

科技通讯

KJTX

中国人民解放军第五七一二工厂技术研究室编

《 科技 通讯 》

目 录

导向器内环“D”面变形的分析.....	刘富生 (1)
缩短铝叶片修理弦长尺寸的试验工作情况简介.....	付祥发 (17)
E — 228 型飞机 HP — 23 航炮机箱横向断裂的分析.....	付德永 (21)
关于歼六飞机付翼装配间隙问题的讨论.....	张友林 (28)
飞机特设零件修理经验几例.....	徐文一 (33)
叶片专用电子称.....	谭干民 (44)
用无心磨床磨销 GH132 螺钉台阶.....	郁文炳 (50)
811 — 12043 分油活门重新开槽打斜孔工艺.....	罗绍银 (51)
涂二硫化钼修复压缩机叶片标头底面尺寸.....	石孝恒 (56)
镀铬磷化工艺改进.....	潘岱生 (58)
采用粘接工艺提高磨擦带的使用寿命.....	陈志昌 (61)
飞机驾驶杆橡胶把手更新的方法.....	吴海权 (65)

导向器内环“D”面变形的分析

—— 刘富生

大量的分析资料表明：从可靠性的观点看，导向器的故障并不是目前涡轮喷气发动机发生飞行事故的重要因素。但是，修理实践又告诉我们：导向器确实是受破坏的主要部件之一，给发动机翻修带来了许多麻烦事。而导向器内环“D”面变形则是修理资料中未涉及过的一个新问题。

我厂翻修 WP-6 发动机以来，经常出现涡轮一级盘前端面与一导内环后端面之间的间隙小于 3.27 毫米的故障，并有逐年增加的趋势。七八年元月份，竟多达五台。特别是其中令号为 P₂-854 的这台发动机，我们将其一导串装上三台发动机，测量这个间隙全部小于 3.27 毫米。这就给我们一个启示：以往采取打磨一导内环和枕垫，更换涡轮轴尾挡圈或大盘轴距的转子的方法排除这种故障是否恰当？造成这个轴向间隙小的根本原因是什么？

我们首先对 P-854 这台一导按产品装配图进行尺寸验算，结果发现“B”、“E”、“D”三个面（见图一）不在一个平面上，与图纸规定不符，并且是“D”面高出其他两个面许多。以后又测量了 50 台使用过的和 5 台新品，结果是新品“B”、“E”、“D”三个面都在一个平面内，旧品则不同程度地全部是“D”面高出“B”、“E”两个面。从图一不难看出，由于“D”面高出“B”、“E”面，一导与后机匣联接后，内环后端面就要往后位移一个“D”面高出“B”面的量，即涡轮一级盘与一导内环之间的轴向间隙要缩小一个“D”面高出“B”面的量。这就是造成这个轴向间隙小于 3.27 毫米的重复性故障的根本原因。此后，我们

在近两年的时间里，对导向器内环“D”面变形进行了一些观察、分析，发现了一些规律，并在排除这个故障方面做了一点工作。

一、“D”面变形的规律

为了摸清一导内环“D”面变形的规律，我们从78年5月份开始，台台测量内环“D”面与“E”面的高低差。测量方法是：以“E”面做基准面，按发动机在飞机上的安装位置，测量“D”面上、下、左、右四点对“E”面的高出量。从近千组数据中发现：

- (一) 工作过的导向器，全部都是“D”面高出“E”面；
- (二) “D”面高出“E”面的量与发动机工作时间有一定的联系
- (三) “D”面上、下左右四个点高出“E”面的量不相等，即“D”面是翘曲不平的。

为了说明“D”面高出“E”面的量与发动机工作时间的关系，我们分100小时以下；100~250小时；250~400小时；400~550小时四种不同的寿命范围，对内环“D”面变形情况进行统计，并用画出直方图的方法分析变形量的集中趋势与命寿的关系（分别见表一、表二、表三、表四和图二、图三、图四、图五）。

