

全国《压力计舅与测试新技术讨论会》

论文集

(上)

中国计舅测试学会

中国仪田仪表学会过程检测控制仪表学会

一九八七年九月

目 录

(上 册)

1. 侯新炽	压力动态校准技术的现状及分析	1
2. 何铁春	生物医学压力参数测试研究	13
3. 白韶红	从国外几个公司产品看压力传感器发展动态	23
4. 盛以堂等	我国气压基准	36
5. 苏祥熙等	新型液体压力计的研制	52
6. 曹永德	JL-4型气动活塞压力计介绍	65
7. 曹宝云	1000MPa压力校准系统及快速卸载装置	70
8. 许弟昌	数字式压力计的性能测试计算方法	81
9. 刘宝琦	传感器静态方程的自适应拟合	89
10. 孙德辉	传感器符合度计算方法研究	101
11. 何志远	一种新 的大量程高精度压力测量系统	124
12. 朱明武等	1000MPa小型应变测压传感器	134
13. 裴锡安	应变式薄膜厚高压传感器	141
14. 韦汉忠	DZ型1000MPa金属电阻传感器研究	150

15. 刘彦斌等	1000MPa 锰铜电阻压力 传感器数学模型的研究	160
16. 张飞猛等	超声延迟式精密高压传感器研 究	173
17. 张广福	谐振筒式压力传感器系统稳定 性设计分析	182
18. 师学亮	振动筒作压力传感器的压力计 量原理、方法和精度分析	198
19. 陈 明	表面波谐振器—应变传感器	209
20. 王维委 王学煜	双水套冷却高频压力传感器	229
21. 李雪冰	磁敏电阻数字压力计研制	238
22. 王爱民 孟庆文 刘洁敏	低温压力传感器初探	247
23. 王文豪	一种低成本的压阻高压传感器	256
24. 朱晓华	固态压力传感器的温度补偿和 调零的一种方法	267
25. 杨经负	压阻型压力传感器的非线性误 差及其线性化	276
26. 王文豪	CYG 系列传感器的动态性能	292
27. 蒋本雨	压力传感器的可靠性试验大纲	298
28. 赵锡爵	115/型电容式差压变送器	307

29. 南 拓	压力仪器中温度补偿信号放大	
	电路的设计	329

压力动态校准技术的现状及分析

侯新炽

国家机械委兵器发展司

一、序

随着科学技术的发展,对于动态压力测量的范围、频宽、精度等方面的要求迅速增长。在进行动态测量时,除考虑传感器和测量系统的静态特性之外,还必须对其动态特性进行研究。压力动态校准技术就是适应这种需要而发展起来的新兴学科。目前,在国内外压力动态校准技术都处于发展阶段。

压力动态校准技术的根本任务是确定被校准的传感器或测试系统的动态特性指标,建立它们的数学模型。具体讲,要适应下述需要:

1. 压力动态校准技术是研制新型动压传感器的需要。为检验、评定,进而改善动压传感器的动态特性提供手段和方法。

2. 压力动态校准技术是正确选择和使用动压传感器的工具。实践证明:静态性能好是动态性能好的必要条件。但不是充分条件。有些传感器在动态条件下已经失效,但其静态特性可能无明显变化这就需要借助压力动态校准技术予以研究和验证。

3. 压力动态校准技术是研究动压测量系统的有效手段。它要根据测量要求解决如何选择测量系统的各个环节,它们的性能

应如何匹配，以及动压测量系统的动态特性如何评价等问题。

4. 提高动压测量的精度是研究压力动态校准技术的主要目的之一。

5. 压力动态校准技术不仅对动压测量，而且对其它动态参数（如动态温度、动态力、动态加速度等）的测量技术发展也有促进作用。

总之，动压测量的需要促进了压力动态校准技术的发展；压力动态校准技术的进步，又把动压测量提高到一个新水平。

二、国外发展概况

国外压力动态校准技术的发展，起源于本世纪四十年代，喷气技术中发动机燃烧不稳定现象急需解决动压测量问题是促使美国等国开展压力动态校准技术研究的直接起因。宇航技术，先进武器装备的发展一直是国外开展这项研究的主要支持者和服务对象。国外压力动态校准技术的发展概况，可以从以下几方面看出：

