

ICS 23.040.60

J 15

备案号: 480—1997

SY

中华人民共和国石油天然气行业标准

SY/ T 0516—1997

984514

绝缘法兰设计技术规定

Technical code for insulating flange design

1997-07-17 发布

1998-01-01 实施

中国石油天然气总公司 发布

目 次

前言	IV
1 范围	1
2 引用标准	1
3 定义	2
4 绝缘法兰的一般要求	2
5 绝缘法兰的结构	2
6 法兰和短管的设计与制造	3
7 绝缘密封件和紧固件绝缘零件的设计与制造	4
8 紧固件	9
9 绝缘法兰的组装和检验	9
附录 A(标准的附录) II 型绝缘法兰的法兰强度计算方法	11
附录 B(提示的附录) II 型绝缘法兰的法兰强度计算示例	21

前 言

根据中国石油天然气总公司“1995年石油天然气行业标准制修订项目计划”的安排，对SYJ 16—85《绝缘法兰设计技术规定》的修订任务由四川石油管理局勘察设计研究院承担。

本次修订，除保留了原标准中行之有效的部分条文内容外，主要的变更如下：

(1) 增加了Ⅱ型绝缘法兰的法兰强度计算示例；

(2) 对Ⅱ型绝缘法兰的压力范围，由不大于10MPa修改为不大于16MPa。

本标准从生效之日起，同时代替SYJ 16—85。

本标准的附录A是标准的附录。

本标准的附录B是提示的附录。

本标准由中国石油天然气总公司规划设计总院提出并归口。

本标准起草单位：四川石油管理局勘察设计研究院。

本标准主要起草人 苏建华 严 明 雒定明

本标准委托四川石油管理局勘察设计研究院负责解释。

绝缘法兰设计技术规定

Technical code for insulating flange design

1 范围

本标准规定了埋地输油、输气钢质管道电法腐蚀防护工程中绝缘法兰设计、制造、组装和检验的要求。

本标准适用于压力不超过 16MPa、输送介质温度不高于 100℃ 的埋地输油、输气钢质管道用绝缘法兰，原则上也适用于埋地输水钢质管道的绝缘法兰。

2 引用标准

下列标准所包含的条文，通过在本标准中引用而构成本标准的条文。本标准出版时，所示版本均为有效。所有标准都会被修订，使用本标准的各方应探讨使用下列标准最新版本的可能性。

GB/ T 97.2—1985 平垫圈 倒角型 A 级

GB 150—1989 钢制压力容器

GB/ T 196—1981 普通螺纹基本尺寸（直径 1~600mm）

GB/ T 539—1995 耐油石棉橡胶板

GB/ T 901—1988 等长双头螺柱 B 级

GB/ T 1047—1995 管道元件的公称通径

GB/ T 1048—1990 管道元件公称压力

GB/ T 1182—1980 形状和位置公差 代号及其注法

GB/ T 1184—1980 形状和位置公差 未注公差的规定

GB/ T 1800—1979 公差与配合 总论 标准公差与基本偏差

GB/ T 1804—1992 一般公差 线性尺寸的未注公差

GB 3452.1—1992 液压气动用 O 形橡胶密封圈 尺寸系列及公差

GB/ T 3452.3—1988 液压气动用 O 形橡胶密封圈 沟槽尺寸和设计计算准则

GB/ T 3985—1995 石棉橡胶板

GB/ T 5129.3—1985 酚醛层压布板

GB/ T 5129.4—1985 酚醛层压玻璃布板

GB/ T 5129.5—1985 环氧层压玻璃布板

GB/ T 5133—1985 层压棒

GB/ T 6170—1986 I 型六角螺母 A 和 B 级

JB 890—75 3840 环氧酚醛层压玻璃布棒

JB 1679—75 3026 高强度酚醛层压布板

JB 1680—75 3640 环氧酚醛层压玻璃布管

JB 2948—81 4330 酚醛玻璃纤维压塑料

JB 4726—94 压力容器用碳素钢和低合金钢锻件

SYJ 23—86 埋地钢质管道阴极保护参数测试方法

3 定义

本标准采用下列定义。

3.1 绝缘法兰 insulating flange

是对同时具有埋地钢质管道要求的密封性能和电法腐蚀防护工程所要求的电绝缘性能的管道法兰接头的统称。它包括一对钢质法兰、两法兰间的绝缘密封件、法兰紧固件和紧固件绝缘零件, 以及与两片法兰已分别相焊的一对钢质短管。

绝缘法兰按其绝缘密封件结构的不同分为比压密封型绝缘法兰(简称Ⅰ型绝缘法兰)和自紧密封型绝缘法兰(简称Ⅱ型绝缘法兰)两种。

3.2 比压密封型绝缘法兰(Ⅰ型绝缘法兰) specific-pressure sealed insulating flange (Ⅰ-type insulating flange)

是靠预紧具有良好回弹性能和要求的电绝缘性能的单一绝缘密封零件到规定的密封比压, 来同时实现法兰连接处密封和电绝缘的绝缘法兰。

3.3 自紧密封型绝缘法兰(Ⅱ型绝缘法兰) self-tightening seal insulating flange (Ⅱ-type insulating flange)

是由 O 形橡胶密封圈和绝缘体组成的绝缘密封组合件, 在法兰密封面间同时实现自紧式密封和电绝缘的绝缘法兰。

3.4 绝缘密封件 insulating sealing parts

是对能同时满足绝缘法兰连接处电绝缘和密封要求的单一绝缘密封零件及由 O 形橡胶密封圈、绝缘体所组成的绝缘密封组合件的统称。

3.5 紧固件绝缘零件 insulating parts for fasteners

是处于绝缘法兰的法兰与法兰紧固件(双头螺柱和螺母)之间, 使紧固件与法兰之间实现电绝缘的零件。它包括螺栓绝缘衬套和螺栓绝缘垫圈。

4 绝缘法兰的一般要求

4.1 绝缘法兰应具有埋地钢质管道电法腐蚀防护工程所要求的电绝缘性能。

4.2 绝缘法兰应能在管输介质要求的温度、压力下长期可靠地工作, 有足够的强度和密封性能。

4.3 绝缘法兰的结构应使绝缘法兰的组装和在安装状态下拆卸与更换各可拆零件都方便。

4.4 绝缘法兰的各零件, 应结构简单、加工方便, 原材料易于取得, 成本低廉。

4.5 绝缘法兰各易损零件的更换周期, 一般应不低于四年。

4.6 除特殊情况外, 绝缘法兰的法兰公称通径应符合 GB/T 1047 的规定, 公称压力应符合 GB/T 1048 的规定。

4.7 用于埋地钢质输水管道和输送介质中含有导电物质的管道的绝缘法兰, 其两法兰的内表面均应作电绝缘物质的内涂层处理。

4.8 Ⅰ型绝缘法兰只应用于公称压力 PN 小于或等于 2.5MPa 的场合。

4.9 在承受有大的弯矩, 或有集中外载荷作用的管道部位, 不应设置绝缘法兰。

4.10 本标准是对绝缘法兰的一般要求, 当绝缘法兰的设计图纸上有特殊要求时, 还应符合设计的要求。

5 绝缘法兰的结构

5.1 Ⅰ型和Ⅱ型绝缘法兰的结构分别如图 1 和图 2 所示。

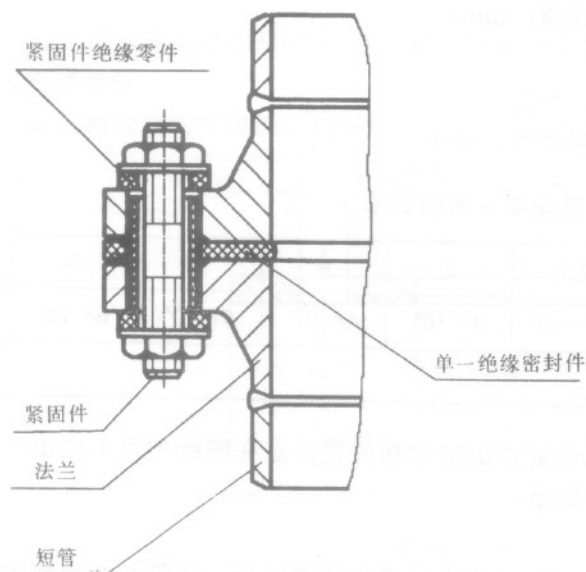


图1 I型绝缘法兰

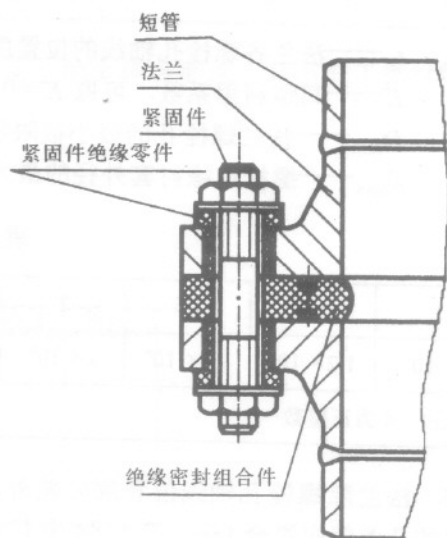


图2 II型绝缘法兰

5.2 I型和II型绝缘法兰, 均应采用带锥颈的对焊法兰; 只有当法兰的公称通径 DN 小于或等于 400mm 时, I型绝缘法兰的法兰才可采用平焊法兰。

5.3 在保证绝缘法兰使用性能要求的前提下, 设计者也可采用本标准规定的I型和II型绝缘法兰以外的其他结构型式的绝缘法兰。

6 法兰和短管的设计与制造

6.1 法兰的强度计算

6.1.1 I型绝缘法兰的法兰强度计算, 可按 GB 150 中对窄面法兰规定的计算方法进行。

6.1.2 II型绝缘法兰的法兰强度计算, 可按附录 A (标准的附录) 规定的计算方法进行。

6.2 法兰的材质和锻坯

6.2.1 法兰的材质应能满足法兰工作条件和机加工的要求, 并与选定的短管材质有良好的可焊性。

6.2.2 法兰锻坯应按 JB 4726 的规定制造和验收。当公称压力 PN 小于或等于 6.4MPa 时, 锻坯应符合II级的要求; 当公称压力 PN 大于 6.4MPa 时, 锻坯应符合III级的要求。

6.3 法兰的机加工

6.3.1 法兰的密封面均应采用光滑平密封面。

6.3.2 I型绝缘法兰的法兰密封面机加工后的表面粗糙度 R_a 应不低于 6.3; II型绝缘法兰密封面机加工后的表面粗糙度 R_a 应不低于 1.6。当法兰锻坯采用模锻加工, 锻坯各尺寸的尺寸公差和各部位的形位公差又符合本标准的规定时, 除密封面、螺栓孔内表面和带锥颈对焊法兰小端的焊缝坡口以外的其他表面, 可不再机加工。

6.3.3 法兰各部分尺寸的极限偏差, 除法兰螺栓孔尺寸的极限偏差应按 GB/T 1800 中规定的 H14 外, 其余尺寸的极限偏差均应按 GB/T 1804 中 m 级的规定。

