

薄轮缘斜齿轮结构动应力的实验研究*

西北工业大学 张永才 刘 更 蔺天存 李树庭

【摘要】 通过实验,研究了 8 对具有不同辐板支承形式薄轮缘斜齿轮结构中的动应力。讨论了不同转速和结构尺寸等对这些齿轮结构中不同部位处动应力的影响。结果表明,随着轮缘厚度从 $B/3$ (B 为齿宽)减小到 $B/5$, 齿轮结构中的动应力通常将有所增加,一端辐板支承斜齿轮中的动应力波动将增大。随着轮缘厚度的减小,轮齿中的最大应力将从齿根移向齿槽。

主题词: 斜齿轮 轮缘 轮辐 动应力

分类号: V 232 8 O 313 3

国内外的实验研究^[1-3]表明,通过改变轮体结构尺寸,可使齿轮的弯曲、接触疲劳强度及寿命增加,振动噪声减小。关于结构尺寸及辐板布置形式对齿轮结构中不同部位动应力的影响尚未见有公开报道。是否能设计出使齿轮结构中的动应力与其许用值之比在各部位相当。本文试图通过 8 对薄轮缘斜齿轮结构中的动应力实验,在一般转速和载荷的条件下,研究齿轮各部位动应力与结构尺寸及轮辐支承形式的关系。

1 实验方法、实验齿轮及其测量部位

实验是在一中心距为 150 mm 的开式齿轮试验台上进行的。试验齿轮通过 30 kW 直流电机和 1 级带传动驱动,输出轴经扭矩、转速传感器最后由磁粉加载器吸收功率,齿轮结构不同部位的应变信号通过引电器输出。直流电机的调速范围为 0~3000 r/min,磁粉加载器的最大加载扭矩为 500 N·m。齿轮辐板不同位置处粘贴 6 片微型应变片,其相对称 180° 处也粘贴 6 片,分别连成测量线路,经引电器输出与电桥盒分别组成半桥测量电路,各测量电路联接到动态电阻应变仪 Y6D-3A 上,再分别输出到 SC16 型光线记录示波器和 C.R.A.S 信号采集与分析系统 A/D 板上,通过微机采集数据与处理。设计、加工了 8 对斜齿圆柱齿轮。8 个从动大齿轮具有不同结构尺寸和 3 种辐板结构支承形式。其中直辐板支承 4 个,斜辐板和一端辐板支承齿轮各 2 个。齿轮加工精度为 5 级。

实验斜齿轮为标准齿轮,其基本几何参数为:齿数 $Z_1=48$, $Z_2=96$; 法面模数 $m_n=2$ mm; 分度圆螺旋角 $\beta=16.26^\circ$; 齿宽 $B_1=20$ mm, $B_2=15.4$ mm; 齿轮的轮缘厚度为 2 mm ($1m_n$) 和 6 mm ($3m_n$); 轮辐厚度为 $B/5$ 和 $B/3$ 。实验中,分别测量了齿轮结构中 6 个部位的动应力。这 6 个部位分别为:① 轮辐与轮毂交界圆弧处应力;② 轮辐的周向应力;③ 轮辐的径向应力;④ 轮缘与轮辐交界圆弧处应力;⑤ 齿根应力。由于轮齿较小,应变片是粘贴在轮齿端面齿根 30° 切线处;⑥ 齿槽应力。应变片是粘贴在轮齿端面齿槽中心近表面处。由于实验齿轮的轮齿较

小,为了能更加接近地测量齿根、齿槽和两个圆弧处的应力,其粘贴的应变片是基长 $\times$ 基宽为 $1.6\text{ mm}\times 1.2\text{ mm}$ 的微型箔式电阻应变片。每个齿轮按上述部位粘贴了两组,加上补偿片,共14片。

2 斜齿轮不同部位的动应力

2.1 不同结构尺寸和辐板支承的影响

当小齿轮转速 $n=1000\text{ r/min}$,扭矩 $T=100\text{ N}\cdot\text{m}$ 时,对8个不同结构尺寸和辐板支承形式的齿轮,在6个部位处进行应变的测量,所得的应力值如表1所示。其1、2、6、8号齿轮相应的应力波形图如图1-4所示(图中(a):应变片①和④; (b)应变片②和⑤; (c)应变片③和⑥)。

