

# 整体式圆膜片压强传感器的有限元分析和性能研究

□徐国欣

【摘要】本文介绍了三款整体式圆膜片压强传感器，进行了有限元分析，同时介绍了在制造压强传感器时的一些工艺难点和解决办法。

【关键词】圆膜片压强传感器；切向应力；径向应力；切向应变；径向应变

文献标识码：B

文章编号：1003-1870（2023）10-0009-03

## 概述

圆膜片压强传感器可以设计成感压敏感元件（弹性体）和基座分离的组装式，也可以设计成二者一体的整体式。组装式圆膜片压强传感器虽有工艺灵活方便，适宜批量生产的优点，但它因要靠螺钉的压紧力来固定弹体部件，温度、振动甚至随着时间的延续会产生压紧力及压紧力点的变化，都会影响压强传感器的零点和灵敏度<sup>[1]</sup>。因此组装式圆膜片压强传感器的实际使用精度不会很高。本文介绍笔者研制过的三款整体式圆膜片压强传感器，并进行有限元分析和性能研究。

### 1 一款整体式圆膜片压强传感器简介

图1是笔者研制的一款整体式圆膜片压强传感器示意图。由于常用的直径20mm的应变花在此结构中嫌大，而直径10mm的应变花在贴片工艺过程中常易断丝栅，因而采用直径14mm的应变花，为此接头螺纹设计成M20×1.5，为保证螺纹强度，导压孔设计为直径10mm，因此需把感压膜片处的孔扩大至15mm，需要专用细杆弯头勾刀，由于压强传感器弹性体所用合金钢硬而又韧，具有一定的工艺难度，加工效率不高。

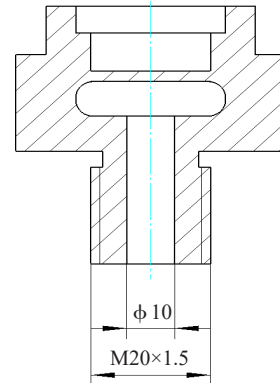


图1 整体式圆膜片压强传感器示意图

### 2 采用焊接方式的整体式圆膜片压强传感器

把弹性体和基座仍旧分开加工，再用氩弧焊焊成一体，没有了螺钉就没有了压紧力的影响。图2是这种压强传感器弹性体的结构示意图。

其优点是加工方便，并有条件使用直径20mm的应变花，有利于提高压强传感器的输出稳定性和成品合格率。但由于焊接后会产生残余应力，为此必须在焊接后、贴片前多次进行充分的去应力处理。

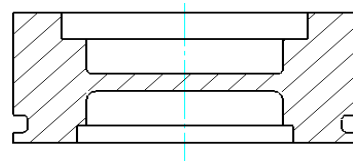


图2 焊接式压强传感器弹性体示意图

图3是量程为20MPa压强传感器经有限元运算后得到的在膜片直径上的应力图，图4是应变图。

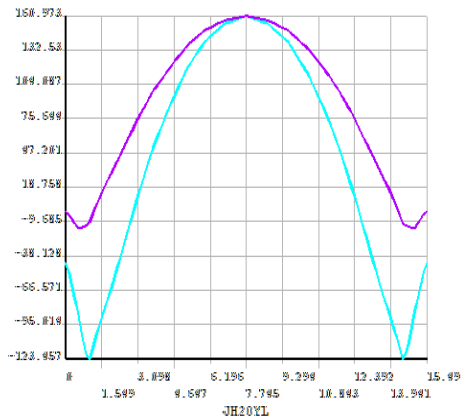


图3 20MPa传感器膜片直径上的应力图  
(图中切向应力 $\sigma_r$ 为上面一条,下同)

