



计算流体力学专用仿真软件

CFD2019 验证算例



博克斯仿真科技（深圳）有限公司
深圳市宝安区新安街道隆昌路 8 号
飞扬科技园 A 栋 9 楼

发表日期：2020 年 1 月 13 日

计算流体力学专用仿真软件

CFD2019

验证算例

2020-1-13

目录

1 前言	2
2 验证算例	3
算例一：湍流管道的压力降	3
算例二：同心圆环内的自然对流	5
算例三：90° T 型管中的层流（流量分配）	7
算例四：向台阶流动的湍流	9
算例五：冲击斜坡	11
算例六：过渡管中的湍流	13
3 版本说明	15

1 前言

本手册通过参考《ANSYS Fluid Dynamics Verification Manual》中的算例，对 CFD2019 与 FLUENT 的数值模拟结果与实验结果进行对比，验证 CFD2019 流体力学仿真软件的数值准确性、可靠性。

此手册展示了部分验证算例，在后续的版本当中，将提供更多的验证算例，并开发更便捷、更高效、功能更全的流体力学相关软件。我们的宗旨是为客户解决问题，节约时间，提高企业效益。

流体力学验证算例索引

	维度	非稳态	湍流	瞬态，湍流	无粘性	可压缩	非等温	辐射	多种物质	化学反应	多相流	相变	外力	动参考系
算例一	2D		√											
算例二	2D						√							
算例三	2D													
算例四	2D		√											
算例五	2D					√	√							
算例六	3D		√											

2 验证算例

算例一：湍流管道的压力降

概述

参考自《ANSYS Fluid Dynamics Verification Manual》VMFL003	
参考文献	F. M.White. "Fluid Mechanics" . 3rd Edition. McGraw-Hill Co.. New York, NY. 1994.
求解软件	ANSYS FLUENT , 博克斯 CFD2019
物理/模型	湍流, 标准 k- ϵ 模型(FLUENT) / SST k- Ω (CFD2019)

测试算例

空气流经水平管道与光滑的墙壁。流动雷诺数为 1.37×10^4 。

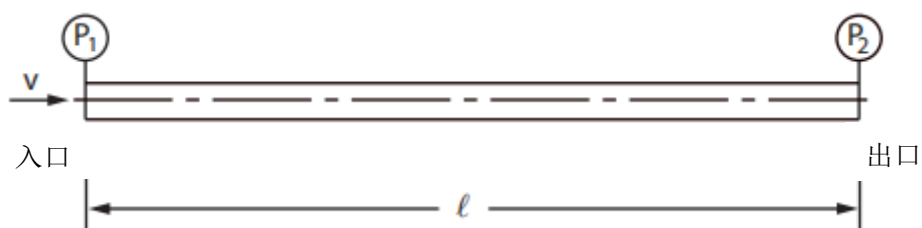


图 1.1：流体域（图形非等比例）

材料属性	几何	边界条件
密度 = 1.225 kg/m^3 动力粘度 = $1.7894 \times 10^{-5} \text{ kg/m-s}$	管道长度 = 2 m 管道半径 = 0.002 m	入口速度 = 2 m 出口压力 = 0 Pa

分析假设及模型注释

流动是稳定的，对于给定的雷诺数，根据 Moody 表可以测算摩擦因子 f ，并计算出压力降。计算出的压力降与模拟结果（进出口压差）进行比较。

结果对比

表 1.1：管道压力降对比

软件	计算目标	FLUENT	CFD2019
压力降	21789Pa	21480 Pa	21746 Pa
模拟数值/计算目标	-	0.986	0.998

算例二：同心圆环内的自然对流

概述

参考自《ANSYS Fluid Dynamics Verification Manual》VMFL009	
参考文献	Kuehn, T.H. and Goldstein, R.J., An Experimental Study of Natural Convection Heat Transfer in Concentric and Eccentric Horizontal Cylindrical Annuli, <i>Journal of Heat Transfer</i> , 100:635-640, 1978.
求解软件	ANSYS FLUENT, 博克斯 CFD2019
物理/模型	热传递, 自然对流, 层流

