

# 日本谐波齿轮传动技术

孙麟治

谐波齿轮传动是五十年代首先在美国发展起来的一种新型机械传动技术，它具有零件数量少、减速比大、体积小、重量轻、传动力矩大等优点（参见表1）。现时，美国麻省联合制鞋机械公司（USM Corporation Harmonic Drive Division）专门生产制造这类传动装置行销美国国内外，已有二十多年历史。

日本谐波齿轮传动技术主要在谐波齿轮

传动株式会社内研制，这是一家专门生产谐波齿轮传动装置的专业公司，生产技术主要从美国引进。这家仅有八十人的小公司，拥有一个制造工厂，二个营业所、即是东京本社和大阪营业所。另外，在西德还设有一个经销机构负责向欧洲的销售。全公司八十人中，六十人在工厂、二十人在营业部门。

该公司目前年产谐波减速器三万套，二万套销售于日本国内，另一万套通过西德营

表 1 谐波齿轮与其它齿轮传动的性能比较

		行星齿轮 减 速 器	直 齿 轮 减 速 器	蜗 杆 减 速 器	螺旋形蜗杆 减 速 器	谐波传动 减 速 器
输出马力	18rpm	1	1	1	1	1
减 速 比		99.14	96.2	108	100	100
效 率	%	85	85	40	78	86
齿 轮 数 量		13	4	2	4	2
轴 承 数 量		17	6	6	6	2
节 线 速 度	m/s	7.6	7.6	7.6	7.6	0.12
齿 面 滑 移 速 度	m/s	12.7	12.7	7.6	12.7	0.12
齿 面 接 触 压 力	kg/cm <sup>2</sup>	3515	3515	351	3515	155
剪 应 力		1760	1760	1050	1760	225
接 触 齿 数	%	7	5	2	3	15
安 全 系 数		3	2	2	2	4
高	mm	332	360	590	410	191
长	mm	384	510	485	435	384
宽	mm	332	254	360	254	205
体 积	1000cc	41	46	100	44	8
重 量	kg	111	126	104	93	27
齿 面 接 触		线 接 触	线 接 触	线 接 触	线 接 触	面 接 触
运 转 平 稳		否	是	是	是	是
正 弦 状 齿 运 动		否	否	否	否	是
平 衡 力		是	否	否	否	是
均 匀 磨 损		否	否	否	否	是
可 控 侧 隙		否	否	否	否	是

业所销售到西德、意大利、瑞典、法国等国。年产值21亿日元，(每个工人的生产率为23万人民币) 约占日本全国齿轮年产量总值的1.5%，列居美国 USM 公司之后，成为世界上第二位。

7月13日代表团成员刘承烈和孙麟治二人由公司经理所敦夫亲自陪同，自东京前往长野县松本市参观了该公司所属的谐波齿轮传动制造厂。该厂已有十几年历史，去年从美国买得了专利，经常有美国和西德人来往。我们是第一次访问该厂的中国代表团，因此受到他们的热情接待。

该厂在松本市郊外，厂房布置见示意图1。工厂占地面积不大，生产厂房面积约

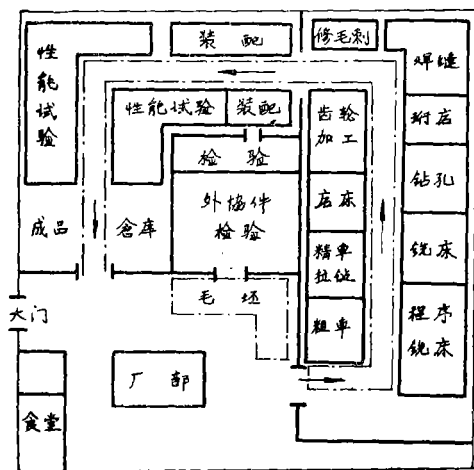


图 1

3~4千平方米。分为加工、装配和性能试验、外协零部件检验以及成品仓库四个部分。

加工车间中配备有车床、磨床、铣床、钻床，还有二台程序控制铣床加工减速器的箱体。一台凸轮磨床磨削波发生器凸轮曲线。有该厂自制的柔轮内壁珩磨机、柔轮底部氩弧焊机。齿轮加工机床共十台，4台中小型插齿机，6台中小型滚齿机(其中二台是 Pfauter 公司产品)。加工设备比较一般。

