



- 工业烟尘净化国家地方联合工程研究中心
- 国际科技合作基地
- 博士后科研工作站
- 福建省环保机械产业技术开发基地
- 福建省工业大气污染控制企业重点实验室
- 福建省工业烟尘污染控制企业工程技术研究中心

净化环境 · 造福人类
Purification of Environment for Benefit of Mankind

福建龙净环保股份有限公司
FUJIAN LONGKING CO., LTD.

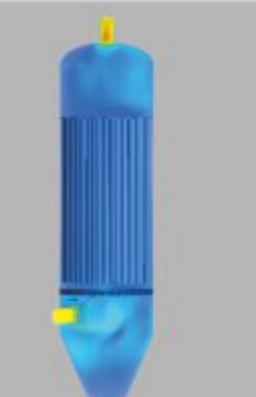
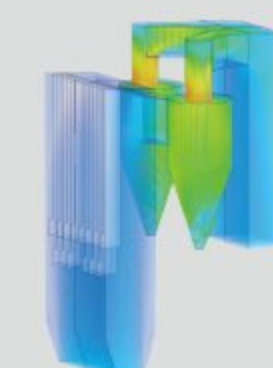
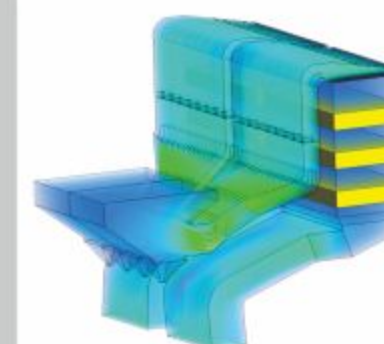
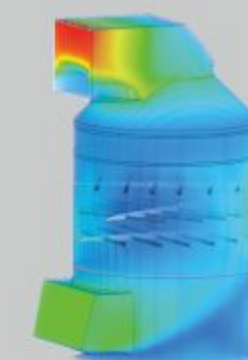
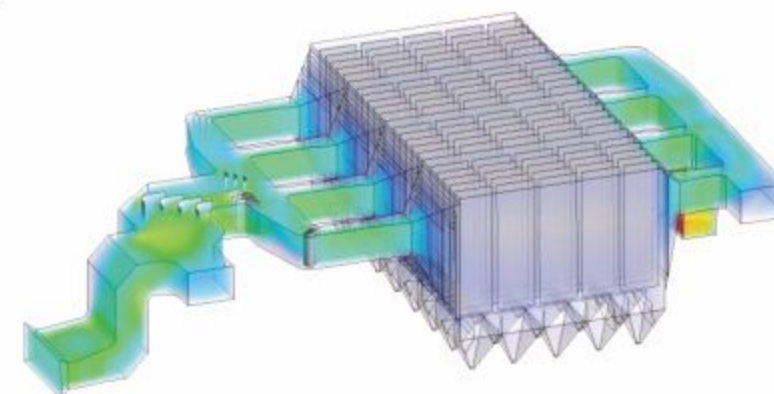
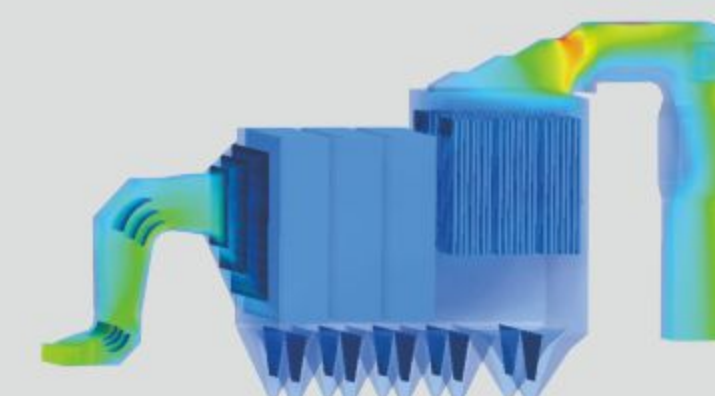
地址：福建省龙岩市新罗区工业西路4号
电话：0597-2996906 0597-2996918
传真：0597-2996919
邮编：364000
邮箱：igpc_cfd@163.com
网址：<http://longking-igpc.com>



工业烟尘净化国家地方联合工程研究中心

Industrial Gas Purification National & Local United Engineering Research Center

流体仿真中心 Fluid Simulation Center



福建龙净环保股份有限公司
FUJIAN LONGKING CO., LTD.

■ 关于我们

福建龙净环保股份有限公司作为中国环保产业首家上市公司（股票代码600388），是全国环保产业龙头骨干企业和全国最大的专业从事烟气除尘、脱硫、脱硝装置等大气污染治理设备机电一体化的研发制造基地。

工业烟尘净化国家地方联合工程研究中心依托福建龙净环保股份有限公司建立，2011年11月获国家发展改革委员会批准，是我国大气环保领域第一个国家级工程研究中心，分设研究中心、仿真中心、检测中心。

2007年以来流体仿真中心一直与国际一流的研究机构（澳大利亚颗粒技术咨询有限公司）合作进行CFD技术开发，形成了以澳大利亚两院院士余艾冰教授为首席科学家，以新南威尔士大学郭宝玉研究员为研发带头人，以专业培训过的技术人员为CFD工程师的团队。目前，团队承担多项各类科研课题，开展除尘、脱硝、脱硫装置流场模拟分析技术服务。

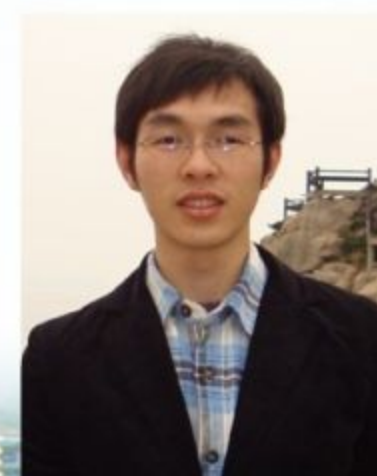
■ 我们的团队

流体仿真中心由龙净海外首席专家余艾冰带领的科研团队和龙净CFD应用工程师团队组成，由科研团队负责国际前沿仿真技术开发，龙净CFD工程师团队负责工程技术应用，从而实现“仿真驱动研发”的目标。目前，团队承担和参与公司、省级、国家和国际合作等多项科研课题，先后取得了“电除尘器气流分布数值模拟技术”、“电除尘器内气—颗粒流和粉尘收集数值模拟技术”、“SCR脱硝流场数值模拟技术”等研究成果，获得专利授权5项，多篇论文被SCI&EI检索期刊录用，为除尘、脱硫、脱硝等一百多个工程项目提供流场分析技术服务，具有丰富的工程经验。



龙净环保首席海外专家——余艾冰教授，1982年毕业于中国东北大学钢铁冶金系，1990年获澳大利亚伍伦贡大学博士学位。主要从事颗粒学和过程工程等领域研究，包括原子、纳米在内的颗粒体系在不同力的作用下的行为；多尺度（multi-scale）、复杂体系（complex system）以及仿真及模拟（simulation and modeling）是他研究团队的常用词。由于他在颗粒研究方面的杰出贡献，2004年被选为澳大利亚工程院院士，2007年被新南威尔士大学授予杰出教授称号和科学博士学位，2008年被联邦政府授予联邦教授称号，2010年荣获Ian Wark奖（澳大利亚科学院设立的应用科学领域个人终身成就奖，每两年一位获奖者）及新南威尔士州年度科学家(Scientist of the Year)称号，2011年被选为澳大利亚科学院院士。

郭宝玉，龙净流体仿真中心技术顾问、悉尼大学博士毕业，澳大利亚莫纳什大学化工学院研究员，主要从事冶金、炼钢、除尘过程多相流的数值模拟研究。在国际专业期刊上发表学术论文40余篇。曾经获得钢铁技术学会（AIST）2009年Josef S. Kapitan 最佳炼钢论文奖。多项研究成果获得工业应用，其中对高炉炉缸的研究成果获2010年Bluescope Steel研究优秀奖，开发的电除尘器CFD模型已广泛应用于电除尘器流场优化设计中。



叶兴联，龙净流体仿真中心主任，公司高级仿真工程师，浙江大学流体力学专业毕业，主要从事大气污染控制设备流体仿真技术工程应用，研究成果广泛应用于工程实际中。作为项目负责人主持公司科研项目资助一项，参加国际合作科研项目、省科技创新平台建设项目、省产业支撑科技重大项目等6项，申请专利6项，发表学术论文6篇，负责完成TIRODA电除尘器、鸿山百万机组脱硝、山东怡力布袋除尘器、SNCR脱硝、湿式电除尘器等数十个工程流场优化项目。

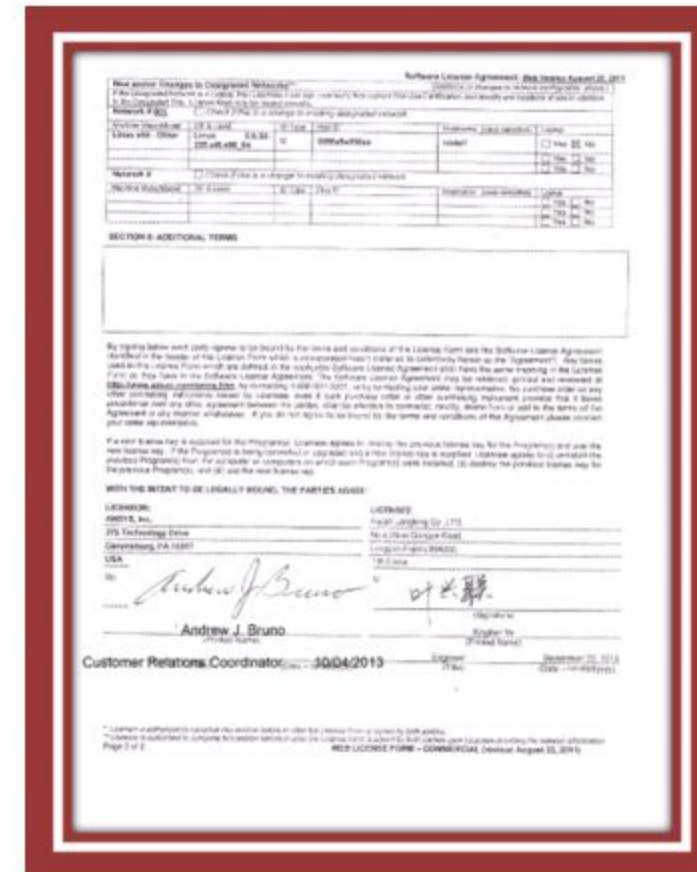
■ 流体仿真中心平台简介

ANSYS FLUENT是当今世界上最先进、功能最全的流体仿真应用软件，凡是和流体、热传递和化学反应等有关的工业均可使用。流体仿真中心拥有ANSYS-FLUENT永久授权，团队成员经过安世亚太专业培训，有效保证流体仿真技术水平。



高性能计算集群:

双精度浮点运算次数理论峰值达到一万亿次/秒，可实现大型复杂的脱硫、脱硝、除尘等工程项目流体仿真的高效、快速计算。

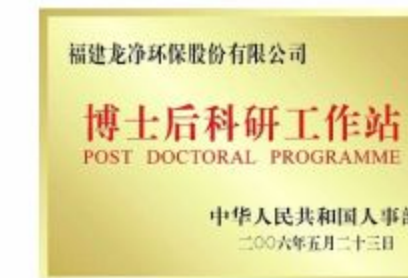


DELL服务器:

专业的硬件配置，保证大型流场模拟仿真的前后处理。



■ 资质和荣誉



■ 合作交流



承担（参与）课题

国际合作课题：

基于CFD技术电除尘器气流分布计算机数值模拟

(Based on the CFD technology ESPs air distribution numerical simulation study)

——澳大利亚SIMPAS合作项目

电除尘器系统内气-颗粒两相流及粉尘收集的数值模拟和实验研究

(Numerical and experimental studies of the gas-particle flow and dust collection in the ESP)

——澳大利亚研究理事会ARC资助项目

燃煤电站湿法脱硫后湿式电除尘器多场耦合数值模拟研究

——澳大利亚SIMPAS合作项目

国家“863”课题：

燃煤电站PM_{2.5}新型湿式电除尘技术与装备

福建省科技项目：

福建省工业烟尘控制技术企业科技创新平台建设

——福建省科技创新平台建设项目

工业烟尘净化装置气流和气固两相流数值模拟研究及应用

——福建省科技重点项目

公司科研项目：

湿法脱硫后烟气深度净化技术研究

SCR脱硝装置流场数值模拟试验技术研究

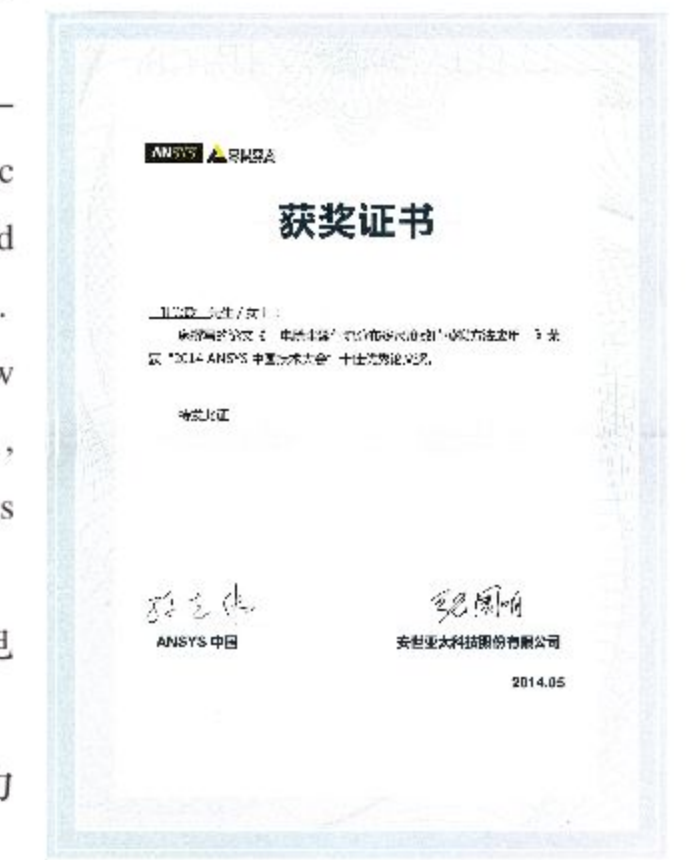
专利申请

- 一种电除尘器气流分布模拟方法
- 一种电除尘器进口喇叭气流均布优化装置
- 一种立式湿法电除尘器流场优化装置
- 一种SCR脱硝系统及其喷氨装置
- 一种电场数值建模方法及装置
- 一种尘饼结构特性提取方法及装置
- 一种电除尘器性能检测方法及装置



发表论文

- 叶兴联等. 电除尘器气流分布多尺度数值模拟方法应用. 2014ANSYS中国技术大会. 2014.05. 苏州
- B.Y.Guo ect, “Numerical modelling of the gas flow through perforated plates”, Chem. Eng. Res. Des., 91 (2013), 403-408.
- S. Yang, K.J.Dong, R.P.Zou, A.B.Yu, J.Guo, “Packing of fine particles in an electrical field”, Granular Matter, 15 (2013), 467-476.
- B.Y. Guo, X.L.Ye, D.D. Liu and A.B. Yu, “Application of multi-scale approach in the gas flow simulation through electrostatic precipitators”, Ninth Int. Conf. on CFD in the Minerals and Process Industries CSIRO, Melbourne, Australia, 10-12 Dec 2012.
- B.Y.Guo, A.B.Yu, L.F. Li and X.L.Ye, “Gas-powder flow simulation in an electrostatic precipitator without electric field”, Ninth Int. Conf. on CFD in the Minerals and Process Industries CSIRO, Melbourne, Australia, 10-12 Dec 2012.
- 黄三明等. 电除尘器CFD模型验证实验研究. 第十四届全国电除尘学术会议. 2011.10. 重庆
- 李立锋等. LNE-CFD数值模拟技术的研究与应用. 上海: 电力科技与环保. 2011 (04)



2014ANSYS中国技术大会十佳优秀论文证书

实验平台介绍

大气污染控制设备流场物模试验系统

系统简介:

引风机设计风压19374Pa, 风量53813Nm³/h, 达到全球同行业最大。变频控制系统提供稳定、精确的风量, 配有先进的风速仪、烟尘采样仪、压力计、烟气分析仪等测试仪器。

平台任务:

开展各类容量机组除尘、脱硫、脱硝系统流场模拟研究, 定量分析各类设备不同负荷下流场分布状态; 承担国际合作课题, 国家、省部级等科研项目流场试验研究; 承担除尘、脱硫、脱硝等流场优化物模试验项目累计100余项。



脱硝流场物模试验平台



电除尘器流场物模试验平台



脱硫除尘一体化流场物模试验平台



流场物模试验风机系统



风机变频控制系统

工程应用实例

印度ADANI电力公司7×660MW机组配套电除尘器

机组概况:

处理烟气量: 2003580m³/h

烟气温度: 147℃

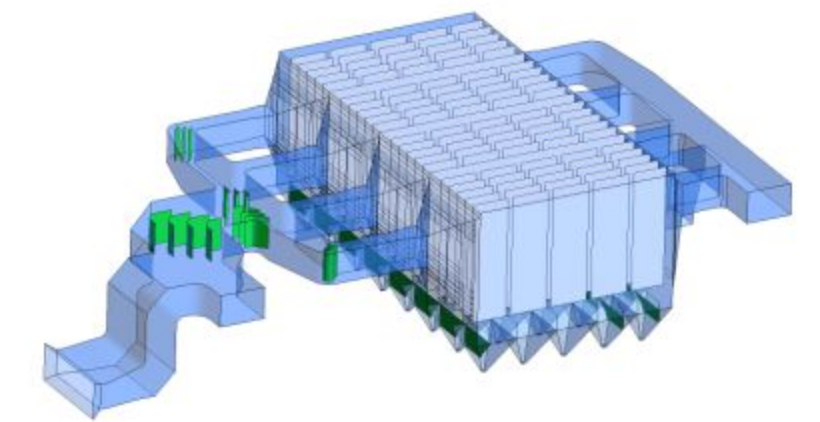
入口粉尘浓度: 55.1g/Nm³

除尘效率: ≥99.93%

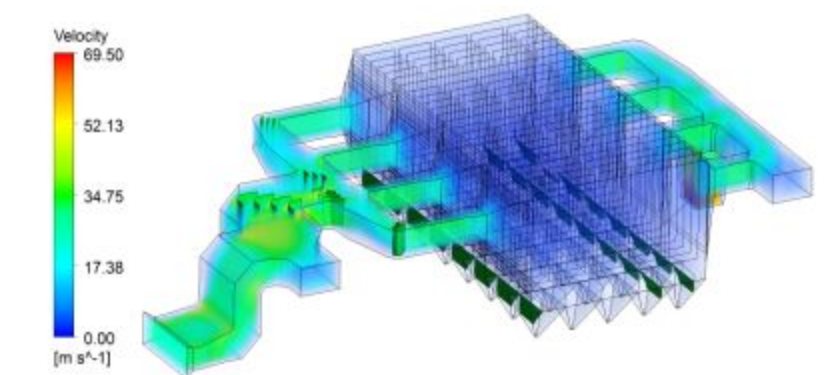
流场优化指标:

流量偏差: <5%

气流分布相对均方根差: <0.2



三维建模



流场模拟结果

采用CFD数值模拟技术对除尘器内导流板、孔板、阻流板的布置进行优化, 并结合物模试验使电除尘器各分支流量分配均匀、电场内气流速度分布均匀, 有力保证了除尘器的高效运行, 同时也节省了设计时间和成本。



物模试验



工程现场

	Inlet-1	Inlet-2	Inlet-3	Inlet-4
试验结果	29.71	29.61	29.78	29.99
数值模拟结果	29.52	29.77	29.11	29.31

工程应用实例

福建石狮鸿山热电厂600MW机组配套电除尘器

机组概况：

处理烟气量：3267460m³/h

烟气温度：121℃

入口含尘浓度：12.3g/Nm³

除尘效率：≥99.8%

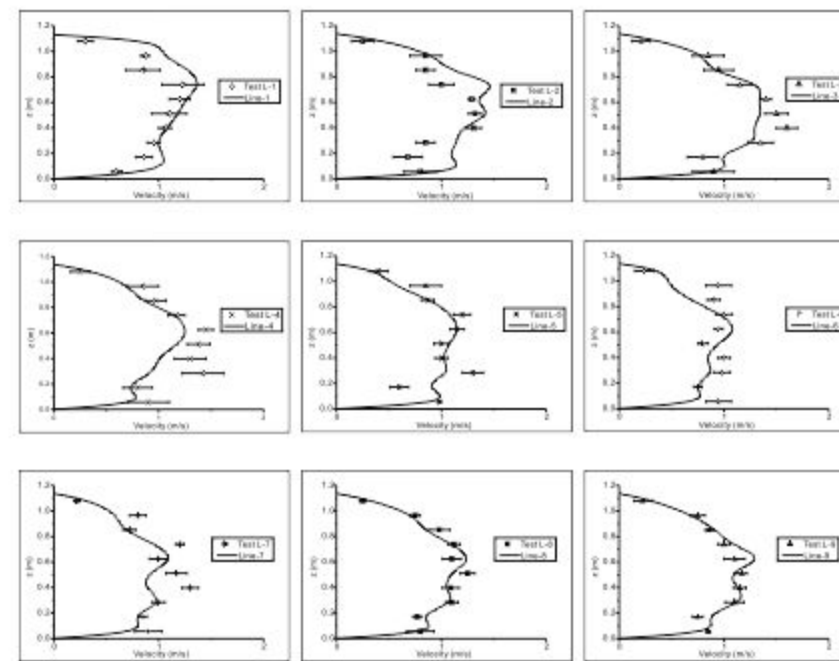
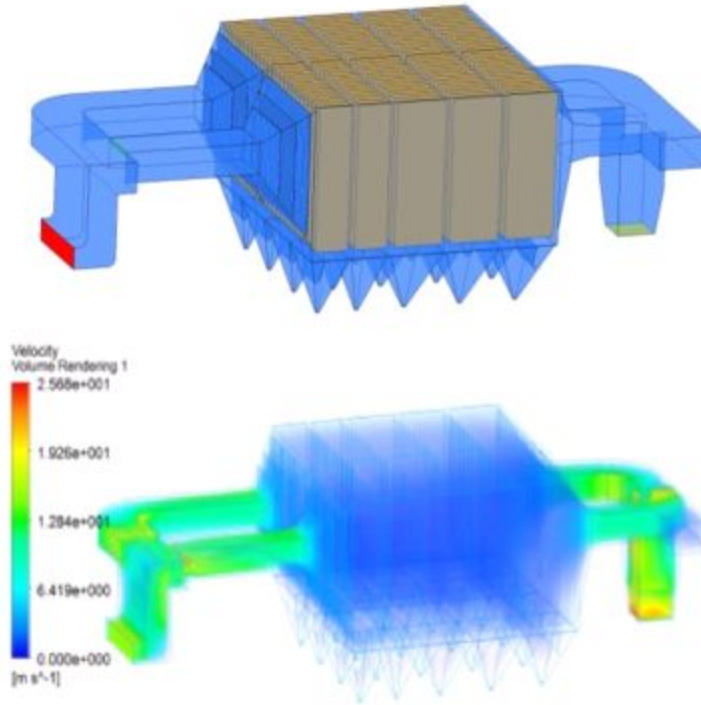
本体阻力：<200Pa

