声呐流量计在氧化铝厂中的应用

声呐流量及含气量测量系统对氧化铝冶炼厂的检测应用——本文主要叙述了声呐流量及含气量测量系统在氧化铝厂中，对结垢严重的液体流量的测量的适用性。

文 / 韩方晓

声呐流量计对氧化铝冶炼厂的检测应用——本文主要叙述了声呐流量及含气量测量系统在氧化铝厂中，对结垢严重的液体流量的测量的适用性。

声呐流量及含气量测量系统是一种全新的工业流量计，采用的是声呐处理领域的阵列处理技术，该技术起初在国外用于石油行业，用来解决钻井、近海石油和采气过程中固液气三相混合流体的流量检测。由于氧化铝冶炼厂也是固液气三相混合，声呐流量及含气量测量系统被逐渐应用于对氧化铝冶炼厂的检测。

本论文论述的就是声呐流量及含气量测量系统在氧化铝冶炼厂中一洗溢流处的流量检测应用。

流量计在氧化铝易结垢管线检测应用上的比较

目前，对于氧化铝矿浆的流量检测，电磁流量计是主流的检测方式。以下是对两种流量计在检测中的优缺点进行比较，见表 1。

原理

声呐流量及含气量测量系统的传感器由柔性压电 PVDF 薄膜制成，其沿流体流动的方向等距离包裹在管道周围，组成线性应变测量阵列。当流体流动时会产生旋涡，旋涡通过安装在管道外壁的传感器阵列时，能够测出每一个旋涡的声学特征。由于传感器阵列的间距是固定的，因此通过测量相同特征的同一旋涡分子流过传感器的时间间隔，可以计算出旋涡的流速，进而得到流量。

如图 1 所示，声呐流量及含气量测量系统的探头是 8 个被动压电转换传感器，通过 CIDRA 专利的声呐阵列处理算法，得到涡流的平均轴向速度。测量步骤如下所示：

- 测量介质的湍流对管道的内壁产生了微小的压力变化。
- 这种微小的压力变化使得管道发生了微小的机械形变。
- 包裹在管道外壁的探头（无需耦合剂）将形变量转化为电信号。
- 通过声呐阵列处理技术，将该电信号转化为特有频率和相位的特殊信号。

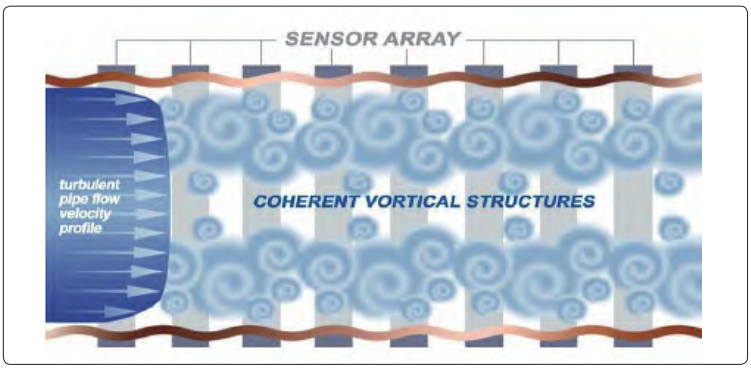


图 1 声呐流量及含气量测量系统原理图

本文作者供职于龙口东海氧化铝有限公司。

表 1 声呐流量及含气量测量系和电磁流量计应用比较

	声呐流量及含气量测量系统	电磁流量计
安装	安装简易，安装成本低，只需 2 人 1~2 h，无需工具完成安装，没有法兰、垫片等安装材料，可以在生产时进行安装	安装成本较高，需要多人完成切割管道及法兰、垫片的安装，在进行大管道安装时，还需借助吊车安装。生产时无法进行流量计的安装
探头配置	管道外部安装，探头不受料浆性质、管道类型的影响	电磁流量计与矿浆的直接接触，影响测量的准确性和稳定性
维护	基本无需维护，探头使用寿命超长	电极受到矿浆的冲刷，需要进行阶段性的电极更换和校验
气泡影响	可以检测出矿浆中的气泡含量，修正得出准确的矿浆流量。同时根据气泡含量，可以用来修正密度计。	无法检测出矿浆中气泡的含量，导致测量的流量要比实际流量大
结垢影响	非接触式测量方式使声呐流量及含气量测量系统的测量不受结垢影响，是在结垢严重的管道上进行流速测量的可靠方法	结垢导致电磁流量计电极导电性减弱甚至失去导电性，测量失真
磨损影响	非接触式测量方式使声呐不受磨损影响，测量准确性和稳定性可长期保持稳定	由于电极接触物料，磨损会导致电极损坏，测量失真
准确性	时间和距离是全部的测量参数，速度的测量原理是第一位的经典物理原理	电磁流量计测量的料液和电极接触产生的绝对电压随着时间、温度、物料性质变化以及电极等变化带来测量的漂移和不稳地性

