

# 2

## 螺栓紧固

### 2-1.各种紧固方法

各种紧固方法—————30

### 2-2.螺丝和扭矩

螺丝和扭矩的关系式—————31

### 2-3.扭矩系数

(1) 扭矩系数计算公式—————32

(2) 扭矩系数不是常数—————32

(3) 即使扭矩不变，轴力也有变化—33

### 2-4.紧固扭矩的确定方法

(1) 适当的紧固扭矩—————34

(2) 紧固扭矩的确定方法—————34

(3) 紧固扭矩标准化—————35

(4) 标准紧固扭矩和轴力—————37

### 2-5.紧固扭矩的公差

紧固扭矩的公差—————38

### 2-6.稳定轴力的紧固 (紧固步骤)

(1) 交错紧固—————39

(2) 二步紧固—————39

(3) 二次紧固—————39

(4) 稳定化紧固—————39

## 扭矩和轴力

### 为什么要紧固螺丝？

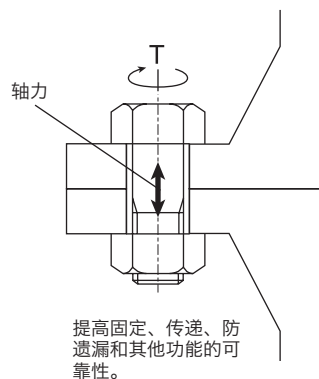
紧固螺丝的目的是为了使物体与物体之间不产生相对运动（用于固定）。以下是紧固螺丝的主要目的。

1. 用于固定以及连接物体
2. 用于传递驱动力和制动力
3. 用于密封气体和液体

此时的固定力称为轴力（紧固力），且螺丝紧固的目的为“施加适当的轴力。”

照例应该对轴力进行控制，但因为轴力测量困难，所以采用与其密切相关的扭矩控制代替，可轻松进行紧固管理与操作。

图 2-1.



# 2-1

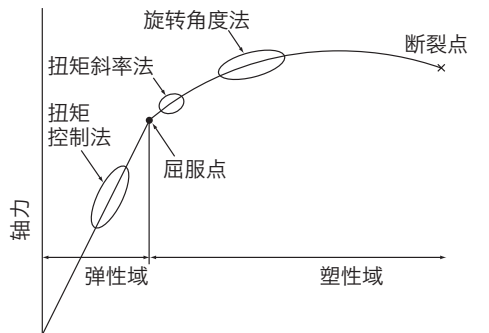
## 各种紧固方法

各种紧固方法

表2-1.各种紧固方法

紧固方法	描述	优缺点
扭矩控制法	通过扭矩值控制螺丝紧固。是应用最广泛的方法。	紧固控制和操作非常简单。因为扭矩值不会随螺丝长度发生变化，所以容易实现标准化。轴力的离差幅度较大，降低了螺丝的效率。
旋转角度法	通过角度控制螺丝紧固。从密合扭矩到指定角度紧固螺丝。	在塑性域内紧固螺丝时，轴力的离差较小，操作简单。因为是超过屈服点进行紧固，所以此方法对于有附加载荷或重复紧固的螺纹接头存在局限性。而且紧固角度的确定比较困难。
扭矩斜率法	从比例点紧固扭矩，直到达到屈服点为止。通过电路进行角度、扭矩等的运算处理。	由于轴力的离差幅度较小，螺纹接头的效率高。可检查螺丝本身。将超过屈服点进行紧固。紧固设备价格昂贵。维修时，无法使用此紧固方法。
伸长率测量法	通过螺丝在紧固时产生的伸长率控制螺丝紧固。伸长率可用千分尺、超声波或用芯棒进行测量。	螺丝的离差非常小。可在弹性域内进行紧固。螺纹接头的效率高。允许附加载荷及二次紧固。螺丝必须进行端面精加工。紧固成本高昂。
加力法	在螺丝上施加指定的拉伸载荷，通过施加的载荷进行紧固控制。	可直接控制轴力。不会产生螺丝的扭转应力。紧固设备及螺丝均为特制品。价格昂贵。
加热法	加热螺丝使其产生伸长率。通过温度控制紧固。	紧固时无需空间及加力。热度与轴力之间无明确关系。温度设定控制比较困难。

