

声发射技术在工业 2025 时代所面临的挑战与机遇

(许凤旌)

美国物理声学公司 (PAC) 北京代表处 北京 100029

摘要: 本文在综述国内外声发射技术近年来的发展历程、应用领域、最新进展, 以及未来中国工业 2025 时代对无损检测 NDT 和 SHM 的发展需求的基础上, 分析和阐述工业 2025 时代下对声发射技术的要求和声发射技术所面临的挑战与机遇, 重点从分布式互联网、智能化和大数据的几方面来阐述这方面的应用, 并揭示工业 2025 时代下声发射技术的应用和发展方向。

关键词: 声发射 SHM 智能化 大数据。

Challenges and opportunities faced by AE technology in the Industry 2025

Xu Fengjing

Physical Acoustics Corporation Beijing Office
Beijing 100029, P.R. China

Abstract: This paper reviews the development of Acoustics Emission technology in recent years and application areas, latest developments, and the future of China industry 2025. On the basis of the development demand of NDT and SHM, this paper analyzes and expounds the requirements of acoustic emission technology in the industrial 2025 era and the challenges and opportunities faced by the technology of Acoustics Emission. This paper focuses on the applications of the distributed internet, intelligence and Bigdata, and reveals the application and development direction of Acoustics Emission technology in the industry 2025 era.

Keywords: Acoustic emission, SHM, Intelligentize, Bigdata.

1. 声发射技术的发展回顾

众所周知, 声发射技术作为一种新兴的无损检测技术, 自上个世纪 50 年代德国人 Kaiser 发现 Kaiser 现象开始到现在已经有半个世纪时间了。在这半个世纪的时间里它的发展经历了如下几个阶段的历程。

第一阶段: 上个世纪 50-60 年代, 为声发射技术的初级阶段, 那时由于设备简单及人们对声发射技术认识的局限使得这个时期的声发射技术基本处于实验室阶段, 很难进入到工程应用领域。

第二阶段: 上个世纪 60-70 年代, 由于当时以美国 Dunegan 公司 (后被美国 PAC 公司收购) 发现许多工程金属材料声发射信号的主要频率段在 150KHz 左

右，从而研制出中心频率为 150KHz 的谐振传感器用于工程应用。这种声发射传感器既能有效地捕捉金属构件的声发射信号，又可以有效地抑制大部分低频段的现场环境噪声，使得声发射技术开始走出实验室而进入真正的现场实用阶段。也可以说，从这个时候才开始真正意义上的声发射检测。

第三阶段：从上个世纪 70-80 年代到 90 年代中期是声发射技术的一个稳定发展阶段。这个时期的声发射设备主要以模拟电路的系统为主。尽管在 80 年代末期和 90 年代初期出现了后端 PC 机，但当时前端的声发射信号采集处理部分还是以模拟电路为主。这段时期也出现了一些部分数字化或半数字化仪器，比如 PAC 公司专门处理声发射波形的数字化声发射模块 TRA 模块，但整个系统还基本上是模拟声发射系统。

第四阶段：从上个世纪 90 年代中期开始到本世纪的前十几年，确切说 1994 年美国 PAC 具有里程碑意义的第一代全数字化声发射系统 Mistras2001 的成功诞生以及本世纪初的计算机一体化的 Disp 系列，标志着世界声发射技术进入全数字化时代。

最新的第五个阶段：伴随全球工业 4.0，中国工业 2025 时代的开始和到来，声发射的技术和应用正进入物联网（工业互联网）、智能（AI）及大数据时代。

2. 工业 4.0/工业 2025 概述

“工业 4.0”时代最早有德国政府于 2013 年前后提出并开始实施的，早期的研究项目由德国联邦教研部与联邦经济技术部联手资助，在德国工程院、弗劳恩霍夫协会、西门子公司等德国学术界和产业界的建议和推动下形成，并已上升为国家级战略。德国联邦政府投入达 2 亿欧元。

德国政府提出“工业 4.0”战略，并在 2011 年 4 月的汉诺威工业博览会上正式推出，其目的是为了提高德国工业的竞争力，在新一轮工业革命中占领先机。该战略已经得到德国科研机构 and 产业界的广泛认同，弗劳恩霍夫协会将在其下属 6—7 个生产领域的研究所引入工业 4.0 概念，西门子公司已经开始将这一概念引入其工业软件开发和生产控制系统。

自 2013 年 4 月在汉诺威工业博览会上正式推出以来，工业 4.0 迅速成为德国的另一个标签，并在全球范围内引发了新一轮的工业转型竞赛。

为适应全球范围内工业 4.0 发展的需要，中国政府于 2015 年前后有政府总理主抓提出以智能制造为核心的中国制造 2025 计划。中国制造 2025，是中国政府实施制造强国战略第一个十年的行动纲领。

