以以此为基础进行评估和确定螺栓的目标预紧载荷 F_0 和上紧扭矩 T 。

D.5.3 标准管法兰

对于常用的 HG/T 20615 (Class 系列) 标准钢制管法兰，绝大多数的法兰和配套螺栓是具有一定的强度和刚度裕量储备的，配合常用的非金属垫片、半金属垫片使用时，整个法兰结构中，保证合适的垫片应力是获得良好密封的关键。因此工程上，可以基于垫片应力来确定螺栓目标上紧载荷 F_0 。

当采用金属环垫片时，可按照 D.6 的规定来确定螺栓目标上紧载荷 F_0 ；金属环垫片虽然抗压溃能力强于非金属垫片，但是由于环槽面接触面积不大，过大的螺栓上紧载荷可能会造成密封环槽面变形或出现压痕，影响后期的检维修和密封，因此当紧固螺柱大于 M48 时，宜控制上紧螺栓应力不超过螺栓材料标准室温下屈服强度 R_{eL} 的 0.4 倍，当紧固螺柱大于 M70 时，宜控制上紧螺栓应力不超过螺栓材料标准室温下屈服强度 R_{eL} 的 0.3 倍。

D.5.4 标准容器法兰

对于 NB/T 47023 (压力容器法兰) 标准钢制法兰，当采用半金属垫片为缠绕垫、石墨波齿复合垫、金属齿形组合垫时，在工程上，对于低、中风险的法兰结构，可以根据螺栓材料标准室温下屈服强度 R_{eL} 的 0.4~0.6 倍来确定螺栓目标上紧载荷 F_0 。对于高风险的法兰结构，建议按照 D.6 的规定来确定螺栓目标上紧载荷 F_0 。

D.5.5 标准管法兰的推荐螺栓上紧载荷

表D.2～表D.6给出了HG/T 20615(Class系列)标准钢制管法兰中Class150、Class300、Class600、Class900、Class1500的WN/RF法兰的推荐螺栓上紧载荷值,这些表适用的法兰材料材料组别为1.1(按照HG/T 20615中表4.0.1中的规定,法兰采用锻件A105、16Mn、16MnD),螺柱材料为35CrMo或25Cr2MoV;垫片为缠绕垫片或石墨波齿复合垫或石墨覆合金属齿形组合垫。

表 D.2 Class150 标准管法兰接头推荐的螺栓上紧载荷

公称尺寸		螺栓规格	螺栓数量 n (个)	单个螺栓最小上紧载 荷 $W_{0(\min)}$ (kN)	单个螺栓最大上紧载荷 $W_{0(\max)}$ (kN)
DN (mm)	NPS (in.)				
15	1/2	M14	4	17	28
20	3/4	M14	4	17	28
25	1	M14	4	17	34
40	1 1/2	M14	4	17	34
50	2	M16	4	30	60
65	2 1/2	M16	4	30	60
80	3	M16	4	45	60
100	4	M16	8	35	60
125	5	M20	8	40	80
150	6	M20	8	52	80
200	8	M20	8	72	80
250	10	M24	12	56	106
300	12	M24	12	80	106
350	14	M27	12	89	145
400	16	M27	16	92	145
450	18	M30	16	130	189
500	20	M30	20	114	189
600	24	M33	20	150	242

表 D.3 Class300 标准管法兰接头推荐的螺栓上紧载荷

公称尺寸		螺栓规格	螺栓数量 n (个)	单个螺栓最小上紧载 荷 $W_{0(\min)}$ (kN)	单个螺栓最大上紧载荷 $W_{0(\max)}$ (kN)
DN (mm)	NPS (in.)				
15	1/2	M14	4	17	23
20	3/4	M16	4	30	40
25	1	M16	4	30	40
40	1 1/2	M20	4	40	56
50	2	M16	8	30	40
65	2 1/2	M20	8	40	56
80	3	M20	8	40	60
100	4	M20	8	40	80
125	5	M20	8	44	80
150	6	M20	12	44	80
250	10	M27	16	74	136
300	12	M30	20	96	186
350	14	M30	20	96	162
400	16	M33	20	121	222
450	18	M33	20	121	242

表 D.3 Class300 标准管法兰接头推荐的螺栓上紧载荷 (续)

公称尺寸		螺栓规格	螺栓数量 n (个)	单个螺栓最小上紧载 荷 $W_{0(\min)}$ (kN)	单个螺栓最大上紧载荷 $W_{0(\max)}$ (kN)
DN (mm)	NPS (in.)				
500	20	M33	24	121	242
600	24	M39×3	24	163	327

表 D.4 Class600 标准管法兰接头推荐的螺栓上紧载荷

公称尺寸		螺栓规格	螺栓数量 n (个)	单个螺栓最小上紧载 荷 $W_{0(\min)}$ (kN)	单个螺栓最大上紧载荷 $W_{0(\max)}$ (kN)
DN (mm)	NPS (in.)				
15	1/2	M14	4	17	23
20	3/4	M16	4	30	40
25	1	M16	4	30	40
40	1 1/2	M20	4	40	56
50	2	M16	8	30	40
65	2 1/2	M20	8	40	56
80	3	M20	8	40	60
100	4	M24	8	63	106
125	5	M27	8	83	145
150	6	M27	12	77	136
200	8	M30	12	106	186
250	10	M33	16	121	193
300	12	M33	20	121	205
350	14	M36×3	20	151	210
400	16	M39×3	20	163	247
450	18	M42×3	20	209	340
500	20	M42×3	24	209	311
600	24	M48×3	24	332	443

表 D.5 Class900 标准管法兰接头推荐的螺栓上紧载荷

公称尺寸		螺栓规格	螺栓数量 n (个)	单个螺栓最小上紧载 荷 $W_{0(\min)}$ (kN)	单个螺栓最大上紧载荷 $W_{0(\max)}$ (kN)
DN (mm)	NPS (in.)				
15	1/2	M20	4	28	48
20	3/4	M20	4	28	48
25	1	M24	4	37	63
40	1 1/2	M27	4	50	86
50	2	M24	8	37	63
65	2 1/2	M27	8	50	86
80	3	M24	8	46	76
100	4	M30	8	69	112
125	5	M33	8	87	145
150	6	M30	12	80	133
200	8	M36×3	12	107	177
250	10	M36×3	16	112	177
300	12	M36×3	20	124	188
350	14	M39×3	20	129	192

表 D.5 Class900 标准管法兰接头推荐的螺栓上紧载荷

公称尺寸		螺栓规格	螺栓数量 n (个)	单个螺栓最小上紧载 荷 $W_{0(\min)}$ (kN)	单个螺栓最大上紧载荷 $W_{0(\max)}$ (kN)
DN (mm)	NPS (in.)				
400	16	M42×3	20	173	245
450	18	M48×3	20	261	389
500	20	M52×3	20	267	394
600	24	M64×3	20	367	640

表 D.6 Class1500 标准管法兰接头推荐的螺栓上紧载荷

公称尺寸		螺栓规格	螺栓数量 n (个)	单个螺栓最小上紧载 荷 $W_{0(\min)}$ (kN)	单个螺栓最大上紧载荷 $W_{0(\max)}$ (kN)
DN (mm)	NPS (in.)				
15	1/2	M20	4	28	40
20	3/4	M20	4	28	40
25	1	M24	4	37	53
40	1 1/2	M27	4	59	74
50	2	M24	8	43	56
65	2 1/2	M27	8	56	74
80	3	M30	8	72	96
100	4	M33	8	101	126
125	5	M39×3	8	121	163
150	6	M36×3	12	117	151
200	8	M42×3	12	161	209
250	10	M48×3	12	261	332
300	12	M52×3	16	230	337
350	14	M56×3	16	302	453
400	16	M64×3	16	366	548
450	18	M70×3	16	450	674
500	20	M76×3	16	540	810
600	24	M90×3	16	739	1107

