

# 波形叠片联轴器

王 昭 甫

---

[提要]本文介绍了八十年代初由泽恩工业公司新研制的高性能波形叠片联轴器。此型联轴器不仅保持了原全金属盘片式挠性联轴器的全部特点,而且给出了线性的轴向刚度特性和大幅度轴向位移特性,简化了轴向振动问题。

---

**主题词:** 联轴节, 线性轴向刚度。

## 一、引 言

一九八一年,泽恩(Zurn)工业公司研制出了新型HPS系列的波形叠片联轴器,这种联轴器保持了全金属盘片式挠性联轴器的全部特点,给出了大幅度的轴向位移和线性的轴向刚度。此型联轴器是在膜盘和叠片联轴器基础上的一个发展。泽恩工业公司称这种波形的叠片联轴器为阿美利弗莱克斯(Ameriflex)联轴器。

## 二、运 行 特 点

1. 无需润滑、无需维护,
2. 能适应高的和低的环境温度,
3. 能满足高速大功率的要求,
4. 具有大的不对中能力,
5. 组装体可在现场更换,
6. 重量轻,
7. 低的端部作用力和弯矩,
8. 不变的低不平衡量,
9. 长寿命,
10. 可根据API 671标准制造,
11. 线性轴向刚度简化了轴向自然频率问题。