● 该信号被探头上 8 个在轴向上相隔距离相同的探头监测到。

● 通过分析对应的特有频率和相位，得到对应的介质流速。

声呐流量及含气量测量系统分析的信号是频率和波长的卷积。而通过分析波数（和波长成倒数的关系），可以确定其频谱中包含的能量。

$$f = \frac{U}{\lambda}$$

其中：f 是信号的频率，U 是通过探头组时的流速，λ 是波长。

而对整个范围内的波数进行分析时，这种能量分布图可以称之为 k-ω 模型（$k=2\pi/\lambda$ and $\omega=2\pi f$）。其中，X 轴定义为波数（$1/\lambda$），Y 轴定义为频率（f）。通过对之前公式转换可得到：

$$U = \frac{f}{(1/\lambda)}$$

如图 2 所示，该图为仪表测量的原始图像，能量集中的区域构成了线性关系，而其斜率即为流速。如果线性关系好，则流量计的测量质量系数越高。在仪表显示时，V0 代表测量质量系数，范围为 0~1，该值越接近 1 则表明测量效果越好。

应用介绍

根据氧化铝厂因管道结垢严重造成电磁流量计测量不准确而无法使用的情况，特别是一洗溢流流量计，导致车间在精细化操作控制方面陷入被动，为解决现场沉降车间一洗溢流泵出口电磁流量计无法使用的问题，为一洗溢流提供精确的流量，为生产精细化操作提供准确的流量依据，试用了一台的声呐流量及含气量测量系统，本文研究了声呐流量及含气量测量系统的测量稳定性和准确度，数据及结论如下。

测量稳定性分析

如图 3 所示，2021 年 4 月 3 日在泵电流基本稳定的情况下，流量测量显示也是稳定的曲线，和实际工况吻合。

流量测量和泵跟随性分析

流量测量显示随一洗溢流泵的电流变化而同步跟随性变化，同样也是反映流量计测量稳定性的指标。下面是 DCS 端一洗溢流泵电流变化和声呐流量及含气量测量系统流量测量显示变化的曲线，如图 4 所示。

