

大型储罐声发射安全监测技术研究

张延兵 顾建平

(江苏省特种设备安全监督检验研究院南通分院 江苏南通 226011)

摘要: 声发射作为一种前沿动态无损检测手段,它在腐蚀监测和活性缺陷的检测方面具有其他无损检测方法不具备的优势,但实际的工程应用需要相当的信号分析与处理技术和相关知识储备。本文将就储罐底板失效监测方法与后期数据处理进行详细的分析研究。

关键词: 储罐 声发射 监测

化工储罐由于其长期储存化学介质,在长期的使用过程中必然会遭受腐蚀,所以对罐体腐蚀和泄漏等使用状况的安全评价,在罐体的长期管理中非常重要。目前,常压储罐通常根据固定的周期进行停产开罐检验,但此种检验方法需要花费大量的人力、物力和财力,对于大型库区的清罐,甚至还会带来很大的安全和环保问题,稍有不慎就会带来非常严重的后果。鉴于此原因,储罐的声发射在线检验技术在大型化工储罐检验方面应用越来越广泛。储罐的声发射检测主要有两方面:一是在储罐液位的上升情况下,检测储罐底板或壁板的焊接缺陷的活性情况,还有就是在充装液位超过 80%时,检测底板的泄漏与腐蚀情况。

1、声发射信号数据采集

1.1 护卫传感器的应用

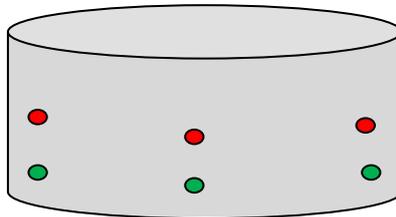


图 1: 传感器布置图

(绿色圆点为检测传感器,红色圆点为护卫传感器)

在对固定顶储罐的检验中,由于存储介质的挥发特性,使得罐体内部上端存在大量的气相区,气相区在一定的温度和浓度条件下,将附着在罐顶部不断凝结。凝结点不断增大,在重力的作用下重新滴落到液相介质中,这个过程会周而复始的持续发生,且其产生的信号能量较高,对现场检测影响较大,需要排除这些与

底板状况无关的噪声信号；另一方面，储罐顶部高度较高，易受飞鸟、强风等环境的影响，也会产生强烈声发射的信号，一旦这些噪声信号被监测底板状况的传感器接收到，将造成在储罐底板上的误定位，严重影响底板检验结果的评定。由于上述原因，所以在储罐底板的检测中，应采用护卫传感器布置于底板监测传感器的上方，将护卫传感器先与底板传感器接收到的信号滤除，努力消除其对于底板有用声发射信号的干扰。



图 2: 加护卫传感器后的通道撞击图

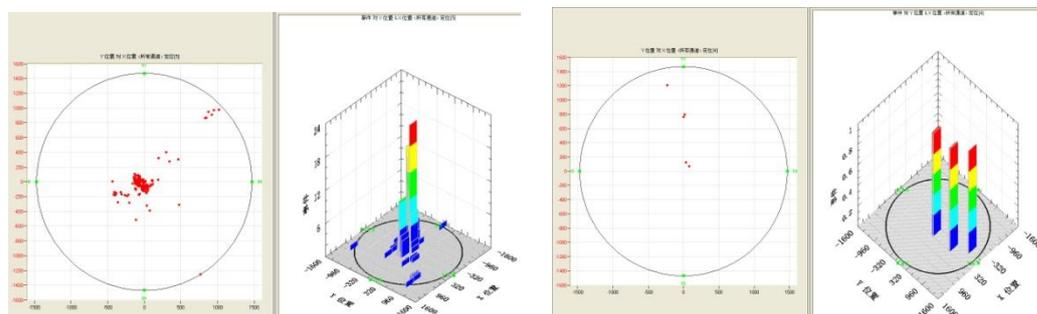


图 3: 未加护卫传感器时的底板检测图

图 4: 加护卫传感器后的底板检测图

从图 2 中可以看出，在储罐底板的检测过程中，位于上层的护卫传感器接（传感器 17-20）收到的信号撞击数远远高于下层检测传感器（传感器 13-16），这说明从储罐顶部传下来的声发射信号远高于储罐底板的声发射信号，底板声发射检测过程中的顶部干扰信号非常强，在装设护卫传感器后，底板的声发射定位事件明显减少（图 3、图 4），可见在底板检测中，装设护卫传感器是非常有必要的。