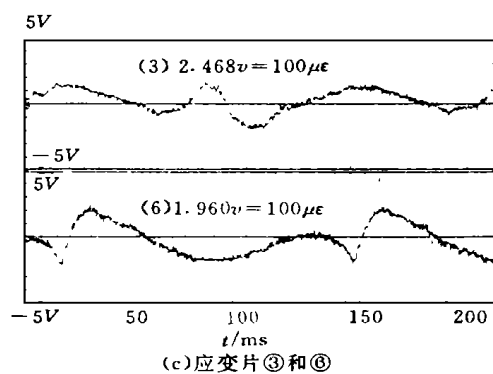
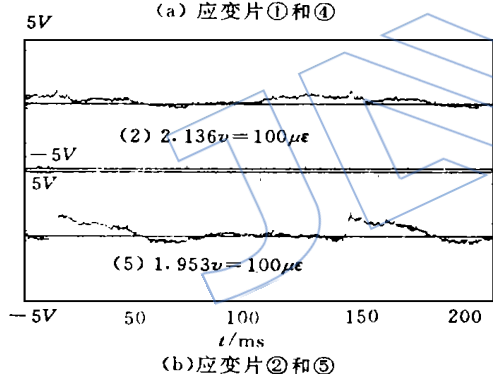
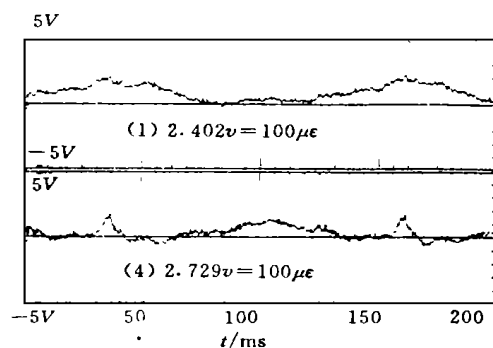


图1 动应力波形(直辐板, $R=2\text{ mm}$, $W=3\text{ mm}$)

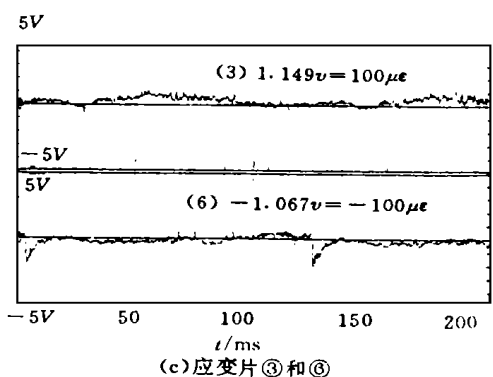
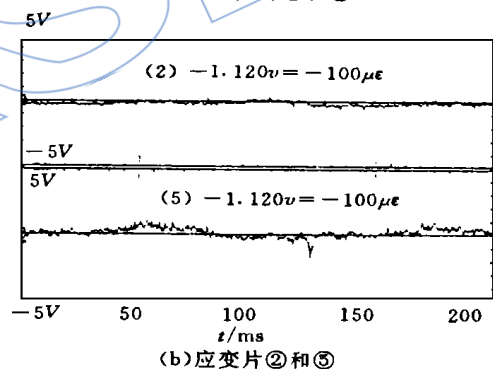
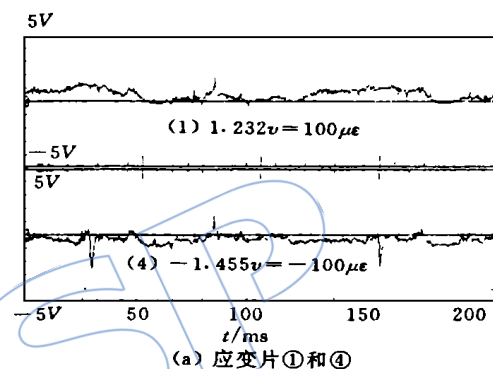
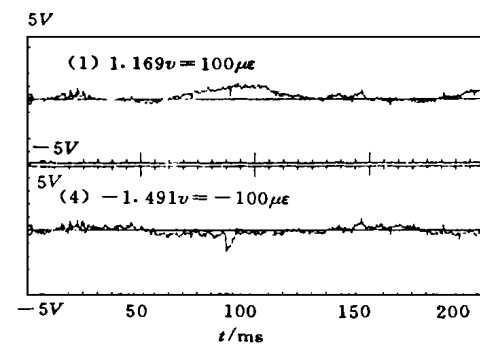