D.6 非标法兰螺栓预紧载荷的确定

D.6.1 非标法兰的设计校核

非标法兰或需要进行校核的标准法兰,通常采用基于强度和刚度的计算方法进行设计校核计算,如 GB/T 150.3 或 GB/T 17186.1 中规定的法兰计算方法,法兰结构中的垫片设计参数 m, y 值应按照标准中规定选取或按照垫片厂商提供的设计参数,法兰结构中的螺栓设计和实际螺栓面积 A_b 满足标准要求,法兰应力强度校核和刚度校核满足标准要求。

D.6.1.1 法兰当量计算压力

设计校核法兰时,对于存在外部管线载荷的法兰,可采用当量计算压力 p_e 作为法兰计算压力进行计算。当量计算压力 p_e 可按公式 (D-5) 计算。当外部管线载荷的力矩和力不能确定时,可取 $p_e \leq 1.5 p_s$ 。对于没有外部管线载荷影响或影响很小的法兰,如普通人孔法兰、催化剂卸料口、连接进出口的人孔法兰等,且属于中、高风险法兰结构,可取 1.05~

1.1 倍的 p_s 做为法兰的计算压力 p_c 。

$$p_c = p_s + 16M / (\pi D_g^3) + 4F_{pz} / (\pi D_g^2) \quad (D-5)$$

式(D-5) 中:

M — 单位 $N \cdot mm$; 管道载荷力矩, 如已知载荷力矩的两个垂直分量 M_x 、 M_y 时,

$$M = \sqrt{M_x^2 + M_y^2};$$

F_{pz} — 单位 N ; 管道载荷中的轴向力 (垂直法兰面)。

D. 6. 1. 2 法兰设计温度

除特别规定外, 法兰设计温度取与容器或管道的设计温度。

D. 6. 2 最小螺栓预紧力的确定

最小螺栓预紧力 F_{min} 可取法兰螺栓最小设计预紧力 F_{flx} 和螺栓最小安装力 F_{bx} 两者中的较大值。并保证 $nF_{min}/A_g \leq Q_{max}$, 否则应考虑更换 Q_{max} 更高的垫片。

$$F_{min} = \max(F_{flx}, F_{bx}) \leq Q_{max}A_g/n \quad (D-6)$$

D. 6. 2. 1 法兰最小设计螺栓预紧力 F_{flx}

法兰最小设计螺栓预紧力 F_{flx} 通过按照 GB/T 150.3 或 GB/T 17186.1 中规定的法兰计算方法进行法兰设计核算后的结果来确定, 取 $(F_p + F)/n$ 和 W_a/n 中之大值。

$$F_{flx} = \max[(F_p + F)/n, W_a/n] \quad (D-7)$$

D. 6. 2. 2 螺栓最小安装力 F_{bx}

螺栓最小安装力 F_{bx} 按照公式(D-8) 计算。

$$F_{bx} = S_{bmin}A_b/n \quad (D-8)$$

D. 6. 3 最大螺栓预紧力的确定

最大螺栓预紧力 F_{max} 按照公式(D-3) 确定, $F_{max} = \min(F_{fl}, F_{gk}, F_{bq})$ 。

D. 6. 3. 1 法兰最大设计螺栓预紧力 F_{fl}

法兰最大设计螺栓预紧力 F_{fl} 通过按照 GB/T 150.3 或 GB/T 17186.1 中规定的法兰计算方法进行法兰设计核算后的结果来确定, 按公式(D-9) 计算。

$$F_{fl} = 2 \{0.5(A_b + A_m) [\sigma]_b\} \{[\sigma]_f^t / [\sigma]_f\} / n \quad (D-9)$$

D. 6. 3. 2 垫片不被压溃的最大上紧力 F_{gk}

保证垫片不被压溃的最大上紧力 F_{gk} 按公式(D-10) 计算。

$$F_{gk} = Q_{max}A_g/n \quad (D-10)$$

当采用金属平垫或金属环垫时, 不用计算 F_{gk} ; 在计算 F_{bq} 时考虑垫片的影响控制因素。

D. 6. 3. 3 螺栓强度控制的最大的上紧力 F_{bq}

螺栓强度控制的最大的上紧力 F_{bq} 按公式(D-11) 计算。

$$F_{bq} = K_b R_{eL} A_b / n \quad (D-11)$$

式(D-11) 中:

K_b — 螺栓强度控制系数, 一般取不大于 0.7。对于采用金属环垫时, 如果螺栓规格大

于 M48, K_0 宜取 0.3~0.4。

D.6.4 螺栓目标上紧载荷的确定

螺栓目标上紧载荷 W_0 按 D.3.4 的规定确定。

对于高风险的非标法兰, 可不计算最小螺栓预紧力 $F_{\min}$, 螺栓目标上紧载荷取 $W_0 = F_{\max}$ 。

D.6.5 螺栓预紧载荷及力矩计算示例

为方便计算, 将上述要求和计算过程整理成螺栓预紧载荷计算表及算例, 见表 D.7、表 D.8 和表 D.9。

表 D.7 八角垫法兰算例

设计参数				
设计压力	p_s	21.2	MPa	
设计温度	T	450	℃	
腐蚀裕量	C_2	0	mm	
法兰材料	S32168Ⅲ(锻)			
法兰常温许用应力	$[\sigma]_f$	137	MPa	
法兰设计温度许用应力	$[\sigma]_f^t$	78	MPa	
法兰常温屈服强度	R_{eLf}	205	MPa	
螺栓材料	25Cr2MoVA			
螺栓常温许用应力	$[\sigma]_b$	254	MPa	
螺栓设计温度许用应力	$[\sigma]_b^t$	185	MPa	
螺栓常温屈服强度	R_{eLb}	685	MPa	
垫片型式/材料	八角垫 / S11306			
法兰、垫片、螺栓参数				
公称直径	DN	350	mm	
公称压力	Class	2500		
垫片系数	m	6.5		
垫片比压力	y	179.3	MPa	
垫片内径	D_{gi}	387.35	mm	
垫片外径	D_{go}	450.85	mm	
垫片接触宽度	N	31.75	mm	$N = (D_{go}-D_{gi}) / 2$
垫片基本密封宽度	b_o	3.96875	mm	
垫片有效密封宽度	b	3.96875	mm	
垫片压紧力作用中心圆直径	D_c	419.1	mm	
垫片实际接触面积	A_g	41803.37	mm2	
常温下垫片的最大压溃应力	Q_{max}	369	MPa	取八角垫材料的 0.9 R_m =0.9×410
螺栓名义直径	D	70	mm	
螺栓个数	n	16		

表 D.7 八角垫法兰算例（续）

法兰设计计算数据（按照 GB/T 150.3 中的方法）				
计算压力	$p_c (p_{ce})$	31.8	MPa	此算例，取 $P_c=P_{ce}=1.5P_s$
内压引起的总轴向力	F	4386845.34	N	
预紧状态下需要的最小垫片压紧力	F_a	936917.96	N	
操作状态下需要的最小垫片压紧力	F_p	2160188.99	N	
预紧状态下需要的最小螺栓载荷	W_a	936917.96	N	
操作状态下需要的最小螺栓载荷	$F+F_p$	6547034.33	N	
需要的螺栓面积	A_m	35389.37	mm ²	
实际的螺栓面积	A_b	55270.19	mm ²	
兰螺栓预紧载荷的确定				
法兰接头结构的等级		高		
垫片系数	m_L	6.5		
螺栓强度控制系数	K_b	0.40		一般取不大于 0.7。 对于金属环垫，如果螺栓规格大于 M48， K_b 宜取 0.3~0.4。
操作条件下，螺栓载荷松弛系数	R_f	0.70		对于低风险法兰结构， R_f 取 0.9； 对于中、高风险法兰结构， R_f 取 0.7。
螺栓最小安装应力	S_{min}	169.22	MPa	$S_{min} = (6.28 * D * l * m * P_c + 0.785 * D * D * P_c) / (A_b * R_f)$
法兰最小设计螺栓预紧力（单个）	F_{flx}	409189.65	N	$F_{flx} = \max[(F_p + F) / n, W_a / n]$
螺栓最小安装力	F_{bx}	584556.64	N	$F_{bx} = S_{min} * A_b / n$
安装条件下，单个螺栓最小螺栓预紧力	F_{min}	584556.64	N	$F_{min} = \max[F_{flx}, F_{bx}]$
法兰最大设计螺栓预紧力（单个）	F_{fl}	819410.24	N	$F_{fl} = 2 * \{0.5(A_b + A_m) * [\sigma]_b\} * \{[\sigma]_t\}^t / [\sigma]_t / n$
保证垫片不被压溃的单个螺栓的上紧力	F_{gk}	964090.15	N	$F_{gk} = Q_{max} * A_g / n$
螺栓强度控制的最大上紧力	F_{bq}	946501.96	N	$F_{bq} = K_b * R_{elt} * A_b / n$
安装条件下，单个螺栓最大螺栓预紧力	F_{max}	819410.24	N	$F_{max} = \min[F_{fl}, F_{gk}, F_{bq}]$
安装条件下，单个螺栓目标上紧载荷	W_0	819410.24	N	对于低、中风险的法兰结构，螺栓目标上紧载荷可取 $W_0 = (F_{min} + F_{max}) / 2$ ； 对于高风险的法兰结构，螺栓目标上紧载荷可取 $W_0 = F_{max}$
上紧扭矩系数	K	0.16		K 取 0.16（涂装润滑防咬剂）和 0.20（未涂装润滑防咬剂）
实施上紧的扭矩值	T	9177.39	N·m	$T = K * D * W_0 / 1000$

