

景德镇陶瓷学院 科技艺术学院

毕业设计说明书

题目：窑顶 90° 搅拌气幕对窑内流场温度场影响初探

学 号：201030453139

姓 名：汝婷婷

院（系）：科技艺术学院工程系

专 业：10 热工（1）班

指导老师：胡国林

日 期：2014. 5. 20

目 录

毕业设计任务.....	3
摘要.....	4
1 绪论.....	5
1.1 陶瓷辊道窑发展简史.....	6
1.2 本课题的目的与意义.....	6
2 Fluent 简介.....	8
2.1 Fluent 的功能及特点.....	8
3 仿真对象简介.....	9
4 几何网格模型的建立.....	12
4.1 用 Gambit 建立计算模型.....	12
4.2 设置边界类型.....	15
4.3 创建窑体的结构化体网格.....	16
5 用 Fluent 求解.....	17
5.1 与网格相关的操作.....	17
5.2 建立求解模型.....	18
5.3 创建新流体.....	18
5.4 设置边界条件.....	18
5.5 求解.....	19
6 仿真结果与分析.....	21
6.1 计算结果的温度场.....	21
6.2 计算结果的速度场.....	22
6.3 计算结果的速度矢量场.....	22
6.4 计算结果的等压线.....	23
6.5 搅动气幕前后窑截面的温度场.....	24
6.6 课题研究结论.....	26
7 后记.....	27
7.1 收获与体会.....	27
7.2 论文的不足与改进设想.....	27
8 参考文献.....	28

毕业设计任务

景德镇陶瓷学院科技艺术学院毕业设计任务书

系别： 工 程 系

时间：2014 年 1 月 18 日

专 业	热能与动力工程	班 级	热工 2010
学生姓名	汝婷婷	指导教师	胡国林
题 目	窑顶 90° 搅拌气幕对窑内流场温度场影响初探		
设计技术指标、参数或课题主要内容： 1、用 Gambit 软件建立仿真对象的几何体网格模型并输出 **.msh 网格文件(用 ACAD 画出本课题仿真对象的一节窑的三视图，以加深对它结构的理解，窑结构数据可参照教材中例子的辊道窑数据，窑顶均匀设置一排 5~8 根直径为 50mm 的气幕风管)。 2、运用 Fluent 软件进行 90° 窑顶搅拌气幕对窑内流场与温度场仿真研究(窑内烟气主流速度可参照教材中辊道窑数据约为 1.5~2.0Nm/s；气幕风温度 80~100°C，流速为 15~50Nm/s 可变)。			
基本要求： 1、几何体网格模型要科学合理，要用图解加文字说明方式写出完整的建模过程(可作为毕业论文的一章)。 2、建立科学的求解模型，流体参数与边界条件选择要尽量符合实际。 3、计算结果要包括窑内烟气速度分布图、温度分布图、温度等值曲线图等(时间有可能可以选不同喷出风流速从而得出各图分析比较)。 4、论文写作按学校要求规范、完整，语句通畅，条理分明。			
工作进度： 春节前：学习掌握 Gambit 与 Fluent 软件，完成一个二维的网格模型(边学边做)，春节后：尽可能完成三维的网格模型。 第 1-3 周：参加毕业实习，结合课题任务收集并上网查阅相关资料。 第 4-8 周：运用 Fluent 软件进行 90° 窑顶搅拌气幕对窑内流场与温度场仿真研究。 第 9-12 周：完成毕业论文初稿。 第 13-14 周：按学院要求撰写毕业论文正稿(含学校要求的英文摘要、英文文献与翻译等)。 第 15 周：交毕业论文与仿真软件电子稿给指导老师审改。 第 16 周：按学院要求打印毕业论文上交，准备参加答辩。			

摘要

本说明书所研究的是辊道窑窑顶 90° 搅拌气幕对窑内流场温度场的初探研究, 由于连续性陶瓷窑的预热带处于负压状态, 容易造成断面温度不均匀, 尤其是辊道窑预热带上下温差大, 影响产品质量。研究扰动气幕对窑内流场及温度场分布的影响对设计与改进窑炉结构有重大意义。

Fluent 软件是目前国际上较流行的商用 CFD 软件包, 只要涉及流体、热传递及化工反应等工程问题, 都可以用 Fluent 进行解算。它具有丰富的物理模型、先进的数值解法以及强大的后台处理功能, 在航空航天、涡轮机设计、石油天然气、热工设备等多方面工程领域都已有广泛的应用, 因此拟将 Fluent 软件为本课题的研究工具。

关键词: 辊道窑 gambit fluent 窑内温差 温度场

Abstract

This manual is 90 ° roller kiln kiln top research by mixing flow field of air curtain on the temperature field of a preliminary study, due to the continuity of ceramic kiln preheating zone is in negative pressure condition, easy to cause uneven cross section temperature, especially in tunnel kiln preheating zone and temperature difference is big, affects the quality of the product.

The disturbance air curtain on the influence of the flow field and temperature field distribution is significant for design and improvement of kiln structure.

Fluent software is at present relatively popular in the international commercial CFD software package, as long as involving fluid flow, heat transfer and chemical reaction engineering problem, can use Fluent software for calculating. It has rich physical model and numerical methods, advanced powerful background processing functions, in the aerospace, oil and natural gas, thermal technology equipment, turbine design and other aspects could be widely used in engineering field, so will the Fluent software tools to the research of this topic.

Keywords: Roller kiln gambit fluent Furnace temperature
difference The temperature field

1、绪论

辊道窑是近几十年发展起来的新型快烧连续式工业窑炉,在釉面砖、墙地砖、彩釉砖等建筑陶瓷工业生产中已普遍用作主要的烧成设备,近几年正逐步在日用瓷等陶瓷工业中得到应用。

烧成在陶瓷生产中是非常重要的工序。烧成过程严重影响着产品的质量,与此同时,烧成也由窑炉决定。

在烧成过程中,温度控制是最重要的关键。没有合理的烧成控制,产品质量和产量都会很低。要想得到稳定的产品质量和提高产量,首先要有符合产品的烧成制度。然后必须维持一定的窑内压力。最后,必须要维持适当的气氛。这些要求都应该遵循。

陶瓷的发展与窑炉的改革密切相关,一定结构特点的窑炉烧出一定品质的陶瓷。因此正确选择烧成窑炉是获得性能良好制品的关键。

1.1 陶瓷辊道窑特点

辊道窑又称辊底窑。主要用于瓷砖等陶瓷建材的生产。辊道窑是连续烧成的窑,以转动的辊子作为坯体运载工具的隧道窑。陶瓷产品放置在许多条间隔很密的水平耐火辊上,靠辊子的转动使陶瓷从窑头传送到窑尾,故而称为辊道窑。

辊道窑已用于下列产品的生产: 1、日用陶瓷的彩烧、素烧、釉烧及一次烧成; 2、各类建筑卫生陶瓷: 建筑砖瓦、墙地砖、卫生洁具的烧成; 3: 磨具的烧成; 4、特种陶瓷的煅烧等

辊道窑一般截面较小,窑内温度均匀,适合快速烧成,但辊子材质和安装技术要求较高。主要用于建筑卫生陶瓷制品的快速烧成

1.2 本课题的目的和意义

作为热能转换设备,工业窑炉广泛地应用于建材、冶金、化工、电站等领域,其运行质量对生产效率、产品质量、能源消耗、环境污染等有直接影响。这就要求有相应的烧成制度和管理措施,准确而有效的对窑炉温度场进行检测以满足上述要求。目前,陶瓷窑炉在线检测主要是利用热电偶进行测量,这种方式存在着检测温度滞后,检测点数少的缺点,无法实时反映整个窑炉内火焰的温度分布。当窑炉火焰组织不合理时,会使窑内温度分布不均匀,这将直接影响制品的烧成制度,而且产品的质量不能得到保证。

陶瓷窑炉中要烧出好产品，关键的一条是要保证窑内温度的均匀性。而在连续陶瓷窑炉的预热带是处于负压下操作，因此会存在上下温差。为克服预热带的上下温差，往往在预热带设置有搅动气幕，搅动气幕应如何设置，它对窑内温度场的影响因素有哪些，都是值得研究的课题。本课题的目的就是借助 Fluent 软件来探讨研究窑顶 90° 搅拌气幕对窑内流场温度场影响，为在预热带设置搅动气幕理论依据。

陶瓷窑炉的热工过程是传热、燃烧、气体流动在烧制陶瓷过程中综合作用，如果用实验的方式对其进行研究，工作量可想而知，而且在实际过程中，由于仪器设备的限制，窑炉的许多参数的测量准确度难度加大。随着计算机技术的发展，利用计算机对工程问题进行数值模拟自 70 年代以来取得了重大发展，逐步发展了能计算大部分流动与传热问题的通用化软件，可以模拟窑炉的生产过程，对温度场和速度场进行仿真，然后采用人工智能方法对陶瓷窑炉仿真系统进行决策分析。采用决策支持系统可以消减成本、提高生产率和节约时间。现在对陶瓷窑的决策分析是针对状态检测、故障诊断和用于新产品的开发，没有针对陶瓷窑炉结构和设计，但窑炉的结构对陶瓷产品的影响很大，这一影响因素不容忽视，对仿真系统的决策分析显得尤为重要，最终可以为窑炉结构设计和生产过程提供依据。

因此，辊道窑的数值模拟有助于对窑内温度场和流场的研究，再对模拟结果辅以决策分析来获得最优模型，这无论对陶瓷生产实践还是对辊道窑其他方面的理论研究工作都有较大的指导意义。

