

发动机前端附件驱动系统动态特性的设计与试验研究

Design and experimental study on dynamic characteristics of engine front end accessory drive system

报告人：上官文斌 教授/博导

华南理工大学 机械与汽车工程学院

School of Mechanical and Automotive Engineering, South China University of Technology

手机（微信号）：18820082208

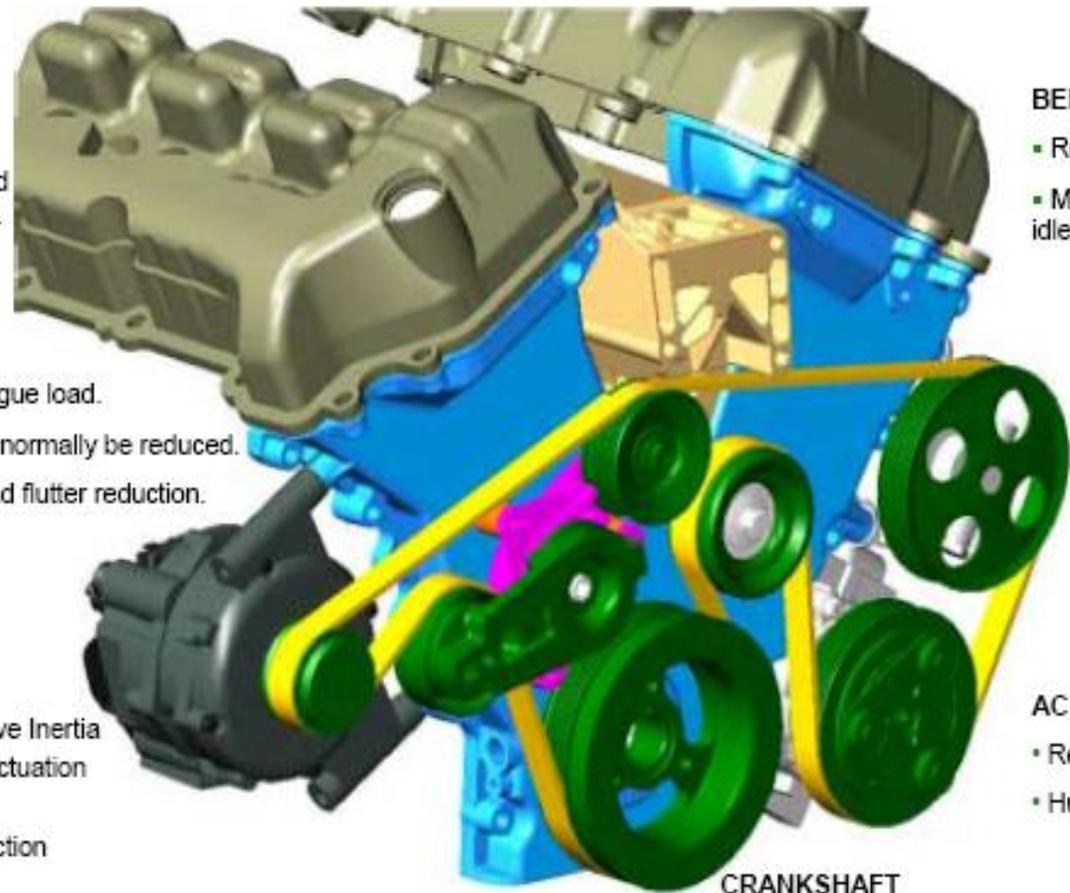
目录 Contents

- **1.附件驱动系统动态特性的评价**
Evaluation of dynamic characteristics of accessory drive system
- **2.附件驱动系统的布局设计**
Layout design of accessory drive system
- **3.附件驱动系统的动态特性的计算**
Calculation of dynamic characteristics of accessory drive system
- **4.附件驱动系统的动态特性的实验**
Experiment on dynamic characteristics of accessory drive system
- **5.附件驱动系统的可靠性分析**
Reliability analysis of accessory drive system

发动机前端附件驱动系统的组成

ENGINE

- Permit lower idle speed.
- Permit Cyl-Deac Idling & cruise.
- Reduce vibration transmitted through mounts and car body.



BELT

- Reduced fatigue load.
- Tension can normally be reduced.
- Belt noise and flutter reduction.

ALTERNATOR

- Reduction of Effective Inertia
- Reduce Current Fluctuation
- Overrun Protection
- Bearing Load Reduction

BELT TENSIONER

- Reduced Motion and Wear
- Reduced Noise
- May reduce need for High Damping

CRANKSHAFT

- Reduce loading of Main Bearings
- May eliminate need for Low Speed Torsional Damper
- Reduce torsional vibration

BELT ROUTING IDLER

- Reduced Bearing loads.
- May eliminate need for certain idlers (wrapping).

P/S PUMP

- Reduce torsional vibration induced shudder.

AC COMPRESSOR

- Reduce "rattle noise"
- Hubload reduction.

1. 附件驱动系统动态特性的评价

- (1) 共振频率 (Resonance frequency)
- (2) 张紧器摆角 (Oscillation angle of tensioner arm)
- (3) 带段张力波动 (Belt tension variation)
- (4) 轮-带之间的滑移 (Slip between pulley and belt)
- (5) 带段横向抖动 (Transverse vibration of belt)
- (6) 其它 (Others)

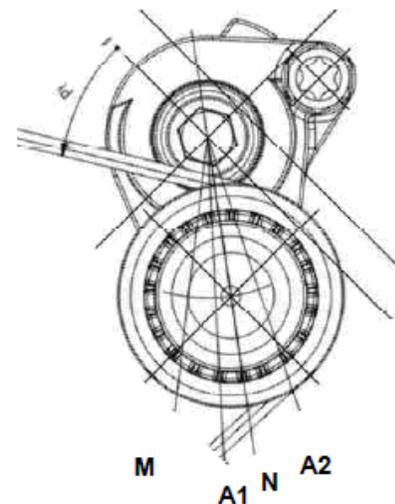
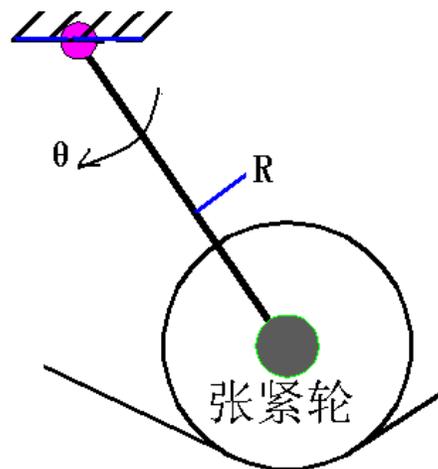
(1) 共振频率（共振转速）

一般情况下，应把EFEAD的一阶共振频率控制在怠速激振频率以下。

	目标值X	性能评价
重要的共振转速 (6缸四冲程发动机)	$X < 500$ 或 $X > 1500$ 或 $850 < X < 1100 \text{rpm}$	好
	$1100 \leq X \leq 1500 \text{rpm}$	一般
	$500 < X < 850 \text{rpm}$	差

(2) 张紧器摆角

$$x = R\theta$$



旧标准

张紧臂的摆动 (峰-峰值)	目标值X	性能评价
-机械式	$X < 4\text{mm}$	好
	$4\text{mm} \leq X \leq 6\text{mm}$	一般
	$X > 6\text{mm}$	差
-液压式	$X < 2\text{mm}$	好
	$2\text{mm} \leq X \leq 3.5\text{mm}$	一般
	$X > 3.5\text{mm}$	差

现行标准

张紧臂摆角：正常工况摆角峰峰值 $< 5^\circ$ ，启动工况 $< 12 \sim 15^\circ$ 。

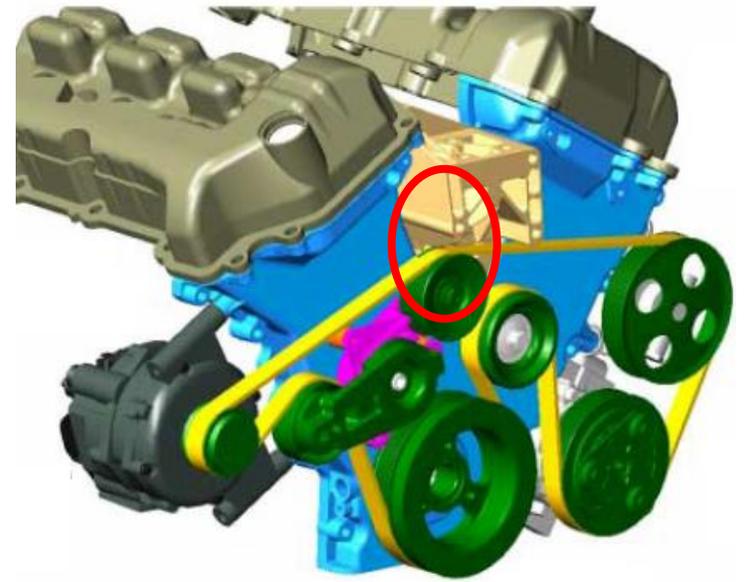
(3) 带段张力波动

带中张力(6PK)	目标值X	性能评价
-带张力波动值 (峰-峰值)	$X < 1500\text{N}$	好
	$1500\text{N} \leq X \leq 2000\text{N}$	一般
	$X > 2000\text{N}$	差

-最小带张力	$X > 125\text{N}$	好
	$75\text{N} \leq X \leq 125\text{N}$	一般
	$X < 75\text{N}$	差

(4) 带-轮间的滑移

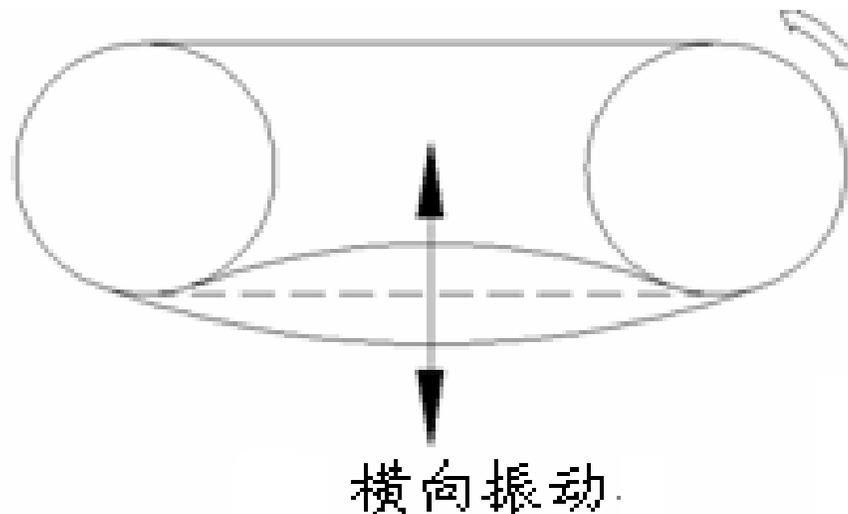
$$\Gamma_i = \frac{V_B - V_i}{V_B} \times 100\% = \frac{\dot{\theta}_a R_a - \dot{\theta}_i R_i}{\dot{\theta}_a R_a} \times 100\%, \quad i = 1, 2, 3, \dots, m+n$$



其中 Γ_i 代表第 i 个轮的滑移率, V_B , V_i 分别代表带的速度和轮的线速度, $\dot{\theta}_i$ 表示第 i 个轮的转速, $\dot{\theta}_a$ 表示主动轮的转速, 利用主动轮上的线速度近似表示轮系皮带速度。

轮-带	目标值X	性能评价
最大的滑移率	$X < 3\%$	好
	$3\% \leq X \leq 5\%$	一般
	$X > 5\%$	差

(5) 带段横向抖动



旧标准

最大的 带段振动幅值	目标值X	性能评价
	$X < 8\text{mm}$	好
	$8\text{mm} \leq X \leq 12\text{mm}$	一般
	$X > 12\text{mm}$	差

现行标准

皮带抖动：抖动峰峰值 $<$ 跨度带段长 $\times 5\%$ ，且无异响、无干涉。

(6) 其它

- a) 轮毂载荷：Maximum Hubload must be compared with maximum values acceptable by the bearing
- b) 包角：Wrap angles are only guideline before layout design。

Des	Wrap Angle	Recommendation
CR	207.86	>180
AC	101.02	>120
PS	237.73	>100
ID	55.43	>25
ALT	142.7	>150
WP	72.92	>60
TP	200.96	

6PK 2020mm @ test load 300N

c) 各带段长度

楔入槽形轮面的带段长度至少要大于60mm，
进入平面轮的带段长度至少大于50mm。

目录 Contents

- 1.附件驱动系统动态特性的评价
Evaluation of dynamic characteristics of accessory drive system
- **2.附件驱动系统的布局设计**
Layout design of accessory drive system
- 3.附件驱动系统的动态特性的计算
Calculation of dynamic characteristics of accessory drive system
- 4.附件驱动系统的动态特性的实验
Experiment on dynamic characteristics of accessory drive system
- 5.附件驱动系统的可靠性分析
Reliability analysis of accessory drive system

2. 附件驱动系统的布局设计

- (1) 已知条件 (Input parameters)
- (2) 确定打滑门槛 (Sliding threshold)
- (3) 确定和校验初始张力和皮带楔数 (Initial tensions and belt rips)
- (4) 皮带寿命估计 (Fatigue life of belt)
- (5) 共振分析 (Belt resonance)
- (6) 张紧臂输出扭矩校验 (Tensioner torque output)