6.3.4 法兰各螺栓孔轴线的位置度公差应按 GB/T 1182 的规定, 以法兰的密封面和法兰内圆柱面的轴线所构成的三基准体系给出。

公差值 t_F 按式 (1) 计算, 计算值还应按表 1 就近圆整为该数系的标准值。

$$t_F = K(D_{\min} - d_{\max}) \dots\dots\dots (1)$$

式中: t_F ——法兰各螺栓孔轴线的位置度公差值, mm;

K ——间隙利用系数, 可取 $K=0.6$;

$D_{\min}$ ——法兰螺栓孔的最小极限尺寸, mm;

$d_{\max}$ ——螺栓绝缘衬套外径的最大极限尺寸, mm。

表 1 位置度公差值数系

1	1.2	1.5	2	2.5	3	4	5	6	8
1×10^n	1.2×10^n	1.5×10^n	2×10^n	2.5×10^n	3×10^n	4×10^n	5×10^n	6×10^n	8×10^n
注: n 为正整数									

6.3.5 法兰除螺栓孔轴线位置度公差外, 其他部位的形状和位置公差在图纸中可不注出, 这些未注项目的公差值应符合 GB/T 1184 中 C 级的规定。

6.4 短管

6.4.1 短管的材质应与使用绝缘法兰的埋地管道的管子材质相同或相近; 短管与埋地管道的管子和绝缘法兰的法兰都应有良好的可焊性。

6.4.2 用作短管的管子, 其质量要求应与埋地管道的管子要求一致, 符合同样的质量标准, 并具有管子的出厂质量合格证明书。

6.4.3 短管的长度可取为管子的外径, 但应不小于 300mm。

6.4.4 短管的壁厚, 应按使用绝缘法兰的管道在计算埋地管子壁厚时所采用的计算方法来进行计算。当短管的计算壁厚小于管道的已知管子实际壁厚时, 应取为管道的已知管子实际壁厚。

当埋地管道的管子材质和绝缘法兰的法兰材质不同, 且机械性能相差较大时, 短管应选择合适的材质和壁厚来满足短管两端分别与法兰和管道的管子间的焊接要求。这时, 短管的壁厚可大于按强度计算得的壁厚计算值。

6.4.5 当短管的公称通径大于或等于 350mm 时, 短管也可用与管道的管子材质相同或相近的钢板卷制。卷制短管的钢板应符合焊接流体输送用管或压力容器制造用板的要求, 并具备出厂质量合格证明书。

6.4.6 卷制短管的纵焊缝焊接, 应由经考试合格的焊工担任。卷制短管的纵焊缝应采用双面焊。

6.4.7 卷制短管的纵焊缝应进行无损检测。无损检测方式、检测率和质量等级以及焊缝返修要求, 均按使用绝缘法兰的埋地管道的工作条件及相应的管道设计标准来确定, 且应不低于管道相同部位的管子的要求, 并标注在绝缘法兰的设计图纸上。

6.4.8 短管与管道的管子焊接一端的焊缝坡口型式, 应在绝缘法兰设计图上标明, 并在绝缘法兰制造厂加工。

7 绝缘密封件和紧固件绝缘零件的设计与制造

7.1 材质的一般要求

7.1.1 绝缘密封件 (含单一绝缘密封零件和绝缘密封组合件) 在管输介质中应有足够的化学安定性; 紧固件绝缘零件在大气中应不易老化。

7.1.2 绝缘密封件和紧固件绝缘零件的材料均应有一定的机械强度, 以保证这些零件在安装和使用的过程中不易破损。

7.1.3 绝缘密封件和紧固件绝缘零件在绝缘工作表面间的电阻值均应在 500kΩ 以上。

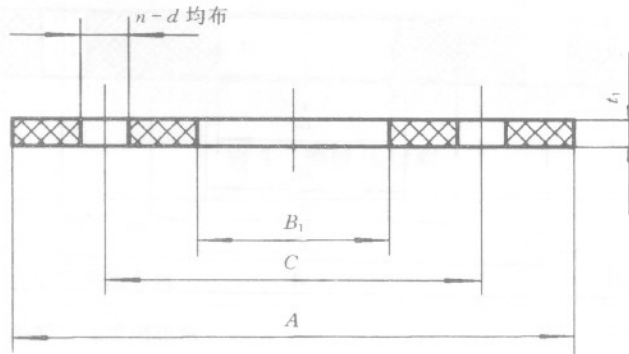
7.2 单一绝缘密封零件 (用于 I 型绝缘法兰的绝缘密封件)

7.2.1 单一绝缘密封零件应具有一定的强度和良好的回弹性, 能满足绝缘法兰在工作条件下的密封

要求。

7.2.2 单一绝缘密封零件的电绝缘性能，应能满足绝缘法兰的电绝缘要求，且不低于该材料的出厂电绝缘性能指标。

7.2.3 单一绝缘密封零件的结构如图 3 所示。



A —单一绝缘密封零件外径（同法兰外径），mm；

B_1 —单一绝缘密封零件内径（比法兰内径小 1~3mm），mm；

C —螺栓孔中心圆直径（同法兰螺栓孔中心圆直径），mm；

d —螺栓孔孔径（同法兰螺栓孔孔径），mm；

n —螺栓孔孔数（同法兰螺栓孔孔数）；

t_1 —单一绝缘密封零件的厚度，mm

图 3 单一绝缘密封零件

7.2.4 可用表 2 所列的材料来制作单一绝缘密封零件。

表 2 单一绝缘密封零件的材料

序号	材 料	材 料 标 准
1	石棉橡胶板	GB / T 3985
2	耐油石棉橡胶板	GB / T 539
3	氯丁橡胶板	—
4	织物基氯丁橡胶板	—
5	聚四氟乙烯板	—

7.3 绝缘密封组合件(用于Ⅱ型绝缘法兰的绝缘密封件)

7.3.1 绝缘密封组合件由硬质绝缘体和位于绝缘体两侧密封槽内的两个 O 形橡胶密封圈组成,其结构如图 4 所示。

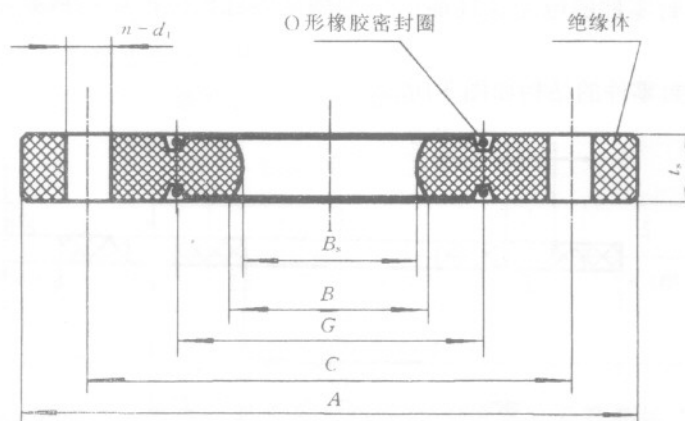
7.3.2 绝缘体材料的电绝缘性能和抗流体渗透的能力应能满足绝缘法兰在工作状况下的电绝缘性能和抗渗漏的要求，且用于加工绝缘体的材料的电绝缘性能不低于该材料出厂时的指标。

7.3.3 绝缘体材料的抗拉强度应在 60MPa 以上，且不低于该材料出厂时的抗拉强度指标。

7.3.4 绝缘体材料应具有良好的切削加工性能。

7.3.5 绝缘体两侧密封槽底间的最薄厚度，应根据绝缘法兰的工作条件和绝缘体材料的强度来确定，一般应在 12mm 以上。

7.3.6 绝缘体内表面应做成如图 5 所示的圆弧状，圆弧部分的弦高 $f=0.02B$ ，但应在 4mm 以内。



- A —绝缘体外径（同法兰外径），mm；
 B —绝缘体内径（同法兰内径），mm；
 B_s —绝缘体喉部直径，mm；
 C —绝缘体螺栓孔中心圆直径（同法兰螺栓孔中心圆直径），mm；
 d_1 —绝缘体螺栓孔直径，mm；
 n —绝缘体螺栓孔数目（同法兰螺栓孔数目）；
 t_s —绝缘体厚度，mm；
 G —O形橡胶密封圈槽平均直径，mm

图4 绝缘密封组合件

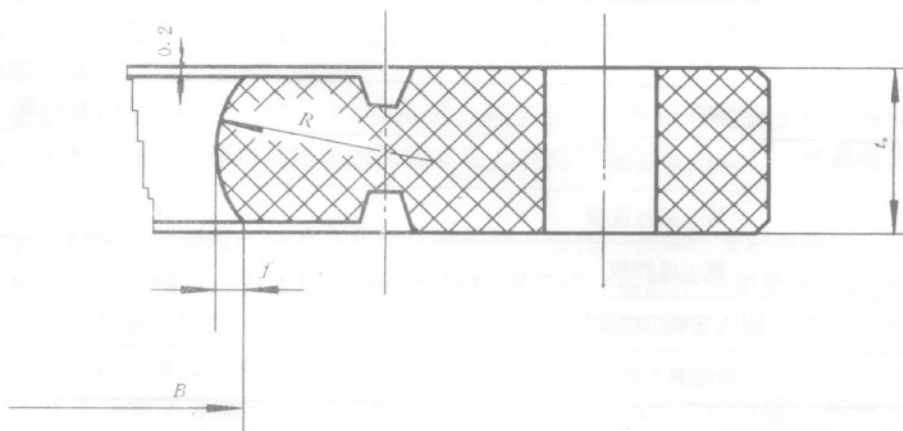


图5 内径处圆弧尺寸

7.3.7 绝缘体两侧面处的密封槽，其形状、尺寸和尺寸公差均可按 GB/T 3452.3 的规定。但推荐将密封槽的顶部加工成如图 5 所示的台阶形状。

7.3.8 除密封槽尺寸的公差外，绝缘体其余尺寸的公差均可按 GB/T 1804 中 m 级的规定。

7.3.9 绝缘体螺栓孔直径 d_1 的基本尺寸可比螺栓直径的基本尺寸大 1.5~2mm。

7.3.10 绝缘体各螺栓孔轴线的位置度公差应按 GB/T 1182 的规定，以绝缘体任一端面和内圆弧表面的轴线所构成的三基准体系为基准给出。公差值 t_2 按式（2）计算，计算值也应按表 1 就近圆整为该数系的标准值。

$$t_2 = K(d_{l,\min} - d_{b,\max}) \dots\dots\dots(2)$$

式中: t_2 ——绝缘体各螺栓孔轴线的位置度公差值, mm;

K ——间隙利用系数, 可取 $K=0.6$;

$d_{l,\min}$ ——绝缘体螺栓孔的最小极限尺寸, mm;

$d_{b,\max}$ ——螺栓外径的最大极限尺寸, mm。

7.3.11 绝缘体除各螺栓孔轴线的位置度公差外, 其余形状和位置度公差值在图纸中可不标注。这些项目的公差值按 GB/T 1184 中 C 级的规定。

7.3.12 绝缘体可采用表 3 中所列的材料或与这些材料性质相近的其他材料来制造。

表 3 绝缘体材料

序号	材 料	材 料 标 准
1	酚醛层压布板	GB/T 5129.3
2	酚醛层压玻璃布板	GB/T 5129.4
3	环氧层压玻璃布板	GB/T 5129.5
4	3026 高强度酚醛层压布板	JB 1679

