

# 关于气泡在LIMCA系统中变形的数值模拟

杨文志<sup>1</sup>, 王晓东<sup>2</sup>

1.中国科学院大学, 材料学院, 怀柔, 北京, 北京市101408;

2.中国科学院大学, 材料学院, 怀柔, 北京, 北京市101408;

**简介:** LIMCA ( Liquid Metal Cleanliness Analyzer ) 技术是一种原位测量高温液态金属中杂质颗粒的数目和尺寸的方法, 这一技术在过去30年内已经被应用于冶金工业。测量的原理为: 在一个小孔内外设置一对电极, 并且通以电流, 这样可以在孔口附近形成一个电敏感区, 当杂质经过电敏感区时, 通过测量电压脉冲信号以检测杂质的信息。因为杂质与金属液的电导率不同, 这将导致电敏感区电阻和电压的变化。这些杂质可能是非氧化物硬质颗粒如铝颗粒, 也可能是乳胶颗粒或者气泡。关于硬质颗粒, 前人从数值、物理解析和实验角度已经做了很多工作。但许多关于气泡或者乳胶颗粒杂质在LIMCA系统中的研究都是在气泡不会变形这一条件的假设下进行的, 这一假设在特定条件下并不成立, 气泡的存在会损害LIMCA的精度。

**计算方法:** 假设流动为不可压缩流动, 流动中动量和能量的传输可以通过流体的连续性方程和N-S方程来描述 (力的源项为表面张力和洛伦兹力):

$$\nabla \cdot \mathbf{u} = 0$$

$$\rho \frac{\partial \mathbf{u}}{\partial t} + \rho \mathbf{u} \cdot \nabla \mathbf{u} = \nabla \cdot \mathbf{p} + \mu \nabla^2 \mathbf{u} + \rho \mathbf{g} + \mathbf{F}_{st} + \mathbf{F}_{em}$$

为了描述气泡通过电敏感区时的变形情况, 模型使用了 COMSOL Multiphysics® 软件中的“层流两相流-水平集”和“电磁场”接口, 几何模型和一些物理条件的设定如图1。