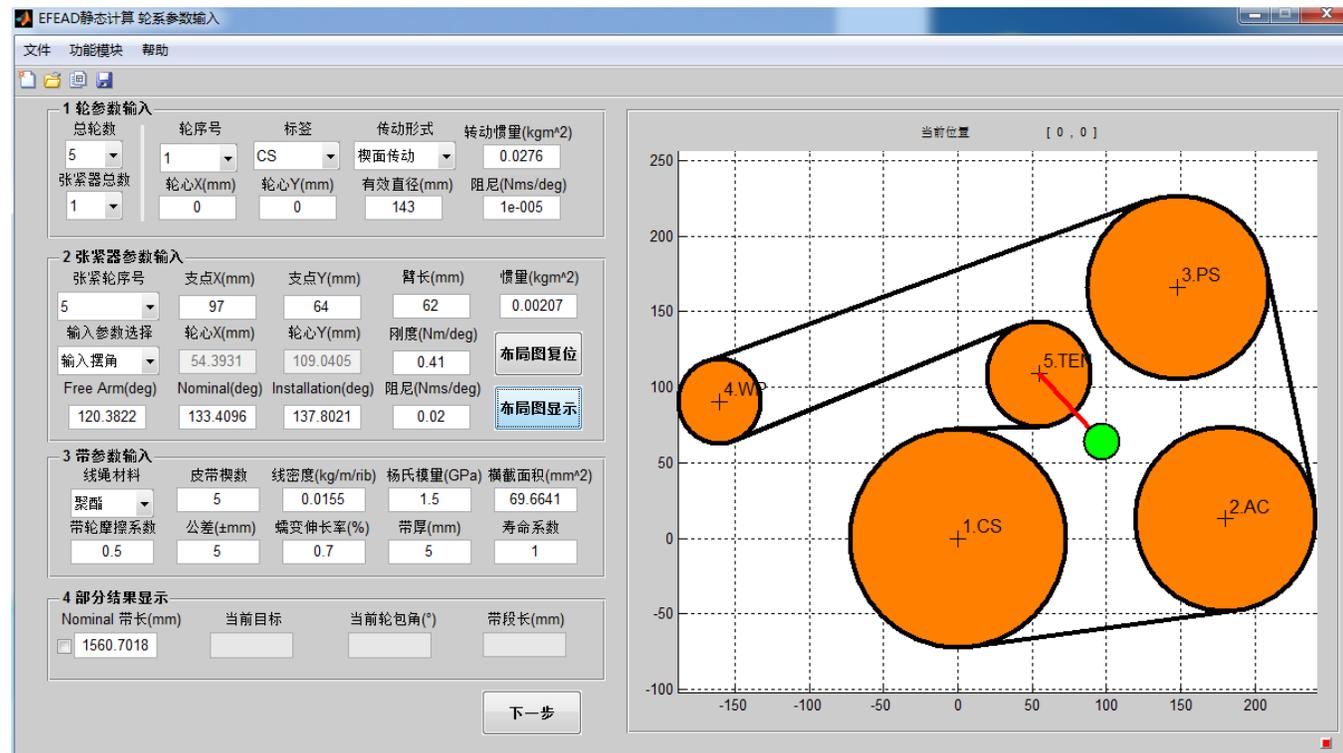
布局设计：(1) 已知条件

(1) 附件带轮轮心位置

(2) 带轮半径

Layout Data[mm]:

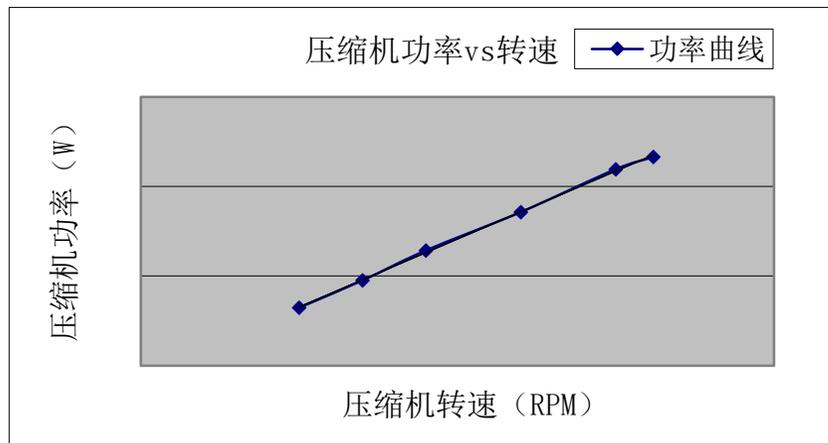
	Coordinates		Diameter
	X	Y	
CS	0	0	144
AC	210.25	-40	113
IDL	160	65	70
ALT	203	150	54.5
WP	-77.6	118	116
IDL	56.9	114	70



SCUT静态软件计算界面

负载曲线

Air conditioner Load



附件负载表(kW)

发动机转速 (rpm)	AC	IDL	ALT	WP	IDL	比例
1000	1.669	0	1.8750	0.11	0	27
1500	2.719	0	2.3300	0.18	0	25
2000	3.64	0	2.7680	0.263	0	20
2500	4.605	0	2.8480	0.398	0	15
3200	6	0	3.0000	0.647	0	10
5000	9.46	0	3.3619	1.637	0	3

Alternator Load

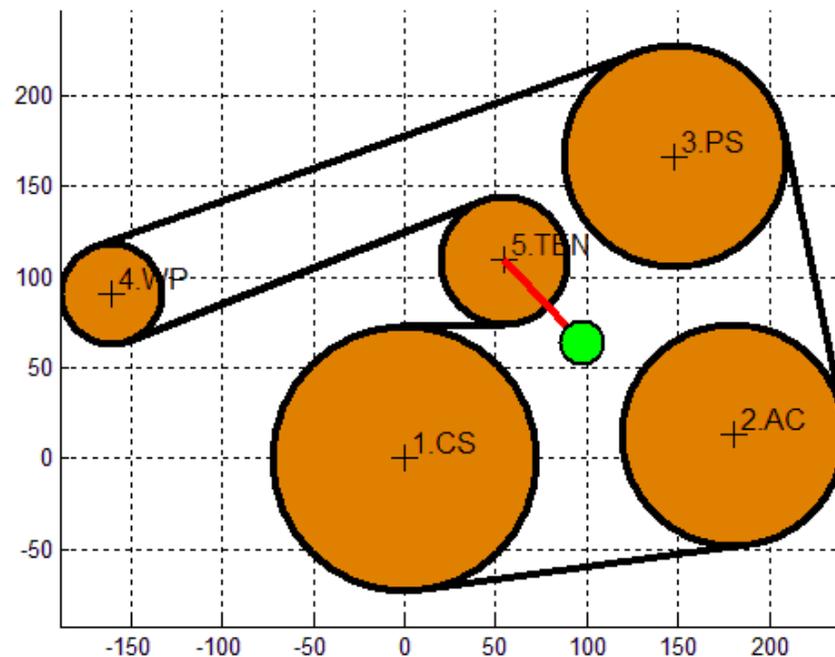
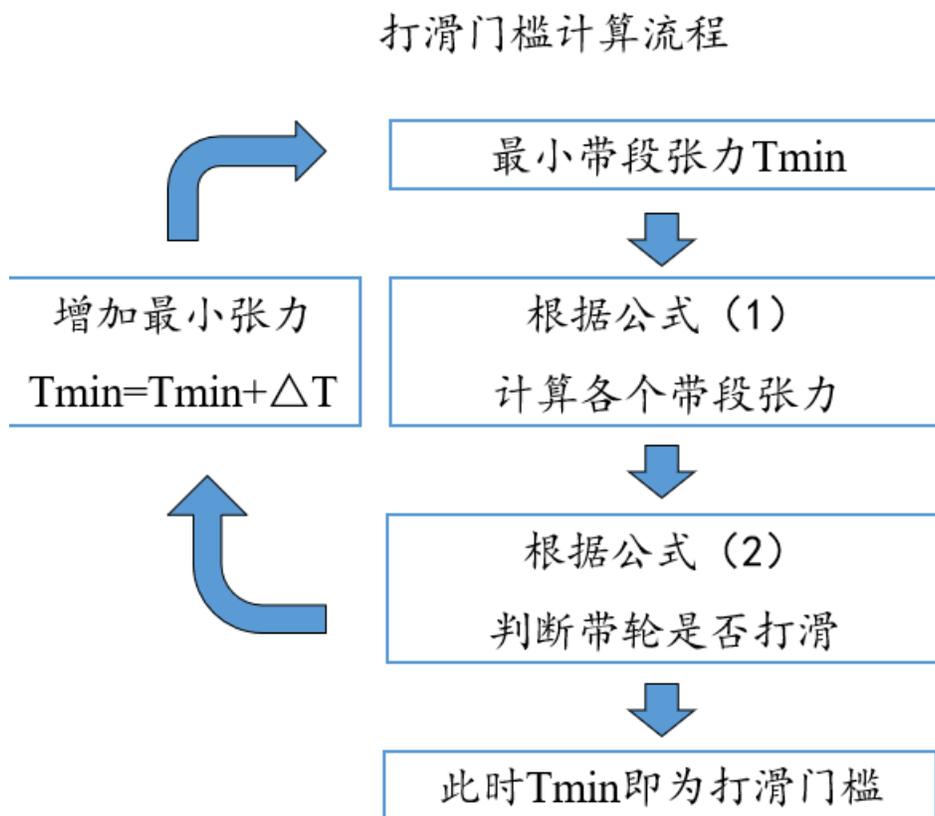
13.5V, 25°C full load										
alternator speed(rpm)	1500	1800	2000	2500	3000	4000	5000	6000	8000	10000
Engine speed (rpm)	600	720	800	1000	1200	1600	2000	2400	3200	4000
input power(kw)	0.93	1.17	1.42	1.81	2.01	2.35	2.72	2.83	2.93	3.35
output power (kw)	0.43	0.68	0.82	1.01	1.11	1.22	1.31	1.35	1.39	1.42
Input Torque (N-m)	5.90	6.20	6.80	6.90	6.40	5.60	5.20	4.50	3.50	3.2
Output Amps (A)	32.0	50.0	61.0	75.0	82.0	90.0	97.0	100.0	103.0	105
Output Volts (V)	13.5	13.5	13.5	13.5	13.5	13.5	13.5	13.5	13.5	13.5
Efficiency	47%	58%	58%	56%	55%	52%	48%	48%	47%	42%
inertia moment	20.5kg.cm									

布局设计：(2) 确定打滑门槛

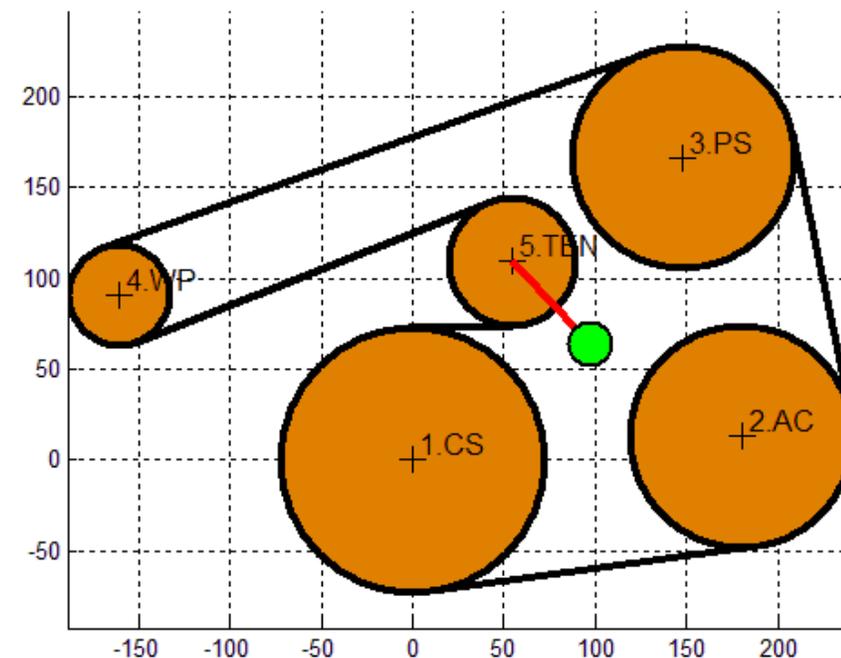
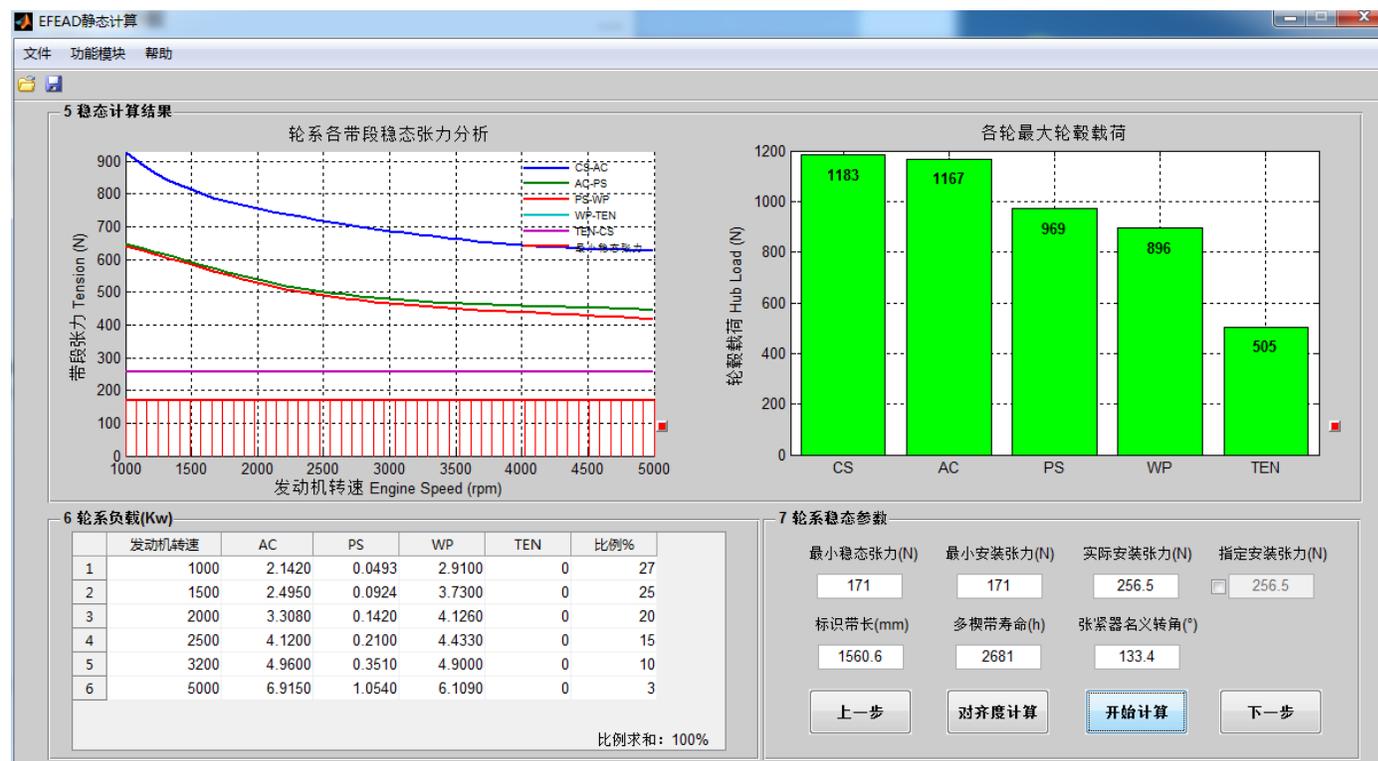
假设最后一个带段张力 $T_6=0\text{N}$ ，逐步增大 T_6 ，计算其他带段张力，直到每个带轮都不打滑，这时 T_6 的张力值称为打滑门槛。

$$T_{i-1} = \frac{Q_i}{R_i} + T_i$$

$$\frac{T_{i-1}}{T_i} < e^{f\alpha}$$



布局设计：(3) 确定和校验初始张力和皮带楔数



初始张力： 保证轮系在极限工况下最小带段张力高于打滑门槛
 初始张力太大会降低皮带寿命
 一般情况下，初始张力为打滑门槛的1.5-1.8倍

皮带楔数： 皮带楔数越大，承载能力越强，皮带宽度越大

一般情况下，多楔带应承受约150 N/rib 拉力

布局设计：(4) 皮带寿命估计

对于楔面传动带轮*i*，其疲劳率为：

$$\log FR_i = 0.022356 \times \left(T_{ti} + \frac{6522.5}{D_{pi}} + \rho v_j^2 \right) + \log v_j - 4.8337$$