表 D.8 大直径管法兰算例

设计参数				
设计压力	P_s	2.85	MPa	
设计温度	T	100	°C	

表 D.8 大直径管法兰算例（续）

设计参数				
腐蚀裕量	C_2	0	mm	
法兰材料	16Mn			
法兰常温许用应力	$[\sigma]_f$	178	MPa	
法兰设计温度许用应力	$[\sigma]_f^t$	178	MPa	
法兰常温屈服强度	$R_{eL,f}$	305	MPa	
螺栓材料	35CrMoA			
螺栓常温许用应力	$[\sigma]_b$	228	MPa	
螺栓设计温度许用应力	$[\sigma]_b^t$	206	MPa	
螺栓常温屈服强度	$R_{eL,b}$	685	MPa	
垫片型式/材料	缠绕垫 / S30403+柔性石墨			
法兰、螺栓、垫片参数				
公称直径	DN	800	mm	
公称压力	Class	300		
垫片系数	m	3		
垫片比压力	y	69	MPa	
垫片内径	D_{gi}	825.5	mm	
垫片外径	D_{go}	863.6	mm	
垫片接触宽度	N	19.05	mm	$N = (D_{go} - D_{gi}) / 2$
垫片基本密封宽度	b_o	9.525	mm	
垫片有效密封宽度	b	7.81	mm	
垫片压紧力作用中心圆直径	D_c	847.98	mm	
垫片实际接触面积	A_g	50544.07	mm ²	
常温下垫片的最大压溃应力	Q_{max}	200	MPa	
螺栓名义直径	D	39	mm	
螺栓个数	n	32		
法兰设计计算数据（按照 GB/T 150.3 中的方法）				
计算压力	$p_c (p_{ce})$	4.21	MPa	此算例，按照公式（C-5）计算，其中 $M_k=92.2\text{kN}\cdot\text{m}$ ， $M_o=119.8\text{kN}\cdot\text{m}$ ， $F_{po}=57.6\text{kN}$
内压引起的总轴向力	F	2380256.76	N	
预紧状态下需要的最小垫片压紧力	F_a	1435289.12	N	
操作状态下需要的最小垫片压紧力	F_p	526018.05	N	
预紧状态下需要的最小螺栓载荷	W_a	1435289.12	N	
操作状态下需要的最小螺栓载荷	$F+F_p$	2906274.81	N	
需要的螺栓面积	A_m	14108.13	mm ²	
实际的螺栓面积	A_b	31352.08	mm ²	

表 D.8 大直径管法兰算例（续）

法兰螺栓预紧载荷的确定				
法兰接头结构的危险等级		低		
垫片系数	m_L	7		
螺栓强度控制系数	K_b	0.70		一般取不大于 0.7。 对于金属环垫, 如果螺栓规格大于 M48, K_b 宜取 0.3~0.4。
操作条件下, 螺栓载荷松弛系数	R_f	0.90		对于低风险法兰结构, R_f 取 0.9; 对于中、高风险法兰结构, R_f 取 0.7。
螺栓最小安装应力	$S_{\min}$	127.85	MPa	$S_{\min} = (6.28 * D_o * l * m * P_c + 0.785 * D_o * P_c) / (A_b * R_f)$
法兰最小设计螺栓预紧力 (单个)	F_{f1x}	90821.09	N	$F_{f1x} = \max[(F_o + F) / n, W_o / n]$
螺栓最小安装力	F_{bx}	125265.01	N	$F_{bx} = S_{\min} * A_b / n$
安装条件下, 单个螺栓最小螺栓预紧力	$F_{\min}$	125265.01	N	$F_{\min} = \max[F_{f1x}, F_{bx}]$
法兰最大设计螺栓预紧力 (单个)	F_{f1}	323903.97	N	$F_{f1} = 2 * \{0.5(A_b + A_n) * [\sigma]_b\} * \{[\sigma]_f^t / [\sigma]_f\} / n$
保证垫片不被压溃的单个螺栓的上紧力	F_{gk}	315900.44	N	$F_{gk} = Q_{\min} * A_g / n$
螺栓强度控制的最大上紧力	F_{bq}	402678.22	N	$F_{bq} = K_b * R_{eLb} * A_b / n$
安装条件下, 单个螺栓最大螺栓预紧力	$F_{\max}$	315900.44	N	$F_{\max} = \min[F_{f1}, F_{gk}, F_{bq}]$
安装条件下, 单个螺栓目标上紧载荷	W_0	220582.73	N	对于低、中风险的法兰结构, 螺栓目标上紧载荷可取 $W_0 = (F_{\min} + F_{\max}) / 2$; 对于高风险的法兰结构, 螺栓目标上紧载荷可取 $W_0 = F_{\max}$
上紧扭矩系数	K	0.16		K 取 0.16 (涂装润滑防咬剂) 和 0.20 (未涂装润滑防咬剂)
实施上紧的扭矩值	T	1376.44	N·m	$T = K * D * W_0 / 1000$

表 D.9 容器法兰算例

设计参数				
设计压力	p_s	6.3	MPa	
设计温度	T	80	℃	
腐蚀裕量	C_2	0	mm	
法兰材料	16Mn			
法兰常温许用应力	$[\sigma]_f$	174	MPa	
法兰设计温度许用应力	$[\sigma]_f^t$	174	MPa	
法兰常温屈服强度	R_{eLf}	295	MPa	
螺栓材料	35CrMoA			
螺栓常温许用应力	$[\sigma]_b$	228	MPa	
螺栓设计温度许用应力	$[\sigma]_b^t$	211.5	MPa	
螺栓常温屈服强度	R_{eLb}	685	MPa	