如图 5 所示，4 个数据图沉降一洗溢流泵电流基本稳定的情况下，声呐流量及含气量测量系统流量测量也是稳定的；同时随着溢流泵电流发生变化，声呐流量

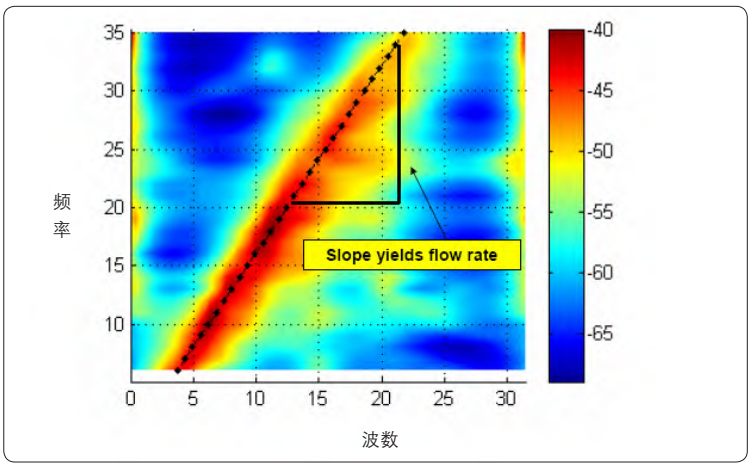


图 2 仪表测量的原始图像

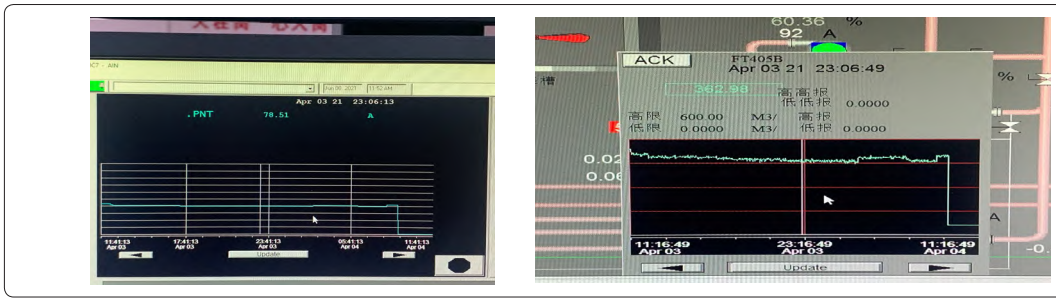


图 3 2021 年 4 月 3 日一洗溢流泵电流基本稳定时流量测量情况

图 4 2021 年 5 月 12 日一洗溢流泵电流变化和流量变化跟随性

及含气量测量系统流量测量显示也随之同步变化，变化趋势及跟随性一致，与生产实际工况是吻合的。

声呐流量及含气量测量系统流量测量数据连续稳定，且免维护，无质量问题。

测量准确性研究

1. 准确性验证方案

声呐流量及含气量测量系统安装调试完成后车间对流量测量数据进行了跟踪。按照短时间内让一洗槽停止进料，底流泵停止出料，保留溢流泵正常运行，通过一洗槽液位降低的 DROPDOWN 方式核算流量测量的准确性，为了尽可能确保核算的准确性，分别用 10 min 和 20 min 液位变化来核算，取平均值比较。声呐流量及含气量测量系统相关数据记录见表 2。

2. 流量测量准确性小结

从表 2 看出，通过液位降低的方式核算流量测量的准确性，声呐流量及含气量测量系统测量显示流量均满足试用要求（误差在 ±20 m^3/h 内）。流量测量准确连续稳定，克服了一洗溢流位置电磁流量计无法使用的问题，生产利用此流量指标对工艺操作进行动态调控，为生产精细化操作提供准确的流量依据。测试结论如下：

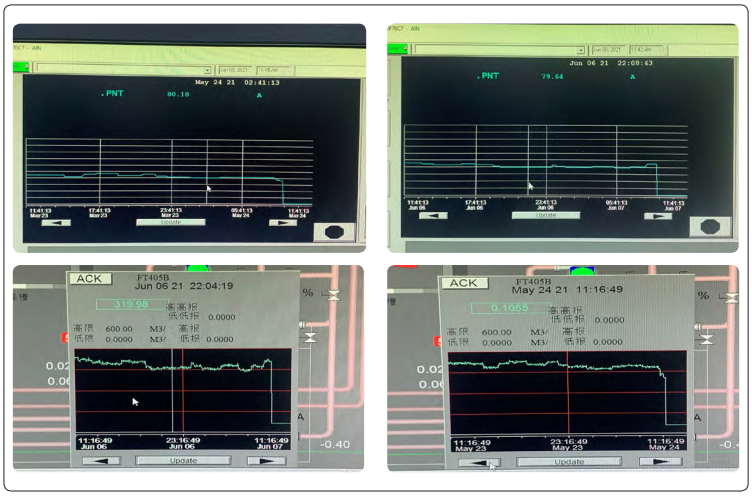


图 5 2021 年 6 月 06 日一洗溢流泵电流变化和流量变化跟随性

- 声呐流量及含气量测量系统安装投用后能提供一洗溢流流量的准确测量。
- 满足免维护且使用寿命长，测量稳定性好。
- 声呐流量及含气量测量系统流量测量数据准确，且与生产工况变化吻合。
- 满足可以作为生产指标调整参考要求，为生产精细化操作提供了准确的流量依据。
- 声呐流量及含气量测量系统测量不受流体内气泡的干扰，能够很好地适应含气泡类流体的测量。

安装位置

氧化铝厂生产的工艺流程如

表 2 数据记录表

日期	泵转速	泵电流	声呐流量及含气量测量系统显示值（m^3/h）	液位显示 /m	10min 内液位降低 /m	20min 内液位降低 /m	10min 液位变化折算（m^3/h）	20min 液位变化折算（m^3/h）	估算与声呐流量及含气量测量系统显示差值（m^3/h）
4.06	58%	89A	360~365	5.5750	0.05	0.10	375	375	10~15
4.25	54%	83A	322~329	5.5339	0.042	0.0841	316.51	316.88	6~13
5.27	56%	87A	326~331	5.5045	0.0421	0.0841	317.26	316.51	10~15

