

# 压差测量工艺浅析

傅依柳 张杰

(西安航天动力研究所 陕西 西安 710100)

**摘要:** 针对吹风类试验中压差测量方式的不足, 本文提出采用差压变送器的测量方案。本文对两种测量方案的测量原理和选型安装进行了阐述, 并以蒸发器试验为研究对象, 对两种测试方案进行了技术对比。对比试验结果表明: 新的测试方案在测量精度、测量重复性、一致性等方面均优于现有测试方案, 消除了间接测量带来的测量误差, 提高了测试精度, 可以在吹风类试验中进行推广应用。

**关键词:** 压差测量; 对比试验; 减小误差

## 0 引言

根据液氧煤油发动机薄弱环节问题梳理要求, 对试验台吹风类试验测试环节进行了问题梳理; 经过对近几年大量试验数据的分析, 发现吹风类试验的压差测量方式存在一定不足。目前采用的压力传感器测量方式为间接测量<sup>[1]</sup>, 仪器测量的不确定度对测量结果产生了一定影响。为最大程度消除仪器不确定度带来的测量误差, 本文提出了差压变送器测量方案, 并对两种测试方案进行了技术对比。

## 1 压差测量的重要性

本文以蒸发器吹风试验为研究对象, 对两种测试方案进行对比研究。蒸发器吹风试验压差测量的目的是获得氧通道和燃气通道的阻力降, 通过更换旁通通道节流圈调整换热通道燃气流量、通过选配出口节流圈调整蒸发器燃气通道的阻力降。设计师根据获取的试验数据匹配燃气通道节流圈, 为燃气通道提供目标流量, 匹配完成后将蒸发器安装到发动机氧化剂系统上进行联合调试。压差测量结果直接影响发动机氧化剂的供应, 为了给设计师提供更准确的设计依据, 必须对现有压差测量方法进行改进<sup>[2]</sup>。

## 2 压力传感器测量方案

### 2.1 测量原理

压力传感器测量方案的工作原理<sup>[3]</sup>如图1所示。

两个压力传感器分别设置于产品入、出口, 当介质流经管路时, 两个传感器分别测得一个压力值,  $P_1$  为产品入口压力值,  $P_2$  为气体流经产品后的出口压

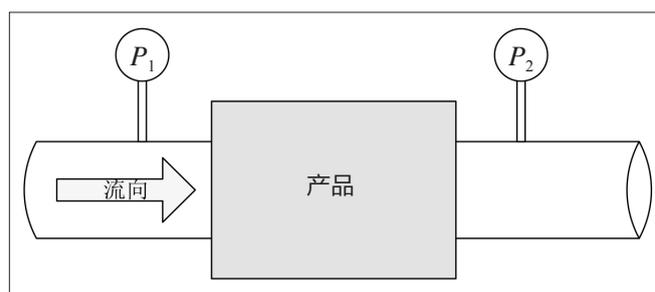


图1 压力传感器测量原理图

力值,  $P_1 - P_2$  即得到所需测量的压差  $\Delta P$ 。

### 2.2 选型及安装

蒸发器吹风试验入口压力调节范围为 1.8 ~ 8.0MPa, 本方案选择 DaCY420 型压力传感器。为保证  $P_1$ 、 $P_2$  的测量结果具有高度的一致性, 选择了性能完全相同的传感器, 参数如表1所示。

表1 入、出口传感器参数表

测点名称	型号	量程 /MPa	精度 /%
$P_1$	DaCY420	0 ~ 10	0.25
$P_2$	DaCY420	0 ~ 10	0.25

传感器安装时, 测点位置遵循避开管道弯曲、分叉处的原则, 均选取在平直管路上。传感器与测点位置之间由专用引压管连接, 该工装由管子环绕后制成, 在满足传感器安装要求的同时, 还可实现对瞬变压力进行缓冲的功能, 避免脉冲压力直接冲击传感器。