## 三、结构及膜片组件

图1示出了波形叠片联轴器的剖视图。联轴器具有刚性轮毂与设备的轴相联,也可以装设法兰与任何设备的法兰相联。扭矩经组件外缘通过膜片的平行通路传给内花键,由内花键

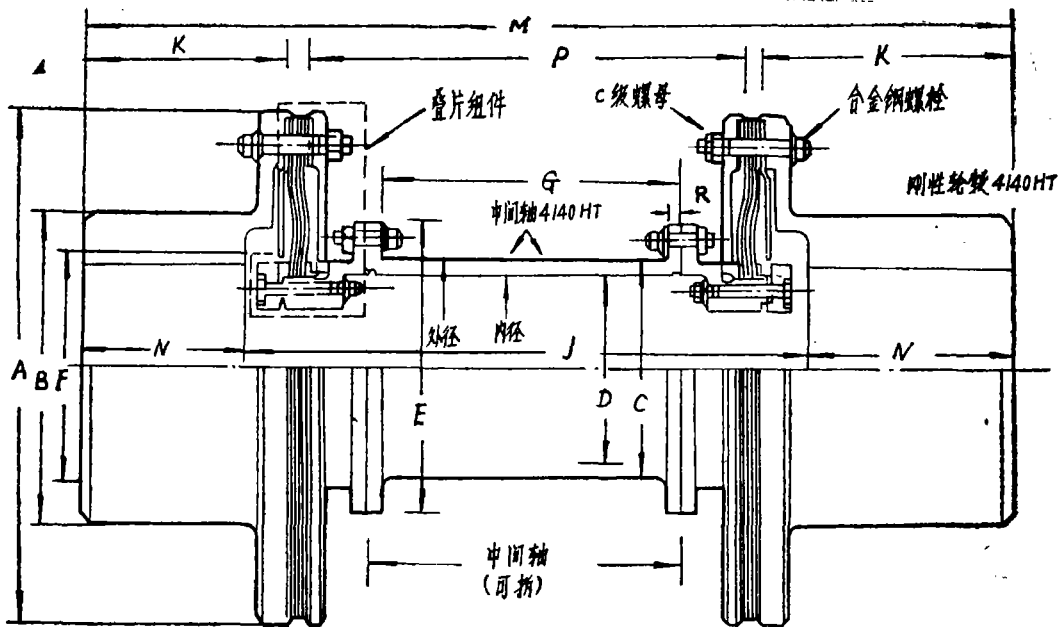


图 1 波形叠片联轴器

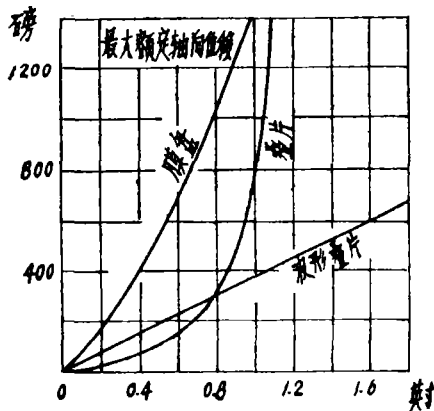


图 2 轴向位移和力的关系曲线

再传递给开有外花键的法兰，然后经螺栓连接传递给中间轴，再传给与被动设备连接的联轴器另一半部。膜片组件内缘处的夹紧负荷通过栓接到花键的夹紧环提供。由夹紧环产生的力足以使各膜片与隔片均担其负荷，从而使膜片组作为一个组件工作。

联轴器的核心是不锈钢的膜片组。它由几片薄膜片组成。在膜片之间，内缘处由隔环，外缘处由分段的隔片隔开。使用厚端板和铆钉铆在一起。由于采用波形结构，波形展开而使得膜片具有大的轴向位移且应力不大。膜片组具有线性的轴向刚度，从而简化了轴向自然频率问题。而对于膜盘和叠片联轴器来讲，其非线性的轴向刚性，不仅对相联装置或元件施加的

作用力较大，而且对预测轴向力，弯矩及自然频率等均带来一定麻烦。

图 2 示出了膜盘、叠片联轴器，波形叠片联轴器等三种挠性联轴器轴向位移和轴向力之间的关系，后者具有明显的优越性。

#### 四、变 刚 性 设 计

波形膜片组的容许角不对中能力与容许轴向位移能力间有一确定关系，一个降低，另一个就相应增加。角向与轴向位移间的关系曲线如图 3 所示

可以通过改变组件的膜片数来获得扭矩-刚性-不对中方面的特殊需要。膜片组的厚度对某一给定型号是不变的。如果膜片数没有达到最大值，为了使整个膜片组件的厚度保持不

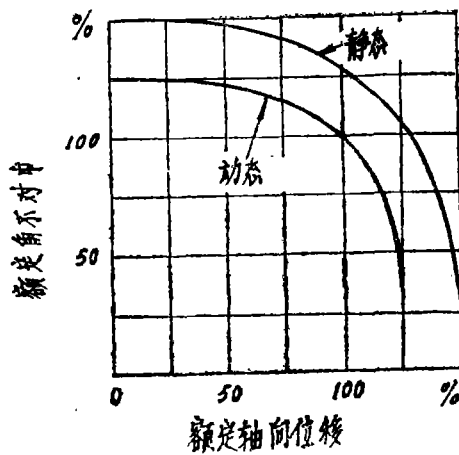


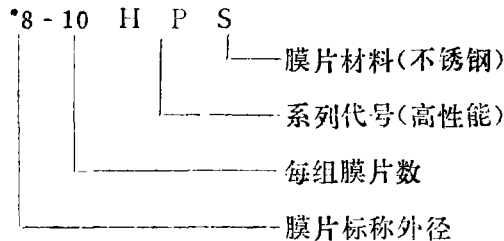
图 3 角向及轴向位移间关系

变，可以加以隔片。

## 五、标准HPS系列

标准联轴器的额定扭矩范围是6000000磅·英寸，容许角不对中1/2度，最大轴径20英寸，最高工作温度350°F。

### 1. 系列代号



### 2. 主要元件

联轴器的主要元件如轮毂、中间轴与连接法兰均为定做，也可按照特定尺寸与结构更改，一般经发兰处理，其材料是：

标准AISI4140HT, UTS = 135000磅/英寸<sup>2</sup>;  
 选用AISI4340HT, UTS = 150000磅/英寸<sup>2</sup>。

中间轴的长度可根据用户需要变化，内外径亦可变以适应系统的调正。

膜片组通过紧配合螺栓与刚性轮毂及中间轴连接。螺栓孔为模铰，螺母可自锁，故虽经反复拆卸仍可保持良好平衡。膜片组外缘螺栓与中间轴螺栓采用最小抗拉强度为160000磅/英寸<sup>2</sup>的合金钢制造，螺栓、螺母均镀铬。