对于背面传动带轮*i*，其疲劳率为

$$\log FR_i = 0.022356 \times \left(T_{ti} + \frac{8696.6}{D_{pi}} + \rho v_j^2 \right) + \log v_j - 4.8337$$

$$Hour = \frac{100 \times L}{FR_T}$$

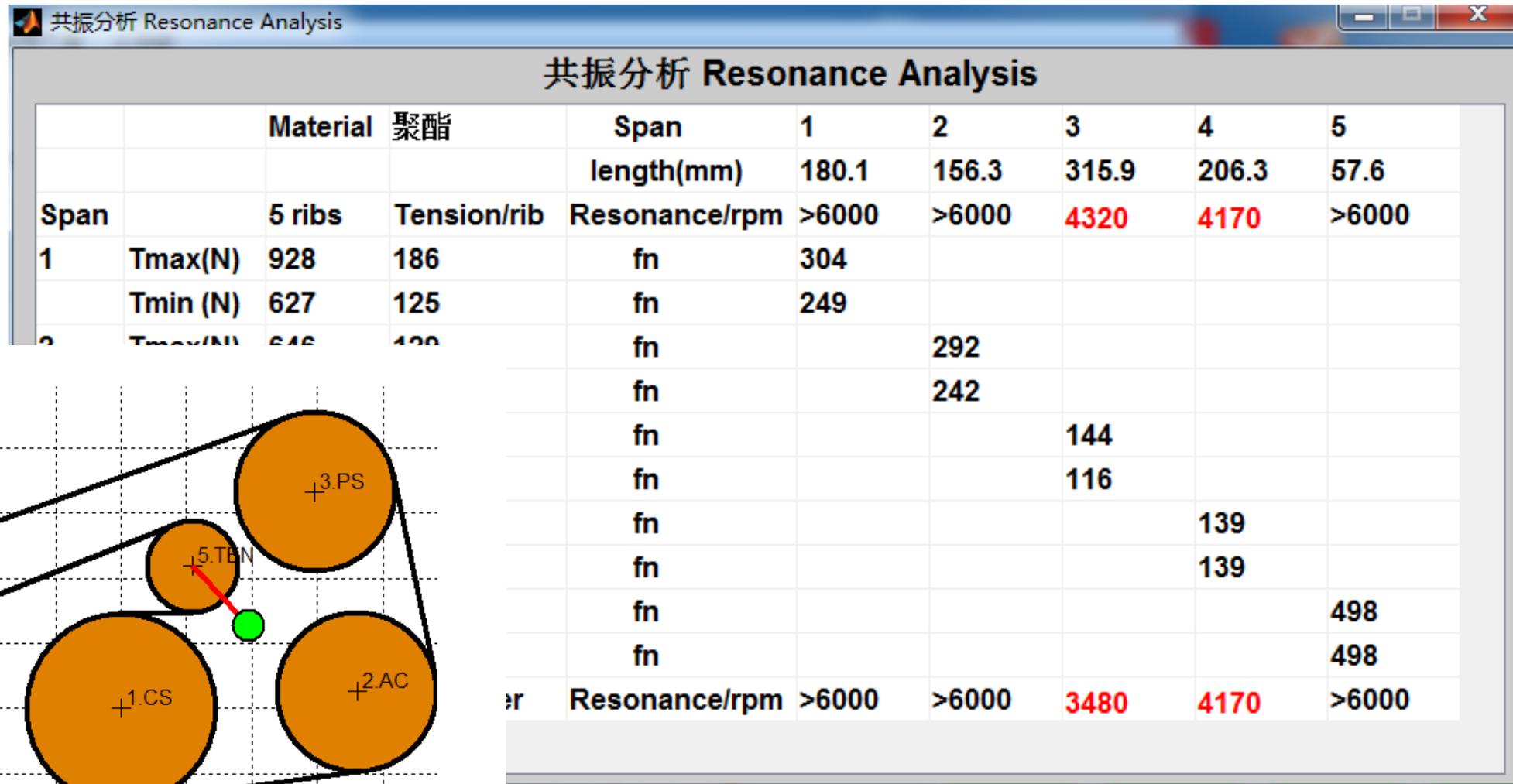
最小稳态张力(N)	最小安装张力(N)	实际安装张力(N)	指定安装张力(N)
171	171	256.5	<input type="checkbox"/> 256.5
标识带长(mm)	多楔带寿命(h)	张紧器名义转角(°)	
1560.6	2681	133.4	

上一步 对齐度计算 开始计算 下一步

SCUT静态软件确定安装张力及工况后，便可计算皮带寿命

布局设计：(5) 共振分析

$$f_n = \frac{1}{2l} \sqrt{\frac{T}{\rho}}$$



目录 Contents

- 1.附件驱动系统动态特性的评价
Evaluation of dynamic characteristics of accessory drive system
- 2.附件驱动系统的布局设计
Layout design of accessory drive system
- **3.附件驱动系统的动态特性的计算**
Calculation of dynamic characteristics of accessory drive system
- 4.附件驱动系统的动态特性的实验
Experiment on dynamic characteristics of accessory drive system
- 5.附件驱动系统的可靠性分析
Reliability analysis of accessory drive system

3. 附件驱动系统的动态特性的计算

- (1) EFEAD动态特性计算流程 (Procedures)
- (2) 构建EFEAD系统动力学方程 (Dynamic equations)
- (3) 计算实例 (Examples)

(1) EFEAD动态特性计算流程

已知条件:

几何参数:

所有带轮圆心的位置

张紧器支点的位置

所有带轮的直径

力学参数:

所有带轮对于圆心轴线的转动惯量

多楔带的杨氏模量和横截面积

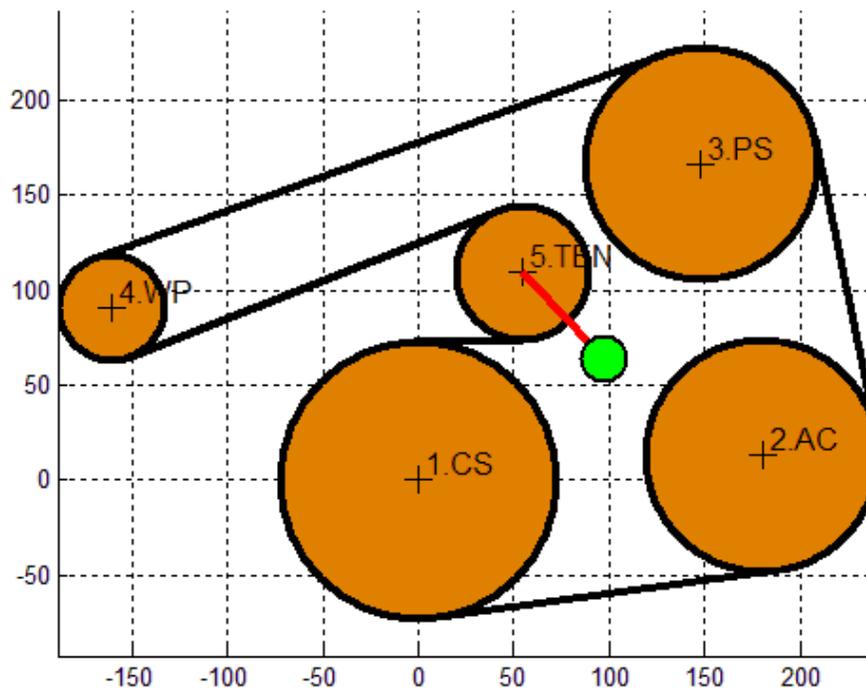
张紧器扭转弹簧的刚度系数

张紧器等效阻尼的粘性系数

激励与负载:

曲轴轮的运动情况 (转速随时间的变化曲线)

所有附件轮的负载情况 (功率随转速的变化曲线)



(1) EFEAD动态特性计算流程

(1) 建立系统微分方程组

- 建立张紧臂的运动方程
- 建立从动轮的运动方程
- 建立带的张力方程

方程自变量为各个附件轮和张紧臂的转角和转速，从而求解结果为各自由度的转角和转速。

(2) 以主动轮的转速为激励，求解微分方程组

- 运用龙格库塔算法对微分方程组进行求解

(3) 循环所有转速，获取系统的旋转振动特性(后处理)

- 带段张力
- 轮毂载荷
- 张紧臂摆角
- 轮与带之间的滑移率
- 带的横向振动

(2) 构建EFEAD系统动力学方程

带段对张紧臂支点力矩

带段张力

$$I_i \ddot{\theta}_i + C_i \dot{\theta}_i + Q_i = R_i (T_{i-1} - T_i), \quad i = 2, 3, \dots, n$$

张紧臂

$$I_t \ddot{\theta}_t + C_t \dot{\theta}_t + K_t (\theta_t - \theta_0) = Q_t$$

附件轮

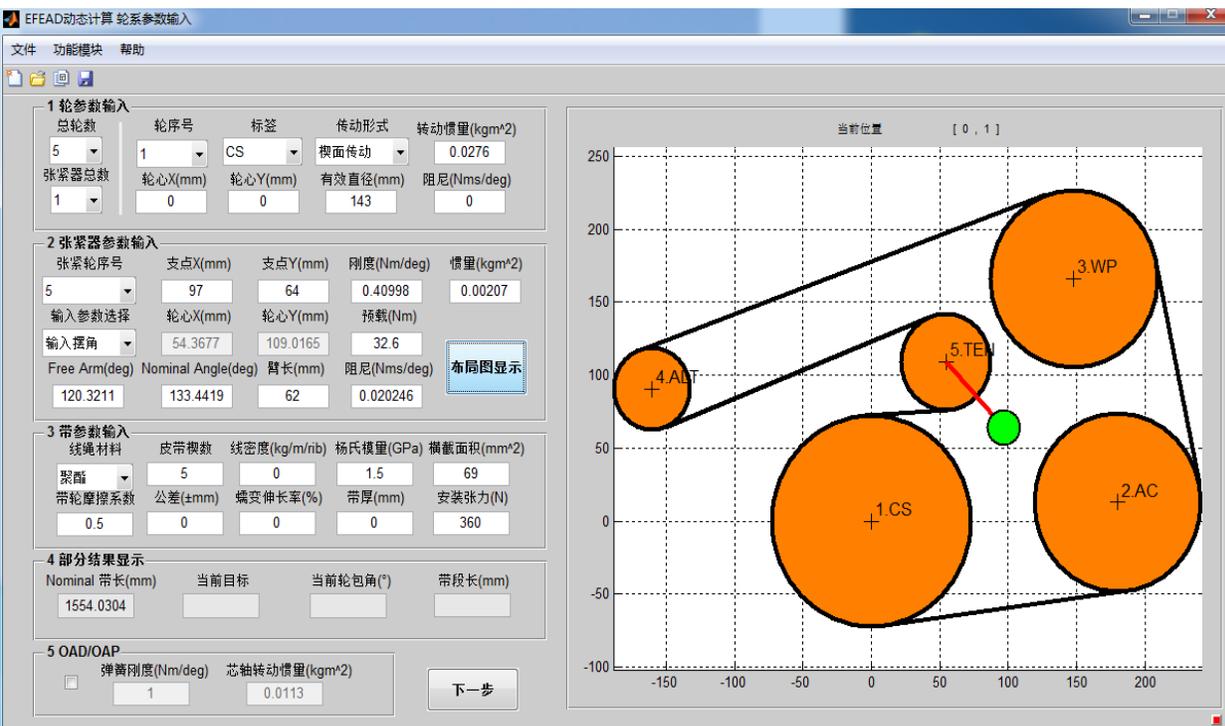
刚性旋转元件

负载

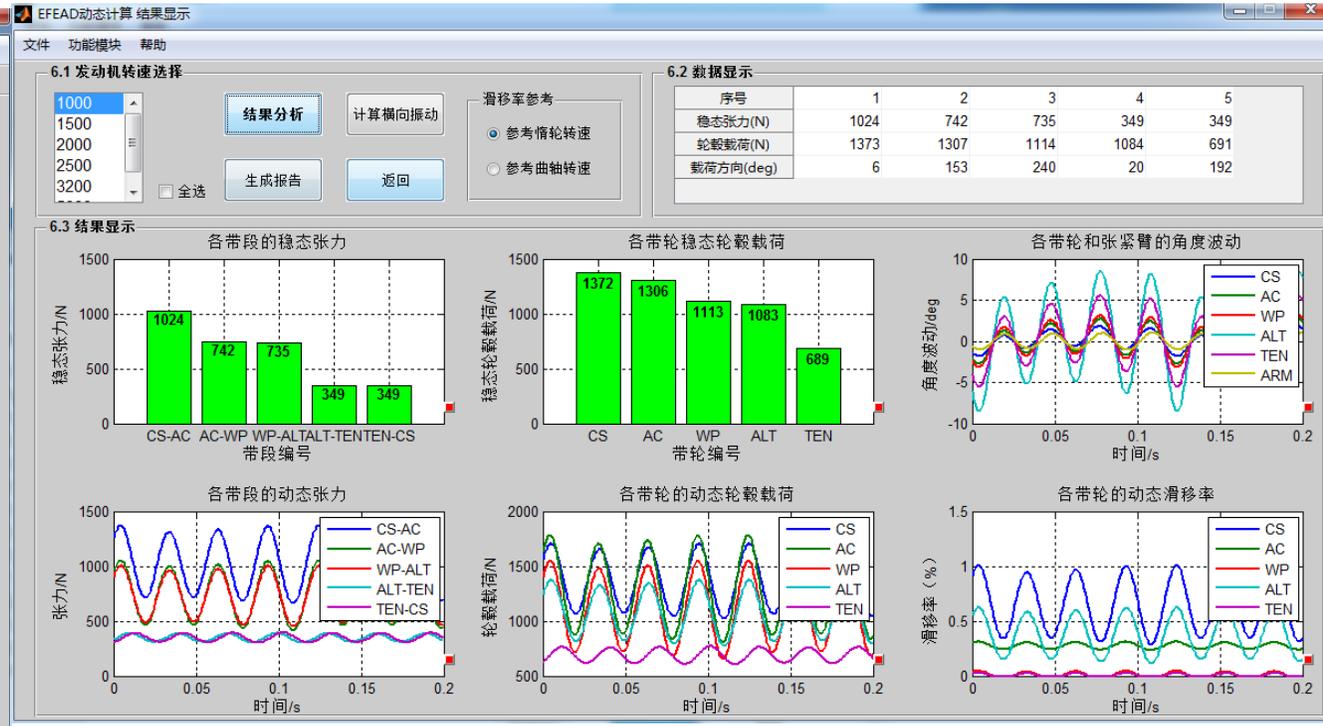
$$m(w_{i,tt} - 2vw_{i,xt} + v^2w_{i,xx}) - P_i w_{i,xx} + EIw_{i,xxxx} = 0 \quad \text{带段横向振动 (梁模型)}$$

$$m(w_{i,tt} - 2vw_{i,xt} + v^2w_{i,xx}) - P_i w_{i,xx} = 0 \quad \text{带段横向振动 (弦模型)}$$