测试算例

同心圆环内的自然对流，内壁保持比外壁更高的温度，从而形成浮升力，产生气流运动。

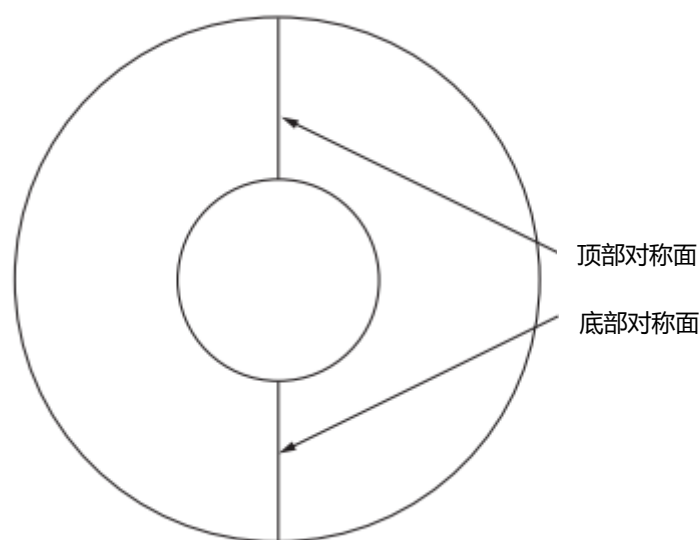


图 2.1：流体域

材料属性	几何	边界条件
密度：不可压理想气体 动力粘度 = 2.081×10^{-5} kg/m-s 比热 = 1008 J/kg-K 导热率 = 0.02967 W/m-K	外圆半径 = 46.25 mm 内圆半径 = 0.002 m	内圆壁面温度 = 373 K 外圆壁面温度 = 327 K