膜片组装体见图4。它包括组件护板、膜片组、保护盖、夹紧环、支撑环、有键槽的接头，夹紧螺栓螺母。组装体均在工厂组装完毕。在运输与安装期间，组件盖板，膜片组与保护盖铆在一起，以保护膜片组。铆钉只有在检查膜片时才卸下。一般不应在现场拆卸组装体，必要时进行整体更换。

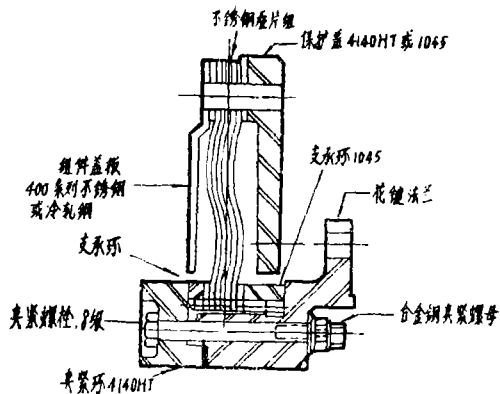


图 4 膜片组装体

动时，可以使用垫片来调整联轴器的有效长度。

### 3. 工程用标准系列

图 1、表 1、表 2 示出了标准 HPS 系列工程用数据。需要对图 1 加以说明的是：

- (1) 轴间最小尺寸基于扭矩扳手最小间隙。
- (2) 尺寸“N”基于 12 倍的螺孔直径。若使用锁紧螺母，则因其厚度增加可使“N”值减小。

## 六、联轴器的选择

### 1. 确定型号

由下式计算选择扭矩  $T_c$ ：

$$T_c = \frac{\text{马力} \times 63000 + SF}{\text{转/分}}$$

其中 SF 是由表 3 查得的运行系数。

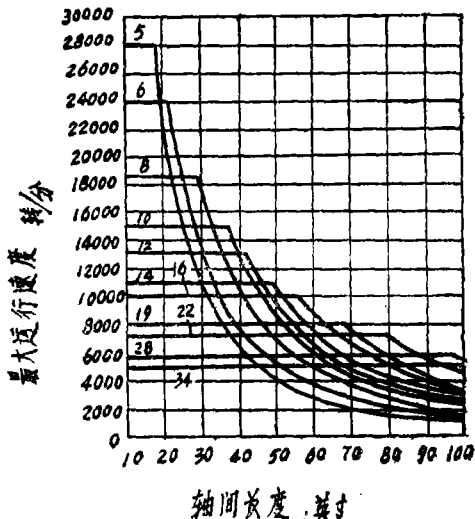


图 5 运行速度限制

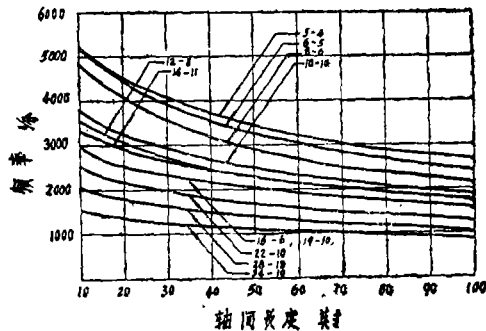


图 6 轴向自然频率

标准膜片与隔环用 301 或 304 半冷硬不锈钢， $UTS = 150000$  磅/英寸<sup>2</sup>，所有膜片均进行喷丸硬化并单个进行检查。

膜片组护板采用 410HT，不锈钢或经发兰的冷轧钢。

保护盖采用发兰的 4140HT 或 1045 钢。

夹紧环采用发兰的 AISI4040HT。

带键槽的接头采用发兰的 AISI4340。

支承环用 AISI1045。

当安装完毕的联轴器实际尺寸与原技术条件有差异，连接设备难于或者不能移

表 1

型 号	A	标准 B	最大 B	C	D	E	标准孔径最大孔径 F	G	最小 J	K	P	M	N	R
5	5.97	3.00	4.56	2.62	2.38	4.00	2.00	3.19	7.38	3.109	5.576	12.26	2.44	0.245
6	6.94	3.75	5.44	3.19	2.75	4.88	2.50	3.168	8.00	3.775	5.956	14.06	3.03	0.245
8	8.97	5.25	7.25	4.00	3.25	5.62	3.50	3.942	9.88	5.136	7.279	18.24	4.18	0.450
10	10.94	6.00	8.50	5.50	4.88	7.38	4.00	4.306	11.12	5.845	8.295	20.74	4.81	0.460
12	12.94	7.50	10.62	5.88	5.81	8.25	5.00	5.156	13.19	7.192	9.886	25.25	6.03	0.666
14	14.75	8.25	12.12	6.88	6.00	9.25	5.50	5.344	14.50	7.931	10.786	27.76	6.63	0.620
16	16.94	9.00	14.00	7.88	6.75	11.25	6.00	6.308	16.56	8.911	12.100	31.06	7.25	0.693
19	19.88	10.50	16.00	8.75	7.12	12.19	7.00	7.192	19.75	10.350	14.400	36.57	8.41	0.739
22	22.88	13.50	18.88	10.81	9.21	14.12	9.00	7.184	20.50	12.785	15.012	42.12	10.81	0.729