漏风率：≤2.0%

流场优化指标：

流量偏差：<5%

气流分布相对均方根差：<0.2



数值计算和试验数据对比



工程应用实例

国电汉川发电有限公司2X1000MW机组6#炉低低温电除尘器

机组概况：

处理烟气量：4241424 m³/h

烟气温度：128℃

入口含尘浓度：42.38 g/m³

设备阻力：≤200Pa

LSC阻力：≤400Pa

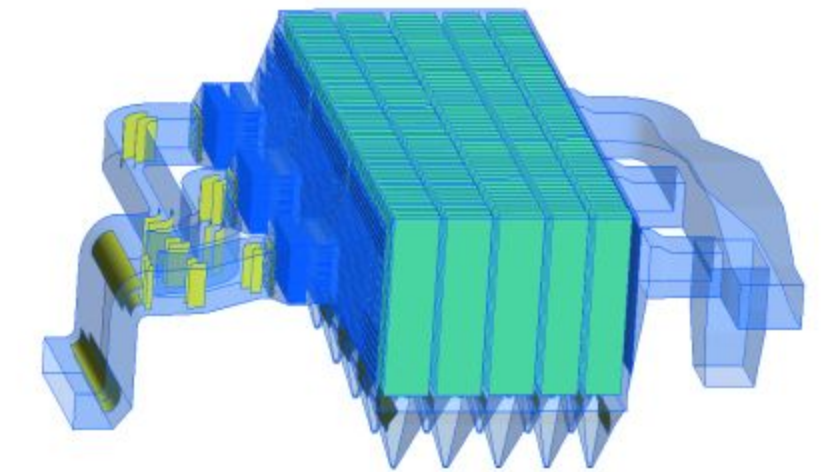
漏风率：≤2%

流场优化指标：

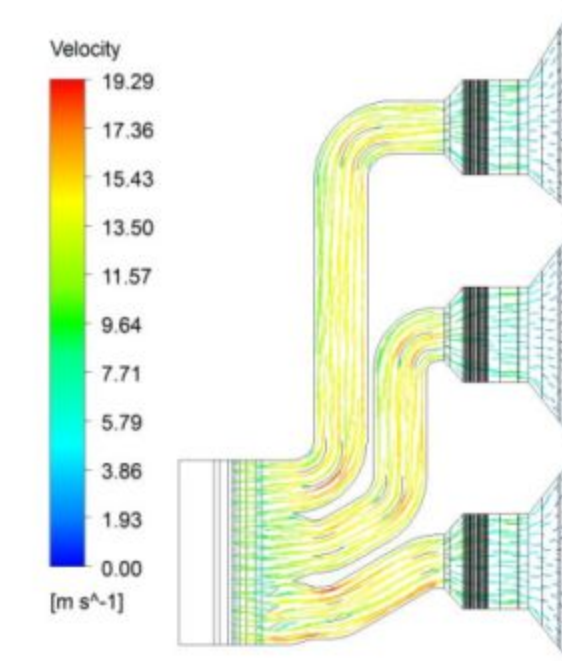
流量偏差<5%

气流分布相对均方根差值<0.2

采用数值模拟方法先设置合理的导流板及孔板，再结合物模试验使电除尘器各分支管道流量分配均匀、气流均匀通过低温换热器，电场断面气流分布均匀性也得到改善，从而提高了换热效率及除尘效率。



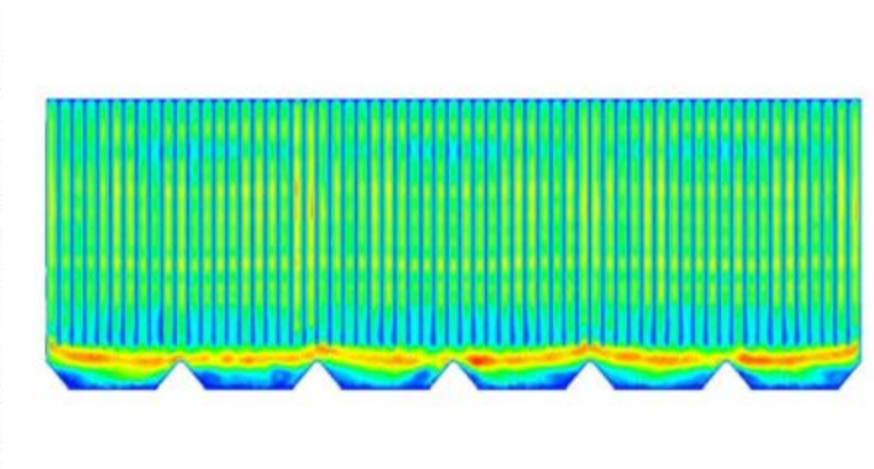
三维建模



进口烟道流线



试验模型



第一电场截面速度分布

各分支入口管道平均速度统计表 (m/s)

	外侧	中间	内侧
试验结果	19.665	19.682	19.975
数值模拟结果	19.677	19.685	19.957

工程应用实例

大唐宁德电厂3号600MW机组低低温电除尘器气流分布数值模拟

机组概况：

处理烟气量：3400000 m³/h

烟气温度：150℃

入口粉尘浓度：12.215g/Nm³

除尘效率：≥99.8%

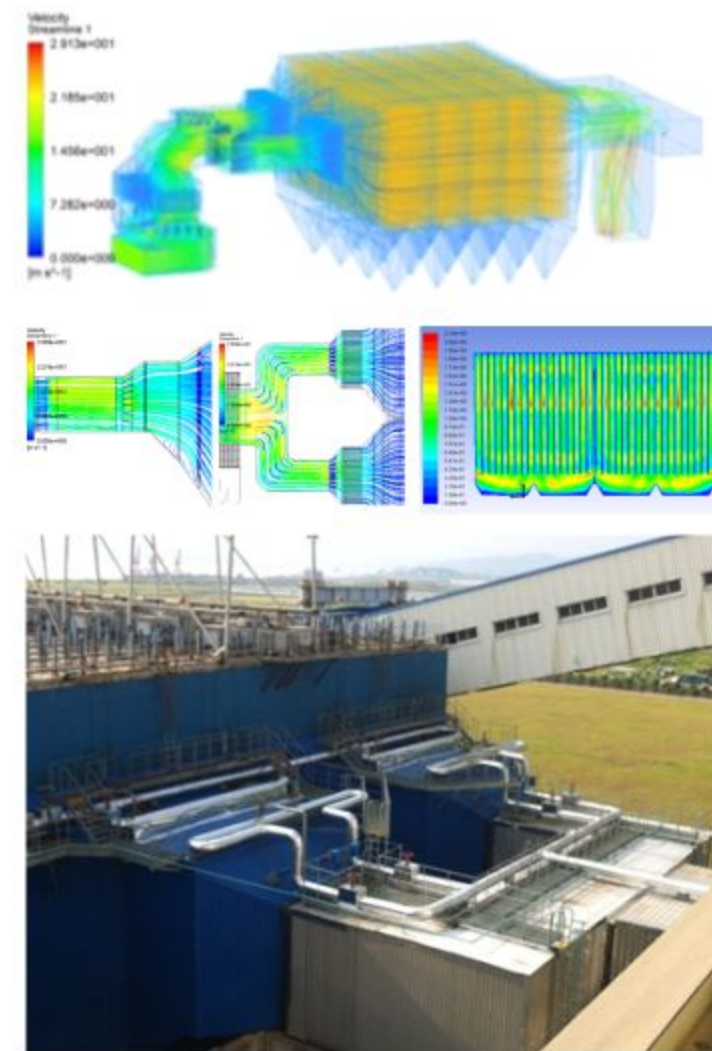
本体阻力：<550Pa

流场优化指标：

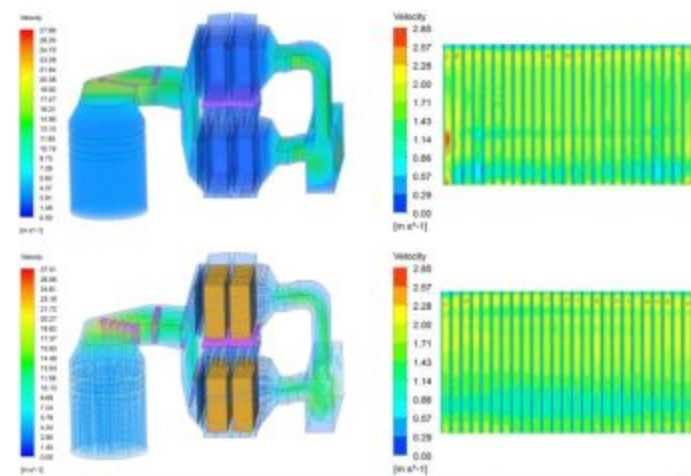
流量偏差：<5%

气流分布相对均方根差：<0.2

通过CFD数值模拟，对LSC处的流场进行优化，使气流均匀通过换热器，从而提高换热效率，改善电除尘器性能。



华电淄博热电有限公司5号炉330MW机组配套湿式电除尘器流场优化数值模拟



机组概况：

处理烟气量：1669464m³/h

烟气温度：50℃

入口粉尘浓度：50mg/Nm³

出口粉尘浓度：≤5mg/Nm³

本体阻力：≤450Pa（含除雾器）

流场优化指标：

流量偏差<5%

气流分布相对均方根差值≤0.2

通过CFD模拟，对湿式电除尘器流场进行优化，在模拟过程中考虑了湿式电除尘器的特殊结构及脱硫塔的影响。经过优化，湿式电除尘器系统阻力及流场得到明显改善，为湿式电除尘器的设计提供参。