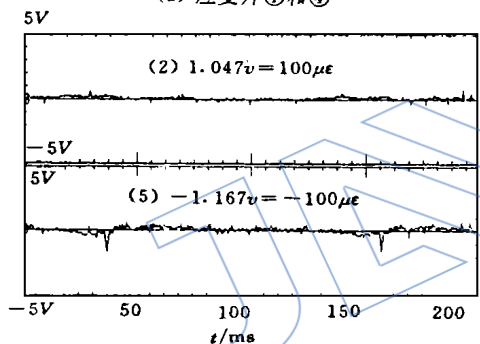
图2 动应力波形(直辐板, $R=2\text{ mm}$, $W=5\text{ mm}$)

从表1和图1-4所列结果对比可以发现: (1) 齿轮辐板周向应力通常较其它5个部位处

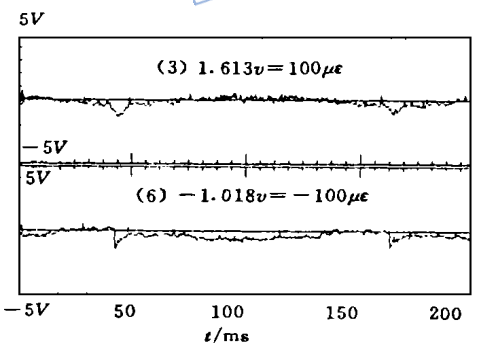
的动应力要小许多,随着辐板厚度的减薄,其周向应力一般将有所增加;(2)随着轮缘厚度从 3 mm 减到 1 mm ,其齿根最大应力点将移向齿根槽;(3)当采用薄辐板($W = B/5$),轮缘厚度 $R = 3\text{ mm}$ 时的辐板与轮毂交界圆弧处的应力要比 $R = 1\text{ mm}$ 时的应力值大许多。薄辐板齿轮中的辐板与轮毂交界圆弧处的应力甚至比齿根应力还要大;(4)在 3 种辐板支承形式中,一端辐板支承形式齿轮中的动应力值在各部位上一般较另两种支承形式的都要大,因此,若仅考虑齿轮结构中的动应力,应尽量避免采用一端辐板支承形式的斜齿轮传动。



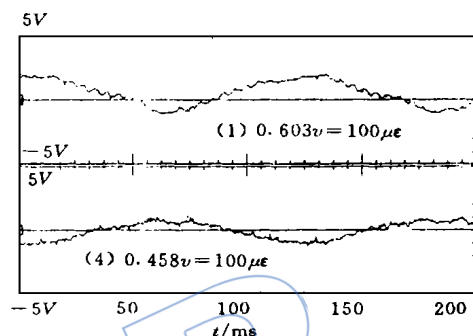
(a) 应变片①和④



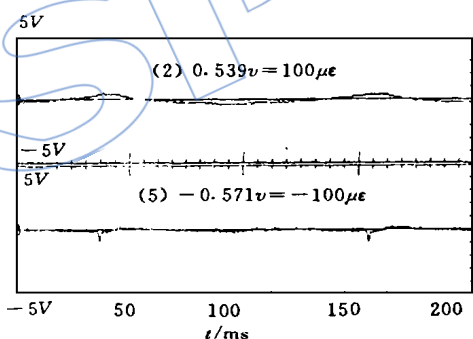
(b) 应变片②和⑤



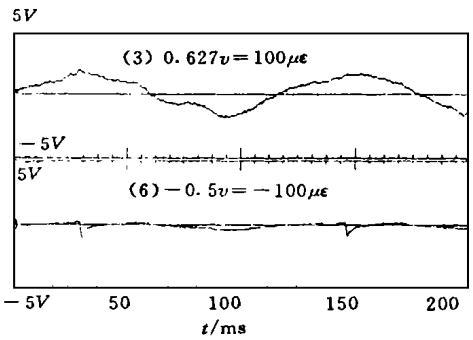
(c) 应变片③和⑥



(a) 应变片①和④



(b) 应变片②和⑤



(c) 应变片③和⑥

图 3 动应力波形(斜辐板, $R = 6\text{ mm}$, $W = 3\text{ mm}$)图 4 动应力波形(一端辐板, $R = 6\text{ mm}$, $W = 3\text{ mm}$)

