

景德镇陶瓷学院 科技艺术学院

毕业设计说明书

题目：窑侧墙 45° 搅拌气幕对窑内流场温度场影响初探

学 号：201030453104

姓 名：叶宜凡

院（系）：科技艺术学院工程系

专 业：10 热工

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 陶瓷隧道窑发展简史.....	5
1.2 陶瓷隧道窑优点.....	5
1.3 陶瓷隧道窑工作原理.....	6
1.4 本课题的目的与意义.....	7
2 Fluent 软件简介.....	8
2.1 Fluent 的功能及特点.....	8
2.2 Fluent 系列软件简介.....	10
2.3 Fluent 6.3 的功能模块.....	12
2.4 Fluent 6.3 的分析过程.....	14
3 仿真对象简介.....	17
3.1 仿真对象的主要尺寸.....	17
3.2 仿真对象的主要技术参数.....	20
3.3 仿真对象的窑体材料及参数.....	20
4 几何网格模型的建立.....	22
4.1 文件的创建及其求解器的选择.....	22
4.2 建立一节隧道窑几何体模型.....	22
4.3 创建气幕几何体——斜四棱柱.....	22
4.4 窑内阻力简化模拟.....	23
4.5 设置边界类型.....	24
4.6 确定边界面的内部各线分布并创建窑体的结构化体网格.....	25
4.7 输出网格并保存会话.....	26
5 运用 Fluent 进行流场与温度场的仿真计算.....	27
5.1 与网格相关的操作.....	27
5.2 建立求解模型.....	27
5.3 创建新流体.....	28
5.4 设置边界条件.....	28
5.5 求解.....	29
6 仿真结果与分析.....	31
6.1 计算结果的速度场以及温度场.....	31
6.2 计算结果的速度矢量场.....	31
6.3 计算结果的等压线.....	33
6.4 创建三个面上的温度曲线图.....	33
6.5 搅动气幕前后窑截面的温度场图.....	36
7 小结.....	39
7.1 论文的收获与完成过程.....	39
7.2 论文的不足与改进设想.....	40
7.3 本课题今后研究方向.....	41
8 后记.....	42
参考文献.....	43

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	叶宜凡	指导教师	胡国林
题 目	窑侧墙 45° 搅拌气幕对窑内流场温度场影响初探		
<p>设计技术指标、参数或课题主要内容：</p> <p>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隧道窑数据，窑侧设置斜 45° 的气幕喷口）。</p> <p>2、运用 Fluent 软件进行 45° 侧墙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隧道窑数据约为 1.5~2.0Nm/s；气幕风温度 80~100℃，流速为 15~50Nm/s 可变）。</p>			
<p>基本要求：</p> <p>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)。</p> <p>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。</p> <p>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）。</p> <p>4、论文写作按学校要求规范、完整，语句通畅，条理分明。</p>			
<p>工作进度：</p> <p>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。</p> <p>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。</p> <p>第 4-8 周：运用 Fluent 软件进行 45° 侧墙搅拌气幕对窑内流场与温度场仿真研究。</p> <p>第 9-12 周：完成毕业论文初稿。</p> <p>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)。</p> <p>第 15 周：交毕业论文与仿真软件电子稿给指导老师审改。</p> <p>第 16 周：按学院要求打印毕业论文上交，准备参加答辩。</p>			

摘要

本研究说明书所研究的窑炉侧墙 45° 搅拌气幕对窑内流场温度场的初探研究, 说明书里面具体论述了本设计当中需要考虑到因素, 比如说窑内模型的替代, 阻力模型的简化。同时还详细的介绍了陶瓷窑炉隧道窑的发展简史以及本研究需要用到的 gambit 以及 fluent 软件的使用及其历史。

在隧道窑中上下温差十分大, 我们需要利用高端先进的软件对窑内温度场进行研究, 隧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隧道窑其他方面的理论研究工作都有较大的指导意义。

关键词: 隧道窑 gambit fluent 窑内温差 温度场

Abstract

Research in this study are the instructions of the kiln side wall 45° mixing flow field of air curtain on the temperature field of a preliminary study, the instructions in the specific needs of this design are discussed considering the factors, such as furnace model of alternative, the resistance of simplified model. Also detailed brief history of ceramic kiln tunnel kiln are introduced, and this study requires the use of the software gambit and fluent and its history.

Up and down in the tunnel kiln temperature difference is very big, we need to use high-end advanced software of kiln temperature field is studied, and numerical simulation of tunnel kiln is helpful on the research of the temperature field and flow field, and the simulation results with decision analysis to obtain the optimal model, this for both the ceramic production practice and theory research of other aspects of tunnel kiln has great significance.

Keywords: gambit fluent tunnel kiln stove temperature difference temperature field

1. 绪论

随着经济不断发展,人民生活水平的不断提高,陶瓷工业在人民生产、生活中都占有重要地位。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。

陶瓷窑炉可分为两种:一种是间歇式窑炉,比如梭式窑;另一种是连续式窑炉,比如辊道窑。辊道窑由于窑内温度场均匀,从而保证了产品质量,也为快烧提供了条件;而辊道窑中空、裸烧的方式使窑内传热速率与传热效率大,又保证了快烧的实现;而快烧又保证了产量,降低了能耗。产品单位能耗一般在 2000~3500 KJ/Kg,而传统隧道窑则高达 5500~9000 KJ/Kg。所以,辊道窑是当前陶瓷工业中优质、高产、低消耗的先进窑型,在我国已得到越来越广泛的应用。

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。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。

1.1 陶瓷辊道窑特点

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。

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。与隧道窑相比,辊道窑用连续多排辊子代替窑车输送制品,取消了窑车,取消了砂封,避免车下窑外冷空气漏入隧道,使窑内同一截面上下温度均匀,大大缩短烧成时间,为优质高产低热耗创造了条件。

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。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。

其工作原理是:陶瓷坯体可直接置于辊子上或将坯体先放在垫板上,再将热板放在辊子上,由于辊子不断转动,可使坯体依序前进。每根辊子的端部都有小链轮,由链条带动自转,为传动平稳、安全、常将链条分若干组传动。低温处的辊子用耐热的镍铬合金钢制成,高温处则以耐高温的陶瓷辊棒(如刚玉瓷辊棒或碳化硅辊棒)作为辊子。辊道窑的燃烧室在辊子的下方,用压缩空气雾化重油、柴油、煤油等燃料进行燃烧产生高温。燃烧室与辊道之间,有耐火材料隔离,火焰不直接接触被烧制的产品。用于生产陶瓷电容器的辊道窑,又叫电窑,体积更小,用电热丝棒、硅碳棒、或硅钼棒等电热元件加热烧制。

1.2 陶瓷辊道窑发展简史

辊道窑出现于 20 世纪 20 年代,最初是应用于冶金工业;30 年代,美国首先将辊道窑试验用于陶瓷烤花工序;40 年代,意大利开始研究将辊道窑用于快烧面砖并取得了成功。至 60-70 年代,国外先进国家已普遍使用辊道窑焙烧建筑瓷砖,技术也已相当成熟。另外,国外还研制出焙烧卫生瓷等制品的辊道窑,以及焙烧日用瓷的高温辊道窑,在实际应用中都取得了很大成功。

我国自 70 年代才开始在陶瓷工业中研究与推广应用辊道窑,由于当时国内保温材料的材质较差、陶瓷棍棒的长度较短等原因,主要是应用生产日用烤花的隔焰辊道窑。1973 年,沈阳陶瓷厂首先试验成功辊道窑焙烧釉面砖;1974 年,山西省闻喜县陶瓷厂建成我国第一条煤烧日用瓷烤花辊道窑;同年,辽宁省海城县陶瓷四厂建成我国第一条烧重油的日用瓷烤花辊道窑。

辊道窑在我国的迅猛发展是从 80 年代开始,经历了从全面引进、消化吸收并翻版建造到独立研制与国产化的发展历程。1982 年,广东石湾利华装饰砖厂首家从意大利唯高公司引进 FRW2000 型辊道窑。据不完全统计,以后的近二十年,全国先后从意大利(如 WELKO、SITI、POPPI、SACMI 等公司)、德国(如 HEIMSOTH 公司)、日本(如高砂公司)、美国等发达国家引进了 500 余座各种规格的辊道窑。这些辊道窑为我国设计与建造有自主知识产权的辊道窑提供了很好的样板。首先,不少企业与厂家对引进窑作了大量的消化吸收工作,翻版建造了一批辊道窑,并取得了成功。更重要的是,引进窑的技术为我国自行设计辊道窑提供了很好的

借鉴，广东、山东、福建、四川、河北、江西、湖南、东北等各地分别根据各地燃料现状、材料实际状况设计建造了各种类型的辊道窑上千条。至 20 世纪末，辊道窑的设计与制造已基本实现了国产化，有的还远销国外。

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做主要的烧成设备，近几年正逐步在日用陶瓷工业中得到应用。

1.3 本课题的目的与意义

辊道窑属连续性陶瓷窑，由于排烟的需要其预热带处于负压状态，容易造成断面温度不均匀，影响产品质量，因此在辊道窑预热带大都设有搅拌气幕。但气幕设置的位置、形状、尺寸如何才有利于减小隧道窑上下温差，必须科技人员进行深入研究。

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，最终可以为窑炉结构设计和生产过程提供依据。

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，因此本课题将 Fluent 软件作为研究工具。

本课题研究的目的是借助 Fluent 软件来探讨研究侧墙 45° 搅拌气幕对窑内流场温度场影响，本课题组四位同学分别对窑顶、侧墙不同位置 and 不同角度设置的搅拌气幕进行研究，综合起来可以了角如何设置气幕的位置、形状、尺寸更有利于减小隧道窑上下温差，可以为隧道窑的搅拌气幕的设计提供科学依据。因此，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，而且这无论对陶瓷生产实践还是对隧道窑其他方面的理论研究工作都有较大的指导意义。

2. Fluent 软件简介

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，因此它允许同时在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：

1. 完全非结构化网格

Fluent 软件采用基于完全非结构化网格的有限体积法，而且具有基于网格节点和网格单元的梯度算法。

2. 定常/非定常流动模拟新功能

Fluent 软件新增快速非定常模拟功能。

3. 先进的动/变形网格技术

Fluent 软件中的动/变形网格技术主要解决边界运动的问题，用户只需指定初始网格和运动壁面的边界条件，余下的网格变化完全由解算器自动生成。

Fluent 解算器包括 NEKTON、FIDAP、POLYFLOW、ICEPAK 以及 MIXSIM。网格变形方式有三种：弹簧压缩式、动态铺层式以及局部网格重生式。其局部网格重生式是 Fluent 所独有的，而且用途广泛，可用于非结构网格、变形较大问题以及物体运动规律事先不知道而完全由流动所产生的力所决定的问题。

4. 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。值得强调的是，Fluent 软件还拥有多种基于解的网格的自适应、动态自适应技术以及动网格与网格动态自适应相结合的技术。

5. 多种数值算法

Fluent 软件采用有限体积法，提供了三种数值算法：非耦合隐式算法、耦合显式算法、耦合隐式算法，分别适用于不可压、亚音速、跨音速、超音速乃至高超音速流动。是商用软件中最多的。

6. 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。湍流模型包含 Spalart-Allmaras 模型、 $k-\omega$ 模型组、 $k-\varepsilon$ 模型组、雷诺应力模型 (RSM) 组、大涡模拟模型 (LES) 组以及最新的分离涡模拟 (DES) 和 V2F 模型等。另外用户还可以定制或添加自己的湍流模型 (包含了多种湍流模型，针对不同的问题可以采用更恰当的模型进行模拟)。
- Fluent 软件适用于牛顿流体、非牛顿流体。
- 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。
- Fluent 软件包含了多种化学反应及燃烧模型，比如有限速率、PDF、层流火焰、湍流火焰等多种模型，可以完成化学组分的混合/反应计算。
- Fluent 还具有离散相的拉格朗日跟踪计算功能。

Fluent 软件中还包含其他常用的模型，汇总如下：

- 自由表面流模型，欧拉多相流模型 (Euler)，混合多相流模型 (Mixture)，离散项模型 (Lagrangian Dispersed Phase Modeling：主要用来模拟一些二次相的体积含量小于 10% 的多相流动)、空穴两相流模型 (Cavitation)、湿蒸汽模型等，可以处理流场域中有多相流体存在时的流动，也可以同时处理气液固三相同时存在时的流动。
- 溶化/凝固以及蒸发/冷凝相变模型。
- 非均质渗透性、惯性阻抗、固体热传导、多孔介质模型 (考虑多孔介质压力突变)。
- 风扇、散热器、以热交换器为对象的集中参数模型。
- 基于精细流场解算的预测流体噪声的声学模型。
- 质量、动量、热、化学组分的体积源项。
- Fluent 磁流体模块可以模拟电磁场和导电流体之间的相互作用问题。
- 连续纤维模块可以很好地模拟纤维和气体流动之间的动量、质量以及热的交换问题。