表 D.9 容器法兰算例（续）

设计参数				
垫片型式/材料	石墨波齿复合垫			
法兰、垫片、螺栓参数				
公称直径	DN	1000	mm	
公称压力	Class	6.4		
垫片系数	m	3		
垫片比压力	y	50	MPa	
垫片内径	D _{gi}	1058	mm	
垫片外径	D _{go}	1118	mm	
垫片接触宽度	N	30	mm	N = (D _{go} -D _{gi}) / 2
垫片基本密封宽度	b _o	15	mm	
垫片有效密封宽度	b	9.80	mm	
垫片压紧力作用中心圆直径	D _c	1098.40	mm	
垫片实际接触面积	A _g	102541.58	mm2	
常温下垫片的最大压溃应力	Q _{max}	200	MPa	
螺栓名义直径	D	42	mm	
螺栓个数	n	40		
法兰设计计算数据（按照 GB/T 150.3 中的方法）				
计算压力	p _c (p _{ce})	6.3	MPa	此算例，容器法兰无管线外载荷，故取 P _c =P _{ce} =P _s
内压引起的总轴向力	F	5969715.27	N	
预紧状态下需要的最小垫片压紧力	F _a	1690626.30	N	
操作状态下需要的最小垫片压紧力	F _p	1278113.48	N	
预紧状态下需要的最小螺栓载荷	W _a	1690626.30	N	
操作状态下需要的最小螺栓载荷	F _p +F _a	7247828.76	N	
需要的螺栓面积	A _m	34268.69	mm2	
实际的螺栓面积	A _b	46130.39	mm2	
法兰螺栓预紧载荷的确定				
法兰接头结构的风险等级		高		
垫片系数	m _L	7		
螺栓强度控制系数	K _b	0.70		一般取不大于 0.7。 对于金属环垫，如果螺栓规格大于 M48， K _b 宜取 0.3~0.4。
操作条件下，螺栓载荷松弛系数	R _f	0.70		对于低风险法兰结构，R _f 取 0.9； 对于中、高风险法兰结构，R _f 取 0.7。
螺栓最小安装应力	S _{min}	277.23	MPa	S _{min} = (6.28*D _c *l*m*P _c + 0.785*D _c *D _c *P _c) / (A _b *R _f)
法兰最小设计螺栓预紧力（单个）	F _{fix}	181195.72	N	F _{fix} = max[(F _p +F) / n, W _a /n]
螺栓最小安装力	F _{bx}	319713.57	N	F _{bx} = S _{min} *A _b /n
安装条件下，单个螺栓最小螺栓预紧力	F _{min}	319713.57	N	F _{min} = max[F _{fix} , F _{bx}]

表 D.9 容器法兰算例（续）

法兰螺栓预紧载荷的确定				
法兰最小设计螺栓预紧力（单个）	F_{t1x}	181195.72	N	$F_{t1x} = \max[(F_p + F) / n, W_0 / n]$
螺栓最小安装力	F_{bx}	319713.57	N	$F_{bx} = S_{\min} * A_b / n$
安装条件下，单个螺栓最小螺栓预紧力	$F_{\min}$	319713.57	N	$F_{\min} = \max[F_{t1x}, F_{bx}]$
法兰最大设计螺栓预紧力（单个）	F_{t1}	458274.76	N	$F_{t1} = 2 * \{0.5(A_b + A_m) * [\sigma]_b\} * \{[\sigma]_t / [\sigma]_t\} / n$
保证垫片不被压溃的单个螺栓的上紧力	F_{gk}	512707.92	N	$F_{gk} = Q_{\max} * A_g / n$
螺栓强度控制的最大上紧力	F_{bq}	552988.01	N	$F_{bq} = K_b * R_{eLk} * A_b / n$
安装条件下，单个螺栓最大螺栓预紧力	$F_{\max}$	458274.76	N	$F_{\max} = \min[F_{t1}, F_{gk}, F_{bq}]$
安装条件下，单个螺栓目标上紧载荷	W_0	458274.76	N	对于低、中风险的法兰结构，螺栓目标上紧载荷可取 $W_0 = (F_{\min} + F_{\max}) / 2$ ； 对于高风险的法兰结构，螺栓目标上紧载荷可取 $W_0 = F_{\max}$
上紧扭矩系数	K	0.16		K 取 0.16（涂装润滑防咬剂）和 0.20（未涂装润滑防咬剂）
实施上紧的扭矩值	T	3079.61	N·m	$T = K * D * W_0 / 1000$

附录 E

(资料性)

法兰密封结构安装紧固方法分类

目前常用的紧固方法有：扭矩法、拉伸法、扭矩-拉伸法。扭矩法通过扭矩确定安装载荷，但是由于扭矩系数 K 值与螺纹精度、紧固件型式、法兰表面粗糙度、润滑状况、拧紧速度、紧固工具、操作熟练程度和环境温度等有关，而且扳手的支承方式导致螺栓紧固时受到额外的倾覆力矩，安装载荷偏差较大。拉伸法通过控制螺栓轴向拉力或螺栓拉伸量来确定螺栓安装载荷，但是由于“回弹效应”的不确定性，安装载荷偏差为 $-5\% \sim 15\%$ 。扭矩-拉伸法通过控制扭矩来确定螺栓的安装载荷，由于采用了特制的紧固件，消除了倾覆力矩、更好控制摩擦力，输出扭矩的偏差为 $\pm 5\%$ 。

E.1 扭矩法

扭矩法通常是使用能够精确控制扭矩的工具对螺栓进行紧固，根据工具所采用的动力源，通常有液压扭矩扳手、气动扭矩扳手、锂电池扭矩扳手及手动力矩扳手。液压扭矩扳手及其剖视图如图 E.1 所示，锂电池扭矩扳手如图 E.2 所示。其最大的优点在于可以精确设定施加的扭矩，保证对不同的螺栓施加精度在 $\pm 5\%$ 以内的扭矩，并且扭矩扳手体积小、扭力大，对大规格、狭窄空间里的螺栓均可以施加精确的扭矩。

在使用扭矩扳手紧固螺栓时，扳手必须支靠在一个牢固可靠的支点上，相当于外部的反作用力支点通过套筒和螺母对整个液压扳手系统产生翻转作用，使螺栓末端受到额外的偏载力矩。扭矩扳手紧固螺栓时是因为作用力克服了螺纹副及螺母下表面与设备转动面之间的摩擦力，才能推动螺母不断向下转动做功，从而拉伸螺栓。但是因为反作用力支点的存在，导致紧固过程中摩擦接触面变化，进而导致克服的摩擦力发生变化，最终引起存留在螺栓上的预紧力存在一定的离散度。



图 E.1 液压扳手及其剖视图



图 E.2 锂电池扭矩扳手及紧固示意图

E.2 拉伸法

拉伸法通常使用的是螺栓拉伸器，如图 E.3 所示。将螺纹拉杆直接与螺栓杆的螺纹相结合，在高压油的作用下，液压缸向上顶升时带动螺纹拉杆向上移动，从而直接拉伸螺栓杆。螺栓拉伸起来以后，再用拨杆拨动螺母转动到位，锁住螺栓杆的伸长量。螺栓拉伸器相对于液压扳手的最大优点在于使用纯拉力直接拉伸螺栓，对螺栓杆无扭转力和侧向偏载力。

拉伸器紧固存在较大弊端——“超拉”螺栓，以及人工拨动螺母。为了弥补拉伸力从拉伸器转移到螺母时的损失，拉伸器工作时根据螺栓的长径比不同，需要超拉 20%~50%。螺栓在“超拉”过程中，过大的拉伸力容易造成螺牙变形，并且会过度压缩密封垫片。手动拨动螺母转动的角度精度完全人为控制，每个人标准不同导致最终螺母转动到位的情况不同，即螺栓的拉伸量不同。为提高螺栓安装载荷的精度，需要多次重复拉伸。

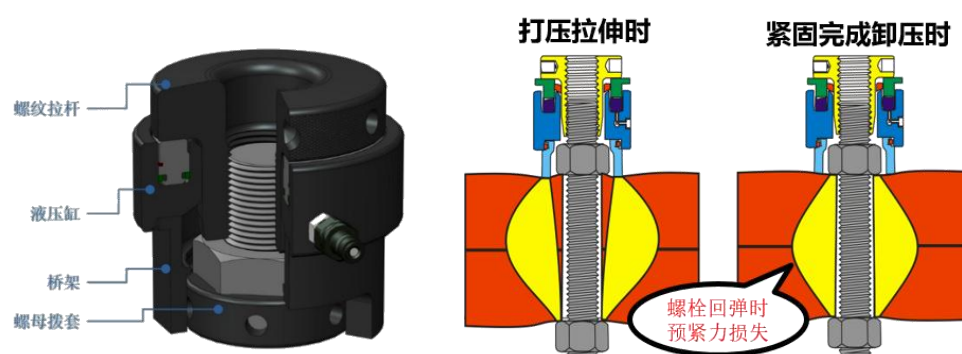


图 E.3 螺栓拉伸器剖视图及紧固示意图

E.3 扭矩-拉伸法

扭矩-拉伸法需要结合使用反作用力垫圈或机械式拉伸螺母，使传统扭矩工具在紧固中产生的反作用力通过简单的机构转移到该配件上，与作用力相互抵消，从而避免其它额外的反作用力支点，在紧固过程中不会对所紧固的螺栓杆产生附加翻转力，不会产生额外摩擦力的紧固方法。包括两种方法：带反作用力垫圈的扭矩拉伸法、带机械式拉伸螺母的扭矩拉伸法。