检验仪器有台式投影仪用于观察齿形截面。一台由光学分度头和电感测微仪组合而成的波发生器椭圆线检查仪。一台光洁度

仪。一台硬度计。以及其他的一些检测谐波齿轮传动装置工作性能的专用设备。

外协零件包括：减速箱箱体铸件或成品件，刚轮毛坯铸锻件，柔轮毛坯锻胚，小直径柔轮冷挤压杯形毛坯，波发生器薄壁轴承等。

该厂主要产品有：

1. 减速器组合件 (Harmonic Drive Component Series)
2. 相位调节组合件 (Harmonic Differential Unit Series)
3. 谐波传动减速器 (Harmonic Drive)
4. 谐波传动电机 (Harmonic motor)
5. 伺服致动器 (Servo Actuator)
6. 电磁谐波步进电机 (Responsyn stepping motor)

减速器组合件是该厂产品的基本部件，由波发生器、柔轮和刚轮组成。生产二种型式，一是柔轮呈杯状的杯型组合件，另一种是柔轮呈环状的平型组合件(如图2a和2b)。

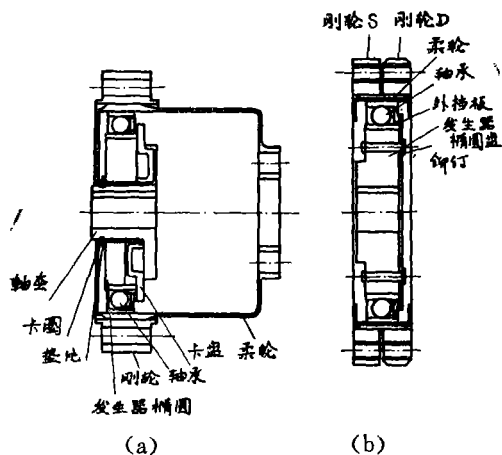


图 2

两种型号均按系列化制造。杯型组合件共有14, 20, 25, 32, 40, 50, 65, 80和100(指分度圆的1/10英寸数)九个直径分段。这类组合件的主要参数如下：

- 柔轮分度圆直径  $d = 36 \sim 254$  毫米，  
范围  
齿数范围.....  $z = 156 \sim 640$ ;

表 2

杯 型 组 合 件								环 型 组 合 件				
型号	速 比	m	输出扭矩 kg·m	型号	速 比	m	输出扭矩 kg·m	型号	速 比	m	输出扭矩 kg·m	
14	88	0.2	1.0	65	78	1	78	14	88	0.2	0.8	
	110	0.15	1.0		104	0.8	112		110	0.15	0.8	
20	80	0.3	3.1		132	0.6	112	20	80	0.3	1.6	
	96	0.25	3.7		158	0.5	112		96	0.25	2.0	
	128	0.2	4.4		208	0.4	112		128	0.2	2.5	
	160	0.15	4.6		260	0.3	112		160	0.15	3.0	
25	80	0.4	5.8		80	80	1.25	140	25	80	0.4	3.0
	100	0.3	6.8			96	1	184		100	0.3	3.5
	120	0.25	7.1			128	0.8	222		120	0.25	4.0
	160	0.2	7.4			160	0.6	222		160	0.2	4.5
	200	0.15	7.5	194		0.5	222	32		78	0.5	6.5
32	78	0.5	11	258		0.4	222		104	0.4	9.0	
	104	0.4	15	320		0.3	222		131	0.3	10	
	131	0.3	16	100		80	1.5		252	157	0.25	12
	157	0.25	16			100	1.25		380	40	80	0.6
	208	0.2	16			120	1	406	96		0.5	14
	260	0.15	16		160	0.8	406	128	0.4		16	
40	80	0.6	20		200	0.6	406	160	0.3		18	
	96	0.5	27		242	0.5	406	50	80		0.8	20
	128	0.4	32	320	0.4	406	100		0.6		26	
	160	0.3	32				120		0.5	30		
	194	0.25	32				160		0.4	34		
	258	0.2	32									
50	80	0.8	36									
	100	0.6	57									
	120	0.5	60									
	160	0.4	60									
	200	0.3	60									
	242	0.25	60									

模数范围.....  $m = 0.15, 0.2, 0.25, 0.3, 0.4, 0.5, 0.6, 0.8, 1, 1.25, 1.5$  共11种规格,

减速比范围.....  $i = 78 \sim 320$ ,

$\frac{\text{柔轮长度}}{\text{柔轮直径}} \dots\dots\dots \frac{L}{D} = 0.75 \sim 0.8$ ,

输出扭矩范.....  $M = 1 \sim 584$  公斤·米  
围

最大允许转.....  $n = 2500 \sim 3600$   
速范围 转/分。

平型组合件共有 14、20、25、32、40、50、六个直径分段。这类组合件的主要参数如下:

柔轮分度圆直径  $d = 36 \sim 127$  毫米;  
范围

齿数范围  $z = 156 \sim 320$ ;  
 $m = 0.15, 0.2, 0.25,$   
模数范围  $0.3, 0.4, 0.5, 0.6,$   
 $0.8$  共 8 种规格。

减速比范围;  $i = 78 \sim 160$ ;

输出扭矩范围  $M = 0.8 \sim 34$  公斤·米;

最大允许转速范围  $n = 1400 \sim 3600$   
转/分。

这类组合件产品约占总产量的60%，其余40%组合件与箱体组合在一起，配制成为谐波减速器出售。

该厂生产的杯形柔轮的结构特点是：壁厚很薄；长度与直径之比只达 0.75~0.8，齿宽很宽，约占柔轮总长度的30%。

组合件中的波发生器全部采用椭圆盘薄壁轴承结构。据介绍，薄壁轴承的保持架目前仍由美国进口，采用尼龙夹玻璃纤维材料制造（美国专制）。两种型式组合件中的波发生器和输入轴的联结方式是不同的。在平型组合件中，波发生器椭圆盘通过凸键与输入轴联结起来。在杯型组合件中，波发生椭圆盘通过一个中间轴套与输入轴联结。椭圆盘的里侧端面上做有凸键，中间轴套法兰外缘

（参见图2）制有键槽，从而，椭圆盘可以相对于输入轴在其长轴方向上作径向浮动动作，有利于提高谐波传动工作的平稳性。

参观时见到的杯形柔轮的加工顺序大致是：模锻毛坯件→粗车→精车→磨内孔→钻法兰连接螺孔→磨外圆→镗磨内孔→滚齿→修毛刺。刚轮的加工顺序是：毛胚→粗车→精车→钻连接螺孔→插内齿→修毛刺。发生器的加工顺序是：毛胚→粗车→精车→拉花键槽→磨椭圆。对于小直径杯形柔轮CS-14的生产，采用冷挤压的杯形毛胚件，毛胚内壁极其光亮。它的加工顺序是：毛胚件→精车外圆切去毛胚件的杯底→滚齿→焊接柔轮杯底→（焊缝探伤）。柔轮外圆齿形均在中小型滚齿机上滚齿。齿厚尺寸用螺线量线测定M值。在台式投影仪上抽检齿形。刚轮内齿加工在中小模数插齿机上进行，采用压力角30°的渐开线插齿刀。据介绍小模数插齿刀的使用寿命很低，大约每插30件内齿轮就需刃磨一次。

波发生器椭圆曲线在特制的凸轮磨床上加工，但是椭圆方程式、柔轮刚轮齿的啮合计算方法、柔轮材料等均属于专制内容，对外保密，据介绍日本的柔轮材料性能高于美国。波发生器椭圆曲线的加工精度，在光学分度头上检验，加工误差通过电感比较仪测出。

谐波齿轮减速器的性能主要测试项目为：

1. 工作平稳性
2. 效率
3. 无负荷转动力矩，起动力矩和增速起动力矩
4. 波发生器最大允许转速
5. 虚动和刚度系数
6. 运转寿命

谐波齿轮减速器的工作平稳性，在专门的综合性能试验台上（参见示意图3）进行检验，试验时，谐波齿轮减速被伺服电机4驱动，通过测速发电机3记录转速，观察电

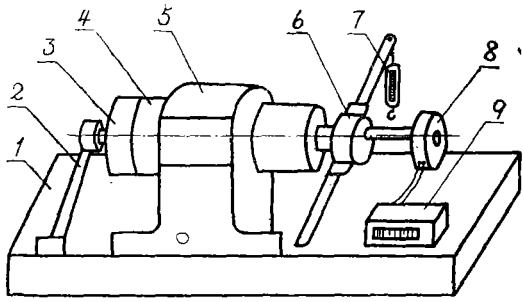


图 3

1—平台, 2—输入轴夹紧杠杆, 3—测速发电机, 4—伺服电机, 5—谐波减速器, 6—输出轴加载杠杆, 7—弹簧秤, 8—测角仪器, 9—显示仪。

源的波动程度不得超出一定范围。这个试验台上还进行虚动量和刚度系数的测定。这时候, 减速器的输入轴由夹紧杠杆 2 固定。并且通过簧秤 7 和加载杠杆 6 对减速器的输出轴加载。输出轴的扭转变形通过磁盘测角仪 8 测量, 显示仪的分辨率 3 秒。测量时得出的扭