工程应用实例

台朔重工承案Anda汽电厂300t/h CFB项目配套下进风电除尘器

机组概况：

处理烟气量：521502m³/h

烟气温度：180℃

入口粉尘浓度：31.5g/Nm³

出口粉尘浓度：<50mg/Nm³

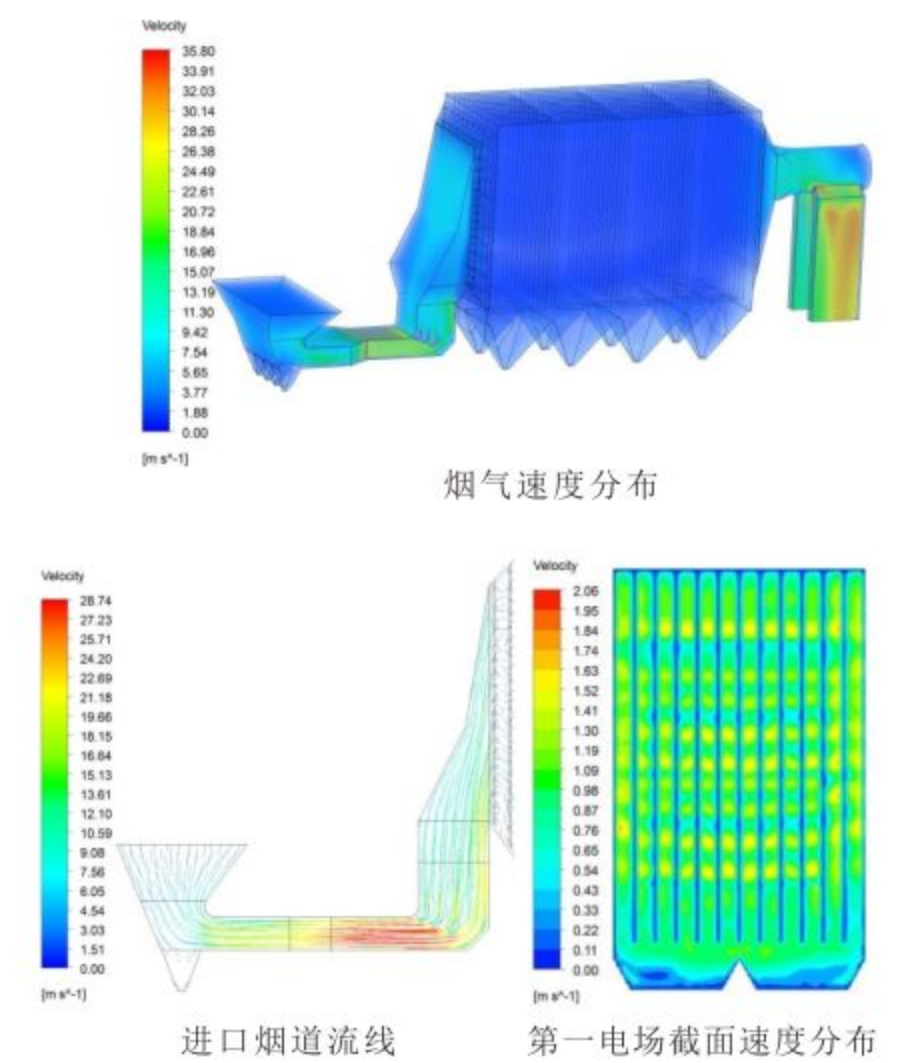
本体阻力：<25mmAq(245Pa)