## 3 差压变送器测量方案

### 3.1 测量原理

差压变送器<sup>[2]</sup>测量的工作原理如图2所示。

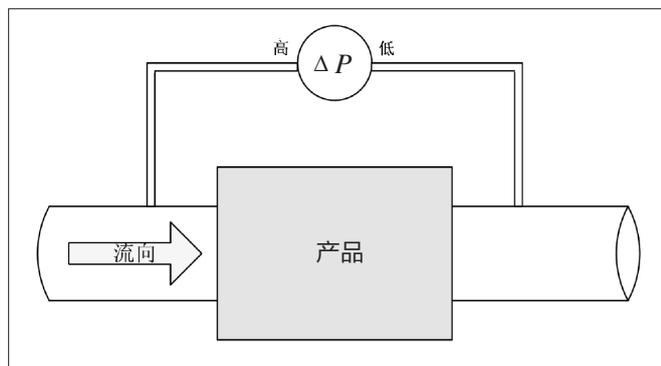


图2 差压变送器测量原理

产品入、出口的压力测点经引压管分别连接到差压变送器的高低两端，当空气流经管路时，产品入、出口的压差作用于变送器双侧隔离膜片上，经过后续模块处理直接得到所需测量的压差  $\Delta P$ 。

### 3.2 选型及安装

为满足试验中 1.8 ~ 8.0MPa 入口压力调节范围的要求，在现有设备中选择了耐压值 16MPa、量程 0 ~ 500kPa 的差压变送器。该变送器可覆盖蒸发器吹风试验中的 20 个工况，使对比试验具有较高的代表性。在安装时，试验工艺系统状态保持不变，在产品入、出口压力测点处通过三通管件将压力分给压力传感器和差压变送器，保证两种方案的试验数据工况严格一致，增加试验数据的可比性。

## 4 试验结果及分析

### 4.1 测量结果精度对比

蒸发器吹风试验过程中的能量损失主要是流经环形换热管路引起的压力损失，以及更换入、出口节流圈产生的阻力降，产品入、出口压差范围在 0 ~ 700kPa 之间。两种测量方式的误差范围如表 2 所示。

考虑极限状态，经过计算，采用间接测量方式即压力传感器测量方案，测量结果的最大误差为 50kPa；采用直接测量方式即差压变送器测量方案，最大误差为 0.75kPa。差压变送器测量方案的精度约是压力传感器测量方案的 67 倍，通过降低仪器误差，提高设备自身精度的方法，可为设计师改进产品性能提供更加准

表 2 两种测量方式误差范围

测量方式	量程	精度	误差范围
压力传感器	0 ~ 10MPa	0.25 级	0 ~ 50kPa
差压计	0 ~ 500kPa	0.075 级	0 ~ 0.75kPa

确的数据支持。

### 4.2 测量结果重复性对比

在工艺系统和产品状态没有发生变化的前提下，对两种测量方案测量结果的重复性进行了分析<sup>[4]</sup>。

图 3 和图 4 为不同批次产品在同一工况下的数据重复性比较。图 3 为差压变送器相同工况下 3 次试验测得的结果，可以看出差压变送器方案测得的数据重复性较好，3 次测量值之间的误差不超过 2kPa。图 4 为传感器相同工况下 3 次试验测得的结果，3 次数据在采集启动时有较大差异，到达平稳段后，3 次测量值之间的误差达到 9kPa。

### 4.3 测量结果一致性对比

为考核测量结果的一致性<sup>[5]</sup>，在不改变系统工况的前提下，对调产品入、出口所安装的传感器，两种状态下测得的结果如图 5、图 6 所示。

从图 5 可以看出，对调入、出口测点传感器位置后，测量结果出现较大的不一致性，两次测量结果的不一致性高达 30kPa。经过多次试验和数据分析，该不一致性主要是由压力传感器的测量不确定度造成的。同时满足入口压力量程要求和测量精度要求，间接测量的压力传感器方案是无法实现的，从而给试验结果带来了一定的不确定性，不符合测试覆盖性要求。