7. 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。
- 高效率的并行计算功能，提供多种自动/手动分区算法；内置 MPI 并行机制，大幅度提高并行效率。另外，Fluent 特有动态负载平衡功能，确保全局高效并行计算。
- Fluent 软件提供了友好的用户界面，并为用户提供了二次开发接口 (UDF)。
- Fluent 软件后置处理和数据输出，可对计算结果进行处理，生成可视化的图形及给出相应的曲线、报表等。

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。
- 建筑设计和火灾研究。

2.2 Fluent 系列软件简介

自 1983 年问世以来，Fluent 就一直是 CFD 软件技术的领先者，被广泛应用于航空航天、旋转机械、航海、石油化工、汽车、能源、计算机/电子、材料、冶金、生物、医药等领域，使 Fluent 公司成为占有最大市场份额的 CFD 软件供应商。2006 年 5 月，Fluent 成为全球最大的 CAE 软件供应商—— ANSYS 大家庭中的重要成员。所有的 Fluent 软件将被集成在 ANSYS Workbench 环境下，共享先进的 ANSYS 公共 CAE 技术。Fluent 是 ANSYS CFD 的旗舰产品，ANSYS 将加大对 Fluent 核心 CFD 技术的投资，确保 Fluent 在 CFD 领域的绝对领先地位。

Fluent 系列软件包括：通用的 CFD 软件 Fluent、POLYFLOW、FIDAP，工程设计软件 Flo Wizard、Fluent for CATIAV5，前处理软件 Gambit、T Grid、G/Turbo，CFD 教学软件 Flow Lab，面向特定专业应用的 ICEPAK、AIRPAK、MIXSIM 软件。

Fluent 是通用 CFD 软件，Fluent 软件包含基于压力的分离求解器、基于压力的耦合求解器、基于密度的隐式求解器、基于密度的显式求解器，多求解器技术使 Fluent 软件可以用来模拟从不可压缩到高超音速范围内的各种复杂流场。Fluent 软件包含非常丰富、经过工程确认的物理模型，可以模拟高超音速流场、转捩、传热与相变、化学反应与燃烧、多相流、旋转机械、动/变形网格、噪声、材料加工等复杂机理的流动问题。

Fluent 软件的动网格技术处于绝对领先地位，并且包含了专门针对多体分离问题的六自由度模型，以及针对发动机的二维半动网格模型。

POLYFLOW 是基于有限元法的 CFD 软件，专用于粘弹性材料的层流流动模拟。它适用于塑料、树脂等高分子材料的挤出成型、吹塑成型、拉丝、层流混合、涂层过程中的流动及传热和化学反应问题。

Flo Wizard 是高度自动化的流动模拟工具，它允许设计和工艺工程师在产品开发的早期阶段迅速而准确地验证他们的设计。它引导你从头至尾地完成模拟过程，使模拟过程变得非常容易。

Fluent for CATIAV5 是专门为 CATIA 用户定制的 CFD 软件，将 Fluent 完全集成在 CATIAV5 内部，用户就像使用 CATIA 其他分析环境一样地使用 Fluent 软件。

Gambit 是专业的 CFD 前处理软件，包括功能强大的几何建模和网格生成能力。

G/Turbo 是专业的叶轮机械网格生成软件。

AIRPAK 是面向 HVAC 工程师的 CFD 软件。并依照 ISO7730 标准提供舒适度、PMV、PPD 等衡量室内外空气质量 (IAQ) 的技术指标。

MIXSIM 是专业的搅拌槽 CFD 模拟软件。

除 Fluent 外，常用的 CFD 软件及相关仿真软件还有：专业三维流场分析软件——CFX，三维 CFD 快速求解器——CART3D，流体系统仿真、设计与优化平台——Flow master，专业的离散元仿真分析软件——EDEM 等。

1.2.3 Fluent 软件先进的求解技术

在 Fluent 软件当中，有两种数值方法可以选择：

- 基于压力的求解器。
- 基于密度的求解器。

从传统上讲，基于压力的求解器是针对低速、不可压缩流开发的，基于密度的求解器是针对高速、可压缩流开发的。但近年来这两种方法被不断地扩展和重构，使得它们可以突破传统上的限制，可以求解更为广泛的流体流动问题。

Fluent 软件基于压力的求解器和基于密度的求解器完全在同一界面下，确保 Fluent 对于不同的问题都可以得到很好的收敛性、稳定性和精度。

1. 基于压力的求解器

基于压力的求解器采用的计算法则属于常规意义上的投影方法。投影方法中，首先通过动量方程求解速度场，继而通过压力方程的修正使得速度场满足连续性条件。由于压力方程来源于连续性方程和动量方程，从而保证整个流场的模拟结果同时满足质量守恒和动量守恒。由于控制方程(动量方程和压力方程)的非线性和相互耦合作用，就需要一个迭代过程，使得控制方程重复求解直至结果收敛，用这种方法求解压力方程和动量方程。

2. 基于密度的求解器

基于密度的方法就是直接求解瞬态 N-S 方程(瞬态 N-S 方程理论上是绝对稳定的)，将稳态问题转化为时间推进的瞬态问题，由给定的初场时间推进到收敛的稳态解，这就是我们通常说的时间推进法(密度基求解方法)。这种方法适用于求解亚音、高超音速等流场的强可压缩流问题，且易于改为瞬态求解器。

Fluent 软件中基于密度的求解器源于 Fluent 和 NASA 合作开发的 RAMPANT 软件，因此被广泛地应用于航空航天工业。Fluent 6.3 中新增加了 AUSM 和 Roe-FDS 通量格式，AUSm 提供了对不连续激波提供更高精度的分辨率，Roe-FDS 通量格式减小了在大涡模拟计算中的耗散，从而进一步提高了 Fluent 在高超声速模拟方面的精度。

2.3 Fluent 6.3 的功能模块

一套基本的 Fluent 软件包含了两个部分, 即 Gambit 和 Fluent。Gambit 的主要功能是几何建模和网格划分, Fluent 的功能是流场的解算及后置处理。此外还有专门针对旋转机械的几何建模和网格划分模块 Gambit/Turbo 以及其他专门用途的功能模块。

1. Gambit 2.3 创建网格

Gambit 拥有完整的建模手段, 可以生成复杂的几何模型。此外, Gambit 含有 CAD/CAE 接口, 可以方便地从其他 CAD/CAE 软件中导入建好的几何模型或网格。

在第二章中会重点介绍常用的两种建模手段。

2. Fluent 解算及后置处理

如前文提到的, Fluent 解算功能的不断完善确保了 Fluent 对于不同的问题都可以得到很好的收敛性、稳定性和精度。Fluent 具有强大的后置处理功能, 能够完成 CFD 计算所要求的功能, 包括速度矢量图、等值线图、等值面图、流动轨迹图, 并具有积分功能, 可以求得力、力矩及其对应的力和力矩系数、流量等。对于用户关心的参数和计算中的误差可以随时进行动态跟踪显示。对于非定常计算, Fluent 提供非常强大的动画制作功能, 在迭代过程中将所模拟非定常现象的整个过程记录成动画文件, 供后续的分析演示。

3. Gambit/Turbo 模块

该模块主要用于旋转机械的叶片造型及网格划分, 该模块是根据 Gambit 的内核定制出来的, 因此它与 Gambit 是直接耦合在一起, 采用 Turbo 模块生成的叶型或网格, 可以直接用 Gambit 的功能进行其他方面的操作, 从而可以生成更加复杂的叶型结构。比如对于涡轮叶片, 可以先采用 Turbo 生成光叶片, 然后通过 Gambit 的操作直接在叶片上开孔或槽, 也可以通过布尔运算或切割生成复杂的内冷通道等, 因此 Turbo 模块可以极大地提高叶轮机械的建模效率。

4. Pro/E Interface 模块

该模块用于同 Pro/E 软件直接传递几何数据、实体信息, 提高建模效率。

5. Deforming Mesh 模块

该模块主要用于计算域随时间发生变化情况下的流场模拟, 比如飞行器姿态的变化过程的流场特性的模拟, 飞行器分离过程的模拟, 飞行器轨道的计算等。

6. Flow-Induced Noise Prediction 模块

该模块主要用于预测所模拟流动的气动噪声，对于工程应用可用于降噪。比如用于车辆领域或风机等领域，降低气流噪声。

7. Magnetohydrodynamics 模块

该模块主要用于模拟磁场、电场作用时对流体流动的影响。主要用于冶金及磁流体发电领域。

8. Continuous Fiber Modeling 模块

该模块主要应用于纺织工业，用于纤维的拉制成型过程的模拟。

2.4 Fluent 6.3 的分析过程

使用 Fluent 解决某一问题时，首先要考虑如何根据目标需要选择相应的物理模型，其次明确所要模拟的物理系统的计算区域及边界条件，以及确定二维问题还是三维问题。在确定所解决问题的特征之后，Fluent 6.3 的分析过程基本包括如下步骤：

(1) 创建几何结构的模型以及生成网格。

可以使用 Gambit 或者一个分离的 CAD 系统产生几何结构模型及网格。

(2) 运行合适的解算器。

Fluent 包含两类解算器，分别包括 2D、3D、2DDP、3DDP。Fluent2d 运行二维单精度版本；相应的 Fluent3d、Fluent2ddp、Fluent3ddp 分别运行三维单精度、二维双精度、三维双精度。这里选择 fluent 3d 求解器即可。

(3) 读入网格。

通过选择菜单 File→Read→Case&Data 命令读入 case 和 data 文件(默认读入可识别的 Fluent 网格格式)，扩展名分别为.cas 和.dat。一般说来，一个 case 文件包括网格、边界条件和解的控制参数。如果网格文件是其他格式，相应的选择菜单为 File→Import 命令。另外，值得提一下几种主要的文件形式。

- jou 文件：日志文档，可以编辑运行。
- dbs 文件：Gambit 工作文件。
- msh 文件：从 Gambit 输出的网格文件。
- cas 文件：经 Fluent 定义后的文件。
- dat 文件：经 Fluent 计算的数据结果文件。

(4) 检查网格。

读入网格之后要检查网格，相应的选择菜单为 Grid→Check。在检查过程中，读者可以在控制台窗口中看到区域范围、体积统计以及连通性信息。网格检查最容易出现的问题是网格体积为负数。如果最小体积是负数，就需要修复网格以减少解域的非物理离散。

(5) 选择解的格式。

根据问题的特征来选择解算器的具体格式，后面章节会针对不同的物理模型具体展开说明求解的具体格式。分离解算器是 Fluent 默认的解算器。

(6) 选择需要解的基本模型方程。

例如层流、湍流(无粘)、化学组分、化学反应、热传导模型等。

(7) 确定所需要的附加模型。

例如风扇，热交换，多孔介质等。

(8) 指定材料物理性质。

可以在材料数据库中选择气体属性，或者创建自己的材料数据。

(9) 指定边界条件。

相应的选择菜单为 Define→Boundary Conditions，以设定边界条件的数值与类型。

(10) 调节解的控制参数。

相应的选择菜单为 Solve→Controls 子菜单，在打开的面板里可以改变压松弛因子、多网格参数以及其他流动参数的默认值。

补充：一般计算过程需要监控计算收敛及精度的变化情况，例如需要激活残差图(Residual Plotting)：相应的选择菜单为 Solve→Monitors→Residual，在选项中，打开 Plot 选项激活残差图形，然后单击 OK，就可以在计算过程中查看残差，残差变化曲线由上向下逐渐减少的趋势表明计算有收敛的可能，结果可能比较理想。

(11) 初始化流场

迭代之前一般需要初始化流场，即提供一个初始解。用户可以从一个或多个边界条件算出初始解，也可以根据需要设置流场的数值，相应的选择菜单为 Solve→Initialize→Initialize。

(12) 计算解。

迭代计算时，需要设置迭代步数，相应的选择菜单为 Solve→Iterate。

(13) 检查结果。

通过图形窗口中的残差图查看收敛过程，通过残差图可以了解迭代解是否已经收敛到允许的误差范围了；以及观察流场分布图，相应的选择菜单为 Display→Velocity Vectors。