《中国制造 2025》提出，坚持“创新驱动、质量为先、绿色发展、结构优化、人才为本”的基本方针，坚持“市场主导、政府引导，立足当前、着眼长远，整体推进、重点突破，自主发展、开放合作”的基本原则，通过“三步走”实现制造强国的战略目标：第一步，到 2025 年迈入制造强国行列；第二步，到 2035 年中国制造业整体达到世界制造强国阵营中等水平；第三步，到新中国成立一百年时，综合实力进入世界制造强国前列。

中国制造 2025 规划的实施将迎来中国工业的 2025 时代。而中国工业 2025 的几个重要标志为：

- ★ 智能化，包括智能制造；智能监测\检测；智能控制等。
- ★ 物联网互通。

★ 大数据和云计算。

对于声发射技术和应用的，在工业 2025 下，将有如下几个方面的转变与提升。

☆ 由传统的离线定期检测向长期、在线、不间断的结构健康监测方向发展这也正是作为动态无损检测方法的声发射技术的特点和优势所在。

☆ 由传统多通道的声发射检测监测系统及技术向微小型分布式、节点化智能工业互联网式的物联互通形式转变。

☆ 由传统的一次检测，一次分析，一次报告的定期检测方式向远程通讯，数据传输，后台服务器、数据中心，大数据与历史过程和趋势分析的大数据、云计算，人工智能神经网络方向发展。

3. 声发射技术每个发展阶段的主要特征

重点阐述第四阶段全数字化声发射时代的主要特征如下：

其一，声发射系统是真正意义上的全数字化，即 A/D 部分在系统或模块的前端，使得整个声发射信号的采集和处理都是由数字电路来完成的。

其二，采用并行 FPGA-DSP 处理技术。FPGA-DSP 带门电路的数字信号处理器是专门用于数字信号处理的“CPU”，他的数字信号处理能力是通常 PC 计算机 CPU 的两个数量级以上。所谓并行 FPGA-DSP 处理技术有两层含义：一是每个声发射卡都有 FPGA-DSP 处理器处理自己所在通道的声发射信号；二是整个声发射系统由若干个声发射卡构成的并行处理结构。

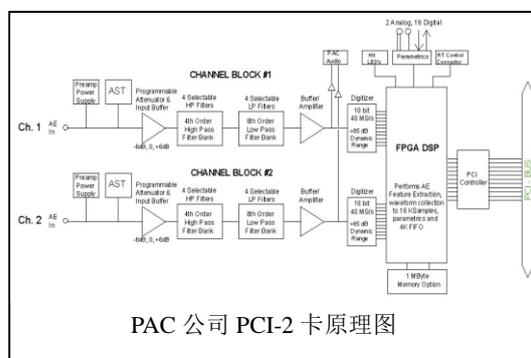
其三，计算机一体化，全数字、智能声发射系统。都是采用计算机 PCI 总线、PCIe 总线或者嵌入式计算机的一体化技术，这样使得声发射卡插入普通计算机就构成声发射系统；而且一套多通道的声发射系统又可以容易分解成若干不同通道数的声发射系统。

第五阶段的声发射发展主要伴随近年来席卷全球的工业 4.0，中国工业 2025 时代，对声发射技术尤其应用提出更符合这一时代特征的要求，那就是：

物联网（互联网+）所要求的（节点）分布式结构健康监测；

智者化要求的智能采集、智能趋势跟踪、判断与报警；

大数据所要求的远程传输与大数据分析。



世界上最轻便的 48 通道声发射系统
尺寸 53.3x35.6x19.3cm 重量仅 17.3Kg

4. 声发射技术的未来发展方向

4.1 声发射结构健康监测 SHM (Structure Health Monitoring)

的广泛应用

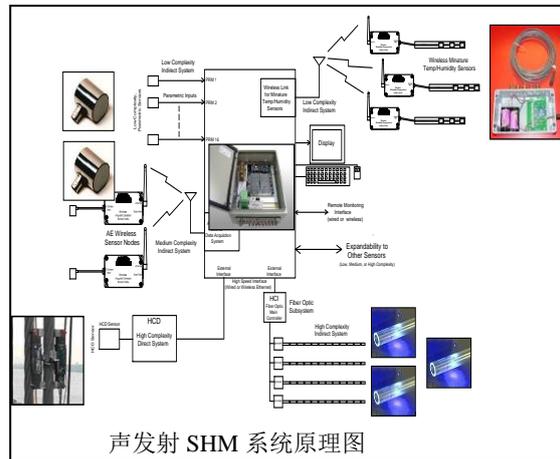
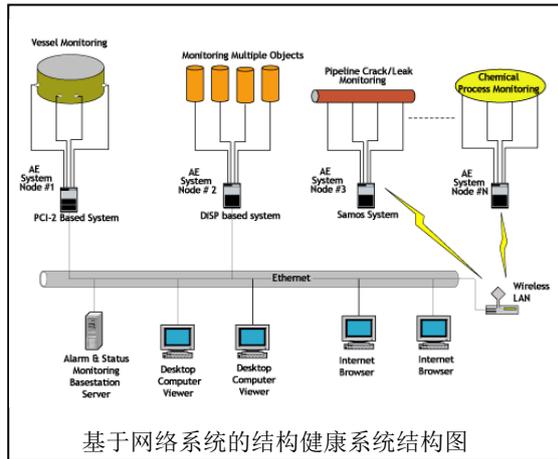
声发射 SHM 是声发射技术工程应用的一个重要发展方向。SHM 是近年来发展起来的一门重要技术。其主要原理是通过长期安装于结构上应力/应变、振动、位移/挠度以及光栅光纤等各种监测、测量手段。对结构整体进行连续长期监测以确保被监测构件整体结构的健康安全运行。SHM 技术近年来在大型桥梁等各种大型结构的结构安全方面应用越来越广泛。声发射结构健康监测技术将传统的 SHM 技术提升到一个更新的层次。主要因为：