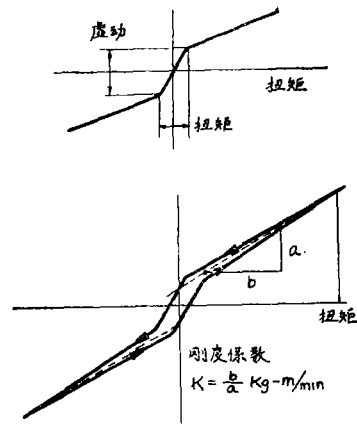


图 4

矩—转角回线见图 4。从中可以得出机构内的间隙虚动量和刚度系数  $K = \frac{b}{a} \text{kg} - \text{m}/\text{mm}$ 。

表 3 中列出了谐波齿轮传动的间隙虚动量和刚度系数的规定值。表中杯型谐波齿轮传动标准品的虚动量规定小于 9 分。特别品的虚

表 3 谐波齿轮传动的虚动和刚度系数

		虚 动 (角分)					刚度系数 $\text{kg} \cdot \text{m}/\text{mm}$				
杯 型		平 型		杯 型		平 型		杯 型		平 型	
型目	负 荷 $\pm \text{kg} \cdot \text{m}$	标准品	特别品	负 荷 $\pm \text{kg} \cdot \text{m}$	标准品	特别品	负 荷 $\text{kg} \cdot \text{m}$	刚 度 系 数	负 荷 $\text{kg} \cdot \text{m}$	刚 度 系 数	刚 度 系 数
14	0.04	9	3	0.04	20	3	1.26	0.100	等于杯型组合件的 50%		
20	0.12	9	3	0.12	20	3	3.69	0.709			
25	0.23	9	3	0.23	20	3	7.20	1.109			
32	0.46	9	3	0.46	20	3	15.78	2.430			
40	0.92	9	3	0.92	20	3	29.50	4.215			
50	1.73	9	3	1.73	20	3	57.60	8.869			
65	3.9	9	3				126.7	13.37			
80	7.4	9	3				236.2	33.80			
100	14.4	9	3				460.8	62.72			

动量小于 3 分。平型谐波齿轮传动标准品的虚动量规定小于 20 分。特别品的虚动量和杯型谐波齿轮传动相同, 规定小于 3 分。平型谐波齿轮传动的刚度系数约为杯型谐波齿轮传动的 50%。

减速器的效率、润滑性能以及运转寿命试验在图 5 所示的装置上进行。该厂生产的谐波齿轮传动的效率, 因传动比、输入转速、负载扭矩、润滑方法以及油温而异。图

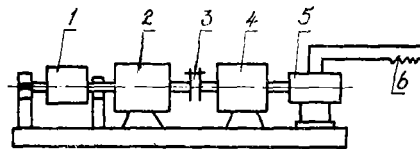


图 5

1—平衡电机 2—谐波传动减速器  
3—联轴节 4—谐波传动增速器  
5—发电机 6—负载

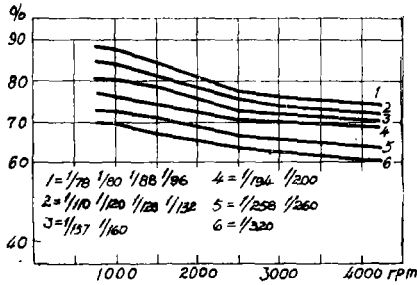


图6A 杯型谐波传动效率特性

6 A 中为杯型谐波齿轮传动的效率曲线、图 6 B 为平型谐波齿轮传动的效率曲线。由图可见，杯型谐波传动在1000转/分时的效率，当传动比为1/80时可达88%，传动比增大到1/320时，效率下降到70%。此时若速度增大到3000转/分时，效率进一步下降到62%左右。

