

## § 2 螺纹联接Screw joints



### § 2-1 联接类型和螺纹联接简介

Types of the joints and screw joints

### § 2-2 螺纹联接的拧紧和防松

Tightening and preventing unscrewing of screw joints

### § 2-3 螺纹组联接的受力分析

Forces in group of screw joints

### § 2-4 单个螺栓强度计算

Strength calculations for a bolt

### § 2-5 提高螺栓联接强度的措施

Measures of increasing joint strength of bolts

### 螺纹联接设计实例

Design example of screw joint

物理与电气工程学院

1

## § 2-1 联接类型和螺纹联接简介

Types of the joints and screw joints



### ❖ 联接类型

Types of the joints

### ❖ 螺纹联接简介和应用

Screw joints and their

applications

物理与电气工程学院

2



## 一、联接类型 Types of the joints

联接，通常指静联接，其分类如下：



其中，键联接、花键联接、过盈联接、弹性环联接、销联接等又称为轴毂联接。

Shaft-hub joints

3



## 二、螺纹联接简介和应用

screw joints and their application

螺纹联接通常有以下几种形式：

- ❖ 螺栓联接 Bolt joints
- ❖ 双头螺柱联接 Stud joints
- ❖ 螺钉联接 Cap screw joints
- ❖ 紧定螺钉联接 Setscrew joints





## § 2-2 螺纹联接的拧紧和防松

Tightening and preventing unscrewing of screw joints

### ❖ 螺纹联接的拧紧

Tightening of screw joints

### ❖ 螺纹联接的防松

Preventing unscrewing of screw joints

物理与电气工程学院

5

## 一、螺纹联接的拧紧

Tightening of screw joints



### 1. 拧紧的目的

The purpose of tightening

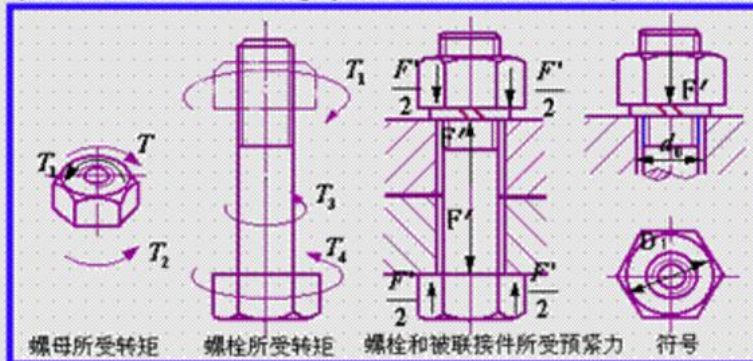
物理与电气工程学院

6



## 2. 螺栓拧紧过程分析

如下图，螺母拧紧时，需要克服螺纹副的螺纹力矩 $T_1$ 和螺母的承压面力矩 $T_2$ ，因此拧紧力矩 $T=T_1+T_2$ ，又因为螺纹力矩 $T_1$ 与头部的承压面力矩 $T_3$ 和夹持力矩 $T_4$ 相平衡，即： $T_1=T_3+T_4$



在 $T_1$ 的影响下，螺纹副间有圆周力 $F_t$ 的作用，螺栓受到预紧力 $F'$ ，被联接件受到预紧压力 $F'$ 。Preload

则  $T = T_1 + T_2 = k_t F' d$   $k_t$ —拧紧力矩系数 Tightening torque factor

物理与电气工程学院

## 二、螺纹联接的防松

Preventing unscrewing of



### 1. 防松的必要性 Necessity of preventing unscrewing

### 2. 防松的根本问题

Basic problem of preventing unscrewing

防松的根本问题在于防止螺纹副的相对转动。

Prevent relative rotation of the thread pair

### 3. 防松的方法 Methods of preventing unscrewing





## § 2-3 螺栓组联接的受力分析

### Forces in group of bolt joints

#### ➤ 任务和假设 Task and assumptions

#### ➤ 受拉螺栓组联接受力分析

Forces in group of bolts subject to tensile strain

#### ➤ 受剪螺栓组联接受力分析

Forces in group of bolts subject to shear strain



### 一、任务和假设 Task and assumptions

Task: find bolt subject to the maximum load among the group of bolts and determine this load.