图 6 中两条曲线分别对应对调入、出口传感器前

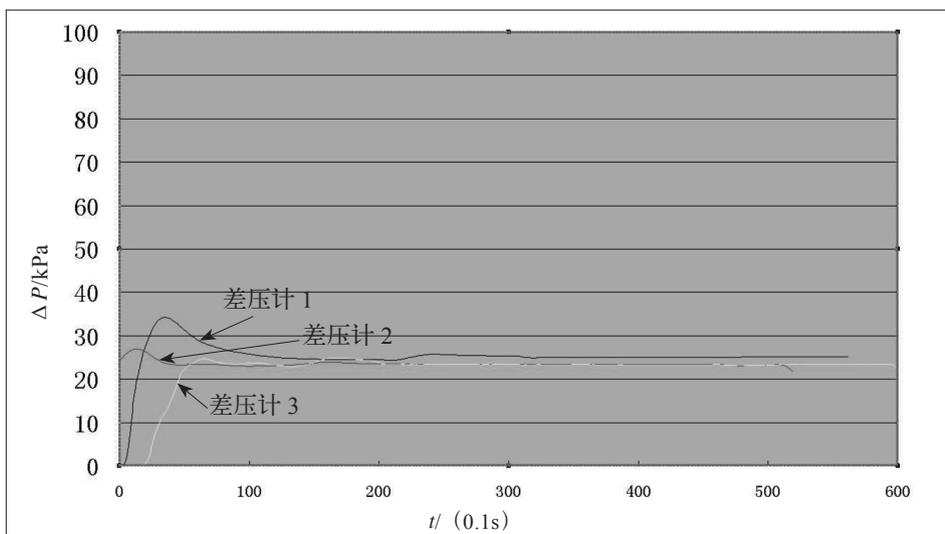


图3 差压变送器3次试验测量结果

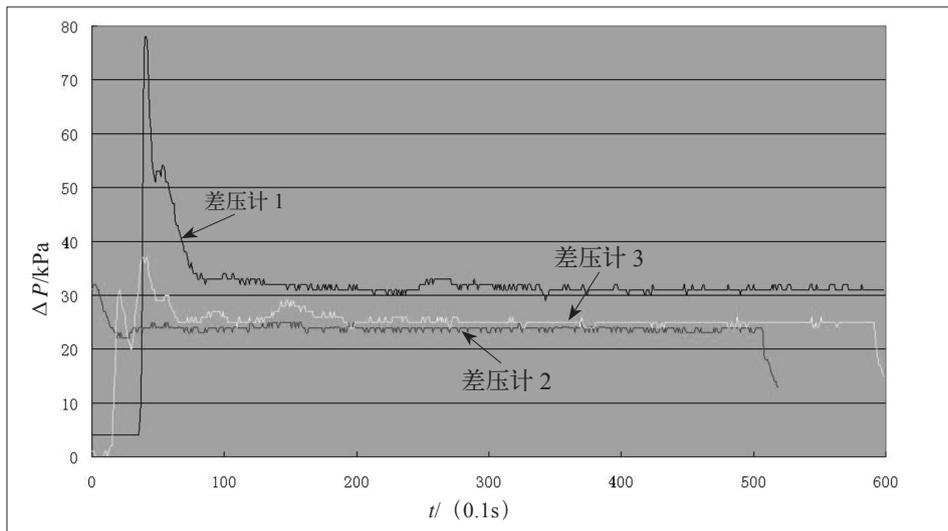


图4 传感器3次试验测量结果

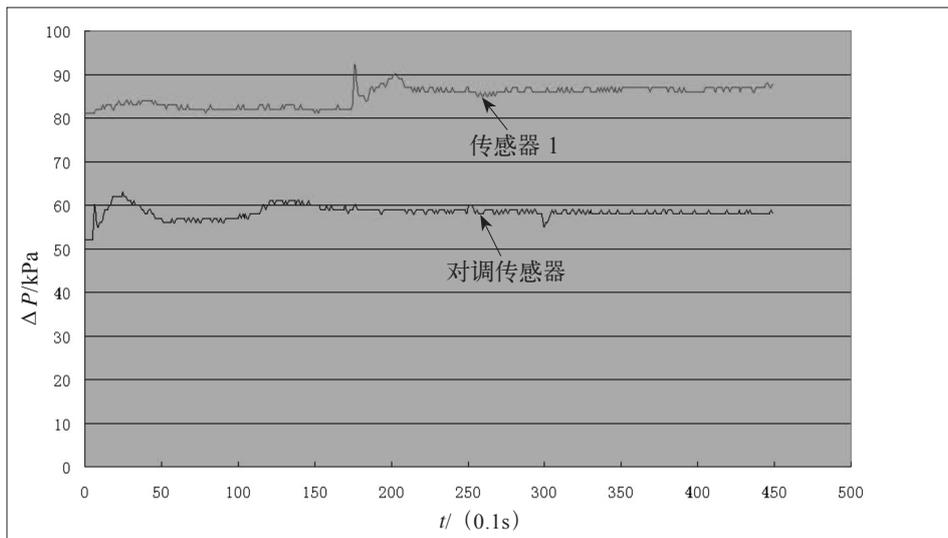


图5 传感器测量结果一致性

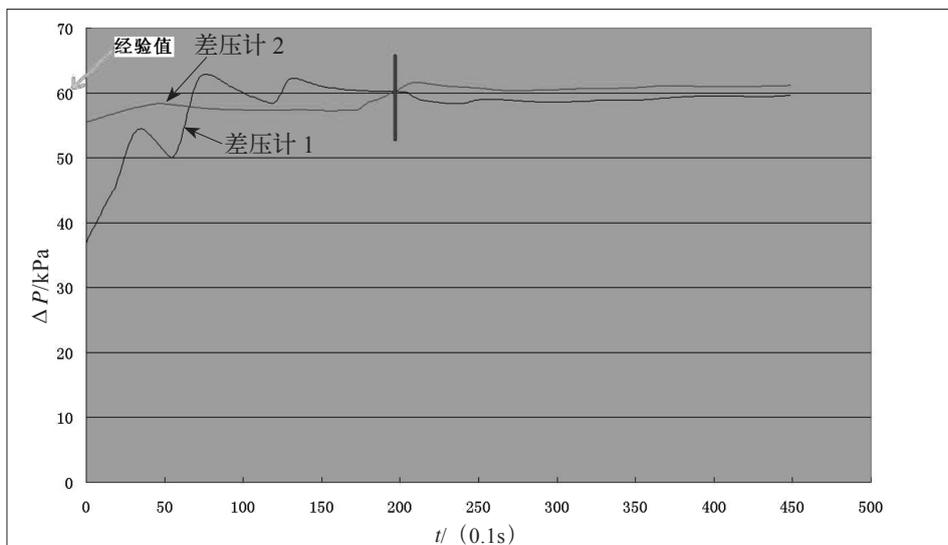


图6 差压变送器测量结果一致性

后的两个工况，两次试验测得的压差值与经验值 60kPa 的绝对误差为  $\pm 1.5\text{kPa}$ ，全部落在根据该工况历史数据建立的公差带内，两次试验数据具有良好的 consistency。

#### 4.4 测量结果响应时间对比

在分析对比试验数据时，发现两种测量方案对系统压差的响应时间有一定差别，图 7 为启动过程中差压计和压力传感器对产品入、出口压差的响应时间对比图。

从图 7 中可以看出，压力传感器测量方案在 4.7s 时与产品入口压力同时响应，而差压变送器方案在 5.2s 时开始响应，响应滞后时间为 500ms。为了查找造成后者响应延迟的原因，做了以下试验验证。

由于试验现场条件限制，差压变送器无法直接安装在测点位置处，采取的措施是通过一段 1m 长的引压管将管路压力引至差压变送器测量端。为了分析响应延迟是否来自试验状态下引压管的充填，共采取了两种方法进行试验验证。一是将引压管接上压力传感器，测量该处压力与测点处压力，分析两者响应时间；二是将引压管内注满水，减少充填时间，再将引压管连接至差压变送器。两种方法的试验结果如图 8、图 9 所示。