SCUT动态软件计算界面



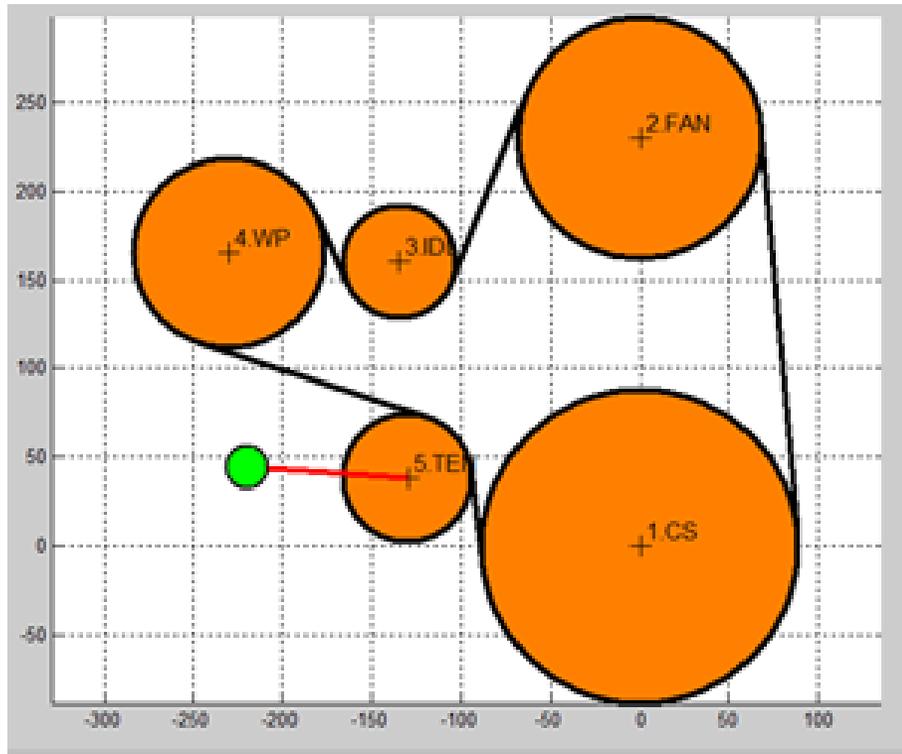
输入界面



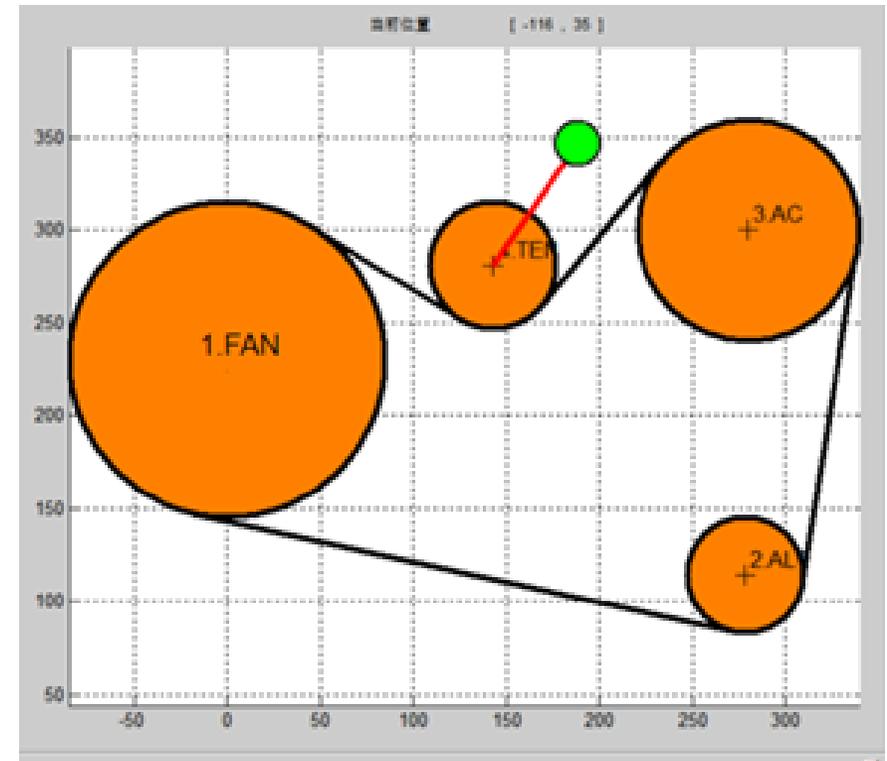
计算结果

课题组开发了轮系动态计算软件，该软件计算结果与商用软件计算结果基本吻合。

(3) 计算实例 (1/6)



第一层轮系示意图（曲轴轮驱动）



第二层轮系示意图（风扇轮驱动）

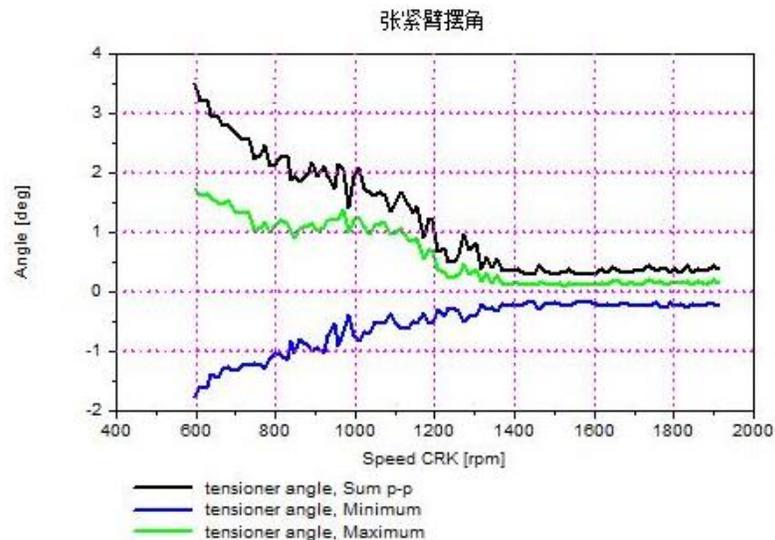
某企业双层轮系布局示意图

针对上述轮系采用Simdrive软件计算与测试结果进行对比，并取得了较高的精度。

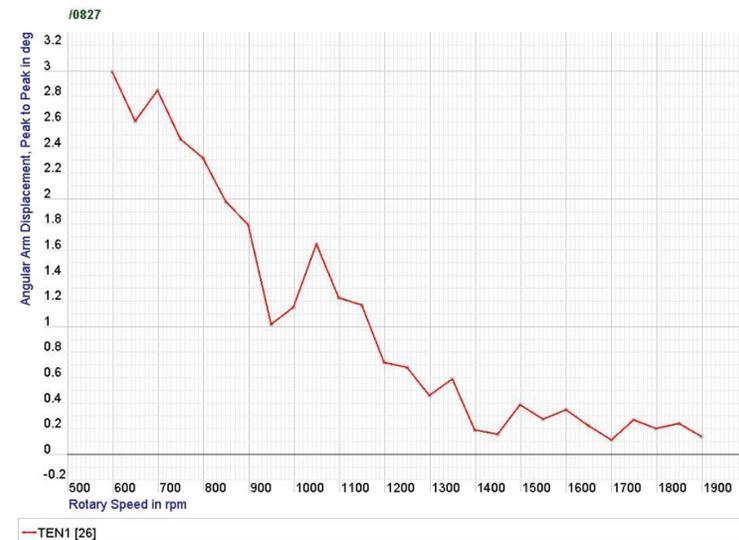
(3) 计算实例 (2/6)

张紧器摆角峰峰值

发动机转速(rpm)	第一层张紧器摆角峰-峰值 (deg)	
	Simdrive 计算值(deg)	测试值(deg)
600	2.99	3.45
700	2.85	2.50
800	2.32	2.10
900	1.80	2.00
1000	1.15	1.90
1100	1.22	1.55
1200	0.72	0.70
1300	0.46	0.45
1400	0.19	0.35
1500	0.38	0.35
1600	0.35	0.36
1700	0.11	0.38
1800	0.20	0.38
1900	0.14	0.37
平均值	1.06	1.20
平均误差 (%)	11.58	



测试值

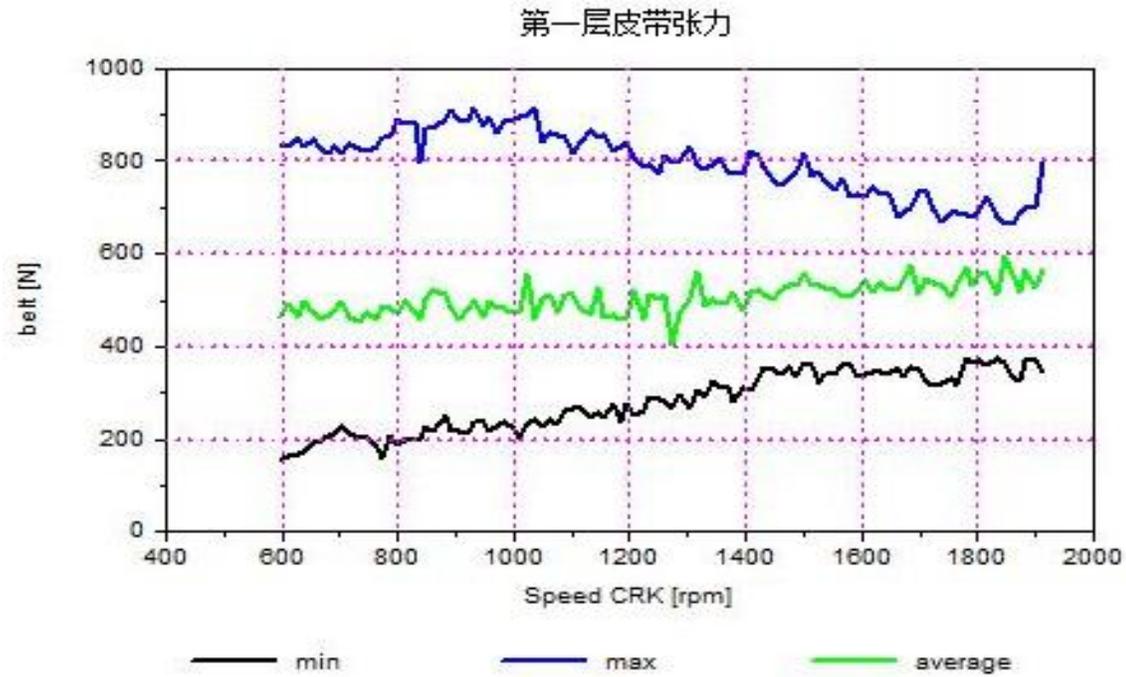


计算值

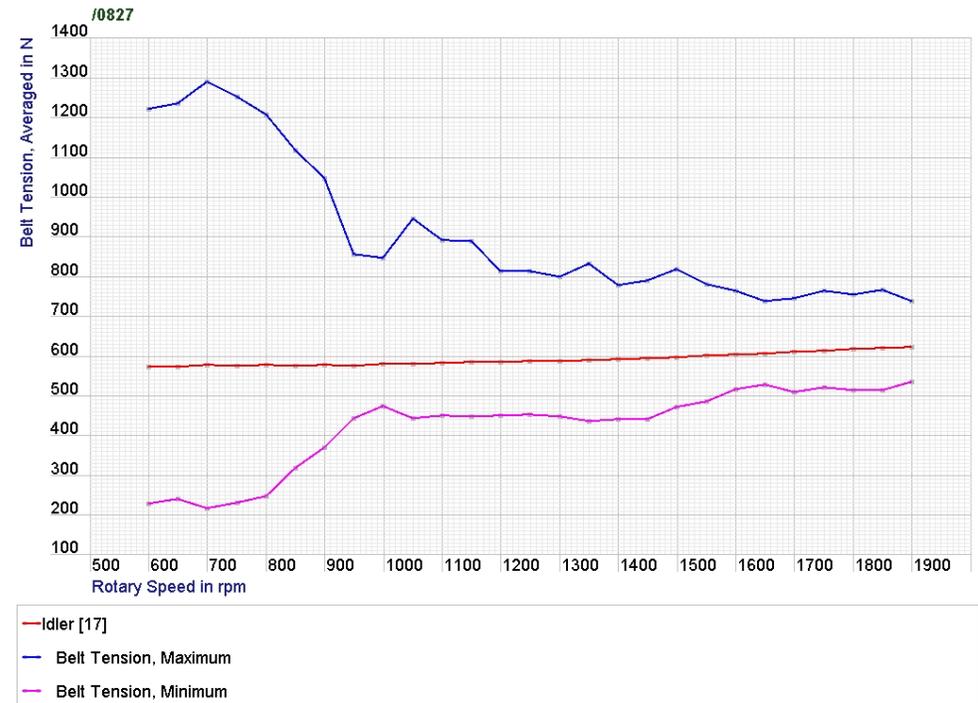
关于张紧器峰峰值计算结果与测试结果误差均在15%以内且变化趋势相同。

(3) 计算实例 (3/6)

