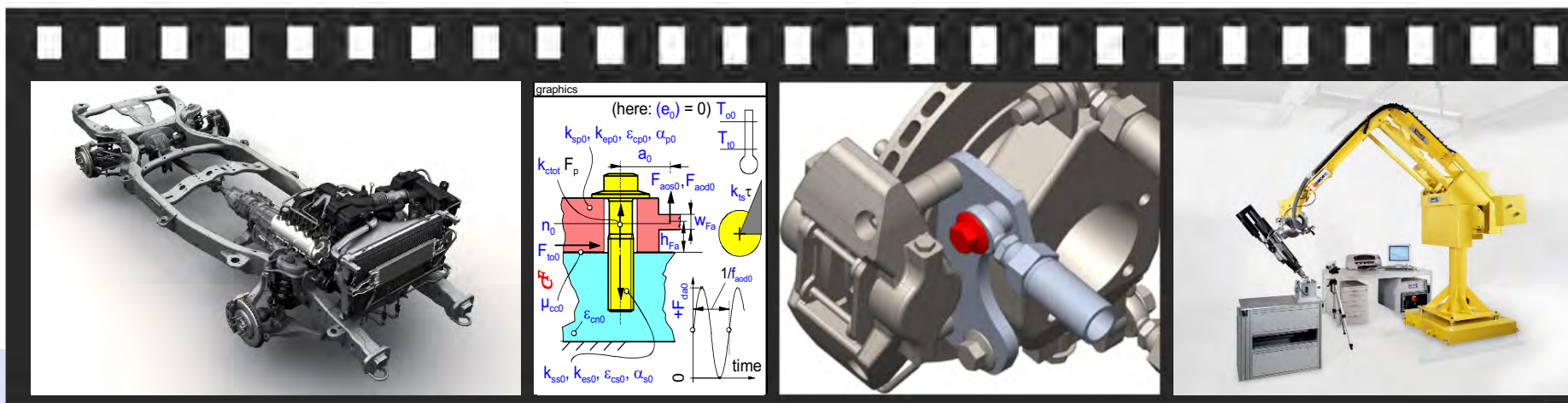


# 2018连接技术系列研修班邀请函

## ——汽车底盘紧固件应用(提高班)

德国Zwick Roell集团，德国AFS先进连接技术研究所、德国Kistler (Schatz)  
上海兹懋仪器科技有限公司 连接技术学院



# 汽车底盘紧固件

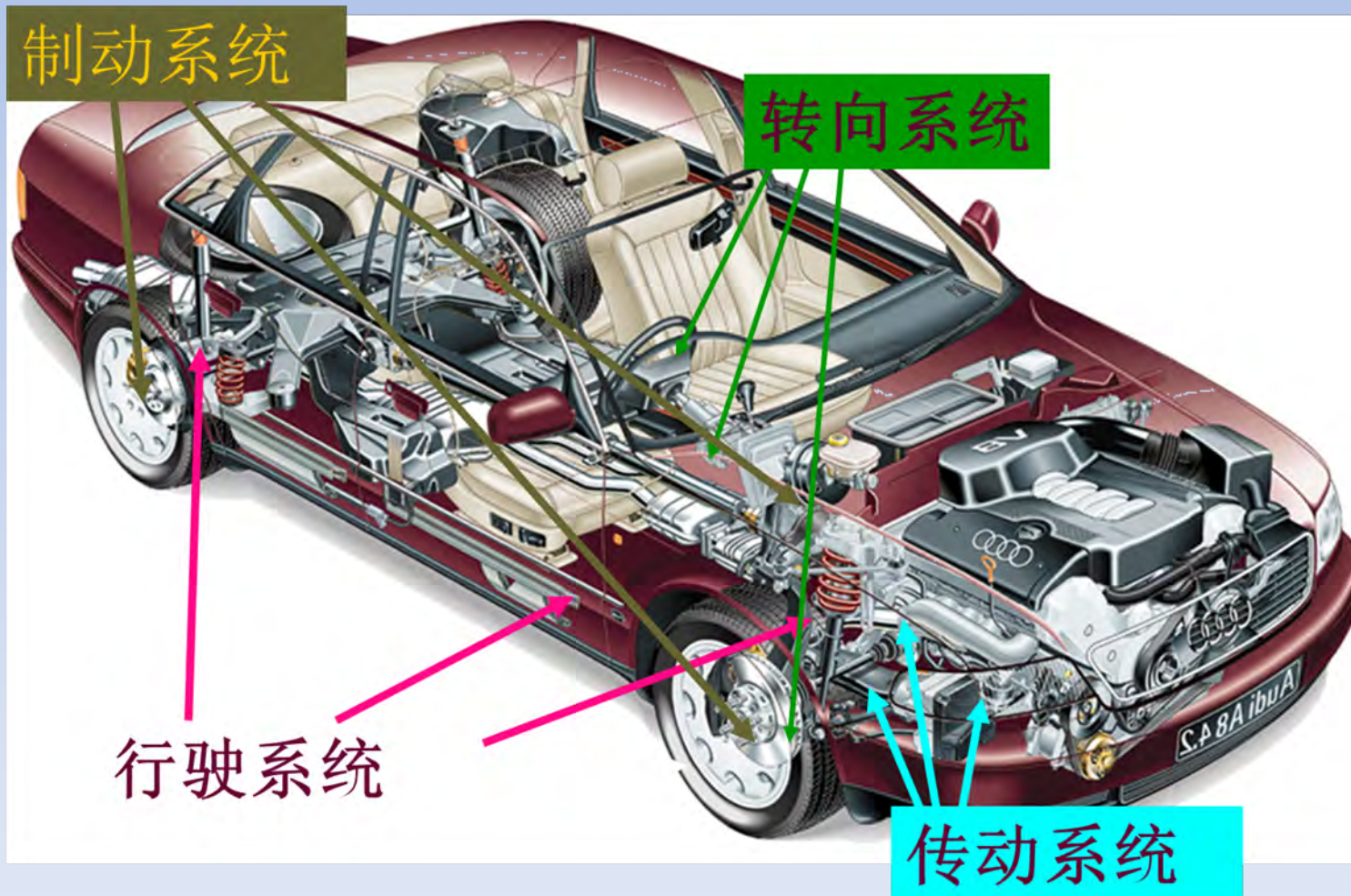
2018年9月17日 Monday

# 目 录

- 初级培训回顾
- 紧固件基础知识
- 紧固件连接结构设计
- 紧固件设计常用标准规范
- 主机厂紧固接头开发流程
- 扭矩转角法计算方法和要求
- 扭矩转角法拧紧参数开发
- 扭矩法和扭矩转角法对比
- 螺栓疲劳强度的计算和试验
- 静态扭矩的计算和动态扭矩监控窗口计算
- 计算实例toe link与knucle连接
- 扭矩、扭矩转角、最小啮合长度等计算展示

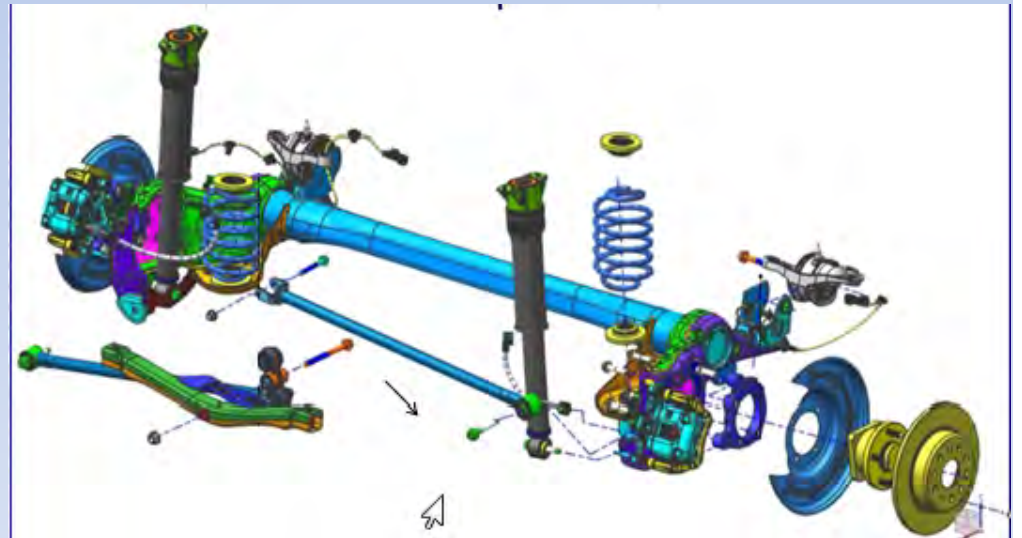
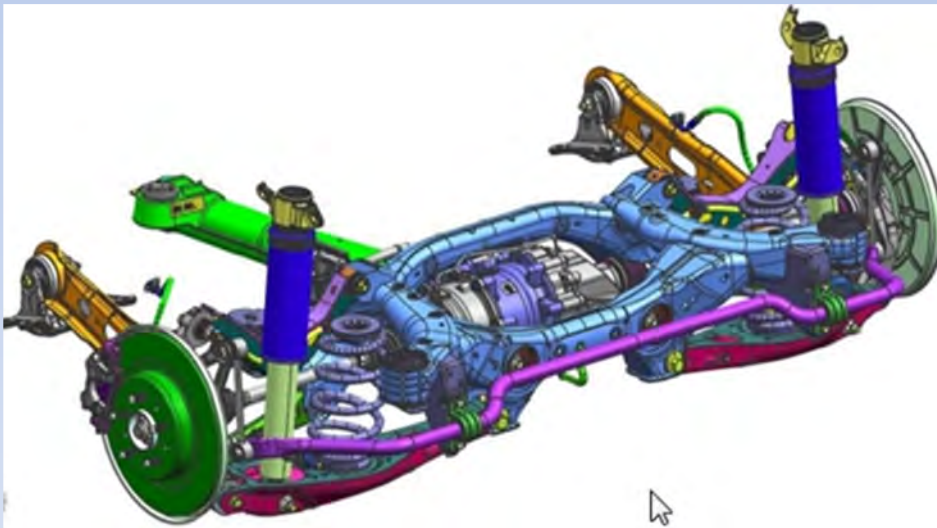
# 一：汽车底盘结构介绍

- 底盘总体介绍



# 与连接相关的具体底盘零部件

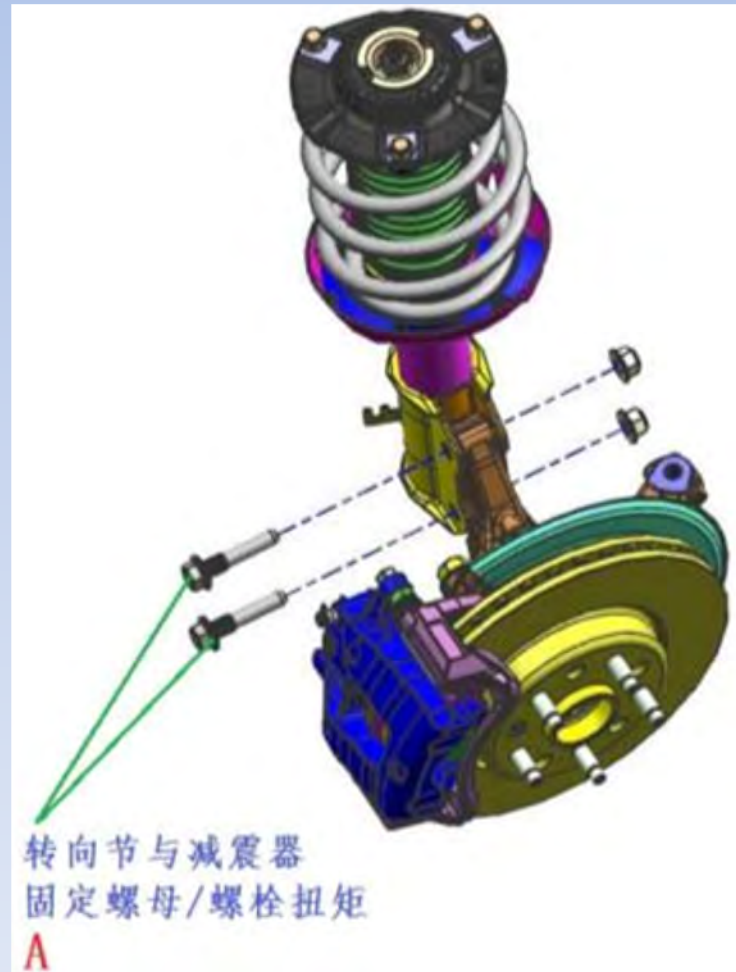
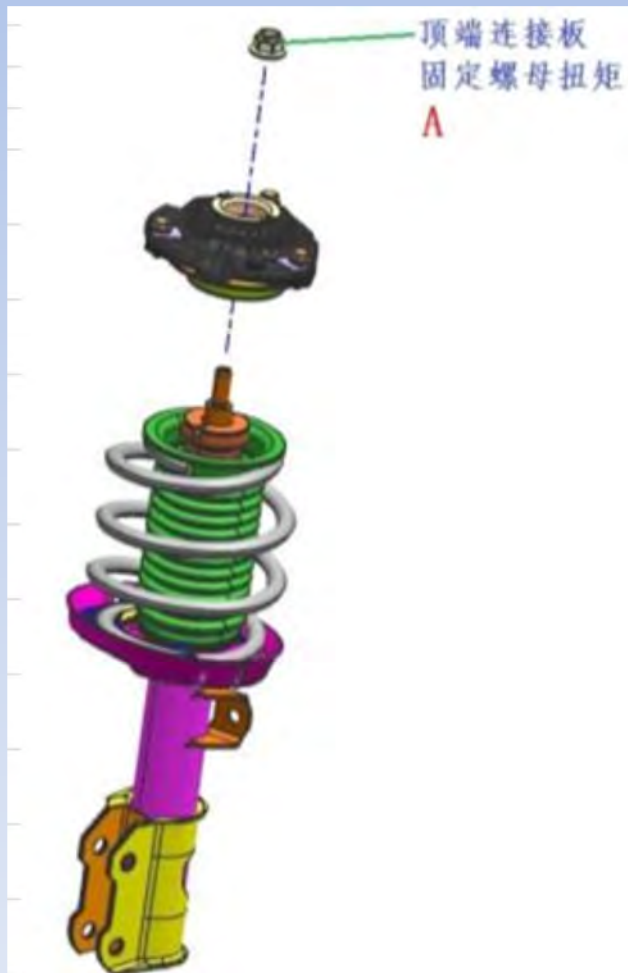
- 后桥（后副车架、多连杆、制动角、悬架等连接）