分析假设及模型注释

流动是对称的，密度根据不可压理想气体假设计算，流动为层流，在对称轴上的静态温度，实验结果将与数值模拟结果进行比较。

结果对比

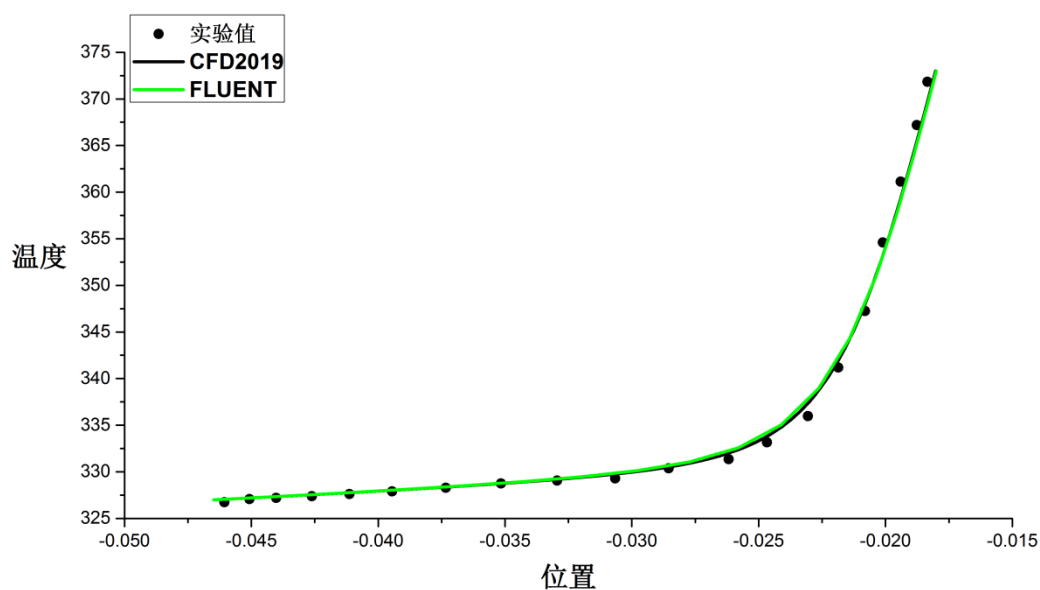


图 2.2: 底部对称面静态温度比较

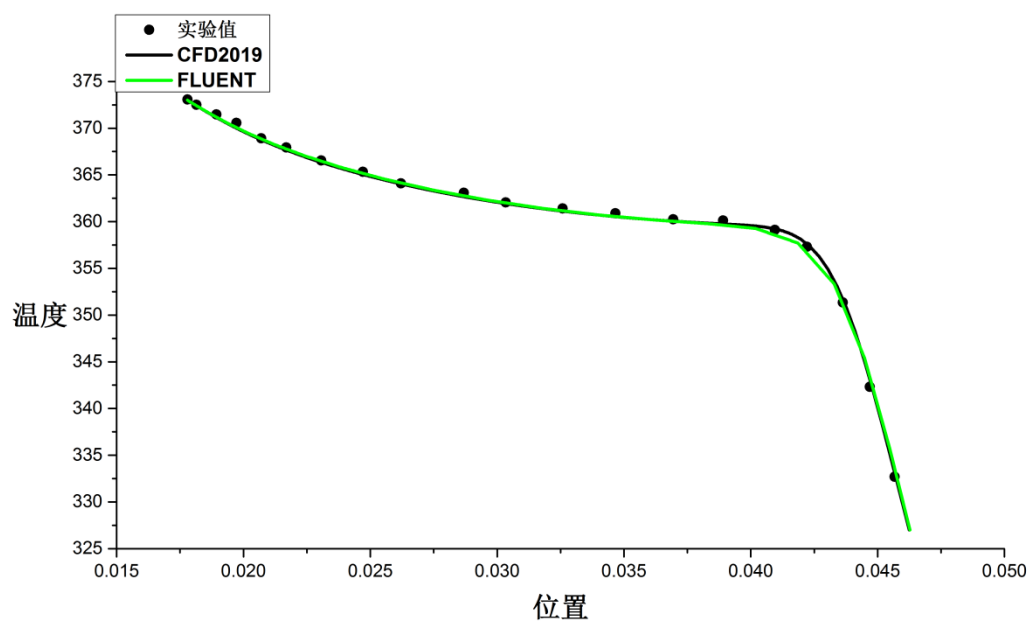


图 2.3: 顶部对称轴静态温度比较

算例三: 90° T 型管中的层流（流量分配）

概述

参考自《ANSYS Fluid Dynamics Verification Manual》VMFL0010	
参考文献	R.E. Hayes, K. Nandkumar, and H. Nasr-El-Din. "Steady Laminar Flow in a 90 Degree Planar Branch" . <i>Computers and Fluids</i> , 17(4). 537-553. 1989.
求解软件	ANSYS FLUENT , 博克斯 CFD2019
物理/模型	层流