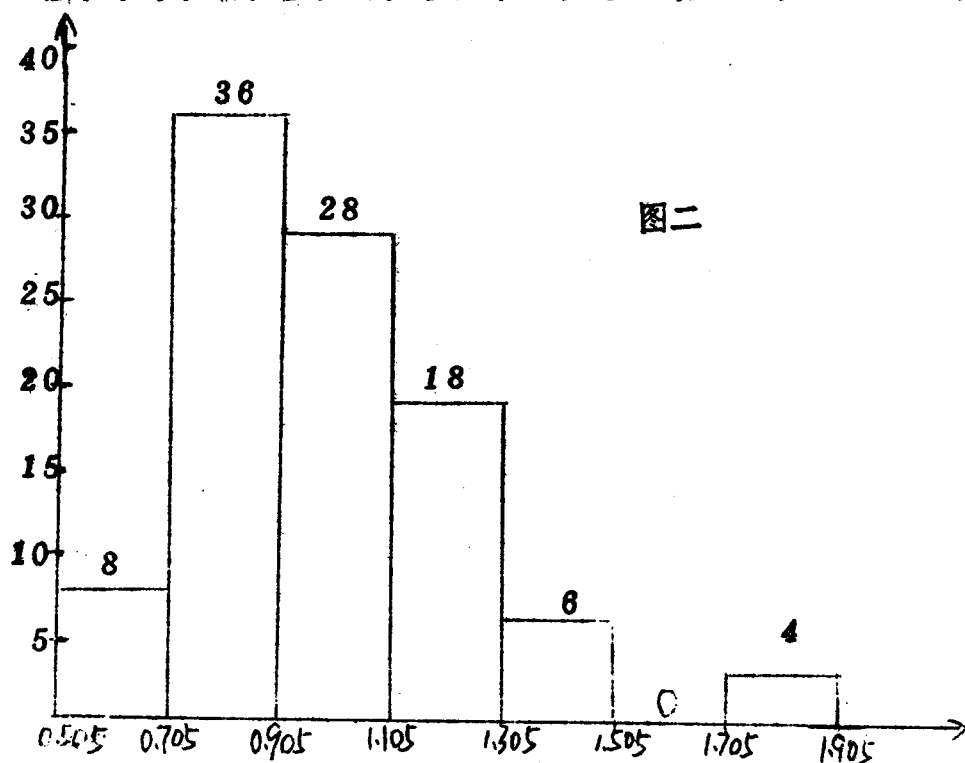
表一 工作时间100小时以下的内环变形量（即“D”面高出“E”面的量，以下同）

Q 93	1.45	0.72	0.90	0.83	1.06	1.16
0.84	0.95	1.08	1.27	0.96	0.71	1.05
0.90	1.14	1.38	1.45	1.21	1.13	0.90
1.79	0.81	1.03	1.06	0.67	0.65	0.94
0.95	0.61	1.32	1.28	0.97	0.83	0.62

续表一

1.96	0.78	1.20	0.97	0.80	1.22	1.20
1.72	1.88	1.07	0.85	1.29	0.82	1.34
0.75	0.71	1.02	0.89	1.00	1.00	0.91
0.98	1.09	1.23	0.78	1.11	1.38	1.16
0.85	0.88	0.66	0.79	1.02	0.80	0.95
0.72	0.67	0.81	1.04	1.14	0.97	
0.65	0.73	1.05	1.01	0.74	0.90	
0.81	0.81	0.91	1.15	0.75	1.15	
0.82	1.17	0.89	0.85	0.89	0.83	
1.23	0.95	1.03	0.89	0.61	0.78	

注：表中数据为上、下、左、右四点中的最大变形量(以下同)



= 3 =

表二 工作时间为 100~250 小时的内环变形量 (355 台)