2、Fluent 简介

Fluent 是用于模拟具有复杂外形的流体流动以及热传导的计算机程序，Fluent 软件采用 C/C++ 语言编写，从而大大提高了对计算机内存的利用率，因此，动态内存分配，高效数据结构，灵活的求解控制都是可能的。除此之外，为了高效执行，交互控制，以及灵活地适应各种机器与操作系统，Fluent 使用 client/server 结构，因此它允许同时为用户桌面工作站和强有力的服务器上分离地运行程序。

2.1 Fluent 的功能及特点

Fluent 软件所具有的功能及特点汇总如下：

2.1.1 完全非结构化网格

2.1.2 多网格支持功能

Fluent 软件具有强大的网格支持能力，支持界面不连续的网格、混合网格、动/变形网格以及滑动网格等。

2.1.3 先进的物理模型

Fluent 软件包含丰富而先进的物理模型，例如：

- Fluent 软件能够精确地模拟无粘流、层流、湍流。
- Fluent 软件可以完成强制/自然/混合对流的热传导，固体/流体的热传导、辐射等计算。

2.1.4 Fluent 独有的特点

- Fluent 可以方便设置惯性或非惯性坐标系、复数基准坐标系、滑移网格以及动静翼相互作用模型化后的接续界面。
- Fluent 内部集成丰富的物性参数的数据库，里面有大量的材料可供选用，此外用户可以非常方便地定制自己的材料。

上述各项功能和特点使得 Fluent 在很多领域得到了广泛的应用，主要有以下几个方面：

- 油/气能量的产生和环境应用。
- 航天和涡轮机械的应用。
- 汽车工业的应用。
- 热交换应用。
- 电子/HVAC 应用。
- 材料处理应用。

3. 仿真对象简介

本文“窑顶 90° 搅拌气幕对窑内流场温度场影响初探”仿真对象的辊道窑，全窑长 106 米，分为 48 节，产品为 $600 \times 600 \times 12\text{mm}$ 的仿古砖，窑长为 2.2m、宽 2.6m、高 0.8m，燃料采用焦炉煤气，烧成温度是 1180 摄氏度，烧成周期为 66 分钟，全窑在氧化气氛下烧成。图 3-1 为仿真对象的结构三视图分别为：主视图、俯视图、侧视图。

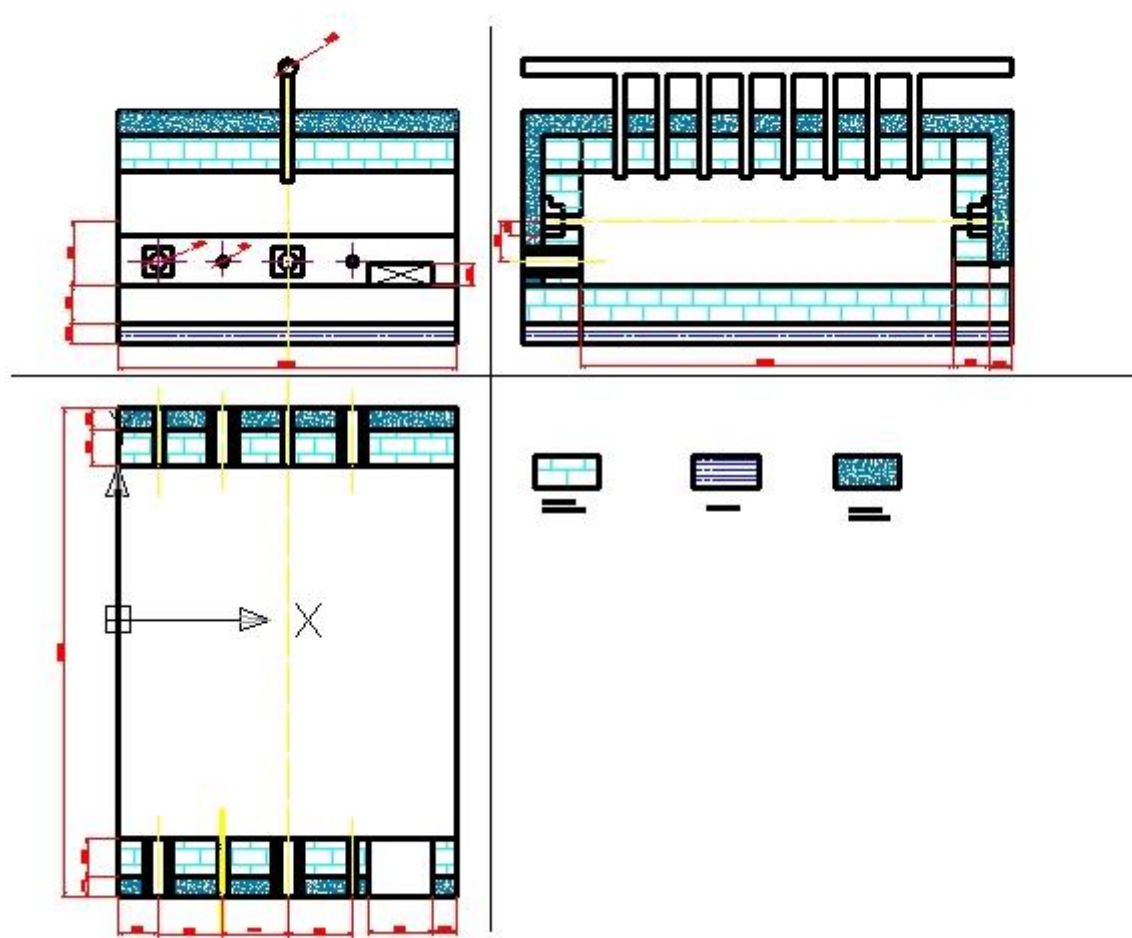


图 3-1 窑结构的三视图

由于计算机内存空间有限，本文仿真时只取该窑的一节建造模型，该节窑长 2.2m、宽 2.6m、高 0.8m，在窑顶设置搅拌气幕管道与烟气流速方向成 90°。窑顶的搅动气幕管道用直径（内径）为 0.05m，深度为 0.1m 的圆柱体管道通入搅

拌气幕。搅拌气幕通入空气搅拌。气幕风温度定为 200℃。

搅拌气幕孔设计在离烟气入口 0.5m 处，窑顶均匀设置一排 6 根直径为 50mm 的气幕风管，流速定位 20Nm/s。此设计研究 1 节窑。入口烟气温度为 420℃，出口烟气温度为 400℃。此两节窑的烟气平均温度为 410℃。

3.1 空气量的计算

3.1.1 理论空气量的计算

根据原始数据 $Q_d=17400\text{kJ}/\text{Nm}^3$

根据经验公式计算理论空气量：

$$L_o=0.26 Q_d / 1000 - 0.25 = 0.26 \times 17400 / 1000 - 0.25 = 4.274 (\text{Nm}^3/\text{Nm}^3)$$

3.1.2 实际空气量的计算

由于辊道窑烧瓷砖在氧化气氛下烧成，取空气过量系数为 $a=1.3$ ，则实际空气需要量为：

$$L_a = L_o \times 1.3 = 5.556 (\text{Nm}^3/\text{Nm}^3)$$

3.2 烟气量的计算

根据经验公式计算实际烟气量为：

$$V_g = a L_o + 0.68 + 0.06 (0.238 Q_d - 4000) / 1000 = 6.244 (\text{Nm}^3/\text{Nm}^3)$$

3.3 燃烧温度的计算

设空气温度 $t_a=20^\circ\text{C}$ ，空气比热为 $c_a=1.3 \text{ KJ}/(\text{Nm}^3 \cdot ^\circ\text{C})$

焦炉煤气比热为 $c_r=1.41 \text{ KJ}/(\text{Nm}^3 \cdot ^\circ\text{C})$ ， $t_a=t_r=20^\circ\text{C}$

现设 $t_{th}=1700^\circ\text{C}$ ，

燃烧产物温度

$c_g=1.424+0.000105t=1.424+0.000105 \times 1700=1.6025\text{KJ}/\text{Nm}^3$ 。则理论燃烧温

度为：

$$\text{根据理论燃烧温度： } t_{th} = \frac{Q_d + c_r t_r + c_a t_a L_a}{V_g c_g}$$

$$t_{th} = (17400 + 1.41 \times 20 + 1.3 \times 20 \times 5.556) / (6.244 \times 1.603) \\ = 1756^\circ\text{C}$$

$(1756 - 1700) / 1700 < 5\%$, 所设温度合理。

取高温系数为 0.75, 则实际温度为:

$t = 0.75 \times 1700 = 1275^\circ\text{C}$, 比最高烧成温度 1180 高出 95 $^\circ\text{C}$, 符合烧成要求, 认为合理。

窑体材料及厚度的确定: 列表表示所选预热带所用材料及厚度

所选预热带所用材料及厚度					
名称		材质	使用温度 ($^\circ\text{C}$)	导热系数 [$\lambda / (\text{m} \cdot ^\circ\text{C})$]	厚度 (mm)
窑顶	耐火层	莫来石轻质高铝砖	1600 $^\circ\text{C}$	$0.310 + 0.176 \times 10^{-3}t$	230
	隔热层	硅酸盐耐火纤维束	1150	0.1~0.3	150
窑墙	耐火层	莫来石轻质高铝砖	1600 $^\circ\text{C}$	$0.310 + 0.176 \times 10^{-3}t$	230
	隔热层	硅酸盐耐火纤维束	1350	0.1~0.3	190
窑底	耐火层	莫来石轻质高铝砖	1600 $^\circ\text{C}$	$0.310 + 0.176 \times 10^{-3}t$	230
	隔热层	硅藻土砖	900	$0.063 + 0.14 \times 10^{-3}t$	130
	膨胀层	硅酸盐耐火纤维束	1350	0.1~0.3	100