带段动态张力对标情况



测试值



计算值

(3) 计算实例 (4/6)

带段动态张力对标情况

发动机转速(rpm)	惰轮-水泵轮带段张力最大值 (N)	
	Simdrive 计算值	测试值
600	1311.57	832.51
700	1239.71	822.66
800	1276.72	891.63
900	1057.38	891.63
1000	1007.86	896.55
1100	948.69	837.44
1200	822.99	802.36
1300	864.51	795.66
1400	800.55	800.81
1500	822.57	778.88
1600	798.83	729.06
1700	774.10	738.92
1800	761.85	694.58
1900	754.03	696.51
平均值	945.81	976.41
平均误差 (%)	3.13	

发动机转速(rpm)	惰轮-水泵轮带段张力平均值 (N)	
	Simdrive 计算值	测试值
600	572.72	458.13
700	577.53	457.05
800	577.18	463.98
900	577.08	453.20
1000	579.54	467.98
1100	582.34	478.68
1200	584.75	453.13
1300	587.56	477.83
1400	591.72	472.91
1500	597.39	527.09
1600	604.08	517.24
1700	610.01	507.39
1800	616.90	527.09
1900	623.19	517.24
平均值	591.57	590.50
平均误差 (%)	0.18	

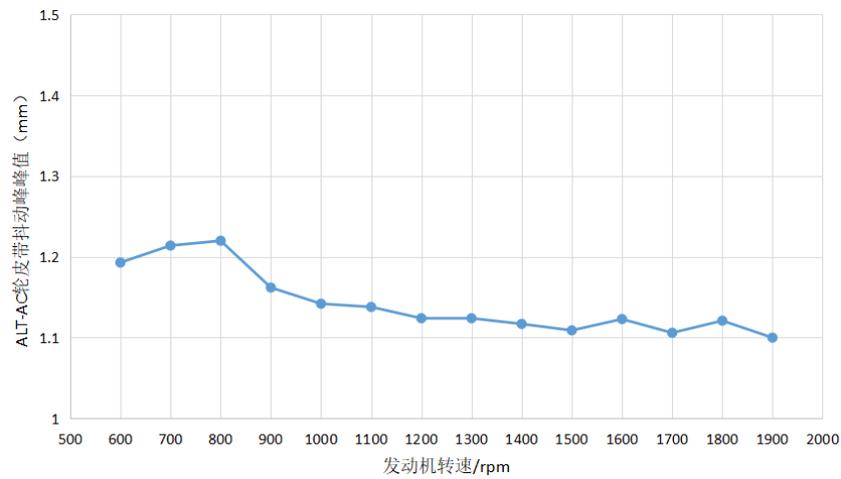
发动机转速(rpm)	惰轮-水泵轮带段张力最小值 (N)	
	Simdrive 计算值	测试值
600	58.99	162.56
700	219.56	236.45
800	232.82	206.90
900	354.80	236.45
1000	429.97	236.45
1100	447.00	275.86
1200	440.65	280.79
1300	448.55	310.34
1400	451.76	315.27
1500	458.50	369.46
1600	497.62	354.68
1700	522.08	359.61
1800	513.49	379.31
1900	515.86	374.38
平均值	399.40	357.01
平均误差 (%)	11.87	

关于带段张力计算结果与测试结果
误差均在15%以内且变化趋势相同。

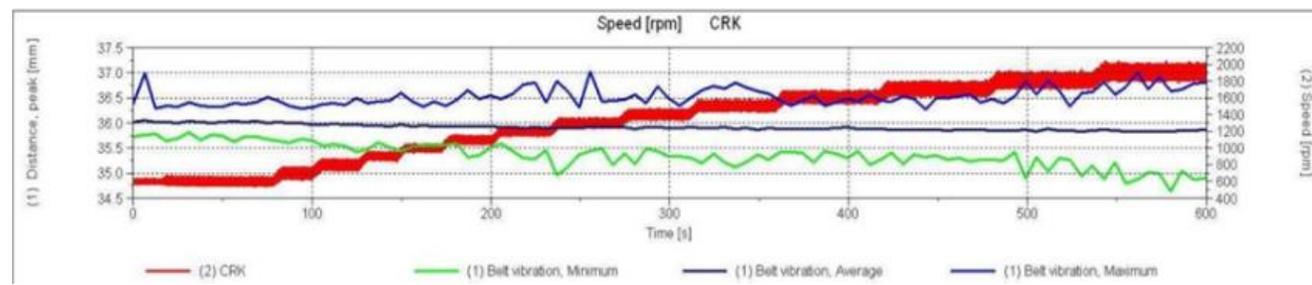
(3) 计算实例 (5/6)

皮带抖动对标情况

发动机转速(rpm)	ALT-AC 轮皮带抖动峰峰值 (mm)	
	SCUT 计算值	测试值
600	1.193	0.559
700	1.214	0.703
800	1.220	0.773
900	1.162	0.901
1000	1.142	0.873
1100	1.138	1.114
1200	1.124	1.227
1300	1.124	1.113
1400	1.117	1.042
1500	1.109	1.397
1600	1.123	1.001
1700	1.106	1.228
1800	1.121	1.369
1900	1.100	1.739
平均值	1.142	1.074
平均误差 (%)	6.337	/



计算值



测试值 (蓝色为最大值; 绿线为最小值)

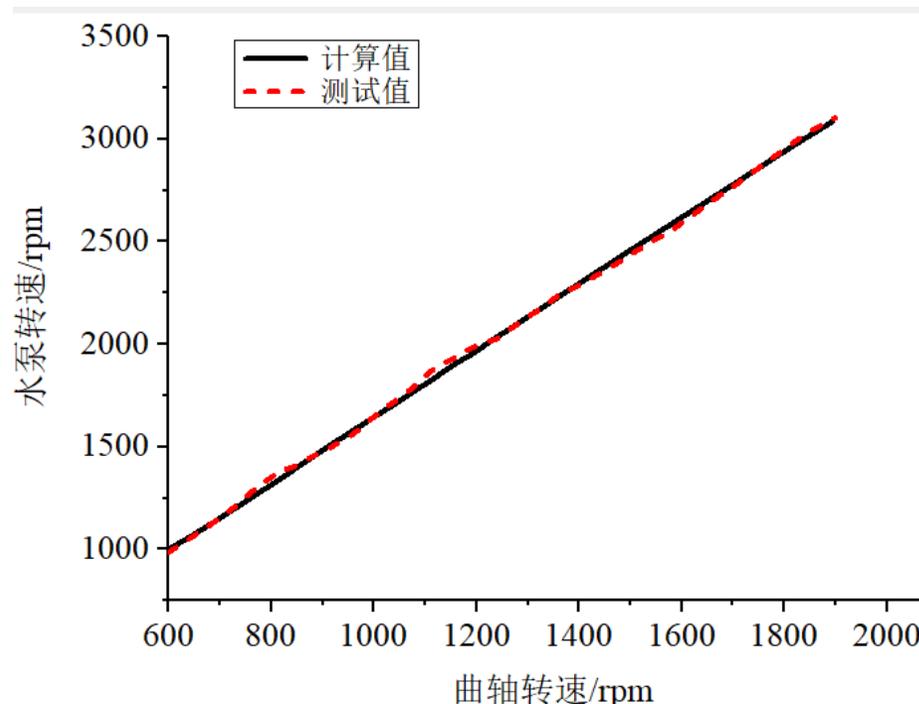
关于皮带抖动峰峰值计算结果与测试结果误差均在15%以内, 计算与测试结果基本吻合。

(3) 计算实例 (6/6)

滑移率对标情况

发动机转速(rpm)	WP 轮滑移率 (%)	
	Simdrive 计算值	测试值
600	1.4341	1.3396
700	1.6560	1.7836
800	1.4970	1.7449
900	1.5060	1.9424
1000	1.5987	1.8139
1100	1.6638	2.0498
1200	1.7559	1.9827
1300	1.8304	2.0474
1400	1.9049	1.8612
1500	1.9850	2.0674
1600	2.0810	2.3656
1700	2.1703	2.0733
1800	2.2635	2.4054
1900	2.3636	2.3662
平均值	1.8364	1.9888
平均误差 (%)	7.6608	

滑移率计算结果与测试结果相对误差均在15%以内，符合要求。



水泵转速计算值与测试值

将计算与测试得到的水泵转速及曲轴轮转速代入下式可得滑移率

$$\Gamma_i = \frac{V_B - V_i}{V_B} \times 100\% = \frac{\dot{\theta}_\alpha R_\alpha - \dot{\theta}_i R_i}{\dot{\theta}_\alpha R_\alpha} \times 100\%, \quad i = 1, 2, 3, \dots, m+n$$

目录 Contents

- 1.附件驱动系统动态特性的评价
Evaluation of dynamic characteristics of accessory drive system
- 2.附件驱动系统的布局设计
Layout design of accessory drive system
- 3.附件驱动系统的动态特性的计算
Calculation of dynamic characteristics of accessory drive system
- **4.附件驱动系统的动态特性的实验**
Experiment on dynamic characteristics of accessory drive system
- 5.附件驱动系统的可靠性分析
Reliability analysis of accessory drive system

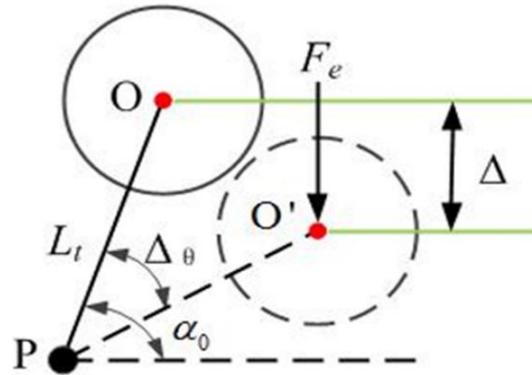
4. 附件驱动系统的动态特性的实验

- (1) EFEAD零部件实验 (Components performance measurement)
- (2) EFEAD系统实验(System performance measurement)

EFEAD零部件实验：张紧器测试



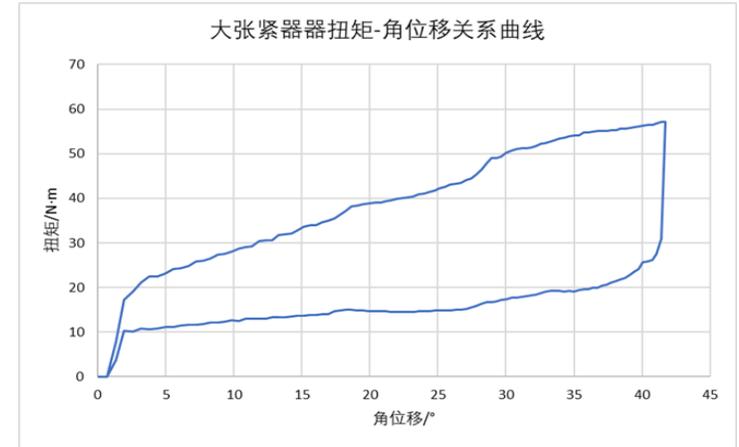
自动张紧器测试图



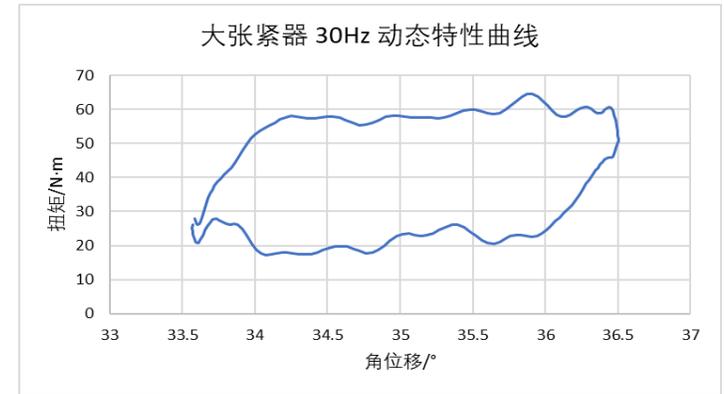
$$\Delta\theta = \alpha_0 - \arcsin \frac{L_t \sin \alpha_0 - \Delta}{L_t}$$

$$M_t = F_e L_t \sin \left(\Delta\theta + \frac{\pi}{2} - \alpha_0 \right)$$

MTS测试台采集的力和位移与张紧器输出扭矩和转角的几何关系



张紧器静态测试扭矩-角位移曲线

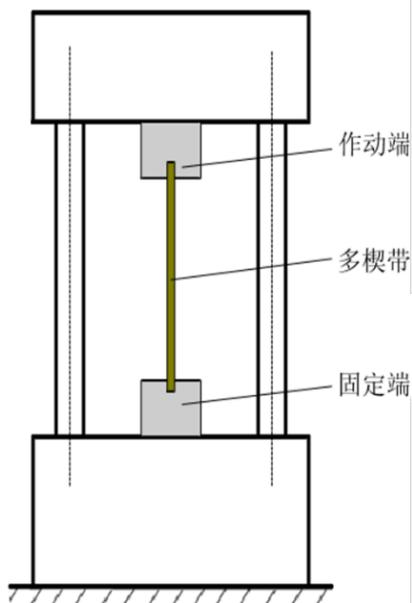


张紧器动态测试扭矩-角位移曲线

EFEAD零部件实验：多楔带刚度测试

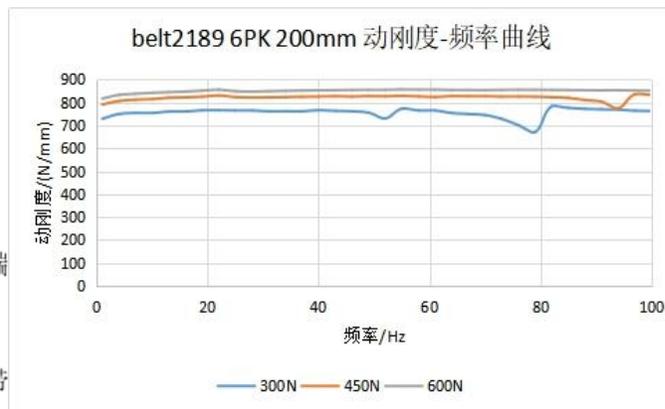


实验装置实物图

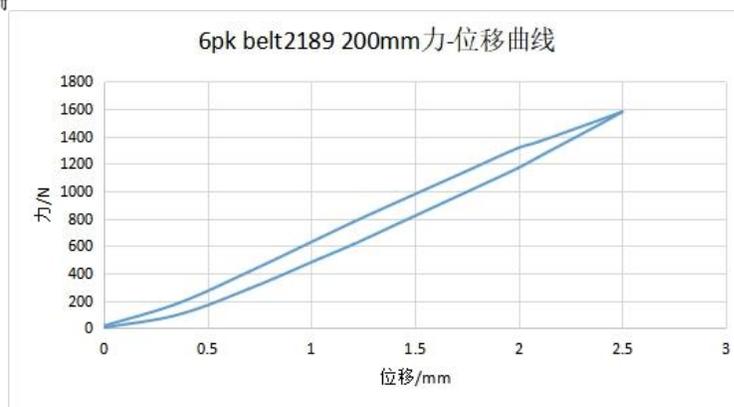


实验装置结构示意图

$$K = \frac{EA}{L}$$



多楔带动刚度测试结果



多楔带准静态力-位移曲线

对象	长度 (mm)	纵向刚度 EA(N/m)	纵向刚度 EA 均值(N/m)	皮带面积 (mm ²)	杨氏模量 E(MPa)
6PK	200	149,112	158,442	82	1,932
	300	159,750			
	350	166,463			
12PK	200	298,360	311,848	164	1,901
	300	305,340			
	350	331,845			