进风方式：下进风

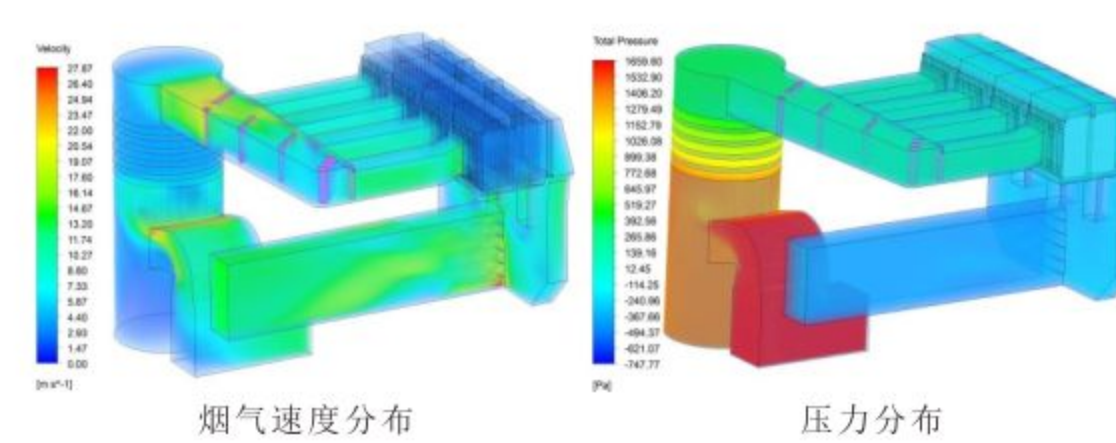
流场优化指标：

气流分布相对均方根差值<0.2

通过CFD数值模拟，对LSC处的流场进行优化，使气流均匀通过换热器，从而提高换热效率，改善电除尘器性能。



河北国华定州发电有限责任公司#3机组改造工程配套湿式电除尘器



机组概况：

处理烟气量：2937729m³/h

烟气温度：50℃

入口粉尘浓度：25mg/Nm³

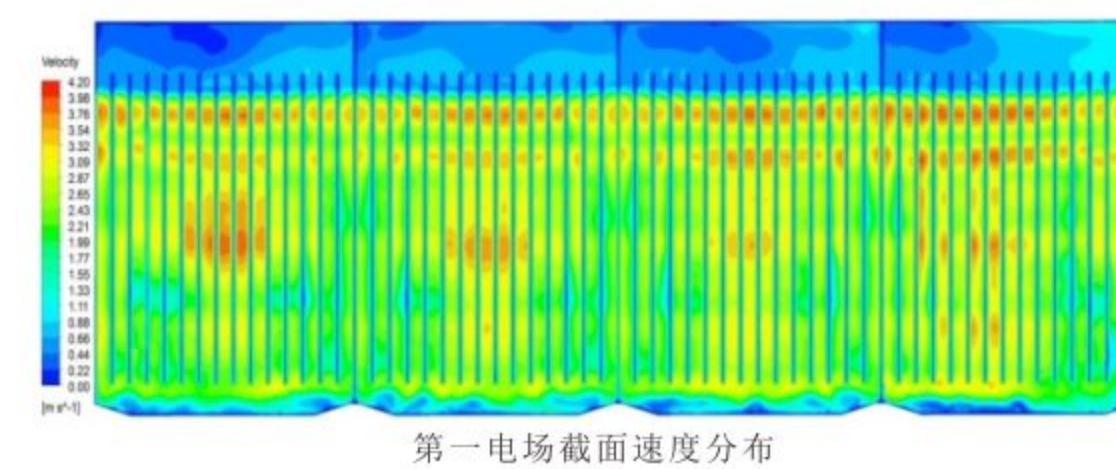
出口粉尘浓度：<5mg/Nm³

本体阻力：≤650Pa（含除雾器）

流场优化指标：

流量偏差≤5%

气流分布相对均方根差值≤0.2



工程应用实例

山东怡力电业有限公司1×150MW机组配套电袋复合除尘器

机组概况：

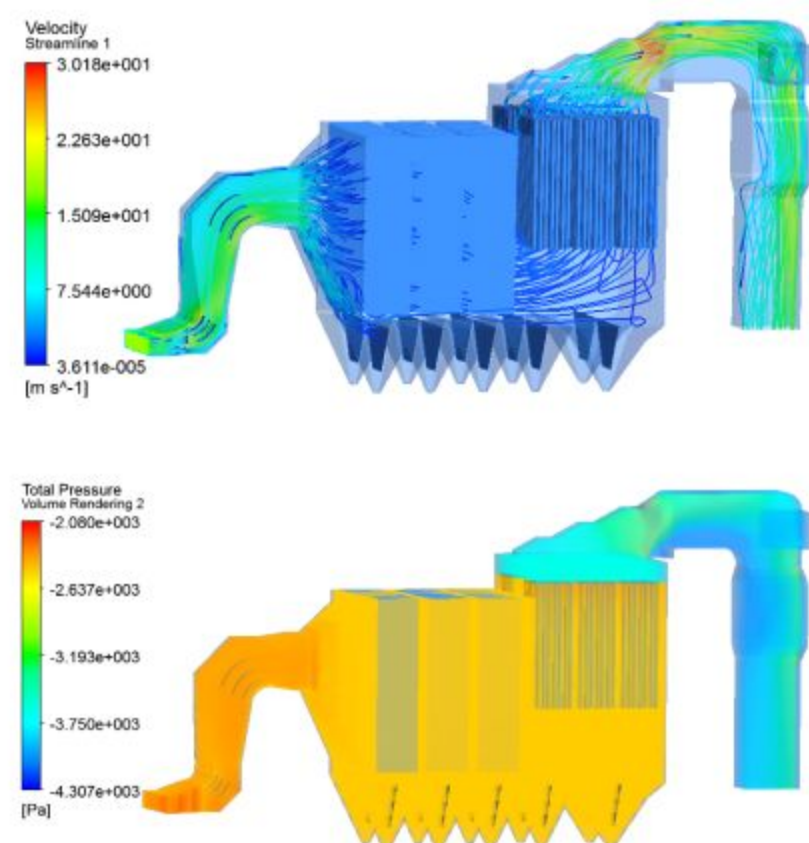
处理烟气量：868759 m³/h

烟气温度：140℃

除尘器入口浓度：43.4g/Nm³

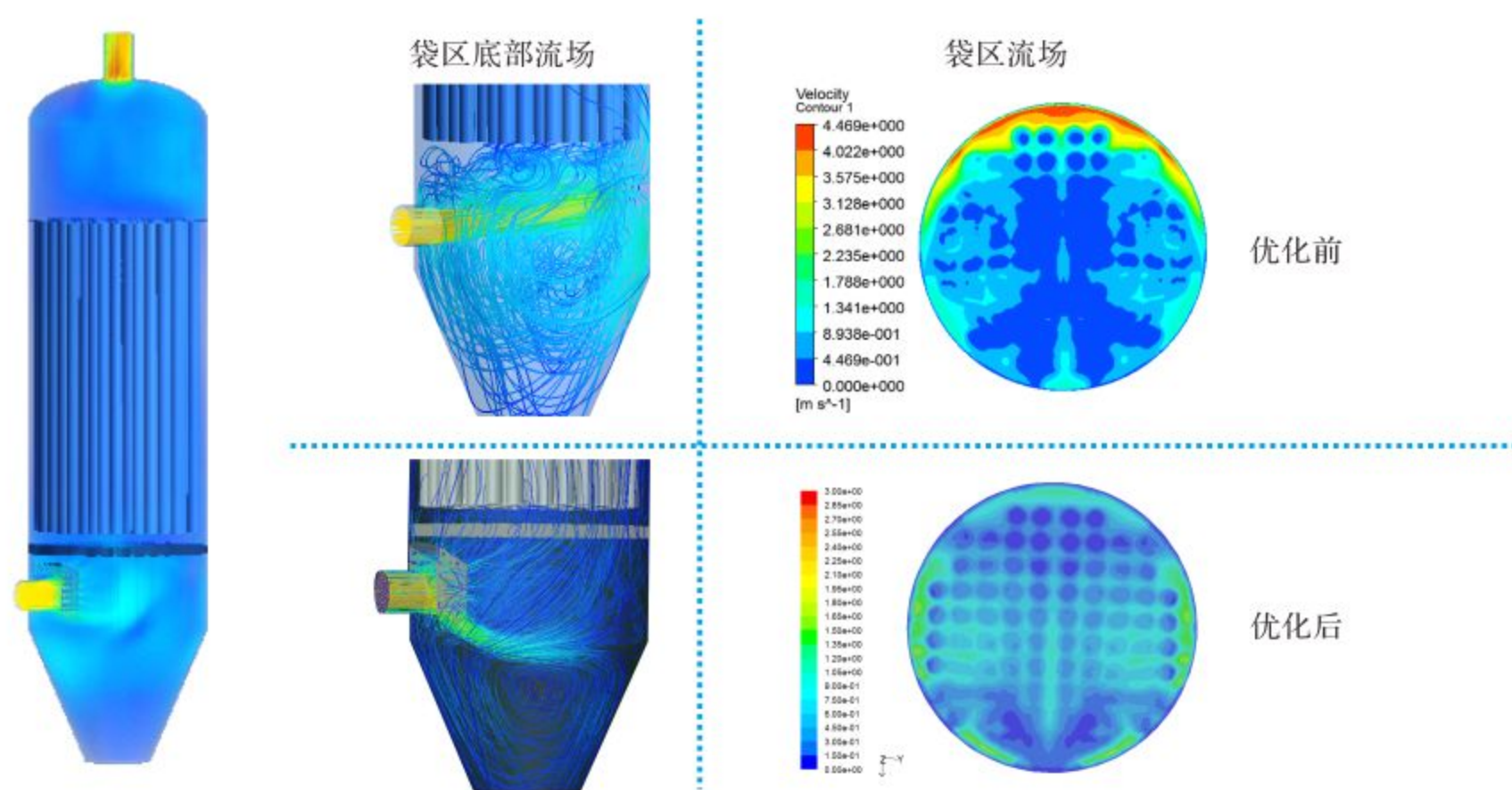
除尘器出口浓度：≤30mg/Nm³

采用数值计算的方法对电袋复合除尘器的气流分布进行优化调整，从而达到提高电区收尘效率、降低运行阻力、避免或减少含尘烟气冲刷袋区（延长布袋寿命）等积极作用。



福建三宝200万吨钢铁项目（一期）2#高炉煤气干法布袋除尘器

通过数值计算的方法对高炉煤气布袋除尘器进行分析，并提出优化措施，优化后筒体内袋区下部的旋流现象得到了很好的控制，通过滤袋的烟气更加均匀、平稳，减少了由于布袋尾段晃动而产生的滤袋磨损，从而减少破袋，延长滤袋寿命。

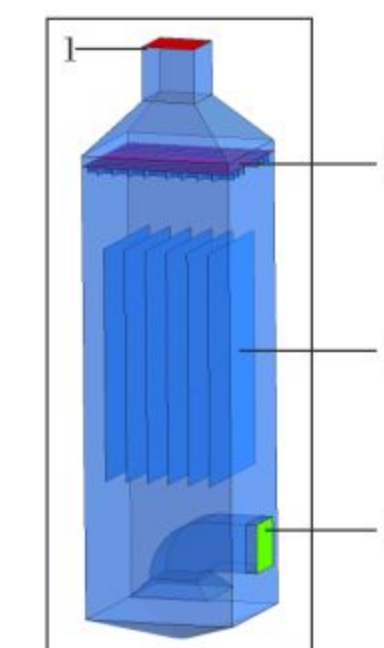
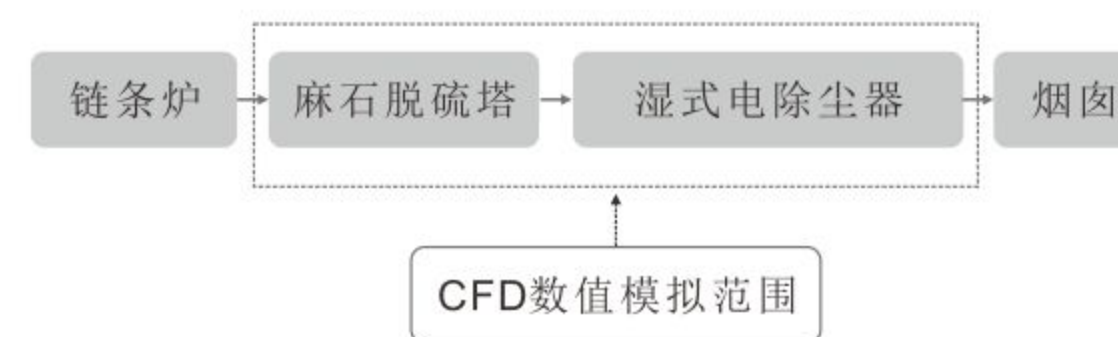


工程应用实例

青岛啤酒（菏泽）有限公司锅炉配套脱硫——湿式电除尘一体化项目

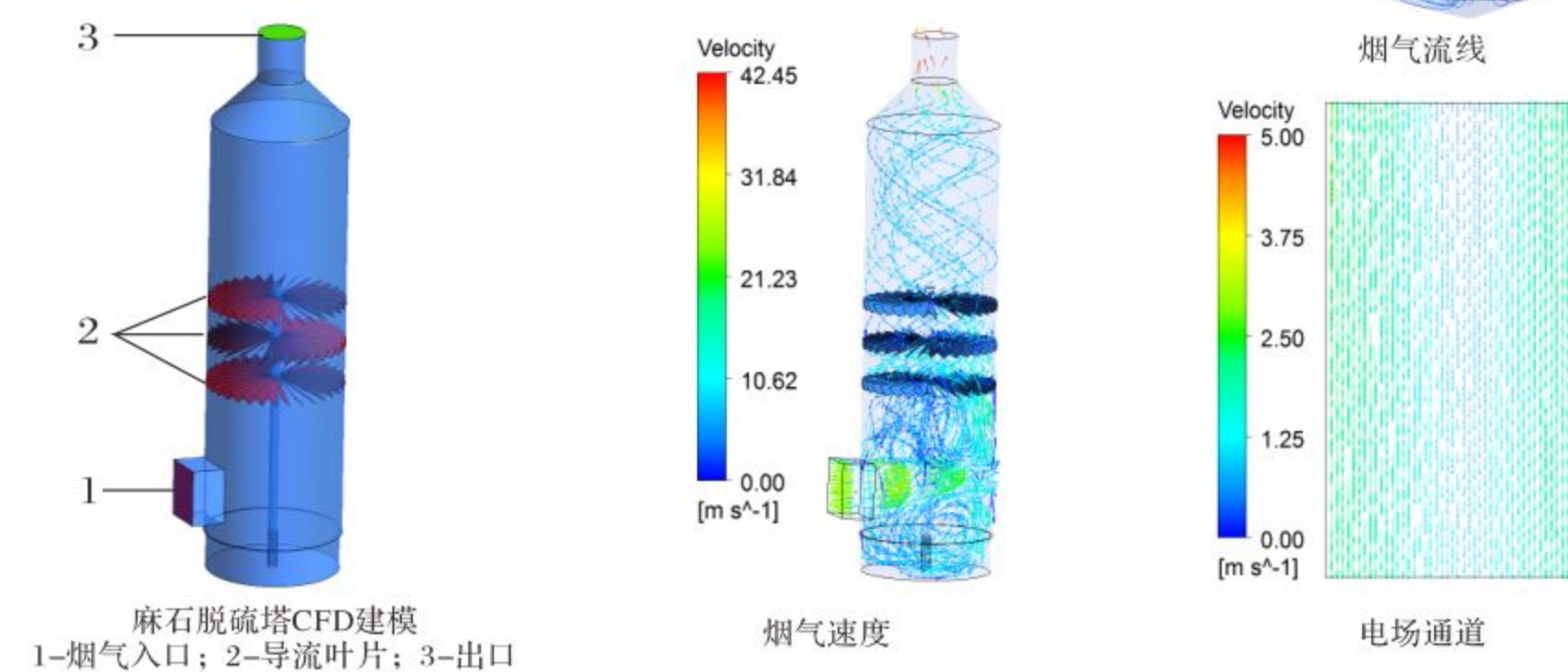
工程概况：

青岛啤酒（菏泽）有限公司锅炉配备麻石脱硫塔进行脱硫，在麻石塔后增设一级湿式电除尘器，保证粉尘排放和SO₂排放控制在16mg/Nm³和160mg/Nm³以下。锅炉烟气量为58000m³/h，系统阻力小于500Pa。



湿式电除尘器CFD建模
烟气入口；2-孔板及挡板；
3-极板；4-出口

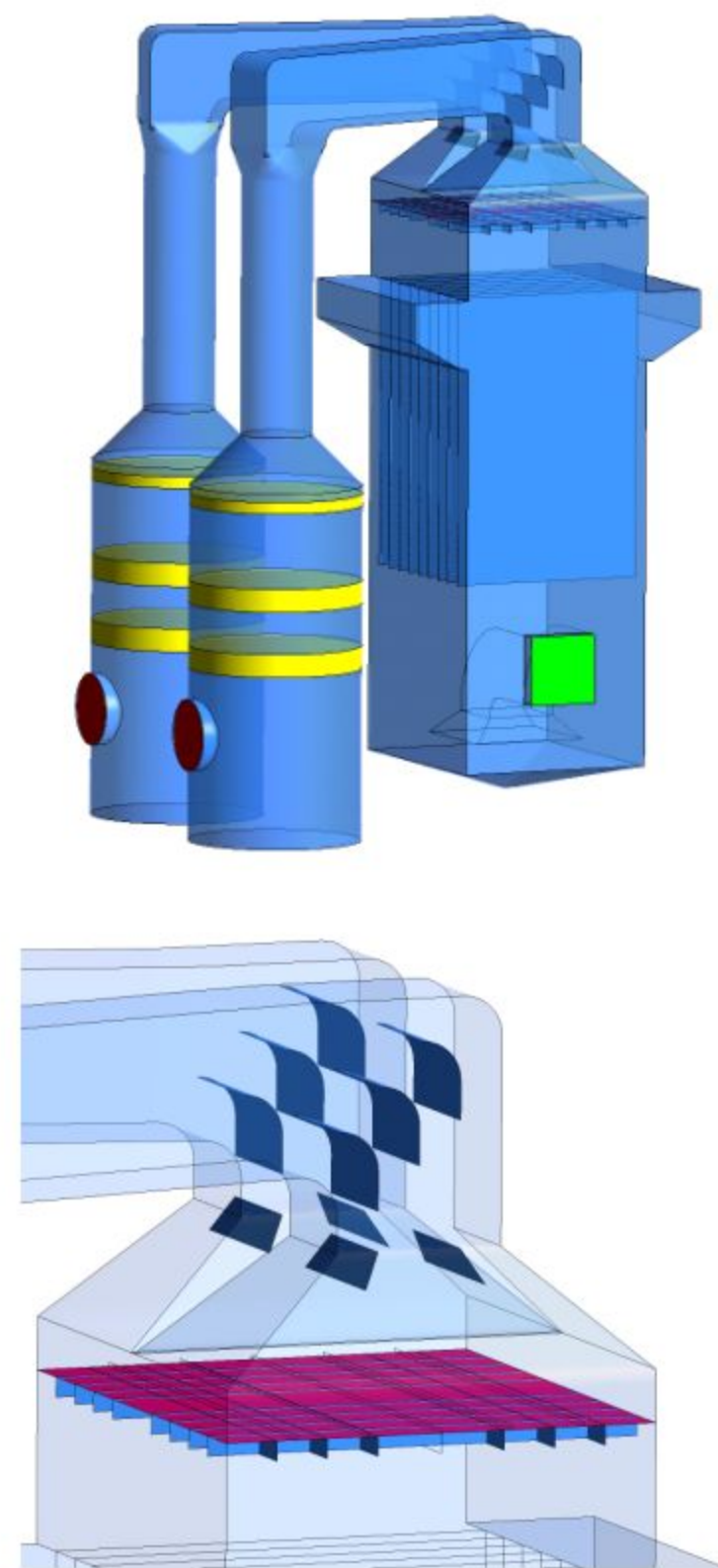
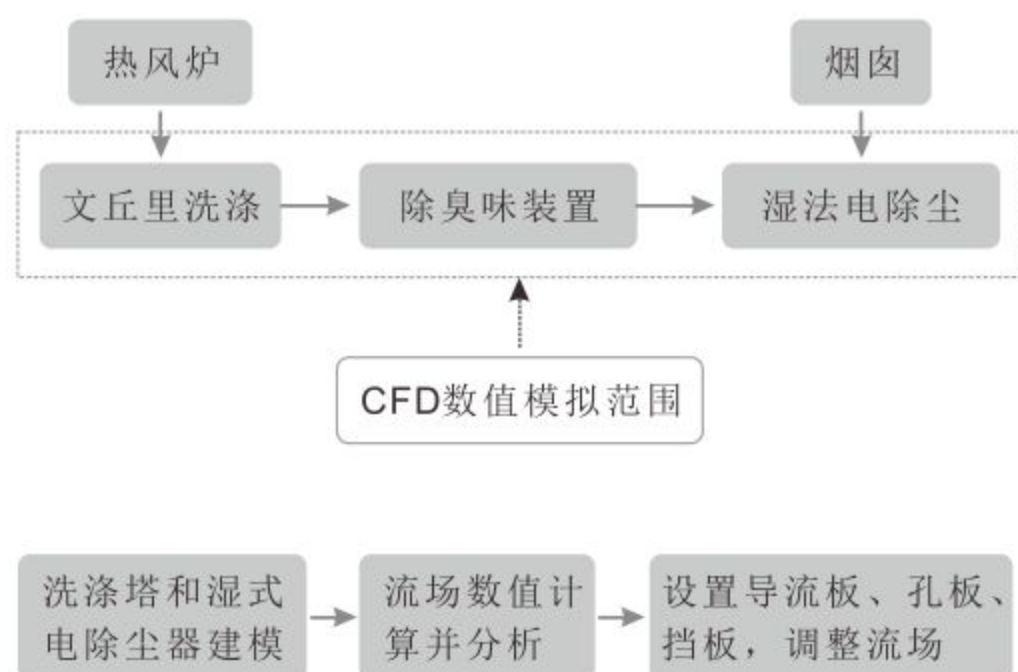
麻石脱硫塔内增设三层导流叶片后，烟气做螺旋线运动，延长了烟气在塔内运动时间，提高了烟气的脱硫效率；湿式电除尘器内增设孔板、挡板等均流装置的优化措施使烟气均速通过电场，有效解决烟气带水问题，有利于提高除尘效率。