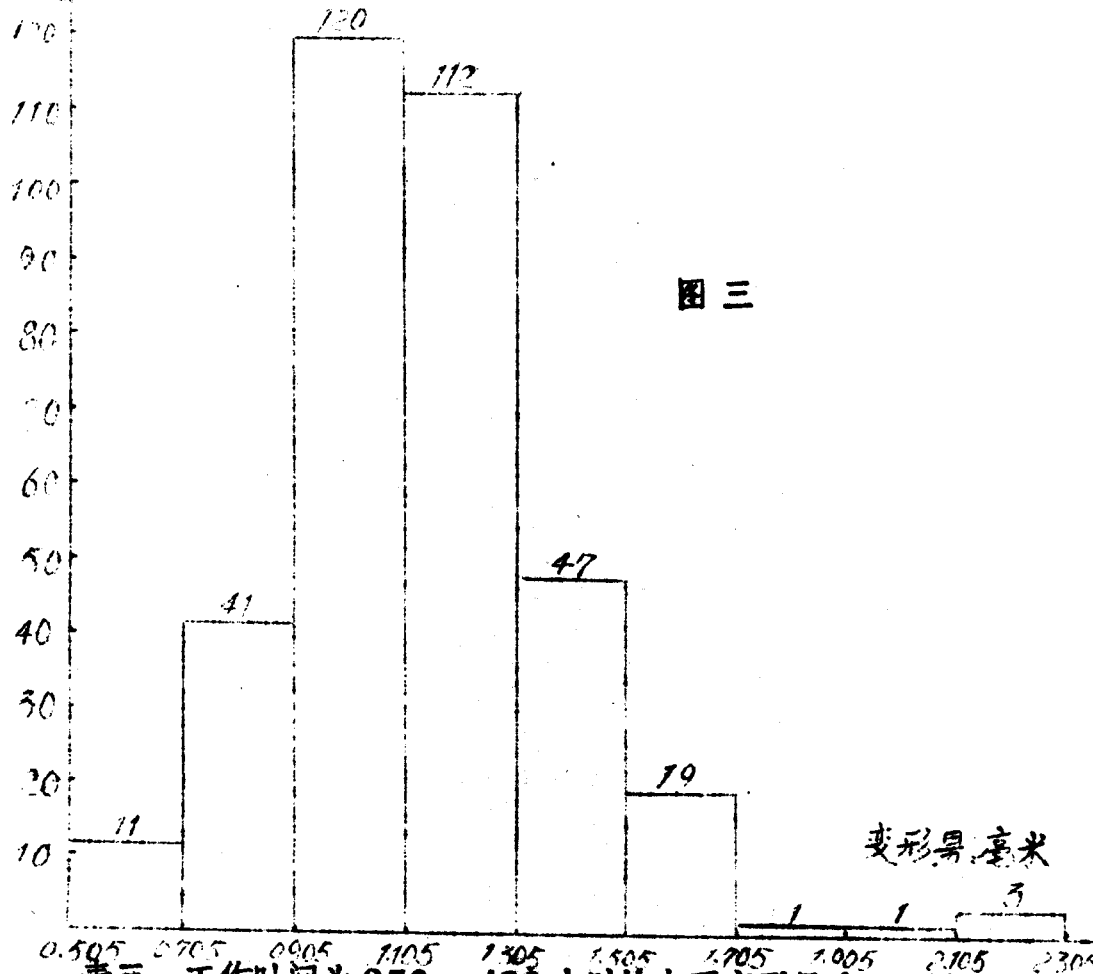
1.21	0.57	0.82	1.01	1.20	1.07	1.46	0.98
1.65	0.68	0.87	1.09	1.07	1.31	1.01	1.16
1.14	1.15	0.96	1.45	1.15	1.22	1.05	1.07
1.03	0.98	0.61	1.37	1.29	0.96	1.24	1.00
1.10	1.63	1.45	1.12	1.07	0.89	1.24	0.94
1.45	1.10	1.06	1.09	0.91	0.88	1.43	1.19
0.96	1.66	0.81	1.08	1.21	1.11	1.12	0.94
1.30	1.39	1.10	0.93	1.44	0.59	1.38	1.55
0.94	1.28	1.23	1.15	1.32	0.99	1.02	1.31
0.95	1.03	1.37	1.13	0.80	1.13	0.98	1.01
1.25	0.90	0.97	1.23	1.45	1.33	1.19	1.30
1.50	1.08	1.15	1.23	1.05	0.83	1.13	2.04
1.25	1.14	0.82	1.08	0.95	1.59	1.38	0.89
0.92	0.78	1.67	1.18	1.46	1.24	0.70	1.06
0.85	1.35	1.40	0.98	1.26	1.07	0.85	1.34
1.09	1.10	1.21	1.35	1.10	1.10	0.57	0.81
0.73	1.16	1.05	1.72	1.44	1.12	1.01	1.03
1.15	1.23	0.99	1.26	1.14	1.50	1.37	0.93
0.94	0.82	0.74	1.33	1.03	1.49	1.03	1.10
0.97	0.92	0.75	1.35	1.27	1.14	1.09	1.48
1.20	0.98	1.20	1.15	0.75	0.98	0.85	1.10
1.15	1.03	2.27	1.25	1.27	1.49	1.00	1.00

《紧接下版》

续表二

0.95	1.29	1.43	1.10	1.05	1.70	1.23	1.20
0.80	1.22	1.35	1.02	1.09	0.97	1.16	1.10
0.92	0.86	1.20	1.18	1.04	1.58	1.17	1.00
0.75	1.26	1.02	1.11	1.24	0.87	0.76	1.05
0.85	1.02	0.96	1.00	1.01	0.74	1.19	1.12
0.65	0.92	1.09	1.39	0.95	0.80	0.77	1.08
0.68	1.15	1.21	0.82	1.12	0.90	1.15	1.16
0.58	1.60	1.24	1.00	1.20	1.46	0.96	1.83
1.00	0.75	0.74	1.23	1.12	1.39	1.21	1.46
1.33	1.11	1.67	1.11	1.20	1.10	1.37	1.08
1.31	1.07	1.07	0.84	1.14	1.32	1.00	1.22
1.52	1.30	1.23	1.35	1.10	1.26	0.68	2.24
0.97	1.07	1.26	1.03	1.61	1.12	1.11	1.00
0.87	1.56	1.25	1.18	1.27	1.10	1.15	1.46
1.23	1.05	1.33	1.14	1.19	0.62	1.45	0.85
1.29	1.14	1.01	1.10	1.33	1.07	1.17	
1.26	1.61	0.91	0.96	1.66	1.25	1.03	
1.19	1.64	1.29	0.96	1.33	1.27	1.31	
1.04	1.08	1.24	0.99	1.33	1.27	1.20	
1.14	1.32	0.90	0.97	1.60	0.72	1.30	
0.96	1.17	1.61	1.50	1.21	1.18	1.18	
1.42	0.95	1.15	0.95	1.20	1.25	1.69	
0.85	1.91	1.11	0.90	0.93	1.30	1.10	
0.71	1.02	1.09	1.55	1.10	1.12	0.97	