1.2 机械噪音干扰的排除

一般来说，与罐体直接连接的机械结构都有可能在检测过程中造成影响，如盘管、氮气保护装置、管道阀门、泵、浮盘、机械液位计、保温层、标牌等。如

管道阀门长期使用条件下，无法判断是否发生内漏，会对检测信号造成干扰；尤其是泵的使用对声发射检测信号的影响是非常巨大的，所以在储罐底板的检测中，储罐内的液体需要尽大努力的保持“安静”，通常在罐体泵及阀门有效关闭 2 小时后，才可以消除罐内介质的扰动影响。

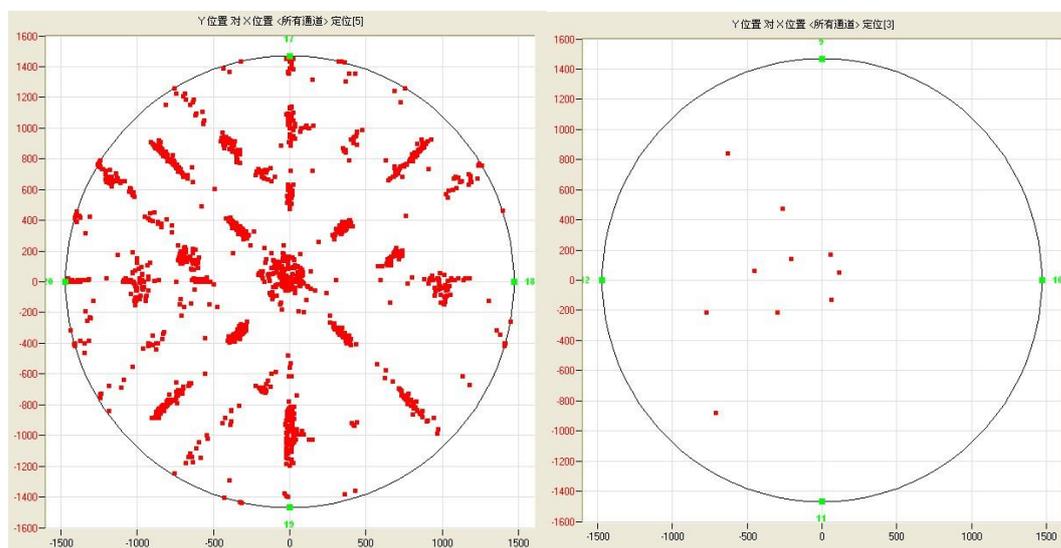


图 5：泵开启与关闭后储罐底板声发射定位
(罐体直径 5m，罐体容积较小，泵开启后对介质的扰动较大)

1.3 电磁噪音干扰的排除

声发射检测过程中遇到的电磁干扰一部分来自于设备自身，由于声发射设备的主机、信号线、前置放大器中的电磁环境，在工作状态下，会产生一些自激电磁信号，不同厂家的设备自激程度不同，这取决于设备元器件的性能质量，与设备整体可靠性、稳定性相关。设备应用过程需要连接交流电源，一般来讲，交流电源的三相接口是有接地功能，这样可以避免对地电磁干扰，但往往有些罐区的电源线的接地状况不好，导致采集过程出现电磁干扰较为严重，可采用另接一段接地线屏蔽对地电磁干扰。储罐存储容量和管理方法的不同，使得一部分储罐罐体装有电磁液位计，电磁液位计具有一定的电磁环境，在布置传感器的贴防位置时，需要避开电磁液位计，否则，将产生大量的电磁干扰信号，丢失通道。