图2-2.紧固控制方法





# 2-3

## 扭矩系数

### (1) 扭矩系数计算公式

$$K = \frac{1}{2d} \left[ d_2 \left( \frac{\mu}{\cos\alpha} + \tan\beta \right) + \mu_n \cdot d_n \right]$$

d为螺丝的公称直径 [mm]

### (2) 扭矩系数不是常数

表2-2.扭矩系数和摩擦系数

润滑	扭矩系数K 最小 - 平均- 最大	摩擦系数u(=un) 最小 - 平均- 最大
一般机械用油 主轴油 机油 涡轮机油 汽缸油	0.14~0.20~0.26	0.10~0.15~0.20
低摩擦用油 二硫化钼 蜡油	0.10~0.15~0.20	0.067~0.10~0.14
Fcon 轴力稳定剂 (参照 P.438)	0.16~0.18~0.20	0.12~0.135~0.15

注：本表的数值适用于标准螺纹接头。不适用于特殊条件。

$$K \approx 1.3\mu + 0.025$$

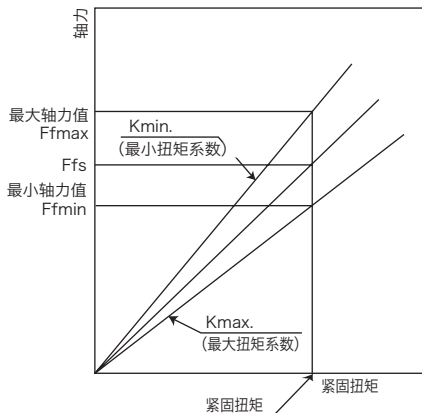
最小和最大表示离差的幅度 (± 3σ)。如果限定条件 (润滑油、形状等)，则可减小变化幅度。

### (3) 即使扭矩不变，轴力也有变化

#### ■ 不良扭矩系数的因素

- 润滑
- 紧固对象的机械因素
- 环境
- 紧固速度
- 螺丝的反复使用等

图2-5.紧固扭矩和紧固轴力的关系



例:紧固扭矩不变的情况下，扭矩系数发生变化，轴力将如何变化？

$$F_t = T / (K \cdot d)$$

公称直径:  $d = 10 \text{ [mm]} = 0.01 \text{ [m]}$

紧固扭矩:  $T = 24 \text{ [N} \cdot \text{m]}$

扭矩系数:  $K_{\min.} = 0.14$ 、 $K = 0.2$ 、 $K_{\max.} = 0.26$

$$K_{\min.} = 0.14$$

$$F_{f\max} = 24 / (0.14 \times 0.01) = 17140 \text{ [N]}$$

$$K_{\max.} = 0.26$$

$$F_{f\min} = 24 / (0.26 \times 0.01) = 9230 \text{ [N]}$$

$$K = 0.2$$

$$F_{fs} = 24 / (0.2 \times 0.01) = 12000 \text{ [N]}$$

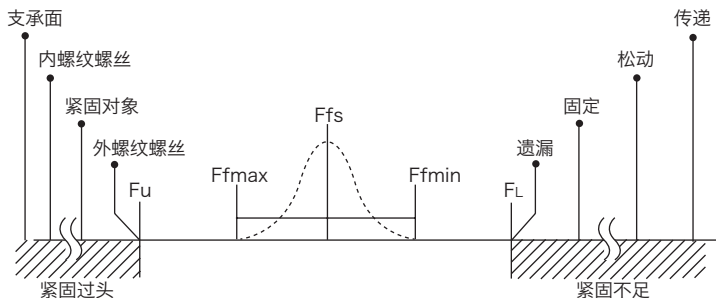
在 $K_{\min.}$ 和 $K_{\max.}$ 之间，轴力变化了近2倍。

# 2-4 紧固扭矩的确定方法

## (1) 适当的紧固扭矩

$$\left. \begin{array}{l} \text{外螺纹螺丝强度} \\ \text{内螺纹螺丝强度} \\ \text{紧固对象强度} \\ \text{支承面强度} \end{array} \right\} F_u > F_{fmax} \sim F_{fs} \sim F_{fmin} > F_L \left\{ \begin{array}{l} \text{固定} \\ \text{密封} \\ \text{传递} \\ \text{松动} \end{array} \right.$$