频数:



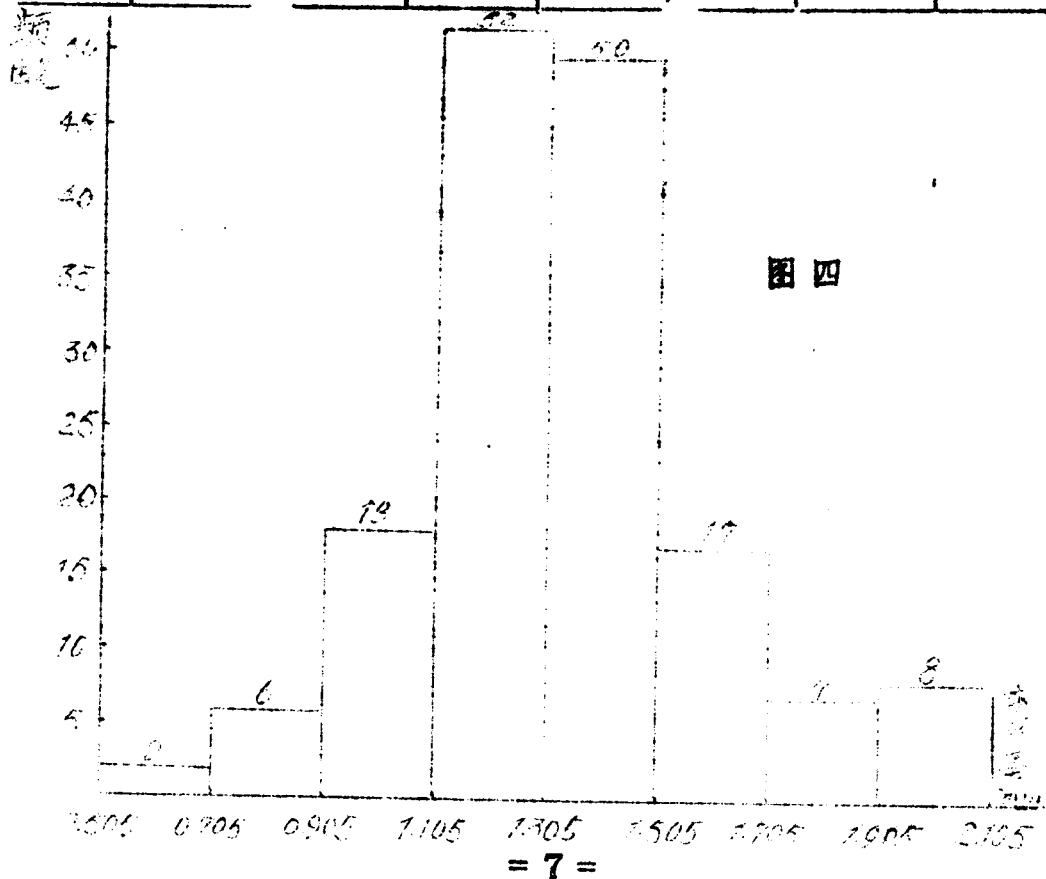
图三

表三 工作时间为 250~400 小时的内环变形量 (160 台)

1.37	1.54	1.48	1.63	1.12	1.95	1.76	1.39
1.18	1.65	1.40	1.10	1.24	1.28	1.33	1.16
1.20	1.21	1.88	0.98	1.23	1.46	1.40	1.16
1.17	2.05	1.65	0.69	1.46	1.78	1.01	0.86
1.28	0.53	1.32	1.07	1.11	1.52	1.42	1.15
1.28	1.48	1.32	1.09	1.17	1.17	1.33	0.98
1.95	2.45	1.30	1.18	1.46	1.16	1.29	1.15