(14) 保存结果。

问题的定义和 Fluent 计算结果分别保存在 case 文件和 data 文件中。必须保存这两个文件以便以后重新启动分析。保存 case 文件和 data 文件相应的选择菜单为 File→Write→Case&Data。

3. 仿真对象简介

3.1 仿真对象的主要尺寸

本仿真对象设计以高 95mm、口径 150mm、底径 55mm 的罗汉汤碗为产品的隧道窑，全窑长 56m，共 28 节，最高烧成温度是 1310℃，采用 0 号柴油燃料。根据制品的化学组成、形状、尺寸、线收缩率及其他一些性能要求，制订温度制度周期 18 小时。

每节窑长为 2m，窑内宽为 2.06m，预热带、冷却带窑全宽为 2.92m，烧成带为 3.12m。窑内高为 1.34m，预热带以及冷却带窑全高为 1.943m，烧成带窑全高为 2.093m。

预热带 9 节，1 到 3 节为排烟，第 1 节前半节两侧墙及窑顶设置一道封闭气幕，气幕风由冷却带抽来的热空气提供。后半节上部和下部各设 1 对排烟口。目的是使窑头气流压力自平衡，以减少窑外冷空气进入窑体。第 2 节和第 3 节每节在窑车台面棚板通道处各设 2 对排烟口，尺寸：134×115mm 位置正对。共六对。

另外，为方便调节预热带温度，尽量减少温差，在第 4 到 9 节内相错布置搅拌气幕和烧嘴，搅拌气幕的形状为斜四棱柱，详细结构下文进行介绍，高速调温烧嘴喷出的热烟气与喷风管喷出风在窑内断面上形成气流循环，使窑内气流实现激烈的搅动，促进上下温度场的均匀，而且加快了窑内的对流传热，缩短烧成时间，共用六组。

第 10 节到第 16 节为烧成带，第 10、11 节，每节设置 2 支烧嘴，上下部分分别是 1 烧嘴和 1 观火孔，12 节上下分别 2 观火孔和 2 烧嘴。13~16 节上下部均有高速调温烧嘴，上部设置 2 只烧嘴和 2 只观火孔，下部设置 4 只烧嘴和 4 只观火孔，上下部设置与窑墙均呈现交错布置，共 32 支。烧嘴和观火孔一一正对。

冷却带按照烧成工艺分成三段：第 17~19 节为急冷段。该段采用喷入急冷风直接冷却方式，除急冷首节只在后半节设冷风喷管（尺寸 $\Phi 67$ ）（上设 3 个，下设 3 个）外，其余每节上部设 6 个冷风喷管，下部 6 个冷风喷管，上下喷管交错设置，前后正对，每侧共 15 个。

第 20~25 节为缓冷段。本设计中采用直接热风冷却的方法，为了能使急冷段和快冷段来的热风对制品进行充分缓冷，设计中 20 节不设抽热风口，25 节不设喷风管。其余 4 节各设 1 对相错的抽热风口，共 4 对，热风口尺寸与排烟段尺寸

一样大小 $134 \times 115\text{mm}$ 。

第 26~28 节为快冷段。第 26~28 节上下部各设 1 对冷风喷管，交错排列，尺寸 $\Phi 67$ ，共 12 支，通过喷管鼓入冷风直接对窑内的制品进行冷却，以保证制品的出窑温度低于 80°C 。

本课题“侧墙 45° 搅拌气幕对窑内流场温度场影响初探”由于时间和计算机内存的关系，只能取上述仿真对象含搅拌气幕的隧道窑一节来做仿真。含有本结构的窑为第四节到第九节，故选择其中一节作为研究对象，该节窑长 2m、宽 2.06m、高 1.943m。搅拌气幕孔设计在离该节烟气入口 0.965m 处，窑侧墙设置一个斜四棱柱形状的气幕喷口。该节窑的结构图见图 3-1 图 3-2 图 3-3 图 3-4。