28	29.00	18.00	23.00	13.38	11.00	18.50	12.00	9.142	25.50	17.118	18.202	54.30	14.40	0.856
34	34.44	21.00	29.50	16.25	13.88	22.00	14.00	13.342	34.50	20.114	25.636	68.10	16.80	1.125

注：表 1 中所有尺寸均为英寸。

表 2

型号	整个联轴器			中间轴/英寸			联轴器轴向位移 英寸	最高转速 转/分	每一膜片刚度			
	W, 磅	WR: 磅·英寸; $\frac{\text{英寸} \cdot \text{磅}}{\text{弧度}} \times 10^6$	K, $\frac{\text{英寸} \cdot \text{磅}}{\text{弧度}} \times 10^6$	W, 磅	WR: 磅·英寸; $\frac{\text{英寸} \cdot \text{磅}}{\text{弧度}} \times 10^6$	K, $\frac{\text{英寸} \cdot \text{磅}}{\text{弧度}} \times 10^6$			轴向 磅/英寸	角度 磅·英寸/度	横 向 磅/英寸 $\times 10^6$	扭 转 $\frac{\text{英寸} \cdot \text{磅}}{\text{弧度}} \times 10^6$
5	22.4	77	1.5	0.27	0.42	17.0	0.100	28000	800	70	0.348	2.40
6	36.1	160	3.5	0.58	1.29	52.3	0.125	24000	700	72	0.360	3.61
8	86.8	657	8.7	1.21	4.01	163.1	0.150	18500	1100	228	0.523	8.78
10	148.9	1808	17.3	1.43	9.67	393.0	0.187	15000	1000	233	0.567	14.33
12	243.2	3853	26.8	2.54	18.34	745.3	0.216	13000	1500	643	0.702	24.52
14	353.9	7675	39.9	2.52	26.25	1066	0.275	11000	1400	650	0.738	32.52
16	477.2	13158	58.4	3.68	49.46	2009	0.312	10000	3000	2250	1.093	66.77
19	868.3	33484	91.0	5.75	91.47	3716	0.375	8000	2700	2240	1.077	82.49
22	1321.9	68053	174.8	7.49	187.21	7606	0.410	7000	2500	2300	1.180	130.40
28	2889.5	253174	397.0	12.90	483.74	19654	0.625	5800	2300	2417	1.320	245.60
34	4515.7	527265	587.2	15.87	906.24	36820	0.875	5000	2500	7308	1.695	452.80

注: 重量W, 惯量WR<sup>2</sup>及扭转刚性K值是基于最小J和标准孔径。

若算得的 T, 小于或等于给定扭矩极限, 则膜片的型号与数目是正确的。按表 1 查得最大镗孔内径。

2. 查联轴器工作极限
  - 1) 最大速度——图 5。
  - 2) 最大不对中——表 2。
  - 3) 轴向位移——表 2。
  - 4) 轴向自然频率——图 6。