续表三

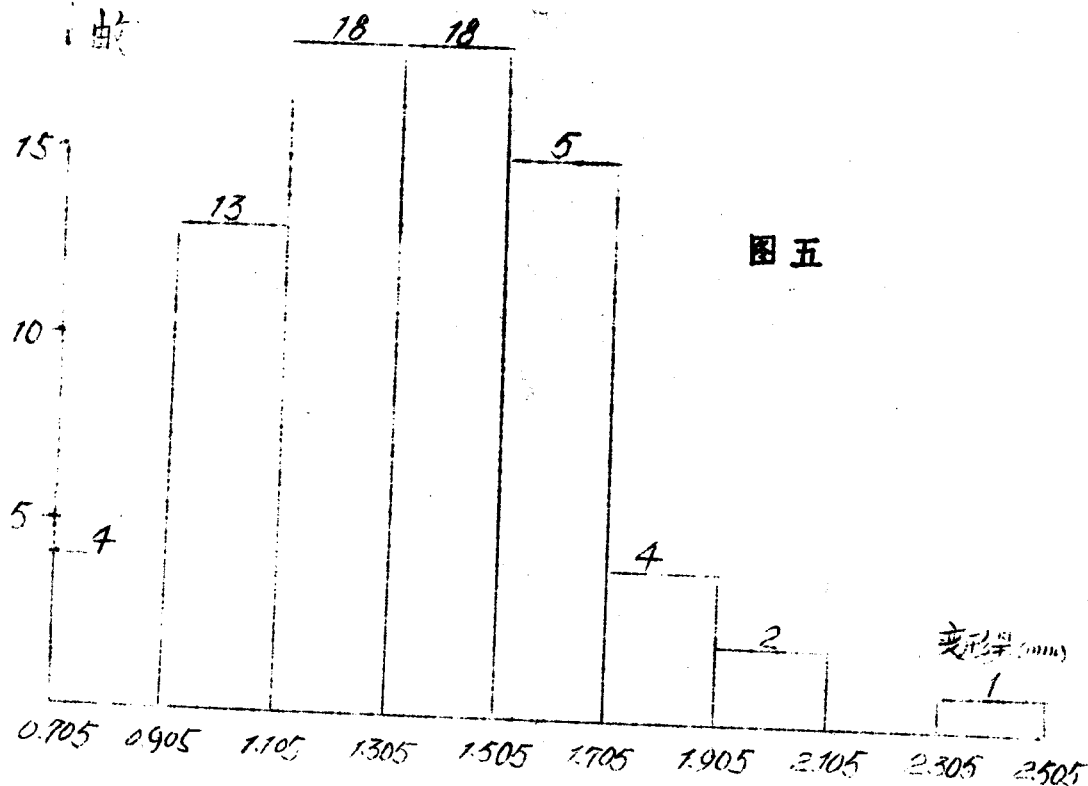
1.42	1.62	0.88	1.25	1.35	1.86	1.16	1.86
1.45	1.75	1.27	1.59	0.95	1.30	1.35	1.17
1.67	1.52	1.67	1.65	1.43	1.32	1.56	1.95
1.72	1.49	1.17	1.18	1.39	1.94	1.50	1.57
1.47	1.14	1.80	0.95	1.46	1.53	2.17	1.30
0.88	1.11	1.43	1.17	1.26	1.30	1.43	1.00
1.03	1.06	1.47	1.18	1.33	1.00	1.46	1.63
0.96	1.32	1.41	0.82	1.28	1.03	1.65	1.10
1.67	0.93	1.45	1.34	1.43	1.00	1.20	1.14
1.34	1.45	1.17	1.26	1.27	1.23	1.24	1.53
1.49	1.18	1.17	1.38	1.40	1.15	1.20	1.96
1.24	0.87	2.05	1.01	1.33	1.31	1.25	1.75
0.80	1.17	1.17	1.42	1.50	1.38	1.66	1.36



表四 工作时间为 400~550 小时的内环变形量 (75 台)

1.47	0.83	1.03	1.48	1.65	1.24	1.64	1.38
1.20	1.26	0.91	1.23	1.10	0.74	1.59	1.54
1.15	1.30	1.69	0.95	1.72	1.56	0.87	1.50
1.49	0.99	1.27	1.31	1.18	2.15	0.84	1.51
1.63	1.15	0.94	1.67	1.48	1.44	0.91	1.95
1.80	1.69	1.05	1.20	1.36	1.09	1.31	1.32
1.22	1.86	0.99	0.91	1.19	1.18	0.86	
1.57	1.77	1.12	1.45	1.26	1.11	0.92	
1.35	1.55	1.36	1.60	1.30	1.31	1.50	
1.66	1.68	2.01	1.42	2.53	1.46	1.19	