2、声发射信号数据分析

日前，一家化工原料生产单位日常生产过程中，发现储罐底部有积水渗出（图

6)，怀疑储罐有泄漏发生，但企业现阶段无法做到停产复查，所以委托我院对其所属的这只储罐进行底板腐蚀及泄漏情况检验。储罐容积 2000m^3 ，储存介质甲醇，材质 20 钢，罐体编号 V1001B，建于 2008 年。从外观检查中可以看出，A 处积水成透明状态，B 处积水成褐红色，说明储罐底板有明显的腐蚀现象，但两处积水都不能确定是否是底板泄漏造成，需要使用声发射技术进行在线检测。



图 6：储罐底部两处积水

2.1 声发射定位分析

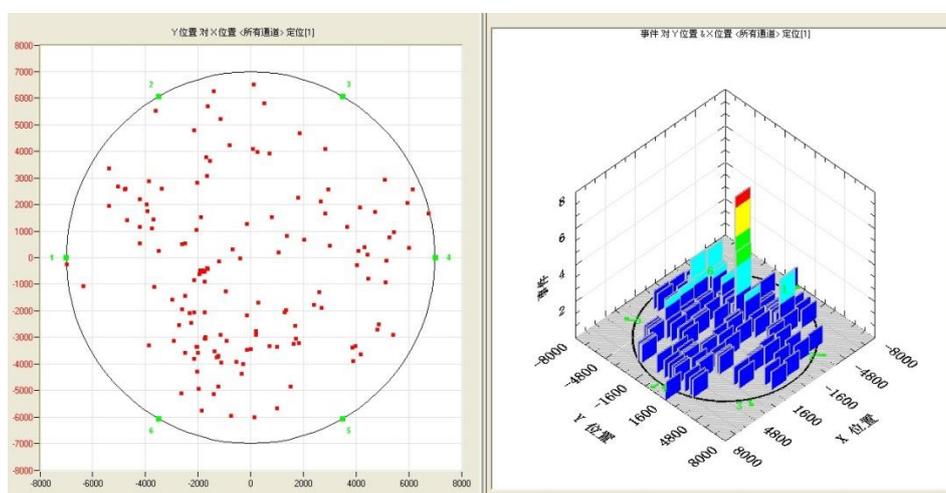


图 7：储罐底板声发射检测定位图

由于底板腐蚀过程为连续性过程，根据声发射定位的原理，目前还无法实现准确的时差定位，所以在实际的检测过程中，采用更多的定位方法仍然是区域定位的方法。如图 2 所示的底板二维定位图由于没有声发射事件的数量信息，显然无法判断底板的声发射定位信息，只能确定底板存在有大量的声发射事件。从图 3 所示的三维定位图中可以明显看出，在 B 处积水处有大量的声发射定位事件，

且该处的定位事件数量远远超过其他部位，说明此处底板有泄漏或腐蚀情况发生；在 A 处积水点附近，定位事件数较少，基本没有定位信息，说明此处储罐底板状况良好，无泄漏或腐蚀情况的发生，底板下方的积水为雨水渗出，这点从积水的颜色和成分也可以得到验证。