E.3.1 带反作用力垫圈的扭矩-拉伸法

通过在普通螺母下面增加或更换一种六角形或齿形的反作用力垫圈，将动力工具紧固螺栓时产生的反作用力通过专用的驱动套筒转移到螺母的下方，让紧固螺栓的作用力矩和反作用力矩沿着螺栓的同一个轴线，消除普通扭矩紧固时所必需的侧向反作用力支点的紧固方法。通过消除反作用力臂，即可控制扭矩紧固过程中的摩擦力，进而提升扭矩转化成螺栓预紧力的转化率，螺栓预紧力误差小于 $\pm 10\%$ 。反作用力垫圈及其安装工具如图 E.4 所示。

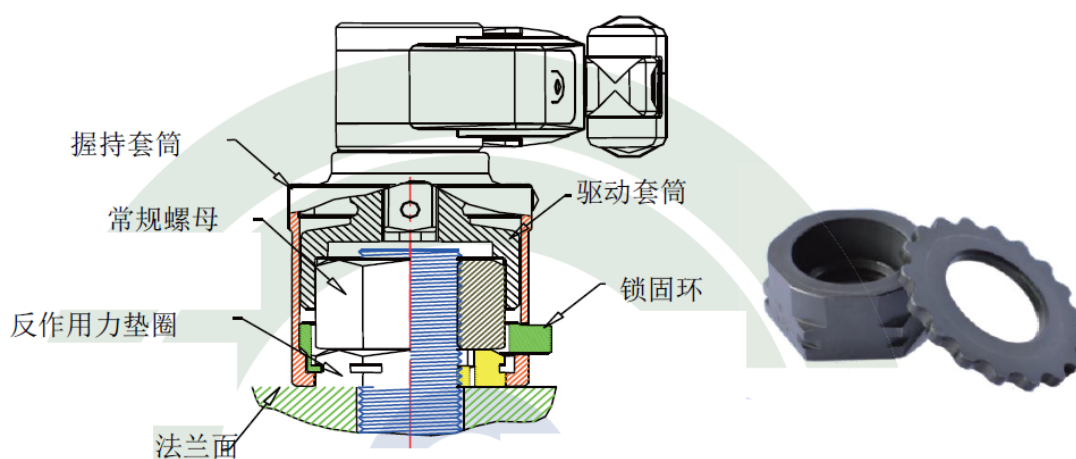


图 E. 4 反作用力垫圈及其安装工具

E. 3. 2 带机械式拉伸螺母的扭矩-拉伸法

通过将普通六角螺母或罩帽螺母更换成具有独特结构的机械式拉伸螺母的紧固方法,如图 E. 5 所示。机械式拉伸螺母分为内外两层,内层螺纹套与螺栓杆相连接,外层转动套向下旋转时,反作用力支点通过特殊的驱动器被转移到内层螺纹套的顶部,使作用力矩与反作用力矩沿着同一个螺栓的轴线,达到不需要任何侧向反作用力支点直接拉伸螺栓的目的。

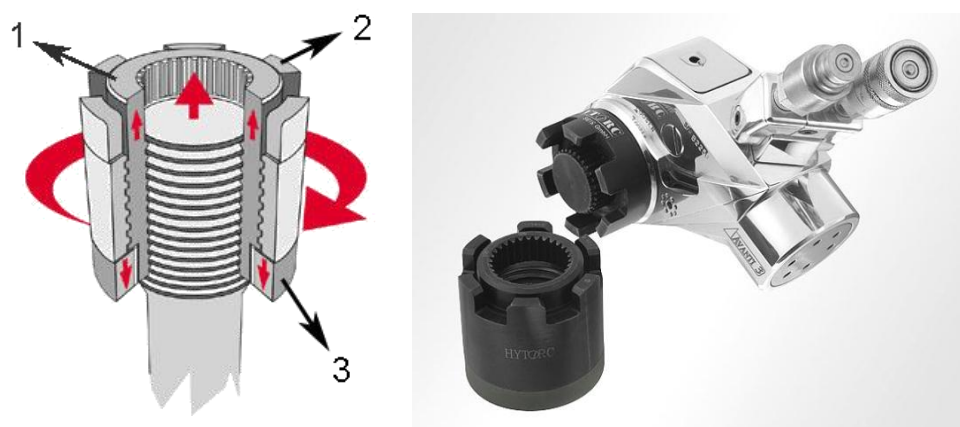


图 E. 5 机械式拉伸螺母

这种特殊的机械式拉伸螺母其独特的结构设计在紧固过程中自身形成一个完整的力循环,可以无需借助外部的反作用力支点,不需要超拉。由于没有偏载,不同的螺栓紧固时所克服的摩擦力几乎一致,相同的施力情况下,比传统的扭矩紧固方法可以得到更大的预紧力,并且预紧力精确度误差小于 $\pm 4\%$ 。

附录 F

(资料性)

法兰密封结构安装螺栓紧固顺序

F.1 螺栓编号

法兰紧固前应以同步、定序、逐级为原则，先对法兰上的螺栓进行编号。

对法兰上的螺栓进行编号有两种方法：

- a) 顺时针编号方法。即按顺时针在法兰上依次编号，每个螺栓的位置从1开始连续编号直到N（N表示接头上螺栓的总数）。如下图F.1表示12颗螺栓的编号顺序, 180度位置的两颗螺栓同步紧固，顺序为1-7，4-10，2-8，5-11…。

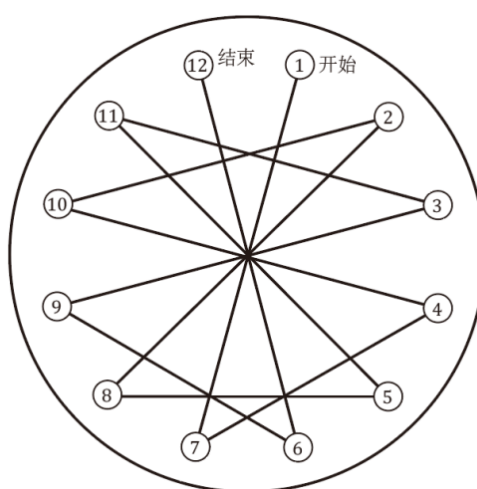


图 F.1 顺时针编号法

- b) 替代编号方法，每个螺栓位置所赋予的编号表示此螺栓的紧固次序，180度位置的两颗螺栓编号相同。如下图F.2表示12颗螺栓的编号顺序，紧固顺序为1-1，2-2，3-3，…。