图2-6.适当的紧固扭矩

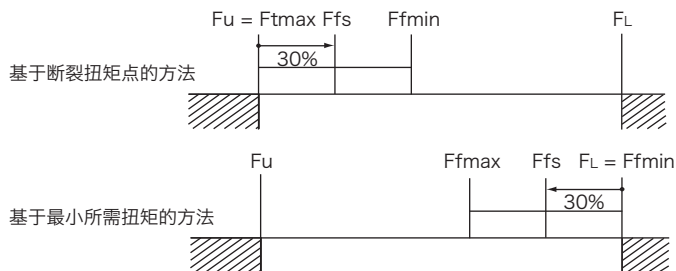


## (2) 紧固扭矩的确定方法

表2-3.紧固扭矩的确定方法

1. 标准化	建立紧固扭矩的公司标准化。(参照P.35图2-8)
2. 现行紧固扭矩的规格化	建立现行紧固扭矩, 并对其进行规格化。
3. 断裂扭矩法 (测量上限)	采用断裂扭矩的70%作为紧固扭矩, 适用于螺纹接头。(Ffmax = Fu)
4. 所需轴力法 (测量下限)	采用最小所需紧固扭矩的130%作为紧固扭矩, 不松动即可。(Ffmin = FL)
5. 轴力测量法	通过轴力计测量达到最佳轴力时的紧固扭矩。

图2-7.各种不良接头



### (3) 紧固扭矩标准化

#### ■ 螺栓和扭矩的关系图

计算公式

$$T = K \cdot d \cdot F_f$$

$$A_s = \frac{\pi}{4} \left( \frac{d_2 + d_3}{2} \right)^2$$

$$d_3 = d_1 - \frac{H}{6}$$

$$H = 0.866025P$$

$$\sigma = \frac{F_f}{A_s}$$

T: 紧固扭矩 [N·m]

K: 扭矩系数 0.2 ( $\mu \approx 0.15$ )

d: 螺栓的公称直径 [mm]

F<sub>f</sub>: 轴力 [N]

A<sub>s</sub>: 螺栓的有效横截面积 [mm<sup>2</sup>]

(JIS B 1082)

d<sub>2</sub>: 螺栓的有效直径 [mm]

(JIS B 0205)

d<sub>3</sub>: 螺栓的螺纹内径 (d<sub>1</sub>) [mm]  
减去原始三角形高度的1/6值

d<sub>1</sub>: 螺栓的螺纹内径 [mm]

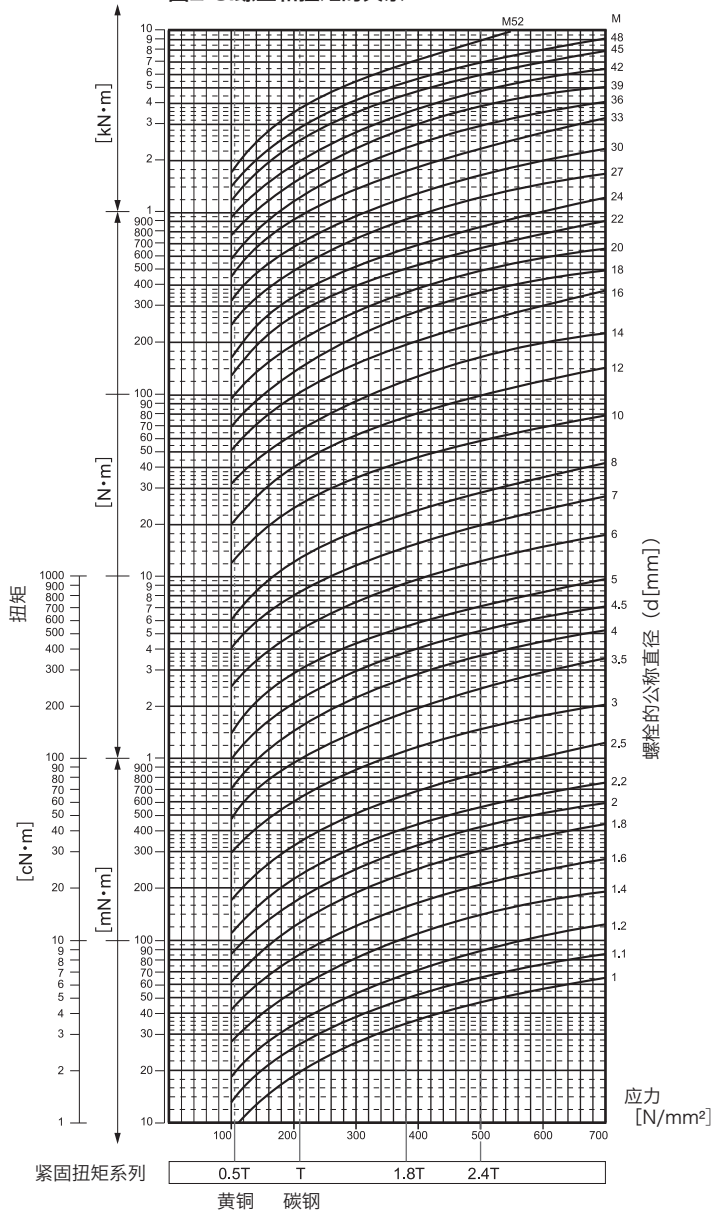
(JIS B 0205)