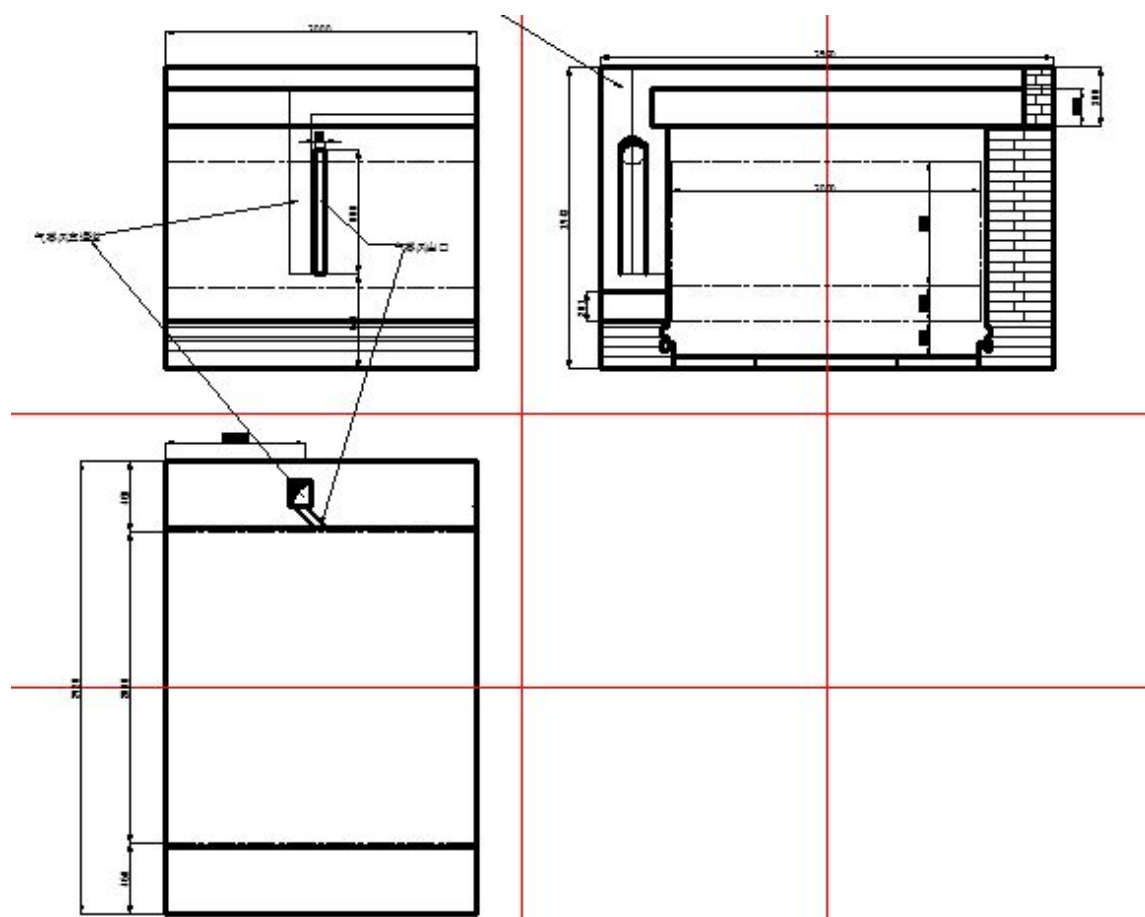


图 3-1 窑结构的三视图

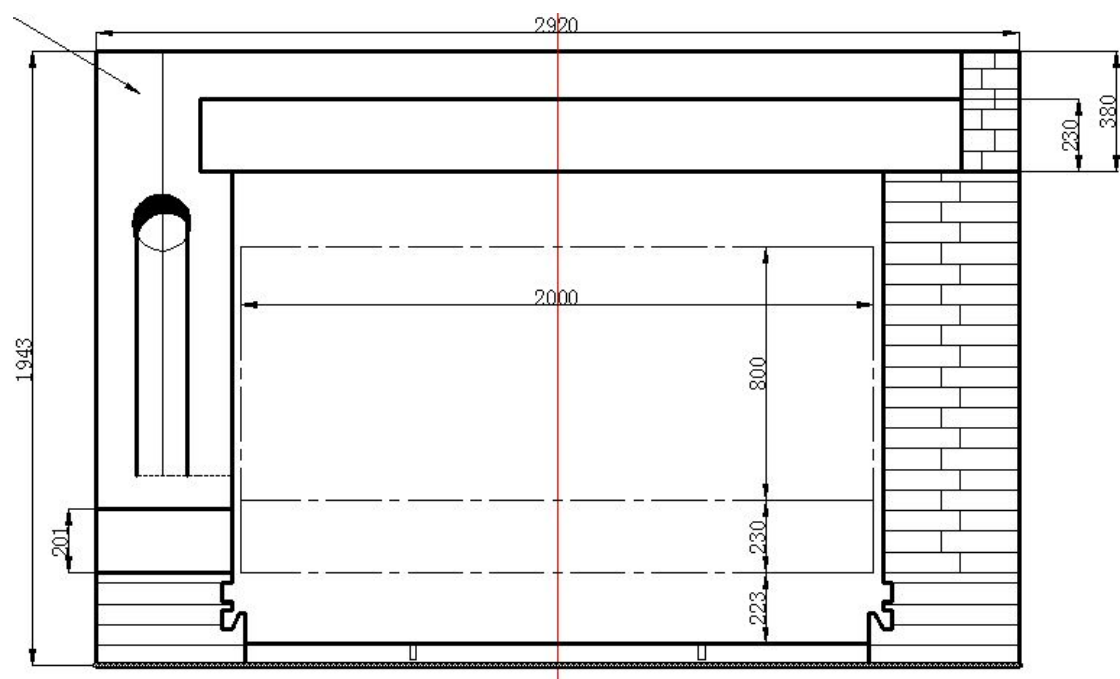


图 3-2 窑结构的侧视图

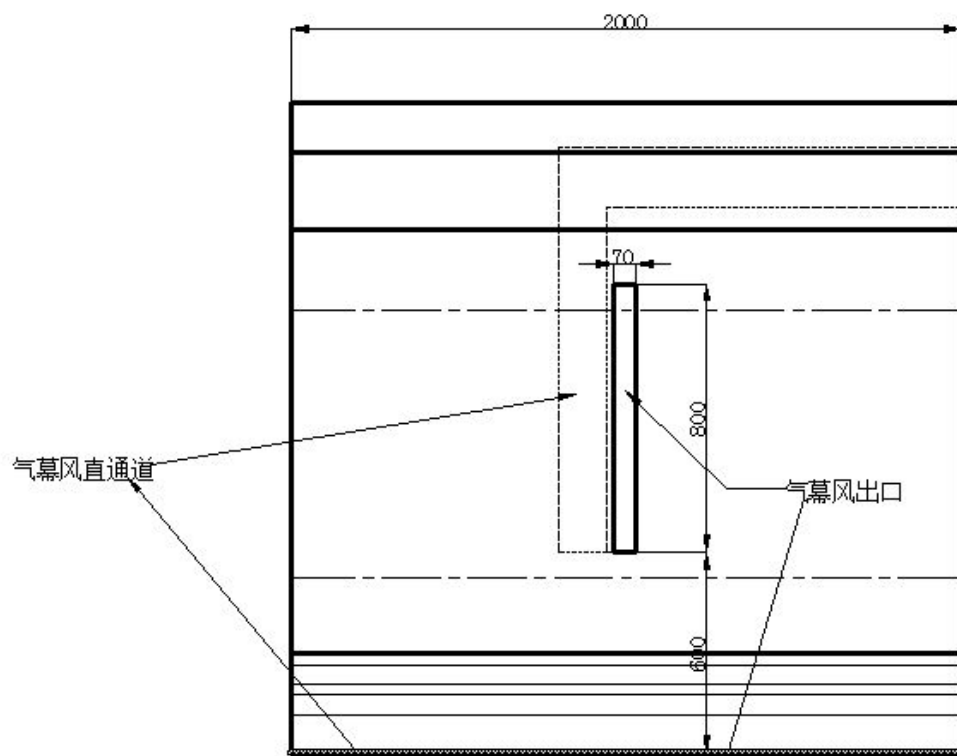


图 3-3 窑结构主视图

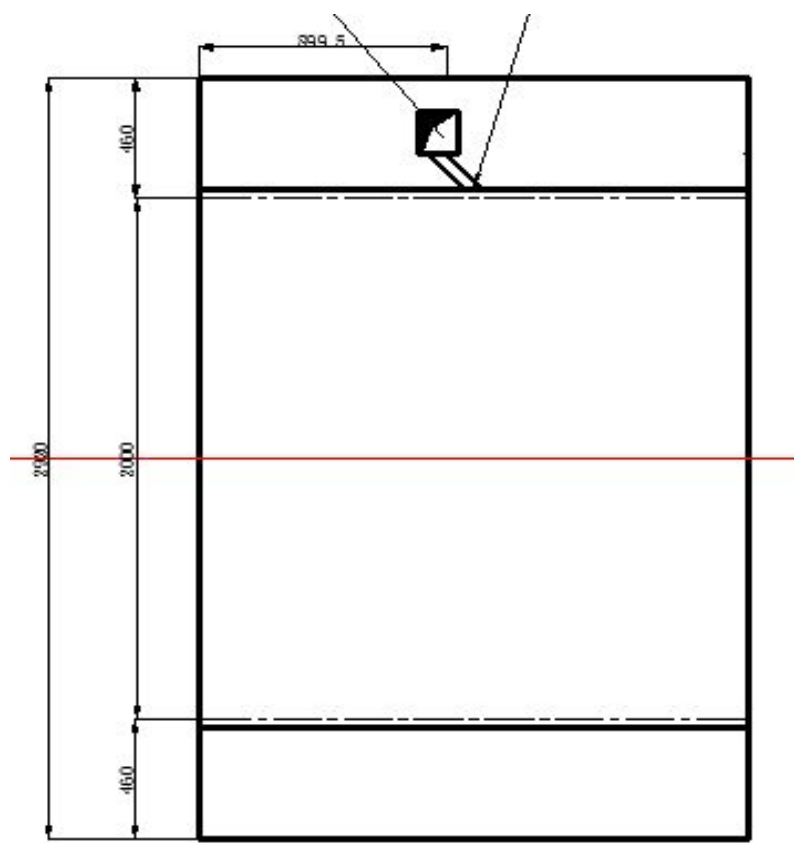


图 3-4 窑结构的俯视图

3.2 仿真对象的主要技术参数

隧道窑燃料为 0 号柴油，天然气的燃耗 $B=64.43 \text{ (Nm}^3/\text{h)}$ 。实际烟气量为：

$$V_g = 14.39 \text{ (Nm}^3/\text{Nm}^3\text{)}。$$

$$\begin{aligned} \text{由公式 } v &= \frac{B \cdot V_g}{3600 \times \text{长} \times \text{高}} \times \frac{273 + t_{\text{平均}}}{273} \\ &= \frac{64.43 \times 14.39}{3600 \times 2 \times 1.34} \times \frac{273 + 450}{273} \\ &= 0.2545 \text{ Nm/s} \end{aligned}$$

故取窑内烟气主流速度 v 为 0.25 Nm/s

该节烟气入口温度为 400°C ，出口烟气温度为 450°C ，该节窑的烟气平均温度取 425°C 。搅拌气幕通入从冷却带抽出的热空气，气幕风温度定为 200°C ，其实际流速取 15 m/s 。

3.3 仿真对象的窑体材料及参数

表 3-1 列出了该窑预热带窑体选所用材料及厚度。由于仿真时设置窑体边界条件时需要窑墙材料的平均导热系数, 这里按各层材料厚度的加权平均法计算出窑体的平均导热系数:

(1) 窑墙的平均导热系数

$$\lambda_1 = \frac{(0.310 + 0.176 \times 425 \times 10^{-3}) \times 0.23 + (0.02 + 0.175 \times 10^{-3} \times 425) \times 0.15}{0.23 + 0.15}$$

=0.274 W/m · °C

(2) 窑顶的平均导热系数

$$\lambda_2 = \frac{(0.310 + 0.176 \times 425 \times 10^{-3}) \times 0.23 + (0.02 + 0.175 \times 425 \times 10^{-3}) \times 0.2}{0.23 + 0.2}$$

=0.254W/m · °C

(3) 窑底的平均导热系数

$$\lambda_3 = \frac{(0.310 + 0.176 \times 425 \times 10^{-3}) \times 0.23 + (0.063 + 0.14 \times 10^{-3} \times 425) \times 0.13 + 0.2 \times 0.1}{0.23 + 0.13 + 0.1}$$

=0.274W/m · °C

表 3-1 窑体材料及厚度

所选预热带所用材料及厚度					
名称		材质	使用温度(°C)	导热系数[λ / (m·°C)]	厚度(mm)
窑顶	耐火层	莫来石轻质高铝砖	1600°C	0.310+0.176×10 ⁻³ t	230
	隔热层	高纯型耐火纤维刺毯	1150°C	0.02+0.000175t	150
窑墙	耐火层	莫来石轻质高铝砖	1600°C	0.310+0.176×10 ⁻³ t	230
	隔热层	高纯型耐火纤维刺毯	1350°C	0.02+0.000175t	200
窑底	耐火层	莫来石轻质高铝砖	1600°C	0.310+0.176×10 ⁻³ t	230
	隔热层	硅藻土砖	900°C	0.063+0.14×10 ⁻³ t	130
	膨胀层	硅酸盐耐火纤维束	1350°C	0.1~0.3	100

4. 用 Gambit 建立几何网格模型

4.1 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/ 毕业设计的一些东西) —在 Session ID 文本框中输入文件名—201030453104—[Run]—即启动了 Gambit 的布局窗口。

B. 确定求解器: [Solver] | [FLUENT5/6]

4.2 建立一节隧道窑几何体模型:

为了使计算机仿真时节约空间与时间, 可以在窑宽度方向取中点作对称面, 建几何体模型时只画出窑的一半, 可以更好的节约空间和计算时间。在 Gambit 软件上建仿真窑几何体模型的具体步骤如下:

A. 画出窑墙角落的 4 个点: [Operation]—[Geometry]—[Vertex]—[Create Real], 在出现的对话框中分别在 X、Y、Z 三个坐标中输入 (0, 0, 0); (2, 0, 0); (0, 1.563, 0); (2, 1.563, 0); 每个输入完后都要按键 [Apply], 这样就创建了窑体一个面的四个顶点。

B. 由点连成线: [Operation]—[Geometry]—[Edge]—[Create Straight], 在 [Vertices] 里选中那四个点从 [Available] 移到 [Picked] 中, 两两连接成长方形。再点 [Apply]。

C. 由线组成面: [Operation]—[Geometry]—[Face]—[Create Face], 在 [Edges] 里选中那四条线从 [Available] 移到 [Picked] 中, 最后点击 [Apply]。

D. 面扫描为体: [Operation]—[Geometry]—[Volume]—[Sweep Faces]; 在 [Faces] 里选中那个面; 然后 [Define], 选中 Z 中的 [Positive], 点击 [Magnitude] 填入 1.03, 最后点击 [Apply]。

4.3 创建气幕几何体——斜四棱柱

A: 首先确定风管侧面的四个点的位置: [Operation]—[Geometry]—[Vertex]—[Create Real] 分别在 X、Y、Z 三个坐标中输入 (0.965, 1.4, 0); (1.035, 1.4,

0); (0.965, 0.6, 0); (1.035, 0.6, 0); 每个输入完后都要按键[Apply]。

B: 因为本气幕风口是斜 45°, 向窑内伸进 0.03m, 所以经过计算得出内侧四个点的坐标, 并依次在 gambit 中画出, 四个点的位置: [Operation]—[Geometry]—[Vertex]—[Create Real]分别在 X、Y、Z 三个坐标中输入 (0.995, 1.4, 0.03); (1.065, 1.4, 0.03); (0.995, 0.6, 0.03); (1.065, 0.6, 0.03); 每个输入完后都要按键[Apply]。

C: 由点连成线: [Operation]—[Geometry]—[Edge]—[Create Straight], 在[Vertices]里选中那八个点从[Available]移到[Picked]中, 两两连接成十二条直线。再点[Apply]。

D: 由线组成面: [Operation]—[Geometry]—[Face]—[Create Face], 在[Edges]里选中那四条线从[Available]移到[Picked]中, 每四条直线组成一个面, 最后为六个面, 最后点击[Apply]。

E: 由六个面组成为体: [Operation]—[Geometry]—[Volume]—[stitch Faces]; 在[Faces]里选中那六个面; 最后点击[Apply]。

F: 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], 从[Available]移到[Picked]中. 最后点击[Apply]即可完成。

4.4 窑内阻力简化模拟

由于隧道窑内应有制品料垛, 但由于我们水平有限, 时间也有限, 只能按辊道窑内制品来处理, 在高中心建立一个离各个侧面为 0.2m 的一水平面代表瓷砖制品。

A: 经计算得到此平面的四个坐标 (0.2, 0.6, 0.2)、(1.8, 0.6, 0.2)、(0.2, 0.6, 1.03)、(1.8, 0.6, 1.03)。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 (0.2, 0.6, 0.2)、(1.8, 0.6, 0.2)、(0.2, 0.6, 1.03)、(1.8, 0.6, 1.03); 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。

完成所有的上述步骤即得到了一个侧墙设有 45° 搅拌气幕的一节窑的半个几何体模型, 如图 4-1 所示, 它即代表了仿真对象的几何模型。

4.5 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 “gas in”, 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]。

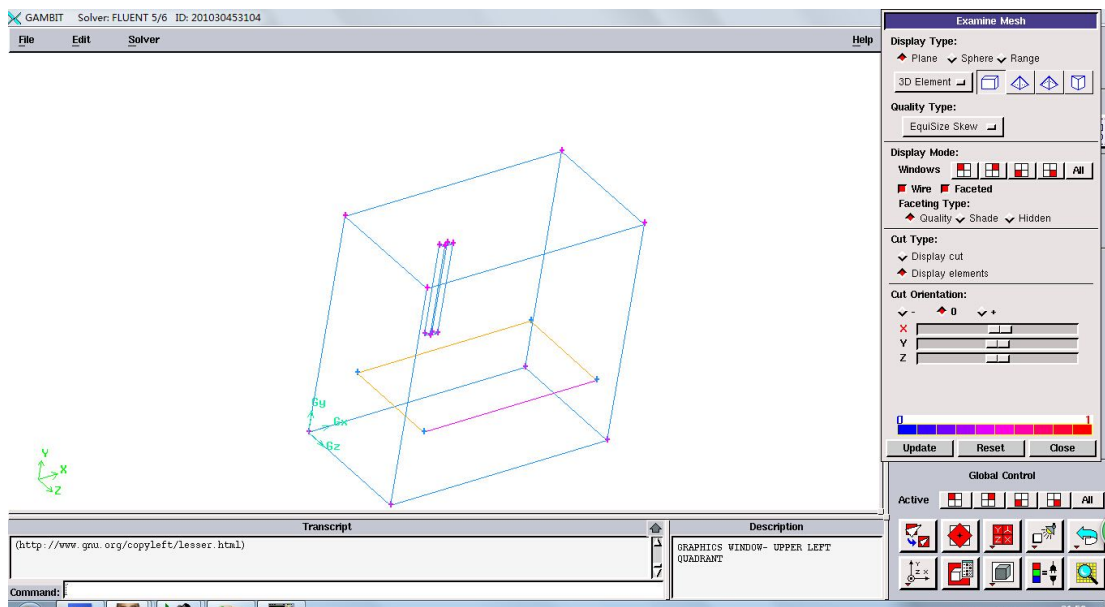


图 4-1 仿真对象的几何体模型

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 “gas out”—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: 窑侧墙搅拌气幕口边界面: [Operation]—[Zones]—[Specify Boundary Types]—打开其对话框—选中 Add。在 Name 项填入边界名称 “air jet”—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+鼠标左键点击窑顶垂直面—[Apply]。

D: 内部阻力边界面: [Operation]—[Zones]—[Specify Boundary Types]—打开其对话框—选中 Add。在 Name 项填入边界名称 “obstruction”—鼠标右

键点击 Type 按钮, 在出现的下拉列表中选 Internal—点击 Faces 右侧黄色区域—shift+鼠标左键点击窑内部一个面—[Apply]。

E: 墙的边界面: [Operation]—[Zones]—[Specify Boundary Types]—打开其对话框—选中 Add。在 Name 项填入边界名称 “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]。

F: 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。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+鼠标左键点击窑内部一个面—[Apply]。

4.6 确定边界面的内部各线分布并创建窑体的结构化体网格

A: 画好每条对应的线网格划分:

[Operation]—[Mesh]— [Edge] —[Mesh Edges], 在 [Edges] 中选中所需要划分的直线, 把下面的 [Spacing] 中选中 [Interval size] 里填入 0.04, 最后点击 [Apply]。完成线网格的划分。

B: 将线网格转为面网格: [Operation]—[Mesh]— [Face] —[Mesh Faces], 在 [Faces] 里选好对应的线条, 分别将封闭成面的线条选中, 点按键 [Apply] 即完成面网格的划分。

