

声发射技术在阀门泄漏在线监测方面的应用

孔德连，霍臻，杨元庆，胡滨，彭泽军

美国物理声学公司 & 武汉锅检所

在流体管道系统中，阀门是一种常见的机械产品，其主要作用是隔离设备和管道系统，防止回流、调节压力和流量，因此阀门安全性的重要程度不言而喻。在石油化工炼油系统中，阀门是装置中不可或缺的部分，使用的种类非常繁多，数量也非常巨大，并且石油化工生产过程中的介质大多具有腐蚀性强、易燃、易爆等特点。在实际使用中，阀门泄漏事故常有发生，并且绝大部分泄漏是看不见的，因此不仅会造成原材料和产品的巨大浪费，而且还会对周围环境造成严重破坏，甚至造成灾难性的安全事故。据统计数据表明，约 22% 的工业阀门存在泄漏问题，在进 30 年世界石油化工业爆发了一百多起特大火灾爆炸事故，其中，阀门、管道的泄漏所引发的事故几率占 35.1%；而在石油化工装置（如阀门、泵、压缩机和法兰等）中，由阀门泄漏造成的有机化合物（voc）的无控释放量占到 60%。因此，在石油化工生产过程中，及时准确的发现阀门的泄漏具有重要意义^[3]。

1.1 课题研究背景

阀门是一种用途极广的通用机械产品，它本身品种复杂、结构多变；使用条件从高压到低压、高温到低温；所用的材料有铁、钢、铜、合金以及非金属等。据有关部门统计，“十一五”期间国内各行业阀门需求总量超过 345 亿元，需求产品涉及石油化工、机械、电力、核电、医药、交通、军工等多个领域^[19]。

在石化工业生产过程中，由阀门泄漏导致的特大事故时有发生，是非常严重的安全问题，它对生产的安全性、经济性以及对环境都会带来重大的影响。目前石化企业阀门管理还限于简单的检查手段，主要是依靠定期检修，对阀门进行拆卸、检修和更换。遗憾的是，实际上只有不到 50% 的阀门需要拆卸修理，这会造成许多人力、物力和时间的浪费，而阀门维修更换大约占了石油化工设备维修更换费用的 10%^[22]。

1.2 阀门泄漏检测技术的研究现状与发展趋势

1.2.1 阀门泄漏的主要检测方法

目前对阀门泄漏检测还没有统一的系统分类方法,从检测方位的角度可以将各种检测方法分为外部检测法和内部检测法。从检测参数的角度将各种检测方法分为直接检漏和间接检漏。直接检漏法是指利用布置在阀门本体上的探测器,直接检测泄漏到发门外的输送液体或挥发到阀门外的气体,从而达到检测泄漏的目的。间接检漏法是指检测因泄漏对阀门运行参数造成的影响,如流体压力、流量的变化来判断是否发生泄漏。也有将泄漏检测技术分为基于硬件和基于软件的方法。基于硬件的方法是指对泄漏物进行直接检测。基于软件的方法是指检测因泄漏造成的影响,如流体压力、流量的变化来判断是否发生泄漏以及泄漏的位置^[21]。

1.2.2 石油化工生产中阀门检测技术的应用

在石油化工的生产运行中,要适时发现阀门的泄漏问题,当然希望选择那种能够迅速、准确发现泄漏并能不间断对阀门进行监测方法。在石油化工工厂里,一般采用的检测方法有^[3]:

- (1) 流量平衡法: 依靠质量守恒定律, 流进的流体等于流出的流体。
- (2) 直接观察法: 通过有经验的管道工人沿管线巡查。
- (3) 负压波法: 当以泄漏前的压力作为参考表准时, 泄漏时产生的减压波就称之为负压波。通过利用上下游测量点的时间差以及负压波在管线中的传播速度, 就可以确定泄漏源的位置。
- (4) 运行压力法: 若阀门泄漏, 则会导致阀门上游流量增加, 同时上游和下游的压力减小。这种方法一般只用于稳态流体, 且仅能探测到较大的泄漏。

1.2.3 阀门泄漏检测的发展趋势

目前石化企业阀门的泄漏还, 主要是依靠定期检修, 这种维修会对资源造成很大的浪费。阀门在线监测技术现在已经逐渐成为热点, 它可以有效地判别阀门的漏与不漏, 甚至能估算出阀门的泄漏率, 为阀门提供了维修的优先性判据, 采用声发射来对阀门的状态进行实时监测必将得到深入研究和广泛应用。

1.3 本课题的主要研究内容

本课题从阀门泄漏监测的实际需求与应用要求出发, 主要进行了声发射技术

用于阀门泄漏监测的实用化研究，对阀门泄漏过程中，声发射信号采集、放大、传输、分析和处理技术进行了研究。本文在广泛查阅国内外科技文献的基础上，收集整理相关资料，主要研究工作集中于以下几点：

- (1) 熟悉阀门的原理、分类和应用，并结合流体力学原理对阀门泄漏声发射信号的产生机理进行分析。
- (2) 在声发射信号的特征分析中，了解各特征参数的意义和作用，根据需要选择分析方法，以便于研究阀门泄漏所产生声发射信号的活动状况和发展趋势。
- (3) 根据需求，组建能够监测阀门泄漏的声发射系统，实现阀门泄漏监测的功能。
- (4) 在实验室模拟石油化工系统内的管道阀门系统，得到不同公称管径、不同压力差下阀门泄漏时的声发射信号，利用所组建的声发射系统对其进行分析，确定阀门是否存在泄漏，并评估其泄漏率。

2.2 阀门泄漏的原因分析

2.2.1 阀门泄漏的状况

阀门的泄漏可分为外漏和内漏两种。介质通过螺纹、法兰等结合面或阀杆与填料之间从内由于阀瓣、闸板、阀芯等阀件与阀座之间的密封面关闭不严，使得介质流动不能完全截断，造成阀门内部的泄漏，称之为内向外泄漏，称之为外漏；由于阀瓣、闸板、阀芯等阀件与阀座之间的密封面关闭不严，使得介质流动不能完全截断，造成阀门内部泄漏，称之为内漏。总之，阀门的泄漏通常发生在阀门开闭的闭合面、阀杆的密封部位、阀门连接处以及阀体等零件破损处^[31]。

2.2.2 阀门内漏的原因

介质的隔断是靠阀芯和阀座表面的密封来实现的，若阀芯和阀座的密封失效，会使阀门出现内漏，其主要原因如下：

- (1) 镶配的阀座与阀圈结合不够紧密；阀杆变形，使阀座与阀件不对中，密封面之间不能严密贴合；密封面材料选择不当，经受不住介质的腐蚀冲刷。
- (2) 密封面未达到要求的表面粗糙度，或两密封面得材料不匹配，抗磨损及抗

擦伤性能差。

- (3) 液态介质中产生局部气化，或含有固体颗粒或析出晶体，或某些高温阀门在关闭后迅速冷却，是密封面出现细微裂纹，这都会加速阀门密封面的磨损、冲蚀或汽蚀。
- (4) 关闭阀门过快、过猛等操作不当，或未将沉积在阀内的固体杂质冲走就关闭阀门，造成杂质嵌入密封面，使密封面无法关严，以至在高速介质的不断冲刷下，密封面加速磨损。
- (5) 密封面在高速介质的冲刷下，坚硬粒子在载荷作用下产生冲蚀，泡点状态液体压力变化形成气泡产生汽蚀，都会导致密封面的实效。

3.1 声发射系统的基本组成

图 3-1 是阀门泄漏声发射监测系统的框架图，该系统由两部分组成，第一部分是完成声发射信号的采集、放大、转换、传输和存储，即声发射系统的硬件部分，包括声发射传感器、电缆、VPAC-1278 系统、采集卡和计算机；第二部分完成的是声发射信号的分析 and 处理等功能，即软件部分。



图 3-1 阀门泄漏声发射监测系统框图

3.2 声发射监测系统的硬件部分

声发射监测系统的硬件部分主要包括声发射传感器、VPAC-1278 系统、防爆隔离栅、信号采集卡和计算机系统。声发射监测系统的硬件选取和该系统要实现的目的有关，本课题所需的声发射系统是用于阀门泄漏的在线监测，下面将逐一介绍该系统的各个硬件部分。

3.2.1 声发射传感器

当某些晶体因受力而产生变形时，其表面会产生电荷，当变形消失时，电荷也会随之消失，这种现象称之为压电效应。声发射传感器的原理就是基于压电效应，图 3-2 是声发射传感器的结构图^[33]。

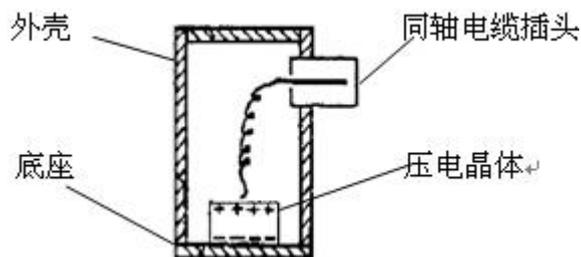


图 3-2 声发射传感器的结构图

传感器是声发射系统的关键组成部分，若传感器选择不合理，会使接收到的信号和实际的声发射信号有较大的差别，直接影响采集到数据的真实度和处理结果。传感器的选择应根据被检测声发射信号来确定，首先是了解被检测声发射信号的频率范围和幅度范围，然后选择对有效声发射信号灵敏度最高的传感器。