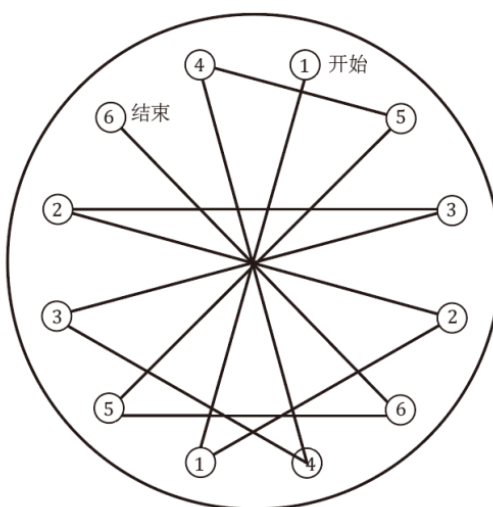


图 F.2 替代编号方法

对于螺栓数量较多的法兰，可以将螺栓进行分组，分组的螺栓再按上述的星形紧固顺序进行紧固。如下图 F.3 表示 48 颗螺栓的法兰，分成 12 组。

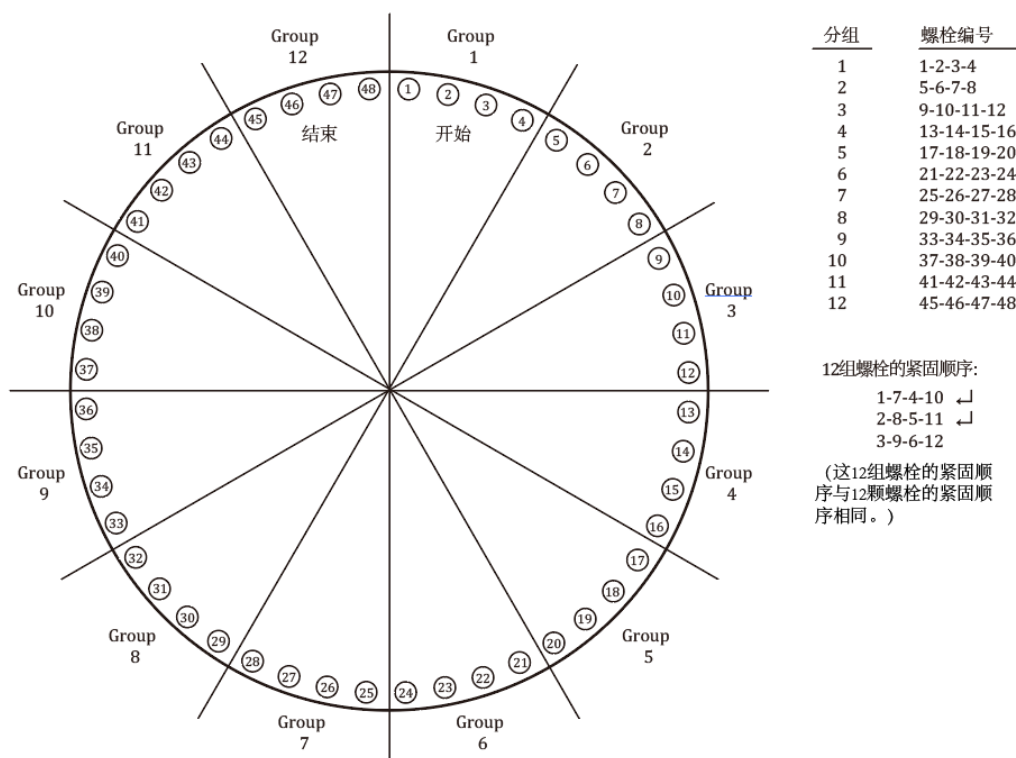


图 F.3 螺栓分组后的编号方法图

F.2 传统交叉法紧固步骤

传统交叉紧固螺栓时的步骤见表 F.1。

表 F.1 传统交叉紧固螺栓时的步骤

步骤	加载
安装	用手拧紧，然后“缓缓紧固”到 15Nm（10 英尺-磅），再到 30Nm（20 英尺-磅）（不要超过目标扭矩的 20%）。 检查法兰的圆周间隙是否均匀；如果不均匀，则通过选择性紧固进行适当的调整，然后再继续下一步。
第 1 步	将所有螺栓按照 F.1 的编号顺序紧固到目标扭矩的 20~30%。检查法兰圆周间隙是否均匀；如果不均匀，则通过选择性紧固/松懈进行适当的调整，然后再继续下一步。
第 2 步	所有螺栓按照 F.1 的编号顺序紧固到目标扭矩的 50~70%。检查法兰圆周间隙是否均匀；如果不均匀，则通过选择性紧固/松懈进行适当的调整，然后再继续下一步。
第 3 步	所有螺栓按照 F.1 的编号顺序紧固到目标扭矩的 100%。检查法兰圆周间隙是否均匀；如果不均匀，则通过选择性紧固/松懈进行适当的调整，然后再继续下一步。
第 4 步	以顺时针循环模式继续紧固螺栓，直到第 3 圈目标扭矩值下螺母不再转动为止。对于指示器的螺栓连接，将螺栓紧固到所有螺栓的指示器标杆收缩读数处于规定范围为止。

F.3 替代传统紧固步骤的方法

与传统单部工具交叉法紧固步骤相比,同时使用围绕法兰均匀分布的偶数部工具紧固,可以在更短的时间内达到相同甚至更好的紧固均匀性,使法兰平行闭合。多部工具同时紧固螺栓的效果在较大的法兰上效果更佳。一般工程现场较多使用两部工具或者四部工具同时紧固,本附录以此举例说明紧固的步骤与顺序。对于非常关键或者工期紧张的螺栓紧固作业,可以考虑使用更多部工具同时紧固,甚至 50%或者 100%的工具覆盖率。

F.3.1 多部工具紧固编号规则

使用多部工具同时紧固的法兰,对螺栓编号时,用与螺栓数量和紧固工具数量相应的序列组进行编号。以 24 颗螺栓的法兰为例,四部工具同时紧固时的螺栓编号规则如下:

- 用数字1标记12、3、6和9点钟位置的螺栓;
- 顺时针移动,将已标记两个螺栓之间的角度平分,并标记为下一组编号2;
- 依此类推,尽可能均匀地分割剩余的大角度,并继续对组进行编号,直到所有的螺栓都已编号。