2.2 声发射信号能量分析

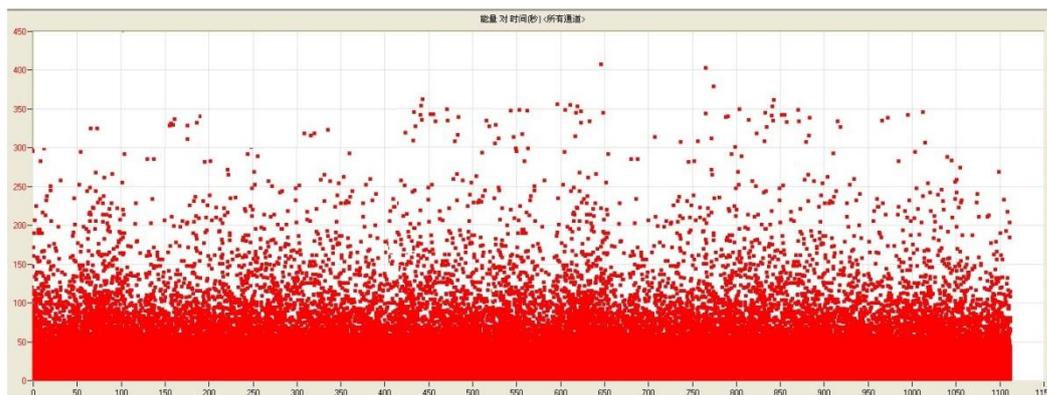


图 8：典型泄漏信号能量时间相关图

图 8 所示为一储罐的泄漏信号（经开罐证实）的能量-时间相关图，由于泄漏是一个理想的连续过程，所以随着时间的推移，每一次的声发射信号的能量累积基本上也处于连续状态，从图 8 中可以明显看出，在较低能量区域信号能量基本上布满了整个采集过程，高能量区也同样聚集了大量的声发射信号，且个信号之间的时间间隔很小，基本上没有规律可循。

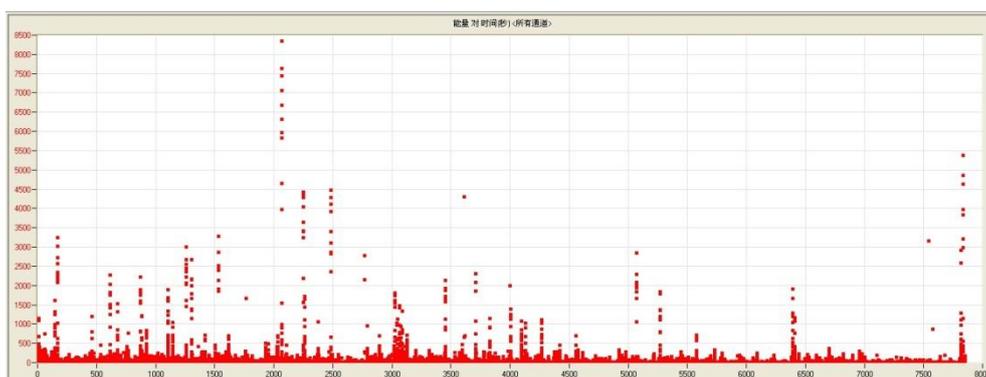


图 9：V1001B 甲醇储罐底板腐蚀信号能量时间相关图

由于金属在腐蚀过程中由于化学、电化学或物理反应释放能量，产生弹性波，随着使用年限的增长，设备在各种环境下不断发生腐蚀，形成具有一定厚度的腐蚀层，由于腐蚀层与材料本体力学性能差异，会不断与本体层间剥离和脱落，产生声发射信号。从腐蚀声发射监测的机理可以看出，腐蚀是一个连续的过程，但

腐蚀声发射信号的产生只有当出现材料的剥落，晶界的滑移变形才会出现，而这些过程均需要一段时间的积累，所以腐蚀声发射信号的特征必然是离散的，每间隔一段时间（间隔时间即腐蚀产物的产生、发展、剥落过程）才会出现一个声发射事件。从图 9 甲醇储罐底板腐蚀信号能量时间相关图中可以看出，虽然在能量较小的区域仍然布满了大量的声发射信号，但在高能量区声发射信号呈现明显的具有时间间隔的规律性，且在腐蚀产物剥落时的声发射信号能量值明显升高，这与泄漏的声发射信号特征有着显著差异。