### 三：汽车底盘连接螺栓的分类等级

- 汽车螺栓拧紧等级分为A、B、C级三类，分别为安全、重要、一般级。

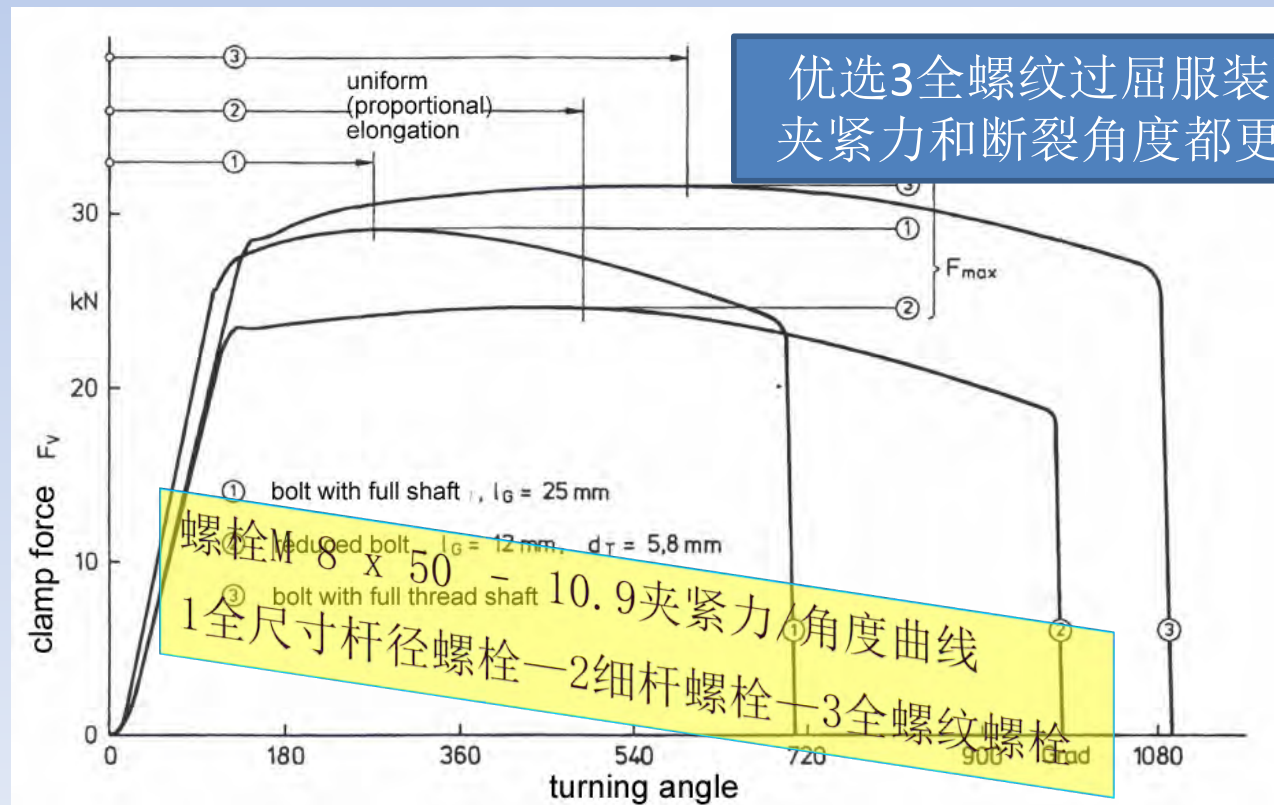


# 六：扭矩法和转角法拧紧对螺栓设计要求

## 连接设计中需要考虑的因素

推荐:高疲劳耐久性= > 建议使用高强度小尺寸螺栓采用过弹性装配（屈服点装配或者角度控制装配）

通过垫片或者带法兰面的螺栓来改善表面压力



## 六、静态扭矩与动态扭矩测量方法

### 动态扭矩测量方法:

1. 通过在紧固工具与被紧固件之间另加的传感器进行测量
2. 通过紧固工具自身所带的扭矩传感器测量



1. 用于测量动态扭矩的传感器

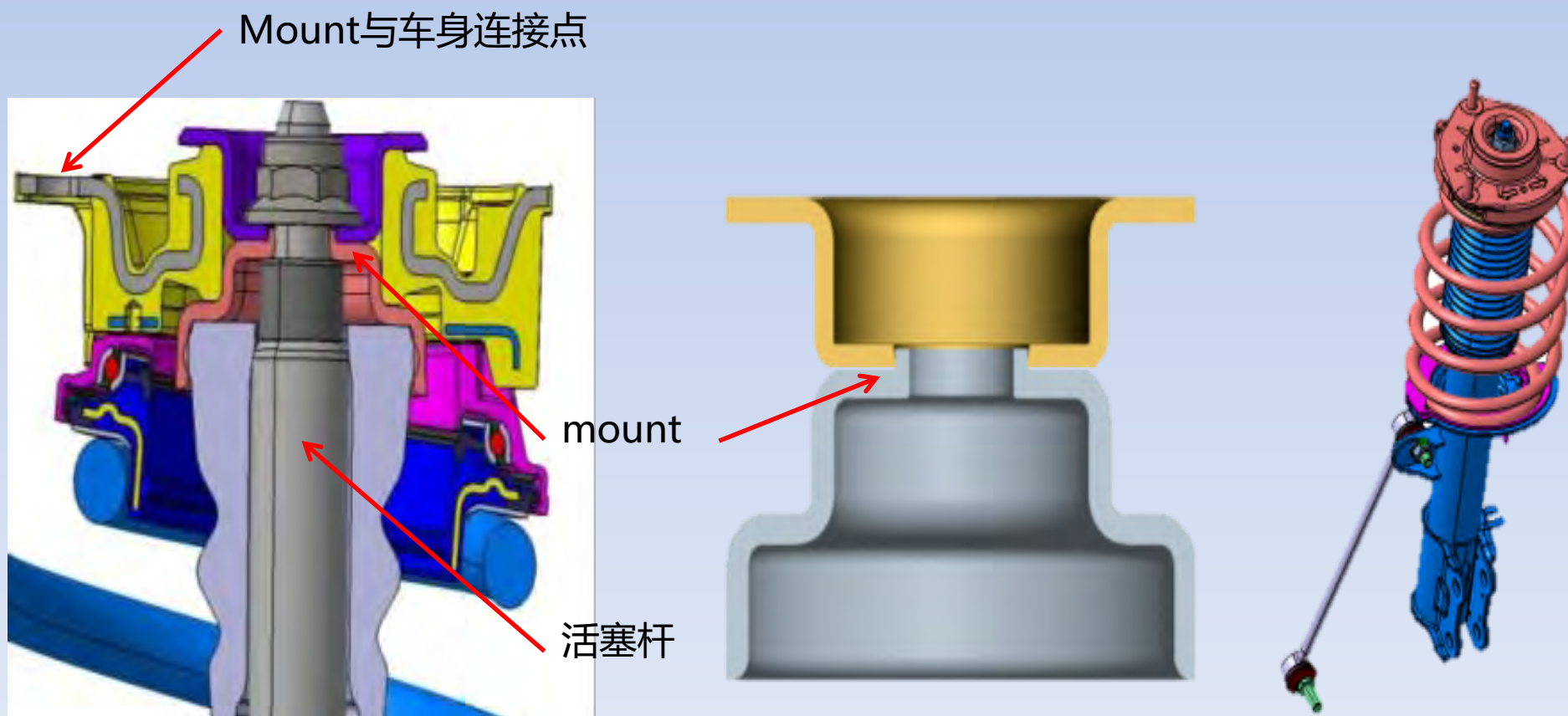


2. 自身带有扭矩传感器和控制系统的紧固工具



# 减振器异响

- 此拧紧接口的最大受力出现在最大下跳工况下，活塞杆向下的拉力最大为5kN
- 为了保证接口的设计要求，螺母拧紧后产生的预紧力必须保证在5kN的作用下，活塞杆与mount不会产生分离



# 紧固件定义

- “紧固件”一词不具体地指某一个零件，而是泛指用于紧固和连接的所有零件。
- 紧固件也包括标准紧固件和非标准紧固件两种类型。这一点，用“标准件”来定义紧固件也不恰当。
- 给紧固件下一个定义：**紧固件是用于各种零部件连接和紧固的元件的总称。**紧固件是一种常用的机械基础件，广泛应用于各种机械、设备、车辆、船舶、铁路、桥梁、建筑、工具、仪器、仪表和日用品等。它的特点是品种规格繁多，性能用途各异，且标准化、系列化、通用化的程度极高。

# 紧固件召回案例

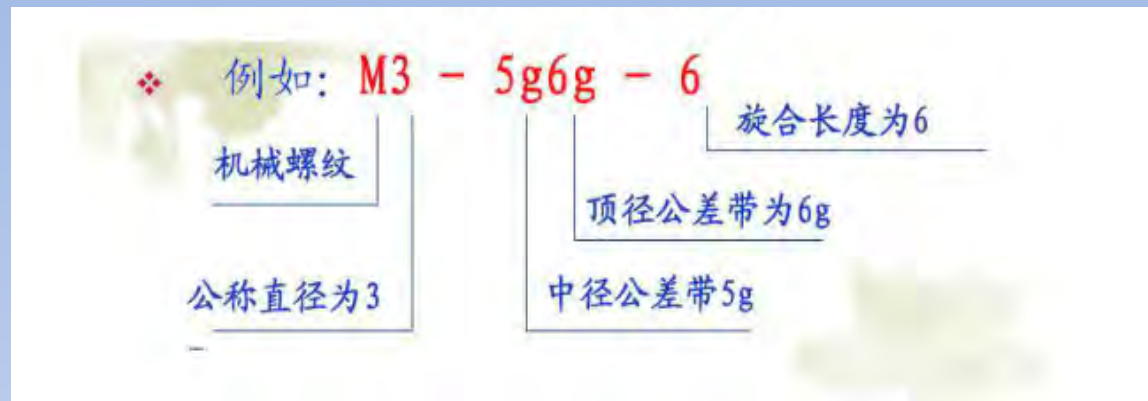
紧固件设计、制造、安装不合理都会引起紧固件的连接失效。因紧固件质量问题引起汽车召回：

- 2011年3月，上海汽车召回181辆**名爵TF跑车**，因其前下摆臂铆钉头部腐蚀，可能会出现铆钉脱落，存在安全隐患
- 2011年4月，克莱斯勒464辆**吉普牧马人**由于车辆底盘紧固件缺陷而被召回，缺陷原因是前后轴与底盘之间的紧固螺栓在安装时可能存在缺陷而降低车辆的转向和操控性能，严重时导致转向缺失
- 2011年6月，因固定后半桥和钢板弹簧的U形螺栓松动，**丰田**汽车国外召回29辆汽车（小卡车）
- 2011年9月15日，因前轴螺栓松动**宝马**在美召回部分328i和330i
- 2013年1月18日，因后刹车螺栓松动，**路虎**在美召回极光
- 2013年5月17日，因车轮螺母扭矩问题，上海通用汽车召回部分**凯迪拉克SRX**。
- 2013年12月，因传动轴螺丝松动，**本田**在美召回讴歌MDX
- 2014年1月16日，因转向螺母未拧紧，**丰田**召回国外部分车辆
- 2014年5月16日，因前轮缓冲装置中横拉杆与车桥壳固定螺栓松动，**铃木**召回部分进口吉姆尼
- 2014年6月，因气囊螺栓可能松动，**现代**在美召回14.1万辆途胜
- 2014年6月18日，**宝马**召回23万辆发动机螺栓隐患汽车
- 2014年8月31日，因座椅固定螺栓存隐患，上海通用召回**凯迪拉克和雪佛兰**汽车

紧固件也会大大影响整车质量，紧固件也需要引起足够的重视！



# 螺纹的标注



示例: M 10×1-7H-L-LH

M表示普通螺纹（米制）特征代号

10×1表示公称直径×螺距，粗牙不注螺距

7H表示公差带代号(先标中径公差带，后标顶径公差带，两者相同仅标一个。

顶径：内螺纹为小径D1，外螺纹为大径d)

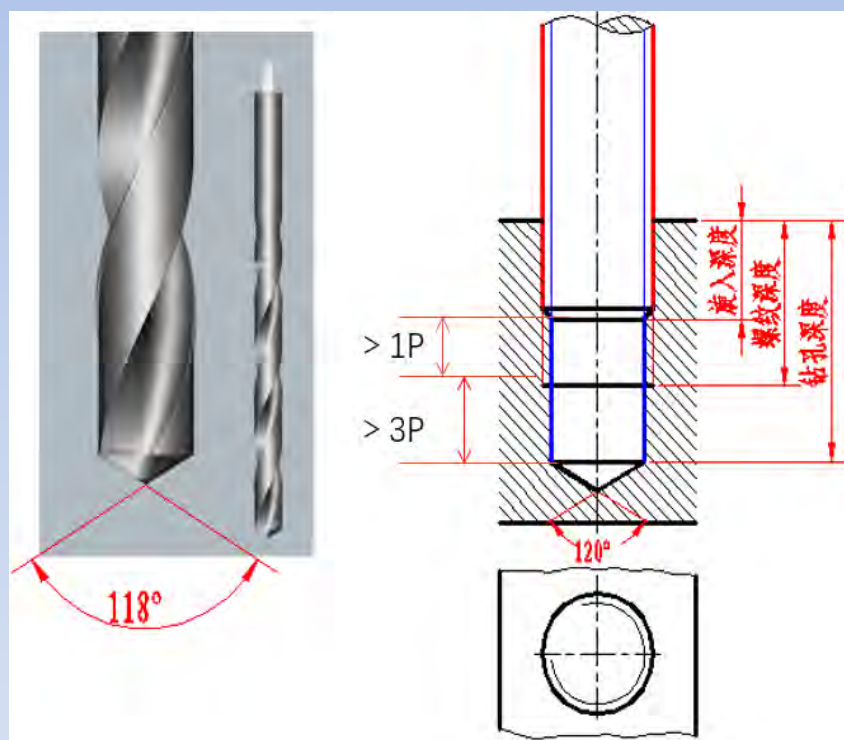
L表示旋合长度组别代号。中等长度不注出组别代号，特殊需要时注出具体长度值。

LH表示左旋螺纹代号，右旋螺纹不注出旋向代号

# 螺纹底孔

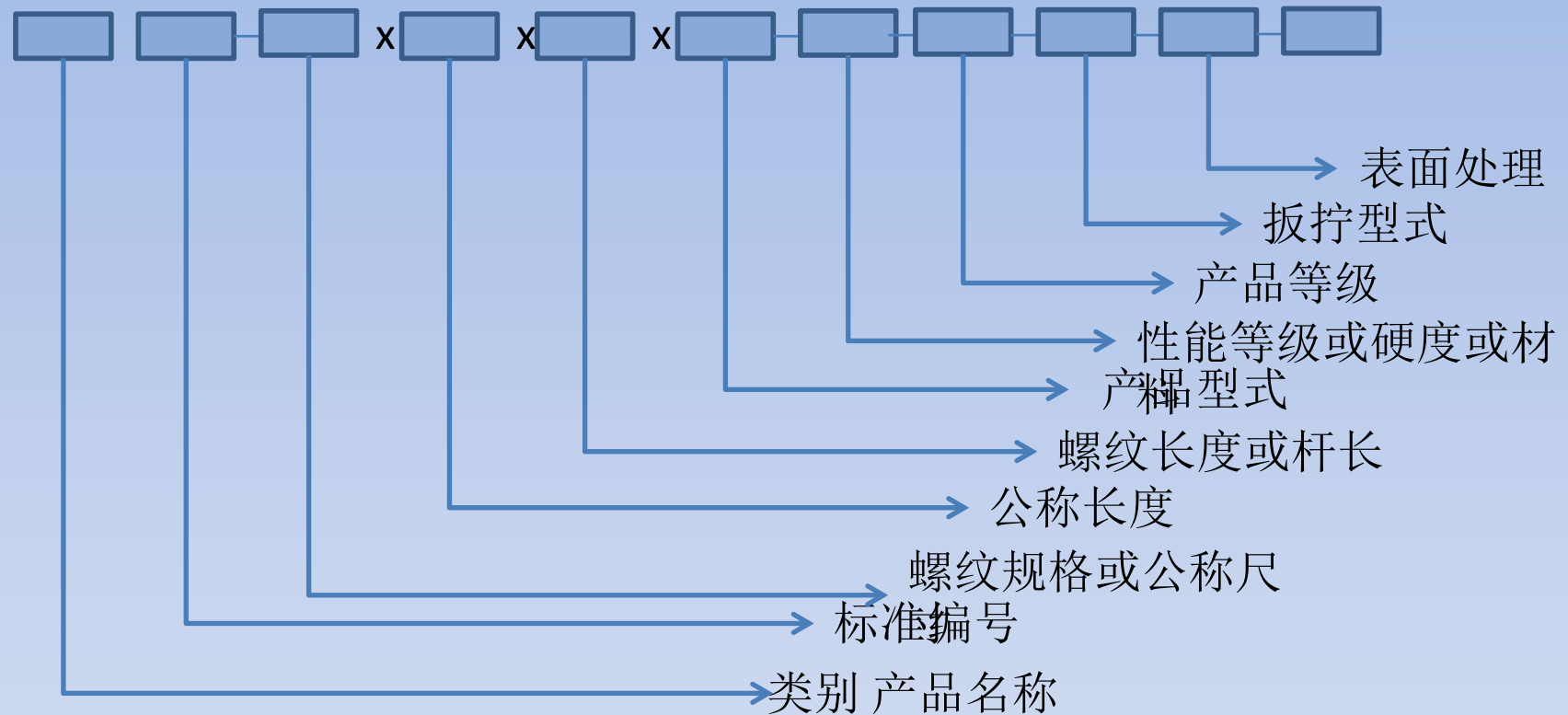
对于盲孔螺纹，在无应力状态情况下，盲孔的螺纹末端至少比有效螺纹深度长 $1P$ 的长度