20 频
数



从以上表、图可以看出，工作寿命在100小时以下的内环变形量集中在0.7~1.3毫米范围内，1.5毫米以上的仅占4%；寿命在100~250小时的内环变形量集中在0.7~1.8毫米范围内，1.5毫米以上的约占7%；寿命在250~400小时的内环变形量集中在0.9~1.7毫米范围内，1.5毫米以上的占20%；寿命在400~550小时的内环变形量也集中在0.9~1.7毫米范围内，但1.5毫米以上的将近占总数的30%。显然，内环“D”面变形量的大小与工作时间的长短有关，并且是工作时间长，“D”面变形量大，其趋势如图六所示。但特殊情况不少，上面仅反映一般规律。

二、“D”面变形的后果

导向器内环“D”面高出“E”面的变形是发动机工作过程中产生的热应力和气动力对内环反复作用的结果。特别是当发动机一旦超温，“D”面变形尤其严重。如令号为P₃-14这台发动机，寿命虽只308.51'，但由于外场超温，“D”面变形量上、下、左、右分别为2.32，2.56，2.88，2.57毫米。但限于我厂条件，对变形原因不可能做深入的探讨，故仅分析变形的后果。

(一)对装配间隙3.27~6.58毫米的影响

影响这个间隙的尺寸链是复杂的，这里仅从与“D”面变形有关的几个尺寸进行分析。由图七可知，设计上允许 $8^{+0.1}_{-0.1}$ ， $5^{+0.05}_{-0.05}$ ， $3.2^{+0.04}_{-0.12}$ 三个尺寸对间隙3.27~6.58的影响数值为：

$$\text{间隙变小值}\Delta_1 = (3.16+5.05)-7.9 = 0.31 \text{ 毫米}$$

$$\text{间隙增大值}\Delta_2 = 8.1-(3.08+4.95) = 0.07 \text{ 毫米}$$

然而，这种在设计范围内的尺寸变化不足以造成间隙3.27~

$$= 9 =$$

6.58 超差，即小于 3.27 毫米。而“D”面如果高出“E”面很多时，则完全可能使这个轴向间隙小于 3.27 毫米。因为如果影响间隙 3.27~6.58 的尺寸链都是使该间隙靠近 3.27（即变小），从图七可以看出，当尺寸“H”不变时，“D”面高出“E”面多少，间隙 3.27~6.58 就缩小多少。实践证明，当“D”面高出“E”面 1.8 毫米以上时，该间隙小于 3.27 毫米的可能性极大。

(二) 对拉紧螺栓，内环，外环，枕垫的影响

从图七不难看出，内环“D”面变形后，如果先将导向器内环与后机匣上的后支点联接紧，显然一导外环前端面与后机匣后端面之间必然出现一个间隙，这个间隙的大小为：

$$\Delta_{max} = a + \Delta_1$$

$$\Delta_{min} = a - \Delta_2$$

式中：a 为“D”面高出“E”面的量。

但是，实际上这个间隙是不存在的，因为一导外环与后机匣是紧密联接在一起的。这个间隙则变成了导向器拉紧螺栓和叶片的倾斜。这种倾斜显然要带来拉紧螺栓弯曲、变形：叶片进气边磨内环和内枕垫，叶片排气边磨外环，给修理带来许多麻烦，经统计，百分之五十以上的拉紧螺栓和支撑管弯曲需要校直，百分之三十以上的枕垫需焊修，内外环百分之四十以上要焊修，有的内环一台要焊二十多处。

三、车削“D”面的效果

为了排除装配间隙小于 3.27 毫米的重复性故障和克服一些大“D”面变形造成的其他不良后果，提高一导翻修质量，我们首先采用了车削内环“D”面的方法。这样做的依据是：图纸上标注内

环安装边的厚度为6毫米，自由公差，即为 ± 0.2 毫米（按HB761-66），也就是说最小厚度允许至5.8毫米，而大多数内环这个尺寸都接近6.2毫米。车去0.4毫米，厚度还在设计范围内。近两年来，我们规定“D”面高出“E”面的量大于1.5毫米，小于1.9毫米时，都应车削“D”面。这样做了以后，未发生过间隙3.27~6.53毫米不合格的故障。另外，值得一提的是，由于车削了“D”面，用数理统计的方法发现，后支点的偏度改善了。即车削了“D”面与未车削“D”面的比较，前者后支点偏度小，后者后支点偏度大。为了说明这个问题，我们采取随机取样的方法，分别录取了车削过“D”面和未车削过“D”面的后支点偏度值（各50台），然后应用F检验法比较这两种情况下后支点偏度的好坏。

表五 未车削内环“D”面的发动机的后支点偏度(50台)