图 6 所示，声纳流量计现场安装示意如图 7 所示。

与所有的体积流量计类似，也需要满足一些通用的现场条件，因此流量计安装位置最好遵从以下的选择方式：

1. 声呐流量及含气量测量系统的安装也需要选择流体比较统一和均匀的位置进行安装。

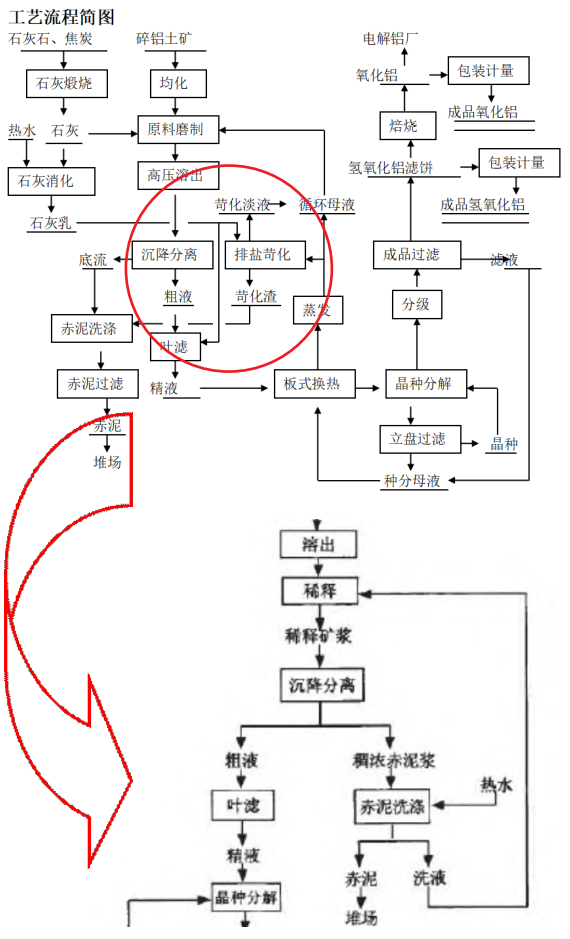
2. 至少 10 倍管径的直管段，但相比电磁流量计的安装，声呐流量及含气量测量系统较为简单，且不需要切割管道，安装工作量也较少。