钻孔深度至少比螺纹长度长 $3P$ ，再短需要实际加工能力确认





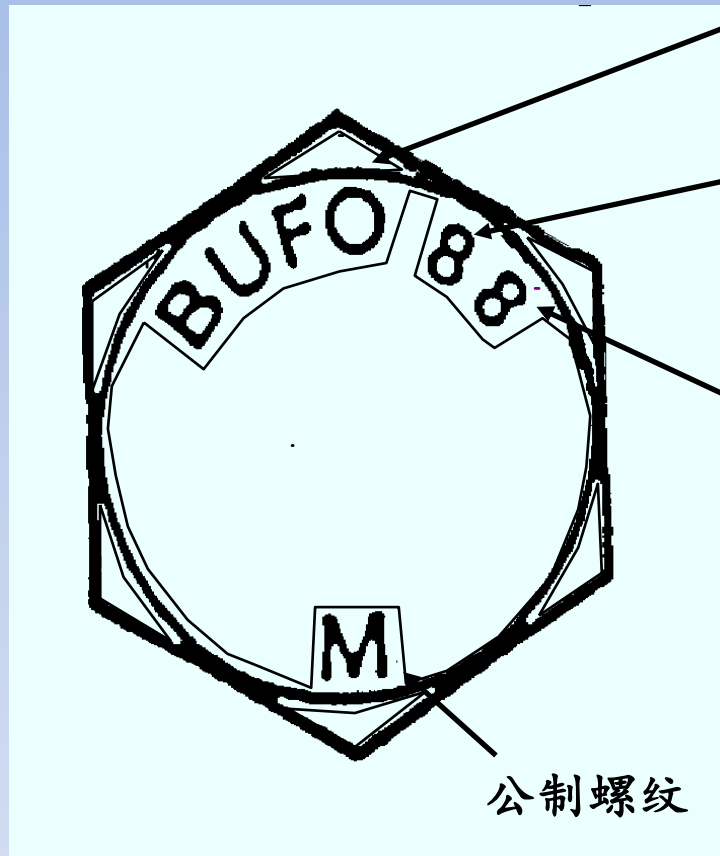
# 紧固件标记



GB/T5785标准螺纹规格M12×1.5，长度为80mm，细牙螺纹，性能等级为10.9级，表面氧化，产品等级为A级的六角头螺栓标记

GB/T5785 M12×1.5×80-10.9

# 紧固件标记



生产商

第一个数 = 1/100 的公称抗拉强度 (N/mm<sup>2</sup>)

$$100 \times 8 = 800 \text{ N/mm}^2$$

第二个数 = 公称屈服强度与抗拉强度的比值 (屈强比)

$$0.8 = 80\%$$

两数相乘得出屈服应力

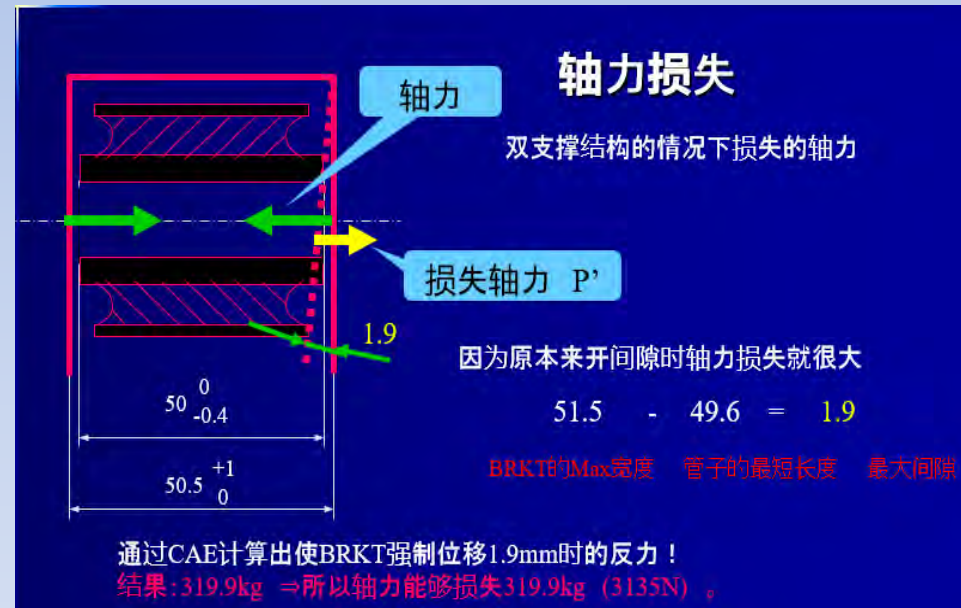
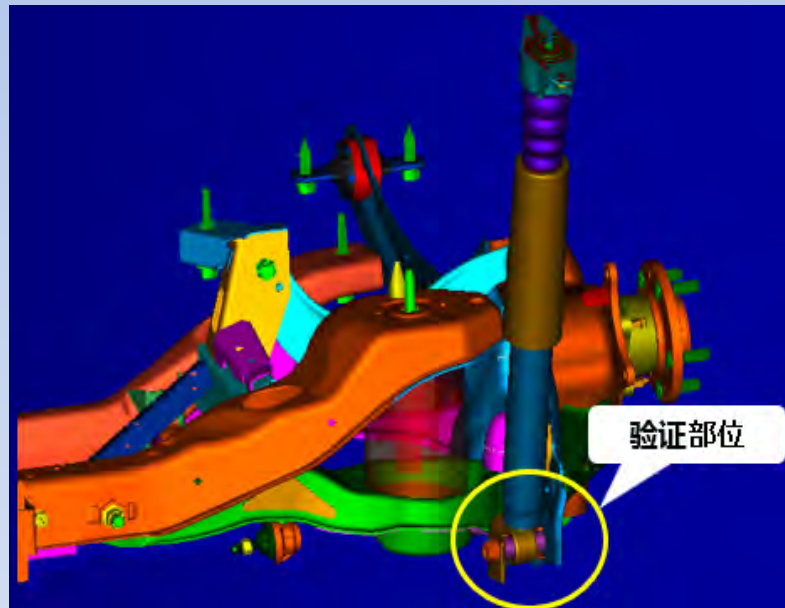
$$800 \times 0.8 = 640 \text{ N/mm}^2$$



最小屈服强度和最小抗拉强度等于或大于其公称值。  
如10.9级螺栓最小屈服强度为940MPa，最小抗拉强度为1040MPa。

# 连接结构设计要求

对于开档结构设计，应在无需很大应力的情况下，把相关零件贴合在一起。消除间隙所需的扭矩最大允许使用20%的拧紧扭矩。



# 连接结构设计要求

螺母推荐选用法兰面螺母

由于尼龙嵌件锁紧螺母的旋入扭矩稳定性优先选用尼龙嵌件锁紧螺母

工作温度超过120℃应选用全金属锁紧螺母

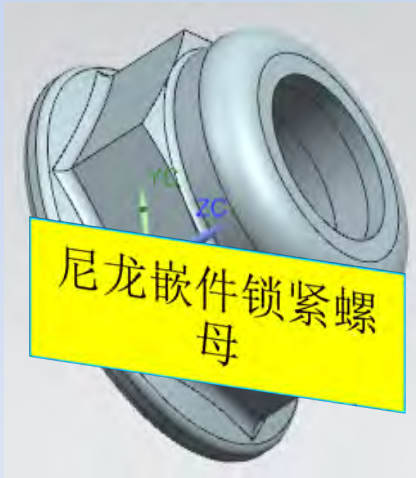
优先选用方形焊接螺母（螺母高度约为1d，如参照VW60449）

高强度要求的焊接接头，承受压力或载荷较大时优先选用法兰面焊接螺母

保证焊接性能，焊接螺母采用一般用低碳钢或低合金钢制造，如10B21、SWRCH22A、ML20MNT1B等

锁紧螺母推荐一次性使用

扭矩转角法拧紧时焊接螺母推荐选用更高一级强度的焊接螺母，如增加



# 紧固件设计中常用的标准规范

## 机械性能

- GB/T3098.1紧固件机械性能 螺栓、螺钉和螺柱
- GB/T3098.2紧固件机械性能 螺母 粗牙螺纹
- GB/T3098.4紧固件机械性能 螺母 细牙螺纹
- GB/T3098.9紧固件机械性能 有效力矩型钢六角锁紧螺母
- GB/T3098.8紧固件机械性能 耐热用螺纹连接副
- GB/T3098.5紧固件机械性能 自攻螺钉
- GB/T3098.7紧固件机械性能 自挤螺钉
- GB/T3098.11紧固件机械性能 自钻自攻螺钉。



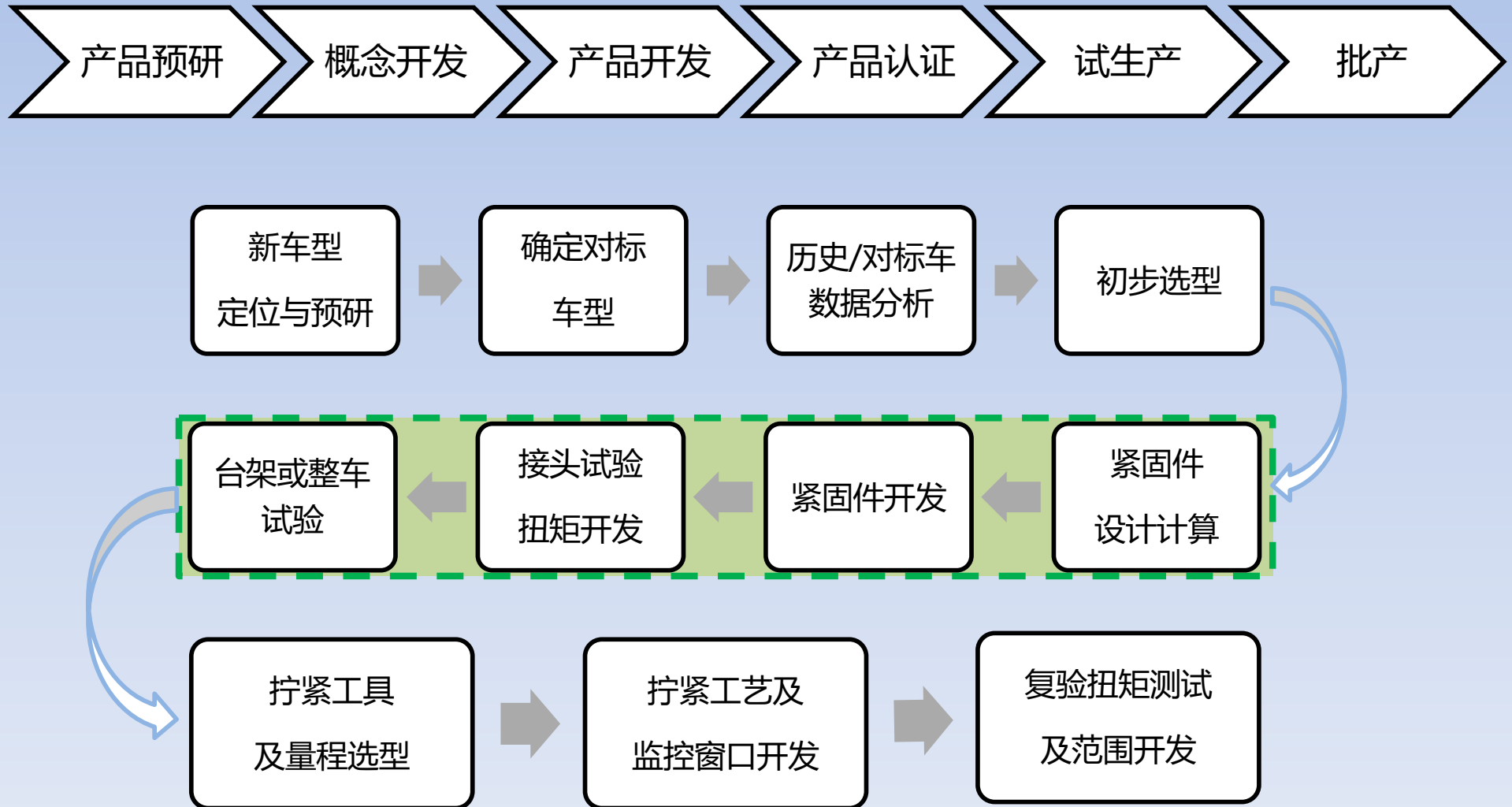
# 紧固件设计中常用的标准规范

## 表面处理

- GB/T5267.1紧固件 电镀层
- GB/T5267.2紧固件 非电解锌片涂层
- **SMTC 5 100 002 镀锌层表面保护要求**
- **SMTC 5 100 003 锌镍合金镀层表面保护要求**
- **SMTC 5 100 004 锌铝薄片涂覆层的表面保护要求(A)**
- **SMTC 5 100 005 锌铝薄片涂覆层的表面保护要求(B)**
- **TL245非电解锌铝涂层**
- TL233非电解锌铝涂层（黑色）
- **TL217镀锌层 表面防护要求**
- TL153锌铁涂层 表面防护要求
- TL194与镁接触时的连接件涂层 表面防护要求（用于10.9级以下的紧固件）
- TL240磷化涂层 表面防护要求
- **TL244锌镍涂层 表面防护要求**
- **EDS-M-3101电解积附涂层**
- EDS-M-3201金属表面的磷酸盐处理
- **EDS-M-3202钢表面浸渍锌磷片 铬酸盐镀层（DACRO）**

# 主机厂紧固件开发流程

紧固件开发贯穿整车开发的整个过程



# 主机厂紧固件开发流程

## 二、计算校核

- 按照VDI2230标准编制简易计算模板，通过模板可以完成紧固件的校核。

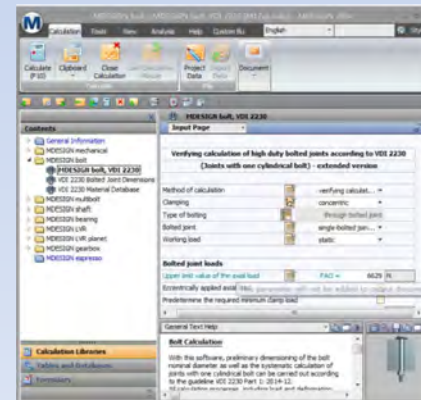
序号	模板
1	螺栓/螺母拧紧扭矩计算模板
2	已知拧紧扭矩计算螺栓预紧力的模板
3	已知所需最小的预紧力计算拧紧扭矩的模板
4	扭矩转角法拧紧扭矩及预紧力范围的计算模板
5	螺纹最小啮合长度计算模板
6	紧固件校核综合计算模板