表 3

运 行 系 数 SF				
负载类型	被驱动的装置	发 动 机 类 型		
		马达、透平	蒸汽机、水轮机	往 复 机
恒定扭矩	离心泵、压缩机、输送机、发电机、轻型风扇	1.00	1.25	1.50
轻微扭矩波动	机床、大型风扇、螺杆式压缩机、螺杆泵	1.50	1.75	2.00
大的扭矩波动	往复压缩机、船用驱动轴、压榨机	1.75	2.00	2.50

3. 参见表 1, 表 2 进行工程数据计算

应当指出的是, 图 5 给出的联轴器运行速度限制是基于各种系统特性的平均值。

联轴器是整个传动系统的一部分。如果系统的刚性很强, 则最大转速可以提高, 而当系统很软且具有较长的轴悬臂时, 则需降低速度极限。

必要时, 应由用户进行详细的系统横向临界转速的解析计算。

## 七、轴向自然频率

图 6 示出的是基于最少膜片数算得的轴向自然频率值。

对于其它的膜片数, 把表上的值乘以修正系数 F。

$$F = \sqrt{\frac{N}{N_m}}$$

其中  $N_m$  为最少膜片数,

$N$  为要求的一组膜片数。

对于干式的挠性联轴器, 由于有一质量(中间轴)由弹性件(膜片组)支持, 因此有一轴向自然频率。波形叠片联轴器由于其线性的轴向刚性, 故只产生单一的轴向自然频率值。

对联轴器轴向自然频率施加任何轴向激励, 都会导致中间质量的轴向振动。此激励源除正常的运行速度外, 还可以是:

1. 暂时的工作转速, 如空载或暖机运行;
2. 连接设备中止推轴承的不正常偏转;

3. 连接设备中旋转件的轴向共振(如马达驱动装置中每分钟3600次的行频)。

泽恩公司建议把算得的轴向自然频率值保持在工作转速的 $\pm 20\%$ 以外及2倍的工作转速。在装设多个联轴器的齿轮系统当中,联轴器的轴向自然频率值会落在工作工况上。改变频率的途径有:增减膜片数目,改变联轴器尺寸,改变中间轴尺寸或采用一个空气阻尼器。

## 八、联轴器的平衡

### 1. 平衡等级

波形叠片联轴器具有以下平衡等级:

- 1) 部件平衡: 400微英寸。
- 2) 局部组装的部件平衡: 350微英寸(相配件组装后不平衡量互相抵消)。
- 3) 总装平衡: 300微英寸。

$U$ : 每个平面潜在不平衡量的均方根值, 盎司-英寸,

$W$ : 半联轴器重量、磅,

$N_0$ : 运行速度, 转/分,

$F$ : 不平衡力, 磅,

$$U = W \times \text{微英寸} / 6000,$$

$$F = 1.75 \times U \times (N_0 / 1000)^2.$$

### 2 标准部件平衡:

所有部件均进行单个平衡, 峰值间达到0.0001英寸(0.1密耳)以内, 这等于一个50微英寸的质量飘移。所有刚性轮毂, 膜片组装件与其它小件均作单面平衡, 中间轴和其它长部件作双面平衡, 紧固件或套作重量平衡。

### 3. 特殊总装平衡

如用户提出要求, 整个联轴器可作为一总装件进行平衡。进行此平衡时不采用心轴, 而用锁定螺钉把联轴器锁定。

在联轴器保护盖上去重, 然后在各部件上作出匹配标记, 以便在装配时保持同样的动平衡等级, 此时各部件即失去了互换性。

### 4. 哪种平衡最佳

最理想的是把组装好的联轴器与连接设备连接后进行现场平衡。其它方式的组装平衡, 既会把心轴的不平衡量, 也会把滚动面的偏斜(或者二者其一)带到被平衡的联轴器中。此种不平衡量往往大于所允许的修正裕量(残余不平衡量)。