螺栓组受力分析的任务：求出联接中受力最大的螺栓及其载荷



## Basic assumptions基本假设：

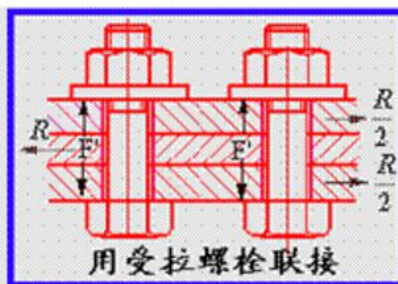
1. Parts jointed are sufficiently rigid  
被联接件是刚体。
2. Deformation of the bolts is in elastic range  
螺栓的变形在弹性范围内。
3. Every bolt has the same tensile and shear rigidity  
各螺栓的拉伸刚度以及剪切刚度相同  
(材料、直径和长度均相同)
4. Every bolt bears the same preload  
各螺栓预紧力相同

物理与电气工程学院

11

## 二、 Forces in group of bolts subject to tensile strain 受拉螺栓组联接受力分析

1. The group of tensile bolts bears transverse forces  
受拉螺栓组联接承受横向力



Transverse forces are withstood by friction of the abutting surfaces

当用受拉螺栓连接时，螺栓只受预紧力 $F'$ ，靠接合面间的摩擦来传递载荷，则：

$$\mu_s F' m z = k_f R \quad \text{或} \quad F' = \frac{k_f R}{\mu_s m z}$$

$\mu_s$ —接合面摩擦系数  $z$ —螺栓数目

$m$ —接合面数目  $k_f$ —可靠系数

Friction

Number of contact surface of bolts

safety factor

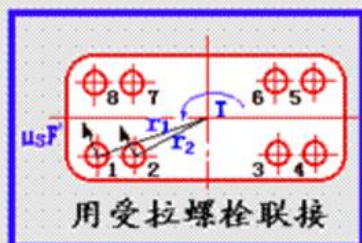
12

物理与电气工程学院





## 2. The group of tensile bolts bears rotating torque 受拉螺栓组联接承受旋转力矩



当用受拉螺栓联接时，假设螺栓联接接合面的摩擦力相等并集中在螺栓中心处，与螺栓中心至底板旋转中心的连线垂直，则由底板静力平衡条件得：

By force balance condition of the plate:

$$\mu_s F' r_1 + \mu_s F' r_2 + \dots + \mu_s F' r_z = k_f T$$

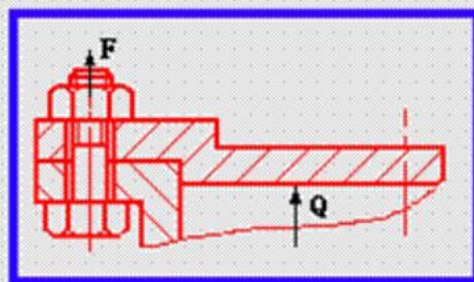
$$\text{或 } F' = \frac{k_f T}{\mu_s (r_1 + r_2 + \dots + r_z)}$$

式中  $F'$  : 螺栓需要的预紧力

Preload



## 3. Group of tensile bolts bears axial 受拉螺栓组联接承受轴向力



Operating load

受轴向力  $Q$  的螺栓组联接：

设其工作载荷  $F$ ，螺栓数目  $z$ ，

则： $F = Q/z$ ，总拉力  $F_0 = F' + F$  Total tensile force

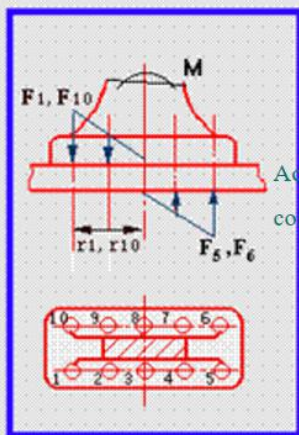
强度校核公式： $\frac{1.3F_0}{\pi d_1^2} \leq [\sigma]$

Strength check formulas 物理与电气工程学院

#### 4. Group of tensile bolts bears inverting moment

##### 受拉螺栓组联接承受翻转力矩

Taking into account the condition of static equilibrium



如左图所示，在M的作用下，底板的受力情况，根据底板的静力平衡条件得： $F_1 r_1 + F_2 r_2 + \dots + F_z r_z = M$

根据螺栓变形协调条件及螺栓拉伸刚度相同，得： $\frac{F_1}{r_1} = \frac{F_2}{r_2} = \dots = \frac{F_z}{r_z}$