平型谐波齿轮传动的效率低于杯型谐波齿轮传动。采用润滑脂润滑时的效率约比滑

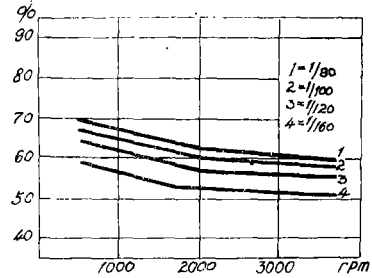


图6B 平型谐波传动效率特性

油润滑时低10%。

图 7 列出了谐波齿轮组合件装在两轴型减速器内，测定出的无负荷扭转力矩、(高速轴转速1000转/分) 高速轴上的起动静力矩和在低速轴上测定出的起动静力矩。

谐波齿轮传动装置的最高转速受波发生器的转速限制。表 4 中列出的是波发生器在两种不同润滑条件下的最大允许回转数。

有的时候，该厂还对特殊用途的传动减

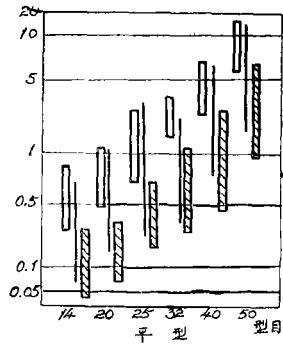
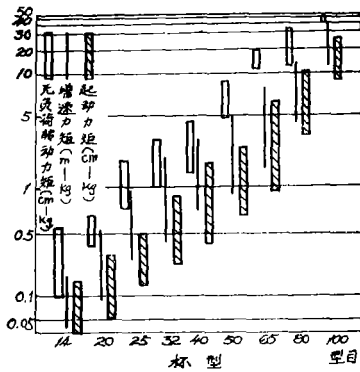


图 7

速器进行特殊的性能试验。例如图 8 装置中，减速器的输出轴作往复摆动动作，试验时就在输出轴上联结有夹紧杠杆，通过左右

两侧的换向触点开关以及停挡的作用，从而可以检验减速箱往复受冲击负载下的运转寿命。

表 4 波发生器最大允许转速 转/分

型 目		14	20	25	32	40	50	65	80	100
杯 型	油 润 滑	3600	10000	7500	7000	5600	4500	3500	3500	2500
	润 滑 脂 润 滑	3600	3500	2800	2100	1700	1400	1000	900	700
平 型	油 润 滑	3600								
	润 滑 脂 润 滑	3600	3500	2800	2100	1700	1400			

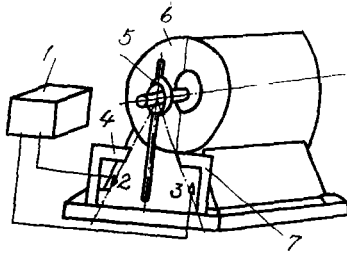


图 8

1—控制器, 2,3—左(右)侧换向触点开关,  
4,7—左(右)停挡, 5—夹紧杠杆, 6—减速器

表 5

项 目	型 号	HT-14		HT-20		HT-25				HT 25		
		3401	1901	3802	1902	5005	3805	2505	1505	5013	3814	2514
额定功率	W	12	10	20	20	50				130	140	
额定扭矩	kg-cm	34	50	50	100	90	130	200	300	250	360	540
额定电压	V	24		24		80 (48)				80 (48)		
额定电流	A	1.5	1.1	2.3		1.7				3.4		
额定转速	rpm	34	19	38	19	50	38	25	15	50	38	25
最大允许扭矩	kg-cm	150	150	450	700	600	900	1380	1600	600	900	1350
最大允许电流	A	38	2.6	10.2	8.2	6.2	6.7	6.8	5.1	6.5	6.8	6.8
激磁电流	A	10	6	14		20				25		
转动惯量	kg cm·S <sup>2</sup>	2.4		3.8	15	8	14	32	89	11	19	42
机械时间常数		26	35	34		33				15		
许用径向负荷	kg	80		140		300						
许用轴向负荷	kg	80		140		300						
重 量	kg	1.4		2.8		7				7.5		

油 马 达 规 格

项 目	规 格
种 类	活塞式马达
额定扭矩	1.37kg·m
压 力	70kg/cm <sup>2</sup>

电 机 规 格

项 目	规 格
功 率	0.12KW
输出转速	5.3rpm
输出扭矩	16.8kgm

据了解这类产品过去也曾出现过:(1) 电流波动过大或者呈现大周期的“糖葫芦”波动;(2)工作转速区内有共振点;(3)薄壁轴承过早损坏;(4)柔轮根部开裂等问题。他们认为这些缺陷主要与柔轮、刚轮齿形加工的真园度、装配同心度,以及材质有关,必须严格控制。