测试算例

本试验的目的是对三通管内分流比的预测值与实验结果进行对比，流体从底部管道进入，分别从两个管道流出，两个出口平面的静压相同。

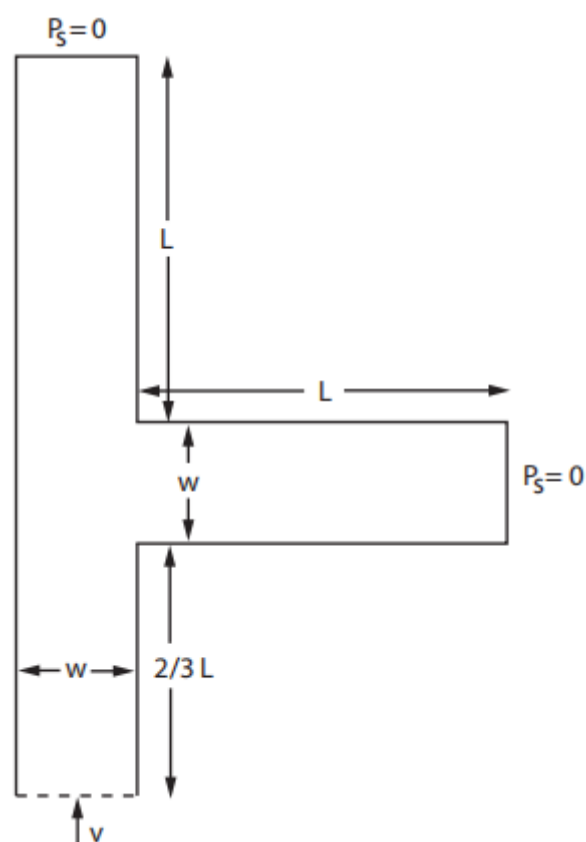


图 3.1: 流体域

材料属性	几何	边界条件
流体：空气 密度 = 1 kg/m ³ 动力粘度 = 0.003333 kg/m-s	L = 3.0 m W = 1.0 m	当 $Re = \frac{\rho V_c W}{\mu} = 300$ (V_c : 入口中轴线的速度) 时, 入口设置为充分发展速度。 $P_s = 0$

分析假设及模型注释

流动是稳定且不可压缩的，采用基于压力的求解器，可以看出，随着主通道流量的增加，流体通过二级（右）分支就越少，为了结果分析，我们计算和比较上分支的分流比。

结果对比

表 3.1: T 型管分流比的比较

软件	计算目标	FLUENT	CFD2019
分流比	0.887	0.884	0.885
模拟数值/计算目标	-	0.997	0.998

算例四：向前台阶流动的湍流

概述

参考自《ANSYS Fluid Dynamics Verification Manual》VMFL0037	
参考文献	S. Baker. "Regions of Recirculating Flow Associated with Two-Dimensional Steps" . Ph.D. thesis. Department of Civil Engineering, University of Surrey. UK. 1977.
求解软件	ANSYS FLUENT，博克斯 CFD2019
物理/模型	SST 模型，分离和再附着的湍流

测试算例

湍流通过前台阶，流体经历分离和再附着。

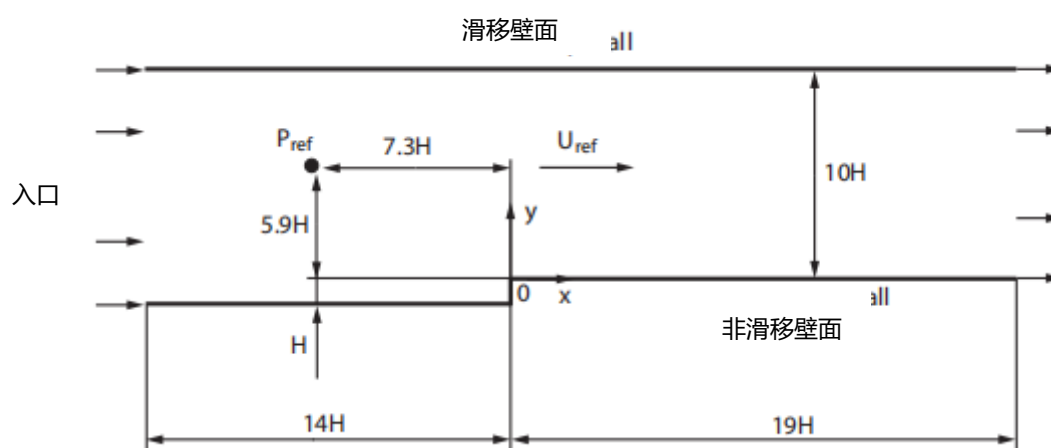


图 4.1：流体域

材料属性	几何	边界条件
密度 = 1.2 kg/m^3 动力粘度 = $1.5 \times 10^{-5} \text{ kg/m-s}$	台阶高度 = 0.0758 m	入口速度 = 9.7 m/s 外部边界（横向）为滑动壁面