C: 建窑体的结构化体网格: [Operation]—[Mesh]— [Volume]—[Mesh Volumes] 中选中对应的划分好的面网格, 转换成体网格, (转换的时候划分的网格为四面体网格)。最后最后点击 [Apply]。即完成了所有网格的划分, 所建网格模型如图 3-2 所示。

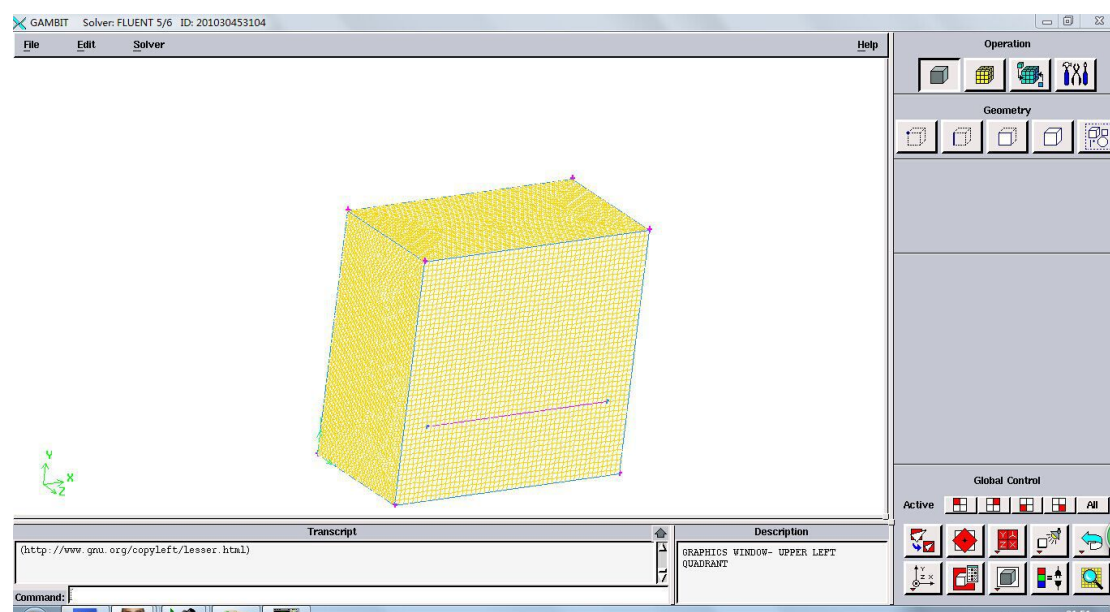


图 4-2 仿真对象的网格模型

4.7 输出网格并保存会话

A. [File]—[Export] | [Mesh...]—打开 Export Mesh File 会话框—输入要输出的文件名 201030453104.msh—[Accept]，则完成了网格文件的输出操作。

B. [File]—[Exit]，即退出 Gambit。

5 运用 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“201030453104”—[OK]。
- C. 检查网络: [Grid] | [Check]—出现所检查的部分信息。
- 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]。
- E. 设置区域尺寸及确定长度单位: [Grid] | [Scale...]—打开“Scale Grid”对话框—在“Units Conversion”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]。
- 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。

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;
 - B. Formulation-算法: Implicit-隐式算法, Explicit-显式算法;
 - C. Space-空间属性: 3D-三维, 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;

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

上列的五项均保持默认不改变。

(2) 设置 $k-\epsilon$ 湍流模型: [Define] | [Models]—[Viscous...]—打开“Viscous Models”对话框—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: [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 0.457, Cp-等压比容 1.185, Thermal Conductivity-导热系数 0.0656, Viscosity-动力粘度 0.0000348—[change/Create]—在弹出的对话框点击 NO—点击 Close 关闭流体属性设置对话框。

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) 设置窑内烟气入口速度边界条件: 在 Zone 栏内选择 gas in, 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 673; 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; d. 在 Hydraulic Diameter (水力直径)一栏内 1.35(入口直径)。

(3) 对喷管口 air jet 进行设置速度边界条件: 在 Zone 栏内选择 air jet, 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 15, 在 Temperature(入口温度)一栏内 473。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 6; 在 Hydraulic Diameter (水力直径)一栏内 0.128(入口直径)。

(4) 设置烟气出口边界条件: 在 Zone 栏内选择 gas out, 点击 Set..., 则打开 outflow 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 (出口速度)一栏内填入 1.5, 在 Temperature(入口温度)一栏内 723; 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; d. 在 Hydraulic Diameter (水力直径)一栏内 1.35(入口直径)。

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 air jet, x 为 15, z 也为 15, 因为本设计为斜 45 度进气 — [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 gas out — 在 Report Type 下拉列表中选 Area-Weighted Average(面积平均) — [OK]

一点击监视对话框的[OK]，运行后监视图如图 5-1 所示。

(3) 保存文件：[File] | [Write]—[Case...]—输入文件名—[OK]。

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

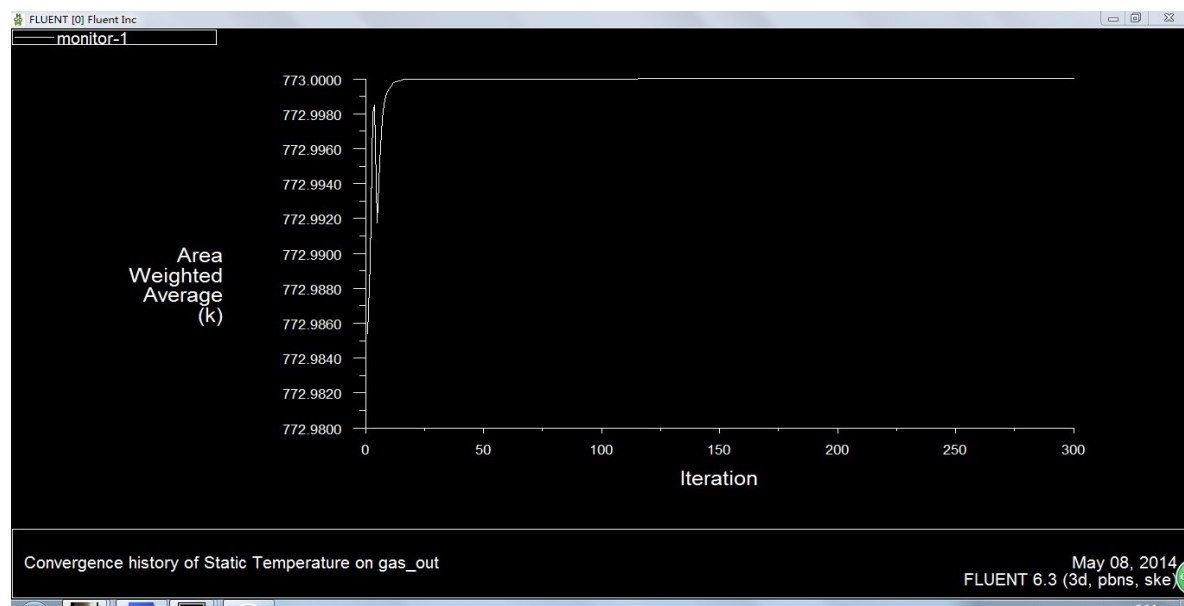


图 5-1 运算过程出口温度监视图

6 仿真结果与分析

6.1 计算结果的速度场以及温度场

(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 Magnitude(速度大小), 在 Options 下选 Filled(填充方式)—[compute]—[Display] ; 见图 6-1。

(2) 显示温度场: [Display] | [Contours...]—在打开的对话框中设置: 在 Contours of 栏下选 Temperature...和 Static Temperature(静态温度), 在 Options 下选 Filled(填充方式) , 选 Global Range, Auto Range —Levels 中填 100 —Setup 填 5—[compute]—[Display] ; 见图 6-2。

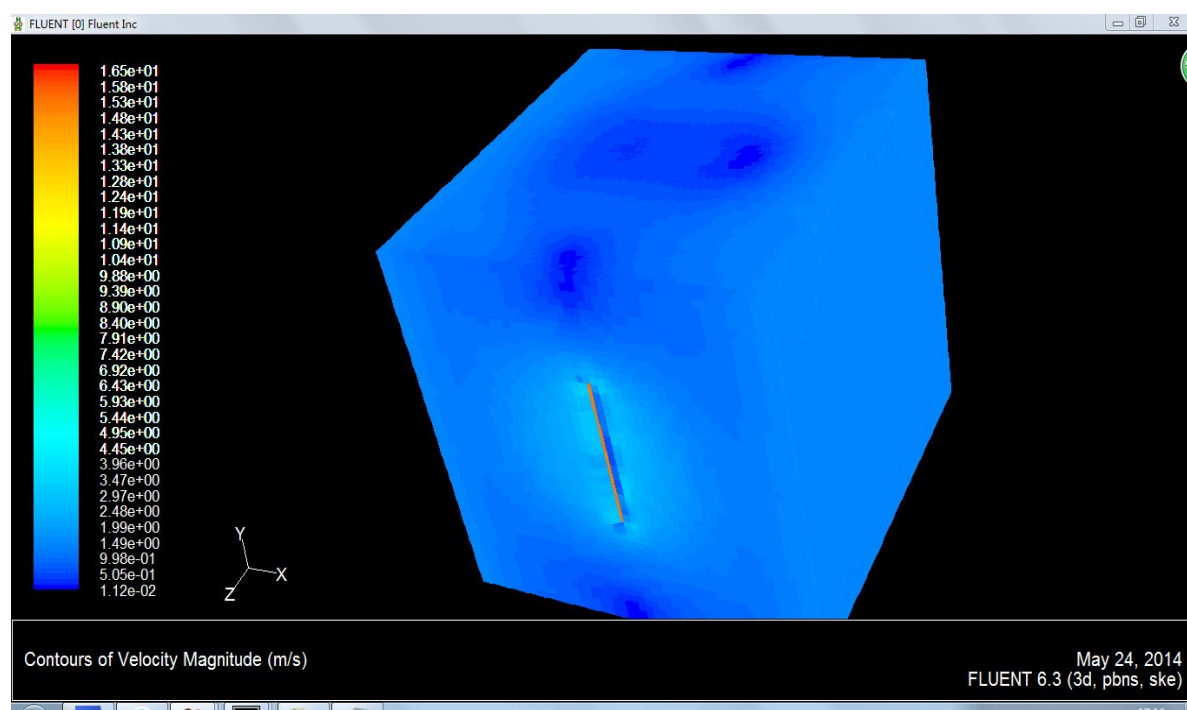


图 6-1 计算结果的速度场

结论: 窑头与窑尾的速度差别不大, 气幕风入口处的速度较快, 窑顶与窑底的速度较慢。

6.2 计算结果的速度矢量场

(1) 显示速度矢量场: [Display] | [Vectors...]—在 Contours of 栏下选 Velocity...和 Velocity Magnitude(速度大小), 在 Options 下选 Global Range, Auto Range, Auto Scale—在 Style 选 arrow—在 Scale 中填 3—[compute]—[Display]得速度矢量场; 见图 6-3。