7.3.13 设计压力达 6.4MPa 时, 应选用环氧层压玻璃布板来制作绝缘体; 若设计压力达 4.0MPa 而又有气密性试验要求时, 有时还应对绝缘体作增加其内部密实度的处理。

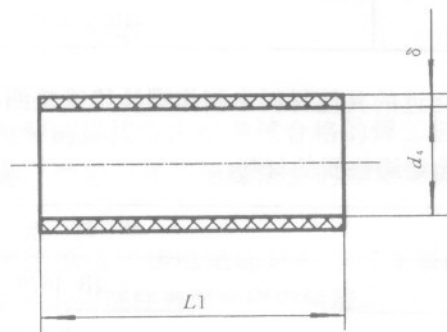
7.3.14 绝缘体内部密实度处理沿绝缘体接触管输介质的已加工表面进行。在这些表面上先涂刷上一定比例的乙二胺和环氧树脂混合液, 然后作密闭气体充压处理。以设计压力加压 10min 后, 再拆开干燥 24h 即可。

7.3.15 O 形橡胶密封圈可根据工作介质的不同, 采用耐油橡胶、氯丁橡胶或氟橡胶制作, 材料的性能应符合相应材料标准的规定。

7.3.16 O 型橡胶密封圈的尺寸可按 GB 3452.1 的规定。

7.4 紧固件绝缘零件

7.4.1 螺栓绝缘衬套和螺栓绝缘垫圈的结构分别如图 6 和图 7 所示。

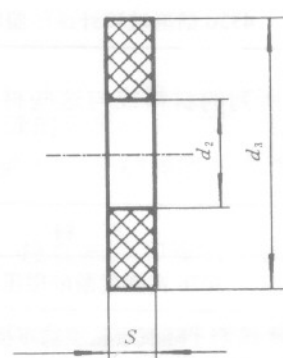


d_4 —螺栓绝缘衬套的内径, mm;

δ —螺栓绝缘衬套的厚度, mm;

L_1 —螺栓绝缘衬套的长度, mm

图 6 螺栓绝缘衬套



d_2 —螺栓绝缘垫圈的内径, mm;

d_3 —螺栓绝缘垫圈的外径, mm;

S —螺栓绝缘垫圈的厚度, mm

图 7 螺栓绝缘垫圈

对Ⅰ型绝缘法兰:

$$L_1 = 2t + t_1 - 3$$

对Ⅱ型绝缘法兰:

$$L_1 = t - 1$$

式中: t ——法兰厚度(对Ⅰ型绝缘法兰包括密封面突出部分高度), mm;

t_1 ——单一绝缘密封零件的厚度, mm。

7.4.2 螺栓绝缘衬套和螺栓绝缘垫圈应能在其所处的绝缘工作表面间形成 7.1.3 要求的电阻, 且其材料的电绝缘性能不低于该材料的出厂指标。

7.4.3 螺栓绝缘垫圈材料的抗拉强度应在 150MPa 以上。

7.4.4 螺栓绝缘衬套的内径与螺栓外径间的间隙应力求最小, 一般可取 0.5~1mm。当使用弹性良好的弹性材料来制作这种衬套时, 也可作成与螺栓外径过盈配合的结构。

螺栓绝缘衬套的厚度, 一般可取 1.5~3mm。

7.4.5 螺栓绝缘垫圈的内径 d_2 可与螺栓绝缘衬套的内径 d_4 相同, 但当螺栓绝缘衬套与螺栓外径成过盈配合的结构时, d_2 仍应比螺栓外径大 0.5~1mm。

螺栓绝缘垫圈的外径 d_3 应比 GB/T 97.2 中规定的同规格垫圈大 2~3mm。

7.4.6 可用表 4 所列的材料或与这些材料性质相近的其他材料来制作螺栓绝缘衬套。

表 4 螺栓绝缘衬套的材料

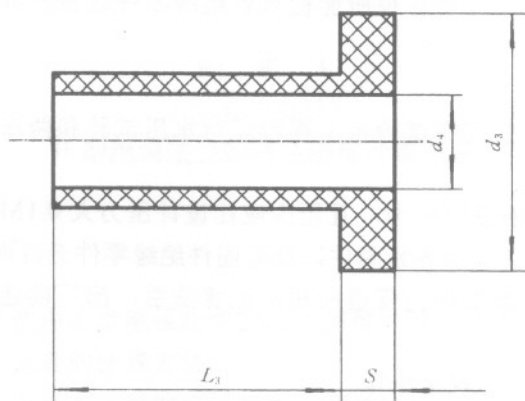
序号	材 料	材 料 标 准
1	层压棒	GB/T 5133
2	3840 环氧酚醛层压玻璃布棒	JB 890
3	3640 环氧酚醛层压玻璃布管	JB 1680
4	聚乙烯管	—
5	尼龙	—
6	4330 酚醛玻璃纤维压塑料	JB 2948

7.4.7 可用表 5 所列的材料或与这些材料性质相近的其他材料来制作螺栓绝缘垫圈。

表 5 螺栓绝缘垫圈的材料

序号	材 料	材 料 标 准
1	3026 高强度酚醛层压布板	JB 1679
2	环氧层压玻璃布板	GB/T 5129.5
3	4330 酚醛玻璃纤维压塑料	JB 2948

7.4.8 螺栓绝缘衬套和螺栓绝缘垫圈宜分两件分别制作, 但当这两种零件都用符合螺栓绝缘垫圈要求的同样材料来制作时, 也可将这两种零件合为整体式结构——螺栓绝缘套。螺栓绝缘套的结构如图 8 所示。



L_3 —螺栓绝缘套有效长度, mm

图8 螺栓绝缘套

对Ⅰ型绝缘法兰:

$$L_3 = 2t + t_1 - 3$$

对Ⅱ型绝缘法兰:

$$L_3 = t - 1$$

8 紧固件

8.1 绝缘法兰的紧固件包括螺栓、螺母和垫圈。

8.2 螺栓应采用 GB/T 901 规定的等长双头螺柱。

8.3 螺母应采用 GB/T 6170 规定的六角螺母。

8.4 垫圈应采用 GB/T 97.2 规定的平垫圈。但当螺栓的螺纹公称直径小于 M24 时, 应采用非标准的自制加厚垫圈。非标准自制加厚垫圈除厚度均加厚到 4mm 外, 其余尺寸和制造要求均与 GB/T 97.2 规定的标准垫圈相同。

9 绝缘法兰的组装和检验

9.1 组装

9.1.1 法兰和短管的焊接应由经考试合格的焊工担任。焊缝的无损检测方式、检测率、质量等级和焊缝返修要求等, 均应与使用绝缘法兰的埋地管道对相同部位管子的焊接要求相同, 遵循同样的标准。

9.1.2 当要求对绝缘法兰作电绝缘材料的内涂层处理时, 应在法兰和短管焊接完毕并经检验合格后, 再对绝缘法兰的内圆柱表面涂刷内涂层。

9.1.3 绝缘法兰组装前, 应对绝缘密封件、紧固件和紧固件绝缘零件逐件作外观检查, 有破损或变形的零件不得使用。

9.1.4 Ⅰ型绝缘法兰组装时, 应使各螺栓均匀预紧到绝缘密封件达到要求的密封比压为止。

9.1.5 Ⅱ型绝缘法兰的 O 形橡胶密封圈装入绝缘体两侧的密封槽前, 应将密封槽清理干净并填入适量的润滑脂, 再将 O 形橡胶密封圈平整安放到槽内, 不允许扭曲。

9.1.6 Ⅱ型绝缘法兰组装时, 只须将各螺栓预紧到两法兰端面与绝缘体两侧完全贴合, 有轻度预紧即可。

9.1.7 绝缘法兰组装完毕后, 应尽目视所能检查各绝缘零件是否完好, 发现有破损或已过度变形的应即时更换。

9.2 检验

9.2.1 组装完毕后的绝缘法兰应在试验台上逐台进行水压试验和两法兰间的电绝缘检查, 两项检查均合格方能出厂。

9.2.2 水压试验压力为 1.5 倍设计压力, 且至少应比设计压力大 0.1MPa。水压试验中法兰连接处无泄漏、各绝缘零件无损坏、法兰和各紧固件以及紧固件绝缘零件无目视可见的残余变形为合格。

9.2.3 输送易燃、易爆和有毒气体的管道所用的绝缘法兰, 出厂前还应用空气在设计压力下进行气密性试验。

9.2.4 电绝缘检查按 SYJ 23 的规定执行。

附录 A
(标准的附录)
II 型绝缘法兰的法兰强度计算方法

A1 适用范围

A1.1 本计算方法可用于本标准中 II 型绝缘法兰的法兰强度计算。在保证法兰强度和密封可靠性的情况下,设计者也可以采用其他可靠的计算方法。

A1.2 法兰强度计算过程中没有考虑法兰的腐蚀裕量。腐蚀裕量应由设计人根据管输介质的腐蚀性和绝缘法兰的使用寿命要求来自行选定,并体现在绝缘法兰的法兰设计图纸中。

A1.3 本计算方法取自美国机械工程师协会 (ASME)《锅炉和压力容器标准》的第 VIII 卷。

A2 法兰强度计算

A2.1 法兰强度计算中的符号约定和计算用简图

A2.1.1 法兰强度计算中的符号约定:

B_1 ——法兰小端平均直径, mm:

$$B_1 = B + g_0$$

h_0 ——系数, mm:

$$h_0 = \sqrt{B g_0}$$

h_c ——法兰接触反力作用圆到法兰螺栓中心圆的径向距离, mm;

h_D ——法兰螺栓孔中心圆到 H_D 作用圆的径向距离, mm:

$$h_D = 0.5(C - B - g_1)$$

h_T ——法兰螺栓孔中心圆到 H_T 作用圆的径向距离, mm:

$$h_T = 0.25(2C - B - G)$$

H ——流体静压产生的总轴向力, N:

$$H = 0.785 G^2 p$$

K ——法兰外径对法兰内径的比值:

$$K = \frac{A}{B}$$

L_3 ——法兰螺栓的计算长度, mm:

$$L_3 = t_s + 2t + 2S + 2S_1 + M$$

M ——法兰螺栓的螺纹公称直径, mm;

M_H ——作用在法兰盘状部分和锥颈部分交界处的弯矩, N·mm;

M_s ——由于法兰锥颈的作用,作用在法兰盘状部分上的弯矩, N·mm;

M_p ——法兰的总弯矩, $N \cdot mm$;

p ——法兰的设计压力, MPa ;

Q ——作用在法兰盘状部分和锥颈部分交界处的剪力, N ;

r_E ——法兰材料的弹性模量 (E_f)与螺栓材料的弹性模量 (E_b)的比值:

$$r_E = \frac{E_f}{E_b}$$

r_s ——法兰螺栓的预紧系数, 一般可取 $r_s = 0.7 \sim 0.8$:

$$r_s = 1 - \frac{S_i}{[\sigma]_b}$$

S ——绝缘垫圈的厚度, mm ;