本课题所选用的传感器是美国物理声学公司的 ISD9203B 传感器，如图 3-3 所示。该传感器是为石化系统阀门泄漏而设计的，内部还有防爆设计，可应用于危险环境下，其外径为 23mm，高度为 20.5mm，工作温度为- 40° to 125° C，该探头为宽频抬头，工作频率为 100khz-900khz。

通常传感器不能和阀门直接接触，需涂抹少量的耦合剂。耦合剂的主要作用是减少材料和探头间的声阻抗差，保证声波能最大程度的被传感器所接收，此外耦合剂还有润滑和保护探头的作用。耦合剂的选择必须考虑周围的环境，例如高温的环境下，不能使用凡士林作为耦合剂，因为凡士林在高温的情况下会融化。



图 3-3 ISD9203B 传感器

3.2.2 VPAC-1278 系统

如图 3-4 所示，VPAC-1278 是美国物理声学公司研发的专门用于阀门泄漏在线监测的声发射系统，在阀门完全关闭的情况下，它能够评估气体或液体的泄漏率。此产品需提供 24V 回路供电，输出 4-20mA 的电流信号。4-20mA 的电流输

出可以直接输送到石油化工系统的 DCS 控制系统，因而可连续监测阀门的泄漏状况，为石化系统的安全生产提供保障。根据阀门的公称管径、上下游的压力差等额外参数，我们就可以得到阀门的具体泄漏率，为石化系统的安全生产提供保障。

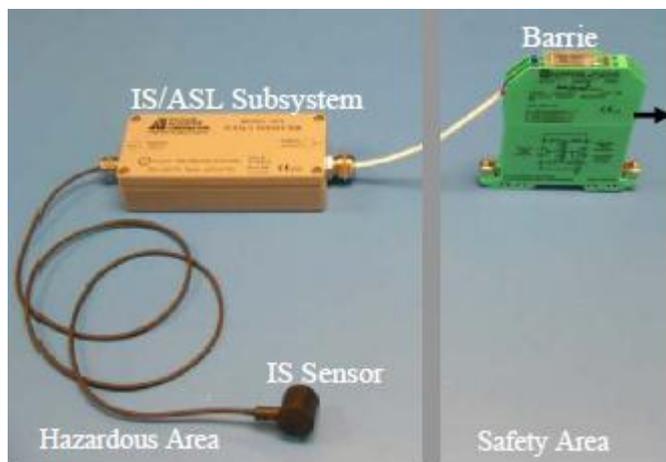


图 3-4 VPAC-1278 系统

Fig 3-4 VPAC-1278 system

VPAC 阀门泄漏检测技术是美国物理声学公司和英国 BP 石油公司合作研发的，已经广泛应用于世界各地的石化系统，阀门的公称管径在 1 英寸至 48 英寸之间都可以使用。该系统主要包括两部分：在危险环境中下的使用部分和在安全环境中使用的部分，如图 3-4 所示。在危险环境中的部分包括防爆传感器和 1278 子系统，在安全环境中的部分主要是防爆隔离栅和电源。图 3-5 是系统各部分的电路连接图。

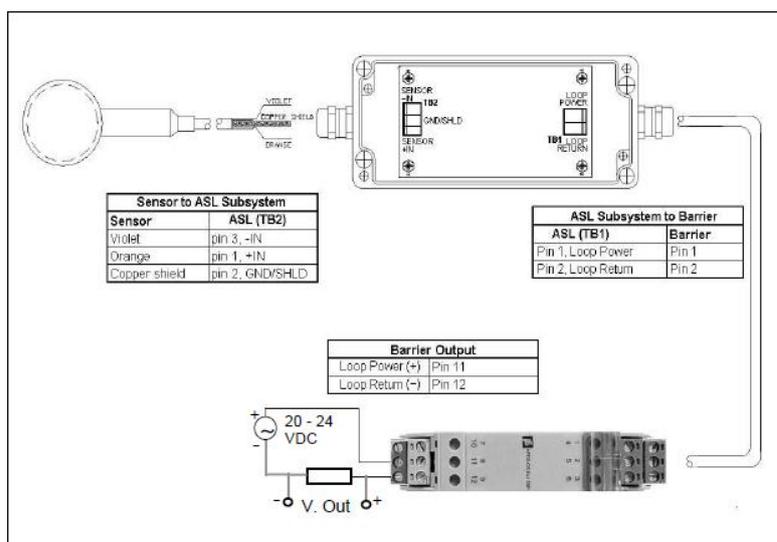


图 3-5 VPAC-1278 系统的电路连接图

3.2.3 防爆隔离栅

如图 3-6 所示，隔离栅的主要作用是限制整个系统的电压输入，因为该系统通常用于石油化工系统内的危险环境中，电压过高可能会引起灾难性的事故，因而必须有防爆设计。隔离栅必须安置在安全环境中，它是保证整个系统安全使用的关键部分。



图 3-6 隔离栅

3.2.4 泄漏率的评估

前面已经提到过，VPAC-1278 系统输出的是 4-20mA 的电流信号，该输出线性对应 0-100db 的 ASL 值，在该系统中可以串联一个 250 欧姆的电阻，该电阻可输出 1V-5V 的电压，对应 0-100db 的 ASL 值。如图 3-7 所示，为 VPAC 输出电流和声发射信号 ASL 值之间的对应关系。

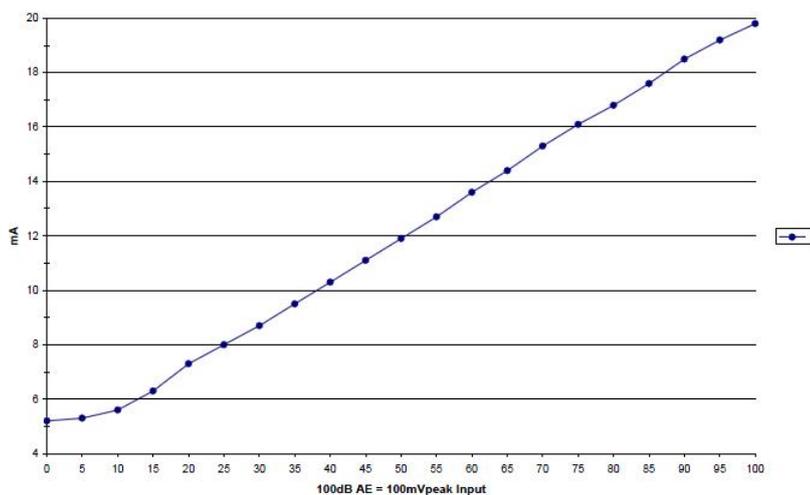


图 3-7 电流输出和声发射 ASL 值之间的关系

3.2.5 信号采集卡

信号采集卡的主要作用是把 VPAC-1278 所采集到的电压信号进行 A/D 转换，并进行数字滤波，对信号进行处理。声发射系统的性能主要是由声发射卡的性能决定的，这里我采用了一种适合阀门泄漏监测的共性能信号采集卡-----美国物理声学公司的产品，PCI-8 声发射采集卡，如图 3-8 所示。此卡除了能采集通用的声发射信号以外，还有 8 个外参数通道，能够采集 $\pm 10\text{v}$ 之内的电压信号。本课题所用到的功能就是该卡的外参数功能。



图 3-8 PCI-8 声发射采集卡

Fig 3-8 PCI-8 AE card

3.2.6 声发射监测系统的其他硬件构成

除了上面介绍的硬件以外，一套完整的声发射检测系统还应该包括电缆、电源设备、电阻和含有 PCI 插槽的工控机。

- (1) 电缆：传感器和 VPAC-1278 系统以及工控机之间需要通过信号电缆来进行连接。电缆的类型包括：同轴电缆、双绞电缆和光导纤维电缆。在本课题中，实验系统和工控机之间很近，在 5m 左右，使用同轴电缆。
- (2) VPAC-1278 系统如要正常工作，需提供 24V 的直流电源。稳压电源如图 5-10 所示，它可以提供 0-32V，0-2A 的直流稳压电源，。



图 3-10 直流稳压电源

电阻：如图 3-5 所示，整个 VPAC 系统输出的是 4-20mA 的电流信号，可直接传输到石油化工系统的 DCS 控制系统。但本课题为实验室研究，声发射采集卡采集的是电压信号，需要吧电流信号转化为电压信号，因此在整个系统内串联一个 250 欧姆的电阻，该电阻两端的电压变化为 1V-5V，线性对应 0-100db 的 ASL 值

(3) 工控机：PCI-8 采集卡需装在有 PCI 槽的工控机内。

3.3 声发射监测系统的软件部分

本课题所采用的软件是自己用 Labview 开发的阀门泄漏在线检测软件，其前面板如图 3-11 所示，主要功能包括信号的采集、ASL 值的计算、泄漏率的计算、ASL 以及泄漏率的实时显示、泄漏率的经历图表示、经历图的局部放大、报警处理和重放等功能，下面将对此软件做详细介绍，