从图 8 可以看出，1m 长的引压管对传感器的响应时间几乎没有影响，两个传感器几乎同时对管路压力做出响应。图 9 中，引压管内注满水后，管路的充填时间可忽略，在该安装方式下，差压变送器响应时

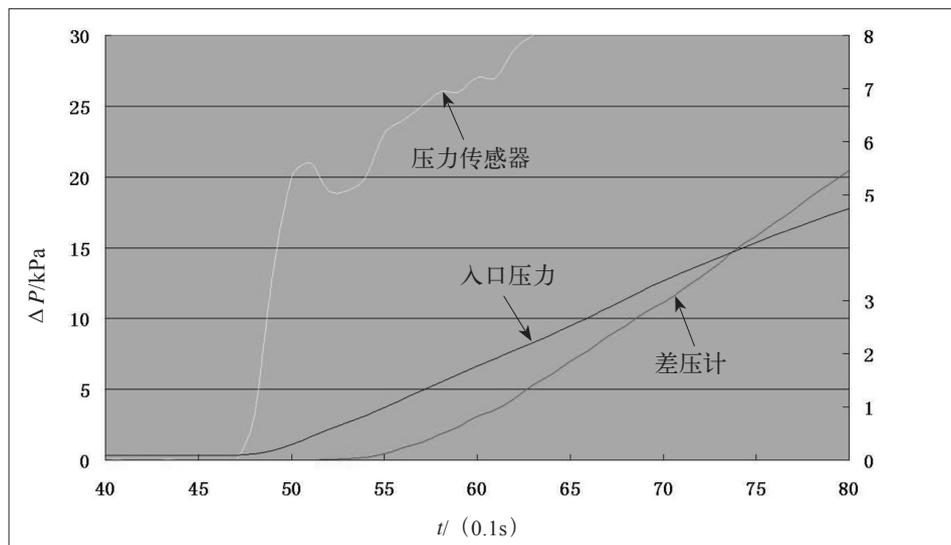


图7 响应时间对比图

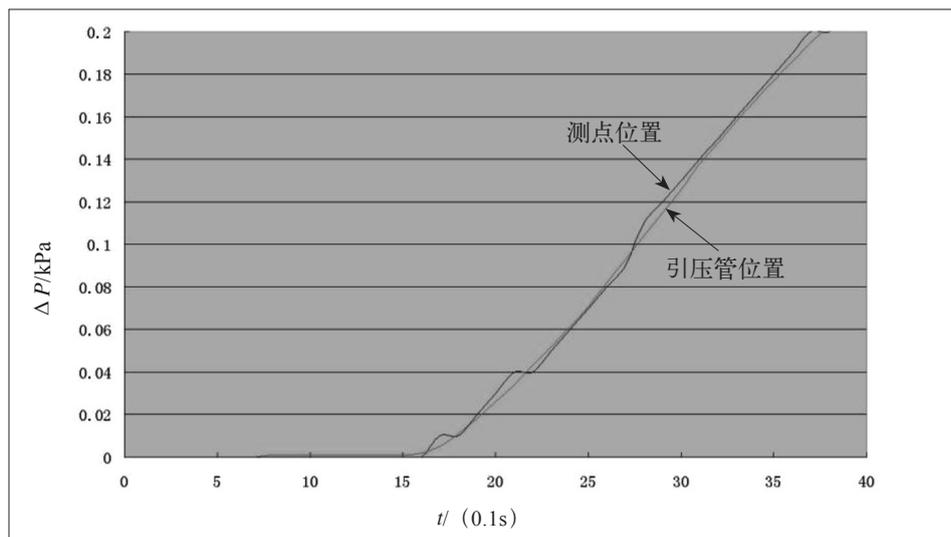


图8 引压管充填时间对比图

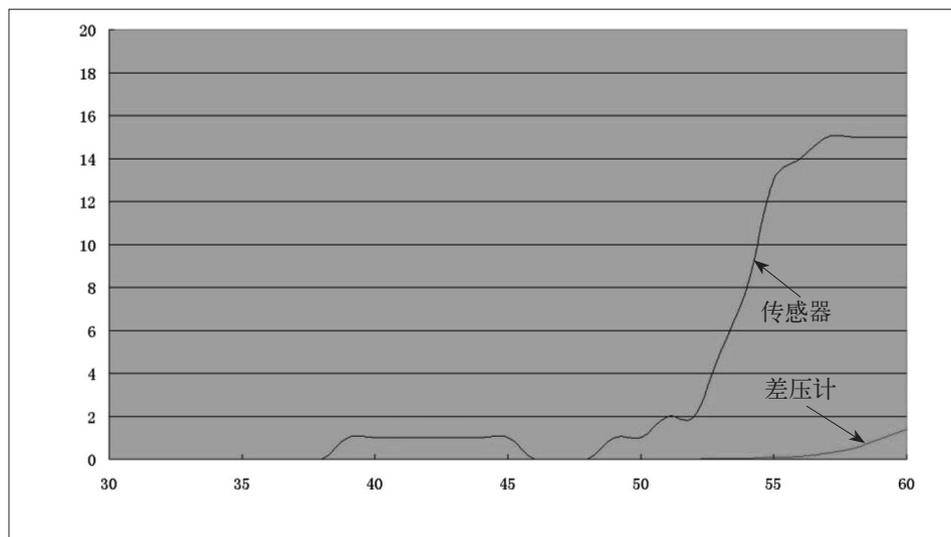


图9 引压管注水响应时间对比图

间依然比压力传感器慢 500ms。从上述两个试验的结果来看, 差压变送器响应时间滞后的原因与引压管的充填无关。

为分析数据采集系统对响应时间的影响, 更换了差压变送器信号采集通道, 更换通道后两种测量方案的响应时间如图 10 所示。

更换采集通道后, 差压变送器响应时间依然比压力传感器滞后 500ms, 从而排除了数据采集系统对响应时间的影响。

以上分析排除了工艺系统所有可能对响应时间产生影响的因素, 说明响应时间滞后是仪器本身工作特性造成的。