S_i ——金属垫圈的厚度, mm ;

S_i ——螺栓的预紧应力, MPa ;

Z ——系数:

$$Z = \frac{A^2 + B^2}{A^2 - B^2}$$

$[\sigma]_b$ ——螺栓材料在工作温度下的许用应力, MPa ;

$[\sigma]_f$ ——法兰材料在工作温度下的许用应力, MPa ;

σ_{fR1} ——工作状态下, 法兰在螺栓圆处的径向应力, MPa ;

σ_{fR2} ——工作状态下, 法兰盘状部分上在与锥颈交界处的径向应力, MPa ;

σ_{H1} ——工作状态下, 锥颈大端在与法兰盘状部分交界处的纵向应力, MPa ;

σ_{H2} ——工作状态下, 锥颈大端在与法兰盘状部分交界处的环向应力, MPa ;

σ_{fT} ——法兰盘状部分上, 在与锥颈大端交界处的环向应力, MPa ;

θ_A ——法兰外径处的转角, rad ;

θ_B ——法兰内径处的转角, rad ;

α ——法兰的形状系数:

$$\alpha = \frac{A + C}{2B}$$

β ——法兰的形状系数:

$$\beta = \frac{C + B_1}{2B_1}$$

μ ——法兰材料的泊松比。

A2.1.2 法兰强度计算用简图如图 A1 所示。

A2.2 法兰的强度计算

A2.2.1 法兰厚度试算过程中的厚度初始值 t 按式(A1)计算:

$$t = 1.78 \sqrt{\frac{M_p}{[\sigma]_f C}} \dots\dots\dots (A1)$$

估算得的 t 值只供计算法兰各部分应力时作初值使用。应根据法兰各部分的应力值对 t 值作修

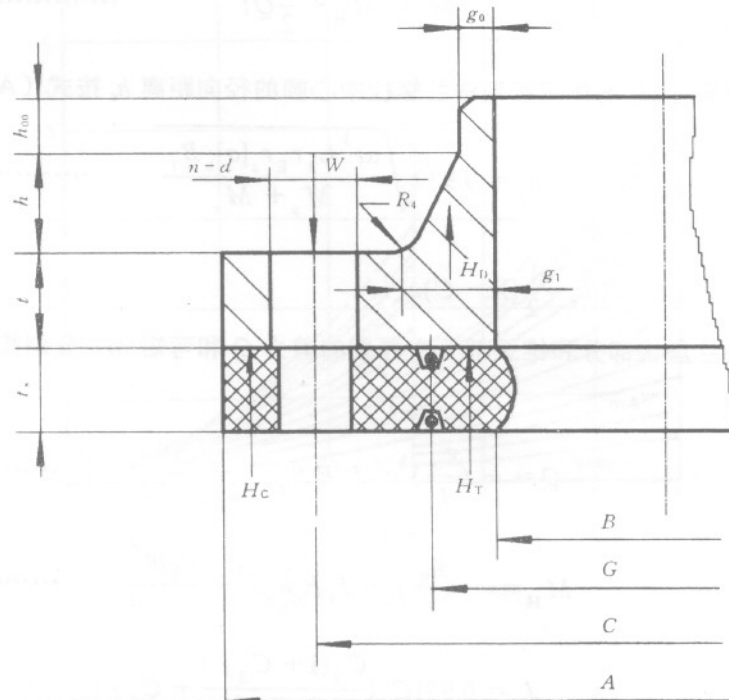
正，直到法兰尺寸满足强度要求而又经济合理为止。

A2.2.2 法兰的总弯矩按式 (A2) 计算:

$$M_p = H_D h_D + H_T h_T \quad \dots\dots\dots(A2)$$

A2.2.3 法兰在工作状态下的螺栓总载荷 W 按式 (A3) 计算:

$$W = H + H_c \quad \dots\dots\dots(A3)$$



A—法兰外径, mm;

B—法兰内径, mm;

C—法兰螺栓孔中心圆直径, mm;

d—法兰螺栓孔直径, mm;

G—O 形橡胶密封圈槽的平均直径, mm;

g_0 —法兰锥颈小端处的厚度, mm;

g_1 —法兰锥颈大端的厚度, mm:

$$g_1 \geq 1.5g_0$$

H_c —工作状态下法兰接触圆上的接触反力, N;

H_D —工作状态下流体静压在法兰内径范围内产生的轴向力, N:

$$H_D = 0.785B^2p$$

H_T —工作状态下流体静压产生的总轴向力与在法兰内径范围内产生的轴向力的差值, N:

$$H_T = H - H_D$$

h —法兰的锥颈高度, 推荐 $h = (2.5 \sim 3)g_0$, mm;

h_{00} —法兰锥顶小端处直段部分的高度, mm:

$$h_{00} \geq 1.5g_0$$

n —法兰螺栓数;

t —法兰厚度, mm;

t_s —绝缘体的厚度, mm;

W —工作状态下的螺栓总荷载, N

图 A1 法兰强度计算用简图

A2.2.4 工作状态下, 法兰接触圆上的接触反力 H_c 按式 (A4) 计算:

$$H_c = \frac{M_p + M_s}{h_c} \quad \dots\dots\dots(A4)$$

考虑了法兰锥颈的作用后, 作用在法兰盘状部分上的弯矩 M_s 按式 (A5) 计算:

$$M_s = M_H + \frac{1}{2} Q t \quad \dots\dots\dots(A5)$$

A2.2.5 法兰接触反力 H_c 的作用圆到法兰螺栓中心圆的径向距离 h_c 按式 (A6) 计算:

$$h_c = 0.929 \sqrt{\frac{\alpha t^3 L_3 r_E r_s [\sigma]_b B_1}{M_p + M_s}} \quad \dots\dots\dots(A6)$$

当 $h_c > \frac{1}{2}(A - C)$ 时, 取 $h_c = \frac{1}{2}(A - C)$ 。

A2.2.6 作用在法兰盘状部分和锥颈部分交界处的剪力 Q 和弯矩 M_H 分别按式 (A7) 和式 (A8) 计算:

$$Q = - \left(\frac{g_0}{t} \right)^2 \cdot J_3 E_r \theta_B t^2 + \frac{J_4 p t^2}{g_0 / t} \quad \dots\dots\dots(A7)$$

$$M_H = - \left(\frac{g_0}{t} \right)^2 \cdot J_1 E_r \theta_B t^3 + \frac{J_2 p t^3}{g_0 / t} \quad \dots\dots\dots(A8)$$

$$J_1 = 0.951 C_1 \left[\frac{C_2 (1 + C_2 j)}{1 + C_1 j k} + C_3 j \right]$$

$$J_2 = 5.19 j^4 \left[\frac{C_1 C_2 (C_4 - k)}{1 + C_1 j k} + 1.1 C_5 \right]$$

$$J_3 = 1.901 \frac{C_1 (1 + C_2 j)}{1 + C_1 j k}$$

$$J_4 = 10.38 \frac{C_1 j^3 (C_4 - k)}{1 + C_1 j k}$$

式中: $C_1 \sim C_5$ ——系数, 由图 A2~A6 查得;

j ——系数, 由图 A7 查得;

k ——系数, 由图 A8 查得。

A2.2.7 法兰内径处的转角 θ_B 按式 (A9) 计算:

$$\theta_B = \frac{J_5 M_s + J_6 M_p}{E_r t^3} + \theta_A \quad \dots\dots\dots(A9)$$

$$J_5 = \frac{1.738}{B_1} \left(\frac{2h_D}{\beta} + \frac{h_c}{\alpha} + \pi B_1 r_B \right)$$