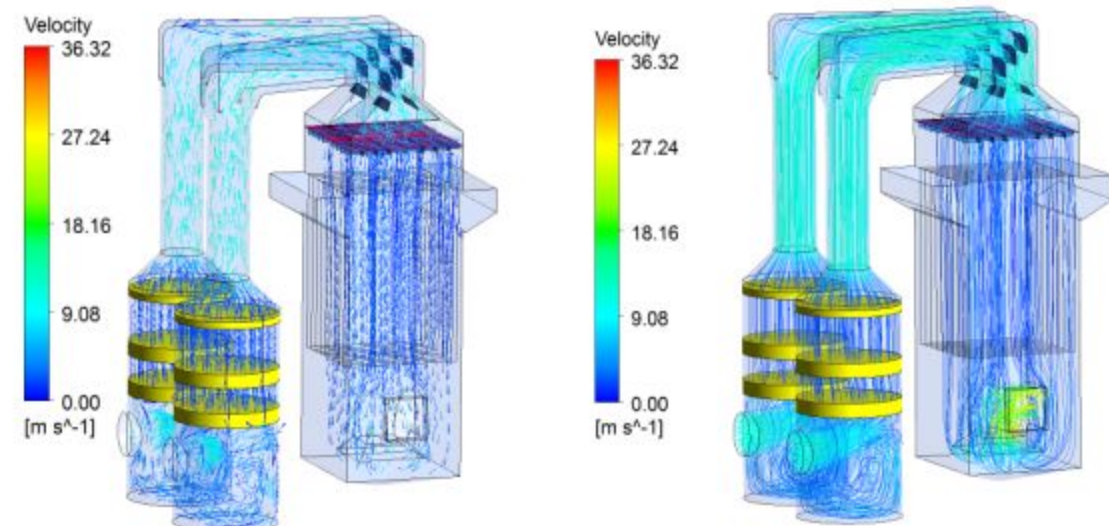
工程应用实例

内蒙古巴彦淖尔德源肥业有限公司脱硫——湿式电除尘一体化项目

在湿法脱硫装置后增加一级湿式电除尘器，利用湿式电除尘器作为烟气处理的最终精处理装置，使出口粉尘排放 $10\text{mg}/\text{Nm}^3$ 以下，同时也将湿式电除尘器作为脱硫设备的电除雾器，防止酸水雾逃逸。处理烟量 $120000\text{m}^3/\text{h}$ ，入口含尘浓度 $1000\text{mg}/\text{m}^3$ ，烟气温度为 80°C 。



运用CFD数值模拟技术对烟道内导流板、孔板、挡板的布置进行优化设计，使烟气以均匀的速度进入湿式电除尘器电场中，有利于提高除尘效率。



工程应用实例

广州珠江电厂改造 $4 \times 300\text{MW}$ 烟气脱硝改造工程

项目背景：

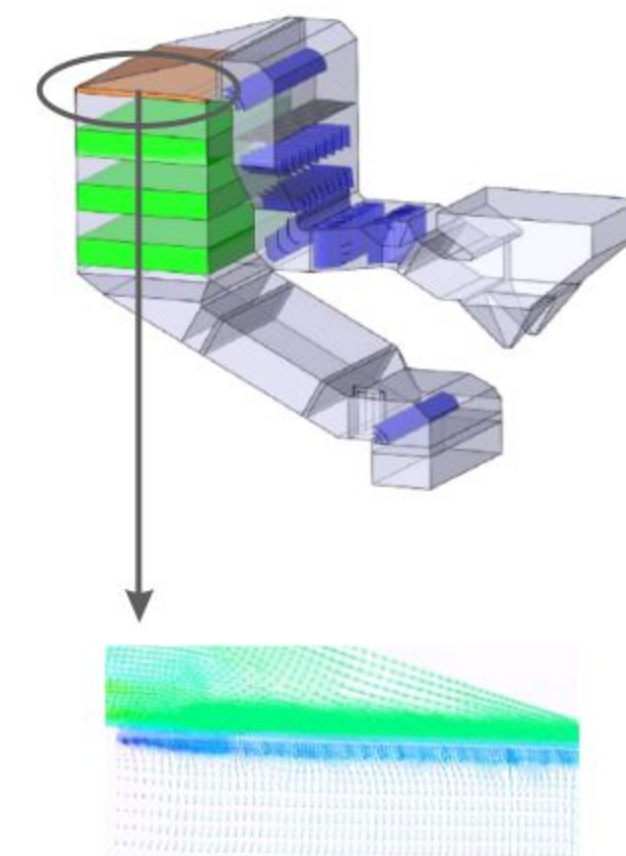
广州2010年亚运会最大环境治理工程，广州市政府发布了《关于重点工业企业实施降氮脱硝工作的通告》，要求在2010年9月30日前完成降氮脱硝整改，烟气脱硝效率不小于80%。

项目规模：

新建8套完整的SCR脱硝系统；
更换、改造8台空预器和8台引风机；
改造4台锅炉；
改造4座形式不一且条件复杂的SCR钢架及基础；
新建1个大型氨区（包括 $4 \times 300\text{MW} + 1000\text{MW}$ ）。

相关技术条件：

工艺系统：SCR脱硝工艺
布置方式：高灰尘布置，每炉双反应器
NOx设计值： $650\text{mg}/\text{Nm}^3$
脱硝率： $>80\%$
还原剂：技改为尿素热解法
催化剂类型：平板式，日本进口，2+1布置
吹灰方式：声波+蒸汽双介质吹灰
氨耗量： $<290\text{kg}/\text{h}$ （每台机组）