## 5 结语

本文根据吹风类试验中压差测量方法存在的不足, 提出了新的差压变送器测试方案, 并和目前的测试方案进行了技术对比。对比结果表明, 新的测试方案在测量精度、测量重复性、一致性等方面均优于现有测试方案, 消除了间接测量带来的测量误差, 提高了测试精度。吹风类试验要求的有效数据是在试验系统状态稳定后获得的, 差压变送器带来的响应滞后并不影响有效试验数据的获取, 因此采用差压变送器测量压差的方案具有可行性。该方案已获得专家认可, 修改试验工艺文件后即可在吹风试验中使用。

## 参考文献:

[1] 黄玮芳, 黄伟林, 于阳. 采用压力传感器同时测量动态压力与温度

(下转第 58 页)

振动，也可以把刃倾角调节得小些，并适当增大进给量。

### 7 切削用量的选择

用大刃倾角外圆精车刀精车时，一般取  $V=100 \sim 150\text{m/min}$ ， $S=0.08 \sim 0.15\text{mm/r}$ ， $t=0.01 \sim 0.1\text{mm}$ 。

### 8 结语

综上所述，用大刃倾角外圆精车刀，可以实现微量精车，加工精度可达 IT5，表面粗糙度可达  $Ra1.25 \sim 3.2\mu\text{m}$ ，甚至可以代替磨削，成倍地提高了加工效率。大刃倾角外圆精车刀具充分利用现有硬质合金刀片，对硬质合金刀具进行了经济、有效的改进，具有很高的经济和实用价值。

### 参考文献：

[1] 陈日曜. 金属切削原理 [M]. 北京：机械工业出版社，1985:263.