1. 动态校准装置的发展：国外的校准装置种类较全，但以低频、低压类为主。

(1) 周期性函数压力发生器。国外这类动态校准装置多为正弦压力发生器。其特点是：适于压力传感器频域的动态校准，以获得其幅频和相频特性。这种装置以低频、低压为其特长。工作原理有谐振腔式、调制式、旋转阀门式和声压发生器等。工作频带一般为几百到几千赫芝。有的发生器频带可扩展到几赫芝和100千赫芝。动态压力的幅值（峰—峰值）一般为（1~10）

$\times 10^5$ 帕斯卡, 个别可达 300×10^5 帕斯卡。但频率升高, 动态压力幅值会急剧下降, 且压力波形失真愈趋严重。

(2) 非周期函数压力发生器

1) 阶跃函数压力发生器: 这是目前使用最广泛的动态压力源。一般要求阶跃压力的上升时间小于被校系统上升时间的五分之一。常见的阶跃压力发生器有:

A. 激波管。利用激波在流体中传播或在刚性表面反射产生的压力阶跃突变来激励被校系统。动态校准激波管的工作介质多数是空气, 少数用氮气或氢气。为提高阶跃压力幅度, 也有用其它重分子气体的, 有的还用火药气体来驱动。一般采用等截面激波管, 少数采用变截面。动态校准时多数是利用反射激波压力, 其幅值较高且上升时间短。国外压力动态校准激波管反射激波压力一般为 $(1 \sim 100) \times 10^5$ 帕斯卡, 个别可达 $(500 \sim 600) \times 10^5$ 帕斯卡, 恒压时间 (又称平台时间) 为 $0.2 \sim 10$ 毫秒, 平台压力不满足度达 $\pm 2\%$, 幅值精度约为 $\pm 6\%$ 。

B. 快速开启装置。利用阀门的快速开启, 使一小腔室的压力由原始状态迅速改变为由另一大腔室的压力所确定的另一稳定压力, 安装在小腔室的被校系统被这一压力突变所激励。其特点是动态压力幅值高, 静态压力测量精度高, 但压力上升时间较长, 因此适合低频、高压条件下的准动态校准和幅值校准。国外, 最大动态压力幅值可达 7×10^8 帕斯卡, 上升时间为几百微秒到几毫秒。

2) 脉冲函数压力发生器

A. 落(摆)锤式脉冲压力发生器是利用自由落体在液压缸内形成的形状类似于半正弦式或半正弦函数的压力脉冲。特点是结构简单,动态幅值高(可达 10^9 帕斯卡),脉冲宽度多为毫秒数量级且压力脉冲的重复性较好,适于高压传感器的准动态校准。

B. 准 δ 函数压力发生器。利用高压放电、高速冲击和水锤效应,得到脉冲宽度极窄(微秒级),峰值较高($10^7 \sim 10^9$ 帕斯卡),近于 δ 函数的压力脉冲。优点是结构较简单,数据处理方便,动压峰值高,适合高频、高压范围的校准。

2. 数据采集系统和数据处理理论方法的发展

六十年代中期以后,压力动态校准技术较迟滞,原因之一是数据采集和处理技术跟不上需要。大规模集成电路技术的发展为高速、高精度的数字化采集系统和电子计算机的广泛应用创造了条件。这一切都加速了压力动态校准技术的发展。

1) 数据采集系统由模拟式的示波器、磁带记录仪发展到广泛使用高精度、宽频带的数字式数据采集系统。以常用的瞬态记录仪为例,近五年来,其主要性能指标采样速度,分辨力、通道数以及数据内存量都成数量级的提高,而价格却成倍下降。

2) 几乎所有的压力动态校准系统都配备了以电子计算机为中心的数据处理系统;

3) 兼有数据采集和处理能力的动态信号分析仪器发展迅速,成为压力动态校准技术发展的得力工具;