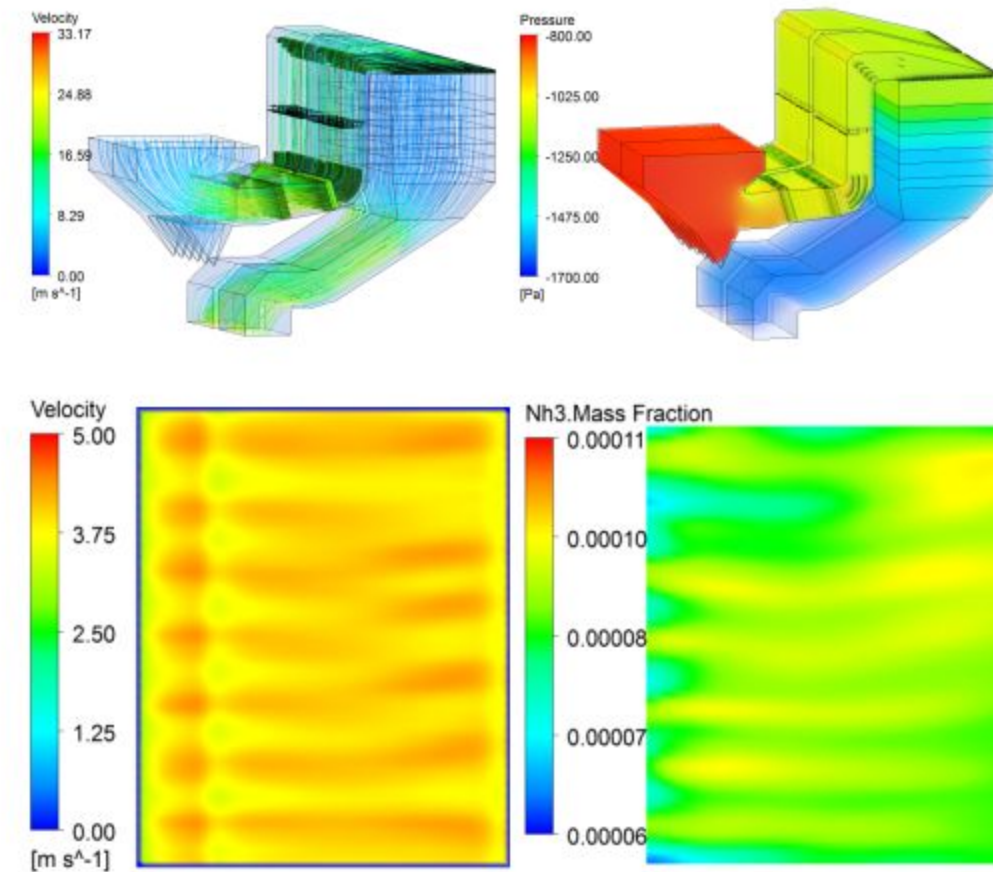
工程应用实例

福建华电可门电厂一期2号600MW机组脱硝改造工程

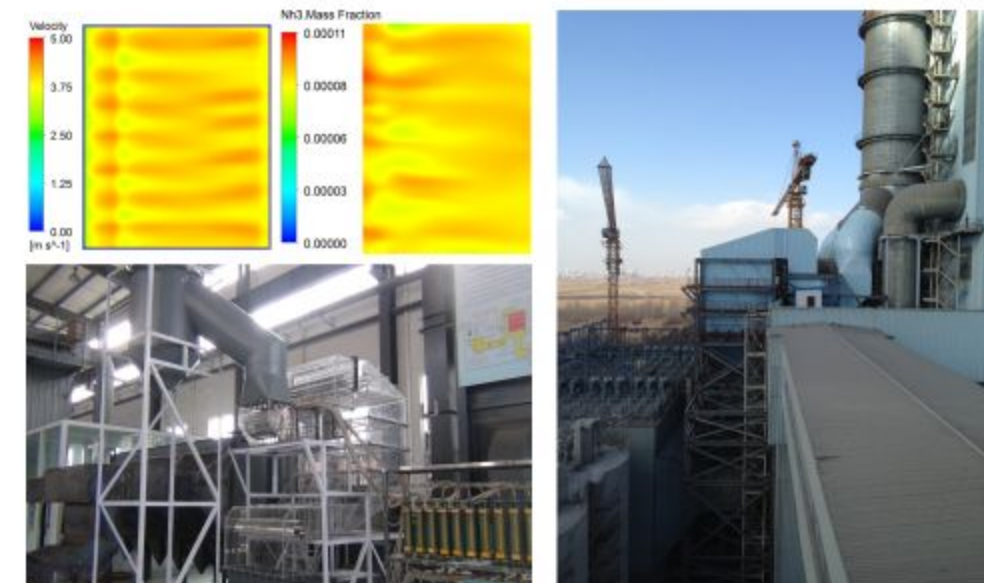
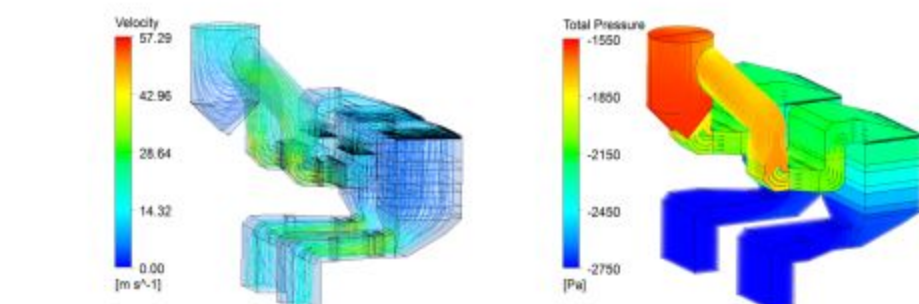
工程概况：

福建华电可门电厂一期2号锅炉脱硝改造工程采用SCR脱硝工艺，处理烟气量为 $1811646\text{m}^3/\text{h}$ ，烟气温度为 357°C ，共设三层催化剂，每层催化剂设计阻力为 200Pa 。

通过CFD数值模拟技术和物模试验优化SCR脱硝系统烟道内导流板、混合器、整流格栅等部件的布置，使催化剂前烟气速度分布和浓度分布得到了有效的改善，有利于提高脱硝效率。



山西大唐国际神头发电厂500MW机组烟气脱硝改造项目



工程概况：

脱硝装置入口烟气量为 $1850000\text{Nm}^3/\text{h}$ ，烟气温度为 330°C ，采用蜂窝式催化剂，一共布置三层催化剂。改造过程受现场干涉、场地限制，烟道复杂、氨氮混合距离短，SCR脱硝设计难度大。

通过CFD数值模拟技术和物模试验优化SCR脱硝系统烟道内导流板、混合器、整流格栅等部件的布置，解决了因烟道复杂、氨混合距离短对流场分布不利的问题，现场投运效果良好。

工程应用实例

陕西美鑫年产30万吨铝镁合金配套动力设施（4×350MW）脱硝工程

机组概况：

处理烟气量： $2757290.46\text{m}^3/\text{h}$

烟气温度： 362°C

脱硝入口 NO_x 浓度： $300\text{mg}/\text{Nm}^3$

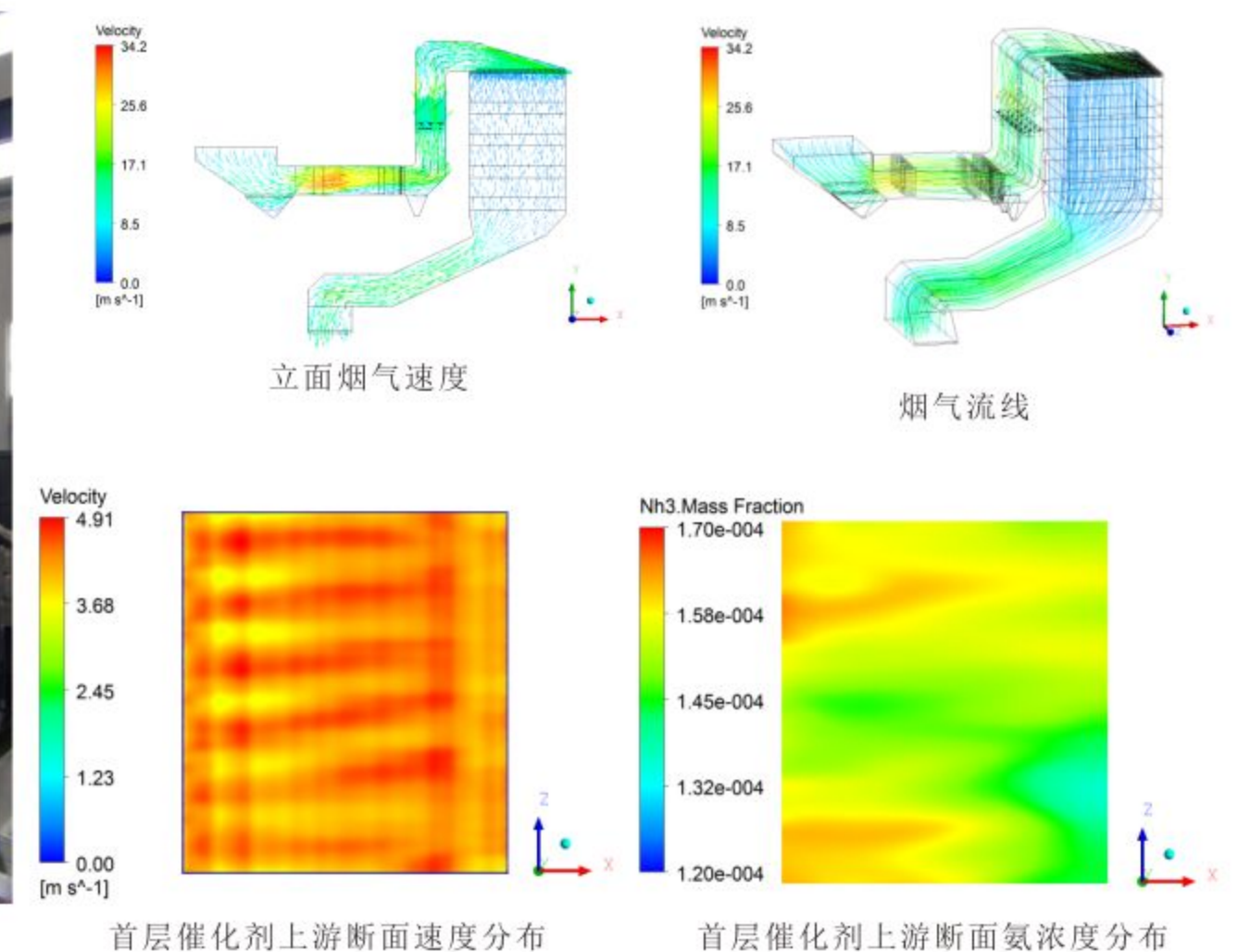
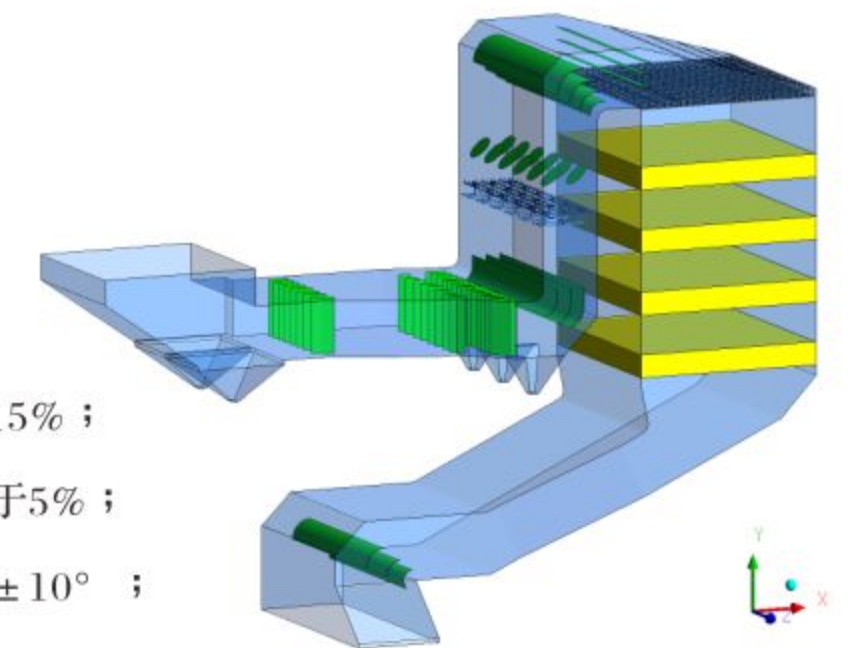
流场优化指标：

首层催化剂上游断面速度分布相对标准偏差小于15%；

首层催化剂上游断面氨浓度分布相对标准偏差小于5%；

烟气入射催化剂角度（与垂直方向的夹角）小于 $\pm 10^\circ$ ；

首层催化剂上游断面温度偏差小于 $\pm 10^\circ\text{C}$ ；

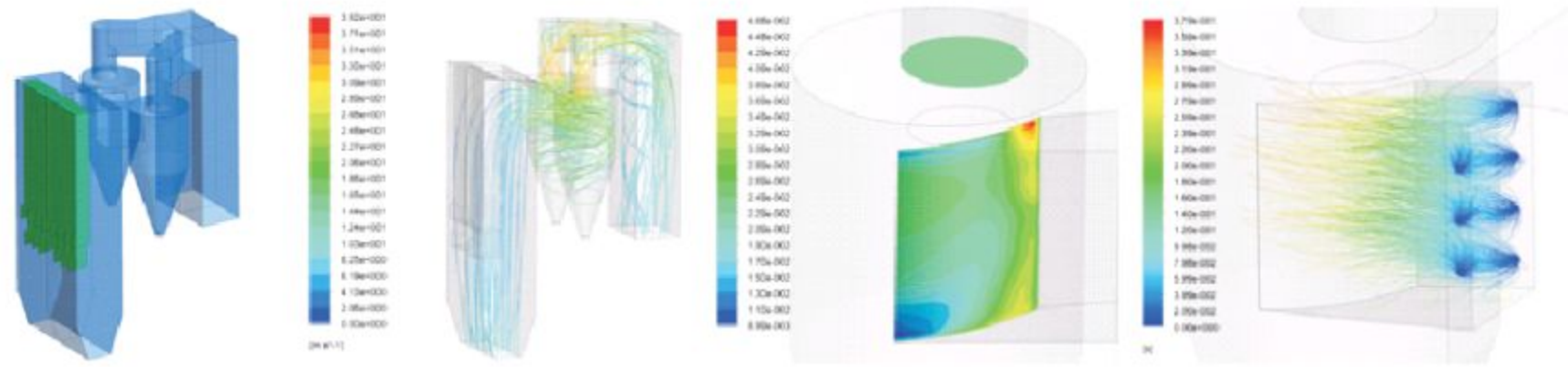


通过CFD模拟优化后，首层催化剂上游断面速度分布相对标准偏差为7.0%，浓度分布相对标准偏差为3.5%，烟气入射角和温度分布等各项指标均优于SCR脱硝标准。物模试验结果显示首层催化剂上游断面速度分布相对标准偏差为8.5%，氨浓度分布相对标准偏差为3.6%，进一步验证了CFD模拟的可靠性。