SCUT测试结果

Name	Symbol	Value	Unit
Longitudinal stiffness of the belt	EA	170000.0	N
Relative belt mass per rib	m _r	0.01577	kg/m
Reference preten. (design tension)	F _v	400.0	N
Reference number of ribs	n	6	
Reference temperature	θ _b	45	°C
Belt height	-	4.7	mm
Bending stiffness [20°C 45°C 70°C]	EI	9700 8200 7200	Nmm ²

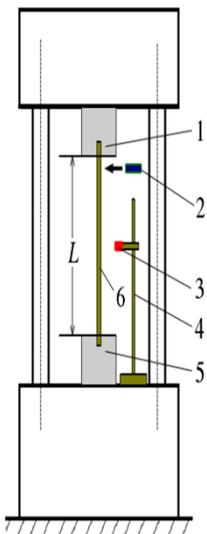
国外测试结果

SCUT测试得纵向刚度 158,442N/m，国外测试得纵向刚度为170,000N/m，相对误差为6.8%。

EFEAD零部件实验：多楔带测试-弯曲刚度测试



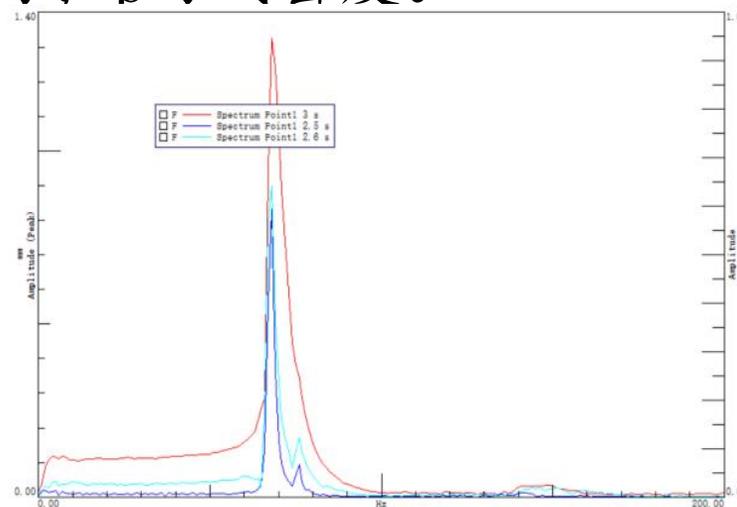
实验装置实物图



1-作动端 2-激励力锤
3-激光位移传感器
4-支架 5-固定端 6-待测多楔带
实验装置结构示意图

$$f_{0i}(EI) = \sqrt{\frac{EI}{\rho} \left(\frac{\pi i^2}{2L^2} \right)^2 + \frac{F}{\rho} \left(\frac{i}{2L} \right)^2} \quad (i = 1, 2, \dots)$$

其中EI为弯曲刚度， f_{0i} 为第i阶固有频率，F为拉力， ρ 为线密度。



多楔带固有频率测试结果

厂家	楔数	弯曲刚度 EI/(N·mm ²)
2189	6PK	107,499
2189	12PK	181,133
2695	6PK	8,307
2695	12PK	16,197

SCUT测试结果

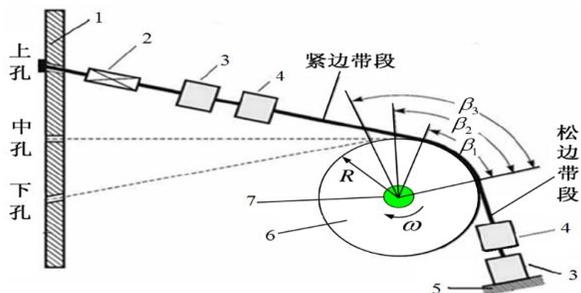
Name	Symbol	Value	Unit
Longitudinal stiffness of the belt	EA	170000.0	N
Relative belt mass per rib	m_r	0.01577	kg/m
Reference preten. (design tension)	F_v	400.0	N
Reference number of ribs	n	6	
Reference temperature	θ_b	45	°C
Belt height	-	4.7	mm
Bending stiffness [20°C 45°C 70°C]	EI	9700 8200 7200	Nmm ²

国外测试结果
(2695 6pk)

EFEAD零部件实验：带-轮摩擦系数测试



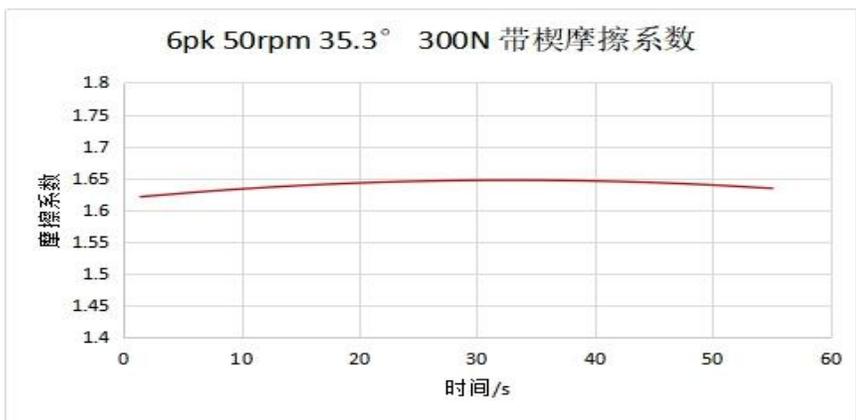
摩擦系数测试图



1-立柱 2-张力调节器 3-拉力传感器 4-夹具
5-底座 6-电机轮 7-角度编码器
摩擦系数测试结构示意图

$$\frac{T_{紧}}{T_{松}} = e^{\alpha\mu}$$

其中 $T_{松}$ 、 $T_{紧}$ 为松、紧边张力， α 为包角， μ 为摩擦系数。



摩擦系数测试结果

对象	包角(°)	初始张力(N)	摩擦系数
6PK	35.3	300	1.10
6PK	35.3	400	1.39
12PK	34.6	300	1.23
12PK	34.6	400	1.40

(a)带楔-轮间摩擦系数测试结果

对象	包角(°)	初始张力(N)	摩擦系数
6PK	40.3	300	0.85
6PK	40.3	400	0.81
12PK	41.0	300	0.80
12PK	41.0	400	0.80

(c)带背-轮间摩擦系数测试结果

轮	材料	带-轮间当量摩擦系数
CR	Steel/painted	0.85
PAS	Aluminum	0.85
CR-AI	Aluminum	0.85
FAN	Plastic	0.88
AC	Steel/painted	0.88
GEN	Steel/painted	0.88
GEN54	Steel/coated	0.73

(b)国外带楔-轮间摩擦系数测试结果

轮	材料	带-轮间摩擦系数
WAP	Steel	0.89
AT	Plastic	0.80

(d)国外带背-轮间摩擦系数测试结果

国外测试所得带楔摩擦系数小于带背摩擦系数。与SCUT测试结果存在差异，试验得到的带背-轮间摩擦系数与国外的测试结果基本一致。

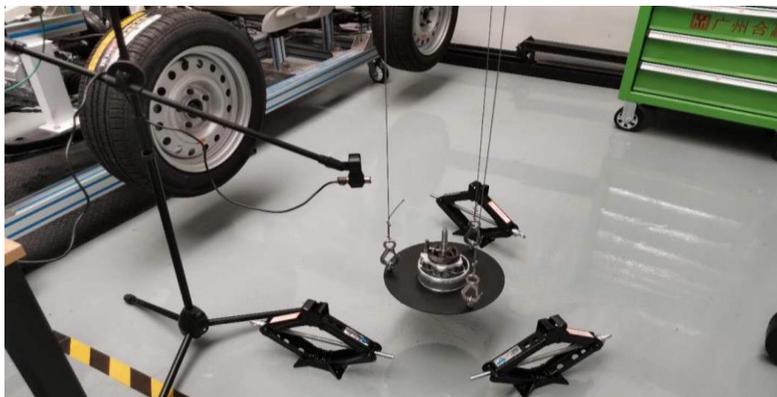
EFEAD零部件实验：附件转动惯量测试

转动惯量计算理论公式

$$J_s = \frac{(M_0 + M_1)gR^2T_s^2}{4\pi^2L}$$

转动惯量测试结果

部件编号	部件名称	质量(kg)	转动惯量(kg·m ²)
1	转子电机	3.79	0.005152
2	转子空调	1.70	0.002219
3	转子风扇轴	2.58	0.008043
4	转子风扇-1	4.98	0.004597
5	转子风扇-2	3.13	0.019685
6	转子风扇-3	1.88	0.019818