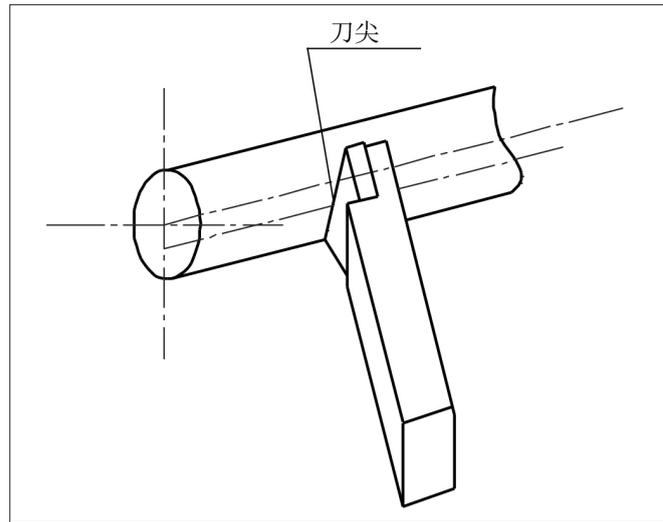


图6 刀尖切削位置

[2] 《金属切削理论与实践》编委会. 金属切削理论与实践 [M]. 北京：北京出版社，1979:172.

作者简介：石毅（1995.01-），男，汉族，贵州遵义人，本科，助理工程师，研究方向：设备、机械工程。

(上接第53页)

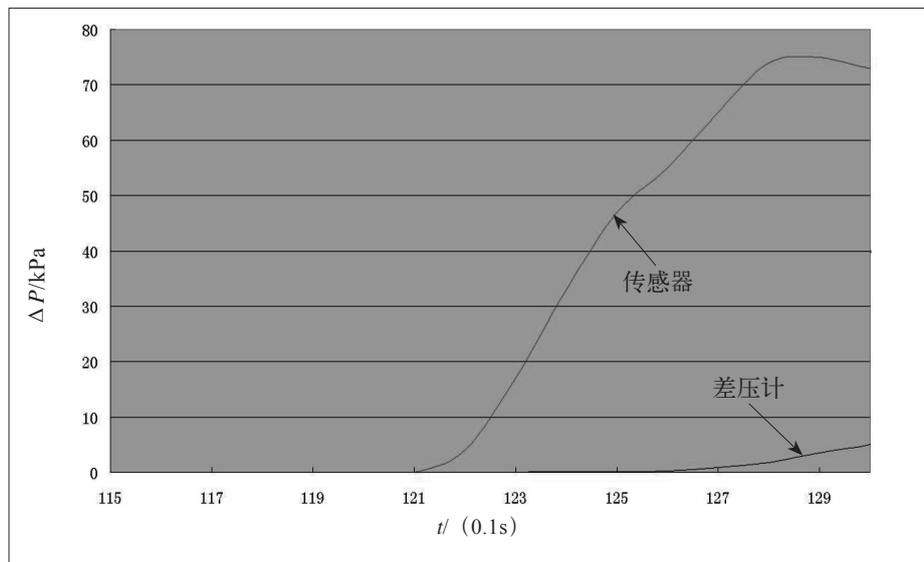


图10 更换采集通道后响应时间对比图

[J]. 电子技术与软件工程，2019(3):75.

[2] 汪玉忠. 差压式流量测量技术问答 (一) 差压式流量计的测量元件或传感器 [J]. 自动化博览, 2011, 27(1):52-55.

[3] 唐文彦. 传感器 [M]. 北京：机械工业出版社，2014:20-25.

[4] 蔡菁，袁俊先，宋寒. 引压管腔对动态压力校准的影响分析 [J]. 计测技术，2013, 33(3):61-63.

[5] 李维平. 微差测量技术及其应用 [J]. 计量与测试技术，2001, 28(5):9-11.

作者简介：傅依柳（1990.04-），女，汉族，山东聊城人，硕士研究生，工程师，研究方向：测控技术；张杰（1987.04-），男，汉族，陕西西安人，硕士研究

生，技师，研究方向：测控技术。