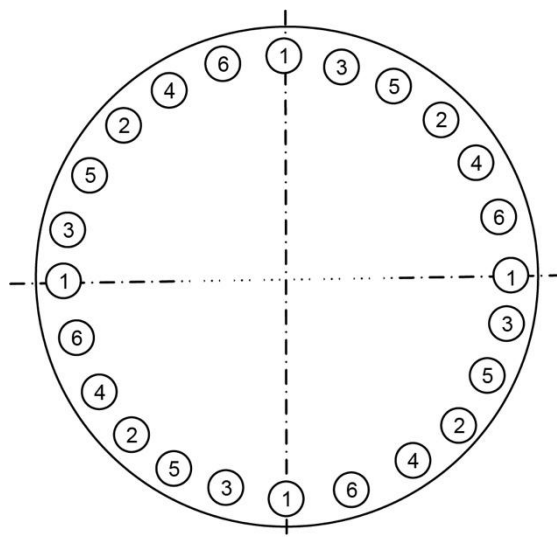


图 F.4 四同步紧固螺栓的编号方法图

F.3.2 两同步紧固步骤

以 24 颗螺栓为例,两同步的紧固方法步骤如图 F.5 所示。

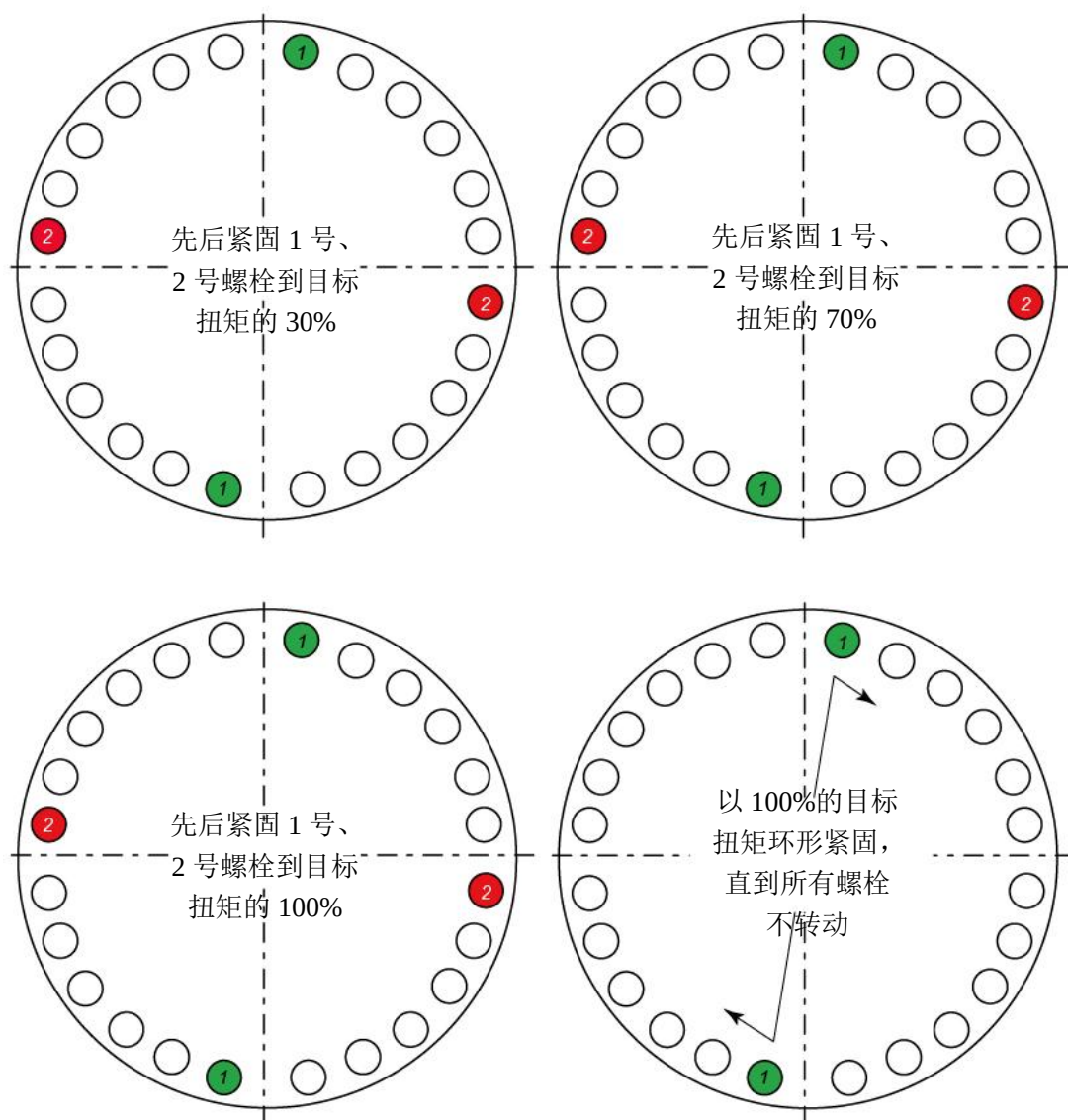


图 F.5 两同步紧固步骤

- 使用两部工具先后紧固1号、2号螺栓到目标扭矩值的30%；
- 使用两部工具先后紧固1号、2号螺栓到目标扭矩值的70%；
- 使用两部工具先后紧固1号、2号螺栓到目标扭矩值的100%；
- 保持两部工具对边位置，使用100%的目标扭矩值环形紧固螺栓，直到所有螺栓不再转动。

F.3.2 四同步紧固步骤

以 24 颗螺栓为例，四同步的紧固方法步骤如图 F.6 所示。

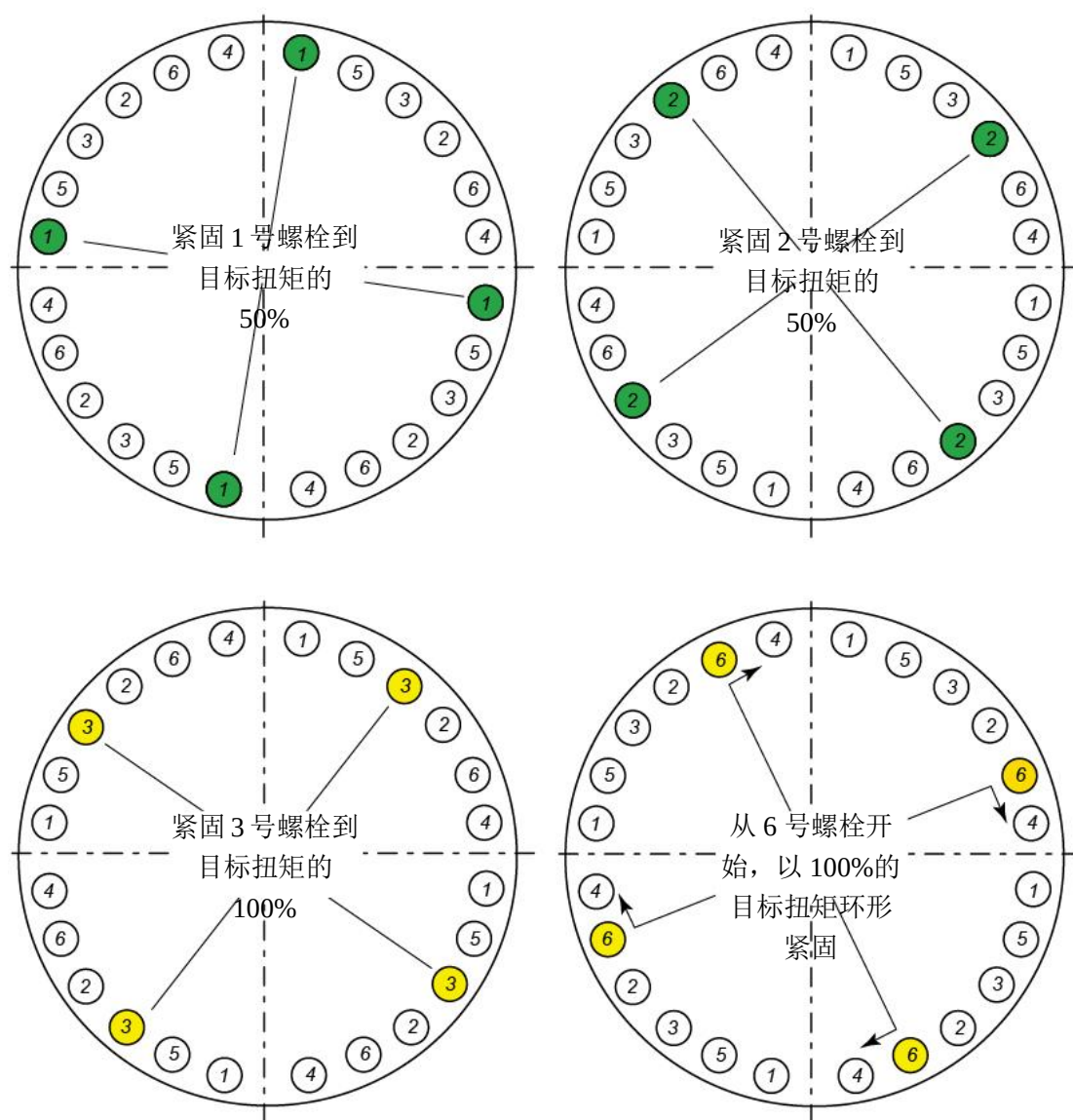


图 F.6 四同步紧固步骤

- a) 使用四部工具紧固1号螺栓到目标扭矩值的50%;
- b) 使用四部工具紧固2号螺栓到目标扭矩值的50%;
- c) 使用四部工具紧固3号螺栓到目标扭矩值的100%。

从6号螺栓开始, 以100%的目标扭矩环形紧固, 直到所有螺栓不再转动。

附录 G

(资料性)

法兰密封结构安装前检查要求

G.1 法兰标识挂牌

每对法兰均应编号，确保其辨识唯一性，并制作法兰标识挂牌。法兰标识挂牌应为不锈钢、铝等金属材质，挂牌表中应包括但不限于以下内容：设备名称、法兰编号、法兰位置、介质、设计温度、设计压力。法兰标识牌宜具有可智能识别的二维码。