实验设备-三线摆



测试的转子

(2) 附件驱动系统动态特性的试验



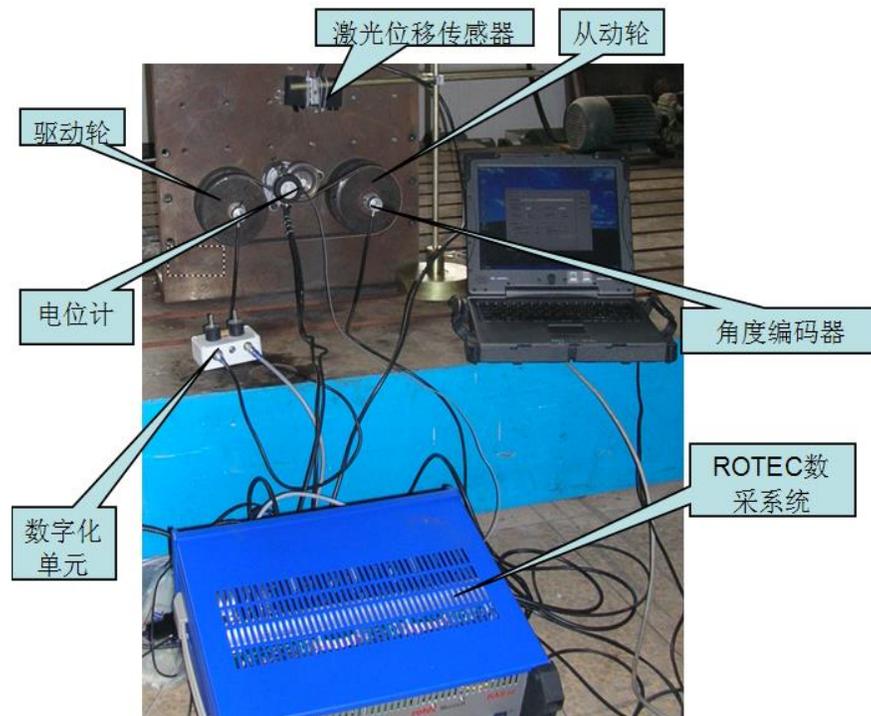
角度编码器：
测量轮的转速



激光位移传感器：
测量带横向位移



Rotec数采前端8-12通道



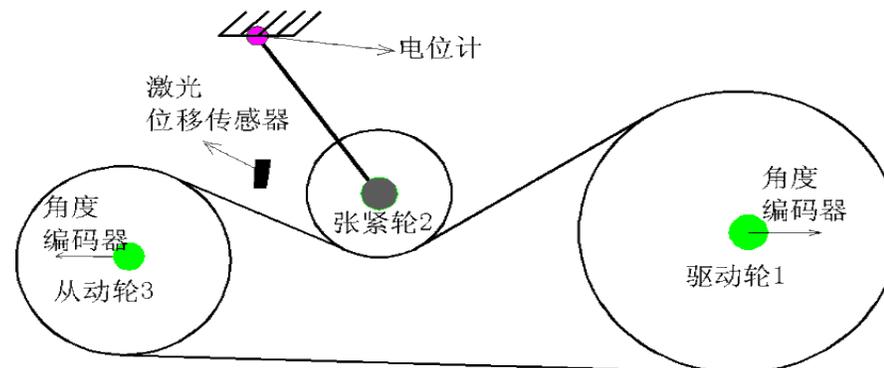
电位计：测量
张紧臂的摆角



Hubload传感器：测
量轮毂载荷

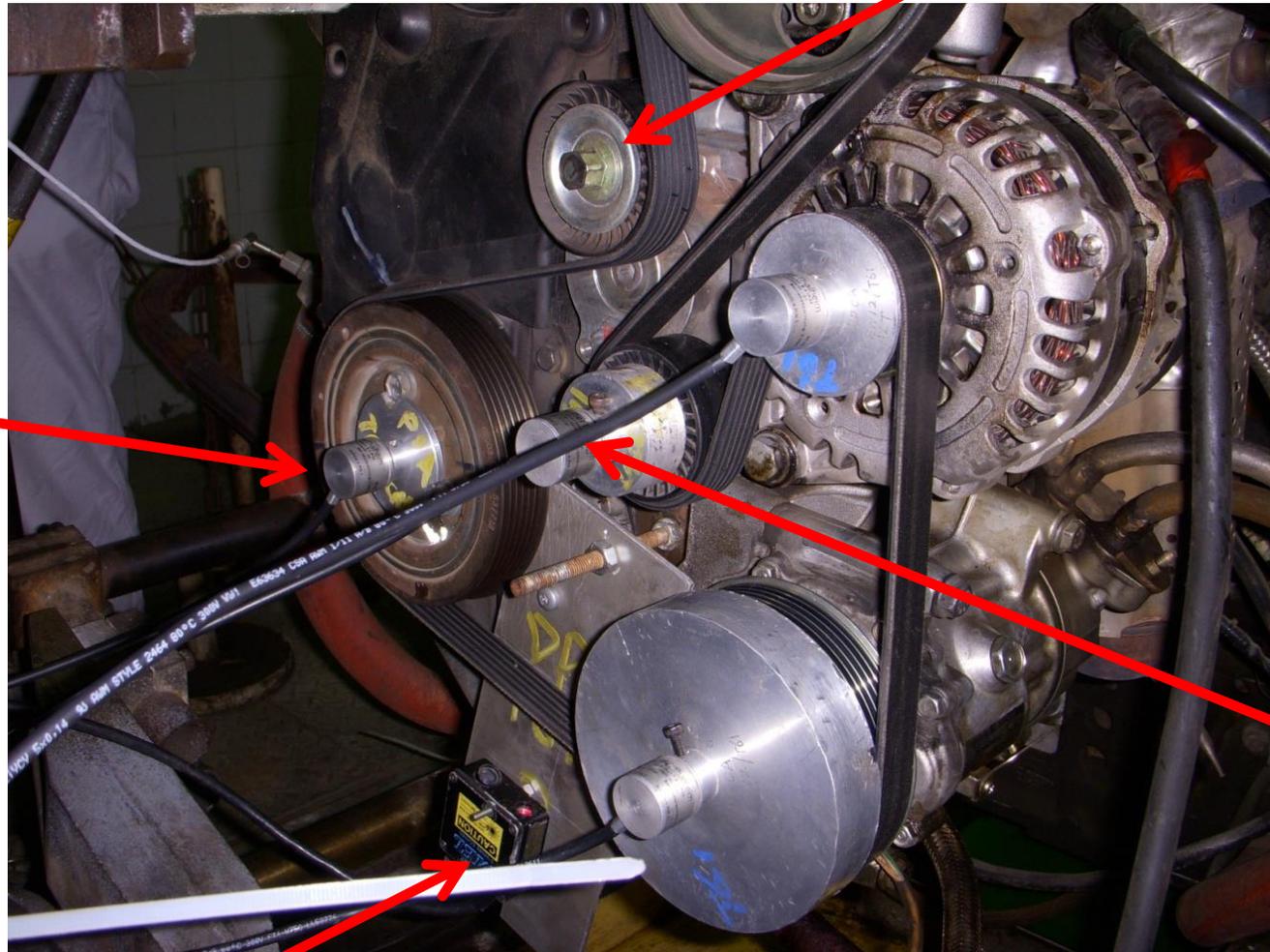


张力计：测量
带中静张力



(2) EFEAD系统实验

惰轮内部安装轮毂载荷
传感器，测试带段张力

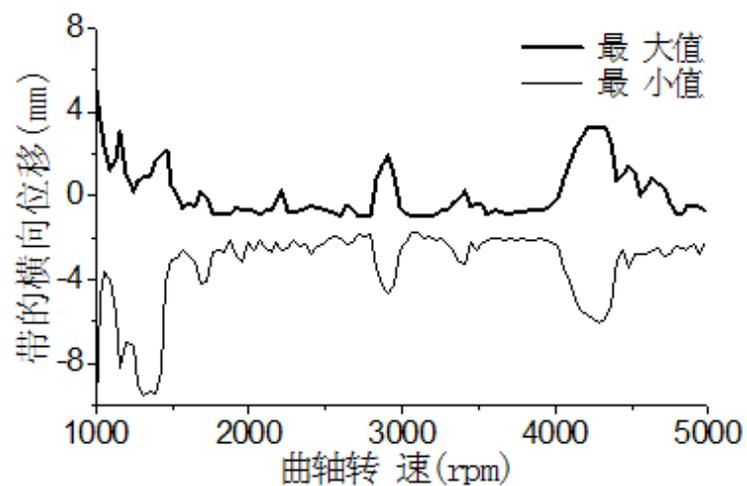


角度编码器测
试各轮转速

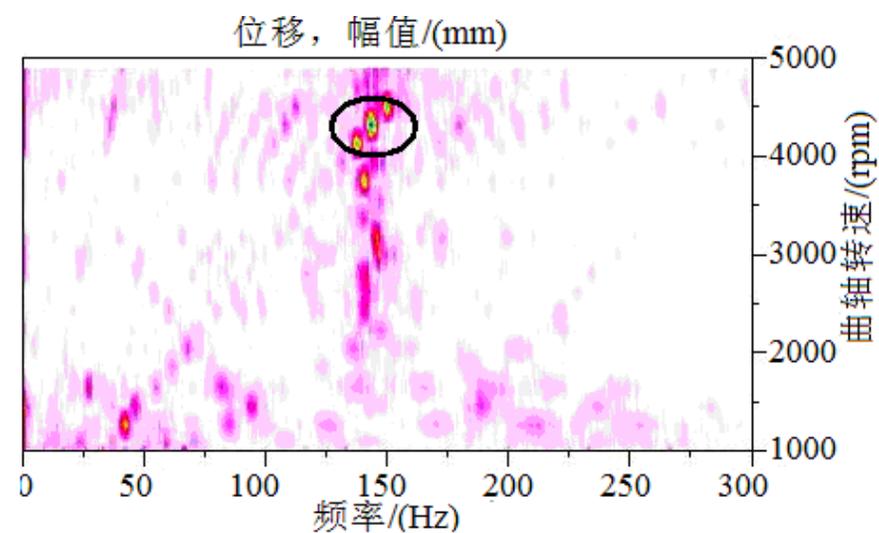
张紧轮圆心处布置加
速度传感器测试张紧
臂摆角（或采用电位
计直接测试摆角）

激光位移传感器固定
在机体上测皮带抖动

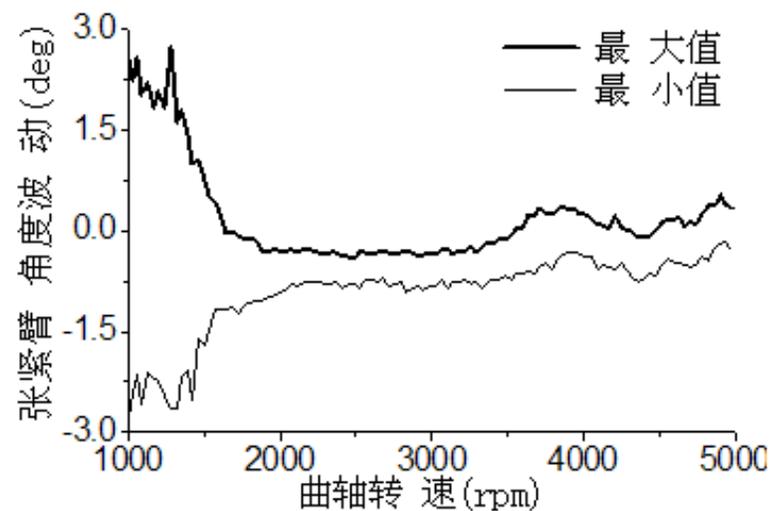
EFEAD系统实验：测试结果



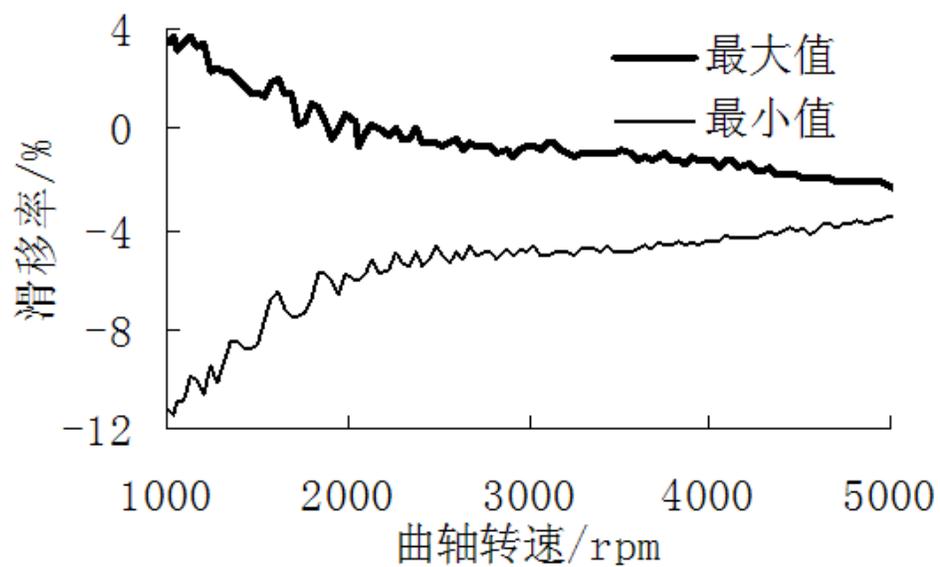
带段横向位移



带段横向位移瀑布图



张紧臂摆角



滑移率

目录

- 1. 附件驱动系统动态特性的评价
- 2. 附件驱动系统的布局设计
- 3. 附件驱动系统的动态特性的计算
- 4. 附件驱动系统的动态特性的实验
- 5. 附件驱动系统的可靠性分析

目录 Contents

- 1.附件驱动系统动态特性的评价
Evaluation of dynamic characteristics of accessory drive system
- 2.附件驱动系统的布局设计
Layout design of accessory drive system
- 3.附件驱动系统的动态特性的计算
Calculation of dynamic characteristics of accessory drive system
- 4.附件驱动系统的动态特性的实验
Experiment on dynamic characteristics of accessory drive system
- **5.附件驱动系统的可靠性分析**
Reliability analysis of accessory drive system

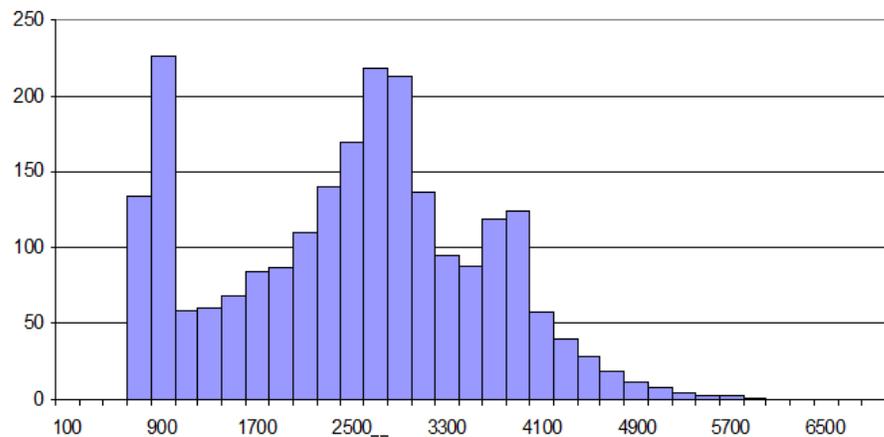
5. 附件驱动系统的可靠性分析

- (1) 张紧器可靠性分析 (Tensioner reliability analysis)
- (2) 皮带性能指标 (Belt performance index)

张紧器可靠性分析 (1/5) :

张紧器扭矩-角位移疲劳测试 (固定扭矩/工况)

10万公里路试



发动机转速工况时间



MTS扭转试验缸

+

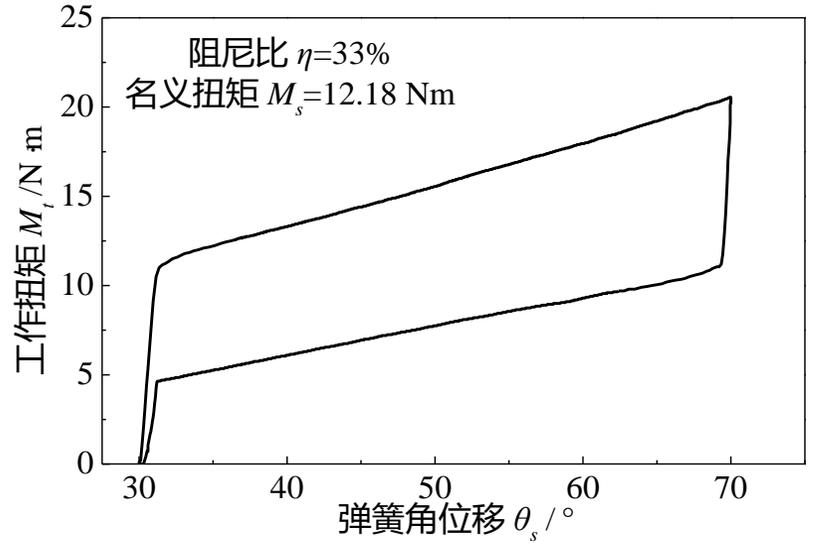


固定扭矩测试

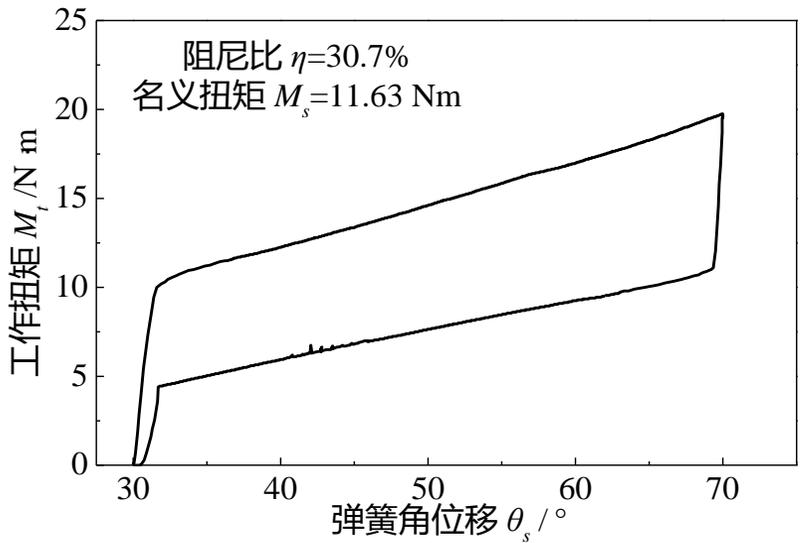
张紧器可靠性分析 (2/5)