- 计算可以考虑采购专业计算设计软件（如MDESIGN）。

基于VDI2230标准的螺栓计算软件

分为单螺栓、多螺栓计算模块

目前多螺栓仅能计算轴对称类型的螺栓组结构





# 主机厂紧固件开发流程

## 四、建立紧固件接头测试能力

主要紧固件专业测试设备如下：

- ①、紧固件专业测试设备（摩擦系数试验机、模拟装配分析系统、超声波轴力测试仪等）



摩擦系数试验机



超声波轴力  
测试仪



模拟装配分析  
系统





# 主机厂紧固件开发流程

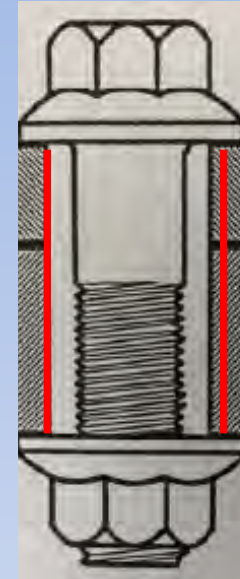
## ④、被连接件永久压缩变形测试

需测试永久压缩变形的原因：

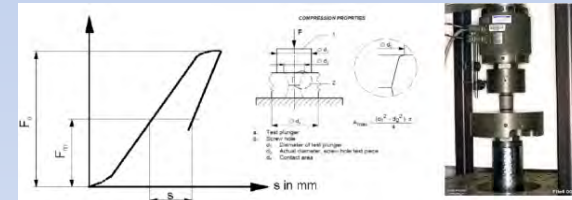
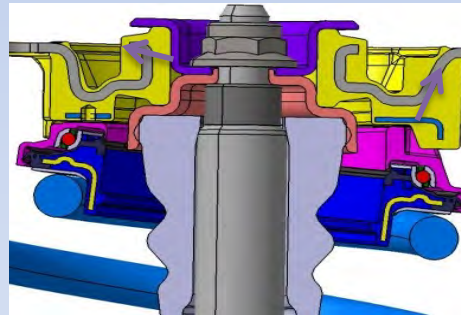
- 螺栓拧紧后被连接件不能压溃，否则会有较大的夹紧力衰减；
- 造成表面接触应力和永久压缩变形的压力一致（夹紧力）；
- 而表面极限接触强度通常大于材料屈服强度，甚至抗拉强度；
- 被连接件截面小或较薄，特别是≤螺栓头、螺母支撑面直径时。

造成表面接触强度满足要求，永久压缩变形不能满足要求。

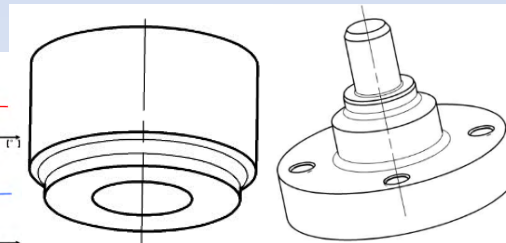
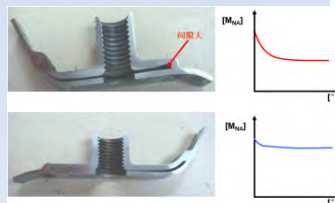
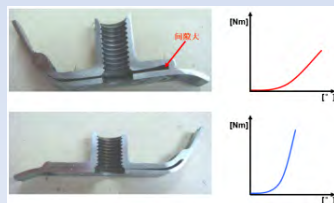
校核永久压缩变形（理论、CAE、试验验证）。



Werkstoffgruppe / Material group	Werkstoffkürzelname / Material symbol	Werkstoffnummer / Material number	Zugfestigkeit / Tensile strength $R_{m, min}$ in N/mm <sup>2</sup>	0,2% Dehngrenze / 0,2% proof stress $R_{p0.2, min}$ in N/mm <sup>2</sup>	Scherfestigkeit / Shearing strength $R_{s, min}$ in N/mm <sup>2</sup>	Grenzfächendruck / Limiting surface pressure $p_{lim}$ in N/mm <sup>2</sup>	E-Modul / Young's modulus $E$ in N/mm <sup>2</sup>	Dichte / Density $\rho$ in kg/dm <sup>3</sup>	Therm. Ausdehnungskoeffizient / Coefficient of thermal expansion for 20-100°C $\alpha$ in 10 <sup>-6</sup> K <sup>-1</sup>
Unlegierte Baustähle / Plain structural steels	S235 JR01	1.0036	340	230	290	490	205000	7,85	11,1
	E295	1.0050	470	270	380	710	205000	7,85	12,6
	S355 JO	1.0553	490	325	390	760	205000	7,85	12,6
Feinkorn-Baustähle / Grain-refined structural steels	S355MC	1.0577	390	315	420	540	205000	7,85	12,6
	S420MC	1.0580	480	430	370	670	205000	7,85	12,6
Niedriglegierte Vergütungsstähle (wärmehärtend) / Low alloy tempering steels (heat treated)	Cq 45	1.1192	700	460	460	770	205000	7,85	11,5
	38 MnSiV5 5-BV	1.5231	900	600	580	990	205000	7,85	11,5
	34 CrNiMo 6	1.6582	1100	900	720	1430	205000	7,85	11,5
	37 Cr 4	1.7934	850	630	720	1105	205000	7,85	11,5
Siemmetalle / Sintered metals	SINT-D30	-	510	370	300	450	130000	7	12
	X3 CrNi 18-10	1.4301	520	210	410	630	200000	7,9	16
	X4 CrNi 18-12	1.4303	500	220	400	630	200000	7,9	16
Austenitische CrNi-Stähle / Austenitic CrNi steels	X 2 CrNi 18-9	1.4307	520	200	410	630	200000	7,9	16
	X5 CrNiMo 17-12-2	1.4401	530	220	410	630	200000	8	16
	X6 NiCrTiAlSi 22-18-2	1.4589	950	650	670	1200	211000	8	17
Nickel-Basis-Legierungen / Nickel base alloys	NiCr20TAI	2.4952	1000	600	650	1200	222000	8,25	13
	MP35N	-	1480	970	970	1500	235000	8,35	11,2
Gussstein / Cast iron	GU-L 250	0.6025	250	160 <sup>II</sup>	290	850 <sup>II</sup>	110000	7,2	11,7
	GU-G 400	0.7040	400	260 <sup>II</sup>	360	800 <sup>II</sup>	169000	7,2	10
	GU-S 500	0.7050	500	350 <sup>II</sup>	450	750 <sup>II</sup>	169000	7,1	12,5
	GU-B 600	0.7060	600	420 <sup>II</sup>	540	900 <sup>II</sup>	174000	7,2	12,5
	GU-V 300	5.2100	300	210	270	480	137000	7,1	11
Aluminium-Knetlegierungen / Wrought aluminum alloys	AlMgSi 1 F28	3.2315.61	260	200	150	325	75000	2,7	23,4
	AlMgSi 1 F31	3.2315.62	290	250	170	360	75000	2,7	23,4
	AlMgSi 3Mn F27	3.3547.08	260	110	150	325	75000	2,7	23,7
	AlZnMgCu 1.5	3.4365.71	440	470	330	540	75000	2,7	23,7



压力机测试

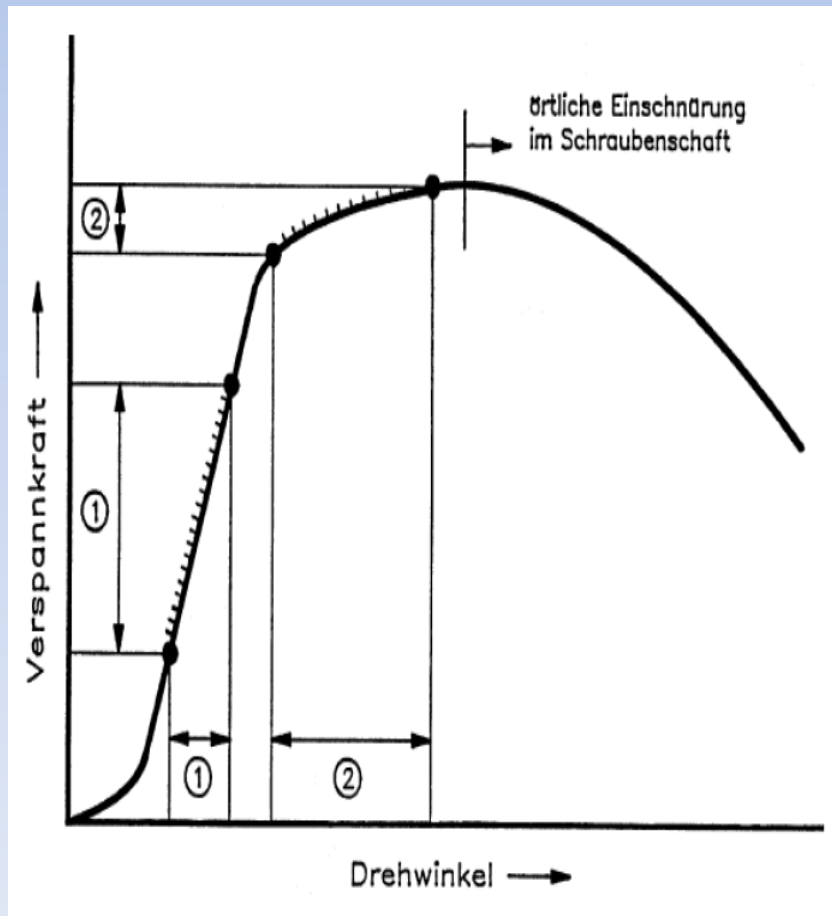


材料名称	材料规格	材料数量	材料重量	材料体积	材料密度	材料屈服强度	材料抗拉强度	材料伸长率	材料泊松比	材料热膨胀系数
螺栓	M12x1.75x100	10	1.13	1.13	7.85	520	780	12.6	0.3	11.1
螺母	M12x1.75	10	0.15	0.15	7.85	520	780	12.6	0.3	11.1
垫圈	12x12x2	10	0.05	0.05	7.85	520	780	12.6	0.3	11.1
被连接件	12x12x2	10	0.05	0.05	7.85	520	780	12.6	0.3	11.1



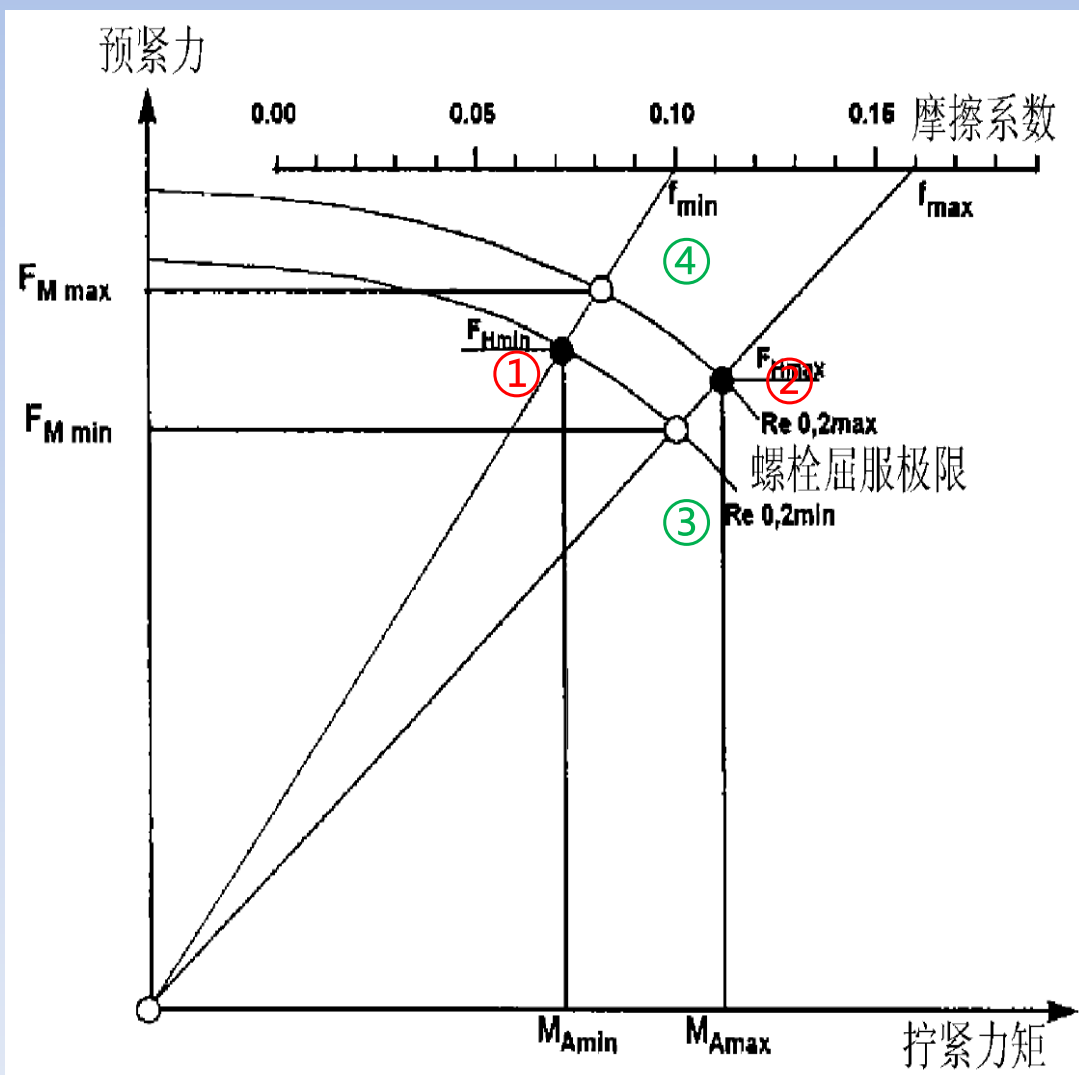
# 转角法拧紧计算方法和要求

## 扭矩转角法拧紧的特点



- 拧紧到屈服以后充分利用了材料的强度
- 获得大的预紧力，防松和抗疲劳较好
- 预紧力离散度小，扭矩离散度一般较大
- 螺栓一般不允许重复使用
- 制定工艺复杂，难点较高
- 拧紧工具价格昂贵
- 适用于细杆或全螺纹螺栓
- 特别适用于夹紧长度比较长的螺栓
- 需要提出螺栓的最大抗拉屈服强度
- 夹紧力大，需校核螺栓头部压溃
- 螺纹啮合长度需要计算
- 焊接螺母强度需要提高

# 扭矩转角法拧紧轴力及扭矩范围计算



过屈服扭矩转角法拧紧时，可能存在下述情况：

- 摩擦系数最小，屈服最小（拧紧扭矩最小）
- 摩擦系数最大，屈服最大（拧紧扭矩最大）
- 摩擦系数最大，屈服最小（预紧力最小）
- 摩擦系数最小，屈服最大（预紧力最大）