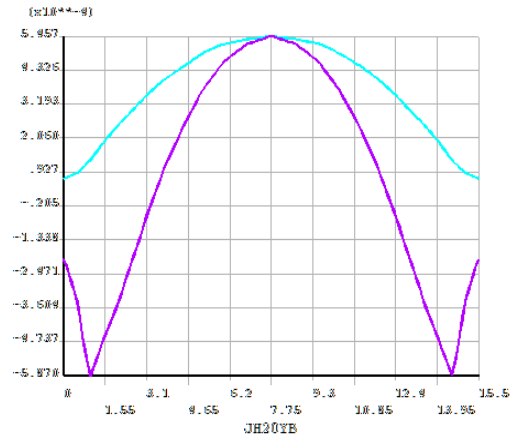


图4 20MPa传感器膜片直径上的应变图  
(图中切向应变 $\epsilon_r$ 为上面一条,下同)

### 3 感压膜片在端面的整体式圆膜片压强传感器

前面介绍的三款压强传感器通过导压孔把被测介质的压强导入到检测膜片,其优点是能减缓压强突变尖峰和温度突变对传感器的冲击,因而它们的动态响应稍慢,在一些粘度较大的介质测试中可能会堵塞导压孔,导致测量失准甚至无法测量。图5是笔者设计的一款感压膜片在端面的整体式圆膜片压强传感器示意图。它具有感压灵敏、动态响应快、不易堵塞的优点。

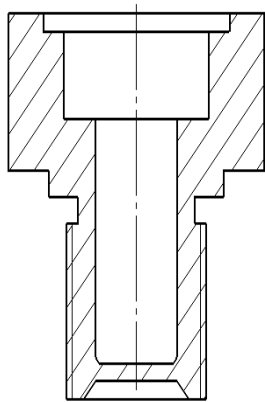


图5 感压膜片在端面的整体式圆膜片压强传感器

图5压强传感器在制作过程中需解决以下工艺难点:

(1) 由于膜片在端面,在拧紧螺纹时必定会对压强传感器产生干扰力,而影响压强传感器的零点等输出性能,因此必须在压强传感器内设计抗干扰力的隔离带,同时要用规定的力矩安装压强传感器,使压强传感器在安装过程中的零点输出变化最小。

(2) 必须解决深孔粘贴应变花的难题,要设计专用贴片夹具,制订专用工艺规程。

(3) 由于应变花与被测介质仅靠薄膜片相隔,使压强传感器对介质温度的变化极为敏感,为此必须严格做好压强传感器的零点温度补偿和弹性模量的补偿。

### 4 膜片在端面的压强传感器的有限元分析

对膜片厚 $h=0.6\text{mm}$ ,膜片半径 $a=7.5\text{mm}$ ,采用直径14mm应变花的量程为20MPa的图5压强传感器进行有限元分析后取膜片的直径为路径,得到弹性体在受到20MPa均布压强时,圆膜片上贯穿中心的路径上的切向应力 $\sigma_r$ 和径向应力 $\sigma_r$ 的分布图如图6所示,得到切向应变 $\epsilon_r$ 和径向应变 $\epsilon_r$ 的分布图如图7所示。