2.3 声发射信号幅值分析

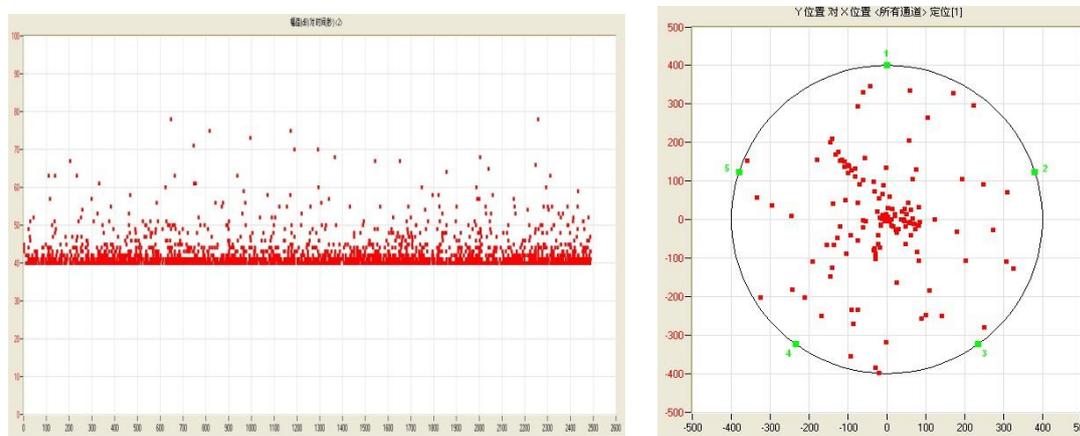


图 10：实验室模拟储罐中部泄漏信号幅值图与罐底板定位图

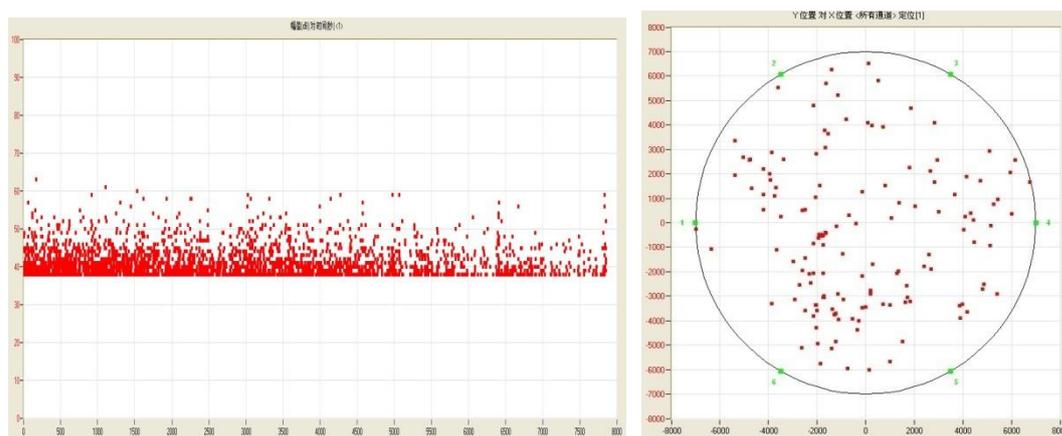


图 11：V1001B 甲醇储罐腐蚀信号的幅值图与罐底板定位图

从图 10 和图 11 中可以看出，如果储罐底板出现泄漏，一般情况下将会出现大量的高幅值信号，且高幅值信号离散性很强，其幅值比腐蚀信号要高的多，一般泄漏声发射信号的最高幅值能达到 80db，而腐蚀信号最高幅值一般都在 60db 左右，这与泄漏过程与腐蚀过程的实际剧烈程度是吻合的。另一方面，由于腐蚀

信号能量和幅值均较低，在底板声发射定位图中一般形成的定位事件数要远远少于同时间内采集的泄漏声发射过程，且腐蚀在声发射定位图中的定位精度远远低于泄漏，从图 10 和图 11 中可以明显看出，泄漏过程在定位图中基本做到了大致方位的确定，而腐蚀定位显然非常困难，腐蚀过程定位只能借助其他方法进行判定。从上面的分析，可以看出在对储罐底板的声发射信号定位信息中，是可以做到对腐蚀和泄漏信号的区分的。