过屈服扭矩转角法拧紧轴力和拧紧扭矩范围就是计算上述4个位置点的轴力和扭矩

# 扭矩转角法拧紧轴力及扭矩范围计算

按照0.12-0.18计算出不同性能等级标准螺栓的最大最小拧紧扭矩及最大最小预紧力见表

螺纹规格	螺纹螺距	性能等级	预紧力		拧紧力矩	
			$F_{Min}$	$F_{Max}$	$M_{Min}$	$M_{Max}$
M6	1	8.8	10.0	14.0	11.5	18.5
		10.9	15.0	19.5	16.5	25.5
		12.9	18.0	22.0	19.5	29.0
M8	1.25	8.8	19.0	25.5	27.5	44.5
		10.9	28.0	35.0	40.5	62
		12.9	32.5	40.5	47.5	71
M10	1.5	8.8	30.0	40.5	54	88
		10.9	44.5	56	80	120
		12.9	52	64	93	140
M12	1.5	8.8	47	63	97	160
		10.9	69	86	140	220
		12.9	80	99	165	250
M14	1.5	8.8	67	89	160	260
		10.9	98	125	235	360
		12.9	115	140	270	415
M16	1.5	8.8	90	120	240	400
		10.9	135	165	355	555
		12.9	155	190	415	640
M18	1.5	8.8	115	155	350	585
		10.9	170	215	515	805
		12.9	200	250	605	925

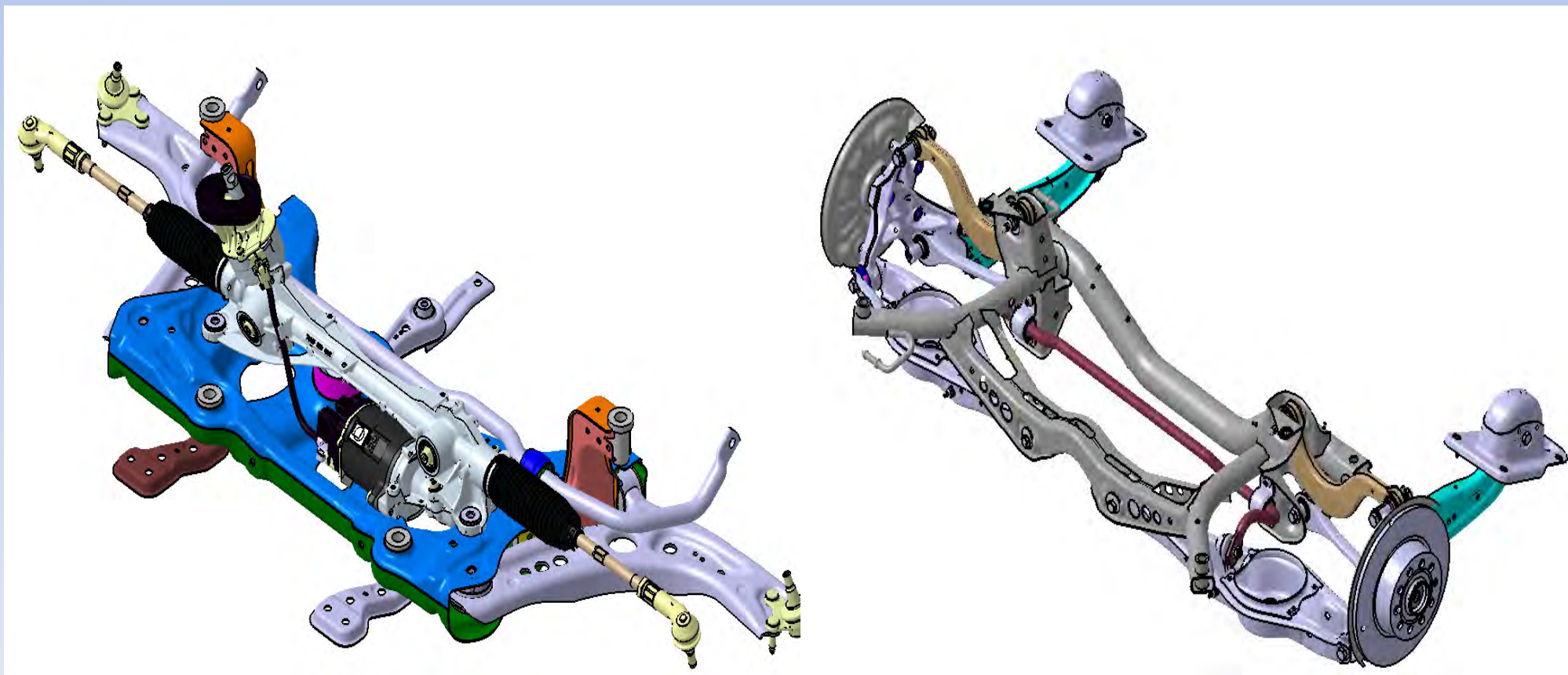
注：预紧力及拧紧扭矩数值按照下述要求进行了圆整：

计算值 kN/Nm	圆整值
10~50	0.5
>50~100	1
>100~1000	5



# 扭矩转角法拧紧参数的开发

对标国外成熟车型拧紧参数





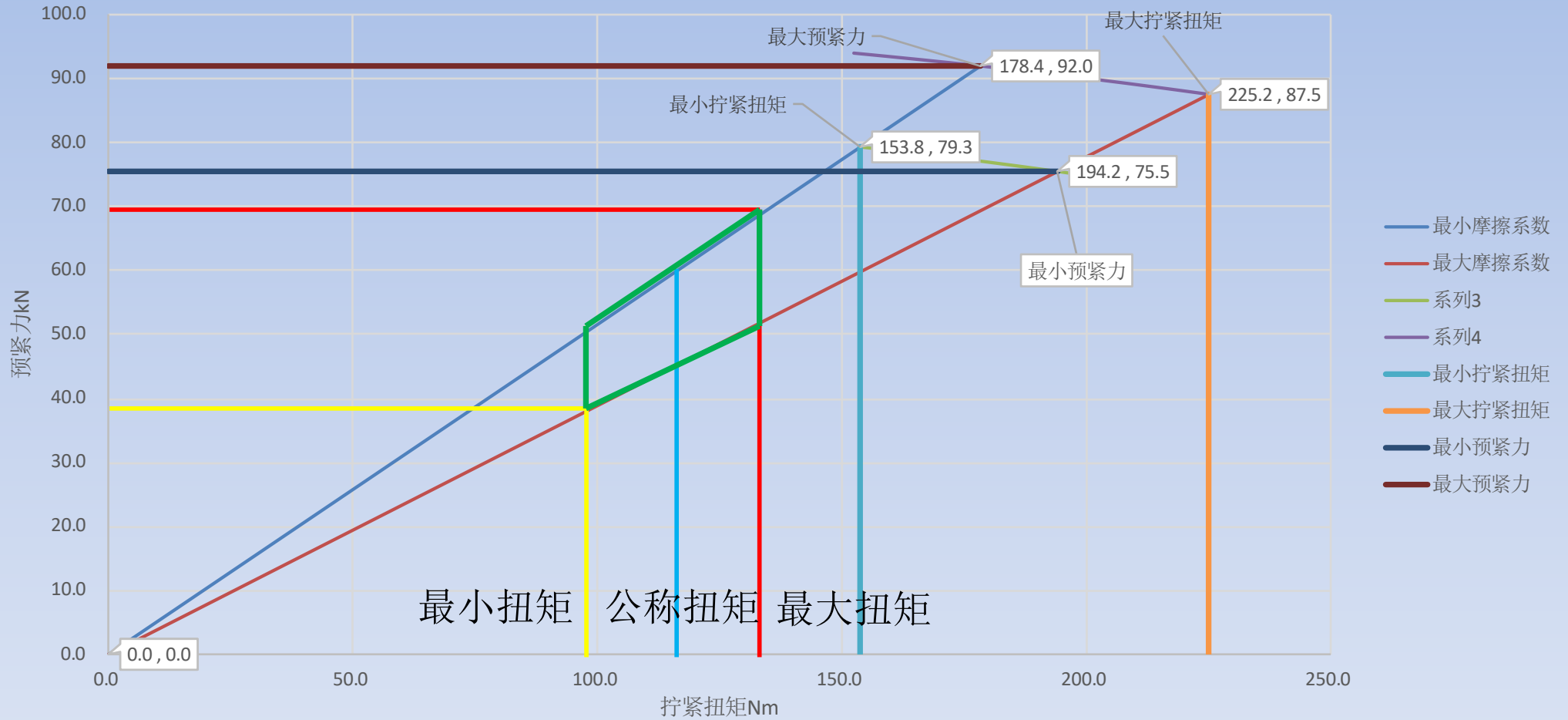
# 扭矩法和转角法对比

扭矩法拧紧扳手精度越高，最小轴力可以更大  
 扭矩法拧紧摩擦系数范围越小，最小轴力越大  
 扭矩转角法拧紧摩擦系数范围越小，最小轴力越大，最大轴力越小  
 扭矩转角法与扳手精度影响不大  
 设计计算时候按照最小可能达到的轴力来计算  
 收窄摩擦系数范围比收窄扭矩公差更加有效

名 称	M12X1.25-10.9							
	扭矩法			扭矩转角法	扭矩法			扭矩转角法
公称扭矩Nm	110	115	120		130	125	120	
最小扭矩Nm	95	105	115	142.9	125	115	105	153.8
最大扭矩Nm	125	125	125	235.8	135	135	135	225.2
扭矩公差	15%	10%	5%		5%	10%	15%	
摩擦系数	0.10-0.16				0.11-0.15			
最大轴力kN	70.2	70.2	70.2	93	69.6	69.6	69.6	92.2
最小轴力kN	34.8	38.5	42.1	74.5	48.6	44.7	40.8	75.5
最大/最小轴力比	2.02	1.82	1.67	1.25	1.43	1.56	1.71	1.22

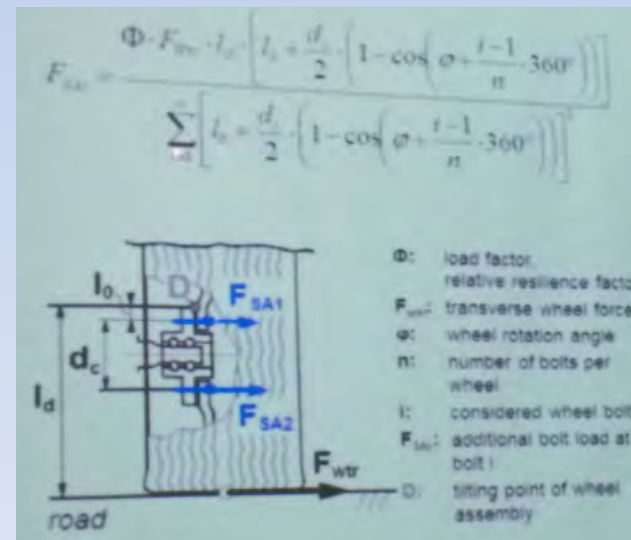
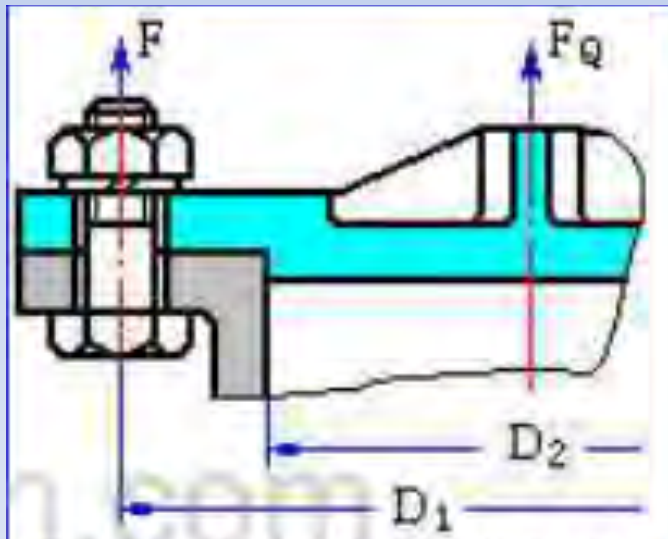
# 扭矩法和转角法对比

扭矩法和扭矩转角法拧紧扭矩-轴力曲线对比



# 螺栓疲劳强度计算

- 螺栓受到变化的应力会导致疲劳断裂
- 汽车中会有疲劳存在的螺栓有：  
发动机：缸盖螺栓、连杆螺栓、轴承盖螺栓  
汽车车轮螺栓



# 螺栓疲劳强度计算

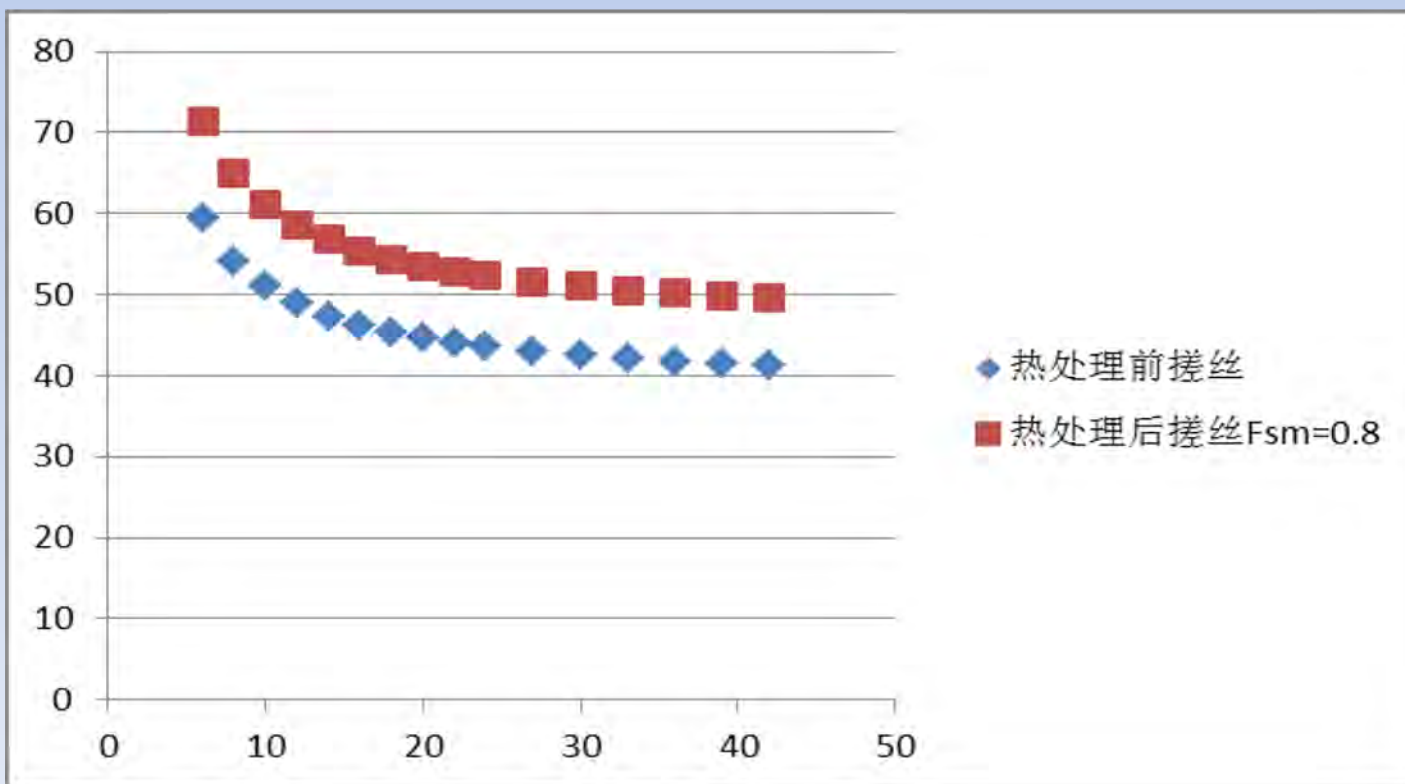
- 螺纹疲劳强度计算

$$\sigma_{ASV} = 0,85 (150/d + 45)$$

$$\sigma_{ASG} = (2 - F_{Sm}/F_{0,2 \min}) \cdot \sigma_{ASV}$$

$$\text{where } F_{Sm} = \frac{F_{SAo} + F_{SAu}}{2} + F_{Mzul}$$

- 细牙螺纹疲劳强度会随着强度的增大和更细的螺纹牙降低





# 螺栓疲劳强度试验

- 试验标准

ISO3800

DIN969

GB/T13682 VW60252

$$\log N = \hat{\alpha} + \hat{\beta}\sigma_a$$

where

ISO3800

$$\hat{\alpha} = \overline{\log N} - \hat{\beta}\bar{\sigma}_a$$

$$\hat{\beta} = \frac{\sum_{i=1}^n [\sigma_a(i) - \bar{\sigma}_a] [\log N(i) - \overline{\log N}]}{\sum_{i=1}^n [\sigma_a(i) - \bar{\sigma}_a]^2} \quad (\text{see note 1})$$

$$\overline{\log N} = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n \log N(i) \quad (\text{see note 1})$$

$$\bar{\sigma}_a = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n \sigma_a(i) \quad (\text{see note 1})$$

$$\lg N = \hat{\alpha} + \hat{\beta}\sigma_a$$

GB/T13682

$$\hat{\alpha} = \overline{\lg N} - \hat{\beta}\bar{\sigma}_a \dots\dots\dots$$

$$\hat{\beta} = \frac{\sum_{i=1}^n [\sigma_a(i) - \bar{\sigma}_a] [\lg N(i) - \overline{\lg N}]}{\sum_{i=1}^n [\sigma_a(i) - \bar{\sigma}_a]^2}$$