H: 原始三角形高度 [mm]

P: 螺距 [mm]

σ: 螺栓的拉伸应力 [N/mm<sup>2</sup>]

图2-8. 螺栓和扭矩的关系





# 2-4 紧固扭矩的确定方法

## 标准紧固扭矩

表2-4.标准紧固扭矩 [N·m]

(参考值)

公称直径	T [N.m]	0.5T 系列 [N.m]	1.8T 系列 [N.m]	2.4T 系列 [N.m]
M1	0.0195	0.0098	0.035	0.047
(M1.1)	0.027	0.0135	0.049	0.065
M1.2	0.037	0.0185	0.066	0.088
(M1.4)	0.058	0.029	0.104	0.140
M1.6	0.086	0.043	0.156	0.206
(M1.8)	0.128	0.064	0.23	0.305
M2	0.176	0.088	0.315	0.42
(M2.2)	0.23	0.116	0.41	0.55
M2.5	0.36	0.18	0.65	0.86
M3	0.63	0.315	1.14	1.50
(M3.5)	1	0.5	1.8	2.40
M4	1.5	0.75	2.7	3.6
(M4.5)	2.15	1.08	3.9	5.2
M5	3	1.5	5.4	7.2
M6	5.2	2.6	9.2	12.2
(M7)	8.4	4.2	15	20.0
M8	12.5	6.2	22	29.5
M10	24.5	12.5	44	59
M12	42	21	76	100
(M14)	68	34	122	166
M16	106	53	190	255
M18	146	73	270	350
M20	204	102	370	490
(M22)	282	140	500	670
M24	360	180	650	860
(M27)	520	260	940	1240
M30	700	350	1260	1700
(M33)	960	480	1750	2300
M36	1240	620	2250	3000
(M39)	1600	800	2900	3800
M42	2000	1000	3600	4800
(M45)	2500	1260	4500	6000
M48	2950	1500	5300	7000
(M52)	3800	1900	6800	9200
M56	4800	2400	8600	11600
(M60)	5900	2950	10600	14000
M64	7200	3600	13000	17500
(M68)	8800	4400	16000	21000

表2-5.标准紧固扭矩 [kgf·cm]

(参考值)