伺服致动器是由伺服电动机、测速发电机和谐波齿轮减速器组合而成,用于工业机

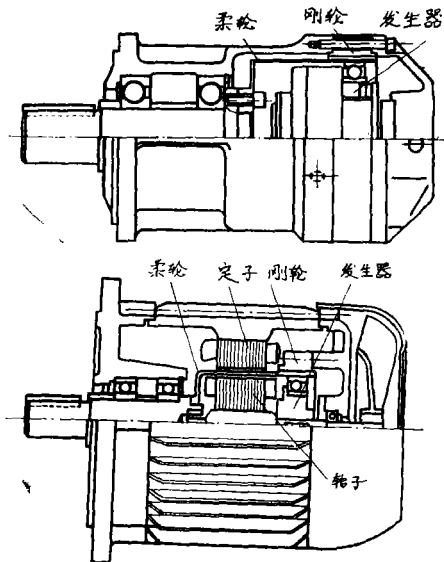


图 9

机器人, 雷达、纺织机械、精密测量仪器、光学仪器、医疗机械中。该厂目前主要生产四个规格型号、它们的特性见表5。与其相配, 生产HS—100—2, HS—100—4, 和HS—100—6三种控制电源, 从而可以获得

1000:1调速范围。实现高精度伺服控制。

还生产二种小型致动器, 一种由输出力矩为1.37公斤·米的油马达驱动, 另一种由0.12千瓦感应电机驱动。二种致动器都采用杯型柔轮。油马达安装在杯型柔轮的空腔

表 6 谐波齿轮传动的应用实例

名 称		型 号	名 称		型 号
工 业 机 器 人	日立制造所程序控制的 焊接机器人		加 工 机 床	日本东洋轴承公司 NTN 无心磨床	CS32-208-2A -BL <sub>3</sub>
	西德 Klein Beschert 研 究所研制的机械手的手腕 驱动	CS40-XX-2A CS32-XX-2A CS25-XX-2A		三菱电机 DWC-75 型线 切割电加工机床	CS14-88-2-BL <sub>3</sub> CS20-80-2-BL <sub>3</sub> CS25-80-2-BL <sub>3</sub>
	西德 M. A. N/NuRn Berg 检查原子能蜗炉焊 缝用的机器人, 作台面垂 直、水平驱动和检查机的 旋转驱动			日本 disco 公司 DAD-2 H/S 型精密自动切割锯 L 切割, 液晶玻璃、石英玻 璃、水晶、锗、铟、镓、 等薄片及兰宝石等。	FB20-160-2-BL <sub>3</sub>
	西德 Rohren-Gerat R 30 公司的机器人系列 K 15, L15, R30, R100 胴体 的旋转, 臂的旋转, 手的 摆动和旋转。	CS65-104-2A D50-100-2 D40-96-2		西德 Fortuna Werke 外圆磨床床面驱动	CS25-100-2-BL <sub>3</sub>
	瑞典 ASEA pamphlet YB11101E 工业机器人胴 体旋转手的摆动和旋转	CS20-128-2A CS32-157-2A CS50-200-2A		磨床工作台快动和慢动 机构中, 二个电机合作驱 动	CS50-80-2A
	法国 ACMACRIBIER 公司 "Vertical80" 万能 机器人	C-80-2 C-100-2		制纸、印刷卷线机的滚 筒卷取装置中的微调转速 变化的机构	CS80-160-2
	日本邮电省电波研究所 卫星跟踪抛物面天线的驱 动	CS-130-104-0 CS-100-100-0		轻 工 机 械	医疗牵引机的控制
日本气象厅的气象雷达	CS50-80-0 CS50-160-0				
太阳能集光器镜面驱动	CS100-320-2BL <sub>1</sub>				
日本三菱重工业为飞机 场旅客登机舱的车轮驱 动	CS100-160-2 CS65-132-4-15				

内，油马达的外壳是旋转的，壳体上套装着谐波减速器的波发生器，通过柔轮—刚轮的作用，得出1/104减速。

在感应电机驱动的小型致动器中，电动机的转子装在杯型柔轮的空腔内，定子装在柔轮的外缘，亦即是柔轮的杯形外壳插入在定子和转子之间的隙缝中，然后在电机转子轴上套装谐波减速器的波发生器，带动柔轮实现1/260减速比。