计算出

窑墙的平均导热系数

$$\lambda_1 = \frac{(0.310 + 0.176 \times 450 \times 10^{-3}) \times 0.23 + 0.2 \times 0.15}{0.23 + 0.15} = 0.315 \text{W/m} \cdot ^\circ\text{C}$$

窑顶的平均导热系数

$$\lambda_2 = \frac{(0.310 + 0.176 \times 450 \times 10^{-3}) \times 0.23 + 0.2 \times 0.19}{0.23 + 0.19} = 0.304 \text{W/m} \cdot ^\circ\text{C}$$

窑底的平均导热系数

$$\lambda_3 = \frac{(0.310 + 0.176 \times 450 \times 10^{-3}) \times 0.23 + (0.063 + 0.14 \times 10^{-3} \times 450) \times 0.13 + 0.2 \times 0.1}{0.23 + 0.13 + 0.1} \\ = 0.274 \text{W/m} \cdot ^\circ\text{C}$$

4. 几何网格模型的建立

4.1 用 Gambit 建立计算模型

4.1.1 文件的创建及其求解器的选择:

A. 启动 Gambit 软件: [开始]—[运行]—在运行对话框中输入 Gambit—[确定]—出现 Gambit startup 对话框—[Browse]—选定要存的子目录(事先建个文件夹: kiln/rutingting)—在 Session ID 文本框中输入文件名—201030453139—[Run]—即启动了 Gambit 的布局窗口。

B. 确定求解器: [Solver] | [FLUENT5/6]

4.1.2 建立辊道窑模型:

A. 画出窑墙角落的 4 个点: [Operation]—[Geometry]—[Vertex]—[Create Real] 分别在 X、Y、Z 三个坐标中输入 (0, 0, 0); (2.2, 0, 0); (0, 0.8, 0); (2.2, 0.8, 0); 每个输入完后都要按键 [Apply]。

B. 由点连成线: [Geometry]—[Edge]—[Create Straight Edge]—出现 Create Straight Edge 对话框—单击 Vertice 后面的箭头—出现 Vertex List 对话框—在图形区依次用 Shift+鼠标左键选中四个角点—[Apply]—[Close]。

C. 由线组成面: A. [Geometry]—[Face]—[Form Face]—打开 Create Face from Wireframe 对话框—点击 Edges 右侧黄色区—Shift+鼠标左键选中, 构成窑体的周边(呈红色说明被选中, **注意:** 构成面的边应为一个封闭的曲线)—[Apply]。

D. 面扫描为体: 利用建模中的面扫描为体的功能可以由该面创建仿真对象的一节窑实体。由于窑是关于坐标面 XOY 完全对称的, 为了节约计算机的内存空间和计算时间, 建模时可在宽度方向取中点作对称面, 因此只选宽度 1.3 m 即可。具体操作步骤为: [Operation]—[Geometry]—[Volume]—[Sweep Faces]; 在 [Faces] 里选中那个面; 选中 [Vector], 然后 [Define], 选中 Z 中的 [Positive], 点击 [Magnitude] 填入 1.3, 最后点击 [Apply]。

4.1.3 创建气幕风管

A: 首先确定风管底面的圆心位置: [Operation]—[Geometry]—[Vertex]—[Create Real] 分别在 X、Y、Z 三个坐标中输入 (1.7, 0.8, 0.2); (1.7, 0.8, 0.6); (1.7, 0.8, 1.0); 每个输入完后都要按键 [Apply]。

B: 沿着 Y 轴中心正方向建立一个风管长 0.1m, 底面半径为 25mm 的圆柱体: [Operation]—[Geometry]—[Volume]—[Create Real Cylinder], 在 Height、Radius 1、Radius 2 分别填入 0.1, 0.025, 0.025; 在 [Axis Location] 选择

[Centered Y], 最后点击[Apply]。

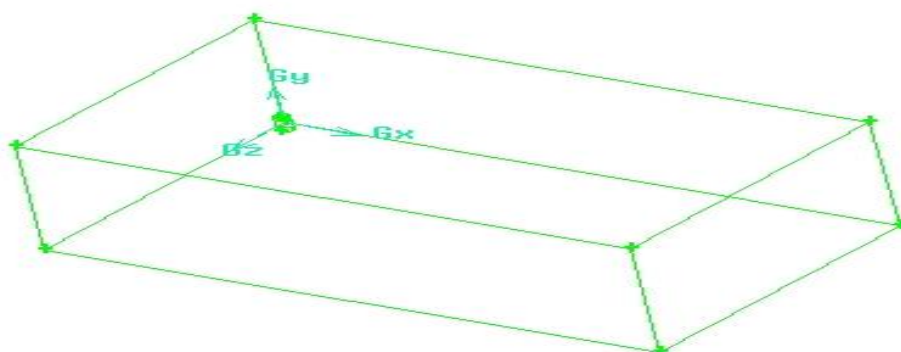


图 4-1 单个喷风管

4.1.4 窑顶 90° 的搅拌气幕管安置

A: 在窑顶创建三个气幕装置:

第一步: [Operation]—[Geometry]—[Volume]—[Move/Copy Volumes], 在[Move]情况下, 在[Pick]中选中[volume.2]从[Available]移到[Picked]中, 在[Operation]选择[Translate]. 在下面的[Global]的X、Y、Z中分别输入: 1.7, 0.8, 0.2; 最后点击[Apply]即可完成。

第二步: 用同样的方法在[Copy]情况下, 在[Pick]中选中[volume.2]从[Available]移到[Picked]中, 在[Operation]选择[Translate]. 在下面的[Global]的X、Y、Z中分别输入: 0, 0, 0.4; 最后点击[Apply]即可完成。

第三步: 在[Copy]情况下, 在[Pick]中选中[volume.2]从[Available]移到[Picked]中, 在[Operation]选择[Translate]. 在下面的[Global]的X、Y、Z中分别输入: 0, 0, 0.8; 最后点击[Apply]即可完成。这样就能完成窑顶 90° 的搅拌气幕管。

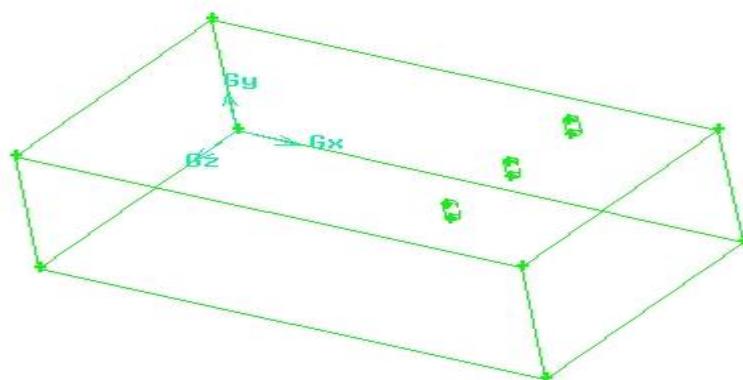


图 4-2 窑顶 90° 的搅拌气幕管

D: 用体差集的方法使窑体与搅拌气幕成为一体: [Operation]—[Geometry]—[Volume]—[Subtract Real Volumes], 在[Volume]中选中[volume.1]从

[Available] 移到 [Picked] 中. 在 [Subtract Volumes] 中选中 [volume.2]、[volume.3]、[volume.4], 从 [Available] 移到 [Picked] 中. 最后点击 [Apply] 即可完成, 得到图 4-3。



图 4-3 窑体与搅拌气幕一体图

4.1.5 窑内阻力简化模拟

由于辊道窑中心是用棍棒进行传动的, 在传动过程中有阻力, 此时难以做出准确的模拟, 为了简化建模操作, 故在高中心建立一个离各个侧面为 0.2m 的, 长 1.8, 宽 1.1, 高 0.01 的体。

A: 经计算得到此平面的四个坐标 (2.0, 0.35, 1.1)、(2.0, 0.35, 0)、(0.2, 0.35, 0)、(0.2, 0.35, 1.1)。故在空间直角坐标系中画出这四个点: [Operation]—[Geometry]—[Vertex]—[Create Real] 分别在 X、Y、Z 三个坐标中输入 (2.0, 0.35, 1.1)、(2.0, 0.35, 0)、(0.2, 0.35, 0)、(0.2, 0.35, 1.1); 每个输入完后都要按键 [Apply]。

B: 由上面的方法: 点连成线, 线组成面即可。

C: 面扫描为体: [Operation]—[Geometry]—[Volume]—[Sweep Faces]; 在[Faces]里选中那个面; 选中[Vector], 然后[Define], 选中Y的[Positive], 点击[Magnitude]填入 0.01, 最后点击[Apply]。

D: 用 split with 把窑体和阻力体分开: [Operation]—[Geometry]—[Volume]—[split Volume], 在[Volume]中选中[volume.1]从[Available]移到[Picked]中. 在[split with]右侧的默认[Volume (Real)], 在[Volumes] 中选中阻力体并从[Available]移到[Picked]中, 最后点击[Apply]即可完成。完成所有的上述步骤即得到了一个窑顶 90° 搅拌气幕的半个辊道窑, 即为研究对象, 得到图 4-4。