总的说来, 作过部件平衡的联轴器再进行总体平衡所获得的实际改进通常是微乎其微的。

泽恩公司的联轴器采用部件平衡而获得了高的性能, 几乎20年的现场记录结果证明, 联轴器宁愿采用并推荐采用部件平衡。

## 九、应用实例

表4列出了专门设计的应用实例。



# 汽轮机的微机程序控制自动升速系统

哈尔滨工业大学

苏荣培 高金生 叶道益 徐基豫

哈尔滨汽轮机厂

杨焕义 吕宗琪 赵宏 付春祥

〔提要〕：哈工大和哈汽厂共同研制的一台微机控制的汽轮机自动升速系统，在5万千瓦汽轮机上试验成功。达到了预定目标。提高了汽轮机运行自动化的水平。

**主题词：**汽轮机 自动化起停系统

## 一、引 言

汽轮机的起动是一项复杂而又繁重的工作，为了提高起动的可靠性和减轻人的劳动，在国外大功率的汽轮机几乎无例外地都采用自动启停系统。自动起停汽轮机的意义除了减轻人的劳动以外，更重要的是减少了误操作，并使得运行人员能够有更多的精力去全面监视设备的情况。采用热应力控制的自起停装置，还可以缩短起动时间，延长机器寿命。为了提高汽轮机的自动化水平，哈尔滨汽轮机厂和哈尔滨工业大学合作，在原来液压系统的基础上，采用微机控制，研制了汽轮机的自动起动装置，在模拟试验台上和汽轮机实际对象上进行了试验，取得了成功。由于热应力的测量未能解决，暂时只能按经验曲线起动。

表 4

型 号	功 率	转 速 (转/分)	应 用 场 合	备 注
*3-7	530 马力	6000	飞机、燃气轮机至齿轮箱间	
*12-9	5000马力	1800	剪切机、齿轮箱之间	
*16-9	1700马力	1780	马达与泵之间	中间轴带测扭仪
*22-9	30000马力	3600	LM2500 燃气轮机	组件长107英寸， 外径22英寸，
*34-11	62000千瓦	3000	蒸汽透平至发电机	扭矩17700000 磅、英寸，轴向位移1 英寸，

POWER TRANSMISSION

1. Reliability analysis of an aero-type epicyclic reduction gearing for marine use .....Qiu Dacheng, Harbin Marine Boiler & Turbine Research Institute(1)  
Synopsis

An epicyclic reduction gear with reasonable reliability and compact configuration is described in this paper. A detailed analysis of its gear parts, transmission system and bearings is given in this paper.

2. Multiple convoluted couplings.....Wang Zhaofu(8)  
Synopsis

This paper describes a new type of high performance multiple convoluted flexible couplings developed by Zurn Industries Inc. in the early 80's. This type of couplings not only retains all the features of the original all-metal diaphragm flexible couplings, but additionally provides such features as linear axial rigidity and large axial displacement characteristics, which are conducive to better solving the axial vibration problem.

STEAM TURBINES

3. Microcomputer program controlled automatic speed increasing system for steam turbines  
.....Su Rongpei, Gao Jinshen, Ye Daoyi, Xu Jiyu] Harbin polytechnical  
Institute

Yang Huanyi, Lu Zongqi, Zhao Hong, Fu Chuenxiang Harbin Steam  
Turbine Plant(16)

Synopsis

A microcomputer program controlled automatic speed increasing system for steam turbines, developed through the joint research efforts of Harbin Polytechnical Institute and Harbin Steam Turbine Plant, has been successfully tested on a 50,000 kw steam turbine. The intended objective has been attained, resulting in an enhanced automatic operation for steam turbines.

GAS TURBINES

4. Gas turbines in miscellaneous oil and gas field applications .....Ji Guimin(23)  
Synopsis

This paper gives a brief description of gas turbine applications and their related characteristics in oil and gas field, with special emphasis on combined heat and power installations featuring waste heat recovery. The possible uses of gas turbines in domestic oil and gas fields were reported, and the existence of important potential market for such gas turbines predicted.

5. An intercooled regenerative Rolls-Royce Spey gas turbine.....(29)
6. FFG 7 class frigate and DD 963 class destroyer marine gas turbine propulsion systems maintenance and operational training facility.....(34)
7. Daihatsu TS-01(A) gas turbine.....(38)

BOILERS