According to the condition of coinciding elastic displacements

最远的1, 10两个螺栓受力最大，为：

$$F_1 = F_{10} = \frac{Mr_1}{r_1^2 + r_2^2 + \dots + r_{10}^2}$$

The bolt 1 and bolt 10 located at the biggest distance from the central axis bear the maximum force :

物理与电气工程学院

15

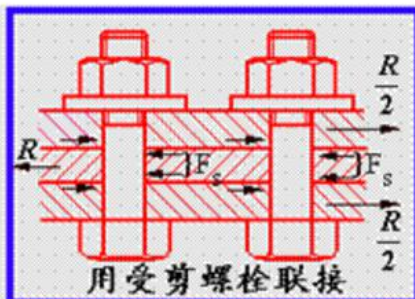
#### 三、Forces in the group of shear bolts

Loads are transmitted by sheared bolts and pressing each other between bolts and parts jointed

受剪螺栓组联接受力分析 受剪螺栓组联接是靠螺栓受剪以及被联接件和螺栓之间的相互挤压传递载荷。

##### 1. Group of shear bolts bears transverse force

受剪螺栓组联接承受横向力



用受剪螺栓联接时，靠螺栓受剪和螺栓与被联接件相互挤压时的变形来传递载荷，假设螺栓所受的工作载荷均为 $F_s$ （事实上，两边螺栓所受剪力比中间螺栓大）。

根据板的静力平衡条件得：

$$zF_s = R \quad \text{或} \quad F_s = R/Z$$

物理与电气工程学院

By force balance condition of the plate :

16

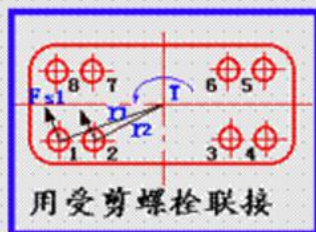




## 2. Group of shear bolts bears rotating torque

受剪螺栓组联接承受旋转力矩

By force balance condition:



用受剪螺栓联接

用受剪螺栓联接时,各螺栓的工作载荷与其中心至底板旋转中心的连线垂直。忽略联接中的预紧力和摩擦力,根据板的静力平衡条件得:

$$F_{d1}r_1 + F_{d2}r_2 + \dots + F_{dn}r_n = T$$

根据螺栓变形协调条件,螺栓的剪切变形量与其中心至底板中心的距离成正比,因螺栓剪切刚度相同,各螺栓的剪力与该距离成正比,即:

$$\frac{F_{d1}}{r_1} = \frac{F_{d2}}{r_2} = \dots = \frac{F_{dn}}{r_n} \quad \text{则有:}$$

$$F_{d1} = F_{d4} = F_{d5} = F_{d8} = \frac{T r_1}{r_1^2 + r_2^2 + \dots + r_n^2}$$

According to the condition of coinciding elastic displacements, the force is proportional to the distance from where the screws are located to the central of plate.

如左图其中1, 4, 5, 8四个螺栓受力最大。

Bolts 1, 4, 5 and 8 bear the maximum force

物理与电气工程学院

17

## § 2-4 bolt

## Strength calculations for single bolt 单个螺栓强度计算



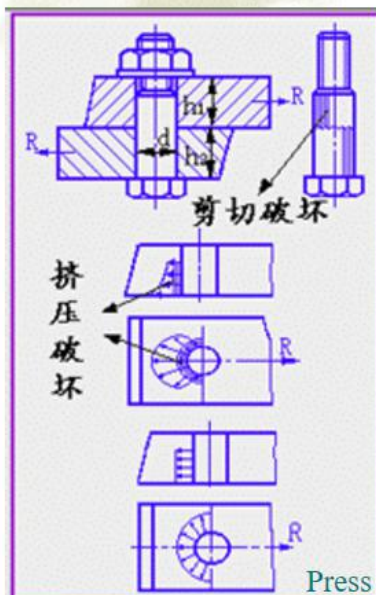
- 受剪螺栓 Shear bolts
- 受拉螺栓 Tensile bolts

物理与电气工程学院

18



## 一、Shear bolts受剪螺栓



工作时螺栓在联接接合面处受剪, 并与被联接件孔壁相互挤压。螺栓的预紧力和摩擦力忽略不计, 螺栓所受剪力为  $F_s$ , 则强度条件为:

$$\text{Strength condition } \frac{4F_s}{\pi d^2 m} \leq [\tau] \quad \text{Shear force}$$