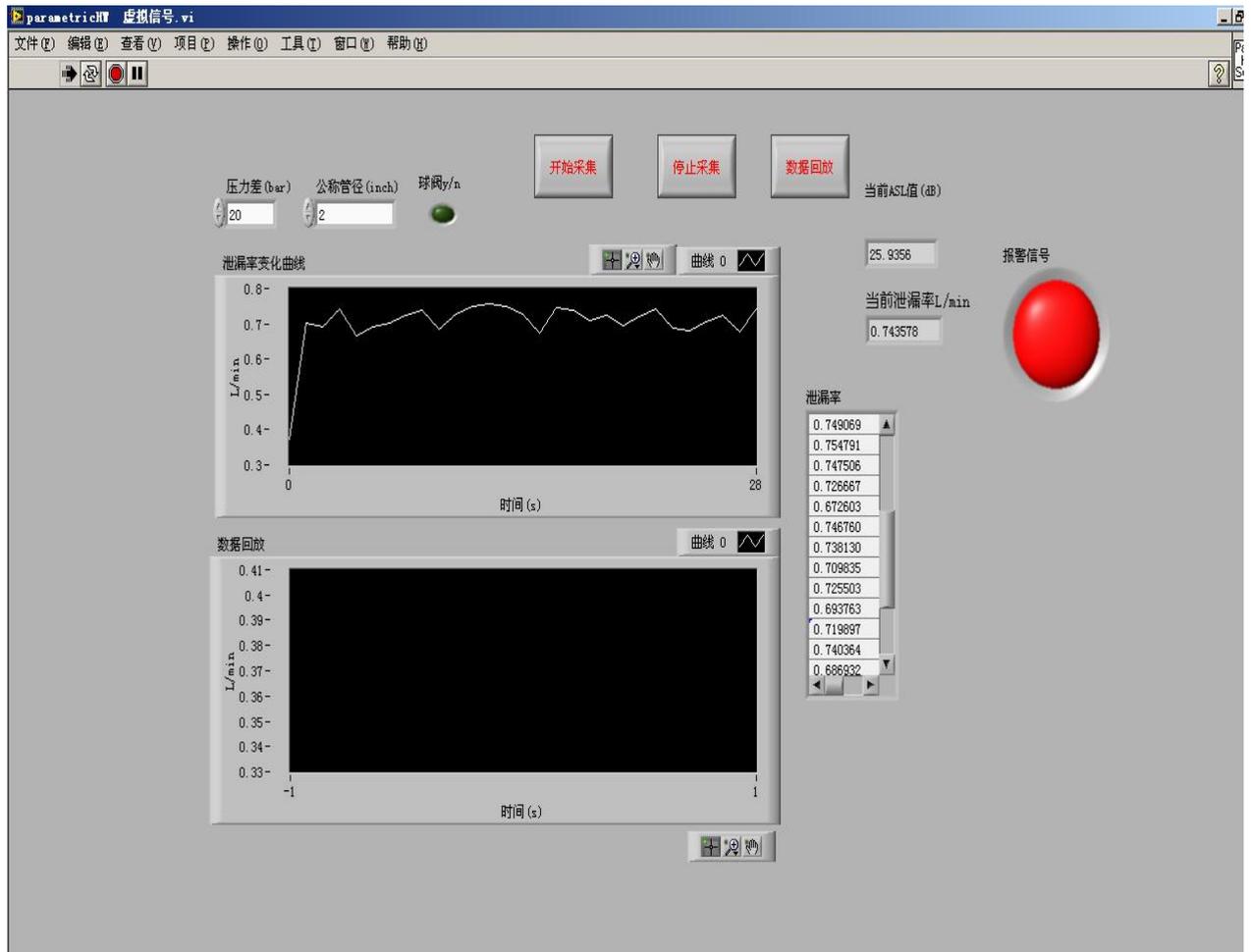


图 3-11 程序的前面板

5.3.1 监测系统的硬件回顾

在详细介绍程序前，先来简单回顾系统的硬件部分，如图 3-12 所示，整个 VPAC-1278 系统需 24V 的回路供电，输出 4-20mA 的电流信号，该电流信号线性对应传感器测量的 0-100db 的 ASL 值，因 PCI-8 采集卡的外参数通道只能接收电压信号，所以在该回路串联一个 250 欧姆的电阻，该电阻两端输出一个 1-5V 的电压信号，该电压信号线性对应传感器测量的 0-100db 的 ASL 值。除了 ASL 值以外，若还知道阀门的公称管径、上下游的压力差、是否是球阀等参数，就可以根据经验公式估算出阀门的泄漏率。

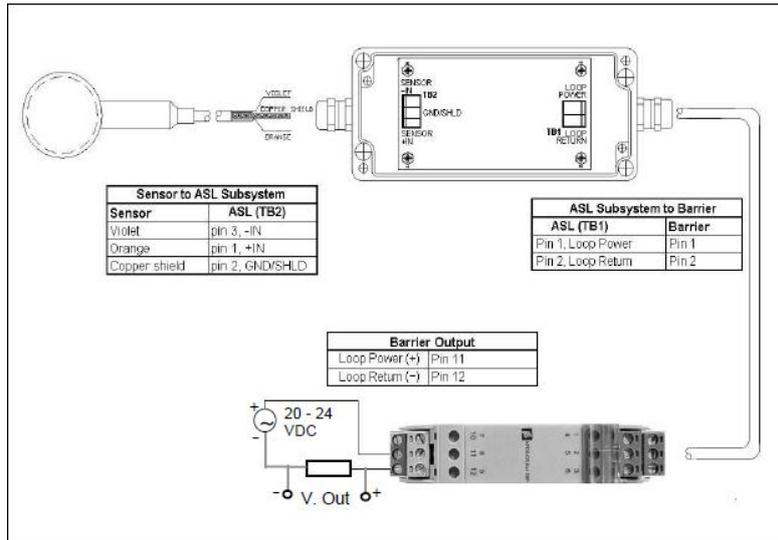


图 3-12 声发射系统的硬件部分

3.3.2 程序的层次结构

此程序主要包括三个部分：数据控制，实现数据的采集、传输和存储；信号的处理，完成对信号的各种处理、分析和显示；数据重放，对过去所采集信号的重放。下面将分别介绍几部分。

3.3.3 PCI-8 采集卡的动态链接库

Labview 是一种通用的图形化编程软件，它具有强大的数据采集、分析和处理的能力。美国物理声学公司开发了一系列 PCI-8 采集卡的 Labview 动态链接库。本程序中主要用到 PAC 公司提供的三个 VI，OpenPCI8.vi、startTest.vi 和 parametricHW.vi，它们的作用分别是初始化系统中所有的 PCI-8 卡、触发 PCI-8 卡采集数据和实时显示外参数。图 3-13、3-14 和 3-15 分别是这三个 VI 的程序框图。

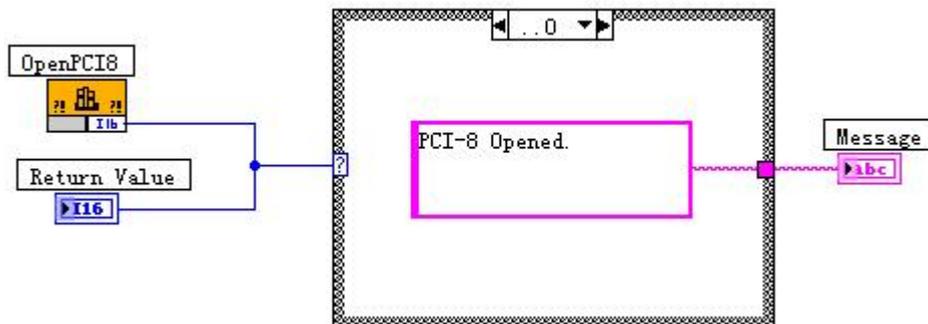


图 3-13 OpenPCI8.vi 的程序框图

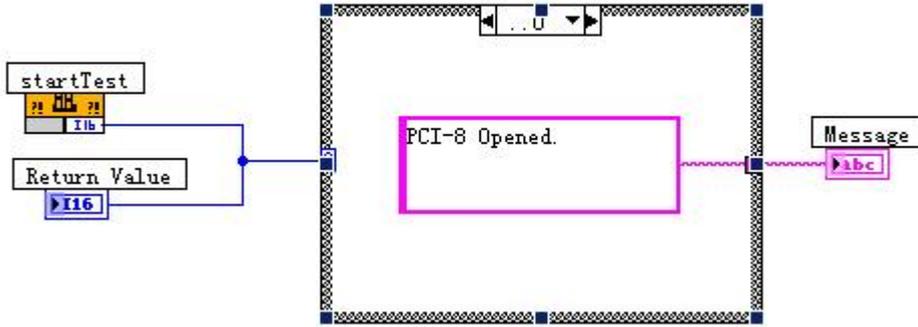


图 3-14 startTest.vi 的程序框图

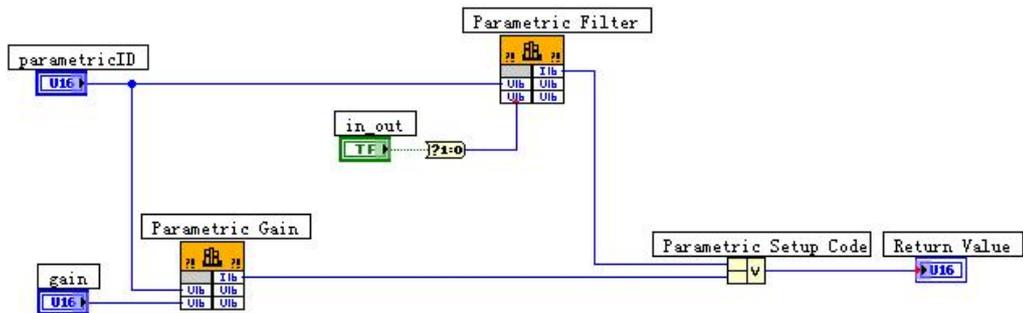


图 3-15 parametricHW.vi 的程序框图

3.3.4 数据的转换与显示

(1) 前面提到过采集卡采集到的是 1-5V 的电压信号，线性对应 0-100db 的 ASL 值，设电压为 X，ASL 值为 Y，则 $Y=25X-25$ ，并且实时显示当前的 ASL 值。ASL 值的转换与显示功能的程序框图如图 3-16 所示。