该公司目前生产的以上谐波齿轮传动的应用范围举例如下表6。

图10是制纸机械滚筒卷取装置中利用CS-80-160-2谐波齿轮传动微调转速变化的机构。

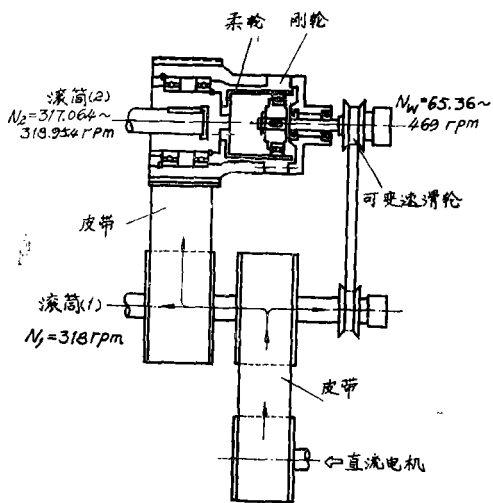
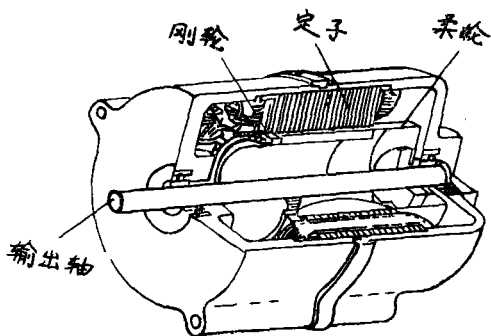


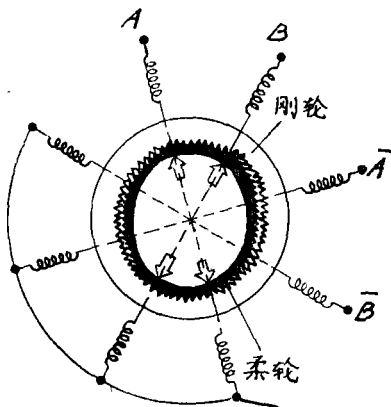
图 10

除此以外，近年来还发展出一种电磁谐波步进电机，它兼有步进电机和机械减速器的功能，由柔轮、刚轮和电磁线圈三部分组成，结构非常紧凑和简单。通电工作时，电流通过电磁线圈产生的成对磁极的作用，迫使柔轮成为椭圆形，从而柔轮外圆上的外齿与刚轮内齿啮合，随着磁极方向旋转，产生减速作用。且因柔轮齿数少于刚轮，减速比就很大，(速比1/100, 1/125) 因此输出轴的步进角度很小，而输出扭矩却又很大。

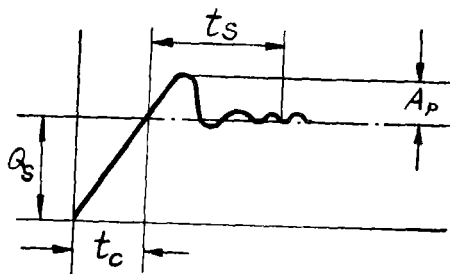
这种新型的电磁谐波步进电机的主要特



a. 步进电机制造



b. 电机动作原理



增长时间  $t_c = 1.2\text{ms}$       超调量  $A_p = 40\%$   
 稳定时间  $t_s = 6.3\text{ms}$       步距角  $\theta_s = 0.45^\circ$

c. 速度特性

图 11

点是：

1. 步距角很小——每步齿距角为  $0.75^\circ \sim 0.18^\circ$ ，每转一周可达500、800、1000、1600和2000步。

2. 机械结构简单——不用传统的齿轮减速装置，无磨擦损耗、不需要加润滑油、无间隙，而且工作可靠。

3. 启动快, 停止速度高——由于转动惯量小, 允许瞬时启动、停止和反向。

4. 调整时间短——如图11所示步距角 $0.45^\circ$ , 的步进电机的稳定时间为6.3毫秒。

5. 位置精度高——目前最大步进误差为 $\pm 4$ 分。

6. 扭转刚度高

7. 伺服系统的造价低。

目前生产表7所示四种系列的电磁谐波

步进电机, 即是 HDM-15-480-4, HDM-155, HDM-175, HDM-170。与此相适应的制造 VSD 和 PSD 二种系列的电子控制器。据介绍该厂并不能生产这类步进电机, 只能制造电子控制器, 与美国 USM 公司配套出售。