4) 数字信号处理技术,特别是快速富里变换方法的应用

以及现代系统分析方法的发展使得压力动态校准数据处理的理论和方法大大丰富了。数据处理的内容和深度也大为扩展。

三、国内发展现状

压力动态校准技术在国内的发展大体可分为几个阶段：

六十年代起，国内少数单位根据动态压力测量的需要，汲取国外经验，采用简易激波管对压力传感器进行动态激励试验，数据分析仅是从时域响应特性定性的进行判断。

七十年代航天工业部一院计量站首次在国内系统地进行了激波管动态校准系统的研究，并把国内自行研制的高速数据采集系统和电子计算机用于压力动态校准，开创了国内压力动态校准技术发展的新阶段。

七十年代末期以后，压力动态校准技术在国内获得普遍的重视，形成了以高等院校、研究单位为骨干，主要集中于国防工业部门和科学院系统的一支研究队伍。这是我国压力动态校准技术迅速发展的时期。

1. 国内各种动态压力源的发展

动态压力源是开展压力动态校准技术研究的基本条件。激波管是国内使用最多的一种动态压力源，航天部一院计量站、航空部304所、89004部队的激波管均是以空气为工作介质常压激波管，它们都开展了较系统的研究工作。科学院力学所和89955部队是高压激波风洞，可得到超出一倍几倍的阶跃压力。浙江大学则采用特殊介质来增加反射激波压力。为适应高频、高

压传感器的动态校准，204所和力学所协作正在研制高压激波管，华东工学院试图把火药驱动激波管用于动态校准。国内对于激波管装置在动态校准方面的应用研究的特点是：已经建成一批专门用于动态校准的激波管，并普遍采用了数据采集系统和计算机进行数据采集和处理，高压激波管正引起重视；对使用激波管进行压力动态校准已做了一定工作，但工作的广度和深度都有待扩展。

落（摆）锤式脉冲压力发生器。华东工学院研制的液压落锤动校装置能产生压力幅值为 $(500 \sim 7000) \times 10^5$ 帕斯卡，脉宽为 $1 \sim 15$ 毫秒范围内，产生半正弦波形的压力脉冲，峰值的重复性为 $\pm 0.6\%$ ，其总体性能已达到国外同类装置的先进水平。该校和太原机械学院还研制了结构更简单的摆锤式高压脉冲发生器。

准 δ 函数压力发生器。北京航空学院在介电液体中，利用高压放电产生的力学效应产生压力，幅值调节范围宽，压力脉冲宽展窄的准 δ 函数压力脉冲。太原机械学院用高速碰撞获得幅值达 10^{10} 帕斯卡，脉宽 ≤ 10 微秒的压力脉冲。

正弦压力发生器。航空部304所、南京航空学院开展了入口调制式和声学谐振腔式正弦压力发生器的研究。北京工业学院将旋转阀门原理和喷管技术相结合，研制了新型正弦压力发生器。可换喷管控制流入气流的流通，旋转阀门进行压力波形的调制，较好地兼顾了正弦压力发生器的频率范围、动压幅值及压力波形质量的要求。该装置基础压力变化范围为 $(0 \sim 130) \times 10^5$

帕斯卡,动态压力范围(峰—峰值)为 $(0\sim30)\times 10^5$ 帕斯卡,频率范围 $50\sim 1200$ 赫芝,动态压力幅值精度为5%,稳定性 $\pm 2\%$,波形失真 $< 8\%$ 。

2. 国内在数据采集和处理技术方面的发展

国内用于压力动态校准的数据采集系统一般为:采样速度每秒 $1\sim 10$ 兆次,采样分辨力为 $1/256\sim 1/4096$ (二进制八位至十二位)。十六位微机已广泛使用,少数单位用信号处理机进行数据处理。

数据处理方法。初期用激波管流量进行动态校准时一般用国外采用的B—C公式,以获取激波系统的频率特性。为提高处理精度,北京航空学院提出了改进的阶梯线法和辛普生法。为解决数据采集速度不能过高,使用FFT算法易出现频率混叠效应的问题,他们提出了一种无混叠效应的快速富里变换算法(WFFT)。他们还提出一套较完整的建立传感器和测试系统动态数学模型的方法。它包括了适用于频率域动态校准的频域建模方法和适用于时域校准的时域建模方法,能建立系统的连续传递函数,差分方程,离散传递函数,频率响应和瞬态响应,得出系统的动态性能指标。为了检验建模的合理性,该方法还用阶跃函数来进行建模效果的检验。