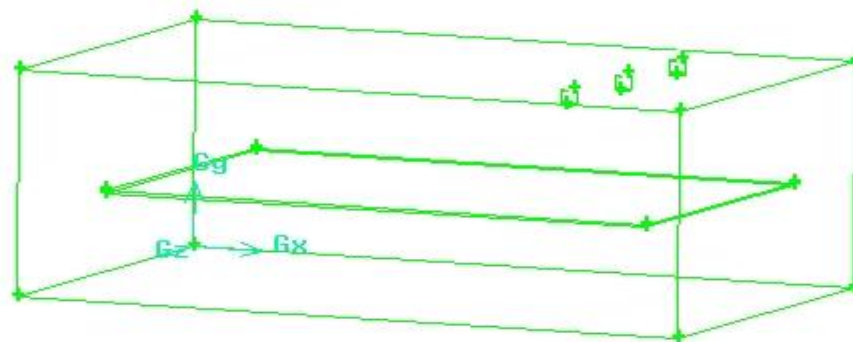


图 4-4 阻力体图

4.2 设置边界类型

A: 烟气进口边界面: [Operation]—[Zones]—[Specify Boundary Types]—打开其对话框—选中 Add。在 Name 项填入边界名称 “gasin”, 鼠标右键点击 Type 按钮, 在出现的下拉列表中选 Velocity_Inlet—点击 Faces 右侧黄色区域—shift+鼠标左键点击窑右侧面—[Apply];

B: 烟气出口边界面: [Operation]—[Zones]—[Specify Boundary Types]—打开其对话框—选中 Add。在 Name 项填入边界名称 “gasout” —鼠标右键点击 Type 按钮, 在出现的下拉列表中选 Outflow—点击 Faces 右侧黄色区域—shift+鼠标左键点击窑左侧边—[Apply];

C: 窑顶搅拌气幕口边界面: [Operation]—[Zones]—[Specify Boundary Types]—打开其对话框—选中 Add。在 Name 项填入边界名称 “jetin” —鼠标右键点击 Type 按钮, 在出现的下拉列表中选 Velocity_Inlet—点击 Faces 右侧黄色区域—shift+鼠标左键点击风管下底面—[Apply];

D: 墙的境界面: [Operation]—[Zones]—[Specify Boundary Types]—打

开其对话框—选中 Add。在 Name 项填入边界名称 “wall” —鼠标右键点击 Type 按钮，在出现的下拉列表中选 Wall—点击 Faces 右侧黄色区域—shift+鼠标左键点击窑的其他几个墙面—[Apply]，这一操作不是必须的，当保存网格时，任何没有被指定的外部表面（在 3D 中）都会被默认为 wall 边界；

E: 对称面的设置：为节省计算机内存及缩短迭代计算时间，对于完全对称的几何体可取其一半甚至 1/4 来建立其模型与计算，计算完成后再由镜像映射来显示全局效果。本文在建立几何模型时只建立了半个一节窑体的几何体，因此，需将所建的窑断面中间面设置为对称面，其步骤为：[Operation]—[Zones]—[Specify Boundary Types]—打开其对话框—选中 Add。在 Name 项填入边界名称 “symme” —鼠标右键点击 Type 按钮，在出现的下拉列表中选 Symmetry—点击 Faces 右侧黄色区域—shift+鼠标左键点击窑侧面—[Apply]；

F: 内部阻力体：[Operation]—[Zones]—[Specify Continuum Types]—打开其对话框—选中 Add。在 Name 项填入边界名称 “brick” —鼠标右键点击 Type 按钮，在出现的下拉列表中选 solid—点击 Volumes 右侧黄色区域—shift+鼠标左键点击窑内部一个阻力体—[Apply]；

4.3 创建窑体的结构化体网格

A: 建窑体的结构化体网格：[Operation]—[Mesh]— [Volume]—[Mesh Volumes]中选中对应 Element 选 Tet /Hybrid;Type 选 Tgrid ,网格间距 spacing 选 0.1 m。最后最后点击[Apply]，即完成了所有网格的划分，得到图 4-12。

最后输出网格并保存会话信息：

A. [File]—[Export] | [Mesh...]—打开 Export Mesh File 会话框—输入要输出的文件名 201030453119.msh—[Accept]，则完成了网格文件的输出操作。

B. [File]—[Exit], 即退出 Gambit

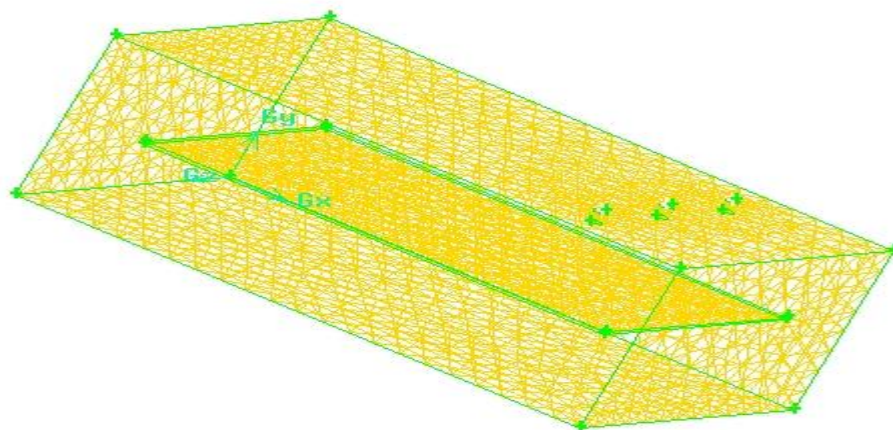


图 4-5 仿真对象的几何网络图

5. 用 Fluent 进行流场与温度场的仿真计算

5.1 与网格相关的操作:

- A. 启动 Fluent: [开始]—[所有程序]—[Fluent Inc products]—[Fluent 6.3]—在出现的“Fluent Version”对话框中选“3d”—[Run]。
- B. 读入网格文件: [File]|[Read]|[Case...]—在“Select File”对话框中找到相应的目录及其文件—[OK]。
- C. 检查网络: [Grid]|[Check]—出现所检查的部分信息(注意: a. “Mimimum Volume” 是网格的最小体积, 它的值一定要大于 0; b. “Domain Extents” 所列区域要符合想计算的区域)
- D. 平滑网格: [Grid]|[Smooth/Swap Grid]—先后点击出现的对话框中 Smooth, Swap 按钮直到 Fluent 报告没有需要交换的面为止—[Close]关闭对话框。—[Close] (这一步为确保网格质量, 对三角单元尤其重要)
- E. 设置区域尺寸及确定长度单位: [Grid]|[Scale...]—打开“Scale Grid”对话框—在“Umits Converwion”栏中点击右下箭头出现的下拉表中选需要的单位—[Change Length Units]—对计算区域的尺寸进行设置—[scale]—[Close]。(求解过程中, 除了长度外, 其他单位均采用 SI 制, 一般没有必要改动)

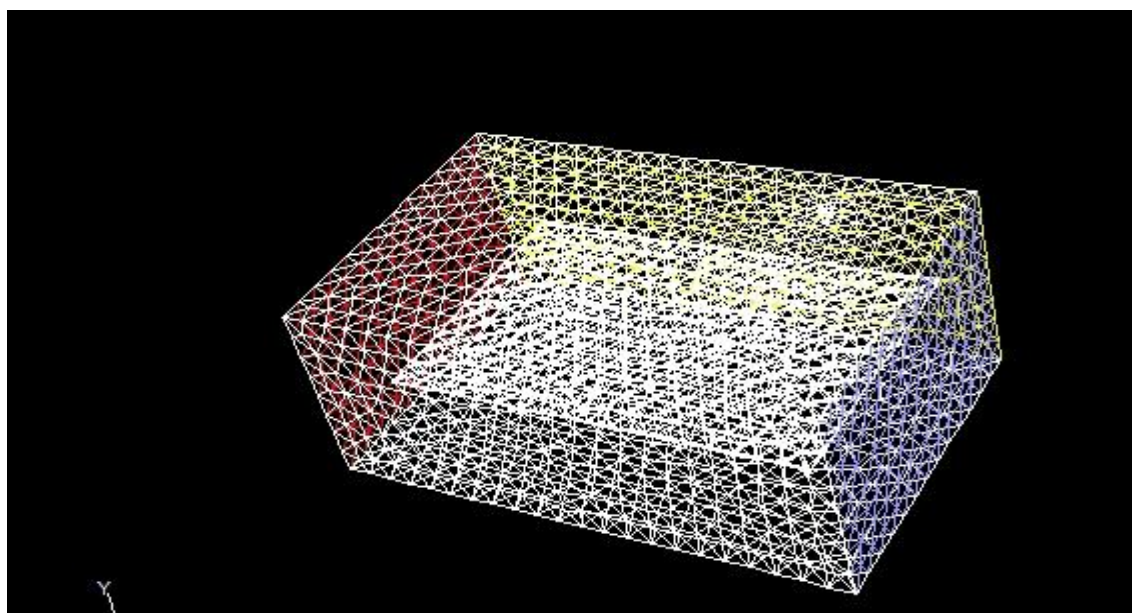


图 5-1 带网络的模型图样

- F. 显示网格: [Display]|[Grid...]—出现“Grid Display”对话框—选中

要显示的部分（通过 Surface 下面的列表框）—[Display]—即在屏幕中出现带网络的所建模型图样，如图 5-1。

5.2 建立求解模型：

[Define] | [Models]—[Solver...]—打开“Solver”对话框

(1) 设置求解器：A. Pressure Based-基于压力的分离算法，Density Based-基于密度的耦合显式算法；本文选取基于压力的分离算法。

B. Formulation-算法：Implicit-隐式算法，Explicit-显式算法；本文选取隐式算法。

C. Space-空间属性：2D-二维，Axisymmetric-轴对称，Axisymmetric-Swirl-轴对称旋转空间；

D. Time-时间属性：Steady-定常流动，Unsteady-非定常流动；窑内烟气为稳定流动，故选“Steady”。

E. Velocity Formulation-速度属性：Absolute-绝对速度，Relative-相对速度，选取绝对速度。

(2) 设置 k- ϵ 湍流模型：[Define] | [Models]—[Viscous...]—打开“Viscous Models”对话框(Inviscid-无黏理想流体，Laminar-层流模型，另四个为常见的湍流模型)—窑内烟气流动属强制流动的湍流，故这里选“k-epsilon”—打开“Viscous Model”对话框—保留模型常数默认值—[OK]。