2.4 声发射信号相关性分析

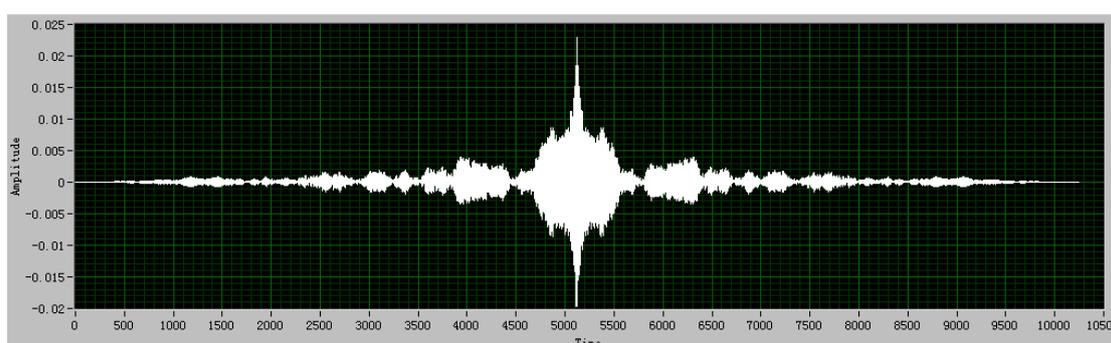


图 12: 1 通道信号的自相关关系图

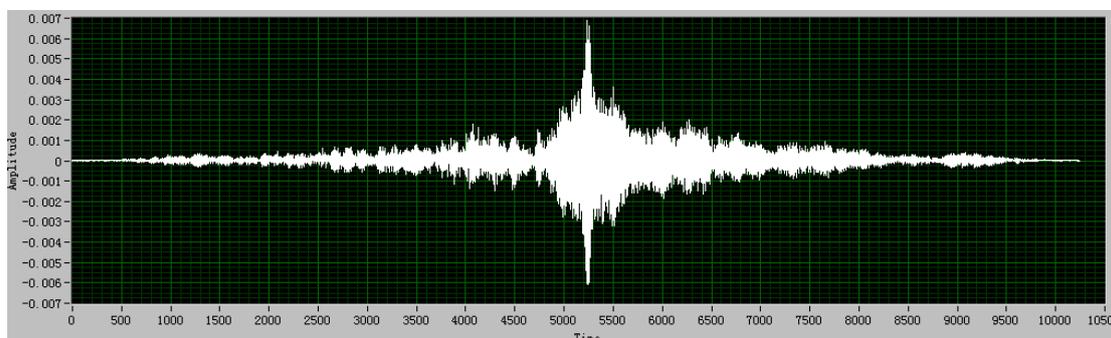


图 13: 1、2 通道信号的互相关关系图

由于声发射的检测原理限制，声发射检测必然伴随着大量的噪声，如何排除和甄别噪声对于缺陷的识别至关重要。对于单一缺陷产生的声发射信号，被不同的传感器接收到，从本质上讲这两组数据为同一缺陷产生的声发射信号，只是由于传播的衰减，并加上混入了一些其他的杂波，导致其波形有所不同，但他们仍然有相当高的相关性。此时对信号的相关分析，对于有用声发射信号的提取就显得非常实用。下面分别针对两个通道，选取同一时段的腐蚀声发射事件（V1001B 甲醇储罐检测数据）波形进行分析。首先分析不同通道接收到的信号是否为同一事件，将两个通道采集到的声发射波形进行互相关分析，得到 1、2 通道信号的

互相关关系图（如图 13）。依据互相关函数特点：如果两个随机信号是两个完全无关的信号，相关关系图中将出现左右两个最大的峰值,这显然与图 13 中的互相关图不符，且 1、2 通道信号的互相关关系图中峰值耦合非常理想，时间差完全符合声波传播机理，在时间 5250ms 处相关程度达到最大值，由此可见 1、2 通道采集到的声发射信号为同一信号。同时将 1 通道采集到的声发射波形进行自相关分析，得到 1 通道自相关关系图（如图 12 所示），从图上可以看出，信号在 5125ms 处自相关程度最高，且相关函数横轴对称布置，均匀衰减，此为明显的窄带随机信号的自相关函数图。此种分析方法为准确区分噪声信号和缺陷信号提供了一种科学的途径。