张紧器疲劳磨损

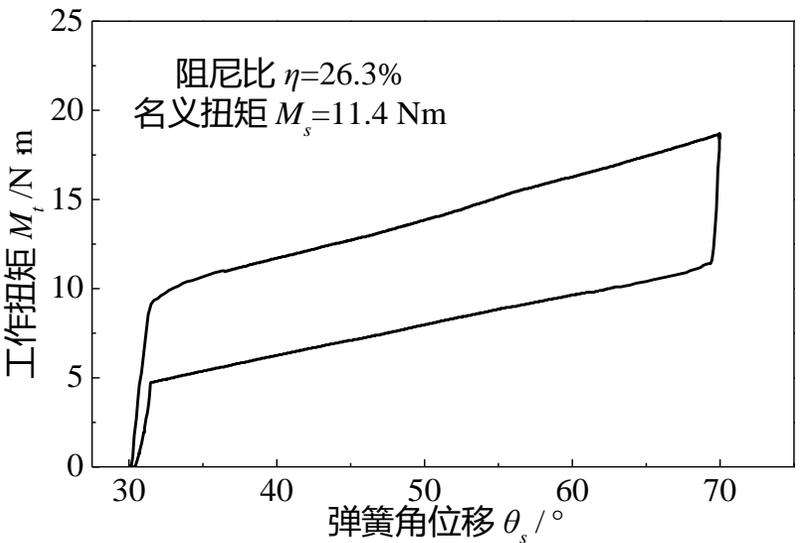
张紧器扭矩-角位移曲线 (疲劳测试前后)



① 20h后测试值 (跑合磨损后)



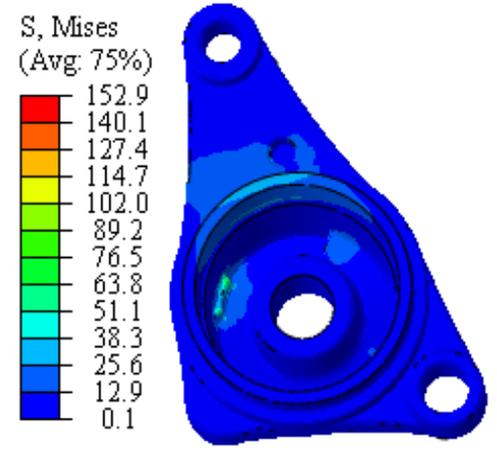
② 180h后测试值



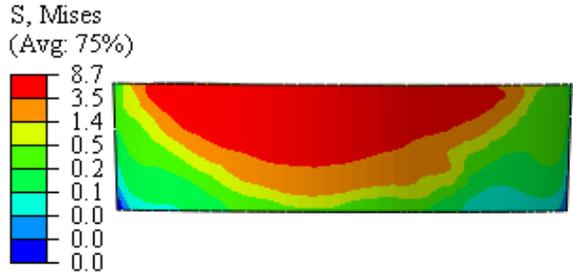
③ 325h后测试值 (接近更换周期)

疲劳测试后: ①张紧器阻尼比变小 下降20.3%
②弹簧刚度下降 下降6.4%

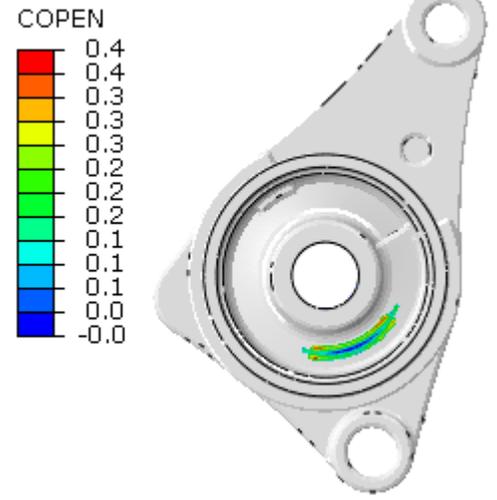
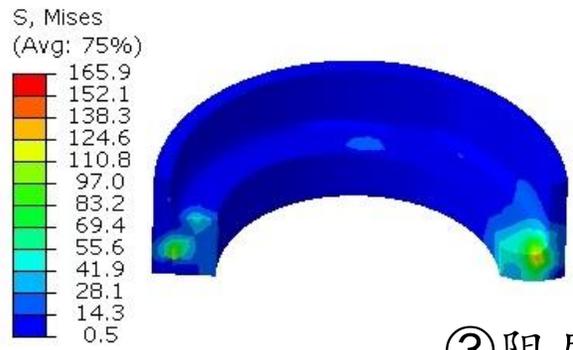
张紧器可靠性分析 (3/5)



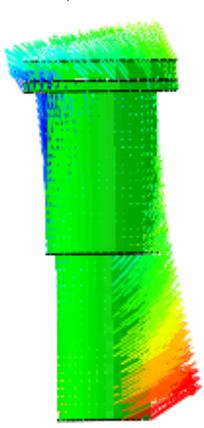
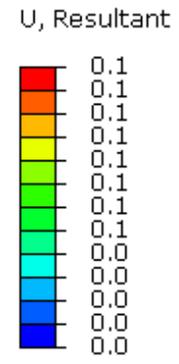
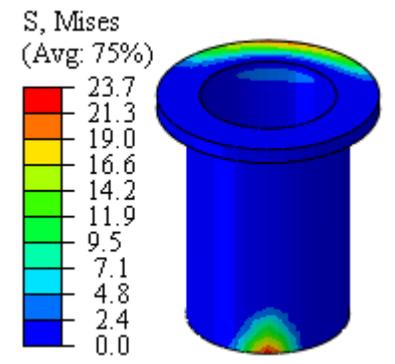
①基座内壁磨损



③阻尼块磨损

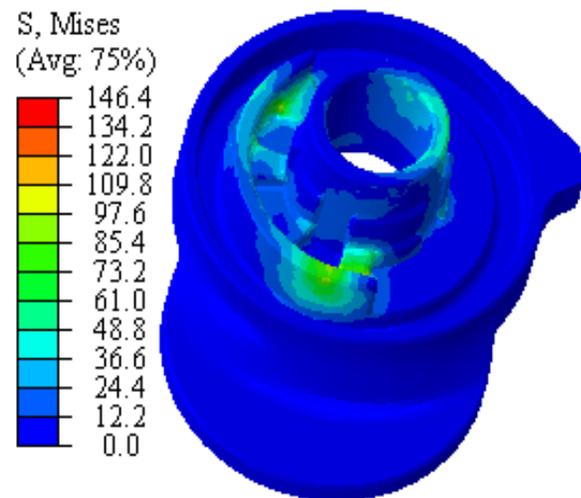
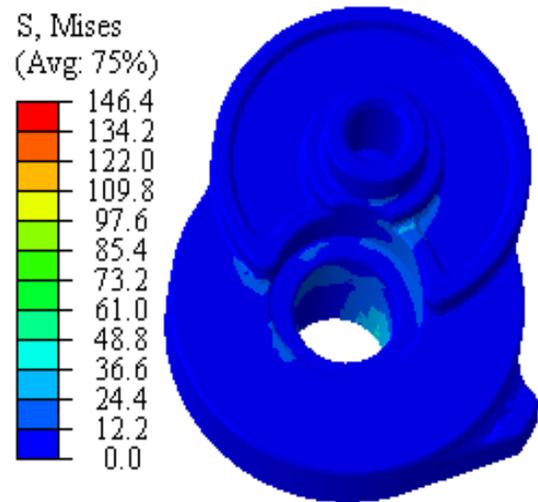


②基座底部磨损



④衬套偏磨

张紧器可靠性分析 (4/5)



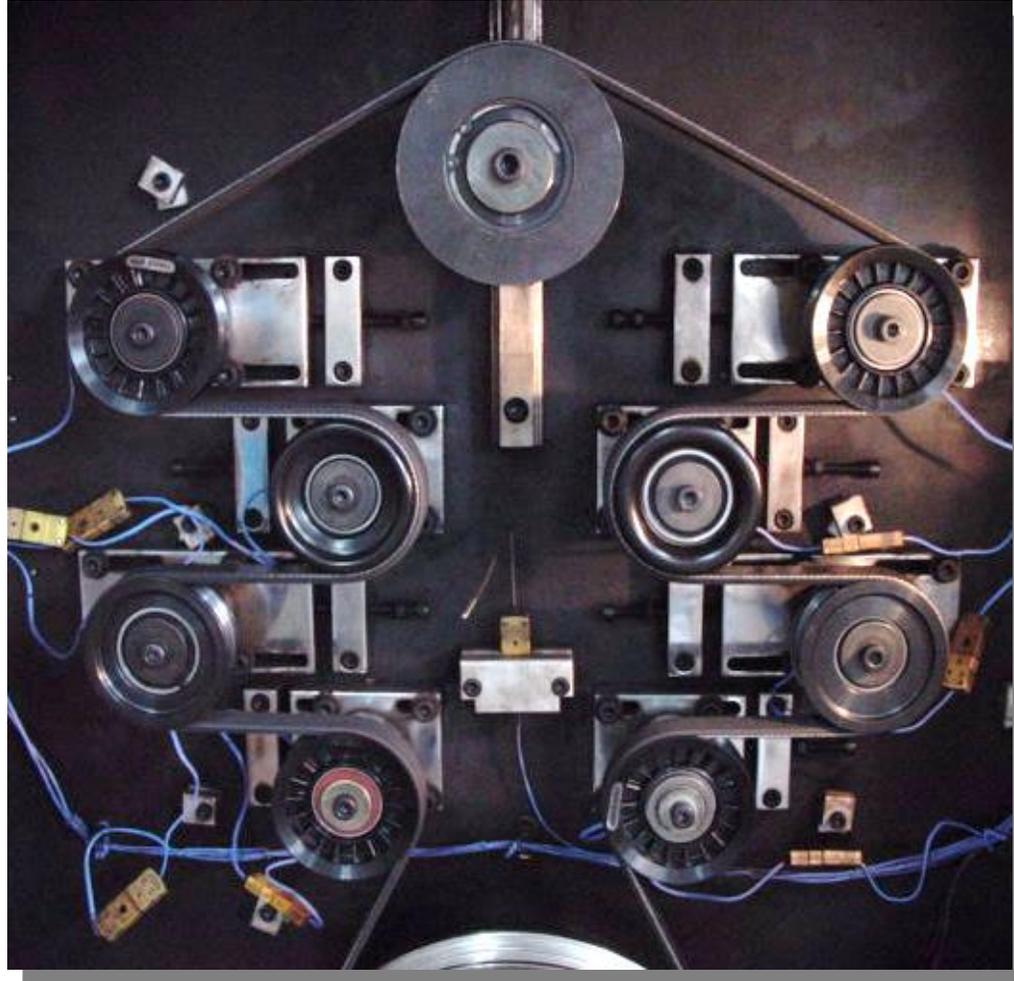
张紧臂疲劳断裂

张紧器可靠性分析 (5/5)

张紧器轴承测试

- ①轴承漏脂试验
- ②轴承疲劳寿命试验

轴承寿命可通过选型控制，并且远大于张紧器寿命，因此该项测试可省略



张紧器轴承试验机

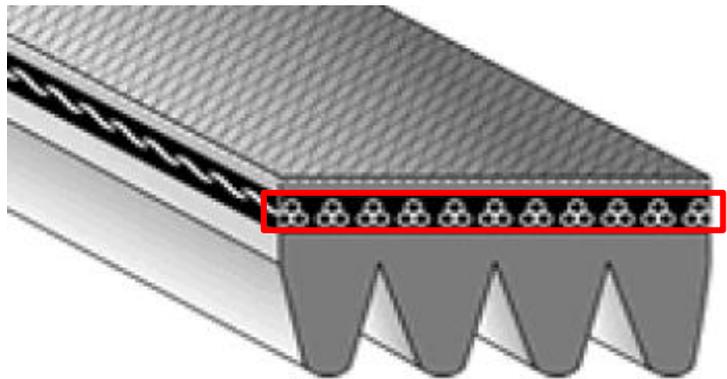
5. 附件驱动系统的可靠性分析

- (1) 张紧器可靠性分析 (Tensioner reliability analysis)
- (2) 皮带性能指标 (Belt performance index)

皮带性能指标 (1/2)

皮带标准

皮带类型	张力要求/N	伸长率标准
聚酯线绳皮带	≥800N/楔	≤3%
芳纶线绳皮带	≥1200N/楔	≤1%
尼龙弹性线绳皮带	≥800N/楔	5% ± 1%



皮带物理性能的企业标准

项 目		要 求			
		CR	EPDM		
		聚酯线绳	聚酯线绳	PEN线绳	芳纶线绳
常温 常态	皮带楔顶硬度 (邵A)	80 ± 5	84 ± 5		
	拉伸强度,KN	≥n*0.8		≥n*1.0	≥n*1.2
	定负荷(nX250N)伸长率,%	≤3.0	≤2.0	≤1.5	≤1.0
	顶布剥离强度,N/mm	≥2.5			
	线绳粘合强度,N/1根	≥20 (有顶布)	≥25(有顶布) ≥30(无顶布)	1×2 ≥15(有顶布) ≥20(无顶布)	1×3 ≥20(有顶布) ≥25(无顶布)

注: n为皮带楔数

皮带性能指标 (2/2)

皮带的其它工艺指标

- | | |
|-----------------|-------------------|
| 1) 邵尔硬度 | 85 \pm 5A |
| 2) 摩擦系数(带背/楔面) | 0.5-1.0 / 0.7-1.5 |
| 3) 曲挠性能 | \geq 300 |
| 4) 疲劳寿命 (额定满负载) | \geq 400h |

Thanks!