(3) 选择能量方程：为了计算温度场，就涉及能量方程，因此仿真计算前必须选取能量方程：[Define] | [Models]—[Energy...]—打开对话框—点击 Energy Equation 左侧按钮—[OK]。

5.3 创建新流体——烟气，取名为 gas，并设置流体的物理性质：

[Define] | [Materials...]—打开“Materials”对话框，在 Name 栏填入 gas；在属性栏内输入烟气的物理属性：Density-密度 0.5182，Cp-等压比容 1154.4，Thermal Conductivity-导热系数 0.05786，Viscosity-动力粘度 0.00003201 (以上物性数据取烟气平均温度为 410℃时的数据)—[change/Create]—在弹出的对话框点击 Yes—点击 Close 关闭流体属性设置对话框。（注意：a. 此项操作使名为 gas 的流体添加到材料选择列表 (Fluid Materials) 中，可在其中查到它。另也可从材料库中选择已有的材料和拷贝属性（点击 Database...），若要改变其原有的属性，也可在 Properties 栏编辑，然后再点击 Change/Create 按钮进行修改。

5.4 设置边界条件：

[Define] | [Boundary...] — 打开 “Boundary Condition” 对话框。

(1) 设置流体: 在 Zone 栏内选择 flued 其类型在右边 Type 栏内选 Fluid — [点击 Set...] — 打开 Fluid 设置对话框 — 在 Material Name 下拉列表中选 gas — [OK]。

(2) 设置窑内烟气入口与喷管入口的速度边界条件: 在 Zone 栏内选择 gasin, 则在右边 Type 栏内显示其类型为 Velocity-Inlet, 点击 Set..., 则打开 Velocity-Inlet 设置对话框:

- a. 在 Velocity Specification Method (速度给定方式) 下拉列表中选 Magnitude, Normal to Boundary (给定速度大小, 速度方向垂直于边界);
- b. 在 Velocity Magnitude (入口速度) 一栏内填入 1.5, 在 Temperature (入口温度) 一栏内 673K;
- c. 在 Turbulence Specification Method (湍流定义方法) 下拉列表中选 Intensity and Hydraulic Diameter (强度与水力直径);
- d. 在 Turbulence Intensity (湍流强度) 一栏内 3;
- e. 在 Hydraulic Diameter (水力直径) 一栏内 1 (入口直径) — (运用公式: $4A/L = 4 * (0.8 * 1.3) / 2 * (0.8 + 1.3) = 0.99m$, 即当量直径为 99cm)。

(3) 用同样的方法对喷管口 jetin 进行设置 (入口速度 20, 入口温度 473, 湍流强度 6, 水力直径 0.05...)。

(4) 设置烟气出口边界条件: 在 Zone 栏内选择 gasout, 点击 Set..., 打开 outflow 对话框 — [OK]。

(5) 对于窑顶、窑底的 Wall 设置默认

5.5 求解

(1) 流场初始化: [Solver] | [Initialize] — [Initialize...] — 打开 Solution Initialization 对话框 — 在 Compute from 列表中选 jetin, 则表中数据与边界 jetin 相同 (鉴于初始化仅是对内部流动的一个猜测值, 可以对其数值更改, 其结果影响到迭代计算的收敛速度) — [Init] — [Apply] — [Close]。

(2) 设置监视窗口: [Solver] | [Monitor] — [Surface...] — 打开 Surface Monitors 设置对话框 — 将 Surface Monitor 右侧文本框数目选为 1 — 选中 Plot — 点击 Monitor-1 最右边的 Define... 按钮 — 出现 Define... 对话框 — 在 Report of 项选 Temperature 和 Static Temperature — 在 Surfaces 项选择监测表面为 gasout — 在 Report Type 下拉列表中选 Area-Weighted Average (面积平均) — [OK] — 点击监视对话框的 [OK]。(运行后监视图见图 5-2)

(3) 开始进行 200 次迭代计算: [Solver] | [Interate...] — 在打开的对话框中 Number of Iteration (迭代次数) 栏输入 300 — [Interate] (开始计算)。(由监

视曲线图 5-2 可以明显看到迭代 300 次后出口截面平均温度已基本达到稳定状态了, 为更细致观察其变化, 还应对 Y 轴进行放大显示: [Solver] | [Monitor]—[Surface...]—打开 Surface Monitors 设置对话框—[Define...]—[Axes...]—在对话框的 Axis 项选 Y—在 Range 项的最大最小值的文本框内输入接近收敛值的 660, 670—[Apply]—[close]—...)

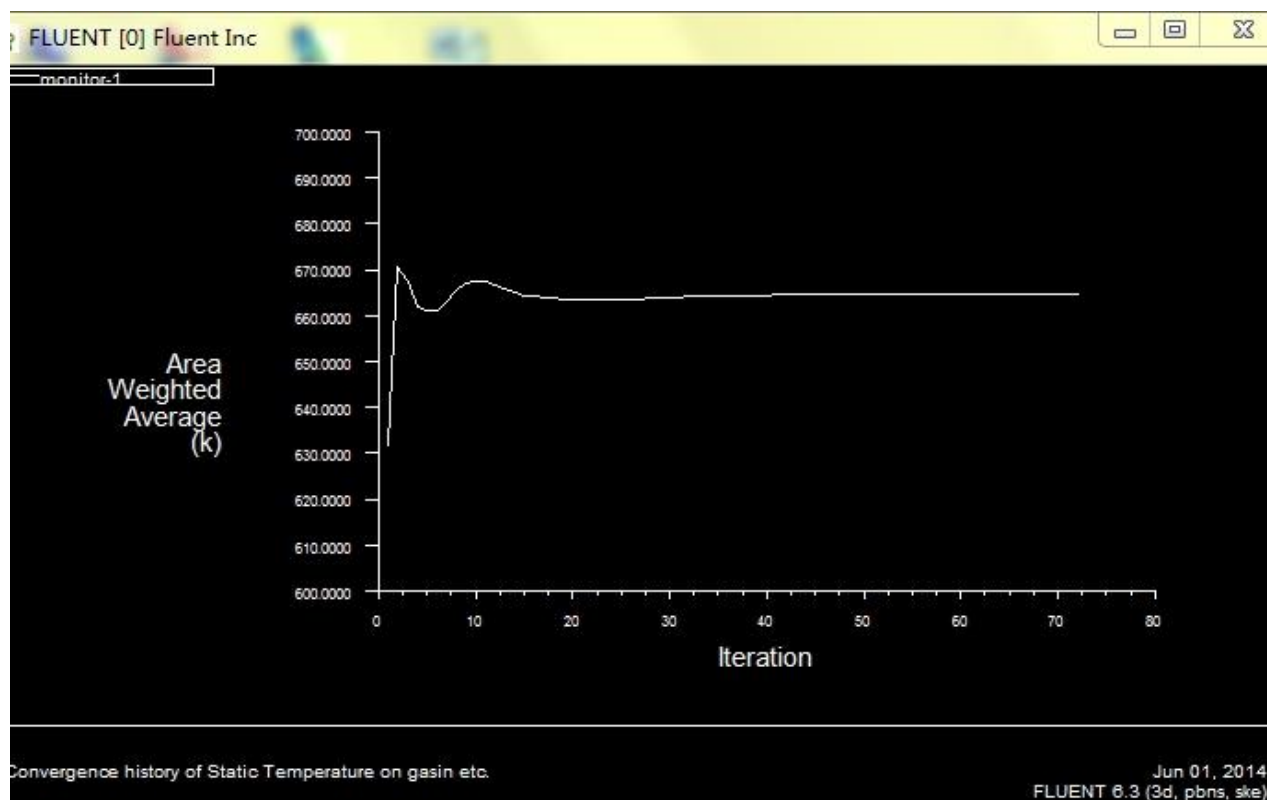


图 5-2 监视曲线图

(4) 保存文件: [File] | [Write]—[Case&Date]—输入文件名—[OK].