图6和图7曲线两旁出现尖角是为防止膜片外周应力太集中而在膜片到圆环柱段之间加了过渡圆角所产生的,可见这很小的过渡圆弧有效地滤去了应力尖峰。

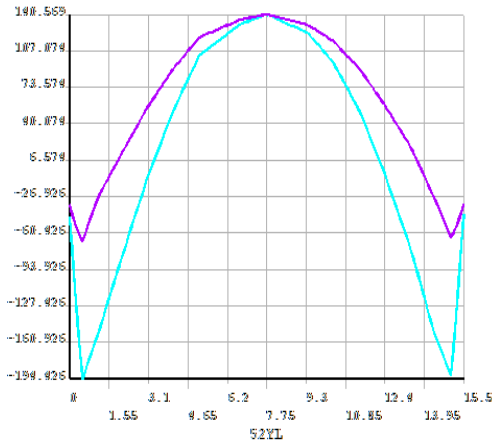


图6 膜片在端面传感器路径应力图

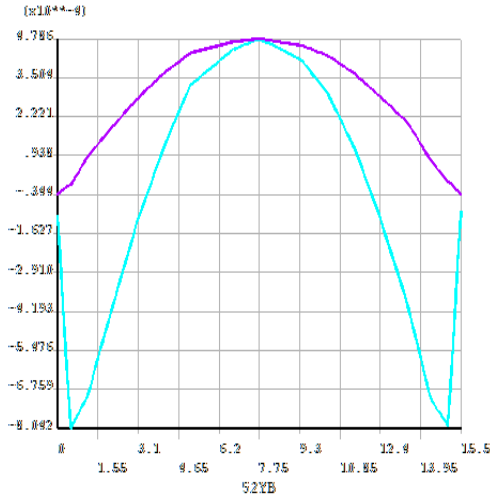


图7 膜片在端面传感器路径应变图

### 5 膜片在端面的压强传感器的应力应变值的理论计算方法

根据参考文献<sup>[2]</sup>, 当假定图5 压强传感器膜片周边是固支状态, 压强P 是均布的, 假定膜片在均布压强作用下属于小挠度状态, 则

应变花圆心处最大切向应力为:

$$\sigma_r = \frac{3 \cdot a^2 \cdot (1 + \mu) \cdot P}{8h^2} = \frac{3 \cdot 7.5^2 \cdot (1 + 0.3) \cdot 2}{8 \cdot 0.6^2} = 152.34 \text{ N/mm}^2$$

有限元值为140.57N/mm<sup>2</sup>

圆心处最大切向应变为:

$$\varepsilon_r = \frac{3 \cdot (1 - \mu^2) \cdot a^2 \cdot P}{8 \cdot E \cdot h^2} = \frac{3 \cdot (1 - 0.3^2) \cdot 7.5^2 \cdot 2}{8 \cdot 206000 \cdot 0.6^2} = 517.7 \mu\varepsilon$$

有限元值为478.6με

直径14mm 应变花外圆周最大径向应力为:

$$\sigma_r = \frac{3 \cdot P \cdot [a^2(1 + \mu) - r^2(3 + \mu)]}{8 \cdot h^2} = \frac{3 \cdot 2 \cdot [7.5^2(1 + 0.3) - 7^2(3 + 0.3)]}{8 \cdot 0.6^2} = -184.53 \text{ N/mm}^2$$

有限元值为-188.2N/mm<sup>2</sup>

直径14mm 应变花外圆周最大径向应变为:

$$\varepsilon_r = \frac{3 \cdot (1 - \mu^2) \cdot (a^2 - 3 \cdot r^2) \cdot P}{8 \cdot E \cdot h^2} = \frac{3 \cdot (1 - 0.3^2) \cdot (7.5^2 - 3 \cdot 7^2) \cdot 2}{8 \cdot 206000 \cdot 0.6^2} = -835 \mu\varepsilon$$

有限元值为 -800με

通过对理论计算值与有限元分析值的比对, 可知两者值基本接近, 一般理论计算值会略大于有限元分析值, 这是由于在膜片外周加了过渡圆弧, 在理论计算中未作考虑。通过本计算实例可知, 膜片在端面的压强传感器中的应力和应变仍可用参考文献<sup>[2]</sup>中的理论公式进行计算。

### 6 结语

本文介绍的三款整体式圆膜片压强传感器, 克服了组装式圆膜片压强传感器易受安装和使用中附加力干扰以致实际使用精度不高的缺点, 虽然在制作过程中工艺难度较大, 但只要有相应的工装和工艺规程就能解决。大量的使用实践证明, 整体式圆膜片压强传感器具有十分广阔的应用前景。

### 参考文献

- [1] 徐国欣. 组装式圆膜片压强传感器的有限元分析和性能研究[J]. 衡器, 2023.3.
- [2] 陶宝祺, 王妮. 电阻应变式传感器[J]. 北京: 国防工业出版社, 1993.

### 作者简介

徐国欣, 男, 汉族, 浙江余姚, 工程师。机械专业毕业, 曾任余姚传感器厂技术科长, 长期从事电阻应变式传感器和智能仪表的设计制造工作。