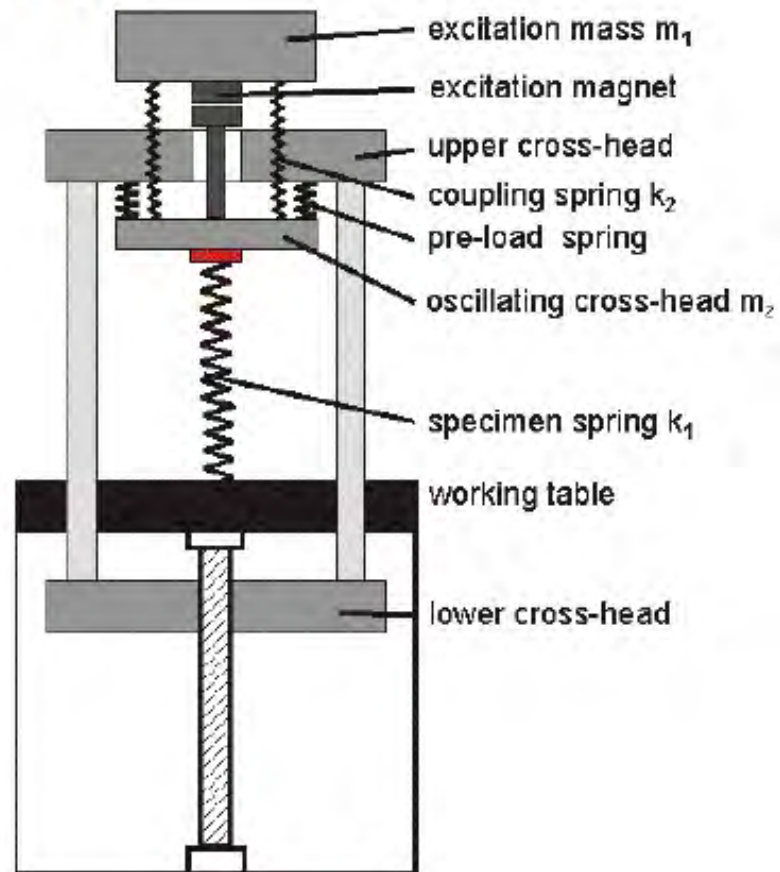
$$\overline{\lg N} = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n \lg N(i)$$

# 螺栓疲劳强度试验

- 实验设备

## Vibrophore AMSLER HFP5100

diagram



# 螺栓疲劳强度试验

- 阶梯法试验

Specimen: Triple square flange bolt M9x140 12.9																													
Average load $F_m = 0.7 \times R_{p0.2} \times A_S$															A <sub>S</sub> = 48.1 mm <sup>2</sup>		A <sub>d3</sub> = 43.78 mm <sup>2</sup>												
1	2										3	4	5	6	7	8													
± F <sub>A</sub> [N]	X = fracture					O = test specimen passed										X	O	z	f	z×f	z <sup>2</sup> ×f								
5500	X		X															2	0	5	0	0	0						
5300		O		X													X	2	1	4	1	4	16						
5100					X		X					X	X		O	X		5	1	3	1	3	9						
4900						O	X				O	O		O			O	1	5	2	5	10	20						
4700								X		O								1	1	1	1	1	1						
4500									O									0	1	0	1	0	0						
Specimen no.	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20									
																		Total of columns 3, 4, 6, 7, 8						11	9	—	9	18	46
																											C	A	E

(O = test specimen passed,  $N \geq 5 \times 10^6$  load cycles)

Expected standard deviation:

$$S(F_A) = 1.62 \cdot \Delta F_{all} \cdot \left[ \frac{C \cdot E - A^2}{C^2} + 0.029 \right]$$

$$S(\sigma_A) = \frac{S(F_A)}{A_{d3}}$$

with condition:  $\left[ \frac{C \cdot E - A^2}{C^2} \right] > 0.3$

F <sub>ed</sub> =	4500	N
X =	0.5	
ΔF <sub>all</sub> =	200	N
C =	9	
A =	18	
E =	46	



# 1、拧紧扭矩相关的术语和定义

- 设计扭矩

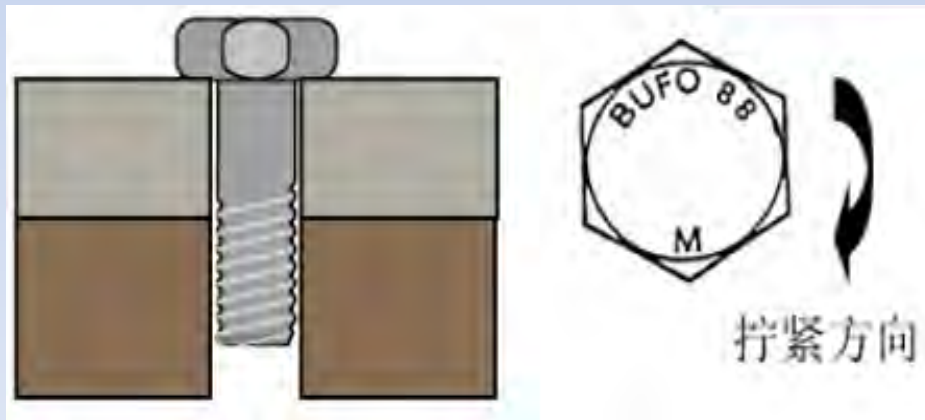
图纸定义中的扭矩数值。

- 动态扭矩

在拧紧过程中，持续扭转紧固件到设计扭矩时的最大数值。

- 静态扭矩

即检验扭矩，在拧紧完成后，用扭矩扳手朝拧紧方向所测量出的扭矩值；常指装配后5分钟内测量数值，用于监控装配线质量稳定性。



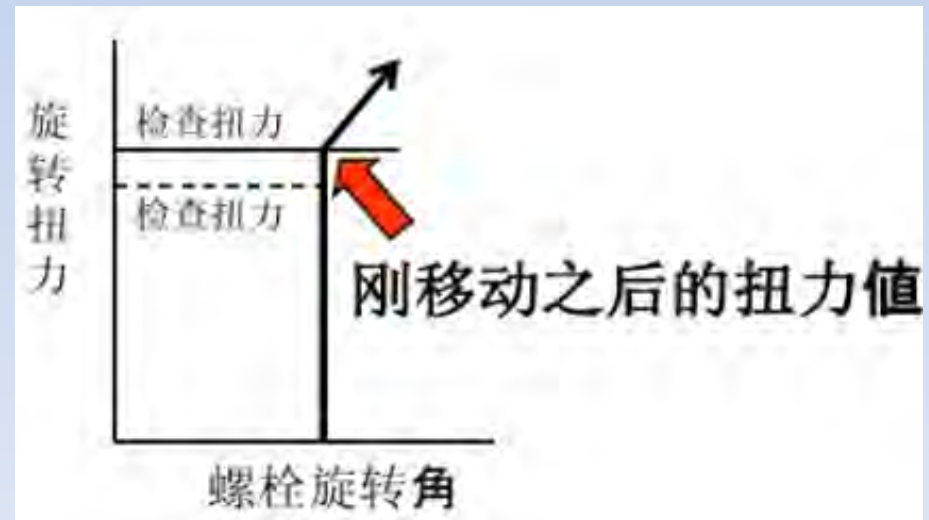
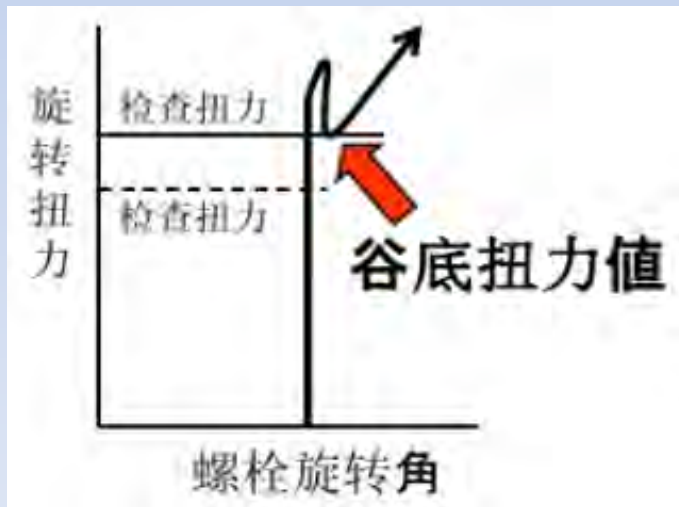
## 2、静态扭矩的测定方法

### ➤ 测定方法

- 用扭矩扳手朝拧紧方向测定；
- 测定螺栓开始移动时的扭矩值。

### ➤ 螺栓移动时的扭矩值

- 数值瞬间增大后回落到谷底的扭矩值；
- 没有峰谷变化，刚移动之后的扭矩值。





### 3、静态扭矩的计算方法

#### ➤ 计算方法的3个因素

- 静态扭矩测定时的误差，即**测定误差c**；
- 因是沿拧紧方向测定，所以比拧紧中值扭矩要高，即**测定偏差d**；
- 与被连接件的材质，刚性、中间物有关，即**连接性质**。

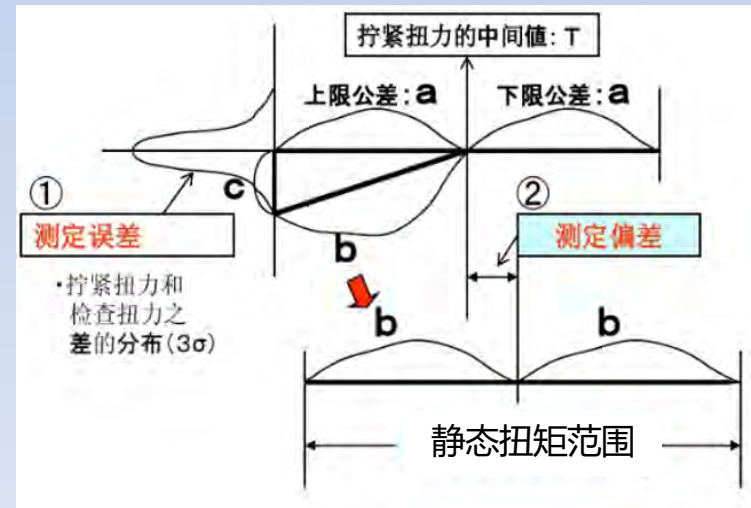
连接性质	测定偏差d	测定误差c
硬连接	±15%	±20%
中性连接	±10%	±25%
软连接	±5%	±40%

#### ➤ 计算公式

设计扭矩： $T \pm a$

静态扭矩：中值： $T * (1+d)$

公差： $b = \sqrt{a^2 + (T * c)^2}$



## 4、大众公司静态扭矩计算方法

➤ 大众公司静态扭矩称为再拧紧扭矩MNA1

➤ 扭矩公称值MA

由螺栓拧紧设备达到的依据工艺要求已设置的螺栓扭矩值，即动态扭矩

➤ 再拧紧扭矩MNA

在螺栓（或螺母）进一步拧紧时在很小角度 $\alpha^\circ$ （最大为 $10^\circ$ ）测得的最小扭矩。

➤ MNA1

直接在装配之后30分钟内测定的再拧紧扭矩

➤ MNA2

在连接部位已进行过动态载荷或者热应力（路试或台架试验）后的再拧紧扭矩

## 4、大众公司静态扭矩计算方法

### $M_{na}$ 统计标准

- 统计的数据量  
依据统计要求需要采集100个已测得的螺栓 $M_{na}$ 扭矩数值。
- 统计周期  
由于各车型产量不同，所以确定的统计周期以完成100个测量数据为准。
- 数据处理公式
  - $M_{na}$ 平均扭矩值 (  $x$  )

若干个 $M_a$ 扭矩测量值 $x$ 的算术平均值，以牛顿米(Nm)为单位。

$$\bar{x} = \frac{1}{n} * \sum_{i=1}^n x_i$$

- 扭矩 $M_{na}$ 测量极差 (  $R$  )

在一组 $M_{na}$ 测量值中介于最大测量值和最小测量值之间的差，以牛顿米(Nm)为单位。

$$R = M_{\max} - M_{\min}$$

# 5、通用公司静态扭矩计算方法

## 动态与静态扭矩

D100+/-15NM S85-115NM

---

### Dynamic Torque 动态扭矩

- 用来打紧螺栓的扭矩D100+/-15NM
- 可通过电动枪的传感器或指针式扳手的表盘读取

---

### Static Torque 静态扭矩

- 衡量紧固件所获得的静态扭矩是否超差的扭矩 S85-115NM
  - 在紧固方向使紧固件继续旋转的瞬间所需的力矩
  - 在拧紧后5分钟内测量
  - 用指针式扳手测得
- 
- 如果连接件衰减厉害（软连接），静态扭矩低于动态扭矩
  - 如果连接件固定得很紧（硬连接），静态扭矩高于动态扭矩
  - 如果一般的连接（中等连接），静态扭矩接近于动态扭矩

# 5、通用公司静态扭矩计算方法

## 动态与静态扭矩 – 举例

例：现有一紧固扭矩，动态扭矩要求 $100\pm 20\text{NM}$ ，静态扭矩要求 $90\pm 20\text{NM}$

- ① 生产线要求一把电动枪用于装配
- ② 维修工要求一把click扳手用于维修
- ③ 质保也要求一把click扳手用于检测

Q: 给每种工具所设的扭矩值应是？



装配所用电动枪：用动态扭矩，电动枪在某个范围内打紧螺栓，用 $100\pm 20\text{NM}$

维修用click扳手：采用动态扭矩装配螺栓，维修采用动态扭矩名义值 $100\text{Nm}$

检测用click扳手：click扳手仅用于检测已拧紧到最小扭矩值；

因为不是装配，仅检测而言，需采用静态扭矩；

最小静态扭矩为 $90\text{Nm}-20\text{Nm}=70\text{Nm}$

装配	$D100\pm 20\text{NM}$
维修	$D100\text{Nm}$
检测	$D90\text{Nm}-D20\text{Nm}=D70\text{Nm}$