公称直径	T [kgf.cm]	0.5T 系列 [kgf.cm]	1.8T 系列 [kgf.cm]	2.4T 系列 [kgf.cm]
M1	0.199	0.100	0.357	0.479
(M1.1)	0.275	0.138	0.500	0.663
M1.2	0.377	0.189	0.673	0.897
(M1.4)	0.591	0.296	1.06	1.43
M1.6	0.877	0.438	1.59	2.10
(M1.8)	1.31	0.653	2.35	3.11
M2	1.79	0.897	3.21	4.28
(M2.2)	2.35	1.17	4.18	5.61
M2.5	3.67	1.84	6.63	8.77
M3	6.42	3.21	11.6	15.3
(M3.5)	10.2	5.1	18.4	24.5
M4	15.3	7.6	27.5	36.7
(M4.5)	21.9	11.0	39.8	53.0
M5	29.4	14.7	53.0	70.6
M6	53.0	26.5	93.8	124
(M7)	85.7	42.8	153	204
M8	127	63.2	224	301
M10	250	127	449	602
M12	428	214	775	1020
(M14)	693	347	1240	1690
M16	1080	540	1940	2600
M18	1490	744	2750	3570
M20	2090	1040	3770	5000
(M22)	2880	1430	5100	6830
M24	3670	1840	6630	8770
(M27)	5300	2650	9590	12600
M30	7140	3570	12800	17300
(M33)	9790	4890	17800	23500
M36	12600	6320	22900	30600
(M39)	16300	8160	29600	38700
M42	20400	10200	36700	48900
(M45)	25500	12800	45900	61200
M48	30100	15300	54000	71400
(M52)	38700	19400	69300	93800
M56	48900	24500	87700	118000
(M60)	60200	30100	108000	143000
M64	73400	36700	133000	178000
(M68)	89700	44900	163000	214000

标准轴向应力: 210 [N/mm<sup>2</sup>] 有效横截面积

注: 换算值保留3位有效数字。

## “T”系列适用螺丝和分类

表2-6. “T”系列适用螺丝和分类

	标准T系列	0.5T 系列	1.8T 系列	2.4T 系列
适用螺丝 (强度) (材质)	4.6~6.8 SS、SC、SUS	- 黄铜、铜、铝	8.8~12.9 SCr、SNC、SCM	10.9~12.9 SCr、SNC、SCM、SNCM
轴力标准值 [N/mm <sup>2</sup> ] 最小 - 最大	210 160~300	105 80~150	380 290~540	500 380~710
适用范围	适用于普通螺丝, 除非特别指定。	适用于铜、铝或塑料制成的外螺纹和内螺纹螺丝, 用于压铸塑料产品。	适用于采用特种钢制成的高强度螺纹接头, 尤其当螺丝上作用有附加的动载荷时 (摩擦咬合)	
适用产品	普通产品	电子产品	车辆、发动机	建筑产品

\* 轴向应力的最大~最小是由于考虑到扭矩系数离差的缘故。

例:  $\sigma_{max} = 210 \times (0.2 \div 0.14) = 300$  [N/mm<sup>2</sup>]

扭矩系数: 0.14 (最小)~0.2 (平均)~0.26 (最大)