令 号	偏度	令 号	偏度	令 号	偏度	令 号	偏度	令 号	偏度
P ₁ -920	0.37	P ₁ -839	0.28	P ₁ -868	0.88	P ₂ -100	0.34	P ₂ -19	0.39
-923	0.39	-840	0.39	-855	0.31	-10	0.24	-20	0.275
-925	0.34	P ₂ -279	0.27	-888	0.35	-102	0.24	-109	0.23
-927	0.30	-284	0.295	-898	0.30	-15	0.36	-13	0.40
-928	0.23	-288	0.42	-922	0.27	-101	0.33	-110	0.30
-929	0.45	-290	0.235	-799	0.20	-12	0.21	-20	0.275
-831	0.14	P ₁ -961	0.30	-781	0.29	-16	0.65	-103	0.15
-833	0.185	-930	0.27	-771	0.29	-105	0.295	P ₁ -836	0.20
-834	0.39	-947	0.47	-956	0.23	-106	0.33	-847	0.18
-837	0.23	-952	0.21	-926	0.24	-17	0.23	P ₂ -289	0.18

表六 车削过内环“D”面的发动机的后支点偏度(50台)

令 号	偏度	令 号	偏度	令 号	偏度	令 号	偏度	令 号	偏度
P ₃ -350	0.15	P ₃ -480	0.12	P ₃ -554	0.28	P ₃ -630	0.35	P ₃ -968	0.09
-363	0.20	-482	0.29	-557	0.115	-632	0.25	-977	0.11
-389	0.20	-491	0.29	-573	0.20	-636	0.30	-979	0.26
-398	0.25	-501	0.29	-576	0.17	-671	0.07	-986	0.293
-414	0.345	-509	0.21	-579	0.23	-693	0.30	-900	0.345
-415	0.28	-522	0.26	-591	0.26	-744	0.13	-917	0.38
-428	0.11	-533	0.19	-594	0.27	-749	0.23	u ₄ -1	0.20
-432	0.32	-536	0.15	-597	0.20	-750	0.32	-53	0.13
-471	0.13	-537	0.27	-600	0.23	-826	0.29	-59	0.17
-477	0.08	-545	0.25	-612	0.33	-929	0.21	-67	0.32

装配技术条件规定，发动机后支点的偏度应不大于0.4毫米。

显然期望值即最佳值为0，所以，我们在计算时可取 $\bar{x} = 0$ ，则

$$S^2 = \frac{1}{n-1} \sum_{i=1}^n (x_i - \bar{x})^2 = \frac{1}{n-1} \sum_{i=1}^n x_i^2$$

$$S_{\text{未车“D”面}}^2 = \frac{1}{50-1} \times 4.8581 = 0.0992$$

$$S_{\text{车“D”面}}^2 = \frac{1}{50-1} \times 3.1560 = 0.0643$$

$$F_{\text{未车“D”面—车“D”面}} = \frac{S_{\text{未车“D”面}}^2}{S_{\text{车“D”面}}^2}$$

$$= 1.2 =$$

$$= \frac{0.0992}{0.0643} = 1.54$$

从F值可以看出，车了“D”面的发动机的后支点偏度比未车“D”面的发动机的要小。那么，这种偏度小的效果是不是显著性的呢？我们试取显著性水平为 $\alpha = 10\%$ ，并按上、下界限均分，自由度 $N = 60$ ，则查F检验表得：

$$F_{\frac{\alpha}{2}} = 1.53$$

$$F_{\text{未车“D”面} - \text{车“D”面}} = 1.54 > F_{\frac{\alpha}{2}} = 1.53$$

所以，当把显著性水平定为10%时，车削“D”面后，改善发动机后支点的偏度的效果是显著的。或者说，车削“D”面能改善发动机后支点的偏度是有百分之九十的把握的。

至于车削“D”面对一导其机件是否有好的效果，尚待用实践来证明他

四、恢复“D”面位置的尝试

由于车削“D”面受到余量的限制，对“D”面高出“E”面1.9毫米以上的内环只能当“停修”处理，而且这种方法无法完全排除“D”面变形，实际上内环是个“D”面超差品。能不能采取某种方法，将“D”面复原呢？带着这个问题，我们对一台“D”面高出“E”面2.27毫米的内环，测量了图八所示的几个尺寸，列成表七。

分析表七中各尺寸的变化情况可知，“b”尺寸的增大，即幅板变形的结果，可能就是内环“D”面高出“E”面的实质。既然

表七 内环上几个尺寸的变化情况

序号	测量点 代号	测量点 名义尺寸	测量点实际尺寸			
			1	2	3	4
1	∅ A	450 ^{-0.38}	449.45	448.75	449.25	449.40
2	∅ B	430 ^{+0.38}	429.80	428.90	429.60	429.30
3	∅ C	250 ^{-0.30}	250.20	250.25	250.25	250.45
4	∅ D	439 ^{+0.25}	436.60	437.75	437.05	437.15
5	∅ E	445 ^{-0.12}	443.00	443.90	443.20	443.50
6	a	69 ^{-0.12}				
7	b	26.5 ^{+0.28}	27.24 27.34	27.00 27.26	27.30 27.08	27.08 27.90
8	△	0	1.94 1.96	2.17 2.25	2.12 1.97	2.21 2.16