螺栓表面的挤压应力如左图, 它与表面加工杆孔配合及零件变形有关, 通常计算时按均匀规律分布, 则联接强度条件为:

$$F_s \leq dh[\sigma]_p$$

因为靠摩擦力传力, 在冲击震动和变载荷下不够可靠, 为避免上述缺点, 除受剪螺栓外, 还常用各种抗剪件来传递横向力, 如销和衬套。

Press stresses are considered as uniform distribution and strength condition is:

19



## 二、Tensile bolts受拉螺栓

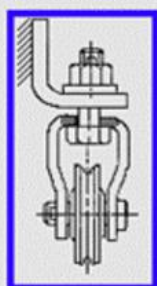
### 1. Loose bolts 松螺栓

Loose bolts can only bear static load and

the bolts are under the load only during

operation. 这种联接只能承受静载荷, 螺栓

在工作时才受拉力  $F$ 。



如左图所示, 为起重滑轮螺栓, 其螺纹部分的强度条件为:

Strength condition:

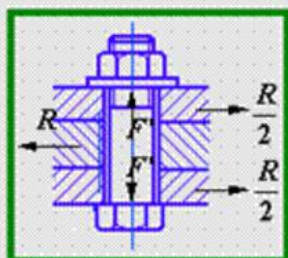
$$\frac{4F}{\pi d_t^2} \leq [\sigma]$$





## 2. Tight bolts only subject to preload

只受预紧力的紧螺栓



左图为靠摩擦传递横向力R的受拉螺栓联接，因只受预紧力F'作用，所以所需螺纹力矩：

$$T_1 = F' \operatorname{tg}(\psi + \rho_v) \frac{d_2}{2} \quad \text{Thread torque}$$

由此得相应的拉应力： $\sigma = 4F' / (\pi d_c^2)$  Tensile stress

$$\text{切应力: } \tau_T = 16F' \operatorname{tg}(\psi + \rho_v) \frac{d_2}{2} / (\pi d_c^3) \quad \text{shear stress}$$

将 $d_c$ 、 $d_2$ 、 $\psi$ 的平均值代入上式，并取

$$\rho_v = \operatorname{arctg}(0.15)$$

得螺栓部分的强度条件为：Strength condition

$$\sqrt{\sigma^2 + 3\tau_T^2} \approx 1.3\sigma \leq [\sigma]$$

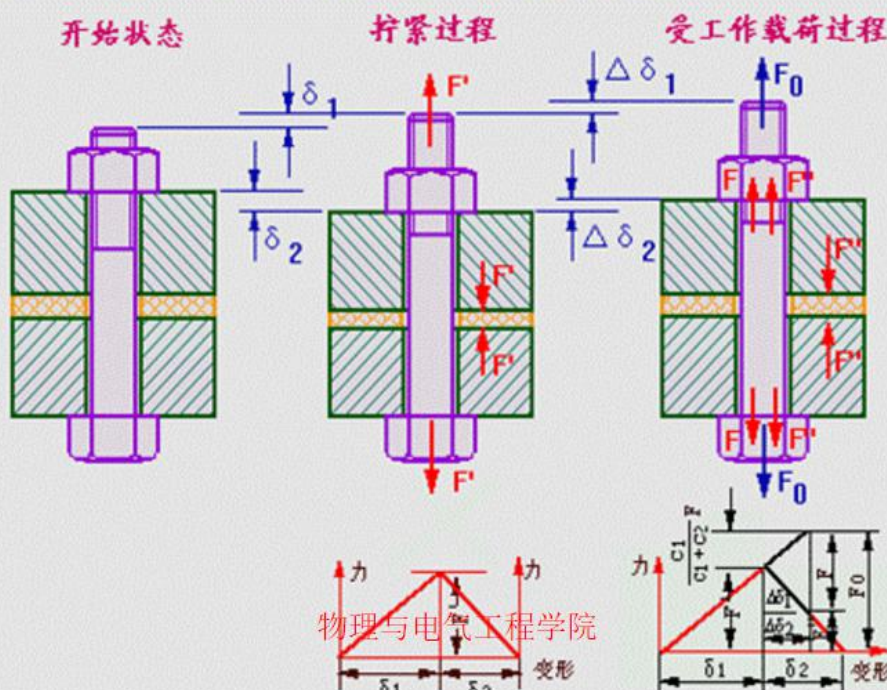
$$\text{或: } \frac{4 \times 1.3F'}{\pi d_c^2} \leq [\sigma]$$