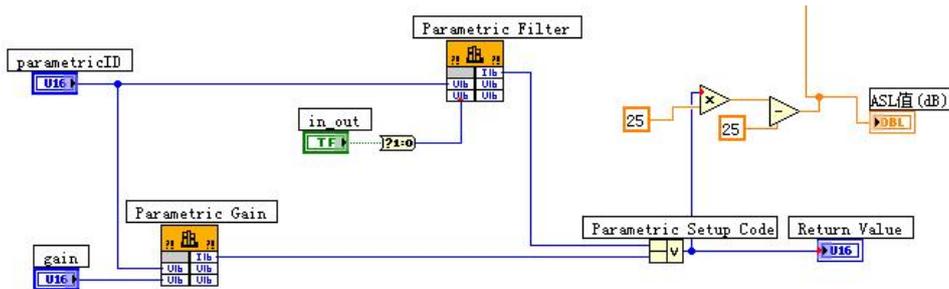


图 3-16 ASL 值的转换和实时显示

Fig 5-16 The conversion and real-time display of ASL

(2) PAC 公司和英国 BP 石油公司经过多年实验研究得到阀门泄漏的经验公式。泄漏率计算、图表显示、和数字显示的程序框图如图 3-17 所示。

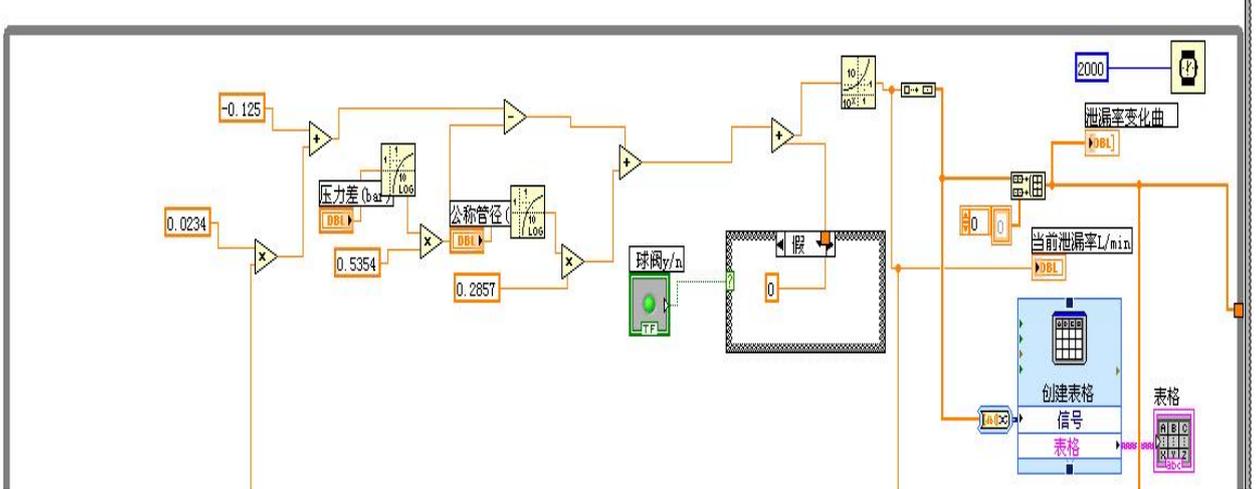


图 3-17 泄漏率的计算和显示

3.3.5 报警的设置与触发

整个程序 2s 循环一次，若泄漏率超过某一数值(0.5L/min)连续一分钟，则触发报警，该部分程序框图如图 3-18 所示。

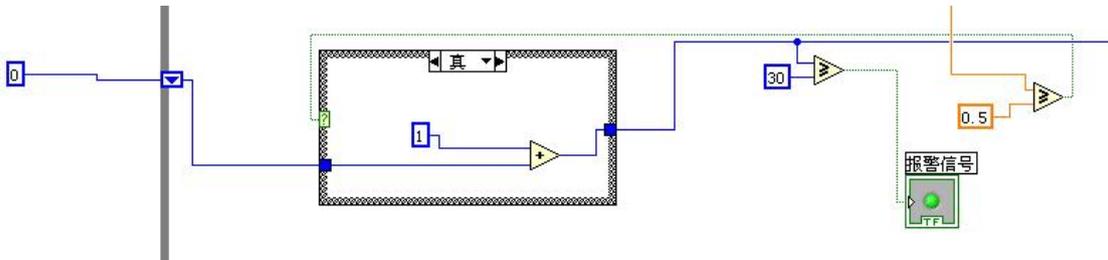


图 3-18 连续泄漏报警的触发

3.3.6 数据的保存与重放

为方便日后分析，程序需要对数据进行保存，图 3-19 是程序中把数据保存为 tdms 格式文件的程序框图。

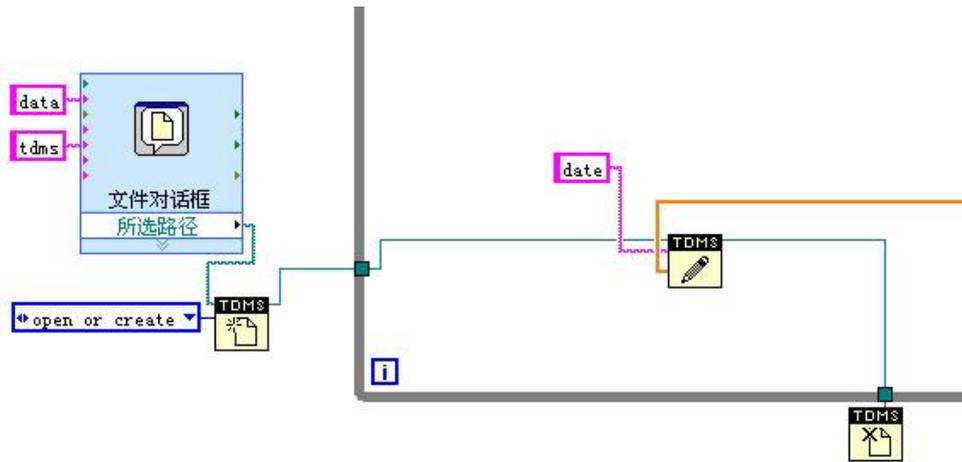


图 3-19 tdms 格式数据的保存

数据的重放程序是另一个子程序，图 3-20 是程序中数据重放的程序框图。

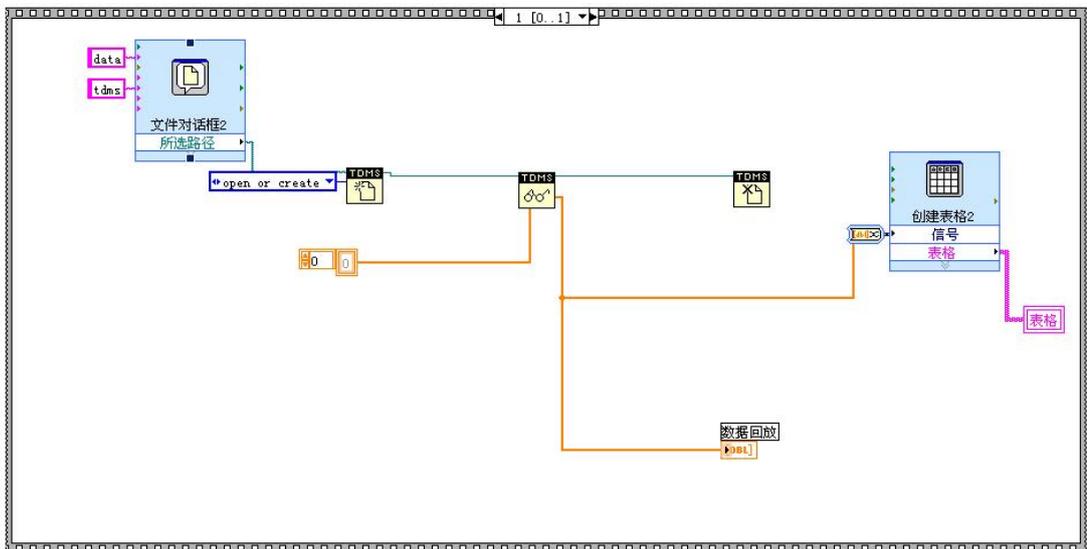


图 3-20 数据的重放

4.3 阀门泄漏在线监测的信号分析

本课题实验的第二部分是用专用的阀门泄漏监测系统 VPAC-1278，和自己编辑的 Labview 软件，在线监测阀门的泄漏，根据经验公式估算泄漏率，并通过实际测量来验证其可靠性与准确性。