● 如众所周知，前面提到的传统的 SHM 中的各种监测手段基本上都是静态、局部或区域破坏型缺陷非敏感性技术，只有声发射技术才是真正的动态、全面更能有效反映缺陷发展及破坏的最有效手段。

● 以 PAC 公司 Sensor Highway 系列为代表的声发射 SHM 技术是以声发射为核心，集成于上面提到的各种传统 SHM 手段于一身的综合 SHM 技术。

所以，这种全新的声发射 SHM 技术即体现声发射技术的一个未来发展方向，也预示着结构健康监测的发展方向。

如前面 2.4 所述，声发射结构健康监测技术的主要特征包括：全天候长期可靠工作的硬件设备；集成各种监测/测试手段；基于 Intranet、Internet 的远程通讯能力。这里硬件系统的关键技术是全天候、低功耗、高可靠性、免维护以及包括具有防水、防尘而且长周期工作的能力等。为了达到这些要求，PAC 公司联合美国国家标准化研究所 (NIST) 正在进行一项总额超过 600 万美元的研究项目。主要研究一种特殊的自供电无线传感器 (The Self-Powered Wireless Sensor Network)。即靠结构自身的机械、结构振动或风给传感器长周期连续供电，或称为自供电系统。该项目的研究成功会从根本上解决声发射结构健康监测技术现场应用传感器 (及智能前放) 的供电问题，从而突破声发射结构健康监测工程应用瓶颈。



4.2. 分布式、互联网式的声发射节点及结合大数据技术的应用展望

分布式、互联网式 SMH 理念是为适应工业 4.0 时代分布互联；互联互通的未来需要，结合最新的互联网技术，采用高度集成的微电子技术将传统多通道的声发射结构健康监测系统做成微型化，类似于手掌大小。成为声发射节点模块，每个节点模块具有如下功能和特点。

- 集成 2-4 数字声发射通道。
- 集成温度、应变等外参数通道。
- 电池供电包括太阳能电池供电。
- 每个节点都是一个独立完整的的声发射信号采集、分析及处理单元。
- 每个节点都具有 WiFi、4G 通讯模块等以及 GPS 或北斗卫星定位及通讯功能，可以分时或实时将声发射结果传输到后端计算机或远距离的数据中心、服务器。

- 低功耗；防水（防爆）；高稳定、高可靠性以适应长期稳定工作的需要。
- 硬件的智能化（嵌入式计算机）。
- 软件的智能化，自动采集、分析及智能判据、报警。

这种分布式、物联网功能的声发射系统（节点）可以实时监测石化、电力、桥梁、高铁等交通运输工具等关键设备或关键部件进行损伤（故障）监测，及时发现早期的缺陷，对于出现裂纹、损伤等故障部件或装置实时过程跟踪及破坏前的早期预警。

最重要的是，这种数据中心的服务器将声发射所监测的现场数据结合现场其他状态数据采用大数据和云计算、神经网络，以及人工智能等现代技术对所监测的对象进行长期、远程、智能监测。

未来的这种智能声发射节点可以根据需要安装于任何高压装置、受力部件，工业压力容器、管道、阀门、起重运输设备；桥梁、隧道、飞行器、高铁等各个领域，构成这对结构安全，结构健康的互联网监测系统。实现未来设备安全监测的互联互通；大数据；人工智能 AI 的监测网络，以保证未来工业装置的长周期安全运行，是未来工业 4.0 时代，中国工业 2025 时代所必然趋势，更是声发射的未来发展的必然趋势。

参考文献

[1] 《On-Line Testing of Pressure Vessels and Storage Tanks Using Acoustic Emission》

Phillip T Cole Anthony R Koriko- Physical Acoustics Limited
Cambridge UK

[2] Acoustic Emission Inspection of Spherical Metallic Pressure Vessels

A. A. Anastasopoulos¹, D. A. Kourousis¹, P.T. Cole²

[3] 《声发射应用的国际最新进展及发展方向》许凤旌，第十二届全国声发射学术研讨会