$$J_6 = J_5 - 1.738 \frac{h_D}{B_1 \beta}$$

式中: r_B ——形状系数, 由图 A9 查得。

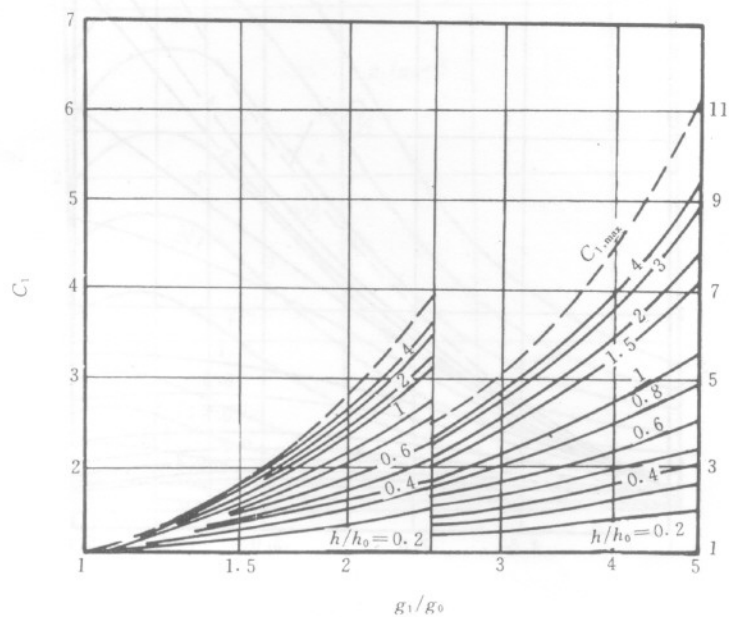


图 A2 系数 C_1

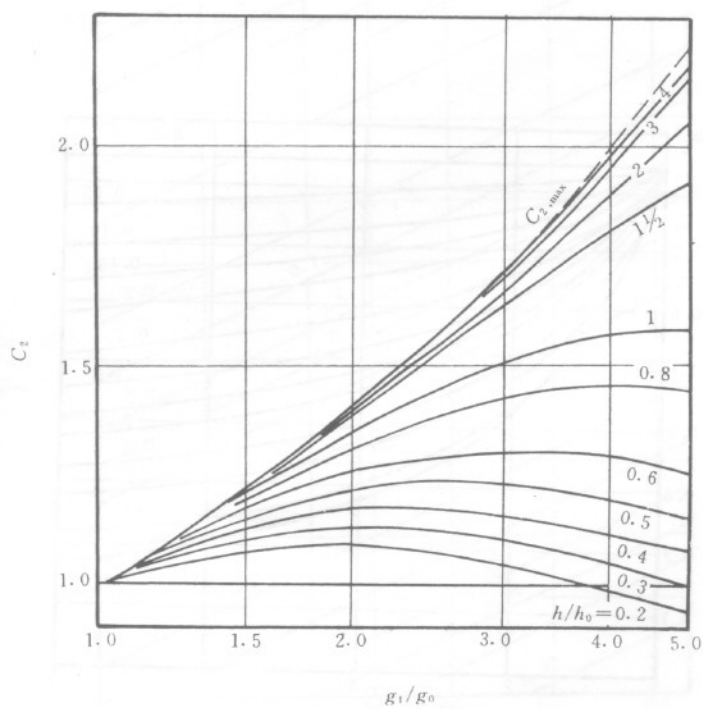
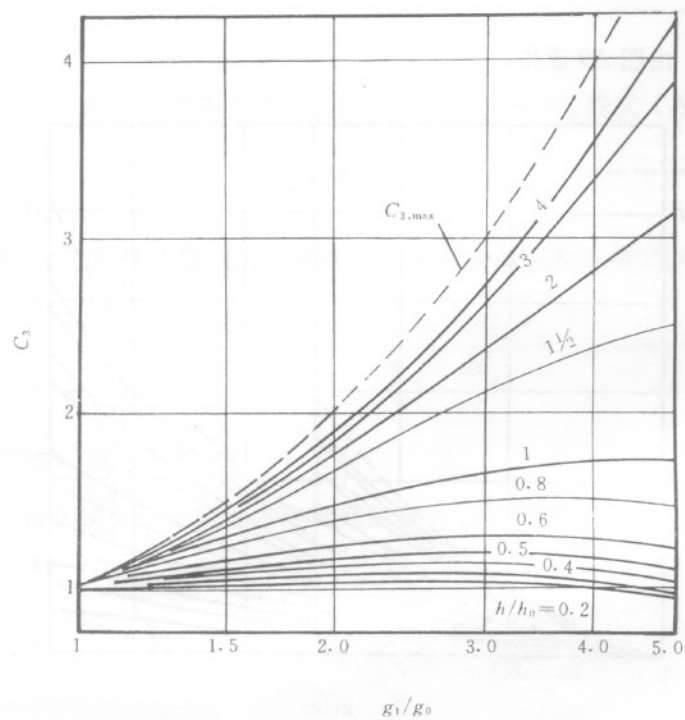
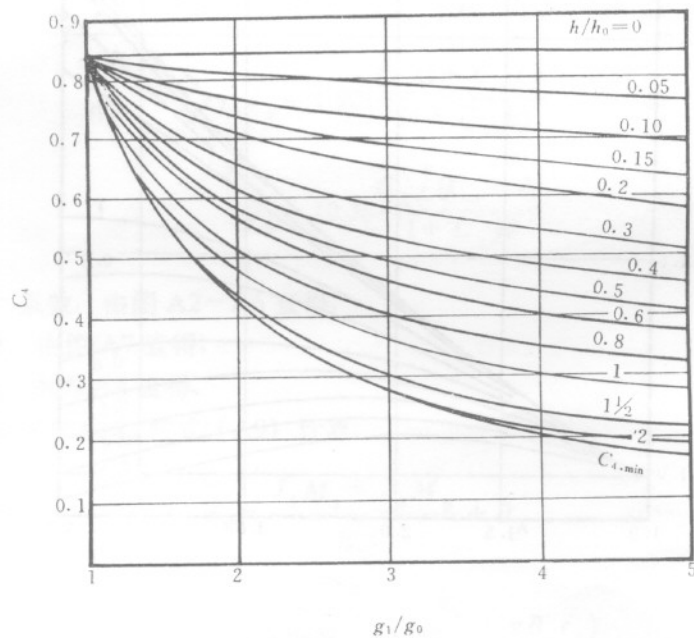


图 A3 系数 C_2

图 A4 系数 C_3 图 A5 系数 C_4

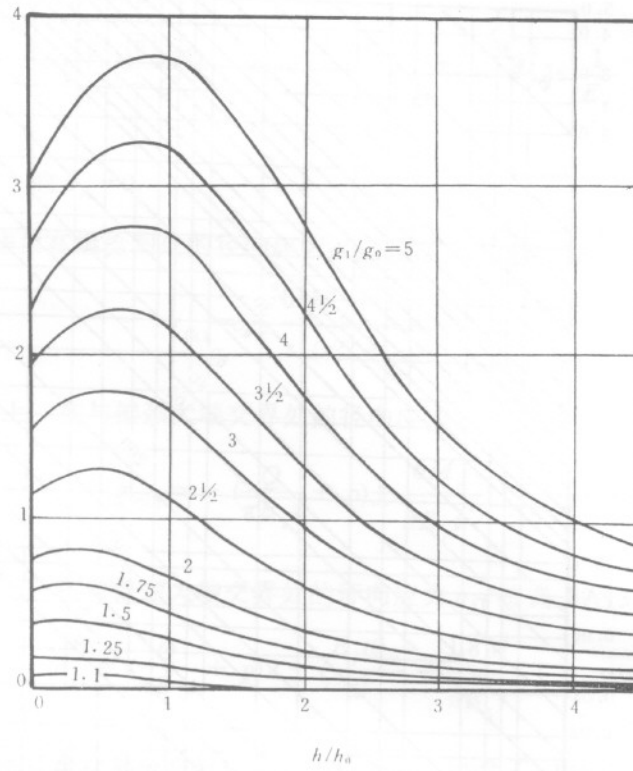


图 A6 系数 C_5

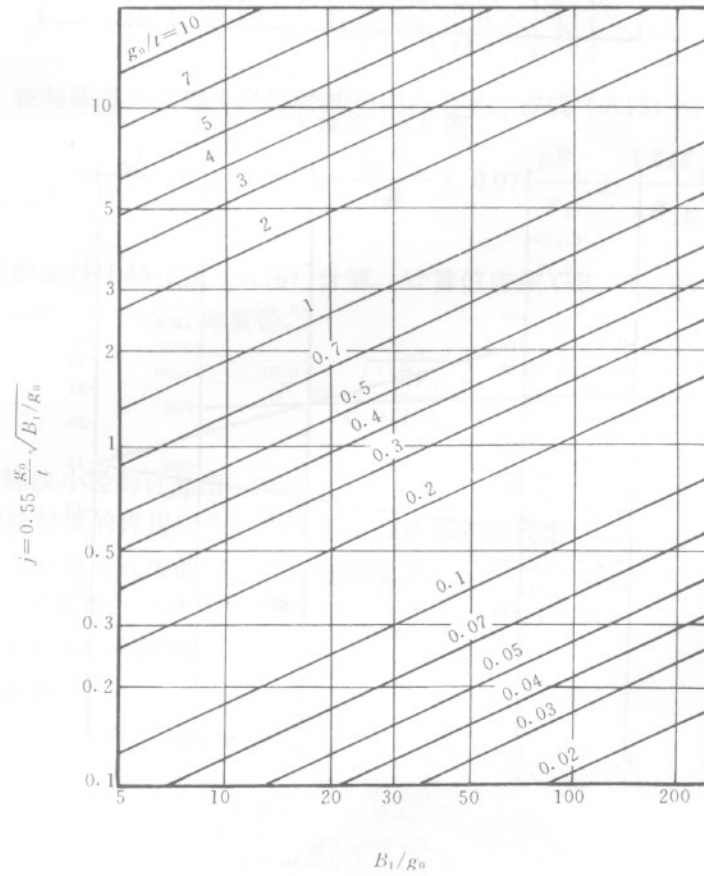
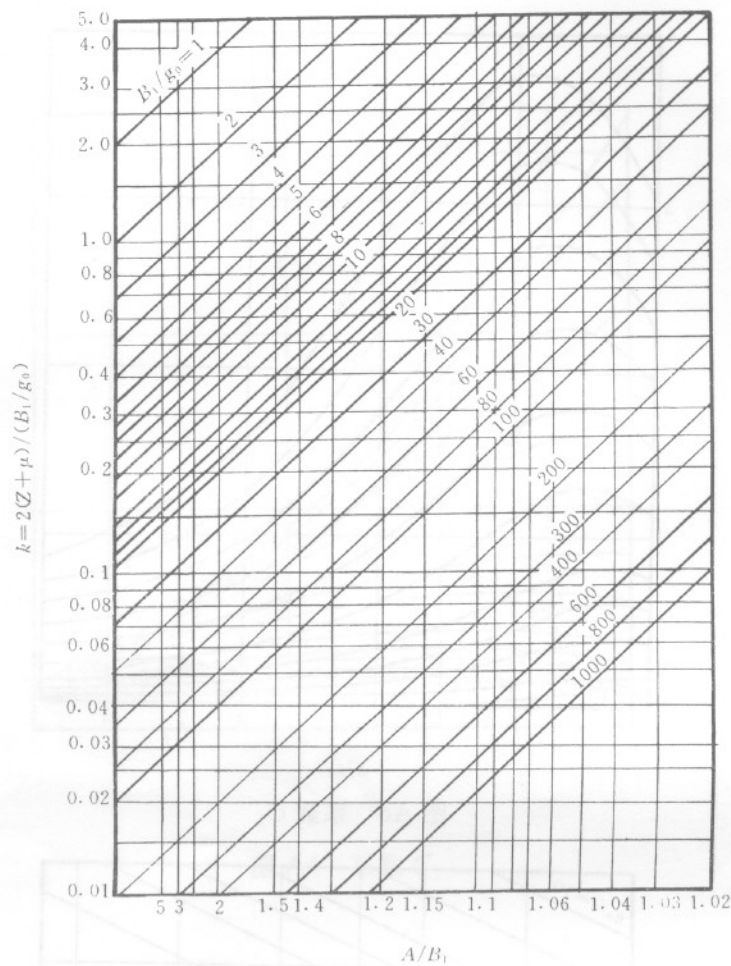
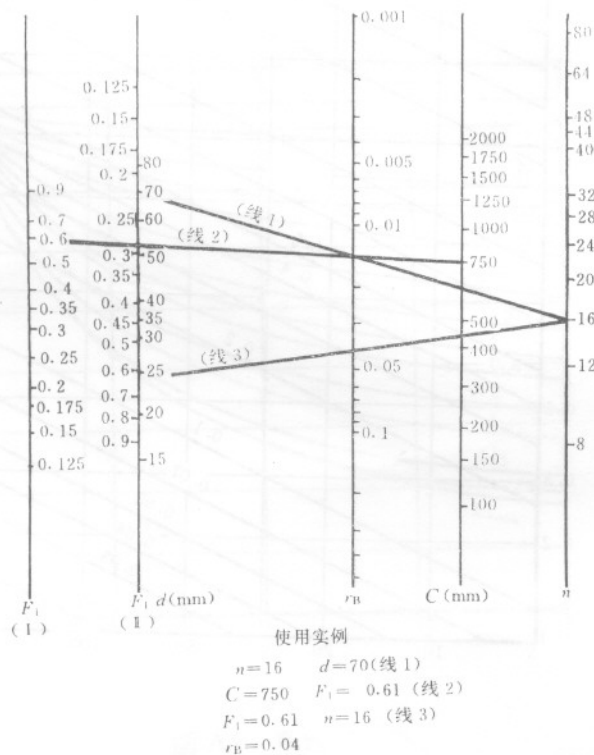


图 A7 系数 j

图 A8 系数 k 图 A9 形状系数 r_B

A2.2.8 法兰外径处的转角 θ_A 按式 (A10) 计算:

$$\theta_A = \left[\frac{r_E r_s [\sigma]_b L_3}{A - C} - 0.29 \frac{(A - C)(M_p + M_s)}{B_1 \alpha t^3} \right] \cdot \frac{1}{E_f} \quad \text{.....(A10)}$$

当 $h_c < \frac{1}{2}(A - C)$ 时, 取 $\theta_A = 0$ 。

A2.2.9 工作状态下, 法兰在螺栓圆处的径向应力 σ_{R1} 按式 (A11) 计算:

$$\sigma_{R1} = \pm \frac{6(M_p + M_s)}{t^2 (\pi C - nd)} \quad \text{.....(A11)}$$