6 仿真结果与分析

6.1 计算结果的温度场

迭代完后显示温度场的具体步骤如下：

第一步：选择菜单栏[Display] | [Contours...]—在打开的对话框中设置：

第二步：在 Contours of 栏下选 Temperature...和 Static Temperature(静态温度), 在 Options 下选 Filled(填充方式) (不选 Filled 则为等温度曲线显示)，

第三步：选 Global Range, Auto Range (自动定范围—默认，也可不选)—Levels 中填 20 (显示等温线条数)。

第四步：在 Setup 填 1，然后点击[compute]，再次点击[Disply] (鼠标右键点击区域中任一点将会在信息反馈窗内显示此点的温度值) (图 6-1)

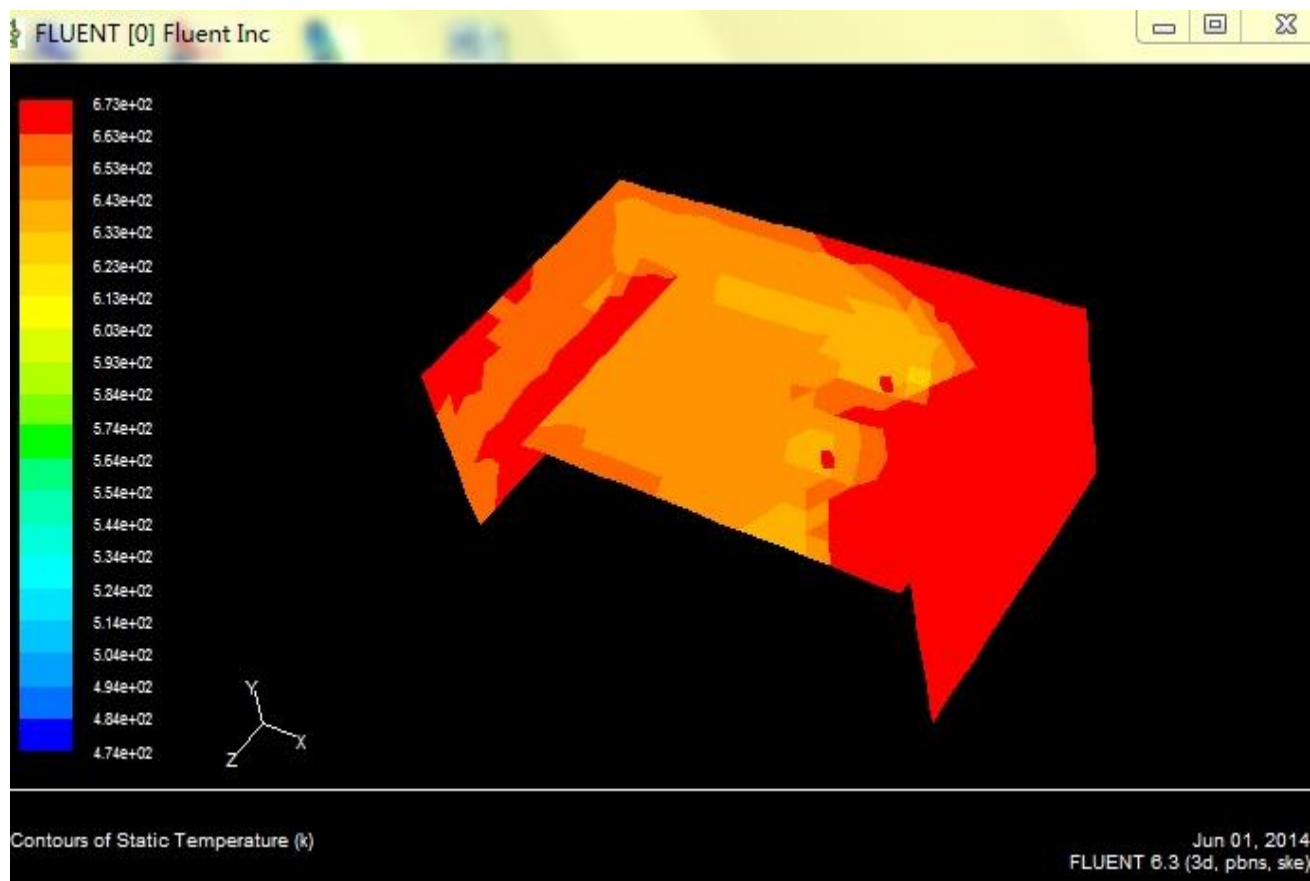


图 6-1 计算结果的温度场

结论：由图可以看出靠近烟气入口位置温度基本保持不变，就是在烟气出口的角落温度略高一些。

6.2 计算结果的速度场

(1) 利用不同颜色显示速度分布: [Display][Contours...]—在打开的对话框中设置: 在 Contours of 栏下选 Velocity...和 Velocity Magintude(速度大小),在 Options 下选择 Filled (填充方式)—[compute]—[Disply]

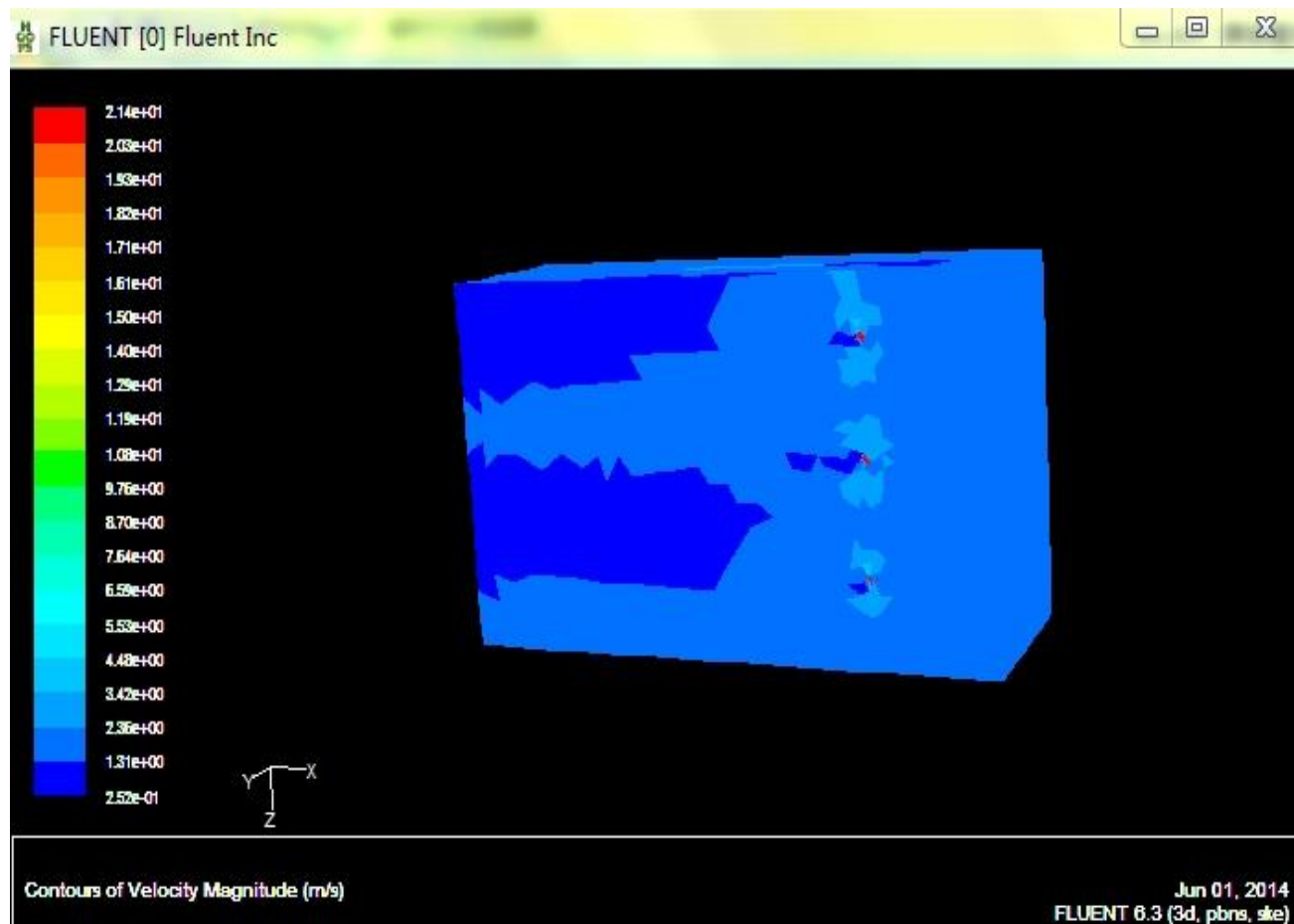


图 6-2 速度分布图

结论: 由图可以看出, 左侧烟气入口面的速度相差基本不大, 而搅拌气幕的位置速度较大, 到出口速度越来越小。

6.3 计算结果的速度矢量场

显示速度矢量场操作步骤:

第一步: 点击菜单栏的[Display]

第二步: 选中子菜单栏的[Vectors...]

第三步: 在 Vectors of 栏下选 Velocity...和 Velocity Magintude(速度大小)