据报导这类产品, 可用于下列仪器装配上: 电子计算机的各种终端设备; 自动照像排字机, 照像机的自动调节焦点; 各种光学

表 7

项 目	型 号	HDM	HDM-155	HDM-175	HDM-170
		15-480-4			
精 度		$\pm 10'$	$\pm 4'$	$\pm 4'$	$\pm 4'$
保持力矩kg-cm		1.73	28.8	28.8	5.8
旋转方向		正 方 向	正 方 向	正 方 向	正 方 向
扭转刚度 $\frac{\text{kg-cm}}{\text{rad}}$		330	3800	3910	1380
转动惯量 kg-cm <sup>2</sup>		0.0035	0.21	0.26	0.12
分辨率(步/转)		480	500, 800, 1000, 1600, 2000,	800, 1000, 1600, 2000,	1600, 2000,
步 进 距 (度)		0.75	0.72, 0.45, 0.36, 0.225, 0.18,	0.45, 0.36, 0.225, 0.18,	0.225, 0.18
重 量 kg		0.51	1.4	1.4	1.4

仪器的菱镜驱动; 自动制图仪; 各种数控机床的台面精密送进; 数控机床精密分度装置; 数控磨床; 自动精密测定装置; 激光器; 医疗机器等。

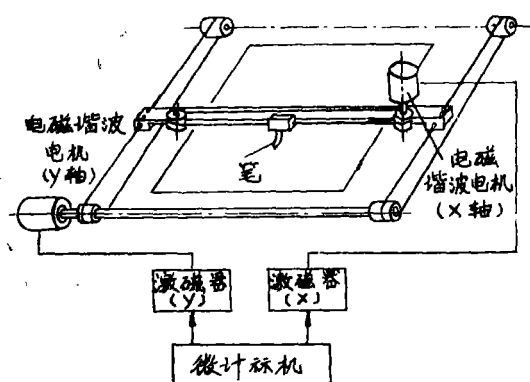


图 12

图12是自动制图仪上采用电磁谐波步进电机驱动拉线的示意图。步进电机的步距

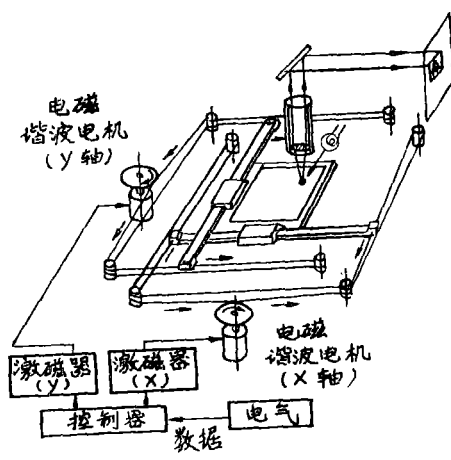


图 13

角 $0.18^{\circ}\sim 0.09^{\circ}$ ，每一脉冲的移动量大约为 $8\sim 25\mu\text{m}$ ，最大速度 $3\sim 15$ 米/分。能够画出很优美的曲线，而且仪器的构造简单，成本低廉。

图13表示电磁谐波步进电机驱动控制xy定位器驱动控制的示意。采用步距角为 $0.45^{\circ}\sim 0.18^{\circ}$ 的电机和白炽灯泡，读取 $100\times 100$ 毫米面板上的1—10万间隔的记录。由于电磁谐波步进电机具有高的灵敏度，优越的过渡特性，从而可能迅速读取。

参观中我们还注意到，该厂的生产秩序很有条理，毛坯和加工件放置整齐，重视加工件的质量检查，重视成品件的性能实验。重视成品性能和质量的改善和提高。他们对于外协加工件的质量也非常重视，进行严格的质量抽检，抽检率达20%，如果发现抽检件中任何一个零件的尺寸，或者其他性能超差时，就全部报废或者全部退回，一丝不苟。据他们介绍，因为这个厂很小，因此必

须严守产品信誉，他们认为只有重视质量才能在竞争中求得生存，求得发展。这是该公司获得成功的一个经验。

## 结 语

1. 日本谐波齿轮传动的产量甚大、畅销国内外，应用面也很广，遍及工业机器人、加工机床、轻工机械、雷达天线座传动等领域，产品的结构型式主要仿效美国USM公司，产品已经标准化和系列化。

2. 柔轮和刚轮齿廓全部采用渐开线齿形，压力角为 $30^{\circ}$ ，柔轮壁厚非常薄，柔轮长度与直径的比值不大，一般只达 $0.75\sim 0.8$ ，而且柔轮的齿宽较宽。波发生器只采用一种结构，即是椭圆凸轮套装薄壁轴承典型结构。

3. 日本谐波齿轮传动的效率并不太高、啮合齿数只达15%左右，即是较多地注意产品的综合性能指标，因此其使用寿命较长（一般规定为15000小时以上）。

期 /