A2.2.10 法兰盘状部分上, 在与锥颈大端交界处的径向应力 σ_{R2} 按式 (A12) 计算:

$$\sigma_{R2} = - \left(\frac{Q}{\pi B_1 t} + p \right) \pm \frac{6M_s}{\pi B_1 t^2} \quad \text{.....(A12)}$$

A2.2.11 法兰盘状部分上, 在与锥颈大端交界处的环向应力 σ_{T1} 按式 (A13) 计算:

$$\sigma_{T1} = \left(\frac{Q}{\pi B_1 t} + p \right) Z \pm \left(\frac{E_f t \theta_B}{B_1} + \frac{1.8M_s}{\pi B_1 t^2} \right) \quad \text{.....(A13)}$$

A2.2.12 锥颈上, 在与法兰盘状部分交界处的纵向应力 σ_{H1} 按式 (A14) 计算:

$$\sigma_{H1} = \frac{p B_1}{4 g_1} \pm \frac{6M_H}{\pi B_1 g_1^2} \quad \text{.....(A14)}$$

A2.2.13 锥颈上, 在与法兰盘状部分交界处的环向应力 σ_{H2} 按式 (A15) 计算:

$$\sigma_{H2} = \left(\frac{Q}{\pi B_1 t} + p \right) (Z + \mu) + \frac{E_f t \theta_B}{B} + 0.075 \frac{p B_1}{g_1} \pm \frac{1.8M_H}{\pi B_1 g_1^2} \quad \text{.....(A15)}$$

A2.2.14 法兰螺栓的螺纹小径按式 (A16) 计算, 计算值应按 GB/T 196 的规定圆整成标准普通螺纹的小径值, 并选定螺栓的螺纹公称直径。

$$d'_b = \sqrt{\frac{4W}{n\pi[\sigma]_b}} \quad \text{.....(A16)}$$

式中: d'_b ——螺栓螺纹小径的计算值, mm。

A2.2.15 法兰和螺栓材质的许用应力, 应符合 GB 150 的规定。

A2.2.16 法兰各应力计算公式中的“ $\pm$ ”符号规定如下:

法兰接触面一侧或锥颈的内侧用“+”号;

法兰背面一侧或锥颈的外侧用“-”号。

A2.2.17 法兰强度条件:

$$\begin{aligned} \sigma_{R1} &\leq [\sigma]_f \\ \sigma_{T1} &\leq [\sigma]_f \\ \sigma_H &\leq 1.5[\sigma]_f \end{aligned}$$

$$\frac{\sigma_H + \sigma_{rR}}{2} \leq [\sigma]_r$$

$$\frac{\sigma_H + \sigma_{rT}}{2} \leq [\sigma]_r$$

注: 在不同情况下, σ_{rR} 分别表示 σ_{rR1} 或 σ_{rR2} , σ_H 分别表示 σ_{H1} 或 σ_{H2} 。

A2.2.18 螺栓强度条件:

$$\sigma_b < [\sigma]_b$$

附录 B

(提示的附录)

II 型绝缘法兰的法兰强度计算示例

B1 已知条件

法兰公称通径 DN : 250mm;法兰公称压力 PN : 10MPa;

法兰材质: 20 号锻钢;

法兰工作温度: 小于 100℃;

螺栓材质: 35CrMoA。

B2 法兰锥颈部分的尺寸计算

B2.1 法兰材质的许用应力 $[\sigma]_f$ 按 GB 150 中对符合 JB 4726 要求的 20 号锻钢的规定, 取 $[\sigma]_f=110\text{MPa}$ 。B2.2 法兰锥颈部分小端厚度 g_0 的计算和小端直段部分长度 h_{00} 的确定

$$\begin{aligned}
 g_0 &= \frac{pD_H}{2[\sigma]_f + p} \\
 &= \frac{10 \times 273}{2 \times 110 + 10} \\
 &= 11.87(\text{mm})
 \end{aligned}$$

圆整后取 $g_0=13\text{mm}$ 。按 $h_{00}>1.5g_0$ 的要求, 取 $h_{00}=20\text{mm}$ 。B2.3 法兰锻颈部分大端的厚度 g_1 和锥颈高度 h 的确定按 $g_1>1.5g_0$ 的要求, 取 $g_1=20\text{mm}$ 。按锥颈斜度小于 $\frac{1}{3}$ 的要求, 取 $h=40\text{mm}$ 。B2.4 法兰锥颈大端到法兰盘形部分转角处的圆角半径 R 的确定按 $R>0.25g_0$ 且 $R>1.5\text{mm}$ 的要求, 取 $R=4\text{mm}$ 。

B3 法兰的强度计算

B3.1 法兰各部分尺寸假定如图 B1 所示。

B3.2 法兰的总弯矩 M_p 按式 (A2) 计算。

$$\begin{aligned}
 H_D &= 0.785B^2p \\
 &= 0.785 \times 247^2 \times 10 \\
 &= 478921 \text{ (N)} \\
 h_D &= 0.5[C - (B + g_1)] \\
 &= 0.5(C - B - g_1) \\
 &= 0.5 \times (383 - 247 - 20) \\
 &= 58 \text{ (mm)}
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 H_T &= H - H_D \\
 &= 0.785 G^2 p - H_D \\
 &= 0.785 \times 279^2 \times 10 - 478921 \\
 &= 132131 \text{ (N)}
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 h_T &= 0.25(2C - B - G) \\
 &= 0.25 \times (2 \times 383 - 247 - 279) \\
 &= 60 \text{ (mm)}
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 M_p &= H_D h_D + H_T h_T \\
 &= 478921 \times 58 + 132131 \times 60 \\
 &= 35705278 \text{ (N} \cdot \text{mm)}
 \end{aligned}$$

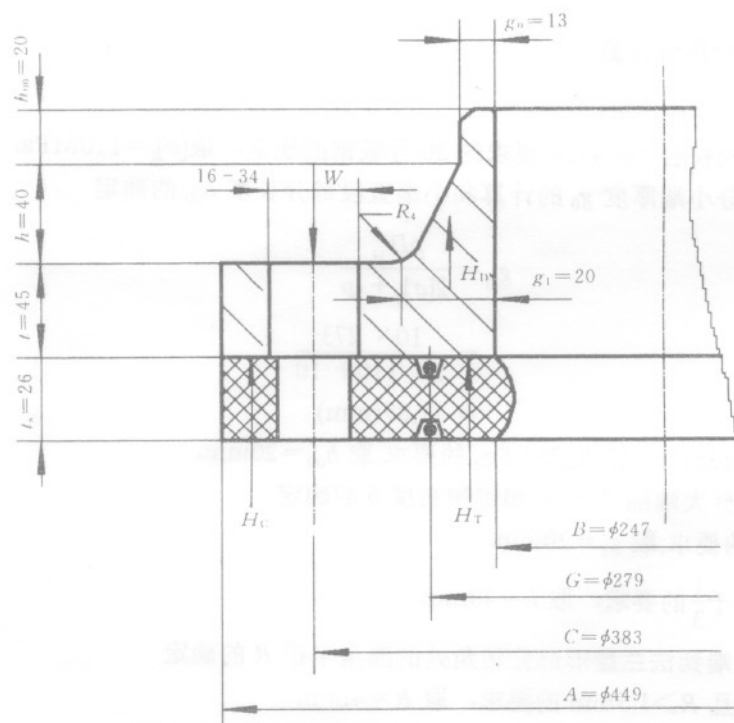


图 B1 法兰各部分尺寸假定图

B3.3 按式 (A1) 估算法兰厚度 t 。

$$\begin{aligned}
 t &= 1.78 \sqrt{\frac{M_p}{[\sigma]_r C}} \\
 &= 1.78 \sqrt{\frac{35705278}{110 \times 383}} \\
 &= 51.82 \text{ (mm)}
 \end{aligned}$$

取 $t = 45 \text{ mm}$ ，作法兰强度试算。

B3.4 按假定出的法兰尺寸求取一些中间数据。

有：

$$\frac{g_1}{g_0} = \frac{20}{13} = 1.54$$

$$\frac{h}{h_0} = \frac{h}{\sqrt{Bg_0}} = \frac{40}{\sqrt{247 \times 13}} = 0.706$$

可由图 A2~图 A6 查得:

$$C_1 = 1.48$$

$$C_2 = 1.18$$

$$C_3 = 1.21$$

$$C_4 = 0.57$$

$$C_5 = 0.36$$

由图 A7 和图 A8 查得:

$$\begin{aligned} j &= 0.55 \frac{g_0}{t} \sqrt{\frac{B_1}{g_0}} \\ &= 0.55 \times \frac{13}{45} \times \sqrt{\frac{260}{13}} \\ &= 0.711 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} k &= 2 \left(\frac{K^2 + 1}{K^2 - 1} + \mu \right) \frac{g_0}{B_1} \\ &= 2 \times \left(\frac{3.304 + 1}{3.304 - 1} + 0.3 \right) \times \frac{13}{260} \\ &= 0.217 \end{aligned}$$

由图 A9 查取 r_B , 步骤如下:

过图上 $n=16, d=34$ 两点连线 (线 1);

过线 1 与 r_B 轴的交点和 $C=383$ 两点连线 (线 2), 在 F_1 轴上读得 $F_1=0.7$;

将 $F_1=0.7$ 移到 d 轴的左侧;

将已移到 d 轴左侧的 $F_1=0.7$ 点与 $n=16$ 点连线 (线 3), 在线 3 与 r_B 轴的交点上读得 $r_B=0.046$ 。

计算得:

$$\begin{aligned} Z &= \frac{A^2 + B^2}{A^2 - B^2} \\ &= \frac{449^2 + 247^2}{449^2 - 247^2} \\ &= 1.868 \\ \alpha &= \frac{A + C}{2B} \\ &= \frac{449 + 383}{2 \times 247} \\ &= 1.684 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}\beta &= \frac{C + B_1}{2B_1} \\ &= \frac{383 + 260}{2 \times 260} \\ &= 1.2365\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}L_3 &= 2t + t_s + 2S + 2S_1 + M \\ &= 2 \times 45 + 26 + 2 \times 6 + 2 \times 5 + 27 \\ &= 165 \quad (\text{mm})\end{aligned}$$

$$r_E = \frac{E_f}{E_b} \approx 1$$

$$\text{取 } r_s = 1 - \frac{S_i}{[\sigma]_b} = 0.7,$$

$$\begin{aligned}J_1 &= 0.951C_1 \left[\frac{C_2(1 + C_2j)}{1 + C_1jk} + C_3j \right] \\ &= 0.951 \times 1.48 \times \left[\frac{1.18 \times (1 + 1.18 \times 0.711)}{1 + 1.48 \times 0.711 \times 0.217} + 1.21 \times 0.711 \right] \\ &= 3.698\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}J_2 &= 5.19j^4 \left[\frac{C_1C_2(C_4 - k)}{1 + C_1jk} + 1.1C_5 \right] \\ &= 5.19 \times 0.711^4 \times \left[\frac{1.48 \times 1.18 \times (0.57 - 0.217)}{1 + 1.48 \times 0.711 \times 0.217} + 1.1 \times 0.36 \right] \\ &= 1.1909\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}J_3 &= 1.901 \frac{C_1(1 + C_2j)}{j(1 + C_1jk)} \\ &= 1.901 \times \frac{1.48 \times (1 + 1.18 \times 0.711)}{0.711 \times (1 + 1.48 \times 0.711 \times 0.217)} \\ &= 5.942\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}J_4 &= 10.38 \frac{C_1j^3(C_4 - k)}{1 + C_1jk} \\ &= 10.38 \times \frac{1.48 \times 0.711^3 \times (0.57 - 0.217)}{1 + 1.48 \times 0.711 \times 0.217} \\ &= 1.587\end{aligned}$$

B3.5 试算 M_s 值:

B3.5.1 按式 (A6) 计算 h_c 。

先假定 $M_s = -0.32M_p$,

$$h_c = 0.929 \sqrt{\frac{\alpha t^3 L_3 r_E r_s [\sigma]_b B_1}{M_p + M_s}}$$

$$\begin{aligned}
&= 0.929 \sqrt{\frac{1.68 \times 45^3 \times 165 \times 1 \times 0.7 \times 205 \times 260}{0.68 \times 35705278}} \\
&= 183 \quad (\text{mm})
\end{aligned}$$

h_c 计算值大于 $\frac{A-C}{2}$, 取 $h_c = h_{c,\max} = \frac{A-C}{2} = 33\text{mm}$.