# 5、通用公司静态扭矩计算方法

## 扭矩收集

### 工具验证

$Cpk \geq 1.33$   $\implies$  传感工具枪满足过程能力

只适用于扭矩名义值大于5Nm的紧固件

#### 测量要求:

- 至少30组动态和静态扭矩值
- 30组动态扭矩值必须尽量保持连续性
- 30组静态扭矩值可以是连续的，也可能是介于动态扭矩测量值之间的数据
- 如果系统的状态更改，30组数据必须重新测量

#### 静态扭矩测量方法

- 手臂和工具需成一个90°的直角 L
- 将工具放于紧固件上，手臂与紧固表面平行
- 在正确方向匀速拧紧螺栓
- 移动位置不能超过5°



# 5、通用公司静态扭矩计算方法

## 评价工具

分值	工具	自动防错	数据记录	质量检测	工艺监控
12	3	≥2	≥2	≥2	≥2
9	≥2	1	≥2	2	2
6	1	1	1	1	1

$$\frac{\text{Control Points}}{\text{QCOS Rank}} = \text{Control Value}$$

$$\frac{8}{9} = 0,88 \text{ (NOK)} \quad \frac{11}{9} = 1,22 \text{ (OK)}$$

- 各控制项分数相加，需达到该扭矩的QCOS Rank值
- 对应于QCOS Rank值，每个控制项有最低需满足的分值

### 分析结果评价

静态扭矩公差相比静态名义值 ≥ +/-35%

静态名义值相比动态名义值偏差范围 > 15%

通知工程师，重新商定动态扭矩值，首先要考虑采用改进拧紧工艺，如慢速，停顿，反转等来满足要求

Current Static Spec	Current Spec or N/A.
New Static Torque Spec	S 184 +/- 43
Range	24%
Is the range less than 35%	Yes
Is the mean shift less than 15%?	Yes

## 5、通用公司静态扭矩计算方法

总结;

扭矩法拧紧静态扭矩初步确定（在没有测量数据前）推荐用丰田的方法

- 简单
- 能够给出静态扭矩范围
- 考虑不同的连接状态（软连接、中等连接、硬连接等）
- 考虑测量误差
- 考虑工具测量精度

有一定测量数据后推荐用通用的方法

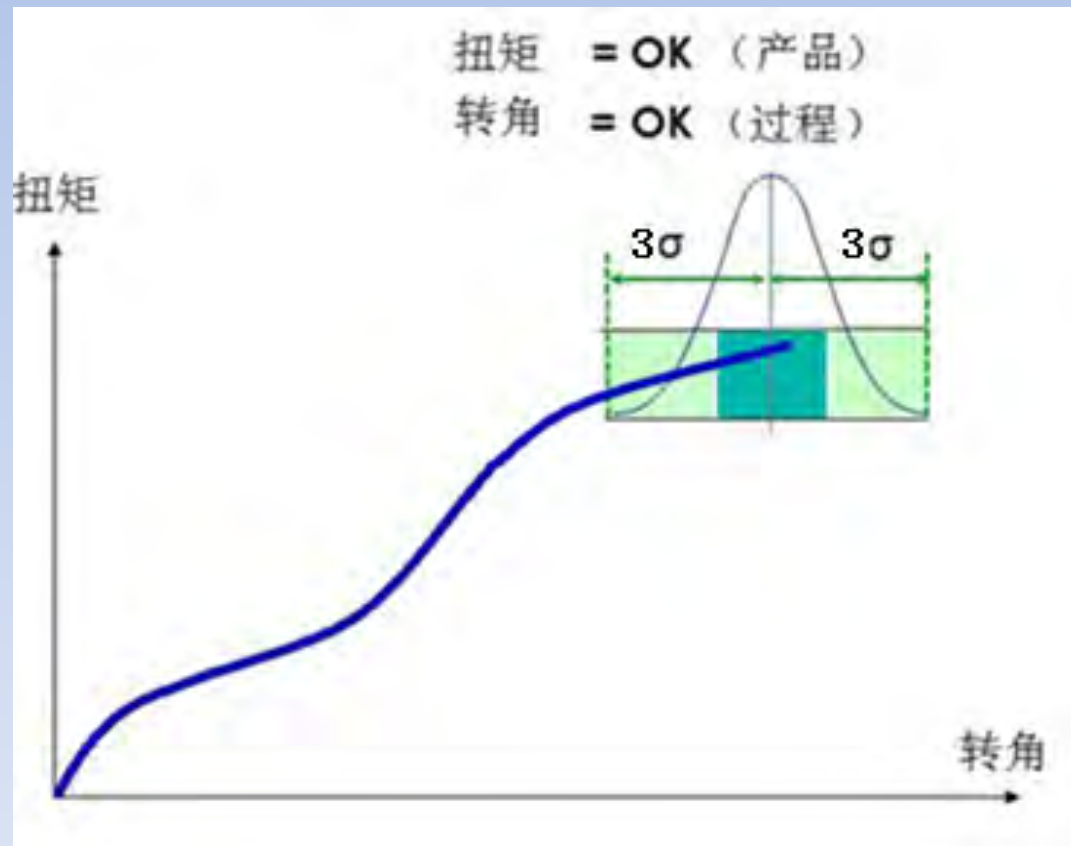
- 统计分析更加符合实际情况
- 有界限范围要求（合格评价评价要求， $x \pm 3s$ 方法没有对静态扭矩偏离动态扭矩的要求）

拧紧时对重要连接点需考虑扭矩监控、角度监控等

## 6、动态扭矩监控范围计算方法

扭矩控制转角监控

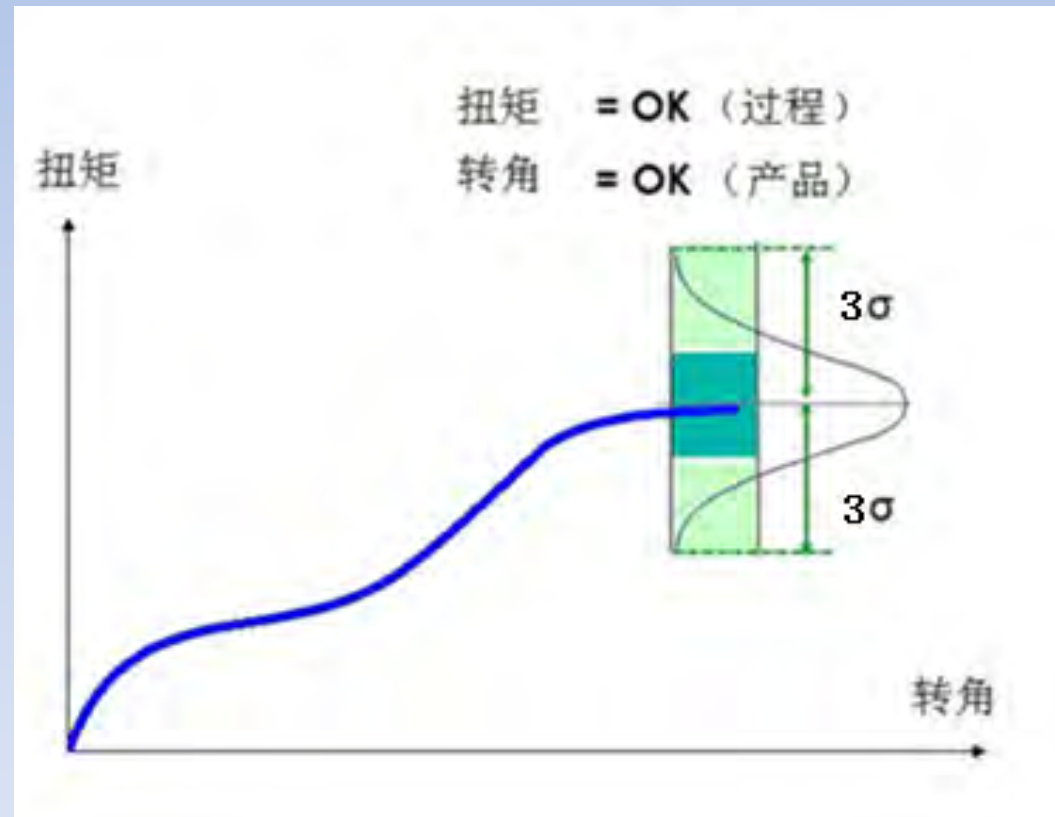
目标值是规定的拧紧扭矩



## 6、动态扭矩监控范围计算方法

### 转角控制

目标值是一个预先给出的从一个确定的预拧紧扭矩起算的拧紧转角。



## 6、动态扭矩监控范围计算方法

### 多轴计算

- 单轴扳手拧紧多个工艺要求不相同的螺栓，应根据工艺的不同进行分开统计。
- 单轴扳手拧紧多个工艺要求相同的螺栓，但联接状态不一致，应该有区别的分开进行统计。
- 单轴扳手拧紧多个工艺要求相同的螺栓，联接状态基本一致，可以合并进行统计。
- 多轴扳手拧紧多个工艺要求不相同的螺栓，应根据工艺的不同进行分开统计。
- 多轴扳手拧紧多个工艺要求相同的螺栓，但联接状态不一致，应该有区别的分开进行统计。
- 多轴扳手拧紧多个工艺要求相同的螺栓，联接状态基本一致，可以合并进行统计。

## 6、参考文献



Adobe Acrobat  
Document

车门铰链螺栓  
静态扭矩计算  
方法



Adobe Acrobat  
Document

螺栓拧紧的过  
程控制



Adobe Acrobat  
Document

质量工具QCOS  
详解



Adobe Acrobat  
Document

SPC在发动机装配  
过程中动态扭矩分  
析



Adobe Acrobat  
Document

动静态扭矩在汽  
车装配过程中应  
用



Adobe Acrobat  
Document

扭矩开发和生产  
监控



Adobe Acrobat  
Document

汽车装配紧固件  
静态扭矩应用



Adobe Acrobat  
Document

扭矩汽车质量监  
控



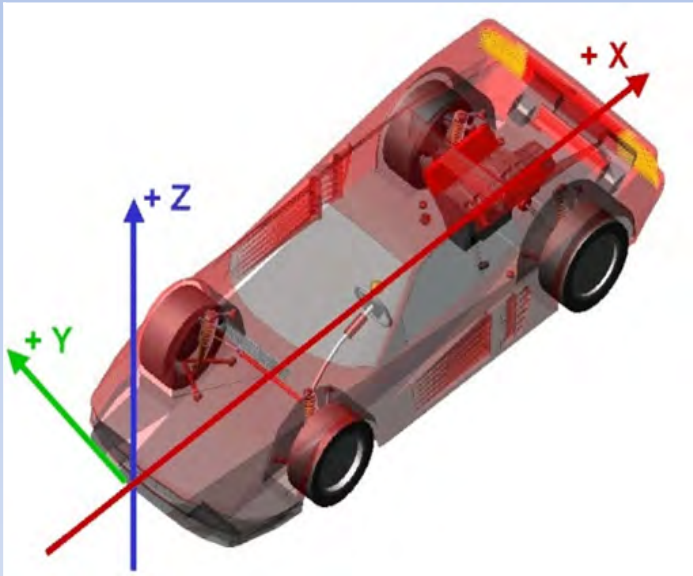
Adobe Acrobat  
Document

汽车总装扭矩质量控制方  
法



# introduction

## 整车坐标系



整车坐标系说明：

X 正方向：由车前指向车后方；

Y 正方向：指向车右方；

Z 正方向：指向车上方；

$T_x$ \  $T_y$ \  $T_z$  正方向：按右手螺旋定则，与载荷力方向相符。

# introduction

request 名称: bkl\_lca\_front (左边下摆臂前点受力)

i\_part 名称: ipl\_lca\_front

j\_part 名称: gel\_lower\_control\_arm

载荷加载工况	FM(N)	FX(N)	FY(N)	FZ(N)	TM(N. mm)	TX(N. mm)	TY(N. mm)	TZ(N. mm)
向前制动	12535.24	3421.89	-12009.75	1090.31	16313.75	-16024.88	734.58	2966.80
向后制动	5036.13	-2061.84	4588.47	239.53	3560.33	-2236.75	-79.63	-2768.86
向前紧急制动	11554.93	3988.22	-10818.86	750.09	14430.28	-14052.89	680.19	3207.25
向后紧急制动	5860.98	-2765.90	5165.42	138.85	6790.49	-5872.30	-16.83	-3409.79
过双侧凸包	1906.64	-414.05	-1831.44	331.16	20924.16	-20888.54	372.49	-1162.18
过单侧凸包 (左侧)	2826.21	-612.94	-2712.07	506.39	22514.20	-22469.72	362.56	-1367.30
过单侧深坑 (左侧)	18417.31	2397.08	-17955.13	3326.34	24193.60	-24055.29	681.73	2491.72
极限转向 (右转)	11295.44	-26.11	11222.48	-1281.51	20238.21	-20122.83	124.57	-2154.42
转向制动 (右转)	4367.44	2133.52	-3775.90	514.96	17893.17	-17802.38	485.81	1733.38
转向驱动 (右转)	11816.21	-1949.14	11650.81	286.94	8363.98	-7571.82	-323.19	-3538.24
最大驱动加速度	3904.23	-1202.63	3668.56	581.68	12299.27	12224.88	-320.68	-1312.04
对角扭曲 (左侧)	2036.08	-464.30	-1964.51	265.98	18359.26	-18322.78	321.78	-1111.08

# Quickly calculate

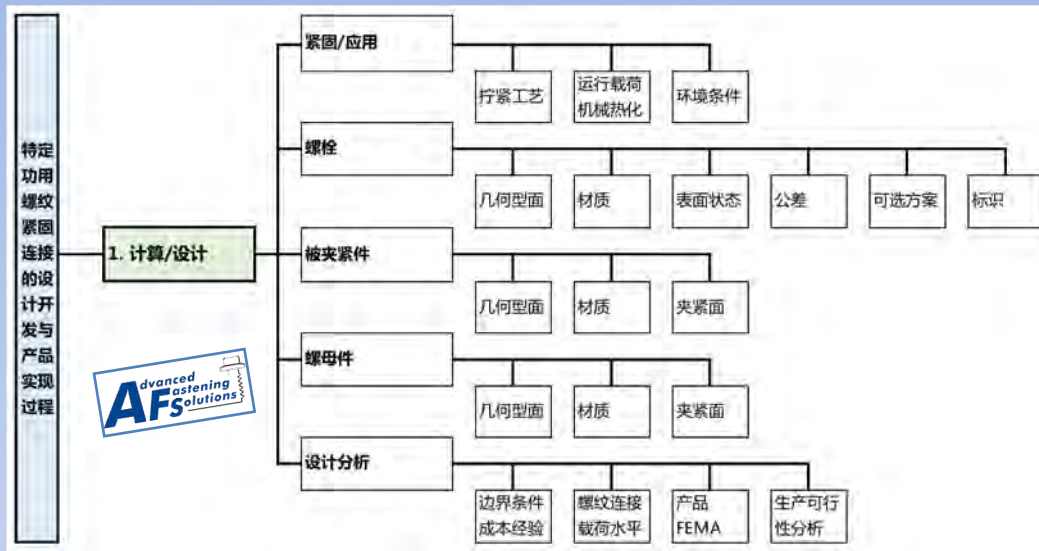
When using a standard torque specification use this bolt tension for Slip Calculation