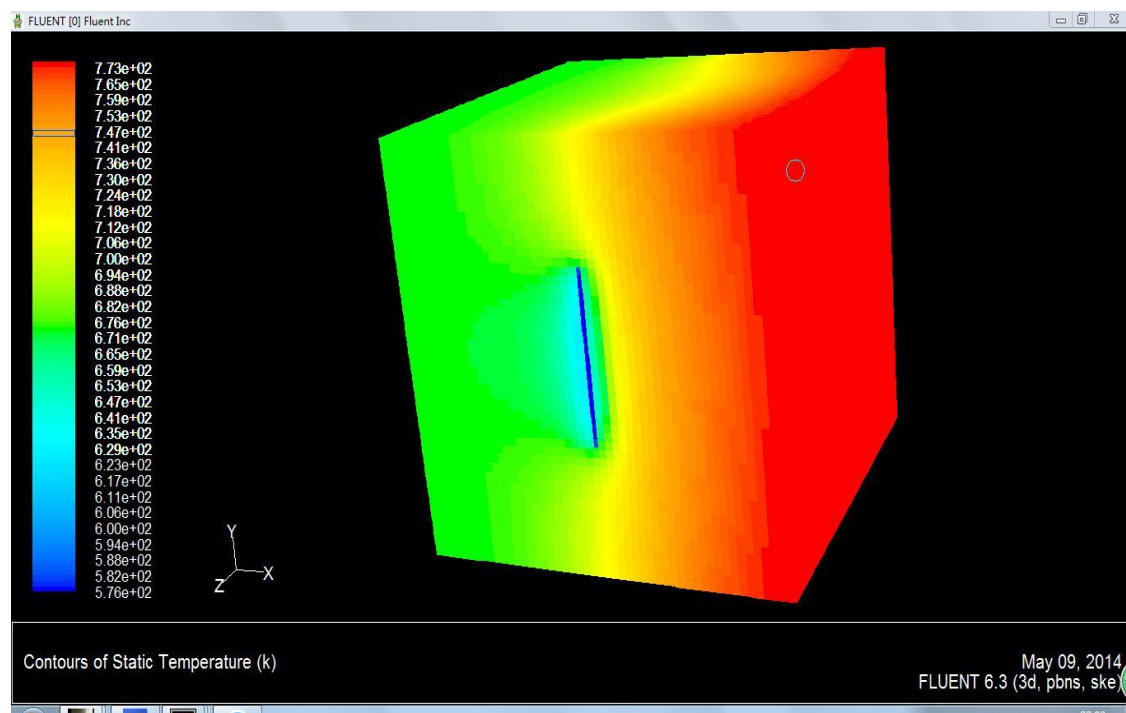


图 6-2 计算结果的温度场

结论：窑头与窑尾的温度差不多较大，在窑顶看出温度曲线沿气幕风喷入方向呈现出一定的变化，气幕风的温度比较低，温度搅拌的均匀程度一目了然。

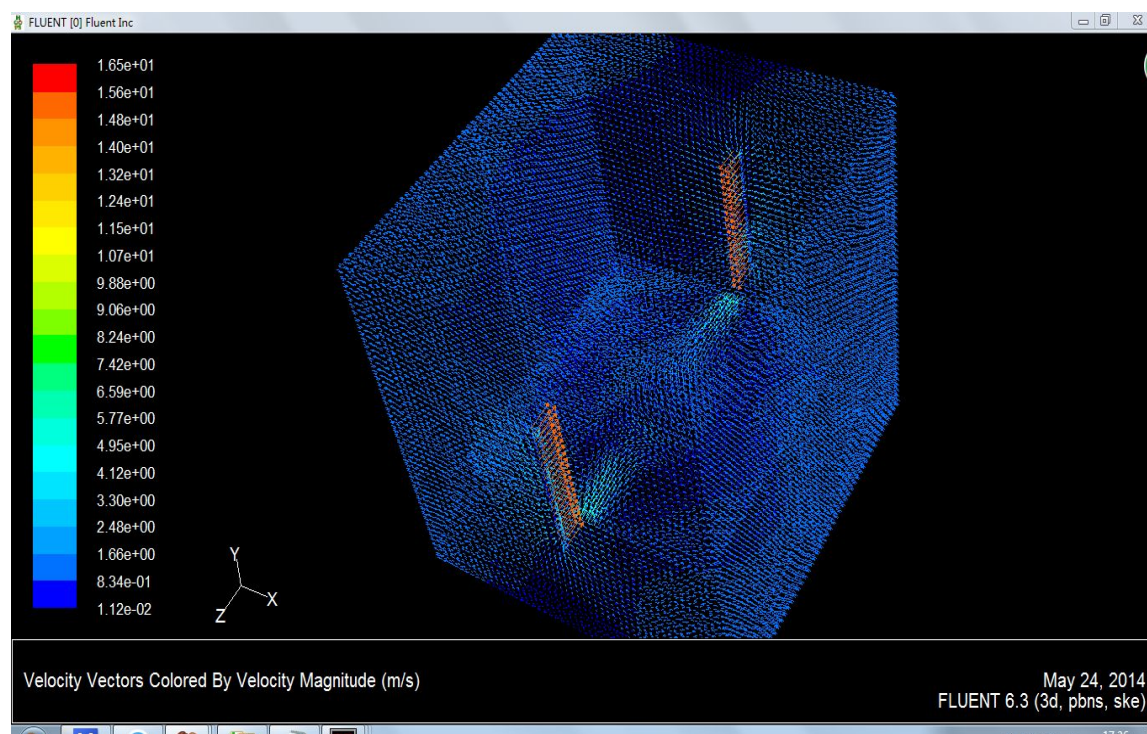


图 6-3 计算结果的速度矢量场

结论：显示出速度的变化图，以及气幕入口的速度曲线。

6.3 计算结果的等压线

(1) 显示流场中的等压力线: [Display] | [Contours...]—在 Contours of 栏下选 Pressure...和 Static Pressure, 在 Contours of 栏不选中 Filled—Levels 中填 50—Setup 填 3——[compute]—[Display]得等压线图; 见图 6-4。

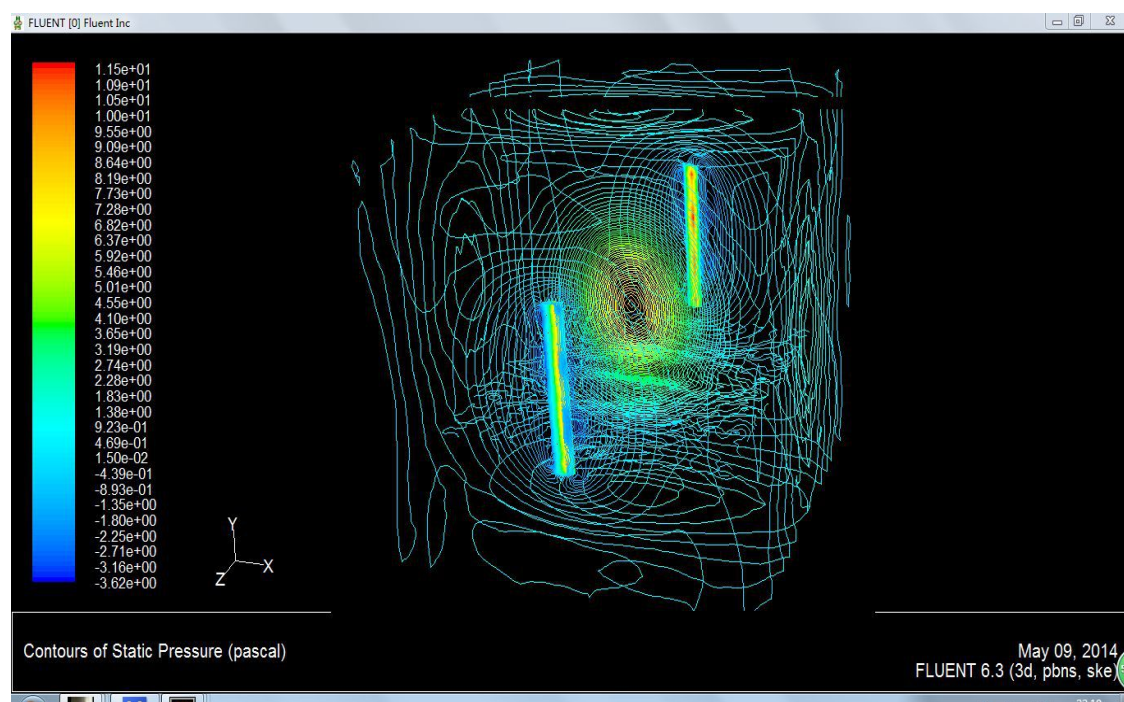


图 6-4 计算结果的等压线图

结论: 反映出窑中间平面因为受到气流冲击压力较大, 而两边的气幕风入口处因为气流速度大而导致压力较大。

6.4 创建三个面上的温度曲线图

(1) 创建三个面上的温度曲线图:

选定三个特殊的面;底面、窑中心一半位置的剖面、高度为 1m 的平面。

1. [Surface] | [Plane]—在 Points 栏下输入三个点的坐标确定出一个平面 $(0, 0, 0)$; $(1, 0, 0)$; $(1, 0, 1.03)$; 并在 New Surface Name 中输入 plane-1, 这个面就是底面, 按 Create, 接着按 Close 关闭窗口。

[Display] | [Contours...]—在打开的对话框中设置: 在 Contours of 栏下选 Temperature...和 Static Temperature(静态温度), 在 Options 下选 Filled(填充方式), 选 Global Range, Auto Range —Levels 中填 100 —Setup 填 5—[compute]—[Display], 在 surfaces 选项中按 plane-1, 接着按 compute 后按 display 可以显示出底面的温度场的变化; 见图 6-5。

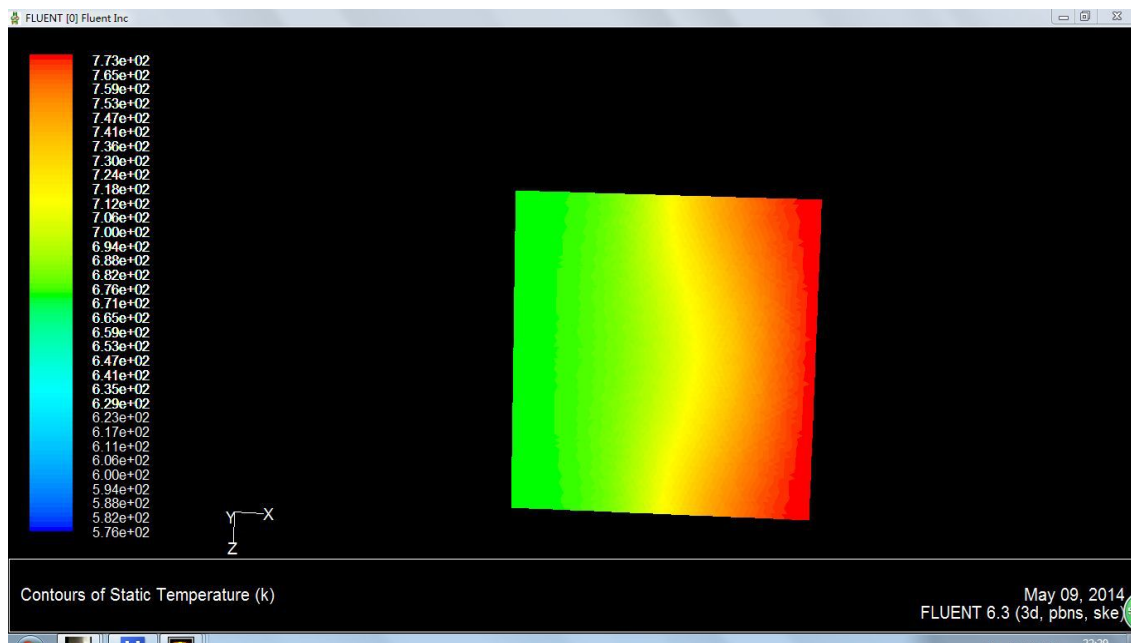


图 6-5 底面的温度场变化

结论：窑制品进口处比出口处的温度更低，沿着气幕风进入的方向温度逐渐升高，呈现 45 度的变化。

(2) [Surface] | Plane]—在 Points 栏下输入三个点的坐标确定出一个平面 (1, 0, 0) ; (1, 0, 1.03) ; (1, 1.943, 1.03) ; 并在 New Surface Name 中输入 plane-2, 这个面就是窑一半位置的剖面, 按 Create , 接着按 Close 关闭窗口。

[Display] | [Contours...]—在打开的对话框中设置: 在 Contours of 栏下选 Temperature...和 Static Temperature (静态温度), 在 Options 下选 Filled (填充方式) , 选 Global Range, Auto Range —Levels 中填 100 —Setup 填 5— [compute]—[Display] , 在 surfaces 选项中按 plane-2, 接着按 compute 后按 display 可以显示出底面的温度场的变化; 见图 6-6。

(3) [Surface] | Plane]—在 Points 栏下输入三个点的坐标确定出一个平面 (0.2, 1, 0.2) ; (1.8, 1, 0.2) ; (0.2, 1, 1.03) ; 并在 New Surface Name 中输入 plane-3, 这个面就是高度为 1m 的剖面, 按 Create , 接着按 Close 关闭窗口。

[Display] | [Contours...]—在打开的对话框中设置: 在 Contours of 栏下选 Temperature...和 Static Temperature (静态温度), 在 Options 下选 Filled (填充方式) , 选 Global Range, Auto Range —Levels 中填 100 —Setup 填 5— [compute]—[Display] , 在 surfaces 选项中按 plane-3, 接着按 compute 后按 display 可以显示出面的此平面温度场的变化; 见图 6-7。