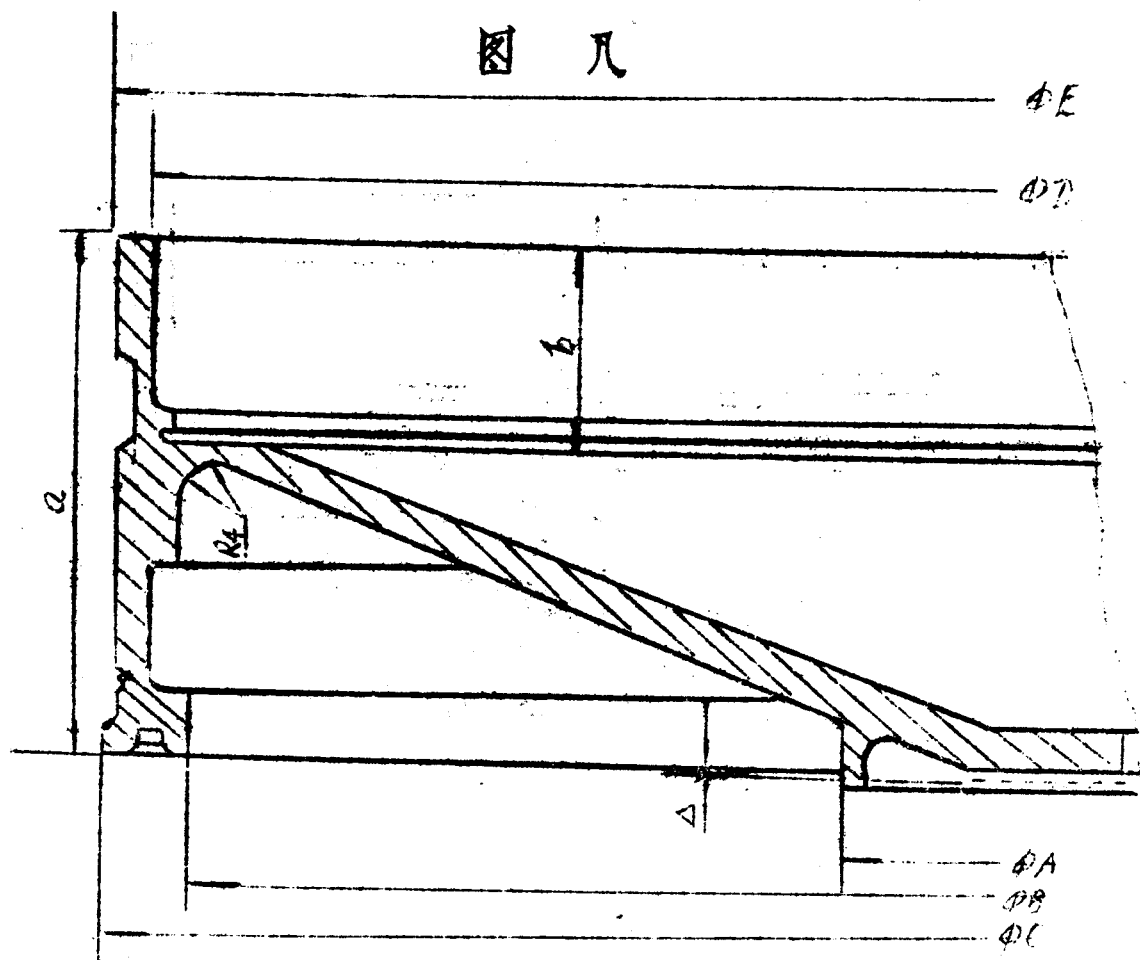
如此，我们设想了按图九所示对“D”面施加压力，把幅板压回去，从而使“D”面恢复到原来的位置上。

最近，根据这个设想，我们在300吨油压机上，对上面这个内环压了一次，达到了预期的目的，压后“D”面的变形量分别为：

$$\triangle_{\text{上}} = 0.12 \text{ mm} \quad \triangle_{\text{下}} = 0.15 \text{ mm}$$

$$\triangle_{\text{左}} = 0.05 \text{ mm} \quad \triangle_{\text{右}} = 0.03 \text{ mm}$$

但是，这仅仅是一次尝试，位置复原了，能否胜任工作，尚待考验，我们准备将这个内环装机，参加十二厂的工艺试车，看它在工艺试车后会发生些什么变化，经过以后新的分析后才能下结论。



= 15 =