第四步: 在 Options 下选 Global Range, Auto Range, Auto Scale。

第五步: 在 Style 选 arrow—在 Scale 中填 3

第六步: 点击[compute]。

第七步：最后点击[Disply]得速度矢量场（见图 6-3）。

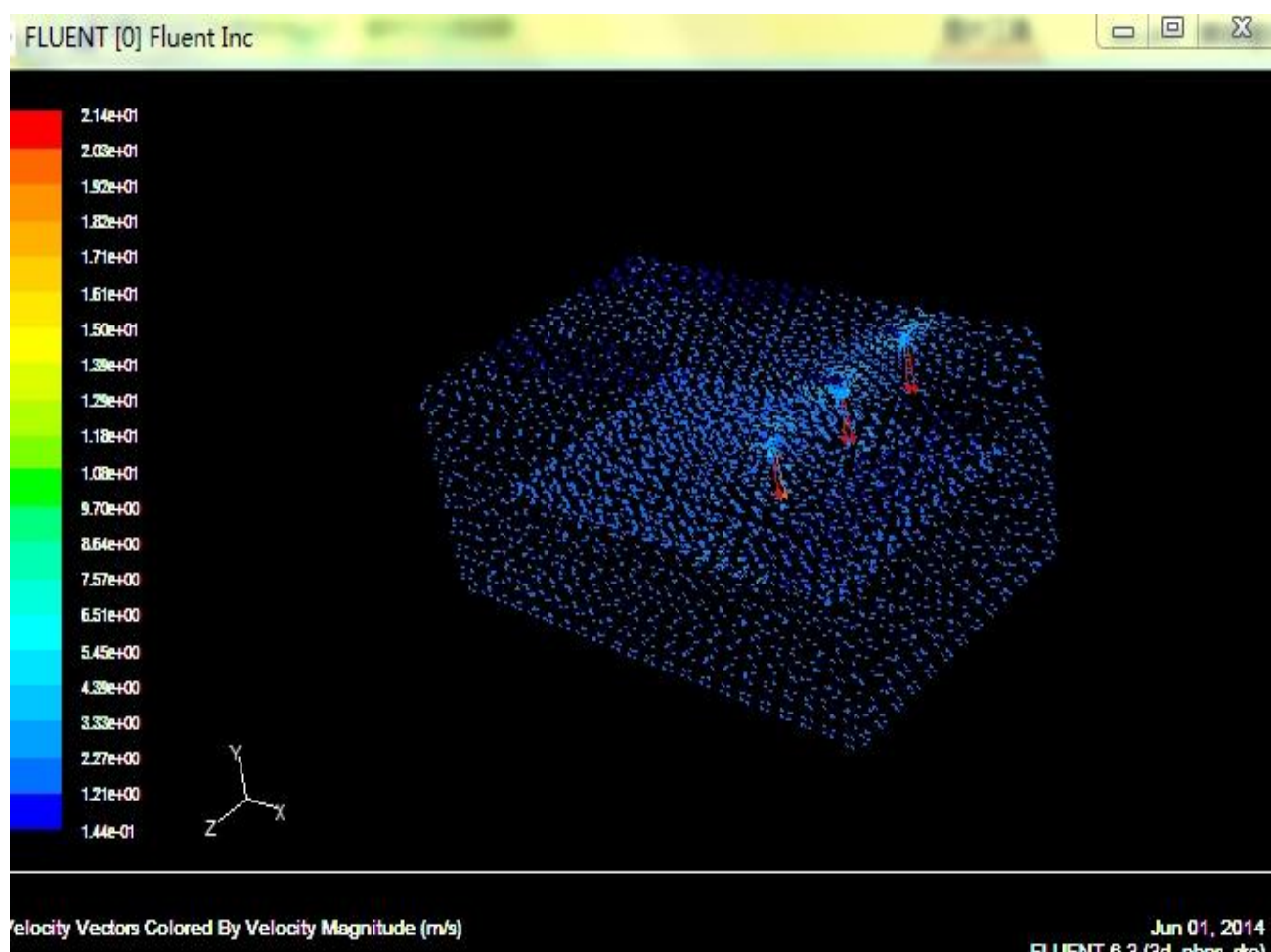


图 6-3 计算结果的速度矢量场

结论：由图可以看出速度的大小和烟气流动的方向，速度的密集程度等等。

6.4 计算结果的等压线

显示流场中的等压力线的步骤：

第一步：点击菜单栏[Display]。

第二步：在子菜单栏中选中[Contours...]

第三步：在 Contours of 栏下选 Pressure...和 Static Pressure。

第四步：在 Contours of 栏不选中 Filled—Levels 中填 50—Setup 填 3。

第五步：分别按顺序点击[compute]和[Disply]得等压线图（图 6-4）。

结论：此图可以看出压力大的地方集中在搅拌气幕进口附近与烟气入口中间面上，沿着烟气方向，压力逐渐减小。

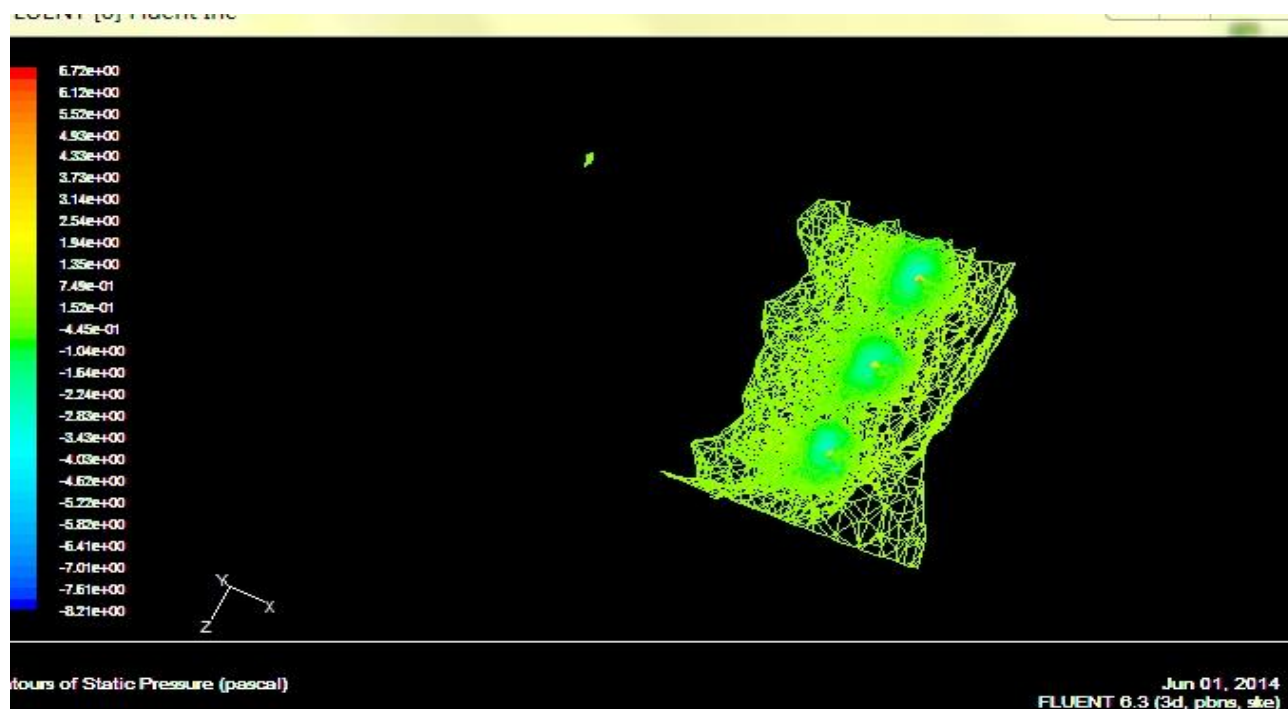


图 6-4 计算结果的等压线

6.5 搅动气幕前后窑截面的温度场图

为比较扰动气幕是否对温度场有影响,给出气幕前后两个与烟气主流方向垂直截面的温度场图(云图和等温线图)。方法是:

1) 创建等(坐标)值面: [surface] | [Iso-Surface]—打开 Iso-Surface 对话框—在 Surface of Constant 下拉列表中选 Grid.. 和 X-coordinate (也可选其它轴,即创建与该轴垂直的等 Z 值的面)—点击 Compute, 在 Min 和 Max 栏会显示区域内 X 值的范围(0m-2.2m)—在 Iso-Values 项填入数字 0.4 (该数字即创建的等 X 值的面的 X 值)—在 New Surface Name 下填入该面的名称,

s-1—[Create] 同理在扰动气幕后再创建一个面, 如 s-2

步骤如下: 点击 [surface] | [Iso-Surface]—打开 Iso-Surface 对话框—在 Surface of Constant 下拉列表中选 Grid.. 和 X-coordinate, 点击 Compute, 在 Min 和 Max 栏会显示区域(0m-2.2m), X 值的范围—在 Iso-Values 项填入数字 1.8, 最后在 New Surface Name 下填入该面的名称 “s-2”—[Create]

2) 显示该面的温度场: [Display] | [Contours...]—打开 Contours 对话框—在 Optiona 项选 Filled(取消选项下的 Auto Range 选项, 用户可定义图形的最大最小值, 缩小它们的差距以使云图更清晰)—在 Contour of 下拉列表中选择 Temperature 和 Static Temperature(或 Pressure Static Pressure)—