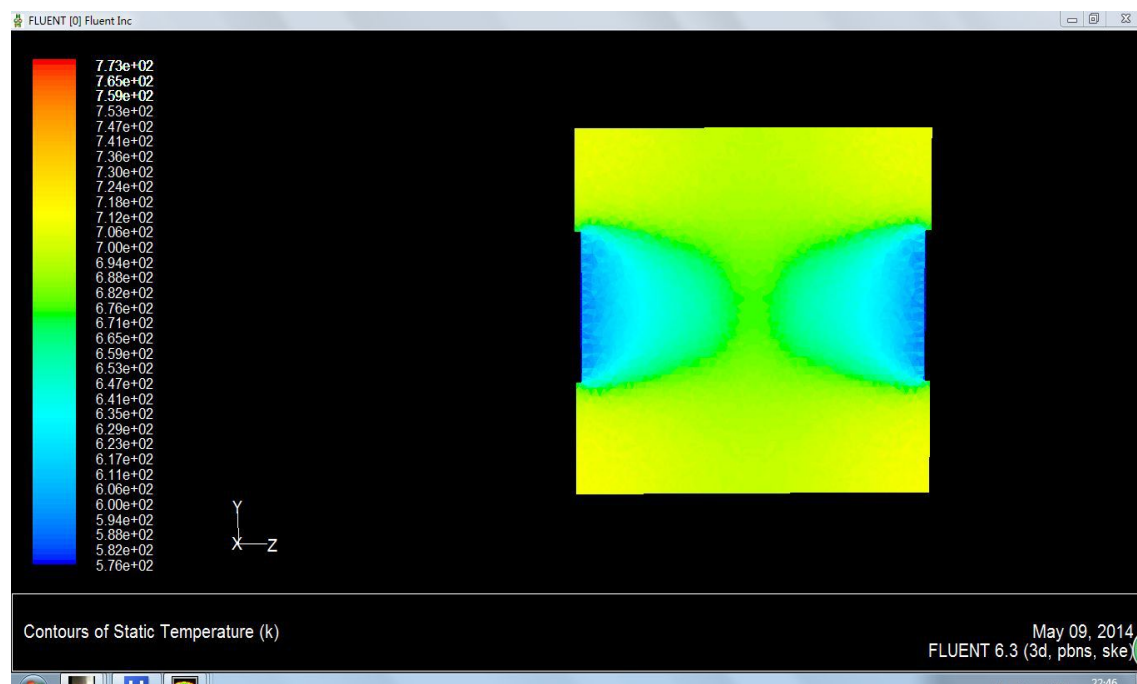


图 6-6 中心剖面的温度场变化

结论：沿着气幕风喷入的方向温度越来越高，影响越来越小。温度变化曲线呈现上下对称的情况。

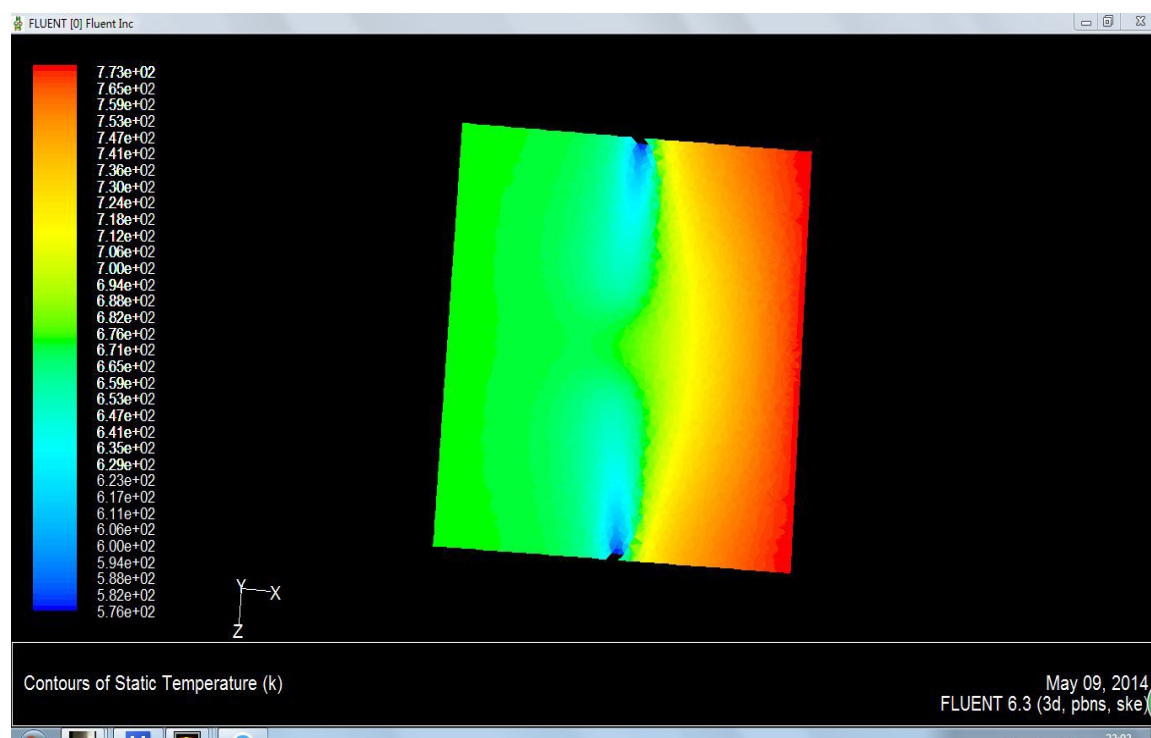


图 6-7 高度为 1m 的平面的温度场变化

结论：可以看到本气幕风湿沿着 45 度倾斜进入窑内，温度曲线沿着气体喷入的方向变化。

6.5 搅动气幕前后窑截面的温度场图

为比较有扰动气幕后温度场与没有的作比较, 建议结果中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 X 值的面)—点击 Compute, 在 Min 和 Max 栏会显示区域内 X 值的范围—在 Iso-Values 项填入数字 (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, surf-0.3—[Create] (这里假设 X 轴方向就是烟气流动方向, 则创建一个与它垂直的面) 同理在扰动气幕后再创一个面, 如 surf-1.7。

(2) 显示这两个面的温度场: [Display] [Contours...]—打开 Contours 对话框—在 Options 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—在 Levels 项选 100 setup 选 5—在 Surfaces 项选刚创建的面 surf-0.3 或者 surf 1.7—[Display]: 即可显示该面的温度分布云图; 见图 6-8、图 6-9。

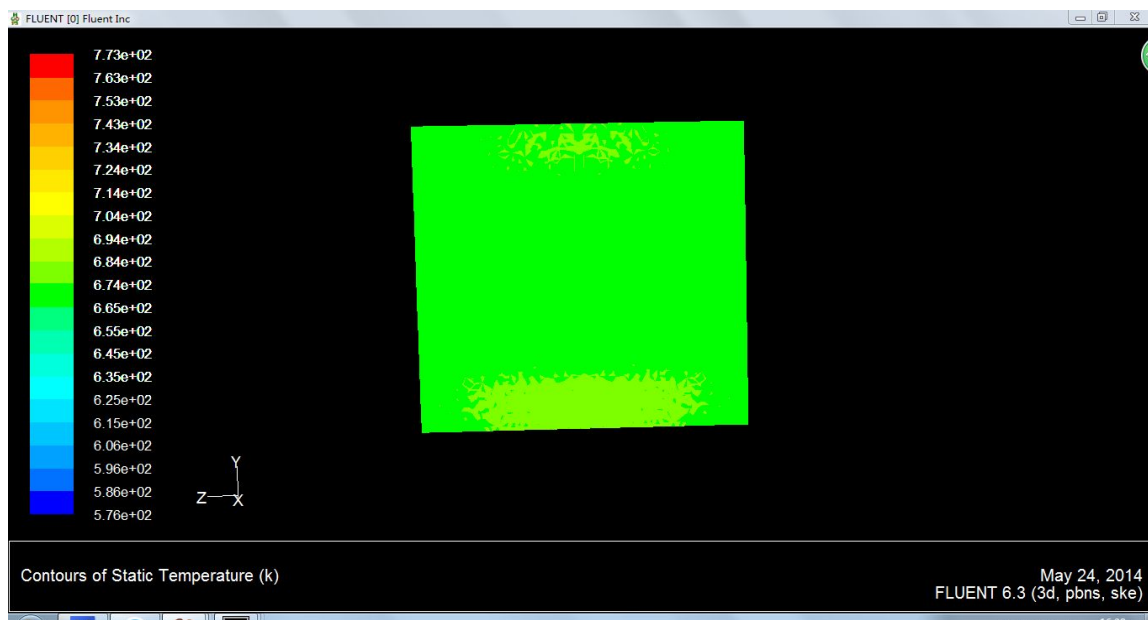
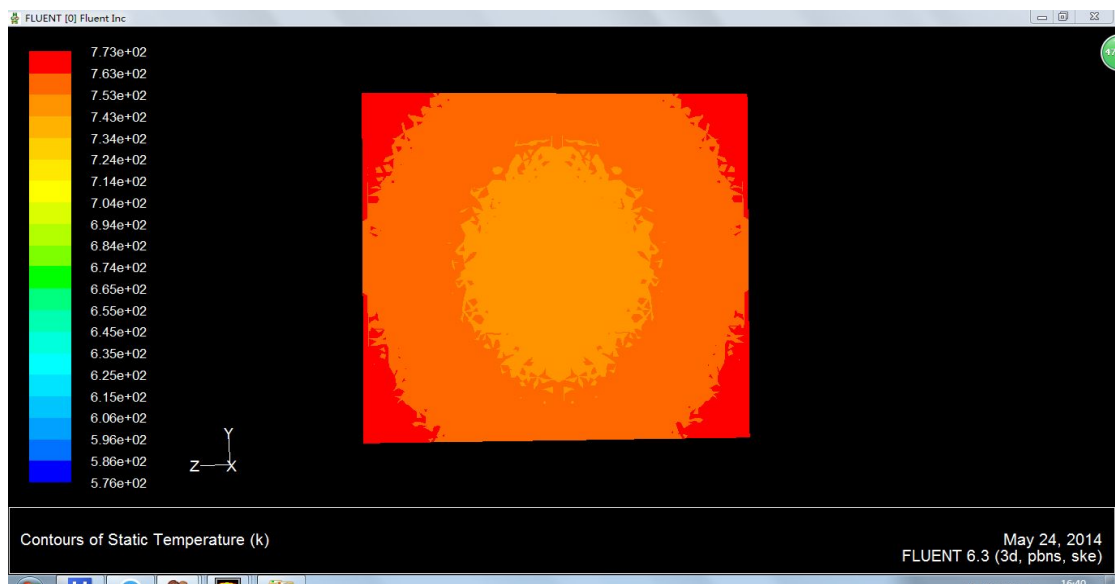


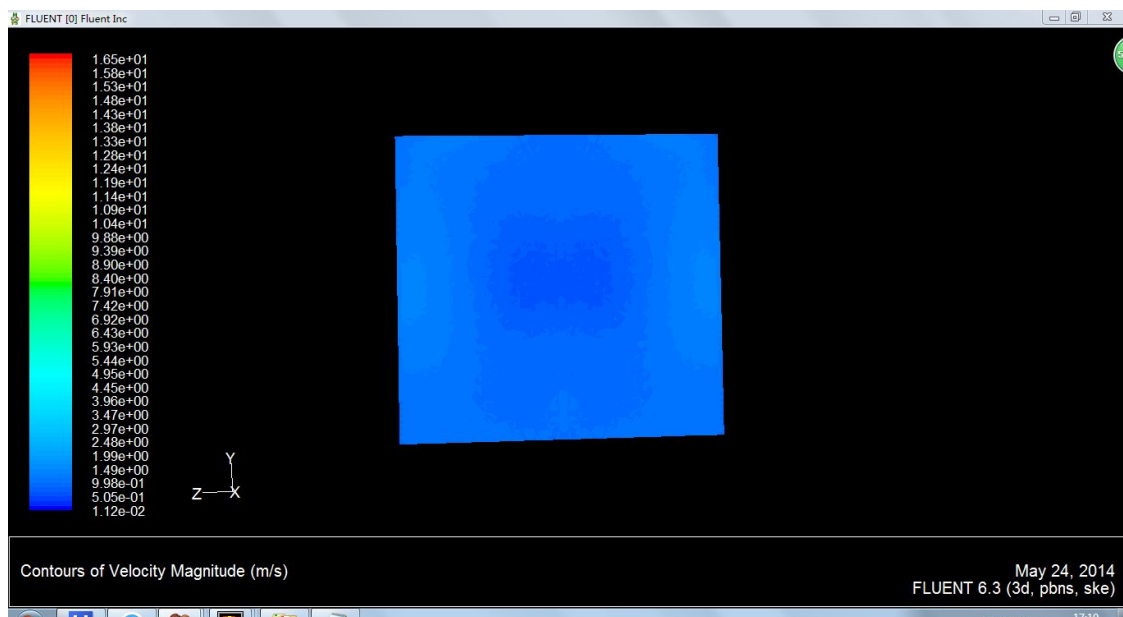
图 6-8 $x=0.3\text{m}$ 平面的温度场

结论: 温度较低, 窑底有一小块区域温度较低, 造成此现象的原因是本气幕设置的方位比较靠下有关。

图 6-9 $x=1.7\text{m}$ 平面的温度场

结论：经过搅拌气幕的之后的温度呈现出中间低四周高的变化，说明气幕风的效果比较明显，将温度分布改变了，温度分布差距比较大。

(3) 显示这两个面的速度场：[Display][Contours...]—打开 Contours 对话框—在 Options 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 Velocity 和 velocity magnitude—在 Levels 项选 100 setup 选 5—在 Surfaces 项选刚创建的面 surf-0.3 或者 surf 1.7—[Display]:即可显示该面的温度分布云图；见图 6-10、图 6-11。