G.2 密封面的检查

法兰安装前应对法兰密封面进行检查，包括平面度、圆度和表面粗糙度。如果密封面表面存在缺陷，应测定缺陷尺寸。

G.2.1 密封面平面度和圆度要求

密封面平面度要满足图 G.1、G.2 和表 G.1 的相关要求。

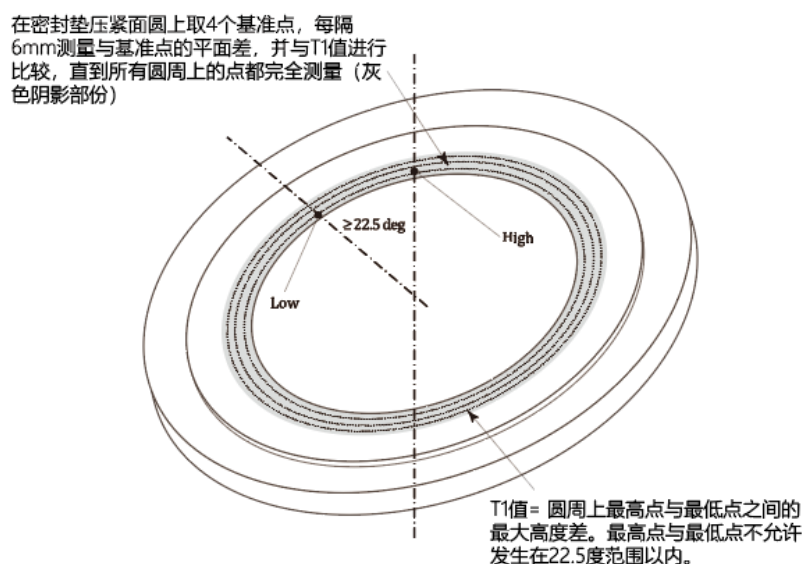


图 G.1 法兰周向平面度要求

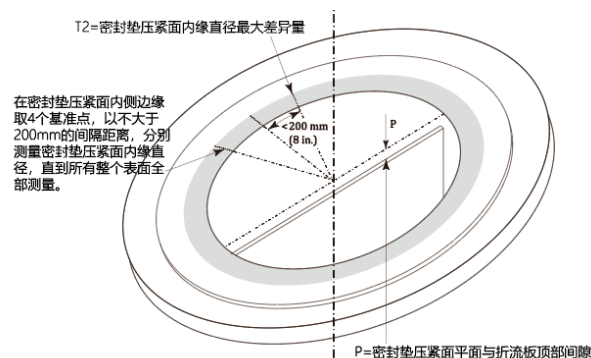


图 G.2 法兰径向平面度要求

密封面圆度相关要求见表 G. 1。检查过程中如果发现超出标准要求，应安排进行切削加工。

表 G. 1 密封面平面度容限要求

测量要素	硬垫片	软垫片
密封面平面度	$T1 < 0.15 \text{ mm}$	$T1 < 0.25 \text{ mm}$
密封面圆度	$T2 < 0.15 \text{ mm}$	$T2 < 0.25 \text{ mm}$
密封面与折流板间隙	$-0.25 \text{ mm} < P < 0.0 \text{ mm}$	$-0.5 \text{ mm} < P < 0.0 \text{ mm}$

G. 2. 2 密封面表面粗糙度的要求

法兰密封面的表面结构（包括表面粗糙度、加工痕迹等）应符合相应法兰标准或设计文件中的要求。不同的密封垫片对密封面的表面结构要求不同，常用垫片推荐的密封面表面粗糙度要求参见表 G. 2。

表 G. 2 常用垫片的密封面表面粗糙度要求

垫片类型	粗糙度 Ra , μm
非金属平垫片—橡胶垫、非石棉橡胶板、聚四氟乙烯板或带（含改性）	3.2~12.5
非金属平垫片—增强柔性石墨板、云母复合板	3.2~6.3
缠绕垫片	3.2~6.3
柔性石墨金属波齿复合垫片	3.2~6.3
金属齿形组合垫片（具覆盖层的齿形组合垫，如柔性石墨复合齿形垫）	3.2~6.3
金属包覆垫片（碳钢、有色金属）	1.6~3.2
金属包覆垫片（不锈钢、镍基合金）	0.8~1.6
金属平板垫片、齿形金属垫片	1.6（最大）
金属环垫（如八角垫、椭圆垫等）（碳钢、铬钢）	0.8~1.6
金属环垫（如八角垫、椭圆垫等）（不锈钢）	0.4~0.8

G. 2. 3 密封面缺陷检查要求

按图 G. 3、G. 4、表 G. 3 中有关密封面缺陷检查的要求，对关键法兰进行检查。

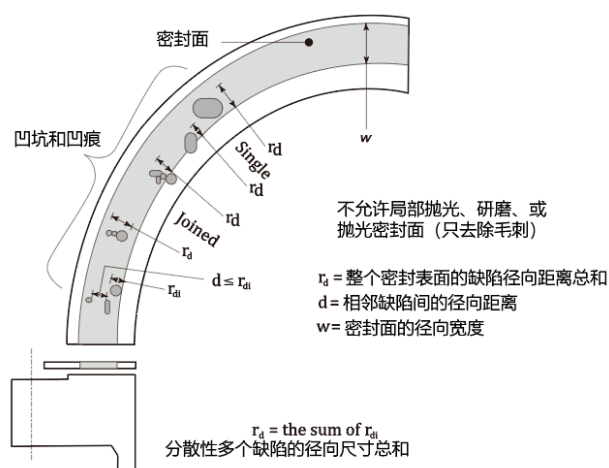


图 G.3 法兰表面损伤评估：凹坑和凹痕

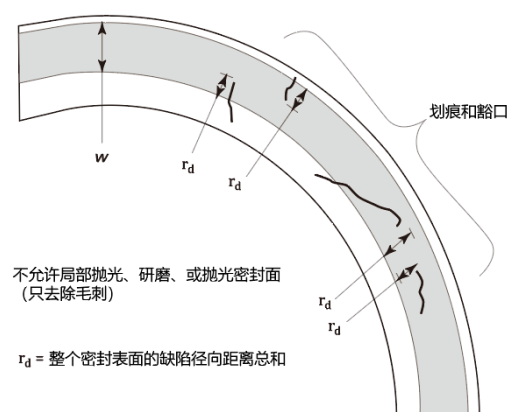


图 G.4 法兰表面损伤评估：划痕和豁口

表 G.3 密封面上允许缺陷深度与宽度

尺寸	硬垫片密封面	软垫片密封面
$rd < w/4$	$< 0.76\text{mm}$	$< 1.27\text{mm}$
$w/4 < rd < w/2$	$< 0.25\text{mm}$	$< 0.76\text{mm}$
$w/2 < rd < 3w/4$	禁止	$< 0.13\text{mm}$
$rd > 3w/4$	禁止	禁止

施工监管过程中应采用游标卡尺、深度计等测量工具对缺陷部位进行检查并记录，不符合标准要求的应安排维修。维修后的密封面应使用粗糙度检测仪进行复查，符合标准要求以后再投用。

G.3 密封垫片的检查

标准管法兰密封结构的垫片选用，应符合 HG/T 20592～20635 的相应规定。同时，现场

安装时，应注意以下检查项。

G.3.1 金属密封垫、复合垫片禁止重复使用；重复使用的金属环垫必须进行检测评估合格后，可以重复使用。

G.3.2 金属缠绕垫片的金属带与非金属带应紧密贴合、层次均匀，不应有褶皱、空隙等缺陷；垫片表面不应有伤痕、凹凸不平、空隙、锈斑等缺陷。

G.3.3 金属环垫应逐件进行外观检查，密封面不得有划痕、磕痕、裂纹和疵点等缺陷。

G.4 紧固件的检查

标准管法兰密封结构的紧固件选用，应符合 HG/T 20592～20635 的相应规定。同时，现场安装时，应注意以下检查项。

G.4.1 紧固件的螺栓应完整，无划痕、无毛刺等缺陷，加工精度符合产品标准的要求。

G.4.2 紧固件宜选用全螺纹螺栓。必要时可加装整体硬化的垫圈，以提高螺栓紧固精度，保护法兰支承面。

G.4.3 利旧紧固件应采用机械螺纹清理装置对螺栓、螺母进行除锈及螺牙清理。不允许存在裂纹、螺牙脱扣、严重的螺纹损伤、螺栓杆缩颈等物理损伤。