从图 1、图 3、图 4 的对比,还可以看出,采用薄辐板时,一端辐板支承形式齿轮中的动应力波动量最大,斜辐板支承形式齿轮中的动应力波动量最小。所以,在结构尺寸相同时,应优先考虑采用斜辐板支承形式的斜齿轮传动。

表 1 不同部位处的动应力(M Pa)

支序 承号		应 变 片 号					
		①	②	③	④	⑤	⑥
尺寸		(轴根)	(周向)	(径向)	轮缘与 (轮辐交界处)	(齿根)	(齿槽)
直 辐 板	1 $R = m_m, W = B/5$	17.55	10.74	13.4	12.38	19.15	25.4
	2 $R = m_m, W = B/3$	22.47	- 3.57	16.16	- 33.55	- 25.68	- 42.4
	3 $R = 3m_m, W = B/5$	- 52.5	- 10.73	- 12.22	26.26	21.36	30.0
	4 $R = 3m_m, W = B/3$	19.8	- 2.01	4.15	- 14.45	- 42.9	- 28.6
斜 辐 板	5 $R = m_m, W = B/3$	15.7	7.86	9.64	- 22.74	- 20.0	- 43.3
	6 $R = 3m_m, W = B/5$	19.13	3.44	- 12.19	- 22.68	- 27.76	- 26.13
一 端 辐 板	7 $R = m_m, W = B/3$	40.8	- 2.69	- 10.57	- 63.4	- 26.3	- 69.6
	8 $R = 3m_m, W = B/5$	- 52.86 ~ 69.65	- 8.89 ~ 13.2	- 52.9 ~ 60.8	- 45.64 ~ 65.5	- 36.9	- 35.12

2.2 不同转速的影响

表 2 列出了 5 号齿轮在小齿轮扭矩 $T = 100\text{ N} \cdot \text{m}$ 时, 齿根及齿槽应力随转速变化的规律。从表中可以看到, 该齿轮在 $n = 1000\text{--}2500\text{ r/m in}$ 转速范围内, 齿根与齿槽中动应力均随着转速的增加而增大, 当 $n = 2500\text{ r/m in}$, 这两处的应力值要比该齿轮在 $n = 1000\text{ r/m in}$ 时的值大近一倍。

表 2 不同转速时 5 号齿轮中的动应力(M Pa)

位置	转速(r/m in)			
	1000	1500	2000	2500
齿根	- 20.0	- 23.3	- 31.65	- 36.3
齿槽	- 43.3	- 57.4	- 66.0	- 73.9

3 结 论

(1) 从齿轮结构中动应力大小看, 斜齿轮传动中辐板支承形式的优劣顺序依次为: 斜辐板支承、直辐板支承和一端辐板支承。(2) 齿轮辐板上的周向应力较其它部位方向上的应力却要小许多, 且随着辐板厚度的减薄, 其周向应力一般将增大。(3) 薄辐板厚轮缘斜齿轮中辐板与轮毂交界圆弧处的动应力比薄辐板薄轮缘齿轮中辐板与轮毂交界圆弧处的动应力还要大。(4) 随着轮缘厚度的减小, 轮齿中的最大齿根应力点移向齿槽。(5) 本文列举的 5 号齿轮, 其齿根和齿槽处的动应力随着转速的增加而增大, 齿轮在 $n = 2500\text{ r/m in}$ 时的动应力是 $n = 1000\text{ r/m in}$ 时的近一倍。

参 考 文 献

1 Berestnev OV. Self-adjusting gears transmission's design serviceability and dynamics Proc. Inter Gear'88, 1988, Zhengzhou, China, 687- 690

2 魏任之等. 柔性辐板齿轮的降噪特性实验研究. 第二届全国齿轮动力学会议论文, 1991, 武汉, 153- 160

3 Wei R, et al. Experimental study on flexible web gear Proc. MPT'91, 1991, Hiroshima, Japan, 1- 4

(责任编辑 魏星禄)