图 6-10 $x=0.3\text{m}$ 平面的速度场

结论：速度呈现两边大中间小的变化，说明此处已经开始受到了搅拌气幕的影响，使的中间的气体流速受到了较大影响。

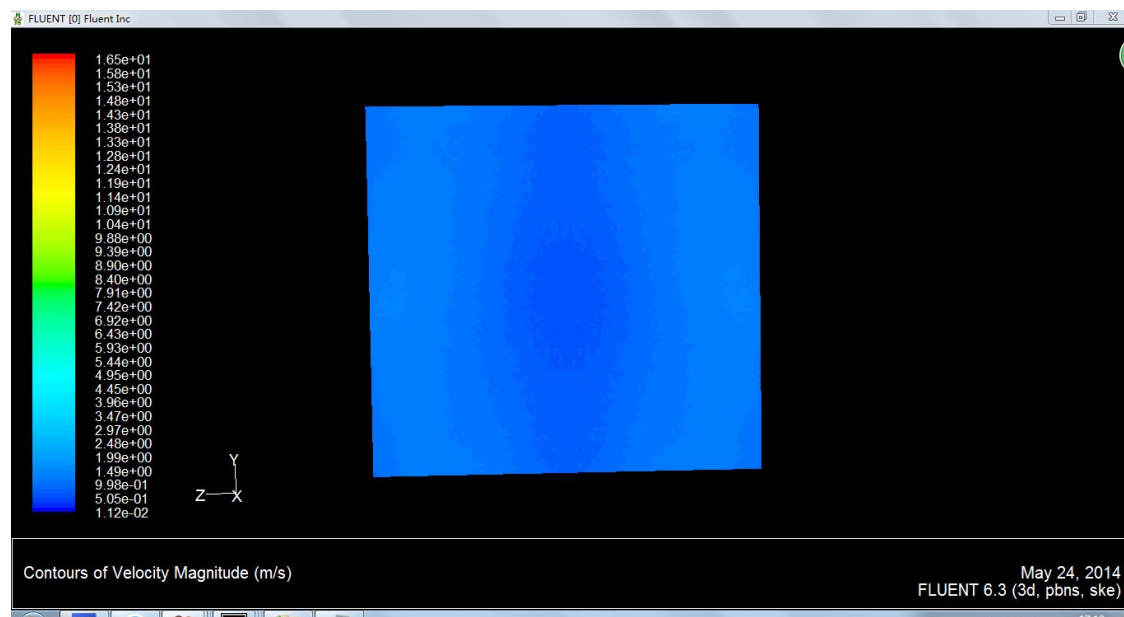


图 6-11 $x=1.7\text{m}$ 平面的速度场

结论：经过搅拌气幕之后速度变化不是特别大，靠近窑墙两边的气体流速变的更大，呈现上下一致的结果。

7 小结

7.1 论文的收获与完成过程

从去年年末我们接到这个毕业设计课题开始，我就开始了我的毕业设计工作，时至今日，历时半年多的时间，毕业设计基本完成。想想这段难忘的岁月，从最初的茫然，到慢慢的进入状态，再到对思路逐渐的清晰，整个设计过程难以用语言来表达。遇到困难，我会觉得无从下手，不知从何做起；当困难解决了，我会觉得豁然开朗，思路打开了；当毕业设计经过一次次的修改后，基本成型的时候，我觉得很有成就感。毕业设计需要不断的进行精心的修改，不断地去整理各方面的资料，不断的想出新的创意，认真总结。历经了这么久的努力，紧张而又充实的毕业设计终要落下帷幕。在这次毕业设计的过程中，我拥有了无数难忘的感动和收获。

通过这次对窑侧墙 45° 搅拌气幕对窑内流场温度场影响初探的研究，我了解了 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。说实在的，一开始对 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。通过这个构成，在做自己毕业设计时就心里有数了。从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。

今年年初，我们开始毕业设计的选题，我所选的设计题目是《窑顶 45° 搅拌气幕对窑内流场温度场影响初探》，在指导老师的指点下，寒假里通过各种渠道立刻着手于资料的搜集工作中。在我查找资料的过程中，让我对我所学过的知识有所巩固和提高，使我学到了新知识，增长了见识。

过年以及到过年之后一个月的这段时间我开始搜集资料已经查找完毕了，接下来我开始对所搜集的资料进行整理、分析研究。我在电脑中都进行分类的整理，整理指导老师给我们的模拟设计。然后针对不同设计部分的写作内容进行归纳和总结。尽量使我的资料和毕业设计的内容符合，这有利于毕业设计的研究。整理好资料后，在老师的指导基础上，完成了毕业设计的提纲，通过邮箱发给指导老

师检查与修改。并及时提交给老师进行沟通,听取老师的意见。老师的意见总是很宝贵的,可以很好的指出提纲中的不足,以及需要什么样的资料来完善此次设计的说明书。

当我回到学校的时候,当一切准备工作就绪,我开始着手毕业设计初稿的写作。在写作过程中遇到就及时和指导老师联系沟通,请教老师,并和同学互相交流。在指导老师的帮助下,困难一个一个解决掉。经过大约两个多月的时间,终于完成了毕业设计的初稿。此时我整个人都很累,但同时看着电脑荧屏上的毕业设计初稿,我的心里是甜的,我觉得这一切都很值。因为这次毕业设计的制作过程是我的一次再学习、再提高的过程,同时也是对我大学三年所学知识的检验。

我非常耐心的,带着一个严谨认真的态度,进行毕业设计的修改。经过老师的指导,这次思路清晰了很多,经过多次修改,毕业设计基本成形。看着亲手打出的一字一句,心里满满的只有喜悦毫无疲惫。

毕业设计是我们每个大学生必须经历的一段过程,也是我们毕业前的一段宝贵的回忆。当我们看到自己的努力有收获的时候,总是会有那么一点点自豪和激动。任何事情都是这样子,需要我们脚踏实地的去做,一步一个脚印的完成,认真严谨,有了好的态度才能做好一件事情,一开始都觉得毕业设计是一个很困难的任务,大家都难免会有一点畏惧之情,但是经过长时间的努力和积累,经过不断地查找资料后写作总结,我们都很好的按老师的要求完成了毕业设计的写作,这种收获的喜悦相信每个人都能够体会到。

7.2 论文的不足与改进设想

在没有做毕业设计以前觉得毕业设计只是对这几年来所学知识的单纯总结,但是通过这次做毕业设计发现自己的看法有点太片面。由于时间上比较紧迫,再加上个人能力和硬件上的问题,有挺多不足之处。首先对于 gambit 软件我们毕业设计小组的人接触时间过短,甚至对于许多基本操作都十分的不熟悉,对于不同性质的体面以及气幕,我们的设置不是十分的清晰,这样无形之中增加了许多的误差。其次,由于大家的水平以及时间的限制,对于隧道窑窑车我们直接将其阻力简化成一个平面,这对于实际情况而言是十分的不切实际的,对于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,以前老是觉得自己什么东西都会,什么东西都懂,有点眼高手低。在最后的步骤中,

fluent 的迭代也是十分的不完美，由于迭代的时间以及数据容量都过于庞大，所以有时候我们会减少其迭代的次数，这也一定程度的导致了结果的误差，俗话说的好熟能生巧，我们这几个人在这个领域都是新晋的使用者，我们一定要好好的使用这个软件，这也让我明白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。注重理论与实践的相结合。

7.3 本课题今后研究方向

陶瓷发展的快，最关键是要控制好它的烧成温度，控制的好，烧出的产品更能应用于我们生活中。

通过此次毕业设计，我认识到了此次毕业设计在陶瓷行业中的应用是多么重要。今后我们可以用次类似的设计可以准确的模拟出陶瓷窑炉在烧成制品过程中，窑炉的各个地方的温度、压力、流速的变化，这样可以更好的掌握和控制窑炉，以后的可以朝着不管设备多大多小都可以轻松的利用此数值模拟来控制窑炉内部的温度，网格会划分的更到位，是窑炉中的数值模拟更加准确更加完美。会让我们在很短的时间内掌握和运用此研究来开发更新更好更节能减排的窑炉，为以后陶瓷行业打下良好的基础，为以后发展做出贡献。为以后出新的陶瓷产品做出贡献。让如今一些难以控制温度而不好烧制出来的作品非常轻松的烧制出来。为我们的生活增添色彩，为以后的各式各样的陶瓷，一些精密仪器中的陶瓷产品更加贴近我们的生活。

有了 Fluent 研究来数值模拟陶瓷窑炉，做出的陶瓷产品更能满足我们的生活需要，以后在医药、航空、化工等发展趋势会越来越火，越来越美好。

8. 后记

我在这次毕业设计的写作过程中可谓是获益匪浅,最大的收益就是让我培养了脚踏实地,认真严谨,实事求是的学习态度,不怕困难、坚持不懈、吃苦耐劳的精神。设计写作中,需要的是耐心,还要用心。每当无法实现自己的想法或者运行不下去的时候,我就会出现浮躁的情绪,但是我没有放弃,而是适时地调节自己的心态,最关键是在困难面前,理顺思路,寻找突破点,一步一个脚印的慢慢来实现自己既定的目标。越是不懂的东西才要去学,在学习的过程中你会收获很多,在学习之后你会感觉到很有成就感。

毕业的顺利完成,首先我要感谢我的指导老师钱老师的帮助,感谢您提出宝贵的意见和建议,感谢您的细心指导和关怀。认真的读每一个同学的毕业设计,然后提出最中肯的意见,再次向我的导师致以最衷心的感谢和深深的敬意。另外,要感谢在大学期间所有传授我知识的老师,是你们的悉心教导使我有良好的专业课知识,这也是毕业设计得以完成的基础。

一篇优秀的论文不是写出来的,而是修改出来的,这需要的是耐心,还要用心。在 Gambit 建模与 Fluent 求解过程中,我遇到的问题很多,有些是在自己技术所在范围之外,每当无法实现自己的想法或者运行不下去的时候,我就会出现浮躁的情绪。越是不懂的东西才要去学,在学习的过程中你会收获很多,其中一点就是互相学习是最好的学习途径,在学习之后你会感觉到很有成就感,这也是我在完成“窑顶 45° 搅拌气幕对窑内流场温度场影响初探”之后体会到的。

在这次的毕业设计过程中也发生了挺多的意外,比如说迭代了十多个小时的结果,由于过于兴奋居然没有保存到结果,对于此次的毕业设计,总体来说我们还是十分的满意,对于小细节而言我们觉得我们可以做的更好,如果我们几个人可以多从不同角度不同高度喷入的气幕风,这样也许我们可以得到一个更好的结果。这也成了我们心中一个不大不小的遗憾。

在整个毕业论文设计的过程中我学到了做任何事情所要有的态度和心态,首先我明白了做学问要一丝不苟,对于出现的任何问题和偏差都不要轻视,要通过正确的途径去解决,在做事情的过程中要有耐心和毅力,不要一遇到困难就打退堂鼓,只要坚持下去就可以找到思路去解决问题的。在工作中要学会与人合作的态度,认真听取别人的意见,这样做起事情来就可以事半功倍。

参考文献

- [1] 胡国林 陈功备编《陶瓷工业窑炉》 武汉理工大学出版社, 2010. 8
- [2] 胡国林 著《建陶工业辊道窑》. 北京: 中国轻工业出版社, 2009. 2
- [3] 汪和平, 冯青编.《窑炉砌筑与安装》. 景德镇陶瓷学院, 1998
- [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