分析假设及模型注释

流动是稳定的，壁面上的压力系数 C_p 是参考台阶的上游点 P_{ref} 处的压力进行计算的，如图 4.1 所示。

结果对比

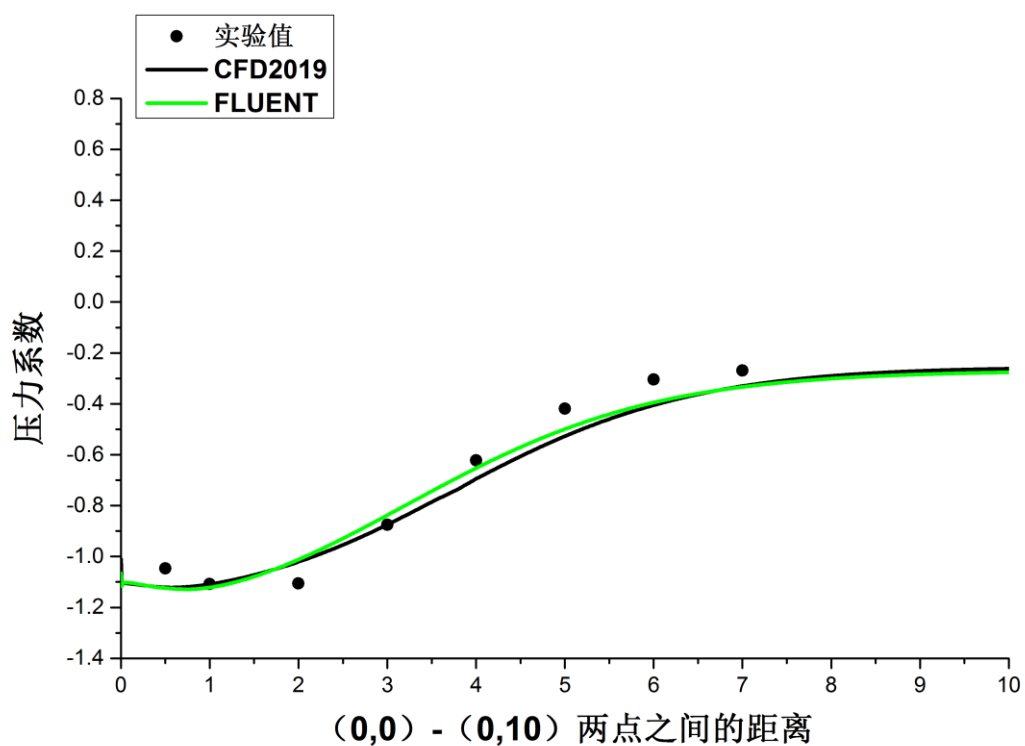


图 4.2 沿壁面压力系数的对比

算例五：冲击斜坡

概述

参考自《ANSYS Fluid Dynamics Verification Manual》VMFL0045	
参考文献	F. M. White. "Fluid Mechanics" . 3rd Edition. McGraw-Hill Book Co.. New York, NY. 560-567. 1994.
求解软件	ANSYS FLUENT , 博克斯 CFD2019
物理/模型	超音速下的可压缩流动, 斜激波

测试算例

模拟 15° 斜坡上的超音速流动。斜坡导致斜激波的形成。入口马赫数约为 2.5。流动为层流，在点 1 ($x=0.38\text{m}$, $y=0.14\text{m}$) 处取值。