B3.5.2 计算 J_5 、 J_6 、 θ_B 诸值。

$$\begin{aligned}
J_5 &= \frac{1.738}{B_1} \left(\frac{2h_D}{\beta} + \frac{h_c}{\alpha} + \pi B_1 r_B \right) \\
&= \frac{1.738}{260} \times \left(\frac{2 \times 58}{1.2365} + \frac{33}{1.684} + \pi \times 216 \times 0.046 \right) \\
&= 1.009
\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
J_6 &= J_5 - 1.738 \frac{h_D}{B_1 \beta} \\
&= 1.009 - 1.738 \times \frac{58}{260 \times 1.2365} \\
&= 0.6954
\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
\theta_A &= \left[\frac{r_E r_s [\sigma]_b L_3}{A-C} - 0.29 \frac{(A-C)(M_p + M_s)}{B_1 \alpha t^3} \right] \cdot \frac{1}{E_r} \\
&= \left[\frac{1 \times 0.7 \times 205 \times 165}{449 - 383} - 0.29 \times \frac{(449 - 383) \times 0.68 M_p}{260 \times 1.684 \times 45^3} \right] \times \frac{1}{2.1 \times 10^5} \\
&= 0.001652 \quad (\text{rad})
\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
\theta_B &= \frac{J_5 M_s + J_6 M_p}{E_r t^3} + \theta_A \\
&= \frac{1.009 \times (-0.32 \times 35705278) + 0.6954 \times 35705278}{2.1 \times 10^5 \times 45^3} + 0.001652 \\
&= 0.002348 \quad (\text{rad})
\end{aligned}$$

B3.5.3 计算 M_H 、 Q 和 M_s , 并将计算得的 M_s 值与假定的 M_s 值相比较。

$$\begin{aligned}
M_H &= -g_0^2 J_1 E_r \theta_B t + J_2 p t^4 / g_0 \\
&= -(13)^2 \times 3.698 \times 2.1 \times 10^5 \times 0.002348 \times 45 + 1.1909 \times 10 \times 45^4 / 13 \\
&= -10110544 \quad (\text{N} \cdot \text{mm})
\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
Q &= -g_0^2 J_3 E_r \theta_B + J_4 p t^3 / g_0 \\
&= -(13)^2 \times 5.942 \times 2.1 \times 10^5 \times 0.002348 + 1.587 \times 10 \times 45^3 / 13 \\
&= -383907 \quad (\text{N})
\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
M_s &= M_H + \frac{1}{2} Q t \\
&= -10110544 + \frac{1}{2} \times (-383907) \times 45 \\
&= -18748452 \quad (\text{N} \cdot \text{mm})
\end{aligned}$$

这时,

$$\frac{M_s}{M_p} = \frac{-18748454}{35705278} = -0.525$$

与假定的 $M_s = -0.32M_p$ 相差太多, 重新假定 $M_s = -0.48M_p$ 再算。这时相应地有:

$$\begin{aligned}\theta_A &= \left[\frac{r_E r_s [\sigma]_b L_3}{A - C} - 0.29 \frac{(A - C)(M_s + M_p)}{B_1 \alpha t^3} \right] \cdot \frac{1}{E_r} \\ &= \left[\frac{1 \times 0.7 \times 205 \times 165}{449 - 383} - 0.29 \times \frac{(449 - 383) \times 0.52 \times 35705278}{260 \times 1.684 \times 45^3} \right] \times \frac{1}{2.1 \times 10^5} \\ &= 0.001666 \quad (\text{rad})\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}\theta_B &= \frac{J_5 M_s + J_6 M_p}{E_r t^3} + \theta_A \\ &= \frac{1.009 \times (-0.48 \times 35705278) + 0.6954 \times 35705278}{2.1 \times 10^5 \times 45^3} + 0.001666 \\ &= 0.002060 \quad (\text{rad})\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}M_H &= -g_0^2 J_1 E_r \theta_B t + J_2 p t^4 / g_0 \\ &= -13^2 \times 3.698 \times 2.1 \times 10^5 \times 0.002060 \times 45 + 1.1909 \times 10 \times 45^4 / 13 \\ &= -8409687 \quad (\text{N} \cdot \text{mm})\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}Q &= -g_0^2 J_3 E_r \theta_B + J_4 p t^3 / g_0 \\ &= -(13)^2 \times 5.942 \times 2.1 \times 10^5 \times 0.002060 + 1.587 \times 10 \times 45^3 / 13 \\ &= -323173 \quad (\text{N})\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}M_s &= M_H + \frac{1}{2} Q t \\ &= -8409687 + 0.5 \times (-323173) \times 45 \\ &= -15681080 \quad (\text{N} \cdot \text{mm})\end{aligned}$$

这时,

$$\begin{aligned}\frac{M_s}{M_p} &= \frac{-15681080}{35705278} \\ &= -0.4392\end{aligned}$$

与假定值 $M_s = -0.48M_p$ 相差仍太大, 应再重新假定 M_s 值进行试算。

再重新假定 $M_s = -0.46M_p$, 相应地有:

$$\begin{aligned}\theta_A &= \left[\frac{r_E r_s [\sigma]_b L_3}{A - C} - 0.29 \frac{(A - C)(M_s + M_p)}{B_1 \alpha t^3} \right] \cdot \frac{1}{E_r} \\ &= \left[\frac{1 \times 0.7 \times 205 \times 165}{449 - 383} - 0.29 \times \frac{(449 - 383) \times 0.54 \times 35705278}{260 \times 1.684 \times 45^3} \right] \times \frac{1}{2.1 \times 10^5} \\ &= 0.001664 \quad (\text{rad})\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}\theta_B &= \frac{J_5 M_s + J_6 M_p}{E_f t^3} + \theta_A \\ &= \frac{1.009 \times (-0.46 \times 35705278) + 0.6954 \times 35705278}{2.1 \times 10^5 \times 45^3} + 0.001664 \\ &= 0.002095 \quad (\text{rad})\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}M_H &= -g_0^2 J_1 E_f \theta_B t + J_2 p t^4 / g_0 \\ &= -13^2 \times 3.689 \times 2.1 \times 10^5 \times 0.002095 \times 45 + 1.1909 \times 10 \times 45^4 / 13 \\ &= -8616353 \quad (\text{N} \cdot \text{mm})\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}Q &= -g_0^2 J_3 E_f \theta_B + J_4 p t^3 / g_0 \\ &= -13^2 \times 5.942 \times 2.1 \times 10^5 \times 0.002095 + 1.587 \times 10 \times 45^3 / 13 \\ &= -330554 \quad (\text{N})\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}M_s &= M_H + \frac{1}{2} Q t \\ &= -8616353 + 0.5 \times (-330554) \times 45 \\ &= -16053818 \quad (\text{N} \cdot \text{mm})\end{aligned}$$

这时,

$$\begin{aligned}\frac{M_s}{M_p} &= \frac{-16053818}{35705278} \\ &= -0.4496\end{aligned}$$

与假定值 $M_s = -0.46 M_p$ 已比较接近。

再假定 $M_s = -0.45 M_p$, 相应地有:

$$\begin{aligned}\theta_A &= \left[\frac{r_E r_s [\sigma]_b L_3}{A - C} - 0.29 \frac{(A - C)(M_s + M_p)}{B_1 \alpha t^3} \right] \cdot \frac{1}{E_f} \\ &= \left[\frac{1 \times 0.7 \times 205 \times 165}{449 - 383} - 0.29 \times \frac{(449 - 383) \times 0.55 \times 35705278}{260 \times 1.684 \times 45^3} \right] \times \frac{1}{2.1 \times 10^5} \\ &= 0.001663 \quad (\text{rad})\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}\theta_B &= \frac{J_5 M_s + J_6 M_p}{E_f t^3} + \theta_A \\ &= \frac{1.009 \times (-0.45 \times 35705278) + 0.6954 \times 35705278}{2.1 \times 10^5 \times 45^3} + 0.001663 \\ &= 0.002113 \quad (\text{rad})\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}M_H &= -g_0^2 J_1 E_f \theta_B t + J_2 p t^4 / g_0 \\ &= -13^2 \times 3.689 \times 2.1 \times 10^5 \times 0.002113 \times 45 + 1.1909 \times 10 \times 45^4 / 13 \\ &= -8722659 \quad (\text{N} \cdot \text{mm})\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}Q &= -g_0^2 J_3 E_f \theta_B + J_4 p t^3 / g_0 \\ &= -13^2 \times 5.942 \times 2.1 \times 10^5 \times 0.002113 + 1.587 \times 10 \times 45^3 / 13\end{aligned}$$

这时,

$$\frac{M_s}{M_p} = \frac{-18748454}{35705278} = -0.525$$

与假定的 $M_s = -0.32M_p$ 相差太多, 重新假定 $M_s = -0.48M_p$ 再算。这时相应:

$$\begin{aligned}\theta_A &= \left[\frac{r_E r_s [\sigma]_b L_3}{A - C} - 0.29 \frac{(A - C)(M_s + M_p)}{B_1 \alpha t^3} \right] \cdot \frac{1}{E_r} \\ &= \left[\frac{1 \times 0.7 \times 205 \times 165}{449 - 383} - 0.29 \times \frac{(449 - 383) \times 0.52 \times 35705278}{260 \times 1.684 \times 45^3} \right] \times \frac{1}{2.1 \times 10^5} \\ &= 0.001666 \quad (\text{rad})\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}\theta_B &= \frac{J_5 M_s + J_6 M_p}{E_r t^3} + \theta_A \\ &= \frac{1.009 \times (-0.48 \times 35705278) + 0.6954 \times 35705278}{2.1 \times 10^5 \times 45^3} + 0.001666 \\ &= 0.002060 \quad (\text{rad})\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}M_H &= -g_0^2 J_1 E_r \theta_B t + J_2 p t^4 / g_0 \\ &= -13^2 \times 3.698 \times 2.1 \times 10^5 \times 0.002060 \times 45 + 1.1909 \times 10 \times 45^4 / 13 \\ &= -8409687 \quad (\text{N} \cdot \text{mm})\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}Q &= -g_0^2 J_3 E_r \theta_B + J_4 p t^3 / g_0 \\ &= -(13)^2 \times 5.942 \times 2.1 \times 10^5 \times 0.002060 + 1.587 \times 10 \times 45^3 / 13 \\ &= -323173 \quad (\text{N})\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}M_s &= M_H + \frac{1}{2} Q t \\ &= -8409687 + 0.5 \times (-323173) \times 45 \\ &= -15681080 \quad (\text{N} \cdot \text{mm})\end{aligned}$$