Bolt Tension for Standard Torques						
Bolt Size		Driven Fastener	Material Strength	Torque Spec (Nm)	Min. Tension (Kn)	Max. Tension (Kn)
M	6	Free spin nut or bolt	8.8	9+/-1.5	6.05	12.10
M	8	Free spin nut or bolt	8.8	22+/-3	11.00	22.00
M	10	Free spin nut or bolt	10.9	58+/-9	24.05	48.10
M	12	Free spin nut or bolt	10.9	100+/-15	35.00	70.00
M	14	Free spin nut or bolt	10.9	160+/-25	47.70	95.40
M	16	Free spin nut or bolt	10.9	240+/-35	65.00	130.00
M	17x1.5	Free spin nut or bolt	10.9	320+/-50	79.00	158.00
M	10x1.25	Free spin nut or bolt	10.9	62+/-9	25.40	50.80
M	12x1.25	Free spin nut or bolt	10.9	110+/-15	38.20	76.40
M	14x1.5	Free spin nut or bolt	10.9	180+/-25	52.00	104.00
M	16x1.5	Free spin nut or bolt	10.9	270+/-40	69.50	139.00
M	18	Free spin nut or bolt	10.9	TBD	80.00	160.00
M	20	Free spin nut or bolt	10.9	TBD	101.50	203.00
M	22	Free spin nut or bolt	10.9	TBD	126.00	252.00
M	24	Free spin nut or bolt	10.9	TBD	153.00	306.00

Minimum Bolt Tension for various tightening strategies							
Standard torque Min. (Kn)		T/A Min. (Kn)		T/A to yield Min. (Sometimes) (Kn)		T/A to yield Min. (Sometimes) (Kn)	
M6 50% proof	6	M10 75% proof	9.0	M10 proof	12.0	M10 Yield	13.0
M8 50% proof	11	M10 75% proof	16.5	M10 proof	22.0	M10 Yield	24.0
M10 50% proof	24	M10 75% proof	36.1	M10 proof	48.1	M10 Yield	54.5
M12 50% proof	35	M12 75% proof	52.5	M12 proof	70.0	M12 Yield	79.2
M14 50% proof	48	M14 75% proof	71.3	M14 proof	95.0	M14 Yield	109.0
M16 50% proof	65	M16 75% proof	97.5	M16 proof	130.0	M16 Yield	147.0
M16 50% proof	79	M16 75% proof	118.5	M17 proof	158.0	M16 Yield	179.0
M10x1.25 50% proof	25	M10x1.25 75% proof	38.1	M10x1.25 proof	50.8		
M12x1.25 50% proof	38	M12x1.25 75% proof	57.3	M12x1.25 proof	76.4		
M14x1.5 50% proof	52	M14x1.5 75% proof	78.0	M14x1.5 proof	104.0		
M16x1.5 50% proof	70	M16x1.5 75% proof	104.3	M16x1.5 proof	139.0		
M18 50% proof	80	M18 75% proof	120.0	M18 proof	160.0	M18 Yield	181.0
M20 50% proof	102	M20 75% proof	152.3	M20 proof	203.0	M20 Yield	230.0
M22 50% proof	126	M22 75% proof	189.0	M22 proof	252.0	M22 Yield	285.0
M24 50% proof	153	M24 75% proof	229.5	M24 proof	306.0	M24 Yield	346.0

When using a standard torque specification use this bolt tension for Surface Pressure Calculation and check for yielding part in the joint

- Bolt information include preload and torque of different tightening process



- 优于VDI 2230 指导准则
- 应变硬化的超弹性行为 (超弹性拧紧和运行)
- 高温下材料强度劣化
- 100个输入, 500个输出, 20个带偏离的安全因子

德国AFS 先进紧固连接技术研究所

- 背靠德国锡根大学 MVP 连接技术学院  
【德国螺栓协会培训基地】
- 长期根植于企业服务



## 1. 计算/设计 (开发)

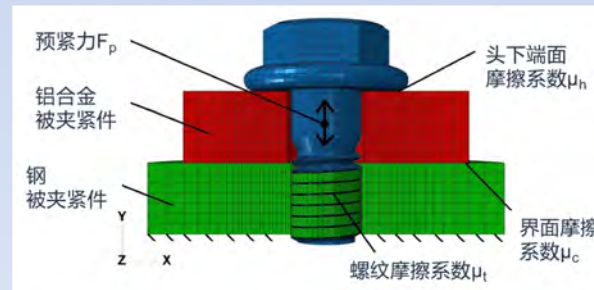
### ■ 紧固系统设计

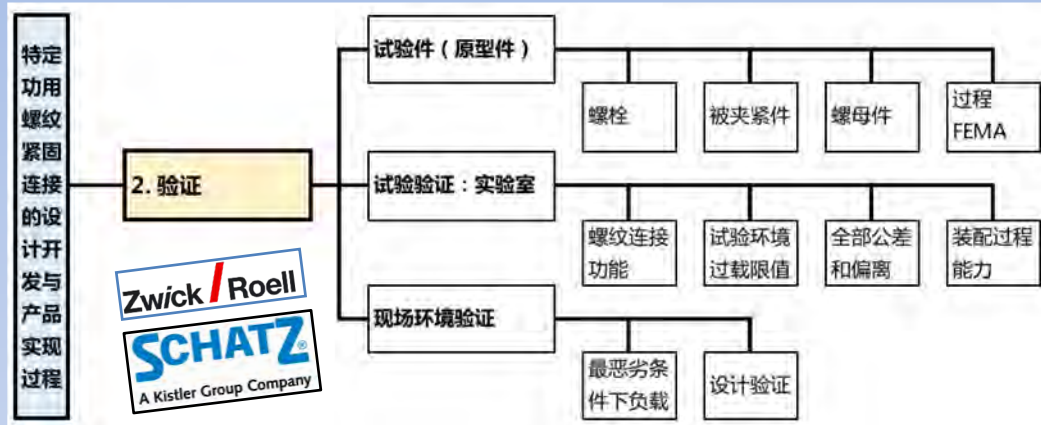
- 螺栓设计师Screw-Designer
- 有限元仿真
- 复杂计算与评估

### ■ 模拟验证

### ■ 培训

- 理论知识
- 应用实践





## 2. 验证

### ■ 试验验证设备

- 材料强度试验 -> 拉力试验机、疲劳强度试验机
- 摩擦系数 -> Schatz ANALYSE 多功能螺栓紧固测试分析系统
- 防松性能 -> Schatz Vibration System 横向振动试验系统
- 螺栓形位尺寸 -> ECM 自动光学螺栓形位尺寸测量系统
- 螺栓夹紧力实时监控 -> i-bolt 超声波测量系统

### ■ 试验验证

- 德国: 仿真实验室 (软件分析模拟和数值计算) 和检测实验室 (包括有装配试验、振动试验)
- 国内: 合作实验室



### 德国ZWICK/ROELL集团

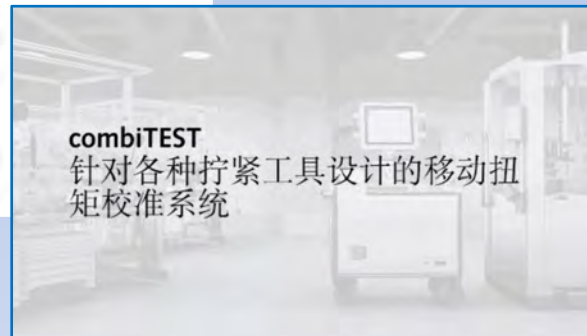
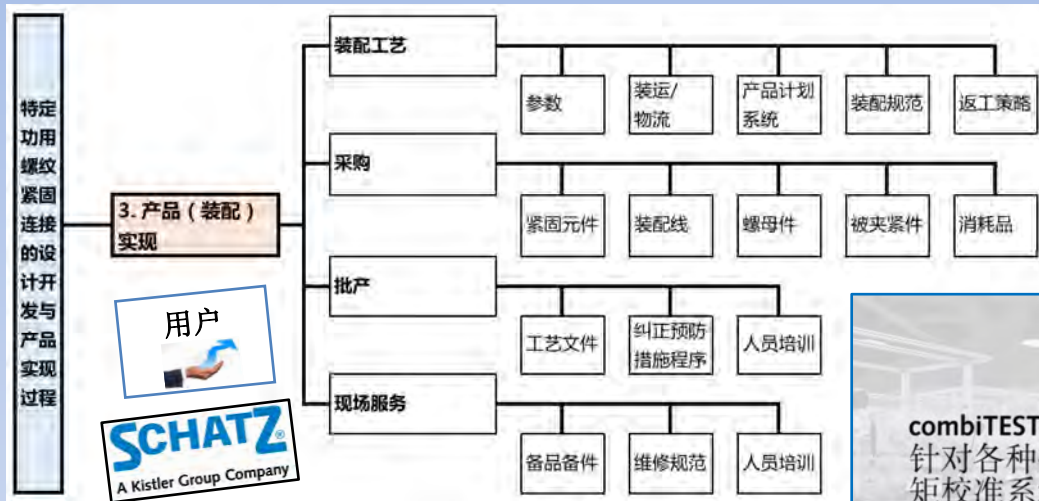
- 1885年
- 欧洲最大物理性能测试仪器生产企业
- 10万多套
- 欧洲市场份额 ≥75%

### 德国Schatz (Kistler集团成员)

- 1955年
- 专注于螺栓生产和装配的过程监控测试设备制造







## 3. 产品（装配）实现

### ■ 现场装配、校验设备

- Schatz INSPECTpro 多功能便携式转矩分析仪
- 模拟装配系统
- Schatz cerTEST 拧紧工具校验解决方案
- caliTEST, combiTEST, cerTEST-W 拧紧工具校验设备
- 螺栓形位尺寸 -> ECM 自动光学螺栓形位尺寸测量系统
- 螺栓夹紧力实时监控 -> i-bolt超声波测量系统

### ■ 拧紧工艺的制订/分析

### ■ 失效分析

### ■ 产品优化、过程优化





设计

检测、校准

软件

## 德国螺栓紧固设计、检测、分析专家

防松设计优化



装配工艺模拟



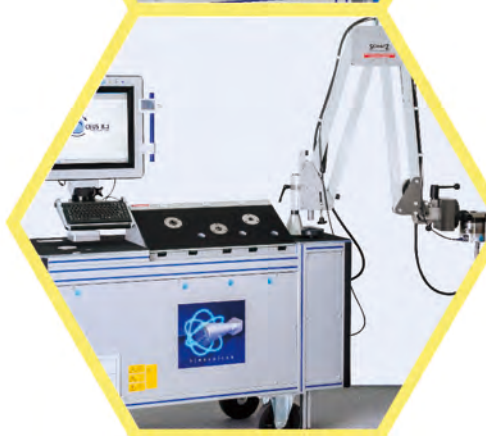
螺栓紧固分析



测试结果分析



拧紧工具校准



现场扭矩分析



现场轴力分析



智能测试软件





## 德国ZWICK/ROELL集团

- 1885年
- 欧洲最大 物理性能测试仪器 生产企业
- 10 万多套
- 欧洲市场份额  $\geq 75\%$

## 德国Schatz ( Kistler集团成员 )

- 1955年
- 专注于螺栓生产和装配的过程监控测试设备制造

## 德国AFS 先进紧固连接技术研究所

- 背靠德国锡根大学 MVP 连接技术学院  
【德国螺栓协会培训基地】
- 长期根植于企业服务

检测设备  
校准设备  
装配设备  
测试软件

课题攻关  
设计优化  
复杂仿真  
科学计算  
失效分析  
培训实践





AFS 所在地



锡根大学

**德国AFS先进紧固技术研究**（简称“AFS”）所位于德国中西部地区, 是德国众多紧固件制造厂所在地。

依托德国锡根大学机械学院附属MVP 研究院强大的技术实力，AFS为全球客户提供紧固设计、开发、优化的专业技术支持和服务。可以针对**底盘、发动机、内饰件、涡轮增压、铝、镁和碳纤维复合材料零件**提供完整的紧固件设计开发。

AFS汇聚了在**紧固连接技术设计、仿真、计算、试验测试**各方面的专家，确保可以提供在传统工业技术上的强有力的支持。

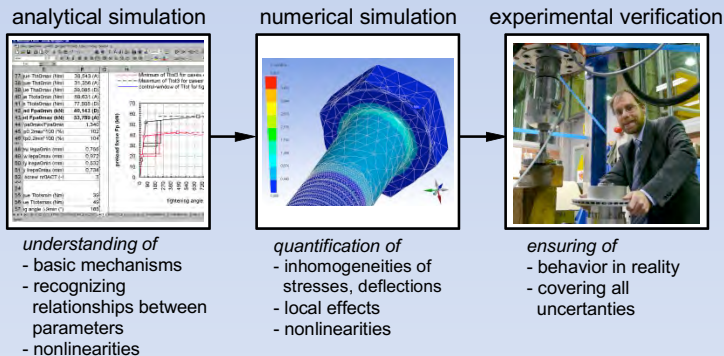
AFS拥有大学和SFA（德国螺栓协会）深厚的专业学术研究背景（德国紧固件协会的“出色的紧固件工程教育”**培训基地**），熟悉紧固件制造，物流，成本控制等客户的真实需求。





■ MVP 研究院是 M 机械标准件设计, V 连接技术、P 产品创新的德语缩写

■ MVP 研究院附属德国锡根大学机械学院。除了教学外,还担负提供讲座,组织研讨会,用公共资金进行研发项目,以及与企业界的深度合作解决工程应用问题



■ 研究院下属两个重要实验室:

**仿真实验室** (软件分析模拟和数值计算) 和 **检测实验室** (实验验证, 包括有装配试验、振动试验)

感谢聆听



PRESENTATION



www.zwick.com.cn



微信公众号



培训意见建议反馈



近期培训课程预约

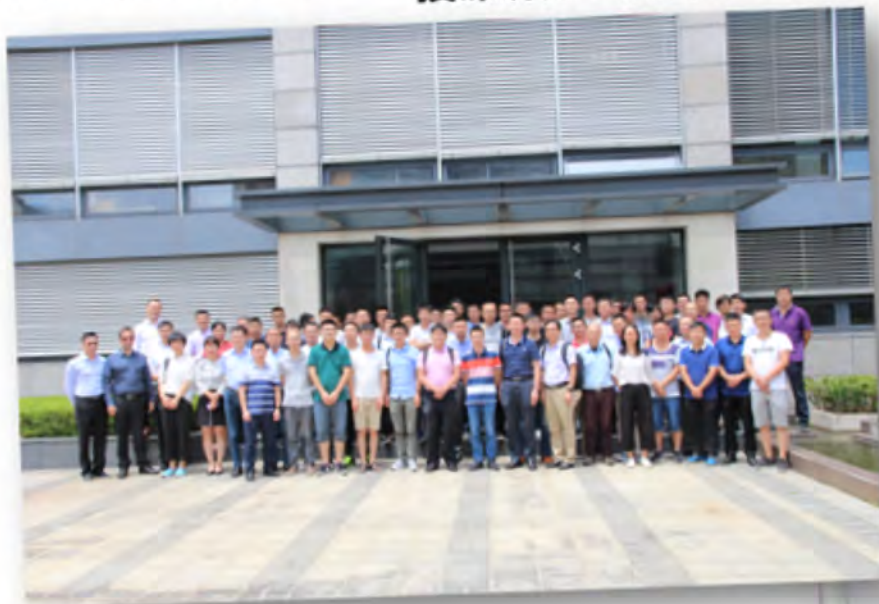


客服微信



往届研习班回顾

2018/8 VDI 2230 计算基础 研习班  
授课讲师：德国AFS专家 Hendrik Hubbertz





往届研习班回顾

2018/3 紧固件正向设计 研习班  
授课讲师：德国AFS专家 Hendrik Hubbertz



## 往届研讨会回顾 2017年 紧固件系列研讨会 演讲嘉宾：Mr. Christoph Otto