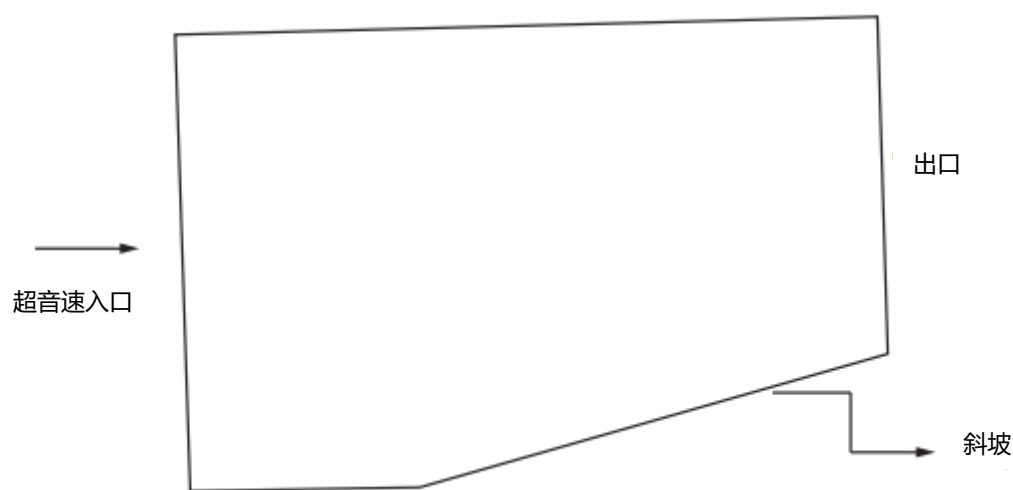


图 5.1：流体域

材料属性	几何	边界条件
密度：理想气体 动力粘度 = $1 \times 10^{-8} \text{ kg/m-s}$	斜坡角度 = 15° 流体域的宽度（纵向宽度） = 0.3048 m	入口速度 = 852.68 m/s 入口温度 = 289 K 壁面：绝热壁面

分析假设及模型注释

流动是稳定的层流，壁面为绝热壁面。

结果对比

表 5.1: 斜激波下游特性比较

	物理量	计算目标	ANSYS FLUENT	CFD2019
数值	马赫数	1.87	1.9	1.876
	温度	382 K	377.6 K	381.9 K
	密度	2.279 kg/m ³	2.233 kg/m ³	2.278 kg/m ³
模拟数值/计算目标	马赫数	-	1.02	1.00
	温度		0.99	1.00
	密度		0.98	1.00

算例六: 过渡管中的湍流

概述

参考自《ANSYS Fluid Dynamics Verification Manual》VMFL0016	
参考文献	D.O. Davis and F.B. Gessner. "Experimental Investigation of Turbulent Flow Through a Circular-to-Rectangular Transition Duct". <i>AIAA Journal</i> , 30(2). 367-375. 1992.
求解软件	ANSYS FLUENT, 博克斯 CFD2019
物理/模型	三维模型中的湍流分离, 雷诺应力模型

测试算例

通过具有相同入口和出口横截面积的圆形到矩形的过渡管道, 管道壁的曲率引起了强烈的压力驱动, 在管道的短侧壁附近形成了反向涡旋对。由于流场的对称性, 只有四分之一的管道被建模 (如图 6.1 所示), 截面位于入口下游 23m 处。



图 6.1: 流体域

材料属性	几何	边界条件
密度 = 1.2 kg/m ³ 动力粘度 = 5.13 × 10 ⁻⁶ kg/m-s	入口半径 = 1 mm 管道长度 = 35 m	入口速度 = 1 m/s