这时,

$$\begin{aligned}\frac{M_s}{M_p} &= \frac{-15681080}{35705278} \\ &= -0.4392\end{aligned}$$

与假定值 $M_s = -0.48M_p$ 相差仍太大, 应再重新假定 M_s 值进行试算。

再重新假定 $M_s = -0.46M_p$, 相应:

$$\begin{aligned}\theta_A &= \left[\frac{r_E r_s [\sigma]_b L_3}{A - C} - 0.29 \frac{(A - C)(M_s + M_p)}{B_1 \alpha t^3} \right] \cdot \frac{1}{E_r} \\ &= \left[\frac{1 \times 0.7 \times 205 \times 165}{449 - 383} - 0.29 \times \frac{(449 - 383) \times 0.54 \times 35705278}{260 \times 1.684 \times 45^3} \right] \times \frac{1}{2.1 \times 10^5} \\ &= 0.001664 \quad (\text{rad})\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}\theta_B &= \frac{J_5 M_s + J_6 M_p}{E_f t^3} + \theta_A \\ &= \frac{1.009 \times (-0.46 \times 35705278) + 0.6954 \times 35705278}{2.1 \times 10^5 \times 45^3} + 0.001664 \\ &= 0.002095 \quad (\text{rad})\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}M_H &= -g_0^2 J_1 E_f \theta_B t + J_2 p t^4 / g_0 \\ &= -13^2 \times 3.689 \times 2.1 \times 10^5 \times 0.002095 \times 45 + 1.1909 \times 10 \times 45^4 / 13 \\ &= -8616353 \quad (\text{N} \cdot \text{mm})\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}Q &= -g_0^2 J_3 E_f \theta_B + J_4 p t^3 / g_0 \\ &= -13^2 \times 5.942 \times 2.1 \times 10^5 \times 0.002095 + 1.587 \times 10 \times 45^3 / 13 \\ &= -330554 \quad (\text{N})\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}M_s &= M_H + \frac{1}{2} Q t \\ &= -8616353 + 0.5 \times (-330554) \times 45 \\ &= -16053818 \quad (\text{N} \cdot \text{mm})\end{aligned}$$

这时,

$$\begin{aligned}\frac{M_s}{M_p} &= \frac{-16053818}{35705278} \\ &= -0.4496\end{aligned}$$

与假定值 $M_s = -0.46 M_p$ 已比较接近。

再假定 $M_s = -0.45 M_p$, 相应有:

$$\begin{aligned}\theta_A &= \left[\frac{r_E r_s [\sigma] L_3}{A - C} - 0.29 \frac{(A - C)(M_s + M_p)}{B_1 \alpha t^3} \right] \cdot \frac{1}{E_f} \\ &= \left[\frac{1 \times 0.7 \times 205 \times 165}{449 - 383} - 0.29 \times \frac{(449 - 383) \times 0.55 \times 35705278}{260 \times 1.684 \times 45^3} \right] \times \frac{1}{2.1 \times 10^5} \\ &= 0.001663 \quad (\text{rad})\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}\theta_B &= \frac{J_5 M_s + J_6 M_p}{E_f t^3} + \theta_A \\ &= \frac{1.009 \times (-0.45 \times 35705278) + 0.6954 \times 35705278}{2.1 \times 10^5 \times 45^3} + 0.001663 \\ &= 0.002113 \quad (\text{rad})\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}M_H &= -g_0^2 J_1 E_f \theta_B t + J_2 p t^4 / g_0 \\ &= -13^2 \times 3.689 \times 2.1 \times 10^5 \times 0.002113 \times 45 + 1.1909 \times 10 \times 45^4 / 13 \\ &= -8722659 \quad (\text{N} \cdot \text{mm})\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}Q &= -g_0^2 J_3 E_f \theta_B + J_4 p t^3 / g_0 \\ &= -13^2 \times 5.942 \times 2.1 \times 10^5 \times 0.002113 + 1.587 \times 10 \times 45^3 / 13\end{aligned}$$

$$= -334350 \text{ (N)}$$

$$\begin{aligned} M_s &= M_H + \frac{1}{2} Ql \\ &= -8722659 + 0.5 \times (-334350) \times 45 \\ &= -16245534 \text{ (N} \cdot \text{mm)} \end{aligned}$$

这时,

$$\begin{aligned} \frac{M_s}{M_p} &= \frac{-16245534}{35705278} \\ &= -0.455 \end{aligned}$$

与假定值 $M_s = -0.45M_p$ 已足够接近 ($\frac{0.45 - 0.455}{0.45} \times 100\% = -1.11\%$)。

计算结果:

$$M_s = -16245534 \text{ N} \cdot \text{mm}$$

$$M_H = -8722659 \text{ N} \cdot \text{mm}$$

$$Q = -334350 \text{ N}$$

B3.6 法兰各部分的应力计算:

B3.6.1 法兰盘状部分, 在螺栓圆处的径向应力 σ_{r1} 按式 (A11) 计算。

$$\begin{aligned} \sigma_{r1} &= \pm \frac{6(M_p + M_s)}{t^2(\pi C - nd)} \\ &= \pm \frac{6 \times (35705278 - 16245534)}{45^2 \times (\pi \times 383 - 16 \times 34)} \\ &= \pm 87.49 \text{ (MPa)} \end{aligned}$$

B3.6.2 法兰盘状部分上, 在与锥颈大端交界处的径向应力 σ_{r2} 按式 (A12) 计算。

$$\begin{aligned} \sigma_{r2} &= -\left(\frac{Q}{\pi B_1 t} + p\right) \pm \frac{6M_s}{\pi B_1 t^2} \\ &= -\left(\frac{-334350}{\pi \times 260 \times 45} + 10\right) \pm \frac{6 \times (-16245534)}{\pi \times 260 \times 45^2} \\ &= 58 \text{ (MPa)} \end{aligned}$$

B3.6.3 法兰盘状部分上, 在与锥颈大端交界处的环向应力 σ_{π} 按式 (A13) 计算。

$$\begin{aligned} \sigma_{\pi} &= \left(\frac{Q}{\pi B_1 t} + p\right) Z \pm \left(\frac{E_r t \theta_B}{B_1} + \frac{1.8M_s}{\pi B_1 t^2}\right) \\ &= \left(\frac{-334350}{\pi \times 260 \times 45} + 10\right) \times 1.868 \pm \left(\frac{2.1 \times 10^5 \times 45 \times 0.002113}{260} + \frac{1.8 \times (-16245534)}{\pi \times 260 \times 45^2}\right) \\ &= 60.8 \text{ (MPa)} \end{aligned}$$

B3.6.4 锥颈上, 在与法兰盘状部分交界处的纵向应力 σ_{H1} 按式 (A14) 计算。

$$\begin{aligned}
 \sigma_{H1} &= \frac{pB_1}{4g_1} \pm \frac{6M_H}{\pi B_1 g_1^2} \\
 &= \frac{10 \times 260}{4 \times 20} \pm \frac{6 \times (-8722659)}{\pi \times 260 \times 45^2} \\
 &= 64.14 \text{ (MPa)}
 \end{aligned}$$

B3.6.5 锥颈上, 在与法兰盘状部分交界处的环向应力 σ_{H2} 按式 (A15) 计算。

$$\begin{aligned}
 \sigma_{H2} &= \left(\frac{Q}{\pi B_1 t} + p \right) (Z + \mu) + \frac{Et\theta_B}{B} + 0.075 \frac{pB_1}{g_1} \pm \frac{1.8M_H}{\pi B_1 g_1^2} \\
 &= \left(\frac{-334350}{\pi \times 260 \times 45} + 10 \right) \times (1.868 + 0.3) + \frac{2.1 \times 10^5 \times 45 \times 0.002113}{247} \\
 &\quad + 0.075 \times \frac{10 \times 260}{20} \pm \frac{1.8 \times (-8722659)}{\pi \times 260 \times 20^2} \\
 &= 140.59 \text{ (MPa)}
 \end{aligned}$$

B3.7 法兰强度条件:

有:

$$\begin{aligned}
 \sigma_{R1} &= 87.49 \text{ MPa} < [\sigma]_f \\
 \sigma_{R2} &= 58 \text{ MPa} < [\sigma]_f \\
 \sigma_{IT} &= 60.8 \text{ MPa} < [\sigma]_f \\
 \sigma_{H1} &= 64.14 \text{ MPa} < 1.5[\sigma]_f \\
 \sigma_{H2} &= 140.59 \text{ MPa} < 1.5[\sigma]_f
 \end{aligned}$$

且:

$$\begin{aligned}
 \frac{\sigma_H + \sigma_{R1}}{2} &= 99.3 \text{ MPa} < [\sigma]_f \\
 \frac{\sigma_H + \sigma_{IT}}{2} &= 100.7 \text{ MPa} < [\sigma]_f
 \end{aligned}$$

法兰强度条件满足。

B3.8 法兰螺栓的计算:

B3.8.1 工作状态下, 法兰接触圆上的接触反力 H_c 按式 (A4) 计算。

$$\begin{aligned}
 H_c &= \frac{M_p + M_s}{h_c} \\
 &= \frac{35705278 + (-16245534)}{33} \\
 &= 589889 \text{ (N)}
 \end{aligned}$$

B3.8.2 工作状态下螺栓的总载荷 W 按式 (A3) 计算。

$$\begin{aligned}
 W &= H + H_c \\
 &= 0.785 G^2 P + H_c
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 &= 0.785 \times 279^2 \times 10 + 589889 \\
 &= 1204940 \quad (\text{N})
 \end{aligned}$$

B3.8.3 法兰螺栓的螺纹小径 d'_b 按式 (A16) 计算。

$$\begin{aligned}
 d'_b &= \sqrt{\frac{4W}{n\pi[\sigma]_b}} \\
 &= \sqrt{\frac{4 \times 1204940}{16\pi \times 205}} \\
 &= 22.386 \quad (\text{mm})
 \end{aligned}$$

B3.8.4 螺栓螺纹基本尺寸的选定: 从 GB/T 196 中查得, 相应于螺纹小径计算值 22.386mm 的螺纹基本尺寸为 M27×3。

螺纹 M27×3 的根部直径为:

$$\begin{aligned}
 d_{\text{根}} &= d - 2 \times \frac{5}{8} H \\
 &= 27 - 2 \times \frac{5}{8} \times 0.866 \times 3 \\
 &= 23.75256 \quad (\text{mm})
 \end{aligned}$$

现 $d_{\text{根}} > d'_b$ 。