## (4) 标准紧固扭矩和轴力

表2-7.标准紧固扭矩和轴力

公称直径	有效很截面积 [mm <sup>2</sup> ]	T 系列				0.5T 系列				1.8T 系列				2.4T 系列			
		标准紧固扭矩	标准轴力	最大轴力	最小轴力	标准紧固扭矩	标准轴力	最大轴力	最小轴力	标准紧固扭矩	标准轴力	最大轴力	最小轴力	标准紧固扭矩	标准轴力	最大轴力	最小轴力
		[N·m]	Ffs [N]	Ffmax[N]	Ffmin[N]	[N·m]	Ffs [N]	Ffmax[N]	Ffmin[N]	[N·m]	Ffs [N]	Ffmax[N]	Ffmin[N]	[N·m]	Ffs [N]	Ffmax[N]	Ffmin[N]
M1	0.46	0.0195	97.5	139.5	75.1	0.0098	48.8	69.8	37.6	0.035	175.5	251	135.2	0.047	234	334.7	180.2
(M1.1)	0.588	0.027	122.8	175.5	94.5	0.0135	61.4	87.8	47.3	0.049	221	315.9	170.1	0.065	294.6	421.2	226.8
(M1.2)	0.732	0.037	154.2	220.5	118.8	0.0185	77.1	110.3	59.4	0.066	277.5	396.9	213.7	0.088	370	529.1	284.9
(M1.4)	0.983	0.058	207.2	296.3	159.5	0.029	103.6	148.2	79.8	0.104	372.9	533.2	287.1	0.14	497.2	711	382.8
M1.6	1.27	0.086	268.8	384.4	207	0.043	134.4	192.2	103.5	0.156	483.8	691.8	372.5	0.206	645	922.4	496.7
(M1.8)	1.7	0.128	356	509	273.8	0.064	178	255	136.9	0.23	640	916	492.8	0.305	854	1221	657.1
M2	2.07	0.176	440	630	339	0.088	220	315	170	0.315	792	1133	610	0.42	1056	1511	814
(M2.2)	2.48	0.23	523	748	403	0.115	262	374	202	0.41	941	1346	725	0.55	1255	1794	966
M2.5	3.39	0.36	720	1030	555	0.18	360	515	278	0.65	1296	1854	998	0.86	1728	2472	1331
M3	5.03	0.63	1050	1502	809	0.315	525	751	405	1.14	1890	2703	1456	1.5	2520	3604	1941
(M3.5)	6.78	1	1429	2043	1100	0.5	715	1022	550	1.8	2572	3678	1980	2.4	3429	4903	2640
M4	8.78	1.5	1880	2680	1440	0.75	940	1340	720	2.7	3380	4830	2600	3.6	4500	6440	3470
(M4.5)	11.3	2.15	2390	3420	1840	1.08	1190	1710	920	3.9	4300	6150	3310	5.2	5730	8200	4410
M5	14.2	3	3000	4290	2310	1.5	1500	2150	1160	5.4	5400	7720	4160	7.2	7200	10300	5540
M6	20.1	5.2	4330	6200	3340	2.6	2170	3100	1670	9.2	7800	11150	6010	12.2	10400	14870	8010
(M7)	28.9	8.4	6000	8580	4620	4.2	3000	4290	2310	15	10800	15440	8320	20	14400	20590	11090
M8	36.6	12.5	7810	11170	6020	6.2	3910	5590	3010	22	14060	20110	10830	29.5	18750	26810	14440
M10	58	24.5	12250	17520	9430	12.5	6130	8760	4720	44	22050	31530	16980	59	29400	42040	22640
M12	84.3	42	17500	25000	13480	21	8750	12500	6740	76	31500	45000	24260	100	42000	60100	32340
(M14)	115	68	24300	34700	18700	34	12100	17400	9350	122	43700	62500	33660	166	58300	83300	44880
M16	157	106	33100	47400	25500	53	16600	23700	12800	190	59600	85300	45900	255	79500	113700	61200
(M18)	192	146	40600	58000	31200	73	20300	29000	15600	270	73000	104400	56200	350	97300	139200	74900
M20	245	204	51000	72900	39300	102	25500	36500	19600	370	91800	131300	70700	490	122400	175000	94200
(M22)	303	282	64100	91700	49400	140	32000	45800	24700	500	115400	165000	88800	670	153800	220000	118400
M24	353	360	75000	107300	57800	180	37500	53600	28900	650	135000	193100	104000	860	180000	257400	138600
(M27)	459	520	96300	137700	74100	260	48100	68900	37100	940	173300	247900	133500	1240	231000	330000	178000
M30	561	700	116700	166800	89800	350	58300	83400	44900	1260	210000	300300	161700	1700	280000	400000	216000
(M33)	694	960	145500	208000	112000	480	72700	104000	56000	1750	261800	374400	201600	2300	349000	499000	269000
M36	817	1240	172000	246000	133000	620	86000	123000	66300	2250	310000	443300	238700	3000	413000	591000	318000
(M39)	976	1600	205000	293000	158000	800	103000	147000	79000	2900	369200	528000	284300	3800	492000	704000	379000
M42	1120	2000	238000	340000	183000	1000	119000	170000	91700	3600	429000	613000	330000	4800	571000	817000	440000
(M45)	1310	2500	278000	397000	214000	1250	139000	199000	107000	4500	500000	715000	385000	6000	667000	953000	513000
M48	1470	2950	307000	439000	237000	1500	154000	220000	118000	5300	553000	791000	426000	7000	738000	1055000	568000
(M52)	1760	3800	365000	523000	281000	1900	183000	261000	141000	6800	658000	941000	506000	9200	877000	1254000	675000
M56	2030	4800	429000	613000	330000	2400	214000	306000	165000	8600	771000	1103000	594000	11600	1029000	1471000	792000
(M60)	2360	5900	492000	703000	379000	2950	246000	352000	189000	10600	885000	1266000	681000	14000	1180000	1687000	909000
M64	2680	7200	563000	804000	433000	3600	281000	402000	217000	13000	1013000	1448000	780000	17500	1350000	1931000	1040000
(M68)	3060	8800	647000	925000	498000	4400	324000	463000	249000	16000	1165000	1666000	897000	21000	1553000	2221000	1196000