工程应用实例

新会双水发电（B厂）有限公司2 × 150MW机组SNCR脱硝工程

采用CFD数值模拟技术对循环流化床锅炉的温度场及流场分布情况进行分析。在此基础上，模拟还原剂与烟气混合情况，对喷枪布点进行优化，为工程调试提供了参考依据。



福建龙麟集团7000t/d水泥生产线配套烟气SNCR脱硝项目

对分解炉内部气相流场、气固两相流场以及煤粉燃烧进行数值模拟分析，预测燃烧后分解炉内的温度分布和NO_x浓度分布，为分解炉SNCR系统设计提供参考依据。



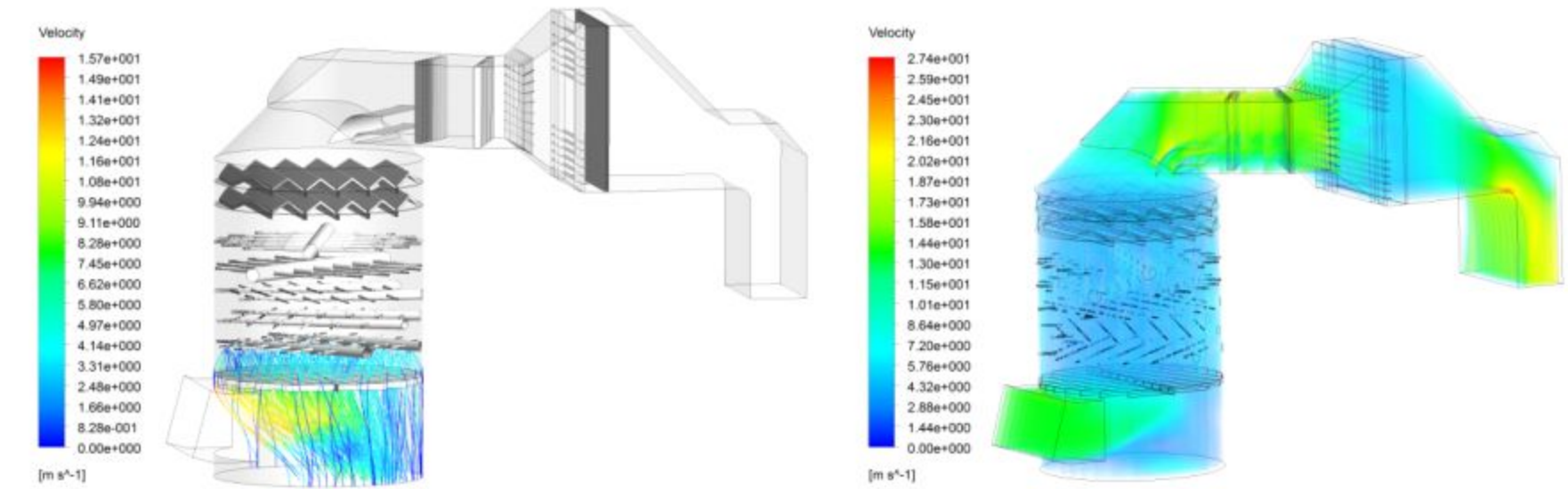
工程应用实例

华能上海石洞口第二电厂2 × 600MW烟气脱硫装置增容改造工程

工程概况：

华能上海石洞口第二电厂2 × 600MW烟气脱硫装置增容改造工程采用湿法脱硫工艺，处理烟量为2153170Nm³/h，原设3层喷淋层，增设两层喷淋层。

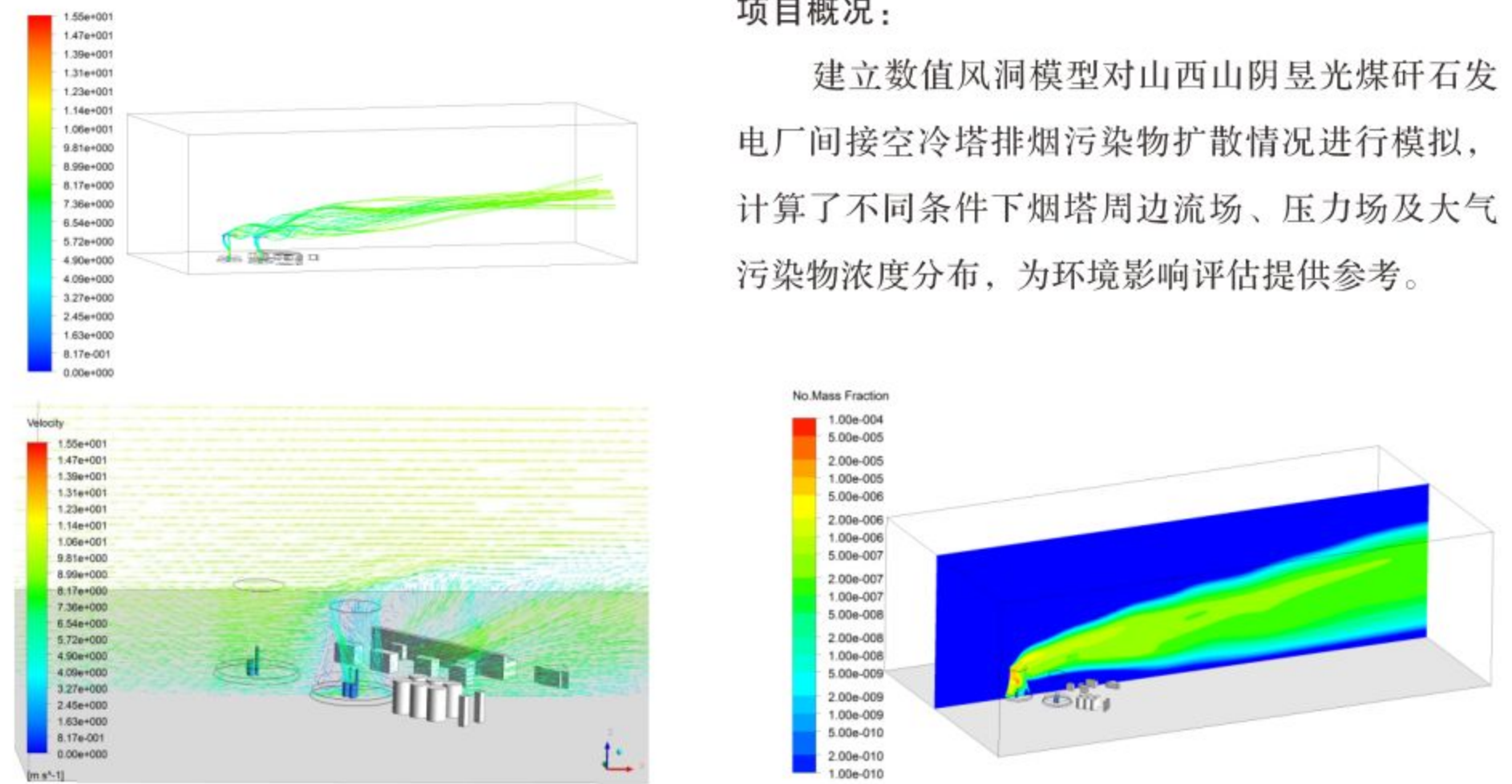
运用CFD数值模拟技术分析脱硫塔内流动状态，并设计导流板使烟气以均匀的速度流过出口净烟道除雾器，以保证除雾效率。



“烟塔合一”排烟方式大气污染物扩散数值风洞模型

项目概况：

建立数值风洞模型对山西山阴显光煤矸石发电厂间接空冷塔排烟污染物扩散情况进行模拟，计算了不同条件下烟塔周边流场、压力场及大气污染物浓度分布，为环境影响评估提供参考。



部分工程项目流场优化业绩表

SCR脱硝

广州珠江电厂4×300MW烟气脱硝工程流场优化

山西神头发电厂500MW机组脱硝改造工程流场优化

福建可门电厂锅炉脱硝改造工程流场优化

福建石狮鸿山热电厂1000MW超超临界发电机组脱硝工程流场优化

河北唐山热电有限责任公司配套机组烟气脱硝改造工程流场优化

大唐宁德电厂600MW锅炉脱硝工程流场优化

……

静电除尘

印度TIRODA660MW燃煤锅炉配套电除尘器流场优化CFD数值模拟&物模试验

石狮鸿山热电厂600MW(一期)&1000MW(二期)机组配套电除尘器流场优化CFD数值模拟&物模试验

印度ADANI电力公司7×660MW机组配套电除尘器流场优化CFD数值模拟&物模试验

邹县发电厂1000MW机组配套电除尘器流场CFD数值模拟&物模试验

塞尔维亚kostolacB厂改造1#电除尘器气流分布优化CFD数值模拟&物模试验

陕西清水川电厂二期2×1000MW机组电除尘器气流分布物模试验

印尼东加110MW机组CFB燃煤发电项目配套电除尘器气流分布物模试验

菲律宾卡拉卡2×150MW机组配套电除尘器流场优化CFD数值模拟

菲律宾Semirara电站CFB锅炉配套电除尘器气流分布数值模拟

印尼苏门答腊2×150MW机组电除尘器流场优化CFD数值模拟

印尼泗水项目1×100MW机组配套电除尘器流场优化CFD数值模拟

哈萨克斯坦卡拉干达3号热电站670t/h机组配套电除尘器流场优化CFD数值模拟

泰国SKIC 1×260t/h CFB锅炉配套电除尘器流场优化CFD数值模拟

柬埔寨西港2×50MW燃煤电厂工程配套电除尘器气流均布模拟试验

……

袋式、电袋复合除尘

河南新密电厂1000MW机组配套电袋复合除尘器冷态气流分布物模试验

山东怡力电业有限公司1×150MW机组配套电袋复合除尘器流场优化CFD数值模拟

福建三宝200万吨钢铁项目高炉煤气配套干法布袋除尘系统流场优化CFD数值模拟

……

低低温除尘

大唐潮州发电有限责任公司锅炉机组配套电除尘提效改造项目流场优化CFD模拟

华润焦作龙源电厂2×660MW机组配套电除尘器关断振打及余热利用流场优化CFD模拟&物模试验

大唐宁德电厂600MW机组配套电除尘器加装LSC节能装置流场优化CFD模拟

……

湿法除尘&脱硫

华电淄博热电有限公司330MW机组配套湿式电除尘器流场优化CFD数值模拟

浙江安诺化工65t/h三废混燃流化床锅炉配套湿法电除尘器流场优化CFD数值模拟

青岛啤酒(菏泽)有限公司锅炉配套脱硫——湿式电除尘一体化项目流场CFD数值模拟

内蒙古巴彦淖尔德源肥业有限公司脱硫——湿式电除尘一体化项目流场CFD数值模拟

……

SNCR脱硝

新会双水发电(B厂)有限公司2×150MW机组CFB锅炉SNCR脱硝工程流场CFD数值模拟

福建龙麟集团有限公司水泥厂7000t/d生产线水泥分解炉SNCR脱硝CFD数值模拟

福建塔牌水泥厂5000t/d生产线分解炉SNCR脱硝流场CFD数值模拟

福建安砂水泥厂5000t/d生产线分解炉SNCR脱硝流场CFD数值模拟

……