2.5 声发射信号谱分析

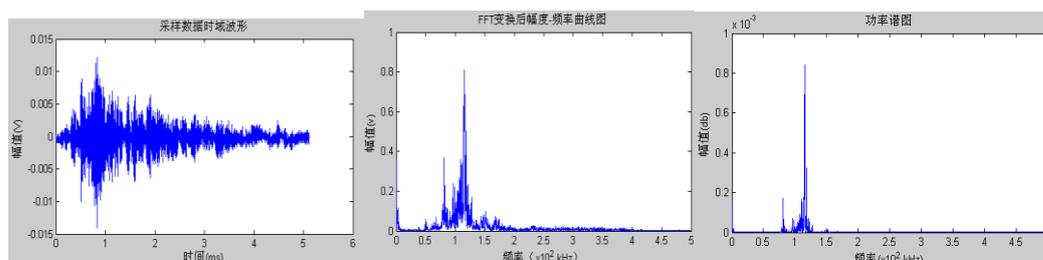


图 14: 1 通道金属腐蚀信号波形、FFT、功率谱图

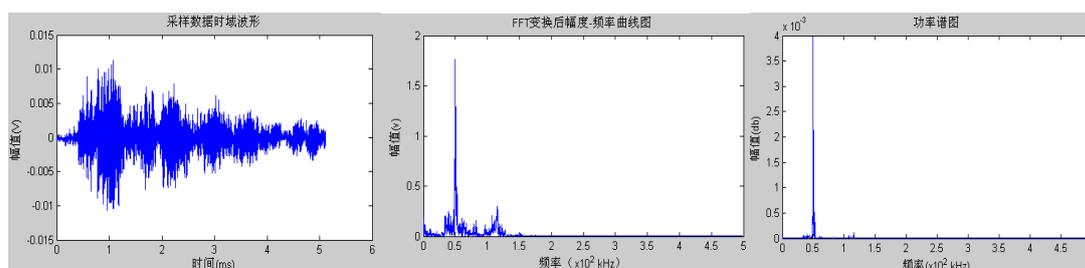


图 15: 2 通道金属腐蚀信号波形、FFT、功率谱图

声发射信号在介质中是以波的形式进行传播的，在数据分析过程中为了滤除噪声信号，了解噪声信号的频谱特性就显得非常重要，而谱分析是信号处理中最为常用的手段。下面仍然使用相关分析的两组数据进行谱分析。图14和图15分别为1、2通道同一次声发射信号被不同频率传感器接收后形成的波形、FFT、频谱图，从两幅图上可以看出，两个传感器采集到得信号具有的峰值频率成分主要包括50KHz、80 KHz、120KHz、150KHz。其中低频传感器（2通道）采集的信号频谱峰值非常明显（主要集中于50Hz频率附近）。且从两者的功率谱上可

可以看出，2通道低频谐振传感器响应的信号能量以中心频率50KHz 为主，且能量集中非常理想，这对于腐蚀过程声发射采集频率阈值的选择提供了科学依据。

3、结论

储罐的声发射在线检测与评价技术的研究成果，可以为大型石化储罐的安全稳定运行、减少和避免环境污染、超役设备的延寿和最佳检修决策，提供先进的安全保障技术，因此在石油、天然气和石化等企业，以及石油战略储备库有广泛应用前景。但由于声发射信号常常伴随着大量的噪声，如何利用信号特征参数处理，波形分析，相关性分析等数据处理手段，对储罐的声发射信号进行综合分析，探索储罐长期监测及其安全评价方法就显得非常有意义。随着人们对声源和声信号传播理论研究的更深层次的认识，声发射检测技术将面临着一个全新的更高层次的发展前景。