# 2-5

## 紧固扭矩的公差

### 紧固扭矩的公差

对于螺纹接头，有时需要进行严格的紧固管理，有时则允许进行较为宽松的紧固管理，只要接头不松动即可。轴力会受到扭矩系数的离差以及紧固扭矩公差的影响。为了抑制轴力的离差，如果只减少紧固扭矩的公差，而扭矩系数仍存在离差的话，就毫无意义。

### ■ 紧固扭矩的公差

表2-8.

级别	紧固扭矩		扭矩系数		轴力	
	扭矩值	公差	系数	公差	离差	上/下限 (比率)
特级	} 实测值	±5%	} 实测值	±15%	±15% 115 ~ 85%	0.75
1级		±10%		±20%	±20% 120 ~ 80%	0.65
2级	标准扭矩 (实测值)	±20%	0.14 ~ 0.26 (0.10 ~ 0.20)	±30%	±35% 135 ~ 65%	0.50
3级	标准扭矩	±30%	0.12 ~ 0.28 (0.09 ~ 0.20)	±40%	±50% 150 ~ 50%	0.35

( ) 内的数值为使用二硫化钼或蜡进行润滑时的值。

### ■ 标准偏差的关系式

如果需要进行严格的紧固管理，则紧固扭矩的离差的标准偏差 (%) 和扭矩系数之间的关系式如下所示。

轴力 ( $\sigma_n$ )、扭矩系数 ( $\sigma_k$ )、紧固扭矩 ( $\sigma_t$ ) 的离差  

$$\sigma_n = \sqrt{\sigma_k^2 + \sigma_t^2}$$

为了减小  $\sigma_n$ ，必须分别减小  $\sigma_k$  和  $\sigma_t$ 。由于紧固扭矩较易控制，如果能控制到  $\sigma_k = 1/3\sigma_t$ ，则  $\sigma_k \approx \sigma_t$ 。

例:

$$K = 0.2 \pm 0.06 \quad (3\sigma)$$

$$\sigma_k = \frac{0.06}{3 \times 0.2} \times 100 (\%) = 10 (\%)$$

$$\sigma_t = 3\%$$

$$\sigma_n = \sqrt{10^2 + 3^2} = 10.4\%$$

$$(3\sigma_n = 31.2\%)$$

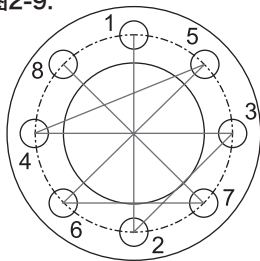
# 2-6

## 稳定轴力的紧固 (紧固步骤)

为了稳定初始轴力，研究出了各种紧固方法。

### (1) 交错紧固

图2-9.



建议按如图所示的对角线顺序紧固螺母。

- 第1次 ..... 按指定扭矩的50%左右依次紧固。
- 第2次 ..... 按指定扭矩的75%左右依次紧固。
- 第3次 ..... 按指定扭矩的100%依次紧固。

建议应对所有的螺栓均匀紧固，避免将扭矩施加在一个螺栓或同一侧的几个螺栓上。

### (2) 二步紧固

使用多轴自动螺母紧固机进行紧固时，紧固顺序将不遵循此图。  
 第一步对螺母进行暂时紧固。（紧固扭矩的50%）  
 然后进行100%扭矩的正式紧固。即以两个阶段进行紧固。

### (3) 二次紧固

当紧固对象上垫有衬垫或橡胶等柔性材料时，将延迟轴力的传递，并无法获得足够的初始轴力，可通过先对螺母进行100%扭矩紧固，然后再次进行100%扭矩紧固的方法确保初始轴力。

### (4) 稳定化紧固

当支承面因紧固而变形（包括毛刺和表面粗糙等）时，可通过先对螺母进行100%扭矩紧固，松开螺母，然后再次进行100%扭矩紧固的方法确保初始轴力不会降低。