国内还开始了有关动态压力测试系统的测试精度的分析和综合方法的研究及动态误差补偿方法的研究。

四、分析意见

概括一下当前国内压力动态校准技术的主要观点，对明确今后的工作方向，无疑是有益的。这里只能是尝试做一下这方面的工作。

／．关于激波管装置方面的问题

／）在压力动态校准技术研究中，激波管的主要用途是什么？激波管可以产生接近理想阶跃函数的压力脉冲，适于高频压力传感器的时域动态校准。用它可以得到被校准传感器及测试系统的频率特性。对于这方面，大家意见是一致的，有不同看法的是：

A．在激波管装置上要不要把动态幅值校准，获取被校准传感器的“动态灵敏度”，作为它主要用途。关于“动态灵敏度”的概念，本身就有争论，此处暂且不谈。有的同志认为在激波管装置上应该可能进行动态幅值校准。有的同志（包括我自己）则认为作为幅值校准，目前激波管装置的幅值大小和幅值精度离要求都相差甚远，更无法和静态校准的压力范围及精度相比。而在其它类型动态校准装置上（如快速开启装置等）进行动态幅值校准会更简便，而且精度更高。所以，认为激波管装置的主要任务应是进行被校准系统的频率特性研究，而不必把动态幅值校准作为激波管的主要用途，因而也就没有必要花费过多的精力去提高激波管装置的压力幅值精度的研究。

B．关于建立“标准激波管”。有的同志提出建立“标准激波管”。亦即希望按计量学中“量值传递”的概念，使得在“标准激波管”上得到的频率特性的精度比在一般工作级激波管上得到的高一个“级别”。实际上，目前压力动态校准技术还远未发

展到这种水平。拿激波管来讲，对于动态校准用的激波管的设计、制造、调试、使用，我们的认识都还很浮浅，还有较大的盲目性。所以，“标准激波管”的要求还难以明确，建立标准激波管的“设想”，至少在当前还不现实。只有经过深入、细致的研究之后，才有可能对有无必要及有无可能建立“标准激波管”做出较符合实际的回答。

2) 当前在激波管装置上应开展那些方面的动态压力校准的研究工作，较一致的意见是：

A. 改善激波管装置产生的阶跃压力波形质量的研究。即：如何提高阶跃压力的幅值，如何减小由于“激波爬升”带来的压力波形平台质量不好的现象以及如何适当提高幅值精度的研究等。提高阶跃压力的幅值可以采用高压室增加逸取合适的工作介质及工艺措施。改善波形时平台质量涉及到合理进行激波管的设计、加工、调试和工艺选择，这些研究将有助于改善激波管的动态校准性能。

B. 可能影响激波管装置动态校准效果的各种因素的研究。这些因素一方面是伴随激波产生的振动，热冲击的影响，另一方面是操作使用激波管时，对激波管运行时温度、压力、速度的控制、测量以及修正方法的研究。传感器安装的影响也是应特别注意研究的问题。

C. 尽可能多的用不同类型，不同特点的压力传感器在激波管装置上进行动态校准试验并进行数据处理，以便摸索经验并发现问题。到目前为止，国内尚未通过动态校准方法得到有实用价

值的被校系统的相频特性，也是值得研究的一个问题。

2. 关于“动态灵敏度”