在 Levels 项选 30 (如显示的图不清可调整) — 在 Surfaces 项选刚创建的面 s-1 — [Display]: 即可显示该面的温度分布云图

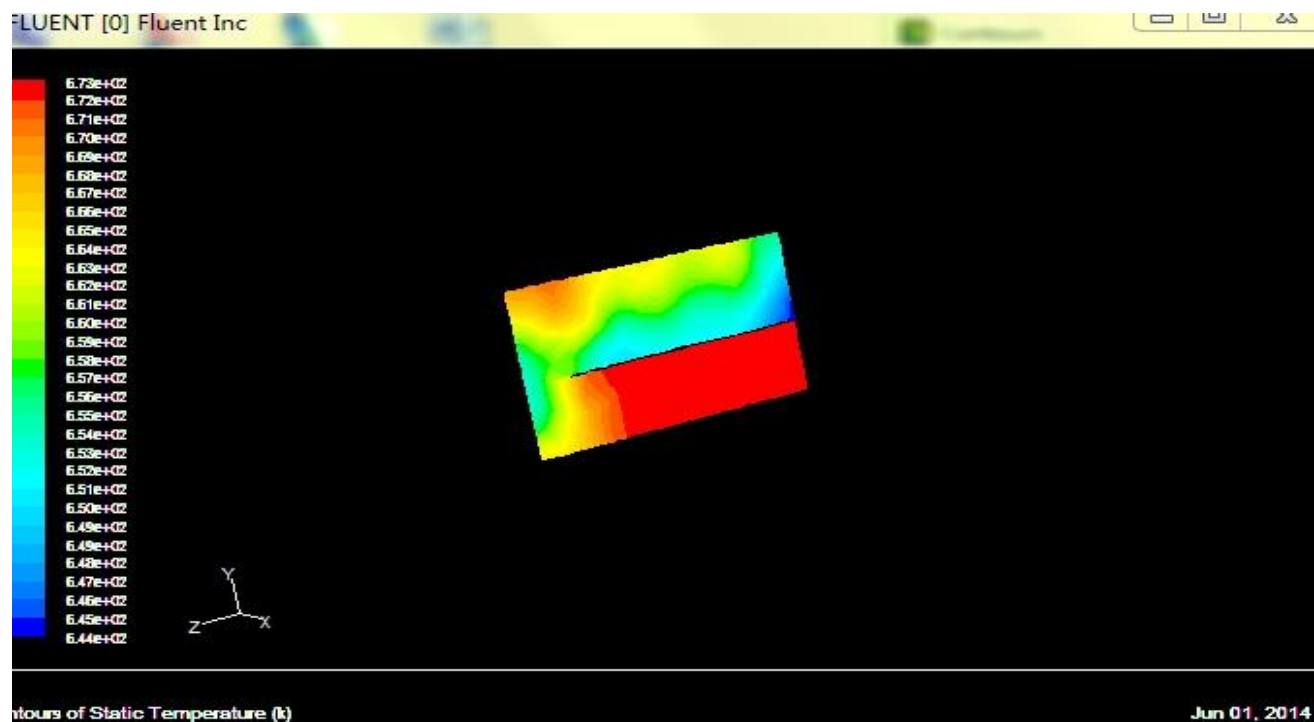


图 6-5 s-1 的温度分布云图

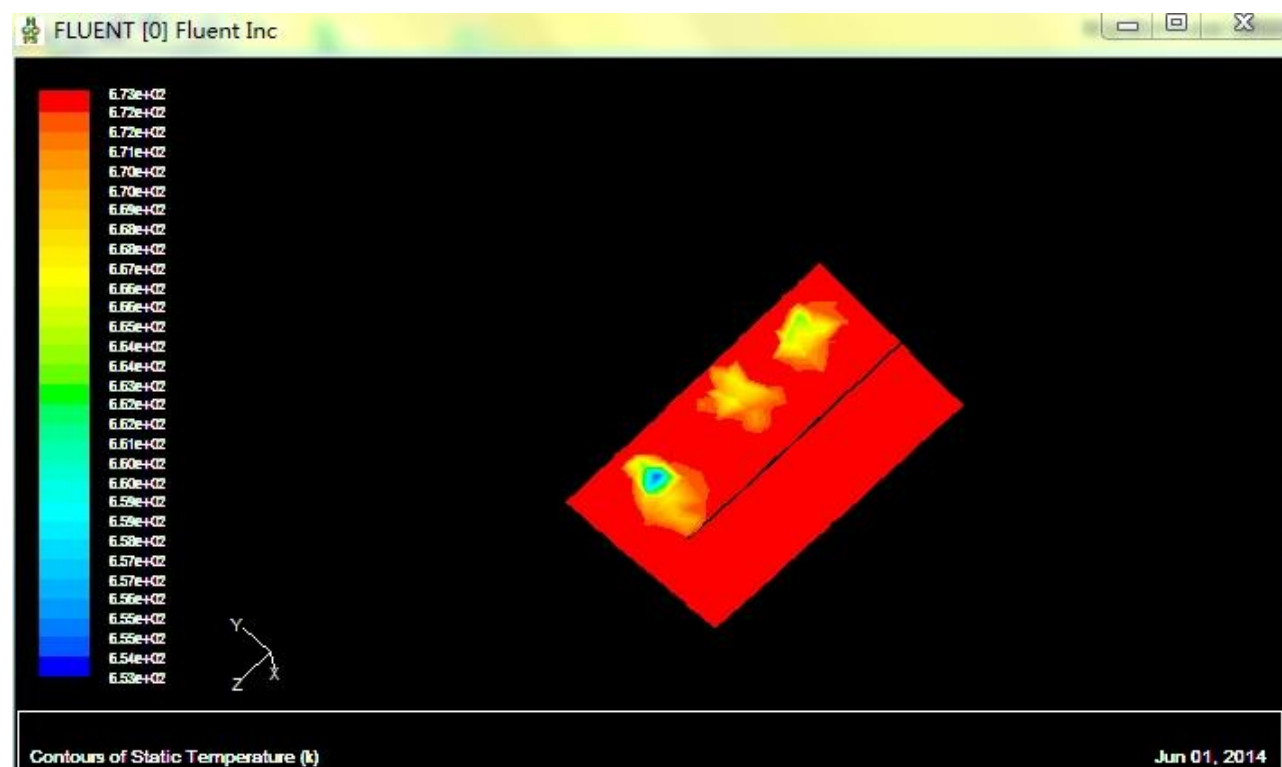


图 6-6 s-2 的温度分布云图

结论: s-1 的温度分布云图是烟气靠近气幕口处的温度分布图, 图 s-2 的温度分布云图是烟气靠近出口的温度分布云图, 由图可以看出距离搅拌气幕近的 s-1 面温度分布更均匀, 而距离搅拌气幕远的 s-2 面上下温差很大。

所以搅拌气幕可以很好的搅动窑内气体温度的分布, 更好的使窑内中间温度均匀。减少上下温差有很好的效果。

6.6 通过本课题的研究, 可以得出以下结论:

- (1) Fluent 软件具有强大的流体运动和传热计算的功能, 应用 Fluent 软件对陶瓷窑内流场和温度场进行研究地可行的, 而且快速有效。
- (2) 预热带窑内温度场与速度场的均匀性与搅拌气幕的有无有关, 有搅拌气幕则温度场与速度场更加均匀, 有利于产品的快速烧成。
- (3) 预热带窑内温度场与速度场的均匀性与搅拌气幕的速度大小也有关, 搅拌气幕的喷出风速度越大, 窑内的温度场和速度场越均匀。
- (4) 预热带窑内温度场与速度场的均匀性与搅拌气幕的温度度大小有关, 搅拌气幕的温度越高, 窑内的温度场和速度场越均匀。

7. 后记

7.1 收获与体会

论文完成之际，深深感谢我的导师胡国林老师。通过这次对窑顶 90° 搅拌气幕对窑内流场温度场影响初探的研究，我了解到了 Fluent 软件的优点，它不仅仅可对计算结果进行处理，还可以生成可视化的图形。对我们热工的学生来说可以更生动地看到窑内烟气流动对烧成的影响。

回想论文撰写初期，说实在的，对 Gambit 和 Fluent 可以说是一窍不通，在老师的帮助下，我从二维的模型开始练习，在模仿中开始知道他们各各选项中的功能。到后来做三维燃烧室模型，又进一步了解了更多功能。通过这个过程，我认识到毕业设计不仅是对前面所学知识的一种检验，而且也是对自己能力的一种提高。通过这次毕业设计使我明白了自己原来知识还比较欠缺。自己要学习的东西还太多，以前的确有点眼高手低。学习是一个长期积累的过程，在以后的工作、生活中都应该不断的学习，努力提升自己知识和综合素质。注重理论与实践的结合。

在撰写过程中，胡老师也给了我许多帮助，不仅发现了我建模及细节上的很多问题，还给了我许多修改建议，让我更清楚、深入的把握了论文的主题和内容。胡老师在忙于研究生教学任务的同时，还对我的论文作出如此悉心的指导和帮助，提出宝贵意见，我深表感谢，他的敦敦教诲我将永远铭记在心！

想想从开始打心里不愿意做到后来接受，主动去做，这个过程虽然也挺辛苦的，中间也遇到了诸如：网格的建立，墙体的设置，时间紧迫等问题。算一下来来回回也做了不下三次大的修改，幸亏坚持了下来，收获还是很多的。感谢这个过程中有胡老师和三位同学的陪伴和帮助。由于时间、个人能力有限，论文中还存在一些问题，乐于接受批评和指教。

7.2 论文的不足与改进设想

由于时间上比较紧迫，再加上个人能力和硬件上的问题，有挺多不足的。

- 1、网格的建立上不够全面，其实可以对于不同体，网格设置上更加细致些因为最终体网格代替，结果做出来粗糙，故用电脑模拟出来的不恰当。
- 2、内部的阻力体做成具体的砖会更加靠近实际。
- 3、文章的整体结构还不够完美。
- 4、在 Fluent 中迭代的次数可以更多点。
- 5、计算上多多少少还有一些错误。

参考文献

- [1] 汪和平, 冯青编. 《窑炉砌筑与安装》. 景德镇陶瓷学院, 1998
- [2] 胡国林 陈功备编《陶瓷工业窑炉》 武汉理工大学出版社, 2010. 8
- [3] 胡国林 著《建陶工业辊道窑》. 北京:中国轻工业出版社, 2009. 2
- [4] 王瑞金, 张凯编. 《FLUENT 技术基础与应用实例》. 清华大学出版社. 2007. 2
- [5] 王瑞金, 王刚. 《GAMBIT 中文教程》. 清华大学出版社. 2007. 2
- [6] 王秉铨 《工业窑炉设计手册》. 机械工业出版社》1996. 8
- [7] 刘振群, 《陶瓷工业热工设备》, 武汉理工大学出版社, 1989。
- [8] 蒋鉴华 张振刚, 《热工测量及过程自动控制》, 景德镇陶瓷学院, 2007
- [9] 孙晋涛, 《硅酸盐工业热工基础》, 武汉理工大学出版社, 1992