

# 一篇文章入门格子玻尔兹曼方法（LBM）

邓子平 [多物理场仿真技术](#)



“大多数人并不知道Powerflow这个软件，tb上也找不到枪版。但该软件在汽车行业比较有名。其快速，准确，便捷的特点成为许多汽车公司仿真首选。Powerflow提供了流体，热，噪音分析和优化等功能。而开发公司Exa (<http://www.exa.com/>) 按软件使用时间收费，说日进斗金一点也不过，是典型的埋头闷声发财的公司”

以上是2015年笔者写的文章中对Powerflow的介绍，两年后也就是2017年Exa公司以4亿美元被达索收购，Exa的网站也再打不开，Powerflow成为达索旗下的一款产品。

原文：

[http://blog.sina.com.cn/s/blog\\_68c287690102vi85.html](http://blog.sina.com.cn/s/blog_68c287690102vi85.html)

在收购的新闻稿中，有如下描述：

"Exa加盟后，达索系统的**3DEXPERIENCE**平台将为客户提供经验证的多样化解决方案产品组合，它整合了格子玻尔兹曼(Lattice Boltzmann)流体仿真技术、Exa的全产业化解决方案以及将近350名极富经验的仿真专业人士。与传统方法相比，这套解决方案能够更快速准确地为空气动力学应用、流体声学应用、热管理应用和其他行业中日益增多的应用求解高难度流体问题"

"Exa公司总裁兼首席执行官Stephen Remondi指出：“Exa经验证的格子玻尔兹曼(Lattice Boltzmann)仿真技术、丰富的专业技能与工业专业知识是我们一直在高动态流仿真市场处于领先地位的原因。达索系统3DEXPERIENCE平台和SIMULIA产品组合的一部分将为我们所有行业的客户创造巨大价值"

Powerflow的核心求解器采用了**LBM**算法（**L**attice **B**oltzmann **M**ethod 格子玻尔兹曼方法）

从对象尺度来看，我们一般把研究对象分为**宏观**，**介观**和**微观**。常见的有限元，有限体积，有限差分等属于宏观的范畴，在宏观几何上，把对象看作是连续介质，连续介质是很多数值计算分析方法的前提条件。

**介观**是介于宏观与微观之间的一种体系。处于介观的物体在尺寸上已是宏观的，因而具有宏观体系的特点；但是由于其中电子运动的相干性，会出现一系列新的与量子力学相位相联系的干涉现象，这又与微观体系相似，故称“介观”，介观和微观把对象看做独立的细小个体而非连续介质。

在流体中的常用控制方程是 N-S方程，但在很多情况下该控制方程很难描述或者求解，比如复杂多相流系统，多空介质流体等，而从介观微观的分子动力学上建立的简化模型能解决这些问题。

**Boltzmann 方程可以简单的理解为N-S方程在微观水平的表达形式。其基本思想是划分网格，计算每一个网格节点上离子的状态（碰撞，迁移，速度，方向，分布，属性等），当然实际计算中要复杂的多。其实很多流体现象都可以用微观的分子动力学来表示，这也是格子波尔兹曼方法的理论基础。**

LBM源自晶格气体自动机（LGA）方法，可以将其视为空间，时间和粒子速度均为离散的简化虚拟分子动力学模型。例如，在二维FHP模型中，每个晶格节点通过三角形晶格上的6个晶格速度连接到其邻居。以给定的晶格速度移动的晶格节点上可以有0或1个粒子。在一个时间间隔后，每个粒子将沿其方向移动到相邻节点；此过程称为传播或流传输步骤。当一个以上的粒子从不同的方向到达同一节点时，它们会按照一组碰撞规则发生碰撞并改变其速度。

LBM可以轻松解决很多传统宏观FVM无法解决或者棘手的问题：

1. 数据预处理和网格生成效率高；
2. 方便支持并行数据分析，处理和评价；
3. 支持解决多相流的小液滴和气泡；
4. 支持解决复杂的几何形状和多孔介质；
5. 支持复杂，耦合流动与传热和化学反应；

与传统的计算流体力学方法(如有限差分，有限单元法、有限体积法等)相比，格子Boltzmann方法主要有以下优点：

- (1)算法简单，简单的线性运算加上一个松弛过程，就能模拟各种复杂的非线性宏观现象
- (2)能够处理复杂的边界条件
- (3)格子Boltzmann方法中的压力可由状态方程直接求解
- (4)编程容易，计算的前后处理也非常简单
- (5)具有很高的并行性

(6)能直接模拟有复杂几何边界的诸如多孔介质等连通域流场，无须作计算网格的转换

目前使用LBM的商用软件xflow, powerflow等

开源软件有 Palabos, OpenLB:

<http://www.palabos.org/>

<http://www.numhpc.org/openlb/>

想进一步了解格子波尔兹曼方法，知乎上有更详细的介绍。

笔者的话：

FDTD, LBM, 离散元, 计算材料学的软件研发有相似点, 都不需要基于B-REP的三维几何和复杂的网格划分, 尤其后三者图形显示上以球, 圆柱, 立方体等基本元素为主, 而且大部分类型相同, 通过实体+视图矩阵变换可以轻松处理大规模数据, 因此在软件研发前后处理上难度大大降低; 研发核心聚焦在求解器上, 同时由于GPU, openMP等各种加速算法的门槛降低, 硬件资源费用降低以及量子计算机的迅速发展, 使得仿真效率越来越高, 以后会越来越普及。对于缺乏复杂几何网格开发的国内科研机构 and 高校, 求解器算法优势将更突出, 开发相关数值仿真软件其实是一个不错机会。