动压传感器有无“动态灵敏度”是国内争论较多的问题。什么是“动态灵敏度”？它和静态灵敏度有什么关系？“动态灵敏度”的概念是用激波管装置进行压力传感器的动态校准时，某些传感器在阶跃压力作用下的稳态输出，按激波管理论计算的阶跃压力值计算得到的传感器灵敏度与其静态灵敏度相比有明显的差异。因而提出把这时的灵敏度叫做“动态灵敏度”。有的同志不赞成这种提法，认为：（1）严格讲，这个灵敏度不是真正的动态灵敏度，而是在阶跃函数的动态压力激励下传感器的稳态输出灵敏度；（2）静态和动态条件下传感器的性能有变化，这一点从传感器的频率特性可以得到解释。对这种差异是用“静态灵敏度”和“动态灵敏度”这两个概念来区别好呢，还是用动态条件下可能增加“动态误差”的概念来解释更好呢？我倾向于后者，它可以把静态和动态条件下，传感器性能的变化及联系，解释得更清楚；（3）如果有“动态灵敏度”存在，在不同的动态条件下激励传感器，就会得到不同的“灵敏度”，传感器就会有无数个灵敏度，那校准又有什么实用价值呢？当然，对激波管校准时出现的异常现象进行详尽的分析是必要的。但是，对是否提出“动态灵敏度”这个概念我建议应持十分慎重的态度。

3. 关于数据处理

首先应统一，用那些指标来衡量被校传感器和测试系统的动态特性是必要的和充分的。这些指标的定义和检测方法是什么？

时域的动态特性指标和频域的指标有何关系，可否实现转换。

在数据处理方法上，应从目前分散的，各自为政的做法，逐步走向采用一套统一的法则。这样彼此数据才有可比性。

另外，对进行动态校准研究及数据处理所做的一些基本假设，如传递函数的概念对于非线性系统是什么含意？假定被校传感器和系统是“时不变”系统，这样的假设在什么条件下才能近似满足等。这些，都有必要随着研究的深入不断加以修改和完善。

五、建 议

针对兵器科学技术的特点，对今后在兵器行业如何开展压力动态校准研究，提以下几点建议：

1. 对当前国内，特别是兵器行业的压力动态校准技术的发展水平应有一个正确的估计。尽管我们已取得一些进步，但总的来看还处于起步和比较低的水平。要想使压力动态校准技术真正发挥其应有的作用，还必须坚持不懈的进行工作。当前，要从前一阶段以研究和建立各种动态校准设备为主，转移到以应用这些设备开展应用研究为主。

2. 要针对兵器技术的特点和需要，发挥兵器行业的特长，有针对性的开展兵器行业的压力动态校准技术研究，避免不必要的“重复劳动”。

(1) 以高频、高压范围的动态校准作为兵器行业压力动态校准研究的主要目标；

(2) “高压传感器需要进行高动压校准”这一论点，国内外

已取得基本一致的意见。我们在高压校准中已发现了静态校准和低压动态校准未发展的许多新现象、新问题，今后应在这方面发挥特长，做深入细致的工作。

(3) 兵器行业的压力动态校准必须针对兵器技术发展的需要，当前主要是针对改革兵器膛压测试体系，提高测试精度，实现以传感器电测为主来代替以铜柱测压为主的转变这样一个总目标的需要结合起来，这样做，兵器行业的压力动态校准研究才会有它的地位，才能发挥其作用。

参 考 文 献

1. 压力传感器动态校准技术 侯新炽 1979年
2. 动态压力测试理论专题讨论会论文汇编 中国兵工学会测试学会 1985
3. 动压测量 朱明武等人编 1983

生物医学压力参数的测试研究

何铁春

北京军区总医院 解放军军医进修学院

摘 要

生物医学参数的测试研究是医学界和工程技术界都很关心的新兴学科,解决生物医学临床诊断和实验研究中多种参数的定量检测问题已成为日益迫切的需要。生物医学压力参数的测试在全部生物医学参数测试中,占有很大的比重,与工程技术领域中的压力参数测试相比有其特点与难点。本文根据我们的实践体会,结合一些测试实例向压力计量测试界的专家学者汇报一下我们的工作,希望能得到大家进一步的关心与支持,以促进这一新兴学科的发展。

一、概述

生物医学参数的测试研究是医学界和工程技术界都很关心的学科。其研究目的是运用近代的传感器测试技术、半导体集成电路技术、膜技术、光导纤维技术、微处理机技术……,来解决生物医学临床诊断及实验研究中多种参数的定量计量检测问题。无论对于生物医学基础研究还是对于临床诊断与监护,提供多种参数的计量检测数据已成为日益迫切的需要。根据我们的实践体会,