4.3.1 实验简介

本次实验是在武汉锅检所所完成的。实验所用到的管道阀门系统如图 4-1 所示。右侧阀门为被检测阀门，该阀为一截止阀，属于闸阀，公称管径是 50mm，阀门完全关闭时无泄漏，左侧阀门也是一个截止阀，两阀间的管道内有水，常温常压。



图 4-1 阀门泄漏监测实验平台

用试压泵给右侧阀门前的粗管道打压，试压泵如图 4-2 所示。压力的变化范围为 0-5Mpa。



图 4-2 试压泵

阀门的泄漏是由人为拧开一点来模拟的，阀门泄漏率的测量如图 4-3 所示，用一量杯接左侧阀门泄漏出来的流体，每次接 30s 或一分钟。



图 4-3 泄漏率的测量

本次实验用到的声发射系统是美国物理声学公司的 VPAC-1278，软件是自己编辑的 Labview 程序，关于声发射硬件和软件的部分，之前已经详细介绍过，这里就不重复了。



图 4-4 VPAC-1278 系统

4.3.2 实验数据分析

4.3.2.1 保持阀门上下游的压力差为 5Mpa

(1) 完全关闭阀门，连续采集一分钟，所采集到的数据如图 4-5 所示。此时探头所测到得 ASL 值在 11.5db—12.5db 之间，而 VPAC 系统在空载工作时，系统的背景噪音约是 11-13db，此时阀门无泄漏，而通过经验公式计算的理论泄漏率约为 0.2L/min。

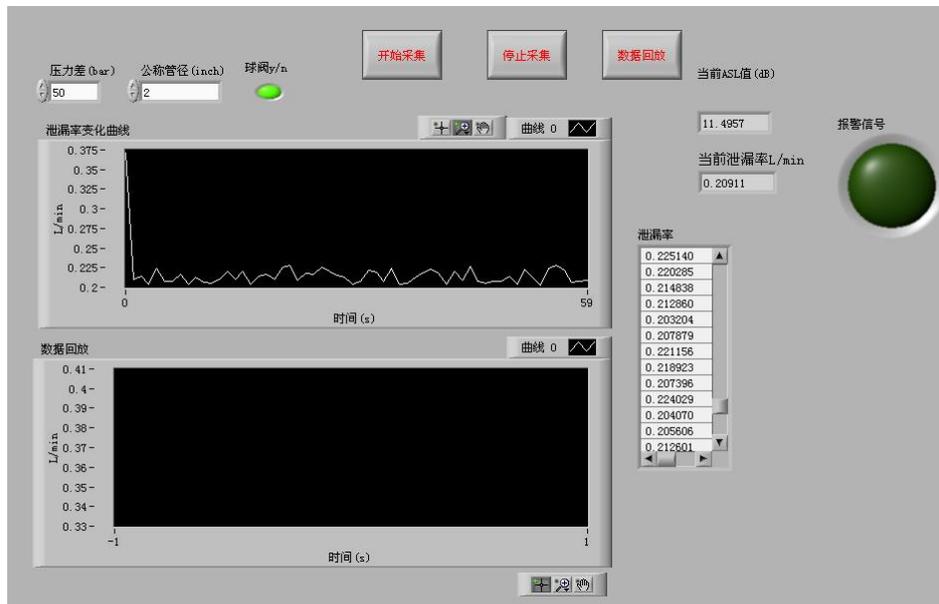


图 4-5 5Mpa 压力差，无泄漏时的数据显示

(2) 略微拧开一点阀门，连续采集一分钟，用量杯测量到泄漏率为 0.15L/min，所采到数据如图 4-6 所示，此时信号的 ASL 值在 19-21db 间，根据经验公式计算得出的泄漏率约为 0.33L/min。

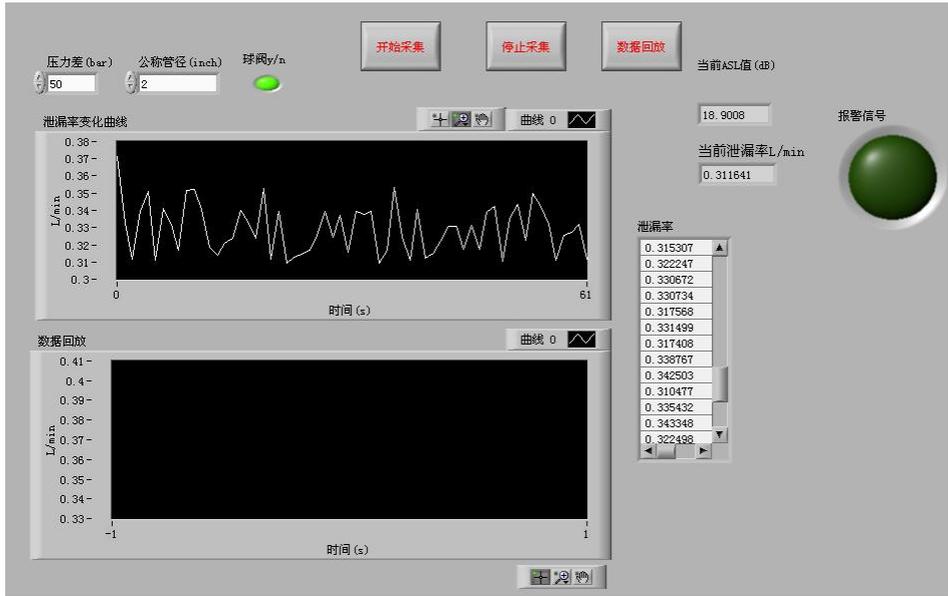


图 4-6 泄漏率为 0.15L/min 的数据显示

(3) 再把阀门拧大一些，连续采集 1 分钟，用量杯测到的泄漏率为 0.5L/min，所采集到的数据如图 4-7 所示，此时信号的 ASL 值在 34-36db 间，用经验公式计算的理论泄漏率为 0.75L/min，软件的预设报警为 0.5L/min，因此触发报警。

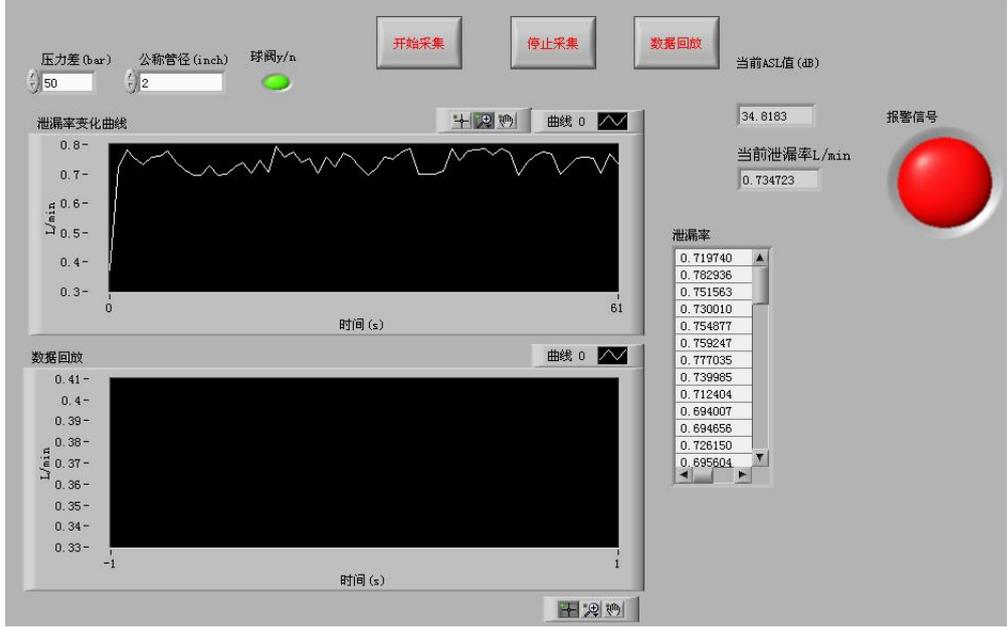


图 4-7 泄漏率为 0.5L/min 时的数据显示

(4) 将阀门再次拧开一些，连续采集一分钟。此时用量杯测得的泄漏率为 1.9L/min，所采集到的数据如图 4-8 所示，此时信号的 ASL 约为 55db，通过经验公式计算而得的泄漏率约为 2.2L/min。