物理与电气工程学院

21

## 3. Tight bolts subject to preload and operating load

预紧力和工作载荷联合作用的紧螺栓



物理与电气工程学院

22

According to graph of a relation between force and deformation we know that the relations among total tensile force  $F_0$ , preload  $F'$ , remaining preload  $F''$  and operating force  $F$  are given as follow:



由螺栓的力—变形关系图，可知螺栓所受的总拉力 $F_0$ 、预紧力 $F'$ 、残余预紧力 $F''$  和工作拉力 $F$ 之间的关系如下：

$$F_0 = F + F''$$

$$F_0 = F' + \frac{C_1}{C_1 + C_2} F$$

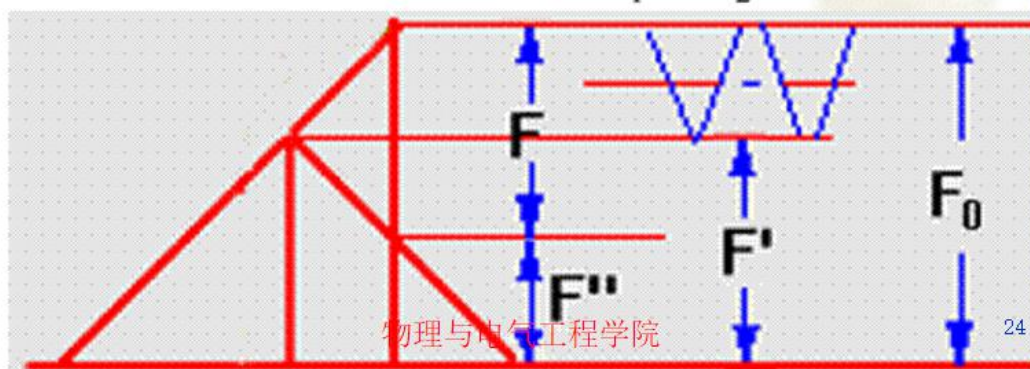
$$F' = F'' + \frac{C_2}{C_1 + C_2} F$$

When  $F$  varies,  $F_0$  varies along with it. The changing amplitude of the total tensile force is called as tensile force amplitude



当工作拉力 $F$ 为动载荷（ $0 \sim F \sim 0 \sim F$ ）时，螺栓所受总拉力是变化的（ $F' \sim F_0 \sim F' \sim F_0$ ）。拉力变化的幅度称为拉力幅 $F_a$ ，由图可知 $F_a$ 计算公式如下

$$F_a = \frac{F_0 - F'}{2} = \frac{1}{2} \frac{C_1}{C_1 + C_2} F$$





Strength condition of tensile bolts subject to both preload and operating load:



预紧力和工作载荷联合作用的紧螺栓强度条件为:

$$\sigma_v = \frac{1.3 \times 4F_0}{\pi d_c^2} \leq [\sigma] \quad \begin{array}{l} \text{(考虑工作状态下的补充拧紧)} \\ \text{Taking into account supplementary} \\ \text{tightening under operation} \end{array}$$

$$\sigma_a = \frac{4F_a}{\pi d_c^2} = \frac{C_1}{C_1 + C_2} \frac{2F}{\pi d_c^2} \leq [\sigma]_a \quad \begin{array}{l} \text{(工作载荷F变化时使用)} \\ \text{Used for variable operating load} \end{array}$$

## § 2-5 Methods of increasing joint strength of bolts 提高螺栓联接强度

的措施、Improving load distribution among thread  
teeth

改善螺纹牙间载荷分布





## 二、Avoid extra bending stresses 避免附加弯曲应力

- (1) Flat supporting surface; 支承面平整
- (2) Avoid eccentric loads 避免偏心载荷



## 三、Reduce stress concentration

### 减少应力集中

- (1) Increase the radius of rounding at the root of the thread.  
增加螺纹牙根圆角半径;
- (2) Using reasonable manufacturing process  
采用合理的制造工艺。