分析假设及模型注释

流动是稳定的, 使用雷诺应力模型 (RSM) 进行模拟湍流。

结果对比

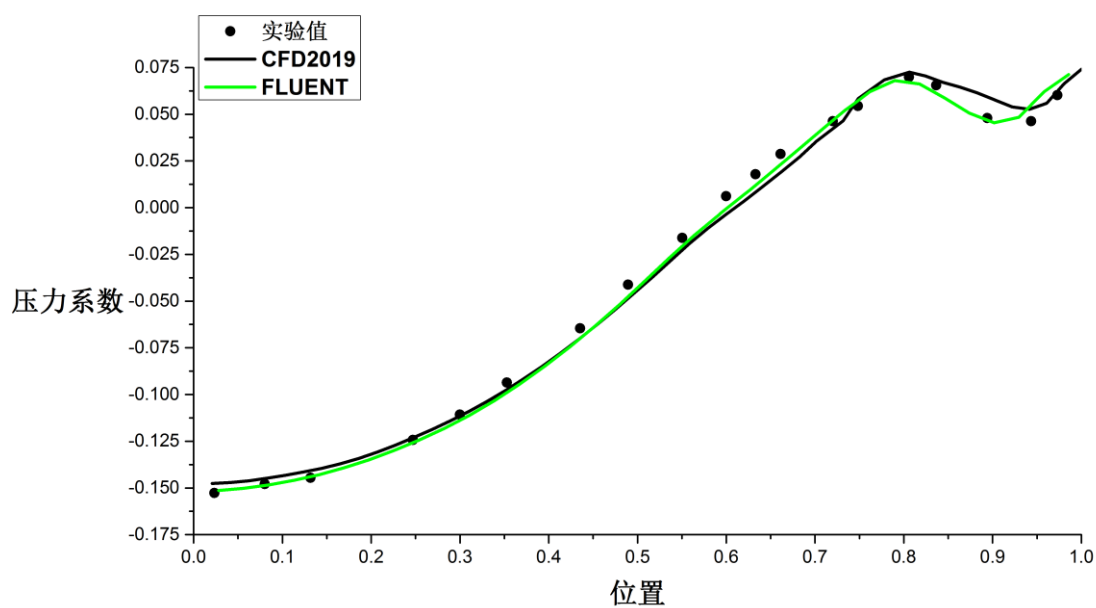


图 6.2: 截面的压力系数比较

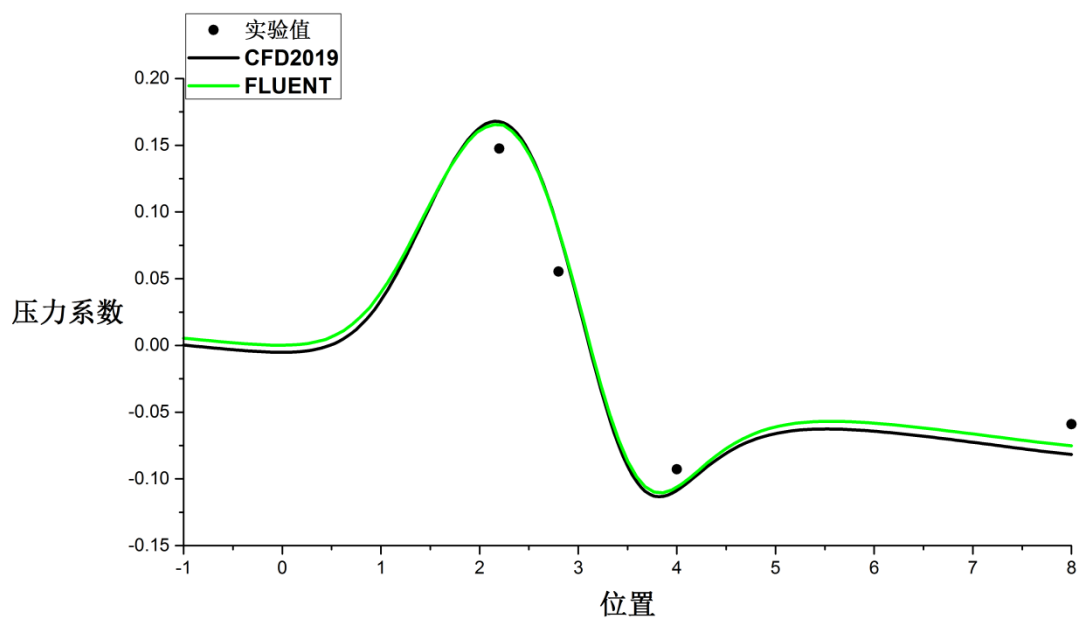


图 6.3: 管道中心线压力系数比

3 版本说明

版本号：CFD2019 v4.0 (Windows 版本)

发布日期：2019 年 5 月 7 日