3. 确保流量计安装在所有操作条件下（包括改变密度条件）均满管的位置。

4. 防止敞开排放口管道导致的不满管。

数据分析

通过声呐流量及含气量测量系统变送器能够获得完整的测量数据信息，以下是安装在一洗溢流管道的声呐流量及含气量测量



本次声纳流量计安装位置：一洗溢流

图 6 氧化铝厂生产工艺流程图

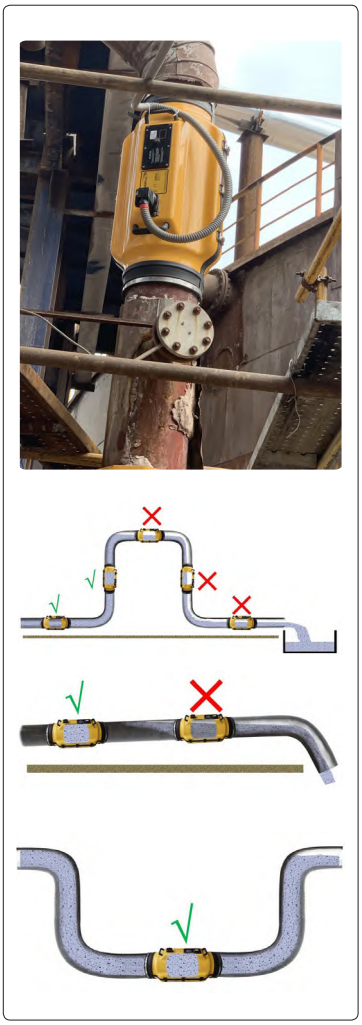


图 7 声呐流量计现场安装示意图

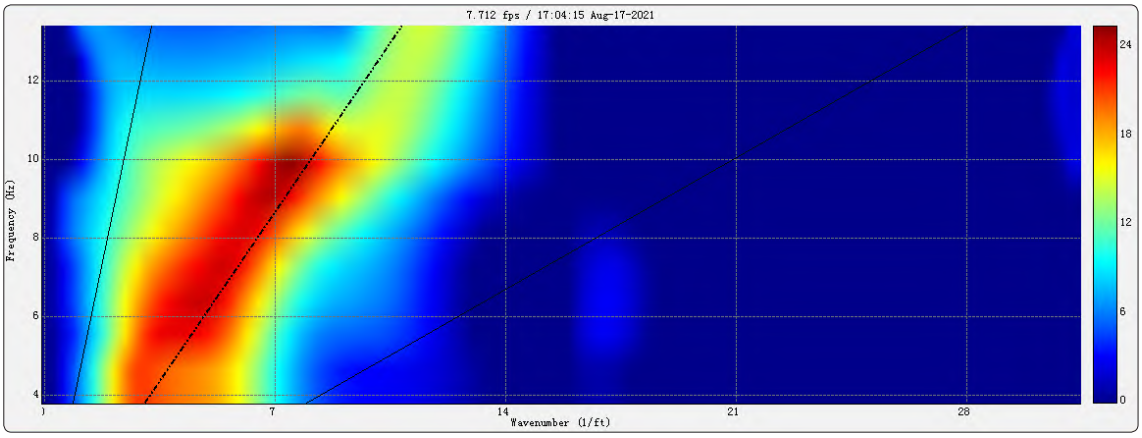


图 8 波长和频率的红外图像

系统变送器中得到的测量数据，如图 8、图 9 所示。

从波长和频率的红外图中可以看出，通过红外图像分析可以看到流速（图中虚线）测量时峰值能量的线性程度。峰值能量呈橘红色，它的线性程度越高，则流量测量质量系数越大，说明测量效果越好。

从趋势图中可以看出，用声呐流量及含气量测量氧化铝冶炼厂的一洗溢流管道的流量时，流量数据十分稳定，且与现场生产实际情况做比对来看，与生产情况一致。

通过对声呐流量及含气量测量系统的检测数据的分析可以看出，声呐流量及含气量测量系统非常适合测量氧化铝冶炼厂的一洗溢流管道上。

在氧化铝行业的应用优势和特点

声呐流量及含气量测量系统在工业中应用，与其他流量计相比，有以下几个特点：

1. 声呐流量及含气量测量系统安装简单，不用切割管道，安装时不影响生产。

2. 无可动零件，无易损件，且探头使用寿命长，维护量小，可靠性高，能保证生产的长期不间断运行。

3. 声呐流量及含气量测量系统可以检测出矿浆中气泡的百分比含量，通过修正，可以得出准确的矿浆流量以及校核矿浆的浓度。同时通过矿浆中气泡的百分比含量，可以判断管道是否正常，泵空穴气蚀等影响生产的现象。

4. 声呐流量及含气量测量系统压损小，量程范围大，精度较高，在测量工况体积流量时几乎不受流体密度、压力、温度以及管壁内结垢等影响。

5. 声呐流量及含气量测量系统价格相比较其他流量计比较昂贵，一次性投资成本较高，但后期维护成本低。

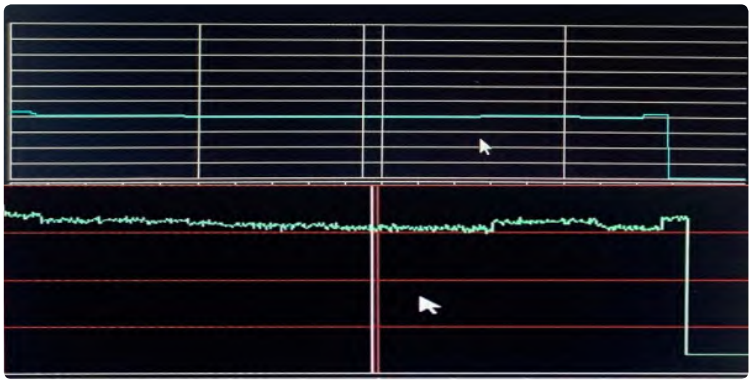


图 9 趋势对比图

结束语

声呐流量及含气量测量系统经过在实践中不断试验，验证了声呐流量及含气量测量系统在氧化铝冶炼厂流量检测中的可靠性。随着智慧化的不断推进，为了能够实现生产的无人化及智能化，仪表检测将是智慧化底层数据的关键。

氧化铝行业在整个有色金属选矿领域中，属于生产难度大，工况条件差，工艺流程复杂程度，人员操作危险性，生产安全隐患大的一类，所以一直以来氧化铝的在线监测仪表以及自动化程度都是行业中比较落后，因为氧化铝行业对所有自动化在线设备的要求都非常的高。现在随着国家对自动化、智能化的重视和提倡，氧化铝行业也亟待解决和提升自身的仪表自动化程度。所以选择一款安全、可靠、实用的设备是氧化铝行业的重中之重。