图 4-8 泄漏率为 1.9L/min 时的数据显示

4.3.2.2 保持阀门的上下游的压力差为 4Mpa

(1)完全关闭阀门，连续采集一分钟，所采集到的数据如图 4-9 所示。此时探头所测到得 ASL 值在 10db—12db 之间，而 VPAC 系统在空载工作时，系统的背景噪音约是 11-13db，此时阀门无泄漏，而通过经验公式计算的理论泄漏率约为 0.23L/min。

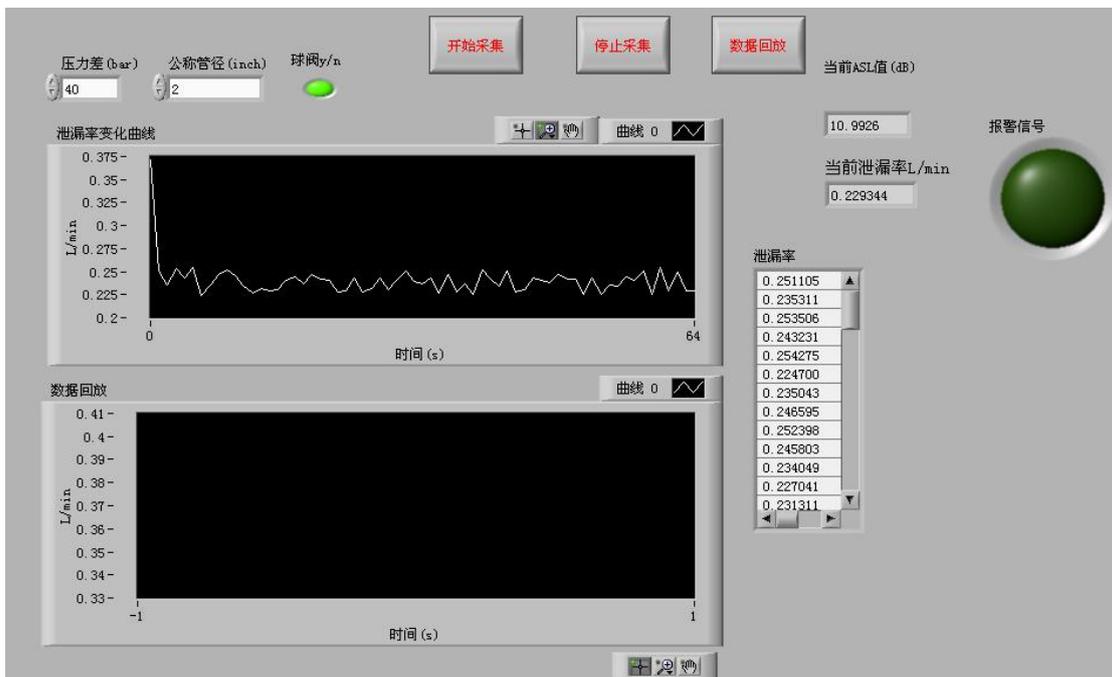


图 4-9 无泄漏时的数据显示

(2) 略微拧开一点阀门，连续采集一分钟，用量杯测量到泄漏率为 0.45L/min，所采到数据如图 4-10 所示，此时信号的 ASL 值约为 30db，根据经验公式计算得出的泄漏率约为 0.65L/min。

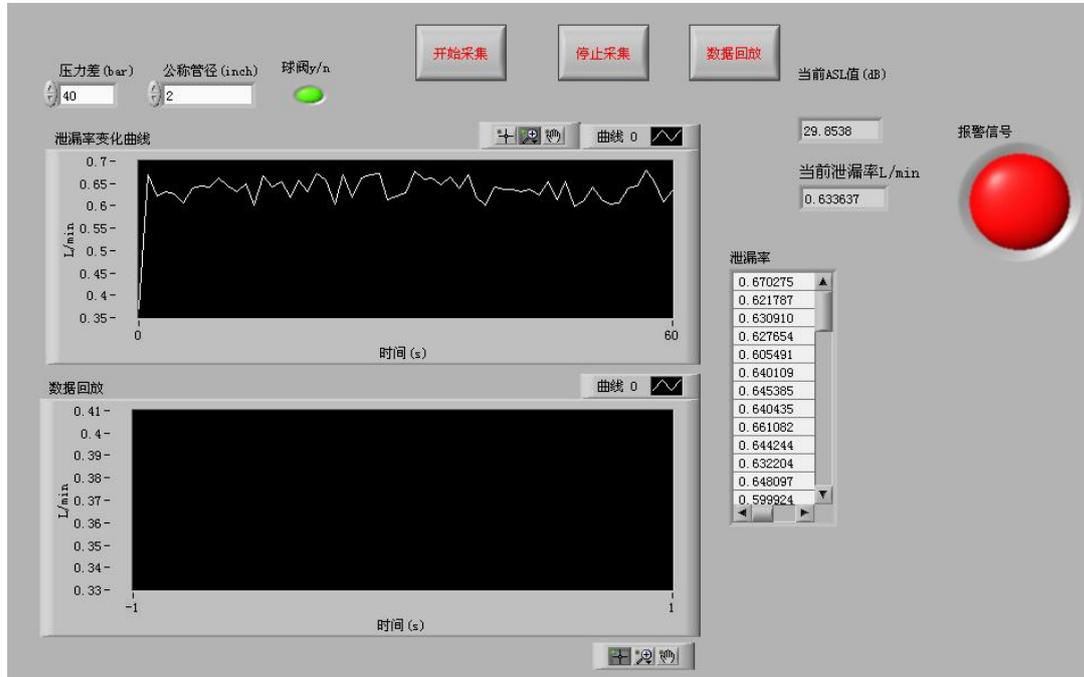


图 4-10 泄漏率为 0.45L/min 时的数据显示

(3) 再把阀门拧大一些，连续采集 1 分钟，用量杯测到的泄漏率为 1.8L/min，所采集到的数据如图 4-11 所示，此时信号的 ASL 值约为 50db，用经验公式计算的理论泄漏率约为 1.9L/min，软件的预设报警为 0.5L/min，因此触发报警。

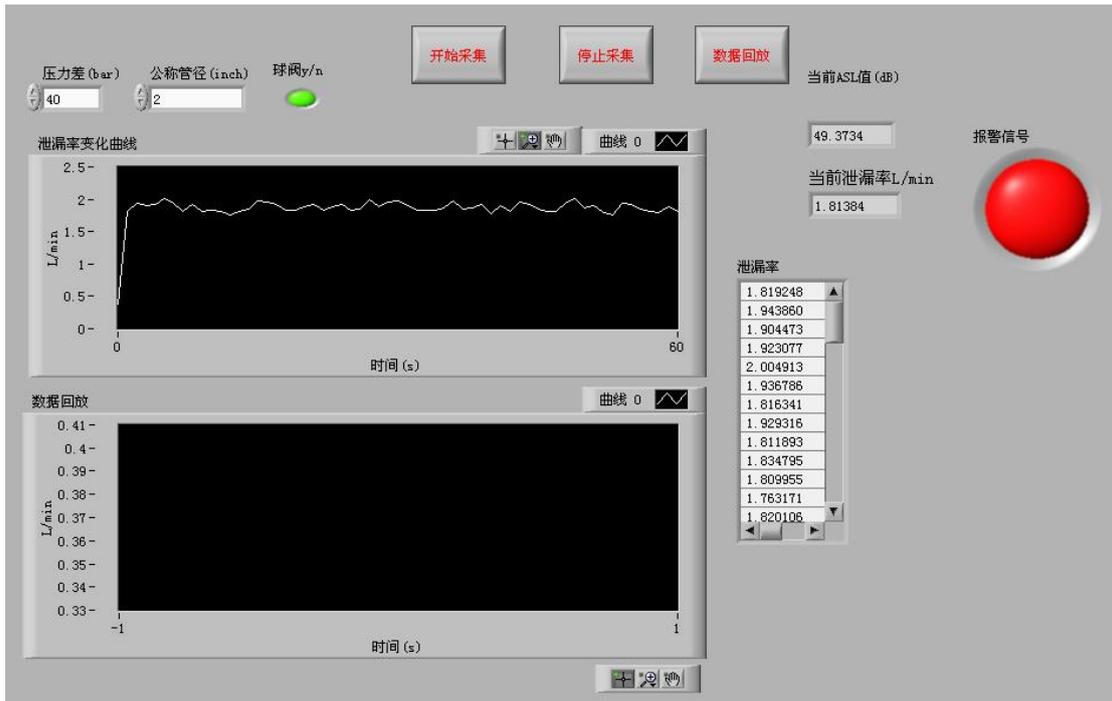


图 4-11 泄漏率为 1.8L/min 时的数据显示

4.3.2.3 保持阀门上下游的压力差为 2.5Mpa

(1) 完全关闭阀门，连续采集一分钟，所采集到的数据如图 4-12 所示。此时探头所测到得 ASL 值约为 12，而 VPAC 系统在空载工作时，系统的背景噪音约是 11-13db，此时阀门无泄漏，而通过经验公式计算的理论泄漏率约为 0.32L/min。