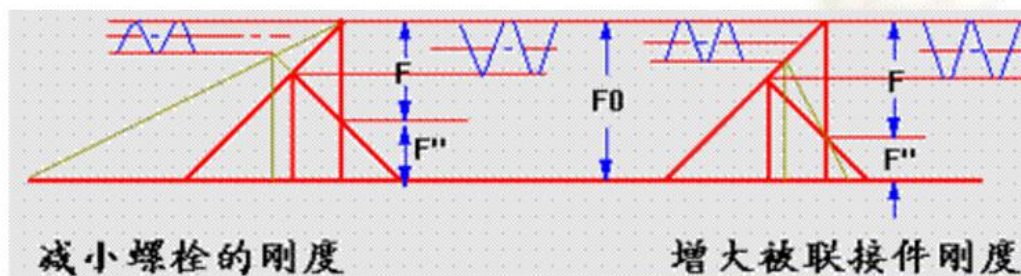


#### 四、Reduce stress amplitude减小应力幅

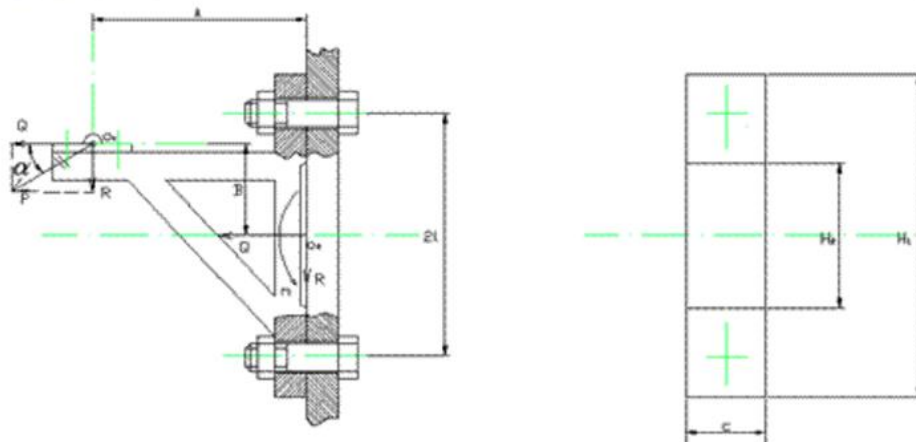
When the maximum stress is constant, reducing the stress amplitude can increase the fatigue strength of screw joints  
当最大应力一定时，减小应力幅，可以提高螺纹联接的疲劳强度。

We know that reducing rigidity of the bolts or increasing rigidity of parts jointed can reduce the stress amplitude

减小螺栓刚度 $C_1$ 或者增加被联接件刚度 $C_2$ 可以减小应力幅。由螺栓联接的力—变形关系图也可以说明这一点。



## Design example of bolt joints 螺栓联接设计实例



已知：支架和底板用2个受拉螺栓联接。支架和底板的材料为HT200、螺栓的材料为Q235，支架重量不计。 $P=3000N$ 、 $\alpha=30^\circ$ 、 $A=200mm$ 、 $B=50mm$ 、 $2l=250mm$ 、 $H_1=300mm$ 、 $H_2=200mm$ 、 $C=60mm$ ，试设计此螺栓联接。Holder and plate are jointed with 2 tensile bolts. Material of the holder and plate is HT200. Material of the bolts is Q235. Weight of the holder can be neglected. Design the group of bolt joints.

分析：此螺栓组采用受拉螺栓、并有纵向工作载荷，设计公式如下：

$$d_c = \sqrt{\frac{4 \times 1.3 F_0}{\pi [\sigma]}}$$

其中受力最大螺栓的总拉力 $F_0$ 、螺栓的许用拉应力 $[\sigma]$ 为未知量。 $[\sigma]$ 通过查表得到， $F_0$ 通过受力分析获得。

一、螺栓组联接受力分析（求 $F_0$ ） Forces in group of bolt joints.

为计算方便，我们采用后一公式求 $F_0$ 。则首先应求出受力最大螺栓的工作载荷 $F_{max}$ 和预紧力 $F$ 。







1. Force system simplify 力系简化

2. Operating force of the bolt subject to the maximum force (upper bolt) 受力最大螺栓工作拉力  $F_{\max}$  (上边螺栓  $F_I$ )



3.  $F' = ?$

(1) Condition of preventing from separation of the joints 不离缝条件

(2) Condition of preventing from sliding between contact surfaces 不滑梯条件

把相关数据代入①、②式:

4. 计算  $F_0$



二、Determine bolt sizes 螺栓参数确定

三、Checking press strength校核挤压强度（有m时）

四、Checking stress amplitude校核应力幅（变载荷时Under variable load）