

# 差动式旋转生物反应器内流场的数值计算

霍波 赵峰 龙勉 陶祖莱

中科院力学所国家微重力实验室, 北京, 100080 (Email: [huobo@imech.ac.cn](mailto:huobo@imech.ac.cn))

**前言** 对于组织工程和生物制药而言, 如何实现细胞的大量繁殖一直以来都是一个十分关键的问题<sup>[1,2]</sup>。中科院力学所发展了差动式旋转生物反应器, 并申请了相关的专利(授权号: 99123883.4), 它可以为细胞生长提供低紊流、低剪切和充分的氧化环境<sup>[3,4]</sup>。本文的工作试图利用流体力学的数值方法, 研究如何通过调整反应器的旋转条件来控制细胞培养室内的力学环境, 以避免过高的应力损害细胞的生长, 同时保证细胞有充分的营养供应。

**计算模型** 差动式旋转生物反应器由内、外筒及所包围的细胞培养室组成, 由内筒进液, 外筒出液, 内、外筒皆可独立旋转。计算所采用的前处理软件为 gambit 2.5, 分析软件为 fluent 6.0。容器中的流体介质为水, 其动粘性系数为  $0.0008 \text{ kg}/(\text{m} \cdot \text{s})$ 。

**计算结果和讨论** 选择以下三种典型的转动条件进行计算。I) 内快外慢: 内筒转速为 11 rpm, 外筒转速为 1 rpm; II) 内慢外快: 内筒转速为 0 rpm, 外筒转速为 10 rpm; III) 等速旋转: 内、外筒转速都为 2 rpm。图 1 显示了反应器上半部沿轴向纵剖面内剪切应变率的等值线图。

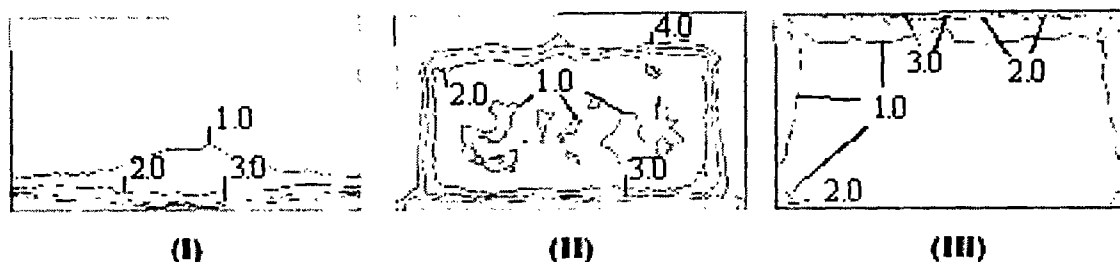


图 1 不同转动条件下纵剖面内的剪切应变率的等值线图 (单位:  $1/\text{s}$ )

计算结果表明, 当内筒转速高于外筒时, 由内到外, 速度分布很均匀, 只有靠近内筒处的速度梯度较高, 且剪切应变率最小(大部分区域内小于  $1.0 \text{ s}^{-1}$ ), 在出口处无明显回流。而当内筒转速低于外筒时, 速度梯度只在中间部位均匀, 在四周边界处都很高, 大部分区域的剪切应变率在  $2$  至  $4 \text{ s}^{-1}$  之间, 在出口处有明显回流。当内、外筒等速旋转时, 尽管中间部位及靠近内筒处的速度等值线较均匀, 但在两端部及靠近外筒时的速度梯度很高, 大部分区域的剪切应变率小于  $1 \text{ s}^{-1}$ , 但此区域比第 I 种情况下要小, 另外在出口处有明显回流。由他人的工作可知<sup>[5]</sup>, 剪切应变率水平应控制在  $1.25 \text{ s}^{-1}$  以内, 以避免对细胞造成损害。因此, 对差动式旋转生物反应器, 应尽量使内筒转速高于外筒, 从而可为细胞培养提供均匀的流场, 保证较小的剪应变率(本项目由 973 项目 G1999054307、NSFC 项目 10332060、CAS 创新项目 KJCX2-SW-L06 支持)。

## 参考文献

1. Cherry RS, Papoutsakis ET, 1988. *Biotechnology and Bioengineering*, 32: 1001-1014
2. Goodwin TJ, Prewett TL, Wolf DA, et al., 1993. *Journal of Cellular Biochemistry*, 51: 301-311
3. Pollack SR, Meaney DF, Levine EM, et al., 2000. *Tissue Engineering*, 6(5): 519-530
4. Gao H, Ayyaswamy PS, Ducheyne P, et al., 2001. *Biotechnology and Bioengineering*, 75(3): 379-385
5. Begley CM, Kleis SJ, 2000. *Biotechnology and Bioengineering*, 70(1): 32-40