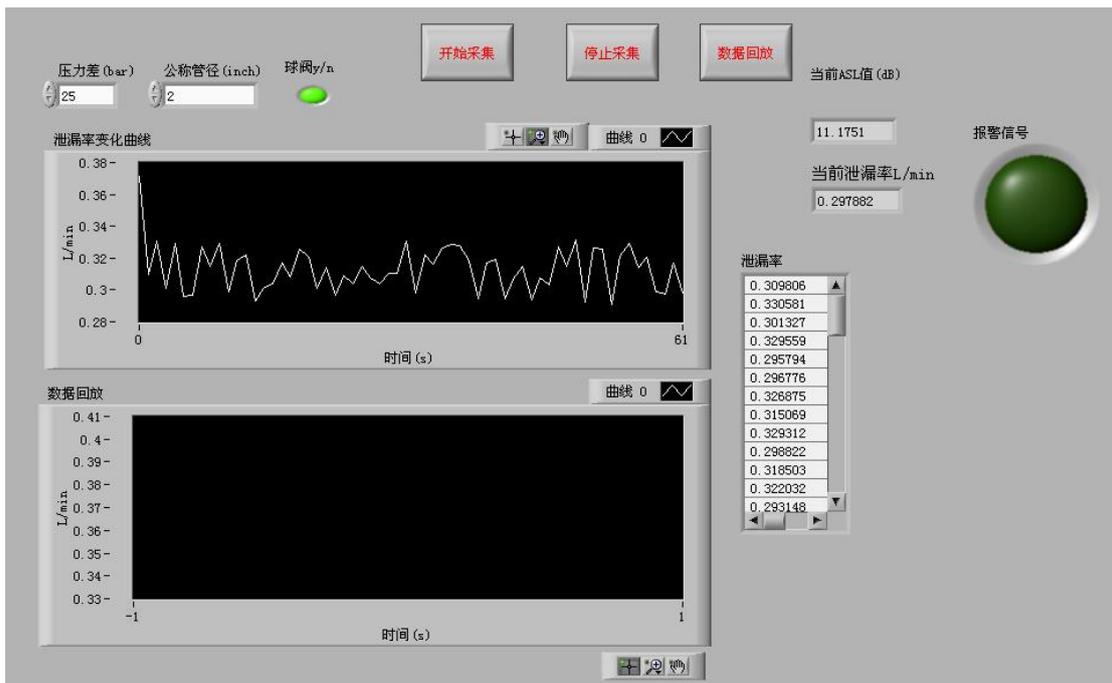


图 4-12 无泄漏时的数据显示

(2) 略微拧开一点阀门，连续采集一分钟，用量杯测量到泄漏率为 0.85L/min，所采到数据如图 4-13 所示，此时信号的 ASL 值约为 33db，根据经验公式计算得出的泄漏率约约为 1L/min。

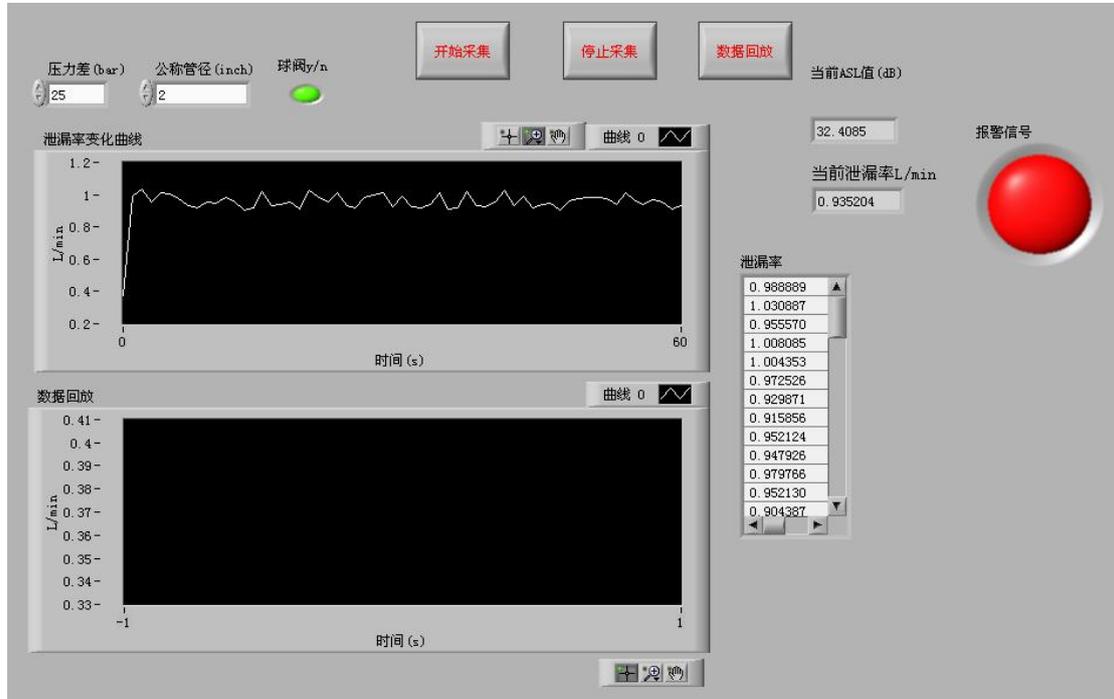


图 4-13 泄漏率为 0.85L/min 时的数据显示

(3) 再把阀门拧大一些，连续采集 1 分钟，用量杯测到的泄漏率为 2.8L/min，所采集到的数据如图 4-14 所示，此时信号的 ASL 值约为 52db，用经验公式计算的理论泄漏率约为 2.7L/min，软件的预设报警为 0.5L/min，因此触发报警。

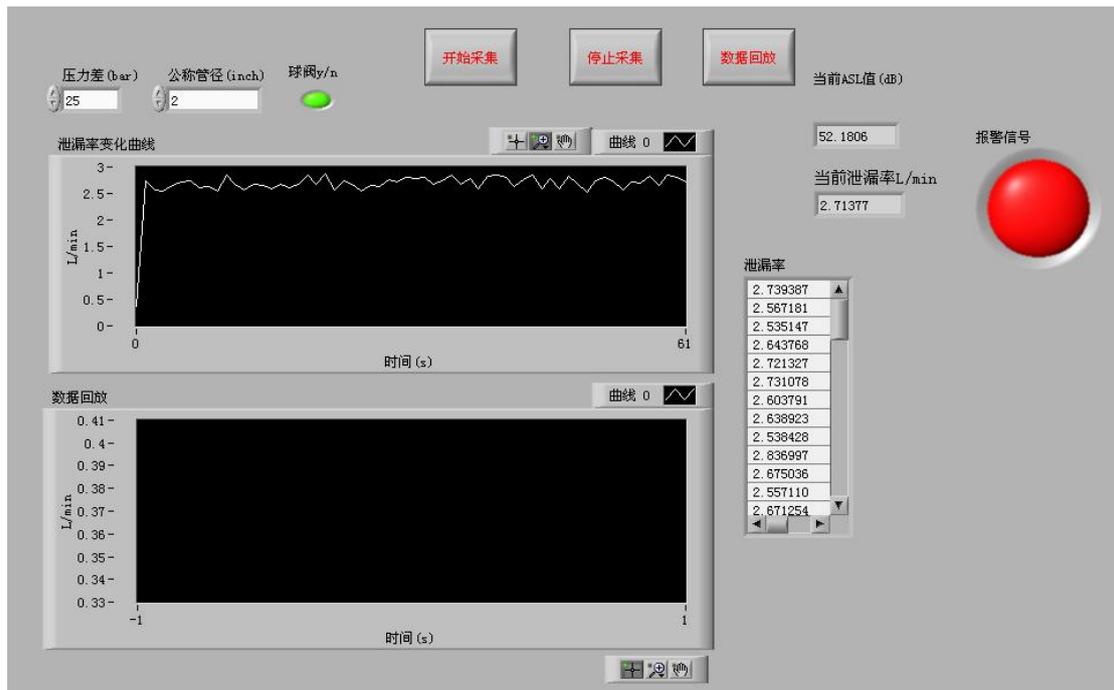


图 4-14 泄漏率为 2.8L/min 时的数据显示

4.3.3 实验总结

本次实验的数据如表 4-1 所示

表 6-1 实验总结

Table 6-1 The summary of the experiment

上下游压力差 (bar)	传感器测得的 ASL 值 (db)	阀门的工程管径 (inch)	是否是球阀	理论泄漏率 (L/min)	实际泄漏率 (L/min)
50	12	2	否	0	0.21
50	20	2	否	0.15	0.33
50	35	2	否	0.5	0.75
50	55	2	否	1.9	2.1
40	11	2	否	0	0.23
40	30	2	否	0.45	0.65
40	50	2	否	1.8	1.9
25	12	2	否	0	0.32
25	33	2	否	0.85	1
25	52	2	否	2.8	2.7

通过以上数据，我们可以得出：

- (1) 对于阀门泄漏的定性分析，该系统没有问题，当阀门上下游压力差较大时，甚至能检测出 0.2-0.5L/min 的泄漏率
- (2) 根据 PAC 公司的经验公式，在泄漏率的定量评估方面有一定的误差，尤其是当泄漏率较小时，误差更为明显。
- (3) 通过经验公式所得到的泄漏率普遍比实际泄漏率要大些。原因可能是：该经验公式是针对于石油化工系统所开发的，主要检测的介质是油类，粘性较大；该经验公式是用内部有真实缺陷的阀门来建立的，并不是通过人为拧开阀门来模拟的。