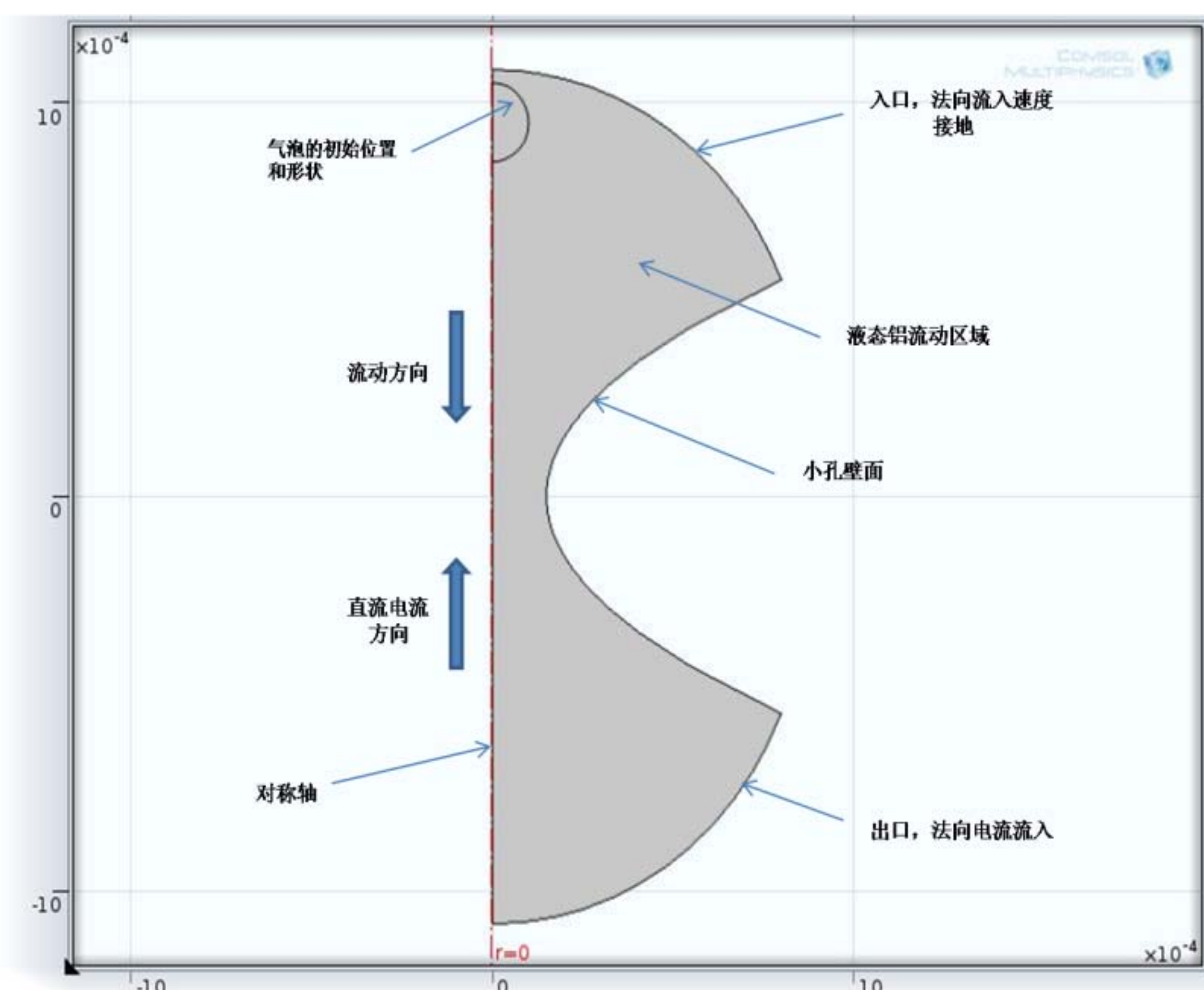


图 1.模型的几何形状与物理边界条件

**结果:** 经过计算, 我们得到了气泡的变形情况。同时计算了在其他相同条件下, 假设气泡不变形的物理模型, 并比较两种情况下的电阻脉冲信号。结果如下图:

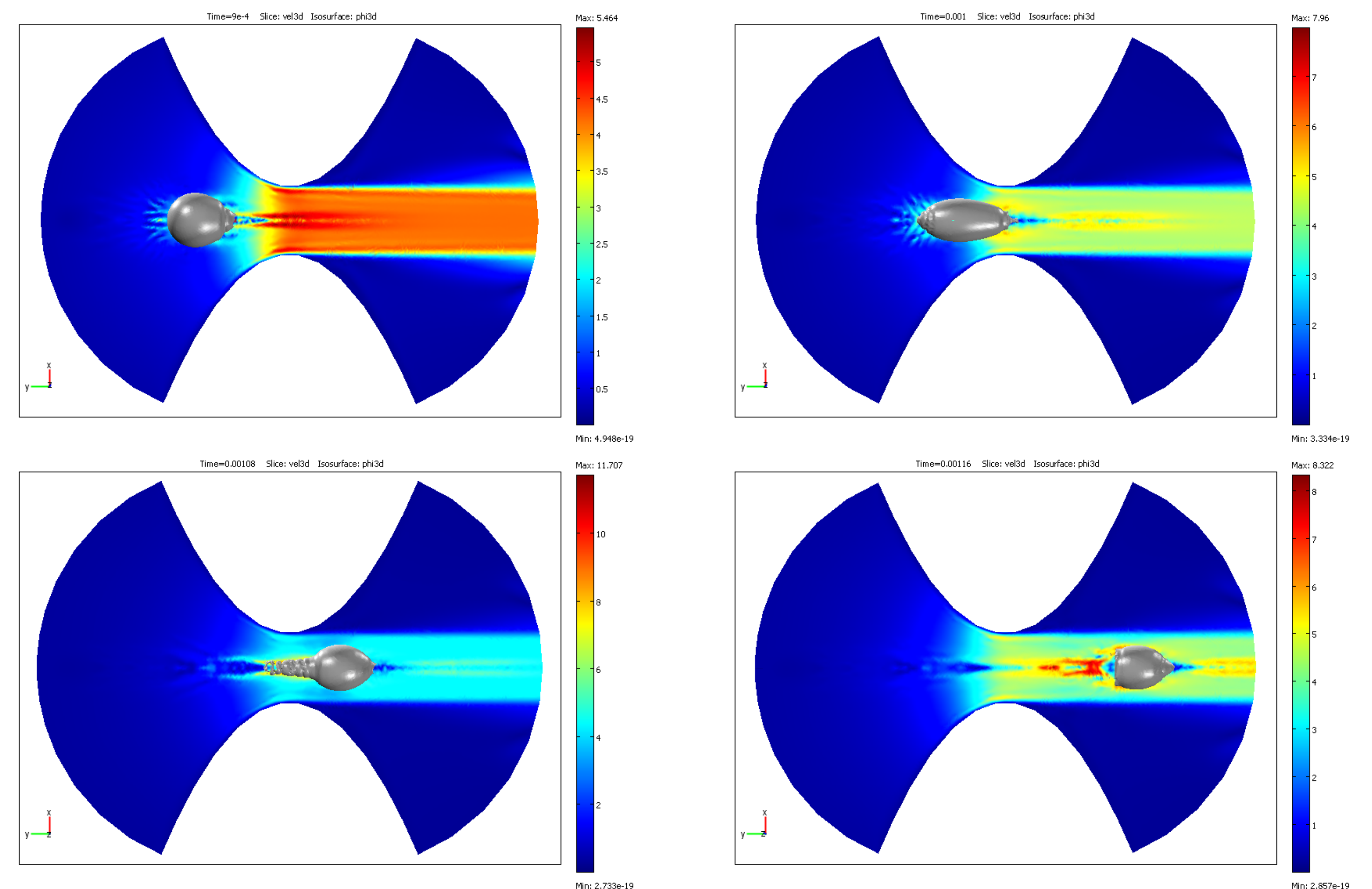


图2. 气泡在不同时刻的变形情况

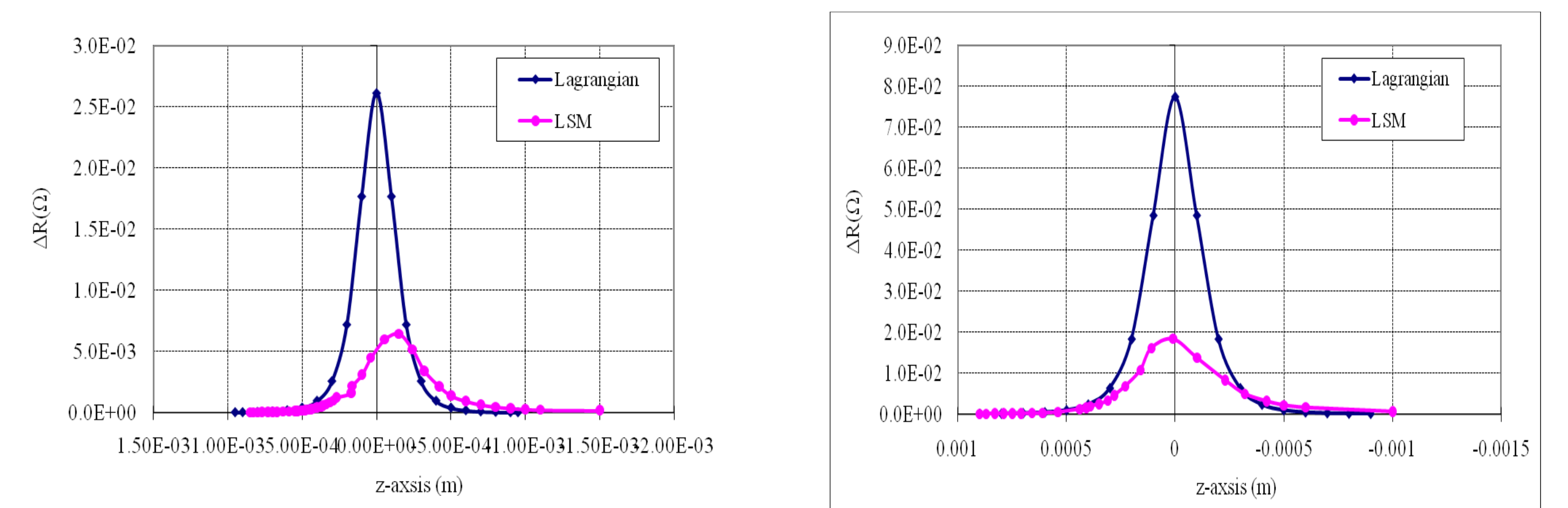


图 3. 两不同直径下气泡与硬质颗粒的电阻脉冲信号

**结论:** 本研究使用水平集方法模拟了气泡通过特定抛物线形状通道的变形情况, 数值计算结果给出了在气泡变形情况下的流场、电磁场和洛伦兹力场的分布, 并得到了球状气泡的变形情况。最后, 我们给出了气泡变形情况下与硬颗粒不同的电阻脉冲的主要特征, 该特征包括在峰值和电阻脉冲形状和气泡的瞬时运动时间。研究表明, 使用LIMCA技术可以区分气泡和硬颗粒。

## 参考文献:

1. MEI LI, CHRIS CAROZZA and RODERICK I. L. GUTHRIE. Particle discrimination in water based LIMCA system. Canadian Metallurgical Quarterly, Vol 39, No 3, pp 325-338, 2000
2. Sethian, J. A., 1999. Level Set Method and Fast Marching Methods. Cambridge University press.
3. Xiaodong Wang, Mihaiela Isac and Roderick I.L. Guthrie. Numerical studies on the in-situ measurement of inclusions in liquid steel using the E.S.Z. or LimCA technique. ISIJ. Vol. 49, No.7 (2009), pp. 975-984.