结论

阀门泄漏在线监测系统是采用 PAC 公司的硬件和经验公式为基础，结合自己用 Labview 编辑的软件，组成的一套可以解决阀门泄漏在线监测的方案。在研

究过程中，去的主要成果有：

- (1) 系统的了解掌握声发射技术的相关理论，包括声发射技术的特点、声发射技术的应用和声发射技术的分析方法。
- (2) 研究阀门泄漏的原因及其声发射信号的形成机理，给用声发射技术来检测阀门泄漏提供理论基础
- (3) 构建了一套完整的阀门泄漏在线监测系统。它的硬件部分用到了 PAC 公司提供的探头、VPAC-1278 系统、防爆隔离栅、PCI-8 采集卡，它的软件部分用到了 Labview 软件和 PCI-8 卡的 Labview 动态链接库。
- (4) 用一系列实验验证了声发射技术检测阀门泄漏的可靠性，并且验证了 PAC 公司的经验公式是基本可行的。

阀门泄漏声发射在线监测系统是在广泛查阅文献资料和借鉴前人的研究成果的基础上，通过不断实验和改进的方法来完成的。这套实验用的监测系统虽然还没有用到实际检测当中，但在实验室的条件下，经过多次实验，已经验证了声发射技术用于监测阀门泄漏的可行性和有效性，也为以后的现场应用探索出了一条发展的道路。

参考文献

- [1] 贾波.阀门泄漏量自动检测装置[J]. 阀门,2006 年

- [2] 王通,阎祥安,李伟华,苏欣平.基于激励响应的输油管道泄漏检测技术研究[J]. 化工自动化及仪表,2006
- [3] 赵英武,邓育江.阀门在线检测技术在石油化工装置中的应用前景[J]. 技术与应用,2007年
- [4] A.Anastasopoulos,D.Kourousis,K.Bollas,A.Tsimogiannis. Acoustic Emission Leak Detection of Buried Pipeline[c].Envirocoustics SA,Greece,2001
- [5] 耿荣生.声发射技术发展现状[J]. 无损检测, 1998
- [6] ASTM E 1316----1997. Terminology for Nondestructive Examination[S].1997
- [7] 耿荣生,沈功田,刘时风.声发射信号处理和分析技术[J]. 无损检测, 2000,22(1)
- [8] Dunegan H L.Mode Analysis of Acoustic Emission Signals[J].Journal of Acoustic Emission,1998(15):1-4
- [9] Gorman M R.Plate wave acoustic Emission[J]. ASA,1991.90(1):358-364
- [10] Yuyama S,Kishi T,Hisamatsu Y.Corrosion Fatigue Charactersticis of 304-Stainless Steel and AE Analysis during the Process Monitoring of Cracking and AE Source[J]. Japan Inst Metals,1982,46(1):85-93
- [11] 胡昌洋,杨钢锋,黄振峰.声发射技术及在检测中的应用[J]. 计量与测试技术, 2008:35(6):1-6
- [12] 耿荣生,沈功田,刘时风.模态声发射信号处理技术[J]. 无损检测,2002,24(7),302-306
- [13] 陈玉华,刘时风,耿荣生.声发射信号的谱分析和相关分析[J]. 无损检测, 2002, 23(9):395-399
- [14] 陈江.奥氏体不锈钢酸性气管线开裂失效检测分析[J].化工设备与管道,2006,43(6): 59-61
- [15] 李江全,焦敬品,何存富,等.基于小波变换和模态声发射的管道中导波传播特性的试验研究[J]. 管道技术与设备,2005,(4): 14-16
- [16] 耿荣生,傅刚强.金属点蚀过程声发射源机制研究[J].声学学报,2002,27(4):369-372
- [17] 杨瑞峰,马铁华.声发射的技术研究及应用进展[J]. 中北大学学报,2006年
- [18] S.J.Vahaviolos,R.K.Miller,D.J.Watts,V.V.Shemyakin,S.A.Strizkov.Detection and Location of Cracks and Leaks in Buried Pipelines Using AE[C].2004
- [19] 刘晓春,胡军,张继伟.我国阀门标准体系探头[J]. 机械标准化与质量。2008年6月
- [20] 方学峰,梁华,夏志敏,朱玉明.基于声发射技术的阀门泄漏在线检测方法[J]. 化工机械, 2007年
- [21] 王永涛,韩建,牟海维,全星慧.基于声谱分析的阀门内漏检测系统[J]. 大庆石油学院学报, 2006年6月第3期
- [22] 陈敬秒,吴建东.基于声发射技术的阀门质量检验[J]. 科技创新导报, 2008年第16期
- [23] 方玉涛.金属腐蚀声源信号识别技术研究[D]. 浙江大学信息与科学工程学院,2008
- [24] 杨明伟,耿荣生.声发射检测[M]. 南京:东南大学出版社,1991
- [25] 李涌.充满管道泄漏的模态声发射检测技术研究[D]. 北京工业大学机械制造及自动化,2003年6月

- [26] 刘国华.声发射信号处理关键技术[D]. 浙江大学信息与科学工程学院,2008
- [27] 戴光,李宝玉,李伟.金属腐蚀噪声声发射信号的小波分析[J]. 化工机械,2004,31(5):23-25
- [28] 张万岭,李丽菲,沈功田.硫化氢环境中 16MnR 钢腐蚀的声发射实验研究[J]. 无损检测, 2008 年第 30 期
- [29] 刘忠海,李晓军,李宪文.高强度无磁钢的应力腐蚀[J]. 中国腐蚀与防护学报,2001,24(5):14-17
- [30] 沈功田,段庆儒,李帮宪.压力容器声发射技术综述[J]. 中国锅炉压力容器, 2000 年
- [31] 张艾萍,金建国.声发射检漏仪在阀门密封性检验中的应用[J]. 阀门,2002,(4)30-41
- [32] 姚力.几种典型声发射信号的特征参数分布分析[J]. 无损探伤,2004.28 (2) :19-23
- [33] 记红广,张天森,张志勇.无损检测中常用声发射参数的分析与评价[J]. 无损检测, 2001,23(7):289-294
- [34] H.L.Dunegan.Detection of fatigue crack growth by acoustic emission techniques[J].Materials Evaluation,1970,28(10):221-223
- [35] 李耀东,黄成祥,侯力.疲劳裂纹声发射检测技术[J]. 计算机测量与控制,2004, 12(6):504-506
- [36] 刘正义,李广海. 声发射技术监测疲劳损伤探讨[J]. 理化检验-物理分册,2005 年
- [37] API580 Risk-Based Inspection Base Resource Document[S]. American Petroleum Institute,2000
- [38] 李友国,康国政,汪长安.残余应力对接触疲劳裂纹萌生寿命的影响[J]. 清华大学学报,2005,45(12):1664-1667
- [39] 帅军华.在用压力容器的声发射检验和评定[J]. 锅炉压力容器安全技术,2003 年
- [40] 张金玉.基于网络的远程诊断与处理支持中心的研究[D]. 西安交通大学,2002
- [41] 俞一彪,孙兵.数字信号处理理论和应用[M]. 江苏:东南大学出版社,2005
- [42] 徐运燕.基于 DSP 的全数字化声发射及故障源识别技术研究[D]. 上海:华东理工大学,2002
- [43] 田增国,陈翠梅.基于小波分析的声发射信号处理[J]. 工业安全与环保,2002 (8): 26-27
- [44] 秦前清,杨宗凯.实用小波分析[M]. 合肥:中国科学技术大学出版社,1996
- [45] Y.Misada.Analysis of AE Signals by wavelet transform[J].Soc.Mater,1998,47:305-311
- [46] E.P.Serrano,M.A.Fabio.Application of the wavelet transform to acoustic emission signal processing[J].IEEE Trans Signal Process,1996
- [47] P.G,Bently,M.J.Beasley.Acoustic Emission Measurements on PWR Weld Material with inserted Defects using Advanced Instrument[J].Acoustic Emission,1988
- [48] Stephens RWB,Pollock AA.Waveforms and frequency spectra of acoustic emission[J].Acoustic Emission,2001
- [49] GB/T18182-2000. 金属压力容器声发射检测及结果评价方法[S]. 北京:中国标准出版社, 2000
- [50] 金长善.超声工程[M]. 哈尔滨: 哈工大出版社,1989
- [51] 李江全,何存富.基于小波变化和模态声发射的管道中导波传播特性的试验研究[J]. 管道技术与设备,2005,(4):369-372

- [52] 杜晓春,黄坤.麦迪管道腐蚀监测新技术[J]. 天然气与石油,2005,23(5):153-157
- [53] 刘松平,Michael Gorman.模态声发射信号检测技术[J]. 无损检测,2000

致 谢

再次我代表美国物理声学公司，要特别感谢武汉锅检所的霍臻老师，给我提供了实验场地和很多技术指导，使我能够深入的了解有关课题内容和完善实验室的研究工作，扩展了研究工作的视角。这些都要感谢霍老师给予的帮助和指导。